

# 新电工手册

XIN



DIANGONG SHOUCHE

主 编 李正吾 副主编 赵文瑜

● 上 册 ●



安徽科学技术出版社

# 新 电 工 手 册

## (上 册)

顾 问	高景德
主 编	李正吾
副主编	赵文瑜
主 审	汤德忠

安徽科学技术出版社



# 新 电 工 手 册

(下 册)

顾 问	高景德
主 编	李正吾
副主编	赵文瑜
主 审	汤德忠

安徽科学技术出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

新电工手册. 上下册/李正吾主编. —合肥:安徽科学技术出版社, 2000. 3

ISBN 7-5337-1956-5

I. 新… I. 李… III. 电工-手册 IV. TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 02783 号

**安徽科学技术出版社出版**

(合肥市跃进路1号新闻出版大厦)

邮政编码:230063

电话号码:(0551)2825419

新华书店经销 合肥远东印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:86.625 字数:3360千

2002年1月第3次印刷

印数:4 000

ISBN 7-5337-1956-5/TM·13 定价:98.00元(上、下册)

(本书如有倒装、缺页等问题请向本社发行科调换)



愿《新电工手册》  
成为广大电工同志的  
良师益友。

高景德

高景德：中国科学院院士、清华大学前校长，我国电工和电力科学家、教育家。

## 内 容 提 要

本手册包括:电工基础知识、变压器、变配电及低压电路安装、电机、电器、常用电工材料、常用电工测量及仪表、常用电气传动控制电路、常用电子技术及元器件,以及安全用电和节电技术等,共 10 篇 46 章。内容涉及工矿企业供电、变配电和用电等各个方面。

本手册由我国电工行业各类电工专业以及科研院所的专家学者和有关大型骨干企业具有丰富实践经验的行家合作编写。

本手册具有实用、新颖、使用方便的特点。可供广大城乡工矿企业电气安装、维护和修理的电工阅读和使用,也可供其他有关电气从业人员在工作中参考。



## 前 言

为适应改革开放和新世纪我国经济建设加速发展的形势,促进我国电气工业水平的提高与发展,根据许多城市工矿企业电气安装、维护、修理实践的迫切需要,我们组织编写了这部《新电工手册》。

本手册共 10 篇 46 章。其特点是实用、新颖、使用方便。手册采用图、表、示例和文字结合的形式。本手册既参考了国内有关书籍的经验,又增加了国内同类手册所少见的内容,如常用电气传动控制电路,常用电子技术及元器件,以及安全用电和节电技术等。在力图使内容达到时新性和全面性的前提下,还注意从实际出发,重点内容重点介绍,致力于实用性。

本手册的读者对象为广大城乡工矿企业生产第一线的电工,主要是从事电气安装、维护、修理的电工。也可供其他电气从业人员在工作中参考。

在采用电工专用名词术语、标准及计量单位等方面,本书力图按国家统一规定选用。同时也从实际出发,对目前尚在大量使用中的内容作了适当的容纳过渡。

《新电工手册》主要由我国电工行业各类电工专业归口科研院所的专家学者和有关大型骨干企业具有丰富实践经验的行家合作编写。同时吸取了国内外许多专家的劳动创造与成就,它是众人智慧的结晶。

本手册的编写和出版,得到了机械工业部曾培炎、陆燕荪、张德邻副部长,中国电工技术学会赵明生理事长、王景瀛副秘书长等同志的关怀与指导帮助。中国科学院院士、清华大学前校长,我国著名电工和电力科学家、教育家高景德教授担任本手册顾问,还为本手册的出版题词勉励。此外,还有许多专家积极给我们提供新的信息与资料。手册图形符号等标准化工作得到合肥开关厂方瑞丰副厂长等同志的大力帮助。对此,我们深表谢意!

由于我们水平有限,经验不足,加之《新电工手册》涉及面广,难免存在缺点与错误,恳切希望读者批评指正。

编者

# 目 录

<b>第一篇 电工基础知识</b> .....	1	2.6 分接范围(调压范围) .....	34
<b>第一章 基础知识</b> .....	3	2.7 空载电流、空载损耗和空载合闸 电流 .....	34
1 常用计算公式 .....	3	2.8 阻抗电压和负载损耗 .....	34
2 基本定律及定则 .....	8	2.9 效率和电压调整率 .....	35
2.1 电路的基尔霍夫定律 .....	8	2.10 温升和冷却方式 .....	36
2.2 磁路的基尔霍夫定律 .....	9	2.11 绝缘水平 .....	37
2.3 右手定则 .....	9	2.12 短路电流 .....	38
2.4 左手定则 .....	9	2.13 重量和外形尺寸 .....	38
3 常用单位换算表 .....	10	<b>3 变压器的空载运行</b> .....	39
<b>第二章 常用符号</b> .....	13	3.1 主磁通和空载漏磁通 .....	39
1 电气设备常用文字符号 .....	13	3.2 电压方程式 .....	40
1.1 常用基本文字符号 .....	13	3.3 功率因数角和吸收的有功功率 .....	41
1.2 常用辅助文字符号 .....	16	3.4 二次绕组的额定电压和每匝电压 .....	41
2 电气图常用图形符号 .....	18	<b>4 变压器的负载运行</b> .....	42
<b>第二篇 变压器</b> .....	23	4.1 磁势平衡方程式和电流平衡方程 式 .....	43
<b>第一章 变压器的基本原理和主要 技术参数</b> .....	25	4.2 负载漏磁通和负载漏抗电压 ...	43
1 变压器的基本原理 .....	25	4.3 电压方程式 .....	44
2 变压器的主要技术参数 .....	27	4.4 能量传输 .....	45
2.1 相数和额定频率 .....	29	<b>5 短路运行</b> .....	45
2.2 额定电压、额定电压组合和额 定电压比 .....	29	<b>6 等值电路</b> .....	49
2.3 额定容量 .....	30	<b>7 二次电压变动率与效率</b> .....	52
2.4 额定电流 .....	31	<b>8 多绕组变压器</b> .....	54
2.5 绕组联结组别号 .....	32		



9 三绕组变压器 .....	57	3.1 结构和原理 .....	109
<b>第二章 变压器通用计算方法</b> .....	<b>59</b>	3.2 主要技术数据 .....	110
1 铁心直径及绕组匝数的计算 .....	59	3.3 主要用途 .....	111
2 绕组型式选择及绕组尺寸计算 .....	64	4 小型电源变压器的设计计算实例 .....	111
2.1 圆筒式绕组 .....	66	4.1 计算变压器额定容量 $P$ .....	111
2.2 螺旋式绕组 .....	69	4.2 计算初级电流 $I_1$ .....	112
2.3 连续式绕组 .....	72	4.3 计算铁心实际截面积 $A_c'$ .....	112
2.4 纠结式绕组 .....	73	4.4 确定铁心具体尺寸 .....	112
<b>第三章 35 千伏及以下节能变压器</b> .....	<b>75</b>	4.5 计算各绕组匝数 .....	114
1 SL7、S7 系列变压器 .....	75	4.6 计算导线直径 .....	114
2 S9 系列变压器 .....	80	4.7 选取漆包线的规格尺寸 .....	114
3 DN8-M、SN7、SN8 系列农用变 压器 .....	80	4.8 校核铁心窗口面积 .....	114
4 箔式绕组节能变压器 .....	83	5 C型变压器的设计计算实例 .....	116
5 全密封式节能变压器 .....	83	5.1 计算变压器容量 $P_2$ .....	116
6 干式节能变压器 .....	83	5.2 选择铁心 .....	116
6.1 浸渍绝缘干式变压器 .....	83	5.3 计算初级容量 $P_1$ .....	118
6.2 厚绝缘树脂浇注干式变压器 .....	86	5.4 计算初、次级匝数 $W_1$ 、 $W_2$ .....	118
6.3 薄绝缘树脂浇注干式变压器 .....	86	5.5 计算空载电流 $I_0$ 和初级电流 $I_1$ .....	118
6.4 包绕绝缘干式变压器 .....	87	5.6 计算初、次级线圈导线截面积 $A_1$ 、 $A_2$ ，选择线径 .....	119
6.5 主要技术数据 .....	87	5.7 计算变压器各线圈对铁心的试 验电压 $U_x$ .....	119
7 S8-M 系列变压器 .....	87	5.8 线圈结构及参数计算 .....	119
<b>第四章 特种变压器</b> .....	<b>90</b>	5.9 电压比核算 .....	123
1 电炉变压器 .....	90	6 R型变压器的设计计算实例 .....	124
2 整流变压器 .....	96	6.1 计算变压器容量 $P$ .....	124
3 矿用变压器 .....	99	6.2 计算变压器初、次级匝数 .....	124
4 试验变压器 .....	102	6.3 计算初、次级漆包线线径 .....	125
5 电抗器 .....	102	6.4 计算初、次级绕线层数及绕线 高度 .....	126
<b>第五章 小型电源变压器</b> .....	<b>106</b>	6.5 计算漆包线线长及线重 .....	128
1 局部照明变压器 .....	106		
2 控制变压器 .....	106		
3 隔离变压器 .....	109		

6.6 计算初、次级冷态及热态电阻 … 128

6.7 计算次级空载电压及负载电压  
…………… 129

6.8 变压器损耗计算 …… 129

6.9 温升计算…………… 129

**第六章 互感器 …… 130**

1 电流互感器 …… 130

1.1 工作原理…………… 130

1.2 分类和型号…………… 131

1.3 误差特性…………… 133

1.4 仪表保安系数 …… 135

1.5 可靠性指标…………… 135

1.6 主要技术数据 …… 136

2 电压互感器 …… 141

2.1 工作原理…………… 141

2.2 分类和型号…………… 142

2.3 误差特性…………… 143

2.4 可靠性指标…………… 144

2.5 主要技术数据 …… 145

**第七章 调压器 …… 148**

1 各类调压器的主要特点和用途  
…………… 148

2 接触调压器 …… 149

2.1 结构特点…………… 149

2.2 接线方式…………… 149

2.3 运行维护…………… 149

2.4 主要技术数据 …… 150

3 感应调压器 …… 150

3.1 基本原理…………… 150

3.2 接线方式…………… 150

3.3 运行维护…………… 151

3.4 主要技术数据 …… 151

**第三篇 变配电及低压电路安  
装 …… 157**

**第一章 10 千伏及以下户内变配电**

**工程安装 …… 159**

1 安装程序 …… 159

1.1 施工准备…………… 160

1.2 设备检查…………… 161

2 安装工艺 …… 162

2.1 接地系统安装 …… 162

2.2 变压器安装 …… 163

2.3 盘、柜安装 …… 166

2.4 少油断路器的安装 …… 167

2.5 隔离开关、负荷开关、熔断器安  
装 …… 170

2.6 电容器安装…………… 171

2.7 母线、穿墙套管、穿墙隔板安装  
…………… 172

2.8 二次回路安装 …… 178

3 变配电工程的试验及试运行  
…………… 180

3.1 试验项目…………… 180

3.2 试验准备工作 …… 180

3.3 试运行及竣工验收 …… 180

4 继电保护及控制电路 …… 183

4.1 继电保护的基本要求 …… 183

4.2 工厂常用继电保护的接线 …… 184

4.3 工厂常用电气测量仪表的接线  
…………… 188

4.4 工厂常用控制电路的接线 …… 188

5 安全注意事项 …… 199

**第二章 户内配线工程 …… 200**

1 户内配线的一般要求和配线  
工序 …… 200

1.1 户内配线的种类 …… 200

1.2 户内配线的技术要求 …… 200

1.3 户内配线的工序 …… 203

2 配管工程 …… 203

2.1 选择线管…………… 204



2.2 管配线的施工程序 .....	207	3.2 立杆 .....	277
2.3 电气配管的施工 .....	208	3.3 横担组装 .....	278
2.4 管子加工 .....	214	3.4 拉线和制作安装 .....	279
2.5 电气配管的连接 .....	214	3.5 架设导线 .....	286
2.6 明管敷设 .....	215	4 架空接户线 .....	292
2.7 暗管敷设 .....	217	4.1 低压架空接户线 .....	297
2.8 塑料管敷设 .....	227	4.2 高压架空接户线 .....	298
3 配线工程 .....	228	<b>第四章 电缆的敷设</b> .....	301
3.1 钢管配线 .....	228	1 电缆简介 .....	301
3.2 钢索配线 .....	229	1.1 电缆的种类 .....	301
3.3 瓷夹板、瓷柱、瓷瓶配线 .....	236	1.2 电缆的型号和规格 .....	302
3.4 槽板配线 .....	237	2 电缆的敷设 .....	303
3.5 护套线配线 .....	237	2.1 电缆管的加工及敷设 .....	303
3.6 明配线的粘接法固定 .....	242	2.2 电缆支架的配制及安装 .....	304
4 导线的连接和封端 .....	244	2.3 电缆敷设的一般规定 .....	305
4.1 导线连接的基本要求 .....	244	3 电缆终端头及电缆中间接头 .....	310
4.2 导线连接的规范要求 .....	244	4 橡塑电缆附件 .....	325
4.3 导线连接的方法 .....	245	4.1 电缆终端头及中间接头用附件 .....	325
<b>第三章 架空线路</b> .....	253	4.2 电缆终端头制作工艺程序 .....	328
1 架空线路的一般规定 .....	253	4.3 电缆中间接头制作工艺程序 .....	328
1.1 架空线路的等级 .....	253	4.4 电缆终端头及中间接头制作材料定额 .....	329
1.2 导线最小允许截面积 .....	253	<b>第五章 低压设备安装</b> .....	332
1.3 架空线路对地面等的最小垂直距离 .....	253	1 低压电器安装的有关规定 .....	332
1.4 架空电力线路的线间距离 .....	255	1.1 刀开关及熔断器的安装 .....	333
2 架空线路的结构 .....	257	1.2 低压断路器的安装 .....	334
2.1 导线的种类及选择 .....	259	1.3 接触器及起动器的安装 .....	334
2.2 电杆的种类及选择 .....	259	1.4 按钮、行程开关及转换开关的安装 .....	335
2.3 钢筋混凝土电杆各种附件的安装 .....	261	2 电动机的安装 .....	335
2.4 绝缘子的种类及选择 .....	261	2.1 电动机安装前的准备工作和检查 .....	336
2.5 金具的种类及选择 .....	267	2.2 电动机的接线 .....	337
2.6 拉线的种类及选择 .....	273		
3 架空线路的施工 .....	276		
3.1 电杆测位、定线和挖坑 .....	276		

2.3 电动机起动器的安装和接线	337	6.3 励磁系统对发电机并联运行的适应性	368
3 电气照明设备的安装	342	7 绕组修理与励磁系统的改换	372
<b>第四篇 电机</b>	343	7.1 绕组修复	372
<b>第一章 小型供电设备(小型同步发电机)</b>	345	7.2 改他励发电机为自励发电机	372
1 产品分类与用途	345	7.3 小型同步发电机所用电磁负荷值	381
1.1 分类	345	7.4 发电机修理后的测试与调整	381
1.2 用途	346	8 发电机的安装、维护与检修	384
2 主要技术性能	346	8.1 安装	384
2.1 三相同步发电机	346	8.2 运行前的检查	385
2.2 单相同步发电机	347	8.3 一般维护	385
2.3 风力发电机	348	8.4 小修	386
3 定子绕组特点	349	8.5 大修	386
3.1 绕组分类	349	8.6 常见故障及处理方法	386
3.2 三相绕组的连接	349	9 主要技术数据	389
3.3 绕组节距与短距系数	349	9.1 T2系列小型同步发电机	389
3.4 60°相带绕组的分布系数	350	9.2 TFW系列无刷小型三相同步发电机	397
3.5 绕组的相带划分及绕组感应电动势	350	9.3 IFC5、IFC6系列无刷三相同步发电机	397
3.6 绕组展开图例	351	9.4 DKBH系列三相无刷同步发电机	403
3.7 绕组对称条件与并联支路数	351	9.5 TFE系列三相同步发电机	407
3.8 辅助绕组	351	9.6 TSWN、TSN系列小容量水轮发电机	410
4 转子结构	357	<b>第二章 三相异步电动机</b>	426
4.1 凸极转子的磁极结构	357	1 产品分类及型号	426
4.2 凸极磁极绕组的绕制(多层)	357	1.1 产品分类	426
4.3 隐极转子结构	358	1.2 产品型号	426
4.4 阻尼绕组	359	2 主要技术性能	432
5 绝缘	359	3 定子绕组及其重制	435
5.1 槽绝缘	359	3.1 绕组的结构及类别	435
5.2 层间绝缘与相间绝缘	359		
5.3 凸极发电机的磁极绝缘	359		
5.4 浸渍漆	360		
6 励磁方式	360		
6.1 励磁系统主要性能要求	360		
6.2 励磁系统类别	360		

3.2 损坏绕组的拆除 .....	441	10 三相异步电动机主要技术数 据 .....	473
3.3 绕组制作及绝缘处理 .....	442	11 多速异步电动机 .....	473
4 旧壳重制计算 .....	448	11.1 变极原理 .....	473
4.1 精确测量定子铁心各部分尺寸 .....	448	11.2 单绕组变极多速电机绕组方案 .....	500
4.2 计算 .....	448	11.3 单速电机改制成多速电机的 简易计算 .....	525
4.3 估计电动机的极数 $p$ .....	449	11.4 主要技术数据 .....	531
4.4 选取气隙磁密 $B_g(T)$ .....	449	12 电磁调速异步电动机 .....	564
4.5 验算定子齿部磁通密度 $B_{H1}(T)$ .....	450	12.1 型式与结构 .....	564
4.6 确定每相串联导体数 $N$ .....	450	12.2 调速原理 .....	565
4.7 确定每槽导体数 $n$ 根 .....	454	12.3 主要技术数据 .....	565
4.8 确定导体直径 $d(mm)$ .....	454	12.4 控制器 .....	566
4.9 电动机相电流估算 $I_\phi(A)$ .....	454	12.5 使用与调整 .....	573
4.10 验算线负荷 $A(A/cm)$ .....	456	12.6 常见故障及其处理方法 .....	574
4.11 计算电动机的输出功率 $P_2(kW)$ .....	456	13 三相异步换向器电动机 .....	575
4.12 定子绕组参数 .....	456	13.1 结构简介 .....	575
5 三相异步电动机的改制 .....	458	13.2 技术数据 .....	578
5.1 改变极数 .....	458	13.3 绕组的特殊接线 .....	578
5.2 改变电压 .....	461	13.4 换向器电动机的调整 .....	587
6 三相异步电动机的拆装和试 验 .....	463	13.5 常见故障及其处理方法 .....	592
6.1 电动机拆卸步骤及要求 .....	463	14 井用潜水异步电动机 .....	597
6.2 电动机的装配及要求 .....	464	14.1 型号与主要规格 .....	597
6.3 试验 .....	464	14.2 结构及主要特点 .....	598
7 三相异步电动机的选用 .....	465	14.3 选择与使用 .....	604
7.1 选用要点 .....	465	14.4 常见故障及其处理方法 .....	606
7.2 选用步骤 .....	465	14.5 主要技术数据 .....	609
8 三相异步电动机维护保养 .....	467	15 潜水电泵 .....	609
8.1 起动前的准备和检查 .....	467	15.1 分类 .....	609
8.2 运行中的维护 .....	467	15.2 型号表示法 .....	619
9 三相异步电动机常见故障和 处理方法 .....	468	15.3 主要系列与结构 .....	621
9.1 绕组故障检查及处理 .....	468	15.4 选用 .....	628
9.2 其他故障检查及处理 .....	468	15.5 使用与维护 .....	629
		15.6 常见故障及其处理方法 .....	630

15.7 主要技术数据 .....	631	9.1 Z2 系列直流电机技术数据 ...	667
16 井用潜油异步电动机 .....	636	9.2 Z4 系列直流电动机技术数据 ...	667
16.1 型号与基本规格 .....	636	<b>第四章 微特电机</b> .....	713
16.2 结构与主要特点 .....	637	1 微特电机的分类 .....	713
16.3 安装与使用 .....	639	1.1 驱动用小功率电动机 .....	713
16.4 常见故障及其处理方法 .....	639	1.2 控制用微电机 .....	714
<b>第三章 直流电机</b> .....	641	2 小功率异步电动机 .....	715
1 产品分类及型号 .....	641	2.1 型号、特性与应用范围 .....	715
2 主要技术性能 .....	641	2.2 主要技术数据 .....	721
3 直流电机电枢绕组及其重制 .....	642	2.3 外形和安装尺寸 .....	761
3.1 电枢绕组构成及类别 .....	642	2.4 常见故障和解决方法 .....	762
3.2 绕组制作及绝缘处理 .....	646	3 小功率同步电动机 .....	767
4 直流电机的改压计算 .....	649	3.1 分类、结构特点与应用范围 ...	767
4.1 励磁绕组的改压计算 .....	649	3.2 技术数据 .....	767
4.2 电枢绕组的改压计算 .....	650	3.3 外形和安装尺寸 .....	773
4.3 换向极绕组的改压计算 .....	651	4 小功率直流电动机 .....	777
5 直流电机拆装和试验 .....	651	4.1 分类、特点与应用范围 .....	777
5.1 直流电机拆装 .....	651	4.2 主要技术数据 .....	777
5.2 直流电机修复后试验 .....	652	4.3 外形和安装尺寸 .....	787
6 直流电机选用 .....	654	5 小功率单相换向器电动机 ...	793
7 直流电机维护保养 .....	655	5.1 基本原理 .....	793
7.1 直流电机主要零部件的保养 ...	655	5.2 基本结构 .....	793
7.2 使用前的准备及检查 .....	656	5.3 类型、特点和用途 .....	793
7.3 直流电机的起动 .....	656	5.4 主要技术数据 .....	794
7.4 直流电机运行中的维护 .....	657	5.5 外形和安装尺寸 .....	799
7.5 直流电机火花等级的鉴别 ...	657	6 部分家用电器用电动机 .....	800
7.6 直流电机的接线图 .....	658	6.1 电风扇用电动机 .....	800
8 直流电机常见故障和处理方 .....	659	6.2 电冰箱压缩机组用电动机 ...	828
8.1 电枢绕组故障检查及处理 ...	659	6.3 吸尘器用电动机 .....	835
8.2 定子绕组故障检查及处理 ...	662	6.4 家用食物拌碎器用单相串励电 .....	837
8.3 换向器故障检查及处理 .....	664	6.5 电唱盘用电动机 .....	837
8.4 其他故障的检查及处理 .....	667	6.6 盒式录音机用电动机 .....	838
9 直流电机主要技术数据 .....	667	6.7 录像机用电动机 .....	839
		6.8 电动工具用电动机 .....	844

6.9 洗衣机用电动机 .....	858	13.2 主要技术数据 .....	912
7 自整角机 .....	862	13.3 外形和安装尺寸 .....	913
7.1 分类与作用 .....	862	<b>第五章 电动工具</b> .....	917
7.2 自整角机系统 .....	865	1 基本结构、分类和型号 .....	917
7.3 选用和使用时注意事项 .....	867	1.1 基本结构 .....	917
7.4 精度等级 .....	868	1.2 分类 .....	919
7.5 主要技术数据 .....	868	1.3 型号 .....	922
7.6 外形和安装尺寸 .....	871	2 常用电动工具 .....	922
8 旋转变压器 .....	874	2.1 电钻 .....	922
8.1 分类、特点与用途 .....	874	2.2 电动往复锯 .....	927
8.2 精度等级 .....	876	2.3 电动型材切割机 .....	928
8.3 主要技术数据 .....	876	2.4 电动角向磨光机 .....	933
8.4 使用注意事项 .....	880	2.5 电动平板摆动式砂光机 .....	937
8.5 旋转变压器的外形和安装尺寸 .....	880	2.6 电动扳手 .....	940
9 双通道旋转变压器 .....	882	2.7 电动螺丝刀 .....	943
9.1 分类和特点 .....	882	2.8 冲击电钻和电锤 .....	946
9.2 主要技术数据 .....	883	2.9 电圆锯 .....	954
9.3 双通道旋转变压器的外形和安 装尺寸 .....	886	2.10 电刨 .....	956
10 伺服电动机 .....	891	3 电动工具的安全使用 .....	960
10.1 分类、特点与用途 .....	891	3.1 电击保护 .....	960
10.2 主要技术数据 .....	893	3.2 电气安全措施 .....	961
11 测速发电机 .....	899	3.3 电击保护用电器 .....	964
11.1 分类和特点 .....	899	4 选用、管理、检查和维修 .....	965
11.2 主要技术数据 .....	900	4.1 电动工具按工作场所的选用 .....	965
11.3 应用 .....	902	4.2 电动工具的安全使用 .....	967
11.4 外形和安装尺寸 .....	902	4.3 电动工具的安全技术管理 .....	969
12 力矩电动机 .....	906	4.4 电动工具的维修 .....	970
12.1 分类、特点与应用范围 .....	906	<b>第五篇 电器</b> .....	973
12.2 使用注意事项 .....	906	<b>第一章 高压电器</b> .....	975
12.3 主要技术数据 .....	907	1 高压断路器 .....	975
12.4 外形和安装尺寸 .....	909	2 操动机构 .....	976
13 步进电动机 .....	911	2.1 CS2 型手动操动机构 .....	977
13.1 分类和特点 .....	911	2.2 CS15 型手动操动机构 .....	979
		2.3 CD2 型直流电磁操动机构 .....	982
		2.4 CD3 型直流电磁操动机构 .....	984



2.5 CD10型直流电磁操动机构	985	2.8 电阻器	1098
2.6 CT7型弹簧储能操动机构	988	2.9 变阻器	1101
2.7 CTA-S、CTA-D型弹簧储能操 动机构	992	2.10 电磁铁	1116
2.8 CT8型弹簧储能操动机构	993	2.11 信号灯及电气设备辅件	1121
2.9 CS系列隔离开关手动操动机构	996	3 低压电器常见故障和修理	1124
3 高压负荷开关	1002	3.1 低压电器安装、日常维护保养	1124
4 高压隔离开关	1003	3.2 低压电器常见故障的修理	1125
5 户内高压熔断器	1004	3.3 部分低压电器的故障和处理 方法	1130
6 户外跌落式熔断器	1006	3.4 常见低压电器线圈数据	1134
6.1 户外爆炸式跌落、重合跌落熔 断器	1006	<b>第三章 继电器</b>	1142
6.2 户外跌落式高压熔断器	1006	1 概述	1142
7 阀式避雷器	1007	2 常用继电器产品	1142
8 并联电容器	1008	2.1 JL14系列交直流电流继电器	1142
9 高压电抗器	1011	2.2 JL15系列交直流电流继电器	1144
9.1 (KSI、KDJ)型串联电抗器	1011	2.3 JT17系列电磁继电器	1145
9.2 (KS、CKD)型串联电抗器	1012	2.4 JT18系列直流电磁通用继电 器	1145
9.3 XKNL型水泥电抗器	1013	2.5 JZ11系列中间继电器	1147
9.4 QKSJ型起动电抗器	1017	2.6 JZ14系列中间继电器	1148
<b>第二章 低压电器</b>	1019	2.7 JZ15系列中间继电器	1149
1 概述	1019	2.8 JRX-4小型直流电磁继电器	1150
1.1 低压电器的主要类别	1019	2.9 JTX系列小型通用继电器	1151
1.2 低压电器的正常工作条件	1019	2.10 JQX-10F小型中间继电器	1152
1.3 低压电器产品的型号编制方法	1020	2.11 HH5系列小型控制继电器	1152
2 常用低压电器产品	1022	2.12 JS7-A、JS7-B、JSK1、JJSK2系 列空气式时间继电器	1154
2.1 刀开关和刀形转换开关	1022	2.13 JS17系列电动式时间继电器	1155
2.2 熔断器	1039	2.14 JS20系列晶体管时间继电器	1156
2.3 低压断路器	1047	2.15 ST系列超级时间继电器	1156
2.4 控制器	1066		
2.5 接触器	1069		
2.6 起动器	1084		
2.7 主令电器	1088		

2.16 JR0.9、9-A、14、15、16 等系列热继电器 .....	1158	1 常用电焊机的分类及名词术语 .....	1261
2.17 LR1-D 系列热继电器 .....	1161	1.1 电焊机的分类和用途 .....	1261
2.18 JDM1 系列计数器和 JDM2 (JJDM2) 系列计数继电器 .....	1162	1.2 电焊机专用名词术语 .....	1264
2.19 JDM5、6、7 系列电磁式计数器 .....	1163	2 常用电焊机的型号编制方法 .....	1268
2.20 JAG 系列干簧继电器 .....	1165	2.1 产品型号的组成 .....	1268
3 继电器常见故障和修理 .....	1167	2.2 产品型号的编排次序 .....	1268
3.1 安装使用及环境影响引起的故障 .....	1167	3 电弧焊机 .....	1269
3.2 继电器的损坏及修理 .....	1168	3.1 弧焊电源 .....	1269
<b>第四章 成套电器</b> .....	1169	3.2 CO <sub>2</sub> /MAG 气体保护焊机 .....	1280
1 高压配电装置 .....	1169	3.3 埋弧焊机 .....	1291
1.1 GG-1A(F) 型固定式高压开关柜 .....	1172	3.4 等离子弧焊机 .....	1295
1.2 GG-1A(J) 型高压开关柜 .....	1177	4 电阻焊机 .....	1297
1.3 KYN-10 型手车式高压开关柜 .....	1178	4.1 电阻焊机的分类、用途和组成 .....	1297
1.4 VG-10 型全封闭式真空开关柜 .....	1178	4.2 电阻焊变压器 .....	1299
1.5 GR-1 系列高压静电电容器柜 .....	1184	5 特种焊机 .....	1311
2 低压配电装置 .....	1189	5.1 电子束焊机 .....	1311
2.1 PGL- <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 型交流低压配电屏 .....	1189	5.2 激光焊机 .....	1312
2.2 BFC-40 型抽屉式低压开关柜 .....	1192	6 焊接成套设备 .....	1315
2.3 PGJ- <sup>1</sup> / <sub>1A</sub> 型无功功率自动补偿屏 .....	1203	6.1 焊接成套设备的分类 .....	1315
2.4 直流电源成套装置 .....	1204	6.2 PC 机在焊接成套设备中的应用 .....	1315
2.5 动力配电箱 .....	1214	7 焊接机器人 .....	1317
2.6 照明配电箱 .....	1225	7.1 示教再现式弧焊机器人 .....	1318
<b>第五章 电焊机</b> .....	1261	7.2 弧焊机器人配套的焊接设备 .....	1319
		8 电焊机的使用安全 .....	1319
		8.1 电焊机的主要安全条款 .....	1319
		8.2 预防触电的安全措施 .....	1322
		8.3 焊机的正常使用、维护和保养 .....	1323
		<b>第六章 电热</b> .....	1324
		1 常用电热材料的性能、规格 .....	

及电参数 .....	1324	2.2 房间空调器 .....	1375
2 加热元件的选用 .....	1332	2.3 家用电冰箱 .....	1380
2.1 加热元件的选用估算 .....	1332	2.4 家用洗衣机 .....	1385
2.2 加热元件的选用示例 .....	1334	2.5 电动吸尘器 .....	1393
3 管状加热元件 .....	1341	2.6 电饭锅 .....	1395
4 几种电热器的特性及加热元 件的焊接方法 .....	1342	2.7 液体加热器具 .....	1399
4.1 管状电热器 .....	1342	2.8 电热水器 .....	1404
4.2 板状电热器 .....	1342	2.9 微波炉 .....	1406
4.3 加热元件的焊接方法 .....	1344	2.10 电磁灶 .....	1410
5 加热元件的联接方式及供电 电压的选择 .....	1345	2.11 食品电烤箱 .....	1413
6 常用电阻炉产品系列 .....	1346	2.12 三明治炉 .....	1415
7 热电偶 .....	1348	2.13 洗碗机 .....	1417
7.1 热电偶的种类和主要特性 .....	1348	2.14 电子消毒柜 .....	1420
7.2 冷端温度变化对测温准确度的 影响及其校正法 .....	1350	2.15 吸排油烟机 .....	1422
8 电阻炉炉温的自动控制 .....	1354	2.16 多功能食品加工机 .....	1425
9 炼钢电弧炉 .....	1356	2.17 电动食物搅碎器 .....	1427
9.1 炼钢电弧炉的供电线路 .....	1356	2.18 室内取暖用电加热器具 .....	1428
9.2 普通功率炼钢电弧炉系列 .....	1357	2.19 电热毯 .....	1434
9.3 炼钢电弧炉用变压器 .....	1358	2.20 电熨斗 .....	1435
9.4 炼钢电弧炉的大电流线路 .....	1359	2.21 皮毛护发器具 .....	1438
9.5 炼钢电弧炉的电极升降自动调 节器 .....	1362	2.22 电动剃须刀 .....	1441
9.6 炼钢电弧炉的排烟除尘装置 .....	1363	3 日用电器的安全使用 .....	1444
10 感应加热设备及感应熔炼 炉 .....	1364	3.1 产品的选购 .....	1444
10.1 感应加热设备 .....	1365	3.2 安装 .....	1445
10.2 感应熔炼炉 .....	1366	3.3 使用与维护 .....	1445
<b>第七章 日用电器 .....</b>	<b>1368</b>	<b>第八章 照明 .....</b>	<b>1446</b>
1 范围和分类 .....	1368	1 电气照明的基本概念和名词 术语 .....	1446
2 常用的电器产品 .....	1369	1.1 光的本质和光谱 .....	1446
2.1 电风扇和换气扇 .....	1369	1.2 名词术语 .....	1447
		2 照明电光源 .....	1448
		2.1 照明电光源分类 .....	1448
		2.2 照明电光源技术参数及规格 .....	1449
		2.3 常用照明电光源的主要特性	

.....	1478	3.5 电磁线的应用 .....	1625
2.4 常用照明电光源的选用 .....	1480	4 绝缘电线 .....	1625
3 电气装置和照明灯具 .....	1483	4.1 通用绝缘电线 .....	1625
3.1 电气装置件 .....	1483	4.2 专用绝缘电线 .....	1644
3.2 照明灯具 .....	1494	5 电气装备用电缆 .....	1655
4 电气照明设备的安装 .....	1525	5.1 通用橡胶套电缆 .....	1655
4.1 照明图用图形符号 .....	1525	5.2 电焊机用软电缆 .....	1656
4.2 线路的敷设和导线的连接 .....	1533	5.3 机车车辆用电缆 .....	1657
4.3 灯具、开关、插座和配电设备的 安装 .....	1533	5.4 无线电装置用电缆 .....	1658
4.4 各种照明线路及安装注意事项 .....	1547	5.5 摄影光源用软电缆 .....	1658
5 电气照明的常见故障及维修 .....	1551	5.6 防水橡胶套电缆 .....	1659
5.1 白炽灯(含卤钨灯)照明 .....	1551	5.7 电梯电缆 .....	1659
5.2 荧光灯照明 .....	1553	6 低压电力电缆 .....	1660
5.3 氙灯照明 .....	1555	6.1 油浸纸绝缘电力电缆 .....	1661
5.4 霓虹灯 .....	1555	6.2 橡皮绝缘电力电缆 .....	1665
<b>第六篇 常用电工材料</b> .....	1557	6.3 聚氯乙烯绝缘电力电缆 .....	1667
<b>第一章 常用导电材料</b> .....	1559	6.4 交联聚乙烯绝缘电力电缆 .....	1668
1 导电金属 .....	1559	6.5 低压电力电缆附件 .....	1671
1.1 铜及铜合金 .....	1560	6.6 电力电缆的选用 .....	1677
1.2 铝及铝合金 .....	1563	<b>第二章 特种电工材料</b> .....	1682
1.3 复合金属导体 .....	1564	1 电阻合金 .....	1682
1.4 铝导体焊接 .....	1566	1.1 调节元件用电阻合金 .....	1682
2 裸导体 .....	1567	1.2 精密元件用锰铜合金 .....	1682
2.1 圆单线 .....	1569	1.3 电位器用电阻合金 .....	1688
2.2 裸绞线 .....	1576	1.4 传感元件用电阻合金 .....	1689
2.3 软接线 .....	1581	1.5 常用的电阻合金 .....	1691
2.4 型线 .....	1586	2 电热材料 .....	1693
3 电磁线 .....	1605	2.1 电热材料的类别和品种 .....	1693
3.1 漆包线 .....	1606	2.2 电热材料的性能 .....	1694
3.2 绕包线 .....	1614	2.3 电热材料的规格与选用 .....	1694
3.3 无机绝缘线 .....	1622	2.4 电热材料应用中注意事项 .....	1707
3.4 特种电磁线 .....	1623	2.5 远红外电热元件 .....	1710
		3 热电偶 .....	1712
		3.1 常用热电偶材料 .....	1712
		3.2 补偿导线 .....	1715

3.3 特种热电偶 .....	1715	2.7 软磁材料的选用 .....	1782
3.4 热电偶材料的选用 .....	1717	2.8 软磁材料的表面处理 .....	1783
3.5 热电偶材料的焊接 .....	1717	3 永磁材料 .....	1784
4 热双金属片 .....	1718	3.1 永磁材料的品种 .....	1784
4.1 热双金属片组合层材料 .....	1719	3.2 永磁体的磁稳定性 .....	1787
4.2 热双金属片的分类 .....	1719	3.3 永磁体的老化处理 .....	1787
4.3 常用热双金属片 .....	1720	3.4 永磁体的磁化 .....	1787
4.4 热双金属片的应用 .....	1724	3.5 磁滞材料 .....	1787
5 弹性合金 .....	1725	<b>第四章 常用绝缘材料</b> .....	1792
5.1 弹性合金的基本性能 .....	1725	1 绝缘材料特性 .....	1792
5.2 常用弹性合金 .....	1726	1.1 电导率与电阻率 .....	1792
5.3 弹性合金的选用 .....	1743	1.2 相对介电系数 .....	1792
6 电触头 .....	1744	1.3 介质损耗 .....	1793
6.1 电触头材料的性能要求 .....	1744	1.4 击穿强度 .....	1793
6.2 常用电触头材料 .....	1745	1.5 绝缘材料的老化 .....	1793
6.3 电触头材料的应用 .....	1747	2 绝缘气体 .....	1794
7 电碳制品 .....	1751	2.1 空气 .....	1794
7.1 电机用电刷 .....	1754	2.2 六氟化硫 .....	1794
7.2 碳滑板和碳滑块 .....	1759	2.3 氟里昂 .....	1796
7.3 碳和石墨触头 .....	1760	3 绝缘油 .....	1796
7.4 碳棒 .....	1760	3.1 矿物油 .....	1797
7.5 高纯石墨件 .....	1763	3.2 合成油 .....	1802
7.6 碳电阻片柱 .....	1764	3.3 蓖麻油 .....	1802
<b>第三章 常用磁性材料</b> .....	1766	4 绝缘浸渍材料 .....	1803
1 磁性材料基本性能 .....	1766	4.1 绝缘漆 .....	1803
1.1 磁化曲线 .....	1766	4.2 绝缘胶 .....	1817
1.2 磁滞回线 .....	1766	4.3 熔敷绝缘粉 .....	1821
1.3 居里温度 .....	1768	5 绝缘纤维织品 .....	1822
2 软磁材料 .....	1768	5.1 棉织品 .....	1823
2.1 电工用纯铁 .....	1769	5.2 玻璃纤维制品 .....	1823
2.2 硅钢片 .....	1770	5.3 合成纤维制品 .....	1825
2.3 铁镍合金 .....	1773	5.4 浸渍织品 .....	1830
2.4 铁铝合金 .....	1776	6 绝缘纸品 .....	1835
2.5 软磁铁氧体 .....	1778	6.1 绝缘纸 .....	1835
2.6 其他软磁材料 .....	1780	6.2 绝缘纸板 .....	1840



6.3 钢纸品 .....	1842	1.5 常用电工测量仪表的结构形式及其特点 .....	1899
7 云母制品 .....	1844	1.6 仪表的量值传递及周期检定 .....	1902
7.1 天然云母 .....	1844	2 电流和电压的测量 .....	1902
7.2 合成云母 .....	1845	2.1 电流的测量 .....	1902
7.3 粉云母 .....	1846	2.2 电压的测量 .....	1904
7.4 云母带 .....	1847	2.3 常用电流表、电压表的型号及规格 .....	1904
7.5 云母板 .....	1848	3 电阻的测量 .....	1906
7.6 云母箔 .....	1852	3.1 一般阻值(100Ω~10kΩ)电阻的测量 .....	1906
7.7 云母玻璃 .....	1853	3.2 低阻值电阻的测量 .....	1908
8 电工用膜带 .....	1853	3.3 绝缘电阻的测量 .....	1911
8.1 电工用薄膜 .....	1853	4 功率的测量 .....	1915
8.2 薄膜复合箔 .....	1855	4.1 直流电路功率的测量 .....	1915
8.3 粘带 .....	1855	4.2 单相交流电路功率的测量 .....	1915
9 电工用层压制品 .....	1855	4.3 三相交流电路功率的测量 .....	1916
9.1 层压板 .....	1862	5 电能的测量 .....	1921
9.2 层压管棒 .....	1869	5.1 电度表的结构原理 .....	1921
9.3 层压制品的机械加工 .....	1869	5.2 交流电路有功电能的测量 .....	1922
10 电工用塑料 .....	1869	5.3 三相三线交流电路无功电能的测量 .....	1922
10.1 热固性塑料 .....	1873	5.4 D86系列电度表的性能规格 .....	1923
10.2 一般电工用热塑性塑料 .....	1875	5.5 电度表在联合接线中的检查 .....	1924
10.3 电线电缆用热塑性塑料 .....	1882	5.6 单相电度表的校验、维修及改制 .....	1925
11 电工用橡胶 .....	1885	6 相位和频率的测量 .....	1927
11.1 天然橡胶 .....	1885	6.1 相位的测量 .....	1927
11.2 合成橡胶 .....	1885	6.2 频率的测量 .....	1932
<b>第七篇 常用电工测量及仪表</b> .....	1893	<b>第二章 常用电工仪表及仪器</b> .....	1935
<b>第一章 电工测量原理</b> .....	1895	1 万用电表 .....	1935
1 电工仪表常用知识 .....	1895	1.1 万用电表的结构 .....	1935
1.1 测量及误差表示方法 .....	1895		
1.2 电工仪表的准确度及量程的选择 .....	1896		
1.3 仪表刻度盘上常见符号及其意义 .....	1897		
1.4 有关影响量对仪表准确度的影响 .....	1898		

1.2 万用电表的工作原理·····	1935	<b>第一章 传动电动机的选择</b> ·····	1991
1.3 万用电表的使用方法和注意 事项·····	1938	1 电动机的类型选择·····	1992
1.4 万用电表的故障分析和调整 ·····	1939	1.1 根据环境条件选择电动机类型 ·····	1992
2 电子毫伏表·····	1942	1.2 根据负载性质选择电动机的类 型·····	1992
2.1 电子毫伏表的主要技术性能 ·····	1943	1.3 电动机转速的选择·····	1992
2.2 DA-16型晶体管毫伏表·····	1943	2 电力传动的计算公式及机械 参数·····	1993
3 电子示波器·····	1947	2.1 电力传动的基本计算公式·····	1993
3.1 电子示波器的结构原理·····	1947	2.2 电动机的机械特性及参数·····	1993
3.2 示波器的电路结构·····	1951	2.3 飞轮力矩的计算·····	1993
3.3 电子示波器的使用·····	1951	2.4 机械参数·····	1993
3.4 电子示波器的维修·····	1956	2.5 一般工业机械传动电动机的功 率计算·····	1998
4 晶体管特性图示仪·····	1957	2.6 根据打滑条件允许的最大速度 ·····	1998
4.1 示波管显示晶体管特性曲线的 原理·····	1958	3 电动机的容量校验·····	1998
4.2 晶体管特性图示仪的使用·····	1959	3.1 平稳负载长期工作制电动机的 容量校验·····	1998
5 直流电位差计·····	1966	3.2 短时工作制电动机的容量校验 ·····	2003
5.1 直流电位差计的工作原理·····	1966	3.3 波动负载长期工作制电动机容 量校验(不带飞轮工作)·····	2003
5.2 直流电位差计的分类·····	1968	3.4 重复短时工作制电动机容量校 验·····	2004
5.3 直流电位差计的一般调整和 修理·····	1968	3.5 容量校验实例·····	2006
5.4 UJ37型直流电位差计的调整 和修理·····	1969	<b>第二章 电器控制线路</b> ·····	2010
<b>第三章 常用数字式电工仪表</b> ·····	1971	1 电动机的起动·····	2010
1 数字式多用表·····	1971	1.1 交流电动机起动应满足的条件 ·····	2010
1.1 数字式多用表的使用方法和 注意事项·····	1978	1.2 笼型异步电动机的起动·····	2011
1.2 DT830型数字万用表·····	1978	1.3 绕线型异步电动机的起动·····	2011
2 数字式频率计·····	1980	1.4 同步电动机的起动·····	2017
2.1 数字式频率计的工作原理·····	1980	1.5 直流电动机的起动·····	2020
2.2 PP11A型通用频率计数器·····	1984	2 电动机的制动·····	2022
<b>第八篇 常用电气传动控制 电路</b> ·····	1989		

2.1 异步电动机的制动 .....	2023	附录 A 交流调速控制装置产品 介绍 .....	2209
2.2 同步电动机的制动 .....	2025	<b>第九篇 常用电子技术及元器 件</b> .....	2219
2.3 直流电动机的制动 .....	2025	<b>第一章 二极管、三极管及其应用</b> .....	2221
3 电动机常用控制线路 .....	2029	1 半导体器件型号命名方法 ..	2221
<b>第三章 电气传动调速系统</b> .....	2041	1.1 国产半导体分立器件型号命 名法 .....	2221
1 调速系统的静态指标 .....	2041	1.2 美国半导体分立器件型号命 名法 .....	2222
1.1 转速变化率 .....	2041	1.3 日本半导体分立器件型号命 名法 .....	2224
1.2 调速比(调速范围) .....	2041	1.4 欧洲各国半导体分立器件型号 命名法 .....	2225
1.3 调速平滑性 .....	2041	1.5 前苏联半导体分立器件型号 命名法 .....	2227
1.4 经济指标 .....	2041	2 半导体二极管的应用 .....	2229
2 直流电动机调速 .....	2042	2.1 半导体二极管 .....	2229
2.1 直流电动机的调速方案 .....	2042	2.2 二极管的应用 .....	2232
2.2 他励直流电动机调电枢电压的 调速系统 .....	2047	3 半导体三极管及其应用 ..	2240
3 直流半导体电气传动系列装 置 .....	2066	3.1 双结型半导体三极管(晶体 管) .....	2240
3.1 控制单元 .....	2066	3.2 场效应三极管(场效应管) ..	2247
3.2 晶闸管功率单元 .....	2141	3.3 半导体三极管的应用 .....	2253
3.3 TZS1 系列直流电动机调速装 置 .....	2145	<b>第二章 晶闸管及其应用</b> .....	2293
3.4 TDZ1 系列直流电动机供电装 置 .....	2159	1 晶闸管 .....	2293
3.5 TDL1 系列直流电动机励磁装 置 .....	2166	1.1 晶闸管的工作原理 .....	2294
<b>第四章 交流异步电动机调速控制</b> .....	2174	1.2 晶闸管的型号命名法 .....	2296
1 笼型异步电动机的调速 ..	2174	1.3 主要技术参数 .....	2297
1.1 变极对数调速 .....	2174	2 主回路 .....	2299
1.2 变极与调压配合调速 .....	2178	2.1 可控整流的主回路 .....	2299
1.3 变极与电磁转差离合器配合调 速 .....	2183	2.2 开关电路的主回路 .....	2300
1.4 变频调速 .....	2188	2.3 逆变电路的主回路 .....	2300
2 绕线型异步电动机的调速 ..	2205	2.4 晶闸管的串并联应用 .....	2310
2.1 转子串电阻调速 .....	2205		
2.2 串级调速 .....	2205		

2.5 晶闸管的保护 .....	2311	4.4 集成稳压器使用注意事项 ...	2410
3 触发电路 .....	2315	5 几种专用集成电路 .....	2416
3.1 阻容移相桥触发电路 .....	2315	5.1 漏电保护器专用集成电路 ...	2416
3.2 单结晶体管触发电路 .....	2318	5.2 晶闸管集成触发器 .....	2423
3.3 晶体管组成的触发电路 .....	2322	5.3 接近开关专用集成电路 .....	2425
4 晶闸管的实用电路 .....	2326	5.4 电动机保护器专用集成电路	
4.1 可控整流电路 .....	2326	.....	2435
4.2 直流开关电路 .....	2329	5.5 步进电动机控制专用集成电路	
4.3 交流开关电路 .....	2331	.....	2442
4.4 其他电路 .....	2332	<b>第四章 可编程序控制器</b> .....	2450
<b>第三章 半导体集成电路</b> .....	2335	1 可编程序控制器的硬件 ...	2450
1 半导体集成电路概述 .....	2335	1.1 硬件结构 .....	2450
1.1 半导体集成电路的特点 .....	2335	1.2 各部件的功能及特点 .....	2450
1.2 半导体集成电路的分类 .....	2335	2 可编程序控制器的软件 ...	2456
1.3 国产半导体集成电路型号的命		2.1 可编程序控制器的工作过程	
名方法 .....	2337	.....	2456
1.4 半导体集成电路外形尺寸及外		2.2 软件的组成 .....	2457
引线排列 .....	2337	2.3 应用程序的编写 .....	2457
2 数字集成电路 .....	2347	3 可编程序控制器的应用 ...	2474
2.1 双极型数字集成电路 .....	2348	3.1 PLC 机型的选择 .....	2474
2.2 CMOS 型数字集成电路 .....	2363	3.2 程序的编写 .....	2475
3 集成运算放大器 .....	2376	3.3 离机调试 .....	2475
3.1 集成运算放大器的基本知识		3.4 现场在线调试 .....	2475
.....	2376	<b>第五章 微型计算机</b> .....	2476
3.2 集成运算放大器的主要性能参		1 微型计算机的分类与组成	
数 .....	2377	.....	2476
3.3 国内外常用集成运算放大器对		1.1 电子计算机的特点 .....	2476
照表 .....	2400	1.2 电子计算机的分类 .....	2476
3.4 集成运算放大器使用注意事项		1.3 微型计算机的优点 .....	2477
.....	2401	1.4 微型计算机的组成 .....	2477
4 集成稳压器 .....	2404	2 微型计算机的外部设备 ...	2478
4.1 集成稳压器的基本知识 .....	2404	2.1 外部设备的功用 .....	2478
4.2 集成稳压器的主要性能参数		2.2 外部设备的分类 .....	2478
.....	2405	2.3 打印机 .....	2479
4.3 国内外常用集成稳压器对照表		2.4 磁盘机 .....	2480
.....	2409		

3 微型计算机的软件 .....	2481	类 .....	2502
3.1 计算机软件分类 .....	2482	3.3 综合布线系统的结构和特点 .....	2503
3.2 操作系统 .....	2482	3.4 水平布线系统 .....	2504
3.3 计算机语言 .....	2483	3.5 垂直布线系统 .....	2505
3.4 数据库 .....	2483	3.6 设备间子系统 .....	2506
3.5 软件的选用 .....	2483	3.7 管理子系统 .....	2508
4 微型计算机的机房与供电 .....	2484	3.8 建筑群子系统 .....	2508
4.1 机房的选址 .....	2484	3.9 接地装置的装设 .....	2509
4.2 机房的防护 .....	2484	4 网络常见故障及排除 .....	2512
4.3 机房的环境 .....	2484	<b>第七章 常用电子元器件技术数据</b> .....	2515
4.4 机房的接地 .....	2485	1 二极管 .....	2515
4.5 机房的抗干扰 .....	2486	1.1 整流二极管 .....	2515
4.6 不间断电源 .....	2487	1.2 检波二极管 .....	2518
5 微型计算机的安装与使用 .....	2487	1.3 稳压二极管 .....	2520
5.1 微机机型的选择 .....	2487	1.4 开关二极管 .....	2525
5.2 微机系统的安装和使用要点 .....	2488	1.5 发光二极管 .....	2526
5.3 微机的安装和连接步骤 .....	2488	2 三极管 .....	2533
5.4 微机的使用与管理 .....	2489	2.1 结型三极管(晶体管) .....	2533
5.5 微机病毒的预防 .....	2489	2.2 达林顿管 .....	2555
<b>第六章 计算机网络</b> .....	2491	2.3 场效应管 .....	2556
1 计算机网络的基本知识 .....	2491	3 双基极管 .....	2558
1.1 网络概念 .....	2491	4 光电耦合管 .....	2559
1.2 网络硬件构成 .....	2491	4.1 光电耦合器 .....	2559
2 登录因特网的方法与步骤 .....	2493	4.2 集成高速光耦合器 .....	2561
2.1 若干概念 .....	2493	4.3 高压光耦合器 .....	2562
2.2 入网方法 .....	2495	4.4 光电阻耦合器 .....	2562
2.3 网络安全防护 .....	2497	5 光敏器件 .....	2563
2.4 因特网的主要资源 .....	2498	5.1 光敏二极管 .....	2563
3 网络综合布线系统 .....	2500	5.2 光敏三极管 .....	2566
3.1 网络中常用的传输线缆和接头 .....	2500	5.3 光敏复合晶体管 .....	2569
3.2 网络综合布线系统的定义和分		6 压敏电阻 .....	2569
		6.1 碳化硅压敏电阻 .....	2569
		6.2 氧化锌压敏电阻 .....	2571

6.3 超低压压敏电阻 .....	2572	2.3 紧急救护法 .....	2642
6.4 高压压敏电阻 .....	2573	3 用电设备的安全保护 .....	2649
6.5 元件保护压敏电阻 .....	2573	3.1 漏电保护装置 .....	2649
7 普通型晶闸管 .....	2576	3.2 保护接地和接零装置 .....	2654
7.1 普通型晶闸管 .....	2576	4 电气工作的安全用具 .....	2658
7.2 双向晶闸管 .....	2577	4.1 电工安全用具的分类 .....	2659
7.3 可关断晶闸管 .....	2580	4.2 电工安全用具的作用 .....	2661
7.4 光晶闸管 .....	2581	4.3 电工安全用具的使用和维护 .....	2662
8 固态继电器 .....	2582	4.4 电工安全用具的定期检验 .....	2662
8.1 直流固态继电器 .....	2582	5 电气装置的防火和防爆 .....	2663
8.2 交流固态继电器 .....	2583	5.1 电气线路的起火原因和防火措施 .....	2664
9 三端稳压电源 .....	2583	5.2 电气设备的起火原因和防火措施 .....	2664
9.1 固定集成稳压电源 .....	2583	5.3 电气灭火 .....	2666
9.2 可调集成稳压电源 .....	2588	5.4 电气防爆 .....	2667
10 其他电力电子器件 .....	2590	6 电气工作的安全措施和管理制度 .....	2669
10.1 双极型功率晶体管模块 .....	2590	6.1 保证安全的组织措施 .....	2669
10.2 功率绝缘栅晶体管模块 .....	2594	6.2 保证安全的技术措施 .....	2671
10.3 功率 MOS 场效应晶体管模块 .....	2594	6.3 变配电所的运行管理制度 .....	2674
10.4 二极管模块 .....	2595	<b>第二章 节电技术</b> .....	2686
11 电阻 .....	2598	1 提高供电设备的利用率 .....	2686
12 电容 .....	2603	1.1 概述 .....	2686
13 元器件外形图 .....	2606	1.2 功率因数的补偿 .....	2688
<b>第十篇 安全用电和节电技术</b> .....	2631	1.3 电力电容器组的安装与维护 .....	2694
<b>第一章 安全用电</b> .....	2633	2 降低配电变压器自耗的技术措施 .....	2695
1 概述 .....	2633	2.1 以经济运行原则来选用配电变压器容量 .....	2695
1.1 安全用电工作的准则和目标 .....	2633	2.2 调整运行负荷,采取合理的运行方式 .....	2696
1.2 安全用电工作的基础和意识 .....	2633		
2 电气工作的安全技术 .....	2634		
2.1 防雷 .....	2634		
2.2 特低电压限值和电流对人体的影响 .....	2635		



3 降低配电线路损耗的技术措施 .....	2697	5.2 提高电热元件的效率 .....	2705
3.1 合理安排线路负荷 .....	2697	5.3 电热设备的其他节电措施 .....	2706
3.2 提高线路的功率因数 .....	2698	6 照明的节电措施 .....	2707
3.3 加强维修,提高线路质量 .....	2699	6.1 提高照明效率的方法 .....	2707
4 电动机的节电措施 .....	2699	6.2 照明的其他节电措施 .....	2711
4.1 合理选用电动机的品种和容量 .....	2700	7 其他用电设备的节电措施 .....	2713
4.2 采用电动机降压或调速运行 .....	2701	7.1 弧焊机的节电方法 .....	2713
4.3 提高检修质量 .....	2702	7.2 鼓风机的节电方法 .....	2715
4.4 电动机的其他节电措施 .....	2703	7.3 水泵的节电方法 .....	2716
5 电热设备的节电措施 .....	2704	7.4 空气压缩机的节电方法 .....	2717
5.1 减少炉体热损耗 .....	2704	7.5 机床的节电方法 .....	2718
		<b>参考文献</b> .....	2720

# 第 一 篇

## 电工基础知识

本篇主编 洪文治

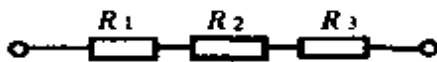


# 第一章 基础知识

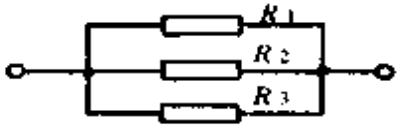
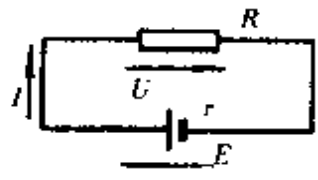
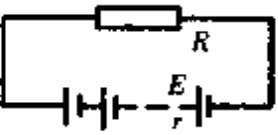
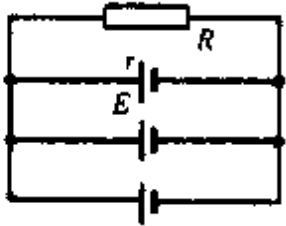
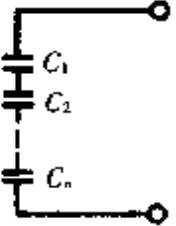
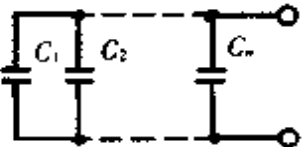
## 1 常用计算公式

见表 1.1.1 至表 1.1.6。

表 1.1.1 常用计算公式

项 目	公 式
电流的计算	$I = \frac{Q}{t}$ <p>Q——电量(C); t——时间(s); I——电流(A)</p>
电压的计算	$U = \frac{W}{Q}$ <p>W——电能(J); U——电压(V)</p>
欧姆定律	$I = \frac{U}{R}$ <p>R——电阻(<math>\Omega</math>)</p>
直流电路功率	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ <p>P——电功率(W)</p>
电阻的计算	$R = \rho \frac{l}{S}$ <p>l——长度(m); S——截面(<math>\text{mm}^2</math>); <math>\rho</math>——电阻系数(<math>\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}</math>)</p>
电阻与温度的关系	$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)]$ <p><math>R_t, R_{20}</math>——<math>t^\circ\text{C}</math> 和 <math>20^\circ\text{C}</math> 时的电阻(<math>\Omega</math>); <math>\alpha</math>——电阻温度系数(<math>1/^\circ\text{C}</math>)</p>
电阻串联	 <p><math>R = R_1 + R_2 + R_3</math></p>

续表

项 目	公 式	
电阻并联		$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
全电路欧姆定律		$I = \frac{E}{R + r}$ <p> <math>E</math>——电源电动势(V);  <math>R</math>——负载电阻(<math>\Omega</math>);  <math>r</math>——电源内阻(<math>\Omega</math>)         </p>
电池组串联		$I = \frac{nE}{R + nr}$ <p><math>n</math>——电池数量</p>
电池组并联		$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$
电功及电功率的计算	$W = QU' = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$ $P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ <p> <math>R</math>——电阻(<math>\Omega</math>);  <math>t</math>——时间(s)         </p>	
焦耳 - 楞次定律	$Q = I^2 R t$	$Q$ ——热量(J)
电容的计算	$C = \frac{Q}{U}$	$Q$ ——电量(C); $C$ ——电容(F)
电容串联		$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$
电容并联		$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

续表

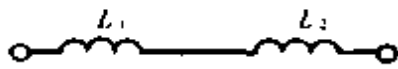
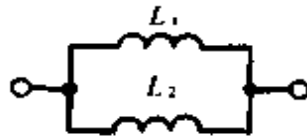
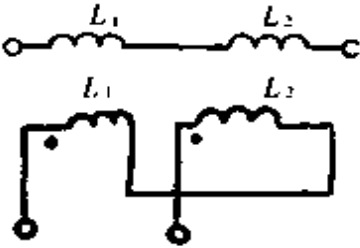
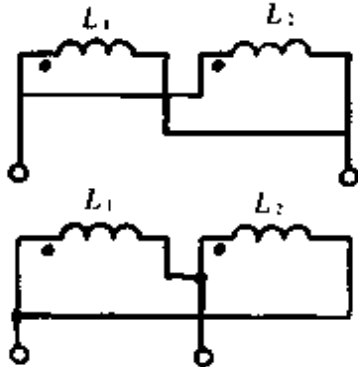
项 目	公 式
线圈电感计算	$L = \frac{\psi}{I} = \frac{W\Phi}{I}$ <p> <math>\psi</math>——磁链(Wb);  <math>W</math>——线圈匝数;  <math>\Phi</math>——磁通(Wb) </p>
无互感线圈串联	 $L = L_1 + L_2$
无互感线圈并联	 $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$
有互感线圈串联	 <p> <math>L = L_1 + L_2 + 2M</math>  <math>L_1, L_2</math>——线圈 1, 2 的自感(H)  <math>L = L_1 + L_2 - 2M</math>  <math>M</math>——线圈 1, 2 的互感(H) </p>
有互感线圈并联	 <p> <math>L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}</math>  <math>L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}</math> </p>
交流电路 $T, \omega, f$ 的关系	<p> <math>f</math>——频率(Hz)  <math>T</math>——周期(s)  <math>\omega</math>——角频率(rad/s) </p> $T = \frac{1}{f} \quad \omega = 2\pi f$
交流电有效值和最大值的关系	$U_E = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad I_E = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$
交流电平均值和最大值的关系	$U_A = \frac{2}{\pi} U_{\max} \quad I_A = \frac{2}{\pi} I_{\max}$

表 1.1.2 交流电路中电阻、电容、电感串并联的阻抗计算

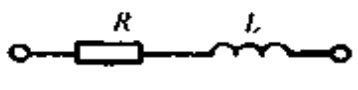
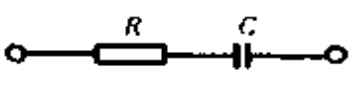
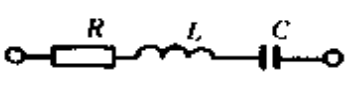
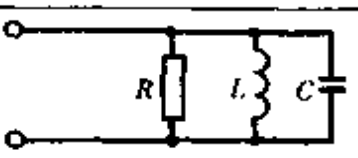
方式	电路图	公 式
电阻 电感 串联		$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $X_L$ ——感抗 = $2\pi fL$ ( $\Omega$ ); $L$ ——电感(H); $Z$ ——阻抗( $\Omega$ )
电阻 电容 串联		$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ $X_C$ ——容抗 = $\frac{1}{2\pi fC}$ ( $\Omega$ ); $C$ ——电容(F)
电阻 电容 电感 串联		$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$
电阻 电感 电容 并联		$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$ $Y$ ——导纳(S)

表 1.1.3 电阻、电感、电容电路的计算


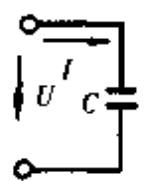

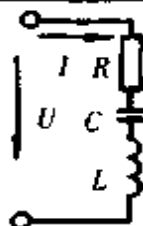
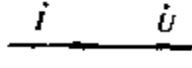

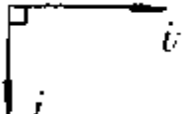
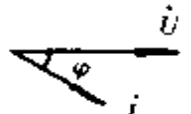
电阻电路	电容电路	电感电路	阻、容、感串联电路
			
$I = \frac{U}{R}$	$I = \frac{U}{X_C}$	$I = \frac{U}{X_L}$	$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$
			
$I$ 和 $U$ 同相 $U = U_m \sin \omega t$ $i = \frac{U_m}{R} \sin \omega t$	$I$ 超前 $U 90^\circ$ $U = U_m \sin \omega t$ $i = \frac{U_m}{X_C} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$	$I$ 滞后 $U 90^\circ$ $U = U_m \sin \omega t$ $i = \frac{U_m}{X_L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$	$U = U_m \sin \omega t$ $i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi)$ $X_L > X_C, \varphi > 0, I$ 滞后 $U$ $X_L = X_C, \varphi = 0, I, U$ 同相 $X_L < X_C, \varphi < 0, I$ 超前 $U$



表 1.1.4 三相交流电路△连接和 Y 连接的阻抗换算

项目	变换图	换算公式
Y   △		$R_1 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}{r_1}$ $R_2 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}{r_2}$ $R_3 = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}{r_3}$
△   Y		$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ $r_2 = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$ $r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$

表 1.1.5 单相、三相交流电路中功率计算公式

项目	公式		单位	说明
单相	有功功率	$P = UI \cos \varphi = S \cos \varphi$	W	
	视在功率	$S = UI$	V·A	
	无功功率	$Q_L = U_L I = I^2 X_L, Q_C = U_C I = I^2 X_C$	var	
	功率因数	$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$		
对称三相	有功功率	$P = 3U_x I_x \cos \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$	W	$U_x$ ——相电压(V); $I_x$ ——相电流(A); $U_L$ ——线电压(V); $I_L$ ——线电流(A); $\varphi$ ——相电压和相电流间的相角(°)
	无功功率	$Q = 3U_x I_x \sin \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi$	var	
	视在功率	$S = 3U_x I_x = \sqrt{3} U_L I_L$	V·A	
	功率因数	$\cos \varphi = \frac{P}{S}$		
	相电压、相电流、线电压、线电流换算	Y	$U_L = \sqrt{3} U_x \quad I_L = I_x$	
	△	$U_L = U_x \quad I_L = \sqrt{3} I_x$		

表 1.1.6 直流电磁铁吸力及电动机额定转矩计算

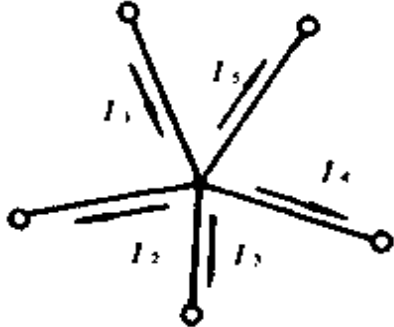
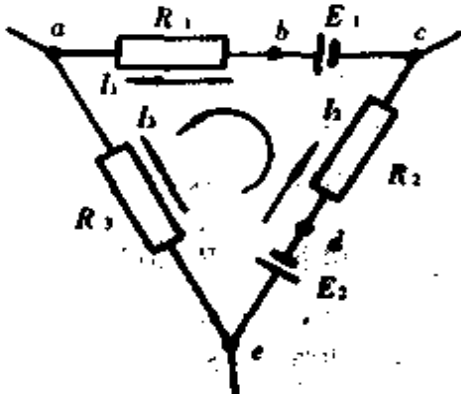
直流电磁铁吸力	$F = 4B^2 S \times 10^3$	$F$ ——吸力(N); $B$ ——磁感应强度(T); $S$ ——磁路截面积( $m^2$ )
电动机额定转矩	$M = 9555 \frac{P}{n}$	$M$ ——电动机转矩(N·m); $P$ ——电动机功率(kW); $n$ ——电动机转速(r/min)

## 2 基本定律及定则

### 2.1 电路的基尔霍夫定律

见表 1.1.7。

表 1.1.7 电路的基尔霍夫定律

项 目	基尔霍夫第一定律	基尔霍夫第二定律
定律内容	对于任何节点,流入、流出电流的代数和等于零 $\Sigma I = 0$	对于任何封闭回路,电阻的电压降的代数和等于这回路内电动势的代数和 $\Sigma IR = \Sigma E$
图 例	 <p><math>\Sigma I = -I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0</math></p>	 <p><math>-I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = -E_1 + E_2</math></p>

## 2.2 磁路的基尔霍夫定律

见表 1.1.8。

表 1.1.8 磁路的基尔霍夫定律

项 目	第一定律	第二定律
定律内容	穿入、穿出某磁路节点的磁通代数和等于零	对任一闭合磁回路磁位降代数和等于磁动势代数和
表达式	$\Sigma\Phi = 0$	$\Sigma HL = \Sigma WI$

## 2.3 右手定则

当导体置于磁场内,并作垂直切割磁力线运动时,导体中就产生感应电动势,并在闭合回路中产生感应电流。磁场方向、导体运动方向及感应电动势方向这三者之间的关系可用右手定则(亦称发电机定则)来判别。见图 1.1.1。

## 2.4 左手定则

载流导体在磁场中将受到电磁力作用。电磁力的方向与磁场方向、电流方向这三者之间的关系可用左手定则(亦称电动机定则)来判别。见图 1.1.2。

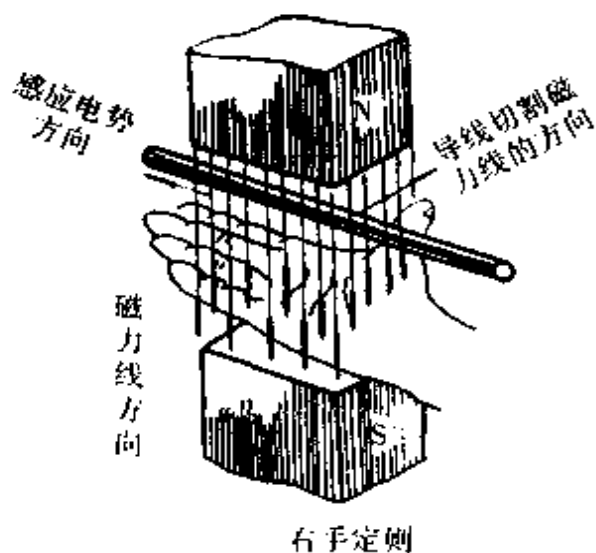


图 1.1.1 右手定则

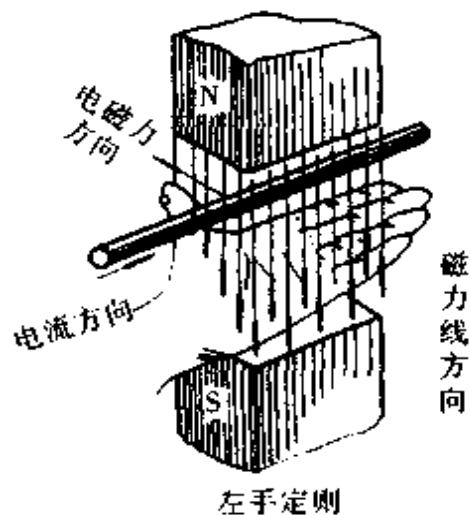


图 1.1.2 左手定则

## 3 常用单位换算表

见表 1.1.9 至表 1.1.17(加“\*”号为非许用单位)。

表 1.1.9 长度单位换算表

公里 (km)	米 (m)	分米 (dm)	厘米 (cm)	毫米 (mm)	微米 ( $\mu\text{m}$ )	纳米 (nm)	埃* ( $\text{\AA}$ )	密耳* (mil)	码* (yd)	英尺* (ft)	英寸* (in)	(市) 尺*
1	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$	$10^{13}$	$3.94 \times 10^7$	$1.0936 \times 10^3$	$3.2808 \times 10^3$	$3.9370 \times 10^4$	$3 \times 10^3$
$10^{-3}$	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^6$	$10^9$	$10^{10}$	$3.94 \times 10^4$	1.0936	3.2808	39.3700	3
$10^{-5}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^4$	$10^7$	$10^8$	$3.94 \times 10^2$	$1.0936 \times 10^{-2}$	$3.2808 \times 10^{-2}$	0.3937	$3 \times 10^{-2}$
$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	0.1	1	$10^3$	$10^6$	$10^7$	39.4	$1.0936 \times 10^{-3}$	$3.2808 \times 10^{-3}$	$3.9370 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-3}$

表 1.1.10 面积单位换算表

毫米 <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	厘米 <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )	分米 <sup>2</sup> (dm <sup>2</sup> )	米 <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	码 <sup>2</sup> * (yd <sup>2</sup> )	英尺 <sup>2</sup> * (ft <sup>2</sup> )	英寸 <sup>2</sup> * (in <sup>2</sup> )	尺 <sup>2</sup> *	亩*
1	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1.1959 \times 10^{-6}$	$1.0763 \times 10^{-5}$	$1.5500 \times 10^{-3}$	$9 \times 10^{-6}$	666.6m <sup>2</sup>

表 1.1.11 体积单位换算表

厘米 <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )	分米 <sup>3</sup> (dm <sup>3</sup> )	米 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	英尺 <sup>3</sup> * (ft <sup>3</sup> )	尺 <sup>3</sup> *	加伦(英)* (Imp gal)	加伦(美)* (U. S. gal)
1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$3.5314 \times 10^{-5}$	$2.7 \times 10^{-5}$	$2.1996 \times 10^{-3}$	$2.6417 \times 10^{-4}$

表 1.1.12 压力单位换算表

托* (Torr)	毫米汞柱* (mmHg)	达因/厘米 <sup>2</sup> * (dyn/cm <sup>2</sup> )	帕斯卡 (Pa)	公斤力/米 <sup>2</sup> * (kgf/m <sup>2</sup> )	大气压* (atm)	磅力/英寸 <sup>2</sup> * (lbf/in <sup>2</sup> )
760	760	$1.01325 \times 10^6$	101325	$1.03323 \times 10^4$	1	14.695

表 1.1.13 弧度与角度单位换算表

弧 度	$2\pi$	$\pi$	1	0.01745
度(°)	360	180	57.3	1

表 1.1.14 力单位换算表

单位名称	符 号	牛 顿	千克力 <sup>*</sup>	磅 力 <sup>*</sup>	达 因 <sup>*</sup>
牛 顿	N	1	$1.02 \times 10^{-1}$	$2.20 \times 10^{-1}$	$10^5$
千克力 <sup>*</sup>	kgf	9.81	1	2.21	$9.81 \times 10^5$
磅 力 <sup>*</sup>	lbf	4.45	0.454	1	$4.45 \times 10^5$
达 因 <sup>*</sup>	dyn	$10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$2.25 \times 10^{-6}$	1

表 1.1.15 功率单位换算表

单位名称	符 号	公斤·米/秒 <sup>*</sup>	公制马力 <sup>*</sup>	英制马力 <sup>*</sup>	千 瓦	尔格/秒 <sup>*</sup>
公斤·米/秒 <sup>*</sup>	kg·m/s	1	$1.333 \times 10^{-2}$	$1.315 \times 10^{-2}$	$0.981 \times 10^{-2}$	$9.81 \times 10^7$
公制马力 <sup>*</sup>	PS	75	1	0.986	0.736	$7.36 \times 10^9$
英制马力 <sup>*</sup>	HP	76.4	1.014	1	0.746	$7.46 \times 10^9$
千 瓦	kW	102.0	1.36	1.34	1	$10^{10}$
尔格/秒 <sup>*</sup>	erg/s	$1.02 \times 10^{-8}$	$1.36 \times 10^{-10}$	$1.34 \times 10^{-10}$	$10^{-10}$	1

表 1.1.16 功、能单位换算表

单位名称	符 号	公斤·米 <sup>*</sup>	公制马力小时 <sup>*</sup>	千瓦·小时	焦耳(瓦·秒)	尔 格 <sup>*</sup>
公斤·米 <sup>*</sup>	kg·m	1	$0.37 \times 10^{-5}$	$2.72 \times 10^{-6}$	9.81	$9.81 \times 10^7$
公制马力小时 <sup>*</sup>	PS·h	$27 \times 10^4$	1	0.736	$2.65 \times 10^5$	$2.65 \times 10^{12}$
千瓦·小时	kW·h	$36.7 \times 10^4$	1.36	1	$3.60 \times 10^6$	$3.60 \times 10^{13}$
焦耳(瓦·秒)	J(W·s)	$1.02 \times 10^{-1}$	$0.38 \times 10^{-6}$	$2.77 \times 10^{-7}$	1	$10^7$
尔 格 <sup>*</sup>	erg	$1.02 \times 10^{-8}$	$0.38 \times 10^{-13}$	$2.77 \times 10^{-14}$	$10^{-7}$	1

表 1.1.17 电磁量的国际单位制(SI)与克厘米秒制(GCS)单位换算表

物理量	符 号	国际单位制 (SI)	量 纲	SI 换算到 GCS 时的系数	
				GCSM	GCSE
电 量	Q	库[仑](C)	安×秒	$10^{-1}$	$3 \times 10^9$
电 流	I	安[培](A)	安	$10^{-1}$	$3 \times 10^9$

续表

物理量	符号	国际单位制 (SI)	量 纲	SI 换算到 GCS 时的系数	
				GCSM	GCSE
电 压 电位差	$U$	伏[特](V)	$\frac{\text{焦/库} = \text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{安} \cdot \text{秒}^3}$	$10^8$	$\frac{1}{300}$
电场强度	$E$	伏[特]/米(V/m)	$\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{安} \cdot \text{秒}^3}$	$10^6$	$\frac{1}{3} \times 10^{-4}$
电 阻	$R$	欧[姆]( $\Omega$ )	$\frac{\text{伏/安} = \text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^3}$	$10^9$	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
电 容	$C$	法[拉](F)	$\frac{\text{秒/欧} = \frac{\text{安} \cdot \text{秒}}{\text{伏}} = \frac{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^4}{\text{公斤} \cdot \text{米}^2}}$	$10^{-9}$	$9 \times 10^{11}$
电 感	$L$	亨[利](H)	$\frac{\text{伏} \cdot \text{秒}}{\text{安}} = \text{欧} \cdot \text{秒} = \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^2}$	$10^9$	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
磁 通	$\Phi$	韦[伯](Wb)	$\text{伏} \cdot \text{秒} = \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{安} \cdot \text{秒}^3}$	$10^8$ 麦克斯 韦(Mx)	$\frac{1}{300}$
磁感应强度 磁通密度	$B$	特[斯拉](T)	$\frac{\text{伏} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} = \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{安} \cdot \text{秒}^2}$	$10^4$ 高斯(Gs)	$\frac{1}{3} \times 10^{-6}$
磁场强度	$H$	安[培]/米(A/m)	安/米	$4\pi \times 10^{-3}$ 奥斯特(Oe)	$12\pi \times 10^7$
磁通势	$F$	安[培](A)	安	$4\pi \times 10^{-1}$ 吉伯(Gb)	$12\pi \times 10^9$
磁 阻	$R_m$	1/亨[利](1/H)	$\frac{1}{\text{欧} \cdot \text{秒}} = \frac{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^2}{\text{公斤} \cdot \text{米}^2}$	$4\pi \times 10^{-9}$	$36\pi \times 10^{11}$
力	$F$	牛[顿](N)	$\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{秒}^2}$	$10^5$ 达因(dyn)	$10^5$ 达因(dyn)
功能	$A$	焦[耳](J)	$\text{牛} \cdot \text{米} = \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{秒}^2}$	$10^7$ 尔格(erg)	$10^7$ 尔格(erg)
功率	$P$	瓦[特](W)	$\frac{\text{焦/秒} = \text{公斤} \cdot \text{米}^2}{\text{秒}^3}$	$10^7$ 尔格/秒	$10^7$ 尔格/秒
真空介电 常数	$\epsilon_0$	法[拉]/米(F/m)	$\frac{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^4}{\text{公斤} \cdot \text{米}^3}$	$4\pi \times 10^{-11}$	$36\pi \times 10^9$
真空导磁率	$\mu_0$	亨[利]/米(H/m)	$\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{安}^2 \cdot \text{秒}^2}$	$\frac{1}{4\pi} \times 10^7$	$\frac{1}{36\pi} \times 10^{-13}$

## 第二章 常用符号

## 1 电气设备常用文字符号

## 1.1 常用基本文字符号

见表 1.2.1(摘自 GB7159)。

表 1.2.1 电气设备常用基本文字符号

设备、装置和元器件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		设备、装置和元器件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		
		单字母	双字母			单字母	双字母	
组件 部件	分离元件放大器	A			温度变换器	B	BT	
	激光器				速度变换器		BV	
	调节器				电容器	电容器	C	
	本表其他地方未提及的组件、部件				二进制元件 延迟器件 存储器件	数字集成电路和器件	D	
	电桥			AB				
	晶体管放大器			AD				
	集成电路放大器			AJ				
	磁放大器			AM				
	电子管放大器			AV				
	印制电路板			AP				
	抽屉柜			AT				
	支架盘			AR				
		磁芯存储器						
		寄存器						
		磁带记录机						
		盘式记录机						

续表

设备、装置和元器件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		设备、装置和元器件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号						
		单字母	双字母			单字母	双字母					
非电量到电量变换器或电量到非电量变换器	热电传感器	B		其他 元器件	本表其他地方未规定的器件	E						
	热电池				发热器件			EH				
	光电池				照明灯			EL				
	测功计				空气调节器			EV				
	晶体能量变换器				BP	保护 器件	过电压放电器件	F				
	送话器						避雷器					
	拾音器						具有瞬时动作的限流保护器件			FA		
	扬声器						具有延时动作的限流保护器件			FR		
	耳机						具有延时和瞬时动作的限流保护器件			FS		
	自整角机						熔断器			FU		
旋转变压器	BR		限压保护器件	FV								
模拟和多级数字变换器或传感器 (用作指示和测量)												
压力变换器												
	位置变换器	BQ										
	旋转变换器 (测速发电机)											
发生器 发电机 电源	旋转发电机、振荡器	G		电动机	可做发电机或电动机用的电机	M	MG					
	发生器							GS	MT			
	同步发电机			GA	模拟 元件	运算放大器 混合模拟/数字 器件	N					
	异步发电机			GB								
	蓄电池			GF					测量设备 试验设备	指示器件 记录器件 积算测量器件 信号发生器	P	
	旋转式或固定式变频器											
信号 器件	声响指示器	H	HA									
	光指示器							HL				
	指示灯							HL	PA			



续表

设备、装置和元件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		设备、装置和元件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号			
		单字母	双字母			单字母	双字母		
继电器 接触器	瞬时接触继电器	K	KA		(脉冲)计数器		PC		
	瞬时 有或无继电器		KA		电度表		PJ		
	交流继电器		KA		记录仪器		PS		
	闭锁接触继电器 (机械闭锁或永磁铁式有或无继电器)		KL		电力电路 的开关 器件		时钟、操作时间表	PT	
	双稳态继电器						KL	电压表	PV
	接触器		KM	断路器		Q	QF		
	极化继电器		KP	电动机保护开关			QM		
	簧片继电器		KR	隔离开关			QS		
	延时 有或无继电器		KT	电阻器	电阻器	R			
	逆流继电器		KR		变阻器				
		电位器	RP						
		测量分路表	RS						
电感器 电抗器	感应线圈 线路陷波器 电抗器 (并联和串联)	L		控制、记 忆、信号 电路的开关器件选 择器	热敏电阻器	RT			
					压敏电阻器	RV			
电动机	电动机	M	MS		拨号接触器 连接级	S			
	同步电动机				控制开关		SA		
	异步电动机				选择开关		SA		
控制、记忆、 信号电路的 开关器件选 择器	液体标高传感器 压力传感器 位置传感器 (包括接近传感器) 转数传感器 温度传感器	S	SL	按钮开关		SB			
				传输通道 波导天线		机电式有或无传感器 (单级数字传感器)			
						端子 插头 插座	偶极天线	W	
							抛物天线		
							变压器	电流互感器 控制电路电源变 压器 电力变压器 磁稳压器 电压互感器	T
连接片	XB								
	测试插孔	XJ							
	插头	XP							
	插座	XS							
	端子板	XT							

续表

设备、装置和元件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		设备、装置和元件种类	举 例 中 文 名 称	基本文字符号		
		单字母	双字母			单字母	双字母	
调制器 变换器	鉴频器 鉴调器 变频器 编码器 变频器 逆变器 整流器 电报译码器	U		电气操作的机械器件	气阀	Y		
					电磁铁			YA
					电磁制动器			TB
					电磁离合器			YC
					电磁吸盘			YH
					电动阀			YM
					电磁阀			YV
电子管 晶体管	气体放电管 二极管 晶体管 晶闸管	V		终端设备	电缆平衡网络	Z		
				混合变压器	压缩扩展器			
				滤波器	晶体滤波器			
				均衡器				
	限幅器	网络						
	电子管		VE					
	控制电路用电源的整流器		VC					
传输通道 波导 天线	导线 电缆 波导 定向耦合器	W						

## 1.2 常用辅助文字符号

见表 1.2.2(摘自 GB7159)。

表 1.2.2 常用辅助文字符号

序号	文字符号	名 称	序号	文字符号	名 称	序号	文字符号	名 称
1	A	电流	7	ADJ	可调	13	BW	向后
2	A	模拟	8	AUX	辅助	14	C	控制
3	AC	交流	9	ASY	异步	15	CW	顺时针
4	A AUT	自动	10	B BRK	制动	16	CCW	逆时针
5	ACC	加速	11	BK	黑	17	D	延时(延迟)
6	ADD	附加	12	BL	蓝	18	D	差动


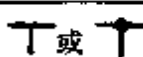















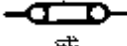
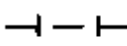



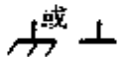

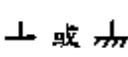

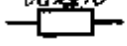

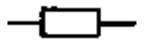













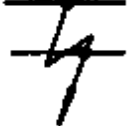


续表

序号	文字符号	名称	序号	文字符号	名称	序号	文字符号	名称
19	D	数字	43	ON	闭合	67	V	真空
20	D	降	44	OUT	输出	68	V	速度
21	DC	直流	45	P	压力	69	V	电压
22	DEC	减	46	P	保护	70	WH	白
23	E	接地	47	PE	保护接地	71	YE	黄
24	EM	紧急	48	PEN	保护接地与 中性线共用			
25	F	快速	49	PU	不接地保护			
26	FB	反馈	50	R	记录			
27	FW	正、向前	51	R	右			
28	GN	绿	52	R	反			
29	H	高	53	RD	红			
30	IN	输入	54	R RST	复位			
31	INC	增	55	RES	备用			
32	END	感应	56	RUN	运转			
33	L	左	57	S	信号			
34	L	限制	58	ST	起动			
35	L	低	59	S SET	置位、定位			
36	LA	闭锁	60	SAT	饱和			
37	M	主	61	STE	步进			
38	M	中	62	STP	停止			
39	M	中间线	63	SYN	同步			
40	M MAN	手动	64	T	温度			
41	N	中性线	65	T	时间			
42	OFF	断开	66	TE	无噪声(防 干扰)接地			

## 2 电气图常用图形符号

见表 1.2.3(新标准:GB4728;旧标准:GB312)。

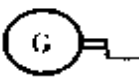








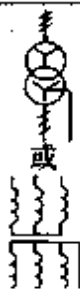
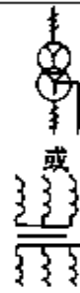

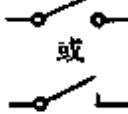

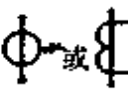

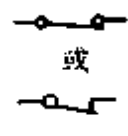

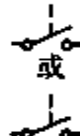

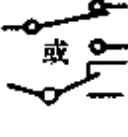

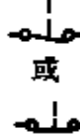
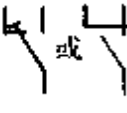
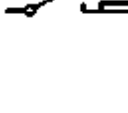



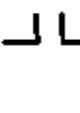
表 1.2.3 电气图常用图形符号

名 称	新标准 规定的符号	旧标准 规定的符号	名 称	新标准 规定的符号	旧标准 规定的符号
直 流	— 或 	—	导线的连接	 或 	
交 流			导线的 多线连接	 或 	 或 
交 直 流					
接地 一般符号			导线的不连接		
无噪声接地 (抗干扰接地)			接通的连接片	 或 	
保护接地			断开的连接片		
接机壳或 接底板	 或 	 或 	电阻器 一般符号	优选形  其他型 	
等 电 位			电容器 一般符号	优选形 其他型  	
故 障			极性电容器	优选形 其他型  	
闪络、击穿			半导体二极管 一般符号		
导线间 绝缘击穿			光电二极管		

续表

名称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号	名称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号
导线对机壳 绝缘击穿			电压调整二极管(稳压管)		
			晶体闸流管(阴极侧受控)		
			PNP型 半导体三极管		
导线对地 绝缘击穿			NPN型 半导体三极管		
换向绕组			串励直流 电动机		
补偿绕组					
串励绕组				他励直流 电动机	
并励或 他励绕组			并励直流 电动机		
直流发电机				复励直流 电动机	
交流发电机			直流电动机		
交流电动机				交流电动机	
直线电动机			铁心		
步进电动机			带间隙的铁心		

续表

名 称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号	名 称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号
手摇发电机			单相变压器		
三相鼠笼型异步电动机			有中心点抽头的单相变压器		
三相绕线转子异步电动机			三相变压器星形—有中性点引出线的星形连接		
动合(常开)触点			电流互感器脉冲变压器		
动断(常闭)触点			位置开关的动合触点		
先断后合的转换触点			位置开关的动断触点		
先合后断的转换触点			热继电器的触点		
			接触器的动合触点		

续表

名称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号	名称	新标准规定的符号	旧标准规定的符号
中间断开的双向触点			接触器的动断触点		
延时闭合的动合触点			三极开关		
延时断开的动合触点			三极断路器		
延时闭合的动断触点			三极隔离开关		
延时断开的动断触点			三极负荷开关		
延时闭合和延时断开的动合触点			熔断器		
延时闭合和延时断开的动断触点			操作线圈		

续表

名 称	新标准 规定的符号	旧标准 规定的符号	名 称	新标准 规定的符号	旧标准 规定的符号
带动合触点的按钮			热继电器 的驱动器件		
带动断触点的按钮			灯		照明灯  信号灯 
带动合和动 断触点的按钮					



## 第 二 篇

# 变 压 器

本篇主编 应百川  
编写人 禹云长  
应百川  
刘国安  
李晓红



# 第一章 变压器的基本原理和主要技术参数

## 1 变压器的基本原理

变压器是根据电磁感应原理制成的传输交流电能并可改变交流电压的静止电器。它广泛地应用于电力、电信和自动控制系统中。变压器种类繁多,分类方法有多种:按用途,可分为输电、配电用变压器,电压、电流互感器,调压变压器,试验变压器,电焊机变压器,电炉变压器,整流变压器,电源变压器,控制变压器,静电除尘变压器,串联和并联电抗器,消弧线圈和接地变压器等;按相数,可分为单相、三相和多相变压器;按冷却方式,可分为干式、油浸和充气全密封式变压器,其中油浸变压器又分为油浸自冷、强油水冷、强油风冷等多种。

变压器主要由磁路系统、电路系统和冷却系统构成。变压器内的部件称为器身,其中包括构成磁路的铁心、构成电路的绕组和附属的绝缘系统。对于干式变压器,其冷却系统由空气和外罩构成;对于油浸变压器,其冷却系统由变压器油、油箱、联管、散热器或冷却器构成,并需附有由联管、储油柜、气体继电器等组件构成的呼吸系统和安全释压装置。铁心由彼此绝缘的硅钢片叠积(或卷绕)后装上拉板或拉螺杆、夹件等附件制成。铁心的截面一般有单级矩形截面、多级外接圆形截面、多级椭圆形截面三种形式;绕组一般由酚醛纸筒或绝缘纸板筒、撑条、垫块、端绝缘和绝缘导线制成。

在一个由彼此绝缘的硅钢片叠成的闭合铁心上套上两个彼此绝缘的绕组,就构成了最简单的单相双绕组变压器,如图 2.1.1 所示。

如果在某一绕组的两端施加某一交流电压,那么在该绕组中将流过交流电流。根据电磁感应原理可知,这一交流电流将在铁心中激励一个交变磁通,这个交变磁通将在所有两个绕组中感应出交流电压,叫做感应电压。此时如果另一绕组两端通过负载而闭合,则在该绕组与负载所构成的回路中将有交流电流流过,这就实现了由电源向负载传输交流电能并改变交流电压的目的。通常把接电源的绕组叫做一次绕组(又称初级绕组),把接负载的绕组叫做二次绕组(又称次级绕组)。

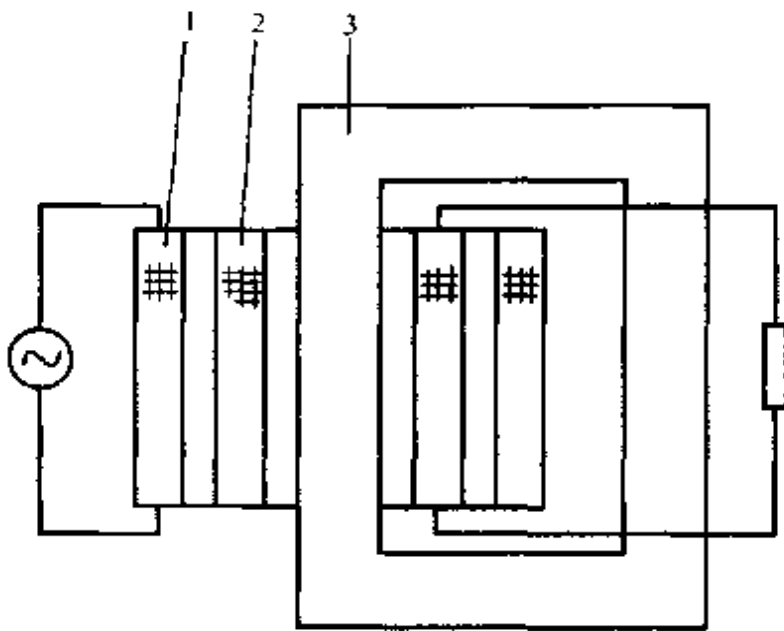


图 2.1.1 单相双绕组变压器的装置原理  
1—一次绕组 2—二次绕组 3—铁心

从现代电力系统的发展来看,电力变压器主要制成单相和三相的,并且以三相变压器居多。理论分析可针对单相变压器进行,因为它不仅简单,而且具有代表性,其理论分析结果,可以推广到三相和多相变压器上。为便于观察,我们可用图 2.1.2 来代替图 2.1.1。根据电磁感应定律可得:

$$\text{一次绕组感应电压 } E_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m (\text{V})$$

$$\text{二次绕组感应电压 } E_2 = 4.44 f W_2 \Phi_m (\text{V})$$

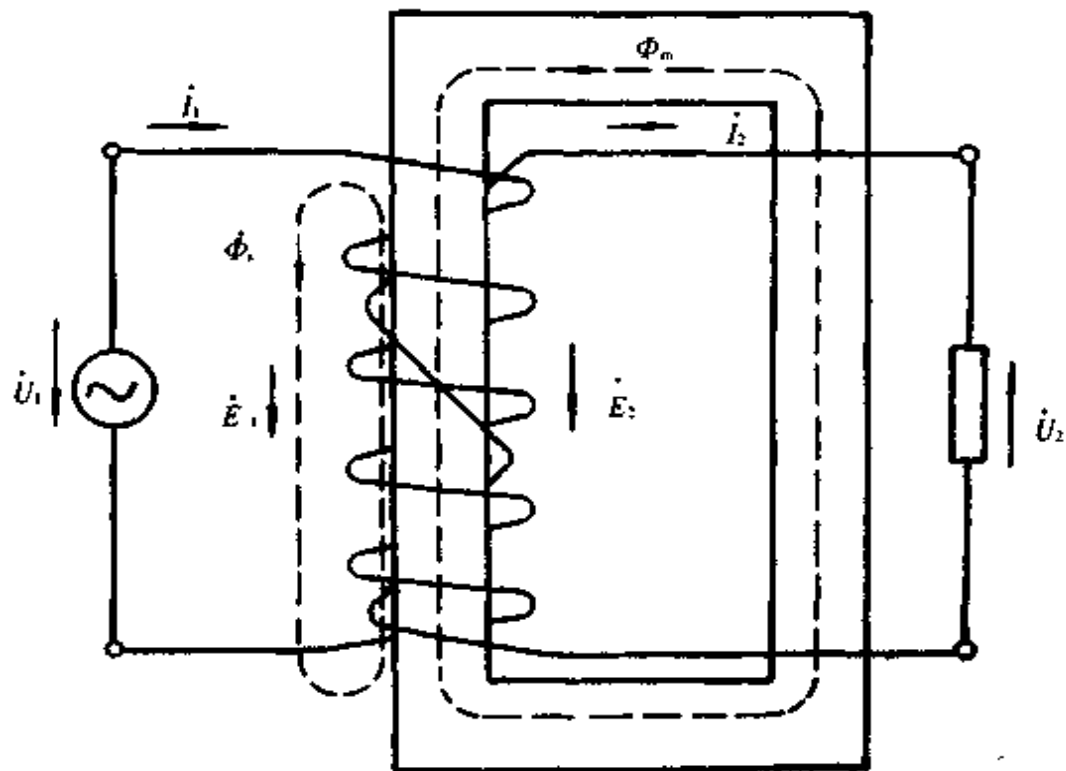


图 2.1.2 单相变压器的原理图

式中  $f$  ——电源频率;  
 $W_1$  ——一次绕组匝数;

$W_2$ ——二次绕组匝数；

$\Phi_m$ ——铁心磁密峰值。

将上面两式相除，得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

即一、二次绕组感应电压与其匝数成正比。由于绕组本身有阻抗压降，实际上一次侧电压  $U_1$  略大于  $E_1$ ，二次绕组感应电压  $E_2$  略大于二次绕组端电压  $U_2$ 。如果忽略阻抗压降，则  $U_1 \approx E_1$ 、 $U_2 \approx E_2$ ，于是可得

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

即一、二次电压近似地与一、二次绕组的匝数成正比。

变压器通过电磁耦合将一次侧的电能传到二次侧。假设两个绕组没有漏磁，且功率传输过程中无损耗，那么根据能量守恒原理可知

$$U_2 I_2 = U_1 I_1$$

或

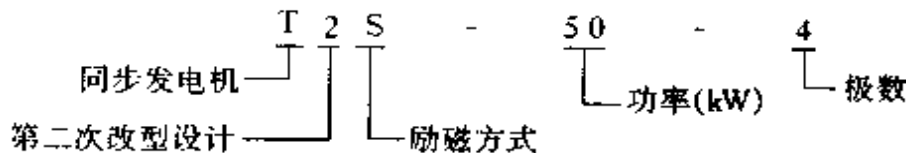
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{W_2}{W_1}$$

即一、二次侧电流近似地与一、二次绕组的匝数成反比。以上这些式子就是变压器计算的基本关系式，其中电压、电流均指电压、电流的有效值。

## 2 变压器的主要技术参数

描述变压器整体性能的是其技术参数，它们是变压器生产和使用、询价和订货时的主要依据，一般都标在铭牌上。按照国家标准，铭牌上需标出变压器的名称、型号、产品代号、标准代号、制造厂名（包括国名）、出厂序号、制造年月和技术数据。

变压器型号中往往要把所有的特征都表示出来，并标记出额定容量和高压绕组额定电压等级。电力变压器产品型号的表示方法如下：



S——三次谐波励磁

J——晶闸管直接励磁

X——相复励

表 2.1.1 列出了各种变压器型号中符号的意义。根据变压器产品型号的表示方法和表 2.1.1，当我们看了一台变压器铭牌上的型号之后，就可知其特征。例

如,如果一台变压器的铭牌标出其型号为OSFPSZ-250000/220,则其表示该产品是自耦三相强迫油循环风冷三绕组铜线有载调压、额定容量250000kV·A、高压绕组额定电压220kV级的电力变压器。

表 2.1.1 各种变压器的型号中符号的意义

电力变压器		调压变压器		自耦变压器	
D	单相	T	调压器	O	自耦
J	油浸	O	自耦	注:O在前为降压	
G	F式	Y	移圈	O在后为升压	
S	三相	A	感应	S、D、J、	(同电力变压器)
F	风冷	C	接触	F、FP、Z	(同电力变压器)
S	三绕组	P	强油循环	干式变压器	
FP	强油风冷	X	线端	G	干式
Z	有载	Z	中点	Q	加强的
SP	强油水冷	C	串联	H	防火
T	成套	S、D、G、	(同电力变压器)	D、S	(同电力变压器)
D	移动式	F、J、Z	(同电力变压器)		
L	铝线	矿用变压器		低电压变压器	
整流变压器		K	矿用变压器	D	低电压
Z	整流变压器	D、G、S	(同电力变压器)	S	水冷
K	附电抗器	船用变压器		D、J	(同电力变压器)
J	电力机车用	S	防水	串联变压器	
S、D、J、	(同电力变压器)	D、G	(同电力变压器)	C	串联
F、FP	(同电力变压器)	电阻炉用变压器		S、D、	(同电力变压器)
起动变压器		ZU	电阻炉用	J、SP	(同电力变压器)
Q	起动	S、D、J、SP	(同电力变压器)	消弧线圈	
S、J	(同电力变压器)	电炉用变压器		X	消弧
试验变压器		H	电炉	D、J	(同电力变压器)
Y	试验	K	附电抗器	L	滤波
D、J、G、S	(同电力变压器)	S、J、FP、SP	(同电力变压器)	F	放大器
中频淬火用变压器		封闭电弧炉用变压器		C	磁放大器
R	中频	BH	封闭电弧炉	T	调幅
G	(同电力变压器)	S、J	(同电力变压器)	TN	电压调压器
				TX	移相器

## 2.1 相数和额定频率

变压器以三相居多,小型变压器有制成单相的。特大型变压器(500kV级)则由三台单相产品组成三相变压器组,以使重量及外形尺寸满足制造、起吊安装和运输要求。额定频率是指所设计的运行频率,我国为50Hz,国外还有60Hz的。变压器必须在规定的额定频率下运行。

## 2.2 额定电压、额定电压组合和额定电压比

变压器的重要作用之一就是改变交流电压,因此额定电压是其重要数据之一。变压器的额定电压必须与其所连接的输变电线路电压相符合,我国输变电线路电压等级(kV)为:

0.38, 3, 6, 10, 15(20), 35, 63, 110, 220, 330, 500。

输变电线路电压等级就是线路终端的电压值,因此连接线路终端变压器一侧的额定电压与上列数值相同。线路终端(电源端)电压考虑到线路的压降后将比等级电压为高,35kV以下电压等级的始端电压比电压等级要高5%,而35kV及以上的要高10%,因此变压器的额定电压也相应提高。线路始端电压值(kV)为:

0.4, 3.15, 6.3, 10.5, 15.75, 38.5, 69, 121, 242, 363, 550。

在电力工程中,为减小输电线的电能损耗,在输电线路始端一般用升压变压器作高压输电,在输电线路终端用降压变压器来配电。因此升压变压器的高压额定电压等于线路始端电压,降压变压器的高压额定电压等于线路终端电压(电压等级)。因此,根据电压等级值和铭牌上的额定电压值,即可区分变压器是升压变压器还是降压变压器。

变压器产品系列是以高压的电压等级来划分的,现在电力变压器的系列分为10kV及以下系列、35kV系列、63kV系列、110kV系列和220kV系列等。

额定电压指线电压,以有效值表示。但是单相变压器如果用于接成星形联结的三相组,绕组的额定电压则以线电压为分子,以 $\sqrt{3}$ 为分母来表示,如 $380/\sqrt{3}\text{V}$ 。

变压器应能在105%额定电压的电压下输出额定电流,因为5%的过电压下的较高空载损耗引起的温度的稍许增长可忽略不计。对于特殊的使用情况(如变压器的有功功率可以朝任何方向流通),允许变压器在1.1倍额定电压下运行。对于这种情况,变压器设计者需预先选择变压器铁心的较低磁密值,以防过励磁。

所谓电压组合,是指变压器高压、中压与低压(三绕组变压器)绕组电压或高压与低压(双绕组变压器)绕组电压的匹配。变压器的额定电压就是各绕组的额定电压,是指施加的或在空载时,一次绕组所施加的额定电压和其他各绕组产生的电压。空载时,某一绕组施加额定电压,其他绕组同时产生电压,这种感应电压分别称为所对应绕组的额定电压。绕组间额定电压的匹配是有规定的,称为额定电压

组合,见表 2.1.2。

额定电压比是指高压绕组与低压或中压绕组的额定电压比,所以额定电压比  $K \geq 1$ 。

### 2.3 额定容量

变压器的另一个主要作用是传输电能,因此额定容量是它的主要数据,它表征传输电能的大小。

表 2.1.2 电力变压器的电压组合和联结组标号

额定容量 (kV·A)	电压组合(kV)			联结组标号
	高 压	中 压	低 压	
30~1600	6,10		0.4	Yyn0
630~6300	6,10		3.15,6.3	Yd11
50~1600	35		0.4	Yyn0
800~31500	35 (38.5)		3.15~10.5 (3.3~11)	Yd11 (YNd11)

变压器的额定容量与绕组的额定容量既有区别又有联系:双绕组变压器的额定容量即为绕组的额定容量;多绕组变压器应对每个绕组的容量加以规定,以额定容量最大的绕组的额定容量为变压器的额定容量;当变压器的容量因冷却方式的变化而变化时,其额定容量是指最大的容量。

1967年以前变压器的额定容量等级是按 $\sqrt[3]{10}$ 倍数增加的R8容量系列,具体容量等级见表 2.1.3。

表 2.1.3 1967年以前的变压器容量等级(kV·A)

10	100	1000	10000
20	180	1800	20000
	320	3200	31500
50	560	5600	
	750	7500	

我国现行变压器的额定容量等级是按 $\sqrt[10]{10}$ 倍数增加的R10优先系列,只有30kV·A和63000kV·A以上的容量等级与优先系列有所不同,具体的容量等级见表 2.1.4。组成三相变压器组的单相变压器的容量为表中数值的1/3,其余用途的单相变压器与表中数值相同。



表 2.1.4 现行的变压器容量等级(kV·A)

10	100	1000	10000	12000
	125	1250	12500	150000
	160	1600	16000	180000
20	200	2000	20000	240000
	250	2500	25000	(250000)
(30)	315	3150	31500	360000
	400	4000	40000	(420000)
	500	5000	50000	450000
63	630	6300	63000	等
80	800	8000	(90000)	

变压器容量的大小对变压器结构和性能数据影响很大:容量越大,铁心直径  $D$ 、线性尺寸  $L$ 、重量  $G$  和损耗  $P$  等的相对值就越小,变压器越经济。国内习惯把变压器按容量分为中小型变压器( $\leq 6300\text{kV}\cdot\text{A}$ )、大型变压器( $8000 \sim 63000\text{kV}\cdot\text{A}$ )和特大型变压器( $> 63000\text{kV}\cdot\text{A}$ )。

按国家标准,三相或三相组变压器的额定容量分为三个标准类别:

第 I 类 小于  $3150\text{kV}\cdot\text{A}$ ;

第 II 类  $3150 \sim 40000\text{kV}\cdot\text{A}$ ;

第 III 类  $40000\text{kV}\cdot\text{A}$  以上。

变压器的额定容量  $S_N$  ( $\text{kV}\cdot\text{A}$ )与额定的相电压  $U_\varphi$  ( $\text{kV}\cdot\text{A}$ )、相电流  $I_\varphi$  (A)、线电压  $U_L$  (kV)、线电流  $I_L$  (A)有如下关系:

$$\text{单相变压器 } S_N = U_\varphi I_\varphi$$

$$\text{三相变压器 } S_N = 3U_\varphi I_\varphi = \sqrt{3}U_L I_\varphi = \sqrt{3}U_\varphi I_L$$

## 2.4 额定电流

变压器的额定电流是由绕组的额定容量除以该绕组的额定电压及相应的相系数(单相为 1,三相为  $\sqrt{3}$ )而算得的流经绕组线端的电流。因此,变压器的额定电流就是各绕组的额定电流,是指线电流。但是,组成三相组的单相变压器,如绕组为三角形联结,绕组的额定电流则以线电流为分子,以  $\sqrt{3}$  为分母来表示,例如线电流为  $500\text{A}$ ,则绕组的额定电流为  $500/\sqrt{3}\text{A}$ 。

变压器在额定容量下运行时,绕组的电流为额定电流。参照国际电工委员会 IEC 标准《油浸变压器负载导则》,变压器可以过载运行,三相的额定容量不超过  $100\text{MV}\cdot\text{A}$ (单相不超过  $33.3\text{MV}\cdot\text{A}$ )时,可承受负载率(负载电流/额定电流)不大于 1.5 的偶发性过载,容量更大时可承受负载率不超过 1.3 的偶发性过载。

套管也应有相应的过载能力,绕组热点温度和顶层油温度分别不能超过  $140^\circ\text{C}$  和  $115^\circ\text{C}$ 。

## 2.5 绕组联结组标号

变压器的同一侧绕组是按一定形式进行联结的。单相变压器除相绕组(线匝组合成的一相绕组)的内部联结外,没有绕组之间的联结,其联结符号为 I;三相变压器或组合成三相变压器组的单相变压器,则可接成星形、三角形和曲折形等。星形联结是各相绕组的一端结成一个公共点(中性点),其他三个端子接到相应的线端上;三角形联结是三个相绕组互相串联形成闭合回路,由串联处接至相应的线端上;曲折形联结的相绕组结成星形,但相绕组是由感应电压相位不同的不在同一铁心柱上的两部分组成,见表 2.1.5。

表 2.1.5 双绕组变压器常用联结组的特性

联结组 <sup>①</sup>	相量图	联结图	特性及应用
单相 II (II0)			用于单相变压器时无单独特性。不能结成 YY 联结的三相组,因为此时三次谐波磁通完全在铁心中流通,三次谐波电压较大,对绕组绝缘极为不利。可以结成其他联结的三相组
三相 Yyn (Yyn0)			绕组导线填充系数大,机械强度高,绝缘用量少,可实现四线制供电,常用于小容量三柱式铁心的小型变压器上。有三次谐波磁通,将在金属构件中引起涡流损耗
三相 Yzn (Yzn11)			当一次或二次侧遭受冲击过电压时,同一心柱上的两个半绕组的磁势互相抵消,一次侧不会感应过电压或逆变过电压,适用于防雷性能高的配电变压器,但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三相 Yd (Yd11)			二次侧绕组 d 形联结,使三次谐波电流循环流动,消除了三次谐波电压。中性点不引出,常用于中性点非死接地的大、中型变压器上
三相 YNd (YNd11)			特性同上。一次侧中性点引出,由于一次绕组 Y 联结的中性点稳定,用于中性点死接地的大型高压变压器上

注:①括号中为常用联结组标号;相量图中性点用圆圈表示中性点引出。

新旧《电力变压器》标准中代表的绕组联结的标号有所不同。旧标准用符号 Y、 $\Delta$ 、Z 来分别代表绕组的星形联结、三角形联结和曲折形联结,用符号 0 做 Y 或 Z 的下标,表示中性点引出的星形联结或曲折形联结。新标准中,高压绕组的星形、三角形、曲折形联结分别用大写字母 Y、D、Z 表示,中性点引出用与之同样高度的大写字母 N 表示;中压和低压绕组的结法用小写字母 y、d、z 表示,中性点引出时用同高度的小写字母 n 表示。把代表变压器绕组连接方法的符号按高压、中压、低压的顺序写在一起,就是变压器的联结组。例如:

高压星形联结,低压星形联结并中点引出,则此变压器联结组为 Yyn;

高压为 YN,中压为 yn,低压为 d,则绕组联结组为 YNyn d。

同侧绕组联结后,不同侧绕组间绕组电压相量就有固定的角度差(时间差),称为相位差。以往采用线电压相量间的角度来表示相位差,例如以  $U_{AB}$  指在时钟 12 的位置,以  $U_{ab}$  在相量图中对应的时钟时针位置配合时钟序,来表示不同侧绕组间的相位差,例如 Y/y-6 等。新标准是用一对绕组各相应端子与中性点(三角形联结为在等边三角形中心处虚设的)间的电压相量角度差所对应的时钟序来表示相位差,以  $U_{AB}$  指向时钟 0(12)点,做时钟的分针,以低压或中压的对应电压相量  $U_{ab}$  代表时针。在联结组最后写上用时钟序数表示的相位差,就是绕组联结组标号。例如 YNd11,它表示此变压器高压绕组为中性点引出的星形联结,低压绕组为三角形联结,在时间上低压绕组电压相量落后于高压绕组电压相量的相位差为  $30^\circ$ ,见表 2.1.6。

表 2.1.6 新旧《电力变压器》标准的绕组联结组标号

名 称	GB1094-79			GB1094.1~5-1996		
	高 压	中 压	低 压	高 压	中 压	低 压
星形联结,中性点不引出	Y	Y	Y	Y	y	y
星形联结,中性点引出	$Y_0$	$Y_0$	$Y_0$	YN	yn	yn
三角形联结	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	D	d	d
曲折形联结,中性点不引出	Z	Z	Z	Z	z	z
曲折形联结,中性点引出	$Z_0$	$Z_0$	$Z_0$	ZN	zn	zn
自耦变压器	联结组代号前加 O			有公共部分,两绕组额定电压较低的用 auto 或 a		
组 别 数	用字码 1~12,前加横线			用字码 0~11		
联结符号间	联结符号间用斜线			联结符号间不加符号		
联结组标号的 例 子	$Y_0/\Delta-11$			YN,d11		
	O- $Y_0/Y-12-11$			YN,ao,d11		

需注意的是,联结组对变压器的特性有很大的影响,并且电力变压器额定电压

组合和联结组标号有固定的对应关系,见表 2.1.2。

## 2.6 分接范围(调压范围)

应用于一次侧、二次侧的电压均恒定场合的变压器,其绕组只需首末端引出,但在有些场合,需随时调整所需要的电压。这时,变压器的绕组需要有分接抽头来改变电压比。

分接头一般是在高压绕组抽出的,这是因为高压绕组或其单独的调压绕组通常套在最外面,分接头引出方便,而且高压侧电流小,分接线和分接开关的载流部分的截面小。因此,升压变压器在二次侧调压,磁通不变,为恒磁通调压;降压变压器在一次侧调压,磁通改变,为变磁通调压。

调压方式分为无励磁调压和有载调压两种。二次空载、一次侧与电网断开时的调压为无励磁调压;在二次负载下的调压是有载调压。

## 2.7 空载电流、空载损耗和空载合闸电流

当变压器二次绕组开路、一次绕组施加额定频率的额定电压时,一次绕组中流通的电流称为空载电流  $I_0$ 。 $I_0$  分为  $I_m$  和  $I_w$  两部分,其较小的分量  $I_w$  用以补偿铁心损耗,称为有功分量;其较大的分量  $I_m$  用以励磁,以平衡铁心磁压降,称为无功分量或空载励磁分量。相量  $I_m$  与  $I_w$  垂直,空载电流

$$I_0 = \sqrt{I_w^2 + I_m^2}$$

通常  $I_0$  以占额定电流  $I_N$  的百分数表示:

$$i_0(\%) = (I_0/I_N) \times 100$$

此值一般为 1% ~ 3%,变压器容量越大,  $i_0$  越小。

无功分量  $I_m$  是励磁电流。由于硅钢片磁化曲线的非线性,导致了励磁电流  $i_m$  与铁心中磁通的关系是非线性的,所以  $i_m$  为含有奇次谐波的非正弦波。因为空载时二次侧无电流,所以有功分量  $I_w$  所产生的损耗包括铁心损耗和一次绕组的电阻损耗,其中铁心损耗占绝大部分。所以忽略一次绕组的电阻损耗时,空载损耗  $P_0$  又称铁损。因此,空载损耗可用硅钢片单位质量的损耗(可以根据对应硅钢片牌号及磁密值,由硅钢片单位损耗表中查得)与铁心质量的乘积来求得。

空载合闸电流是当变压器空载情况下在接上电源的瞬间,由于铁心饱和而产生的很大的励磁电流,又称为励磁涌流,它远远大于  $I_0$ ,甚至可达到额定电流  $I_N$  的 5 倍。

## 2.8 阻抗电压和负载损耗

双绕组变压器的二次绕组短接,一次绕组流过额定电流时所施加的电压称阻

抗电压  $U_k$ ，多绕组变压器则有任意两个绕组组合的  $U_k$ 。阻抗电压通常以占额定电压的百分数表示，即

$$U_k \% = (U_k / U_N) \times 100\%$$

且应根据参考温度进行折算。油浸变压器的参考温度为：绝缘耐热等级为 A、E、B 级时，参考温度为  $75^\circ\text{C}$ ；其他绝缘耐热等级时，参考温度为  $115^\circ\text{C}$ 。阻抗电压  $U_k$  由电抗电压  $U_X$  和电阻电压  $U_R$  构成，即

$$U_k = \sqrt{U_X^2 + U_R^2}$$

式中  $U_R$ 、 $U_X$ 、 $U_R$  均为百分数。需说明的是，强迫导向油循环时，A、E、B 绝缘等级的参考温度为  $80^\circ\text{C}$ 。

阻抗电压大小与变压器的成本和性能、系统稳定性以及供电质量有关。电力变压器有标准的阻抗电压。

负载损耗  $P_k$  是指变压器二次绕组短接，一次绕组流过额定电流时所消耗的有功功率，它等于最大一对绕组的电阻损耗与附加损耗之和。附加损耗包括绕组涡流损耗、导线有并绕时的环流损耗、结构损耗、引线损耗、介质损耗等，其中电阻损耗也称铜耗。负载损耗也要根据参考温度进行折算。

## 2.9 效率和电压调整率

变压器输出的有功功率与输入的有功功率之比的百分数称为变压器的效率  $\eta$ 。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{输出功率}}{\text{输出功率} + \text{空载损耗} + \text{负载损耗}} \times 100\% \end{aligned}$$

变压器满载时

$$\eta = \frac{S_{2N} \cos \varphi_2}{S_{2N} \cos \varphi_2 + P_0 + P_k} \times 100\%$$

任意负载时

$$\eta = \frac{\beta S_{2N} \cos \varphi_2}{\beta S_{2N} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k} \times 100\%$$

式中  $S_{2N}$  ——二次侧额定容量；

$\cos \varphi_2$  ——二次侧功率因数；

$\beta$  ——等于  $I_2 / I_{2N}$ ，称为负载系数，其中  $I_2$  为二次侧负载电流。

可见，变压器的效率与负载性质和数值有关，不是固定不变的，因此一般不在铭牌上标出。

变压器负载运行时,由于有阻抗电压,二次端电压将随负载电流和负载功率因数的改变而改变。变压器的二次空载电压  $U_{2N}$  和二次负载电压  $U_2$  的差值,占二次空载电压  $U_{2N}$  的百分数,称为二次电压调整率,即

$$\epsilon\% = (U_{2N} - U_2)/U_{2N}(\%)$$

电压调整率也称二次电压变动率,是衡量变压器供电质量好坏的数据。 $\epsilon$  越小越好。

## 2.10 温升和冷却方式

空气冷却变压器的温升指测量部分温度与冷却空气温度之差;水冷却变压器温升指测量部分温度与冷却器入口处水温之差。

变压器在额定条件下运行时,各部位的温度都不应超过绝缘材料的允许最高工作温度。表 2.1.7 和表 2.1.8 所列的国家标准所规定的额定运行条件下的温升限值与 IEC 标准的规定相同。

表 2.1.7 油浸变压器各部位对周围介质(空气)的温升限值

变压器部位		温升限值(K)	测量方法
绕组		65(平均值)	电阻法
油顶层	隔膜式或全密封式结构	60	温度计法
	其他结构	55	温度计法
油箱及结构件表面		80	温度计法
铁心本体		使相邻绝缘不致损坏的温升	温度计法

表 2.1.8 干式变压器各部位对周围介质的温升限值

变压器部位	耐热等级	允许最高工作温度(℃)	温升限值(K)	测量方法
绕组	A	105	60	电阻法
	E	120	75	
	B	130	80	
	F	155	100	
	H	180	125	
	C	220	150	
铁心及结构件表面			使相邻绝缘不致损坏的温升	温度计法

冷却方式用冷却介质种类及其循环种类来标志。冷却介质种类和循环种类的字母代号如表 2.1.9 所示。冷却方式由两个或四个字母代号组合来标志,依次为绕组冷却介质及其循环种类,外部冷却介质及其循环种类,例如冷却方式为油浸自冷,则铭牌上标有 ONAN,油浸风冷式为 ONAF,强油风冷式为 OFAF,强油水冷式为 OFWF,强油导向风冷式为 ODAF,强油导向水冷式为 ODWF,干式自冷式为 AN,干式风冷式为 AF。

表 2.1.9 冷却介质、循环种类的字母代号

冷却介质种类	矿物油或可燃性合成油 不燃性合成油 气体 水 空气	O L G W A
循环种类	自然循环 强迫循环(非导向) 强迫导向油循环	N F D

## 2.11 绝缘水平

变压器的绝缘水平也叫绝缘强度,是和保护水平以及其他绝缘部分相配合的水平,即耐受的电压值,由设备耐受的电压决定。绝缘水平有两种,一种是全绝缘,一种是分级绝缘。绕组的所有出线端都具有相同的对地工频耐受电压的绕组绝缘称为全绝缘;绕组的接地端或中性点的绝缘水平比线端低的绕组绝缘称分级绝缘,分级绝缘主要用于 110kV 及以上的变压器。绕组额定耐受电压用下列字母代号标志:

LI——雷电冲击耐受电压;

SI——操作冲击耐受电压;

AC——工频耐受电压。

油浸变压器全绝缘绕组绝缘水平如表 2.1.10 所示。

变压器的绝缘水平是按高压、中压和低压绕组的顺序列出耐受电压值来表示的,冲击水平在前,其间用斜线隔开。

表 2.1.10 电压等级为 3~35kV 油浸变压器绕组的绝缘水平

电压等级 (kV)	设备最高电压 $U_m$ (kV, 有效值)	额定短时工频 耐受电压 AC (kV, 有效值)	额定雷电冲击耐受电压 LI(kV, 峰值)	
			全波	截波
3	3.5	18	40	45
6	6.9	25/23	60	65
10	11.5	35/30	75	85
15	17.5	45/40	105	115
20	23	55/50	125	140
35	40.5	85/80	200/135	220

注:1. 用于 15kV 和 20kV 电压等级的发电机回路的设备,其额定短时工频耐受电压一般提高 1~2 级

2. 额定短时工频耐受电压,干试和湿试选用同一数值。

3. 表中分母数值为外绝缘试验电压。用于海拔高  $H$  为 1000~4000m 时,外绝缘试

验电压应乘以海拔校正系数  $K_a = \frac{1}{1.1 - H \times 10^{-4}}$ 。

## 2.12 短路电流

变压器可能有单相接地短路、两相短路和三相短路。稳态短路电流为:

$$\text{单相短路 } I_1 = \frac{3U_\varphi}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{\sqrt{3}U_N}{2Z + Z_0} \text{ (A)}$$

$$\text{两相短路 } I_2 = \frac{\sqrt{3}U_\varphi}{Z_1 + Z_2} = \frac{U_N}{2Z} \text{ (A)}$$

$$\text{三相短路 } I_3 = \frac{U_\varphi}{Z_1} = \frac{U_N}{\sqrt{3}Z} \text{ (A)}$$

式中  $U_\varphi$ 、 $U$ 、——分别为额定相电压和线电压(V);

$Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_0$ ——分别为正序、负序和零序阻抗,且  $Z_1 = Z_2 = Z$ ,  $Z$  为短路阻抗( $\Omega$ )。

因为  $Z_0 \geq Z$ , 所以  $I_3$  最大,三相短路最严重。短路时,电流将为额定值的 20~30 倍,绕组温度急剧上升,电磁力增加好几百倍。虽然短路电流在经历其交流分量的几个周期的极短时间内即衰减而趋于稳定,但有极强的破坏作用。因此设计制造者应保证变压器的动、热稳定性,使用操作者应避免使其短路。

## 2.13 重量和外形尺寸

变压器铭牌上需标出重量,油浸变压器需标总重外,还需标出器身重量、油重量,这两个数值是为方便现场吊芯检查和使用到一定阶段换油时参考用的。产品



外形图为用户提供文件之一,其中包括产品安装定位方法。

### 3 变压器的空载运行

变压器的一次绕组接上电源,而二次绕组开路时的工作状态称为空载运行。图 2.1.3 为单相双绕组变压器空载运行电路图,图中标出了各物理量的空间正方向。

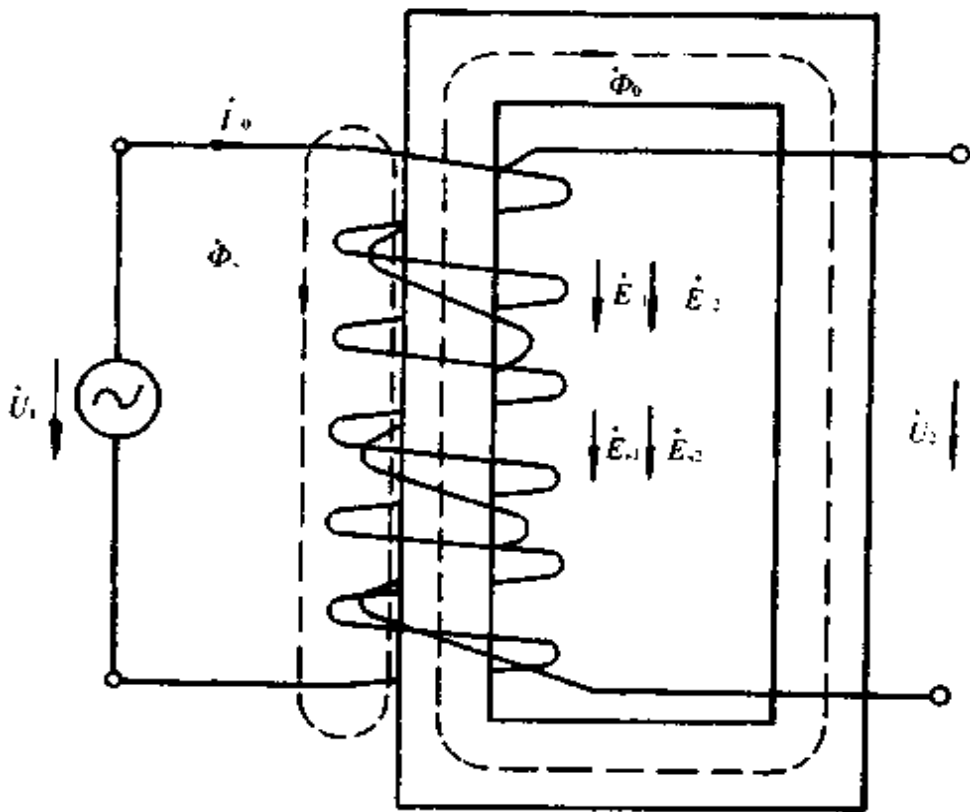


图 2.1.3 单相双绕组变压器空载运行电路图

#### 3.1 主磁通和空载漏磁通

空载电流  $I_0$  流过一次绕组时,在该绕组中产生损耗,并在一、二次绕组所占空间及其周围产生空载漏磁通  $\Phi_l$ 。主磁通  $\Phi_0$  是由  $I_0$  的无功分量  $I_m$  产生的,它沿铁磁介质(铁心)闭合。因为铁磁介质的导磁率很高,所以主磁通  $\Phi_0$  很大。联系绕组感应电压、主磁通和匝数的公式可见本章“变压器的基本原理”。

空载漏磁通  $\Phi_l$  绝大部分沿绕组所占空间及周围非铁磁介质闭合。因为绕组(铜和铝)和其他非铁磁介质(空气或变压器油等)的导磁率很低,所以空载漏磁通很小,在工程计算中忽略不计。空载漏磁通与一、二次绕组线匝交链的程度不一样,所以在一、二次绕组中感应出的空载漏抗电压也不一样。联系空载漏抗电压和

空载电流的公式为

$$\dot{E}_s = j\dot{I}_0 X_s$$

式中  $\dot{E}_s$  ——绕组空载漏抗电压(V);

$\dot{I}_0$  ——空载电流(A);

$X_s$  ——绕组的空载漏电抗( $\Omega$ )。

上式同样适用于一、二次绕组,其区别仅在于绕组漏电抗。

### 3.2 电压方程式

根据回路电压定律,结合图 2.1.3 所示的各物理量的方向,可以分别写出空载运行时变压器一、二次电路的电压方程式:

$$\text{一次电路的电压方程式 } \dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{s1} + \dot{I}_0 R_1 = \dot{E}_1 + j\dot{I}_0 X_{s1} + \dot{I}_0 R_1$$

$$\text{二次电路的电压方程式 } \dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{s2} = \dot{E}_2 + j\dot{I}_0 X_{s2}$$

式中  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$  ——分别为一、二次绕组的端电压(V);

$\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$  ——分别为一、二次绕组的感应电压(V);

$\dot{E}_{s1}$ 、 $\dot{E}_{s2}$  ——分别为一、二次绕组的空载漏抗电压(V);

$R_1$  ——一次绕组的电阻( $\Omega$ )。

一次电路的电压方程式表明,空载运行时一次绕组的端电压,即外施电压  $U_1$  等于一次绕组的感应电压  $E_1$ 、空载漏抗电压  $E_{s1}$  和电阻电压  $I_0 R_1$  的相量和。

二次电路的电压方程式表明,空载运行时二次绕组的端电压  $U_2$  等于二次绕组的感应电压  $E_2$  和空载漏抗电压  $E_{s2}$  的相量和。变压器空载运行时各电磁参量的相量图如图 2.1.4 所示。

与感应电压相比,空载漏抗电压很小,有时可以忽略。忽略空载漏抗电压

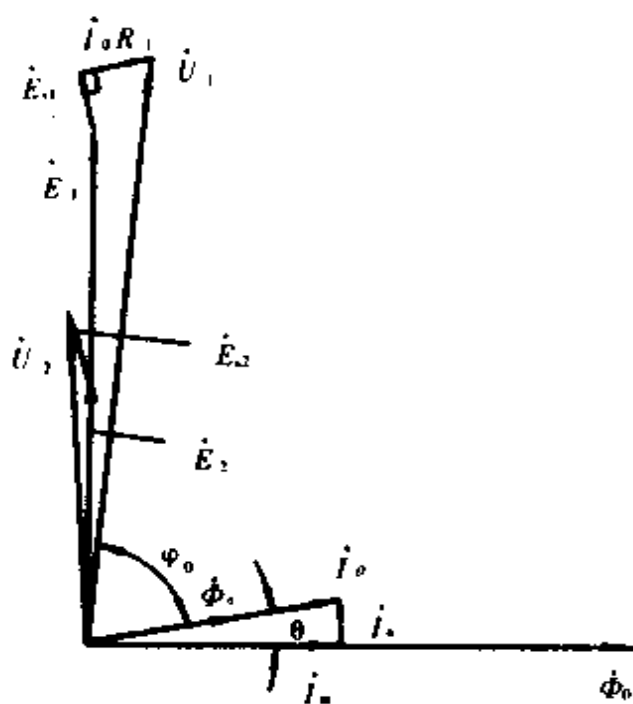


图 2.1.4 空载运行相量图

后,上两式可分别简化成

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_0 R_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2$$

简化的空载运行相量图如图 2.1.5 所示:

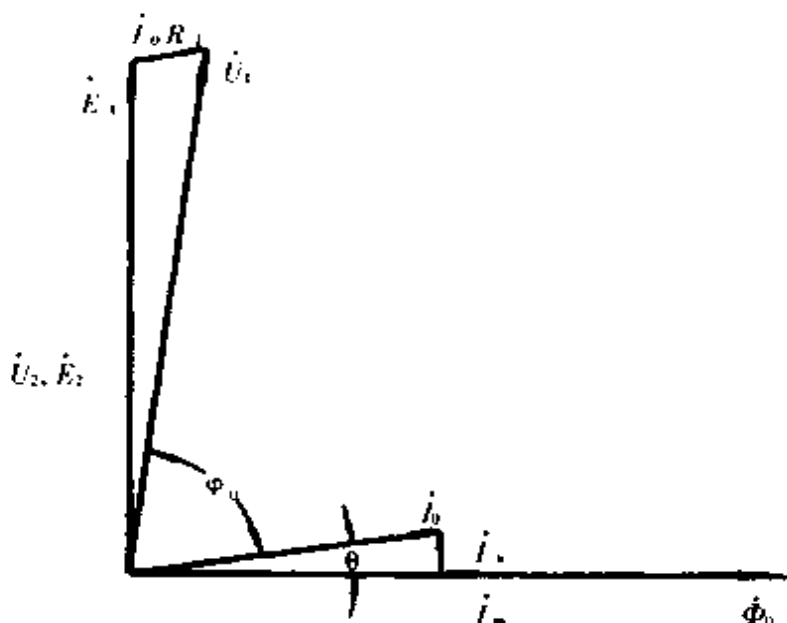


图 2.1.5 简化的空载运行相量图

### 3.3 功率因数角和吸收的有功功率

相量  $\dot{U}_1$  与  $\dot{I}_0$  之间的夹角  $\varphi_0$  是变压器空载运行时的功率因数角,空载时变压器从电源吸收的有功功率为

$$P_0 = U_1 I_0 \cos \varphi_0$$

该能量全部转化为热量,消耗在铁心和一次绕组中,通过周围介质散发掉一部分,残留的另一部分使铁心和绕组升温。

因为空载运行时  $\varphi_0$  很大,  $\cos \varphi_0$  很小,通常约为 0.15,所以空载电流  $I_0$  与其励磁分量  $I_m$  之间的夹角  $\theta$  很小,通常为  $8^\circ$  左右,因此与  $I_m$  相比,  $I_w$  很小。所以空载电流  $I_0$  基本上反映了铁心的励磁电流。

### 3.4 二次绕组的额定电压和每匝电压

二次绕组的额定电压是在额定的空载运行情况下,即二次绕组开路,一次绕组加额定的交流电压时二次绕组的端电压。

一、二次绕组的端电压之比可以认为等于其感应电压之比,即

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

根据本章“变压器的基本原理”中绕组感应电压的计算公式,可求出每匝电压

$$e_1 = \frac{U}{W} = \frac{E}{W} = 4.44fB_m A$$

式中  $e_1$  ——绕组的每匝电压(V);

$B_m$  ——铁心磁密峰值(T);

$A$  ——铁心有效截面积( $m^2$ )。

上式说明绕组匝数的选择直接关系到铁心磁密值,而磁密选择取决于铁心材质。对于冷轧硅钢片,通常  $B_m$  取 1.75T 以下;对于热轧硅钢片,通常  $B_m$  取 1.5T 以下。

#### 4 变压器的负载运行

变压器的一次绕组接上电源,二次绕组接上负载的工作状态称为负载运行。

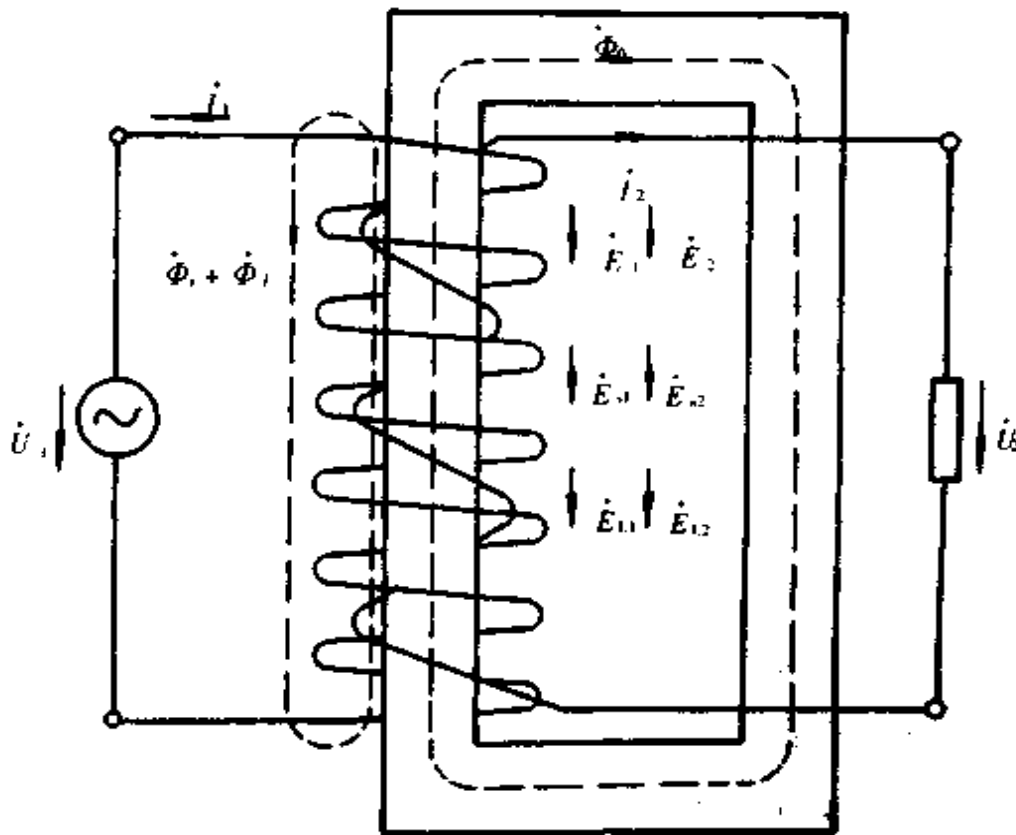


图 2.1.6 单相双绕组变压器负载运行电路图

图 2.1.6 为单相双绕组变压器负载运行电路图。图中标出了各物理量的空间正方向

向。只有在负载下运行,变压器才能起到传输电能的作用,因此负载运行是变压器的主要运行方式。

负载运行时,二次绕组必然有电流流通。按照楞次定律,二次电流将使产生它的磁通去磁。但是实际上产生感应电压的主磁通并未减小。这说明在二次电流出现的同时,在一次绕组里除空载电流外,又产生了一个补偿了二次电流的电流,以保持主磁通不变,从而使该磁通在一、二次绕组里所感应的电压保持不变。

#### 4.1 磁势平衡方程式和电流平衡方程式

如果取一次绕组磁势相量  $\dot{F}_1$  的相位与一次绕组电流  $\dot{I}_1$  的相位相同,那么二次绕组磁势相量  $\dot{F}_2$  的相位必然与二次电流相量  $\dot{I}_2$  的相位相反,即  $\dot{F}_1 = \dot{I}_1 W_1$ ,  $\dot{F}_2 = -\dot{I}_2 W_2$ 。一、二次绕组磁势的相量和  $\dot{F}_1 + \dot{F}_2$  是产生铁心主磁通  $\dot{\Phi}_0$  和空载漏磁通  $\dot{\Phi}_l$  的空载磁势  $\dot{F}_0$ ,即

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \dot{F}_0$$

或 
$$\dot{I}_1 W_1 - \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_0 W_1$$

上式即为磁势平衡方程式。该式可化为

$$\dot{I}_1 W_1 = \dot{I}_1' W_1 + \dot{I}_0 W_1$$

式中

$$\dot{I}_1' = \dot{I}_2 \frac{W_2}{W_1}$$

可简化为

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_1' + \dot{I}_0$$

上式即为电流平衡方程式,其物理意义是:负载运行时,一次绕组电流可分为负载分量  $\dot{I}_1'$  和空载分量  $\dot{I}_0$ ,负载分量  $\dot{I}_1'$  用来平衡二次绕组电流  $\dot{I}_2$ 。

#### 4.2 负载漏磁通和负载漏抗电压

从上述式中可以看出,一次绕组磁势  $\dot{I}_1 W_1$  包括两个分量,一个是空载分量  $\dot{I}_0 W_1$ ,另一个是负载分量  $\dot{I}_1' W_1$ 。一次绕组的负载磁势  $\dot{I}_1' W_1$  与二次绕组磁势  $-\dot{I}_2 W_2$ ,在量值上相等,但在相位上却反向,即  $\dot{I}_1' W_1 = \dot{I}_2 W_2$ ,所以它们是平衡的。当负载变化时, $\dot{I}_1'$  随  $\dot{I}_2$  的变化而相应变化,以维持  $\dot{I}_0$  不变。这两个互相平衡的磁势不能产生与一、二次绕组全部线匝相链的磁通,仅产生与一、二次绕组部分线匝不同程度交链的磁通,这个磁通即负载漏磁通。在忽略空载漏磁通的情况

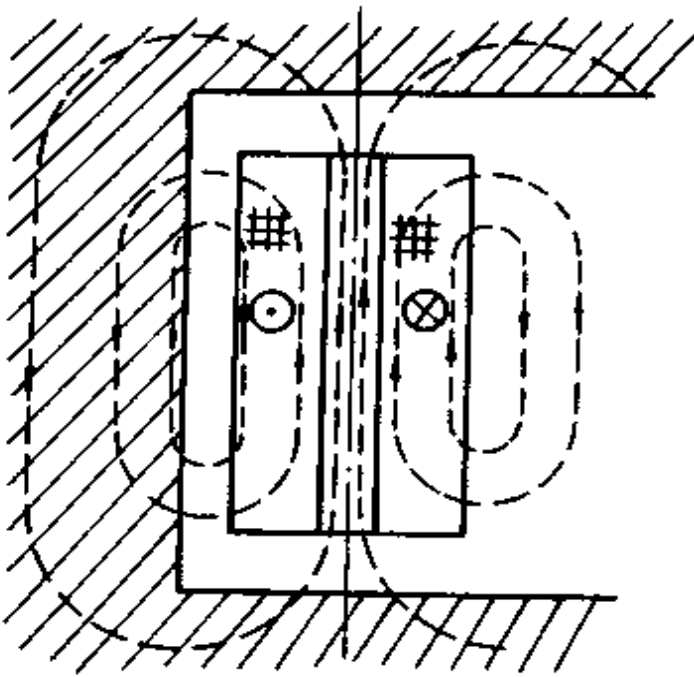


图 2.1.7 负载运行时的漏磁通分布

下,负载漏磁通可以简称为漏磁通。负载漏磁通是变压器的又一个重要参数,它对变压器的技术经济指标影响很大。图 2.1.7 是负载运行时负载漏磁通的分布图。由该图可以看出,一、二次绕组排列得越紧凑,负载漏磁通  $\Phi_L$  越小,这也是变压器同相绕组排列在同一铁心柱上且往往同心放置的重要原因。

负载漏磁通  $\Phi_L$  是由互相平衡的磁势  $I_1 W_1$  和  $I_2 W_2$  共同产生的。 $\Phi_L$  分别在一、二次绕组中感应出负载漏抗电压  $\dot{E}_{L1}$  和  $\dot{E}_{L2}$ ,它们同相位,且比  $\Phi_L$  超前  $90^\circ$ ,而  $\Phi_L$  与

$\dot{I}_1$  同相位,所以  $\dot{E}_{L1}$ 、 $\dot{E}_{L2}$  比  $\dot{I}_1$  超前  $90^\circ$ 。联系负载漏抗电压和绕组负载电流的关系式为

$$\dot{E}_L = j\dot{I}X$$

式中  $\dot{E}_L$  ——绕组的负载漏抗电压(V);

$\dot{I}$  ——绕组的负载电流(A);

$X$  ——绕组的负载漏电抗( $\Omega$ )。

### 4.3 电压方程式

负载运行时变压器一、二次侧电路的电压方程式分别为

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{E}_{L1} + \dot{E}_{L2} + \dot{I}_1 R_1 = \dot{E}_1 + j\dot{I}_0 X_0 + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 R_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{L2} - \dot{E}_{L1} - \dot{I}_2 R_2 = \dot{E}_2 + j\dot{I}_0 X_0 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 R_2$$

式中  $\dot{E}_{L1}$ 、 $\dot{E}_{L2}$  ——一、二次绕组的负载漏抗电压(V);

$X_1$ 、 $X_2$  ——一、二次绕组的负载漏电抗( $\Omega$ );

$R_2$  ——二次绕组的电阻( $\Omega$ )。

在忽略空载漏磁通时,一、二次电路的电压方程式可以分别简化为

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 R_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 R_2$$

相量图可简化为图 2.1.8。

#### 4.4 能量传输

变压器负载运行时的能量传输及转换关系可以直接由能量守恒定律得出。变压器一次绕组从电源吸收的能量  $U_1 I_1 \cos\varphi_1$  除补偿铁心损耗  $E_1 I_0 \sin\theta$ 、绕组电阻损耗  $(I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2)$  及各种附加损耗外,其余部分  $U_2 I_2 \cos\varphi_2$  则通过二次绕组传输到二次电路中。消耗在变压器本体中的各种损耗最后均以热能的形式而散发掉。

### 5 短路运行

短路运行是变压器二次负载阻抗等于零时的负载运行。这时,变压器一次绕组接上小电压的交流电源,而二次绕组短路。图 2.1.9 是单相双绕组变压器短路运行电路图,图中标出了各物理量的空间正方向。

虽然短路运行不是变压器的主要运行方式,也起不到传输电能的作用,但是在用试验方法确定变压器参数,以及在某些情况下采取短路法干燥变压器时,需要采用这种运行方式。

由于短路运行是二次负载阻抗等于零这一特殊情况的负载运行,所以负载运行的电磁关系适用于短路运行,差别仅在于由于负载阻抗等于零而使二次绕组端电压  $U_2$  等于零。

短路运行时,由于一次电压很低,故铁心磁密较低。因此,空载电流和铁心损耗极小。在忽略空载电流时,可得出

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 \left[ R_1 + R_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 \right] + j \left[ X_1 + X_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 \right] \dot{I}_1 \\ &= \dot{I}_1 (R_K + jX_K) = \dot{I}_1 Z_K \end{aligned}$$

式中  $R_K$ ——变压器一、二次绕组折合至一次侧的短路电阻( $\Omega$ );

$X_K$ ——变压器一、二次绕组折合至一次侧的短路电抗( $\Omega$ );

$Z_K$ ——变压器一、二次绕组折合至一次侧的短路阻抗( $\Omega$ )。

短路阻抗  $Z_K$  是变压器的一个重要参数,它是由变压器自身结构所决定的物理量。

短路运行时,当一次绕组所加的小电压使一、二次电流为额定值时,这个电压即为变压器的阻抗电压  $\dot{U}_K$ ,并存在以下关系式:

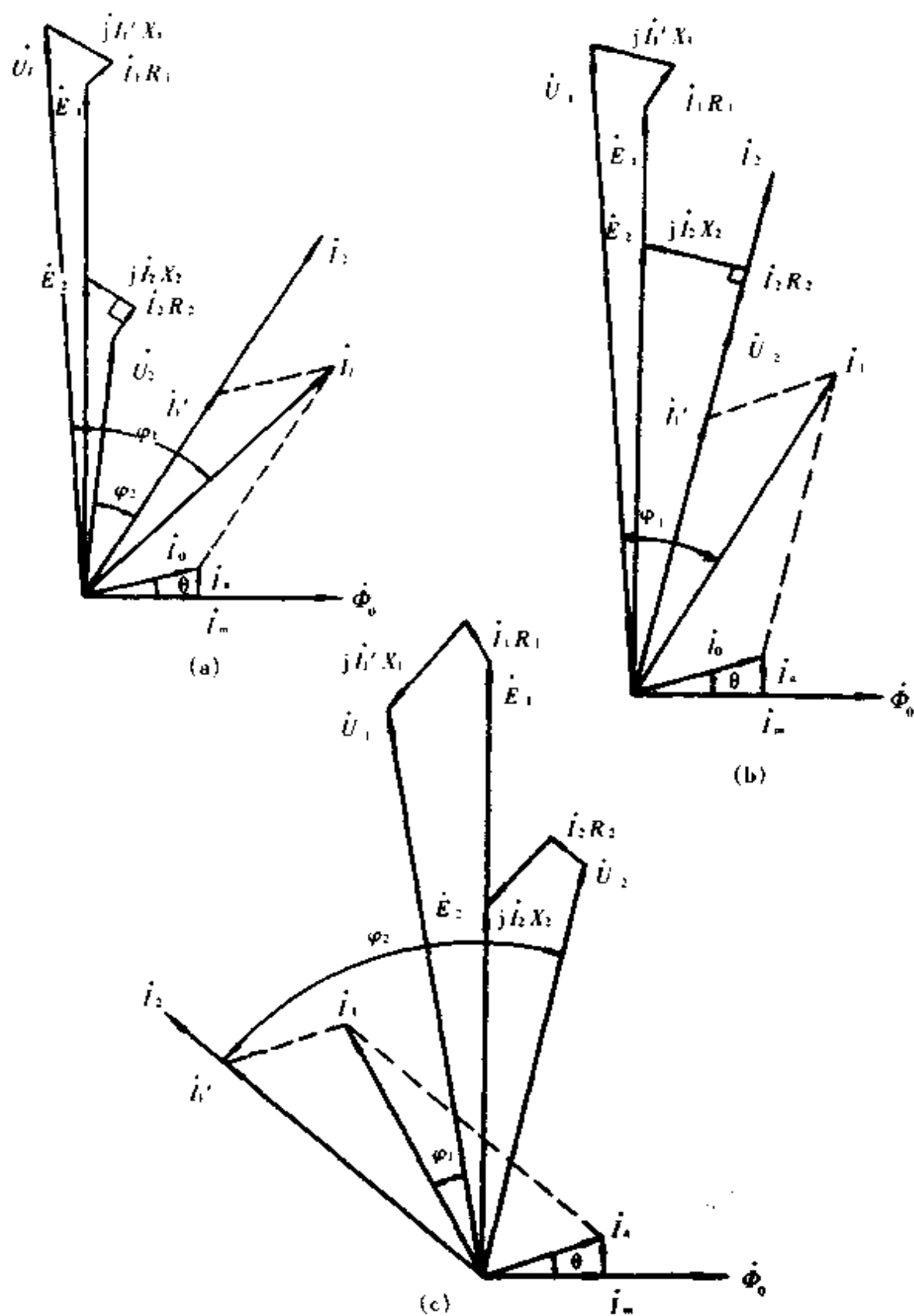


图 2.1.8 忽略空载漏磁通的负载运行相量图  
 (a)电感性负载 (b)电阻性负载 (c)电容性负载



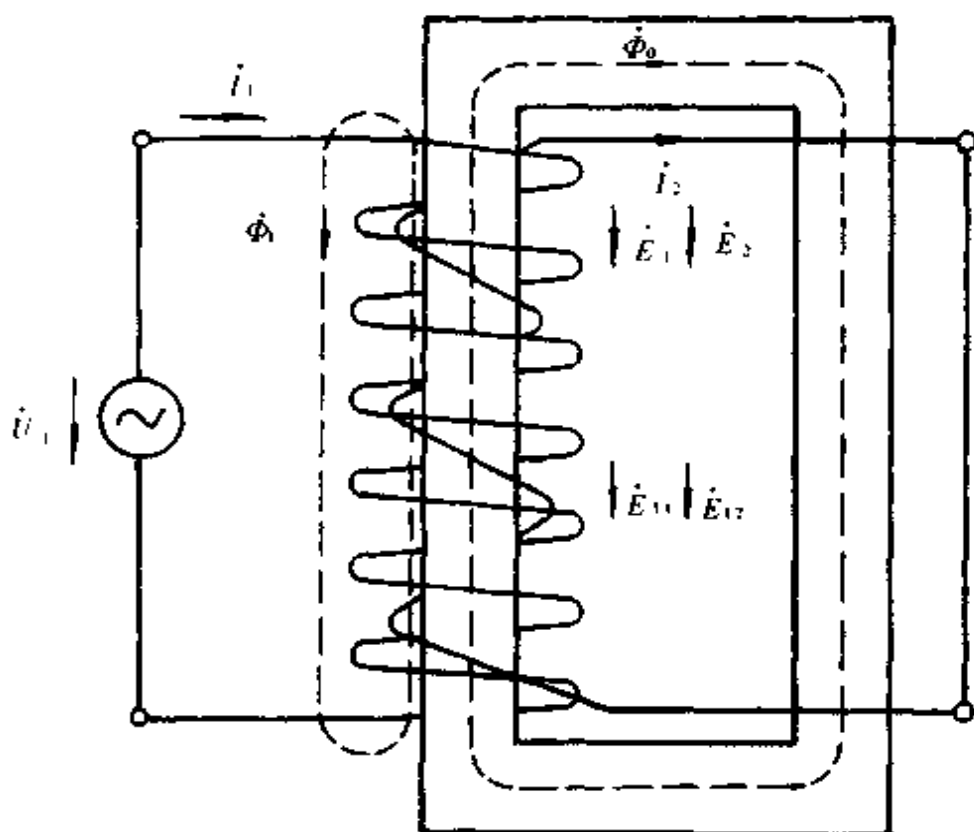


图 2.1.9 单相双绕组变压器短路运行电路图

$$\dot{U}_K = \dot{I}_{1N} Z_K = \dot{I}_{1N} (R_K + jX_K) = \dot{U}_R + \dot{U}_X$$

- 式中  $\dot{U}_K$ ——变压器的阻抗电压(V);  
 $\dot{I}_{1N}$ ——额定一次电流(A);  
 $\dot{U}_R$ ——阻抗电压的电阻电压分量(V);  
 $\dot{U}_X$ ——阻抗电压的电抗电压分量(V)。

图 2.1.10 是忽略空载漏磁通时变压器短路运行时各电磁参量的相量图。图 2.1.11 是上式的相量图,通常称为阻抗电压三角形。

图 2.1.11 中的  $\varphi_K$  叫做变压器短路阻抗的功率因数角,可用下式求出:

$$\varphi_K = \tan^{-1} \frac{X_K}{R_K}$$

工程中,阻抗电压通常以其占额定相电压的百分数表示。当短路阻抗折合至一次侧时,阻抗电压百分数为

$$\begin{aligned} U_R(\%) &= \frac{U_R}{U_{1N}} \times 100 \\ &= \frac{I_{1N} R_K}{U_{1N}} \times 100 \end{aligned}$$

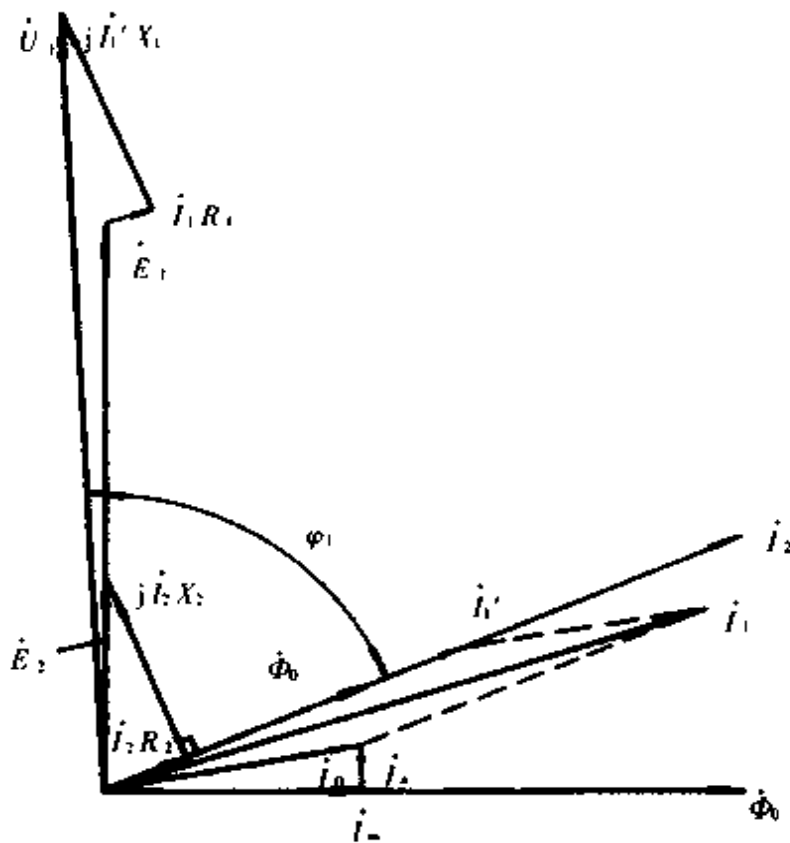


图 2.1.10 忽略空载漏磁通时的短路运行相量图

$$U_X(\%) = \frac{U_X}{U_{1N}} \times 100$$

$$= \frac{I_{1N} X_K}{U_{1N}} \times 100$$

$$U_K(\%) = \frac{U_K}{U_{1N}} \times 100 = \sqrt{U_R^2(\%) + U_X^2(\%)}$$

式中  $U_{1N}$ ——额定一次相电压。

短路运行时,变压器一次绕组从电源吸收的能量全部消耗在变压器本身的损耗上,并以热能的形式散发掉。在额定电流下短路运行时,由于一次电压很低,铁心磁密很低,铁心损耗极小,所以这时变压器的损耗基本上反映了绕组电阻损耗和附加损耗,即为负载损耗。

负载损耗可按下式计算:

$$P_K = U_K I_{1N} \cos \varphi_K = U_R I_{1N}$$

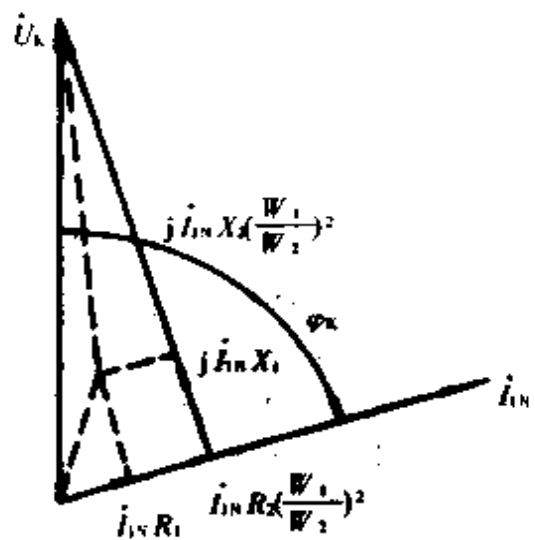


图 2.1.11 阻抗电压三角形

## 6 等值电路

变压器的等值电路是一种能把变压器的工作过程用简单关系式  $\dot{U} = I Z_s$  来描述,而且不改变原有的能量转换关系和电压与电流间的相位角的电路。

为了将藉电磁感应联系起来的一、二次电路化成统一的电路,我们首先将一次绕组的感应电压写成空载电流与励磁阻抗乘积的形式:

$$\dot{E}_0 = \dot{I}_0 Z_0$$

式中  $Z_0$  可表示为

$$Z_0 = R_0 + jX_0$$

$R_0$  与  $X_0$  之间的关系满足下面条件:

$$\tan^{-1} \frac{R_0}{X_0} = \theta$$

设负载阻抗为  $Z$ ,在忽略空载漏磁通的情况下,一、二次电路的电压方程式可以写成

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \left[ Z_1 + \frac{Z_0(Z_2 + Z)(W_1/W_2)^2}{Z_0 + (Z_2 + Z)(W_1/W_2)^2} \right] = \dot{I}_1 Z_s$$

$$\text{令} \quad Z_2' = Z_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2, Z' = Z \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2$$

$$\text{因而} \quad Z_s = Z_1 + \frac{Z_0(Z_2' + Z')}{Z_0 + (Z_2' + Z')}$$

$$\text{则} \quad \dot{U}_1 = \dot{I}_1 \left[ Z_1 + \frac{Z_0(Z_2' + Z')}{Z_0 + (Z_2' + Z')} \right]$$

可见变压器的等值电路是由二次绕组阻抗  $Z_2'$  与负载阻抗  $Z'$  串联后与励磁阻抗  $Z_0$  并联,再与一次绕组阻抗  $Z_1$  串联的电路。在这种等值电路中,一次电路的各参数均系实际值;而二次电路的各参数均系折合至一次侧的值。

在等值电路中,励磁阻抗  $Z_0$  流过空载电流  $\dot{I}_0$ ,产生的损耗为:

$$I_0^2 R_0 = E_1 I_0 \sin \theta$$

此即为铁心损耗。

一次绕组阻抗  $Z_1$  流过电流  $\dot{I}_1$ ,产生损耗为  $I_1^2 R_1$ ,而二次绕组阻抗  $Z_2'$  流过电流  $\dot{I}_2'$ ,产生损耗为

$$I_2'^2 R_2' = I_2^2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^2 R_2 \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 = I_2^2 R_2$$

它是二次绕组的实际损耗。

负载阻抗  $Z'$  流过电流  $I_2'$ ，故消耗在负载上的有功功率为

$$I_2'^2 R' = I_2^2 R_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

它是二次负载实际消耗的有功功率。

由此可见，变压器等值电路中各部分的损耗是与变压器的实际损耗相符合的。

在等值电路中，一次电路的电压、电流为实际量值，所以它们之间的相位关系不会改变。二次电路的电压、电流只是在数值上折合至一次侧，也未改变其相位关系。图 2.1.12a 是折合至一次侧的变压器“T”形等值电路图。

同样，变压器一次侧的参数也可以折合至二次侧，可以绘出另一种等值电路，见图 2.1.12(b)。

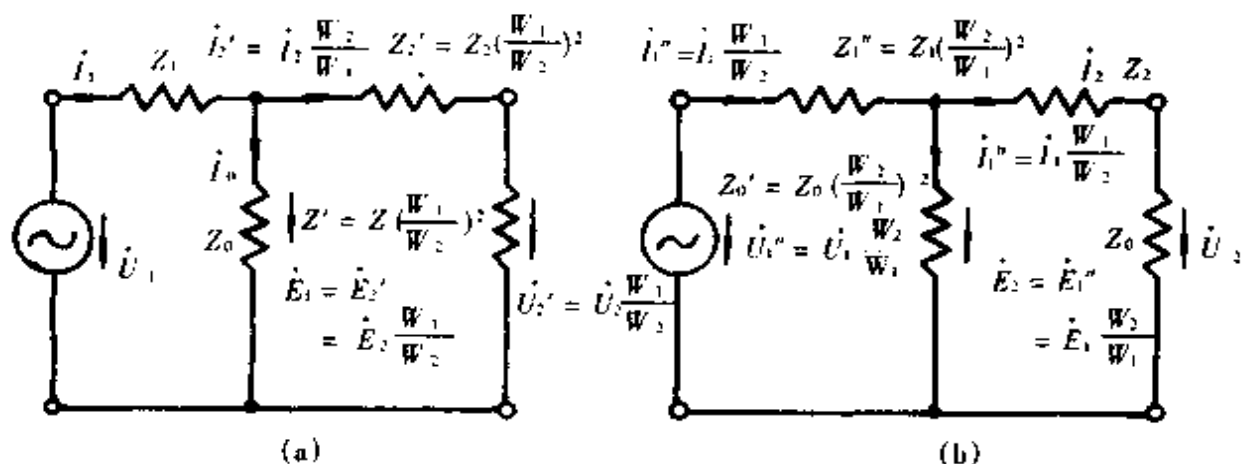


图 2.1.12 变压器折合至一次侧的“T”形等值电路

在“T”形等值电路中，一、二次电路的电压方程式为

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2$$

在工程计算中，如果不需要很高的精确度，变压器的等值电路还可简化。简化的依据是  $\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1$ ，据此，可以将等值电路中的励磁阻抗  $Z_0$  由中间移至电源位置而与电源并列，如图 2.1.13 所示。在这种等值电路中，一、二次绕组的阻抗是直接串联在一起的，等于短路阻抗  $Z_K$ 。这种等值电路称为“Γ”形等值电路。利用该等值电路，可极方便地确定给定的一次电压下的一次电流，它等于不变的空载电流  $I_0$  加上随负载而变的二次折合电流。

$$\text{即 } \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' = \frac{\dot{U}_1}{Z_0} + \frac{\dot{U}_1}{Z_K + Z'} = \dot{U}_1 \left( \frac{1}{Z_0} + \frac{1}{Z_K + Z'} \right)$$

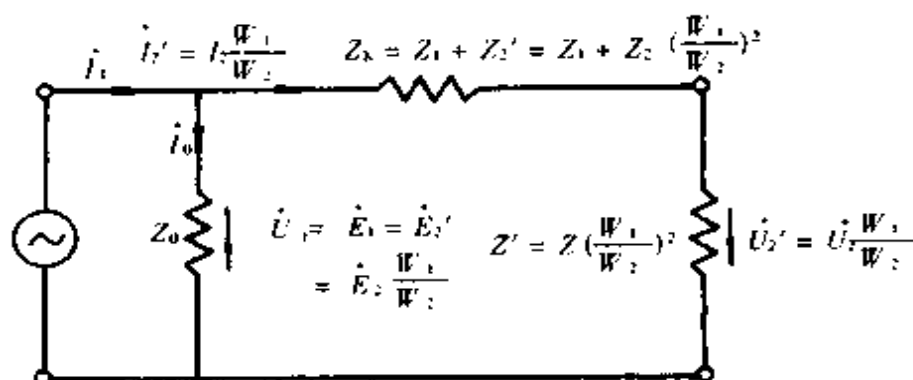


图 2.1.13 折合至一次侧的“Γ”形等值电路

等值电路还可进一步简化,简化的依据是与  $Z_k$  相比,励磁阻抗很大,正常运行时空载电流  $I_0$  与一次电流  $I_1$  相比极小,近似于上面两种等效电路中的励磁分路开路,从而使等值电路简化为图 2.1.14 所示的形式。这种等值电路称为“—”形等值电路,此时

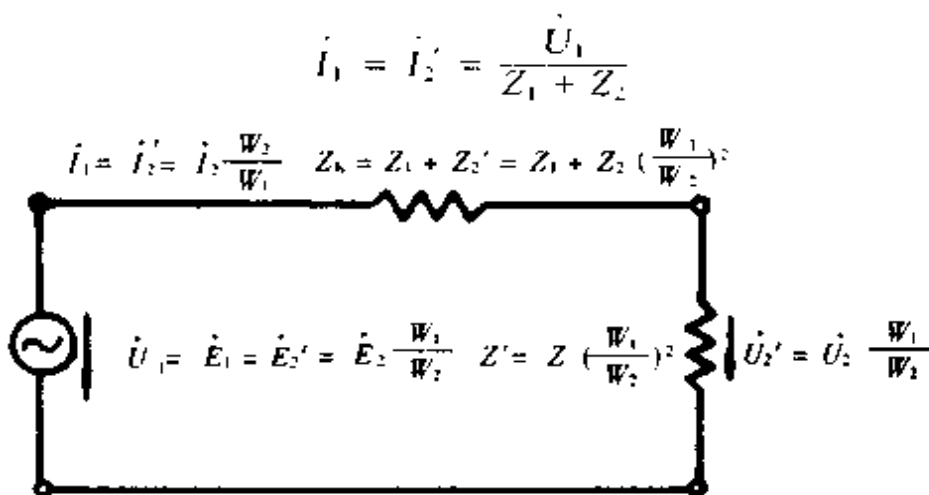


图 2.1.14 折合至一次侧的“—”形等值电路

在“Γ”形和“—”形等值电路中,一、二次电路的电压方程式均具有下面形式:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1$$

$$\dot{U}_2' = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' Z_k$$

等值电路中的阻抗  $Z_0$  和  $Z_k$  是由变压器本身结构所决定的参数,它们可以用空载试验和短路试验的方法测量出来。

利用空载试验,测量出变压器在额定一次电压  $U_{1N}$  下的空载电流  $I_0$  和空载损耗  $P_0$ ,即可算出  $Z_0$ 、 $R_0$ ,再算出  $X_0$ 。

利用短路试验,测量出在额定一次电流  $I_{1N}$  下的一次电压,该电压即为折合至一次侧的阻抗电压  $U_k$ ,再测量出负载损耗  $P_k$ ,即可计算出短路阻抗  $Z_k$  及其有功

分量  $R_K$  和无功分量  $X_K$ 。

## 7 二次电压变动率与效率

变压器在一次电压不变的情况下负载运行时,某一负载下的二次电压  $U_2$  与空载二次电压  $U_{02}$  (即忽略二次空载漏抗电压  $E_{02}$  时的二次绕组感应电压  $E_2$ ) 的差占  $E_2$  的百分数,叫做二次电压变动率,也叫二次电压调整率,即

$$\epsilon(\%) = \frac{U_{02} - U_2}{U_{02}} \times 100$$

可得出

$$\epsilon(\%) = \frac{\beta}{\alpha} [U_R(\%) \cos \varphi_2 + U_X(\%) \sin \varphi_2] + \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{[U_X(\%) \cos \varphi_2 - U_R(\%) \sin \varphi_2]^2}{200}$$

式中  $\beta$ ——负载系数,即负载电流与额定二次电流之比( $I_2/I_{2N}$ );

$\alpha$ ——空载电压系数,即空载电压与额定空载电压之比( $U_{02}/U_{2N}$ )。

上式还可化成

$$\epsilon(\%) = \frac{\beta}{\alpha} U_K(\%) \cos(\varphi_K - \varphi_2) + \frac{\beta^2}{\alpha^2} \cdot \frac{[U_K(\%) \sin(\varphi_K - \varphi_2)]^2}{200}$$

在大多数情况下,上面计算  $\epsilon(\%)$  的公式中后一项比前一项小得多,可以略去。

【例】今有一台变压器,电压为 6300/380V,  $U_R(\%) = 2\%$ ,  $U_X(\%) = 6\%$ , 高压侧电压为其额定值的 1.05 倍,负载电流为其额定值的 0.9 倍,二次侧功率因数  $\cos(\pm \varphi_2) = 0.8$ , 在这样的负载情况下,  $\epsilon(\%)$  等于多少?

首先根据线路有 6kV 电压等级,而此台变压器高压侧额定电压为 6300V,可确定这是用于线路始端的升压变压器,其高压侧为二次侧,即负载侧。

$$U_K(\%) = \sqrt{(6\%)^2 + (2\%)^2} = 6.32\%$$

$$\varphi_K = \tan^{-1} \frac{6}{2} = 71.57^\circ$$

$$\varphi_2 = \arccos(\pm \varphi_2) = 36.87^\circ$$

$$\sin \varphi_2 = \pm 0.6$$

按二次电压调整率计算公式得出:

$\cos \varphi_2 = 0.8$  时,

$$\epsilon(\%) = \frac{0.9}{1.05} (2 \times 0.8 + 6 \times 0.6) + \left(\frac{0.9}{1.05}\right)^2 \frac{(6 \times 0.8 - 2 \times 0.6)^2}{200} \approx 4.5(\%)$$

按简化式计算  $\cos(\varphi_K - \varphi_2) = 0.8$  时的  $\epsilon(\%)$ , 得

$$\epsilon(\%) = \frac{0.9}{1.05} \times 6.32 \times \cos(71.57^\circ - 36.87^\circ) +$$

$$\left(\frac{0.9}{1.05}\right) \times \frac{[(6.32 \times \sin(71.57^\circ + 36.87^\circ))]^2}{200} = -1.6(\%)$$

$\varphi_2$  角度值的正负分别意味着二次电压比二次电流在相位上是超前还是落后,超前是电感性负载,同相位是电阻性负载,落后则为电容性负载。上面计算结果表明,该变压器由空载过渡到该种负载状态运行时,在电感性负载下二次电压比空载时下降了 4.5%,在电容性负载下,二次电压比空载时上升了 1.6%。

变压器输出给二次电路的有功功率  $P_2$  占该变压器从电源输入的有功功率  $P_1$  的百分数叫做变压器的效率,即

$$\eta(\%) = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \left(1 - \frac{P}{P_1}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{P}{P_2 + P}\right) \times 100$$

上式中输入功率  $P_1$  与输出功率  $P_2$  之差,就是变压器的总损耗  $P$ ,它包括空载损耗和负载损耗两部分,即  $P = P_0 + P_K$ 。

如果变压器的额定容量为  $P_N$ ,额定电压下的空载损耗为  $P_0$ ,额定电流下的负载损耗为  $P_K$ ,那么变压器在额定电压下运行且负载系数为  $\beta$  时的效率可以表示成:

$$\eta(\%) = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \left(1 - \frac{P_0 + \beta P_K}{P_N \beta \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K}\right) \times 100$$

由上式可知,变压器在额定电压下运行时,效率不仅随负载系数  $\beta$  的变化而变化,而且随  $\cos \varphi_2$  的变化而变化,即随负载的性质的变化而变化。

在  $\beta$  不变的情况下,  $\cos \varphi_2$  越小,效率越低,这说明  $\varphi_2$  在  $\pm 90^\circ$  之间时绝对值越大,效率越低,即电感性负载的电感性程度和电容性负载的电容性程度越深,则变压器效率越低。在电阻性负载下,  $\varphi_2 = 0$ ,  $\cos \varphi_2 = 1$ ,效率达到该种负载系数下的最大值。

可以求得负载系数

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}}$$

时效率达最大值。对一般电力变压器,  $P_0/P_K = 0.25 \sim 0.33$ ,所以最大效率的负载系数  $\beta = 0.5 \sim 0.58$ 。

将负载系数  $\beta$  代入上述效率计算公式,得出最大效率

$$\eta_{\max}(\%) = \left(1 - \frac{2P_0}{\sqrt{\frac{P_0}{P_K}} P_N \cos \varphi_2 + 2P_0}\right) \times 100$$

## 8 多绕组变压器

与双绕组变压器相比,多绕组变压器的主要优点在于,利用一台变压器就可以得到发电站或变电所所必须的多种电压,这样可以减少变压器的成本、运行费用,以及变压器的占地面积。由于具有这样的优点,近年来多绕组变压器在电力系统中得到了广泛的应用。

以上介绍的双绕组变压器的基本工作原理,可以推广到多绕组变压器中。

图 2.1.15 为单相多绕组变压器的装置原理图,其中绕组 1 接到交流电源上而

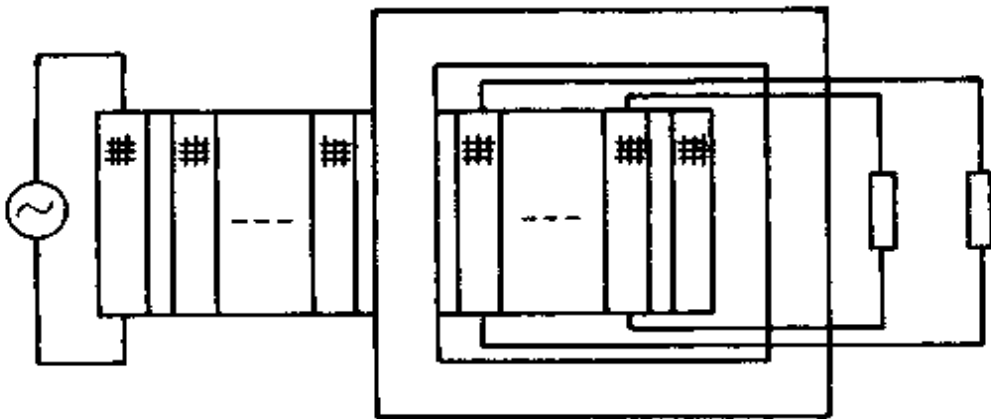


图 2.1.15 单相多绕组变压器的装置原理

成为一次绕组,其余的绕组 2~n 是二次绕组,每一个二次绕组都可带各自的负载。当一次绕组与交流电源接通时,其中流过交流电流,在铁心中产生交变主磁通,这个交变主磁通在每个绕组中都感应出交流电压来。如果此时所有二次绕组都与各自应带的负载接通,那么所有的二次绕组所处的二次电路都流过交流电流,从而实现了电能从电源向多个二次电路的传输。多绕组变压器从空载(所有二次电路都开路)过渡到负载的电磁过程的基本原理与双绕组变压器相同。当一次绕组接到具有一次绕组额定电压的交流电源上,而所有二次绕组都空载时,一次绕组将流过很小的一次电流,即空载电流。它在铁心中激励交变的主磁通,并提供一次绕组损耗。交变主磁通在所有绕组中感应出交流电压,此电压定义为各自的额定电压。此时如果所有二次绕组与各自的负载接通,则二次电路中将有交流电流流过,而一次绕组的电流则相应增加,增加的值用来平衡所有二次电路的磁势,以使磁势平衡,铁心主磁通维持不变。

现在我们用  $I_1, I_2, \dots, I_n$  来表示流通于各绕组中的电流,用  $W_1, W_2, \dots, W_n$  来表示相应绕组的匝数。根据磁势平衡定律可以写出:

$$I_1 W_1 - I_2 W_2 - \dots - I_n W_n = I_0 W_1$$



根据此式可以画出多绕组变压器的磁势平衡相量图,如图 2.1.16 所示。

为了简化分析,忽略空载损耗和空载电流,并把所有绕组能折合的电磁参量都折合到同一匝数。这样一来,就可以把多绕组变压器当作处在导磁率为常数且无损耗的介质中的电感绕组的相互作用来处理。每一个电感绕组的端电压不仅取决于自感电压,而且还取决于该绕组与其它绕组的互感电压。但应注意,一次绕组的电抗电压超前于电流  $90^\circ$ ,二次绕组的电抗电压则滞后于电流  $90^\circ$ ,据此可写出多绕组变压器各绕组的端电压方程式。

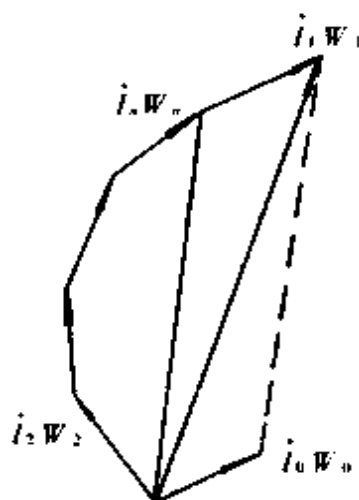


图 2.1.16 多绕组变压器磁势相量图

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_{11} - j\dot{I}_2 X_{12} - \cdots - j\dot{I}_n X_{1n} + \dot{I}_1 R_1 \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 + j\dot{I}_1 X_{21} - j\dot{I}_2 X_{22} - \cdots - j\dot{I}_n X_{2n} - \dot{I}_2 R_2 \\ \dot{U}_3 &= \dot{E}_3 + j\dot{I}_1 X_{31} - j\dot{I}_2 X_{32} - \cdots - j\dot{I}_n X_{3n} - \dot{I}_3 R_3 \\ &\vdots \\ \dot{U}_n &= \dot{E}_n + j\dot{I}_1 X_{n1} - j\dot{I}_2 X_{n2} - \cdots - j\dot{I}_n X_{nn} - \dot{I}_n R_n \end{aligned} \right\}$$

式中  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_n$  ——各绕组的端电压(V);

$\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_n$  ——各绕组的电流(A);

$\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dots, \dot{E}_n$  ——主磁通在各绕组中所产生的感应电压(V),因为所有绕组都折合到同一匝数,所以它们都相等,可记为  $\dot{E}$ ;

$X_{ii}$  ——第  $i$  绕组的自感电抗( $\Omega$ );

$X_{ij}$  ——第  $i$  与第  $j$  绕组的互感电抗( $\Omega$ );

$R_1, R_2, \dots, R_n$  ——各绕组的电阻( $\Omega$ )。

在上式中,第一个方程式属于一次电路的电压方程式,一次绕组的端电压即外施电压,等于该绕组的感应电压  $\dot{E}$  加上各绕组的电流在该绕组所引起的电压降。写该方程式应注意,绕组自身电流前的符号取  $+j$ ,而其他绕组电流前的符号取  $-j$ 。其余的方程式属于二次电路的电压方程式,每个绕组的端电压即施加在外部负载的电压,等于该绕组的感应电压  $\dot{E}$  减去各绕组的电流在该绕组中所引起的电压降。

由于忽略了空载电流,所以各绕组电流间的关系为:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \cdots + \dot{I}_n$$

在空载时,各绕组的端电压都等于其感应电压,又因为已经折合至一次绕组,

所以空载时各绕组的端电压都等于  $\dot{U}_1$ ，于是各绕组由空载过渡到负载时的电压降计算公式为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{U}_2 &= \dot{I}_2 \{ (R_1 + R_2) + j(X_{11} - X_{21} - X_{12} + X_{22}) \} + \dot{I}_3 \{ (R_1 + R_3) + j(X_{11} - X_{21} - X_{13} + X_{23}) \} \\ &\quad + \cdots + \dot{I}_n \{ (R_1 + R_n) + j(X_{11} - X_{21} - X_{1n} + X_{2n}) \} \\ \dot{U}_1 - \dot{U}_3 &= \dot{I}_2 \{ (R_1 + R_3) + j(X_{11} - X_{31} - X_{12} + X_{32}) \} + \dot{I}_3 \{ (R_1 + R_3) + j(X_{11} - X_{31} - X_{13} + X_{23}) \} \\ &\quad + \cdots + \dot{I}_n \{ (R_1 + R_n) + j(X_{11} - X_{31} - X_{1n} + X_{3n}) \} \\ &\quad \vdots \\ \dot{U}_1 - \dot{U}_n &= \dot{I}_2 \{ (R_1 + R_n) + j(X_{11} - X_{n1} - X_{12} + X_{n2}) \} + \dot{I}_3 \{ (R_1 + R_n) + j(X_{11} - X_{n1} - X_{13} + X_{n3}) \} \\ &\quad + \cdots + \dot{I}_n \{ (R_1 + R_n) + j(X_{11} - X_{n1} - X_{1n} + X_{nn}) \} \end{aligned} \right\}$$

上式可以用来确定多绕组变压器二次绕组在任意负载下的电压降，当然它也适应于双绕组变压器。对于双绕组变压器，可以写出：

$$\dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \dot{I}_2 \{ (R_1 + R_2) + j(X_{11} - X_{21} - X_{12} + X_{22}) \}$$

其中  $(R_1 + R_2)$  即为双绕组变压器的短路电阻  $R_{K12}$ ， $(X_{11} - X_{21} - X_{12} + X_{22})$  即为双绕组变压器的短路电抗  $X_{K12}$ 。

$$\begin{aligned} \text{同理} \quad R_m + R_n &= R_{Kmn} \\ X_{m1} - X_{mn} - X_{m1} + X_{nn} &= X_{Kmn} \\ Z_{Kmn} &= R_{Kmn} + jX_{Kmn} \end{aligned}$$

式中， $R_{Kmn}$ 、 $X_{Kmn}$ 、 $Z_{Kmn}$  分别为第  $m$  个绕组与第  $n$  个绕组的短路电阻、短路电抗和短路阻抗。

可以得出：

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{U}_2 &= \dot{I}_2 Z_{K12} + \dot{I}_3 Z_{123} + \cdots + \dot{I}_n Z_{12n} \\ \dot{U}_1 - \dot{U}_3 &= \dot{I}_2 Z_{132} + \dot{I}_3 Z_{K13} + \cdots + \dot{I}_n Z_{13n} \\ &\quad \vdots \\ \dot{U}_1 - \dot{U}_n &= \dot{I}_2 Z_{1n2} + \dot{I}_3 Z_{1n3} + \cdots + \dot{I}_n Z_{K1n} \end{aligned} \right\}$$

上式与电压降计算公式相比，不但形式简单，而且便于工程计算。

按照上式可以绘出多绕组变压器每个绕组的电压相量图。图 2.1.17 为四绕组变压器第三个绕组的电压相量图。

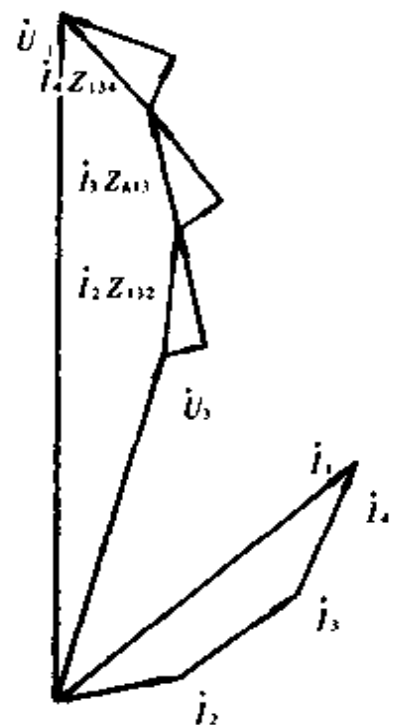


图 2.1.17 四绕组变压器第三个绕组的电压相量图

利用上式还可以绘出多绕组变压器的等值电路图。图 2.1.18 表示三绕组变

变压器的等值电路,图中标出了电压、电流的正方向。应指出多绕组变压器的等值电路并不只有一种形式。

### 9 三绕组变压器

三绕组变压器是最常见的多绕组变压器。按各绕组电流间的关系式可知:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

按电压降计算公式可知,各二次绕组的电压降为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 - \dot{U}_2 &= I_2 Z_{K12} + I_3 Z_{123} \\ \dot{U}_1 - \dot{U}_3 &= I_2 Z_{132} + I_3 Z_{K13} \end{aligned} \right\}$$

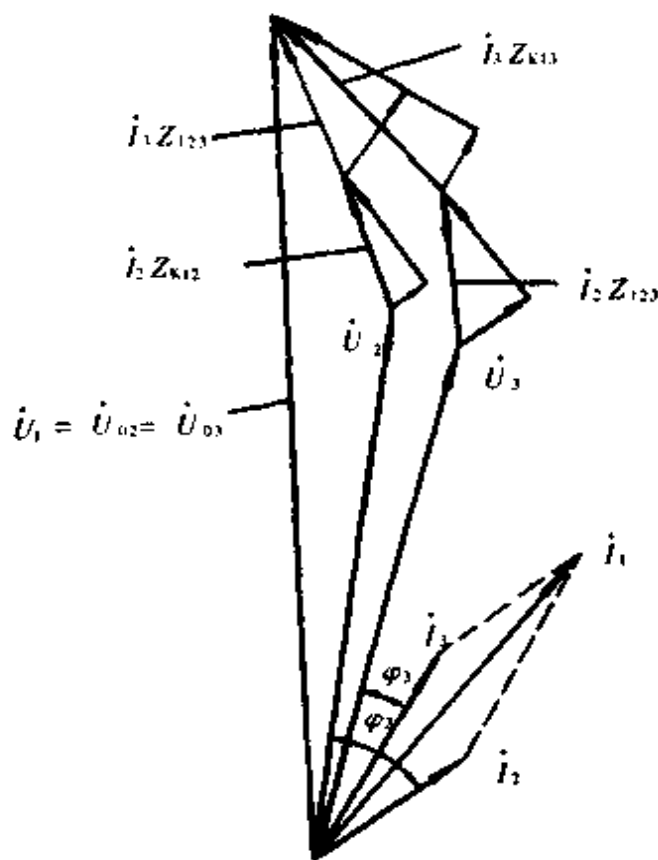


图 2.1.19 三绕组变压器的电压、电流相量图

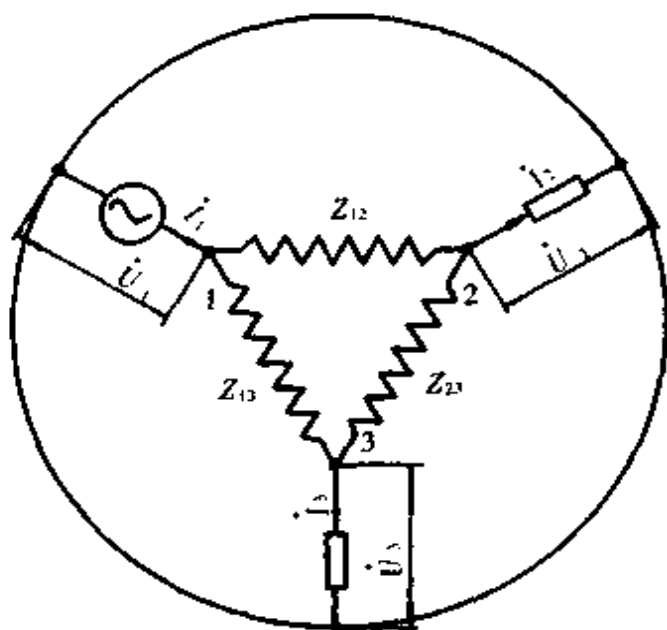


图 2.1.18 三绕组变压器的等值电路

而且影响阻抗

$$Z_{123} = Z_{132} = \frac{Z_{K12} + Z_{K13} - Z_{K23}}{2}$$

三绕组变压器的电压、电流相量图如图 2.1.19 所示。可得出:

$$Z_{12} = \frac{Z_{K12} Z_{K13} - Z_{123}^2}{Z_{K13} - Z_{123}} = Z_{21}$$

$$Z_{13} = \frac{Z_{K12} Z_{K13} - Z_{123}^2}{Z_{K12} - Z_{123}} = Z_{31}$$

$$Z_{23} = \frac{Z_{K12} Z_{K13} - Z_{123}^2}{Z_{123}} = Z_{32}$$

利用此三式即可确定图 2.1.18 所示三绕组变压器的三角形等值电路的参数。

利用星角变换又可将图 2.1.18 转换成三绕组变压器的星形等值电路,如图 2.1.20。

$$Z_{\text{I}} = \frac{Z_{12}Z_{13}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} = \frac{Z_{K12} + Z_{K13} - Z_{K23}}{2} = Z_{123}$$

$$Z_{\text{II}} = \frac{Z_{12}Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} = \frac{Z_{K12} + Z_{K23} - Z_{K13}}{2} = Z_{K12} - Z_{123}$$

$$Z_{\text{III}} = \frac{Z_{13}Z_{23}}{Z_{12} + Z_{13} + Z_{23}} = \frac{Z_{K13} + Z_{K23} - Z_{K12}}{2} = Z_{K13} - Z_{123}$$

三绕组变压器一般应用于需要两种二次侧电压的场合,或者应用在联结三个不同电压的电网中。一台三绕组变压器即可代替两台双绕组变压器。三绕组变压器同一铁心柱上的三个绕组的布置一般是由内向外依次为低压—中压—高压的顺序,或者是中压—低压—高压的顺序,容量是按每个绕组分别计算的。一般三个绕组的容量的匹配关系如表 2.1.11 所列。

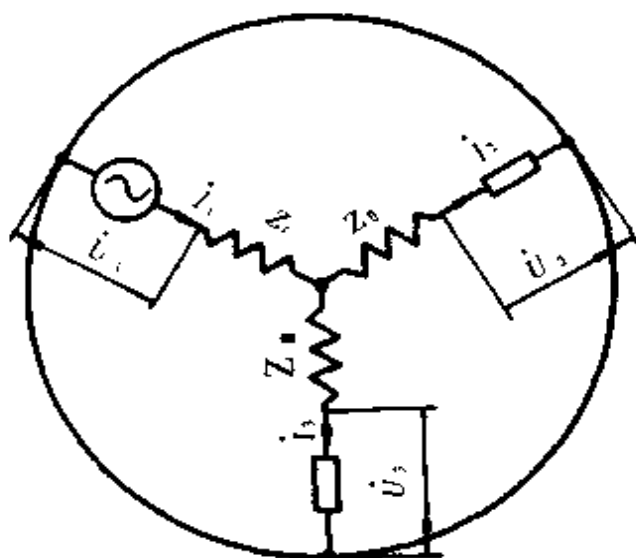


图 2.1.20 三绕组变压器的星形等值电路

表 2.1.11 三绕组变压器三个绕组容量的匹配表

高 压	中 压	低 压
100	100	100
100	100	50
100	50	100
100	66.7	100
100	100	66.7
100	66.7	66.7

三绕组变压器的标准联结组是 Yy0d11 和 Yd11d11。

## 第二章 变压器通用计算方法

### 1 铁心直径及绕组匝数的计算

铁心是变压器的基本部件。变压器的基本结构有两种形式：心式和壳式，分别

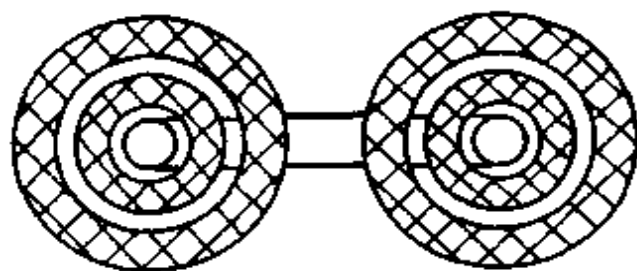
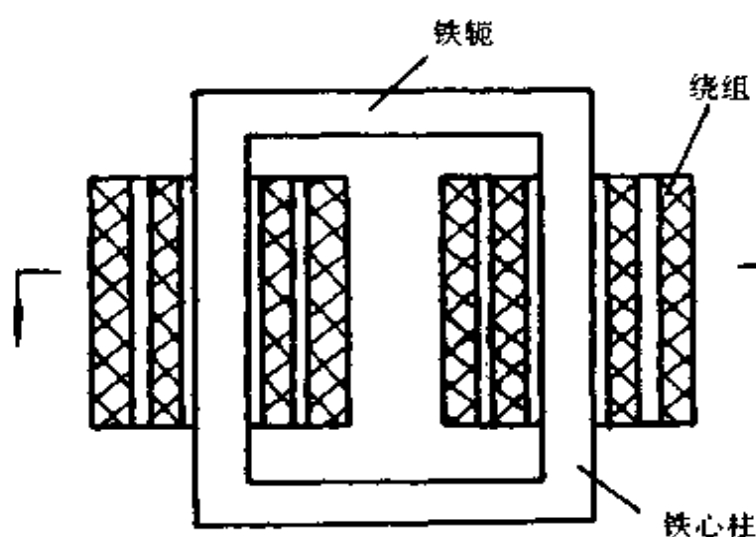


图 2.2.1 单相心式变压器

如图 2.2.1 至 2.2.4 所示。三相三柱心式变压器铁心的基本结构如图 2.2.5 所示，其中的铁心叠片是主要零件，它由硅钢片叠成，是磁的载体，构成磁路。采用的硅钢片的厚度很薄（0.23~0.35mm），其两面有绝缘膜，以降低铁心涡流损耗。硅钢片的剪裁有几种形式，现在常采用全斜结构，并且使每层接缝错开叠放，如图 2.2.6 所示，叠到一定尺寸后通过必要的夹件绝缘、拉板绝缘等，由夹件、拉螺杆等夹紧为一整体。套绕组时需把上轭的紧固件松开并抽去上轭硅钢片，套上绝缘、绕组后再插拉板、夹紧。套绕组的称心柱，其余称上下铁轭，在三相五柱式中两个不套绕组的立柱称旁轭。铁心的主要附件有：夹件、拉板或拉螺杆、

接地片、穿心螺杆或拉带与旁轭拉螺杆、压梁与垫脚、夹件绝缘、拉板绝缘、压梁

垫脚绝缘、螺杆附属绝缘等。由于穿心螺杆损耗较大,现在已不常采用。

硅钢片叠成的心柱的截面一般为圆内接多级阶梯形。为提高填充系数,方截面铁心已不常采用,现在一般只用于铁心电抗器的铁轭。圆内接多级阶梯形铁心的视在面积乘以叠片系数后得到的面积称为净面积或有效面积。叠片系数是考虑铁心夹紧力及硅钢片两面涂有绝缘膜厚度而确定的。铁心直径是指其外接圆的直径,其毫米长度的尾数为0或5。直径一定时,铁心叠片级数(每种宽度的硅钢片构成每一级)、每级厚度、每级片宽都是综合考虑填充系数、工艺简繁而确定的,同时,还标出了不同叠片系数所对应的有效面积。因此采用标准铁心截面时只需算出铁心直径,即可得到铁心叠

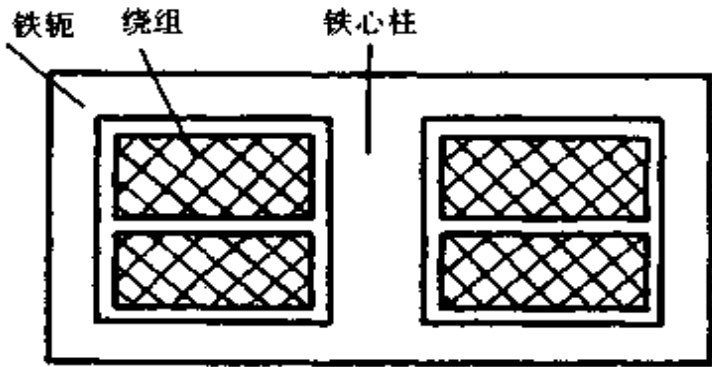
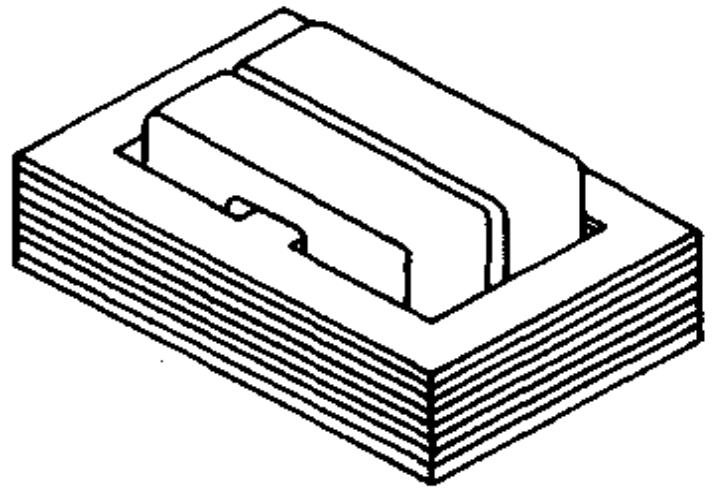


图 2.2.2 单相壳式变压器

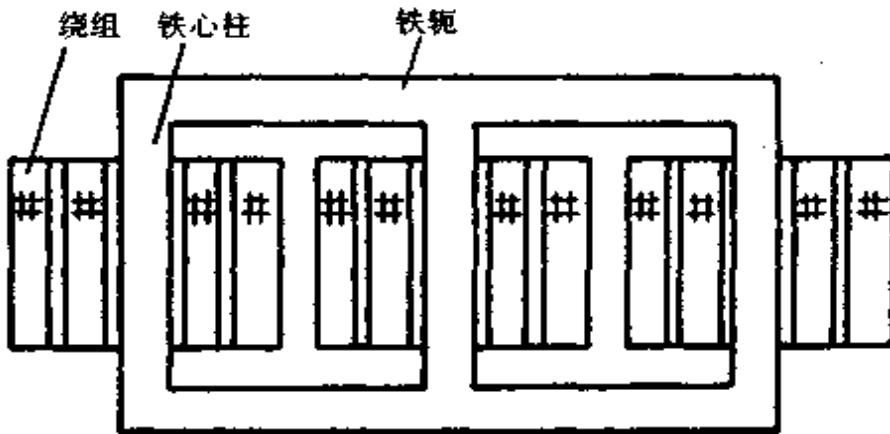


图 2.2.3 三相心式变压器

装截面。

圆内接多级铁心直径,是指其外接圆的直径,它与变压器的容量有关。

铁心直径

$$D = K_d \sqrt{S_c}$$

式中  $K_d$  为半经验系数, 它与硅钢片和选用导线的材质有关, 如表 2.2.1 所示。而每柱容量  $S_c$  是变压器的额定容量折算到双绕组后的计算容量除以心柱个数, 如表 2.2.2 所示。

所谓折算到双绕组的容量是: 对于三绕组变压器为三个绕组容量相加再除以 2; 对于自耦变压器为通过容量乘以效益系数。

通过每柱容量算出的铁心直径是一估算值。为改善性能参数, 合理利用材料, 直径可以变化。另外, 考虑接缝的过渡, 会使铁心损耗和励磁电流增大, 为了弥补这一缺点, 通常将铁轭截面放大 5% ~ 10%。虽然按每柱容量算得的铁心直径是估算值, 然而其准确度可在相差不超过两个档次的范围内。铁心直径分挡如下:

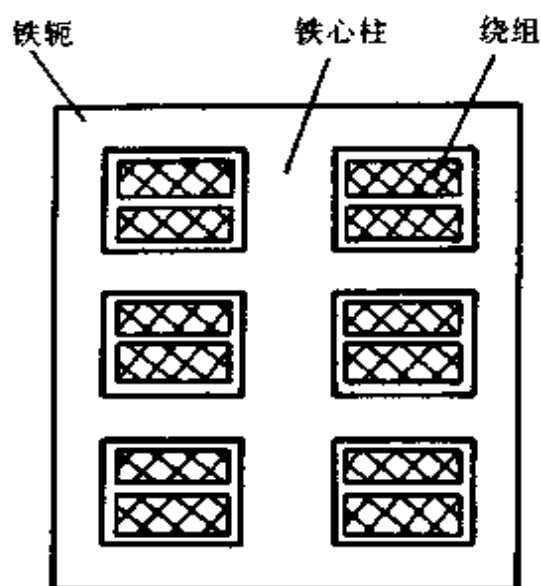


图 2.2.4 三相壳式变压器

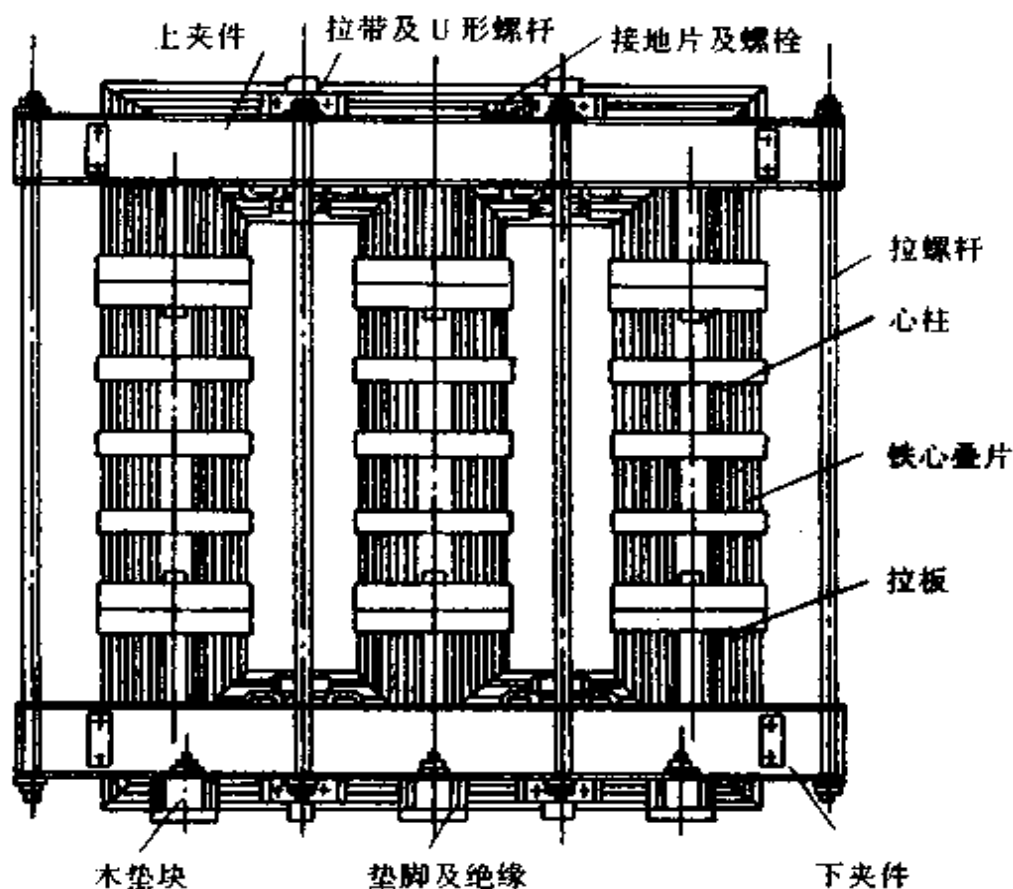


图 2.2.5 三相三柱心式变压器铁心

表 2.2.1 采用冷轧硅钢片的半经验系数  $K_0$ 

绕组的导线材料	铝	铜
单、三相双绕组变压器	50~54	53~57
单、三相三绕组和自耦变压器	48~52	51~55

表 2.2.2 每柱容量  $S_1$  与额定容量  $S_N$  的关系

芯柱数 \ 绕组数	双绕组	三绕组容量比		双绕组自耦	三绕组自耦
		100/100/100	100/100/50		100/100/100
单相 二柱	$S_1 = S_N/2$	$S_1 = 3S_N/4$	$S_1 = 5S_N/8$	$S_1 = K_0 S_N/2$	$S_1 = (2K_0 + 1)S_N/4$
三相 三柱 (包括带旁轭)	$S_1 = S_N/3$	$S_1 = S_N/2$	$S_1 = 5S_N/12$	$S_1 = K_0 S_N/3$	$S_1 = (2K_0 + 1)S_N/6$

注:表中  $K_0$  为自耦变压器的效益系数。

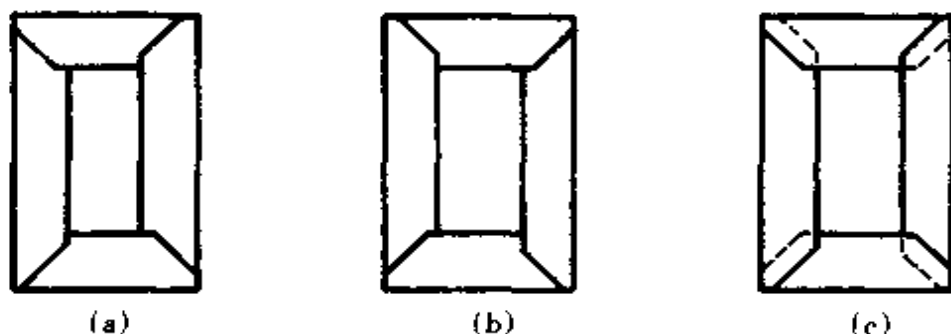


图 2.2.6 全斜接缝单相双柱铁心叠积图

(a)第  $m$  层 (b)第  $m+1$  层 (c)第  $m$  层与第  $m+1$  层重叠

中小型变压器:  $\varnothing 70 \sim 290$ , 每隔 5mm 为一挡, 共 45 挡;  $\varnothing 300 \sim 400$ , 每隔 10mm 为一挡, 共 11 挡。

大型变压器:  $\varnothing 410 \sim 900$ , 每隔 10mm 为一挡, 共 50 挡。

三相双绕组中小型变压器额定容量  $S_N$  与铁心直径  $D$  的关系如表 2.2.3 所示。需指出的是, 此表所列的对应关系并非是绝对的, 它只适用于一般电力变压器, 对于一些有特殊要求的变压器, 可据此关系进行必要的调整。

表 2.2.3 中铁心计算值与实际系列产品的值是一致的。S9 系列铁心直径比 SL7 系列稍大的缘故是 S9 系列采用铜导线, 其  $K_0$  应为 55。变压器的容量同时与铁心(硅钢片)和导线有密切的关系, 即容量与硅钢片和导线两方面的质量和有密切的关系。一般说来, 在容量一定的前提下, 一定范围内多用硅钢片就可以少用导线, 而铝线和铜线半经验系数的差异正在于铝和铜的价格差异。一台变压器采用铜线时, 因为铜价高, 就适当少用点铜而多用点硅钢片, 选择铁心直径时就需适当



大一点,体现在半经验系数上, $K_d$ 一般比铝线稍大。

铁心直径确定以后(在详细电磁计算中还可能需适当调整,但毕竟是小范围的),即可确定绕组匝数  $W$ 。

由感应电压计算式:

$$E = 4.44 f W \Phi_m = 4.44 f B S W$$

可得

$$e_c = E/W \approx U/W = 4.44 f B S$$

式中  $f$  是给定的电源频率,  $S$  是已选定的铁心直径后确定的铁心有效面积,  $B$  是铁心磁密度, 选定了哪种硅钢片后, 根据此种硅钢片的  $B-H$  磁化曲线即可选定额定状态下的工作点, 即确定  $B$  在额定电压下的值。端电压  $U$  即是此绕组的额定电压, 在设计前即为已定值, 因此绕组匝数  $W$  就可计算出来了。一次绕组(励磁绕组)匝数确定后, 二次绕组匝数就可根据变比来确定了。

表 2.2.3 三相双绕组中小型电力变压器额定容量  $S_N$  与铁心直径  $D$  的关系

额定容量 $S_N$ (kV·A)	$\sqrt{S_N}$	铁心直径 $D$ (mm)			
		计算值(按铝线 $K_d = 52$ )	10kVSL7 (铝线)	35kVSL7 (铝线)	10kVS9 (铜线)
30	1.778	93	95	—	100
50	2.02	105	110	115	115
63	2.14	111	115	—	120
80	2.27	118	120	—	130
100	2.4	124	125	120	135
125	2.54	132	130	125	140
160	2.71	141	140	135	150
200	2.86	149	145	145	160
250	3.02	157	155	150	170
315	3.2	167	160	160	180
400	3.4	177	170	170	190
500	3.59	182	180	180	200
630	3.81	198	190	190	215
800	4.04	210	205	210	225
1000	4.27	222	215	215	235
1250	4.51	235	230	225	245
1600	4.81	250	245	245	255
2000	5.08	264	255	255	—
2500	5.37	279	270	270	—
3150	5.69	295	290	280	—
4000	6.04	314	310	300	—
5000	6.38	332	330	320	—
6300	6.76	352	350	340	—

## 2 绕组型式选择及绕组尺寸计算

绕组是变压器的另一个基本部件,是变压器的心脏。绕组分别与同它们连接的电源(线路)和负载构成一、二次电路。设计绕组时,不仅需要满足容量、电压比、阻抗等诸方面的性能要求,而且还要保证绕组具有足够的绝缘强度、耐热强度和机械强度。在制造及装配过程中,绝不能损坏导线绝缘和使绕组变形。

绕组匝数确定后即可选择线规。首先需要确定电流密度。电流密度是关系到绕组电阻损耗、温升的一个重要参数。对于一般电力变压器,电流密度的选择范围是,对铝导线为  $1.6 \sim 2.1 \text{A/mm}^2$ ;对铜导线为  $3.0 \sim 4.0 \text{A/mm}^2$ 。选定了使用哪种材料,再确定了电流密度后,即可根据一、二次绕组电流来确定线规,进而根据绕制工艺等方面的要求设计绕组。例如绕组电流太大,单个绕组难以承受全部电流时,可设计成两柱分布的绕组,在端部并联等。所以,绕组设计既有一定规律可循,又有一定的灵活性。

电流密度  $\delta$  的选择,可视技术要求或具体产品的有关要求,并考虑绝缘耐热强度、运行环境、损耗限值、运行时间(连续还是短时的)等。比如绝缘耐热强度高,则绝缘允许温度高,这时就可取较大的  $\delta$  值;变压器在低环境温度场合运行时就可取较大的  $\delta$ ,这样即使损耗稍大也不会损坏绝缘,而若变压器要在高温环境运行,由于环境温度高,则  $\delta$  必须小。运行时间与  $\delta$  的取值也密切相关,如一台变压器短时运行,那么即使其所取  $\delta$  很大,损耗很大,但由于运行时间短和相邻运行之间的时间间隔长,变压器来不及大幅度升温,因此不会破坏绝缘。

电流密度选定后,根据  $\delta = I/S$  即可确定导线载流截面积。当  $S$  太大时,单个绕组不易制作,则可如前所述将多个线圈并联为一个绕组,或可采用多根导线并绕,这一方面是考虑绕线机的转矩,另一方面(主要的)是考虑降低涡流损耗。涡流损耗是漏磁通在绕组中产生的,导体单位质量的涡流损耗,与导线高度成正比,与导线厚度的平方成正比。这不仅是采用多根并绕方式,也是在选用扁导线时使导线宽面处于轴向的原因。所谓并绕即是多根彼此绝缘的导线作为一根导线绕制,它们除了在首尾处焊在一起外,其它部位必须无电气连接。并绕时导线必须换位,否则因漏感电压不平衡所产生的环流会造成损耗增加,甚至烧毁变压器。

在介绍各种绕组结构形式及其计算之前,先介绍一下绕向问题。对一个绕组自身来讲,区别其究竟是左绕向还是右绕向并无多大意义。只有当具有完整磁通回路的一个铁心上套上不止一个绕组,或者当超过一个绕组放在彼此相近的位置通电而有明显的或必须考虑的互感时,就必须考虑它们的绕向。所谓绕向是这样规定的:绕组卷制过程中,绕线机转动,带动导线在其上转动,而把导线缠起。现在假设绕线机不转,而认为导线在绕线机轴上缠绕。站在绕组起头处向绕组末端处

看进去,导线末端在轴线上时,如果是从左向右缠绕则为右绕向,如果是从右向左绕则为左绕向,如图 2.2.7 所示。

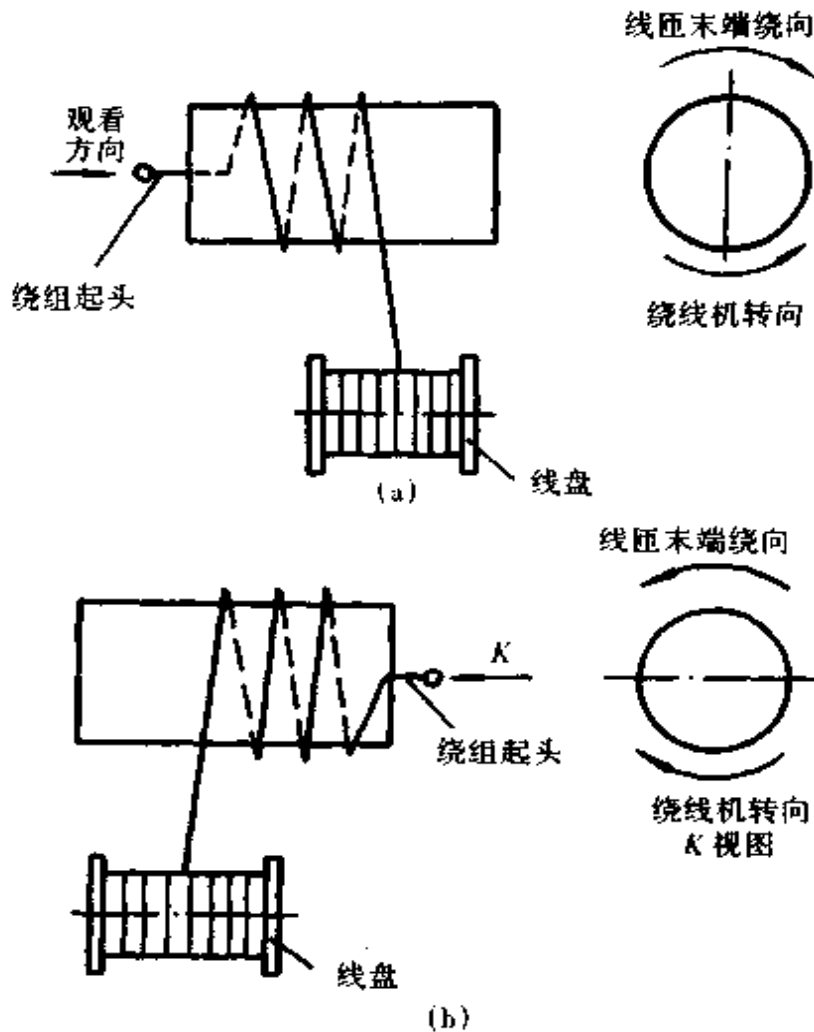


图 2.2.7 绕组绕向示意图

(a)右绕向 (b)左绕向

壳式变压器的绕组的横截面通常有圆环形和方形两种形状,例如“韶山 7”电机牵引变压器中的功率因数补偿电抗器,为节约宽度方向尺寸而把铁心设计成三柱单相,柱的截面为长方形,其中套绕组的铁心中柱为四角缺口长方形,绕组为四角有圆弧的双层长方筒式。心式变压器绕组的横截面通常是圆环形。绕组的结构形式有:圆筒式,包括单层圆筒、双层圆筒、多层圆筒;螺旋式,包括单螺旋、双螺旋;连续式;纠结式;内屏式等几种。带调压变压器的电炉变压器和整流变压器,当调压变压器与主变压器装在同一油箱中时,其低压绕组采用 8 字形绕组。某些特种变压器还采用双饼式或裸铜板卷制的低压绕组。设计绕组时应首先根据绕组的容量、电压及调压方式等要求,恰当地选择绕组的结构形式。

## 2.1 圆筒式绕组

所谓圆筒式绕组,是指这样的绕组:由扁导线或圆导线一匝挨着一匝绕制而成,匝间无空隙。这种绕组绕制工艺简单,但机械强度较差,散热面积小,多用于小容量变压器,也用于电抗器。例如空心电抗器,不论是水泥柱式还是绝缘胶束包绕式,多采用多个直径不等的单层圆筒线圈同轴放置并联而构成单层圆筒式。圆筒式绕组有单层圆筒、双层圆筒、多层圆筒、分段圆筒几种形式。

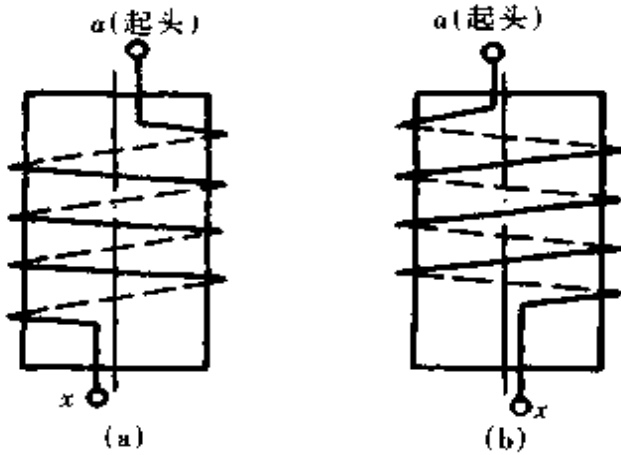


图 2.2.8 单层圆筒式绕组  
(a)左绕向 (b)右绕向

单层圆筒式绕组只有一层线匝,其首末端在绕组两端引出,如图 2.2.8 所示。双层圆筒式绕组有两层线匝,绕完内层后顺势绕外层,因为就下一匝比上一匝的轴向前进方向来看,外层与内层恰恰相反,所以绕向正好相反,这也可推广到多层圆筒式绕组,即多层圆筒式绕组相邻线层的绕向相反,如图 2.2.9 所示,绕组首末端在同一端引出。绕组电压降较低时也可以在绕组的其他部位同匝位置引出,例如在“韶山 7”电机车牵引变压器所配套的 GBKFP-907/0.435 功率因数补偿电抗器中所采用的绕组为双层长方筒(原理与双层圆筒式一致)外层起末端同匝出线,目的是节约尺寸。否则由于尺寸限制,倘若在端部引出,则出头必定豁穿夹件肢板使之强度降低。实施这一关键措施的基础是其首末端电压降仅有 1kV,使起末端线匝虽然同层相邻,但导线所附绝缘和所垫加强绝缘仍能承受全电压,如图 2.2.10 所示。单、双层圆筒式绕组,层间需设置油道或气道,也可垫固体绝缘(即层绝缘,一般以电缆纸多层卷制充当)。单、双层圆筒式绕组所能容纳的匝数较少,多用于 630kV·A 及以下的小容量变压器的低压绕组。

匝,绕完内层后顺势绕外层,因为就下一匝比上一匝的轴向前进方向来看,外层与内层恰恰相反,所以绕向正好相反,这也可推广到多层圆筒式绕组,即多层圆筒式绕组相邻线层的绕向相反,如图 2.2.9 所示,绕组首末端在同一端引出。绕组电压降较低时也可以在绕组的其他部位同匝位置引出,例如在“韶山 7”电机车牵引变压器所配套的 GBKFP-907/0.435 功率因数补偿电抗器中所采用的绕组为双层长方筒(原理与双层圆筒式一致)外层起末端同匝出线,目的是节约尺寸。否则由于尺寸限制,倘若在端部引出,则出头必定豁穿夹件肢板使之强度降低。实施这一关键措施的基础是其首末端电压降仅有 1kV,使起末端线匝虽然同层相邻,但导线所附绝缘和所垫加强绝缘仍能承受全电压,如图 2.2.10 所示。单、双层圆筒式绕组,层间需设置油道或气道,也可垫固体绝缘(即层绝缘,一般以电缆纸多层卷制充当)。单、双层圆筒式绕组所能容纳的匝数较少,多用于 630kV·A 及以下的小容量变压器的低压绕组。

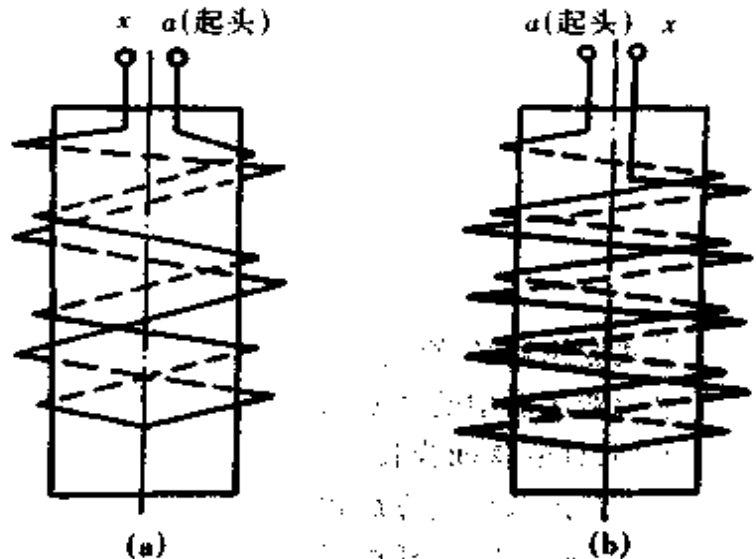


图 2.2.9 双层圆筒式绕组  
(a)内层左绕向 (b)内层右绕向

图 2.2.10 所示。单、双层圆筒式绕组,层间需设置油道或气道,也可垫固体绝缘(即层绝缘,一般以电缆纸多层卷制充当)。单、双层圆筒式绕组所能容纳的匝数较少,多用于 630kV·A 及以下的小容量变压器的低压绕组。

多层圆筒式绕组有多于两层的线匝,首末端可以在同一端引出,也可在不同端引出,由线匝层数的偶或奇来决定是否同端引出。绕组中间还可引出调压用的分接头(最外层可在本层任意位置,而其他层一般只能在该层的端部)。按绝缘、散热要求,在一个或几个层间设置油道或气道,其余层间垫固体绝缘,兼起绝缘和防串摆两个作用。由于多层圆筒式绕组可容纳较多的线匝,所以多用于  $630\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下小容量变压器,用作电压为  $3\sim 35\text{kV}$  的高压绕组。

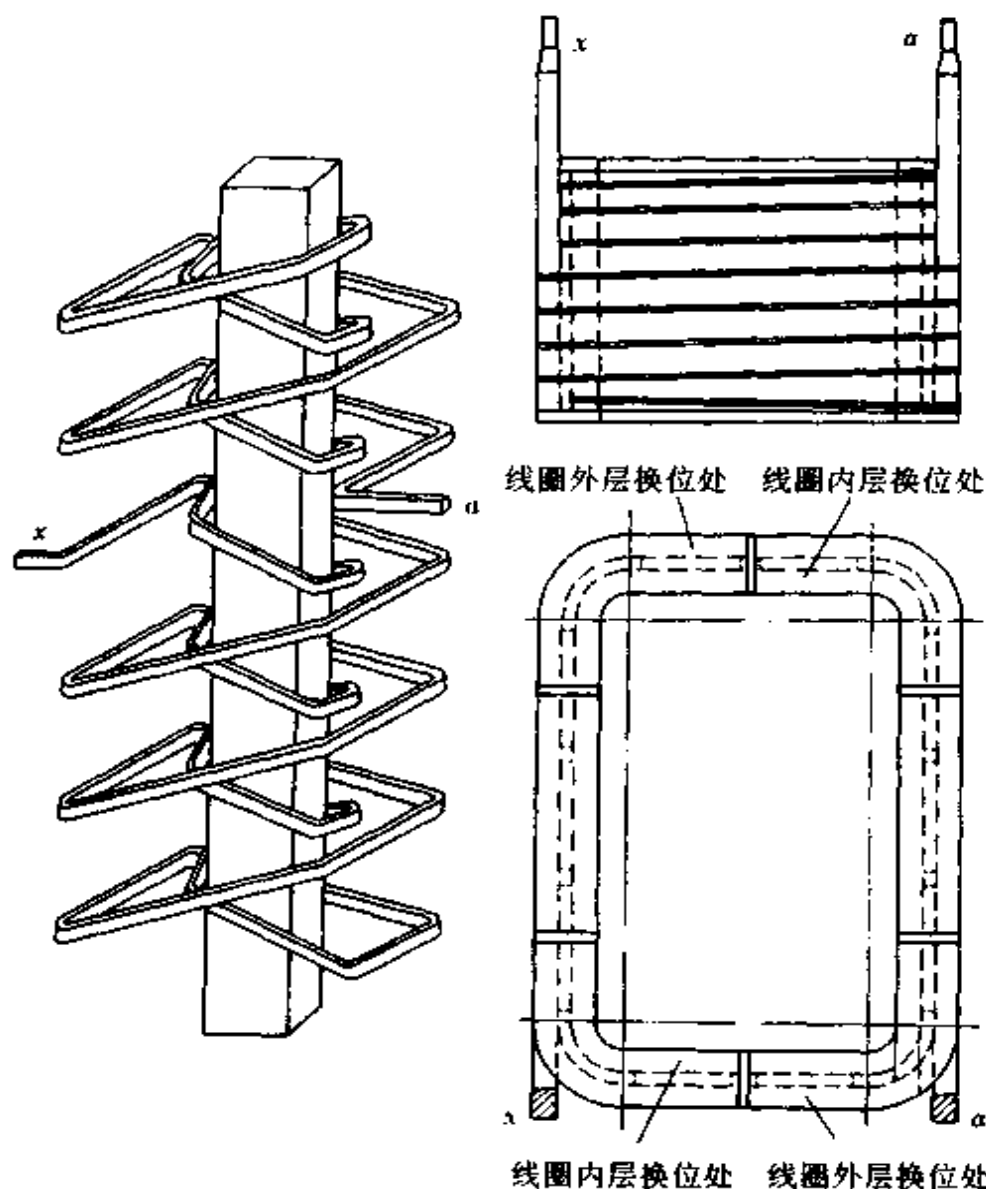


图 2.2.10 GBKFP-907/0.435 功率因数补偿电抗器绕组示意图

圆筒式绕组一般只用于小容量、低电压变压器中,这是因为:单层圆筒式绕组能容纳的线匝少,如用于大容量、高电压产品中,则匝电压太高,又因匝绝缘太厚,不利于散热;匝电压太高,又要求增大铁心截面,而且绕组机械强度也难以满足大电流要求。双层圆筒式除了也有上述难题外,还有内层起端与外层末端相邻,要承

受全电压,因电压太高,不便应用等问题。多层圆筒式绕组除了能使匝电压较小外,也兼有上述难题,因此在采用双层或多层圆筒式绕组时,应注意层绝缘及端部绝缘的绝缘强度问题。采用多层圆筒式绕组做超高压绕组时,其每层端部应设绝缘。

不论哪一种圆筒式绕组,由于对应其轴横截面来看,线匝与之不平行而交叉成一角度,即同一匝线,假定某一点为起点后,线轴转一圈得到的末点在轴向恰好差一匝导线高度,因此,每层的电气高度与机械高度不同,当每一层的机械匝数恰好为整数匝时,两种高度应这样计算:

$$\text{电气高 } h_e = \text{匝数} \times (\text{裸线高} + \text{导线绝缘} \times \text{压缩系数})$$

$$\text{机械高 } h_m = (\text{匝数} + 1) \times (\text{裸线高} + \text{导线绝缘} \times \text{压缩系数})$$

式中的压缩系数是与设计工艺要求,绕组单位面积所承受压紧力和导线所附绝缘材料相关的经验系数。例如法国认为纸包导线绕制圆筒式绕组时,所附绝缘的压缩量为 20%,即压缩系数为 0.8,这种计算方法目前为世界各国普遍接受。

单层圆筒式辐向厚度即为导线加上所附绝缘后的厚度。

双层圆筒式绕组的辐向厚度为:

$$2 \times \text{导线厚度(包括所附绝缘)} + \text{油道厚度}$$

多层圆筒式绕组的辐向厚度为:

$$\text{层数} \times \text{导线厚度(包括所附绝缘)} + \text{层间绝缘总厚} + \text{层间油道总厚}$$

这里需要说明的有两点:第一,层间油道一般由绝缘纸板(通常厚度为 0.5mm)外粘若干个撑条(由绝缘纸板切制)而成,所以当油道与层绝缘相邻时,此纸板可兼起层绝缘作用,其厚度可纳入层绝缘之中,这在层绝缘强度计算中有意义;第二,高压产品采用多层圆筒式绕组时,因层间电压要求,除最里面第一层外,其以后偶数层常常设计成喇叭筒状,即从其首端至末端线匝直径渐次连续增大,与相邻的奇数层依次构成直斜交替的形式,且有时要设计成**圆锥形**,由里层至外层匝数渐次减少,各层高度中心横截面对正为同一平面。对这种情况,各层应各自计算电气高和机械高,绕组厚度必须按绕组高度中心处横截面上的层绝缘厚度来计算。

分段圆筒式绕组是由几个多层圆筒式轴向排列串联组成的,每个多层圆筒式绕组称为一段,段间用绝缘或油道隔开。与多层圆筒式绕组相比,匝数、层数均相同时,由于分段圆筒式使全电压分为几部分降在各个段上,层绝缘厚度可减小,因而可多设置层数,即分段圆筒式可容纳更多的线匝,所以可用于 2000kV·A 及以下的小容量变压器,作为 60kV 及以下的高压绕组。

在小容量变压器中还可采用金属箔(铜箔或铝箔)绕制的圆筒式绕组,在形式上它只是把单层圆筒式绕组不同匝的轴向位移改为径向位移,本质并无区别。当金属箔太宽及电压较高时,有时还采用分段箔式以限制匝绝缘厚度和降低涡流损耗,这种绕组可称为分段单层圆筒式。

## 2.2 螺旋式绕组

螺旋式绕组是由多根扁导线并联绕制而成的,相邻线匝由垫块分开,每段为一匝。这种绕组机械强度高于圆筒式,散热面积较大,但它所能容纳的线匝较少,所以多用作各个容量变压器的低压绕组,有单螺旋、双螺旋、四螺旋之分。

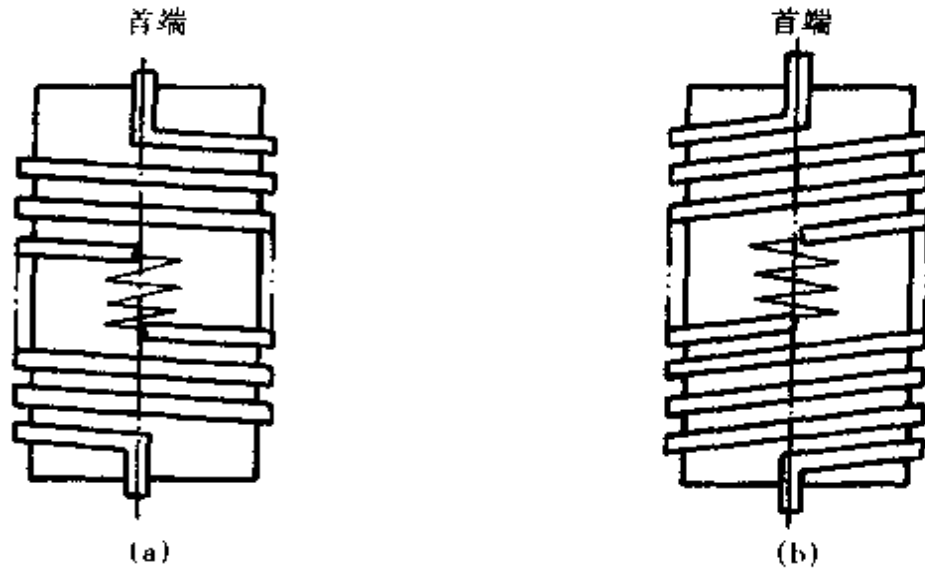


图 2.2.11 单螺旋绕组  
(a)左绕向 (b)右绕向

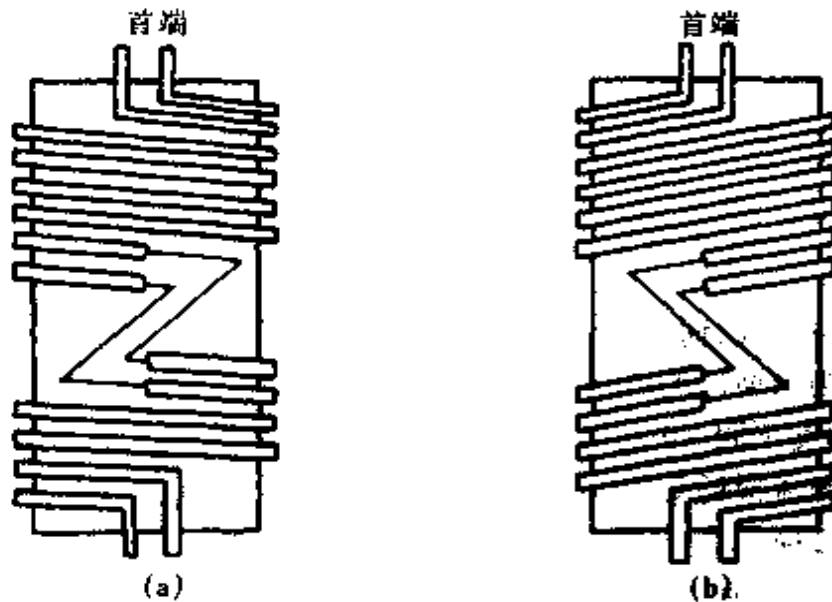


图 2.2.12 双螺旋绕组  
(a)左绕向 (b)右绕向

单螺旋式绕组只有一股螺旋,犹如单头螺纹,相邻线匝之间设置垫块。双螺旋式和四螺旋式绕组分别由二股和四股螺旋在端部并联组成,形式犹如双头螺纹和

四头螺纹,相邻的股间和匝间均设置垫块。图 2.2.11 和图 2.2.12 分别为单螺旋式和双螺旋式绕组示意图。螺旋式绕组每股螺旋的并联导线根数可达 20 多根,再加上多股并联,则可承受更大的电流。为了使各并联绕组的长度相等,并使各并联导线在漏磁场中所处的位置能使漏感电压相等,以消除或减小并联导线间的环流损耗,并联导线需要在绕组某些特定的位置进行换位。

单螺旋式绕组通常是在把绕组总匝数四等份的三个位置进行三次换位,有 212、121、424 和 242 四种换位方式。这些数字为换位时所有并联导线的等份数。

212 换位:换位原理如图 2.2.13a 所示。第一次和第三次换位时把所有并联导线依次二等份(总根数为奇数时可相差一根),在绕组辐向交换位置,但同一等份组的导线之间的相互位置不变。第二次把所有导线当作一组,并把它所有并联导线在绕组辐向上的位置对称地互相颠倒过来。

424 换位:第一次和第三次换位时把所有并联导线依次等份为四组(最多只差一根),并把这四组在绕组辐向上的位置颠倒过来,同一组导线的相互位置不变。第二次换位时把所有并联导线依次等份为两组(最多相差一根),此两组的相互位置不变,而把每一组内所有并联导线在绕组辐向上的位置相互颠倒过来。换位原理如图 2.2.13b 所示。

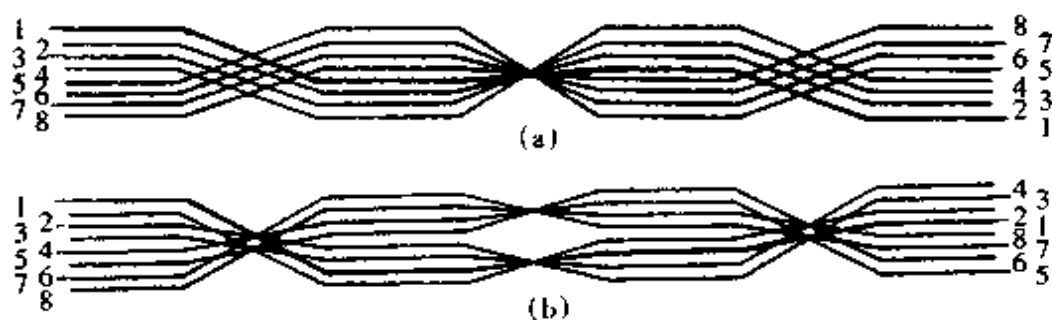


图 2.2.13 单螺旋绕组的 212 和 424 换位

(a)212 换位 (b)424 换位

这两种换位方式,均能使各并联导线的长度相等,且在漏磁场磁密等值界面出现的几率增大为不换位的 3 倍,即可使漏感电势基本平衡,所以都能减小环流损耗,但减弱的程度不同。424 换位减小环流损耗的程度更大,424 换位的环流损耗比 212 换位的环流损耗低  $1/16$ 。

如果把 212 换位方式中的第一、第三次换位方法与第二次交换,即可得图 2.2.14a 所示的 121 换位,与其 212 换位效果等同。如果把 424 换位方式中的第一、第三次换位方法与第二次交换,则可得图 2.2.14b 所示的 242 换位,与其 424 换位的效果等同。

单螺旋式绕组采用上述几种换位方法后,轴向高度必然会增加三匝导线高和三个垫块高,致使填充系数降低。因为机械匝为整数时,对应总匝数的机械高比电



气高要多出一匝导线高和一个垫块高,换位多出三匝导线高和三个垫块高度,所以机械高度为

$$\text{轴向机械高度 } h_m = (W + 4)[\text{裸线高} + (\text{导线所附绝缘厚度} + 0.05) \times 0.9] + 0.92 \times \text{垫块总高度}$$

式中系数 0.05 为一般电缆纸做导线所附绝缘的膨胀量,系数 0.9 为所附绝缘压缩系数。当垫块用绝缘纸板材料制成时,轴向压缩量约为 8% (与压紧程度有关),所以系数 0.92 为垫块的轴向压紧系数,在机械高度中减去一匝导线高和一个垫块高,即得电气高度。

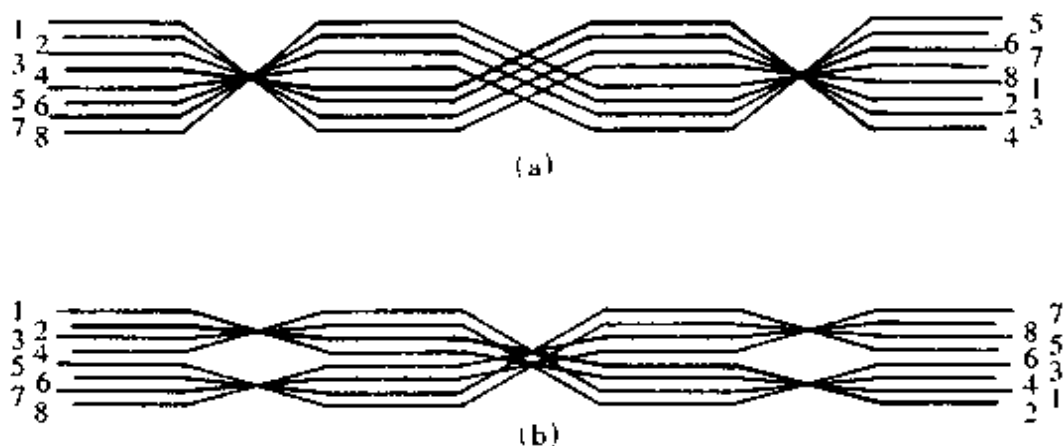


图 2.2.14 单螺旋绕组的 121 和 242 换位

(a)121 换位 (b)242 换位

双螺旋绕组通常在把绕组总匝数分为两股并联导线根数总和那么多等份的位置进行交叉换位。所谓交叉换位是把一股螺旋最上面的一根导线换到另一股螺旋的最上面,同时把后者最下面的导线换到前者的最下面,从绕组外表沿辐向观看,两根换位的导线在换位处形成空间交叉,所以称为交叉换位。图 2.2.15 表示双螺旋式绕组在进行交叉换位过程中,其中的某一根导线在绕组辐向方向所处的位置。经交叉换位后,并联导线长度相等,并且每根导线在绕组辐向方向的位置均出现两次,即各并联导线在绕组辐向方向所处的几率都一样,因此双螺旋绕组采用交叉换位可以完全消除各导线间的环流损耗。

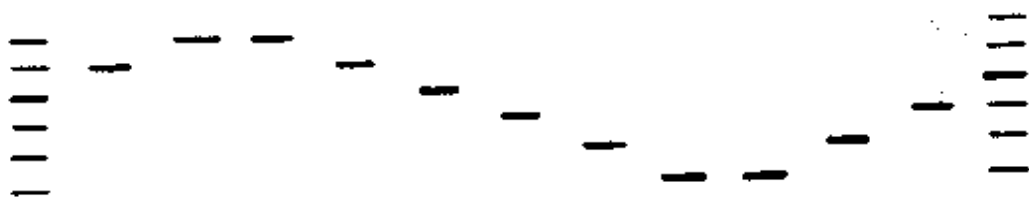


图 2.2.15 双螺旋绕组进行交叉换位时某根导线在绕组辐向的位置

当电气匝数为  $W$ ,机械匝恰好为整数匝,采用纸包扁铜线时,高度计算方法如下:

机械高度  $h_m = (2W + 2)[\text{裸线高度} + (\text{导线所附绝缘厚度} + 0.05) \times 0.9]$   
 $+ \text{垫块总高度} \times 0.92$

电气高度  $h_e = h_m - \text{两根导线高度(包括所附绝缘)} - \text{两个垫块高度}$

四螺旋绕组一般按两个双螺旋绕组各自交叉换位,因此也可以完全消除环流损耗。当其电气匝数为  $W$ ,机械匝恰好为整数匝,采用纸包扁铜线时,高度计算式为:

机械高度  $h_m = (4W + 4)[\text{裸线高度} + (\text{导线所附绝缘厚度} + 0.05) \times 0.9]$   
 $+ \text{垫块总高度} \times 0.92$

电气高度  $h_e = h_m - 4 \text{根导线高度(包括所附绝缘)} - 4 \text{个垫块高度}$

螺旋式绕组辐向宽度计算比较简单,它就是每股并联导线的总厚度。设单股并联导线的并联根数为  $n$ ,单根并联导线及带所附绝缘的总厚度为  $B_1$ ,则绕组辐宽  $B$  为

$$B = nB_1$$

需注意的是,双螺旋及换位原理与之相似的四螺旋绕组的辐宽,在交叉换位处比其他部位高出一根并联导线的厚度  $B_1$ 。

## 2.3 连续式绕组

连续式绕组(如图 2.2.16 所示)是由单根或多根扁导线并联绕制的若干个线段串联而成的(这里所说的串联是原理意义上的,而不是工艺意义上的,即这种串联不是各段先是不相连的分体,而后串联连接,而是在绕制过程中即实现了各段的连续顺承)。每个线段沿辐向绕制若干匝,可以为整数匝,也可以为分数匝,各段之间有垫块,每段的线匝都在垂直于轴线的同一平面内,多根并联绕制时,最多根数一般不超过 6。图 2.2.17 是连续式绕组段间连接示意图。由图可见,相邻两个线段用自身导线顺承串联在一起,顺承的部位依次在内侧(与纸筒相邻侧)和外侧,内侧顺承叫底位,外侧顺承叫上位。多根并绕时,并联导线在段间顺承处需进行换位,以使并联导线长度相等,在绕组辐向所处的几率尽可能相同,从而降低或消除环流损耗。

在底位顺承在一起的两段,先绕的那一段叫反段,后绕的叫正段。因为先绕的段,绕上后其首端在内,使下一段与上一段无法在底位顺承,这就需要在绕完先绕段后,把此段倒过来,把最外匝作为最内匝,最外面第二匝作为最里面第二匝……依次倒过来。之所以先绕上此段,只是为了“量”此段所需导线的总长度而已。绕组的出头一般需要设计在外面,因此从绕组首端开始,段序数为奇数的段为反段,并且连续式绕组总段数一般设计成偶数,以使末端出头也在外面。

连续式绕组具有较高的机械强度,所能容纳的线匝较多,散热面介于圆筒式绕

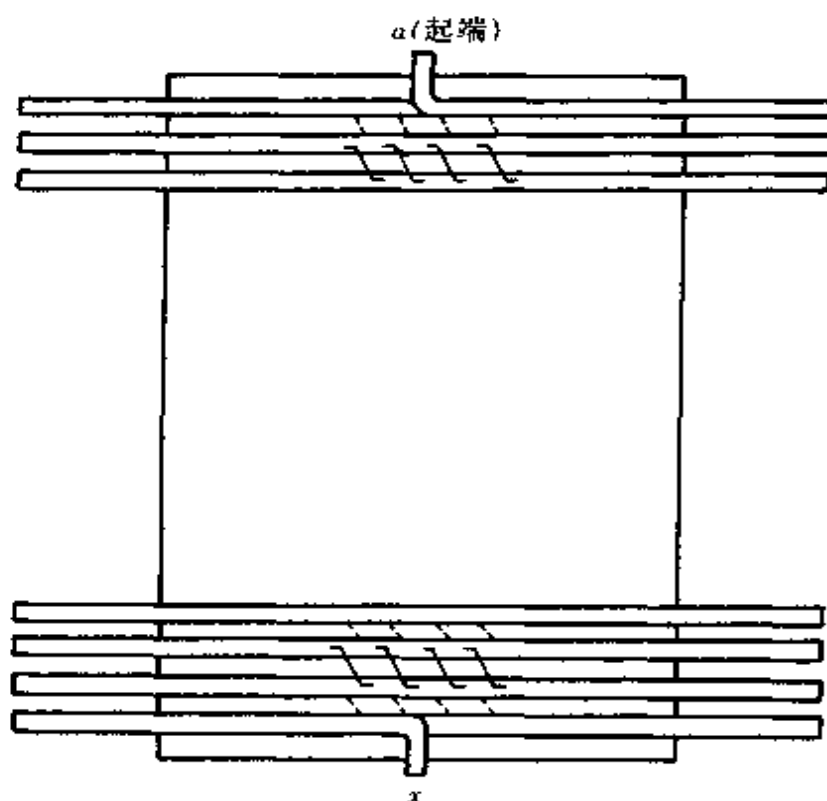


图 2.2.16 连续式绕组(4根并联,左绕向)

组和螺旋式绕组之间,多用作各种容量的变压器的 63kV 及以下的绕组。采取配以屏线或电屏等能改善端部电场的措施后,也可用作 63kV、110kV 直至 500kV 电压等级的绕组。

设段数为  $n$ ,采用纸包扁铜线,则高度计算为

$$\text{电气高度 } h_e = \text{机械高度 } h_m = n \times [\text{裸线高} + (\text{所附绝缘厚度} + 0.05) \times 0.9] \\ + \text{垫块总高度} \times 0.92$$

若垫块为同一规格,每块高度为  $h$ ,则上式可化为

$$h_e = h_m = n \times [\text{裸线高度} + (\text{所附绝缘厚度} + 0.05) \times 0.9] + (n - 1)h \times 0.92$$

设并绕根数为  $m$ ,每段内有  $W_1$  匝( $W_1$  为整数),则绕组辐宽

$$B = \text{每根导线厚度(包括所附绝缘)} \times mW_1$$

加屏线时,应在轴向上使加屏线的段的两面为平面而无凸出和凹陷,在辐向上,使绕组外圆柱面无凸出和凹陷。

需注意的是,多根并绕需换位,换位一般分在几个撑条的空格内进行,在一个空格内只能进行一根导线的换位。在换位处绕组辐向高出一根并联导线的厚度。

## 2.4 纠结式绕组

纠结式绕组是在连续式绕组基础上发展起来的,具有较高的纵向电容,从而改

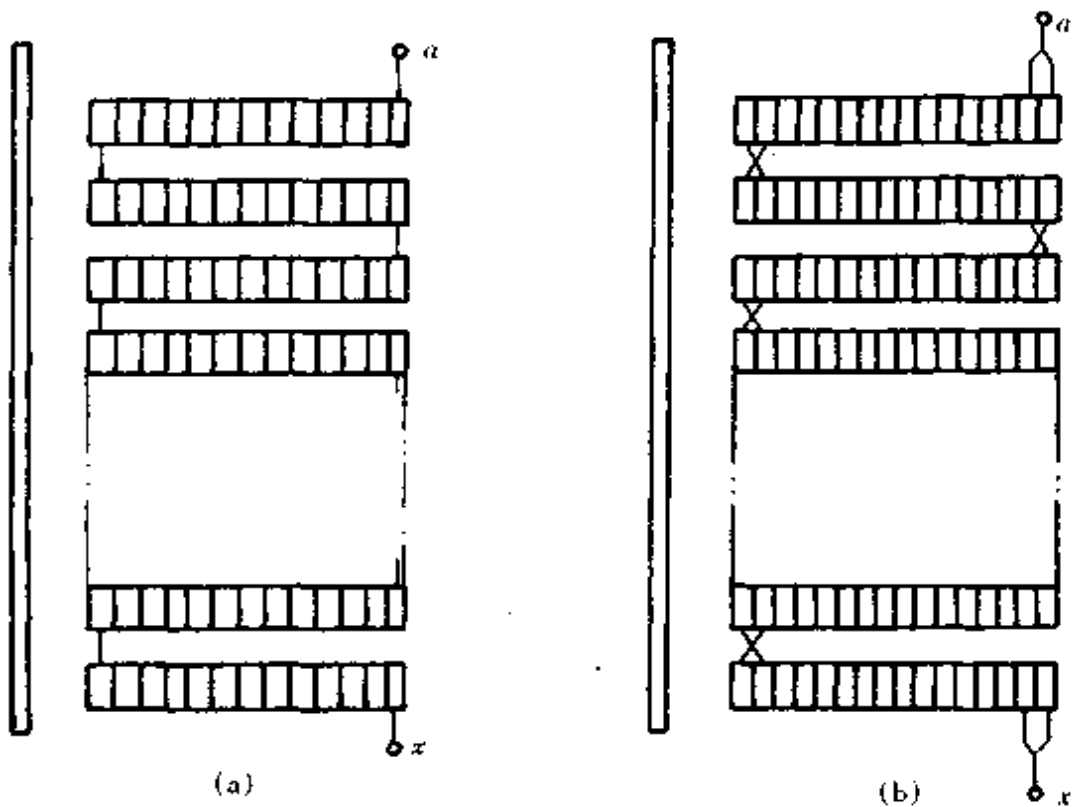


图 2.2.17 连续式绕组段间连接示意图

(a)单根导线 (b)两根并绕

善了电场,广泛地用作 60kV 及以上电压等级的高压绕组。内屏式绕组也是在连续式基础上发展起来的具有较高纵向电容的绕组。高压、大电流绕组因工艺限制无法采用纠结式时可采用内屏式。对于连续式绕组的一个反段和一个正段,在反段首端和正段末端各引出一头即构成双饼。若干个双饼并联(也可以是总双饼数均分为几组,同一组的各个双饼串联,各组的出头并联)即成为双饼式绕组,通常用作电炉、整流等特种变压器的大电流低压绕组,而且都是多根导线并绕,最多并绕根数可达 8 根(双饼的两个段在绕线机两侧按正段的绕制方法绕制,不需倒段,因而并绕根数可多于连续式绕组)。8 字形绕组用作装在同一油箱中的调压变压器与电炉变压器或整流变压器的低压绕组。

## 第三章 35 千伏及以下节能变压器

80 年代以来,我国相继试制成功并逐步推广采用了很多系列具有先进水平的中小型节能变压器。现对这些变压器的基本结构和性能参数作一概述。

### 1 SL7、S7 系列变压器

SL7 系列变压器为铝绕组变压器;S7 系列变压器则为铜绕组变压器。其设计结构一样,性能参数也基本相同。另外还有相应的 SZL7 和 SZ7 的有载调压系列。

SL7 系列变压器是全国统一设计产品;S7 系列变压器则是各厂参照 SL7 图纸自行设计(或省内联合设计)的产品,因此各厂产品部件的具体尺寸不尽相同。

SL7、S7 系列中小型节能变压器的铁心采用 DQ166-35 或 DQ151-35 冷轧晶粒取向硅钢片,全斜接无冲孔结构,心柱为粘带绑扎,容量在  $630\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下的为不断轭结构, $630\text{kV}\cdot\text{A}$  以上的为断轭结构。绕组分别采用连续式和圆筒式。 $10\text{kV}$ 、 $800\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下, $35\text{kV}$ 、 $630\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下采用圆筒式。圆筒式绕组层间及高、低压绕组间采用瓦楞纸板。

按统一设计图纸,散热装置采用无剩气片式散热器,但也可根据具体情况,选用扁管散热器。

SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据分别见表 2.3.1 和表 2.3.2;S7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据分别见表 2.3.3 和表 2.3.4。各厂产品的实际性能数据可能略有不同,表中所列技术数据仅供参考。

近年来,很多变压器制造厂均对 SL7、S7 系列产品进行了调整优化设计。在保证损耗性能基本不变的前提下,使该系列的四种主要原材料消耗分别降低 2%~15%,从而降低了成本。1993 年归口研究所推出的新型 S7 系列产品,总重下降 12.8%,其中器身重下降 17.3%。

表 2.3.1 6~10kV 级 SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压(kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损耗(W)		质 量(kg)		外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载	器身	油 总		
30				4.0	2.8	150	800	185	87	950×770×1135	400
50				4.0	2.6	190	1150	275	125	1080×830×1255	400
63				4.0	2.5	220	1400	300	135	1080×720×1230	550
80	6.0			4.0	2.4	270	1650	335	150	1120×810×1330	550
100	6.3			4.0	2.3	320	2000	390	170	1150×830×1380	550
125	10	0.4	Yyn0	4.0	2.2	370	2450	420	205	1300×840×1540	550
160	10.5		Yyn0	4.0	2.1	460	2850	520	245	1340×860×1660	550
200	11			4.0	2.1	540	3400	595	270	1380×870×1700	550
250				4.0	2.0	640	4000	690	305	1420×880×1770	660
315				4.0	2.0	760	4800	830	360	1470×900×1870	660
400				4.0	1.9	920	5900	985	450	1530×1230×2000	660
500				4.0	1.9	1080	6900	1140	495	1610×1240×2040	660
630				4.5	1.8	1300	8100	1580	713	1670×1520×2300	820
800				4.5	1.5	1540	9900	1830	815	2005×1730×2640	820
1000				4.5	1.2	1800	11600	2250	1048	2150×1610×2900	820
1250				4.5	1.2	2200	13800	2620	1147	2180×1830×2945	820
1600				4.5	1.1	2650	16500	3120	1332	2235×2050×3150	820
2000				5.5	1.0	3100	19800	3190	1220	2660×1630×2790	1070
2500	10	3.15		5.5	1.0	3650	23000	3710	1450	2670×2140×2860	1070
3150	10.5			5.5	0.9	4400	27000	4200	1610	2730×2150×3130	1070
4000	11		Yd11	5.5	0.8	5300	32000	4840	1885	2830×2310×3190	1070
5000		6.3		5.5	0.8	6400	36700	5930	2120	2750×2510×3330	1070
6300				5.5	0.7	7500	41000	7220	2410	2885×2540×3510	1070

表 2.3.2 35kV 级 SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压(kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损耗(W)		质 量(kg)		外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)	
	高压	低压				空载	负载	器身	油 总			
50				6.5	2.8	265	1350	385	331	830	1145×935×1790	660
100				6.5	2.6	370	2250	540	390	1090	1185×995×1905	660
125				6.5	2.5	420	2650	590	505	1300	1200×980×2165	660
160				6.5	2.4	470	3150	680	570	1465	1310×980×2205	660
200				6.5	2.2	550	3700	810	635	1695	1770×1200×2240	660
250				6.5	2.0	640	4400	910	690	1890	1815×1020×2310	660
315	35		Y, y0	6.5	2.0	760	5300	1055	760	2185	1960×1020×2460	660
400		0.4		6.5	1.9	920	6400	1270	835	2510	2080×1100×2620	820
500	38.5			6.5	1.9	1080	7100	1445	925	2810	2100×1340×2680	820
630				6.5	1.8	1300	9200	1680	1030	3225	2080×1360×2770	820
800				6.5	1.5	1540	11000	2165	1280	4200	2320×1410×2975	820
1000				6.5	1.4	1800	13500	2300	1435	4594	2375×1900×3095	820
1250				6.5	1.2	2200	16300	2720	1590	5470	2410×1710×3170	1070
1600				6.5	1.1	2650	19500	3150	1715	6060	2450×1910×3240	1070
2000				6.5	1.1	3400	19800	3300	1630	6240	2775×1350×2995	1070
2500	35	6.3		6.5	1.1	4000	23000	3800	1770	6980	2620×1890×3170	1070
3150			Y, d11	7	1.0	4150	27000	4450	2150	8680	2730×2860×3260	1070
4000	38.5	10.5		7	1.0	5650	32000	5020	2320	9590	2920×2200×3590	1070
5000				7	0.9	6750	36700	5900	2590	11000	2880×2430×3690	1070
6300				7.5	0.9	8200	41000	7230	2910	13340	3110×2940×3760	1475

表 2.3.3 6~10kV 级 S7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压(kV)		联接组 标号	阻抗电 压(%)	空载电 流(%)	损耗(W)		质 量(kg)		外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载	器身	油 总		
10				4	2.8	70	340	80	60	950×400×975	400
20				4	2.8	110	580	120	65	960×600×1075	400
30				4	2.8	150	800	145	80	1065×730×1100	400
50				4	2.6	190	1150	219	96	980×740×1175	400
63	6			4	2.5	220	1400	245	110	1095×755×1195	550
80	6.3			4	2.4	270	1650	290	120	1070×760×1225	550
100	10			4	2.3	320	2000	315	130	1115×600×1230	550
125	10.5	0.4		4	2.2	370	2450	396	154	1380×500×1430	550
160	11		Yyn0	4	2.1	460	2850	475	182	1435×500×1530	550
200				4	2.1	540	3400	568	209	1555×400×1530	550
250				4	2.0	640	4000	625	216	1660×500×1570	660
315				4	2.0	760	4800	745	261	1620×1000×1630	660
400				4	1.9	920	5800	885	305	1610×980×1710	660
500				4	1.9	1080	6900	1005	365	1705×900×1750	660
630				4.5	1.8	1300	8100	1407	527	1830×1000×1994	820
800				4.5	1.5	1540	9900	1635	590	2325×1160×2245	820
1000				4.5	1.2	1800	11600	2057	796	1910×1170×2560	820
1250				4.5	1.2	2200	13800	2280	879	2300×1190×2595	820
1600				4.5	1.1	2650	16500	2725	960	2350×1200×2685	820
630				4.5	1.8	1300	8100	1450	553	1860×1160×2010	820
800				5.5	1.5	1540	9900	1550	663	2325×1160×2245	820
1000				5.5	1.2	1800	11600	1840	705	1910×1170×2560	820
1250				5.5	1.2	2200	13800	2280	880	2300×1190×2600	820
1600	6			5.5	1.1	2650	16500	2465	901	2350×1200×2685	820
2000	6.3	3.15	Yd11	5.5	1.0	3100	19800	2830	1282	2620×1400×2105	1070
2500	10	6.3		5.5	1.0	3650	23000	3445	1314	2720×1480×2650	1070
3150	10.5			5.5	0.9	4400	27000	3990	1685	2530×2760×2715	1070
4000	11			5.5	0.8	5300	32000				1070
5000				5.5	0.8	6400	36700				1070
6300				5.5	0.7	7500	41000				1070



表 2.3.4 35kV 级 S7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压 (kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损耗 (W)		质 量 (kg)			外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载	器身	油	总		
50				6.5	2.8	265	1350	260	310	780	1135×935×1730	660
100				6.5	2.6	370	2250	385	340	956	1140×1075×1860	660
125				6.5	2.5	420	2650	465	378	1135	1175×1080×1930	660
160				6.5	2.4	470	3150	550	580	1450	1230×1180×2170	660
200				6.5	2.2	550	3700	670	464	1495	1265×1125×2020	660
250	35	0.4		6.5	2.0	640	4400	820	517	1735	1350×1145×2070	660
315				6.5	2.0	760	5300	845	530	1815	1640×1150×2150	660
400	38.5		Yyn0	6.5	1.9	920	6400	1025	602	2140	1795×1100×2110	820
500				6.5	1.9	1080	7700	1415	830	2890	2300×1257×2400	820
630				6.5	1.8	1300	9200	1540	900	3145	2210×1050×2415	820
800				6.5	1.5	1540	11000	2040	1005	3910	2500×1100×2695	820
1000				6.5	1.4	1800	13500	2070	1104	4305	2500×1230×2270	820
1250				6.5	1.2	2200	16500	2328	1171	4800	2540×1280×2785	1070
1600				6.5	1.1	2650	19500	2735	1265	5450	2505×1320×2915	1070
2000				6.5	1.1	3400	19800	3147	1479	6185	2560×1330×2970	1070
2500				6.5	1.1	4000	23000	3590	1525	6680	2640×1320×2960	1070
3150	6.3	3.15	Yd11	7	1.0	4750	27000	4230	1939	8430	2800×2880×2940	1070
4000	10.5			7	1.0	5650	32000	5190	2252	10060	3690×2870×3280	1070
5000				7	0.9	6750	36700	5970	2480	11190	2800×2600×3370	1070
6300				7.5	0.9	8200	41000	7870	2845	13540	2930×2740×3625	1475

## 2 S9 系列变压器

S9 系列变压器是在 SL7、S7 系列基础上发展起来的更低损耗系列变压器,也是全国统一设计的产品。该系列变压器与 SL7、(S7)系列变压器相比,总损耗平均降低 20%,达到意大利同类产品 80 年代初的水平。

S9 系列变压器铁心材料采用优质 DQ147-30 冷轧取向硅钢片。30~500kV·A 变压器高、低压绕组均为圆筒式,630~1600kV·A 变压器高压绕组采用连续或半连续式,低压绕组为双半螺旋、双螺旋或四半螺旋式。

分接开关采用新型卧式条形开关,大大降低了油箱的高度,节省了变压器油的用量。另外,该系列产品在铁心的夹紧、绕组的固定和器身的固定方面也作了一定改进,提高了产品的可靠性。

S9 系列低损耗变压器的主要技术数据见表 2.3.5。

1995 年,在 S9 系列变压器基础上,又开发出新 S9 系列变压器。虽然该系列变压器在主要性能参数上与 S9 系列产品基本相同,但产品结构作了重大调整和改进,使其经济性更好。其有效材料成本平均下降 19%,十年变电成本下降 8.9%。与 S7、SL7 系列产品相比,十年变电成本则下降了 13.4%。因此,国家有关部门决定,从 1999 年起全部淘汰 S7、SL7 产品,全面推广新 S9 系列变压器。

## 3 DN8-M、SN7、SN8 系列农用变压器

DN8-M、SN7、SN8 系列农用变压器是全国统一设计产品,可满足农村用户对变压器的小容量、多品种、空载损耗小、成本低、防盗等多方面需求,是目前农用变压器的更新换代产品。

单相变压器采用心式叠片铁心结构,三相变压器采用新截面图叠装,接缝采用多级接缝形式,进一步降低了空载损耗。

绕组采用半油道圆筒式绕组,可缩小绝缘距离和铁心中心距,并采用了真空浸油新工艺。

三相变压器采用新型  $\pm 5\%$  中性点无励磁调压三相立式分接开关,定位准确,开关有效高度降低 60mm,从而降低了油箱的高度。

单相变压器为全密封无储油柜结构,三相变压器为不吊心结构,并采取了防盗措施。

该系列变压器损耗比  $P_k/P_0$  较大。在保证总损耗不超过现行国家标准前提下,适当降低了空载损耗,提高了负载损耗,可显著减少农村用户的电力损耗。

DN8-M、SN7、SN8 系列农用变压器的主要技术数据见表 2.3.6。

表 2.3.5 10kV 级 S9 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压 (kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损 耗 (W)		质 量 (kg)			外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载	器身	油	总		
30				4	2.1	130	600	165	105	355	990×650×1110	400
50				4	2.0	170	870	260	115	470	1095×750×1170	400
63				4	1.9	200	1040	280	130	515	1100×800×1170	550
80				4	1.8	240	1250	340	145	605	1185×820×1220	550
100	6			4	1.6	290	1500	380	160	670	1240×855×1253	550
125	6.3	0.4	Y,yn0	4	1.5	340	1800	440	175	760	1350×890×1284	550
160	10			4	1.4	400	2200	530	155	835	1390×930×1340	550
200				4	1.3	480	2600	605	215	1010	1450×915×1390	550
250				4	1.2	560	3050	730	250	1200	1520×985×1400	660
315				4	1.1	670	3650	555	275	1385	1560×1020×1415	660
400				4	1.0	800	4300	1010	320	1640	1610×1075×1630	660
500				4	1.0	960	5100	1155	360	1880	1690×1250×1720	660
630				4.5	0.9	1200	6200	1720	610	2830	1880×1530×1870	820
800				4.5/5.5	0.8	1400	7500	1965	690	3260	2050×1590×2340	820
1000			Y,yn0	4.5/5.5	0.7	1700	10300	2180	865	3820	2250×1670×2480	820
1250			Y,d11	4.5/5.5	0.6	1950	12000	2615	985	4525	2310×1750×2630	1070
1600			4.5/5.5	4.5/5.5	0.6	2400	14500	2960	1145	5185	2350×1875×2700	1070

表 2.3.6 DN8 - M、SN7 和 SN8 系列农用变压器的主要技术数据

型号	额定电压(kV)		联结组 标号	空载 电流 (%)	阻抗 电压 (%)	损耗(W)		质量(kg)		
	高压	低压				空载	负载	铁心	油	总
DN8 - M	5			5.0		40	160	21.2	30	105
	10			4.0		60	275	30.2	30	125
	16	$2 \times 0.24$	II0	3.5	2.5/3.5	85	400	41.4	35	150
	20	0.24		3.0		100	480	41.4	40	170
	30			2.7		135	680	-	-	-
SN7	20			3.1		125	650	55.5	60	225
	30			2.8		145	850	76.4	65	270
	50			2.5		180	1250	103.2	70	340
	63	6		2.4	4.0	205	1500	131	85	400
	80	6.3		2.2		255	1800	151	100	470
	100	9.5		2.1		305	2150	171	105	530
	125	10	Yyn0	2.0		350	2550	207	125	625
	160	10.5		1.9		435	3100	256	145	730
	200			1.8		505	3680	-	-	-
	250			1.7		590	4300	-	-	-
SN8	315			1.6	4.5	695	5100	-	-	-
	400			1.5		855	6100	-	-	-
	500			1.4		1000	7500	-	-	-
	20			3.1		105	600	52.2	60	230
	30			2.8		125	800	71.3	65	270
	50			2.5		170	1150	97.8	70	345
	63	6		2.4	4.0	200	1400	112.4	80	380
	80	6.3		2.2		240	1650	140.6	90	455
	100	9.5		2.1		280	2050	160.3	100	515
	125	10	Yyn0	2.0		320	2450	182.5	110	585
160	10.5		1.9		380	2850	228	135	710	
200			1.8		445	3680	280.4	160	830	
250			1.7		530	4300	321.4	180	950	
315			1.6	4.5	645	5100	384	230	1170	
400			1.5		770	6100	463	265	1375	
500			1.4		910	7500	539.5	295	1575	

## 4 箔式绕组节能变压器

箔式绕组变压器是近年来国内各变压器厂大力开发的新产品,现以 S9B(暂定型号)系列箔式绕组变压器为例,介绍其结构和性能。

该变压器的低压绕组用箔式绕组代替传统的圆筒式螺旋式绕组,高压绕组以圆筒式绕组代替传统的连续式绕组,从而提高了铁窗填充系数,安匝分布均匀,改善了变压器的冲击特性,提高了变压器的动、热稳定性。

为提高产品可靠性,还改进了起吊结构,器身内部全部采用偏心防松螺母紧固,315~1600kV·A 产品全部安装压力释放阀。

该系列产品与 S7 系列相比,空载损耗平均下降 9.5%,负载损耗平均下降 17.9%,而其重量平均下降 25%,因而其节能、节材效果显著。其主要技术数据见表 2.3.7。

## 5 全密封式节能变压器

国内一些变压器厂通过引进比较完备的工艺装备,开发出各种类型的全密封式节能变压器。这些变压器损耗低,器身采用不吊心结构。其油箱为波纹油箱,取消了储油柜,可延缓变压器油的老化,基本免除对变压器的吊心检查、维护和保养,提高变压器运行的可靠性。

为了确保全密封式变压器的质量,有关厂家对油箱进行了强度疲劳试验,并对产品采用真空注油,同时还对密封材料的焊接方法、弹性曲线、检测手段、疲劳寿命进行了研究,为批量生产全密封式变压器获得了可靠的理论依据。

有的全密封式变压器损耗性能相当于 SL7 产品水平(见表 2.3.8),而有的全密封式变压器损耗性能优于 S9 产品水平(见表 2.3.9)。

## 6 干式节能变压器

随着变压器用户对变压器防火性能要求的提高,干式变压器得到了十分广泛的应用。近年来,我国各变压器制造厂通过消化吸收国外先进技术,引进先进的工装设备,形成了批量生产干式节能变压器的能力。目前国内已能生产包括浸渍绝缘、厚绝缘树脂浇注、薄绝缘树脂浇注、包绕绝缘在内的各种干式变压器。

### 6.1 浸渍绝缘干式变压器

这种干式变压器将绕制完工的绕组浸渍耐高温的绝缘漆,并进行加热干燥处

表 2.3.7 S9B 系列箔式线圈低损耗电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压(kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损 耗(W)		质 量(kg)		外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载	油	总		
315				4	1.1	670	3650	225	1310	1460×880×1540	550
315 <sup>①</sup>				4	1.1	670	3650	230	1320	1330×1040×1540	550
400	6			4	1.0	800	4300	250	1520	1420×1050×1610	660
500				4	1.0	960	5100	290	1780	2180×1070×1650	660
630	6.3	0.4	Yyn0	4.5	0.9	1200	6200	375	2145	1600×1100×1705	660
630 <sup>①</sup>				4.5	0.9	1200	6200	370	2130	1600×1154×1705	660
800	10			4.5	0.8	1400	7500	390	2380	1870×1120×1960	660
1000				4.5	0.7	1700	10300	450	2750	2290×1420×2000	820
1250				4.5	0.6	1750	12000	520	3340	2570×1450×2070	820
1600				4.5	0.6	2400	14500				

注:①为薄片式散热器产品。

表 2.3.8 全密封式低损耗电力变压器的主要技术参数(一)

额定容量 (kV·A)	额定电压(kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损耗(W)		质量 (kg)	外形尺寸(长×宽×高) (mm)	轨距 (mm)
	高压	低压				空载	负载			
50				4	2.6	190	1150	450	1120×680×1080	400
63				4	2.5	220	1400			
80				4	2.4	270	1650	555	1190×700×1120	550
100				4	2.3	320	2000	570	1160×700×1150	550
125				4	2.2	370	2450	665	1270×730×1250	550
160	6.0			4	2.1	460	2850	780	1270×730×1250	550
200	6.3			4	2.1	540	3400	850	1255×715×1315	550
250	10	0.4	Yyn0	4	2.0	640	4000	1085	1400×810×1370	660
315	10.5			4	2.0	760	4800	1155	1420×840×1370	660
400	11			4	1.9	920	5800	1550	1430×820×1510	660
500				4	1.9	1080	6900	1800	1460×820×1570	660
630				4.5	1.8	1300	8100	2040	1670×960×1525	660
800				4.5	1.5	1540	9900	2370	1800×1100×1610	820
1000				4.5	1.2	1800	11600	2730	1780×1230×1570	820
1250				4.5	1.2	2200	13800			
1600				4.5	1.2	2650	16500			

理。根据需要选用不同耐热等级的绝缘材料,分别制成 B 级、F 级和 H 级绝缘变压器。其中最近推出的 SG3 系列干式变压器,选用内包双层聚酯薄膜,外包双纱玻璃丝的漆包线,提高了导线的绝缘耐压强度。同时采用固体含量高的无溶剂树脂连续浸渍绕组 2~3 次,以提高浸渍绕组的防潮性能。铁心采用优质冷轧硅钢片,全斜接缝无孔结构,心柱用绝缘粘带绑扎,并加涂粘结剂,从而降低了空载损耗和噪声。

表 2.3.9 全密封式低损耗电力变压器的主要技术数据(二)

额定容量 (kV·A)	额定电压 (kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	损 耗 (W)		质 量 (kg)	
	高压	低压				空载	负载	油	总
315				4	1.8	720	3450	310	1410
400	6			4	1.5	870	4200	385	1695
500	6.3			4	1.5	1030	4950	420	1910
630	10	0.4	Yyn0	4.5	1.0	1025	5800	520	2340
800	10.5			4.5	1.3	1400	7500	595	2750
1000	11			4.5	1.0	1700	9200	700	3115
1250				4.5	1.0	2000	11000	790	3645
1600				4.5	1.0	2400	14000	955	4326

## 6.2 厚绝缘树脂浇注干式变压器

国内引进了日本富士电机公司的技术和设备。3kV 级以上的绕组均为铝箔绕制,套装入模,在真空下浇注环氧树脂混合料后固化成型。1kV 级以下绕组则是在用铝箔绕制完毕后,再用环氧树脂封两端,固化成型。其铁心采用全斜接缝,铁心表面涂防腐漆。该变压器具有很强的耐雷电冲击能力和很强的过负载能力,节能效果比较显著。

## 6.3 薄绝缘树脂浇注干式变压器

国内引进的薄绝缘树脂浇注干式变压器主要有两种类型,一种是从德国梅·克里斯特(May & Christe)公司引进的,一种是从葡萄牙 EFACEC 公司引进的。

后一种变压器铁心采用优质冷轧硅钢片,45°全斜接缝,无冲孔结构,铁心表面涂以耐高温涂料。1600kV·A 及以下变压器的高压绕组,2000kV·A 及以上变压器的低压绕组,均采用 H 级漆包铜导线,绕组层间用玻璃纤维方格布包绕,薄绝缘浇注。在高真空下除湿脱气并浇注环氧树脂。



200~1600kV·A 变压器低压绕组采用铜箔绕制,用半干性环氧树脂预浸布作层间绝缘,经加温固化和环氧树脂端封而成为一坚固整体。

这种变压器质量轻,抗突发短路和抗雷电冲击能力强,局部放电小,不会开裂,损耗低。

## 6.4 包绕绝缘干式变压器

这种干式变压器的全称是缠绕玻璃纤维丝加强树脂包封绕组干式变压器。国内从 ABB 公司和 BSD 公司引进了该变压器的技术和有关设备。其低压绕组采用铜箔绕制,在绕制过程中箔材经过加温后和半固化的层间绝缘牢固地粘合在一起。高压绕组用漆包扁铜线绕制而成。层间和外表面缠绕浸有树脂的玻璃丝。绕在一起的高、低绕组在非真空的旋转式固化炉内干燥。这种变压器绕组树脂层坚韧,不会开裂,成本较低,经济性比较好。

该变压器损耗比较低,总的来说,低于德国标准 DIN42523 所规定的负载损耗标准值和我国专业标准 ZBK41003 所规定的 1 组空载损耗标准值。以 1000kVA 变压器为例,其空载损耗  $P_0 = 2000\text{W}$ ,负载损耗  $P_K = 8530\text{W}$ ,而 DIN 标准的  $P_0 = 2000\text{W}$ , $P_K = 10000\text{W}$ ,ZBK 标准的  $P_0 = 2450\text{W}$ , $P_K = 8531\text{W}$ 。

## 6.5 主要技术数据

这里仅列出了有代表性的引进葡萄牙技术生产的薄绝缘树脂绝缘干式变压器的主要技术数据(见表 2.3.10)。

# 7 S8-M 系列变压器

S8-M 系列节能节材型变压器是在总结 SL7(S7)和 S9 系列节能变压器设计和生产实践经验的基础上于 90 年代初开发的节能产品,其主要性能参数符合修订后的 GB6451.1 新标准,与德国 DIN 42500-84 标准相当,其负载损耗与 GB6451-86 标准规定相同,而空载损耗则平均下降 11.8%。也就是说,该系列产品的损耗比要比 SL7(S7)、S9 产品大,运行时电能损耗较小,更适合我国国情,节能效果更为明显,同时该产品材料消耗也比较小,节材效果也很明显。

S8-M 系列产品为密封式产品,1000kV·A 及以下变压器采用膨胀式散热器,而 125~1600kV·A 变压器则采用密封式储油柜,同时还选用了 WSP III 型无励磁分接开关、YSF 型压力释放阀和 QJ4 型气体继电器等新型组件,进一步提高了变压器的可靠性。

500kV·A 及以下,S8-M 型产品的高低电压绕组均为层式绕组,630kV·A 及以上产品,高压绕组为层式绕组,低压绕组为特殊的螺旋式绕组。绕组和器身采用了点

胶纸、高收缩绝缘粘带、防松螺母等新型材料,并采用了高低压绕组端面均匀有效支撑结构和器身不吊心的定位结构,进一步提高了绕组的机械强度和产品的可靠性。

表 2.3.11 列出了 S8-M 系列密封式变压器的主要技术数据。

表 2.3.10 薄绝缘树脂浇注干式变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压 (kV)		阻抗电压 (%)	损耗 (W)		噪声水平 (dB)	质量 (kg)	外形尺寸(长×宽×高) (mm)
	高压	低压		空载	负载			
50	10	0.4	4	370	920	48	450	960×680×920
80			4	490	1230	48	600	980×680×1050
100			4	570	1500	50	680	1020×680×1100
125			4	600	1785	50	740	1030×680×1150
160			4	740	2100	52	860	1050×680×1200
200			4	770	2500	52	1150	1100×680×1250
250			4	900	2950	52	1200	1120×680×1300
315			4	1080	3500	52	1300	1150×740×1370
400			4	1210	4200	54	1450	1200×740×1400
500			4	1440	5100	54	1750	1300×740×1460
630			4	1620	5900	56	2050	1320×740×1600
800			6	1900	7480	58	2400	1360×920×1750
1000			6	2200	9000	58	2700	1400×920×1900
1250			6	2600	10750	60	3350	1510×920×1990
1600			6	3100	13000	60	4070	1610×920×2070

表 2.3.11 S8 - M 系列密封式电力变压器的主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压 (kV)		联结组 标号	阻抗 电压 (%)	空载 电流(%)	损 耗 (W)		质 量(kg)					
	高压	低压				空载	负载	硅钢片	铜导线	油箱及 附件	器身	油	总
30				4	2.5	140	800	75.1	34.5	80	125	75	280
50				4	2.4	190	1150	101.1	54.6	100	180	75	355
63				4	2.3	220	1400	117.7	59.3	110	205	85	400
80				4	2.2	250	1650	135.6	74.3	125	240	95	460
100				4	2.1	290	2000	158.5	83.3	140	280	100	520
125				4	2.0	340	2450	182	99	170	325	115	610
160	10	0.4	Y, YN0	4	1.9	390	2850	219.4	121.5	195	390	130	715
200				4	1.8	470	3400	270.9	133.5	215	465	150	830
250				4	1.7	570	4000	321.5	148	260	540	180	980
315				4	1.6	680	4800	391.7	167.9	300	645	205	1150
400				4	1.5	810	5800	464	195.8	355	760	255	1370
500				4	1.4	970	6900	539.4	236.6	425	890	290	1605
630				4.5	1.3	1150	8100	690.2	283.2	520	1120	375	2015
800				4.5	1.2	1400	9900	811.1	337.3	630	1320	450	2400
1000				4.5	1.1	1650	11600	958.7	413.1	720	1580	505	2805
1250				4.5	1.0	1950	13800	1148.6	477.3	855	1870	600	3325
1600				4.5	0.9	2350	16500	1346.4	597.6	1045	2235	700	3980

## 第四章 特种变压器

在工矿企业中,除了一般的电力变压器之外,还大量使用了各种特种变压器。特种变压器包括电炉变压器、整流变压器、矿用变压器、试验变压器等。

### 1 电炉变压器

在电炉工作过程中电能要以热能的形式工作。一般来说,通过普通降压变压器得到的电流仍嫌小,这就需要配上电炉变压器,用它得到更大的工作电流,从而得到更大的热能。

电炉变压器用于三相电弧炉、三相矿热炉、单相电弧炉、电阻炉等多种电炉,其用途和特点如表 2.4.1 所列。

表 2.4.1 电炉变压器的用途和特点

分类及用途	特点
三相电弧炉用,用于炼钢	1. 冶炼初期允许有 20% 的过载;2. 因易发生短路而必须使用大阻抗值变压器时,其阻抗的大小必须使短路电流不超过额定电流的 3~4 倍;3. 绕组排列方式:中小型为交叠式,大容量为同心式;4. 负载变化
三相矿热炉用,用于制取电石、铁合金、硅化合物、纯硅等	1. 矿热炉系一种电弧炉,添料出料不需停电;2. 负载稳定,不会发生极间短路现象;3. 由于炉料电阻的变化,要求变压器能多极调压,小型炉 5 级,中型炉 8~15 级,大型炉 27 级;4. 大型密闭式电石炉要能分相有载调压
单相电弧炉用,用于熔炼钢、铜合金、熔化生铁	1. 容器较小;2. 阻抗电压为 20%~24%;3. 变压器阻抗较大时,不带电抗器;4. 绕组为交叠式排列;5. 变压器阻抗较小时,则需另外串接一个电抗器
电阻炉用,用于机械零件加热、热处理、粉末冶金烧结、有色金属熔炼	1. 容量常为 100kVA 及以下;2. 大功率电炉由几台电阻炉变压器供电,便于分段控制炉温;3. 一次侧的分接头可实现 5~7 级无励磁调压;4. 绕组多为同心式排列;5. 一次侧电压为 380V 时多做成干式,6~10kV 时做成油浸式
单相石墨化炉用,用于电刷、电碳、金刚砂的加热碳化	1. 负载为间断性,一台变压器轮流为几台电炉供电;2. 至少要有 13 级有载调压,每级 2~3V;3. 工作稳定,阻抗电压为 10% 以下

续表

分类及用途	特点
工频感应炉用,用于熔化黑色和有色金属	1. 可采用T形结线变压器,也可采用三相变压器,电炉的感应圈、电感、电容构成三相对称负载;2. 要求有较多的调压级数;3. 绕组同心式排列

电炉变压器的调压方式有三种:

(1)分接头调压——利用高压绕组分接头来改变二次电压,适用于调节范围较小的情况。

(2)自耦调压器调压——有一单独的自耦调压器,以满足大范围多级数的调节需要。

(3)第三绕组调压——结构原理如图 2.4.1 所示,由装于同一油箱中的两个器身组成。其一装有与电网相连的绕组 1、输出的低压绕组 2 和带分接头的第三绕组 3,其二装有高低压绕组 4 和 5,绕组 4 与绕组 3 并联,绕组 5 与绕组 2 串联后供给负载电压。通过改变绕组 3 的分接头,即可改变绕组 4 的电压。这种变化通过电磁感应反映到绕组 5 使其电压变化,从而使负载电压变化。使用这种方式调压,可使输出电压  $U_2$  成等差级数变化,可人为选择第三绕组的电压和电流值,通过第三绕组电流来监视、控制负载电流,变压器的技术经济指标较好。

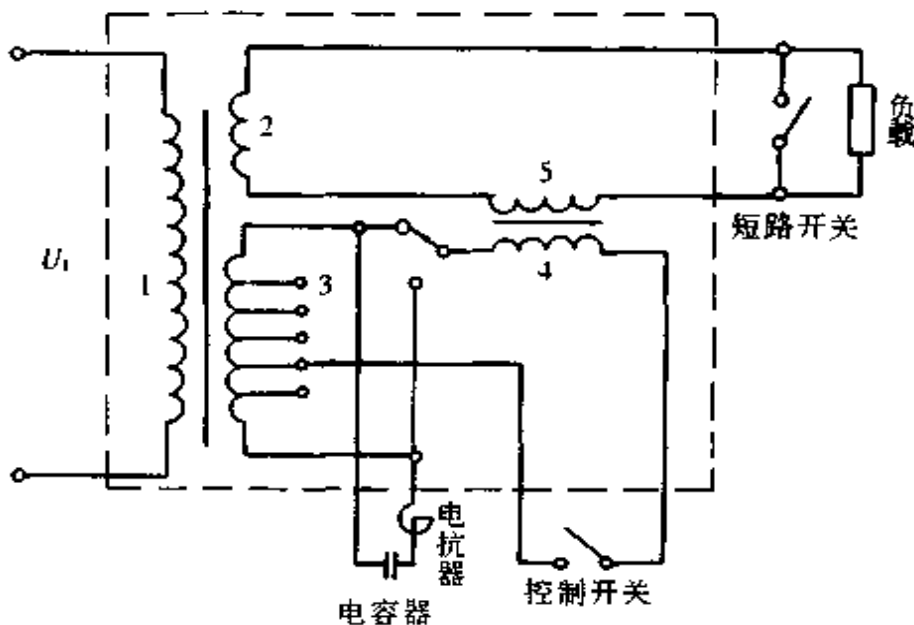


图 2.4.1 第三绕组调压接线原理图

另外,现在还常用在低压引线上配以自饱和电抗器的方法来实现每级电压的微调。微调范围一般在  $\pm 2.5V$  左右。

表 2.4.1 列出电炉变压器的用途和特点,表 2.4.2 列出电炉变压器基本型号排列顺序表。表 2.4.3 至 2.4.6 分别为各种电炉变压器额定性能数据的允许偏差。表 2.4.7 至 2.4.12 分别列出各种电炉变压器的主要技术数据。

表 2.4.2 电炉变压器基本型号排列顺序表

序号	分类	类 别	代表符号
1	用途	电弧炉用	H
		电阻炉用	ZU
2	相 数	单相	D
		三相	S
3	冷却方式	空气自冷(干式)	G
		油浸自冷	-
		强迫油循环水冷	SP
		水内冷	N
4	结构特点	油箱内附电抗器	K
5	导线材质	铜	-
		铝	L
6	调压方式	无励磁调压	-
		有载调压	Z

表 2.4.3 电炉变压器额定性能数据允许偏差

项 目	允许偏差	备注
负载损耗	+ 20%	
空载损耗	+ 15%	
总损耗	+ 18%	
空载电流	+ 30%	
阻抗电压	+ 25% - 15%	
变压比	± 1%	二次电压最高时
	± 2%	其他各级

表 2.4.4 电炉变压器的额定性能数据允许偏差

项 目	空载损耗	负载损耗	总损耗	空载电流	阻抗电压	电 压 比	
						主分接	其他分接
允许偏差	+ 15%	+ 15%	+ 10%	+ 30%	± 15%	± 1%	± 2%

表 2.4.5 矿热炉变压器额定性能数据允许偏差

项 目	空载损耗	负载损耗	总损耗	空载电流	阻抗电压	电 压 比	
						主分接	其他分接
允许偏差	+15%	+15%	+10%	+30%	+15%	±1%	±2%

表 2.4.6 盐浴炉变压器额定性能数据允许偏差

项 目	空载损耗	负载损耗	空载电流	变压比
允许偏差	+15%	+20%	+30%	额定级 ±1% 其他级 ±2%

表 2.4.7 三相电弧炼钢炉变压器主要技术数据

电弧炼钢炉容量(t)	0.5	1.5	3	5	10	20	30	50	75	100
变压器型式容量(kV·A)	950	2000	3000	4600	7000	13000	18000	26000	41000	47000
变压器额定容量(kV·A)	650	1400	2200	3500	5500	9000	12500	18000	28000	32000
一次电压(kV)	6, 10		10		35	35, 60, 10				
二次电压(V)	200 170/116	210 180/121	220 190/127	240 210/139	260 240 220/150	290 ~ 140	320 ~ 150	350 ~ 160	390 ~ 170	430 ~ 180
二次电流(A)	1876	3850	5770	8420	12210	17910	22550	29690	41450	42970
调压级数	4	4	4	4	6	≥13	≥13	≥13	≥13	≥13
调压方式	无励磁调压					有载调压				
联结组标号	Dd0 或 Yd11					Dd0; Yd11; YNd11				
冷却方式	油浸自冷					强油水冷				
二次电压最高时阻抗电压(%)	9~12 及 26	8~11 及 24	7~10 及 20	7~10 及 18	7~10					
电弧炉短路阻抗(%)	6	8	12	14	17	26	30	31	33	35

表 2.4.8 三相矿热炉变压器主要技术数据

型式容量 (kV·A)	额定容量 (kV·A)	一次电压 (kV)	二次电压(V)	调压级数	调压 方式	冷却 方式	用 途
560	400	6,10	60,54,48, 42,36	5	无励磁调压	油浸空气自冷	铁合金还原炉用
560	400	6,10	100,90,80, 70,60	5			铁合金精炼炉用
1300	1000	6,10	90,85,80,75,70	5			电石炉(5t/日)及铁合金还原炉用
1300	1000	6,10	140,130,120, 110,100	5			铁合金精炼炉用
2300	1800	6,10	96,90,84,78,72	5			电石炉(10t/日)及铁合金还原炉用
2300	1800	6,10	180,167.5,155 1425.5,130	5			黄磷炉及铁合金精炼炉用
3300	2500	6,10	120,112.5,105 97.5,90	5			电石炉(15t/日)及铁合金还原炉用
3300	2500	6,10	210,190,170, 150,130	5			铁合金精炼炉用
6500	5000	10	130,120,110, 100,90	5		强迫油循环水冷	电石炉(30t/日)及铁合金还原炉用
10000	7500	10,35	315~210	8			黄磷炉及铁合金精炼炉用
14000	10000	35,60,110	160~100	≥13			电石炉(60t/日)及铁合金还原炉用
18000	12500	35,60,110	184~100	≥13			铁合金还原炉用
21000	12500	35,60,110	440~160	≥15			铁合金炉用
25000	15000	35,60,110	480~200	≥15			黄磷炉用
27000	18000	35,60,110	200~100	≥27	电石炉(100t/日)及铁合金还原炉用		
38000	25000	35,60,110	220~110	≥27	电石炉(150t/日)及铁合金还原炉用		
48000	31500	35,60,110	240~120	≥27	电石炉(200t/日)及铁合金还原炉用		
60000	40000	35,60,110	260~130	≥27	电石炉(250t/日)及铁合金还原炉用		



表 2.4.9 单相电弧炉变压器主要技术数据

电炉容量 (t)	变压器容量 (kV·A)	一次电压 (kV)	二次电压 (V)	阻抗电压 (%)	联结组标号	负载时间 (min)	间歇时间 (min)
0.1	125	6.10	100	24	110	40	15
0.25	175	6.10	100	24	110	50	15
0.5	250	6.10	110	20	110	60	20
1	400	6.10	110	20	110	75	25

表 2.4.10 三相工频感应炉变压器主要技术数据

额定容量 (kV·A)	一次电压 (kV)	二次电压 (V)	调压级数	调压 方式	联结组 标号	冷却 方式	配套工频炉容量 (t)
630	10	450~175	2×9	无励 磁调 压	Dyn1 或 Yyn0	油浸空气自冷	1.5
1250	10	535~240	2×9				3
2000	10	750~280	2×9				5
3150	10	1000~300	2×9	有载 调压	Dd0 或 Yd11		10
6300	35	3000~1200	2×13		强油水冷	20	

表 2.4.11 盐浴电阻炉变压器主要技术数据

额定容量(kV·A)	25	35	50	75	100	50	75	100	150
一次电压(kV)	380					380			
二次电压(V)	18,14,12,9,7,6					18,14,12,10,39,8,08,6,93			
相数	单相					三相			
联结组标号	110					Dd0 或 Yd11			

表 2.4.12 电阻炉自耦变压器主要技术数据

额定容量 (kV·A)	一次电压 (V)	二次电压 (V)	调压级数	相数	联结组标号	冷却方式
40	380	133~85	7	单相	1auto	空气自冷 (干式)
33	380	164~92	7	三相	Yauto	
100	380	184~112	7	三相	Yauto	

## 2 整流变压器

整流变压器按功能可分为整流器、逆变器和变频器。

整流器是将交流电能变为直流电能的变压器,它的用途最广,几乎绝大部分直流电都是将交流电网的交流电通过整流变压器整流而得的。其用途有充电、电镀、电解、电焊、电火花加工、电化学加工、等离子加工、电影放映、高压整流、电磁控制保护、直流励磁、电力传动等。

逆变器是将直流电能变为交流电能的一种变压器,主要用于直流输电。

变频器是将某种频率的交流电能变为另一种频率的交流电能的一种变压器,用于中频电源、电机变频调速等。

整流变压器的型式容量等级(kV·A)为:

0.5, 1, 2.5, 10, 20, 30, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000 等。

整流变压器的额定直流电压(V)为:

6, 12, 18, 24, 36, 48, 60, 72, 90, 100, 115, 125, 160, 200, 230, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2500, 3150。

整流变压器额定直流电流(A)为:

5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 200, 300, 500, 1000, 3150, 6300, 12500, 16000, 25000, 31500, 40000, 50000, 63000, 80000, 100000。

表 2.4.13 列出整流变压器基本型号排列顺序,表 2.4.14 列出整流变压器网侧额定电压,表 2.4.15 和 2.4.16 列出两种整流变压器及其配套整流器的主要技术数据。

表 2.4.13 整流变压器基本型号排列顺序表

序号	分类	类别	符号
1	用途	与整流装置配套使用	Z
2	一次(网侧) 相数	单相	D
		三相	S

续表

序号	分类	类别	符号
3	绕组外绝缘介质	变压器油	-
		空气	G
		成形固体	C
4	冷却方式	自冷	-
		风冷	F
		强油风冷	FP
		强油水冷	SP
5	调压方式	无励磁调压或不调压	-
		一次(网侧)绕组有载调压	Z
		内附的自耦变压器调压或串联调压变压器有载调压	T
6	导线材质	铜	-
		铝	L
7	内附装置	平衡电抗器	K
		磁放大器(饱和电抗器)	B

表 2.4.14 整流变压器网侧额定电压(kV)

电压等级	网侧额定电压
0.4	0.22, 0.38, 0.66
3	3.0, 3.15
6	6.0, 6.3
10	10.0, 10.5
35	35, 38.5

表 2.4.15 地面装置的牵引用整流变压器及配套硅整流器主要技术数据

牵引用硅整流变压器						配套硅整流器			接线方式	
型式容量 (kV·A)	额定容量 (kV·A)	电压组合		联结组 标号	阻抗电 压 (%)	负 载 等 级	型 号	直流输出		
		网侧 (kV)	阀侧 (V)					额定电 流 (A)		额定电 压 (V)
630	510	6	480	Yy0 Yd11 Dy11	10	V	CQ - 750/600	750	600	
800	680						CQ - 1000/600	1000		
1250	1010						CQ - 1500/600	1500		
1600	1350						CQ - 2000/600	2000		
1250	934	10	660				CQ - 1000/825	1000	825	
2000	1401						CQ - 1500/825	1500		
2500	1868						CQ - 2000/825	2000		
2500	1868	35	1320				CQ - 1000/1650	1000	1650	
4000	2802						CQ - 1500/1650	1500		
5000	3736						CQ - 2000/1650	2000		
8000	5604						CQ - 3000/1650	3000		

表 2.4.16 矿用整流变压器及配套硅整流器主要技术数据

牵引用硅整流变压器						配套硅整流器			接线方式	
型式容量 (kV·A)	额定容量 (kV·A)	电压组合		联结组 标号	阻抗电 压 (%)	负 载 等 级	型 号	直流输出		
		网侧 (kV)	阀侧 (V)					额定电 流 (A)		额定电 压 (V)
10	10	0.38	94	Yd11	6	V	CQ-75/115KY	75	115	
30	20			Yy0			CQ-150/115KY	150		
40	32	0.38	220	Dy11	6	V	CQ-100/275KY	100	275	
80	63	0.66		Dd0 或 Yd11			CQ-200/275KY	200		
125	94	0.38	220	Dy11	6	V	CQ-300/275KY	300	275	
160	125						0.66	CQ-400/275KY		400
250	187	0.66	480	Dy11	8	V	CQ-600/275KY	600	600	
80	68	1.14					Yy0	CQ-100/600KY		100
160	136	3	480	Dd0	8	V	CQ-200/600KY	200	600	
250	204	6					Yd11	CQ-300/600KY		300
315	272	10	480	Yd11	8	V	CQ-400/600KY	400	600	
500	408						10	CQ-600/600KY		600

### 3 矿用变压器

矿用变压器分为矿用照明变压器、矿用电钻变压器、矿用电力变压器。其主要技术数据列于表 2.4.17 至 2.4.20。

矿用电力变压器可用于有煤尘和沼气但无爆炸危险的场所,一般设计成无储油柜变压器。如果是油浸的,油箱内油的高度则随温度变化。一般情况下,随变压

器的呼吸,箱内气体经放气阀出进,油的线膨胀系数为0.00074。非正常情况下,例如有粉尘等或其他障碍物堵住了排气阀,则油箱就会在气温变化时承受很大压力,使用时需特别注意。现在国内已研制出全密封变压器,油箱内所充的全部是氮气。这种变压器更安全可靠,不仅能用于石油、化工行业,也可用于矿山,其电缆接线盒应能使用户在接线后在盒内充电缆胶。

矿用电钻变压器、照明变压器可装置在矿井内有煤尘、沼气且有爆炸危险的场所,所以要设计成隔爆型或增安型,不仅隔爆,而且内部裸露带电部分之间、裸露带电部分与金属外壳之间的有关参数必须符合国家有关标准。其高低压接线板与外面的连接应采用电缆,经出线管引出,出线管应能将内部可靠密封。

表2.4.17和表2.4.18分别列出矿用变压器的容量等级和额定性能参数以及额定电压及分接范围,表2.4.19列出矿用变压器额定性能参数的允许偏差,表2.4.20列出矿用变压器的主要技术数据。

表 2.4.17 矿用变压器的容量等级和额定性能参数

类 别	额定容量 (kV·A)	损耗(W)		阻抗电压 (%)	空载电流(%)	
		空载	负载			
矿用电钻 变压器	2.5	45	81	4	14	
	4	55	125		12	
矿用电力 变压器	50	190	1150		2.6	
	100	320	2000		2.3	
	200	540	3400		2.1	
	315	760	4800		2.0	
	400	920	5800		1.9	
	500	1080	6900		1.9	
	600	1300	8100		4.5	1.8

注:1. 根据用户需要,400kV·A及以上矿用电力变压器允许阻抗电压为5.5%的产品。

2. 负载损耗及阻抗电压均应校正到参考温度:矿用电力变压器为75°C,矿用电钻变压器为100°C。

表 2.4.18 矿用变压器的额定电压及分接范围

	高压线组电压		低压绕组电压(V)
	分接范围	额定电压(kV)	
矿用电钻 变压器		0.66/0.38 1.14/0.66	133(127)
矿用电力 变压器	±5%	(3.15) 6.3 (3) 6 (2.85) 5.7	693/400 1200/693

注:括号内数值尽量不采用,根据用户需要也可提供高压绕组为10kV的矿用电力变压器。

表 2.4.19 矿用变压器额定性能参数允许偏差

项 目	允许偏差	适用范围
空载损耗	+15%	矿用电钻 变压器和 矿用电力 变压器
负载损耗	+15%	
总损耗	+10%	
空载电流	+30%	
阻抗电压	±10%	
变压比	取下列二值中的较小者:a. ±0.5%; b. 额定 电流下实际阻抗电压±10%	
其他分接上的空载变压比	由供需双方商定	

表 2.4.20 矿用变压器主要技术数据

类 别	型 号	额定容量 (kV·A)	高压额定 电压(V)	低压额定 电压(V)	联结组标号
矿用照明 变压器	KDX-0.5/0.38	0.5	380	127	H0
	KDX-1.0/0.38	1.0	380(或660)		
	KDX-1.6/0.38	1.6	380(或1140)		
矿用电钻 变压器	KSG-1.6/0.66	1.6	660/380	127	Yd11 (或Dd0)
	KSG-2.5/0.66	2.5	(或1140/660)	(或133)	
	KSG-4.0/0.66	4.0			
矿用电力 变压器	KS-50/6	50	6000	690/400	YY0 (或Yd11)
	KS-100/6	100			
	KS-200/6	200			
	KS-315/6	315		1200/690	
	KS-400/6	400			
	KS-500/6	500			
	KS-630/6	630			

## 4 试验变压器

试验变压器主要用于进行工频耐压试验和冲击耐压试验。国内已生产出短时容量为 1200000kV·A 的试验变压器。

试验变压器系列参数如表 2.4.21 所列。

表 2.4.21 试验变压器系列参数

额定容量(kV·A)	高压绕组额定电压(kV)		
	5	10	25
3	5	10	25
5	35	50	
10	50	100	
25	100	150	
50	50	100	150
100	50	100	150
150	150		
200	250		
250	250		
300	300	500	
500	500		
750	750		
1000	1000	1500	
1500	750	1500	2250
2000	2250		
2250	2250		
3000	750		
6000	1500		
9000	2250		

试验变压器二次电压较高而电流较小,单台二次电压最大可达 750kV,二次电流为 0.1~1A,特殊的可达 4A。一般制成单相。二次绕组首末端绝缘水平不同。结构有单套管式、双套管式和绝缘筒式三种。使用方式有单台式和串级式。

## 5 电抗器

从本质上讲,电抗器就是一种电感元件,用于电网、电路中,起限流、稳流、无功补偿、移相等作用。电抗器分为空心电抗器和铁心电抗器两大类。

空心电抗器主要用作限流、滤波、阻波等元件,分为绝缘胶束包绕式、水泥柱式、固体绝缘夹持式。一般做成干式,固体绝缘夹持式,也可以做成油浸式。



铁心电抗器结构上与变压器相似,有铁心和绕组。和空心电抗器所不同的是,空心电抗器的电感是由绕组自身结构所决定的,一经制成只要绕组不变,电感就不变,其所提供的电抗( $X = 2\pi f l$ )为恒定值,其磁路为空气或变压器油;而铁心电抗器有铁心,其主磁通磁路分两种情况:一种是铁心不带气隙而全部为硅钢片,具有这种铁心结构的电抗器包括饱和电抗器、自饱和电抗器、平衡电抗器等;另一种是铁心有气隙的,具有这种铁心结构的电抗器包括铁心式并联电抗器、消弧线圈、起动电抗器等,其磁路中气隙很小,而硅钢片部分很长。硅钢片的导磁率是随磁密的变化而变化的,因此铁心电抗器的电感不是恒定值,其电抗也不稳定,在铁心磁密低时,电感变化很小,但当铁心饱和时,电感的变化就很大。

从理论上讲,并联电抗器既可由空心电抗器充当,也可由铁心电抗器充当,但实际上很难制造出大容量、高电压的空心电抗器。

铁心式并联电抗器是为高压电网提供感性无功补偿,改善功率因数,并限制电网终端电压升高,保护用电设备的一种电抗器。

在整体结构上,铁心式并联电抗器与变压器相似,有铁心、绕组、器身绝缘、变压器油、油箱等部件,所不同的是电抗器铁心有气隙,每相只有一个绕组。

绕组的结构形式与变压器一样,可采用连续、多层圆筒、饼式等形式。至于绝缘、油箱等部件的结构与变压器并无本质差别。

表 2.4.22 列出串联电抗总额定端电压及其相关参数。表 2.4.23 列出电抗器噪声限值。表 2.4.24 和表 2.4.25 分别列出串联电抗器和并联电抗器的主要技术数据。

表 2.4.22 串联电抗器额定端电压及其相关参数

系统 额定电压 (kV)	配套并联 电容器的 额定电压 (kV)	每相并联 电容器串 联台数	电抗器额定端电压(kV)			
			额定电抗率			
			4.8%	6%	12%	(13%)
6	$6.6/\sqrt{3}$	1	0.183	0.229		
	$7.2/\sqrt{3}$	1			0.499	0.540
10	$11/\sqrt{3}$	1	0.305	0.381		
	$12/\sqrt{3}$	1			0.831	0.901
35	11	2	1.056	1.320		
	12	2			2.880	3.120

表 2.4.23 电抗器噪声限值

电抗器额定容量(kvar)	额定电流时声级水平(dB)
<80	48
180 ~ <125	50
125 ~ <200	52
200 ~ <315	54
315 ~ <500	56
500 ~ <800	58
800 ~ <1000	60
1000 ~ <1600	62
>1600	64

注:三次和五次谐波电流含量不大于基波的 35%,总电流有效值不大于 1.2 倍额定电流时,其声级最大值限值为表中值再加 6dB。

表 2.4.24 额定电抗率和并联电容器组容量时的串联电抗器额定容量(kvar)

并联电容器组容量(kvar)		630	800	1000	1250	1560	2000	2500	3150	4000	5000	6300
三 相	4.8%	30	38	48	60	75	96	120	150	190	240	300
	6%	38	48	60	75	96	120	150	190	240	300	380
	12%	75	96	120	150	190	240	300	380	480	600	750
	(13%)	82	105	130	165	210	260	325	410	520	650	820
单 相	4.8%										80	100
	6%									80	100	130
	12%							100	130	160	200	250
	(13%)							110	140	175	220	275

续表

并联电容器组容量(kvar)		3000	10000	12500	15600	20000	25000	31500	40000	50000	63000	
三 相	额定电抗率(%)	4.8%	380	480	600	750	960	1200	1500	1900		
		6%	480	600	750	960	1200	1500	1900			
		12%	960	1200	1500	1900						
		(13%)	1050	1300	1650							
单 相	电抗率(%)	4.8%	130	160	200	250	320	400	500	630	800	1000
		6%	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1300
		12%	320	400	500	630	800	1000	1300			
		(13%)	350	430	550	690	870	1100				

- 注:1. 35kV 三相电抗器的最小容量为 120kvar;  
 2. 35kV 单相电抗器的最小容量为 80kvar;  
 3. 63kV 级只提供安装于绝缘台架上的电抗器;  
 4. (13%)尽量不用。

表 2.4.25 三相油浸自冷铁心式并联电抗器主要技术数据

型号	系统电压(kV)	额定容量(kvar)	额定电流(A)	工频感抗( $\Omega$ )	损耗(kW)	噪音(dB)	绕组平均温升(K)
BKS-30000/10	10.5	30000	1650	3.85	176.7	77	36.95
BKS-20000/63	66	20000	175	225	106.3	69	33.74
BKS-45000/35	38.5	45000	675	33	160	72	38
BKS-60000/35	38.5	60000	900	24.7	196	77	39
BKD-20000/330	$363/\sqrt{3}$	20000	95.4	2196	71	72	39
BKD-30000/330	$363/\sqrt{3}$	30000	143	1464	99	74	39
BKD-50000/500	$550/\sqrt{3}$	50000	157.5	2017	120	78	36
BKD-50000/500	$525/\sqrt{3}$	50000	165	1837.5	120	78	36

## 第五章 小型电源变压器

小型电源变压器一般均为干式变压器,广泛用于冶金、机械、电子、轻纺、化工、交通运输、林业等部门作为安全照明、电气设备中控制电路等的电源部件。主要有局部照明变压器、控制变压器、隔离变压器等种类。

### 1 局部照明变压器

局部照明变压器主要用于机床和其他机械设备的低压照明电源,也可用于需要相应电压的其他场合,有 BZ、BJZ、JBM 等系列产品。DJMB2 系列产品是全国统一设计产品。BJZ、JMB 系列产品主要技术数据见表 2.5.1 和表 2.5.2。

DJMB2 系列产品为 B 级绝缘,温升限值为 80K,采取用冷轧硅钢片制作的心式全斜接缝铁心,空载损耗显著降低,有明显的节能效果,具有性能好、体积小和重量轻的特点,其主要技术数据见表 2.5.3。

### 2 控制变压器

控制变压器用作电气控制线路的电源或指示电路的电源,有 BK、BKC、JBK3-C 和 DBK2 系列。其中 DBK2 系列为全国统一设计产品。

DBK2 系列产品性能特点与 DJMB2 系列产品完全一样,是低损耗产品,主要技术数据可见表 2.5.3,仅外形尺寸略有差异。

表 2.5.1 BJZ 系列照明变压器主要技术数据

额定容量 (V·A)	相数	额定电压(V)		质量 (kg)	外形尺寸(mm) 长×宽×高	
		初级	次级			
50	单相	220,380	12,36	4.2	155×145×128	
100				4.2	168×180×135	
150				5.7	168×180×135	
200				6.8	168×180×135	
250						
300				9.0	226×196×175	
400				10.7	226×196×175	
500				12.5	241×206×210	
1000				22	265×227×257	
2000				30	283×260×264	
3000				42	245×285×305	
4000				55	390×300×340	
5000				62	390×300×340	
500	三相	220,380	36,127, 220			
1000						
1500						
2000						
2500						
3000						

表 2.5.2 JMB 系列机床照明变压器主要技术数据

型 号	额定容量 (V·A)	额定电压(V)		外形尺寸(mm) 长×宽×高
		初级	次级	
JMB-50	50	220,380	12/24/36, 12,24,36	270×210×175
JMB-100	100			270×210×175
JMB-250	250			340×270×255
JMB-500	500			340×270×255
JMB-1000	1000			340×270×255
JMB-50TH	50			150×300×170
JMB-100TH	100			160×300×195
JMB-250TH	250			190×340×220
JMB-500TH	500			210×335×235
JMB-1000TH	1000			225×275×295
JMB-3000TH	3000	220,380	12,24,36	425×320×505
JMB-5000TH	5000			458×347×657
JMB-8000TH	8000			478×344×722
JMB-12000TH	12000			518×404×772

表 2.5.3 DJMB2 系列局部照明变压器主要技术数据

额定容量 (kV·A)	额定电压(V)		空载损耗 (W)	负载损耗 (W)	空载电流 (%)	阻抗电压 (%)	外形尺寸(mm)
	初级	次级					
0.05			2	5	40	10	177×139×79
0.10		36	3	10	30	10	212×139×93
0.15		(36-24) <sup>②</sup>	4	13.5	25	9	212×139×93
0.20		(36-24-12) <sup>②</sup>	5	15	22	7.5	212×139×93
0.25	380		6	18	22	7.5	212×139×93
0.3	220	(36-12) <sup>②</sup>	7	20	30	7.2	191×198×201
0.4		(36-24-12-6) <sup>②</sup>	8	24	25	6.7	191×198×201
0.5	380-220 <sup>①</sup>	127	10	26	20	6	191×198×201
1.0		(127-110) <sup>②</sup>	15	35	12	5.1	221×220×251
2.0		(127-36) <sup>③</sup>	23	55	9	3.5	241×262×281
3.0			30	75	8	2.8	271×285×301
4.0			39	99	7	2.6	321×305×361
5.0			47	99	7	2.6	321×315×361

注:①可以是两个电压均是满容量的,也可以是 380V 在 220V 处抽头;

②( )内为派生规格,系用抽头式;

③( )内为派生规格,这两种电压各占容量的 50%。

### 3 隔离变压器

#### 3.1 结构和原理

隔离变压器分安全隔离变压器和一般隔离变压器两种。安全隔离变压器系指为安全特低电压电路提供电源的隔离变压器。所谓安全特低电压就是在用安全隔

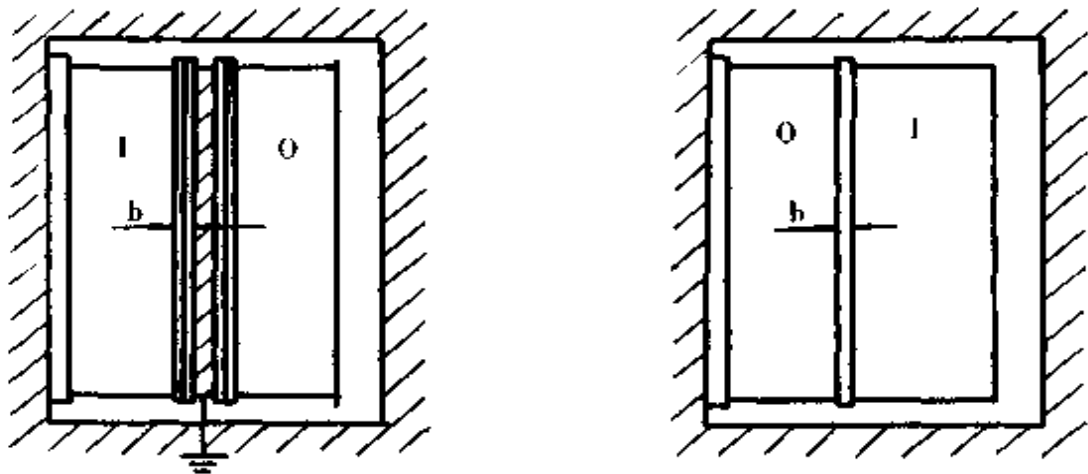


图 2.5.1 筒式绕组

I—输入绕组 O—输出绕组 b—绝缘

离变压器与电力电源隔离的电路中,导体之间或任一导体与地之间交流有效值不超过 50V 或直流脉动值不超过  $50\sqrt{2}V$  的电压。一般隔离变压器系指输入绕组与输出绕组彼此可靠隔离的变压器,用以避免偶然同时触及输出回路带电体(或因绝缘损坏而可能带电的金属部件)和地所带来的危险。

输入绕组和输出绕组之间设有接地屏和可靠的绝缘层,如图 2.5.1 所示;也可将输入、输出绕组分为两段,中间垫以绝缘,如图 2.5.2 所示,使输入绕组与输出绕组可靠地隔离开,从而可使用电器具可靠地与供电网路隔开。一旦用电器具漏电时,操作者不会与供电网路构成回路,从而避免触电事故的发生,保证操作者的人身安全。一般隔离变压器接线图见图 2.5.3。

隔离变压器一般均做成干式结构,其正常使用情况下的温升限值见表 2.5.4。

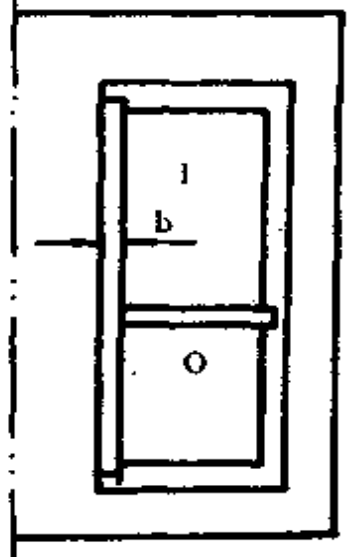


图 2.5.2 并列式结构

I—输入绕组  
O—输出绕组  
b—绝缘

表 2.5.4 正常使用情况下的温升限值(K)

部 位		温升限值
绕 组	A 级	65
	E 级	80
	B 级	85
	F 级	105
	H 级	130
固定式隔离变压器外壳		50
接线端子		35
支持件		50

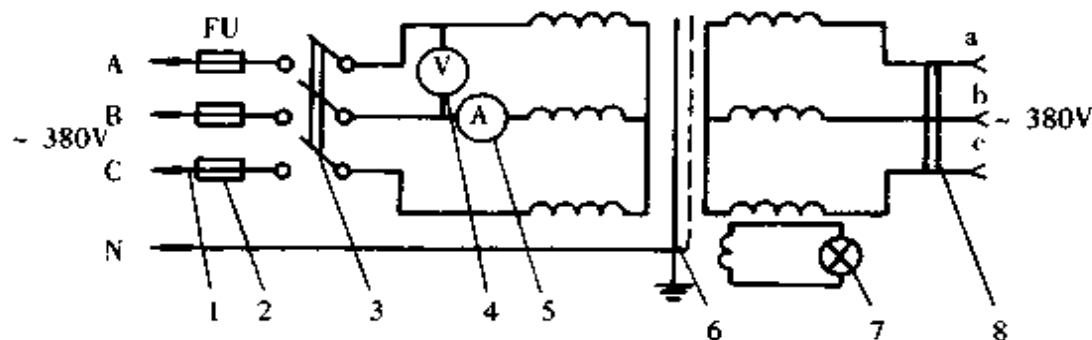


图 2.5.3 一般隔离变压器接线图

1—输入插头 2—熔断器 3—低压断路器 4—电压表  
5—电流表 6—铁心和接地屏 7—指示灯 8—输出插头

## 3.2 主要技术数据

隔离变压器的额定容量和输入、输出电压见表 2.5.5。

表 2.5.5 隔离变压器主要技术数据

类 别	相 别	型 号	容 量 (V·A)	输 入 电 压 (V)	输 出 电 压 (V)
安 全 隔 离 变 压 器	单 相	AD	25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300, 10000	不 超 过 交 流 50V 或 脉 动 直 流 $50\sqrt{2}V$	6, 12, 24, 36, 42 不 超 过 交 流 50V 或 脉 动 直 流 $50\sqrt{2}V$
	三 相	AS	630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300, 10000, 16000		



续表

类别	相别	型号	容量(V·A)	输入电压(V)	输出电压(V)
一般隔离变压器	单相	GD	25, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300~10000, 16000, 25000	不超过交流 50V	不超过交流 50V
	三相	GS	630, 1000, 1600, 2500, 4000, 6300~10000, 16000, 25000, 40000		

### 3.3 主要用途

一般隔离变压器适用于按照安装规程要求将某一电路的某些部分或某些设备(如电动剃须刀、便携式工具、剪草机等)与配电线路隔离的场合。安全隔离变压器适用于向使用安全特低电压的设备(如玩具、电铃、手持式工具及手提灯等)供电的场合。一般隔离变压器用于手持式电动工具的电源装置,带有接地屏的隔离变压器可用作电子设备、测试仪器、无线电通讯设备等的隔离电源装置。

## 4 小型电源变压器的设计计算实例

在实际工作中,往往需要自行设计制造小型电源变压器,这里举一设计计算实例,以供参考。

【例】试设计一台局部照明变压器,其输出容量  $P_2 = 200\text{V}\cdot\text{A}$ ,输入电压  $U_1 = 220\text{V}$ ,输出电压  $U_2 = 36\text{V}$ 。

### 4.1 计算变压器额定容量 $P$

#### 4.1.1 确定变压器效率

按变压器效率与容量关系的经验数据(见表 2.5.6),查出变压器的效率  $\eta$ 。按表 2.5.6,可取变压器效率  $\eta = 85\%$ 。

表 2.5.6 变压器效率与容量经验数据

输出容量(V·A)	< 10	10~30	30~80	80~200	200~400	> 400
效率(%)	60	70	80	85	90	> 95

4.1.2 计算输入容量  $P_1$ 

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{200}{0.85} = 235\text{V}\cdot\text{A}$$

4.1.3 计算次级电流  $I_2$ 

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{200}{36} = 5.56\text{A}$$

4.1.4 计算额定容量  $P$ 

$$P = \frac{P_2 + P_1}{2} = \frac{200 + 235}{2} = 217.5\text{V}\cdot\text{A}$$

4.2 计算初级电流  $I_1$ 

$$I_1 = K_1 \frac{P_1}{U_1}$$

式中,  $K_1$  为经验系数, 是考虑励磁电流的影响而采用的系数, 其值一般可取 1.2, 变压器容量越小, 选取的  $K_1$  值越大。本例选  $K_1 = 1.2$ 。代入上式可得

$$I_1 = 1.2 \times \frac{217.5}{220} = 1.19\text{A}$$

4.3 计算铁心实际截面积  $A_c'$ 

$$A_c' = K_2 \sqrt{P}$$

式中,  $K_2$  是与硅钢片质量和叠片系数有关的系数, 一般  $K_2$  值在 1~1.6 之间, 硅钢片质量越好,  $K_2$  值越小。本例采用 D41~D43 热轧硅钢片, 可取  $K_2 = 1.25$ 。

因此,  $A_c' = 1.25 \sqrt{217.5} = 18.4\text{cm}^2$ 。

## 4.4 确定铁心具体尺寸

由于 GE 型铁心窗口面积小, 材料利用率高, 用料较省, 成本较低, 故本例选用 GE 型铁心, 其叠积示意图如图 2.5.4 所示。

从表 2.5.7, 可取  $A_c = 19.1\text{cm}^2$ , 可以查出铁心舌宽  $a = 35\text{mm}$ , 叠片厚度  $b = 60\text{mm}$ 。

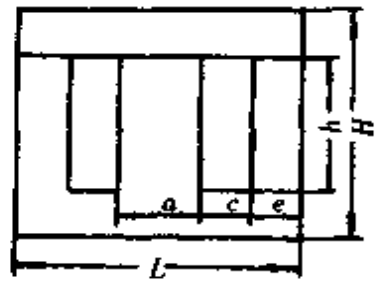


图 2.5.4 GE 型铁心叠积示意图

表 2.5.7 GE 型铁心变压器计算数据表

容量 (V·A)	铁心尺寸 舌宽 $a \times$ 叠厚 $b$ (mm)	磁路长度 (cm)	铁心截面 积 $A_c$ ( $\text{cm}^2$ )	每伏匝 数 $W_0$ (匝/V)	铁心质 量(kg)	磁通密 度 $B_c$ (T)	电流密 度 $J$ (A)	
3	14×18	8.04	2.29	16.4	0.211	1.2	4	
5	14×21		2.68	14	0.246			
6	14×24		3.06	12.3	0.281			
8	14×28		3.57	10.5	0.327			
10	16×20	9.15	2.91	12.9	0.293		4	
11	16×24		3.49	10.7	0.364			
12.5	16×28		4.09	9.17	0.424			
14	16×32		4.66	8.05	0.485			
18	19×24	10.9	4.15	9.04	0.496		4	
20	19×28		4.84	7.75	0.576			
23	19×32		5.53	6.79	0.66			
26	19×38		6.57	5.71	0.783			
30	22×28	12.6	5.62	6.67	0.781		1.2	3
35	22×33		6.61	5.68	0.92			
40	22×38		7.61	4.93	1.06			
45	22×44		8.81	4.26	1.23			
55	26×32	15	7.57	4.95	1.31	3		
65	26×39		9.23	4.06	1.60			
72	26×45		10.7	3.50	1.83			
80	26×52		12.3	3.05	2.12			
92	30×38	17.2	10.4	3.6	1.96	3		
105	30×45		12.3	3.05	2.32			
120	30×52		14.2	2.64	2.68			
130	30×60		16.4	2.29	3.09			
150	35×44	20.0	14	2.68	3.12	2		
165	35×52		16.5	2.26	3.65			
195	35×60		19.1	1.96	4.22			
220	35×70		23.3	1.68	4.92			
260	40×50	23	18.2	2.06	4.84	2		
300	40×60		21.8	1.72	5.8			
340	40×70		25.5	1.47	6.78			
375	40×80		29.1	1.29	7.75			

注:GE 型铁心采用 D41 ~ D43 厚度为 0.35mm 热轧硅钢片。

## 4.5 计算各绕组匝数

### 4.5.1 计算每伏匝数 $W_0$

$$W_0 = \frac{10^4}{4.44 f B_c A_c} = \frac{45}{B_c A_c} = \frac{45}{1.2 \times 19.1} = 1.96 \text{ 匝/V}$$

式中  $f$  ——电源频率, 为 50Hz;

$B_c$  ——铁心磁通密度, 对一般热轧硅钢片, 可取 1.0 ~ 1.2T (本例取 1.2T); 对冷轧硅钢片可取 1.2 ~ 1.6T。

### 4.5.2 计算初级匝数 $W_1$

$$W_1 = W_0 U_1 = 1.96 \times 220 \approx 431 \text{ 匝}$$

### 4.5.3 计算次级匝数 $W_2$

4.5.3.1 选取系数  $K_3$ 。由于次级绕组加上负载后, 其铜线电阻会产生 5% ~ 10% 电压降, 必须适当增加次级绕组的匝数, 因此, 对理想的计算公式  $W_2 = W_0 \hat{U}_2$ , 必须乘上系数  $K_3$ ,  $K_3 = 1.05 \sim 1.1$ 。本例取  $K_3 = 1.05$ 。

4.5.3.2 计算  $W_2$   $W_2 = 1.05 W_0 U_2 = 1.05 \times 1.96 \times 36 \approx 74 \text{ 匝}$

## 4.6 计算导线直径

### 4.6.1 选取电流密度 $j$

可取  $j = 2 \sim 4 \text{ A/mm}^2$ , 本例取  $j = 2 \text{ A/mm}^2$ 。

### 4.6.2 计算初级绕组导线直径 $d_1$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4I_1}{\pi j}} = 1.13 \sqrt{\frac{I_1}{j}} = 1.13 \sqrt{\frac{1.19}{2}} \approx 0.87 \text{ mm}$$

### 4.6.3 计算次级绕组导线直径 $d_2$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4I_2}{\pi j}} = 1.13 \sqrt{\frac{I_2}{j}} = 1.13 \sqrt{\frac{5.56}{2}} = 1.88 \text{ mm}$$

## 4.7 选取漆包线的规格尺寸

根据计算出的  $d_1$ 、 $d_2$  值, 从第 6 篇第 1 章表 6.1.8 选取直径与之相近而较粗的漆包线。选取初级绕组导线直径标准值  $d'_1 = 0.90 \text{ mm}$ , 次级绕组直径标准值  $d'_2 = 1.95 \text{ mm}$ 。

## 4.8 校核铁心窗口面积

### 4.8.1 选取铁窗有效高度 $h$

由上可知, 铁心舌宽  $a = 35 \text{ mm}$ , 查表 2.5.8, 可得铁窗有效高度  $h = 61.5 \text{ mm}$ ,

此高度即为绕组框架长度。

表 2.5.8 GE 型铁心尺寸(mm)系列

尺寸代号①	GE14	GE16	GE19	GE22	GE26	GE30	GE35	GE40
a	14	16	19	22	26	30	35	40
c	9	10	12	14	17	19	22	26
e	9	10	12	14	17	19	22	26
L	50	56	67	78	94	106	123	144
h	25	28	33.5	39	47	53	61.5	72
H	43	48	57.5	67	81	91	105.5	124

注:①同时参阅图 2.5.4。

#### 4.8.2 确定绕组框架有效长度 $h'$

由于在绕组框架两端共约 10% 的长度不绕线,并设框架用厚 1mm 纸板制作,因此框架的有效长度为

$$h' = 0.9 \times (h - 1 \times 2) = 53.6\text{mm}$$

#### 4.8.3 选取排绕系数 $K_4$

根据线径粗细,选取排绕系数  $K_4$ ,其值在 1.05 ~ 1.15 之间,本例取  $K_4 = 1.05$ 。

#### 4.8.4 计算初级绕组的每层匝数 $W_{1n}$

$$W_{1n} = \frac{h'}{K_4 d_1} = \frac{53.6}{1.05 \times 0.9} \approx 57 \text{ 匝}$$

#### 4.8.5 计算次级绕组的每层匝数

$$W_{2n} = \frac{h'}{K_4 d_2} = \frac{53.6}{1.05 \times 1.95} \approx 26 \text{ 匝}$$

#### 4.8.6 计算初级绕组层数 $N_1$

$$N_1 = \frac{W_1}{W_{1n}} = \frac{431}{57} \approx 8 \text{ 层}$$

#### 4.8.7 计算次级绕组层数 $N_2$

$$N_2 = \frac{W_2}{W_{2n}} = \frac{74}{26} \approx 3 \text{ 层}$$

#### 4.8.8 计算初级绕组总厚度 $D_1$

$$D_1 = N_1(d'_1 + l_1) + r_1$$

式中  $l_1$ ——层间绝缘厚度,可视导线直径大小选取 0.02 ~ 0.12mm 厚的白玻璃纸、电缆纸、电话纸,本例选用 0.12mm 厚的电缆纸;

$r_1$ ——绕组间绝缘厚度,本例选用两层 0.12mm 厚的电话纸及两层

0.05mm厚的聚酯薄膜。

因此  $D_1 = 8 \times (0.9 + 0.12) + 0.34 = 8.5\text{mm}$

#### 4.8.9 计算次级绕组总厚度 $D_2$

$$D_2 = N_2 d'_2 + (N_2 - 1)l_2 + r_2$$

式中  $l_2$ ——层间绝缘厚度,本例选用两层 0.12mm 厚的电缆纸;

$r_2$ ——绕组间绝缘厚度,本例选用  $r_2 = r_1 = 0.34\text{mm}$ 。

因此  $D_2 = 3 \times 1.95 + (3 - 1) \times 0.12 \times 2 + 0.34 = 6.67\text{mm}$ 。

#### 4.8.10 选取绕组骨架的厚度 $D_0$

本例骨架用 1mm 厚纸板制作,外包两层 0.05mm 厚的电话纸及两层 0.05mm 厚的聚酯薄膜,因此

$$D_0 = 1 + 0.05 \times 2 + 0.05 \times 2 = 1.2\text{mm}$$

#### 4.8.11 计算绕组总厚度 $D$

$$D = K_s (D_0 + D_1 + D_2)$$

式中,  $K_s$  为叠绕系数,可取 1.1~1.2,本例取 1.15。

将  $K_s = 1.15$  及  $D_0, D_1, D_2$  值代入上式,可得

$$D = 1.15 \times (1.2 + 8.5 + 6.67) = 18.8\text{mm}$$

从表 2.5.8 查得,窗宽  $c = 22\text{mm}$ ,显然  $D < c$ ,故此计算结果是可行的,而且考虑了手工绕制实际情况,留有一定的余量。

当然,也可按变压器额定容量  $P_2$  直接查表 2.5.7 可得铁心尺寸、铁心截面积、每伏匝数和电流密度,然后再往下计算。此方法比较简单,虽然计算结果略有差别,但一般情况还是可以适用的。

## 5 C型变压器的设计计算实例

【例】试设计一台灯丝变压器,其技术数据是:初级电压  $U_1 = 220\text{V} \pm 10\%$ ,次级电压  $U_2 = 6.5\text{V}$ ,次级电流  $I_2 = 1.6\text{A}$ ,电流频率  $f = 50\text{Hz}$ ,电压调整率  $\Delta U \leq 10\%$ ,环境温度  $55^\circ\text{C}$ 。

### 5.1 计算变压器容量 $P_2$

$$P_2 = I_2 U_2 = 1.6 \times 6.5 = 10.4\text{W}$$

### 5.2 选择铁心

根据计算的  $P_2$  值选择铁心,并查出对应的铁心截面积  $A_c$ ,效率  $\eta$ ,空载磁通密度  $B_1$ 。

根据  $P_2$  值,查表 2.5.9,选用 XED12×25×40 铁心,  $P_2 = 11.5\text{W}$ 。

表 2.5.9 XED 型铁心电源变压器技术数据

铁心型号	技术指标					空载特性					线圈计算数据								
	$VA_1$	$P_2$	$\eta$	$B_1$	$J$	$\Delta u$	$VA_y$	$P_c$	初级电压 $U_1 = 220$ 伏			初级匝数	每伏匝数		底筒高度	底筒厚度	筒宽	$A_c$	
	V·A	W	$P_2/P_1$	T	A/mm <sup>2</sup>	%	V·A	W	$I_q$	$I_c$	$I_n$		初级 $W_0$	次级 $W_n$					mm
XED10×20×16	1.45	0.631	0.681				1.42	0.225	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	220V	15.8	17.6	15				
	1.84	0.989	0.731	16.0	1.66	10	1.60	0.254	6.44	1.02	6.52	3480			19		8	1.78	
	2.38	1.45	0.763				1.83	0.290	7.27	1.15	7.36				24				
	3.21	2.16	0.788				2.15	0.341	8.31	1.32	8.42				31				
XED12×25×20	5.88	3.92	0.804				4.46	0.519	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	2052	9.33	10.4	19				
	7.91	5.75	0.824	1.75	2.30	10	5.04	0.586	20.3	2.36	20.4				24		10	2.76	
	10.6	8.14	0.837				5.85	0.680	22.9	2.66	23.1				31				
	14.5	11.5	0.848				6.77	0.788	26.6	3.09	26.8				39				
XED16×32×25	25.7	20.9	0.856				12.1	1.19	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	1169	5.31	5.90	23.5				
	35.3	29.4	0.864	1.80	3.13	10	13.8	1.36	54.9	5.43	55.2				30.5		12.5	4.71	
	45.5	38.4	0.868				15.8	1.56	62.7	6.20	63.0				38.5				
	57.7	49.1	0.871				18.2	1.80	71.7	7.09	7.02				48.5				
XED20×40×32	74.2	63.1	0.870				23.9	2.37	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	748	3.40	3.78	30.5				
	96.6	83.0	0.875	1.80	3.90	10	27.0	2.67	109	10.8	109				30.5		16	7.36	
	136	118	0.879				30.9	3.05	123	12.1	123				38.5				
	167	146	0.884				36.2	3.58	140	13.9	141				48.5				
XED25×50×40	195	172	0.897				47.0	4.64	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	479	2.18	2.37	38.5				
	236	211	0.907	1.80	3.72	8.03	53.0	5.24	213	21.1	215				38.5		20	11.5	
	293	264	0.915				61.4	6.07	241	23.8	242				48.5				
	346	314	0.919				70.9	7.02	279	27.6	280				62.5				
XED32×64×50	443	405	0.930				97.1	9.60	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$				78.5				
	547	505	0.937	1.80	3.90	10	111	11.0	441	43.6	443				48.5		25	18.8	
	652	605	0.941				127	12.5	504	49.8	506				62.5				
	787	714	0.944				146	14.5	575	56.9	578				78.5				
XED40×80×64	927	870	0.949				155	18.1	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$	$A \times 10^{-3}$				98.5				
	1117	1054	0.953	1.75	2.32	3.20	175	20.4	707	82.2	711				62.5		32	29.4	
	1435	1366	0.959				200	23.3	796	92.7	802				78.5				
	1743	1664	0.962				231	26.8	908	106	915				98.5				

同时查得:  $\eta = 0.848$ ,  $B_1 = 1.75\text{T}$ ,  $A_c = 2.76\text{cm}^2$ 。

### 5.3 计算初级容量 $P_1$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{11.5}{0.848} = 13.6\text{W}$$

### 5.4 计算初、次级匝数 $W_1$ 、 $W_2$

初级线圈匝数计算公式见表 2.5.10。

表 2.5.10 初、次级匝数参考表

采用表 2.5.9 中的 $B_1$ 、 $\Delta u\%$ 时	自行选择 $B_1$ 、 $\Delta u\%$ 时
$W_1 = U_1 W_0'$	$W_0' = \frac{10^4}{4.44 B_1 A_c f}$
$W_2 = U_2 W_0$	$W_0 = (1 + \Delta u\%) \times W_0'$
.....	$W_1 = U_1 W_0'$
$W_0'$ 、 $W_0$ 查表 2.5.9 可得。当	$W_2 = U_2 W_0$
$U_1 = 220\text{V}$ , $f = 50\text{Hz}$ 时, $W_1$ 可	.....
直接查表 2.5.9	$W_n = U_n W_0$

采用表 2.5.9 中的  $B_1$ 、 $\Delta u\%$ ,  $U_1 = 220\text{V}$ ,  $f = 50\text{Hz}$ , 由表 2.5.9 直接查得:

$$W_1 = 2052 \text{ 匝}$$

$$W_0 = 10.4 \text{ 匝/伏}$$

$$W_2 = U_2 W_0 = 6.5 \times 10.4 = 68 \text{ 匝}$$

### 5.5 计算空载电流 $I_0$ 和初级电流 $I_1$

空载电流和次级电流的计算见表 2.5.11。

表 2.5.11 计算空载电流和初级电流参考表

采用表 2.5.9 中的 $B_1$ 值时	自行选择 $B_1$ 值时
铁耗电流 $I_c = P_c / U_1$ (A)	根据工作频率及 $B_1$ 查铁耗曲线图得
磁化电流 $I_\varphi = VA_\varphi / U_1$ (A)	$H_1$ 、 $P_{c_0}$ , 计算
空载电流 $I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_\varphi^2}$ (A)	铁 耗 $P_c = P_{c_0} G_c$ (W)
$VA_\varphi$ (磁化伏安), $P_c$ 查表 2.5.9, 当	铁耗电流 $I_c = P_c / U_1$ (A)
$U_1 = 220$ 伏时, $I_\varphi$ 、 $I_c$ 、 $I_0$ 可直接查	磁化电流 $I_\varphi = H_1 I_c / W_1$ (A)
表 2.5.9	空载电流 $I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_\varphi^2}$ (A)

因采用表 2.5.9 中  $B_1$  值,  $U_1 = 220\text{V}$ 。

查表 2.5.9, 并按表中公式计算得:  $I_\varphi = 30.8\text{mA}$ 。



$$I_c = 3.58\text{mA}$$

$$I_0 = 31.0\text{mA}$$

$$I_2' = \frac{W_2}{W_1} I_2 = \frac{68}{2052} \times 1.6 \times 10^3 = 53\text{mA}$$

$$I_1' = I_2' + I_c = 53.0 + 3.58 = 56.58\text{mA}$$

$$I_1 = \sqrt{I_1'^2 + I_0^2} = \sqrt{56.58^2 + 30.8^2} = 64.4\text{mA}$$

## 5.6 计算初、次级线圈导线截面积 $A_1$ 、 $A_2$ , 选择线径

查表 2.5.9 得  $j = 2.3\text{A/mm}^2$ , 初级线圈导线截面积为

$$A_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{64.4}{2.3} \times 10^{-3} = 0.028\text{mm}^2$$

次级线圈导线截面积为

$$A_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{1.6}{2.3} = 0.695\text{mm}^2$$

查表 6.1.78 中对应  $A_1$  和  $A_2$  选出导线直径和带绝缘层直径:

$$d_1 = 0.19\text{mm} \quad d_{1m} = 0.22\text{mm}$$

$$d_2 = 0.96\text{mm} \quad d_{2m} = 1.02\text{mm}$$

## 5.7 计算变压器各线圈对铁心的试验电压 $U_s$

线圈对铁心的试验电压由表 2.5.12 中选取。

表 2.5.12 线圈对铁心试验电压表

线圈工作电压	试验电压 $U_s$ (50Hz)
$U_p < 24(\text{V})$	$U_s = 250(\text{V})$
$24(\text{V}) < U_p \leq 100(\text{V})$	$U_s = 500(\text{V})$
$100(\text{V}) < U_p \leq 500(\text{V})$	$U_s = 2000(\text{V})$
$U_p > 500(\text{V})$	$U_s = 2U_p + 1000(\text{V})$

由表 2.5.12 查得:

初级  $U_{s1} = 2000\text{V}$

次级  $U_{s2} = 250\text{V}$

## 5.8 线圈结构及参数计算

### 5.8.1 确定端空距离 $d$

$$d = \delta_1 + Z$$

式中  $\delta_1$  ——端封或灌注层每端厚度;

$Z$ ——线圈线边至纸边的距离。

初级留边距 2mm, 次级留边距 3.5mm, 每端留裹覆层厚度为 0.5mm。

因此, 初级  $d_1 = 2 + 0.5 = 2.5\text{mm}$ ; 次级  $d_2 = 3.5 + 0.5 = 4\text{mm}$ 。

### 5.8.2 计算各线圈每层匝数 $W_n$ 和每线圈匝数

绕线宽度

$$L_0 = h - 2d$$

式中  $h$ ——底筒高度, (可由表 2.5.9 查得);

$d$ ——端空距离。

由表查得  $h = 39\text{mm}$ 。

初级  $L_{01} = h - 2d_1 = 39 - 2 \times 2.5 = 34\text{mm}$ 。

次级  $L_{02} = h - 2d_2 = 39 - 2 \times 4 = 31\text{mm}$ 。

每层匝数

$$W_n = \frac{L_0}{d_m k'} - 1$$

式中  $k'$ ——排绕系数(见表 2.5.13);

$d_m$ ——导线最大外径。

线圈需绕层数

$$N_n = \frac{W}{W_n}$$

表 2.5.13 排绕、叠绕系数表

导线直径 (mm)	排绕系数 $K'$	叠绕系数 $K''$	导线直径 (mm)	排绕系数 $K'$	叠绕系数 $K''$
0.07~0.1	1.15	1.2	0.16~0.59	1.05	1.15
0.11~0.15	1.1	1.15	0.62 以上	1.05	1.15

按所选择的线径, 由表 2.5.13 查得  $K_1' = 1.05$ ,  $K_2' = 1.05$ 。

初级每层匝数  $= \frac{L_{01}}{d_{1m} K_1'} - 1 = \frac{34}{0.22 \times 1.05} - 1 = 146$  匝

初级层数  $N_1 = \frac{2052}{146} = 14$  层

次级每层匝数  $= \frac{L_{02}}{d_{2m} K_2'} - 1 = \frac{31}{1.02 \times 1.05} - 1 = 28$  匝

次级层数  $N_2 = \frac{68}{28} = 2.4$  层  $\approx 3$  层

### 5.8.3 确定线圈层间、线圈内层、线圈间及外包绝缘

线圈层间绝缘:初级选用  $1 \times 0.03$  电容器纸,次级选用  $1 \times 0.12$  电缆纸。

线圈内层绝缘:选用  $2 \times 0.05$  电话纸。

线圈间绝缘:选用  $3 \times 0.12$  电缆纸。

外包绝缘:选用  $2 \times 0.12$  电缆纸。

### 5.8.4 计算线圈厚度 $H$

线圈厚度  $H$

$$H = d_m N_n K'' + Z_1 + Z_2$$

式中  $Z_1$ ——线层间绝缘总厚;

$Z_2$ ——线圈外包绝缘厚度;

$K''$ ——叠绕系数,见表 2.5.13。

查表 2.5.13,  $K_1'' = 1.15$ ,  $K_2'' = 1.15$ 。

初级线圈厚度  $= 0.22 \times 14 \times 1.15 + 0.03 \times 13 + 3 \times 0.12 = 4.29\text{mm}$

次级线圈厚度  $= 1.02 \times 3 \times 1.15 + 0.12 \times 3 + 2 \times 0.12 = 4.12\text{mm}$

线圈总厚度  $H_m$

$$H_m = \delta' + Z_3 + Z_m$$

式中  $\delta'$ ——底筒厚度;

$Z_3$ ——内层绝缘厚度;

$Z_m$ ——各线圈厚度。

查表 2.5.9,  $\delta' = 1\text{mm}$ , 窗宽  $D_m = 10\text{mm}$ 。

$H_m = 1 + 2 \times 0.05 + 4.29 + 4.12 = 9.51\text{mm}$

$H_m < D_m$

### 5.8.5 各线圈平均匝长 $L_m$

$L_m$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) 可按图 2.5.5 查得:

$$L_{m1} = 10.2\text{mm}$$

$$L_{m2} = 11.4\text{mm}$$

### 5.8.6 各线圈导线长度的计算

$$L_n = L_m W_n \times 10^{-2} \text{m}$$

$$L_{n1} = 10.2 \times 2052 \times 10^{-2} = 209.3\text{m}$$

$$L_{n2} = 11.4 \times 68 \times 10^{-2} = 7.75\text{m}$$

### 5.8.7 各线圈铜重

$$G_m = L_n \times 10^{-3} \times \text{导线每千米铜重}$$

导线每千米铜重查表 6.1.78:

$$G_{m1} = 209.3 \times 10^{-3} \times 0.253 = 0.053\text{kg}$$

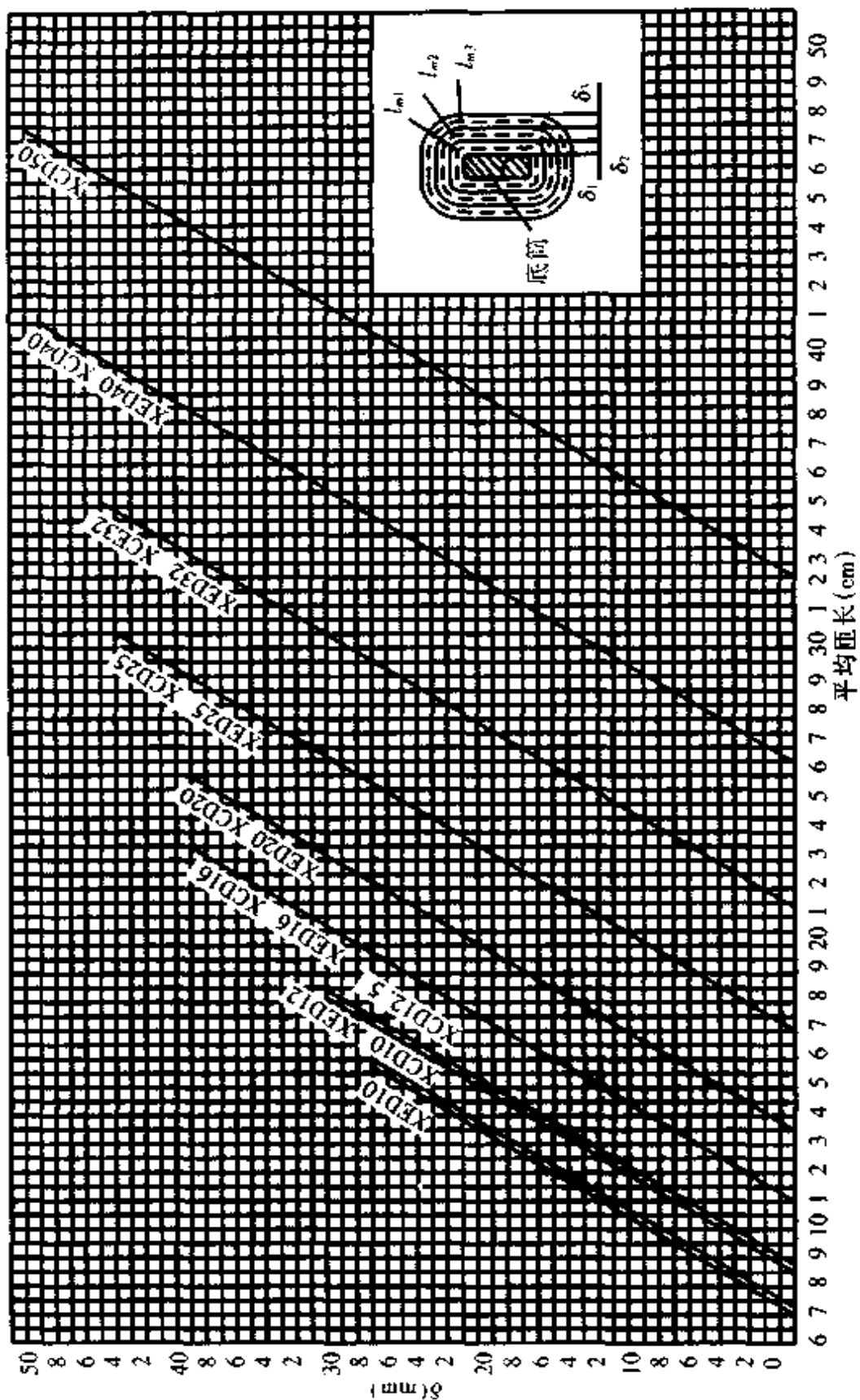


图 2.5.5 平均匝长与线圈层厚的关系曲线

$$G_{m2} = 7.75 \times 10^{-3} \times 6.43 = 0.0498 \text{kg}$$

### 5.8.8 各线圈铜阻和铜耗

计算 20℃ 时的铜阻:

$$r_{n(20^\circ\text{C})} = L_n \times 10^{-3} \times \text{导线每千米电阻}$$

$$r_{1(20^\circ\text{C})} = 209.3 \times 10^{-3} \times 618 = 129.3 \Omega$$

$$r_{2(20^\circ\text{C})} = 7.76 \times 10^{-3} \times 24.2 = 0.188 \Omega$$

热态铜阻

$$r_n = K_T r_{n(20^\circ\text{C})}$$

式中  $K_T$ ——线圈热态铜阻比冷态 (20℃) 铜阻增大的倍数。

估计变压器线圈平均温升  $\Delta T_m$  约为 15℃, 故线圈平均工作温度为  $15 + 55 = 70^\circ\text{C}$ 。查图 2.5.6 得

$$K_T = 1.2$$

$$r_1 = 1.2 \times 129.3 = 155.2 \Omega$$

$$r_2 = 1.2 \times 0.188 = 0.226 \Omega$$

热态铜耗

$$\begin{aligned} P_m &= I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + \dots + I_n^2 r_n \\ &= 64.4^2 \times 155.2 \times 10^{-6} + 1.6^2 \times 0.226 \\ &= 1.22 \text{W} \end{aligned}$$

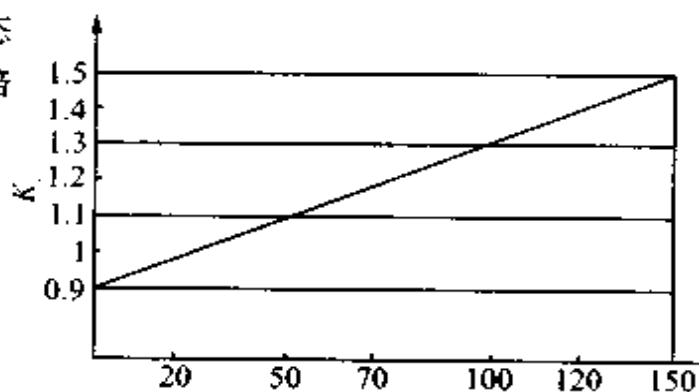


图 2.5.6  $K_T$  值与温度的关系曲线

## 5.9 电压比核算

次级开路电压

$$U_{20} = \frac{W_2}{W_1} U_1 = \frac{68}{2052} \times 220 = 7.3 \text{V}$$

初级感应电压

$$E_1 = U_1 - I_1 r_1 = 220 - 64.4 \times 10^{-1} \times 155.2 = 210 \text{V}$$

次级感应电压

$$E_2 = \frac{W_2}{W_1} E_1 = \frac{68}{2052} \times 210 = 6.96 \text{V}$$

$$U_2 = 6.96 - 1.6 \times 0.226 = 6.6 \text{V}$$

电压调整率

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{7.3 - 6.6}{7.3} = 9.6\%$$

$\Delta U$  小于预定值 10%。

空载损耗

$$P_0 = I_0^2 r_{(20^\circ\text{C})} + P_{\text{Fe}} = 31^2 \times 10^{-6} \times 129.3 + 0.788 = 0.91\text{W}$$

## 6 R 型变压器的设计计算实例

【例】技术条件：

初级输入： $U_1 = 220\text{V} \pm 10\%$ ； $f = 50\text{Hz}$ 。

次级输出： $U_2 = 18\text{V}$ ； $I_2 = 2\text{A}$ ；要求温升  $\Delta T \leq 45^\circ\text{C}$ ，电压调整率  $\Delta U < 15\%$ 。

### 6.1 计算变压器容量 $P$

$$P = U_2 I_2 = 18 \times 2 = 36\text{V}\cdot\text{A}$$

选择铁心：由表 2.5.14 可知，选择 R-30 铁心。

### 6.2 计算变压器初、次级匝数

查表 2.5.14，可以得到 R-30 铁心对应的参数。

表 2.5.14 R 型变压器铁心参数表

型号	容量 (V·A)	截面积 ( $\text{cm}^2$ )	质量 (kg)	$B_m$ (T)	变压器 效率(%)	电压调 整率(%)	电流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )
R-10	9~15	1.8	0.224	1.7	77~80	17~20	4~4.5
R-20	20~28	2.27	0.31	1.7	79~81	14~18	3.8~4.5
R-30	30~45	2.8	0.45	1.7	81~83	11~15	3.5~4.0
R-40	35~55	3.11	0.513	1.7	82~85	10~13	3.3~3.8
R-50	50~65	3.46	0.573	1.7	85~89	9~12	3.2~3.5
R-80	70~100	3.83	0.785	1.63	87~90	8~10	3.0~3.3
R-100	90~130	4.83	1.02	1.65	88~90	8~9	2.8~3.2
R-160	150~200	5.2	1.218	1.64	88~91	7~8	2.6~3.0
R-260	200~300	6.22	1.575	1.68	89~91	6~7	2.6~3.0
R-320	280~380	6.98	1.925	1.7	89~92	6~7	2.5~3.0
R-600	380~620	10	2.988	1.6	90~94	5~6	2.4~2.8
R-1000	650~1200	13.9	5.094	1.67	91~95	5~6	2.4~2.8

铁心截面积： $A_c = 2.8\text{cm}^2$ 。

磁感应强度:  $B_m = 1.7T$ 。

电压调整率取:  $\Delta U = 12\%$ 。

根据公式,算得初级每伏匝数:

$$W_{1v} = \frac{10^4}{4.44 \cdot B_m \cdot A_c \cdot f} = \frac{10^4}{4.44 \times 1.7 \times 2.8 \times 50} = 9.463(\text{匝/V})$$

次级每伏匝数:

$$W_{2v} = \frac{W_{1v}}{1 - \Delta U} = \frac{9.463}{1 - 12\%} = 10.753 \text{ 匝/V}$$

故初级匝数:  $W_1 = W_{1v} \cdot U_1 = 9.463 \times 220 = 2082$  匝。

次级匝数:  $W_2 = W_{2v} \cdot U_2 = 10.753 \times 18 = 193$  匝。

## 6.3 计算初、次级漆包线线径

### 6.3.1 次级反射到初级电流

$$I_2' = \frac{W_2}{W_1} I_2 = \frac{193}{2082} \times 2 = 0.185A = 185mA$$

### 6.3.2 铁耗电流 $I_c$

查表 2.5.15, R-30 的空载损耗  $P_{c_0} = 0.55W$

$$\text{则 } I_c \approx I_{c_0} = \frac{P_{c_0}}{U_1} = \frac{0.55}{220} = 2.5mA$$

### 6.3.3 空载电流 $I_0$

同样查表 2.5.15, 得 R-30 铁心的空载电流  $I_0 = 4mA$ 。

表 2.5.15 空载电流、空载损耗

型号	容量(V·A)	空载电流(mA)	空载损耗(W)	质量(kg)
R-8	8~10	1.2	0.23	0.19
R-10	9~15	2	0.27	0.224
R-20	20~28	3	0.38	0.31
R-26	25~35	3	0.43	0.35
R-30	30~45	4	0.55	0.45
R-35	45~60	5	0.56	0.46
R-40	35~55	5	0.63	0.513
R-50	50~65	6	0.70	0.573
R-80	70~100	7	0.96	0.785

续表

型号	容量(VA)	空载电流(mA)	空载损耗(W)	质量(kg)
R-100	90~130	8	1.24	1.02
R-160	150~200	10	1.49	1.218
R-260	200~300	12	1.92	1.575
R-320	280~380	15	2.35	1.925
R-600	380~600	20	3.65	2.988
R-1000	650~1200	28	6.21	5.094

注:表中指标以输入端施加频率为50Hz或60Hz的220V电压为准。

#### 6.3.4 初级总电流

$$I_1 = I_2' + I_c = 185 + 2.5 = 187.5 \text{ mA}$$

#### 6.3.5 初、次级线径

查表2.5.14,对R-30铁心,取电流密度 $j = 3.8 \text{ A/mm}^2$ ,则

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.13 \sqrt{\frac{I_1}{j}} = 1.13 \times \sqrt{\frac{0.1875}{3.8}} \\ &= 0.25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= 1.13 \sqrt{\frac{I_2}{j}} = 1.13 \times \sqrt{\frac{2}{3.8}} \\ &= 0.82 \text{ mm} \end{aligned}$$

若次级采用两组并联,则: $d_2 = 1.13 \times \sqrt{\frac{I_2}{2j}} = 0.58 \text{ mm}$ ,查表6.1.78,选用如下线径的导线。

$$d_1 = 0.26 \text{ mm} \quad d_{\text{max}1} = 0.294 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0.65 \text{ mm} \quad d_{\text{max}2} = 0.694 \text{ mm}$$

### 6.4 计算初、次级绕线层数及绕线高度

#### 6.4.1 初级

查表2.5.16,对R-30骨架,初级绕线宽度

$$H = 42.3 \text{ mm}$$

初级绕线高度  $C = 2.2 \text{ mm}$

$$\text{单层匝数} = \frac{H}{d_{\text{max}1}} = \frac{42.3}{0.294} = 144 \text{ 匝}$$

又因为初级采用双骨架对称串联绕制,故初级绕组层数

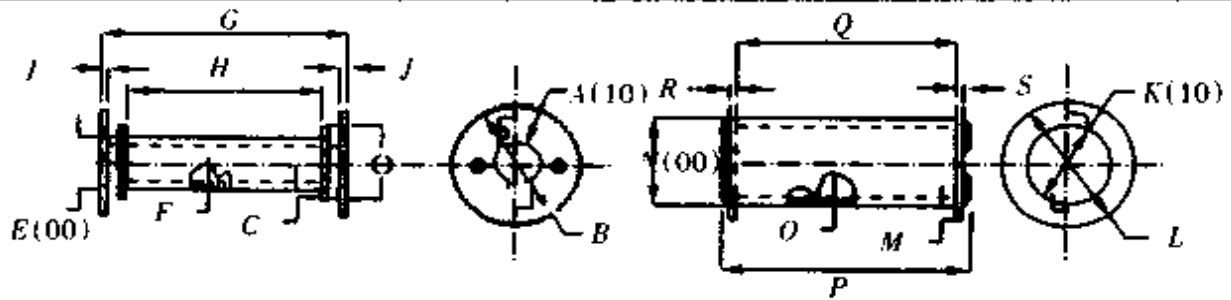


$$n_1 = \frac{2082}{144 \times 2} = 7.23 \approx 8 \text{ 层}$$

初级绕线高度  $\delta_1 = 0.9 \times 8 \times 0.294 = 2.1\text{mm} < C(2.2\text{mm})$

式中系数 0.9 为绕线层叠系数。

表 2.5.16 R 型变压器骨架参数表(mm)



序号	尺寸	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	R-10 (RS-1)	17.0	29.3	2.3	22.0	19.6	1.3	38.6	29.3	1.5	1.5	22.8	29.0	1.9	25.2	1.2	33.0	27.7	1.3	3.3
2	R-20 (RS-2)	19.6	33.2	2.0	20.0	22.0	1.2	40.4	31.1	1.5	1.5	25.8	33.0	2.5	26.0	1.1	35.2	31.1	0.8	0.8
3	R-30 (RS-3)	21.2	35.5	2.2	27.6	23.6	1.2	52.1	42.3	1.6	1.0	27.9	35.5	2.5	30.5	1.3	40.0	42.3	1.0	1.0
4	R-40 (RS-4)	22.7	38.7	2.3	30.2	25.5	1.4	50.0	39.5	1.7	1.7	30.3	39.1	3.3	32.5	1.1	43.8	39.2	0.8	0.8
5	R-50 (RS-5)	23.6	39.8	2.6	31.4	26.2	1.3	49.1	39.6	2.0	2.0	32.2	40.4	2.9	34.6	1.2	43.5	39.0	0.8	0.8
6	R-80 (RS-8)	25.3	44.0	2.6	33.6	28.3	1.5	70.7	58.7	2.1	2.1	34.3	43.1	3.2	38.7	1.2	62.3	69.1	1.2	1.0
7	R-80L (RS-8L)	23.3	40.0	2.6	31.3	20.1	1.4	78.5	68.8	1.8	1.8	31.7	40.0	2.9	34.1	1.2	73.3	88.0	1.2	1.0
8	R-100 (RS-10)	28.5	49.6	3.5	38.6	31.5	1.5	68.2	57.9	2.1	2.1	39.0	49.0	3.7	41.0	1.3	61.7	56.3	1.3	1.3
9	R-160 (RS-16)	29.5	52.0	3.8	40.2	32.5	1.5	77.4	68.4	2.0	2.0	40.8	51.4	4.2	43.0	1.2	73.0	88.5	1.3	1.3
10	R-260 (RS-18)	32.0	56.0	4.1	44.2	36.0	2.0	87.5	78.0	2.4	2.4	44.4	56.0	4.5	47.0	1.3	82.5	73.9	1.5	1.8
11	R-320 (RS-20)	34.0	60.0	4.5	46.6	37.5	1.7	94.6	82.7	2.5	2.5	40.8	59.8	4.9	49.8	1.5	88.0	78.0	1.5	1.5
12	R-600 (RS-24)	40.0	88.0	12.1	66.0	43.7	1.8	101.8	91.6	3.7	2.2	52.4	66.6	5.5	55.6	1.0	91.4	85.2	1.2	1.4
13	R-1000 (RS-28)	48.0	84.2	8.3	84.8	52.2	2.1	125.7	111.5	3.1	3.1	55.2	84.2	7.5	68.2	2.0	118.9	106.2	2.3	1.7

因此,初级骨架能够绕下。

#### 6.4.2 次 级

查表 2.5.16,对 R-30 骨架有:次级绕线宽度

$$Q = 42.3\text{mm}$$

次级绕线高度  $M = 2.5\text{mm}$

$$\text{骨架单层绕线匝数} = \frac{Q}{d_{\text{max}2}} = \frac{42.3}{0.694} = 61 \text{ 匝}$$

$$\text{次级绕线层数 } n_2 = \frac{W_2}{61} = \frac{194}{61} = 3.2 \approx 4 \text{ 层}$$

$$\text{次级绕线高度 } \delta_2 = 0.9 \times n_2 \times d_{\text{max}2} = 0.9 \times 4 \times 0.694 = 2.5\text{mm} \leq M(2.5\text{mm})$$

因此次级骨架也能够绕下。

## 6.5 计算漆包线线长及线重

### 6.5.1 初 级

查表 2.5.16, 得 R-30 初级骨架直径  $E = 23.6\text{mm}$ 。

查表 6.1.78, 得 0.26mm 漆包线每千米质量 = 0.49kg/km。

$$\text{初级线长 } L_1 = 3.14 \times (23.6 + 2.1) \times 10^{-3} \times 2082 = 168\text{m}$$

$$\text{线重 } G_1 = 168 \times 0.49 / 1000 = 0.0823\text{kg}$$

### 6.5.2 次 级

查表 2.5.16, 得 R-30 次级骨架直径  $N = 30.5\text{mm}$ 。

查表 6.1.78, 得 0.65mm 漆包线每千米质量 = 3kg/km。

$$\text{次级线长 } L_2 = 3.14 \times (30.5 + 2.5) \times 10^{-3} \times 193 \times 2 = 40\text{m}$$

$$\text{线重 } G_2 = 40 \times 3 / 1000 = 0.12\text{kg}$$

## 6.6 计算初、次级冷态及热态电阻

### 6.6.1 变压器初级(串联绕制)

查表得 20℃ 时, 0.26mm 漆包线电阻率 = 0.341Ω/m, 故

$$r_1 = L_1 \times 0.341 = 168 \times 0.341 = 57.3\Omega$$

实际工作时, 初级电流密度

$$j_{\text{实}1} = \frac{1.13^2 \times I_1}{d_1^2} = \frac{1.13^2 \times 0.1875}{(0.26)^2} = 3.53\text{A/mm}^2$$

因此, 热阻系数  $K_{r_1} = 1 + j_{\text{实}1} \times K \times 0.004 = 1 + 3.53 \times 12.5 \times 0.004 = 1.177$ 。

式中  $K$  是实验结果, 对 R-30 变压器, 带负载工作时, 电流密度  $j = 1$ ; 变压器温升  $K = 12.5\text{℃}$ ; 铜的线胀系数 = 0.004m/℃。

### 6.6.2 变压器次级(并联绕制)

查表得 20℃ 时, 0.65mm 漆包线电阻率 = 0.05326Ω/m, 故

$$r_2 = L_2 \times 0.05326 / 4 = 40 \times 0.05326 / 4 = 0.533\Omega$$

实际工作时,次级绕阻电流密度

$$j_{\text{实}2} = \frac{1.13^2 I_2}{2d_2^2} = \frac{1.13^2 \times 2}{2 \times 0.65^2} = 3.02 \text{A/mm}^2$$

因此,热阻系数  $K_{T_2} = 1 + j_{\text{实}2} \times K \times 0.004$

$$= 1 + 3.02 \times 12.5 \times 0.004 = 1.15$$

次级热态电阻  $R_2 = K_{T_2} \times r_2 = 1.15 \times 0.533 = 0.613 \Omega$

## 6.7 计算次级空载电压及负载电压

$$\text{次级空载电压 } U_{20} = \frac{W_2}{W_1} U_1 = \frac{193}{2082} \times 220 = 20.4 \text{V}$$

$$\text{初级感应电压 } E_1 = U_1 - I_1 R_1 = 220 - 0.1875 \times 67.5 = 207.3 \text{V}$$

$$\text{次级感应电压 } E_2 = \frac{W_2}{W_1} E_1 = \frac{193}{2082} \times 207.3 = 19.2 \text{V}$$

$$\text{次级负载电压 } U_2 = E_2 - I_2 R_2 = 19.2 - 2 \times 0.613 = 17.97 \text{V} \approx 18 \text{V}$$

$$\text{电压调整率 } \Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} = \frac{20.4 - 18}{20.4} = 11.8\% \approx 12\%$$

## 6.8 变压器损耗计算

查表 2.5.15,得空载损耗  $P_0 = 0.55 \text{W}$ 。

负载总损耗为:  $P_m = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + P_0$

$$= 0.1875^2 \times 67.5 + 2^2 \times 0.613 + 0.55 = 5.38 \text{W}$$

## 6.9 温升计算

初级温升  $= 12.5 \times j_{\text{实}1} = 12.5 \times 3.53 \approx 44^\circ \text{C}$

次级温升  $= 12.5 \times j_{\text{实}2} = 12.5 \times 3.02 \approx 38^\circ \text{C}$

热平衡时平均温升:  $\Delta T = \frac{44 + 38}{2} = 41^\circ \text{C}$ 。

## 第六章 互 感 器

互感器是电力系统中供测量和保护用的重要设备,是专门用作电流或电压变换的特种变压器。它可以分为电流互感器、电压互感器两大类。另外还有一种组合式变压器,它是将电流互感器和电压互感器装在一个整体内。

互感器的主要作用是:

- (1)与测量仪表配合,测量电力线路的电压、电流和电能;
- (2)与继电保护装置、自动控制装置配合,对电力系统和设备进行过电压、过电流、过负载和单相接地等进行保护;
- (3)将测量仪表、继电保护装置和自动控制装置等二次装置与线路高电压隔离开,以保证运行人员和二次装置的安全;
- (4)将线路中的电压和电流变换成统一的标准值,以利于测量仪表、继电保护装置和自动控制装置标准化。

### 1 电流互感器

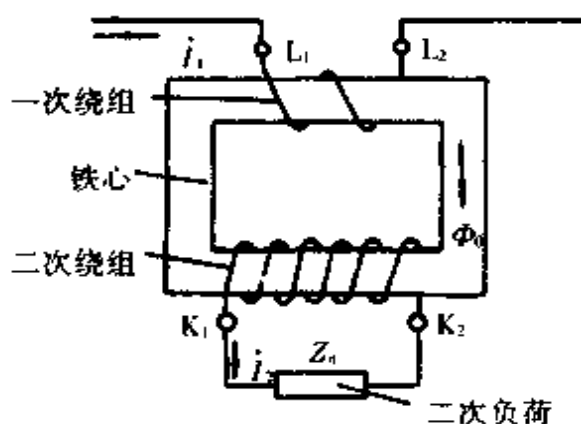


图 2.6.1 电磁式电流互感器工作原理简图

#### 1.1 工作原理

电流互感器是将高压供电系统中的电流或低压供电系统中的大电流变换成低压标准的小电流(一般是 5A 或 1A)。常用的电流互感器是电磁式电流互感器,是按电磁感应原理进行工作的。另有光电式电流互感器,目前尚处于开发阶段。

图 2.6.1 示出了电磁式电流互感器的工作原理。其一次绕组串接在电力线路中,二次绕组接测量仪表或继电保护、自动控制

装置,接近于短路状态。一次绕组电流就是线路的电流,其大小取决于线路的负荷,与互感器的二次负荷无关。当线路电流,即一次绕组的电流发生变化时,通过电磁感应,互感器的二次电流随之成比例地作相应变化。由于电力线路中的电流一般都很大,因此,电流互感器的一次绕组匝数比较少,而二次绕组的匝数比较多。通过选择适当的匝数比,可以将数值不同的较大一次电流变换为较小的标准的二次电流。

电磁式电流互感器正常运行时,磁势是互相平衡的,其励磁安匝很小。如果二次出现开路时,一次安匝就将会全部用于励磁,这时铁心将处于高度饱和状态,造成铁心的损耗大大增加,温度也急剧升高。尤其是在二次绕组上会感应出很高的电压,危及人员安全。另外,由于铁心中的剩磁还会影响互感器的误差,因此,无论是在试验时还是在运行时,电流互感器的二次绕组一定不能开路。

## 1.2 分类和型号

### 1.2.1 分 类

1.2.1.1 测量用和保护用 电流互感器按其用途可分为测量用和保护用两大类。测量用电流互感器是在系统正常工作时测量电流和参与测量电能,故要求有一定的准确度。保护用电流互感器用于继电保护和自动控制,可在系统发生短路或其他故障时起保护作用,要求有良好的过电流工作特性。保护用电流互感器又分为一般保护用和暂态保护用两种。

1.2.1.2 户内式和户外式 按装置种类分,可分为户内式和户外式,前者只能装于户内,其额定电压多在 35kV 及以下,后者可安装于户外,电压多在 35kV 以上。

1.2.1.3 油绝缘、浇注绝缘、干式绝缘和气体绝缘 按绝缘介质分,可分为以下几类:

(1)油绝缘电流互感器:即油浸式电流互感器,其内部是油和纸的复合绝缘,多用于户外,电压可达 500kV 以上。高压油浸式电流互感器可分为链型绝缘和电容型绝缘,前者用于 63kV 及以下场合,后者多用于 220kV 及以上场合,110kV 互感器这两种绝缘都采用。为避免油浸式互感器内部变压器油与外界空气直接接触,国产的高压油浸互感器已普遍采用装有金属膨胀器的全密封结构。

(2)浇注绝缘电流互感器:采用的合成树脂分为环氧树脂和不饱和树脂两种,国外亦有用特殊橡胶浇注的电流互感器,目前一般只能用在 35kV 及以下的互感器上。不饱和树脂浇注互感器具有材料价格便宜、常温固化、浇注工艺简单的特点,但只能用于低压互感器。环氧树脂电流互感器的性能要比不饱和树脂电流互感器好,可用于中、高压互感器。它分为半浇注和全浇注两种结构。半浇注结构是将一、二次绕组、引线及其引线端子,用环氧树脂混合胶浇注成一个整体,再将其和铁心、底座(或安装板)等组装在一起。它采用叠片式铁心,铁心表面需涂防护漆。

全浇注结构是除底座(或安装板)以外全都浇注成一个整体,多采用环形铁心。

(3)干式绝缘电流互感器:用绝缘纸、玻璃丝布带等固体材料做一次和二次绕组、绕组间及铁心间的绝缘介质,并经浸渍绝缘干燥处理的电流互感器,其结构简单、制造方便,但绝缘强度很低,只适用于低压互感器。

(4)SF<sub>6</sub>气体绝缘电流互感器:它有两种结构形式,一种是与SF<sub>6</sub>组合电器(GIS)配套用的配套式,另一种是可以独立使用的独立式。其电压等级在60kV以上。

### 1.2.2 型 号

电流互感器产品型号均以汉语拼音字母表示,字母的含义如表2.6.1所列。

电流互感器的型号组成方法如图2.6.2所示。

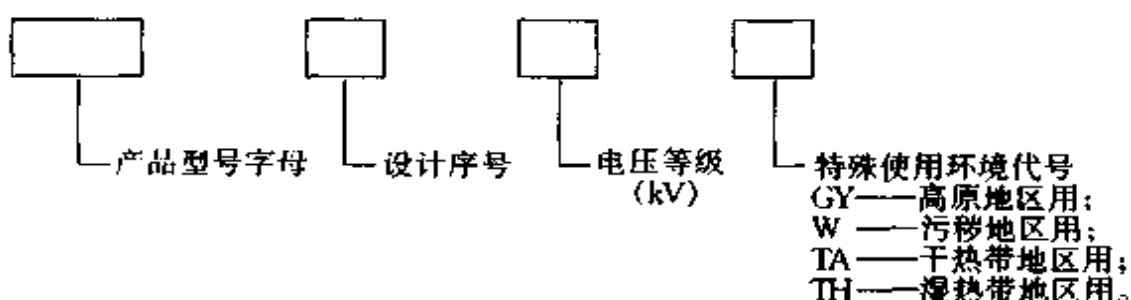


图 2.6.2 电流互感器的型号组成

表 2.6.1 电流互感器型号字母含义表

型号字母排列顺序	字母	含义
1 (用途分类)	L	电“流”互感器
2 (结构型式)	R Z <sup>①</sup> Q F D M K	套管式(装“人”式) 支“柱”式 线“圈”式 贯穿式(“复”匝) 贯穿式(“单”匝) 贯穿式(“母”线型) “开”合式
3 (绕组外绝缘介质)	- G Q C <sup>②</sup> Z K	变压器油 空气(“干”式) “气”体 “瓷” 浇“注”成型固体 绝缘“壳”
4 (结构特征及用途)	B BT <sup>③</sup>	带有“保”护级 带有“保”护级(暂“态”误差)

注:①以瓷箱做支柱时,不表示。

②主绝缘为瓷绝缘时表示,外绝缘为瓷箱式时不表示。

③在保护级中只使用于仅有一个二次绕组的电流互感器(包括套管式互感器)。

另外,当正常产品“加”大容量或“加”强绝缘时应在产品型号字母后加“J”表示。

### 1.3 误差特性

误差特性是电流互感器的一个重要特性,它是以准确级来表征的。对应一定准确级的电压互感器,在规定使用条件下的误差应在规定的限值之内。对测量用的电流互感器,准确级要求比较高,而对保护用电流互感器的要求则相对低一些。国家标准 GB1208-87 规定,对测量用电流互感器,标准准确级有 0.1,0.2,0.5,1,3,5 共六级;对保护用电流互感器,标准准确级有 5P 和 10P 两级,其中“P”表示保护用。对特殊使用要求的电流互感器,准确级有 0.2S 和 0.5S 两级。

衡量电流互感器正常工作条件下误差特性的重要性能参数是电流误差和相位差,而在过电流情况下则要采用复合误差的概念。

#### 1.3.1 电流误差(比值差)

电流误差即测量电流时所出现的数值误差,该误差是由于实际电流比不等于额定电流比而造成的。它是折算到一次侧的二次电流与实际一次电流间的差值,以与后者的百分数表示,即:

$$\epsilon, (\%) = \frac{K_n I_2 - I_1}{I_1} \times 100$$

式中  $K_n$  ——额定电流比;

$I_1$  ——实际一次电流(A);

$I_2$  ——测量条件下流过  $I_1$  时的实际二次电流(A)。

#### 1.3.2 相位差

相位差是互感器一次电流与二次电流(设电流波形均为正弦)相量的相位差。相量方向以理想互感器的相位差为零来确定。当二次电流相量超前一次电流相量时,相位差为正值,它通常以分或厘弧度表示。以前通常将相位差简称为角差。

#### 1.3.3 复合误差

复合误差是考核电流互感器的误差特性的一个重要参数,它是稳态时两个值(一次电流瞬时值,二次电流瞬时值与额定电流比的乘积)之差的有效值,通常以一次电流有效值的百分数表示。复合误差既适合于考核正弦波形的电流,也适用于考核电流是非正弦波形的情况。

#### 1.3.4 准确限值系数

准确限值系数是保证复合误差不超出规定时的一次电流倍数(或一次电流值),它是额定准确限值一次电流(互感器能满足复合误差要求的最大一次电流值)与额定一次电流的比值。准确限值系数的标准值为 5,10,15,20,30。

对一般保护用电流互感器,其误差性能指标应包括额定准确限值一次电流时

的复合误差和准确限值系数,如一台互感器标为 5P15,则表示其额定准确限值一次电流时的复合误差为 5%,准确限值系数为 15。

国家标准 GB1208-87 规定的测量用电流互感器、特殊使用要求的电流互感器和保护用电流互感器的误差限值分别如表 2.6.2、表 2.6.3 和表 2.6.4 所列。

表 2.6.2 测量用电流互感器的误差限值

准确级	一次电流为额定一次电流的百分数(%)	误差限值		保证误差的二次负荷范围
		电流误差±(%)	相位差±(′)	
0.1	5	0.4	15	(0.25~1.0)S <sub>2N</sub>
	20	0.2	8	
	100~120	0.1	5	
0.2	5	0.75	30	
	20	0.35	15	
	100~120	0.2	10	
0.5	5	1.5	90	
	20	0.75	45	
	100~120	0.5	30	
1	5	3.0	180	
	20	1.5	90	
	100~120	1.0	80	
3	50	3	-	(0.5~1.0)S <sub>2N</sub>
	120	3	-	
5	50	5	-	
	120	5	-	

注: S<sub>2N</sub> 为额定二次负荷。

表 2.6.3 特殊使用要求的电流互感器的误差限值

准确级	一次电流为额定一次电流的百分数(%)	误差限值		保证误差的二次负荷范围
		电流误差±(%)	相位差±(′)	
0.2S	1	0.75	30	(0.25~1.0)S <sub>2N</sub>
	5	0.35	15	
	20	0.2	10	
	100	0.2	10	
	120	0.2	10	
0.5S	1	1.5	90	
	5	0.75	45	
	20	0.5	30	
	100	0.5	30	
	120	0.5	30	



表 2.6.4 保护用电流互感器的误差限值

准确级	额定一次电流时的误差		额定准确限值一次电流时的复合误差
	电流误差 $\pm$ (%)	相位差 $\pm$ (′)	
5P	1	60	5
10P	3	-	10

## 1.4 仪表保安系数

### 1.4.1 仪表保安电流

对测量用电流互感器来说,固然要求其有较高的准确度,但是,由于二次回路所接的仪表过载能力一般比较低,因此,为了使仪表不致损坏,希望当一次绕组流过的过电流不很大时,电流互感器的误差就很快加大,二次电流不再严格按比例增长,其值处在仪表允许范围之内。

所谓仪表保安电流就是指测量用电流互感器在额定二次负荷下其复合误差不小于 10% 的最小一次电流值。

### 1.4.2 仪表保安系数

仪表保安系数 ( $FS$ ) 是仪表保安电流与额定一次电流的比值。国际电工委员会 (IEC) 推荐采用的仪表保安系数为 5 或 10。比如,当某台互感器的  $FS \leq 5$ , 则表明此互感器在 5 倍额定一次电流下的复合误差必须等于或大于 10%, 其仪表保安电流为 5 倍的额定一次电流。

## 1.5 可靠性指标

为保证电流互感器的安全运行,对电流互感器有如下可靠性的要求。

### 1.5.1 温升限值

电流互感器二次绕组按额定负荷,一次绕组通过额定电流长期工作时,各部温升不应超过表 2.6.5 规定的限值。

### 1.5.2 局部放电水平

局部放电量过大,意味着产品内部存在着绝缘处理不良、绝缘中有金属异物、电场过于集中等危害互感器可靠性的缺陷。因此,为确保互感器的安全运行,国家标准 GB5583-85 对互感器的局部放电水平提出了严格要求,见表 2.6.6。

表 2.6.5 电流互感器的温升限值(K)

互感器部位			温升限值
绕组	油浸式		55
	油浸式全密封		60
	干式,各种绝缘 耐热等级	A	55
		E	75
		B	85
F		110	
H	135		
绕组出头或接触连接处(镀锡或搪锡)			50(或不超过油顶层温升限值)
油顶层	一般情况		50
	油面上充有惰性气体或全密封时		55
铁心及其他金属结构零件表面			不得超过所接触或邻近的绝缘材料的温升限值

表 2.6.6 电流互感器允许的局部放电水平

接地方式	预加电压	测量电压	绝缘形式	允许局部放电水平
				视在放电量(pC)
中性点绝缘系统或中性点共振接地系统	$1.3U_m$	$1.1U_m$ <sup>①</sup>	液体浸渍	100
			固 体	250
		$\frac{1.1U_m}{\sqrt{3}}$	液体浸渍	10
			固 体	50
中性点有效接地系统	$0.8 \times 1.3U_m$	$\frac{1.1U_m}{\sqrt{3}}$	液体浸渍	10
			固 体	50

①只有在制造厂与使用部门商定后,才能按此电压施加。

### 1.5.3 短时热电流和动稳定电流

电流互感器应在二次绕组短路情况下具有较高的动、热稳定性,即要求较大的短时热电流和动稳定电流。短时电流是在二次绕组短路情况下,电流互感器在 1s 内所能承受而无损伤的一次电流有效值。对高压电流互感器也采用时间大于 1s 的短时热电流值。其值由产品的技术条件规定。

动稳定电流是在二次绕组短路情况下,电流互感器能承受其电磁力的作用而无电的或机械的损伤的一次电流峰值。标准规定,动稳定电流为短时热电流的 2.5 倍。

## 1.6 主要技术数据

35kV 及以下的常用电流互感器的主要技术数据见表 2.6.7 至 2.6.10。

表 2.6.7 0.5kV 电流互感器主要技术参数

型 号	额定电压 (kV)	额定电流比 (A)	额定负荷(V·A)			外形尺寸(mm)			质量 (kg)
			0.5 级	1 级	3 级	长	宽	高	
LQG-0.5	0.5	5~100/5	10	15		126	120	105	2
		150~400/5				110	170	105	2
		600~800/5				110	225	105	2.6
LYM·0.5	0.5	750~2000/5		20	750/5 为 20	240	130	250	10
		3000/5				287	130	297	12
		4000~5000/5				287	130	297	15
		7500/5		20		365	167	360	28
		10000/5				365	167	360	35
		15000/5		50		365	166	460	47
		20000/5				404	152	617	72
LMK-0.5	0.5	5~400/5	5	7.5		112	48	117	
LMZ <sub>1</sub> -0.5		5~200/5	5	7.5		110	42	114	0.9
		300~400/5				110	42	120	0.9
LMZ <sub>1</sub> -0.5	0.5	5~500/5	10	15		110	42	128	1.2
		600/5				110	47	128	1.15
		800/5				110	47	138	1.17
		1000~1500/5	20	30	50	174	44	195	1.5
		2000~3000/5				216	55	237	3.3
LM-0.5	0.5	75~200/5		5	5	94	46	105	0.87
		300~600/5				104	46	113	0.8
		800~2000/5		20	(800/5 为 20)	220	106	270	7.2
		3000~5000/5				285	146	350	12.3
LN2-0.5	0.5	15~250/5	5 级 5VA	1~3	0.6~2.5	64	66	75	0.32

表 2.6.8 10kV 电流互感器主要技术数据

型号	额定电压	额定电流比 (A)	准确级次	额定二次负荷 (V·A)						10% 倍数	热稳定倍数	动稳定倍数	外形尺寸 (mm)			质量 (kg)
				0.5级	1级	3级	10级	B级	C级				D级	长	宽	
LQJ-10	10	5~400/5	0.5 3	10		15				10	60	150	235	159	300	15.5
LQJC-10	10	5~400/5	0.5 C	10					15	15	60	150	235	159	300	15.5
LA-10	10	5~300/5	0.5,1 3	10		15				≥10	90	160	490	200	270	11
LAJ-10	10	20~300/5	0.5,1 D	25					15	≥10	120	215	510	200	285	14
LPZ <sub>1</sub> -10	10	5~300/5	0.5 3	10		15				≥10	90	160	490	200	285	14
LIZ <sub>1</sub> -10	10	400~1000/5	0.5,1 3	10		15				≥10	50	90	276	236	360	16.5
LIZ <sub>1</sub> -10	10	400~1500/5	1,0.5 D	20					40	≥15	50	90	325	290	380	17
LFS-10	10	5~1000/5	0.5 3	10		15				≥10	40~80	75~200	232	140	210	13
LFSB-10	10	75~1000/5	0.5 B	10				40		≥10	40~80	70~160	293 ~ 313	150	212	18
LZJC-10	10	5~1000/5	0.5 C	10					15	15	50~75	90~150	231 ~ 235	135	272	14.5
LZJC-10	10	1500/5	0.5 C	15					30	9	30	60	230	140	250	12.7
LZJC-10A	10	5~1000/5	0.5 C	15					30	9	50~75	90~150	231 ~ 235	135	272	14.5

表 2.6.9 全国统一设计的 10~35kV 电流互感器主要技术数据

型号	额定电压	额定电流比(A)	额定二次负荷(V·A)				10% 倍数	热稳定 倍数	动稳定 倍数	外形尺寸(mm)			质量 (kg)	
			0.5级	1级	3级	B级				长	宽	高		
LFZB <sub>6</sub> -10	10	5~300/5	10			15	81.6~150	146~382	412	220	315	22.3		
		100~300/5					15~81.6						440	220
LDZB <sub>6</sub> -10	10	400~500/5	20		30	15	63~78.7	160~200	430	265	215	19.3		
		600~1500/5	30		40		28.7~52.5						73~183	
LZZB <sub>6</sub> -10	10	5~300/5	10		15	10	81.6~150	146~382	300	200	260	23.6		
		100~1500/5											27.3~150	49.3~382
LMZB <sub>6</sub> -10	10	1500~2000/5	50		50	15			354	298	192	27		
		3000~4000/5	60										60	243
LZZQB <sub>6</sub> -10	10	100~300/5	15		20	15	148~445	266~800	264	220	265	28		
		400~500/5	20				40						89~111	160~200
		600~800/5	30				40						55.6~74	100~133
		1000~1500/5	30				40						40.6~61	73~110

表 2.6.10 35kV 电流互感器主要技术数据

型号	额定电压 (kV)	额定电流比 (A)	准确级次	额定二次负荷 (V·A)						10% 倍数	热稳定倍数	动稳定倍数	外形尺寸 (mm)			质量 (kg)
				0.5级	1级	3级	10级	B级	C级				D级	长	宽	
LCW-35	35	15~1000/5	0.5							5	65	100	700	600	1080	250
			3		50					28						
LCWD-35	35	15~750/5	0.5							15	65	150	700	600	1080	250
		D						20	35							
LCWDJ-35	35	1500/5	0.5							15	65	100	700	600	1080	250
		D						20	50							
LCWDJ-35	35	15~1500/5	0.5							<6	30~75	77~143	∅425×900			113
		D						50	≥15							
LCZ-35	35	20~1000/5	0.5		50					10	65	141~212	400	250	535	45
		B					20		27							
LR-35 LRD-35	35	50~150/5	50~75/5 低于 10级, 100~150/5 为 10级 20VA										∅168/∅90×182			13.5
		100~300/5	200/5 为 10级 25VA, 300/5 为 3级 20VA 或 10级 25VA													
		100~600/5	400/5 为 3级 30VA 或 10级 100VA, 600/5 为 1级 15VA													

## 2 电压互感器

电压互感器是将电力系统的高电压变成标准的低电压(一般是 100V 或  $100/\sqrt{3}$ V)。常用的电压互感器是电磁式电压互感器。另有电容式电压互感器和光电式电压互感器,后者目前尚处于开发阶段。

### 2.1 工作原理

#### 2.1.1 电磁式电压互感器

电磁式电压互感器原理如图 2.6.3 所示,这种电压互感器的一次绕组并联在电力系统的线路中,二次绕组经测量仪表或继电器等二次负荷而闭合。通过电磁感应,将一次的高电压成比例地降为二次的低电压。在连接方向正确时,二次电压对一次电压的相位差接近于零。

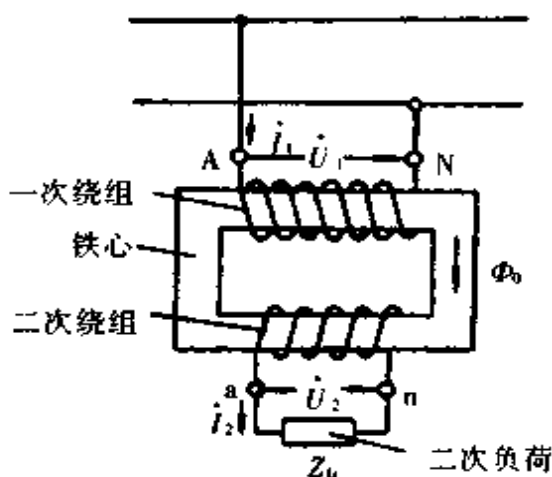


图 2.6.3 电磁式电压互感器工作原理简图

电压互感器的容量很小,其负荷是测量仪表或继电器电压线圈的阻抗。由于此阻抗很大,因而二次电流很小。在正常运行条件下,电压互感器可视为空载运行。如果二次电路短路,则电流将急剧增加,绕组有烧毁的危险。因此,电压互感器的二次电路切不可短路。

另外,由于电压互感器一次侧是与线路直接连接的,为避免在线路发生故障时,二次绕组感应出高电压,危及仪器和运行人员的安全,电压互感器的二次绕组和零序电压绕组的一端必须接地。

#### 2.1.2 电容式电压互感器

电容式电压互感器适用于 110kV 及以上高压输电线路。

电容式电压互感器与电磁式相比,能承受较强的电冲击,但其准确级不如电磁式高。

#### 2.1.3 光电式电压互感器

光电式电压互感器是利用所谓泡克耳斯效应来检测电压的。它不用电磁耦合即可直接测量电场,具有无感应、绝缘性能好等特点。

## 2.2 分类和型

### 2.2.1 分类

2.2.1.1 测量用和保护用 电压互感器按其用途可分为测量用和保护用两大类。测量用电压互感器是在系统正常工作时测量电压和参与测量电能,要求有一定的准确度。保护用电压互感器用于继电保护和自动控制,要求在线路发生单相接地故障时具有一定的过励磁特性。

2.2.1.2 油绝缘、浇注绝缘、干式绝缘和气体绝缘 各种绝缘介质的电压互感器与同样绝缘介质的电流互感器的结构相似。

2.2.1.3 单级式和串级式 油浸式电压互感器可分为单级式和串级式。单级式的绕组不分级,只有一个一次绕组,绕组和铁心组装成器身后装入油箱内,铁心接地。单级式一般用于 35kV 及以下产品。串级式的一次绕组由匝数相等的几个级绕组串联起来,每个级绕组分别套装在各级的铁心柱上,还有平衡绕组和连耦绕组。串级式结构只适用于高压的电压互感器。

2.2.1.4 接地型和不接地型 按接地方式分,电压互感器可分为接地型和不接地型两种。

接地电压互感器适用于相地间,分为单相和三相两种,其中三相产品仅在 10kV 电力系统中使用,单相接地互感器在运行中一次绕组 N 端直接接地,三台组成一个三相组,其一、二次绕组接成 YNyn,其剩余电压绕组接成开口三角形,形成剩余电压回路,以供输出零序电压。

不接地电压互感器适用于相间,也分为单相和三相两种,其中三相产品为 Yyn 接法,常用于 10kV 电力系统,而单相产品按 Yyn 接法,用于 35kV 及以下电力系统。

### 2.2.2 型号

电压互感器产品型号均以汉语拼音字母表示,字母的含义如表 2.6.11 所列。

表 2.6.11 电压互感器型号字母含义表

字母排列序号	字 母	含 义
1 (用途分类)	J	电“压”互感器
2 (相数)	D S	“单”相 “三”相
3 (绕组外绝缘介质)	- G Z Q	变压器油 空气(“干”式) 浇“注”成固体 “气”体
4 (结构特征及用途)	X B W C	带剩余(零序)电压绕组 三柱带“补”偿绕组 五柱三绕组 串级式带剩余(零序)电压绕组



电压互感器的型号组成与电流互感器相同。

## 2.3 误差特性

### 2.3.1 准确级

对测量用电压互感器,以该准确级在额定电压下规定的最大允许电压误差的百分数来标称。按国家标准规定,其标准准确级有:0.1,0.2,0.5,1,3,共五级。

对保护用电压互感器,以该准确级在5%额定电压到与额定电压因数(在规定时间内仍能满足热性能和准确级要求的最高一次电压与额定一次电压的比值)相对应的电压范围内的最大允许电压误差的百分数标称,其后标有字母“P”(表示保护),按国家标准,标准准确级有3P和6P两种。

对用于中性点有效接地系统的接地电压互感器,其剩余电压绕组的准确级为3P或6P;对用于中性点非有效接地系统的接地电压互感器,其剩余电压绕组的准确级为6P。

### 2.3.2 电压误差(比值差)

由于电压互感器的实际电压比不等于额定电压比,因此它在测量电压时会出现一定的数值误差,该误差即为电压误差 $\epsilon_u$ ,一般用百分数表示,即

$$\epsilon_u(\%) = \frac{K \cdot U_2 - U_1}{U_1} \times 100$$

式中  $K$ ——额定电压比;

$U_1$ ——实际一次电压(V);

$U_2$ ——测量条件下施加  $U_1$  时的实际二次电压(V)。

### 2.3.3 相位差

相位差是互感器一次电压与二次电压相量的相位之差。相量方向以理想互感器的相位差为零来确定。当二次电压相量超前一次电压相量时,相位差为正值,它通常以分或厘弧度表示。

### 2.3.4 误差限值

电压互感器的误差在规定的使用条件下应能满足相应的准确级的要求。测量用和保护用电压互感器的误差限值分别如表 2.6.12 和表 2.6.13 所示。

表 2.6.12 测量用电压互感器的误差限值

准确级	误差限值			允许一次电压变化范围	允许二次负荷变化范围
	电压误差 $\pm(\%)$	相位差			
		$\pm(^{\circ})$	$\pm(\text{rad})$		
0.1	0.1	5	0.15	$(0.8 \sim 1.2)U_{1N}$	$(0.25 \sim 1.0)S_{2N}$
0.2	0.2	10	0.3		
0.5	0.5	20	0.6		
1	1.0	40	1.2		
3	3.0	不规定	不规定		

注:当具有多个二次绕组时,由于它们之间相互影响,每个二次绕组应在规定的负荷范围内符合规定的准确级,而其他二次绕组应带有其额定负荷的 25% ~ 100% 间的任一值。为验证是否符合此要求,可以只在极限值上试验。如果某一二次绕组只有偶然的短时负荷,则其对其他二次绕组的影响可以忽略。

表 2.6.13 保护用电压互感器的误差限值

准确级	误差限值			允许一次电压变化范围	允许保护绕组负荷变化范围
	电压误差 $\pm(\%)$	相位差			
		$\pm(^{\circ})$	$\pm(\text{rad})$		
3P	3.0	120	3.5	$(0.05 \sim 1.5)U_{1N}$ 或 $(0.05 \sim 1.9)U_{1N}$	$(0.25 \sim 1.0)S_N$
6P	6.0	240	7.0		

注:1. 在 2% 额定一次电压下,保护用电压互感器的电压误差及相位差应不超过表 2.6.3 规定限值的 2 倍。

2. 当还有剩余电压绕组时,二次绕组应在剩余电压绕组带有 25% ~ 100% 额定负荷下满足规定的保护准确级。

3. 当具有多个分开的二次绕组时,由于它们之间相互影响,每个二次绕组应在规定的负荷范围内符合规定的准确级,而其他二次绕组应带有其额定负荷的 25% ~ 100% 间的任一值。

4. 为验证是否符合上述要求,可以只在极限值下进行试验。

## 2.4 可靠性指标

为保证电压互感器的安全运行,对电压互感器也有与电流互感器类似的可靠性要求,其温升限值见表 2.5.4,其局部放电水平见表 2.6.14。另外,为考核在二次回路外部短路时电压互感器的可靠性,电压互感器在额定电压下励磁时应能承受 1s 外部短路的机械力效应和热效应而无损伤。

表 2.6.14 电压互感器允许的局部放电水平

接地方式	互感器型式	预加电压 $\geq 10s$	测量电压 $\geq 1min$	绝缘形式	允许局部放电水平 视在放电量(pC)
中性点绝缘系统或中性点共振接地系统	相对地电压互感器	$1.3U_m$	$1.1U_m$	液体浸渍 固体	100 250
			$\frac{1.1U_m}{\sqrt{3}}$	液体浸渍 固体	10 50
	相对相电压互感器	$1.3U_m$	$1.1U_m$	液体浸渍 固体	10 50
中性点有效接地系统	相对地电压互感器	$0.8 \times 1.3U_m$	$\frac{1.1U_m}{\sqrt{3}}$	液体浸渍 固体	10 50
	相对相电压互感器	$1.3U_m$	$1.1U_m$	液体浸渍 固体	10 50

注:①只有在制造厂与使用部门商定后,才能按此电压施加。

## 2.5 主要技术数据

35kV 及以下的常用电压互感器的主要技术数据见表 2.6.15 和 表 2.6.16。

表 2.6.15 0.5~35kV 电压互感器主要技术数据

型号	额定电压 (V)		额定负荷 (V·A)			极限负荷 (VA)	外形尺寸 (mm)		质量 (kg)	
	一次线圈	二次线圈	0.5级	1级	3级		长	宽 高		
JDX-0.5	220, 380, 400, 500	100	25	40	100	200	126	150	194	8
JDX-0.5	200, 220, 380, 500	100	15	25	50	100	118	98	142	3.6
JYZ-6	1000, 3000	100	30	50	100	200	203	188	271	15
	6000		50	80	200	300				
JDZJ-10	10000	100	80	120	300	500	243	216	343	25
JYZ-15	15000	100	80	120	300	500	243	216	375	30
JYZJ-6	$10000/\sqrt{3}, 30000/\sqrt{3}, 60000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	30	50	100	200	203	188	271	15
JDZJ-10	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	40	60	150	300	243	216	343	25
JDZJ-15	$15000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	40	60	150	300	243	216	375	30
JDJ-35	35000	100	150	250	600	1200	860	730	1110	250
JDJJ-35	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	150	250	600	1200	878	680	1110	230
JDJ <sub>2</sub> -35	35000	100	150	250	500	1000	750	445	980	110
JDJJ <sub>2</sub> -35	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	150	250	500	1000	434	445	1035	95

表 2.6.16 全国统一设计的 10~35kV 电压互感器主要技术数据

型号	额定电压 (V)			额定负荷 (V·A)			极限负荷 (VA)	外形尺寸 (mm)			质量 (kg)
	一次线圈	二次线圈	剩余电压线圈	0.5 级	1 级	3 级		长	宽	高	
JDZ6-3, 6, 10,	3000	100		25	40	100	200	181	173	235	18.5
	6000			50	80	200		214	188	274	
	10000							214	200	302	
JDZX6-3, 6, 10,	$3000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	25	40	100	200	181	173	254	19.2
	$6000/\sqrt{3}$			50	80	200		214	188	280	
	$10000/3$							214	200	302	
JD6-35	35000	100		150	250	500	1000	970	520	1142	143
JDZX6-35	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	150	250	500	1000	520	490	1285	126

## 第七章 调 压 器

调压器又称电压调整器,是可以在较大范围内平滑无级地调节负载电压的交流电器。

调压器可分为单相和三相,干式自冷、油浸自冷和强迫风冷等种类。若按其电磁原理和结构,可分为变压器型和电机型两大类。变压器型调压器有接触调压器、接触自动调压器、移圈调压器和磁性调压器四种。电机型调压器有感应调压器和感应自动调压器两种。其中接触调压器又分为环形接触调压器和柱式接触调压器两种。

### 1 各类调压器的主要特点和用途

各类调压器的主要特点和用途见表 2.7.1。

表 2.7.1 各类调压器的主要特点和用途

形 式	特 点	主要用途
接触调压器	有触点、效率高、电压波形和调压特性好、重量轻、体积小	环形接触调压器和接触自动调压器一般适用于 500V 以下, 0.1 ~ 100kVA 用电场合, 而柱式接触调压器适用的容量范围更大些;
接触自动调压器	有触点、效率高、自动稳压精度高、反应速度快、重量轻、体积小	可用于电讯设备、家用电器、实验室、小型工业电炉、小型整流设备
移圈调压器	无触点、效率较低、调压范围大、电压波形好、空载电流较大	一般适用于 10kV 以下, 25 ~ 2250kVA 用电场合; 可用于中小型整流设备和高压试验调压电源
磁性调压器	无触点、无转动结构、调压范围和负荷量成正比、非额定运行时波形较差、三相调压器结构比较复杂	一般适用于 10kV 及以下 50 ~ 1000kVA 用电场合, 最适宜于低压大电流输出场合。可用于盐溶炉、电子轰击炉控温
感应调压器	无触点、调压范围大、电压波形和调压特性较好、制造工艺与电机相似、结构较复杂	一般适用于 10kV 及以下, 10 ~ 1000kVA 用电场合;
感应自动调压器	主回路无触点、自动稳压精度高、反应速度较慢	可用于与一般试验电源、发电机励磁、中小型整流设备、工业电源、试验变压器等配套场合

## 2 接触调压器

接触调压器是应用得最广的调压器,它是借助于电刷在绕组导线的磨光表面上接触位置的变化,而获得电压比连续可调的一种自耦变压器。

### 2.1 结构特点

接触调压器主要由铁心、绕组和电刷三部分组成。铁心分环形和柱式两种,环形用硅钢带卷绕而成,柱式则采用硅钢片叠接而成。绕组一般采用高强度漆包铜线绕制,环形调压器的绕组导线是直接绕在绝缘的铁心上,而柱式调压器的绕组导线一般是绕在绝缘筒上而后套在铁心柱上。其共同的特点是,在绕组外表的一定宽度内,通过磨削加工,有一可导电接触的平面。电刷的接触形式有滑动和滚动两种。

### 2.2 接线方式

单相接触调压器在电网电压波动较大,输出电压调节不到 220V 时可以反接使用,其接线图如图 2.7.1 所示。但在使用中必须防止输入电流超过调压器的额定输出电流。调压器停止使用时,应将电刷转至正接使用的最大输出电压处。

三相接触调压器一般采用 YN 接线,有时也采用 V 形接线。若将其三个绕组首尾相接,进行三角形接线(见图 2.7.2),可作移相用,每相可调相位  $120^\circ$ 。

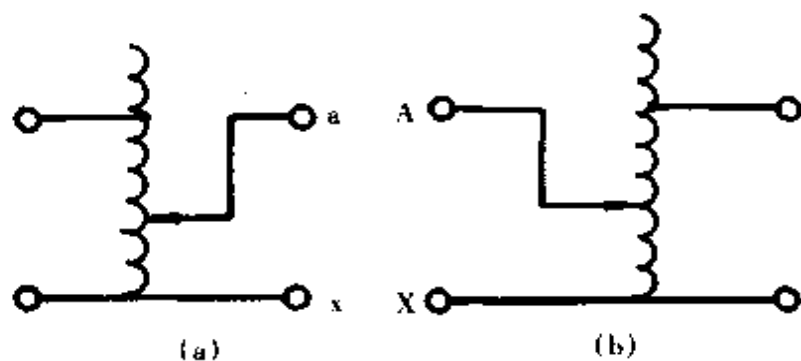


图 2.7.1 接触调压器的接线图  
(a)正接 (b)反接

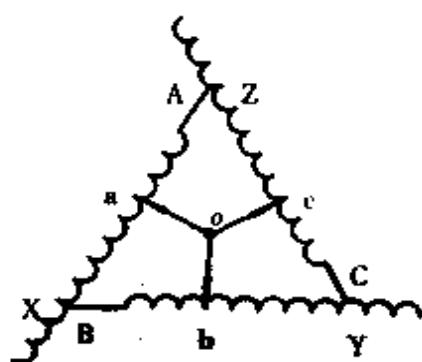


图 2.7.2 接触调压器  
作移相用的接线图

### 2.3 运行维护

一般情况下接触调压器是不能并联运行的。不用时,应放在干燥、无腐蚀性气体场合,应保持绕组磨面处的清洁,清除尘埃和石墨粉迹。当电刷火花严重灼伤绕组磨面时,可用细纱布轻轻打磨磨面,重新修正电刷与绕组磨面的配合。

## 2.4 主要技术数据

接触调压器有 TDGC、TSGC 型, TDGC2、TSGC2 型, TDGC2J、TSGC2J 型。其中 TDGC、TSGC 型调压器由于损耗高、性能差, 已明令禁止使用。TDGC2J、TSGC2J 型产品为新设计的经济型产品, 与 TDGC、TSGC 型产品相比, 其损耗值有明显下降, 与 TDGC2、TSGC2 型产品相比, 虽损耗有所增加, 但成本可显著下降, 易于被用户接受。该产品的主要技术数据如表 2.7.2 所列。

表 2.7.2 TSGC2J 和 TDGC2J 型接触调压器主要技术参数

额定容量 (kV·A)	相数	额定输入电压 (V)	输出电压范围 (V)	额定输出电流 (A)	损耗(W)		空载电流 (A)	损耗变动量 (W)	最大电压降(V) ( $\cos\varphi_2 = 1$ )
					空载	负载 (75℃)			
0.2	1	220	0~250	0.8	6.5	7.5	0.18	1.4	5
0.5				2	13	20	0.36	2.6	
1				4	18	28	0.55	4	
2				8	25	42	0.65	6	
3				12	28	80	0.85	7.2	
4				16	33	100	0.90	7.5	
5				20	40	130	1.00	8	
3				3	250	0~430	4	54	
6	8	75	126				0.65	18	
9	12	84	240				0.85	21.6	
12	16	99	300				0.90	22.5	
15	20	120	390				1.00	24	

## 3 感应调压器

感应调压器也是一种在工业上应用比较广泛的调压器, 它是一种结构与绕线式异步电动机类似, 而能量转换关系与变压器类似的特种电器设备。

### 3.1 基本原理

借助手轮或伺服电机带动传动机构, 使调压器的定、转子产生相对角位移, 从而改变定、转子绕组感应电势的相位(三相感应调压器)或幅值(单相感应调压器), 以达到无级、平滑地调节负载电压的目的。

### 3.2 接线方式

感应调压器最常用的接线方式一般为自耦接线, 如图 2.7.3 所示。

为了获得不同的空载输出电压, 感应调压器还有降压自耦接线(在一次绕组上降压抽头后, 再通过二次串联绕组接成自耦接线)、升压自耦接线(在一次绕组上降压抽头后, 再通过二次绕组接成自耦接线)、双圈接线(一、二次没有电的联系的接线)等接线方式。



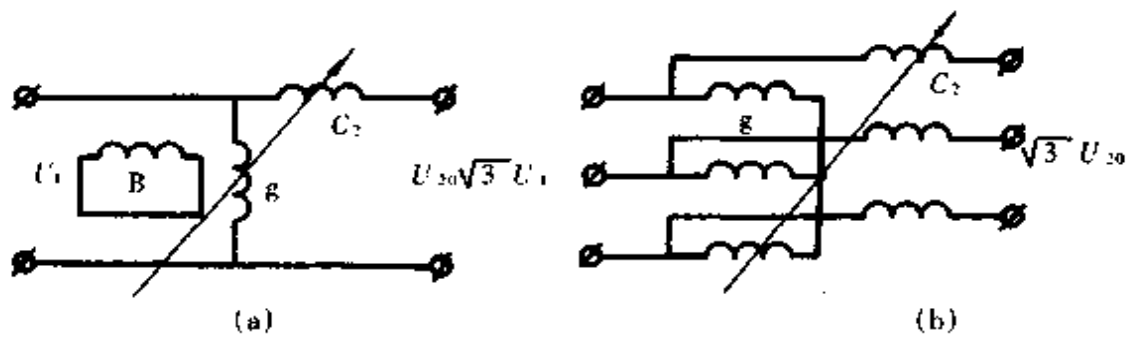


图 2.7.3 感应调压器的一般自耦接线

(a)单相(B为补偿绕组) (b)三相

### 3.3 运行维护

感应调压器应避免在最高输出电压、满载情况下直接投入运行,以免在投入运行瞬间会产生过电流,危及蜗轮组件和绕组。另外,在风机停转时,感应调压器应停止运行,以防烧毁产品。

和接触调压器一样,感应调压器也不能并联运行。对三相感应调压器应尽可能地均衡分布负载。

当发现感应调压器的绝缘电阻低时,必须进行干燥处理,直至符合要求后才能投入运行。另外,在拆卸定子、转子部件时,必须记好各个接线位置,以便维修好后按原位置装配,否则有可能造成蜗轮组件报废。

### 3.4 主要技术数据

感应调压器的主要技术数据如表 2.7.3 至 2.7.6 和图 2.7.4 所示。

表 2.7.3 干式调压器基本规格及主要技术数据

额定容量 (kV·A)	相数	频率 (Hz)	额定输入 电压(V)	输出电压范围 (V)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75℃)W	空载电流 (A)	绕组连接图
6.3	1	50	220	0~400	15.8	400	6.7	图 2.7.4(a)
			380	0~650	9.7	400	3.9	
8			220	0~400	20	475	8.3	
			380	0~650	12.3	475	4.8	
10			220	0~400	25	560	10	
			380	0~650	15.4	560	5.8	
12.5	220	0~400	31.3	670	12.2			
	380	0~650	19.2	670	7.1			
10	3	50	380	0~650	8.9	630	3.4	图 2.7.4(c)
12.5			380	0~650	11.1	750	4.1	
16			380	0~650	14.2	900	5	

表 2.7.4 油浸调压器基本规格及主要技术数据

额定容量 (kV·A)	相 数	频率 (Hz)	额定输入 电压(V)	输出电压范围 (V)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75℃)W	空载电流 (A)	绕组连接图
16	1	50	220	0~400	40	900	11.5	图 2.7.4(a)
			380	0~650	24.6	900	6.5	
20			220	0~400	50	1060	14	
			380	0~650	30.8	1060	8	
25			220	0~400	62.5	1250	17.5	
			380	0~650	38.5	1250	9.8	
31.5		50	220	0~400	78.8	1500	21.2	图 2.7.4(a)
			380	0~650	48.5	1500	11.8	
40			220	0~400	100	1800	25.8	
			380	0~650	61.5	1800	14.5	
50			220	0~400	125	2120	31.5	
			380	0~650	76.9	2120	18	
63	220		0~400	158	2500	38.7		
	380		0~650	96.9	2500	21.3		
80	220		0~400	200	3000	47.5		
	380		0~650	123	3000	26.5		
100	220		0~400	250	3550	58		
	380		0~650	154	3550	32.5		
125	220		0~400	313	4500	71		
	380		0~650	192	4500	40		
160	220		0~400	400	5300	87.5		
	380		0~650	246	5300	48.7		
200	220		0~400	500	6300	106		
	380		0~650	308	6300	60		
250	380	0~650	385	7500	73			
	380	0~650	485	9000	90			
315	380	0~650	615	10600	100			
	6000	0~6300	63.5	11200	9.3			
400	10000	0~10500	38.1	11800	5.8			
	380	0~650	769	12500	132			
500	6000	0~6300	79.4	13200	11.2			
	10000	0~10500	47.6	14000	7.1			
630	380	0~650	969	15000	165			
	6000	0~6300	100	17000	13.6			
800	10000	0~10500	60	18000	8.8			
	6000	0~6300	127	20000	17			
	10000	0~10500	76.2	21200	10.6			

续表

额定容量 (kV·A)	相 数	频率 (Hz)	额定输入 电压(V)	输出电压范围 (V)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75℃)W	空载电流 (A)	绕组连接图
20	3	50	380	0~650	17.8	1180	4.6	图 2.7.4(c)
30			380	0~650	22.2	1400	5.6	
31.5			380	0~650	28	1700	6.9	
40			380	0~650	35.5	2000	8.5	
50			380	0~650	44.4	2360	10.3	
63			380	0~650	56	2800	12.5	
80			380	0~650	71.1	3350	15.5	
100			380	0~650	88.8	4000	19	
125			380	0~650	111	4750	23	
160			380	0~650	142	5600	28	
200			380	0~650	178	6700	34.5	
250			380	0~650	222	8500	42.5	
315			380	0~650	280	10000	51.5	
400			380	0~650	355	11800	63	
500			380	0~650	444	14000	77.5	图 2.7.4(d)
630			380	0~650	560	17000	95	
	6000	0~6300	57.7	18000	8			
800	10000	0~10500	34.6	19000	5	图 2.7.4(c)		
	380	0~650	711	20000	115	图 2.7.4(d)		
	6000	0~6300	73.3	21200	9.8	图 2.7.4(c)		
10000	0~10500	44	22400	6.2				
1000	380	0~650	888	23600	140	图 2.7.4(d)		
	6000	0~6300	91.6	25000	11.8			
	10000	0~10500	55	26500	7.5			
1250	6000	0~6300	115	30000	14.5			
	10000	0~10500	68.7	31500	9.3			

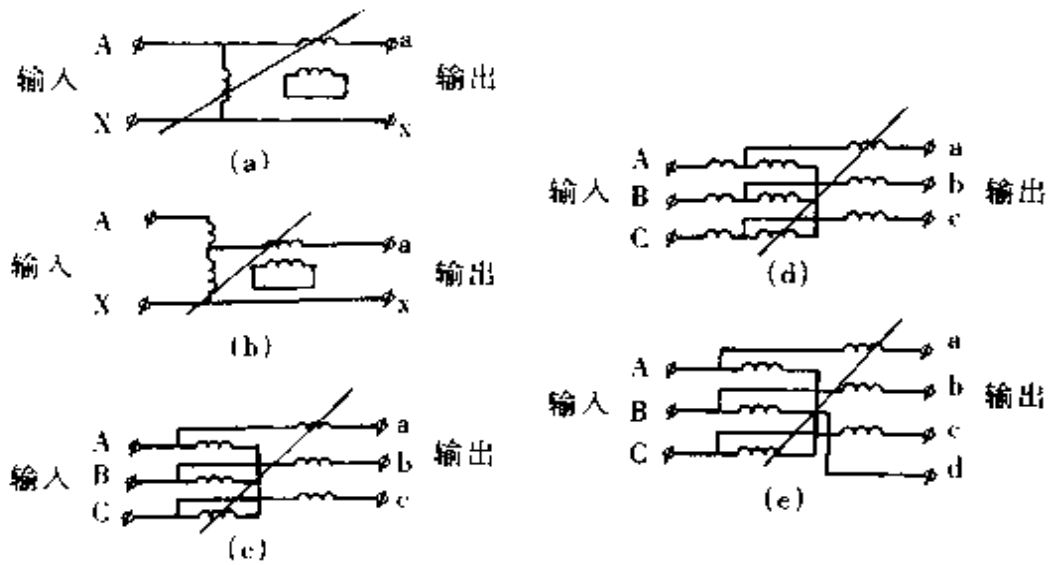


图 2.7.4 调压器绕组连接图(参看表 2.7.3 至 2.7.6)

(a)单相 (b)单相降压 (c)三相 (d)三相降压 (e)三相中性点引出

表 2.7.5 干式自冷感应自动调压器的基本规格及额定数据

产品型号	额定容量 (kV·A)	相数	频率 (Hz)	额定输入电压 (V)	输入电压范围 (%)	额定输出电压 (V)	稳压精度 (%)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75°C) (W)	空载电流 (A)	调压器绕组连接图	调压器接线方式			
TNDGA - 14	10	1	50	220	± 20	220	± 1	45.5	400	6.7	图 2.7.4(a)	反接			
	14				+ 10 - 15			63.6				正接			
TNDGA - 22.5	16				± 20			72.7				560	10	图 2.7.4(a)	反接
	22.5				+ 10 - 15			102							正接
TNSGA - 22.5	16	3	50	380	± 20	380	± 1	24.3	630	3.4	图 2.7.4(c)	反接			
	22.5				+ 10 - 15			34.2				正接			
TNSGA - 35	25				± 20			38				900	5	图 2.7.4(e)	反接
	35				+ 10 - 15			53.2							正接

表 2.7.6 油浸自冷感应自动调压器的基本规格及额定数据

产品型号	额定容量 (kV·A)	相数	频率 (Hz)	额定输入电压 (V)	输入电压范围 (%)	额定输出电压 (V)	稳压精度 (%)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75°C) (W)	空载电流 (A)	调压器绕组连接图	调压器接线方式		
TNDA - 35	25	1	50	220	± 20	220	± 1	114	1000	11.5	图 2.7.4(a)	反接		
	35				+ 10 - 15			159				正接		
TNDA - 56	40			220	± 20	220	± 1	182	1400	17.5	图 2.7.4(a)	反接		
	56				+ 10 - 15			255				正接		
TNDA - 90	63			220	± 20	220	± 1	286	2000	25.8	图 2.7.4(a)	反接		
	90				+ 10 - 15			409				正接		
TNSA - 56	40			3	50	380	± 20	380	± 1	60.8	1600	5.6	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	56						+ 10 - 15			85.1				正接
TNSA - 90	63					380	± 20	380	± 1	95.7	2240	8.5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	90						+ 10 - 15			137				正接
TNSA - 140	100					380	± 20	380	± 1	152	3150	12.5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	140						+ 10 - 15			213				正接
TNSA - 225	160	380	± 20			380	± 1	243	4500	19	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	225		+ 10 - 15					342				正接		
TNSA - 350	250	380	± 20			380	± 1	380	6300	28	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	350		+ 10 - 15					532				正接		
TNSA - 560	400	380	± 20			380	± 1	608	9000	42.5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	560		+ 10 - 15					851				正接		
TNSA - 900	630	380	± 20			380	± 1	957	12500	63	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	900		+ 10 - 15					1367				正接		
TNSA - 1400/6	1000	6000	± 20			6000	± 1	962	18000	8	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	1400		+ 10 - 15					135				正接		
TNSA - 1400/10	1000	10000	± 20			1000	± 1	57.5	19000	5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接		
	1400		+ 10 - 15					80.8				正接		

续表

产品型号	额定容量 (kV·A)	相数	频率 (Hz)	额定输入电压 (V)	输入电压范围 (%)	额定输出电压 (V)	稳压精度 (%)	额定输出电流 (A)	总损耗 (75℃) (W)	空载电流 (A)	调压器绕组连接图	调压器接线方式
TNSA - 2250/6	1600	3	50	6000	± 20	6000	± 1	154	25000	11.8	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	2250				+ 10 - 15			217				正接
TNSA - 2250/10	1600			10000	± 20	10000	± 1	92.4	26500	7.5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	2250				+ 15 - 55			130				正接
TNSA - 3500/6	2500			6000	± 20	6000	± 1	241	35500	18	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	3500				+ 10 - 15			337				正接
TNSA - 3500/10	2500			10000	± 20	10000	± 1	144	37500	11.2	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	反接
	3500				+ 10 - 15			202				正接
TNSA - 3500/6	3500			6000	± 10	6000	± 1	337	25000	11.8	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	正接
TNSA - 3500/10	3500			10000	± 10	10000	± 1	202	26500	7.5	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	正接
TNSA - 5600/6	5600			6000	± 10	6000	± 1	539	35500	18	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	正接
TNSA - 5600/10	5600			10000	± 10	10000	± 1	323	37500	11.2	图 2.7.4(c) 图 2.7.4(e)	正接

## 第 三 篇

# 变配电及低压电路安装

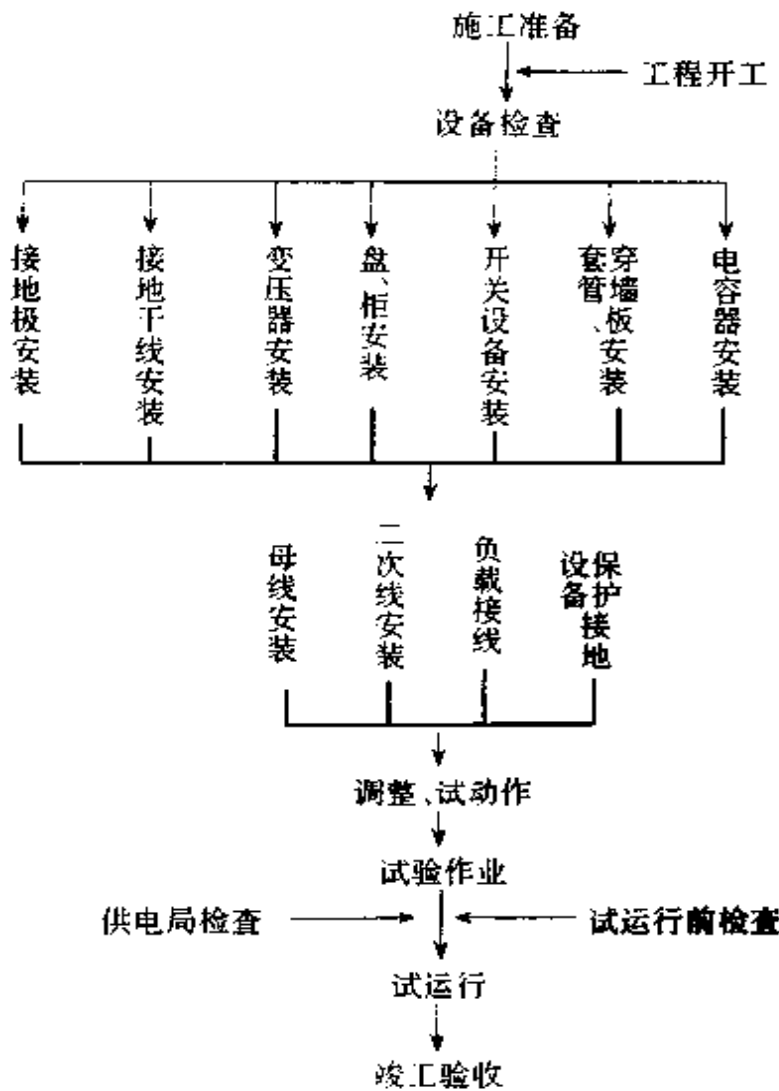
本篇主编 赵文玮





# 第一章 10 千伏及以下户内变配电工程安装

## 1 安装程序



## 1.1 施工准备

### 1.1.1 施工准备的条件和要求

#### 1.1.1.1 进行施工准备必须具备的条件

- (1)计划部门下达的施工任务书;
- (2)全套正式施工图纸(包括施工说明书);
- (3)有关规程规范和标准图册。

#### 1.1.1.2 要完成的施工准备工作

(1)粗读设计文件和图纸并进行工程现场调查,了解工程概况及施工条件。

(2)结合现场调查情况,审查图纸发现问题应作书面记录。主要审查以下五点:①图纸之间、图纸与说明书之间有无矛盾;②电气图纸与土建、管道、通风、机械等其他专业的图纸有无矛盾;③主要尺寸、位置、标高有无差错,预埋位置尺寸是否正确;④质量标准,以及特殊的技术要求;⑤修改设计的意见。

(3)参加建设单位组织的设计交底。交底时,设计、施工双方对图纸审查中的问题进行协商并取得一致意见。如对原有施工图纸有所变更时,双方应会签变更,作为施工及竣工交接的依据。

(4)编制施工组织设计或单项施工方案。

(5)组织施工机具进入现场,以及特殊工种的培训。

(6)会同材料员,向建设单位了解主要设备到货情况,型号、规格与图纸是否相符。

(7)根据施工图纸、规范、标准图,编制施工预算书,作材料备料。

(8)向施工人员进行施工技术、安全及降低成本交底。

(9)编制加工件计划,绘制加工图,联系加工。

(10)编制小组施工任务书(包括材料领用单)并下达给施工班组。

(11)组织施工班组,配合土建施工,进行预留孔洞,预埋铁件作业。

### 1.1.2 各类电气件的预埋

1.1.2.1 盘柜基础 准备预埋件,基础型钢的规格应按施工图的规定。图纸无标注时,可选 10 号槽钢。

(1)埋设方式:①直接埋设型钢基础;②预埋铁件,安装时再将型钢基础焊接在预埋铁件上。对手车式盘柜,其型钢基础必须和室内地坪相平,因此必须采用直接埋设方式。对非手车式盘柜,可根据施工条件,任选两种埋设方式之一。

(2)允许误差:基础型钢上表面的水平误差不得大于  $1\text{mm/m}$ ,沿全长总水平误差不得大于  $5\text{mm}$ 。基础型钢间距误差不得大于  $5\text{mm}$ 。找平工具最好用水准仪,条件不具备时,可用不短于  $600\text{mm}$  的水平尺。

1.1.2.2 变压器轨道 按施工图纸准备预埋件,埋设方式采用混凝土地面施

工时埋入。

### 1.1.2.3 电缆保护管

(1)预埋件的准备:①穿墙至室外的保护管长度按施工图纸。图纸无标注时,室外出散水 200mm,室内出电缆沟壁 20mm,进变压器室的电缆保护管管口应高出室内地坪 100mm。②穿墙至室外的电缆保护管必须焊防水挡板,防水挡板最好随墙砌入。

(2)穿墙至室外的电缆保护管必须有每米 100mm 向下的斜度。

(3)穿入电缆后,管口应加防水密封。

1.1.2.4 接地系统 接地线穿墙处,最好在砌墙时埋入短管。管口两端均出墙面 10mm,管径对 40mm×4mm 扁钢接地干线用 G38,对 25mm×4mm 扁钢接地干线用 G25,管子打扁至内口宽度为 10mm。

### 1.1.3 工程开工必须具备的条件

(1)土建条件:①屋面不漏水;②设备基础已达到混凝土强度,且预埋地脚螺栓或预留地脚螺栓孔几何尺寸正确;③室内粗制地面工程结束;④墙内及顶板喷浆完成;⑤门窗及玻璃安装完毕;⑥模板及无用的脚手架拆除完毕,现场废料清除干净。

(2)设备条件:主要设备基本到货,少数缺项能在该项目安装前到货。

(3)材料条件:材料基本备齐。

(4)准备工作:施工机具、材料准备和劳动力等施工准备工作全部完成。

(5)现场条件:施工班组的工作场地和生活问题基本安排妥善,交底中所提出的施工安全措施全部落实。

## 1.2 设备检查

设备检查必须在设备安装前会同建设单位共同进行,检查后双方会签检查记录(即设备开箱检查记录)。

### 1.2.1 变配电设备一般检查项目

(1)出厂合格证、试验记录、随箱图纸、说明书是否齐全;

(2)设备铭牌型号、规格与施工图纸是否相符;

(3)设备部件或元件(如继电器、仪表、开关、指示灯等)有无丢失,易损件(如绝缘瓷件、陶瓷灭弧罩、仪表玻璃、指示灯罩等)有无损坏,元件部件有无锈蚀、变形;

(4)油箱是否漏油,油标处油面是否正常;

(5)导电部分绝缘是否良好;

(6)安装尺寸(如地脚螺钉孔间距、轮距)是否符合图纸要求;

(7)外表有无损伤变形,油漆有无损伤;

(8)按照箱单清点附件、备品、专用工具等是否齐全。

### 1.2.2 变压器的检查与缺陷处理

除一般检查项目外,还需要检查:

(1)油箱是否漏油、渗油:①部件间密封垫处若漏油,可将有关螺钉均匀地紧一紧,缺螺钉者配齐。如仍然漏油,留待吊芯时检查,并更换橡皮垫;②钢板或铸件的砂眼漏油,则该变压器应视为不合格产品。但可会同技术部门和建设单位研究补救措施,例如采用带油焊补或环氧树脂粘补等。

(2)油标处不见油面:①该变压器必须进行吊芯检查,在检查中确认油面若无严重降低,则添加合格的变压器油至规定油面;②如油面已严重降低以至露出铁心和绕组,则在变压器试验中除绝缘电阻试验测量  $R_{60^{\circ}}/R_{15^{\circ}}$  外,加试  $\text{tg}\delta$  (介质损失角正切),以便确定绕组是否受潮;③如绕组已经受潮,应研究变压器干燥方案,并向建设单位办理技术签证手续。

(3)密封性实验:除装油机带油运输的变压器外,对于不装油机带油运输的,充氮运输的及真空运输的变压器,安装前均必须进行密封性试验,其试验规程应按照水利电力部暂行技术规范(DJG)103第274条进行。

### 1.2.3 油开关的检查

除一般检查项目外,尚需检查:①传动机构的部件有无损坏变形,螺钉、销钉是否齐全,活动点应适量加油;②油标玻璃有无裂缝,绝缘隔板是否完整;③调整螺钉的封漆是否完好。

### 1.2.4 电容器的检查

除一般检查项目外,尚需检查:①外壳是否有胀、凹陷或裂缝漏油;②用兆欧表测量绝缘,不应有短路现象。

全部设备检查记录及设备随箱资料(出厂合格证、试验记录、说明书等)应作为竣工资料在竣工交接时移交建设单位。

## 2 安装工艺

### 2.1 接地系统安装

(1)接地体和接地线的规格尺寸和敷设位置应符合施工图规定。图纸无标注时:①接地体应采用  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$  镀锌角钢,单根长度为  $2.5\text{m}$ ,间距不小于  $5\text{m}$ ,距建筑物不小于  $1.5\text{m}$ ,接地体顶端埋深不小于  $0.6\text{m}$ ;②地下接地干线应采用  $40\text{mm} \times 4\text{mm}$  镀锌扁钢;③明敷接地干线应采用  $25\text{mm} \times 4\text{mm}$  镀锌扁钢。

(2)接地体和接地干线的连接采用手工电弧焊,焊接附件时要三面焊接牢固。焊后即在焊接处满涂沥青,稍凉后再涂第二遍沥青。非焊接处不得涂沥青或刷防腐油漆。

(3)接地体和接地线施工工序如下:①挖沟,要求按图纸位置挖 800mm 深 600mm 宽的沟;②打入接地体,要求按图纸位置将接地体打入地下,留 300mm 长外露;③焊接地干线、涂沥青,要求三面焊接,扁钢搭接长度为宽度的 2 倍;④继续将接地体打入到规定深度;⑤隐蔽工程验收;⑥回填、夯实;⑦接地电阻测试。

(4)接地体和接地干线施工,必须会同质量检查部门及建设单位进行隐蔽工程验收,并会签验收单,否则不得回填。隐检验收单应作为竣工资料,于竣工交接时提交建设单位。

(5)明设接地干线的安装:①用 25mm×4mm 扁钢制作固定卡子,用  $\varnothing 8$ mm 膨胀螺栓固定在墙上。卡子的间距:对 40mm×4mm 扁钢接地干线不大于 1m,对 25mm×4mm 扁钢接地干线不大于 700mm。②镀锌扁钢调直后,点焊于固定卡子上。③明设接地干线和地下接地干线之间应备有测接地电阻用的断接点。接地干线通过建筑物的伸缩缝处,必须做补偿弯。④接地螺钉采用 M8mm×35mm 镀锌螺钉,配齐垫圈、弹簧垫圈及蝶形螺母,钉头应点焊在接地线背面。⑤接地干线应刷黑漆,但接地螺钉处要留出 10mm 不刷漆。⑥接地干线应横平竖直,水平及垂直误差不大于 5mm/m。

(6)变压器的工作零线:①从变压器低压侧中性端子到低压屏中性母线这一段称为工作零线。安装中必须给予足够的重视,必须严格按图纸要求施工,不得任意改变材质、截面及走向。②变压器的工作零线和中性点接地线应分别敷设。

(7)设备的接零保护:①接零保护的范:设备的金属基础和支架;设备的金属外壳和底座,瓷套管的法兰及穿墙隔板外框;电缆保护管,电缆支架和母线支架;金属网门、栅栏;电缆的金属护套和铠装、电缆头的金属外壳等。②设备接零保护支线的规格按施工图规定。图纸无标注时,采用  $\varnothing 8$ mm 圆钢紧贴墙面敷设、固定卡子间距不大于 700mm。③接零支线和设备的连接可以焊接在设备的金属基础或支架上,或焊接扁钢鼻子后紧固在设备的专用接地螺钉上,但不得直接焊接在设备上。④每台设备必须用单独的接零支线接到干线。但对于母线支架、穿墙隔板、电缆支架、电缆保护管等,可以多个设备共用一根接零支线。

(8)接地系统安装完毕,作接地电阻测试,其数值不应大于施工图规定的数值。接地电阻测试结果如达不到要求时,可与设计单位研究采取改进措施,并向建设单位办理签证手续。

(9)接地系统隐检验收单及接地电阻试验报告应作为竣工资料,在竣工交接时提交建设单位。

## 2.2 变压器安装

变压器安装的工作内容:开箱、清扫、外观检查、起重机具和枕木准备,搬运、搭拆、吊装就位,附件和止轮器安装,散热器冲洗,作密封试验,补充注油,接线,接地

等。

### 2.2.1 变压器的二次运输

(1) 变压器的二次运输由起重工承担, 电工配合。最好采用吊车和汽车, 如机具缺乏或距离很短而道路良好时, 也可以用倒练吊装、卷扬机、滚杠运输。

容量(kV·A)	总质量(t)	器身质量(t)	吊芯时吊点高(m)
100~180	0.6~1.0	0.4~0.55	3~3.2
200~420	1.0~1.8	0.6~1.0	3.2~3.5
500~630	2.0~2.8	1.2~1.5	3.8~4.0
750~800	3.0~3.8	1.8~2.1	5
1000~1250	3.5~4.6	2.1~2.4	5.2
1600~1800	5.2~6.1	2.2~3.1	5.2~5.8

(2) 变压器吊装时, 索具要检查合格, 钢丝绳必须挂在油箱的吊钩上。上盖的吊环仅可作吊芯用, 不得用此吊环吊装整台变压器。

(3) 变压器运输时的注意事项: ①保护瓷瓶不受损伤。②道路要事先平整夯实, 过沟时要加垫道木, 防止压坏沟盖, 损坏变压器。雨后要防止土壤软化塌陷。③变压器用汽车运输时, 必须用钢丝绳固定牢固, 并应行驶平稳, 尽量减少震动。

### 2.2.2 变压器的稳装

(1) 变压器就位时, 其方位和距墙尺寸均应与施工图相符, 距墙误差, 允许 $\pm 25\text{mm}$ 。图纸无标注时, 纵向按轨道定位, 横向距墙不小于 $800\text{mm}$ , 距门不小于 $1000\text{mm}$ , 并适当照顾到屋顶吊环的铅垂线位于变压器中心, 以便于吊芯。

(2) 变压器稳装的坡度: 对有瓦斯继电器的变压器, 安装时必须将油枕侧的槽钢或滚轮垫高, 形成 $1\% \sim 1.5\%$ 的坡度; 对无瓦斯继电器的变压器, 安装时最好也垫成上述坡度。

(3) 变压器的防地震固定, 适用于: ①对稳装在混凝土地坪上的变压器; ②对有混凝土轨梁, 宽面推进的变压器; ③对有混凝土轨梁, 窄面推进的变压器。

### 2.2.3 瓦斯继电器的安装

(1) 先关闭截油阀, 然后将运输用的临时短节拆下, 将瓦斯继电器按正确的方位装上, 使其箭头符号指向油枕, 截油阀应位于油枕和瓦斯继电器之间。垫好原有的耐油胶垫, 上紧螺丝, 消除漏油, 再打开截油阀。

(2) 打开放气嘴, 放出空气, 直到有油溢出时, 将放气嘴关上, 以免存气使瓦斯继电器发生误动作。

(3) 当操作电源为直流时, 必须将电源正极接到水银接点, 以免接点断开时产生飞弧。

### 2.2.4 防爆管管口的安装

防爆管管口临时封闭的钢板必须取下, 换以 $2\text{mm}$ 厚的玻璃, 玻璃两面应用环形

橡皮垫密封,玻璃朝外的一面用玻璃刀刻成“+”字,刻线长度等于防爆管的内径。

### 2.2.5 防潮呼吸器的安装

(1)检查硅胶是否失效。如已失效,应在  $115^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  温度下烘烤 8h 使其复原,或换新。

浅蓝色硅胶若变为浅红色则表明已失效。对白色硅胶,不加鉴定一律烘烤。

(2)安装时,必须将呼吸器盖子处的橡皮垫取掉,使其畅通,并在盖子中装入适量变压器油,起滤尘作用。

### 2.2.6 油面高度的要求

油标处实际油面应对准环境温度所对应的刻度线,油面过低时,应从油枕上注油孔处加注合格的变压器油。

### 2.2.7 电接点温度计的安装

(1)温度计安装前应检验;

(2)变压器顶盖上的温度计套筒内应加适量的变压器油;

(3)软管不得有压扁或死弯,其富裕部分应盘圈并固定在温度计附近。

### 2.2.8 有载分接开关的检查调整

(1)传动机构应动作灵活、润滑良好,机械连锁及限位开关应动作正确。

(2)主触头接触良好,辫子线联接紧密。

(3)分接开关与其控制器按图接线后,接通控制电源,动作与指示应正确无误。

### 2.2.9 变压器吊芯检查的准备工作

(1)试运行前,变压器一般均须吊芯检查,但下列情况例外:①制造厂规定不作吊芯检查者;②容量为  $500\text{kV}\cdot\text{A}$  及以下的变压器,运输过程中无异常情况;③短途运输:事先参加了制造厂的芯子检查并符合要求,运输装卸过程有监督,确认内部结构无损伤者。

(2)吊芯检查以试验室为主进行作业,安装班组密切配合。

(3)允许进行吊芯检查的气候条件:①气温不低于  $0^{\circ}\text{C}$ ,芯子温度不低于气温;②空气相对湿度不大于 75%。

(4)吊芯检查的准备工作:①机具:准备合格的倒链及钢丝绳,1 m 左右的短道木 2~4 根,手电筒等。②脚手架:根据现场情况搭设一步或两步架子,铺脚手板,并经检查合格。③盛油器,经过清洗的油桶、油抽子、漏斗、小油桶等。④必要时准备耐油橡胶垫备件。⑤拆卸妨碍吊芯的母线、支架、二次线接头等。

(5)吊芯检查后如无异常,应立即将芯子复位并注油至正常油位。吊芯、复位、注油必须在一个作业班内完成,不得过夜。

(6)将为吊芯而拆卸的母线、支架、二次线接头等复原。

(7)吊芯检查报告应作为竣工资料之一,在竣工交接时提交建设单位。

(8)变压器吊芯检查工作内容包括:装拆吊装工具,揭机大盖、吊芯、放注绝缘油,配合调试等。

## 2.3 盘、柜安装

盘、柜安装的工作内容包括:开箱、清扫、检查、盘柜安装、接线、母线连接、开关及机构调整等。

### 2.3.1 盘、柜的二次运输

(1)根据设备质量和现场条件,采用吊车、汽车或人力运输。

(2)吊点:有吊环者,吊索应穿在吊环内;无吊环者,吊索最好挂在四角主要承力结构处,不得将吊索挂在设备部件(如开关拉杆等)上吊装。

(3)运输中应牢固固定,防止磕碰,以免仪表、元件或油漆损坏。

### 2.3.2 盘、柜的稳装

(1)盘、柜在室内的位置应按施工图的规定。如图纸无明确标注时:①对于后面或侧面有出线的高压柜,距墙不得小于800mm;②对于后面或侧面无出线的高压柜,距墙不得小于200mm;③靠墙安装的低压柜,距墙不得小于25mm;④巡视通道的宽度不得小于1m。

(2)在距柜顶和柜底各200mm高处,按规定的位置绷两根尼龙线作为基准线,将盘柜按图纸规定的顺序比照基准线稳装就位,其四角可用钢垫片找平、找正。

(3)找平、找正后,即可将柜体与基础槽钢、柜体与柜体、柜体与两侧挡板固定牢固。柜体与柜体、柜体与两侧挡板采用螺栓连接。柜体与基础槽钢最好采用螺栓连接。如图纸规定采用点焊时,则按图纸施工。

(4)柜体稳装应横平竖直、安装牢固、连接紧密,无明显的缝隙。采用小线、线坠、水平尺检查时,垂直误差不大于1.5mm/m;水平误差不大于1mm/m;总误差不大于5mm/m。当柜体制造误差较大时,以柜的前面为准。

### 2.3.3 柜间隔板和柜侧挡板的配制

高低压配电柜的柜间隔板和柜侧挡板必须齐全,不齐者应现场配制。隔板和挡板的材料采用2mm厚的钢板,但GG-1A型高压柜柜顶的母线分段隔板最好采用10mm厚酚醛层压板。低压柜侧面靠墙安装时,挡板可以取消。

### 2.3.4 柜门、网门及门锁的调整

柜门、网门及门锁应调整使其开闭灵活,检修灯应完好,有门开关的检修灯应能随门的开闭而正常熄灭。

### 2.3.5 各种安装支架和柜体的连接

各种安装支架和柜体必须采用螺栓连接,不得将支架等焊在柜体上。



### 2.3.6 手车式高压的检查

(1)接地触头或接地簧片,在手车推入时必须和车体接触良好。接触处如有油漆或锈污,必须用砂布擦净。

(2)安全挡板能随手车的进出而灵活升降,不得卡住。

(3)手车推入时,主回路隔离触头应准确地插入触头座。

### 2.3.7 电力电缆(或导线)和开关的连接

(1)将电力电缆穿过零序电流互感器(如有零序电流互感器时);

(2)制作电缆终端头;

(3)将电缆芯线穿过电流互感器;

(4)压接鼻子,将鼻子用镀锌螺栓接到开关的接线端头,垫圈、弹簧垫圈必须齐全;

(5)铝线鼻子接到开关设备的铜端头时,铝鼻子的接触面必须刷锡,不得在接触面处垫铝箔。采用铜铝过渡鼻子或过渡片。铝件刷锡工艺应按搪锡工艺的有关规程规范操作。

### 2.3.8 各种螺钉的固定

将全部接线螺钉、结构紧固螺钉、安装固定螺钉及端子板螺钉(包括未接线的备用端子)紧固一遍,不得有松动。

## 2.4 少油断路器的安装

工作内容:开箱、清扫、检查、打眼、埋螺栓,操作机构安装,断路器导体及组装,注油、调整、接线、接地等。

根据当前我国少油断路器制造业的情况,下面介绍以SN10-10为代表型号规定的安装工艺。

### 2.4.1 基础或支架的准备及断路器的稳装

(1)必须充分重视少油断路器基础或支架的强度和刚度,不得随意降低混凝土标号或减小支架钢材的截面。确有必要变更时,必须征求设计部门的意见。

(2)支架和墙体的固定可采用:①剔墙眼埋设支架;②打透眼穿 M16 螺钉固定支架(垫圈应采用现场制作的  $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 8\text{mm}$  的方垫圈,并配齐弹簧垫圈),不得用膨胀螺栓固定少油断路器支架;③对 SN3 或 SN4 型少油断路器,最好采用在混凝土基础上留洞,下地脚螺钉,二次灌浆法;④少油断路器稳装时,应横平竖直,三相油箱高度的水平误差不大于 5 mm,固定螺钉、垫圈、弹簧垫圈必须齐全。

### 2.4.2 少油断路器的解体清洗和检查

(1)少油断路器一般均须解体清洗检查,但油箱铅封、说明书规定不解体、外观

检查合格且手动、电动合分闸试验正常等四项全部满足者,可不解体。

对于铅封的少油断路器解体,应有制造厂人员参加。

(2)解体的准备工作:①资料:阅读说明书,了解断路器的结构。②环境:作业场所应打扫干净。③气候:雨雪潮湿天气不得作业。④工具材料:油盘、油桶、漏斗、油抽子、绝缘强度试验合格的变压器油、软泡沫塑料及拆卸调整专用工具等。

(3)解体清洗步骤:按次序拆卸顶罩及定触头、隔弧片、导电杆及传动机构、缓冲活塞及放油塞等,并依次按原装配方位放在油盘中,用泡沫塑料蘸变压器油逐步清洗并冲洗油箱。清洗时注意保持原来的次序和方位。不得用棉丝或棉布清洗少油断路器。

(4)检查:①各部件应清洁,无油泥杂物;②消弧筒及隔弧片完整、装配正确;③导电杆无明显的弯曲,导电杆、定触头及导电滚轮的合金及镀银层完整,定触头弹力均匀,导电杆和定触头接触良好;④传动拐臂、连杆动作灵活无卡阻,垫圈、开口销齐全,开口销开口处无裂纹;⑤油封及密封件完整无损;⑥油缓冲器的油孔和活塞配合适宜,缓冲作用良好。检查后,按解体相反的次序逐件按原方位装复,但顶罩与定触头暂不装上。

### 2.4.3 导电杆行程和超行程的测量

(1)导电杆行程和超行程的测量用手动慢合闸慢分闸操作。

(2)测量方法:测量合闸位置与分闸位置时导电杆顶端的高度之差,即为导电杆的行程。表 3.1.1 超行程的数值对 SN10-10 型少油断路器而言,不易直接测量,通常用合闸位置时导电杆顶端至某基准面的距离来控制超行程。

表 3.1.1 少油断路器的行程和超行程

开关型号	行程(mm)	超行程	
		基准面	控制尺寸(mm)
SN10-10 I	$145 \pm 3$	上出线端	$130 \pm 1.5$
SN10-10 II	$155 \pm 3$	上出线端	$110 \pm 1.5$
	灭弧杆 $155 \pm 3$	上出线端	$122 \pm 2$
SN10-10 III	主触头 $66 \pm 2$		$66 \pm 2$

调整行程和超行程可以变动合闸橡皮缓冲器的松紧、橡皮垫厚度,或适当调整绝缘拉杆长度。行程和超行程测量后,即可装上定触头和顶罩。

### 2.4.4 三相合分闸同期性调整

(1)三相合分闸同期性调整用手动慢合闸分闸操作进行;

(2)采用 36V 单相工频电源,手动慢合闸或慢分闸时,三相灯泡应同时明灭,相差较大时,可调整绝缘拉杆的长度使其尽量一致。如因传动机构间隙不均,达不到同期合闸分闸时,以同期分闸(即灭灯)为主。

### 2.4.5 注油

(1) 变压器油必须经绝缘强度试验,合格后方可注入少油断路器中。试验电压见表 3.1.2。

表 3.1.2 少油断路器用变压器油绝缘强度试验电压 kV

系统线电压	绝缘强度试验电压
6	25
6~10	30

(2) 注油前,所用注油工具如漏斗、油桶、油抽子等均必须擦净水分和污物,再用合格油冲洗 2~3 次,然后装油(从顶罩排气孔处注入开关中),直到油面和油标刻线相合为止。

(3) 每组少油断路器(三相)所需油重参见表 3.1.3。

表 3.1.3 少油断路器的变压器油重 kg

型 号	三 相 油 重
SN10-10 I	5~6
SN10-10 II /1000 - 50	8
SN10-10 III /1250-750	8
SN10-10 IV / $\begin{matrix} 2000 \\ 3000 \end{matrix}$ - 750	12

(4) 未注油的少油断路器,不得进行手动及电动合分闸操作,以免油缓冲器无油而产生损坏。

### 2.4.6 手动合闸与分闸

(1) 用手动操作工具进行少油断路器慢速合分闸操作各三次。传动机构动作应正确灵活,无卡阻现象,合闸、分闸可靠。必要时,可调整传动机构的有关调整螺钉。

(2) 用手动操作工具进行少油断路器手动正常合闸、快速分闸及手动合闸自由脱扣操作各三次。动作应正确、灵活、可靠,必要时加以调整。

(3) 合、分闸指示牌的位置应正确。

### 2.4.7 电动合闸与分闸

(1) 准备操作电源。电源种类、电压、容量应符合操动机构的要求。

(2) 用 500V 兆欧表测量合闸、分闸线圈的绝缘电阻,不得低于  $1M\Omega$ 。

(3) 按施工图纸将操作电源接到少油断路器控制电路的接线端子。

(4) 电动操作合、分闸各三次,少油断路器动作应正确、灵活、可靠。

### 2.4.8 试验项目

- (1) 变压器油绝缘强度试验。
- (2) 断路器本体绝缘试验(2500V 兆欧表,不低于 1000M $\Omega$ )。
- (3) 断路器本体工频耐压试验。
- (4) 触头接触电阻试验。
- (5) 合闸时间及固有分闸时间。
- (6) 高、低操作电压下的少油断路器动作。

以上所有项目的检查调整记录和试验报告应妥善保存,作为竣工资料,于竣工时提交建设单位。

## 2.5 隔离开关、负荷开关、熔断器安装

### 2.5.1 隔离开关和负荷开关的安装

(1) 隔离开关、负荷开关在墙上的固定方式,可采用:①剔墙眼埋设角钢,规格不得小于 50mm $\times$ 50mm $\times$ 5mm;②打透眼穿 M16 螺钉固定,垫圈应采用现场制作的 100mm $\times$ 100mm $\times$ 8mm 的方垫圈,并配齐弹簧垫圈。不得用膨胀螺栓固定隔离开关和负荷开关及其支架。

(2) 开关延长轴与开关轴伸不得焊死。在当拉杆上端的销钉折断,以致拉杆倒落会造成设备事故的情况下,应在拉杆上端 1/3 长度处装保护环。

### 2.5.2 负荷开关、隔离开关的调整

(1) 调整操作传动机构角度,拉杆长度及传动绝缘子上螺杆的长度,应达到下列要求:①合闸时,刀片进入定触头的深度,应距离定触头底部 3~5mm。刀片及主触头应擦净涂油。②分闸时,刀片拉开角度或拉开距离应符合表 3.1.4 的规定。③三相合闸同期性相差不大于 3mm。④负荷开关的主触头和灭弧触头的合、分闸次序应正确无误。

表 3.1.4 隔离开关和负荷开关的拉开角度或拉开距离

开关型号	拉开角度	拉开距离(mm)
GN2-10	65°	158 $\pm$ 4
GN6-10		不小于 160
GN8-10	58°	不小于 160
FN2-10		182 $\pm$ 3
FN3-10		182 $\pm$ 3

(2) 隔离开关如有连锁机构(如主刀与接地刀的连锁或隔离开关与断路器的连锁),必须调整到使连锁作用正确可靠。

### 2.5.3 单极隔离开关的安装

支架不得用小于  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$  角钢,固定螺丝不得小于 M12。相间距离,室内不得小于 450mm;室外不得小于 600mm。

### 2.5.4 跌落式熔断器的安装

- (1)与垂直线成  $15^\circ \sim 30^\circ$  角,掉管灵活。
- (2)相间距离,室内为 600mm,室外为 700mm。
- (3)对地高度,室内为 3000mm,室外为 4500mm。
- (4)与被保护设备水平距离应错开,不小于 500mm。

### 2.5.5 低压空气断路器的安装

- (1)灭弧罩最好摘下妥善保存,试运行时再装上。
- (2)合闸、分闸动作应正确可靠。
- (3)脱扣指示器应调整到设计给定值。
- (4)触头应擦净,但不得涂油。

## 2.6 电容器安装

### 2.6.1 安装支架的准备

- (1)调直角钢,使其弯曲度小于  $1\text{mm/m}$ 。
- (2)支架的层间距离应按施工图确定。如图纸无明确标准时,对 1000V 以上的电容器,应保持下层母线距上层支架底部不小于 200mm,最下层电容器底部距地不小于 300mm。
- (3)电容器外壳之间的距离应按施工图规定。如图纸无标注时,应不小于 50mm。
- (4)支架应横平竖直,允许误差  $1\text{mm/m}$ ,且全长不大于 5mm。
- (5)支架上不应设置整块隔板,以保持空气流通和充分冷却。
- (6)支架应和本层电容器的外壳用小母线牢固连接。支架是否接地必须严格按施工图规定。如规定不接地,通常用支柱绝缘子绝缘,且绝缘等级应和电网额定电压一致。

### 2.6.2 电容器的安装

- (1)电容器搬运时,应注意不碰不摔。
- (2)用单相电容器组合成为三相电容器时,应适当调配,使各相总电容容量相差不大于 5%。用两组(或多组)额定电压相等的电容器串联以提高额定工作电压时,应适当调配使各组总容量相差不大于 10%。
- (3)电容器安装的方位:电容器外壳上有温度计插筒时,应使温度计朝向维护通道,以便于监视。无温度计插筒时,应使电容器铭牌朝向维护通道。

### 2.6.3 电容器组的熔断器保护

电容器组如采用熔断器保护时,熔丝的额定电流应不超过电容器额定电流的1.5倍。

### 2.6.4 电容器组的放电回路

(1)当采用放电电阻、放电指示灯或电压互感器作为电容器组的放电回路时,应接在断路设备的电容器侧,仅电容器组与电网断开时,能可靠放电。

(2)当采用接地隔离开关作为电容器组的放电回路时,接地隔离开关的操动机构必须和断路设备的操动机构有可靠的连锁。

### 2.6.5 试验项目

(1)绝缘电阻及吸收比。

(2)电容量测定。

(3)工频耐压试验——对1000V以下的电容器,仅用2500V兆欧表测量绝缘电阻及吸收比;试验报告应留作竣工资料,在竣工交接时提交建设单位。

## 2.7 母线、穿墙套管、穿墙隔板安装

### 2.7.1 母线支架的准备

母线支架用50mm×50mm×5mm角钢制作,最好用M10膨胀螺栓固定在墙上,以免剔埋。

### 2.7.2 母线的调直与切断

母线调直必须用木槌,下垫道木进行作业,不得用铁槌作业。母线切断可使用手锯或砂轮作业,不得用电弧或乙炔焰作业。

### 2.7.3 母线的弯曲

(1)母线的弯曲最好用专用工具冷煨,弯曲处不得有裂纹及显著的皱折。

(2)母线扭弯、扭转部分的长度不得小于母线宽度的2.5倍。

(3)母线平弯及立弯的弯曲半径不得小于表3.1.5的规定。

表 3.1.5 母线的弯曲半径

项目	母线规格 $a \times b(\text{mm})$	最小弯曲半径 $R$		
		铝	铜	钢
平弯	50×5 及以下	2b	2b	2b
	50×5 至 120×10	2.5b	2b	2b
立弯	50×5 及以下	1.5a	a	0.5a
	50×5 至 120×10	2a	1.5a	a

注:a为母线宽度,b为母线的厚度。

(4)母线的弯曲点至搭接边缘距离不得小于30mm。弯曲点至最近支持绝缘

子中心线的距离不得小于 100mm。

#### 2.7.4 母线的焊接

(1) 焊缝的位置: 焊缝距弯曲点或支持绝缘子边缘不得小于 50mm。同一相如有多片母线, 其焊缝应相互错开, 不小于 50mm。

(2) 焊接的技术要求: ① 铝母线气焊采用 301 号或 302 号纯铝焊条, 401 号铝焊粉。铜母线气焊可采用 201 号或 202 号紫铜焊条, 301 号铜焊粉或硼砂。为节约材料, 亦可用废电线芯或废电缆芯线代替焊条, 但表面应光洁无腐蚀, 并须擦净油污, 方可施焊。② 焊接前应当用钢丝刷清除母线焊口处的氧化层, 将母线用耐火砖等垫平对齐, 防止错口。焊口处根据母线规格留出 1~5mm 间隙, 然后由焊工施焊。③ 焊缝应对口平直, 不得错口。必须双面焊接, 焊缝应凸起呈弧形, 除允许剔掉个别多余的焊瘤外, 焊缝不得锉平。焊缝不得有裂纹、夹渣、未焊透及咬肉等缺陷。焊完在未冷却前用足量的水洗净焊药。

#### 2.7.5 母线的螺栓连接

(1) 铜、铝线钻孔尺寸及螺栓规格见表 3.1.6。

(2) 母线采用螺栓连接时, 垫圈应选用专用厚垫圈, 并必须配齐弹簧垫圈。螺栓、垫圈及弹簧垫圈必须用镀锌件。螺栓长度应考虑在螺栓紧固后能露出螺母外 5~8mm。

(3) 母线与母线或母线与设备的连接端钻孔后, 必须用钢锉将接触面横向锉平露出新茬, 然后进行接触面的刷锡处理。不得在接触面之间垫铝箔。

(4) 铝母线刷锡工艺如下: ① 用 5% 苛性钠(即火碱)溶液作表面清洗, 直到露出银白色的干净表面, 然后用清水冲洗、擦干, 注意在作业时防止药液溅入眼睛或皮肤, 造成伤害; ② 将工业纯锡进行加热熔化; ③ 将母线需刷锡部分浸入锡液中, 同时用钢丝刷来回刷母线表面, 直到锡液均匀地粘附于母线表面; ④ 取出母线, 在未冷却前用布擦净余锡, 接触面上不得遗留锡的颗粒或凸起物; ⑤ 螺栓连接处用 0.05mm 塞尺检查, 允许塞入深度不大于 4mm(对宽度为 50mm 及以下的母线)或 6mm(对宽度为 60mm 及以上的母线)。

#### 2.7.6 母线的安装

(1) 母线安装应平整美观。主母线安装时:

水平段: 二支持点高度误差不大于 3mm, 全长不大于 10mm。

垂直段: 二支持点垂直误差不大于 2mm, 全长不大于 5mm。

间距: 平行部分间距应均匀一致, 误差不大于 5mm。

(2) 母线安装的最小安全距离见表 3.1.7。

表 3.1.6 矩形裸母线螺栓连接尺寸表

图 例	序号	母线连接的类别	母线材料	连接尺寸 (mm)						备 注		
				$a_1$	$b_1$	$c_1$	$e_1$	$a_2$	$b_2$		$c_2$	$\varnothing$
	1	120 与 120 直线连接或垂直连接	铝、铜、钢	120	60	30		120	60	30	19	
	2	120 与 100 垂直连接	铝、铜、钢	120	60	30		100	50	25	17	
	3	120 与 80 垂直连接	铝、铜、钢	120	60	30		80	40	20	17	
	4	100 与 100 直线连接或垂直连接	铝、铜、钢	100	50	25		100	50	25	17	
	5	100 与 80 垂直连接	铝、铜、钢	100	50	25		80	40	20	17	
	6	80 与 80 直线连接或垂直连接	铝、铜、钢	80	40	20		80	40	20	17	
	7	60 与 60 垂直连接	铝、铜	60	26	17		60	26	17	13	
	8	60 与 60 垂直连接	钢	60	26	17		60	26	17	17	
	9	60 与 50 垂直连接	铝、铜、钢	60	26	17		50	22	14	13	
	10	50 与 50 垂直连接	铝、铜、钢	50	22	14		50	22	14	13	
	11	40 与 40 垂直连接	铝、铜、钢	40	18	11		40	18	11	11	



	12	120 与 60、50、40 垂直连接	铝、钢、钢	120	60	30	60、50、40	-	-	13	钢母线时 $\varnothing = 17$ 钢母线时 $\varnothing = 17$ 不包括 $a_2 = 30$ 的钢母线, 其他钢母线 $\varnothing = 17$
	19	120 与 30 垂直连接	铝、钢、钢	120	30	15	30	-	-	11	钢母线时 $\varnothing = 17$ 钢母线时 $\varnothing = 17$ 不包括 $a_2 = 30$ 的钢母线, 其他钢母线 $\varnothing = 17$
	25	60 与 60 直线连接	铝、铜	60	26	17	90	28	17	13	钢母线时 $\varnothing = 17$ 钢母线时 $\varnothing = 17$ 不包括 $a_2 = 30$ 的钢母线, 其他钢母线 $\varnothing = 17$
	26	50 与 50 直线连接	铝、铜	50	22	14	75	23	14	13	钢母线时 $\varnothing = 17$ 钢母线时 $\varnothing = 17$ 不包括 $a_2 = 30$ 的钢母线, 其他钢母线 $\varnothing = 17$

续表

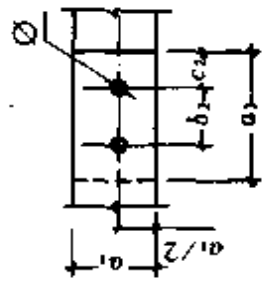
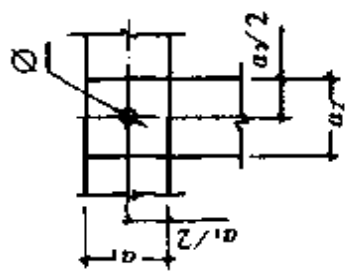
图 例	序号	母线连接的类别	母线材料	连 接 尺 寸 (mm)								备 注
				$a_1$	$b_1$	$c_1$	$e_1$	$u_2$	$b_2$	$c_2$	$\varnothing$	
	27	60与60直线连接	钢	60	-	-	-	80	40	20	17	钢母线时 $\varnothing$ 为17
	28	50与50直线连接	钢	50	-	-	-	75	40	17.5	17	
	29	40与40直线连接	铝、铜、钢	40	-	-	-	80	40	20	13	
	30	30与30直线连接	铝、铜、钢	30	-	-	-	60	30	15	11	
	31	25与25直线连接	铝、铜、钢	25	-	-	-	50	26	12	11	
	32	20与20直线连接	铝、铜、钢	20	-	-	-	40	20	10	7	
	33	40与30垂直连接	铝、铜、钢	40	-	-	-	30	-	-	13	
	34	40与25垂直连接	铝、铜、钢	40	-	-	-	25	-	-	11	
	35	30与30垂直连接	铝、铜、钢	30	-	-	-	30	-	-	13	
	36	30与25、20垂直连接	铝、铜、钢	30	-	-	-	25	-	-	11	
	37	25与25、20垂直连接	铝、铜、钢	25	-	-	-	25	-	-	11	
	38	20与20垂直连接	铝、铜、钢	20	-	-	-	20	-	-	7	

表 3.1.7 室内配电装置最小安全净距

mm

项 目	定 额 电 压		
	1~3kV	6kV	10kV
带电部分至地及不同相带电部分之间安全净距	75	100	125
带电部分至栅栏	825	850	875
带电部分至网状遮栏	175	200	225
带电部分至板状遮栏	105	130	155
无遮栏裸导体至地面	2375	2400	2425
不同分段的无遮栏裸导体间	1875	1900	1925
出线套管至室外通道路面	4000	4000	4000

(3) 母线支持点的间距:对低压母线不得大于 900mm;对高压母线不得大于 1200mm。低压母线垂直安装且支持点间距无法满足要求时,应加装母线绝缘夹板。

(4) 母线在支持点的固定:对水平安装的母线应采用开口元宝卡子;对垂直安装的母线应采用母线夹板。母线只允许在垂直部分的中部夹紧在一对夹板上,同一垂直部分的其余的夹板和母线之间应留有 1.5~2mm 的间隙。

(5) 母线的涂漆颜色及排列次序见表 3.1.8。

表 3.1.8 母线的涂漆颜色和排列次序

相 序	涂漆颜色	排 列 次 序		
		垂直布置	水平布置	引下线
A	黄	上	内	左
B	绿	中	中	中
C	红	下	外	右
O	黑	最下	最外	最右

设备接线端、母线搭接或卡子、夹板处,明设地线的接线螺钉处等,不得刷漆。刷漆应均匀、整齐,不得滴流或弄脏设备。

### 2.7.7 母线安装后的试验

低压母线在拆去与地有通路的二次回路接线后,用 500V 兆欧表试验,各相母线对地及各相母线之间的绝缘电阻不得小于 0.5MΩ。高压母线必须作工频耐压试验,试验可单独进行或与设备一起进行。

### 2.7.8 穿墙套管的安装

(1) 穿墙套管安装的最小距离见表 3.1.9。

表 3.1.9 穿墙套管安装的最小距离 mm

项 目		允许最小距离
室外相间		350
室内相间		250
双回路相间		2200
对地高度	室内	3500
	室外	4000
	室外临街	4500

(2)穿墙套管在安装前,最好经工频耐压试验,合格后再安装,以免安装后试验不合格再拆卸。

## 2.8 二次回路安装

### 2.8.1 设备查线

(1)对照接线图,逐台检查设备的仪表、开关、继电器、接触器、指示灯、熔断器等元件的型号、规格是否与图纸相符,有无损坏、受潮现象,注意仪表、指示灯、继电器和接触器的线圈等元件的额定电压和控制、操作电源的电压必须一致,交直流也必须一致。

(2)对照原理图和接线图,用试铃或万用表逐根检查二次回路接线与图纸是否相符。如有少数不符,应按图纸将接线及其线号同时改正。

(3)用 500V 兆欧表在端子板处测量二次回路绝缘电阻:二次回路接线,不得小于  $1M\Omega$ ;小母线本身,不得小于  $10M\Omega$ 。二次回路如有晶体管、集成电路等电子元件时,该部分的检查不得使用兆欧表试铃,只能使用万用表。

### 2.8.2 二次回路配线

(1)二次回路配线使用的导线规格应遵照施工图的规定。图纸无明确规定时,可参照下列四点:①可视条件采用 500V 铜芯控制电缆(KVV 或 KXV 类)或 500V 铜芯绝缘导线,并且中间不能有接头。②橡皮绝缘的电缆芯线,剥开后必须套软聚氯乙烯管,防止橡皮老化后粘在一起。多油设备(如变压器、油断路器等)的二次接线,最好采用塑料绝缘线芯,不得采用橡皮绝缘线芯。③接到活动的门、板上的设备的二次接线,必须采用多股绝缘线,并在转动轴线附近的两侧留出裕量后卡固。多股线芯的接线端,最好压线鼻子或盘圈后刷锡,不得直接接到端子或设备上。④线芯的截面积:电压、控制、保护、信号线不小于  $1.5\text{mm}^2$ ;电流、电流互感器线路不小于  $2.5\text{mm}^2$ 。

(2)布线方法:盘柜之间的连接线必须经过端子板。按照接线图将足够数量的

线芯理顺,绑扎整齐,套好线号后接到端子上。绑扎方法可以采用下列三种之一:①尼龙线绑扎,绑扎点距离水平布线时最好不大于 150mm,垂直布线时最好不大于 200mm。②铝带绑扎,用铅皮线卡子或 8mm×0.5mm 的薄铝带绑成方截面的线束。但卡子和导线之间必须垫二层塑料带。绑扎间距同上。③线槽布线:采用塑料或金属线槽,导线放在槽中,不需要绑扎。选用布线方法和绑扎方法最好和设备本身的布线方法一致。接到端子板的每根线芯均必须留出一定长度的裕度,并且裕度要弯曲合适,排列整齐。

(3)标注线号:①每根线芯的两端均必须套塑料制线号管。②线号必须按施工图标注来编写。图纸无明确标注时,最好采用相对编号法。即每个线头的线号应标出该线芯另一端所在的柜号、端子板编号及端子号。③线号最好用钢字头蘸特制墨水盖印,以求整齐划一,或用蘸水钢笔蘸特制墨水书写。盖印或书写后必须用电炉烘烤,使之牢固。墨水用龙胆紫或苯胺蓝染料等加环己酮现场配制,不得用圆珠笔写塑料线号。

(4)二次回路布线的绝缘:①二次回路布线不得和金属构件、金属盘面等直接接触。必要时,可垫一层 2mm 左右的橡皮绝缘。②导线穿过金属板时必须套绝缘护套。

### 2.8.3 互感器的安装和接线

(1)充油式互感器的安装可按变压器安装的有关条款,并结合使用要求进行。

(2)干式互感器安装时,一次回路的相间距离必须符合母线安装及穿墙套管的安装的规定,二次接线端子要装在外侧,以便于维护。

(3)电流互感器的次级绕组不得开路,不接线的次级绕组的端子必须短接并直接接地。电流互感器的二次接线最好先接到电流试验端子,再接到仪表和继电器。

(4)电压互感器的次级绕组或电流互感器的每一个次级绕组最好有一点接地,但图纸有其他规定者除外。成套配电柜安装时,应注意将甩出的互感器的接地线接到接地母线上,不得遗漏不接。

(5)零序电流互感器安装时,电缆外皮应接地。

### 2.8.4 二次回路的接线

二次回路的接线必须和施工图纸一致。如作修改,必须以设计修改通知书为依据。修改后应及时将修改标在施工图上,设计修改通知书及修改图纸均应作为竣工资料,于竣工交接时提交建设单位。

### 2.8.5 二次回路动作的模拟试验

二次回路接线完成,并测量绝缘合格后,接通控制电源和操作电源,模拟试验二次回路的控制、连锁、保护和信号等动作,均必须符合图纸要求。如有不正常,必须查明原因,排除故障。

### 3 变配电工程的试验及试运行

变配电工程的试验应由专业单位进行,安装单位密切配合。

#### 3.1 试验项目

(1)变压器:①吊芯:符合变压器安装的规定;②绕组直流电阻;③绕组绝缘电阻及吸收比;④变比、两台及以上变压器时应试验联接组别;⑤油的绝缘强度;⑥绕组工频耐压。

(2)高压电缆及电缆头:①绝缘电阻;②直流耐压及泄漏电流。

(3)油断路器:①绝缘电阻;②触头接触电阻;③合闸时间及固有分闸时间;④高低操作电压下合闸分闸动作;⑤油的绝缘强度;⑥断路器本体的工频耐压。

(4)负荷开关、隔离开关、高压熔断器、穿墙套管、高压母线及支持绝缘子:①绝缘电阻;②工频耐压。

(5)阀型避雷器:①绝缘电阻;②泄漏电流;③工频击穿电压。

(6)高压电容器:①绝缘电阻及吸收比;②工频耐压;③电容量。

(7)二次回路:继电保护整定。

(8)仪用互感器及仪表:①互感器绝缘电阻;②电压互感器初级绕组直流电阻;③变比、接线组别、特性;④油的绝缘强度;⑤互感器工频耐压;⑥主要仪表精度校验。

(9)接地系统:接地电阻。

(10)安全工具(建设单位购置):拉杆、验电器、绝缘手套及绝缘靴的工频耐压。

#### 3.2 试验准备工作

(1)准备全套施工图纸(特别是根据洽商后修改的图纸);

(2)准备主要设备的出厂合格证、使用说明书及出厂试验报告等;

(3)三相四线试验用电源;

(4)常用工具、仪表及辅料。

此外,如变压器需要吊芯时,还要准备吊芯工具及材料。

所有项目的试验报告均应作为竣工资料保存,于竣工交接时提交建设单位。

#### 3.3 试运行及竣工验收

##### 3.3.1 试运行前的准备工作

(1)清扫全部设备及变压器室、配电室、控制室等场所,除试运行必须的仪表、工具、备件外,不得堆放工具箱、安装材料、工作服及下脚废料等。

(2)配齐试验合格的安全工具,如拉杆、验电器、绝缘手套、绝缘靴及临时接地线等,配电室的操作走廊必须铺设橡皮地毯。

(3)准备足够数量的消防器材。变配电室必须使用二氧化碳灭火器及四氯化碳灭火弹,不得使用泡沫灭火器,最好不使用干粉灭火器。

(4)准备警告标志牌如“高压危险”、“有人工作,禁止合闸”等。应准备变配电系统模拟板。

(5)准备好备品、备件及专用工具,如熔断器拉手、油断路器手动操作工具等。

(6)检查各部位接地良好、主回路相色正确无误、螺丝紧固良好、高低压主回路(包括接到负载的回路)绝缘良好无异常,并将低压空气断路器之灭弧罩装好。

(7)将试运行方案,其中应包括事故应急措施,向参加试运人员交底。

(8)做好试运行组织工作。确定试运行指挥人、操作人及监护人、值班人。试运行指挥必须由施工单位指派。

### 3.3.2 试运行必须具备的条件

(1)安装作业全部完成。

(2)试验项目全部合格。

(3)工程质量根据国家建委“质量检验评定标准”检查全部合格。

(4)试运行准备工作全部完成。

试运行前的预备操作及试运行程序随工程具体情况而有所不同,今以无中央控制室的中小型变配电工程为例,说明一般情况下试运行前的预备操作及试运行程序。

### 3.3.3 试运行前的预备操作

(1)全部开关设备(除接电源的第一级开关外)合闸、分闸三次,确认动作正常。

(2)用 500V 兆欧表再次检查高、低压电缆的绝缘,确认无异常情况。

(3)将全部主回路开关(包括油断路器、负荷开关、隔离开关及空气断路器等)置于分闸位置。

(4)将所有变压器的无载调压开关一律置于“Ⅱ”挡,或有载调压开关置于中档,其控制器置于手动调压位置。

### 3.3.4 试运行程序

(1)合室外跌落式熔断器或上一级变电站的油断路器,将高压电送到本变电站的进线开关。合跌落式熔断器时,必须穿绝缘靴,戴绝缘手套,用拉杆操作。最好先合边相,后合中相。

(2)验电。操作人在监护人的监护下,穿绝缘靴,戴绝缘手套,用高压验电器对进线开关上端验电,应三相有电。观察进线柜应无异常现象。

(3)先合进线柜的上、下隔离开关(手车式柜则将手车推入工作位置),后合进线油断路器,将高压电送到母线,观察该段母线应无异常现象。

(4)合电压互感器柜隔离开关或推入手车,检查三相电压指示是否正常,电压互感器应无异常现象。

(5)合避雷器柜隔离开关或推入手车,避雷器应无异常现象。

(6)如有两路或两路以上高压进线,则在确认母联柜隔离开关断路(或手车拉出)以后,按上述(1)至(5)的次序,逐路送上其他回路高压电源,经检查电压指示正常后,必须在两组电压互感器次级电压小母线处,用万用表 250V 交流挡,核对两路高压电源的相序。

两组电压小母线的同名相(即  $a-a'$ 、 $b-b'$  和  $c-c'$ )电压指示必须近似为零,而异名相(即  $a-b'$ 、 $a-c'$ 、 $b-c'$ 、 $b-a'$ 、 $c-a'$  和  $c-b'$ )电压指示必须近似为电压小母线的额定电压(一般为 100V)。如相序不对,必须按合闸的相反次序停电,并切断前级电源,将母线及电缆对地放电后,接入临时接地线,然后换接高压进线的相序使其正确无误。

(7)检视变压器室,确认无异常情况,然后根据高压电压表指示值调整变压器的有载或无载调压开关的位置,挂上警告牌后,合上变压器柜的隔离开关,再闭合其油断路器,检查变压器应无异常情况,变压器空载电流指示应正常。

变压器在合闸时,由于瞬变电流而产生的短时间(一般不超过 1~2s)声音异常及电流冲击,不应认为是异常情况。

(8)按次序合低压进线柜隔离开关及空气断路器,检查低压进线柜上电压表,各相电压指示应正常。

(9)如系统有两台或两台以上变压器,相应的低压柜有两段或两段以上母线,则在确认低压母联隔离开关断路后,按上述(7)到(8)的次序,逐台、逐段投入变压器及送上低压电源后,必须在低压母联开关处核对各段母联的相序是否正确。

用万用表交流 450V 或 500V 挡,测量各段母线同名相的电压必须接近零;各异名相的电压必须接近额定线电压。

(10)如测量值不正常,必须按合闸的相反次序停掉全部变压器柜后,放电挂地线,然后查明原因,予以改正。

如施工说明书规定高压各段母线或低压各段母线可以并联运行时,则在按上述(6)或(9)核对相序无误后,再检查各段母线电压相差不超过 2.5% 时,按次序合母联柜的隔离开关及油断路器(或空气断路器),进行多路并联试运行。

如施工说明书规定两路电源为一备一用或双路互为备用,则不得进行并联试运行操作。如两段母线电压相差超过 2.5%,也不得进行并联试运行操作。

(11)高压负载的试送电:①检查负载情况是否正常(如电动机及设备盘车,风机及泵类负载进出口阀门位置、介质的来源、通路、排放、润滑油量等),在负载处有人监视的情况下,合高压柜的隔离开关(或推入手车)及油断路器,对负载设备送电试运行;②合闸后应立即观察负载电流表的指示是否正常,负载的运行情况是否正



常,如不正常,应立即停车。

(12) 低压负载的试送电:除上述(11)的内容外,还必须检查负载的控制设备绝缘是否良好,动作是否正常,一切方可试运行。上述(11)及(12)所述的负载的试运行,应按有关标准工艺进行,不在变配电工程试运范围之内。

### 3.3.5 试运行值班

(1) 按试运行程序正常完成以后,即移交试运行值班人员进行定时值班巡视。

(2) 试运行值班每班至少两人,其中至少有一人必须是三级或三级以上电工。

(3) 值班人员必须经常巡视变配电工程各有关部位,检查有无异常声响、闪光、气味及温度等,检查表针指示有无异常。如有异常情况,必须及时处理,必要时按正确步骤拉闸停电。

(4) 值班人员每 2h 抄表一次。主要记录项目有:高压电压、低压电压、高压电流、低压电流、变压器电流、变压器温度、有功功率、无功功率、环境温度及有无异常情况。

(5) 试运行值班 24h 无异常情况,即可交付正式投入运行。试运行值班记录应作为竣工资料之一,随工程一起交接。

## 4 继电保护及控制电路

### 4.1 继电保护的基本要求

为了保证供电系统的可靠工作和安全运行,对于供电系统中可能发生的各种非正常运行状态和过载、短路、接地故障等必须采用相应的继电保护装置,以便判断故障,并及时将故障从供电系统中迅速切除,从而保证非故障部分能继续正常工作。

对继电保护的基本要求,主要是:

(1) 选择性:当供电系统发生故障时,继电保护装置应能正确判断,有选择地切除故障部分,并保证非故障部分仍能继续正常工作,绝对不允许越级跳闸。实现继电保护的选择性的方法是:①时间配合:上、下级继电保护动作时间要有 0.5s 以上的时间差;②整定值配合:上、下级继电保护整定值应基本上符合下列要求:

$$I_{\text{d1}} = K_1 \frac{I_{\text{d2}}}{k_1}$$

式中  $K_1$ ——可靠系数,考虑到继电器动作误差和短路电流的计值误差,取值 1.1 ~ 1.15;

$k_1$ ——最小分支系数,等于“总的短路电流除以通过本保护电路的短路电流”;

$I_{d1}$ ——上一级开关的动作电流；

$I_{d2}$ ——下一级开关的动作电流。

$$U_{d1} = \frac{\sqrt{3}I_{d2}Z_x + U_{d2}}{K_u}$$

式中  $K_u$  ——可靠系数,取值 1.2~1.3;

$U_{d1}$  ——上一级开关的动作电压;

$U_{d2}$  ——下一级开关的动作电压;

$I_{d2}$  ——下一级开关的动作电流;

$Z_x$  ——上、下级开关间的线路阻抗。

(2)快速性:发生短路后,尽快消除故障,可以缩小故障范围,减小短路电流所引起的破坏,提高系统的稳定性。因此,在可能的条件下,继电保护装置应力求快速动作。目前,高压油断路器的跳闸时间为 0.10~0.15s,低压空气断路器的跳闸时间为 0.05~0.08s。

(3)灵敏性:继电保护装置对被保护系统和设备可能发生的故障及非正常运行,应能很灵敏地感受并动作。继电保护装置的灵敏性用灵敏系数  $K_l$  来衡量。

$$K_l = \frac{I_d}{I_{dx}}$$

式中  $I_d$  ——保护范围运行方式最小二相短路电流;

$I_{dx}$  ——继电保护装置的动作电流。

一般的电流保护装置,要求  $K_l = 1.2 \sim 1.5$ ;反时限电流保护,则要求  $K_l > 1.5$ 。

(4)可靠性:继电保护装置对其所保护范围内所发生的各种故障和非正常运行,均应保证可靠工作,既不能误动作,也不能拒绝动作。为了保证继电保护装置能有足够的可靠性,应注意:①选用质量好的继电器,继电器应结构简单、工作可靠;②设计继电保护接线时,应力求简化,继电器和继电器接点的使用数量要尽量少;③正确确定继电器的整定值。整定值的可靠性以可靠系数  $K_k$  来表示:

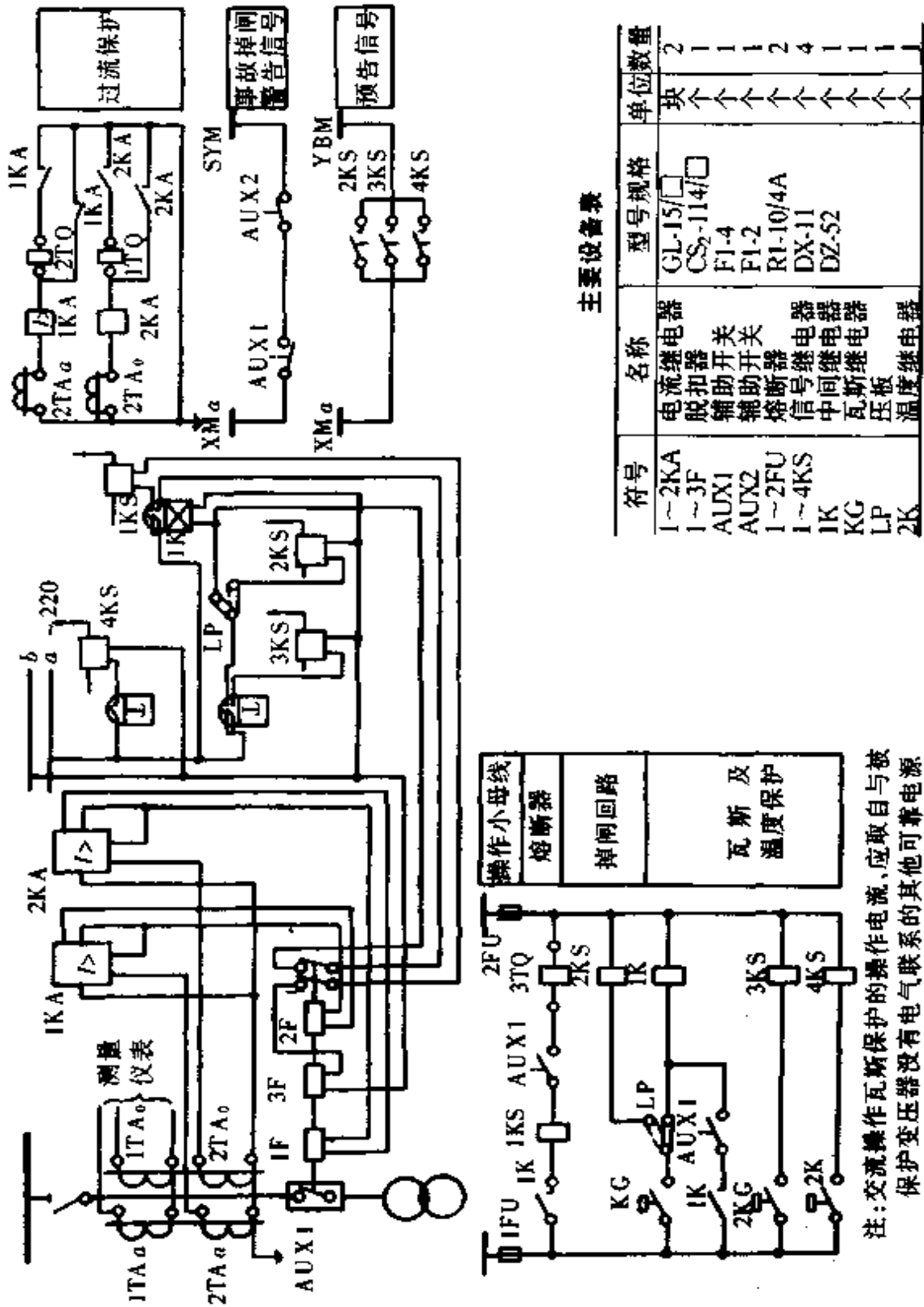
$$K_k = I_{dx} / I_{FM}$$

式中  $I_{dx}$  ——继电保护装置的动作电流;

$I_{FM}$  ——最大负荷电流。

## 4.2 工厂常用继电保护的接线

工厂常用的过电流保护接线如图 3.1.1 和图 3.1.2 所示,供使用参考。



注：交流操作瓦斯保护的操作电流，应取自与被保护变压器没有电气联系的其他可靠电源

图 3.1.1 反时限过电流保护接线图

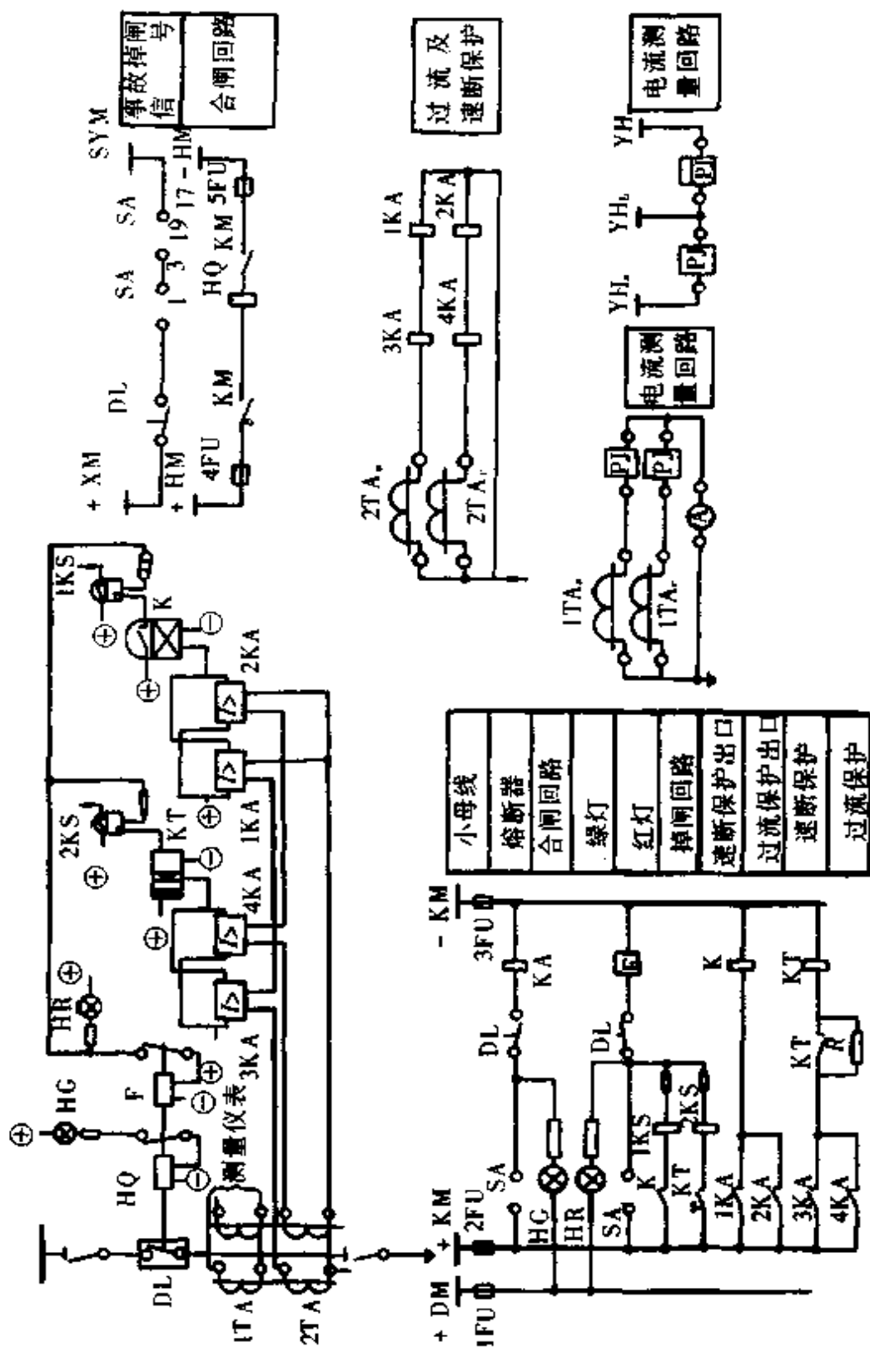


图 3.1.2 定时限过电流保护接线图

主要设备表(图 3.1.2)

符号	名称	型号规格	单位	数量	符号	名称	型号规格	单位	数量
1~2KA	电流继电器	DL-11/□	块	2	SA	控制开关	LW <sub>2</sub> -1a46a40、20" F8	个	1
3~4KA	电流继电器	DL-11/□	块	2	A	电流表	1T1-A/□	个	1
KT	时间继电器	DS-113/220V	块	1	PJ	有功电度表	DS <sub>1</sub> -□/□	个	1
K	中间继电器	DZ-17/220V	块	1	1~3FU	熔断器	R1-10/4A	个	3
1~2KS	信号继电器	DX-11/1A	块	2	4~5FU	熔断器	RM <sub>3</sub> -60/25A	个	2
HR、HG	红、绿信号灯	ZSD-38/220V	个	各 1	KM	接触器	CZ9/220V	个	1
R	电阻	10kΩ10W	个	1	F	脱扣器	CD2/220V	个	1

注:1. 本图为直流操作的定时限过电流保护,一般用于容量较大,设备较复杂的单位。

2. 直流操作电源采用 220V 硅整流电源。

3. 时间继电器 KT 应并串 R 及其常闭接点,以减少电压补偿装置的能量消耗。

### 4.3 工厂常用电气测量仪表的接线

对于工厂用电设备,主要是测量其电流、电压和电能(或功率)。

测量仪表的电流线圈应串联在线路中;测量仪表的电压线圈则应与线路并联。

当通过互感器连接测量仪表时,还应注意以下各点:

(1)所有串联接入电流互感器二次侧电路中的电流线圈,包括连接线路在内,其总的电阻值不能超过电流互感器二次侧所允许的负载电阻值,以免电流互感器损坏或影响其测量准确度。

(2)所有并联接入电压互感器二次侧电路中的电压线圈,其额定电流之和不能超过电压互感器二次侧电路所允许的负载电流值,以免过载。

(3)电流互感器的二次侧不允许发生开路;电压互感器的二次侧不能发生短路。互感器的二次侧及铁心均应可靠接地。

(4)所有连接二次电路用的导线,必须采用多股绝缘导线,其截面应不小于 $1.5\text{mm}^2$ 。电流和电流互感器电路所用的导线截面应不小于 $2.5\text{mm}^2$ 。

各种电气测量仪表(电流表、电压表、功率表和电能表等)的接线见第七篇第一章的介绍。

### 4.4 工厂常用控制电路的接线

#### 4.4.1 低压双路电源互投接线

采用交流接触器和低压空气断路器(电磁合闸)的低压双路电源互投接线分别如图 3.1.3 和图 3.1.4 所示。

#### 4.4.2 母线联络开关自投接线

母线联络开关采用交流接触器和低压空气断路器(电磁合闸及电动机合闸)的自投接线图分别如图 3.1.5 至 3.1.7 所示。

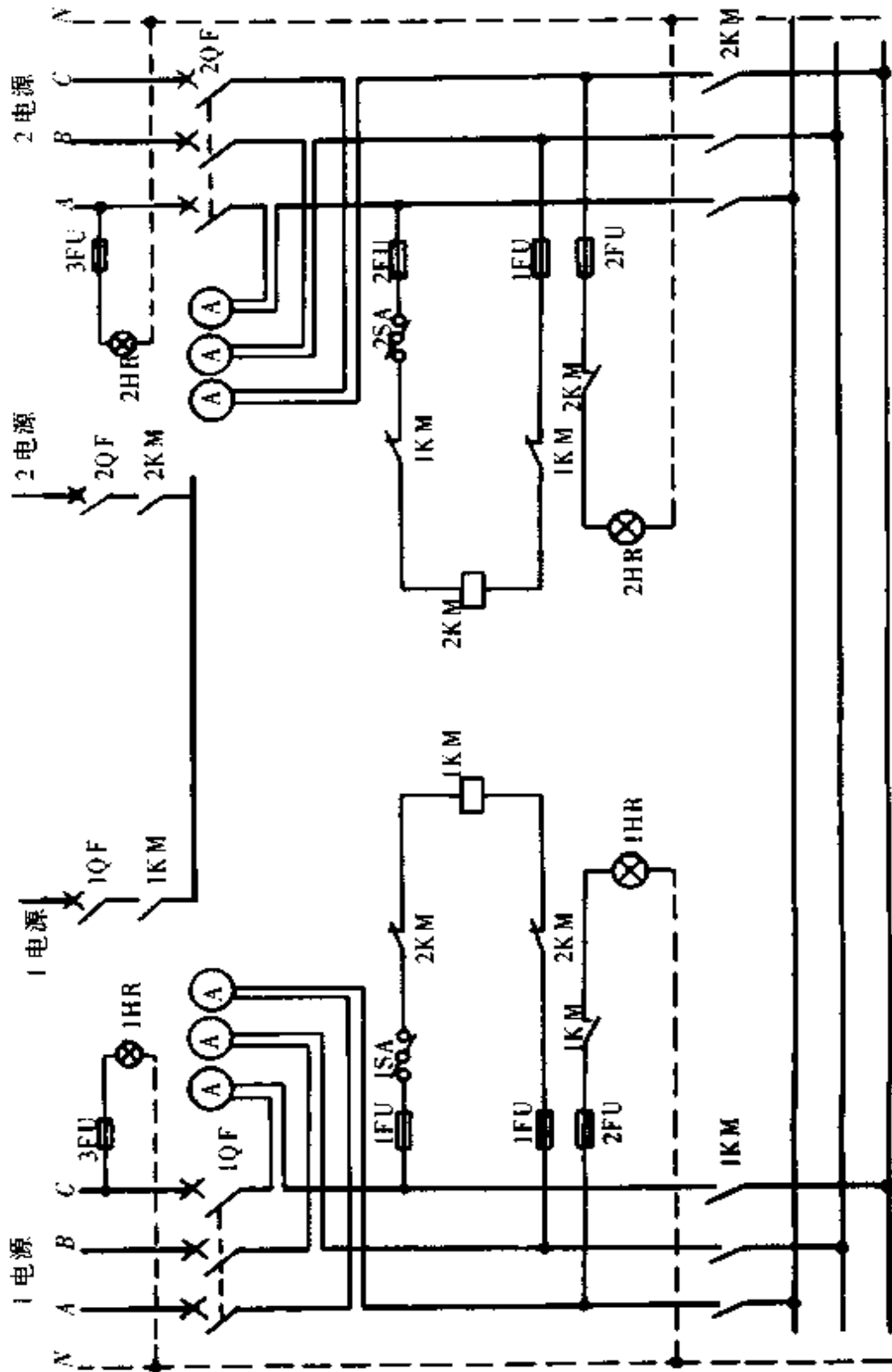


图 3.1.3 采用交流接触器的低压双电源互投接线图

主要设备表(图 3.1.3)

符号	名称	型号规格	
		1	2
1~2QF	空气断路器	DZ20-100/3	DZ20-100/3
1~2SA	组合开关	HZ10-10/2	HZ10-10/2
A	电流表	IT1-A, 0~30A	IT1-A 0~150A
1~3FU	熔断器	RL1-15/5A	RL1-15/5A
1~2KM	接触器	CJ20-10/380V CJ20-20/380V	CJ20-60/380V CJ20-100/380V
1~2HR	红色指示灯	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA
	母线截面(cm <sup>2</sup> )	16	35
		25	50
		铜	
		铝	

注:本装置系指双路电源供电,其中一路为常用,另一路为备用。当常用电源停电时,备用电源可自动投入。



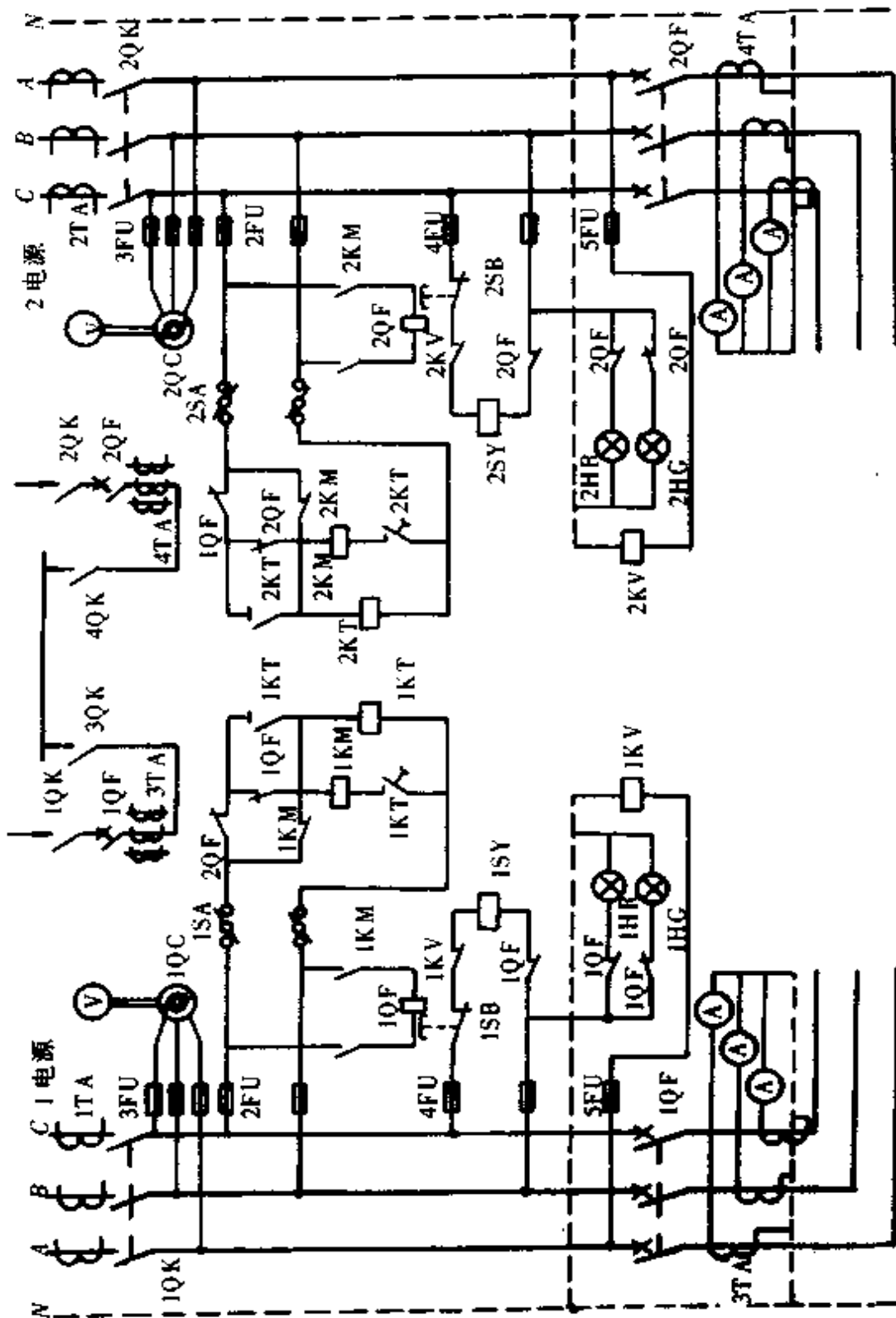


图 3.1.4 采用低压空气断路器(电磁合闸)的低压双路电源互投接线图

主要设备表(图 3.1.4)

符号	名称	型号规格		
		1	2	3
1~2QF	空气断路器	DW15-200/3	DW15-400/3	DW15-600/3
1~4QK	刀开关	HD13-200/3	HD13-400/3	HD13-600/3
1~2QC	电压换相开关	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2
1~2SA	组合开关	HZ10-25/2	HZ10-25/2	HZ10-25/2
1~2KT	时间继电器	JS7-2A, 5S, 380V	JS7-2A, 5S, 380V	JS7-2A, 5S, 380V
1~2KM	接触器	CJ20-40A	CJ20-40A	CJ20-40A
1~4TA	电流互感器	LQG-200/5A	LQG-400/5A	LQG-600/5A
1~2HR	红色指示灯	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA
1~2HG	绿色指示灯	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA
A	电流表	1T1-A, 200/5A	1T1-A, 400/5A	1T1-A, 600/5VA
V	电压表	1T1-V, 0~450V	1T1-V, 0~450V	1T1-V, 0~450V
1~2KV	电压继电器	DZ-52/200, 220V	DZ-52/200, 220V	DZ-52/200, 220V
1~2SY	失压脱扣器	-	-	-
2FU	熔断器	RL1-60/60A	RL1-60/60A	RL1-60/60A
3~5FU	熔断器	RL1-15/5A	RL1-15/5A	RL1-15/5A

注:1.一路供电,二路作为备用电源:

(1)首先合上1QK,2QK,再合上1SA,则1QF电磁线卷靠交流接触器1KM接通,一路电源投入运行。

(2)再将2SA合上,做好自投的准备工作。

2.二路供电,一路作为备用电源:

(1)首先合上1QK,2QK,再合上2SA,则2QF电磁线卷靠交流接触器2KM接通,二路电源投入运行。

(2)再将1SA合上,做好自投的准备工作。

3.电源停电或故障时:

(1)当一路电源停电或故障时,1QF自动跳闸,1QF的常闭接点闭合,将二路电源自动投入。

(2)当二路电源停电或故障时,则2QF自动跳闸,2QF的常闭接点闭合,将一路电源自动投入。

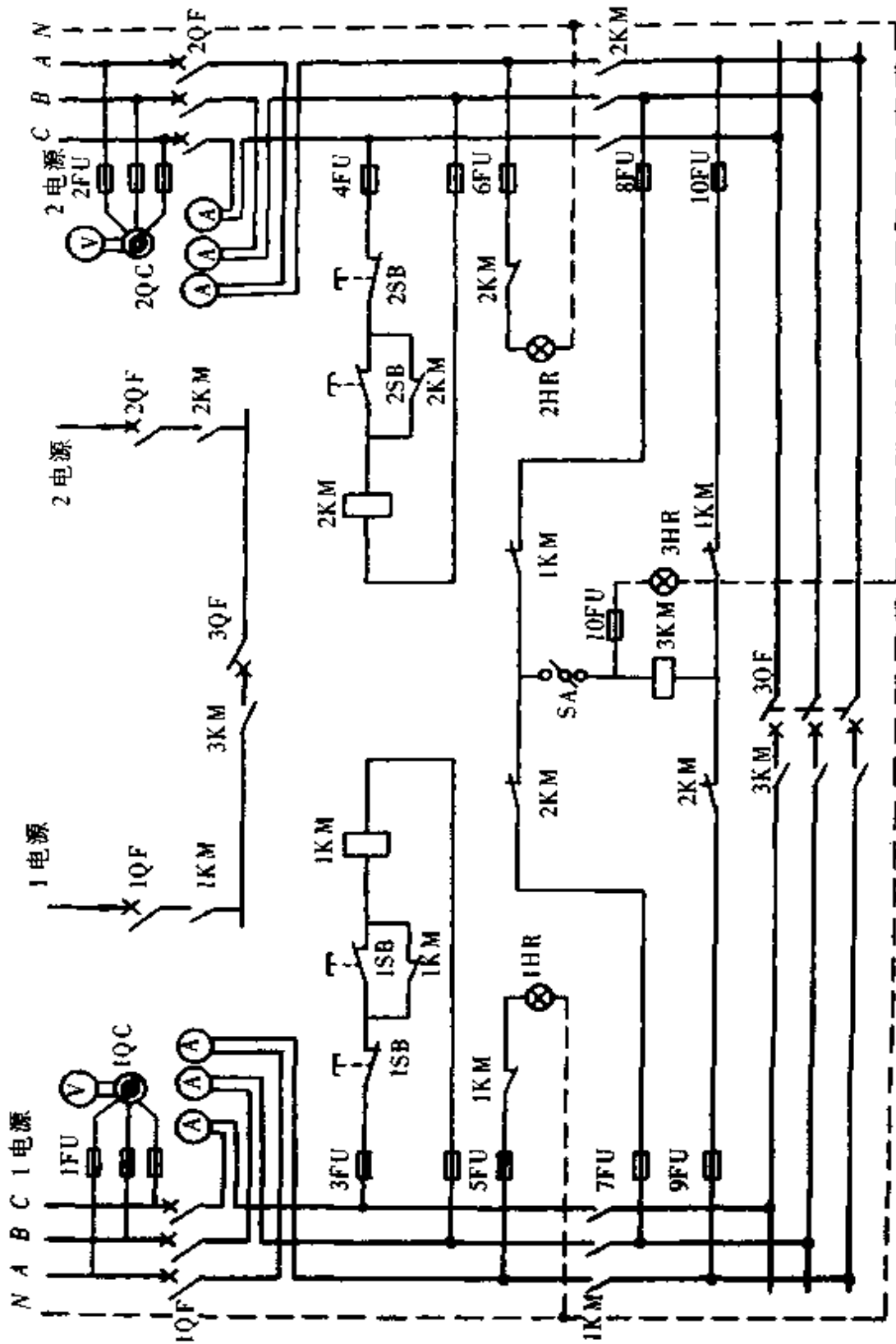


图 3.1.5 母线联络开关采用交流接触器的自投接线图

主要设备表(图 3.1.5)

符号	名称	型号规格	
		1	2
1~3QF	空气断路器	DZ20-100/3	DZ20-100/3
1~3KM	交流接触器	CJ20-10/380V CJ20-20/380V CJ20-40/380V	CJ20-60/380V CJ20-100/380V
1~10FU	熔断器	RL1-15/5A	RL1-15/5A
1~2SB	控制按钮	LA2	LA2
SA	组合开关	HZ10-10/2	HZ10-10/2
1~2HR	信号指示灯	XD3-220/15V,2VA	XD3-220/15V,2VA
1~2QC	电压换相开关	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2
A	电流表	IT1-A, 0~50A	IT1-A 0~150A
V	电压表	IT1-V, 0~450V	IT1-V 0~450V
	母线截面(cm <sup>2</sup> )	16	35
		25	50
			铜 铝

注:1.本装置系指双路供电。正常运行时,两路分别负载50%的负荷。当任何一路电源停电时,母线联络开关可自动投入,由非故障线路负担全部负荷。

2.配电箱采用明装或暗装,由设计人员在工程图中注明。

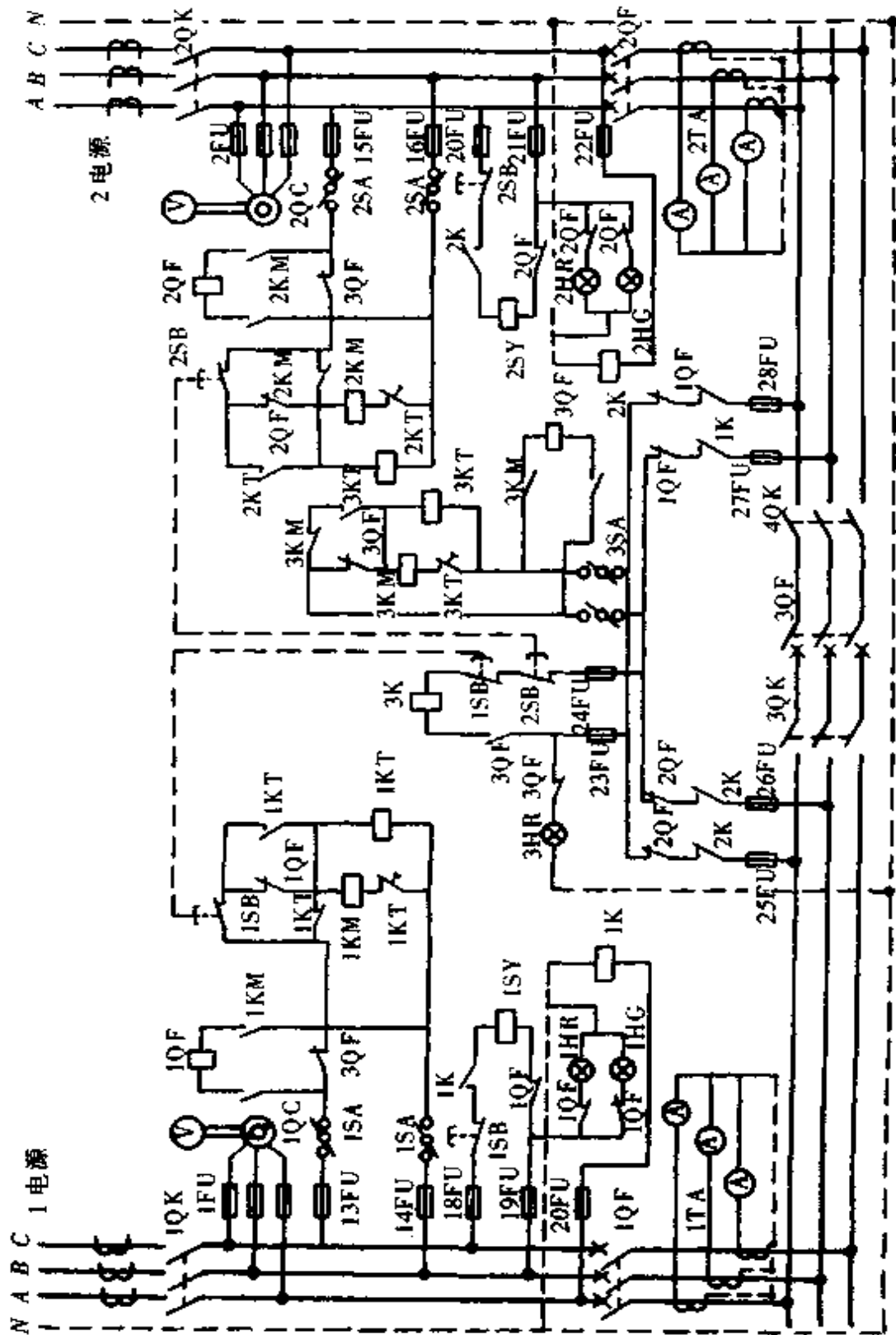


图 3.1.6 母线联络开关采用低压空气断路器(电磁合闸)的自投接线图

主要设备表(图 3.1.6)

符号	名称	型号规格		
		1	2	3
1~4QK	刀开关	HD13-200/3	HD13-400/3	HD13-600/3
1~3QF	空气断路器	DW15-200/3	DW15-400/3	DW15-600/3
1~2QC	电压换相开关	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2
1~3SA	组合开关	HZ10-25/2	HZ10-25/2	HZ10-25/2
1~2SB	控制按钮	LA2	LA2	LA2
1~2FU, 18~24FU	熔断器	RL1-15/5A	RL1-15/5A	RL1-15/5A
13~16FU, 25~28FU	熔断器	RL1-60/30A	RL1-60/30A	RL1-60/30A
1~3KT	时间继电器	JS7-2A, 0.4~60S, 380V	JS7-2A, 0.4~60S, 380V	JS7-2A, 0.4~60S, 380V
1~3KM	接触器	CJ20-40A	CJ20-40A	CJ20-40A
1~3K	中间继电器	DZ-52/220, 220V	DZ-52/220, 220V	DZ-52/220, 220V
1~2TA	电流互感器	LQG-200/5A	LQG-400/5A	LQG-600/5A
1~2HR	红色指示灯	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA
1~2HG	绿色指示灯	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA	XD3-220/15V, 2VA
A	电流表	IT1-A, 200/5A	IT1-A, 400/5A	IT1-A, 600/5A
V	电压表	IT1-V, 0~450V	IT1-V, 0~450V	IT1-V, 0~450V
	母线截面(mm <sup>2</sup> )	铜 30×4 铝 40×4	铜 40×4 铝 50×4	铜 40×5 铝 50×5

注: 1. 一、二路供电;

- (1) 先将 3SA 打开;
- (2) 将刀开关 1QK 合上;
- (3) 把 1SA 合上;
- (4) 将 1SB 控制按钮按下, 则 1QF 合闸, 1 路电源投入运行;
- (5) 二路合闸步骤与一路相同;
- (6) 需用自投时, 将 3SA 合上做好自投准备。

2. 电源停电或故障时;

- (1) 当一路电源停电或故障时, 则 3QF 靠 1QF 和 1K 的常闭接点, 借二路电源将 3QF 合闸。
- (2) 当二路电源停电或故障时, 则 3QF 靠 1QF 和 1K 的常闭接点, 借一路电源将 3QF 合闸。

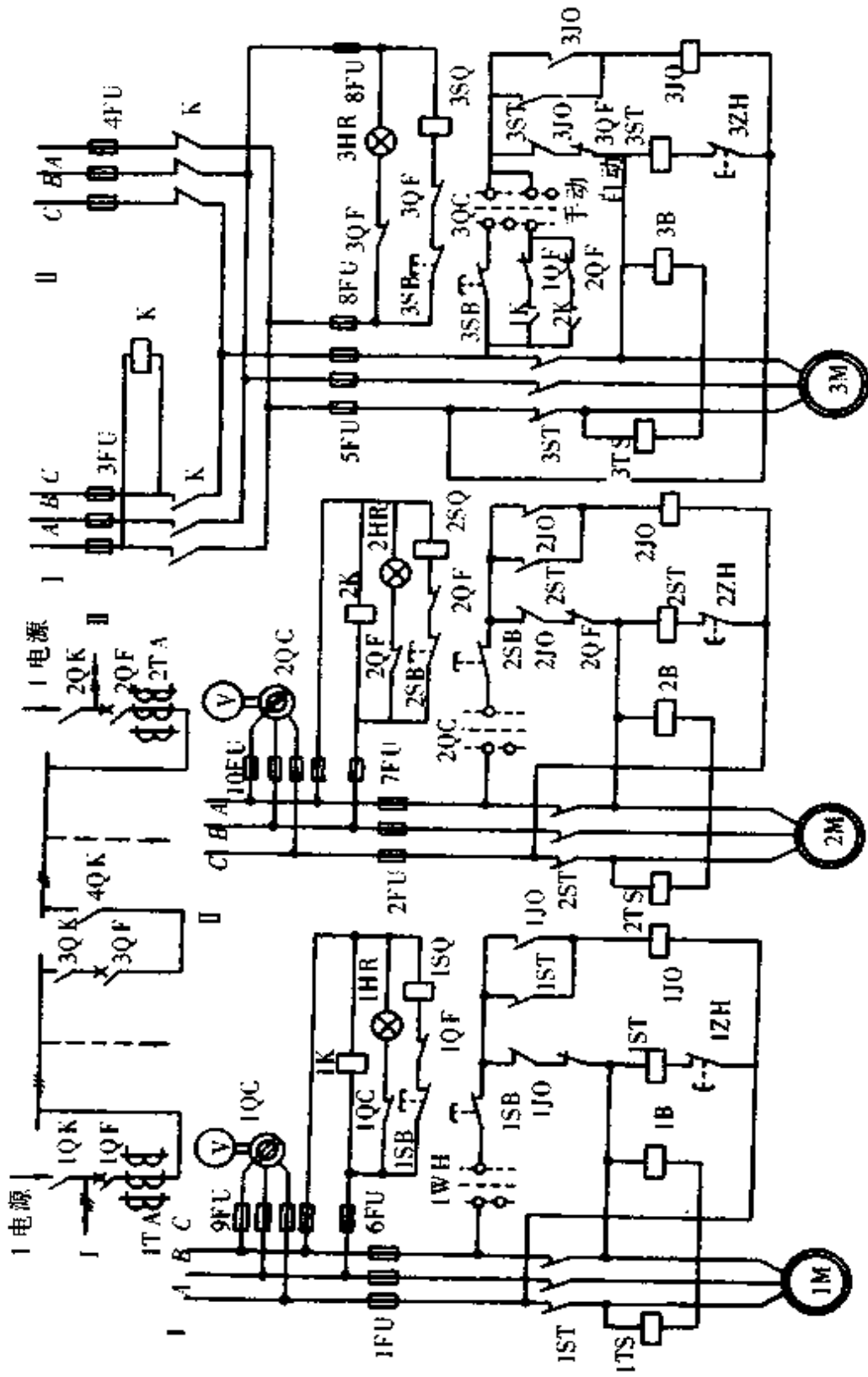


图 3.1.7 母线联结开关采用低压空气断路器(电动机合闸)的自投接线图

主要设备表(图 3.1.7)

符号	名称	型号规格	
		1	2
1~4QK	刀开关	HDI3-1000/3	HDI3-1500/3
1~3QF	空气断路器	DW15-1000/3	DW15-1500/3
1~2QC	电压换相开关	LW5-15, D0403/2	LW5-15, D0403/2
1~3QC	转换开关	LW5-15, D0083/1	LW5-15, D0083/1
1~3SB	控制按钮	LAZ	LAZ
1~5FU	熔断器	RL1-15/10A	RL1-15/10A
6~10FU	熔断器	RL1-15/5A	RL1-15/5A
1~2K	中间继电器	DZ-54/440	DZ-54/440
1~3HR	红色指示灯	XD3-380/15V, 2VA	XD3-380/15V, 2VA
1~3ST	起动机	(DW15 自带)	(DW15 自带)
1~3JO	中间继电器	(DW15 自带)	(DW15 自带)
1~3TS	特殊失压脱扣器	(DW15 自带)	(DW15 自带)
1~3SQ	失压脱扣器	(DW15 自带)	(DW15 自带)
1~3B	制动器	(DW15 自带)	(DW15 自带)
1~2TA	电流互感器	LYM-1000/5A	LYM-1500/5A
A	电流表	IT1-A 1000/5A	IT1-A 1500/5A
V	电压表	IT1-V 0~450V	IT1-V 0~450V
	母线截面(cm <sup>2</sup> )	铜 80×8 铝 100×8	铜 100×8 铝 120×8

注:1.一、二路供电;

(1)将 3QC 投向打开位置;

(2)合上 1QC;

(3)按下控制按钮 1SB, 则 1QF 合闸, 一路供电;

(4)二路合闸步骤与一路相同;

(5)如果采用自投, 则将 3QC 投向自动位置。

2. 电源停电或故障时:

(1)当一路电源停电或故障时, 则 3QF 靠 1QF 和 1K 的常闭接点启动合闸。

(2)当二路电源停电或故障时, 则 3QF 靠 2QF 和 2K 常闭接点启动合闸。



## 5 安全注意事项

(1)高空作业前,脚手架必须经验收合格,高空作业人员必须系安全带和戴安全帽。

(2)吊装作业前,索具、机具必须经过检查,不合格者不得使用。

(3)油断路器解体清洗必须使用变压器油,并注意安全防火,不得使用汽油清洗。

(4)油断路器同期性试验调整,必须使用低压安全电源。

(5)在搪锡作业中,要严格注意,待搪工件必须干燥不带水,防止搪锡作业中锡液飞溅伤人。

(6)用火碱溶液清洗铝母线时,要小心操作,防止火碱溅到眼内或皮肤上。一旦溅上,立即用大量清水冲洗,然后送医院治疗。

(7)试运行的安全防护用品未准备好时,不得进行试运行。试运行中必须严格服从指挥,按试运行方案操作,操作及监护人员不得随意改变操作命令。

(8)试运行送电前,现场的交通道路必须畅通无阻。试运行前,现场应配备医务人员和救护车,以满足应急救护需要。

## 第二章 户内配线工程

### 1 户内配线的一般要求和配线工序

#### 1.1 户内配线的种类

户内配线就是常称的内线工程,它应用广泛,涉及面广,方法较多,是经常遇到的安装工程。按敷线的方式分为明配线和暗配线两种。导线沿墙壁、天花板、桁架及柱子等明敷设称为明配线。明配线方式通常有瓷(塑)夹板配线、瓷瓶配线、瓷珠(瓷柱)配线、槽板配线、钢(塑料)管配线、铅皮卡(钢精轧头)配线以及钢索配线等。导线穿管埋设在墙内、地坪内,装设在顶棚内称为暗配线。随着科学技术水平的提高,高层建筑不断增多,民用建筑装饰美观标准提高,暗配线工程增多,且暗配管工程日趋复杂,要求高,需与土建施工密切配合,而且与土建结构,配电箱、盘、柜的安装方式有关,如何进行户内配线,必须按设计要求进行施工。如设计与实际不符,可提出修改意见。通常是明配管对应于明配电箱、盒、盘;暗配管对应于暗装箱、盘。

#### 1.2 户内配线的技术要求

户内配线不仅要求安全可靠,而且要使线路布置合理、整齐、安装牢固。技术要求如下。

(1)使用导线的额定电压应大于线路的工作电压。导线的绝缘应符合线路的安装方式和敷设的环境条件。导线的截面应满足供电和机械强度的要求。

(2)导线应尽量避免有接头,因为常常由于导线接头不好而造成事故。接头必须采用压接方式和焊接方式。导线连接和分支处不应受机械力的作用。穿在管内的导线,在任何情况下,都不能有接头。必要时,尽可能将接头放在接线盒或灯头盒内。

(3)明配线路在建筑物内安装时要保持水平和垂直。水平敷设时,导线距地面

不小于 2.5m;垂直敷设时,导线离地面不小于 2m。否则,应将导线穿在钢管内,以防机械损伤。配线位置应便于检查和维修。

(4)当导线穿过楼板时,要用钢管加以保护,钢管长度应从离楼板面 2 m 高处,到楼板下出口处为止。

导线穿墙要加装保护套管,保护套管可采用瓷管、钢管、塑料管,保护套管两端出线口伸出墙面不小于 10mm,以防止导线和墙壁接触,避免墙壁潮湿而产生漏电等现象。当导线沿墙壁或天花板敷设时,导线与建筑物之间的距离一般应不小于 10mm。在通过伸缩缝的地方,导线敷设应稍微松弛,对于钢管配线,应装补偿盒,以适应建筑物的伸缩性。当导线互相交叉时,为避免碰线,在每根导线上套以塑料管或其他绝缘管,并将套管固定牢,不使其移动。

(5)为确保安全用电,户内电气管线和配电设备与其他管道、设备间以及与建筑物、与地面的最小距离都有一定的规定。详见表 3.2.1 至 3.2.6 所列。

表 3.2.1 明布线的有关距离要求

固定方式	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	固定点 最大距离 (m)	线间最 小距离 (mm)	与地面最小距离 (m)	
				水平布线	垂直布线
槽板	≤4	0.05	—	2	1.3
卡钉	≤10	0.2	—	2	1.3
瓷(塑料)夹	≤6	0.8	25	2	1.3
瓷柱	≤16	3.0	50	2	1.3(2.7)
	16~25	3	100	2.5	1.8(2.7)
瓷瓶	≥35	6	150	2.5	1.8(2.7)

注:括号内数字指屋外敷设时的要求。

表 3.2.2 绝缘导线至建筑物间的距离

布线位置	最小距离 (mm)
水平敷设时垂直距离:在阳台、平台上和 跨越建筑屋顶	2500
在窗户上	300
在窗户下	800
垂直敷设时至阳台、窗户的水平距离	600
导线至墙壁和构件的距离(挑檐下除外)	35

表 3.2.3 屋内电气管线和电缆与其他管道之间的最小净距 m

敷设方式	管线及设备名称	管 线	电 缆	绝缘导线	裸母线	滑触线	插接式 母线	配电设备
平行	煤气管	0.1	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	乙炔管	0.1	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0
	氧气管	0.1	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	蒸汽管	1.0/0.5	1.0/0.5	1.0/0.5	1.5	1.5	1.0/0.5	0.5
	热水管	0.3/0.2	0.5	0.3/0.2	1.5	1.5	0.3/0.2	0.1
	通风管		0.5	0.1	1.5	1.5	0.1	0.1
	上下水管	0.1	0.5	0.1	1.5	1.5	0.1	0.1
	压缩空气管		0.5	0.1	1.5	1.5	0.1	0.1
	工艺设备				1.5	1.5		
交叉	煤气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	乙炔管	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
	氧气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	蒸汽管	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	
	热水管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	通风管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	上下水管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	压缩空气管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	工艺设备				1.5	1.5		

注:1. 表中的分数,分子数字为线路在管道上面时和分母数字为线路在管道下面时的最小净距。

2. 电气管线与蒸汽管不能保持表中距离时,可在蒸汽管与电气管线之间加隔热层,这样平行净距可减至0.2m,交叉处只考虑施工维修方便。
3. 电气管线与热水管不能保持表中距离时,可在热水管外包隔热层。
4. 裸母线与其他管道交叉不能保持表中距离时,应在交叉处的裸母线外面加装保护网或罩。

表 3.2.4 室内外绝缘导线间最小距离(电压 1kV 及以下)

固定点间距 (m)	导线最小间距(mm)	
	室内配线	室外配线
<1.5	35	100
1.5~3	50	100
3~6	70	100
>6	100	150

表 3.2.5 室内外绝缘导线至地面最小距离(电压 1kV 及以下)

敷设方式		最小允许距离(m)
水平敷设	室内	2.5
	室外	2.7
垂直敷设	室内	1.8
	室外	2.7

表 3.2.6 接户线的线间最小距离

电 压	架设方式	档距(m)	线间距离(mm)
1kV 及 以下低压	从电杆上引下	$\leq 2.5$	150
	沿墙敷设	$\leq 6$ $> 6$	100 150
6~10kV 高压		$\leq 30$	450

### 1.3 户内配线的工序

户内配线主要包括以下工作内容:

(1)首先熟悉设计图纸,搞好预留、预埋工作。内容有:电源引入方式的预留预埋位置,电源引入配电箱、盘的路径,垂直引上、引下以及水平穿越梁、柱、墙预埋保护导管等。

(2)按设计图纸确定灯具、插座、开关、配电箱、起动设备等的位置。

(3)沿建筑物确定导线敷设的路径,穿过墙壁或楼板的位置。

(4)在土建抹灰前,将配线所有的固定点打好眼孔,将预埋件埋齐,并检查有无遗漏和错位。

(5)装设绝缘支持物、线夹或管子。

(6)敷设导线。

(7)导线连接、分支和终端,并将导线出线接头和设备及电气元件连接。

## 2 配管工程

线管配线有明配和暗配两种。明配管要求横平竖直,整齐美观。暗配管要求管路短,畅通,弯头少,符合施工验收规范。

线管配线的操作程序,通常是先选好管子,对管子进行一系列加工后,再敷设管路,清除管内杂物,最后把导线穿入管内,并与各种用电设备连接。

配管的主要工作内容有:测位、画线、打眼、埋螺栓、锯管、清扫管口、套丝、煨管、配管、接地、刷漆等。

## 2.1 选择线管

施工中常用的线管有电线管、水煤气管、硬塑料管和半硬塑料管四种。水煤气管的管壁较厚,适用于有机械外力和轻微腐蚀气体场所内明敷或暗敷;电线管的管壁较薄,适用于干燥场所明敷或暗敷;硬塑料管耐腐蚀性较好,但易变形老化,机械强度不如钢管好,它适用于腐蚀性较大的场所明敷和暗敷;半硬塑料管刚柔结合、易于施工、加工的劳动强度低且质轻,运输和使用方便,已广泛运用于民用建筑暗配管。

按设计图选择管材种类和规格。如无规定的品种、规格时,可按线管内所穿导线的总面积(连外皮)不超过管子内孔截面积的40%的限度进行选配。

为了便于穿线,根据《电气装置安装工程施工及验收规范》规定,在管路长度超过下列数值时,中间应加装接线盒或拉线盒。其位置应便于穿线。

- (1)管子长度每超过45m,无弯曲时;
- (2)管子长度每超过30m,有一个弯时;
- (3)管子长度每超过20m,有两个弯时;
- (4)管子长度每超过12m,有三个弯时。

如果管线较长,加装接线盒有困难时,应将管径加大一级或一级以上。

凡有砂眼、裂缝和较大变形的管子,禁止使用于配线工程,管子椭圆度超过管子外径的10%者也不能使用。

管内径应不小于导线束直径的1.4~1.5倍。

电缆穿管时,管子内径不得小于电缆外径的1.5倍。电缆管的弯曲半径应符合所穿入电缆弯曲半径的规定。

当管内敷设多根同一截面的导线时,钢管直径可参照表3.2.7进行选择。管内导线一般不得超过8根,不同电压的导线不得穿在同一管内。

表 3.2.7 钢管直径选择参考表

导线根数及直径 $d$	$1d$	$2d$	$3d$	$4d$	$5d$	$6d$	$7\sim 8d$
管子内径	$1.7d$	$3d$	$3.2d$	$3.6d$	$4d$	$4.5d$	$5.6d$

为了选择方便,部分绝缘导线穿管的选择可依据表3.2.8至3.2.9的规定。管线明敷时固定点的最大间距见表3.2.10。

表 3.2.8 BX、BLX 绝缘电线穿管管径选择表

mm

导线根数		2			3			4			5			6			
穿线管类别		G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	
导线截面 (mm <sup>2</sup> )	1	15	20	15	15	20	15	15	20	15	20	25	20	20	25	20	
	1.5	15	20	15	15	20	15	20	25	20	20	25	20	20	25	20	
	2.5	15	20	15	15	20	15	20	25	20	20	25	20	25	25	25	
	4	20	25	20	20	25	20	20	25	20	25	25	25	25	32	25	
	6	20	25	20	20	25	20	20	25	25	25	32	25	25	32	32	
	10	25	32	25	25	32	25	25	32	32	32	40	32	32	40	40	
	16	25	32	32	32	32	32	32	40	32	32	40	40	40		40	
	25	32	40	32	32	40	32	40		40	40		40	50		50	
	35	32	40	40	40		40	40		40	50		50	50		50	
	50	40		40	50		50	50		50	70		65	70		65	
	70	50		50	50		50	70		65	70		65	70		80	
	95	70		65	70		65	70		65	80		80	80			
	120	70		65	70		65	70		80	80		80	80			
	150	70		65	70		65	80		80							
	185	80		80	80		80	80									
7		8			9			10			11			12			
G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG
20	25	20	25	25	20	25	32	25	25	32	25	25	32	25	25	32	32
20	25	25	25	32	25	25	32	25	25	32	25	25	32	32	32	32	32
25	32	25	25	32	25	25	32	32	32	32	32	32	32	32	32	40	32
25	32	32	32	40	32	32	40	32	32	40	32	32	40	32	40	40	40
32	40	32	32	40	32	32	40	32	40	40	40	40	40	40	50		50
32		40	40		40	40		40		50		50	50		50		50
40		40	50		50	50		50		50		50	50		70		65
50		50	50		50	70		65		70		65	70		70		65
70		65	70		65	70		65		70		80	70		80		80
70		65	70		80	80		80		80		80	80				
80		80	80														

注:1.穿线管代号定义:G—钢管,DG—电线管,VG—硬塑料管。

2.钢管、硬塑料管的管径指内径,电线管的管径指外径。

3.硬塑料管按轻型管计算。

表 3.2.9 BV、BLV 塑料电线穿管管径选择表

mm

导线根数		2			3			4			5			6			
穿线管类别		G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	
导线截面 (mm <sup>2</sup> )	1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	1.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	
	2.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	
	4	15	15	15	15	15	15	15	20	15	20	25	20	20	25	20	
	6	15	20	20	15	20	20	20	25	20	20	25	20	20	25	20	
	10	20	25	20	20	25	20	25	25	20	25	32	25	25	32	32	
	16	25	25	25	25	32	25	25	32	25	32	40	32	32	40	32	
	25	25	32	32	32	32	32	32	40	32	32		40	40		40	
	35	32	40	32	32	40	32	32		32	40		40	40		50	
	50	32		40	40		40	50			50		50	50		50	
	70	40		50	50			50			70		80	70		80	
	95	50		50	50			70			70		65	80		80	
	120	50		50	50			70			70		80	80		80	
	150	70		65	70			70			80		80	80			
	185	70		65	70			80			80						
7		8			9			10			11			12			
G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG	G	DG	VG
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	15	20	15
15	20	15	20	25	20	20	25	20	20	25	20	20	25	20	20	25	20
20	25	20	20	25	20	20	25	20	20	25	20	20	25	25	25	25	25
20	25	20	20	25	20	20	25	25	25	32	25	25	32	25	25	32	25
20	32	25	25	32	25	25	32	25	25	32	25	25	32	32	32	32	32
32	40	32	32	40	32	32	40	40	32	40	40	32		40	40		40
32	40	40	40		40	40		50	40		50	50		50	50		50
50		50	50		50	50		65	50		65	50		65	70		65
50		50	50		50	50		65	70		65	70		80	70		80
70		65	70		70	70		80	80		80	80		80	80		80
70		80	80		80	80		80	80		100	80		100			100
80		80	80		80	80		100			100			100			100
80			100		100	100		100			100			100			
					100	100		100			100			100			



表 3.2.10 管配线明敷时固定点的最大间距 m

管子类别	管径(mm)				
	20 及以下	25 ~ 32	40	50	65 ~ 100
钢管	1.5	2	2.5	2.5	3.5
电线管	1	1.5	2	—	—
硬塑料管	1	1.5	1.5	2	2

注:电线管管径指外径,其余指内径。

## 2.2 管配线的施工程序

### 2.2.1 准备

- (1)根据设计图纸和文字资料编制总用料计划和使用机具计划;
- (2)编制配合用料计划;
- (3)设立现场材料工具库和编制材料进场计划表;
- (4)编制劳动计划及作好组织准备。

### 2.2.2 配套

- (1)按图纸配合土建搞好预埋和预留管线;
- (2)配管前的防腐处理及管配件的煨弯和制作;
- (3)埋设或安装线管和接线盒;
- (4)安装配电箱,进行管路连接中的焊接工作;
- (5)配管和管内穿铅丝以及管口的暂时封堵,防止施工过程中发生堵塞现象。

### 2.2.3 穿电线

穿线顺序应先穿长管路电线:

- (1)管内的扫除,穿引线;
- (2)穿分支回路的电线;
- (3)穿干线的电线应先长线后短线,以利合理使用材料。留足接头,但不宜过长,避免浪费。

### 2.2.4 安装施工

- (1)安装接地线工程;
- (2)分配电箱盘内的安装和电线的连接;
- (3)电气室配电线路的安装和电线的连接;
- (4)照明器具、开关、插座等的安装和电线的连接;
- (5)安装电动机和电力装置等及电线的连接;
- (6)安装分配电箱的铁箱盖;
- (7)安装开关插销等的盖;

(8)修复因施工破坏的建筑物和其他遗留尾项。

### 2.2.5 试验与整理

(1)检查;

(2)导通试验;

(3)绝缘电阻测试;

(4)接地电阻测试;

(5)点灯试验;

(6)电动机等机器的试运转;

(7)整理竣工资料,评定工程质量;

(8)办理交工手续,进行交工,投入运行使用。

## 2.3 电气配管的施工

电气配管的施工方式是多种多样的,实际施工时应按建筑结构选择适当的施工方法。图 3.2.1 至 3.2.5 示出了电气施工图册中的几种钢管布线明配做法大样图,供参考选用。

钢管布线明配做法选择注意事项:

(1)线管明敷于潮湿场所和暗敷于素土地坪下时,宜采用壁厚不小于 2.5mm 的钢管;线管明敷或暗敷于干燥场所(包括干燥的混凝土地坪、楼板、墙壁)时,宜采用壁厚不小于 1mm 的电线管。

(2)图中做法对于钢管、塑料管均可采用。

(3)并列明敷管间距不作明确要求,但应考虑易于安装、维修、整齐美观,排列间距应均匀。

(4)管间的螺纹连接,接地环与管的螺纹连接,接地线与接地环之间的压接均必须拧紧,管螺纹必须拧入的数量不应小于 6 扣,过渡电阻不应大于  $0.005\Omega$ 。

(5)电气明配管的做法详见全国通用电气装置标准图集《钢管明配线》D463 (二)。

(6)电气配管的金属管必须采用保护接地或接零措施,配管的连接,必须使管成为良好的导体。因此,施工时要把管子可靠地连成一体。使用套管连接时,连接处应焊接牢靠;运用丝扣连接时,管接头间应焊跨接线,管子跨接地线或接零线的选择可按表 3.2.11 选用。

(7)明配管的连接若采用丝扣连接,并采用通丝管箍,则不得将管箍焊死。暗配管可采用管箍焊接。

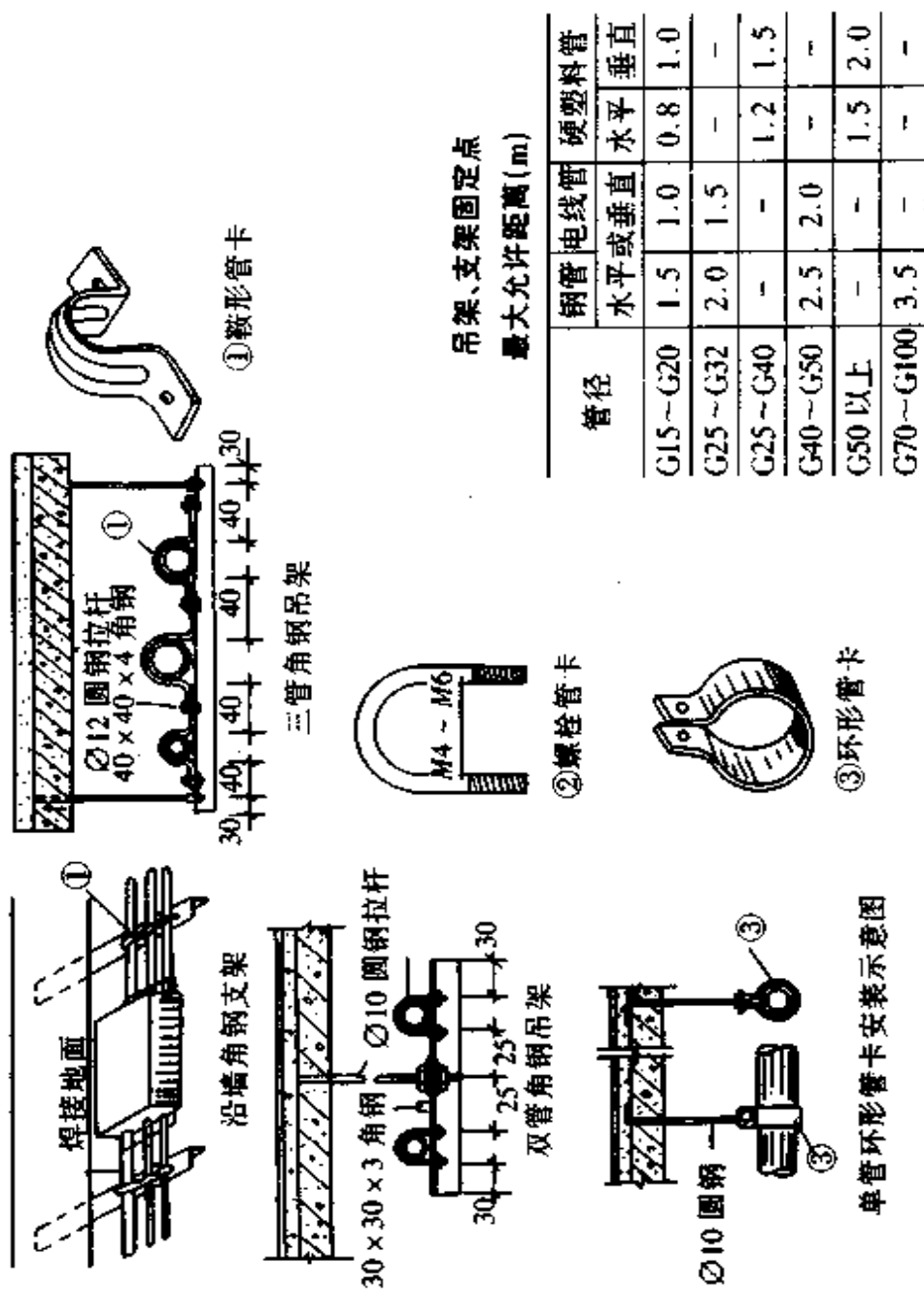


图 3.2.1 钢管布线明配做法图(一)

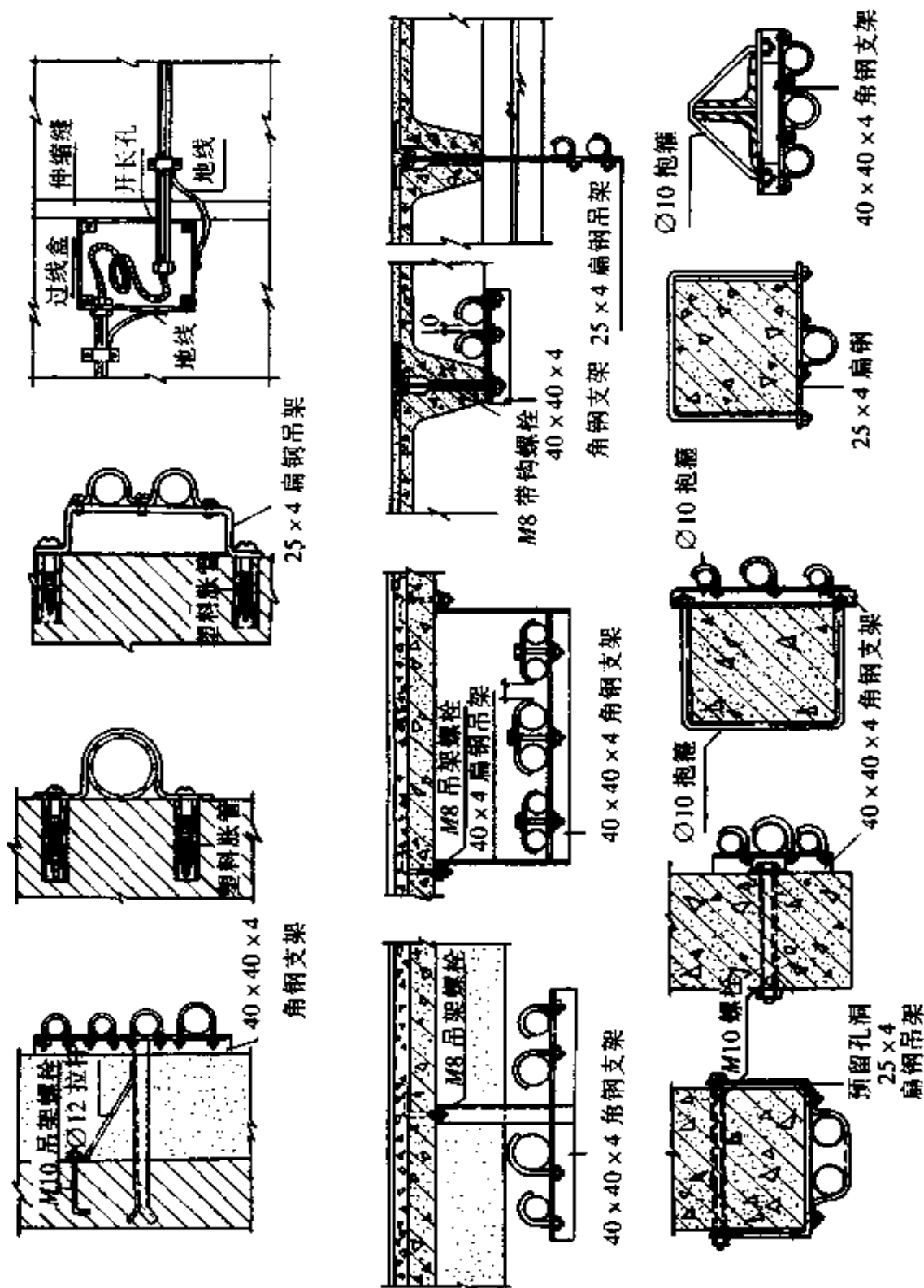


图 3.2.2 钢管布线网配做法图(二)

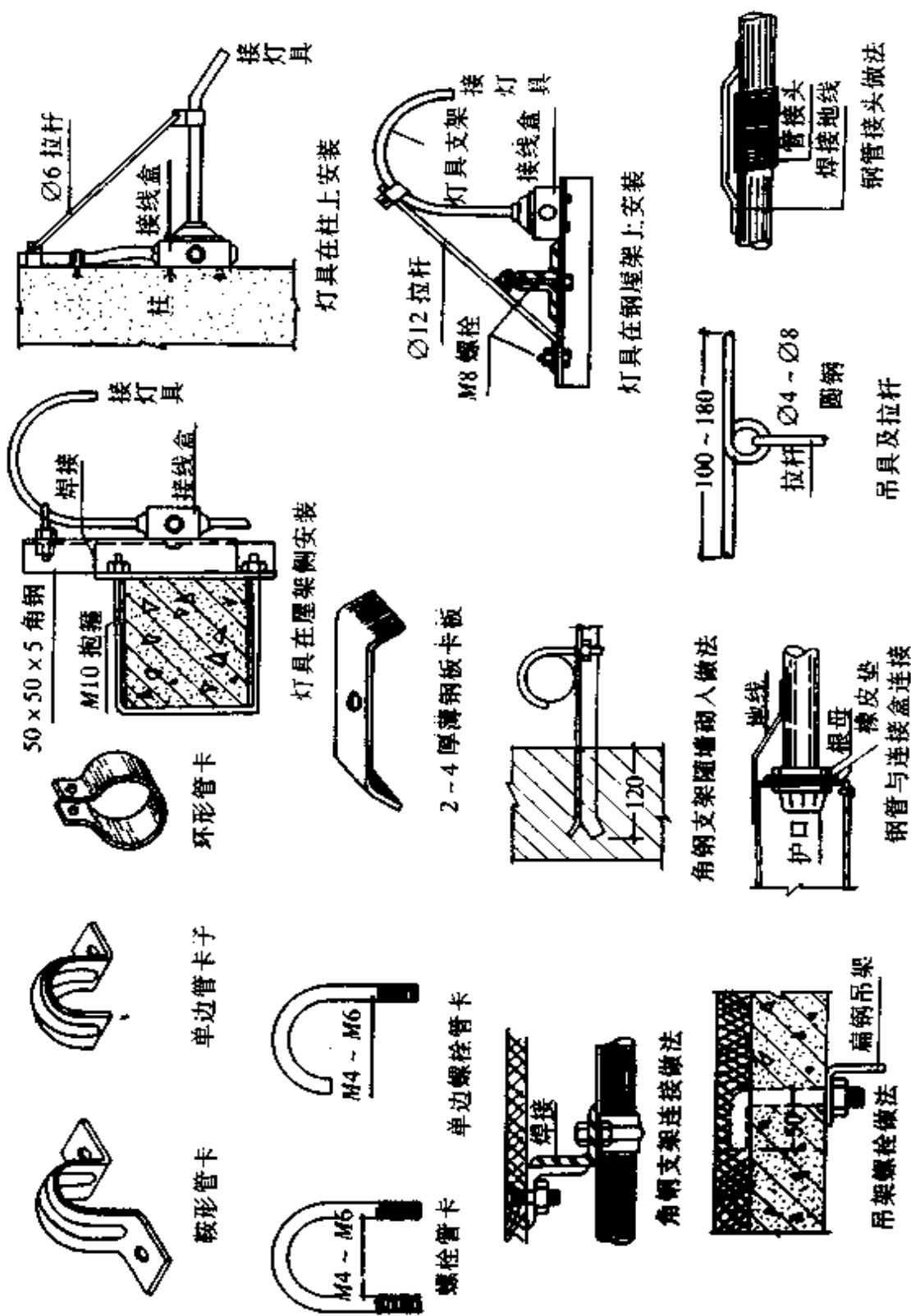
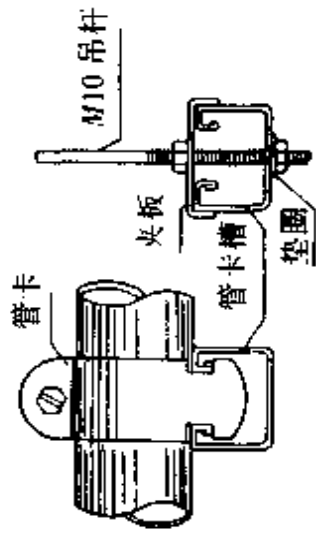


图 3.2.3 钢管布线明配做法图(三)

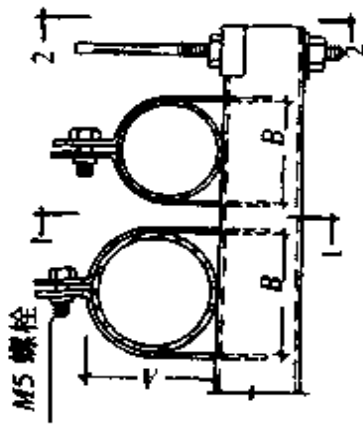


1—1 剖面 2—2 剖面

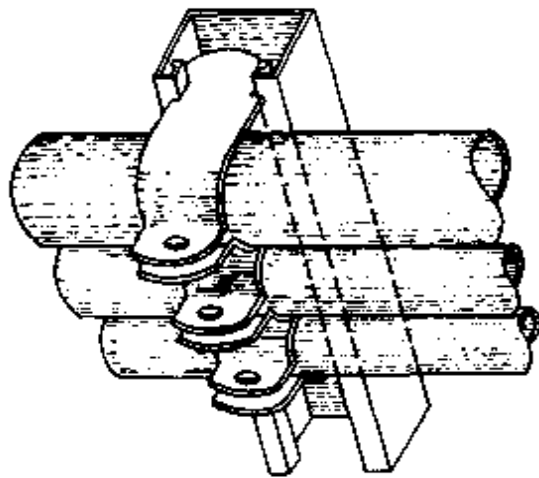
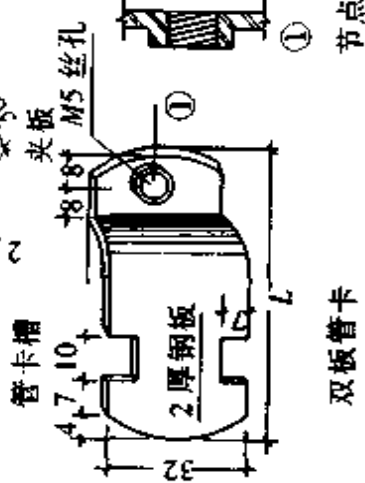
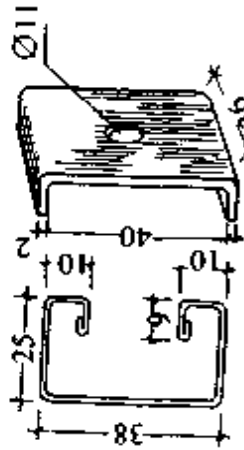
双板管卡规格尺寸表 mm

电线管		钢管	
公称口径	外径 A	公称口径 B	外径 B
15	15.87	15.5	15.875
20	19.05	18.7	19.05
25	23.18	22.9	23.175
32	31.75	31.4	31.75
40	38.10	37.8	38.10
50	50.80	50.2	50.80

注: 1. 每副管卡其中一块为  $\phi 7$  孔, 另一块须先经冲孔后再套 M5 丝孔。  
2. 双板管卡及管卡槽的材料, 除钢板制品外, 采用塑料制作时应为硬质尼龙塑料制品。



管卡槽水平安装



线管在管卡槽上安装示意

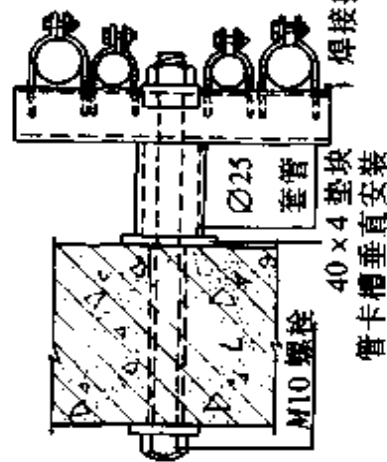
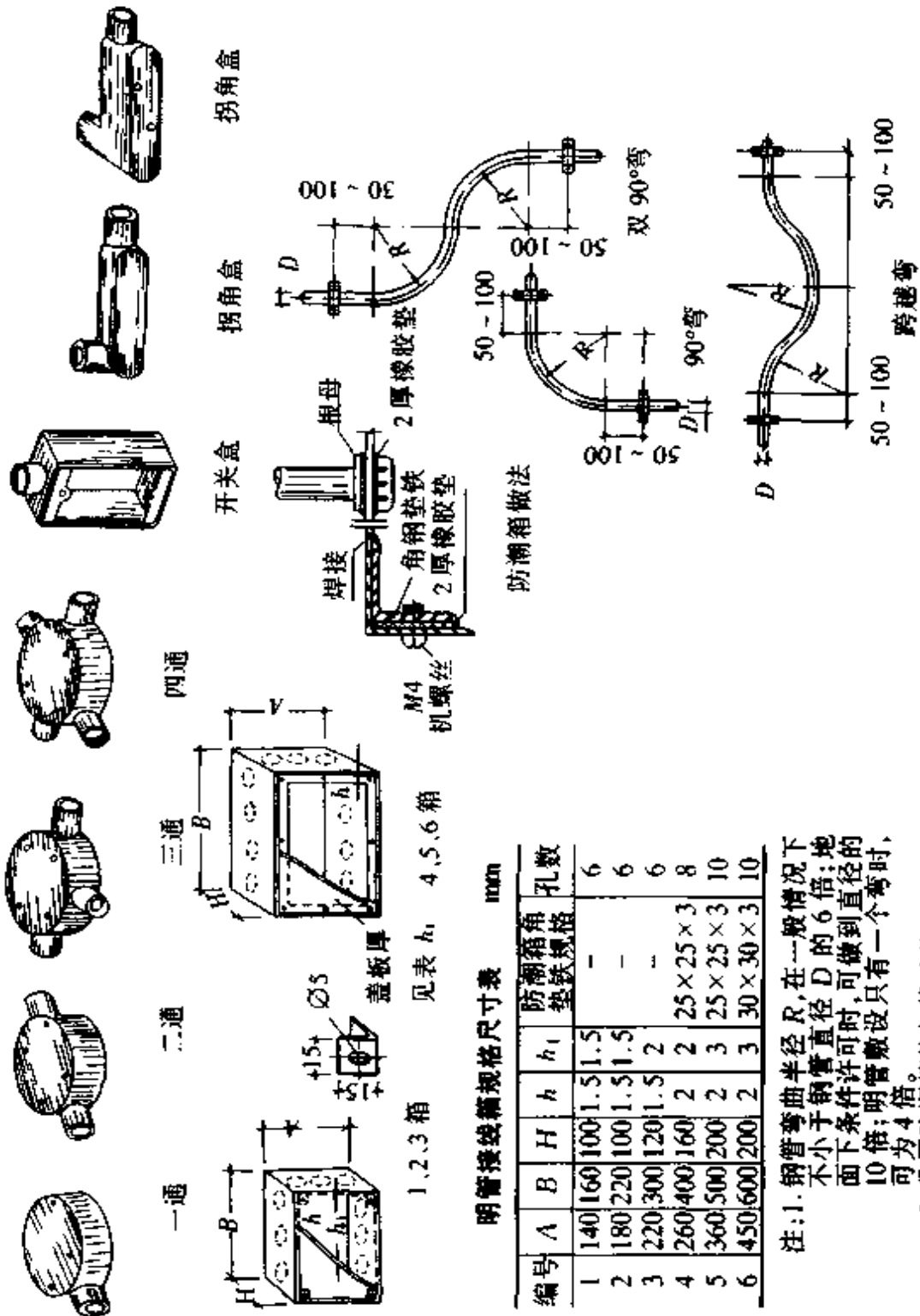


图 3.2.4 钢管布线明配做法图(四)



明管接线箱规格尺寸表 mm

编号	A	B	H	h	h <sub>1</sub>	防潮箱角垫铁规格	孔数
1	140	160	100	1.5	1.5	-	6
2	180	220	100	1.5	1.5	-	6
3	220	300	120	1.5	2	-	6
4	260	400	160	2	2	25×25×3	8
5	360	500	200	2	3	25×25×3	10
6	450	600	200	2	3	30×30×3	10

注: 1. 钢管弯曲半径  $R$ , 在一般情况下不小于钢管直径  $D$  的 6 倍; 地面下条件许可时, 可做到直径的 10 倍; 明管敷设只有一个弯时, 可为 4 倍。  
 2. 凡属防潮箱均加橡胶垫。

图 3.2.5 钢管布线明配做法图(五)

表 3.2.11 管子跨接地线选择表 mm

管 径	圆 钢	扁 钢
15~25	∅4	
32~40	∅6	
50~63	∅9	25×3
≥70	∅9×2	(25×3)×2

钢管布线的明配管做法是安装的常见做法,配管卡固用的管卡,可自行制作或购买成品,有加工能力的,可以集中预制。管卡的规格与所配用管子应一致,即G20管配用20的管卡。管口的护口(又称护圈)有木护口和塑料护口两种,目前运用最多的是塑料护口,规格同管径选择应一致,均可购买成品。此等材料均属于安装辅料。管子安装所用的支吊架制作均属于非标制作,应根据工程规模采取现场制作或提前集中预制。电气配管所用的接线盒形式很多,具体规格样式将在暗配管介绍中列举出来供安装选用。这些接线盒、开关盒、灯头盒都是安装工程必须采用的材料,是保证工程质量和安全的重要环节。

## 2.4 管子加工

(1)管子使用前应去毛刺、除锈、刷防腐漆。

(2)管子切割。切割方法有:钢锯切割;切管器——管子割刀切割,这种切割使管口断面减小;砂轮切管机切割是目前常用的有效方法,切割快、功效高、质量好。管子切割后应打磨管口使之光滑,禁止使用氧-乙炔焰切割。

(3)管子套丝:套丝方法与管工套丝相同。

(4)管子煨弯:①弯管的方法有冷弯和热煨弯两种。冷弯使用弯管器煨弯,使用人工办法只能弯制∅25及以下钢管,目前的电动弯管机煨弯一般可弯制∅70及以下管子,∅70以上钢管需热煨弯。②热煨管时先将砂子烘干装入管中,敲打管壁使填砂密实,加热要均匀适度,温度应不超过800℃。当管壁呈淡红色时,即可进行煨弯,用力要均匀。③煨弯角度不应小于90°,弯曲半径一般按下述情况弯制:明敷时,允许小到管径的4倍;暗配时,不应小于管子外径的6倍;埋设于地下或混凝土楼板内时,不应小于管外径的10倍。④穿电缆管的弯曲半径应满足电缆弯曲半径的要求(电缆的弯曲半径应为电缆外径的8倍、10倍或15倍等)。所有管子弯曲后不得有裂纹、裂缝,其突出度和椭圆度均不应超过管径的±10%。

(5)管子要求进行内外防腐,埋入混凝土和墙内的管外表可以不防腐。

## 2.5 电气配管的连接

(1)电管与电管的连接有螺纹连接和加套管连接两种,禁止采用对接焊连接。



采用螺纹连接时要加焊跨接地线。薄壁电线管的连接必须用螺纹连接。表 3.2.12 列出了螺纹连接的数据。套管连接宜用暗配管,套管长度为连接管外径的 1.5~3 倍。表 3.2.13 列出了套管连接的数据。连接管的对口处应在套管中心,焊口应焊接牢固、严密。

表 3.2.12 电气配管的螺纹连接管箍尺寸表

序 号	管 径		套短螺纹(半丝)		套长螺纹(回丝)		与管箍最小连接长度 (mm)
	(mm)	(英寸)	长度(mm)	螺纹数	长度(mm)	螺纹数	
1	15	1/2	14	8	50	28	12
2	20	3/4	16	9	55	30	13.5
3	25	1	18	8	60	26	15
4	32	1 + 1/4	20	9	65	28	17
5	40	1 + 1/2	22	10	70	30	19
6	50	2	24	11	75	33	21
7	70	2 + 1/2	27	12	80	37	23.5
8	80	3	30	13	100	44	26

注:螺纹管箍连接要求:

1. 螺纹长度应大于连接管箍全长的一半。
2. 采用套丝连接时,套丝应大于管箍长度。
3. 螺纹应饱满,断丝及乱丝不应大于螺丝全长的 10%,套丝配合适度,接头连接处不应松动,连接尺寸参照此表,连接处应焊跨接线。

(2)电气配管与配电箱、盘、开关盒、灯头盒、插座盒等的连接应套丝加锁母。

(3)电气配管与电动机的连接,一般常在电线上套蛇皮软管,管口距地高度为 200mm。

## 2.6 明管敷设

(1)明管配线应横平竖直,整齐美观,施工前应熟悉图纸,使用线锤、灰线包进行划线,成排同规格管子之间距离应均匀,管子较多时可紧靠一起密摆布设,所有管子应排列整齐,转弯部分应按同心圆弧的形式进行排列。

(2)明敷管子固定点之间应整齐均匀;管卡与终端、转弯中点、电气器具或接线盒边缘的距离为 150~500mm;中间的管卡最大距离应符合表 3.2.14 的规定。

(3)对于电气配管,不允许将管子焊在支架或设备上,成排管并列时,接地、接零线的跨接线应使用圆钢或扁钢进行焊接,不允许在管缝间直接焊接。

(4)钢管进入灯头盒、开关盒、拉线盒、接线盒及配电箱时,暗配管可用焊接固定,管口露出盒(箱)应小于 5mm;明配管应用锁母锁紧或用护圈帽固定,露出锁紧螺母的丝扣为 2~4 扣。

表 3.2.13 套接焊管箍尺寸表

序 号	管子规格				管箍尺寸		套管加工 用料规格(mm)
	口 径		外 径	厚 度	内 径	长 度	
	(mm)	(英寸)	(mm)		(mm)		
1	15	1/2	21.25	2.75	21.75~22	70	20
2	20	3/4	26.75	2.75	27.25~27.5	70	25
3	25	1	33.5	3.25	34~34.25	70	∅42×4 无缝管
4	32	1+1/4	42.25	3.25	42.75~43	100	40
5	40	1+1/2	48	3.5	48.6~48.75	100	∅57×4.2 无缝管
6	50	2	60	3.5	60.5~60.75	100	∅68×4 无缝管
7	70	2+1/2	75.5	3.75	76~76.25	150	∅83×3.5 无缝管
8	80	3	88.5	4	89~89.25	150	∅95×3.5 无缝管
9	100	4	114	4	114.5~115	150	∅121×3.5 无缝管

注:套箍焊接要求:

1. 采用专用管箍,管箍与管子应配合适当,一般管子外径与管箍内径之差应不大于 0.5mm;管箍配合及加工尺寸参照此表。
2. 管箍两端应满焊、严密。
3. 套管长度为连接管外径的 1.5~3 倍。

表 3.2.14 钢管中间管卡最大距离(m)

敷 设 方 式	钢管名称	钢管直径(mm)			
		15~20	25~32	40~50	65~100
吊架、支架或沿墙敷设	厚钢管	1.5	2.0	2.5	3.5
吊架、支架或沿墙敷设	薄钢管	1.0	1.5	2.0	

(5)水平或垂直敷设的明配管路允许偏差值,在 2m 以内均为 3mm;全长不应超过管子内径的 1/2。

(6)电气管路应敷设在热水管和蒸汽管的下面,在不得已的情况下,也允许敷设在上面,但相互间的距离应符合下列要求:①当电气管路在热水管下面时为 0.2m,在其上面时为 0.6m;②当电气管路在蒸汽管下面时为 0.5m,在其上面时为 1m。当不能满足这些要求时,应采取隔热处理措施。对有保温措施的蒸汽管,相互间的净距均可减为 0.2m。

(7)两个出线盒(箱)之间,不应有 4 个及以上的直角弯。如有 4 个及以上的直角弯,应加装拉线盒。

(8)垂直敷设的管子,按穿入导线截面的大小,在每隔 10~20m 处,增加一个固定穿线的接线盒(拉线盒),用绝缘线夹将导线固定在盒内,导线越粗,固定点之

间的距离越短。

## 2.7 暗管敷设

(1)在混凝土内暗设管子时,管路不得穿越基础和伸缩缝。如必须穿过时,应改为明管,并以金属软管或过路箱等作补偿装置。

(2)暗管敷设应密切与土建配合,采取在混凝土、楼板、地坪及墙内预埋的措施,如预埋套管、预留孔洞、槽等。预埋管应一律在管口堵以木塞或硬质泡沫塑料堵口,并在管内穿好铅丝。预埋管应注意以下几个实际问题:①立管穿过圈梁和现浇梁的问题;②对于七孔砖、加气混凝土砌块、煤渣砖等轻质隔墙的结构墙体,管子暗配应采取必要的技术措施;③对于钢模板施工的现浇剪力墙,现浇梁、板、柱的暗管配置的施工难度比较大,应根据具体情况,具体分析进行处理;④对于轻钢龙骨吊顶结构和轻钢龙骨隔墙,应注意管子穿过梁和从天棚引下到隔墙内的暗设问题。要事先熟悉建筑结构,掌握确切可靠尺寸位置进行暗埋。关键是抓好图纸会审,并密切同土建的配合。

(3)敷设在墙内、地坪内的管子应满足下列要求:①对于混凝土地面,暗管应尽量不深入土层中,但当弯头不能全部埋入时,可适当增加埋入深度;②除设计有规定者外,出地管口高度,一般不宜低于200mm;③敷设位置应尽量与主筋平行,不使钢筋受损伤,如重叠时,管路应在钢筋上面,或在上、下两层钢筋之间,以使管子不受较大的力;④木楼板下的管子,可敷设在楼板下面的搁条上,搁条上所开的管槽,应与管子外径相吻合。

(4)潮湿地方的管路应使用厚度为2.5mm以上的管子,管子接头处应以柏油、麻丝缠绕,以增强严密性。

(5)引入配电箱的管子,管口要齐,由顶面或侧面引入座式箱柜的管子和由任何方向进入挂式箱、柜或类似座式、挂式箱柜的管子均应用锁母(纳子)或用焊接与箱柜的壁加以固定。

(6)所有连接金属管子的附件部位如接线盒、管接头(套管焊接除外)等处,均要用适当截面的圆钢或扁钢跨接焊接,以作良好接地。管子引至设备的终端,应在穿线前焊好接地螺栓或接线鼻子。跨接地线的截面大小可参照表3.2.11,做法见图3.2.6。

暗管配线的管路埋设比较复杂、要求较高。暗埋管同土建施工配合十分密切,所埋设的管子位置是否正确,建筑结构是否可以穿越,同配电器具之间如何连接还需要一些附件。图3.2.7~3.2.13示出常用做法和采用的接线盒,供参考选用。表3.2.15和3.2.16列出铁制灯头盒、接线盒、中途接线箱的技术数据。

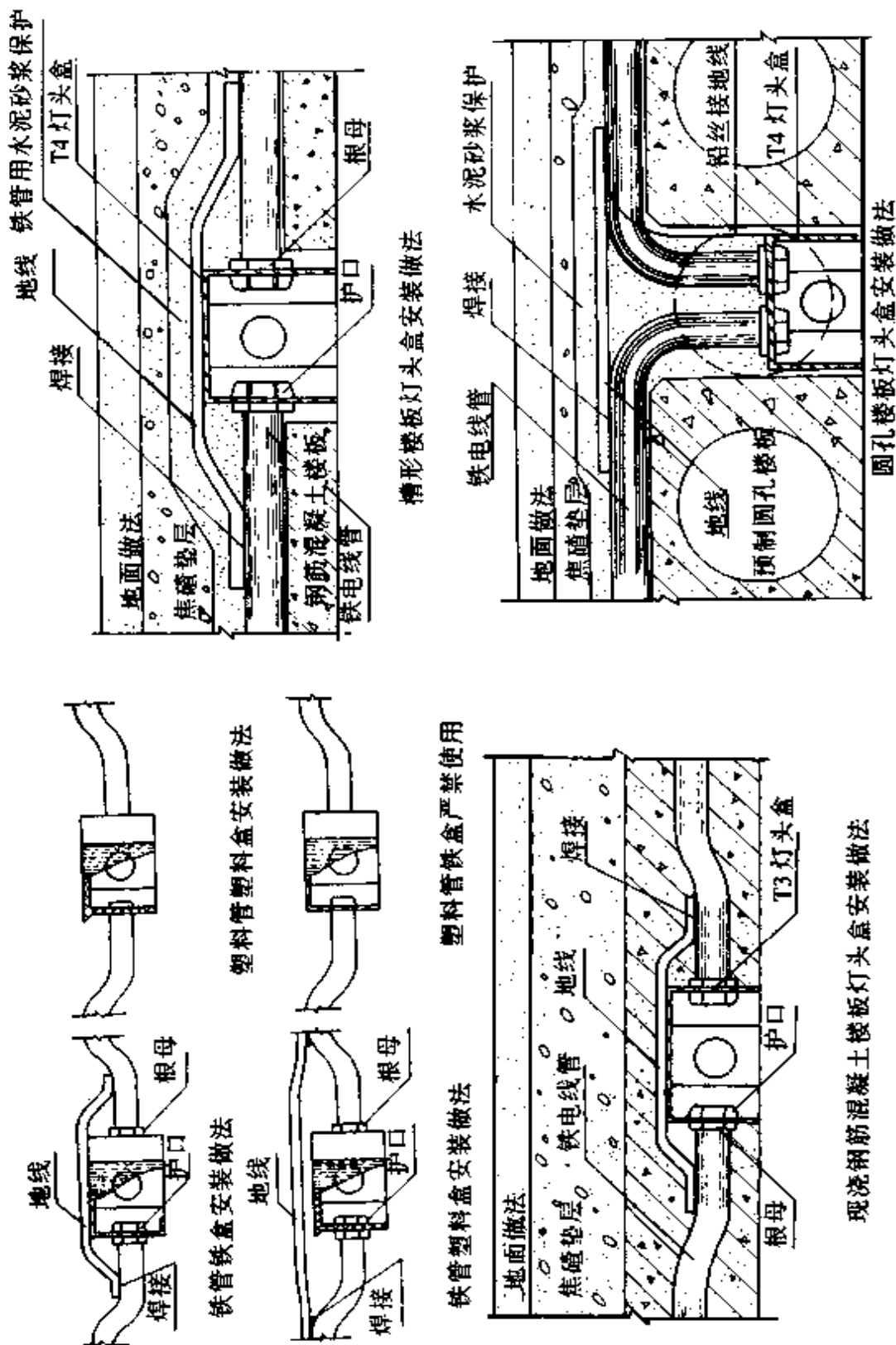
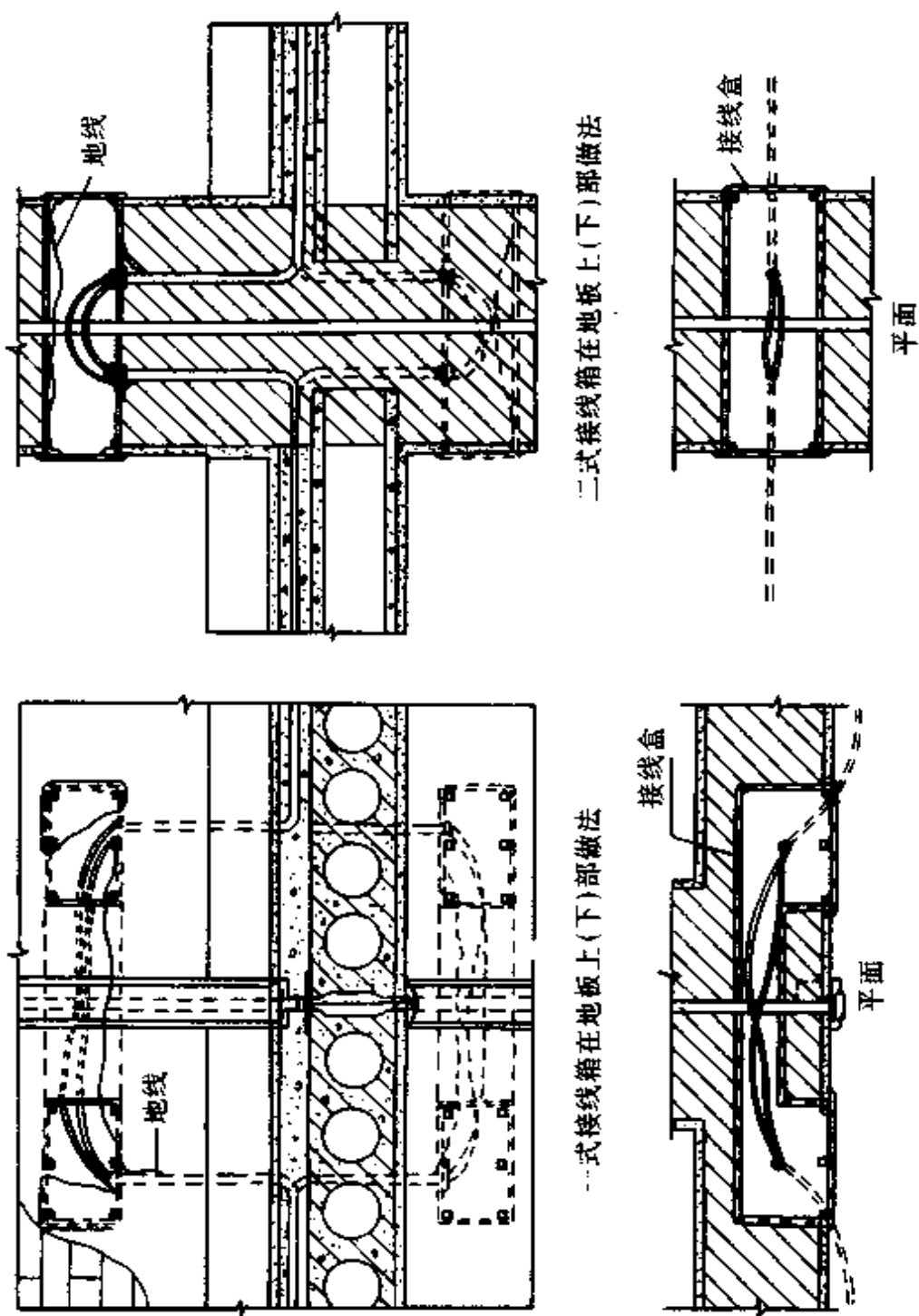


图 3.2.6 暗配灯头盒安装做法图

现浇钢筋混凝土楼板灯头盒安装做法



二式接线箱在地板上(下)部做法

一式接线箱在地板上(下)部做法

图 3.2.7 暗配管接线盒埋设在地板内其连接做法

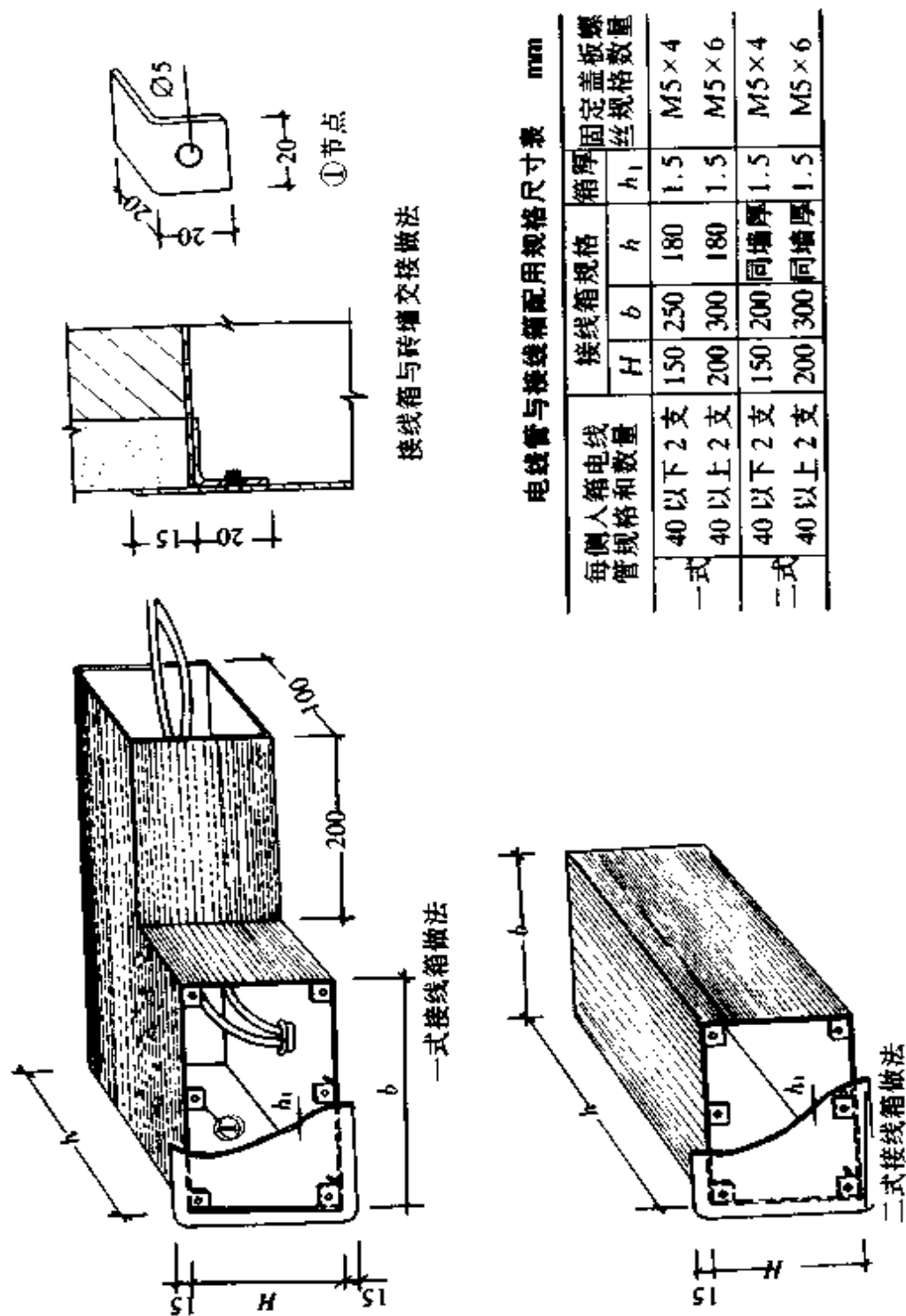


图 3.2.8 建筑伸缩沉降缝处转角接线箱做法图

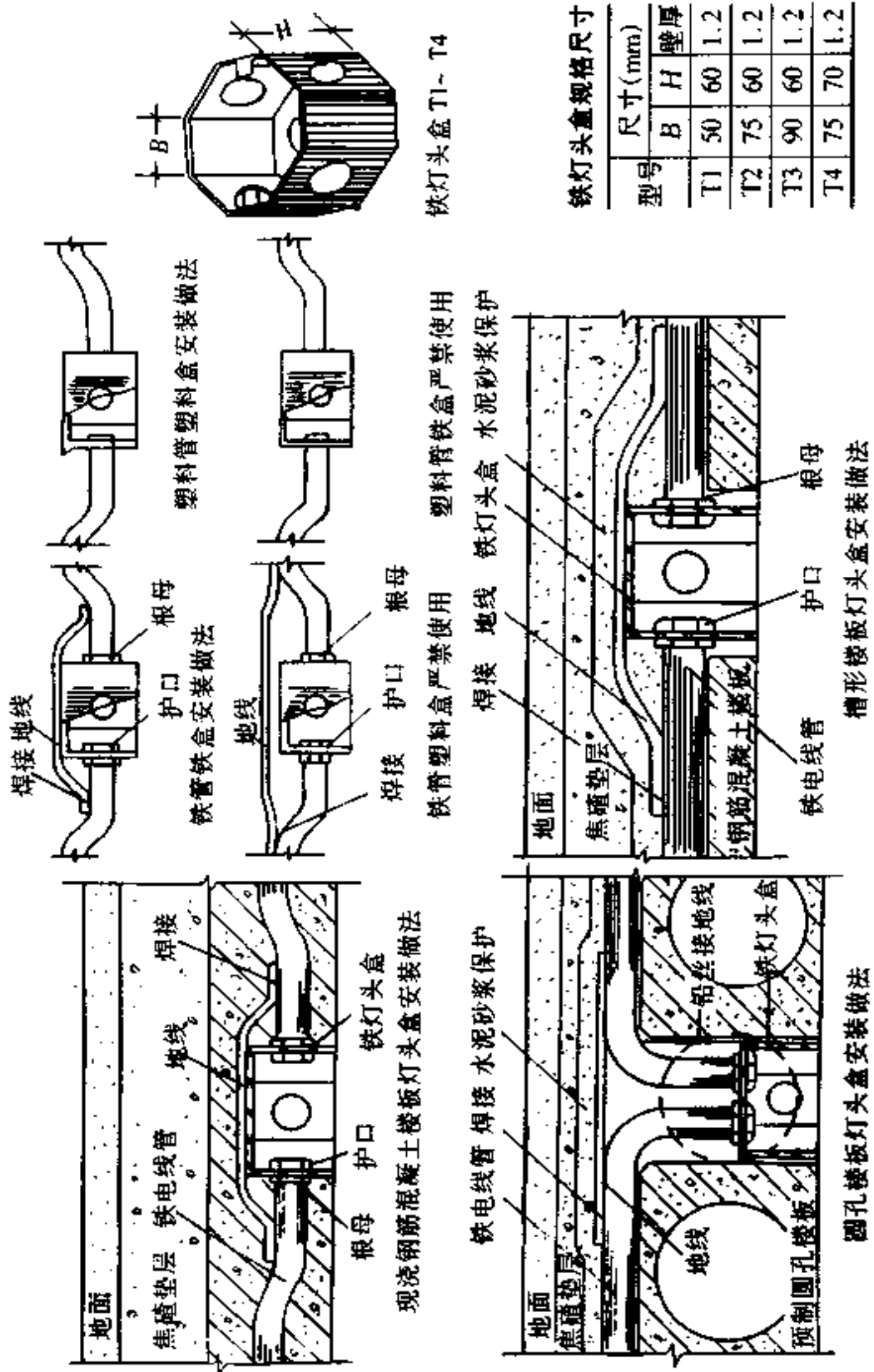


图 3.2.9 暗配灯头盒在各种结构中安装做法图

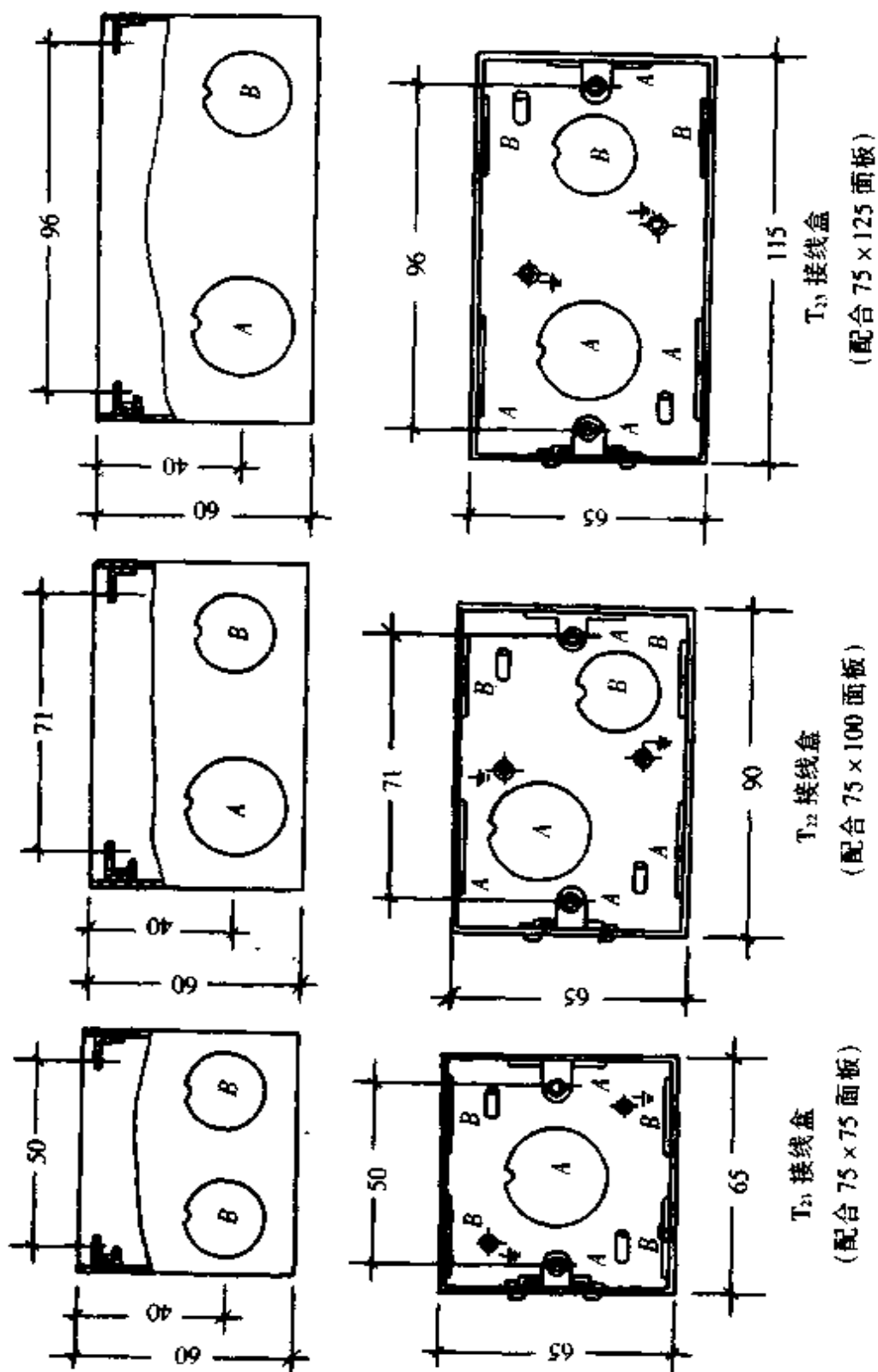


图 3.2.10 电气装置暗装面板用金属接线盒规格尺寸图(一)

注: A、B 为敲落孔位, A 孔孔径为 27mm, B 孔孔径为 22mm



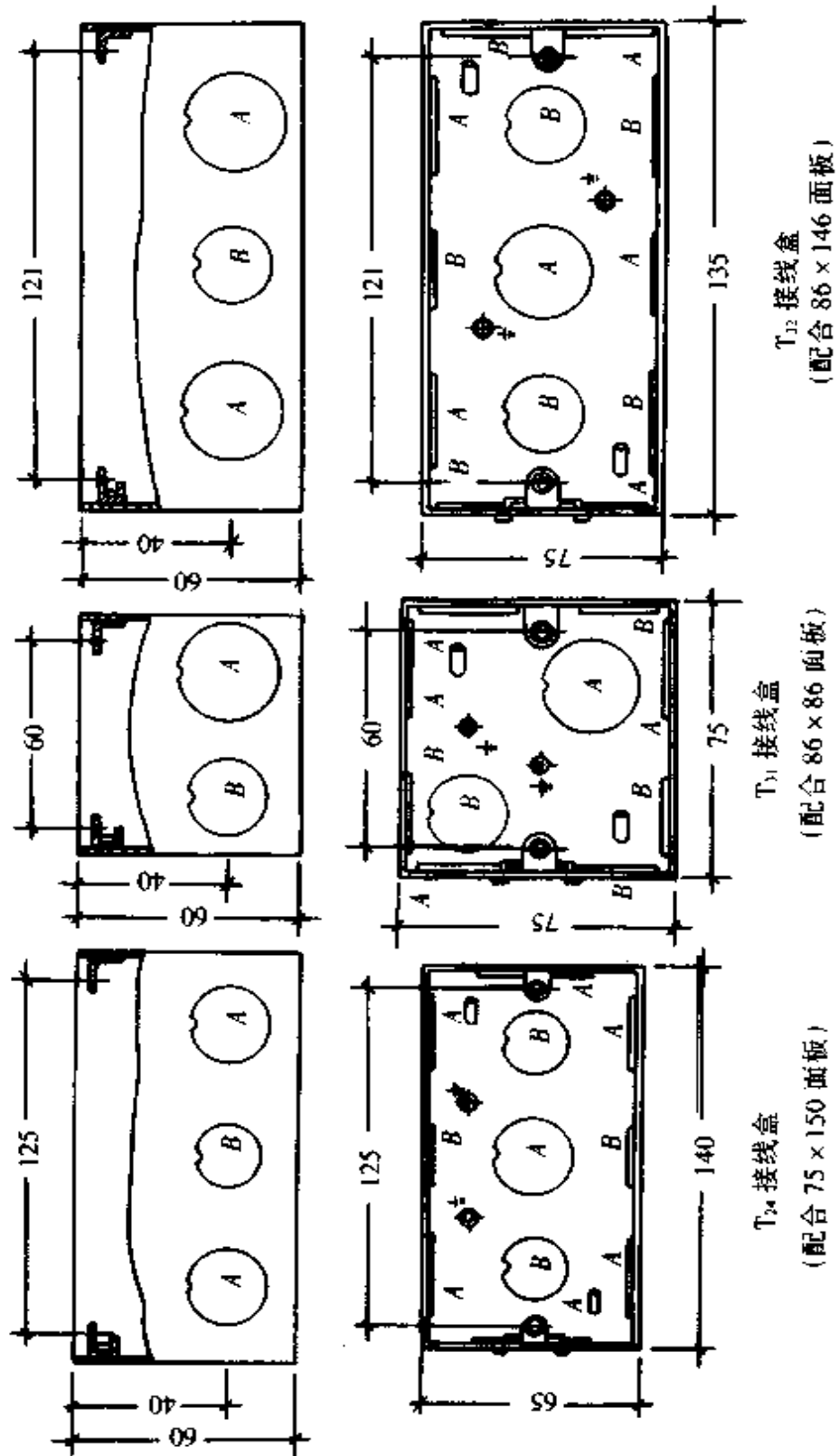


图 3.2.11 电气装置暗装面板用金属接线盒规格尺寸图(二)

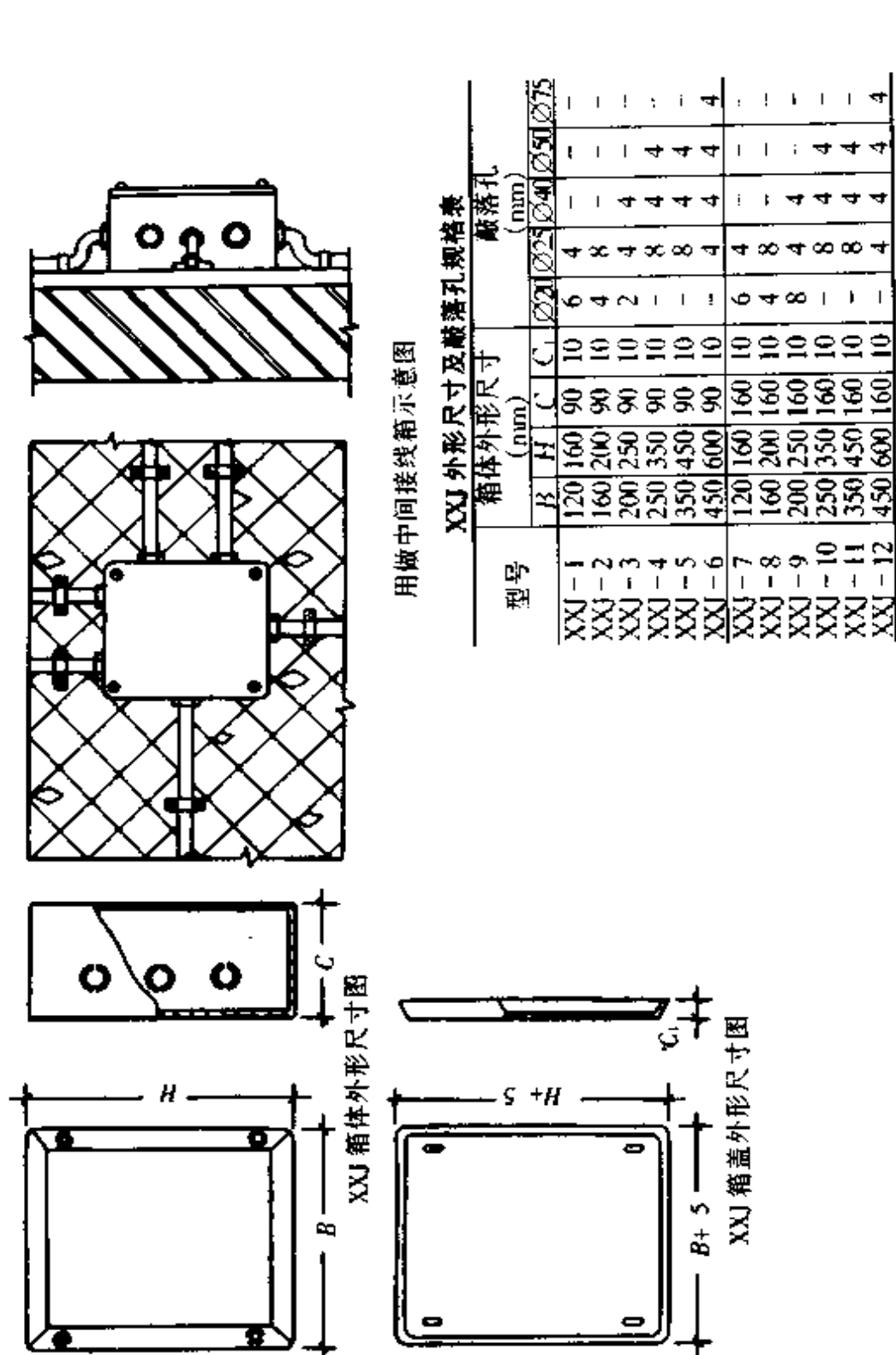


图 3.2.12 XXJ 型明装接线箱规格尺寸图

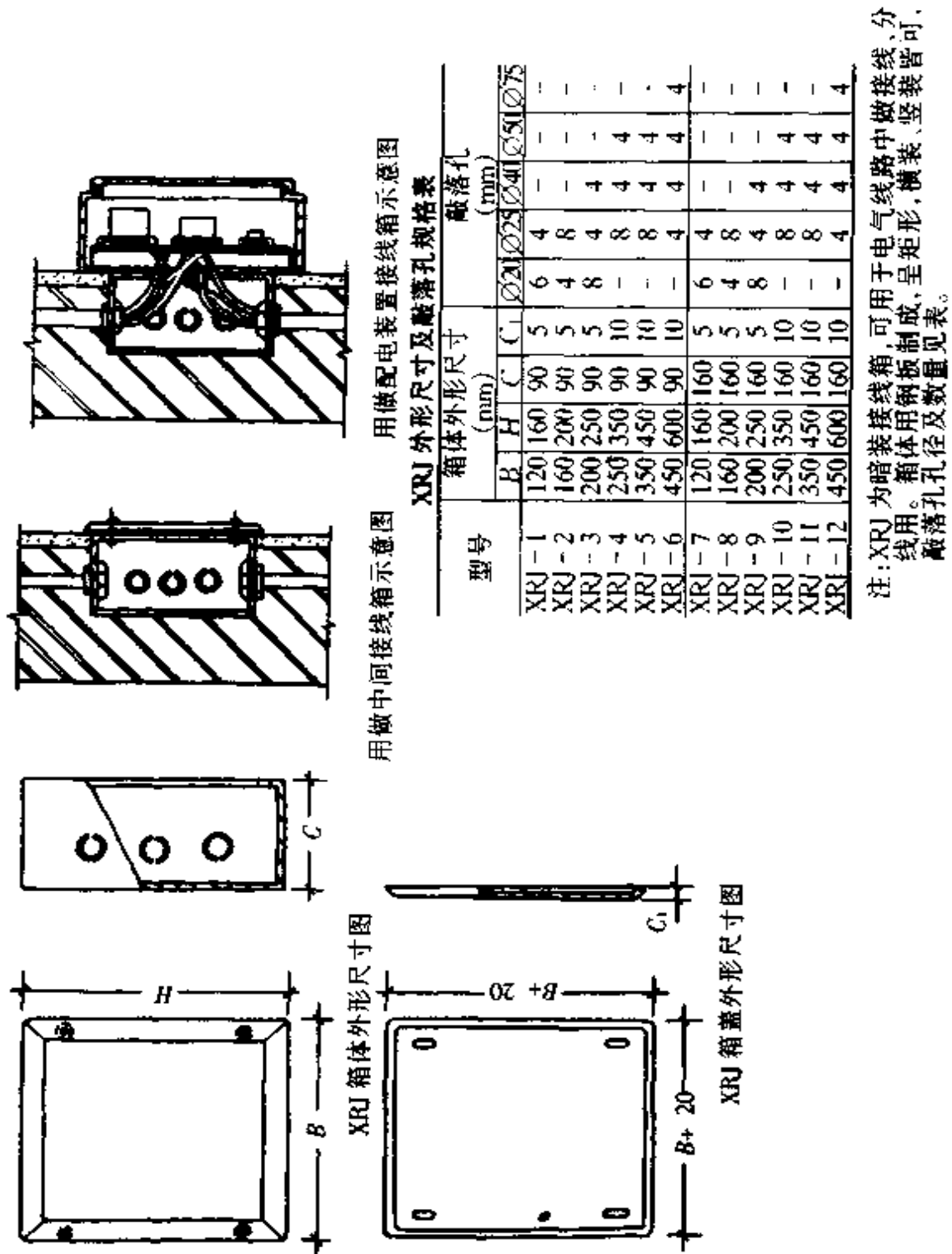


图 3.2.13 XRJ 型暗装接线箱规格尺寸图

表 3.2.15 铁制灯头盒、接线盒、中途接线箱的型号规格尺寸及定货编号表

名称	型号	外形尺寸及适应开关面板孔距(mm)				敲落孔		定货编号
		长	宽	高	孔距	宽面	窄面	
801 803 系列接线盒	XT51	80	70	58	78	2	1	211T
	XT52	116	70	58	108	3	1	212T
	XT53	170	70	58	162	3	1	213T
804 系列接线盒	XT351	72	72	58	60.3	2	2	337T
	XT352	101	72	58	90	3	2	338T
	XT353	132	72	58	121	3	2	380T
老式接线盒	T11	100	55	58	84	2	1	215T
	T12	100	105	58	横15竖84	2	2	216T
	T13	100	145	58	横45竖84	3	2	217T
中途接线箱	T1	200	200	150	180	3	3	218T
	T2	300	380	150	280	3	3	219T
灯头接线盒	XT1	73	73	58	70	1	1	207T
	XT2	81	60	58	70	1	1	208T
	XT3	96	60	58	70	1	1	209T
	XT4	81	70	58	70	1	1	210T

注:此表选自《建筑电气安装工程材料图册》①内线工程塑料制品部分。

表 3.2.16 接线盒盖板尺寸及配用接线盒表

名称	型号	配用接线、箱的型号	规格(mm)		
			宽	高	孔距
接线盒盖板	HK-1	配合 XS51、XS151 接线盒用	92	76	78
	HK-2	配合 XS52、XS152 接线盒用	120	78	108
	HK-3	配合 XS53、XS153 接线盒用	178	74	162
接线盒盖板	HK-4	配合 XS251、XS351 接线盒用	76	76	60.3
	HK-5	配合 XS252、XS352 接线盒用	106	76	90
	HK-6	配合 XS253、XS353 接线盒用	136	76	121
接线盒盖板	HK-7	配合 S11 接线盒用	70	105	84
接线盒盖板	HK-8	配合 S12 接线盒用	110	105	84
接线盒盖板	HK-9	配合 S13 接线盒用	150	105	84
接线箱盖板	HK-11	配合 1 号中途接线箱用	200	200	180
	HK-12	配合 2 号中途接线箱用	300	300	280
塑料方台	FT-2	塑料二连方台(代连二木用)	140	70	—
	FT-3	塑料三连方台(代连三木用)	210	70	—

注:此表选自《建筑电气安装工程材料图册》①内线工程塑料制品部分。

## 2.8 塑料管敷设

电气管线目前使用的塑料管有聚氯乙烯硬塑料管、塑料电线管(亦称半硬塑料管或流体管)和波纹塑料管。

塑料管的敷设方式与电线管基本相同,可参考钢管敷设情况并适当选用。塑料管及其配件的选用应根据其特性,如变形、老化、煨弯和连接方式等特点进行。所选用的灯头盒和开关盒、插座盒及接线盒等均应采用塑料制品,如因工程规模小,数量少而采用塑料管敷设配铁盒时,应加穿一根接地线。塑料管敷设要求如下:

(1)塑料管应平直放置于室内,不能暴晒。塑料管在运输、加工和使用中不得用金属工具敲打。

(2)塑料管应进行热煨管(波纹塑料管可用手工冷弯),可用热砂或热水加热,也可采用电吹风、加热机、油热烫等方法加热,加热应均匀,加热时要转动管子,温度控制在 $85\sim 95^{\circ}\text{C}$ 之间,其加热长度及弯曲半径的规定见表3.2.17。

(3)对于机械强度和密封性要求不高的场所,塑料管一般可用套管连接,套管长度不少于直径的2.5倍,其内径应略小于管径 $1\sim 1.5\text{mm}$ ,安装时两管端必须对拢固定牢靠。硬塑料管的连接也可加热管端,使端部长约直径2.5倍处膨胀后,用胀管法连接,密封要求较高的连接,应在连接部位加塑料胶密封。

表 3.2.17 塑料管的加热长度与弯曲半径表

管子外径 (mm)	弯曲半径为管子 直径的倍数	加热长度为直径的 倍数
9~20	3	6.5
25~44	3.5	7
50~75	4.5	8
100	4.6~4.8	9
150	5	9.5

(4)塑料管路穿越墙壁或楼板时应加装金属套管,套管两端要伸出墙壁或楼板各 $10\text{mm}$ 。

(5)塑料管架空敷设所用的支吊架应刷防腐漆。支架间距一般为:管径 $50\text{mm}$ 及以下者不大于 $1.5\text{m}$ ;管径 $50\text{mm}$ 及以上者不得大于 $2\text{m}$ 。管接头不应设在支架上,应设在距支架约 $0.5\text{m}$ 处。

(6)明配塑料管应排列整齐,固定点的距离应均匀,管卡与终端、转弯中点、电气器具或接线盒边缘的距离为 $150\sim 500\text{mm}$ ;中间的管卡最大距离应符合表3.2.18规定。

表 3.2.18 硬塑料管中间管卡最大距离

最大允许距离 (m) 敷 设 方 式	硬 塑 料 管		
	内 径 (mm)		
	20 以下	25~40	50 以下
吊架、支架或沿墙敷设	1.0	1.5	2.0

(7)塑料管的线膨胀系数较大,对于直线管及室外管路,每隔 15m 处都应加装伸缩补偿装置。

(8)塑料管应尽量不与热力管道靠近。必须靠近时(如位置限制),其间隔距离不应小于 300mm,当两种管道平行敷设时,应加装隔热板。

(9)塑料电线管(半硬塑料管)敷设:①塑料电线管适用于一般民用建筑的照明工程暗敷设,不得在高温场所和顶棚内敷设,由于在制造时已加了阻燃剂,是不延燃的,目前采用轻钢龙骨吊顶结构、天棚粘贴石膏板,防火性能较好,这类结构的吊天棚也可以采用塑料电线管;②塑料电线管应使用套管粘接法连接,接管长度不应小于连接管外径的 2 倍,接口处应用胶合剂粘接牢固;③塑料电线管的弯曲半径不应小于管外径的 6 倍;④敷设塑料电线管宜减少弯曲,当线路直线段的长度超过 15m 或直角弯超过 3 个时,均应加装接线盒;⑤塑料电线管敷设在现场浇灌的混凝土结构中,应有预防机械损伤的措施。

(10)波纹塑料管也具有不延燃性能,塑料电线管的敷设方式同样适用于波纹塑料管。

### 3 配 线 工 程

#### 3.1 钢管配线

(1)穿线前,需用破布或压缩空气将管子内的杂物、水分清除干净。

(2)电线接头必须放在接线盒内,不允许在管内留有接头。穿线时要避免导线发生相互缠绕和背扣现象,不得擦伤导线外皮绝缘,管口加装护口(木护圈或塑料护圈),在管口要留有足够的余线。

(3)管内穿线应在土建抹灰及地坪工程结束后进行,最好在喷浆粉刷后进行。

(4)敷设于垂直线管中的导线每超过下列长度时,应在管口处或接线盒中加以固定:导线截面  $50\text{mm}^2$  及以下为 30m 长时;导线截面  $70\sim 95\text{mm}^2$  为 20m 长时;导线截面  $120\sim 240\text{mm}^2$  为 18m 长时。

(5)导线穿入钢管后,在导线出口处,应装护线套保护导线。在不进入盒(箱)内的垂直管口,穿入导线后,应将管口作密封处理。

### 3.2 钢索配线

(1) 钢索的终端拉环应固定牢靠,并能承受钢索在全部负载下的拉力。钢索的截面积一般不得小于  $16\text{mm}^2$ ,钢索必须保持完好,不得有伤痕和锈蚀现象。

(2) 钢索配线使用的钢索应符合下列要求:宜使用镀锌钢索,不得使用含油芯的钢索;敷设在潮湿或有腐蚀性的场所应使用塑料护套钢索;钢索的单根钢丝直径应小于  $0.5\text{mm}$ ,并不应有扭曲和断股现象;选用圆钢作钢索时,在安装前应调直、预拉伸和刷防腐漆。

(3) 钢索两端应固定牢靠,弛度应适当,不得过松或过紧,两端应可靠接地。

(4) 钢索长度在  $50\text{m}$  及以下时,可在一端装花篮螺栓;超过  $50\text{m}$  时,两端均应装花篮螺栓,每超过  $50\text{m}$  应加装一个中间花篮螺栓。钢索在终端固定处,钢索卡不应小于 2 个。钢索的终端头应用金属丝扎紧。

(5) 钢索中间固定点的间距不应大于  $12\text{m}$ ;中间吊钩宜使用圆钢,其直径不应小于  $8\text{mm}$ ;吊钩的深度不应小于  $20\text{mm}$ 。

(6) 电线沿钢索敷设时,应保持平直,直线段每隔  $400\text{mm}$  处应有一固定点。钢索配线敷设后的弛度不应大于  $100\text{mm}$ ,如不能达到时,应增加中间吊钩。

(7) 钢索配线的引下线在标高不超过  $2\text{m}$  处的部分应采用保护管。

(8) 钢索配线上各种配线的支持件间、支持件与灯头盒间及瓷柱配线间的距离应符合表 3.2.19 的规定。

(9) 钢索配线的做法详见图 3.2.14—3.2.19。图中采用的花篮螺栓、心形环、钢索卡可参照外线金属材料表选用。

表 3.2.19 钢索配件零件间和线间距离

配线类别	支持件 最大间距	支持件与灯头 盒间最大距离	mm
			线 间 最小距离
管子	1500	200	1
硬塑料管	1000	150	1
塑料护套线	200	100	1
瓷柱配线	1500	100	35

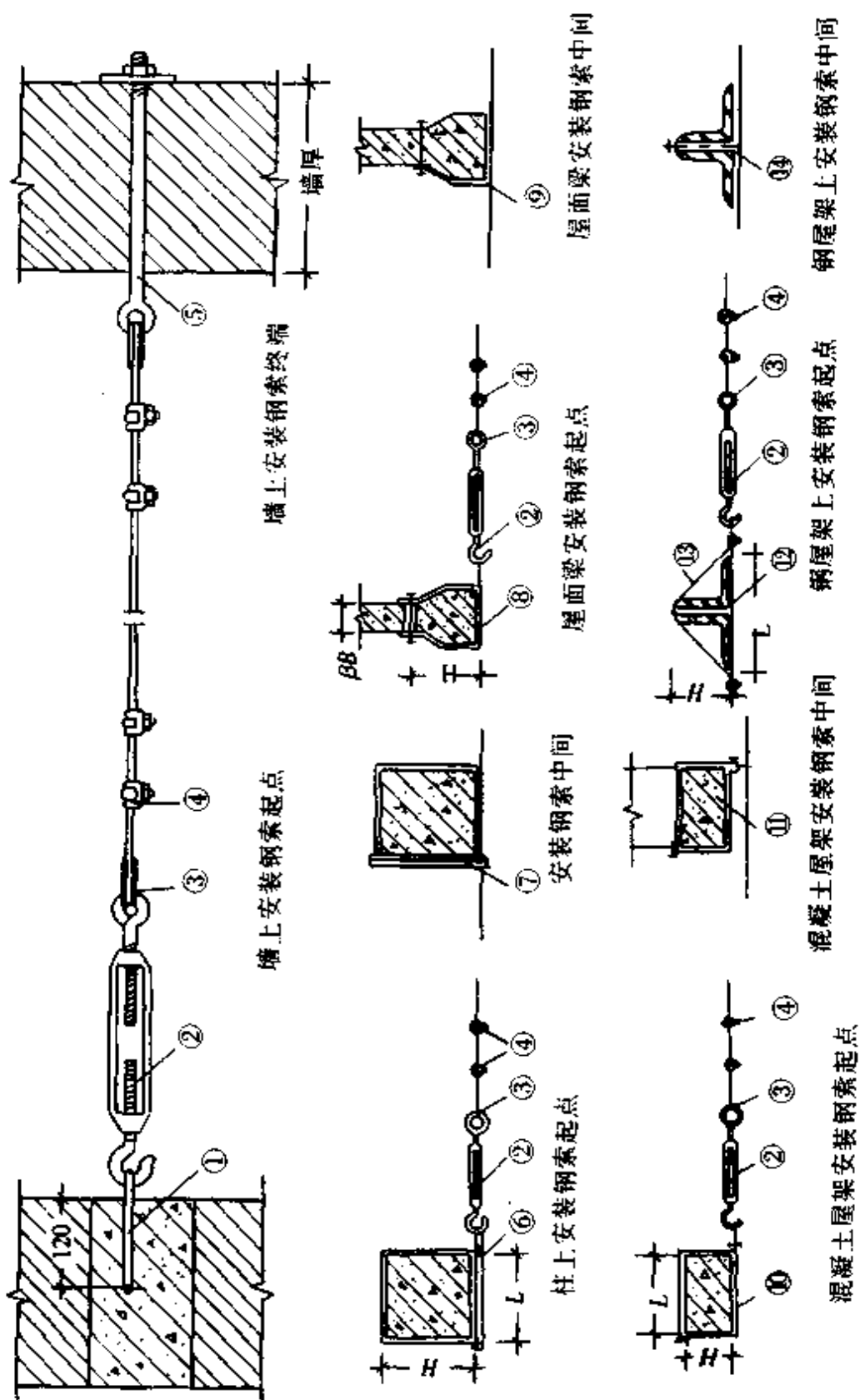


图 3.2.14 钢索起点、中间及终端固定做法图(一)



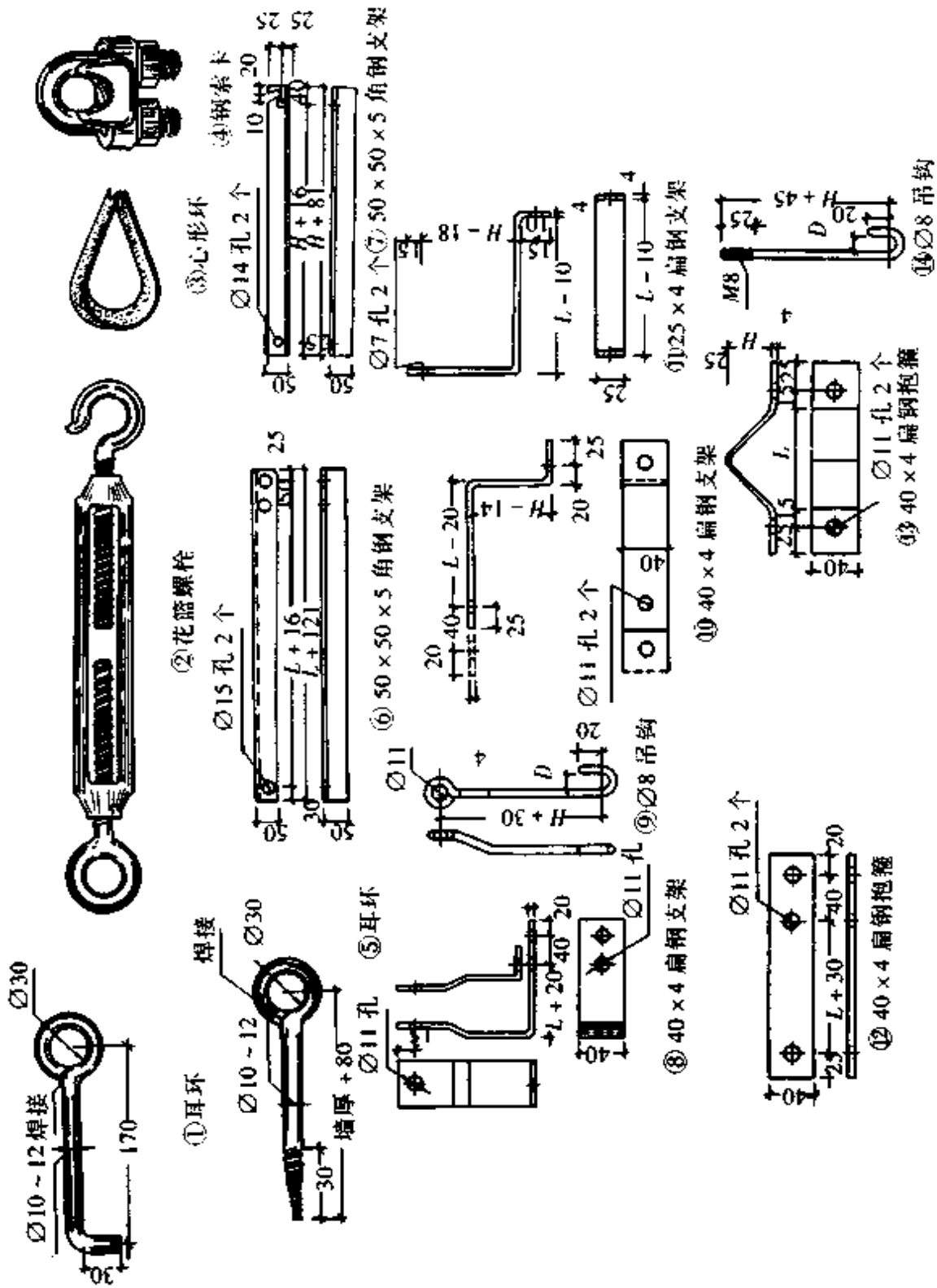


图 3.2.15 钢索起点、中间及终端固定做法图(二)

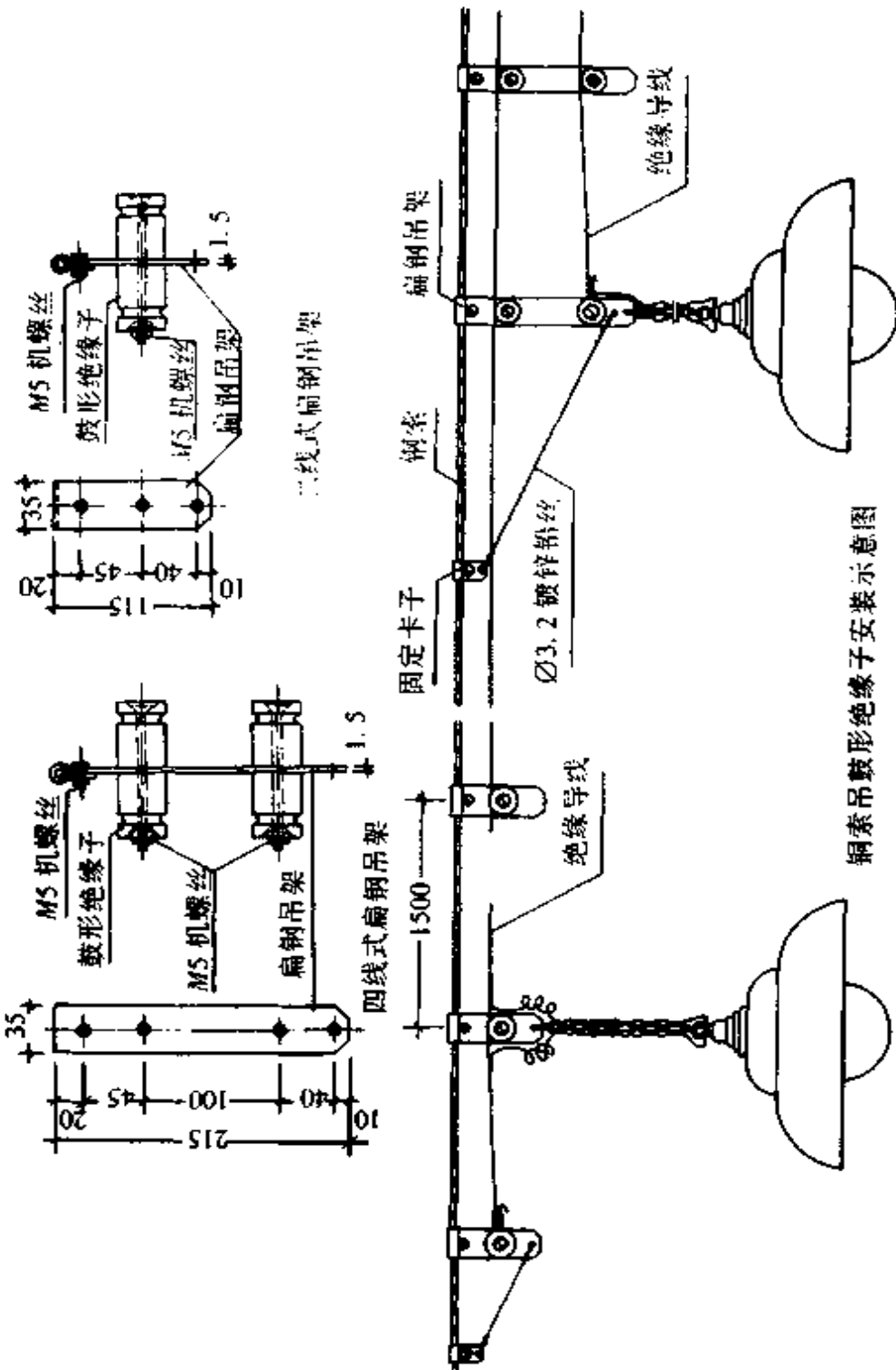
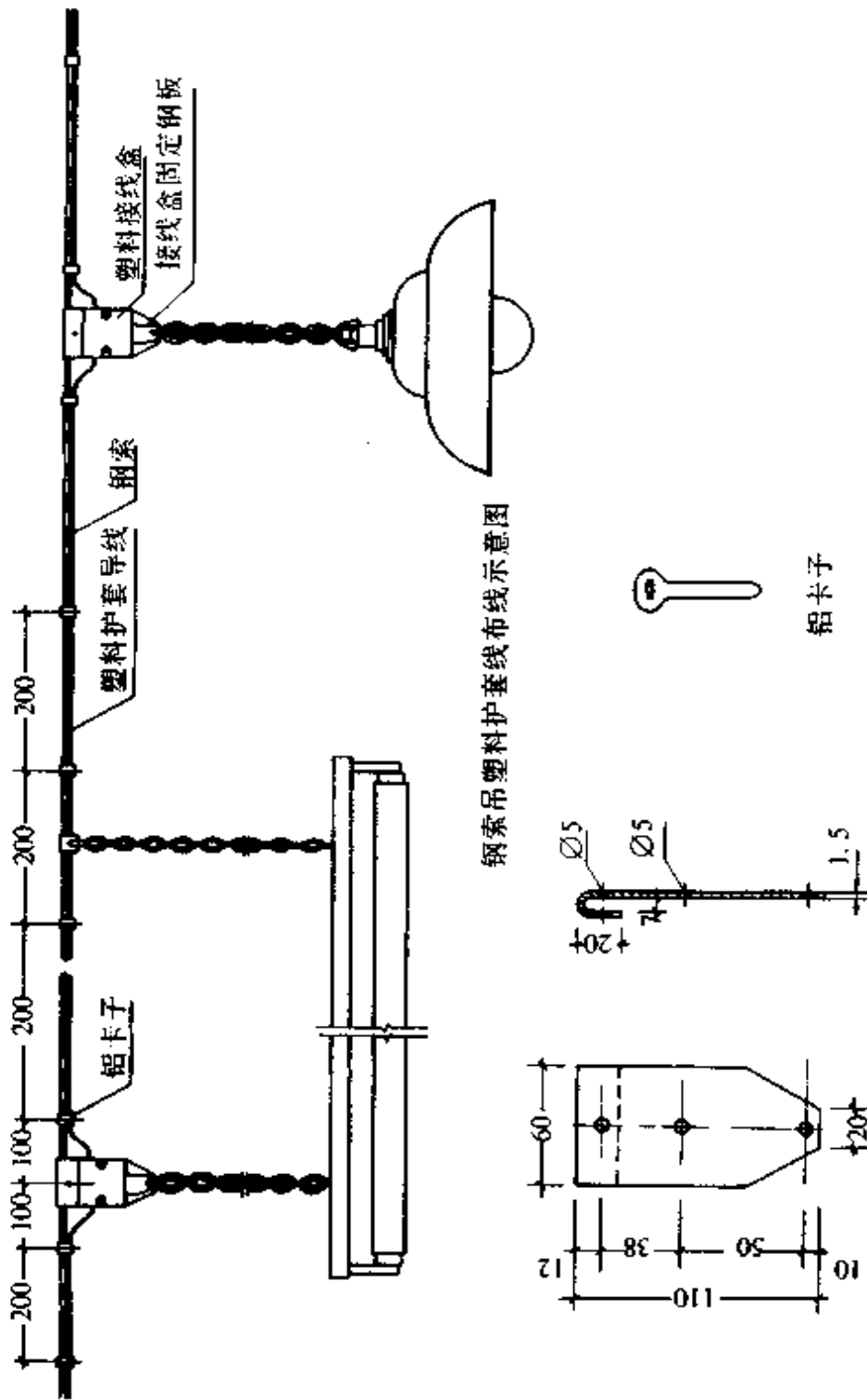


图 3.2.16 钢索布线吊鼓形绝缘子安装做法图

注：1. 导线的支点间距见表 3.2.19；2. 导线截面及灯型选择按工程图要求

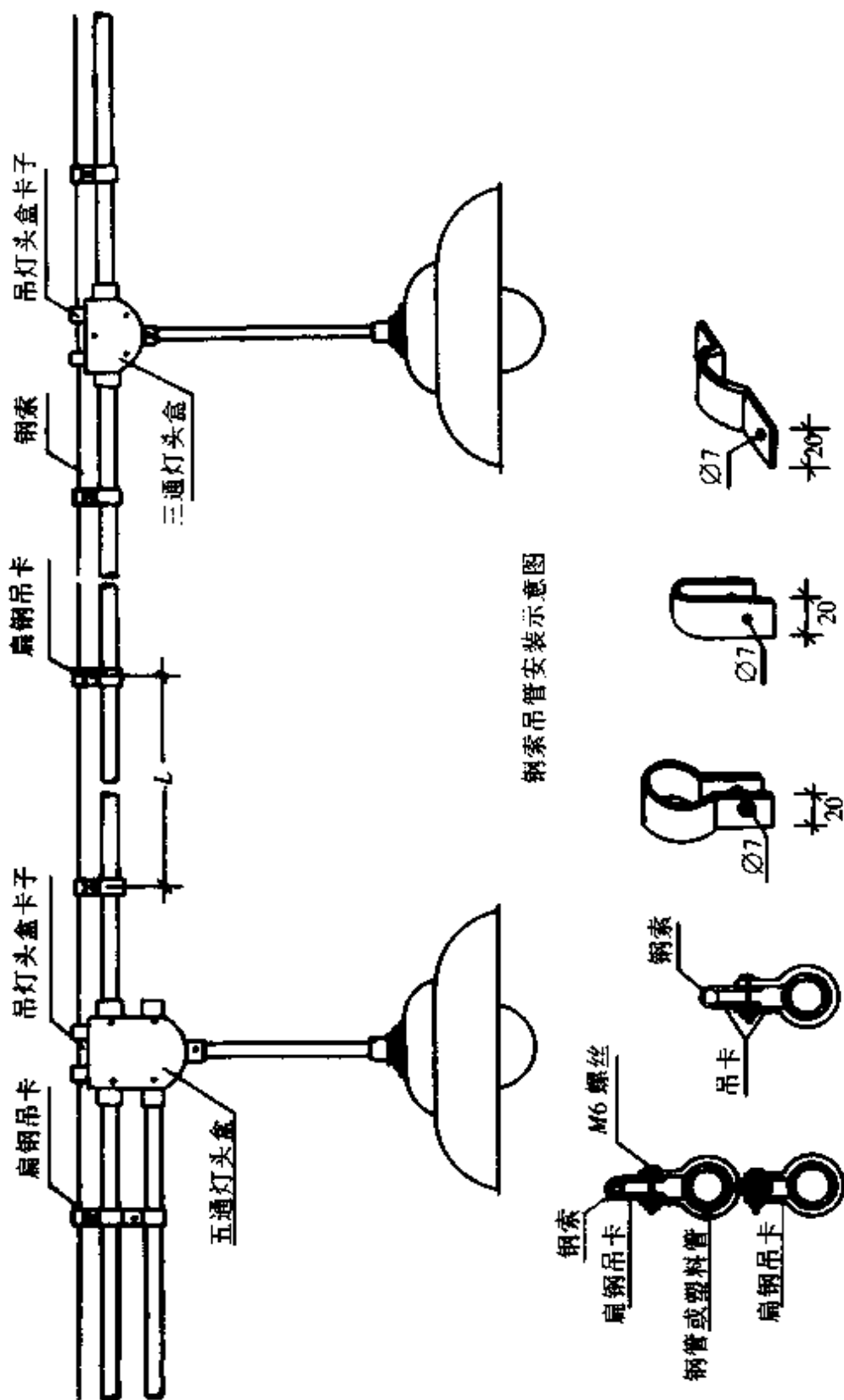


钢索吊塑料护套布线示意图

接线盒固定钢板

图 3.2.17 钢索布线吊塑料护套导线安装做法图

注: 1. 导线截面及灯型选择按工程图纸要求; 2. 塑料接线盒采用硬质塑料



钢索吊管安装示意图

钢索吊管剖面

各种吊卡示意图

图 3.2.18 钢索布线吊管安装做法图(一)

注:1. 钢索吊钢管时,  $L \leq 1500\text{mm}$ , 吊塑料管时,  $L \leq 1000\text{mm}$ ; 2. 扁钢吊卡厚度为  $1\text{mm}$ ; 3. 线管材料及灯型选择按工程图要求



### 3.3 瓷夹板、瓷柱、瓷瓶配线

(1)瓷夹板、瓷柱、瓷瓶配线只适用于室内、外的明配线。敷设的导线应平直,无松弛现象;导线在转弯处不应有急弯和损伤。

(2)当两根导线相互交叉时,应将其中靠近建筑物的那条线的每根导线穿入绝缘管内。

绝缘导线的绑扎线应有保护层,绑扎时不得损伤导线的绝缘层。

(3)导线在转弯、分支和进入电气器具处,均应装设支持件予以固定。支持件与转弯中点、分支点和电气器具边缘的距离:瓷夹板配线为40~60mm;瓷柱配线为60~100mm。

(4)室内绝缘导线与建筑物表面的最小距离:瓷夹配线应不小于5mm;瓷柱和瓷瓶配线应不小于10mm。

(5)绝缘导线沿室内墙壁、顶棚敷设时,其支持件固定点的距离应符合表3.2.20的规定。

表 3.2.20 室内沿墙壁、顶棚支持件固定

允许最大距离 (mm) 敷线方式	线芯截面(mm <sup>2</sup> )				
	1~4	6~10	16~25	35~70	95~120
瓷夹板配线	700	800			
瓷柱配线	1500	2000	3000		
瓷瓶配线	2000	2500	3000	6000	6000

(6)室外配线跨越人行道时,导线距地面的高度应不低于3.5m;跨越通车道时,应不低于6m。

(7)瓷瓶安装前必须擦洗干净,除去毛刺,不得使用破裂瓷瓶。瓷瓶安装必须牢固,瓷夹和瓷珠等应用木螺丝直接固定,木螺丝的拧入长度不得小于12mm。当固定在钢结构上时,应采用支架并以螺栓固定。

(8)导线在瓷瓶上固定时,应采用绑线绑扎,绑线的规格可参照表3.2.21选定。

表 3.2.21 绑线规格选择表

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	绑线直径(mm)		
	铁绑线	铜线	铝线
<10	0.8	1.0	2.0
10~35	1.2	1.4	2.0
50~70		2.0	2.6

(9)工业厂房内敷设导线应符合下列要求:①距地面高度应不低于3.5m,装设网孔遮栏时,应不低于2.5m;②在桁架上敷设,从起重机的铺面板至导线净距应不小于2.2m,否则,起重机上面或导线下面应装遮栏保护;③不得敷设在搬运和装

配物件时能触及导线的场所;④不得与起重机的滑触线同支架敷设;⑤与网眼不大于 $20 \times 20\text{mm}$ 保护遮栏的距离应不小于 $100\text{mm}$ ,与板状保护遮栏的距离应不小于 $50\text{mm}$ ;⑥导线至建筑物表面的最小距离见表3.2.2的规定。

瓷夹板配线简单方便,易于检修,造价低,广泛应用于乡村。低压绝缘子布线,又称瓷珠(瓷柱)配线,在市郊、乡镇企业、农村应用较为常见,工厂企业中的浴室、锅炉房也常采用,做法详见图3.2.20~3.2.22,瓷夹板布线做法见图3.2.23。

### 3.4 槽板配线

(1)塑料槽板、木槽板配线适用于干燥房屋内明配敷设。使用绝缘导线的额定电压应不低于 $500\text{V}$ 。

(2)塑料槽板与木槽板的安装要求相同,木槽板的内外应光滑,无棱刺,刷有绝缘漆。

(3)槽板宜敷设于较隐蔽的地方,应紧贴于建筑物表面,排列整齐。

(4)槽板固定点的间距:底板应小于 $500\text{mm}$ ,盖板应小于 $300\text{mm}$ ;底板离终端点 $50\text{mm}$ 处及盖板离端点 $30\text{mm}$ 处,均应固定,三线槽板应用双钉固定。

(5)槽板在敷设时,盖板的接口与底板的接口应错开,并不小于 $20\text{mm}$ 。

(6)槽板的盖板在直线段上和转 $90^\circ$ 角时,均应锯成 $45^\circ$ 角的斜口相接。

(7)一条槽板内应敷设同一回路的导线,在宽槽内应敷设同一相位的导线。

(8)导线在槽板内不得受挤压或有接头,接头应设在槽板外面。

(9)槽板与各种电气器具的底座连接时,导线应留有余量,底座应压住槽板头。

### 3.5 护套线配线

塑料护套线是一种具有塑料保护层的双芯或多芯绝缘导线,具有防潮、耐酸和耐腐蚀等性能,可以直接敷设在空心楼板、墙壁以及建筑物上,用铝片卡作为导线的支持物。塑料护套线的施工方法如下:

(1)定位划线:定位划线工作与其他配线方法一样,先确定起点和终点位置,然后用粉线袋按导线走向划出正确的水平线和垂直线,再按护套线安装要求,每隔 $150 \sim 200\text{mm}$ 划出固定铝片卡的位置。距开关、插座、灯具的木台 $50\text{mm}$ 处和导线转弯两边的 $80\text{mm}$ 处,都要设置铝片卡的固定点。

(2)铝片卡的固定:在混凝土结构上,可采用环氧树脂粘接或打塑料膨胀螺栓,也可采用冲击电钻打孔,打入楠竹钉然后钉固的方法;在木结构上,可用钉子钉牢;在有抹灰层的墙上,可用鞋钉直接钉住铝片卡。

(3)导线敷设。①在水平方向敷设护套线时,如线路较短,为便于施工,可按实际需要长度将导线剪断。敷线时,一只手扶持导线,另一只手将导线固定在铝片卡上;如线路较长,又有数根导线平行敷线时,可用绳子把导线吊挂起来,使导线的重

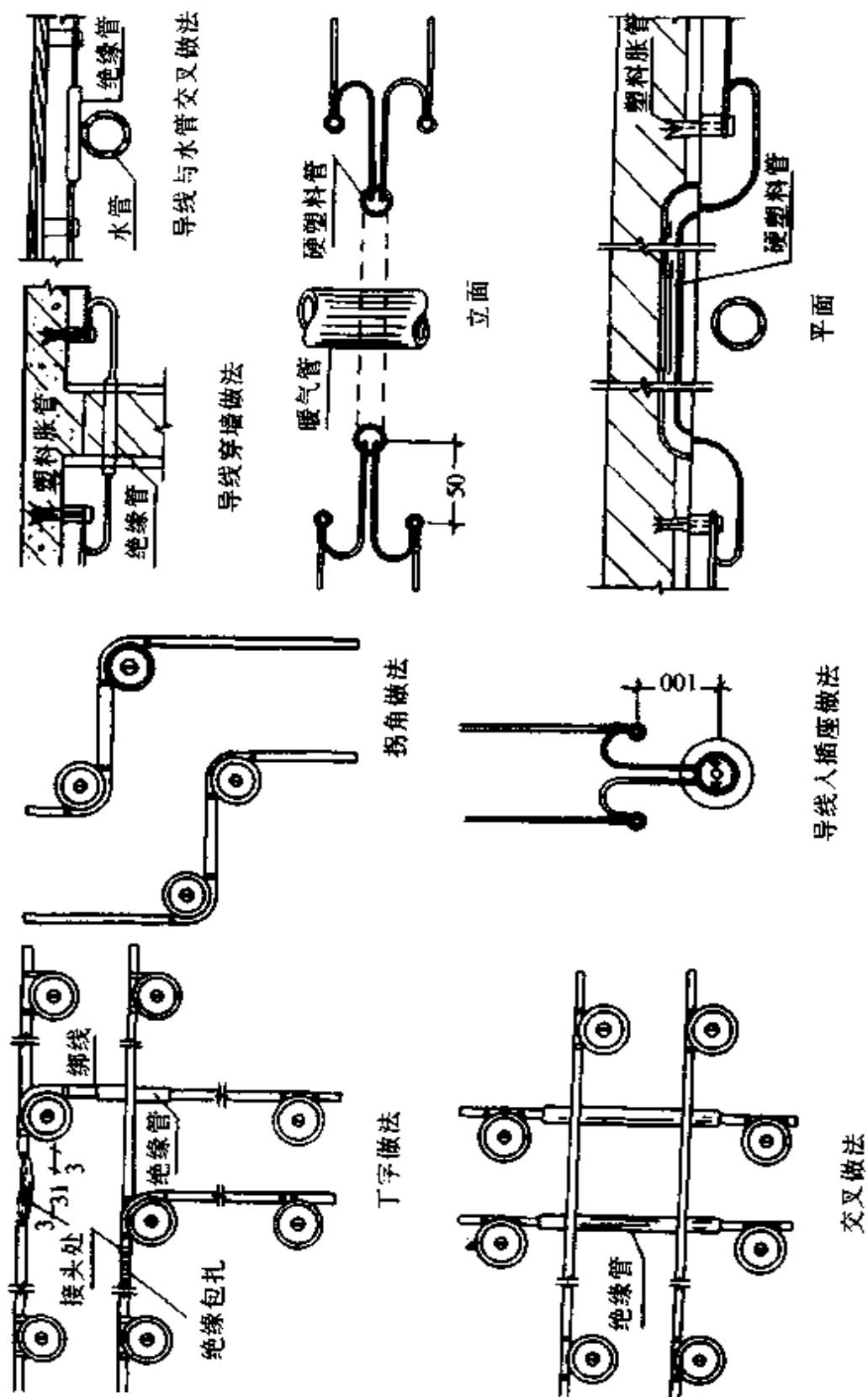
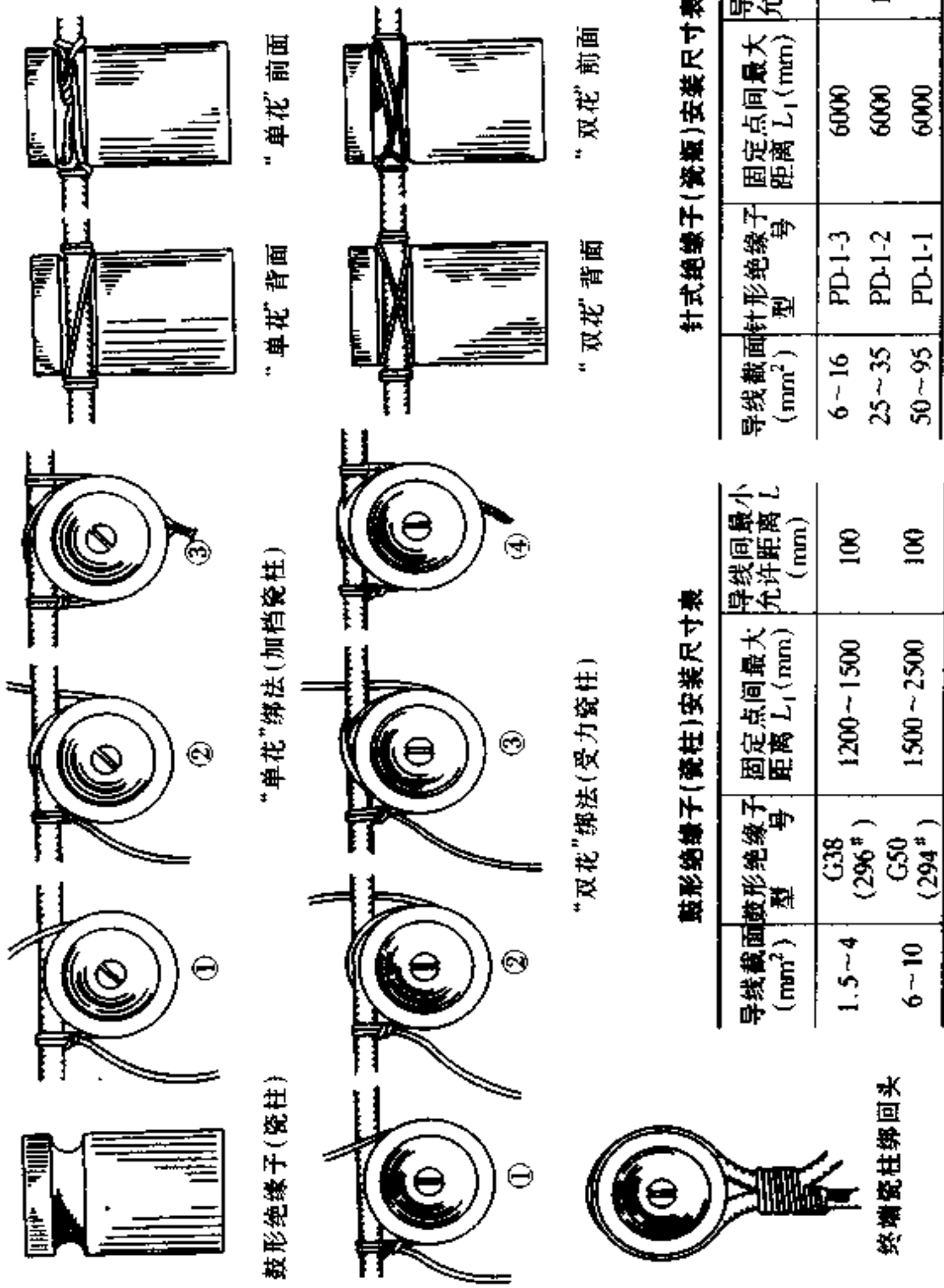


图 3.2.20 低压绝缘子布线做法图





针式绝缘子(瓷瓶)安装尺寸表

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	针形绝缘子 型号	固定点间最大 距离 L <sub>1</sub> (mm)	导线间最小 允许距离 L (mm)
6~16	PD-1-3	6000	100
25~35	PD-1-2	6000	100~150
50~95	PD-1-1	6000	150

鼓形绝缘子(瓷柱)安装尺寸表

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	鼓形绝缘子 型号	固定点间最大 距离 L <sub>1</sub> (mm)	导线间最小 允许距离 L (mm)
1.5~4	G38 (296#)	1200~1500	100
6~10	G50 (294#)	1500~2500	100

图 3.2.21 低压绝缘子布线绑扎做法及安装尺寸

终端瓷柱绑回头

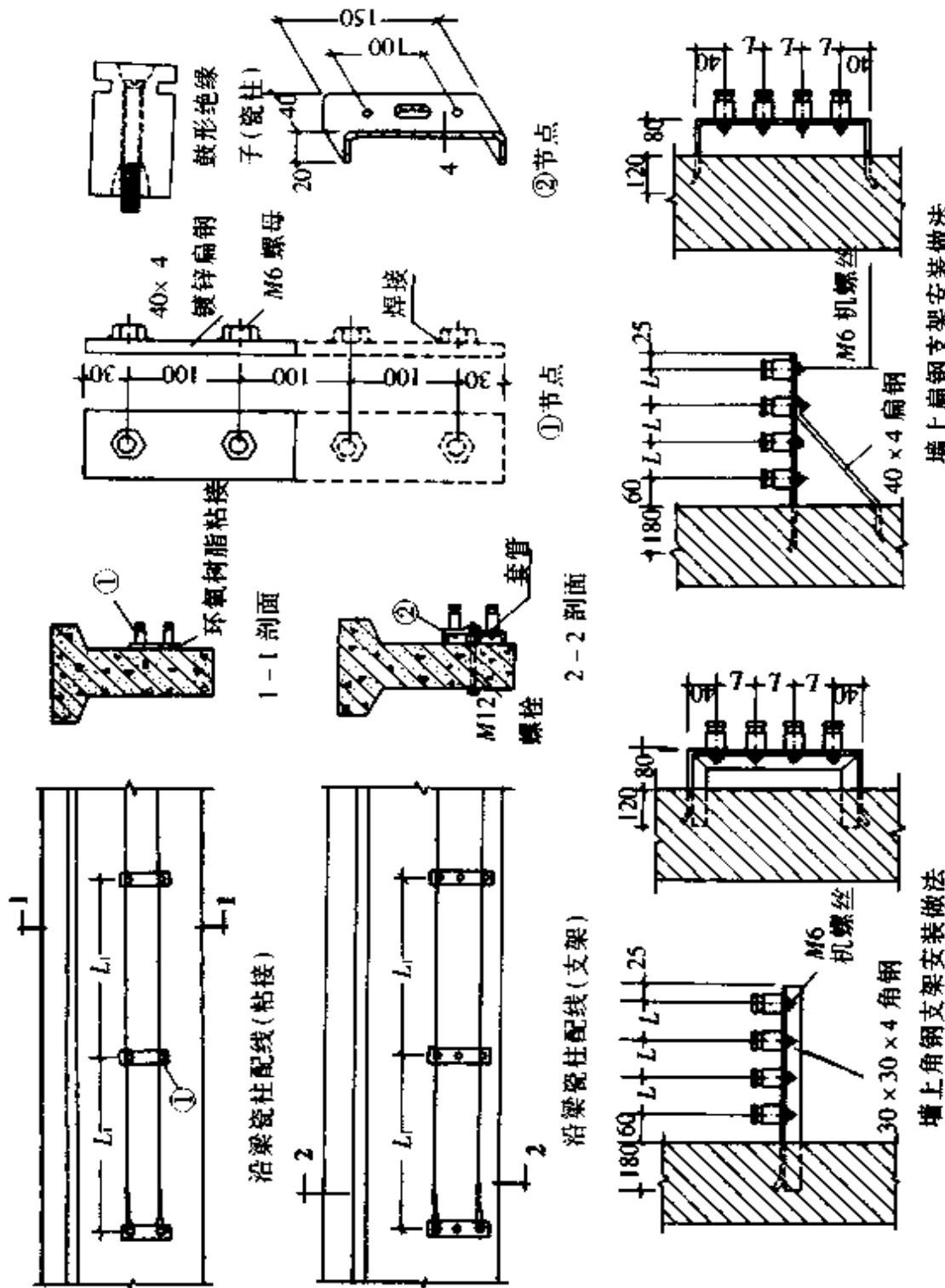


图 3.2.22 低压绝缘子布线沿墙及沿梁做法图

注: L、L<sub>1</sub> 尺寸要求见图 3.2.21 表内数字

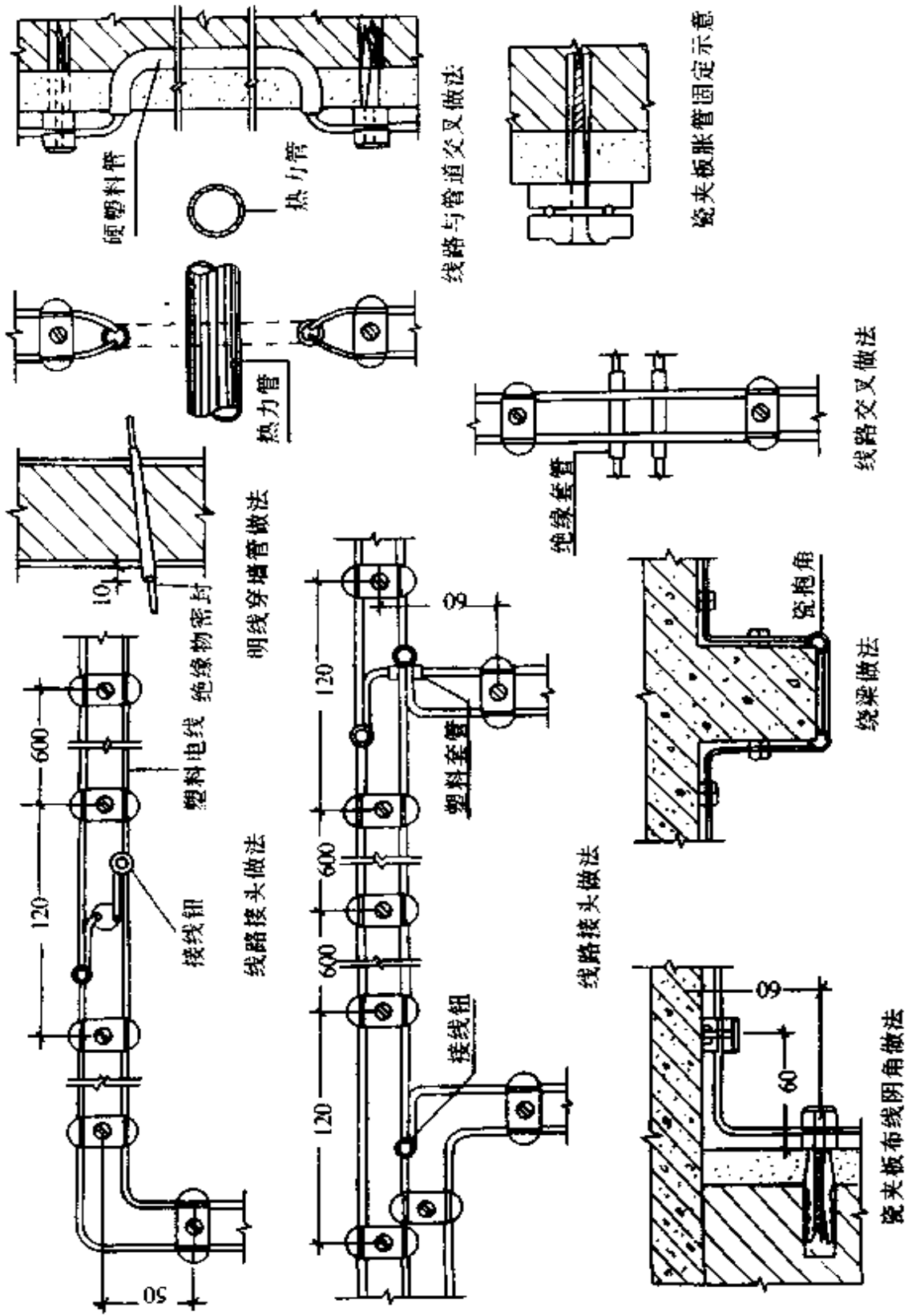


图 3.2.23 瓷夹板布线做法图

量不完全加在铝片卡上,然后把导线逐根排平并扎牢,再轻轻拍平,使其与墙面紧贴。垂直敷线时,应自上而下,以便操作。②转角处敷线时,弯曲护套线要用力均匀,其弯曲半径不应小于导线宽度的3倍。导线通过墙壁和楼板也应穿在保护管中,具体要求同前所述。③塑料护套线的接头,最好放在开关、灯头或插座处,以求整齐美观;如不可能做到,则应加装接线盒,将接头放在接线盒内。④导线敷设完后,需检查所敷的线路是否横平竖直,方法是用一根平直的木板条靠在敷设线路的旁边,如导线不完全紧靠在板条上,可用螺丝刀柄轻轻敲击,让导线的边缘紧靠在板条上,使线路整齐美观。

(4)塑料护套线配线施工规范要求:①塑料护套线不得直接埋入抹灰层内暗配敷设,也不得在室外露天的场所明配敷设。②塑料护套线明配时,线卡的固定点间距离应根据导线截面的大小而定,一般为150~200mm。③塑料护套线在终端、转弯和进入电气器具、接线盒处,均应装设线卡固定,线卡与终端、转弯终点、电气器具或接线盒边缘的距离为50~100mm。④塑料护套线在弯曲时,不应损伤护套和线芯的绝缘层;弯曲半径不应小于导线外径的3倍。⑤塑料护套线明配时,导线应平直,不应有松弛、扭绞和曲折的现象;⑥塑料护套线与接地导体及不发热管道紧贴或交叉时,应加绝缘管保护;敷设在易受机械损伤的场所时,应用钢管保护。⑦塑料护套线明配时,在中间接头和分支连接处应装设接线盒,接线盒应固定牢靠;在多层和潮湿的场所内应用密闭式接线盒。⑧塑料护套线进入接线盒或电气器具连接时,护套层应引入盒内或器具内。⑨暗配在空心楼板孔内的导线,必须用塑料护套线或加套塑料护层的绝缘导线,并应符合下列要求:穿入导线前,应将管内的积水、杂物清除干净;穿入导线时,不得损伤导线的护套层,并便于更换导线;导线在板孔内不得有接头,分支接头应放在接线盒内连接。

### 3.6 明配线的粘接法固定

随着粘接法技术的推广使用,对于瓷夹甚至瓷瓶都可用粘接方法粘在建筑物上,不破坏建筑物。

采用粘接法需注意以下事项:

(1)根据环境特征和施工季节选择合适的粘接剂。

(2)严格掌握粘接剂的配方比例关系,不得马虎从事。粘接法配方参照表3.2.22。

(3)如在混凝土上粘接,在粘接前必须用钢丝刷将混凝土表面刷净,再用湿布擦净,待干透后方能粘接。

(4)在灰墙上粘接时,在抹灰前先用钢丝刷处理墙面并擦净,粘上一个瓷夹板,在瓷夹底上穿上一机制螺栓。抹灰时将这个瓷夹底盖抹在里面,只露出螺栓,喷浆后再在螺栓上套一对瓷夹板即可进行敷线安装。

表 3.2.22 粘接剂配方和配比表

粘剂名称	粘接剂配比(质量比)				
环氧树脂 配方 粘剂	A 环氧树脂滑石粉粘剂				
	6101 环氧树脂	苯二甲酸二丁脂	二乙烯三胺	滑石粉	
	100	20	6~8	100	
	B 环氧树脂石棉粉粘剂				
	6101 环氧树脂	苯二甲酸二丁脂	二乙烯三胺	石棉粉	
	100	20	6~8	10	
	C 环氧树脂水泥粘剂				
	配比	6101 环氧树脂	苯二甲酸二丁脂	乙二胺	水泥
	1:2	100	30	13~15	200
	1:3	100	40	13~15	300
	1:4	100	50	13~15	400

(5)在混凝土上粘接较大器件时,如大号瓷瓶或灯具等器件,可先粘一块一定厚度且木质较好的木托,然后将瓷瓶或其他零件固定在木托上。

(6)粘接剂不要一次配制过多,要随配随用,避免造成浪费。

(7)粘接法配线只适用于干燥房屋内。

(8)粘接法配线的固定点距离和敷线的有关要求,同瓷夹配线、槽板配线、塑料护套线配线的规定等相同。

(9)粘接法的规范要求见《电气装置安装工程施工及验收规范》GBJ232。

(10)粘接剂配合比应结合当地实际情况灵活掌握控制。正式施工前应按试验制出试件,摸索实际效果,然后进行正式施工粘接。

### 3.6.1 操作工艺

(1)将环氧树脂与苯二甲酸二丁脂按配比调和;

(2)再按配比加入填料(水泥,滑石粉或石棉粉),再搅拌均匀;

(3)按配比准确加入乙二胺(或二乙烯三胺),充分搅拌成糊状即可。

### 3.6.2 注意事项

(1)调配粘接剂配比要准确,尤其是固化剂乙二胺(或二乙烯三胺)的用量更应准确。

(2)固化剂乙二胺(或二乙烯三胺)有毒,调配粘接剂时应加以注意。

(3)调好粘接剂后须在 1 小时内用完,以免凝固,不能使用。

(4)施工完毕可用丙酮把手和用具擦干净。

(5)为施工方便,也可将环氧树脂、苯二甲酸二丁脂、填充剂先调和好,用时再加固化剂。

(6)本粘接剂各种原料可由施工单位向有关单位购买。

(7)1:2 配比的环氧水泥适用于冬季施工,1:4 配比的环氧水泥适用于夏天施工。可在相对湿度不超过 90%的场所采用。

## 4 导线的连接和封端

配线过程中,因导线太短或线路分支,须将一根导线和另一根导线相互连接,或将终端出线与用电设备的端子相互连接,这些连接处通常称为接头。

导线的连接方法很多,有绞接、焊接、压接和螺栓连接等,各种连接方法适用于不同导线及不同的工作地点。导线连接的各种方法,都具有下列四个步骤:剥切绝缘层;导线芯线连接;接头焊接或压接以及包缠绝缘。

### 4.1 导线连接的基本要求

在配线工程中,导线连接是一道非常重要的工序。安装的线路能否安全可靠地运行,在很大程度上取决于导线接头的质量。对导线连接的基本要求有以下几点:

(1)连接可靠。接头电阻小,稳定性好,接头的电阻值不应大于相同长度导线的电阻值。

(2)机械强度高。接头的机械强度不小于导线机械强度的 80%。

(3)耐腐蚀。对于铝和铝连接,如采用熔焊法,要防止残余熔剂或熔渣的化学腐蚀;对于铝与铜的连接,要防止电气腐蚀。在连接前后,应采取措施,避免这类腐蚀的发生(如使用铜铝过渡接头或接头端线芯镀锡等措施)。否则,在长期运行中,接头有发生故障的可能。

(4)绝缘性能好。接头的绝缘强度应与导线的绝缘强度相同。

### 4.2 导线连接的规范要求

根据 GBJ232《电气装置安装工程施工及验收规范》第十三篇第 3.1.3 条,导线的连接应符合下列要求:

(1)在剖开导线的绝缘层时,不应损伤线头。

(2)铜(铝)芯导线的中间连接和分支连接应使用熔焊、钎焊、线夹、瓷接头或压接法连接。

(3)分支线连接的接头处,干线不应受来自支线的横向拉力。

(4)截面为  $10\text{mm}^2$  及以下的单股铜芯线、截面为  $2.5\text{mm}^2$  及以下的多股铜芯

线和单股铝芯线与电气器具的端子可直接连接,但多股铜芯线的线芯应先拧紧,搪锡后再连接。

(5)多股铝芯线和截面超过  $2.5\text{mm}^2$  的多股铜芯线的终端,应焊接或压接鼻(端)子后,再与电气器具的鼻子连接(设备自带插接式鼻子除外)。

(6)使用压接法连接铜(铝)芯导线时,连接管、接线鼻子、压模的规格应与线芯截面相符。

(7)使用气焊法或电弧焊法连接铜(铝)芯导线时,焊缝的周围应凸起呈半圆形,即有一定的加强高度,凸起高度为线芯直径的  $0.15\sim 0.3$  倍,并不应有裂缝、夹渣、凹陷、断股及根部未焊合的缺陷;导线焊接后,接头处的残余焊药和焊渣应清除干净。

(8)使用锡焊法连接铜芯线时,焊锡应灌得饱满,不应使用酸性焊剂。

(9)绝缘导线的中间和分支接头处,应用绝缘带包缠均匀、严密,并不低于原有的绝缘强度;在接线鼻子的端部与导线绝缘层的空隙处,应用绝缘带包缠严密。

### 4.3 导线连接的方法

#### 4.3.1 单芯铜导线的连接

单芯铜导线的连接有绞接和缠卷两种方法。凡是截面较小的导线,一般多用绞接法;截面较大的导线,则多用缠卷法。接法见图 3.2.24。

#### 4.3.2 多股铜导线的连接

多股铜导线的连接有单卷、复卷和缠卷三种方法,均须把多股导线顺次解开成  $30^\circ$  伞状,用钳子逐根拉直,并用砂布将导线表面擦净。剪去中心一股,再将各张开的线端相互插嵌到每股线的中心完全接触,然后把张开的各线端合拢,取任意两股同时缠绕  $5\sim 6$  圈后,另换两股缠绕,把原有两股压在里档或把它割弃,再缠  $5\sim 6$  圈后,采用同样方法,调换两股缠绕,依次类推,缠到解开点为止。选择另两股导线同缠线互相扭绞  $3\sim 4$  转,余线割弃,余留部分用钳子敲平,使其紧贴导线,再用同样方法做另一端就可以完成直线连接法。

分支连接时,先将分支线端解开,拉直擦净并分为两股,各曲折  $90^\circ$ ,附在干线上,然后一侧用另备的短线作临时绑扎,另一侧在导线中任意取出一根,用钳子在干线上紧密缠  $5$  圈,余线压在里档或割齐,再调换一根,用同样方法缠绕  $3$  圈,依此类推,缠至距干线绝缘层  $15\text{mm}$  为止,再用同样方法缠另一端就完成了分支连接。见图 3.2.25。

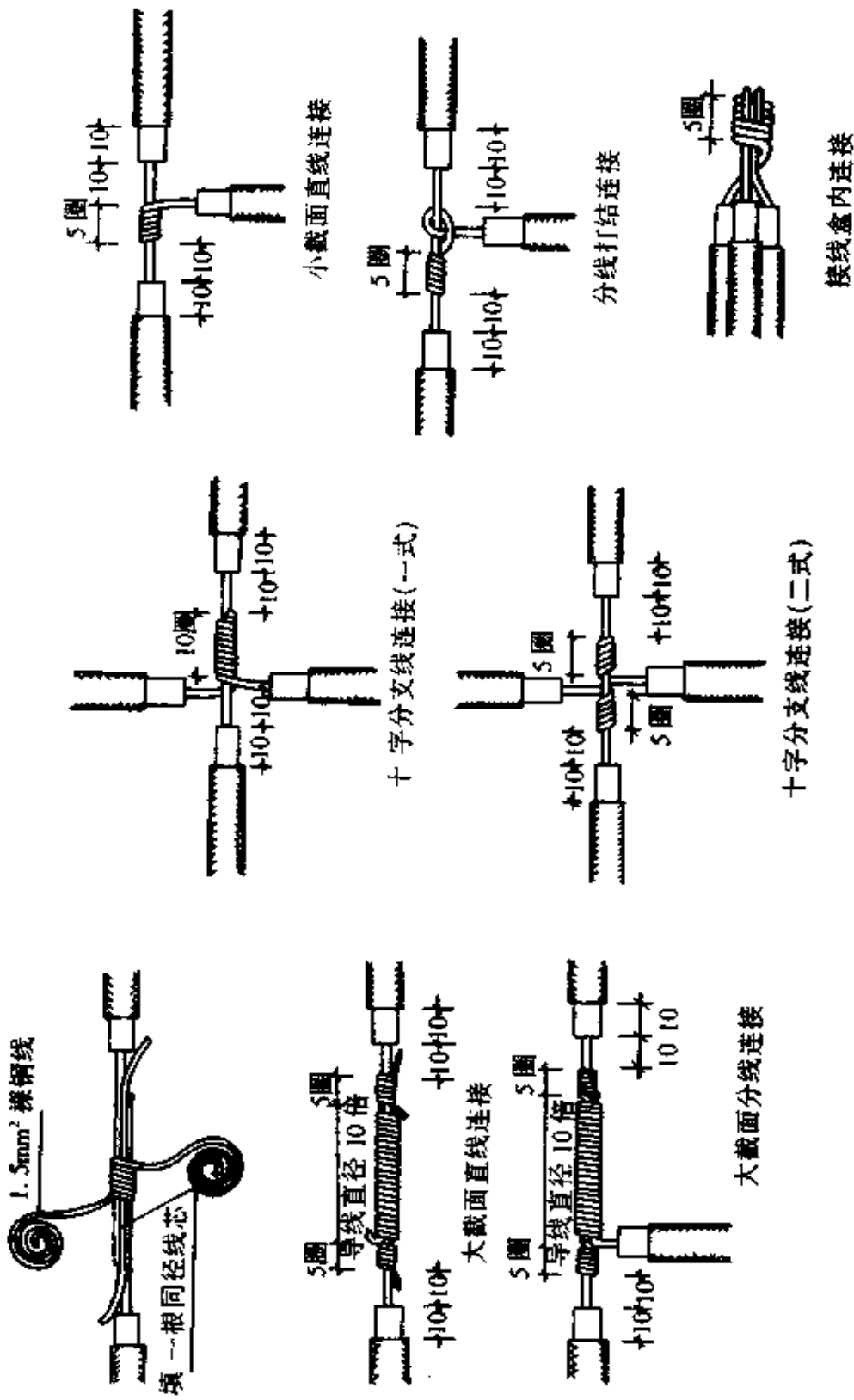


图 3.2.24 单芯铜导线连接做法图



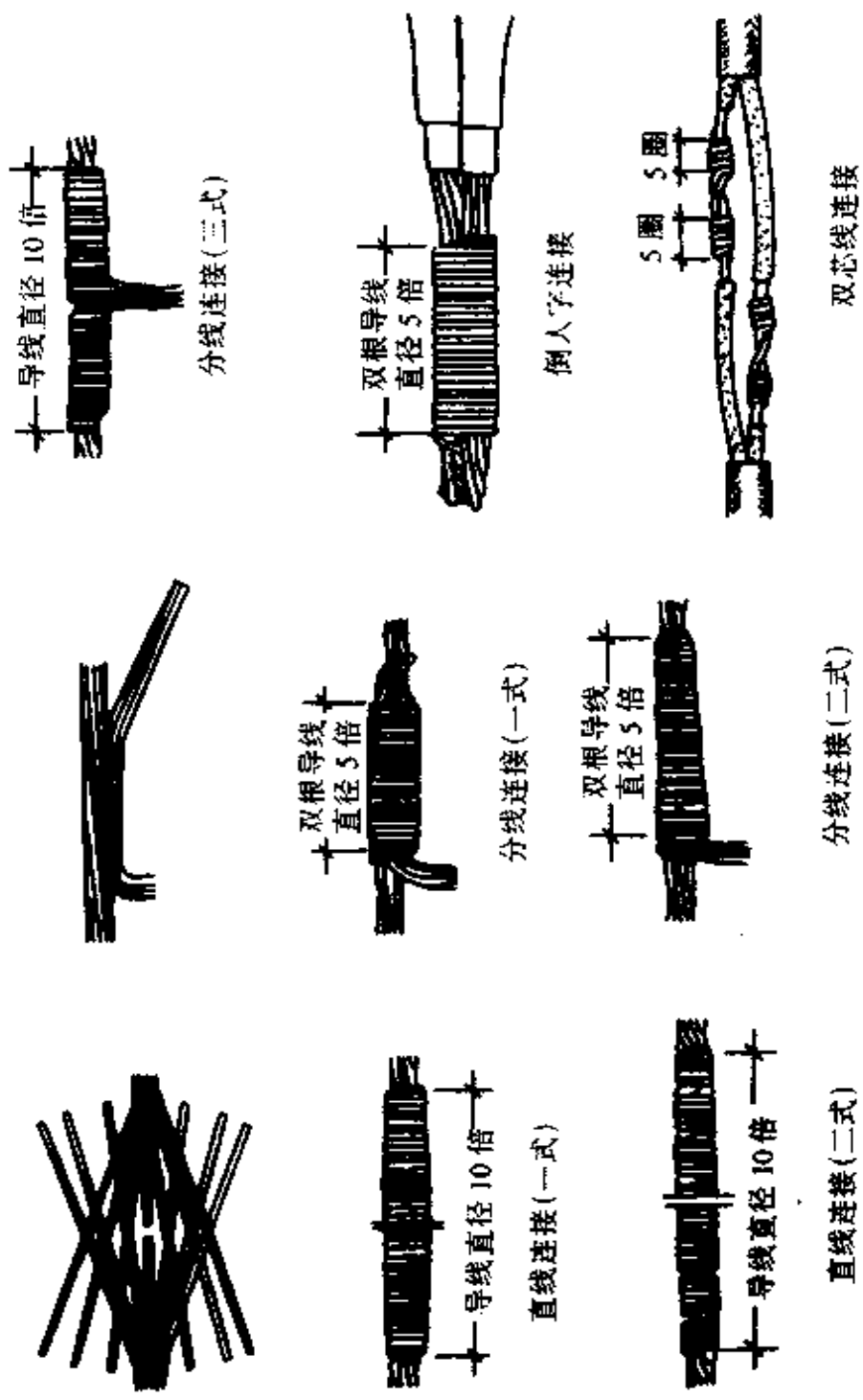


图 3.2.25 多芯铜导线连接做法图

注:1. 芯线用细砂布清除氧化膜;2. 连接完毕刷锡并包扎绝缘胶布

### 4.3.3 铜导线的压接

铜导线通常采用相同尺寸的铜接管或铜接头,套在被连接的线芯上,用压接钳和模具进行冷态压接。这种方法的优点是:操作工艺简便,不耗费有色金属,适用现场施工。压接时一般只要每压一个坑,就能满足接触电阻和机械强度的要求,但对拉力强度较高的场合,应采用每端压两个坑,压坑深度控制在上、下模接触为止。铜导线的压接管规格有:QT-16、QT-25、QT-35、QT-50、QT-70、QT-95、QT-120、QT-150、QT-185等规格。

### 4.3.4 铝导线的连接

在内线工程配线中,铝导线的连接方法有压接、电阻焊、钎焊、气焊以及线夹连接等。室内架空线路采用压接方法。铝导线连接禁止采用绞接和绑接方法。

机械冷态压接是用相应的模具在一定压力下,将套在导线两端的连接管紧压在两端导线上,使导线与铝接管间的金属互相渗透,两者成为一体,构成导电通路。在压接前要选择相应的连接管的形状、尺寸和材料;压模的形状、尺寸,并在铝导线表面进行氧化膜处理。

铝导线的压接可分为局部压接法和整体压接法两种。局部压接法的优点是所需的压力小,容易使局部接触处和金属表面相互渗透。整体压接的优点是压接后接管形状平直,容易解决高压电缆连接处形成电场过分集中的问题。

局部压接适用于小截面单股导线,主要是以铝接管进行局部压接。采用压接钳可压接为截面为 $2.5\sim 10\text{mm}^2$ 的单股导线。小截面铝接管尺寸见表3.2.23。

表 3.2.23 小截面铝接管尺寸表

铝线截面 ( $\text{mm}^2$ )	铝线外径 (mm)	铝接管尺寸(mm)		
		内 径	外 径	长 度
2.5	1.76	1.8	3.8	31
4	2.24	2.8	4.7	31
6	2.73	2.8	5.2	31
10	3.55	3.6	6.2	31

压接采用的铝接管是由含铝纯度在99.5%的压延铝管制成。压接前将导线两端的绝缘层各剥去 $30\sim 50\text{mm}$ ,然后将铝接管内壁和导线表面的氧化膜及油垢等清除干净,并在其上涂以石英粉-中性凡士林油膏,再将导线两端各插入到接管的中间一半,用压接钳进行压接。压接应当达到所要求的尺寸,并使所有压接的压坑的中心线处在同一直线上。

多股铝导线的压接运用于 $16\sim 240\text{mm}^2$ 的铝导线,可用手提式油压钳或YT-1型压接钳和压模进行压接,铝接管规格尺寸见表3.2.24。

表 3.2.24 铝接管规格尺寸表(mm)

铝接管型号规格	铝线截面(mm <sup>2</sup> )	内 径	外 径	长 度
QL-16	16	5.2	10	66
QL-25	25	6.8	12	68
QL-35	35	8.0	14	72
QL-50	50	9.6	16	78
QL-70	70	11.0	18	82
QL-95	95	13.6	21	86
QL-120	120	15.0	23	92
QL-150	150	16.0	25	95
QL-185	185	18.6	27	100
QL-240	240	21.0	31	110

铝接管的含铝纯度应高于 99.5%，压接工艺与单股铝导线压接基本相同。采用中性凡士林油膏的作用是使铝表面与空气隔绝，不再氧化，石英粉的作用是帮助在压接时挤破氧化膜，两者的重量比为 1:2 或 1:1。压接导线的线模应根据连接导线的大小选择：压模装到钳口内，压四个坑，四个坑的中心线应在同一直线上，压坑应一次压成，中间不停顿。压完一个坑后，稍停片刻，就可松开压口，再压第二个，依次进行。见图 3.2.26、图 3.2.27。

#### 4.3.5 铝导线的焊接

**4.3.5.1 电阻焊** 在接线盒内，单股导线的并接，如槽板配线、塑料护线配线的连接，可采用电阻焊，在照明工程中较为常用，电阻焊可以焊两根或两根以上的接头，以及不同截面积的线头。电阻焊使用的降压变压器，容量为 1kVA（暂载率 25%），一次电压 220V，二次电压为 6、9、12V。焊钳上两根炭棒（极）的直径为 8mm，焊接尖端有一定的锥度。焊钳引线采用 10mm<sup>2</sup> 的铜芯橡皮绝缘线。

焊接时首先将要连接的线端绝缘层剥去 25~30mm，然后把导线端头绞扭起来，用钳子剪齐，使其保留 20~25mm 长度，并在其端部涂以少许焊药（氯化钾 50%、氯化钠 30%、冰晶石 20%）。准备工作做好后，接通焊接电源，用手紧握焊钳，使两端炭极碰在一起，等两端炭极头发红时立刻张开炭极，将其夹在涂了焊药的线头上，等到线头开始熔化时，慢慢地向线端方向移动电极，使线端形成均匀的球状，随即向上一抬，撤去焊钳。待冷却后，用钢丝刷刷去接头的焊药残渣，再用浸蘸清水的抹布擦净。

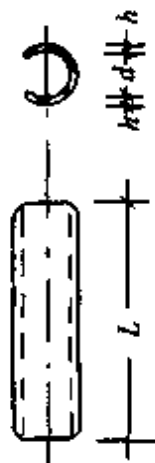
焊接时应注意尽可能缩短持续时间，以防熔化芯线和烧伤绝缘。当炭极尖端导电不良时，应将炭极上的杂质用锉刀挫掉。

铝线套管压接规格表

套管形式	套管型号	适用铝线规格		套管尺寸 (mm)				压模数	压模深度 (mm)
		截面 (mm <sup>2</sup> )	外径 (mm)	d	d <sub>1</sub>	h	L		
绞 线	QL-10	10	3.55	3.6	7.2	1.3	31	4	5.5
	QL-16	16	5.4	6.0	12.0	1.7	110	-	10.5
	QL-25	25	6.4	7.2	14.0	1.7	120	4	12.5
	QL-35	35	7.5	8.5	17.0	1.7	140	6	14.0
	QL-50	50	9.0	10.0	20.0	1.7	190	8	16.5
	QL-70	70	10.7	11.6	23.2	1.7	210	8	19.5
	QL-95	95	12.4	13.4	26.8	2.0	280	10	23.0
	QL-120	120	14.0	15.0	30.0	2.0	300	10	26.0
	QL-150	150	15.8	17.0	34.0	2.0	320	10	30.0
	圆 形 线	YL-10	10	3.55	3.6	-	1.3	31	4
YL-16		16	5.1	5.2	-	2.4	62.0	4	5.4
YL-25		25	6.4	6.8	-	2.6	62.0	4	5.9
YL-35		35	7.5	7.7	-	3.15	62.0	4	7.0
YL-50		50	9.0	9.2	-	3.4	71.0	4	7.8
YL-70		70	10.7	11.0	-	3.5	77.0	4	8.9
YL-95		95	12.4	13.0	-	4	85.0	4	9.9
YL-120		120	14.0	14.5	-	4	95.0	4	10.8
YL-150		150	15.8	16.0	-	4	100.0	4	11.0



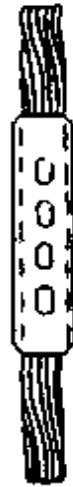
椭圆形套管



圆形套管

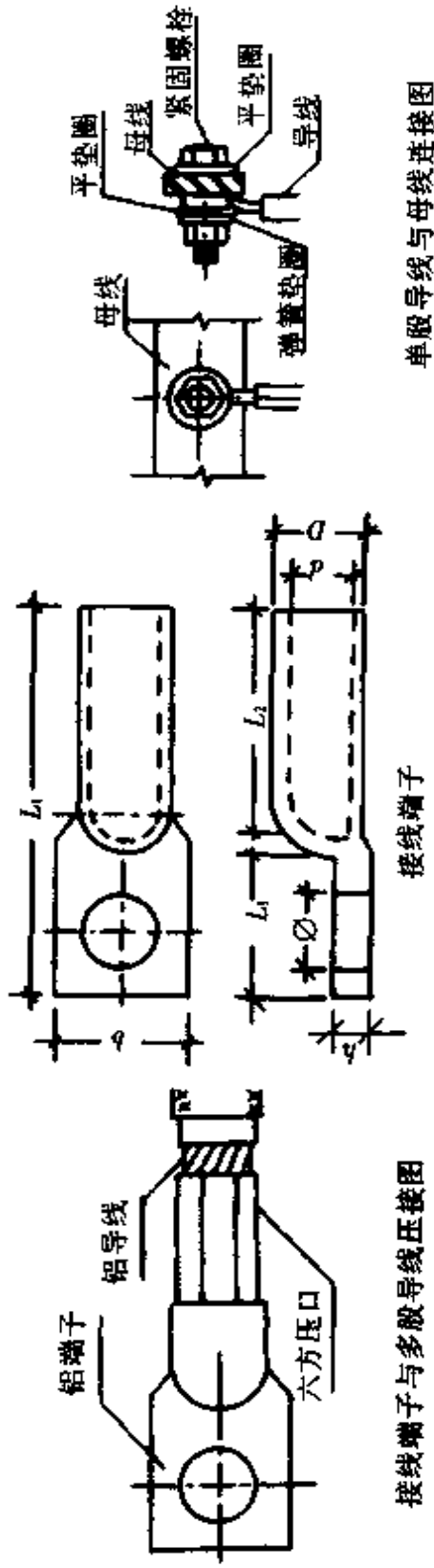


立面



平面绞线压接

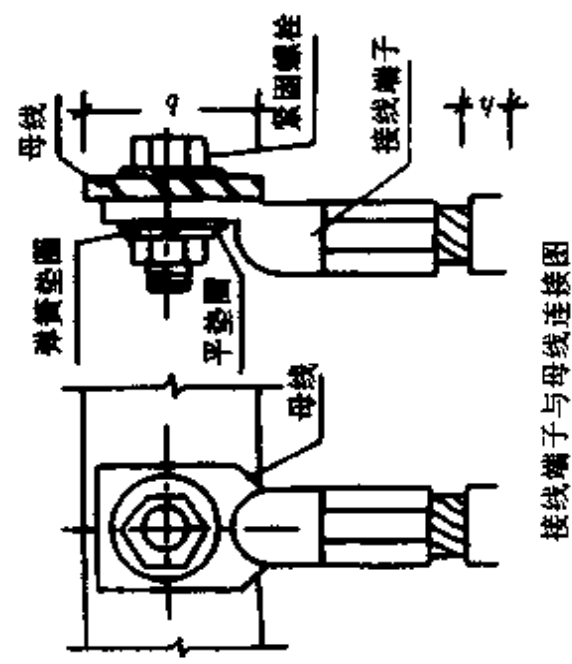
图 3.2.26 铝导线套管冷压接做法图



单股导线与母线连接图

接线端子

接线端子与多股导线压接图



接线端子与母线连接图

铝制接线端子规格表

适用导线截面 (mm <sup>2</sup> )	端子各部尺寸 (mm)							
	d	D	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	b	h	Ø
16	5.2	10	65	26	32	16	3.5	6.5
25	6.8	12	70	26	34	19	4.0	6.5
35	8.0	14	80	30	36	21	5.0	8.5
50	9.6	16	86	32	40	23	5.5	8.5
70	11.6	18	96	40	42	27	5.5	10.5
95	13.6	21	106	42	45	30	6.8	10.5
120	15.0	23	116	44	50	34	7.0	13.0
150	16.6	25	120	45	52	36	7.5	13.0
185	18.6	27	130	50	55	40	7.5	13.0
240	21	31	140	55	60	45	8.5	17.0

图 3.2.27 铝导线与铝制接线端子压接

4.3.5.2 气焊 多股铝导线在接线盒内的连接可采用气焊法。一般由气焊工操作,电工配合,气焊焊接需加入铝焊粉,以帮助填充和搅动,使端面中心的金属熔合,保证质量。

4.3.5.3 钎焊 对于单股铝导线的连接,也允许采用钎焊方法。钎焊的操作方法基本与铜导线的锡焊方法相似。但由于铝导线表面有一层氧化膜,焊接起来比铜难。钎焊使用的电烙铁容量可为 150~200W,钎焊的焊药配方如表 3.2.25 所示。

近年来,国内外出现了用于小截面积(1.0~4.0mm<sup>2</sup>)铜、铝导线的专用接线夹,如螺旋压接帽,CK-3型、CK-8型插入式接线夹等较先进的导线连接器件,选用它们能保证接头质量,方便施工。

表 3.2.25 铝导线钎焊料成分表(质量比)

金属名称	纯度(%)	熔点(℃)	焊粉成分(%)
锡	99 以上	232	60
锌	98 以上	420	40

## 第三章 架空线路

### 1 架空线路的一般规定

#### 1.1 架空线路的等级

电力线路分为架空线路和电缆线路两种,而广泛采用的是架空线路,因为它造价便宜,取材方便,施工容易,也容易出现故障点,便于检修。

架空线按电压等级可分为低压和高压两种,1kV及以下为低压架空线路,超过1kV为高压架空线路。这里着重介绍低压架空线路。

#### 1.2 导线最小允许截面积

导线是用来输送电能的,导线架设在电杆顶部,绑扎固定在绝缘体上。架空线路的导线通常采用 LJ 型铝绞线和 LGJ 型钢芯铝绞线。

用于架空线路的铝绞线和钢芯铝绞线的截面应不小于  $16\text{mm}^2$ ,当高压架空线路的电压等级为  $6\sim 10\text{kV}$  时,铝绞线截面不应小于  $35\text{mm}^2$ ;钢芯铝绞线的截面不应小于  $25\text{mm}^2$ ,以保证足够的机械强度的要求。架空线路必须保证导电性能良好,电压损失在允许范围以内,同时必须满足机械强度的要求,除控制导线最小允许截面外,还有电杆强度、电杆之间距离(即档距)的要求。低压架空线路的档距一般为  $40\sim 50\text{m}$ ,电杆上横担的机械强度,拉线等机械强度都应符合要求。

#### 1.3 架空线路对地面等的最小垂直距离

为了安全运行,规定了架空线路与其他设施(建筑物、公路和铁路)交叉、平行的距离,以及导线对地面、水面和各种路面的最小垂直距离的具体要求。根据中华人民共和国国家标准《电气装置安装工程施工及验收规范》GBJ232 的规定,选编列出于下:

(1)架空线路导线与地面的距离,在导线最大弛度时,应不小于表 3.3.1 所列

数值。

(2)架空线路导线与山坡、峭壁、岩石之间的净空距离,在最大风偏情况下,应不小于表 3.3.1 所列数值。

表 3.3.1 架空线路导线与地面或水面的最小距离

m

线路经过地区	线路电压	
	1~10kV	<1kV
(1)居民区	6.5	6.0
(2)非居民区	5.5	5.0
(3)交通困难地区	4.5	4.0
(4)步行可以到达的山坡	4.5	3.0
(5)步行不能到达的山坡、峭壁和岩石	1.5	1.0
(6)不能通航及不能浮运的河、湖冬季至冰面	5.0	5.0
(7)不能通航及不能浮运的河、湖,从高水位算起	1.0	3.0
(8)人行道、里、巷至地面:裸导线	3.5	—
绝缘导线	2.5	—

注:1. 居民区指工业企业地区、港口、码头、城镇等人口密集地区。

2. 非居民区指居民区以外的地区,均属非居民区。有时虽有人和车到达,但房屋稀少,亦属非居民区。

3. 交通困难地区指车辆不能到达的地区。

4. (4)、(5)两项的最小距离,是指导线与山坡、峭壁等之间的净距离。

(3)架空线路不应跨越屋顶与由易燃材料做成的建筑物,也不宜跨越耐火屋顶的建筑物,否则应与有关单位协商或取得当地政府同意。导线与建筑物的垂直距离,在最大弛度时,1~10kV 线路不应小于 3m;1kV 以下线路不应小于 2.5m。

(4)架空线路边线与建筑物之间的距离在最大风偏情况下,应不小于下列数值:1~10kV 为 1.5m;1kV 以下为 1.0m。

(5)架空线路通过林区时,应砍伐出通道,通道宽度为线路宽度加 10m。但在下列情况下,如不妨碍架空线施工,可不砍伐通道:①树木自然生长高度不超过 2m;②导线与树木(考虑自然生长高度)之间的垂直距离,不小于 3m;③架空线路通过公园、绿化区和防护林带,导线与树木的净空距离,在最大风速偏移时,应不小于 3m;④架空线路通过果林、经济作物以及城市灌木林,不应砍伐通道,但导线至树梢的距离应不小于 1.5m;⑤架空线路的导线与建筑物、街道、行道、树间的距离应不小于表 3.3.2 所列数值。检验导线与树木之间的垂直距离,应考虑树木在修剪周期内的生长高度。

(6)架空线路与特殊管道交叉时,应避免管道的检查井或检查孔,同时,交叉处



管道上的所有部件应接地。

(7)架空线路与甲类火灾危险性的生产厂房,甲类物品库房,易燃、易爆材料堆场以及可燃或易燃、易爆液(气体)贮罐的防火间距应不小于杆塔高度的 1.5 倍。

(8)架空线路与弱电线路交叉时,应符合表 3.3.3 的要求。架空线路应架设在弱电线路的上方,在最大弛度时,对弱电线路的垂直距离应不小于下列数值:1~10kV 为 2m;1kV 以下为 1m。

表 3.3.2 架空线路导线与建筑物、街道、行道、树间的最小距离 m

线路经过地区	线路电压	
	1~10kV	<1kV
(1)线路跨越建筑物垂直距离	3.0	2.5
(2)线路边线与建筑物水平距离	1.5	1.0
(3)线路跨越行道、树在最大弧垂时的最小垂直距离	1.5	1.0
(4)线路边线在最大风偏时与行道、树的最小水平距离	2.0	1.0

表 3.3.3 架空线路与弱电线路交叉角

交叉线路	交叉角
一级弱电线路与架空线路交叉时	$\geq 45^\circ$
二级弱电线路与架空线路交叉时	$\geq 30^\circ$
三级弱电线路与架空线路交叉时	不限

(9)架空线路与铁路、公路、河流、管道和索道交叉时的最小垂直距离,在最大弛度时,应不小于表 3.3.4 和表 3.3.5 所列数值。

(10)架空线路与各种架空电力线路交叉跨越时的最小垂直距离,在最大弛度时,应不小于表 3.3.6 所列数值,且低电压的线路应架设在下方。

## 1.4 架空电力线路的线间距离

厂区(生活区)的架空线路,通常在同一电杆上架设几种线路,如高压电力线路、低压电力线路、广播线路和电话线路等。这些线路的排列和它们之间的距离都有一定的要求。高压电力线路应装在低压电力线路的上面,通讯和广播线路应装在低压电力线路的下面,如平面图 3.3.1 所示。

电力线路的三相排列相序应符合下列要求:高压电力线路,面向负荷从左侧起,导线排列相序为 A、B、C;低压电力线路,面向负荷从左侧起,导线排列相序为 A、N、B、C。

表 3.3.4 架空配电线路与铁路、公路、河流及各种架空线路交叉或接近的基本要求

项 目	铁 路			公 路		弱电线路		电力线路		管 道		通航河流			
	标准轨距	窄 轨	双 固 定	一、二级	三 级	一、二级	三、四级	6~10kV	1kV 以下	双 固 定	单 固 定	至 5 年遇洪水水位	至最高水位	主 要	次 要
导线在跨越档内接头	不得接头	-	-	不得接头	-	不得接头	-	-	-	不得接头	不得接头	不得接头	-	-	-
导线支持方式	双 固 定	双 固 定	双 固 定	双 固 定	单 固 定	双 固 定	单 固 定	双 固 定	单 固 定	双 固 定	单 固 定	双 固 定	单 固 定	双 固 定	单 固 定
项 目	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线
最 小 垂 直 距 离 (m)	7.5	3.0	6.0	3.0	7.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
项 目	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线	至承索或接线
最 小 水 平 距 离 (m)	7.5	3.0	6.0	3.0	6.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.5	1.5	1.5	1.0
项 目	电杆外缘至轨道中心	电杆外缘至轨道中心	电杆外缘至轨道中心	电杆外缘至轨道中心	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘	电杆中心至路面边缘
最 小 水 平 距 离 (m)	5.0	5.0	5.0	5.0	0.5	0.5	0.5	2.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
项 目	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3	杆高+3
最 小 水 平 距 离 (m)	5.0	5.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

注: 1. 电力线路与弱电线路接近时, 最小水平距离值未考虑对弱电线路的危险和干扰影响, 如需考虑应另行计算。  
 2. 架空线路与管道交叉时, 交叉点不应选择在管道的平台和阀门处。与管道交叉跨越或平行接近时管道应接地。  
 3. 架空配电线路与弱电线路交叉时, 交叉档弱电线路的本杆应有防雷措施。  
 4. 架空线路与 10kV 以上电力线路交叉距离要求见表 3.3.6。

表3.3.5 配电线路与管道和索道交叉的最小垂直距离 m

线路电压 (kV)	电车道	特殊管道	索道
1~10	9.0	3.0	2.0
1以下	9.0	1.5	1.5

表3.3.6 配电线路与各种架空电力线路交叉跨越的最小垂直距离 m

配电线路电压 (kV)	电力线路 (kV)				
	1以下	1~10	35~110	220	330
1~10	2	2	3	4	5
1以下	1	2	3	4	5

注:通航河流的距离系指与最高航行水位的最高船桅顶的距离。

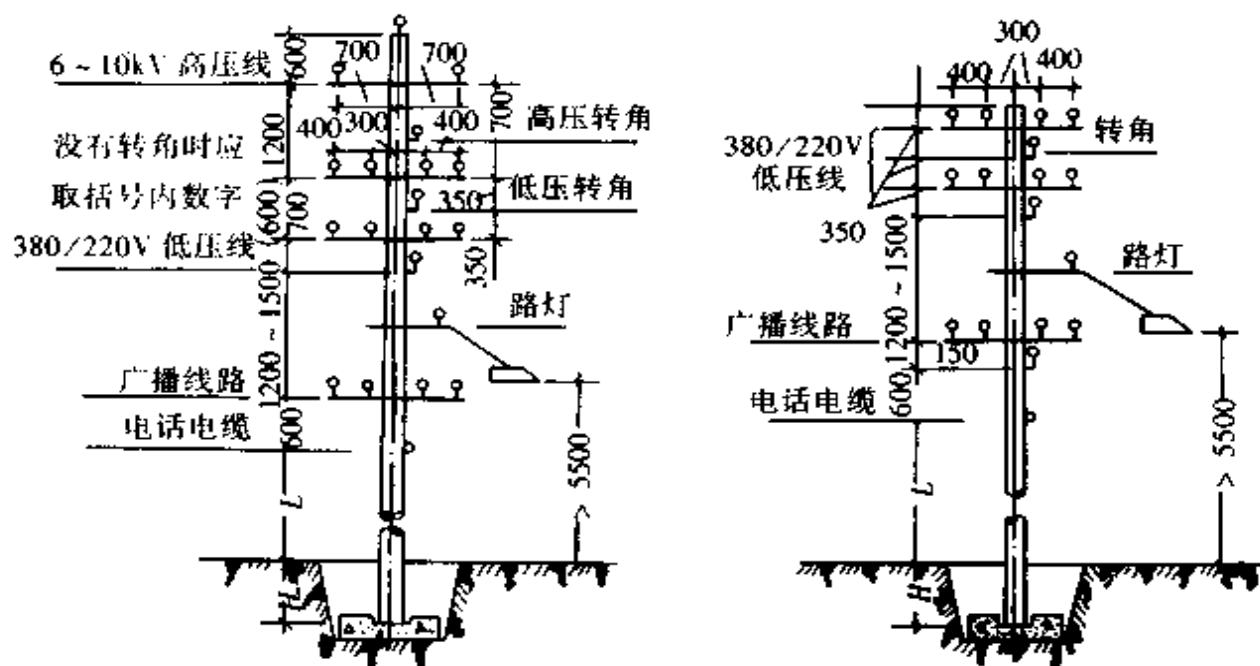


图 3.3.1 架空线路在电杆上的布置

1~10kV 线路每相过引线(过桥线)、引下线与相邻相的过引线(过桥线)、引下线或导线之间的净空距离,应不小于 300mm; 1kV 以下配电线路,应不小于 150mm。

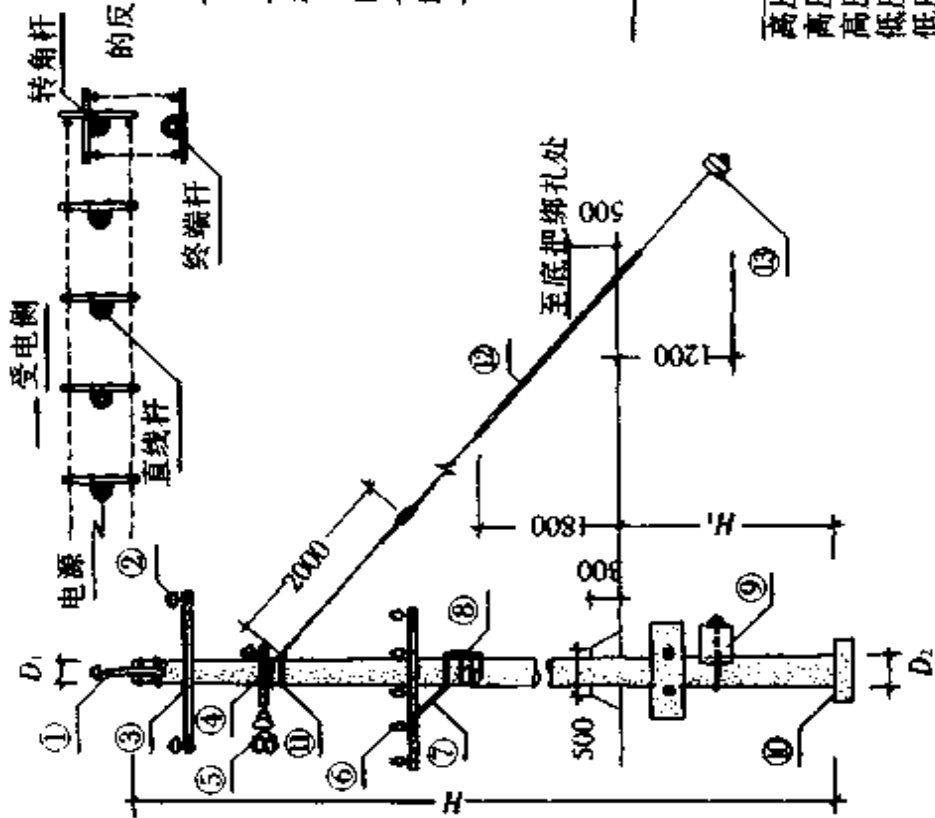
1~10kV 线路的导线与拉线、电杆或构架之间的净距,应不小于 200mm; 1kV 以下配电线路,应不小于 50mm。

## 2 架空线路的结构

架空电力线路由电杆、导线、金具、绝缘子和拉线等组成,其结构如图 3.3.2 所示。

横担安装位置

1. 直线杆横担应装在受电侧；
2. 凡终端、转角、分支杆以及导线张力不平衡处的横担，均应装在张力的反方向。



钢筋混凝土电杆规格及埋设深度表

杆长 H(m)	7	8	9	10	11	12	13
梢径 $D_1$ (mm)	150	150	170	150	190	190	190
底径 $D_2$ (mm)	24	256	277	270	310	323	350
埋设深度 $H_1$ (mm)	200	1400	1500	1700	1300	2000	2200

注：1. 表中埋设深度系指一般情况。

2. 采用木电杆时，梢径不得小于 160mm。

高压横担层距表 mm

类别	最小距离
高压与高压上下层	1200
高压与低压上下层	1200
高压与高压转角上下层	600
低压与低压上下层	700
低压与低压转角上下层	350

架空线的最低点与地面最小允许距离 m

地区条件	电压(kV)	
	0.5 以下	1~10
交通要道	6	7
居民区	6	6.5
铁轨(至轨顶)	7.5	7.5

图 3.3.2 钢筋混凝土电杆各种附件装置图

- 1—高压杆顶瓷瓶 2—高压什式绝缘子 3—高压二线横担 4—双横担 5—量式绝缘子或高压蝶式绝缘子 6—低压什式绝缘子 7—低压五线横担 8—蝶式横担 9—卡盘 10—底盘 11—拉线抱箍 12—拉线 13—拉线盘

## 2.1 导线的种类及选择

导线的作用是传送电流。架空线路的导线经常与风、冰、雨与空气温度等接触,并受周围空气所含化学杂质的侵蚀。因此,架空线路应具备下列主要条件:导电性能好;机械强度高,重量轻;价格低;耐腐蚀。

常用导线种类有裸铜线、铝绞线、钢芯铝绞线和钢线(又称铁线)四种。因铜是贵重金属,以铝代铜是国家技术政策,因此,最常用的导线是铝绞线和钢芯铝绞线。

### 2.1.1 铝绞线

根据导线应具备的条件来讲,铝仅次于铜。铝的导电率为铜的60%左右。铝的比重小,在相同长度及电阻值时,铝线的重量约为铜线的50%。铝和铜一样,铝在空气中极易氧化,在表面上形成一层氧化铝薄膜后,即不再受侵蚀。但铝对化学腐蚀的抵抗力较弱。铝的机械强度小( $160 \sim 170\text{N/mm}^2$ ),因此铝绞线一般用在35kV以下的电力线路上,铝线架设的档距不超过100~150m。LJ型铝绞线的规格、结构与技术性能见第六篇第一章表6.1.26。

### 2.1.2 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线是利用钢的机械强度高( $1180\text{N/mm}^2$ )和铝的导电性能好的特点,其内部的几股线是钢线,而外部的几股线是铝线。导线所受的力主要由钢线部分承受,而导线中的电流几乎全部由铝线部分承担。由于这两种导线的结合,满足了导线应具备的条件,因此钢芯铝绞线广泛地应用在高压电力线路中。LGJ、LGQJ、LGJJ型钢芯铝绞线的规格、结构与技术性能见第六篇第一章表6.1.27至6.1.29。

### 2.1.3 钢线

钢线是含硫量低于20%的一种铁碳合金,它具有很高的机械强度,但钢的导电性能不如铜和铝。它的主要缺点是电阻大,在潮气和热的作用下极易氧化而生锈。钢线常用作输送小功率架空电力线路的导线和接地装置中的地线。

## 2.2 电杆的种类及选择

电杆是用来架设导线的。电杆应具备的条件主要是:有足够的机械强度、造价低、寿命长。

电杆按其材质分有木电杆、金属电杆(铁杆、铁塔)、钢筋混凝土电杆三种。木电杆施工方便、强度也够,但使用年限短,目前较少使用。铁塔一般用于35kV以上架空线路的重要位置上。钢筋混凝土电杆是用水泥、砂、石和钢筋浇制而成,它使用年限长、维护费用少、节约木材,是目前应用最广的一种。

常用的钢筋混凝土电杆的杆型有方形和环形截面两种。一般架空线路采用环形杆。环形杆可分为锥形杆和等径杆两种。锥形杆又称拔梢杆,其锥度为1:75。电杆长度一般为8、9、10、12和15m等。锥形电杆应用最多,但各部位的直径不

同。锥形电杆的各部位尺寸可参见图 3.3.3 所示。

在考虑电杆上架设横担、包箍、M 形垫铁、拉线抱箍等金属时,均必须根据架设部位来选择确定金具的几何尺寸,过大过小均不能满足所规定的要求。此外电杆还要有机械强度,锥形电杆标准弯矩值参见表 3.3.7。

表 3.3.7 锥形电杆标准弯矩值

梢径 标准弯矩 $d$ (mm)		杆长(m)					
		8	9	10	11	12	15
荷载力臂(m)		6.25	7.15	8.05	8.95	9.85	12.45
设计埋深		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.3
∅150	A	1200	1300	1500	—	—	—
	B	1400	1500	1800	—	—	—
∅170	A	1500	1650	1900	—	—	—
	B	1700	1850	2100	—	—	—
∅190	A	—	—	2100	2500	2700	3600
	B	—	—	2500	3000	3200	4200

注:电杆高度的选择应按地形位置、杆上所架横担的层数、转角杆档次及导线断面而确定,一般是由设计选定,安装时结合实际予以确定。

钢筋混凝土锥形电杆各部位尺寸表

杆顶直径 (mm)	杆顶直径 (mm)			杆顶直径 (mm)	杆顶直径 (mm)		
	150	170	190		150	170	190
各部位代号	各部位直径 (mm)			各部位代号	各部位直径 (mm)		
①	154	174	194	⑬	210	228	248
②	159	179	199	⑭	215	233	253
③	163	183	203	⑮	219	237	257
④	168	188	208	⑯	224	242	262
⑤	173	192	212	⑰	229	246	266
⑥	177	197	217	⑱	233	251	271
⑦	182	201	221	⑲	238	255	275
⑧	187	206	226	⑳	243	260	280
⑨	191	210	230	㉑	—	267	284
⑩	196	215	235	㉒	—	269	289
⑪	201	219	239	㉓	—	—	293
⑫	205	224	244	㉔	—	—	298

图 3.3.3 钢筋混凝土锥形电杆各部位尺寸图表

架空线路的各种电杆,按其作用可分为直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、分支杆五种,现分述于下

(1)直线杆:位于线路直线段上。仅作支持导线、绝缘子和金具用。在正常情况下,能承受线路侧面的风力,但不能承受线路方向的拉力,此类电杆占线路全部电杆的80%左右。

(2)耐张杆:位于线路的直线段的几根直线杆之间,或有特殊要求的地方,如铁路、公路、河流、管道等交叉处。这种电杆,在断线事故和紧线情况下,能承受一侧导线的拉力。

(3)转角杆:位于线路改变方向地方。这种电杆可能是耐张型的,也可能是直线型的,视转角大小而定。能承受两侧导线的合力。

(4)终端杆:位于线路的首端与终端。在正常情况下,能承受线路方向上全部导线拉力。

(5)分支杆:位于线路的分路处。这种电杆在主线路方向有直线型和耐张型两种,在分路方向则为耐张型,应能承受分支线路导线的全部拉力。

## 2.3 钢筋混凝土电杆各种附件的安装

钢筋混凝土电杆各种附件的安装见图 3.3.4~3.3.7。

## 2.4 绝缘子的种类及选择

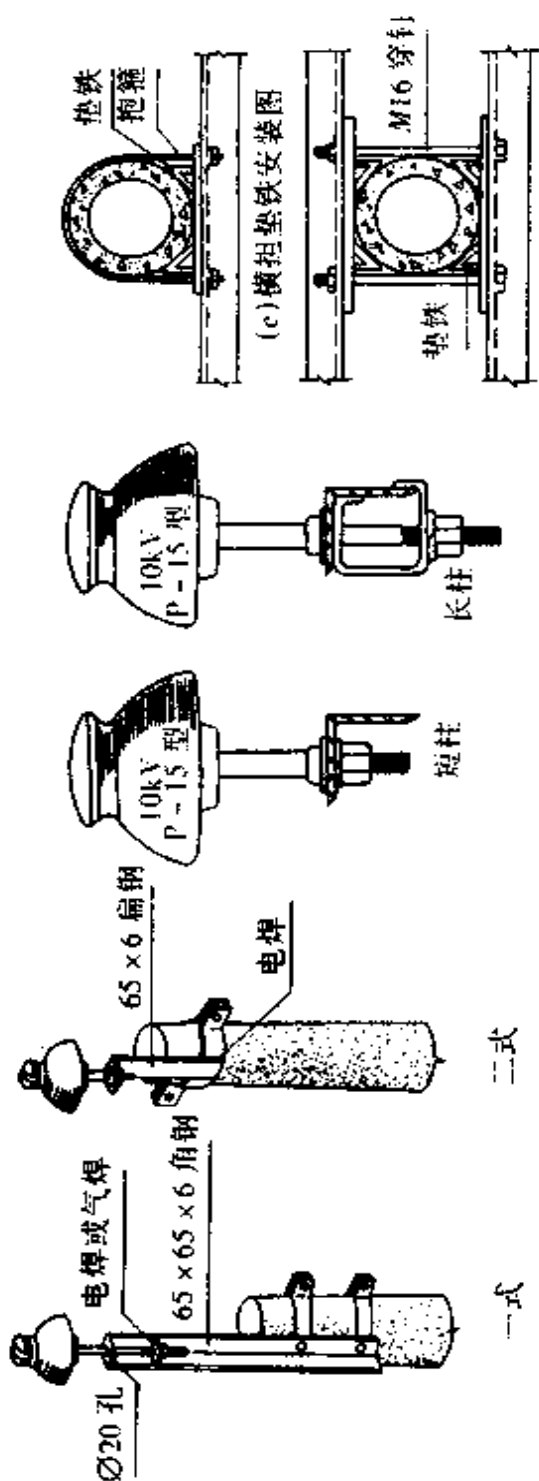
绝缘子又称瓷瓶,是用来固定导线的,并能使带电导线之间或导线和大地之间绝缘。同时也承受导线的垂直荷重和水平拉力。所以,它应有足够的电气绝缘能力和机械强度,对化学性质的侵蚀应有足够的防护能力,而且不受温度急剧变化的影响和水分渗入。

架空线路常用的绝缘子有针式绝缘子、悬式绝缘子和蝶式绝缘子,形状参见图 3.3.4 和图 3.3.5 所示。

低压针式绝缘子用于额定电压为 1kV 以下的线路上,高压针式绝缘子用于 3、6、10、35kV 的线路上。

蝶形绝缘子也分为低压和高压两种。低压蝶形绝缘子用于额定电压为 1kV 以下的线路上;高压蝶形绝缘子用于额定电压 3、6、10kV 的线路上。

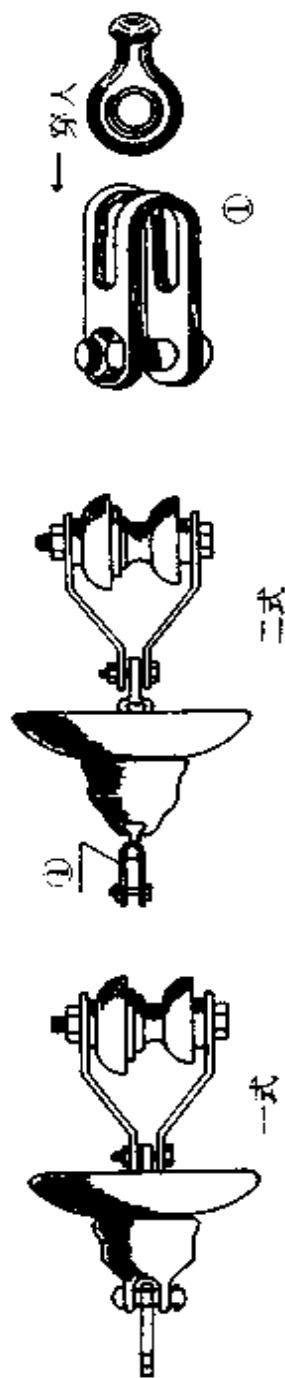
悬式绝缘子使用在电压为 35kV 及以上的线路上,或用于 3~10kV 线路的承力杆上。悬式绝缘子是一片一片的,使用时组成绝缘子串。每串片数是根据线路额定电压和电杆类型来确定的。在 35kV 线路的直线杆上,悬式绝缘子串的片数为 2 片(木横担)和 3 片(铁横担);而耐张杆上的绝缘子串的片数,应比直线杆上的绝缘子串的片数多一片。



(d) 双横担安装图

(b) 高压针式绝缘子安装图

(a) 高压杆头示意图



(e) 悬式加蝶式绝缘子安装图

图 3.3.4 钢筋混凝土电杆各种附件安装图(一)



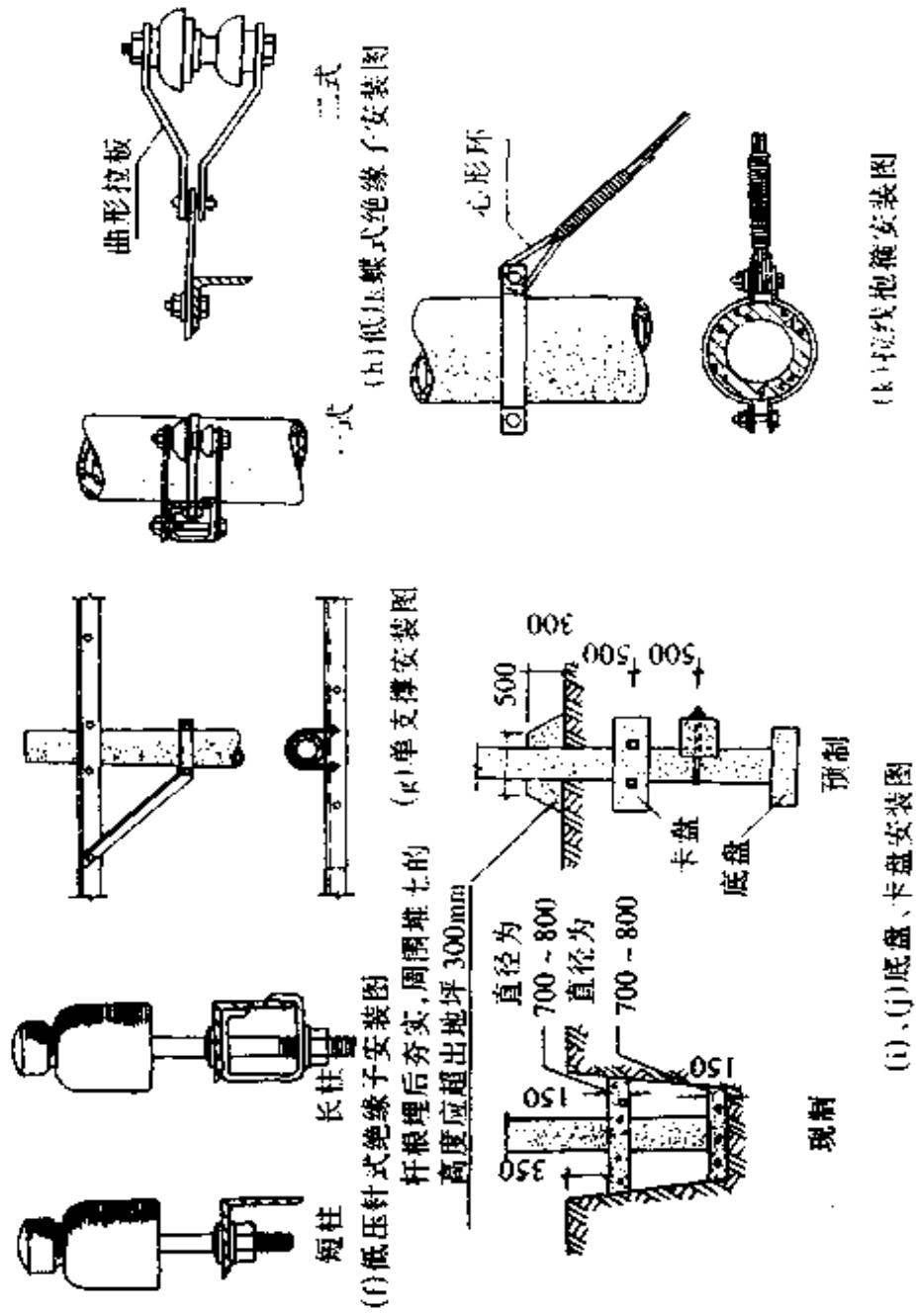


图 3.3.5 钢筋混凝土电杆各种附件安装图(二)

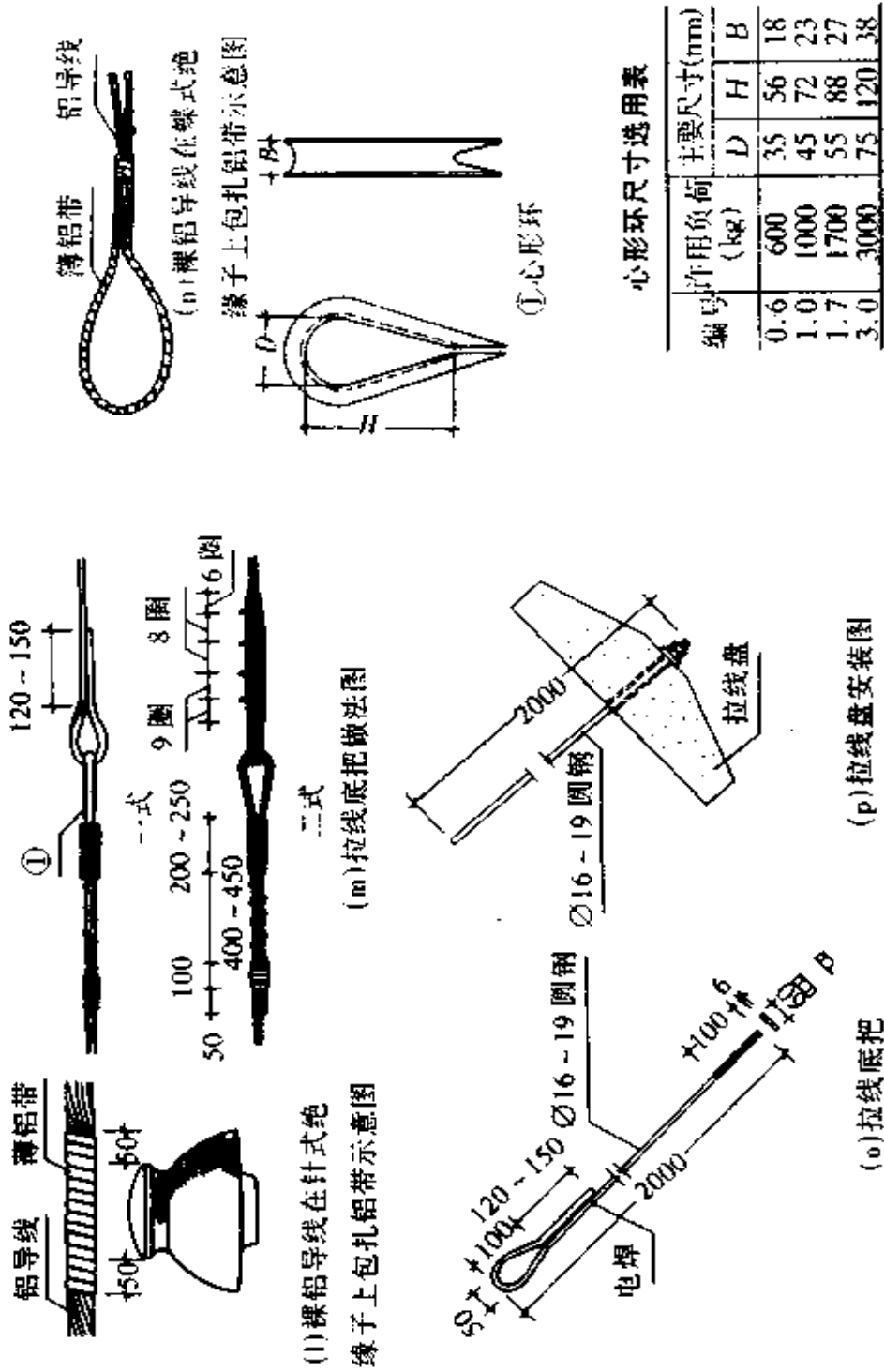


图 3.3.6 钢筋混凝土电杆各种附件安装图(三)



目前生产的悬式绝缘子型号为 X, 其后面的数字表示绝缘子破坏荷重的吨数, 如 X-4.5 型, 表示破坏荷重为 4.5 吨的悬式绝缘子。

目前, 已在 6、10kV 架空线路上广泛采用瓷横担、瓷拉棒绝缘子。此部分材料和型号规格可详见国标图集 D162(三)。

低压架空线路中绝缘子的有关型号规格列于表 3.3.8 和表 3.3.9, 供查选时参考。

表 3.3.8 低压针式绝缘子型号规格表

型 号	瓷件抗弯破坏 荷重(kg)	质 量 (kg)	主要尺寸(mm)		
			高	底径	顶径
PDI-1	1000	0.65	110	88	45
PDI-2	800	0.42	90	71	40
PDI-3	300	0.27	71	54	31

表 3.3.9 低压蝴蝶形绝缘子型号规格表

型 号	机械破坏 负荷(kg)	质 量 (kg)	主要尺寸(mm)			内孔直径 (mm)
			高	底径	顶径	
ED-1	1800	1.0	100	95	120	22
ED-2	1500	0.5	80	78	90	20
ED-3	1000	0.25	65	65	75	16

注: 1. 耐压强度均为 2kV 耐压试验电压;

2. 内孔直径和高度尺寸是作为选择穿心螺栓规格的依据。

高压针式绝缘子和悬式绝缘子的型号表示法如下:

高压针式绝缘子:

P——针式绝缘子, 字母后的数字为额定电压(kV); M——木横担直脚; MC——加长的木横担直脚; T——铁横担直脚; W——弯脚。

如, P-6M、P-6MC、P-6T 和 P-6W 四种均为额定电压 6kV 的针式绝缘子; P-10M、P-10MC 和 P-10T 三种均为额定电压 10kV 的针式绝缘子。

悬式绝缘子的型号有:

X1-2、X-3、X-4.5、X-7、X2-2C、X-4.5C、XP-4、XP-7、XP-4C、XP-7C、X2-3C 11 种。

型号表示法如下:

X——悬式绝缘子, 字母后数字 1、2 表示设计顺序, 横线后的数字 2、3、4、5、7 为 1h 机械负荷(t); C——槽形连接(球型连接无此表示), 新系列产品; XP——按机电破坏值表示的悬式绝缘子。

## 2.5 金具的种类及选择

架空线路上用的金属部件很多,统称为金具,如连接导线用的连接管,连接悬式绝缘子用的挂环、挂板、导线和避雷线的跳线用线夹、导线防振用的防锤、护线条以及把导线固定在悬式绝缘子上的线夹等。

### 2.5.1 接线管

高压线路上的导线承受很大的拉力,要求导线连接部分具有较高的机械强度,因此不能像低压线路上用缠卷法连接,而必须用接线管。接线管分钳接管和压接管两种。接线管的材料应该和所连接的导线材料相同,截面小的导线(钢芯铝绞线截面在  $240\text{mm}^2$  以下)可用钳接管,用压接钳压接;截面大的导线(钢芯铝绞线截面在  $240\text{mm}^2$  以上)可用压接管,用水压机压接或采用爆炸接头法。另外,大截面钢芯铝绞线,当断裂铝股数在规定范围内时,不必更换,可用补修管补修。

### 2.5.2 线夹

把导线固定在绝缘子串上的线夹,有悬垂线夹和耐张线夹两种。悬垂线夹用在直线杆上,它分固定型和释放型两种。耐张线夹用在耐张杆上,用以固定导线,有螺栓型、压接型和楔型三种;螺栓型线夹适用于铝绞线、铜线和钢芯铝绞线;压接型线夹用来固定大截面钢芯铝绞线;楔型线夹中导线受的压力很大,只能用来固定钢线。

### 2.5.3 拉线金具

拉线金具指从杆塔顶端引至地面拉线盘之间所有的零件。根据使用条件,拉线金具可以分为紧线、调整和联结零件等,共有 7 个系列 22 个型号。其型号的表示法如下:

L——表示拉线;X——表示楔形;UT——表示 UT 型;数字 1、2 表示线夹组合编号;数字 6、9 表示破坏荷重值( $t$ )。

楔型线夹用于紧固拉线上端,亦可用于避雷线作为耐张线夹。用于拉线上端使用时,应与拉线 U 形环或双眼拉板配套使用。

UT 型线夹由套筒、楔子、U 形螺丝组成。楔子用来锁紧钢绞线于套筒中,用 U 形螺丝来调整拉线。

UT-33、UT-44 为不可调式,用来紧固拉线上端。由于 UT-33、UT-44 型线夹的安装较 LX 型线夹方便,目前多用来代替 LX 型线夹。

钢线卡子是一种辅助夹头,用来作为临时拉线或防止拉线端头松散。由于握着力较小,又不稳定,故不适宜用来作为拉线紧固的主要零件。几种主要拉线金具列于表 3.3.10 至表 3.3.19。

表 3.3.10 楔型线夹规格数据表

型 号	适 用 钢 绞 线		破坏荷重不小于 (kg)	质 量 (kg)
	型 号	外径(mm)		
LX-1	GJ-25~50	6.6~9.0	6000	1.19
LX-2	GJ-70	11.0	9000	1.76
LX-3	GJ-100~120	13.0~14.0	16000	3.20
LX-4	GJ-135~150	15.0~16	18500	5.30

注:LX-3、LX-4 为保留型号,LX-3 可用 UT-33 代替,LX-4 可用 UT-44 代替。

表 3.3.11 UT 型线夹(可调式)规格

型 号	适 用 钢 绞 线		破坏荷重不小于 (kg)	质 量 (kg)
	型 号	外径(mm)		
UT-1	GJ-25~50	6.6~9.0	6000	2.07
UT-2	GJ-70	11.0	9000	3.16
UT-3	GJ-100~120	13.0~14.0	16000	5.45
UT-4	GJ-135~150	15~16	20000	7.17

注:UT-3、UT-4 两种线夹的 U 形螺丝上带有顶杠。

表 3.3.12 UT 型线夹(不可调式)规格

型 号	适 用 钢 绞 线		破坏荷重不小于 (kg)	质 量 (kg)
	型 号	外径(mm)		
UT-33	GJ-100~120	13.0~14.0	16000	4.20
UT-44	GJ-135~150	15.0~16.0	20000	7.27

表 3.3.13 拉线用 U 形挂环

型 号	适用范围	破坏荷重不小于 (kg)	质 量 (kg)
LUI-6	与 LX-1 线夹配套	6000	0.65
LUI-9	与 LX-2 线夹配套	9000	0.92
LUI-16	与 LX-3 线夹配套	16000	1.64
LUI-20	与 LX-4 线夹配套	20000	2.90

表 3.3.14 钢线卡子规格数据表

型 号	适 用 钢 绞 线		质 量 (kg)
	型 号	外 径(mm)	
GQ-3	GJ-35-50	7.8~9.0	0.18
GQ-4	GJ-70	11.0	0.30

注:在五金手册中称为钢丝绳扎头,又称钢丝卡子。

表 3.3.15 钢丝绳扎头

型 号	Y-6	Y-8	Y-10	Y-12	Y-15	Y-20	Y-22
适用钢丝绳最大直径 (mm)	6	8	10	12	15	20	22

表 3.3.16 心形环(鸡心环)或称索具套环

套环号码	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	1.3	1.7
适用钢丝绳最大直径 (mm)	6.5(6)	8	9.5(10)	11.5(12)	15(16)	19(20)	21.5(22)

注:适用钢丝绳最大直径栏里,括号内的数字为过去习惯称呼的直径。

表 3.3.17 花篮螺丝(紧线扣或称索具螺旋扣)

螺旋扣号码	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	1.3	1.7	1.9
适用钢丝绳 最大直径(mm)	6.5	8	9.5	11.5	15	19	21.5	22.5

注:1. 索具螺旋扣分为开式索具螺旋扣和闭式索具螺旋扣两类。型号有 OO 型、CC 型和 CO 型三种。

2. 用于拉紧钢丝绳,并能起调节作用。其中 CC 型用于经常拆卸的场合,OO 型用于不经常拆卸的场合,CO 型用于一端固定,另一端可经常拆卸的场合。

表 3.3.18 双拉线用联板

型 号	适 用 范 围	破 坏 荷 重,不 小 于 (kg)	质 量 (kg)
SL2-12	双根 GJ-35,50 拉线	12000	2.35
SL2-20	双根 GJ-70	20000	3.50
SL2-30	双根 GJ-100,120 拉线	30000	5.00

注:运用于高压架空线路,双杆较多。

表 3.3.19 双 眼 板

型 号	适 用 范 围	破坏荷重, 不小于 (kg)	质 量 (kg)
P2-6	与 LX-1 配套 与 LX-2 型套	6000	0.35
P2-9		9000	0.59
P <sub>2</sub> -12		12000	0.94

## 2.5.4 接续金具

接续金具用于架空电力线路的导线及避雷线终端的接续、作直线杆塔跳线的接续及导线的补修等。根据安装方法的不同,接续金具分为钳压、水压、爆压、螺栓等几类,共 10 个系列、72 种型号。接续金具的型号字母表示法如下:

Q——表示钳压;Y——表示压接;BY——表示爆压;B——表示并沟,补线;BB——表示避雷线并沟;YJ——表示预绞。数字 35、50 表示导线截面( $\text{mm}^2$ ),数字 1、2 等表示组合编号。

架空线路钳接管及压接做法见图 3.3.8。

导线接续管的机械强度不小于导线计算拉断力的 90%。

钢绞线和钢芯铝绞线用压接管型号规格见表 3.3.20。

架空线路断连与 T 接用并沟线夹做法见图 3.3.9。

钢芯铝绞线用并沟线夹,型号规格见表 3.3.21。

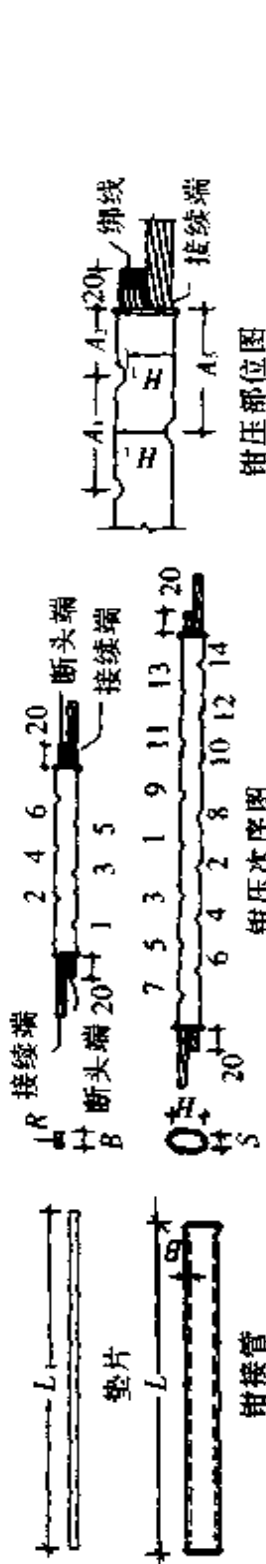
钢绞线用并沟线夹和压接型跳线线夹见表 3.3.22 和表 3.3.23 所列。

表 3.3.20 GJ、LGJQ 架空线路压接管规格表

型 号	适用导线型号规格			质 量 (kg)
	型 号	外径(mm)	钢芯外径	
YG-25	GJ-25	6.6		0.17
YG-35	GJ-35	7.8		0.26
YG-50	GJ-50	9.0		0.36
YG-70	GJ-70	11.0		0.65
YG-100	GJ-100	13.0		1.20
YLG-300Q	LGJQ-300	23.5	7.8	2.2
YLG-400Q	LGJQ-400	27.2	9.0	2.8
YLG-500Q	LGJQ-500	30.2	10.0	3.3
YLG-300	LGJ-300	24.2	9.6	2.4
YLG-400	LGJ-400	28.0	11.0	2.6
YLG-185J	LGJJ-185	19.6	8.4	1.6
YLG-240J	LGJJ-240	22.4	9.6	2.0
YLG-300J	LGJJ-300	25.2	11.0	2.6

注:LGJQ 型——为轻型钢芯铝绞线;LGJJ 型——为加强型钢芯铝绞线。

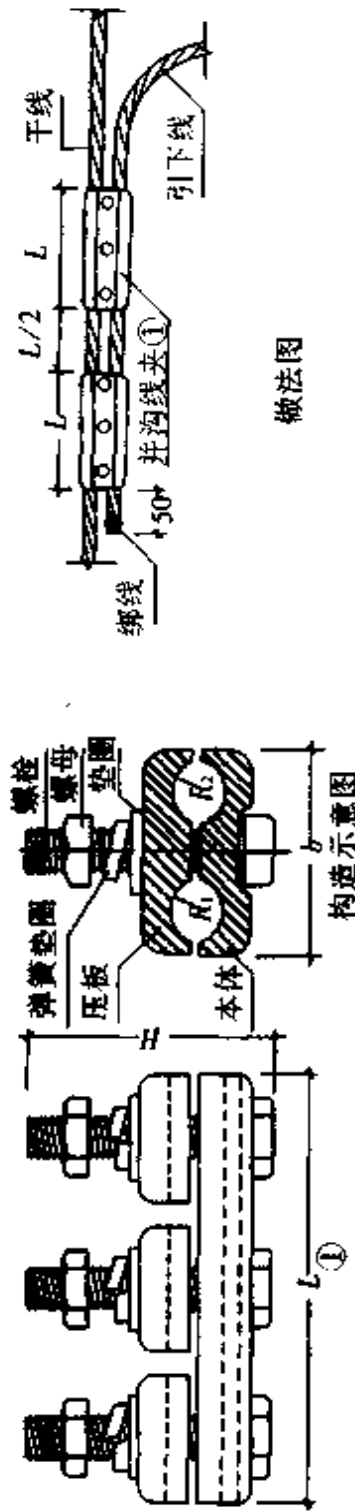




LJ、LGJ 架空线路钳接管规格

导线型号及规格		铝制钳接管垫片型号及规格 (mm)										钳压部位及尺寸 (mm)			钳压次数	钳压模型号
型号	截面 (mm <sup>2</sup> )	外径 (mm)	钳接管			垫片			A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	钳压凹槽高度 (mm)		钳压次数	钳压模型号	
			B	H	L	S	B <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>				R	H <sub>1</sub>			
LJ 铝绞线	16	5.1	1.7	12.0	110	6.0	—	—	28	20	34	10.5	6	QML-16		
	25	6.4	1.7	14.0	120	7.2	—	—	32	20	36	12.5	6	QML-25		
	35	7.5	1.7	17.0	140	8.5	—	—	36	25	43	14.0	6	QML-35		
	50	9.0	1.7	20.0	190	10.0	—	—	40	25	45	16.5	8	QML-50		
	70	10.7	1.7	23.2	210	11.6	—	—	44	28	50	19.5	8	QML-70		
	95	12.4	1.7	26.8	280	13.4	—	—	48	32	56	23.0	10	QML-95		
	120	14.0	2.0	30.0	300	15.0	—	—	52	33	59	26.0	10	QML-120		
	150	15.8	2.0	34.0	320	17.0	—	—	56	34	62	30.0	10	QML-150		
	185	17.5	2.0	38.0	340	19.0	—	—	60	35	65	33.5	10	QML-185		
	LGJ 钢芯铝绞线	16	5.4	1.7	14	210	6	5	220	28	14	28	12.5	12	—	
25		6.6	1.7	16	270	7.5	6.5	280	32	15	31	14.5	14	—		
35		8.4	2.1	19	340	9.0	8.0	350	34	42.5	93.5	17.5	14	QMLG-35		
50		9.6	2.3	22	420	10.5	9.5	430	38	48.5	105.5	20.5	16	QMLG-50		
70		11.4	2.6	26	500	12.5	11.5	510	46	54.5	123.5	25.0	16	QMLG-70		
95		13.7	2.6	31	690	15.0	14.0	700	54	61.5	142.5	29.0	20	QMLG-95		
120	15.2	3.1	35	910	17.0	15.5	920	62	67.5	160.5	33.0	24	QMLG-120			
150	17.0	3.1	39	940	19.0	17.5	950	64	70	166	36.0	24	QMLG-150			
185	19.0	3.4	43	1040	21.0	19.5	1060	66	74.5	173.5	39.0	26	QMLG-185			

图 3.3.8 架空线路钳接管及压接做法图



做法图

构造示意图

LJ、LGJ-架空线路母线断连或引下线 T 接时, 配用并沟线夹规格型号表

导线规格 (mm <sup>2</sup> )		线夹主要规格尺寸 (mm)						螺栓			
母 线	引下线	并沟线夹 类别	型号	使用线夹 个数	b	H	L	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	规 格	个 数
35~50 70~95 120~150 185~240	35~50 70~95 120~150 185~240	等 径	B-11	1	45	58	80	6.0	6.0	M12×50	2
			B-12	2	54	63	110	7.5	7.5	M12×55	3
			B-33	2	60	75	130	9.0	9.0	M16×65	3
			B-44	3	75	85	140	11.0	11.0	M16×75	3
70~95 120~150 120~150 185~240 185~240	35~50 35~50 70~95 35~50 70~95 120~150	不 等 径	B-21	2	54	63	110	7.5	6.0	M12×55	3
			B-31	2	60	75	130	6.0	9.0	M16×65	3
			B-32	2	60	75	130	7.5	9.0	M16×65	3
			B-41	3	70	85	140	6.0	11.0	M16×75	3
			B-42	3	70	85	140	7.5	11.0	M16×75	3
B-43	3	70	85	140	9.0	11.0	M16×75	3			

注: 1. 一套并沟线夹包括线夹本体、压板、螺栓、螺母、垫圈及弹簧垫圈。

2. 线夹材料、本体及压板为铝硅合金, 其余零件为钢。

图 3.3.9 架空线路断连与 T 接用并沟线夹做法图

表 3.3.21 钢芯铝绞线用并沟线夹

型 号	适用导线		质量 (kg)
	型 号	外径(mm)	
B-0	LGJ-16~25	5.4~6.6	0.22
B-1	LGJ-35~50	8.4~9.6	0.35
B-2	LGJ-70~95	11.4~13.7	0.65
B-3	LGJ-120~150	15.2~17.0	1.05
B-4	LGJ-185~240	19.0~21.0	1.25

表 3.3.22 钢绞线用并沟线夹

型 号	适用钢绞线		质量 (kg)
	型 号	外径(mm)	
BB-1	GJ-25~35	6.6~7.8	0.66
BB-2	GJ-50~70	9.0~11.0	1.00

表 3.3.23 压接型跳线线夹

型 号	适用导线		质量 (kg)
	型 号	外径(mm)	
YJ-95	LGJ-95	13.7	0.62
YJ-120	LGJ-120	15.2	0.60
YJ-150	LGJ-150	17.0	0.84

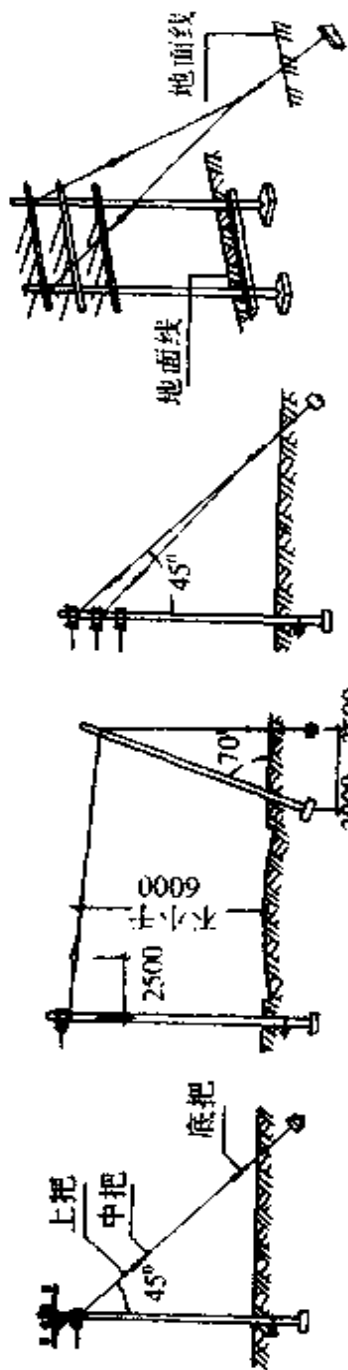
## 2.6 拉线的种类及选择

电杆拉线的一般分类和做法见图 3.3.10,其中普通拉线使用最多。

钢筋混凝土电杆自身拉线及钹杆做法见图 3.3.11。

由于电杆架线以后会发生受力不平衡现象,所以要采用拉线来稳固电杆。有时因电杆的埋设基础不牢固,不能维持电杆的稳固,也使用拉线来加强。还有因负荷超过电杆的安全强度,利用拉线来减少其弯曲力矩。拉线按其用途和结构不同又可分为以下几种:

- (1) 尽头拉线——用于耐张终端杆和分支杆。
- (2) 转角拉线——用于转角杆。
- (3) 人字拉线——用于基础不坚固,跨越加高杆或较长的耐张段中间的直线杆上。
- (4) 水平拉线——用于跨越公路、渠道和交通要道处。俗称高桩拉线。
- (5) 自身拉线——用于因地形限制,不能采用一般拉线处。注意在一般情况下,此种拉线应尽量不采用。



各种类型中把拉线的规格表

每层横担导线数量	二 线			四 线			五 线		
	一	二	三	一	二	三	一	二	三
受拉侧横担条数	普通型	Y 型	普通型	普通型	Y 型	普通型	普通型	Y 型	Y 型
适应拉线类型	采用直径为 4mm 镀锌铁线合成时的中把股数								
架空导线截面 (mm <sup>2</sup> )	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16~25	3	3	3	3	3	3	3	3	3
35	5	7	5	5	5	5	5	5	5
50~70	7	9	7	7	7	7	7	7	7
95~120									
架空导线截面 (mm <sup>2</sup> )	采用钢绞线时中把的拉线截面 (mm <sup>2</sup> )								
16~25	C-25	C-25×2	C-25	C-25	C-25×2	C-25	C-25×2	C-35	C-35×2
35	C-25	C-25×2	C-35	C-35	C-35×2	C-35	C-35×2	C-35	C-35×2
50~70	C-35	C-35×2	C-35	C-35	C-35×2	C-35	C-35×2	C-35	C-35×2
95~125	C-35	C-35×2	C-50	C-50	C-50×2	C-50	C-50×2	C-50	C-50×2

- 注: 1. 表中拉线均系中把规格股数, 系指  $\phi 4$  镀锌铁线的合成股数, 并分别为 3、5、7、9、11 股。C 为钢绞线。  
 2. 拉线的底把如选用钢绞线时, 则应改用圆铁拉线棍; 如选用  $\phi 4$  镀锌铁线时, 底把应按中把股数加两股 (例如三股拉线, 则底把应为 3+2=5 股)。选用 Y 型共用一底把, 则底把拉线合成股数之外再加一股 (即 Y 股时为 10 股 + 1 = 11 股)。  
 3. 为了施工方便, 建议对七股以上的底把可改用圆铁拉线棍。  
 4. 当受拉侧的横担上所架导线截面及导线条数不一致时, 应按其中最大的作为选用标准。  
 5. 拉线应在上把与中把之间加装拉线绝缘子。混凝土电杆的拉线可不加绝缘子, 但穿越导线的拉线, 应加拉线绝缘子, 其位置应在带电导线的下方。

图 3.3.10 电杆拉线做法图

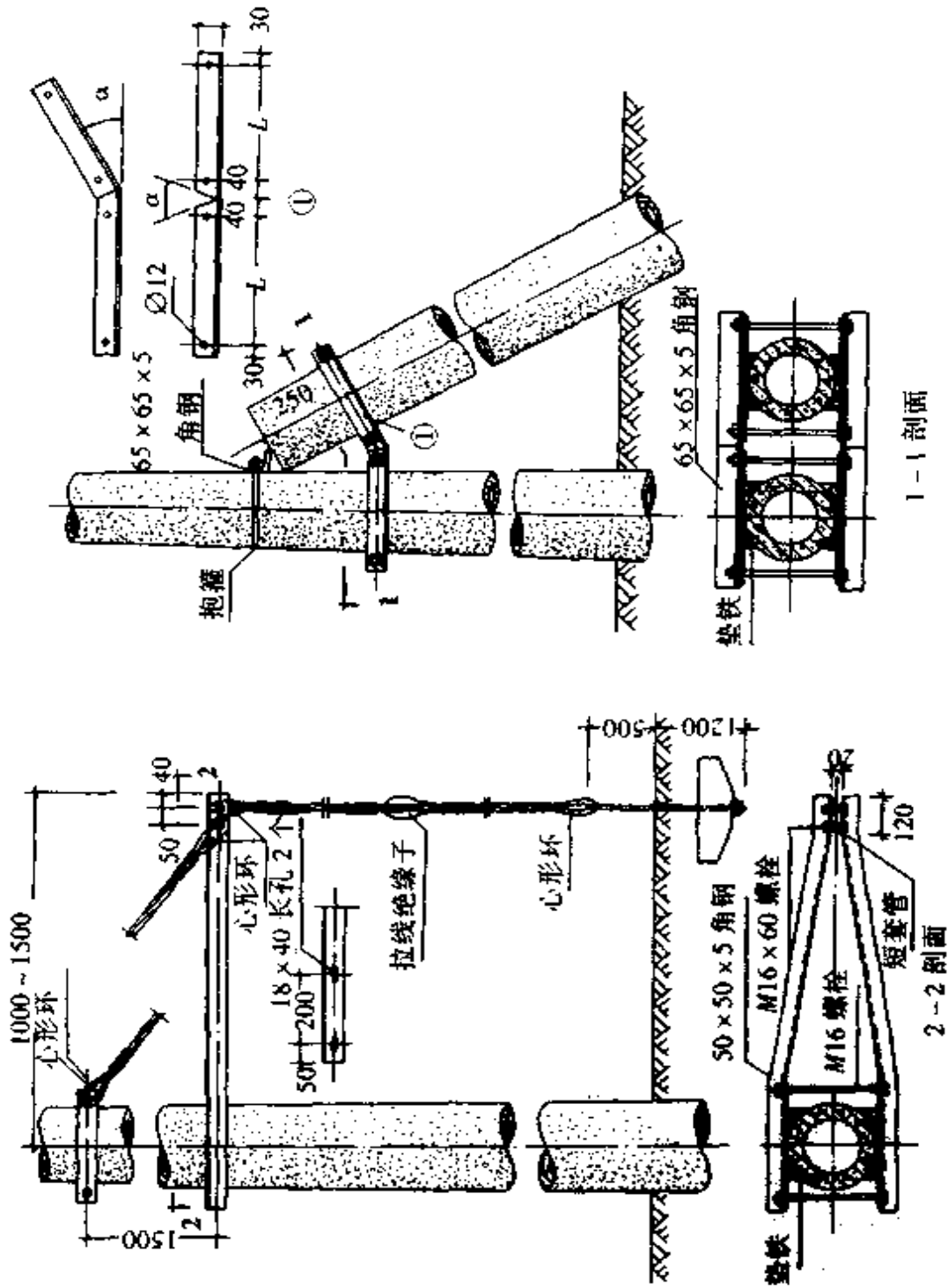


图 3.3.11 钢筋混凝土电杆自身拉线及线杆做法图

注: L 及  $\alpha$  根据电杆直径与高度决定

## 3 架空线路的施工

### 3.1 电杆测位、定线和挖坑

#### 3.1.1 电杆定位

首先根据设计图纸,勘测地形、道路、河流、树木、管道和建筑物等对架设线路有无阻碍,确定线路走向,然后确定线路的起点、转角点和终端点的电杆位置,最后确定中间杆的位置。如厂区道路已定,则可根据道路距离和走向定位。测位有两种方法:用经纬仪测量和目测法。目测时可按较高目标走向,在中间定几点,用标杆以视线距离目测,两人对面,互相瞄准原目标,循此联系,直到两人在同一目标线上重合为止。测量杆间档距可用皮尺,逐点定出标位。每测定一根,随即在地上打入主、辅标桩,并在标桩上编号。标位上遇有障碍物应予搬迁,否则应改变档距。转角和加强杆的杆位,在标桩上都要写明,以便挖拉线坑。

架空电力线路的路径选择的原则应符合下列要求:

- (1)要沿公路、厂区道路方向选定标位,以便于施工、维护及管理。
- (2)线路的路径与相邻的架空线路距离  $L$  特别是通讯线路的距离必须满足规范要求。
- (3)使线路的起点至终点的距离最短。
- (4)使线路的转角和跨越的次数最少。必须跨越时,应尽可能直角交叉。
- (5)尽可能不占和少占农田。
- (6)不妨碍行车信号、标志的显示。
- (7)尽可能避免穿过洪水淹没区及其他危险灾害区。
- (8)线路与建筑物之间要保持安全间距。

架空线路要躲开下列处所:

- (1)容易被车辆碰撞的处所;
- (2)可能发生冲刷的河堤、河床及山坡;
- (3)地势低洼长年积水和水淹的地方;
- (4)易受腐蚀污染的地方;
- (5)对于地下电缆线路、水管、暗沟、煤气管等有阻碍的处所;
- (6)贮存或制造易燃、爆炸等危险品的处所。

#### 3.1.2 挖坑

坑分为杆坑和拉线坑两种:杆坑分为圆形坑和梯形坑。对于不带卡盘和底盘的电杆,通常挖成圆形坑,因为圆形坑挖土量较少,对电杆的稳定性较好。对于杆身较高较重及带有卡盘的电杆,为了立杆方便,可挖成梯形坑。梯形坑有二阶坑和

三阶坑两种。坑深在 1.6m 以下者采用二阶坑,坑深在 1.8m 以上者采用三阶坑。挖坑时,杆坑与马道的方向要与立杆的方向相一致,挖出来的土往线路两侧 0.5m 以外处堆放。拉线坑的深度一般为 1~1.2m,其截面和形式应根据具体情况确定。电杆坑深度及电杆长度和当地土质情况有关,在一般情况下,电杆的埋设深度可参考采用表 3.3.24 所列数据。

坑口尺寸应加大,主要是为了防止坑壁塌方和施工方便,坑口尺寸比坑底尺寸加大的数值应根据土质情况确定,一般可参照表 3.3.25 中的公式决定。

表 3.3.24 一般土壤电杆埋深表 m

杆高	8	9	10	11	12	13	15
埋深	1.5~1.6	1.6~1.7	1.7~1.8	1.8~1.9	1.9~2.0	2.0~2.1	2.3~2.4

表 3.3.25 坑口尺寸加大的计算公式 m

土质情况	坑壁坡度	坑口尺寸(m)
一般粘土、砂质粘土	10%	$B = b + 0.4 + 0.1h \times 2$
砂砾、松土	30%	$B = b + 0.4 + 0.3h \times 2$
需用挡土板的粘土	—	$B = b + 0.4 + 0.6$
松石	15%	$B = b + 0.4 + 0.15h \times 2$
坚石	—	$B = b + 0.4$

注:  $B$ ——坑口宽度;  $a$ ——坑底尺寸,  $a = b + 0.4$ ;  $h$ ——坑的深度;  $b$ ——杆根宽度(不带地中横木、卡盘或底盘者),或地中横木或卡盘长度(带地中横木或卡盘者)或地盘宽度(带底盘者)。

电杆底盘是否装设,应按当地土质条件情况具体确定。如果当地土壤耐压力大于  $2\text{kg}/\text{cm}^2$ ,直线杆可不装底盘。当土壤含有流沙或地下水位较高时,直线杆也要装底盘。终端杆、转角杆在一般土壤条件时也要考虑装底盘,或就地取材,用岩石或碎石基础并夯实。卡盘在一般情况下可不装,仅在土壤很不好或较陡的斜坡上立杆时,为了减少电杆埋深才考虑使用它和进行基础处理。如装卡盘,卡盘应装设在自地面起至电杆埋设深度  $1/3$  处,并须符合下列要求:直线杆的卡盘应与线路平行,有顺序地在线路左、右侧交替地埋设,参阅图 3.3.7。承力杆的卡盘应埋设在承力侧。埋入地下的铁件,应涂沥青,以防锈蚀。

## 3.2 立杆

立杆的方法很多。常用的有汽车起重机立杆、三脚架立杆、倒落式立杆和架腿立杆。

(1)汽车起重机立杆:用汽车起重机立杆,安全工效高,但施工条件是交通道路方便的场所。

(2)三脚架立杆:这是一种比较简易的立杆方法,它主要依靠装在三脚架上的小型卷扬机、上下两只滑轮以及牵引钢丝绳等来吊立电杆。这种方法立杆可以使用卷扬机,也可使用绞磨,还可以使用手拉练条葫芦吊立,适用的场合比较灵活。

(3)倒落式立杆:立杆用的工具主要有抱杆、滑轮、卷扬机(或绞磨)、钢丝绳等。倒落式立杆法适用于山区、交通不方便和接临时电困难的地方。

除倒落式立杆法外,还有一种吊立法。吊立法和倒落法的不同点,是先将人字抱杆立起,将其固定好后,利用人字抱杆起吊电杆,所用工具都与倒落法同。

对于7~9m长的轻型钢筋混凝土电杆,可以不用卷扬机,而采用叉杆起立法。

(4)架腿立杆:利用撑杆来竖立电杆,也叫撑式立杆。这种方法使用工具比较简单,但劳动强度大,当立杆少,又缺乏立杆机械的情况下,可以采用,且只能竖立低于9m的钢筋混凝土电杆和高于9m的木杆。

杆坑回填土,每回填300mm厚土后要夯实一次。回填土夯实后,坑面应高出地面300mm,以备沉降。回填前,坑内如有积水要预先排除,在易被流水冲刷的地方埋设电杆时,须在电杆周围埋设立桩,并砌以石块,以防冲跨。

### 3.3 横担组装

为施工方便,一般都在地面上将横担与金具全部组装完毕,然后整体立杆。如果先将电杆竖立起来再组装,则应从电杆的最上端开始,横担安装的位置应符合下列要求:

(1)直线杆的横担应安装在负荷侧。

(2)转角杆、分支杆、终端杆以及受导线张力不平衡的地方,横担应安装在张力的反方向侧。

(3)多层横担均应装在同一侧。

(4)横担应装水平且与线路方向垂直,其倾斜度不应大于1/100,横担的长度和截面可参照表3.3.26和表3.3.27。

表 3.3.26 横担长度选择表

mm

横担材料	低 压 横 担			高 压 线 路		
	二 线	四 线	六 线	二 线	水平排列四线	陶瓷横担头部
铁横担	700	1500	2300	1500	2240	800



表 3.3.27 横担截面选择表

mm

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	低压直线 杆	低压承力杆		高 压 直线杆	高 压 承力杆
		二 线	四线以上		
16、25、35、50	L50×5	2 根 L50×5	2 根 L63×5	L63×6	2 根 L63×6
70、95、120	L63×5	2 根 L63×5	2 根 L70×6	L63×6	2 根 L75×6

(5) 导线水平排列时(包括高、低压),最上层横担的中心距电杆的顶部为 300mm;导线三角排列时,最上层横担的中心距电杆的顶部为 600mm(导线等腰三角排列时)或 900mm(导线等边三角排列时)。在同根电杆上架设双回路或多回路时,各层横担间的垂直距离,应不小于表 3.3.28 中所列数值。

表 3.3.28 多种用途导线共杆时各层横担间最小垂直距离 m

导线排列方式	直 线 杆	分支或转角杆
高压与高压	0.80	0.45/0.60
高压与低压	1.20	1.00
低压与低压	0.60	0.30
高压与信号线路	2.00	2.00
低压与信号线路	0.60	0.60

注:高压转角或分支横担,距上层横担为 0.45m,距下层横担为 0.6m。

铁横担与钢筋混凝土电杆的安装固定采用 M 型垫铁和 U 形抱箍。钢筋混凝土电杆附件加工可参阅图 3.3.12~图 3.3.16。

杆上横担紧固好后,即可安装绝缘子。绝缘子的额定电压应符合线路电压等级的要求。安装前应对绝缘子进行外观检查,并测量绝缘电阻,表面如有裂纹、釉面脱落等缺陷就不能使用,绝缘电阻值用 2500V 兆欧表测量,应不低于 300MΩ,有条件时还应作交流耐压试验,这样可以防止不合格品误用于线路上。

安装时紧固横担和绝缘子等各部位所用的螺栓,其直径不应小于 16mm。螺栓装在垂直方向时,应从下往上穿。开口销用在垂直方向时,应从上往下穿。

### 3.4 拉线和制作安装

拉线的做法见图 3.3.10 和图 3.3.11。为了使电杆受力平衡,稳固不动,须在终端杆、转角杆的顶部装设拉线。顶头拉线方向,一定要与架设导线的方向相反,并装在线路不平衡张力合力的作用点上,若装偏或错装,均不能起到应有的作用。

电杆拉线目前所采用的材料有镀锌铁线和镀锌钢绞线两种。镀锌铁线一般用  $\varnothing 4$  一种规格。施工时要绞合,制作比较麻烦,特别是 9 股以上拉线,绞合不良会产生多股受力不均的现象。镀锌钢绞线施工方便,强度稳定,应尽量采用。



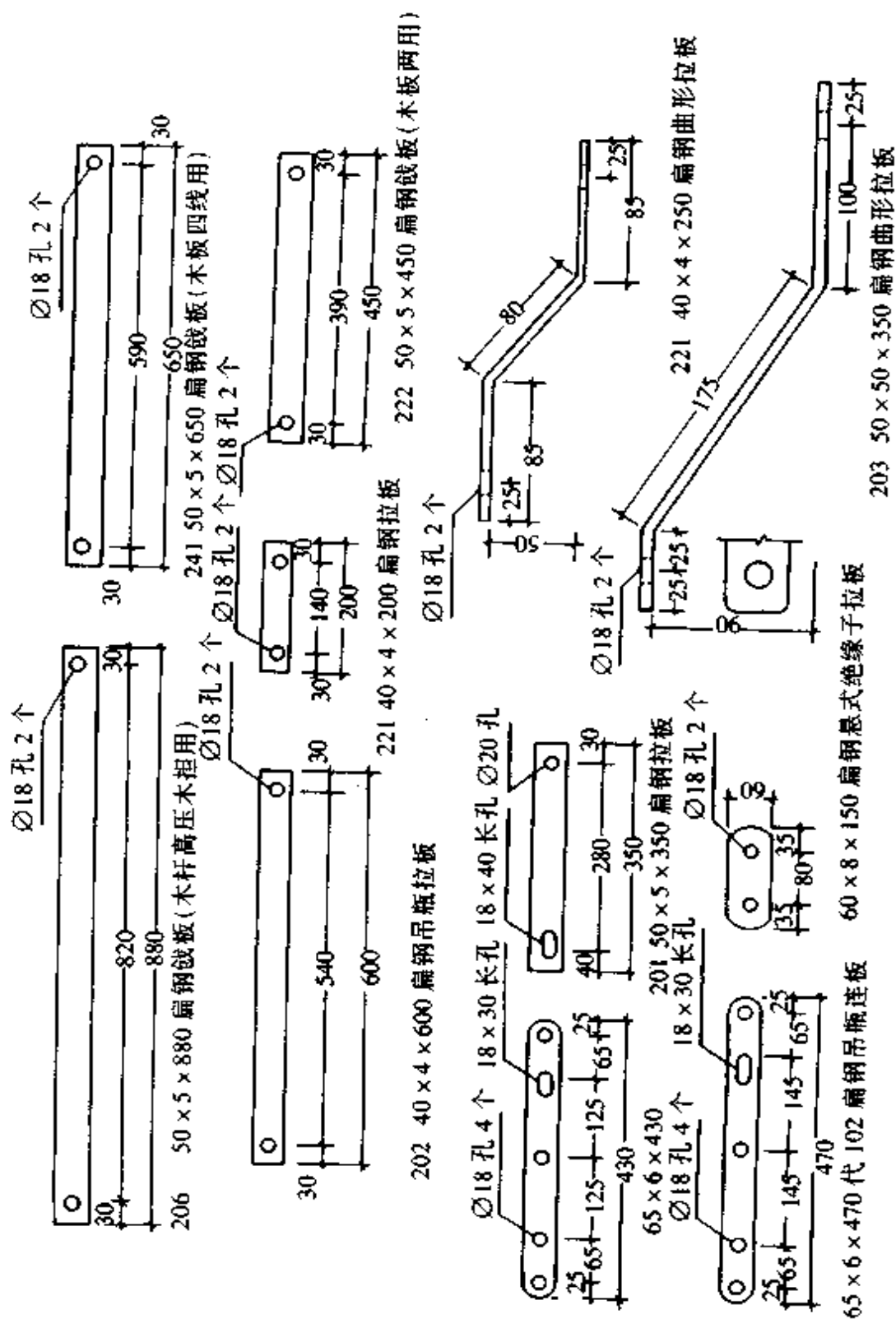


图 3.3.13 钢筋混凝土电杆附件加工图(二)

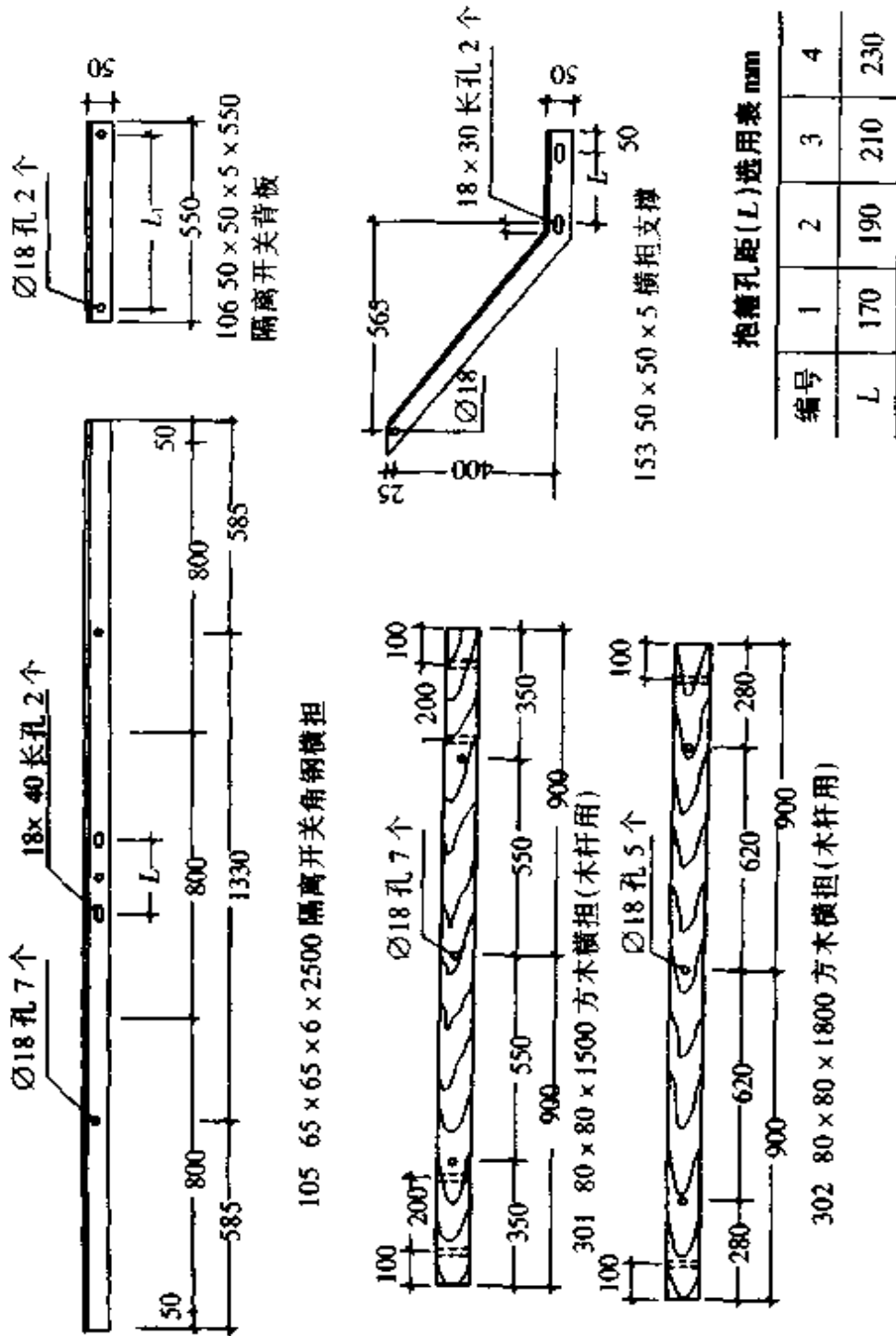


图 3.3.14 钢筋混凝土电杆附件加工图(三)  
L<sub>1</sub> 尺寸根据隔离开关尺寸决定

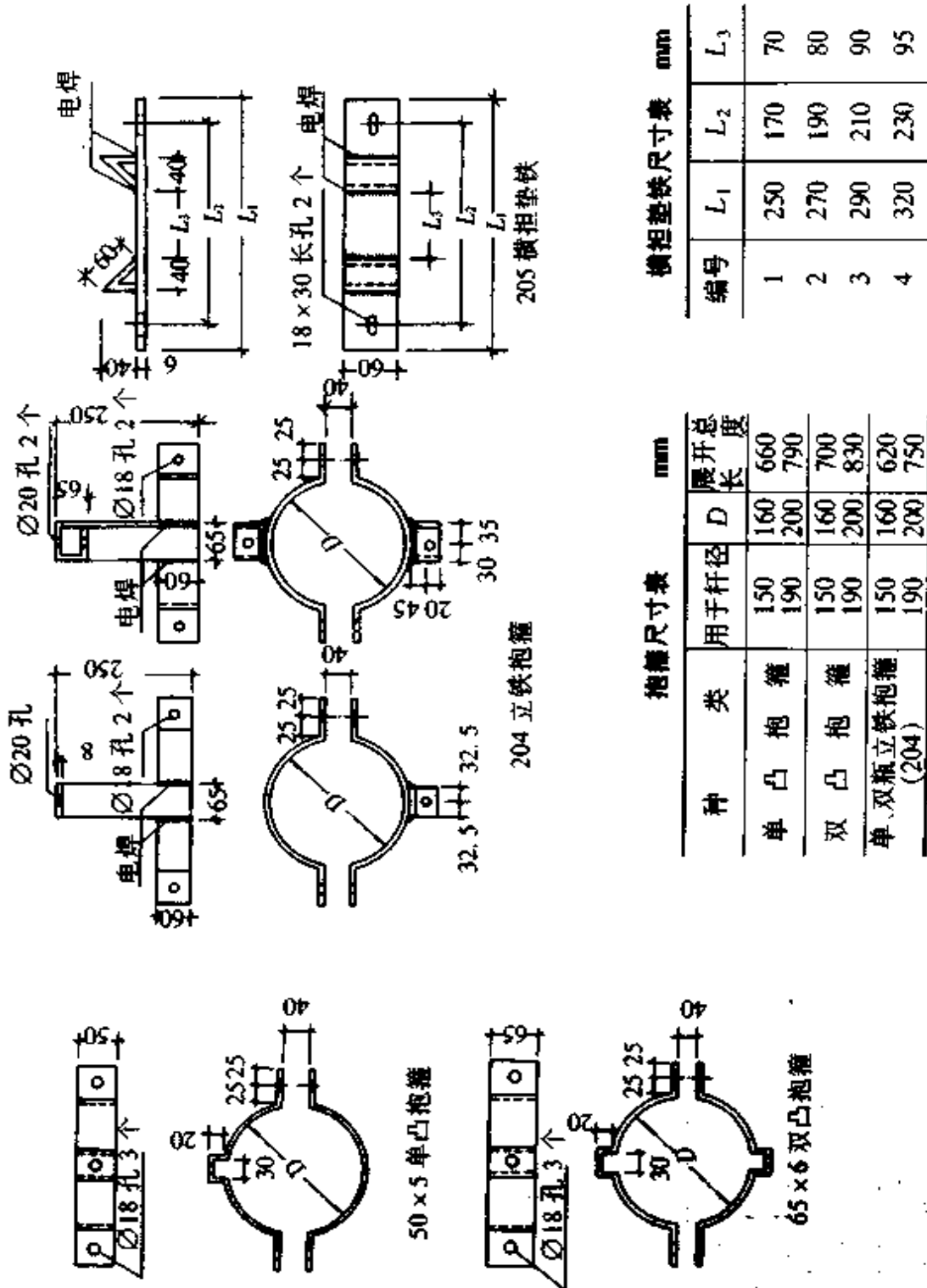


图 3.3.15 钢筋混凝土电杆附件加工图(四)



### 3.4.1 拉线长度计算

电杆拉线长度可采用下面的近似公式计算：

$$c = 0.72 \times (a + b) (\text{m})$$

式中  $c$ ——拉线长度(m)；

$a$ ——电杆地面以上高度(m)；

$b$ ——拉线出地面位置至电杆根的距离(m)。

一般拉线与地面夹角在 30 度到 60 度之间,用该近似公式计算,其误差在 1.7% 以内。

在实际应用时,系数 0.72 还可稍作修正,当  $a$  与  $b$  值相近时,取 0.71,当  $a$  是  $b$ (或  $b$  是  $a$ )的 1.5 倍左右时取 0.72,当  $a$  是  $b$ (或  $b$  是  $a$ )的 1.7 倍时取 0.73,这样计算的结果比较准确。

在实地施工中,如地锚与电杆水平距离  $b$  或垂直高度  $a$  因地形而需变动时,则每变动 1 m,拉线长度相应变化 0.72m。

计算出来的拉线长度应减去花篮螺丝长度和地锚棒露出地面的长度,并加上两头扎线长度后,才是所需要钢绞线的下料长度。

### 3.4.2 装设拉线

拉线架设的基本操作分以下三个步骤。

**3.4.2.1 埋设拉线盘** 在埋设拉线盘时,应将下把拉线组装好,然后再进行整体埋设,因拉线下把大部分在土中,容易腐蚀。除用镀锌铁线或镀锌钢绞线做下把拉线外,目前都采用镀锌圆钢做拉线棒。它的下端套有丝口,上端有拉环,安装时拉线棒穿过水泥拉线盘孔,放好垫圈、拧上螺母即可。

拉线盘的选用及其埋设深度,以及拉线底把所采用的镀锌铁线和镀锌钢绞线可参阅表 3.3.29。

表 3.3.29 拉线盘的选用及其埋深

拉线所受张力 (t)	选用拉线规格		拉线盘规格 (m)	拉线盘埋深 (m)
	镀锌铁线 $\phi 4$ 的根数	镀锌钢绞线(mm)		
1.5 以下	5 以下	25	0.6×0.3	1.2
1.5~2.1	6~7	35	0.8×0.4	1.3
2.1~2.7	8~9	50	0.8×0.4	1.5
2.7~3.9	10~13	70	1.0×0.5	1.6
3.9~5.4	2×9	2×50	1.2×0.6	1.7
5.4~7.8	2×13	2×70	1.2×0.6	1.9

下把拉线装好之后,将拉线盘放正,使底把拉环露出地面 500~700mm,随后就可分层夯实。拉线棒在地面上和地下 200~300mm 的部分,都要涂以沥青。泥土中含有盐碱成分较多的地方,还要从拉线棒出土 150mm 处缠卷 80mm 宽的麻带,缠到地面以下 350mm 处,并浸透沥青,以防腐蚀。涂沥青和缠麻带,都应在填土前做好。

**3.4.2.2 做拉线上把** 拉线上把可用楔线夹或套环将钢绞线一头固定好,然后用和合抱箍固定在合力的作用点上,或用缠绕法把镀锌铁线上把固定在合力作用点上。

**3.4.2.3 做拉线中把** 做好上把和下把后,便可以做中把,使上部拉线和下部拉线盘连接起来,成为一个整体,以发挥拉线的作用。

收紧拉线可以用紧线钳,在收紧拉线前,先将花篮螺丝或 UT 楔形线夹的螺杆旋入螺母内,使它们保持最大距离,以备调整。准备工作做好后,将拉线慢慢收紧,紧到一定程度时,检查一下杆身和拉线的各部位。如无问题,再继续收紧,把电杆校正。对于终端杆和转角杆,拉线收紧后,杆顶可向拉线侧倾斜电杆梢径的  $1/2$ ,最后用自缠法或另缠法绑扎。

为了防止花篮螺丝倒转松退,可用一根  $\varnothing 4$  镀锌铁线,两端从螺杆孔穿过,在螺栓中间绞拧两次,再分向螺母两侧绕三圈,最后将两端头相扭结,使整个装置不能任意转动。

## 3.5 架设导线

架线前,应检查导线的规格是否符合设计要求,有无严重的机械损伤,有无断股、破股、导线扭曲等,特别是铝导线有无严重的腐蚀现象。

### 3.5.1 放 线

所谓放线就是把导线从线盘上放出来架设在电杆的横担上。放线有拖放法和展放法两种。拖放法是将线盘架设在放线架上拖放导线;展放法是将线盘架设在汽车上,行进中展放导线。

拖放导线前应沿线路清除障碍物,石砾地区应垫以隔离物(草垫),以免磨伤导线。对跨越铁路、公路及其他线路,若停电困难时,应搭设跨越架,并有专人观察过往车辆,及时通知,防止发生事故。

放线通常按每个耐张段进行。放线前,应选择合适位置放置放线架和线盘。线盘在放线架上要使导线从上方引出(放电缆也要使导线从上方引出)。在放线段内的每根杆上挂一个开口放线滑轮(滑轮直径应不小于导线直径的 10 倍)。对于铝导线,应采用铝制滑轮或木滑轮;钢导线可应用钢滑轮,也可用木滑轮,这样既省力又不会磨损导线。

放线时要一条一条地放。在放线过程中,线盘处要有人看守,负责检查导线的



质量,如发现损伤、散股和断线等应立即停止。待处理后继续进行。放线速度应尽量均匀,不应突然加快,以防线架倾倒。

### 3.5.2 导线连接

导线放完后,导线之间要连接起来,使其成为连通的线路。如果接头在跳线处(耐张杆两侧导线间的连接),便可用线夹连接;接头处在其他位置,则采用压接法连接。

在任何情况下,每一档距内的每根导线,只能有一个接头。但架空线路跨越铁路、公路、河流、电力和通讯线路时,导线及避雷线不能有接头。不同金属、不同截面、不同捻绞方向的导线,只能在杆上跳线处连接。

导线的接头应达到下列要求:

(1)接头处的机械强度,不低于原导线强度的90%。

(2)接头处的电阻,不超过同长度导线的1.2倍。

压接法的操作程序如下:

(1)将准备连接的两个线头用绑线扎紧并锯齐。

(2)导线连接部分表面、连接管的内壁用汽油清洗干净,清洗导线长度等于连接部分长度的1.25倍。

(3)清除导线表面和连接管内壁的氧化膜。由于铝在空气中氧化速度很快,在短时间内即可形成一层表面氧化膜,这样就增加了连接处的接触电阻,故在导线连接前,须清除氧化膜。在清除过程中,为防止再度氧化,应先在连接管内壁和导线表面涂上一层中性凡士林,再用细钢丝刷在油层下擦刷,使之与空气隔绝。刷完后,如果凡士林较为干净,可不要擦掉,如凡士林已被污染,则应擦掉后重新涂一层新的凡士林并擦刷,最后带凡士林油膏进行压接。

(4)当压接钢芯铝绞线时,连接管内两导线间要夹上铝垫片,填在两导线间,可增加接头的握着力,并使接触良好。导线的压接,采用搭接方法,由管两端分别插入管内,使导线两端露出管外20~30mm,并使连接管最边上一个压坑位于被连接导线断头旁侧。压接时,导线端头应用绑线扎紧,以防松散。

(5)根据导线截面选择压模,调整压接钳上的支点螺丝,使之适合于压模深度,压接的例子如图3.3.8所示。压接管的压缩处高度的允许误差为:钢芯铝线连接管为 $\pm 0.5\text{mm}$ ;铝线连接管为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

(6)压接钢芯铝绞线时,压接顺序从中间开始,分别向两端进行。压接铝绞线时,压接顺序由导线端头开始,按交错顺序向另一端进行。

当压接 $240\text{mm}^2$ 钢芯铝绞线时,用两只连接管串联进行,两管间的距离不应小于15mm,每根压接管的压接顺序由管内端向外端交错进行。

每次压接至压接钳上杠杆顶住螺丝为止,保持1分钟始能放开上杠杆,以保证压坑深度准确。压完一个,再压第二个,直到压完为止。压接后的压接管,不能有

弯曲,其两端应涂以樟丹漆,压后应进行检查。如压管弯曲,要用木锤调直。压管弯曲过大或有裂纹的,都要重新压接。

钢芯铝绞线的连接,除了采用上述钳压法外,还可采用钳压管爆炸压接(参阅介绍爆炸接头工艺的专门资料)。

杆上分支线和跳线的连接,可采用并沟线夹。并沟线夹的标号应与导线截面一致。安装时,线夹内和导线表面都要用钢丝刷除净氧化膜,涂中性凡士林,并在其上包铝包带。拧紧线夹螺栓时,要均匀拧紧,使连接处接触紧密拧紧过程中可用锤轻敲几遍再拧,直至拧不动为止。当两导线截面不同时,可按大截面导线选择线夹,在小截面导线上用铝包带缠扎到和大截面导线相同的直径。

### 3.5.3 紧 线

紧线前先要做好耐张杆、转角杆和终端杆的拉线,然后分段紧线。首先将导线的一端在绝缘子上固定好,然后在导线另一端开始紧线工作。

紧线的方法有两种:一种是导线逐根均匀收紧,另一种是三线同时收紧或两根线同时收紧(两根同时收紧法,应先紧两根边线)。后一种方法紧线速度快,但需要有较大的牵引力。一般较短线路的紧线工作,可用较多的人力通过滑轮组将导线收紧。但线路较长,导线截面较大,采用两线或三线同时收紧时,应采用卷扬机或绞磨,并要采取加装临时拉线加固措施。紧线时,一般应做到每根电杆有人,以便及时松动导线,使导线接头能顺利地越过滑轮和绝缘子。

紧线时应有统一指挥,明确松紧信号。当导线收紧到一定程度时,观察弧垂并调节。待弧垂符合设计要求时,即停止收紧钢丝绳。此时,将已拉紧导线装上线夹并与已组合好的绝缘子相连接,然后慢慢放松钢丝绳,使导线处于自由拉紧状态。所有导线装好后,再检查一次弧垂,如无变动,紧线工作即告结束。

对于一般中小型铝绞线和钢芯铝绞线可用紧线钳来紧线。用紧线钳紧线时,横担两侧的导线应同时收紧,以免横担受力不均而歪斜。在紧线过程中,被紧导线的下方不能站人,以利安全。

### 3.5.4 导线的弧垂——弛度

测定导线的弧垂,通常应与紧线工作配合进行。其目的是使安装后的导线,能达到规定的弧垂。

测定导线的弧垂,一般有等长法和张力法两种,施工中常用等长法,即平行四边形法。观察弧垂时,一般选在耐张段的中部。

导线的弧度(弛度)同线路的架设地区的气候条件、温度、风速、导线架设的档距等因素有关。安装架线应根据安装曲线或查表方法(见表 3.3.30 至 3.3.38)来确定导线的弧垂。下面列举几种导线弛度表供安装时参考。

表 3.3.30 LJ-16 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
	40	0.10	0.12	0.18	0.24	0.35	0.46	0.59	0.69
50	0.12	0.17	0.23	0.24	0.42	0.58	0.71	0.84	0.93
60	0.18	0.24	0.33	0.44	0.57	0.74	0.90	1.04	1.18
70	0.28	0.37	0.49	0.63	0.80	0.98	1.16	1.25	1.35
80	0.47	0.60	0.76	0.94	1.14	1.32	1.50	1.64	1.81
90	0.80	0.97	1.17	1.38	1.57	1.77	1.92	2.09	2.24
100	1.24	1.44	1.68	1.88	2.06	2.24	2.42	2.60	2.74

表 3.3.31 LJ-25 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
	40	0.12	0.14	0.17	0.23	0.36	0.48	0.57	0.66
50	0.14	0.18	0.24	0.31	0.44	0.58	0.71	0.81	0.92
60	0.18	0.24	0.31	0.41	0.58	0.72	0.86	1.00	1.12
70	0.24	0.24	0.42	0.54	0.70	0.88	1.04	1.20	1.35
80	0.34	0.44	0.56	0.70	0.88	1.08	1.28	1.44	1.62
90	0.48	0.60	0.76	0.92	1.16	1.35	1.57	1.75	1.95
100	0.69	0.84	1.04	1.24	1.50	1.71	1.92	2.12	2.33
110	1.00	1.20	1.44	1.67	1.93	2.14	2.36	2.56	2.76
120	1.42	1.66	1.92	2.16	2.42	2.62	2.83	3.20	3.24

表 3.3.32 LJ-35 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
	60	0.19	0.25	0.34	0.44	0.60	0.78	0.90	1.04
70	0.24	0.31	0.42	0.54	0.70	0.88	1.04	1.18	1.34
80	0.31	0.40	0.51	0.65	0.84	1.04	1.21	1.38	1.54
90	0.40	0.51	0.64	0.80	1.01	1.22	1.42	1.59	1.78
100	0.54	0.68	0.82	1.00	1.24	1.68	1.69	1.88	2.19
110	0.72	0.90	1.09	1.31	1.57	1.82	2.02	2.24	2.46
120	1.01	1.23	1.44	1.70	1.96	2.22	2.42	2.64	2.84
130	1.42	1.64	1.84	2.14	2.40	2.66	2.86	3.08	3.28
140	1.90	2.12	2.29	2.64	2.86	3.13	3.32		

表 3.3.33 LJ-50 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
档距 (m)									
60	0.20	0.26	0.34	0.48	0.60	0.76	0.92	1.04	1.16
70	0.25	0.34	0.42	0.56	0.71	0.88	1.05	1.19	1.33
80	0.32	0.41	0.52	0.68	0.84	1.03	1.22	1.36	1.52
90	0.40	0.51	0.62	0.80	0.98	1.19	1.40	1.56	1.74
100	0.49	0.63	0.76	0.96	1.16	1.38	1.60	1.79	1.98
110	0.61	0.76	0.92	1.12	1.32	1.58	1.84	2.02	2.24
120	0.76	0.92	1.12	1.36	1.60	1.84	2.11	2.32	2.56
130	0.99	1.18	1.41	1.68	1.91	2.20	2.45	2.68	2.93
140	1.30	1.50	1.77	2.06	2.32	2.61	2.83	3.09	3.38

表 3.3.34 LGJ-16 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
档距 (m)									
60	0.18	0.19	0.23	0.30	0.38	0.48	0.62	0.75	0.87
80	0.25	0.30	0.37	0.45	0.55	0.70	0.83	1.00	1.12
100	0.45	0.52	0.62	0.75	0.90	1.10	1.30	1.45	1.60
120	0.82	0.95	1.12	1.27	1.50	1.75	1.98	2.15	2.32
140	1.42	1.65	1.88	2.10	2.35	2.60	2.80	3.01	3.20
160	2.32	2.59	2.80	3.08	3.32	3.58	3.76	3.98	4.20
180	3.35	3.65	3.80	4.10	4.36				
200									

表 3.3.35 LGJ-25 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
档距 (m)									
60	0.16	0.20	0.25	0.32	0.39	0.49	0.60	0.73	0.88
80	0.25	0.33	0.40	0.50	0.60	0.73	0.87	1.05	1.22
100	0.30	0.50	0.62	0.73	0.77	1.02	1.23	1.45	1.62
120	0.64	0.76	0.90	1.06	1.26	1.45	1.66	1.90	2.10
140	1.01	1.15	1.30	1.52	1.76	2.00	2.24	2.49	2.70
160	1.52	1.70	1.88	2.18	2.45	2.71	2.95	3.20	3.45
180	2.25	2.48	2.73	3.06	3.28	3.62	3.85	4.10	
200	3.10	3.48	3.80	4.15					

表 3.3.36 LGJ-35 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) \ 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
60	0.16	0.18	0.22	0.20	0.35	0.46	0.58	0.72	0.88
80	0.20	0.32	0.38	0.44	0.58	0.76	0.88	1.03	1.20
100	0.40	0.47	0.56	0.67	0.84	1.01	1.22	1.38	1.56
120	0.57	0.67	0.79	0.94	1.14	1.33	1.58	1.74	1.95
140	0.81	0.92	1.06	1.26	1.47	1.70	1.97	2.16	2.38
160	1.12	1.26	1.41	1.66	1.90	2.16	2.42	2.66	2.92
180	1.54	1.71	1.90	2.22	2.50	2.80	3.09	3.40	3.67
200	2.10	2.38	2.70	3.16	3.50	3.90	4.30	4.70	5.10

表 3.3.37 LGJ-50 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) \ 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
60	0.17	0.20	0.23	0.28	0.37	0.49	0.62	0.74	0.90
80	0.28	0.34	0.40	0.49	0.61	0.75	0.91	1.08	1.25
100	0.45	0.52	0.61	0.73	0.90	1.06	1.24	1.43	1.63
120	0.64	0.74	0.86	1.01	1.21	1.40	1.61	1.82	2.04
140	0.86	0.99	1.15	1.34	1.55	1.76	2.02	2.24	2.49
160	1.14	1.23	1.48	1.69	1.94	2.19	2.48	2.70	2.97
180	1.46	1.66	1.88	2.14	2.41	2.69	2.97	3.25	
200	1.90	2.16	2.40	2.72	3.00	3.29			

表 3.3.38 G-40 弛度表(最大风速  $v = 25\text{m/s}$ )

弛度 (m) \ 温度 (°C) \ 档距 (m)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
60	0.35	0.40	0.45	0.55	0.65	0.70	0.85	0.93	1.00
70	0.45	0.50	0.57	0.62	0.70	0.85	0.93	1.00	1.12
80	0.70	0.76	0.80	0.91	1.10	1.20	1.30	1.42	1.55
90	0.85	0.95	1.05	1.15	1.35	1.47	1.50	1.60	1.75
100	1.20	1.32	1.45	1.60	1.70	1.83	1.95	2.05	2.23
110	1.65	1.77	1.90	2.07	2.20	2.32	2.45	2.55	2.66
120	2.15	2.30	2.42	2.60	2.72	2.85	2.97	3.07	3.18
130	2.70	2.84	2.97	3.14	3.25	3.38	3.50	3.60	3.70
140	3.25	3.35	3.50	3.65	3.71	3.84	4.07	4.17	4.25

导线的弛度可查设计给出的弛度安装曲线表,即根据耐张段的规定档距长度和当时的温度,在安装曲线表中查得相应的弛度值。如当调整弛度时所测实际温度在安装曲线表查不到(一般在安装曲线中给出温度范围是从 $-40^{\circ}\text{C}$ 到 $40^{\circ}\text{C}$ ,在

其间每隔 10℃ 划出一条安装曲线), 则可用补插法计算出相应温度的弛度值。其计算公式如下:

$$f = f_1 - \frac{t_1 - t}{t_1 - t_2}(f_1 - f_2) \quad (\text{m})$$

或 
$$f = f_2 - \frac{t - t_2}{t_1 - t_2}(f_1 - f_2) \quad (\text{m})$$

式中  $f$  ——在温度为  $t$  时的弛度值(m);  
 $f_1$  ——与温度  $t_1$  相应的弛度值(m);  
 $f_2$  ——与温度  $t_2$  相应的弛度值(m);  
 $t$  ——所测实际温度(℃);  
 $t_1$  ——与实际温度相近的一个较大温度值(℃);  
 $t_2$  ——与实际温度相邻近的一个较小温度值(℃)。

导线的安装弧垂允许误差不能超过  $\pm 5\%$ 。多条导线如截面、档距相同时, 导线的弧垂应一致。

### 3.5.5 导线的固定

导线在绝缘子上通常用绑扎方法来固定。绑扎方法因绝缘子形式和安装地点的不同而异, 常用的有以下几种:

(1) 顶绑法: 用于直线杆针式绝缘子的固定绑扎。绑扎材料应与导线材料相同, 绑扎时首先在导线绑扎处绑 150mm 长铝带, 所用铝带宽为 10mm, 厚为 1mm, 直径应在 2.6~3mm 范围内。图 3.3.17a 示出了 10kV 针式绝缘子绑扎方法, 对于低压针式绝缘子, 绑扎方法也是相同的。

(2) 侧绑法: 用于转角杆针式绝缘子上导线的绑扎。导线应放在绝缘子颈部外侧。若绝缘子顶槽太浅, 直线杆也可以用这种方法绑扎。侧绑法(颈扎法)如图 3.3.17b 所示, 在导线绑扎处同样要先绑以铝带。

(3) 终端绑扎法: 用于终端杆蝶式绝缘子上导线的绑扎, 其方法如图 3.3.5 所示。

(4) 用耐张线夹固定导线: 此法用于 6、10kV 及以上高压架空线路终端杆和断链杆上的导线的固定。

## 4 架空接户线

架空接户线又叫引入线。从架空线路电杆上引到建筑物第一个支持点的一段架空线称为架空接户线。

按架空接户线根据电压, 可分为低压架空接户线和高压架空接户线。

接户线应在电杆上及建筑物的进口处以绝缘子固定, 低压引入线装置安装做法如图 3.3.18~3.3.20 所示。

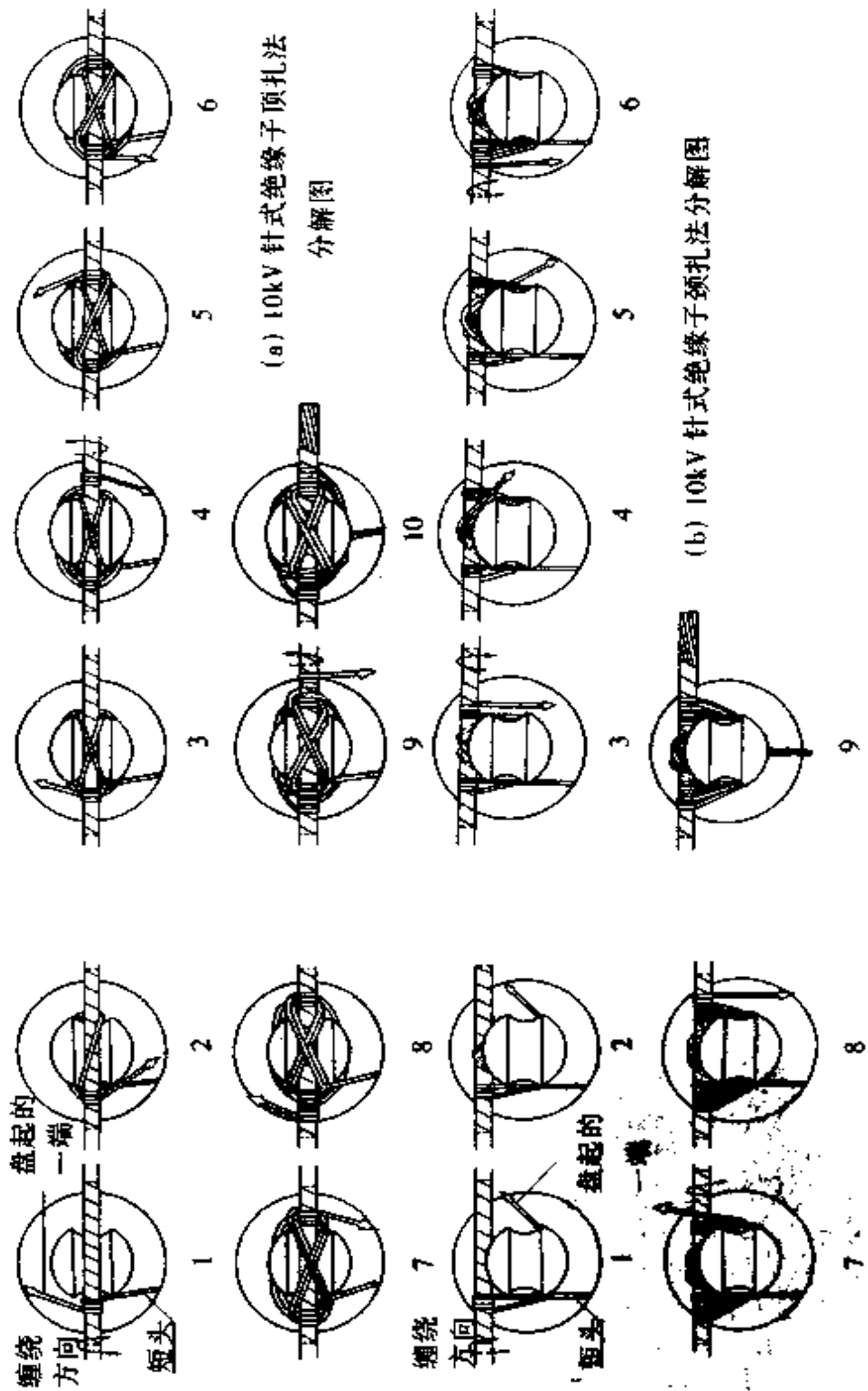


图 3.3.17 10kV 针式绝缘子绑扎方法示意图

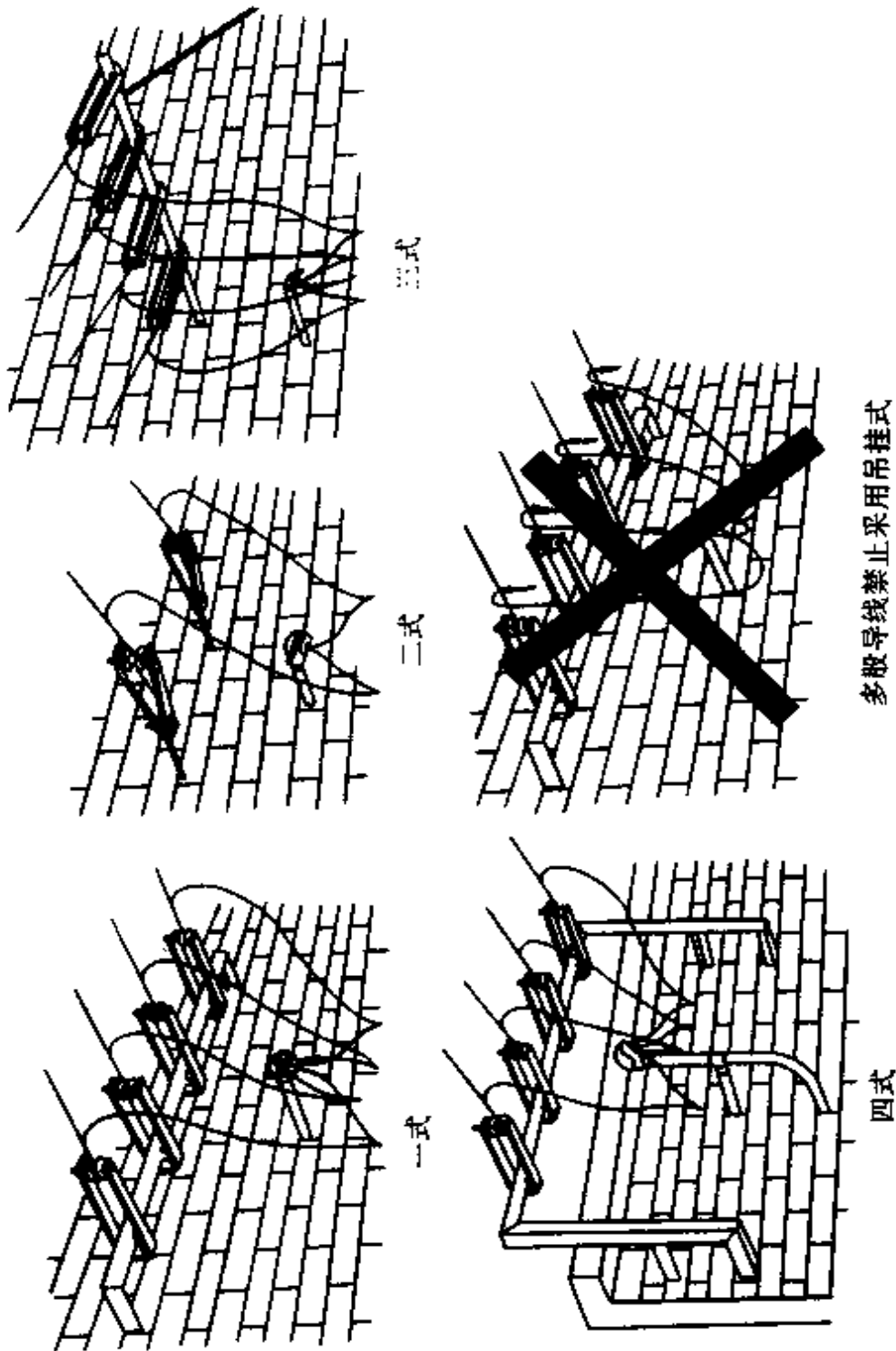


图 3.3.18 低压引入线装置安装做法图(一)

- 注: 1. 凡引入线直接与电能表相接者, 由防水弯头“倒人字”起至配盘间的一段导线, 均用 500V 铜芯橡胶绝缘导线, 如有电流互感器时, 二次线应用铜线。  
 2. 角钢支架燕尾螺栓一律随砌墙埋入。  
 3. 引入线进口点的安装高度距地面不应低于 2.7m



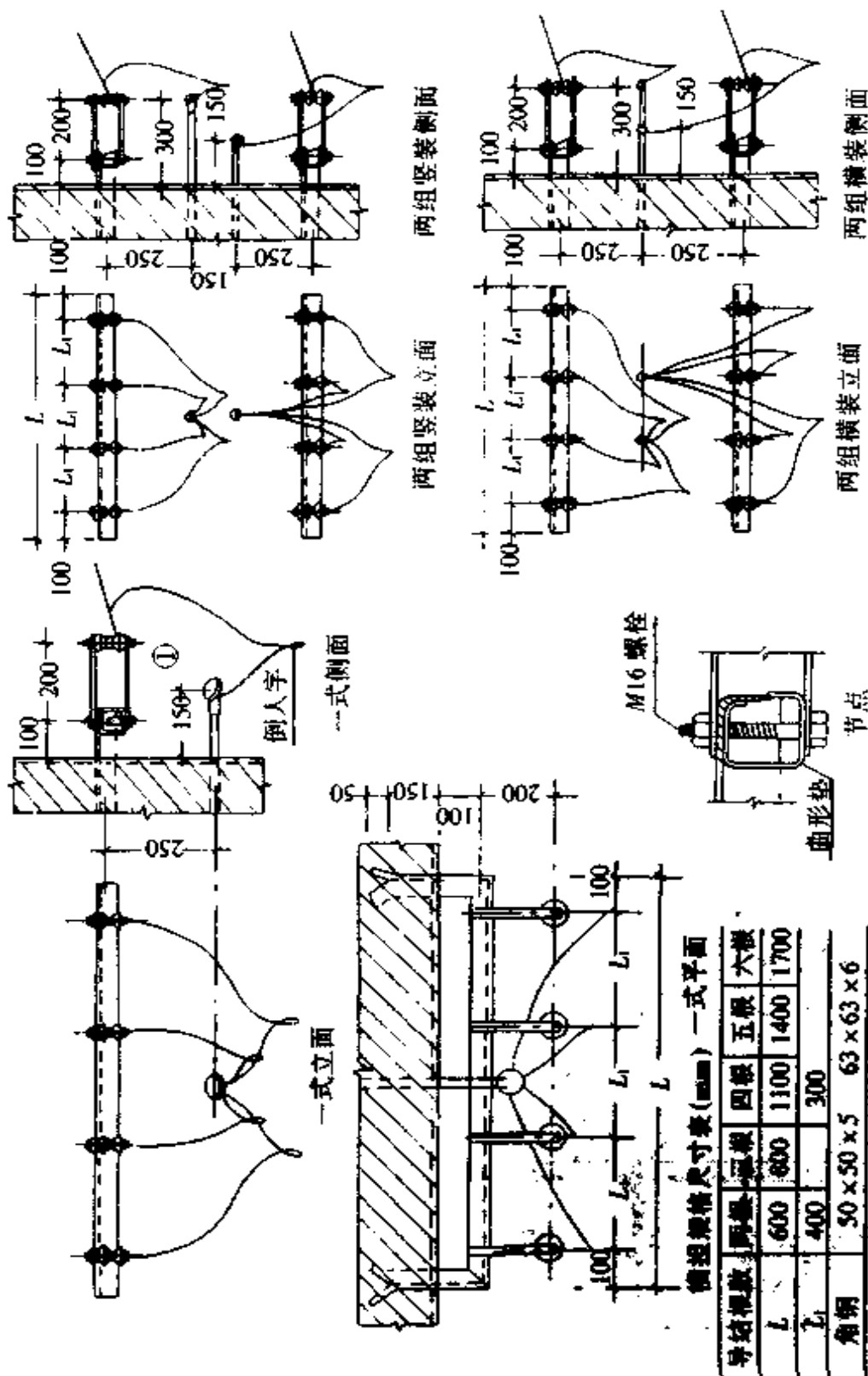


图 3.3.19 低压引入线装置安装做法图(二)



## 4.1 低压架空接户线

(1)自电杆引出的低压架空接户线,两支持点间距离不宜大于25m。如接户线的档距超过25m时,不应直接接入,这时应加装接户杆。接户杆一般不宜超过1根,接户杆可用钢筋混凝土杆或木杆(其直径不宜小于80mm)。

(2)接户线的最小线间距离不应小于表3.2.6所列数值。

(3)接户线不应使用裸导线。使用绝缘线时,其截面按导线允许安全电流选择。最小允许截面应符合表3.3.39之规定。

(4)接户线在入口处的最小对地距离应不小于2.5m。

(5)接户线在最大弧垂时,对地、路面的最小垂直距离应不小于表3.3.40所列数值。

(6)接户线对建筑物有关部分的最小距离应不小于表3.3.41所列数值。

(7)接户线与其他架空线路及金属管道交叉或接近时的最小允许距离应不小于下列数值:①接户线与架空管道、金属体交叉时为500mm;②接户线在最大风偏时,与烟筒、拉线、电杆的接近距离为200mm;③与弱电流用户线相接近时的水平距离为600mm;④接户线与其他架空线路和弱电流线路交叉时,应架设在下方,其垂直距离为600mm。如不能满足时,可采用瓷管等隔离。

表 3.3.39 接户线的最小截面

电压级别	接户线 架设方式	档 距 (m)	最小截面(mm <sup>2</sup> )			
			铜绞线	铝绞线	绝缘铜线	绝缘铝线
高压 (1kV以上)	架空	<30	16	25		
	架空	<30				
低压 (1kV以下)	自电杆上	<10			2.5	4
	引下	10~25			4	6
	沿墙敷设	≤6			2.5	4

表 3.3.40 接户线对地、路面的最小垂直距离

接户线架设条件	最小垂直距离(m)
(1)6~10kV接户线对地	4.5
(2)低压接户线对地	2.7(2.5)
(3)跨越道路的低压接户线 至路面中心:	
通车道路	6.0
难通车道路、人行道	3.0

注:1. 低压接户线应采用绝缘导线。

2. 括号内数字,在建筑物高度受限制时采用。

表 3.3.41 低压接户线对建筑物有关部分的最小距离

接户线接近建筑物的部位	最小距离(mm)
1. 与接户线下方窗户间的垂直距离	300
2. 与接户线上方阳台或窗户的垂直距离	800
3. 与窗户或阳台的水平距离	750
4. 与墙壁、构架之间距离	50

(8)接户线沿墙敷设时,支持点间距离不宜大于6m。支架应在墙上可靠固定。

(9)接户线在电杆上和进口处均应牢固地绑扎在绝缘子上,避免松动脱离。导线截面在 $16\text{mm}^2$ 及以上时,应使用蝶型绝缘子。绝缘子应安装在支架上或横担上,支架或横担应装牢固,并能承受接户线的全部拉力。

(10)不同金属,不同截面的接户线,在档距内不应连接。当跨越车道和建筑物时,应尽量无接头。

(11)接户线和进户线(引入至屋内导线)相接处,必须用绝缘布包扎。进户线应用橡皮线或双芯铅皮线,穿墙时必须用穿墙套管保护。保护套管安装成内高外低,以免雨水流入屋内。穿入钢管的导线不能有接头。钢管应接地,钢管端口应光滑,防止擦伤导线绝缘,装在墙内应牢固。

(12)在重雷区(40雷电日及以上者),从电杆引出的接户线第一个支持点的绝缘子的铁脚应接地。

## 4.2 高压架空接户线

(1)导线截面应不小于表3.3.46所列数值。

(2)接户线的线间距离不应小于450mm。

(3)接户线在引入口处的最小对地距离应不小于4.5m。

(4)不同金属、不同截面的接户线,在档距内不应连接,在其他地方如有铜铝相接时,应有可靠的过渡措施。

(5)接户线与各种设施交叉接近时,应按照规定。

高压(10kV)架空引入线穿插做法如图3.3.21和图3.3.22所示。

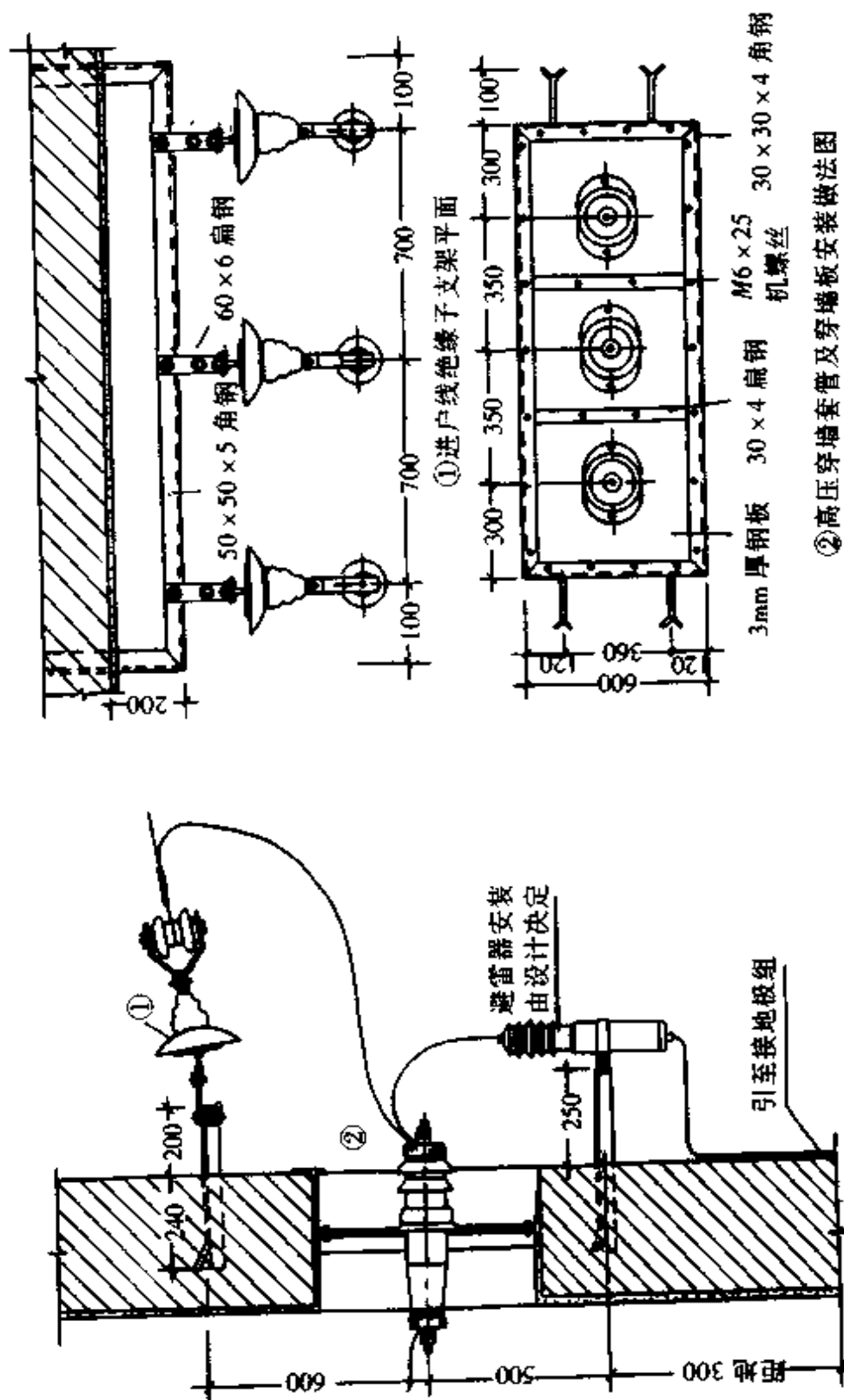


图 3.3.21 高压(10kV)架空引入线穿墙做法图(一)

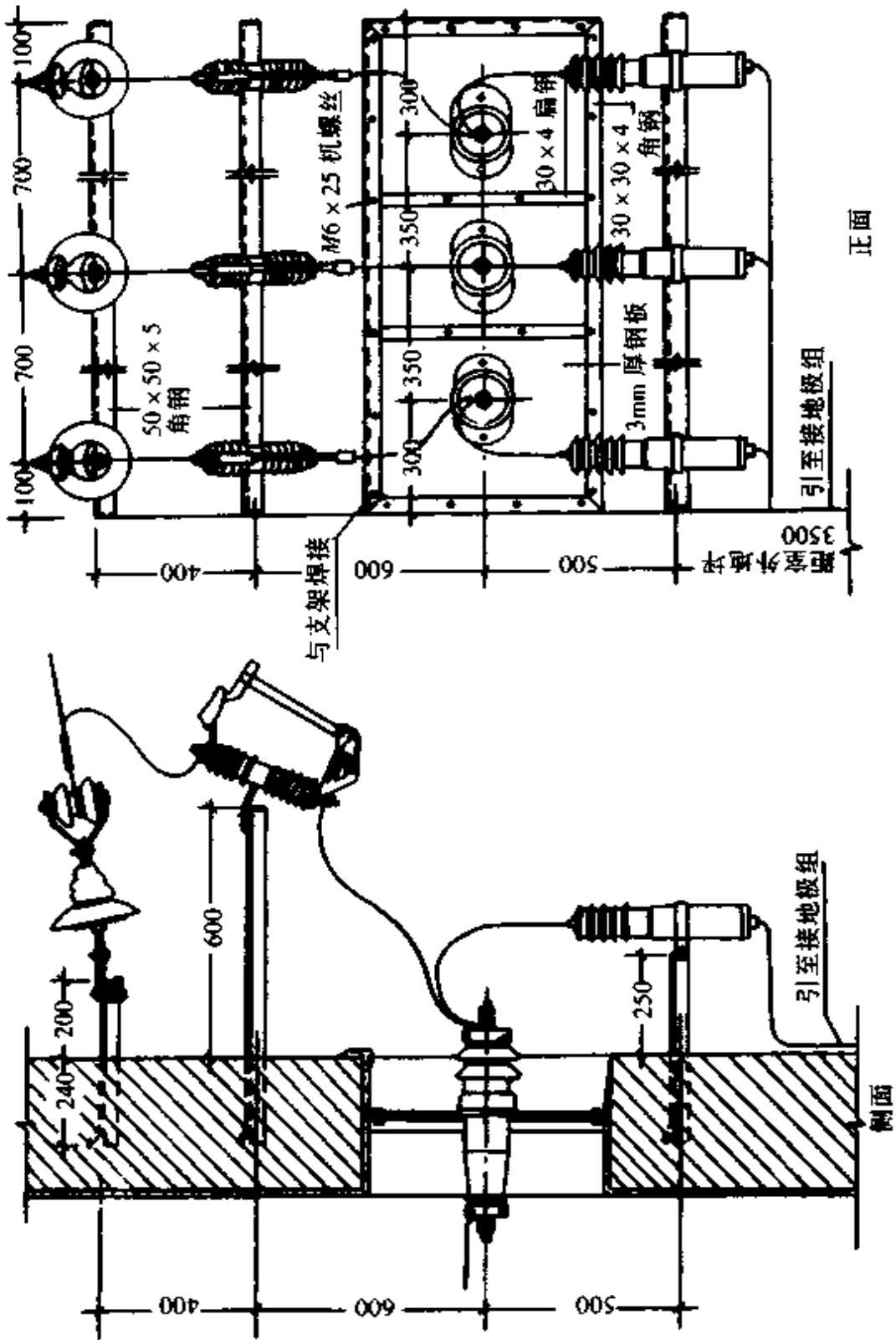


图 3.3.22 高压(10kV)架空引入线穿墙做法图(二)

## 第四章 电缆的敷设

### 1 电缆简介

将一根或数根绝缘导线组合成线芯,外面缠上密闭包扎层(铝、铅或塑料等),这种导线称为电缆。

#### 1.1 电缆的种类

电缆的种类很多,随着电缆的结构和用途不同,施工方法也不同。在电力系统中,最常见的电缆有两大类:即电力电缆和控制电缆。

电力电缆是用来输送和分配大功率电能的,按其所采用的绝缘材料不同,可分为三类:油浸纸绝缘电力电缆;橡皮绝缘电力电缆;聚氯乙烯绝缘电力电缆。

油浸纸绝缘电力电缆的优点是使用寿命长、耐压强度高、热稳定性好等;缺点是制造工艺比较复杂。此外,油浸纸绝缘电力电缆的浸渍剂容易淌流,因而不可避免在绝缘内形成气隙,降低其绝缘水平。通常采用消极的补救措施,即把最高允许温升限定得很低和把敷设位差限定得很小。不滴流浸渍型电缆,不但解决了浸渍剂的淌流问题,而且允许工作温度高,抗老化稳定性好,因此是这类产品发展的一个方向。这种电缆特别适用于垂直敷设和在热带地区使用。与油浸纸绝缘电力电缆相比,这种电缆在浸渍和配料方面要复杂些,浸渍周期也较长。不滴流浸渍型电缆发展为全铝型(铝芯,铝护套)结构,在技术经济上则更为合理。

聚氯乙烯绝缘电力电缆具有制造工艺简单,没有敷设位差的限制,工作温度可以提高,电缆的敷设、维护、接续都比较简便,又有较好的抗腐蚀性能等优点,已成为电力电缆中正在迅速发展的一类重要产品,目前已广泛运用于低压电力线路之中,运用于高压的范围也从6kV、10kV扩大至35kV。

控制电缆是配电装置中传导操作电流,连接电气仪表、继电保护和自动控制等回路用的电缆。它属于低压电力电缆,运行电压一般在交流500V或直流1000V以下,电流不大,而且是间断性负荷,所以导电线芯截面较小,一般为 $1.5\sim 10\text{mm}^2$ ,且均为多芯电缆,芯数从4芯到37芯。控制电缆的绝缘层有油浸纸绝缘、橡皮绝缘和聚氯乙烯绝缘三种,其型号和规格表示方法与电力电缆基本相同,只是在电力电缆的型号前面加一“K”字,如KZQ为铜芯裸铅包纸绝缘控制电缆。

电缆除了电力电缆和控制电缆之外,还有通讯电缆、同轴电缆,在工业与民用建筑中也较为常用。

## 1.2 电缆的型号和规格

我国电缆产品型号采用汉语拼音字母和阿拉伯数字组成,其含义见表 3.4.1 所示。

表 3.4.1 电缆型号字母含义

用途	导线材料	绝缘	内护层	特性	外护层
K—控制电缆	L—铝芯	Z—绝缘纸	H—橡套 Q—铅包	P—贫油式 D—不滴流	1—麻皮 2—钢带铠装
Y—移动电缆	T—铜芯	X—橡皮绝缘 V—聚氯乙烯绝缘	L—铝包 V—聚氯乙烯护套	F—分相铅包 C—重型	20—裸钢带铠装 3—细钢丝铠装 30—裸细钢丝铠装 5—单层粗钢丝铠装

如 ZLQ<sub>2</sub> 型电缆,表示铝芯纸绝缘铅包钢带铠装电力电缆。

ZLQF<sub>20</sub> 型电缆,表示铝芯纸绝缘分相铅包裸钢带铠装电力电缆。

### 1.2.1 油浸纸绝缘铅包电力电缆

其中裸包的 ZLQ(ZQ)型及铅包麻皮的 ZLQ<sub>1</sub>(ZQ<sub>1</sub>)型适用于室内无腐蚀场所敷设。铅包钢带铠装的 ZLQ<sub>2</sub>(ZQ<sub>2</sub>)型及铅包裸钢带铠装的 ZLQ<sub>20</sub>(ZQ<sub>20</sub>)型适用于地下敷设,能承受机械外力,但不能承受较大拉力。铅包细钢丝铠装 ZLQ<sub>3</sub>(ZQ<sub>3</sub>)型及铅包裸细钢丝铠装的 ZLQ<sub>30</sub>(ZQ<sub>30</sub>)型适用于地下敷设,能承受机械外力和一定的拉力。铅包粗钢丝铠装的 ZLQ<sub>5</sub>(ZQ<sub>5</sub>)型适用于水中敷设,能承受较大的拉力。

### 1.2.2 聚氯乙烯绝缘、聚氯乙烯护套电力电缆(简称全塑电力电缆)

这种电缆绝缘性能好,抗腐蚀,具有一定的机械强度,制造简单,允许在工作温度不超过  $\pm 65^{\circ}\text{C}$ ,环境温度不低于  $-40^{\circ}\text{C}$  的条件下使用。其中塑料护套的 VLV(VV)型可敷设在室内、隧道及管道中。钢带铠装的 VLV<sub>2</sub>(VV<sub>2</sub>)型可敷设在地下,能承受机械外力但不能承受大的拉力。细钢丝铠装的 VLV<sub>3</sub>(VV<sub>3</sub>)型可敷设在室内,能承受一定的拉力。

### 1.2.3 橡皮绝缘聚氯乙烯护套电力电缆

这种电缆多用于交流 500V 以下的线路。聚氯乙烯护套的 XLV(XV)型可敷设在室内、隧道及管道中,不能承受机械力的作用。钢带铠装的 XLV<sub>2</sub>(XV<sub>2</sub>)型可



在地下敷设,能承受机械力作用,但不能承受大的拉力。

#### 1.2.4 电缆的额定工作电压

按现行标准,纸绝缘电力电缆额定工作电压有 1、3、6、10、20 和 35kV 六种。橡皮绝缘电力电缆额定工作电压有 0.5 和 6kV 两种。聚氯乙烯绝缘电力电缆额定工作电压有 1 和 6kV 等。

#### 1.2.5 导电线芯

导电线芯通常是采用高导电率的铜或铝制成的。为了制造和应用上的方便,导电线芯的截面有统一的标称等级。油浸纸绝缘电力电缆线芯的截面等级分 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400mm<sup>2</sup> 等 16 种。

按照电缆线芯的芯数,有单芯、双芯、三芯和四芯等几种。单芯电缆一般用来输送直流电,单相交流电和用作高压静电发生器的引出线。双芯电缆用于输送直流电和单相交流电。三芯电缆用于三相交流电网中,是应用最广的一种。电压为 1kV 和 0.5kV 的电缆是四芯的,四芯电缆用于中性点接地的三相系统中,可作为电气设备的供电接线和保护接地线。四芯电缆的第四芯(称中性线芯),主要通过不平衡电流,因此截面仅为一根主线芯的 40%~60%。

电缆线芯的形状很多,有圆形、半圆形、扇形和椭圆形等。当线芯截面大于 25mm<sup>2</sup> 时,通常是采用多股导线绞合并经过压紧而成,这样可增加电缆的柔软性和结构稳定性。安装时,可在一定程度内弯曲而不受损伤。

## 2 电缆的敷设

电缆敷设的方法很多,包括直接埋在地下、装在室内地沟内、穿在管道中、装在地下隧道内、电缆托盘敷设以及沿建筑物明敷等。应根据电缆线路的长短、电缆数量、周围环境条件等具体条件决定敷设方法。

根据《电气装置安装工程施工及验收规范》GBJ232,现选述电缆敷设的有关规定和要求于下。

### 2.1 电缆管的加工及敷设

(1) 电缆保护管的加工及敷设与电气配管的要求基本相同。如电缆管弯制后的弯扁程度不大于管子外径的 10%,管口应作成喇叭口形或磨光。

(2) 电缆管内径应不小于电缆外径的 1.5 倍,混凝土管、陶土管,石棉水泥管应不小于 100mm。

(3) 电缆管的弯曲半径应符合所穿入电缆弯曲半径的规定。每根电缆管最多不应超过 3 个弯头,直角弯应不多于 2 个。

(4) 电缆明敷时,应符合下列要求:电缆管应安装牢固,不宜将电缆管直接焊在

支架上,电缆管支持点间的距离,当设计无规定时,不宜大于表 3.4.2 中的数值;当塑料管的直线长度超过 30m 时,宜加装补偿装置。

表 3.4.2 电缆管支持点间的距离

支持点间距离 (m) 管径 (mm)	电缆管类别	钢 管		
		硬质塑料管	薄壁钢管	厚壁钢管
20 及以下		1.0	1.0	1.5
25 ~ 32		—	1.5	2.0
32 ~ 40		1.5	—	—
40 ~ 50		—	2.0	2.5
50 以上		2.0	—	—
70 以上		—	2.5	3.5

(5) 电缆管的连接应符合下列要求:①金属管宜采用大一级的短管套接,短管两端焊牢密封,当采用带有丝口的管接头连接时,连接处应密封良好;②硬质塑料管在套接或插接时,其插入深度不应小于管子内径的 1.1~1.8 倍,在插接面上应涂以胶合剂粘牢密封;采用套接时,套管两端应封焊,以保证牢固、密封。

(6) 采用钢管作电缆管时,应在外表涂以防腐漆(埋入混凝土内的管子可不涂漆);采用镀锌管时,锌层剥落处也应涂以防腐漆。

(7) 引至设备的电缆管管口位置,应便于与设备连接并不妨碍设备拆装和进出。并列敷设的电缆管管口应排列整齐。

(8) 利用电缆的保护钢管作接地或接零线时,应首先焊好接地或接零线,再敷设电缆。

有丝扣的管接头处,须用跳线焊接。

(9) 敷设混凝土、陶土、石棉水泥等电缆管时,其地基应坚实、平整,不应有沉降。电缆管的敷设应符合下列要求:电缆管的埋设深度一般为 800mm;在人行道下面敷设时,不应小于 500mm;在重车通行的地方要增加埋设深度;电缆管应有不小于 0.1% 的排水坡度;电缆管的内表面应光滑;连接时管孔应对准,接缝应严密,防止地下水和泥浆渗入。

## 2.2 电缆支架的配制及安装

(1) 钢结构支架所用钢材应平直,无显著扭曲。下料后长度偏差应在 5mm 以内,切口处应无卷边、毛刺。

(2) 钢支架应焊接牢固,无显著变形。支架各横撑间的垂直净距应符合设计要求,其偏差不应大于 2mm。当设计无规定时,可参照表 3.4.3 的数值,但层间净距应不小于两倍电缆外径加 10mm;充油电缆为不小于两倍电缆外径加 50mm。

(3) 电缆支架应安装牢固,横平竖直。各电缆支架的同层横档应在同一水平面上,其高低偏差不应大于 5mm。在有坡度的电缆沟内或建筑物上安装的电缆支架,应有与电缆沟或建筑物相同的坡度。电缆支架横档至沟顶、楼板或沟底的距离,当设计无规定时,应不小于表 3.4.4 的数值。

表 3.4.3 电缆支架层间最小允许垂直净距

层间 电缆种类	敷 设 方 法		电 缆 夹 层	电 缆 隧 道	电 缆 沟	架 空 (吊钩除外)
	最小允许 垂直净距 (mm)					
电 力 电 缆	10kV 及以下		200	200	150	150
	20~35kV		—	250	200	200
	充 油	外径 ≤ 100mm	—	300	—	—
	电 缆	外径 > 100mm	—	350	—	—
控 制 电 缆			120	120	100	100

表 3.4.4 电缆支架横档至沟顶、楼板或沟底的最小距离 mm

项 目	敷 设 方 式		
	电 缆 隧 道 及 夹 层	电 缆 沟	吊 架
最上层横档至沟顶或楼板	300~350	150~200	150~200
最下层横档至沟底或地面	100~150	50~100	—

(4) 组装后的钢结构竖井,其垂直偏差不应大于其长度的 2/1000; 支架横撑的水平误差不应大于其宽度的 2/1000; 竖井对角线的偏差不应大于对角线长度的 5/1000。

(5) 电缆托架的制作、安装应符合设计的要求。

(6) 电缆支架必须先涂防腐底漆。刷漆应均匀完整。

位于湿热、盐雾以及有化学腐蚀地区的电缆支架,应作特殊的防腐处理或热镀锌;也可采用其他耐腐蚀性能较好的材料制作支架。

## 2.3 电缆敷设的一般规定

(1) 电缆敷设前应进行下列检查:①支架应齐全、油漆完整;②电缆型号、规格、电压应符合设计要求;③电缆绝缘良好,当对油纸电缆的密封有怀疑时,应进行潮湿判断;④直埋电缆与水底电缆应进行直流耐压试验;⑤充油电缆的油样应进行试

验;⑥充油电缆的油压不宜低于  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2)在三相四线制系统中使用的电力电缆,不应采用三芯电缆另加一根单芯电缆或把导线或电缆的金属护套等用作中性线的方式。在三相系统中,不得将三芯电缆中的一芯接地运行。

(3)三相系统中使用的单芯电缆,应组成紧贴的正三角形排列(充油电缆和水底电缆可除外),并且每隔 1m 应用绑带扎牢。

(4)并联运行的电力电缆,其长度应相等。

(5)电缆敷设时,在终端头和中间接头处应留有备用长度。直线段尚应在全长上留有少量裕度,并作波浪形敷设。

(6)电缆各支持点间的距离应符合设计规定。当设计无规定时,则不应大于表 3.4.5 中所列数值。

表 3.4.5 电缆各支持点间的距离

m

敷 设 方 式		支架上敷设		钢索上悬吊敷设	
		水平	垂直	水平	垂直
电力 电缆	充油电缆	1.5	2.0	—	—
	橡皮及其他油纸电缆	1.0	2.0	0.75	1.5
控 制 电 缆		0.8	1.0	0.6	0.75

(7)电缆的弯曲半径不应小于表 3.4.6 的规定。

(8)油浸纸绝缘电缆最高与最低点之间的最大位差不应超过表 3.4.7 的规定,当不能满足要求时,应采用适用于高位差的电缆,或在电缆中间设置塞止或接头。

(9)电缆敷设时,电缆应从盘的上端引出,应避免电缆在支架上及地面摩擦拖拉。电缆上不得有未消除的机械损伤(如铠装压扁、电缆绞拧、护层拆裂等)。

表 3.4.6 电缆弯曲半径与电缆外径的比值

电缆护套类型		电力电缆		其他电缆
		单芯	多芯	多芯
金属 护 套	铅	25	15	15
	铝	30	30	30
	皱纹铝套和皱纹钢套	20	20	20
非金属护套		20	15	无铠装 10 有铠装 15

注:1.表中未说明者,包括铠装和无铠装。

2.电力电缆中包括油浸纸绝缘电缆(包括不滴流电缆)及橡、塑绝缘电缆。

表 3.4.7 油浸纸绝缘电缆最大允许位差 m

电 压 等 级 (kV)		电缆结构类型	最大允许位差	
			铅 包	铝 包
粘 性 浸 渍 纸 绝 缘 电 力 电 缆	1~3	有铠装	25	25
		无铠装	20	25
	6~10	有或无铠装	15	20
	20~25	有或无铠装	5	—

注:1. 不滴流油浸纸绝缘电力电缆无位差限制。

2. 水底电缆线路的最低点是低水位的水平面。

(10)用机械敷设电缆时的牵引强度应不大于表 3.4.8 的数值。

表 3.4.8 电缆最大允许牵引强度

牵 引 方 式	牵 引 头		钢 丝 网 套	
	铜 芯	铝 芯	铅 套	铝 套
受 力 部 位				
允许牵引强度(kg/cm <sup>2</sup> )	7	4	1	4

(11)油浸纸绝缘电力电缆在切断后,应将端头立即铅封;塑料绝缘电力电缆,也应有可靠的防潮封端。

(12)切断电缆时应防止金属屑及污物侵入电缆。

(13)敷设电缆时,如电缆存放地点在敷设前 24h 内的平均温度或敷设现场的温度低于表 3.4.9 的数值时,应采取措施,否则不宜敷设。

表 3.4.9 电缆最低允许敷设温度

电 缆 类 型	电 缆 结 构	最低允许敷设温度(℃)
油浸纸绝缘电力电缆	充油电缆	-10
	其他油纸电缆	0
橡皮绝缘电力电缆	橡皮或聚氯乙烯护套	-15
	裸铝套	-20
	铅护套钢带铠装	-7
塑料绝缘电力电缆		0
控 制 电 缆	耐寒护套	-20
	橡皮绝缘聚氯乙烯护套	-15
	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套	-10

(14)电缆进入电缆沟、隧道、竖井、建筑物、盘(柜)以及穿入管子时,出入口应封闭,管口应密封。对于有抗干扰要求的电缆线路,应按设计规定采取抗干扰措施。

(15)电缆的排列,当设计无规定时,应符合下列要求:①电力电缆和控制电缆

应分开排列;②当电力电缆和控制电缆敷设在同一侧支架上时,应将控制电缆敷设在电力电缆的下面,1kV及以下电力电缆应放在1kV以上电力电缆的下面,充油电缆可例外。

(16)电缆与热力管道、热力设备之间的净距:平行时应不小于1m;交叉时应不小于0.5m。如无法达到时,应采取隔热保护措施。

电缆不宜平行敷设于热管道的上部。

(17)明敷在室内及电缆沟、隧道、竖井内的电缆应剥除麻护层,并应对其铠装加以防腐。

(18)电缆敷设完毕后,应及时清除杂物,盖好盖板。必要时,尚应将盖板缝密封,以免水、油、灰等侵入。

(19)电缆穿管时,应符合下列规定:①每根电力电缆应单独穿入一根管内,但交流单芯电力电缆不得单独穿入钢管内;②裸铠装控制电缆不得与其他外护层的电缆穿入同一根管内;③敷设在混凝土管、陶土管、石棉水泥管内的电缆宜使用塑料护套的电缆;④保护管埋入地面的深度不应小于100mm(埋入混凝土内的不作规定),伸出建筑物散水的长度不应小于250mm。

(20)电缆埋设深度应符合下列要求:①电缆表面距地面的距离应不小于0.7m,穿越农田时应不小于1m,6.6kV及以上的电 缆应不小于1m,只有在引入建筑物、与地下建筑物交叉及绕过地上建筑物处,可埋设浅些,但应采取保护措施;②电缆应埋于冻土层以下。当无法深埋时,应采取保护措施,防止电缆受到损坏。

(21)电缆之间、电缆与其他管道、道路、建筑物等之间平行交叉时的最小距离,应符合表3.4.10的规定。严禁将电缆平行敷设于管道的上面或下面。

(22)电缆与铁路、公路、城市街道、厂区道路交叉时,应敷设于坚固的保护管或隧道内。电缆管的两端宜伸出道路路基两边各2m;伸出排水沟0.5m;在城市街道应伸出车道路面。

(23)直埋电缆的上、下需铺以不小于100mm厚的软土或沙层,并盖以混凝土保护板,其覆盖宽度应超过电缆两侧各50mm,也可用砖块代替混凝土盖板。

软土或沙子中不应有石块或其他硬质杂物。

(24)电缆与对应电缆沟尺寸可参照表3.4.11进行选择。

表 3.4.10 直埋电缆与各种设施的最小净距 m

设施名称	平行时	交叉时
建筑物、构筑物基础	0.5	
电杆基础	0.6	
10kV 以上电力电缆	0.25(0.1)	0.5(0.25)
10kV 及以下电力电缆之间,以及与控制电缆之间	0.1	0.5(0.25)
通信电缆	0.5(0.1)	0.5(0.25)
热力管沟	2	(0.5)
油管道(管沟)	1	0.5
水管、压缩空气管	1(0.25)	0.5(0.25)
可燃气体及易燃、可燃液体管道	1	0.5(0.25)
道路	1.5	1
铁路(电气化铁路除外)	3	1
排水明沟(平行时与沟边、交叉时与沟底)	1	0.5

注:1. 表中净距,应以各种设施的外缘计算。

2. 表中括号内数字,是指局部地段电缆穿管,加隔板保护或加隔热层保护后允许的最小净距。
3. 路灯电缆与道路灌木丛平行距离不限。
4. 电缆与水管、压缩空气管平行,电缆与管道标高差不大于 0.5m 时,平行净距可减小至 0.5m。
5. 电缆与建筑物平行敷设时,应埋设在散水坡 100mm 以外。
6. 电缆与热力管沟交叉时,如电缆穿石棉水泥管保护,其长度应伸出热力管沟两侧各 2m,用隔热保护层时应超出热力管沟和电缆两侧各 1m。
7. 电缆与道路、铁路交叉时,应穿保护管,管伸出路基 1m。

表 3.4.11 电缆与电缆沟尺寸配合表

电缆数目	电 缆 沟 尺 寸 (mm)	
	电缆沟的宽度	电缆沟高度(净高)
2	200	200
4	400	200
6	600	200
8	1000	400
12	1000	550
16	1000	700
20	1000	850

### 3 电缆终端头及电缆中间接头

电缆终端头(又称电缆终端)或电缆中间接头(又称电缆中间连接盒)的制作安装是电缆敷设工程的关键工序。其制作工艺要求高,涉及的材料规格品种也较多,应由经过培训的熟练的技术工人进行操作。

油浸纸绝缘电缆必须在密封的状态下运行,而电缆头是保证电缆密封性的最关键的环节和部位。

电缆头制成后,其耐压值应不低于电缆本身的电气强度要求,并要求有足够的机械强度,以抵御在线路上可能遭到的机械应力,包括外来的机械损伤及短路时的电动应力,还应保证电缆绝缘免受周围环境的潮气和其他有害物质的侵入。

电缆头所用的材料要吸水性小,透气性小,电气稳定性好,不能采用能引起加速老化和降低绝缘强度的材料。电缆头施工质量的好坏,除是否按严格的工艺要求操作外,材料的选用也是极重要的环节。材料不仅应进行外观检查,且要掌握耐压试验的数据,这样才能保证工艺水平。

电缆终端头安装制作参见图 3.4.1~图 3.4.7。主要材料及部分材料的性能见表 3.4.12~表 3.4.18。

表 3.4.12 环氧树脂电缆头用主要材料表

序号	材料名称	规格	数量	备注
1	环氧树脂	6101号或634	1.5~2kg	按电缆大小定 0.06毫米粒径 聚烯胺类 (重量比)
2	石英粉	250~270目(颗粒细度)	1.5~2kg	
3	固化剂	651号或650号	0.5~0.8kg	
4	封铅焊料	65%铅+35%锡	2kg	
5	硬脂酸		0.5	

注:封铅焊料用的铅、锡的纯度必须很高,如果用电缆铅包进行配制时,因铅包上有污垢浮于液态铅锡表面,在这种情况下,可以加入适量的硬脂酸去污。

表 3.4.13 耐油橡胶管内径选择表

电缆额定电压 (kV)	电缆芯线截面(mm <sup>2</sup> )									
	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
1~3	9	9	11	11	13	15	17	19	21	23
6~10	11	11	13	15	17	19	21	23	25	27

注:耐油橡胶管用于油浸纸绝缘终端头的制作。



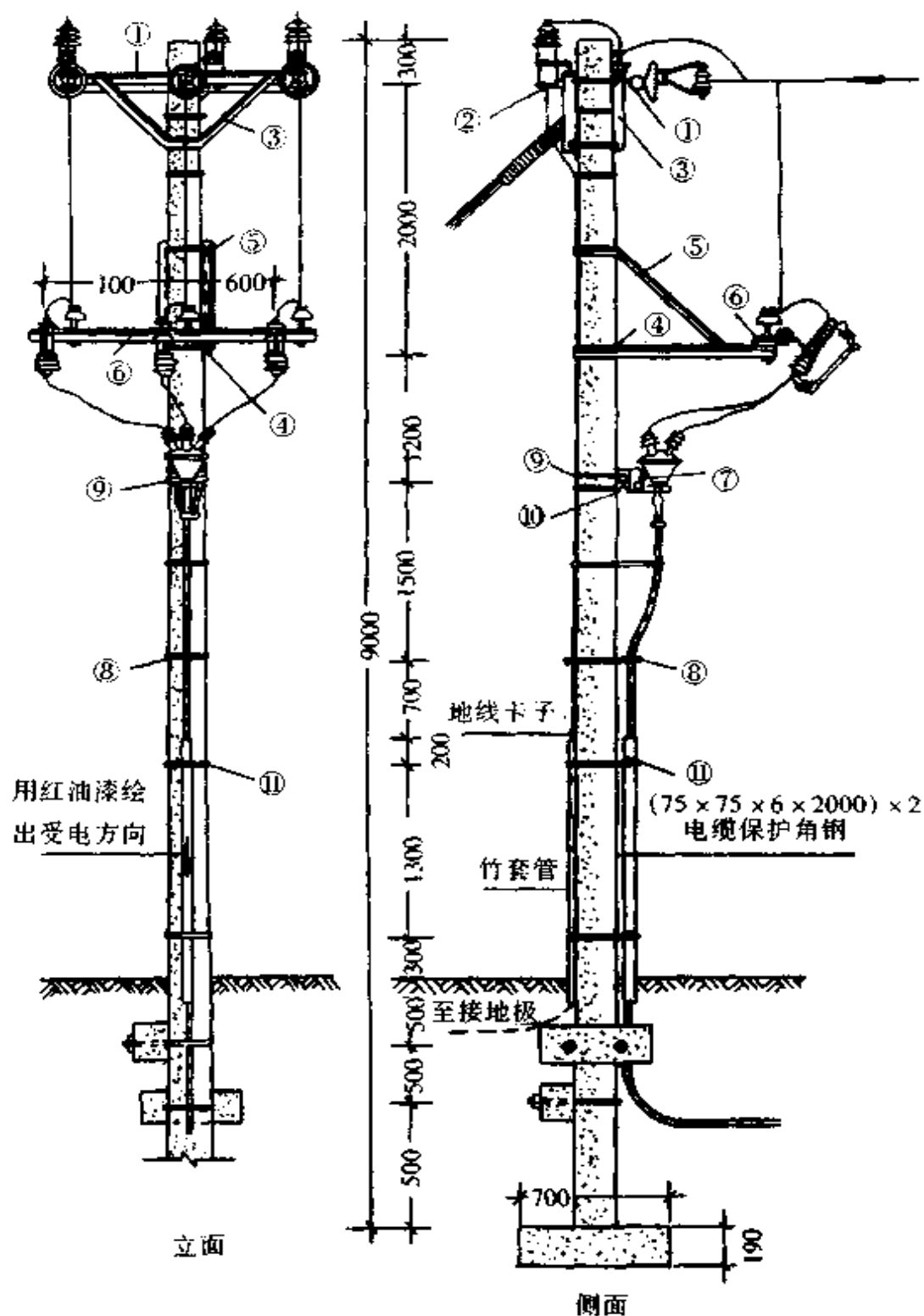


图 3.4.1 10kV 电缆终端杆安装做法图(一)

- 1—横担 2—支架 3—斜撑 4—横担 5—斜撑杆 6—横担 7—电缆支架  
8—电缆卡箍 9—电缆头包箍 10—螺栓 11—电缆保护管抱箍

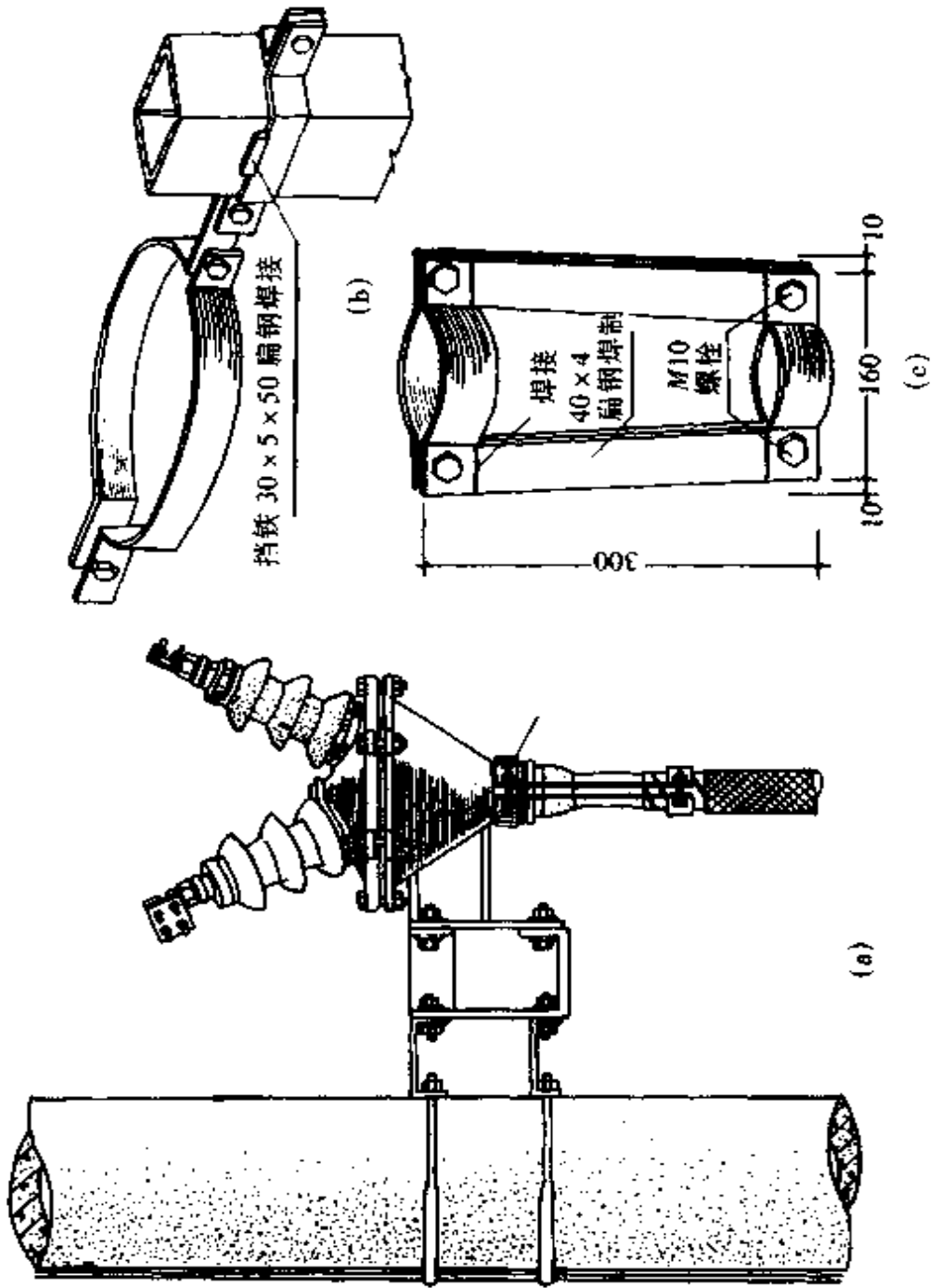
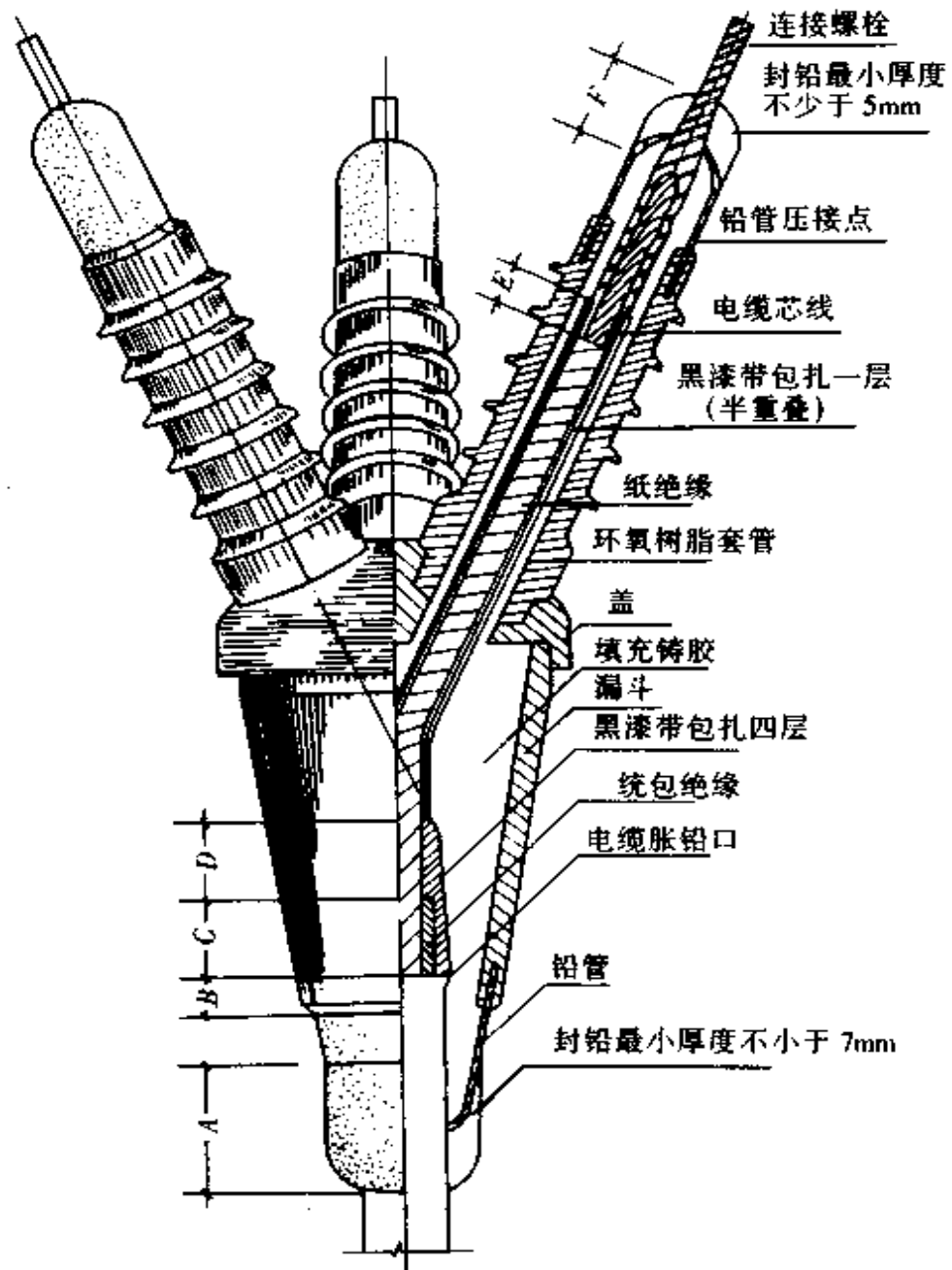


图 3.4.2 10kV 电缆终端杆安装做法图(二)  
(a)电缆终端头安装示意 (b)电缆保护角钢组表示意 (c)防扭抱箍



主要尺寸表

电缆规格 (mm <sup>2</sup> )	各部位尺寸(mm)					
	A	B	C	D	E	F
3×50 以下	30~40	10	20	20	10	20~30
3×70×240	45~50	10	25	25	15	20~30

图 3.4.3 室内 10kV 环氧树脂预制终端头做法图

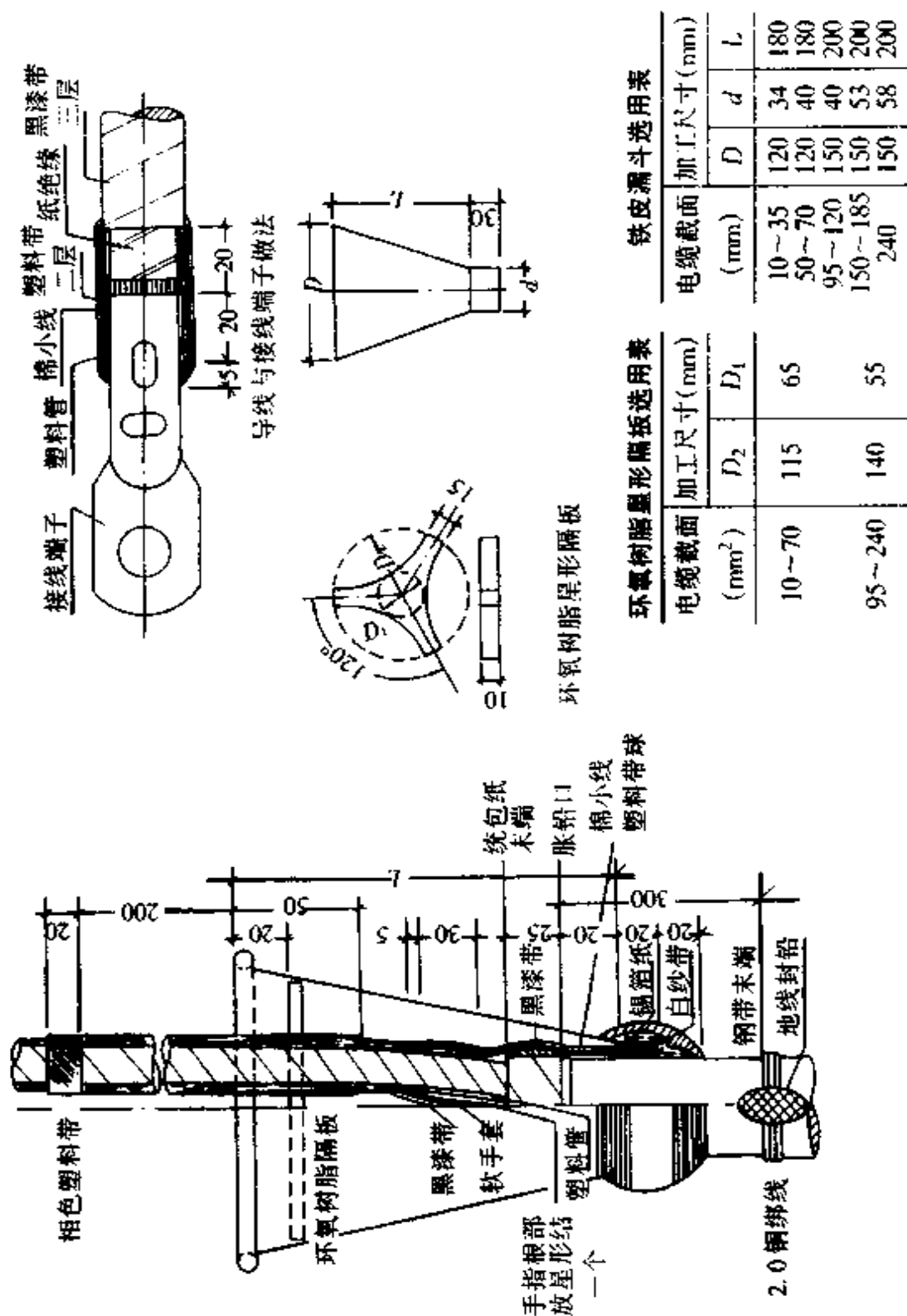
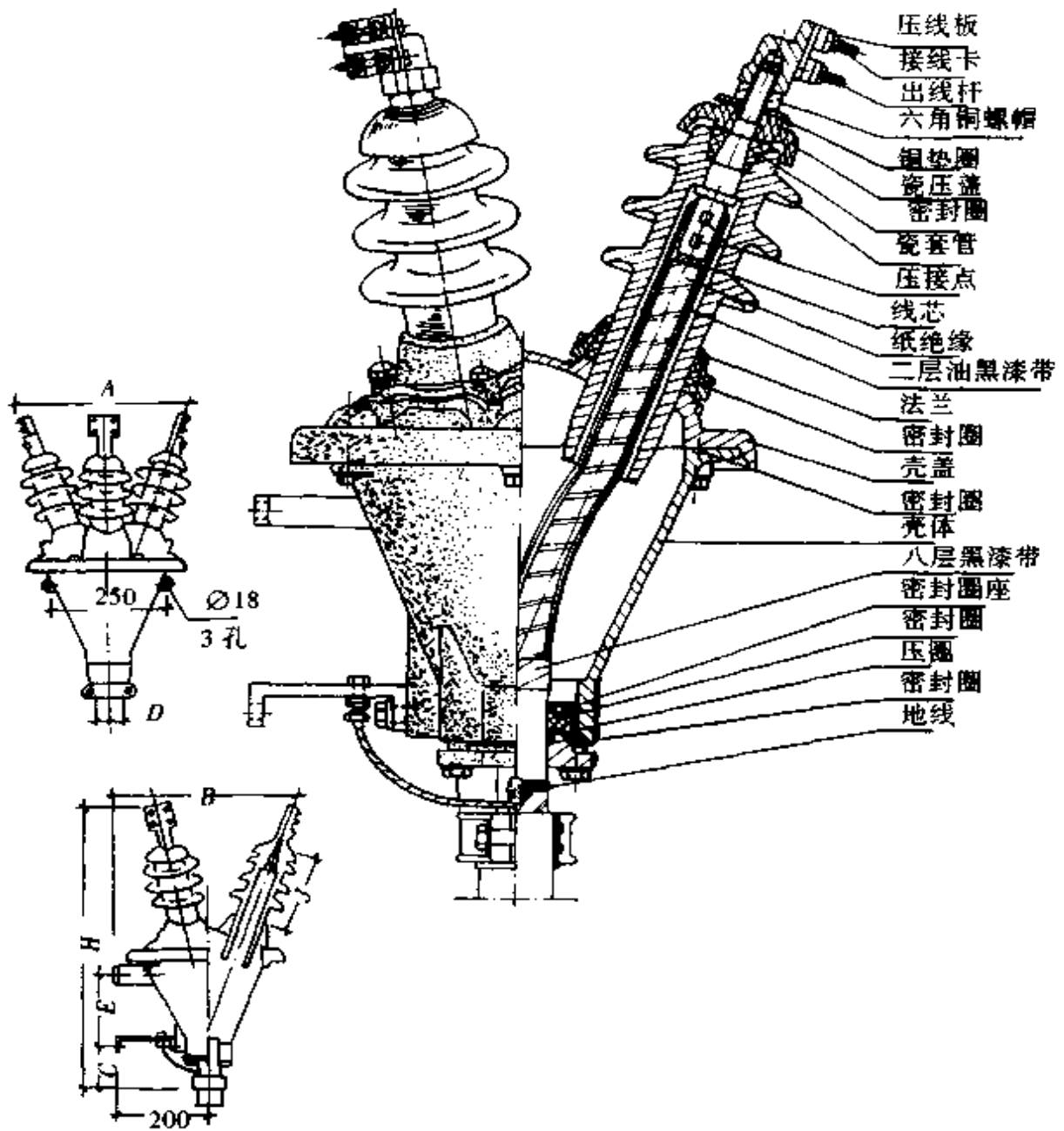


图 3.4.4 室内 10kV 铁皮漏斗终端头做法图



主要尺寸表

型号	额定电压 (kV)	电缆芯数	电缆截面 (mm <sup>2</sup> )	尺寸(mm)						
				A	B	C	D	E	H	J
WD-232	6 10	3	10~70 16~50				50	125	670	
WD-233	6 10	3	95~185 70×150	388	420	105	65	173	716	190
WD-234	6 10	3	240 185~240				65	173	125	

图 3.4.5 室外 10kV 鼎足式电缆终端头做法图

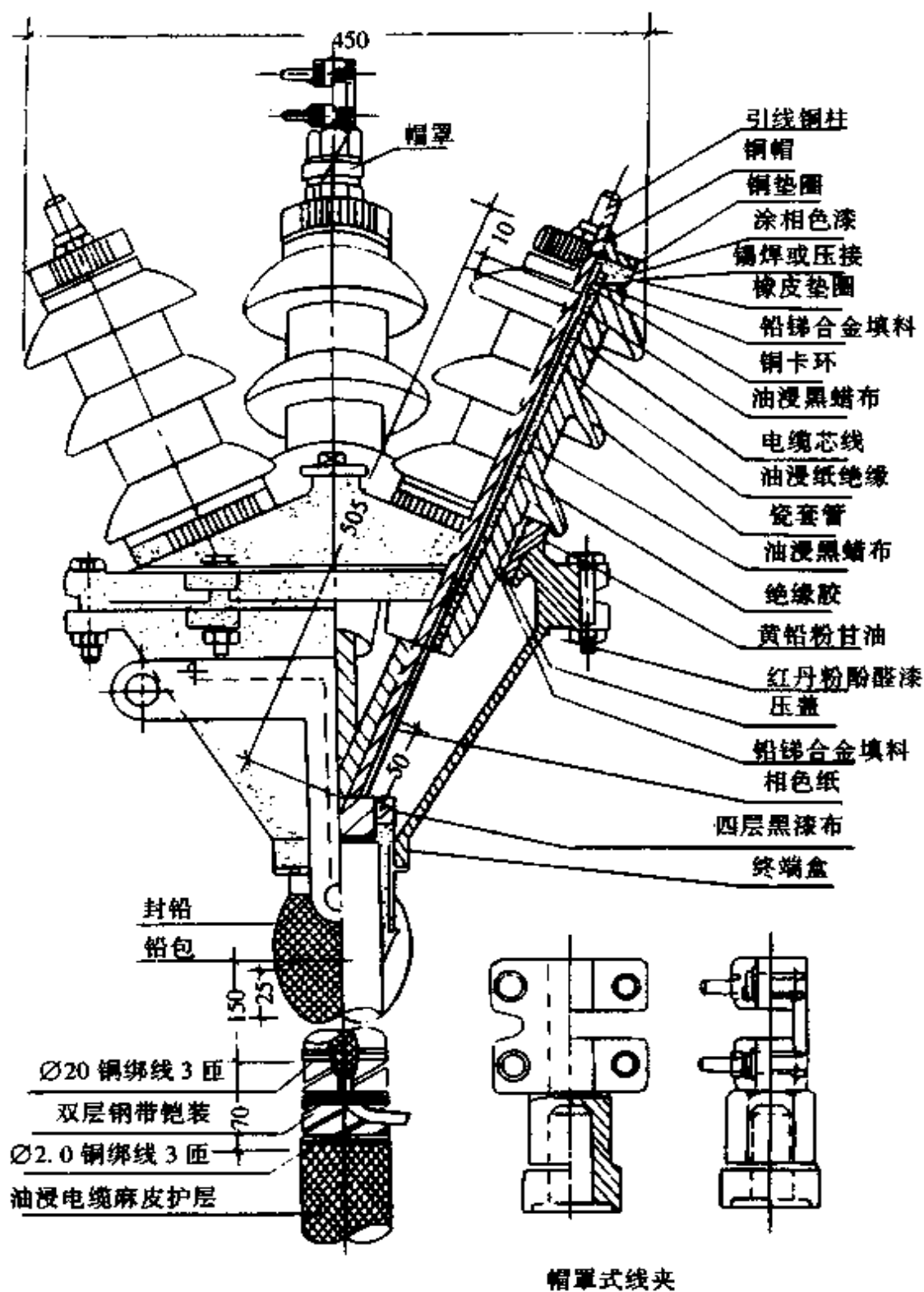
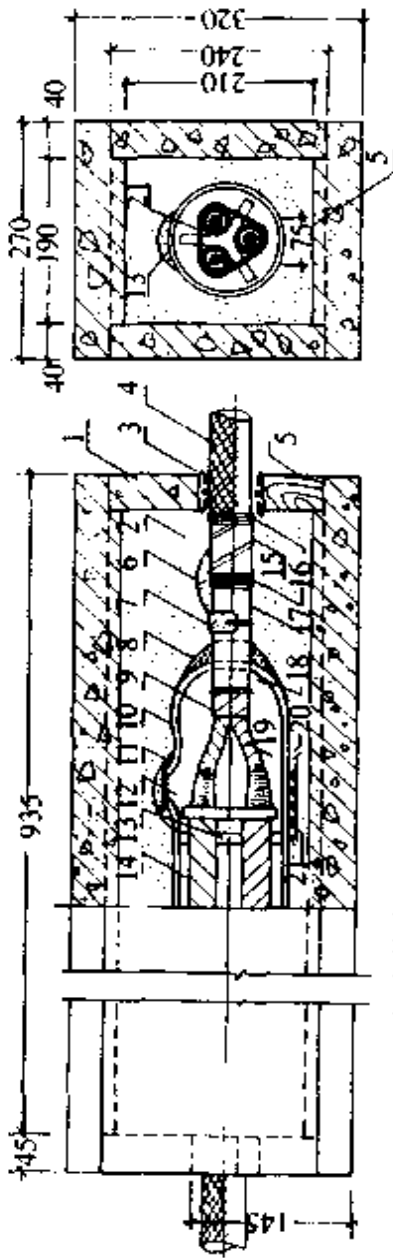
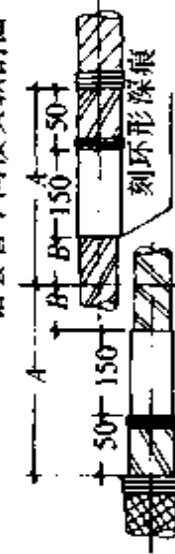


图 3.4.6 室外 10kV 256 型电缆终端头做法图



铅套管中间接头纵剖面



电缆接头芯线切割尺寸详图

$$A = \frac{1}{2} \text{ 铅管长} + 175\text{mm}$$

$$B = \frac{1}{2} \text{ 铅管长} - 25\text{mm}$$

横剖面

电缆接头各部做法要求表

索引号	做法要求	索引号	做法要求
1	混凝土保护盒	11	加剂孔封铅
2	盒内接头上下均以细土填实	12	加剂孔
3	垫以沥青麻填料	13	瓷隔板
4	电缆麻护层	14	相绝缘外缠油浸黑蜡布
5	油浸木制端头堵	15	电缆钢带保护层
6	将钢带与铅包用铅焊在一起	16	用 4.0mm <sup>2</sup> 铜绑线 3 匝扎牢
7	电源侧电缆封铅后, 挂上接头铭牌	17	电缆铅皮
8	封铅(铅 65% + 锡 35%)	18	沥青绝缘剂
9	统包绝缘外包油浸黑蜡布	19	相绝缘外一般包油浸黑蜡布
10	铅套管	20	铅管外涂 3 层热沥青, 缠 2 层高丽纸
		21	用 6 层油浸白纱带将三芯扎牢

图 3.4.7 10kV 电缆中间接头铅套管做法图

表 3.4.14 室外 WDZ256 电缆终端头主要材料表

序号	名称	规格	备注
1	鼎足式电缆头	256 型或 WDZ	
2	蜡布带	黑玻璃丝带 20~25mm	按蜡带机电性能表选用
3	变压器油	25 号或 45 号	经试验合格的油
4	绝缘胶	MB-90	
5	封铅	65% 铅 + 35% 锡	铅、锡均要高纯度
6	硬脂酸	65 号~70 号	
7	黄铅粉		
8	干油		
9	汽油	65 号~70 号	
10	尼龙小绳		
11	松香		
12	双面卡叽布		
13	裸铜线	10mm <sup>2</sup> , 多股	炭刷线
14	纱布		
15	棉纱布		
16	白布		

表 3.4.15 1~10kV 户内聚丙烯电缆头(聚丙烯冷浇壳式电缆头选用表)

芯数	型号	适用范围 (mm <sup>2</sup> )				壳体高度 (mm)
		1kV	3kV	6kV	10kV	
三芯	1号	10~50	10~50	10~25		148
三芯	2号	70~120	70~120	35~70	16~50	167
三芯	3号	150~240	150~240	95~185	70~150	190
三芯	4号			240	185~240	210

型号	规格	适用范围	
		聚丙烯壳体电缆头	环氧树脂壳体电缆头
G2 环氧 树脂 冷浇 剂	1号	用于三芯 1号 四芯 1号	用于 3×10~3×70
	2号	用于三芯 2号 四芯 2号	用于 3×95~3×150
	3号	用于三芯 3号 四芯 3号	用于 3×185~3×240
	4号	用于三芯 4号	

注:冷浇剂的号与外壳号相配。



表 3.4.16 1kV 以下聚丙烯冷浇壳式四芯终端头外壳

壳体序号	1号	2号	3号	4号
适用电缆截面	10~50	70~95	120~185	
壳体高度(mm)	148	168	190	

注:1.10kV冷浇型环氧树脂电缆头的外壳是采用聚丙烯注塑成型,灌浇环氧树脂复合物时起模具作用。上盖的注塑材料与壳体相同,它的作用主要是保护三芯相距,保证壳体内部的绝缘,并增加美观。

表 3.4.17 黄蜡带、黑蜡带、浸渍玻璃纤维带的机械电气性能

绝缘带名称	抗拉强度 (kg/cm <sup>2</sup> )	吸水率 (%)	耐压强度 (kV/mm)	伸长率 (%)
黄蜡带	240	<0.08	4.75	9.7
黑蜡带	259	<0.08	5.55	10.4
3421 黑玻璃纤维带	300	<0.03	4.50	10
3424 黄玻璃纤维带	300	<0.03	3.7	10
3425 酸性玻璃纤维带	300	<0.03	4.5	10

表 3.4.18 聚氯乙烯带的规格及性能

牌 号	伸长率 (%)	抗拉强度 (kg/cm <sup>2</sup> )	软化温度 (℃)	耐寒性 (℃)	吸水性 (%)
5102 电缆用特种软 聚氯乙烯带	>150	>100		-40	<1
5301-1	>280	>160	170~180	-50	<0.03
5301-2	>200	>180	180~190	-50	<0.03
5301-3	>200	>180	180~190	-40	<0.03

电缆终端头制作中,主要采用浇注及涂料两种环氧树脂复合物。环氧树脂与填充剂仅是机械混合,故称为环氧树脂复合物。

环氧树脂种类很多,目前常用浇注电缆头的环氧树脂主要有 618、634 和 6101 三种牌号。634 软化点高,粘度大。618 软化点最低,粘度最小。6101 则软化点和粘度都较低,是目前比较适用的一种浇注材料,制作电缆终端头时普遍采用。有关其他环氧树脂的产品规格见表 3.4.19。固化后环氧树脂复合物的性能在很大程度上取决于硬化剂的选择正确与否。

固化剂分为常温(室温)固化剂和高温固化剂两大类。现场施工通常采用的是常温固化剂,用这种固化剂浇注的电缆终端头已能满足 10kV 及以下电缆终端头的电气性能要求,而且工艺简单,操作方便。

配制环氧树脂复合物时,要特别注意可注期(浇注时间),可注期同加入固化剂时环氧树脂与石英粉的温度有很大关系。温度愈高,可注期就愈短。

电缆终端金具类、电缆头类和制作电缆终端头专用工具见表 3.4.22 至表 3.4.24。

表 3.4.19 环氧树脂出厂规格表

产品编号	软化点水银法(℃)	环氧树脂(当量/100g)	挥发份(%)	无机氯机(当量/100g)	有机氧机(当量/100g)	用途
618	液体	0.48 以上	2.5 以下	>0.005	>0.02	粘合、浇注、密封
6101	14~22	0.40~0.47	10 以下	>0.005	>0.02	粘合、浇注
634	20~28	0.32~0.47	10 以下	>0.005	>0.02	粘合、浇注
637	30~38	0.26~0.40	10 以下	>0.005	>0.02	浇注、封堵
601	64~71 固体	0.18~0.22	10 以下	>0.005	>0.02	涂料
603	78~85 固体	0.10~0.18	10 以下	>0.005	>0.02	涂料
604	80~95 固体	0.09~0.15	10 以下	>0.005	>0.02	涂料
607	110~135 固体	0.04~0.07	10 以下	>0.005	>=	涂料漆

表 3.4.20 胺系列固化剂用量表

种类	用量按环氧树脂为 100%	加入固化剂时,环氧树脂与石英粉混合物的温度(℃)
二乙烯二胺	6%~8%	45℃~52℃
三乙烯四胺	11%~13%	48℃~55℃
四乙烯五胺	12%~15%	48℃~55℃
多乙烯多胺	16%~18%	48℃~55℃

表 3.4.21 环氧树脂混合物的配比表

材料名称	加入数量(重量比)	备注
环氧树脂 6101 号	100 份	
三乙烯四胺	11~13 份	
石英粉	100~200 份	

表 3.4.22 金具类

序号	产品类型 号系列	产品名称	适用电缆截面(mm <sup>2</sup> )												备 注			
			16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300					
1	DGL	堵油式铝压接管															均用棒材制作,不 漏油	
2	GL	铝 接 管	4	6	10	16	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	用管材生产,适用 于不滴流电缆和各 种铝导线连接
3	DL	铝接线端子	4	6	10	16	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	用棒材制作,适用 于各种油浸电缆连 接,不漏油
4	DDL	堵油式铝接线端子				16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300		
5	GTL	铜铝接管				16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300		
6	DTL	铜铝接线端子			10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300		
7	DT	铜接线端子	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300		
8	GT	铜接管	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300		
9	BTL	铜铝过渡接板	6×24 5×29 8×29 8×29 5×50 5×60 适用铝线变压器制造及输配电 6×60 8×60 8×60 8×80 10×60 系统铜铝过渡板、非连接用															

注:订货时需注明电缆终端盒型号,使用电缆型号、芯数、截面、额定电压、使用场合(户内、户外),截面按(4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300)14种规格分档。

表 3.4.23 电缆头类

序号	产品系列	产品名称	技术特性	适用电缆品种	使用条件	电压等级	芯数	适用电缆截面范围 (mm <sup>2</sup> )	备注					
1	WD 型	户外式终端 户内足铁终端 鼎铸终端盒	结构、重量较 256、266 产品小而轻,密封性能好,在户外安装施工中采用橡胶压装不用密封铅,简化施工工艺	油浸纸绝缘,不滴流,橡皮护套层的电力电缆(铅包、铝包、铝包皱纹电力电缆)	户外安装,无鸟害,无积雪,无严重危害地区,无严重震动环境	1~10kV	3、4	4~240	分为 WD141、142、143、131、132、133、232、233、234 六种规格					
										2	266 型	6kV	3	10~240
										3	256 型	10kV	3	16~240
4	NS 型	户内扇形终端盒 户内铸型终端盒	密封性能良好。特别适用于落差大、密封要求高、外界环境恶劣的场所	油浸纸绝缘,不滴流,橡皮护套层的电力电缆(铅包、铝包、铝包皱纹电力电缆)	户内安装,适用于环境较差、密封要求高的场合	1~3kV	3	4~240	相当于老产品 259 型					
						6kV	3	10~240						
						10kV	3	16~240						
5	NTN 型	户内尼龙终端盒	由尼龙(塑料)外壳与橡胶等配件组成,体积小,重量轻,耐油性好	油浸纸绝缘,不滴流,橡皮护套层的电力电缆(铅包、铝包、铝包皱纹电力电缆)	户内安装,敷设在差位不大、无强烈腐蚀性气体的工业场所	1~10kV	3、4	4~240						
										1kV	4	4~240		
6	LB 型	户内整体地接铸终端盒	密封良好,性能可靠,不用铅,简化了施工工艺	油浸纸绝缘,不滴流,橡皮护套层的电力电缆(铅包、铝包、铝包皱纹电力电缆)	地下直埋式,无强烈震动环境	1~3kV	3	4~240						
						6~10kV	3	10~240						

表 3.4.24 制作电缆终端头专用工具表

序号	工具名称	型号规格	数量	备注
1	压接钳	SYQ-80(16~240)	1套	
2	喷灯	1~2磅	2只	
3	电炉	220V/2000W	1只	
4	胀铅器	竹质制	1只	硬质杂木制凿子一样
5	手锤	0.5磅	2块	硬杂木制成 木方块(40×40×300)mm
6	配料锅	∅150mm 高150mm	2只	带嘴式
7	玻璃棒	(∅20~25)mm 长400mm	2根	
8	量筒	量杯 250ml	2只	
9	称	0~5kg	1把	盘称
10	搪瓷托盘	(300×400×60)mm	2个	
11	筛子	孔径为0.06mm	1只	
12	医用手套	橡皮制品	2付	乳胶手套
13	温度计	0℃~150℃ 0℃~200℃	各2支	
14	铝锅	24cm	1只	
15	摇表	2500V	1只	
16	沥青桶		1只	

表 3.4.25 列出电缆施工用的工具,表 3.4.26 列出三相电力电缆施工完毕后的泄漏电流和不平衡系数允许值。

控制电缆头套用于控制电缆终端头,呈花瓶型,采用一种高绝缘电性能的聚氯乙烯塑料制成。操作简便,成本低,外表美观,规格统一。型号规格和适用范围见表 3.4.27。

表 3.4.25 电缆施工工具类

序号	型号	产品名称	主要技术特性	使用条件	适用电线电缆品种
1	QXS-I型	压接枪	利用压接弹瞬间爆炸的推力进行局部压接(点压),具有启动快、效率高、操作简便迅速、节省压接时间、降低劳动强度等优点。体积小、重量轻、易于携带操作	非防爆的施工场所	16~240mm <sup>2</sup> 的铜、铝导线压接(压接弹可配套供应)
2	QXS-12	机械压接钳	利用机械结构传递压力,与油压钳相比,不存在密封困难、漏油等缺陷,具有结构新颖简单、经久耐用、性能可靠、维修保养方便等特点	不限场所、方位	10~240mm <sup>2</sup> 的铜铝导线压接
3	HC-1型	电缆滑车	采用高强度工程塑料制成,具有结构紧凑、转动灵活、重量轻、使用方便等特点,可以提高电缆敷设效率和减轻劳动强度		400mm <sup>2</sup> 以下各种电线电缆
塑料附件类		热收缩材料直管护套	热收缩材料是60年代后期发展起来的一种新材料、新技术,利用聚合物材料“弹性记忆”效应的原理制成各种形状套类零件,具有耐热、耐芳烃、耐应力开裂以及防蚀、防潮、寿命长等一系列优点,适用于各种护层、密封以及绝缘等特殊用途	户外、户内、地下	适用于 $\varnothing 15 \sim 50$ mm(外径)实物包裹
新产品		包塑金属软管	国内新产品,造型美观、使用灵活、寿命长,具有防水、防蚀、不易脱节耐燃等特点	用于各种机床、电气线路、热工仪表、医疗器械、纺织、化工、煤炭、石油、国防科研等设备安全防护	内径 $\varnothing 6 \sim 38$ mm

表 3.4.26 三相电力电缆泄漏电流和不平衡系数允许值表

额定电压 (kV)	试验电压 (kV)	泄漏电流( $\mu\text{A}$ )		不平衡系数	
		新电缆	使用中电缆	新电缆	使用中电缆
10	50	250	500	1.5	2
6	30	150	300	1.5	2
3	15	100	200	2	2.5

表 3.4.27 控制电缆头套选择表

型 号	电缆头套内径(mm)	适 用 范 围			
KT2-1	12	4×1.5	5×1.5	4×2.5	
KT2-2	13	6×1.5	5×2.5	7×1.5	
KT2-3	14	6×2.5	4×6	8×1.5	
KT2-4	15	8×2.5	6×4	7×4	
KT2-5	16.5	10×1.5	8×4	7×6	6×6
KT2-6	18	14×1.5	10×2.5	8×6	
KT2-7	19.5	19×1.5	14×2.5	10×4	4×10
KT2-8	21	19×2.5	10×6		
KT2-9	24	24×1.5	6×10	7×10	30×1.5
KT2-10	26	8×10	24×2.5	37×1.5	30×2.5

## 4 橡塑电缆附件

塑料、橡皮绝缘电力电缆,特别是 10kV 及以下的全塑电缆和交联聚乙烯电缆,是我国的新产品。塑料电缆主要特点是生产工艺简单,成本低,不需要金属护层,轻便柔软,耐腐蚀,无位差限制。目前,塑料电缆已普遍应用于工业、民用建筑之中。为了便于选择应用,下面对具有代表性的塑料、橡皮绝缘电力电缆的主要附件材料作一介绍。

橡塑电缆的接头分中间接头与终端头,其绝缘类型又可分为绕包式、浇注式、模压式三大类。模压式具有很多优点,是一个发展的方向。目前绕包式应用较普遍,它具有结构轻巧,制作简单,维修方便,使用安全,价格低廉,有广阔的发展前途。

### 4.1 电缆终端头及中间接头用附件

(1)塑料、橡皮电缆终端头用分支首套型号、规格及适用范围列于表 3.4.28 和

表 3.4.29。

(2)塑料、橡皮电缆户外终端头用防雨罩:户外终端头用防雨罩是用黑色或蓝色硬质聚氯乙烯塑料注浇成型,用于户外塑料电缆终端上,其规格及适用范围见表 3.4.30。

(3)塑料、橡皮电缆用中间连接盒:塑料电缆中间连接盒采用黑色或蓝色硬质聚乙烯塑料制成,分可灌胶和不可灌胶两种。型号和适用范围见表 3.4.31。

表 3.4.28 三芯分支首套型号规格及适用范围表

型 号	适用电缆截面( $\text{mm}^2$ )			
	500V	3kV	6kV	10kV
ST-31	16 及以下			
ST-32	25	16 及以下	10	
ST-33	35~50	25	16	
ST-34	70~95	35~50	25~35	
ST-35	120~150	70~120	50~95	16~35
ST-36	185~240	150~185	120~185	50~70
ST-37			240	95~150
ST-38				185~240

表 3.4.29 四芯分支首套适用范围选择表

型 号	适用电缆截面( $\text{mm}^2$ )
ST-41	$(3 \times 25 + 1 \times 16) \sim (3 \times 35 + 1 \times 16)$
ST-42	$(3 \times 50 + 1 \times 25) \sim (3 \times 95 + 1 \times 35)$
ST-43	$(3 \times 120 + 1 \times 50) \sim (3 \times 185 + 1 \times 50)$

表 3.4.30 防雨罩的规格及适用范围选择

型 号	适用电缆截面( $\text{mm}^2$ )		
	3kV	6kV	10kV
YS-1	10~120	10~120	16~50
YS-2	150~240	150~240	70~240

表 3.4.31 塑料中间连接盒适用截面表  $\text{mm}^2$

型 号	500V	3kV	6kV	10kV
LSV-1	16			
LSV-2	25~70	16~25		
LSV-3	95~185	25~70	16~25	
LSV-4	240	95~185	35~95	16~25
LSV-5		240	120~240	35~120
LSV-6				150~240

表 3.4.32 聚氯乙烯胶粘带规格表

种 类	厚	宽度	每卷长度
	(mm)	(mm)	(m)
聚氯乙烯胶粘带	0.12	20	10
聚氯乙烯胶粘带	0.12	25	10

表 3.4.33 自粘性胶带规格表

名 称	厚度	宽度	长度
	(mm)	(mm)	(m)
自粘性胶带	0.8	25	5

注:单芯电缆、二芯电缆以及四芯电缆对于中间连接盒的选用,可根据其外径对照与其相接近的三芯电缆外径所选用的规格。



(4) 聚氯乙烯胶粘带:产品规格见表 3.4.32。

(5) 自粘性胶带:自粘性胶带适用于 10kV 及以下电缆终端头和中间接头,作绝缘密封用。当它使用中被拉伸后,经过一定时间后将成为一个紧密的整体。其使用环境温度应不低于  $-15^{\circ}\text{C}$ 。产品规格见表 3.4.33。

(6) 接线端子:有铜接线端子和铝接线端子,还有铜铝接线端子。它的规格同线芯规格是配套对应的,用 DT 表示铜接线端子;用 DL 表示铝接线端子;以 DTL 表示铜铝过渡接线端子。如 DL-35 表示铝接线端子,35 表示用于连接截面积为  $35\text{mm}^2$  的导线。接线端子的规格及选用方式与其他电力电缆、导线用接线端子的选用是相同的。

(7) 中间接管:中间接管是用铜或铝制成,用作两导体之间的连接。电缆中间接头必须采用中间接管进行连接。产品型号规格见表 3.4.34。

(8) 双面半导体丁基胶布带:双面半导体丁基胶布带适用于 10kV 及以下电缆终端与连接的内屏蔽与外屏蔽。规格见表 3.4.35。

(9) 其他辅助材料:①聚氯乙烯透明带,规格基本与内包层绝缘带相同,厚度为  $0.1\sim 0.2\text{mm}$ ,宽度分  $20\text{mm}$ 、 $25\text{mm}$ 、 $30\text{mm}$  三种,除用于包缠在电缆终端头分色聚氯乙烯胶粘带外,还可作为保护之用,避免相色带褪色;②胶布带,胶布带厚  $0.1\sim 0.2\text{mm}$ ,宽  $30\sim 50\text{mm}$ ,作为电缆中间接头包扎之用;③铝带,厚  $0.09\sim 0.1\text{mm}$ ,宽  $25\sim 35\text{mm}$ ,长度按各种截面而定,作电缆终端头和中间接头绝缘带的屏蔽之用;④接地铜线,规格  $19/0.28$ ,节距 =  $15\text{mm}$ ,作为电缆终端头的接地线;⑤镀锌铜线,规格为  $7/0.25$ ,节距 =  $16\text{mm}$ ,作为电缆终端头和中间接头的捆扎线;⑥软铅丝,  $\varnothing 1.0\sim 2.0\text{mm}$ ,作为电缆终端头的屏蔽环;⑦焊锡条,  $\varnothing 1.0\sim 2.0\text{mm}$ ,焊接地线使用;⑧焊锡膏,规格有  $20\text{g}/\text{盒}$  和  $10\text{g}/\text{盒}$  两种。

表 3.4.34 中间接管型号规格表

电缆标称截面 ( $\text{mm}^2$ )	铜 连 接 管				铝 连 接 管			
	型 号	规格尺寸(mm)			型 号	规格尺寸(mm)		
		外径	内径	长度		外径	内径	长度
16	GT-16	9	6	76	GL-16	10	5.2	76
25	GT-25	11	8	78	GL-25	12	6.8	78
35	GT-35	13	9	80	GL-35	14	8.0	80
50	GT-50	15	11	84	GL-50	16	9.6	84
70	GT-70	18	13	90	GL-70	18	11.6	90
95	GT-95	20	15	101	GL-95	21	13.6	100
120	GT-120	22	16	105	GL-120	23	15.0	105
150	GT-150	25	18	105	GL-150	25	16.6	105
185	GT-185	27	20	111	GL-185	27	18.6	110
240	GT-240	30	23	120	GL-240	31	21	120

表 3.4.35 双面半导体丁基胶布带规格表

名 称	厚度(mm)	宽度(mm)	每卷长度(m)
双面半导体丁基胶布带	0.25	30	按定额规定

注:双面半导体丁基胶布带性能,经试验,试片绝缘电阻(不浸水)为  $3 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

## 4.2 电缆终端头制作工艺程序

- (1)固定电缆末端;
- (2)剥除电缆护套层;
- (3)焊接接地线;
- (4)套上分支首套;
- (5)切剥屏蔽带;
- (6)剥去半导体布(或纸)带;
- (7)清洁绝缘线芯表面;
- (8)制作应力锥(500~3000V 电缆无此工序);
- (9)压接(或焊接)接线端子,一个接线端子上一般压两个坑,压坑深度见表 3.4.36;
- (10)线芯绝缘保护与注明相别;
- (11)加装防雨罩,户外电缆头,500V 电缆户外型可不加防雨罩;
- (12)固定整个电缆终端头。

以上工艺程序是以三芯电缆头为例,对于单芯、二芯、四芯电缆,可按其电压等级分别参照三芯电缆制作终端头。

表 3.4.36 坑压接线端子压坑深度参照表

线芯截面 (mm <sup>2</sup> )	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
端子外径 (mm)	10	12	14	16	18	21	23	25	27	31
压入深度 (mm)	5	6	7	8.8	9	10.5	11.5	12.5	13.3	15

## 4.3 电缆中间接头制作工艺程序

塑料、橡皮电缆中间接头形式有两种,即普通式和连接盒式。普通式绕包用于架空或穿管敷设,它不能承受径向外力。连接盒式可直埋地下,能承受一定的径向外力,对于有化学腐蚀和潮湿地区尤为适用(一般情况下,都选用连接盒式)。此外,还有一种是制成环氧树脂玻璃钢外壳,已运用于 6kV 全塑料电缆中间接头。

对于塑料、橡皮电缆中间接头,下面介绍 500V 至 1000V 三芯电缆中间接头制作工艺:

- (1)切割电缆;
- (2)套上塑料连接盒体,盒体两端螺盖应分别套在要连接的两条电缆上;
- (3)剥除电缆中间护套及布(或纸)带;
- (4)剥除屏蔽带;
- (5)剥去半导体布(或纸)带;
- (6)导体的压接或焊接;
- (7)清洁绝缘表面;
- (8)缠包绝缘;
- (9)多芯合并恢复原形;
- (10)装好塑料中间连接盒体;
- (11)浇注1号沥青胶或其他低温绝缘树脂。

#### 4.4 电缆终端头及中直接头制作材料定额

工程中常用的6kV和10kV三芯电缆的中间与终端头材料见表3.4.37~3.4.40,供编制材料计划参考以及施工准备用。

表3.4.37 10kV三芯塑料、橡皮电缆终端头材料定额表

材料名称	电缆规格									
	3×16	3×25	3×35	3×50	3×70	3×95	3×120	3×150	3×185	3×240
接线端子材料	应与电缆线芯材料相同									
数量(只)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
两罩户外式	YS-1	YS-1	YS-1	YS-1	YS-2	YS-2	YS-2	YS-2	YS-2	YS-2
数量(只)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
首套	ST-35	ST-35	ST-35	ST-36	ST-36	ST-37	ST-37	ST-37	ST-38	ST-38
数量(只)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
自粘性橡胶带(卷)	6	6	6	6	6	8	8	9	9	9
聚氯乙烯胶粘带	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色	6卷分 3色
2m/卷接地铜线 19根/∅0.28	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷	2m/ 1卷
双面丁基0.2mm×30mm 半导体布带	1.5m	1.5m	1.5m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
铝箔带0.08mm×30mm	1.5m	1.5m	1.5m	3m	3m	3m	3m	3m	3m	3m
软铅丝∅2mm	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m
焊锡膏(盒)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11.焊条(卷)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12.镀锡铜线(m)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
13.透明聚乙烯带(卷) (0.2mm×30mm×5m)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

注:电缆线芯为铜芯时,焊锡膏每盒20g,焊条每卷0.5m;电缆线芯为铝芯时,焊锡膏每盒10g,焊条每卷0.2m。





## 第五章 低压设备安装

### 1 低压电器安装的有关规定

低压电器安装的有关规定见《电气装置安装工程施工及验收规范》GBJ232,其要点是:

(1)低压电器安装前主要是检查土建工程是否具备安装条件,低压电器元件、配件和零部件是否完好、齐全。

(2)低压电器及操作机构的固定方式和安装高度,如设计无规定,应符合下列要求:①宜用支架或垫板(木板或绝缘板)固定在墙上或柱上;②落地安装的电器设备,其底面一般应高出地面 50~100mm;③操作手柄中心距离地面为 1200~1500mm,侧面操作的手柄距离建筑物或其他设备不宜小于 200mm。

(3)成排或集中安装的低压电器应排列整齐,便于操作和维护。

(4)室外安装的低压电器应有防止雨、雪、风沙侵入的措施。

(5)固定低压电器应符合下列要求:①紧固螺栓规格应选配适当,电器的固定应牢固、平整;②电器内部不应受到额外应力;③有防振要求的电器应加装减振装置,紧固螺栓应有防松措施,如加装锁紧螺母、销钉等;④采用膨胀螺栓时,可参照表 3.5.1 选择螺栓规格、钻孔直径和埋设深度。

表 3.5.1 膨胀螺栓及钻孔规格

mm

螺栓规格	螺 栓			钻 孔		允许拉力(N)	容许剪力(N)
	直径 $d$	大头直径 $D$	长度	直径	深度		
M6	6	10	(65)	10.5	40	2400	1600
M8	8	12	(85)	12.5	50	4400	3000
M10	10	14	(105)	14.5	60	7000	4700
M12	12	18	(125)	19	70	10300	6900
M16	16	22	(180)	23	100	19400	13000

注:本表为膨胀管螺栓,长度按需要选择。适用于 150 号以上混凝土构件及相当于 150 号的砖墙上,不适宜在空心砖建筑物上使用。

(6)电器的外部接线应符合下列要求:①按电器的接线端头标志接线;②一般

情况下,电源侧导线应连接在进线端(固定触头接线端),负荷侧的导线应接在出线端(可动触头接线端);③电器的接线螺栓及螺钉应有防锈镀层,连接时螺钉应拧紧;④母线与电器连接时,接触面的安装应符合“母线装置”的有关规定,连接处不同相母线之间的最小净距应不小于表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 不同相母线的最小净距

额定电压 $U(V)$	最小净距(mm)
$U \leq 500$	10
$500 < U \leq 1200$	14

(7)电器的金属外壳或框架的接零或接地应符合“接地装置”的有关规定。

(8)低压电器绝缘电阻的测量应符合下列规定:①测量的部位:触头在断开位置时,同极的进线与出线端之间;触头在闭合位置时,不同极的带电部位之间,各带电部分与金属外壳之间。②测量绝缘电阻使用 500V 的兆欧表,低压电器的绝缘电阻值一般不得小于  $0.5M\Omega$ 。

## 1.1 刀开关及熔断器的安装

刀开关的检查安装应符合下列要求:

(1)刀开关应垂直安装。仅在不切断电流的情况下,方允许水平安装。

(2)刀片与固定触头的接触应良好,大电流的触头或刀片可适量加润滑油(脂)。

(3)有消弧触头的刀开关,各相的分闸动作应迅速一致。

(4)双投刀开关在分闸位置时,刀片应能可靠地固定,不得使刀片有自行合闸的可能。

直流母线隔离开关的安装应符合下列要求:

(1)开关无论垂直或水平安装,刀片均应位于垂直面上。在混凝土基础上安装时,刀片底部与基础间应有不小于 50mm 的距离。

(2)开关动触头与两侧压板的距离应调整均匀。合闸后,接触面应充分压紧,刀片不得摆动。

(3)刀片与母线直接连接时,母线固定端必须牢固。

熔断器的安装应符合下列要求:

(1)熔断器及熔体的额定值应符合设计要求;

(2)安装位置及相互间距离应便于更换熔体;

(3)有熔断指示的熔体,其指示器的方向应装在便于观察侧;

(4)瓷质熔断器在金属底板上安装时,其底座应垫软绝缘衬垫。

## 1.2 低压断路器的安装

低压断路器的安装应符合下列要求:

- (1)一般应垂直安装;
- (2)裸露在箱体外部,且容易触及的导线端子应加绝缘保护。

低压断路器操作机构的安装、调整应符合下列要求:

(1)操作手柄或传动杠杆的合、分位置应正确,操作力不应大于产品允许规定值。

(2)电动操作机构的接线应正确。

(3)触头在闭合和断开过程中,可动部分与灭弧室的零件不应有卡阻现象。

(4)触头接触面应平整,合闸后接触应紧密。

(5)有半导体脱扣装置的低压断路器,其接线应符合相序要求,脱扣装置动作应可靠。

直流快速断路器的安装、调装和试验应符合下列要求:

(1)断路器的极间中心距离及断路器与相邻设备或建筑物的距离均不应小于500mm。小于500mm时,应加装隔弧板,隔弧板高度不小于单极断路器的总高度。

(2)灭弧室内绝缘衬件应完好,电弧通道应畅通。

(3)有极性快速断路器的触头及线圈,其接线端应标出正、负极性,接线时应与主回路极性一致。

(4)触头的压力、开距及分断时间等应进行检查,并符合出厂技术条件。

(5)断路器应按产品技术文件进行交流工频耐压试验,不得有击穿、闪络现象。

(6)脱扣装置必须按设计整定值校验,动作应准确、可靠。在短路(或模拟短路)情况下合闸时,脱扣装置应能立即自动脱扣。

(7)试验后,触头表面如有灼痕,可进行修整。

## 1.3 接触器及起动器的安装

吸引电磁铁的铁心表面应无锈斑及油垢;触头的接触面应平整、清洁。

接触器、起动器的活动部件动作应灵活,无卡阻;衔铁吸合后应无异常响声,触头接触应紧密,断电后应能迅速脱开。

电磁起动器热元件的规格应按电动机的保护特性选配;热继电器的电流调节指示位置,应调整在电动机的额定电流值上。如设计有要求时,尚应按整定值进行校验。

可逆电磁起动器中防止同时吸合的联锁装置动作应正确、可靠。

星-三角起动器的检查、调整应符合下列要求:

(1)起动器应接线正确,电动机定子绕组正常工作应为三角形接法。



(2) 手动操作的星-三角起动器,应在电动机转速接近运行转速时进行切换;自动转换的应按电动机负荷要求正确调节延时装置。

自耦减压起动器的安装、调整应符合下列要求:

(1) 起动器应垂直安装。

(2) 油浸式起动器的油面不得低于规定的油面线。

(3) 减压抽头(65%~80%额定电压)应按负荷进行调整,但起动时间不得超过自耦减压起动器的最大允许起动时间。

(4) 连续起动累计时间或一次起动时间接近最大允许起动时间的场合,应待其充分冷却后方能再次起动。

## 1.4 按钮、行程开关及转换开关的安装

按钮的安装应符合下列要求:

(1) 按钮及按钮箱安装时,间距为 50~100mm;倾斜安装时,与水平面的倾角不宜小于 30°。

(2) 按钮操作应灵活、可靠,无卡阻。

(3) 集中在一处安装的按钮应有编号或不同的识别标志。“紧急”按钮应有鲜明的标记。

行程开关的安装、调试应符合下列要求:

(1) 安装位置应能使开关正确动作,且不应阻碍机械部件的运动。

(2) 碰块或撞杆应安装在开关滚轮或推杆的动作轴线上。

(3) 碰块或撞杆对开关的作用力及开关的动作行程均不应大于开关的允许值。

(4) 限位用的行程开关,应与机械装置配合调整,确认动作可靠后方可接入电路使用。

转换开关安装后,其手柄位置指示应与相应的接线片位置对应,定位机构应可靠,所有触头在任何接通位置应接触良好。

## 2 电动机的安装

一般中小型电动机大多装在金属底板上或导轨上,也有些电动机直接装在混凝土的基础上。前者用螺栓把电动机紧固在金属底板上,后者是将电动机紧固在事先埋入混凝土中的地脚螺栓上。一般,电动机同机械设备配套装在同一底座上的情况较为常见。

## 2.1 电动机安装前的准备工作和检查

### 2.1.1 混凝土基础的浇灌要求

混凝土基础的平面尺寸,一般按底板或电动机机座尺寸外加 50~250mm,通常加 100mm,尚须考虑土壤的条件。基础的深度一般按地脚螺栓长度的 1.5~2 倍选取,且应大于土壤冻结深度。在易受振动的地方,基础应做成锯齿状,以增强抗振性能。

### 2.1.2 地脚螺栓与螺栓孔

10kW 以下电动机的混凝土基础的浇灌一般先将地脚螺栓按电动机座尺寸或按底板尺寸固定在木板上,然后将木板放在浇灌混凝土的木框架上进行浇灌。待混凝土凝固后,螺栓便固定在混凝土基础内。在浇注混凝土时,注意不要将地脚螺栓碰歪,以防在紧固电动机时,螺帽倾斜和负荷不均。地脚螺栓的尾部通常做成人字形和弯钩形。

安装 10kW 以上的电动机,一般先在混凝土基础上预留地脚螺栓孔。螺栓孔的位置必须与电动机机座或底板的地脚螺栓孔相同。安装时将地脚螺栓穿过底板放在洞里,用水泥砂浆填满预留孔,待洞内的水泥砂浆凝固后(10~15d),再行安装电动机。

### 2.1.3 电动机的安装与校正

电动机安放在基础上并拧好地脚螺栓后,用水平尺(仪)对电动机进行纵向和横向的水平校正。如有不平,可用 0.5~5mm 厚的钢板垫在电动机机座或安装底板下面,直到符合要求为止。

电动机校正与被驱动的机械设备的传动装置之间互相连接的种类有关。常用的传动装置有皮带轮、联轴器和齿轮三种。传动装置不同,校正方法也不相同。如联轴器传动要求同心度较高;齿轮传动要求两轴保持平行,保证大小齿轮啮合良好,一般应使齿轮接触部分不小于齿宽的 2/3,同时还要保持两齿轮的间隙一致,间隙的大小可用塞尺或压铅法进行检查。总之要安装平整,无振动,传动良好,保证电动机平稳安全运行。

### 2.1.4 电动机的检查

电动机检查的项目主要有:

- (1)检查电动机的型号、功率、电压是否符合设计要求。
- (2)检查电动机的外壳有无损伤,风罩风叶是否完好,转子转动是否灵活,轴向串动是否超过规定的范围。
- (3)拆开接线盒,用万用表测量三相绕组是否断路;必要时,可用电桥测量三相绕组的直流电阻,检查偏差是否在允许范围内(一般各相绕组的直流电阻与三相电

阻平均值之差不超过平均值的 $\pm 2\%$ )。

(4)使用兆欧表测量电动机的各相绕组之间以及各相绕组与机壳之间的绝缘电阻;如电动机的额定电压在500V以下,则使用500V兆欧表测量,其绝缘电阻不得低于 $0.5M\Omega$ 。

电动机经过上述检查合格后,即可进行安装并接线。

## 2.2 电动机的接线

三相异步电动机有两种接线方法:星形接法与三角形接法。接线时,一定按照电动机铭牌上规定的接法连接。如将星形接法的电动机错接成三角形,则会使三相电流猛增,将使电动机烧毁;如将三角形接法的电动机错接成星形,则电动机的转矩将大大减小,无法正常运转。

为了方便,电动机的出线端在出线盒中采用如图3.5.1所示的排列次序。三角形接法时,只需用连接片将 $M_1$ 和 $M_6$ 、 $M_2$ 和 $M_4$ 、 $M_3$ 和 $M_5$ 相连接;星形接法时,将上面三个出线端或下面三个出线端相互连接作为中性点,其余三个出线端分别作为三相电源的三个进线端。如果电动机的出线端无标志时,则需进行测试找出线圈绕组的头尾(即首端和末端),再进行接线。电动机接线系统的施工图如图3.5.2所示。

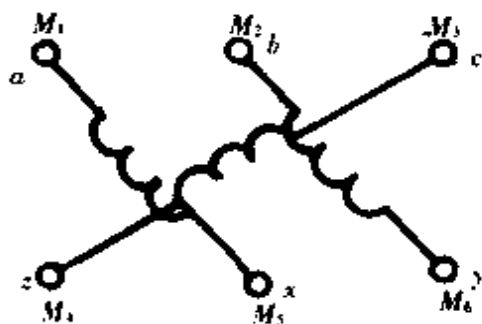


图 3.5.1 电动机出线端排列图

## 2.3 电动机起动器的安装和接线

鼠笼型异步电动机的起动方式有两种:即全压起动(直接起动)和减压起动(降压起动)。对于10kW及以下的电动机,一般采用全压起动的方法。而对于10kW以上的电动机(当电网容量较小时)则应采用减压起动方法。

直接起动特点是设备简单,价格便宜,操作方便,起动力矩大;缺点是起动电流大,为电动机额定电流的5~7倍,对电源网路引起电压波动。直接起动常用闸刀开关、负荷开关、低压空气断路器、磁力起动器等控制元件。减压起动设备常用的有星-三角起动器、自耦减压起动器等。

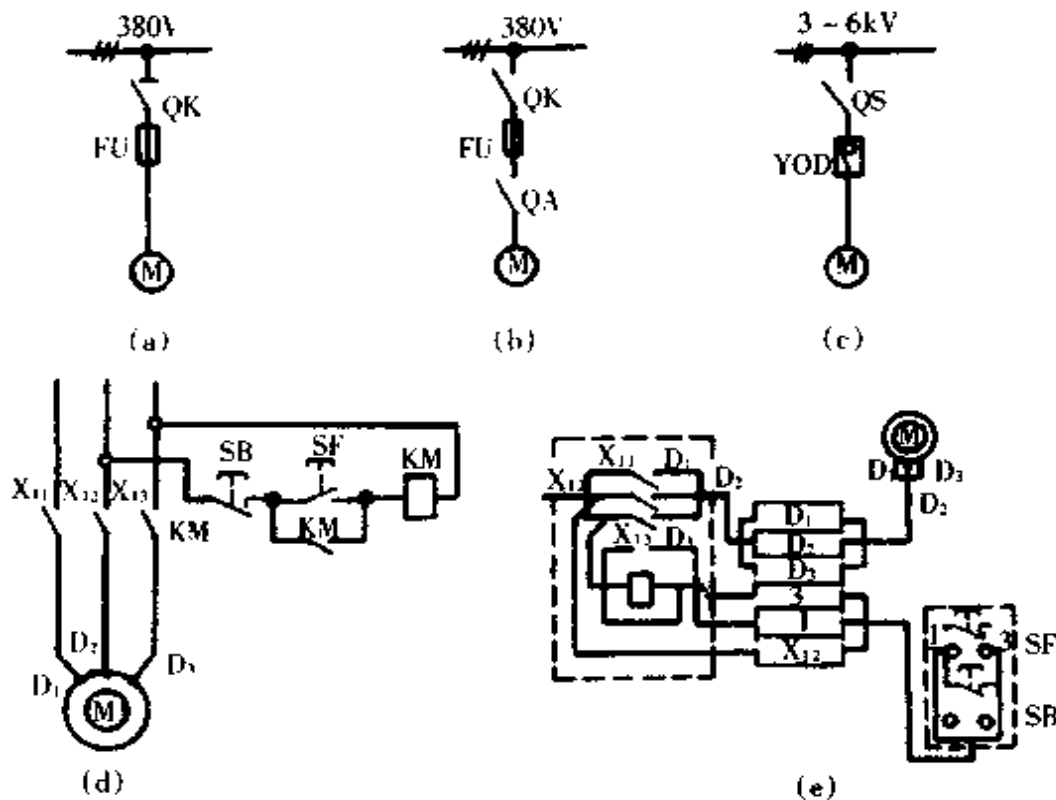


图 3.5.2 电动机接线系统原理图及安装配线图

注:(a)为小容量低压电动机一次回路系统图,电源由三相 380V 母线引入,经过闸刀开关 QK 和断路器 FU 接至电动机 M;(b)表示同样电动机经过自动开关 QK 控制接入电动机 M 的一次回路系统图;(c)表示电源由三相 3~6kV 高压母线经过隔离开关 QS 和油断路器 YOD 引入高压电动机一次回路系统图;(d)表示用按钮和接触器控制不可逆转电动机的接线原理图;(e)表示与原理接线图(d)相对应的安装配线图。在安装配线图上,通常将同一个电器元件用虚线框上,这样可以较明显地表示出电器元件安装的实际情况

### 2.3.1 闸刀开关的安装和接线

闸刀开关是最简单的直接起动设备,7.5kW 以下电动机普遍采用,其额定电流应按电动机额定电流的 3 倍来选择。闸刀开关应垂直安装,合闸时手柄向上,接通电源,反之手柄向下为分断电源,以防止因振动而误合闸。

### 2.3.2 负荷开关的安装和接线

负荷开关一般可用于 25kW 以下电动机的全压起动,其额定电流应大于电动机额定电流的 3 倍,选用时可参考表 3.5.3。

表 3.5.3 直接起动电动机的负荷开关选择表

电动机容量(kW)	2.8	4.5	7	10	14	28
500V 负荷开关额定电流(A)	20	30	60	60	100	200

负荷开关一般直接安装在墙上或柱上。为了安全可靠,可安装在箱内,加装

门、锁,以利安全管理。

负荷开关的安装接线与闸刀开关相同。开关断开后,闸刀与熔丝不带电,便于维修和更换熔丝。

### 2.3.3 低压空气断路器的安装和接线

低压空气断路器种类很多,但基本工作原理相同。它具有完善的保护系统,能对所控制的电动机进行良好的保护;它具有作短路保护的电磁脱扣器和作过载保护的热脱扣器。有的断路器具有这两种脱扣器,称为复式脱扣器。此外,还有失压保护用的失压脱扣器。

低压空气断路器,必须垂直安装。灭弧室应置于上方,切不可倒置。不宜装于易受振动的地方,因为它的内部结构比较复杂,如果受到振动,可能引起内部零件松动。

### 2.3.4 星-三角起动器的安装和接线

星-三角起动器是一种减压起动设备,适用于额定运行时为三角形接法的异步电动机的起动。电动机起动时将定子绕组接成星形,待转速接近额定值时,将绕组换接成三角形。星-三角起动器有自动和手动两种,常用的是 QX1 系列手动星-三角起动器,它有 QX1-13 和 QX1-30 两种规格,分别适用于 13kW 和 30kW 以下的电动机。图 3.5.3 为 QX1 系列星-三角起动器的外形和接线图。它们的最长起动时间分别为 15s 和 25s,连续操作的时间间隔不小于 2min。安装时可以正装也可以斜装,但不可倒装。接线时,导线的截面积可参照表 3.5.4 选用。

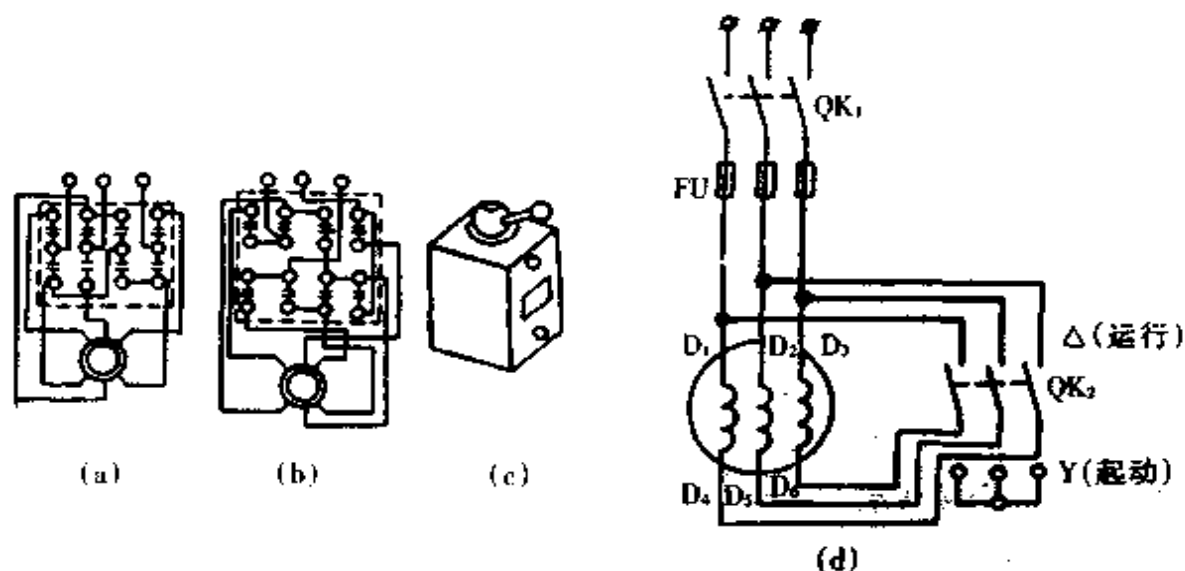


图 3.5.3 星-三角起动器的接线和三刀双投切换图

(a) QX1-13 型 (b) QX1-30 型 (c) 外形 (d) 用三刀双投开关实现 Y- $\Delta$  换接起动

功率较大的电动机可采用油浸式星-三角起动器。

表 3.5.4 QX1 系列星-三角起动器导线选择表(铜芯线)

起动器型号	电动机功率 (kW)	至电动机导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	至电源导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	接地线截面积 (mm <sup>2</sup> )
QX1-13	13	≥4	≥4	≥4
QX1-30	30	≥6	≥10	≥6

Y-Δ 起动亦可用三刀双投开关来实现,其接线图如图 3.5.3d 所示。

### 2.3.5 磁力起动器的安装和接线

磁力起动器是一种全压起动设备,它是由交流接触器和热继电器组合而成。交流接触器作闭合和断开电动机电路用,而热继电器作电动机的过载保护用,由于热继电器有一定的热惯性,不能作为电动机的短路保护,所以使用磁力起动器时,在电动机的主电路上还需加装熔断器作为电动机的短路保护。磁力起动器的接线原理如图 3.5.4 所示。其中  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  是接电源的三个接线端子,而  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  是

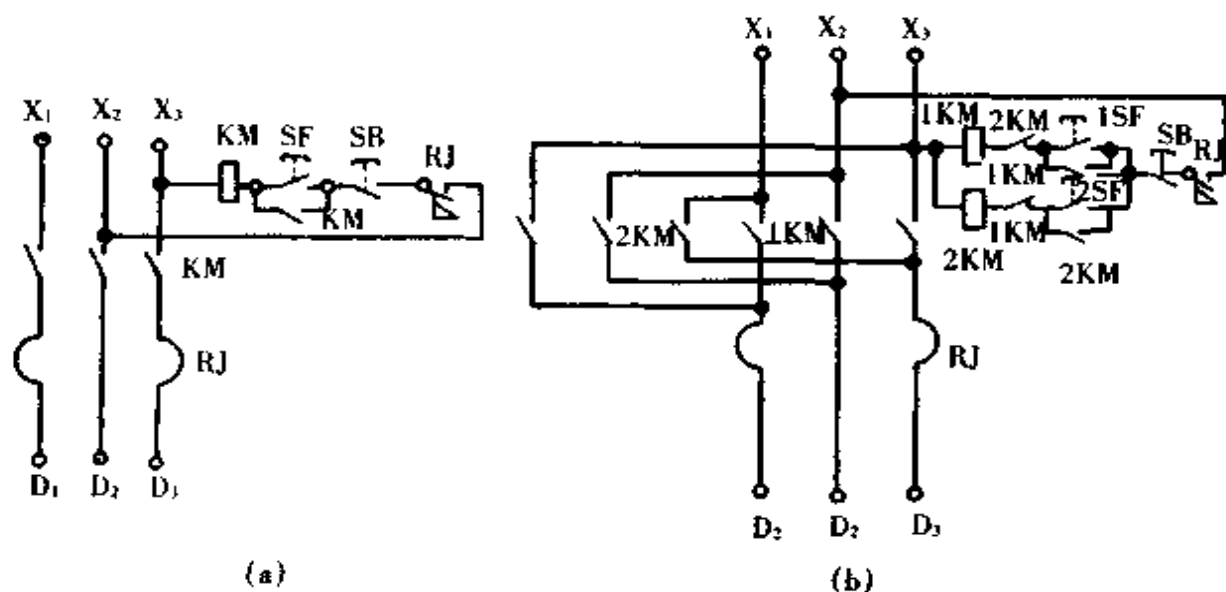


图 3.5.4 磁力起动器的接线原理图

(a)不可逆磁力起动器 (b)可逆磁力起动器

接电动机的三个接线端子。KM 是交流接触器, RJ 是热继电器, SF 和 SB 分别是起动和停止按钮。可逆式磁力起动器的接线与不可逆磁力起动器的接线相比,除多装一只反转接触器和反转起动按钮外,其余全部相同。

磁力起动器安装之前应作下列检查:

(1)磁力起动器各部件有无损坏和松动现象。

(2)触点接触是否良好,触点表面是否平整。

(3)起动器各可动部分是否灵活,有无卡阻现象,分合是否迅速可靠,有无缓慢和停顿现象。

(4)有热继电器的起动器,还应检查热元件的额定电流是否与电动机额定电流相符合。

(5)吸引线圈及各导电部分绝缘是否良好,可用 500V 兆欧表检查,绝缘电阻值一般应在  $0.5M\Omega$  以上。

磁力起动器可安装在墙上、柱上或固定于地面上的铁架或木架上。安装时使其底板平面垂直于地面,倾斜度不得大于  $5^\circ$ ,安装地点的振动幅值不得大于  $0.5\text{mm}$ ,频率不得大于  $600$  次/min。磁力起动器上按钮的安装高度距地面应为  $1.5\text{m}$  左右。

### 2.3.6 自耦减压起动器的安装和接线

自耦减压起动器又称补偿器,它是一种减压起动设备,用于起动额定电压为  $220/380\text{V}$  的鼠笼型  $20\text{kW}$  以上的异步电动机。起动器中的自耦变压器通常有三个抽头,一般有额定电压的  $40\%$ 、 $60\%$ 、 $80\%$  或  $55\%$ 、 $64\%$ 、 $75\%$  两种,以供选择。自耦减压起动器有手动和自动两种。

常用的手动自耦减压起动器为 QJ10 系列。这种起动器装有过载及失压装置保护。它的工作步骤是:

起动电动机时,将手柄推向“起动”位置,自耦变压器接入电源,电动机绕组接在自耦变压器的抽头上,电动机减压起动;待电动机转速接近额定转速时,将手柄迅速推向“运行”位置,这时自耦变压器从电路中切除,并将电动机与电源直接接通,电动机便投入正常运转。

失压脱扣器线圈的两端接在电动机电源上,当电压降低到一定数值或消失后,其中的一个铁心便落下带动起动器的连杆,使手柄从“运行”位置自动跳回到“停止”位置。

热继电器的触头和失压脱扣器线圈串联,当电动机过载时,热继电器的触头断开,失压脱扣器线圈失电,使起动器分闸,电动机便停止运行。

自耦减压起动器安装前应作下列各项检查:

(1)起动器各部分接触是否良好,特别是浸在油中的铜触头与编织导线连接必须牢固,各相间要有足够的间隔。否则,极易发生短路。

(2)操作手柄转动是否灵活,有无卡阻现象。

(3)起动器的开断距离与超程及触头终压力是否符合表 3.5.5 的要求。

表 3.5.5 自耦减压起动器触头参数

控制的电动机功率 (kW)	开距 (mm)	起程 (mm)	触头终压力 (N)
17	不小于 17	$3.5 \pm 0.5$	$6.9 \pm 0.69$
40	不小于 17	$3.5 \pm 0.5$	$14.2 \pm 1.37$
75	不小于 20	$4 \pm 0.5$	$31.4 \pm 3.14$

(4) 起动器触头接触时,以不能通过 0.05mm 的塞尺为合格。

(5) 绝缘是否符合要求,用 500V 兆欧表测量起动器的线圈及其他导电部分对地绝缘电阻,应大于  $0.5M\Omega$ 。

(6) 起动器油箱内的油位是否达到规定的油面线。

起动器可安装在墙上、柱上或固定在地面的支架上,油箱的倾斜度不得超过  $5^\circ$ ,以防绝缘油溢出。起动器安装时,在起动器和电源之间,要装熔断器,作电动机的短路保护。电动机试运行时,要注意调整起动器的抽头位置。如起动困难,应调换抽头位置,提高起动电压,切不可采取延长起动时间的办法,以免烧毁电动机。起动器的外壳必须妥善接零或接地,以免发生触电事故。由于自耦变压器只能在短时间内通过起动电流,所以每次起动时间不能过长。

### 3 电气照明设备的安装

见第五篇第八章第 4 节(电气照明设备的安装)。



# 第 四 篇

# 电 机

本篇主编 黄国治  
编写人 庄月霞  
潘杏宝  
施凉奎  
李圣年  
张加林  
黄焯莲  
李邦协



# 第一章 小型供电设备(小型同步发电机)

## 1 产品分类与用途

本章所述的小型供电设备专指小型同步发电机配套的各种小容量电源(不包括静止电源,如太阳能电站等)。这是我国目前使用最广泛的小型供电设备。

同步发电机是一种转速( $n$ )与电流频率( $f$ )有着严格关系的交流发电机,即  $n = \frac{60}{p}f$ , 式中  $p$  为极对数,也就是说当发电机的极数和转速一定时,发电机的电压和电流的频率也是一定的。当频率为 50Hz 或 60Hz 时,同步发电机的极数与转速的对照关系见表 4.1.1。

表 4.1.1 同步发电机频率、极数、转速对照表

频率 $f$ (Hz)	50					
极对数 $p$	1	2	3	4	5	6
转速 $n$ (r/min)	3000	1500	1000	750	600	500
频率(Hz)	60					
极对数 $p$	1	2	3	4	5	6
转速(r/min)	3600	1800	1200	900	720	600

### 1.1 分类

根据配套的原动机分,小型供电设备有汽油发电机组、柴油发电机组、水轮发电机组、风力发电机组、电动发电机组等。也可按使用要求分类,有固定电源、移动电源、备用电源、应急电源、通讯电源、试验电源等等。

按照同步发电机结构分,可分为旋转磁场式和旋转电枢式两种结构形式。目前大多采用旋转磁场式,其中又有用滑环和电刷引入磁场电流的有刷发电机和采

用旋转整流器把交流励磁机的电枢电流变成直流给发电机励磁的无刷发电机两类。

## 1.2 用途

小型供电设备主要用作工矿企业、医院、大楼的应急备用电源,通讯、船舶、车辆及特殊用途的独立电源,国防、野外施工、石油开采等所需的移动电源,缺电地区的动力、照明等所需的小型供电设备。

在这些供电设备中,以柴汽油发电机组使用最为普遍,一般均为400V低压同步发电机。除风力发电机外,通常为工频发电机,大部分采用三相同步发电机。以单机运行最普遍,必要时也可以用两台或若干台发电机作并联运行。小型水轮发电机常与本地区的电网作并联运行。

## 2 主要技术性能

### 2.1 三相同步发电机

#### 2.1.1 定额

连续工作制;额定输出功率以kW或kVA表示, $\cos\varphi=0.8$ (滞后)。

#### 2.1.2 效率及容量

效率指标由各系列产品标准规定。容差范围:50kW及以下者为 $-0.15(1-\eta)$ ;50kW以上者为 $0.10(1-\eta)$ 。

#### 2.1.3 单机运行时稳态电压调整率

当发电机负载在满载到空载范围内,原动机转速及功率因数在规定范围内变化时,发电机端电压的变化与额定电压之比称为发电机的稳态电压调整率,即 $\delta_v$ 。

根据发电机各自采用的不同励磁系统,以及各系列标准的规定,稳态电压调整率有 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2.5\%$ (或 $\pm 3\%$ )、 $\pm 5\%$ 三种指标供不同用户选用。亦有 $\pm 0.5\%$ ,但仅在有明确要求时供货。

稳态电压调整率计算公式如下:

$$\delta_v = \pm \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2U_N} \times 100\%$$

或

$$\delta_v = \frac{U_0 - U_L}{U_N} \times 100\%$$

式中  $U_N$ ——发电机的额定电压(V);

$U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ ——负载在满载与空载之间变化时,发电机端电压(有效值)的最大值与最小值,按三相平均值计算(V);

$U_0$ ——发电机空载电压(V);

$U_L$ ——发电机满载电压(V)。

一般来说,原动机为柴油机的发电机采用前式,水轮发电机采用后式计算。

#### 2.1.4 瞬时电压调整率及恢复时间

发电机在额定转速、额定空载电压和励磁系统正常工作时,突加或突卸一规定负载(例如  $60\% I_N$ ,  $\cos\varphi \leq 0.4$ , 三相对称负载),发电机端电压变化及恢复到发电机规定电压的时间,应按所选用的发电机的标准。

#### 2.1.5 发电机的线电压波形正弦性畸变率

按 GB755 规定,发电机的线电压波形正弦性畸变率 300kVA 以上者为 5%; 10~300kVA 者为 10%。大部分发电机均优于以上指标。

#### 2.1.6 偶然过电流

发电机能承受 1.5 倍额定电流,历时不少于 30s。

#### 2.1.7 过载

与柴油机配套的发电机允许在连续额定运行过程中,过载 10% 运行 1h。

#### 2.1.8 不平衡负载

三相同步发电机可在不对称的系统中运行,该系统的任何一相电流不超过额定电流( $I_N$ )。负序分量( $I_2$ )与额定电流之比(标么值)以及故障时能承受的  $(I_2/I_N)^2$  和时间  $t$ (s)的乘积见表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 不平衡运行条件

项号	电机型式	连续运行的 $I_2/I_N$ 最大值	故障运行时 $(I_2/I_N)^2 \cdot t$ 最大值(s)
1	凸极	0.08	20
2	隐极	0.10	15

#### 2.1.9 并联运行

除非另有规定,一般情况下允许并联运行,但应遵照该发电机系列的标准规定。

## 2.2 单相同步发电机

### 2.2.1 定额

单相同步发电机的定额为:连续工作制,50Hz,230V,  $\cos\varphi = 1.0$  或  $\cos\varphi = 0.9$ 。

### 2.2.2 稳态电压调整率

稳态电压调整率见表 4.1.3。计算公式:

$$\delta_v = \frac{U_L - U_N}{U_N} \times 100\%$$

表 4.1.3 单相同步发电机电压调整率分类

稳态电压调整率类别	1	2	3	4	5
稳态电压调整率 $\delta_u$ (%)	1	2.5	3.5	5	7

式中  $U_N$ ——发电机的额定电压(V);

$U_1$ ——从空载到额定负载的稳定电压,取负载变化时各点电压中的最大(或最小)值(V)。

稳态电压调整率是在下列条件下确定的:

(1)对额定功率因数为 0.9(滞后)的发电机,功率因数变化为 1.0~0.9(滞后)。

(2)原动机的稳态调速率规定为 5%(即空载时为 105% 额定转速,满载时为额定转速),当小于 5% 而另有规定时按规定的稳态调速率确定。

(3)发电机稳态电压调整率仅考核额定电压时的电压调整率。

(4)考核  $\delta_u$  时不包括从冷态到热态的电压变化,考核热态电压调整时允许重新整定电压。

(5)采用不可控励磁方式的发电机,空载电压的整定不包括起始自励时的情况。

### 2.2.3 发电机的电压波形正弦性畸变率

发电机的电压波形正弦性畸变值如下:

额定功率在 10kVA 及以上者为 10%;

额定功率在 10kVA 以下者为 15%。

### 2.2.4 发电机效率保证值

发电机在额定运行时,其效率  $\eta$  的保证值见表 4.1.4,效率的容差为 0.15(1- $\eta$ )。

表 4.1.4 效率保证值

转速(r/min)		3000				1500						
$\cos\varphi=1.0$	功率(kVA)	1	2	3	5	2	3	5	7.5	10	12	15
	效率(%)	70	72	74	78	73	76	80	81	82	83	84
$\cos\varphi=0.9$	功率(kVA)	1.1	2.2	3.3	5.6	2.2	3.3	5.6	8.3	11.1	13.3	16.7
	效率(%)	67	69	71	75	70	73	77	78	79	80	81

## 2.3 风力发电机

风力发电是近 10 年来发展起来的一种新能源。现已发展成系列并批量生产的风力发电机,主要采用发电机转子直接装有风力机风轮的方式。发电机为永磁同步发电机(也有少数采用励磁式同步发电机),发电机端电压为交流三相桥式整

流向蓄电池充电,由蓄电池向用电设备供电。

### 2.3.1 效率保证值

风力发电机的效率保证值  $\eta$  见表 4.1.5。

表 4.1.5 效率保证值

功率(W)	50	100	200	300	500	1000
效率 $\eta$ (%)	56	60	66	66	68	72

### 2.3.2 发电机的起动阻力矩

风力发电机的起动阻力矩见表 4.1.6。

表 4.1.6 起动阻力矩

功率(W)	50	100	200	300	500	1000
最大起动阻力矩(N·m)	0.20	0.30	0.35	0.5	1.2	1.5

### 2.3.3 发电机的转速

发电机的正常工作转速范围为 65% ~ 150% 额定转速,即在 65% 额定转速下,发电机的空载电压不低于额定电压;当发电机在额定电压并输出额定功率时,转速应不大于 105% 额定转速。

## 3 定子绕组特点

### 3.1 绕组分类

绕组从作用功能分,有主绕组和辅助绕组。主绕组供输出三相或单相交流电;辅助绕组是因励磁系统需要而设置的,用作励磁电源。

绕组按形式分,可为三相绕组和单相绕组。三相发电机的主绕组大多采用 60° 相带的三相整数槽绕组,有双层绕组或单层绕组,有必要时还可采用分数槽绕组。单相发电机则采用 120° 相带的单相绕组,单层或双层绕组。当没有辅助绕组时,其定子的 1/3 槽为空槽。

### 3.2 三相绕组的连接

三相绕组连接见图 4.1.1 所示。

### 3.3 绕组节距与短距系数

极距为  $\tau$ ,绕组节距为  $y$ 。整距时  $y = \tau$ ,短距时  $y < \tau$ ;整距时短距系数  $k_p = 1$ ,短距时  $k_p < 1$ 。一般均采用短距的绕组。

$$k_p = \sin\left(\beta \frac{\pi}{2}\right), \beta = \frac{y}{\tau} = \frac{y}{mq}$$

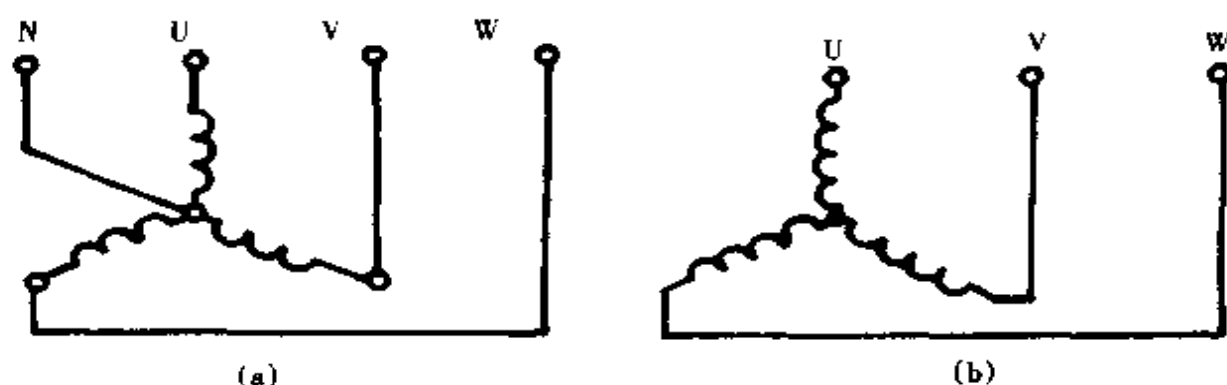


图 4.1.1 三相同步发电机的主绕组连接

(a) 三相四线制 (b) 三相三线制

当  $\beta = \frac{2}{3}$  时, 可除去绕组中三次谐波电势;  $\beta \approx \frac{5}{6}$  时, 能同时削弱五次、七次谐波电势。

### 3.4 $60^\circ$ 相带绕组的分布系数

分布系数为一相带内槽电动势相量几何和与算术和之比。即

$$k_d = \frac{0.5}{q \sin(30^\circ/q)}, q = \text{整数};$$

$$k_d = \frac{0.5}{(bd+c) \sin(\frac{30^\circ}{bd+c})}, q = \frac{bd+c}{d}。$$

三相  $60^\circ$ 相带整数槽绕组的分布系数可参见表 4.1.7。

表 4.1.7 分布系数

$q$	3	4	5	6
$k_d$	0.960	0.958	0.957	0.956

### 3.5 绕组的相带划分及绕组感应电动势

以  $60^\circ$ 相带为例。每对极下的槽数分成 6 等份, 即  $m_s = q = 1/6p$ , 也就是说共分 6 个相带。

绕组感应电动势

$$E_s = 4.44 f \Phi_1 W k_\phi$$

式中  $f$ ——频率(Hz);

$\Phi_1$ ——气隙每极磁通的基波分量(Wb);

$W$ ——定子绕组每相串联匝数;

$k_\phi$ ——绕组系数,  $k_\phi = k_p \cdot k_d$ 。



## 3.6 绕组展开图例

### 3.6.1 单相同步发电机定子绕组展开图例

- (1)采用三次谐波励磁的单相同步发电机定子绕组展开图例见图 4.1.2。  
 (2)采用负序分量励磁的单相同步发电机定子绕组展开图例见图 4.1.3。

### 3.6.2 三相同步发电机定子绕组展开图例

- (1)采用谐波励磁的三相同步发电机定子绕组展开图见图 4.1.4。  
 (2)采用整数槽双层叠绕组的三相定子绕组展开图例见图 4.1.5。  
 (3)采用分数槽的三相同步发电机定子绕组展开图例见图 4.1.6。

## 3.7 绕组对称条件与并联支路数

(1)整数槽绕组的对称条件： $\frac{Q_1}{2pm}$ ， $m$  为相数。

(2)分数槽绕组的对称条件：双层时， $\frac{Q_1}{mt}$  = 整数；单层时， $\frac{Q_1}{2mt}$  = 整数， $t$  为槽数  $Q_1$  与极对数  $p$  的最大公约数。

(3)整数槽双层绕组的并联支路数  $a$  应满足  $\frac{2p}{a}$  = 整数。

(4)对于满足对称条件的  $q = b + \frac{c}{d}$  的分数槽绕组应满足  $\frac{2p}{ad}$  = 整数。

## 3.8 辅助绕组

辅助绕组用于供给发电机励磁所需的部分或全部励磁功率。一般均嵌在近槽口处。其与主绕组之间的相位关系视不同励磁要求而定。这里的相位关系系指辅助绕组中心线与主绕组的中心线之间的电角度。例如采用机端晶闸管直励时，为减少无线电干扰电平，辅助绕组与主绕组之间相位相差  $90^\circ$  电角度。有时同一种励磁方式由于运行要求不同，辅助绕组与主绕组之间的相位关系也可不同。例如采用电抗分流相复励发电机，一般单机运行时采用辅助绕组可超前主绕组亦可滞后；而当需要并联运行发电机时，可采用辅助绕组相序变更的办法，再适当调节电抗器抽头或气隙，以增加运行稳定性。总之，对同步发电机来说，辅助绕组的形式是多种多样的，在使用中务必注意其用途与接法，以免因使用不当造成故障或发电机的损坏。当修理需重嵌绕组时，一定要摸清它与主绕组之间的相位关系，以及匝数和接法。否则，修好后的电机可能达不到它原来的功能。特别当对旧发电机进行励磁改造时，如需采用辅助绕组，则应先进行计算；然后在绕组重制完毕后，对绕组进行一系列必需的试验，确定绕组相位关系及匝数；最后进行浸漆。这样，在调试过程中可方便地对辅助绕组进行匝数的增减或重嵌。

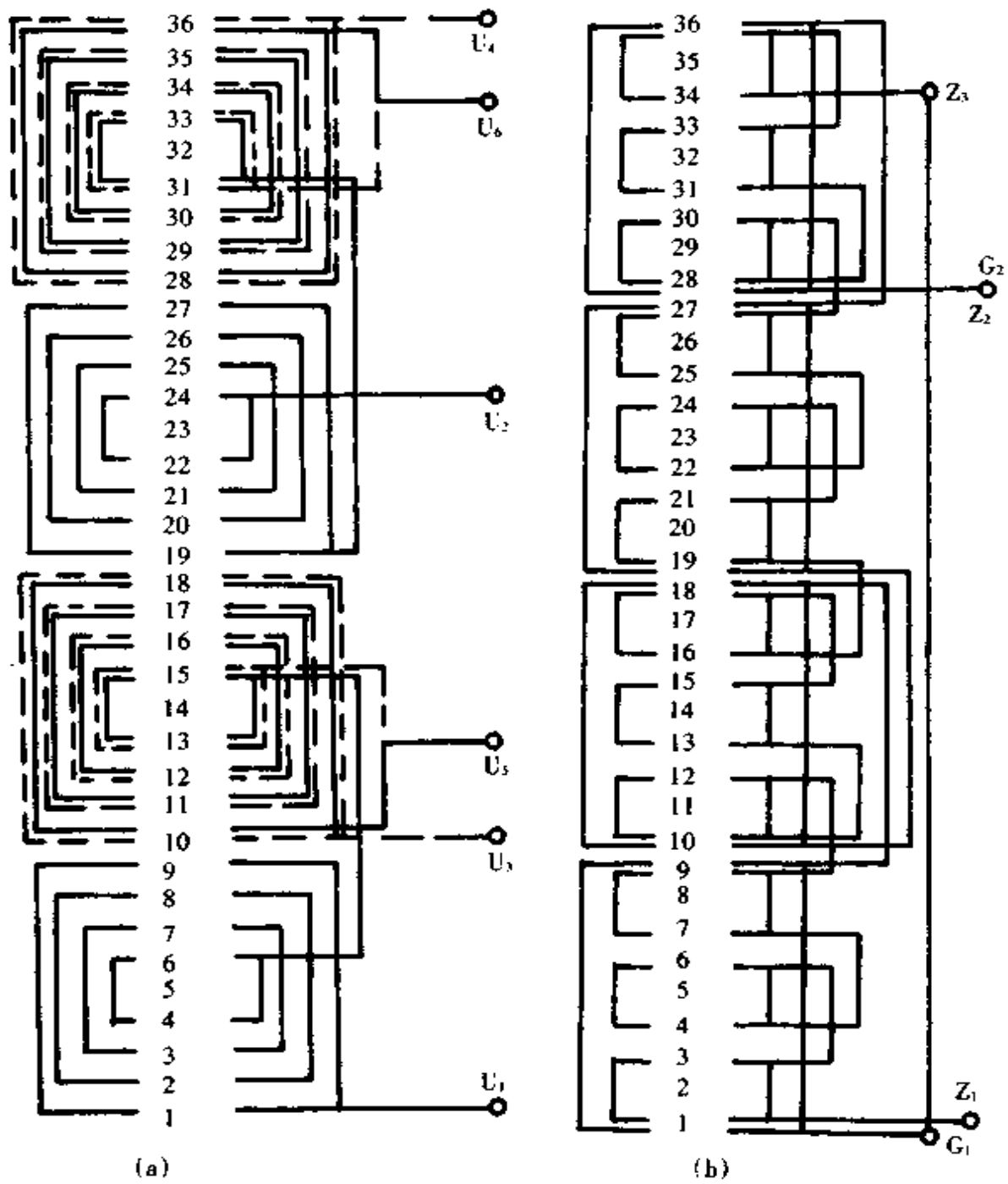


图 4.1.2 采用三次谐波励磁的单相同步发电机定子绕组展开图  
 (a)主绕组展开图 (b)谐波绕组展开图  
 $Q_1 = 36, 4$  极 ( $U_1-U_3, U_2-U_4$  为 50Hz 用;  $U_1-U_5, U_2-U_6$  为 60Hz)

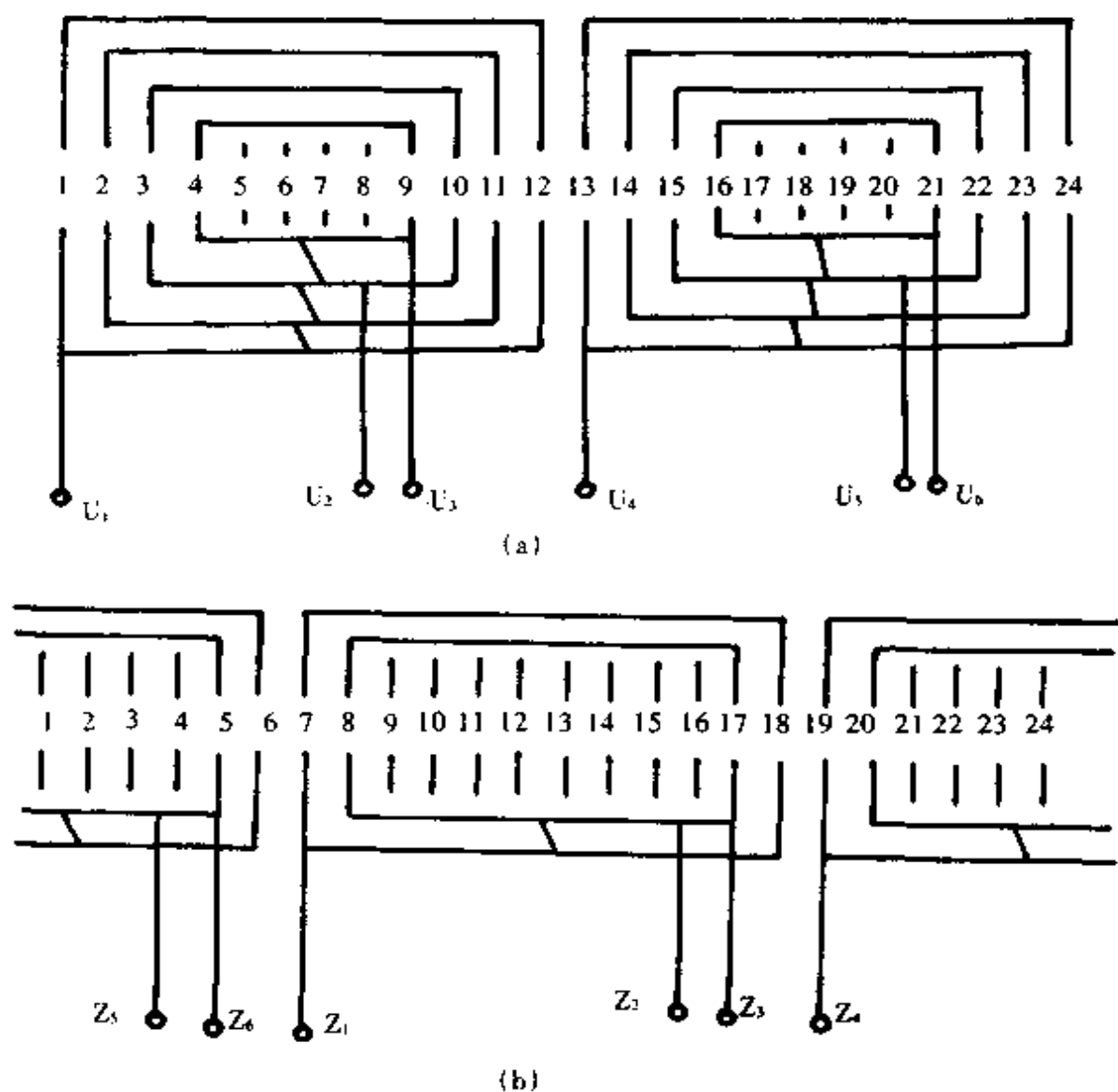


图 4.1.3 采用负序分量励磁的单相同步发电机定子绕组展开图

(a) 主绕组展开图  
 $Q_1 = 24, 2$  极  
 $y = 1 \sim 12, 2 \sim 11, 3 \sim 10, 4 \sim 9$   
 $(U_1 - U_3, U_4 - U_6)$  为 50Hz 用)

(b) 谐波绕组展开图  
 $Q_1 = 24; y = 1 \sim 12, 2 \sim 11$   
 $(Z_1 - Z_3, Z_4 - Z_6)$  为 80Hz 用)  
 $(Z_1 - Z_4, Z_2 - Z_6)$  为 60Hz 用)  
 $(U_1 - U_2, U_4 - U_5)$  为 60Hz 用)

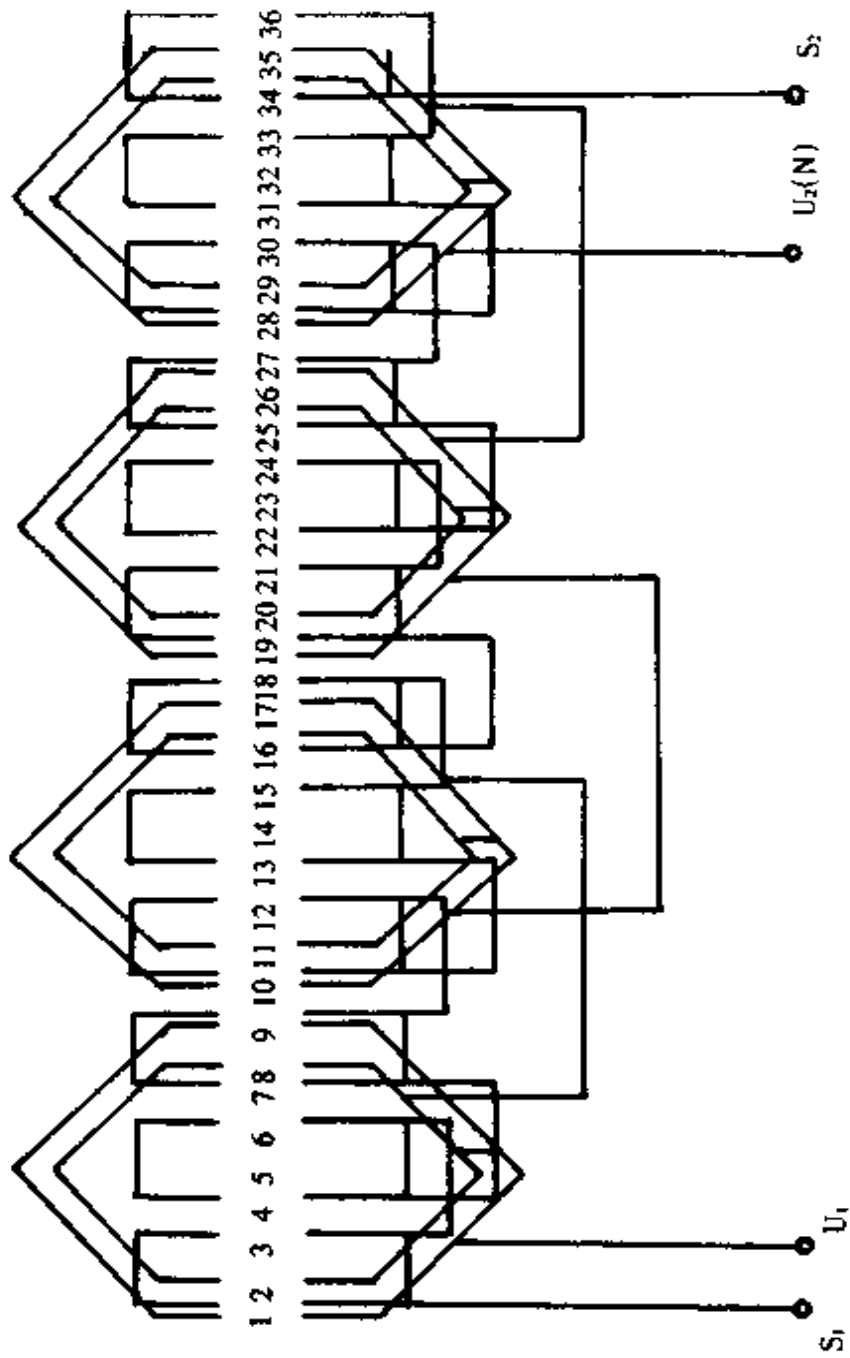


图 4.1.4 采用谐波励磁的三相同步发电机定子绕组展开图

U<sub>1</sub>U<sub>2</sub>(N)——主绕组(画出 U 相, V 相和 W 相可类推)

S<sub>1</sub>—S<sub>2</sub> 为谐波绕组; Q<sub>1</sub> = 36, 4 极; y = 1~9, 2~8; 谐波绕组 y<sub>3</sub> = 1~3

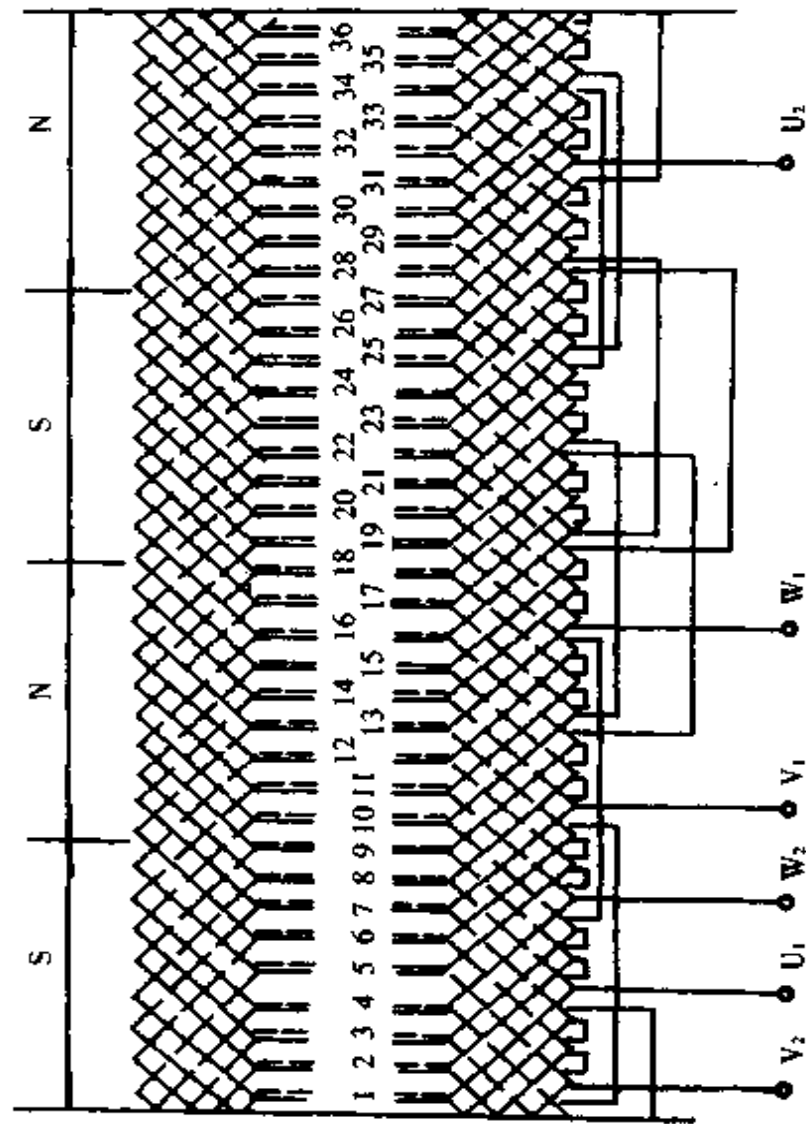


图 4.1.5 三相双层整槽叠绕组展开图

$Q_1 = 36, 4$  极;  $y = 1-8$

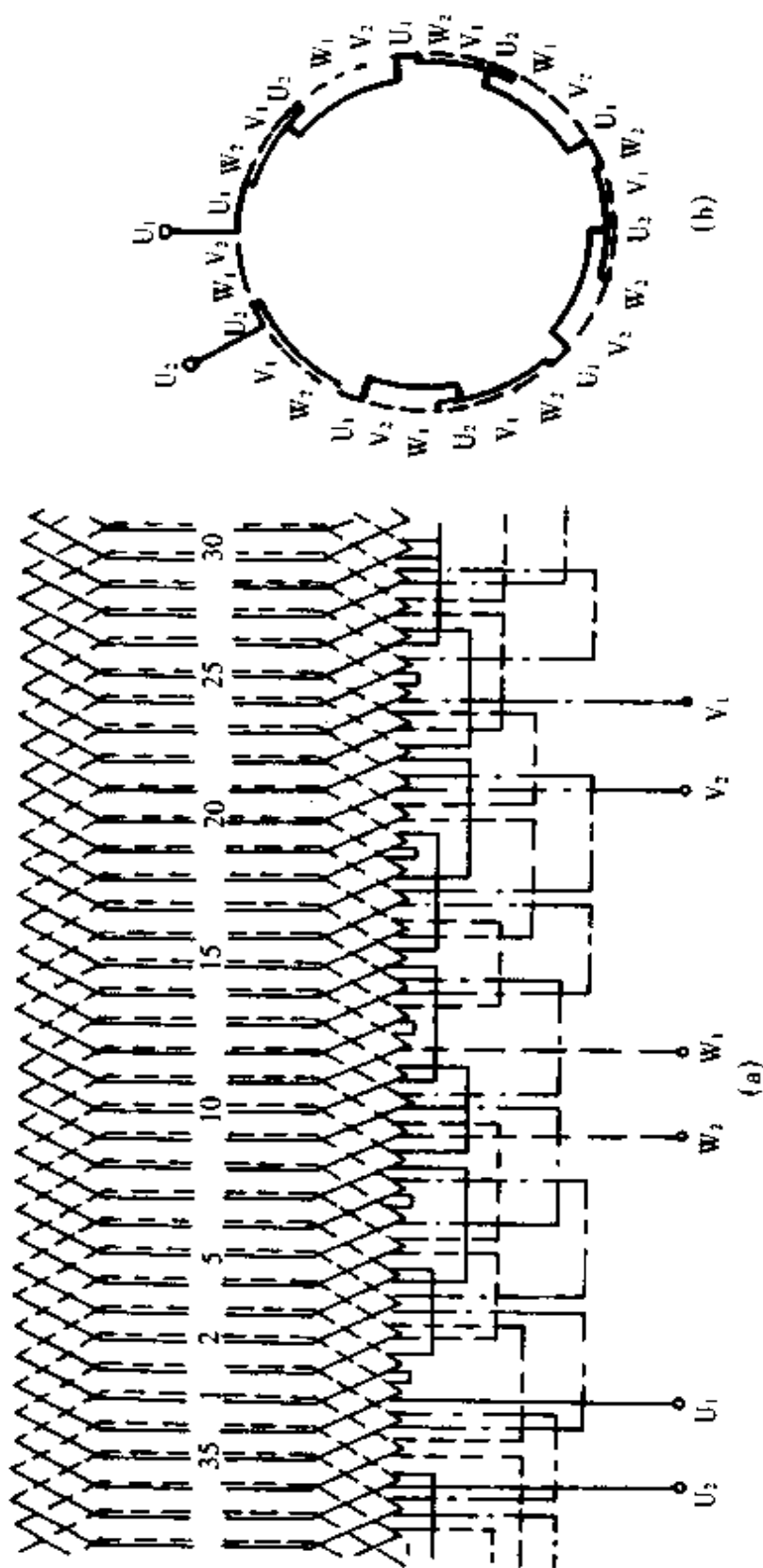


图 4.1.6 双层分数槽叠绕组

(a)展开图 (b)原理接线图(仅画出U相)( $Q_1 = 36, 10$ 极; $\alpha = \frac{1}{5}, y = 1 \sim 4$ )

## 4 转子结构

### 4.1 凸极转子的磁极结构

传统的小型凸极同步发电机的磁极均采用叠片磁极,一般用1~1.5mm的A3钢板冲片叠成。磁极绕组采用框架绕线后套在磁极上或直接绕在绝缘后的磁极铁心上,然后用磁极螺钉或T尾或鸽尾结构固定在磁轭上(见图4.1.7)。

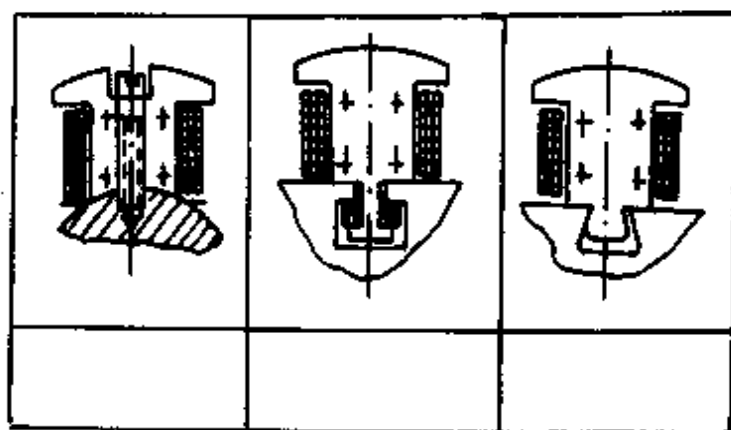


图 4.1.7 常用磁极固定方式

一般柴油发电机均采用磁极螺钉固定方式,高速小型水轮发电机也采用磁极螺钉固定。

近年来发展了“整体凸极”叠片式转子冲片,如图4.1.8所示。整体凸极磁极线圈采用专用绕线机把线绕在极身上。修理时亦可用人工绕制,然后整个转子浸漆成为一个坚固的转子。它兼有凸极和隐极结构的优点,线圈与极身间无间隙,有利于散热,降低了转子温升,也提高了机械强度。

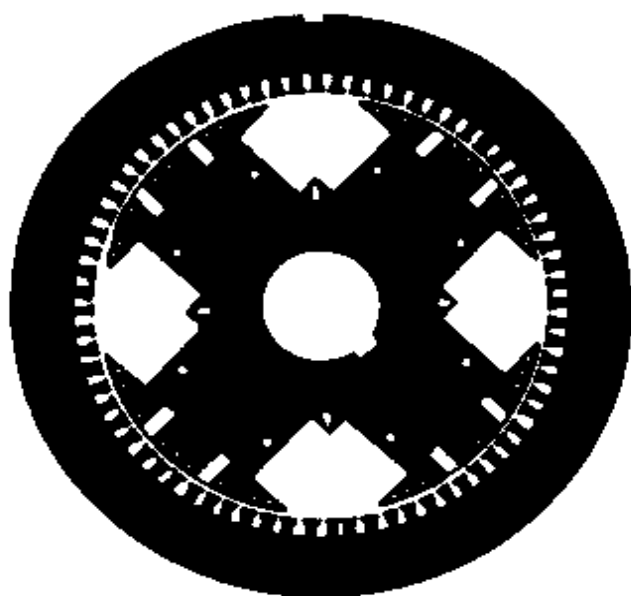


图 4.1.8 整体凸极转子冲片

### 4.2 凸极磁极绕组的绕制(多层)

如图4.1.9所示,线圈的始绕(底线)采用“翻绕”的方法,引出线在整个绕线完

毕后留在线圈的表面。从“3”开始绕,并留有足够长的线头,从“3”绕到“18”为第一层;第二层从“19”开始顺次绕至“33”,用起始时留下的线头,绕第二匝和第一匝,然后再开始用“33”匝的线接下去绕“34”直至绕到最后一匝。翻绕的“1、2、3”匝绕组应在导线外套绝缘套管(与励磁绕组相应的绝缘等级)或包扎绝缘带,以加强绝缘。

### 4.3 隐极转子结构

隐极式转子也是用 A3 钢板冲片叠制而成。冲片圆周冲有大小不等或大小相同的槽,励磁绕组嵌线槽中,采用同芯式绕组。为了得到正弦磁场和近似正弦分布磁场,须对绕组设置进行计算(见表 4.1.8)。

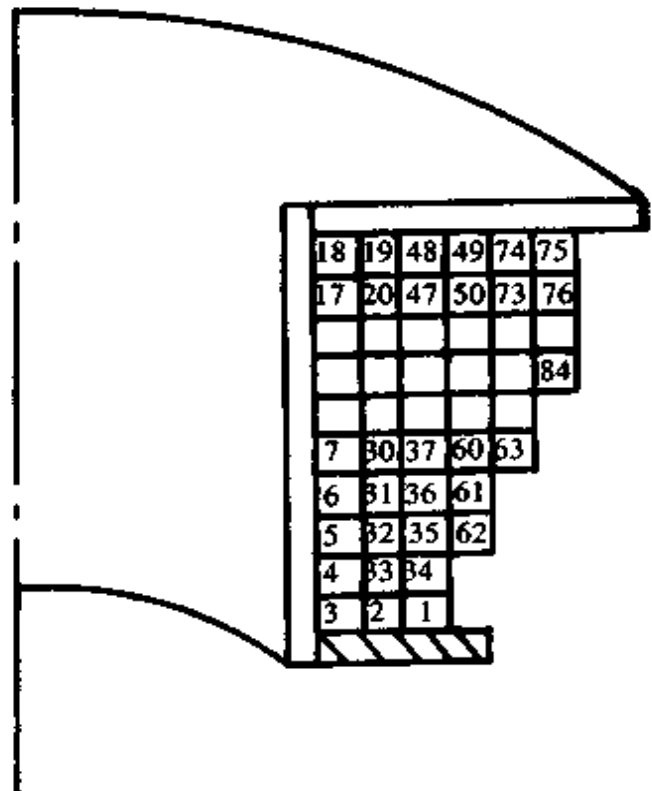


图 4.1.9 凸极磁极绕组

表 4.1.8 气隙磁场接近正弦分布时每极励磁绕组各线圈的匝数比例表(%)

$\frac{Z_2}{2p} = 8$			$\frac{Z_2}{2p} = 9$			$\frac{Z_2}{2p} = 10$			$\frac{Z_2}{2p} = 11$			$\frac{Z_2}{2p} = 12$		
线圈节距	正弦分布	近似正弦分布	线圈节距	正弦分布	近似正弦分布	线圈节距	正弦分布	近似正弦分布	线圈节距	正弦分布	近似正弦分布	线圈节距	正弦分布	近似正弦分布
1~8	41.5	39	1~9	34.7	33	1~10	32.5	31	1~11	28.4	28	1~12	26.8	26
2~7	35	39	2~8	30.5	33	2~9	29.3	31	2~10	26.2	28	2~11	24.9	26
3~6	23.5	22	3~7	22.7	21	3~8	23.3	23	3~9	21.7	18	3~10	21.4	18
			4~6	12.1	13	4~7	14.9	15	4~8	15.6	18	4~9	16.4	18
									5~7	8:1	8	5~8	10.5	12

注:表中  $Z_2$  为槽数,  $2p$  为极数,表中未列出的槽号表示空槽。

为简化生产工艺,生产中对一般用途的隐极同步发电机均采用转子冲片法,在圆周上冲均匀而相同的槽形(类似异步机的转子冲片)。每一极下,中间几个槽为空槽,不嵌绕组;其余嵌有同芯式绕组。那么,每极下的空槽构成大齿,此时磁场波形为阶梯波,在计算中可近似梯形波处理,如图 4.1.10 所示。图中有绕组部分为



2 $\theta$ , 不下绕组的部分为  $b$ 。



图 4.1.10 等槽等匝分布时磁场磁势波形分布图

#### 4.4 阻尼绕组

为了改善发电机的运行状况,目前很多制造厂生产的同步发电机的转子设置了阻尼绕组。一般阻尼绕组都采用单根铜质硬绕组并置于隐极发电机转子的齿的顶部或凸极发电机磁极极靴部分,其两端用环连接,外观类似笼形异步电动机的鼠笼结构。其主要作用是:①抑制运行短路时瞬时过电压;②增强不

平衡负荷能力;③增强并联运行能力。

## 5 绝 缘

由于目前大量使用的发电机多数采用 B 级绝缘,故在此仅介绍 B 级绝缘在小型同步发电机中的使用。

### 5.1 槽绝缘

槽绝缘用 DMDM 或 DMD+M 表示。D 为聚酯纤维无纺布, M 为 6020 聚酯薄膜。对应各种电机中心高的绝缘厚度见表 4.1.9。

表 4.1.9 槽绝缘材料及厚度

mm

电机中心高	材料及厚度		槽绝缘伸出铁心两端长度
	DMDM	DMD+M	
112~160	0.30	0.25+0.05	7~10
180~280	0.35	0.30+0.05	12~15
355	0.40	0.30+0.05×2	15 以上

### 5.2 层间绝缘与相间绝缘

对于双层绕组,在两层间垫入的绝缘材料及厚度与槽绝缘相同;相间亦应垫入与槽绝缘相间的复合绝缘材料。

### 5.3 凸极发电机的磁极绝缘

磁极绝缘采用 0.2mm 厚的有机硅玻璃柔软云母板加 0.05mm 厚聚酯薄膜,并用 0.2mm 厚有机硅玻璃柔软云母板作为加强绝缘。

## 5.4 浸渍漆

一般采用 1032 三聚氰胺醇酸漆(标准号 JB874—66)沉浸。当采用滴浸或滚浸工艺时,应选用相应优良性能的漆。当选用快干漆浸漆时,均以保证电机绕组的电气绝缘性能为前提,采取相应的工艺措施,并考虑经济、合理。近年来,国内外有选用高一等级耐热材料降级使用,以确保可靠性的趋向。

## 6 励磁方式

### 6.1 励磁系统主要性能要求

小型同步发电机励磁系统主要性能要求如下:

- (1)能保证发电机的励磁电压、励磁电流为额定励磁电压和额定励磁电流的 110% 时,励磁系统能连续运行。
- (2)励磁系统的顶值电压倍数 1.5~1.6,按发电机类别要求决定,有特殊用途的发电机顶值电压倍数可高于此值,允许强励时间不小于 10s,但不大于 50s。
- (3)保证发电机的电压整定范围。
- (4)保证发电机稳态电压调整率、瞬态电压调整率及电压反应(或恢复)时间。
- (5)有并联运行要求时,能保证稳定并联运行和无功功率分配。

### 6.2 励磁系统类别

6.2.1 采用直流励磁机带炭阻式自动电压调整器的励磁系统

该系统线路示意如图 4.1.11 所示。这种电机目前国内已不生产,但可能尚有部分电机仍在运行使用中。

#### 6.2.2 相复励励磁系统

6.2.2.1 电抗移相式相复励励磁系统 不可控电抗移相式相复励励磁系统线路如图 4.1.12 所示。

当发电机空载转速在额定值附近时,定子绕组的剩磁电压经线性电抗器加到三相整流桥的输入端,整流后通向励磁绕组进行励磁,使电压逐渐提高直至接近额定电压值。

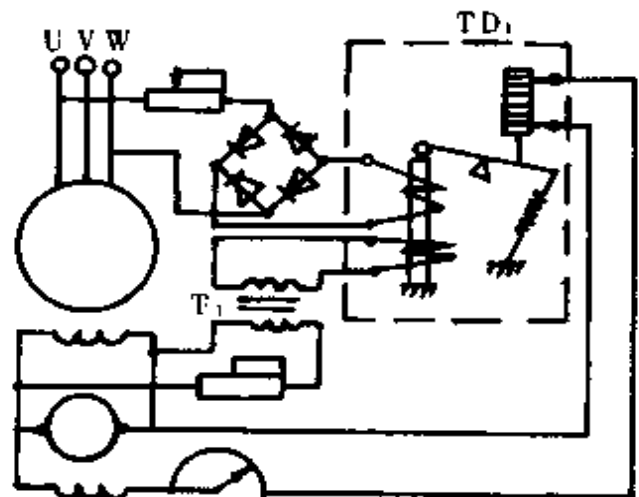


图 4.1.11 炭阻式自动电压调节器原理图

$T_1$ —有空气隙的变压器  $TD$ —炭阻变阻器

发电机带上负载后,负载电流通过电流互感器的一次绕组,其二次绕组的输出电流与负载电流相位相同、大小成比例,它与由电压源经线性电抗器提供的滞后于端电压  $90^\circ$  的电流作向量叠加,经整流后通向励磁绕组。在适当的参数的配合下,励磁装置能较精确地供给发电机在不同负载时所需要的励流电流,因而能够自动将电压恒定维持在一定范围内。

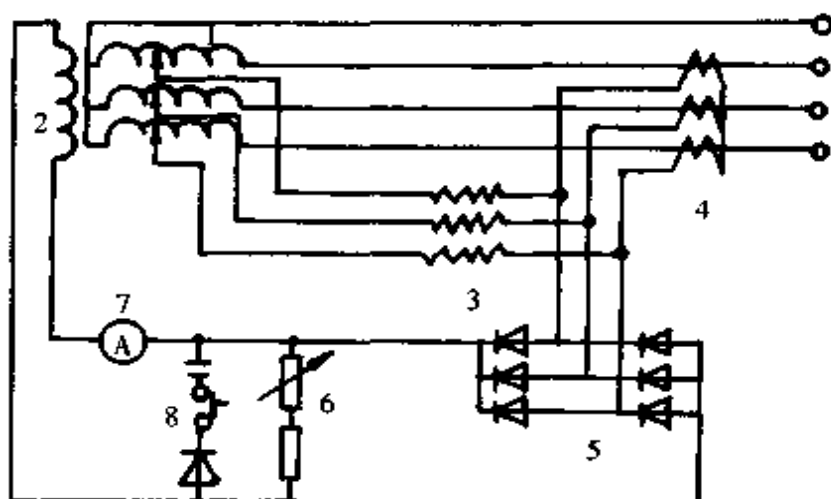


图 4.1.12 不可控电抗移相式相复励线路

1—电枢绕组 2—励磁绕组 3—线性电抗器 4—电流互感器  
5—三相整流桥 6—整定电阻 7—电流表 8—起动装置

发电机的空载电压可通过改变电抗器上的连接片位置及调整电阻来整定。

阻容保护用以保护桥式整流器。当发电机短路或负载突变时,阻容保护可以抑制励磁绕组上可能出现的反向尖峰电压,避免过电压而损坏整流元件。

不可控相复励励磁系统在小型同步发电机中使用十分普遍,稳态电压调整率  $\delta_v$  为  $3\% \sim 5\%$ 。

如果将不可控相复励中的整定电阻断开,接入自动电压调节器后即成为可控相复励励磁,如图 4.1.13 中接入的为 KXT-1 型自动电压调节器。KXT-1 型调节器用以控制晶闸管分流的大小,自动调整发电机的端电压。

当发电机电压有降低的趋势时,调节器的测量比较环节能够及时测量到这一信号并经过以后环节去改变晶闸管的导通角,使分流值减小,励磁电流随之增大,从而使发电机电压维持不变。当电压有升高趋势时,调节作用则相反。由于调节主要由电子元件组成,故可控相复励能保证发电机具有更高的稳态电压调整率。该方案下的稳态电压调整率(单机运行时)达  $1\%$ ,瞬时电压调整率  $\leq 15\%$ ,恢复时间  $< 1s$ 。

另外,也可不采用主绕组抽头供电的方法,而采用在定子绕组中另嵌一套辅助绕组专为励磁系统供电,同时可根据需要使辅助绕组与主绕组相位有所偏移。辅助绕组中通过的电流按空载励磁电流决定,电压决定方法与抽头式一样,其线路见图 4.1.14。

6.2.2.2 谐振式相复励 如图 4.1.15,谐振式相复励工作原理与电抗移相式相复励相类似。

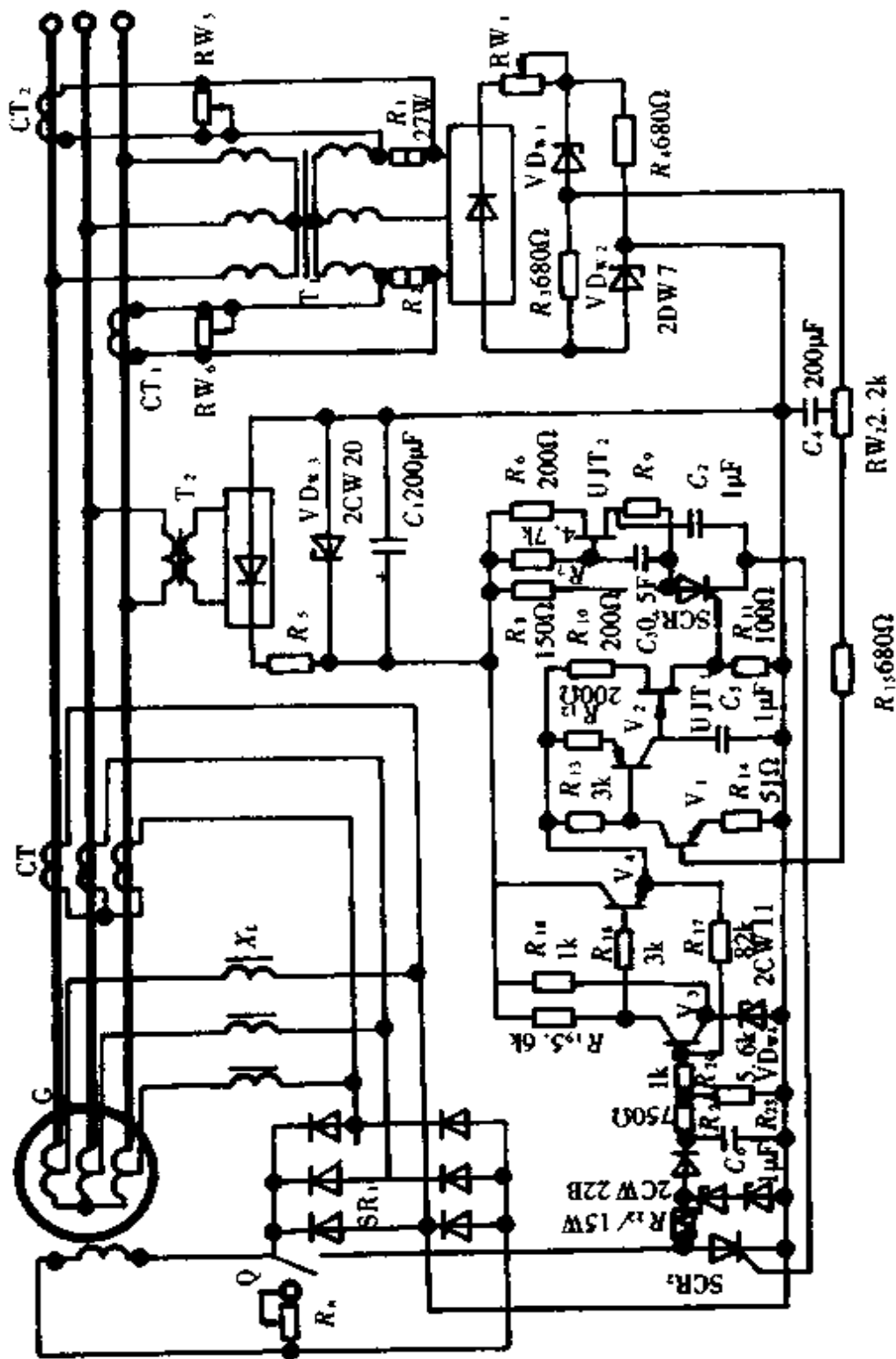


图 4.1.13 带 KXT-1 调节器的可控相复励线路

由于发电机有剩磁,所以发电机转动时则在定子绕组中产生剩磁电势。剩磁电势通过变压器3中的 $W_1$ 线圈与 $W_2$ 线圈的电磁耦合,再经过整流桥5在励磁绕组中产生了励磁电流,使发电机感应电势增加,经过如此不断反复,使发电机的端电压达到额定值。

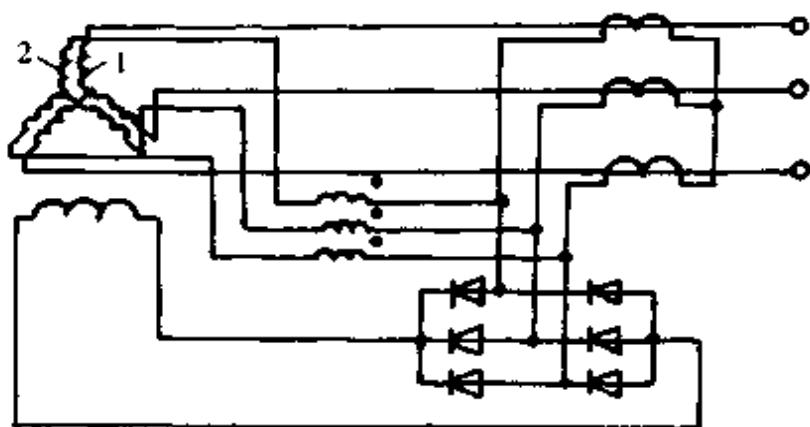


图 4.1.14 用辅助绕组供电的电抗移相式相复励线路  
1—发电机电枢绕组 2—辅助绕组

发电机带上负载以后,由于有负载电流通过,复励变压器 $W_3$ 线圈产生了复励磁场,再经过 $W_2$ 与 $W_3$ 线圈间的电磁耦合,使励磁电流中增加了复励分量,从而可保持发电机端电压不变。

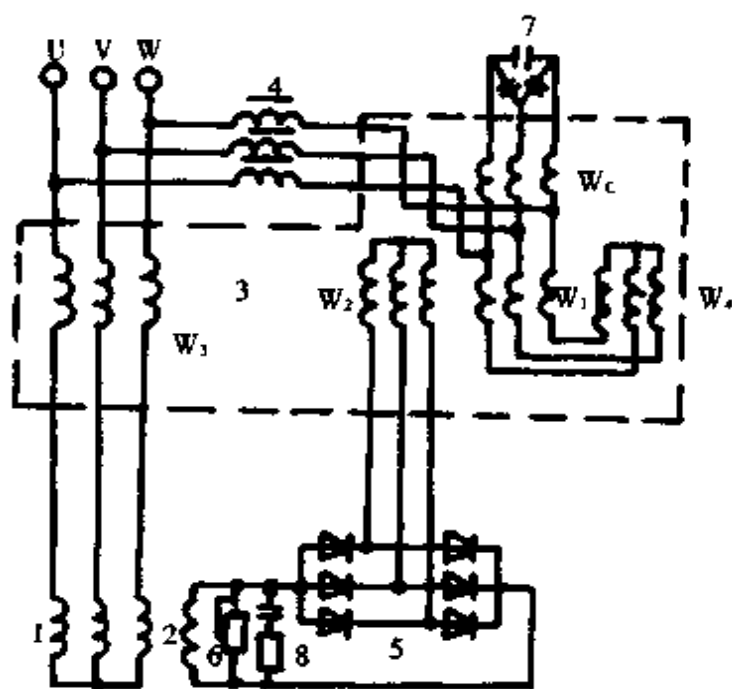


图 4.1.15 T2型谐振式相复励线路  
1—发电机电枢绕组 2—发电机励磁绕组 3—复励变压器 4—移相电抗器 5—整流桥 6—可调变阻器 7—移相电容 8—阻容保护

6.2.2.3 双绕组电抗分流式相复励励磁 如图 4.1.16 所示,采用这种相复励方式的发电机,其定子绕组中嵌有 2 套绕组。主绕组的 U、V、W 端输出三相交流电能,每相绕组尾端分别与电抗器 5 的中间抽头相接。另一套辅助绕组(其作用如同电抗移相相复励方式中的辅助绕组)提供电压分量。辅助绕组的  $U_3$ 、 $V_3$ 、 $W_3$  分别接电抗器, $U_4$ 、 $V_4$ 、 $W_4$  分别接整流桥。电抗器的另一端相互联结成为中点引出。

空载时,利用剩磁和辅助绕组使发电机建压;负载时,由负载电流流过电抗器并分流,提供与负载电流相对应的励磁电流,并与由辅助绕组提供的电压分量相叠加,一起对发电机励磁,从而保持端电压不变。

双绕组电抗分流相复励系统在小同步发电机中,特别在水轮发电机中使用十分普遍。单机运行时,稳态电压调整率为 5%,加上可控调节器以后可以达到在 3% 以内。

### 6.2.3 三次谐波励磁系统

最简单的三次谐波励磁系统如图 4.1.17 所示。

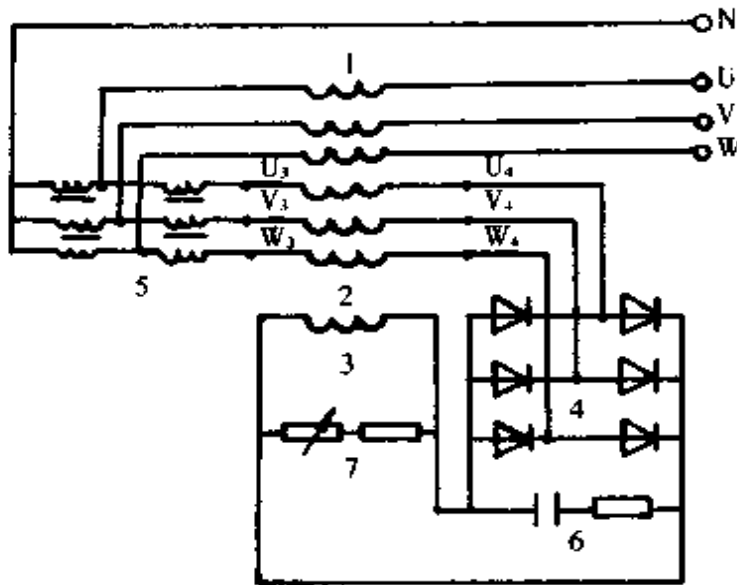


图 4.1.16 双绕组电抗分流式相复励线路  
1—主绕组(电枢绕组) 2—辅助绕组 3—励磁绕组  
4—整流桥 5—线性电抗器 6—阻容保护  
7—可调变阻器(整定电阻)

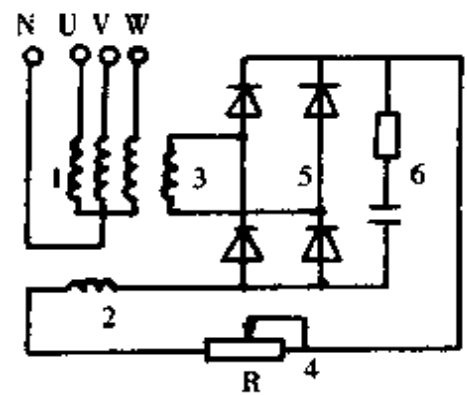


图 4.1.17 最简单的三次谐波励磁系统  
1—发电机主绕组 2—发电机励磁绕组 3—谐波绕组  
4—整定电阻 5—整流桥 6—阻容保护

在三相同步发电机气隙磁场中总会含有一系列奇次谐波,其最大分量为三次谐波。同时,发电机带负载后,其电枢反应磁场中也含有三次谐波成分并起助磁作用。如能在发电机定子中嵌一套绕组,其节距为主绕组节距的  $1/3$ ,那么就能感应出谐波电动势,该绕组即谐波绕组。谐波绕组与主绕组没有电的联系,由谐波绕组接整流桥后通过整定电阻的调节供给发电机励磁,这就成了最简单的三次谐波励磁方案。这种不可控的谐波励磁,其稳态电压调整率可达 10% 左右。如果发现空载时励磁功率不够,负载时电压上升较大,可以采用再嵌一套匝数很少的基波绕组,采用基波、谐波两套辅助绕组混合励磁。如果设计调试得当,在不可控情况下可以获得稳态电压调整率为 5%~8%。

想要得到更好的稳态电压调整率,常常采用加自动电压调节器的方法。如图 4.1.18 为 T2S 发电机使用的线路。

### 6.2.4 机端直励的晶闸管励磁系统

图 4.1.19 和图 4.1.20 所示是 T2 系列发电机曾使用或正在使用的励磁系统之一。

图 4.1.19 中,  $T_1$  是一个单相变压器。副边有三个绕组分别作为测量电源,单晶体管  $UJ$  的工作电源,供  $V_2$ 、 $V_3$  的同步电源。由单相全波整流所测量的发电机电压,经  $C_1$  滤波后供对称测量桥。 $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_6$ 、 $R_7$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  组成稳定环节,用以抑制系统振荡。脉冲分配由  $V_2$ 、 $V_3$  组成,每个导通半个周期,使晶闸管  $SCR_1$ 、 $SCR_2$  在承受反向电压的半个周期中不送入脉冲。 $J_1$  为干簧继电器,作低速保护用。

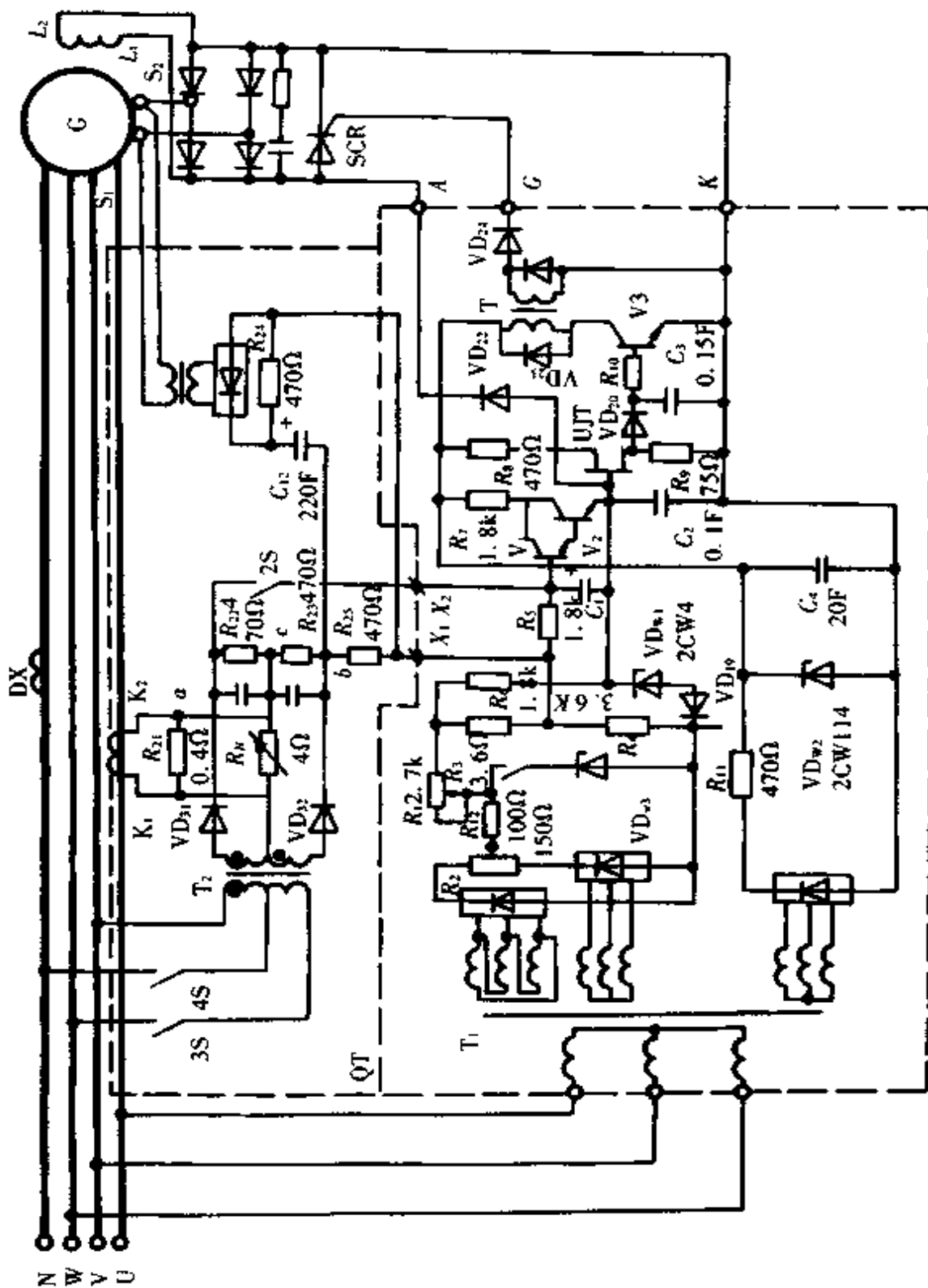


图 4.1.18 带 TST 调节器的三次谐波励磁系统线路图

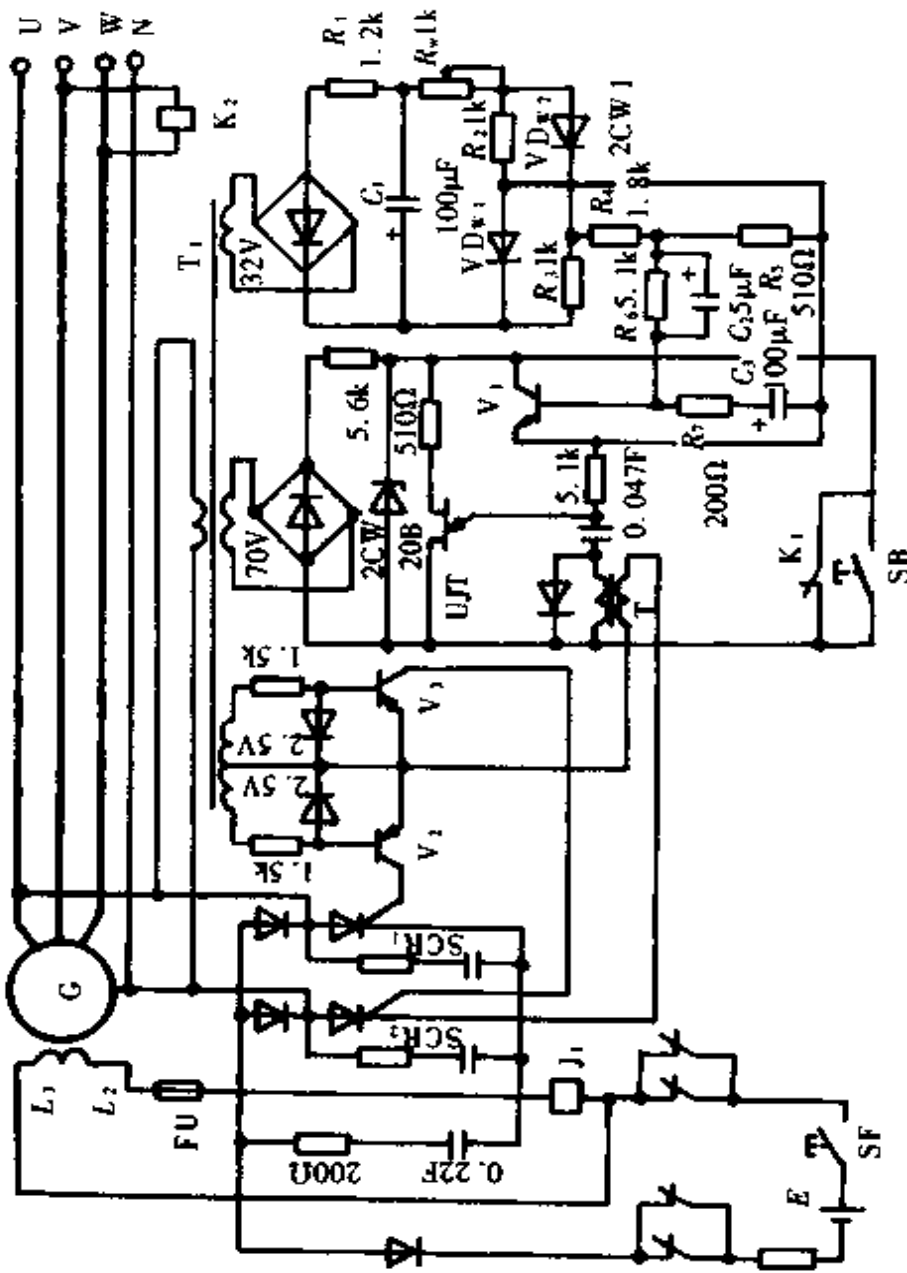


图 4.1.19 带 TFL1-1 型自动电压调节器的晶闸管励磁系统线路图





### 6.2.5 无刷励磁系统

无刷励磁系统的特点:①无集电环与电刷之间的滑动接触,因而无火花产生,运行中维护简单、可靠性高。②易于并联运行。③由于采用了交流励磁机,就同容量、同转速的发电机而言,在同样技术要求下,整台发电机的体积比有刷发电机大,有效材料(铜、铁)使用较多。

到目前为止,各国生产的小型三相无刷同步发电机的转子电气连接都是采用由交流励磁机旋转电枢绕组通过旋转整流器向主发电机励磁绕组供给励磁电流的方式,如图 4.1.21。

为了达到发电机的技术性能,各制造厂采用了不同的供给励磁机励磁的方式,从而形成了各有特色的励磁系统,例如带相复励的无刷励磁系统(1FC5、1FC6 系列无刷发电机)、带谐波供电的无刷励磁系统(TFW 系列无刷同步发电机的励磁系统之一)、带副励磁机的无刷励磁系统(BKDH 系列无刷同步发电机)、带有复励的无刷励磁系统(TFE 系列无刷同步发电机系列)等等。这些励磁系统的具体线路可参见本章 9 后部分内容。

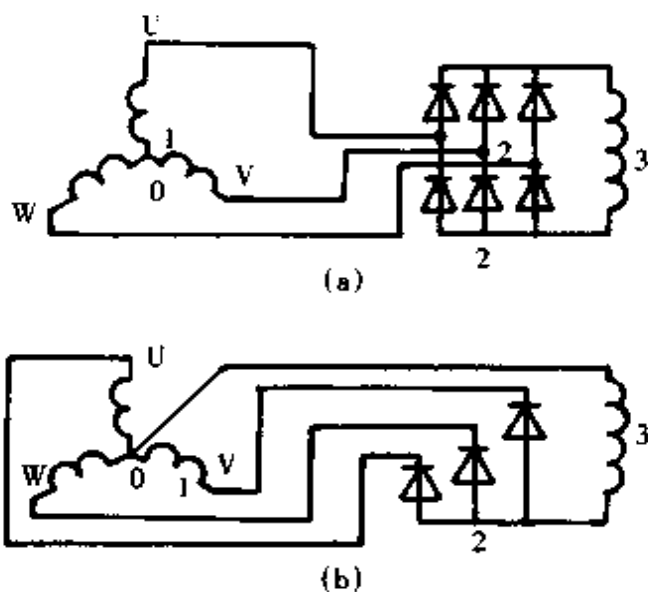


图 4.1.21 无刷发电机的转子电气连接

(a)全波整流桥 (b)半波整流桥

1—交流励磁机电枢绕组 2—旋转整流器

3—主发电机磁场

## 6.3 励磁系统对发电机并联运行的适应性

### 6.3.1 并联运行中常见的运行故障分析

并联运行中的理想状况是:随着网络中负载的增减,各发电机组能自动按各自额定功率的比例来进行负载分配,使各发电机组的功率得到充分的利用。事实上,很多发电机在单机运行时性能优良、强励能力强,但加入并联运行后常出现抢无功、振荡、失磁而不能稳定运行,甚至不得不解列。了解原动机的调速特性和发电机励磁系统对并联运行的影响,有助于消除上述故障。并联运行机组原动机调速特性见图 4.1.22。

**6.3.1.1 原动机的调速特性** 一般单机运行时,希望原动机有较小的调速率,即调速特性有小的斜率。而在并联运行时,各参加并联运行机组的有功负载分配取决于原动机调速特性,并有一定要求。图 4.1.22 中曲线 1、2 分别是两台并联机组的调速特性。 $n_0$  为两机并联后的空载转速。网络加负载后,转速下降为  $n_f$ ,

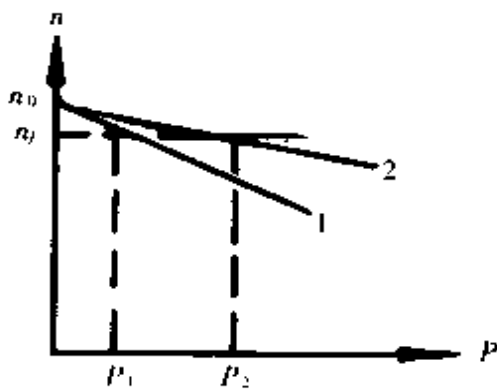


图 4.1.22 并联运行机组原动机调速特性

此时两机组分别承担的有功功率为  $P_1$ 、 $P_2$ 。由此可见,当两台同容量机组并联时,要求它们的调速特性尽可能一致,如能重合,就能保证在任何情况下,保持相等的有功功率。当不同容量机组并联时,要求它们的调速特性能使有功功率按机组额定有功功率比例分配,并且希望曲线斜率不要太小,否则网络中的负载作小的变动都能造成功率重新分配,使各机组处于不稳定状态。事实上,原动机的调速特性也许不是直线,并且可能存在某一范围内调速器调节不太灵敏,以及对负载突变时反应不一等问题。这些问题对并

联运行均有一定影响,应引起重视。

此外,当原动机例如柴油机,具有周期变化的转矩时,还会出现转矩施加到发电机转子后会使转矩和电流波动的情况。即除单机运行时可能出现照明灯光的闪烁外,并联运行时有可能引起共振。一般应增加飞轮力矩,以避免上述现象的发生。

6.3.1.2 发电机励磁调节的影响 并联运行时,如原动机的转速不作变动,其有功负载分配不变,各机组的无功负载调节依靠调节各发电机组的励磁电流。从图 4.1.23 可以看出,如果发电机的励磁调节系统使电机具有图中曲线 1 那样的上翘的外特性曲线,则加入并联后,其强励作用将使发电机的电势有上升趋势,从而使网络中的负载不断转移到这台发电机,很快使发电机受不了而不得不解列。这种现象俗称抢无功。因此,具有上翘外特性的发电机是不能够并网稳定运行的。

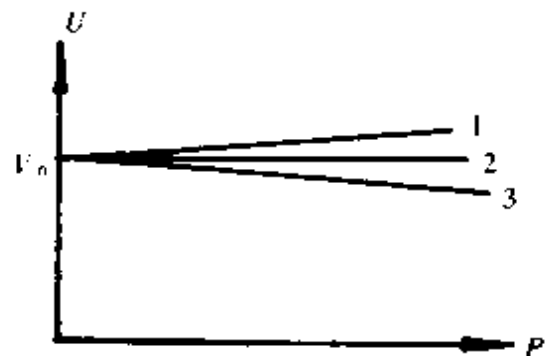


图 4.1.23 发电机外特性曲线

如果发电机具有很硬的外特性曲线,如图 4.1.23 中曲线 2,也就是说发电机的励磁调节非常灵敏。在这种条件下,并联后,负载稍有变动励磁系统就会跟随对无功负载调节,使系统处于不断调节的不稳定状况。这也是不允许的。参加并联运行的机组只有具有一定斜率、向下的外特性曲线(如图 4.1.23 中曲线 3),并联运行才是稳定的。因此,对有并联运行要求的发电机,其励磁系统中要采取相应措施,以保证发电机作稳定的并联运行。

### 6.3.2 带有不可控相复励系统的发电机并联运行措施

(1)接直流均压线(如图 4.1.24 所示)。

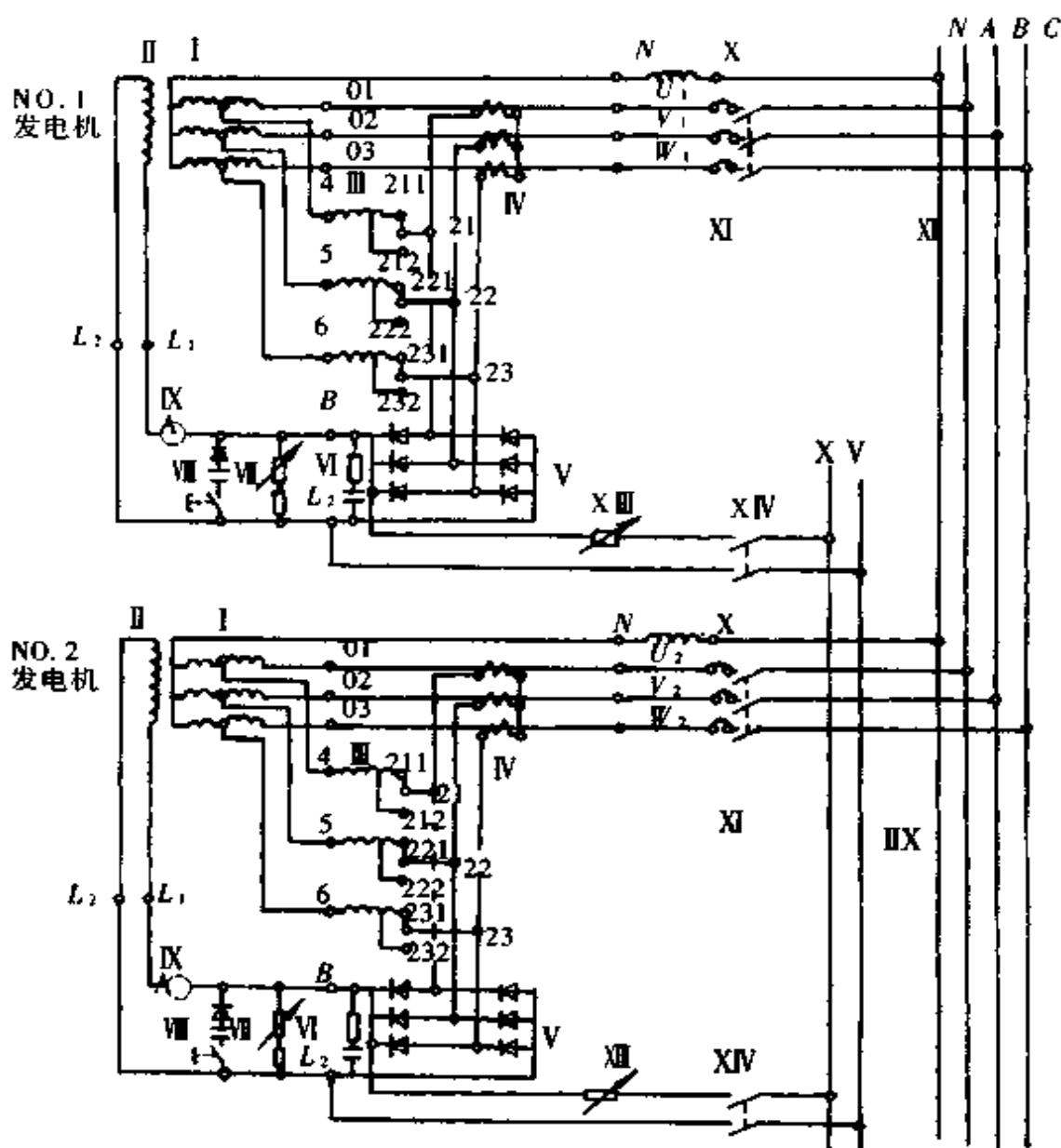


图 4.1.24 同型号、同容量发电机的并联运行原理(接直流均压线)

(2)接交流均压线(如图 4.1.25 所示)。

(3)改变副绕组与主绕组之间的相位角。例如某一台带双绕组电抗分流励磁系统的发电机,其副绕组滞后主绕组  $\alpha$ , 现改为  $180^\circ + \alpha$ , 则励磁电流随电网电压变化而自动变化,增加了并联的稳定性,并入大电网运行效果较好。

### 6.3.3 带可控励磁系统的发电机并联运行措施

(1)在励磁系统中增加无功补偿(调差)环节。单相测量变压器见图 4.1.26, 三相测量变压器见图 4.1.27。

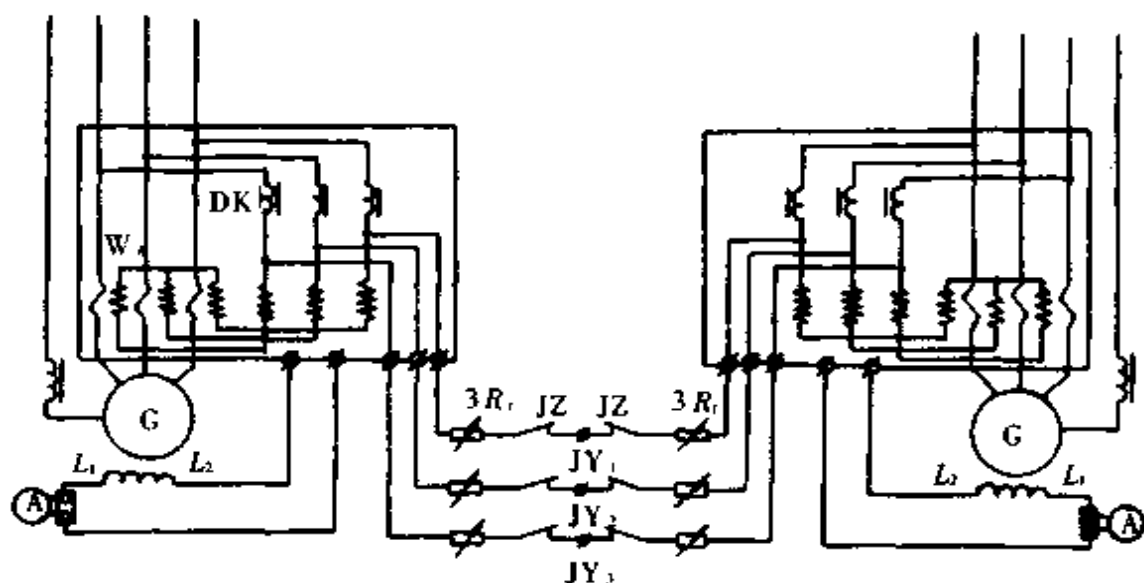


图 4.1.25 同型号、同容量发电机的并联运行原理(接交流均压线)

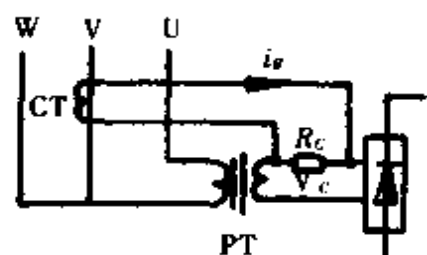


图 4.1.26 单相测量变压器的补偿线路

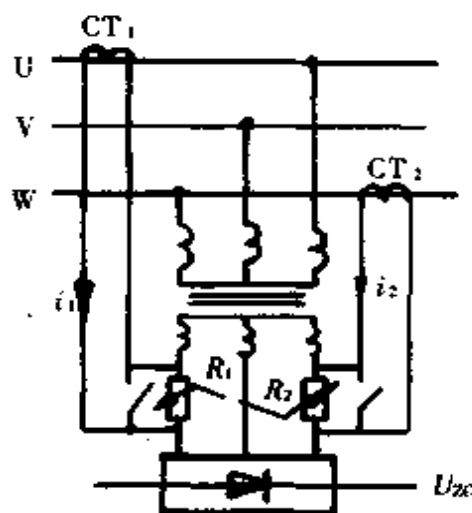


图 4.1.27 三相测量变压器的补偿线路

增加无功补偿环节后,并联前调节电阻,使两台同功率、同容量发电机在  $\cos\varphi = 0.8$  负载时具有相同斜率且下降的外特性,并联后发电机就能自动分配无功负载。不同功率时,其外特性斜率虽不同,但斜率之比可使并联后电机无功按额定无功功率比例分配。

(2)加差动补偿线路。如图 4.1.28,这一线路适用于对并联后网络稳态电压调整率

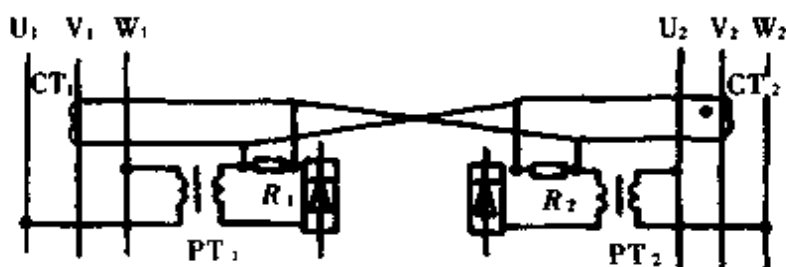


图 4.1.28 差动补偿线路

有较高要求的场合,但两机相距不能太远。

(3)直流侧叠加信号的补偿线路。当自动电压调节器(AVR)采用六相整流时,采用上述两种补偿方式有困难。这时可在励磁调节器直流侧加调差,如图 4.1.29 所示采用相敏鉴相器线路。当小容量的机组并大电网运行时,可改相敏鉴相器为锁相电路,以保证并入的小同步发电机组恒功率因数运行。

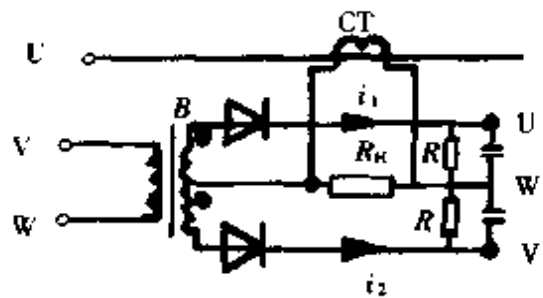


图 4.1.29 相敏鉴相器线路

## 7 绕组修理与励磁系统的改换

### 7.1 绕组修复

已损坏的发电机定转子绕组修理、重绕,应按资料提供的数据进行。若手头没有资料,可依据已烧坏部分的槽或极的匝数、线径(量取)、绕组节距等进行绕制或嵌线。

### 7.2 改他励发电机为自励发电机

#### 7.2.1 直励改三次谐波励磁

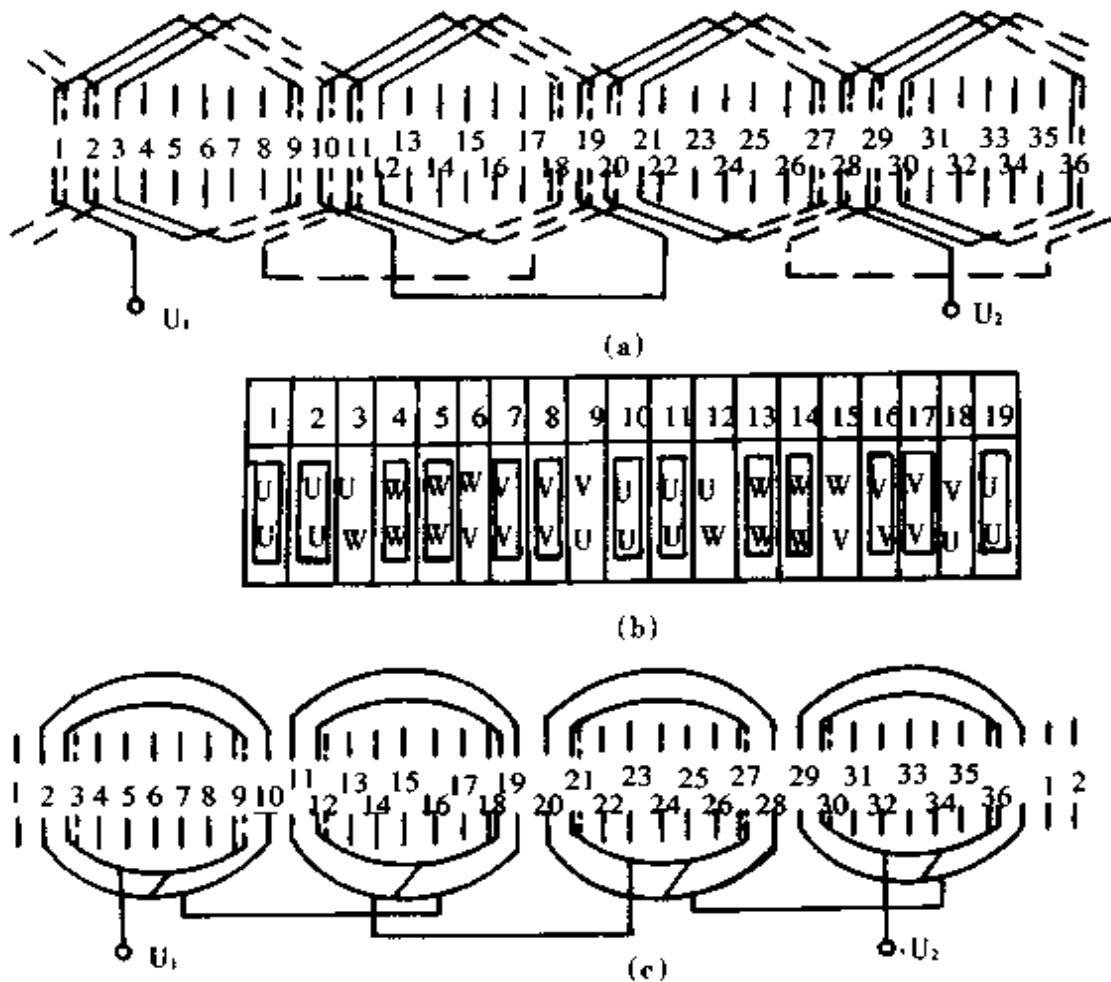
用直流励磁机的凸极同步发电机,如其励磁机已完全损坏而欲改为三次谐波励磁,可采用以下方法。

**7.2.1.1 发电机的励磁电压与励磁电流要求** 一般来说采用直流励磁机励磁的同步发电机,其励磁绕组设计成较大的励磁电流和较低的励磁电压。用三次谐波励磁的发电机应该用较高的励磁电压和较小的励磁电流,以便于建压。一般励磁电压取 60~100V。

如果励磁参数要变动则要重绕磁极绕组。重绕磁极绕组时可采取减小导体直径、适当增加匝数的方法,以保持励磁安匝数不变,即  $W_1 \cdot I_{f1} = W_2 \cdot I_{f2}$ 。  $W_1$  和  $I_{f1}$  为原来的每极励磁绕组总匝数和原来的励磁电流,  $W_2$  和  $I_{f2}$  为重绕后的每极总匝数和重绕后的励磁电流。但转子电流密度不能太大,否则会使转子温升太高。

**7.2.1.2 原发电机为不均匀气隙,且气隙比  $\delta/\delta_n = 1.5$**  为增加气隙磁场中的三次谐波成分,可拆下磁极,在磁极与磁轭之间垫一块 1mm 左右的钢板,然后将垫高的磁极车去一些,这样可以改变气隙比。气隙比取 1~1.3。

**7.2.1.3 将主绕组改为单双层绕组,在单层绕组上面嵌三次谐波绕组** 例如有一台 36 槽 4 极的发电机,定子绕组原为节距  $y = 1 \sim 9$  的双层绕组(见图


 图 4.1.30 36 槽, 4 极,  $q=3$  绕组展开接线图

(a)  $y=1\sim 9$  双层绕组 U 相展开图 (b)  $y=1\sim 9$  双层绕组, 一对极下绕组排列  
(c) 改成单双层绕组后 U 相展开图

4.1.30a)。用表列出各相绕组在槽中的位置, 从图 4.1.30b 所列情况可以看出 U 相绕组在 1、2、10、11、19 槽中上下层是同相, 把层间绝缘去掉作为单层绕组; 3、9、12、15、18 槽中不同相的绕组同槽, 故仍作双层绕组。这样将端部联接重新调整组合就组成了图 4.1.30c 所示的单双层绕组了。由于导体在槽中分布及导体中电流的方向均未改变, 因此重新组成的绕组的电势波形与原双层绕组时的电势波形完全一致。单双层绕组一般采用同芯式结构, 它的绕组系数可按等效双层绕组的绕组节距计算, 也可以按绕组分布的实际情况求出。下面给出几个常用的绕组系数计算公式以及去除绕组中所含谐波次数的方法。

例一: 上述  $q=3$ 、4 极发电机。设单层绕组匝数为  $m$ , 双层绕组匝数为  $n$ , 绕组系数

$$k_{\alpha} = \frac{m \sin 80^{\circ} + n \sin 60^{\circ}}{m + n}$$

式中  $80^\circ$ 、 $60^\circ$  为采用同芯式绕组结构的绕圈边与该线圈中心线间的电角度。当  $\frac{m}{n} = 1.35$  时,主绕组中不感应五次谐波,也就是说五次谐波系数  $k_{\phi 5} = 0$ ; 当  $\frac{m}{n} = 1.7$  时,五次谐波和七次谐波的系数间有  $\frac{k_{\phi 5}}{5} = -\frac{k_{\phi 7}}{7}$  的关系。

例二:  $q = 4$  极发电机。采用单双层绕组,每极每相单层 2 槽、双层亦 2 槽; 单层匝数为  $m$ , 双层匝数为  $n$ ,  $k_{\phi} = \frac{m \sin 82.5^\circ + n \sin 67.5^\circ + n \sin 52.5^\circ}{m + 2n}$ 。当  $\frac{m}{n} = 1.732$  时电压波形中不含五、七、十七、十九次谐波成分。

由此类推,当按  $\frac{m}{n} = 1.732$  分配绕组单层与双层的匝数时,在  $q = 4$  的 4 极发电机,每极每相单层与双层各占 2 槽的情况下,主绕组就可以获得较好的电压波形。

实际上,为了留出在单层绕组的部分槽空间嵌谐波绕组,  $\frac{m}{n}$  值还要受到槽满率的限制。不过应该尽量考虑使主绕组的电压波形中减少谐波成分。

7.2.1.4 三次谐波绕组估算 设三次谐波绕组的匝数为  $W$ , 其节距为主绕组节距的  $1/3$ , 则

$$W_3 \approx 8.36 \frac{U_f}{U_1} W_1$$

式中  $U_1$  ——主绕组相电压(V);

$W_1$  ——主绕组匝数;

$U_f$  ——励磁电压(V)。

因谐波绕组精确设计比较困难,故应备有抽头供试验调整用。

## 7.2.2 直励改电抗移相复励励磁

直励发电机欲改为电抗移相复励励磁的发电机,主绕组仍按损坏前的匝数及型式修复。转子若亦损坏,需重下嵌励磁绕组或重绕绕组时,励磁电压可取 60 ~ 100V。为顺利建压,空载励磁电压应大于 20V,否则要装起励装置。

电抗移相式复励的计算举例:

已知三相隐极磁场式同步发电机为 50kW, 1500r/min, 400V, 50Hz,  $\cos \varphi = 0.8$ 。

指标要求:

- (1) 稳态电压调整率  $\delta_v \leq 3\%$ ;
- (2) 电压整定范围 95% ~ 105% 额定电压;
- (3) 原动机转速变化率为 3%, 且随负载增减呈线性变化。



发电机的数据:

励磁绕组 75℃ 时的电阻值  $R_{f(75^\circ\text{C})} = 6.36\Omega$ ;

励磁绕组每极匝数  $W_f = 230$  匝;

额定电流时电枢反应磁势  $F_a = 2155$  安匝;

定子绕组 75℃ 时电阻值  $R_{s(75^\circ\text{C})} = 0.033$  (标么值);

定子绕组漏抗  $X_s = 0.0502$  (标么值)。

发电机的空载特性:

空载电压标么值 $u_0$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
空载磁势 $F_0$ (安匝)	714.6	834	1014	1425	2170

7.2.2.1 计算过程 整定电阻计算即以转速调整率对空载电压进行修正,从而得出空载特性曲线上的相应励磁电流。

$$u_0 = U_N \text{ 时, } u_0' = \frac{1}{1+0.3} = 0.97, F_0 = 960 \text{ 安匝, } I_{f0} = 4.17\text{A};$$

$$u_0 = 0.95U_N \text{ 时, } u_0' = \frac{0.95}{1.03} = 0.922, F_0 = 875 \text{ 安匝, } I_{f0(0.95)} = 3.8\text{A};$$

$$u_0 = 1.05U_N \text{ 时, } u_0' = \frac{1.05}{1.03} = 1.02, F_0 = 1085 \text{ 安匝, } I_{f0(1.05)} = 4.71\text{A}。$$

取  $u_0 = 1.05U_N$  时的分流电流为 5%  $I_f$  (此时分流电流为最小,整定电阻值最大),计算如表 4.1.10 所示。

表 4.1.10 整定电阻计算表

项 目	$1.05u_0$	$u_0$	$0.95u_0$
(1)空载励磁电流 $I_{f0}$ (A)	4.71	4.17	3.8
(2)空载时分流电流 $I_m$ (A)	$0.05 \times 4.71 = 0.236$	$\frac{4.17 + 0.236}{1.05} - 4.17$ $= 0.54$	$\frac{0.95}{1.05}(4.71 + 0.236) - 3.8$ $= 0.67$
(3)整定电阻 $R_u = \frac{R_f \times I_{f0} + 0.6(\Omega)}{I_{f0}}$	130	50.4	37
(4) $e_i = u_0 + (r_a + jx_s)(\cos\varphi - j\sin\varphi)$	$1.106 < 1^\circ$	$1.0566 < 1^\circ 8'$	$1.006 < 1^\circ 15'$
(5)对应 $e_i$ 从空载特性上取得的 $F_a$ (安匝)	1480	1230	1040
(6)满载励磁磁势 $F_{fN}$ (安匝)	3450	3230	3100
(7)满载励磁电源 $I_{fN} = \frac{F_{fN}(\text{A})}{W_f}$	15	14	13.5

续表

项 目	$1.05u_0$	$u_0$	$0.95u_0$
(8)额定负载下整定电阻分流电 流 $I_n = \frac{I_{fN} \cdot R_{f(75^\circ)} + 0.6}{R_n}$ (A)	0.74	1.78	2.34
(9)整定电阻消耗功率 $P_n = I_n^2 R_n$ (W)	71.2	160	202

选用的变阻器由两部分串联而成,半调式 ZQ11, 200 $\Omega$ 、15 $\Omega$  两根串联;可调式 BC1-300/2.0—20—120 $\Omega$ 、3.7~1.8A。

7.2.2.2 电流互感器压降、发电机励磁电流计算 电流互感器压降、发电机励磁电流计算见表 4.1.11。

表 4.1.11 额定励磁电流计算

项 目	$\cos\varphi = 1$ 负载	$\cos\varphi = 0.8$ 负载
(1)电流互感器压降 $\Delta u_T$ (假定值)应与表 4.1.12 第 5 项值相近	0.015 $\angle -20^\circ$ 0.0144 - j0.00514	0.02 $\angle -45^\circ$ 0.0141 - j0.0141
(2)额定电流 $I_N$ (A)	0.8 $\times$ 90.2 = 72.1	90.2
(3) $e_i = 1 + \frac{0.8}{\cos\varphi} (r_a + jx_s) (\cos\varphi - j\sin\varphi) + \Delta u_T$	1.041 $\angle 1^\circ 50'$	1.071 $\angle 20'$
(4)对应 $e_i$ 的磁势(空载特性)(安匝)	1160	1300
(5)额定负载时的励磁安匝(安匝) $F_{fN} = 1.05 [ F_n (\frac{b}{a} + j1) - \frac{0.8}{\cos\varphi} F_a (\cos\varphi - j\sin\varphi) ]$	2228	3290
(6)额定励磁电流 $I_{fN} = \frac{F_{fN}}{W_f}$ (A)	9.64	14.3

把励磁电压、励磁电流折算为交流侧的等值归于表 4.1.12 中。电压与电流的整流比  $\beta$  值见表 4.1.13。

表 4.1.12 等值折算计算(额定电压时)

项 目	空 载	$\cos\varphi = 1$ 满 载	$\cos\varphi = 0.8$ 满 载	备 注
(1)励磁电流 $I_f$ (A)	4.17	9.64	14.3	
(2)包括电刷压降在内的励磁电阻 $R_f' = R_f + \frac{0.6}{I_f}$ ( $\Omega$ )	6.5	6.42	6.4	0.6—— 一对电刷压降

续表

项 目	空 载	$\cos\varphi = 1$ 满载	$\cos\varphi = 0.8$ 满载	备 注
(3)包括整定电阻直流励磁电阻 $R_f' = \frac{R_f' \cdot R_n}{R_f' + R_n} (\Omega)$	5.75	5.69	5.68	$R_n = 50.5\Omega$
(4)包括分流电流的直流侧励磁电流 $I_f' = I_f \frac{R_f'}{R_f'} (\text{A})$	4.71	10.88	16.12	
(5)直流侧励磁电压 $U_f = I_f R_f' (\text{V})$	27.1	61.9	91.5	
(6)折算至交流侧相电流 $I_R = \beta_i \cdot I_f' (\text{A})$	3.72	8.37	12.4	$\beta_i$ 值见表 4.1.12
(7)折算至交流侧相电压 $U_R = \frac{1}{\sqrt{3}}(\beta_u u_f + 2\Delta u_z) (\text{V})$	14.06	30.9	45.5	整流元件正向压降 $\Delta u_z = 0.15\text{V}$ $\beta_u$ 值见表 4.1.13
(8)交流侧每相等值电阻 $R_L = \frac{U_R}{I_R} (\Omega)$	3.78	3.69	3.66	

表 4.1.13 电压与电流的整流比  $\beta$  值

	变 比	空 载	$\cos\varphi = 1$	$\cos\varphi = 0.8$
三相桥式整流	$\beta_i = \frac{\text{交流线电流}}{\text{直流平均电流}}$	0.79	0.77	0.77
	$\beta_u = \frac{\text{交流线电压}}{\text{直流平均电压}}$	0.89	0.85	0.85

7.2.2.3 线性电抗  $X_L$  和电流互感器变比  $K_T$  的计算 电压源由电枢绕组中间抽头供给, 即  $a_u = 115.5\text{V}$

电抗器电抗

$$Z_0 = \frac{a_u}{I_{R0}} = \frac{115.5}{3.72} = 31\Omega \quad (I_{R0} \text{查表 4.1.12})$$

空载时电抗

$$X_{L0} = \sqrt{Z^2 - R_{L0}^2} = \sqrt{31^2 - 3.78^2} = 30.75\Omega$$

满载时电抗

$$X_L = \frac{n_N}{n_0} \times X_{L0} = \frac{1}{1.03} \times 30.75 = 29.9 \Omega$$

$$\frac{X_L}{R_{L0}} = \frac{29.9}{3.78} = 7.92$$

$$I_{Rl} = \sqrt{I_R^2 (0.8) - [(1 + \delta_n) I_{R0} \cdot \cos \varphi]^2} - (1 + \delta_n) I_{R0} \sin \varphi$$

$$= \sqrt{12.4^2 - [1.03 \times 3.72 \times 0.8]^2} - (1.03 \times 3.72 \times 0.6) = 9.73 \text{ A}$$

电流互感器变比

$$K_T = \frac{I_{Rl}}{I_N} = \frac{9.73}{90.2} = 0.108$$

7.2.2.4 核算等值电路 核算等值电路见表 4.1.14。

表 4.1.14 核算等值电路

项 目	$\cos \varphi = 1$ 满载	$\cos \varphi = 0.8$ 满载	备 注
(1) $K_T$	0.1074	0.1074	互感器 $\frac{10}{93} = 0.1074$
(2) $\dot{I}_{Rc} = \frac{a \dot{U}_\varphi / 0^\circ}{R_L + jX_L}$ (A)	$3.84 / -83^\circ$	$3.84 / -83^\circ$	
(3) $\dot{I}_{Rl} = \frac{0.8}{\cos \varphi} \cdot \frac{K_T X_L I / 90^\circ - \varphi}{R_L + jX_L}$ (A)	$7.7 / 7.05^\circ$	$9.65 / -29.8^\circ$	
(4) $\dot{I}_R = \dot{I}_{Rc} + \dot{I}_{Rl}$ (A)	$8.6 / -19.5^\circ$	$12.34 / -44.3^\circ$	与表 4.1.11 项(6)复核
(5) 电流互感器压降 $\Delta u_T = \dot{I}_R L_L$ $K_T = \frac{1}{U_{\varphi N}}$	$0.0148 / -19.53^\circ$	$0.021 / -44.30^\circ$	与表 4.1.10 项 (1)假设值相近
(6) $\dot{I}_{r(L)} = \frac{0.8 K_T \dot{I}_N \cdot R_{Lr} - \varphi}{\cos \varphi (R_L + jX_L)}$ (A)	$0.951 / -83^\circ$	$1.18 / -119.8^\circ$	
(7) 电抗器电流 $\dot{I}_X = \dot{I}_{Rc} - \dot{I}_{r(L)}$ (A)	$2.89 / -83^\circ$	$2.98 / -69.3^\circ$	

7.2.2.5 硅整流二极管的选择(采用三相桥式线路)

最大励磁电压

$$U_{f_{max}} = 1.15 U_{f(0.8)} = 1.15 \times 91.5 = 105 \text{ V}$$

通过整流二极管的平均电流

$$I_z = \frac{K_r}{1.57} I f''_{(0.8)} = \frac{0.577}{1.57} \times 16.12 = 5.92\text{A}$$

式中  $K_r$ ——整流电路系数,查表 4.1.12。

整流元件电压

$$U_z \geq 4.5 U_{f_{\max}} = 4.5 \times 105 = 472\text{V}$$

选用元件的电流

$$(1.2 \sim 1.5) I_z = (1.2 \sim 1.5) \times 5.92$$

∴ 选用 500V、10A 的硅整流二极管 2CZ10/500

### 7.2.2.6 线性电抗器计算(风冷)

电抗器容量

$$P_L = 3 I_{R0}^2 X_L = 3 \times 3.72^2 \times 29.9 = 1240\text{VA}$$

选用山-30 铁心, D42、0.35 钢片

$$b = W = 30\text{cm}, h = 7.5\text{cm}, l_L (\text{叠厚}) = 4.0\text{cm}$$

选用导线 QZ2,  $\varnothing 1.2/\varnothing 1.28$ ,  $S = 1.13\text{mm}^2$

$$\text{电流密度 } J_L = \frac{I_{R0}}{S} = \frac{3.72}{1.13} = 3.28\text{A/mm}^2$$

匝数  $W_L = 54 \text{ 匝} \times 4 \text{ 层} + 51 \text{ 匝} \times 3 \text{ 层} = 361 \text{ 匝}$

电抗器气隙  $\delta_L = 0.33\text{cm}$

$$\begin{aligned} X_m &= 7.85 \cdot f W_L^2 \frac{(b + \delta_L)(l_L + \delta_L)}{\delta_L} \times 10^8 \\ &= 7.85 \times 50 \times 361^2 \frac{(3.0 + 0.33)(4.0 + 0.33)}{0.33} \times 10^8 \\ &= 22.4\Omega \end{aligned}$$

铁心漏磁导

$$\begin{aligned} \Delta_L &= 0.625 \frac{I_0 h}{W} + h \lg 10 \left( 1 + \frac{\pi}{2} \frac{b}{w} \right) \\ &= 0.625 \frac{4.0 \times 7.5}{3.0} + 7.5 \lg 10 \left( 1 + \frac{\pi}{2} \right) = 9.31 \end{aligned}$$

$$X_A = 4\pi f W_L^2 \Delta_L \cdot 10^{-8} = 4\pi \times 50 \times 361^2 \times 9.31 \times 10^{-8} = 7.62\Omega$$

$$X_L = X_m + X_A = 22.4 + 7.62 = 30\Omega$$

电抗器铁心磁密

$$B_{Cl} = \frac{I_{R0} \cdot X_m \cdot 10^8}{4.44 f W_L b l_L K_{StL}} = \frac{3.72 \times 22.4 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 361 \times 3 \times 4 \times 0.9} = 9650\text{XT} < 1\text{T}$$

电抗器绕组平均匝长  $l_L = 195\text{mm}$

电抗器绕组电阻

$$R_r(75^\circ\text{C}) = 2.1 \times X_{Lr} \times W_j \times 10^{-4} / S = 2.1 \times 19.5 \times 361 \times 10^{-4} / 1.13 = 1.31\Omega$$

$$\text{电抗器铁心净重 } G_{\text{Fe}} = 4.35\text{kg}$$

### 7.2.2.7 电流互感器计算(风冷)(参数见表 4.1.15)

$$\text{一次侧电流 } I_1 = I_N = 90.2\text{A}$$

$$\text{二次侧电流 } I_2 = K_T I_N = 0.1074 \times 90.2 = 9.69 \text{ 匝}$$

$$\text{二次侧电压 } U_2 = I_{R(0.8)} R_{L(0.8)} = 12.4 \times 3.66 = 45.2\text{V}$$

$$\text{电流互感器容量 } P_T = 3U_2 I_2 = 3 \times 9.69 \times 45.2 = 1314\text{VA}$$

选用山-30 冲片,叠厚  $l_T = 8.5\text{cm}$

$$\text{铁心净重 } G_{\text{Fe}} = 9.25\text{kg}$$

表 4.1.15 电流互感器参数

项 目	二次绕组(先绕)	一次绕组(后绕)
(1)匝数 $W_T$	0-85-89-93-97-101 共 101 匝,85、89、93、97 匝抽头	10
(2)线规	QZ-2, $\varnothing 1.74$	QZB-2, $2.6 \times 5.5$
(3)导线截面 $S_T(\text{mm}^2)$	2.38	$2 \times 11.2 = 22.4$
(4)电流密度 $J_T(\text{A}/\text{cm}^2)$	4.07	4.03
(5)线圈排列	$35 + 34 + 32 = 101$	$1 \times 10$
(6)平均匝长 $L_T(\text{mm})$	246	284
(7)电阻 $R_T(75^\circ\text{C})(\Omega)$	(0.233)	0.0029

(8)铁心磁密

$$B_T = \frac{U_2 \times 10^4}{4.44 f W_2 b l_T K_{ST}} = \frac{45.2 \times 10^4}{4.44 \times 50 \times 93 \times 3 \times 8.5 \times 0.90} = 0.955\text{XT} < 1\text{T}$$

### 7.2.3 发电机他励改为晶闸管自励时应注意的问题

(1)若发电机定子、转子绕组未损坏,则需增加一台励磁变压器。变压器原边接发电机端电压,副边接半控整流桥的交流端子。用 AVR 改变晶闸管的控制角,并按励磁电压和励磁电流折算到交流侧,计算励磁变压器参数。

(2)若定子绕组已损坏需重绕,可以在定子绕组中嵌一套辅助绕组供给励磁源。辅助绕组可以采用与主绕组同样的节距,但与主绕组相位相差  $90^\circ$  电角度,也就是两套绕组中心线之间的电角度相差  $90^\circ$ 。辅助绕组的匝数、线规由励磁电压、励磁电流决定。

(3)若转子励磁绕组损坏而要重绕,为建压方便起见,取空载励磁电压大

于 20V。

### 7.3 小型同步发电机所用电磁负荷值

小型同步发电机所用电磁负荷值可参考表 4.1.16。

表 4.1.16 小型同步发电机所用电磁负荷值

线负荷、电流密度范围			各部位的磁密(I)		
	凸极	隐极		凸极	隐极
$A_1$ (A/cm)	150~350	250~300	气隙 $B_{\delta}$	0.7~0.85	0.7~0.95
			定子轭	1.1~1.4	1.3~1.5
$J_1$ (A/mm <sup>2</sup> )	5~9	8~9	定子齿 $B_z(1/2)$	1.5~1.7	1.5~1.7
			转子齿 $B_z(0.2)$	—	1.7~2.2
$J_2$ (A/mm <sup>2</sup> )	3~5.5	5~6	极身	1.3~1.5	—
			转子轭	1~1.2(铸钢) 0.5~0.7(铸铁)	1.4~1.6 —

### 7.4 发电机修理后的测试与调整

发电机的绕组修理后,必须经过测试,以验证修理质量。如绕组试验不符合要求,则应拆去重新绕线、嵌线。因此,修理后可暂不浸漆,先进行下述试验,证实已修好后再浸漆。试验项目及方法如下。

#### 7.4.1 绕组对机壳和绕组之间的绝缘电阻测定

选用 500V 兆欧表,发电机置于室温下进行。分别测量绕组对机壳及绕组之间的绝缘电阻值。若绕组的另一端接成中点,那么绕组对机壳的绝缘电阻测量时,另一端只要测公共中点对机壳即可,不必解开。测得的绝缘电阻值应大于 1M $\Omega$ 。

#### 7.4.2 绕组直流电阻值的测定

可用电桥法测量。每一电阻值应测量三次,每次应在电桥平衡破坏后重新测定。每次读数应在平均值的  $\pm 0.5\%$  范围内,取其平均值作为电阻的实测值。绕组的直流电阻值小于 1 $\Omega$  时,应用有效值不低于 4 位的双臂电桥测量。测量电枢绕组时,电机转子应静止不动。测量转子绕组时,励磁绕组应引至集电环表面测量。对于三相绕组,测得的电阻值应基本相等,并与计算值或修理前之值相一致。

#### 7.4.3 相序检查和三相电压对称性检查

发电机在额定转速下空载运行。对于发电机为他励者,逐渐增加励磁电流至发电机端电压为额定值,保持转速与励磁电流不变。从发电机轴伸端视之,电机按

标牌方向旋转时,发电机相序应为顺相序。发电机三相电压中的最大值与最小值测量可用电压转换开关接至同一只电压表测量。电压最大值(和最小值)与三相平均值之差在1.5%~2%范围内认为基本对称,否则要拆除绕组重嵌。

#### 7.4.4 发电机空载和额定运行时的励磁电流的测定

使发电机在额定转速下运行,发电机的空载电压为额定电压,读记励磁电流值;再给发电机逐渐加负载并保持发电机的转速和电压为额定值,直至发电机满载,读取发电机额定运行下的励磁电流值。如果发电机转子绕组没有修理或虽修理但匝数与线规均未变动,那么上述读取的励磁电流应与原来的励磁电流值相一致。否则要查清原因,必要时绕组要拆去重修。如果修理时转子励磁绕组因线规变动而改动匝数,则读记的励磁电流亦应与修改的计算值相符,并保持励磁安匝数与修理前一致(除非发电机修理后额定功率亦作变动,如降低功率等)。

#### 7.4.5 不可控相复励励磁系统的试验调整

发电机空载工作点调整:首先检查励磁系统接线是否正确无误,然后把整定电阻置于阻值最大位置上,调整电抗器气隙至规定值,驱动发电机到 $(1 + \delta_n)$ 额定转速。 $\delta_n$ 为所配原动机的调速率,一般 $\delta_n = 5\% n_N$ , $n_N$ 为发电机额定转速。当励磁绕组所建立的磁通方向与剩磁一致时,发电机应能建立电压。如电压建立不起来,可先检查发电机有无剩磁,整流器有无损坏,如确认整流器完好且发电机有剩磁时,可增大电抗器气隙。为了去除磁性材料的磁滞影响,调整时先在空载下进行,空载调完,加上负载后,再去负载调整,以去负载后的空载调整为准。调整电抗器气隙可用若干厚度不同的非磁性垫片填充。气隙大小以能使发电机空载电压比整定上限值高3%为准。最后固定电抗器气隙,减少整定电阻,使发电机端电压为额定值。

电流互感器应备有若干抽头。互感器次级匝数多,则反馈量小;匝数少,则反馈量大。如果发电机由空载加上负载后,出现电压明显下降,则可能是因电流互感器极性反了或互感器与电抗器相序接错,应予以改正。若发电机带上负载后在 $\cos\varphi = 1.0$ 和 $\cos\varphi = 0.8$ 时发电机电压向同一方向偏移,应调节电流互感器抽头:电压下降应减少匝数,即加强反馈;反之应增加匝数,减少反馈量,直至 $\cos\varphi = 1.0$ 时发电机满载电压略高于额定值, $\cos\varphi = 0.8$ 时发电机满载电压略低于额定值。然后改变负载,使发电机从空载到 $\cos\varphi = 1.0 \sim 0.8$ (滞后)的所有负载范围内端电压变化为最小,并达到规定要求。

#### 7.4.6 三次谐波绕组的试验调整

在此,介绍一种工厂实用的试验方法。

(1)按图4.1.31接线,置开关于开的位置,驱动发电机使转速保持为额定转速。对于发电机为他励者,逐渐增加励磁电流直至发电机达到额定电压,然后将之



固定不变。调节可调电阻  $R_f$ ,  $R_f$  总的电阻值可选择为励磁绕组电阻值  $r_f$  的 2 至 3 倍, 允许通过的电流为励磁电流的 2 至 3 倍。整流桥 SR 的容量可按此相应选取。

(2) 调节  $R_f$  从零到最大变化, 记录  $R_f$  上的电压  $U_R$  和通过的电流  $I_R$ , 并绘制发电机空载时的三次谐波绕组  $S_1 S_2$  所输出的功率  $P_0$  与  $R_f$  的关系曲线  $P_0 = f(R_f)$  (如图 4.1.32a)。

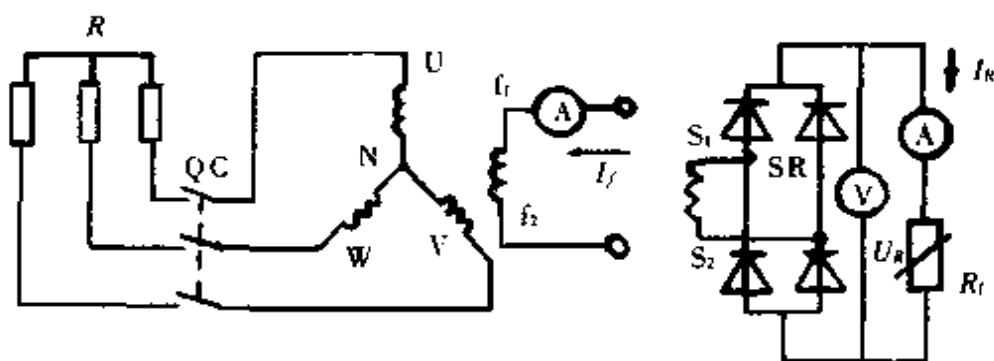


图 4.1.31 谐波绕组匝数的试验调整线路原理

U、V、W—发电机主绕组  $f_1 f_2$ —发电机励磁绕组  $S_1 S_2$ —三次谐波绕组 QC—开关  $R$ —负载  $R_f$ —可调电阻 SR—整流桥

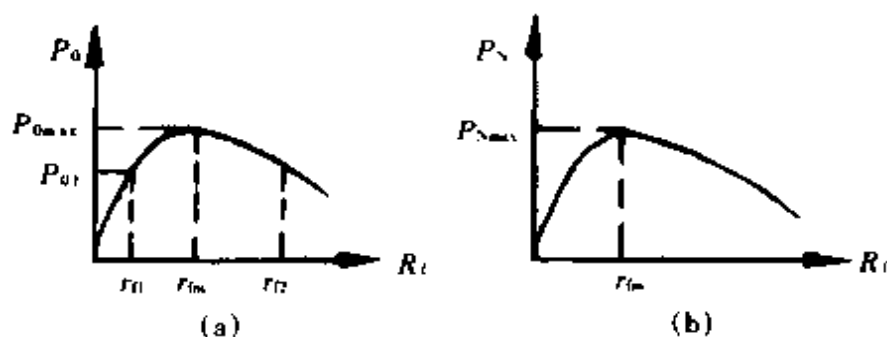


图 4.1.32 谐波功率与负载电阻关系

(a)  $P_0 = f(R_f)$  (b)  $P_n = f(R_f)$

(3) 从曲线图中找到发电机励磁绕组电阻值  $r_f$  的位置。若  $r_f$  处于曲线峰值左侧, 且发电机空载时对应谐波功率  $P_0$ , 由此推算出谐波提供的电压大小  $U_{r_f} = \frac{P_0}{r_f}$ 。若此值小于空载励磁电压, 可减小三次谐波绕组的匝数; 反之,  $r_f$  位于曲线右侧而空载谐波电压不够时, 应增加三次谐波匝数。若  $r_f$  正好位于曲线峰值对应于  $P_{0max}$  的位置, 说明三次谐波输出功率已达极限。此时若谐波电压仍达不到发电机空载额定电压要求, 增加谐波绕组的匝数就不起作用。可采用略增加主绕组匝数以期提高自励时的空载电压, 或者采用其他增加三次谐波绕组电压的办法。

(4)进行负载时谐波功率的测定。把图 4.1.31 中开关置于接通负载位置,让发电机带上负载,然后仍调节  $R_f$  大小,记录  $I_R$  和  $U_R$  值,计算出  $P_N$  值,绘制  $P_N = f(R_f)$  的曲线如图 4.1.32b,再用上述方法找出  $r_{fN}$  在曲线上的位置以确定三次谐波功率能否满足励磁要求。如此经过多次反复调试逼近最佳参数,确定三次谐波的匝数。

修好的发电机经过以上必要试验后,如未发现问题即可进行绕组浸漆,浸漆前应去除多余的抽头,整理、绑扎好绕组端部,并先预烘除去潮气。具体浸漆工艺可参照本篇第二章对于异步电动机的有关介绍。

发电机经浸漆、重新装配后,如条件许可应进行型式试验。如型式试验确无条件,至少应进行以下试验:

(1)匝间绝缘检查试验。按 JB/Z293 和 JB/Z249 的规定进行匝间冲击耐电压试验,不具备冲击耐电压试验条件者应作短时升高电压试验。

(2)耐电压试验。

(3)自励发电机的电压调整范围检查、稳态电压调整率试验。试验时,使发电机在额定转速时空载和额定电压下运行,调节电压整定装置,测定发电机电压的最大值和最小值。此范围值即为电压整定范围,应达到被修理的发电机的有关规定指标。

然后,发电机空载额定转速、额定电压运行,按每次加 25% 额定负载逐渐加载(分别在  $\cos\varphi = 1.0$  和  $\cos\varphi = 0.8$  下),再逐次减载直至空载,记录每次负载变动时的端电压值。按其不同类型,要求计算发电机的稳态电压调整率,该计算值应符合要求。

## 8 发电机的安装、维护与检修

### 8.1 安装

发电机开箱时,如果从温度低处移至温度较高处,应存放一定时间,待发电机内部温度达到室温后方可开箱,否则发电机线圈会因凝结水分而带来不良影响。

发电机的安装地点应清洁、通风,并便于检查和管理。注意发电机进出风口应无他物阻挡,以保持空气流动畅通。附近应无热源,以免影响发电机的冷却。原动机为内燃机时,应特别注意机房的布置,应使内燃机的排气和发热部分最低限度地影响发电机的进风温度。发电机的基础或支架应有足够的强度,以免发生陷落和变形。

发电机吊装时应注意配电屏(当发电机与配电屏装成一体时)或励磁装置箱罩不能受到挤压,以防变形或损坏内部的元器件。安装时发电机的轴承不能受到轴

向推力。

发电机在与原动机中心对直对正后可用联轴器连接传动。应优先采用弹性联轴器,如用硬性联轴器连接,则发电机与原动机必须高精确对直对正。

除非制造厂的使用维护说明书说明该发电机允许逆向旋转或可正反双向旋转,否则发电机必须按标牌所示方向旋转。因为有相当多的发电机使用有倾角的离心式风扇,作逆向旋转时会因进出风量或风压减少而影响发电机的散热效果。

## 8.2 运行前的检查

(1)检查接地线。发电机机座上的接地螺钉应有效地接地。接地线应有足够的导电截面,并应与埋置在地下的铁板(或水管)相连接,以确保接地良好。

(2)检查接线。发电机的励磁装置或配电屏等与发电机端子的连接虽然出厂前制造厂已经对之进行过检查,但使用前仍应按厂方提供的说明书或连接图——仔细检查,所有螺钉、螺栓必须紧固、无松动。

(3)检查集电环和电刷。对有集电环和电刷的发电机,其集电环的外圆表面应光亮清洁。若有污物,可用白布取酒精或其他溶剂擦拭干净。若滑环外圆表面与电刷吻合不佳,可用00号细砂纸研磨,并调整电刷压力(一般标准压力为 $2 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ )。若发电机安装在汽车上或其他震动剧烈处,电刷标准压力为 $3 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

(4)检查发电机内部。发电机内部不得有异物存在。检查时用手轻轻推动联轴器旋转,发电机的转子应能灵活转动没有擦碰。线圈表面如积有尘土,可用于干燥压缩空气或手风箱吹去。

上述检查后,应按制造厂提供的说明书要求进行运行前的必要试验调整。发电机符合要求后方可投入正式运行。发电机正式供电运行应严格按照产品使用说明书进行操作。

## 8.3 一般维护

(1)发电机运行时应保持发电机进出风口处干净和气流畅通,不能将他物放置或覆盖在发电机上。

(2)经常察看发电机的电压与输出电流,勿使之超过额定值。三相负载应尽可能均匀分配,若三相电流不平衡,最大相的电流不能超过额定电流。

(3)经常注意集电环与电刷的吻合情况,火花不大于 $1 \frac{1}{4}$ 级。对带有整流元件的发电机,要经常注意其有无断线等不正常现象,一经发现应立即停机处理。

(4)发现发电机发出不正常声音,要立刻寻找原因,必要时停机检查修理。

(5)发电机正常运行时,轴承温度应不超过 $95^\circ\text{C}$ 。若轴承运转时间已达1000

~1500h,就应更换润滑油脂。若发电机不是连续( $S_1$ 工作制)运行而作间断运行,每年应至少更换轴承润滑油脂两次。新加油脂型号必须正确,加脂量为轴承腔体积的 $1/3 \sim 1/2$ ,换油脂所用的工具必须清洁。

## 8.4 小修

小修每三个月进行一次,小修项目有:

(1)清除发电机内部积有的尘土。

(2)拆下轴承外盖,察看轴承油脂是否清洁。如发现色彩不均匀,应换成新的润滑油脂。

(3)对有集电环和电刷的发电机,清洁集电环,检查电刷磨损程度。磨损过多的要及时更换新的电刷。

## 8.5 大修

大修需每年进行一次,大修项目有:

(1)用500V兆欧表测量绝缘电阻,电阻对地绝缘应大于 $1M\Omega$ ,如达不到此值,则应将发电机作干燥处理。发电机的干燥处理方法可用热风法、短路电流法、铁损耗干燥法、铜损耗干燥法、带负荷干燥法。不论使用何种方法,在干燥后绕组温度下降到 $60^\circ\text{C}$ 时,其绝缘电阻值应符合规定要求。

(2)拆下轴承用清洁煤油清洗,使之能运转自如而无杂音,否则应更换轴承。轴承清洗完毕应加润滑油脂,普通发电机加钙钠基润滑脂,湿热型发电机加锂基润滑脂。

(3)检查带电部分的接触是否良好,并拧紧各接线螺钉。

(4)去除发电机线圈、风扇及其他导电体表面的积尘,以保证电机可靠、有效地运行。

(5)对有集电环的发电机,如集电环表面有锈斑或污垢,可用白粗布蘸酒精(或其他溶剂)擦净或用00号细砂纸轻轻磨去锈斑或污垢。若灼痕严重,则应在车床上车光。加工时应注意与其两轴承挡的同心度,以确保集电环转动时不发生跳动。

## 8.6 常见故障及处理方法

常见故障及处理方法见表4.1.17。

表 4.1.17 发电机常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
1. 不能发电	1. 接线错误 2. 无剩磁或剩磁不足 3. 主绕组、辅助绕组、励磁绕组、整流元件等有断路或接线松脱 4. 励磁绕组两接头方向接反,造成极性与剩磁方向相反,不能建压 5. 电刷在刷架框内卡住 6. 电刷与集电环接触不良 7. 自动电压调节器(AVR)故障 8. 转速太低	按接线图仔细检查接线并加以纠正 用 12V 或 24V 直流电源向励磁绕组充电 接好接线,拧紧螺钉,焊好脱落导线或更换损坏元件 对换励磁绕组接头或重新用直流电源向励磁绕组充电 检查刷架与电刷的配合情况。刷架生锈或锈蚀严重的应处理或更换新的刷架 处理集电环表面、磨电刷、检查电刷压力使电刷与集电环间接触良好 检查自动电压调节器,找出故障所在,修复或更换自动电压调节器 用转速表检查发电机转速,并使其达到额定值
2. 电压太高或太低	1. 发电机的励磁绕组部分短路而造成发电机电压太低 2. 励磁系统中有一个整流元件短路或断路 3. 相复励系统中的故障: ①整定电阻断开引起发电机电压升高或整定电阻值过小引起发电机电压降低 ②电抗器气隙太大(引起电压高)或太小(电压低) ③电流互感器抽头接错 4. 三次谐波励磁系统:	如果某一极的绕组部分短路,则除电压下降外还会引起振动,对此分别测量每极绕组的电阻,找出损坏的磁极,修换损坏的励磁线圈 停机,用万用表找出损坏元件并更换之 检查整定电阻接线,并重新整定电阻使发电机为额定电压 重新调整气隙,保持额定电压 纠正接线

续表

故障现象	可能原因	处理方法
	①分流的晶闸管损坏,不分流会造成发电机电压过高 ②自动电压调节器(AVR)损坏 5. 晶闸管直励系统中自动电压调节器损坏 6. 无刷励磁系统: ①旋转整流器故障 ②自动电压调节器(AVR)故障	找出原因,更换晶闸管 检查 AVR,更换损坏的元件或更换 AVR 找出损坏元件或更换 AVR 找出旋转整流器中短路或断开的整流管并更换之 找出 AVR 中损坏元件并修复或更换 AVR
3. 电压调整率变差,加负载时电压下跌或升高剧烈	1. 励磁装置接线错误 2. 整流元件断路或短路 3. 励磁系统中电流互感器抽头不合适 4. 原动机转速调节器故障	按图查接线并更正 找出损坏元件并加以更换 改变电流互感器抽头。电压升高者应增加匝数,电压下跌者应减少匝数 修换原动机调速机构
4. 发电机温升高	1. 发电机过载 2. 负载功率因数低 3. 发电机风路受阻,通风不良 5. 主绕组、励磁绕组、辅助绕组匝间短路 6. 发电机的旋转方向与标牌所示方向相反 7. 转速太低	校验使用仪表,保持发电机额定运行 保证发电机的励磁电流不超过额定励磁电流值 保持发电机通风良好。清洁进出风口,清除内部尘土或去除发电机上放置的其他物品 找出短路的绕组并修复 由于部分发电机采用的离心风扇风叶有倾角,反转时风量风压与设计值不符,影响了通风散热。应采取措施,使发电机按规定方向旋转 调整原动机调速机构,使发电机运行在额定转速下
5. 轴承温度高	1. 轴承由于长期运转未及时更换而磨损过度	换新轴承

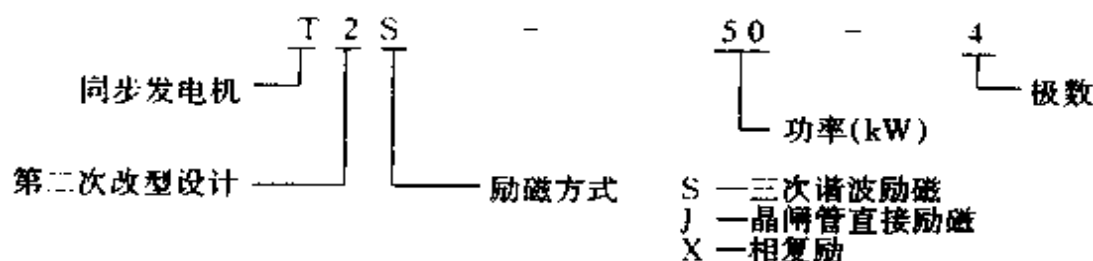
续表

故障现象	可能原因	处理方法
	2. 未使用规定牌号的滑润油脂,或将不同牌号的油脂混合使用或使用油脂内混有杂质,以及轴承室装油脂量过多 3. 与原动机对接不好 4. 用皮带传动时皮带拉力过大	清洗轴承,更换合格的滑润油脂。装油脂量应为轴承腔容量的 $1/3 \sim 1/2$ 重新与原动机对直,对正后再对接 调节皮带拉力
6. 振动大	1. 与原动机对接不好 2. 转子重新绕线后造成转子动平衡不好 3. 励磁绕组部分短路	重新对直,对正后再对接 根据要求重新校平衡 测量每一个磁极绕组的电阻,找出短路所在的磁极,重新绕制励磁绕组

## 9 主要技术数据

### 9.1 T2 系列小型同步发电机

型号表示举例:



T2 系列发电机符合标准:JB/DQ3201《T2 系列小型三相同步发电机技术条件》。

主要派生系列有 T2H 系列船用发电机。和 T2 系列相似的还有 TZH 系列三相同步发电机。

T2 系列小型同步发电机系列型谱见表 4.1.18,发电机的结构安装型式为 IMB3 或 IMB34,安装尺寸见表 4.1.19,技术数据见表 4.1.20。

表 4.1.18 同步发电机系列型谱

机座号	转 速(r/min)		
	1500	1000	750
	功 率(kW)		
160S <sub>1</sub>	3		
160S <sub>2</sub>	5		
160M	7.5(8)		
180S <sub>1</sub>	10		
180S <sub>2</sub>	12		
180M	16(15)		
200S	20		
200M	24		
225S	30		
225M	40		
225L	50		
250M	64		
250L	75		
280S	90	64	
280L	120	75	
355S <sub>1</sub>	150(160)	90	75
355S <sub>2</sub>	200	120	90(84)
355M <sub>1</sub>	250	150(160)	120
355M <sub>2</sub>		200	





表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(一)

机座号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定转速 (r/min)	满载时						空载时			定子铁心			气隙长度	转子长度	定子槽数	磁极型式	
					电流 (A)	功率因数 (滞后)	效率 (%)		励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	外径	内径					长度 (mm)
							1	2													
160S <sub>1</sub>	3				5.4		78	75.5	43.1	5.45	12.95	1.9	270	190	57	0.5	57+6		凸极式		
160S <sub>2</sub>	5				9.02		81.5	79.5	41.2	6.75	13.3	2.54			90		90+6				
180S <sub>1</sub>	10				18.1		84	82.5	35.4	13.7	10.62	4.83			120		130+6				
180S <sub>2</sub>	12				21.7		85	83.5	39.2	13.84	11.7	4.83	300	210	135	0.65	140+6				
200S	20	400	50	1500	36.1	0.8	87.5	86	25.8	24.7	8.5	9.04			155	0.75	160+8				
200M	24				43.3		88.5	87	28.2	24.1	9.6	9.15			190		195+8				
200L	30				54.1		89	88	31.8	23.9	10.3	8.93			225		235+8				
225M	40				72.2		90	89	37.9	28.9	12	10.7			210	1.1	220+12				
225L	50				90.2		90.5	89.5	43.8	29.6	13.8	10.9	385	270	250		265+12				



表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(二)

机座号	定子绕组				励磁绕组				参数								
	线规(QZ) $n_c-d$	每槽导体数	半匝平均长(mm)	节距	并联支路数	线规牌号 $n_c-d$ ( $a \times b$ )	每段匝数	半匝平均长(mm)	定子电阻标么值	励磁电阻( $\Omega$ )	短路比	漏抗标么值	过载能力(倍)	冲击过路电流(倍)	直轴同步电抗	交轴同步电抗	直轴瞬变电抗
															标么值		
160S <sub>1</sub>	1- $\emptyset$ 0.9	42	222			QZ1- $\emptyset$ 1.16	290		0.0865	6.81	0.765	0.063	2.51	7.1	1.708	0.943	0.265
160S <sub>2</sub>	1- $\emptyset$ 1.16	26	255		1	QZ1- $\emptyset$ 1.3	230		0.0618	5.25	0.79	0.0514	2.5	8.25	1.702	0.9364	0.23
180S <sub>1</sub>	2- $\emptyset$ 1.16	18	306			QZB1.25 $\times$ 2.26	147		0.0514	2.2	0.689	0.0597	2.33	7.17	1.98	1.0867	0.2637
180S <sub>2</sub>	2- $\emptyset$ 1.25	16	321	1-8		QZB1.25 $\times$ 2.26	155		0.0496	2.42	0.684	0.0608	2.35	7.0	2.086	1.147	0.2703
200S	1- $\emptyset$ 1.56	22	365		2	QZB1.81 $\times$ 3.28	95		0.0414	0.874	0.687	0.0545	2.41	7.31	2.0145	1.105	0.2585
200M	2- $\emptyset$ 1.25	18	400			QZB1.81 $\times$ 3.28	95		0.0347	0.982	0.706	0.0506	2.4	8.06	1.9656	1.076	0.2341
200L	1- $\emptyset$ 1.35	30	135		4	QZB1.81 $\times$ 3.28	99		0.0336	1.115	0.694	0.0493	2.38	7.83	2.014	1.103	0.2413
225M	2- $\emptyset$ 1.62	12	444		2	QZB1.95 $\times$ 3.53	115		0.0342	1.127	0.685	0.052	2.4	6.56	2.01	0.977	0.282
225L	3- $\emptyset$ 1.45	10	484	1-10		QZB1.95 $\times$ 3.53	115		0.032	1.27	0.672	0.0501	2.32	6.68	2.07	1.005	0.2801
250M	2- $\emptyset$ 1.45	14	488		4	QZ2- $\emptyset$ 1.5	180	432	0.0281	3.09	0.556	0.044	1.962	20.9	2.544		0.0904
250L	1- $\emptyset$ 1.56	6	528	1-12	2	QZ2- $\emptyset$ 1.5	180	472	0.02145	4.03	0.553	0.044	1.95	22.3	2.561		0.0846
280S	3- $\emptyset$ 1.45	10	571		4	QZ3- $\emptyset$ 1.4	162	484	0.0213	2.86	0.631	0.043	2.02	23	2.236		0.0821
280L	7- $\emptyset$ 1.5	4	636	1-14	2	QZ3- $\emptyset$ 1.4	162	549	0.02025	3.24	0.587	0.038	1.96	23.8	2.39		0.0794
355M	6- $\emptyset$ 1.5	6	691	1-13	4	QZ4- $\emptyset$ 1.35	186	605	0.0106	3.3	0.565		1.93				

表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(三)

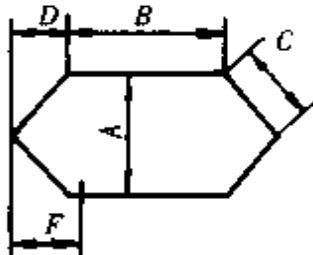
机座号	定子线圈尺寸 (mm)					绕线模
	A	B	C	D	F	
160S <sub>1</sub>	124	82	70	35	47.5	定子线圈 
160S <sub>2</sub>		115				
180S <sub>1</sub>	135	150	78	39	54	
180S <sub>2</sub>		165				
200S	156	185	90	45	60	
200M		220				
200L		255				

表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(四)

机座号	隐极式磁场线圈尺寸 (mm)			
	节距	A	B	R
250M	1~12	182	292	30
	2~11	148	282	25
	3~10	116	274	20
	4~9	83	268	15
	5~8	51	264	10
250L	1~12	182	332	30
	2~11	148	322	25
	3~10	116	314	20
	4~9	83	308	15
	5~8	51	304	10
280S	1~12	208	313	50
	2~11	170	303	40
	3~10	134	293	30

表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(五)

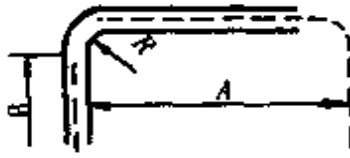
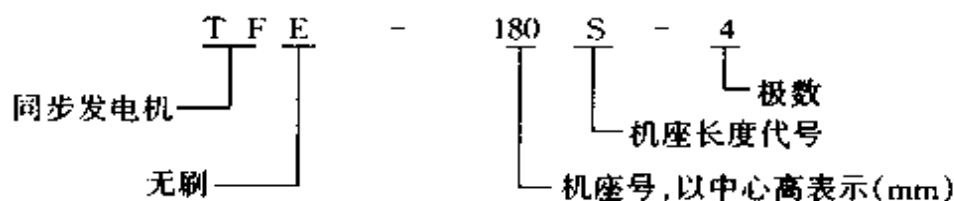
机座号	定子线圈尺寸 (mm)					绕线模
	A	B	C	D	F	
225M	168	250	97	48.5	68.5	隐极式磁场线圈 
225L		290				
250M	180	280	104	52	72	
250L		320				
280S	238	295	138	69	89	
280L		360				
355M	258	410	148	72	92	

表 4.1.20 T2 系列小型三相同步发电机技术数据表(六)

机座号	隐极式磁场线圈尺寸 (mm)			
	节距	A	B	R
280S	4~9	96	285	20
	5~8	57	279	10
280L	1~12	208	378	50
	2~11	170	368	40
	3~10	134	358	30
	4~9	96	350	20
	5~8	57	334	10
	1~12	245	496	25
355M	2~11	198	472	20
	3~10	155	448	16
	4~9	108	425	12
	5~8	68	410	10

## 9.2 TFW 系列无刷小型三相同步发电机

型号表示举例:



TFW 系列发电机符合标准:JB3320《无刷小型三相同步发电机技术条件》。

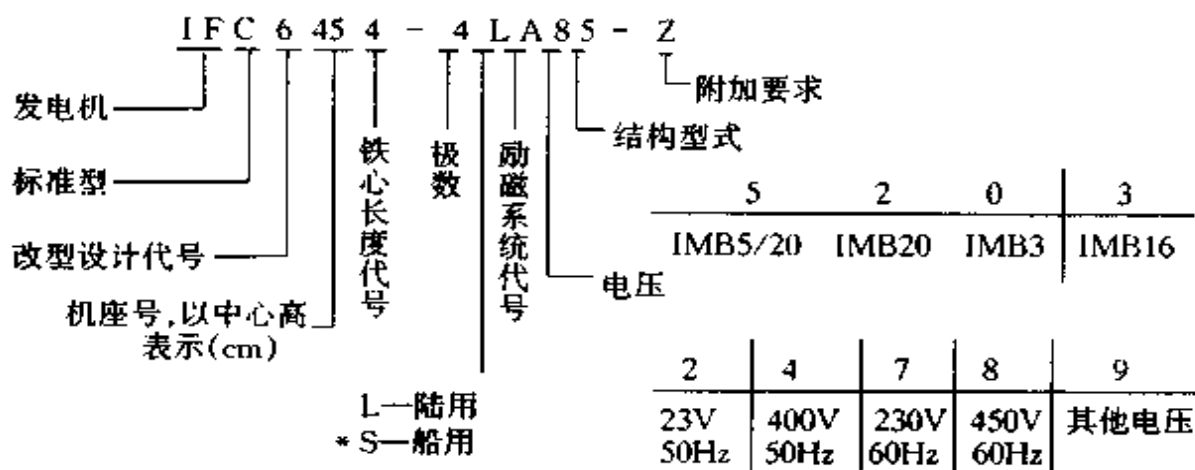
TFW 系列发电机的系列型谱见表 4.1.18,安装尺寸见表 4.1.19,实测性能数据见表 4.1.21。

TFW 系列发电机的励磁系统见图 4.1.33~图 4.1.36。

## 9.3 IFC5、IFC6 系列无刷三相同步发电机

该系列按德国西门子公司许可证生产,符合 VDE0530。全系列采用隐极式转子。

型号表示举例:



\* IFC5 系列以 T 表示船用。

IFC5352~IFC5636 励磁系统原理接线图见图 4.1.37。

表 4.1.21 TFW 系列同步发电机

功率(kW)		10	12	16	20	24	30	40
发电机空载励磁电流(A) 升/降		/3.8	2.6/ 2.4	/3.71	3.6/ 3.4	8.6	10.6	
发电机满载励磁电流(A) $\cos\varphi = 1.0$ $\cos\varphi = 0.8$		9	7.25	9.45	8.7	18.52	29.1	
发电机空载励磁机励磁电流(A)		0.61	0.33/ 0.3	0.7	0.4/ 0.34	0.58		0.5
发电机满载励磁机 $\cos\varphi = 1.0$ 励磁电流(A) $\cos\varphi = 0.8$		2.2	1.14	2.3	1.05	1.51	3.1	
稳态电压调整率 $U = 100\% U_N$ $\cos\varphi = 1.0/\cos\varphi = 0.8$		-1.5/ -1.9	0.4/ 0.2	0.77/ -1.43	-0.1/ -0.1	0/ -0.33		-0.66
冷热态电压变化(或模拟变化)		0.5	0.8	0.86	-0.2	0		
动态电压调整率 电压瞬变范围(%)		15/15	-15.8 /19	-13.7 /13.6	-16.5 /14.8	-11.7 /7.07		-10/ 12.5
反应时间(s)		0.3	0.47/ 0.39	0.4	0.53/ 0.41	0.116/ 0.13		0.1/ 0.16
损耗 与效率	附加损耗(W)	230	400	300	(400)	595.3	500	706
	总损耗(W)	1872.75	2123	2488	(2890)	3173.7	3793	4581
	效率(%)	84.23	84.97	86.54	(87.37)	88.32	88.78	89.72
温升 (发电机)	电枢绕组(°C)	40.5	44	63	45.5	47.5	53.6	53.5
	励磁绕组(°C)	59.3	51	71.5	53	63.3	47.8	65.2
	谐波绕组(°C)	35.2		56		37.8		
发电机电压整定范围		88~117	95~105	79~116	95~105	84.5~ 113.3		85~111
线电压正弦性畸变率 线/相		2.4	2.4	2	1.8	1.3		0.68
不对称负载时线电压偏差度(%)		-2.6	0.86	1	0.6	0.6	0.2	
突然短路	突然短路电流倍数 维持电流倍数		8.87		16.2		10.2	12.29 5.14
电机噪声	实测值 dB(A)	81.78	84.69	81.25			91.5	89.3
电机振动	振动速度(mm/s)							11.5
	双倍振幅值(mm)	0.02	0.015	0.03			0.085	0.0176
重量(kg)		150	210	170	285			

注:()中的数据是按实测值估算的。100kVA以下的发电机附加损耗按1.6% $P_N$ (kVA)计算,100kVA



性能实测值(部分规格)

50	64	75	90	120	150	200	250	160~6	120~8
5.8/ 5.4	9.8/ 9.5	9.4/9	8.8/ 8.5	/15.01	/14.85	16.7/ 16	19.6/ 19	13/ 12.4	11.3
11	18.7	17.8	18			32.5	31	23.7	
16.1	27.3	26.6	26.5	41.2	40.6	47.9	47.5	34.2	30.5
0.65/ 0.55	0.76/ 0.71	0.8/ 0.75	0.75/ 0.66	0.4	0.515	1.1/ 1.025	1.29/ 1.12	1.3/ 1.13	
1.2			1.65			2.275	2.3	2.3	
1.81			2.47	1.97	1.95	3.5	3.4	3.36	
0.7/ 0.5	0.7/ -0.6	0.67/ -0.53	0.1/ -0.1	-0.6/ -0.9	-0.9 /-1.2	0.7/ 0.8	0.3/ 0.6	-0.1/ 0.1	1.0/ -1.0
-10/ 8.5			-5/ 4.53	-14.1 /16	-14.4 /18	-9/7	-5/8	-10/ 7.2	0.5
0.09/ 0.17			0.22/ 0.25	0.5	0.8	0.58/ 0.6	0.14/ 0.27	0.53/ 0.43	
872	777	803	1430	1280	1750	2742	3175	(2400)	1100
5548	6431	6851	8858	10134	12010	16548	18687	(12792)	10488
90.01	90.87	91.63	91.04	92.21	92.59	92.36	93.05	(92.6)	91.96
65	44.4	36.9	49	53.4	57.3	39.5	65	61.6	52.5
69		52.4	61	46.3	60	69.5	63.3		
	47.9							57.5	70.8
95~105			95~105	81~124	56~124		95~105	95~105	83~115
2.6	1.6/ 2.8	1.3/ 2.7	1.4	3.6	1.2		1.4	0.7	2.7
0.67			0.77	-3.1	-1.97		0.67	0.677	3.03
13.4			16.25						
	3.71	4.65							
93.5	97.9	97.9		101.38	101	102.3			86.97
	4	3.8							3.9
0.035	0.064	0.034	0.028	0.054	0.058	0.01			0.08
456		728	960	1100		1700			

以上的发电机附加损耗按  $1.2\% P_N$  (kVA) 计算。

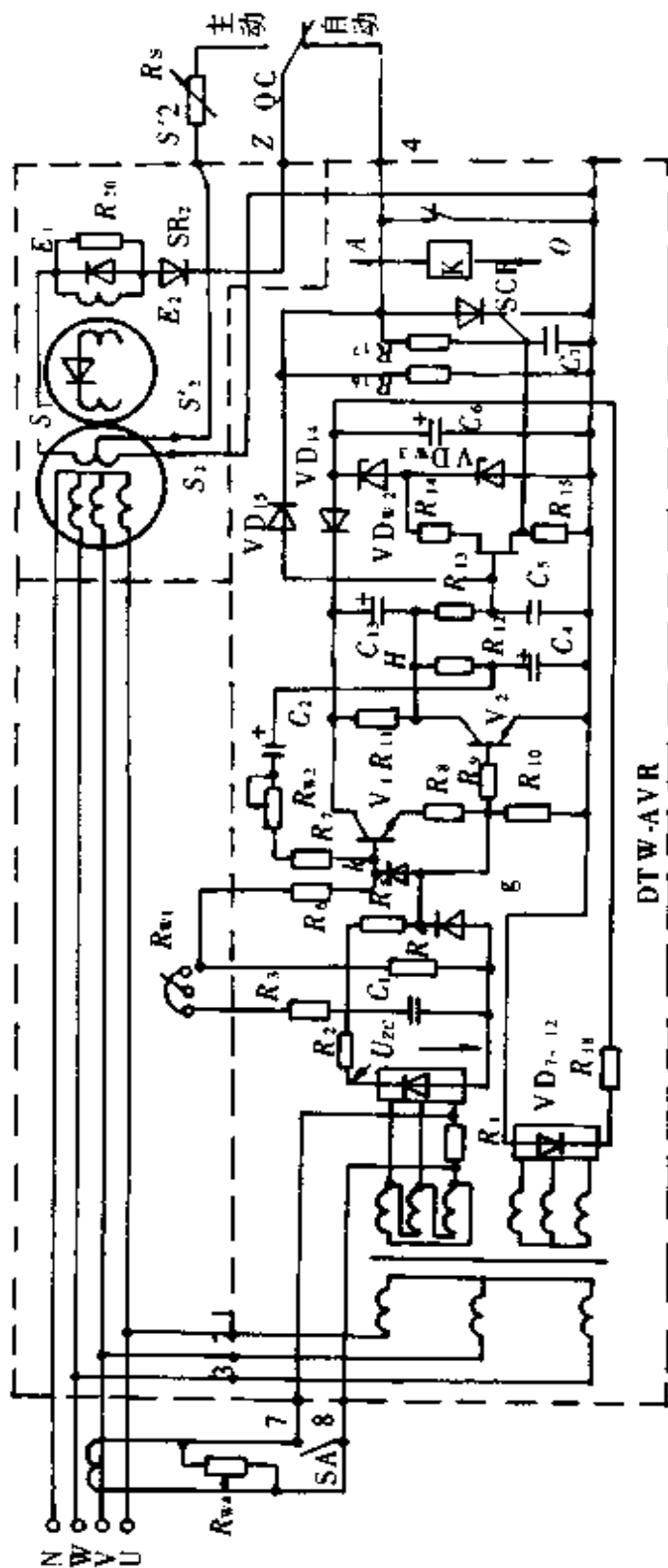


图 4.1.33 用谐波绕组的无刷励磁系统

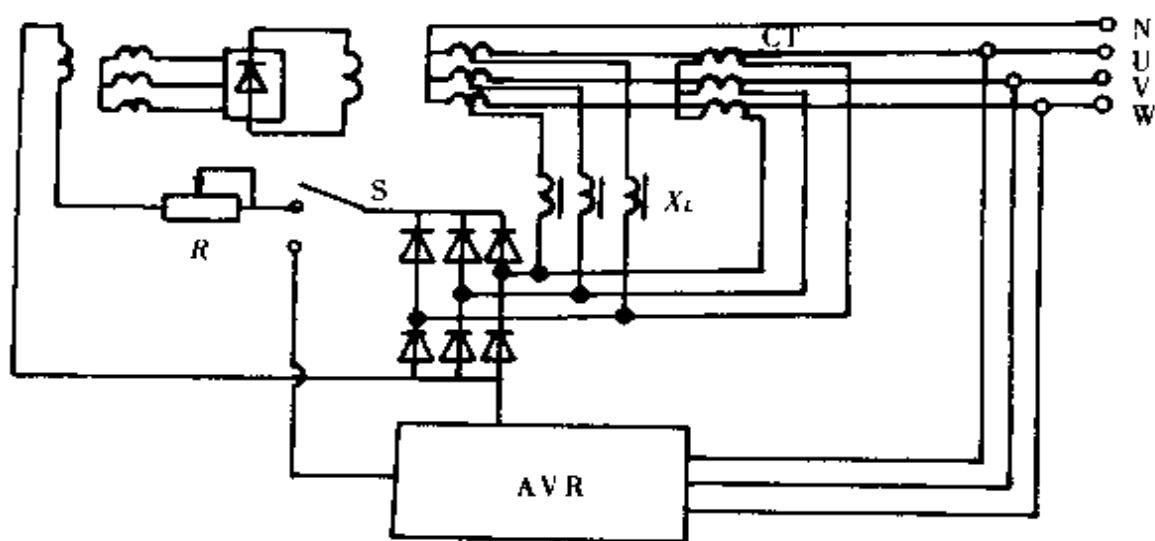


图 4.1.34 用可控相复励的无刷励磁系统

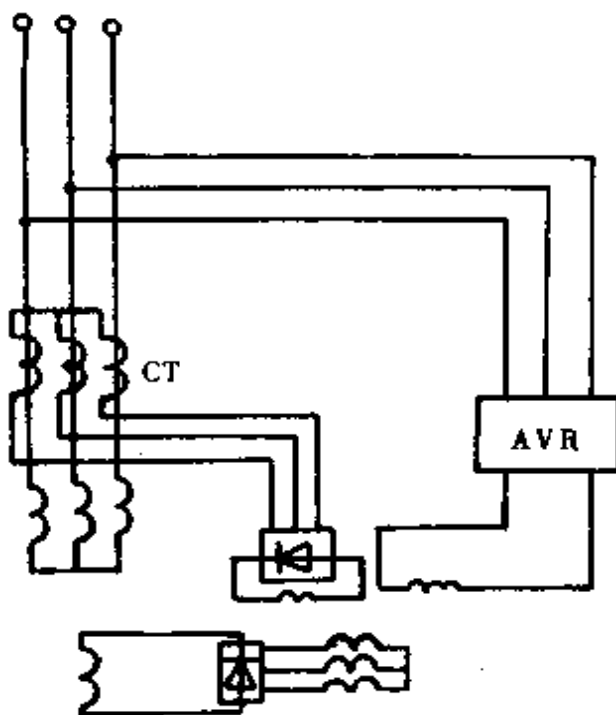


图 4.1.35 用可控复励的无刷励磁系统

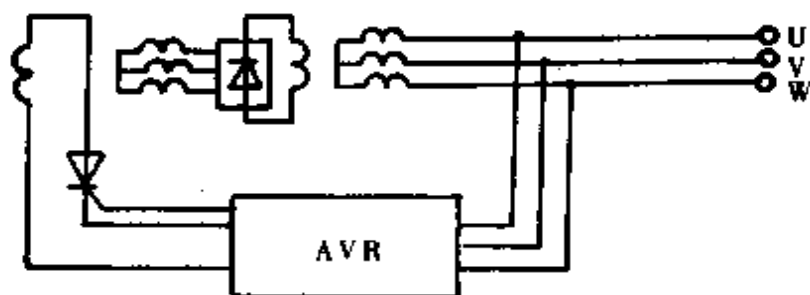


图 4.1.36 用晶闸管的无刷励磁系统

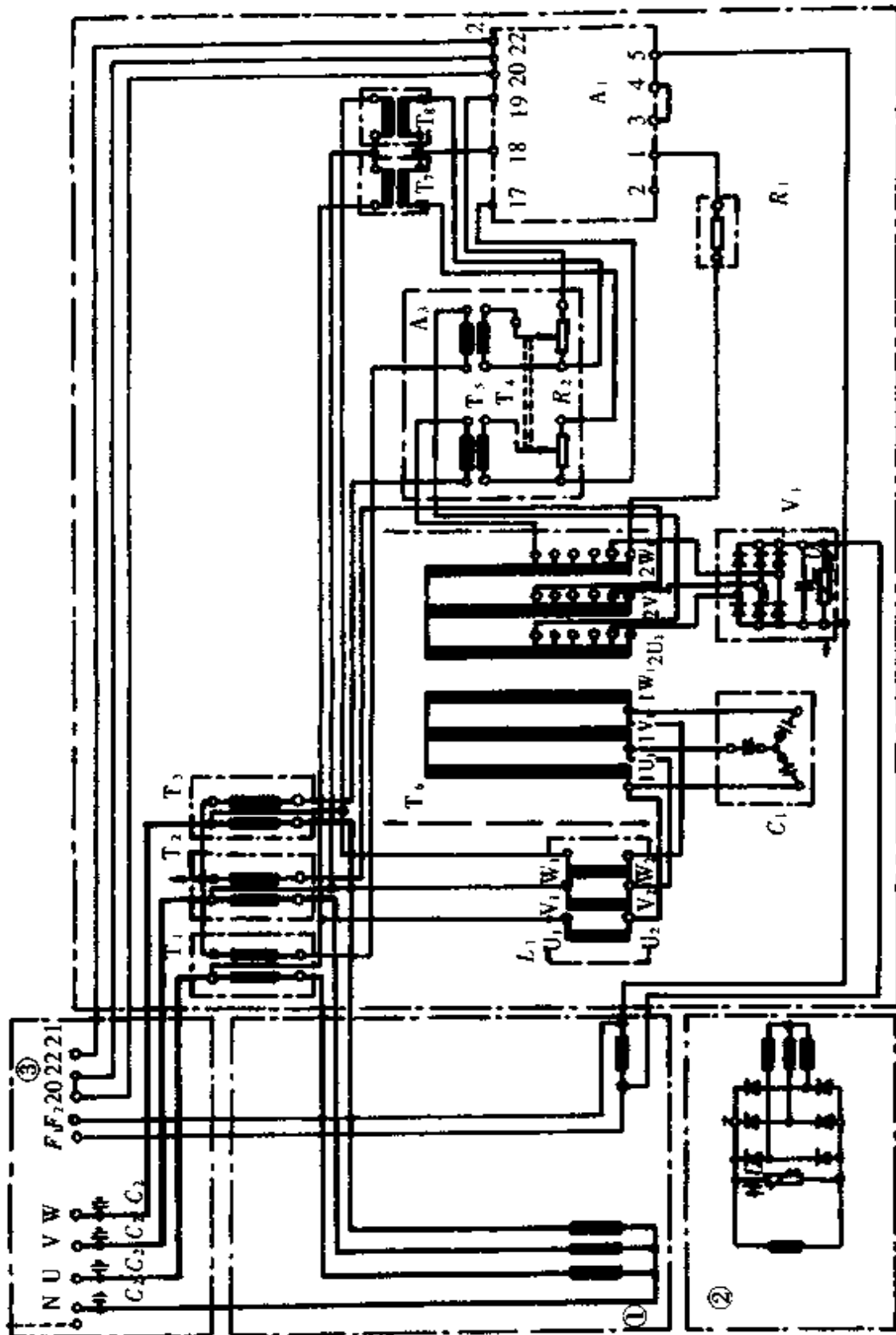


图 4.1.37 IFC5352 ~ IFC5636 励磁系统原理接线图

突加负载时发电机端电压降落估算举例:

现有一台 IFC6 880kVA 的发电机,其额定电流 1280A, 50Hz。要起动一台 50kW 电动机,电动机为 50Hz、380V,额定电流 174A,  $\cos\varphi = 0.85$ ,  $\eta = 92\%$ , 起动电流倍数 5.5, 电动机起动时  $\cos\varphi \approx 0.4$ , 起动电流  $I_2 = 5.5 \times 174 = 957\text{A}$ , 则

$$\frac{I_2}{I_N} = \frac{957}{1280} = 0.75 (\cos\varphi = 0.4)$$

自图 4.1.38 及表 4.1.22 和表 4.1.23 查得:  $a_1 = 15$ ,  $a_2 = 1$ ,  $a_3 = 1$ 。则起动时瞬时电压降

$$\Delta u\% = a_1 \times a_2 \times a_3 = 15 \times 1 \times 1 = 15\%$$

表 4.1.22  $a_2$  值

IFC6 规格						$a_2$
183	185	223	225	283	285	0.8
351	353	403	405	453	455	0.9
其余规格						1

表 4.1.23  $a_3$  值

额定频率(Hz)	$a_3$
50	1
60	1.1

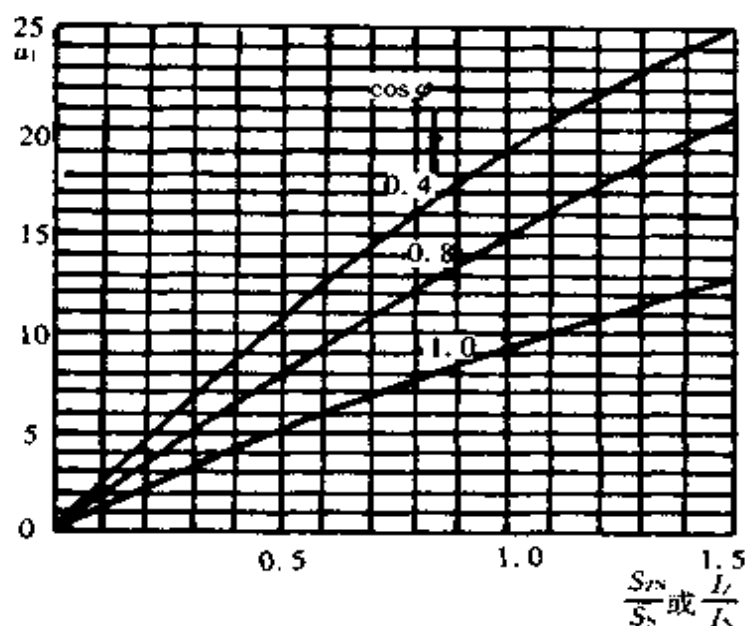


图 4.1.38  $a_1$  值

$S_N$ —发电机额定输出(kVA)  $S_{2N}$ —被接负载(kVA)

$I_N$ —发电机额定电流(A)  $I_{2N}$ —被接负载电流(A)

## 9.4 DKBH 系列三相无刷同步发电机

该系列按德国 AEC 公司许可证生产。符合 VDE0530 全系列有 4、6 极, 转子采用凸极结构。该系列主要技术数据见表 4.1.24。

表 4.1.24 DKBH 系列三相无刷同步发电机(400V/50Hz)技术数据 VDE0530,40℃,cosφ=0.8,1500r/min

型 号	容量 (kVA)	输入功率		效率(%)						$R_a$ (Ω)	$X_L$ (%)	$X_q$ (%)	$X_d'$ (%)	$X_q''$ (%)	$T_{db}$ (s)	$T_{d1}'$ (ms)	$T_{d1}''$ (ms)	$T_a$ (ms)	$G$ (kg)	
		$\cos\phi=0.8$ (kW)	$\cos\phi=1$ (kW)	$\cos\phi=0.8$		$\cos\phi=1$														
				3/4	4/4	3/4	4/4													
4163/04	12	12.2	14.5	81.3	78.5	85.3	82.9	82.9	82.9	1.21	251	99.5	18.1	12.7	13.6	0.55	39.7	1.5	3.2	155
4165/04	16	15.5	18.5	84.9	82.7	88.3	86.5	86.5	86.5	0.663	239	94	15	10.8	11.8	0.63	39.4	1.4	3.7	180
4167/04	21.5	20.3	24.4	86.6	84.8	89.7	88.2	88.2	88.2	0.416	224	87.8	12.6	9.3	10.4	0.69	39.1	1.4	3.9	210
4168/04	25	23.2	28.0	87.7	86.2	90.6	89.4	89.4	89.4	0.307	204	79.7	10.8	8.1	9.2	0.73	39.0	1.4	3.9	230
4222/04	35	33.4	40	85.8	83.8	89.1	87.4	87.4	87.4	0.278	257	102	20.7	12.8	13.1	0.81	65.3	2.2	4.7	300
4224/04	45	41.7	50.3	88.0	86.4	90.8	89.5	89.5	89.5	0.171	248	97.7	17.6	11.1	11.6	0.91	64.8	2.1	5.1	330
4226/04	60	54.2	65.7	89.8	88.5	92.3	91.3	91.3	91.3	0.100	240	94.2	15.3	9.9	10.4	1.01	64.3	2.0	5.9	380
4228/04	80	71.2	86.6	90.9	89.9	93.2	92.4	92.4	92.4	0.063	232	90.9	13.5	8.9	9.5	1.10	63.9	2.0	6.3	450
4230/04	100	88.0	107	91.8	90.9	93.9	93.2	93.2	93.2	0.044	229	89.2	12.3	8.2	8.9	1.18	63.4	1.9	6.7	510
4254/04	120	106	129	91.2	90.6	93.5	93.1	93.1	93.1	0.034	251	97.7	13.6	8.5	9.1	1.45	78.7	3.5	7.1	595
4256/04	150	131	160	92.2	91.6	94.2	93.8	93.8	93.8	0.024	255	98.8	12.6	8.0	8.7	1.57	78.1	3.4	7.6	735
4284/04	175	153	187	92.1	91.3	94.2	93.5	93.5	93.5	0.023	347	135	20.1	12.2	12.9	1.79	104	4.4	10.3	680
4285/04	200	174	213	92.7	92.0	94.6	94.1	94.1	94.1	0.018	338	131	18.5	11.3	12.1	1.88	103	4.3	10.8	750
4285/04	240	207	254	93.3	92.6	95	94.5	94.5	94.5	0.014	341	132	17.5	10.8	11.7	2.00	103	4.3	11.4	850
4287/04	265	228	280	93.6	93.1	95.3	94.8	94.8	94.8	0.0114	343	133	17.0	10.6	11.5	2.06	102	4.2	12.1	935
4319/04	300	259	318	93.2	92.5	94.9	94.4	94.4	94.4	0.0116	336	131	19.7	12.2	13.0	2.23	131	9.9	12	980
4320/04	340	292	359	93.6	93.0	95.3	94.8	94.8	94.8	0.0094	345	134	19.4	12.1	12.9	2.32	131	9.8	13	1060
4321/04	380	326	400	93.9	93.3	95.5	95.0	95.0	95.0	0.0081	346	135	18.6	11.7	12.6	2.42	130	9.7	13.2	1170
4322/04	420	358	440	94.4	93.9	95.8	95.4	95.4	95.4	0.0064	336	130	17.3	10.9	11.9	2.52	129	9.6	14.1	1250
4358/04	450	388	476	93.8	92.9	95.2	94.5	94.5	94.5	0.0068	449	175	26.6	16.2	17.2	3.51	208	14.1	18.2	1470
4359/04	500	426	525	94.5	93.8	95.8	95.3	95.3	95.3	0.0057	446	173	25.2	15.5	16.5	3.66	207	13.9	18.6	1470

4360/04	560	475	585	94.9	94.3	96.1	95.7	0.0046	434	169	23.5	14.5	15.6	3.81	207	13.7	19.4	1640
4405/04	660	570	699	93.4	92.7	94.9	94.4	0.0039	447	174	26	15.6	16.5	3.53	205	17.4	21.1	2000
4406/04	800	685	843	94.0	93.4	95.4	94.9	0.003	466	181	25.4	15.4	16.5	4.75	259	17.4	22.4	2240
4407/04	960	815	1005	94.7	94.2	95.9	95.5	0.0021	463	179	23.7	14.5	15.7	5.03	258	17.1	24.9	2420
4408/04	1150	970	1198	95.2	94.8	96.3	96.0	0.0015	450	174	21.4	13.2	14.6	5.39	256	16.6	26.3	2820
4409/04	1250	1056	1303	95.2	94.7	96.3	95.9	0.0015	519	200	24.2	15.1	16.6	5.48	256	16.6	28	2940
4319/06	190	166	203	92.3	91.3	94.4	93.7	0.0219	218	86.9	18.9	11.7	11.9	1.38	120	5.9	9.8	1050
4320/06	210	183	223	92.7	91.9	94.8	94.1	0.0181	218	86.6	18.3	11.4	11.6	1.42	120	5.8	10.5	1100
4321/06	235	203	248	93.3	92.7	95.2	94.7	0.0136	215	85.5	17.6	11.0	11.2	1.46	120	5.8	12	1150
4322/06	260	224	274	93.4	92.7	95.2	94.7	0.0130	213	84.7	16.8	10.6	10.8	1.52	120	5.7	11.1	1200
4358/06	330	287	351	93.1	92.1	94.9	94.1	0.0107	285	113	21.9	14.2	14.6	2.08	160	9.5	13.9	1400
4359/06	376	320	391	93.6	92.6	95.3	94.6	0.0087	280	111	20.6	13.4	14.0	2.16	159	9.4	14.6	1500
4360/06	410	352	432	93.9	93.1	95.5	94.9	0.0071	263	104	18.6	12.2	12.8	2.24	159	9.3	14.7	1600
4402/06	380	337	405	91.8	90.3	93.8	92.7	0.0108	353	140	27.2	17.7	18.3	3.07	237	15.9	14.8	1800
4403/06	450	395	482	92.4	91.1	94.3	93.3	0.0081	353	140	25.6	16.8	17.5	3.23	235	15.5	15.7	1900
4404/06	510	443	542	93.1	92.0	94.9	94.1	0.0061	322	127	22.1	14.6	15.4	3.40	233	15.2	15.9	2100
4405/06	580	501	614	93.6	92.6	95.2	94.5	0.0049	324	127	21.3	14.1	14.9	3.51	230	15	16.8	2200
4406/06	640	551	676	93.8	92.9	95.4	94.7	0.0043	324	127	20.6	13.8	14.6	3.63	231	14.8	17.2	2300
4407/06	720	615	756	94.4	93.6	95.8	95.3	0.0033	314	123	19.0	12.7	13.7	3.75	228	14.6	18.5	2600
4408/06	820	698	859	94.7	94.0	96.0	95.5	0.0027	309	121	18.1	12.2	13.2	3.88	228	14.4	19.1	2800
4409/06	910	770	948	95.0	94.5	96.4	96.0	0.0020	277	108	15.5	10.5	11.5	4.02	226	14.2	19.8	3100

励磁系统原理见图 4.1.39。

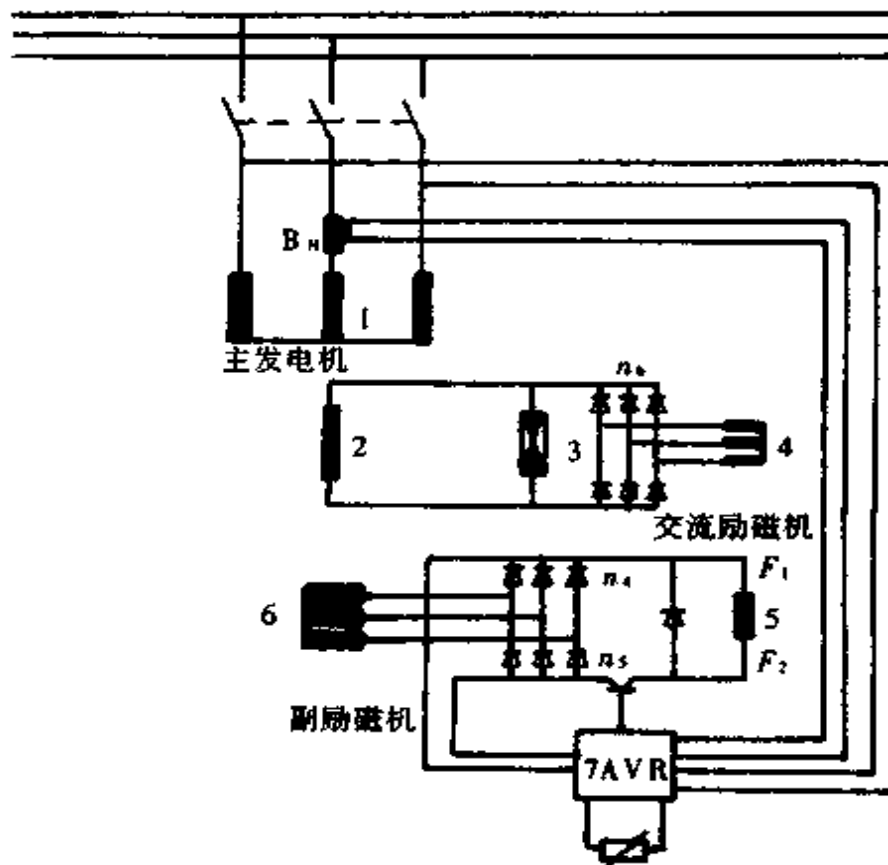


图 4.1.39 DKBH 系列励磁系统原理图

- 1—定子主绕组 2—主励磁绕组 3—旋转整流器  
 4—励磁机电枢绕组 5—励磁机励磁绕组 6—副励磁机电枢绕组 7—自动电压调节器(AVR)



## 9.5 TFE 系列三相同步发电机

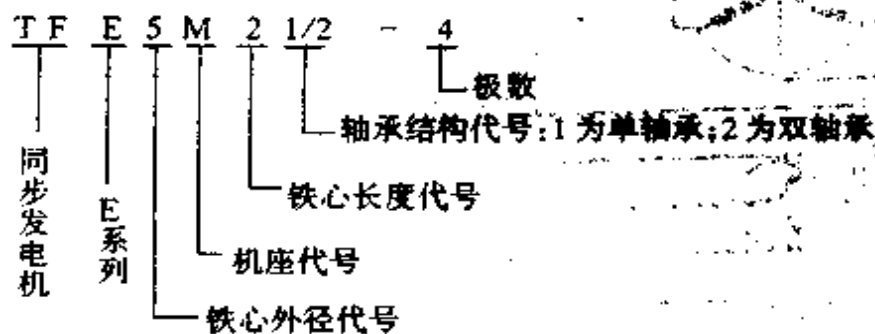
TFE 系列符合标准 GB755 及英国 BS4999、BS5000。

该系列(50Hz, 400V,  $\cos\varphi = 0.8$ (滞后), 1500r/min) 产品的技术数据见表 4.1.25, 励磁系统见图 4.1.40。

表 4.1.25 TFE 系列同步发电机技术数据

型 号	额定功率(kW)	额定电流(A)	效率(%)	调节器型号
TFE5S1 $\frac{1}{2}$ -4	185	333.7	92.2	E28
TFE5S2 $\frac{1}{2}$ -4	200	361	92.4	E28
TFE5M1 $\frac{1}{2}$ -4	220	396.9	92.7	E28
TFE5M2 $\frac{1}{2}$ -4	250	451	92.9	E28

型号表示举例:





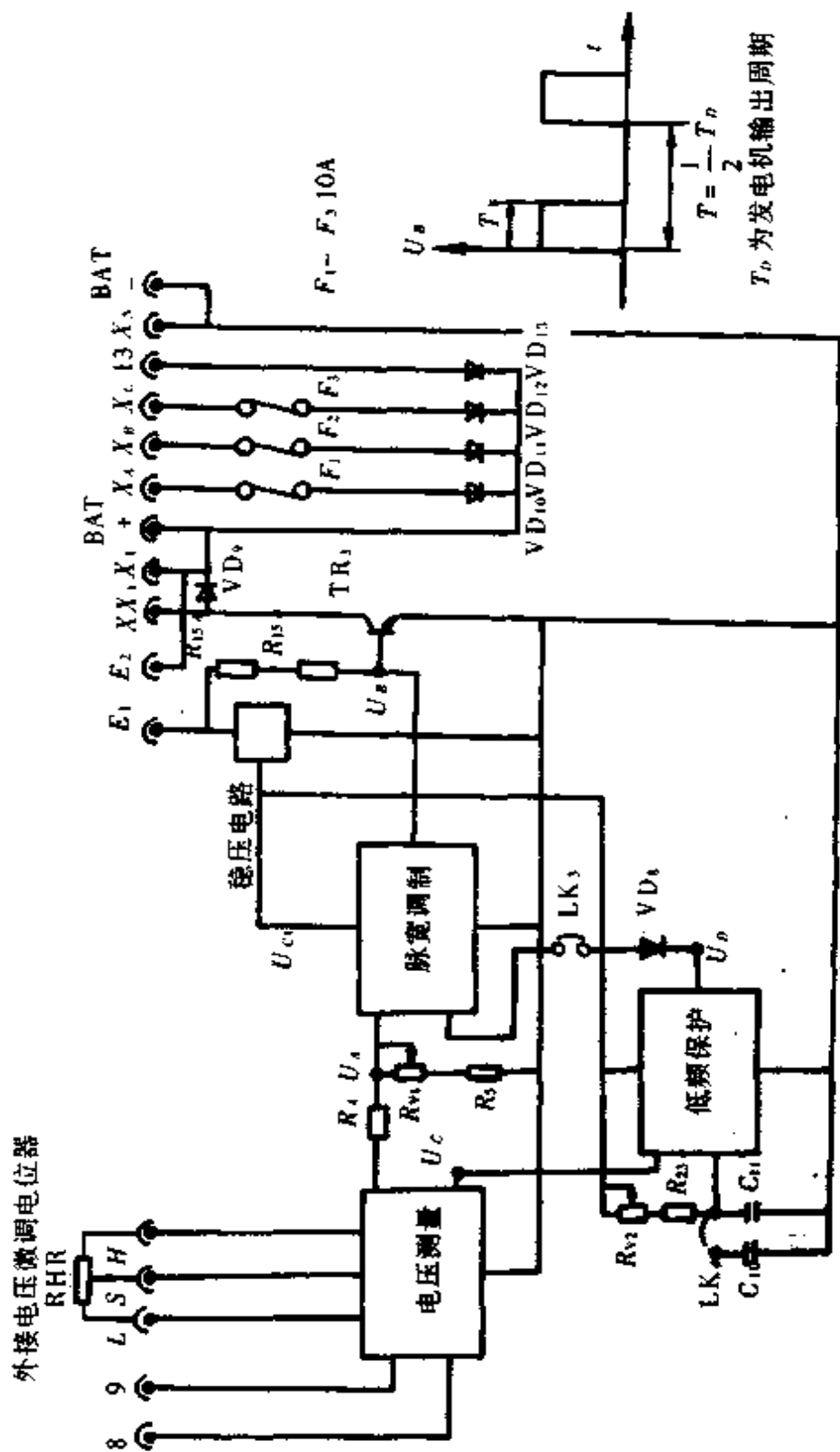
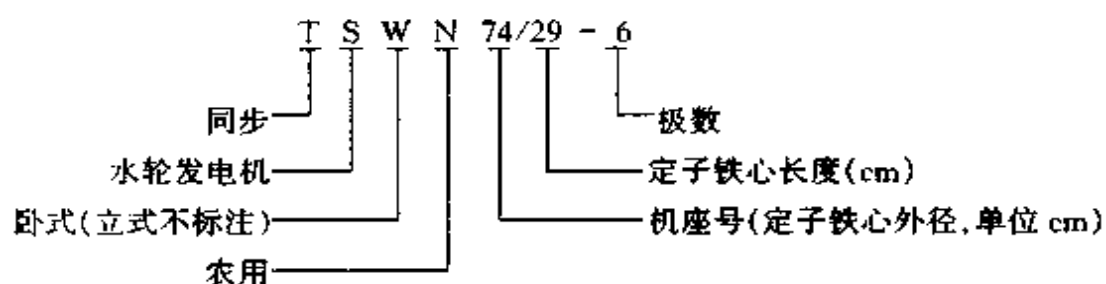


图 4.1.40 TFE 系列发电机励磁系统  
(a)发电机励磁系统 (b)AVR 电路原理图

### 9.6 TSWN、TSN 系列小容量水轮发电机

该系列发电机型号的含义如下：



该系列产品的技术数据如表 4.1.26 至表 4.1.28 所示,双绕组电抗分流式励磁系统见图 4.1.41。

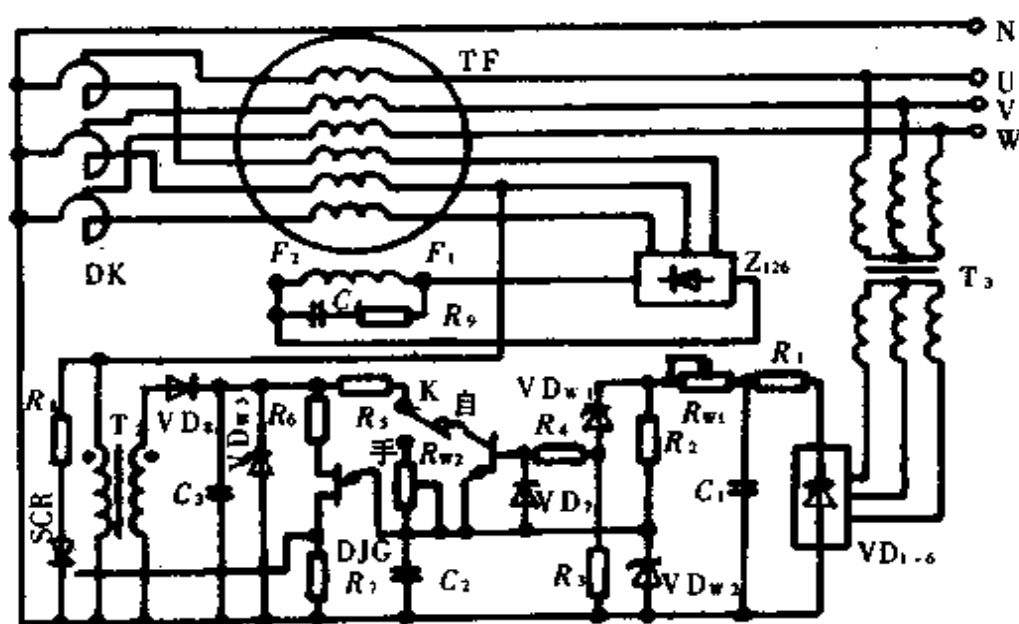


图 4.1.41 双绕组电抗分流式励磁系统原理图

表 4.1.26 系列型谱

机座号	中心高 (mm)	额 定 转 速 (r/min)							
		1500	1000	750	600	500	428	375	300
		额 定 功 率 (kW)							
36.8	225	18	12						
		26	18						
42.3	280	40	26						
		55	40						
49.3	315		55	40					
			75	55					
59	400		100	75					
			125	100					
			160	125					
74	500	-	200	160	125				
			250	200	160				
85	560		320	250	200	160	125		
			400	320	250	200	160		
99	630		* 500	* 400	* 320	250	200	160	125
			* 630	* 500	* 400	320	250	200	160

注:带\*者额定电压为6300V,其余规格额定电压400V。

表 4.1.27 TSWN、TSN 系列小容量水轮

型 号	额定 功率 (kW)	额定 电压 (V)	额定 频率 (Hz)	额定 转速 (r/min)	满 载			
					电 流 (A)	功率 因数 (滞后)	效率(%)	
							TSWN 系列	TSN 系列
TSWN 或 TSN 36.8/14-4	18	400	50	1500	32.5	0.8	85.1	84.2
TSWN 或 TSN 36.8/20-4	26				46.9		88.5	87.6
TSWN 或 TSN 36.8/12.5-6	12			1000	21.7		84.3	83.5
TSWN 或 TSN 36.8/18-6	18				32.5		85.5	85
TSWN 或 TSN 42.3/20.5-4	40			1500	72.2		88.3	87.4
TSWN 或 TSN 42.3/27-4	55				99.1		89.7	89
TSWN 或 TSN 42.3/19-6	26			1000	46.9		87.5	86.8
TSWN 或 TSN 42.3/25-6	40				72.2		88.6	88
TSWN 或 TSN 49.3/25-6	55				99.1		89.5	88.9
TSWN 或 TSN 49.3/30-6	75				135.5		91	90.4
TSWN 或 TSN 49.3/25-8	40			750	72.2		88.2	87.8
TSWN 或 TSN 49.3/30-8	55				99.1		89.5	89.1

发电机(12~75kW)技术数据表(一)

时		空载 励磁 电流 (A)	定子铁心				硅钢板 牌 号	磁 极		气隙 长度 (mm)
励磁 电压 (V)	励磁 电流 (A)		外 径	内 径	长 度	槽 数		极距 (mm)	铁心 长度 (mm)	
			(mm)							
32.2	24.5	9.73	368	265	140	48	208	140	1.1	
41.6	24	9.8			200					
27.9	23.7	8.8		285	125	54	149	125	0.7	
41.2	24.2	9.0			180					
24.7	51.2	19.5	423	305	205	48	240	210	1.45	
30.8	51.6	19.6			270					
42.4	23.7	8.32	423	327	190	54	171	190	0.8	
30	49.1	16.4			250					
37	46.5	15.5	493	384	250	72	201	250	1.0	
43.3	40.6	13			300					
36	47	18.6			250		151	250		
45.6	45.5	17.1			300			310		

表 4.1.27 TSWN、TSN 系列小容量水轮

型 号	磁 极 冲 片					磁极 压板	磁轭 内径	
	材 料	极靴 宽	极靴 高	极身 宽	极身 高			极弧 半径
		(mm)						
TSWN 或 TSN 36.8/14-4	锻钢 45	140	24	75	44	128	75	
TSWN 或 TSN 36.8/20-4					50			
TSWN 或 TSN 36.8/12.5-6	1.5 钢板 A3	105	16	55	50.8	137.7		47×6
TSWN 或 TSN 36.8/18-6								
TSWN 或 TSN 42.3/20.5-4	锻钢 45	160	27.1	80	53	146.4		90
TSWN 或 TSN 42.3/27-4								95
TSWN 或 TSN 42.3/19-6	1.5 钢板 A3	120	20.7	62	52	157.1	54×6	
TSWN 或 TSN 42.3/25-6							95	
TSWN 或 TSN 49.3/25-6		136	23	70	60	183.7	62×6	105
TSWN 或 TSN 49.3/30-6								
TSWN 或 TSN 49.3/25-8		112	22	62	60	180.4	54×6	105
TSWN 或 TSN 49.3/30-8								



发电机(12~75kW)技术数据表(二)

定 子 绕 组						励磁绕组	
线规 (QZ) (mm)	每槽 导体 数	每相 串联 匝数	节距	并联 支路 数	槽斜度 (mm)	线规 (SEBCB) (mm)	每极 匝数
1- $\varnothing$ 1.56	20	80	1~11	2	17.35	1.56 $\times$ 3.28	111
2- $\varnothing$ 1.4	14	56					121
1- $\varnothing$ 1.3	28	126	1~9		16.6		77
1- $\varnothing$ 1.56	20	90	1~8			1.45 $\times$ 3.05	78
3- $\varnothing$ 1.4	12	48	1~11	4	20	2.83 $\times$ 4.1	69
2- $\varnothing$ 1.4	18	36					
2- $\varnothing$ 1.35	16	72	1~9	2	19	1.56 $\times$ 3.28	90
3- $\varnothing$ 1.35	12	54					47
3- $\varnothing$ 1.3	12	48	1~11	3	16.75	2.44 $\times$ 4.1	61
4- $\varnothing$ 1.35	10	40					72
3- $\varnothing$ 1.35		60	1~9	2	16.75		46
4- $\varnothing$ 1.4	8	48				52	

表 4.1.27 TSWN、TSN 系列小容量水轮

型 号	参 数							定子线圈						定子 铜重 (kg)
	定子 电阻 (Ω)	励磁 电阻 (Ω)	短路比	漏抗	直轴 同步 电抗	交轴 同步 电抗	电机 常数							
								标 么 值						
TSWN 或 TSN 36.8/14-4	0.278	0.81	0.775	0.055	1.8	1.502	65.6	178.5	165	18	3.5	34.4	6.8	6.35
TSWN 或 TSN 36.8/20-4	0.14	1.09	0.854	0.0455	1.79	1.22	64.7	179	225	17	3.75	34.3	7.7	8.32
TSWN 或 TSN 36.8/12.5-6	0.525	0.724	0.673	0.655	1.946	0.961	67.7	135.1	150	17	3.9	22.2	7.2	5.74
TSWN 或 TSN 36.8/18-6	0.289	1.07	0.684	0.0542	1.96	0.96	65	117	205	18	3.5	17	6.81	6.6
TSWN 或 TSN 42.3/20.5-4	0.088	0.291	0.7	0.0594	2	0.944	57.2	204.7	235	17	3.2	42.3	7.4	11.78
TSWN 或 TSN 42.3/27-4	0.0561	0.354	0.7	0.0537	2.02	0.95	54.7	204.7	300	17	3	42.3	7.7	13.4
TSWN 或 TSN 42.3/19-6	0.18	1.128	0.6	0.0602	2.18	0.945	62.5	154.1	220	17	3.1	27.4	7.5	9.2
TSWN 或 TSN 42.3/25-6	0.1043	0.376	0.577	0.0637	2.404	1.039	53.5	154	280	17	3	27.6	7.5	11.9
TSWN 或 TSN 49.3/25-6	0.0693	0.497	0.541	0.0551	2.445	1.067	53.6	170.4	280	17	3.2	33	7.2	15.5
TSWN 或 TSN 49.3/30-6	0.0443	0.571	0.482	0.0573	2.738	1.188	47	170	330	17	3.1	33	7.5	20.5
TSWN 或 TSN 49.3/25-8	0.1105	0.475	0.707	0.055	1.75	0.92	55	136.3	280	17	3.8	22.3	7.5	12.7
TSWN 或 TSN 49.3/30-8	0.085	0.634	0.676	0.0555	1.866	0.971	48.3	136.2	330	17	3.75	22.3	7.7	16.2

发电机(12~75kW)技术数据表(三)

型号																	磁极 线圈 数	转子 铜重 (kg)					
	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$			$L_1$	$L_2$	$A_1$	$A_2$	$R$
TSWN或TSN 36.8/14-4	1	1	3	2	18	17	16	14	3.73	3.73	11.27	46	36.134	132	128.1	200	148	131	79	14	4	9.85	
TSWN或TSN 36.8/20-4	1	2	2	2	21	19	17	14	3.75	7.46	7.46	7.46	42.238	134	228.2	260	208	131	79	14	4	13.2	
TSWN或TSN 36.8/12.5-6	1	2	1		23	19	16		3.73	7.5	3.73		46.138	132.1		175	145	89	59	10	6	8.83	
TSWN或TSN 36.8/18-6	1	2	1		24	19	16		3.5	7	3.5		45.5	36	30.2		228	200	87	59	10	6	9.51
TSWN或TSN 42.3/20.5-4	1	2	2	1	13	12	11	10	4.6	9.2	9.2	4.6	43.4	40	36.8	33.4	273	218	139	84	14	4	18
TSWN或TSN 42.3/27-4	1	2	2	1	13	12	11	10	4.6	9.2	9.2	4.6	43.4	40	36.8	33.4	243	238	139	84	14	4	21.9
TSWN或TSN 43.2/19-6	3	1			24	18			11.23	72			48.136	1			240	210	96	66	10	6	13.7
TSWN或TSN 42.3/25-6	2	1			16	15			9.164	58			46.843	9			307.5	280	93.5	66	10	6	17.2
TSWN或TSN 49.3/25-6	2	2	1		17	10	7		9.2	9.2	4.6		49.729	320.5			316	270	120	74	10	6	22.7
TSWN或TSN 49.3/30-6	2	2	1		18	13	10		9.2	9.2	4.6		52.7	38	29.3		366	320	120	74	10	6	30.6
TSWN或TSN 49.3/25-8	2	1			17	12			9.2	4.6			49.7	35			298	270	94	66	10	8	21.7
TSWN或TSN 49.3/30-8	2	1	1		17	10	8		9.2	4.6	4.6		52.729	317.6			367	330	104	66	10	8	28.9

表 4.1.28 TSWN、TSN 系列小容量水轮

型 号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定转速 (r/min)	满 载 时				
					电 流 (A)	功率 因数 (滞后)	效 率 (%)	励磁 电压 (V)	励磁 电流 (A)
TSWN 或 TSN 74/29-6	200	400	50	1000	361	0.8	92.3	29	145
TSWN 或 TSN 74/36-6	250				451		93.2	32.3	143.5
TSWN 或 TSN 74/29-8	160			750	288		91.6	30.4	135
TSWN 或 TSN 74/36-8	200				361		92.1	35.5	134
TSWN 或 TSN 74/29-10	125			600	225		90.9	26.8	147
TSWN 或 TSN 74/36-10	160				288		91.6	31.3	141.5
TSWN 或 TSN 85/31-6	320	6300	50	1000	577	0.8	93.9	29.3	169
TSWN 或 TSN 85/39-6	400				722		94.4	34.2	165.2
TSWN 或 TSN 85/31-8	250			750	451		93.2	29.4	173.5
TSWN 或 TSN 85/39-8	320				577		93.6	36.8	168
TSWN 或 TSN 85/31-10	200			600	361		92.2	29.7	180
TSWN 或 TSN 85/39-10	250			50	50		600	451	0.8
TSWN 或 TSN 85/31-12	160	500	288			91.3	29	163.2	
TSWN 或 TSN 85/39-12	200		361			91.9	34	162	
TSWN 或 TSN 85/31-14	125	428	225			90.7	23.3	165.5	
TSWN 或 TSN 85/39-14	160		288			91.2	31.3	165	
TSWN 或 TSN 99/37-6	500	1000	57.2			94	40.8	167	
TSWN 99/46-6	530		72.2	94.4	47	165			
TSWN 或 TSN 99/37-8	400	750	45.9 (722)	0.8	93	42.7	180		
TSWN 或 TSN 99/46-8	500		57.2		93.8	48.3	175		
TSWN 或 TSN 99/37-10	320	600	36.8 (577)	0.8	92.9	39.7	183		
TSWN 或 TSN 99/46-10	400		45.9 (722)		93.3	43.3	177.5		

发电机(125~630kW)技术数据表(一)

定子铁心				硅钢牌号	磁 极			气隙长度	磁极冲片					
外径	内径	长度	槽数		极距	铁心长度	压板厚度		极弧系数	极靴宽	极靴高	极身宽	极身高	极弧半径
(mm)				(mm)				(mm)						
740	560	290	72	DR630-50	393.2	290	20	3.5	0.676	198	32	104	104	254
		360												
740	590	290	84		231.5	290	16	2.6	0.682	158	22	88	105	263
		360												
		290			185	290	12	2	0.714	132	20	68	100	260
		360												
850	620	310	72		324.5	330	22	3.5	0.718	233	41	120	101	284
		390												
	660	310	84		259	310	18	2.6	0.656	170	28	98	110	301
		390												
310	207	310			16	2.2	0.701	145	25	82	106	605		
390														
850	660	390	84		207	399	16	2.2	0.701	145	25	82	106	305
		310				DR630-50								
	390													
	700	310	108		157		310	10	1.8	0.735	115.5	20	65	98
390														
990	705	370	72	369	370	24	4.5	0.656	242	40	135	125	317	
		460												
	740	370	84	291	370	20	3	0.696	202	35	120	116	332	
		460												
370	233	390		18	2.5	0.731	170	28	98	110	301			
460														

型 号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定转速 (r/min)	满 载 时				
					电 流 (A)	功率 因数 (滞后)	效 率 (%)	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)
TSWN 或 TSN 99/29-12	250	400	50	500	451	0.8	92.3	39.1	154.5
TSWN 或 TSN 99/37-12	320			500	577		93.2	44.1	152
TSWN 或 TSN 99/29-14	200			428	360		91.8	37.2	150
TSWN 或 TSN 99/37-14	250				451		93	40.3	139
TSWN 或 TSN 99/29-16	160			375	288		90.4	41.4	134
TSWN 或 TSN 99/37-16	200				361		91.4	47.7	133
TSWN 99/29-20	125			300	225		88.9	33.4	157
TSWN 或 TSN 99/37-20	160				288		90	39.6	155.8

续表

定子铁心				硅钢板牌号	磁 极			气隙长度	磁极冲片					
外径	内径	长度	槽数		极距	铁心长度	压板厚度		极弧系数	极靴宽	极靴高	极身宽	极身高	极弧半径
(mm)				(mm)					(mm)					
990	825	290		125		216	290		16	2.3	0.672	145	25	82
	825	370	126	216		370	16	2.3	0.672	145	25	82	106	305
		290		185		310	12	2.1	0.709	131	22	75	98	308
	370	370												
	850	290	132	167		290	16	2	0.692	115.5	20	65	98	303
		370				370								
		290		133.6		310	16	2	0.734	98	17	55	98	314
		370				390								

表 4.1.28 TSWN、TSN 系列小容量水轮

型 号	定 子 绕 组						励磁绕组	
	线规 (SEHC3) (mm)	每槽 导体 数	每相 串联 匝数	节距	并联 支路 数	每极 每相 槽数	线规 (TDR) (mm)	每极 匝数
TSWN 或 TSN 74/29-6	2-1.35×4.4	14	28	1-12	6	4	1.56×22	47.5
TSWN 或 TSN 74/36-6	2-1.68×4.4	12	24	1-10				
TSWN 或 TSN 74/29-8	2-1.81×3.8	10	35	1-11	4	3 $\frac{1}{2}$	1.95×15.6	39.5
TSWN 或 TSN 74/36-8	2-2.26×3.8	8	28					
TSWN 或 TSN 74/29-10	2-2.83×3.8	6	42	1-9	2	2 $\frac{4}{5}$	2.26×15.6	31.5
TSWN 或 TSN 74/36-10	4-1.81×3.8	5	35	1-8				32.5
TSWN 或 TSN 85/31-6	2-2.26×4.1	10	20	1-12	6	4	1.45×32	48.5
TSWN 或 TSN 85/39-6	2-2.38×4.1	8	16					49.5
TSWN 或 TSN 85/31-8	4-1.35×5.8	8	28	1-10	4	3 $\frac{1}{2}$	1.95×22	37.5
TSWN 或 TSN 85/39-8	4-1.81×5.8	6	21	1-11				39.5
TSWN 或 TSN 85/31-10	4-2.26×3.8	5	35	1-8	2	2 $\frac{4}{5}$	2.63×15.6	30.5
TSWN 或 TSN 85/39-10	4-3.05×3.8	4	28	1-9				
TSWN 或 TSN 85/31-12	1-1.35×6.4	14	42	1-9	6	3	2.63×15.6	27.5
TSWN 或 TSN 85/39-12	1-1.81×6.4	12	36	1-8				
TSWN 或 TSN 85/31-14	2-1.68×6.4	6	54	1-7	2	2 $\frac{4}{7}$	3.05×15.6	22



发电机(125~630kW)技术数据表(二)

飞逸 转速 (r/min)	参 数							电机常 数 $\times 10^4$
	励磁电阻 ( $\Omega$ )	短路比	漏抗	直轴同步	直轴瞬变	零序	逆序	
				电抗	电抗	电抗	电抗	
				标 么 值				
2400	0.141	0.813	0.0894	1.55	0.21	0.0971	0.405	36.4
	0.158	0.837	0.0722	1.52	0.19	0.03926	0.381	36.1
1800	0.1585	0.863	0.0864	1.52	0.20	0.1079	0.397	37.9
	0.184	0.876	0.0783	1.51	0.19	0.1077	0.384	37.6
1440	0.1285	1.025	0.087	1.397	0.212	0.1061	0.422	38.6
	0.156	0.99	0.0804	1.44	0.218	0.0702	0.436	36.7
2400	0.122	0.912	0.0813	1.409	0.197	0.0807	0.404	29.8
	0.146	0.924	0.0731	1.412	0.192	0.0892	0.400	30.0
1800	0.119	0.845	0.089	1.55	0.199	0.088	0.401	32.3
	0.154	0.893	0.081	1.51	0.20	0.1109	0.404	31.8
1440	0.116	0.870	0.0925	1.465	0.243	0.0838	0.471	32.4
	0.1395	0.818	0.1055	1.5765	0.262	0.1332	0.502	32.6
1200	0.1242	0.924	0.0923	1.4123	0.239	0.1040	0.46	38.0
	0.148	0.887	0.082	1.472	0.242	0.06495	0.477	38.1
1030	0.099	0.937	0.1003	1.342	0.268	0.0678	0.500	41.7

型 号	定 子 绕 组						励磁绕组	
	线规 (SECB) (mm)	每槽 导体 数	每相 串联 匝数	节距	并联 支路 数	每极 每相 槽数	线规 (TDR) (mm)	每极 匝数
TSWN或TSN 85/39-14	4-1.08×6.4	4	36	1-8	2	2 $\frac{4}{7}$	3.05×15.6	24.5
TSWN或TSN 99/37-6	1-1.68×6.9	22	264	1-11	1	4	1.45×22	61.5
TSWN或TSN 99/46-6	1-2.1×6.9	18	216					62.5
TSWN或TSN 99/37-8	1-1.35×6.4	22	308			3 $\frac{1}{2}$	1.95×22	44.5
TSWN或TSN 99/46-8	1-1.81×6.4	18	262			2 $\frac{4}{5}$	2.26×22	67.5
TSWN或TSN 99/37-10	1-1.08×6.4	26	364	1-9				
TSWN或TSN 99/46-10	1-1.35×6.4	22	308					
TSWN或TSN 99/29-12	1-2.1×6.9	10	35	1-11	6	3 $\frac{1}{2}$	1.95×22	40.5
TSWN或TSN 99/37-12	1-2.63×6.9	3	28	1-11	6	3 $\frac{1}{2}$	1.95×22	39.5
TSWN或TSN 99/29-14	1-1.45×6.9	14	42	1-9	7	3	1.95×22	33.5
TSWN或TSN 99/37-14	1-1.81×6.9	12	36	1-8				34.5
TSWN或TSN 99/29-16	1-1.95×6.9	10	55	1-8	4	2 $\frac{3}{4}$	2.26×15.6	32.5
TSWN或TSN 99/37-16	1-2.63×6.9	8	44					
TSWN或TSN 99/29-20	1-1.56×6.9	12	66	1-7		2 $\frac{1}{5}$	3.05×1.56	24.5
TSWN或TSN 99/37-20	1-2.1×6.9	10	55					

续表

飞逸 转速 (r/min)	参 数							电机常 数 $\times 10^4$
	励磁电阻 ( $\Omega$ )	短路比	漏抗	直轴同步	直轴瞬变	零序	逆序	
				电抗	电抗			
标 么 值								
1030	0.1335	1.315	0.0781	1.062	0.208	0.0775	0.392	41.0
1800	0.1724	0.823	0.1036	1.5236	0.2216	0.0821	0.418	29.4
	0.201	0.79	0.0987	1.5837	0.2222	0.0857	0.421	29
	0.167	0.885	0.105	1.49	0.223	0.1174	0.473	30.4
	0.194	0.885	0.0935	1.533	0.256	0.1211	0.473	30.2
1440	0.153	1.16	0.0955	1.1665	0.212	0.1090	0.384	30.4
	0.172	1.035	0.098	1.275	0.225	0.1186	0.415	30.2
1200	0.178	1.03	0.0901	1.335	0.205	0.1050	0.373	31.6
1200	0.205	0.97	0.0863	1.386	0.203	0.1097	0.378	31.4
1030	0.175	1.02	0.091	1.282	0.217	0.0959	0.402	33.8
	0.204	0.939	0.0874	1.342	0.217	0.0599	0.41	34.4
900	0.211	0.895	0.1049	1.385	0.2449	0.0933	0.439	39.3
	0.252	0.884	0.1006	1.396	0.253	0.095	0.48	40
720	0.150	1.08	0.1151	1.1451	0.308	0.1147	0.442	40.3
	0.179	0.963	0.1263	1.276	0.342	0.1297	0.546	40.1

## 第二章 三相异步电动机

### 1 产品分类及型号

三相异步电动机结构简单、使用维护方便、运行可靠、制造成本低,因而广泛用于工农业生产和其他国民经济部门,作为驱动机床、水泵、风机、运输机械、矿山机械、农业机械以及其他机械的动力。

#### 1.1 产品分类

三相异步电动机品种繁多,一般可按转子结构、外壳防护等级、冷却方式、安装结构及安装型式等分类。

(1)按转子结构分,可分为鼠笼型和绕线型。

(2)按防护等级分,可根据国家标准 GB4942.1《电机外壳防护分级》的有关规定。Y系列三相异步电动机(基本系列)分为 IP44(封闭式)和 IP23(防护式)两种。

(3)按冷却方式分,可根据国家标准 GB1993《电机冷却方式》的有关规定。Y系列三相异步电动机(基本系列)分为 ICO141(自扇冷却)和 ICO1(自冷式)两种。

(4)按安装结构和安装型式分,可根据国家标准 GB997《电机结构及安装型式代号》的有关规定。Y系列三相异步电动机(基本系列)有 IMB3、IMB35 和 IMB5 等几种。

#### 1.2 产品型号

产品型号编制方法按国家标准 GB4831《电机产品型号编制方法》的有关规定。产品型号、结构特征及用途详见表 4.2.1。

表 4.2.1 三相异步电动机的产品型号、结构特征及用途

序号	名称	型号		标准编号	结构特征	用途
		新	老			
1	小型三相异步电动机(封闭式)	Y (IP44)	J02	ZBK22007-88(H80~315) JB5274-91(H355)	自扇冷却、封闭式结构,能防止灰尘、水滴大量进入电机内部	作一般用途的驱动源,即用于驱动对起动性能、调速性能及转差率无特殊要求的机器和设备;亦可用于灰尘较多、水土飞溅的场所
2	小型三相异步电动机(防护式)	Y (IP23)	J2	JB5271-91(H80~H280) JB5272-91(H315~H355)	自冷式、防护式结构,能防止水滴或其他杂物从与垂向成 60°角的范围内落入	同上,但必须用于周围环境较干净、防护要求较低的场所
3	变极多速三相异步电动机	YD (IP44)	JL02	ZBK26006-89	同 Y 系列(IP44)	同 Y 系列(IP44),驱动要求有 2~4 种分级变化转速的设备
4	高转差率三相异步电动机	YH (IP44)	JH02	JB/T6449-92	转子采用高电阻系数的铝合金,其余结构同 Y 系列(IP44)	用于传动飞轮力矩较大、具有冲击性负荷、起动及逆转次数较多的设备
5	高效率三相异步电动机	YX (IP44)		JB4053-85	同 Y 系列(IP44),只是改变了电磁参数;使用高导电率低损耗硅钢片等,以降低损耗,提高效率	用于驱动长期连续运行、负载率较高的设备
6	绕线转子三相异步电动机(封闭式)	YR (IP44)	JR02	JB/DQ3136-85	转子为绕线型的封闭式结构,能防止灰尘及水滴大量进入电机内部	用于驱动起动转矩高而起动电流小及需要小范围调速的设备,可用于周围灰尘多、水土飞溅、环境较恶劣的场所

续表

序号	名称	型号		标准编号	结构特征	用途
		新	老			
7	绕线转子三相异步电动机(防护式)	YR (IP23)	JR <sub>2</sub>	JBS269-91 (H1160~H280) JBS270-91 (H315~H355)	转子为绕线型的防护式结构,能防止水滴从与垂直方向成60°的范围内进入电机内部	同YR(IP44),但必须在周围环境较干净、防护要求较低的场所使用
8	低振动、低声三相异步电动机	Y2C (IP44)	J02	JB/TQ3185-86	同Y系列(IP44)	用于驱动精密机床以及需要低声、低振动的各种机械设备
9	船用三相异步电动机	Y-H (IP44或IP54)	J02-H	JBS273-91	机座材料、接线盒结构符合船舶使用特点,其余同Y系列(IP44)	用于海洋、江河一般船舶上的机械传动
10	户外型三相异步电动机	Y-W (IP54或IP55)	J02-W	JBS275-91	在Y系列(IP44)结构基础上,加强结构材料,加强结构密封和采取零部件防腐措施	用于户外轻腐蚀环境的各种机械传动
		Y-WF <sub>1</sub>			同上	用于户外中腐蚀环境的各种机械传动装置

11	化工防腐蚀型 三相异步电动机	Y-F (IP54 或 IP55)	J02-F	JB/DQ3202-86	同 Y-W 系列	用于经常或不定期在一种或一种以上化学腐蚀性环境中的各种机械传动
12	隔爆型三相 异步电动机	YB (IP44 或 IP54)	BJ02	JB3225-83	电动机必须符合有关防爆特殊技术要求,主要零部件要符合隔爆要求	用于煤矿井下固定设备的Ⅰ一般传动 作为工厂有最大试验安全间隙不小于ⅡB级,引燃温度不低于T4组的可燃性气体或蒸气与空气形成的爆炸性混合物的设备传动
13	增安型三相 异步电动机	YA (IP54)		JB2228-71	电动机符合防爆性环境等通用要求及爆炸性环境增安型要求。 1. 爆炸混合物自然极限温度不低于450℃时功率等级与机座号对应关系同Y系列(IP44) 2. 爆炸混合物自然极限温度在200℃~300℃时功率等级与机座号对应关系比Y系列(IP44)降低一级	适用于石油、化工、化肥、制药、轻纺等企业中具有二类爆炸危险的场所使用的各种机械传动
14	电磁调速三相 异步电动机	YCT	JZT	JB/DQ3167-86	由Y系列(IP44)三相异步电动机与电磁滑差离合器组成	用于要求恒转矩或风机型负载的无级调速传动。其控制功率小,调速范围较广,调速精度较高

续表

序号	名称	型号		标准编号	结构特征	用途
		新	老			
15	傍晚式制动三相异步电动机	YEP (IP44)	JZD	JB/T6448-92	转子非轴伸端装有分磁块及制动装置并与电动机组成一体,其余结构同Y系列(IP44)	适用于频繁启动、制动的一般机械,作为起重运输机械,升降工作机械及其他要求迅速、准确停车的主传动或辅助传动用
16	电磁制动三相异步电动机	YEJ		JB/T6456-92	由Y系列(IP44)三相异步电动机与电磁制动器(IP23)组成	同上
17	齿轮减速三相异步电动机	YCJ	JTC	JB/T6449-92	由Y系列(IP44)电动机与齿轮减速器直接耦合而成	用作驱动低速、大转矩的设备,并只准使用联轴器或正齿轮联接。
18	摆线针轮减速三相异步电动机	YXJ	JXJ	JB2982-81 (减速器标准)	由Y系列(IP44)电动机与摆线针轮减速器组合而成	同上
19	立式深井泵用三相异步电动机	YLB (IP44)	JLB2 DM JTM	JB/DQ3203-86	在电动机一端装有单列向心推力轴承,能承受一定的轴向力;转子轴为空心轴;在电动机另一端装有防逆盘以防电动机逆向旋转	驱动立式深井泵,为广大农村及工矿企业吸取地下水



20	<p>起动冶金用三相异步电动机</p>	<p>YZ (IP44 或 IP54)</p>	<p>JZ2</p>	<p>JR3230-83</p>	<p>机座号 112~132 为封闭自冷式,其余为封闭自扇冷却。转子铸铝材料为高电阻铝锰合金。机座号 112~160 为圆柱轴伸;机座号 180~400 为圆锥轴伸;机座号 200 及以上的风扇端与轴伸端轴承型号、规格不同,绝缘等级为 F/H 级</p>	<p>IP44 - F 级绝缘电机用于一般环境起重运输机械传动 IP54 - H 级绝缘电机用于冶金辅助设备的传动</p>
21	<p>起重冶金用三相异步电动机</p>	<p>YZR</p>	<p>JZR</p>	<p>JB/TDQ3196-87</p>	<p>除转子为绕线型外,其余同上</p>	<p>同上</p>
22	<p>井用潜水三相异步电动机</p>	<p>YQS2</p>	<p>JQS YQS</p>	<p>GE2818-91</p>	<p>为充水式密封结构,即定子、转子、绕组、轴承均在水中长期工作。上下端各装有一水润滑径向滑动轴承,下端还装有一水润滑止推轴承,以承受轴向力及防止轴向窜动。电动机各上口接合面以“O”型密封圈或密封胶密封,同时在轴伸端装有防砂密封装置</p>	<p>与井用潜水泵配套组成井用潜水电泵,是农业灌溉、工矿企业供水和高原山区抽取地下水的先进动力设备</p>

续表

序号	名称	型号		标准编号	结构特征	用途
		新	老			
23	电动阀门用 三相异步电动机	YDF (IP44)		JB2195-77	同 Y 系列(IP44)	用作驱动电动阀门、要求高起动转矩和最大转矩的场合
24	力矩三相 异步电动机	YCJ		JB/T6297-92	强迫通风冷却;鼠笼转子 铸铝,采用高电阻合金铝材 料	用于要求恒张力、恒线速度传动(卷绕特性)或恒转矩传动(导辊特性)的场合

## 2 主要技术性能

三相异步电动机的主要技术性能详见表 4.2.2。

表 4.2.2 主要技术性能

序号	名称及代号	定义	计算公式	提高技术性能的主要措施
1	效率 $\eta$	输出功率与输入功率之比,用百分比(%)表示	$\eta = P_2 / P_1$ $P_2$ ——电动机输出功率; $P_1$ ——电动机输入功率	1. 放粗线径,降低定、转子铜耗; 2. 采用低损耗硅钢片降低铁耗; 3. 采取工艺措施降低杂散损耗及铁耗
2	功率因数 $\cos\varphi$	输入功率与视在功率之比	$\cos\varphi = P_1 / \sqrt{3} I_N U_N$ $I_N$ ——额定线电流; $U_N$ ——额定线电压	1. 减小定、转子之间空气隙; 2. 增加线圈匝数; 3. 采用高导磁硅钢片
3	堵转电流倍数 $I_M$	转子堵转时定子的电流与额定电流之比	$I_M$ (倍数) = $i_M / I_N$ $i_M$ ——堵转电流	1. 增加定子匝数; 2. 增加转子电抗
4	堵转转矩倍数 $T_M$	使转子堵转时所需的转矩与额定转矩之比	$T_M$ (倍数) = $M_M / M_N$ $M_M$ ——堵转转矩; $M_N$ ——额定转矩	1. 增加定、转子间的空气隙; 2. 增加转子电阻; 3. 减少定子匝数
5	最大转矩倍数 $T_{max}$	起动过程中电动机出现的最大转矩与额定转矩之比	$T_{max} = M_{max} / M_N$ $M_{max}$ ——最大转矩	1. 减少定子匝数,降低电抗; 2. 增加定、转子间空气隙
6	最小转矩倍数 $T_{min}$	起动过程中电动机出现的最小转矩与额定转矩之比	$T_{min} = M_{min} / M_N$ $M_{min}$ ——最小转矩	1. 合理选择定、转子槽配合; 2. 增加定、转子间空气隙
7	振动 $V$ (mm/s) 噪声 $L$ [dB(A)]		振动测定方法及限值按 GB10068.1~.2 进行 噪声测定方法及限值按 GB10069.1~.3 进行	1. 提高轴承室及轴承档加工精度; 2. 提高转子动平衡精度; 3. 采用低噪声值的电机专用轴承; 4. 合理选择定、转子槽配合及合适的定、转子气隙; 5. 合适的转子槽斜度

续表

序号	名称及代号	定义	计算公式	提高技术性能的主要措施
8	温升 K	绕组的工作温度 与环境温度之差	用电阻法测定绕组温升时： $K = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (H + t_1) + (t_2 - t_1)$ R <sub>2</sub> ——电动机在额定负载下达到稳定时的电阻值； R <sub>1</sub> ——电动机实际冷态时的电阻值 t <sub>2</sub> ——测得 R <sub>2</sub> 时的环境温度 t <sub>1</sub> ——测得 R <sub>1</sub> 时的环境温度 H——铜绕组为 235 铝绕组为 228	1. 采取措施, 降低电动机各部分损耗 2. 增加散热面积 3. 加强通风(增大风扇外径、增加进风面积)

### 3 定子绕组及其重制

#### 3.1 绕组的结构及类别

##### 3.1.1 绕组的构成

在制造电机绕组时,先将导线绕在线模板上形成线圈,然后按一定规律把线圈嵌入铁心槽内,并把各线圈按要求连接起来,构成三相绕组。构成三相绕组的主要参数如下。

(1)极距  $\tau$ :沿定子铁心内圆每个磁极所占的槽数。

$$\tau = z_1 / p$$

式中  $z_1$ ——定子槽数;

$p$ ——极数。

(2)节距:一个线圈两个有效边之间的槽数。为感应尽可能大的电动势,绕组的两个有效边应嵌在接近一个极距的两个槽内。绕组的节距等于极距的绕组称为整距绕组;小于极距的称为短距绕组;大于极距的称为长距绕组。一般采用短距绕组较多。它可缩短端部,省材,改善电机起动和运行性能,降低电机噪声和振动。

(3)每极每相槽数  $q$ :

$$q = \frac{Z_1}{pm}$$

式中  $m$ ——相数,等于3。

(4)电角度:计量电磁关系的角度单位。它与机械角度的关系为

$$\text{电角度} = \text{极对数} \times \text{机械角度}$$

(5)相带:每极每相槽数  $q$  所占的电角度。

(6)绕组线圈总数

$$\text{单层绕组:线圈总数} = Z_1 / 2; \text{双层绕组:线圈总数} = Z_1$$

(7)绕组线圈组数

$$\text{单层短距、双层绕组:线圈组数} = pm$$

$$\text{单层整距绕组:线圈组数} = pm / 2$$

(8)极相组:同极同相线圈组中的  $q$  只线圈按一定方式串联成组(俗称联)。

##### 3.1.2 绕组类别

绕组一般分为单层、双层、单双层三种基本类型。

3.1.2.1 单层绕组 单层绕组之间没有层间绝缘,不会发生槽内相间击穿,省工时。现大部分绕组形式上采用短距,电磁效果与整距绕组相同,缩短了绕组端

部,节省了铜材。由于实际上为整距绕组,故磁场波形的改善不够理想。在保持电流分布不变的情况下,不同的端部联接方法,构成了同心式(图 4.2.1)、交叉式(图 4.2.2)、链式(图 4.2.3)不同型式的单层绕组。单层绕组一般用于小容量电机中。

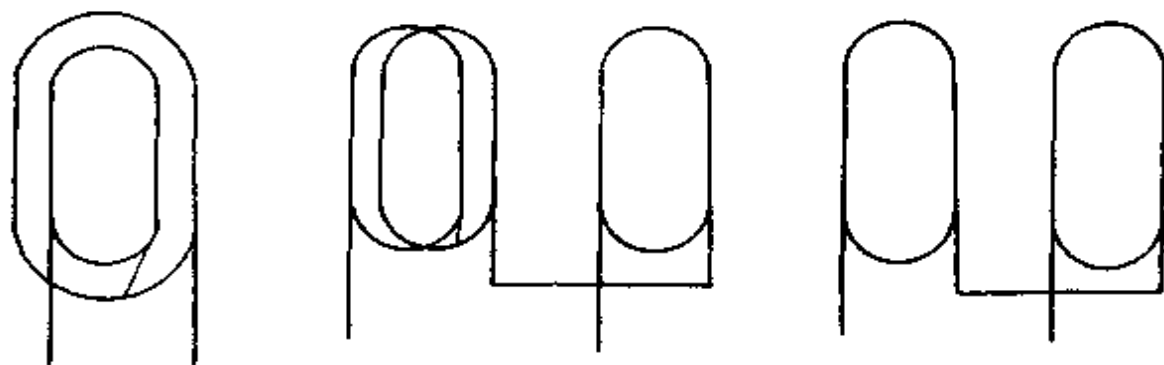


图 4.2.1 同心式线圈

图 4.2.2 交叉式线圈

图 4.2.3 链式线圈

3.1.2.2 双层绕组 双层绕组如图 4.2.4,可任意选用合适的短距绕组,改善磁场波形。但嵌线工时大,并须增加层间绝缘,以防槽内相间击穿。双层绕组分为整数槽绕组(每极每相槽数为整数)和分数槽绕组(每极每相槽数为分数)。对三相分数绕组,其三相必须含有相同的线圈数,以保持磁动势平衡和三相电流平衡。不论是线圈多的极相组,还是线圈少的极相组都应布置在对称位置,保持磁拉力平衡,使电动机的磁振动减少到最低。因此分数槽绕组必须遵循一定规律分布:

①每极每相槽数(每一极相组线圈) $q = B \frac{c}{d}$  ( $c, d$  互为质数),则每极每相必须由  $B$  个或  $(B+1)$  个线圈组成,并按一定次序循环排列,每经  $d$  个极相循环 1 次。②每次循环的  $d$  个极相组中,有  $c$  个极相组含有  $(B+1)$  只线圈,  $(d-c)$  个极相组含有  $B$  只线圈。③循环次数 = 总极相组数 /  $d$ 。

例:求  $Z_1 = 27$  槽,4 极电动机的绕组分布。

解:每极每相槽数  $q = 27 / (3 \times 4) = 2 \frac{1}{4}$ ,则每极每相有 2 只或 3 只线圈组成,并经 4 个极相组循环 1 次。

每次循环 4 个极相组中有 1 个为 3 只线圈,有 3 个为 2 只线圈;

循环次数 =  $pm / d = 4 \times 3 / 4 = 3$ 。

绕组分配:

极性	N	S	N	S
相属	ABC	ABC	ABC	ABC
线圈只数	3 2 2	2 3 2	2 2 3	2 2 2

常用分数槽绕组分布(排列)见表 4.2.3。

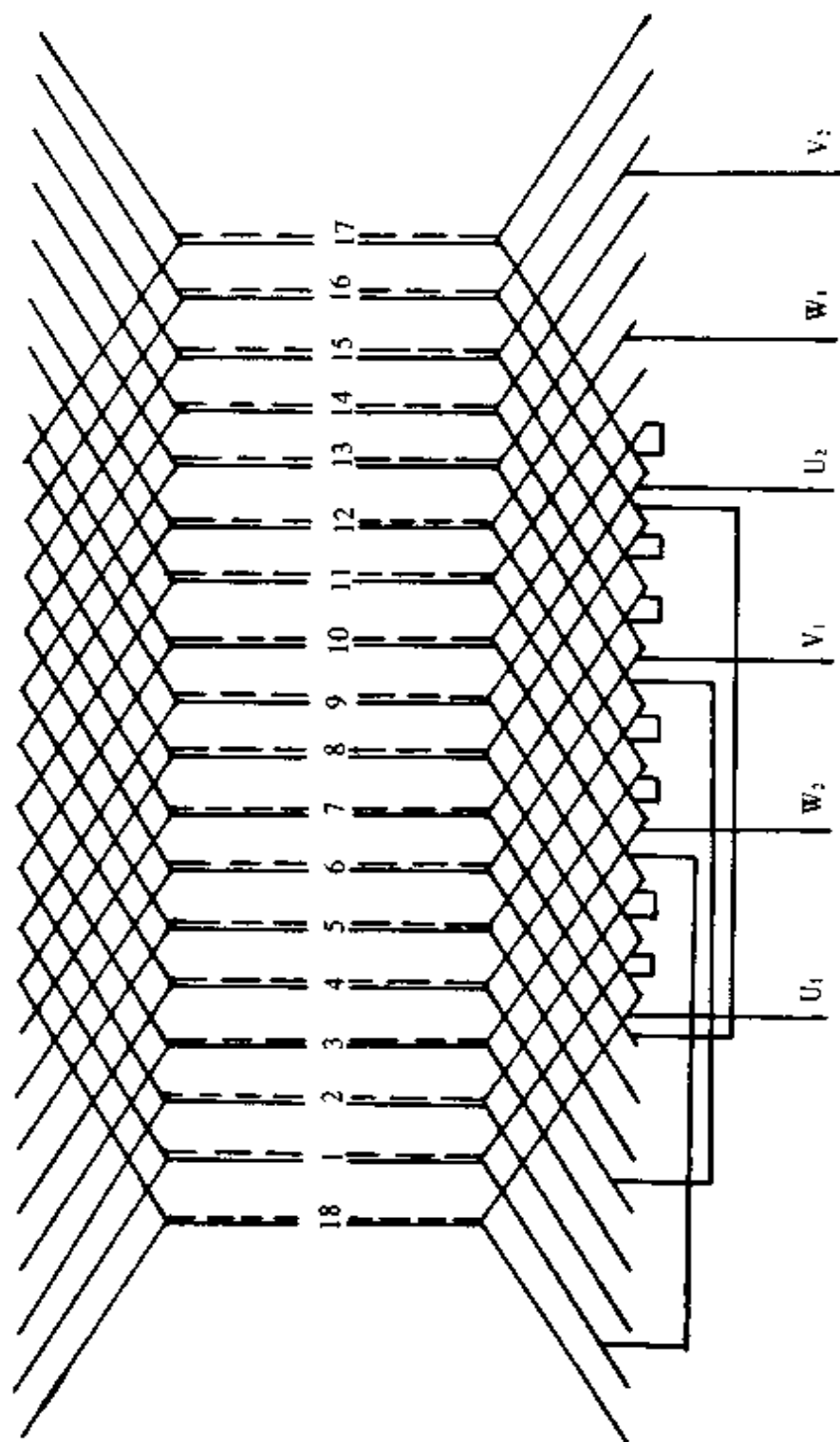


图 4.2.4 18 槽 2 极双层绕组

表 4.2.3 常用分数槽绕组分布(排列)

$c/d$	极相组的循环(排列)
$B \frac{1}{2}$	$B, (B+1); B, (B+1); \dots$
$B \frac{1}{4}$	$B, B, B, (B+1); B, B, B, (B+1); \dots$
$B \frac{3}{4}$	$B, (B+1), (B+1), (B+1); B, (B+1), (B+1), (B+1); \dots$
$B \frac{1}{5}$	$B, B, B, B, (B+1); B, B, B, B, (B+1); \dots$
$B \frac{2}{5}$	$B, B, B, (B+1), (B+1); B, B, B, (B+1), (B+1); \dots$
$B \frac{3}{5}$	$B, B, (B+1), (B+1), (B+1); B, B, (B+1), (B+1), (B+1); \dots$
$B \frac{4}{5}$	$B, (B+1), (B+1), (B+1), (B+1); B, (B+1), (B+1), (B+1), (B+1); \dots$
$B \frac{1}{7}$	$B, B, B, B, B, B, (B+1); B, B, B, B, B, B, (B+1); \dots$
$B \frac{2}{7}$	$B, B, B, B, B, (B+1), (B+1); B, B, B, B, B, (B+1), (B+1); \dots$
$B \frac{3}{7}$	$B, B, B, B, (B+1), (B+1), (B+1); B, B, B, B, (B+1), (B+1), (B+1); \dots$

3.1.2.3 单双层绕组 在双层绕组的基础上稍加改接而成,同时具有单层绕组以及双层绕组的优点。如图 4.2.4 所示的 18 槽、2 极双层绕组,其绕组节距  $y=8(1\sim 9)$ ,则有 12 个槽中的上、下层为同相绕组。如果把这些槽中的线圈改变成单层绕组,并为缩短绕组端部,将端部稍加改接,使 1、3、4、6、7、9、10、12、13、15、16、18 号槽放置单层绕组,其余 2、5、8、11、14、17 号槽放置双层绕组,这样就形成了单双层绕组(如图 4.2.5)。

### 3.1.3 三相绕组的分布与联接

三相异步电动机绕组的分布与联接十分重要。分布与联接不正确将导致电动机绕组烧坏或电气性能恶化,直接影响其使用。

三相异步电动机的定子绕组必须组成三相对称绕组,其每相绕组的分布与联接相同,相与相间在槽内分布间隔  $120^\circ$  电角度。一般电动机在一个磁极下分为三个相带,每相带占  $60^\circ$  电角度,也就是每极每相绕组占  $60^\circ$  电角度。三相绕组在槽内的分布次序为  $A \rightarrow C \rightarrow B$ 。现以 24 槽 2 极三相单层(节距  $y=1\sim 12, 2\sim 11$ )同心式绕组为例,说明绕组分布与联接的具体方法和步骤。

(1) 确定构成绕组的各参数:

线圈总数 =  $Z_1/2 = 24/2 = 12$ ;

每相线圈数 = 线圈总数/相数 =  $12/3 = 4$ ;

线圈组数 = 极数  $\times$  相数 =  $2 \times 3 = 6$ ;

每线圈组的线圈数 = 线圈总数/线圈组数 =  $12/6 = 2$ ;



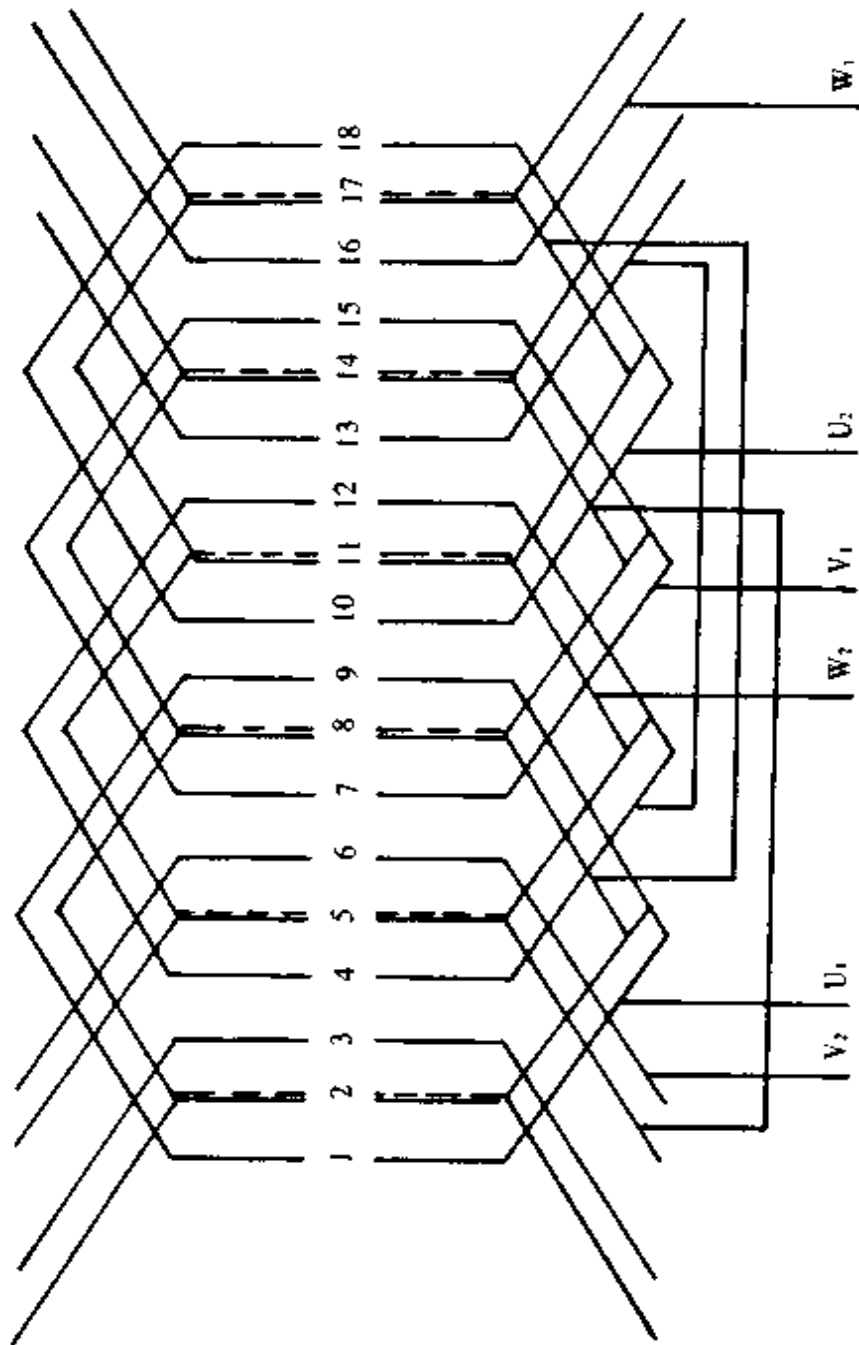


图 4.2.5 18 槽 2 极单层绕组

每极每相的线圈组数 = 线圈组数 / (相数 × 极数) =  $6 / (3 \times 2) = 1$ ;

每极每相槽数  $q = 24 / (3 \times 2) = 4$ ;

极距  $\tau = 24 / 2 = 12$ 。

(2) 将所有定子槽等距离画在纸上, 并标上槽号(如图 4.2.6)。

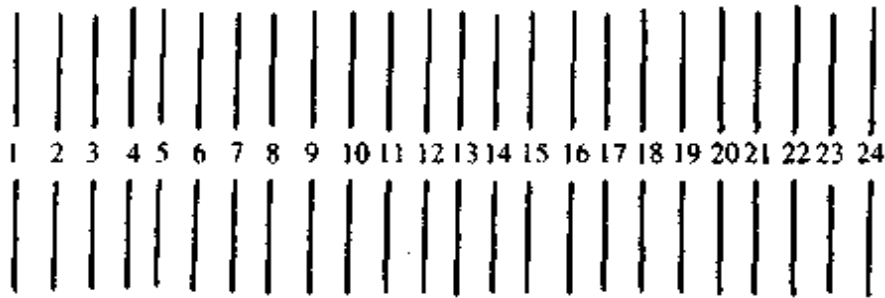


图 4.2.6 24 槽槽号

(3) 将 24 槽分成二等份, 每等份为  $180^\circ$  电角度(如图 4.2.7)。

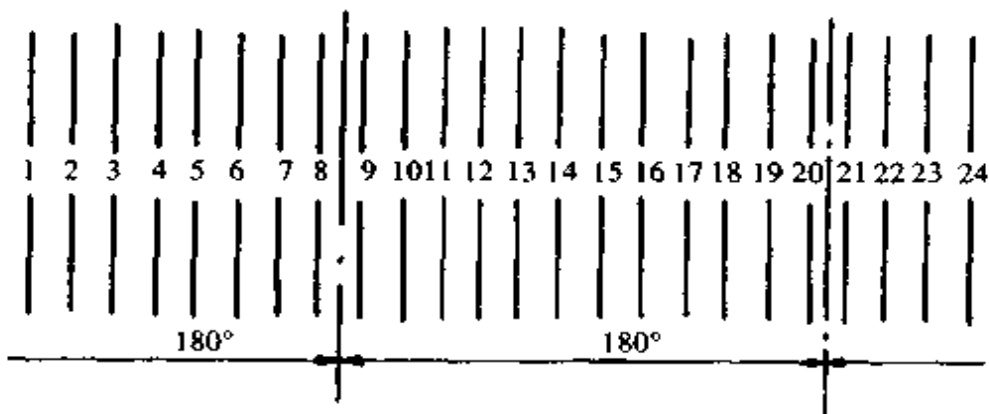


图 4.2.7 每极占槽号

(4) 每等份包含三相线圈, 每相线圈占 4 个槽, 则每隔 4 个槽分别标上 A、C、B (如图 4.2.8)。

(5) 每极每相有一个线圈组, 每个线圈内有 2 只线圈, 按节距  $y = 1 \sim 12, 2 \sim 11$  同心式放置在每相位置上(如图 4.2.9)。

(6) 根据标准, 三相绕组的始端、末端的标志见表 4.2.4。

表 4.2.4 三相绕组始、末端标志

相 序	始 端	末 端
A	$U_1$	$U_2$
B	$V_1$	$V_2$
C	$W_1$	$W_2$

若 A 相始端  $U_1$  定在槽号 3 处, 则 B 相始端  $V_1$  应在距 A 相  $120^\circ$  电角度、槽号 11 处, C 相始端  $W_1$  应在距 B 相  $120^\circ$  电角度、槽号 19 处, A、B、C 三相的末端  $U_2$ 、 $V_2$ 、

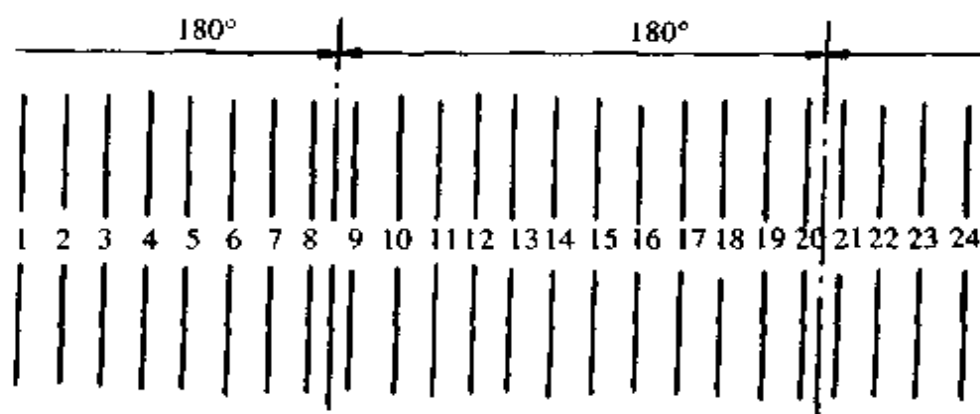
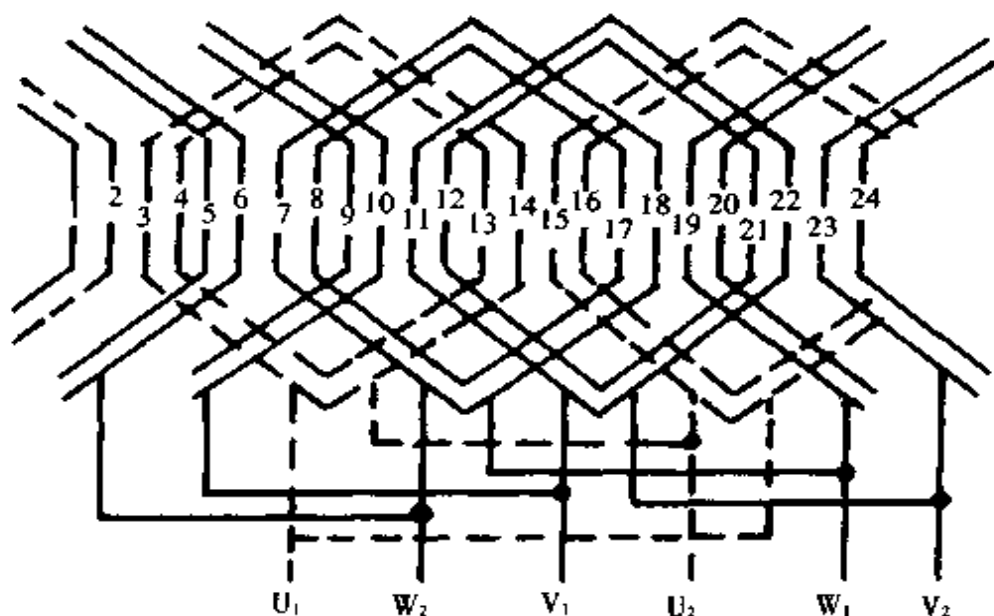


图 4.2.8 各槽相属

图 4.2.9 24槽2极节距1~12、2~11,  $q=4, a=2$  单层绕组展开图

$W_2$ , 分别在槽号15、23、7处。图4.2.9上分别标出了三相绕组的始端和末端。

(7) 利用三相对称电流的原理检查三相绕组极性。由于三相对称电流的相位互差  $120^\circ$ , 因此除电流为零值外的任何瞬间, 三相电流总是两相为正值、一相为负值, 或两相为负值、一相为正值。若规定正值时电流是从绕组的始端流进而从绕组的末端流出; 负值时, 则电流方向相反。按此规定在图4.2.9上画上电流箭头, 电流同一方向的为一个极。由电流箭头方向表明图4.2.9为2极电机。

### 3.2 损坏绕组的拆除

电动机绕组损坏后, 需将原绕组拆除, 重新嵌入新的绕组。绕组拆除前须记录下绕组的内部接线方式、节距、每槽线数、线规等, 在绕组拆除后须清理定子铁心, 清除槽内残留物。

中小型电机定子槽形大部分采用半闭口槽,故拆除比较困难。以下介绍几种拆除方法。

### 3.2.1 通电加热法

通过调压器,使通入定子绕组的电流为额定电流的2倍左右。当绕组的绝缘软化、绕组端部冒烟时,即切断电源,先拆除槽楔,打开各绕组接头,然后分组、分相逐个加热并拆除线圈。

### 3.2.2 明火加热法

用明火将绕组绝缘烧尽,然后割断一端导线,用钳子夹住另一端导线将其抽出,用明火加热。注意不要损坏硅钢片的磁性能,防止铁心变形,严禁火烧后即放入水中冷却。

### 3.2.3 烘箱加热法

将带绕组定子铁心放入烘箱中加热,烘箱温度控制在 $200^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。待绕组的绝缘全部软化后,将绕组从烘箱中取出,拆除线圈。

## 3.3 绕组制作及绝缘处理

### 3.3.1 绕组制作

3.3.1.1 绕组尺寸 绕组的尺寸直接影响嵌线工艺及电动机的性能,因此绕线模的尺寸要做得比较精确。小容量电机的绕线模是根据旧线圈的一匝长折合成圆周长制作。还有一种可调节的绕线模(如图4.2.10),只需调节绕线模六个圆柱体位置,就可得到不同尺寸的线圈。

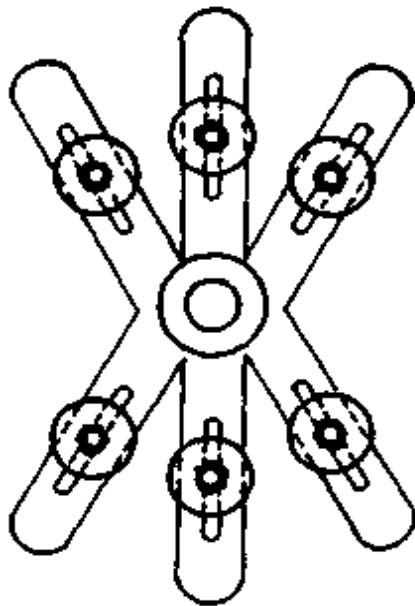


图 4.2.10 可调节绕线模

如果没有废旧线圈,则需根据绕组的类别,通过计算,制作尺寸较精确的绕线模。

(1)单层同心式绕组绕线模尺寸计算(图 4.2.11、图 4.2.12)

$$\text{宽度 } A_1 = \frac{D + 2(h_1 + h_2 + h_3 + \frac{R}{3})}{Z_1} \times Y_1$$

$$A_2 = \frac{D + 2(h_1 + h_2 + h_3 + \frac{R}{3})}{Z_1} \times Y_2$$

$$\text{直线 } B = L_0 + L_1$$

$$R_1 = \frac{A_1}{2}$$

$$R_2 = \frac{A_2}{2}$$

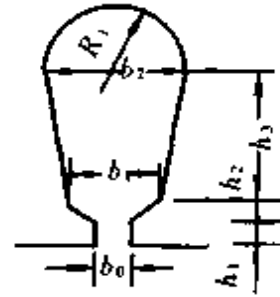


图 4.2.11 定子槽形

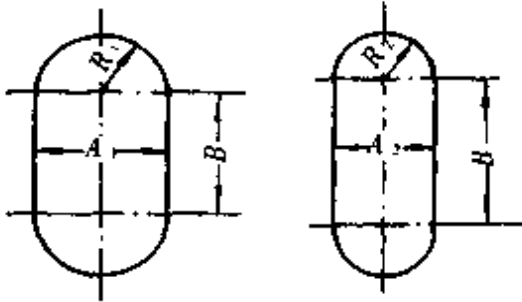


图 4.2.12 同心式绕组绕线模

式中  $D$ ——定子铁心内径;

$Z_1$ ——定子槽数;

$Y_1, Y_2$ ——线圈节距;

$L_0$ ——定子铁心长度;

$L_1$ ——放长系数;

0.55~15kW 为 25~30mm

18.5~55kW 为 30~35mm

55kW 以上 为 35~40mm

(2)单层链式绕组绕线模尺寸计算(图 4.2.13)

$$\text{宽度 } A = \frac{\pi(D + 2h_1)}{Z_1} \times Y + K$$

$$\text{直线 } B = L_0 + L_1$$

$$R_1 = \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_1}{2}\right)^2}$$

式中  $K$ ——修正系数,为 1~3mm;

$L_1$ ——同上选取。

(3)单层交叉式绕组绕线模尺寸计算(图 4.2.14)。

$$\text{宽度 } A_1 = \frac{\pi[D + 2(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2})]}{Z_1} \times Y_1 - b_1$$

$$A_2 = \frac{\pi[D + 2(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2})]}{Z_1} \times Y_2 - b_1$$

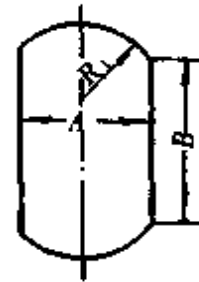


图 4.2.13  
链式绕组绕  
线模

直线  $B = L_0 + L_1$  ( $L_1$  同上选取)

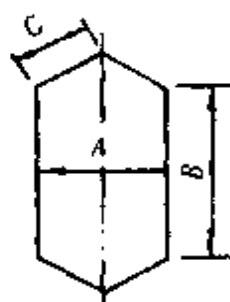
$$R_1 = \frac{A_1}{2} + (5 \sim 10) \text{mm}$$

$$R_2 = \frac{A_2}{2} + (5 \sim 10) \text{mm}$$

(4) 双层叠绕式绕线模尺寸计算 (图 4.2.15)

$$\text{宽度 } A = \frac{\pi [D + 2(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2})]}{Z_1} \times Y$$

$-b_1$



直线  $B = L_0 + L_1$  ( $L_1$  同上选取)

$$C = \frac{A}{M}$$

式中  $M$ ——端部系数:

2极取 1.3~1.5

4极取 1.55~1.6

6、8、10极取 1.6~1.7

图 4.2.15 双层叠绕式绕线模

功率大者可取小值,但应注意绕组端部与端盖之间的距离。

### 3.3.1.2 嵌线

(1) 将清理好的铁心垫好槽绝缘(按表 4.2.5 选取)。

(2) 根据电动机的绕组结构参数,把绕制好的线圈嵌入槽内。要求线圈的每根导线放在槽绝缘中间,千万不要误放在槽绝缘与槽壁之间。要求导线排列整齐,线圈两端伸出铁心均匀。

(3) 双层绕组要放置层绝缘(按表 4.2.5 选取),其宽度为槽形中间宽度的 1.5~1.8倍。放置层间绝缘要求严格把上下层线圈隔开,防止槽内相间击穿。

(4) 相邻两相线圈垫上相间绝缘(按表 4.2.5 选取)。相间绝缘尺寸应能严格将相邻两相线圈隔开,防止端部相间击穿。

(5) 在面线上放好盖槽绝缘或折叠好冒口的槽绝缘(按表 4.2.5 选取)。

(6) 打入槽楔(按表 4.2.5 选取)。

注意:嵌线时不允许用铁锤敲打绕组或用铁棒将导线划入槽内,以免损坏导线漆膜及绝缘纸。

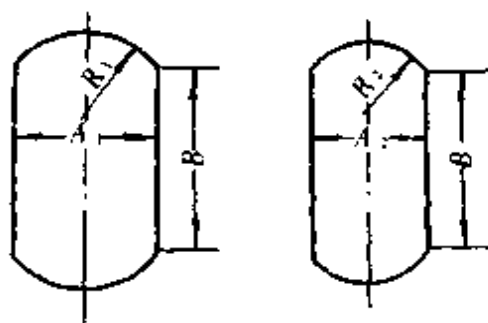


图 4.2.14 交叉式绕组绕线模

表 4.2.5 常用绝缘材料

绝缘部位 名称	耐 热 等 级				绝缘材料伸 出铁心各端 长度(mm)	适用功率 (kW)	
	B 级		F 级				
	绝缘材料名称	绝缘材料厚度	绝缘材料名称	绝缘材料厚度			
槽绝缘	DMDM	0.25	NMN	0.25	槽绝缘 6~7 层间绝缘 20	0.55~4	
	DMD+M	0.25(0.2+0.05)					
相间绝缘	DMDM	0.3	SMS	0.3	槽绝缘 7~10 层间绝缘 20	5.5~18.5	
	DMD+M	0.3(0.25+0.05)					
层间绝缘	DMDM	0.35	OMO	0.35	槽绝缘 12~15 层间绝缘 25	22~90	
	DMD+M	0.35(0.30+0.05)					
盖槽绝缘	DMDM	0.5	OMO	0.5	槽绝缘 20 层间绝缘 30	110~160	
	DMD+DMD	0.5(0.20+0.30)					
槽楔	3240 环氧酚 醛层压玻璃 布板	2	3240 环氧酚 醛层压玻璃 布板	2	2.5~6.5 10	0.55~90 110~160	
		3		3			
接头处绝缘	2730 醇酸玻璃漆管或布带		2750 有机硅玻璃漆管或布带			0.55~160	
端部 绑扎带	定子	无碱玻璃纤维带					0.55~160
	转子	聚酯带		环氧带			

注: D——聚酯纤维纸; M——涤纶; N——芳香族聚酰胺; S——聚酰胺; O——噁二唑。

### 3.3.1.3 接线

(1) 联接极相组绕组。嵌完线后要进行端部接线, 即把每相的极相组串联成一路或并联成多路(参照表 4.2.6)。

(2) 接上引接线。每相绕组的始端、末端各接上一根引接线。引接线规格根据额定电流大小选用, 一般引接线的电流密度为  $6\sim 8\text{A}/\text{mm}^2$ 。

(3) 绑扎。接线后需作端部绑扎(按表 4.2.5 选用)。在绑扎时引接线应尽量置于机座出线处, 这样有利于穿线和缩短引接线长度。

表 4.2.6 每相绕组可能的并联支路数

定子 槽数	2 极		4 极		6 极		8 极	
	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组
12	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2, 4				
18	1				1, 2	1, 2, 3, 6		
24	1, 2		1, 2, 4	1, 2, 4			1, 2, 4	1, 2, 4, 8
27		1		1		1, 3		1

续表

定子槽数	2 极		4 极		6 极		8 极	
	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组	单层绕组	双层绕组
29	1	1,2		1,2				1,2
36	1,2		1,2	1,2,4	1,2,3,6	1,2,3,6		1,2,4
42	1		1	1,2				
48	1,2		1,2,4	1,2,4			1,2,4,8	1,2,4,8
54	1		1	1,2	1,3	1,2,3,6		1,2
60	1,2		1,2	1,2,4				1,2,4
66	1		1	1,2				1,2
72	1,2		1,2,4	1,2,4	1,2,3,6	1,2,3,6	1,2,4	1,2,4,8
78	1		1	1,2				1,2
84	1,2		1,2	1,2,4				1,2,4
90	1		1	1,2	1,3	1,2,3,6		1,2
96	1,2		1,2,4	1,2,4			1,2,4,8	1,2,4,8
108	1,2		1,2	1,2,4	1,2,3,6	1,2,3,6		1,2,4

3.3.1.4 检查与试验 三相绕组制作完成后,须对绕组的制作质量进行检查与试验。

(1)用电桥测量三相直流电阻。任一相电阻值不得超过三相电阻平均值的 $\pm 5\%$ 。

(2)用 1000V 兆欧表测量冷态绝缘电阻。在各种室温下冷态绝缘电阻的合格值如表 4.2.7 所示。

表 4.2.7 绝缘电阻合格值

$t(^{\circ}\text{C})$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
$R(\text{M}\Omega)$	69	47	34	24	17	12	8.6	6	4.3

(3)作相对地、相对相耐压试验。试验电压为  $1.25(2 \times \text{额定电压} + 1000)\text{V}$ ,历时 10s 而不击穿。

(4)作三相电流平衡试验。即将三相绕组并联通入单相交流电,调节电压使之接近于额定电流。任一相电流不得超过三相平均值的 $\pm 10\%$ 。

(5)作极性检查。将某相绕组通入低压直流电,电压调节在 50~100V 范围内,用指南针沿铁心槽逐槽检查。指南针交替变化的次数与所需极数相同,表示极性正确。

(6)作相序检查。使带绕组定子铁心引接线端向上,各相对应地接入三相电



源,电源电压调节在 50~100V 范围内。把一个直径小于 10mm 的钢球沿定子内径顺时针方向给一个力,钢球沿定子内径顺时针方向旋转表示相序正确;若逆时针方向旋转,则表示相序不正确。这时把任意两相与电源的接线对调即可。若钢球不能旋转,则表示接线有错误或有断路故障。

### 3.3.2 绝缘处理

对电机绕组进行绝缘处理的目的在于提高绕组的绝缘强度、耐热性、耐潮性及导热能力,同时也增加了绕组的机械强度和耐腐蚀能力。

目前,国内大多数电机产品包括 Y 系列电机,均采用 B 级绝缘结构,普遍使用 1032 有溶剂绝缘漆,绝缘处理采用二次浸烘工艺。一般采用沉浸法,其浸渍、干燥规范见表 4.2.8。

1032 漆进行两次沉浸。浸渍漆粘度首次采用(22~26)<sub>s</sub>(20℃时涂料 4 号粘度计),第二次采用(30~38)<sub>s</sub>。1032 绝缘漆的缺点是工时长、能耗大、污染严重。随着国民经济的发展和出口需要,目前已开发出许多新一代 F 级绝缘漆,可适应普通沉浸、滴浸、连续沉浸、滚浸等绝缘处理工艺并具有快干性能。319-5F 级无溶剂、快干固化绝缘树脂漆的普通沉浸、干燥工艺规范见表 4.2.9。

表 4.2.8 1032 漆沉浸的浸渍、干燥规范

工序名称	处理温度(℃)	时 间(h)	绝缘电阻稳定值(MΩ)
工件预烘	120±5	5~7(H80~160) 9~11(H180~280)	>50 >15
第一次浸漆	60~80	>15min	>10 >2
滴 漆	室 温	>30min	
烘 干	130±5	6~8(H80~160) 14~16(H180~280)	
第二次浸漆	60~80	10~15min	>1.5 >1.5
滴 漆	室 温	>30min	
烘 干	130±5	8~10(H80~160) 16~18(H180~280)	

注: H 为电机中心高(mm),下同。

表 4.2.9 319-5 漆沉浸的浸渍、干燥规范

工序名称	处理温度(℃)	时 间(h)	绝缘电阻稳定值(MΩ)
工件预烘	120±5	1~2(H80~160)	>50
		2~3(H180~280)	>15
一次浸漆	60~80	>15min	
滴 漆	室温	>30min	
烘 干	155±5	2~3(H80~160)	>10
		3~4(H180~280)	>5

该漆浸渍粘度采用 30s(20℃时涂料 4 号粘度计)。(注意:在绕组进行绝缘处理时,引出线不要浸到绝缘漆。绕组浸漆必须烘干,使绕组表面形成坚固的膜。在烘焙时每隔 1/2h 要测量一次绝缘电阻,绝缘电阻开始时下降,后来逐渐升高,直至测得三点稳定后认为烘干结束。)

## 4 旧壳重制计算

要对丢失铭牌又缺乏技术数据的损坏电机进行修理,需先对定子绕组重新进行计算,确定定子绕组的匝数和线规等。利用定子铁心的基本尺寸和经验公式估算绕组数据和电动机的输出功率,其步骤如下。

### 4.1 精确测量定子铁心各部分尺寸

精确测量定子铁心各部分尺寸,包括测量:

- (1)定子外径  $D_1$ ,内径  $D$ ,铁心长度  $L$ (cm)。
- (2)定子槽数  $Z_1$ ,齿宽  $b_1$ 、 $b_2$ (cm)。
- (3)定子槽形各部分尺寸按图 4.2.16。

### 4.2 计算

$$\text{定子齿距 (cm): } t_s = \pi D / Z_1; t_{s1} = \pi [D + 2(h_{s0} + h_{s1})] / Z_1; t_{s2} = \frac{\pi [D + 2(h_s - R)]}{Z_1}$$

定子轭高  $h_{s1}$ (cm):

$$\text{圆底槽 } h_{s1} = \frac{D_1 - D}{2} - h_s + \frac{R}{3}$$

$$\text{平底槽 } h_{s1} = \frac{D_1 - D}{2} - h_s$$

### 4.3 估计电动机的极数 $p$

按经验公式： $p = (0.35 \sim 0.4) Z_1 b_{11} / h_{c1}$ ，取近似偶数；

根据定子外径与内径的比值查表 4.2.10。

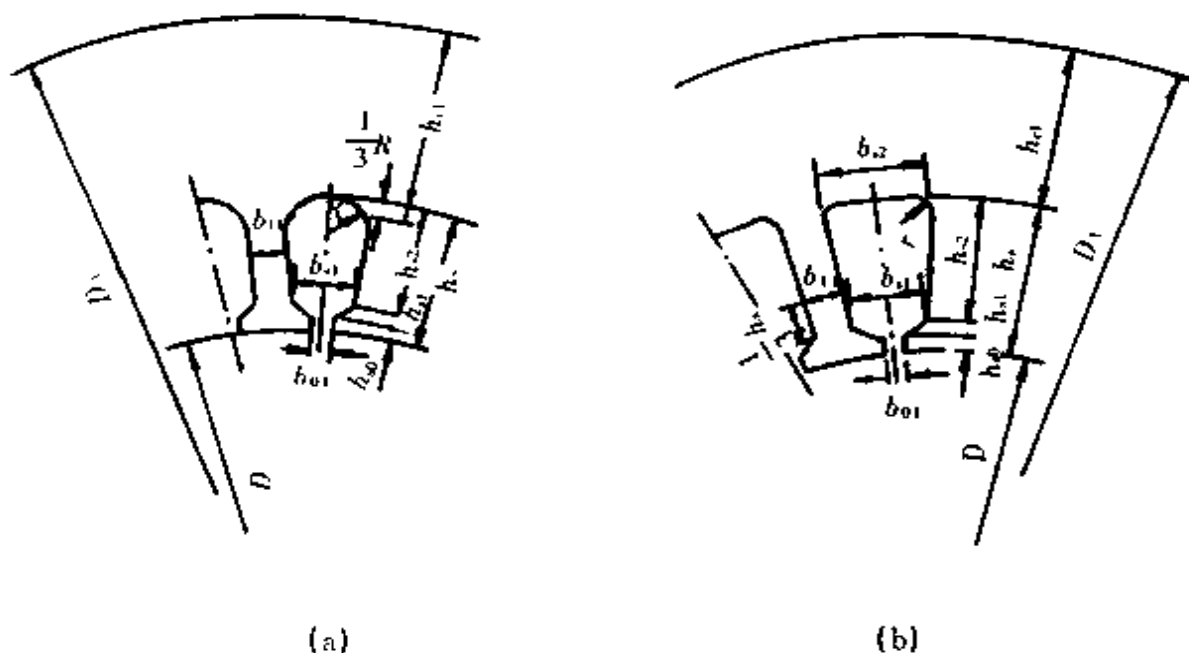


图 4.2.16 定子铁心槽形尺寸

(a)半闭口槽(圆槽底), (b)半闭口槽(平槽底)

表 4.2.10 不同极数的定子外径与内径比值

极数	2	4	6	8,10
定子外径/定子内径	1.73~1.81	1.46~1.6	1.37~1.51	1.37~1.44

### 4.4 选取气隙磁密 $B_g$ (T)

在极数确定后,参照表 4.2.11 选取气隙磁密。表中所列值是原设计气隙下的气隙磁密,在修理中如增大了气隙,气隙磁密应取比表中适当降低之值。

表 4.2.11 气隙磁通密度  $B_g$  (T)

防护等级	极数			
	2	4	6	8,10
IP44	0.55~0.665	0.56~0.72	0.625~0.76	0.69~0.79
IP23	0.55~0.7	0.65~0.75	0.65~0.78	0.7~0.8

## 4.5 验算定子齿部磁通密度 $B_{11}$ (T)

$$B'_{11} = \frac{B_g t_{11}}{K_c b_{11}}; B'_{12} = \frac{B_g t_{12}}{K_c b_{12}};$$

若  $B'_{11} > B'_{12}$ , 则齿部磁通密度  $B_{11} = 2B'_{11} + B'_{12} / 3$

式中  $K_c$ ——铁心选压系数。涂漆硅钢片取 0.92, 不涂漆硅钢片取 0.95。验算得到的数值应在表 4.2.12 所示范围内。如计算数值过大, 则应减小气隙磁通密度; 计算数值过小, 则应增大气隙磁通密度, 直至合适为止。

表 4.2.12 齿部磁通密度  $B_{11}$  (T)

防护等级	极 数			
	2	4	6	8, 10
IP44	1.46~1.64	1.43~1.55	1.39~1.53	1.4~1.59
IP23	1.53~1.65	1.5~1.6	1.45~1.6	1.45~1.62

## 4.6 确定每相串联导体数 $N$

$$N = \frac{0.21 p K_E U_\varphi \times 10^4}{f_1 K_{wb} \cdot D \cdot L_0 B_g}$$

式中  $U_\varphi$ ——相电压(V);

$p$ ——极数;

$K_E$ ——压降系数, 按表 4.2.13 选取;

$K_{wb}$ ——绕组系数, 按表 4.2.14、表 4.2.15、表 4.2.16 选取;

$f_1$ ——电源频率(Hz)。

在电源电压为 380V, 频率为 50Hz, 电动机采用 Y、 $\Delta$  接时, 2、4、6、8 极的每相串联导体数按表 4.2.17 估计。

表 4.2.13 压降系数  $K_E$

功率范围 (kW)	极 数			
	2	4	6	8
18.5	0.89~0.93	0.87~0.92	0.87~0.91	0.88~0.90
18.5(4极)~30	0.94~0.96	0.93~0.95	0.92~0.93	0.91~0.93
37~160	0.95~0.98	0.95~0.96	0.94~0.95	0.93~0.94

表 4.2.14 单层绕组绕组系数  $K_{dp}$ 

每极每相槽数	2	3	4	5	6
$K_{dp}$	0.966	0.96	0.958	0.957	0.956

表 4.2.15 双层绕组绕组系数

每极每相槽数	节 距	绕组系数
2	1~6	0.934
3	1~7	0.831
	1~8	0.902
	1~9	0.945
	1~10	0.96
	1~9	0.83
4	1~10	0.885
	1~11	0.925
	1~12	0.95
	1~11	0.829
5	1~12	0.874
	1~13	0.91
	1~14	0.936
	1~14	0.866
6	1~15	0.898
	1~16	0.923
	1~17	0.941

表 4.2.16 分数槽绕组绕组系数

每极每相槽数	节 距	绕组系数
$3\frac{1}{2}$	1~11	0.937
	1~10	0.903
$3\frac{2}{3}$	1~11	0.934
	1~10	0.902
$4\frac{1}{2}$	1~12	0.94
	1~11	0.911
$4\frac{1}{3}$	1~12	0.935
	1~11	0.905

续表

每极每相槽数	节 距	绕组系数
$4\frac{1}{4}$	1~12	0.933
	1~11	0.901
$4\frac{1}{2}$	1~13	0.94
	1~12	0.916
	1~11	0.977
$4\frac{3}{4}$	1~13	0.926
	1~12	0.894
$4\frac{1}{2}$	1~14	0.943
	1~13	0.922
$4\frac{3}{8}$	1~14	0.94
	1~13	0.916
$5\frac{1}{2}$	1~15	0.902
	1~14	0.928
$2\frac{3}{4}$	1~9	0.948
	1~8	0.913
$3\frac{1}{3}$	1~10	0.95
	1~9	0.922
$3\frac{1}{4}$	1~10	0.948
	1~9	0.916
	1~8	0.862
$3\frac{3}{4}$	1~10	0.937
	1~9	0.902
$3\frac{3}{2}$	1~11	0.945
	1~10	0.923
	1~9	0.877
$3\frac{1}{2}$	1~11	0.953
	1~10	0.93
	1~9	0.884
	1~8	0.881
$3\frac{3}{4}$	1~11	0.94
	1~10	0.907

续表

每极每相槽数	节 距	绕组系数
1 $\frac{1}{2}$	1-5	0.94
1 $\frac{1}{2}$	1-6	0.948
1 $\frac{3}{4}$	1-6	0.94
2 $\frac{1}{6}$	1-7	0.953
	1-6	0.912
2 $\frac{1}{4}$	1-7	0.95
	1-6	0.90
2 $\frac{1}{2}$	1-7	0.95
	1-6	0.90
2 $\frac{1}{2}$	1-7	0.945
	1-6	0.887
2 $\frac{1}{2}$	1-8	0.95
	1-7	0.907
	1-6	0.827
2 $\frac{3}{4}$	1-8	0.944
	1-7	0.90
2 $\frac{3}{4}$	1-9	0.953
	1-8	0.922
	1-7	0.862

表 4.2.17 电源 380V、50Hz 时每相串联导体数  $N$  估算值

极 数	Y 接 法	$\Delta$ 接 法
2	$N = 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$	$N = \sqrt{3} \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$
4	$N = 2 \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$	$N = 2 \times \sqrt{3} \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$
6	$N = 3 \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$	$N = 3 \times \sqrt{3} \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$
8	$N = 4 \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$	$N = 4 \times \sqrt{3} \times 1.85 \times 10^4 \frac{K_E}{K_{\phi} \cdot D \cdot L_o \cdot B_g}$

## 4.7 确定每槽导体数 $n$ 根

$$n = m \cdot Na / Z_1$$

式中  $m$ ——相数, 等于 3;

$a$ ——并联支路数, 按表 4.2.6 选取。

## 4.8 确定导体直径 $d$ (mm)

### 4.8.1 带绝缘导体直径 $d'$ (mm)

$$d' = \sqrt{F_K AW_s / n}$$

式中  $F_K$ ——槽满率, 一般控制在 0.70~0.75;

$AW_s$ ——槽有效面积, 按下式计算:

$$\text{圆底槽 } AW_s = b_{s1} + 2R/2 \times (h_{s2} - 2R) + b_{s1} + b_{s1}/2 \times h_{s1} + \pi R^2/2 - S_1$$

$$\text{平底槽 } AW_s = b_{s1} + b_{s2}/2 \times h_{s2} + b_{s1} + b_{s1}/2 \times h_{s1} - S_1$$

$S_1$  为槽绝缘占的面积, 按下式计算:

单层绕组

$$\text{圆底槽 } S_1 = c(2h_{s2} + \pi R) + b_{s1} + b_{s1}/2 \times H (\text{mm}^2)$$

$$\text{平底槽 } S_1 = c(2h_{s2}) + b_{s1} + b_{s1}/2 \times H (\text{mm}^2)$$

双层绕组

$$\text{圆底槽 } S_1 = c(2h_{s2} + \pi R + 2R) + b_{s1} + b_{s1}/2 \times H (\text{mm}^2)$$

$$\text{平底槽 } S_1 = c(2h_{s2} + 2b_{s2}) + b_{s1} + b_{s1}/2 \times H (\text{mm}^2)$$

式中  $c$ ——槽绝缘厚度, 按表 4.2.5 选取;

$H$ ——槽楔厚度, 按表 4.2.5 选取。

### 4.8.2 导体直径 $d$ (mm)

由  $d'$  查表 4.2.18 即可得到所需导体的直径  $d$ 。若查得的导体直径大于 1.5mm, 则采用多根导线并绕以保持导体的总截面面积不变, 并绕的导体直径应尽可能相同或接近。

## 4.9 电动机相电流估算 $I_\varphi$ (A)

$$I_\varphi = \Delta_1 \cdot S \cdot a$$

式中  $\Delta_1$ ——定子导体的电流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ ), 参照表 4.2.19 选取;

$S$ ——导体截面积 ( $\text{mm}^2$ ),  $S = \pi d^2 / 4 \times n'$  ( $\text{mm}^2$ ),  $n'$  为并绕根数;

$a$ ——并联支路数。



表 4.2.18 聚酯漆包圆铜线尺寸及性能

导线标称 直径 (mm)	最小漆膜 厚度 (mm)	最大外径 (mm)	偏 差 (±mm)	最小伸 长 率 (%)	铜导体电阻		最小击穿电压 (有效值) (V)
					最小值 (Ω/m)	最大值 (Ω/m)	
0.50	0.045	0.569	0.005	25	0.08462	0.08959	4000
0.53	0.046	0.601	0.005	26	0.07539	0.07965	4000
0.56	0.047	0.632	0.006	26	0.06736	0.07153	4000
0.60	0.049	0.679	0.006	27	0.05876	0.06222	4000
0.63	0.050	0.706	0.006	27	0.05335	0.05638	4000
0.67	0.051	0.748	0.006	28	0.04722	0.04979	4000
0.71	0.053	0.790	0.007	28	0.04198	0.04442	4400
0.75	0.054	0.832	0.008	28	0.03756	0.03987	4400
0.80	0.056	0.885	0.008	28	0.03305	0.03500	4400
0.85	0.058	0.937	0.009	28	0.02925	0.03104	4700
0.90	0.060	0.990	0.009	29	0.02612	0.02765	4700
0.95	0.061	1.041	0.010	29	0.02342	0.02484	4900
1.00	0.063	1.093	0.010	30	0.02116	0.02240	4900
1.06	0.064	1.155	0.011	30	0.01881	0.01995	4900
1.12	0.065	1.217	0.011	30	0.01687	0.01785	5100
1.18	0.066	1.279	0.012	31	0.01519	0.01609	5100
1.25	0.067	1.351	0.013	31	0.01353	0.01435	5100
1.32②	0.068	1.423	0.013	32	0.01214	0.01285	5300
1.40	0.069	1.506	0.014	32	0.01079	0.01143	5300
1.50	0.070	1.608	0.015	32	0.009402	0.009955	5300
1.60	0.071	1.711	0.016	32	0.008237	0.008749	5500
1.70	0.072	1.813	0.017	32	0.007320	0.007750	5500

注:偏差是在导体每个截面上测量的最大读数和最小读数之最大差值。

表 4.2.19 电流密度  $\Delta_1$  取值范围

功率 (kW) \ 极数 (p)	电流密度 $\Delta_1$ (A/mm <sup>2</sup> )			
	2	4	6	8
0.55~4	6.7~4.2	7.1~5.6	6.9~5.8	
2.2~15				5.8~4.6
5.5~22	5~3.6	5~4.6	5.7~4.8	
18.5~45				4.5~3.7
30~90	4~3.2	4.4~3.5	4.2~3.8	

注:1. 功率大者取小值。

2. 表中所列数值仅指电动机防护等级为 IP44。如果电机防护等级为 IP23, 相应规格、极数的电流密度应提高 5%~8%。

## 4.10 验算线负荷 $A$ (A/cm)

$$A = \frac{I_{\varphi} \cdot n \cdot Z_1}{\pi D_a}$$

计算得到的  $A$  值应在表 4.2.20 的范围内,如过大,应适当降低电流密度,重新计算  $I_{\varphi}$  和验证  $A$  值,直至其适当为止。

## 4.11 计算电动机的输出功率 $P_2$ (kW)

$$P_2 = 3U_{\varphi}I_{\varphi}\cos\varphi \cdot \eta \times 10^{-3}$$

式中  $U_{\varphi}$ ——电动机额定相电压(V);

$I_{\varphi}$ ——电动机额定相电流(A);

$\eta, \cos\varphi$ ——电动机效率、功率因数,参照表 4.2.21、表 4.2.22 相应规格选取

## 4.12 定子绕组参数

### 4.12.1 绕组类别

根据电动机输出功率可估计电机绕组类别。一般容量在 18.5kW、 $2p$  及以下的电动机,大多采用单层绕组。其中  $2p$  大多采用同心式或交叉式, $4p$  大多采用交叉式或链式, $6,8p$  大多采用链式。容量 18.5kW、 $4p$  及以上的电动机大多采用双层绕组。

### 4.12.2 绕组节距 $Y$

$$Y = \beta \frac{Z_1}{2p} \text{ (取接近的整数)}$$

式中  $\beta$ ——短距比。对单层绕组  $\beta$  取 0.8~0.9,对双层绕组  $\beta$  取 0.75~0.85。

### 4.12.3 绕组匝数

$$\text{单层绕组每线圈匝数 } \delta = n = \frac{mN_a}{Z_1}$$

$$\text{双层绕组每线圈匝数 } \delta = \frac{n}{2} = \frac{mN_a}{2Z_1}$$

表 4.2.20 线负荷  $A$  取值范围

功率(kW)	0.55~4	5.5~22	30~90
线负荷 $A$ (A/cm)	160~242	220~290	287~315

表 4.2.21 Y 系列(IP23)电动机效率、功率因数限值

功率 (kW)	同 步 转 速 (r/min)							
	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750
	效 率 $\eta(\%)$				功率因数 $\cos\varphi$			
5.5	—	—	—	83.5	—	—	—	0.73
7.5	—	—	85	85	—	—	0.79	0.73
11	—	87.5	86.5	86.5	—	0.85	0.78	0.74
15	88	88	88	87.5	0.88	0.86	0.81	0.76
18.5	89	89	88.5	88.5	0.89	0.86	0.83	0.78
22	89.5	89.5	89	89	0.89	0.86	0.85	0.78
30	89.5	90.5	89.5	89.5	0.89	0.87	0.85	0.81
37	90.5	90.5	90.5	90	0.89	0.87	0.87	0.80
45	91	91.5	91	90.5	0.89	0.87	0.86	0.80
55	91.5	91.5	91	91	0.89	0.88	0.87	0.80
75	91.5	92	91.5	91.5	0.89	0.88	0.87	0.81
90	92	92.5	92	—	0.89	0.88	0.88	—
110	92.5	92.5	—	—	0.90	0.88	—	—
132	92.5	93	—	—	0.90	0.88	—	—

注:效率用实测杂散损耗的损耗分析法确定。

表 4.2.22 Y 系列(IP44)电动机效率、功率因数限值

功率 (kW)	同 步 转 速 (r/min)									
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600
	效 率 $\eta(\%)$					功率因数 $\cos\varphi$				
0.55	—	73.0	—	—	—	—	0.76	—	—	—
0.75	75.0	74.5	72.5	—	—	0.84	0.76	0.70	—	—
1.1	77.0	78.0	73.5	—	—	0.86	0.78	0.72	—	—
1.5	78.0	79.0	77.5	—	—	0.85	0.79	0.71	—	—
2.2	82.0	81.0	80.5	81.0	—	0.86	0.82	0.74	0.71	—
3	82.0	82.5	83.0	82.0	—	0.87	0.81	0.76	0.72	—
4	85.5	84.5	84.0	84.0	—	0.87	0.82	0.77	0.73	—

续表

功率 (kW)	同步转速 (r/min)									
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600
	效率 $\eta$ (%)					功率因数 $\cos\varphi$				
5.5	85.5	85.5	85.3	85.0	—	0.88	0.84	0.78	0.74	—
7.5	86.2	87.0	86.0	86.0	—	0.88	0.85	0.78	0.75	—
11	87.2	88.0	87.0	86.5	—	0.88	0.84	0.78	0.77	—
15	88.2	88.5	89.5	88.0	—	0.88	0.85	0.81	0.76	—
18.5	89.0	91.0	89.8	89.5	—	0.89	0.86	0.83	0.76	—
22	89.0	91.5	90.2	90.0	—	0.89	0.86	0.83	0.78	—
30	90.0	92.2	90.2	90.5	—	0.89	0.87	0.85	0.80	—
37	90.5	91.8	90.8	91.0	—	0.89	0.87	0.86	0.79	—
45	91.5	92.3	92.0	91.7	91.5	0.89	0.88	0.87	0.80	0.74
55	91.5	92.6	92.0	92.0	92.0	0.89	0.88	0.87	0.80	0.74
75	91.5	92.7	92.8	92.5	92.5	0.89	0.88	0.87	0.81	0.75
90	92.0	93.5	93.2	93.0	—	0.89	0.89	0.87	0.82	—
110	92.5	93.5	93.5	93.3	—	0.89	0.89	0.87	0.82	—
132	93.0	94.0	93.8	—	—	0.89	0.89	0.87	—	—
160	93.5	94.5	—	—	—	0.89	0.89	—	—	—

注:效率用实测杂散损耗的损耗分析法确定。

## 5 三相异步电动机的改制

### 5.1 改变极数

三相异步电动机在频率一定时,通过改变电动机的极数,可以达到改变电动机转速的目的。改变极数一般用于鼠笼型异步电动机,若要改变绕线型异步电动机的极数就较麻烦,因为必须同时改变转子绕组的极数。

#### 5.1.1 改变电动机极数时的注意事项

(1)改极后的定、转子槽配合必须要满足下列关系:

$$Z_1 - Z_2 \neq \pm p; \neq 1 \pm p; \neq \pm 2 \pm p。$$

否则,电动机会发生强烈振动和噪声,甚至不会转动。可参照表 4.2.23 推荐槽配合。

(2)电动机的容量与转速近似成正比关系,因此必须注意到改极后的容量能否满足使用要求。

(3)改制前后的极数不宜相差太大。如将6极改为2极会造成改制后的定子轭部磁密大大增加;又如将4极改为10极会造成改制后电机容量大大降低等。

表 4.2.23 推荐槽配合

极数	定子槽数 $Z_1$	转子槽数 $Z_2$
2	30	22
	36	28
	42	34
	48	40
4	24	22
	36	26
	48	38
	60	38, 47, 50
6	36	26, 33
	54	44, 58, 64
	72	56, 58, 86
8	48	44
	54	50, 58, 64
	72	58, 86
10	60	64
	90	72, 106, 114

(4)在将多极数改变为少极数时,电动机应验算定子轭部磁密。验算公式为

$$B_{cl} = 2.25 \times 10^3 \frac{K_F U_\varphi}{f_1 K_{dp} N L_a K_c h_c} \text{ (T)}$$

式中  $f_1$ ——电源频率(Hz);

$h_c$ ——定子轭高(cm);

$U_\varphi$ ——相电压(V);

$L_a$ ——定子铁心长度(cm)。

绕组系数  $K_{dp}$ 、选压系数  $K_c$ 、压降系数  $K_F$  分别按本章三相异步电动机旧壳重制计算有关推荐数据选取。

(5)在将少极数改变为多极数时,电动机应验算定子齿部磁密。验算公式为

$$B_{cl} = 1.32 \times 10^4 \frac{\rho K_f U_f}{K_{dp} \cdot K_c N L_o Z_1 b_{cl} f_1} \text{ (T)}$$

式中  $\rho$ ——极数;  
 $b_{cl}$ ——定子齿宽(cm);  
 $Z_1$ ——定子槽数。

上述两种验算结果不得分别超过表 4.2.24、表 4.2.12 的数值,否则要重新计算,直至符合为止。

表 4.2.24 轭磁通密度  $B_{cl}$

极 数	2	4	6	8
$B_{cl}$ (T)	1.27~1.54	1.18~1.43	1.17~1.53	0.99~1.28

### 5.1.2 极数改变后的参数计算

5.1.2.1 原 2 极改为 4 极电机 要将原 2 极改为 4 极电机,则原 2 极的定子轭部对 4 极而言显得太厚,从而不能够得到充分利用。并且 2 极的定子内径较小,不适合 4 极电机的要求,这是 2 极电机改为 4 极电机时存在的主要矛盾。

(1)每相串联导体数  $N_4$ :由于 2 极极距  $\tau_{p2}$  等于 2 倍的 4 极极距,即  $\tau_{p2} = 2\tau_{p4}$ ,如维持 2、4 极气隙磁密相等( $B_{g2} = B_{g4}$ ),则 4 极每相磁通为 2 极每相磁通的 0.5 倍,即  $\Phi_4 = 0.5\Phi_2$ ;4 极每相串联导体数为 2 极的 2 倍,即  $N_4 = 2N_2$ 。改极后为充分利用定子轭部,将 4 极每相串联导体数减少 10%~15%, $N_4 = (1.8 \sim 1.7)N_2$ 。这样 4 极定子轭部和齿部磁密都相应增加了 10%~15%,那么 4 极轭部磁密  $B_{cl4} = (0.55 \sim 0.575)B_{cl2}$ ;齿部磁密  $B_{cl4} = (1.1 \sim 1.15)B_{cl2}$ 。这就是说定子齿部磁密 4 极比原 2 极增加了 10%~15%,故需对此验算。如齿磁密超过表 4.2.12 内范围值,则要适当增加每相串联导体数,并作重新计算,直至数据符合。

(2)线规  $d_4$ (mm):如维持 2、4 极槽满率不变,则 4 极的导体截面积

$$S_4 = \frac{1}{1.8 \sim 1.7} S_2 = (0.56 \sim 0.59) S_2$$

4 极的导体直径  $d_4 = \sqrt{S_4} = (0.75 \sim 0.77)d_2$

(3)功率  $P_4$ (kW):如维持 2、4 极电流密度不变,4 极的相电流  $I_{\phi 4} = (0.56 \sim 0.59)I_{\phi 2}$ ,则 4 极的功率  $P_4 = (0.56 \sim 0.59)P_2$

5.1.2.2 原 4 极改为 2 极电机 如要将 4 极改为 2 极电机,那原 4 极的定子轭部对 2 极而言显得太薄,定子轭部磁密较紧张。这是 4 极改变为 2 极电机时存在的主要矛盾。

(1)每相串联导体数  $N_2$ :由于 4 极极距为 0.5 倍的 2 极极距,即  $\tau_{p4} = 0.5\tau_{p2}$ ,如维持 4、2 极每相磁通相等( $\Phi_4 = \Phi_2$ ),则 2 极的气隙磁密只有 4 极的一半,即  $B_{g2}$

$= 0.5B_{g4}$ 。若2极与4极的每相串联导体数相等,因2极的气隙磁密太低,会造成起动转矩小。为此应适当减少2极每相串联导体数15%~20%,使 $N_2 = (0.8 \sim 0.85)N_4$ 。这样2极的气隙磁密也增加了15%~20%, $B_{g2} = (0.575 \sim 0.6)B_{g4}$ ,那么 $\Phi_2 = (1.15 \sim 1.20)\Phi_4$ , $B_{\sigma 12} = (1.15 \sim 1.2)B_{\sigma 14}$ ;  $B_{\sigma 12} = (0.575 \sim 0.6)B_{\sigma 14}$ 。这就是说定子轭磁密2极比4极增加了15%~20%,故需对此验算。如轭磁密值超过表4.2.24所示范围,则应适当增加每相串联导体数,并重作计算,直至其符合。

(2)线规 $d_2$ (mm):如维持2、4极槽满率不变,则2极的导体截面积

$$S_2 = \frac{1}{0.8 \sim 0.85} S_4 = (1.18 \sim 1.25) S_4$$

2极的导体直径 $d_2 = \sqrt{S_2} = (1.08 \sim 1.12)d_4$

(3)功率 $P_2$ (kW):如维持2、4极电流密度不变,2极的相电流 $I_{\phi 2} = (1.18 \sim 1.25)I_{\phi 4}$ ,则2极的功率 $P_2 = (1.18 \sim 1.25)P_4$ 。

其他极数的变化依此类推。改变极数简单经验数据见表4.2.25。改变极数在参数计算时,都是假定在电压、频率、接法、并联路数不变,绕组系数近似相等的条件下进行的。

表 4.2.25 电动机改极经验数据

改极方案	每相串联导体 (N)	导体截面积 (mm <sup>2</sup> )	导体直径 (mm)	功率 (kW)
2极改为4极	$N_4 = (1.7 \sim 1.8)N_2$	$S_4 = (0.56 \sim 0.59)S_2$	$d_4 = (0.75 \sim 0.77)d_2$	$p_4 = (0.56 \sim 0.59)p_2$
4极改为2极	$N_2 = (0.8 \sim 0.85)N_4$	$S_2 = (1.18 \sim 1.25)S_4$	$d_2 = (1.09 \sim 1.1)d_4$	$p_2 = (1.18 \sim 1.25)p_4$
4极改为6极	$N_6 = (1.3 \sim 1.4)N_4$	$S_6 = (0.71 \sim 0.77)S_4$	$d_6 = (0.85 \sim 0.88)d_4$	$p_6 = (0.71 \sim 0.77)p_4$
6极改为4极	$N_4 = (0.85 \sim 0.9)N_6$	$S_4 = (1.1 \sim 1.18)S_6$	$d_4 = (1.05 \sim 1.09)d_6$	$p_4 = (1.1 \sim 1.18)p_6$
6极改为8极	$N_8 = (1.25 \sim 1.3)N_6$	$S_8 = (0.77 \sim 0.8)S_6$	$d_8 = (0.88 \sim 0.89)d_6$	$p_8 = (0.77 \sim 0.8)p_6$
8极改为6极	$N_6 = (0.85 \sim 0.9)N_8$	$S_6 = (1.1 \sim 1.18)S_8$	$d_6 = (1.05 \sim 1.09)d_8$	$p_6 = (1.1 \sim 1.18)p_8$

## 5.2 改变电压

### 5.2.1 改变引接线的接法

利用改变绕组引接线的接法,可使异步电动机适用于另一工作电压。例如电动机三角形接法改为星形接法后,电动机能从220伏电源改到380伏电源上工作。

### 5.2.2 改变绕组内部接法或匝数

5.2.2.1 改变原则 对于仅改变引接线的接法还不能满足需要的情况,必须再改变绕组的内部接法或匝数。在改变时,应尽量保持原有的电流密度和每匝绕组所承受的电压不变,这样才能维持电动机温升和各部磁通密度不变,使电动机的效率、功率因数、起动电流、起动转矩等性能尽可能与原有的相接近。

#### 5.2.2.2 改变绕组匝数计算

(1)改变后的匝数  $W'$

$$W' = \frac{U'_\phi}{U_\phi} W$$

式中  $U'_\phi$ ——改变后的相电压(V);

$U_\phi$ ——改变前的相电压(V);

$W$ ——改变前的绕组匝数。

(2)改变后的导线截面积  $S'$  ( $\text{mm}^2$ )

$$S' = \frac{U_\phi}{U'_\phi} S$$

式中  $S$ ——改变前的导体截面积( $\text{mm}^2$ )。

5.2.2.3 改变注意事项 如电动机从低压改到高压,因受槽形和绝缘结构的限制,电动机的容量将大大降低,故一般不宜进行。

### 5.2.3 改变三相绕组引接线接法的电压百分比

改变三相绕组引接线接法的电压百分比如表 4.2.26 所列。

表 4.2.26 改变三相绕组引接线接法的电压百分比(%)

绕组原来接法	绕组改变接线后的接法															
	一路 Y 接	两路并联 Y 接	三路并联 Y 接	四路并联 Y 接	五路并联 Y 接	六路并联 Y 接	八路并联 Y 接	十路并联 Y 接	一路 $\Delta$ 接	两路并联 $\Delta$ 接	三路并联 $\Delta$ 接	四路并联 $\Delta$ 接	五路并联 $\Delta$ 接	六路并联 $\Delta$ 接	八路并联 $\Delta$ 接	十路并联 $\Delta$ 接
一路 Y 接	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	6
两路并联 Y 接	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
三路并联 Y 接	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
四路并联 Y 接	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
五路并联 Y 接	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
六路并联 Y 接	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35



续表

绕组原来接法	绕组改变接线后的接法															
	一路Y接	两路并联Y接	三路并联Y接	四路并联Y接	五路并联Y接	六路并联Y接	八路并联Y接	十路并联Y接	一路△接	两路并联△接	三路并联△接	四路并联△接	五路并联△接	六路并联△接	八路并联△接	十路并联△接
八路并联Y接	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	137	120	95	79	58	46
十路并联Y接	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
一路△接	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
两路并联△接	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
三路并联△接	579	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
四路并联△接	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
五路并联△接	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
六路并联△接	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
八路并联△接	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
十路并联△接	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

## 6 三相异步电动机的拆装和试验

电动机因故障或维护保养等需要拆卸和安装。拆、装如果不当,就会损坏电动机零部件或绕组,因而必须按一定步骤和要求进行。

### 6.1 电动机拆卸步骤及要求

(1)拆卸皮带轮(联轴器):将皮带轮(联轴器)上的紧定螺钉松脱,用拉具拉出皮带轮(联轴器)。如拉时没有松动感,则需要在紧定螺钉孔内加入润滑油;如仍拉不出,可用煤油灯或酒精灯在皮带轮(联轴器)轴套外圆周围加热后再拉。加热时要注意控制温度,以防轴套及电机轴伸变形。

(2)拆卸轴承盖及转子:拆除前轴承盖、风罩及后端盖螺栓、螺钉,然后用木槌向后端盖方向敲轴伸端,使后端盖与机座离缝,再用手或平衡吊将转子带着后端盖一起抽出。

(3)拆除前端盖:绕线式转子在拆卸前,先提起或拆除电刷、电刷架和引接线,然后拆除前端盖。

(4)拆卸、清洗和检查轴承:①拆卸:用适宜的拉具紧扣住轴承内圈将轴承拉出。②清洗(除封闭式外):用手旋转轴承外圈,使轴承在汽油中旋转,洗净残存的

油污,然后用干布将油、水擦干。③检查:观看轴承滚道间及滚珠或滚柱表面有无锈迹、斑痕,再用手转动轴承外圈,观察其转动是否灵活,最后决定轴承能否继续使用,不能使用者予以更换。

## 6.2 电动机的装配及要求

(1)将两轴承装入转子轴承档,装入可采用热套或冷压。不论用哪种方法力都应加在轴承内圈。热套时温度不能过高,一般控制在  $100^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 。

(2)将后端盖装入后轴承,并拧紧后轴承盖螺钉。

(3)将带有后端盖的转子推入定子。

(4)拧紧后端盖螺栓,装上前端盖、前轴承盖并拧紧紧固件。

(5)装风扇、风罩并拧紧紧固件。

(6)零部件装配完毕后,用手转动转轴,如转动灵活而无杂声,则表示装配结束。

注意:所有零部件特别是配合面在装配前要清理、除锈。

## 6.3 试验

经维修而重新装配的电机必须进行一定的检查和试验,其项目如下:

(1)一般检查:检查引接线标志是否正确,接线头联接是否牢固,轴伸径向偏摆是否符合要求,转子转动是否灵活。

(2)绝缘电阻测定:测量方法与要求同本章定子绕组重制中的内容。

(3)耐压试验:绕组应能承受相对相、相对地的耐压试验,试验电压有效值为  $(2U_N + 1000)\text{V}$ ,历时  $1\text{min}$  而不击穿,  $U_N$  为额定电压。

(4)空载试验:①电动机在额定电压下,空载运行  $30\text{min}$  左右,观察电动机的噪声、振动及轴承发热情况。②测量空载电流。空载电流不能过大或过小,否则需调整定子绕组的匝数。空载电流与额定电流的比值可参照表 4.2.27。空载电流与绕组匝数变化比可参照表 4.2.28。三相空载电流偏差不得超过  $\pm 10\%$ 。

表 4.2.27 空载电流与额定电流的比值(%)

功率 (kW) \ 极数	2	4	6	8	10
0.55~4	35~45	55~65	55~70	55~70	
5.5~37	30~37	35~45	45~50	45~55	
45以上	25~30	25~30	25~30	35~45	45~55

(5)匝间绝缘介电强度试验:绕组应能承受冲击耐压试验而不击穿。匝间绝缘试验冲击电压:中心高 100 及以下为  $2200\text{V}$ ; 100 以上为  $2500\text{V}$ 。冲击电压波前时间为  $0.5\mu\text{s}$ 。

表 4.2.28 空载电流与绕组匝数变化比

空载电流变化比(%)	15~20	30	50
定子绕组匝数变化比(%)	5	10	20

(6)性能试验:有试验条件的,应根据《GB1032 中小型三相异步电动机试验方法》进行性能试验。

## 7 三相异步电动机的选用

三相异步电动机应用广泛,是一种主要的动力源。由于电动机所消耗的电量很大,所以合理选择相当重要,它直接关系到生产机械的运用安全和投资效益。电动机的选择内容包括额定功率、类型、防护等级、额定电压、额定频率及各项性能等。在此,要特别强调合理选择电动机的额定功率。如功率选择过大,不仅造成设备投资费用增加,而且电动机长期处于轻载即低效率、低功率因数点运行,是很不合理、不经济的。如功率选择过小,电动机经常过载运行,长期温升过高,将加速电动机绝缘老化,缩短电动机的使用寿命,有时还会造成电动机起动困难,过载能力降低,使电动机经受不住冲击负载。一般电动机的负载率应选择在 0.75~0.9 范围。

### 7.1 选用要点

(1)根据机械负载特性、生产工艺、电网要求、建设费用、运行费用等综合指标,合理选择电动机的类型。

(2)根据机械负载所要求的过载能力、起动转矩、工作制及工况条件,合理选择电动机的功率,使功率匹配合理,并具有适当的备用功率,力求运行安全、可靠而经济。

(3)根据使用场所的环境,选择电动机的防护等级和结构型式。

(4)根据生产机械的最高机械转速和传动调速系统的要求,选择电动机的转速。

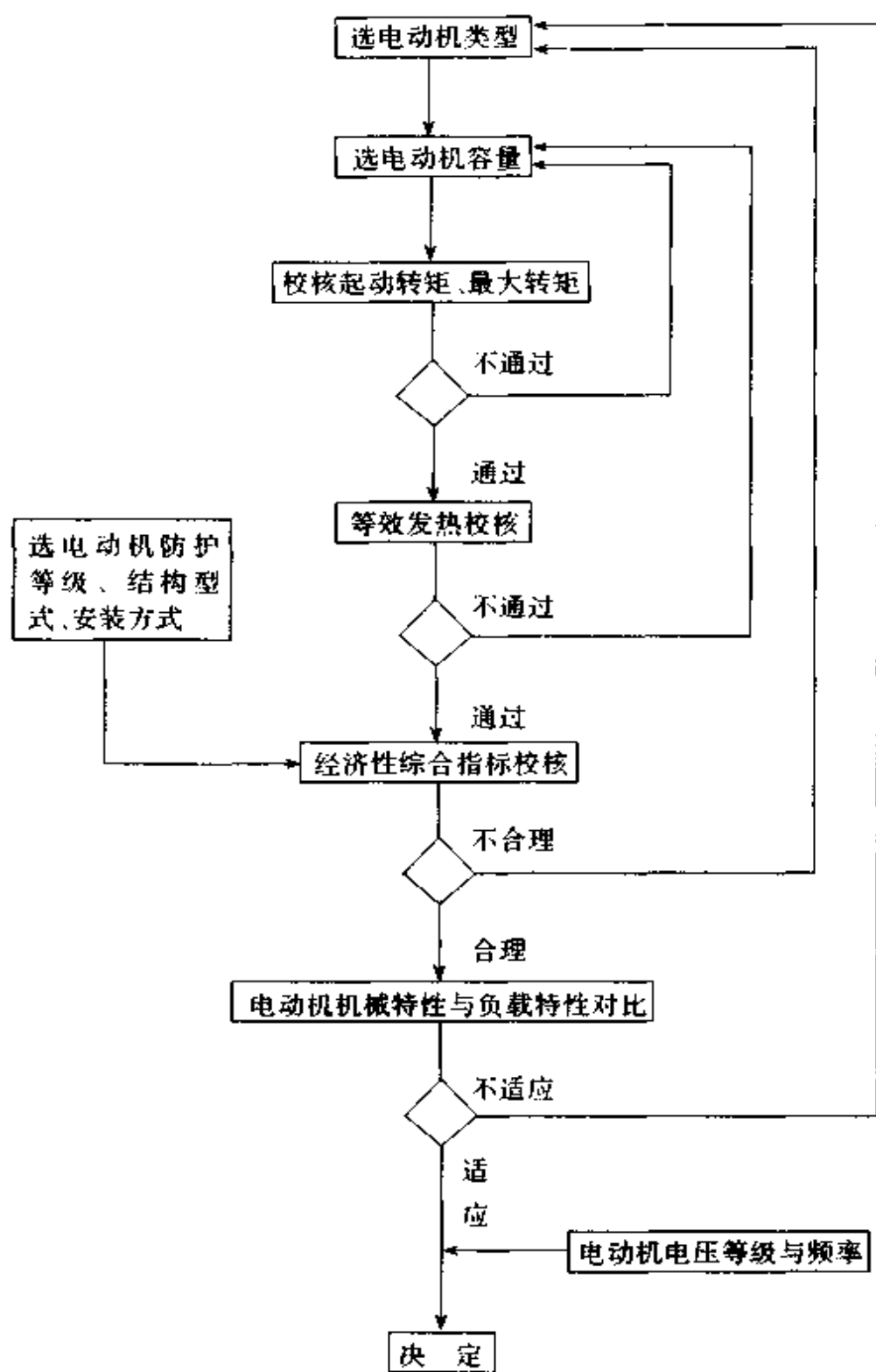
(5)根据使用环境温度,维护检修方便、安全可靠等要求,选择电动机的绝缘等级和安装方式。

(6)根据电网电压、频率,选择电动机的额定电压、频率。

总之,在选用电动机时,要努力执行国家技术经济政策,积极采用节能产品和新产品,提高综合经济效益。

### 7.2 选用步骤

选用步骤如下所示:



## 8 三相异步电动机维护保养

### 8.1 起动前的准备和检查

(1)检查电动机及起动设备接地是否可靠和完整,接线是否正确与良好。

(2)检查电动机铭牌所示电压、频率与电源电压、频率是否相符。

(3)新安装或长期停用的电动机(停用3个月以上)起动前应检查绕组相对相、相对地绝缘电阻(用1000V兆欧表测量)。绝缘电阻应大于 $0.5M\Omega$ ,如果低于此值,需将绕组烘干。

(4)对绕线型转子应检查其集电环上的电刷及提刷装置是否能正常工作,电刷压力是否符合要求。电刷压力应为 $1.5\sim 2.5N/cm^2$ 。

(5)检查电动机转动是否灵活,滑动轴承内的油是否达到规定油位。

(6)检查电动机所用的熔断器的额定电流是否符合要求。

(7)检查电动机各紧固螺栓及安装螺栓是否拧紧。

上述各检查全部达到要求后,可起动电动机。电动机起动后,空载运行30min左右,注意观察电动机是否有异常现象,如发现噪声、振动、发热等不正常情况,应采取措施,待情况消除后才能投入运行。

起动绕线型电动机时,应将起动变阻器接入转子电路中。对有电刷提升结构的电动机,应放下电刷,并断开短路装置,合上定子电路开关,扳动变阻器。当电动机接近额定转速时,提起电刷,合上短路装置,电动机起动完毕。

### 8.2 运行中的维护

(1)电动机应经常保持清洁,不允许有杂物进入电动机内部;进风口和出风口必须保持畅通。

(2)用仪表监视电源电压、频率及电动机的负载电流。电源电压、频率要符合电动机铭牌数据,电动机负载电流不得超过铭牌上的规定值,否则要查明原因,采取措施,不良情况消除后方能继续运行。

(3)采取必要手段监测电动机各部位温升,其温升限值见表4.2.29。

(4)对于绕线型转子电机,应经常注意其电刷与集电环间的接触压力、磨损及火花情况。电动机停转时,应断开定子电路内的开关,然后将电刷提升机构扳到起动位置,断开短路装置。

(5)电动机运行后作定期维修,一般分小修、大修两种。小修属一般检修,对电动机起动设备及其整体不作大的拆卸,约一季度一次。大修是要将所有传动装置及电动机的所有零部件都拆卸下来,并将拆卸的零部件作全面的检查及清洗,一般一年一次。

表 4.2.29 电动机各部位温升限值

K

电机部位	E		B		F	
	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
定子绕组	—	75	—	80	—	105
转子绕组 （绕线式 鼠笼式）	65	75	70	80	85	105
定子铁心	75		80		100	
滑 环	70		80		90	
滚动轴承	95		95		95	

## 9 三相异步电动机常见故障和处理方法

### 9.1 绕组故障检查及处理

绕组故障检查及处理见表 4.2.30。

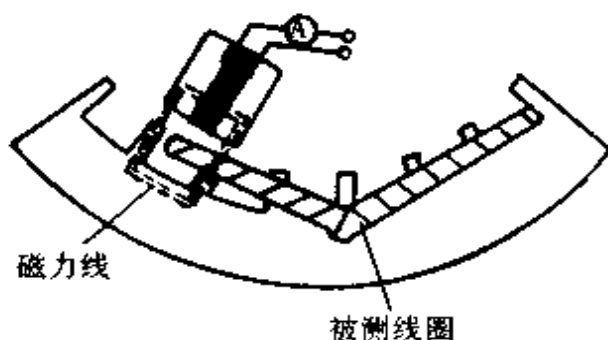


图 4.2.17 短路侦察器检查法(一)

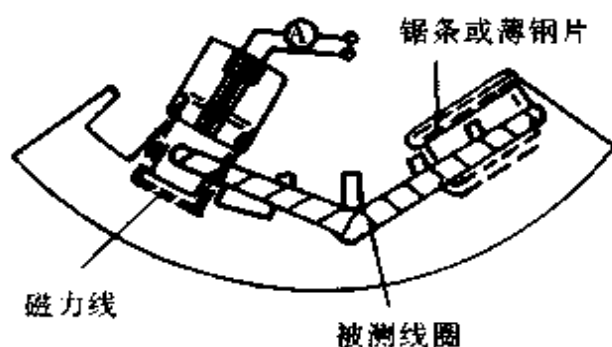
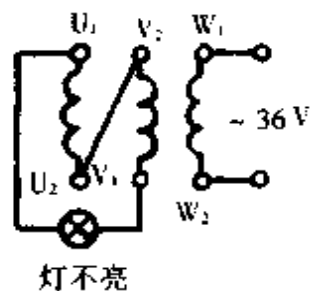
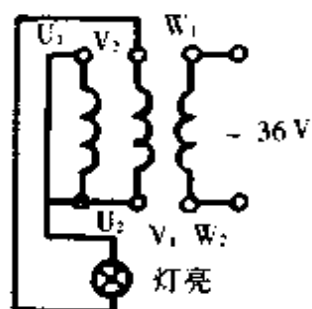
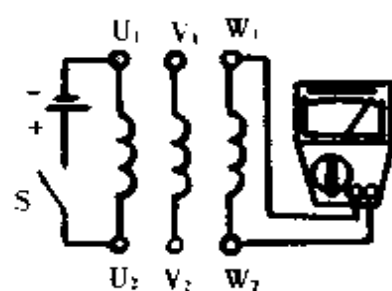


图 4.2.18 短路侦察器检查法(二)

图 4.2.19 绕组串联  
检查法(一)图 4.2.20 绕组串联  
检查法(二)图 4.2.21 万用表检查  
绕组头尾反接方法

### 9.2 其他故障检查及处理

其他故障检查及处理见表 4.2.31。

表 4.2.30 绕组故障检查及处理

故障现象	产生原因	检查方法	处理方法
绕组对地击穿	1. 绕组受潮, 绝缘物失去绝缘作用 2. 电动机长期过载, 绝缘物老化、开裂、脱落 3. 嵌线时绝缘物受损 4. 定子相擦, 引起绝缘物烧坏 5. 绕组端部碰端盖 6. 引线接线绝缘损坏与壳体相接触	1. 目测法: 仔细查看绕组端部及接近槽口部分的绝缘物是否破裂和有无焦黑的痕迹, 若有则表示有故障 2. 万用表检查法: 把万用表拨至测量电阻档, 把万用表的两根引线分别接至电动机壳体及引接线线上。若电阻值小, 则表示有故障 3. 兆欧表检查法: 把 1000V 兆欧表的两根引线分别接至电动机壳体及引接线线上, 测量其绝缘电阻。若绝缘电阻接近于零, 则表示有故障 注: 采用上述方法找出绕组对地击穿故障以后, 必须找出对地击穿的确切位置。一般方法为: 先用目测法找出击穿处。如找不出, 则采用分组淘汰法, 把每相绕组拆开, 查出对地击穿处。确定了所在相后, 再用目测法找出对地击穿所在线圈。若还是找不出, 再用分组淘汰法拆除一相的线圈组间连接线和线圈间连接线, 最后找出对地击穿线圈。这种方法步骤是: 目测→检查→目测→检查, 用分组淘汰法找出确切的对地击穿处	1. 在击穿处再填放一层绝缘纸(材料同原来材料), 同时在该处涂刷好相间的绝缘漆并烘干之 2. 如果击穿处在槽内, 则需重新绕组 3. 因受潮引起的对地击穿, 需将绕组烘干, 使其绝缘电阻大于 0.5MΩ 以上
绕组短路 ①匝间短路 ②线圈短路与线圈短路 ③极相组处短路 ④相间短路	1. 嵌线不当, 使电磁漆膜损坏 2. 绕组受潮, 电动机接电源加上电压后使绝缘击穿 3. 长期过载, 电流超过额定电流, 使绝缘老化, 失去绝缘作用 4. 相间或层间绝缘没有垫好 5. 搬运不当或缺乏器具, 使绕组端部绝缘损坏	1. 目测法: 仔细查看绕组端部, 绝缘有无烧焦处, 有则表示该处短路 2. 电桥法: 用电桥测量各相电阻值。如果三相电阻相差 -10% 以上, 则电阻小的一相为短路 3. 电流法: 将电动机通入低压交流电, 如果三相电流相差 +10% 以上, 则电流大的一相为短路 4. 短路侦察器法: 如图 4.2.17 所示将短路侦察器串联一个电流表, 分别依次放在定子铁心槽口。如果某处有电流指示, 则表示该处短路 短路侦察器是利用变压器原理来检查绕组匝间短路的。它具有一个不闭合的铁心磁路, 上面绕有励磁绕组, 相当于变压器初级绕组。将已接通交流电源的短路侦察器放在定子铁心槽口构成闭合磁路, 沿着各个槽口逐槽移动。当它经过一个短路绕组时, 这短路绕组就相当于变压器的次级绕组, 因此电流表指示出较大电流。不用电流表, 也可将一片 0.5mm 钢片或旧锯条放在被测绕组的另一个绕组边所在槽口上面, 如图 4.2.18。如被测绕组短路, 钢片就会发生振动	1. 用绝缘材料把短路处隔开 2. 重新包扎 3. 更换线圈





表 4.2.31 其他故障检查及处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
不能起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源未接通</li> <li>2. 绕组故障</li> <li>3. 熔丝规格不符</li> <li>4. 绕线型转子起动误操作</li> <li>5. 负载过大或传动装置被卡住</li> <li>6. 控制设备接线错误</li> </ol>	<p>检查开关、熔丝、各对触点及电动机引线接线接头</p> <p>同绕组故障处理</p> <p>换上符合要求的熔丝</p> <p>分开短路装置, 串接变阻器</p> <p>选较大容量电动机或减轻负载, 消除传动装置故障</p> <p>按接线图校正接线</p>
电动机在额定负载运行, 转速低于额定转速	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压过低</li> <li>2. 鼠笼转子断条</li> <li>3. 负载过大</li> <li>4. 绕组故障</li> <li>5. 绕线型转子起动装置不良</li> <li>6. 两相运行</li> </ol>	<p>用电压表测量电动机输入端电压, 并将之用调压器调整到额定电压</p> <p>换新转子</p> <p>选择大容量电动机或减轻负载</p> <p>同绕组故障处理</p> <p>更换或修理起动装置</p> <p>排除绕组故障或接线故障, 或更换熔丝开关</p>
电动机运转时声音不正常, 振动大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定子、转子相擦</li> <li>2. 两相运行</li> <li>3. 轴承损坏或严重缺油</li> <li>4. 轴伸弯曲</li> <li>5. 转子、皮带轮、联轴器平衡未校正</li> <li>6. 皮带轮、联轴器轴孔偏心</li> </ol>	<p>消除定子、转子突出部位, 或更换轴承, 或更换轴承孔松的端盖</p> <p>见故障 2 的排除方法</p> <p>更换损坏轴承或加油到规定值</p> <p>校正轴伸直至达到要求</p> <p>校正转子、皮带轮、联轴器平衡</p> <p>车正或镗套校正皮带轮、联轴器的同心度</p>
轴承过热	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轴承损坏</li> <li>2. 轴承配合不当</li> <li>3. 润滑油过多或过少或油质不符合要求</li> <li>4. 皮带轮、联轴器装配不当</li> </ol>	<p>更换轴承</p> <p>更换轴或端盖使轴承内外径配合符合要求</p> <p>清除或加入轴承润滑油; 换加符合质量要求的润滑油</p> <p>重新调整装配皮带轮、联轴器、端盖、轴承盖等, 使之装配符合要求</p>

续表

故障现象	产生原因	处理方法
绕线型转子滑环火花过大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电刷牌号不符</li> <li>2. 滑环表面有污垢、杂物</li> <li>3. 电刷装配不当或压力太小</li> </ol>	<p>更换符合要求的电刷 用“0”号砂布磨光滑环, 擦净污垢 重新装配电刷, 调整电刷压力</p>
电动机转动时电流表指针来回摆动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鼠笼转子断条</li> <li>2. 绕线型转子电刷和滑环短路装置接触不良</li> <li>3. 绕线型转子—相断路</li> </ol>	<p>更换转子 调整电刷压力, 改善电刷与三角环的接触面, 修理或更换短路装置 修复或更换绕线型转子</p>
电动机过热或冒烟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负载过大</li> <li>2. 两相运行</li> <li>3. 电机风道阻塞</li> <li>4. 电源电压过低或过高</li> <li>5. 电源频率不符合要求</li> </ol>	<p>选较大容量电动机或减轻负载 排除绕组、电源、开关、控制设备等故障 清除风道油垢及灰尘 用调压器将电源电压调整到额定值 调整电源到符合要求</p>

## 10 三相异步电动机主要技术数据

Y 系列(IP23)小型三相异步电动机技术数据见表 4.2.32。

Y 系列(IP44)小型三相异步电动机技术数据见表 4.2.33。

YR 系列(IP23)绕线转子三相异步电动机技术数据见表 4.2.34。

YR 系列(IP44)绕线转子三相异步电动机技术数据见表 4.2.35。

J2 系列三相异步电动机技术数据见表 4.2.36。

JO2 系列三相异步电动机技术数据见表 4.2.37。

JR2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据见表 4.2.38。

JRO2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据见表 4.2.39。

JS2 系列三相异步电动机技术数据见表 4.2.40。

JR2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据见表 4.2.41。

## 11 多速异步电动机

### 11.1 变极原理

#### 11.1.1 变极多速异步电动机的变极方法

变极多速异步电动机大多为鼠笼式电机,它是利用改变电动机定子绕组的极数而得到多种速度的。改变极数的方法有以下几种。

(1)在一套定子绕组中将部分线圈按一定规律改变电流方向,以此实现改变极数。按此原理制成的电动机称为单绕组变极变速电动机。用它可制成倍极比或非倍极比且速比较接近的双速、三速电动机。

(2)定子槽内嵌有两套不同极数的独立绕组,用它可制成非倍极比且速比较大的双速电动机。

(3)定子槽内嵌有两套不同极数的独立绕组,每套绕组本身又可以用不同的联接方式得到不同的极数,用它可制成三速或四速电动机。

上述方法中的第一种单绕组变极变速较为经济,其应用较多,故以下对此着重介绍。

#### 11.1.2 单绕组变极变速电动机的变极方法

(1)反向法变极:变更每相绕组中一半线圈的电流方向,从而获得另一种极数。

(2)换相法变极:采用换相法变极不仅要改变部分线圈的电流方向,而且还要改变部分线圈的相号。其绕组分布系数较高,高次谐波小及起动性能好,但引接线较多,控制、使用不方便。

表 4.2.32 Y 系列(IP23)小型三相异步电动机技术数据(380V、50Hz)

型号	额定功率 (kW)	铁心长度	气隙长度	定子尺寸 (mm)		定子线规 $n_s-d_c$	每槽 线数	并联 支路数	绕组型式	节 距	槽 数 $Z_1/Z_2$
				定子内径	定子外径						
Y160M-2	15	100	0.8	160	290	2-1.06, 1-1.12	24	1	双 层 叠 式	1~14	36/28
Y160L1-2	18.5	125									
Y160L2-2	22	135									
Y160M-4	11	100	0.55	187	290	1-1.18	54	2		1~11	48/44
Y160L1-4	15	130									
Y160L2-4	18.5	150									
Y160M-6	7.5	95	0.45	205	290	1-1.40	32	1		1~9	54/44
Y160L-6	11	125									
Y160M-8	5.5	95									
Y160L-8	7.5	125	1.0	182	327	1-1.06, 1-1.0	32	1		1~7	54/50
Y180M-2	30	135									
Y180L-2	37	160									
Y180M-4	22	135	0.65	210	327	2-1.30	32	1	1~14	36/28	
Y180L-4	30	175									
Y180M-6	15	125									
Y180L-6	18.5	155	0.50	230	327	2-1.40	27	1	1~11	48/44	
						2-1.12	36				
						2-1.30	28				
						1-1.40	44	1	1~9	54/44	
						2-1.06	36				

Y180M-8	11	125	1.1	368	210	2-0.90	56	2	1~7	54/50
Y180L-8	15	155								
Y200M-2	45	155	0.7	245	2-1.25, 1-1.30	24	21	1~14	36/28	
Y200L-2	55	185								
Y200M-4	37	155	0.50	260	1-1.12, 2-1.18	26	36	1~11	48/44	
Y200L-4	45	185								
Y200M-6	22	135	1.2	225	2-1.18	36	18	1~7	54/50	
Y200L-6	30	165								
Y200M-8	18.5	135	0.8	260	1-1.30, 1-1.40	44	36	1~14	36/28	
Y200L-8	22	165								
Y225M-2	75	185	0.55	400	3-1.60	40	4	1~12	48/44	
Y225M-4	55	185								
Y225M-6	37	175	1.5	445	1-1.18, 1-1.25	30	3	1~9	72/58	
Y22M-8	30	175								
Y250S-2	90	170	1.5	225	1-1.40	50	4	1~16	42/34	
Y250M-2	110	195								

双 层 叠 式

续表

型号	额定功率 (kW)	铁心长度	气隙长度	定子尺寸 (mm)		定子线规 $n_c \cdot d_c$	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$
				定子外径	定子内径						
Y250S-4	75	185	0.9	300	445	2-1.25, 3-1.3	14	2	1~14	60/50	
Y250M-4	90	215				4-1.25, 2-1.3	12				
Y250S-6	45	165	0.65	325	445	2-1.4	28	3	1~12	72/58	
Y250M-6	55	195				4-1.06	24				
Y250S-8	37	165	1.6	280	445	1-1.06, 1-1.12	46	4	1~9	72/58	
Y250M-8	45	195				1-1.18, 1-1.25	38				
Y280M-2	132	200	1.0	330	493	6-1.5	12	2	1~16	42/34	
Y280S-4	110	200				4-1.25	24				
Y280M-4	132	240	0.70	360	493	4-1.40	20	4	1~14	60/50	
Y280S-6	75	185				3-1.40	22				
Y280M-6	90	240	0.70	360	493	3-1.50	18	3	1~12	72/58	
Y280S-8	55	185				1-1.30, 1-1.4	36				
Y280M-8	75	240				1-1.60, 1-1.50	28	4	1~9		

表 4.2.33 Y 系列(IP44)小型三相异步电动机技术数据(380V、50Hz)

型 号	额 定 功 率 (kW)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	定 子 线 规 $n_c \cdot d_c$	每 槽 线 数	并 联 支 路 数	绕 组 型 式	节 距	槽 数 $Z_1/Z_2$	转 动 惯 量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	质 量 (kg)				
Y801-2	0.75	65	0.3	120	67	1-0.63	111	3	单层交叉	1-9 2-10 18-11	18/16	0.00075	16				
Y802-2	1.1	80				1-0.71	90					0.00090	17				
Y801-4	0.55	65	0.25	75	1-0.56	128	1		单层链式	1-6	24/22	0.0018	17				
Y802-4	0.75	80			1-0.63	103						0.0021	18				
Y90S-2	1.5	85	0.35	72	1-0.85	74			3	单层交叉	1-9 2-10 18-11	18/16	0.0012	22			
Y90L-2	2.2	110			1-0.95	58							0.0014	25			
Y90S-4	1.1	90	0.25	80	1-0.71	81				1	单层链式	1-6	24/22	0.0021	22		
Y90L-4	1.5	120			1-0.8	63								0.0027	27		
Y90S-6	0.75	100	0.25	86	1-0.67	77					3	单层同心	1-12 2-11	24/20	0.0029	23	
Y90L-6	1.1	125			1-0.75	60									0.0035	25	
Y100L-2	3.0	100	0.4	94	1-1.18	40						1	单层交叉	1-9 2-10 18-11	36/32	0.0029	33
Y100L1-4	2.2	105			2-0.71	41										0.0054	34
Y100L2-4	3.0	135	0.3	155	1-1.18	31		3					单层链式	1-6	36/33	0.0067	38
Y100L-6	1.5	100			1-0.85	53										0.0069	33
Y112M-2	4.0	105	0.45	98	1-1.06	48	1						单层同心	1-16,2-15,3-14,1-14,2-13	30/26	0.0055	45
Y112M-4	4.0	135			1-1.06	46										0.0095	43
Y112M-6	2.2	110	0.3	175	1-1.06	44			3				单层交叉	1-9,2-10, 18-11	36/33	0.0138	45
Y112M-6	2.2	110			1-1.06	44										0.0138	45

续表

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c \cdot d_c$	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	质量 (kg)
Y132S1-2	5.5	105	0.55		116	1-0.90 1-0.95 1-1.0 1-1.06	44 37		单层同心	1-16 2-15 3-14	30/26	0.0109 0.0126	64 70
Y132S2-2	7.5	125											
Y132S-4	5.5	115	0.4		136	1-0.90 1-0.95 2-1.06	47 35		单层交叉	1-9 2-10 18-11	36/32	0.0214 0.0296	68 81
Y132M-4	7.5	160											
Y132S-6	3.0	110		210		1-0.85 1-0.90	38					0.0286	63
Y132M1-6	4.0	140				1-1.06	52	1			36/33	0.0357	73
Y132M2-6	5.5	180	0.35		148	1-1.25	42		单层链式	1-6		0.0449	84
Y132S-8	2.2	110				1-1.12	38					0.0314	63
Y132M-8	3.0	140				1-1.30	30				48/44	0.0395	79
Y160M1-2	11	125				2-1.18 1-1.25	28					0.0377	117
Y160M2-2	15	155	0.65		150	2-1.12 2-1.18 3-1.12 2-1.18	23 19		单层同心	1-16 2-15 3-14 1-14 2-13	30/26	0.0449 0.0550	125 147
Y160L2-2	18.5	195											
Y160M-4	11	155	0.5		170	1-1.30	56	2	单层交叉	1-9 2-10 18-11	36/26	0.0747	123
Y160L-4	15	195		260		2-1.25 1-1.18	22					0.0918	144
Y160M-6	7.5	145				2-1.12	38					0.0881	119
Y160L-6	11	195	0.4		180	4-0.95	28	1	单层链式	1-6	36/33	0.116	147
Y160M1-8	4.0	110				1-1.25	49		单层链式	1-6	48/44	0.0753	118



Y160M2-8	5.5	145	0.4	260	180	2-1.00 1-1.12	39	1	单层链式	1~6	48/44	0.0931	119
Y160L-8	7.5	195			180	1-1.12 1-1.18	30					0.126	145
Y180M-2	22	175	0.8		160	2-1.30 2-1.40	16			1~14	36/28	0.075	180
Y180M-4	18.5	190			187	2-1.18	32					0.139	182
Y180L-4	22	220	0.55	290		2-1.30	28			1~11	48/44	0.158	190
Y180L-6	15	200			205	1-1.50	34			1~9	54/44	0.207	195
Y180L-8	11	200	0.45			2-0.90	46	2		1~7	54/58	0.203	184
Y200L1-2	30	180			182	2-1.12 2-1.18	28					0.124	240
Y200L2-2	37	210	1.0			1-1.40 2-1.50	24			1~14	36/28	0.139	255
Y200L-4	30	230	0.65		210	1-1.06 1-1.12	48	4		1~11	48/44	0.262	270
Y200L1-6	18.5	195			327	1-1.12 1-1.18	32					0.315	220
Y200L2-6	22	220	0.5			2-1.25	28			1~9	54/44	0.360	250
Y200L-8	15	195			230	1-1.06 1-1.12	38	2		1~7	54/58	0.339	250
Y225M-2	45	210	1.1		210	3-1.40 1-1.50	22			1~14	36/28	0.233	309
Y225S-4	37	200			245	2-1.25	46					0.406	284
Y225M-4	45	235	0.7	368		1-1.30 1-1.40	40	4		1~12	48/44	0.469	320

双 层 叠 式

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c-d_c$	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	质量 (kg)
Y225M-6	30	210				2-1.40 1-1.30	26		双 层 叠 式	1~9	54/44	0.547	292
Y225S-8	18.5	170	0.5	368	260	2-1.40	38	2			1~7	54/58	0.491
Y225M-8	22	210				2-1.50	32					0.547	292
Y250M-2	55	195	1.2		225	6-1.40	20			1~14	36/28	0.312	403
Y250M-4	55	240	0.8	400	260	3-1.30	36	4		1~12	48/44	0.66	427
Y250M-6	37	225	0.55		285	1-1.12 2-1.18	28	3				0.834	408
Y250M-8	30	225				3-1.30	22			1~9	72/58	0.834	405
Y280S-2	75	225	1.5		255	7-1.50	14	2		1~16	42/34	0.597	544
Y280M-2	90	260				8-1.50	12					0.675	620
Y280S-4	75	240	0.9		300	2-1.25 2-1.30	26			1~14	60/50	1.12	562
Y280M-4	90	325		445		5-1.30	20	4				1.46	667
Y280S-6	45	215	0.65		325	2-1.30 1-1.40 1-1.40	26	3		1~12	72/58	1.39	536
Y280M-6	55	260				2-1.50	22					1.65	595
Y280S-8	37	215				2-1.30	40					1.39	520
Y280M-8	45	260				1-1.50 1-1.40	34	4				1.65	592
Y315S-2	110	290	1.8	520	300	10-1.50 4-1.60 5-1.40	9	2		1~18	48/40	1.18	980
Y315M1-2	132	340				12-1.50	8					1.82	1080

Y315M2-2	160	380	1.8	520			300	17-1.60	7	2	双 层 叠 式			1 ~ 18	48/40	2.08	1160
Y315S-4	110	300					3-1.30 4-1.40	16						1 ~ 17		3.11	1000
Y315M1-4	132	350	1.1			350	3-1.30 4-1.50	14	4				3.62	1100			
Y315M2-4	160	400					2-1.40 6-1.50	12					4.13	1160			
Y315S-6	75	300					1-1.40 2-1.50	34					4.11	990			
Y315M1-6	90	350				375	1-1.50 2-1.60	30	6		1 ~ 11		4.78	1080			
Y315M2-6	110	400					1-1.40 3-1.50	25					5.45	1150			
Y315M3-6	132	455					1-1.50 3-1.60	22					6.12	1210			
Y315S-8	55	300					7-1.50	14	2				4.79	1000			
Y315M1-8	75	350	0.8				1-1.50 1-1.60	46	8				5.58	1100			
Y315M2-8	90	400				390	4-1.30 2-1.40	20	4				6.37	1160			
Y315M3-8	110	455					1-1.40 2-1.50	34	8		1 ~ 9		7.23	1230			
Y315S-10	45	300					1-1.12 1-1.18	66	10				4.79	990			
Y315M1-10	55	400					2-1.30	52					6.37	1150			
Y315M3-10	75	455					2-1.40 2-1.50	22	5				7.15	1220			

表 4.2.34 YR 系列(IP23)绕线转子三相异步电动机技术数据(380V、50Hz)

型号	额定功率 (kW)	转 子		定子槽数 $Z_1/Z_2$	定 子 绕 组				转 子 绕 组				转动惯量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	质量 (kg)	
		电压 (V)	电流 (A)		每槽 线数	线规 $n_c-d_c$	节距	并联 路数	绕组 型式	接法	每槽 线数	线规 $n_c-d_c$ 或 $n_c-a \times b$			节距
YR160M-4	7.5	260	19		34	1- $\emptyset$ 1.50		1		18	3- $\emptyset$ 1.12			0.09875	
YR160L-4	11	275	26		50	2- $\emptyset$ 0.85				14	4- $\emptyset$ 1.12			0.1215	160
YR160L2-4	15	260	37		38	2- $\emptyset$ 1.0	1-11	2		10	3- $\emptyset$ 1.30 1- $\emptyset$ 1.40			0.1493	
YR180M-4	18.5	197	61		40	2- $\emptyset$ 1.12				8	1-1.8 $\times$ 5			0.25	
YR180L-4	22	232	61	48/36	34	1- $\emptyset$ 1.18 1- $\emptyset$ 1.25				8	1-1.8 $\times$ 5			0.2725	
YR200M-4	30	255	76		62	2- $\emptyset$ 0.95	1-11	4		8	1-2 $\times$ 5.6	1-9		0.455	
YR200L-4	37	316	74		50	2- $\emptyset$ 1.0				8	1-2 $\times$ 5.6			0.5525	335
YR225M1-4	45	240	120		24	1- $\emptyset$ 1.12 3- $\emptyset$ 1.18		2		6	2-1.8 $\times$ 4.5			0.65	
YR225M2-4	55	288	121		40	1- $\emptyset$ 1.25 1- $\emptyset$ 1.30	1-12	4		6	2-1.8 $\times$ 4.5			0.74	420
YR250S-4	75	449	105		14	2- $\emptyset$ 1.25 3- $\emptyset$ 1.30				6	2-1.6 $\times$ 4.5			1.31	
YR250M-4	90	524	107		12	4- $\emptyset$ 1.25 2- $\emptyset$ 1.30		2		6	2-1.6 $\times$ 4.5			1.5	590
YR280S-4	110	349	196		24	4- $\emptyset$ 1.25	1-14			4	2-2.24 $\times$ 6.3	1-12		2.275	
YR280M-4	132	419	194	60/48	20	4- $\emptyset$ 1.40		4		4	2-2.24 $\times$ 6.3			2.5975	880
YR160M-6	5.5	279	13		36	2- $\emptyset$ 0.95		1		24	1- $\emptyset$ 1.18 1- $\emptyset$ 1.25			0.143	
YR160L-6	7.5	260	19		58	1- $\emptyset$ 1.06				18	3- $\emptyset$ 1.12			0.1638	160
YR180M-6	11	146	50	54/36	46	1- $\emptyset$ 1.40	1-9			8	1-1.8 $\times$ 4	1-6		0.3125	
YR180L-6	15		53		36	2- $\emptyset$ 1.06		2		8	1-1.8 $\times$ 4			0.37	
YR200M-6	18.5	187	65		36	2- $\emptyset$ 1.18				8	1-1.85 $\times$ 5			0.5425	
YR200L-6	22	224	63		30	1- $\emptyset$ 1.30 1- $\emptyset$ 1.40				8	1-1.8 $\times$ 5			0.6375	315

YR225M1-6	30	227	86	72/54	38	2- $\emptyset$ 1.12	1- $\emptyset$ 1.18 1- $\emptyset$ 1.25	12	3	6	2-1.6 $\times$ 4.5	6	2-1.6 $\times$ 4.5	1~9	Y	双 层 叠 式	I	0.8093	400
YR225M2-6	37	287	82		30	1- $\emptyset$ 1.18 1- $\emptyset$ 1.25													
YR250S-6	45	307	93	72/54	28	2- $\emptyset$ 1.40	12	3	6	6	2-1.8 $\times$ 4.5	6	2-1.8 $\times$ 4.5	1~9	Y	双 层 叠 式	I	1.6525	575
YR250M-6	55	359	97		24	4- $\emptyset$ 1.06													
YR280S-6	75	392	121	72/54	22	3- $\emptyset$ 1.40	12	3	6	6	2-2 $\times$ 5	6	2-2 $\times$ 5	1~9	Y	双 层 叠 式	I	2.88	880
YR280M-6	90	481	118		18	3- $\emptyset$ 1.50													
YR160M-8	4	262	11	48/36	54	1- $\emptyset$ 1.25	1	1	8	8	1-1.8 $\times$ 4	8	1-1.8 $\times$ 4	1~5	Y	双 层 叠 式	I	0.1418	160
YR160L-8	5.5	243	15		43	1- $\emptyset$ 1.40													
YR180M-8	7.5	105	49	48/36	70	2- $\emptyset$ 0.90	1	2	8	8	1-1.8 $\times$ 4	8	1-1.8 $\times$ 4	1~5	Y	双 层 叠 式	I	0.309	315
YR180L-8	11	140	53		54	2- $\emptyset$ 1.0													
YR200M-8	15	153		72/48	50	2- $\emptyset$ 0.95	1	2	8	8	1-1.8 $\times$ 5	8	1-1.8 $\times$ 5	1~6	Y	双 层 叠 式	I	0.5355	400
YR200L-8	18.5	187	64		43	2- $\emptyset$ 1.30													
YR225M1-8	22	161	90	72/48	62	1- $\emptyset$ 1.25	1	4	6	6	2-1.6 $\times$ 4.5	6	2-1.6 $\times$ 4.5	1~6	Y	双 层 叠 式	I	0.791	400
YR225M2-8	30	200	97		50	1- $\emptyset$ 1.40													
YR250S-8	37	218	110	72/48	46	2- $\emptyset$ 1.06	1	4	6	6	2-1.8 $\times$ 4.5	6	2-1.8 $\times$ 4.5	1~6	Y	双 层 叠 式	I	1.605	515
YR250M-8	45	264	109		38	1- $\emptyset$ 1.18 1- $\emptyset$ 1.25													
YR280S-8	55	279	125	72/48	36	1- $\emptyset$ 1.30	1	4	6	6	2-2 $\times$ 5	6	2-2 $\times$ 5	1~6	Y	双 层 叠 式	I	2.6375	850
YR280M-8	75	359	131		28	1- $\emptyset$ 1.50 1- $\emptyset$ 1.60													

表 4.2.35 YR 系列(IP44)接线转子三相异步电动机技术数据(380V、50Hz)

型号	转子		定子槽数 $Z_1/Z_2$	定子绕组				转子绕组				转动惯量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	质量 (kg)			
	额定功率 (kW)	电压 (V)		电流 (A)	每槽 线数	线规 $n_c\cdot d_c$	节距	并联 路数	绕组 型式	接法	每槽 线数			线规 $n_c\cdot d_c$ 或 $n_c\cdot a\times b$	节距	并联 路数
YR132M1-4	4	230	11.5	102	1- $\varnothing$ 1.8			28	3- $\varnothing$ 1.06			1			0.0895	80
YR132M2-4	5.5	272	13	74	1- $\varnothing$ 0.95	1~9	2	24	2- $\varnothing$ 1.12 1- $\varnothing$ 1.8	1~6		1			0.1043	95
YR160M-4	7.5	250	19.5	74	1- $\varnothing$ 1.12			44	2- $\varnothing$ 1.0			2			0.2378	130
YR160L-4	11	276	25	52	2- $\varnothing$ 0.95			34	3- $\varnothing$ 1.18						0.2935	155
YR180L-4	15	278	34	32	2- $\varnothing$ 1.06			18	3- $\varnothing$ 1.30						0.4925	205
YR200L1-4	18.5	247	47.5	64	1- $\varnothing$ 1.18		4	16	4- $\varnothing$ 1.40			1			0.7998	265
YR200L2-4	22	293	47	54	1- $\varnothing$ 1.30	1~11		8	1- $\varnothing$ 2 $\times$ 5.6	1~9		2			0.8618	290
YR225M2-4	30	360	51.5	22	3- $\varnothing$ 1.25		2	16	6- $\varnothing$ 1.25			2			1.5785	380
YR250M1-4	37	289	79	40	2- $\varnothing$ 1.25	1~12	4	8	1- $\varnothing$ 2.5 $\times$ 5.6			1			2.165	440
YR250M2-4	45	340	81	34	3- $\varnothing$ 1.12			12	8- $\varnothing$ 1.40 2- $\varnothing$ 2 $\times$ 5.6	1~12		2			2.367	490







表 4.2.36 J2 系列三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c-d_c$	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	
J2-61-2	17	110	0.8	155	155	11-3.5	32	1	双 层 叠 式	1-13	36/22	0.0835	
J2-62-2	22	130				2-1.62	26						
J2-61-4	13	120	0.5	182	182	2-1.2	34	2		1-8	36/28		0.205
J2-62-4	17	155				1-1.4	54						
J2-61-6	10	165	0.4	200	200	2-1.12	28	1		1-9	54/44		0.313
J2-62-6	13	205				2-1.25	22						
J2-61-8	7.5	165	0.8	182	182	1-1.45	36	2		1-13	36/28		0.393
J2-62-8	10	205				1-1.2	54						
J2-71-2	30	130	0.5	210	210	4-1.3	20	1		1-9	36/28		0.311
J2-72-2	40	155				4-1.5	16						
J2-71-4	22	145	0.45	327	230	3-1.3	24	2		1-7	54/44		0.391
J2-72-4	30	175				2-1.35	38						
J2-71-6	17	155	1.2	368	210	1-1.4	40	2	1-13	36/28	0.315		
J2-72-6	22	200				1-1.62	32						
J2-71-8	13	155	1.2	368	210	1-1.35	50	1	1-7	54/58	0.391		
J2-72-8	17	200				1-1.45	20						
J2-81-2	55	180	2-1.5	28	2	1-13	36/28	2	1-13	36/28	0.315		

续表

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c-d_c$	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )	
J2-82-2	75	230	1.2		210	2-1.25 3-1.3	22	2	双 层 叠 式	1~13	36/28	0.376	
J2-81-4	40	180	0.65	245	245	1-1.5	54	4		48/38	1~11		0.485
J2-82-4	55	240					20	2					0.615
J2-81-6	30	180	0.5	368	260	2-1.25	32	3		72/58		0.595	
J2-82-6	40	240					24	2				0.768	
J2-81-8	22	180					30	4				0.595	
J2-82-8	30	240	0.45			1-1.5	46	2		60/64	1~9		0.768
J2-81-10	17	180					40	2					0.633
J2-82-10	22	240	1.25		245	2-1.35	30	1		42/34	1~6		0.818
J2-91-2	100	210					16	2					0.537
J2-92-2	125	260	1.5	423	280	5-1.45 5-1.68	14	2		60/50	1~13		0.553
J2-91-4	75	210	0.85										16
J2-92-4	100	260		26	6	1.05							
J2-91-6	55	255	0.5			1-1.56	46	6					1.38
J2-92-6	75	340					34		1.88				

J2-91-8	40	255				2-1.16	36	4	双 层 叠 式	1~11	72/58	1.38
J2-92-8	55	340	0.5	423	1-1.4 1-1.45	28	5	1~9		1~6	60/64	1.86
J2-91-10	30	240										
J2-92-10	40	320	1-1.62	48	1~6	1.67						

表 4.2.37 JO2 系列三相异步电动机技术数据(380V, 50Hz)

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c \cdot d_c$ (mm)	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
JO2-11-2	0.8	65	0.3		67	1-0.67	94		单层同心	1~12	24/20	0.00102
JO2-12-2	1.1	85		120		1-0.77	72			2~11		0.00118
JO2-11-4	0.6	85	0.25		75	1-0.57	115		单层链式	1~6	24/22	0.00184
JO2-12-4	0.8	100				1-0.67	96					0.00206
JO2-21-2	1.5	75	0.4		82	1-0.83	80		单层交叉	1~9	18/16	0.00295
JO2-22-2	2.2	100				1-0.96	60			2~10		0.0035
JO2-21-4	1.1	85		145	90	1-0.72	80			18~11	24/22	0.0044
JO2-22-4	1.5	115	0.25			1-0.83	62		单层链式	1~6		0.0054
JO2-21-6	0.8	85				1-0.67	81				36/33	0.0048
JO2-22-6	1.1	115			94	1-0.77	61	1				0.0061
JO2-31-2	3.0	95	0.45			1-1.16	41		单层同心	1~12	24/20	0.0060
JO2-32-2	4.0	125				1-1.0	56			2~11		0.0072
JO2-31-4	2.2	95		167	104	1-0.96	41		单层交叉	1~9	36/26	0.0086
JO2-32-4	3.0	135	0.3			1-1.12	31			2~10		0.0111
JO2-31-6	1.5	95				1-0.93	60		单层链式	1~6	36/33	0.011
JO2-32-6	2.2	135			114	1-1.04	42					0.0157
JO2-41-2	5.5	110	0.5			2-1.0	53		单层同心	1~12	24/20	0.0128
JO2-42-2	7.5	135		210		2-1.12	44			2~11		0.0157
JO2-41-4	4.0	100	0.35		136	1-1.0	52		单层交叉	1~9	36/26	0.0246
JO2-42-4	5.5	125				1-1.2	41			2~10		0.0318

J02-41-6	3.0	110	0.35	210	148	1-1.2	40		单层链式	1~6	36/33	0.0358
J02-42-6	4.0	140				1-1.04	55				48/44	0.0445
J02-41-8	2.2	110				1-1.12	37					0.0358
J02-42-8	3.0	140				1-1.3	31					0.0445
J02-51-2	10	120	0.6		136	1-1.35 1-1.4	40		单层同心	1~12 2~11	24/20	0.0313
J02-52-2	13	160				1-1.16 2-1.25	32					0.0388
J02-51-4	7.5	120	0.4		162	2-1.0	38		单层交叉	1~9 2~10 18~11	36/26	0.061
J02-52-4	10	160		245		2-1.12	29					0.078
J02-51-6	5.5	130				1-1.2	47				36/33	0.084
J02-52-6	7.5	170			174	1-1.4	37		单层链式	1~6	48/44	0.108
J02-51-8	4.0	130	0.35			1-1.12	48					0.084
J02-52-8	5.5	170				1-1.3	37					0.108
J02-61-2	17	155	0.7		155	2-1.04	50	2		1~11	30/22	0.076
J02-61-4	13	155				1-1.25	54					0.136
J02-62-4	17	190	0.45		182	1-1.45	42			1~8	36/28	0.162
J02-61-6	10	175		280		1-1.16 1-1.12	22	1	双层叠式	1~9	54/44	0.210
J02-62-6	13	220			200	2-1.3	18					0.262
J02-61-8	7.5	175	0.4			1-1.04	58	2		1~7	54/58	0.203
J02-62-8	10	220				1-1.2	46					0.259
J02-71-2	22	155	0.8	327	182	4-1.35	20	1		1~13	36/28	0.111

续表

型号	额定功率 (kW)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子线规 $n_c \cdot d_c$ (mm)	每槽线数	并联支路数	绕组型式	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	
J02-72-2	30	200	0.8		182	2-1.56 2-1.62	16	1	双 层 叠 式	1~13		0.130	
J02-71-4	22	175	0.5	210		2-1.25	42	2			1~9	36/28	0.284
J02-72-4	30	235					32	1					
J02-71-6	17	200	0.45	327	230	1-1.45 1-1.5	18	1			1~7	54/44	0.421
J02-72-6	22	250				28	2						
J02-71-8	13	200	0.45	327	230	1-1.35	42	2			1~13	36/28	0.430
J02-72-8	17	250				34	2						
J02-82-2	40	240	1.2	210	245	1-1.5 2-1.56	26	3			1~11	48/38	0.763
J02-82-4	40	275	0.65			22							
J02-81-6	30	240	0.5	368	260	2-1.25	32	3			1~11	72/58	1.035
J02-82-6	40	310	0.5			24							
J02-81-8	22	240	0.5	368	260	2-1.45	24	2			1~9	72/58	0.835
J02-82-8	30	310				20	2						
J02-81-10	17	240	0.45	368	260	2-1.25	34	2			1~6	60/64	0.883
J02-82-10	22	310				26	2						

JO2-91-2	55	260				4-1.56	20	2	双 层 叠 式			0.623
JO2-92-2	75	300	1.6	245	5-1.56	16	2	1~15		42/34		0.755
JO2-93-2	100	365			7-1.56	12	2					0.900
JO2-91-4	55	260			2-1.5	34	4					1.134
JO2-92-4	75	340	0.85	280	3-1.45	26	5	1~13		60/50		1.383
JO2-93-4	100	380			4-1.4	22	4					1.609
JO2-91-6	55	320		423	3-1.4	20	3					1.035
JO2-92-6	75	420	0.6		2-1.4	30	6	1~11		72/58		1.806
JO2-91-8	40	320			2-1.3	34	4					1.035
JO2-92-8	55	420	0.5	300	2-1.5	26	4	1~9				1.806
JO2-91-10	30	320			1-1.4	52	5			60/64	1.642	
JO2-92-10	40	400			2-1.16	42	5				1.986	

表 4.2.38 JR2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据

型 号	额定功率 (kW)	满载时				转 子		最大转矩 额定转矩	
		电压 (V)	电流 (A)	效率 (%)	功率因数	转速 (r/min)	电压 (V)		电流 (A)
JR2-51-4	5.5	220/380	21.4/12.4	81	0.83	1410	214	16.6	2.0
JR2-52-4	7.5	220/380	28.4/16.4	82.5	0.84	1420	255	18.1	2.0
JR2-62-4	10	220/380	37/21.4	83.5	0.85	1460	256	24.3	2.0
JR2-63-4	13	220/380	46.9/27.1	84.5	0.86	1445	252	31.5	2.0
JR2-71-4	22	380	46	87.5	0.83	1470			2.5
JR2-72-4	30	380	61.7	89	0.83	1470			2.5
JR2-81-4	37	380	72.6	89	0.87	1470			2.5
JR2-82-4	40	380	78.5	89	0.87	1470			2.5
JR2-91-4	55	380	107.9	89	0.87	1480			2.5
JR2-92-4	75	380	143.8	90	0.88	1480			2.5
JR2-51-6	4.0	220/380	17.7/10.2	78	0.76	930	284	9.6	1.8
JR2-52-6	5.5	220/380	23.7/13.7	79	0.77	940	259	13.2	1.8
JR2-62-6	7.5	220/380	31/17.9	81.5	0.78	950	254	18	1.8
JR2-63-6	10	220/380	40.1/23.2	82.5	0.79	950	244	25	1.8
JR2-71-6	17	380	37.5	86	0.80	975			2.2
JR2-72-6	22	380	47.7	86.5	0.81	975			2.2
JR2-81-6	30	380	64.3	86.5	0.82	975			2.2
JR2-82-6	37	380	77.4	87.5	0.83	975			2.2
JR2-82-6	40	380	83.7	87.5	0.83	975			2.2
JR2-91-6	55	380	113.8	88.5	0.83	980			2.2
JR2-92-6	75	380	151.6	89.5	0.84	980			2.2
JR2-51-8	3.0	220/380	15/8.66	75	0.70	695	273	7	1.8
JR2-52-8	4.0	220/380	19.2/11.1	76	0.72	710	274	9.3	1.8
JR2-62-8	5.5	220/380	25.4/14.7	77.5	0.73	710	240	14.1	1.8
JR2-63-8	7.5	220/380	33.4/19.3	79.5	0.74	710	266	17.5	1.8
JR2-71-8	13	380	30.5	84	0.77	725			2.0
JR2-72-8	17	380	39.4	84	0.78	725			2.0
JR2-81-8	22	380	50	84.5	0.79	725			2.0
JR2-82-8	30	380	66.2	86	0.80	725			2.0
JR2-91-8	40	380	85.8	87.5	0.81	735			2.0
JR2-92-8	55	380	115.2	88.5	0.82	735			2.0



表 4.2.39 JRO2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)

型号	额定		满载时			转 子		最大转矩 额定转矩
	功率 (kW)	转速 (r/min)	电流 (A)	效率 (%)	功率 因数	电压 (V)	电流 (A)	
JRO2-61-4	13	1460	27.9	87.5	0.81	290	30	2.5
JRO2-62-4	17	1460	36.1	88.5	0.81	315	25	2.5
JRO2-71-4	22	1460	43.9	89.5	0.85	355	40	2.5
JRO2-72-4	30	1460	59.6	90	0.85	400	50	2.5
JRO2-82-4	40	1470	77.6	90	0.87	425	60	2.5
JRO2-91-4	55	1480	106.1	90.5	0.87	425	84	2.5
JRO2-92-4	75	1480	143.1	91.5	0.87	470	100	2.5
JRO2-61-6	10	965	23	86	0.77	285	22	2.2
JRO2-62-6	13	965	29.1	87	0.78	290	30	2.2
JRO2-71-6	17	980	37.2	88	0.79	315	35	2.2
JRO2-72-6	22	980	46.9	89	0.80	335	40	2.2
JRO2-81-6	30	980	62.1	89.5	0.82	400	50	2.2
JRO2-82-6	40	980	81.4	90	0.83	425	60	2.2
JRO2-91-6	55	980	109.9	90.5	0.84	425	84	2.2
JRO2-61-8	7.5	725	18.6	85	0.72	370	18	2.0
JRO2-62-8	10	730	23.9	86	0.74	385	22	2.0
JRO2-71-8	13	730	30.3	87	0.75	390	30	2.0
JRO2-72-8	17	730	38.6	88	0.76	315	35	2.0
JRO2-81-8	22	730	49	88.5	0.77	335	40	2.0
JRO2-82-8	30	730	64.8	89	0.79	400	50	2.0
JRO2-91-8	40	730	84.4	90	0.80	425	60	2.0
JRO2-92-8	55	730	114.5	91	0.82	460	80	2.0

表 4.2.40 JS2 系列三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)

型号	额定功率 (kW)	定子外径/定子内径 (mm)	铁心长度 $l_{Fe} + n_k b_k$ (mm)	气隙长度 (mm)	定子线规 $n_c \cdot a \times b$ (mm)	每槽线数	接法	节距	槽数 $Z_1/Z_2$	转动惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
JS2-355S1-2	112		160 + 1 × 10		2-1.4 × 5.6	18				1
JS2-355S2-2	132	560/300	180 + 1 × 10	1.5	2-1.5 × 5.6	16		1~12	36/28	1
JS2-355M1-2	160		200 + 2 × 10		2-1.7 × 5.6	15	2Δ			1.25
JS2-355M2-2	190		230 + 3 × 10		2-2.0 × 5.6	13				1.5
JS2-355S1-4	112		160 + 1 × 10		2-2.12 × 3.55	14				2
JS2-355S2-4	132	560/350	190 + 1 × 10	0.9	2-2.5 × 3.55	12		1~14	60/47	2.25
JS2-355M1-4	160		220 + 3 × 10		2-1.32 × 3.55	21	4Δ			2.5
JS2-355M2-4	190		260 + 3 × 10		2-1.6 × 3.55	18				3
JS2-355S1-6	75		160 + 1 × 10		3-Ø1.5	26				3.5
JS2-355S2-6	95		190 + 1 × 10		1-Ø1.4	22				4
JS2-355M1-6	112		230 + 2 × 10		2-Ø1.5	19	3Δ	1~11		4.5
JS2-355M2-6	132		260 + 3 × 10		4-Ø1.4	16				5
JS2-355M3-6	160	560/400	300 + 3 × 10	0.8	7-Ø1.4	14			72/58	6
JS2-355S1-8	60		160 + 1 × 10		4-Ø1.4	22				3.5
JS2-355M1-8	75		230 + 2 × 10		4-Ø1.5	16	2Δ	1~9		4.5
JS2-355M2-8	95		260 + 3 × 10		3-Ø1.4	14				5
JS2-355M3-8	112		300 + 3 × 10		4-Ø1.5	12				6
JS2-355S2-10	60	560/423	190 + 1 × 10		4-Ø1.6	44				4.25
JS2-355M2-10	75		260 + 3 × 10	0.8	1-Ø1.3	34	5Δ	1~9	90/72	5.5
JS2-355M3-10	95		300 + 3 × 10		3-Ø1.3	28				6.25
					1-Ø1.4					
					2-Ø1.5					

JS2-400S1-2	220	650/350	200+1×10	1.7	2-2.24×6	12	2△	1~12	36/28	2.25
JS2-400S2-2	250	650/350	220+3×10	1.0	2-2.5×6	11	4△	1~14	60/47	2.5
JS2-400M1-2	280		260+4×10		2-2.8×6	10				
JS2-400S1-4	220	650/423	220+1×10	0.8	2-1.6×4	18	6△	1~11	72/86	3
JS2-400S2-4	250		230+2×10		2-1.8×4	16				
JS2-400M1-4	280		270+3×10	0.8	2-2.12×4	14	6△	1~9	90/72	5
JS2-400M2-4	320		310+4×10		2-2.5×4	12				
JS2-400S2-6	190	650/475	230+2×10	0.8	4-∅1.5	29	6△	1~11	72/86	8.25
JS2-400S3-6	220		270+3×10		2-∅1.4	25				
JS2-400M2-6	250		310+4×10	0.8	3-∅1.5	22	6△	1~9	10.75	12
JS2-400M3-6	280		350+5×10		6-∅1.4	20				
JS2-400S2-8	132	650/475	230+2×10	0.8	6-∅1.5	24	4△	1~9	72/86	8.25
JS2-400S3-8	160		270+3×10		5-∅1.5	20				
JS2-400M2-8	190		310+4×10	0.8	3-∅1.5	18	4△	1~9	90/72	10.75
JS2-400M3-8	220		350+5×10		3-∅1.6	16				
JS2-400M4-8	250		390+5×10	0.8	4-∅1.5	14	4△	1~9	72/86	12
JS2-400S3-10	112		270+3×10		4-∅1.4	26				
JS2-400M2-10	132	650/493	310+4×10	0.8	2-∅1.3	22	5△	1~9	90/72	10.75
JS2-400M3-10	160				350+5×10	2-∅1.4				
JS2-400M4-10	190		390+5×10	0.8	3-∅1.5	18	5△	1~9	90/72	13.25
					6-∅1.4	26				
						22	5△	1~9	90/72	12.25
						20				
						18	5△	1~9	90/72	13.75
						18				

表 4.2.41 JR2 系列绕线转子三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)

型 号	额 定 功 率 (kW)	定子外径 /定子内径 (mm)	铁心长度 $l_k + n_k b_k$ (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定子线规 $n_s \cdot a \times b$ (mm)	每 槽 线 数	接 法	节 距	槽 数 $Z_1/Z_2$	转 子		转子线规 $a \times b$ (mm)	转动 惯量 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )
										电 压 V	电 流 A		
JR2-355S1-4	112		170 + 1 × 10	0.9	2-2.24 × 4	14	2△			163	441		3.0
JR2-355S2-4	132	560/350	200 + 1 × 10		2-2.24 × 4	14	4Y	1~14	60/54	189	445	4 × 17	3.25
JR2-355M1-4	160		230 + 3 × 10		2-2.65 × 4	12	4Y			221	459		3.5
JR2-355M2-4	190		270 + 3 × 10		2-1.70 × 4	18	4△			255	469		3.65
JR2-355S1-6	75		180 + 1 × 10	0.8	2-2.24 × 4	14	3Y			119	403		4.45
JR2-355S2-6	95		210 + 1 × 10		2-2.24 × 4	14	2△			138	441		4.95
JR2-355M1-6	112		250 + 2 × 10		2-2.65 × 4	12	2△	1~11	72/54	161	442	5 × 16	5.45
JR2-355M2-6	132		280 + 3 × 10		2-1.90 × 4	16	3△			182	464		6.0
JR2-355M3-6	160	560/400	320 + 3 × 10		2-2.24 × 4	14	3△			208	490		6.65
JR2-355S1-8	60		180 + 1 × 10		2-2.65 × 4	12	2Y	1~9		140	281		4.23
JR2-355M1-8	75		250 + 2 × 10	2-1.90 × 4	16	2△			183	265	3 × 16	5.2	
JR2-355M2-8	95		280 + 3 × 10	2-2.24 × 4	14	2△	1~8	72/84	219	278		5.73	
JR2-355M3-8	112		320 + 3 × 10	2-2.65 × 4	12	2△			244	295		6.35	
JR2-355S2-10	60		210 + 2 × 10	1.0	2-1.80 × 3	16	2△	1~9		129	303		6.0
JR2-355M2-10	75	560/423	280 + 3 × 10		2-1.60 × 3	18	5Y			166	291	3.55 × 17	6.63
JR2-355M3-10	95		320 + 3 × 10		2-1.80 × 3	16	5Y	1~8	90/75	196	312		8.18
JR2-400S1-4	220		210 + 1 × 10		2-1.70 × 4.5	18				255	545		6.35
JR2-400S2-4	250		240 + 2 × 10	60/54	2-1.90 × 4.5	16		1~14		288	547	4 × 20	7
JR2-400M1-4	280	650/423	280 + 3 × 10		2-2.24 × 4.5	14	4△			329	531		7.675
JR2-400M2-4	320		320 + 4 × 10		2-2.65 × 4.5	12				384	516		8.43

JR2-400S2-6	190		240 + 2 × 10		2-2.12 × 4.5	15	3△	1~11	72/90	326	372		11.2
JR2-400S3-6	220		280 + 3 × 10		2-2.36 × 4.5	13				377	371		12.18
JR2-400M2-6	250		320 + 4 × 10		2-1.40 × 4.5	22	6△			446	352		13.7
JR2-400M3-6	280		360 + 5 × 10		2-2.65 × 4.5	12	6Y	1~10		493	356		15.4
JR2-400S2-8	132	650/475	240 + 2 × 10		2-2.24 × 4.5	14	4Y			242	347	3.55 × 17	10.8
JR2-400S3-8	160		280 + 3 × 10		2-2.65 × 4.5	12				283	360		11.88
JR2-400M2-8	190		320 + 4 × 10	0.8	2-1.70 × 4.5	18		1~9	72/84	327	369		13.38
JR2-400M3-8	220		360 + 5 × 10		2-1.90 × 4.5	16	4△			368	379		14.85
JR2-400M4-8	250		400 + 5 × 10		2-2.24 × 4.5	14				420	373		15.5
JR2-400S3-10	112		280 + 3 × 10		2-2.00 × 3.55	16	5Y	1~8		197	364		14.25
JR2-400M2-10	132	650/493	320 + 4 × 10		2-1.40 × 3.55	22				236	353	5 × 16	16
JR2-400M3-10	160		360 + 5 × 10		2-1.60 × 3.55	20	5△	1~9	90/75	260	391		17.75
JR2-400M4-10	190		400 + 5 × 10		2-1.80 × 3.55	18				289	419		19.5

### 11.1.3 单绕组变极变速电动机的速比

常用的单绕组变极变速电机的速比、极数及同步转速见表 4.2.42。

表 4.2.42 单绕组变极变速电机的速比、极数和同步转速

速比	极数	同步转速(r/min)	速比	极数	同步转速(r/min)
1:2	4/2	1500/3000	3:4	8/6	750/1000
	8/4	750/1500	1:2:4	8/4/2	750/1500/3000
	12/6	500/1000		6/4/2	1000/1500/3000
2:3	6/4	1000/1500	1:2:3	12/8/4	500/750/1500
	12/8	500/750		2:3:4	8/6/4
1:4	8/2	750/3000	4:5	10/8	600/750

### 11.1.4 单绕组变极变速的特性

通过绕组的不同接线方式,单绕组变极变速电动机可得近似恒功率、近似恒转矩及转矩随转速的变化而变化的各种不同特性。表 4.2.43 表示倍速比双速电动机的特性。

表 4.2.43 倍速比双速电动机的特性

序号	接 法		转矩比 $M_1/M_h$	功率比 $P_1/P_h$	特 性
	低速	高速			
1	Y	YY	1	0.5	恒转矩
2	YY	YY	2	1	恒功率
3	$\Delta$	YY	1.73	0.87	转矩随转速升高而下降
4	YY	$\Delta$	2.3	1.15	转矩随转速升高而下降
5	Y	$\Delta\Delta$	0.58	0.29	转矩随转速升高而上升

## 11.2 单绕组变极多速电机绕组方案

### 11.2.1 4/2 极绕组方案

#### 11.2.1.1 4/2 极(定子 24 槽)

转向:两个极数转速的转向相反(可通过改变相序使转向相同,以下同)。

节距:1~7 或 1~8。

连接方式: $\Delta$ /YY 或 Y/YY 引接线 6 根,或 YY/YY 引接线 9 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.44。

表 4.2.44 绕组系数气隙磁密比

节距	4p			2p			气隙磁密比 $B_{p1}/B_{p2}$		
	分布系数 $K_{d1}$	短距系数 $K_{p1}$	绕组系数 $K_{d1p1}$	分布系数 $K_{d2}$	短距系数 $K_{p2}$	绕组系数 $K_{d2p2}$	$\Delta$ /YY	Y/YY	YY/YY
1~7	0.836	1.0	0.836	0.958	0.707	0.677	1.4	0.81	1.62
1~8	0.836	0.966	0.808	0.958	0.793	0.76	1.63	0.94	1.88

接线见图 4.2.22 至 4.2.24。

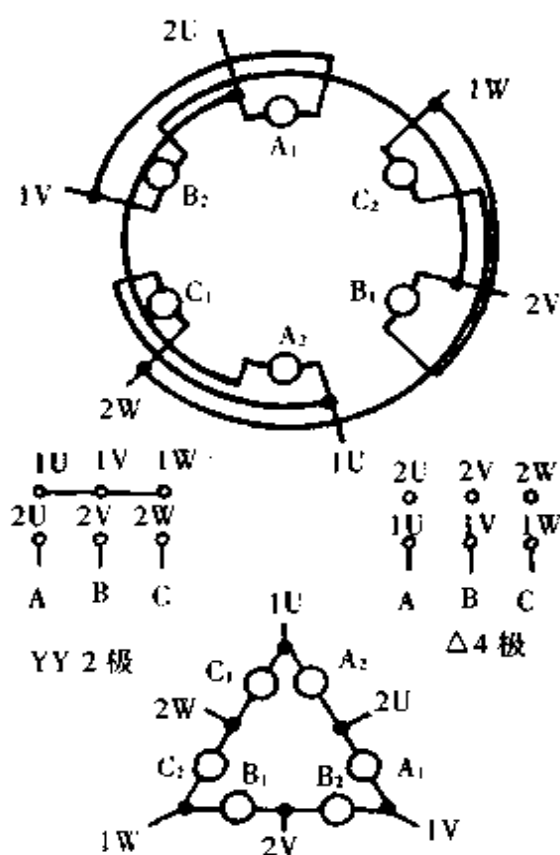


图 4.2.22 4/2 极 24 槽  $\Delta$ /YY 接线图

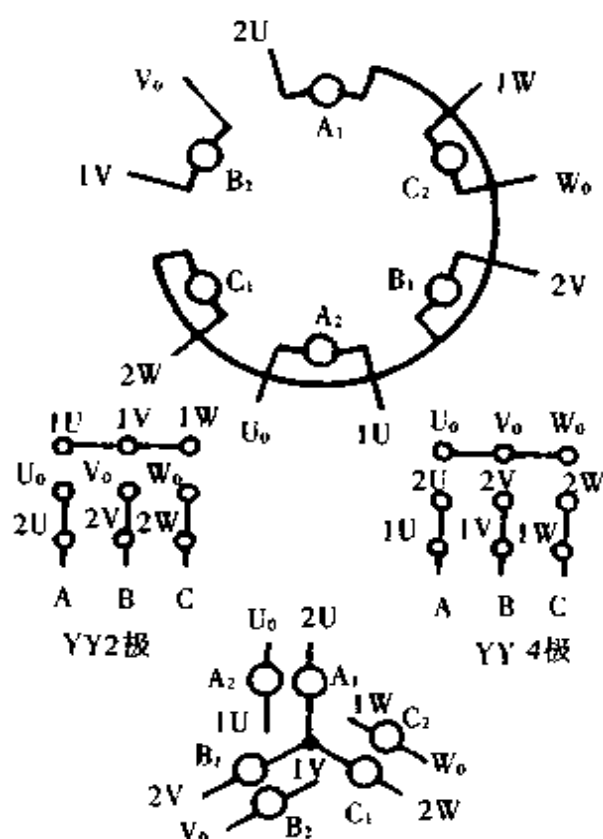


图 4.2.23 4/2 极 24 槽 YY/YY 接线图

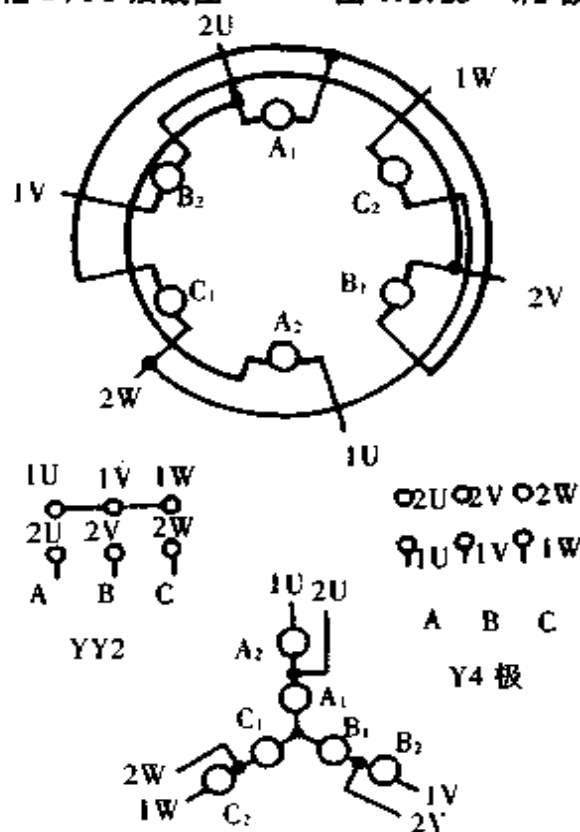


图 4.2.24 4/2 极 24 槽 Y/YY 接线图

图中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2, 3, 4;  $A_2$ ——13, 14, 15, 16;  $B_1$ ——9, 10, 11, 12;  $B_2$ ——21, 22, 23, 24;  $C_1$ ——17, 18, 19, 20;  $C_2$ ——5, 6, 7, 8。

### 11.2.1.2 4/2极(定子36槽)

转向:两个极数转速的转向相反。

节距:1~10或1~11。

连接方式: $\Delta$ / $YY$ 或 $Y$ / $YY$ 引接线6根,或 $YY$ / $YY$ 引接线9根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.45。

表4.2.45 绕组系数及气隙磁密比

节距	$4p$			$2p$			气隙磁密比 $B_{g4}/B_{g2}$		
	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{d4}$	分布系数 $K_{d2}$	短距系数 $K_{p2}$	绕组系数 $K_{d2}$	$\Delta/YY$	$Y/YY$	$YY/YY$
1~10	0.831	1.0	0.831	0.956	0.707	0.676	1.4	0.81	1.63
1~11	0.831	0.985	0.818	0.956	0.766	0.732	1.55	0.89	1.79

接线见图4.2.25至4.2.27。

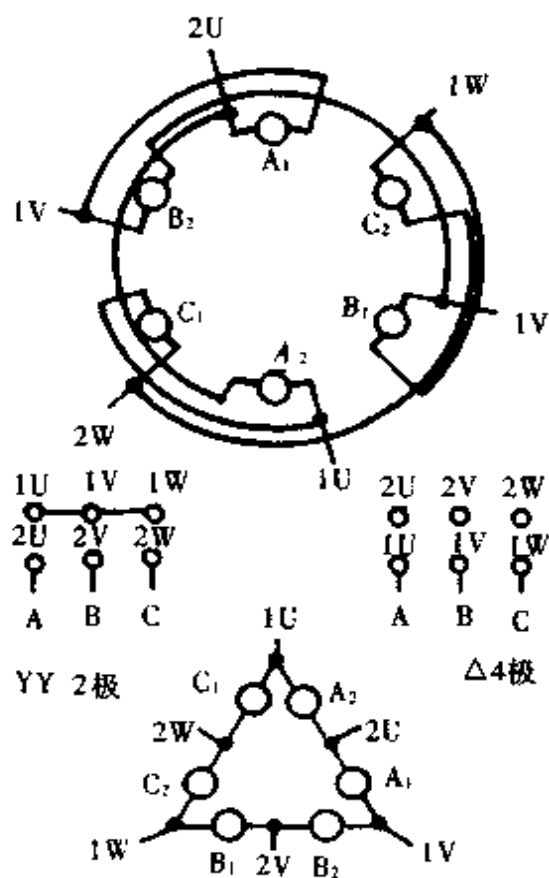


图4.2.25 4/2极36槽 $\Delta$ / $YY$ 接线图

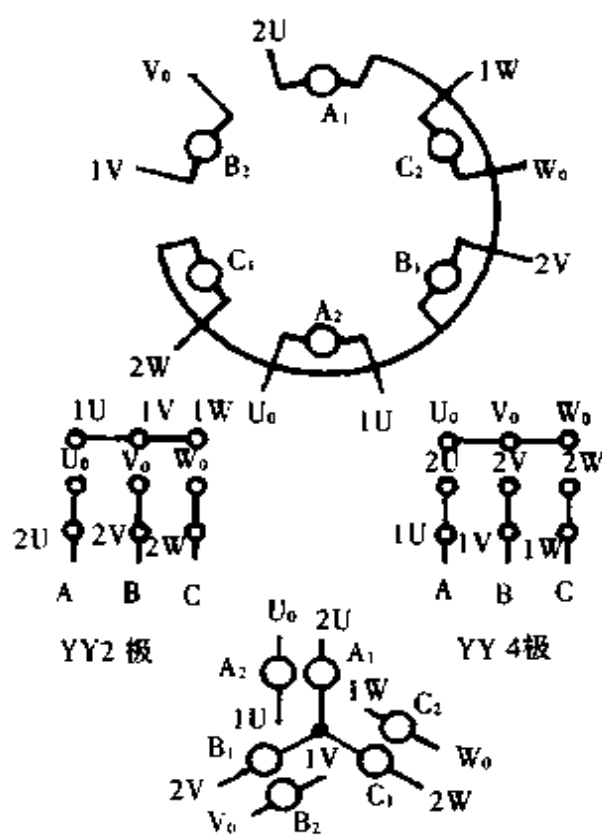


图4.2.26 4/2极36槽 $YY/YY$ 接线图



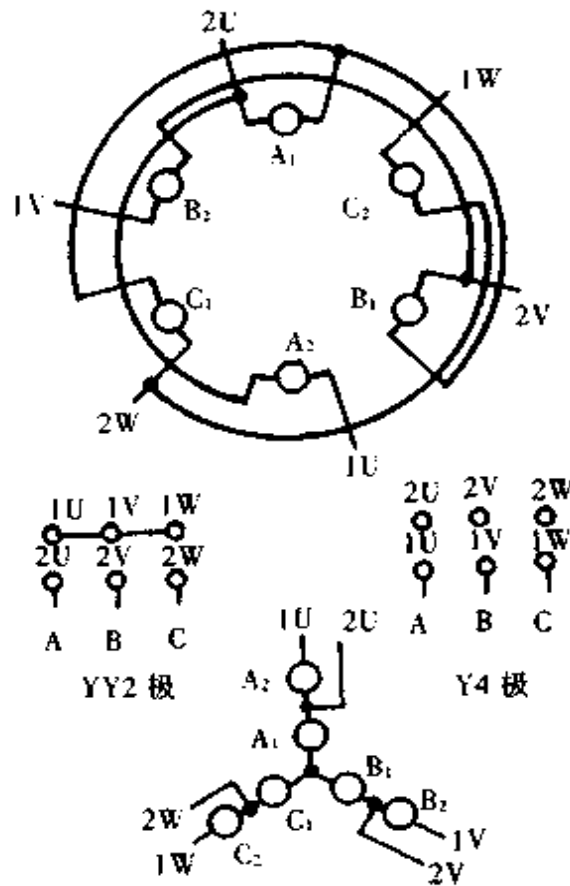


图 4.2.27 4/2 极 36 槽 Y/YY 接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3, 4, 5, 6； $A_2$ ——19, 20, 21, 22, 23, 24； $B_1$ ——13, 14, 15, 16, 17, 18； $B_2$ ——31, 32, 33, 34, 35, 36； $C_1$ ——25, 26, 27, 28, 29, 30； $C_2$ ——7, 8, 9, 10, 11, 12。

### 11.2.1.3 4/2 极(定子 48 槽)

转向:两个极数转速的转向相反。

节距:1~13。

连接方式: $\Delta$ /YY 或 Y/YY 引接线 6 根,或 YY/YY 引接线 9 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.46。

表 4.2.46 绕组系数及气隙磁密比

节距	4p			2p			气隙磁密比 $B_{g1}/B_{g2}$		
	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{w4}$	分布系数 $K_{d2}$	短距系数 $K_{p2}$	绕组系数 $K_{w2}$	$\Delta$ /YY	Y/YY	YY/YY
1~13	0.831	1.0	0.831	0.956	0.707	0.676	1.4	0.816	1.63

接线见图 4.2.28 至 4.2.30。

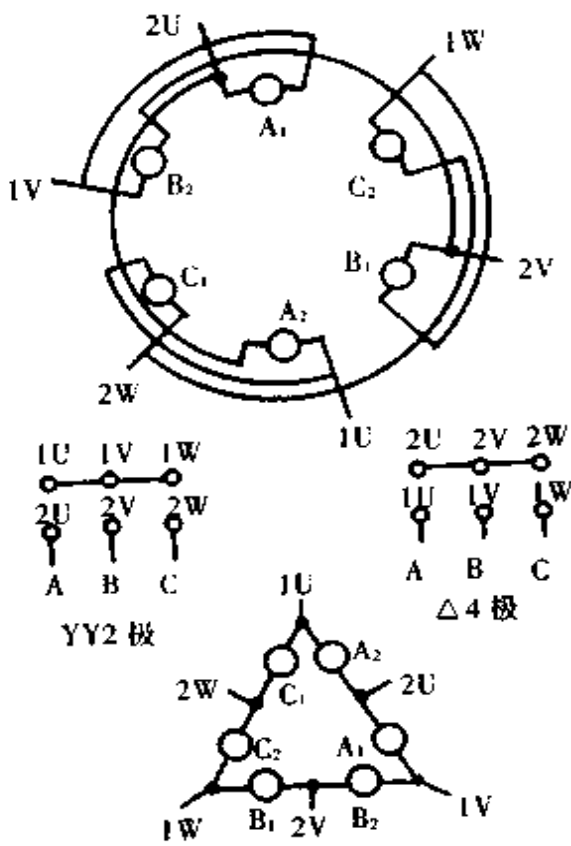


图 4.2.28 4/2 极 48 槽  $\Delta$ /YY 接线图

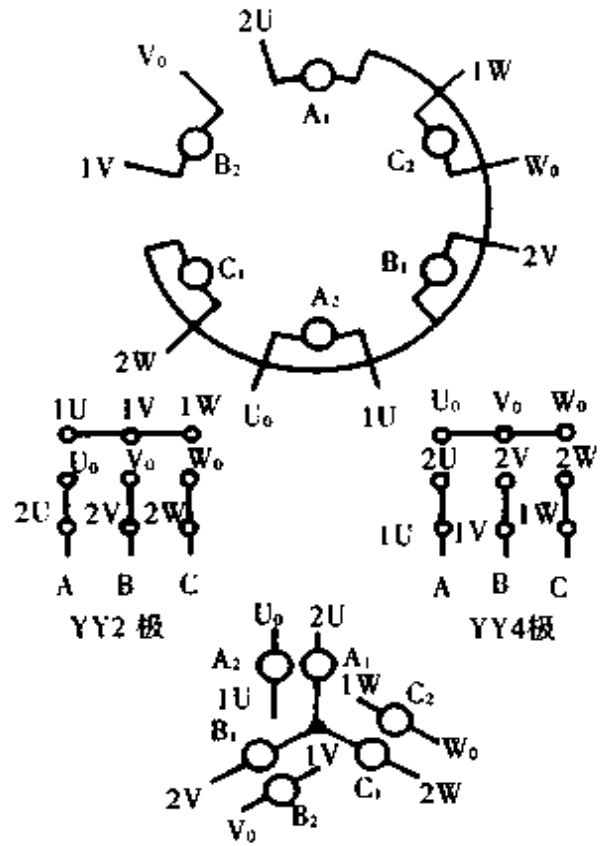


图 4.2.29 4/2 极 48 槽 YY/YY 接线图

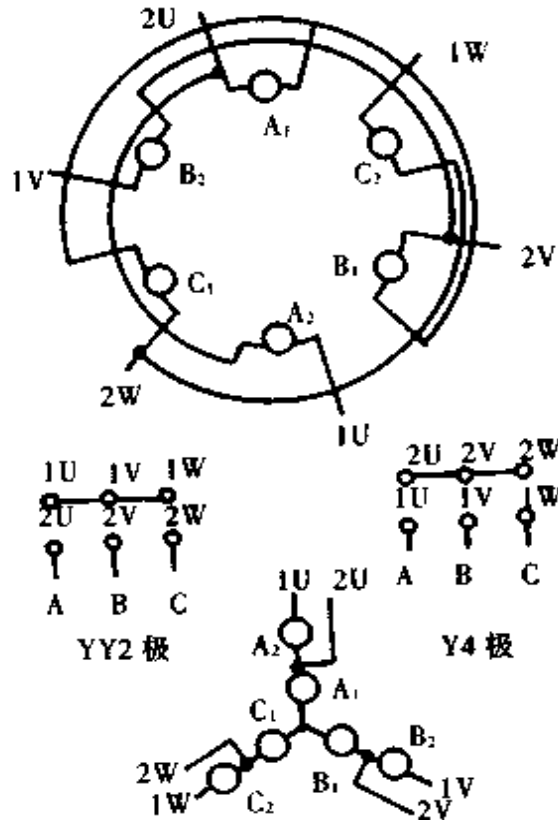


图 4.2.30 4/2 极 48 槽 Y/YY 接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8;  $A_2$ ——25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32;  $B_1$ ——17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24;  $B_2$ ——41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48;  $C_1$ ——33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40;  $C_2$ ——9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16。

11.2.1.4 4/2极(定子60槽)

转向:两个极数转速的转向相反。

节距:1~16。

连接方式: $\Delta$ /YY或Y/YY,引接线6根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.47。

表4.2.47 绕组系数及气隙磁密比

节距	4p			2p			气隙磁密比 $B_{g1}/B_{g2}$		
	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{4p4}$	分布系数 $K_{d2}$	短距系数 $K_{p2}$	绕组系数 $K_{2p2}$	$\Delta$ /YY	Y/YY	YY/YY
1~16	0.831	1.0	0.831	0.956	0.707	0.676	1.41	0.816	1.63

接线见图4.2.31和4.2.32。

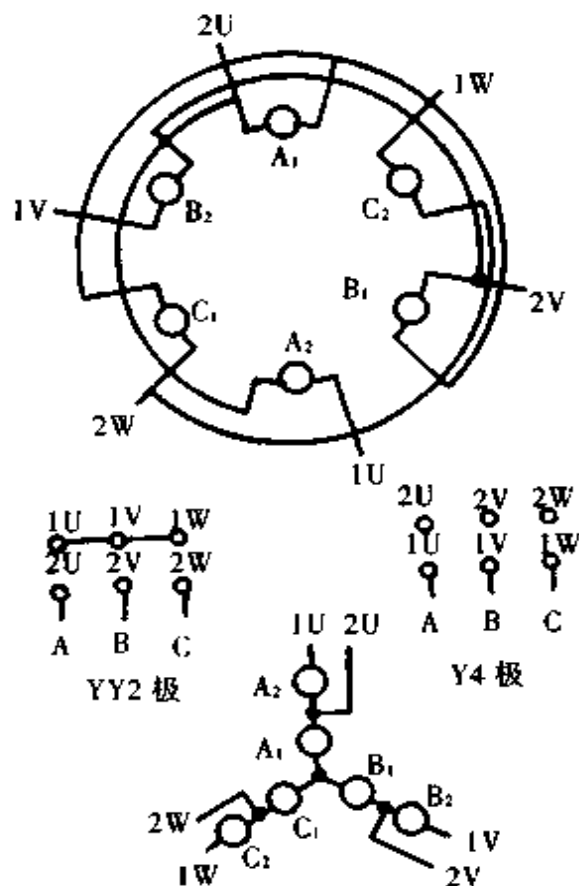


图4.2.31 4/2极60槽Y/YY接线图

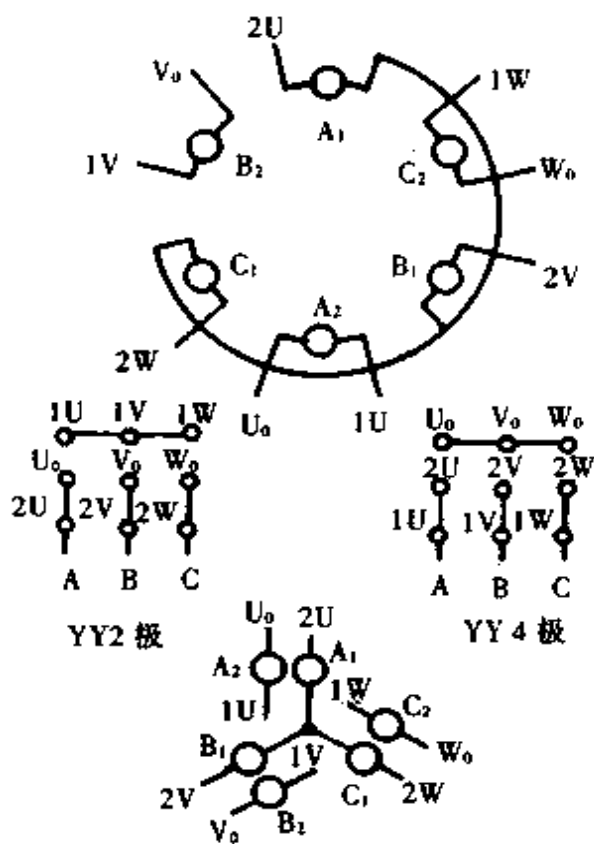


图4.2.32 4/2极60槽YY/YY接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10； $A_2$ ——31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40； $B_1$ ——21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30； $B_2$ ——51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60； $C_1$ ——41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50； $C_2$ ——11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20。

11.2.2 8/4 极绕组方案

11.2.2.1 8/4 极(定子 36 槽)

转向：两个极数转速的转向相反。

节距：1-6。

连接方式： $\Delta/YY$  或  $Y/YY$ ，引接线 6 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.48。

表 4.2.48 绕组系数及气隙磁密比

节距	$8p$			$4p$			气隙磁密比 $B_{g8}/B_{g4}$	
	分布系数 $K_{d8}$	短距系数 $K_{p8}$	绕组系数 $K_{d8}$	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{d4}$	$\Delta/YY$	$Y/YY$
1-6	0.844	0.985	0.831	0.96	0.766	0.735	1.53	0.88

接线见图 4.2.33 和 4.2.34。

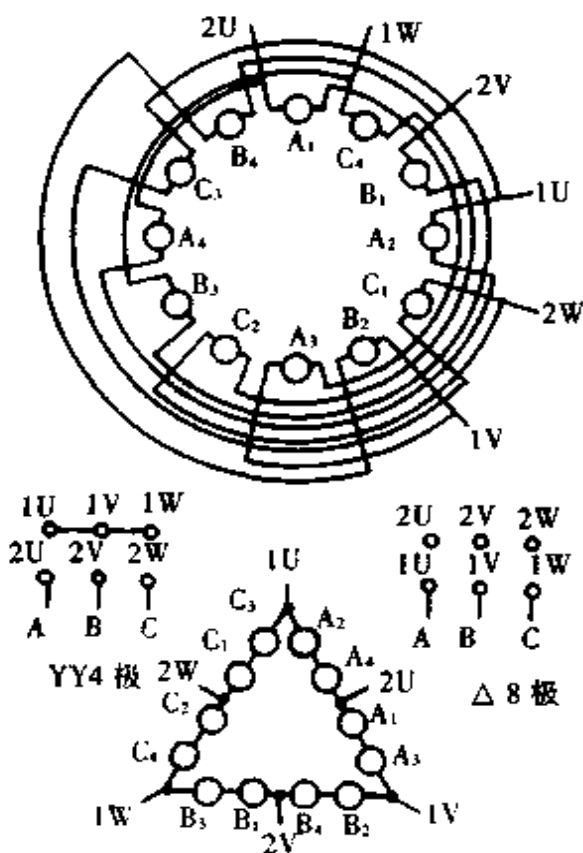


图 4.2.33 8/4 极 36 槽  $\Delta/YY$  接线图

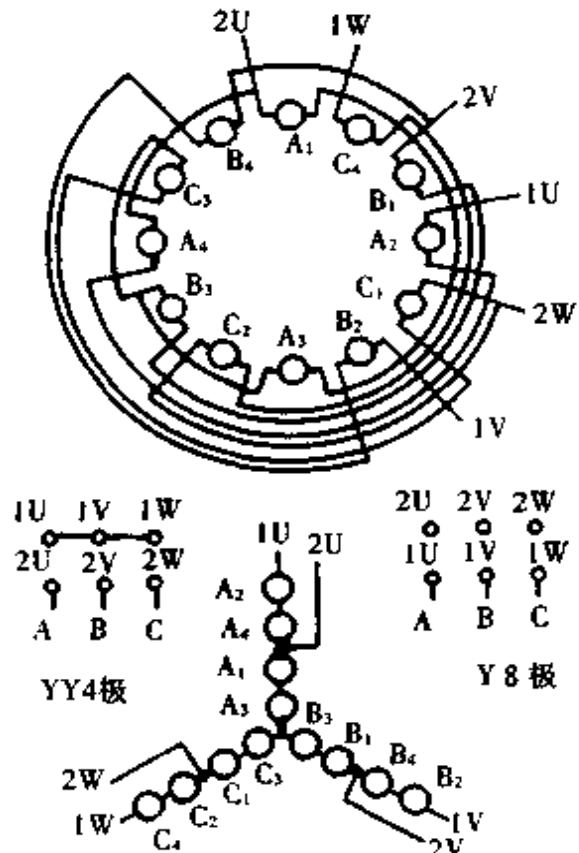


图 4.2.34 8/4 极 36 槽  $Y/YY$  接线图

图中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2, 3;  $A_2$ ——10, 11, 12;  $A_3$ ——19, 20, 21;  $A_4$ ——28, 29, 30;  $B_1$ ——7, 8, 9;  $B_2$ ——16, 17, 18;  $B_3$ ——25, 26, 27;  $B_4$ ——34, 35, 36;  $C_1$ ——13, 14, 15;  $C_2$ ——22, 23, 24;  $C_3$ ——31, 32, 33;  $C_4$ ——4, 5, 6。

### 11.2.2.2 8/4极(定子54槽)

转向:两个极数转速的转向相反。

节距:1~8。

连接方式: $\Delta$ /YY或Y/YY,引接线6根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.49。

表4.2.49 绕组系数及气隙磁密比

节距	8p			4p			气隙磁密比 $B_{\text{g8}}/B_{\text{g4}}$	
	分布系数 $K_{\text{d8}}$	短距系数 $K_{\text{p8}}$	绕组系数 $K_{\text{w8}}$	分布系数 $K_{\text{d4}}$	短距系数 $K_{\text{p4}}$	绕组系数 $K_{\text{w4}}$	$\Delta$ /YY	Y/YY
1~8	0.828	0.998	0.826	0.956	0.727	0.695	1.46	0.84

接线见图4.2.35和4.2.36。

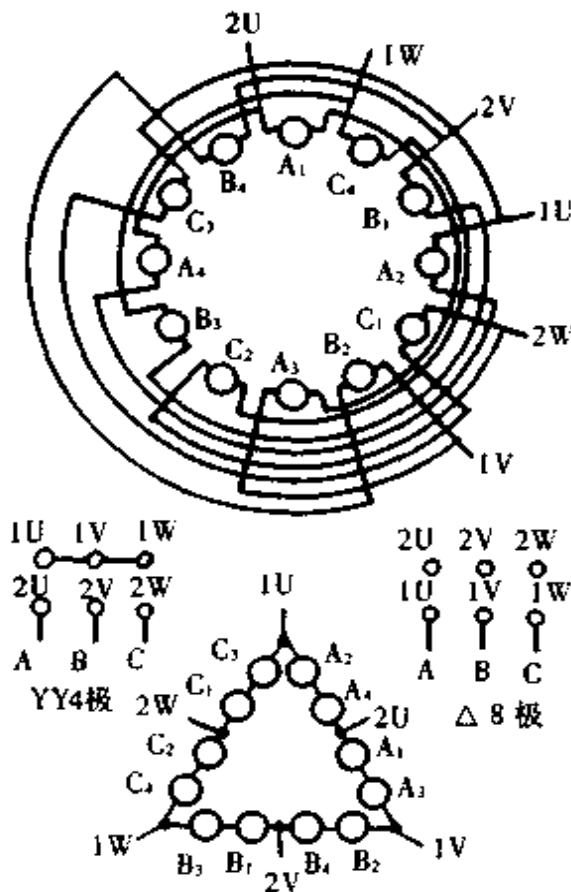


图4.2.35 8/4极54槽 $\Delta$ /YY接线图

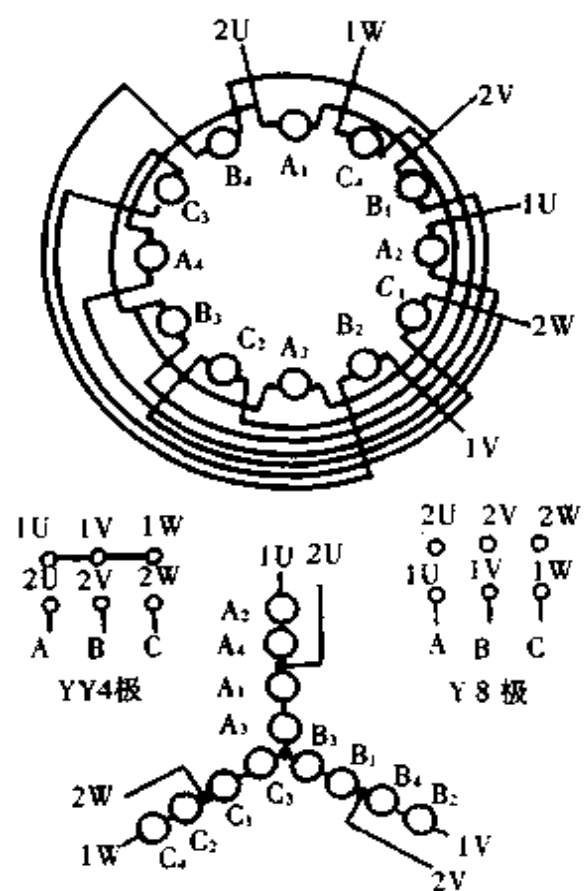


图4.2.36 8/4极54槽Y/YY接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3, 4, 5； $A_2$ ——15, 16, 17, 18； $A_3$ ——28, 29, 30, 31, 32； $A_4$ ——42, 43, 44, 45； $B_1$ ——10, 11, 12, 13, 14； $B_2$ ——24, 25, 26, 27； $B_3$ ——37, 38, 39, 40, 41； $B_4$ ——51, 52, 53, 54； $C_1$ ——19, 20, 21, 22, 23； $C_2$ ——33, 34, 35, 36； $C_3$ ——46, 47, 48, 49, 50； $C_4$ ——6, 7, 8, 9。

### 11.2.2.3 8/4极(定子72槽)

转向：两个极数转速的转向相反。

节距：1~10、1~11或1~12。

连接方式： $\Delta/YY$ 或 $Y/YY$ ，引接线6根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.50。

表4.2.50 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			4p			气隙磁密比 $B_{g6}/B_{g4}$	
	分布系数 $K_{d6}$	短距系数 $K_{p6}$	绕组系数 $K_{d6}$	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{d4}$	$\Delta/YY$	$Y/YY$
1~10	0.831	1.0	0.831	0.956	0.707	0.676	1.4	0.81
1~11	0.831	0.985	0.819	0.956	0.766	0.732	1.55	0.89
1~12	0.831	0.94	0.781	0.956	0.819	0.783	1.74	1.0

接线见图4.2.37和4.2.38。

### 11.2.3 6/4极绕组方案(绕组方案为不正规分布)

#### 11.2.3.1 6/4极(定子36槽)

转向：两个极数转速的转向相反。

节距：1~7或1~8。

连接方式： $\Delta/YY$ ，引接线6根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.51。

表4.2.51 绕组系数及气隙磁密比

节 距	6p			4p			气隙磁密比 $B_{g6}/B_{g4}$
	分布系数 $K_{d6}$	短距系数 $K_{p6}$	绕组系数 $K_{d6}$	分布系数 $K_{d4}$	短距系数 $K_{p4}$	绕组系数 $K_{d4}$	
1~7	0.88	1.0	0.88	0.831	0.866	0.72	$\Delta/YY$ 1.06
1~8	0.88	0.966	0.85	0.831	0.94	0.78	1.19

接线见图4.2.39。

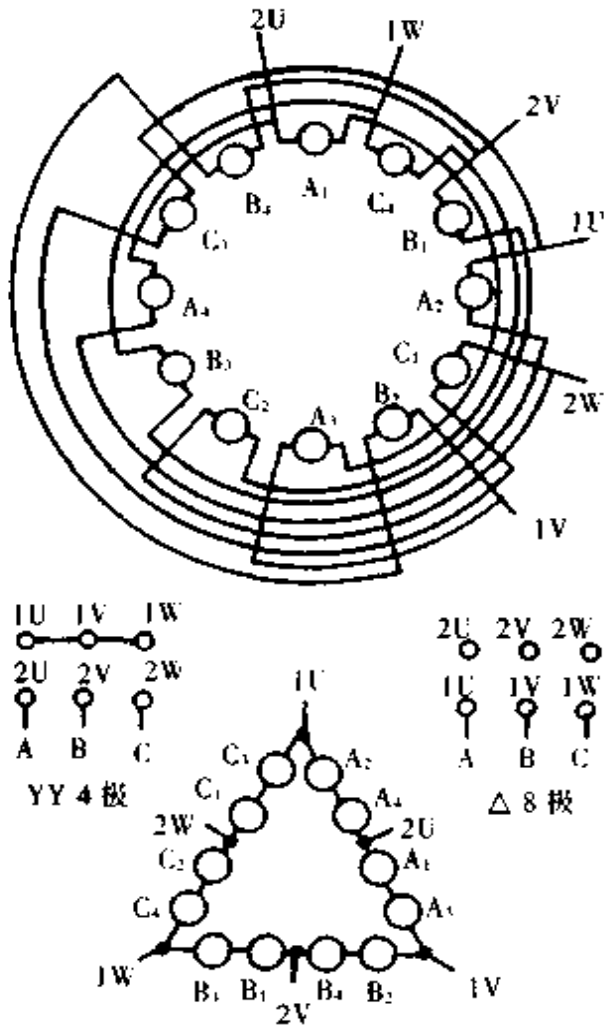
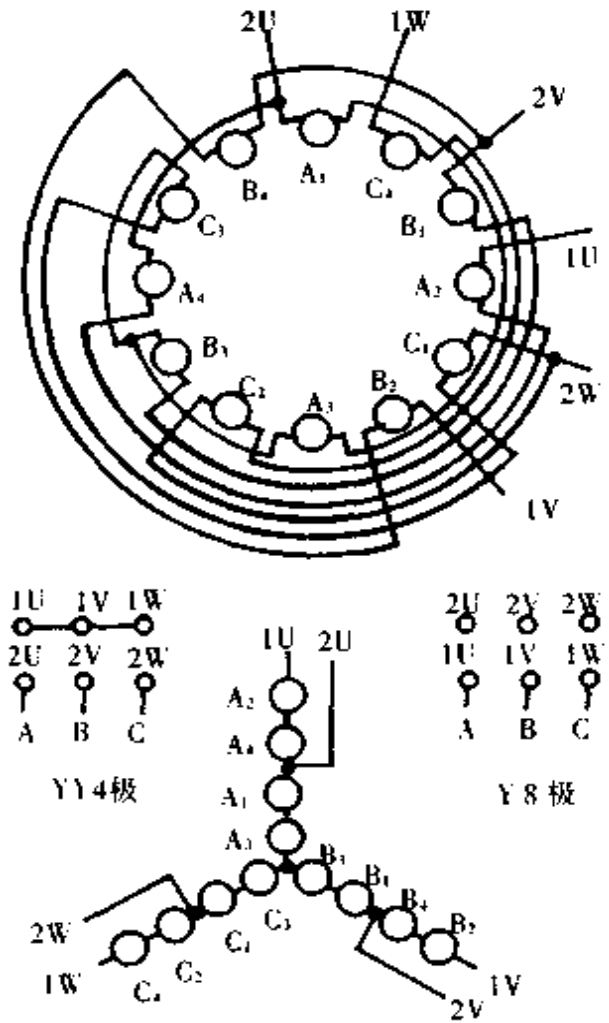
图 4.2.37 8/4 极 72 槽  $\Delta$ /YY 接线图

图 4.2.38 8/4 极 72 槽 Y/YY 接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3, 4, 5, 6； $A_2$ ——19, 20, 21, 22, 23, 24； $A_3$ ——37, 38, 39, 40, 41, 42； $A_4$ ——55, 56, 57, 58, 59, 60； $B_1$ ——13, 14, 15, 16, 17, 18； $B_2$ ——31, 32, 33, 34, 35, 36； $B_3$ ——49, 50, 51, 52, 53, 54； $B_4$ ——67, 68, 69, 70, 71, 72； $C_1$ ——25, 26, 27, 28, 29, 30； $C_2$ ——43, 44, 45, 46, 47, 48； $C_3$ ——61, 62, 63, 64, 65, 66； $C_4$ ——7, 8, 9, 10, 11, 12。

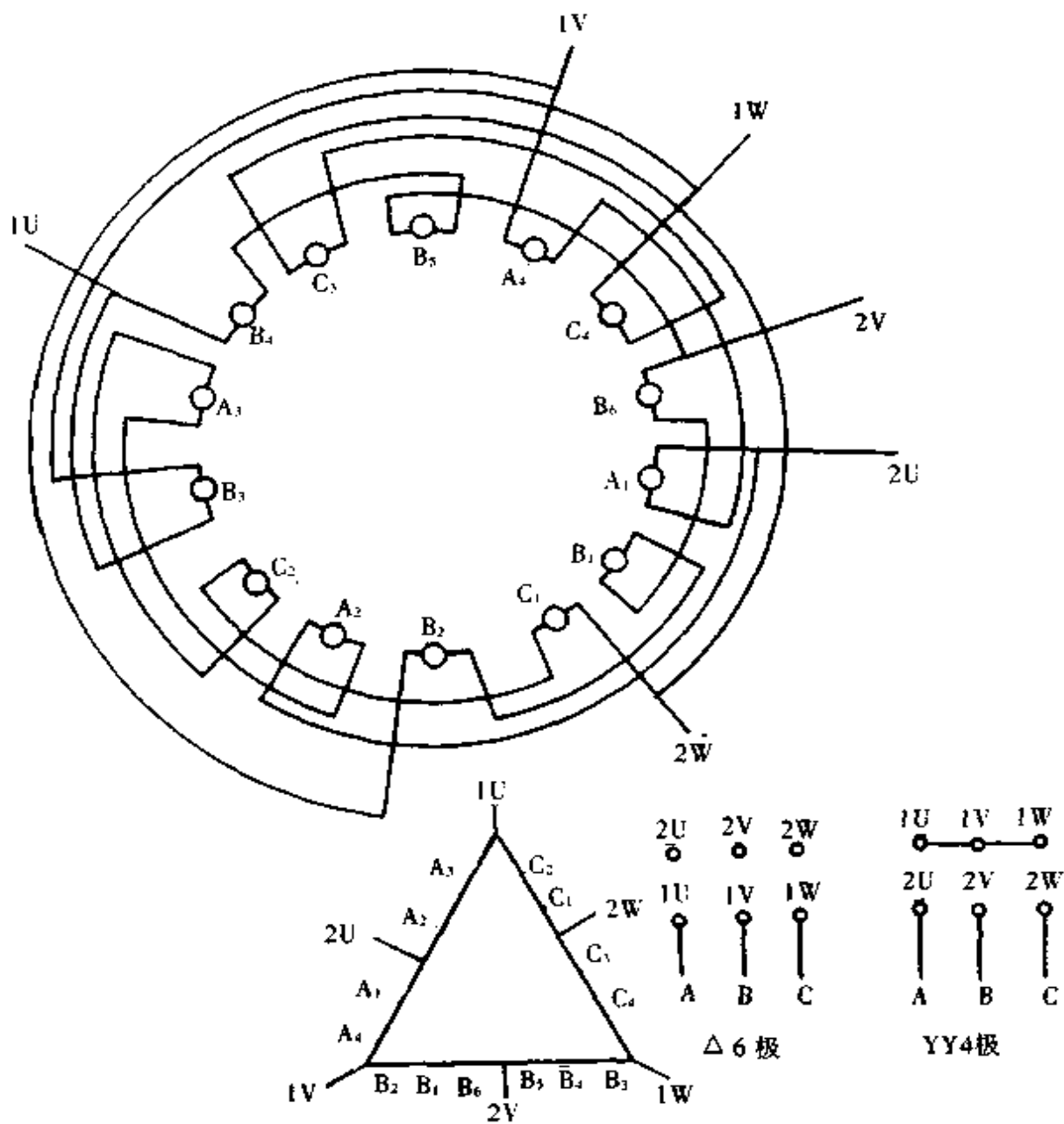


图 4.2.39 6/4 极 36 槽  $\Delta$ /YY 接线图

图中的各相槽号如下： $A_1$ ——2, 3, 4, 5； $A_2$ ——15, 16； $A_3$ ——20, 21, 22, 23； $A_4$ ——33, 34； $B_1$ ——6, 7, 8, 9； $B_2$ ——14； $B_3$ ——19； $B_4$ ——24, 25, 26, 27； $B_5$ ——32； $B_6$ ——1； $C_1$ ——10, 11, 12, 13； $C_2$ ——17, 18； $C_3$ ——28, 29, 30, 31； $C_4$ ——35, 36。

### 11.2.3.2 6/4 极(定子 72 槽)

转向：两个极数转速的转向相反。

节距：1~13, 1~14 或 1~15。

连接方式： $\Delta$ /YY, 引接线 6 根。

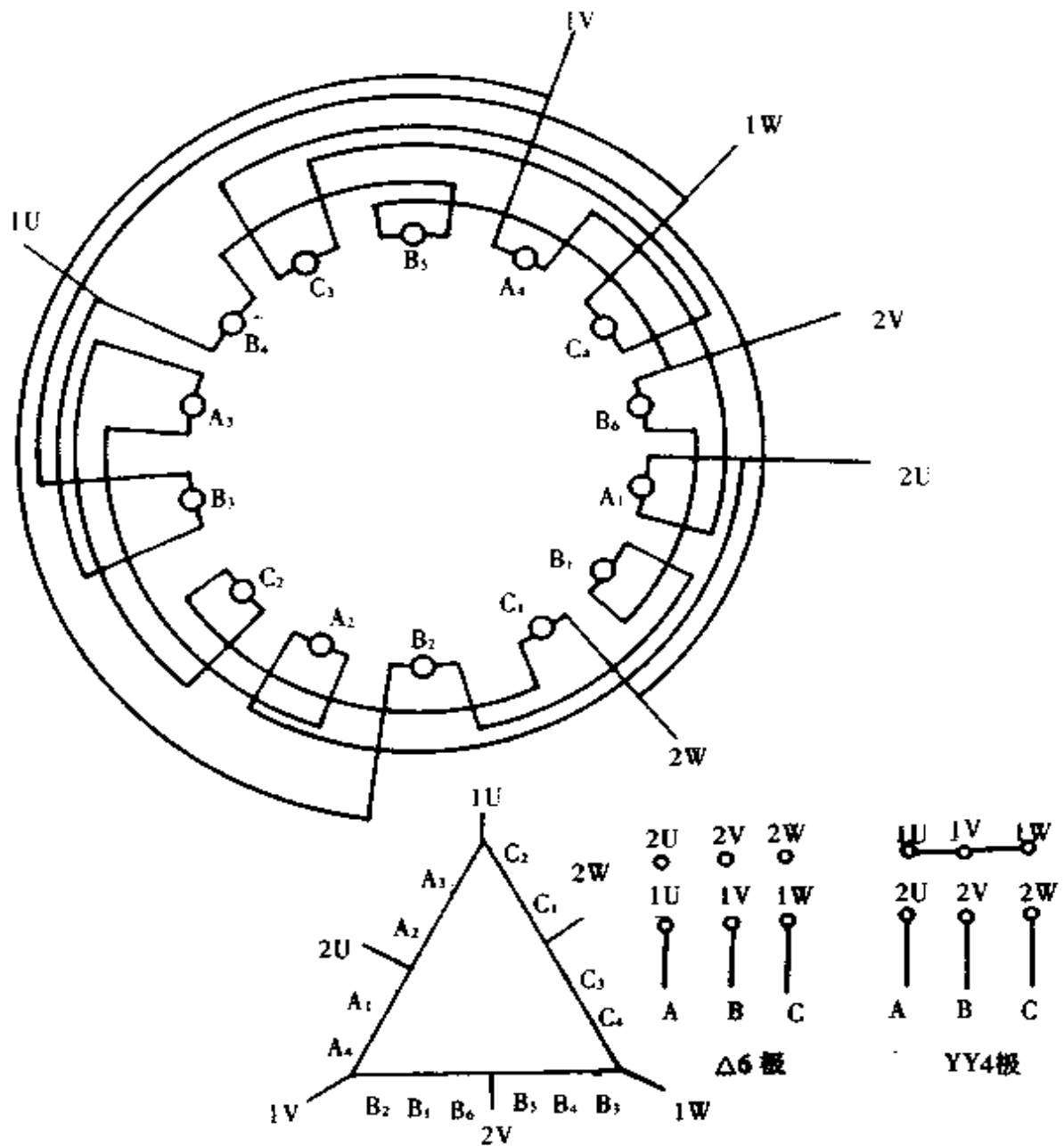
绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.52。



表 4.2.52 绕组系数及气隙磁密比

节距	6p			4p			气隙磁密比 $B_{g6}/B_{g4}$
	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	
1-13	0.88	1.0	0.88	0.831	0.866	0.72	$\Delta/YY$ 1.06
1-14	0.88	0.991	0.872	0.831	0.906	0.753	1.12
1-15	0.88	0.966	0.85	0.831	0.94	0.78	1.19

接线见图 4.2.40。

图 4.2.40 6/4 极 72 槽  $\Delta/YY$  接线图

图中的各相槽号如下:  $A_1$ ——2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9;  $A_2$ ——28, 29, 30, 31;  $A_3$ ——38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45;  $A_4$ ——64, 65, 66, 67;  $B_1$ ——10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17;  $B_2$ ——26, 27;  $B_3$ ——36, 37;  $B_4$ ——46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53;  $B_5$ ——62, 63;  $B_6$ ——72, 1;  $C_1$ ——18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25;  $C_2$ ——32, 33, 34, 35;  $C_3$ ——54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61;  $C_4$ ——68, 69, 70, 71。

#### 11.2.4 8/6 极绕组方案

##### 11.2.4.1 8/6 极(定子 36 槽) 绕组方案为不正规分布。

转向:两个极数转速的转向相同。

节距:1~5 或 1~6。

连接方式: $\Delta/YY$ , 引接线 6 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.53。

表 4.2.53 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			6p			气隙磁密比 $B_{g8}/B_{g6}$	
	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	$\Delta/YY$	
1~5	0.831	0.985	0.819	0.88	0.866	0.762	1.07	
1~6	0.831	0.985	0.819	0.88	0.966	0.85	1.2	

接线见图 4.2.41。

图 4.2.41 中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2;  $A_2$ ——6, 7;  $A_3$ ——9;  $A_4$ ——14;  $A_5$ ——19, 20;  $A_6$ ——24, 25;  $A_7$ ——27;  $A_8$ ——32;  $B_1$ ——5;  $B_2$ ——10;  $B_3$ ——12, 13;  $B_4$ ——17, 18;  $B_5$ ——23;  $B_6$ ——28;  $B_7$ ——30, 31;  $B_8$ ——35, 36;  $C_1$ ——11;  $C_2$ ——15, 16;  $C_3$ ——21, 22;  $C_4$ ——26;  $C_5$ ——29;  $C_6$ ——33, 34;  $C_7$ ——3, 4;  $C_8$ ——8。

##### 11.2.4.2 8/6 极(定子 54 槽) 绕组方案为正规分布。

转向:两个极数转速的转向相同。

节距:1~7。

连接方式: $\Delta/YY$  或  $Y/YY$ , 引接线为 6 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.54。

表 4.2.54 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			6p			气隙磁密比 $B_{g8}/B_{g6}$	
	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	分布系数 $K_d$	短距系数 $K_p$	绕组系数 $K_{dp}$	$\Delta/YY$	$Y/YY$
1~7	0.62	0.985	0.61	0.96	0.866	0.83	1.57	0.91

接线见图 4.2.42 和图 4.2.43。

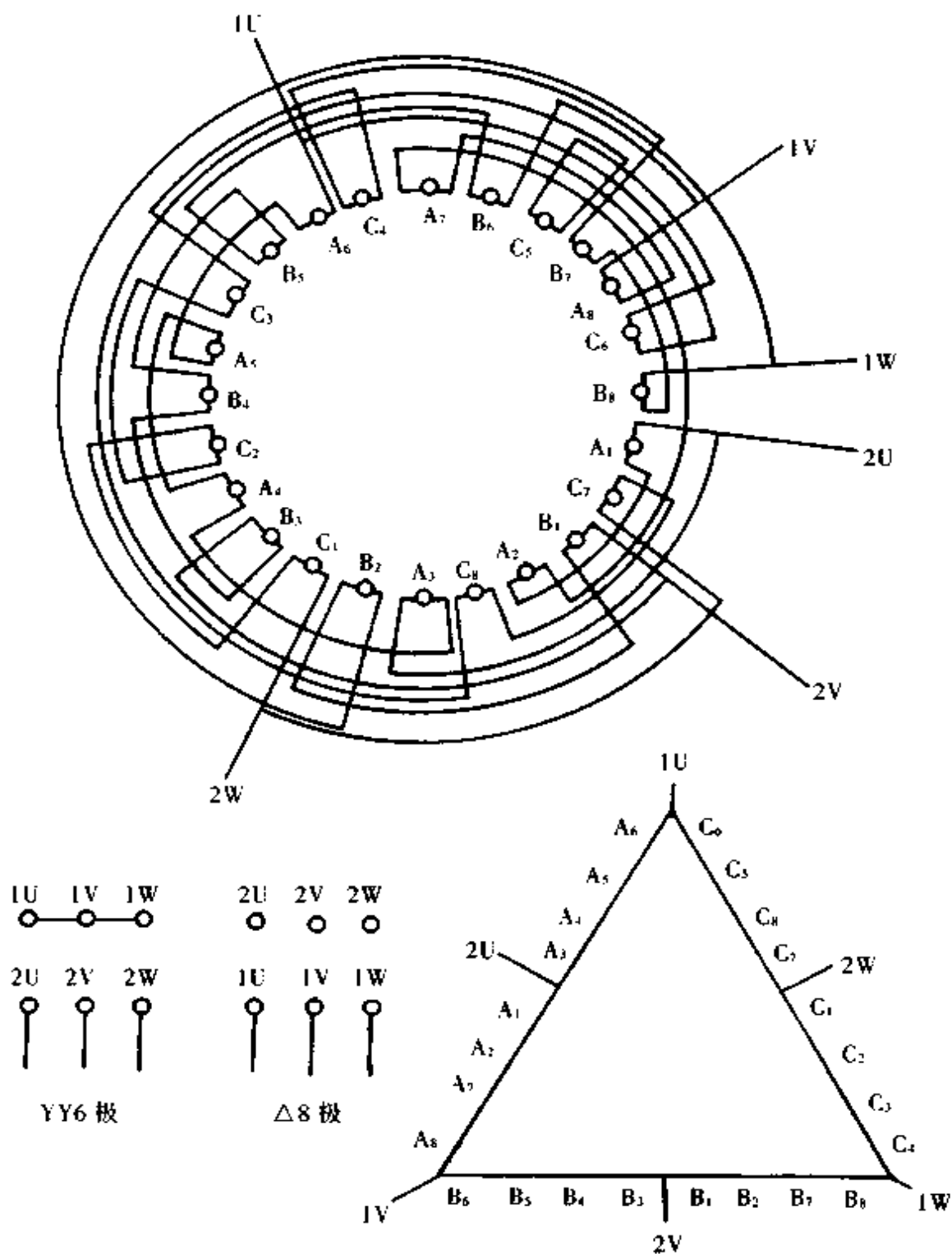


图 4.2.41 8/6 极 36 槽 Δ/YY 接线图

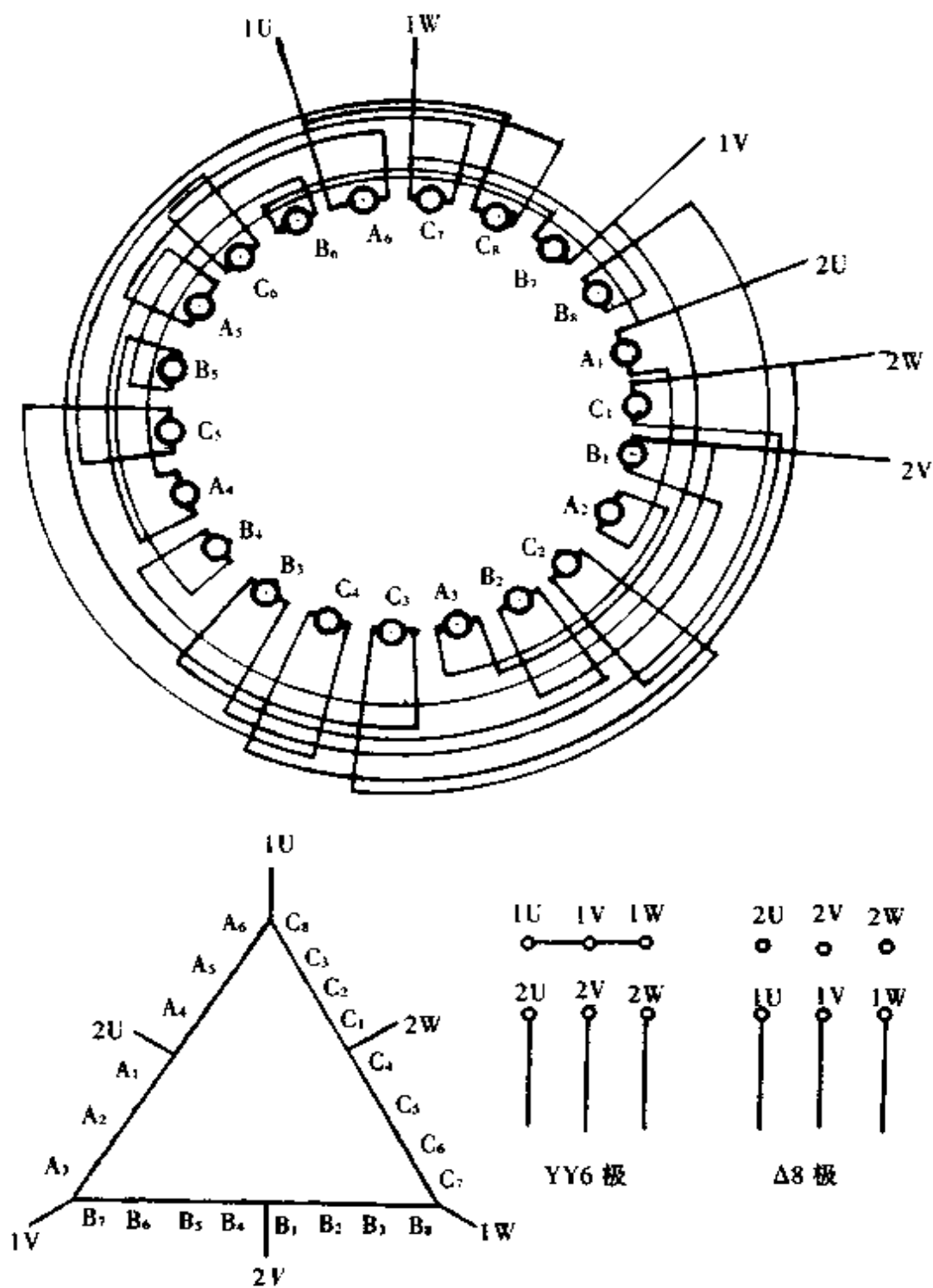


图 4.2.42 8/6 极 S4 槽  $\Delta$ /YY 接线图

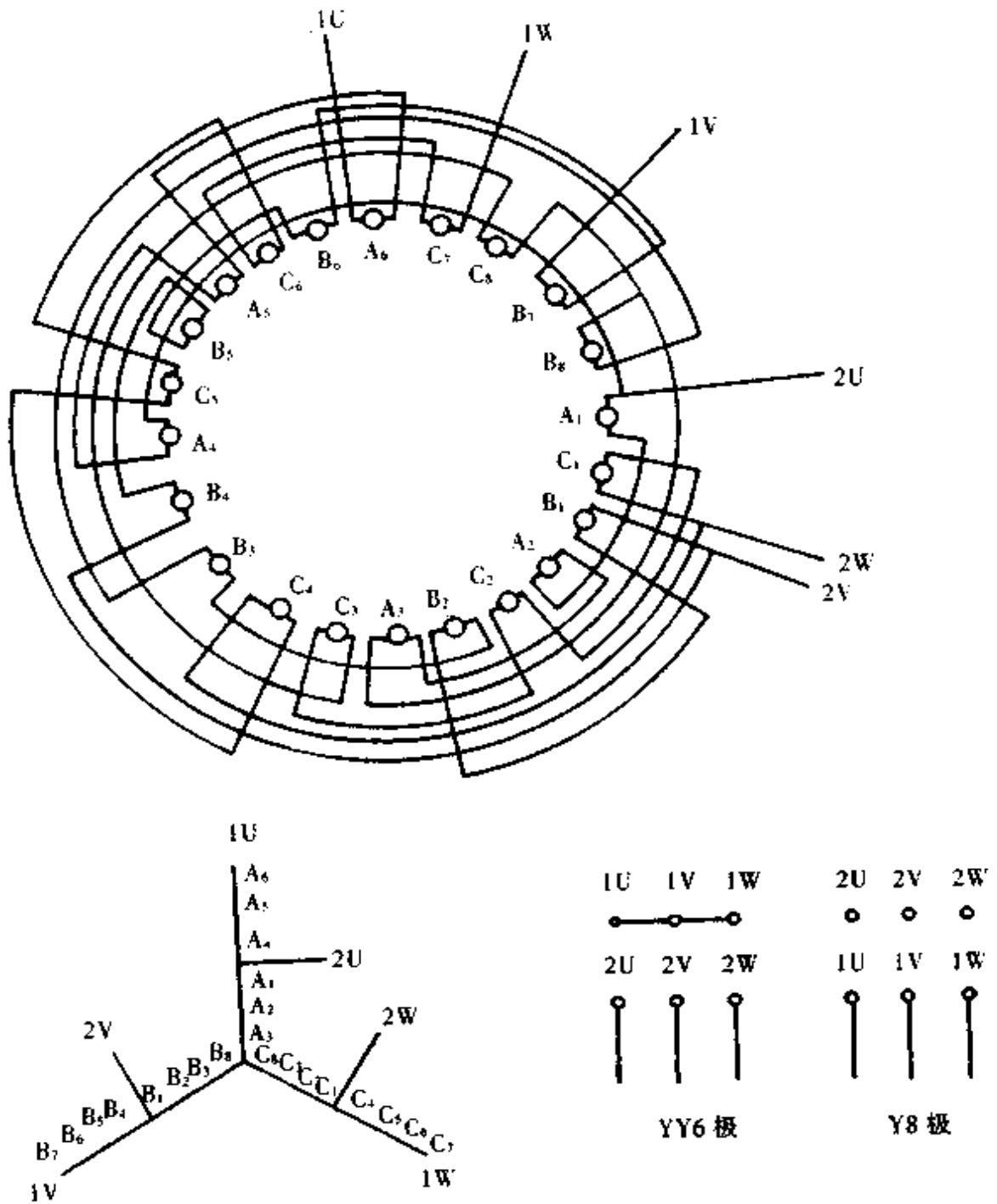


图 4.2.43 8/6 极 54 槽 Y/YY 接线图

图 4.2.42 和图 4.2.43 中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2, 3;  $A_2$ ——10, 11, 12;  $A_3$ ——19, 20, 21;  $A_4$ ——28, 29, 30;  $A_5$ ——37, 38, 39;  $A_6$ ——46, 47, 48;  $B_1$ ——7, 8, 9;  $B_2$ ——16, 17, 18;  $B_3$ ——25;  $B_4$ ——26, 27;  $B_5$ ——34, 35, 36;  $B_6$ ——43, 44, 45;  $B_7$ ——52;  $B_8$ ——53, 54;  $C_1$ ——4, 5, 6;  $C_2$ ——13, 14, 15;  $C_3$ ——22, 23;  $C_4$ ——24;  $C_5$ ——31, 32, 33;  $C_6$ ——40, 41, 42;  $C_7$ ——49, 50;  $C_8$ ——51。

### 11.2.5 12/6 极绕组方案

#### 11.2.5.1 12/6 极(定子 36 槽)

转向: 两个极数转速的转向相反。

节距: 1~4。

连接方式:  $\Delta/YY$ , 引接线 6 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.55。

表 4.2.55 绕组系数及气隙磁密比

节 距	12p			6p			气隙磁密比 $B_{g12}/B_{g6}$
	分布系数 $K_{d12}$	短距系数 $K_{p12}$	绕组系数 $K_{d12}$	分布系数 $K_{d6}$	短距系数 $K_{p6}$	绕组系数 $K_{d6}$	
1~4	0.866	1.0	0.866	0.966	0.707	0.683	$\Delta/YY$ 1.37

接线见图 4.2.44。

图 4.2.44 中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2;  $A_2$ ——7, 8;  $A_3$ ——13, 14;  $A_4$ ——19, 20;  $A_5$ ——25, 26;  $A_6$ ——31, 32;  $B_1$ ——5, 6;  $B_2$ ——11, 12;  $B_3$ ——17, 18;  $B_4$ ——23, 24;  $B_5$ ——29, 30;  $B_6$ ——35, 36;  $C_1$ ——3, 4;  $C_2$ ——9, 10;  $C_3$ ——15, 16;  $C_4$ ——21, 22;  $C_5$ ——27, 28;  $C_6$ ——33, 34。

#### 11.2.5.2 12/6 极(定子 54 槽)

转向: 两个极数转速的转向相反。

节距: 1~6。

连接方式:  $\Delta/YY$ , 引接线 6 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.56。

表 4.2.56 绕组系数及气隙磁密比

节 距	12p			6p			气隙磁密比 $B_{g12}/B_{g6}$
	分布系数 $K_{d12}$	短距系数 $K_{p12}$	绕组系数 $K_{d12}$	分布系数 $K_{d6}$	短距系数 $K_{p6}$	绕组系数 $K_{d6}$	
1~6	0.844	0.985	0.831	0.96	0.766	0.735	$\Delta/YY$ 1.53

接线见图 4.2.45。

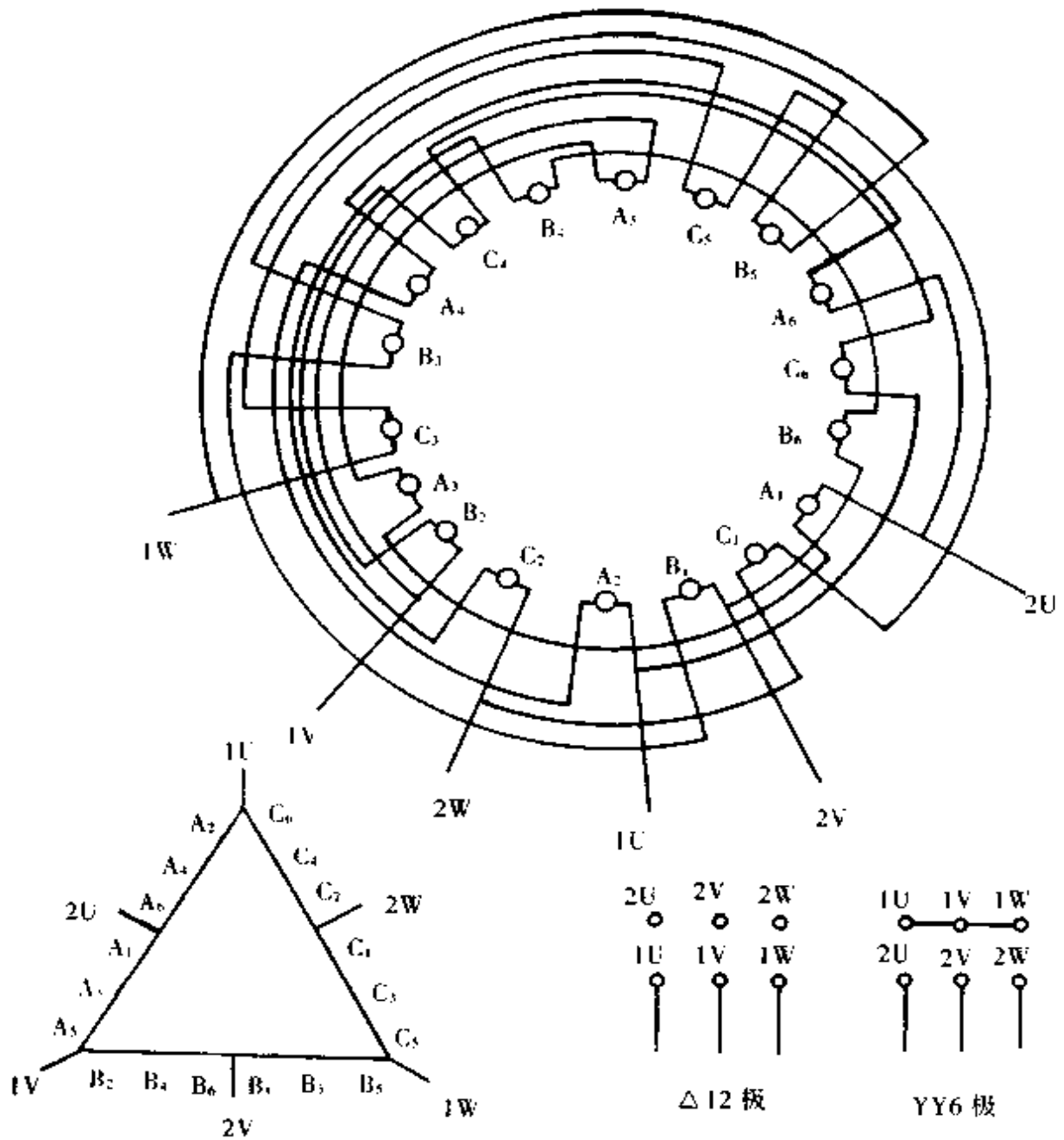


图 4.2.44 12/6 极 36 槽  $\Delta$ /YY 接线图

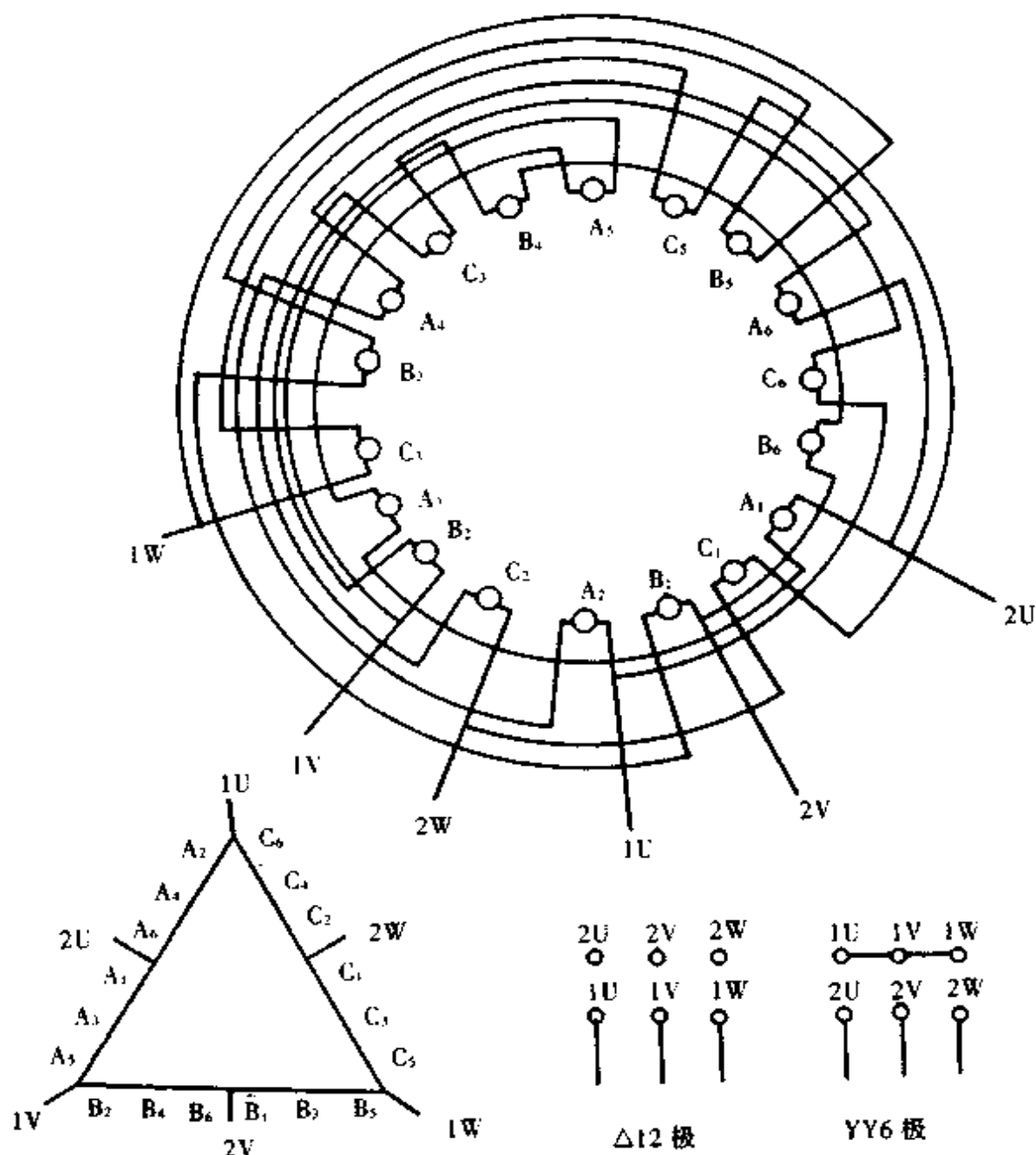
图 4.2.45 12/6 极 54 槽  $\Delta$ /YY 接线图

图 4.2.45 中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3； $A_2$ ——10, 11, 12； $A_3$ ——19, 20, 21； $A_4$ ——28, 29, 30； $A_5$ ——37, 38, 39； $A_6$ ——46, 47, 48； $B_1$ ——7, 8, 9； $B_2$ ——16, 17, 18； $B_3$ ——25, 26, 27； $B_4$ ——34, 35, 36； $B_5$ ——43, 44, 45； $B_6$ ——52, 53, 54； $C_1$ ——4, 5, 6； $C_2$ ——13, 14, 15； $C_3$ ——22, 23, 24； $C_4$ ——31, 32, 33； $C_5$ ——40, 41, 42； $C_6$ ——49, 50, 51。



## 11.2.5.3 12/6极(定子72槽)

转向:两个极数转速的转向相同。

节距:1~7。

连接方式: $\Delta$ /YY,引接线6根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.57。

表4.2.57 绕组系数及气隙磁密比

节距	12p			6p			气隙磁密比 $B_{g12}/B_{g6}$	
	分布系数 $K_{d12}$	短距系数 $K_{p12}$	绕组系数 $K_{d12}$	分布系数 $K_{d6}$	短距系数 $K_{p6}$	绕组系数 $K_{d6}$	$\Delta$ /YY	
1~7	0.836	1.0	0.836	0.958	0.707	0.677	1.4	

接线见图4.2.46。

图4.2.46中的各相槽号如下: $A_1$ ——1,2,3,4; $A_2$ ——13,14,15,16; $A_3$ ——25,26,27,28; $A_4$ ——37,38,39,40; $A_5$ ——49,50,51,52; $A_6$ ——61,62,63,64; $B_1$ ——9,10,11,12; $B_2$ ——21,22,23,24; $B_3$ ——33,34,35,36; $B_4$ ——45,46,47,48; $B_5$ ——57,58,59,60; $B_6$ ——69,70,71,72; $C_1$ ——5,6,7,8; $C_2$ ——17,18,19,20; $C_3$ ——29,30,31,32; $C_4$ ——41,42,43,44; $C_5$ ——53,54,55,56; $C_6$ ——65,66,67,68。

## 11.2.6 8/2极绕组方案

## 11.2.6.1 8/2极(定子36槽)

转向:两个极数转速的转向相同。

节距:1~16。

连接方式:Y/YY,引接线6根;或Y/ $\Delta\Delta$ ,引接线8根。

绕组系数及气隙磁密比见表4.2.58。

表4.2.58 绕组系数及气隙磁密比

节距	8p			2p			气隙磁密比 $B_{g8}/B_{g2}$	
	分布系数 $K_{d8}$	短距系数 $K_{p8}$	绕组系数 $K_{d8}$	分布系数 $K_{d2}$	短距系数 $K_{p2}$	绕组系数 $K_{d2}$	Y/YY	Y/ $\Delta\Delta$
1~16	0.945	0.866	0.82	0.765	0.966	0.74	1.8	1.04

接线见图4.2.47和4.2.48。

图4.2.47和4.2.48中的各相槽号如下: $A_1$ ——1; $A_2$ ——6; $A_3$ ——10,11; $A_4$ ——14,15; $A_5$ ——19; $A_6$ ——24; $A_7$ ——28,29; $A_8$ ——32,33; $B_1$ ——4,5; $B_2$ ——8,9; $B_3$ ——13; $B_4$ ——18; $B_5$ ——22,23; $B_6$ ——26,27; $B_7$ ——31; $B_8$ ——36; $C_1$ ——2,3; $C_2$ ——7; $C_3$ ——12; $C_4$ ——16,17; $C_5$ ——20,21; $C_6$ ——25; $C_7$ ——30; $C_8$ ——34,35。

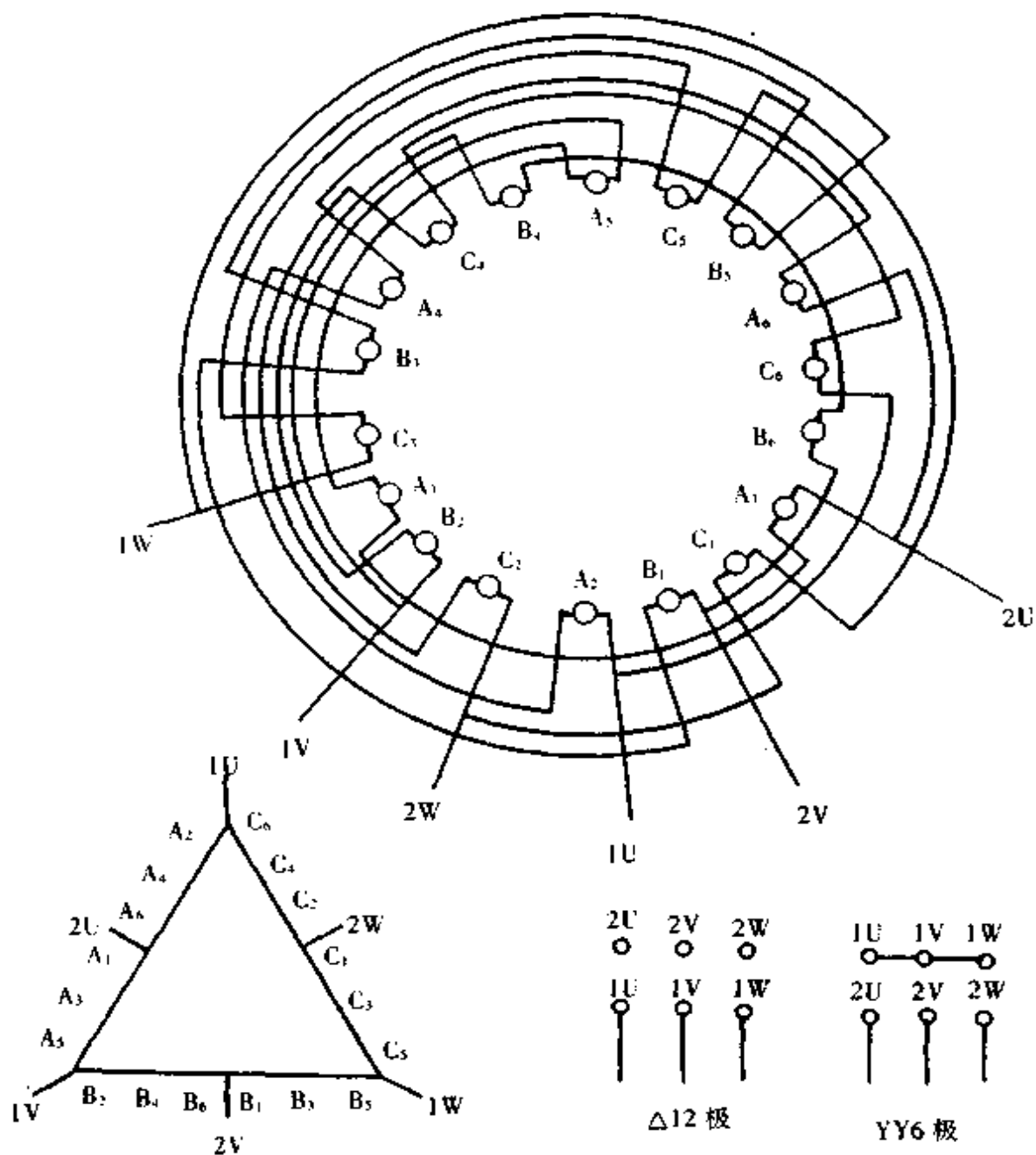


图 4.2.46 12/6 极 72 槽  $\Delta$ /YY 接线图

### 11.2.7 8/4/2 极绕组方案

#### 11.2.7.1 8/4/2 极(定子 36 槽)

转向: 8.2 极转速的转向相同, 4 极转速的转向相反。

节距: 1~7 和 1~13 两种。

连接方式: YY/ $\Delta\Delta$ / $\Delta\Delta$ , 引接线 9 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.59。

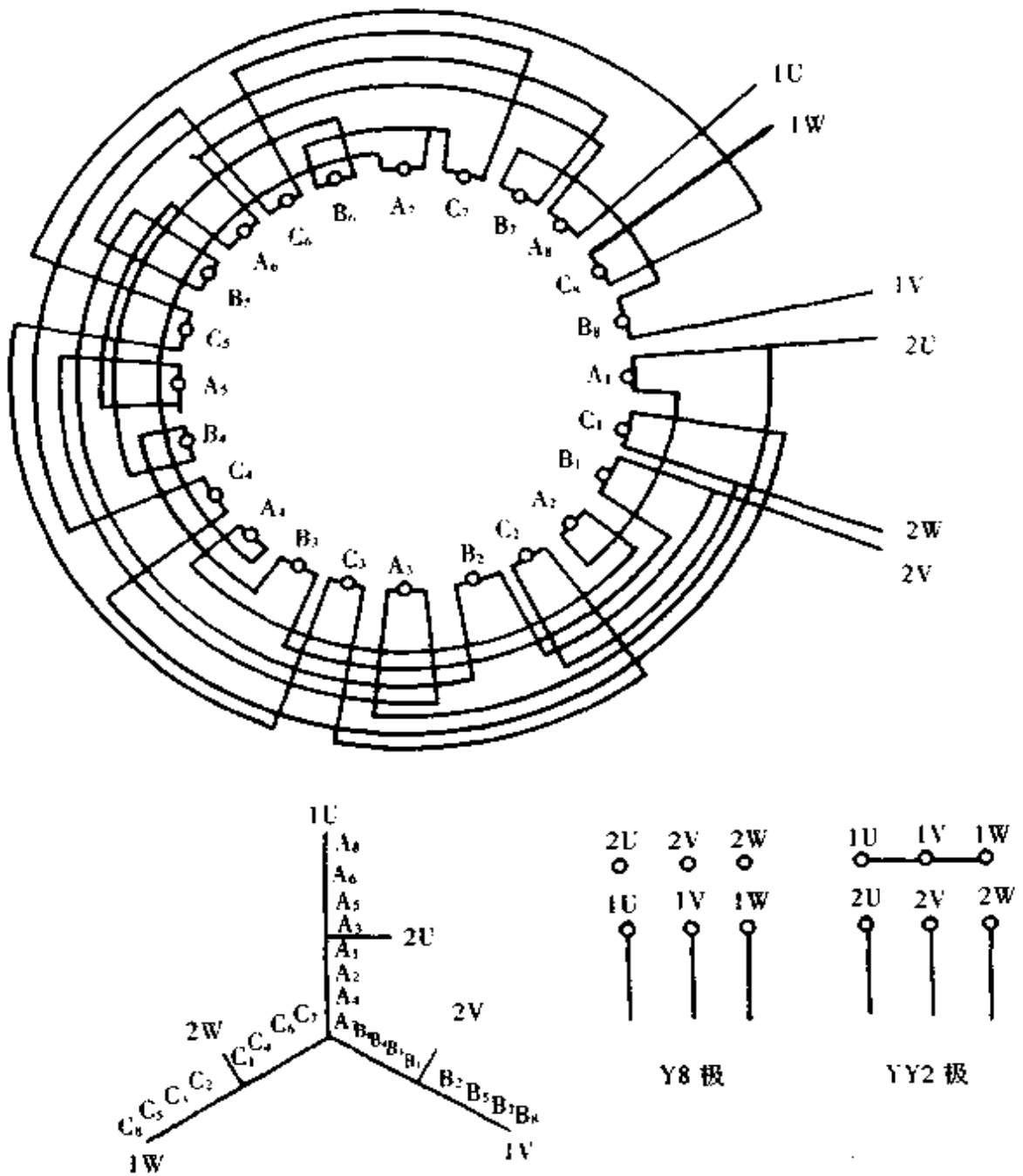


图 4.2.47 8/2 极 36 槽 Y/YY(引接线 6 根)接线图

表 4.2.59 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			4p			2p			气隙磁密比 $B_{\delta 8}/B_{\delta 4}/B_{\delta 2}$
	分布 系数 $K_{d1}$	短距 系数 $K_{p1}$	绕组 系数 $K_{d1p1}$	分布 系数 $K_{d2}$	短距 系数 $K_{p2}$	绕组 系数 $K_{d2p2}$	分布 系数 $K_{d2}$	短距 系数 $K_{p2}$	绕组 系数 $K_{d2p2}$	
1-7 和 1-13	0.8440	0.8660	0.731	0.83	1.0	0.83	0.9660	0.7070	0.683	1/0.66/0.41

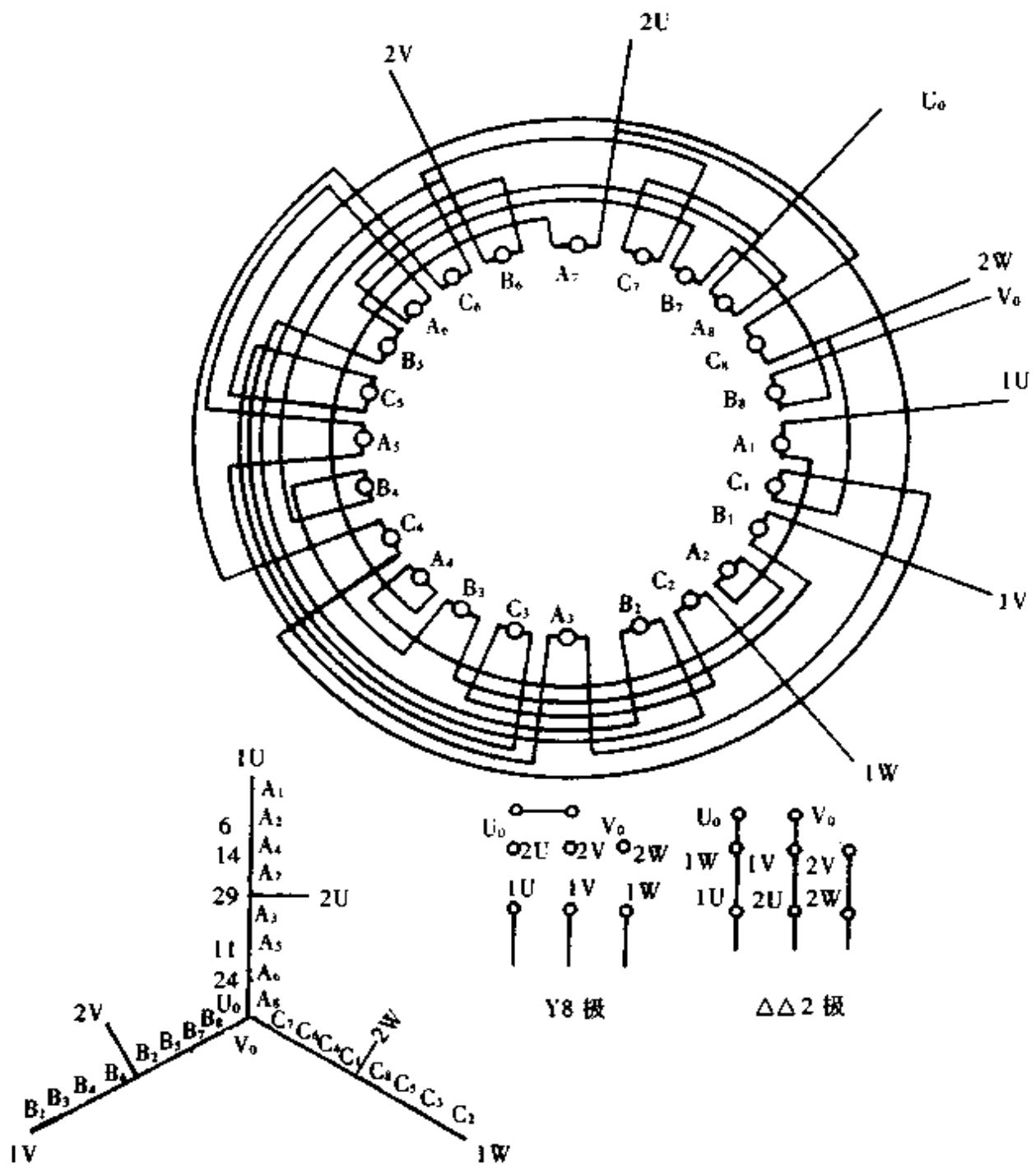


图 4.2.48 8/2 极 36 槽 Y/ΔΔ(引接线 8 根)接线图

接线见图 4.2.49。

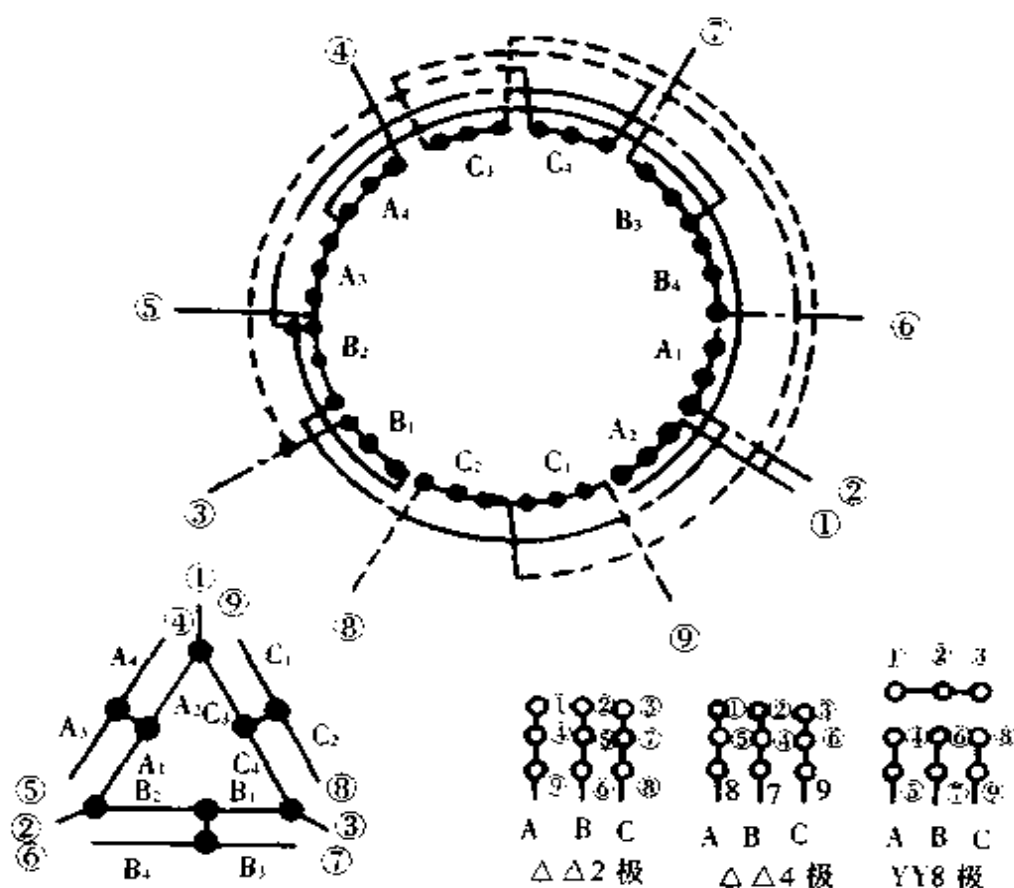


图 4.2.49 8/4/2 极 36 槽 YY/ΔΔ/ΔΔ (引接线 9 根) 接线图

图 4.2.49 中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2, 3;  $A_2$ ——4, 5, 6;  $A_3$ ——19, 20, 21;  $A_4$ ——22, 23, 24;  $B_1$ ——13, 14, 15;  $B_2$ ——16, 17, 18;  $B_3$ ——31, 32, 33;  $B_4$ ——34, 35, 36;  $C_1$ ——7, 8, 9;  $C_2$ ——10, 11, 12;  $C_3$ ——25, 26, 27;  $C_4$ ——28, 29, 30。其中  $A_1, C_1, B_1$  及  $A_3, C_3, B_3$  节距为 1~13;  $A_2, C_2, B_2$  及  $A_4, C_4, B_4$  节距为 1~7。

### 11.2.7.2 8/4/2 极 (定子 36 槽)

转向: 2、4 极转速的转向相同, 8 极转速的转向相反。

节距: 1~7。

连接方式: YY/ΔΔ/ΔΔ, 引接线 12 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.60。

表 4.2.60 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			4p			2p			气隙磁密比 $B_{a8}/B_{a4}/B_{a2}$
	分布 系数 $K_{a8}$	短距 系数 $K_{p8}$	绕组 系数 $K_{a8p8}$	分布 系数 $K_{a4}$	短距 系数 $K_{p4}$	绕组 系数 $K_{a4p4}$	分布 系数 $K_{a2}$	短距 系数 $K_{p2}$	绕组 系数 $K_{a2p2}$	
1~7	0.844	0.866	0.731	0.96	0.866	0.831	0.956	0.5	0.478	1/0.76/0.66

接线见图 4.2.50。

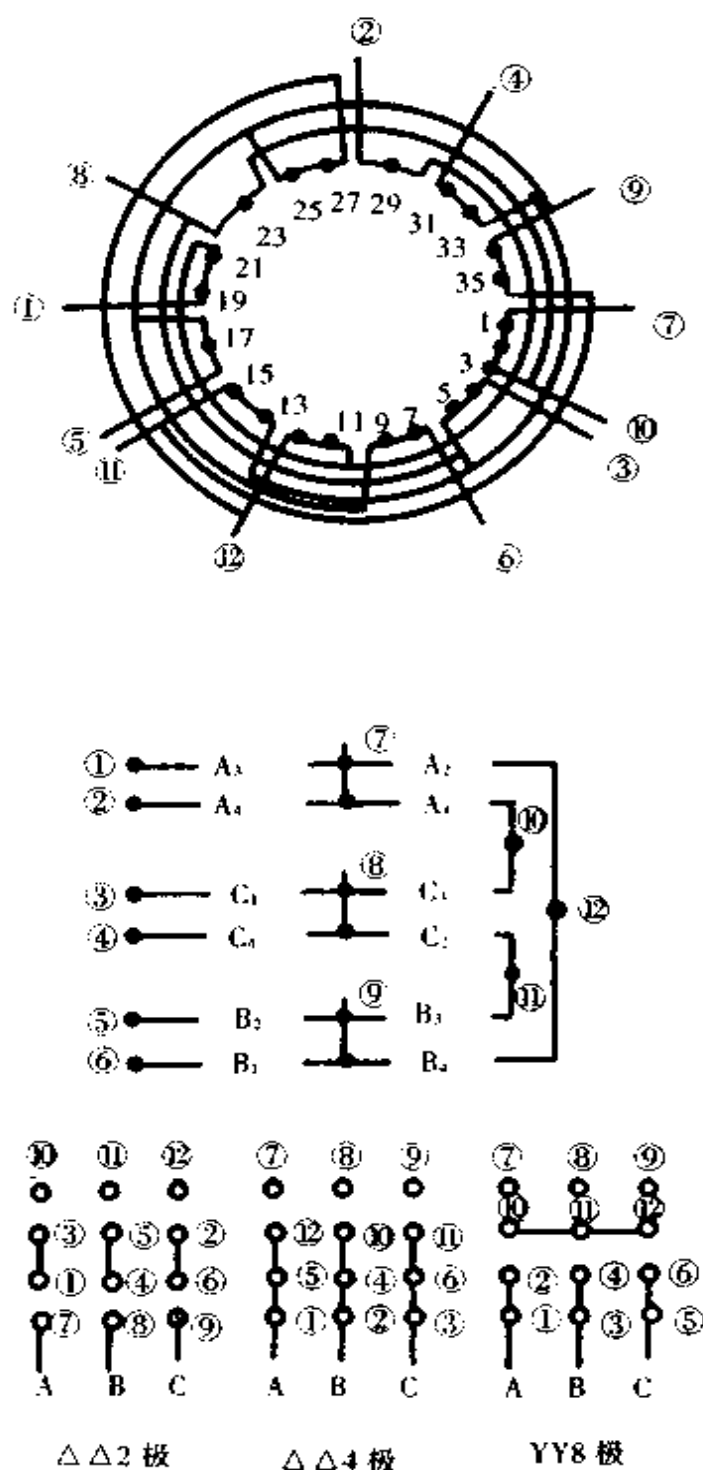
图 4.2.50 8/4/2 极 36 槽 YY/ $\Delta\Delta$ / $\Delta\Delta$ (引接线 12 根)接线图

图 4.2.50 中的各相槽号如下： $A_1$ ——1, 2, 3； $A_2$ ——10, 11, 12； $A_3$ ——19, 20, 21； $A_4$ ——28, 29, 30； $B_1$ ——7, 8, 9； $B_2$ ——16, 17, 18； $B_3$ ——25, 26, 27； $B_4$ ——34, 35, 36； $C_1$ ——4, 5, 6； $C_2$ ——13, 14, 15； $C_3$ ——22, 23, 24； $C_4$ ——31, 32, 33。其中 2 极采用换相法变极, 对 2 极而言部分槽号的相属已改变, 上述相属仅作为代号。

### 11.2.8 8/6/4 极绕组方案

#### 11.2.8.1 8/6/4 极(定子 36 槽)

转向:4,6 极转速的转向相同,8 极转速的转向相反。

节距:1~6 或 1~7。

连接方式:YY/YY/YY,引接线 9 根。

绕组系数及气隙磁密比见表 4.2.61。

表 4.2.61 绕组系数及气隙磁密比

节 距	8p			6p			4p			气隙磁密比 $B_{\phi 8}/B_{\phi 6}/B_{\phi 4}$
	分布 系数 $K_{p8}$	短距 系数 $K_{p8}$	绕组 系数 $K_{\phi 8}$	分布 系数 $K_{p6}$	短距 系数 $K_{p6}$	绕组 系数 $K_{\phi 6}$	分布 系数 $K_{p4}$	短距 系数 $K_{p4}$	绕组 系数 $K_{\phi 4}$	
1~6	0.844	0.985	0.831	0.644	0.966	0.622	0.96	0.766	0.735	1/1/0.57
1~7	0.844	0.866	0.731	0.644	1.0	0.644	0.96	0.863	0.831	1/0.85/0.44

接线见图 4.2.51。

图 4.2.51 中的各相槽号如下:  $A_1$ ——1, 2, 3;  $A_2$ ——10, 11, 12;  $A_3$ ——19, 20, 21;  $A_4$ ——28, 29, 30;  $B_1$ ——35, 36;  $B_2$ ——7, 8, 9;  $B_3$ ——16;  $B_4$ ——17, 18;  $B_5$ ——25, 26, 27;  $B_6$ ——34;  $C_1$ ——4, 5, 6;  $C_2$ ——13, 14;  $C_3$ ——15;  $C_4$ ——22, 23, 24;  $C_5$ ——31, 32;  $C_6$ ——33。

## 11.3 单速电机改制成多速电机的简易计算

### 11.3.1 改制原则

(1) 根据使用要求,首先要确定需改制成何种特性的变速电动机,是恒功率、恒转矩,还是转矩随转速变化而变化。然后确定绕组的接法。

(2) 定子绕组引接线应尽可能少,绕组型式一般都采用双层绕组。

(3) 转子必须斜槽,定、转子槽配合必须同时适应不同极数之要求,应满足:  $Z_1 - Z_2 \neq 0$ ;  $\pm p$ ;  $1 \pm p$ , 否则将不利于起动,并会引起不可避免的振动和电磁噪声。式中  $Z_1$  为定子槽数,  $Z_2$  为转子槽数,  $p$  为极数。

### 11.3.2 改制极数的选择

原单速电机可改制的极数见表 4.2.62。

表 4.2.62 单速电机可改制的极数

原单速电机的极数	2	4				6		
可改制的极数 <sup>①</sup>		2/4	4/8	2/8	2/4/8	4/6	6/8	4/6/8
可改制的极数 <sup>②</sup>	2/4	4/6		4/6/8		4/8		

注:①为优先选用。

②其次选用。

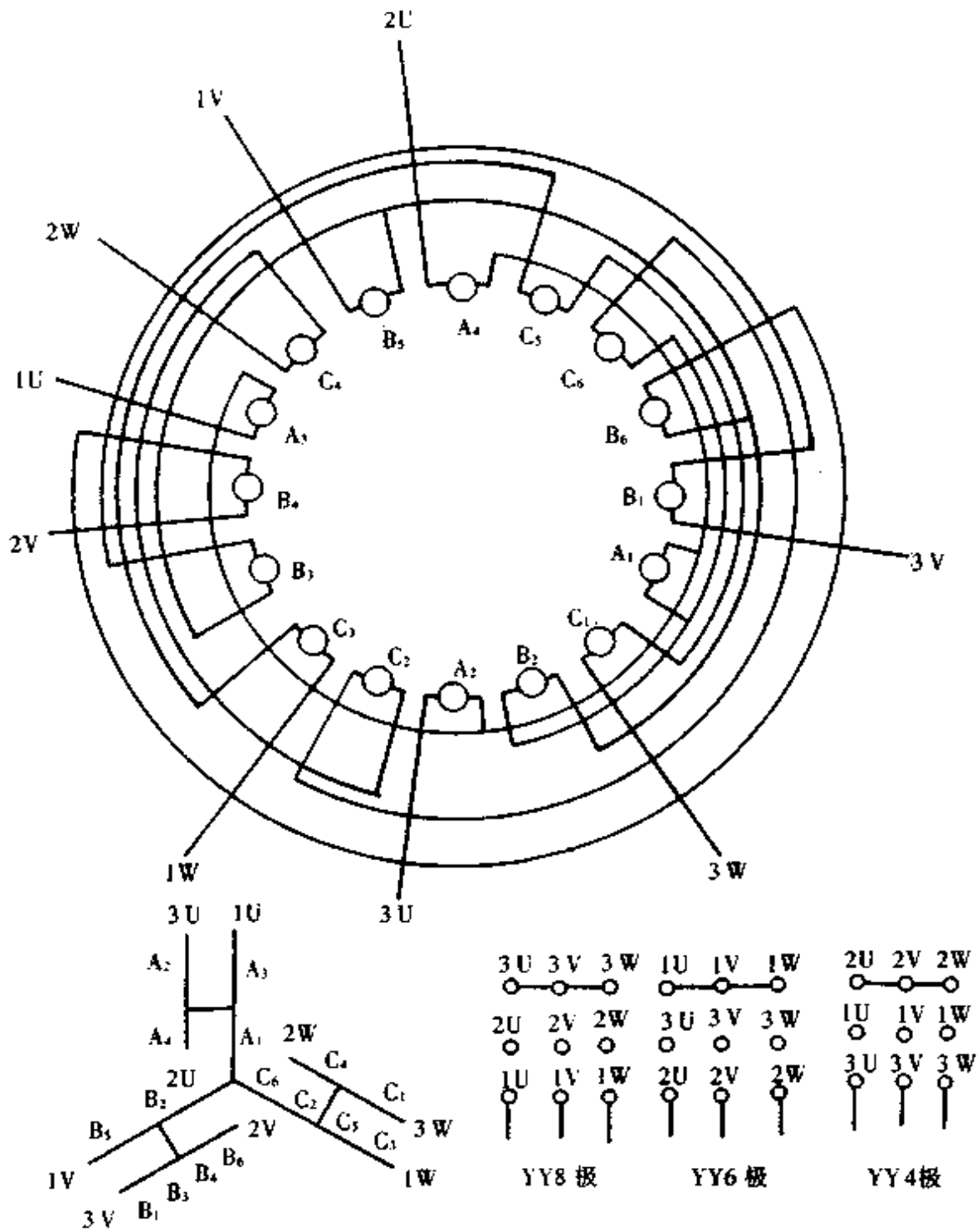


图 4.2.51 8/6/4 极 36 槽 YY/YY/YY(引接线 9 根)接线图

### 11.3.3 改制简易计算<sup>[注]</sup>

11.3.3.1 4 极电机改制成 4/2 极电机 原 4 极电机为星形(Y)接法,拟改制成 4/2 极 $\Delta$ /YY 接(4 极为 $\Delta$ 、2 极为 YY 接法)或 Y/YY 接(4 极为 Y、2 极为 YY 接法),其简易计算如下。



(1)改制后每相串联导体数  $N'$  (根):4极电机的轭部尺寸一般不适应2极电机的要求,改制时如果维持4极电机各部分磁密不变,会造成2极的轭部磁密太高,故需增加每相串联导体数来降低2极的轭部磁密。从表4.2.44~4.2.47中可查得, $\Delta/YY$ 接时2极的气隙磁密较低,只有4极的0.61~0.71倍,即  $B_{g2} = (0.61 \sim 0.71)B_{g4}$ 。若增加每相串联导体数,会使2极的气隙磁密过低,因而考虑略增加串联导体数(增加5%~10%)。查得Y/YY接时,2极的气隙磁密较高,为4极的1.06~1.23倍( $B_{g2} = 1.06 \sim 1.23B_{g4}$ ),可增加20%~25%的串联导体数。将上述数据代入计算,则每相串联导体数  $N'$

$\Delta/YY$ 接时

$$\begin{aligned} N' &= (1.05 \sim 1.1) \frac{U_2' a_2' K_{dp2}' N_2}{U_1 a_1 K_{dp1}} = (1.05 \sim 1.1) \sqrt{3} \frac{K_{dp2}' N_2}{K_{dp1}} \\ &= (1.82 \sim 1.91) \frac{K_{dp2}' N_2}{K_{dp1}} \end{aligned}$$

Y/YY接时

$$N' = 1.2 \sim 1.25 \frac{U_2' a_2' K_{dp2}' N_2}{U_1 a_1 K_{dp1}} = (1.2 \sim 1.25) \frac{K_{dp2}' N_2}{K_{dp1}}$$

式中  $N_2, U_2, a_2, K_{dp2}; N_2', U_2', a_2', K_{dp2}'$ ——改制前后4极的每槽串联导体数、电压、并联支路数和绕组系数。

(2)改制后导体的直径:若维持原有槽满率

$\Delta/YY$ 接时

$$d' = \sqrt{\frac{N_2'}{N_2}} d_2 = \sqrt{\frac{K_{dp2}'}{(1.82 \sim 1.91) K_{dp1}}} d_2 = (0.72 \sim 0.74) \sqrt{\frac{K_{dp2}'}{K_{dp1}}} d_2$$

Y/YY接时

$$d' = \sqrt{\frac{N_2'}{N_2}} d_2 = \sqrt{\frac{K_{dp2}'}{(1.2 \sim 1.25) K_{dp1}}} d_2 = (0.89 \sim 0.91) \sqrt{\frac{K_{dp2}'}{K_{dp1}}} d_2$$

式中  $d_2$ ——原4极导体直径(mm);

$d'$ ——改制后导体直径(mm)。

(3)改制后的功率(kW)

$\Delta/YY$ 接时

$$P_2' = \frac{U_2' a_2' d_2^2}{U_1 a_1 d_1^2} P_2 = \sqrt{3} (0.72^2 \sim 0.74^2) \frac{K_{dp2}'}{K_{dp1}} P_2 = (0.90 \sim 0.95) \frac{K_{dp2}'}{K_{dp1}} P_2$$

$$P_2' = \frac{U_2' a_2'}{K U_1 a_1} P_1' = \frac{U_2' \cdot 2}{(0.7 \sim 0.9) \sqrt{3} U_1} P_1' = (1.28 \sim 1.64) P_1'$$

Y/YY接时

$$P_4' = \frac{U_4' a_4' d_1^2}{U_4 a_4 d_4^2} P_4 = (0.89^2 \sim 0.91^2) \frac{K_{dp4}'}{K_{dp4}} P_4 = (0.79 \sim 0.83) \frac{K_{dp4}'}{K_{dp4}} P_4$$

$$P_2' = \frac{U_2' a_2'}{K U_4' a_4'} P_4' = \frac{2}{0.7 \sim 0.9} P_4' = (2.22 \sim 2.86) P_4'$$

式中  $P_2', P_4'$ ——改制后的 2、4 极功率(kW);

$P_4$ ——原 4 极功率(kW);

$K$ ——考虑低速时通风散热效果较差及力能指标较低的系数,取 0.7~0.9。一般远速比时低速与高速的功率相差较大,近速比功率相差较小,因此可取不同的  $K$  值加以修正。

注:改制后每槽导体数取偶数(单绕组变极变速电机大多采用双层绕组)。导体直径取接近的标准值。

改制前后的电源电压 380V、频率 50Hz。

凡带有“'”的表示改制后的数值,不带“'”的表示原有的数值。英文字母下的阿拉伯数字注脚表示极数(以下同)。

原 4 极电机为三角形( $\Delta$ )接法,拟改制成 4/2 极  $\Delta$ /YY 接(4 极为  $\Delta$ 、2 极为 YY 接法)或 Y/YY 接(4 极为 Y、2 极为 YY 接法),其简易计算如下。

(1)改制后每相串联导体数  $N'$ (根)

$\Delta$ /YY 接时

$$N' = (1.05 \sim 1.1) \frac{K_{dp4}}{K_{dp4}'} N_4$$

Y/YY 接时

$$N' = \frac{1.2 \sim 1.25}{\sqrt{3}} \frac{K_{dp4}}{K_{dp4}'} N_4 = (0.693 \sim 0.72) \frac{K_{dp4}}{K_{dp4}'} N_4$$

(2)改制后的导体直径  $d'$ (mm)

$\Delta$ /YY 接时

$$d' = \sqrt{\frac{K_{dp4}}{(1.05 \sim 1.1) K_{dp4}'}} d_4 = (0.95 \sim 0.97) \sqrt{\frac{K_{dp4}}{K_{dp4}'}} d_4$$

Y/YY 接时

$$d' = \sqrt{\frac{K_{dp4}}{(0.693 \sim 0.72) K_{dp4}'}} d_4 = (1.17 \sim 1.2) \sqrt{\frac{K_{dp4}}{K_{dp4}'}} d_4$$

(3)改制后的功率(kW)

$\Delta$ /YY 接时

$$P_4' = (0.95 \sim 0.974^2) \frac{K_{dp4}'}{K_{dp4}} P_4 = (0.9 \sim 0.95) \frac{K_{dp4}'}{K_{dp4}} P_4$$

$$P_2' = \frac{2}{(0.7 \sim 0.9) \sqrt{3}} P_4' = (1.28 \sim 1.64) P_4'$$

Y/YY 接时

$$P_1' = \frac{1}{\sqrt{3}} (1.17^2 \sim 1.2^2) \frac{K'_{\alpha 4}}{K_{\alpha 4}} P_1 = (0.8 \sim 0.83) \frac{K'_{\alpha 4}}{K_{\alpha 4}} P_1$$

$$P_2' = \frac{2}{(0.7 \sim 0.9)} P_2 = (2.22 \sim 2.86) P_2$$

11.3.3.2 2极电机改制成2/4极电机 原2极电机为星形(Y)接法,拟改制成2/4极YY/△接(2极为YY,4极为△接法),则简易计算如下。

(1)改制后每槽串联导体数  $N'$  (根):一般2极电机的轭部尺寸较大,改制时如果维持2极各部分磁密不变,会造成4极轭部利用率不高,且齿部磁密过高。从表4.2.44~4.2.47中查得YY/△接时4极的气隙磁密为2极的1.4~1.63倍,即  $B_{g4} = (1.4 \sim 1.63) B_{g2}$ 。为降低4极的齿部磁密,适当降低原2极气隙磁密,就须增加其每相串联导体数的25%~30%。又查得YY/Y接时,4极的气隙磁密为2极的0.81~0.94倍 ( $B_{g4} = 0.81 \sim 0.94 B_{g2}$ ),故适当提高原2极气隙磁密,略减少串联导体数约5%,以提高4极轭部的利用率。将查表所得数据代入计算,则每槽串联导体数  $N'$

YY/△接时

$$N' = (1.25 \sim 1.3) \frac{U_2' a_2' K_{\alpha 2}}{U_2 a_2 K_{\alpha 2}} N_2 = 2(1.25 \sim 1.3) \frac{K_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}} N_2 = (2.5 \sim 2.6) \frac{K_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}} N_2$$

YY/Y接时

$$N' = 0.95 \frac{U_2' a_2' K_{\alpha 2}}{U_2 a_2 K_{\alpha 2}} N_2 = 1.9 \frac{K_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}} N_2$$

(2)若维持原有槽满率,改制后导体的直径  $d'$  (mm)

YY/△接时

$$d' = \sqrt{\frac{N_2}{N'}} d_2 = (0.62 \sim 0.63) \sqrt{\frac{K_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}}} d_2$$

YY/Y接时

$$d' = \sqrt{\frac{N_2}{N'}} d_2 = 0.725 \sqrt{\frac{K_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}}} d_2$$

(3)改制后的功率(kW)

YY/△接时

$$P_2' = \frac{U_2' a_2' d'^2}{U_2 a_2 d_2^2} P_2 = 2(0.62^2 \sim 0.63^2) \frac{K'_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}} P_2 = (0.77 \sim 0.79) \frac{K'_{\alpha 2}}{K_{\alpha 2}} P_2$$

$$P_4' = \frac{K U_2' a_2'}{U_2 a_2} P_2' = \frac{0.77 \sim 0.79 \sqrt{3}}{2} P_2' = (0.61 \sim 0.78) P_2'$$

YY/Y接时

$$P_2' = 2 \times 0.725^2 \frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} P_2 = 1.05 \frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} P_2$$

$$P_4 = \frac{(0.7 \sim 0.9)}{2} P_2' = (0.35 \sim 0.45) P_2'$$

原 2 极电机为三角形( $\Delta$ )接,拟改制成 2/4 极 YY/ $\Delta$ 接(2 极为 YY,4 极为  $\Delta$ 接法)或 YY/Y 接(2 极为 YY,4 极为 Y 接法)。其计算如下。

(1) 每槽串联导体数  $N'$ (根)

YY/ $\Delta$ 接时

$$N' = (1.25 \sim 1.3) \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} N_2 = (1.4 \sim 1.5) \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} N_2$$

YY/Y 接时

$$N' = 0.95 \times 2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} N_2 = 1.1 \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} N_2$$

(2) 改制后导体的直径  $d'$ (mm)

YY/ $\Delta$ 接时

$$d' = \sqrt{\frac{1}{1.4 \sim 1.5} \frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} d_2} = 0.816 \sim 0.845 \sqrt{\frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} d_2}$$

YY/Y 接时

$$d' = \sqrt{\frac{1}{1.1} \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} d_2} = 0.95 \sqrt{\frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} d_2}$$

(3) 改制后的功率(kW)

YY/ $\Delta$ 接时

$$P_2' = \frac{2}{\sqrt{3}} (0.816^2 \sim 0.845^2) \frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} P_2 = (0.77 \sim 0.82) \frac{K'_{dq2}}{K_{dq2}} P_2$$

$$P_4 = \frac{(0.7 \sim 0.9)\sqrt{3}}{2} P_2' = (0.61 \sim 0.78) P_2'$$

YY/Y 接时

$$P_2' = \frac{2}{\sqrt{3}} 0.95^2 \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} P_2 = 1.05 \frac{K_{dq2}}{K_{dq2}'} P_2$$

$$P_4 = \frac{0.7 \sim 0.9}{2} P_2' = (0.35 \sim 0.45) P_2'$$

11.3.3.3 4 级电机改制成 4/6 极电机 4 极电机为星形(Y)接,拟改制成 4/6 极 YY/ $\Delta$ 接(4 极为 YY,6 极为  $\Delta$ 接法)。

(1) 每槽串联导体数  $N'$ (根):改制时如果维持 4 极各部分磁密不变,则 6 极的轭部磁密低,利用率不高,齿部磁密较高。从表 4.2.51 和表 4.2.52 中查得 YY/ $\Delta$ 接时 6 极的气隙磁密为 4 极的(1.06~1.19)倍,即  $B_{\delta 6} = (1.06 \sim 1.19) B_{\delta 4}$ 。为降

低6极的齿部磁密,适当降低原4极的气隙磁密,就须增加每相串联导体数5%~10%。又查得YY/Y接时,6极的气隙磁密为4极的(0.61~0.69)倍,即 $B_{\delta 6} = (0.61 \sim 0.69)B_{\delta 4}$ ,故不考虑增加串联导体数,否则会使6极的气隙磁密过低。根据以上计算,每相串联导体数 $N'$

YY/ $\Delta$ 接时

$$N' = 2 \times (1.05 \sim 1.1) \frac{K_{d4}}{K_{d6}} N_4 = (2.1 \sim 2.2) \frac{K_{d4}}{K_{d6}} N_4$$

YY/Y接时

$$N' = 2 \frac{K_{d4}}{K_{d6}} N_4$$

(2)若维持原有槽满率,改制后导体直径 $d'$ (mm)

YY/ $\Delta$ 接时

$$d' = (0.67 \sim 0.69) \sqrt{\frac{K'_{d4}}{K_{d6}}} d_4$$

YY/Y接时

$$d' = 0.71 \sqrt{\frac{K'_{d4}}{K_{d6}}} d_4$$

(3)改制后功率(kW)

YY/ $\Delta$ 接时

$$P'_4 = 2(0.45 \sim 0.48) \frac{K'_{d4}}{K_{d4}} P_4 = (0.9 \sim 0.96) \frac{K'_{d4}}{K_{d4}} P_4$$

$$P'_6 = \frac{(0.7 \sim 0.9)\sqrt{3}}{2} P'_4 = (0.61 \sim 0.78) P'_4$$

YY/Y接时

$$P'_4 = 2 \times 0.504 \frac{K'_{d4}}{K_{d4}} P_4 = \frac{K'_{d4}}{K_{d4}} P_4$$

$$P'_6 = \frac{(0.7 \sim 0.9)}{2} P'_4 = (0.35 \sim 0.45) P'_4$$

其他极数的改制计算依此类推。

三相单速电机改制成单绕组多速电机的经验数据见表4.2.63。

YD系列变极多速三相电机各种速比下的绕组出线端数目及连接方法见表4.2.64。

## 11.4 主要技术数据

YD系列变极多速三相异步电动机技术数据见表4.2.65。

JDO2系列变极多速三相异步电动机技术数据见表4.2.66。

表 4.2.63 三相单速电机改制成单绕组多速电机的经验数据

原单速电动机数据		改制后多速电机数据				
极数	接法	极数	接法	每相串联导体数 $N'$ (根)	导体直径 $d'$ (mm)	功率 $P'$ (kW)
4	Y	4/2	$\Delta/YY$	$N' = (1.8 \sim 1.9) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.72 \sim 0.74) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P'_1 = (0.90 \sim 0.95) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P'_2 = (1.28 \sim 1.64) P'_1$
			Y/YY	$N' = (1.2 \sim 1.25) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.89 \sim 0.91) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P'_1 = (0.79 \sim 0.83) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P'_2 = (2.22 \sim 2.86) P'_1$
4	$\Delta$	4/2	$\Delta/YY$	$N' = (1.05 \sim 1.1) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.95 \sim 0.97) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P'_1 = (0.9 \sim 0.95) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P'_2 = (1.28 \sim 1.64) P'_1$
			Y/YY	$N' = (0.69 \sim 0.72) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (1.17 \sim 1.2) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P'_1 = (0.79 \sim 0.83) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P'_2 = (2.22 \sim 2.86) P'_1$

4	Y	4/6	YY/Δ	$N' = (2.1 \sim 2.2) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.67 \sim 0.69) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = (0.9 \sim 0.96) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_6' = (0.61 \sim 0.78) P_4'$
			YY/Y	$N' = 2 \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = 0.71 \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_6' = (0.36 \sim 0.45) P_4'$
4	Δ	4/6	YY/Δ	$N' = (1.2 \sim 1.27) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.89 \sim 0.91) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = (0.91 \sim 0.96) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_6' = (0.35 \sim 0.45) P_4'$
			YY/Y	$N' = 1.15 \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = 0.93 \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_6' = (0.35 \sim 0.45) P_4'$
4	Y	4/8	YY/Δ	$N' = (2.4 \sim 2.6) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.62 \sim 0.65) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = (0.77 \sim 0.83) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_8' = 0.61 P_4'$
			YY/Y	$N' = 1.9 \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = 0.725 \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = 1.05 \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_8' = 0.35 P_4'$
4	Δ	4/8	YY/Δ	$N' = (1.4 \sim 1.5) \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = (0.82 \sim 0.85) \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = (0.77 \sim 0.83) \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_8' = 0.61 P_4'$
			YY/Y	$N' = 1.1 \frac{K_{dp4} N_4}{K_{dp4}}$	$d' = 0.95 \sqrt{\frac{K_{dp4} d_4}{K_{dp4}}}$	$P_4' = 1.05 \frac{K_{dp4} P_4}{K_{dp4}}$ $P_8' = 0.35 P_4'$

续表

原单速电动机数据		改制后多速电机数据				
极数	接法	极数	接法	每相串联导体数 $N'$ (根)	导体直径 $d'$ (mm)	功率 $P'$ (kW)
4	Y	2/8	$\Delta\Delta/Y$	$N' = 2.42 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip2}}$	$d' = 0.643 \sqrt{\frac{K_{ip2}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_2 = 1.43 \frac{K_{ip2} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_8 = 0.2 P'_2$
			YY/Y	$N' = 1.2 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip2}}$	$d' = 0.91 \sqrt{\frac{K_{ip2}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_2 = 1.66 \frac{K_{ip2} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_8 = 0.35 P'_2$
	$\Delta$	2/8	$\Delta\Delta/Y$	$N' = 1.4 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip2}}$	$d' = 0.845 \sqrt{\frac{K_{ip2}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_2 = 1.43 \frac{K_{ip2} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_8 = 0.2 P'_2$
			YY/Y	$N' = 0.693 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip2}}$	$d' = 1.2 \sqrt{\frac{K_{ip2}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_2 = 1.66 \frac{K_{ip2} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_8 = 0.35 P'_2$
4	Y	2/4/8	$\Delta\Delta / \Delta\Delta / \Delta\Delta$	$N' = 4.16 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip4}}$	$d' = 0.49 \sqrt{\frac{K_{ip4}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_4 = 0.83 \frac{K_{ip4} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_2 = 1.25 P'_4$ $P'_8 = 0.46 P'_4$
			YY / YY / YY	$N' = 2.4 \frac{K_{ip4} N_4}{K_{ip4}}$	$d' = 0.645 \sqrt{\frac{K_{ip4}^2 d_4}{K_{ip4}}}$	$P'_4 = 0.83 \frac{K_{ip4} P_4}{K_{ip4}}$ $P'_2 = 1.25 P'_4$ $P'_8 = 0.46 P'_4$



2	Y	2/4	YY/Δ	$N' = (2.5 \sim 2.6) \frac{K_{\text{ph}2} N_2}{K_{\text{ph}2}}$	$d' = (0.62 \sim 0.63) \sqrt{\frac{K_{\text{ph}2}^2 d_2}{K_{\text{ph}2}}}$	$P_2' = (0.77 \sim 0.79) \frac{K_{\text{ph}2} P_2}{K_{\text{ph}2}}$ $P_4' = (0.61 \sim 0.78) P_2'$
			YY/Y	$N' = 1.9 \frac{K_{\text{ph}2} N_2}{K_{\text{ph}2}}$	$d' = 0.725 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}2}^2 d_2}{K_{\text{ph}2}}}$	$P_2' = 1.05 \frac{K_{\text{ph}2} P_2}{K_{\text{ph}2}}$ $P_4' = (0.35 \sim 0.45) P_2'$
	Δ	2/4	YY/Δ	$N' = (1.4 \sim 1.5) \frac{K_{\text{ph}2} N_2}{K_{\text{ph}2}}$	$d' = (0.82 \sim 0.85) \sqrt{\frac{K_{\text{ph}2}^2 d_2}{K_{\text{ph}2}}}$	$P_2' = (0.77 \sim 0.82) \frac{K_{\text{ph}2} P_2}{K_{\text{ph}2}}$ $P_4' = (0.61 \sim 0.78) P_2'$
			YY/Y	$N' = 1 \frac{K_{\text{ph}2} N_2}{K_{\text{ph}2}}$	$d' = 0.95 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}2}^2 d_2}{K_{\text{ph}2}}}$	$P_2' = 1.05 \frac{K_{\text{ph}2} P_2}{K_{\text{ph}2}}$ $P_4' = (0.35 \sim 0.45) P_2'$
6	Y	6/4	Δ/YY	$N' = 1.9 \frac{K_{\text{ph}6} N_6}{K_{\text{ph}6}}$	$d' = 0.725 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}6}^2 d_6}{K_{\text{ph}6}}}$	$P_6' = 0.91 \frac{K_{\text{ph}6} P_6}{K_{\text{ph}6}}$ $P_4' = (1.28 \sim 1.65) P_6'$
			Y/YY	$N' = 1.25 \frac{K_{\text{ph}6} N_6}{K_{\text{ph}6}}$	$d' = 0.89 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}6}^2 d_6}{K_{\text{ph}6}}}$	$P_6' = 0.79 \frac{K_{\text{ph}6} P_6}{K_{\text{ph}6}}$ $P_4' = (2.2 \sim 2.86) P_6'$
6	Δ	6/4	Δ/YY	$N' = 1.1 \frac{K_{\text{ph}6} N_6}{K_{\text{ph}6}}$	$d' = 0.95 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}6}^2 d_6}{K_{\text{ph}6}}}$	$P_6' = 0.9 \frac{K_{\text{ph}6} P_6}{K_{\text{ph}6}}$ $P_4' = (1.28 \sim 1.65) P_6'$
			Y/YY	$N' = 0.72 \frac{K_{\text{ph}6} N_6}{K_{\text{ph}6}}$	$d' = 1.18 \sqrt{\frac{K_{\text{ph}6}^2 d_6}{K_{\text{ph}6}}}$	$P_6' = 0.8 \frac{K_{\text{ph}6} P_6}{K_{\text{ph}6}}$ $P_4' = (2.2 \sim 2.86) P_6'$

续表

原单速电动机数据		改制后多速电机数据				
极数	接法	极数	接法	每相串联导体数 $N'$ (根)	导体直径 $d'$ (mm)	功率 $P'$ (kW)
6	Y	8/4	$\Delta/YY$	$N' = 1.33 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q4}}$	$d' = 0.87 \sqrt{\frac{K_{q4} d_6}{K_{q6}}}$	$P'_4 = 1.5 \frac{K_{q4} P_6}{K_{q6}}$ $P'_8 = (0.61 \sim 0.78) P'_4$
			Y/YY	$N' = 1.4 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q4}}$	$d' = \sqrt{\frac{K_{q4} d_6}{K_{q6}}}$	$P'_4 = \frac{K_{q4} P_6}{K_{q6}}$ $P'_8 = (0.35 \sim 0.45) P'_4$
	$\Delta$	8/4	$\Delta/YY$	$N' = 0.77 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q4}}$	$d' = 1.14 \sqrt{\frac{K_{q4} d_6}{K_{q6}}}$	$P'_4 = 1.5 \frac{K_{q4} P_6}{K_{q6}}$ $P'_8 = (0.61 \sim 0.78) P'_4$
			Y/YY	$N' = 0.735 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q4}}$	$d' = 1.17 \sqrt{\frac{K_{q4} d_6}{K_{q6}}}$	$P'_4 = 1.58 \frac{K_{q4} P_6}{K_{q6}}$ $P'_8 = (0.35 \sim 0.45) P'_4$
6	Y	4/6/8	$\lambda \lambda / \lambda \lambda / \lambda \lambda$	$N' = 2 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q6}}$	$d' = 0.707 \sqrt{\frac{K_{q6} d_6}{K_{q6}}}$	$P'_6 = \frac{K_{q6} P_6}{K_{q6}}$ $P'_4 = 1.25 P'_6$ $P'_8 = 0.8 P'_6$
	$\Delta$		$N' = 1.15 \frac{K_{q6} N_6}{K_{q6}}$	$d' = 0.93 \sqrt{\frac{K_{q6} d_6}{K_{q6}}}$		

6	Y	6/8	YY/ $\Delta$	$N' = 2 \frac{K_{d16} N_6}{K_{d16}}$	$d' = 0.7 \sqrt{\frac{K_{d16} d_6}{K_{d16}}}$	$P'_6 = \frac{K_{d16} P_6}{K_{d16}}$
			YY/Y			$P'_8 = (0.61 \sim 0.78) P'_6$
	$\Delta$	6/8	YY/ $\Delta$	$N' = 1.15 \frac{K_{d16} N_6}{K_{d16}}$	$d' = 0.93 \sqrt{\frac{K_{d16} d_6}{K_{d16}}}$	$P'_6 = \frac{K_{d16} P_6}{K_{d16}}$
			YY/Y			$P'_8 = (0.61 \sim 0.78) P'_6$
8	Y	8/4	$\Delta$ /YY	$N' = 1.65 \frac{K_{d48} N_8}{K_{d48}}$	$d' = 0.78 \sqrt{\frac{K_{d48} d_8}{K_{d48}}}$	$P'_8 = 1.05 \frac{K_{d48} P_8}{K_{d48}}$
			Y/YY	$N' = 1.1 \frac{K_{d48} N_8}{K_{d48}}$	$d' = 0.95 \sqrt{\frac{K_{d48} d_8}{K_{d48}}}$	$P'_4 = (1.28 \sim 1.65) P'_8$
	$\Delta$	8/4	$\Delta$ /YY	$N' = 0.95 \frac{K_{d48} N_8}{K_{d48}}$	$d' = 1.03 \sqrt{\frac{K_{d48} d_8}{K_{d48}}}$	$P'_8 = 0.9 \frac{K_{d48} P_8}{K_{d48}}$
			Y/YY	$N' = 0.95 \frac{K_{d48} N_8}{K_{d48}}$	$d' = 1.25 \sqrt{\frac{K_{d48} d_8}{K_{d48}}}$	$P'_4 = (2.2 \sim 2.86) P'_8$

表 4.2.64 YD 系列各种速比下绕组出线端数目及连接方法

	双速	三速	四速
绕组接法	$\Delta/YY$	$Y/\Delta/YY$ 或 $\Delta/Y/YY$	$\Delta/\Delta/YY/YY$
出线数目	6	9	12
低速	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$  $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$  $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$  $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$ $4U_0$   $4V_0$   $4W_0$
中速 1	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$  $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$ $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$ $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$ $4U_0$   $4V_0$   $4W_0$
中速 2		$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$ $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$	$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$ $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$ $4U_0$   $4V_0$   $4W_0$
高速			$1U_0$   $1V_0$   $1W_0$ $2U_0$   $2V_0$   $2W_0$ $3U_0$   $3V_0$   $3W_0$ $4U_0$   $4V_0$   $4W_0$   $L_1$   $L_2$   $L_3$





YD180M-4/2	4	15	△	290	187	190	48/44	双层叠式	1~13	20	3-∅1.25	182
	2	18.5	2Y									
YD180L-4/2	4	18.5	△	290	187	220	48/44	双层叠式	1~13	18	4-∅1.12	190
	2	22	2Y									
YD90S-6/4	6	0.65	△	130	86	100	36/33	双层叠式	1~7/ 1~8	152/ 146	1-∅0.45/ 1-∅0.45	23
	4	0.85	2Y									
YD90L-6/4	6	0.85	△	130	86	120	36/33	双层叠式	1~7/ 1~8	126/ 116	1-∅0.50/ 1-∅0.53	25
	4	1.1	2Y									
YD100L1-6/4	6	1.3	△	155	98	115	36/32	双层叠式	1~7	100	1-∅0.63	34
	4	1.8	2Y									





YD160L-6/4	6	9	△	260	180	195	36/33	双层叠式	1~7/ 1~8	36/34	2-∅1.18/ 2-∅1.18	147
	4	11	2Y									
YD180M-6/4	6	11	△	290	205	200	36/32	双层叠式	1~7/ 1~8	32/30	1-∅1.25 1-∅1.30 3-∅0.95 1-∅0.90	192
	4	14	2Y									
YD180L-6/4	6	13	△	290	205	230	36/32	双层叠式	1~7/ 1~8	28/26	3-∅0.95 1-∅1.0 2-∅1.18 1-∅1.12	224
	4	16	2Y									
YD90L-8/4	8	0.45	△	130	86	120	36/33	双层叠式	1~6	172	1-∅0.42	25
	4	0.75	2Y									
YD100L-8/4	8	0.85	△	155	106	135	36/33	双层叠式	1~6	114	1-∅0.56	38
	4	1.5	2Y									





续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法	定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n \cdot d_c$	质量 (kg)
				外径	内径							
YD132S-8/6	8	1.8	$\Delta$	210	148	110	36/33	双层叠式	1~5	94	1- $\varnothing$ 0.53 1- $\varnothing$ 0.56	63
	6	2.4	2Y									
YD132M-8/6	8	2.6	$\Delta$	210	148	180	36/33	双层叠式	1~5	62	1- $\varnothing$ 0.67 1- $\varnothing$ 0.71	84
	6	3.7	2Y									
YD160M-8/6	8	4.5	$\Delta$	260	180	145	36/33	双层叠式	1~5	56	2- $\varnothing$ 0.95	119
	6	6	2Y									
YD160L-8/6	8	6	$\Delta$	260	180	195	36/33	双层叠式	1~5	42	3- $\varnothing$ 0.9	147
	6	8	2Y									
YD180M-8/6	8	7.5	$\Delta$	290	205	200	36/32	双层叠式	1~5	36	2- $\varnothing$ 1.0 1- $\varnothing$ 0.95	195
	6	10	2Y									





YD132S-8/4/2	8	1.0	Y	210	136	115	36/32	双层叠式	1~5	62	1- $\varnothing$ 0.75	68
	4	2.0	$\Delta$						1~10	64	1- $\varnothing$ 0.75	
	2	3.0	2Y						1~5	48	1- $\varnothing$ 0.85	
YD132M-8/4/2	8	1.3	Y	210	136	160	36/32	双层叠式	1~5	48	1- $\varnothing$ 0.85	81
	4	3.7	$\Delta$						1~10	48	1- $\varnothing$ 0.85	
	2	4.5	2Y						1~4	74	1- $\varnothing$ 0.80	
YD160M-12/6	12	2.6	$\Delta$	260	180	145	36/33	双层叠式	1~4	74	1- $\varnothing$ 0.85	119
	6	5	2Y						1~4	52	1- $\varnothing$ 1.40	
YD160L-12/6	12	3.7	$\Delta$	260	180	205	36/33	双层叠式	1~4	52	1- $\varnothing$ 1.40	147
	6	7	2Y						1~4	52	1- $\varnothing$ 1.40	





YD160L-8/4/2	8	2.8	Y	260	170	195	36/26	双层叠式	1-5	30	1- $\varnothing$ 1.18	145
	4	7.0	$\Delta$						1-10	32		
	2	9.0	2Y									
YD112M-8/6/4	8	0.85	$\Delta$	175	120	135	36/33	双层叠式	1-6	100	1- $\varnothing$ 0.53	45
	6	1.0	Y						1-6	46	1- $\varnothing$ 0.56	
	4	1.5	2Y						1-6	100	1- $\varnothing$ 0.53	
YD132S-8/6/4	8	1.1	$\Delta$	210	148	120	36/33	双层叠式	1-6	98	1- $\varnothing$ 0.6	65
	6	1.5	Y						1-6	41	1- $\varnothing$ 0.71	
	4	1.8	2Y						1-6	98	1- $\varnothing$ 0.6	

续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法	定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n_c \cdot d_c$	质量 (kg)
				外径	内径							
YD132M1-8/6/4	8	1.5	$\Delta$					双层叠式	1-6	78	1- $\phi$ 0.67	78
	6	2.0	Y	210	148	36/33	单层链式	1-6	32	1- $\phi$ 0.85		
	4	2.2	2Y				双层叠式	1-6	78	1- $\phi$ 0.67		
YD132M2-8/6/4	8	1.8	$\Delta$					双层叠式	1-6	66	1- $\phi$ 0.71	84
	6	2.6	Y	210	148	36/33	单层链式	1-6	27	1- $\phi$ 0.90		
	4	3.0	2Y				双层叠式	1-6	66	1- $\phi$ 0.71		
YD160M-8/6/4	8	3.8	$\Delta$					双层叠式	1-6	58	2- $\phi$ 0.75	120
	6	4.0	Y	260	180	36/33	单层链式	1-6	25	2- $\phi$ 0.75		
	4	5.5	2Y				双层叠式	1-6	58	2- $\phi$ 0.75		

YD160L-8/6/4	8	4.5	△	260	180	195	36/33	双层叠式	1~6	44	2-∅0.85	147
	6	6.0	Y					单层链式	1~6	18	2-∅0.80	
	4	7.5	2Y					双层叠式	1~6	44	3-∅0.85	
YD180L-8/6/4	8	7	△	290	205	260	54/50	双层叠式	1~8	22	2-∅1.0	205
	6	9	Y						1~9	10	2-∅1.12	
	4	12	2Y						1~8	22	2-∅1.0	
YD180L-12/8/6/4	12	3.3	△	290	205	260	54/50	双层叠式	1~6	36	2-∅0.75	210
	8	5.0	△						1~8	24	1-∅0.80 1-∅0.75	
	6	6.5	2Y						1~6	36	2-∅0.75	
	4	9.0	2Y						1~8	24	1-∅0.80 1-∅0.75	

注：表中6/4极的每槽线数和线规分子、分母分别为节距1~7、1~8时的数据。

表 4.2.66 JDO2 系列变极多速三相异步电动机技术数据 (380V、50Hz)

型号	极数	额定功率 (kW)	接法	定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n \cdot d_s$	质 量 (kg)
				外径	内径							
JDO2 -21-4/2	4	0.8	$\Delta$	145	90	80	24/22		1-7	196	1- $\varnothing$ 0.51	25
	2	1.1	2Y			110						
JDO2 -22-4/2	4	1.5	$\Delta$	167	104	95	36/26	双 层 叠 式	1-10	128	1- $\varnothing$ 0.62	30
	2	1.8	2Y			135						
JDO2 -31-4/2	4	1.5	$\Delta$	210	136	100				84	1- $\varnothing$ 0.67	39
	2	2.2	2Y			135						
JDO2 -32-4/2	4	2.2	$\Delta$	245	162	100				64	1- $\varnothing$ 0.77	45
	2	3.0	2Y			125						
JDO2 -41-4/2	4	3.3	$\Delta$	245	162	125				52	1- $\varnothing$ 1.08	60
	2	4.0	2Y			125						
JDO2 -42-4/2	4	4.0	$\Delta$	245	162	125				48	2- $\varnothing$ 0.96	69
	2	5.5	2Y			125						
JDO2 -51-4/2	4	5.5	$\Delta$	245	162	120				38	1- $\varnothing$ 1.45	115
	2	7.5	2Y			160						
JDO2 -52-4/2	4	7.5	$\Delta$	245	162	120				38	1- $\varnothing$ 1.45	115
	2	10	2Y			160						

JDO2 -61-4/2	4	10	△	280	182	155	36/28	1~10	34	2-∅1.12	164
	2	11	2Y								
JDO2 -62-4/2	4	13	△	190	85	36/33	1~7	28	2-∅1.25	178	
	2	15	2Y								
JDO2 -21-6/4	6	0.6	△	145	94	115	150	1-∅0.50	25		
	4	0.8	2Y								
JDO2 -22-6/4	6	0.8	△	167	104	95	36/32	116	1-∅0.57	29	
	4	1.0	2Y								
JDO2 -31-6/4	6	1.3	△	104	135	104	104	1-∅0.59	38		
	4	1.7	2Y								
JDO2 -32-6/4	6	1.7	△	76	45	76	1-∅0.69	76	1-∅0.69	45	
	4	2.5	2Y								

双 层 叠 式

续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法	定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n_r \cdot d_c$	质量 (kg)															
				外径	内径																						
JDO2-41-6/4	6	2.8	$\Delta$	210	148	110	36/32	双层叠式	1~7	82	1- $\varnothing$ 0.9	62															
	4	3.0	2Y			140																					
JDO2-42-6/4	6	3.5	$\Delta$	245	162	160				36/32	双层叠式	1~7	66	1- $\varnothing$ 1.04	72												
	4	4.0	2Y			195																					
JDO2-51-6/4	6	6.0	$\Delta$	280	182	155							36/32	双层叠式	1~7	44	1- $\varnothing$ 1.35	108									
	4	8.0	2Y			195																					
JDO2-52-6/4	6	8.0	$\Delta$	327	230	190										36/32	双层叠式	1~7	36	2- $\varnothing$ 1.08	125						
	4	1.0	2Y			250																					
JDO2-61-6/4	6	8.0	$\Delta$	327	230	155													36/32	双层叠式	1~7	38	1- $\varnothing$ 1.50	164			
	4	10	2Y			190																					
JDO2-62-6/4	6	10	$\Delta$	327	230	190																36/32	双层叠式	1~7	30	2- $\varnothing$ 1.20	178
	4	13	2Y			200																					
JDO2-71-6/4	6	13	$\Delta$	327	230	200	36/32	双层叠式	1~7																28	2- $\varnothing$ 1.56	236
	4	17	2Y			250																					
JDO2-72-6/4	6	15	$\Delta$	327	230	200				36/32	双层叠式	1~7													24	3- $\varnothing$ 1.40	260
	4	19	2Y			250																					

JDO2 -81-6/4	6	22	△	368	260	240	72/56	双 层 叠 式		1~14	12	4-Ø1.45	370
	4	28	2Y	120	75	100	24/22			1~4	146	1-Ø0.38	19
JDO2 -12-8/4	8	0.3	△	145	94	90	36/26	1~6	190	156	1-Ø0.41	25	
	4	0.6	2Y										
JDO2 -21-8/4	8	0.3	△	167	114	110	36/26	1~6	146	156	1-Ø0.49	29	
	4	0.75	2Y										
JDO2 -22-8/4	8	0.45	△	210	148	135	36/26	1~6	146	156	1-Ø0.62	39	
	4	0.75	2Y										
JDO2 -31-8/4	8	0.9	△	245	174	140	36/26	1~6	106	92	1-Ø0.72	45	
	4	1.5	2Y										
JDO2 -32-8/4	8	1.1	△	245	174	130	36/26	1~6	74	64	1-Ø1.0	71	
	4	2.2	2Y										
JDO2 -41-8/4	8	1.8	△	245	174	170	36/26	1~6	74	64	1-Ø1.16	95	
	4	3.0	2Y										
JDO2 -42-8/4	8	2.5	△	245	174	170	36/26	1~6	74	64	1-Ø1.16	95	
	4	4.0	2Y										
JDO2 -51-8/4	8	3.5	△	245	174	170	36/26	1~6	74	64	1-Ø1.16	95	
	4	5.5	2Y										
JDO2 -52-8/4	8	4.5	△	245	174	170	36/26	1~6	74	64	1-Ø1.16	95	
	4	7.5	2Y										

续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法		定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n_c \cdot d_c$	质量 (kg)
			△	2Y	外径	内径							
JDO2-61-8/4	8	7.5	△		280	200	230				30	2- $\emptyset$ 1.04	168
	4	10	2Y										
JDO2-62-8/4	8	8.5	△		327	230	220	54/44	双	1~8	26	2- $\emptyset$ 1.16	178
	4	13	2Y										
JDO2-71-8/4	8	11	△		423	300	320	72/56	层	1~10	22	1- $\emptyset$ 1.35 1- $\emptyset$ 1.40	250
	4	17	2Y										
JDO2-72-8/4	8	15	△		167	114	95	36/33	叠	1~6	18	1- $\emptyset$ 1.56 1- $\emptyset$ 1.50	260
	4	22	2Y										
JDO2-91-8/4	8	40	△		167	114	135				9	7- $\emptyset$ 1.40	592
	4	55	2Y										
JDO2-31-8/6	8	0.8	△		210	148	110	36/33			140	1- $\emptyset$ 0.59	38
	6	1.3	2Y										
JDO2-32-8/6	8	1.3	△		210	148	140				106	1- $\emptyset$ 0.72	45
	6	1.8	2Y										
JDO2-41-8/6	8	1.8	△		245	174	130	54/44			92	1- $\emptyset$ 0.83	63
	6	2.5	2Y										
JDO2-42-8/6	8	2.5	△		245	174	130				76	1- $\emptyset$ 0.93	79
	6	3.5	2Y										
JDO2-51-8/6	8	3.5	△		245	174	130				60	1- $\emptyset$ 1.04	96
	6	4.0	2Y										



双 层 叠 式											
JDO2 -52-8/6	8	4.5	△	245	174	170	36/33	1~6	56	1-∅1.35	115
	6	6.0	2Y								
JDO2 -61-8/6	8	6.0	△	280	200	175	36/32	1~6	44	1-∅1.56	161
	6	8.5	2Y								
JDO2 -71-8/6	8	10	△	327	230	200		1~10	30	2-∅1.50	236
	6	15	2Y								
JDO2 -81-8/6	8	17	△	368	260	240	72/56	1~10	12	4-∅1.45	370
	6	24	2Y								
JDO2 -51-12/6	12	2.2	△	245	174	130	54/44	1~6	68	1-∅0.96	96
	6	3.5	2Y								
JDO2 -61-12/6	12	3.5	△	280	200	200	54/58	1~6	36	1-∅1.35	168
	6	7.5	2Y								
JDO2 -72-12/6	12	4	△	327	230	250	54/44	1~7	24	2-∅1.35	260
	6	14	2Y								
JDO2 -81-12/6	12	12.5	△	368	260	260	72/56	1~7	18	3-∅1.40	385
	6	20	2Y								
JDO2 -91-12/6	12	19	△	423	300	320		1~16	12	6-∅1.30	594
	6	33	2Y								
JDO2 -31-8/2	8	0.5	Y	167	104	110	36/26	1~16	84	1-∅0.67	43
	2	1.5	2Y								

续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法	定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n_c-d_c$	质量 (kg)
				外径	内径							
JDO2 -42-8/2	8	1.4	Y	210	136	140	36/26		1~16	46	1- $\emptyset$ 1.12	78
	2	4	2Y									
JDO2 -22-6/4/2	6	0.6	3Y	145	94	110	36/33	双层叠式	1~7	200	1- $\emptyset$ 0.41	29
	4	0.8	$\Delta$									
	2	1.1	$\Delta$									
JDO2 -31-6/4/2	6	0.8	Y	167	104	115	36/26	单层链式	1~6	53	1- $\emptyset$ 0.57	45
	4	1.1	$\Delta$									
	2	1.5	2Y									
JDO2 -41-6/4/2	6	1.8	3Y	210	136	100		双层叠式	1~7	126	1- $\emptyset$ 0.67	62
	4	2.2	$\Delta$									
	2	2.8	$\Delta$									
JDO2 -51-6/4/2	6	5.0	3Y	245	162	120	36/33		1~7	96	1- $\emptyset$ 0.86	95
	4	5.5	$\Delta$									
	2	5.5	$\Delta$									
JDO2 -52-6/4/2	6	6.0	3Y	245	162	160			1~7	70	1- $\emptyset$ 1.04	114
	4	6.5	$\Delta$									
	2	7.5	$\Delta$									
JDO2 -32-8/4/2	8	0.8	2Y	167	104	135	36/26		1~7	140	1- $\emptyset$ 0.55	46
	4	2.2	2 $\Delta$									
	2	2.5	2 $\Delta$									

JDO2 -41-8/4/2		8	1.3	2Y	210	136	110	36/33	1-7	132	1- $\varnothing$ 0.67	65
		4	3.0	2 $\Delta$								
JDO2 -42-8/4/2		2	3.5	2 $\Delta$	245	162	140	36/33	1-7	104	1- $\varnothing$ 0.74	76
		8	1.5	2Y								
JDO2 -51-8/4/2		4	4.5	2 $\Delta$	245	162	140	36/33	1-7	96	1- $\varnothing$ 0.90	102
		2	5.0	2 $\Delta$								
		8	2.2	2Y								
JDO2 -52-8/4/2		4	5.5	2 $\Delta$	245	162	175	36/26	1-7	78	1- $\varnothing$ 1.04	121
		2	6.6	2 $\Delta$								
		8	3.0	2Y								
JDO2 -31-8/6/4		4	6.5	2 $\Delta$	167	114	95	36/33	1-6	190	1- $\varnothing$ 0.55	38
		2	8	2 $\Delta$								
		8	0.9	2Y								
JDO2 -32-8/6/4		6	1.0	2Y	210	148	110	36/33	1-6	122	1- $\varnothing$ 0.67	45
		4	1.2	2Y								
		8	1.3	2Y								
JDO2 -41-8/6/4		6	1.5	2Y	210	148	110	36/33	1-6	106	1- $\varnothing$ 0.77	63
		4	1.8	2Y								
		8	2.0	2Y								
JDO2 -41-8/6/4		6	2.2	2Y	210	148	110	36/33	1-6	106	1- $\varnothing$ 0.77	63
		4	2.8	2Y								
		8	2.8	2Y								

双层叠式

续表

型号	极数	额定功率 (kW)	接法		定子铁心 (mm)		铁心长度 (mm)	定转子槽数 $Z_1/Z_2$	绕组型式	节距	每槽线数	线规 $n, -d,$	质基 (kg)
			外	内	外	内							
JDX2 -42-8/6/4	8	2.6	210	148	140	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	84	1- $\varnothing$ 0.90	79	
	6	2.8											
	4	3.8											
JDX2 -51-8/6/4	8	3.5	245	174	130	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	72	1- $\varnothing$ 1.04	97	
	6	3.5											
	4	5.0											
JDX2 -52-8/6/4	8	4.5	280	210	170	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	56	1- $\varnothing$ 1.16	115	
	6	5.0											
	4	7.0											
JDX2 -61-8/6/4	8	5	327	230	185	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	48	1- $\varnothing$ 1.35	168	
	6	7											
	4	9											
JDX2 -62-8/6/4	8	8	200	210	220	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	38	2- $\varnothing$ 1.16	172	
	6	8											
	4	11											
JDX2 -71-8/6/4	8	10	327	230	200	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	36	2- $\varnothing$ 1.40	236	
	6	10											
	4	15											
JDX2 -72-8/6/4	8	13	327	230	250	36/33	1-6	双 层 叠 式	1-6	28	2- $\varnothing$ 1.30 1- $\varnothing$ 1.35	275	
	6	13											
	4	19											

JXX2 -52-10/8/6/4		10	2.5	Y	245	174	170	36/33	1-4	38	1- $\phi$ 1.04	120
		8	3.0	2Y								
JXX2 -61-10/8/6/4		6	3.0	2Y	280	200	185	36/33	1-6	60	1- $\phi$ 0.93	168
		4	4.5									
		10	2.5	Y								
		8	3.5									
JXX2 -62-10/8/6/4		6	4.0	2Y	280	220	220	36/33	1-4	26	1- $\phi$ 1.35	172
		4	5.5	Y								
		8	5.0									
		6	5.5	2Y								
JXX2 -72-10/8/6/4		4	7.5		327	230	250	36/33	1-4	18	2- $\phi$ 1.30	260
		10	6.5	Y								
		8	8.5									
		6	10	2Y								
JXX2 -61-12/8/6/4		12	2.2	$\Delta$	280	200	175	54/44	1-6	52	1- $\phi$ 0.83	161
		8	3.5									
		6	4	2Y								
		4	5.5									
JXX2 -62-12/8/6/4		12	3	$\Delta$	280	220	220	54/44	1-6	42	1- $\phi$ 1.0	172
		8	5.0									
		6	5.5	2Y								
		4	7.5									

双 层 叠 式

## 12 电磁调速异步电动机

电磁调速异步电动机(亦称滑差电机)由单速(或双速)异步电动机、电磁转差离合器和测速发电机所组成。通过控制器可在 10:1 或其他速比范围内进行无级调速。它具有结构简单、运行可靠和维修方便等优点,能适用于纺织、印染、化工、造纸和食品等工业上作恒转矩调速动力,更适合在离心式水泵和风机上作递减转矩驱动。

请同时参阅第八篇第四章“变极与电磁转差离合器配合调速”内容。

### 12.1 型式与结构

调速电动机的基本结构型式可分组合式和整体式两种。

组合式调速电动机是把封闭型异步电动机的凸缘端盖与离合器机座组成一台整机,如图 4.2.52 所示。整体式调速电动机是将单速或双速异步电动机的有绕组铁心压装在离合器的机座内,离合器输出轴穿过电动机空心轴后构成一个整体,如图 4.2.53 所示。

无论哪种结构,离合器都是由两个同心而独立旋转的部件所组成。一个称为磁极(或称内转子),有感应子式、爪式和凸极式三种结构;另一个称为电枢(或称外转子),有实心钢体、鼠笼式、绕线式和铝杯或铜杯等结构。图 4.2.52 和 4.2.53 都是属于爪式磁极和实心钢电枢的一种。

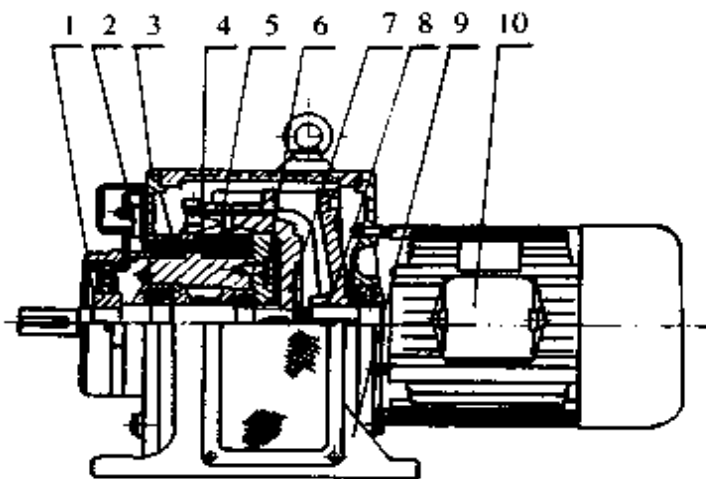


图 4.2.52 组合式电磁调速异步电动机结构

- 1—测速发电机 2—出线盒 3—端盖 4—托架  
5—励磁线圈 6—导磁体 7—磁极 8—电枢  
9—机座 10—驱动电动机

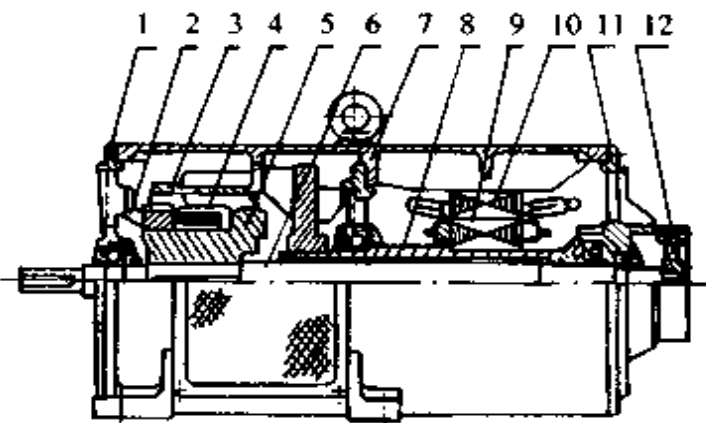


图 4.2.53 整体式电磁调速异步电动机结构

- 1—前端盖 2—托架 3—电枢 4—励磁线圈  
5—磁极 6—主轴 7—机座 8—空心轴 9—驱动电动机转子  
10—驱动电动机定子 11—后端盖 12—测速发电机

测速发电机一般都用三相交流恒磁式,在 1500r/min 下,线电压不小于 20V,频率为 200Hz。

当需要用外加信号作自动控制,多台同步运行、多台比例运行或高精度调速时可采用图 4.2.54 所示的脉冲测速发电机。它在 1500r/min 时,单相脉冲电压不小于 15V,频率为 1500Hz。

## 12.2 调速原理

转差离合器的工作原理见图 4.2.55 所示。

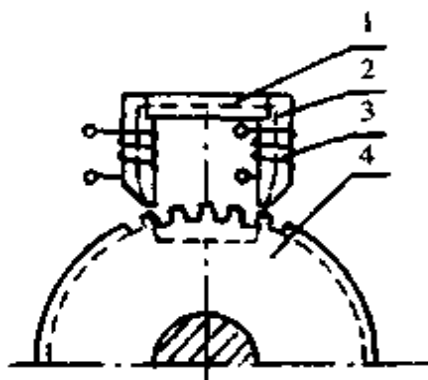


图 4.2.54 脉冲测速发电机结构示意图

- 1—永久磁钢 2—磁轭  
3—线圈 4—转子

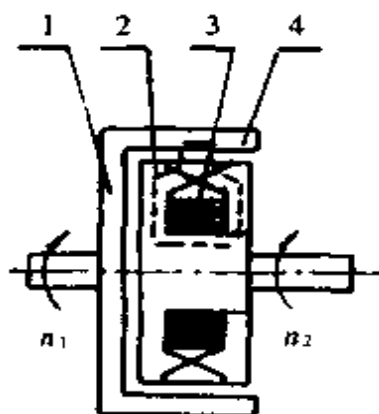


图 4.2.55 离合器工作原理图

- 1—电枢 2—磁极  
3—励磁线圈 4—工作气隙  
 $n_1$ —恒定高速转动  $n_2$ —变速输出

当离合器的励磁线圈通过直流电流时,沿气隙圆周的磁极表面便形成若干对极性相互交替的空间磁场。

离合器的电枢随驱动电机旋转后,由于电枢和磁场间具有相对移动,电枢内就产生了短接电流(在实心钢电枢内,有时也称为涡流)。该电流和磁场相互作用,便产生转矩,带动带有磁极的内转子按驱动电机向同一方向旋转,但转速常低于电枢的转速。

改变离合器的励磁电流,就可调节离合器的输出转矩和转速。励磁电流越大,离合器的输出转矩也越大;在一定的负载转矩下,输出转速也越高。

## 12.3 主要技术数据

在全国联合设计的 YCT 系列未推广前,国内各厂生产的电磁调速电动机虽然采用同一型号(例如 JZT、JZT2 和 YZT 等),内部结构却完全不同。有的采用铸钢机座和感应子磁极,有的采用铸铁机座和爪式磁极。即使同一系列电机性能也可能因各厂所用模具和生产习惯的差异而稍有出入。为此,在采用下列技术数据时,

须加实物核对,以免错用。

(1)JZT 系列电磁调速电动机。该系列是早期产品,在负载转矩小于 10% 额定值时,会出现转速无法控制的失控现象(即不能空载调速)。在此不作介绍。

(2)JZT2 系列电磁调速电动机。1980 年针对 JZT 系列有失控区的缺点而作出的第一次改型设计,其技术数据如表 4.2.67 所示,外形尺寸和安装尺寸如表 4.2.68 所示。

表 4.2.67 JZT2 系列电磁调速电动机的技术数据

型号	额定转矩 (N·m)	调速范围 (r/min)	转速 变化率 (%)	励磁线圈		直流励磁		轴承号	驱动电动机	
				导线直径 (mm)	匝数	电压 (V)	电流 (A)		型号	功率 (kW)
JZT2 12-4	4.9	1150~115	≤2.5	0.53	1378	50	1.01	306,205	Y802-4	0.75
JZT2 22-4	9.8			0.63	1296	40	1.1	307,306	Y90L-4	1.5
JZT2 31-4	13.7	1200~120		0.50	2250	50	1.03	307,207	Y100L1-4	2.2
JZT2 32-4	19.6			0.63	2074	55	1.55		Y100L2-4	3.0
JZT2 41-4	25.5			0.60	1827	40	1.2	308,208	Y112M-4	4.0
JZT2 42-4	35.3			0.67	1410	45	1.4		Y132S-4	5.5
JZT2 51-4	47.1			0.85	1540	56	1.6	32209,209	Y132M-4	7.5
JZT2 52-4	70.6			0.85	1540	60	2.0		Y160L-4	11
JZT2 61-4	94.2			0.80	1924	60	1.2	32311,211	Y160M-4	15
JZT2 71-4	137.3			0.85	1360	50	1.4	32313,213	Y180L-4	22
JZT2 72-4	186.4	1.06		1360	45	1.5	Y200L-4		30	

注:转速变化率的实际数值和控制器的型号有关。

(3)JZTT 系列电磁调速电动机。如表 4.2.69 所示。它由 4/6 极三相双速异步电动机所驱动。部分驱动电机的定子接线如图 4.2.56 所示,外形和安装尺寸见表 4.2.70。

(4)YCT 系列电磁调速电动机。表 4.2.71 是全国联合设计的技术数据。个别制造厂的内部尺寸和励磁线圈线规可能稍有变动。该系列电机外形和安装尺寸见表 4.2.72。

## 12.4 控制器

电磁调速电动机的本身机械特性很软,输出转速随负载增加而迅速下降。为保证离合器在不同负载下的输出转速基本不变或变化很小,电磁调速电动机需配用随转速变化而能自动调节励磁电流的控制器。

不同型号的调速电动机在各种用途和要求下,所配用的控制器也不完全相同。图 4.2.58 是常用的全国统一设计 JD1-A 手操作普通型控制器电气原理图。



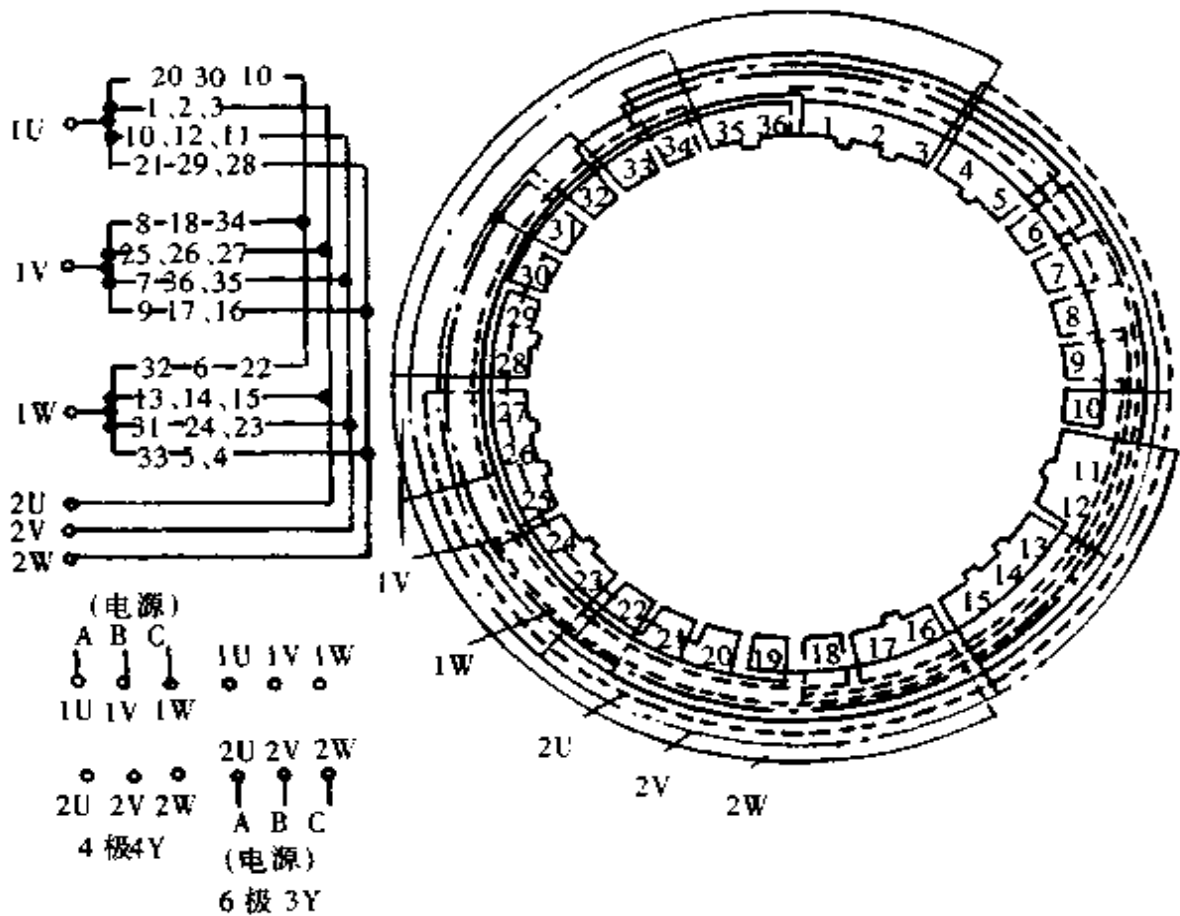


图 4.2.56 JZTT 系列 2~7 号机座电动机绕组连接图

注:1. 线圈序号用 1~36 表示;2. 左图线圈号上“-”表示线圈反接

它由速度调节器、移相触发器、晶闸管整流回路和速度负反馈等环节所组成,其框图如图 4.2.57 所示。

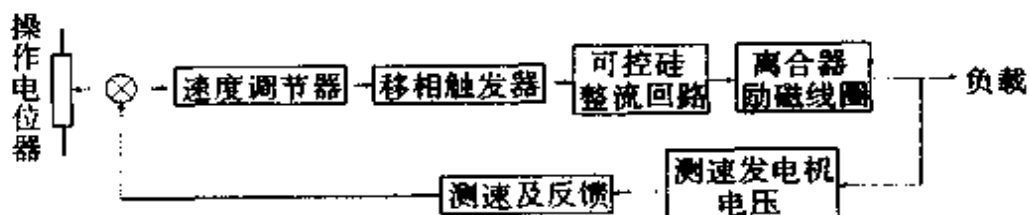


图 4.2.57 JD1 系列控制器方框图

当速度指令电压(即操作电位器输出电压)和测速发电机负反馈信号电压相比较后,所得差值送入速度调节器(或称前置放大器)进行放大。放大后的信号电压再与锯齿波叠加,控制晶体管的导通时间,并产生随差值电压变化而移动的脉冲,用来控制晶闸管的导通角,使离合器的输入电压和励磁电流得以调整,从而改变离合器的输出转速,实现无级而平稳的调速。





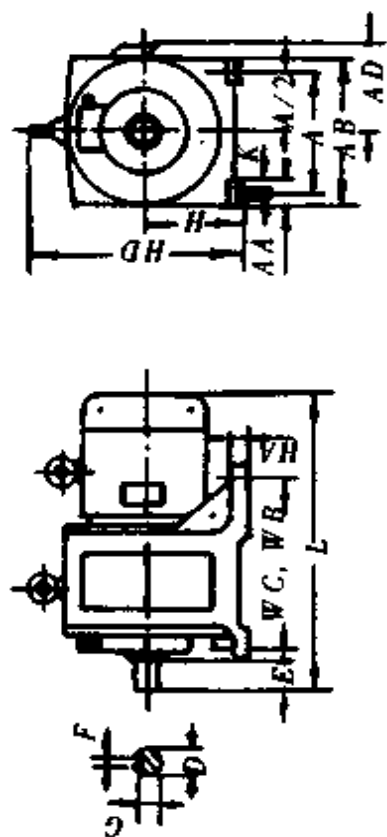


表 4.2.71 YCT 系列(联合设计)电磁调速电动机的技术数据

型号	额定转矩 (N·m)	调速 范围 (r/min)	转速 变化率 (%)	励磁线圈①			直流励磁		驱动电动机		
				导线直径 (mm)	匝数	铜重 (kg)	电压 (V)	电流 (A)	轴承号	型号	功率 (kW)
YCT112-4A 4B	3.60			Ø0.57	1456	1.22	45.5	1.01	205	Y801-4	0.55
	4.91										
YCT132-4A 4B	7.14			Ø0.63	1296	1.5	48.4	1.32	205	Y90S-4	1.1
	9.73										
YCT160-4A 4B	14.12	1250 ~125		Ø0.71	1350	2.32	53.8	1.51	206	Y100L <sub>1</sub> -4	2.2
	19.22										
YCT180-4A	25.20			Ø0.71	1534	2.96	80	1.19	306 307	Y112M-4	4
YCT200-4A 4B	35.10			Ø0.83	1400	3.85	72	1.63	309 308	Y132S-4 Y132M-4	5.5 7.5
	47.75										
YCT225-4A 4B	69.13			Ø0.9	1355	5.49	80	1.91	309 310	Y160M-4 Y160L-4	11 15
	94.33										
YCT250-4A 4B	115.75			Ø1.02	1104	6.54	70	2.88	312 311	Y180M-4 Y180L-4	18.5 22
	137.29										
YCT280-4A	189.26	1320~ 132		Ø1.16	1326	9.41	80	2.46	312 313	Y200L-4	30
YCT315-4A 4B	232.41			Ø1.2	1100	10.4	73	3.39	314 313	Y225S-4 Y225M-4	37 45
	282.43										

注:①凡是一个机座号内有两个规格的小功率励磁数据,在联合设计时未曾计算,各厂生产的产品可能有出入;也可用同一励磁线圈,仅电流略小。

表 4.2.72 YCT 系列电磁调速电动机安装及外形尺寸



机座号	安装尺寸(mm)										外形尺寸(mm)						
	A	WB	WC	D	E	F	G	H	K	AB	AD	HD	L	HA	AA		
112-4A 4B	190	210	40	19	40	6	15.5	112		235	150	275	520	16	40		
132-4A 4B	216	241	40	24	50		20	132	12	280	158	330	550 575	20	55		
160-4A 4B	254	267		28	60	8	24	160	15	325	185	385	645 665		65		
180-4A	279	305	45					180		360	188	430	685		70		
200-4A 4B	318	356	50	38	80	10	33	200		405	230	485	805 845	30	80		
225-4A 4B	356	406	56	42		12	37	225	19	455	255	530	955 1005		94		
250-4A 4B	406	457	63	48	110	14	42.5	250	24	495	285	580	1130 1170	35	105		
280-4A	457	508	70	55		16	49	280		565	320	655	1260	40	110		
315-4A 4B	508	560	89	60	140	18	53	315	28	625	345	720	1400 1425	45	130		

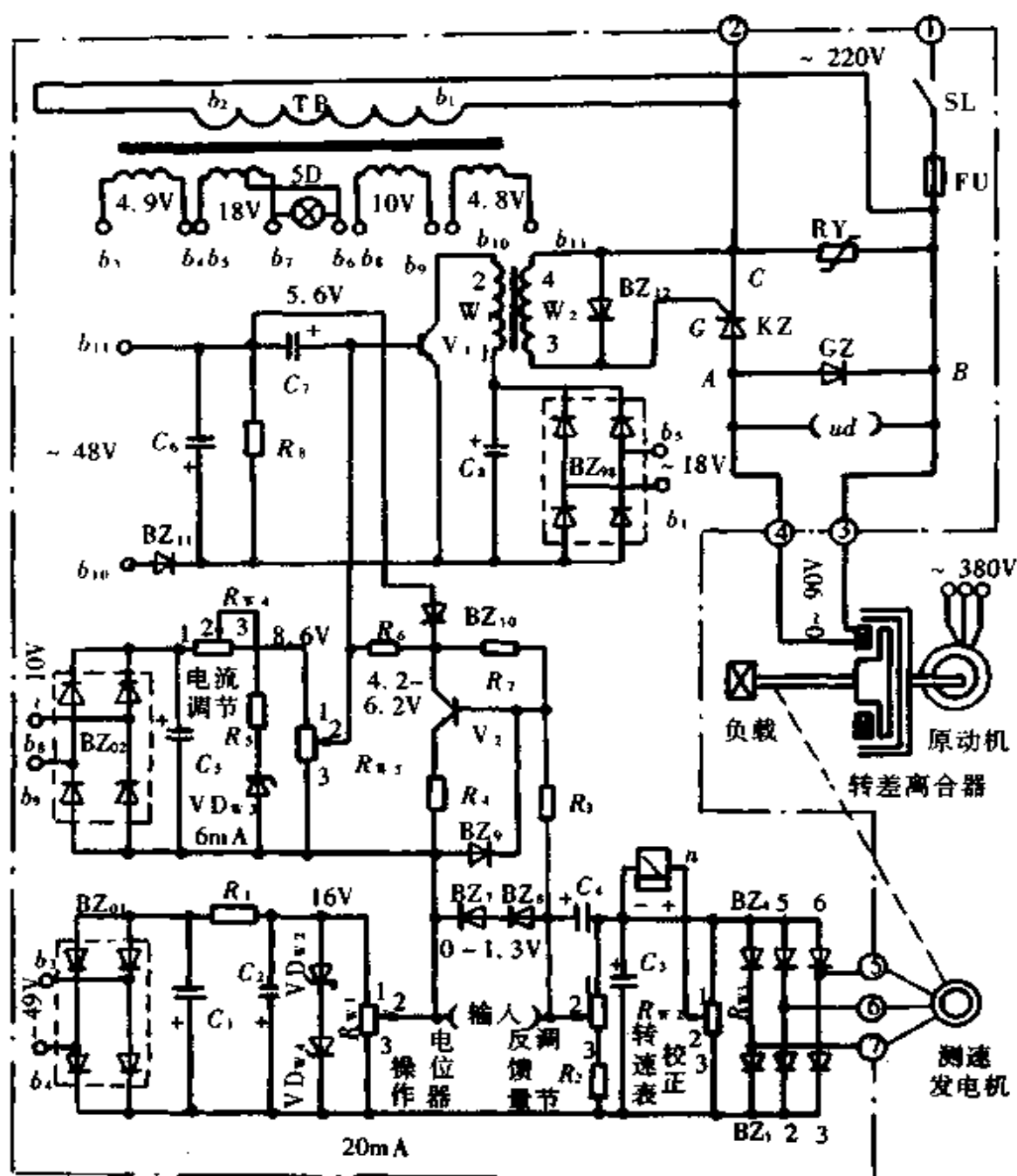


图 4.2.58 JD1-A 手操作普通型控制器电气原理图

## 12.5 使用与调整

### 12.5.1 使用

使用电磁调速电动机前应先检查电机的励磁线圈、驱动电机和测速发电机定子绕组的绝缘电阻以及离合器内外转子是否转动灵活。

接线时务必看清接线标牌或随机所附的使用说明书,要求准确无误。

运行时须先启动驱动电动机,再闭合控制器。断电后须同时关闭控制器电源,

以免离合器启动时出现先快后慢或损坏励磁线圈的现象。

### 12.5.2 调整

由于各个测速发电机的恒磁特性不完全相同,即使在同一转速下,输出电压也会有较大的差异,所以在正式投入运行前,须用转速表于较高转速下测取离合器的空载转速,然后在控制器面板上调整转速校正电位器,使仪表读数等于实测值。

在运行时,如果发现转速表指针左右摆动或者在带动负载后转速下降较多,就得适当调整控制器面板上的反馈量电位器,使转速既能稳定、负载后的转速下降又可满足运行需要。

## 12.6 常见故障及其处理方法

表 4.2.73 所示故障现象、产生原因和处理方法仅限于电磁调速电动机和控制器部分,有关驱动电机的常见故障和解决方法,请见本章单速或多速三相异步电动机的有关章节。

表 4.2.73 电磁调速电动机的故障原因及排除方法

故障现象	产生原因	排除方法
1. 接通电源后指示灯不亮	1. 控制器插头座或印刷线路板插脚接触不良 2. 指示灯损坏 3. 熔丝断 4. 电源开关接触不良	1. 用酒精擦拭插头座及线路板插脚 2. 更换灯泡 3. 检查离合器接线是否正确, $K_2$ 和 $G_2$ 是否击穿 4. 更换开关
2. 接通电源后,调节调速电位器 $R_w$ , 离合器不工作, 转速表无指示	1. 调整电位器 $R_{w1}$ 断路 2. 稳压管 $VD_{w1}$ 、 $VD_{w2}$ 或 $C_2$ 击穿损坏 3. $V_1$ 或 $V_2$ 损坏 4. 脉冲变压器 $B_2$ 断线 5. 离合器励磁线圈绕组或线路断线	1. 检查 $R_{w1}$ 两端电压, 应为 18~21V 左右 2. 用示波器观察脉冲变压器波形, 应为能移动的脉冲列 3. 按检查结果更换有关元件 4. 检查离合器励磁绕组及线路
3. 电机运转后离合器失控, 转速升至最高速	1. 反馈量调节电位器 $R_{w2}$ 损坏 2. 插脚接触不良 3. 离合器气隙堵塞 4. 测速发电机或控制器整流回路损坏	1. 更换电位器 2. 用酒精清洗插脚 3. 清除气隙内什物 4. 检查测速发电机电压和控制器整流回路
4. 电机运转时转速有摆动现象	控制器的反馈量太大	调整控制器面板上的反馈量电位器



续表

故障现象	产生原因	排除方法
5. 转速表指示值与实际转速不一致或无法校正	1. 永磁测速发电机退磁 2. 测速发电机有一相短路或断路	1. 当调节电位器无法校正时,需对测速发电机充磁 2. 测量三相电压是否对称
6. 负载转速变化率很大	1. 控制器未接电源 2. 测速发电机电压低 3. 测速发电机绕组或线路断路 4. 控制器损坏 5. 控制器的反馈量太小	1. 检查电源 2. 测量测速发电机电压 3. 测量电阻找出断线处 4. 检修控制器 5. 调整控制器面板上的反馈量电位器
7. 电机在额定转速范围内无法调高	1. 电机过载 2. 励磁线圈局部短路 3. 控制器的反馈量太小	1. 检查驱动电机电流并减小负载 2. 测量电阻、调换线圈 3. 调整控制器面板上的反馈量电位器
8. 励磁线路过热或烧坏	1. 长期过载运行 2. 调速电动机切断电源后,控制器未关闭	1. 检查驱动电机电流并减小负载 2. 若线圈未烧坏,应改进控制线路,使电机和控制器同时断电

## 13 三相异步换向器电动机

JZS2 系列三相异步换向器电动机(简称变速电动机)是运行在三相交流电网上,转速可作连续而均匀调节,结构上具有换向器和移刷装置的交流电动机,可用来代替恒转矩变速装置,作为印染、印刷、造纸、纺织、制糖、橡胶、塑料、通风以及各试验设备的驱动源。

该电机在任何转速下都具有并励特性,其机械特性的硬度介于异步电动机和直流并励电动机之间。在高速时具有良好的功率因数;接近低速时,负载功率因数稍低,但采用适当的差动齿轮比后,即可使低速功率因数明显提高,运行效率也远高于电磁调速电动机。

### 13.1 结构简介

三相异步换向器电动机由反装异步电动机的多相定子、单极变流机的转子和特殊的移刷机械所组成。具有遥控装置、测速发电机和鼓风机的三相异步换向器电动机的结构示意图,如图 4.2.59 所示。其各绕组间的连接如图 4.2.60 所示。

它相当于一台反装式绕线转子异步电动机和一台提供外加调节电压的换向器变频机的混合体。对反装式绕线转子异步电动机来说,嵌在转子槽内的三相交流绕组

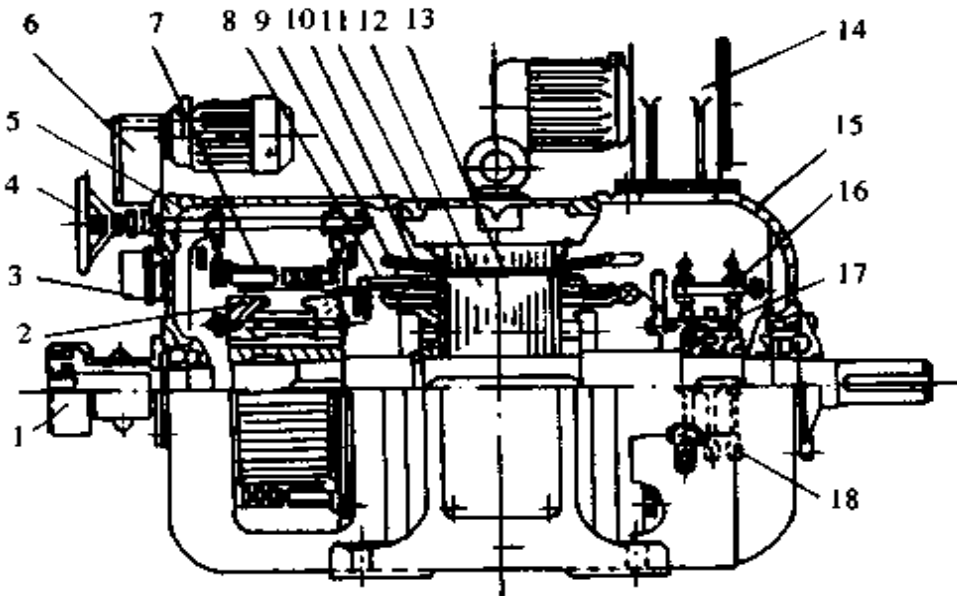


图 4.2.59 三相异步换向器电动机结构示意图

- 1—测速发电机及整流装置 2—换向器 3—限位器 4—移刷机构 5—后端盖 6—遥控装置  
7—换向器刷握和电刷 8—调节绕组 9—初级绕组 10—定子绕组 11—机座 12—转子铁心  
13—定子铁心 14—鼓风机 15—前端盖 16—集电环刷握和电刷 17—集电环 18—电源引出线

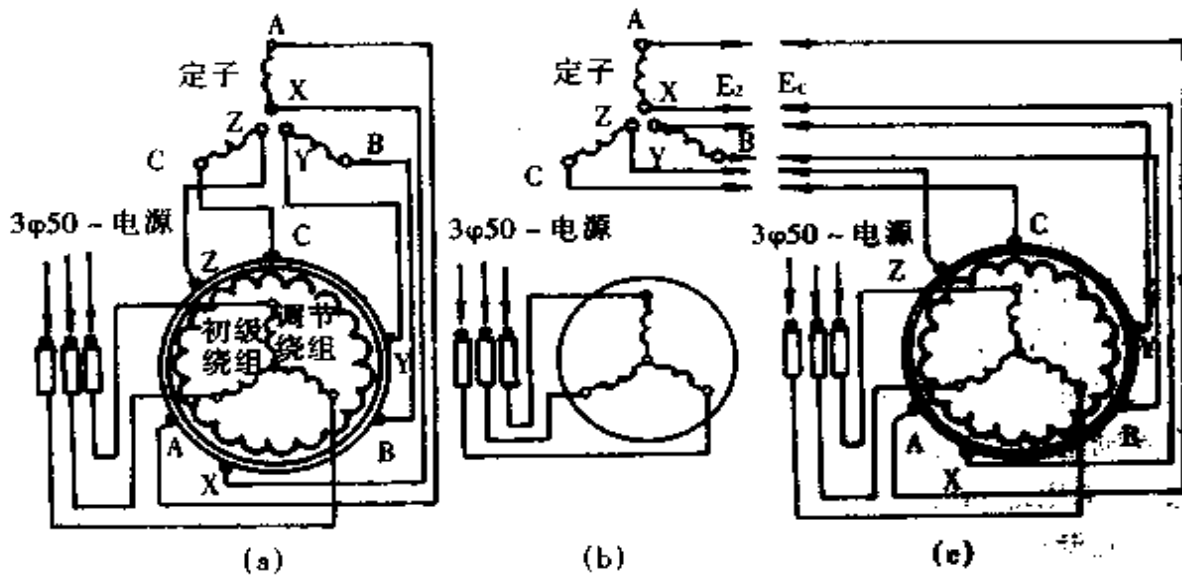


图 4.2.60 三相异步换向器电动机的等效图

(a)三相两极异步换向器电动机 (b)反装式绕线转子异步电动机 (c)换向器变频机  
是初级,与电网相联;嵌在定子槽内的多相绕组是次级。对换向器变频机来说,嵌在转子槽内的三相绕组是初级;与换向器相联的调节绕组是次级。装在换向器端

两电刷转盘上的两套多相电刷引出可调电压,加到反装式异步电动机的定子绕组上,作为调节转速和改善低速功率因数用。因此,三相异步换向器电动机的初级绕组有两个用途,其功率是两电机功率的和(同步转速以上)或差(同步转速以下)。

### 13.1.1 定子

定子铁心是用 0.5mm 厚的硅钢冲片叠成,槽内嵌有作正常(即  $\frac{180^\circ}{m_2}$  相带)或庶

极(即  $\frac{360^\circ}{m_2}$  相带)接线的每相绕组,相数可根据电机功率和换向情况在 3、4、5、6、7 等数值中任意选用。每相绕组的首尾两端都分别接在装于机座两侧的接线极上,准备和换向器上两组电刷引线相联。

机座用铸铁制成。

### 13.1.2 转子

铁心也是用 0.5mm 厚的硅钢冲片叠成。槽内嵌有两个或三个绕组,如图 4.2.61 所示。一个是初级绕组,放在槽底,常接成星形或三角形,甚至像单相变流机那样和调节绕组串联,经集电环和三相电网相联。另一个是和换向器相联的调节绕组,嵌于槽子上部,可以接成波形或叠形联线,并备有必要的均压线,用来产生调节转速和低速功率因数的调节电压。槽内的第三个绕组不是每台电机上都有的,一般只用在换向困难、容量较大的电机上。它嵌在靠近槽口的地方,和调节绕组接成并联,主要起改善换向的作用。

换向器结构和直流电机相似,采用拱形结构。

### 13.1.3 移刷机构

移刷机构由一个手轮、两个可作相对移动的电刷转盘(俗称花板)和一套联动齿轮组成,如图 4.2.62 所示。换向器上的两套电刷分别装两个电刷转盘上,转动手轮就可改变同相电刷间的相互距离(或张角),从而改变引出的外加电压。引出电压与定子电压相作用后,即可完成调速目的。

需要适当改善低速功率因数时,装在

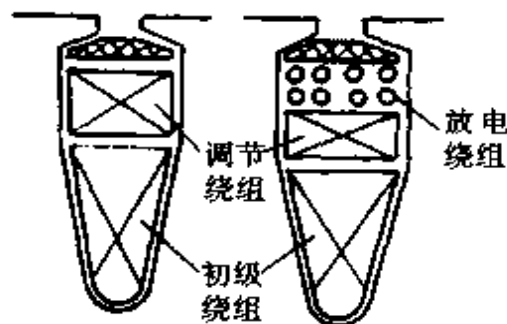


图 4.2.61 转子绕组的安排

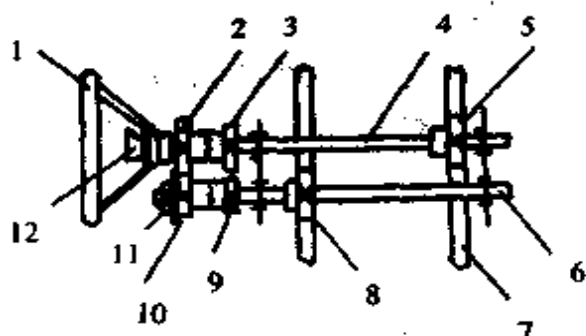


图 4.2.62 移刷机构

1—手轮 2—差动齿轮 C 3—遥控传动齿轮 4—手轮轴 5—电刷转盘传动齿轮  
6—传动轴 7—电刷转盘 8—电刷转盘传动齿轮 9—限位器传动齿轮 10—差动齿轮 D 11—紧固螺母 12—尼龙螺栓

端盖外侧、手轮后面的两个差动齿轮 C、D 可做成不同的齿数,使两个电刷转盘在转动手轮时的移动距离不等,在调节外加电压的同时适当地改变外加电压和定子电压间的相位偏移。但它只能按指定的旋转方向运行。

#### 13.1.4 其他附加装置

为满足远距离控制转速的需要,在手轮上侧还可加装一套遥控装置。

必要时,可在手轮侧添装一套同轴式三相恒磁中频发电机和全桥整流器。在 1500r/min 时可得到不小于 50V 的直流电压,供直流测速表用。

在功率较大的换向器电动机上,常备有独立的离心式鼓风机,以加强电机的通风冷却。

## 13.2 技术数据

维修电工所用技术数据见表 4.2.74 及表 4.2.75。

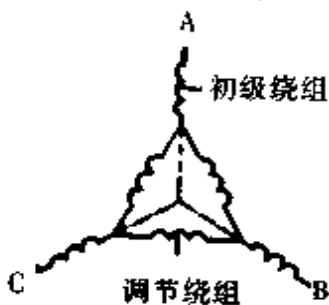


图 4.2.63 初级绕组和调节绕组串联接线的示意图

表 4.2.75 在“初级绕组接法”一栏中,“Y 串”表示初级绕组的 Y 接线中点和调节绕组接成串联后才成为闭路,如图 4.2.63 所示。它不仅接线特殊,初级绕组和调节绕组间的相对嵌线位置都有规定。

放电绕组和调节绕组的相对嵌线位置也有一定要求,不允许随便嵌放和联接。

## 13.3 绕组的特殊接线

以下对特殊接线的关键点作扼要说明,供电工维修时应用。

### 13.3.1 采用庶极接线的定子绕组

所有偶数相( $m_2 = 4, 6$ )和为了调整定子电压以适应调速范围需要的部分奇数相( $m_2 = 3, 5, 7$ )定子绕组,常采用庶极(即  $\frac{360^\circ}{m_2}$  相带)接线。

庶极接线的特征可归纳成:每对极下的线圈组数只有一般接线时的一半,串联在同一并联支路内的同相绕组是“头一尾”相联,各相引出线大多在同一对极下的各相邻线圈组上。

### 13.3.2 放电绕组的安放

对于 J2S 系列产品,放电绕组点应用在双叠调节绕组上。

为保证调节绕组和放电绕组并联时的电压绝对相同,双叠调节绕组常做成全节距异槽(1 根)式线圈;换向片节距为 1~3。而和调节绕组相并联的放电绕组是 1/3 极距的单叠绕组,嵌在调节绕组两条线圈边的中间,其换向片节距为 1~2,如图 4.2.64a 所示。

表 4.2.74 JYS2 系列换向器变速电动机技术数据

型号	功率 (kW)	额定转速 (r/min)	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	转子 内径 (mm)	气隙 (mm)	铁心 长度 (mm)	定子槽数 /转子槽数	极数	次级(定子)绕组						线圈数	接法	线重 (kg)
										线径	每圈 匝数	每圈 匝数	节距	并联 路数	相数			
51-1	3~1	1410~470	292	228	55	0.45	90	54/36	6	2- $\emptyset$ 1.25QZ-2	15 单层	3	1~10	3	3	27	正常	6
51-2	4~0	2650~0	292	228	72	0.55	76	50/36	4	2- $\emptyset$ 1.2QZ-2	4	5	1~11	2	5	50	庶极	3
52-1	5~1.67	1410~470	292	228	55	0.55	130	54/36	6	3- $\emptyset$ 12.5QZ-2	10 单层	3	1~10	3	3	27	正常	6.3
52-2	7~1.7	2200~550	292	228	72	0.55	106	50/36	4	3- $\emptyset$ 1.4QZ-2	3	5	1~11	2	5	50	庶极	4.5
52-3	7.5~0	2650~0	292	228	72	0.55	106	50/36	4	2- $\emptyset$ 13.5QZ-2	4	5	1~10	2	5	50	庶极	4.0
61-1	10~3.3	1410~470	327	245	82	0.65	106	48/36	6	2-1.3 1- $\emptyset$ 1.35QZ-2	8	4	1~8	3	4	48	庶极	6.24 3.36
61-2	12~3	2200~550	327	245	82	0.65	106	48/36	4	2- $\emptyset$ 1.4QZ-2	10	4	1~12	2	6	48	庶极	10.7
61-3	15~5	1410~470	327	245	82	0.65	156	48/36	6	2- $\emptyset$ 1.3 1- $\emptyset$ 1.35QZ-2	8	4	1~8	3	4	48	庶极	6.82 3.68
62-1	24~4	2400~400	327	245	82	0.65	186	48/36	4	4- $\emptyset$ 1.45QZ-2	4,5 4,5	4	1~10	2	6	48	庶极	11.5
7-1	17~0	1800~0	375	300	82	0.65	166	60/45	6	2- $\emptyset$ 1.3QZ-2	8	2	1~8	6	5	60	正常	9
7-2	22~7.3	1410~470	375	300	82	0.65	166	60/45	6	$\emptyset$ 1.56QZ-2	15	2	1~9	6	5	60	正常	12.5
8-1	30~10	1410~470	460	368	100	0.7	166	72/54	6	3- $\emptyset$ 1.25QZ-2	6	4	1~11	3	6	72	庶极	13.5

续表

型号	功率 (kW)	额定转速 (r/min)	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	转子 内径 (mm)	气隙 (mm)	铁心 长度 (mm)	定子槽数 转子槽数	极数	次级(定子)绕组								
										线径	每圈 匝数	每圈 匝数	节距	并联 路数	相数	线圈数	接法	线重 (kg)
8-2	40~4	1600~160	460	368	100	0.7	166	72/54	6	3- $\emptyset$ 1.62QZ-2	4	4	1~11	3	6	72	庶极	14.5
8-3	40~13.3	1410~470	460	368	100	0.7	166	72/54	6	3- $\emptyset$ 1.35QZ-2	6	4	1~11	3	6	72	庶极	15.5
9-1	55~18.3	1050~350	500	400	210	0.8	196	40/48	8	5- $\emptyset$ 1.45QZ-2	7	3	1~7	4	5	60	庶极	26
9-2	60~6	1200~120	500	400	210	0.8	230	60/48	8	5- $\emptyset$ 1.45SBQZ	5	3	1~7	4	5	60	庶极	33.5
9-3	75~25	1050~350	500	400	210	0.8	230	60/48	8	5- $\emptyset$ 1.56QZY	7	3	1~8	4	5	60	庶极	36
10-1	100~33.3	1050~350	600	500	292	1.1	186	84/72	8	6- $\emptyset$ 1.45SBQZY	5	3	1~10	2	7	84	庶极	44
10-2	100~16.7	1200~120	600	500	292	1.1	186	84/72	8	4- $\emptyset$ 1.45SBQZ	7	3	1~10	4	7	84	庶极	41
10-3	125~41.7	1050~350	600	500	292	1.1	186	84/72	8	2- $\emptyset$ 1.45 $\times$ 2.1 QZB	5	3	1~10	2	7	84	庶极	61
11	160~53.3	1050~350	750	621	375	1.5	136	84/72	8	4- $\emptyset$ 1.56QZ-2	10	3	1~10	4	7	84	庶极	60

51-1	2-Ø1.3QZ-2	21	2	1~6	1	36	Y	10.75	2.26×3.28 SBEB	1	1~4	108D=1	单波	4.7
51-2	Ø1.08QZ-2	30	3	1~8	2	36	Y串	4	1.81×2.83 SBEB	1	1~10	108	单叠	4.1
52-1	2-Ø1.45QZ-2	15	2	1~6	1	36	Y	10.6	2.26×3.28 SBEB	1	1~7	108D=1	双波	5.7
52-2	Ø1.4QZ-2	22	3	1~8	2	36	Y串	7.1	1.81×2.83 SBEB	1	1~8	108	单叠	4.3
52-3	Ø1.4QZ-2	22	3	1~8	2	36	Y串	7.1	1.81×2.83 SBEB	1	1~8	108	单叠	4.3
61-1	Ø1.45QZ-2	41	2	1~6	3	36	Y串	1.3	1.95×3.8 SBEB	1	1~6	144	单叠	7.5
61-2	2-Ø1.4QZ-2	20	3	1~8	2	36	Y串	1.4	1.95×3.8 SBEB	1	1~9	144	单叠	9
61-3	2-Ø1.2QZ-2	29	2	1~6	3	36	Y串	14.5	1.95×3.8 SBEB	1	1~6	144	单叠	8.2
62-1	3-Ø1.5QZ-2	11	3	1~8	2	36	Y串	15.4	1.95×3.05 SBEB	1	1~10 1~11	144	双叠	8.3
7-1	2-Ø1.5QZ-2	18	2,3 2,3	1~8	3	45	Y串	22.5	1.95×4.4 SBEB	1	1~5	180	单叠	12
7-2	3-Ø1.3QZ-2	18	2,3 2,3	1~8	3	45	Y串	25.5	1.95×4.4 SBEB	1	1~5	180	单叠	12
8-1	3-Ø1.3QZ-2	10	3	1~9	3	54	Y串	17	1.35×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	216	双叠	12

续表

型号	初 级 绕 组						调 节 绕 组							
	线径	每圈匝数	每组圈数	节距	并联路数	线圈数	接法	线重(kg)	线径	每圈匝数	节距	线圈数	接法	线重(kg)
8-2	3- $\emptyset$ 1.45QZ-2	10	3	1~9	3	54	Y串	21	1.56×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	216	双叠	14
8-3	3- $\emptyset$ 1.45QZ-2	10	3	1~9	3	54	Y串	21	1.95×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	216	双叠	14
9-1	4- $\emptyset$ 1.3QZ-2	17	2	1~6	4	48	Y串	35	1.95×4.4 SBEB	1	1~7 1~8	240	双叠	21.6
9-2	4- $\emptyset$ 1.45SBQZ	14	2	1~6	4	48	Y串	35.5	1.95×4.4 SBEB	1	1~7 1~8	240	双叠	20.8
9-3	3- $\emptyset$ 1.5 2- $\emptyset$ 1.56QZ-2	14	2	1~6	4	48	Y串	30.9 22.3	1.95×4.4 SBEB	1	1~7 1~8	240	双叠	20.8
10-1	6- $\emptyset$ 1.45 SBQZ	9	3	1~9	4	72	Y串	59	1.56×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	360	双叠	25
10-2	6- $\emptyset$ 1.45 SBQZ	9	3	1~9	4	72	Y串	59	1.56×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	360	双叠	25
10-3	4- $\emptyset$ 1.45 4- $\emptyset$ 1.5QZ-2	9	3	1~9	4	72	Y串	39 42	1.56×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	360	双叠	25
11	8- $\emptyset$ 1.5QZ-2	9	3	1~9	4	72	Y串	79.5	1.95×4.4 SBEB	1	1~10 1~11	360	双叠	32



型号	放 电 绕 组						换向器电刷		继电器电刷	
	线径	每圈匝数	节距	线圈数	接法	线重 (kg)	尺寸 (mm)	块数	尺寸 (mm)	块数
51-1							7×15×30	12	6×25×40	3
51-2							7×15×30	40	6×25×40	3
52-1							7×15×30	18	6×25×40	3
52-2							7×15×30	40	6×25×40	3
52-3							7×15×30	40	6×25×40	3
61-1							7×15×30	48	8×25×40	6
61-2							7×15×30	48	8×25×40	6
61-3							7×15×30	48	8×25×40	6
62-1	∅1.68SBQZ	1	1~4	72	单叠	0.6	7×20×30	48	8×25×40	6
7-1							7×15×30	60	8×25×40	6
7-2							7×15×30	60	8×25×40	6
8-1	∅1.56SBQZ	1	1~4	108	单叠	1.5	7×20×30	72	12×32×40	6
8-2	∅1.56SBQZ	1	1~4	108	单叠	1.5	7×20×30	72	12×32×40	6
8-3	∅1.56SBQZ	1	1~4	108	单叠	1.5	7×20×30	72	12×32×40	6
9-1	∅1.56SBQZ	1	1~3	240	单叠	4	7×20×30	120	16×32×40	6

续表

型号	放电绕组					换向器电刷		继电环电刷		
	线径	每圈匝数	节距	线圈数	接法	线重(kg)	尺寸(mm)	块数	尺寸(mm)	块数
9-2	Ø1.56SBQZ	1	1~3	240	单叠	4	7×20×30	120	16×32×40	6
9-3	Ø1.56SBQZ	1	1~3	240	单叠	4	7×20×30	120	16×32×40	6
10-1	Ø1.68SBQZ	1	1~4	360	单叠	6.5	7×15×30	168	16×32×40	12
10-2	Ø1.68SBQZ	1	1~4	360	单叠	6.5	7×15×30	168	16×32×40	12
10-3	Ø1.68SBQZ	1	1~4	360	单叠	6.5	7×15×30	168	16×32×40	12
11	Ø1.68SBQZ	1	1~4	360	单叠	9	7×20×30	168	16×32×40	12

注:1. QZ-2系聚酯高强度漆包线;

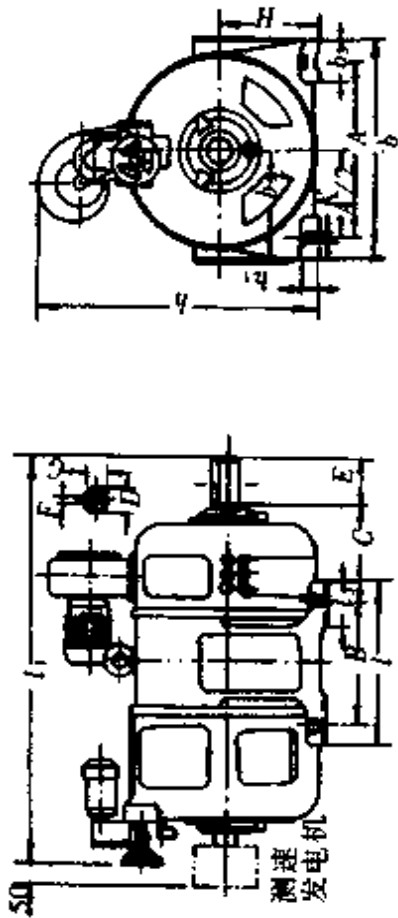
2. SBEB系双玻璃丝包扁铜线;

3. SBQZ系平玻璃聚酯高强度漆包线;

4. QZY系聚酯亚胺漆包线;

5. SBQZY系单玻璃丝聚酯亚胺漆包线

表 4.2.75 JZS2 系列换向器电动机外形和安装尺寸



型号	安装尺寸 (mm)													外形尺寸 (mm)				
	A	A/2	B	C	D	E	F	G	H	h <sub>1</sub>	K	h	b <sub>1</sub>	b <sub>3</sub>	h	l <sub>1</sub>	l <sub>3</sub>	l
51-1			220	200											595(495)	860		280
51-2			240	240											640	970		
52-1	370	185		280	32	80	10	26.8	225	30	20	450	240	80	595(495)		100	
52-2			270	240											640	1020		330
52-3																		
61-1																		
61-2	400	200	330	235	42	110	12	36.8	250	45	25	500	260	100	740	1090	115	410
61-3																		
62-1			380													1140		460
7-1	425	212.5	410	210	55	110	16	48.5	280	45	25	530	260	105	785	1140	115	490
7-2																		
8-1																		
8-2	550	275	360	320	75	140	20	67.2	355	55	30	670	345	120	955	1300	150	470
8-3																		
9-1																		
9-2	550	275	430	330	80	170	24	71	355	55	30	680	365	130	1185	1450	150	540
9-3																		
10-1																		
10-2	710	355	400	340	90	170	24	81	425	65	36	850	445	140	1375	1450	185	510
10-3																		
11-1	765	382.5	400	305	90	170	24	81	475	70	36	915	480	150	1465	1410	185	510

在换向并不十分困难的电机上,可采用放电绕组只有调节绕组一半(俗称半放电绕组)的作法。这样每个槽内就只有原来数目的一半,如图 4.2.64b 所示。如果每槽调节绕组的线圈  $u$  为奇数,则嵌在各个槽内的放电绕组线圈轮流为  $\frac{u+1}{2}$  和  $\frac{u-1}{2}$  只。

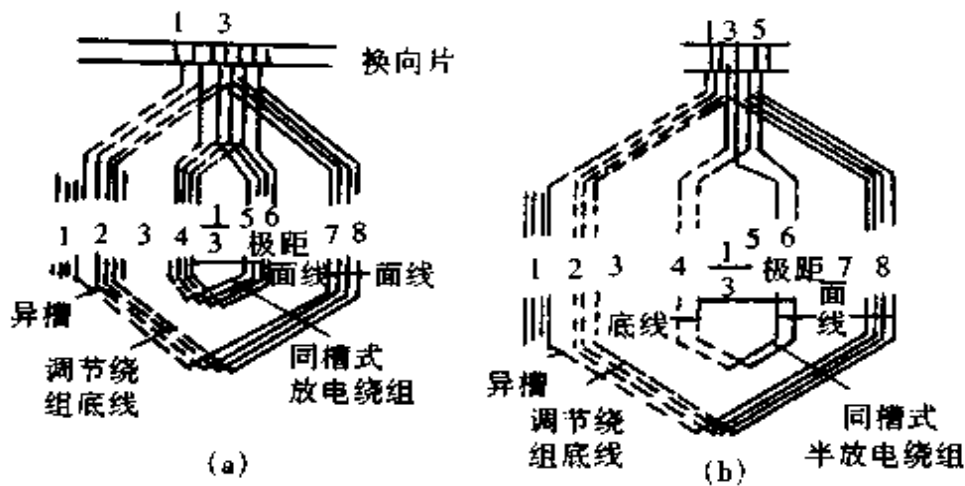


图 4.2.64 放电绕组的安置

(a) 双叠调节绕组和放电绕组 (b) 采用半放电绕组的双叠调节绕组

### 13.3.3 初级绕组和调节绕组的串联接线

调节绕组本身是一个封闭的环形电路(如图 4.2.63 所示),可在每对极下每隔  $120^\circ$ (电角)处引出三根导线,按一定要求和三相星形初级绕组的尾线相联,就得到了初级和调节绕组的串联接线。这种串联接线常用在叠形调节绕组上。

初级绕组和调节绕组的串联点位置,可根据“调节绕组在通过初级电流时所产生的磁极中心,必须和初级绕组通过本相电流后所产生的磁极中心相重合”的原则,用槽磁势图来确定。由于其方法比较复杂,不易掌握,故特总结如下。

(1) 在 JZS2 系列的串联电机上,初级绕组常设计成  $p$  对并联支路的双层绕组。

(2) 每组初级线圈都由  $q = \frac{\text{槽数}}{6p}$  只线圈组成。线圈须拉成图 4.2.65a 所示带鼻端的形状,面对引出线看,其呈左底(即底线)、右面(即面线)状。当初级绕组的  $q$  为带  $\frac{1}{2}$  的分数时,各组线圈有  $(q - \frac{1}{2})$  和  $(q + \frac{1}{2})$  两种。

(3) 调节绕组为单匝、每槽  $u$  只线圈,面对鼻端弯型,成左底右面形状。在单叠调节绕组内,常用图 4.2.65b 所示同槽式结构;在双叠调节绕组中,常用图 4.2.65c 所示的异槽式结构。整台电机共有  $3p$  只线圈,其鼻端备有可与初级绕组尾线相联的串联头(如图 4.2.65b、c 中的虚线所示),均匀地嵌置在转子圆周上。

(4)嵌线前,面对非换向器端从任意槽开始,自左向右在转子槽上编好顺序号1、2、3…把第一组初级绕组的最左侧一条底线边嵌在第1槽内,并认定它的引出线是A相电源进线。如果初级绕组的 $q$ 带 $\frac{1}{2}$ 分数,应先嵌有 $(q - \frac{1}{2})$ 只线圈的一联。嵌线方法和一般异步电动机相同。

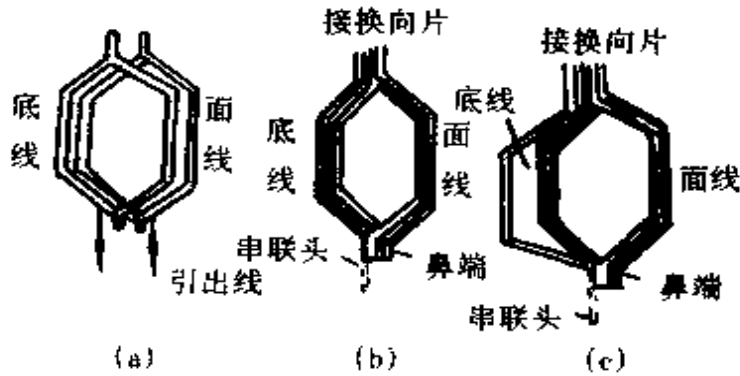


图 4.2.65 初级和调节绕组线圈

(a)初级绕组线圈  $q=2$ (每联2只) (b)同槽式调节绕组线圈 (每槽4只线圈) (c)异槽式调节绕组线圈 (左侧底线异槽一根)

(5)在联接初级绕组组与组间的接线时,第一组线圈的右侧引出线应弯向右边,与其右侧的第四组线圈的右侧面线作面-面联接。第四组线圈的左侧底线引出线应和相应调节绕组串联头相接。其余各组间的接线可按异步电机方法进行。

(6)应和A相出线相联、且带串联头的调节绕组底线,须嵌在第 $n$ 槽(单叠同槽式调节绕组)或 $(n-1)$ 槽(双叠异槽式调节绕组)的底槽。 $n$ 值有以下数种情况。

$$\textcircled{1} \text{ 在 } q \text{ 为整数的电机中, } n = 2q + 1 + \frac{Y - Y_c}{2}$$

$$\textcircled{2} \text{ 在 } q \text{ 为带 } \frac{1}{2} \text{ 的分数槽的电机中, } n = 2q + \frac{Y - Y_c + 1.5}{2}$$

式中  $Y$ ——初级绕组的节距(用槽数表示);

$Y_c$ ——调节绕组节距(用槽数表示)。

如果 $n$ 是个分数,那么与第四组A相初级绕组右侧底线引出线相连且带有串联头的调节绕组线圈,可嵌在近似整数的槽内。其余线圈都可按此规律进行嵌接。

图4.2.66是2极12槽双叠调节绕组的示范接线图。图内还画有全放电绕组。

### 13.4 换向器电动机的调整

定子引出线和电刷引出线间的相序测定以及两块电刷转盘在换向器上的相对

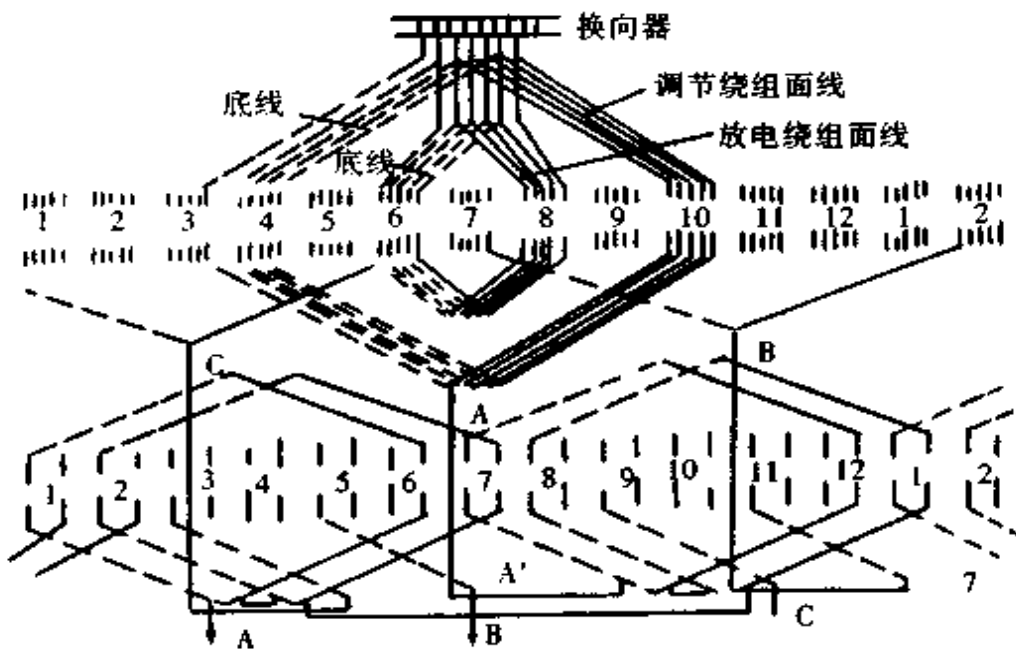


图 4.2.66 2 极 12 槽变速电动机的示范接线图

位置调整,都是换向器电动机在维修后的关键工序。这些工序在维修电机时并不一定全部都要进行,可以根据需要加以选择。例如:①在更换定子绕组后,当内外电刷转盘相互装错或电刷引出线接头上的标号已无法辨认时,须进行全套调试。②仅对转子绕组进行修理或拆装电刷转盘而未做好相对位置的标记时,可只做电刷位置的调整工作。

### 13.4.1 相序测定

首先把放在机座两侧的各相定子引出线按相同的顺序排列好(即左侧的第一根引线和右侧第一根引线应属于同一相定子绕组……),并焊上接头,敲上 1、2、3…顺序号,把它们装在接线板螺栓上。然后按下列程序进行测试:

(1)将移刷机构上的紧固螺母(见图 4.2.62)扳松,并拉出差动齿轮 D,缓慢转动手轮使换向器上的两块电刷转盘处在:①自端盖顶上向下看时,两电刷转盘上的齿应平均分布在端盖筋条的两侧。②两块电刷转盘上的电刷相互对齐在同一换向片上(即同步位置)(如图 4.2.67a 所示),然后推进差动齿轮 D,扳紧螺母。

(2)把放在机座两侧的电刷引线各自分开,并相互绝缘,但不能完全包好。

(3)用裸铜线将机座任一侧的定子引出线全部短接,并在初级绕组上加上三相交流电压。为了安全操作,外加电源电压尽量降低到额定值的 30% 左右。

(4)在机座两侧的第一组定子引线上用电压表测量,它的读数如为  $U_0$  (如图 4.2.67b 所示),再在定子绕组引线没有被短接的一侧,将电压表的一根引线接到第一根定子引线上(作记号 I),而另一根轮流与同侧的其他定子引线相接触,选取电压读数近似等于表 4.2.76 所列数值的一根定子引线作记号“II”。接着便以这

根定子引线 II 为基准,用同样方法找取具有相同读数的另一根定子引线作记号“Ⅲ”。依此类推,直到所有定子引线被判定为止,如图 4.2.67c 所示。

如果无法找到具有表 4.2.76 所列电压读数的另一根定子引线,那就表示定子引线的首、尾已放错,需要拆机重新检查定子内部接线。

(5)切断交流电源,并拆掉接在机座一侧的定子短路线,重复接通三相交流电源。

(6)以测好电压的定子引线(例如 I)作为基准,用电压表轮流测取与机座另一侧所有定子引线间的电压,选取有电压读数的一根定子引线,标上和已知编号相同的符号(如 I)。接着再以第二根定子引线 II 为基准,用同样方法确定原先短接而现在分开的定子引线编号,即 II。依此类推,一直到所有定子引线都已确定编号为止,如图 4.2.67d 所示。

(7)以放在机座任一侧(例如左侧)的一根电刷引线为基准,用电压表在机座的另一侧(即右侧)找取读数等于零的一根电刷引线,并暂时标上相同符号 A。接着再以左侧的第二根电刷引线为基准,用同样方法在机座右侧找取电压读数等于零的另一根电刷引线,并标上相同符号 B。依此类推,直到所有电压读数等于零的电刷引线都被标上符号为止,如图 4.2.67e 所示。

(8)将手轮朝方向指示牌所规定的“慢”方向转动,使原来放在同一换向片上的两组电刷拉开( $m_2/2$ )排电刷的距离(即拉开  $180^\circ$  电角度)。例如在次级相数  $m_2$  为 5 的电机里,把原来放在同一换向片上的两组电刷拉开 2.5 排电刷。

(9)在机座的任一侧(例如左侧),用一根导线的一头接在标有 A 的电刷引线上,另一头顺次接触放在同一侧的第一、第二……根定子引线上;在机座的另一侧(例如右侧),将电压表的一个线头接在标有 A 的电刷引线上,另一头随左侧的接触程序同时顺次接触第一、第二……根定子引线,如图 4.2.67f 所示。每接触一根定子引线,就读取一个电压。等所有电压读好后,选取具有最小读数的定子引线顺序号作为这根标有 A 的电刷引线的最终标号。例如电刷引线 A 和第三根定子引线间的电压读数为最小,则这根电刷引线标号 A 应改为标号 3。接着再以左侧的电刷引线 B 作基准,用同样的方法继续找取电压读数为最小的另一根引线,并在这根电刷引线 B 上标上相当于该定子引线的标号。依此类推,直到所有电刷引线的标号都被确定为止。

测试时,如果发现有两根定子引线的电压读数相接近,可以将图 4.2.62 所示装在传动轴上的紧固螺母扳松,并且向外拉出调速机构的差动齿轮 D,在手轮向“快”或“慢”转过半排电刷距离后,再推进差动齿轮 D,扳紧紧固螺母,重新进行测试。

(10)切断初级电源,按照电刷引线上的最终标号,将电刷引线接到具有相同标号的定子引线上。

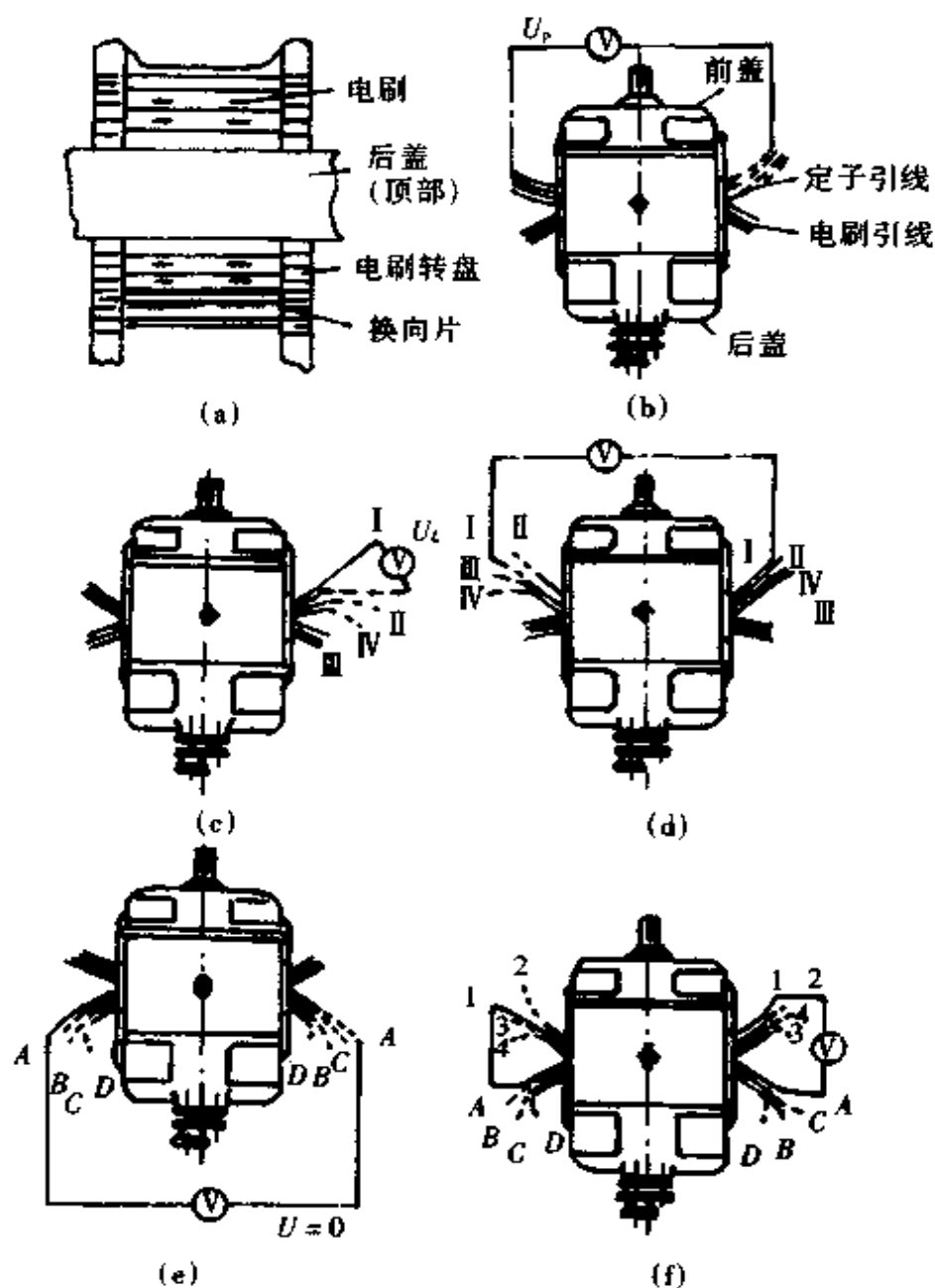


图 4.2.67 调整工序

(a) 同步位置 (b) 测量定子相电压 (c) 测量定子线电压 (d) 测定同相定子绕组 (e) 测定同相电刷两根引线 (f) 测定连接序号

(11) 向“快”方向转动手轮,使两组电刷转盘重新回复到同步位置上;然后用额定电压或 50% 左右的额定电压加到初级绕组上,使电机依指定方向作同步起动。

如果电刷引线和定子引线间的接线准确(即接线相序准确),则电机的运转声音极为正常,主、副电流均小于铭牌值。否则在转动手轮后,电机将有不正常的声响发生,且在某些电刷下出现较大的火花,此时应立即切断电源,拆开定子和电刷



间的连接,重新进行相序测定。

表 4.2.76 相邻相的线电压

次级相数 $m_2$	电压 $U_L$ 读数
3	$1.732U_p$
4	$1.414U_p$
5	$1.174U_p$
6	$U_p$
7	$0.868U_p$

### 13.4.2 换向器上电刷位置的调整

当定子和电刷引线间的相序测定后,以及空载电流-转速曲线发生较大偏移时,两块电刷转盘在换向器上的位置必须遵照下列步骤进行调整。

(1)将钳形电流表夹放在任意一根电刷引线上;在同步位置起动电机后,向“快”的方向慢慢转动手轮,并随时注视表上的电流变化。只要电表读数不超过铭牌上所标注的次级电流,就可将电机调至转速最快(一般等于最高额定转速加  $70 \sim 100r/min$ )位置上。

如果手轮向“快”方向转动时,电流读数已超过铭牌上所标注的次级电流,应立即停止转动手轮,并扳松图 4.2.62 所示的紧固螺母,把差动齿轮 D 向外拉出,然后再转动手轮,使一块电刷转盘在换向器上向“快”或“慢”方向移过一个角度,让次级电流相应降低到适当数值,接着便把调速机构复原(即推进差动齿轮 D,扳紧螺母),继续将手轮向“快”方向转动。假使次级电流又复超过铭牌上所标注的值,再用上述方法反复进行调整,直到电动机达到最高转速,次级电流不超过铭牌上所标注的数值为止。

(2)在最高转速位置下,继续扳松传动轴上的紧固螺母,拉出差动齿轮 D,并转动手轮,使次级电流调到最低数值。随后读下该转速下的初级电流。

(3)向“慢”方向转动手轮,在最低转速(一般为最低额定转速加  $40 \sim 100r/min$ )位置上观看次级和初级电流。

必须记住:初级电流的大小是与次级电流有关的,而次级电流又由电刷在换向器上的位置来决定,所以在调整电刷时,两者必须同时兼顾。

在 8 号机座及以下的电机中,最低转速下的次级空载电流应小于或接近等于最高转速时的电流,最高转速下的初级空载电流应略大于或接近等于同步转速和最低转速时的电流,如图 4.2.68a 所示。

在 9 号机座及以上的电机中,因为备有低速功率因数补偿,最低转速下的次级空载电流应大于最高转速时的电流,但小于或接近等于铭牌上所规定的额定值;最

高转速下的初级空载电流应该大于最低转速下的初级电流,可以接近等于或略大于同步转速下的初级电流。具体大多少,可参阅电机出厂合格证上所列数据或图 4.2.68b 所示典型曲线,也可参考原先的空载电流-转速曲线。但检修前后的两条曲线,因为电源电压、电刷接触面积以及差动齿轮 D 的啮合齿不能细调等因素不可能完全相吻合,实际调整时允许有偏差。

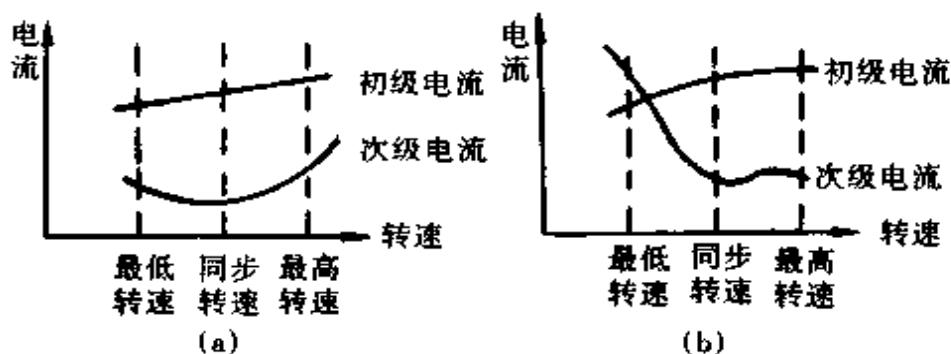


图 4.2.68 空载转速-电流曲线

(4) 经过上述调整后,即可读取一组初级、次级空载电流-转速的关系曲线。再用粉笔在同一块电刷转盘上画一条相当于最高和最低转速位置的记号,根据这个记号装好限位铁。

(5) 在负载状态下,如果发现一个电刷转盘上的电刷都有较大的火花,可在负载时再扳松传动轴上的紧固螺母,拉出差动齿轮 D,将电刷向“快”或“慢”(一般都向“快”)方向移过一两牙,使两块转盘下的火花趋于相似。

在带负载调整电刷位置时,应有人用手轻轻拉住两块电刷转盘,免得在松开传动轴上的螺母、拉出差动齿轮后,电刷转盘自行发生位移,使电机不能继续运行,又需在空载下重新调整。

经过负载调整后的电机,最好再在空载下观看一下低速时的次级电流,其值不应超过铭牌上所规定的额定值。

(6) 试验结束后,还须根据最高和最低转速,对装在遥控装置下面、行程开关盒内的凸轮位置进行调整。

### 13.5 常见故障及其处理方法

表 4.2.77 仅列出三相异步换向器电动机所特有的常见故障产生原因和处理方法。其他一般问题,可参阅本章对异步电动机的介绍。

表 4.2.77 换向器电动机的常见故障及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
1. 电动机不能起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 集电环和电刷间接触不良, 或者没有接触</li> <li>2. 机座两侧或一侧的定子绕组和电刷引线全部或部分未接牢; 或接触不良</li> <li>3. 换向器上电刷未放下, 或者未和换向器接触</li> <li>4. 电刷转盘不在最低速度的位置上</li> <li>5. 在低速位置下动作的行程开关 XC<sub>1</sub> 未闭合, 主电磁开关也不动作</li> <li>6. 过载起动</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查集电环和电刷间的接触是否良好</li> <li>2. 拆开机座两侧的盖板, 检查定子绕组和电刷引线是否接牢</li> <li>3. 检查换向器上电刷有没有放下去, 它们的接触是否良好</li> <li>4. 检查电刷转盘位置</li> <li>5. 检查装在行程开关盒内的微动开关 XC<sub>1</sub> 有没有动作</li> <li>6. 闭合主电磁开关后, 迅速检查初级电流, 如三相电流基本平衡, 可将手轮向“快”方向稍微转过一些, 但电刷转盘移过的距离以不超过自最低速度到最高速度间的 1/5~1/6 距离为限。假使移过电刷转盘后, 电动机仍不能起动, 应立即切断电源。若无其他原因, 应选用较大容量的电机</li> </ol>
2. 电动机过热	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定子绕组匝间短路(在拆开定子绕组和电刷引线间的联结, 并通以额定电压时, 电动机会以较快速度旋转, 各相次级电压也不再相互平衡)</li> <li>2. 换向器上有许多电刷不和换向器相接触, 例如许多电刷被轧在刷握内</li> <li>3. 电动机在轻载时单相运行</li> <li>4. 周围环境温度过高</li> <li>5. 换向器上有严重的火花</li> <li>6. 电机过载</li> <li>7. 两块电刷转盘的相对位置不符合要求。这时达到某一速度后次级电流便迅速上升</li> <li>8. 通风道被灰尘严重堵塞</li> <li>9. 采用鼓风机冷却的电机中, 鼓风机电动机未接通电源, 或者旋转方向不符合规定</li> <li>10. 在采用速度继电器作反接制动的电动机上, 次级外接电阻太小, 以致初、次级回路内有较大的制动电流通过</li> <li>11. 在自冷式或扇冷式电动机上, 采用次级外接电阻来降低最低速度时, 因电机速度下降而引起通风不良</li> <li>12. 电动机的起动次数过多</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 拆开机座两侧定子绕组和电刷引线的联结, 并使它们相互绝缘, 在初级绕组接通具有额定电压的三相交流电源后, 用电压表测量定子绕组的相电压</li> <li>2. 检查电刷是否和换向器接触良好, 例如电刷是否轧在刷握内、是否因磨损而短等, 必要时还得检查各根电刷引线上的次级电流</li> <li>3. 检查三相初级电流和加在初级绕组上的三相电源电压</li> <li>4. 检查周围环境温度</li> <li>5. 察看换向器上的火花, 并根据故障现象 6“换向器上火花过大”一项进行检查</li> <li>6. 检查电刷引线上的次级负载电流, 以不超过铭牌所规定的数值为限</li> <li>7. 在空载时, 检查电动机的电流-转速曲线</li> <li>8. 检查进风口、定子背部、转子通风孔以及出风口是否被灰尘堵塞</li> <li>9. 检查鼓风机是否旋转, 其旋转方向是否符合要求</li> <li>10. 检查反接制动的初、次级电流, 并把外接电阻调整到适当数值</li> <li>11. 适当降低电机负荷</li> <li>12. 电动机在额定负载下运行时, 每小时的起动次数应适当减少</li> </ol>

续表

故障现象	产生原因	处理方法
3. 电动机速度不能调节	1. 定子绕组和电刷引线间联接错误(这时,在某些电刷下会出现强烈火花) 2. 两块电刷转盘的相对位置不符合要求(这时电动机只能在同步速度附近正常运行,离开同步速度后,往往就会有严重的换向火花) 3. 后端盖检修后,内外两块电刷转盘装错 4. 检修后定子前后装反	1. 根据接头上符号,检查接线是否接错,必要时进行调试 2. 在空载时检查电动机的电流-转速曲线 3. 根据限位铁或检修前所作标记,检查电刷转盘有无装错,必要时重新调试 4. 检查定子的装配位置。集电环和换向器分别应安放在转子铁心两侧的电枢上,定子绕组的接头线应在集电环一侧
4. 电动机的调速范围不符合要求	1. 两块电刷转盘上的限位铁位置装错 2. 两块电刷转盘的相对位置不符合要求(这时,电动机在调到某一速度后,便会发生强烈火花)	1. 拆掉限位铁后,根据空载速度重新装置限位铁 2. 在空载时检查电动机的电流-转速曲线
5. 换向器过热	1. 电刷压力过大 2. 两块电刷转盘的相对位置不符合要求 3. 换向器上火花过大 4. 通向换向器的风道被灰尘堵塞 5. 刷握和换向器表面相擦(在运行时有异常声音) 6. 电刷牌号不符合要求 7. 换向片间的云母槽内有电刷粉末或金属屑粘附,造成片与片间的局部短路现象	1. 用拉秤检查电刷上的压力 2. 在空载时检查电动机的电流-转速曲线 3. 参照序号6进行检查 4. 检查电机的风道和通过换向器表面的风量 5. 检查刷握和换向器表面的距离 6. 检查和调换电刷牌号 7. 清理换向片槽
6. 换向器上火花过大	1. 部分电刷被扎住在刷握内,或者电刷磨损过多,与换向器接触不良 2. 电刷压力过小(这对速度较高的电机很重要) 3. 电刷压力过大(它破坏了换向器表面的氧化膜,使换向器变坏) 4. 换向器表面粗糙或者被火花严重灼伤 5. 换向片两侧有毛刺 6. 两块电刷转盘的相对位置不符合要求,这时可能有两种现象:①电机的空载电流-转速曲线不符合要求;②负载时顺着电机旋转方向移动的一块电刷转盘下出现较大的火花	1. 检查电刷能否在刷握内自由上下;各块电刷和换向器是否接触良好,必要时也可以用钳形电流表检查电刷引线内各相电流是否平衡(一般允许偏差10%左右) 2. 用拉秤检查加在电刷上的压力 3. 用拉秤检查加在电刷上的压力 4. 观察换向器表面光滑程度;必要时,可先查出原因,然后车床上车圆换向器 5. 检查换向片两侧有无毛刺 6. 根据两种可能分别检查:①电动机的空载电流-转速曲线;②在负载时松开图4.2.62所示传动轴上的紧固螺母,并拉出调速机构上的差动齿轮D、C后,将手轮向“快”或“慢”方向移过一二牙,再观察电机火花有无改善(此时须复核空载运行情况)

续表

故障现象	产生原因	处理方法
6. 换向器上火花过大(续)	7. 云母片高出换向片 8. 有一块或几块换向片凸出(即跳排),这时每凸起一块换向片,就有 $p$ 对角换向片被灼伤(其中 $p$ 为极对数) 9. 换向器表面偏心 10. 换向器的云母槽内有电刷粉末或金属屑粘附 11. 电刷质量不符合要求 12. 电刷和电刷上的辫子线脱开,或者电刷辫子严重地被氧化(这时辫子线的颜色变暗) 13. 调节绕组和换向器竖片间脱焊(这时在换向器内外都有 $p$ 对角处被灼伤,而脱焊的换向片却异常光滑,无灼伤痕迹) 14. 电机过载 15. 电刷转盘上的电刷支杆分布不均匀 16. 部分电刷支杆已弯曲,即不和换向片相平行 17. 电刷支杆的并联接线接触不良或者电刷辫子线和电刷支杆接触不良 18. 空气中含有大量酸碱气体,破坏了换向器上的氧化膜 19. 电机振动较大	7. 检查云母片有无高出 8. 切断初级电源,在电机未停前,用手按在内外两排电刷上,检查电刷有无跳动 9. 用上述第 8 条方法,或者用千分表检查换向器内外表面的偏心度(以不超过 0.05mm 为限) 10. 清除云母槽内的积垢 11. 检查电刷牌号(应为 D376 即 DS76 或 D376n 即 DS76n) 12. 检查电刷的辫子线 13. 拆掉换向器端的后端盖(或者拉起换向器上的全部电刷),并把额定电压加到初级绕组上,用 0~5V 交流电压表逐块测量两相邻(或隔一片)换向片间的电压 14. 检查电动机的次级电流(即电刷电流) 15. 拆下电刷转盘,检查各电刷支杆间的分布距离 16. 根据换向片间的云母槽,检查各电刷支杆是否直 17. 检查电刷支杆联接线,以及电刷支杆和辫子线间的接触情况 18. 测定空气中的酸碱含量,必要时改用管道通风 19. 重校动平衡
7. 换向器上电刷磨损较快	1. 换向器上火花过大 2. 换向片两侧有毛刺 3. 换向器表面过分粗糙 4. 电刷牌号不对	1. 根据序号 6 进行检查 2. 检查换向器表面光滑程度 3. 检查换向器表面光滑程度 4. 检查电刷牌号

续表

故障现象	产生原因	处理方法
8. 集电环上跳火	1. 电刷和辫子线脱开(这时电刷和刷握间可能有火花) 2. 电刷轧在刷握内不能自由上下 3. 电刷压力过低,或者接触不良 4. 集电环表面有油垢或油漆 5. 集电环表面粗糙有砂眼、缩孔或偏心	1. 检查电刷和辫子线间的联接情况 2. 检查电刷在刷握内的活动情况 3. 用拉秤检查加在电刷上的压力,检查电刷和集电环间的接触情况 4. 检查集电环表面 5. 检查集电环表面光滑程度,并用百分表检查集电环的偏心率
9. 集电环间短路	1. 集电环侧面粘附着较多的铜屑或电刷粉末 2. 空气中含有较多的酸碱,损坏了集电环绝缘 3. 空气中含有大量水蒸气,特别是采用在集电环上侧的鼓风机来冷却时 4. 胶木垫圈或环氧树脂绝缘垫圈破裂	1. 用压缩空气清除积垢 2. 测定空气中所含酸碱成分,必要时改用管道通风 3. 测定空气中所含水蒸气分量,必要时改用管道通风 4. 检查集电环上各垫圈
10. 绕组绝缘电阻太低	1. 导电部分(例如集电环、电刷支杆、接线板等)绝缘损坏或表面潮湿 2. 换向器侧的电刷辫子线或电刷转盘上支架联接线碰转盘	1. 对导电部分的绝缘分别进行检查 2. 检查电刷辫子线或支架联接线是否碰转盘
11. 在按下加减速电钮时,遥控电动机转动,然而电动机不能调速	1. 遥控机的前面盖板上,手轮上侧的一个“过载打滑螺母”太松 2. 电刷转盘和端盖间配合过紧或者已发生“铁锈”,使摩擦系数增加 3. 限位铁位置装置错	1. 用套筒扳手适当板紧“过载打滑螺母” 2. 除去铁锈,并加少量润滑油脂 3. 根据空载速度重新装置限位铁
12. 遥控装置在自动复位或者达到最快位或最慢位置后,遥控电动机后电相仍未停止	1. 行程开关失灵 2. 控制线路有故障	1. 检查行程开关的动作情况 2. 检查控制线路

## 14 井用潜水异步电动机

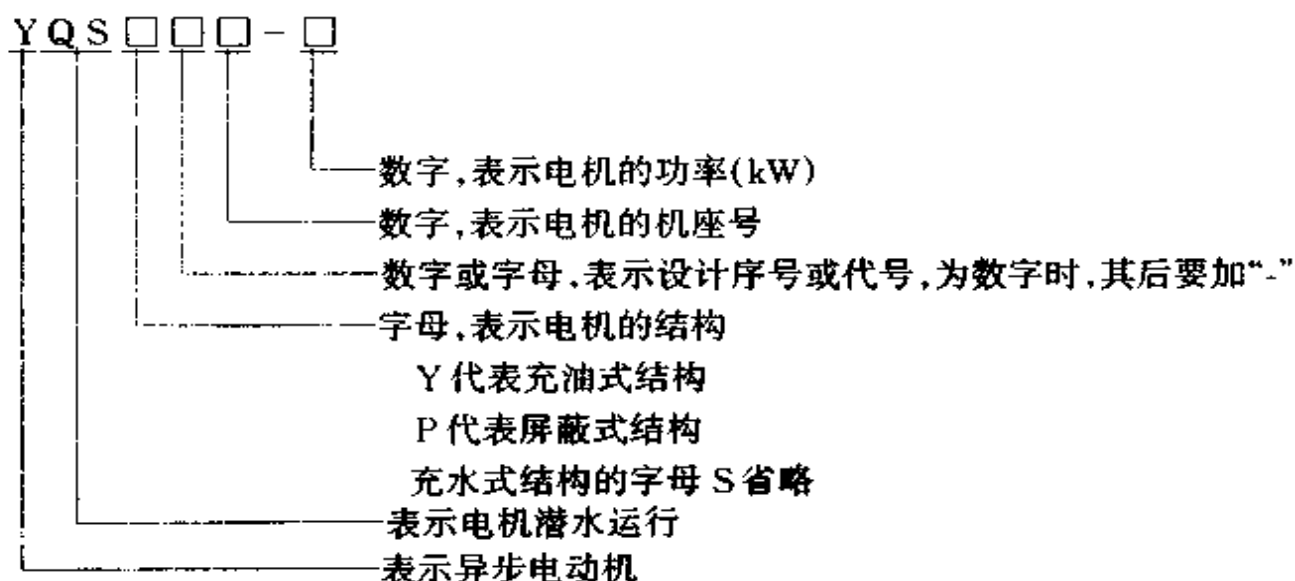
井用潜水异步电动机是一种立式专用三相或单相笼型异步电动机,它与井用潜水泵组成井用潜水电泵,潜入井下水中工作。与深井水泵相比,井用潜水电泵具有体积小、重量轻、结构简单、安装使用方便、不用另设泵房的优点,在工农业生产和城乡人民生活中广泛用于抽吸地下水或用于向高处或远距离输水。

井用潜水电机的特点是:其外径尺寸受到所安装的井的直径的严格限制,机身细长;在同一井径中使用的同机座号电机功率的增加,仅依靠机身长度增加来达到。井用潜水电机的结构分为充水式、充油式、屏蔽式和干式四种基本类型。常用的为充水式或充油式,屏蔽式主要用于小机座号(100和150机座)电机中。井用潜水电机的供电电压分为高压6000V,低压220V、380V或660V等。

### 14.1 型号与主要规格

#### 14.1.1 产品型号表示方法

由汉语拼音大写字母和阿拉伯数字组成



例如,YQS150-7.5表示机座号为150,功率为7.5kW的井用充水式潜水三相异步电动机;YQS2-200-45表示机座号为200,功率为45kW,设计序号为2(改型设计)的井用充水式潜水三相异步电动机;YQSY250-90表示机座号为250,功率为90kW的井用充油式潜水三相异步电动机。

#### 14.1.2 主要规格

YQS系列和YQS2系列充水式电机,YQSY系列充油式电机的主要规格见表4.2.78。YQSP系列屏蔽式电机仅有表中100机座的有关规格。

表 4.2.78 YQS 系列、YQS2 系列和 YQSY 系列电机主要规格

机座号	最大外径 (mm)	同步转速 (r/min)	额定功率(kW)
100	96	3000	0.55, 0.75, 1.1, 1.5, 2.2, 3
150	143		3, 4, 5.5, 7.5, 9.2, 11, 13, 15, 18.5
175	168		3, 4, 5.5, 7.5, 9.2, 11, 13, 15, 18.5, 22, 25
200	184		4, 5.5, 7.5, 9.2, 11, 13, 15, 18.5, 22, 25, 30, 37, 45
250	233		11, 13, 15, 18.5, 22, 25, 30, 37, 45, 55, 63, 75, 90, 100, 110
300	281		37, 45, 55, 63, 75, 90, 110, 125, 140, 160, 185, 220
350	330	1500	30, 45, 55, 63, 75, 90, 100, 110, 125, 140, 160
400	377		90, 100, 110, 125, 140, 160, 185, 220

## 14.2 结构及主要特点

### 14.2.1 YQS 系列和 YQS2 系列充水式电机

电机为充水密封式结构(图 4.2.69),内腔充满清水或防锈润滑液。各零部件的止口接合面用 O 型橡胶密封圈或密封胶密封,轴伸端装有甩砂环、橡胶油封或端面机械密封等防砂装置,下部装有橡胶调压囊,用以调节内腔充水因温度变化而引起的体积变化。电机的定、转子和轴承均在水中工作。其上、下部装有水润滑滑动轴承,轴下端装有水润滑止推滑动轴承,用以承受运行时水泵轴向推力和转子自重。为了限制水泵启动时轴的上窜,电机下部装有上止推滑动轴承。

图 4.2.69a 为钢板卷焊机壳结构,轴伸端安装橡胶油封(或机械密封),整体式止推轴承,适用于功率较小、铁心较短的电机。图 4.2.69b 为钢管机壳结构,轴伸端安装机械密封(或橡胶油封),分块调芯式止推轴承,适用于功率大、铁心长的电机。

充水式并用潜水电机结构有以下特点:

(1)定子绕组采用 QYN 型铜芯漆包聚乙烯绝缘尼龙护套线、SYN 绞合铜芯聚乙烯绝缘尼龙护套线或 QV 型铜芯聚氯乙烯绝缘线(结构示于图 4.2.70)制作。



在水中的长期工作温度聚乙烯型为  $70^{\circ}\text{C}$ ，聚氯乙烯型为  $65^{\circ}\text{C}$ ，可承受  $1\text{MPa}$  的水压。耐水绝缘导线相互间的联接点、耐水绝缘导线与引出电缆的联接头及引出电缆与动力电缆的联接头一般可直接采用自粘性胶带包扎密封或先用树脂分叉套封套，再用自粘性胶带包扎密封。

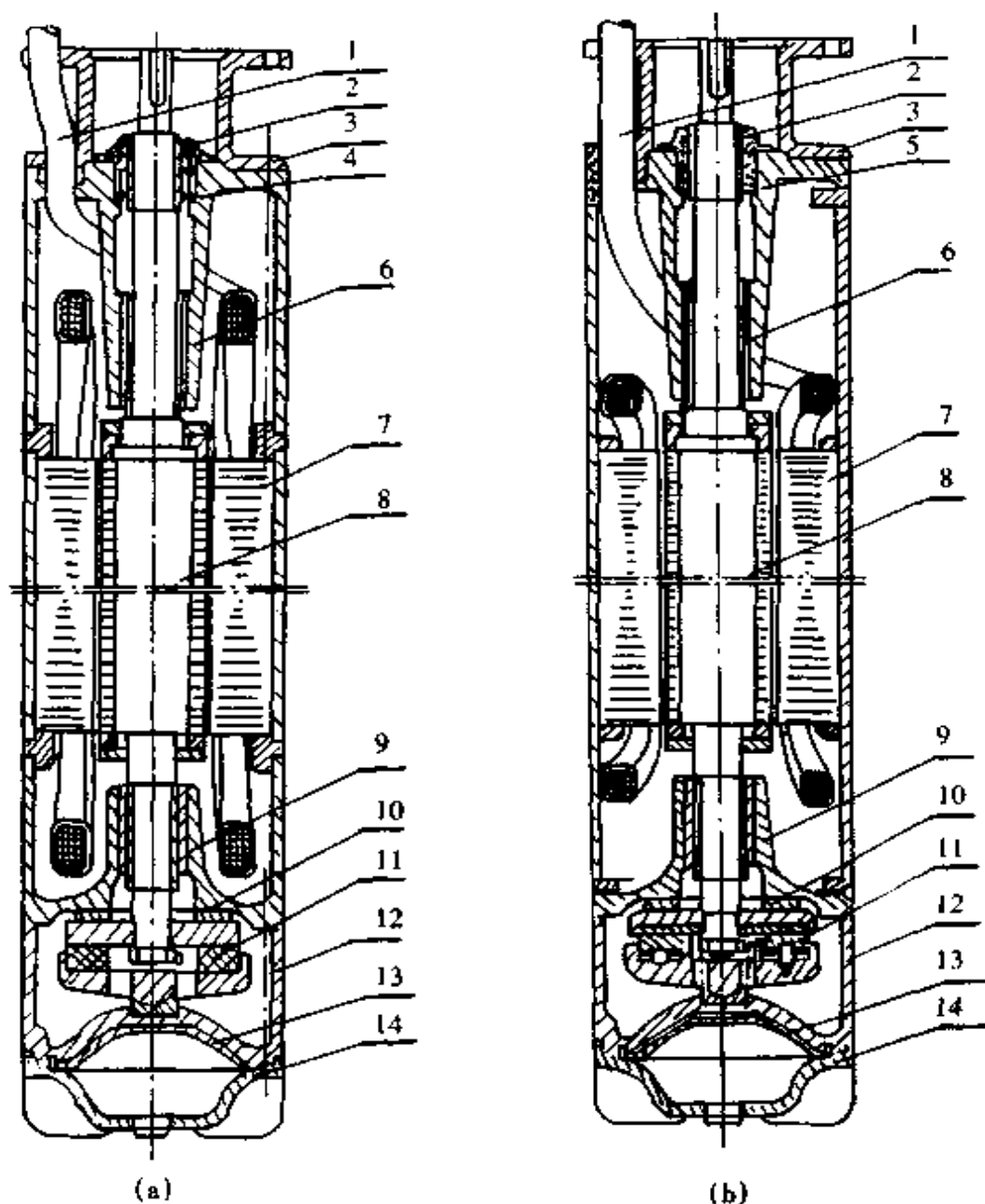


图 4.2.69 充水式井用潜水电机结构

(a)卷板机壳结构 (b)钢管机壳结构

- 1—引出电缆 2—甩砂环 3—联接法兰 4—橡胶油封 5—机械密封  
 6—上导轴承 7—定子 8—转子 9—下导轴承 10—上止推轴承  
 11—止推轴承 12—底座 13—橡胶调压囊 14—底脚

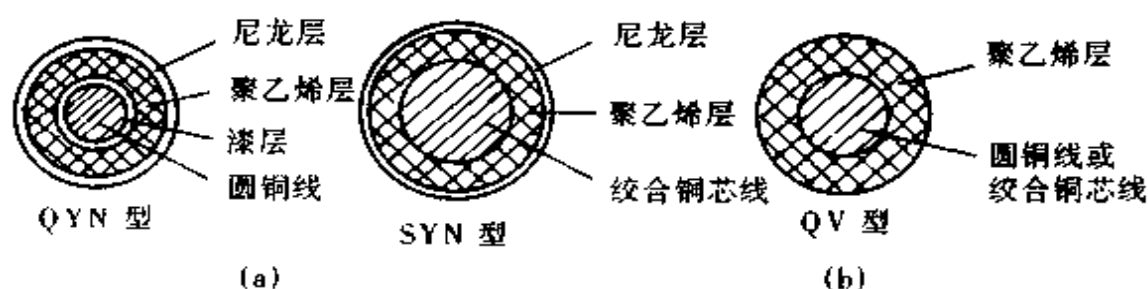


图 4.2.70 耐水绝缘导线结构

(a) 聚乙烯绝缘尼龙护套线 (b) 聚氯乙烯绝缘线

(2) 采用水润滑轴承。充水式电机的轴承以低粘度的水作为润滑冷却剂,其滑动承载面处于边界润滑状态。电机的径向滑动轴承常用由铅锡青铜 ZQPbSn25-5、ZQSn7-7-3、SF 型三层复合材料,浸渍石墨类材料或塑料制作的轴瓦与不锈钢淬硬的轴套或镀铬轴颈组成。轴瓦的冷却槽为直槽或螺旋槽(图 4.2.71)。电机的水润滑止推轴承结构有整体式和分块调芯式两种(图 4.2.72),其中承载面扇形分块、整体调芯式轴承结构简单,使用较多。常用材料有以聚邻苯二甲酸二丙烯酸酯 DAP 为基的 D-2 型塑料, P23-1 型和 P117 型酚醛塑料,浸渍石墨材料等。对磨材料为用 3Cr13 或 4Cr13 制作并淬硬的圆盘。分块调芯式轴承的扇形块用炮铜或不锈钢制作,对磨材料为石棉织物浸渍热固性酚醛树脂的 F102 复合材料。

(3) 采用轴伸端密封与零部件的防锈蚀措施。充水式并用潜水电机的使用水质一般较好,其轴伸端仅需安装橡胶骨架式油封,结构简单,安装维修方便,价格低廉。当电机的使用水质较差、水中含有泥砂颗粒时,最好在电机的轴伸端安装端面机械密封,以阻止泥砂颗粒杂质进入电机内腔,造成故障。充水式电机长期在水中使用时,各零部件均应采取防锈、防腐蚀措施:重要的金属零件采用含铬耐蚀钢制作,紧固件采用镀锌钝化处理,其他金属零部件表面涂耐水防锈涂料,如 7511 聚氨酯漆等。

#### 14.2.2 YQSY 系列充油式电机

电机为充油密封结构(图 4.2.73),内腔充满变压器油。电机的机壳上下端盖和油囊护套等零部件的止口配合部位装有耐油橡胶 O 型圈或涂密封胶密封,轴伸端装有端面机械密封及甩砂环。电机的定、转子和滚动轴承均在机内油中工作。电机下部装有保压装置,维持电机内腔油压略大于外部水压,阻止井水进入电机内腔。

YQSY 系列充油式电机有如下特点:

(1) 定子绕组采用加强绝缘的 QYS 型环氧改性聚酰胺-酰亚胺和聚酯复合耐油水漆包线或耐油性较好的 QQ 型聚乙烯醇缩醛漆包线绕制,以厚 0.25~0.30mm 的聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔 DMD 或 DMDM,外加一层 0.05mm 聚酯薄

膜作槽绝缘和相间绝缘,沉浸快干漆。

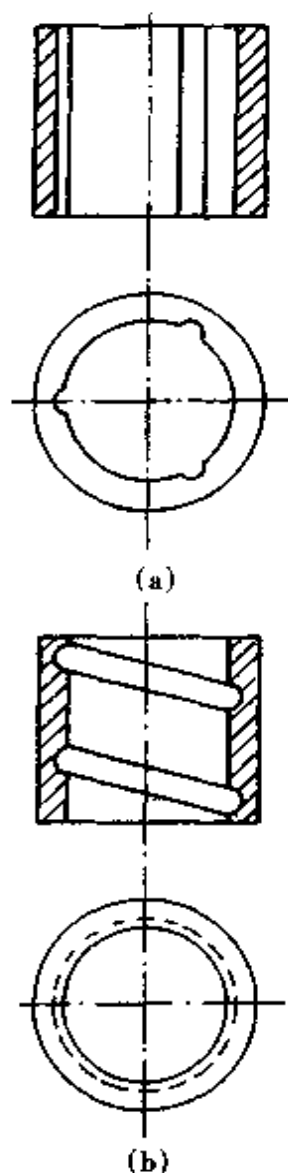


图 4.2.71 水润滑导轴承冷却槽结构

(a)直槽 (b)螺旋槽

(2)采用轴伸端机械密封。轴伸端安装的机械密封是充油式电机的关键部件,常用的机械密封结构见图 4.2.74。其中图 4.2.74a 为 YQSY150 型电机的机械密封,由动密封环装配、静密封环装配两部分组成。静密封环装配用螺钉固定在端盖上,动密封环装配套在轴上,由轴承端面限位,靠销键带动。图 4.2.74b 为 YQSY200 型和 YQSY250 型电机的机械密封,由动密封环、静密封环、推块、传动套和弹簧等组成。动密封环通过销键、传动套由推块带动旋转,静密封环靠防转销制动,动、静密封环 O 型圈借助弹簧推力实现密封。充油式电机机械密封动、静密封环材料均采用碳化钨。

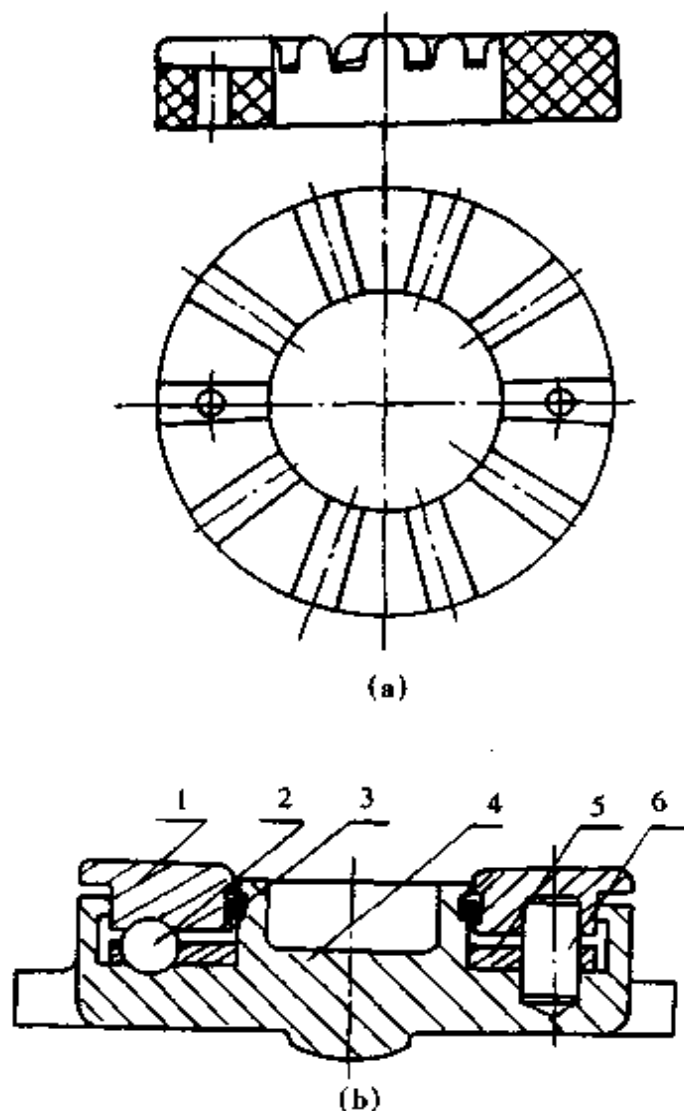


图 4.2.72 水润滑止推轴承结构

(a)整体式 (b)分块调芯式

1—扇形块 2—钢球 3—O型密封圈  
4—止推轴承座 5—保持架 6—销

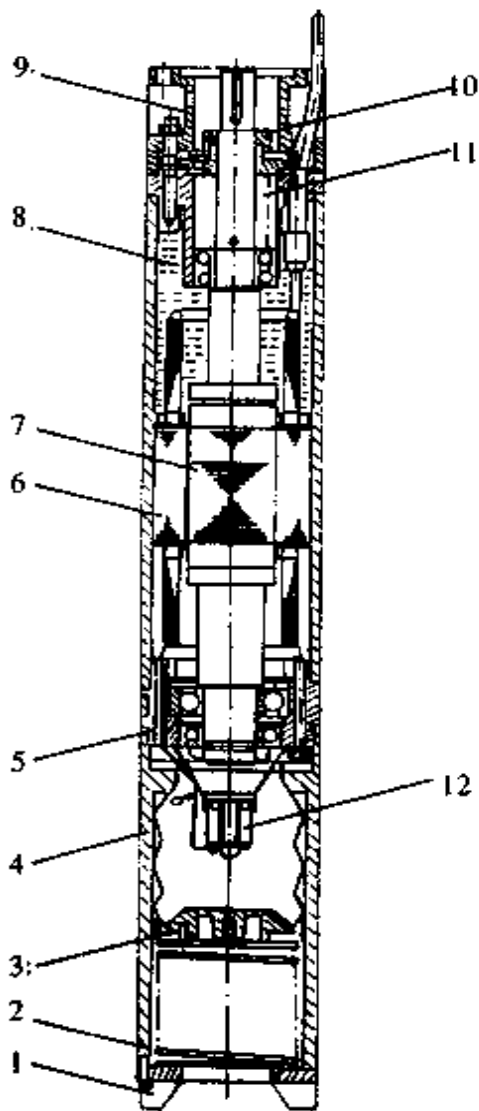


图 4.2.73 充油式井用潜水电机结构

- 1—底座 2—油压弹簧 3—油囊
- 4—油囊护套 5—下端盖 6—定子
- 7—转子 8—上端盖 9—联接法兰
- 10—甩砂环 11—机械密封
- 12—贫油触头装配

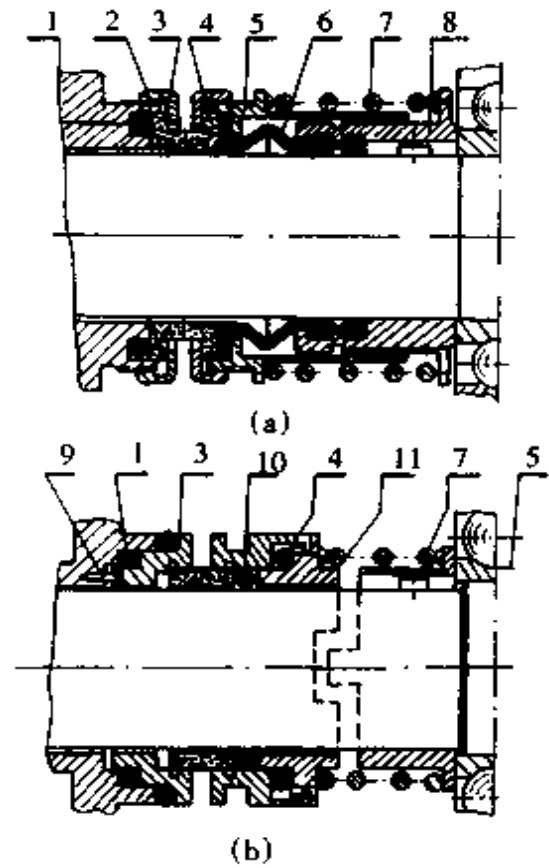


图 4.2.74 充油式井用潜水电机机械密封结构

- (a) YQSY150 型用
- (b) YQSY200 型和 250 型用
- 1—O 型密封圈 2—螺母 3—静密封环
- 4—动密封环 5—传动套 6—橡胶波纹管
- 7—弹簧 8—传动座
- 9—销 10—O 型密封圈 11—推块

(3) 采用保压机构和贫油信号保护装置。充油式电机下部装有保压机构,用以维持机内油压大于外部水压,阻止井水浸入电机内部。该机构由油囊、油囊护套、油囊压盖和弹簧等零件组成。电机总装注油后,油囊中储满了绝缘油,弹簧处于压紧状态。依靠弹簧在油囊中产生的压力维持机内油压大于外部水压。电机运行时,机内绝缘油通过机械密封非常缓慢地往外泄漏,而井水则不能反向渗入电机内腔。

经过一定时间的正常运行或因密封故障等原因造成不正常的油泄漏,使电机

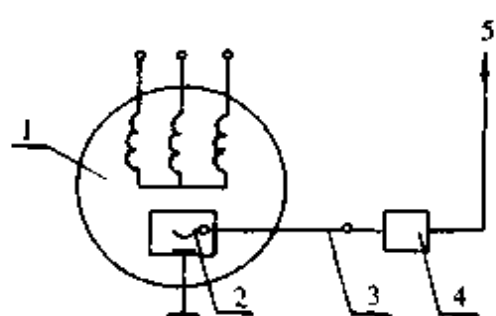


图 4.2.75 贫油信号接线原理图

1—电机 2—贫油信号触点 3—信号线 4—中间继电器 5—接电源

内油量的消耗达到规定限值时,电机发生“贫油”现象。这时电机内油压下降,机械密封内、外将产生油和水的交换,电动机进水,造成绕组绝缘电阻下降,甚至出现短路、绕组烧损等事故。为此,在电机下部设有贫油信号装置。贫油信号接线原理见图 4.2.75。如图,电源中性点应直接接地。当电机内油量消耗殆尽时,油压弹簧推动油囊压盖与贫油信号触头接触,使信号线与地接通,发出“贫油”信号,从而使地面控制开关的中间继电器动作,自动切断电源,并发出警报。

### 14.2.3 YQSP 屏蔽式电机

YQSP 屏蔽式电机定子为密封充填结构,转子腔为充水结构(图 4.2.76)。由机壳沿气隙安装于定子铁心内圆表面的非磁性不锈钢薄壁管和两个端环组成一独立的密封腔,将定子铁心和绕组密封起来,内充绝缘油或固体填充物。转子腔内充满清水或防锈润滑油。电机上、下部装有径向滑动轴承(导轴承),轴下端安装轴向止推滑动轴承,电机转子和滑动轴承均在水中工作。轴伸端安装一套防砂密封装置,零部件各止口接合面用 O 型橡胶密封圈或密封胶密封。

屏蔽式电机的特点是:定子为一独立的密封腔,降低了对导线绝缘的耐水性或耐油性要求,定子绕组可用普通漆包线制作;转子腔允许进水,对轴伸端密封只要求能防止砂粒和杂物进入,不要求防漏。这种电机的可靠性一般较高,但结构较复杂,工艺要求较高,一般用于 100mm 及 150mm 井径的井用潜水电机中。

电机机壳用钢管或不锈钢板卷制焊接而

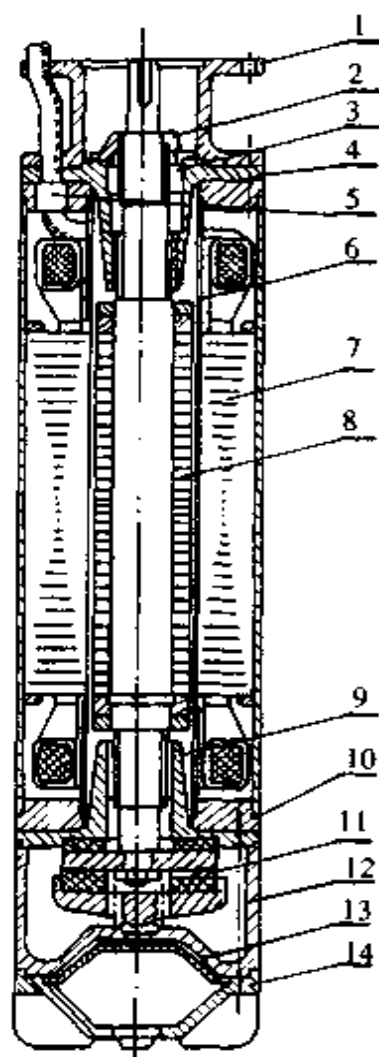


图 4.2.76 屏蔽式井用潜水电机结构

1—联接法兰 2—甩砂环 3—防砂密封 4—上导轴承 5—电缆引出装置 6—屏蔽套 7—定子 8—转子 9—下导轴承 10—上止推轴承 11—止推轴承 12—底座 13—橡胶调压囊 14—底座

成,屏蔽套用厚 0.15~0.25mm 的非磁性不锈钢薄壁管或非磁性不锈钢板卷制焊接而成。定子内的填充物采用导热性好、绝缘性能高,具有良好的弹性、膨胀系数与金属接近的环氧灌注胶或填充剂,采用真空灌注工艺。

### 14.3 选择与使用

#### 14.3.1 电机与系的合理配套

并用潜水电机与并用潜水泵的功率应合理配套,以保证电机的可靠和安全运行。除按照泵的额定流量、额定扬程和效率计算出所需的配套轴功率外,还应考虑在泵运行中,由于井中水位的变化,造成泵的运行点发生变化的情况。即泵在一定的流量范围内(如在 0.7~1.2 倍额定流量范围内)运行时,轴功率会发生变化,甚至超过额定流量时的轴功率。因此,所配电机的功率应适当增大  $K$  倍,即:

$$P_m = K \frac{HQ}{367.2\eta_p}$$

式中  $P_m$ ——所需配套的电机功率(kW);

$Q$ ——泵的额定流量( $m^3/h$ );

$H$ ——泵的额定扬程(m);

$\eta_p$ ——泵的效率;

$K$ ——配套系数,一般取  $K=1.2$  左右。

#### 14.3.2 按实际需要的扬程选系

为了保证电机和泵可靠运转,防止电机过载,应按照实际使用所需的扬程来选择合适的泵。泵提水时的实际需要扬程为

$$H = H_1 + H_2 + H_0$$

式中  $H$ ——实际需要的扬程(m);

$H_1$ ——井下扬程,即井中动水位至地面的高度(m);

$H_2$ ——井上扬程,即地面供水高度,如地面至水塔的高度(m);

$H_0$ ——管路系统的损失扬程(m)。

按照计算所得的实际需要扬程可用以选择泵的额定扬程  $H_N$ ,一般应选择  $H_N \leq 1.25H$ 。如可供选用的泵  $H_N > 1.25H$ ,应适当减少叶轮级数。当泵的总级数(总叶轮数)为  $Z$  级时,减少的叶轮数

$$\Delta Z = (1 - \frac{1.25H}{H_N})Z$$

#### 14.3.3 配带电缆的选择

并用潜水电机配带的动力电缆的规格由电缆的发热和电压降两个因素来决定。使用中除需控制一定的电流密度来限制电缆的温升外,电缆的长度越长,电压

降越大,对电机的起动性能、运行性能及可靠性的影响也越大。因此,对同一台电机,当配用泵的扬程不同、配带电缆长度不同时,电缆截面也不相同。当电源电压为380V时,不同功率并用潜水电机配带一定规格电缆时的最大允许长度列于表4.2.79。

#### 14.3.4 控制与保护

并用潜水电机长期潜入井下水中工作,其运行中的异常情况难以通过噪声、振动和机壳温度变化等进行直接监视,只能通过较为完善可靠的控制保护装置来加以保证。

为了保证电机在井下水中可靠工作,控制保护装置除带有起动器外,还应有过载、断相、欠压及逆转等保护措施,最好具备漏电保护。当电机运行中因各种原因出现上述故障时,保护装置动作,将电机从电网中断开并指示报警,以避免事故扩大。

并用潜水电机常用的控制保护及起动线路有两种:一种是采用自耦变压器降压起动的控制保护线路(图4.2.77a),可适用于任何接法的电机;另一种是采用Y- $\Delta$ 起动的控制保护线路(图4.2.77b),适用于三角形接法、功率较大、采用双电缆引出的电机,控制较方便,成本较低。

#### 14.3.5 维护与检查

并用潜水电机下井运行过程中,应对电机的运行电流、对地绝缘电阻等进行经常性的监视或定期检查。

表 4.2.79 并用潜水电机配带电缆允许长度 m

电机功率 (kW)	电 缆 截 面 (mm <sup>2</sup> )										
	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	2×70
3	390	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	300	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.5	220	330	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.5	160	240	400	-	-	-	-	-	-	-	-
9.2	130	200	330	-	-	-	-	-	-	-	-
11	110	165	275	440	-	-	-	-	-	-	-
13	-	140	250	380	-	-	-	-	-	-	-
15	-	120	205	330	-	-	-	-	-	-	-
18.5	-	-	175	260	410	-	-	-	-	-	-
22	-	-	150	240	370	-	-	-	-	-	-
25	-	-	130	210	330	-	-	-	-	-	-

续表

电机功率 (kW)	电 缆 截 面 (mm <sup>2</sup> )										
	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	2×70
30	-	-	-	180	280	390	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	234	315	450	-	-	-	-
45	-	-	-	-	190	260	370	-	-	-	-
55	-	-	-	-	-	222	310	430	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	265	370	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	225	320	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	265	360	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	300	380	-
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	285	-
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290
185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250

(1) 监视电机的运行电流。并用潜水电机长期潜入井下水中工作,其运行电流的大小和变化既反映了电机工作负荷(即向泵输出的轴功率)的大小,也反映了电机径向轴承、止推轴承和机械密封等易损件的磨损情况及泵叶轮、轴承的磨损情况。因此,通过运行电流来监视电机的工作状态是最方便、也较为可靠的方法。一般应控制电机的运行电流不超过额定电流。当泵输出的流量、扬程无明显变化,而电机的运行电流逐渐变大并超过额定电流时,应停机检查。

(2) 定期检查定子绕组对地绝缘电阻。并用潜水电机运行中,应充分利用停机间歇,定期检查定子绕组(对充油式电机同时包括信号线)对地绝缘电阻。对长期连续运行的电机,也应定期停机进行测定,防止因绕组绝缘电阻下降,造成对地击穿,使故障扩大。

电机定子绕组的绝缘电阻用 500V 兆欧表在电机引出线(或电缆出线端)和机壳(或出水管)之间测定。停机后立即测得的定子绕组的热态绝缘电阻,对充水式电机应不低于  $0.5M\Omega$ ,对充油式、干式和屏蔽式电机应不低于  $1M\Omega$ 。如测冷态绝缘电阻,则冷态绝缘电阻一般应不低于  $5M\Omega$ 。电机定子绕组的绝缘电阻如低于上述数值,一般应将电机提出井外进行检查和修理。

#### 14.4 常见故障及其处理方法

各种型式并用潜水电机一般常见故障及其产生原因和解决方法见表 4.2.80。充油式电机的特殊故障及其产生原因和解决方法见表 4.2.81。



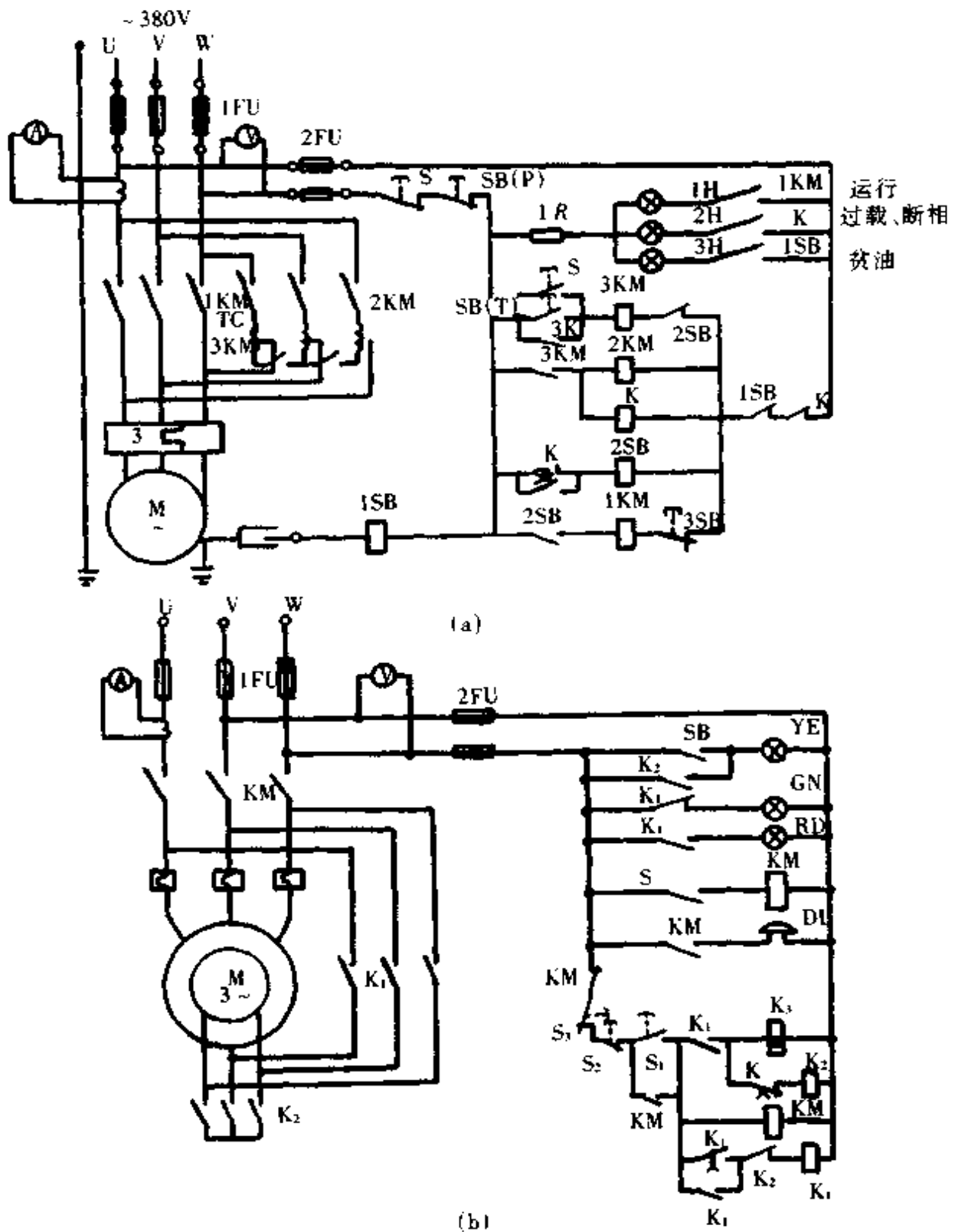


图 4.2.77 井用潜水电机控制保护原理图  
 (a)采用自耦变压器降压自动起动 (b)Y-Δ起动

表 4.2.80 井用潜水电机常见故障及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
1. 电机不能起动	1. 电源电压过低 2. 电源断电或断相, 如电缆断裂、熔断器熔断、控制保护装置动作等 3. 水泵叶轮卡住 4. 定子绕组烧坏 5. 电缆过细过长, 使电压降过大	1. 将电压调到 342V 以上 2. 修复断电或断相处 3. 清除杂物, 修复水泵 4. 修理电机定子绕组 5. 按电缆的合理选择要求调换电缆
2. 电机定子绕组绝缘电阻下降	1. 电缆接头进水 2. 机械密封泄漏 3. 静密封渗漏 4. 充油式电机贫油后进水、油囊两端密封不严或油囊破裂 5. 定子绕组损伤或损坏	1. 重新包扎电缆接头 2. 重新装配或修理 3. 重装或更换密封胶圈 4. 重装或更换油囊, 更换绝缘油。如定子绕组的绝缘电阻低于规定值, 应重新干燥绕组 5. 修理定子绕组
3. 电机过载跳闸	1. 电源电压过高或过低 2. 电机两相运转 3. 水泵被杂物阻塞, 摩擦严重 4. 水泵反转 5. 充油式电机或干式电机滚动轴承损坏, 充水式电机和屏蔽式电机水润滑轴承磨损严重 6. 过载保护误动作	1. 调整电压到 342~400V 2. 修复电源 3. 清除杂物, 修复水泵 4. 将电源线任意两相换接 5. 更换轴承或进行修理 6. 校正动作电流
4. 电机声音不正常	1. 电源断相 2. 轴承损坏 3. 电机、水泵或出水管固定不良	1. 修复电源 2. 更换轴承 3. 重新联接或固定
5. 泵的流量、扬程下降	1. 水泵被杂物阻塞 2. 水泵反转 3. 电机和水泵潜入水下的深度不够 4. 井的涌水量小	1. 清除杂物, 修复水泵 2. 将电源线任意两相换接 3. 加长出水管, 增加电机和泵的潜入深度 4. 减小泵的流量, 使其与井的涌水量相适应或重新修井

表 4.2.81 充油式电机的特殊故障及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
1. 电机贫油跳闸	1. 电机贫油 2. 电机内腔进水, 信号线对机壳的绝缘电阻为零 3. 电缆接头进水	1. 补充绝缘油 2. 重新干燥定子绕组, 处理或更换绝缘油 3. 重新处理电缆接头
2. 电机漏油	1. 机械密封泄漏 2. 静密封渗漏 3. 油囊密封不严或破裂 4. 屏蔽套密封渗漏	1. 重装或修理机械密封 2. 重装或更换静密封胶圈 3. 重装或调换油囊 4. 修理或调换密封
3. 充油式电机信号线绝缘电阻下降	1. 电机内腔进水或电缆接头进水 2. 电机贫油 3. 定子绕组损坏 4. 贫油信号开关处有导电物	1. 重新干燥定子绕组, 处理或更换绝缘油 2. 补充绝缘油 3. 修理定子绕组 4. 检查并清洁信号开关
4. 机械故障	压力弹簧断裂	更换零件

## 14.5 主要技术数据

YQS 系列、YQS2 系列充水式并用潜水电机主要技术数据列于表 4.2.82, YQSY 系列充油式并用潜水电机主要技术数据列于表 4.2.83。

# 15 潜水电泵

潜水电泵是由潜水三相或单相异步电机与潜水泵组成、潜入水下工作的机泵合一产品。体积小, 重量轻, 起动前不需引水, 不受吸程限制, 不需另设泵房, 安装使用方便, 价格低廉, 因而广泛应用于农业排灌、工矿企业给排水、建筑业排水、城乡居民用水、污水污物处理及渔场清理和盐场海水输送、盐场卤水输送等。

## 15.1 分类

### 15.1.1 按供电电源分类

按供电电源分类可分为单相潜水电泵和三相潜水电泵两大类; 按使用电压的不同等级可分为低压潜水电泵和高压潜水电泵两类。其中低压潜水电泵有单相 220V、三相 380V、660V 几种, 高压潜水电泵目前国内生产的仅 6000V 级一种。

### 15.1.2 按配套电机内部结构型式分类

按配套电机内部结构型式分类可分为干式、充油式、充水式和屏蔽式四种不同的基本结构类型。



YQS200-15	15	380	33.9	80	0.80	7	1.1	2.0	175	305	△	24	1-∅1.60	73.1
YQS200-18.5	18.5	380	41.6	80.5	0.80	7	1.1	2.0		355	Y	12	2-∅1.60	73.1
YQS200-22	22	380	48.2	81	0.81	7	1.1	2.0		400	△	17	1-∅1.85	67.3
YQS200-25	25	380	54.5	81.5	0.81	7	1.1	2.0		455	△	15	1-∅2.0	70
YQS200-30	30	380	65.4	82.5	0.81	7	1.1	2.0		565	Y	7	7/1.0	70.1
YQS200-37	37	380	79.7	83	0.82	7	1.0	2.0		670		6	7/1.12	69.1
YQS250-7.5	7.5	380	18.0	77.5	0.79	7	1.2	2.0		130		43	1-∅1.25	73.5
YQS250-9.2	9.2	380	22.0	78	0.79	7	1.2	2.0		140		40	1-∅1.30	71.3
YQS250-11	11	380	25.8	78.5	0.79	7	1.2	2.0		150	△	37	1-∅1.40	71.7
YQS250-13	13	380	30.1	79	0.80	7	1.2	2.0		170		33	1-∅1.50	72.0
YQS250-15	15	380	33.9	80	0.80	7	1.1	2.0		194		29	1-∅1.60	71.3
YQS250-18.5	18.5	380	40.8	80.5	0.81	7	1.1	2.0		220	Y	15	2-∅1.60	72.5
YQS250-22	22	380	47.9	81	0.81	7	1.1	2.0		275	△	21	2-∅1.30	73.6
YQS250-25	25	380	53.8	82	0.82	7	1.1	2.0		305		19	2-∅1.40	72.4

单层同芯式

续表

型号	功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	效率(%)	功率因数	堵转电流倍数	堵转转矩倍数	最大转矩倍数	定子铁心			气隙长(mm)	接法	定子槽数	转子槽数	绕组型式	跨距	每槽导体数	线规	槽满率(%)
									外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)									
YQS250-30	30	380	64.2	83	0.82	7	1.1	2.0	100	338	0.7	△						2-∅1.5	17	72.1
YQS250-37	37	380	77.8	83.5	0.83	7	1.0	2.0		380										
YQS250-45	45	380	94.1	84	0.83	6.5	1.0	2.0	210	530	1.2	Y	24	20		1-12	7	19/0.85	69.4	
YQS250-55	55	380	114.3	84	0.84	6.5	1.0	2.0		620										
YQS250-64	64	380	130.9	84.5	0.84	6.5	1.0	2.0	104	750	1.2	△				2-11	6	19/0.95	70.5	
YQS250-75	75	380	152.3	84.5	0.85	6.5	1.0	2.0		860										
YQS250-90	90	380	182.8	85	0.85	6.5	1.0	2.0	250	980							6	19/0.85	69.3	
YQS2-150-3	3	380	7.8	74	0.79	7	1.2	2.0		300										
YQS2-150-4	4	380	10.0	76	0.80	7	1.2	2.0	340								36	1-∅1.06	73.2	
YQS2-150-5.5	5.5	380	13.3	77.5	0.81	7	1.2	2.0												340
YQS2-150-7.5	7.5	380	17.8	78	0.82	7	1.2	2.0	65	375	0.6	Y	18	16		2-9	23	1-∅1.50	73.8	
YQS2-150-9.2	9.2	380	21.2	80.5	0.82	7	1.2	2.0												395
YQS2-150-11	11	380	25.2	81	0.82	7	1.2	2.0	470							11-18	19	1-∅1.60	72.9	
YQS2-150-13	13	380	29.7	81	0.82	7	1.2	2.0												580

YQS2-150-15	15	380	34.1	81.5	0.82	7	1.1	2.0	134	65	625	0.6	Y	18	16	12	1-Ø2.0	70.4
YQS2-200-4	4	380	10.0	76	0.80	7	1.2	2.0	172	78	135	Y	18	22	44	1-Ø1.25	72.0	
YQS2-200-5.5	5.5	380	13.4	77	0.81	7	1.2	2.0			152				39	1-Ø1.40	72.5	
YQS2-200-7.5	7.5	380	17.8	78	0.82	7	1.2	2.0			185				32	1-Ø1.50	69.7	
YQS2-200-9.2	9.2	380	21.3	79	0.83	7	1.2	2.0			210				28	1-Ø1.60	65.5	
YQS2-200-11	11	380	25.2	80	0.83	7	1.2	2.0			260				23	1-Ø1.80	72.9	
YQS2-200-13	13	380	29.4	81	0.83	7	1.2	2.0			270				22	1-Ø1.90	74.1	
YQS2-200-15	15	380	33.3	81.5	0.84	7	1.1	2.0			300				20	1-Ø2.0	71.6	
YQS2-200-18.5	18.5	380	40.3	83	0.84	7	1.1	2.0			360				12	1-Ø2.24	73.0	
YQS2-200-22	22	380	47.7	83.5	0.84	7	1.1	2.0			435				10	1-Ø2.50	72.7	
YQS2-200-25	25	380	53.8	84	0.84	7	1.1	2.0			500				15	1-Ø2.0	75.0	
YQS2-200-30	30	380	64.6	84	0.84	7	1.1	2.0	580	13	1-Ø2.12	74.1						
YQS2-200-37	37	380	79.2	84.5	0.84	7	1.0	2.0	685	11	1-Ø2.36	74.6						
YQS2-200-45	45	380	94.6	85	0.85	6.5	1.0	2.0	725	12	1-Ø2.24	73.0						

单层同心式







表 4.2.83 YQSY 系列充油式井用潜水电机主要技术数据表

型 号	功率 (kW)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	效率 (%)	功率因数	堵转电流倍数	堵转转矩倍数	最大转矩倍数	定子铁心			气隙长 (mm)	接法	定子槽数	转子槽数	绕组型式	跨距	每槽导体数	线规	槽满率 (%)
									外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)									
YQSYa250-17	17	380	39.8	79	0.82	7	1.2	2.0	140									19	3- $\phi$ 1.25	75.6
YQSYa250-22	22	380	50.4	80	0.83	7	1.2	2.0	170		Y							15	3- $\phi$ 1.40	73.3
YQSYa250-28	28	380	63.4	81	0.83	7	1.2	2.0	220	112		0.8						12	4- $\phi$ 1.35	73.0
YQSYa250-34	34	380	75.0	82	0.84	7	1.2	2.0	250									21	2- $\phi$ 1.45	73.2
YQSYa250-40	40	380	87.6	82.5	0.84	7	1.2	2.0	310		2Y							17	3- $\phi$ 1.30	72.3
YQSY200-4	4	380	10.0	76	0.80	7	1.2	2.0	100								1-12	66	1- $\phi$ 1.0	67.6
YQSY200-5.5	5.5	380	13.6	77	0.80	7	1.2	2.0	135								2-11	50	1- $\phi$ 1.18	69.8
YQSY200-7.5	7.5	380	18.2	77.5	0.81	7	1.2	2.0	160									42	1- $\phi$ 1.30	70.3
YQSY200-9.2	9.2	380	22.1	78	0.81	7	1.2	2.0	185	87		0.75						36	1- $\phi$ 1.40	69.3
YQSY200-11	11	380	26.3	78.5	0.81	7	1.2	2.0	215		Y							18	2- $\phi$ 1.40	69.3
YQSY200-13	13	380	30.5	79	0.82	7	1.2	2.0	240									28	2- $\phi$ 1.12	70.9
YQSY200-15	15	380	34.7	80	0.82	7	1.1	2.0	290									23	2- $\phi$ 1.25	71.5
YQSY200-18.5	18.5	380	42.6	80.5	0.82	7	1.1	2.0	345									21	2- $\phi$ 1.35	67.0



### 15.1.3 按电机与泵配置方式分类

按电机与泵配置方式分类可分为:

(1) 泵置于电机上方的为上泵型潜水电泵, 泵置于电机下方的为下泵型潜水电泵, 泵置于电机转子内部, 输送液体经过电机内腔的为贯流型潜水电泵(图 4.2.78e)。

(2) 按电机在电泵中所处的位置有外装型潜水电泵、内装型潜水电泵和半内装型潜水电泵几种(图 4.2.78a, b, c, d)。

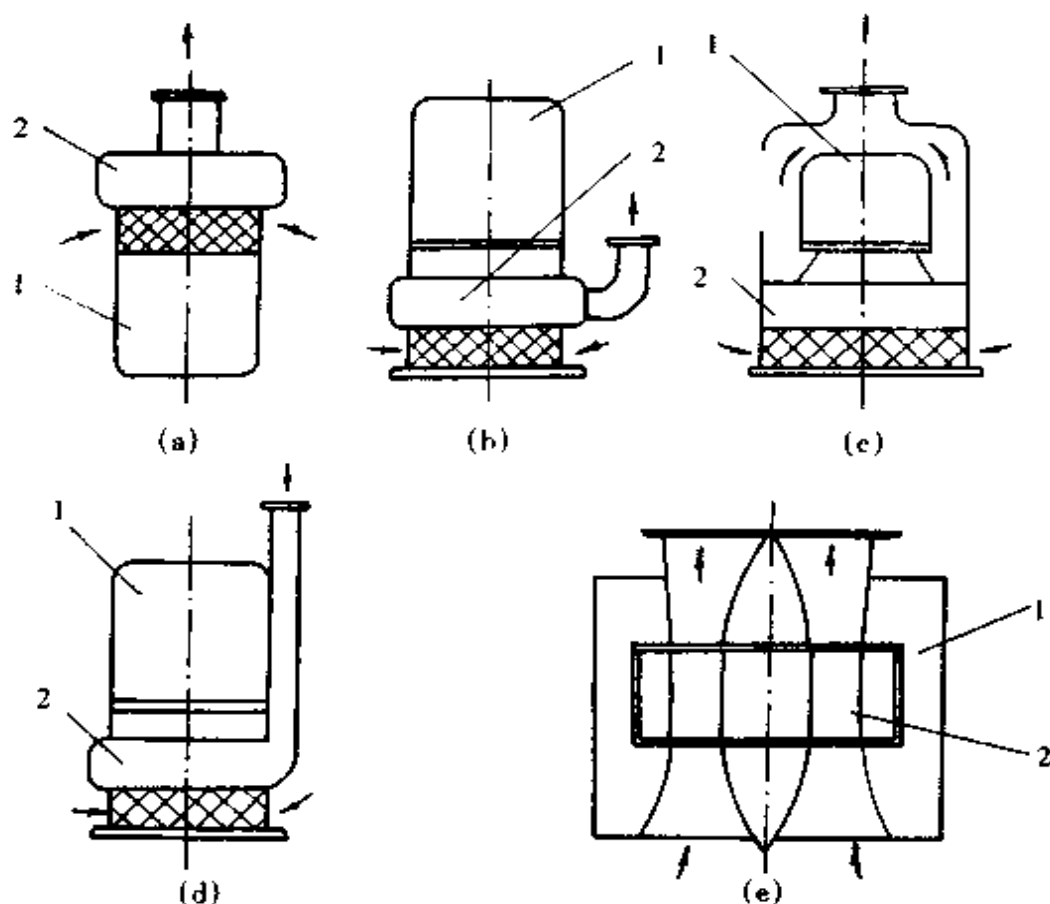


图 4.2.78 潜水电泵结构示意图

(a) 外装式上泵型 (b) 外装式下泵型 (c) 内装式下泵型

(d) 半内装式下泵型 (e) 贯流型

1—电机 2—泵

### 15.1.4 按用途分类

按用途分类可分为:

(1) 清水型(小型)潜水电泵。适用于浅水排灌, 主要用于输送清水。其功率为 0.12~7.5kW, 流量为 1.5~250m<sup>3</sup>/h, 扬程 3~55m。

(2) 污水污物型潜水电泵。目前生产的主要是适用于输送含有不同大小固体颗粒和污物等的污水用单相或三相潜水电泵。其功率为 0.18~75kW, 流量 2~600m<sup>3</sup>/h。一般为干式下泵型、外装式、内装式或半内装式结构。

(3)矿用潜污水电泵。适用于输送含有污物、煤粉、泥砂等固体颗粒的污水。电机为干式隔爆型结构,可在煤矿井下含爆炸气体的环境中长期安全使用。一般为干式下泵型结构。

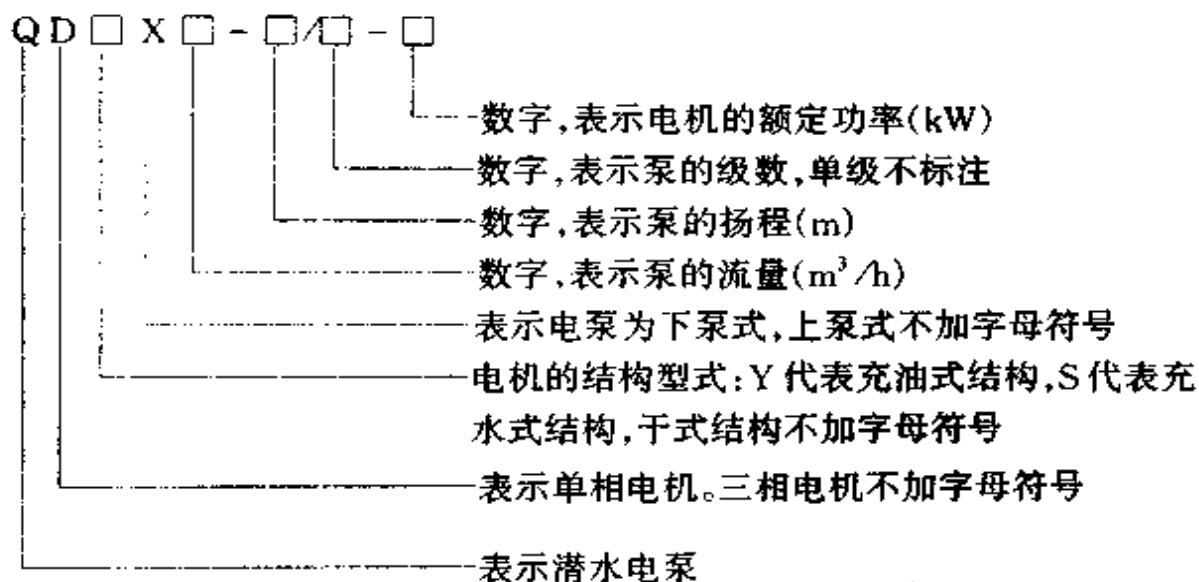
(4)轴流潜水电泵。适用于农田水利排灌、城市供水、下水道排水,特别适用于水位涨落很大的江河湖泊沿岸泵站的防洪抗涝,是传统的轴流泵—电机机组的更新换代产品。其结构主要分贯流型和灯泡型两种。贯流型结构中轴流潜水泵和充水式潜水电机合二为一,灯泡式结构干式潜水电机置于轴流潜水泵的上方。轴流潜水电泵的功率 7.5~480kW。

(5)大型潜水电泵。适用于矿山排水、城市供水或从江河湖泊取水。目前国内生产的大型潜水电泵结构主要是充水式上泵型,立式安装使用。少量为卧式。其功率目前最大到 2400kW,电压等级一般为 6000V,功率较小的水泵为 380V。

## 15.2 型号表示法

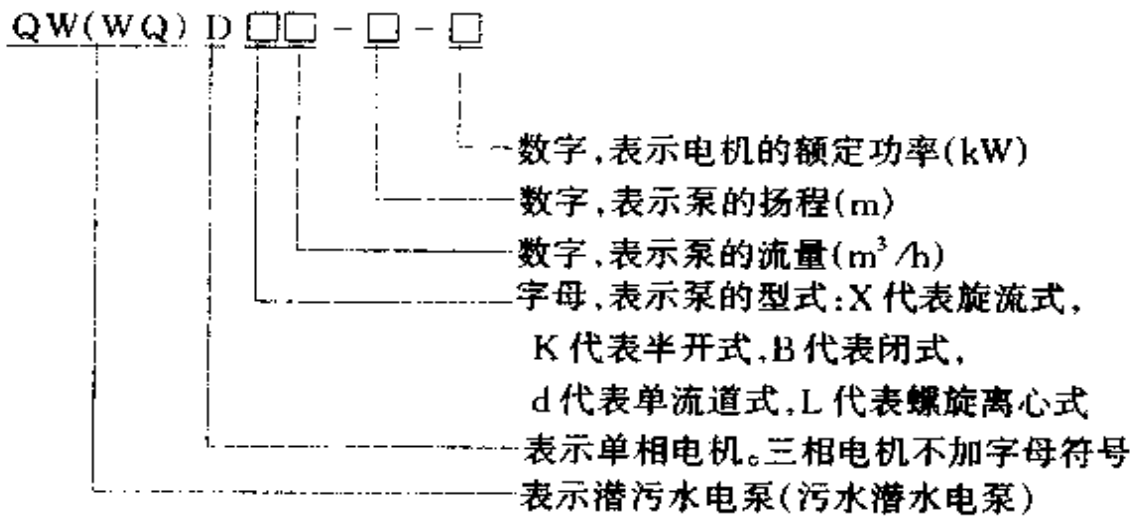
小型(清水型)潜水电泵、污水污物潜水电泵和矿用潜污水电泵等的型号均由三部分代号组成,代号之间用短横线分开。第一部分用大写汉语拼音字母表示水泵的型式和基本特征,其后用数字表示水泵的流量;第二、三部分为数字,分别表示水泵的扬程和额定功率。

### 15.2.1 小型潜水电泵型号表示法



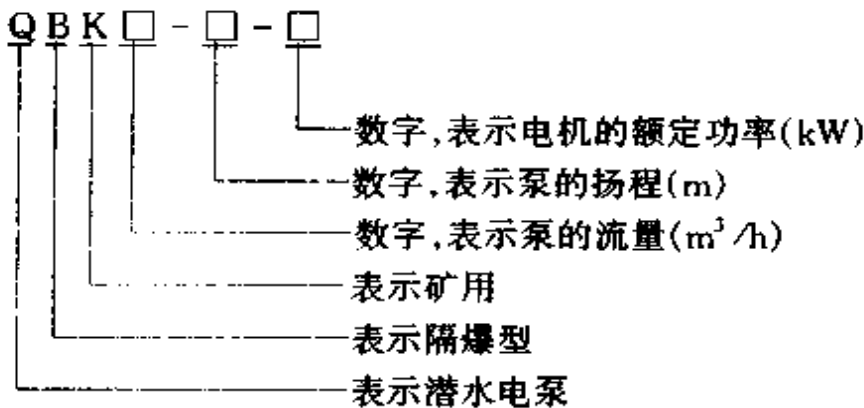
例如: QDX6-10-0.37 表示单相干式下泵型潜水电泵, 流量为  $6\text{m}^3/\text{h}$ , 扬程 10m, 电机额定功率 0.37kW。QY25-17-2.2 表示三相充油式上泵型潜水电泵, 流量为  $25\text{m}^3/\text{h}$ , 扬程 17m, 电机额定功率 2.2kW。Q10-44/2-3 表示三相干式上泵型潜水电泵, 流量  $10\text{m}^3/\text{h}$ , 扬程 44m, 2 级泵, 电机额定功率 3kW。QS65-18-5.5 表示三相充水式上泵型潜水电泵, 流量为  $65\text{m}^3/\text{h}$ , 扬程 18m, 电机额定功率 5.5kW。

## 15.2.2 潜污水电泵型号表示方法



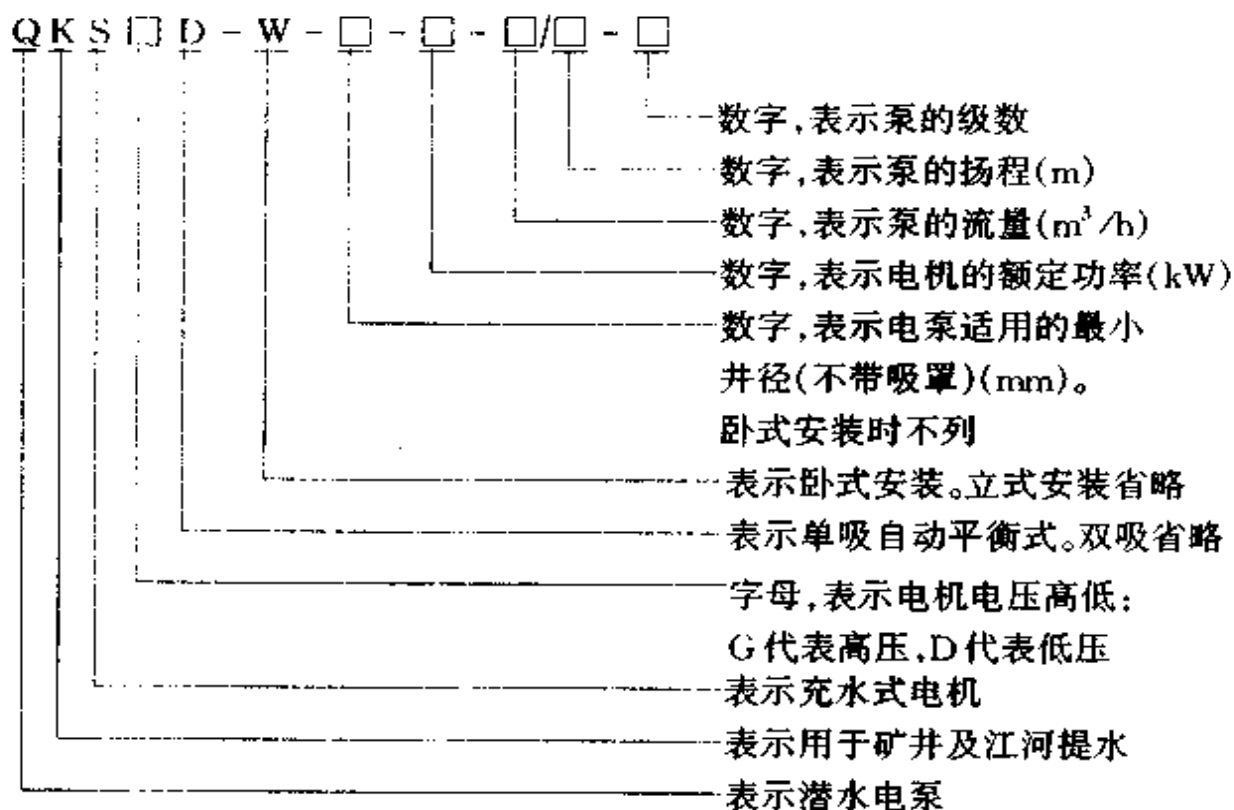
例如:QW25-15-3表示三相潜污水电泵(下泵型),流量 $25\text{m}^3/\text{h}$ ,扬程15m,电机额定功率3kW。QWd50-10-3表示三相单流道潜污水电泵,流量为 $50\text{m}^3/\text{h}$ ,扬程10m,电机额定功率3kW。WQ85-25-15表示三相污水潜水电泵,流量为 $85\text{m}^3/\text{h}$ ,扬程25m,电机额定功率15kW。

## 15.2.3 矿用潜水电泵型号表示方法



例如:QBK25-15-3表示矿用隔爆型潜水电泵,流量 $25\text{m}^3/\text{h}$ ,扬程15m,电机额定功率3kW。

## 15.2.4 大型潜水电泵型号表示方法



例如: QKSG850-1200-1450/212-8×2 表示充水式高压双吸潜水电泵, 流量  $1450m^3/h$ , 扬程 212m, 两组各 8 级泵, 立式安装, 不带吸罩时适用的最小井径为 850mm, 额定功率 1200kW。QKSGD850-1600-725/530-20 表示充水式高压单吸自动平衡式潜水电泵, 流量  $725m^3/h$ , 扬程 530m, 20 级泵, 立式安装, 不带吸罩时适用的最小井径为 850mm, 额定功率 1600kW。QKSGD-W-560-275/460-12 表示充水式高压单吸自动平衡式潜水电泵, 流量  $275m^3/h$ , 扬程 460m, 12 级泵, 卧式安装, 额定功率 560kW。QKSD-W-100-550/38-3×2 表示充水式低压双吸潜水电泵, 流量  $550m^3/h$ , 扬程 38m, 两组各 3 级泵, 卧式安装, 额定功率为 100kW。

## 15.3 主要系列与结构

## 15.3.1 QY 型充油式潜水电泵

QY 型充油式潜水电泵为上泵型, 其典型结构如图 4.2.79a 所示。泵位于电泵上部, 包括管接头、泵体、叶轮、泵盖和进水节等零件。立式充油笼型三相异步电动机位于电泵下部。在电机与泵两部分的接合部安装一套整体式双端面机械密封部件(图 4.2.79b)。该密封盒由两道机械密封组成。第一道密封由一对高硬度的耐磨材料, 如氧化铝陶瓷或氮化硅等材料制作的密封环组成, 其作用是防止机内油液外泄和机外水侵入, 同时阻止机外水中所含杂质颗粒的侵入。第二道密封由不锈钢、铸铁、石墨或塑料等材料配对而成, 主要用以阻止机外水的侵入和机内油液的

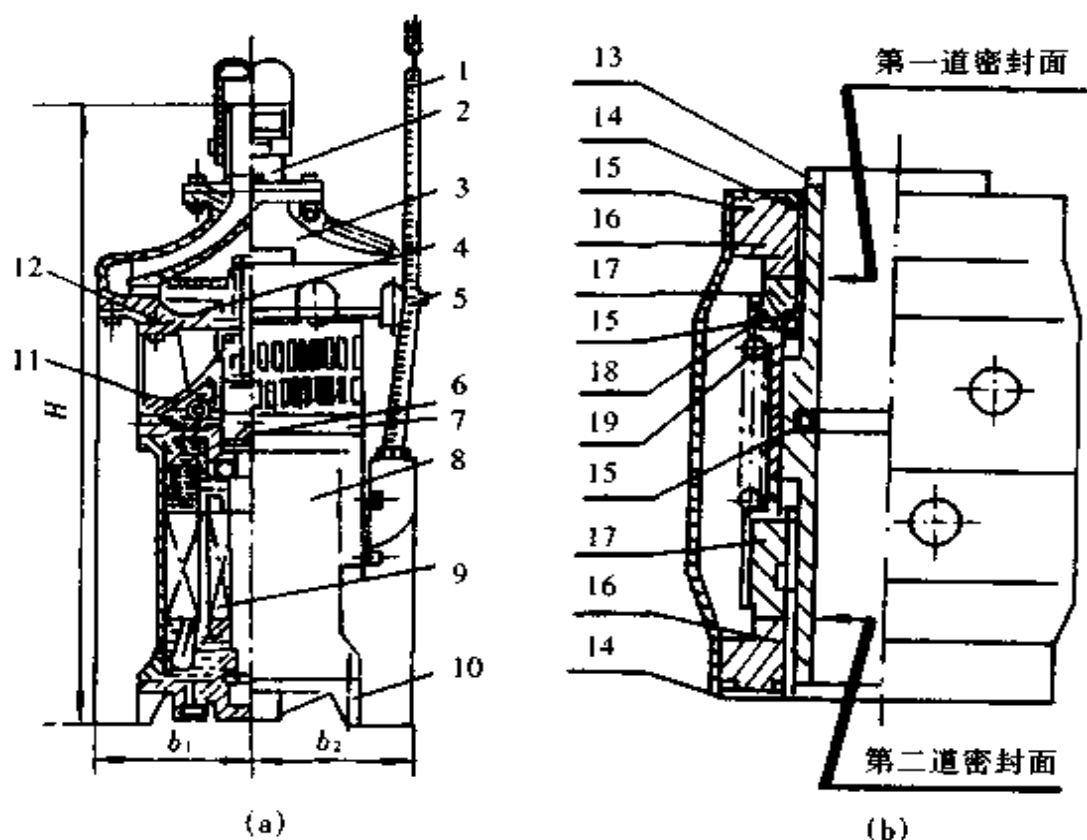


图 4.2.79 充油式潜水电泵与整体式机械密封盒结构

(a)充油式潜水电泵总体结构 (b)密封盒结构

- 1—电缆 2—管接头 3—泵体 4—叶轮 5—进水节 6—机械密封盒  
 7—上端盖 8—定子 9—转子 10—下端盖 11—橡胶扩张件 12—泵盖  
 13—轴套 14—密封盒 15—O型圈 16—静密封环 17—动密封环  
 18—支座 19—弹簧

外泄。两道密封环的端面压力由弹簧推力产生。电机内部充满 N5~N10 号机械油,定子与端盖及出线盒的各止口配合面均装有耐油橡胶 O 型密封圈。这种结构使电机在长期潜入水中时保证定子绕组和轴承能在充满绝缘润滑油的良好条件下工作。

### 15.3.2 QS 型充水式潜水电泵

QS 型充水式潜水电泵为上泵型,其典型结构见图 4.2.80。泵位于电泵上部,立式充水笼型三相异步电动机位于电泵的下部。由于电机内部充满清水,其定子绕组、转子和轴承均要在水中工作,所以定子绕组一般用 QYN 型铜芯漆包聚乙烯绝缘尼龙护套绕组线或 QV 型铜芯聚氯乙烯绝缘绕组线制成,滚动轴承处充填不易水解的润滑油脂,两边加橡胶骨架油封或单端面机械密封,阻止水进入。转子表面和金属零部件表面采用防锈涂料处理,以防止和减少金属的腐蚀。



## 15.3.3 干式潜水电泵

干式潜水电泵由干式潜水电机和潜水泵组合而成,目前生产的有Q型上泵式、QX型、QDX型下泵式和污水污物型潜水电泵等多种。

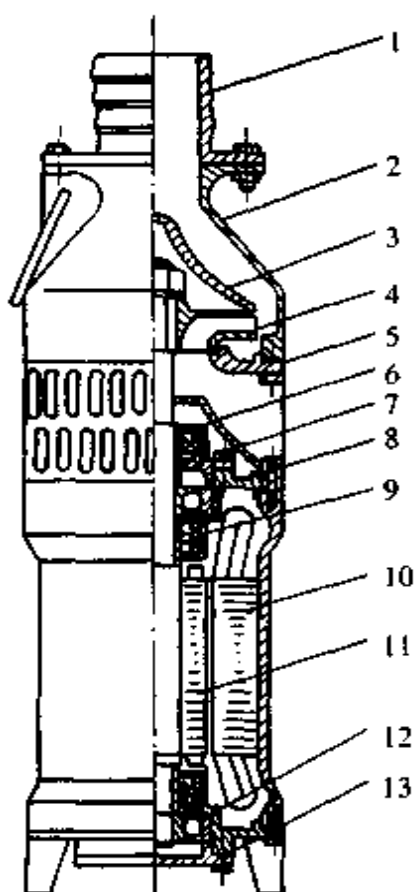


图 4.2.80 充水式潜水电泵典型结构

- 1—管接头 2—泵体 3—泵盖  
4—叶轮 5—泵座 6—上轴承盖  
7—油封 8—轴承 9—上端盖  
10—定子 11—转子 12—底座  
13—下轴承盖

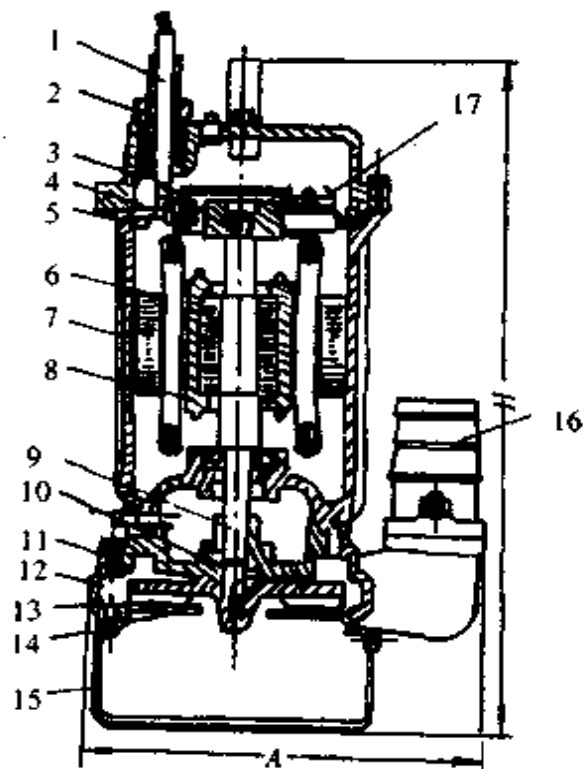


图 4.2.81 干式外装型潜水电泵结构

- 1—电缆及密封 2—压紧螺母 3—上盖  
4—橡胶密封圈 5—上端盖 6—机壳  
7—定子 8—转子 9—机械密封  
10—橡胶油封 11—油室座 12—泵体  
13—叶轮 14—泵盖 15—滤水网  
16—管接头 17—热保护器

干式外装型下泵式潜水电泵结构示于图4.2.81。电泵的上部为一立式笼型异步电机,其定子、转子和端盖结构与普通立式异步电机相似。即定子和端盖、上盖的止口配合面装有O型橡胶密封圈,电缆从上盖引出处用橡胶压紧密封,电机向下的轴伸端装有单端面或双端面机械密封部件。当电泵潜入水下运行时,整个密封结构可有效地防止外部污水渗入电机内部,从而保证了电机绕组和轴承等部件的正常工作条件。电泵下部为泵部分,包括泵体、叶轮、泵盖、滤网和管接头等零部件。电机上端盖上装有热保护器,其热元件紧靠电机绕组上端部,电流元件串接在三相绕组中。当电泵运行中因各种原因产生过载或电源断相时,热保护器可自动

切断绕组电源,使电机不致损坏。

干式内装型潜水电泵结构示于图 4.2.82。它的电机部分和泵部分结构与外装型基本相同,但内装型电机的机座,上、下端盖均做成夹层(或在电机和泵外部再加一外壳)。由泵输送的液体经环形夹层冷却电机后,从出水管输出。当电泵露出水面运行时间较长时,内装型结构冷却条件较好,电机不易产生过热。

干式潜水电泵的可靠性与充油式潜水电泵相似,主要取决于密封性能和电机绕组绝缘处理的优劣。机械密封和静密封性能可靠,机外水和杂质不进入或少进入油室和电机内腔,则电机整体性能可靠,寿命较长;电机定子绕组防潮处理好,绕组耐潮性和耐凝露能力强,电机也运行可靠。

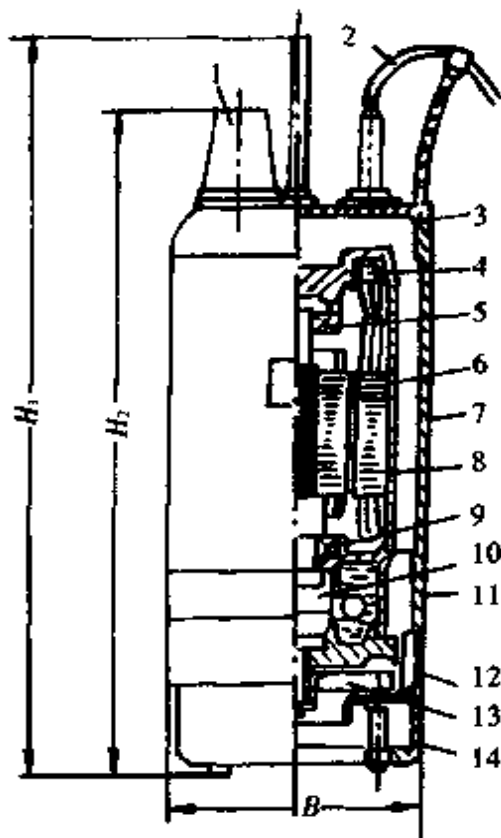


图 4.2.82 干式内装型潜水电泵结构

- 1—管接头 2—电缆 3—上端盖  
4—热保护器 5—上轴承 6—转子  
7—机壳 8—定子 9—下轴承  
10—机械密封 11—下端盖 12—泵体  
13—叶轮 14—滤网

#### 15.3.4 矿用隔爆型潜水电泵

矿用潜水电泵有两种基本类型:一种是适合煤矿井下含爆炸性气体的环境中使用的防爆潜水电泵,其结构有隔爆型或本质安全型等;另一种是用于非爆炸性环

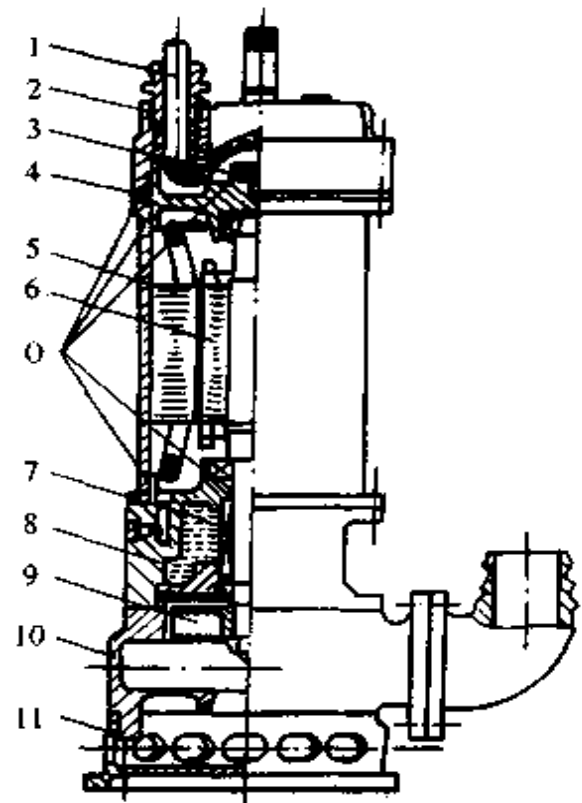


图 4.2.83 矿用隔爆型潜水电泵结构

- 1—电缆 2—上端盖 3—接线板  
4—上轴承盖 5—定子 6—转子  
7—机械密封 8—下端盖 9—叶轮  
10—泵体 11—泵座 O—隔爆接合面

境的矿用一般型,其结构与一般环境条件使用的潜水电泵类似。

矿用隔爆型潜水电泵基本结构见图 4.2.83。电机各止口面和轴伸处均做成隔爆结构,还增加了隔爆接线板及相应的隔爆部分。

### 15.3.5 轴流潜水电泵

轴流潜水电泵结构有贯流式和灯泡式两种(图 4.2.84)。

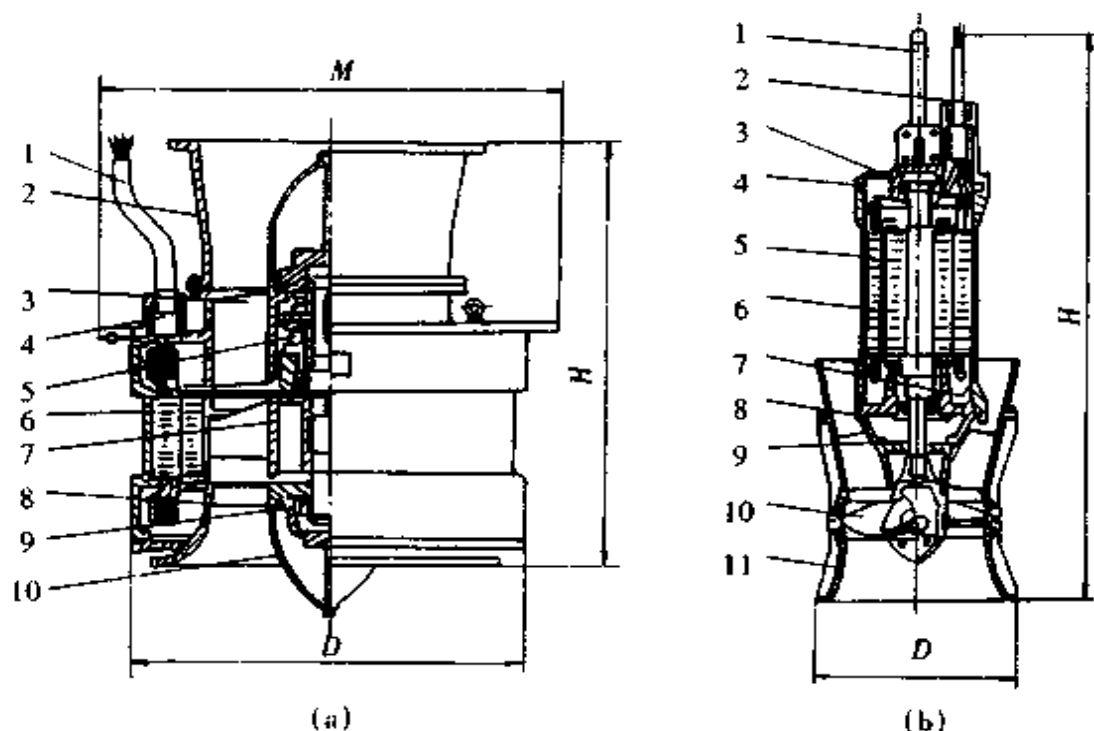


图 4.2.84 轴流潜水电泵

(a)贯流式 (b)灯泡式

1—电缆 2—上端盖(或导叶) 3—定子 4—转子 5—进水检测装置

6—下端盖(或吸入导叶) 7—机械密封 8—叶轮 9—吸入导管

10—导水锥 11—上轴承室 12—下轴承

(1)贯流式轴流潜水电泵。该电泵结构比较特殊:扁平的充水式潜水电机位于电泵的外部,轴流泵位于电机的内部;轴流泵的叶轮与电机的笼型转子连为一体,立式安装的轴流泵的上部出水导叶和下部吸入导管与立式潜水电机的上、下端盖也连成一体。整个电泵转子的重量由安装在导叶内的一组轴承承担。电机定子绕组采用聚乙烯绝缘尼龙护套绕组线或聚氯乙烯绝缘线制作,绕组线与引出电缆采用自粘性胶带包扎密封。包括定子绕组在内的整个电机直接浸在水中,水流从下向上经过转子内腔。轴承室内部充满润滑脂,并通过动密封与外部水隔开。

(2)灯泡式轴流潜水电泵。轴流泵装在电机下方,泵叶轮与电机转子同轴。电机为干式结构,采用 F 级或 B 级绝缘,轴伸端安装机械密封及辅助密封,防止机外水渗入电机内部。电机内部装有进水检测装置及绕组温度保护装置。当因轴伸端

密封装置渗漏或因其他原因导致电机内部进水,或因电机过载,或电泵运行中产生故障,导致定子绕组温度超出允许限度时,进水检测装置或绕组温度保护装置动作,将电机切离电源,并发出故障警报,从而可减少电机的损坏,确保其安全、可靠运行。电机的总体结构、密封和电缆引出装置与干式潜水电泵相似。

### 15.3.6 大型潜水电泵

大型潜水电泵主要分为矿井用和河流用两种。前者外径相对较小、电泵较细长,后者外径尺寸不受限制、轴向尺寸较短。其安装方式有立式和卧式两类,泵的吸入方式分为双吸式和单吸式两种。

QKSG型和QKSD型双吸式大型潜水电泵结构示于图4.2.85a。电机为充水密封式结构,与充水式井用潜水电机结构相似。定子绕组采用聚氯乙烯绝缘高压耐水绝缘导线或交链聚乙烯绝缘尼龙护套高压耐水绝缘导线制作,它们的最高使用温度分别为65℃和90℃。耐水绝缘导线相互间的连接及耐水绝缘导线与电缆的接头采用丁基自粘性胶带包扎。水润滑轴承由用金属浸渍过的石墨制作的轴瓦和镀铬轴套组成,轴瓦上的冷却润滑槽一般为螺旋形圆底槽。水润滑止推轴承结构为分块调芯式,一般有16块扇形轴瓦。每块轴瓦均可自动调整,使轴承滑动面形成楔形水膜。止推轴承材料为用金属浸渍的石墨,配对材料为不锈钢制作并淬硬的圆盘。止推轴承结构为整体式。泵有上、下两个吸入口,两组叶轮对称分布,所产生的两个轴向推力方向相反,正好相互平衡。这样,电机下部的水润滑止推轴承只需承受电机转子和水泵转动部分的重量,而不需承受水泵运行时的轴向水推力,轴承轴向载荷大大减小,因而使得轴承运行条件好转,磨损量减小,寿命延长,电泵运行的总体可靠性也相应提高。

QKSG-D型单吸自动平衡式高压潜水电泵结构示于图4.2.85b。电机结构与双吸式电泵相同,泵只有下部一个吸入口,叶轮同样分成对称的两组。液体从吸入口经过下部第一组叶轮出来后,从第二组叶轮的泵壳侧面流道到达位于电泵上部的第二组叶轮吸入口,然后经过第二组叶轮到电泵的出水口。水流经过两组叶轮所产生的轴向推力也正好相反,相互自动平衡。

### 15.3.7 主要规格

潜水电泵品种多,规格杂,尤其是各系列潜水电泵的流量和扬程规格比较多。现将潜水电泵主要系列的使用电压、功率、流量及扬程的规格范围列于表4.2.84。

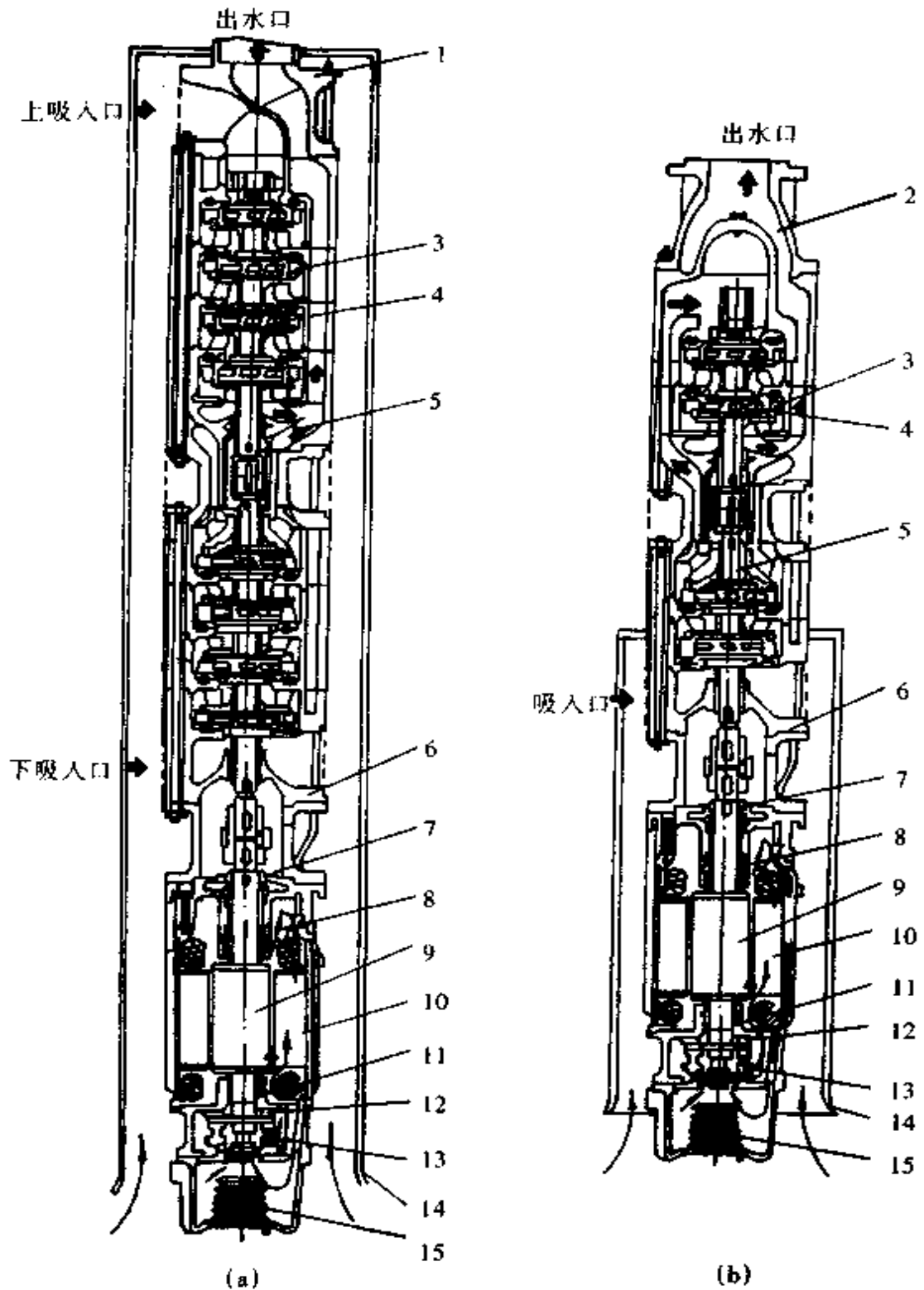


图 4.2.85 大型潜水电泵结构

(a)双吸式 (b)单吸自动平衡式

- 1—吸入吐出体 2—出水壳 3—导叶 4—叶轮 5—泵轴 6—下吸人体  
 7—甩砂环 8—上导轴承 9—转子 10—定子 11—下导轴承 12—上止推轴承  
 13—止推轴承 14—吸水罩 15—调压囊

表 4.2.84 潜水电泵主要系列的规格范围

序号	型号	名称	电压 (V)	功率 (kW)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	扬程 (m)
1	QY	充油式上泵型潜水电泵	380	2.2~4	10~250	3.5~34
2	Q	干式上泵型潜水电泵	380	0.75~7.5	6~250	3.5~40
3	QS	充水式上泵型潜水电泵	380	2.2~7.5	10~250	3.5~40
4	QX	干式下泵型潜水电泵	380	0.55~7.5	3~160	4~55
5	QDX	单相干式下泵型潜水电泵	220	0.12~0.75	1.5~40	3.5~24
6	QW、WQ	污水污物型潜水电泵	220 380	0.18~75	2~1000	5~40
7	QBK QWK、QK	矿用隔爆型潜水电泵、矿用潜污水电泵、矿用潜水电泵	660 380	0.55~30	2~1000	5~40
8	ZDB	轴流潜水电泵	380 6000	7.5~560	≤12200	3.5~12.5
9	QKSG QKSD	大型潜水电泵	380 6000	55~2400	275~1450	26~995

## 15.4 选用

潜水电泵有不同的种类及各种型号规格,可适用于不同的使用条件。用户应根据具体的使用场合,不同的使用水质以及所需要的流量大小和扬程高低来选择合适的潜水电泵。

用于从江河、湖泊取水或从土井中提水,因水质一般为清水水质,可优先选用 QY 型、QS 型和 Q 型等上泵型潜水电泵。要求流量较大时,可选用轴流潜水电泵。用于局部区域排水,水质中含有小颗粒固体杂质,如防汛排涝、建筑施工、养殖场净化、工矿企业排水等时,选用 QX 型、QDX 型等下泵型潜水电泵或 QW 型、WQ 型潜污水电泵较合适。当用于输送含有固体颗粒、污物和短纤维等污水、泥砂浆时,应选用 QW 型、WQ 型等污水污物潜水电泵。当用于煤矿井下含有甲烷和煤尘等爆炸性危险的场所输送含有污物、煤粉和泥砂、石块等固体颗粒的污水时,必须选用能防爆的矿用潜污水电泵,如矿用隔爆型潜污水电泵。切勿使用一般的潜水电泵,以确保安全生产。

不同规格的潜水电泵有不同的使用范围。任何一台潜水电泵铭牌上所规定的

流量和扬程是这台潜水电泵使用的额定点,一般也是使用效率较高的最佳点。使用中的扬程、流量发生变化,潜水电泵的效率 and 电机的发热也相应发生变化,对潜水电泵使用的经济性和可靠性有一定影响。当使用的扬程过低(对离心式或混流式水泵)或过高(对轴流式水泵)时,电机会过热,在长时间运行下甚至会烧坏。潜水电泵一般可以在 0.7 到 1.2 倍额定流量范围内(潜污水电泵可在 0.7 到 1.3 倍额定流量范围内)正常运行,超出此范围,可能会产生过载。因此,要求用户在选择和使用潜水电泵时,必须考虑合适的使用范围。尤其是对高扬程的潜水电泵,不要用于过低的扬程,以免既浪费电能,又可能损坏潜水电泵。

## 15.5 使用与维护

### 15.5.1 使用前的准备和检查

潜水电泵使用前,应进行下列检查和准备工作:

(1)检查电机定子绕组对地绝缘电阻。其值对新安装使用的潜水电泵,应在 50~100M $\Omega$  以上。已经较长时间使用的潜水电泵,其值应不低于 1M $\Omega$ 。当测得的绝缘电阻值低于 1M $\Omega$  时,应查找原因,排除故障后才能使用,否则可能造成电机定子绕组的损坏。

(2)安装好专用的规格相符的过载保护开关。电泵外壳应可靠接地,如限于农村或野外条件没有固定的地线时,可在电源附近或潜水电泵使用地附近的潮湿土地中打入长 2m 的金属棒作为地线。

(3)检查电机内部和密封室是否按要求充满了油(对充油式和干式)、清水或规定的水溶液(对充水式)。

(4)检查电泵的转动方向是否正确。试运转时,电泵的脱水运转时间一般不应超过 2min。充水式电泵如电机内部未充满清水或不能充满清水(如对循环过滤式)时,严禁脱水运转。

(5)垂直吊装,不要横放(卧式电泵除外)。不要使电泵陷入泥中,防止水草杂物堵塞滤网。

### 15.5.2 定期检查与维护

(1)潜水电泵使用中,应经常利用停车间歇检查定子绕组的绝缘电阻值,以确保其使用的可靠,防患于未然。一旦发现绝缘电阻值低于 1M $\Omega$  时,应停止使用,并进行检查和修理。

(2)对潜水电泵的运行情况应进行经常的监视。如发现流量突然减少或有异常的振动或噪声,则应及时停机,进行检修。

(3)移动或搬运潜水电泵时,应先切断电源。移动电泵中不得用力拖曳电缆,以免损伤电缆。如电缆损坏应立即给予更换。

(4)机械密封是充油式潜水电泵和干式潜水电泵的关键部件。为了保证潜水

电泵运行可靠,在运行一定时间(一般为 2500h)后,应对机械密封进行检查、维修或更换。

(5)潜水电泵使用满一年(对频繁使用的潜水电泵,需适当缩短时间),应进行定期的检查和修理,更换油封、O型密封圈等易损件以及磨损的泵过流零件。

## 15.6 常见故障及其处理方法

潜水电泵的常见故障、产生原因及其处理方法见表 4.2.85。

表 4.2.85 潜水电泵常见故障及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
1. 潜水电泵不能启动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压过低</li> <li>2. 电源断相或断电,如电缆芯线断裂,熔断器熔断,开关控触不良,保护装置动作等</li> <li>3. 泵叶轮卡住</li> <li>4. 电缆过细过长</li> <li>5. 接插件接触不良或损坏</li> <li>6. 热保护器动作</li> <li>7. 热保护器损坏</li> <li>8. 单相电机离心开关接触不良或损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 将电压调整到 342V 以上。在抗灾排涝的紧急情况下必须使用潜水电泵,而电压又低于 342V 时,可适当调大潜水电泵保护开关的整定电流,但使用时应控制电流不超过电机额定电流的 1.1 倍,并控制其使用时间,使电机不致超载过久,造成损坏</li> <li>2. 检查熔断器、开关和保护装置,并修复断电或断相处</li> <li>3. 拆除水泵,清除杂物</li> <li>4. 当潜水电泵使用地距电源较远、电缆较长、电压降过大时,应适当加粗电缆截面:电缆长度增加一倍,电缆截面也相应增加一倍</li> <li>5. 修理或更换接插件</li> <li>6. 等定子绕组温度降低,热保护器自动复位后再启动</li> <li>7. 更换同样型号规格的热保护器</li> <li>8. 修理或更换离心开关</li> </ol>
2. 潜水电泵突然不转	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源断电</li> <li>2. 保护开关跳闸</li> <li>3. 电缆断裂</li> <li>4. 热保护器动作</li> <li>5. 潜水电泵堵转</li> <li>6. 电机定子绕组烧坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查断电原因并及时排除故障</li> <li>2. 检查电源电压及使用扬程是否在规定范围内,将电压和潜水电泵运行工况调整到允许范围</li> <li>3. 将电缆断裂处接好,并用绝缘胶带包扎好。如断裂后联接处需浸水,应按电缆接头防水联接及密封要求进行处理或更换电缆</li> <li>4. 检查热保护器动作原因,等待其自动复位或进行修理调整</li> <li>5. 泵叶轮卡住。应拆检水泵,清除杂物;如轴承等转动零件损坏,应加以修理或更换</li> <li>6. 进行大修,重新更换定子绕组</li> </ol>



续表

故障现象	产生原因	处理方法
3. 潜水电泵出水少	1. 使用扬程过高 2. 过滤网堵塞 3. 旋转方向反 4. 叶轮或泵体流道阻塞 5. 叶轮或泵盖磨损 6. 水位过低或泵部分已脱水运行 7. 潜水电泵所排放的水中含固体杂质太多或水粘度太高	1. 按规定使用范围适当降低使用扬程或另选合适规格的潜水电泵 2. 清除过滤网内外及潜水电泵周围的水草杂物,必要时可用竹框或网篮罩住潜水电泵,防止水草杂物进入 3. 对调潜水电泵引出电缆与电源任意两相的接线 4. 拆检水泵,清除叶轮或泵体流道中的杂物 5. 拆检水泵,修理或更换叶轮或泵盖 6. 调整潜水电泵的潜入深度 7. 适当调整潜水电泵的工作位置或另选合适规格的潜污水电泵
4. 定子绕组烧坏	1. 电缆接地线或芯线错接 2. 绕组匝间短路 3. 充油式或干式电机密封损坏进水,绕组对地击穿 4. 潜水电泵超载运行或两相运行时间过长 5. 潜水电泵脱水运行时间过长 6. 上泵式潜水电泵电机陷入泥中运行 7. 叶轮卡住,电机堵转时间过长 8. 潜水电泵开停过于频繁 9. 电缆受损进水,定子绕组受潮,匝间击穿或对地击穿 10. 潜水电泵遭受雷击	拆除损坏绕组,按原样重新修复绕组

### 15.7 主要技术数据

常用的 QY 型充油式三相潜水电泵、QX 型下吸式三相潜水电泵、WQ 型三相污水潜水电泵和 QS 型充水式三相潜水电泵电机的主要技术数据列于表 4.2.86, QDX 型和 QD 型单相潜水电泵电机的主要技术数据列于表 4.2.87。

表 4.2.86 三相潜水电泵电机主要技术数据

型号	功率 (kW)	极 数	定子铁心			定子槽数	接 法	绕组型式	跨距	每槽 导体 数	每圈匝数	每联圈数	每台联数	线 规
			外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)									
QY-3.5 QY-7 QY-15 QY-25 QY-40A	2.2	2	145	82	100	24	2Y	单层同芯	1~12 2~11	94	94	2	6	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.75
QY10-32-2.2 QY15-26-2.2 QY25-17-2.2 QY40-12-2.2 QY65-7-2.2 QY100-4.5-2.2	2.2	2	145	82	95	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	47	47	4	3	QZ-2 2- $\varnothing$ 0.78
QY15-34-3 QY25-24-3 QY40-16-3 QY65-10-3 QY100-6-3	3	2	145	82	120	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	38	38	4	3	QZ-2 2- $\varnothing$ 0.80
QY-3.5 QY-7 QY-15 QY-25 QY-40A	2.2	2	143	78	95	24	2Y	单层同芯	1~12 2~11	96	96	2	6	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.70
QY15-36-3 QY25-26-3 QY40-16-3	3	2	143	78	120	24	2Y	单层同芯	1~12 2~11	76	76	2	6	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.80

QX6-15J QX10-10J	0.75	2	125	65	60	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	86	86	4	3	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.60
QX6-25-1.1 QX10-18-1.1 QX15-14-1.1 QX25-9-1.1 QX40-6-1.1	1.1	2	128	70	72	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	68	68	4	3	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.75
QX10-24-1.5 QX15-18-1.5 QX25-12-1.5 QX40-8-1.5	1.5	2	128	70	92	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	53	53	4	3	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.85
QX10-34-2.2 QX15-20-2.2 QX25-18-2.2 QX40-12-2.2	2.2	2	145	82	90	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	49	49	4	3	QZ-2 1- $\varnothing$ 1.0
QX22-15J	2.2	2	145	82	100	24	2Y	单层同芯	1~12 2~11	94	94	2	6	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.75
QX15-34-3 QX25-24-3 QX40-16-3	3	2	145	82	115	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	40	40	4	3	QZ-2 1- $\varnothing$ 1.12
QX120-10J	5.5	4	175	110	170	36	Y	单层交错	1~9 2~10 11~18	23	23	3	6	QZ-2 1- $\varnothing$ 0.85 2- $\varnothing$ 0.90

续表

型号	功率 (kW)	极 数	定子铁心			定子槽数	接 法	绕组型式	跨距	每槽 导体 数	每圈匝数	每联圈数	每 台 联 数	线 规
			外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)									
WQ10-15-1.5 WQ25-7-1.5	1.5	2	130	72	85	18	Y	单层交叉	1~9 2~10 11~18	74	74	3	3	QZ-2 1- $\phi$ 0.85
WQ15-15-2.2 WQ25-10-2.2	2.2	2	130	72	110	18	Y	单层交叉	1~9 2~10 11~18	58	58	3	3	QZ-2 1- $\phi$ 0.95
WQ12-25-3 WQ25-15-3	3	2	155	84	100	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	40	40	3	3	QZ-2 1- $\phi$ 1.18
QS25 $\times$ 25-3 QS10 $\times$ 60-3 QS15 $\times$ 50-3	3	2	175	88	105	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	37	37	4	3	QYN 1- $\phi$ 1.06
QS20 $\times$ 40-4 QS30 $\times$ 30-4 QS32 $\times$ 25-4 QS50 $\times$ 15-4	4	2	175	88	124	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	32	32	4	3	QYN 1- $\phi$ 1.20
QS18 $\times$ 65-5.5 QS32 $\times$ 40-5.5 QS65 $\times$ 18-5.5 QS40 $\times$ 28-5.5	5.5	2	175	88	142	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	28	28	4	3	QYN 1- $\phi$ 1.35
QS30 $\times$ 50-7.5 QS40 $\times$ 30-7.5 QS50 $\times$ 25-7.5 QS100-15-7.5	7.5	2	175	88	172	24	Y	单层同芯	1~12 2~11	23	23	4	3	QYN 1- $\phi$ 1.50

表 4.2.87 单相潜水电泵电机主要技术数据

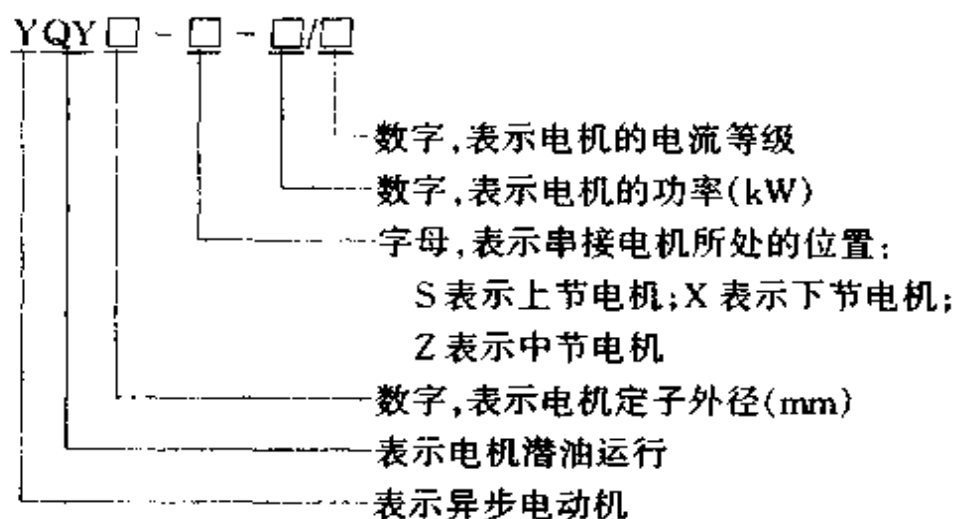
型号	功率 (kW)	极 数	定子铁心			定子槽数	启动 方式	绕组型式	跨距	绕组	串联 导体 数	每 圈 匝 数	每 联 圈 数	每 台 联 数	规 线				
			外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)														
QDX3-8-0.18	0.18	2	110	58	55	24	电阻启动	同 芯	主	1012	68, 63, 54, 42, 26	5	2	Ø0.63					
QDX6-5-0.18															副	42, 40, 34, 26, 16	5	2	Ø0.40
QDX3-10-0.25	0.25	2	110	58	62	24	电阻启动	同 芯	主绕组: 1~ 12, 2~11, 3~10, 4~9, 5~8	796	53, 49, 43, 33, 21	5	2	Ø0.71					
QDX6-7-0.25															副	40, 37, 32, 24, 15	5	2	Ø0.42
QDX3-14-0.37	0.37	2	128	67	63	24	电容启动	同 芯	副绕组: 7~ 18, 8~17, 9~16, 10~ 15, 11~14	746	50, 47, 40, 31, 19	5	2	Ø0.80					
QDX6-10-0.37															副	42, 39, 34, 26, 16	5	2	Ø0.50
QDX10-7-0.37																			
QDX3-18-0.55	0.55	2	128	67	78	24	电容启动	同 芯	主	596	47, 44, 38, 29, 18	5	2	Ø0.50					
QDX6-14-0.55															副	50, 50, 42, 42	4	2	Ø0.80
QDX10-10-0.55																			
QDX15-7-0.55															副	72, 72, 28, 28	4	2	Ø0.55
QDX3-15J	0.40	2	125	65	60	24	电容启动	同 芯	1~12, 2~11 3~10, 4~9 7~18, 8~17 9~16, 10~15	736	50, 50, 42, 42	4	2	Ø0.80					
QDX6-9J															副	72, 72, 28, 28	4	2	Ø0.55
QDX7.8-6.5J																			

## 16 井用潜油异步电动机

井用潜油异步电动机是一种立式专用三相二极笼型异步电动机,它与多级潜油离心泵组成潜油电泵,潜入 1000~3000m 深的油井中,连续抽取含腐蚀性物质的高温高压原油或井液。与其他型式的机械采油装置相比,潜油电泵具有排油量、效率高、效率高等优点,可适用于强力抽取高产井、水淹井中的液体,以及用于深井和斜井采油。

### 16.1 型号与基本规格

#### 16.1.1 产品型号表示方法



#### 16.1.2 主要规格与技术参数

潜油电机的外径尺寸受到油井套管内径尺寸的严格限制,呈特殊细长型,其长度随功率的增加而增长,可从几米到几十米。为了制造方便,单级电机的长度常控制在一定的范围内。于大功率电机采用多级串接方式,按所需功率大小分别制成上节电机、中节电机和下节电机。额定电流相同的电机可以串接,电机功率为多节电机功率之和,电压为多级电机电压之和。潜油电机的电压随功率不同而改变,使用时需配用专用的三相油浸式变压器,将电网电压变换到电机所需的电压。

YQY 型潜油电机的基本规格与电压见表 4.2.88。当电机功率大于 50kW 时,即由两节或多节 50kW 及以下的电机串接起来。

表 4.2.88 YQY 系列潜油电机的基本规格与电压

		功率(kW)	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30
电压 (V)	单节电机	37A	335	400	465	535	600	665	735	800
	串接电机	38.2A	325	390	455	520	580	645	710	775
		46.2A	265	320	375	430	480	535	590	640
		功率(kW)	32.5	35	37.5	40	42.5	45	47.5	50
电压 (V)	单节电机	37A	865	935	1000	1065	1135	1200	1265	1335
	串接电机	38.2A	840	905	975	1035	1100	1165	1230	1295
		46.2A	695	750	800	855	910	960	1015	1070

潜油电泵适用的油井套管内径尺寸、最大径向投影尺寸和电机外径尺寸见表 4.2.89。其所适用的环境温度有 50℃、90℃、120℃ 和 150℃ 等几个温度等级。

表 4.2.89 潜油电泵有关尺寸

套管尺寸 (mm)	套管内径尺寸 (mm)	电泵最大径向投影尺寸 (mm)	电机外径尺寸 (mm)
139.7(5 $\frac{1}{2}$ 英寸)	124	116	107, 114, 116
175(7 英寸)	157	147, 150	137

## 16.2 结构与主要特点

井用潜油电机为充油密封结构(图 4.2.86)。定子铁心分为若干段,各段间用黄铜冲片隔开。转子由若干个具有独立笼型绕组的铁心和一根空心长轴组成。各段铁心间装有中间支撑滑动轴承,滑动轴承的青铜轴套固定在轴上,钢轴瓦固定在定子黄铜冲片的内圆上。电机上、下部装有滑动导轴承。机壳用无缝钢管镗制而成。电机下部装有离心式叶轮和过滤器,使内部油液循环过滤,以冷却电机,改善轴承润滑和冷却条件。

### 16.2.1 定子绕组

潜油电机潜入油井下在原油与水的混合液中运转,条件恶劣不易维修,故要求定子绕组能在含有少量水的油介质中,在 10~20MPa 的高压力和一定温度下,具有较高的电气绝缘性能和机械强度,以保证潜油电机运行的可靠性。

定子绕组的导线绝缘由涂氟 46 塑料作粘结剂的聚酰亚胺薄膜(FHF 薄膜或 HF 薄膜)在裸铜线上半叠包 2~3 层后烧结成型。每相绕组由一根导线连续穿线,槽绝缘采用聚酰亚胺-氟 46 玻璃布复合材料。定子绕组线与引出线的接头以及

绕组星形连接点分别用氟 46 带绕包平整后,半叠包两层 FHF 薄膜,外包一层 HF 薄膜,然后在高温下烧结,密封成型,以保证足够的电气强度和耐油-水性能。定子绕组穿线、联接及端部整形、绑扎完成后,用环氧树脂真空加压浇注、固化成型,使其具有连续密封的整体绝缘性能。

### 16.2.2 电缆引出装置

电流通过挠性铠装电缆引入,经过泵和保护器的一段为扁电缆,扁电缆芯线与电机的联接采用插接结构(见图 4.2.86)。

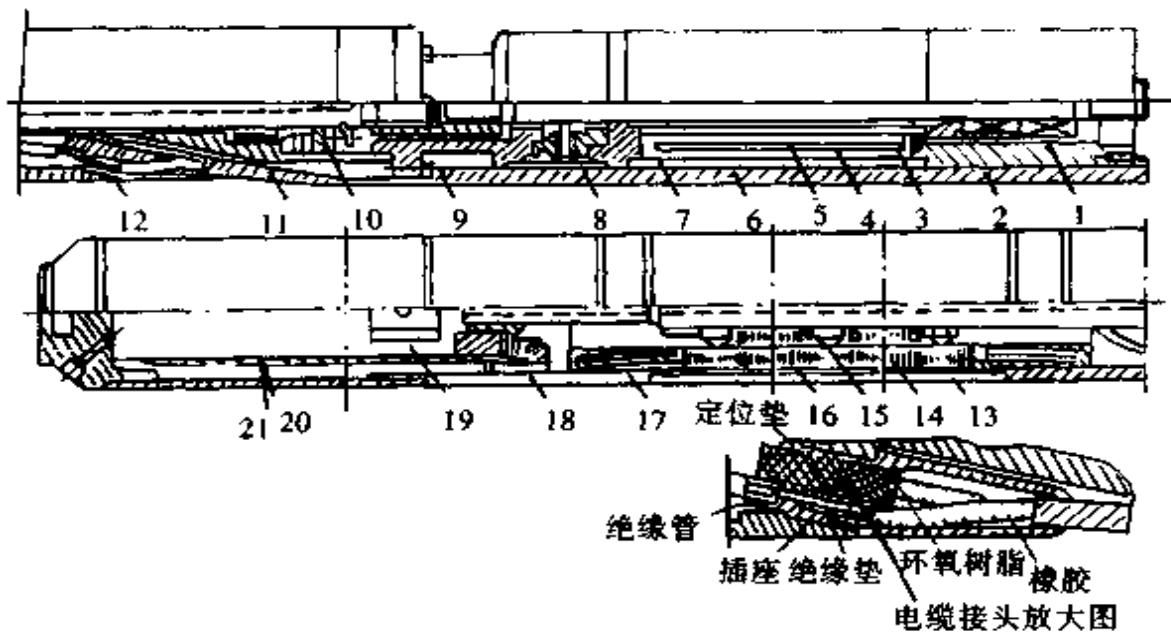


图 4.2.86 井用潜油异步电机(带保护器)结构图

- 1—机械密封 2—保护器轴 3—呼吸管 4—渗人的井液 5—电机内腔油液  
6—氟油 7、11、15—径向滑动轴承 8、10—推力轴承 9—电缆 12—电缆接头  
13—黄铜冲片 14—硅钢冲片 16—转子 17—定子绕组, 18—泵叶轮  
19—磁铁 20—过滤筒 21—过滤网

### 16.2.3 保护器

保护器结构型式分为连通式、沉淀式和皮囊式三种。其主要作用是阻止井液侵入电机内部,并使机内油液外泄量减少到最小,使电机能在井下长期可靠地运行而不必重新充油;当电机起动、运行和停机等原因使机内油液的体积和压力发生变化时,能起相应的调节作用。

常用的连通式保护器的密封作用主要由其上端所装的 2 至 3 道端面机械密封来实现。导向管、呼吸弯管和氟油等用以调节各油室油液的体积变化,并阻止从机械密封渗人的井液继续进入电机内部。

### 16.2.4 控制保护装置

控制保护器由地面控制器和井下信号装置组成。其作用是对电缆安装位置的



井液压力进行监视和读数,以保证油井的合理工作;对系统的对地绝缘电阻进行检测,并能在绝缘电阻过低时切断电源,防止故障扩大;对电机进行短路保护、单相运转保护、三相过电流保护和欠载停机或欠载停机延时自动起动,从而减少系统故障,提高电机运行可靠性,延长其使用寿命。

## 16.3 安装与使用

### 16.3.1 安装前的准备

用 1000V 兆欧表分别测量潜油电缆相间和对地的绝缘电阻,其值均应大于 500M $\Omega$ ;测量潜油电机定子绕组对地的绝缘电阻,其值应大于 500M $\Omega$ 。用电桥或万用表分别测量潜油电缆三相的直流电阻和潜油电机定子绕组三相的直流电阻,其不平衡度应不超过 2%。

对潜油电机、保护器、油气分离器及泵进行盘轴检查,要求盘动轻松,无停滞现象。

### 16.3.2 下井安装

每个单节电机都必须起吊到垂直位置时,方可拆除护盖。部件联接前需进行盘轴复查,联接完毕后进行电机内腔注油。要求注油缓慢、均匀,以确保排净电机腔内的空气。然后接保护器和电缆,并用 1000V 兆欧表测量接好电缆的电机定子绕组对地绝缘电阻和直流电阻。最后检查相序,进行保护器注油并联接分离器和泵。要求现场联接时,严格注意清洁,严防水分和一切杂物、灰尘进入电机和保护器内,同时要求各止口联接处所用的 O 型密封圈清洁并完好无损。

下井过程中应测量绕组的直流电阻和对地绝缘电阻,并使电缆始终保持在沿油管的一条直线上。严防沿管盘绕或扭转。

### 16.3.3 使用前的检查

潜油电泵使用前,应按规定要求调整控制保护装置的过载系数和欠载系数,并检查控制装置动作是否灵敏可靠。再检查相序,用 1000V 兆欧表测量电机定子绕组的对地绝缘电阻(应大于 500M $\Omega$ )和绕组的直流电阻(其不平衡值应不大于 2%)。

### 16.3.4 使用中的检查

潜油电泵投入使用后的三天内,其运行电流应采用 24h 的记录卡片进行记录,并及时检查和分析运行情况。正常运行三天后,改用七天的记录卡片记录电流。每周至少记录一次电泵的流量和电机的工作电流及工作电压。

## 16.4 常见故障及其处理方法

潜油电泵使用中的常见故障、产生原因及处理方法见表 4.2.90。

表 4.2.90 潜油电泵常见故障及其处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
1. 控制箱不工作	1. 控制箱无电压 2. 控制箱接点松动脱落	1. 检修电源系统 2. 检查控制箱全部接头和触点
2. 控制箱保险烧毁或过载继电器断开	1. 电缆或电机断路、短路 2. 保险丝太小或过载系数整定值过低 3. 电压不平衡或单相运转 4. 电泵机械故障 5. 油井泥浆或油井出砂卡阻	1. 检查电缆和电机的绝缘电阻和直流电阻,并作相应处理 2. 检查保险丝型号、规格,按要求更换保险丝或重新调整过流系数 3. 检查电源系统,并作相应处理 4. 提泵检查,排除机械故障 5. 洗井潜喷或提泵检查
3. 欠载继电器断开	1. 泵供液不足 2. 严重气蚀	1. 换小油嘴,减少泵流量 2. 适当放套管气并控制合理的动液面
4. 三相电流不平衡	1. 电源故障 2. 电机或电缆损坏	1. 检查电源系统并作相应处理 2. 提泵检查,并进行修理
5. 泵无液体输出	1. 泵流道堵塞 2. 管路结蜡堵塞 3. 管柱严重漏失 4. 地面管线漏失 5. 电泵断轴	1. 洗井或提泵 2. 清蜡解堵 3. 提泵检查,堵漏 4. 补漏 5. 提泵检查并换轴修理
6. 泵流量过小	1. 管柱结蜡 2. 管柱漏失或地面管线漏失 3. 气蚀 4. 杂物堵塞 5. 电机反转 6. 泵叶轮导叶磨损严重 7. 泄油阀或测压阀漏失	1. 清蜡 2. 提泵检查,堵漏 3. 控制适当的套压和动液面 4. 洗井或提泵检查 5. 调换相序 6. 提泵检查,修理或更换叶轮导叶 7. 提泵检查,作相应修理
7. 超载运行	1. 机械故障 2. 单相或低电压运行 3. 原油粘度过大或含砂量过多	1. 提泵检查,进行修理 2. 检查电源系统,修复故障处 3. 提泵,调换较大功率的电机
8. 电泵绝缘电阻过低	1. 电源线受潮或绝缘损坏 2. 电机绕组绝缘损坏或电缆绝缘损坏	1. 修理或调换电源线 2. 提泵检查,修理电机绕组;修理或更换电缆

## 第三章 直流电机

### 1 产品分类及型号

直流电机是将直流电能和机械能相互转换的旋转电机。它的分类方法很多,按用途可分为直流电动机和直流发电机;按励磁方式可分为永磁、并励、他励、串励和复励;按防护型式可分为开启式、防护式和封闭式等;按冷却方式可分为自通风、强迫通风(带骑式鼓风机或冷却器)和管道通风等;按结构类型可分为卧式、立式,机座带底脚或不带底脚,端盖带凸缘或不带凸缘等。

为满足各不同行业的需要,直流电机又派生出专用产品。表 4.3.1 列出我国目前生产的直流电机的基本系列、主要派生专用产品和型号。

表 4.3.1 直流电机基本系列、主要派生专用产品和型号

产品名称	型号	主要用途
直流电动机或直流发电机	Z	一般用途,基本系列
广调速直流电动机	ZT	用于恒功率调速场合
精密机床用直流电动机	ZJ	机床用
冶金起重用直流电动机	ZZJ	冶金辅助传动机械用
无槽直流电动机	ZW	快速动作伺服系统中用
龙门刨床用直流电动机	ZBD	龙门刨床用
直流牵引电动机	XQ	蓄电池车辆用

### 2 主要技术性能

直流电机主要技术性能有:

(1) 额定功率  $P_N$  (kW): 对直流发电机来讲,是指额定运行时输出的电功率;对

直流电动机来讲,是指额定运行时转轴上输出的机械功率。

(2)额定电压  $U_N$  (V):电机在额定运行时的端电压。

(3)额定转速  $n_N$  (r/min):电机在额定运行时的转速。

(4)效率  $\eta$ :电机在额定运行时,输出功率与输入功率之比。

(5)温升:电机在额定运行时,各部件产生的温升应不超过其绝缘等级所规定的限值(温升限值见表 4.3.2)。

(6)换向火花:在电机的技术标准(或技术条件)中,对电机在额定运行时允许换向火花等级作出明确规定。一般电机规定换向火花不超过  $1\frac{1}{2}$  级。

(7)调速:直流电动机有调速范围宽、调速精确方便的特点。最常用的有弱磁调速和降压调速两种。

(8)可逆性:直流电机具有可逆性,既可以作电动机状态运行,也可以作发电机状态运行。如将直流发电机当作直流电动机使用时,电机的转速比铭牌上的额定转速要低,可稍降低励磁电流来提高电机转速;如将直流电动机当作直流发电机使用时,电机的输出电压比铭牌上的额定电压要低,在温升不超过限值的前提下,可增加励磁电流来提高电机输出电压。一般来说,同机座号直流电机,如用电动机作发电机状态运行时,在转速一致的条件下,发电机输出功率要比电动机铭牌上的功率低一些。

### 3 直流电机电枢绕组及其重制

#### 3.1 电枢绕组构成及类别

电枢绕组由多个元件构成,绕组元件按规律放在电枢槽内,元件引出线按规律与换向片联接形成闭合回路。按元件与换向片不同联接规律,电枢绕组可分为叠绕组、波绕组和蛙绕组三大类。叠绕组又可分为单叠绕组和复叠绕组;波绕组又可分为单波绕组和复波绕组。一般电机常用单叠绕组和单波绕组,下面主要介绍这两种绕组。另外,还将介绍绕组均压线的作用。

##### 3.1.1 单叠绕组

单叠绕组是绕组元件的两端分别与相邻的两换向片联接,一个绕组元件的尾端与相邻一个绕组元件的首端同接于一个换向片,依次将所有绕组元件串联起来组成一个自身闭合的绕组。

单叠绕组的槽节距(以槽数计):

$$y_1 = \frac{z}{2p} \pm \epsilon \quad (\text{取整})$$

式中  $z$ ——槽数；  
 $p$ ——极对数；  
 $\epsilon$ ——小于1的正分数。

单叠绕组换向器节距： $y_k = \pm 1$

式中 +号——表示右行绕组，又称前进绕组或不交叉绕组，见图 4.3.1a 所示；  
 -号——表示左行绕组，又称后退绕组或交叉绕组，见图 4.3.1b 所示。

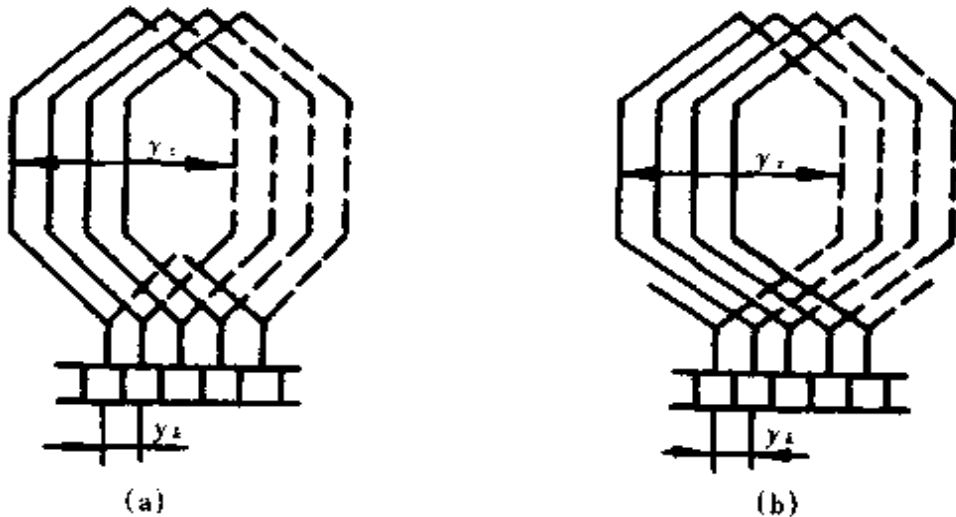


图 4.3.1 单叠绕组  
 (a)右行绕组 (b)左行绕组

左行绕组因其端部较长，一般不采用。

单叠绕组的并联支路数：

$$2a = 2p$$

式中  $a$ ——并联支路对数。

例如：一台 4 极电机，槽数  $z = 16$ ，虚槽数  $u = 1$ ，换向片数  $k = 16$ ，单叠绕组的槽节距  $y_z = \frac{z}{2p} \pm \epsilon = \frac{16}{4} \pm 0 = 4$  (1~5)，即元件一有效边嵌第 1 槽，元件另一有效边嵌第 5 槽，其他元件依次类推。单叠绕组的换向器节距  $y_k = 1$  (1~2)。单叠绕组的展开图见图 4.3.2，并联支路数见图 4.3.3。

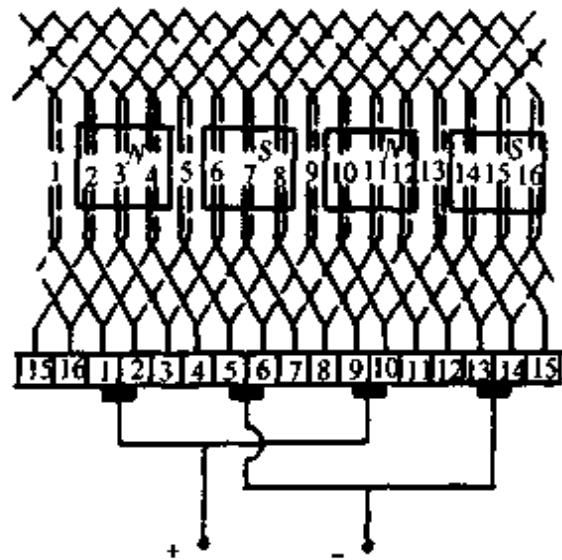
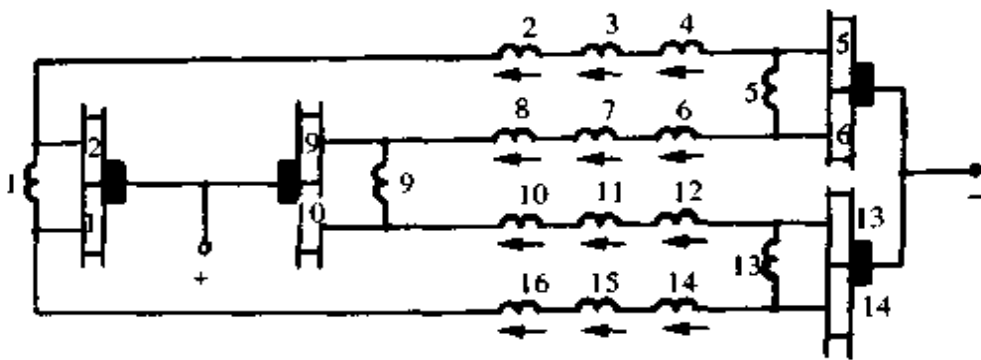


图 4.3.2 单叠绕组展开图 ( $z = 16$ )

图 4.3.3 单叠绕组的并联支路数 ( $z = 16$ )

## 3.1.2 单波绕组

单波绕组元件的首端和尾端近似地相隔两个极距(极距  $\tau = \frac{\pi D_a}{2p}$ ,  $D_a$ ——电枢外径)。

单波绕组槽节距计算方法同单叠绕组。

单波绕组换向器节距:

$$y_k = \frac{k \pm 1}{p} \quad (\text{为一整数})$$

式中  $k$ ——换向片数:

+号——表示右行绕组,又称前进绕组或交叉绕组,见图 4.3.4a 所示;

-号——表示左行绕组,又称后退绕组或不交叉绕组,见图 4.3.4b 所示。

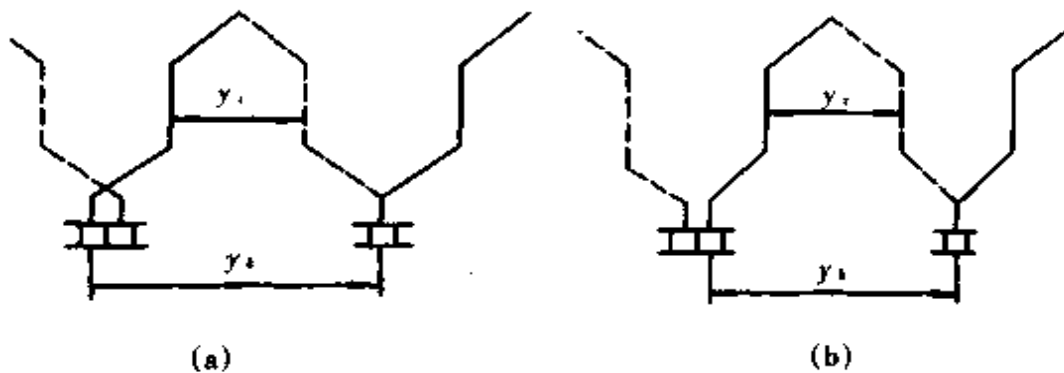


图 4.3.4 单波绕组

(a)右行绕组 (b)左行绕组

右行绕组因其端部较长,一般不采用。

单波绕组的并联支路数:  $2a = 2$

例如:一台 4 极电机,槽数  $z = 15$ ,虚槽数  $u = 1$ ,换向片数  $k = 15$ ,单波绕组的槽节距  $y_k = \frac{z}{2p} \pm \epsilon = \frac{15}{4} - \frac{3}{4} = 3(1 \sim 4)$ ,换向器节距  $y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7(1 \sim$

8)。单波绕组的展开图见图 4.3.5, 并联支路数见图 4.3.6。

### 3.1.3 均压线

直流电机均压线分甲种均压线和乙种均压线两种。为消除磁场不对称现象而将绕组各对支路间理论上等电位点联接起来的导线就称为甲种均压线；为解决电刷接触电阻的影响, 并使相邻换向片间电位分布均匀, 把绕组各对并联支路上的等电位点联接起来的导线就称为乙种均压线。

$$\text{甲种均压线的节距: } y_{a1} = \frac{k}{p}$$

$$\text{乙种均压线的节距: } y_{a2} = \frac{k}{a}$$

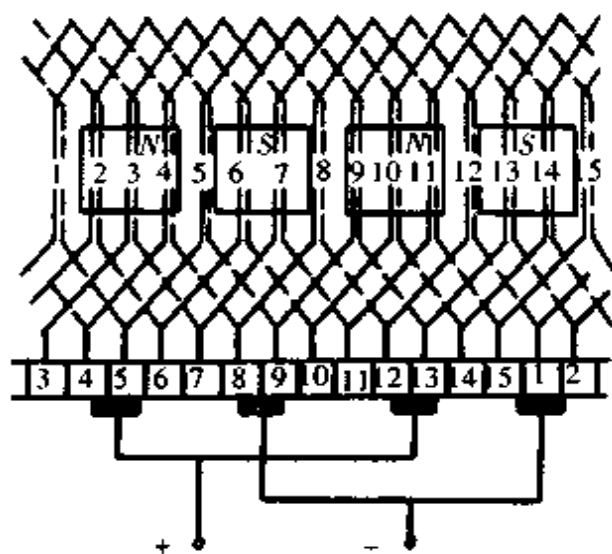


图 4.3.5 单波绕组展开图 ( $z = 15$ )

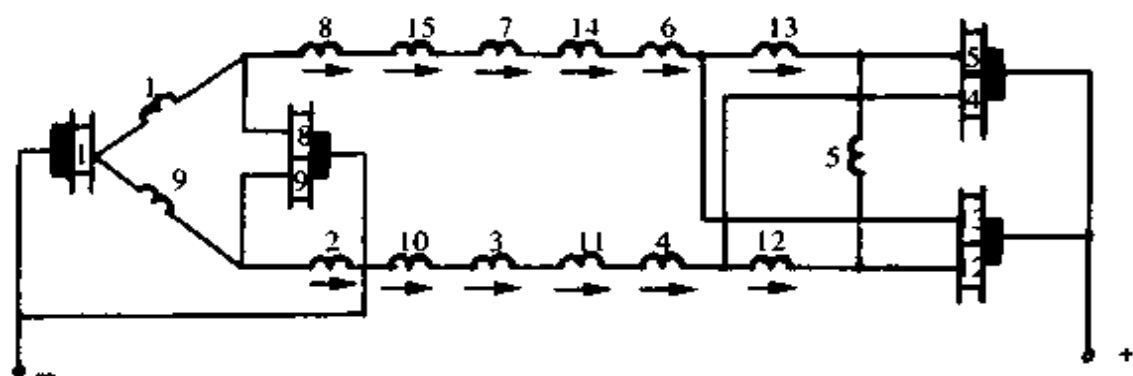


图 4.3.6 单波绕组的并联支路数 ( $z = 15$ )

均压线并不是所有的绕组都可联接, 只有各对支路的对应线圈在对称磁场中所处的位置是一样的绕组, 才可能联接均压线, 这种绕组称之“对称绕组”。对称绕组的对称条件是:

$$\begin{cases} \frac{z}{a} = \text{整数} \\ \frac{s}{a} = \text{整数} \\ \frac{p}{a} = \text{整数} \end{cases} \quad (\text{式中 } S \text{——线圈数, } S = uz = k)$$

单叠绕组只要满足绕组对称条件, 就可联接甲种均压线。由于  $a = p$ , 所以单叠绕组联接的甲种均压线同时也起着乙种均压线作用。单波绕组由于必须满足

$y_k = \frac{k \pm 1}{p} = \text{整数}$ , 因而不可能满足  $y_{k1} = \frac{k}{p} = \text{整数}$ , 即找不到等位点, 但磁场不对称不影响单波绕组支路电动势的对称, 故单波绕组不需要联接均压线。

## 3.2 绕组制作及绝缘处理

### 3.2.1 绕组制作

当需要更换电枢绕组时, 须进行绕组制作。在绕组制作前, 应做些记录。如: 电枢槽数, 换向片数, 绕组槽节距, 换向器节距, 每槽元件数, 每元件匝数, 绕组线规, 绕组型式, 槽绝缘尺寸, 绕组端部长度尺寸(轴伸端), 均压线根数、节距和线规, 槽中某元件底层引出线与换向片联接的相对位置, 绝缘等级。在拆除旧线圈过程中, 最好保留一个完整的旧线圈, 以便制作线模或用于检验首件新线圈。选用导线在规格、绝缘等级方面应与原导线相同, 扁线一般应选用丝包扁线或薄膜绕包扁线。绕组制作一般均要做线模, 圆线绕组与扁线绕组的线模制作方法不同。图 4.3.7a 是圆线绕组线模。线模做好后, 应先做一个线圈加以验证, 如有不适应加以

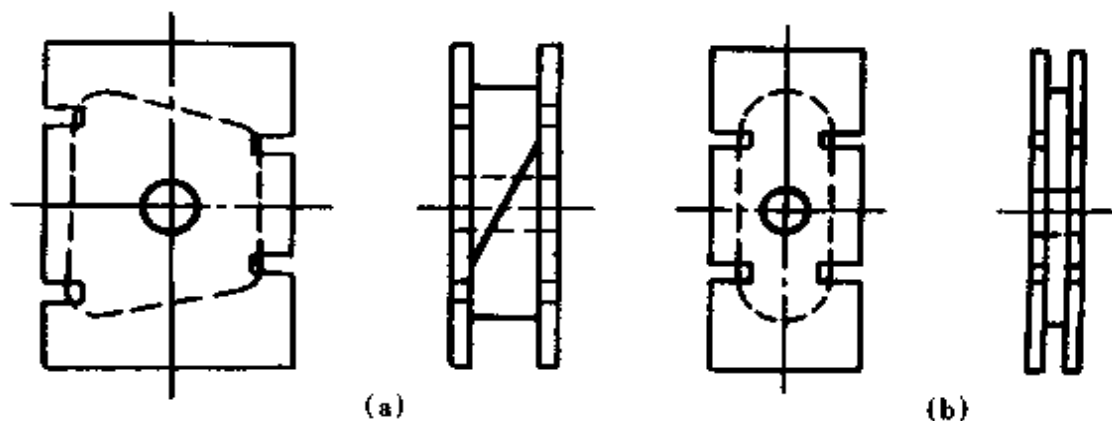


图 4.3.7 绕组线模  
(a)圆线绕组线模 (b)扁线绕组线模

修改, 待首件新线圈合适后, 方可做全所需线圈。每完成一个线圈绕制后, 应用细绳将线圈四周扎一下, 刮去引线上漆膜后搪锡, 套上绝缘玻璃丝套管。扁线绕组制作稍复杂些, 经过线模绕线后, 还须经线鼻成形、拉形、端部圆弧的整形工序。图 4.3.7b 为扁线绕组绕线模。同样, 扁线在绕线模上绕好后, 用细绳将线圈四周扎一下。最简单的拉形工具为两块木板, 如图 4.3.8 所示, 为保持线圈线鼻形状, 在作拉开成形时, 在线圈鼻端处夹上一个线鼻成形工具, 这样线圈作拉开成形后, 线鼻成形也就同时完成。线鼻成形工具如图 4.3.9 所示。由于电枢线圈端部在空间中呈圆弧形状, 拉开成形后, 必须对端部作圆弧处理。端部圆弧工具如图 4.3.10 所示。扁线绕组制作后, 在元件与元件鼻端之间用“U”形状绝缘衬垫隔开, 外面再



用玻璃丝带作半叠包。刮去线端绝缘漆后搪锡,套上玻璃丝套管。第一个扁线圈制作好以后,应加以验证,如有不适应加以修改,然后做全所需线圈。

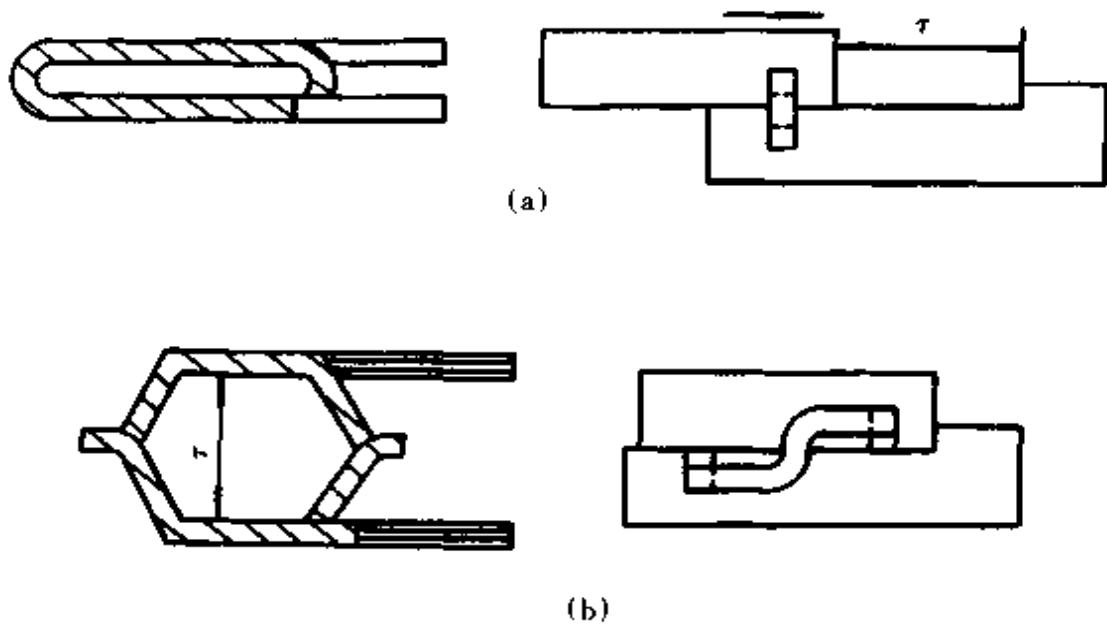


图 4.3.8 最简单的拉形工具  
(a)起始位置 (b)拉形后位置

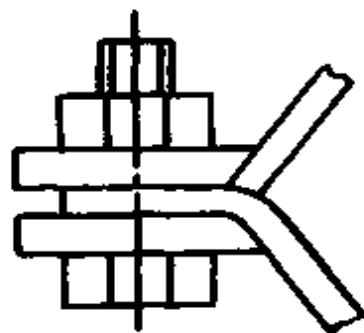


图 4.3.9 线圈成形工具

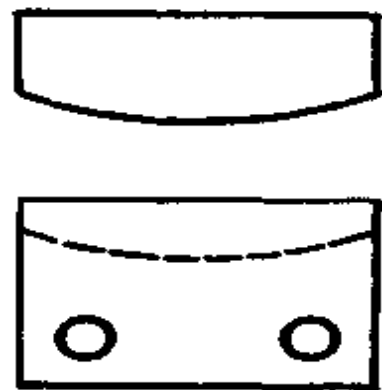


图 4.3.10 端部圆弧工具

### 3.2.2 嵌线

- (1)清理电枢铁心,去除残余物和槽口及槽内毛刺,用压缩空气吹净槽内。
- (2)清理换向器升高片,用校验灯检查换向片间短路情况(方法见本章 8.3)。
- (3)对线圈支架进行绝缘处理。用同等级绝缘材料和玻璃丝带包扎至原来高度。在电枢槽内放置槽绝缘,对 B 级绝缘电机,槽内一般放置一张 0.35mm 厚聚酯纤维无纺布聚酯薄膜复合箔(DMD),外面再加一张 0.1mm 厚聚酯薄膜;对 F 级绝

缘电机,槽内一般放置两张 0.25mm 厚聚砜聚酯纤维纸电工聚酯薄膜复合箔 (ADMAI)。矩形槽槽底在放置槽绝缘前应放置一张 0.5mm 厚层压板。

(4)对有均压线的电机,一般先嵌放均压线,然后再嵌放电枢线圈。电枢线圈先嵌底层线,与此同时将底层线引出线与换向片联接。修理电机,一般要按记录进行联接。但在不知道原来联接位置的情况下,一般有两种联接方法,见图 4.3.11。从图中可看出底层引出线放置对电刷位置有影响。在底层线圈嵌到近一个极距时,按槽节距嵌面层线。嵌面层线时,在轴伸端及非轴伸端部每槽线圈之间填一张 0.35mm 厚绝缘纸及在槽中底面层线之间放置一张或两张 0.35mm 厚绝缘纸作层间绝缘。面层线嵌入槽后,用

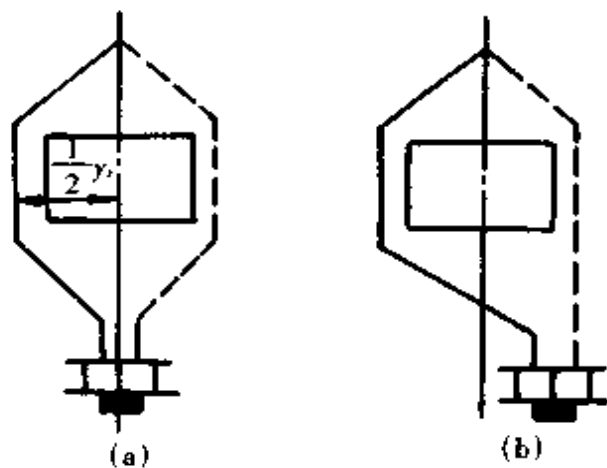


图 4.3.11 底层引出线的放置

(a)电刷位置在磁轴上 (b)电刷位置不在磁轴上  
划线板整理导线使之紧密排列,然后将伸出槽口绝缘纸剪去,用压线板将槽口内绝缘纸对折,轻轻敲压线板上槽楔。槽楔的材料用 1.5~3mm 厚层压板。依次嵌完所有线。将所有面层线引出线翻开,在底层线引出线上用绝缘纸包扎一周,并用玻璃丝绳扣紧,用校验灯找出某一元件底面层线引出线,按换向器节距将该元件面层线引出线联接到换向片上,依次将所有面层线引出线联接到换向器上,再用玻璃丝绳在靠近换向器升高片处扎一周,以防引出线松开。剪去轴伸端端部多余绝缘材料,然后对两端部整形。在升高片间用木楔分开。最后进行白坯电枢耐电压试验,试验电压为 50Hz 正弦波形交流电 2700V,历时 1min。

(5)用锯条或铣刀切割伸出升高片外多余引线头。电枢线圈与换向器升高片联接处用纯锡焊接。焊接时应避免锡流入电枢内部,并注意焊接质量,不允许存在虚焊、片间短路等情况。焊接后用毫伏表法进行片间电压检查(方法可见本章 8.3)。如发现偏差过大,应找出原因进行修整。

(6)线圈端部目前大多数用无纬玻璃丝绑扎带。

无纬绑扎带绑扎匝数  $W$  用下列公式计算:

$$W = 0.89 \frac{GD \left( \frac{n_p}{1000} \right)^2}{[\sigma]bh} \quad (\text{匝})$$

式中  $G$ ——绑扎处端部绕组铜和绝缘的质量(kg);

$D$ ——绑扎处平均直径,可近似认为电枢外径减槽深(cm);

$n_p$ ——超速时转速(r/min);

$[\sigma]$ ——无纬带许用应力,环氧无纬绑扎带可取  $2000\text{kg}/\text{cm}^2$ ;

$b$ ——无纬绑扎带宽度(cm);

$h$ ——无纬绑扎带厚度(cm)。

在用无纬绑扎带时,先将电枢在  $50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$  温度范围内预热 2h。用  $0.17 \times 25$  无纬绑扎带绑扎时需施加  $30 \sim 50\text{kg}$  拉力,按绑扎匝数进行绑扎。在绑扎过程中,应避免绑扎带左右交叉无规律绑扎。绑扎后还需固化处理。对环氧型绑扎带,固化温度为  $130^\circ\text{C}$ ,固化时间 6h 以上。

### 3.2.3 浸漆与烘干

浸漆的目的是为了提高绕组绝缘电阻、电气性能、耐热和导热性能、机械性能等。

选择绝缘漆时应注意绝缘等级。浸漆处理过程主要有预烘、浸漆、烘干三个部分。

**3.2.3.1 预烘** 预烘的目的是驱除绕组内部的潮气,使之干燥。预烘一般在烘箱内进行。在预烘前,擦净电枢表面杂质和油污,烘箱温度 B 级绝缘控制在  $(135 \pm 5)^\circ\text{C}$ ; F 级绝缘控制在  $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ ,预烘时间一般为 6h。在预烘过程中,每隔 1h 用兆欧表测量绝缘电阻,在连续 2h 绝缘电阻稳定且热态绝缘电阻大于  $15\text{M}\Omega$  时,可结束预烘。

**3.2.3.2 浸漆** 浸漆一般采用沉浸法。将预烘电枢冷却至  $60^\circ\text{C}$  左右时放入漆缸中(换向器向上)。冷却温度一定要控制好。如果温度过低,会影响漆的渗透能力;温度过高,会使溶剂强烈挥发,阻碍漆的渗透。浸漆时间一般为  $5 \sim 10\text{min}$ ,此时漆不冒气泡。将电枢从漆缸取出进行滴漆,滴漆在室温进行,时间为  $30\text{min}$  以上。修理中如存在设备等限制,也可采用浇淋法,但一定要将电枢淋透。

**3.2.3.3 烘干** 电枢滴漆后,放入烘箱,烘箱升温速度为  $20^\circ\text{C}/\text{h}$ ,烘干温度比预烘温度高  $10^\circ\text{C}$ ,烘干时间一般为 10h。在烘干过程中,每隔 1h 测量绝缘电阻,在连续 3h 测得绝缘电阻稳定,且绝缘电阻大于  $5\text{M}\Omega$  时,可结束烘干。

## 4 直流电机的改压计算

### 4.1 励磁绕组的改压计算

#### 4.1.1 改压后的导线截面积 $S_{\text{ax}2}$

改压后的导线截面积可用下列公式计算:

$$S_{\text{ax}2} = S_{\text{ax}1} \frac{U_{\text{d}1}}{U_{\text{d}2}}$$

式中  $S_{\text{ax}1}$ 、 $S_{\text{ax}2}$ ——改压前、后的导线截面积( $\text{mm}^2$ );

$U_{e1}$ 、 $U_{e2}$ ——改压前、后的励磁电压(V)。

#### 4.1.2 改压后每极匝数 $W_{e2}$

一般,电机改压后的励磁绕组电流密度不宜超过改压前的励磁绕组电流密度。如果保持改压前、后励磁绕组电流密度不变,则计算公式为:

$$W_{e2} = W_{e1} \frac{U_{e2}}{U_{e1}}$$

式中  $W_{e1}$ 、 $W_{e2}$ ——改压前、后每极励磁绕组匝数。

### 4.2 电枢绕组的改压计算

电枢绕组的改压计算应注意换向片平均片间电压值不能超过 16V(不带补偿绕组电机)。改压后的电压值不能超过匝间绝缘介电强度允许值,即原电机额定电压在 500V 以下时,改压后的额定电压不允许大于 500V。改压后的槽满率应尽量保持原来槽满率。换向片平均片间电压计算公式为  $U_{kp} = \frac{2pU_N}{K}$ , 式中:  $U_N$ ——额定电压(V)。

#### 4.2.1 改压后的电枢总导体数 $N_2$

电机改压一般受槽数和换向片数已确定的约束,改压前、后电枢回路并联支路数一般是相同的,如不改变电机转速,则计算公式为:

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1}$$

式中  $U_1$ 、 $U_2$ ——改压前、后电机额定电压(V);

$N_1$ 、 $N_2$ ——改压前、后电枢总导体数。

#### 4.2.2 每元件匝数 $W_{e2}$

$$W_{e2} = \frac{N_2}{2K}$$

式中  $K$ ——换向片数;

$W_{e2}$ ——改压后每元件匝数。

对矩形槽嵌扁线电机,  $W_{e2}$  应取整数,一般为 1 或 2;对梨形槽嵌圆线电机,  $W_{e2}$  应取整数或简单分数,如  $3\frac{2}{3}$ 、 $3\frac{1}{5}$  等。

#### 4.2.3 导线截面积 $S_{cu2}$

$$S_{cu2} = S_{cu1} \frac{U_1}{U_2}$$

式中  $S_{cu1}$ 、 $S_{cu2}$ ——改压前、后导线截面积( $\text{mm}^2$ )。

### 4.3 换向极绕组的改压计算

#### 4.3.1 改压后换向极绕组匝数 $W_{w2}$

换向极绕组匝数随电枢总导体数的改变而改变。改压后的换向极匝数可根据  $\theta$  值 ( $\theta$  值为换向极安匝与电枢反应安匝之比) 不变的原则来确定。先计算改压前的  $\theta_1$ , 计算公式为:

$$\theta_1 = \frac{8a_{w1} p W_{w1}}{N_1}$$

式中  $W_{w1}$  ——改压前的换向极绕组匝数;

$a_{w1}$  ——改压前的换向极绕组并联支路数。

取  $\theta_2 = \theta_1$ , 则改压后换向极绕组匝数计算公式为:

$$W_{w2} = \frac{N_2}{8a_{w2} p} \theta_2$$

式中  $W_{w2}$  ——改压后的换向极绕组匝数;

$a_{w2}$  ——改压后的换向极绕组并联支路数。

如果在试验中发现换向火花过大, 则应先调整换向极气隙的大小, 当此调整效果不理想时, 可视换向极磁场强或弱来相应调整换向极的匝数。

#### 4.3.2 导线截面积 $S_{aw2}$

换向极绕组改压后导线截面积计算方法同电枢绕组中计算方法。

## 5 直流电机拆装和试验

### 5.1 直流电机拆装

直流电机拆卸步骤如下:

- (1) 拆除与电机联接的电源线及有关附件。如: 测速机、编码器、外鼓风机等。
- (2) 拧下换向器端轴承盖的螺栓。
- (3) 拆除换向器端端盖上的防护罩, 将所有电刷提起。
- (4) 用纸包好换向器表面。
- (5) 拧下轴伸端端盖螺栓, 此时可将电枢连端盖一块取出, 在取出电枢过程中, 应注意不要碰伤换向器表面, 不要将定子绕组联接线碰断。
- (6) 做好刷架的定位标记, 拆除定子绕组与刷架联接线, 拧下换向器端端盖螺栓, 取下端盖。
- (7) 拧下轴伸端轴承盖螺栓, 取下轴承盖和端盖。

(8)拆下电枢上的风扇时,要做好定位标记。

在整个拆卸过程中,注意拆卸次序,做好记录。电机的装配可按拆卸的相反顺序进行。

## 5.2 直流电机修复后试验

直流电机经拆装修理后,均需作检查和若干性能指标试验。下列检查是必须的。

### 5.2.1 电机总装配后质量检查

检查电枢转动是否灵活,紧固螺栓是否松动,电刷与换向器表面接触面积是否达80%以上,电刷在刷握中能否自由滑动,换向器升高片之间是否相碰,等等。

### 5.2.2 刷架中性位置的确定

电机检修后有可能导致刷架中心位置的移动。为保证电机良好运行,必须确定刷架中性位置。方法有三种:感应法、发电机正反转法、电动机正反转法。

(1)感应法:接线方法按图4.3.12所示,试验工具为一只毫伏表,一个1.5~3V直流电源,一只开关Q。直流电源和开关接到励磁绕组回路,毫伏表接到相邻电刷上。

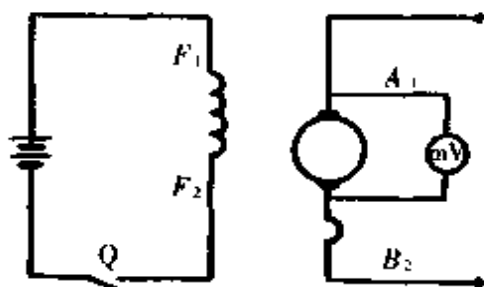


图 4.3.12 感应法接线图

过开关交替地接通和断开励磁电流,当刷架不在中性位置时,毫伏表指针会摆动,此时应逐步移动刷架,直至毫伏表指针摆动最小,固定刷架螺栓,重复验证刷架中性位置。

(2)发电机正反转法:电机作发电机运行,励磁方式接成纯他励,保持电机转速、励磁电流和负载电流不变,分别测量电机正转和反转时的输出电压,逐步移动刷架使两个转向的输出电压为最接近,此时说明刷架处在中性位置。

(3)电动机正反转法:电机作电动机运行,励磁方式接成纯他励,保持电机电枢电压、励磁电流和负载电流不变,分别测量电机正转和反转的转速,逐步移动刷架使两个转向的转速为最接近,此时说明刷架处在中性位置。

### 5.2.3 测量各绕组冷态直流电阻

采用双臂电桥或单臂电桥测量。当测量电阻在 $1\Omega$ 以下时,应用双臂电桥。

### 5.2.4 负载试验

负载试验主要检查换向火花、温升、电动机的转速或发电机的电压等性能指标是否满足要求。试验方法一般采用直接负载法。电动机的接线方法见图4.3.13。发电机的接线方法见图4.3.14。试验前,用兆欧表测量电机绕组间和绕组与机壳间绝缘电阻。当绝缘电阻小于 $1M\Omega$ 时,应作绝缘干燥处理。换向火花的鉴别按表

4.3.3 规定。电机温升试验应在额定电压、额定电流及额定转速下进行,对连续工作制的电机温升试验持续时间应至热稳定为止,所谓热稳定即电机发热部件的温升在 1h 内的变化不超过 2K 的状态。测量温升方法有温度计法、电阻法等。测得的温升应不超过表 4.3.2 规定限值。

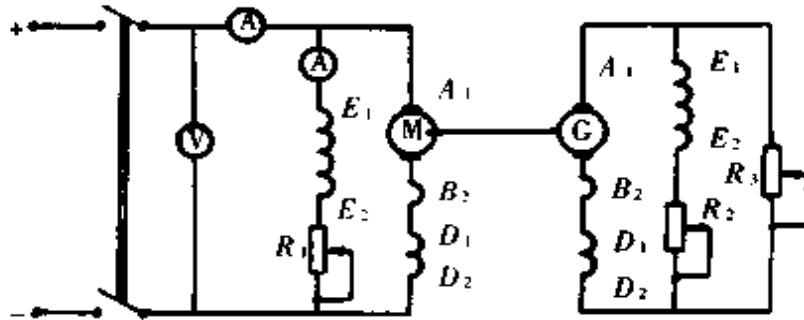


图 4.3.13 电动机直接负载法接线图

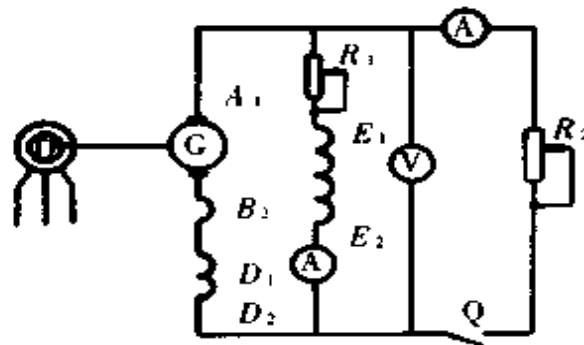


图 4.3.14 发电机直接负载法接线图

表 4.3.2 电机允许温度限值(环境最高温度 + 40℃) K

绝缘等级	测试方法	电枢绕组	励磁绕组	换向器
B	温度计法	70	70	80
	电阻法	80	80	—
F	温度计法	85	85	90
	电阻法	105	105	—

轴承允许温度为 95℃。

用电阻法测量温升( $\Delta t$ , 单位 K)的计算公式为:

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + t_1) + t_1 - t_0$$

- 式中  $R_2$ ——试验结束时的绕组电阻( $\Omega$ );  
 $R_1$ ——试验开始时的绕组电阻( $\Omega$ );  
 $t_1$ ——试验开始时的绕组温度( $^{\circ}\text{C}$ );

$t_0$ ——试验结束时的冷却介质温度(℃)。

### 5.2.5 超速试验

超速试验的目的是检验电机的机械强度。超速值一般为 1.2 倍额定转速,时间持续 2min。超速后,电机应无永久性异常变形等缺陷。

### 5.2.6 短时升高电压试验

短时升高电压试验的目的是检查电机绝缘强度,升高电压值为 1.3 倍额定电压,历时 3min,试验应在电机空载时进行。试验后,电机应无绝缘击穿故障。

### 5.2.7 耐电压试验

耐电压试验的目的是检查绕组对机壳和绕组相互间绝缘状况。在耐电压试验前,先用兆欧表测定一下热态绝缘电阻,其值应大于  $1M\Omega$ 。耐电压试验的电压为 50Hz 正弦波,试验电压数值为:

1kW 以下      500V + 2 倍电机额定电压;

1kW 以上      1000V + 2 倍电机额定电压。

试验时间为 1min。对新制作的绕组电机,应按上述电压值试验;对于部分更换绕组,则按上述规定电压值的 75% 进行试验。电机经耐电压试验,应不发生绝缘击穿故障。

## 6 直流电机选用

选用直流电动机时应考虑规格、结构等因素。直流电动机的规格主要指额定功率、额定电压、额定转速和励磁方式、励磁电压。其中额定功率和额定转速两个参数最为重要,因为电机输出转矩与功率成正比,与转速成反比。电机的额定转速选择应与工作转速接近。用户在确定转速后,可根据负载大小确定所需功率,再从样本上查阅电机型号。电机额定电压的选择与供电方式有关,额定电压 220V 的电机由机组(机组中直流发电机为 230V)供电。额定电压 160V 的电机由单相桥式整流器供电,整流器的进线电压为单相交流 220V。由单相整流器供电的电机容量一般为 4kW 以下。额定电压 400V 或 440V 的电机由三相桥式整流器供电,整流器的进线电压为三相交流 380V。额定电压 400V 的电机适用于需作正、反转的场合,额定电压 440V 的电机适用于单一转向的场合。励磁方式的选择应结合工况来确定,对需要作正反转电机,应选用纯他励电机;对要求过载能力大的电机,应选用复励电机。直流电动机可很方便地调速,最经济的调速方法有恒功率调速和恒转矩调速。所谓恒功率调速就是保持额定电压、额定电流不变,减小励磁电流,转速从额定转速开始往上调至最高转速(最高转速受机械应力限制,一般在技术条件中有规定),在整个调速过程中,电机输出功率始终保持不变。恒转矩调速方法



是保持额定电流、励磁电流不变,降低电枢电压,转速从额定转速开始往下调,在整个调速过程中,电机输出转矩始终保持不变。对恒转矩调速电机,其冷却方式应选择强迫外通风冷却,而不能选择自带风扇冷却结构,这是因为在低速时,风扇冷却效果差,从而导致电机温升升高而烧毁绕组。电机结构等方面要求,用户可根据安装方式和使用环境来选择。

## 7 直流电机维护保养

### 7.1 直流电机主要零部件的保养

#### 7.1.1 换向器的保养

换向器表面应是光洁的,不得有机械损伤或火花灼伤。若有轻微的灼伤痕出现,可用“00”号砂纸细细地在旋转换向器表面上研磨。若出现严重灼伤痕或沟槽等现象,则必须重新车削换向器表面。车削前,应清除中心孔的污尘和毛刺,以保证换向器的同心度。车削时,车速选择高点,车刀要尖锐点。车好后用“00”号砂纸

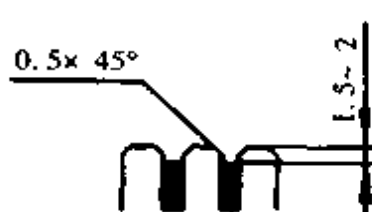


图 4.3.15 云母片下刻  
和换向片倒角

打光,使之表面粗糙度达  $1.6 \sim 0.8$ 。车好的换向器必须进行云母片下道工序,一般下刻  $1.5 \sim 2\text{mm}$ ,如图 4.3.15。最简单的工具可用细齿手工钢锯条,但要磨薄些,因为云母片厚度一般为  $0.5 \sim 0.8\text{mm}$ ,下刻时应仔细,不要拉毛换向片表面,下刻后换向片倒角,最后用

“00”号砂纸在换向器表面上打光一下。

无论在车削、下刻、倒角或打光过程中,必须防止铜粉和云母粉尘进入电枢内部。加工完成后,必须用压缩空气将电枢内部吹净。

#### 7.1.2 电刷的使用

电刷必须与换向器工作面有良好的接触。电机电刷的正常压力为  $12.2 \sim 27.0\text{kPa}$ 。电刷与刷握框的配合不能过紧或过松,应有  $0.1 \sim 0.3\text{mm}$  的合适间隙,使电刷与换向器表面的接触有良好跟随性。

电刷磨损或破碎后,须以相同牌号和尺寸的电机更换之。同一台电机切忌使用不同牌号电刷。更换新电刷后,需用“0”号砂纸,按电机旋转方向研磨电刷,如图 4.3.16 所示,以获得电刷与换向器工作表面的良好接触。研磨后,吹净炭粉,并使电机在轻载下运行一段时间,然后再逐渐增加负载至额定负载。



图 4.3.16 电刷研磨示意图

### 7.1.3 轴承的更换

在电机运行中,发现轴承有异常杂声,就应更换轴承。取下轴承的工具用三爪拉模。装轴承前,先用煤油洗清轴承盖内腔,然后用汽油擦干净,再加润滑脂,所加润滑脂量为轴承室空间的 $\frac{2}{3}$ ,不宜太多。用火油或汽油清洗轴承,再将轴承放到烘箱或油槽内(100℃)预热半小时,即刻将轴承轻轻套到轴上。

### 7.1.4 绝缘的干燥

如果用兆欧表测得冷态绝缘电阻低于 $1M\Omega$ ,则必须进行绝缘干燥处理。最简便的方法是打开电机的各通风窗,在励磁回路加60%额定励磁电压,线圈温度不宜超过70℃,在绝缘电阻连续稳定4~5h后,则可结束干燥处理。

## 7.2 使用前的准备及检查

(1)擦除电机外表的灰尘和积垢。打开风窗盖,拿去防尘纸,用压缩空气吹净电机内部灰尘。

(2)转动电枢,检查转动是否灵活,有没有卡死现象,有无撞击或磨擦声。

(3)检查刷架是否固定在规定的标记位置上,电刷压力是否正常,电刷在刷握内是否太紧或太松,电刷与换向器工作表面接触是否良好。

(4)检查换向器工作表面的清洁度。如有油污,可用柔软的布或棉花蘸汽油擦除。

(5)用兆欧表测量电机各绕组对机壳及各绕组相互间的绝缘电阻。如果低于 $1M\Omega$ 必须进行干燥处理。对额定电压小于500V直流电机,用500V兆欧表;对额定电压在500~3000V直流电机,则用1000V兆欧表。

(6)检查电机接地装置是否可靠。

(7)测量一下各绕组电阻值,以防电机有断线或短路现象。

## 7.3 直流电机的起动

对直流电动机的起动有三点要求:第一,起动电流不能太大,应为电动机所允许;其次,起动转矩要尽可能大些,必须大于负载的阻转矩(带负载起动时);第三,起动时间(即电动机从静止到稳定运行所经历时间)要短。

直流电动机的起动方法有三种:降压起动、电枢回路串电阻起动和直接起动。

### 7.3.1 降压起动

电枢回路与励磁回路由两套电源供电。起动前要满磁场,在起动过程中逐渐提高电枢电压,使转速逐渐上升。

### 7.3.2 电枢回路串电阻起动

在电枢回路串接一个可调节电阻箱。起动前调节电阻箱的电阻值至最大值,

在起动过程中逐渐减小电阻箱的电阻。

### 7.3.3 直接起动

在电枢两端直接加上额定电压使电动机起动,此种起动方法只适用 1kW 以下的电动机。

无论哪种起动方法,在起动时应注意励磁绕组与电源接线可靠,并达到满磁场起动。串励电机不能空载起动。

## 7.4 直流电机运行中的维护

(1)应经常保持清洁。不允许有水滴、油污落入电机内部。

(2)不应有长时间的过载运行。在额定负载下,换向器上的火花应不超过  $1\frac{1}{2}$  级。

(3)应经常检查轴承运行时温度,并倾听其转动声音是否均匀、正常。对有注放油孔的电机应定期加润滑脂。

(4)应注意电机运行时的温升变化情况。可经常用温度计检查电机进出口风温度和电机表面温度,如有异常,应停车检查。

(5)电机在运转中不应有磨擦声、尖叫声或其他杂声。如发现有不正常声音,应及时停车检查,消除故障后才可继续运行。

(6)电刷磨损不能过度。

(7)电机必须通风良好,进风和出风口必须保证畅通无阻。

## 7.5 直流电机火花等级的鉴别

直流电机正常运行时允许存在  $1\frac{1}{4}$ 、 $1\frac{1}{2}$  级换向火花,在偶然过电流或短路过转矩时可允许 2 级换向火花。关于直流电机换向火花的鉴别方法可按表 4.3.3 进行。

表 4.3.3 电刷下的换向火花等级(根据 GB755)

换向火花等级	电刷下的火花程度	换向器及电刷的状态
1	无火花	换向器上没有黑痕及电刷上没有灼痕
$1\frac{1}{4}$	电刷边缘仅小部分(约 $\frac{1}{5}$ 至 $\frac{1}{4}$ 刷边长)有断续的几点状火花	
$1\frac{1}{2}$	电刷边缘大部分(大于 $\frac{1}{2}$ 刷边长)有连续的、较稀的颗粒状火花	换向器上有黑痕,但不发展,用汽油擦其表面即能除去,同时在电刷上有轻微灼痕

续表

换向火花等级	电刷下的火花程度	换向器及电刷的状态
2	电刷边缘大部分或全部有连续的、较密的颗粒状火花,开始有断续的舌状火花	换向器上有黑痕,用汽油不能擦除,同时电刷上有灼痕;如短时出现这一级火花,换向器上不出现灼痕,电刷不烧焦或损坏
3	电刷整个边缘有强烈的舌状火花,伴有爆裂声音	换向器上黑痕较严重,用汽油不能擦除,同时电刷上有灼痕。如在这一火花等级下短时运行,则换向器上将出现灼痕,同时电刷将被烧焦或损坏

## 7.6 直流电机的接线图

### 7.6.1 直流电机绕组线端标记

绕组线端标记见表 4.3.4。

表 4.3.4 绕组线端标记

绕组名称	线端标记			
	旧标记		新标记	
	始端	末端	始端	末端
电枢绕组	$S_1$	$S_2$	$A_1$	$A_2$
换向极绕组	$H_1$	$H_2$	$B_1$	$B_2$
串励绕组	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$
并励绕组	$B_1$	$B_2$	$E_1$	$E_2$
他励绕组	$T_1$	$T_2$	$F_1$	$F_2$
补偿绕组	$BC_1$	$BC_2$	$C_1$	$C_2$

### 7.6.2 直流电机接线图

这里只介绍直流电动机的接线图见表 4.3.5,其中电机旋转方向为轴伸端视之。

表 4.3.5 直流电动机接线图

电机的励磁方式	直流电动机接线图	
	正转	反转
复励电动机或加少量串励稳定绕组并励电动机(附起动器及磁场变阻器)		

续表

电机的励磁方式	直流电动机接线图	
	正转	反转
并励电动机 (附起动器及磁场变阻器)		
他励电动机 (附起动器及磁场变阻器)		
串励电动机 (附起动器)		

## 8 直流电机常见故障和处理方法

### 8.1 电枢绕组故障检查及处理

#### 8.1.1 电枢通地

电枢通地可分为换向器通地、绕组对铁心通地和绕组端部对线架通地等。

##### 8.1.1.1 电枢通地故障检查 电枢通地故障检查方法有：

(1) 测量换向片和轴间的电压降。将低电压直流电源接到大约为一个极距的两个换向片上，如图 4.3.17 所示。毫伏表一端接转轴，另一端接换向片，逐片检查。如发现毫伏表上指示的数值较低或为零，则表示该换向片与所联接的绕组元件通地。

(2)测量换向片间的电压降。用一个低电压直流电源,一端接在换向片上,另一端接在轴上,如图 4.3.18 所示。用毫伏表测量相邻换向片间电压,在通地点换向片相邻两边片间电压方向相反,则表明该换向片与所联接的绕组元件通地。

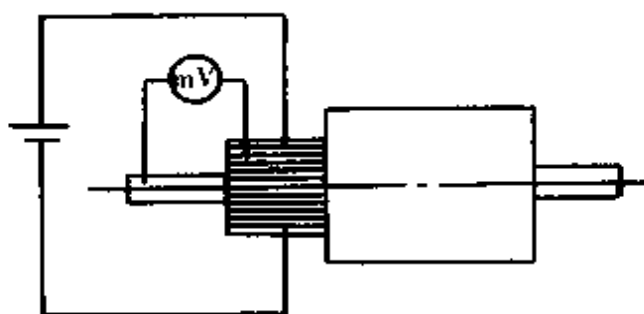


图 4.3.17 测量换向片与轴间电压降

(3)用校验灯或兆欧表检查。用校验灯检查的方法如图 4.3.19 所示,交流电的一端接转轴,另一端串接一个校验灯再接到换向片上,逐片检查。如校验灯闪亮,则说明该换向片与所联接的绕组元件通地。用兆欧表检查方法如图 4.3.20 所示。兆欧表一端接转轴,另一端接换向片,不断摇动兆欧表手柄逐片检查。如兆欧表指示数值为零,则说明该换向片与所联接的绕组元件通地。

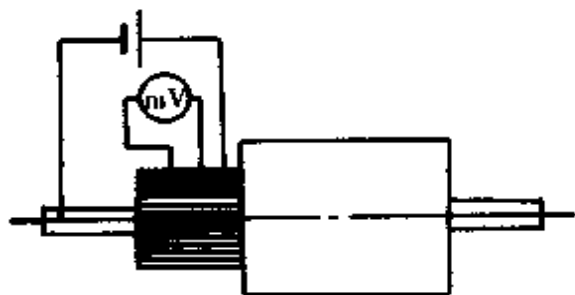


图 4.3.18 测量换向片间电压降

(4)用逐步接近法确定通地故障点。按图 4.3.21 所示将绕组相对面两个换向

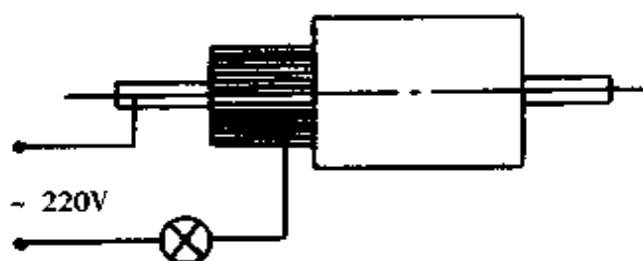


图 4.3.19 用校验灯检查电枢通地

片中的引线拆开,用兆欧表或校验灯找出绕组通地一边绕组,再将其中间部分引线拆开,找出  $\frac{1}{4}$  部分通地绕组,如此重复进行,缩小检查范围,最终找出故障元件。

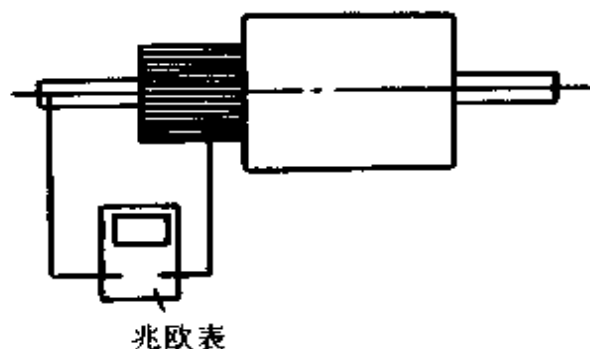


图 4.3.20 用兆欧表检查电枢通地

(5)对电枢进行耐电压试验的检查。电枢存在通地故障,在耐电压试验中当外施电压增高至某值时,电枢就会被击穿,以后重复耐电压试验,逐次击穿的耐电压试验电压值渐渐下降,可基本确定是换向器通地故障所致;如果重复耐电压试验在第二次、第三次试验时电压值加不上来,则一般是绕组通地故障所致。这是因为绕组绝缘薄弱,只能承受一次耐电压试验击穿的缘故。

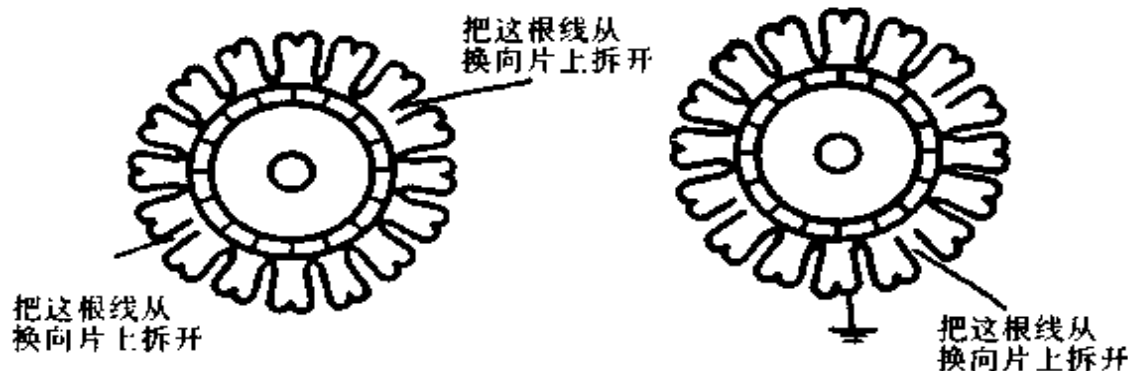


图 4.3.21 用逐步接近法确定故障点示意图

8.1.1.2 电枢绕组通地处理方法 在检查过程中应进一步区分是绕组通地，还是换向器通地。对换向器通地故障的处理将在本章 8.3 中介绍。对绕组通地故障处理应结合检查过程，注意观察电枢绕组产生火花、烟雾、发出响声和焦味的部位，找到故障点，对其作绝缘处理。

### 8.1.2 电枢绕组短路

8.1.2.1 电枢绕组短路的检查方法 电枢绕组短路的检查方法是采用毫伏表测量换向片间电压，如图 4.3.22 所示。如果毫伏表读数呈周期性，说明电枢绕组良好；如果毫伏表有较小读数，则说明该换向片间的绕组元件存在短路。

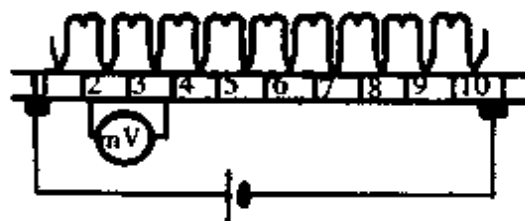


图 4.3.22 电枢绕组短路和断路检查示意图

对四极单波绕组电机，用上述方法测得的毫伏表读数只有正常值的一半左右，这是由于相邻换向片与两个元件联接缘故，所以还须作进一步检查。检查方法如图 4.3.23 所示，按换向器节距，找出元件另一个与换向片联接的引线，将毫伏表一端接该换向片，另一端分别测量有故障的两个换向片，毫伏表读数小，说明该元件存在短路。

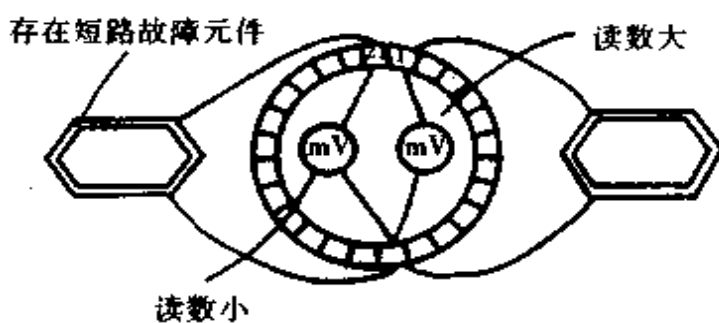


图 4.3.23 四极单波绕组短路检查示意图

8.1.2.2 电枢绕组短路的处理方法 应更换短路绕组元件。

### 8.1.3 电枢绕组断路

8.1.3.1 电枢绕组断路检查方法 电枢绕组断路检查方法如图 4.3.22 所示。若毫伏表测得的数值明显大于其他片间压降平均值时，说明与换向片联接的

绕组元件存在断路。

8.1.3.2 电枢绕组断路处理方法 找出断路元件故障点,对其进行联接处理或更换断路元件。

#### 8.1.4 电枢绕组接反

8.1.4.1 电枢绕组接反检查方法 电枢绕组接反的检查方法如图 4.3.24 所示。若换向片 2—3 和 4—5 间测得的片间压降比正常值大两倍,而 3—4 片间压降正常,但极性相反,表明与 3—4 换向片联接的绕组元件接反。

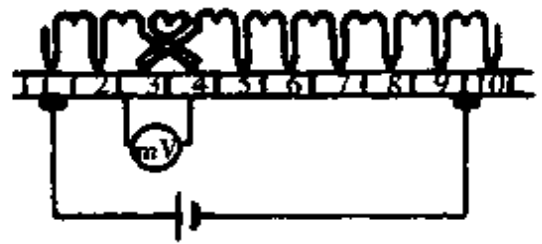


图 4.3.24 电枢绕组接反检查示意图

8.1.4.2 电枢绕组接反的处理 更正接反元件与换向片的联接。

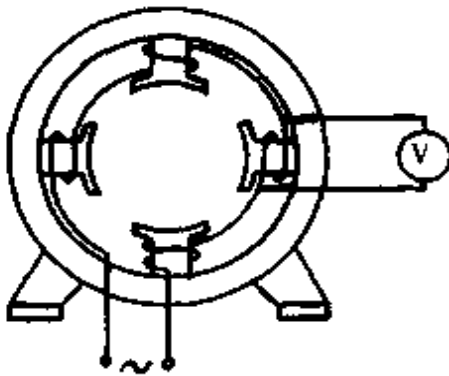


图 4.3.25 交流压降法

## 8.2 定子绕组故障检查及处理

定子绕组包括并励(他励)绕组、串励绕组、换向极绕组。这里主要介绍并励(他励)绕组短路故障检查。

### 8.2.1 并(他)励绕组故障检查

并(他)励绕组匝间短路采用交流压降法检查。将 50Hz 交流电通过调压器加到并(他)励绕组两端,然后用交流电压表分别测量每个线圈的交流压降,如图 4.3.25 所示。如果各磁极上的交流电压相等,

则表示绕组无短路现象;如果某一磁极线圈的交流压降比其他磁极小,则这个线圈存在匝间短路。当通电时间稍长些时,这个线圈将明显发热。

### 8.2.2 定子绕组故障处理

并(他)励绕组存在短路故障,一般必须重制绕组更换之。

#### 8.2.2.1 并(他)励绕组的重制

首先准备绕线模。模芯尺寸可根据旧线圈实物来确定,也可根据模芯宽度尺寸比铁心宽度尺寸宽 6mm;模芯长度尺寸比铁心长度尺寸长 12mm 来估算。线模形状如图 4.3.26 所示。并(他)绕组一般用漆包圆铜线绕制,且匝数一般都很多。在拆开旧线圈时

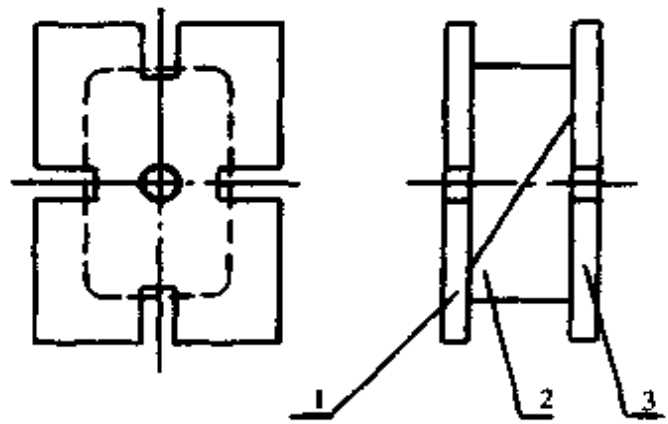


图 4.3.26 励磁线圈绕线模

1—后挡板 2—活络模芯 3—前挡板



作些记录,如绝缘等级、匝数、线规、绕制方向等。线规用千分卡尺测量。最好取一只未损坏的旧线圈,测量其电阻,并且留作重制新线圈的校样。绕线一般在绕线机上进行。当线模安装到绕线机上后,在其槽内放置线圈扎带,线模宽度方向放一根,线模长度方向则视线模长短而定,线模长放两根或三根线圈扎带。绕制时,导线排列应整齐、紧密,并用胶木板整形。当绕制到一定层数,应将各边扎带回折一次,然后继续绕。在整个绕制过程中,应注意始端和末端的固定,一般用双折的玻璃丝带做一个圈扣,用5~10圈导线压紧,将始、末端穿入后拉紧。刮去始、末端导线绝缘漆再搪锡,然后与接线片焊接,接线片与线圈接触面之间用绝缘纸垫好,再用玻璃丝带作半叠包一周,最后作浸漆绝缘处理。

**8.2.2.2 串励绕组的重制** 串励绕组采用的导线有漆包圆铜线、漆包扁铜线和裸扁铜线三种。电流小的电机一般用漆包线,电流大的电机用裸扁线。

(1)用漆包圆铜线绕制串励绕组。串励绕组用的漆包圆铜线一般比并(他)励绕组为粗,且匝数少,绕制方法与并(他)励绕组的绕制方法基本相同。有些电机将串励绕组绕制在并励绕组外面,此时应在两绕组间加绝缘纸,以防线圈间短路。

(2)用漆包扁铜线绕制串励绕组。一般可利用励磁绕组线模。为使串励绕组引出线方便接线,绕制时应注意将始、末端放在绕组外部,具体方法是:先计算层数和每层匝数,根据层数将导线留出一层线圈长度作反绕线用。例如:有一串励绕组20匝,先留出一层5匝导线长度作反

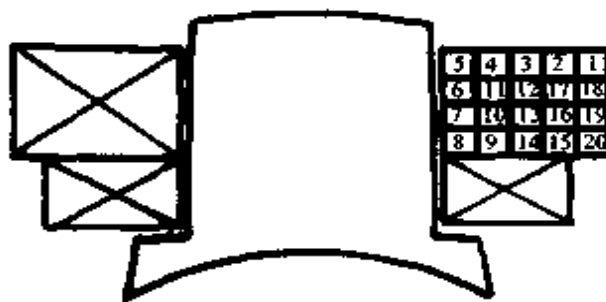


图 4.3.27 串励绕组绕制

绕,扎住线头然后绕第二层至第五层,如图4.3.27所示。

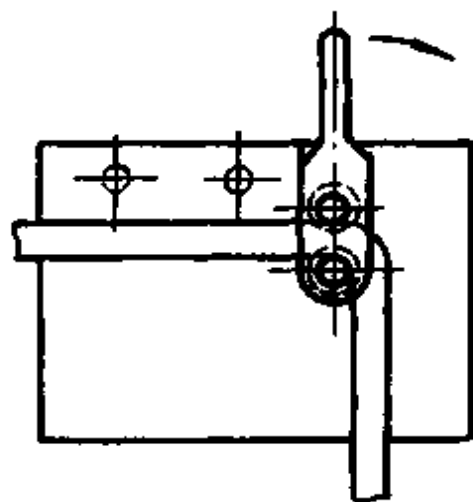


图 4.3.28 扁绕专用工具

(3)用裸扁铜线绕制的串励绕组。串励绕组所用的裸扁线一般是扁而宽。绕制形式是扁绕。绕制必须采用专用工具,如图4.3.28所示。裸扁线先作退火处理,方法是:将裸扁线加热至 $600^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ ,时间25~35min后迅速投入冷水中,然后洗干净。在专用工具上按尺寸进行弯直角,注意始、末端要留有一定长度供接线用。线圈绕制后作整形处理。在始、末端处钻孔、搪锡。用0.5mm厚绝缘纸作层间绝缘处理,最后用玻璃丝带包扎和浸漆绝缘处理。

8.2.2.3 换向极绕组的重制 换向极绕组采用的导线有漆包圆铜线、漆包扁铜线和裸扁铜线三种。漆包圆铜线的绕制方法与并(他)励绕组基本相同;漆包扁铜线绕制方法与串励绕组漆包扁铜线基本相同。以下介绍的是裸扁线绕制方法。

裸扁线绕制采用芯模法绕制,即做一个芯模和一个带槽的冲头,如图 4.3.29。冲头上铣槽,槽宽比导线高度略大,槽深比导线宽度略小。绕制时,将导线端头固定,用锤子敲击冲头,使导线紧靠芯模,在绕制弯头部分时,用喷灯或气焊作局部退火处理,再用锤子轻轻敲击冲头,使冲头沿芯模圆弧移动。线圈绕完后,进行退火、整形、端部钻孔、搪锡、层间垫绝缘材料、包扎、浸漆处理。

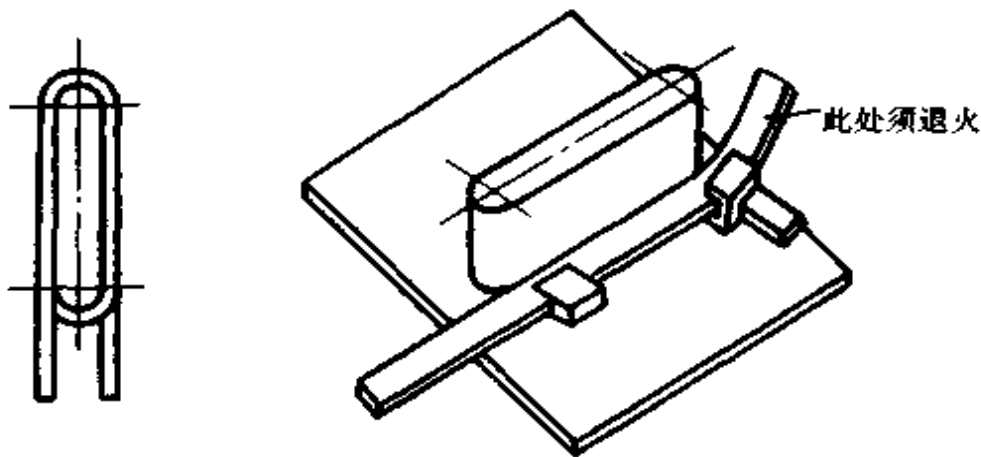


图 4.3.29 用芯模法绕制换向极线圈



图 4.3.30 换向极线圈局部修理  
(a)局部修补 (b)换接导线

对匝间短路或外力严重损坏的绕组可使用局部修复方法。损坏导线截面较小时,可用银焊或铜焊补满损坏部分;也可将损坏处用锉刀修整成较整齐的缺口形状,然后用相同厚薄的铜线配制成与缺口形状相吻合的补助材料,用银焊焊接,见图 4.3.30a。当某导体截面损坏较大时,一般

应切断损坏部分,注意切断部位应选择直线段上,然后用相同规格新导线接上,对接处应与导线长度方向成  $45^\circ$  角,用银焊焊接对接处,见图 4.3.30b。焊接后用锉刀或砂纸修平。



图 4.3.31 用环形螺母  
紧固换向器

## 8.3 换向器故障检查及处理

### 8.3.1 换向器结构

换向器常用结构有拱形换向器和塑料换向器两种。

拱形换向器由换向片组、V形绝缘环、换向器套筒和换向器压圈组成。紧固方

式常用的有三种：环形螺母紧固，如图 4.3.31 所示；螺栓紧固，如图 4.3.32 所示；螺杆紧固，如图 4.3.33 所示。

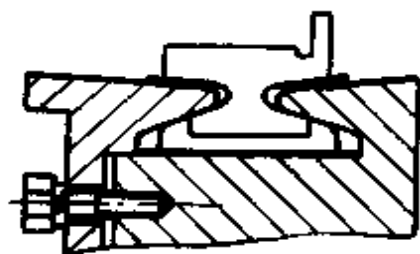


图 4.3.32 用螺栓紧固换向器

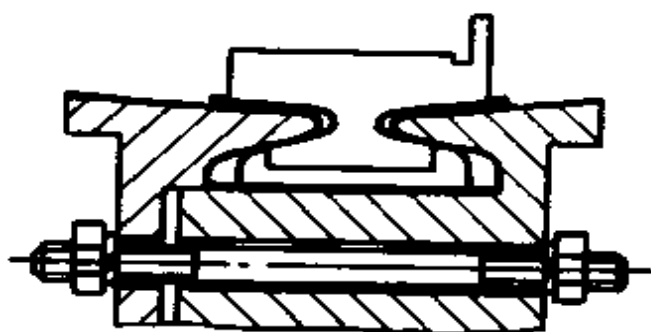


图 4.3.33 用螺杆紧固换向器

塑料换向器由换向片组和塑料组成。对圆周线速度较高者，塑料换向器在其换向片组鸽尾处装有加强环。加强环采用无纬玻璃丝带绕制，也有采用钢环的。采用钢环必须在钢环表面上用绝缘带包扎。常见结构如图 4.3.34 所示。



图 4.3.34 塑料换向器

### 8.3.2 换向器故障检查

换向器常见故障有：换向片间短路、换向器工作面变形和换向器通地。

8.3.2.1 换向片间短路检查 采用毫伏表法。在换向器工作表面近一个极距接一个低电压直流电源，用毫伏表逐片检查换向片间电压。如片间电压为零，则表明该换向片短路。

8.3.2.2 换向器工作面变形 用千分表测量换向器工作表面跳动量。如果跳动量大于 0.04mm，则认为换向器工作面变形。

8.3.2.3 换向器通地 用兆欧表检查。换向片组对地绝缘电阻接近零，即表明换向器通地。

### 8.3.3 换向器故障处理

换向器片间短路产生原因有：炭粉或金属屑落入片间云母沟中或换向器端面涂封不好，导致炭粉或导电性灰尘进入换向片鸽尾槽。前一种情况仅出现某一换向片间有短路，后一种情况出现短路片数较多现象。对前一种短路，一般用锯片清除片间云母沟的垃圾；对后一种短路，则要拆开换向器。拆开步骤是：用绝缘材料

包扎换向器表面,再用箍紧工具将换向器箍紧,拧松螺母或螺栓,依次取出换向器压圈、V形绝缘环、换向器套筒和另一个V形绝缘环。当换向器压圈和套筒因粘结不易拆开时,可将换向器加热至 $80^{\circ}\text{C}$ 左右,再用木锤轻轻敲击换向器压圈和套筒,使之分开。拆开换向器后,用酒精擦净V形绝缘环和换向片组鸽尾槽,再作换向片间电压检查,确认故障排除。

换向器工作面变形产生原因是电机长期运行后,云母绝缘材料中的有机物质挥发和收缩,使作用在鸽尾上束紧力减小,换向片间压力减小。处理方法是先紧固换向器上螺母或螺栓,后再车削换向器外径。

换向器通地产生原因是V形绝缘环击穿所致。处理方法是拆开换向器,检查V形绝缘环。如V形绝缘环仅局部被击穿,则需作修复处理。修复方法是用酒精擦净V形绝缘环击穿部位,刷上虫胶漆,剪下与缺陷相同形状绝缘材料补在缺口上,用电熨斗熨平,再刷上虫胶漆,熨贴一层面积较大的云母板,冷却后修整边缘,最后作一次绝缘耐电压试验。如果V形绝缘环损伤严重,则须重新做V形绝缘环更换之。V形绝缘环简单制作方法是选用 $0.25\text{mm}$ 厚虫胶塑型云母板5231作坯料,将旧V形绝缘环稍加热软化摊平,作坯料裁剪样子,剪下扇形坯料如图4.3.35所示,将扇形坯料加热至 $120^{\circ}\text{C}$ ,使之软化围到成型模上,层数根据V形绝缘环厚度来定,层与层之间扇形片切口应错开,外周用白布带扎紧如图4.3.36所示。迅

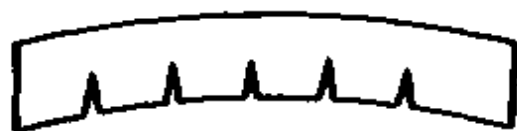


图 4.3.35 扇形坯料

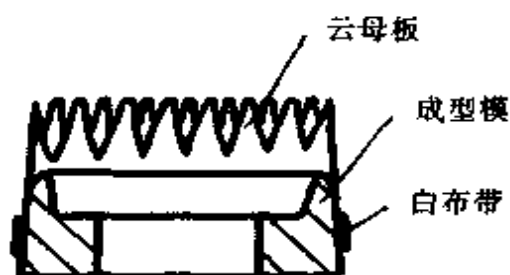


图 4.3.36 V形绝缘环成型

速将切口向内翻,压模加热至 $160^{\circ}\text{C}$ ,涂上脱模剂如石蜡,加压压制成型,如图4.3.37所示。冷却后作 $50\text{Hz}$ 交流电 $4500\text{V}$ 历时 $1\text{min}$ 的耐电压试验。

换向器装配须加热至 $120^{\circ}\text{C}$ ,拧紧螺母或螺栓,反复几次即可。

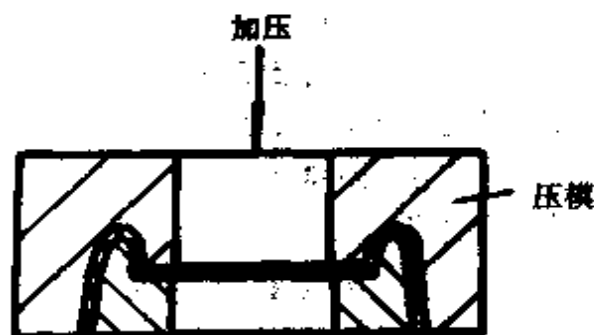


图 4.3.37 V形绝缘环烘压

## 8.4 其他故障的检查及处理

### 8.4.1 换向火花

换向火花鉴别方法可按表 4.3.3 的规定。如果换向火花大于  $1\frac{1}{2}$  级,则直流电机就不能正常运行,必须停车作检查。产生换向火花原因很多,检查一般从下面几个方面进行。如:刷握安装是否固定牢靠;电刷在刷握中滑动是否太紧或太松;电刷与换向器工作面接触是否良好;电刷压力是否正常;电刷牌号是否一致;换向器工作表面是否清洁;换向器工作面圆跳动值是否大于 0.04mm;云母片是否凸出工作表面;刷架是否处于中性线上;换向极极性是否正确;换向极线圈是否存在短路情况;电枢绕组是否有短路和断路现象;电机是否长时间过载运行等。

### 8.4.2 电机温升过高

当测得电机温升超过表 4.3.2 规定值时,电机就不能正常运行,否则易烧毁绕组。产生原因大致有:电机长期过载运行;电机未按铭牌上规定的额定数据运行;电机进出口通风存在阻塞现象;外鼓风风量、风压不足等。

### 8.4.3 电动机转速不正常

当电机在额定电压、额定电流、额定励磁电压或励磁电流运行时,电动机的实际转速与铭牌上额定转速发生不允许偏差时,电动机转速就可认为不正常。产生电动机转速不正常的原因有:励磁绕组存在短路现象;并(他)励绕组与串励绕组两者产生磁场相反;主极气隙与原气隙不符;电枢绕组存在短路现象等。

上述故障的处理方法为首先找出产生故障原因,然后再根据前面介绍有关方法进行处理。

## 9 直流电机主要技术数据

### 9.1 Z2 系列直流电机技术数据

Z2 系列直流电机性能数据见下表 4.3.6。Z2 系列直流电机安装和外形尺寸见下表 4.3.7。Z2 系列直流电机技术数据见下表 4.3.8。

### 9.2 Z4 系列直流电动机技术数据

Z4 系列直流电动机的特点:

(1)全系列中心高 100~355mm,共 12 个机座号,功率范围 1~500kW,输出转矩 9~6000N·m。

(2)电机定子磁轭采用叠片式结构,适应整流器电源供电。三相整流电源供电



续表

型号	Z2-32										Z2-41									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
序号	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
额定功率(kW)	4.0		2.2		1.1		0.8		3.5		1.9		5.5		3.0		1.5		1.1	
额定电压(V)	110	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	110	220	110	220	110	220	110	220
额定电流(A)	43.8	21.65	25.0	12.35	13.33	6.58	10.0	4.95	32.4	15.8	17.3	8.7	60.6	30.3	34.0	17.0	17.8	8.9	13.8	6.9
额定转速(r/min)	3000		1500		1000		750		2850		1450		3000		1500		1000		750	
励磁方式	并	并	并	并	并	并	并	并	复	复	复	复	并	并	并	并	并	并	并	并
励磁电压(V)	110	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	110	220	110	220	110	220	110	220
励磁电流(A)	0.88	0.42	1.32	0.61	0.75	0.44	0.74	0.36	1.46	0.65	0.83	0.43	0.88	0.48	1.05	0.60	1.11	0.59	1.1	0.56
型号	Z2-41										Z2-42									
序号	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
额定功率(kW)	4.8		2.5		7.5		4.0		2.2		1.5		6.5		3.5		10.0		5.5	
额定电压(V)	115	230	115	230	110	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	110	220	110	220
额定电流(A)	42.8	21.7	22.8	11.25	81.6	40.8	44.6	22.3	25.3	12.6	18.2	9.16	58.0	29.0	32	15.9	110.0	54.8	60.5	30.3
额定转速(r/min)	2850		1450		3000		1500		1000		750		2850		1450		3000		1500	
励磁方式	复	复	复	复	并	并	并	并	并	并	并	并	复	复	复	复	并	并	并	并
励磁电压(V)	115	230	115	230	110	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	110	220	110	220
励磁电流(A)	1.03	0.69	0.90	0.46	1.09	0.64	1.53	0.77	1.56	0.72	1.58	0.81	1.45	0.69	1.43	0.74	1.24	0.54	1.4	0.75

续表

型号	Z2-52															Z2-61				
	Z2-52																			
序号	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
额定功率(kW)	3.0		2.2		9.0		4.8		13.0		7.5		4.0		3.0		11.5		6.5	17.0
额定电压(V)	110	220	110	220	115	230	115	230	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	220
额定电流(A)	34.3	17.2	26.3	13.15	80.2	40.1	43.8	21.8	68.7	82.2	41.1	45.2	22.6	35.0	17.5	103.0	51.6	59.5	29.7	88.9
额定转速(r/min)	1000		750		2850		1450		3000		1500		1000		750		2850		1450	3000
励磁方式	并	并	并	并	复	复	复	复	并	并	并	并	并	并	并	复	复	复	复	并
励磁电压(V)	110	220	110	220	115	230	115	230	220	110	220	110	220	110	220	115	230	115	230	220
励磁电流(A)	1.13	0.75	1.34	0.734	1.83	0.91	1.78	0.91	1.66	2.2	1.18	2.07	1.04	1.56	0.80	1.73	1.66	2.98	1.51	1.12
型号	Z2-61															Z2-71				
序号	Z2-61																			
序号	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
额定功率(kW)	10.0		5.5		4.0		15.0		9.0		22.0		13.0		7.5		5.5		11.5	17.0
额定电压(V)	110	220	110	220	110	220	230	115	230	220	110	220	110	220	110	220	230	115	230	110
额定电流(A)	107.6	53.8	60.6	30.3	46.4	23.2	66.7	80.4	40.2	114.2	139.0	69.5	82.6	41.3	62.2	31.1	86.0	102.0	51.3	180.6
额定转速(r/min)	1500		1000		750		2850		1450		3000		1500		1000		750		1450	1500
励磁方式	并	并	并	并	并	并	复	复	复	并	并	并	并	并	并	并	复	复	复	并
励磁电压(V)	110	220	110	220	110	220	230	115	230	220	110	220	110	220	110	220	230	115	230	110
励磁电流(A)	1.45	1.18	1.72	1.28	1.60	0.86	1.28	2.11	1.08	1.05	1.32	1.2	2.95	0.878	1.79	1.33	1.28	2.0	1.2	3.88



续表

型号	Z2-71										Z2-72										Z2-81			
	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140				
额定功率(kW)	17.0	10.0	10.0	7.5	7.5	15.0	22.0	22.0	13.0	13.0	10.0	10.0	19.5	30.0	17.0	13.0	13.0	17.0	13.0					
额定电压(V)	220	110	220	110	220	115	230	110	220	110	220	110	220	115	230	110	220	110	220	110				
额定电流(A)	90.0	109.6	54.8	83.6	42.1	134.5	67.3	232.6	115.4	142.3	70.7	112.1	55.8	174.0	87.0	315.5	185.0	92.0	145.0					
额定转速(r/min)	1500	1000	1000	750	750	1450	1500	1500	1000	1000	750	750	1450	1500	1000	1500	1000	750	750					
励磁方式	并	并	并	并	并	复	并	并	并	并	并	并	复	复	并	并	并	并	并	并				
励磁电压(V)	220	110	220	110	220	115	230	110	220	110	220	110	220	115	230	110	220	110	220	110				
励磁电流(A)	2.14	2.96	1.64	3.38	1.83	4.01	2.05	3.93	1.9	3.66	1.865	3.52	2.39	3.97	2.02	4.83	2.35	4.51	2.47	4.46				
型号	Z2-81										Z2-91										Z2-92			
序号	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160				
额定功率(kW)	13.0	26.0	26.0	40.0	22.0	22.0	17.0	35.0	55.0	30.0	30.0	22.0	22.0	22.0	17.0	48.0	75.0	40.0	40.0					
额定电压(V)	220	115	230	220	110	220	110	220	230	220	110	220	110	220	110	220	230	220	110	220				
额定电流(A)	72.1	230.0	115.0	208.0	238.0	118.2	187.2	293.2	152.0	284.0	319.0	158.5	239.5	119.0	193.0	95.5	209.0	385.0	423.0	210.0				
额定转速(r/min)	750	1450	1450	1500	1000	1000	750	1450	1500	1000	1000	750	750	600	1450	1500	1000	1000						
励磁方式	并	复	复	并	并	并	并	并	他	并	并	并	并	并	并	并	复	并	并	并				
励磁电压(V)	220	115	230	220	110	220	110	220	230	220	110	220	110	220	110	220	230	220	110	220				
励磁电流(A)	2.48	4.04	2.08	3.7	4.6	2.51	5.32	2.7	2.67	4.12	6.15	3.32	6.5	3.36	5.3	3.39	2.9	4.46	5.67	3.17				



可不带平波电抗器长期运行。

(3)基本系列电机励磁方式为他励,标准励磁电压 180V。

(4)基本系列电机冷却方式为强迫通风(骑式鼓风机)。也可制成单管道通风或双管道通风冷却方式,此时电机防护等级可达全封闭(IP44)。

(5)采用 F 级绝缘。

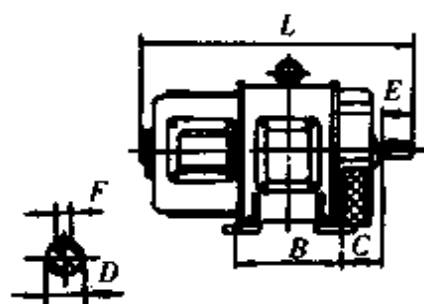
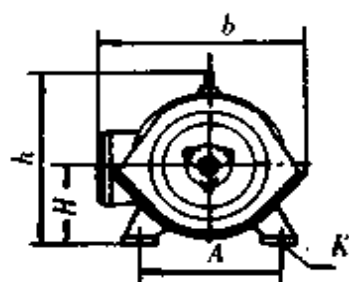
(6)全系列外形安装尺寸除两底脚孔间轴向尺寸“B”之外,均符合 IEC-72 标准。

Z4 系列直流电动机性能数据见下表 4.3.9。Z4 系列直流电动机安装和外形尺寸见下表 4.3.10。

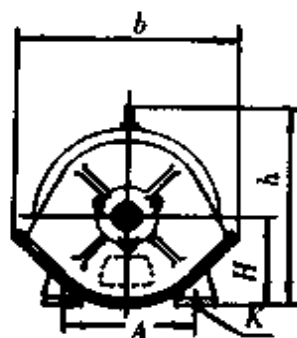
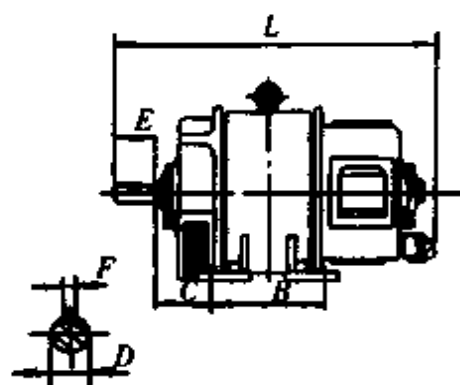
表 4.3.7 Z2 系列直流电机安装和外形尺寸

型号	A	B	C	D	H	E	K	F	L	b	h
Z2-11	145	155	80	14	112	30	12	4	390	305	215
Z2-12		175							410		
Z2-21	200	180	73	18	140	40	15	5	425	375	310
Z2-22		205							450		
Z2-31	225	225	74	22	150	50	15	6	500	390	345
Z2-32		260							535		
Z2-41	240	195	103	28	160	60	15	8	520	430	370
Z2-42		225							555		
Z2-51	264	225	115	32	180	80	19	10	625	505	420
Z2-52		265							665		
Z2-61	300	265	106	38	225	80	19	12	660	560	490
Z2-62		300							695		
Z2-71	410	315	95	42	250	110	24	12	785	625	540
Z2-72		355							825		
Z2-81	460	355	105	48	280	110	24	14	855	665	610
Z2-82		395							895		
Z2-91	550	400	149	65	315	140	24	18	1155	710	705
Z2-92		455							1200		
Z2-101	600	460	171	75	355	140	28	20	1310	800	795
Z2-102		510							1360		
Z2-111	650	535	164	90	400	170	35	24	1450	880	895
Z2-112		585							1500		

备  
注



Z2-11~Z2-82



Z2-91~Z2-112

表 4.3.8 Z<sub>2</sub> 系列直流电机技术数据

型号	Z2-11											Z2-12											Z2-21																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
电枢外径(mm)	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	106	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	106	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	106
电枢内径(mm)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	28		
电枢长度(mm)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70		
槽数	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18		
槽形	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨		
每元件匝数	6	12	11	22	4 $\frac{2}{4}$	9	8	16	3 $\frac{2}{4}$	7	6 $\frac{1}{4}$	12 $\frac{2}{4}$	9	6	12	11	22	4 $\frac{2}{4}$	9	8	16	3 $\frac{2}{4}$	7	6 $\frac{1}{4}$	12 $\frac{2}{4}$	9	6	12	11	22	4 $\frac{2}{4}$	9	8	16	3 $\frac{2}{4}$	7	6 $\frac{1}{4}$	12 $\frac{2}{4}$	9
总导体数	672	1344	1232	2464	504	1008	896	1792	504	1008	900	1800	1296	672	1344	1232	2464	504	1008	896	1792	504	1008	900	1800	1296	672	1344	1232	2464	504	1008	896	1792	504	1008	900	1800	1296
并联支路数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
线规	∅0.96	∅0.69	∅0.74	∅0.53	∅1.16	∅0.80	∅0.90	∅0.62	∅1.35	∅1.0	∅1.08	∅0.74	∅0.86	∅0.96	∅0.69	∅0.74	∅0.53	∅1.16	∅0.80	∅0.90	∅0.62	∅1.35	∅1.0	∅1.08	∅0.74	∅0.86	∅0.96	∅0.69	∅0.74	∅0.53	∅1.16	∅0.80	∅0.90	∅0.62	∅1.35	∅1.0	∅1.08	∅0.74	∅0.86
槽节距	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~10	
换向器外径(mm)	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	82	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	82	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	82	
换向器长度(mm)	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	45	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	45	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	45	
换向片数	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	72	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	72	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	72	
换向器节距	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	
电刷尺寸 b <sub>b</sub> × l <sub>b</sub>	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5	10×12.5		

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-11						Z2-12						Z2-21																										
序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	极数		极身宽度(mm)		极身长度(mm)		气隙(mm)		每极并(他)		每极距数		并(他)励线规		极数		极身宽度(mm)		极身长度(mm)		气隙(mm)		每极匝数		线规	
主极	极数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2			
	极身宽度(mm)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	45		45		45		45		45		45		45		45		45		45		45		45			
	极身长度(mm)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70		70		70		70		70		70		70		70		70		70		70					
	气隙(mm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7		0.7					
	每极并(他)	1650	3450	2040	3800	1350	2750	1600	3140	1800	3700	1940	3700	2050	1800		3700		1940		3700		2050		3700		2050		3700		2050		3700		2050					
	每极距数	12	24	36	72	10	20	20	34	8	16	18	40	32	8		16		18		40		32		40		32		40		32		40		32					
	并(他)励线规	Ø0.38	Ø0.27	Ø0.35	Ø0.27	Ø0.41	Ø0.29	Ø0.44	Ø0.31	Ø0.41	Ø0.31	Ø0.47	Ø0.33	Ø0.44	Ø0.41		Ø0.31		Ø0.47		Ø0.33		Ø0.44		Ø0.33		Ø0.44		Ø0.33		Ø0.44		Ø0.33		Ø0.44					
	极数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1					
	极身宽度(mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25		25		25		25		25		25		25		25		25		25		25					
	极身长度(mm)	55	55	55	55	75	75	75	75	75	75	75	75	75	55		55		55		55		55		55		55		55		55		55		55					
气隙(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5						
每极匝数	127	258	240	480	93	192	172	345	98	196	176	352	256	98		176		352		256		352		256		352		256		352		256								
线规	1.16× 2.44	Ø1.25	Ø1.35	Ø0.96	1.25× 3.05	Ø1.45	Ø1.56	Ø1.08	1.25× 4.11	1.16× 2.44	1.0× 3.05	Ø1.35	Ø1.35	1.25× 4.11		1.16× 2.44		1.0× 3.05		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35		Ø1.35						

换向极

续表

型号	Z2-21										Z2-22					
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
电枢外径(mm)	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106			
电枢内径(mm)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28			
电枢长度(mm)	70	70	70	70	70	95	95	95	95	95	95	95	95			
槽数	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18			
槽形	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨			
每元件匝数	18	$4\frac{3}{4}$	$9\frac{2}{4}$	$10\frac{2}{4}$	$20\frac{2}{4}$	$2\frac{2}{4}$	5	$4\frac{2}{4}$	9	$6\frac{3}{4}$	$13\frac{2}{4}$	$3\frac{2}{4}$	$3\frac{3}{4}$			
总导体数	2592	684	1368	1512	2952	360	720	948	1296	972	1944	504	972			
并联支路数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
线规	$\varnothing 0.62$	$\varnothing 1.25$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.62$	$2\frac{2}{4}$ $\varnothing 1.16$	$\varnothing 1.16$	$\varnothing 1.2$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.96$	$\varnothing 0.69$	$\varnothing 1.4$	$\varnothing 1.0$			
槽节距	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10			

电枢





续表

型号	Z2-31													
	Z2-22							Z2-31						
序号	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
电枢外径(mm)	106	106	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
电枢内径(mm)	28	28	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
电枢长度(mm)	95	95	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	
槽数	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
槽形	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	
每元件匝数	$7\frac{1}{4}$	$14\frac{2}{4}$	$2\frac{2}{4}$	5	$4\frac{2}{4}$	$9\frac{1}{4}$	$6\frac{3}{4}$	$13\frac{3}{4}$	$8\frac{2}{4}$	$17\frac{1}{4}$	$3\frac{2}{4}$	$6\frac{3}{4}$	7	
总导体数	1044	2088	360	720	648	1336	972	1980	1224	2484	504	972	1008	
并联支路数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
线规	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.74$	$2-\varnothing 1.35$	$\varnothing 1.35$	$2-\varnothing 1.0$	$\varnothing 1.0$	$\varnothing 1.16$	$\varnothing 0.83$	$2-\varnothing 0.94$	$\varnothing 0.94$	$\varnothing 1.62$	$\varnothing 1.16$	$\varnothing 1.25$	
槽节距	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	1~10	
换向器外径(mm)	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	
换向器长度(mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
换向片数	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	
换向器节距	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	1~2	
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-22																Z2-31															
序号		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39						
主极	极数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2						
	极身宽度(mm)	45	45	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56						
	极身长度(mm)	95	95	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75						
	气隙(mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
每极	并(他)	1500	3000	1560	3120	1550	3160	1650	3160	1740	3520	1350	2600	1400	1500	3000	1560	3120	1550	3160	1650	3160	1740	3520	1350	2600	1400						
	匝数	80	160	11	22	12	30	16	36	20	40	28	52	98	80	160	11	22	12	30	16	36	20	40	28	52	98						
换向极	并(他)励线规	Ø0.41	Ø0.29	Ø0.49	Ø0.35	Ø0.57	Ø0.38	Ø0.33	Ø0.38	Ø0.38	Ø0.55	Ø0.38	Ø0.38	Ø0.51	Ø0.41	Ø0.29	Ø0.49	Ø0.35	Ø0.57	Ø0.38	Ø0.33	Ø0.38	Ø0.38	Ø0.55	Ø0.38	Ø0.38	Ø0.51						
	极数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
	极身宽度(mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25							
	极身长度(mm)	75	75	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	75	75	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55							
气隙(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
每极匝数	166	328	67	130	120	240	67	130	120	240	67	130	220	445	82	156	163	166	328	67	130	120	240	67	130	220	445	82	156	163			
线规	Ø1.74	Ø1.2	1.81 ×4.7	1.45× 2.83	1.45× 2.83	1.0× 2.44	1.25× 2.44	1.08× 2.44	Ø1.35	1.08× 2.44	Ø1.2	1.16× 5.1	Ø1.88	Ø2.02	Ø1.74	Ø1.2	1.81 ×4.7	1.45× 2.83	1.45× 2.83	1.0× 2.44	1.25× 2.44	1.08× 2.44	Ø1.35	1.08× 2.44	Ø1.2	1.16× 5.1	Ø1.88	Ø2.02					



续表

型号		Z2-32													
Z2-31		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
序号		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
极数		56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	
极身宽度(mm)		75	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	
极身长度(mm)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
气隙(mm)		2700	1250	2540	1350	2940	1680	3360	1680	3640	1000	2200	1340	2560	
每极并(他)		187	12	26	10	24	14	27	20	40	12	24	50	100	
匝数串		$\varnothing 0.38$	$\varnothing 0.51$	$\varnothing 0.35$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 0.41$	$\varnothing 0.57$	$\varnothing 0.44$	$\varnothing 0.57$	$\varnothing 0.41$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 0.44$	$\varnothing 0.53$	$\varnothing 0.38$	
并(他)耐线规		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
极数		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
极身宽度(mm)		55	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
极身长度(mm)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
气隙(mm)		316	46	91	84	174	130	252	168	336	52	102	110	216	
每板匝数		$\varnothing 1.4$	$2.44 \times 4.7$	$1.16 \times 4.7$	$1.45 \times 4.7$	$1.07 \times 3.28$	$1.08 \times 3.28$	$\varnothing 1.56$	$1.08 \times 3.28$	$\varnothing 1.56$	$1.68 \times 5.1$	$\varnothing 2.26$	$1.08 \times 4.1$	$\varnothing 1.62$	
线规															

主 极

换 向 极

续表

型号		Z2-41														Z2-42
序号		53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65		
电枢外径(mm)		138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138		
电枢内径(mm)		45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45		
电枢长度(mm)		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75		
槽数		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27		
槽形		梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨		
每元件匝数		$1\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$	3	6	$4\frac{1}{3}$	$8\frac{2}{3}$	$5\frac{2}{3}$	$11\frac{1}{3}$	$2\frac{1}{3}$	$4\frac{1}{3}$	$4\frac{2}{3}$	$9\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$		
总导体数		270	540	486	972	702	1404	918	1836	378	702	756	1512	216		
并联支路数		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
线规		$2-\phi 1.56$	$\phi 1.56$	$2-\phi 1.25$	$\phi 1.25$	$\phi 1.45$	$\phi 1.0$	$\phi 1.25$	$\phi 0.86$	$2-\phi 1.4$	$\phi 1.4$	$\phi 1.45$	$\phi 1.04$	$3-\phi 1.56$		
槽节距		1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8		
换向器外径(mm)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
换向器长度(mm)		46	46	46	32	32	32	32	32	46	32	46	32	62		
换向片数		81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81		
换向器节距		1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41	1~41		
电刷尺寸 $b_b \times l_b$		$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$		

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-41														Z2-42
序号	极数	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65		
主极	极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	极身宽度(mm)	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42		
	极身长度(mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75		
	气隙(mm)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
并(他)励线圈	每极并(他)距数	935	1800	1040	2790	1100	2120	1040	2120	900	1650	980	1900	790		
	并(他)励线圈规	4	7	5	12	4	7	6	10	8	14	25	44	2		
换向极	极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	极身宽度(mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
	极身长度(mm)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55		
	气隙(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		
每极匝数	20	40	37	74	54	105	70	138	28	51	56	112	16			
线圈规	2.44×6.4	1.45×4.7	1.95×4.7	1.0×4.7	1.16×4.7	1.16×4.7	1.0×4.7	1.0×2.44	1.68×6.4	1.08×5.1	1.35×5.1	2.63×6.4				

续表

型号	Z2-42														Z2-51	
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78			
电枢外径(mm)	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	162	162			
电枢内径(mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	55	55			
电枢长度(mm)	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	90	90			
槽数	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	31	31			
槽形	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨			
每元件匝数	$2\frac{2}{3}$	$2\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$	$6\frac{2}{3}$	$4\frac{1}{3}$	$8\frac{2}{3}$	$1\frac{2}{3}$	$3\frac{1}{3}$	$3\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	1	2			
总导体数	432	378	756	450	1080	702	1404	270	540	540	1026	186	372			
并联支路数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
线规	$2-\phi 1.35$	$2-\phi 1.45$	$\phi 1.45$	$2-\phi 1.16$	$\phi 1.16$	$\phi 1.45$	$\phi 1.0$	$2-\phi 1.62$	$\phi 1.62$	$\phi 1.74$	$\phi 1.2$	$3-\phi 1.81$	$2-\phi 1.56$			
槽节距	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-9	1-9			
换向器外径(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	125	125			
换向器长度(mm)	46	46	32	32	32	32	32	46	46	46	32	65	48			
换向片数	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	93	93			
换向器节距	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-41	1-47	1-47			
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$			

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-42														Z2-51	
序号		66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78			
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)		42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42			
极身长度(mm)		105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	90	90			
气隙(mm)		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2			
每极并(他)		1460	760	1570	825	1770	825	1640	680	1340	750	1570	800	1460			
匝数	串	3	3	6	3	8	3	5	4	8	8	18	2	5			
并(他)励线规		∅0.44	∅0.69	∅0.49	∅0.72	∅0.51	∅0.72	∅0.53	∅0.67	∅0.47	∅0.74	∅0.53	∅0.8	∅0.53			
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			
极身长度(mm)		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	70	70			
气隙(mm)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7			
每极匝数		33	29	58	41	82	54	106	20	40	38	72	14	28			
线规		2.1 × 4.7	2.44 × 4.7	1.16 × 4.7	1.68 × 4.7	1.45 × 2.44	1.16 × 4.7	1.16 × 2.44	2.26 × 6.4	1.45 × 5.1	1.68 × 5.1	∅2.26	1.68 × 12.5	1.68 × 6.4			

主极

换向极



续表

型号	Z2-51														Z2-52		
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91				
电枢外径(mm)	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162
电枢内径(mm)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
电枢长度(mm)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	130	130
槽数	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
槽形	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨	梨
每元件匝数	2	4	3	$5\frac{2}{3}$	$3\frac{2}{3}$	$7\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$	$2\frac{2}{3}$	$5\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$1\frac{1}{3}$	$2\frac{2}{3}$
总导体数	372	744	558	1054	682	1364	248	496	496	992	248	248	248	248	248	248	496
并联支路数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
线规	$2-\phi 1.62$	$\phi 1.68$	$2-\phi 1.35$	$\phi 1.35$	$\phi 1.68$	$\phi 1.16$	$3-\phi 1.56$	$2-\phi 1.35$	$2-\phi 1.45$	$\phi 1.45$	$3-\phi 1.56$	$3-\phi 1.56$	$3-\phi 1.56$	$3-\phi 1.56$	$2-\phi 1.25$	$2-\phi 1.25$	$2-\phi 1.25$
槽节距	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9
换向器外径(mm)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
换向器长度(mm)	48	32	48	32	32	32	48	48	48	32	65	48	48	65	65	48	48
换向片数	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
换向器节距	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47	1~47
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$	$10 \times 12.5$

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-51														Z2-52		
序号		79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91				
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
极身宽度(mm)		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50				
极身长度(mm)		90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	130	130	130				
气隙(mm)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2				
每极并(他)		910	1780	1060	2040	1120	2160	700	1360	720	1360	1180	720	1390				
匝数	串	4	8	6	8	6	10	5	11	16	33	2	2	4				
并(他)耐线规		∅0.69	∅0.51	∅0.57	∅0.55	∅0.77	∅0.57	∅0.74	∅0.53	∅0.74	∅0.53	∅0.69	∅0.86	∅0.62				
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
极身宽度(mm)		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20				
极身长度(mm)		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	100	100	100				
气隙(mm)		1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7				
每极匝数		28	57	43	81	52	104	18	36	36	72	19	19	38				
线规		1.68× 6.4	1.25× 4.7	1.81× 4.7	1.35× 3.28	1.81× 4.7	1.35× 3.28	2.44× 6.4	1.56× 5.1	1.68× 5.1	∅2.26	2.44× 6.4	2.44× 6.4	1.68× 4.7				

主 极

换向极



续表

型号		Z2-52														Z2-61			
序号	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104						
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
极身宽度(mm)	50	50	50	50	50	50	50	50	58	58	58	58	58	58	58				
极身长度(mm)	130	130	130	130	130	130	130	130	95	95	95	95	95	95	95				
气隙(mm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5				
每板并(他)	720	1460	880	1680	580	1000	620	1100	1460	930	1800	950	1800						
匝数串	3	7	4	8	3	12	14	20	4	4	6	5	10						
并(他)励线规	$\varnothing 0.83$	$\varnothing 0.59$	$\varnothing 0.80$	$\varnothing 0.57$	$\varnothing 0.74$	$\varnothing 0.69$	$\varnothing 1.0$	$\varnothing 0.69$	$\varnothing 0.57$	$\varnothing 0.72$	$\varnothing 0.67$	$\varnothing 0.83$	$\varnothing 0.72$						
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
极身宽度(mm)	20	20	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25				
极身长度(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	70	70	70	70	70	70	70				
气隙(mm)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5				
每极匝数	28	57	38	76	13	23	23	44	24	24	44	33	63						
线规	$1.68 \times 6.4$	$1.16 \times 4.7$	$1.68 \times 4.7$	$1.35 \times 3.28$	$1.95 \times 10.8$	$1.68 \times 6.4$	$1.95 \times 6.4$	$1.25 \times 5.1$	$1.45 \times 12.5$	$1.81 \times 12.5$	$1.68 \times 6.4$	$1.95 \times 6.4$	$1.35 \times 4.7$						

主极

换向极



续表

型号		Z2-61										Z2-62						
序号	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117					
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
极身宽度(mm)	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58					
极身长度(mm)	95	95	95	95	95	125	125	125	125	125	125	125	125					
气隙(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					
每极并(他)	1000	1900	1300	740	1450	1280	830	1530	790	1670	900	1730	1000					
匝数	7	14	5	10	18	4	3	8	3	10	6	6	3					
并(他)耐线规	$\varnothing 0.80$	$\varnothing 0.59$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.62$	$\varnothing 0.55$	$\varnothing 0.69$	$\varnothing 0.69$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.59$	$\varnothing 0.90$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 0.64$					
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4					
极身宽度(mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25					
极身长度(mm)	70	70	70	70	70	90	90	90	90	90	90	90	90					
气隙(mm)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5					
每极匝数	44	88	27	27	53	19	20	35	24	54	34	64	22					
线规	$1.68 \times 6.4$	$1.16 \times 4.7$	$2.26 \times 6.4$	$2.63 \times 6.4$	$1.68 \times 5.1$	$1.81 \times 12.5$	$2.26 \times 12.5$	$2.26 \times 6.4$	$1.45 \times 12.5$	$1.81 \times 4.7$	$1.95 \times 6.4$	$1.35 \times 4.7$	$2.83 \times 6.4$					

主极

换向极



续表

型号	Z2-62										Z2-71										Z2-72									
	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	128	129	130			
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
极身宽度(mm)	58	58	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
极身长度(mm)	125	125	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	145	145	145
气隙(mm)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
每极并(他)	640	1270	520	1100	600	1320	670	1320	510	1000	520	1050	520	640	1270	520	1100	600	1320	510	1000	520	1050	520	1050	520	640	1270	520	
匝数	4	15	2	4	2	4	-	3	5	9	1	3	1	4	15	2	4	-	3	5	9	1	3	1	3	1	4	15	2	
并(他)励线规	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 1.12$	$\varnothing 0.8$	$\varnothing 0.96$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.8$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 1.12$	$\varnothing 0.8$	$\varnothing 0.96$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.77$	$\varnothing 1.08$	$\varnothing 0.86$	$\varnothing 0.64$	$\varnothing 1.12$	
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
极身长度(mm)	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
气隙(mm)	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
每极匝数	23	40	16	30	25	45	30	30	30	25	45	30	30	23	40	16	30	25	45	30	30	25	45	30	30	23	40	16		
线规	$1.68 \times 12.5$	$2.26 \times 5.1$	$3.05 \times 12.5$	$3.53 \times 6.1$	$1.95 \times 12.5$	$1.95 \times 6.4$	$3.53 \times 6.4$	$1.68 \times 6.4$	$2.44 \times 12.5$	$1.95 \times 8$	$4.1 \times 12.5$	$1.95 \times 12.5$	$2.63 \times 12.5$	$1.68 \times 12.5$	$2.26 \times 5.1$	$3.05 \times 12.5$	$3.53 \times 6.1$	$1.95 \times 12.5$	$1.95 \times 6.4$	$3.53 \times 6.4$	$1.68 \times 6.4$	$2.44 \times 12.5$	$1.95 \times 8$	$4.1 \times 12.5$	$1.95 \times 12.5$	$2.63 \times 12.5$	$1.68 \times 12.5$	$2.26 \times 5.1$	$3.05 \times 12.5$	

主 板

换 回 板



续表

型号	Z2-72										Z2-81															
	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
电枢	210	210	210	210	210	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	
电枢外径(mm)	60	60	60	60	60	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	
电枢内径(mm)	145	145	145	145	145	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	
电枢长度(mm)	25	27	33	37	37	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	
槽数	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	
槽形	2	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
每元件匝数	500	324	594	222	444	162	324	210	420	270	540	198	396	500	324	594	222	444	162	324	210	420	270	540	198	396
总导体数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
并联支路数	1.16× 4.7	1.95× 4.7	1.35× 3.05	2.1.25 ×5.1	1.25× 5.1	2.2.83 ×4.7	2.83× 4.7	2.1.56 ×4.7	1.56× 4.7	2.1.16 4.7	1.16× 4.7	2.1.68 ×5.1	1.68× 5.1	1.16× 4.7	1.95× 4.7	1.35× 3.05	2.1.25 ×5.1	1.25× 5.1	2.2.83 ×4.7	2.83× 4.7	2.1.56 ×4.7	1.56× 4.7	2.1.16 4.7	1.16× 4.7	2.1.68 ×5.1	1.68× 5.1
线规	1~7	1~8	1~9	1~10	1~10	1~8	1~8	1~10	1~10	1~8	1~8	1~9	1~9	1~7	1~8	1~9	1~10	1~10	1~8	1~8	1~10	1~10	1~8	1~8	1~9	1~9
槽节距	150	150	150	150	150	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	
换向器外径(mm)	100	100	100	100	100	190	130	160	100	130	100	160	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
换向器长度(mm)	125	81	99	111	111	81	81	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105		
换向片数	1~63	1~41	1~50	1~56	1~56	1~41	1~41	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	1~53	
换向器节距	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	12.5× 25	
电刷尺寸 $b_a \times l_b$																										

换向器

续表

型号		Z2-72											Z2-81										
序号		131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	136	137	138	139	140	141	142	143	
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
极身宽度(mm)		68	68	68	68	68	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
极身长度(mm)		145	145	145	145	145	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
气隙(mm)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
每极并(他)		1050	610	1130	470	930	570	1150	700	1320	700	1320	540	1060	1320	1150	700	1320	700	1320	540	1060	
匝数	串	2	-	-	4	2	1	3	1	2	1	2	5	9	1	3	1	2	1	2	5	9	
并(他)励线规		∅0.77	∅1.16	∅0.9	∅1.08	∅0.77	∅1.30	∅0.90	∅1.4	∅1.0	∅1.4	∅1.0	∅1.2	∅0.86	∅1.30	∅0.90	∅1.4	∅1.0	∅1.4	∅1.0	∅1.2	∅0.86	
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)		25	25	25	25	25	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
极身长度(mm)		110	110	110	110	110	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
气隙(mm)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
每极匝数		37	25	45	16.5	33	13	25	18	34	23	43	16	32	13	25	18	34	23	43	16	32	
线规		2.63× 6.4	1.95× 12.5	2.26× 6.4	2.63× 14.5	1.56× 12.5	4.4× 14.5	2.1× 14.5	2.83× 14.5	3.05× 6.4	2.26× 14.5	2.44× 6.4	3.05× 14.5	1.68× 12.5	4.4× 14.5	2.1× 14.5	2.83× 14.5	3.05× 6.4	2.26× 14.5	2.44× 6.4	3.05× 14.5	1.68× 12.5	

主 极

换向极



续表

型号		Z2-82										Z2-91					
序号		144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156			
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)		80	80	80	80	80	80	100	100	100	100	100	100	100			
极身长度(mm)		165	165	165	165	165	165	125	125	125	125	125	125	125			
气隙(mm)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5			
每极并(他)		1000	610	1120	600	1200	1000	920	520	1000	540	1080	620	1000			
匝数串		2	1	3	1	2	-	2	1	2	1	2	1	2			
并(他)励线规		Ø1.16	Ø1.45	Ø1.0	Ø1.5	Ø1.08	Ø1.04	Ø1.2	Ø1.56	Ø1.16	Ø1.68	Ø1.16	Ø1.56	Ø1.16			
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)		32	32	32	32	32	32	40	40	40	40	40	40	40			
极身长度(mm)		125	125	125	125	125	125	95	95	95	95	95	95	95			
气隙(mm)		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0			
每极匝数		17	13	25	17	35	26	17	14	27	18	35	23	44			
线规		3.05× 14.5	3.53× 14.5	1.81× 14.5	3.05× 14.5	3.28× 6.4	2.26× 14.5	4.4× 19.5	5.5× 19.5	2.63× 19.5	4.4× 19.5	2.1× 19.5	3.28× 19.5	1.56× 19.5			

主极

换向极

续表

型号	Z2-92											Z2-101		
	Z2-91	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
电枢外径(mm)	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	327	327	327	327
电枢内径(mm)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	95	95	95	95
电枢长度(mm)	125	165	165	165	165	165	165	165	165	165	185	185	185	185
槽数	29	29	34	34	29	29	29	37	37	39	34	37	34	34
槽形	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩
每元件匝数	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
总导体数	290	174	272	290	174	348	222	444	234	272	222	272	270	270
并联支路数	2	2	4	2	2	2	2	2	2	4	2	4	2	2
线规	2-1.45 ×6.4	2-2.63 ×6.4	2-1.56 ×6.4	2-1.56 ×6.4	2-2.63 ×6.4	2-2.63 ×6.4	2-1.96 ×6.4	2-1.96 ×6.4	1.96 ×6.4	2-1.56 ×5.9	2-1.68 ×6.4	2-1.65 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.4
槽节距	1~8	1~8	1~9	1~8	1~8	1~8	1~10	1~10	1~10	1~11	1~9	1~10	1~9	1~9
换向器外径(mm)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	230	230	230	230
换向器长度(mm)	120	180	180	120	150	90	120	90	150	185	110	145	110	110
换向片数	145	87	136	145	87	87	111	111	117	136	111	136	135	135
换向器节距	1~73	1~44	1~2	1~73	1~44	1~44	1~56	1~56	1~56	1~59	1~2	1~56	1~2	1~68
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	16× 25	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32

电 枢

换 向 器

续表

型号		Z2-92										Z2-101			
Z2-91		157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	120	
极身长度(mm)		125	165	165	165	165	165	165	165	165	185	185	185	185	
气隙(mm)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
每极并(他)		920	860	520	900	520	940	520	980	820	760	820	440	880	
匝数串		4	2	2	3	2	4	2	4	4	1.5	2	1	2	
并(他)励线规		∅1.04	∅1.25	∅1.56	∅1.08	∅1.68	∅1.20	∅1.68	∅1.16	∅1.25	∅1.4	∅1.16	2-∅1.35	∅1.4	
极数		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)		40	40	40	40	40	40	40	40	40	45	45	45	45	
极身长度(mm)		95	135	135	135	135	135	135	135	135	150	150	150	150	
气隙(mm)		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
每极匝数		23	14	11	23	14	24	18	35	18	10	16	10	20	
线规		3.28×19.5	5.1×19.5	6.5×19.5	3.28×19.5	5.1×19.5	2.83×19.5	3.8×19.5	2.1×19.5	3.8×19.5	2-3.28×19.5	3.8×19.5	2-3.05×19.5	3.05×19.5	

主极

换向极

续表

型号	Z2-101										Z2-102										Z2-111								
	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182			
电枢外径(mm)	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	327	368	368	368
电枢内径(mm)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	110	110	110
电枢长度(mm)	185	185	185	185	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	205	205	205	205	205	205	205
槽数	31	31	31	34	31	37	34	34	34	31	37	34	34	34	34	31	34	31	37	34	34	34	50	50	35	43			
槽形	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩	矩
每元件匝数	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
总导体数	186	372	186	204	186	222	272	270	272	186	222	272	270	272	270	186	204	222	272	270	272	200	300	210	258				
并联支路数	2	2	2	4	2	2	4	2	4	2	2	4	2	4	2	2	4	2	4	2	4	4	4	2	2				
线规	2-2.83 ×6.4	2.83× 6.4	2-2.83 ×6.4	2-1.95 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.95 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.72	2-1.68 ×6.4	2-1.95 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.72	2-1.68 ×6.4	2-2.83 ×6.4	2-1.95 ×6.4	2-1.95 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-1.68 ×6.72	2-2.63 ×6.4	2-1.68 ×6.4	2-3.05 ×6.4	2-2.26 ×6.4				
槽节距	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~10	1~9	1~9	1~9	1~9	1~10	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~9	1~13	1~13	1~10	1~12				
换向器外径(mm)	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	250	250	250	250	250	250	250	
换向器长度(mm)	145	110	145	185	145	110	145	145	185	145	110	145	110	185	110	145	185	145	110	185	225	150	115	115	115				
换向片数	93	93	93	102	93	111	136	135	136	93	111	136	135	136	135	93	102	111	136	135	136	100	150	105	129				
换向器节距	1~47	1~47	1~47	1~2	1~47	1~56	1~2	1~65	1~2	1~47	1~56	1~2	1~65	1~2	1~65	1~47	1~2	1~56	1~2	1~65	1~2	1~2	1~2	1~53	1~63				
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	20× 32	25× 32	25× 32	25× 32	25× 32	25× 32				

电 枢

换 向 器

续表

型号	Z2-101										Z2-102							Z2-111			
	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	极数	179	180	181	182			
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	145	145	145	145	145			
极身长度(mm)	185	185	185	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	205	205	205	205	205			
气隙(mm)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0			
每极并(他)	480	950	780	680	740	810	418	702	648	660	720	780	840								
匝数	1	2	-	1	1.5	1.5	1	2	2.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2			
并(他)励线规	Ø1.68	Ø1.2	Ø1.3	2- Ø1.16	Ø1.3	Ø1.3	2- Ø1.45	Ø1.45	Ø1.4	Ø1.4	Ø1.45	Ø1.56	Ø1.56	Ø1.56	Ø1.56	Ø1.56	Ø1.56	Ø1.56			
极数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
极身宽度(mm)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	50	50	50	50	50			
极身长度(mm)	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	170	170	170	170	170			
气隙(mm)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0			
每极匝数	14	27	14	8	14	16	10	20	10	7	11	16	18								
线规	2-2.63 × 19.5	2.63 × 19.5	5.1 × 19.5	2-3.8 × 19.5	5.1 × 19.5	4.1 × 19.5	2-3.53 × 19.5	3.53 × 19.5	2-3.28 × 19.5	2-5.1 × 19.5	2-3.53 × 19.5	5.5 × 19.5	4.7 × 19.5								

主极

换向极



续表

型号	Z2 .111									
	22-112									
序号	183	184	185	186	187	188				
电枢外径(mm)	368	368	368	368	368	368				
电枢内径(mm)	110	110	110	110	110	110				
电枢长度(mm)	205	255	255	255	255	255				
槽数	42	42	42	42	37	36				
槽形	矩	矩	矩	矩	矩	矩				
每元件匝数	1	1	1	1	1	1				
总导体数	252	168	252	336	222	216				
并联支路数	4	4	4	4	2	4				
线规	2-2.26 ×6.4	2-3.53 ×6.4	2-2.26 ×6.4	2-1.35 ×6.4	2-2.44 ×6.4	2-2.44 ×6.4				
槽节距	1~11	1~11	1~11	1~11	1~10	1~10				
换向器外径(mm)	250	250	250	250	250	250				
换向器长度(mm)	190	225	190	190	150	225				
换向片数	126	84	126	168	111	108				
换向器节距	1~2	1~2	1~2	1~2	1~56	1~2				
电刷尺寸 $b_b \times l_b$	25× 32	25× 32	25× 32	25× 32	25× 32	25× 32				

电 枢

换 向 器

续表

型号		ZZ .111	ZZ-112					
序号		183	184	185	186	187	188	
极数		4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)		145	145	145	145	145	145	
极身长度(mm)		205	255	255	255	255	255	
气隙(mm)		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
每极 匝数	并(他) 串	600 1.5	620 -	660 -	760 1	830 1.5	630 1	
并(他)励线规		$\varnothing 1.56$	$\varnothing 1.68$	$\varnothing 1.68$	$\varnothing 1.68$	$\varnothing 1.56$	$\varnothing 1.68$	
极数		4	4	4	4	4	4	
极身宽度(mm)		50	50	50	50	50	50	
极身长度(mm)		170	220	220	220	220	220	
气隙(mm)		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
每极匝数		9	6	9	11.5	16	8	
线规		$2-4.1 \times 19.5$	$2-6.5 \times 19.5$	$2-4.4 \times 19.5$	$2-3.53 \times 19.5$	$2-2.83 \times 19.5$	$2-5.1 \times 19.5$	

①注:串励绕组线规一般与换向极绕组线规相同。



续表

型号	Z4-180-21				Z4-180-22				Z4-180-31				Z4-180-41				Z4-180-42				Z4-200-11			
	40.5	18.5	22.0	30.0	45.0	67.0	75.0	19.5	33.0	22.0	37.0	27.0	50.0	30.0	55.0	81.0	90.0	90.0	19.5	33.0	40.5	40.0	400	400
额定功率(kW)	40.5	18.5	22.0	30.0	45.0	67.0	75.0	19.5	33.0	22.0	37.0	27.0	50.0	30.0	55.0	81.0	90.0	90.0	19.5	33.0	40.5	400	400	400
额定电压(V)	400	440	440	440	440	400	440	400	400	440	440	400	400	440	440	400	400	440	400	400	400	400	400	400
额定转速(r/min)	1350	600	750	1000	1500	2710	3000	540	900	600	1000	670	1350	750	1500	2710	3000	3000	450	670	900	900	900	900
额定电流(A)	115.0	52.0	60.3	78.7	115.0	185.0	185.0	61.8	96.6	61.8	96.6	83.5	139.0	79.5	139.0	221.0	221.0	221.0	63.5	99.0	118.0	118.0	118.0	118.0
型号	Z4-200-11				Z4-200-12				Z4-200-21				Z4-200-31				Z4-200-32							
额定功率(kW)	22.0	37.0	45.0	99.0	110.0	27.0	67.0	30.0	75.0	27.0	33.0	40.5	49.5	81.0	30.0	37.0	45.0	55.0	90.0	90.0	119.0	440	440	440
额定电压(V)	440	440	440	400	440	400	400	440	440	400	400	400	400	400	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440
额定转速(r/min)	500	750	1000	2710	3000	540	1350	600	1500	450	540	670	900	1350	500	600	750	1000	1500	1500	2710	2710	2710	2710
额定电流(A)	63.5	99.0	118.0	271.0	271.0	82.0	188.0	82.0	188.0	83.5	101.0	119.0	141.0	224.0	83.5	101.0	119.0	141.0	224.0	224.0	322.0	322.0	322.0	322.0
型号	Z4-225-11				Z4-225-21				Z4-225-31															
额定功率(kW)	132.0	33.0	40.0	49.0	67.0	99.0	37.0	45.0	55.0	75.0	110.0	40.0	49.0	45.0	55.0	67.0	81.0	119.0	75.0	90.0	90.0	440	440	440
额定电压(V)	440	400	400	400	400	400	440	440	440	440	440	400	400	440	440	400	400	400	400	440	440	440	440	440
额定转速(r/min)	3000	450	540	680	900	1360	500	600	750	1000	1500	450	540	500	600	680	900	1360	750	1000	1000	1000	1000	1000
额定电流(A)	322.0	103.0	123.0	146.0	193.0	276.0	103.0	123.0	146.0	193.0	276.0	125.0	148.0	125.0	148.0	197.0	227.0	327.0	197.0	227.0	227.0	227.0	227.0	227.0
型号	Z4-250-11				Z4-250-12				Z4-250-21				Z4-250-31											
额定功率(kW)	132.0	99.0	110.0	144.0	160.0	49.0	67.0	81.0	167.0	55.0	75.0	90.0	185.0	99.0	119.0	180.0	200.0	200.0	67.0	67.0	67.0	440	440	440
额定电压(V)	440	400	440	400	440	400	400	400	400	400	440	440	440	400	400	400	400	440	440	440	440	440	440	440
额定转速(r/min)	1500	900	1000	1360	1500	450	540	680	1360	500	600	750	1500	680	900	1360	750	1000	1500	1500	1500	1500	1500	1500
额定电流(A)	327.0	281.0	399.0	539.0	539.0	202.0	234.0	234.0	459.0	150.0	202.0	234.0	459.0	283.0	334.0	493.0	628.0	628.0	201.0	201.0	201.0	201.0	201.0	201.0

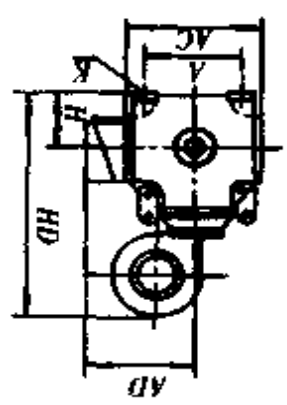
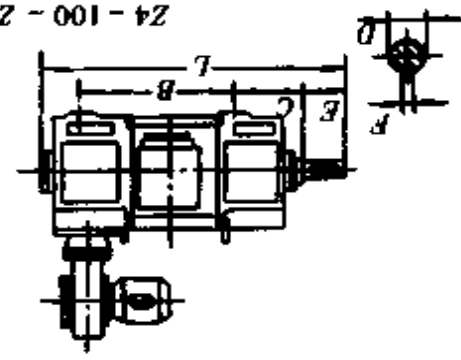
续表

型号	Z4-250-41		Z4-250-42		Z4-280-11		Z4-280-21		Z4-280-22		Z4-280-31										
	额定功率(kW)	81.0	198.0	75.0	90.0	220.0	144.0	160.0	226.0	250.0	99.0	119.0	180.0	110.0	132.0	200.0	253.0	280.0	80.0	118.0	198.0
额定电压(V)	400	400	440	440	440	440	440	440	440	400	400	400	440	440	440	400	440	400	400	400	400
额定转速(r/min)	540	1360	500	600	1500	900	1000	1355	1500	540	675	900	600	750	1000	1355	1500	450	540	900	
额定电流(A)	236.0	539.0	201.0	236.0	539.0	440.0	401.0	614.0	614.0	281.0	333.0	498.0	281.0	333.0	498.0	684.0	684.0	234.0	339.0	545.0	
型号	Z4-280-31		Z4-280-32		Z4-280-41		Z4-280-42		Z4-315-11												
额定功率(kW)	90.0	132.0	220.0	144.0	284.0	160.0	315.0	98.0	166.0	110.0	185.0	225.0	321.0	250.0	355.0	98.0	118.0	144.0	110.0	132.0	
额定电压(V)	440	440	400	400	400	440	440	400	400	440	440	400	400	440	440	400	400	400	400	440	
额定转速(r/min)	500	600	1000	675	1360	750	1500	450	675	500	750	900	1360	1000	1500	360	450	400	540	500	
额定电流(A)	234.0	339.0	545.0	402.0	768.0	402.0	768.0	282.0	464.0	282.0	464.0	616.0	616.0	863.0	616.0	863.0	294.0	409.0	294.0	344.0	
型号	Z4-315-12		Z4-315-22		Z4-315-21		Z4-315-31		Z4-315-32												
额定功率(kW)	160.0	180.0	253.0	200.0	280.0	225.0	284.0	250.0	315.0	143.0	166.0	160.0	185.0	118.0	132.0	180.0	252.0	320.0	200.0	280.0	
额定电压(V)	440	400	400	440	440	400	400	440	440	400	400	440	440	400	440	400	400	400	400	440	
额定转速(r/min)	600	680	900	750	1000	680	900	750	1000	450	540	500	600	360	400	540	680	900	600	750	
额定电流(A)	409.0	500.0	690.0	624.0	772.0	624.0	772.0	413.0	413.0	468.0	413.0	468.0	344.0	344.0	501.0	698.0	867.0	501.0	698.0		
型号	Z4-315-41		Z4-315-42		Z4-355-11		Z4-355-12														
额定功率(kW)	355.0	413.0	166.0	160.0	185.0	225.0	284.0	361.0	250.0	315.0	400.0	166.0	180.0	253.0	185.0	200.0	280.0	321.0	406.0	355.0	
额定电压(V)	440	400	400	440	440	400	400	440	440	400	440	400	400	400	440	440	440	400	400	440	
额定转速(r/min)	1000	360	450	400	500	540	680	900	600	750	1000	360	450	540	400	500	600	680	900	750	
额定电流(A)	867.0	416.0	468.0	416.0	468.0	626.0	778.0	971.0	626.0	778.0	971.0	478.0	506.0	697.0	478.0	506.0	697.0	877.0	1094.0	877.0	

续表

型号	ZA-355-21		ZA-355-22				ZA-355-31			ZA-355-32			ZA-355-42			
	ZA-355-21	ZA-355-21	400	440	400	440	440	440	440	440	400	440	440	440	400	400
额定功率(kW)	450.0	180.0	200.0	225.0	284.0	361.0	450.0	559.0	720.0	920.0	1197.0	1520.0	1984.0	2592.0	3361.0	4361.0
额定电压(V)	440	400	440	400	400	440	440	440	440	440	400	440	440	440	400	400
额定转速(r/min)	1000	360	400	450	540	680	500	600	750	360	400	450	540	600	750	540
额定电流(A)	1094.0	511.0	511.0	624.0	783.0	978.0	624.0	783.0	978.0	559.0	677.0	878.0	1098.0	1377.0	1627.0	1985.0
型号	ZA-355-42															
额定功率(kW)	250.0															
额定电压(V)	440															
额定转速(r/min)	400															
额定电流(A)	627.0															

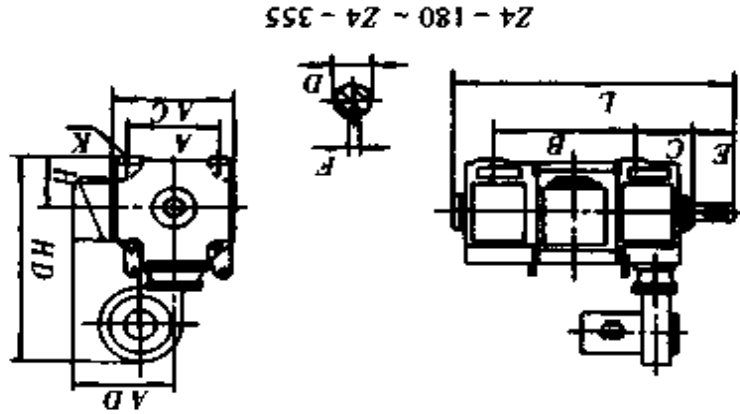
表 4.3.10 Z4 系列直流电动机安装和外形尺寸

型号	A	B	C	D	E	F	H	K	AC	AD	HD	L	备注
Z4-100-1	160	318	63	24	50	8	100	12	234	179	398	500	
Z4-112/2-1	190	337	70	28	60	8	112	12	255	202	452	544	
Z4-112/2-2		367										574	
Z4-112/4-1	190	347	70	32	80	10	112	12	255	202	452	573	
Z4-112/4-2		387										613	
Z4-132-1		355										619	
Z4-132-2	216	405	89	38	80	10	132	12	295	240	527	669	
Z4-132-3		465										729	
Z4-160-11		411										744	
Z4-160-12		476										809	
Z4-160-21	254	451	108	48	110	14	160	15	346	283	625	784	
Z4-160-22		516										849	
Z4-160-31		501										834	
Z4-160-32		566										899	
Z4-180-11		436										794	
Z4-180-12	279	501	121	55	110	16	180	15	390	305	731	859	
Z4-180-21		476										834	
Z4-180-22		541										899	

mm

续表

型号	A	B	C	D	E	F	H	K	AC	AD	HD	L	备注
Z4-180-31		526										884	
Z4-180-32		591										949	
Z4-180-41		586										944	
Z4-180-42		651										1009	
Z4-200-11		566										977	
Z4-200-12		614										1025	
Z4-200-21	318	606	133	65	140	18	200	19	430	355	779	1017	
Z4-200-22		654										1065	
Z4-200-31		686										1097	
Z4-200-32		734										1145	
Z4-225-11		701										1140	
Z4-225-12		761										1200	
Z4-225-21	356	751	149	75	140	20	225	19	474	398	981	1190	
Z4-225-22		811										1250	
Z4-225-31		811										1250	
Z4-225-32		871										1310	
Z4-250-11		715										1225	
Z4-250-12		775										1285	









## 第四章 微特电机

### 1 微特电机的分类

微特电机包括驱动用的小功率电动机和控制用的微电机两大类。

所谓驱动用的小功率电动机是指在工业、农业、交通运输以及新技术领域和日常生活中用来作动力的,折算至 1500r/min 时连续额定功率不超过 1.1kW 的小功率电动机,一般其轴的中心高不大于 90mm。所谓控制用微电机是指在自动控制系统和计算装置中用作检测、放大、执行和解算的电机。

#### 1.1 驱动用小功率电动机

驱动用的小功率电动机按其工作原理和结构类型可分为四大类,如表 4.4.1 所示。

表 4.4.1 驱动用的小功率电动机的分类

分 类	具体产品
小功率异步电动机	三相异步电动机 单相电阻异步电动机 单相电容起动异步电动机 单相电容运转异步电动机 单相双值电容异步电动机 罩极异步电动机
小功率同步电动机	磁阻同步电动机 磁滞同步电动机 永磁同步电动机
小功率直流电动机	电磁式直流电动机 永磁式直流电动机 无刷直流电动机 印刷绕组直流电动机 线绕盘式直流电动机
小功率交流换向器电动机	单相串激电动机 交直流两用电动机



续表

控制电机	信号电机	测速发电机	直流测速发电机 { 永磁式直流测速发电机 无刷有限转角直流测速发电机 直线测速发电机 交流测速发电机 { 空心杯转子异步测速发电机 交流同步测速发电机
	功率电机	伺服电动机	交流伺服电动机 { 鼠笼形 非磁性杯形
			直流伺服电动机 { 电磁式 永磁式 空心杯形电枢 (永磁式) 直线伺服电动机 印刷绕组电枢 无刷电枢
	力矩电机	力矩电动机	交流力矩电动机 { 卷绕用力矩电动机 导棍用力矩电动机
			直流力矩电动机 { 永磁式直流力矩电动机 无刷直流力矩电动机 动圈式有限转角 无刷直流力矩电动机
	步进电动机	步进电动机	磁阻式步进电动机 感应子式永磁步进电动机 永磁式步进电动机 电磁式步进电动机


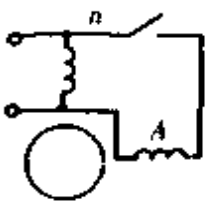
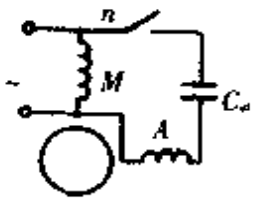
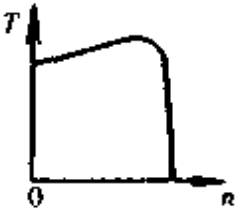
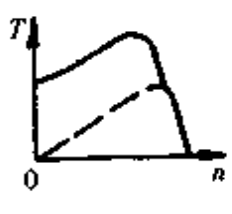
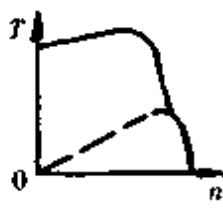
## 2 小功率异步电动机

### 2.1 型号、特性与应用范围

#### 2.1.1 型号

小功率异步电动机的产品型号由系列代号、设计代号、机座代号、特征代号及特殊环境代号所组成。其顺序排列如下：

表 4.4.5 小功率异步电动机的

电动机类型	小功率三相异步电动机	小功率单相	
		电阻起动	电容起动
基本系列代号	JW、AO、AO <sub>2</sub>	JZ、BO、BO <sub>2</sub>	JY、CO、CO <sub>2</sub>
接线原理图			
机械特性曲线 $\frac{T}{T_N} = f(n)$ $\frac{T}{T_N}$ —输出转矩倍数 $T_N$ —额定输出转矩 $n$ —转速			
最大转矩倍数 $T_{max}$	>2.4	>1.8	>1.8
最初起动转矩倍数 $T_{st}$	>2.2	1.1~1.6	2.5~2.8
最初起动电流倍数 $T_{st}$	<6.0	6~9	4.5~6.5
功率范围(W)	15~750	40~370	120~750
额定电压(V)	380	220	220
同步转速(r/min)	1500;3000	1500;3000	1500;3000

特性与应用范围

异步电动机

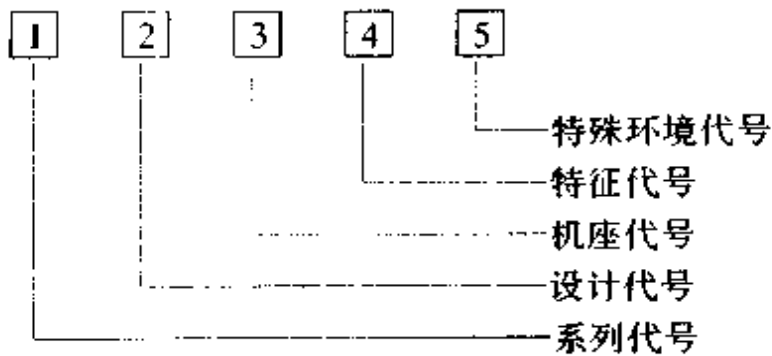
电容运转	电容启动和运转	罩极式
JX, DX, DX <sub>2</sub>	E, YL	F
>1.6	>2	
0.35~0.6	>1.8	<0.5
5~7	8~750	15~90
8~180		
220	220	220
1500; 3000	1500; 3000	1500; 3000

电动机类型	小功率三相异步电动机	小功率单相	
		电阻起动	电容起动
结构特点	与小型封闭式三相异步电动机相似	<p>定子上具有轴线在空间互成 <math>90^\circ</math> 电角度的主绕组和副绕组。电阻值较大的副绕组经起动开关与主绕组并接于电源。</p> <p>当电动机转速达到 <math>75\% \sim 80\%</math> 同步转速时,通过起动开关将副绕组切离电源,由主绕组单独工作</p>	<p>定子主绕组、副绕组分布与电阻起动电动机相同,但副绕组导线较粗。副绕组和一个容量较大的起动电容器 <math>C_s</math> 串联,经起动开关与主绕组并接于电源。当电动机转速达到 <math>75\% \sim 80\%</math> 同步转速时,通过起动开关将副绕组切离电源</p>
典型应用	比单相异步电动机有较高的力矩指标,相同体积时有较大的出力,适用于小型机床、泵等	具有中等起动转矩和过载能力,适用于小型车床、鼓风机、医疗机械等	具有较高起动转矩,适用于小型空气压缩机、电冰箱、磨粉机、水泵及满载起动机械等



续表

异步电动机		
电容运转	电容起动和运转	罩极式
<p>定子具有主绕组和副绕组,它们的轴线在空间相差<math>90^\circ</math>电角度。副绕组串接一个工作电容器<math>C</math>(容量较起动电容器小得多)后,与主绕组并接于电源,且副绕组长期参与运行</p>	<p>定子绕组与电容运转电动机相同,但副绕组与两个并联的电容器串联。当电动机转速达到<math>75\% \sim 80\%</math>同步转速时,通过起动开关将起动电容<math>C_{st}</math>切断电源,而副绕组和工作电容<math>C_1</math>继续参与运行</p>	<p>一般采用凸极定子,主绕组是集中绕组,并在极靴的一小部分上套有电阻很小的短路环(又称罩极绕组)。另一种是隐极定子,其冲片形状和一般异步电动机相同,主绕组和副绕组均为分布绕组</p>
<p>起动转矩较低,但有较高的功率因数和效率,体积小,重量轻,适用于电风扇、通风机、录音机及各种空载或轻载起动的机械</p>	<p>具有较高起动性能、过载能力、功率因数和效率,适用于家用电器、泵、小型机床等</p>	<p>起动转矩、功率因数和效率均较低,但结构简单,成本低,适用于小型风扇、电动模型及各种轻载起动的小功率电动设备</p>



2.1.1.1 系列代号 由小功率异步电动机基本系列代号组成,见表 4.4.3。

表 4.4.3 小功率异步电动机产品基本系列代号

基本系列产品名称	代号	老代号
小功率三相异步电动机	AO <sub>2</sub>	JW, AO
小功率单相电阻起动异步电动机	BO <sub>2</sub>	JZ, BO
小功率单相电容起动异步电动机	CO <sub>2</sub> YC	JY, CO
小功率单相电容运转异步电动机	DO <sub>2</sub>	JX, DO
小功率单相双值电容异步电动机	E YL	
小功率单相罩极异步电动机	F	

2.1.1.2 设计代号 在系列代号右下方,用数字表示设计代号,右下方无系列设计代号者,表示该产品为第一次系列设计。

2.1.1.3 机座代号 表示电动机转轴的中心高,以 mm 表示。标准的中心高尺寸有:45、50、56、63、71、80、90 和 100mm。

2.1.1.4 特征代号 表示电动机铁心长度和极数。

2.1.1.5 特殊环境代号 表示该产品适应的环境,见表 4.4.4。

表 4.4.4 小功率异步电动机的特殊环境代号

汉字代号	汉字拼音代号
热带用	T
湿热带用	TH
干热带用	A
高原用	G
船(海)用	H
化工用(防腐蚀)	F

2.1.2 特性与应用范围

见表 4.4.5(见第 716 页)。

## 2.2 主要技术数据

异步电动机的主要技术数据见表 4.4.6 至表 4.4.32。

表 4.4.6 JW 系列三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 (W)	额定 电压 (V)	满 载 电 流 (A)	空 载 电 流 (A)	极 数	额 定 转 速 (r/min)	定 子 外 径	定 子 内 径	铁 心 长 度	气 隙 长 度	定 子 槽 数	转 子 槽 数	定 子 铜 净 重 (kg)	定 子 线 规 (mm)	每 槽 线 数	节 距
							(mm)									
JW09A-2	600	220/380	1.330 1.357	0.583 0.570	2	2850	120	60	56	0.30	24	18	1.263	0.59	104	1~12 2~11
JW09B-2	400	220/380	0.96 0.97	0.38 0.37	2	2850	120	60	48	0.30	24	18	1.175	0.51	135	1~12 2~11
JW09A-4	400	220/380	1.04 1.05	0.62 0.63	4	1400	120	71	62	0.25	24	22	1.076	0.51	147	1~8 2~7
JW09B-4	250	220/380	0.730 0.731	0.487 0.481	4	1380	120	71	48	0.25	24	22	0.862	0.41	200	1~8 2~7
JW08A-2	250	220/380	0.610 0.608	0.297 0.295	2	2800	102	52	60	0.25	24	18	1.08	0.41	135	1~12 2~11
JW08B-2	180	220/380	0.46 0.46	0.252 0.255	2	2800	102	52	46	0.25	24	18	0.953	0.35	175	1~12 2~11
JW08A-4	180	220/380	0.535 0.538	0.340 0.337	4	1380	102	58	60	0.25	24	22	0.78	0.38	214	1~8 2~7
JW08B-4	120	220/380	0.375 0.380	0.267 0.275	4	1380	102	58	46	0.25	24	22	0.708	0.33	286	1~8 2~7
JW07A-2	120	220/380	0.307 0.310	0.164 0.165	2	2800	94	48	45	0.28	18	15	0.62	0.31	300	1~10 2~9
JW07B-2	90	220/380	0.235 0.249	0.131 0.136	2	2800	94	48	36	0.28	18	15	0.54	0.27	0.364	1~10 2~9
JW07A-4	90	220/380	0.339 0.344	0.237 0.238	4	1340	94	48	45	0.23	18	15	0.732	0.31	468	1~7 2~6
JW07B-4	60	220/380	0.237 0.234	0.175 0.174	4	1340	94	48	36	0.23	18	15	0.64	0.27	584	1~5 2~6

续表

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	满 载 电 流 (A)	空 载 电 流 (A)	极 数	额 定 转 速 (r/min)	定 子 外 径	定 子 内 径	铁 心 长 度	气 隙 长 度	定 子 槽 数	转 子 槽 数	定 子 铜 净 重	定 子 线 规	每 槽 线 数	节 距
							(mm)						(kg)	(mm)		
JW06A-2	60	380	0.214 0.203	0.156 0.150	2	2750	84	42	45	0.25	16	10	0.42	0.23	400	1~8 2~9
JW06B-2	40	380	0.159 0.158	0.126 0.123	2	2750	84	42	35	0.25	16	10	0.38	0.20	500	1~8 2~9
JW05A-2	25	380	0.099 0.103	0.093 0.096	2	2700	71	36	42	0.25	16	10	0.328	0.19	540	1~8 2~9
JW05B-2	15	380	0.083 0.089	0.076 0.084	2	2700	71	36	30	0.25	16	10	0.334	0.17	700	1~8 2~9
JW05A-4	15	380	0.144 0.141	0.141 0.137	4	1300	71	36	42	0.25	16	10	0.27	0.17	800	1~5 2~6
JW05B-4	3	380	0.095 0.091	0.095 0.091	4	1300	71	36	30	0.25	16	10	0.30	0.14	1140	1~5 2~6

表 4.4.7 JZ 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	容量 (W)	满载 电流 (A)	空载 电流 (A)	启动 电流 (A)	启动转矩/额定 转矩	额定 转速 (r/min)	电压 (V)	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	定子 铁心 厚度 (mm)	铁心 长度 (mm)	定子 槽数	转子 槽数	气隙 长度 (mm)	主绕组 总串联 导体数 (根)	副绕组 总串联 导体数 (根)	主绕组 线圈 质量 (kg)	副绕组 线圈 质量 (kg)			
JZ1B-2	400	1.39	3.02	28	1.25	2	2000	220	145	75	20.255	48	24	30	0.35	1072	532	0.90	0.44	1.12	0.124
JZ1A-4	400	2.25	3.45	28	1.25	4	1440	220	145	85	21.725	65	36	42	0.30	1208	592	0.93	0.44	1.06	0.12
JZ1B-4	250	2.0	2.65	28	1.25	4	1440	220	145	85	20	48	36	42	0.30	1520	896	0.80	0.35	0.85	0.10
JZ09A-2	250	1.4	2.27	19	1.25	2	2900	220	120	60	14.85	56	24	18	0.30	1100	638	0.69	0.38	0.62	0.11
JZ09B-2	180	1.3	1.81	14	1.4	2	2900	220	120	60	14.85	48	24	18	0.30	1208	792	0.68	0.31	0.628	0.08
JZ09A-4	180	1.52	2.07	14	1.4	4	1440	220	120	71	15.9	62	24	22	0.25	1488	976	0.64	0.33	0.556	0.0922
JZ09B-4	120	1.25	1.55	12	1.5	4	1440	220	120	71	15.9	48	24	22	0.25	1900	920	0.55	0.31	0.462	0.0675
JZ08A-2	120	0.785	1.2	12	1.6	2	2820	220	102	58	14.065	60	24	18	0.25	1360	700	0.55	0.33	0.444	0.087
JZ08B-2	90	0.555	0.93	9	1.6	2	2820	220	102	58	14.065	46	24	18	0.25	1765	724	0.51	0.31	0.45	0.086
JZ08A-4	90	1.05	1.3	9	1.6	4	1400	220	102	58	10.45	60	24	22	0.25	2000	1072	0.51	0.27	0.428	0.0617
JZ08B-4	60	0.76	0.92	7	1.6	4	1400	220	102	58	10.45	46	24	22	0.25	2688	1192	0.44	0.27	0.376	0.0595

表 4.4.8 JY 系列单相异步电动机核心、绕组技术数据

型号	功率 (W)	满载电流 (A)		空载电流 (A)		起电		极数	额定转速 (r/min)	电压 (V)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子壁厚 (mm)	铁心长度 (mm)	定子槽数	转子槽数	气隙长度 (mm)	主绕组导体总数	副绕组导体总数	主绕组线规 (mm)	副绕组线规 (mm)	主绕组线重 (kg)	副绕组线重 (kg)	电容器容量 ( $\mu$ F)	电容器电压 (V)
		110 V	220 V	110 V	220 V																				
JY2A-4	800	6.85	4.65					4	1440	110/220	160	95	13.5	88	36	42	0.315	768	480	1.25	0.90	1.480	0.492	400	122
JY2B-4	600	6.70	4.35					4	1440	110/220	160	95	13.5	78	36	42	0.325	928	576	1.08	0.86	1.27	0.51	400	100
JY1A-2	600							2	2900	110/220	145	75		65						1.0	0.62				
JY1B-2	400	3.32	2.02	20	40			2	2900	110/220	145	75	19.4	48	24	30	0.35	928	744	0.93	0.90	1.04	0.72	200	115
JY1A-4	400	3.64	2.35	20	40			4	1440	110/220	145	85	12.0	65	36	42	0.265	1200	820	0.93	0.64	1.04	0.348	200	110
JY1B-4	250	2.90	2.45	14	28			4	1440	110/220	145	85	12.0	48	36	42	0.36	1472	744	0.80	0.80	0.82	0.355	200	114
JY09A-2	250	2.80	2.40	14	28			2	2900	110/220	120	60	16.0	56	24	18	0.29	992	744	0.69	0.69	0.56	0.392	150	110
JY09B-2	180	1.80	1.30	12	24			2	2900	110/220	120	60	16.0	48	24	18	0.3	1208	716	0.68	0.64	0.62	0.308	150	107
JY09A-4	180	2.25	2.00	12	24			4	1440	110/220	120	71	14.0	62	24	22	0.25	1392	816	0.64	0.59	0.52	0.246	150	105

表 4.4.9 JY 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY2A-4 800W 220V		
JY2B-4 600W 220V		
JY1B-2 400W 220V		
JY1A-2 400W 220V		
JY1B-4 250W 220V		

续表

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY09A-2 250W 220V	<p>Diagram showing 12 slots (1-12) and 4 coils with 24, 42, 52, 62, and 68 turns.</p>	<p>Diagram showing 19 slots (7-19) and 5 coils with 19, 31, 40, 46, and 50 turns.</p>
JY09B-2 180W 220V	<p>Diagram showing 12 slots (1-12) and 4 coils with 30, 50, 64, 76, and 82 turns.</p>	<p>Diagram showing 18 slots (7-18) and 5 coils with 19, 28, 39, 45, and 48 turns.</p>
JY09A-4 180W 220V	<p>Diagram showing 7 slots (1-7) and 3 coils with 46, 82, and 46 turns.</p>	<p>Diagram showing 10 slots (4-10) and 3 coils with 27, 48, and 27 turns.</p>



表 4.4.10 JX 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 (W)	满载		极数	额定转速 (r/min)	电压 (V)	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	定子壁厚 (mm)	铁心长度 (mm)	定子槽数	转子槽数	气隙长度 (mm)	主绕组总串联导体数 (根)	副绕组总串联导体数 (根)	主绕组线规 (mm)	副绕组线规 (mm)	主绕组线重 (kg)	副绕组线重 (kg)	电容器容量 ( $\mu$ F)	电容器电压 (V)
		主绕组电流 (A)	副绕组电流 (A)																		
JX07A-2	90	0.7		2	2850	220	94	48		45	18		0.28	2400	2400	0.31	0.31			10	
JX07B-2	60	0.45		2	2850	220	94	48		36	18		0.28	2912	2912	0.27	0.27			6	
JX07A-4	60	0.48		4	1400	220	94	48		45	18		0.23	7520	7520	0.29	0.29			8	
JX07B-4	40	0.38		4	1400	220	94	48		36	18		0.23	9344	9344	0.27	0.27			6	
JX06A-2	40	0.226	0.198	2	2820	220	84	42	11	45	16	10	0.25	2320	2320	0.27	0.27	0.15	0.15	2	240
JX06B-2	25	0.162	0.149	2	2820	220	84	42	11	35	16	10	0.25	2980	2080	0.23	0.23	0.128	0.128	1.5	245
JX06A-4	25	0.447	0.252	4	1350	220	84	42	11	45	16	10	0.25	3300	3300	0.23	0.23	0.117	0.117	2.5	265
JX06B-4	15	0.225	0.1573	4	1350	220	84	42	11	35	16	10	0.25	4800	4800	0.20	0.20	0.109	0.109	1.5	275
JX05A-2	15	0.197	0.159	2	2750	220	71	36	8	42	16	10	0.25	2824	2824	0.20	0.20	0.0985	0.0985	1	234
JX05B-2	8	0.1052	0.0731	2	2750	220	71	36	8	30	16	10	0.25	4280	4280	0.15	0.15	0.0676	0.0676	0.75	237
JX05A-4	8	0.207	0.115	4	1300	220	71	36	8	42	16	10	0.25	4560	5250	0.18	0.19	0.096	0.11	1	262
JX05B-4	4	0.1492	0.1117	4	1300	220	71	36	8	30	16	10	0.25	6400	6400	0.16	0.15	0.0806	0.0708	1	262

表 4.4.11 JX 系列单相异步电动机绕组排列方法(一)

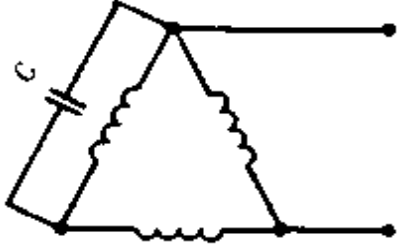
型号	绕组接线图	线组参数
JX07A-2 90W 220V		线径 0.31 每槽线数 300 节距 1~10, 2~9 电容 $C$ $10\mu\text{F}$
JX07B-2 60W 220V		线径 0.27 每槽线数 364 节距 1~10, 2~9 电容 $C$ $6\mu\text{F}$
JX07A-4 60W 220V		线径 0.29 每槽线数 470 节距 1~5 双层 电容 $C$ $8\mu\text{F}$
JX07B-4 40W 220V		线径 0.27 每槽线数 584 节距 1~5, 2~6 电容 $C$ $6\mu\text{F}$

表 4.4.11 JX 系列单相异步电动机绕组排列方法(二)

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JX06A-2 40W 220V		
JX06B-2 25W 220V		
JX06A-4 25W 220V		
JX06B-4 15W 220V		
JX05A-2 15W 220V		
JX05B-2 8W 220V		
JX05A-4 8W 220V		
JX05B-4 4W 220V		

表 4.4.12 JW 系列三相异步电动机铁心、绕组技术数据(新系列)

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	满 载 电 流 (A)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	转 子 外 径 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	每 串 联 导 体 (根)	导 线 线 径 (mm)	线 圈 跨 距
JW7122	750	380	1.6	2	120	62	62	61.5	0.25	24	18	736	0.62	1~12 2~11
JW7112	550	380	1.3	2	120	62	48	61.5	0.25	24	18	960	0.53	1~12 2~11
JW7134	750	380	2.2	4	120	71	80	70.6	0.2	24	22	848	0.67	1~8 2~7
JW7124	550	380	1.6	4	120	71	62	70.6	0.2	24	22	1056	0.57	1~8 2~7
JW7114	370	380	1.2	4	120	71	48	70.6	0.2	24	22	1392	0.49	1~8 2~7
JW6322	370	380	1.0	2	102	52	56	51.5	0.25	24	18	1160	0.47	1~12 2~11
JW6312	250	380	0.8	2	102	52	48	51.5	0.25	24	18	1320	0.41	1~12 2~11
JW6324	250	380	1	4	102	58	56	57.6	0.2	24	22	1696	0.44	1~8 2~7
JW6314	180	380	0.7	4	102	58	48	57.6	0.2	24	22	2080	0.38	1~8 2~7
JW5622	180	380	0.5	2	90	48	48	47.5	0.25	24	18	1568	0.33	1~8 2~7
JW5612	120	380	0.4	2	90	48	40	47.5	0.25	24	18	1880	0.29	1~12 2~11
JW5624	120	380	0.6	4	90	52	48	51.6	0.2	24	22	2272	0.31	1~12 2~11
JW5614	90	380	0.4	4	90	52	40	51.6	0.2	24	22	2640	0.27	1~8 2~7
JW5022	90	380	0.3	2	80	42	50	41.6	0.2	12	15	1840	0.25	1~6 2~7
JW5012	60	380	0.25	2	80	42	50	41.6	0.2	12	15	1840	0.21	1~6 2~7
JW5024	60	380	0.3	4	80	42	50	41.6	0.2	12	15	2400	0.25	1~4 2~5
JW5014	40	380	0.25	4	80	42	50	41.6	0.2	12	15	2600	0.21	1~4 2~5

续表

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	满 载 电 流 (A)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	转 子 外 径 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	每 串 联 数 每 相 导 体 (根)	导 线 线 径 (mm)	线 圈 跨 距
JW4522	40	380	0.2	2	71	38	45	37.6	0.2	12	15	2480	0.18	1~6 2~7
JW4512	25	380	0.15	2	71	38	45	37.6	0.2	12	15	2680	0.17	1~6 2~7
JW4524	25	380	0.2	4	71	38	45	37.6	0.2	12	15	3280	0.18	1~4 2~5
JW4514	15	380	0.2	4	71	38	45	37.6	0.2	12	15	3360	0.16	1~4 2~5

表 4.4.13 JZ 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据(新系列)

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	额 定 电 流 (A)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	转 子 外 径 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	主 相 导 线 线 径 (mm)	副 相 导 线 线 径 (mm)
JZ7122	370	220	4	2	120	62	62	61.5	0.25	24	18	0.72	0.44
JZ7112	250	220	3	2	120	62	48	61.5	0.25	24	18	0.62	0.38
JZ7134	370	220	4.5	4	120	71	80	70.6	0.2	24	22	0.83	0.44
JZ7124	250	220	3.5	4	120	71	62	70.6	0.2	24	22	0.72	0.41
JZ7114	180	220	2.5	4	120	71	48	70.6	0.2	24	22	0.64	0.38
JZ6322	180	220	2	2	102	52	56	51.5	0.25	24	18	0.59	0.38
JZ6312	120	220	2	2	102	52	48	51.5	0.25	24	18	0.53	0.35
JZ6324	120	220	2	4	102	58	56	57.6	0.2	24	22	0.57	0.33
JZ6314	90	220	2	4	102	58	48	57.6	0.2	24	22	0.53	0.31
JZ5622	90	220	1.2	2	90	48	48	47.5	0.25	24	18	0.47	0.35
JZ5612	60	220	1	2	90	48	40	47.5	0.25	24	18	0.41	0.31
JZ5624	60	220	1.5	4	90	52	48	51.6	0.2	24	22	0.41	0.29
JZ5614	40	220	1	4	90	52	40	51.6	0.2	24	22	0.38	0.27

表 4.4.14 JZ 系列单相异步电动机绕组排列方法(新系列)

型 号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JZ7122 370W		
JZ7112 250W		
JZ7134 370W		
JZ7124 250W		
JZ7114 180W		
JZ6322 180W		

续表

JZ6312 120W		
JZ6324 120W		
JZ6314 90W		
JZ5622 90W		
JZ5612 60W		
JZ5624 60W		
JZ5614 40W		

表 4.4.15 JY 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据(新系列)

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	额 定 电 流 (A)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	转 子 外 径 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	主 相 导 线 线 径 (mm)	副 相 导 线 线 径 (mm)	电 容 容 量 器 ( $\mu$ F)	电 耐 容 压 器 (V)
JY7132	550	220	5	2	120	62	80	61.5	0.25	24	18	0.86	0.53	100	220
JY7112	250	220	2.5	2	120	62	48	61.5	0.25	24	18	0.62	0.47	100	220
JY7124	250	220	3.5	4	120	71	62	70.5	0.2	24	22	0.72	0.47	100	220
JY7114	180	220	2.5	4	120	71	48	70.5	0.2	24	22	0.64	0.41	100	220
JY7134	370	220	5	4	120	71	80	70.5	0.2	24	22	0.83	0.49	100	220

表 4.4.16 JY 系列单相异步电动机绕组排列方法(新系列)

型 号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY7132 550W		
JY7112 250W		
JY7124 250W		



续表

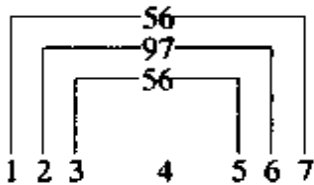
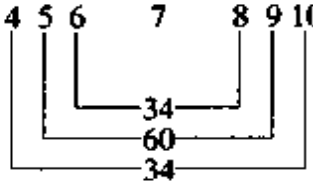
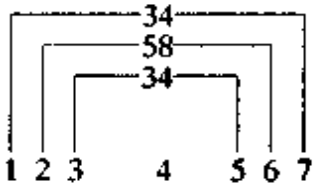
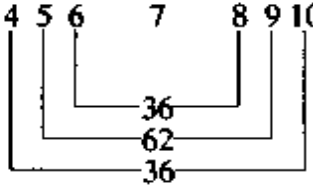
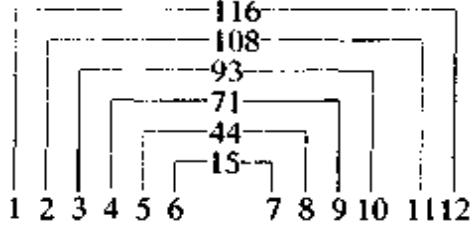
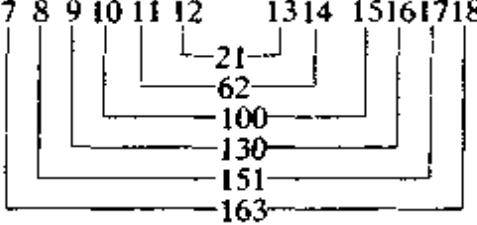
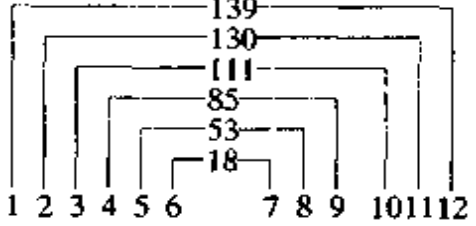
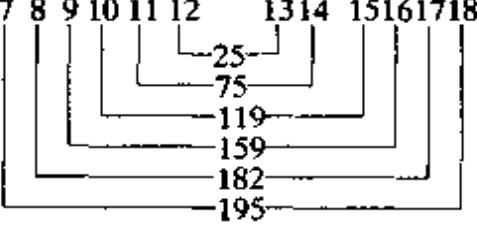
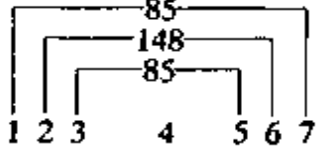
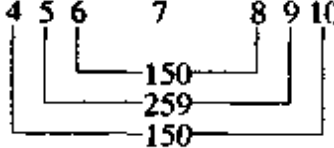
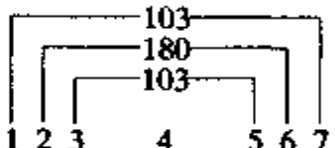
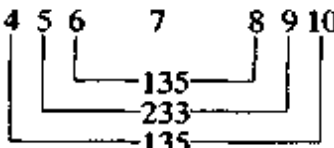
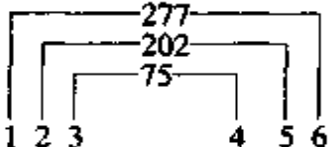
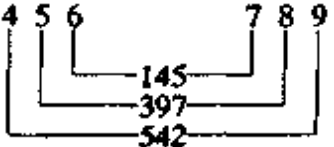
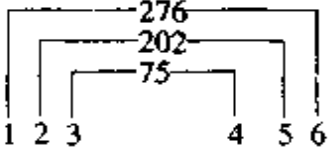
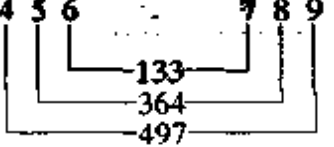
型 号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JY7114 180W		
JY7134 370W		

表 4.4.17 JX 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据(新系列)

型 号	功 率 (W)	额 定 电 压 (V)	额 定 电 流 (A)	极 数	铁 定 心 子 外 径 (mm)	铁 定 心 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	转 子 外 径 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	主 相 导 线 线 径 (mm)	副 相 导 线 线 径 (mm)	电 容 容 量 器 ( $\mu$ F)	电 耐 容 压 器 (V)
JX5622	120	220	1.2	2	90	48	48	0.25	47.5	24	18	0.44	0.27	4	630
JX5612	90	220	1	2	90	48	40	0.25	47.5	24	18	0.38	0.25	4	630
JX5624	90	220	1	4	90	52	48	0.2	51.6	24	22	0.31	0.29	4	630
JX5614	60	220	0.8	4	90	52	40	0.2	51.6	24	22	0.29	0.27	4	630
JX5022	60	220	0.6	2	80	42	50	0.2	41.6	12	15	0.33	0.21	2	630
JX5012	40	220	0.5	2	80	42	50	0.2	41.6	12	15	0.33	0.21	2	630
JX5024	40	220	0.6	4	80	42	50	0.2	41.6	12	15	0.33	0.21	2	630
JX5014	25	220	0.5	4	80	42	50	0.2	41.6	12	15	0.31	0.21	2	630
JX4522	25	220	0.4	2	71	38	45	0.2	37.6	12	15	0.25	0.2	1	630
JX4512	15	220	0.25	2	71	38	45	0.2	37.6	12	15	0.23	0.19	1	630
JX4524	15	220	0.35	4	71	38	45	0.2	37.6	12	15	0.21	0.17	1	630
JX4514	8	220	0.25	4	71	38	45	0.2	37.6	12	15	0.2	0.16	1	630

表 4.4.18 JX 系列单相异步电动机绕组排列方法(新系列)

型 号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JX5622 120W		
JX5612 90W		
JX5624 90W		
JX5614 60W		
JX5022 60W		
JX5012 40W		

续表

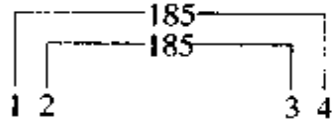
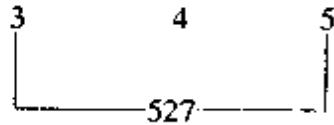
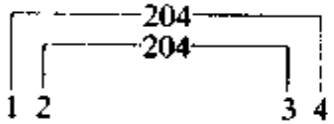
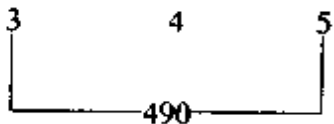
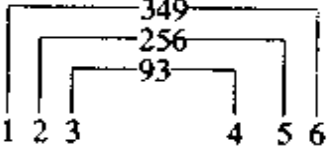
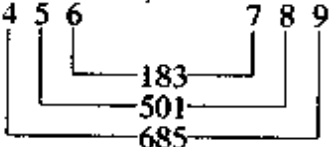
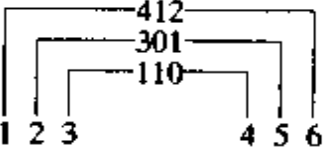
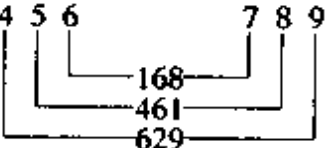
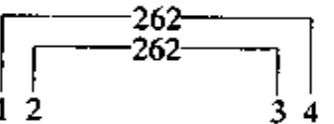
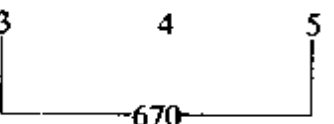
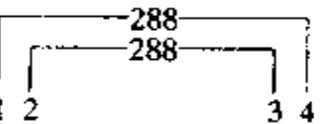
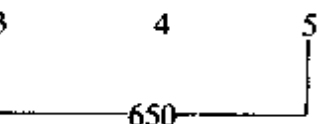
型 号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
JX5024 40W		
JX5014 25W		
JX4522 25W		
JX4512 15W		
JX4524 15W		
JX4514 8W		

表 4.4.19 AO 系列三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 (W)	电流 (A)	转速 (r/min)	主要性能				定子铁心 (mm)			槽数			绕组		跨距	备注		
				效率 (%)	功率因数	起动电流 (A)	起动转矩 (倍)	最大转矩 (倍)	外径	内径	长度	气隙 (mm)	定子	转子	线规 (mm)			每槽线数	平均匝长 (mm)
AO5012	60		2800					80	42	50	0.25	12	15	0.21	435	146	41	1-6,2-7	
AO5022	90		2800					80	42	50	0.25	12	15	0.25	420	146	57	1-6,2-7	
AO5014	40		1400					80	42	50	0.25	12	15	0.21	640	108	60	1-4	
AO5024	60		1400					80	42	50	0.25	12	15	0.25	580	108	78.5	1-4	
AO5612	120		2800					90	52	48	0.20	24	18	0.20	230	152	68.5	1-12,2-11	
AO5622	180		2800					90	52	48	0.20	24	18	0.33	180	160	67	1-12,2-11	
AO5614	90		1400					90	52	48	0.20	24	18	0.75	310	100	37.5	1-8,2-7	
AO5624	120		1400					90	52	48	0.20	24	18	0.29	260	113	77	1-8,2-7	
AO6332	550	1.38	2800	74.5	0.81		2.2	102	54	65	0.25	24	18	0.51	100	180	71	1-12,2-11	
AO6322	370	0.96	2800	72.5	0.80		2.2	102	54	55	0.25	24	18	0.44	120	170	65.8	1-12,2-11	
AO6312	250	0.66	2800	71	0.78		2.2	102	54	45	0.25	24	18	0.38	147	160	64	1-12,2-11	
AO6334	370	1.15	1400	70.5	0.70		2.2	102	60	65	0.25	24	22	0.47	160	130	73.4	1-8,2-7	
AO6324	250	0.82	1400	67	0.69		2.2	102	60	55	0.25	24	22	0.41	195	120	73	1-8,2-7	
AO6314	180	0.64	1400	64	0.67		2.2	102	60	45	0.25	24	22	0.35	230	110	60	1-8,2-7	
AO7114	550	1.6	1400	72	0.73		2.2	120	71	65	0.25	24	22	0.55	135	157	77.6	1-7,2-6	
AO7124	750	2.0	1400	74	0.75		2.2	120	71	80	0.25	24	22	0.62	85	170	77	1-7,2-6	
AO7112	750	1.82	2800	76	0.82		2.2	120	62	62	0.25	24	18	0.62	92	200	75	1-12,2-11	

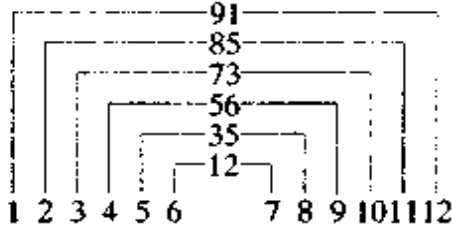
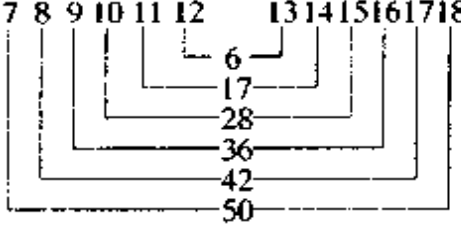
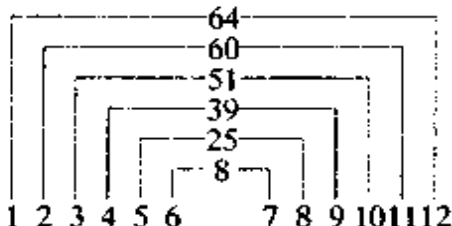
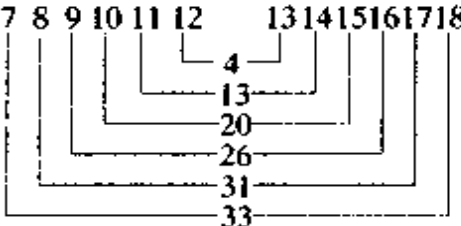
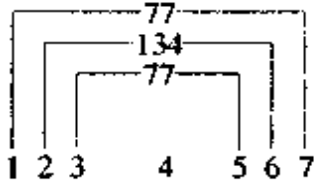
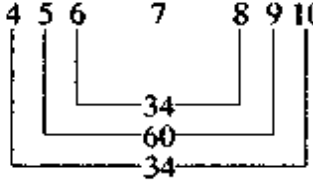
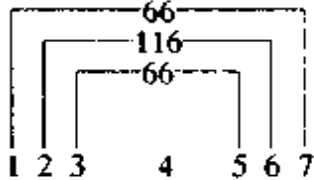
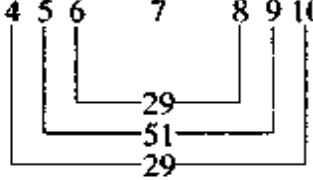
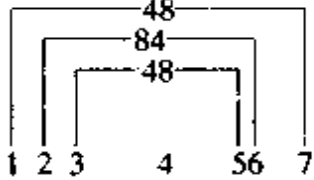
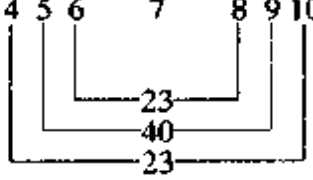
表 4.4.20 BO 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型号	功率 (W)	电流 (A)	转速 (r/min)	主要性能				定子铁心(mm)			槽数		主绕组		副绕组		备注			
				效率 (%)	功率因数	起动电流 (A)	起动转矩 (倍)	最大转矩 (倍)	外径	内径	长度	气隙 (mm)	定子	转子	线规 (mm)	每极匝数		平均半匝长 (mm)	线规 (mm)	每极匝数
BO5612	60	1.01	2800	42	0.64	8	2.0	1.8	90	48	40	0.25	24	0.41	560	125	0.31	229	125	72.7
BO5622	90	1.19	2800	52	0.66	11	1.9	1.8	90	48	48	0.25	24	0.47	473	133	0.35	179	133	78
BO5614	40	1.05	1400	32	0.54	7	1.9	1.8	90	52	40	0.2	24	0.38	374	88.4	0.27	150	88.4	76.4
BO5624	60	1.19	1400	38	0.60	8.2	1.8	1.8	90	52	48	0.2	24	0.41	321	96.5	0.29	127	96.5	74.8
BO6312	120	1.43	2800	56	0.68	12	1.8	1.8	102	52	48	0.25	24	0.53	406	142	0.35	203	142	63.4
BO6322	180	1.95	2800	60	0.70	15	1.5	1.8	102	52	56	0.25	24	0.59	352	150	0.38	174	150	65.8
BO6332	250	2.5	2800	63	0.72	22		1.8	102	54	62	0.25	24	0.62	247	150	0.44	127	153	74.5
BO6314	90	1.6	1400	44	0.58	10	1.8	1.8	102	58	48	0.20	24	0.53	288	102.5	0.31	128	102.5	76.6
BO6324	120	1.85	1400	50	0.59	11.6	1.6	1.8	102	58	56	0.20	24	0.57	248	110.5	0.33	109	110.5	76
BO6334	180	2.6	1400	52	0.60	17		1.8	102	60	68	0.25	24	0.62	180	125	0.41	86	125	79.8
BO7102	250	2.5	2800	63	0.72	19	1.2	1.8	120	62	48	0.25	24	0.62	260	156	0.38	159	156	57
BO7112	370	3.5	2800	65	0.74	24	1.2	1.8	120	62	62	0.25	24	0.72	212	169.5	0.44	124	169.5	61.9
BO7104	180	2.44	1400	56	0.60	16	1.6	1.8	120	71	48	0.20	24	0.64	209	112.5	0.38	89	112.5	76.8
BO7114	250	3.05	1400	60	0.62	21	1.6	1.8	120	71	62	0.20	24	0.72	165	126.5	0.41	95	126.5	75
BO7124	370	4.17	1400	63	0.64	28	1.4	1.8	120	71	80	0.20	24	0.83	126	144.5	0.44	71	144.5	75.6

表 4.4.21 BO 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
BO5612 60W		
BO5622 90W		
BO5614 40W		
BO5624 60W		
BO6312 120W		

续表

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
BO6322 180W		
BO6332 250W		
BO6314 90W		
BO6324 120W		
BO6334 180W		

续表

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
BO7102 250W		
BO7112 370W		
BO7104 180W		
BO7114 250W		
BO7124 370W		



表 4.4.22 CO 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	功率 (W)	电 流 (A)	转 速 (r/min)	主要性能				定子铁心(mm)			槽 数			主 绕 组			副 绕 组			备 注			
				效率 (%)	功率因数	起动电流 (A)	起动转矩 (倍)	最大转矩 (倍)	外径	内径	长度	气隙 (mm)	定子	转子	线规 (mm)	每极匝数	平均半匝长 (mm)	线规 (mm)	每极匝数		平均半匝长 (mm)	每极匝数	平均半匝长 (mm)
CO6322	180	1.95	2800	60	0.70	12		1.8	102	52	52	0.20	24	18	0.57	301	140	0.41	273	145	81	75	220
CO6332	250	2.5	2800	63	0.72	15		1.8	102	52	68	0.20	24	18	0.62	232	155	0.44	200	152.8	81	100	220
CO6334	180	2.6	1400	52	0.60	12		1.8	102	58	70	0.20	24	22	0.57	200	123	0.41	114	123	84	100	220
CO6324	120	1.95	1400	48	0.59	9		1.8	102	58	60	0.20	24	30	0.57	231		0.35	102				
CO7102	250	2.5	2800	63	0.72	15	2.0	1.8	120	62	48	0.25	24	18	0.62	261	159	0.47	191	159	62.5		
CO7112	370	3.5	2800	65	0.74	20	2.0	1.8	120	62	62	0.25	24	18	0.72	212	173	0.49	182	173	67.8		
CO7122	550	4.84	2800	68	0.76	26	2.0	1.8	120	62	80	0.25	24	18	0.86	153	191	0.53	185	191	70.3		
CO7104	180	2.44	1400	56	0.60	12	2.0	1.8	120	71	48	0.20	24	22	0.64	209	112.5	0.41	128	112.5	77	100	220
CO7114	250	3.05	1400	60	0.62	15	2.0	1.8	120	71	62	0.20	24	22	0.72	167	120.5	0.47	149	126.5	80	100	220
CO7124	370	4.17	1400	63	0.64	17	2.0	1.8	120	71	80	0.20	24	22	0.83	126	144.5	0.49	131	144.5	79.5	100	220
CO8012	750		2800						138	71.6	70	0.30	24	30	1.00	149	190	0.55	185	177.5	80	150	220
CO8024	750		1400						138	81.6	90	0.25	36	26	1.08	93	105	0.59	92	171	76.5	150	220
CO8014	550		1400						138	81.6	70	0.25	36	26	0.96	120	145	0.55	113	151	76.5	150	220

表 4.4.23 CO 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
CO6322 180W		
CO6332 250W		
CO6334 120W		
CO6324 180W		
CO7102 250W		

续表

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
CO7112 370W		
CO7122 550W		
CO7104 180W		
CO7114 250W		
CO7124 370W		

续表

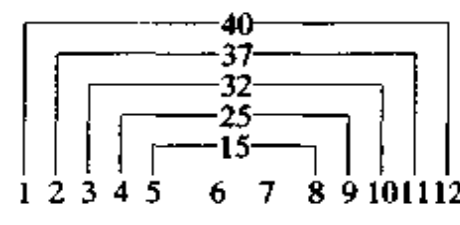
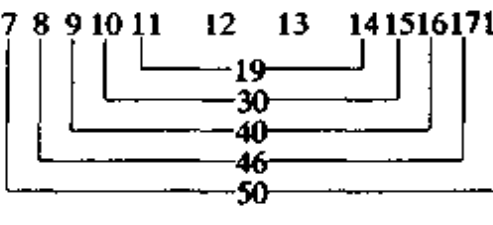
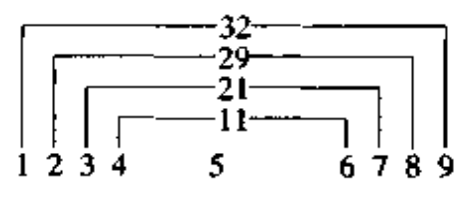
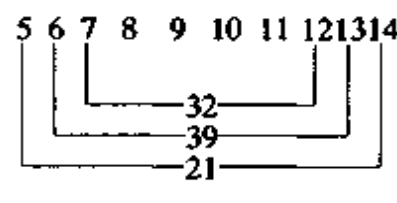

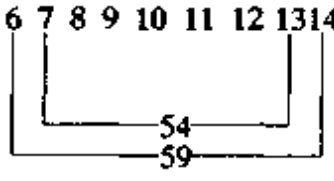
绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
CO8012 750W		
CO8024 750W		
CO8014 550W		

表 4.4.24 DO 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	功率 (W)	电 流 (A)	转 速 (r/min)	主要性能				定子铁心(mm)			槽 数		主 绕 组		副 绕 组		电 容 器 容 量 ( $\mu$ F)	备 注					
				效率 (%)	功率因数	启动电流 (A)	启动转矩 (倍)	最大转矩 (倍)	外 径	内 径	长 度	气 隙 (mm)	定 子	转 子	线 规 (mm)	每 极 匝 数			平 均 半 匝 长 (mm)	线 规 (mm)	每 极 匝 数	平 均 半 匝 长 (mm)	槽 满 率 (%)
DO4512	15	0.23	2800	36	0.82	0.7	0.5	1.8	71	38	45	0.20	12	15	0.23	823	113	0.19	1258	113	75.7	1	630
DO4522	25	0.32	2800	42	0.84	0.9	0.5	1.8	71	38	45	0.20	12	15	0.25	698	113	0.20	1369	113	81.9	1	630
DO4514	8	0.20	1400	23	0.80	0.5	0.6	1.8	71	38	45	0.20	12	15	0.20	575	81.5	0.16	650	81.5	67.2	1	630
DO4524	15	0.28	1400	30	0.80	0.6	0.5	1.8	71	38	45	0.20	12	15	0.21	523	81.5	0.17	670	81.5	72.5	1	630
DO5012	40	0.45	2800	48	0.84	1.5	0.7	1.8	80	42	50	0.20	12	15	0.33	552	125.5	0.21	994	122.5	72.1	2	630
DO5022	60	0.55	2800	53	0.86	1.5	0.6	1.8	80	42	50	0.20	12	15	0.35	554	125.5	0.33	1084	122.5	75.6	2	630
DO5014	25	0.35	1400	35	0.82	1.0	0.6	1.8	80	42	50	0.20	12	15	0.31	407	90.5	0.21	490	90.5	79.2	2	630
DO5024	40	0.52	1400	40	0.82	1.2	0.6	1.8	80	42	50	0.20	12	15	0.33	369	90.5	0.21	527	90.5	83	2	630
DO5612	90	0.82	2800	58	0.86	2.5	0.6	1.8	80	48	40	0.25	12	18	0.38	536	125	0.25	752	125	71.1	4	630
DO5622	120	1.0	2800	62	0.88	3.2	0.5	1.8	80	48	40	0.25	12	18	0.44	447	133	0.27	627	133	73.9	4	630
DO5614	60	0.72	1400	45	0.84	1.5	0.5	1.8	80	52	40	0.20	12	22	0.29	386	88.5	0.27	503	88.5	70.5	4	630
DO5624	90	0.97	1400	49	0.84	1.9	0.6	1.8	80	52	48	0.20	12	22	0.31	318	98.5	0.29	559	96.5	80.4	4	630

表 4.4.25 DO 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
DO4512 15W		
DO4522 25W		
DO4514 8W		
DO4524 15W		
DO5012 40W		
DO5022 60W		
DO5014 25W		

续表

绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
DO5024 40W		
DO5612 90W		
DO5622 120W		
DO5614 60W		
DO5624 90W		

表 4.4.26 AO<sub>2</sub> 系列三相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	额定功率 (W)	额定电压 (V)	满载时			转子铁心			气 隙 长 度 (mm)		槽 数		定 子 绕 组			堵转电流	堵转转矩	额定电流	额定转矩	最大转矩
			电 流 (A)	转 速 (r/min)	效 率 (%)	功 率 因 数	外 径 (mm)	内 径 (mm)	长 度 (mm)	定 子	转 子	线 规 (mm)	每 槽 匝 数	每 相 串 联 匝 数	节 距					
AO <sub>2</sub> -4512	16	380	0.092	2000	46	0.57	71	38	45	0.2	12	18	1-0.15	710	2840	1-6	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -4522	25	380	0.12	2800	52	0.60	71	38	45	0.2	12	18	1-0.17	615	2460	1-6	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5012	40	380	0.17	2800	55	0.65	80	44	45	0.2	12	18	1-0.21	480	1920	1-6	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5022	60	380	0.23	2800	60	0.66	80	44	45	0.2	12	18	1-0.23	435	1740	1-6	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5612	90	380	0.32	2800	62	0.68	90	48	50	0.25	24	18	1-0.28	185	1480	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5622	120	380	0.38	2800	67	0.71	90	48	50	0.25	24	18	1-0.31	180	1440	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -6312	180	380	0.53	2800	69	0.75	96	50	45	0.25	24	18	1-0.35	165	1320	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -6322	250	380	0.67	2800	72	0.78	96	50	45	0.25	24	18	1-0.38	140	1120	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -7112	370	380	0.95	2800	73.5	0.80	110	58	50	0.25	24	18	1-0.45	116	928	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -7122	550	380	1.35	2800	75.5	0.82	110	58	62	0.25	24	18	1-0.50	93	744	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -8012	750	380	1.75	2800	76.5	0.85	128	67	58	0.25	24	18	1-0.6	84	672	1-12	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -4514	10	380	0.12	1400	28	0.45	71	38	45	0.2	12	18	1-0.14	1100	4400	1-4	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -4524	16	380	0.15	1400	32	0.49	71	38	45	0.2	12	18	1-0.16	950	3800	1-4	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5014	25	380	0.17	1400	12	0.53	80	44	45	0.2	12	18	1-0.18	800	3200	1-4	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5024	40	380	0.24	1400	50	0.54	80	44	45	0.2	12	18	1-0.21	670	2680	1-4	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5614	60	380	0.28	1400	56	0.58	90	54	50	0.25	24	18	1-0.25	310	2480	1-8	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -5624	90	380	0.38	1400	58	0.61	90	54	50	0.25	24	18	1-0.28	275	2200	2-7	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -6314	120	380	0.48	1400	60	0.63	96	58	45	0.25	24	30	1-0.31	270	2160	1-8	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -6324	180	380	0.65	1400	64	0.66	96	58	54	0.25	24	30	1-0.35	220	1760	2-7	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -7114	250	380	0.83	1400	67	0.68	110	67	50	0.25	24	30	1-0.4	188	1504	2-7	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -7124	370	380	1.12	1400	69.5	0.72	110	67	62	0.25	24	30	1-0.45	150	1200	2-7	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -8014	550	380	1.55	1400	73.5	0.73	128	77	58	0.25	24	30	1-0.56	134	1072	1-8	6.0	2.2	2.4	2.4
AO <sub>2</sub> -8024	750	380	2.01	1400	5.5	0.75	128	77	75	0.25	24	30	1-0.63	105	840	2-7	6.0	2.2	2.4	2.4



表 4.4.27 BO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	额定功率 (W)	额定电压 (V)	满载时			定子铁心			槽数		主绕组			副绕组			堵转转矩 ÷ 额定转矩	最大转矩 ÷ 额定转矩			
			电流 (A)	转速 (r/min)	效率 (%)	功率因数	外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子	转子	线规 (mm)	每极匝数	平均半匝长 (mm)	线规 (mm)			每极匝数	平均半匝长 (mm)	
																					堵转电流 (A)
BO <sub>2</sub> -6312	90	220	1.09	2800	56	0.67	96	50	43		24	18	1-0.45	436	132	1-0.33	192	132	12	1.5	1.8
BO <sub>2</sub> -6322	120	220	1.33	2800	58	0.69	96	50	54		24	18	1-0.50	357	141	1-0.35	182	140	14	1.4	1.8
BO <sub>2</sub> -7112	180	220	1.89	2800	60	0.72	110	58	50		24	18	1-0.56	297	148.2	1-0.38	167	148.5	17	1.3	1.8
BO <sub>2</sub> -7122	250	220	2.40	2800	64	0.74	110	58	62		24	18	1-0.63	235	160.2	1-0.40	156	160.6	22	1.1	1.8
BO <sub>2</sub> -8012	370	220	3.36	2800	65	0.77	128	67	58		24	18	1-0.71	206	170.4	1-0.45	133	171.3	30	1.1	1.8
BO <sub>2</sub> -6314	60	220	1.23	1400	39	0.57	96	58	45	0.25	24	30	1-0.42	315	97.3	1-0.31	127	93.5	9	1.7	1.8
BO <sub>2</sub> -6424	90	220	1.64	1400	43	0.58	96	58	54	0.25	24	30	1-0.45	270	166.3	1-0.35	117	103	12	1.5	1.8
BO <sub>2</sub> -7114	120	220	1.88	1400	50	0.58	110	67	50	0.25	24	30	1-0.53	224	109.4	1-0.33	124	109.4	14	1.5	1.8
BO <sub>2</sub> -7124	180	220	2.49	1400	53	0.62	110	67	62	0.25	24	30	1-0.60	183	121.4	1-0.35	102	121.4	17	1.4	1.8
BO <sub>2</sub> -8014	250	220	3.11	1400	58	0.63	128	77	58	0.25	24	30	1-0.71	158	126.4	1-0.40	104	126.4	22	1.2	1.8
BO <sub>2</sub> -8024	370	220	4.24	1400	62	0.64	128	77	75	0.25	24	30	1-0.85	124	143.9	1-0.47	89	113.4	30	1.2	1.8

表 4.4.28 BO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
BO <sub>2</sub> 6312 90W		
BO <sub>2</sub> 6322 120W		
BO <sub>2</sub> 6314 60W		
BO <sub>2</sub> 6324 90W		
BO <sub>2</sub> 7112 180W		
BO <sub>2</sub> 7122 250W		

续表

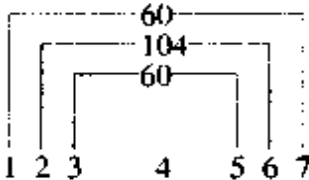
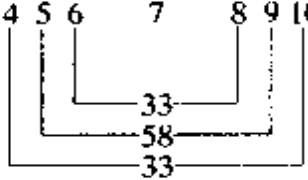

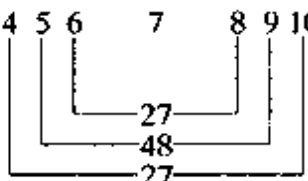
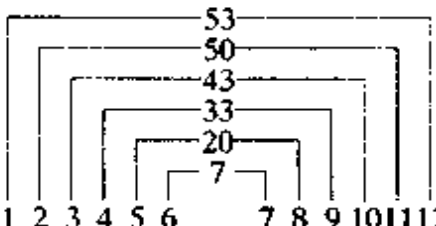
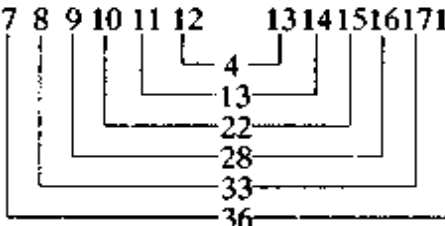
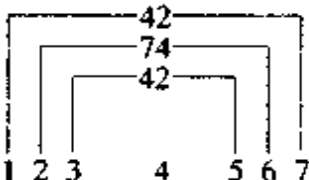
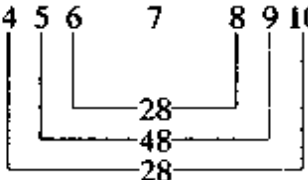
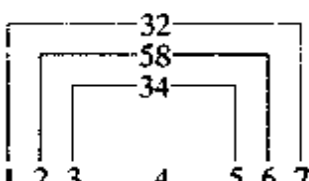
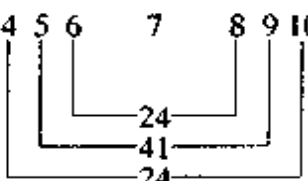
绕组形式	正弦绕组排列方法	
型号	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
BO <sub>2</sub> 7114 120W		
BO <sub>2</sub> 7124 180W		
BO <sub>2</sub> 8012 370W		
BO <sub>2</sub> 8014 250W		
BO <sub>2</sub> 8024 370W		

表 4.4.29 CO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	额定功率 (W)	额定电压 (V)	满载时			功率因数	定子铁心			槽数		主绕组			副绕组			堵转电流 (A)	堵转转矩 / 额定转矩	最大转矩 / 额定转矩	电容量 电容器 ( $\mu$ F)	
			电流 (A)	转速 (r/min)	效率 (%)		外径	内径	长度	气隙长度	定子	转子	线规 (mm)	每极匝数	平均半匝长 (mm)	线规 (mm)	每极匝数					平均半匝长 (mm)
CO <sub>2</sub> -7112	180	220	1.89	2800	60	0.72	110	58	50	0.25	24	18	1-0.56	297	118.2	1-0.38	247	158.3	12	3.0	1.8	75
CO <sub>2</sub> -7122	250	220	2.40	2800	64	0.74	110	58	62	0.25	24	18	1-0.63	235	160.2	1-0.47	204	170.3	15	3.0	1.8	75
CO <sub>2</sub> -8012	370	220	3.36	2800	65	0.77	128	67	58	0.25	24	18	1-0.71	206	170.4	1-0.53	206	180	21	2.8	1.8	100
CO <sub>2</sub> -8022	550	220	4.65	2800	68	0.79	128	67	75	0.25	24	18	1-0.85	159	187.6	1-0.56	154	192	29	2.8	1.8	150
CO <sub>2</sub> -9052	750	220	5.94	2800	70	0.82	145	77	70	0.30	24	18	1-1.0	147	198.2	1-0.63	133	211.2	37	2.5	1.8	200
CO <sub>2</sub> -7114	120	220	1.88	1400	50	0.58	110	67	50	0.25	24	30	1-0.53	224	109.4	1-0.35	145	120.2	9	3.0	1.8	75
CO <sub>2</sub> -7124	180	220	2.49	1400	53	0.62	110	67	62	0.25	24	30	1-0.60	183	121.4	1-0.38	124	132.2	12	3.0	1.8	75
CO <sub>2</sub> -8014	250	220	3.11	1400	58	0.63	128	77	58	0.25	24	30	1-0.71	158	126.4	1-0.47	133	139	15	2.8	1.8	100
CO <sub>2</sub> -8024	370	220	4.24	1400	62	0.64	128	77	75	0.25	24	30	1-0.85	124	143.4	1-0.50	134	155.8	21	2.5	1.8	100
CO <sub>2</sub> -90S4	550	220	5.57	1400	65	0.69	145	87	70	0.25	36	42	1-0.95	127	149.6	1-0.60	108	157.2	29	2.5	1.8	150
CO <sub>2</sub> -90L4	750	220	6.77	1400	69	0.73	145	87	90	0.25	36	42	1-1.06	96	165	1-0.63	120	177	37	2.5	1.8	150

表 4.4.30 CO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
CO <sub>2</sub> 7112 180W		
CO <sub>2</sub> 7122 250W		
CO <sub>2</sub> 7114 120W		
CO <sub>2</sub> 7124 180W		
CO <sub>2</sub> 8012 370W		
CO <sub>2</sub> 8022 550W		

续表

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
CO <sub>2</sub> 8014 250W		
CO <sub>2</sub> 8024 370W		
CO <sub>2</sub> 9012 750W		
CO <sub>2</sub> 9014 550W		
CO <sub>2</sub> 9024 750W		

表 4.4.31 DO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机铁心、绕组技术数据

型 号	额定功率 (W)	额定电压 (V)	满载时			定子铁心			槽数		主绕组			副绕组			电容器						
			电流 (A)	转速 (r/min)	效率 (%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙长度	定子	转子	线规 (mm)	每极匝数	平均半径 (mm)	线规 (mm)	每极匝数	平均半径 (mm)	堵转电流 (A)	堵转转矩 / 额定转矩	最大转矩 / 额定转矩	容量 $\mu\text{F}$	工作电压 (V)
DO <sub>2</sub> -4512	10	220	0.2	2800	28	0.80	71	38	45	0.2	12	18	1-0.18	868	106	1-0.16	971	103	0.80	0.6	1.8	1	630
DO <sub>2</sub> -4522	16	220	0.26	2800	35	0.80	71	38	45	0.2	12	18	1-0.2	750	106	1-0.19	796	103	1.00	0.6	1.8	1	630
DO <sub>2</sub> -5012	25	220	0.33	2800	40	0.85	80	44	45	0.2	12	18	1-0.25	519	125.7	1-0.23	819	125.7	1.50	0.6	1.8	2	630
DO <sub>2</sub> -5022	40	220	0.42	2800	42	0.90	80	44	45	0.2	12	18	1-0.25	489	125.7	1-0.25	698	125.7	2.00	0.5	1.8	2	630
DO <sub>2</sub> -5612	60	220	0.57	2800	53	0.90	90	48	50	0.25	24	18	1-0.28	454	131.6	1-0.31	527	131.6	2.50	0.5	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -5622	90	220	0.81	2800	56	0.90	90	48	50	0.25	24	18	1-0.33	363	131.6	1-0.31	467	131.6	3.20	0.35	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -6312	120	220	0.91	2800	63	0.95	96	50	45	0.25	24	18	1-0.4	415	132	1-0.31	593	132	5.00	0.35	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -6322	180	220	1.29	2800	67	0.95	96	50	54	0.25	24	18	1-0.47	320	140.7	1-0.33	427	140.7	7.00	0.35	1.8	6	630
DO <sub>2</sub> -4514	6	220	0.2	2800	69	0.95	110	58	50	0.25	24	18	1-0.50	271	148.1	1-0.45	382	148.1	10.00	0.35	1.8	8	430
DO <sub>2</sub> -4524	10	220	0.26	1400	24	0.80	71	38	45	0.20	12	18	1-0.20	600	83.3	1-0.16	620	83.3	0.80	0.60	1.8	1	630
DO <sub>2</sub> -5014	16	220	0.28	1400	33	0.80	80	44	45	0.20	12	18	1-0.21	560	85.4	1-0.21	455	85.4	1.00	0.60	1.8	2	630
DO <sub>2</sub> -5024	25	220	0.33	1400	38	0.82	80	44	45	0.2	12	18	1-0.25	433	85.4	1-0.21	435	85.4	1.50	0.5	1.8	2	630
DO <sub>2</sub> -5614	40	220	0.49	1400	45	0.82	90	54	50	0.25	24	18	1-0.28	356	98.7	1-0.23	508	98.7	2.00	0.50	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -5624	60	220	0.64	1400	50	0.85	90	54	50	0.25	24	18	1-0.31	345	98.7	1-0.28	339	98.7	2.50	0.50	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -6314	90	220	0.94	1400	51	0.85	96	58	45	0.25	24	18	1-0.35	302	93.7	1-0.31	374	93.7	3.20	0.35	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -6324	120	220	1.17	1400	55	0.85	96	58	54	0.25	24	18	1-0.40	259	106.3	1-0.31	365	106.3	5.00	0.35	1.8	4	630
DO <sub>2</sub> -7114	180	220	1.58	1400	59	0.88	110	67	50	0.25	24	18	1-0.42	206	109.4	1-0.32	330	109.4	7.00	0.35	1.8	6	430
DO <sub>2</sub> -7124	250	220	2.04	1400	62	0.90	110	67	62	0.25	24	30	1-0.47	165	121.4	1-0.42	268	121.4	10.00	0.35	1.8	8	430

表 4.4.32 DO<sub>2</sub> 系列单相异步电动机绕组排列方法

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
DO <sub>2</sub> 4512 8W		
DO <sub>2</sub> 4522 16W		
DO <sub>2</sub> 4514 4W		
DO <sub>2</sub> 4524 8W		
DO <sub>2</sub> 5012 25W		
DO <sub>2</sub> 5022 40W		



续表

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
DO <sub>2</sub> 5014 16W		
DO <sub>2</sub> 5024 25W		
DO <sub>2</sub> 5612 60W		
DO <sub>2</sub> 5622 90W		
DO <sub>2</sub> 5614 40W		
DO <sub>2</sub> 5624 60W		

续表

绕组形式 型号	正弦绕组排列方法	
	主绕组槽节距与匝数	副绕组槽节距与匝数
DO <sub>2</sub> 6312 120W		
DO <sub>2</sub> 6322 180W		
DO <sub>2</sub> 6314 90W		
DO <sub>2</sub> 6324 120W		
DO <sub>2</sub> 7112 250W		
DO <sub>2</sub> 7114 180W		

## 2.3 外形和安装尺寸

AO<sub>2</sub>、BO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、DO<sub>2</sub> 系列小功率异步电动机的外形和安装尺寸见图 4.4.1、图 4.4.2 及表 4.4.33、表 4.4.34 所示。

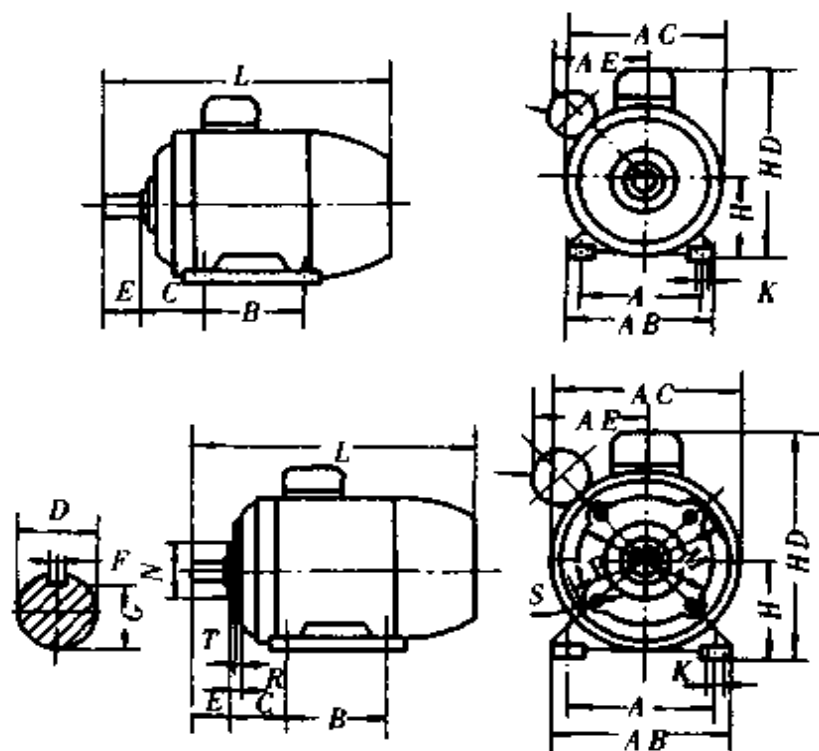


图 4.4.1 AO<sub>2</sub>、BO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、DO<sub>2</sub> 系列小功率异步电动机 (B3、B34) 外形

表 4.4.33 AO<sub>2</sub>、BO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、DO<sub>2</sub> 系列小功率异步电动机 (B5、B34) 外形和安装尺寸 mm

机座号	B3 安装尺寸										B34 安装尺寸					外形尺寸					
	A	A/2	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AE	HD	L
45	71	35.5	56	28	9	20	3	7.2	45	4.8	45	32	60	0	M5		90	100		115	150
50	80	40	63	32	9	20	3	7.2	50	5.8	55	40	70	0	M5	2.5	100	110		125	155
56	90	45	71	36	9	20	3	7.2	56	5.8	65	50	80	0	M5	2.5	115	120		135	170
63	100	50	80	40	11	23	4	8.5	63	7	75	60	90	0	M5	2.5	130	130		165	230
71	112	56	90	45	14	30	5	11	71	7	85	70	105	0	M6	2.5	145	145	95	180	255
80	125	62.5	100	50	19	40	6	15.0	80	10	100	80	120	0	M6	3.0	160	165	110	200	295
90	140	70	100	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M8	3.0	180	185	120	220	310
			125																		335

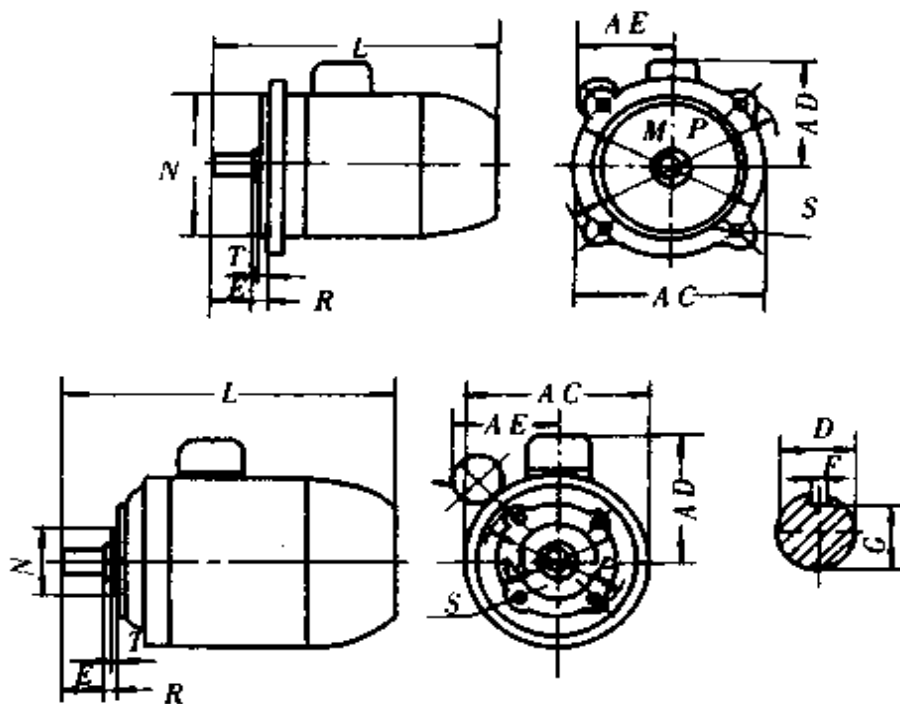


图 4.4.2 AO<sub>2</sub>、BO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、DO<sub>2</sub> 系列小功率异步电动机  
(B5、B14)外形

表 4.4.34 AO<sub>2</sub>、BO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、DO<sub>2</sub> 系列小功率异步电动机(B5、B14)外形和安装尺寸 mm

机座号	轴伸尺寸				B5 安装尺寸					B14 安装尺寸					B5 外形尺寸			B14 外形尺寸						
	D	E	F	G	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AC	AD	AE	L	AC	AD	AE	L
45	9	20	3	7.2							45	32	60	0	M5	2.5					100	70		150
50	9	20	3	7.2							55	40	70	0	M5	2.5					110	75		155
56	9	20	3	7.2							65	50	80	0	M5	2.5					120	80		170
63	11	23	4	8.5	115	95	140	0	10	3	75	60	90	0	M5	2.5	130	100	-	250	130	100		230
71	14	30	5	11	130	110	160	0	10	3.5	85	70	105	0	M6	2.5	145	110	95	275	145	110	95	255
80	19	40	6	15.5	165	130	200	0	12	3.5	100	80	120	0	M6	3	175	120	110	300	165	120	110	295
90	S				165	130	200		12											335				310
	L	24	50	8	20			0		3.5	115	95	140	0	M8	3	185	130	120	360	185	130	120	335

## 2.4 常见故障和处理方法

常见故障和处理方法见表 4.4.35。

表 4.4.35 小功率异步电动机的常见故障和处理方法

故障现象	可能原因	处 理 方 法
1 电动机的温升超过标准或冒烟	电压过低或过载, 驱动器卡住或润滑不良	(1) 测量电压是否过低。如电源线太细, 压降太大, 可改用粗线, 适当提高电压 (2) 用电流表测量电流。如过载, 适当降低负载。有条件时可用风扇吹或鼓风机吹, 加强冷却 (3) 排除机器卡住故障, 给机器加润滑油
	电机通风不好或暴晒	(1) 检查电机风扇是否损坏或未紧固 (2) 移去阻塞风道的异物
	电压过高或接法错误	(1) 如电压超出标准很多, 可适当降低电压 (2) 改正接线错误
	鼠笼式转子断条	确定是断条后, 更换一个转子
	正反转频繁或起动次数过多	减少正反运转和起动次数, 或改用其他合适类型的电动机
	定转子相擦	(1) 如轴承松动, 须换新轴承 (2) 锉去定、转子相擦部分 (3) 校正转轴中心线
	定子绕组有小范围短路或定子绕组有局部接地	(1) 打开电动机, 目视、鼻闻是否烧焦。手摸, 比较温度, 找出短路处, 分开短路部分 (2) 用试灯或兆欧表查出接地处, 垫好绝缘, 刷绝缘漆烘干
起动后离心开关触头断不开	测量总电流或副相回路电流, 检修或更换离心开关	
2 起电动、动有机喘不喘能声	有某相线路不通	(1) 开关至定子绕组的接头有油泥或氧化物, 应刮净接好 (2) 接线柱松脱, 应固紧 (3) 电源线不通, 有断线或脱接, 用试灯或万用表查出后修复
	电压太低	电源线太细, 起动压降太大, 应换成粗的导线

续表

故障现象	可能原因	处 理 方 法
2 电动机不能起动,有嗡嗡声	带动的机械被卡住	检查机械设备,排除故障
	黄油太硬,小容量电机不能起动	此类故障发生在严冬无保温场所的电机。拆开油盖加入少量机油
	定子或转子绕组断路	用万用表或试灯检查断路处并修复之
	离心开关触点合不上	检查离心开关触点是否已坏或者不灵活,加以调整
	电机绕组内部接反或定子出线首尾接反	给定子绕组通直流电,用指南针查极性,改正接线错误
	电容器开路	更换电容器
	单相起动	检查开关和保险丝
3 闸刀开关合上后烧坏保险丝	开关和定子之间接线有短路	拆开电动机接线头,检查导线的绝缘性能,消除故障
	定子绕组接地或短路	参阅本表“电动机温升超过标准或冒烟”
	电动机负载过大,有机械卡住	用电流表检查定子电流和转动转子有无卡住现象,减轻负载,消除故障
	保险丝选择太细	保险丝应对短路和过载起动起保护作用,一般按下式选用: 保险丝额定电流 $\geq(2-2.5)$ 电动机起动电流
4 电动机转动时噪声太大	引出线接地	把引出线接好,排除接地故障
	绕组短路或接地	测量电阻值,排除故障
	离心开关损坏	修理或更换离心开关
	轴承损坏	修理或更换轴承
	轴向间隙太大	将间隙调至适当值
电动机内落入杂物	拆开电动机,清除杂物	

续表

故障现象	可能原因	处 理 方 法
5 帮动 空助迟 载下缓 能能且 起起转 动动向 或,不 外但定 力起	副绕组开路	查出断线处,并接上
	离心开关触头合不上	检查修复
	电容器断开	更换电容器
6 负 电载后 动转 机速 起立 动困 即难 下 降 加 上	电源电压低	检查电源电压
	转子鼠笼断开	拆开电动机,检查转子鼠笼情况
	定子绕组内部有局部线圈接错,此时,电流也不平衡	拆开电动机,检查每相极性
	轴承摩擦加大	清理轴承,加上适当的润滑脂
	负载过大	更换容量较大的电动机
7 电 电 流 有 较 大 的 不 平 衡	电源电压不平衡	检查电源电压
	重绕定子绕组后,三相匝数不相等	重绕定子绕组
	定子绕组内部接线有错误	检查每相极性
8 载 电 电 流 偏 空 大	电源电压过高	检查电源电压
	电动机本身气隙较大	拆开电动机,用内卡、外卡测量定子内径和转子外径
	电动机定子绕组匝数未绕够	重绕定子绕组,增加匝数
	电动机装配不当	用手试转电动机,如转子转动不灵活,则可能是转子轴向位移过多,或端盖螺钉没有平衡上紧,可放松螺钉再试转

续表

故障现象	可能原因	处 理 方 法
9 机壳带 电	引出线或接线盒接头的绝缘损坏后碰地	检查后套上绝缘管或包扎绝缘布
	端部太长,碰机壳	端盖卸下后接地现象即消失。此时应将绕组端部刷一层绝缘漆,并垫上绝缘纸再装上端盖
	定子两端的槽口绝缘损坏	细心扳动绕组端接部分,耐心找出绝缘损坏处,然后垫上绝缘纸再涂上绝缘漆
	槽内有铁屑等杂物未除尽,嵌入导线后即通地	拆开每个线圈接头,用淘汰法找出接地线圈后进行局部修理
	在嵌线时,导体绝缘有机械损伤	拆开每个线圈接头,用淘汰法找出接地线圈后,进行局部修理
	外壳没有可靠接地	按上面几个方法排除故障后,将电动机外壳可靠接地
10 绝缘电阻 降低	潮气侵入	用兆欧表检查后,进行烘干处理
	引出线和接线盒接头的绝缘即将损坏	重新包扎引出线接线头
	电动机过热后绝缘老化	可重新浸渍处理
11 轴承盖 发热、 比机壳 温度高	新换轴承装得不好,有扭歪、卡住等不灵活现象	转动转子或拆端盖转动轴承,找出故障后改正之
	轴承干涩,润滑油太少	清洗轴承,加上轴承润滑油
	有漏油现象,润滑油太多	一般润滑油加到轴承室的70%左右,即轴承加满,轴承盖浅浅加一层即可
	皮带张力太紧或联轴器装配不在同一线上	转动转子,检查皮带张紧情况、联轴器联接情况
	轴承油内有灰砂、杂质和铁屑等物	用铁棒或螺丝刀一头放在轴承端盖处用耳倾听,轴运转有杂声,应立即停车清洗轴承
	轴承已损坏	换上同型号轴承
	端盖与机座不同心,转起来很紧	检查端盖与机座的同心度



### 3 小功率同步电动机

小功率同步电动机是转子转速  $n$  与电源频率  $f$  之间具有固定关系  $n = \frac{60f}{p}$  r/min ( $p$  为电动机的极对数) 的一种交流小功率电动机。当电源频率一定, 且电动机负载转矩小于最大同步转矩时, 电动机则以恒定的同步转速稳定运转, 且转速不随负载大小而变化, 因此小功率同步电动机适用于各种要求恒速驱动的机构。

#### 3.1 分类、结构特点与应用范围

小功率同步电动机的分类、结构特点与应用范围如表 4.4.36 所示。

#### 3.2 技术数据

小功率同步电动机的技术数据见表 4.4.37 至表 4.4.48。

表 4.4.37 磁阻同步电动机规格

中心高 (mm)	功率 (W) 转速 r/min	系列		
		TC 系列三相磁阻同步电动机	TUC 系列单相电容起 动磁阻同步电动机	TUL 系列单相双值电 容磁阻同步电动机
		1500		
80	2	550	250	
	1	370	180	
71	2	250	120	180
	1	180	90	120
63	2	120		90
	1	90		60

表 4.4.38 磁阻同步电动机性能数据

项目	单位	性能数据 功率 (W)	系列	三相磁阻同 步电动机 TC系列	单相电容起 动磁阻同步 电动机 TUC系列	单相双值电 容磁阻同步 电动机 TUL系列
			全部规格			
堵转转矩	(倍)	全部规格	2.5	3	1.2	
堵转电流	(倍)	全部规格	6			
	(A)	250		25		
		180		19	13	
		120		15	9	
		90		12	7	
		60			5	
最大同步转矩	(倍)	全部规格	1.6	1.4	1.4	
牵入转矩	(倍)	全部规格	1.2	1.2	1.2	
效率	(%)	550	72			
		370	68			
		250	60	50		
		180	58	48	53	
		120	52	40	48	
		90	50	37	45	
		60			40	

续表

项目	单位	性能数据 功率 (W)	系列	三相磁阻同 步电动机 TC系列	单相电容起 动磁阻同步 电动机 TUC系列	单相双值电 容磁阻同步 电动机 TUL系列
功率因数		550		0.50		
		370		0.48		
		250		0.46	0.48	
		180		0.45	0.47	0.80
		120		0.43	0.45	0.79
		90		0.42	0.43	0.78
		60				0.77
振 动	(mm/s)	全部规格	1.8	2.8	2.8	
噪 声	dB(A)	250~550	70	70	70	
		60~180	65	65	65	

表 4.4.39 单相电容运转磁阻同步电动机技术数据

型 号	额定 电压 (V)	频率 (Hz)	额定转矩 (mN·m)	最大同 步转矩 (mN·m)	堵转转矩 (mN·m)	转速 (r/min)	输入 功率 (W)	额定 电流 (A)	电容量 ( $\mu$ F)
TX-061	220	50	27	78	29	3000	55	0.3	1
	127							0.44	4
TX-062	220	50	78	147	88	3000	75	0.52	2

表 4.4.40 TZ、TNZ 系列同步电动机技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	频率 (Hz)	相数	同步转速 (r/min)	最大同步转矩 (N·m)	堵转转矩 (N·m)	输入功率 (W)	工作电容 ( $\mu\text{F}$ )	额定转矩 (N·m)	输出功率 (W)
12TZ4B	20	-	400	2	24000	-	$0.11 \times 10^{-3}$	-	-	$0.11 \times 10^{-3}$	0.27
20TZ4B	36	-	400	2	24000	-	$0.39 \times 10^{-3}$	-	-	$0.39 \times 10^{-3}$	0.98
20TZ004	10	-	400	1	8000	-	$50 \times 10^{-5}$	-	-	-	-
28TZ4A	36	-	400	3	24000	-	$1.17 \times 10^{-3}$	-	-	$1.17 \times 10^{-3}$	3
28TNZ001	9	$\leq 0.25$	50	1	3000	$50 \times 10^{-5}$	$50 \times 10^{-5}$	1.6	10	-	-
28TNZ003	28	0.30	400	1	4000	$100 \times 10^{-5}$	$50 \times 10^{-5}$	3	1.47	-	-
28TZ005	12	0.58	100	1	3000	$150 \times 10^{-5}$	$200 \times 10^{-5}$	5.7	10	-	-
28TZ008	40	0.25	500	1	15000	$180 \times 10^{-5}$	$300 \times 10^{-5}$	10	0.47	-	-
36TZ5A	110	-	50	3	3000	-	$4.8 \times 10^{-3}$	-	-	$4.8 \times 10^{-3}$	1.5
36TNZ004	8	1	50	1	1500	0.014~ 0.015	0.02	-	250 ~ 300	-	-
36TNZ005	10	0.5	100	1	3000	$400 \times 10^{-5}$	$450 \times 10^{-5}$	3	22	-	-
36TZ007	27	$\leq 1$	400	1	12000	$700 \times 10^{-5}$	-	-	-	-	-
36TZ009	22.5	2	200	1	6000	0.0115	0.0115	25	8	-	-
36TZ010	10	-	120	2	3600	$270 \times 10^{-5}$	$310 \times 10^{-5}$	-	-	-	<3
45TZ5A	220	-	50	3	3000	-	$15.9 \times 10^{-3}$	-	-	$15.9 \times 10^{-3}$	5
45TNZ003	115	0.32	400	1	8000	0.17	0.19	30	-	-	-
45TZ005	22.5	$\leq 2.5$	400	1	6000	0.015	-	-	-	-	-
45TZ006	24	1	320	3	9600	$800 \times 10^{-5}$	$900 \times 10^{-5}$	-	-	-	6
55TZ5A	220	-	50	3	3000	-	$38.2 \times 10^{-3}$	-	-	$38.2 \times 10^{-3}$	12
55TZ005	220	-	50	1	1500	0.015	0.015	25	1.5	-	-
70TZ5A	220	-	50	3	3000	-	$82.8 \times 10^{-3}$	-	-	$82.8 \times 10^{-3}$	26
70TNZ002	115~ 150	1.5 ~ 3	1000	3	60000	0.01	-	-	-	-	60
70TNZ003	220	0.35	50	3	1500	0.1	0.11	32	4	-	-
72TZ001	115~180	1.5	500	3	30000	0.01	-	-	-	-	30
90TZ5A	220	-	50	3	3000	-	$192 \times 10^{-3}$	-	-	$192 \times 10^{-3}$	60
90TZ002	220	0.4	50	1	1500	0.1	0.14	60	1	-	-
110TZ5A	220	-	50	3	3000	-	$384 \times 10^{-3}$	-	-	$384 \times 10^{-3}$	120
140TZ002	24	3.5	180	2	1800	0.1	0.1	30	-	-	-
160TZ001	24	-	180	2	360	0.025	-	10	-	-	-
164TZ002	197	1.1	60	3	900	2.1	3.8	-	-	-	194

表 4.4.41 TZW 系列外转子磁滞同步电动机技术数据

型号	额定电压 (V)	频率 (Hz)	输出功率 (W)	同步转速 (r/min)	堵转转矩 (N·m)	最大同步转矩 (N·m)	输入功率 (W)	额定电流 (A)	噪声 dB(A)	电容 ( $\mu$ F)
TZW41-4	220	50	4	1500	$31 \times 10^{-3}$	$31 \times 10^{-3}$	35	0.2	50	3
TZW41-4/8	220	50		1500/750	$20 \times 10^{-3}$	$20/10 \times 10^{-3}$	30	0.2	50	2
TZW51-4	220	50	2.5	1500	$31 \times 10^{-3}$	$21.5 \times 10^{-3}$	30	0.15	50	2
TZW51-2/4	220	50	5/2.5	3000/1500	$21.5 \times 10^{-3}$	$20 \times 10^{-3}$	35	0.3	50	3
TZW653-4/8	220	50	7/3.5	1500/750	$88/108 \times 10^{-3}$	$54 \times 10^{-3}$	40/45	0.25/0.3	50	3/3.5
TZW654-2	220	50	15	3000	$117 \times 10^{-3}$	$59 \times 10^{-3}$	70	0.5	50	6
TZW654-4/8	220	50	10/15	1500/750	$117/147 \times 10^{-3}$	$70 \times 10^{-3}$	50/66	0.3/0.35	50	4/5
TZW754-4/8	220	50	18/9	1500/750	$147/176 \times 10^{-3}$	$127 \times 10^{-3}$	70/80	0.7	50	-

表 4.4.42 罩极式磁滞同步电动机技术数据

型号	额定电压 (V)	频率 (Hz)	最大转矩 (N·m)	电流 (mA)	转速 (r/min)	同步转矩 (N·m)	输入功率 (W)	结构特征
TZM-16	115	400	-	10	3000			有罩极的爪极式,带齿轮减速机构
TZM-16-1	36	400	-	35	3000			
SM-1/2	220	50	$\times 10^{-3}$ 4000		1/2			带齿轮减速机构
TBR-60	220	50	$\times 10^{-3}$ 2		60			磁极上有两组罩极,外接开关,可在运转中改变转向
TBR-2			70		2			
TD-5/8	85	50	$\times 10^{-3}$ 40		5/6			转子中间开槽增大转矩,定子为二凸极,有短路环带减速器
TD-1/300	220		200		1/300			
9.6TZZ001	115	400		5	3000	$0.1 \times 10^{-5}$	0.5	
40TY001	220	50		15	375	$100 \times 10^{-5}$	-	

表 4.4.43 异步起动永磁同步电动机技术数据(国外产品)

功率 (kW)	机座	效率 (%)	功率因数	最大转矩 (倍)	堵转转矩 (倍)	堵转电流 (倍)
0.37	63L4	73	0.80~0.90	1.6~2.0	1.8	4
0.75	80L4	79	0.85~0.95	1.6~2.0	1.8	4.5
1.5	90L4	82	0.85~0.95	1.6~2.0	1.9	5
3	100L4	85	0.88~0.98	1.6~2.0	1.9	5.2

表 4.4.44 记录仪表用自起动永磁同步电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	频 率 (Hz)	最大同步 转 矩 (m·N·m)	同步转速 (r/min)	电 流 (A)	外形尺寸 外径×长 (mm)
TYD-16	220	50	2.5	375	0.02	∅55×22.5
TDY-375	220	50	2.5	375	0.02	∅55×23
90TYD	220	50	120	60		∅90×122
45TRY	220	50	3	250	0.016	∅45×25
55TYB	220	50	8	375	0.018	∅55×55
55TYD	220	50	100	60	0.025	∅55×68
55TYX	220	50	2.5	375	0.018	∅55×19
TYC-60	220	50	2	60	0.024	∅37×50
TYC-1/1440	220	50	200	1/1440		

表 4.4.45 日用电器用自起动永磁同步电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	频率 (Hz)	最大同步转矩 (N·m)	输出轴转速 (r/min)	电流 (A)	外形尺寸 外径×长 (mm)
TYC-30	220	50	$80 \times 10^{-3}$	30	0.02	∅50×28
TYC-5	220	50	0.3	5	0.02	∅50×28
TY-250	220	50	$0.6 \times 10^{-3}$	250	0.015	∅38×11

表 4.4.46 TNZ 型相位同步电动机技术数据

型 号	绕组 接法	电源 电压 (V)	电源 频率 (Hz)	转速 (r/min)	输出 功率 (W)	相数	分相 电容 ( $\mu$ F)	相位 精度	转速 稳定度	质量 (g)
36TNZ003	并联	110	50	1500	1	单相	0.5	$< \pm 2'$	$< 0.5$	250
36TNZ006	串联	220	50	1500	1	单相	1			

表 4.4.47 TZS 双速磁滞同步电动机技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (mA)	频率 (Hz)	同步转速 (r/min)	最大同步转矩 (N·m)	堵转转矩 (N·m)	输出功率 (W)	工作电容 ( $\mu\text{F}$ )
36TZS001	115	66	400	12000	$120 \times 10^{-5}$	$200 \times 10^{-5}$	1	0.082
	115	66	400	8000	$160 \times 10^{-5}$	$140 \times 10^{-5}$	1	0.082
36TZS002	115	120	400	12000	$250 \times 10^{-5}$	$260 \times 10^{-5}$	2	0.1
	115	120	400	8000	$320 \times 10^{-5}$	$200 \times 10^{-5}$	2	0.1

表 4.4.48 TYG 型永磁式低速同步电动机技术数据

型号	55TYG002	70TYG002	70TYG003	90TYG002	110TYG001
额定电压 (V)	220	220	220	220	220
额定电流 (A)	$<0.045$	0.15	-	-	0.37/0.23
频率 (Hz)	50	50	50	50	50
同步转速 (r/min)	60	60	60	60	60
最大同步转矩 (N·m)	0.2	0.95	0.95	2.3	3.4
分相电阻 ( $\Omega$ )	680	-	-	1000	-
分相电容 ( $\mu\text{F}$ )	1	-	-	2.5	0.7

### 3.3 外形和安装尺寸

TN、TNZ、TZ、TNZ、TY、TZZ、TYG 小功率同步电动机的外形和安装尺寸见图 4.4.3 至图 4.4.6。

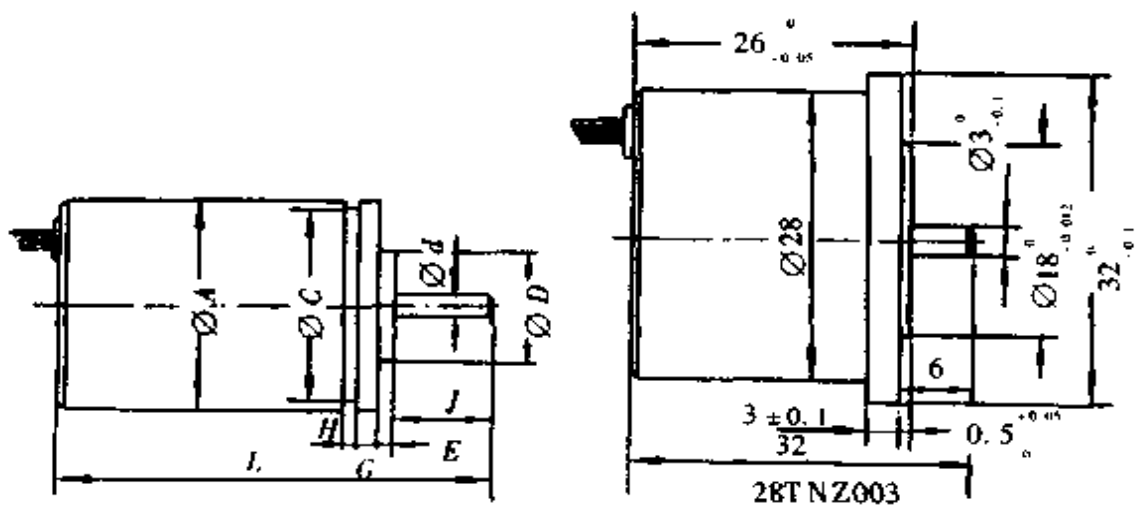
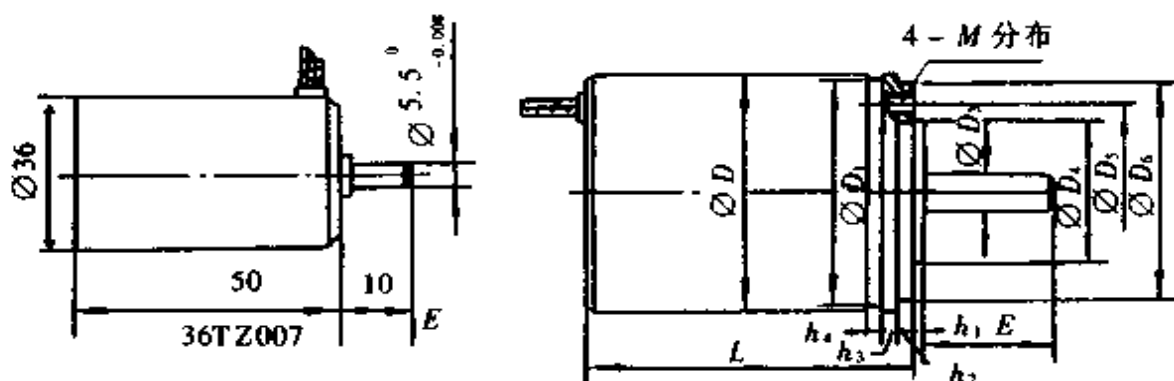


图 4.4.3 (图题见下页)

mm

机座号	尺寸	A	C	D	E	G	H	J	d	L
20TN004		$\varnothing 20 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.084 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 19 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.14 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 13 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.012 \end{smallmatrix}$	$1.2 \pm 0.1$	$1.2 \pm 0.1$	$1.2 \pm 0.1$	10	$\varnothing 2 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.012 \end{smallmatrix}$	42
28TNZ001		$\varnothing 28 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.084 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 26.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 18 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.012 \end{smallmatrix}$	$1 \pm 0.1$	1.5	$1.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	11	$\varnothing 4 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.022 \end{smallmatrix}$	45
28TZ005		$\varnothing 28 \begin{smallmatrix} 0.007 \\ 0.016 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 26 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 18h6$	$1.5 \pm 0.1$	$2 \pm 0.1$	$1.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.2 \end{smallmatrix}$	12	$\varnothing 3 \begin{smallmatrix} 0.003 \\ 0.008 \end{smallmatrix}$	49
28TZ008		$\varnothing 28 \begin{smallmatrix} 0.007 \\ 0.016 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 26 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 18h6$	$1.5 \pm 0.1$	$2 \pm 0.1$	$1.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.2 \end{smallmatrix}$	8.5	$\varnothing 3 \begin{smallmatrix} 0.003 \\ 0.008 \end{smallmatrix}$	54.5
36ZTZ005		$\varnothing 36 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	$\varnothing 27 \pm 0.1$	$\varnothing 22 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.014 \end{smallmatrix}$	$1.5 \pm 0.1$	$2 \pm 0.1$	$2 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.2 \end{smallmatrix}$	12	$\varnothing 4 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.008 \end{smallmatrix}$	47



mm

机座号	尺寸	D	D <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	E	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	D <sub>6</sub>	M	D <sub>3</sub>	L
36TNZ004		$36 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	$32 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.017 \end{smallmatrix}$	$22 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.014 \end{smallmatrix}$	$34 \pm 0.1$	12.5	$1.5 \pm 0.1$	$12.5 \pm 0.1$	2	$2 \pm 0.1$	$27.5 \pm 0.1$	M3	$4 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.008 \end{smallmatrix}$	50.5
45TNZ003		$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	-	$25 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.014 \end{smallmatrix}$	$41 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.1 \end{smallmatrix}$	13.5	$1.5 \pm 0.1$	$12.5 \pm 0.1$	$2 \pm 0.1$	$2 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.2 \end{smallmatrix}$	$33 \pm 0.1$	M3	$4 \begin{smallmatrix} 0 \\ 0.008 \end{smallmatrix}$	53

图 4.4.3 小功率同步电动机 TN、TNZ 系列外形和安装尺寸

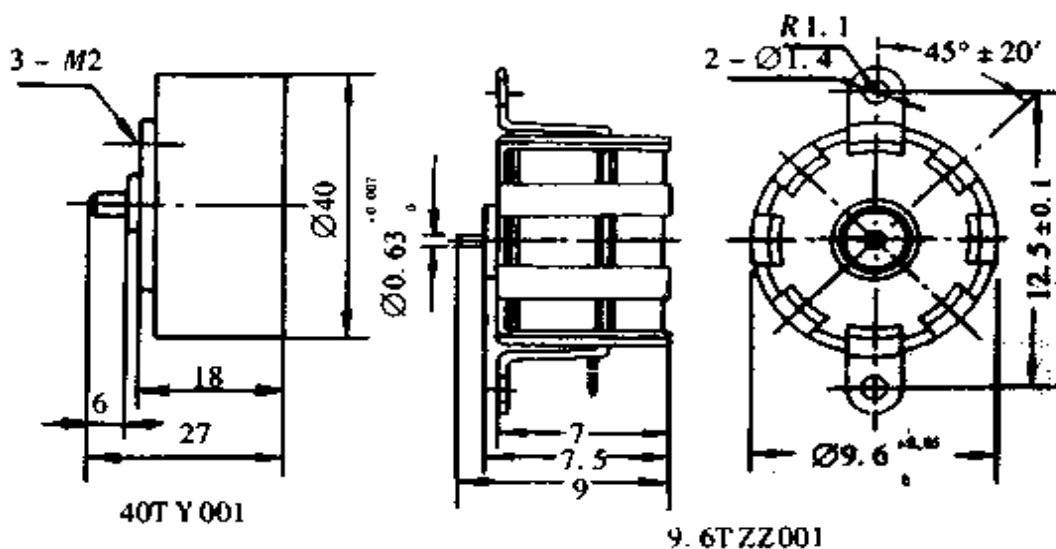
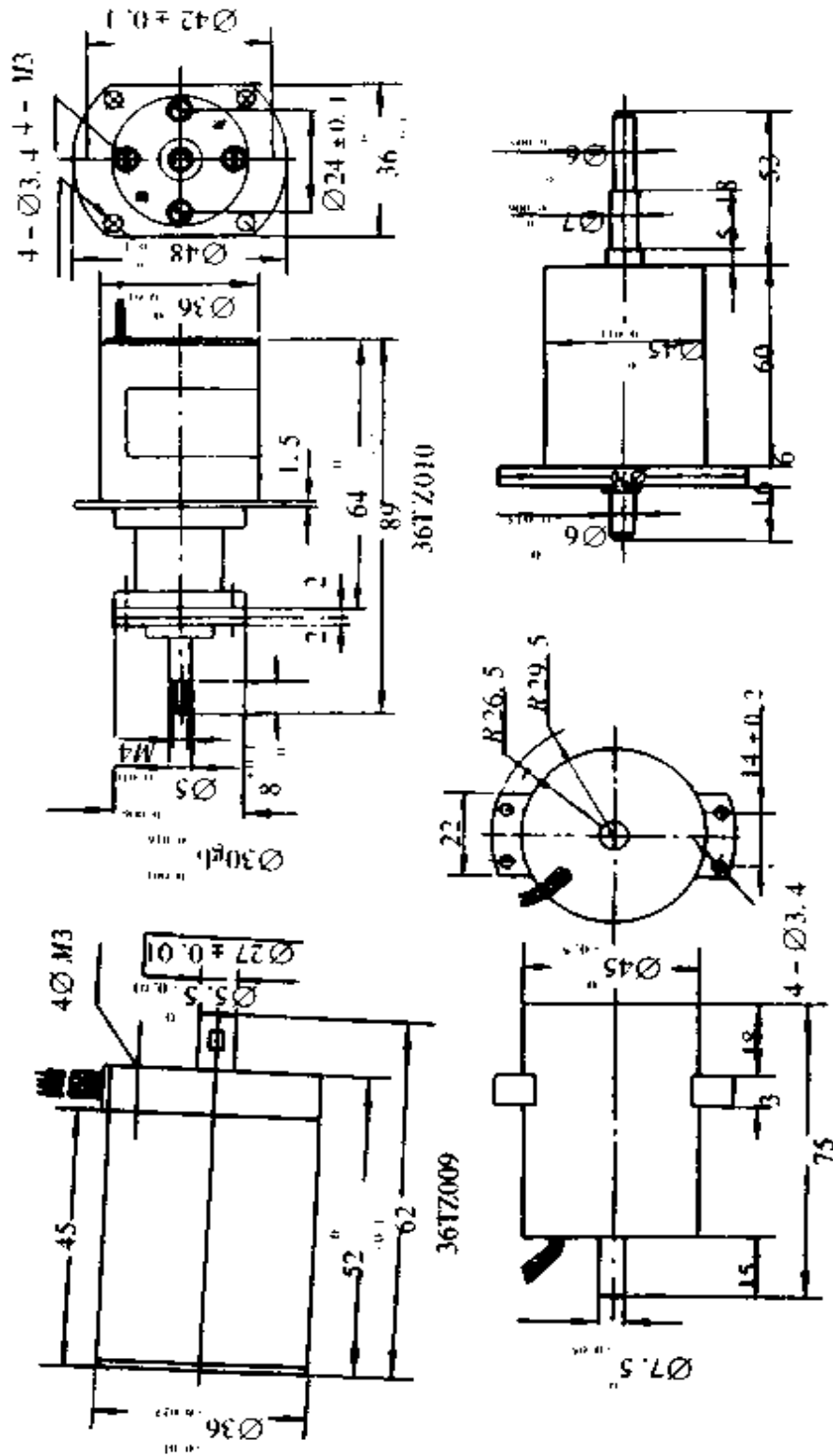


图 4.4.4 小功率同步电动机 TY、TZZ 系列外形和安装尺寸





45TZ006

45TNZ005

图 4.4.5 小功率同步电动机 TZ、TNZ 系列外形及安装尺寸

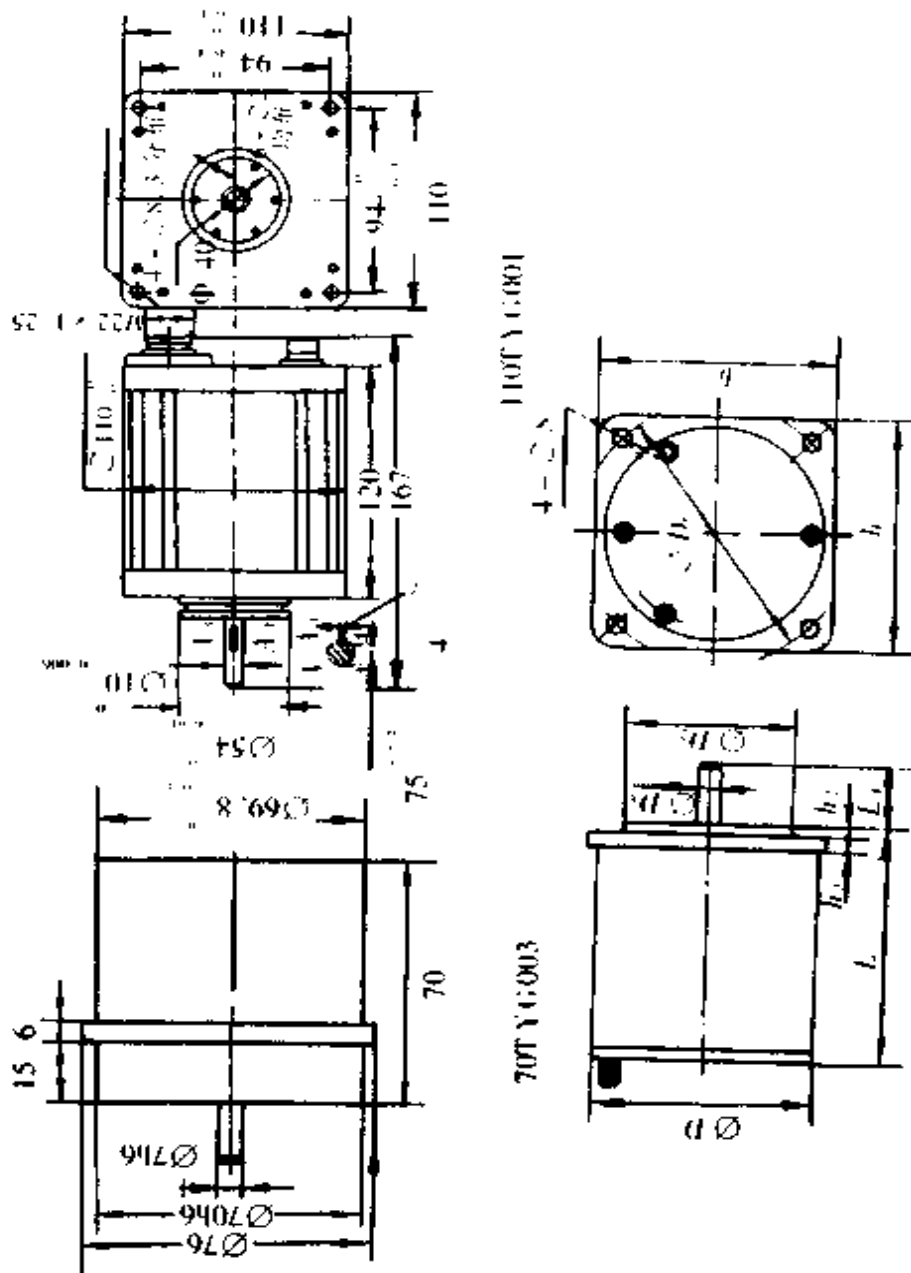


图 4.4.6 小功率同步电动机 TYG 系列外形和安装尺寸

型号	$\varnothing D$	$\varnothing D_2$	$L_1$	$b_2$	$b_3$	$b$	$b_6$	$\varnothing S$	$\varnothing D_3$	$L$
55TYG002	55 $\pm 0.1$	42 $\pm 0.07$	16	2.5 $\pm 0.12$	4 $\pm 0.1$	58 $\pm 0.1$	66 $\pm 0.1$	4.5	6 $\pm 0.08$	60
70TYG002	70	54 $b_6$	22	3	5	72	84 $\pm 0.15$	5.5	8 $b_6$	72
90TYG002	90 $b_2$	70 $b_7$		3	6	92	107	6.6	11 $b_7$	97

## 4 小功率直流电动机

小功率直流电动机具有较硬的机械特性和线性的调节特性,可以适用于要求起动转矩较高,转速变化范围较大,或配上稳速器后在电源电压和负载变动情况下要求转速恒定的场合。

### 4.1 分类、特点与应用范围

如表 4.4.49 所示。

### 4.2 主要技术数据

#### 4.2.1 Z 型并(他)励直流电动机技术数据

见表 4.4.50 所示。

#### 4.2.2 QZD-08 串励直流电动机技术数据

QZP-08 串励直流电动机技术数据见表 4.4.51 所示。

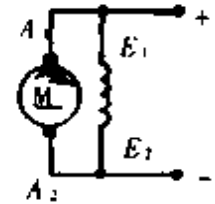
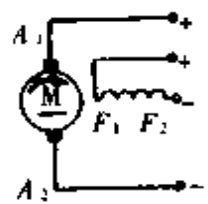
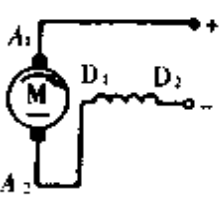
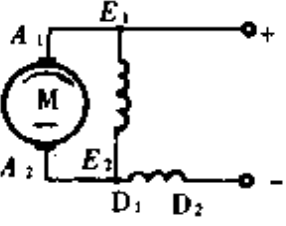
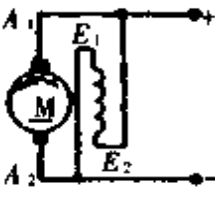
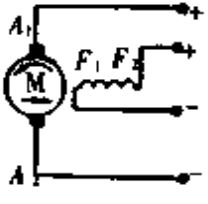
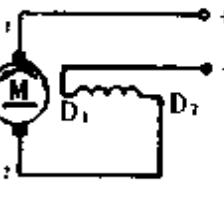
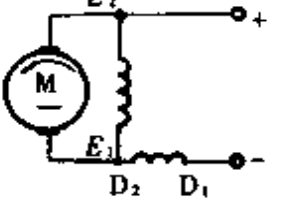
#### 4.2.3 M 系列永磁直流电动机技术数据

见表 4.4.52 所示。

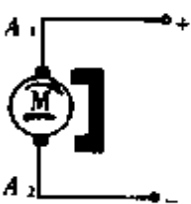
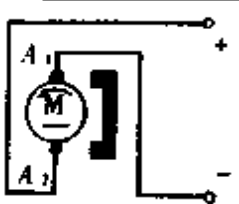
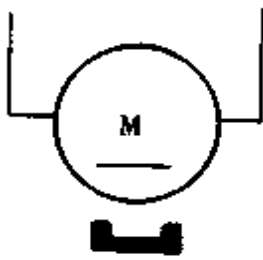
#### 4.2.4 ZYW 系列永磁直流电动机(采用铝镍钴永磁磁极)产品技术数据

ZYW 系列永磁直流电动机技术数据见表 4.4.53 所示。

表 4.4.49 小功率直流电动机

电动机类型	电磁式直流电动机			
	并励直流电动机	他励直流电动机	串励直流电动机	复励直流电动机
系列代号	Z、KTD、ZBD、ZBD-1-1	ZZT <sub>Z</sub> -H、ZBD-HZ	QZD、BZD、KL、ZZD	
接线原理图	正转 	正转 	正转 	正转 
	反转 	反转 	反转 	反转 
结构特点				

## 的分类、特点与应用范围

永磁式直流电动机			
铝镍钴永磁直流电动机	铁氧体永磁直流电动机	稀土永磁直流电动机	线绕盘式直流电动机
M(ZYW 老系列)	ZYT, ZYR		SYP
			
磁极为铝镍钴 5 类磁钢, 温度稳定性好, 铝合金外壳, 用径向式刷盒, 用精密微型轴承, 噪音低, 旋转方向可逆, 外壳防护等级为 IP22, 冷却方式为 IC00, E 级绝缘	该系列电动机磁极用 Y <sub>30</sub> 、Y <sub>151</sub> 钕钡铁氧体瓦状磁极, 径向刷盒, 用钢基含油轴承或滚动轴承, 外壳防护等级 IP00, 冷却方式 IC00, E 级绝缘		电枢绕组用环氧树脂浇注或用热固性塑料模压成型。置径向或端面的换向器

电动机类型	电磁式直流电动机			
	并励直流电动机	他励直流电动机	串励直流电动机	复励直流电动机
性能特点	<p>起动电流限制在额定电流 2.5 倍以内,起动转矩为额定转矩的 2~2.5 倍;短时过载转矩为额定转矩 1.5 倍,转速变化率 5%~10%</p>	<p>起动电流限制在额定电流 2.5 倍以内,起动转矩为额定转矩的 2~2.5 倍;短时过载转矩为额定转矩 1.5 倍,转速变化率 5%~10%</p>	<p>起动转矩可达额定转矩 5 倍以上; 短时过转矩可达额定转矩 4 倍以上; 空载转速甚高</p>	<p>起动转矩与串激程度有关,可达额定转矩 4 倍; 短时过转矩级为额定转矩 3.5 倍</p>
应用范围	<p>用于驱动在不同负载下要求转速变化不大和要求调速的机械,如泵、风机、小型机床、印刷机械等</p>		<p>用于驱动要求起动转矩很大,经常起动,转速允许有很大变化的机械,如蓄电池供电车、电车、起货机等</p>	<p>用于驱动要求起动转矩较大而转速变化不大或冲击性的机械,如压缩机、冶金辅助传动机械等</p>

续表

永磁式直流电动机			
铝镍钴永磁直流电动机	铁氧体永磁直流电动机	稀土永磁直流电动机	线绕盘式直流电动机
<p>对高温的适应性好,但价格贵,不允许在额定电压下反接制动运行,否则会造成永磁体退磁,如确有必要作这种方式运行时,要加限流电阻。拆装时要对永磁磁路进行磁短路保护。</p>	<p>温升低,换向火花小,磁稳定性好,拆装后不退磁,价廉,但由于铁氧体永磁的温度系数较大,当温度升高时,电机电流稍增大,故通常最高温度不宜超过120℃</p>	<p>体积小性能更好,价格昂贵</p>	<p>电机为薄型结构,线绕盘式电枢,起动力矩大,运行噪声低,换向火花小,电刷寿命提高2倍</p>
<p>适用于环境温度较高或对电机的温度稳定性要求高的场合,例如作为工业仪器仪表,医疗设备,军用器械等精密小功率直流驱动元件</p>	<p>广泛用于家用电器、汽车电器、医疗器械、工农业生产的小型器械驱动</p>	<p>要求体积小或其它特殊要求的场合,一般仅用于航天、计算机、井下仪器、军事装备等重要部门使用</p>	<p>广泛应用在各种仪器、设备和工业自动化系统中</p>

表 4.4.50 Z 型并(他)励直流电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定转矩 (N·m)	额定转速 (r/min)	参考功率 (W)	电 流 (A)		质量 (kg)
					励磁	电枢	
Z25/20-220	220	0.12	2000	25	0.14	0.33	2.4
Z50/40-220	220	0.12	4000	50	0.14	0.61	2.4
Z50/20-220	220	0.25	2000	50	0.13	0.38	3.2
Z100/40-220	220	0.25	4000	100	0.13	0.72	3.2
Z200/20-220	220	1	2000	200	0.24	1.10	5.5
Z400/40-220	220	1	4000	400	0.24	2.30	5.5

表 4.4.51 QZD-08 串励直流电动机技术数据

型 号	功率 (W)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	励磁方式	绝缘等级	工作制 (S2)
QZD-08	800	24	46.2	1750	串励	B	60
QZD-08A	800	24	46.2	1750	串励	B	60
QZD-08B	800	24	46.2	1750	串励	B	60
QZD-08C	800	24	46.2	1750	串励	B	60
QZD-08	800	24	46.2	1750	串励	B	15



表 4.4.52 M 系列永磁直流电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (mN·m)	额定电流 $\leq$ (A)	额定功率 (W)	堵转转 矩倍数 $\geq$	
M20-862	24	6000	2.5	0.18	1.54	3	
892		9000	2	0.22	1.84	3.5	
M20-431	12	3000	1.2	0.13	0.37	2	
432			2.5	0.19	0.76	2	
461		6000	1.2	0.21	0.74	3	
462			2.5	0.35	1.54	3	
491		9000	1	0.25	0.92	4	
492			2	0.43	1.84	4	
M20-331		9	3000	1.2	0.15	0.37	2
332				2.5	0.25	0.77	2
361	6000		1.2	0.28	0.75	3	
362			2.5	0.50	1.55	3	
391	9000		1	0.32	0.92	4	
392			2	0.58	1.84	4	
M20-231	6		3000	1	0.23	0.30	2
232				2	0.33	0.61	2
261		6000	1	0.37	0.60	3	
262			2	0.65	1.2	3	
291		9000	0.8	0.45	0.74	4	
292			1.6	0.75	1.48	4	
M28-831		24	3000	5	0.17	1.54	2.5
832				10	0.30	3	2.5
861	6000		5	0.30	3	3	
862			10	0.55	6	3	

表 4.4.53 ZYW 系列永磁直流电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (mN·m)	输出功率 (W)	额定电流 不大于 (A)	质 量 (g)
20ZYW1	9	3500	1.4	0.5	0.15	60
20ZYW2	6	3000	0.6	0.18	0.17	43
20ZYW3	9	5000	2	1.0	0.27	60
20ZYW4	6	3500	1	0.35	0.25	43
20ZYW6	6	5000	1	0.5	0.30	43
20ZYW8	9	7000	1	0.7	0.22	43
20ZYW9	24	7000	1.5	1.07	0.13	60
30ZYW1	6	5000	10	5.1	1.80	135
30ZYW2	12	3500	5	1.8	0.46	100
30ZYW3	24	3500	10	3.6	0.36	135
30ZYW4	24	3500	5	1.8	0.27	100
30ZYW5	9	5000	10	5.1	1.10	135
30ZYW6	12	5000	5	2.55	0.60	100
30ZYW7	24	5000	10	5.1	0.48	135
30ZYW8	24	5000	5	2.55	0.30	100
30ZYW9	24	7000	10	7.1	0.57	135
30ZYW10	24	7000	5	3.6	0.37	100
40ZYW1	24	3500	40	14.3	1.10	200
40ZYW2	24	3500	20	7.1	0.66	100
40ZYW3	24	5000	40	20.5	1.60	200
40ZYW4	24	5000	20	10.2	0.80	100
40ZYW5	24	7000	40	28.5	2.00	200
40ZYW6	24	7000	20	14.3	1.15	100
40ZYW8	12	5000	13	6.6	1.05	100
40ZYW9	9	5000	40	20.5	4.00	200

注:1.输出功率为参考值。

2.额定转速允差为  $\begin{matrix} +15\% \\ -10\% \end{matrix}$ 。

4.2.5 ZYT 系列永磁直流电动机性能数据  
见表 4.4.54 所示。

表 4.4.54 ZYT 系列永磁直流电动机性能数据

机座号/序号	额定电压 (V)	空载转速 不大于 (r/min)	额定运行				输出功率 (W)
			转速 (r/min)	转矩 (mN·m)	电流 (A)	效率 (%)	
20/02	3	5300	3000	1.2	0.45	28	0.3
20/04	3	8000	5000	1.2	0.70	30	0.5
20/06	3	11500	8000	1.2	1.05	32	0.8
20/08	3	16000	12000	1.2	1.48	34	1.3
20/10	6	5300	3000	1.2	0.21	30	0.3
20/12	6	8000	5000	1.2	0.33	32	0.5
20/14	6	11500	8000	1.2	0.49	34	0.8
20/16	6	16000	12000	1.2	0.70	36	1.3
24/02	3	5300	3000	2.5	0.87	30	0.7
24/04	3	8000	5000	2.5	1.36	32	1.1
24/06	3	11500	8000	2.5	2.05	34	1.8
24/08	3	16000	12000	2.5	2.91	36	2.7
24/10	6	5300	3000	2.5	0.41	32	0.7
24/12	6	8000	5000	2.5	0.64	34	1.1
24/14	6	11500	8000	2.5	0.97	36	1.8
24/16	6	16000	12000	2.5	1.38	38	2.7
24/18	12	5300	3000	2.5	0.19	34	0.7
24/20	12	8000	5000	2.5	0.30	36	1.1
24/22	12	11500	8000	2.5	0.46	38	1.8
24/24	12	16000	12000	2.5	0.65	40	2.7
28/01	6	5000	3000	4.0	0.52	40	1.0
28/02	6	5000	3000	8.0	1.00	42	2.1
28/03	6	7500	5000	4.0	0.83	42	1.8
28/04	6	7500	5000	8.0	1.59	44	3.6

4.2.6 ZYT 系列永磁直流电动机工作期限  
见表 4.4.55 所示。

表 4.4.55 ZYT 系列永磁直流电动机工作期限

工作期限 (h)	转速 (r/min)	机座号				
		1500	3000	5000	8000	12000
20, 24, 28, 36			500	300	200	150
45, 55, 70			600	400	250	
90, 110		1200	800			

## 4.2.7 ZYR 系列永磁直流电动机技术数据

见表 4.4.56 所示。

表 4.4.56 ZYR 系列永磁直流电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	空 载		额 定 负 载			堵转转矩 (mN·m)
		电 流 (A)	转 速 (r/min)	转 矩 (mN·m)	电 流 (A)	转 速 (r/min)	
ZYR24101	6	0.05	4300	1	0.15	3500	4
ZYR28	6, 12, 24	0.09~ 0.17	7500~ 11200	45~9	0.34~ 0.93	6000~ 9000	18~34
ZYR36101	12	0.64	16600	17	3.1	13550	96
ZYR36102	12	0.29	7000	19	1.4	5800	110
ZYR36103	24	0.18	8960	19	0.89	7520	122
ZYR36104	6	0.64	9810	12	2.92	7850	65
ZYR36301	12	0.7	14000	27	4.18	12000	150
ZYR36302	24	0.19	7800	29	1.15	6700	210
ZYR36302-1	24	0.19	7800	23	1.0	6700	150

## 4.2.8 SYP 系列线绕盘式电枢直流电动机技术数据

见表 4.4.57 所示。

表 4.4.57 SYP 系列线绕盘式电枢直流电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)	额定功率 (W)	效 率 (%)
90SYP001	20	0.5	500 ± 50	-	4	50
90SYP002	20	≤0.8	1000 ± 100	-	≥8	-
90SYP003	20	<1.2	1000 ± 100	-	>12	-
90SYP004	20	1.2	1000 ± 100	-	>12	-
90SYP005	20	1.2	1000 ± 100	-	>12	-
110SYP002	12	6.5	3000	0.16	50	-

续表

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)	额定功率 (W)	效率 (%)
132SY003	24	7	4000	-	100	-
160SY002	24	9	3400~4000	0.40	$\geq 140$ <sup>①</sup>	70
220SY001	90/95	15/22	3000	-	1000/1600 <sup>①</sup>	-

注:①为输出功率。

### 4.3 外形和安装尺寸

M系列IMB14型和A4a型、ZYW系列、ZYT系列和SYP系列小功率直流电动机的外形和安装尺寸分别见图4.4.7至图4.4.13及表4.4.58至表4.4.63。

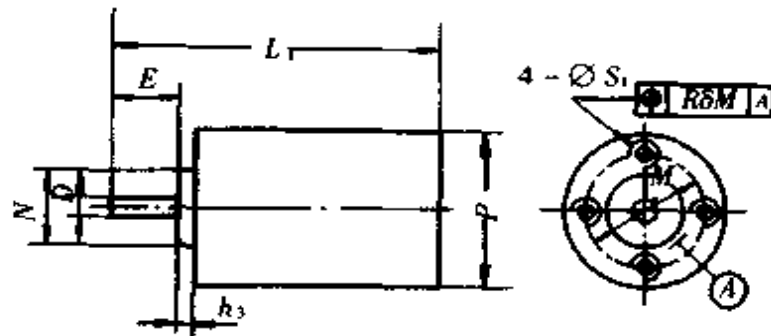


图 4.4.7 M 系列电动机 IMB14 型的外形图

表 4.4.58 M 系列电动机 IMB14 型的安装尺寸

公称尺寸 机座号	代号 公差	铁心 代号	P	N	M	h <sub>3</sub>	S <sub>1</sub>	δ <sub>1</sub>	D	E	L <sub>1</sub>
			d5					dc	≤		
20	1	20	10	14	1.5	M2.5	0.1	2.5	9±0.18	50	
	2									58	
28	1	28	18	22	1.5	M2.5	0.1	3	10±0.18	63	
	2									71	
36	1	36	22	27	2.5	M3	0.1	4	12±0.22	73	
	2									83	
45	1	45	25	33	2.5	M3	0.1	5	12±0.22	85	
	2									95	

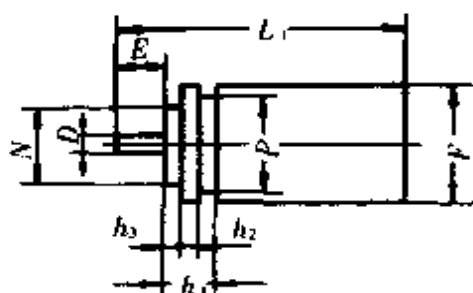


图 4.4.8 M 系列电动机 A4a 型的外形图

表 4.4.59 M 系列电动机 A4a 型的安装尺寸

mm

公称尺寸 机座号	代号 公差	铁心 代号	P	N	P <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	D	E	L <sub>1</sub>
			d5	d	d6				dc		≠
20	1	20	13	18.5	3.6 ± 0.15	1.2 ± 0.125	1.2 ± 0.125	2.5	9 ± 0.18	50	58
	2										
28	1	28	26	26.5	6 ± 0.15	1.5 ± 0.125	1.5 ± 0.125	3	10 ± 0.18	63	71
	2										
36	1	36	32	34	8 ± 0.215	2 ± 0.125	2 ± 0.125	4	12 ± 0.22	73	83
	2										
45	1	45	41	42	8 ± 0.215	2 ± 0.125	2 ± 0.125	5	12 ± 0.22	85	95
	2										

表 4.4.60 ZYW 系列永磁直流电动机的安装尺寸

mm

型号	L	b	D	d	E	M	N	S	F	J
20ZYW2468	46	2	∅20	∅2	9.5	∅13.5	∅10	M2		
20ZYW1,3,9	53									
30ZYW2,4,6,8,10	58	2	∅30	∅3	10	∅21	∅16	M3	5	3
30ZYW1,3,5,7,9	66									
40ZYW2,4,6,8	72	4	∅40	∅4	12	∅30	∅19	M3	5	4
40ZYW1,3,5,9	85									

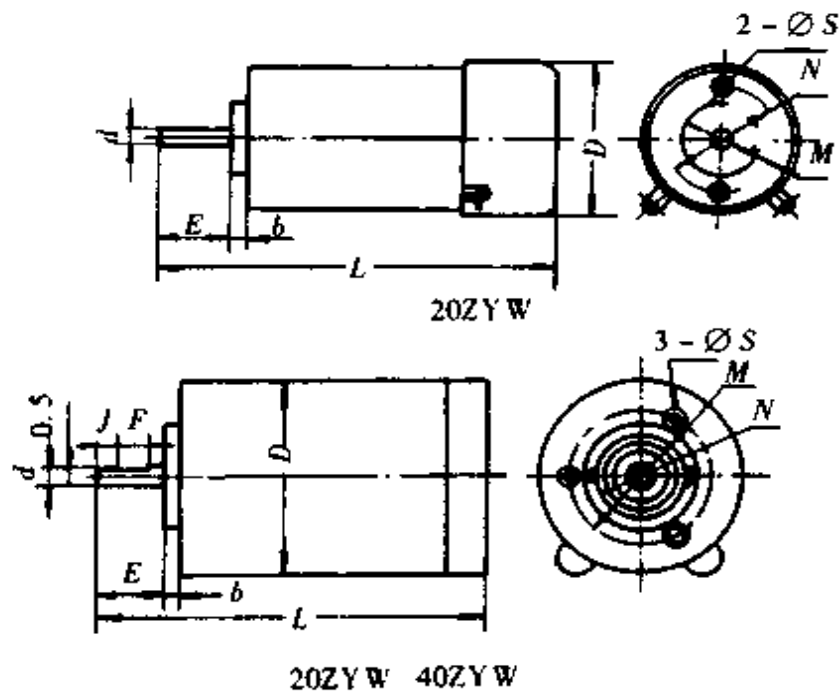


图 4.4.9 ZYW 系列永磁直流电动机的外形图

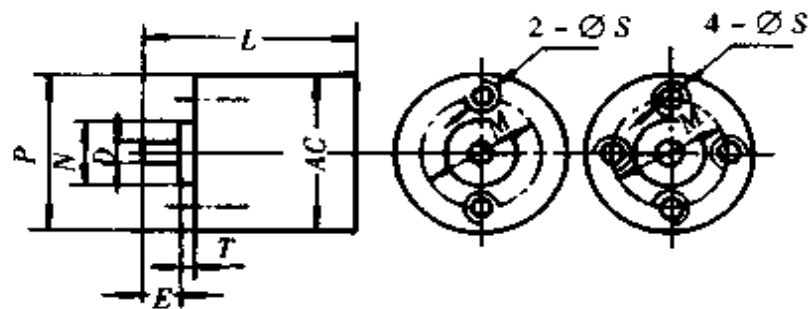


图 4.4.10 ZYT 系列永磁直流电动机凸缘安装(IMB14)的外形图

表 4.4.61 ZYT 系列永磁直流电动机凸缘(IMB14)的安装尺寸 mm

安 装 尺 寸											外形尺寸 (不大于)		
基本 尺寸	N		P	T		螺 孔 数	S	D			E	AC	L
	极限偏差			I	II			基本 尺寸	极限偏差				
	(h6, j6)	II (h10)							I (js6, j6)	II (h6)			
8	0 -0.009	0 -0.058	20	1.5	2.5	2	M1.6	2	±0.003	0 -0.006	10	20	40
10	0 -0.009	0 -0.058	24	1.5	2.5	2	M2	2	±0.003	0 -0.006	10	24	15

续表

安 装 尺 寸											外形尺寸 (不大于)		
基本 尺寸	N		P	T		螺 孔 数	S	D			E	AC	L
	极限偏差			I	II			基本 尺寸	极限偏差				
	I (h6, j6)	II (h10)							I (js6, j6)	II (h6)			
10	0 -0.009	0 -0.058	28	1.5	3.5	2	M2	3	$\pm 0.003$	0 -0.006	14	28	60
14	0 -0.011	0 -0.070	36	1.5	4.5	2	M3	4	$\pm 0.004$	0 -0.008	14	36	80
18	0 -0.011	0 -0.070	45	2.5	5.0	2	M3	5	$\pm 0.004$	0 -0.008	20	45	110
25	0 -0.013	0 -0.084	55	2.5	6.0	4	M4	6	+0.006 -0.002	0 -0.008	20	55	125
32	0 -0.016		70	2.5		4	M5	7	+0.007 -0.002		20	70	155
50	+0.011 -0.005		90	2.5		4	M5	9	+0.007 -0.002		25	90	185
60	+0.012 -0.007		110	2.5		4	M5	11	+0.008 -0.003		28	110	220

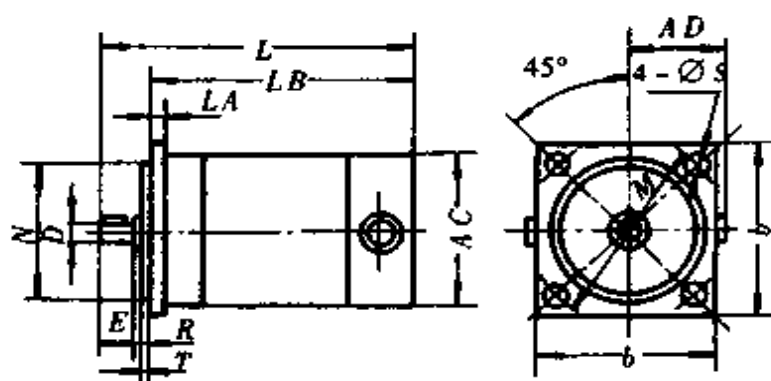
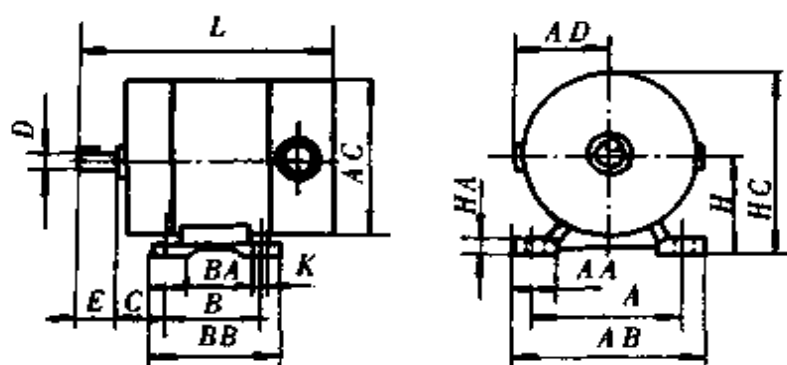


图 4.4.11 ZYT 系列永磁直流电动机大凸缘  
安装(IMB5)的外形图



表 4.4.62 ZYT 系列永磁直流电动机大凸缘(IMB5)安装尺寸 mm

机座号	安 装 尺 寸									外形尺寸 (不大于)		
	M	N(j6)	b	T(max)	孔数	S(H14)	D(js6,j6)	R	E	AC	AD	L
45	55	40 <sup>+0.011</sup> <sub>-0.005</sub>	49	2.5	4	5.8 <sup>+0.30</sup> <sub>0</sub>	5±0.004	0±1.0	16	45	30	110
55	65	50 <sup>+0.011</sup> <sub>-0.005</sub>	56	2.5	4	5.8 <sup>+0.30</sup> <sub>0</sub>	6 <sup>+0.006</sup> <sub>-0.002</sub>	0±1.0	16	55	35	125
70	85	70 <sup>+0.012</sup> <sub>-0.007</sub>	74	2.5	4	7 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	7 <sup>+0.007</sup> <sub>-0.002</sub>	0±1.0	16	70	45	155
90	115	95 <sup>+0.013</sup> <sub>-0.009</sub>	99	3.0	4	10 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	9 <sup>+0.007</sup> <sub>-0.002</sub>	0±1.5	20	90	55	185
110	130	110 <sup>+0.013</sup> <sub>-0.009</sub>	113	3.5	4	10 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	11 <sup>+0.008</sup> <sub>-0.003</sub>	0±1.5	23	110	65	220

图 4.4.12 ZYT 系列永磁直流电动机底脚  
安装(IMB3)的外形图表 4.4.63 ZYT 系列永磁直流电动机底座安装(IMB3)尺寸 mm

机座号	安 装 尺 寸								外形尺寸(不大于):				
	H	A	B	C	K(H14)	螺栓	D(j6)	E	AB	AC	AD	HC	L
70	45 <sup>0</sup> <sub>0.4</sub>	71	56	28	4.8 <sup>+0.80</sup> <sub>0</sub>	M4	7 <sup>+0.007</sup> <sub>-0.002</sub>	16	90	70	45	80	155
90	56 <sup>0</sup> <sub>0.5</sub>	90	71	36	5.8 <sup>+0.30</sup> <sub>0</sub>	M5	9 <sup>+0.007</sup> <sub>-0.002</sub>	20	115	90	55	101	185
110	63 <sup>0</sup> <sub>0.5</sub>	100	80	40	7 <sup>+0.36</sup> <sub>0</sub>	M6	11 <sup>+0.008</sup> <sub>-0.003</sub>	23	130	110	65	118	220

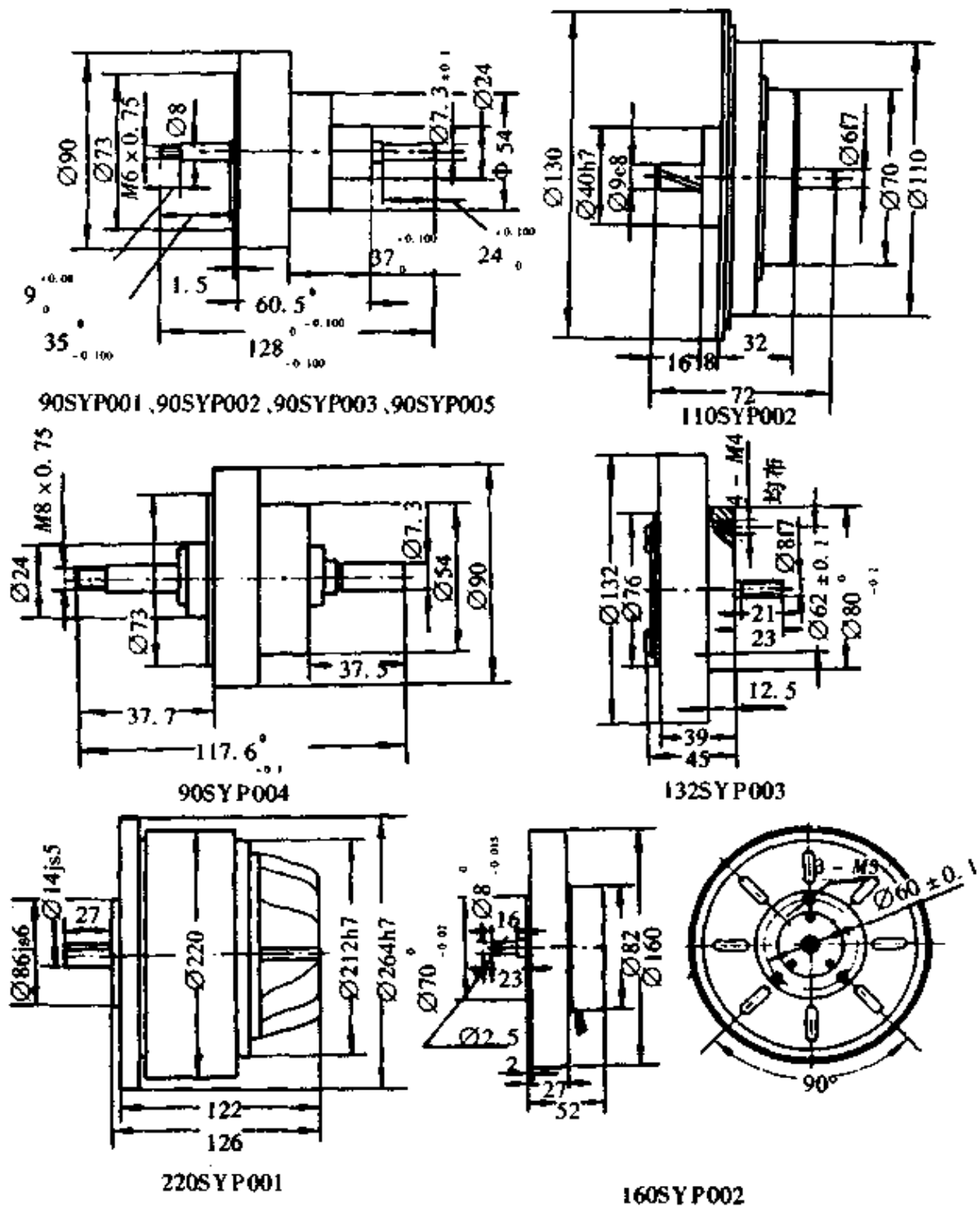


图 4.4.13 SYP 系列线绕盘式电枢直流电动机的外形图

## 5 小功率单相换向器电动机

### 5.1 基本原理

小功率单相换向器电动机的励磁绕组与电枢绕组串联,励磁磁场的方向和电枢电流的方向随电源极性的改变而同时改变,两者产生的转矩方向不受电源极性的改变而改变,故小功率单相换向器电动机可用于直流,也可用于交流。

### 5.2 基本结构

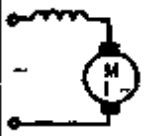
小功率单相换向器电动机的一般构造与小功率直流电动机相似,它由定子、转子和电刷架等部件所组成。

定子由定子铁心、励磁绕组、端盖、机座和电刷等组成。转子由转子铁心、电枢绕组和换向器等组成。

### 5.3 类型、特点和用途

如表 4.4.64 所示。

表 4.4.64 小功率单相换向器电动机的类型、特点和用途

类型	型号	电源	特点	用途	电气原理图
单相串励电动机	G 系列 V 系列 (老产品)	单相交流	1. 转速高,一般为 4000~12000r/min,最高可达 27000r/min; 2. 具有串励特性,起动转矩大,机械特性较弱,转速随负载增大而大幅度下降,而电动机功率变化不大; 3. 调速方便,调速范围宽; 4. 空载转速特别高,注意应避免空载条件下运行	在工业上作驱动源,在食物搅拌器、吸尘器、家用缝纫机等家用电器上,电钻、电动工具上,以及在计算工具、精密机械、医疗器械、通讯及测量装置等方面作驱动源	
交直流两用电动机	SU 型	单相交直流	除以上特点外,尚有: 1. 在相同的交流或直流电压条件下,电动机在额定负载时的转速值相同; 2. 在交流或直流供电时,电动机励磁绕组的匝数是不一样的		
推斥电动机			很少采用,已逐渐被单相电容起动异步电动机所取代		

## 5.4 主要技术数据

G系列、V系列和SU型单相串励电动机的主要技术数据见表4.4.65至表4.4.70和图4.4.14所示。G系列单相串励电动机的型号意义如下：

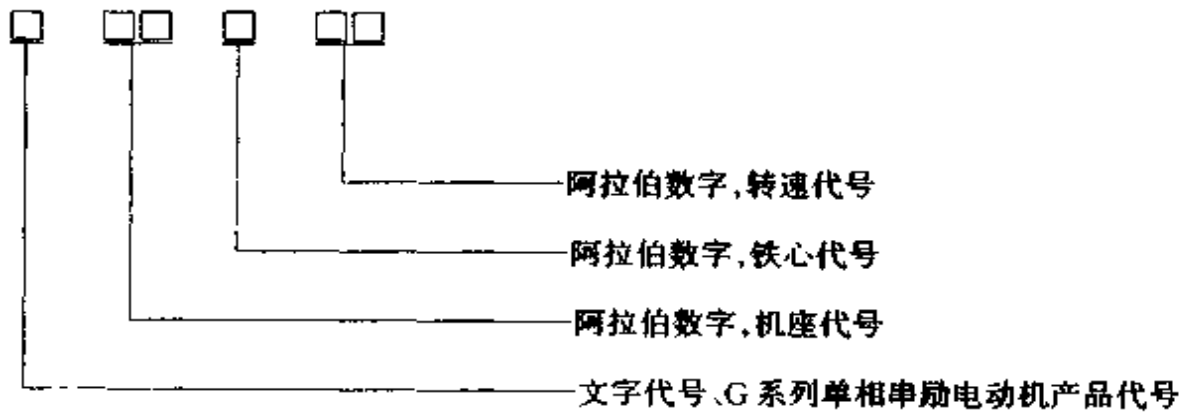


表 4.4.65 G 系列单相串励电动机的主要性能数据

性能 功率 (W)	4000				6000				8000				12000									
	效率 %	cosφ	起动转矩 (倍)	起动电流 (倍)	效率 %	cosφ	起动转矩 (倍)	起动电流 (倍)	效率 %	cosφ	起动转矩 (倍)	起动电流 (倍)	效率 %	cosφ	起动转矩 (倍)	起动电流 (倍)						
8	32	0.83	1.5	2.5	10	0.86	1.8	3.5	46	52	3.0	53	56	4.5	6.0	0.92						
15	38	0.83															60	0.84	62	0.88	64	6.0
25	44	0.81															65	0.84	66	0.88	68	6.0
40	50	0.81	1.7	2.5	51	0.86	2.5	57	60	4.0	4.5	60	62	6.0	6.0	0.92						
60	53	0.80															61	0.84	62	0.88	64	6.0
90	56	0.80															63	0.84	64	0.88	66	6.0
120	59	0.80	2	2.5	60	0.84	3.0	66	68	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.92						
180	61	0.79															65	0.84	66	0.88	68	6.0
250	63	0.78															67	0.84	68	0.88	6.0	
370	65	0.78	2	2.5	65	0.84	3.5	68	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.92						
550	66	0.77															67	0.84	6.0			
750	67	0.76															68	0.84	6.0			

表 4.4.66 G 系列单相串励电动机的绕组数据

型 号	主要性能				结构数据					绕组数据							
	功率 W	电压 V	转速 r/min	电流 A	定子 外径 mm	定子 内径 mm	铁心 长度 mm	气隙 长度 mm	转子 槽数	定子 每极 匝数	转子 每元 匝数	转子 总导 体数	换向 器片 数	实槽 节距	定子 线规	转子 线规	定转 子匝 数比
G3614	8	220	4000	0.125	56	30	18	0.3	8	1010	214	10272	24	3	0.14	0.09	0.393
G3624	15	220	4000	0.208	56	30	30	0.3	8	685	137	6576	24	3	0.18	0.12	0.417
G3634	25	220	4000	0.324	56	30	38	0.3	8	536	104	4992	24	3	0.23	0.15	0.431
G3636	40	220	6000	0.418	56	30	38	0.3	8	470	77	3696	24	3	0.25	0.17	0.51
G3638	60	220	8000	0.52	56	30	38	0.3	8	445	62	2976	24	3	0.29	0.20	0.6
G36312	90	220	12000	0.775	56	30	38	0.3	8	366	47	2256	24	3	0.33	0.23	0.65
G4524	60	220	4000	0.62	71	39	40	0.35	12	362	51	3672	36	5	0.31	0.21	0.394
G45212	180	220	12000	1.3	71	39	40	0.35	12	192	25	1800	36	5	0.44	0.31	0.425
G4534	90	220	4000	0.907	71	39	50	0.35	12	290	39	2808	36	5	0.38	0.25	0.413
G4536	120	220	6000	1.02	71	39	50	0.35	12	240	33	2376	36	5	0.41	0.27	0.405
G4538	180	220	8000	1.36	71	39	50	0.35	12	195	26	1872	36	5	0.44	0.31	0.417
G45312	250	220	12000	1.8	71	39	50	0.35	12	167	19	1368	36	5	0.51	0.38	0.489
G5614	120	220	4000	1.145	90	50	35	0.5	13	266	42	3276	39	6	0.44	0.29	0.325
G5616	180	220	6000	1.51	90	50	35	0.5	13	243	31	2418	39	6	0.49	0.33	0.402
G5618	250	220	8000	1.95	90	50	35	0.5	13	226	24	1872	39	6	0.55	0.38	0.483
G5624	180	220	4000	1.7	90	50	50	0.5	13	195	29	2262	39	6	0.53	0.35	0.344
G5626	250	220	6000	2.05	90	50	50	0.5	13	179	22	1716	39	6	0.57	0.41	0.417
G5628	370	220	8000	2.81	90	50	50	0.5	13	166	17	1326	39	6	0.64	0.47	0.15
G5634	250	220	4000	2.32	90	50	65	0.5	13	152	22	1716	39	6	0.59	0.41	0.354
G5636	370	220	6000	3.02	90	50	65	0.5	13	144	16	1248	39	6	0.67	0.47	0.462
G5638	550	220	8000	4.05	90	50	65	0.5	13	123	12	936	39	6	0.77	0.55	0.526
G7114	370	220	4000	3.22	120	69	42	0.9	19	156	17	1938	57	9	0.09	0.49	0.322
G7116	550	220	6000	4.1	120	69	42	0.9	19	132	13	1482	57	9	0.77	0.55	0.356
G7124	550	220	4000	4.72	120	69	60	0.9	19	112	12	1361	57	9	0.83	0.59	0.328
G7126	750	220	6000	5.5	120	69	60	0.9	19	100	9	1026	57	9	0.93	0.64	0.39

表 4.4.67 U 系列单相串励电动机老产品的主要性能数据

型 号	电压 (V)	频率 (Hz)	额定 功率 (W)	额定 转速 (r/ min)	启动 转矩 额定 转矩	工作 方式	旋转 方向 (面对 出轴)	外形尺寸(mm)			质量 (kg)
								长	高或 外径	轴径	
U8/40-220	220	50	8	4000	1.7	连续	逆	134	73	6	0.8
U15/40-220	220	50	15	4000	1.7	连续	逆	134	73	6	0.8
U25/40-220	220	50	25	4000	2	连续	逆	143	83	6	1.3
U40/80-220	220	50	40	8000	2.5	连续	逆	143	83	6	1.3
U40/40-220	220	50	40	4000	2	连续	逆	157		8	2.4
U60/40-220	220	50	60	4000	2	连续	逆	178	107	8	2.7
U90/40-220	220	50	90	4000	2	连续	逆	191	107	8	3.2
U120/40-220	220	50	120	4000	3	连续	逆	220	112	10	4.0
U180/40-220	220	50	180	4000	2	连续	逆	235	112	10	4.6
U250/80-220	220	50	250	8000	4	连续	逆	220	112	10	4.5
U250/40-220	220	50	250	4000	2.5	连续	逆	230	132	11	5.5
U400/40-220	220	50	400	4000	2.5	连续	逆	245	132	11	6.0
U400/80-220	220	50	400	8000	2.5	连续	逆	230	132	11	5.5

## 特殊派生规格

U15/40-220D	220	50	15	4000	2	30min	逆	160	∅77	7.8	1.3
U25/40-12	12	50	25	4000	2	连续	逆	137	83	6	1.3
U25/40-220L	220	50	25	4000	2	连续	逆	148	∅71	8	1.1
U40/80-32D	32	-	40	8000	2.1	2min	可逆转	140	∅73	6	1.3
U40/36-24D	24	50	40	3600	2	5min	可逆转	184	107	8	2.1
U40/36-110D	110	50	40	3600	2	5min	可逆转	184	107	8	2.1
U80/50-110D	110	50	80	5000	2	5min	可逆转	210	107	8	2.7
U80/50-220D	220	50	80	5000	2	5min	可逆转	210	107	8	2.7
U180/80-220	220	50	180	8000	-	连续	逆	241	112	9	4.5

注:外径系指机壳外径。

表 4.4.68 U 系列单相串励电动机老产品的绕组数据

型 号	主要性能			结构数据					绕组数据								
	功率 (W)	电压 (V)	转速 (r/min)	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	铁心 长度 (mm)	气隙 长度 (mm)	转子 槽数	定子 每极 匝数 W	转子 每元 匝数	转子 每槽 匝数	转子 总导 体数 N	元 件或 换向 片数	实槽 节距	定子 线规 (mm)	转子 线规 (mm)	定转子 匝数比 $\frac{4W_1}{N}$
U15/40-220	15	220	4000	65	33.5	36	0.45	10	740	110	440	4400	20	4	0.2	0.15	0.672
U15/56-220D	15	220	5600	55	29	22	0.36	10	600	110	440	4400	20	4	0.19	0.13	0.543
U30/40-220	30	220	4000	84	45.3	25	0.45	12	575	62	372	4464	36	5	0.25	0.18	0.515
U40/36-24D	40	24	3600	84	45.3	38	0.45	12	76	7	28	336	24	5	0.86	0.64	0.905
U40/36-110D	40	110	3600	84	45.3	38	0.45	12	350	34	136	1632	24	5	0.41	0.33	0.856
U55/45-220D	55	220	4500	84	45.3	38	0.45	12	360	50	200	2400	24	5	0.38	0.25	0.6
U80/50-110D	80	110	5000	84	45.3	60	0.45	12	220	13	78	936	36	5	0.49	0.41	0.94
U80/50-220D	80	220	5000	84	45.3	60	0.45	12	435	27	162	1944	36	5	0.35	0.29	0.895
U120/40-220	120	220	4000	94	51.6	60	0.55	16	220	23	138	2208	48	7	0.44	0.31	0.4
U180/40-220	180	220	4000	94	51.6	75	0.55	16	160	20	120	1920	48	7	0.53	0.35	0.334

表 4.4.69 SU 型交直流两用串励电动机技术数据

型 号	主要性能						结构数据					绕组数据												
	电 压 (V)		输出 功率 (W)		转 矩 (N·cm)		转 速 (r/ min)	轴 伸 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	转 子 槽 数	定 子 磁 极 交 流 匝 数	定 子 磁 极 直 流 增 加 匝 数	定 子 磁 极 总 匝 数	转 子 每 元 匝 数	转 子 每 槽 导 体 数	转 子 总 导 体 数	元 件 数 或 换 向 器 片 数	实 槽 节 距	转 子 线 规	定 子 线 规	
	交流	直流	交流	直流	交流	直流																	交流	直流
SU-1	110	110	80	100	30.4	88.22	2500	1	94	51.6	60	0.55	16	111	209	320	12	72	1152	48	7	0.47	0.62	0.49
SU-1C								2																
SU-2	220	220	80	100	30.4	88.22	2500	1	94	51.6	60	0.55	16	219	441	660	25	150	2400	48	7	0.33	0.44	0.35
SU-2C								2																

表 4.4.70 SU 型交直流两用串励电动机绕组数据

电动机 型 号	定 子				转 子						
	磁极交 流匝数	磁极直 流增加 匝 数	磁极总 匝 数	定子线规		每元 件 匝 数	每槽 导 体 数	总 导 体 数	元 件或 换 向 片 数	实槽 节 距	转 子 线 规
				直流	交流						
SU-1 SU-1C	111	209	320	0.49	0.62	12	72	1152	48	7	0.47
SU-2 SU-2C	219	441	660	0.35	0.44	25	150	2400	48	7	0.33

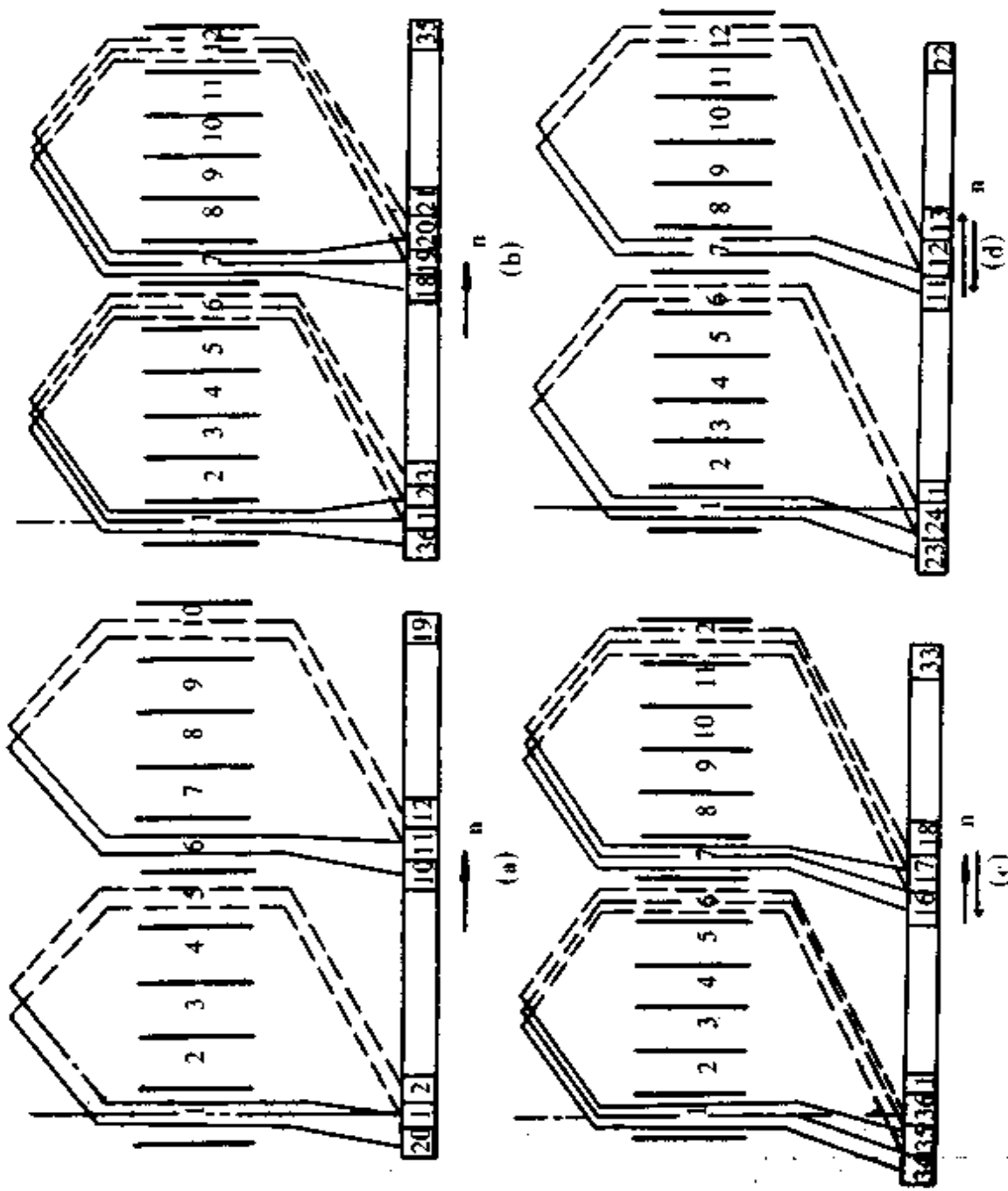


图 4.4.14 V 系列电动机绕组展开图



## 5.5 外形和安装尺寸

G系列单相串励电动机的外形安装尺寸如图4.4.15及表4.4.71所示。

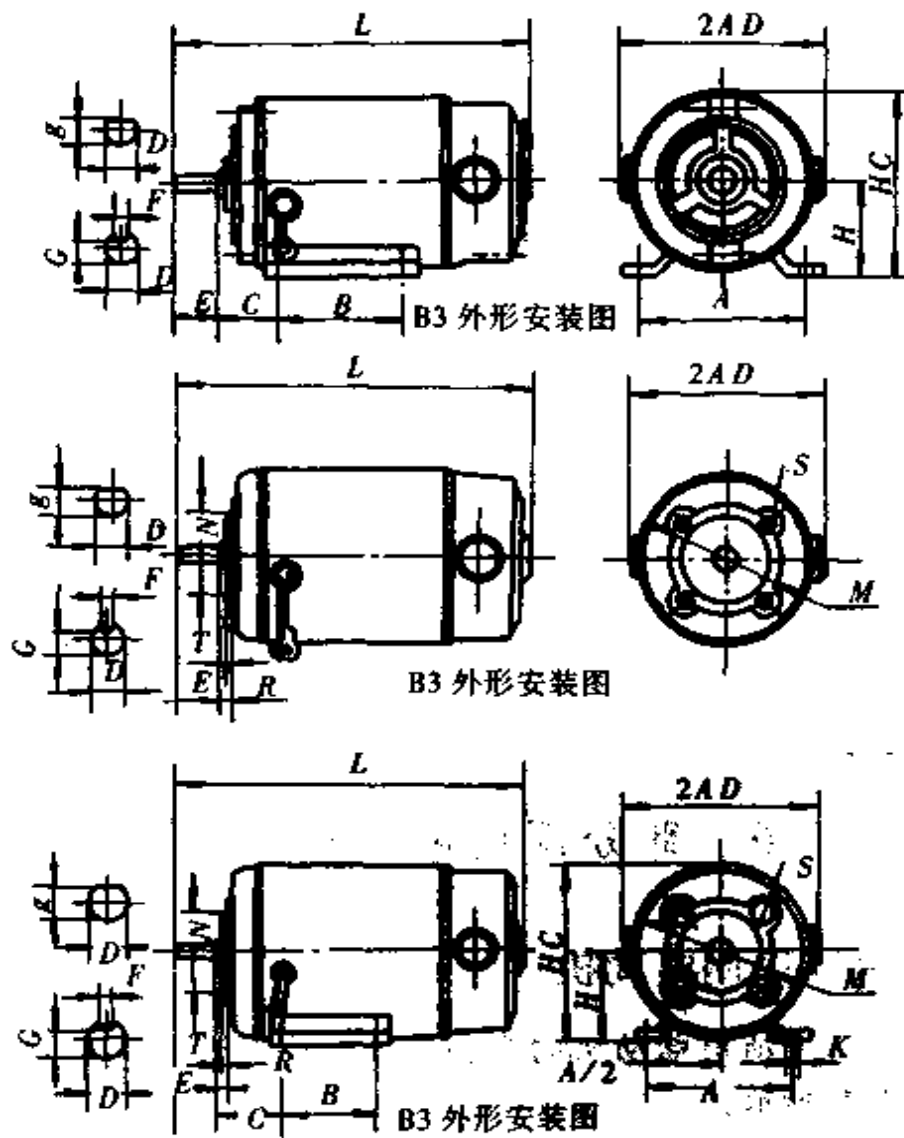


图4.4.15 G系列单相串励电动机的外形图

表 4.4.71 G 系列单相串励电动机的安装尺寸

mm

机座号	安 装 尺 寸																	外形尺寸					
	$\Lambda$	$A/2$	$B$	$C$	$D_{gc}$	$E$	$F_{jc}$	$G_{d6}$	$g_{d6}$	$H$	$T$	$K$	$M$	$N_{d3}$	$P$	$R$	$S$	$(x_1)$	$(y)$	孔数	$2AD$	$HC$	$L$
36	1																						110
	2	56	28	45	22	6	16		5	36	2	5	35	20	50	3	M4	0.2	0.2	4	75	70	120
	3																						130
45	1																						140
	2	71	35.5	56	28	7	16		6	45	3	6	45	30	60	4	M5	0.2	0.2	4	90	85	150
	3																						160
56	1																						180
	2	90	45	71	36	11	23	4	8.5	56	3	7	65	50	80	4	M5	0.2	0.2	4	110	105	195
	3																						210
71	1																						225
	2	112	56	90	45	14	30	4	11.5	71	3	10	85	70	105	4	M6	0.25	0.25	4	130	135	245
	3																						265

## 6 部分家用电器用电动机

### 6.1 电风扇用电动机

#### 6.1.1 电风扇用电机的类型及其特点

见表 4.4.72 所示。

表 4.4.72 电风扇用电动机的类型及其特点

序号	类型	特点
1	罩极式交流异步电动机	电机结构简单,转子为鼠笼式,定子上有一组主绕组,一组短路铜环作副绕组即罩极绕组。绕组绕、嵌、接线方便,缺点是电机起动力矩小,功耗较大
2	电容分相运转式电动机	电机绕、嵌线较罩极式复杂,转子为鼠笼式,定子有两组绕组,一组为主绕组,绕组匝数较少,线径较粗;另一组为副绕组,即分相绕组,匝数多,线径细,与外接电容器串接起分相的作用,电机起动力矩较大,功耗比罩极式电机为小
3	串励式交、直流两用电动机	电机起动力矩大、转速高,既可制成直流,也可制成交直流电源两用。电机转子采用整流子绕线式,结构较复杂。定转子绕组通过电刷予以串励。电机噪音略大
4	交流永磁式小功率同步电动机	电机体积和功率均很小,结构采用封闭式,内含变速齿轮,因此输出转速低。常用作箱形扇转栅的回转控制或作台扇、立柱扇等电动式或摇头装置

### 6.1.2 各类风扇的规格及配用的电动机类型

见表 4.4.73 所示。

表 4.4.73 各类风扇配用的电动机

风扇类型	风扇规格,以扇翼直径表示(mm)	配用电动机	电动机极数
台扇	200	罩极异步电动机	2
	250	罩极异步电动机 单相电容运转异步电动机	2 2,4
	300,350,400	单相电容运转异步电动机	4
排气扇	150,200,250	罩极异步电动机 单相电容运转异步电动机	2 4
	300,350	单相电容运转异步电动机	4
	400,500,600,750	单相电容运转异步电动机 三相异步电动机	4,6
转页扇	300,350,400	单相电容运转异步电动机	4
吊扇	900,1050 1200 1400 1500 1800	罩极异步电动机 单相电容运转异步电动机 单相电容运转异步电动机	12,14 16,18 16,18,20 18,20,22 22,24,26

## 6.1.3 台扇电动机性能数据

台扇电动机性能数据见表 4.4.74 所示。

表 4.4.74 台扇电动机性能数据(220V,50Hz)

风 扇		电动机型式	同步转速 (r/min)	最大输入功率 (W)	效率 (%)	功率因数	堵转转矩 (N·m)
规格 (mm)	风量 (m <sup>3</sup> /min)						
200	16	单相罩极异步电动机	3000	40	12	0.62	0.0049
250	25	单相电容运转异步电动机	3000	35	22	0.82	0.0083
			1500	40	21	0.82	0.0150
300	38		1500	52	27	0.82	0.0175
350	51		1500	60	21	0.82	0.0215
400	65		1500	70	35	0.82	0.0265

6.1.3.1 台扇用罩极异步电动机绕组数据 见表 4.4.75 所示。

表 4.4.75 台扇用罩极异步电动机绕组数据(220V,50Hz)

序号	风扇规格 (mm)	极数	定子铁心					转子槽数	定子绕组			调速方法
			外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	气隙 (mm)	槽数		线规 (mm)	线圈个数×每极匝数	线模尺寸 长×宽×厚 (mm)	
1	200	2	60	30	25	0.35	4	15	∅0.17	2×1270	34×34×7	电抗器 抽头
2	200	2	59	28	32	0.35	4	15	∅0.19	2×(800+500)	42×30×5	
3	300	4	88	44.7	32	0.35	8	17	∅0.27	4×510	40×27×6	电抗器
4	400	4	108 95.7	51	32	0.35	8	22	∅0.47	4×450	40×31×10	电抗器

6.1.3.2 电容运转式台扇电动机铁心尺寸数据 见表 4.4.76 所示。

表 4.4.76 电容运转式台扇电动机铁心尺寸数据(220V,50Hz)

序号	风扇规格 (mm)	极数	定子铁心					转子铁心	
			外径 (mm)	内径 (mm)	气隙长度 (mm)	长度 (mm)	槽数	外径 (mm)	槽数
1	250	4	∅88	∅44.7	0.35	20	8	∅44	17
2	300	4	∅88	∅44.7	0.35	26	8	∅44	17
3	300	4	∅78	∅44.5	0.35	24	16	∅43.8	22
4	350	4	∅88.5	∅49	0.35	25	16	∅48.3	22
5	400	4	∅88.5	∅49	0.35	35	16	∅48.3	22
6	400	4	∅88.4	∅49	0.35	32	16	∅48.3	23

6.1.3.3 电容运转式台扇电动机绕组数据 见表 4.4.77 所示。

表 4.4.77 电容运转式台扇电动机绕组数据(220V,50Hz)

序号	风扇规格 (mm)	牌号	主绕组		副绕组		电容量 ( $\mu\text{F}$ )	调速 方式	转子轴径 (mm)
			线规 $\varnothing$ (mm)	线圈数× 每槽线数	线规 $\varnothing$ (mm)	线圈数× 每槽线数			
1	250		0.17	4×935	0.15	4×1020	1	电抗器	
2	250		0.17	4×850	0.15	2×1020 +2×800	1	抽头	
3	300	华生	0.17	4×634	0.19	4×620	1.5	电抗器	7.8
4	300	钻石	0.17	4×800	0.15	4×1000	1	抽头	8
5	300	五羊	0.17	4×800	0.15	4×1000	1	抽头	8
6	300	长城	0.21	4×710	0.17	4×935	1	电抗器	8

续表

序号	风扇规格 (mm)	牌号	主绕组		副绕组		电容量 ( $\mu\text{F}$ )	调速 方式	转子轴径 (mm)
			线规 $\varnothing$ (mm)	线圈数 $\times$ 每槽线数	线规 $\varnothing$ (mm)	线圈数 $\times$ 每槽线数			
7	300	蝙蝠	0.16	4 $\times$ 830	0.14	4 $\times$ 720	1	抽头	8
8	300	海鸥	0.17	4 $\times$ 800	0.15	4 $\times$ 1000	1.2	抽头	7.8
9	350		0.21	4 $\times$ 720	0.17	4 $\times$ 930	1.2	电抗器	
10	350		0.19	4 $\times$ 760	0.19	4 $\times$ 960	1.2	抽头	
11	400	华生	0.23	4 $\times$ 530	0.17	4 $\times$ 890	1.2	电抗器	7.8
12	400	钻石	0.23	4 $\times$ 570	0.19	4 $\times$ 720	1.2	电抗器	8
13	400	五羊	0.21	4 $\times$ 540	0.19	4 $\times$ 700	1.2	抽头	8
14	400	长城	0.21	4 $\times$ 710	0.17	4 $\times$ 935	1.2	电抗器	8
15	400	乘风	0.23	4 $\times$ 530	0.17	4 $\times$ 820	1.2	电抗器	7.8

## 6.1.4 吊扇用电容运转异步电动机主要性能

见表 4.4.78 所示。

表 4.4.78 吊扇用电容运转异步电动机主要性能

风扇规格 (mm)	风量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	输入功率 (W)	效率 (%)	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 ( $\text{mN}\cdot\text{m}$ )	最大转矩 ( $\text{mN}\cdot\text{m}$ )	噪声 [dB(A)]
900	140	50	32	0.80	40	430	52
1050	170	60	34	0.80	60	540	52
1200	215	70	36	0.80	80	770	52
1400	270	80	38	0.80	100	1000	52
1500	300	85	40	0.80	120	1130	52

## 6.1.4.1 吊扇电动机的转速和调速比 见表 4.4.79 所示。

表 4.4.79 吊扇电动机的转速和调速比

风扇规格 (mm)	电机类型	极数	同步转速 (r/min)	转差率	调速比 (%)
900	罩极式	12,14	500, 428 $\frac{4}{7}$	0.23~0.28	80
	电容运转式	12,14	500, 428 $\frac{4}{7}$	0.16~0.25	50
1050 1200 1400 1500	电容运转式	16,18	375, 333 $\frac{1}{3}$	0.16~0.25	50

6.1.4.2 吊扇电动机铁心尺寸 见表 4.4.80 所示。

表 4.4.80 吊扇电动机铁心尺寸

风扇规格 (mm)	电动机 类型	极数	定子铁心					转子铁心	
			外径 (mm)	内径 (mm)	气隙长 (mm)	铁心长 (mm)	槽数	外径 (mm)	槽数
900	罩极式	12	123	51	0.3	30	24	50.4	57
900	电容运 转异步 电动机	14	118		0.25	23	28	145	45
1200		18	134.75	70.5	0.25	25	36	162	48
1400		18	138.8	60	0.25	28	36	164.5	48
1400		18	136.6	63.5	0.5	32	36	165.7	48

6.1.4.3 吊扇用电动机的绕组数据 见表 4.4.81 所示。

表 4.4.81 吊扇用电动机的绕组数据(220V,50Hz)

序 号	风扇 规格 (mm)	电动机		主绕组			副绕组			电容器		调速 方法	绕 组		
		极数	类型	线径 (mm)	线圈 数	每槽 线数	线径 (mm)	线圈 数	每槽 线数	电容 ( $\mu\text{F}$ )	工作 电压 (V)		型 式	节距	线模尺寸 长 $\times$ 宽 $\times$ 厚 (mm)
1	900	12	罩极	0.38	6	550						电抗			44 $\times$ 23 $\times$ 20
2	900	14		0.23	14	191 $\times$ 20	0.19	14	253 $\times$ 2	1	400	无	双层链式	1~3	40 $\times$ 24 $\times$ 8
3	1050	14	单相 电容 运转 异步 电动 机	0.21	14	276 $\times$ 20	0.17	14	416 $\times$ 2	2	400	无	双层链式	1~3	41 $\times$ 25 $\times$ 10
4	1200	18		0.27	18	140 $\times$ 20	0.25	18	164 $\times$ 2	2	400	电抗	双层链式	1~3	43 $\times$ 21.5 $\times$ 11
5	1400	18		0.29	18	118 $\times$ 20	0.25	18	162 $\times$ 2	4	400	电抗	双层链式	1~3	36 $\times$ 21.5 $\times$ 9
6	1400	18		0.31	18	220 $\times$ 20	0.25	18	310 $\times$ 2	2	400	无	双层链式	1~3	50.5 $\times$ 21 $\times$ 11
7	1400	18		0.27	18	280 $\times$ 20	0.25	18	330 $\times$ 2	2.4	400	电抗	双层链式	1~3	
8	乘风牌 1400 华生牌	18		0.29	18	240 $\times$ 20	0.27	18	300 $\times$ 2	2	400	电抗	双层链式		

### 6.1.5 转页式风扇和换气扇用电动机

采用 4 极电容运转异步电动机。

6.1.5.1 转页式风扇电动机技术数据 见表 4.4.82 所示。

表 4.4.82 转页式风扇电动机技术数据(220V, 50Hz)

风扇规格 (mm)	风量 (m <sup>3</sup> /min)	电机极数	输入功率 (W)	功率因数	噪声 [dB(A)]	调速比 (%)
200	17	4	36	0.82	45	
250	28	4	44	0.82	45	70
300	40	4	56	0.82	45	70
350	52	4	64	0.82	45	70
400	65	4	74	0.82	45	70

6.1.5.2 换气扇用电动机技术数据 见表 4.4.83 所示。

表 4.4.83 换气扇用电动机技术数据(220V, 50Hz)

风扇规格 (mm)	风量 (m <sup>3</sup> /min)	电机 极数	输入功率 (W)	效率 (%)	功率 因数	堵转转矩 (mN·m)	最大转矩 (mN·m)	噪声 [dB(A)]
150	4.5	4	25	≥13	0.9	≥19	30	43
200	7.0	4	30	≥21	0.9	≥37	59	43
250	11.0	4	40	≥25	0.9	≥49	78	43
300	16.5	4	55	≥32	0.9	≥98	156	43

6.1.6 交流单相电扇电动机绕组数据

见表 4.4.84 所示。

表 4.4.84 交流单相电扇电动机绕组数据

产品规格及型号	极数 电压(V)	定子铁 心长度 (mm)	绕 组		线圈只数			电容器 电压 (V)	线模尺寸 长×宽	
			主绕组 线径 (mm)	副绕组 线径 (mm)	主 相	副 相	调 速 相			电容量 (μF)
								槽数	匝数	
220 230mmDW <sub>1</sub> -79 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{28}{8}$	$\frac{0.17}{840}$	$\frac{0.15}{1160}$	$\frac{0.15}{680}$	4	2	2	$\frac{400}{1}$	$\frac{40 \times 30}{5.5}$
250mmQB-64 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{20}{8}$	$\frac{0.17}{935}$	$\frac{0.15}{1020}$		4	4		$\frac{500}{1}$	$\frac{35 \times 34}{4.5}$
300mmQB-62 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{0.17}{780}$	$\frac{0.19}{620}$		4	4		$\frac{400}{1.5}$	$\frac{41 \times 34}{4.5}$
350mmQB-61 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{0.21}{590}$	$\frac{0.19}{780}$		4	4		$\frac{400}{1}$	$\frac{41 \times 34}{4.5}$



续表

产品规格及型号	极数 电压(V)	定子铁 心长度 (mm)	绕 组		线圈只数			电容器 电压 (V) 电容量 ( $\mu$ F)	线模尺寸 长×宽
			主绕组 线径 (mm)	副绕组 线径 (mm)	主 相	副 相	调 速 相		
			槽数	匝数					匝数
400mmQB-61 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{0.23}{580}$	$\frac{0.21}{730}$	4	4		$\frac{400}{1}$	$\frac{41 \times 34}{4.5}$
300mmQB-64 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{0.17}{634}$	$\frac{0.19}{620}$	4	4		$\frac{400}{1.5}$	$\frac{41 \times 34}{4.5}$
350mmQB-64 台扇	$\frac{4}{220}$	32	$\frac{0.23}{560}$	$\frac{0.19}{700}$	4	4		$\frac{400}{1.2}$	$\frac{47 \times 34}{4.5}$
400mmQB-64 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{32}{8}$	$\frac{0.23}{530}$	$\frac{0.17}{890}$	4	4		$\frac{400}{1.2}$	$\frac{47 \times 34}{4.5}$
400mmQB-76 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{32}{8}$	$\frac{0.23}{520}$	$\frac{0.17}{1000}$ 调 $\frac{0.19}{560}$	4	2	2	$\frac{400}{1.5}$	$\frac{47 \times 34}{4.5}$
300mmDQ-63 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{30}{16}$	$\frac{0.17}{796}$	$\frac{0.13}{1275}$	4	4		$\frac{500}{0.8}$	$\frac{32 \times 42}{5.5}$
350mmDQ-63 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{34}{16}$	$\frac{0.19}{685}$	$\frac{0.13}{976}$	4	4		$\frac{400}{1.2}$	$\frac{32 \times 46}{5.5}$
400mmDQ-63 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{34}{16}$	$\frac{0.23}{555}$	$\frac{0.15}{955}$	4	4		$\frac{400}{1}$	$\frac{32 \times 46}{5.5}$
900mm36CC-48 吊扇	$\frac{14}{220}$	$\frac{26}{28}$	$\frac{0.295}{360}$	$\frac{0.295}{360}$	14	14		$\frac{400}{2.5}$	$\frac{26 \times 35}{12}$
1050mm42CC-48 吊扇	$\frac{14}{220}$	$\frac{32}{28}$	$\frac{0.295}{300}$	$\frac{0.295}{330}$	14	14		$\frac{400}{3}$	$\frac{26 \times 42}{12}$
1400mm56CC-54 吊扇	$\frac{18}{220}$	$\frac{32}{36}$	$\frac{0.315}{200}$	$\frac{0.315}{225}$	18	18		$\frac{400}{4}$	$\frac{22 \times 42}{11}$
1400mm56CC-46 吊扇	$\frac{18}{220}$	$\frac{38}{36}$	$\frac{0.315}{210}$	$\frac{0.295}{250}$	18	18		$\frac{400}{4}$	$\frac{22 \times 49}{11}$
1200mmDL <sub>2</sub> -64 吊扇	$\frac{18}{220}$	$\frac{25}{36}$	$\frac{0.27}{328}$	$\frac{0.25}{280}$	18	18		$\frac{400}{2}$	$\frac{21.5 \times 43}{11}$
1400mmDD <sub>2</sub> -64 吊扇	$\frac{18}{220}$	$\frac{35}{36}$	$\frac{0.27}{280}$	$\frac{0.25}{328}$	2			$\frac{400}{2}$	$\frac{21.5 \times 43}{11}$ 二端 R14
150mmBY 仪表扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{25}{2}$	$\frac{0.15}{1500}$		2				$\frac{24 \times 30}{7}$
180mm!861 微型台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{32}{2}$	$\frac{0.15}{1175}$		2				$\frac{24 \times 37}{7}$
200mm2062 摇头台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{32}{2}$	$\frac{0.19}{1050}$		2				$\frac{30 \times 42}{7}$
200mm3W <sub>1</sub> 摇头台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{32}{2}$	主: $\frac{0.19}{1.75}$	$\frac{0.19}{925+250}$	2				$\frac{30 \times 42}{7}$

续表

产品规格及型号	极数 电压(V)	定子铁 心长度 (mm)	绕 组		线圈只数			电容器 电压 (V) 电容量 ( $\mu$ F)	线模尺寸 长×宽 厚 (mm)
			主绕组 线径 (mm)	副绕组 线径 (mm)	主 相	副 相	调 速 相		
200mmBW <sub>2</sub> 摇头台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{26}{2}$	主 <sub>1</sub> $\frac{0.19}{1350}$	主 <sub>2</sub> $\frac{0.19}{825+500}$	2			$\frac{34 \times 34}{7}$	
230mmBW <sub>2</sub> 摇头台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{32}{2}$	主 <sub>1</sub> $\frac{0.21}{1100}$	主 <sub>2</sub> $\frac{0.21}{810+290}$	2			$\frac{34 \times 40}{7}$	
250mmBW <sub>2</sub> 摇头台扇	$\frac{2}{220}$	$\frac{38}{2}$	主 <sub>1</sub> $\frac{0.23}{990}$	主 <sub>2</sub> $\frac{0.23}{700+290}$	2			$\frac{34 \times 46}{7}$	
300mm12AD-61 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{26}{4}$	$\frac{0.25}{390}$		4			$\frac{33 \times 24}{9}$	
300mm12AD-49 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{32}{4}$	$\frac{0.28}{480}$		4				
300mm12BQ-62 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{32}{4}$	$\frac{0.27}{510}$		4			$\frac{27 \times 40}{6}$	
400mm16AD-50 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{38}{4}$	$\frac{0.417}{420}$	采用包线圈	4			$\frac{44 \times 39}{14.5}$	
400mm16AD-61 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{38}{4}$	$\frac{0.376}{420}$		4			$\frac{44 \times 39}{14.5}$	
400mm16AL-54 台扇	$\frac{6}{220}$	$\frac{38}{6}$	$\frac{0.417}{360}$		6			$\frac{46 \times 26}{12}$	
400mm16BQ-64 台扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{32}{4}$	$\frac{0.417}{450}$		4			$\frac{31 \times 40}{10}$	
900mmB6AC-48 吊扇	$\frac{14}{220}$	$\frac{38}{14}$	$\frac{0.475}{185}$	线直接绕于磁极	14				
1050mm42AC-48 吊扇	$\frac{14}{220}$	$\frac{51}{14}$	$\frac{0.51}{155}$	线直接绕于磁极	14				
400mm56AC-51 吊扇	$\frac{12}{220}$	$\frac{32}{14}$	$\frac{0.55}{240}$	采用包线圈	12				
400mmJD 型 0.15kW 变压器风扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{35}{24}$	$\frac{0.31}{540}$	三相电机接线采用 $\Delta$					
	$\frac{4}{380}$	$\frac{35}{24}$	$\frac{0.31}{540}$	三相电机接线采用Y					
16AE 排气风扇	220		$\frac{0.29}{460}$						
16AL 风扇	$\frac{6}{220}$		$\frac{0.27}{360}$						
400FA3-6 排气扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{L53 \times \phi 58}{16}$	$\frac{0.35}{240}$	$\frac{0.35}{330}$	线圈节距 1~4		$\frac{400}{4}$		
400FA 排气扇	$\frac{4}{220}$	$\frac{L36 \times \phi 60}{24}$	$\frac{0.33}{260}$	$\frac{0.33}{260}$			$\frac{400}{4}$	青岛 72×32×8 100×60×8	

续表

产品规格及型号	极数 电压(V)	定子铁心长度 (mm)	绕组		线圈只数			电容器 电压 (V)	线模尺寸 长×宽
			主绕组 线径 (mm)	副绕组 线径 (mm)	主 相	副 相	调 速 相		
			槽数	匝数				匝数	电容量 ( $\mu$ F)
500FA4-7 排气扇	$\frac{6}{220}$	$L40\varnothing72$ 24	$\frac{0.29}{295}$	$\frac{0.23}{510}$	主 1~4 副 1~5		$\frac{400}{2}$	广州 62×35×8 62×31×8	
500FA 排气扇	$\frac{4}{220}$	$L56\varnothing72$ 24	$\frac{0.47}{105}$	$\frac{0.35}{170}$	1~6		$\frac{500}{6}$	天津 42×40×8	

## 6.1.7 三相排气扇电机绕组数据

见表 4.4.85 所示。

表 4.4.85 三相排气扇电机绕组数据

产品型号	极数 电压(V)/ 频率(Hz)	铁心长度 与内径(mm)	绕组		线圈节距	电机相数	产地
			线径(mm)	匝数			
			槽数	匝数			
400FA3-6	$\frac{4}{380/50}$	$L46\varnothing58$ 12	$\frac{0.295}{580}$		1~4	三相	
400FTA8-6	$\frac{4}{380/50}$	$L40\varnothing58$ 12	$\frac{0.27}{625}$		1~4	三相	
500FTA4-7	$\frac{6}{380/50}$	$L40\varnothing72$ 18	$\frac{0.29}{450}$		1~4	三相	广州 50×40×9
600JA12-4	$\frac{4}{380/50}$	$L55\varnothing80$ 24	$\frac{0.47}{140}$		1~6	三相	苏州
600FTA	$\frac{4}{380/50}$	$L59\varnothing72$ 24	$\frac{0.44}{150}$		1~6		天津 60×75×8

## 6.1.8 单相轴流风扇电机及转页扇电机绕组数据

见表 4.4.86 所示。

表 4.4.86 单相轴流风扇电机及转页扇电机绕组数据

产品规格型号	极数 电压(V) /频率(Hz)	定子铁心 长度(mm)	主绕组 线径(mm)	副绕组 线径(mm)	线圈匝数		其 他	备 注	
					槽数	匝数			匝数
400mm 轴流式通 风扇	$\frac{6}{220/50}$	$\frac{55}{24}$	$\frac{\varnothing0.38}{205}$	$\frac{\varnothing0.38}{205}$	12	12	倒顺转	配用电容器 6 $\mu$ F/400V	

续表

产品规格型号	极数 电压(V) /频率(Hz)	定子铁心 长度(mm) 槽数	主绕组 线径(mm) 匝数	副绕组 线径(mm) 匝数	线圈 数量		其 他	备 注
					主 相数	副 相数		
400mm 轴流式通 风扇	$\frac{6}{220/50}$	$\frac{55}{24}$	$\frac{\varnothing 0.38}{205}$	$\frac{\varnothing 0.27}{415}$	12	12	单向转	配用电容器 2.5 $\mu$ F/400V
400mm 轴流式通 风扇	$\frac{6}{220/60}$	$\frac{55}{24}$	$\frac{\varnothing 0.38}{205}$	$\frac{\varnothing 0.38}{205}$	12	12	单 双 向 转	配用电容器 6 $\mu$ F/400V
300mm 转页扇	$\frac{4}{220/50}$	$\frac{20}{16}$	$\frac{\varnothing 0.18}{880}$	$\frac{\varnothing 0.18}{880}$	4	4	单向转	
50TYS-JB-01 转页 扇微电机①	$\frac{12}{220V/50}$	磁钢 $\varnothing 23 \times 8$ 磁场 强度 $\geq 90mT$	$\frac{\varnothing 0.03 \sim 0.05}{(1.1 \sim 1.25) \times 10^4}$	出轴转速 6r/min			线架尺寸 $\varnothing 26 \times 10$ 双向转	转矩 (N·cm) 15
50TYS-JB-02 转页 扇微电机①	$\frac{12}{220V/50}$	磁钢 $\varnothing 23 \times 8$ 磁场 强度 $\geq 90mT$	$\frac{\varnothing 0.03 \sim 0.05}{(1.1 \sim 1.25) \times 10^4}$	出轴转速 33r/min			线架尺寸 $\varnothing 26 \times 10$ 双向转	转矩 (N·cm) 8
M125917 转页扇微电机①	$\frac{12}{220 \sim 240V/50}$	磁钢 $\varnothing 23 \times 8$ 磁场 强度 $\geq 90mT$	$\frac{\varnothing 0.03 \sim 0.05}{1.25 \times 10^4}$	出轴转速 33r/min			双向转	转矩 (N·cm) 6

注:①为参考数据。

## 6.1.9 华生牌特种电扇串励电动机绕组数据

见表 4.4.87 所示。

表 4.4.87 华生牌特种电扇串励电动机绕组数据

产品名称规格	电压(V) 负载电流 (A)	电枢绕组数据				定子绕组数据			
		槽数	线径	每只圈数	电刷型号	线径	每 匝 数	铁心 直径 $\times$ 长度	线模 长 $\times$ 宽 $\times$ 厚
300mm 火车 用顶扇	$\frac{DC75}{0.6}$	12	0.29	47	DS-14	0.38	584	49.5 $\times$ 34	58 $\times$ 36 $\times$ 12
		1~6	2	单叠绕组	6 $\times$ 6.5	1	2		
(铸铁)30ZT	$\frac{DC110}{0.4}$	12	0.23	69	DS-14	0.3	856	49.5 $\times$ 34	58 $\times$ 36 $\times$ 12
		1~6	2	单叠绕组	6 $\times$ 6.5	1	2		

续表

产品名称规格	电压(V) 负载电流 (A)	电枢绕组数据				定子绕组数据			
		槽数	线径	每只圈数	电刷型号	线径 股数	每极 匝数 每线 包数	铁心 直径× 长度	线模 长×宽 ×厚
		节距	股数	绕组形式	电刷尺寸 (mm)				
300mm 火车 用排烟扇 (铸铁)30ZP	$\frac{DC12}{3.5}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.45}{2}$	12 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.8}{1}$	$\frac{86}{2}$	57.8×44	55×54×14
	$\frac{DC110}{0.325}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.25}{2}$	92 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.41}{1}$	$\frac{650}{2}$	57.8×44	55×54×14 <sup>①</sup>
	$\frac{DC220}{0.165}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.105}{2}$	220 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.173}{1}$	$\frac{580}{2}$	57.8×44	55×54×14
	$\frac{DC50}{0.765}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.41}{2}$	80 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.62}{1}$	$\frac{298}{2}$	57.8×44	55×54×14
300mm 船用 台壁扇 1 CTB-2 3	$\frac{DC50}{0.71}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.27}{2}$	48 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.41}{1}$	$\frac{360}{2}$	46×26	55×31×12
	$\frac{DC24, AC26}{1.36}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.38}{2}$	22 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.59}{1}$	$\frac{157}{2}$	46×26	55×31×12 <sup>②</sup>
	$\frac{DC36, AC220}{0.61}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.12}{2}$	205 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.19}{1}$	$\frac{1500}{2}$	46×26	55×31×12
	$\frac{DC110, AC220}{0.355}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.17}{2}$	100 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.27}{1}$	$\frac{750}{2}$	46×26	55×31×12
	$\frac{DC12}{3.35}$	$\frac{12}{1-6}$	$\frac{0.55}{2}$	10 单叠绕组	$\frac{DS-14}{6 \times 6.5}$	$\frac{0.625}{2}$	$\frac{70}{2}$	46×26	55×31×12

注:①为参考数据。

②为交直流和中频 1000Hz 之用。

## 6.1.10 配华生牌罩极式电扇用调速器绕组数据

见表 4.4.88 所示。

表 4.4.88 配华生牌罩极式电扇用调速器绕组数据

配用电扇的型号及类似规格	D <sub>21</sub> 硅钢片 铁心舌宽(mm) 片形	输入电压(V) 校验电流(A)	绕组图编号	绕组数据
				线径(mm) 匝数
300mm12BQ-63 台扇	19 方片		E <sub>1</sub>	$\frac{0.254}{500+200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
12AD-49(同 300mm12AD-49 台扇)	19 方片		E <sub>1</sub>	$\frac{0.32}{600+200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>

续表

配用电扇的型号及类似规格	D <sub>21</sub> 硅钢片 铁心舌宽(mm) 片形	输入电压(V) 校验电流(A)	绕组图编号	绕组数据 线径(mm) 匝数
300mmBQ-60 台扇		$\frac{58}{0.23 \sim 0.24}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.27}{250 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
300mmBQ-63 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$	$\frac{46}{0.235 \sim 0.265}$	E <sub>4</sub>	$\frac{0.27}{100 + 544 + 56 + 200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
400mm16AD-50 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$		E <sub>1</sub>	$\frac{0.345}{230 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
400mm16AD-61 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$		E <sub>1</sub>	$\frac{0.345}{230 + 130}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
400mm16AD-54 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$		E <sub>1</sub>	$\frac{0.138}{450 + 150}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
400mm16BQ-64 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$	$\frac{46}{0.5 \sim 0.51}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.417}{380 + 70}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
400mm16BQ-65 台扇	$\frac{19}{\text{方片}}$	$\frac{46}{0.235 \sim 0.265}$	E <sub>4</sub>	$\frac{0.417}{250 + 100 + 40 + 10}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
900mm36AC-48 吊扇	$\frac{19}{\text{方片}}$		E <sub>8</sub>	$\frac{0.41}{600 + 150 + 100 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
900mmBD 吊扇	$\frac{19}{\text{方片}}$	$\frac{84}{0.325 \sim 0.355}$	E <sub>7</sub>	$\frac{0.38}{250 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>5</sub> L <sub>6</sub>

注:绕组图编号见图 4.4.16。

### 6.1.11 华生牌电容式电扇调速器绕组数据

见表 4.4.89 所示。

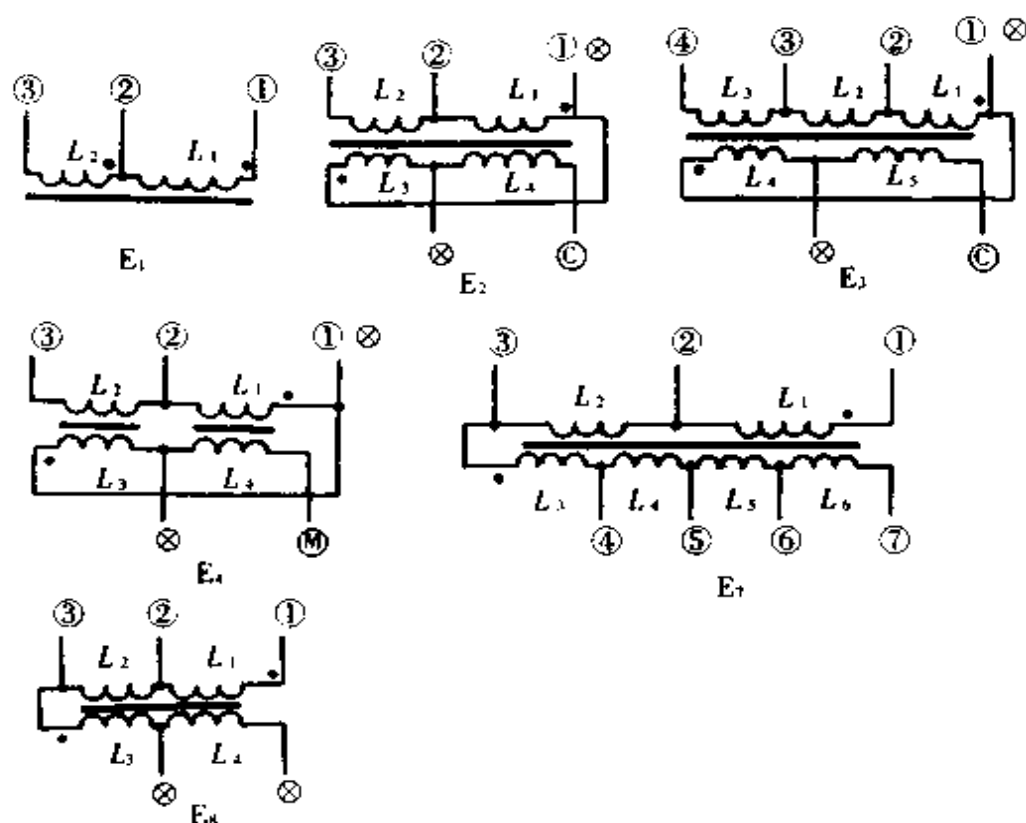


图 4.4.16 电扇用调速器绕组图编号

表 4.4.89 华生牌电容式电扇调速器绕组数据

配用电扇的型号及类似规格	$D_{21}$ 硅钢片	输入电压(V) 校验电流(A)	绕组图 编号	绕组数据 线径(mm) 匝数
	铁心舌宽×厚(mm) 片形			
300mmQB-62 台扇	$\frac{19 \times 17}{\text{方片}}$	$\frac{157}{0.145 \sim 0.16}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.17}{1750 + 200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
350mmQB-61 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{106}{0.15 \sim 0.16}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.23}{850 + 150}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
400mmQB-61 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{110}{0.185 \sim 0.195}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.23}{800 + 200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
250mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 17}{\text{方片}}$	$\frac{133}{0.083 \sim 0.097}$	E <sub>1</sub>	$\frac{0.17}{1600 + 200}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
250mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 17}{\text{方片}}$	$\frac{142}{0.06 \sim 0.065}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.17}{1550 + 250 // 72 + 600}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
300mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 17}{\text{方片}}$	$\frac{128}{0.1 \sim 0.12}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.17}{1300 + 250 // 70 + 300}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
350mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{110}{0.12 \sim 0.125}$	E <sub>3</sub>	$\frac{0.23}{880 + 100 + 100 // 52 + 500}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>5</sub>

续表

配用电扇的型号及类似规格	D <sub>21</sub> 硅钢片 铁心舌宽×厚(mm) 片形	输入电压(V) 校验电流(A)	绕组图 编号	绕组数据 线径(mm) 匝数
350mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{110}{0.12 \sim 0.125}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.23}{870 + 150 // 52 + 500}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
400mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{104}{0.165 \sim 0.185}$	E <sub>3</sub>	$\frac{0.23}{700 + 150 + 150 // 45 + 455}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>5</sub>
400mmQB-64 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{104}{0.165 \sim 0.185}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.23}{800 + 200 // 45 + 455}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
350mmDQ-63 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{122}{0.14 \sim 0.145}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.19}{950 + 250 // 50 + 600}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
400mmDQ-63 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{93}{0.25 \sim 0.27}$	E <sub>2</sub>	$\frac{0.23}{600 + 250 // 45 + 520}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
1200mmDD <sub>2</sub> -64 台扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{94}{0.29 \sim 0.30}$	E <sub>7</sub>	$\frac{0.27}{250 + 130 + 100 + 100 + 100 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>5</sub> L <sub>6</sub>
1400mmDD <sub>2</sub> -64 吊扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$	$\frac{106}{0.27 \sim 0.285}$	E <sub>7</sub>	$\frac{0.27}{380 + 120 + 110 + 100 + 100 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub> L <sub>5</sub> L <sub>6</sub>
1400mm56CC-54 吊扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$		E <sub>6</sub>	$\frac{0.31}{500 + 150 + 150 + 100}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>
1050mm42CC-48 吊扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$		E <sub>1</sub>	$\frac{0.32}{1000 + 300}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub>
1500mm60CC-36 吊扇	$\frac{19 \times 19}{\text{方片}}$		E <sub>6</sub>	$\frac{0.36}{500 + 200 + 200 + 150}$ L <sub>1</sub> L <sub>2</sub> L <sub>3</sub> L <sub>4</sub>

注:1.表中绕组数据一栏中有//符号的表示内外两绕组两层绝缘隔开。

2.绕组图编号见图4.4.16。

### 6.1.12 国内主要电扇电动机参数

见表4.4.90所示。



表 4.4.90 国内主要电扇电动机参数

牌 号	型号规格	主电动机参数					电 动 机 槽 数	电抗器线圈		电 容 ( $\mu$ F)	
		主线圈		副线圈		调速线圈		线径 (mm)	圈数		
		线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数	线径 (mm)					圈数
华 生	1050mm 吊扇	$\varnothing 0.27$	295 $\times$ 18	$\varnothing 0.23$	400 $\times$ 18					1.2	
	400mm 台扇	$\varnothing 0.25$	475 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	790 $\times$ 4			$\varnothing 0.25$	600 + 300	1.35	
	400mm 落地扇	$\varnothing 0.21$	700	$\varnothing 0.17$	980					1.2	
海 鸥	FS407C 落地扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	890 $\times$ 4			$\varnothing 0.23$	600 + 230	1.2	
	FT4010C 台扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	890 $\times$ 4			$\varnothing 0.23$	600 + 230	1.2	
	FC1200 吊扇	$\varnothing 0.23$	300	$\varnothing 0.19$	510					1.2	
长 城	FT <sub>4</sub> -40 台扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	935 $\times$ 4			$\varnothing 0.21$	600 + 600 + 200		
	FS <sub>2</sub> -40 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	935 $\times$ 4			$\varnothing 0.21$	200 + 430 + 200		
	FC <sub>2</sub> -105 落地扇	$\varnothing 0.23$	250	$\varnothing 0.19$	505						
	FC <sub>4</sub> -140 吊扇	$\varnothing 0.27$	280	$\varnothing 0.25$	328			$\varnothing 0.27$	450 + 150 + 200 + 170		
菊 花	FL-40-5 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$					
	FL-40-6 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$					
	FL-40-11 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	150 $\times$ 4 + 280 $\times$ 4				
	FT-40-5A 台扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$					
	TT-40-6 台扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$					
旋 风	FS <sub>2</sub> -40P 落地扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4						
	FS <sub>3</sub> -40P 落地扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4						
	FS <sub>4</sub> -40P 落地扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4			$\varnothing 0.23$	1260 + 700		
	FT-40P 台扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4			及			
	FT <sub>2</sub> -40P 台扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4			$\varnothing 0.19$			
	FB-40P 壁扇	$\varnothing 0.23$	570 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	720 $\times$ 4						
蝙 蝠	300mm 台扇	$\varnothing 0.16$	770 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	600 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	200 + 200			1	
	350mm 台扇	$\varnothing 0.19$	750 $\times$ 4	$\varnothing 0.16$	550 $\times$ 4	$\varnothing 0.16$	200 + 200			1	
	400mm 台扇	$\varnothing 0.21$	600 $\times$ 4	$\varnothing 0.16$	500 $\times$ 4	$\varnothing 0.16$	140 + 140			1.2	
	400mm 台扇	$\varnothing 0.21$	600 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	560 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	180 + 180			1	
雪 花	FT <sub>2</sub> -40P 台扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.18$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.23$	1090				
	FL <sub>2</sub> -40P 落地扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.18$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.23$	1090				

续表

牌 号	型号规格	主电动机参数						电 动 机 槽 数	电抗器线圈		电 容 ( $\mu$ F)
		主线圈		副线圈		调速线圈			线径 (mm)	圈数	
		线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数				
骆 驼	FS40E 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	100 $\times$ 4			16	$\varnothing 0.23$	450 + 200 + 250 + 530	1.2
	FS40H 落地扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	100 $\times$ 4			16	$\varnothing 0.23$		1.2
	400mm 台扇	$\varnothing 0.21$	710 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	100 $\times$ 4			16	$\varnothing 0.23$		1.2
	FD <sub>2</sub> -2-1200 吊扇	$\varnothing 0.27$	304	$\varnothing 0.27$	300			32			
月 仙	FL-40P 落地扇	$\varnothing 0.23$	510 $\times$ 4	$\varnothing 0.21$	300 $\times$ 4	$\varnothing 0.21$	110 + 520	8			4
扬 子	FS-40 落地扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	790 $\times$ 4			8	$\varnothing 0.23$	950	
	FS-40 台扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	790 $\times$ 4			8	$\varnothing 0.23$	950	
	FC-15 吊扇	$\varnothing 0.27$	290	$\varnothing 0.21$	360			28	$\varnothing 0.23$	1150	
南 极	FS <sub>8</sub> 落地扇	$\varnothing 0.21$	730 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	250 + 170	16			
	FS <sub>9</sub> 落地扇	$\varnothing 0.21$	730 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	250 + 170	16			
	FS <sub>9</sub> 落地扇	$\varnothing 0.21$	730 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	250 + 170	16			
	FS <sub>10</sub> 落地扇	$\varnothing 0.21$	730 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	840 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	250 + 170	16			
社 丹	FC-90 吊扇	$\varnothing 0.19$	410	$\varnothing 0.17$	500			24	$\varnothing 0.28$	560 + 170 + 200 + 110	1.22
	FC-105 吊扇	$\varnothing 0.21$	360	$\varnothing 0.19$	460			28	$\varnothing 0.27$	120 + 220 + 200 + 160	1.2
	FC-120 吊扇	$\varnothing 0.25$	295	$\varnothing 0.23$	340			28	$\varnothing 0.27$	500 + 180 + 140 + 130	1.8
	FC-140 吊扇	$\varnothing 0.29$	280	$\varnothing 0.27$	300			36	$\varnothing 0.29$		2.4
五 羊 (高 宝)	400mm 台扇	$\varnothing 0.21$	700 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	560 $\times$ 4 + 320 $\times$ 4			16			1.5
	350mm 台扇	$\varnothing 0.19$	750 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	480 $\times$ 4 + 480 $\times$ 4			16			1.2
	300mm 台扇	$\varnothing 0.17$	820 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	580 $\times$ 4 + 500 $\times$ 4			16			1.0
千 叶	D40TE 台扇	$\varnothing 0.21$	700 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	950 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	900/1600	16			
	S40TE 落地扇	$\varnothing 0.21$	700 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	950 $\times$ 4	$\varnothing 0.19$	900/1600	16			
	D23NE 台扇	$\varnothing 0.27$	200			$\varnothing 0.19$	600	16 罩 极			

续表

牌 号	型号规格	主电动机参数						电动机 槽数	电抗器线圈		电容 ( $\mu$ F)
		主线圈		副线圈		调速线圈			线径 (mm)	圈数	
		线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数				
嘉 美	KYT1-30 转页扇	$\varnothing 0.17$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	16		1	
	KYT2-30 转页扇	$\varnothing 0.17$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	16		1	
	KYS1-30 转页扇	$\varnothing 0.17$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	16		1	
	KYS3-30 转页扇	$\varnothing 0.17$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	16		1	
	KYS5-30 转页扇	$\varnothing 0.17$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	440 $\times$ 4	16		1	
神 岛	FC <sub>1</sub> -4 吊扇	$\varnothing 0.21$	550	$\varnothing 0.19$	840	电子无级调速		28			
	FC <sub>2</sub> -5 吊扇	$\varnothing 0.21$	370	$\varnothing 0.21$	370		28				
	FC <sub>2</sub> -6 吊扇	$\varnothing 0.21$	370	$\varnothing 0.21$	370		28				
	FC <sub>2</sub> -7 吊扇	$\varnothing 0.29$	270	$\varnothing 0.27$	310		28				
东 山	FD8 落地扇	$\varnothing 0.23$	590 $\times$ 4	$\varnothing 0.18$	440 $\times$ (4)+400 +400 $\times$ 3	L-2 型		16		1.2	
	FD7B 落地扇	$\varnothing 0.14$	(800+ 500+ 300) $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	950 $\times$ (4)	L-1 型		16		1.2	
	FD <sub>2</sub> 台扇	$\varnothing 0.19$	750 $\times$ 4	$\varnothing 0.18$	480 $\times$ (4)+480 +480 $\times$ (3)	L-2 型		16		1.2	
	FD <sub>1</sub> 台扇	$\varnothing 0.18$	900 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	530 $\times$ (4)+530 +530 $\times$ (3)	L-2 型		16		1	
飞 鹿	FC <sub>3</sub> -20	$\varnothing 0.25$	600 $\times$ 7	$\varnothing 0.25$	680 $\times$ 7	$\varnothing 0.27$	350+190+ 150+220	28			
	FT3-35 台扇	$\varnothing 0.19$	780 $\times$ 4	$\varnothing 0.15$	900 $\times$ (4)			16	$\varnothing 0.29$	85+400	
	FT5-40 台扇	$\varnothing 0.21$	730 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	930 $\times$ (4)			16	$\varnothing 0.17$	650+350+40	
乘 风	FT4-A-2 FT4-A-4 FT4-A-4D FT4-A-5	$\varnothing 0.21$	700	$\varnothing 0.17$	1000		532+124+ 344	16			
	1200mm 台扇	$\varnothing 0.29$	270	$\varnothing 0.27$	310						
	1400mm 台扇	$\varnothing 0.27$	330	$\varnothing 0.23$	355						
庐 山	FT40-13F 落地扇	$\varnothing 0.23$	530 $\times$ 4	$\varnothing 0.17$	870	$\varnothing 0.23$	355+500+ 200 灯 65	8			
	KYE1-30	$\varnothing 0.15$	620 $\times$ 7	$\varnothing 0.19$	900 $\times$ (4) 250 $\times$ (4)		抽头调速	12			
	FD105-1 吊扇	$\varnothing 0.23$	680	$\varnothing 0.17$	925 $\times$ 7			28			

续表

牌 号	型号规格	主电动机参数						电 动 机 槽 数	电抗器线圈		电 容 ( $\mu$ F)
		主线圈		副线圈		调速线圈			线径 (mm)	圈数	
		线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数	线径 (mm)	圈数				
钻 石	FS-40 落地扇	$\varnothing 0.19$	680	$\varnothing 0.17$	920			16	$\varnothing 0.19$	30 + 270 + 4220 + 700	
宝 波	FC-3601	$\varnothing 0.21$	370	$\varnothing 0.21$	370			28	$\varnothing 0.23$	650 + 100 + 100 + 150	1.5
	FC-4201	$\varnothing 0.23$	330	$\varnothing 0.23$	330			28			1.8
	FC-4801	$\varnothing 0.25$	300	$\varnothing 0.25$	300			28	$\varnothing 0.25$	720 + 100 + 100 + 150	2.2
红 山 花	FT-40 台扇	$\varnothing 0.23$	500 × (4)	$\varnothing 0.19$	780 × (4)						
	FT-40 台扇	$\varnothing 0.23$	580 × (4)	$\varnothing 0.19$	550 + 150						
	FS-40 落地扇	$\varnothing 0.23$	500 × (4)	$\varnothing 0.19$	565 + 145						
	FC-105 吊扇	$\varnothing 0.23$	320	$\varnothing 0.21$	450						
	FC-120 吊扇	$\varnothing 0.27$	260	$\varnothing 0.23$	385						
	FC-140 吊扇	$\varnothing 0.27$	290	$\varnothing 0.25$	365						
	FX-30 鸿运扇	$\varnothing 0.18$	890 × (4)	$\varnothing 0.18$	600 + 55 + 325						
蝴 蝶	400mm 台扇	$\varnothing 0.19$	520 × (4)	$\varnothing 0.19$	700 × (4)		T 型	8			1.5
	900mm 吊扇	$\varnothing 0.23$	360	$\varnothing 0.19$	500			28	$\varnothing 0.25$	1130	1
	1050mm 吊扇	$\varnothing 0.23$	360	$\varnothing 0.19$	500			28	$\varnothing 0.25$	1130	1.2
	1200mm 吊扇	$\varnothing 0.23$	300	$\varnothing 0.23$	300			32	$\varnothing 0.25$	1130	2
	1400mm 吊扇	$\varnothing 0.23$	300	$\varnothing 0.23$	300			32	$\varnothing 0.25$	1130	2.5
	300mm 三用扇	$\varnothing 0.17$	850 × (4)	$\varnothing 0.15$	500 × (4)		L 型	16			1.2
居 友	FT <sub>2</sub> -40 台扇	$\varnothing 0.23$	530 × (4)	$\varnothing 0.19$	850 × (4)			8	$\varnothing 0.23$	850 + 150	1.2
三 峡	FT-40 台扇	$\varnothing 0.21$	670 × (4)	$\varnothing 0.17$	880 × (4)		H <sub>2</sub> 型	16			1.8
	FS-40 落地扇	$\varnothing 0.21$	670 × (4)	$\varnothing 0.17$	880 × (4)		H <sub>2</sub> 型	16			1.8
	FC-20 吊扇	$\varnothing 0.25$	480 × (8)	$\varnothing 0.23$	600 × (8)			32			1.8
双 菱	FS <sub>3</sub> -40 落地扇	$\varnothing 0.19$	650 × (4)	$\varnothing 0.17$	520 × (4)	$\varnothing 0.17$	330 × (4)	16			
	FT <sub>3</sub> -40 台扇	$\varnothing 0.18$	650 × (4)	$\varnothing 0.19$	630 × (4)			16	$\varnothing 0.23$	300 + 270 + 550	
	FT <sub>6</sub> -40 台扇	$\varnothing 0.18$	650 × (4)	$\varnothing 0.19$	630 × (4)			16	$\varnothing 0.23$	300 + 270 + 550	
	FT <sub>7</sub> -40 台扇	$\varnothing 0.19$	630 × (4)	$\varnothing 0.17$	920 × (4)	$\varnothing 0.17$	270 × (4)	12			
	FS <sub>4</sub> -40 落地扇	$\varnothing 0.19$	630 × (4)	$\varnothing 0.17$	920 × (4)	$\varnothing 0.17$	270 × (4)	12			

### 6.1.13 空调器风扇电动机

空调器风扇电动机是驱动空调器风扇扇翼的电动机,它将蒸发器产生的冷气吹送到室内,或同时将冷凝器产生的热量排到室外。

空调器风扇电动机一般采用单相电容运转异步电动机,可为各类窗式空调器、立柜式空调器、分体式空调器及风机盘管式空调器配套。

#### 6.1.13.1 电动机接线图

(1)两速电动机接线图如图 4.4.17 所示。

(2)三速电动机接线图如图 4.4.18 所示。

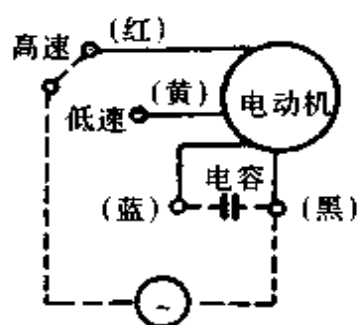


图 4.4.17 两速电动机  
接线图

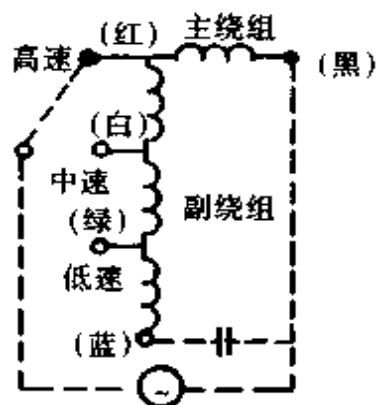


图 4.4.18 三速电动机  
接线图

#### 6.1.13.2 结构特点

- (1)电动机为全封闭结构,双轴伸,卧式安装。
- (2)机壳采用优质钢板卷制而成,具有较高的强度,端盖采用优质钢板冲制而成。
- (3)电动机采用低噪音滚动轴承或含油轴承。
- (4)电动机不带防振底架的,两端均有橡胶避振圈,电动机带防振底架的,安装部位也装有橡胶避振圈。
- (5)电动机均采用 B 级绝缘。

#### 6.1.13.3 空调用风扇电动机性能参数 见表 4.4.91 所示。

表 4.4.91 空调用风扇电动机性能参数

型 号	输出 功率 (W)	频率 (Hz)	效率 (%)	电压 (V)	转速(r/min)			起动 转矩 N·m	振动 (m/s)	噪音 (dB)	电容器 $\mu\text{F}/\text{V}$	配套空调器 制冷(热)量 [k](kcal)/h
					高速	中速	低速					
YYFP-10-6D)	10	50	25	220	750	625	500	0.08	0.7	35	2/450	10450(2500)
YYFP-15-6D)	15	50	28	220	820	700	580	0.11	0.7	35	2/450	12540(3000)
YYFP-25-6D)	25	50	30	220	920	820	750	0.15	0.7	35	3/450	14638(3500)
YYKa-30-6Z	30	50	38	220	950	880		0.18	0.7	45	2.5/450	8360(2000)
YYFP-40-4D)	40	50	50	220	1250	1100		0.16	0.7	45	2.5/450	12540(3000)
YYK-60-4D)	60	50	52	220	1350	1150		0.24	1.2	50	2.5/450	12540(3000)
YYK-80-4	80	50	52	220	1330	1230		0.27	1.2	50	4/400	风兼
YYK-100-4D)	100	50	62	220	1050	850		0.31	1.2	50	6/400	16728(4000)
YYK-100-6D)	100	50	50	220	950	800		0.46	0.7	48	4.8/450	14638~16728 (3500~4000)
YYK-100-6GD)	100	50	50	220	950	800		0.46	0.7	48	4.8/450	14638~16728 (3500~4000)
YYK-120-4	120	50	62	220	1350	1230		0.55	1.2	52	6/400	风兼
YYKF-120-4	120	50	55	220	1200	1000	0.36	1.2	52	6/450	16728(4000)	
				380						3/550	12540, 14638 (3000, 3500)	
YYK-250-4	250	50	60	380	1300	1200	1100	0.63	1.2	55	3/550	20900(5000)

6.1.13.4 YYKF-120-4 型空调器风扇电动机铁心及绕组数据 YYKF-120-4 型风扇电动机(旧型号为 JF120 型)主要用于 CK-4 型单相窗式空调器(额定电压为 220V)和 CKT-3A 型三相窗式空调器(额定电压为 380V)上,用以驱动  $\varnothing 200\text{mm}$  离心风扇及  $\varnothing 340\text{mm}$  轴流风扇。该风扇电动机是全封闭式,双轴伸带防振架,单相双速电容运转交流异步电动机。其铁心及绕组数据见表 4.4.92 至表 4.4.94 所列(因制造厂而异,仅供参考)。

表 4.4.92 YYKF-120-4 型电动机铁心数据

项 目	外径(mm)	叠厚(mm)	槽数	气隙(mm)
定子铁心	$\varnothing 139.8$	40 ± 1	36	0.3
转子铁心	$\varnothing 82$		44	

表 4.4.93 YYKF-120-4 型 220V 电动机绕组数据

绕组类型	跨距(mm)	L(mm)	Y(mm)	R(mm)	线径(mm)	匝数
主绕组	1~9	68	76	8	∅0.42	139
	2~8	58	56	5		123
	3~7	50	38	3		88
副绕组 I	3~8	50	42	3	∅0.31	88
	2~9	58	58	5		220
	1~10	68	76	8		280
副绕组 II	2~9	58	58	5	∅0.31	220
	3~8	50	42	3		88
调速绕组	1~9	68	76	8	∅0.42	35
	2~8	58	56	5		31
	3~7	50	38	3		24

注:绕线模尺寸参见图 4.4.19。

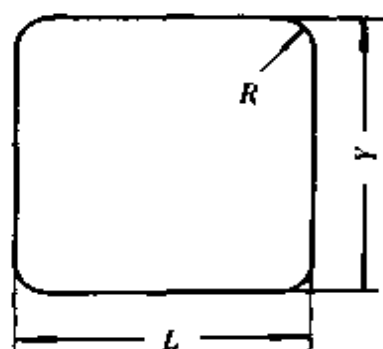


图 4.4.19 YYKF-120-4 型电动机绕线模尺寸图

表 4.4.94 YYKF-120-4 型 380V 电动机绕组数据

绕组类型	跨距	L(mm)	Y(mm)	R(mm)	线径(mm)	匝数
主绕组	1~9	68	76	8	∅0.33	227
	2~8	58	56	5		198
	3~7	50	38	3		143
副绕组 I	3~8	50	42	3	∅0.29	175
	2~9	58	58	5		207
	1~10	68	76	8		216
副绕组 II	2~9	58	58	5	∅0.29	207
	3~8	50	42	3		175
调速绕组	1~9	68	76	8	∅0.29	58
	2~8	58	56	5		50
	3~7	50	38	3		36

注:220V 及 380V 绕组电磁线均为 QZ-2 聚酯漆包线,绝缘等级为 E 级。

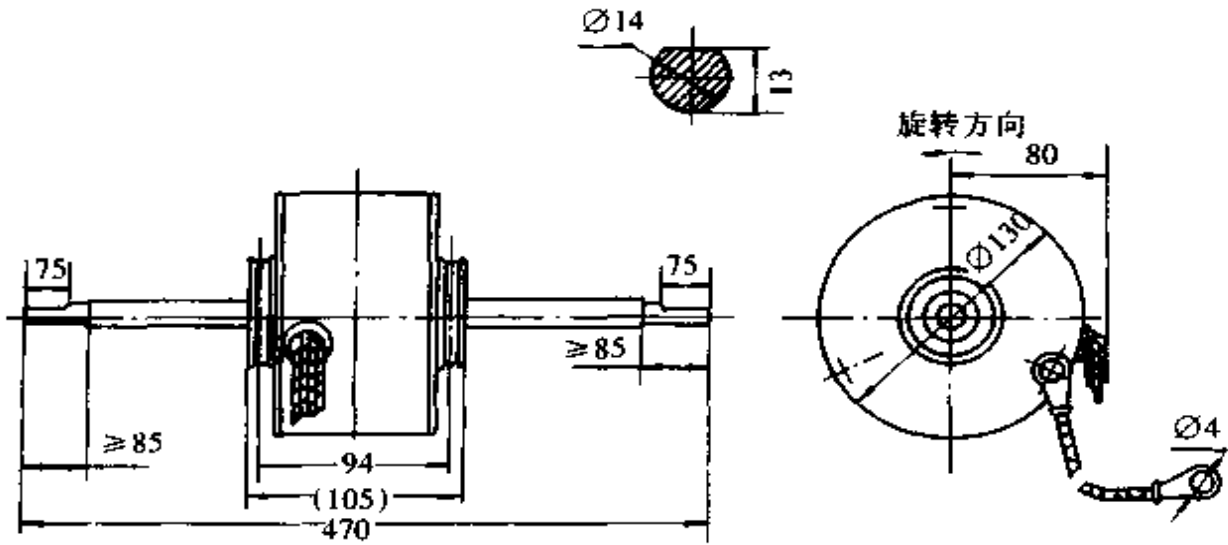
6.1.13.5 国外几种空调风扇电机产品的技术数据 见表 4.4.95 所示。

表 4.4.95 国外几种空调风扇电机产品的技术数据

产品型号	VDC45SZ	VCC60SY	AL-100	EFOV-KPPA	NC15ZN	ENO-KP
生产厂家	日本	日本(三菱)	美国	日本(日立)	日本(YASHAWA)	日本(日立)
输入/输出功率(W)	14.5, 22.1, 24 (输出)	87, 77, 70 (输入)	164/75	185/93.3	63/19	93(输出)
频率/电压/相极	50/220/1	50/220/1	50/220/1	50/220/1	50/220/1	50/220/1
极数	8	6	4	8	6	6
配套机组风址(m <sup>3</sup> /h)	立式空调器 630	立柱式空调 630	窗式空调	柜式空调室 内机组	排管风机空调 500	柜式空调室 内机组
定子铁心外径/内径 (mm)	120/68	120/68	139/77.5	128/80	109/60	128/80
铁心长度(mm)	45	46	28	48	23	48
槽配合 Q/Q <sub>2</sub>	24/33	24/33	24/33	36/48	24/30	36/48
斜槽度(°)			8		9	
绕组形式	正弦	正弦	正弦	正弦	正弦	正弦
电容(μF)	3	3	4.75	6	1	6
轴承	滚动轴承	滚动轴承	钢基含油	滚动轴承	滚动轴承	滚动轴承
电机结构 形式	全钢板 全封闭	全钢板机 壳两侧有孔	钢板端盖 全封闭	钢板结构 全封闭	钢板壳铁 盖两端钻孔	钢板壳 铸铁盖

6.1.13.6 空调器风扇电动机外形及安装尺寸 YYFP、YYK 及 YYKF 型电动机外形及安装尺寸见图 4.4.20 至图 4.4.30 所示。





10

图 4.4.20 YYFP-15-60 型电动机外形和安装尺寸

25

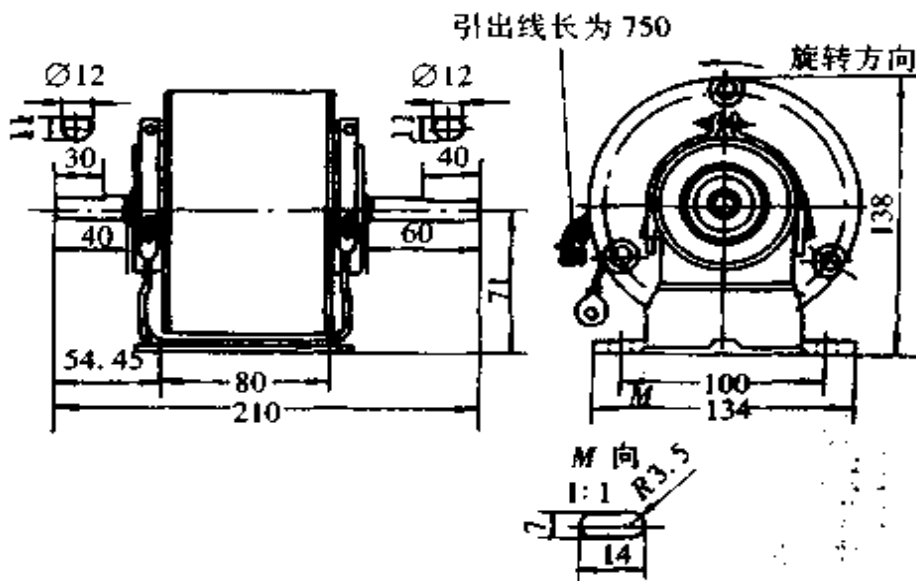


图 4.4.21 YYK-30-6Z 型电动机外形和安装尺寸

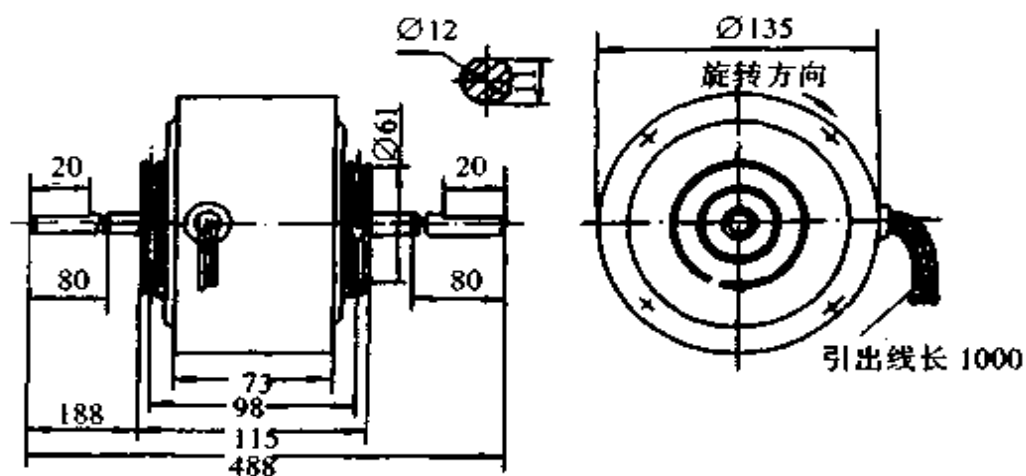


图 4.4.22 YYFP-40-4D 型电动机外形和安装尺寸

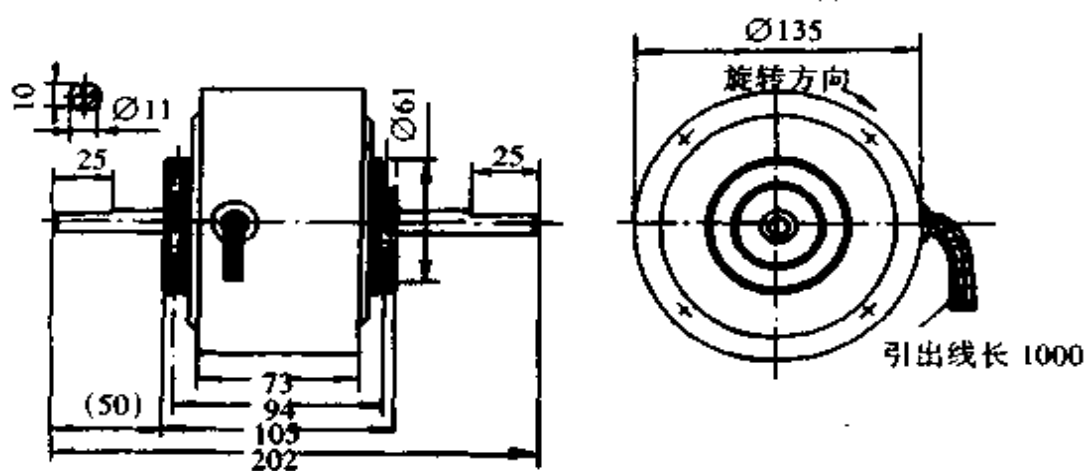


图 4.4.23 YYK-60-4D 型电动机外形和安装尺寸

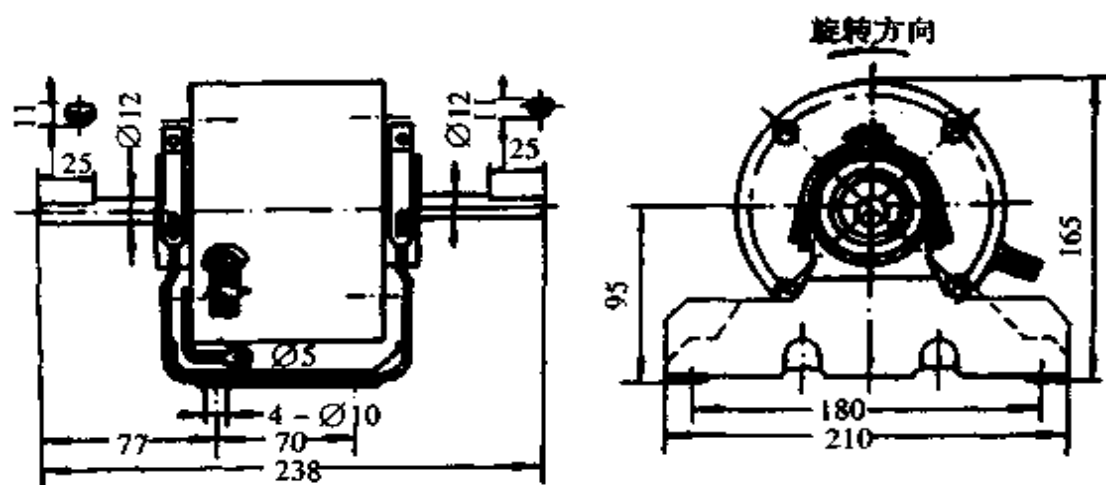


图 4.4.24 YYK-80-4 型电动机外形和安装尺寸

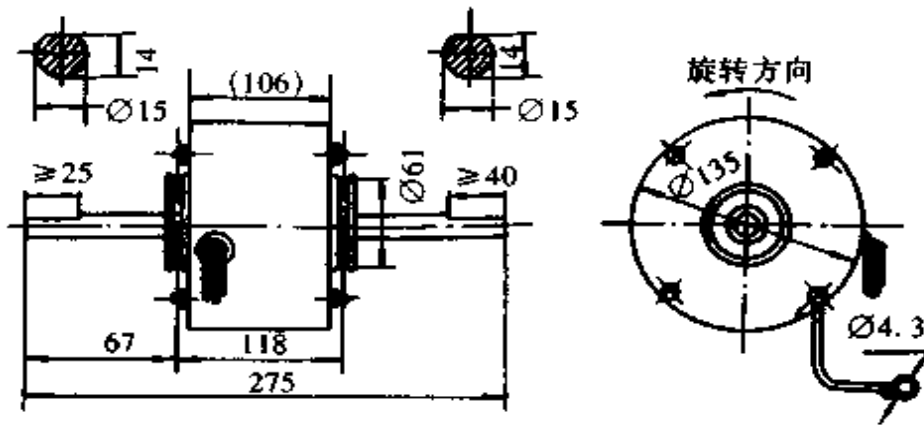


图 4.4.25 YK-100-4D 型电动机外形和安装尺寸

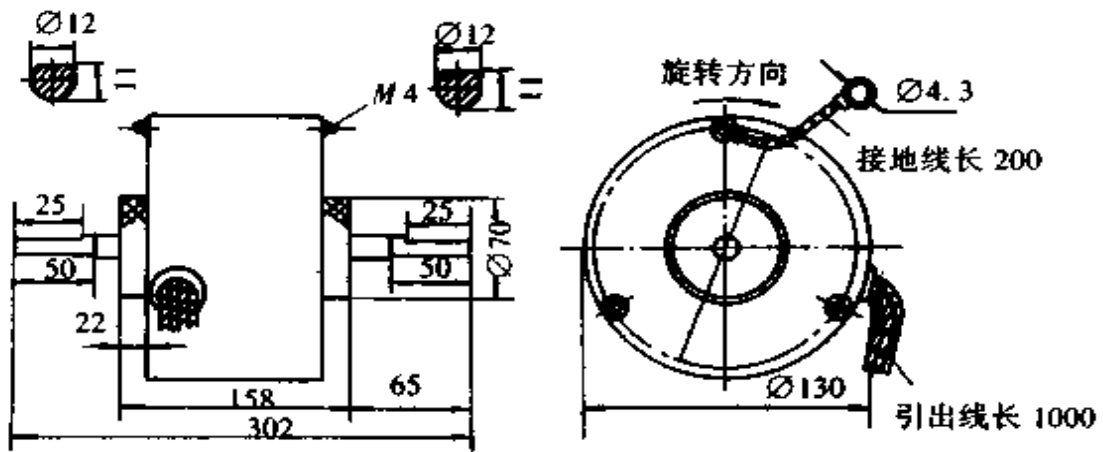


图 4.4.26 YK-100-6D 型电动机外形和安装尺寸

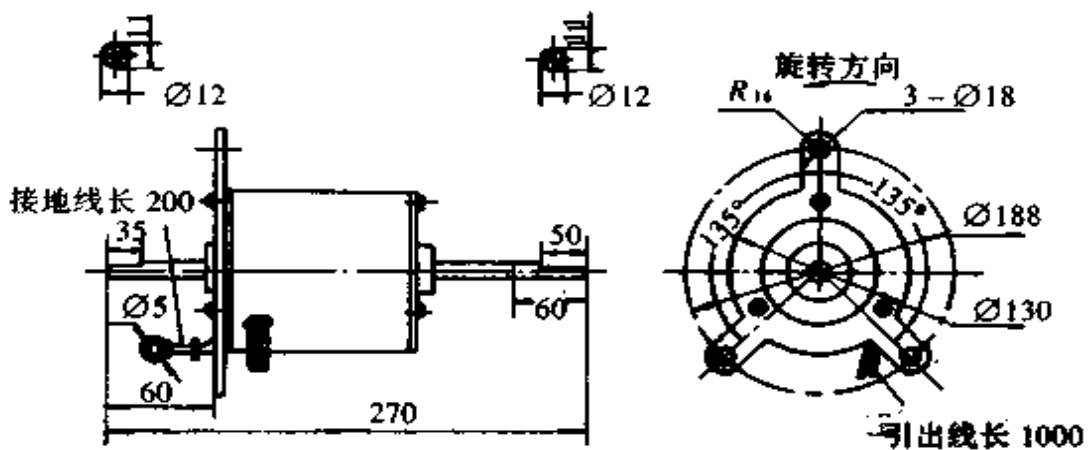


图 4.4.27 YK-100-6GD 型电动机外形和安装尺寸

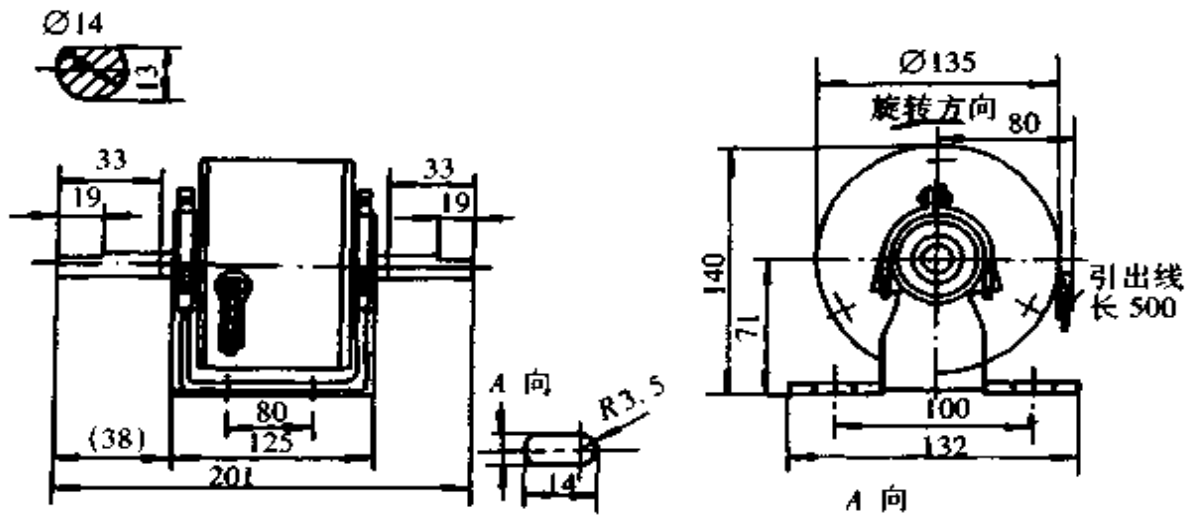


图 4.4.28 YYK-120-4 型电动机外形和安装尺寸

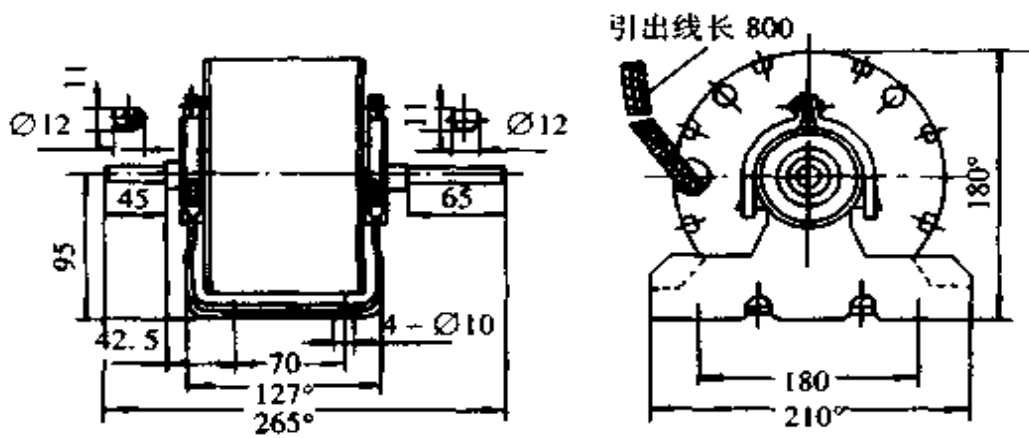


图 4.4.29 YYKF-120-4 型电动机外形和安装尺寸

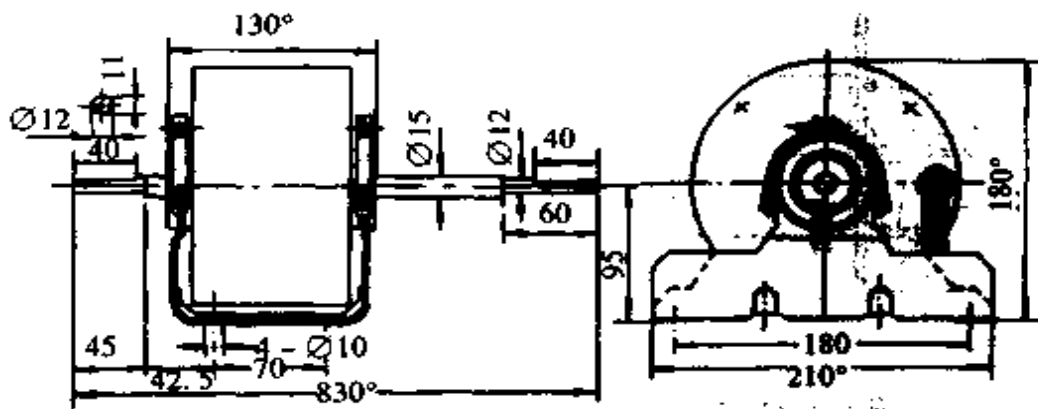


图 4.4.30 YYK-250-4 型电动机外形和安装尺寸

## 6.1.13.7 维护使用

(1)电动机端盖上具有接地装置(接地线),用户安装时应将接地线与空调器内其他部件一并接地,以确保安全。

(2)电动机轴承润滑脂为3号白色特种脂,实际使用过程中应每2年清洗轴承一次,并重新加装相同牌号的润滑脂,加装量控制在轴承室容积的90%左右。

(3)使用时根据接线图接线,尤其要注意配用的电容器是否与电动机匹配(参阅表4.4.90所列)。

## 6.1.14 交流电扇电动机的常见故障和处理方法

见表4.4.96所示。

表4.4.96 交流电扇电动机的常见故障和处理方法

故障现象	可能原因和处理方法
通电后不转或时转,时不转	电源线接错,电器部件接触不良,绕组电路中某一部位断开或接触不良。机械转动部位卡住
通电后第一挡正常,其他挡速度慢(与原来正常情况相比)	(1)机械转动部分阻力大,有尘埃,长期失油 (2)负载增大如风叶漆层太厚或角度过大
通电后起动慢	(1)轴与轴孔配合松,机壳配合止口松或不同心(定转子铁心之间的气隙不均匀) (2)电容量变小 (3)装配过紧,轴不直 (4)主、副绕组中有短路或主副绕组之间有短路 (5)转子槽导电条或端环断开
快挡转速慢并有嗡嗡声	(1)定转子铁心间的气隙不均匀 (2)断排 (3)绕组内有短路 (4)机件固定不紧,吸铁片松等
通电后不起动,但可按手捻动方向转动	(1)副相电路中(包括电容器)有断开处 (2)罩极式电机的罩极线圈焊接不好或脱焊 (3)三相电机(如排气扇电机)有一相断开
电动机绕组全部发热,超过额定温升	(1)绝缘老化 (2)定转子转动时擦吸铁,阻力增大 (3)调换绕组时,数据不正确 (4)使用电压不符合电机要求 (5)通风道阻塞,散热差 (6)负载不匹配

续表

故障现象	可能原因和处理方法
人接触电动机金属外壳部时有麻电感觉(属分布电容性、并且电机绝缘符合标准化的情况下)	正常的泄漏电流造成外壳带电,用兆欧表测量绝缘电阻时符合要求,而用电笔测时发红光,解决的办法是将金属外壳妥善接地(按规定合格的家电产品,其泄漏电流应小于0.3 mA),如属受潮应烘干除潮
电动机调速器 (1)无快、慢速度变化 (2)快、中挡速度无明显变化。慢挡速度正常	(1)主要是调速器的绕组内部有局部或大部分短接及开关分挡接线和分路有短接所致 (2)快、中速无变化现象是由于绕组中快慢的线端排列错误,可将快与慢的变速接头对换一下
电动机如果采用电机绕组抽头进行调速 (1)快挡好,慢挡有噪声 (2)部分调速不好	(1)可调换轴承或调整装配气隙;如果实在不行,在中、慢挡改用增装调速器来变速 (2)这种结构在使用时,如只有一挡能运转,其他挡不能运转,其原因多数是接触不好,或部分绕组和引线断开

## 6.2 电冰箱压缩机组用电动机

### 6.2.1 电动机的工作条件

电动机与压缩机共轴并密封在同一机壳内,合称为密封式电动制冷压缩机。电动机的定子和转子都置于氟里昂气体和冷冻润滑油的混合物中,要求其具有耐氟里昂的化学稳定性。所以这种电动机亦称耐氟里昂电动机(简称耐氟电动机)。

### 6.2.2 耐氟电动机绝缘结构

见表 4.4.97 所示。

表 4.4.97 耐氟电动机绝缘结构

结构件	等级	材 料
电磁线	E 级	QF 型高强度耐冷媒漆包线 QZ-2 型高强度聚酯漆包线
	F 级	QXY 型高强度聚酰亚胺漆包线 QZY 型高强度聚酯亚胺漆包线
槽绝缘	E 级 C 级	聚酯薄膜,聚酰亚胺薄膜,DMD,NHN,NMN 等
槽楔	E 级 B 级	聚酯薄膜软槽楔、环氧酚醛玻璃布板
带及套管		涤纶编织带、涤纶编织套管
浸渍漆		B829、6440 耐氟绝缘漆

## 6.2.3 耐氟电动机的类型

见表 4.4.98 所示。

表 4.4.98 耐氟电动机的类型

电动机类型		电阻分相启动	电容启动	电容运转	电容启动与电容运转	
启动继电器类型		电流型	电流型	-	电流型	电压型
功率范围(W)		40~120	40~300	500~1500	180~400	350~1500
额定状况下电机性能	堵转转矩倍数	1.3~2.2	2~3	0.25~0.6	1.5~2.5	1.5~2.5
	堵转电流倍数	5.5~8	6~8	5~7	5~6	5~6
	最大转矩倍数	2~3.5	2~3.5	2~3	2~3	2~3
适用范围		家用电冰箱、储存箱等	家用电冰箱、商品陈列柜、冰水器等	空调器等	冰水器、制冰器、商品陈列柜等	空调器等

## 6.2.4 国产压缩机组的电动机技术数据

见表 4.4.99 所示。

## 6.2.5 部分进口(电冰箱用)压缩机组的电动机技术数据

见表 4.4.100 所示。

## 6.2.6 电动机绕组的重绕

## 6.2.6.1 电动机绕组重绕时的注意事项

(1)电磁线、槽绝缘、槽楔、绑扎线、浸渍漆等均应采用耐氟里昂、耐润滑油的材料。

(2)电机引出线一般可用聚四氟乙烯绝缘铜线。绝对不能使用普通塑料导线,因为普通塑料导线的绝缘层会在致冷剂中熔融。

6.2.6.2 重绕步骤 根据电动机损坏情况,决定部分拆修或全部重绕,其步骤如下:

表 4.4.99 国产压缩机组的

生产厂	北京电冰箱厂						天津医疗器械厂					
压缩机组 (冰箱)型号	LD-5801		QF-21-75		QF-21-93		LD-1-6		5608-I		5608-II D	
额定电压(V)	220		220		220		220		220		220	
额定电流(A)	1.4		0.9		1.2		1.1		1.6		1.6	
输出功率(W)	93		75		93		93		125		125	
额定转速(r/min)	1450		2850		2850		2850		1450		1450	
定子绕组 (采用 QF 漆包 线)	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动
导线直径(mm)	0.64	0.35	0.59	0.31	0.64	0.35	0.64	0.35	0.7	0.37	0.72	0.35
匝数:最小圈	71		45		43				62	33	59	
小圈	96	30	87	40	62	33	65	41	91	54	61	34
中圈	125	40	101	60	80	41	85	50	110	65	81	46
大圈	65	50	117	70	93	45	113	120 +95 -25			46	50
最大圈			120	200 +140 -60	101	101 +76 -25	113	117 -20 +97				
绕组总匝数	4×375	4×123	2×470	2×370	2×379	2×220	2×376	2×328	4×363	4×157	4×247	1×130
绕组电阻值(Ω)	17.32	20.8	16.3	45.36			12	33	14	27.2	10.44	23.25
绕组槽节距:最 小圈		3		3				3	3	3		
小圈	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
中圈	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
大圈	9	9	9	9	9	9	9	9			9	9
最大圈			11	11	11	11	11	11				
定子铁芯槽数 定子铁芯叠厚 (mm)	32 28		24 25		24 36		24 35		32		32	

注:1.电动机均为电阻(分相)起动型;

2. ( )中数据为经改进后的数据。表中数据仅供维修参考。



电动机技术数据

沈阳医疗器械厂								北京电冰箱压缩机厂 (北京第二轻工机械厂)				常熟机械总厂	
FB-515		FB-516 517(I)		FB-505		FB-517(II)		QF-21-65		QF-21-100		QZD-3.4	
220		220		220		220		220		220		220	
1.2~1.5		1.3~1.7		0.7		1.1		0.7		0.8		0.6	
93		93		65		93		65		100		75(输入)	
1450		1450		2860		2860		2850		2850		2850	
运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动	运行	启动
0.60	0.38	0.64	0.38	0.51	0.31	0.64	0.38	0.60	0.29 (0.33)	0.6	0.32	0.45	0.31
90		90	18	88	53	41		59(64)		53		88	36
118	41	110	35	88	53	78	46	79(84)	57(39)	72	45	88	36
122	102	137	95	131	79	88	64	95(101)	64(45)	88	55	112	48
				131	79	103	68	105(113)	74(50)	114	59	137	188
				175	104	105	78	105 (1130)	87 (52 <sup>+</sup> 107 <sup>-</sup> 34)	114	195 <sup>+</sup> 127 <sup>-</sup> 68	137	141 <sup>+</sup> 100 <sup>-</sup> 41
4×330	4×143	4×337	4×148	2×618	2×368	2×415	2×248	2×443 (445)	2×242 (286)	2×441	2×354	2×474	2×413
19~20	24~25	14~16	21									30.13	53.9
3		3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
7	7	7	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
11					11	11	11	11	11	11	11	11	11
32 28		32 28		24 30		24 40		24 30±0.5		24 30±0.5		24 35	

表 4.4.100 部分进口(电冰箱)压缩机的电动机技术数据

生产厂	日本	日立公司	日本东芝公司	苏联“波留沙-10”
压缩机(冰箱)型号	HQ-651-BR	V1001R	KL-12M	XK-240
额定电压 (V)	220~240	220	220	220
额定电流 (A)	1.0	0.91	0.95	220
输出功率 (W)	62	93	80	135
额定转速 (r/min)	2850	2850	2850	2850
定子绕组(采用耐氟漆包线 QF)	运行	运行	运行	运行
导线直径 (mm)	0.62	0.62	0.57	0.61
匝数:最小圈		71		
小圈	58	81	80	64
中圈	76	99	106	92
大圈	102	116	110	108
最大圈	108	104	118	120
绕组总匝数	2×344	2×471	2×414	2×384
绕组电阻值 (Ω)	15	19.15	8.5+8.5	15
定子槽数	24	24	24	24
最小圈		3		
绕组槽节距: 小圈	5	5	5	5
中圈	7	7	7	7
大圈	9	9	9	9
最大圈	11	11	11	11
备 注	电阻(分相)启动	电阻(分相)启动	电容启动	启动

(1)拆电动机定子时应先将定子与压缩机体标上定位标记。如有条件,则应测出定、转子气隙和偏差值。

(2)定子绕组中如果某一线圈烧坏,就拆出这部分线圈进行重修。当决定全部拆去绕组时,拆绕组前应先记录好定子槽数、电动机极数、接头连接和布线槽跨距。从槽中取出绕组后要测出绕组的导线直径和各绕组中匝数分布;尤其要注意在电阻分相起动的电动机中,采用在起动绕组中以增加反向绕组去改变相位角,增加起动力矩,故在拆卸中要记下正确数据。切不可将绕组端部剪断抽出绕组再查匝数,这样就会分不清有否反向绕组。

(3)绕组抽出以后刮净槽中漆膜,将完好的绕组用工业汽油洗净。

(4)按槽尺寸裁切槽绝缘用纸箔,一般在两端要向外折翻小边,以防槽绝缘纸箔发生窜动。

(5)按原绕组尺寸制作模板,绕线模板尺寸见图 4.4.31;表 4.4.101 为 QF-21-93 型和 QF-21-75 型压缩机组电动机模板尺寸。该模板一般适用于绕制二极 93W 和 75~80W 电动机绕组。根据原绕组线径、匝数分别地绕制。绕制中导线要均匀地排列,不得交叉叠置。起动绕组中有反向绕线圈时要注意按原数据绕制。绕成后要先将各线圈扎好,再脱去模板。

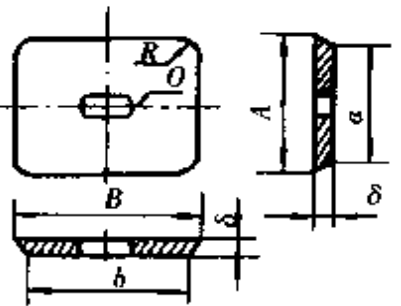


图 4.4.31 绕线模板尺寸

(6)槽内嵌入一个线圈绕组后,如果上层还有另外(相)绕组时,一定要填以层间绝缘。全部嵌完后再用压线器压紧,再嵌入槽楔,防止线圈窜动。

(7)用万用表电阻挡检查各绕组头尾,根据极数和旋转方向,将各绕组加以联接,可参见单相二极和四极电动机布线联接图 4.4.32 和图 4.4.33。各个连接点用锡焊连接,并用专用绝缘材料包扎好。引出线要使用多股细铜丝编织的耐致冷剂和耐油的电动机引出线,严禁用黄蜡管、聚氯乙烯塑料套管和普通绝缘胶布包裹。

(8)浸漆处理前,先放在烘箱内保持 110℃ 干燥 2~4h,在室温下,冷却到 50℃~70℃ 浸漆,滴漆 0.5min 以上,放入烘箱后先 60℃~80℃ 维持 2~3h,再 130℃ 维持 8~12h。处理过程中要保持清洁,留在铁心表面的绝缘漆要擦净。

(9)处理完毕后待冷却,再检查绝缘净度,并装入压缩机进行试验。

表 4.4.101 电动机绕组绕制模板尺寸

mm

型号 类别		QF-21-93 型压缩机电动机(93W)						QF-21-75 型压缩机电动机(75W)					
		<i>a</i>	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>B</i>	$\delta$	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>B</i>	$\delta$	<i>R</i>
运行绕组	最小圈	35	37	48	50	6.5	7	34	36	40	42	6.5	6
	小圈	53	55	53	55	9	10	46	48	52	51	7.5	10
	中圈	70	72	64	66	11	14	54	56	72	74	10	14
	大圈	74	76	96	98	11	18	65	67	92	94	10	20
	最大圈	84	86	120	122	11	12	78	80	116	118	12	26
启动绕组	最小圈	48	50	56	58	5	9	45	47	50	52	6	10
	小圈	62	64	72	74	8	12	55	57	62	64	7.5	14
	中圈	68	70	88	90	9	16	58	60	80	82	7.5	18
	大圈	78	80	100	102	12	20	65	67	100	102	9	20

注:图 4.4.31 中的“O”应根据绕线机轴径尺寸开孔。

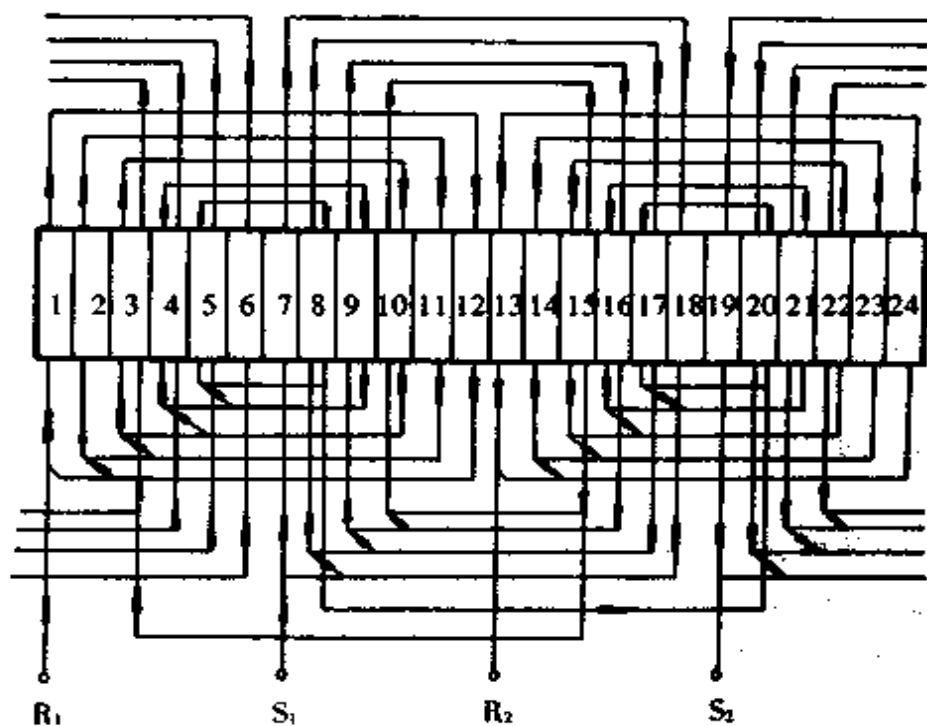


图 4.4.32 二级电动机绕组跨槽布线图

S—启动绕组 R—运行绕组

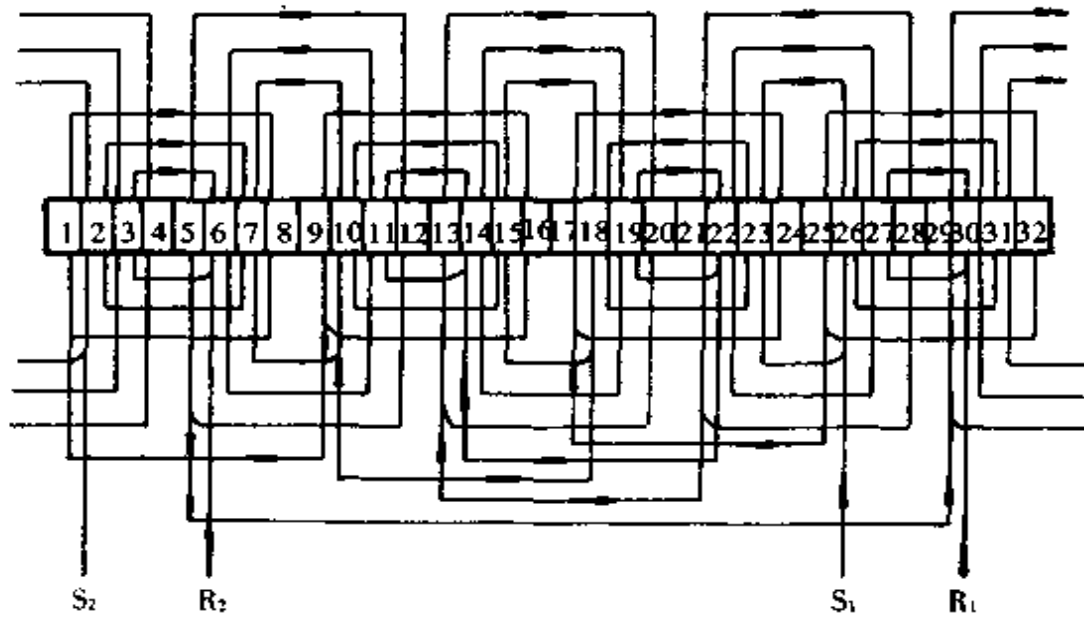


图 4.4.33 四极电动机绕组跨槽布线图

S—起动绕组 R—运行绕组

### 6.3 吸尘器用电动机

吸尘器用驱动电动机,要求其转速高(13000~25000r/min)、转矩大、体积小。一般选用单相串励电动机,电动机与风机组合成一体,称电动风机,是真空吸尘器的关键部件。

#### 6.3.1 吸尘器用单相串励电动机及电动风机数据

吸尘器用单相串励电动机及电动风机数据见表 4.4.102 所示。

表 4.4.102 吸尘器用单相串励电动机及电动风机数据

电动机额定数据				电动风机性能						电动风机外形尺寸
输入功率 (W)	电压 (V)	频率 (Hz)	转速 (r/min)	效率 (%)	功率因数	最大真空度 (Pa)	最大风量 (m <sup>3</sup> /min)	噪声声压级 [dB(A)]	换向火花等级	外径×长 (mm)
500	220	50	22000	34	0.95	14710	2.2	95	≤ 1/2	∅134×122
620			22500	32.3		15690	2.23	95		∅134×122
800			23000	31.5		17652	2.4	95		∅146×125
1000			21500	35		18730	3.1	98		∅146×132

#### 6.3.2 吸尘器用电机的绕组数据

快乐牌吸尘器用电机的绕组数据见表 4.4.103,400W 和 800W 电动机的电

枢绕组展开图见图 4.4.34 和图 4.4.35 所示。

表 4.4.103 吸尘器用电动机绕组数据(220V,50Hz)

功率 (W)		200	400	600	800
电 枢 磁 极	电枢槽数	10	12	12	12
	换向器片数	20	36	24	24
	每槽导体数	50×4	22×6	23×4	17×4
	每只线圈匝数	50	22	23	17
	线圈跨距(槽)	1~5	1~6	1~6	1~6
	线径 (mm)	0.21	0.38	0.38	0.47
	线径 (mm)	0.31	0.53	0.53	0.67
	线圈只数	2	2	2	2
	每只线圈匝数	330	190	160	136
	线模尺寸(mm)		43×51	44×34	45×40

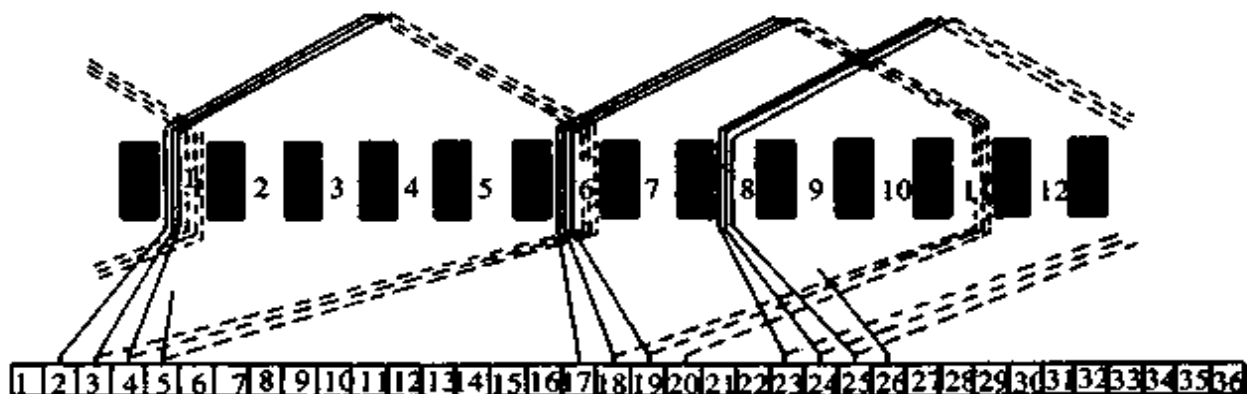


图 4.4.34 400W 电动机电枢绕组展开图

注:图中虚线为下层线圈,实线为上层线圈,以下同

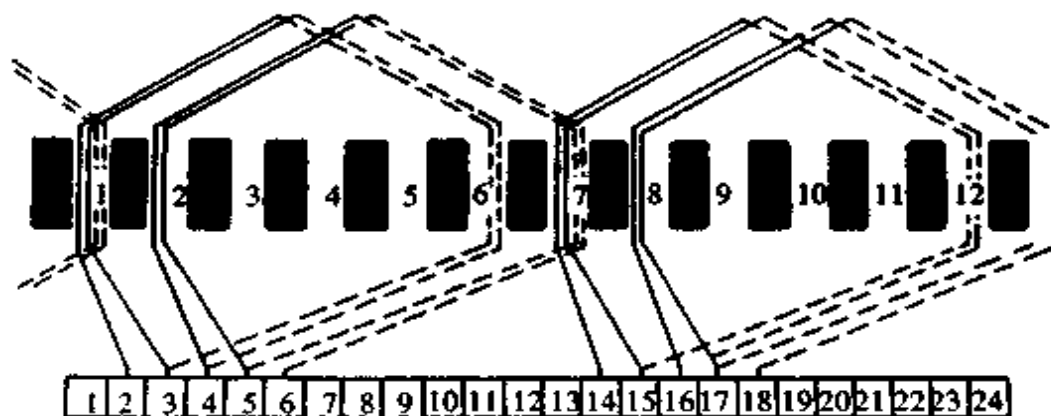


图 4.4.35 800W 电动机电枢绕组展开图

### 6.3.3 电动机绕组的重绕

6.3.3.1 磁场绕组的重绕 磁场绕组是根据电源电压、转速、电机功率大小来设计的。磁场绕组如损坏应按照原有匝数、线径重绕。磁场绕组在绕线机上绕好后,取下后用黄蜡绸四周包扎,然后嵌入铁心内。磁场绕组接线后应进行 1000V 耐压试验,然后浸漆烘干。

6.3.3.2 电枢绕组的重绕 在拆除电枢绕组时,先把电枢烘热到 180℃ 以上,待线圈软化后立即拆除。在拆除绕组时,应记录绕组节距、线径、线圈匝数以及与线圈引出线相连接的换向片的位置等数据。

电枢绕组根据铁心槽数与换向器片数的比例,每槽可有 1、2 或 3 个线圈。在每绕完一个线圈时,要将导线做成一个引线圈作为绕组引出线,然后再绕下一个线圈。如果每槽有 2 个或 3 个线圈,相应地每槽引线圈也有 2 个或 3 个,并以长短加以区分,这样可便于辨别每槽中线圈的次序,以免在与换向片连接时搞错位置。

电枢在浸漆前应进行耐压及有无短路等试验,然后浸漆烘干。

换向器表面的粗糙度  $R_a < 1.25$ ,云母应下刻低于铜片 0.5mm。

在电机总装之前,电枢应做超速试验并在动平衡机上校验动平衡。

## 6.4 家用食物拌碎器用单相串励电动机

见表 4.4.104 所示。

表 4.4.104 家用食物拌碎器用单相串励电动机数据

型 号	铁心尺寸 (mm)	电压 (V)	频率 (Hz)	空 载			负 载				备 注	
				测试电压 (V)	电流 (A)	转速 (r/min)	转矩 (mN·m)	转速 (r/min)	电流 (A)	输出功率 (W)		效率
HCB54/20	∅54×20	220	50	220	0.33	23000		15000	0.6	55	45	负载为最大效率时
HCB54/20A	∅54×20	120	60	120	0.65	23000		15000	1.1	55	45	
HC76-40	∅76	220	50	220	0.72	19000		10000	2.5	250	48	
HL-2A		240	50	110	0.15	10000	35	10500	0.35			
HL-3A		220	50	110	0.3	19000	65	12000	0.95			
HL-3B		220	50	110	0.18	14000	40	10500	0.45			
HL-4		220	50	110	0.25	21000	65	12800	0.85			

## 6.5 电唱盘用电动机

见表 4.4.105 所示。

表 4.4.105 电唱盘用电动机数据

类型	项 目	电压	电流	转速	转矩	起动转矩	空载输入功率
		(V)	(A)	(r/min)	(mN·m)	(mN·m)	(W)
罩极异步电动机	2 极	220	0.05	2700		2	5
	4 极	220	0.2	1300		4	16
永磁直流电动机		6~9	0.15	1500	1		

## 6.6 盒式录音机用电动机

见表 4.4.106 和表 4.4.107 所示。

表 4.4.106 盒式录音机用电动机性能数据

	型号或机座号	输入特性		输出特性	
		额定电压 (V)	额定电流 (mA)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (mN·m)
通用标准	20	4.5	≤95~105	2000 及 2400 两种	0.39
	24	6	≤100~110		0.59
	28	每一种机座号 均有 6、9、12V 三种规格	≤60~110		0.59
	32		≤70~140		0.78
	36		≤70~140		0.78
	39		≤75~150		0.88
BFG 系列	BFG2R05	12	≤90	2400 ± 40	0.88
	BFG9R05	9	≤120		
	BFG6R05	6	≤150		



表 4.4.107 录音机电动机转速误差

	型号或机座号	电压变动时		转矩变动时	
		变动范围	转速误差 (%)	变动范围	转速误差 (%)
通用标准	20	0.73~1.25 倍 额定电压	$\leq 2$	0.74~1.26 倍 额定转矩	$\leq 3$
	24		$\leq 1.5$	0.83~1.17 倍 额定转矩	$\leq 2.5$
	28		机: $\leq 2$ , 电: $\leq 1$	0.75~1.25 倍 额定转矩	$\leq 2.5$
	32	0.70~1.25 倍 额定电压	机: $\leq 2$ 电: $\leq 1$	0.76~1.26 倍 额定转矩	$\leq 2$
	36			0.69~1.08 倍 额定转矩	
	39				
BFG系列	BFG2R05	8.4~16V	转速最大值与最小值之差: $\leq 30\text{r/min}$	0.69~1.08 $\text{mN}\cdot\text{m}$	转速最大值与最小值之差: 25~50r/min
	BFG9R05	6.3~10.5V			
	BFG6R05	4.2~7.2V			

## 6.7 录像机电动机

现代高性能多功能录像机要求所用的电动机可靠性高、寿命长、噪声低、旋转均匀性好、伺服响应特性佳、起动转矩大,有的还要求薄型、转速。表 4.4.108 列出录像机电动机的特点和类型。

表 4.4.108 录像机电动机的特点和类型

名称	功用	特点	电机类型
主导电机	主导伺服系统的执行元件,控制走带速度和位置	采用直接驱动(D—D方式),控制特性好,转矩波动小,尺寸精度高,转速0~2300r/min可调,起动转矩大	无刷直流电动机
鼓电机	鼓伺服系统的执行元件,控制视频旋转磁头的速度和位置	采用直接驱动,转矩、转速脉动小,同步跟踪性能好,动态性能好,常与旋转变压器组成机组	无刷直流电动机
轮电机	收带、快速进带、快速倒带	调速性能好,干扰小	薄型无刷直流电动机,薄型永磁直流电动机
穿带电机(又称加载电机)	将磁带绕在磁鼓、导柱、音控磁头上	高转矩、高出力,短时工作	永磁直流电动机
盒舱电机(又称加载电机)	驱动盒带上升或下降	短时工作	永磁直流电动机

表 4.4.109 电动工具用单相

定子冲片外径	电动机额定参数					定转子参数						风扇		
	电压 $U$	电流 $I$	输入功率 $P_1$	输出功率 $P_2$	负载转速 $n_H$	定子每极匝数 $W_1$	定子线规 $d_1/d'_1$	转子每元件匝数 $W_2$	转子线规 $d_2/d'_2$	铁心长度 $L$	气隙 $\delta$	型式	外径 $D_r$	叶片数
(mm)	(V)	(A)	(W)	(W)	(r/min)	(匝)	(mm)	(匝)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(片)
56	220	0.78	165	90	10000	310	0.33/0.28	46	0.25/0.21	38	0.35	离心	48	16
	220	1.10	230	120	13000	248	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	48	16
	36	5.60	185	92	10000	40	$2 \times 0.63 / 2 \times 0.56$		0.63/0.56	38	0.35	离心	48	16
	220	1.20	250	140	14000	247	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	51	9
	220	1.75	370	220	14000	175	0.47/0.41	25	0.34/0.29	55	0.35	轴流	59	10
	220	1.40	280	160	15000	240	0.41/0.35	31	0.30/0.25	38	0.35	离心	48	12
	220	1.10	250	140	14000	247	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	48	16
	220	0.8	140	80	8000	315	0.34/0.29	53	0.23/0.19	38	0.35	离心	51	9
	220	1.78	380	230	14300	175	0.47/0.41	25	0.34/0.29	55	0.35	轴流	62	15
	220	1.10	240	140	14000	247	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	48	15
	220	0.79	140	80	8000	315	0.34/0.29	53	0.23/0.19	38	0.35	离心	51	9
	220	1.10	250	140	14000	247	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	50	12
	220	1.10	250	140	14000	247	0.38/0.33	36	0.28/0.23	38	0.35	离心	58	13
220	1.10	220	130	13500	255	0.37/0.31	38	0.28/0.23	34	0.35	轴流	48	15	
220	1.10	210	120	12000	265	0.36/0.31	42	0.28/0.23	34	0.35	离心	56	9	
62	36	9.6	328	164	8900	36	$0.63 \times 3 / 0.56 \times 3$	5	$0.53 \times 2 / 0.47 \times 2$	38	0.40	离心	50	15
	220	1.6	334	184	12600	216	0.48/0.42	32	0.32/0.27	38	0.40	离心	50	16
	220	1.6	320	210	12600	210	0.47/0.41	32	0.34/0.29	41	0.40	离心	57	9
	220	1.6	340	220	13040	204	0.47/0.41	32	0.34/0.29	36	0.40	离心	55	9

串励电动机参数

换向器		电刷				轴承型号		采用该规格电动机 产品的型号及名称
外径 $D_c$	换向片数 $K$	刷盒结构	电刷长度 $a_b$	电刷宽度 $b_b$	电刷高度 $h_b$	轴 齿 端	后 罩 端	
(mm)	(片)		(mm)	(mm)	(mm)			
22.4	27	盒式	6.5	4	12.5	60027	60026	回 J1Z-6K 电钻
22.4	27	盒式	6.5	4	12.5	60028	60026	回 J1Z-6 电钻 回 J1SS-8 攻丝机
22.4	27	盒式	6.5	4	12.5	60028	60026	回 J1Z-6 电钻
22.4	27	盒式	6.5	4	10	60028	60026	回 J1Z-6 电钻, 回 J1JZ-1.5 电剪刀 回 J1QZ-3 曲线锯, 回 P1L-6 螺丝刀
22.4	27	盘簧	6.5	4	13	60029	60027	回 SIMJ <sub>2</sub> -100 角向磨光机
22.4	27	盒式	6.5	4	12.5	60028	60026	回 Z1J-10 冲击电钻
22.4	27	盘簧	6.5	4	12.5	60028	60026	回 J1J <sub>2</sub> 电剪刀, 回 J1QZ-3 曲线锯, 回 S1J-25 电磨
22.4	27	盘簧	6.5	4	12.5	60027	60027	回 P1B-12 电扳手 回 P1L-5 螺丝刀
22.4	27	盘簧	6.5	4	12.5	60029	60027	回 SIMJ <sub>2</sub> -100 角向磨光机
22.4	27	压簧	6.5	4	12.5	60028	60026	回 J1Z-6 电钻, J1Z-6 电钻, 回 J1J-1.6 电剪刀, 回 J1S-8 攻丝机
22.4	27	盘簧	6.5	4	12.5	60102	60027	回 P1B-12 电扳手
22.4	27	盒式	6.5	4	12.5	60028	60026	回 J1Z-6 电钻
22.4	27	盘簧	6.5	4.3	12.1	60029	60027	J1Z-6 电钻
22.4	27	盘簧	6.5	4.3	14	60029	60027	J1Z-6 电钻
22.4	27	盒式	6.5	4.3	14	60029	60027	回 J1Z-10 电钻
22.4	27	盒式	6.5	4.3	14	60029	60027	回 J1Z-10 电钻 回 J1ZC-16 双速冲击电钻
22.4	27	盒式	6.5	4.3	12	60029	60027	J1Z-10 电钻
22.4	27	盘簧	6.5	4.3	12.5	60029	60029	J1Z-10 电钻

定子冲片外径	电动机额定参数					定转子参数						风扇		
	电压 $U$	电流 $I$	输入功率 $P_1$	输出功率 $P_2$	负载转速 $n_H$	定子每极匝数 $W_1$	定子线规 $d_1/d'_1$	转子每元件匝数 $W_2$	转子线规 $d_2/d'_2$	铁心长度 $L$	气隙 $\delta$	型式	外径 $D_f$	叶片数
(mm)	(V)	(A)	(W)	(W)	(r/min)	(匝)	(mm)	(匝)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(片)
71	220	2.1	430	275	12100	185	0.56/0.5	20	0.39/0.3	44	0.45	离心	60	15
	220	2.1	430	275	12100	185	0.55/0.49	20	0.39/0.3	44	0.45	离心	64	15
	220	1.51	305	195	8500	212	0.47/0.41	27	0.34/0.29	44	0.45	离心	64	9
	220	2.1	430	275	12100	185	0.55/0.49	20	0.38/0.33	44	0.45	离心	64	15
80	220	2.4	485	310	13000	152	0.63/0.57	19	0.48/0.42	38	0.50	离心	72	9
	220	2.5	520	360	13300	160	0.63/0.57	18	0.47/0.41	42	0.45	轴流	82	8
	220	2.4	550	350	8900	173	0.62/0.55	24	0.44/0.36	42	0.55	离心	74	9
	220	3.7	780	375	14500	115	0.63/0.57	14	0.53/0.47	42	0.45	轴流	82	8
	220	3.2	630	450	11000	148	0.60/0.59	16	0.50/0.44	48	0.55	离心	74	9
	220	3.2	630	450	11300	144	0.66/0.59	17	0.50/0.44	48	0.50	轴流	78	10
	220	4.1	700	600	11000	130	0.50/0.44	16	0.53/0.47	60	0.55	离心	74	9
90	220	4.1	830	470	9900	134	$2 \times 0.56 / 2 \times 0.5$	13	0.56/0.5	52	0.6	离心	81	13
	220	4.0	820	500	11000	132	0.55/0.50	12	0.59/0.52	52	0.65	轴流	84	13
	220	4.1	810	550	9900	134	$2 \times 0.55 / 2 \times 0.49$	13	0.55/0.49	52	0.60	离心	81	13
	220	4.5	920	630	11000	126	$2 \times 0.56 / 2 \times 0.5$	12	0.6/0.53	52	0.60	离心	81	13
	220	4.9	1000	660	12100	110	0.6/0.55	11	0.62/0.57	52	0.60	轴流	81	11
	220	7.7	1800	1200	12000	76	$2 \times 0.72 / 2 \times 0.64$	8	0.72/0.64	76	0.60	离心	88	11

续表

换向器		电刷				轴承型号		采用该规格电动机 产品的型号及名称
外径 $D_0$	换向片数 $K$	刷盒结构	电刷长度 $a_b$	电刷宽度 $b_b$	电刷高度 $h_b$	轴 齿 端	后 罩 端	
(mm)	(片)		(mm)	(mm)	(mm)			
26	33	盒式	8	5	16	60200	60027	回 J1Z-13 电钻
26	33	管式	8	5	17	60200	60027	回 J1Z-13 电钻, Z1JH-20 冲击电钻, 回 J1FH-100 往复锯
26	33	盒式	8	4.5	17	60200	60027	回 P1B-16 电扳手
26	33	盒式	8	15	17	60200	60027	回 J1JP-3 电剪刀, 回 J1HP-2.5 电冲 剪, 回 J1Q-8 曲线锯
26	33	管式	8	6.3	16	60029	60028	回 M1B-90/2 电刨
30	33	盒式	8	5	16	80501	60018	ZIC-26 电锤
26.5	33	盒式	10.5	4	18	60201	60028	回 P1B-20 电扳手
30	33	盒式	8	5	16			ZIC-38 电锤
26.5	33	盒式	10	4.5	18	60201	60028	回 P1BD-60kg 定扭矩扳手
26.5	33	管式	8	6.3	16	60200	60028	回 M1B-80/2 电刨
26.5	33	盒式	10.5	4.5	18	60201	60025	P1B-24 电扳手
33	38	盒式	12.5	8	20	60201	60029	回 J1Z-19, 23 电钻
33	38	盒式	12.5	8	22	60201	60029	回 P1BD-150 定扭矩扳手
33	38	盘簧	12.5	8	19	60201	60029	回 J1Z-16, 19, 23 电钻
33	38	盘簧	12.5	8	19	60201	60029	回 J1Z-23/32 双速电钻
33	38	管式	12.5	8	16	60201	60029	回 SIS <sub>2</sub> -150 砂轮机 回 M1Y-200 电圆锯 回 M1B-90/2 电刨
33	38	拉簧	12.5	8	16	60022	60209	回 SIMJ <sub>2</sub> -180 角向磨光机

## 6.8 电动工具用电动机

### 6.8.1 电动工具用电机的类型

电动工具用电动机主要有:交直流两用电动机;三相异步电动机;永磁直流电动机。

### 6.8.2 电动工具用单相串励电动机参数

见表 4.4.109(第 840 页)所示。

### 6.8.3 电动工具用交直流两用电动机常见故障和处理

6.8.3.1 故障的检查程序 可按图 4.4.36 进行。

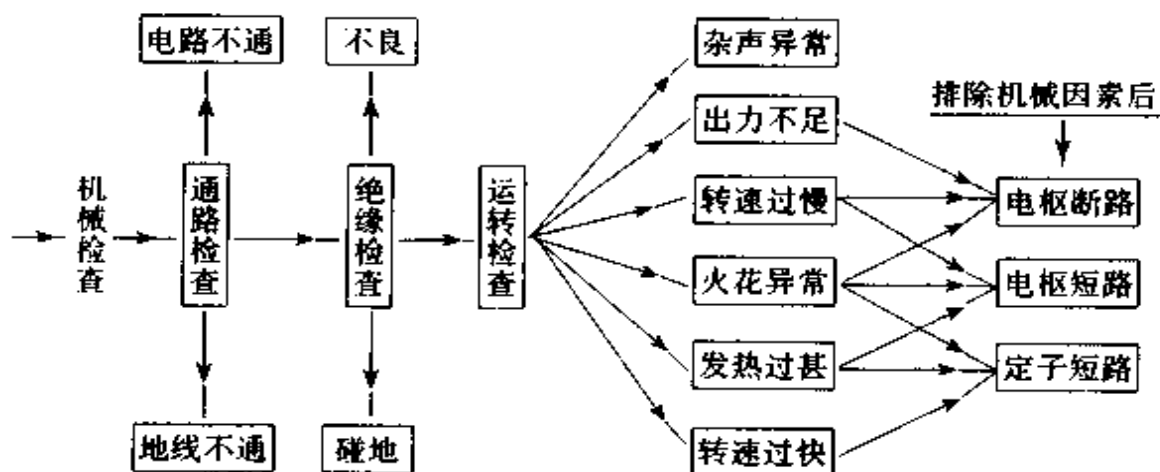


图 4.4.36 检查程序示意图

## 6.8.3.2 故障和处理 见表 4.4.110 所示。

表 4.4.110 交直流两用电动机的常见故障和处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
不能起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电缆线折断</li> <li>2. 开关损坏</li> <li>3. 开关接线松脱</li> <li>4. 内部布线松脱或断开</li> <li>5. 电刷和换向器未接触</li> <li>6. 定子线圈断路</li> <li>7. 电枢绕组断路</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换电缆线</li> <li>2. 更换开关</li> <li>3. 紧固开关接线</li> <li>4. 紧固或调换内部接线</li> <li>5. 调整电刷与刷盒</li> <li>6. 检修定子</li> <li>7. 检修电枢</li> </ol>
转速太慢	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定转子相擦</li> <li>2. 机壳和机盖轴承挡同轴度差, 轴承运转不正常</li> <li>3. 轴承太紧或有脏物</li> <li>4. 电枢局部短路</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修正机械尺寸</li> <li>2. 修正机械尺寸</li> <li>3. 清洗轴承, 添加润滑油</li> <li>4. 检修电枢</li> </ol>
转速太慢	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定子绕组局部短路</li> <li>2. 电刷偏离几何中心</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检修定子</li> <li>2. 调整电刷和刷盒位置</li> </ol>
电刷火花大或换向器上出现环火	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电刷不在中性线上</li> <li>2. 电刷太短</li> <li>3. 电刷弹簧压力不足</li> <li>4. 电刷换向器接触不良</li> <li>5. 换向器表面太粗糙</li> <li>6. 换向器磨损过大且凹凸不平</li> <li>7. 换向器中云母片凸出换向铜片</li> <li>8. 电刷和刷盒之间配合太松或刷盒松动</li> <li>9. 换向器换向片间短路               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 换向片间绝缘击穿</li> <li>(2) 换向片间有导电粉末</li> </ol> </li> <li>10. 定子绕组局部短路</li> <li>11. 电枢绕组局部短路</li> <li>12. 电枢绕组局部断路</li> <li>13. 电枢绕组反接</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整电刷位置</li> <li>2. 更换电刷</li> <li>3. 更换弹簧</li> <li>4. 去除污物、修磨电刷</li> <li>5. 修磨换向器</li> <li>6. 更换或修磨换向器</li> <li>7. 下刻云母片</li> <li>8. 修正配合间隙尺寸, 紧固刷盒</li> <li>9. 排除短路               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 修理或更换换向器</li> <li>(2) 清除导电粉末</li> </ol> </li> <li>10. 修复定子绕组</li> <li>11. 修复电枢绕组</li> <li>12. 修复电枢绕组</li> <li>13. 换接电枢绕组</li> </ol>

续表

故障现象	可能原因	处理方法
电机运行声音异常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轴承磨损或内有杂物</li> <li>2. 定子和电枢相擦</li> <li>3. 风扇变形或损坏</li> <li>4. 风扇松动</li> <li>5. 风扇和挡风板距离不正确</li> <li>6. 电刷弹簧压力太大</li> <li>7. 电刷内有杂质或太硬</li> <li>8. 换向器表面凹凸不平</li> <li>9. 云母片凸出换向器</li> <li>10. 电机振动很大</li> <li>11. 定子局部短路</li> <li>12. 电枢局部短路</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换或清洗轴承</li> <li>2. 修正机械尺寸</li> <li>3. 更换风扇</li> <li>4. 紧固风扇</li> <li>5. 调整风扇和挡风板距离</li> <li>6. 减小弹簧压力</li> <li>7. 更换电刷</li> <li>8. 修整换向器</li> <li>9. 下刻云母槽</li> <li>10. 电枢重校动平衡</li> <li>11. 修复定子</li> <li>12. 修复电枢</li> </ol>
电机过热	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轴承太紧</li> <li>2. 轴承内有杂质</li> <li>3. 电枢轴弯曲</li> <li>4. 风量很小</li> <li>5. 定子线圈受潮</li> <li>6. 定子线圈局部短路</li> <li>7. 转子线圈受潮</li> <li>8. 转子线圈局部短路</li> <li>9. 转子线圈局部断路</li> <li>10. 电枢绕组反接</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修正轴承室尺寸</li> <li>2. 清洗轴承, 添加润滑油</li> <li>3. 校正电枢轴</li> <li>4. 检查风扇和挡风板</li> <li>5. 烘干定子线圈</li> <li>6. 修复定子线圈</li> <li>7. 烘干转子线圈</li> <li>8. 修复转子线圈</li> <li>9. 修复转子线圈</li> <li>10. 改正转子绕组接线</li> </ol>
机壳带电	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定子绝缘击穿, 金属机壳带电</li> <li>2. 电枢的基本绝缘和附加绝缘击穿</li> <li>3. 换向器对轴绝缘击穿</li> <li>4. 电刷盘簧或接线碰金属机壳</li> <li>5. 内接线松脱碰金属机壳</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修复定子</li> <li>2. 修复电枢</li> <li>3. 更换换向器, 修复电枢</li> <li>4. 调整盘簧或紧固内接线</li> <li>5. 紧固内接线</li> </ol>



续表

故障现象	可能原因	处理方法
电机接通电源后熔断丝烧毁	1. 电缆线短路 2. 内接线松脱短路 3. 开关绝缘损坏短路 4. 定子线圈局部短路 5. 电枢线圈局部短路 6. 换向片间短路 7. 电枢卡死	1. 调换电缆线 2. 紧固内接线 3. 更换开关 4. 修复定子 5. 修复电枢 6. 更换换向器, 修复电枢 7. 检查电机的装配

### 6.8.3.3 修理方法

#### (1) 定子线圈断路的检查与修理。

检查方法:用万用表电阻档测量线圈两端,若电阻值极大,则表示线圈已断路。

修理方法:把定子从机壳上拆下,将定子放在烘箱里烘,或用调压器在线圈中通入2倍的额定电流,使线圈受热变软,把它从铁心上拆下来。如果线圈的引出线折断,可将折断部位的绝缘清除掉;再将引出线断头拉出,用一根多股的细而软的塑料线同断头焊接;在焊接处套上绝缘套管,再用黄蜡绸扎牢。如果线圈多根断路,或断路在线圈中间,则须重绕定子线圈。

#### (2) 定子线圈短路的修理。

检查方法:用万用表电阻档测量线圈两端,若电阻值极小或比相同线圈电阻值小得多,则表示线圈已短路。线圈短路一般在绝缘上有烧焦的痕迹并有烧焦的气味。

修理方法:定子线圈发生短路,应重绕。

#### (3) 定子线圈接地的检查与修理。

检查方法:用万用表电阻档测量定子线圈和铁心之间的绝缘,若电阻值很小,表示定子线圈已接地。

修理方法:该故障一般发生在铁心的槽口处。如见有绝缘损坏处,或局部绝缘被烧黑并有破裂现象,这就是线圈接地处。轻微的,可在线圈绝缘损坏处垫隔绝缘,或重新包缠绝缘,涂以绝缘漆后再经过烘干,使其保持足够的机械强度。如果接地处有导线烧毁或导线间绝缘破坏造成匝间短路,则应重绕线圈。

#### (4) 定子线圈的重绕。

定子线圈的参数有:线圈匝数、线规、绝缘等级及接地的方式。重绕定子线圈需要制作一只木制线模,线模尺寸可由下述公式确定:

定子绕组线模宽度

$$a_m = (D_{12} + K_m) \cdot \sin(90^\circ \cdot \alpha) \quad (\text{mm})$$

式中  $D_{12}$ ——定子内径 (mm);

$K_m$ —— $\varnothing 50$  定子冲片取 3, 外径大于 50mm 的定子冲片取 5(mm);

$\alpha$ ——极弧系数, 一般为 0.67。

定子绕组线模长度

$$L_m = L + 2r - 2 \quad (\text{mm})$$

式中  $r$ ——线规小于 0.45 取 3, 线规 0.45~0.6 取 4, 线规大于 0.6 取 5(mm)。

定子绕组线模高度

$$H = H' - 1 \quad (\text{mm})$$

式中  $H'$ ——定子槽口宽度 (mm)。

在线模上绕线时, 导线排列要整齐, 绕完规定的匝数以后用绑线将线圈绑住。取下线圈, 在两端焊接多股细而软的塑料引出线。焊接处用塑料套管套好, 并用聚酯薄膜或黄蜡绸隔开。然后用黄蜡绸带半叠包缠一周。

把绕制完的线圈弯成与磁极一样的弯度, 再将线圈套入磁极内, 用夹子或绑扎带把线圈的两端牢固地固定在铁心上。用压缩空气清除掉灰尘和污物, 在浸漆前用 110℃ 的温度预烘 5~6h, 驱除定子内潮气。定子浸渍时, 漆槽不允许有沙粒、灰尘等污物; 应三烘二浸, 第一次浸时漆可以薄一些, 第二次浸时漆可稠一些, 稠薄应按环境温度和用福林杯控制。浸渍时间要等气泡完全停止以后再停留 10min 清除掉残漆。焙烘时升温速度为每小时 50℃ 左右, 焙烘温度为 120℃ 左右, 保温 8h。

定子的正确接线应能保证两个励磁线圈产生的磁道方向一致, 并使转子按指定的方向旋转。

把定子两个线圈的首线连接起来, 两个尾线分别接在两个电刷上; 或者把尾线连接起来, 两个首线分别接在两个电刷上, 如果发现转向与指定的方向相反, 只需把接到电刷上的定子两线对换一下即可。

联接两线圈的首线或尾线, 把余下的一个接在电刷上, 另一个接在电源的零线上。两个电刷中的一个与另一个定子线圈相联, 一个与相线相连。如果发现转向与指定的方向相反, 则把接到电刷上的两线对换一下即可。

#### (5) 电枢绕组断路的检查与修理。

检查方法: 用电枢检查仪根据测得的波形判别, 或用一个万用表在换向器相邻两个铜片上依次测量电阻值。如果没有断路, 则每次测量的阻值大致相同。如果所测量的两个铜片之间的电阻比其他两片的电阻值大若干倍时, 则可断定刚接触到的一片所联接的线圈内必有断路。如果在万用表上发现有不通现象, 则有两处以上发生断路, 可以依次逐个检查, 检查出断路所在处。

修理方法: 如果是线圈引线和换向器脱焊, 只需重新点焊或冷铆即可; 如果是线头断在绕组端部, 可拆除锦纶绑扎线, 焊接一根导线, 套上绝缘套即可; 如果是在铁心内发生断路, 一般应重绕。

#### (6) 电枢绕组短路的检查与修理。

检查方法:根据用电枢检查仪测得的波形进行判别。或用一个万用表在换向器相邻两个铜片上依次测量电阻值。如果没有短路,则每次测量的电阻值大致相同。如果所测量的两个铜片之间的电阻值变小时,则可断定刚接触到的一个铜片所联接的线圈内必有短路。阻值越小,短路的圈数就越多。但用万用表测量的方法只适用于匝数较多、线规较小的绕组。线圈短路处能在换向器的铜片中找到黑斑点。

修理方法:如果短路是由换向片间炭粉的堆积或车削时铜的毛刺引起的,则可用小锯条伸进换向片间的云母处,将上面的导电物和污物清除干净;如果短路发生在绕组端部的表面上,这往往是由摩擦或跌碰所引起的,可先将绕组烘软,用竹片将相互短路的线圈挑开,再用绝缘纸和黄蜡绸在破坏处隔垫或包扎,然后在损坏处滴涂绝缘漆,烘干后即可使用;如果短路发生在铁心内部或绕组端部的内部,应重绕。

#### (7) 绕组对铁心短路或换向器对轴短路的检查与修理。

检查方法:用万用表把一根测棒搭在铁心上,另一根搭在换向器的铜片上,依次检查。若发现电阻值很小,说明已发生短路。对双层绝缘压轴电枢来说,绕组对铁心没有通路现象,而换向器对轴有通路现象,则说明换向器的加强绝缘已经击穿。

修理方法:如果绕组对铁心短路发生在铁心的槽口处,可使用竹片将线圈和铁心隔开,再在绝缘破坏处插进一些绝缘纸,然后在损坏处滴涂绝缘漆,烘干后即可使用;如果短路处没有找到,可能是铁心内绝缘损坏而产生短路,则应当重绕电枢;如果换向器的加强绝缘击穿,应切断换向器与绕组的联接线,压出换向器,压入新的换向器,重新点焊。新换向器的位置应尽量接近原来的位置。

#### (8) 电枢绕组的重绕。

电枢绕组的参数有:线圈匝数、线规、绝缘等级、绕组接线等。这些数据可参见表 4.4.109 和图 4.4.37、图 4.4.38 和图 4.4.39,也可参见产品说明书,或对损坏绕组自行检测的记录。

拆除绕组,清除铁心内残留物,把绝缘纸一槽一槽地嵌入槽内,围住整个电枢周围。绝缘纸应长出电枢绝缘片 2mm。绕组端部和转轴铁心之间应有 2mm 绝缘物。

绕制线圈导线的并绕根数:并绕根数等于换向器中换向片数与电枢片槽数的比数。例如:∅56、∅62 冲片换向器有 27 片换向片,电枢片槽数是 9,则应三根并绕。∅90 冲片换向器有 38 片换向片,电枢片槽数是 19,则两根并绕。

对绕和叠绕:对绕使绕组两并行支路阻值接近相等,电流均衡,减少电枢的初始不平衡,因此应尽量采用对绕法。但叠绕绕制方便,接线容易。绕制顺序如下:

对绕法:

∅56、∅62 冲片,电枢片 9 槽,节距 1-5,绕线次序为:1-5,5-9,9-4,4-8,8-3,3-7,7-2,2-6,6-1。

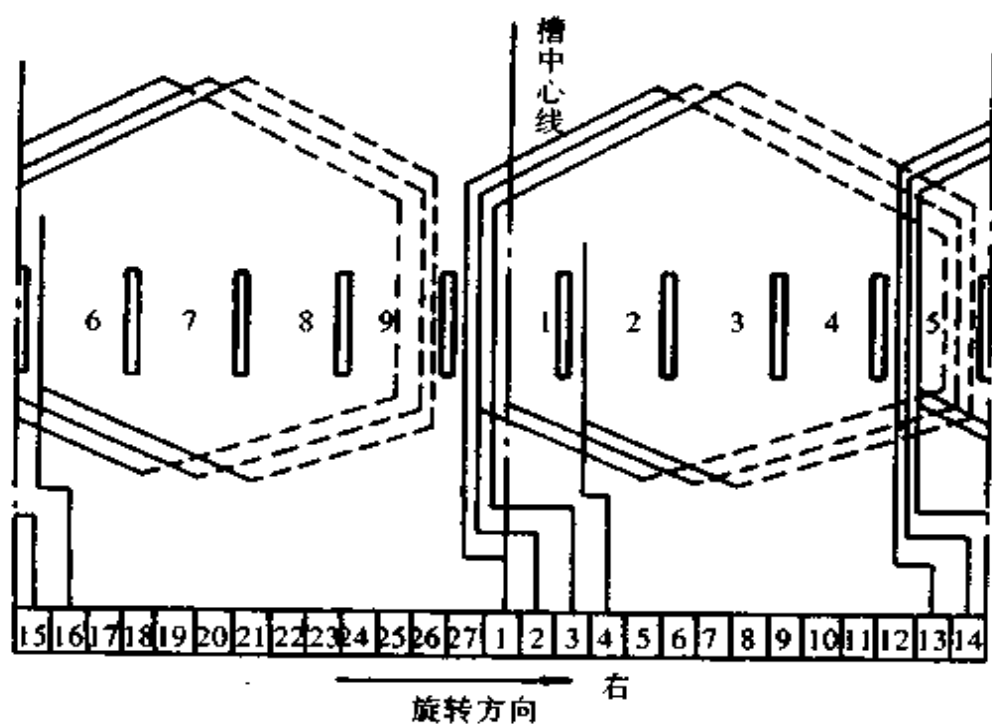


图 4.4.37 定子外径 $\varnothing 56$ ,  $\varnothing 62$  电枢绕组接线图

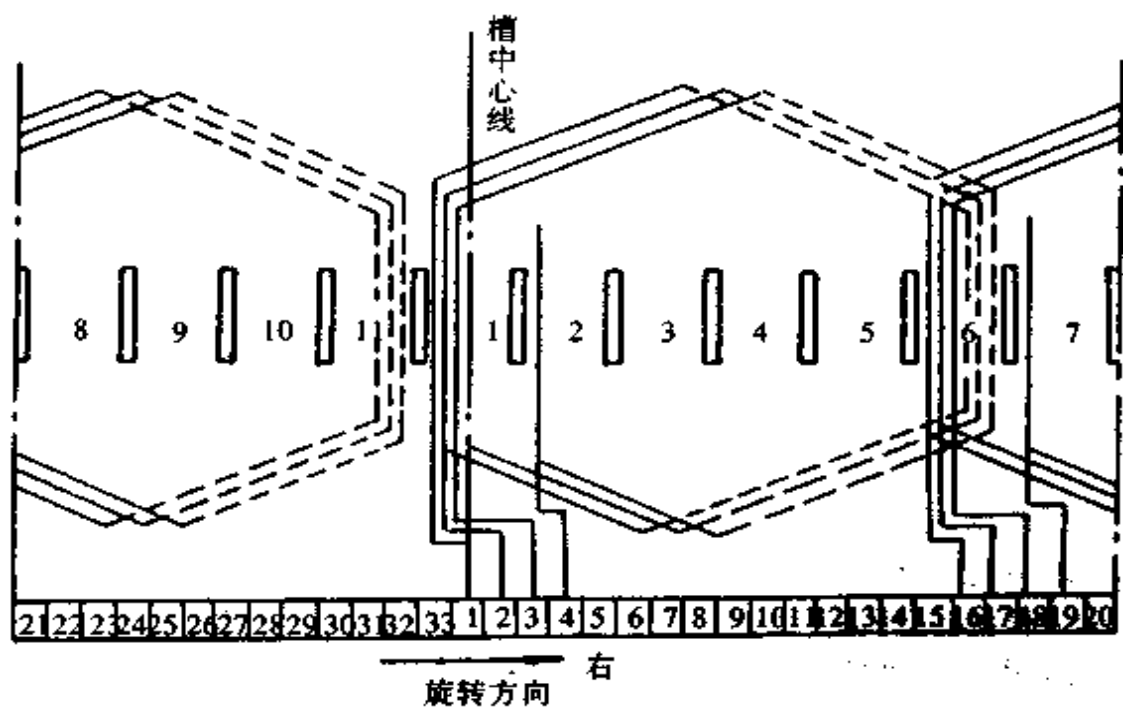
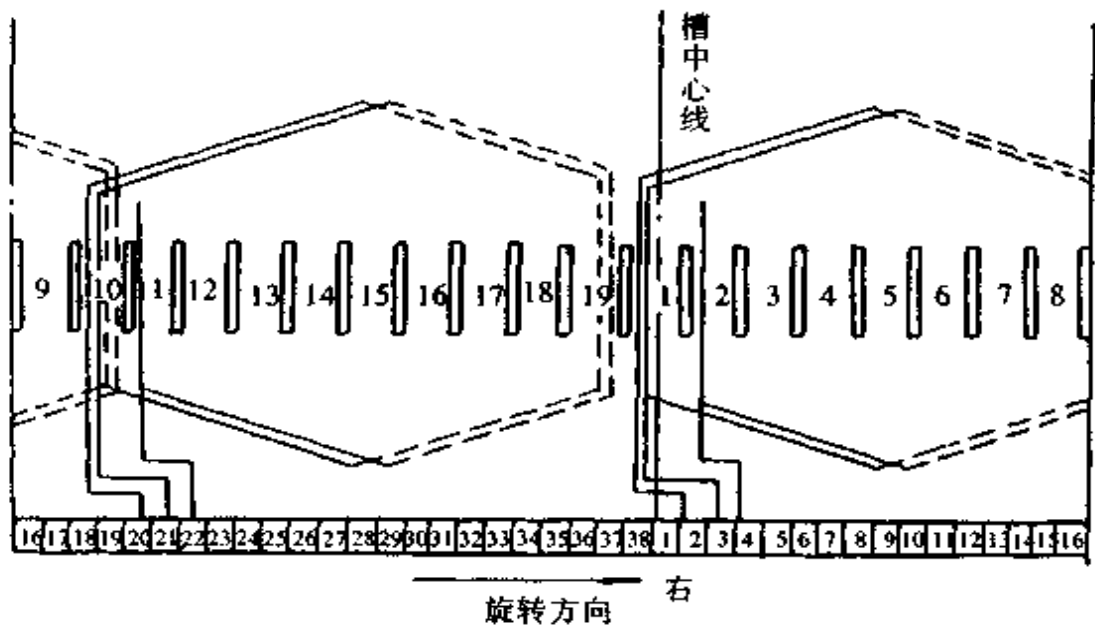


图 4.4.38 定子外径 $\varnothing 71$ ,  $\varnothing 80$  电枢绕组接线图

图 4.4.39 定子外径 $\varnothing 90$ 电枢绕组接线图

$\varnothing 71$ 、 $\varnothing 80$  冲片,电枢片 11 槽,节距 1~6,绕线次序为:1~6,6~11,11~5,5~10,10~4,4~9,9~3,3~8,8~2,2~7,7~1。

$\varnothing 90$  冲片,电枢片 19 槽,节距 1~10,绕线次序为:1~10,10~19,19~9,9~18,18~8,8~17,17~7,7~16,16~6,6~15,15~5,5~14,14~4,4~13,13~3,3~12,12~2,2~11,11~1。

叠绕法:

$\varnothing 52$ 、 $\varnothing 62$  冲片,绕线次序为:1~5,2~6,3~7,4~8,5~9,6~1,7~2,8~3,9~4。

$\varnothing 71$ 、 $\varnothing 80$  冲片,绕线次序为:1~6,2~7,3~8,4~9,5~10,6~11,7~1,8~2,9~3,10~4,11~5。

$\varnothing 90$  冲片,绕线次序为:1~10,2~11,3~12,4~13,5~14,6~15,7~16,8~17,9~18,10~19,11~1,12~2,13~3,14~4,15~5,16~6,17~7,18~8,19~9。

沿齿轴向剪开绝缘纸,用塞棒把绝缘纸整齐地对叠盖在线圈上,然后把环氧层压板制成的槽楔打进槽内。用万用表两根测笔分别接触底线和面线,依次把底线和面线不通的两根导线联扭在一起。

点焊:竖直嵌线槽尺寸:

嵌线槽宽

$$D = d + (0.02 \sim 0.05) \quad (\text{mm})$$

嵌线槽深

$$H = 3d \geq 1.0 \quad (\text{mm})$$

横卧嵌线槽尺寸:

嵌线槽宽

$$D = 2d + (0.03 \sim 0.05) \quad (\text{mm})$$

嵌线槽深

$$H = 2d \geq 0.6 \quad (\text{mm})$$

式中  $d$ ——绕组导线直径(不包括漆膜)(mm)。

焊接时,首先要确定线头的焊接位置。线头偏斜方向应与电枢的旋转方向一致。一般绕组中心对换向片偏斜1~2片。

电枢绕组引线应全部压入嵌线槽底。对于小规格导线,采用圆形或椭圆形主电极,锥度较小;对于大规格导线,采用方形或长方形电极,锥度较大。焊接时,主电极应有2~5mm发红,焊点处有烟雾挥发,嵌线槽口前端导线槽膜应有2~3mm变成暗黑色。

如果没有点焊机,一般可用冷铆方法。在嵌线槽两边,用冲头轻轻敲击铜片,直到铆牢为止。铆入的引线必须清除掉绝缘物。

点焊完毕后,用锦纶丝带或蜡线将其颈部扎牢。

最后,用电枢检查仪把电枢检查一次。也可以用万用表检查绕组是否有脱焊、短路、断路或对铁心穿通现象。

绝缘处理,把电枢放在滴漆机上进行滴漆绝缘处理。若无滴漆机,也可进行浸渍处理,工艺过程与定子线圈一样。

动平衡,压入风扇,在换向器有效工作面上精磨一次。然后放在闪频型动平衡机上去重校正,使剩余转子重心偏移值小于 $8\mu\text{m}$ 。如果无动平衡机,可平放两把刀口尺,把轴颈放在上面做静平衡。

#### 6.8.4 电动工具用三相异步电动机的基本结构

电动工具用三相异步电动机都为鼠笼型,有工频(50Hz)和中频(150、200、300、400Hz)两种。三相工频异步鼠笼型电动机,结构简单,制造维修方便,转速稳定,运行可靠;一般较大规格的电动工具,或要求机械特性硬的电动工具都采用这种电动机。三相中频异步鼠笼电动机,兼有三相工频异步电动机和交直流两用电动机的优点,但需配备中频电源,目前还未在电动工具中广泛使用。

三相异步电动机主要由定子、转子和轴承组成。

(1)定子:定子铁心由0.35~0.5mm厚的 $D_{22}$ 或 $D_{23}$ 热轧硅钢片或冷轧无取向硅钢片冲制叠装而成。定子槽内嵌装三相交流绕组,绕组使用1032三聚氰胺醇酸漆(二甲苯溶剂)或8504元溶剂漆(苯乙烯溶剂)进行浸渍绝缘处理。浸渍处理后的定子应具有良好的绝缘性能。绕组对铁心的绝缘应承受50Hz正弦波电压1250V或500V(对Ⅲ类工具),1min不击穿。冷态绝缘电阻一般在50MΩ以上。

(2)转子:转子铁心由与定子对应的硅钢片冲制叠装而成。叠装时,转子槽沿

轴线方向扭转一定角度(一般为一个槽距),以避免异常转矩的产生。转子槽中可以插入铜棒,或铸铜,或铸铝,同时在端面焊成或铸成短路圆环,呈鼠笼状结构,固定在转轴上,轴上装有风扇。

(3)轴承:三相异步电动机的定转子间隙很小,一般在 $0.2\sim 0.4\text{mm}$ 。对轴承有一定要求,多数采用滚珠轴承,精度为E级或D级。

### 6.8.5 电动工具用三相异步电动机的常见故障和处理方法

6.8.5.1 故障的检查程序 可按图4.4.40进行。

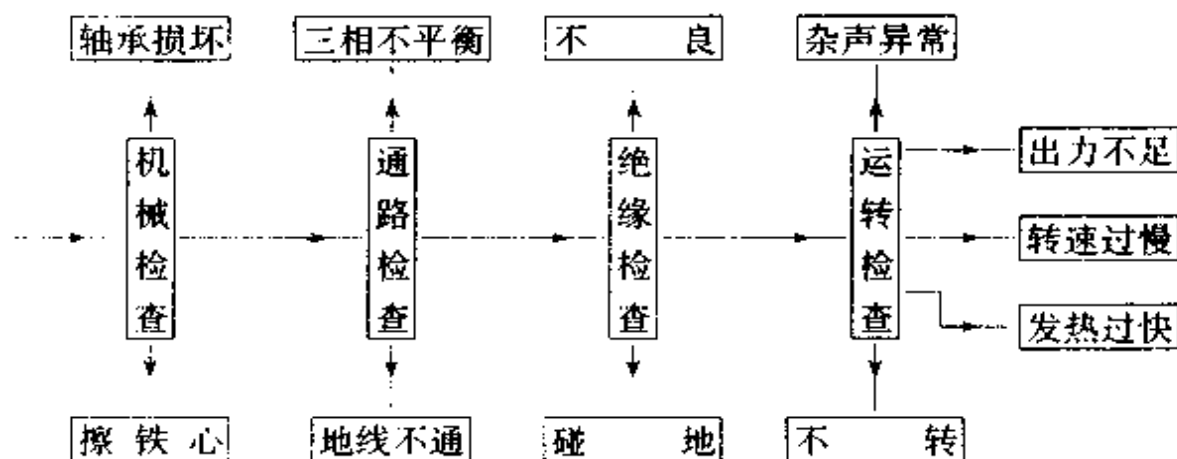


图 4.4.40 检查程序示意图

6.8.5.2 故障和处理 电动机常见故障多为不能起动、短路(熔断丝烧断)、出力不足、运转时有杂声、机壳发热、机壳带电等,这些故障产生的可能原因见表4.4.111。

表 4.4.111 三相异步电动机的常见故障和处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
不能起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电缆线折断</li> <li>2. 开关线脱落</li> <li>3. 开关损坏</li> <li>4. 内部布线松脱或断开</li> <li>5. 定子线圈断路</li> <li>6. 轴承损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换电缆线</li> <li>2. 连接好开关接线</li> <li>3. 更换开关</li> <li>4. 紧固或更换内接线</li> <li>5. 检修定子线圈</li> <li>6. 更换轴承</li> </ol>
功率大,电机过热	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 轴承太紧或有杂质</li> <li>2. 定转子相擦</li> <li>3. 风量很小</li> <li>4. 定子绕组受潮</li> <li>5. 定子绕组局部短路</li> <li>6. 二相运行</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修正轴承室尺寸或清洗轴承</li> <li>2. 检查轴承是否完好、转子轴是否弯曲,更换轴承或校正转子轴</li> <li>3. 校正或更换风扇</li> <li>4. 烘干定子绕组</li> <li>5. 修复或重绕线圈</li> <li>6. 接好相线</li> </ol>

续表

故障现象	可能原因	处理方法
电机运行声音异常或出力不足	1. 轴承磨损或内有杂质 2. 风扇变形或损坏 3. 风扇松动 4. 二相运行 5. 转子导条松动或断条	1. 更换或清洗轴承 2. 更换风扇 3. 紧固风扇 4. 接好相线 5. 更换转子
机壳带电	1. 定子绝缘击穿 2. 内部连接线松脱碰壳	1. 修复定子 2. 紧固复原内接线
电机接通电源后熔丝烧断	1. 电缆线短路 2. 内接线松脱短路 3. 开关绝缘损坏短路 4. 定子绕组相间短路 5. 电动机转子卡死	1. 更换电缆线 2. 紧固复原内接线 3. 更换开关 4. 修复定子 5. 检查电机装配

### 6.8.5.3 修理方法

#### (1) 定子的检查与修理。

**检查方法:**用万用表电阻档分别测量电机引出的三相线端中的任意两相的电阻,若发现某两相电阻明显偏小,则说明其中一相线圈有局部短路。此时,用短路侦察仪可检查短路线圈的具体位置。若发现某两相的电阻极大,则说明其中一相线圈已断路。对并绕根数较多的线圈,两相电阻偏大,可能是引出线部位折断几根所致。用万用表电阻档测量电机引出线任一线端与定子铁心之间的绝缘电阻,若电阻值很小,表示定子线圈已接地。

**修理方法:**电动工具用电机的尺寸一般很小,而且工具多是手持式的,使用中常会受到强力振动和碰撞。为保证使用安全,除引线部位的故障可以检修复原外,一般都需要重新绕嵌线圈。绕嵌的方法如下:

**确定绕组参数。**根据产品说明书,或根据对损坏线圈自行检测的记录:定子槽数、线圈个数、每个线圈的匝数、接线方式、线圈尺寸、线圈节距、导线规格、绝缘材料等。这些数据也可参见表 4.4.112。

**拆除绕组。**电动工具用的三相异步电动机的定子槽一般均为半闭口槽,为了加强机械强度,有的定子线圈还用环氧树脂固封。拆除这种电机的绕组一般非常困难,唯一的方法只有把定子从机壳中拆出来用火烧。然后将线圈的一端切断,从另一端将导线拉出。如果没有原始的参考数据,那么在拆除绕组前必须把线圈伸出定子铁心的长度(两端)分别量出。绕制整形新线圈时,其伸出部分应不长于原来的尺寸,否则会影响装配。此外,在拆除绕组时必须搞清楚接线方式并保存一只完整的线圈,以便查清线圈的节距、每只线圈的匝数、线圈的尺寸、导线的规格等。



绕制线圈。电动工具用三相异步电动机多为两极电动机,而且电机尺寸都比较小,所以定子槽数一般也不很多。线圈绕制时,一般都将每一极每一相绕组串联绕制,以便于接线。例如某一定子槽数为 18 槽,两极电机、双层绕组结构,那么其每一极每一相串联绕组的个数为:

$$\frac{18(\text{槽数})}{2(\text{极数}) \times 3(\text{相数})} = 3(\text{每一极每一相串联绕组个数})$$

其总的线圈数等于定子槽数,则需要 18 个线圈分为 6 组绕制。

如果上例为单层线圈结构,那么上例的每一极每一相串联绕组个数便改为每两极每一相的串联绕组个数。其总的绕组个数等于定子槽数的一半,则只需要 9 个线圈分为 3 组绕制。

对于单双层绕组的绕制,必须有一个线模。线模的尺寸应按嵌线的型式而定。同心式绕组的线模,每一组线圈中的每个线圈尺寸都不一样;两面反绕组和单双层绕组的线模,应有两种尺寸;而链形绕组的线模尺寸则全部一样。

在Ⅲ类低压中频电动工具用三相异步电动机中,有的因体积太小,为了保证电机性能、提高材料利用率,定子槽采用闭口槽或近似闭口槽。绕制这种电机线圈时,不用绕线模,而采用穿线工艺。即先算出或量出每一个线圈的总长度,再加上两个引线头长度,将其剪断;然后按一定的节距一圈一圈地穿绕而成。

清理定子并放定子绝缘物。已拆除线圈的定子必须清理干净,每一槽应用圆形毛刷把槽内的杂物清刷干净,如果刷不掉可用细锉刀轻轻挫下杂物后再刷清,然后放入绝缘物。绝缘物一般采用聚酯薄膜青壳纸,厚度一般为 0.2mm(对于Ⅲ类低压工具用 0.15mm)。放入槽内的绝缘物的长度应大于定子的长度,一般伸出定子两端,每端不小于 5mm。

根据原来电机线圈分布的方式和结构,逐个将绕制好的线圈嵌入槽内。

根据原电机的接线方式连接线圈。

接好线并整形到原电机端部尺寸要求,包扎牢固后,进行绕组试验。试验内容有:对地绝缘电阻试验、开路试验、短路试验、反接试验和耐电压试验。其中对地绝缘电阻试验、开路试验、短路试验和反接试验与一般异步电动机的试验方法一样,但耐电压试验(即绕组与定子铁心之间的耐电压强度)有所不同。对于电源电压小于 50V 的电机的耐压试验应能承受 500V 交流正弦波电压 1min,以不击穿为合格;对于大于 50V 的电机的耐压试验,应能承受 1250V 交流正弦电压 1min,以不击穿为合格。

绝缘处理和烘焙,参见本章 6.8.3(3)中的对定子线圈重绕的介绍。

(2)转子。三相异步电动机的转子损坏较少。如遇损坏(例如断条),一般只能更换新转子,修理是得不偿失的。

表 4.4.112 电动工具用三相异步

工具名称	工具型号	电动机额定参数				定 子			
		电源 频率	电压	电流	输出 功率	外径	槽数	极数	线规
		(Hz)	(V)	(A)	(kW)	(mm)			(mm)
电钻	J3Z-32	50	380	2.4	1.1	120	18	2	0.72
	J3Z-38	50	380	2.4	1.32	120	18	2	0.72
	J3Z-49	50	380	3.35	1.54	120	18	2	0.77
型材切割机	J3G-400	50	380	4.7	2.2	145	24	2	0.95
手提砂轮机	S3S-100	50	380	0.5	0.18	88	18	2	0.35
	S3S-125、150	50	380	0.68	0.25	88	18	2	0.38
	S3S <sub>2</sub> -150	50	380	1.28	0.5	98	18	2	0.47
软轴砂轮机	S3SR-100	50	380	1.3	0.5	102	18	2	0.57
	S3SR-150	50	380	2.23	1	130	24	2	0.67
	S3SR-200	50	380	3.24	1.5	145	24	2	0.83
中频角向磨光机	S2MJ-100	300	42	7.2	0.31	48	18	2	0.55×2
电动磨管机	S3M-38、57、76	50	380	0.86	0.27	88	18	3	0.38
电动胀管机	P3Z-13、19、25	50	380	0.86	0.27	88	18	2	0.38
	P3Z-38	50	380	1.9	0.6	102	18	2	0.38
	P3Z-51、76	50	380	2.6	1	102	18	2	0.44
平板振动器	B11	50	380	2.34	1.1	120	18	2	0.67
软轴振动器	ZX35、50	50	380	2.52	1.1	130	18	2	0.77
	ZX-50	50	380	2.5	1.1	120	24	2	
	ZX70	50	380	3.45	1.5	130	18	2	
中频振动器	Z2D-100	200	42	3	1.5	90	18	2	0.69
电链锯 中频电链锯	M3L <sub>2</sub> -950	50	330	2.52	1	102.5	18	2	0.64
	M2L <sub>2</sub> -950	200	220	7.5	1.5	97	12	2	0.64

电动机的技术参数

参 数					转子参数		轴承规格	
每槽 线数	每线圈 圈数	节 距 (以槽计)	绕线型式	接法	外径	槽数	前轴承	后轴承
					(mm)			
95	95	1~9	同心绕组	Y	64.4	16	60208	202
95	95	1~9	同心绕组	Y	64.4	16	60208	202
84	84	1~9	同心绕组	Y	64.4	16	60208	202
46	46	1~12,2~11	单层同心	Y	80	30	180205	180205
235	235	2(1~9),1~8	单层一二分装	Y	45.45	12	202	203
190	190	2(1~9),1~8	单层一二分装	Y	45.45	12	202	203
138	138	1~9,1~8	单层链式	Y	52.8	12	60203	60202
130	130	2(1~9),1~8	单层一二分装	Y	51.4	12	202	202
74	74	1~12,2~11	同心绕组	Y	69.4	18	205	205
58	58	1~12,2~11	同心绕组	Y	74.4	16	205	205
8	8	1~9	穿绕链式单层	Y	26	16		
176	176	1~10,2~9,11~18	同心绕组	Y	44	16	60103	含油轴承 16×16
176	176	1~10,2~9,11~18	同心绕组	Y	44	16	60202	60200
216	216	1~10,2~9,11~18	同心绕组	Y	53.4	16	60204	60201
156	156	1~10,2~9,11~18	同心绕组	Y	53.4	16	60204	60201
96	96	1~9,2~8,3~7	单双层混合	Y	67	16	204	204
82	82	1~12,2~11	同心绕组	Y	71.4	16	204	204
				Y	67	22	205	204
				Y	71.4	16	204	204
9	9	1~8	单层链式	Y		16	36303	202
102	51	1~9	双层叠绕	Y	46.25	16	60202	60202
200	25	1~6	双层叠绕	Y	43.8	17	60202	60202

## 6.9 洗衣机用电动机

6.9.1 洗衣机用电动机技术数据 见表 4.4.113 所示。

表 4.4.113 洗衣机用电动机技术数据

电动机型号	额定电压 (V)	额定输出功率 (W)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	外形尺寸 长×宽×高 (mm)	质量 (kg)	电容 (μF)	用途
XDC-X-2	220	85	1.1	1350	200×120×179	3.65	8.5	洗涤
XDC-T-2		20	0.6		192×160×137	2.25	8	脱水
JXX-90B		90	1.1	1400	190×126×155	3.6	8	洗涤
XD-90		90	0.9	1400	190×130×170	4.3	8	洗涤
XD-120		120	1.0		190×130×180	4.9	10	
XD-180		180	1.5		190×130×190	6.3	12	
XD-250		250	1.8		190×130×210	7.7	16	

注:电容器的额定电压为交流 450V。

6.9.2 洗衣机用电机的铁心及绕组数据

见表 4.4.114 所示。

表 4.4.114 洗衣机用电动机的铁心及绕组数据

电动机 型号	额定输出功率 (W)	定子铁心槽数					气 隙 (mm)	主 绕 组				副 绕 组			
		外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	定 子	转 子		线径 (mm)	槽节距	匝数	电阻值 (Ω) 20℃	线径 (mm)	槽节距	匝数	电阻值 (Ω) 20℃
XDC-X-2	85	方形 101×101	68	39	24	34	0.38	1~6	170	33.7	0.35	4~9	170	38.8	
				19				2~5				5~8			80
XDC-T-2	20						0.25	1~6	310	109.2	0.19	4~9	455	276	
JXX-90B	90	方形 124×124	80	25	24	34	0.41	1~7	107	37	0.41	4~10	107	37	
								2~6	214	5~9	214				
XD-90	90			30			0.42	1~6	220	32	0.42	4~9	220	32	
								2~5	110			5~8	110		
XD-120	120	方形 120×120	70	35	24	22	0.45	1~6	161	24.8	0.45	4~9	161	24.8	
											2~5	118			5~8
XD-180	180			45			0.53	1~6	160	18.5	0.53	4~9	160	18.5	
								2~5	80			5~8	80		
XD-250	250			60			0.56	1~6	96	12.5	0.56	4~9	96	12.5	
								2~5	69			5~8	69		
XD-90	90	方形 107×107	65	35	24	30	0.38	1~6	200	38.4	0.38	4~9	200	38.4	
				40				2~5	100			5~8	100		
XD-120	120						0.46	1~6	176	27	0.41	4~9	176	27	
								2~5	88			5~8	88		

注:1. 相同型号的电动机的铁心及绕组数据, 会因制造厂不同或制造时间不同而有差异, 表中所列数据仅供参考。  
2. XDC-X-2、XDC-T-2 型电动机绕组展开图见图 4.4.41, JXX-90B 型电动机绕组展开图见图 4.4.42。

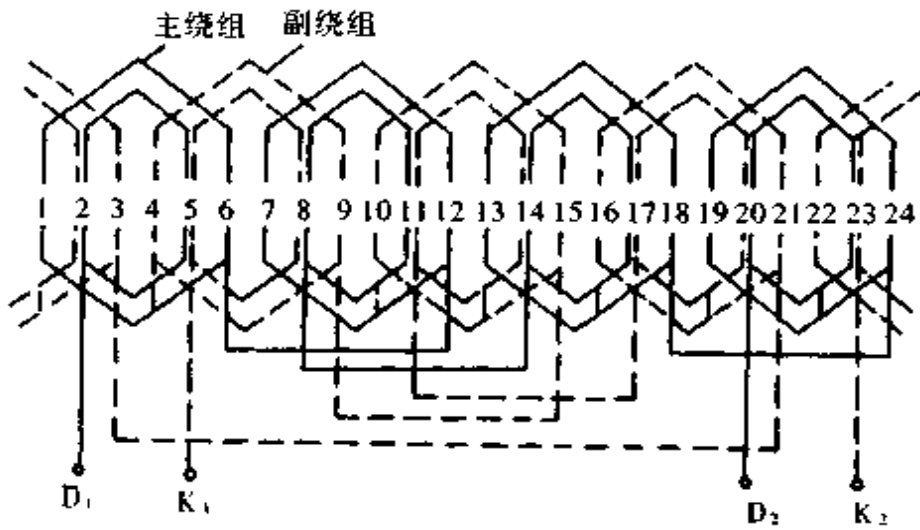


图 4.4.41 XDC-X-2 电动机绕组展开图  
XDC-T-2

- 注:1. 主绕组:节距 1~6 位于大槽在底层,节距 2~5 位于中槽;副绕组:  
节距 4~9 位于小槽在面层,节距 5~8 位于中槽;  
2. 洗衣电机“D<sub>1</sub>”与“K<sub>1</sub>”连接后作为“0”端,脱水电机“D<sub>2</sub>”与“K<sub>2</sub>”连接  
后作为“0”端

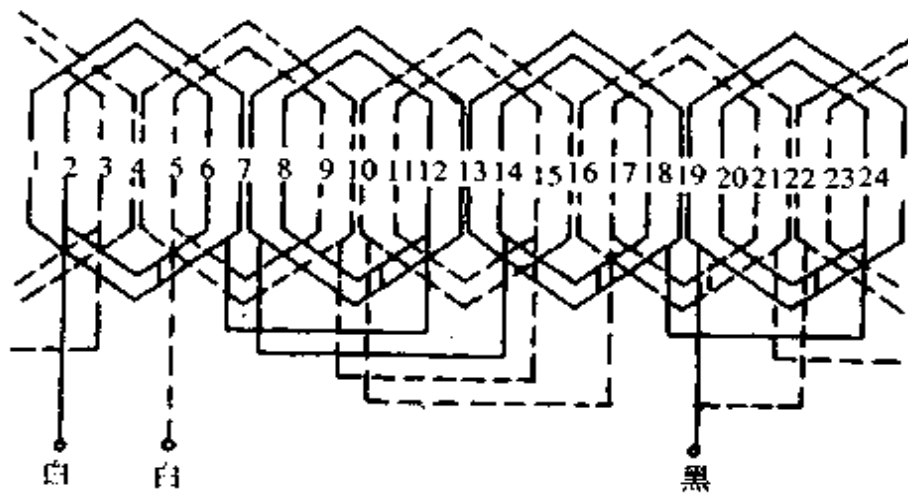


图 4.4.42 JXX-90B 电动机绕组展开图

### 6.9.3 XDL、XDS 型洗衣机用电动机技术数据

XDL、XDS 型洗衣机用电动机技术数据见表 4.4.115 所示。

表 4.4.115 XDL、XDS 型洗衣机用电动机技术数据

型 号		XDL-90 XDS-90	XDL-120 XDS-120	XDL-180 XDS-180	XDL-250 XDS-250
额定功率 (W)		90	120	180	250
额定电压 (V)		220	220	220	220
额定频率 (Hz)		50	50	50	50
满载时	电流 (A)	0.88	1.1	1.54	2.0
	转速 (r/min)	1370	1370	1370	1370
	效率 (%)	49	52	56	59
	功率因数	0.95	0.95	0.95	0.95
定子铁心	外径	(mm)	107	107	107
	内径		68	68	68
	长度		34	40	50
气隙长度	0.35		0.35	0.35	0.35
槽数	定 子	24	24	24	24
	转 子	34	34	34	34
每套定子绕组	线径(mm)	0.35	0.38	0.45	0.50
	每极匝数	296	253	195	156
	半匝平均长(mm)	108.5	114.5	124.5	136.5
	绕组节距	1~7,2~6	1~7,2~6	1~7,2~6	1~7,2~6
堵转电流(A)		2.0	2.5	4.0	5.5
堵转转矩/额定转矩		0.95	0.9	0.8	0.7
最大转矩/额定转矩		1.7	1.7	1.7	1.7
电容器容量( $\mu$ F)		8	9	12	16

注:定子有两套绕组,其线径、匝数、节距完全相同。电机采用 E 级绝缘。

#### 6.9.4 XDL、XDS 型洗衣机用电动机的外形和安装尺寸

XDL、XDS 型洗衣机用电动机的外形和安装尺寸见图 4.4.43 和表 4.4.116 所示。

表 4.4.116 XDL、XDS 型洗衣机电动机安装及外形尺寸 mm

型 号	安 装 尺 寸				外 形 尺 寸		
	$D$	$E$	$C$	$G$	$b_1$	$b_2$	$L$
XDL-90	10	$\geq 40$	$94 \pm 2$	8	200	150	170
XDL-120	12			10.5			180
XDL-180	12			10.5			190
XDL-250	12			10.5			210
XDS-90	10	$\geq 40$	$85 \pm 2$	8	200	150	170
XDS-120	12			10.5			180
XDS-180	12			10.5			190
XDS-250	12			10.5			210

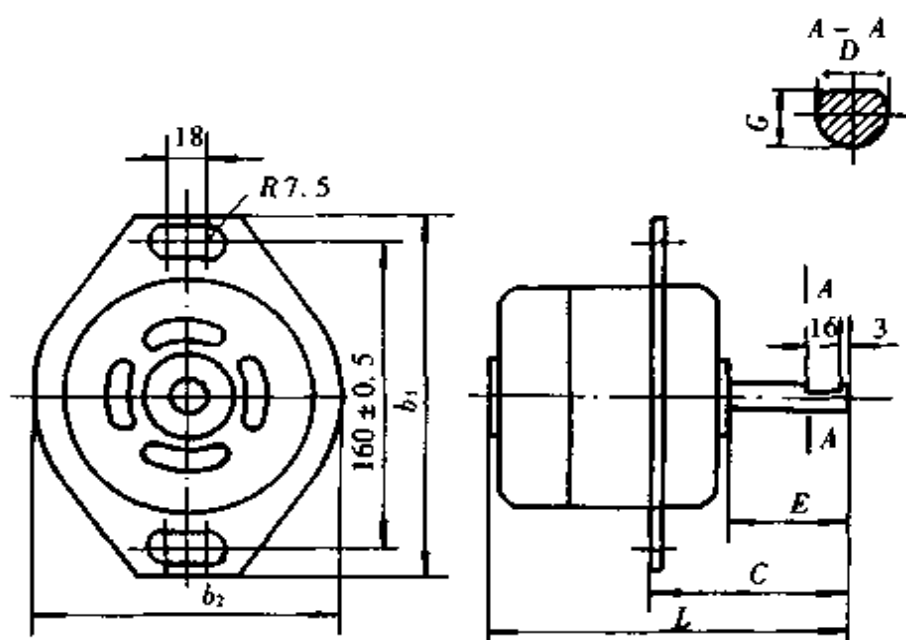


图 4.4.43 XDL、XDS 型洗衣机电动机外形和安装图

## 7 自整角机

自整角机是一种感应式机电信号转换元件。其作用是将转轴的转角变换为电信号；或将电信号变换为转轴的转角，从而能在非机械连接下，将角度传输、变换和接收。它广泛应用在同步传动系统中作为远距离指示元件，以及在追随系统中用作检测元件。

### 7.1 分类与作用

自整角机的分类与作用见表 4.4.117 所示。



表 4.4.117 自整角机的分类与作用

分类	代号	电气原理图	结构特征		作用
			定子	转子	
控制式	发送机 ZKF		隐极式, 嵌有三相星形连接绕组, 各绕组轴线在空间互成 $120^\circ$	凸极式或隐极式, 嵌有单相绕组	将输入的转子转角变成电信号输出
	自整角变压器 ZKB			隐极式, 嵌有单相分布绕组	接收控制式发送机的电信号, 变成与失调角相应的电信号输出
	差动发送机 ZKC			隐极式, 嵌有三相星形连接绕组, 绕组轴线在空间互成 $120^\circ$	

续表

分类	代号	电气原理图	结构特征		作用
			定子	转子	
力矩式	发送机 ZLF			凸极式, 嵌有单相集中绕组	同控制式发送机
	接收机 ZLJ			同发送机, 但加嵌阻尼绕组或带有机械阻尼器	接收力矩式发送机的电信号, 转换成转子转角输出
	差动发送机 ZCF			同控制式差动发送机	串接于力矩式发送机与接收机之间, 将发送机的转子转角及其自身转子转角之和(或差)转换成电信号输给接收机
	差动接收机 ZCJ			同控制式差动发送机, 但轴上带有机械阻尼器	串接于两个力矩式发送机之间, 接收两发送机输出的电信号, 使转子转角为两发送机转子转角之和(或差)

续表

分类	代号	电气原理图	结构特征		作用
			定子	转子	
传输解算器	XH			隐极式, 嵌有两相在空间互成 90° 的分布绕组, 转子固定不动	可将三相绕组信号转换成两相绕组信号, 也可将两相绕组信号转换成三相绕组信号的旋转感应元件, 它带有信号幅值的调整和锁紧装置
直流自整角机	ZJZ		两相在空间互成 90° 的分布绕组	磁钢	是一种无接触式角度信号元件, 定子输入两相正交信号(按正弦弦变化的直流), 其转子输出转角是输入电信号的函数 用于无机械连接的角度传递、角度细分控制系统中

## 7.2 自整角机系统

自整角机系统的接线方式见表 4.4.118 所示。

表 4.4.118 自整角机系统的接线方式

		接线方式	输入量	输出量
力矩式自整角系统	力矩式发送和接收机		$\alpha_1$	$\alpha_2$
	差动式发送机		$\alpha_1; \alpha_2$	$\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$
	多力矩式接收机并联		$\alpha_1$	$\alpha_2$ $\alpha_2$ $\alpha_2$ ⋮

续表

		接线方式	输入量	输出量
控制式自整角系统	控制式发送机与变压器		$\alpha_1$	$\alpha_2$
	差动式发送机		$\alpha_1; \alpha_2$	$\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$
	多自整角变压器并联		$\alpha_1$	$\alpha_2$ $\alpha_2$ $\alpha_2$ ⋮

### 7.2.1 力矩式自整角系统

在力矩式自整角系统中,发送机将所要传送的角度转变为电信号,通过连接导线传送给接收机,接收机在接收到电信号后,将它再转变成为角度复现在仪表上。

(1)力矩式发送机和接收机系统。发送机转子转过  $\alpha_1$  角,接收机转子转过  $\alpha_2$  角,  $\alpha_2 = \alpha_1$ 。

(2)差动式发送机和接收机系统。该系统由力矩式发送机、差动式发送机、力矩式接收机和连接导线所组成。力矩式发送机转子为单相绕组,定子为三相绕组,其转子转动  $\alpha_1$  角;差动式发送机定子、转子均为三相绕组,分别与力矩式发送机、力矩式接收机的定子连接,其转子转过角度为  $\alpha_2$ ;力矩式接收机转子为单相绕组,定子为三相绕组,其转子转动角度为  $\alpha_3$ ,  $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$ 。

(3)多力矩式接收机并联系统。该系统由一个力矩式发送机和多个力矩式接收机和连接导线所组成,力矩式发送机转子转过  $\alpha_1$  角,多个力矩式接收机转子均转过  $\alpha_2$  角,  $\alpha_2 = \alpha_1$ 。

### 7.2.2 控制式自整角系统

控制式自整角系统由自整角发送机、自整角变压器、放大器、伺服电动机以及用作机械反馈的减速器组成。

当自整角变压器处于基准电气零位时(对于控制式发送机与变压器系统,  $\alpha_1 =$

$\alpha_2$ ;对于差动式发送机系统,  $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$ ;对于多自整角变压器并联系统,  $\alpha_2 = \alpha_1$ ), 自整角变压器的转子绕组不感应电势, 伺服电动机将不会转动, 系统处于“协调”状态。

当发送机和自整角变压器的转子从各自基准电气零位偏移不同的角度(即有失调角)时, 则在自整角变压器的控制绕组中感应电势, 这电势经放大后加在伺服电动机的控制绕组上, 使伺服电动机转动。通常伺服电动机经齿轮减速器带动负载及自整角变压器的转子, 直至失调角等于零。系统达到新的协调状态, 伺服电动机停转。

## 7.3 选用和使用时注意事项

### 7.3.1 选用时注意事项

(1) 选用控制式或力矩式自整角机, 可参考表 4.4.119 所示。

表 4.4.119 控制式和力矩式自整角机的比较

类型	负载能力	精度	系统结构	系统费用	适用范围
控制式自整角机	仅输出信号, 负载能力取决于系统中的伺服电动机及放大器的功率	较高	较复杂, 需要用伺服电动机、放大器、减速器等	较高	精度较高或负载较大的伺服系统
力矩式自整角机	接收机的负载能力受到精度及比整步转矩的限制, 仅能带动指针、刻度盘等轻负载	较低	较简单, 不用其他辅助器件	较低	精度较低的指示系统

(2) 选用的自整角机的励磁电压和频率, 应该与应用场合的电源相当。若电源可任意选择, 则应优先选用体积较小, 性能较好, 电压较高, 频率 400Hz 的自整角机。

(3) 相互连接使用的自整角机, 对接绕组的频率与额定电压必须相同。

(4) 在电源容量较充裕的情况下, 应尽量选用输出阻抗较低的发送机, 以获得较大的负载能力。

(5) 为了减轻发送机的负载, 应选用输入阻抗较高的自整角变压器和差动发送机。

### 7.3.2 使用时注意事项

(1) 进行发送机和接收机的零位调整时, 要先转动发送机转子使其刻度盘上读数为零; 然后固定发送机转子, 再转动接收机定子, 使接收机刻度盘上读数为零时, 固定接收机定子。

(2) 发送机和接收机不能互换使用。

## 7.4 精度等级

自整角机的精度等级见表 4.4.120 所示。

表 4.4.120 ZKC、ZCF、ZCJ 自整角机精度等级

等级	0	1	2
电气误差 (°)	5	10	20
静态误差 (′)	30	72	120

## 7.5 主要技术数据

自整角机的主要技术数据见表 4.4.121 至表 4.4.125 所示。

表 4.4.121 ZLF 系列力矩式自整角机技术数据  
ZLJ 发送机 接收机

型号	频率 (Hz)	励磁电压 (V)	最大输出 电压 (V)	开路输入 电流 (mA)	开路消耗 功率 (W)	比整步 转矩 (N·m/°)
20ZLF001	400	36	16	130	0.9	$2.9 \times 10^{-5}$
20ZLJ001	400	36	16	130	0.9	$2.9 \times 10^{-5}$
28ZLF001	400	36	16	155	1.3	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLJ001	400	36	16	155	1.3	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLJ002	400	115	90	49	1.4	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLF003	400	115	90	49	1.4	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLF004 <sup>①</sup>	400	115	90	49	1.4	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLJ004	400	115	90	46	1	$6.9 \times 10^{-5}$
28ZLF005	400	115	90	46	1	$6.9 \times 10^{-5}$
28ZLJ005	400	36	16	300	2	$5.9 \times 10^{-5}$
28ZLF006	400	36	16	300	2	$5.9 \times 10^{-5}$
36ZLF001 <sup>①</sup>	400	115	90	187	3.1	$23.5 \times 10^{-5}$
36ZLJ001 <sup>①</sup>	400	115	90	187	3.1	$23.5 \times 10^{-5}$
36ZLF002	400	115	90	187	3.1	$23.5 \times 10^{-5}$
36ZLJ002	400	115	90	187	3.1	$23.5 \times 10^{-5}$
36ZLF003	400	115	90	250	4	0.25
36ZLJ003	400	115	90	250	4	0.25
45ZLF001	400	115	90	500	7	$88.2 \times 10^{-5}$
45ZLJ001	400	115	90	500	7	$88.2 \times 10^{-5}$
45ZLF002 <sup>①</sup>	50	110	90	160	5	$29.4 \times 10^{-5}$
45ZLJ002 <sup>①</sup>	50	110	90	160	5	$29.4 \times 10^{-5}$
45ZLF003	400	115	90	780	10	$196 \times 10^{-5}$
55ZLF001	400	115	90	900	12	$196 \times 10^{-5}$

续表

型号	频率 (Hz)	励磁电压 (V)	最大输出 电压 (V)	开路输入 电流 (mA)	开路消耗 功率 (W)	比整步 转矩 (N·m/°)
55ZLJ001	400	115	90	900	12	$196 \times 10^{-5}$
55ZLF002	50	110	90	250	5.5	$107.8 \times 10^{-5}$
55ZLJ002	50	110	90	250	5.5	$107.8 \times 10^{-5}$
55ZLJ004 <sup>1</sup>	50	110	90	250	5.5	$490 \times 10^{-5}$
70ZLF001	400	115	90	1700	16	$490 \times 10^{-5}$
70ZLJ001	400	115	90	1700	16	$490 \times 10^{-5}$
70ZLF002	50	110	90	500	8	$294 \times 10^{-5}$
70ZLJ002	50	110	90	500	8	$294 \times 10^{-5}$
90ZLJ002	50	110	90	850	10	$834 \times 10^{-5}$
90ZLF004	400	115	90	2000	22	$784 \times 10^{-5}$
90ZLF005	50	110	90	850	10	$834 \times 10^{-5}$

注:① 双轴伸光轴。下表同。

表 4.4.122 ZKF 系列控制式自整角发送机  
ZKB 系列控制式自整角变压器 技术数据

型号	频率 (Hz)	励磁电压 (V)	最大输出 电压 (V)	开路输入 电流 (mA)	开路消耗 功率 (W)
28ZKF001	400	115	90	28	1.3
28ZKB001	400	16	32	82	0.25
28ZKF002	400	115	90	28	1.3
28ZKB002	400	90	58	23	0.5
28ZKF003	400	115	90	30	0.6
28ZKB003 <sup>①</sup>	400	90	58	11	0.2
28ZKF004	400	115	90	40	1.4
28ZKB004	400	90	58	11	0.2
28ZKF005	400	26	12	-	-
28ZKB005	400	90	58	20	0.2
28ZKF006	400	115	90	-	-
28ZKB006	400	90	58	-	-
28ZKB007	400	90	58	50	0.5
36ZKF001	400	115	90	90	2
36ZKB001 <sup>②</sup>	400	90	58	56	0.6
36ZKF002	400	115	90	90	2
36ZKB002	400	90	58	56	0.6
36ZKF003	400	115	90	60	2

续表

型号	频率 (Hz)	励磁电压 (V)	最大输出 电压 (V)	开路输入 电流 (mA)	开路消耗 功率 (W)
36ZKB003	400	90	58	22	0.6
45ZKF001	400	16	16	-	-
45ZKB001	400	90	58	150	1.2
45ZKF002	400	115	90	200	2.5
45ZKB002 <sup>1)</sup>	50	90	58	45	1.2
45ZKF003	50	110	90	40	2
45ZKB003 <sup>1)</sup>	50	90	58	45	1.2
45ZKB004 <sup>1)</sup>	50	90	58	35	1.2
45ZKB005 <sup>1)</sup>	400	90	58	120	1.5
45ZKB006	50	90	58	35	1.2
55ZKF001	400	115	90	700	12
55ZKB001	400	90	58	400	3
55ZKB002	50	90	58	18	0.4

ZKC 控制式 发送机  
表 4.4.123 ZCF 系列 力矩式 差动自整角 发送机 技术数据  
ZCJ 力矩式 接收机

型号	频率 (Hz)	励磁电压 (V)	最大输出 电压 (V)	开路输入 电流 (mA)	开路消耗 功率 (W)	比整步转矩 (N·m/°)
20ZKC001	400	16	16	158	0.5	-
28ZKC001	400	16	16	190	0.6	-
28ZKC002	400	90	90	34	0.6	-
28ZKC003 <sup>1)</sup>	400	90	90	34	0.6	-
36ZCF001	400	90	90	255	2	-
36ZKC001	400	90	90	115	1.1	-
36ZKC002	400	36	11.8	10	0.0413	$3.92 \times 10^{-5}$
45ZCF001	400	90	90	600	8	$3.92 \times 10^{-5}$
45ZCJ001	400	90	90	600	8	$3.92 \times 10^{-5}$
45ZKC001	400	90	90	276	2.3	-
55ZCF001	400	90	90	1500	10	$39.2 \times 10^{-5}$
55ZCF002	50	90	90	300	5.5	$29.4 \times 10^{-5}$
55ZKC001	400	90	90	800	6	-
70ZCF001	50	90	90	780	11.4	$177 \times 10^{-5}$
90ZCJ001	50	90	90	1200	14	$392 \times 10^{-5}$



表 4.4.124 XH 型传输解算器(静态自整角机)技术数据

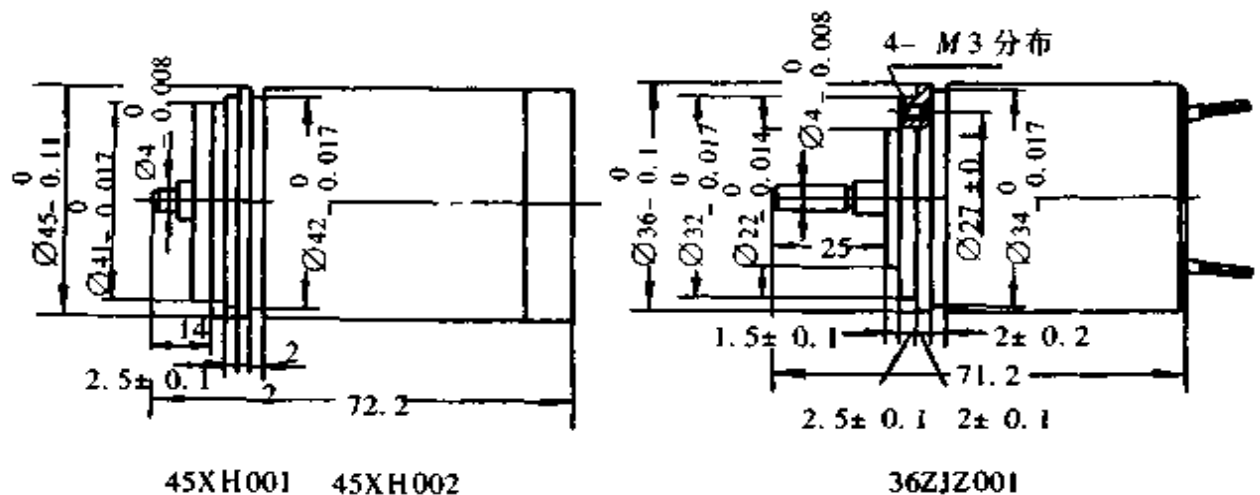
型号	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	最大输出 电压 (V)	开路输入 阻抗 (Ω)	电气误差 (°)
45XH001	16	400	20	80	5,10,20
45XH002	16	400	20	80	5,10,20

表 4.4.125 36ZJZ001 型直流自整角机技术数据

型号	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	消耗功率 (W)	比整步转矩 (N·m/°)	阻尼时间 (s)	静态追随 误差	质量 (kg)
36ZJZ001	$10\sqrt{2}\sin\theta$	<0.6	<8.5	$>34.3 \times 10^{-5}$	2	1级 2级	0.25
	1° 2°						

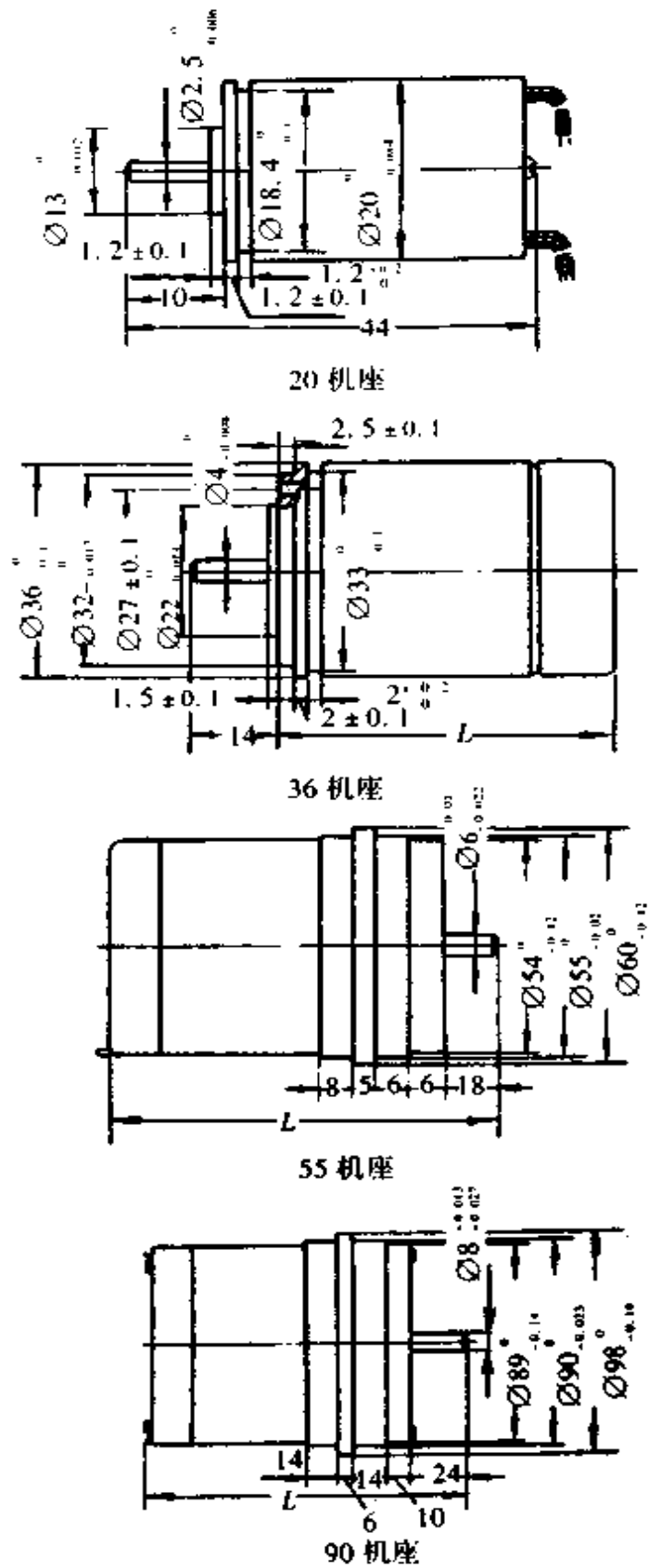
## 7.6 外形和安装尺寸

自整角机的外形及安装尺寸见图 4.4.44 所示。



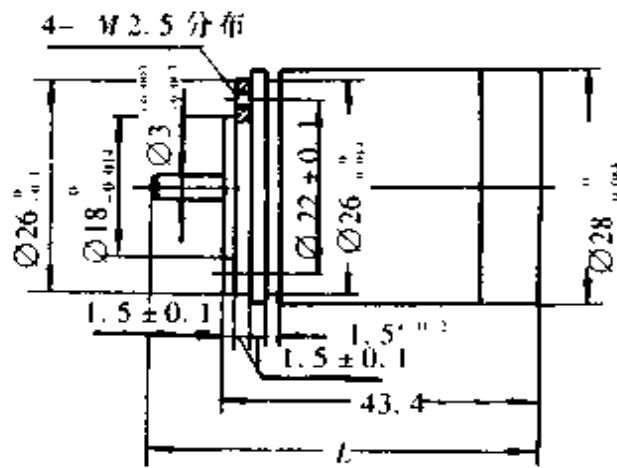
电机长度 L								
型号	L	型号	L	型号	L	型号	L	
28ZLF001	54	28ZKC001	54	45ZLF001	73.9	70ZLF001	123.5	
28ZLF003		28ZKC002		45ZLJ001	82.9	70ZLJ001		
28ZLJ001		28ZKC003	45ZKH001	73.9	70ZLF002	137.7		
28ZLJ002		36ZLF001	45ZKC001	73.9	70ZLJ002			
28ZLF004	59.5	36ZLJ001	53	55ZLF002	98	70ZCF001	140	
28ZKH001	54	36ZLJ002	53	55ZLJ002	98	90ZLF001	131.2	
28ZKH001		36ZKF001		46.9		55ZKF001	98	90ZLJ004
28ZKH004		36ZKH001	(67.9 双轴伸)	55ZKH001		98	90ZLJ002	146
28ZKH004	59.5	36ZKH002	46.9	55ZKH002	98	90ZCJ001	146	
28ZKF002		36ZCF001 -		46.9		55ZCF001		
28ZKH003		36ZKC001	(67.9 双轴伸)	55ZKC001				

图 4.4.44 自整角机的外形和安装尺寸(一)

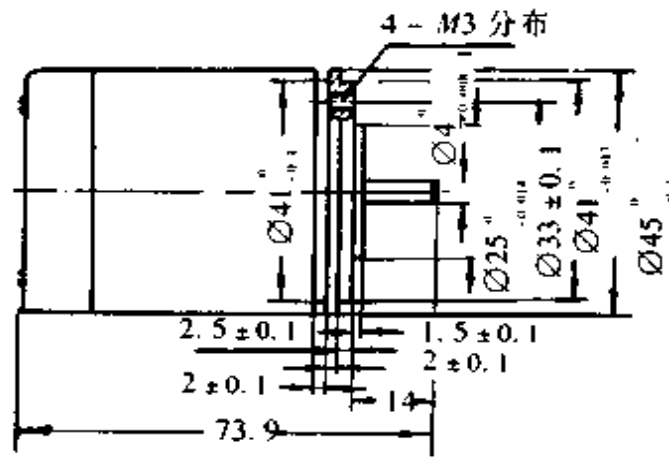


注: 36XL 型轴伸  $E = 5$ , 45XL 型轴伸  $E = 4$

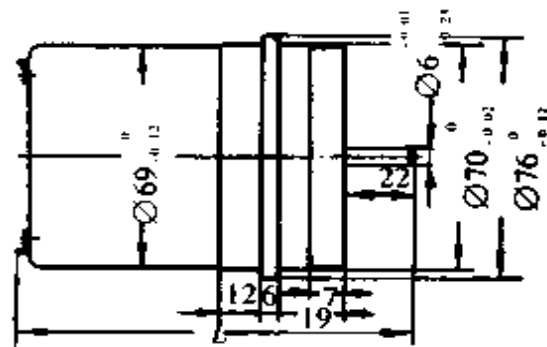
图 4.4.44 自整



28 机座



45 机座



70 机座

角机的外形和安装尺寸(二)

## 8 旋转变压器

旋转变压器是一种输出电压随转子转角成一定函数关系的信号类微电机,可用于坐标变换、三角运算和角度数据传递。亦可作为两相移相器及配以电子线路作角度/数字转换元件使用。结构型式有接触式和无接触式两大类。

### 8.1 分类、特点与用途

旋转变压器的分类、特点与用途见表 4.4.126 所示。

表 4.4.126 旋转变压器的分类、特点与用途

产品名称	代号	电气原理图	特点	用途
正余弦旋转变压器	XZ		输出电压与转角成正弦或余弦函数关系	坐标变换,三角运算,角度数据传输,移相器,角度数字转换
四绕组线性旋转变压器	XX		输出电压与转角成线性关系	机械转角与电信号的线性变换

续表

产品名称	代号	电气原理图	特点	用途
比例式旋转变压器	XL		输出电压与转角成比例关系	调节电压和匹配阻抗
单绕组线性旋转变压器	XDX		输出电压与转角成线性关系	机械转角与电信号的线性变换
锯齿波旋转变压器	XJ		当输入信号为时间锯齿波电压时,输出电压在空间上为转角的正弦和余弦函数关系	坐标变换,三角运算,角度数据传递,移相器,角度数字转换
无接触式正弦余弦旋转变压器	XZW		输出电压与转角成正弦或余弦函数关系	坐标变换,三角运算,角度数据传递,移相器,角度数字转换
无接触式线性旋转变压器	XXW		输出电压与转角成线性关系	机械转角与电信号的线性变换

续表

产品名称	代号	电气原理图	特点	用途
感应移相器	YG		输出电压幅值恒定, 相位与转角呈线性函数关系	用于①雷达脉冲测距系统; ②相位控制工作状态的定位、跟踪同步随动系统; ③轴角编码 A/D 变换系统
无接触式感应移相器	YW		输出电压幅值恒定, 相位与转角呈线性函数关系	用于①雷达脉冲测距系统; ②相位控制工作状态的定位、跟踪同步随动系统; ③轴角编码 A/D 变换系统
特种函数旋转变压器	XT		输出电压与转角成某种特定函数关系, 如正割函数、弹道函数、对数函数等	用于各种控制系统, 用作偏差信号修正等装置, 例如用于光电跟踪气割机

## 8.2 精度等级

旋转变压器的精度等级见表 4.4.127 所示。

表 4.4.127 旋转变压器的精度等级

系 列	XZ, XL, XDX			XX	
	函数误差 (%)	交轴误差 ( $'$ )	电气误差 ( $'$ )	线性误差 (%) ( $'$ )	
0	$\pm 0.05$	$\pm 3$	$\pm 3$	$\pm 0.06$	$\pm 2$
1	$\pm 0.10$	$\pm 8$	$\pm 8$	$\pm 0.11$	$\pm 4$
2	$\pm 0.20$	$\pm 16$	$\pm 12$	$\pm 0.22$	$\pm 8$

## 8.3 主要技术数据

旋转变压器的主要技术数据见表 4.4.128 至表 4.4.136 所示。

表 4.4.128 XZ、XX、XL 正余弦、四绕组线性、比例式旋转变压器技术数据

型号	绕组类别	励磁电压(V)	频率(Hz)	开路输入阻抗( $\Omega$ )	变压比	相位移( $^{\circ}$ )	引线方式	质量(kg)
20XZ006	2S/2R	12	400	2500	1.000	8.5	接 线 片	0.055
20XZ007	2S/2R	12	400	1000	1.000	8.5		
20XZ008	2R/2S	12	400	2000	1.000	14		
20XZ009	2R/2S	12	2000	1000	1.000	4		
28XZ011	2S/2R	26	400	4000	1.000	4		
28XZ012	2S/2R	36	400	1000	0.565	4		
28XZ013	2R/2S	10	1000	-	1.000	$\pm 1$		
28XZ014	2R/2S	26	400	400	0.454	6		
28XZ015	2R/2S	26	400	2000	0.454	6		
28XZ016	2S/2R	12	400	2000	1.000	4		
28XZ017	2S/2R	36	400	600	0.565	4		
28XZ018	2S/2R	26	400	2000	1.000	4		
28XZ019	2S/2R	26	2000	4000	1.000	1		
28XZ020	2S/2R	26	2000	4000	0.454	1		
36XZ011	2S/2R	60	400	600	0.454	3		
36XZ012	2S/2R	60	400	2000	1.000	3		
36XZ013	2S/2R	60	400	3000	0.565	3		
36XZ014	2S/2R	60	400	4000	1.000	3		
36XZ015	2S/2R	26	400	1000	1.000	3		
36XZ016	2S/2R	12	400	1000	1.000	3		
36XZ017	2S/2R	26	400	1000	0.454	3		
36XZ018	2S/2R	60	400	3000	1.000	3		
36XZ019	2S/2R	60	400	1000	0.565	3		
36XX004	2S/2R	60	400	600	0.565	-		
36XX005	2S/2R	60	400	1000	0.565	-		
36XX006	2S/2R	60	400	2000	0.565	-		
36XL001	2S/2R	60	400	600	0.565	3		
36XL002	2S/2R	60	400	2000	0.565	3		
45XZ010	2S/2R	115	400	1000	0.565	2.5		
45XZ011	2S/2R	115	400	1000	0.565	2.5		
45XZ012	2S/2R	115	400	4000	0.565	3.0		
45XZ013	2S/2R	115	400	600	0.565	3.0		
45XZ014	2S/2R	115	400	2000	0.565	2.5		
45XZ015	2S/2R	36	400	400	1.000	3.5		
45XZ016	2S/2R	26	1000	1500	1.000	1.5		
45XZ017	2S/2R	115	400	1000	1.000	2.5		
45XZ018	2S/2R	115	400	4000	1.000	-		
45XX005	2S/2R	115	400	600	0.565	-		
45XX006	2S/2R	115	400	2000	0.565	-		
45XX007	2S/2R	115	400	1000	0.565	-		
45XL006	2S/2R	115	400	600	0.565	3.0		
45XL007	2S/2R	115	400	1000	0.565	2.5		
45XL008	2S/2R	115	400	4000	0.565	3.0		

注:1. 用户选用 XX 型线性旋转变压器时,宜选机座号稍大(36<sup>#</sup>以上)较合理。

2. 2S/2R 表示定子两相绕组为原方、转子两相绕组为副方,2R/2S 表示转子两相绕组为原方、定子两相绕组为副方。

表 4.4.129 XDX 单绕组线性旋转变压器技术数据

型号	绕组类别	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	输出斜率 (V/°)	线性误差 (%)	工作转角 (°)	引线方式	质量 (kg)
20XDX003	1R/1S	26	400	1500	0.3	0.5	$\pm 50$	接线柱	$\leq 0.055$
20XDX004	1R/1S	26	400	1500	0.2	0.5	$\pm 30$		
20XDX005	1R/1S	26	400	1500	0.2	0.5	$\pm 15$		
28XDX005	1R/1S	26	400	-	0.3	0.3	$\pm 15$	接线片	$\leq 0.14$
28XDX006	1S/1R	26	400	-	0.3	0.3	$\pm 65$		
28XDX007	1S/1R	26	400	600	0.3	0.3	$\pm 60$		
28XDX008	1S/1R	26	400	1000	0.3	0.3	$\pm 60$		
28XDX009	1S/1R	26	400	2000	0.3	0.3	$\pm 60$		
28XDX010	1R/1S	26	400	600	0.3	0.3	$\pm 15$		
28XDX011	1R/1S	26	400	600	0.3	0.3	$\pm 40$		

注:①1R/1S 表示转子一相绕组为原方,定子一相绕组为副方;

1S/1R 表示定子一相绕组为原方,转子一相绕组为副方。

②选用 XDX 型线性旋变时,宜选稍小机座号(28<sup>#</sup>以下)较合理。

表 4.4.130 XJ 系列锯齿波旋转变压器技术数据

技术数据	28XJ001	45XJ001	45XJ002
励磁电压 (V)	12	20	20
测试频率 (Hz)	400	400	400
空载输入阻抗 ( $\Omega$ )	400	500	500
变压比	0.25	0.97	0.97
定子绕组直流电阻 ( $\Omega$ )	26	20	15
转子绕组直流电阻 ( $\Omega$ )	26	26	26
输入端	定子	定子	定子
频率响应			
下限频率(-3dB) (Hz)	50	20	15
峰值频率 (kHz)	500	80	80
定子补偿绕组变压比	-	1	-
定子补偿绕组直流电阻 ( $\Omega$ )	-	20	-
相移(参考值)	4°30'	-	1°40'

表 4.4.131 XZW 型无接触式正弦旋转变压器技术数据

型号	绕组类型	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	变压比	引线方式	零位电压 (mV)	电气误差 (°)
28XZW003	1R/2S	10	5000	400	0.500	接线片	8	3.8
28XZW004	2S/1R	12	2000	6000	0.500	引出线	10	3.8



续表

型号	绕组类型	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	变压比	引线方式	零位电压 (mV)	电气误差 ( $^{\circ}$ )
28XZW005	2S/1R	12	2000	6000	0.500	引出线	10	3.8
28XZW006	1R/2S	2	2000	800	1.000	接线片	2	3.8
36XZW001	1R/2S	26	400	1300	1.000	接线片	13, 26	3.8
45XZW001	1R/2S	36	400	300	0.900	接线片	32	3.8

表 4.4.132 XXW 型无接触式线性旋转变压器技术数据

型号	绕组类型	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	输出斜率 (V/ $^{\circ}$ )	线性误差 (%)	工作转角 ( $^{\circ}$ )	引线方式
28XXW001	1R/1S	6(方波)	2000	-	0.025	0.5	$\pm 45$	接线片
36XXW001	1R/1S	15	1000	1700	0.13	0.3, 0.5	$\pm 15$	接线片
36XXW002	1R/1S	15	400	800	0.13	0.3, 0.5	$\pm 30$	接线片
45XXW001	-	36	400	700	0.35	0.5	$\pm 60$	引出线

表 4.4.133 YG 型感应移相器技术数据

型号	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	最大输出电压 (V)	相位误差 ( $^{\circ}$ )
20YG009	7	4000	1500	2.5	15
28YG007	15	400	1000	6	$< 30$
36YG001	15	135	1700	5	$< 30$

表 4.4.134 YW 型无刷感应移相器技术数据

型号	绕组类别	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	输出电压 (V)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	相位误差 ( $^{\circ}$ )	引线方式
28YW004	1R/2S	5	1000	1.8	500	20 30 45	接线片
28YW007	1R/2S	10	400	3.5	500	20 30 45	接线片

表 4.4.135 XT 型深弹函数旋转变压器技术数据

型号	函数	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	变压比	函数误差 (%)	工作转角 ( $^{\circ}$ )
55XT035	$F_1$	36	400	400	0.56	0.2~0.5	25~70
55XT036	$F_2$	36	400	1000	0.56	1~1.5	25~70
55XT037	$F_3$	36	400	2500~3000	0.56	1	25~70
55XT038	$F_4$	36	400	2500~3000	0.56	1	25~70
55XT039	$F_5$	36	400	2500~3000	0.56	1~1.5	25~70
55XT040	$F_6$	36	400	2500~3000	0.28	1~1.5	25~70
55XT041	$F_7$	36	400	2500~3000	0.28	1~1.5	25~70
55XT042	$F_8$	36	400	2500~3000	0.56	1~1.5	25~70
55XT043	$F_9$	36	400	400~800	0.56	0.2~0.5	25~70
55XT044	$F_{10}$	36	400	400~800	0.56	0.2~0.5	25~70

表 4.4.136 XT 型火炮函数旋转变压器技术数据

型号	函数	励磁电压 (V)	频率 (Hz)	开路输入阻抗 ( $\Omega$ )	变压比	函数误差 (%)	工作转角 ( $^{\circ}$ )	零位电压 (mV)
70XT012	$f_1$	30	400	600~1000	0.78	0.2~0.5	72	6~10
55XT045	$f_2$	30	400	600~1000	0.56	0.5~1	72	20
55XT046	$f_3$	30	400	600~1000	0.56	0.5~1	72	20
55XT047	$f_4$	30	400	600~1000	0.56	0.5~1	72	20
55XT048	$f_5$	30	400	600~1000	0.56	0.5~1	72	20
55XT049	$f_6$	30	400	600~1000	0.56	0.5~1	72	20

## 8.4 使用注意事项

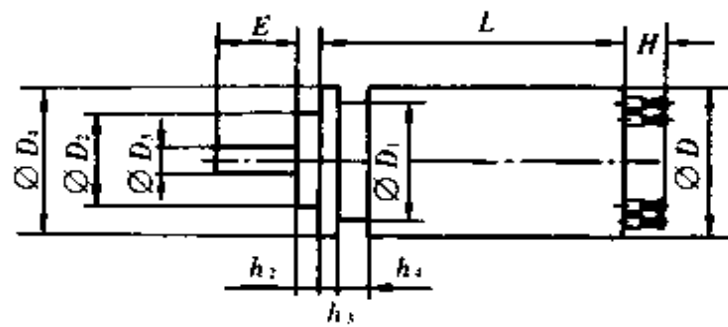
(1)原边只用一相绕组励磁时,另一相绕组应连接一个与电源内阻抗相同的阻抗或直接短接。

(2)原边两相绕组同时励磁时,两个输出绕组的负载阻抗应尽可能相等。

(3)使用中必须准确调整零位,以免引起旋转变压器性能变差。

## 8.5 旋转变压器的外形和安装尺寸

旋转变压器的外形和安装尺寸见图 4.4.45 至图 4.4.47 所示。

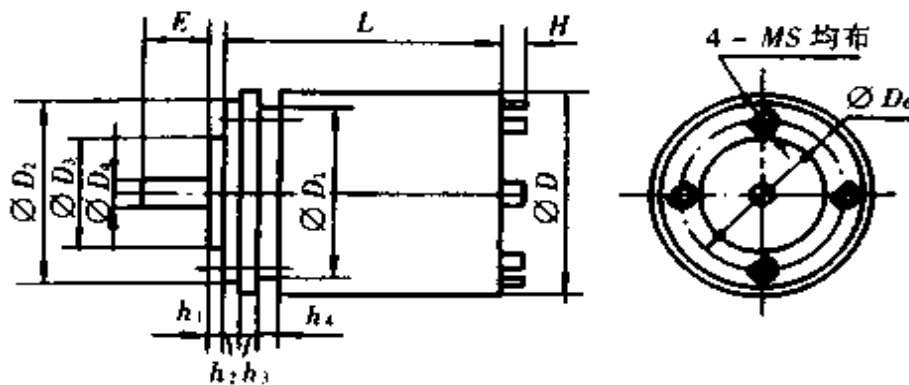


20 机座号尺寸

mm

机座号	尺寸	D	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	E	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D	H	L (max)
20XZ306		19.6 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	12.7 <sup>+0.01</sup> <sub>0</sub>	17.5 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	10.7	1.02±0.06	1.6±0.05	1.6±0.05	2.28±0.006	19 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	3.8	33
其余 20XZ 20XLX		20 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	13 <sup>+0.01</sup> <sub>0</sub>	18.5 <sup>+0.1</sup> <sub>0</sub>	9	1.2±0.1	1.2±0.1	1.2±0.2	2.5 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	20 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	3.8	38 30.5

图 4.4.45 20 机座号旋转变压器的外形和安装尺寸



28、36、45 机座号尺寸

mm

机座号	尺寸		D	D <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	E	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	D <sub>6</sub>	MS	D <sub>3</sub>	H	L(max)		
	公差	公差	h10	h6	h8	h11	-	±0.1	±0.1	±0.1	+ <sup>0.2</sup> <sub>0</sub>	-	8H	f7	-	XZ, XL	XL	XDX
28			28	26	18	26.5	10 12	1.5	1.5	1.5	1.5	22	M2.5	3	4	50	-	41 47
36			36	32	22	34	12	1.5	2.5	2	2	27	M3	4	3	56.5	65	-
45			45	41	25	42	12	1.5	2.5	2	2	33	M3	4	4.5	68	75	-

注:36XL 型轴伸 E=5, 45XL 型轴伸 E=4

图 4.4.46 28、36、45 机座号旋转变压器外形和安装尺寸

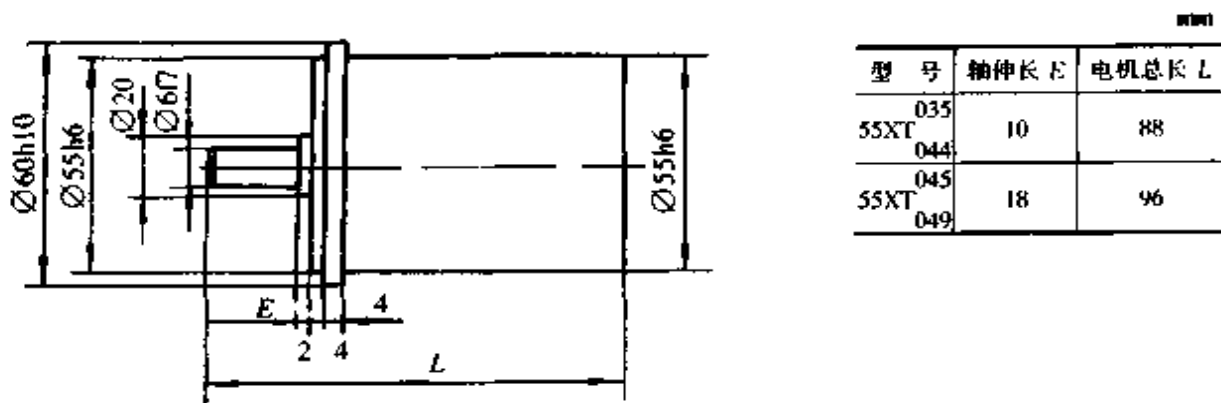


图 4.4.47 55 机座号旋转变压器的外形和安装尺寸

## 9 双通道旋转变压器

双通道旋转变压器系一种高精度角度传感元件,由不同极对数的两部分同轴组成一体,主要用于高精度同步随动系统。

### 9.1 分类和特点

双通道旋转变压器的分类和特点见表 4.4.137 所示。

表 4.4.137 双通道旋转变压器的分类和特点

分类	代号	电气原理图	特点
多极双通道旋变发送机	XFS		转子单相激磁, 定子输出电压与转子转角成正余弦函数关系
多极双通道旋变变压器	XBS		定子两相激磁, 转子单相输出电压与失调角成正余弦函数关系

续表

分类	代号	电气原理图	特点
多极双通道感应移相器	YS		输出电压幅值恒定、相位与转子转角成线性函数关系
无接触式双通道旋变发送机	XFSW		没有电刷滑环,长寿命、高可靠
无接触式双通道旋变变压器	XBSW		没有电刷滑环,长寿命、高可靠
磁阻式多极旋转变压器	XUS XU		基于磁阻变化原理,输入输出绕组均在定子方,转子无绕组,长寿命,高可靠

## 9.2 主要技术数据

双通道旋转变压器的主要技术数据见表 4.4.138 至表 4.4.141 所示。

表 4.4.138 XFS 系列双通道旋变发送机技术数据

1) 装配式													
型号	极对数		励磁频率 (Hz)		励磁电压 (V)		输出电压 (V)		输入阻抗 ( $\Omega$ )		电气误差 ( $^{\circ}$ )或( $'$ )		
	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	
45XFS002	1	8	2000	2000	36	36	16	16	1500	700	$\pm 30'$	$\pm 45'' \sim \pm 1'30''$	
70XFS003	1	30	400	400	36	36	12	12	5000	140	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 30''$	
110XFS001	1	25	1000	1000	26	26	12	12	3880	210	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS005	1	30	400	400	36	36	16	16	3000	200	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS007	1	32	400	400	15	15	7	7	1000	150	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 15''$	
110XFS008	1	32	400	400	26	26	8	8	2000	190	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS009	1	64	1000	1000	26	26	5	5	6000	150	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS013	1	36	400	400	36	36	12	12	2500	200	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS014	1	64	2000	2000	26	26	8	8	2200	170	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS017	1	36	400	400	26	26	11.8	11.8	1300	100	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS019	1	32	400	400	26	26	11.8	11.8	2000	190	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
130XFS002	1	30	400	400	36	36	16	16	4500	172	$\pm 10'$	$\pm 15''$	
2) 分装式													
50XFS001	1	8	400	400	26	26	11.8	11.8	2400	130	$\pm 30'$	$\pm 25'' \sim \pm 1'30''$	
70XFS005	1	16	500	500	36	36	7.2	7.2	2000	200	$\pm 30'$	$\pm 45''$	
70XFS006	1	16	400	400	36	36	12	12	3000	200	$\pm 30'$	$\pm 20'' \sim \pm 45''$	
70XFS007	1	16	400	400	36	36	12	12	3000	200	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 45''$	
70XFS008	1	16	1000	1000	10	10	4.3	4.3	2000	200	$\pm 30'$	$\pm 45''$	
72XFS001	1	32	1000	1000	26	26	11.8	11.8	5990	460	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 20''$	
72XFS002	1	32	400	400	26	26	11.8	11.8	5000	380	$\pm 30'$	$\pm 20''$	
78XFS001	1	16	400	400	36	36	11.8	11.8	2230	180	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 25''$	
78XFS002	1	32	400	400	36	36	11.8	11.8	2850	260	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 20''$	
110XFS004	1	36	1000	1000	36	36	16	16	2000	2000	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS010	1	64	1000	1000	26	26	5	5	4900	130	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS011	1	64	500	500	16	16	3	3	3100	100	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS012	1	32	400	400	36	36	12	12	2900	190	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS015	1	64	1000	1000	16	16	3	3	5000	150	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS016	1	36	400	400	26	26	11.8	11.8	1300	100	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS018	1	36	400	400	26	26	11.8	11.8	1420	105	$\pm 15'$	$\pm 5'' \sim \pm 15''$	
110XFS021	1	36	400	400	26	26	11.8	11.8	3660	300	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
110XFS022	2	36	400	400	26	26	11.8	11.8	5000	300	$\pm 15'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
130XFS001	1	30	400	400	36	36	16	16	4500	170	$\pm 10'$	$\pm 15''$	
130XFS004	1	25	1000	1000	26	26	12	12	2740	220	$\pm 10'$	$\pm 10''$	
130XFS007	1	60	400	400	36	36	16	16	4000	110	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
200XFS004	1	64	400	1000	26	26	8	8	7000	200	$\pm 30'$	$\pm 7'' \sim \pm 15''$	
250XFS001	1	64	400	1000	26	26	8	8	5000	200	$\pm 30'$	$\pm 10''$	
320XFS001	1	64	400	1000	26	26	8	7	5000	200	$\pm 20'$	$\pm 2'' \sim \pm 10''$	
320XFS002	1	64	400	400	26	26	12	12	5000	200	$\pm 20'$	$\pm 5'' \sim \pm 10''$	

表 4.4.139 XBS 系列双通道旋转变压器技术数据

1) 装配式													
型 号	极对数		励磁频率 (Hz)		励磁电压 (V)		输出电压 (V)		输入阻抗 ( $\Omega$ )		电气误差 (')或('')		
	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	
70XBS003	1	16	400	400	12	12	6	6	2200	180	$\pm 30'$	$\pm 20'' \sim \pm 50''$	
110XBS001	1	25	1000	1000	12	12	8	8	1700	2100	$\pm 30'$	$\pm 30''$	
110XBS005	1	30	400	400	36	36	24	24	17000	11000	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 20''$	
2) 分装式													
70XBS001	1	15	400	400	16	16	8	11	-	-	$\pm 5'$	$\pm 21''$	
110XBS006	1	32	400	400	15	15	5	5	4200	200	$\pm 30'$	$\pm 30''$	
110XBS007	1	36	2400	2400	10	10	3	3	10000	350	$\pm 30'$	$\pm 15'' \sim \pm 30''$	
130XBS002	1	25	1000	1000	26	26	5	5	-	-	$\pm 30'$	$\pm 30''$	
130XBS005	1	20	400	400	7	7	5	5	4000	500	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 30''$	

表 4.4.140 YS 系列双通道感应移相器技术数据

1) 装配式													
型 号	极对数		励磁频率 (Hz)		励磁电压 (V)		输出电压 (V)		输入阻抗 ( $\Omega$ )		电气误差 (')或('')		
	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	
45YS001	1	8	2000	2000	36	36	11.3	11.3	1300	730	$\pm 30'$	$\pm 1' \sim \pm 2.5'$	
110YS001	1	32	400	400	15	15	7	7	1000	150	$\pm 30'$	$\pm 25'' \sim \pm 45''$	
110YS003	1	32	1000	1000	15	15	5	5	600	190	$\pm 15' \sim \pm 30'$	$\pm 25'' \sim \pm 45''$	
110YS004	1	32	2000	2000	15	15	5	5	2650	150	$\pm 30'$	$\pm 25'' \sim \pm 45''$	
2) 分装式													
70YS001	1	16	1000	1000	15	15	5	5	4200	120	$\pm 30'$	$\pm 1'$	
110YS007	1	36	1000	1000	10	10	3	3	1800	200	$\pm 30'$	$\pm 25'' \sim \pm 45''$	

表 4.4.141 XFSW 系列无接触双通道旋转变压器技术数据  
XBSW 发送机 变压器

1) 装配式												
型 号	极对数		励磁频率(Hz)		励磁电压(V)		输出电压(V)		输入阻抗( $\Omega$ )		电气误差(')或('')	
	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机
110XFSW001	1	32	400	400	12	12	12	8	5200	390	$\pm 30'$	$\pm 20''$
110XFSW003	1	32	400	400	36	36	12	12	150	150	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 20''$
110XFSW004	1	32	400	400	26	26	11.8	11.8	120	120	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 15''$
110XBSW002	1	36	400	400	11.8	11.8	11.8	8	4000	300	$\pm 30'$	$\pm 20''$
2) 分装式												
110XFSW005	1	32	400	400	26	26	11.8	11.8	120	120	$\pm 30'$	$\pm 10'' \sim \pm 20''$
180XFSW001	1	32	400	400	36	36	12	12	150	150	$\pm 30'$	$\pm 5'' \sim \pm 15''$

表 4.4.142 磁阻式多极双通道旋转变压器技术数据

型 号	励磁电压(V)	励磁频率(Hz)	极对数		电气误差(')或('')		输出电压(V)		零相位误差(')	相位细分误差(')
			粗机	精机	粗机	精机	粗机	精机		
36XUS001	36	400	1	32	50'	3'	0.4	0.8	-	-
45XDW002	26	400	-	32	-	2'	-	-	-	-
55XUS002	26	31500	1	64	40'	3'	0.9	1.5	-	-
55XUS004	26	400	1	60	30'	40''	1	1.5	-	-
70XSW001	26	400	1	64	15'	20''	1	1	-	-
70XU002 (分装式)	12	1000	-	64	-	50''	0.5		-	-
70XU002 多极移相器	12	1000	-	64	-	-	1		1	1.5

### 9.3 双通道旋转变压器的外形和安装尺寸

见图 4.4.48 所示。



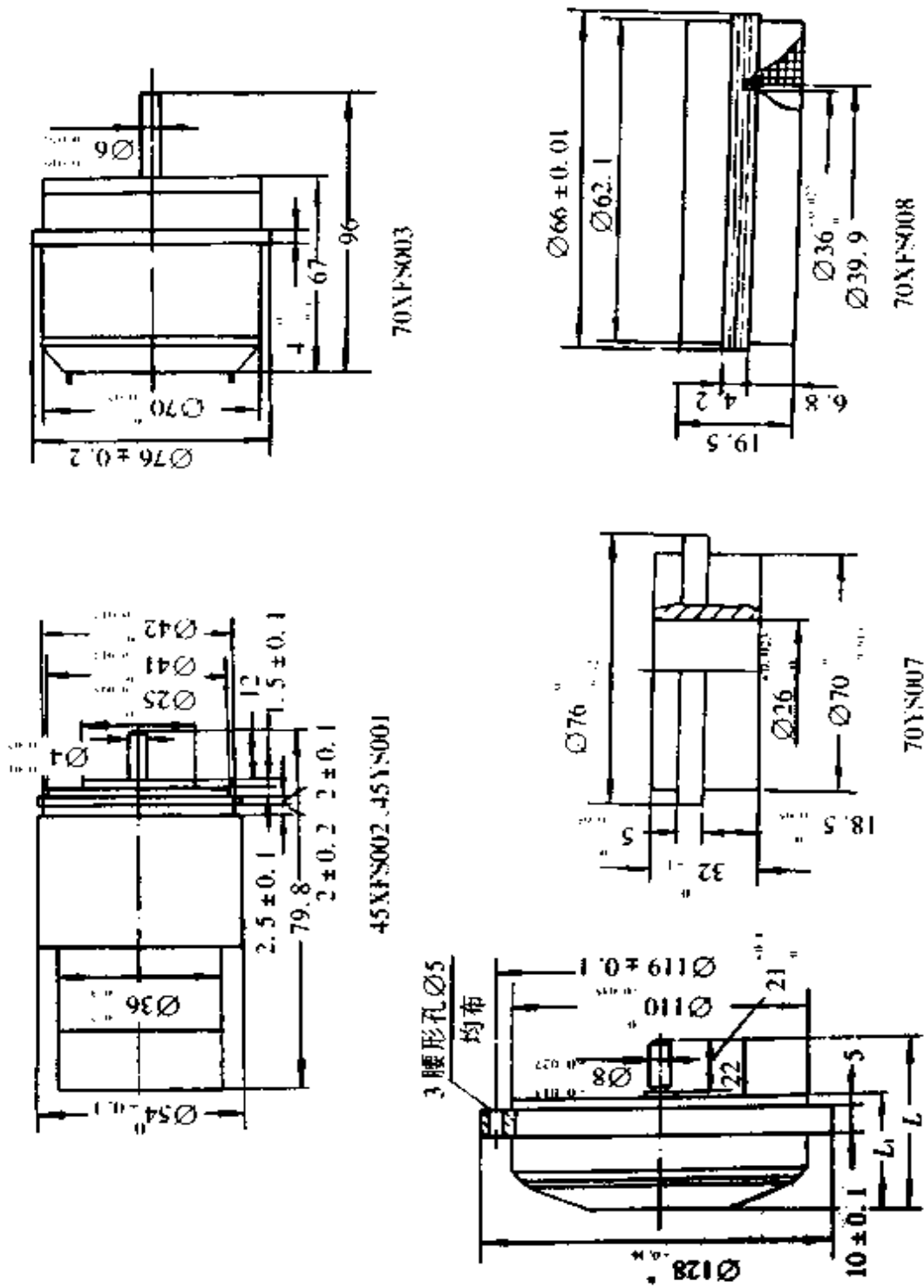


图 4.4.48 双通道旋转变压器的外形和安装尺寸(一)

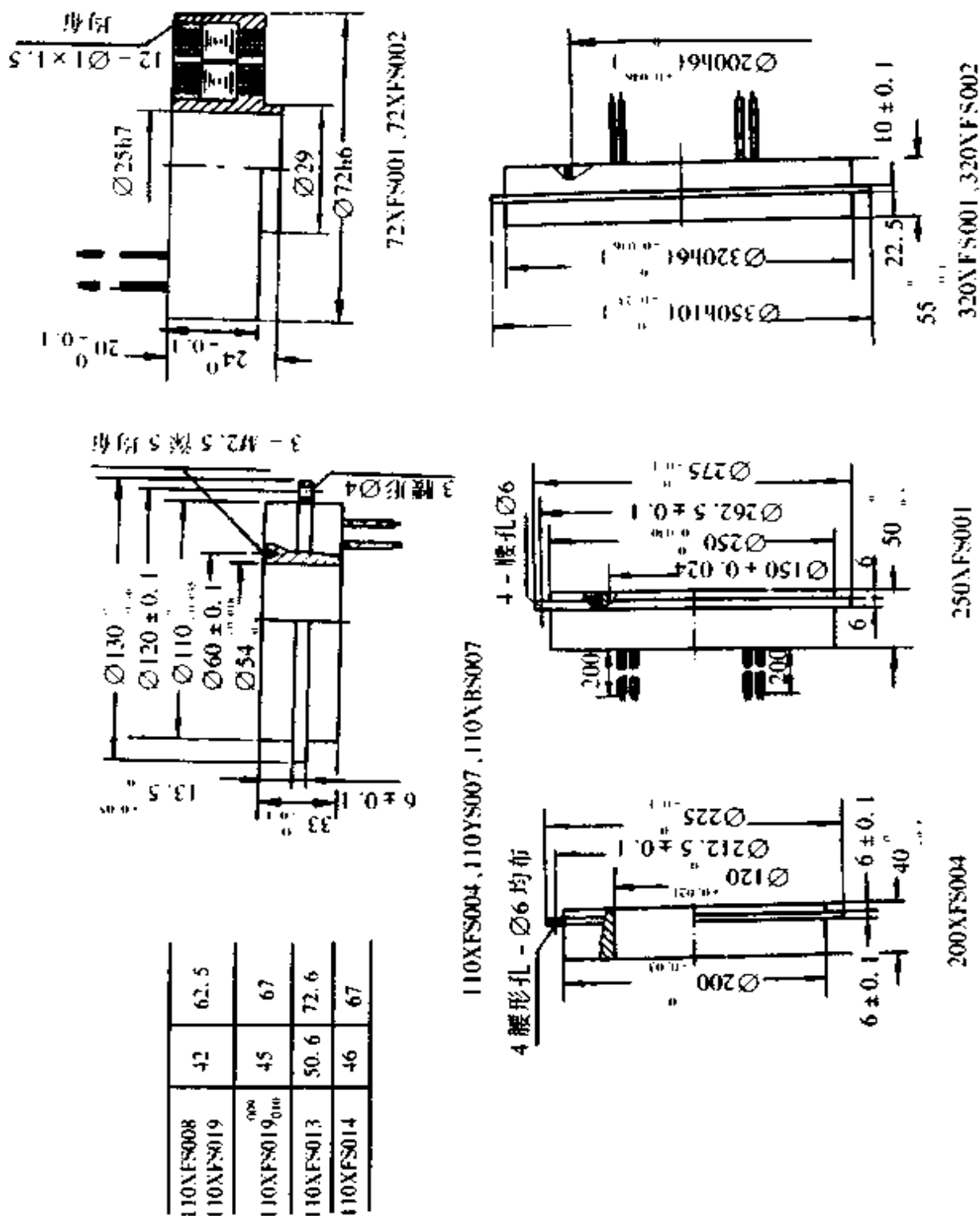


图 4.4.48 双通道旋转变压器的外形和安装尺寸(二)

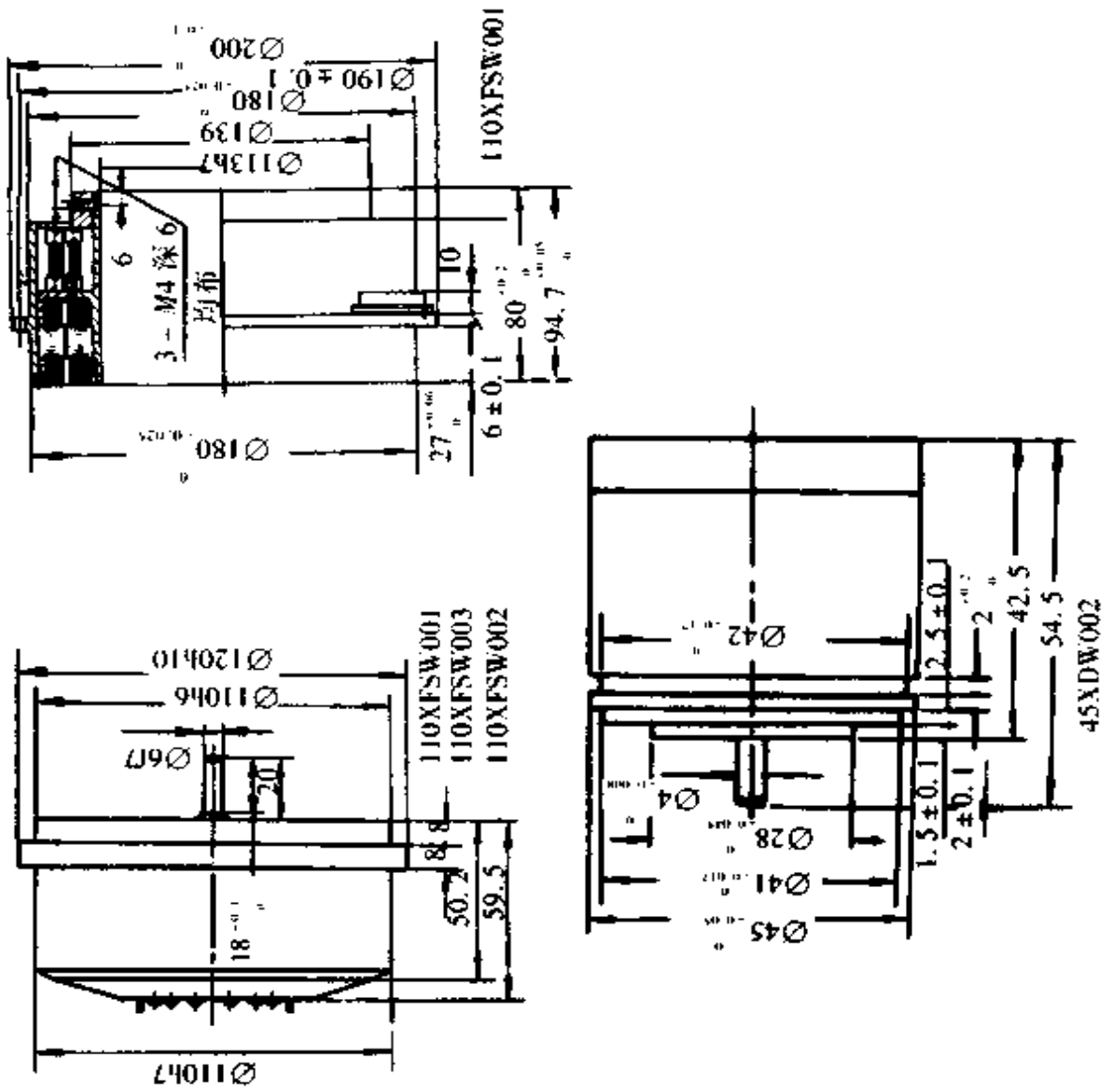
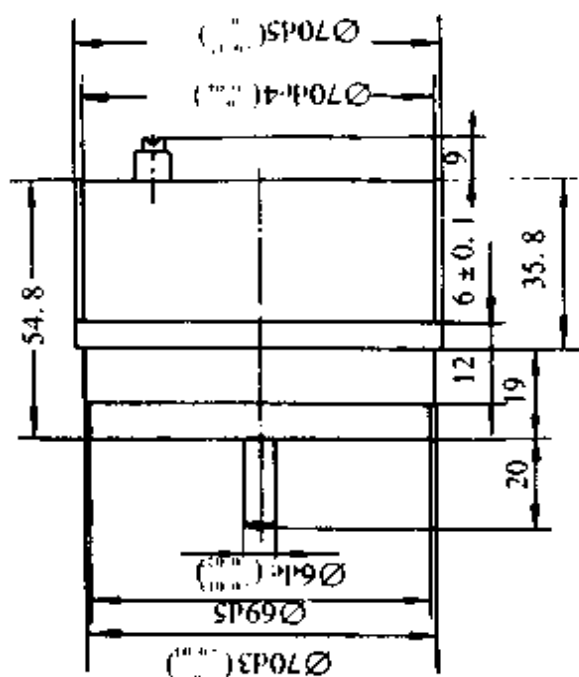
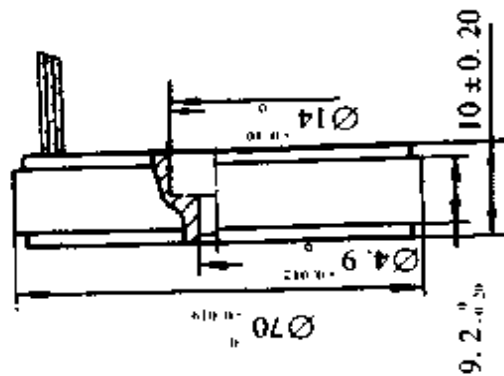


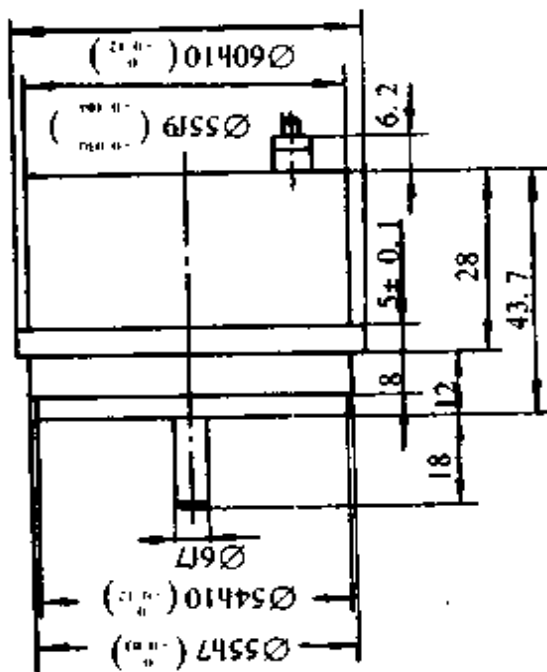
图 4.4.48 双通道旋转变压器的外形及安装尺寸(三)



70XU002



70XSW001, 70XU002



55XUS002, 55XUS004

图 4.4.48 双通道旋转变压器的外形及安装尺寸(四)

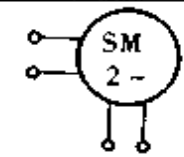
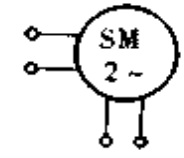

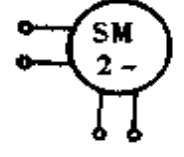
## 10 伺服电动机

伺服电动机系转子的机械运动受输入电信号控制作快速反应的电动机。按使用的电源可分为直流伺服电动机和交流伺服电动机两类。伺服电动机主要在自动控制系统中用作执行元件。

### 10.1 分类、特点与用途

伺服电动机的分类、特点与用途见表 4.4.143 所示。

表 4.4.143 伺服电动机的分类、特点与用途

分 类	结构特点	性能特点	使用范围	代号	电气原理图	
交 流 伺 服 电 动 机	鼠笼型	转子为鼠笼结构	具有体积小、工作可靠等优点,低速运转时不够平滑	小功率自动控制系统中	SL	
	齿轮减速鼠笼型	转子为鼠笼结构,带有齿轮减速器	与鼠笼型相同,可直接与负载相连接	小功率自动控制系统中	SL-J	
	非磁性杯型	用非磁性金属铝、紫铜等制成杯形转子,杯的内外由内外定子构成磁路	转子惯量小;运转平滑,无抖动现象;励磁电流和体积较大	要求运行平滑的系统,如积分电路等	SK	
	带有定位装置鼠笼型	转子为鼠笼结构,带有定位装置	仅能单方向旋转		SL-D	

续表

分 类	结构特点	性能特点	使用范围	代号	电气原理图
有槽电枢 (电磁或永磁)	同一般直流电动机的结构相似,但电枢铁心长度与直径之比值大,气隙较小	有下降的机械特性和线性的调节特性,响应快	一般直流伺服系统	SY	
无槽电枢 (电磁式或永磁)	电枢铁心为光滑的圆柱体,电枢绕组用耐热环氧树脂固定在铁心表面,气隙大	除具有一般直流伺服电动机的特性外,其转动惯量小,机电时间常数小,换向良好	用在需快速动作,功率较大的伺服系统	SY	
齿轮减速式	带有齿轮减速器	可直接与负载连接	用在需快速动作,功率较大的伺服系统	SY-J	
空心杯形电枢 (永磁式)	电枢绕组用环氧树脂浇注成杯形,空心杯电枢内外两侧均有铁心构成磁路	时间常数小,换向好,低速运转平滑	用在需要快速动作的伺服系统	SYK	
永磁式直线伺服电动机	可动部分为动圈,亦称音圈电机	作直线运动	作直线运动的控制电机	SZX	
印刷绕组电枢 (永磁式)	磁极轴向安装,具有扇形面的极靴。电枢为圆盘绝缘薄板,上面印制裸露的绕组,电枢没有铁心,定子采用铝镍钴磁钢或铁氧体磁钢,一般不另设换向器,而由电刷与电枢绕组表面一层的直线部分直接滑动接触	电机转矩平滑,无齿槽效应,火花小,脉冲转矩大,散热性能好,机电时间常数小,低速运转性能好	用于低速和启动反转频繁的系统	SN	
无刷电枢 (永磁式)	没有机械换向器和电刷,它以电子换向装置代替一般直流电动机的机械换向装置。它由电动机本体、位置传感器及电子换向开关电路三个基本部分组成	调速性能平稳,范围宽,噪音低,可靠性高,寿命长,无换向火花,对无线电无干扰	适用于宇宙飞船,人造卫星,低噪音摄影机,精密仪器仪表的驱动装置等		

## 10.2 主要技术数据

### 10.2.1 SL 系列交流伺服电动机技术数据

见表 4.4.144 所示。

表 4.4.144 SL 系列交流伺服电动机的技术数据

型号	电压 励磁/控制 (V)	频率 (Hz)	堵转电流 励磁/控制 (mA)	堵转输入 功率 励磁/控制 (W)	输出 功率 (W)	堵转 转矩 (N·m)	空载 转速 (r/min)	极数	机电 时间 常数 (ms)
20SL003	36/36	400	115/115	2.7/2.7	0.5	$166.6 \times 10^{-5}$	9000	4	-
20SL004	36/36	400	110/110	2.8/2.8	0.32	$156.8 \times 10^{-5}$	6000	6	-
20SL005	26/26	400	143/143	3.3/3.3	0.23	$147 \times 10^{-5}$	6000	6	-
24SL001	36/36	400	180/180	4/4	1	$313.6 \times 10^{-5}$	9000	4	-
24SL002	36/36	400	167/167	3.6/3.6	0.7	$323.4 \times 10^{-5}$	6000	6	-
28SL003	115/115	400	80/80	5.7/5.7	2	$576 \times 10^{-5}$	9000	4	20
28SL004	115/115	400	66/66	4.7/4.7	0.6	$490 \times 10^{-5}$	6000	6	10
28SL005	115/36	400	90/300	6/6	1.1	$576 \times 10^{-5}$	6000	6	10
36SL004	36/36	400	415/415	8/8	1.4	$1176 \times 10^{-5}$	4800	8	-
36SL005	115/115	400	200/200	7.7/7.7	2.8	$842.8 \times 10^{-5}$	9000	4	36
36SL006	115/36	400	130/415	7/8	1.7	$1176 \times 10^{-5}$	4800	8	17
36SL010	115/36/18	400	170/550	9/9	1.8	$1176 \times 10^{-5}$	4800	8	<20
45SL001	115/36	400	290/930	18/18	4	$1770 \times 10^{-5}$	9000	4	-
45SL002	115/36	400	255/800	12/12.75	2.5	$2352 \times 10^{-5}$	4800	8	16
55SL001	115/115	400	600/600	36/36	13	$3920 \times 10^{-5}$	9000	4	-
55SL002	36/36	400	1700/1700	38/38	15	$4410 \times 10^{-5}$	9000	4	20
55SL003	115/115	400	610/610	20/20	7.7	$4557 \times 10^{-5}$	4800	8	15
55SL004	36/36	400	220/220	32/32	7.4	$4312 \times 10^{-5}$	4800	8	15
55SL005	115/115	400	-	-	6	$1960 \times 10^{-5}$	5000	8	-
55SL006	110/110	50	350/350	28/28	7	0.09	2400	2	-
70SL002	115/115	400	1100/1100	55/55	20	$6377 \times 10^{-5}$	9000	4	-
70SL003	115/115	400	1200/1200	55/55	15	$11760 \times 10^{-5}$	4800	8	15
90SL001	115/115	400	1100/1100	70/70	25	$7848 \times 10^{-5}$	9000	4	-
90SL002	115/115	400	1650/1650	68/68	21	0.137	4800	8	-

### 10.2.2 SL-J 型齿轮减速交流伺服电动机技术数据

见表 4.4.145 所示。

表 4.4.145 SL-J 型齿轮减速交流伺服电动机技术数据

型号	电压 励磁/控制 (V)	频率 (Hz)	堵转电流 励磁/控制 (mA)	输出功率 (W)	堵转转矩 (N·m)	空载转速 (r/min)	机电时间 常数 (ms)
70SL004-J <sub>1</sub>	36/36	50	1000	4	0.68	192 ± 15	40
70SL004-J <sub>2</sub>	36/36	50	1100	4	0.49	137 ± 15	40
70SL005-J <sub>1</sub>	36/36	50	-	2.7	-	192	-
70SL005-J <sub>2</sub>	36/36	50	-	2.7	-	137	-

10.2.3 SL-D 型带定位装置的交流伺服电动机技术数据  
见表 4.4.146 所示。

表 4.4.146 SL-D 型带定位装置的交流伺服电动机技术数据

型号	电压 励磁/控制 (V)	频率 (Hz)	堵转电流 励磁/控制 (mA)	堵转输入 功率励磁 /控制(W)	输出 功率 (W)	堵转 转矩 (N·m)	空载 转速 (r/min)	极数
36SL011-D <sub>1</sub> (36SL011)	115/115	400	-	-	1.2	$980 \times 10^{-5}$	4800	8
45SL007-D <sub>1</sub> (45SL007)	115/115	400	290/290	≤18/18	6	$\geq 1864 \times 10^{-5}$	10500	4
45SL008-D <sub>2</sub> (45SL008)	115/115	400	0.35/0.35	≤25/25	≥2.5	$\geq 1570 \times 10^{-5}$	≥4800	8

10.2.4 SY 系列永磁式直流伺服电动机技术数据  
见表 4.4.147 所示。

表 4.4.147 SY 系列永磁式直流伺服电动机技术数据

型号	额定电压(V)	额定电流 (A)	额定功率 (W)	额定转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)
20SY004	27	0.12	1	4000	-
20SY007	27	0.25	1.6	4000	$3.92 \times 10^{-3}$
24SY001	27	0.33	4.7	7100	-
28SY003	27	0.5	8	6000	-
28SY006	12	0.4	-	4000~5000	$3.92 \times 10^{-3}$
36SY001	24	0.64	8	9000~11000	-
36SY002	24	0.64	8	9000~11000	-
36SY003	28	0.95	-	5500 ± 10%	$21.56 \times 10^{-3}$
40SY001	12	0.3	1.6	4000~4500	$392 \times 10^{-5}$
40SY002	12	0.3	-	4000	-
40SY003	28	2.6	-	6400	$5292 \times 10^{-5}$
40SY004	24	2.5	-	6400	$3430 \times 10^{-5}$
45SY002	36	1.4	19	3000	-
45SY004	27	1.8	30	9000	-



续表

型号	额定电压(V)	额定电流(A)	额定功率(W)	额定转速(r/min)	额定转矩(N·m)
45SY003	27	1.6	24	6000	$3920 \times 10^{-5}$
40SY005	27	1.2	20	3000	$6800 \times 10^{-5}$
56SY002	6	8.5	-	5000	$39.2 \times 10^{-3}$
82SY001	65	12	短时 585(输出)	4000	1.37
110SY002	18	-	50(输出)	1500	-
110SY003	24	0.25 <sup>①</sup>	-	750 <sup>*</sup>	$0.29 \text{N} \cdot \text{m/A}^{\text{②}}$

注:①空载电流,空载转速。

②力矩常数。

10.2.5 SY-J 型齿轮减速永磁式直流伺服电动机技术数据  
见表 4.4.148 所示。

表 4.4.148 SY-J 型齿轮减速永磁式直流伺服电动机技术数据



型号	额定电压(V)	额定电流(A)	齿轮轴端输出		
			减速比	额定转速(r/min)	额定转矩(N·m)
20SY006-J <sub>1</sub>	27	0.16	96.58	$40 \pm \frac{8}{3}$	0.147
20SY008-J <sub>1</sub>	28	0.5	12.67	1000	$39.2 \text{mN} \cdot \text{m}$
24SY002-J <sub>1</sub>	27	0.15	108.17	$65 \pm \frac{8}{3}$	$108 \text{mN} \cdot \text{m}$
40SY005-J <sub>1</sub>	28	1.5	152.47	$37.7 \pm 4$	3.12

10.2.6 SYK 系列空心杯电枢永磁直流伺服电动机技术数据  
见表 4.4.149 所示。

表 4.4.149 SYK 系列空心杯电枢永磁直流伺服电动机技术数据

型号	额定电压(V)	额定电流(A)	空载电流(A)	额定转速(r/min)	空载转速(r/min)	额定功率(W)	额定转矩(N·m)	堵转电流(A)	堵转转矩(N·m)	效率(%)
16SYK001	6	-	0.025	-	15000	-	-	0.18	$649 \times 10^{-5}$	60
20SYK001	12	0.33	0.035	$5400 \pm 600$	6800	1.8	$343 \times 10^{-5}$	1.3	$1471 \times 10^{-5}$	55
22SYK001	12	0.17	0.035	$5000 \pm 500$	$6000 \pm 600$	-	$196 \times 10^{-5}$	0.8	$882 \times 10^{-5}$	-
24SYK001	12	0.4	-	3000	-	2	-	-	-	50~80
24SYK002	12	-	-	4800~6000	-	-	$343 \times 10^{-5}$	-	$1078 \times 10^{-5}$	53

续表

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	空载电流 (A)	额定转速 (r/min)	空载转速 (r/min)	额定功率 (W)	额定转矩 (N·m)	堵转电流 (A)	堵转转矩 (N·m)	效率 (%)
24SYK004	12	0.4	-	2500	-	-	$490 \times 10^{-5}$	-	-	-
28SYK001	24	0.6	0.06	9300	12000	-	-	3	$3728 \times 10^{-5}$	60
28SYK002	27	0.55	-	6000~6900	-	-	$980 \times 10^{-5}$	-	-	-
30SYK001	9	<0.6	<0.07	$3800 \pm 500$	<6000	-	$490 \times 10^{-5}$	<1.8	0.016	-
36SYK003	12	<2	-	$6000 \pm 600$	-	-	$2453 \times 10^{-5}$	-	$9810 \times 10^{-5}$	65
70SYK001	24	3.8	-	4600	7000	50	0.103	11	0.294	-

## 10.2.7 SZX 型永磁式直线伺服电动机技术数据

见表 4.4.150 所示。

表 4.4.150 SZX 型永磁式直线伺服电动机技术数据

型号	工作电压 (V)	电流 (A)	比推力 (N/A)	不均匀度 (%)	电阻 ( $\Omega$ )	电感 (mH)	漏磁场 (T)	工作行程 (mm)	
								有效行程	附加行程
80SZX001	45	2	推力 $\geq 34.3\text{N}$	1	-	-	$\leq 5 \times 10^{-4}$	2	
100SZX001	12	$\leq 1$	推力 $13.7\text{N}$	-	-	-	-	$\pm 3.5$	
140SZX001	-	-	$\geq 12$	$\leq \pm 5$	3	-	-	60	40
140SZX002	24	-	推力 $\geq 100\text{N}$	-	$1.6 \pm 0.2$	-	-	50	
145SZX001	-	-	13	$\leq \pm 5$	1.5	1	$5 \times 10^{-4}$	52	46
168SZX001	-	20 <sup>①</sup>	14	$\leq \pm 5$	<3	<3	$5 \times 10^{-4}$	52	38
180SZX001	-	-	14	$\leq \pm 10$	-	$\leq 2.5$	$15 \times 10^{-4}$	52	38

注:①为音圈最大电流。

## 10.2.8 SN 型印刷绕组直流伺服电动机技术数据

见表 4.4.151 所示。

表 4.4.151 SN 型印刷绕组直流伺服电动机技术数据



型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	额定功率 (W)
110SN002	24	3	5500~6000	50~60
140SN001	48	5	3600~3800	140~150

## 10.2.9 ZZWT 型直流无刷轴流风机数据

见表 4.4.152 所示。

表 4.4.152 ZZWT 型直流无刷轴流风机数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (mA)	起动电流 (mA)	风量 ( $m^3/min$ )	静压 (Pa)	噪声 (dB)	外形尺寸 (mm)
ZZW106A12	12	$\leq 200$	$\leq 350$	0.35	39.2	42	60×60×25
ZZW108A12	12	$\leq 250$	$\leq 450$	0.8	32.34	42	80×80×25

## 10.2.10 MF 系列直流无刷轴流风机数据

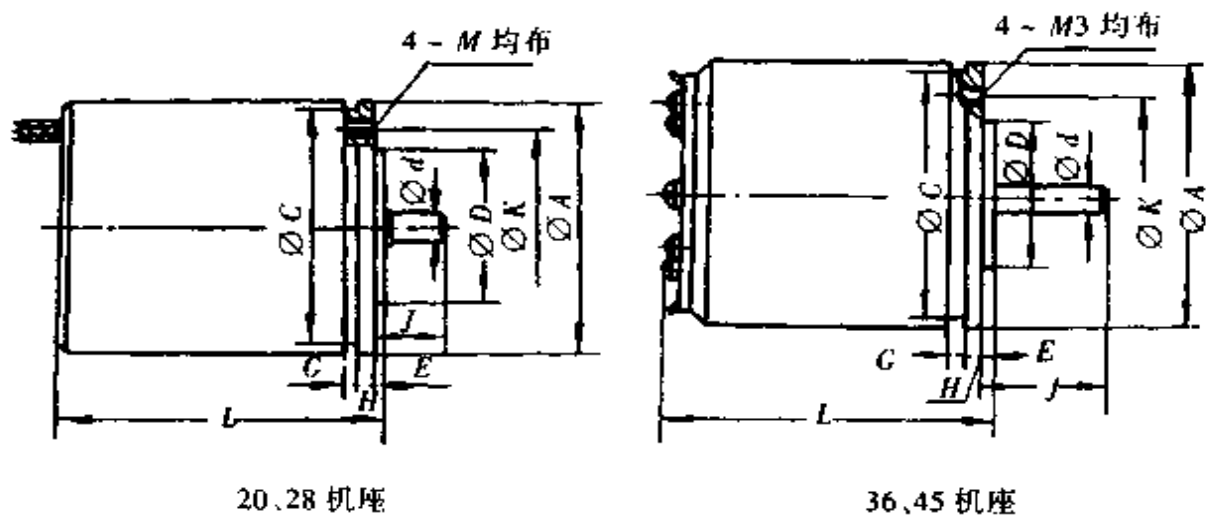
见表 4.4.153 所示。

表 4.4.153 MF 系列直流无刷轴流风机数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	最大风量 ( $m^3/min$ )	最大风压 (Pa)	质量 (g)	外形尺寸 (mm)
MF8025L	12	0.10	0.50	19.6	140	80×80×25
MF8025M	12	0.15	0.70	24.5	140	80×80×25
MF8025H	12	0.20	0.90	29.4	140	80×80×25
MF9225L	12	0.20	0.80	19.6	140	92×92×25
MF9225M	12	0.25	1.00	29.4	140	92×92×25
MF9225L	12	0.30	1.20	39.2	140	92×92×25

## 10.2.11 伺服电动机的外形及安装尺寸

见图 4.4.49 和图 4.4.50。

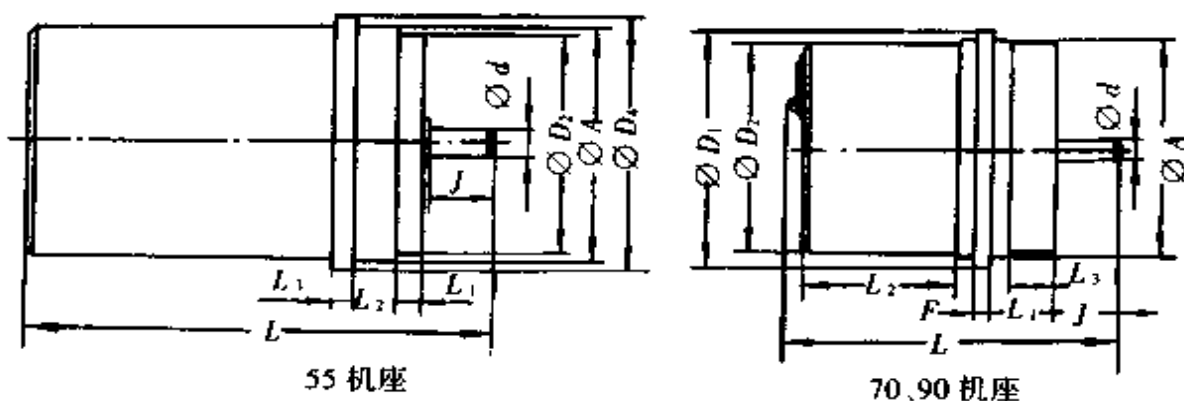


20、28 机座

36、45 机座

尺寸公差	A	D	d	E	G	H	C	K	M	J	L(参考值)
机座号	-	-	-	$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$+0.2$	$-0.1$	$\pm 0.1$	-	-	-
20	20 $^{+0.084}_0$	13 $^{+0.012}_0$	25 $^{+0.006}_0$	1.2	1.2	1.2	18	-	-	10	25
24	24 $^{+0.084}_0$	18 $^{+0.012}_0$	3 $^{+0.006}_0$	1.5	1.5	1.5	22	-	-	12	31
28	28 $^{+0.084}_0$	18 $^{+0.012}_0$	3 $^{+0.006}_0$	1.5	1.5	1.5	26	22	2.5	12	33
36	36 $^{+0.1}_0$	22 $^{+0.014}_0$	4 $^{+0.008}_0$	1.5	2	2.5	34	27	2.5	14	42.50
45	45 $^{+0.1}_0$	25 $^{+0.014}_0$	4 $^{+0.008}_0$	1.5	2	2.5	41	33	3	14	57.5

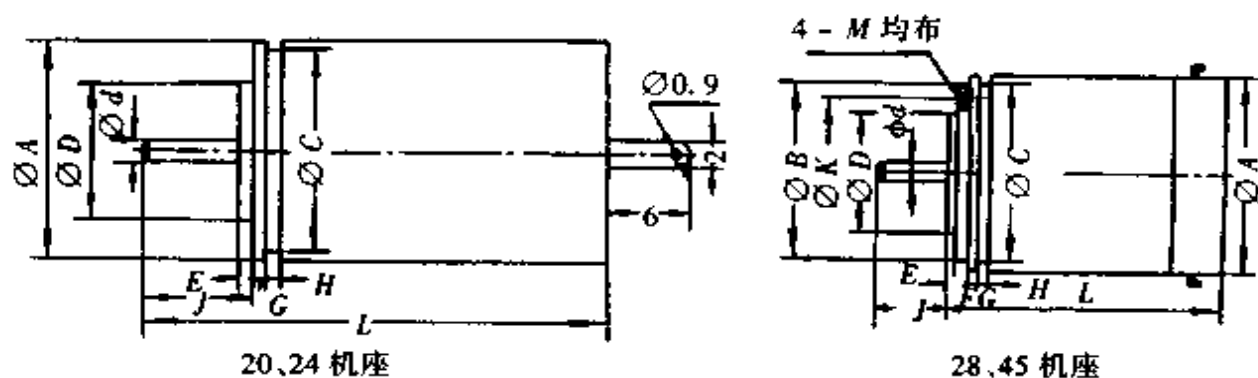
图 4.4.49 (图题见下页)



mm

尺寸 公差	机座号	A	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d	F	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	J	L(参考值)
		-0.023	-	-	-	-	-	-0.05	-	-	-	-
55	55	60	-	54	6	-	8	5	4	16	102	
70	70	76	76 <sup>+0.012</sup>	69 <sup>+0.012</sup>	6 <sup>+0.011</sup> -0.022	6	19	64	13.5	20	115	
90	90	98	98 <sup>+0.014</sup>	89 <sup>+0.014</sup>	8 <sup>+0.013</sup> -0.027	6	24	59	17	24	128	

图 4.4.49 SL 系列伺服电动机外形和安装尺寸



mm

尺寸 公差	机座号	A	B	C	D	d	E	F	G	H	K	M	J	L
		-	-	-0.1	-	-	-	±0.1	±0.1	±0.1	+0.2	±0.1	-	-
20SY004	20 <sup>+0.084</sup>	-	18	13 <sup>+0.012</sup>	2.5 <sup>+0.006</sup>	1.2	-	1.2	1.2	-	-	10	50.8	
24SY001	24 <sup>+0.084</sup>	-	22	18 <sup>+0.012</sup>	3 <sup>+0.006</sup>	1.5	-	1.5	1.5	-	-	12	51.5	
28SY003	28 <sup>+0.084</sup>	26 <sup>+0.014</sup>	26	18 <sup>+0.012</sup>	3 <sup>+0.006</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5	22	2.5	12	49	
45	45 <sup>+0.1</sup>	41 <sup>+0.017</sup>	41 42	25 <sup>+0.014</sup>	4 <sup>+0.006</sup>	1.5	2.5	2	2	33	3	14	69.7 71.2	

图 4.4.50 SY 系列伺服电动机外形和安装尺寸

## 11 测速发电机





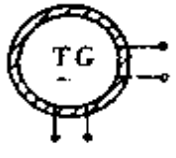
测速发电机是一种将转速转换成电信号的控制电机,其输出的电信号(电压)与转速成正比。测速发电机有交流测速发电机和直流测速发电机两类。交流测速发电机分为同步测速发电机和异步测速发电机。直流测速发电机按励磁方式可分为电磁(他励)式 and 永磁式,按速度可分为低速和一般速度直流测速发电机。

测速发电机在自动控制系统中用作伺服机构检测元件,在位置系统中用作速度反馈元件,在解算装置中用作微分和积分元件,也可代替测速计作速度和加速度的直接测量。


### 11.1 分类和特点

测速发电机的分类和特点见表 4.4.154 所示。

表 4.4.154 测速发电机的分类和特点

类型	名称	特点	代号、电气原理图
直 流 测 速 发 电 机	永磁式直流测速发电机	由磁钢励磁的直流测速发电机,是一种把机械旋转量转换成直流电信号(电压)的信号元件,工作转速每分钟数千转以上	
	永磁式低速直流测速发电机	由磁钢励磁的直流测速发电机,是一种把机械旋转量转换成直流电信号(电压)的信号元件,工作转速每分钟数千转以上 工作转速可低达每分钟数十转或数百转	
	无刷有限转角直流测速发电机	是一种新颖无刷直流测速发电机,为无槽电枢结构,具有输出斜率高,无齿槽脉动,无换向接触,工作可靠,结构简单等特点	
	直线测速发电机	是一种输出电压与直线运动成比例的信号元件	
交流测速	空心杯转子异步测速发电机	其转子为空心杯形转子,输出电压的频率与励磁频率一致。幅值与转速成正比。它结构简单,尺寸小,精度高	

续表

类型	名称	特点	代号、电气原理图
交流发电机 交流测速机	交流同步测速发电机	其转子是由永磁体做成,其输出电压和频率与转速成正比,结构与同步电动机类似,在自动控制系统中作直接测量转速用	

## 11.2 主要技术数据

### 11.2.1 CY型永磁式直流测速发电机的技术数据

见表 4.4.155 所示。

表 4.4.155 CY型永磁式直流测速发电机技术数据

型号	输出斜率 ( $10^{-3}V/r \cdot \min^{-1}$ )	纹波系数 (%)	最大线性工作转速 (r/min)	线性误差 (%)	电枢电阻 $\pm 12.5\%$ ( $\Omega$ )
20CY002	3	1	0~3500	1.2~3	120
28CY001	7	3(在 100r/min 下)	0~12000	0.1	580
36CY001	10	1	0~6000	0.5~0.1	160
45CY002	15	3	0~3600	0.1	50
45CY003	15	3	0~3600	0.1	50
45CY004	15	3	0~3600	0.1	50
75CY001	120	$\leq 1$	0~2500	$\leq 1$	190
96CY001	60	5	0~4000	0.5	150

注:45CY002 为双轴伸结构。

### 11.2.2 CYD系列永磁式低速直流测速发电机技术数据

见表 4.4.156 所示。

表 4.4.156 CYD系列永磁式低速直流测速发电机技术数据

型号	输出斜率 ( $V/r \cdot \min^{-1}$ )	纹波系数 (%)	最大线性工作转速 (r/min)	电枢电阻 ( $\Omega$ )	输出斜率不对称度 (%)
70CYD001	0.25	$< 5$	150	1200	-
133CYD001	1.57	$\leq 2$	30	2500	$\leq 1$
140CYD001	1.047	4	50	2000	-
160CYD001	2.6	1	55	1150	$< 1$
160CYD002	0.9	1	20	280	1
160CYD004	3	1.5	50	1500	1
170CYD002	2.0	1.5	50	2100	1
170CYD003	$\geq 0.6$	$< 1.5$	160	500	1
170CYD004	$> 3$	$< 1.5$	30	2300	1
220CYD001	8.0	0.5	19	4200	0.5

## 11.2.3 CW型无刷有限转角直流测速发电机技术数据

见表4.4.157所示。

表4.4.157 CW型无刷有限转角直流测速发电机技术数据

型号	输出斜率 (V/rad·s <sup>-1</sup> )	平顶转角范围 (°)	输出幅值误差(%)				线性误差 (%)	电阻 (Ω)
			±40°	±30°	±20°	±10°		
55CW001	0.4	±30	-	<4	<3	<1.5	±2	2000
90CW002	2.4	±40	<10	<5	<3	<2	±2	<8000

## 11.2.4 CX型直线测速发电机技术数据

见表4.4.158所示。

表4.4.158 CX型直线测速发电机技术数据

型号	输出斜率 (mV/mm·s <sup>-1</sup> )	纹波系数 (%)	输出电压 不对称度 (%)	直线速度范围 (m/s)	直流电阻 (kΩ)	工作行程 (mm)
11CX001	1.8~1.9	≤5	-	0~2	0.8	72
12.7CX001	4±10%	<5	-	-	3	>23
16CX001	>6	<3(半峰值)	-	0~2	<1	>60
20CX002	>8	<3	<1	0.005~0.010	<1	±10
20CX004	>4.0	±1.5	-	0~2	2.4	±30
20CX006	>4	<3	-	0~2	2.4	±50

## 11.2.5 CK系列空心杯转子异步测速发电机技术数据

见表4.4.159所示。

表4.4.159 CK系列空心杯转子异步测速发电机技术数据

型号	励磁电压 (V)	电源频率 (Hz)	励磁电流 (mA)	输出斜率 (10 <sup>-3</sup> ·V/ r·min <sup>-1</sup> )	零位电压 (mV)	线性误差 (%)	最大线性 工作转速 (r/min)
20CK001	36	400	-	0.6	30	0.1	3600
24CK001	36	400	51	0.8	≤20	0.1	3600
28CK001	115	400	30	1.5	50	0.1	-
36CK001	115	400	<38	2	<30	0.1	3600
36CK002	36	400	25	1	<25	<0.2	-
45CK001	115	400	<40	3	<30	0.1	3600
45CK002	115	400	38	2	50	0.1	3600

## 11.2.6 CT型同步测速发电机技术数据

见表4.4.160所示。

表4.4.160 CT型同步测速发电机技术数据

型号	输出电压 (V)	线性误差 (%)
55CT001	2.4(3000r/min时)	2

## 11.3 应用

### 11.3.1 产品选择

选择测速发电机时,应根据它在系统中所起的作用而提出不同的技术指标。例如,用作计算元件时,应着重考虑线性误差要小和电压稳定性好;用于一般转速检测或作阻尼元件时,应着重考虑其输出斜率要高,而不宜既要线性误差小,又要输出斜率高。

对于使用直流或交流测速发电机都能满足要求时,则需考虑到直流测速发电机的优缺点,全面权衡。

与交流测速发电机比较,直流测速发电机的主要优点是:

- (1)不存在输出电压相位移问题。
- (2)输出为零时,无剩余电压。
- (3)输出斜率大,负载电阻较小。
- (4)温度补偿比较容易。

主要缺点是:

- (1)由于有电刷和换向器,构造和维护比较复杂,摩擦转矩较大。
- (2)输出电压有纹波。
- (3)正反转输出电压不对称。
- (4)对无线电有干扰。

选用直流测速发电机时,应参考下述诸点来确定选永磁式还是电磁式产品。

#### 电磁式

- (1)有励磁损耗,效率低;
- (2)易于温度补偿;
- (3)磁场不受振动影响。

#### 永磁式

- (1)无励磁损耗,效率较高;
- (2)不易进行温度补偿;
- (3)磁场会受机械振动影响。

### 11.3.2 使用注意事项

(1)在使用中,为保证其线性误差不超过规定,转速不应超过产品的最大线性工作转速,负载电阻不应小于规定的最小负载电阻。

(2)为了减小温度变化所引起的输出电压变温误差,可在电磁式直流测速发电机的励磁回路中,串接一个比励磁绕组电阻大几倍的温度系数小的电阻。

## 11.4 外形和安装尺寸

测速发电机的外形和安装尺寸如图 4.4.51 所示。





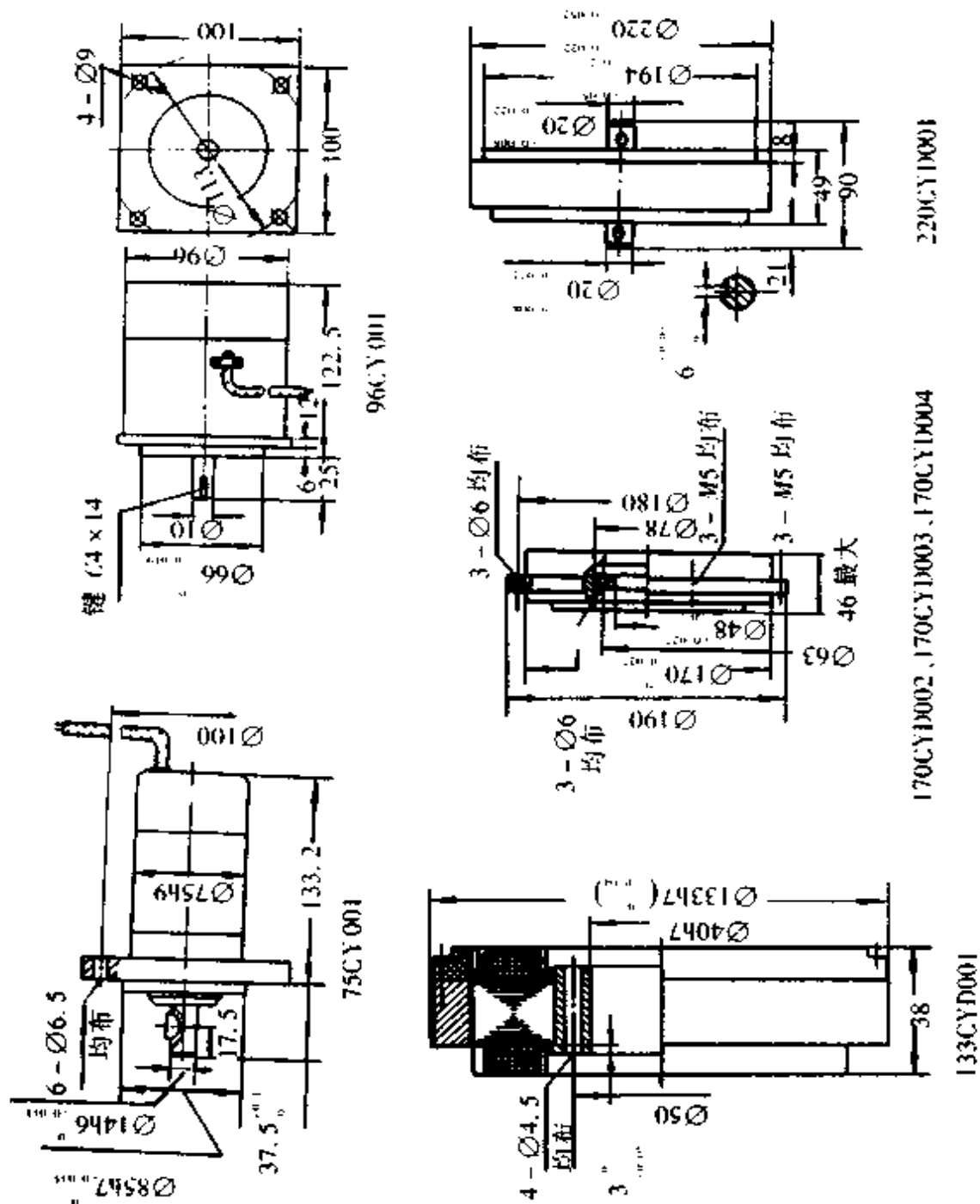


图 4.4.51 调速发电机的外形及安装尺寸(二)



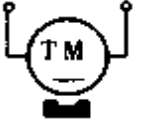
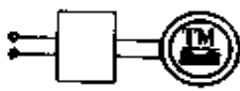

## 12 力矩电动机

力矩电动机是以输出转矩为特征的电动机,这种电动机允许在堵转至额定转速之间运行。

### 12.1 分类、特点与应用范围

见表 4.4.161 所示。

表 4.4.161 力矩电动机的分类、特点及应用范围

分 类	代号	电气原理图	结构特点	性能特点	应用范围
交流力矩电动机	三相	AJ	与小功率异步电动机的结构基本相同,转子有鼠笼型和实心型两种,转子电阻较一般异步电动机大得多,因此具有较小的转子槽面积,目前主要使用的转子导条材料有黄铜、紫铜、铝锰合金及纯铝等	机械特性较软,具有宽广的调速范围,电动机的堵转转矩大,而堵转电流小,可以在空载、负载和堵转各种状态下运行	1. 卷绕:用于要求恒功率驱动 2. 开卷:产生一个均匀的制动力,使开卷物在一定的拉力下,始终保持拉紧 3. 堵转:用于开启阀门,调节流量等
	单相	DJ			
	三相齿轮减速	AJC			
直流力矩电动机	永磁式	LY	  	能长期处于堵转状态下工作,转速低,输出力矩大,可不经减速器直接驱动负载,具有良好的低速平稳性和线性的调节特性及机械特性 无刷式还具有无换向火花,长寿命,无电磁干扰及维修方便等优点	在位置和速度伺服系统中用作执行元件
	无刷式	LW			
	永磁式有限转角无刷	LW			

### 12.2 使用注意事项

- (1) 稳定温升时允许最大堵转转矩一定要大于连续堵转转矩。
- (2) 定子中的转子取出后,定子要用磁短路环保磁,以避免引起磁钢退磁。
- (3) 在短时间内电流允许大于连续堵转电流,但不允许超过峰值电流,以避免磁钢去磁,使转矩下降。如果磁钢去磁,需重新充磁后电机才能正常使用。

## 12.3 主要技术数据

### 12.3.1 交流力矩电动机的技术数据

见表 4.4.162 至表 4.4.164 所示。

表 4.4.162 三相力矩电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	堵转电流 (A)	堵转转矩 (N·m)	空载转速 (r/min)	备 注
AJ5618-3	380	50	0.15	0.3	700	双轴伸
AJ5618-5	380	50	0.20	0.5	700	双轴伸
AJ5628-7	380	50	0.35	0.7	700	双轴伸
AJ5638-10	380	50	0.5	1.0	700	双轴伸
AJ5638B-10	220	50	0.55	1.0	700	双轴伸
AJ6314-10	380	50	0.5	1.0	1300	自扇冷
AJ6324-13	380	50	0.55	1.3	1300	自扇冷
AJ6334B-15	220	50	1.0	1.5	1300	自扇冷
AJ6338-15	380	50	0.6	1.5	700	双轴伸
AJ6338-18	380	50	1.2	1.8	700	双轴伸
AJ6334B-20	220	50	1.15	2.0	1300	自扇冷
AJ6338-20	380	50	1.2	2.0	700	双轴伸
AJ7114B-20	220	50	1.1	2.0	1300	自扇冷

表 4.4.163 小功率单相力矩电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	堵转电流 (A)	堵转转矩 (N·m)	空载转速 (r/min)	备 注
DJ5618-3	220	50	0.8	0.3	700	
DJ6314-5	220	50	1.0	0.5	1200	自扇冷
DJ6334-7	220	50	1.2	0.7	1200	自扇冷
DJ7114-10	220	50	1.8	1.0	1200	自扇冷

表 4.4.164 三相齿轮减速力矩电动机技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	堵转电流 (A)	堵转转矩 (N·m)	空载转速 (r/min)	变 比
AJC5618-80	380	50	0.15	8	22	1:30
AJC5618-140	380	50	0.20	14	22	1:30
AJC5618-200	380	50	0.25	20	22	1:30
AJC5638-280	380	50	0.35	28	22	1:30
AJC6338-400	380	50	0.38	40	22	1:30
AJC6334-580	380	50	0.5	58	40	1:30

## 12.3.2 LY系列永磁式直流力矩电动机的技术数据

见表4.4.165所示。

表4.4.165 LY系列永磁式直流力矩电动机的技术数据

型号	连续堵转电压 (V)	连续堵转电流 (A)	连续堵转转矩 (N·m)	峰值堵转电压 (V)	峰值堵转电流 (A)	峰值堵转转矩 (N·m)	空载电流 (A)	空载转速 (r/min)
45LY001	10~18	0.6	0.04	20~28	1.2	0.08	( $U_0=12V$ )0.1 ( $U_0=24V$ )0.13	( $U_0=12V$ )1100 ( $U_0=24V$ )2200
45LY003	10~18	0.6	0.05	20~28	1.2	0.1	( $U_0=12V$ )0.1 ( $U_0=24V$ )0.13	( $U_0=12V$ )1100 ( $U_0=24V$ )2200
60LY003	26±4	0.8	0.167	52±7	1.6	0.314	-	1200
60LY004	27	1.2	0.196	-	-	-	-	1200
80LY007	25±3	1	0.49	68±8	2.5	1.28	0.08	450
80LY013	25	1	0.49	60	2.5	1.2	-	-
150LY001	20±3	2	0.98	60±9	6	2.94	-	1167
150LY005	175	0.6	1.5	-	-	-	-	420
40LY001	22±4	0.054	0.008	-	-	-	-	>800
40LY002	6	<0.1	0.004	-	-	-	-	270±30
45LY002	10~80	0.6	0.04	20~23	1.2	0.08	-	( $U_0=12V$ )1100
60LY005	30	0.4	0.14	-	-	-	-	550~650
60LY007	27	1.2	-	-	-	0.18	-	-
60LY008	27	<2	0.3	-	-	-	-	<600
60LY009	13	0.9	0.18	27	2	0.343	-	≤1100
60LY010	-	-	-	27	0.6	0.2	-	400~600
60LY011	-	-	-	27	2	0.343	-	≤1100
60LY012	24±4	0.8	>0.167	48±7	1.6	0.314	-	>1500
80LY001	-	-	-	25	1.07	0.65	-	340
80LY008	16	-	0.4	-	-	-	-	400
80LY009	25	1	0.5	60	2.7	1.25	-	450
80LY012	24	-	0.35	-	-	-	-	-
125LY001	27	2	1.17	-	-	-	-	300
150LY004	27	3	1.6	-	-	-	-	≤440
180LY001	18	4.5	11	27	9	20	-	120
180LY002	18	5	15	27	11	28	-	120
200LY003	-	-	-	27	15.5	10	-	360
200LY004	-	-	-	27	8	5	-	360
200LY005	27	5.1	6.3	-	-	-	-	210
200LY006	30	3.65	6.85	-	-	-	-	137
200LY007	30	5.1	11.18	-	-	-	-	122

续表

型号	连续堵转电压 (V)	连续堵转电流 (A)	连续堵转转矩 (N·m)	峰值堵转电压 (V)	峰值堵转电流 (A)	峰值堵转转矩 (N·m)	空载电流 (A)	空载转速 (r/min)
200LY008	-	4.5	3	27	13	10		350
205LY001	24	3	5	-	-	-		-
210LY001	-	-	-	60±9	5.4	14.7~23.5		110±20%
250LY001	-	-	-	60±9	8.4	470.4~509.6		>90
300LY002	60	5.5	6	-	-	-		45
350LY001	40	8	117.6	60	12	176.4		32

### 12.3.3 LW 系列无刷直流力矩电动机技术数据

见表 4.4.166 所示。

表 4.4.166 LW 系列无刷直流力矩电动机技术数据

型号	电压 (V)	电流 (A)	额定功率 (W)	空载转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)	堵转转矩 (N·m)
90LW002	27	1.8(峰值)	-	600	-	0.39 峰值
96LW001	27	-	-	360	1.96(连续)	2.94 峰值
110LW003	-	6.0	340	398(额定)	3.14	8.08
110LW004	-	6.0	340	398(额定)	3.14	8.08
110LW005	60	-	-	390	-	3.92 峰值
110LW006	60	-	-	390	-	3.92 峰值
160LW001	24	-	-	150	-	0.39~0.78

### 12.3.4 动圈式有限转角无刷直流力矩电动机技术数据

见表 4.4.167 所示。

表 4.4.167 动圈式有限转角无刷直流力矩电动机技术数据

型号	110LW001
堵转电压 (V)	6
堵转电流 (A)	0.21
堵转力矩 (N·m)	0.12
力矩常数 (N·m/A)	0.69
偏转角度 (°)	±29
电枢电阻 (Ω)	27~30

## 12.4 外形和安装尺寸

力矩电动机的外形和安装尺寸如图 4.4.52 所示。





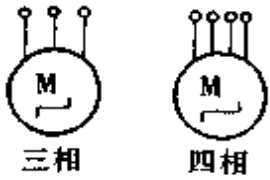
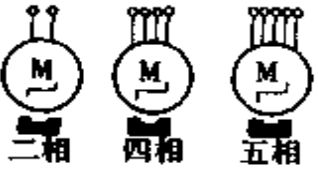

## 13 步进电动机

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成直线或角位移的执行元件,其转子上无绕组,定子上嵌装有多相不同连接的控制绕组,由专用电源供给电脉冲,每输入一个电脉冲,步进电动机就前进一步。其优点是步距不受电压波动,负载变化和环境影响变化的影响,起动、停止或反转均是由脉冲信号控制;在不丢步的情况下运行,其角位移(或线位移)误差不会长期积累。这类电机特别适合在开环控制系统中使用,具有系统简单,运行可靠等明显优点,可广泛用于机床的数字程序控制以及其他数字控制系统中。

### 13.1 分类和特点

见表 4.4.168 所示。

表 4.4.168 步进电动机的分类和特点

代号	名称	特点	电气原理图
BF	磁阻式步进电动机 (反应式)	是一种将电脉冲信号转换成角位移的执行元件,定转子磁路均由软磁材料制成,只有控制绕组,基于磁导变化而产生转矩,其性能特点是步距角小,起动和运行频率较高,断电时无定位转矩,消耗功率较大	 三相      四相
BYG	感应子式永磁步进电动机	转子为感应子式结构型式,也称混合式,兼顾永磁式和磁阻式两类电机优点,它具有步距角小,有较高的起动和运行频率的特点。需要正负脉冲供电,消耗功率较小,有定位转矩	 二相      四相      五相
BY	永磁式步进电动机	凡在结构上采用永久磁钢的步进电动机,其特点是控制功率小,电磁阻尼大,步距角大,起动频率低,需要正、负脉冲供电,有定位转矩	
BD	电磁式步进电动机	无需一般步进电动机所需的专用电源,施加直流电即可工作,控制简便,应用于监测系统中	

## 13.2 主要技术数据

### 13.2.1 磁阻式步进电动机技术数据

见表 4.4.169 所示。

表 4.4.169 磁阻式步进电动机技术数据

项目 型号	相数	步距角 (°)	电压 (V)	相电 流 (A)	最大静 转矩 (N·m)	空载起 动频率 (step/s)	空载运 行频率 (step/s)	电感 (mH)	电阻 (Ω)	分配方式	外形 尺寸 (mm)	质量 (kg)
28BF001	3	3	27	0.8	0.0245	1800		10	2.7	三相六拍	∅28×32	<0.1
36BF002-II	3	3	27	0.6	0.049	1900			6.7	三相六拍	∅36×42	<0.2
36BF003	3	1.5	27	1.5	0.078	3100		15.4	1.6	三相六拍	∅36×43	<0.22
45BF003 II	3	1.5	60	2	0.196	3700	12000	15.8	0.94	三相六拍	∅45×82	0.38
45BF005 II	3	1.5	27	2.5	0.196	3000		15.8	0.94	三相六拍	∅45×58	0.4
55BF001	3	7.5	27	2.5	0.245	850		27.6	1.2	三相六拍	∅55×60	0.65
75BF001	3	1.5	24	3	0.392	1750		19	0.62	三相六拍	∅75×53	1.1
75BF003	3	1.5	30	4	0.882	1250		35.5	0.82	三相六拍	∅75×75	1.58
90BF001	4	0.9	80	7	3.92	2000	8000	17.4	0.3	四相八拍	∅90×145	4.5
90BF006	5	0.36	24	3	2.156	2400			0.76	五相十拍	∅90×65	2.2
110BF003	3	0.75	80	6	7.84	1500	7000	35.5	0.37	三相六拍	∅110×160	6
110BF004	3	0.75	30	4	4.9	500		56.5	0.72	三相六拍	∅110×110	5.5
130BF001	5	0.75	80/12	10	9.31	3000	16000		0.162	五相十拍	∅130×170	9.2
150BF002	5	0.75	80/12	13	13.72	2800	80		0.121	五相十拍	∅150×155	14
150BF003	5	0.75	80/12	13	15.64	2600	8000		0.127	五相十拍	∅150×178	16.5
200BF006	5	0.16 (10')	24	4	14.7	1300			0.77	五相十拍	∅200×93	16

### 13.2.2 感应子式永磁步进电动机技术数据

见表 4.4.170 所示。

表 4.4.170 感应子式永磁步进电动机技术数据

型 号	相数	电压 (V)	相电 流 (A)	步距角 (°)	步距角 误差 (%)	每转 步数	每相 电阻 (Ω)	每相 电感 (mH)	启动 频率 (pps)	运行 频率 (pps)	静态 转矩 (N·m)	定位 转矩 (N·m)
35BYG001	2	12	0.35	1.8/0.9	±3/±6	200/400	9	-	2000	7500	$4.9 \times 10^{-2}$	-
39BYG001	4	12	0.16	3.6	-	-	75	70	500	-	$4.9 \times 10^{-2}$	$5.8 \times 10^{-3}$
39BYG002	4	12	0.16	1.8	-	-	75	65	800	-	$5.9 \times 10^{-2}$	$4.9 \times 10^{-3}$
42BYG111	2	12	0.24	0.9	-	-	38	22	800	-	$7.8 \times 10^{-2}$	$2.4 \times 10^{-3}$
46BYG001	2	12	0.09	1.8	±3	200	130	-	-	1000	$2 \times 10^{-2}$	$3.4 \times 10^{-3}$
50BYG001	5	12	0.1	20'22"	±8	1060	18.5	-	7500	2000	$2.8 \times 10^{-2}$	$0.1 \times 10^{-2}$

续表

型号	相数	电压 (V)	相电 流 (A)	步距角 (°)	步距角 误差 (%)	每转 步数	每相 电阻 (Ω)	每相 电感 (mH)	起动 频率 (pps)	运行 频率 (pps)	静态 转矩 (N·m)	定位 转矩 (N·m)
55BYG002	4	15	0.44	1.8/0.9	±20	200/400	22	90	1000	1000	$34.3 \times 10^{-2}$ 单	
55BYG004	4	27	4	1.8/0.9	±20	200/400	1.2	-	1500	3000	$53.9 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-2}$
55BYG005	4	27	1	1.8/0.9	±20	200/400	4.8	-	1500	1600	双	
55BYG006	4	27	1	1.8/0.9	±20	200/400	4.5	-	1500	-	$19.6 \times 10^{-2}$	-
70BYG001	4	28	3	1.8/0.9	±20	200/400	0.9	8.25	1200	1500	$127.5 \times 10^{-2}$	$127.5 \times 10^{-2}$
70BYG002	4	27	5	1.8/0.9	±20	200/400	0.3	2.83	1500	2300	$127.5 \times 10^{-2}$	$127.5 \times 10^{-2}$
70BYG003	4	16	1	1.8/0.9	±10	200/400	8	-	500	600	$98 \times 10^{-2}$	$6.87 \times 10^{-2}$
86BYG001	4	5	1.9	1.8	±0.13	200	2.75	-	-	-	$7.4 \times 10^{-2}$	-
90BYG001	4	24	3	1.8/0.9	±20	200/400	1.55	16	1000	1000	$353 \times 10^{-2}$	$8.8 \times 10^{-2}$

## 13.2.3 BY系列永磁式步进电动机的技术数据

见表4.4.171所示。

表4.4.171 BY系列永磁式步进电动机的技术数据

型号	电压 (V)	相电 流 (A)	步距 角 (°)	每转 步数	每相 电阻 (Ω)	起动 频率 (Hz)	运行 频率 (Hz)	最大静 态转矩 (N·m)	定位 转矩 (N·m)	相数
20BY001	6	0.12	18	20	$55 \pm 5\%$	300	350~400	$0.1 \times 10^{-2}$	$0.02 \times 10^{-2}$	4
32BY001	15	0.12	90	-	80	150	-	$0.39 \times 10^{-2}$	<0.001	2
36BY001	10	0.175	7.5	-	-	700	-	$0.78 \times 10^{-2}$	<0.003	4
42BY001	24	0.5	7.5	-	-	600	-	0.034	<0.003	4
42BY002	24	0.17	7.5	-	-	450	-	0.044	<0.003	4
42BY003	24	0.3	7.5	-	-	430	-	0.026	<0.003	4
55BY001	16	0.22	7.5	-	-	300	-	0.78	<0.005	4
68BY001	12	0.14	1.8	-	-	400	-	0.044	<0.002	4

## 13.2.4 BD系列电磁式步进电动机的技术数据

见表4.4.172所示。

表4.4.172 BD系列电磁式步进电动机的技术数据

型号	额定电压 (V)	额定转矩 (N·m)	起动电流 (A)	步距角 (°)
50BD001	24	$9.8 \times 10^{-2}$	<3	30

## 13.3 外形和安装尺寸

步进电动机的外形和安装尺寸如图4.4.53所示。

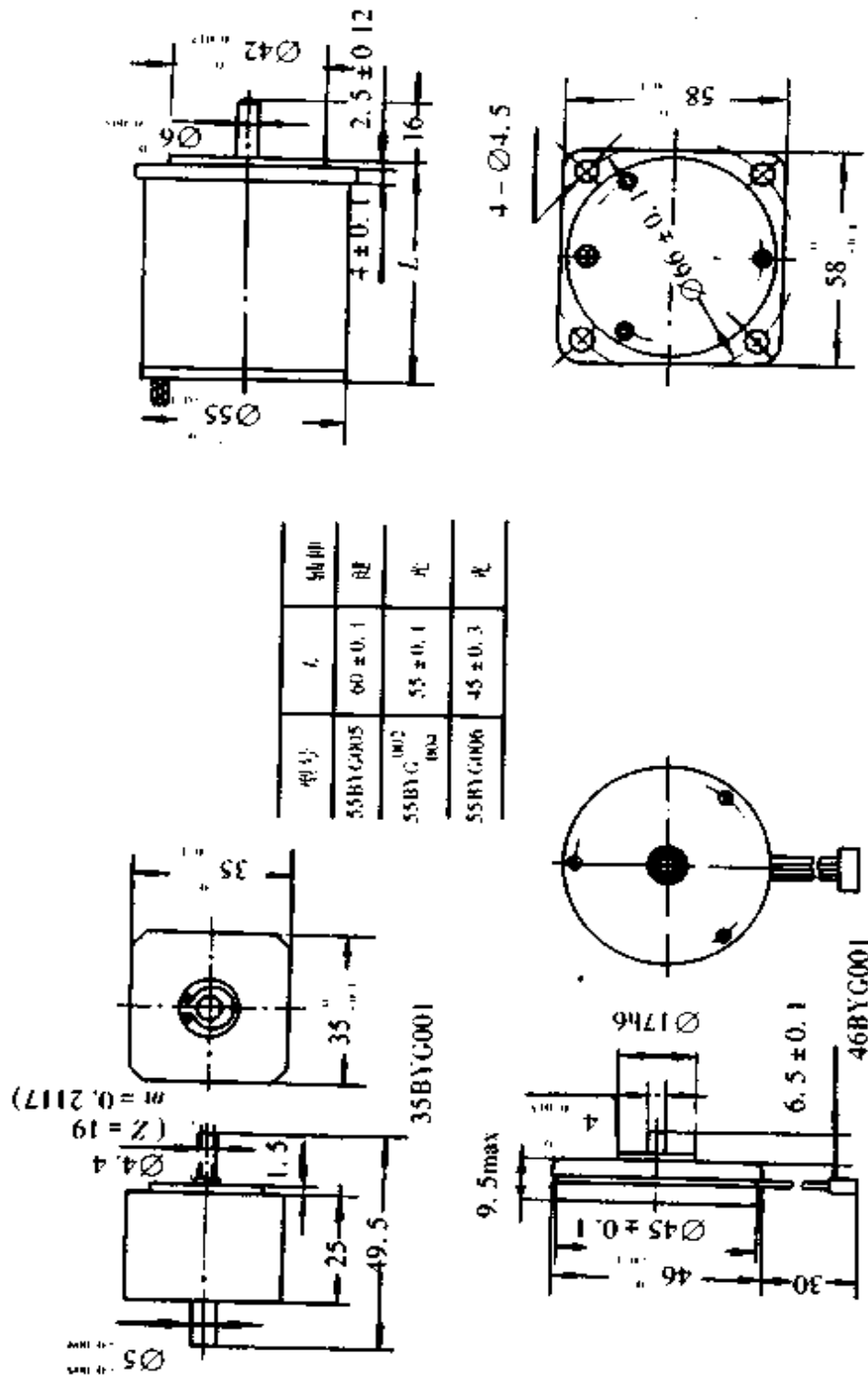


图 4.4.53 步进电动机外形和安装尺寸(一)

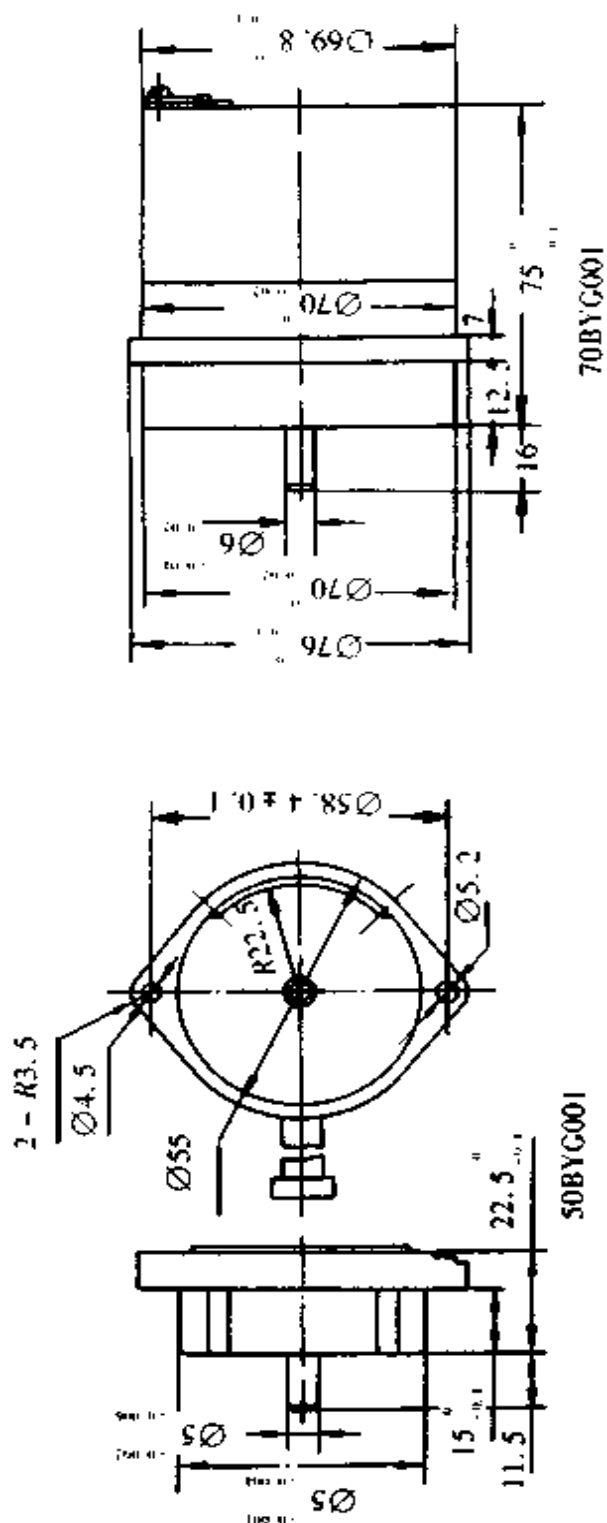


图 4.4.53 步进电动机外形和安装尺寸(二)

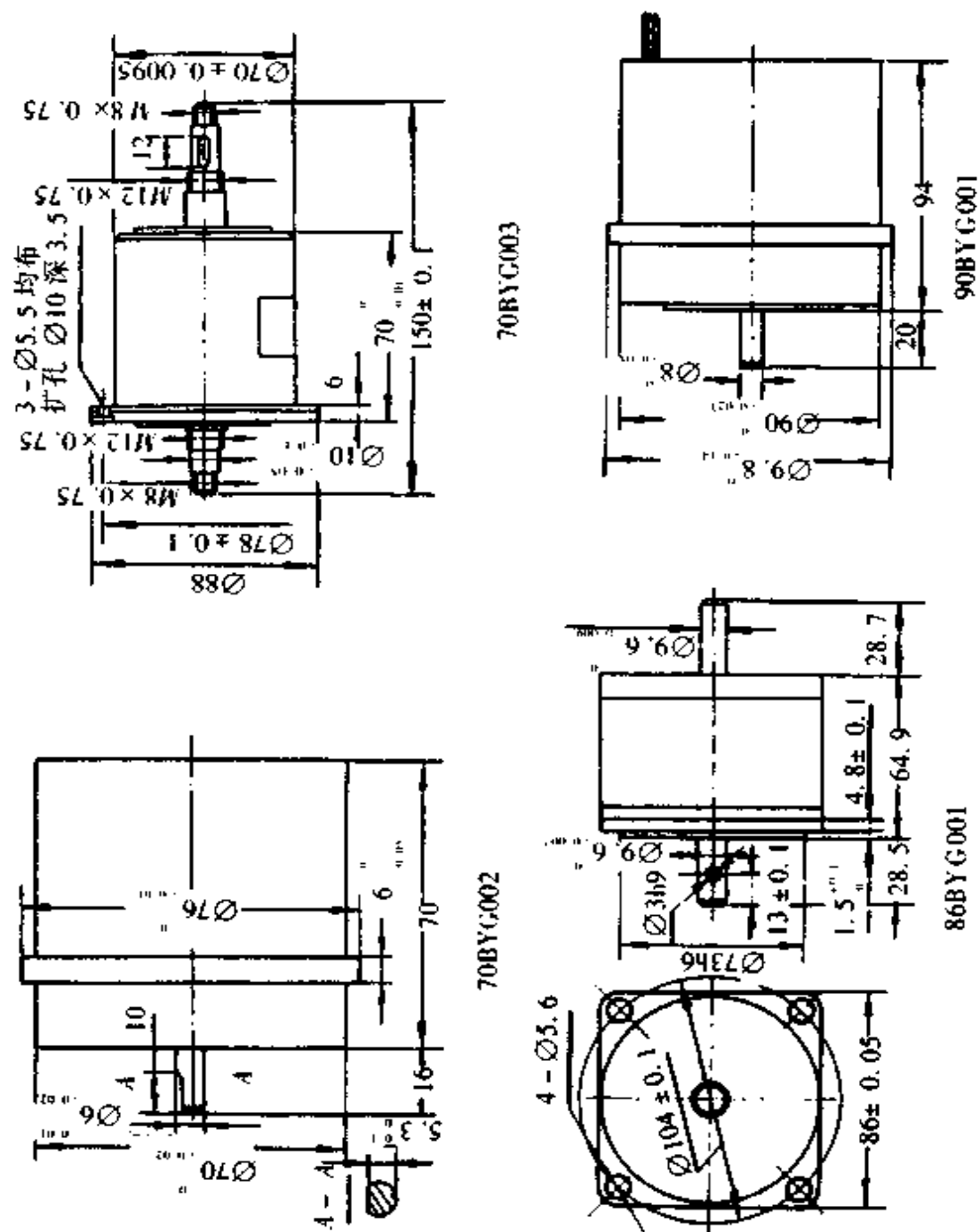


图 4.4.53 步进电动机外形和安装尺寸(三)

## 第五章 电动工具

电动工具是一种运用小容量电动机或电磁铁,通过传动机构驱动工作头的手持式或可移式的机械化工具。

电动工具结构轻巧、携带使用方便。比手工工具可提高生产效率数倍到数十倍,比风动工具耗能少(仅为风动工具的 $1/10 \sim 1/4$ )、使用费用低、振动噪声小并易于自动控制。目前世界上电动工具约有500个品种,已被广泛应用于国民经济各领域,并进入了家庭使用,是一种量大面广的机械化工具。

### 1 基本结构、分类和型号

#### 1.1 基本结构

电动工具由电动机、外壳、传动机构、工作头、手柄、电源开关及电源联接装置件等组成,其基本结构见图4.5.1。

外壳起支承和保护作用,要求强度高、质量轻、耐热、色泽谐调悦目、造型匀称大方,一般用工程塑料或铝合金制造。工程塑料的应用既减轻了工具的质量,又提高了使用安全性,并且使工具的色泽鲜艳、外形美观。

手柄形式根据使用要求和结构的不同有双横手柄、后托式手柄、手枪式手柄、后直手柄等。有些小型、微型工具,如电冲剪、电动剪刀、微型螺丝刀等无专设手柄,直握外壳操作。有些工具前端还设置辅助手柄,以减轻操作者的劳动强度。

电动工具用电动机主要有单相串激、交直流两用、三相工频异步鼠笼型和中频(150~400Hz)异步鼠笼型和永磁直流等五种。中小规格工具大多采用单相串激电动机,它有转速高、体积小、起动转矩大的机械特性,能适应多数工具的工作特性,而且能设计成交直流两用电动机,使用在直流电源上。三相工频异步鼠笼型电动机结构简单、制造维修方便、转速稳定、运行可靠、经久耐用。三相电动工具的单位质量输出功率随着功率的增加而提高,并逐渐接近单相串激电动工具。而后者随着功率的提高换向性能逐步恶化,减速箱尺寸增大。因此一般较大规格的电动

工具或要求机械特性硬的工具,大多采用三相工频异步鼠笼型电动机。三相中频异步鼠笼型电动机既有三相工频异步鼠笼型电动机的优点,又有单相串激电动机的转速高、体积小的优点,但需配备中频电源,使它的发展和应用受到一定的限制。永磁直流电动机一般用于微型和小型电动工具,优点是效率高、起动电流小、结构简单等,如配备高能电池,可应用在高空、水下、农林牧等野外作业。

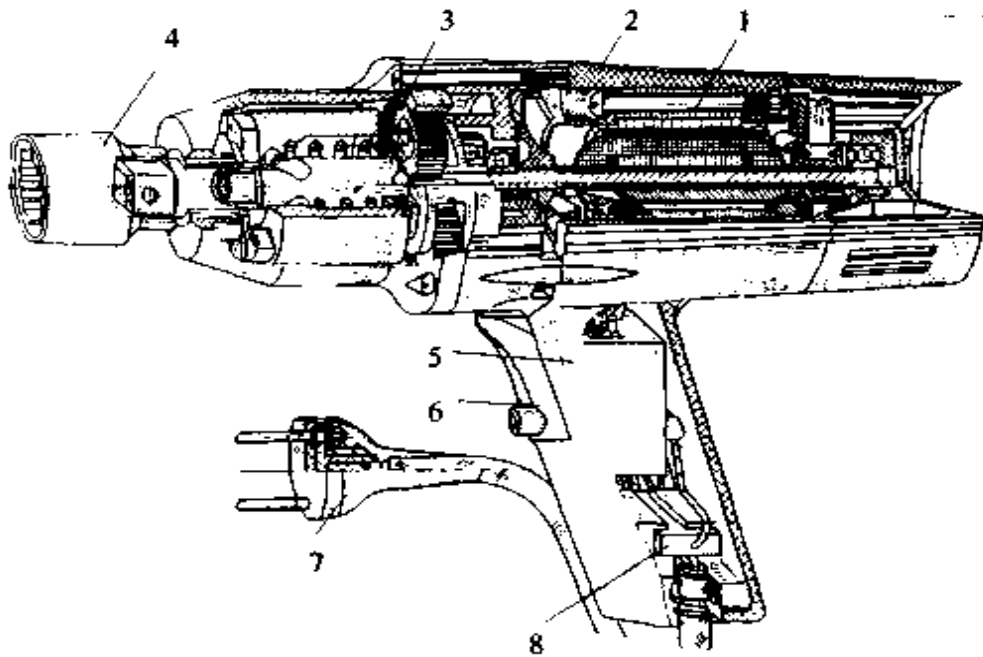


图 4.5.1 电动工具的基本结构(冲击式电动扳手)

1—电动机 2—外壳 3—传动机构 4—工作头 5—手柄  
6—电源开关 7—电源装置联接件 8—干扰抑制器

传动机构主要用来传递能量、减速和改变运动方向。

为适应各种不同的加工作业需要,电动工具的工作头运动方式有旋转、往复、冲击和振动等,还有冲击和旋转兼有的复合运动,因此电动工具的传动机构中应用了机械传动的大部分结构和原理,如传动齿轮,在电动工具中应用的即有直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、直齿和螺旋锥齿轮、内啮合齿轮、谐波齿轮等。传动的特点是:转速高、速比大,且模数大多在 $0.6\sim 1.5\text{mm}$ ,轴齿轮在7齿以下。齿轮强度不但要满足长期满载运转和过载的要求,而且还必须保证能承受比满载大几倍的制动转矩和冲击力。

电动工具用的开关大多装在手柄中,要求体积小、结构紧凑、安全可靠,一般不宜采用普通的开关。电动工具用开关有用作工具与电源网路闭合或断开的电源开关和既有闭合或断开工具与电源网路的联接功能,又有调节工具转速功能的电子调速开关两类。电源开关结构大多采用二极管桥式双断触头,有瞬时动作机构使触头快速通断。手掀式开关能自动复位切断电源,有的还设有自锁装置。正反转工



具采用正反转电源开关。电子调速开关一般采用晶闸管与电子线路组合,以达到调速、控速和开闭电源电路的功能。

抑制无线电干扰的抑制器装置在手柄或外壳内。干扰抑制器用于抑制单相串激,或交直流两用电动工具对电视和无线电的干扰。

电源联接装置件由电源插头、软电缆或软线以及电缆线护套等组成,用于连接工具和电源。

软电缆或软线大多采用轻型橡套、橡塑电缆或塑套电缆。Ⅰ类工具中保护接地线规定为绿黄双色线;Ⅱ、Ⅲ类工具中不允许有保护接地线。软电缆或软线在进入电动工具的入口处要牢固夹紧,设置护套。护套用橡胶等绝缘材料制成。

Ⅱ类工具必须采用加强绝缘电源插头,且为电源插头与软电缆或软线压塑成一体的不可重接电源插头。

电动工具的工作头是对工件进行各种加工的刀具、刃具、磨具及其夹持部分。刀具、刃具有各种钻头、丝锥、钎子、锯条等;磨具有各种形状和尺寸的砂轮、砂布、磨头等;抛具有各种抛轮;还有螺母套筒、螺丝刀、胀管器等。

## 1.2 分类

### 1.2.1 按用途分

电动工具的基本品种按用途分为下列九类。各类电动工具的基本品种及其代号见表 4.5.1。

- (1)金属切削类电动工具;
- (2)装配用电动工具;
- (3)砂磨用电动工具;
- (4)建筑、道路用电动工具;
- (5)矿山用电动工具;
- (6)铁道用电动工具;
- (7)农牧业用电动工具;
- (8)林木加工用电动工具;
- (9)其他用途电动工具。

### 1.2.2 按其使用电源种类分

电动工具按其使用电源种类分为:

- (1)交直流两用电动工具;
- (2)单相串激电动工具;
- (3)三相工频电动工具;
- (4)三相中频电动工具;
- (5)永磁直流电动工具。

使用电源类别代号见表 4.5.2。

表 4.5.1 电动工具的分类、基本品种及代号

金属切削电动工具 (J)	电 钻 (Z)	多速电钻 角向电钻 万向电钻 软轴电钻	矿山用 电动工具 (K)	电动凿岩机(Z) 岩石电钻(Y) 煤电钻
	磁座钻(C) 电绞刀(A) 电动刮刀(K) 电剪刀(J) 电冲剪(H) 电动往复锯(F) 电动锯管机(U) 电动攻丝机(S) 电动型材切割机(G) 电动斜切割机(X) 电动焊缝坡口机(P) 多功能电动工具(D)		铁道用 电动工具 (T)	铁道螺钉电动扳手(B) 枕木电钻(Z) 枕木电镐(G)
			农牧业用 电动工具 (N)	电动剪毛剪(J) 电动采茶机(A) 电动剪枝机(Z) 电动喷洒机(P) 电动修蹄机(T) 电动粮食捡样机(L)
			林、木加工 用电动工具 (M)	电动带锯(A) 电 刨(B) 电 插(C) 木工多用工具(D) 电动修枝机(E) 电动截枝机(H) 电动开槽机(K) 电链锯(L) 电动曲线锯(Q) 电木铣(R) 木工刃磨砂轮机(S) 电圆锯(Y) 电木钻(Z)
砂磨电动工具 (S)	电 动 砂轮机	直向砂轮机(S) 角向磨光机(M) 轮轴砂轮机(R) 模具电磨(J)		
	电动砂光机	平板砂光机(B) 盘式砂光机(A) 带式砂光机(T)		
	电动抛光机 (P)	直式抛光机 盘式抛光机		
装配电动工具 (P)	电动扳手(B) 定扭矩扳手(D) 智能电动扳手 电动液压扳手	电动螺丝刀(L) 电动胀管机(Z) 挡板螺丝刀(U) 电动拉铆枪(M)		
建筑、道路用 电动工具 (Z)	电动混凝 土振动器	平板式振动器 插入式振动器	其他电 动工具 (Q)	塑料电焊枪(A) 电动裁布机(C) 电动气泵(E) 电动管道清洗机(G) 电动卷花机(H) 石膏电剪(J) 电动雕刻机(K) 电喷枪(P) 电动除锈机(Q) 石膏电锯(S) 电动地毯剪(T) 电动牙钻(Y) 电动骨钻(Z) 电动胸骨锯
	电锤(C) 锤钻(A) 冲击电钻(J) 电动锯割机(Y) 电 镐(G) 砖墙铣沟机(R) 电动地板抛光机(B) 石材切割机(E) 电动夯实机(H) 铆胀螺栓扳手(L) 湿式磨光机(M) 电动钢筋切割机(Q) 电动套丝机(T) 电动弯管机(W) 混凝土钻机(Z)			

表 4.5.2 使用电源类别代号

工具使用电源类别	代号
直流	0
单相交流 50Hz	1
三相交流 200Hz	2
三相交流 50Hz	3
三相交流 400Hz	4
三相交流 150Hz	5
三相交流 300Hz	6

### 1.2.3 按电气安全保护的方法分

电动工具按电气安全保护的方法分为如下三类:

- (1) I类工具;
- (2) II类工具;
- (3) III类工具。

I类工具即普通型电动工具,其额定电压超过 50V。I类工具在防止触电的保护方面不仅依靠基本绝缘,而且包含一个附加的安全预防措施。其方法是将可触及的可导电的零件与已安装在固定线路中的保护(接地)导线联接起来,使可触及的可导电的零件在基本绝缘损坏的事故中不成为带电体。

I类工具中在基本绝缘失效时会成为带电体的可触及的可导电(金属)零件都应永久地、可靠地与工具内的接地端子连接起来。对于装有不可重接电源插头的工具,工具内的接地端子必须与软电缆或软线中的用作保护接地的芯线连接起来。

II类工具即绝缘结构全部为双重绝缘结构的电动工具,其额定电压超过 50V。

II类工具分绝缘外壳 II类工具和金属外壳 II类工具。

通俗地说,即 II类工具的设计制造者将操作者的个人防护用品以可靠有效的方法置于工具上,使工具具有双重独立的保护系统。并且,通过结构设计和绝缘材料的选用,保证在故障状态下,当基本绝缘损坏时,由附加绝缘和加强绝缘提供触电保护。

II类工具不允许设置保护接地装置。

II类工具上均带有醒目的标志“回”。

III类工具即特低安全电压电动工具,其额定电压不超过 50V。工具在防止触电的保护依靠由安全特低电压供电和在工具内部不会产生比特低电压高的电压。

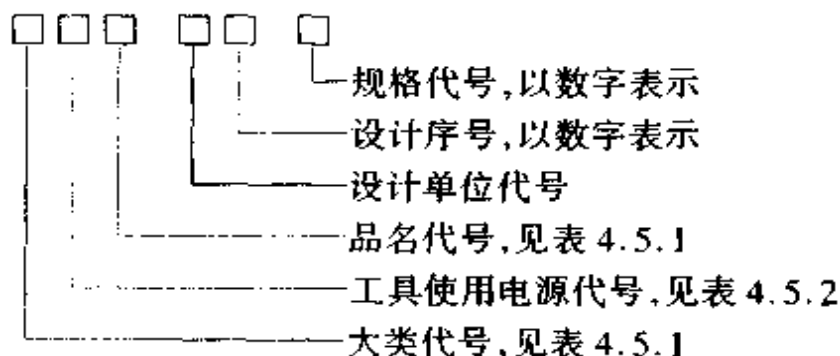
III类工具的特低安全电压由工具内部电源或其他独立电源(例如电池、小型内燃发电机组)供给。当由电网供电时,必须通过由安全隔离变压器或具有同等隔离程度的、单独绕组的变流器。

III类工具的触电保护采用可靠的基本绝缘,电源对地绝缘和选用 50V 以下的特低电压的所谓“三重保护”,使工具具有较高的使用安全性能。

Ⅲ类工具不允许设置保护接地装置。电源插头采用专门设计的插头。

### 1.3 型号

电动工具产品的型号组成如下：



举例: J1Z-LS2-13A, 表示最大钻孔直径为 13mm 的 A 型电钻, 使用电源为单相交流 50Hz, 该产品由行业第二次联合设计。M1B-XX3-90X2, 表示刨刀宽 90mm, 最大刨削深度 2mm 的电刨, 使用电源为单相交流 50Hz, 是某电动工具厂第三次设计的产品。

## 2 常用电动工具

### 2.1 电钻

电钻是一种在金属、塑料及类似材料上钻孔的工具。电钻的品种多、规格齐、质量大, 是使用最广泛的电动工具。

电钻携带方便、操作简单、使用灵活, 适用于金属及非金属构件上钻孔加工。因受空间、场地限制, 加工件形状或加工部位不能用钻床等设备加工时, 一般多用各种电钻进行钻孔。

电钻适当地变换齿轮传动机构或增加一些简易的附件就成为双速电钻、角向电钻、软轴电钻、台架电钻等, 以适应不同作业场所的钻孔要求。

#### 2.1.1 结构

电钻的基本结构见图 4.5.2, 它由电动机、减速箱、手柄、钻夹头或圆锥套筒和电源联接装置件等组成。

电钻按其选用的不同型式电动机可分为单相串激电钻、三相工频电钻、三相中频电钻等品种。三相中频电钻因需要相应的中频电源供电, 目前在国内应用很少。

电钻除上述三个品种外, 还有一种适用于野外作业, 由内装电池供电, 以永磁直流电动机作动力的小型轻巧的直流永磁电钻。

电钻的电动机轴上装有冷却风扇, 风扇大多采用离心式。电钻的冷却方式有

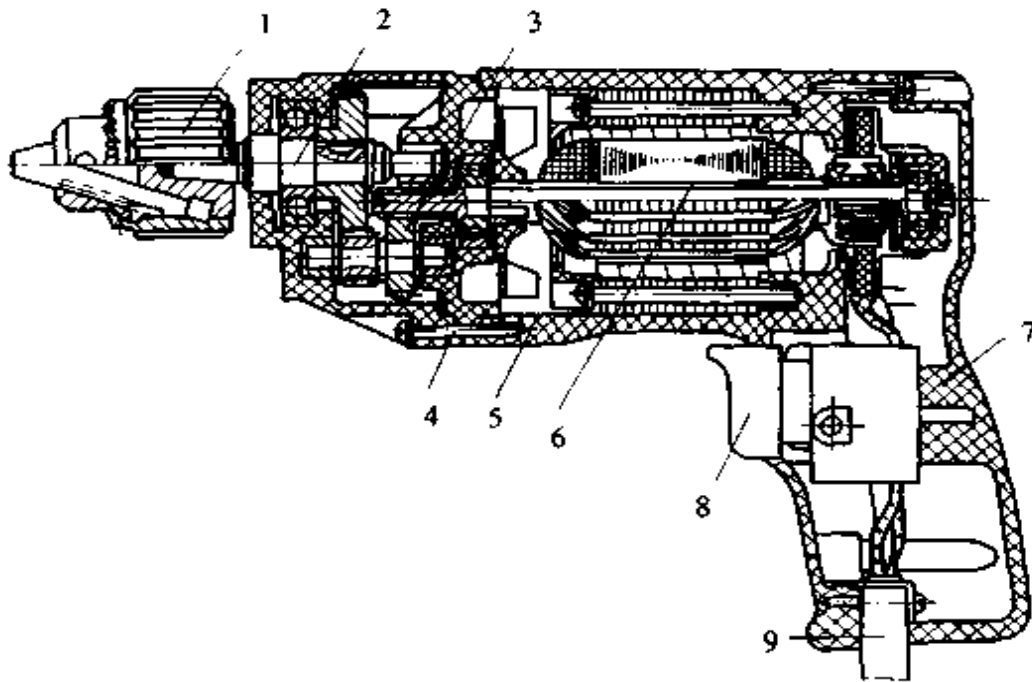


图 4.5.2 电钻的基本结构

- 1—钻夹头 2—钻轴 3—减速箱 4—中间盖 5—外壳 6—电动机  
7—手柄 8—电源开关 9—电源联接装置件

自扇内冷式和自扇外冷式。自扇内冷式在电动机内部予以风冷,在外壳上设置进风口和出风口。大多数电钻采用自扇内冷结构。自扇外冷式在电动机外部予以风冷,不需要进出风口。为了增加散热效果,在外壳上设置散热片,以增加散热面积。自扇外冷结构一般应用在大规格的三相电钻上。

电钻的减速箱由前罩壳和齿轮组成,用以减速或既能减速又能改变传动方向。

前罩经中间盖与电动机外壳用螺钉联接。齿轮一般采用 $0.5\sim 1.5$ 模数的高度修正或角度修正的齿轮,材料选用40Cr钢或45号钢,并经热处理,壳体内充填适量的润滑脂予以润滑。传动轴由滚珠轴承或含油轴承支承,在滚珠轴承处设置油封零件,以防止润滑油漏出。

电钻的齿轮强度不但要考虑在满载时长期运转,亦要考虑在过载时的强度,甚至还要考虑在钻孔时一旦钻头卡住,产生比满载大几倍的制动转矩所需要的强度。但是,使用电钻钻孔时应尽可能减少过载和卡转现象,以使齿轮有足够的使用寿命。

双速电钻设计制造有两挡转速的齿轮机构,常见的双速机构有双联滑动齿轮结构,见图4.5.3。双联齿轮在轴上能自由滑动,中间轴2上的齿轮是固定的。移动双联齿轮,变换与中间轴啮合的齿轮,即改变速比。双联齿轮与轴用花键联接。

电钻除采用齿轮变速外,有的还采用电气变速和电子变速原理,制成多速电钻和无级调速电钻。电气变速是在单相串激电动机的定子铁心上设置两组线圈,用

换接开关将两组线圈接成串联或并联,以改变励磁安匝及定子阻抗压降,从而获得两挡转速。

无级调速电钻中装置由晶闸管、集成电路和动、静触头,外壳等组成的无级调速开关。无级调速开关串接在电动机电路中,既作电源开关,又是控制器,调速时,调节调速开关的按钮,以控制晶闸管的导通角,从而调节电动机的端电压,实现无级的调压调速。

电钻工作时要施加一定的轴向压力,该力借助于电钻的手柄来实现。

手柄的结构随电钻的规格大小而有所不同。4mm电钻一般采用直筒式;6mm多用手枪式结构;10~13mm电钻采用后直手柄,有的在电钻左侧再加一个辅助手柄;13~23mm电钻采用双横手柄,并设计有后托架(板)。它的一个侧手柄直接与外壳铸成一体或用螺纹联接成一体,另一只侧手柄用螺纹联接。这种中型电钻单靠双手的推压力还不够,还要辅以后托架(板)用胸顶或杠棒施加压力。32mm以上电钻采用双横手柄,并带有进给装置,以获得更大的推压力。

除直筒式电钻外,电钻的开关及无线电干扰抑制元件均装置在手柄的型腔内。钻头用钻夹头或圆锥套筒夹持,进行钻孔作业。

19mm以下的电钻多采用三爪式钻夹头,一般电钻采用专门设计制造的电动工具钻夹头。钻夹头与电钻主轴的联接形式有螺纹联接和锥孔联接两种。

电动工具用钻夹头均为扳手夹紧式。钻夹头夹爪空程移动应保持灵活、均匀。用扳手夹紧或松开夹爪时,夹爪进出和扳轮环齿啮合无阻滞现象。

19mm以上的电钻均采用莫氏圆锥套筒。19、23mm电钻采用3号莫氏圆锥;38、49mm电钻采用4号莫氏圆锥。

电源联接装置件在电钻中用作电动机与电源的连接,以通断电源,它由开关、电源线、电源插头等组成。

I类单相串激电钻用三极电源插头;三相工频电钻用四极电源插头,其中截面最大一极为接地极。II类单相串激电钻用二极电源插头,并且电源线与插头必须压制成一體。III类单相串激电钻用二极电源插头;III类三相工频电钻用三极电源插头。III类电钻的电源插头均不允许设置接地极,且插销的型式、参数和尺寸也不

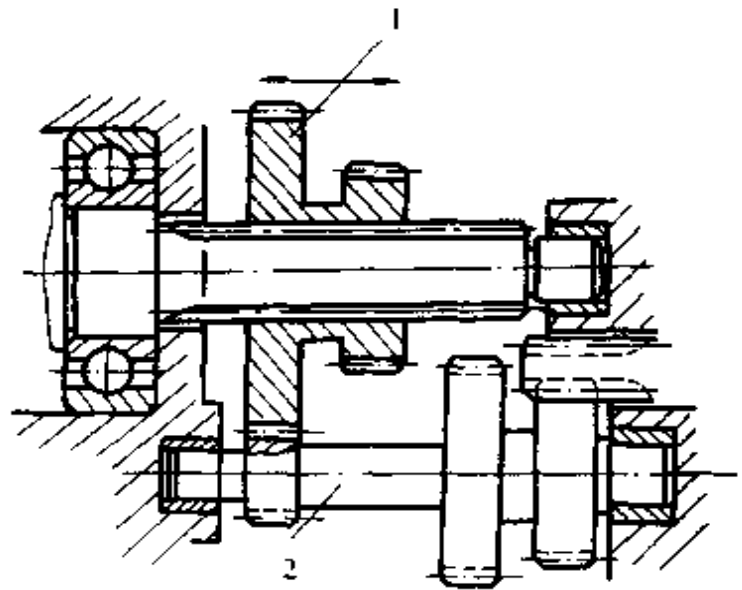


图 4.5.3 双联滑动齿轮结构

1—双联齿轮 2—中间轴

能与Ⅰ类和Ⅱ类电钻的电源插头、插销通用,以防止误插入高于50V的电源插座而烧毁电动机

### 2.1.2 性能规格

电钻规格指电钻钻削钢材时所允许使用的最大钻头直径。同一直径,根据其参数不同可分为A、B和C型:

A型电钻主要用于普通钢材的钻孔,如A3钢、25~45号钢、角铁等。它具有较高的钻削生产率;通用性强,适用于一般体力劳动者;规格整齐;绝大多数采用二级变速

B型电钻主要用于优质钢材及各种钢材的钻孔,具有很高的钻削生产率,适用于强体力劳动者。该型电钻的额定输出功率和转矩比A型大,持续和过载能力强,转速与A型相仿,以二级变速为主

C型电钻主要用于铝、铜等有色金属及其合金、塑料和铸铁等材料的钻孔,并具有较高的钻削生产率,同时能用于普通钢材的钻孔,适用于轻体力劳动者。该型电钻具有轻便和结构简单的特点,钻孔时不能施以强力。电钻的额定输出功率和转矩比A型小,转速较高,以一级变速为主

A型和B型电钻对有色金属、塑料、木材等钻孔时,最大钻孔直径可相应增大30%~50%

电钻的规格按实际需要、切削效率、重量等因素予以分级。电钻有4、6、8、10、13、16、19、23、32、38、49mm等规格。

表4.5.3列出单相串激电钻系列的性能数据;表4.5.4为三相工频电钻系列的性能数据

由于大规格的单相串激电钻的质量已接近三相工频电钻,所以单相串激电钻最大的规格为23mm。例如,19mm单相串激电钻的质量为6.2kg,三相工频电钻的质量为8.2kg,两者差2kg,其差值为单相串激电钻的32.2%;而单相串激电钻在制造、使用、维修上都比三相工频电钻复杂,寿命也比三相工频电钻短,所以大规格的单相串激电钻的生产、使用就较少,三相工频电钻的规格范围为13~49mm。

由于小规格的单相串激电钻质量比三相工频电钻轻得多,所以小规格电钻多制成单相串激电钻。例如,13mm三相工频电钻质量为6.8kg,而单相串激电钻质量仅3.3kg,两者相差3.5kg,其差值为单相串激电钻的106%,所以小规格三相工频电钻生产、使用均较少

### 2.1.3 转速

在电钻额定输出功率基本不变的情况下,适当提高转速有利于提高钻削效率和节省体力。但是,提高转速受到钻头允许的线速度的约束。一般高速钢钻头在无冷却液的条件下,钻削钢材时的钻头线速度选择在20~30m/min。C型电钻因考虑到有色金属及塑料等钻削性能,转速较高,但一般不超过35m/min。电钻的转

速在设计时,对于小规格电钻取其上限值。大规格的电钻由于钻削量和轴向力大,在钻削时易引起钻头发热退火和钻头刃口崩裂,所以取其下限值。

单相串激电钻的空载转速比满载转速高 40% ~ 50%,在不同负载时具有不同的转速特性,以满足当轴向推力及钻孔直径不同时,负载不同其转速也不同的要求。对于不同的钻孔直径,为了达到理想的切削速度,要求转速也不同。钻大孔时,转速要较低;反之,转速则要较高。

表 4.5.3 单相串激电钻系列性能数据

型号	规格 (mm)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定功率 (W)	额定转矩 (N·m)	额定转速 (r/min)	质量 (kg)	钻头夹持方式
J1Z-4	4A	220 ~	1.2	≥80	≥0.35	≥2200	1.2	钻夹头
J1Z-6	6C	220 ~	1.2	≥90	≥0.50	≥1700	1.3	钻夹头
	6A			≥120	≥0.85	≥1300		
J1Z-8	6B	220 ~	-	≥160	≥1.20	≥1250	-	钻夹头
	8C			≥120	≥1.00	≥1100		
	8A			≥160	≥1.60	≥950		
J1Z-10	8B	220 ~	2.1	≥200	≥2.20	≥850	3.2	钻夹头
	10C			≥140	≥1.50	≥900		
	10A			≥180	≥2.20	≥780		
J1Z-13	10B	220 ~	2.1	≥230	≥3.00	≥730	3.5	钻夹头
	13C			≥200	≥2.50	≥760		
	13A			≥230	≥4.00	≥550		
J1Z-16	13B	220 ~	4.0	≥320	≥6.00	≥550	5.9	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
	16A			≥320	≥7.00	≥430		
J1Z-19	16B	220 ~	4.0	≥400	≥9.00	≥420	6.0	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
	19A			≥400	≥12.00	≥320		
J1Z-23	23A	220 ~	4.0	≥400	≥16.00	≥240		2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄

表 4.5.4 三相工频电钻系列性能数据

型号	规格 (mm)	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定转矩 (N·m)	额定转速 (r/min)	负载持续 率	质量 (kg)	钻头夹持方式
J3Z-13	13	380 ~	270	4.9	530	连续	6.8	钻夹头
J3Z-19	19	380 ~	400	12.7	290	60%	8.2	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
J3Z-23	23	380 ~	500	19.6	235	60%	9.8	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
J3Z-32	32	380 ~	900	45	190	60%	19	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
J3Z-38	38	380 ~	1100	72.6	145	60%	21	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄
J3Z-49	49	380 ~	1100	110	120	60%	24	2 <sup>#</sup> 莫氏锥柄



### 2.1.4 使用方法

使用电钻钻孔,不同的钻孔直径应该尽可能选用相应规格的电钻,以充分发挥各种规格电钻的钻削性能及结构特点,达到良好的钻削效率。避免用小规格电钻钻大孔而造成灼伤钻头和电钻过热,甚至烧毁钻头和电钻;用大规格电钻钻小孔则造成钻孔效率降低,且增加劳动强度。

电钻使用时,钻头必须锋利。钻孔时,在电钻上应施加不超过表 4.5.5 规定的轴向压力,并不宜用力过猛,以免过载。钻孔中当转速突然下降时,应立即降低轴向压力;当钻孔时突然刹停,必须立即切断电源;当钻削的孔即将钻通时,施加的轴向压力应适当减小。

电钻使用时,当发现轴承温升过高或齿轮、轴承有异常杂声时,应立即停钻检查。如果轴承、齿轮有损坏现象,应立即掉换。

表 4.5.5 电钻钻孔时的轴向压力

规格(mm)	4	6	10	13	16	19	23	32	38	49
轴向压力(N)	250	350	550	900	1200	1700	2300	3500	4300	6000

## 2.2 电动往复锯

电动往复锯用于锯割金属板材、管材或在钢管上切割斜口,也可切割电缆或其他非金属材料。

### 2.2.1 结构

电动往复锯由电动机、减速箱、截柱凸轮机构、滑杆、锯条、电源开关及管钳等组成,结构见图 4.5.4。

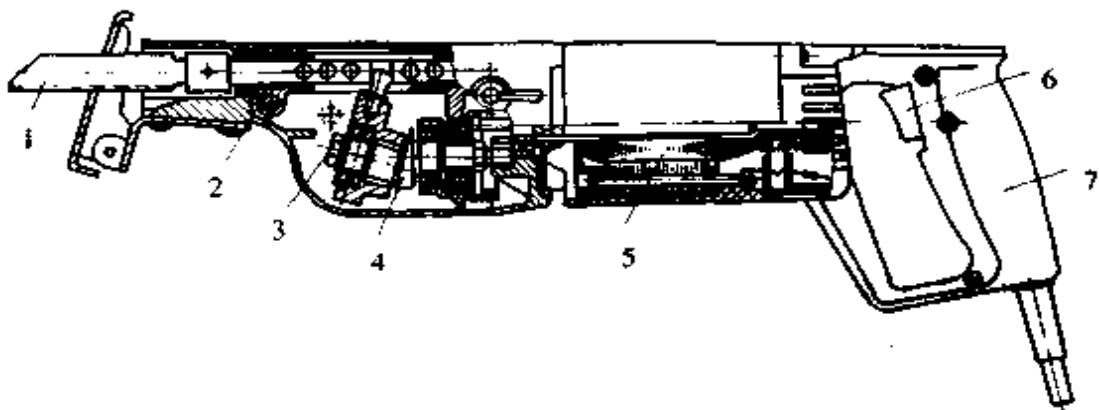


图 4.5.4 J1F 型单相串激往复锯的结构

1—锯条 2—刀杆 3—摆动块 4—拐轴 5—电动机 6—开关 7—手柄

锯条的往复锯割运动由电动机通过一级减速齿轮带动截柱凸轮旋转,在凸轮和摆杆的作用下,形成滑杆的往复运动而获得。锯条的往复行程取决于截柱凸轮

的直径和凸轮斜面与其垂直面的夹角。电动往复锯采用高速、小行程进行切割,因此效率较高。

为适应锯割如木材、塑料等非金属材料,电动往复锯设置抬刀机构,以增加排屑和散热面。抬刀机构由偏心齿轮、轴承和活动套杆等组成。当偏心齿轮旋转一周时,锯条则随滑杆摆动一次。

锯条选用 6W5Mo4Cr2V 优质高速工具钢制造。切割不同金属材料或电缆宜选用表 4.5.6 推荐的不同齿距、角度的锯条,以提高锯割效率。

锯条工作部分的齿面硬度达 HRC62,而根部却有较好的韧性。锯条齿形呈倒向,锯割时锯条承受拉力,不受压力,以使锯条不易折断,延长使用寿命并保证操作的安全。

表 4.5.6 往复锯锯条规格

H (mm)	$\alpha$	适用范围
1.8	3°	锯钢板
1.4	2°	锯钢管
1	1°	锯电缆

### 2.2.2 性能

电动往复锯有单相串激往复锯和三相工频往复锯两个品种,其技术性能数据列于表 4.5.7。

表 4.5.7 电动往复锯技术性能数据

型号	输入功率 (W)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	锯条额定往复次数 (min <sup>-1</sup> )	锯条行程 (mm)	质量 (kg)
J1F-26	385	220~	2.71	1520	26	4.0
J3F-26	500	380~	1.32	930	26	7.5

### 2.2.3 使用方法

在锯割工件前,应将工件固定,然后将往复锯刀架紧紧靠在工件上,才能进行锯割。不允许工件与刀架间有间距,否则在锯割过程中容易折断锯条。锯割金属材料时,将抬刀机构手柄放在垂直位置,不允许锯条上、下摆动;锯割非金属材料时,将抬刀机构手柄放在横向位置,锯条能上、下摆动。锯割金属管子时,可将往复锯的管钳夹持在工件上进行锯割。为便于操作和自动进给,可反装锯条,从工件下面开始向上锯割。用往复锯自身重量达到自动进给。如果需要增加锯割量时,可按压手柄来达到,但不允许超过电动机的额定功率。

使用电动往复锯时,应注意装夹要牢固、可靠,以免产生较大的震动。

## 2.3 电动型材切割机

电动型材切割机用于切割钢管、角钢、槽钢和扁钢等各种型材,且能切割不锈钢、合金钢及淬火后硬度较高的钢材等,并能获得平整的割断面。电动型材切割机通用性强,已广泛用于建筑五金、石油化工、冶金、船舶修造、设备和电气安装等部门。

用电动型材切割机切断各种型材,其生产效率比锯床锯切提高7~8倍

### 2.3.1 结构

电动型材切割机是可移式电动工具,它由电动机、支架、支架座、底盘、可转夹钳、增强树脂砂轮片和砂轮保护罩、操作手柄、电源开关及电源联接装置件等组成,结构见图4.5.5。

电动型材切割机采用的电动机有三相异步鼠笼型电动机、单相双电容异步鼠笼型电动机和单相串激电动机。

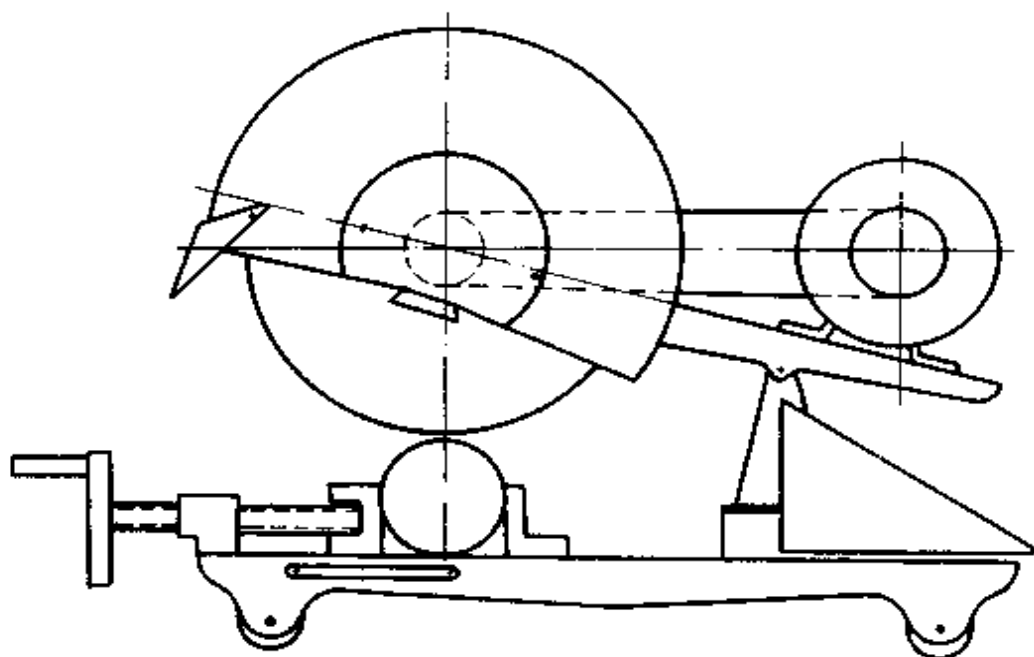


图 4.5.5 电动型材切割机结构

电动机、传动带、罩壳、砂轮片和砂轮片保护罩、操作手柄装置在支架上。支架由支架座支承,并能绕支点转动。支架座安装在底盘上。电动机的旋转运动由传动带通过砂轮轴驱动砂轮片高速旋转进行切割作业。传动带由罩壳保护;砂轮片由砂轮片保护罩保护,其外露部分的角度不得大于 $120^\circ$ 。罩壳和砂轮片保护罩均用厚度为2mm的钢板制造。砂轮保护罩由固定罩壳的罩盖构成,在固定罩壳上有标志砂轮片旋转方向的箭头。

电源开关采用双线四断点手揿式自动复位开关,对于三相异步鼠笼型电动机只能通、断二相,一相直接接电源。电源开关置于操作手柄内。借助操作手柄不但能控制电动型材切割机的电源,又能操作砂轮片上、下运动作切割作业。

可转夹钳由固定钳口、活动钳口、传动螺杆付、手柄等组成,结构见图4.5.6。

活动钳口用两只螺栓固定在底盘上。活动钳口上有两个安装孔:一个为月亮槽;一个安装孔旁标志有零位线,在底盘上设置有标尺。这样,松开两只螺栓就能方便调节固定钳口与砂轮片的夹角,调整的夹角为 $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ ,以切割出不同

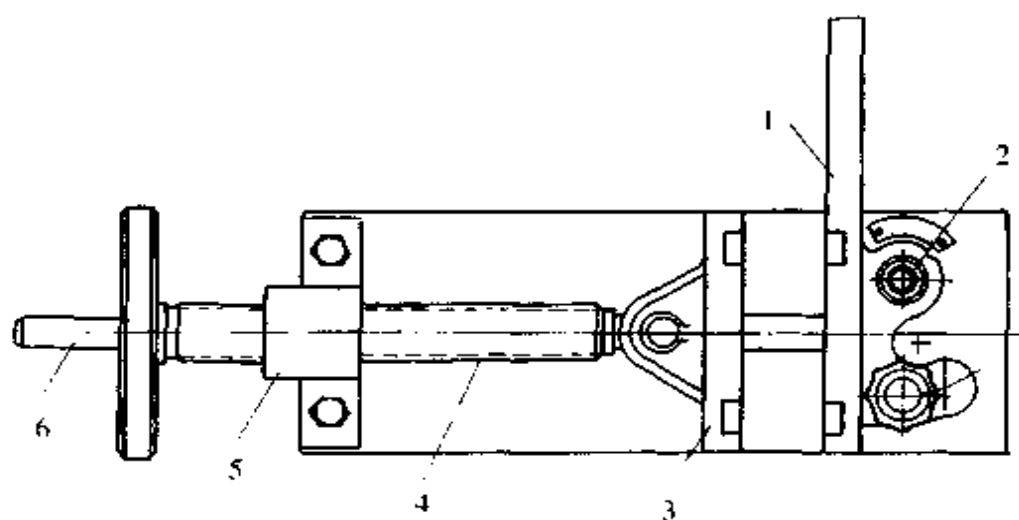


图 4.5.6 可转夹钳结构

1—固定钳口 2—螺栓 3—活动钳口 4—传动螺杆  
5—固定螺母 6—手柄

角度的断面。传动螺杆一端与活动钳口用圆柱销联接，圆柱销为活动钳口转动的支点；另一端与手柄联接。传动螺杆的螺母固定在底盘上。这样，操作手柄就能使活动钳口以任意角度夹紧或松开工件。

底盘上还设置切割火花导向罩，以阻挡切割火花四处飞溅，避免引起灼伤事故。底盘下面有四只滚轮，移动十分方便。

砂轮片是作业工具，采用纤维增强树脂砂轮片，安全线速度为  $80\text{m/s}$ 。

砂轮片通过夹紧压板由螺母锁紧在砂轮轴上。靠近电动机一端的夹紧压板为定压板，与砂轮轴不能相对转动。有的在砂轮轴的径向开设一圆孔。砂轮轴的螺纹直径不小于  $14\text{mm}$ ；夹紧压板的直径不小于  $40\text{mm}$ 。

有的电动型材切割机上设计有转位和中心调整机构，以调整砂轮片的切断中心。在特殊的场所还能将支架（动力头）旋转  $180^\circ$ ，装上辅助机构能切割较大尺寸或固定的型材。

单相串激型材切割机由电动机的旋转运动经齿轮减速后直接带动砂轮片作切割作业。

三相型材切割机的电源线用四芯电缆，装置四极插头；Ⅰ类单相型材切割机的电源线用三芯软电缆，装置三极插头；Ⅱ类单相型材切割机的电源线采用二芯不可重接电源插头。四芯、三芯软电缆中的绿、黄双色芯线为保护接地线，应与电动型材切割机的接地装置可靠地联接。

### 2.3.2 性能

电动型材切割机以砂轮片的直径划分规格，按其采用的电动机类型有三相型材切割机、单相电容型材切割机和单相串激型材切割机等品种。国内生产的上述

品种的电动型材切割机列于表 4.5.8。

表 4.5.8 电动型材切割机性能数据

性能参数		J1GP-300	J3GZ-400	J3GX-400	J1G-400	J1GX-400
额定电压(V)		200 ~	380 3~	380 3~	220 ~	220 ~
输出功率(W)		1450	2200	2200	2200	2200
频率(Hz)		50/60	50	50	50	50
主轴空载转速(r/min)		3800	2880	2880	2900	2900
砂轮片规格(mm)		$\varnothing 300 \times 3 \times \varnothing 25$	$\varnothing 400 \times 3 \times \varnothing 32$	$\varnothing 400 \times 3 \times \varnothing 32$	$\varnothing 400 \times 3 \times 25.4$	$\varnothing 400 \times 3 \times 25.4$
砂轮片安全线速度(m/s)		80	80	80	80	80
可转夹钳的可转角		0~45°	0~45°	0~45°	0~45°	0~45°
切割能力 (mm)	钢管	$\varnothing 100 \times 6$	$\varnothing 135 \times 6$	$\varnothing 135 \times 6$	$\varnothing 135 \times 6$	$\varnothing 135 \times 6$
	角钢	80×10	100×10	100×6	100×10	100×6
	槽钢	-	120×53	120×53	120×53	120×53
	圆钢	$\varnothing 30$	$\varnothing 50$	$\varnothing 50$	$\varnothing 50$	$\varnothing 50$
质量(kg)		17	80	80	100	100

J1GP-300 型为单相串激型材切割机,表中的功率是额定输入功率。

### 2.3.3 使用方法

电动型材切割机是运用增强树脂薄片砂轮高速旋转切割各种型材的电动工具,使用中特别要重视安全。

(1)禁止在含有易燃和腐蚀性气体及潮湿或受雨淋的场所使用,要保证操作场所光线充足。

(2)保持底盘工作台面的整洁,不乱堆物品,防止引起事故。

(3)在调换砂轮片或检查电动型材切割机前应拔掉电源插头。启动切割机前应先检查扳手是否从砂轮片夹紧装置上取下。

(4)操作时不得穿着宽大的衣服,以防止被高速旋转的砂轮片卷住。

(5)操作时必须戴上护目眼镜等防护用品。

(6)不得使用大于所用的电动型材切割机规格的最大允许尺寸的砂轮片。必须采用增强树脂砂轮片,其安全线速度不能低于 80m/s。

(7)不允许拆除砂轮保护罩及传动带罩壳进行操作。

(8)电动型材切割机操作时,无关人员应与切割机保持一定距离,不要靠近。

(9)操作电动型材切割机时,姿势要正确,身体要始终保持平衡。切勿站立在切割机底盘台面上,以防无意识地接通电源而发生伤害事故。

(10)电源线不得与砂轮片接触。

(11)电动型材切割机使用时必须进行可靠地保护接地。

(12)操作者不要在无人看管电动型材切割机的情況下离开切割现场。如果要

离开,则必须切断切割机电源,完全停机后才能离开。

砂轮片的选用要注意:

(1)砂轮片的安全线速度不能低于规定的安全线速度。

(2)砂轮片的直径必须与电动型材切割机的规格一致。

(3)砂轮片的厚、薄应一致,砂粒分布应均匀,用木槌轻击砂轮应无破裂声。

(4)砂轮片的出厂日期应在一年以内,超过一年后,由于增强树脂性能改变,应重新进行回转试验,以保证使用安全。

(5)砂轮硬度是影响手持式直向砂轮机磨削效率的重要因素。一般加工软材料的工件应选用较硬的砂轮;加工硬材料的工件则选用软砂轮。由于软材料容易磨削,砂轮工作面的磨粒不易磨钝,为了不使砂轮上磨粒在未磨钝前就脱落,砂轮应选择硬一些的。加工硬材料工件时,磨粒容易磨钝,为保持砂轮较高的磨削效率和不烧伤工件,磨钝的磨粒应较快地脱落并突出新的锋利磨粒,应选硬度低一些的砂轮。一般手持式直向砂轮机选用的砂轮,其硬度应适当低一些为好。这样可以改善砂轮的自锐性,即磨钝的磨粒容易脱落,以保持锋利的刃口,具有良好的磨削性能。

(6)为提高磨削效率、减轻劳动强度,应尽量选用粒度粗一些的砂轮。一般砂轮的粒度与加工工件材料的选用关系如下:粗磨铸件选用 $12^{\#} \sim 16^{\#}$ ;清理钢锭、铸铁选用 $16^{\#} \sim 24^{\#}$ ;打光焊缝、磨平表面选用 $36^{\#} \sim 46^{\#}$ 。

操作时,电动型材切割机接入电源前应检查:

(1)所接用电源的类别必须与电动型材切割机铭牌上的电源类别相符。

(2)电源开关必须处于关断状态。

(3)砂轮片应完好,无裂痕或其他缺陷。

(4)砂轮片的安装必须牢固、可靠。

(5)砂轮片保护罩和传动带罩壳安装应牢靠。罩壳应保持干燥、整洁。

(6)装卸砂轮片的扳手等工具已取下。

(7)调整切割角度。根据切割需要,将夹钳与砂轮片主轴调节在规定的角度上。调整时,拧松固定钳口两只螺栓,转动固定钳口,使零位线对准所需角度,然后再拧紧螺栓。操作手柄,转动传动螺杆带动可自由旋转的活动钳口,使其与固定钳口平行。

(8)检查电源线应完好无损,接地芯线的联接应可靠。电源线不允许接触砂轮片。

切割工件前应准备:

(1)起动电动型材切割机空载运转1min。如果调换新砂轮片,则应空载运行3min。

(2)转动砂轮片,检查其偏斜。如果发现明显晃摆,则会引起电动型材切割机运转不稳定,产生振动会影响使用。

(3)检查砂轮片的旋转方向,应与砂轮片保护罩上标志的箭头方向一致。如果不符,应停机调换电源线相序,以调整旋转方向

(4)按被切割工件的要求,将工件牢固地夹在钳口中,并将控制工件长度的挡板进行调整、固定

起动电动型材切割机,待砂轮片运转稳定后,操作手柄就能进行切割作业。

切割作业时应注意:

(1)操作要平稳,不能用力过猛,更不能用砂轮片冲击工件,以免过载或砂轮片爆裂

(2)切割工件时,如果发现砂轮片转速下降,应及时减小对操作手柄的压力

(3)工件完成切割后,把操作手柄退回原来位置,然后将电源开关断开。取出工件后再作下一次切割的准备。

砂轮片进行安装和拆除时,首先应将电动型材切割机的电源插头从插座上拔下,并将砂轮片保护罩和罩盖卸下

拆卸砂轮片要按下述顺序进行:

(1)将扳手棒插入主轴孔内,或用扳手夹住砂轮片定压板,以卡住主轴

(2)用扳手旋松卸下砂轮压板的螺母。

(3)取下砂轮压板、衬垫,然后把砂轮片拿下来

安装砂轮片要注意:

(1)将砂轮压板、衬垫和主轴的尘垢清除干净,然后按拆卸砂轮片的相反顺序进行安装

(2)拧紧压板螺母,并将扳手和扳手棒从切割机上拿下。

(3)装上砂轮片保护罩的罩盖

电动型材切割机使用完毕后,不允许用拖拉电源线的方式来移动切割机

电动型材切割机应存放在干燥、无腐蚀性气体的场所。存放前用布擦去切割机上的屑末和灰尘。轴、钳口的转动部位、钳口的滑道等处应注入润滑油

砂轮片必须存放在干燥的地方,否则砂轮片容易吸潮,使其强度明显下降而不能使用

## 2.4 电动角向磨光机

电动角向磨光机用于切割不锈钢、合金钢、普通碳素钢的型材、管材或修磨工件的飞边、毛刺、焊缝,用等离子切割后的大直径不锈钢、合金钢管的切口,也能用它来修磨切口。

电动角向磨光机除切割、修磨工件外,换上专用砂轮可切割砖、石、石棉波纹板等建筑材料;换上圆盘钢丝刷,砂盘可用于除锈,砂光金属表面;换上抛轮则可抛光各种材料的表面

电动角向磨光机已在机械制造、造船、电力、建筑等部门获得了广泛的应用。

### 2.4.1 结构

电动角向磨光机由电动机、齿轮箱、手柄、电源开关、纤维增强拔形砂轮及砂轮夹紧装置等组成,结构见图 4.5.7。

电动角向磨光机按采用的驱动电动机有单相串激角向磨光机和三相中频角向磨光机。

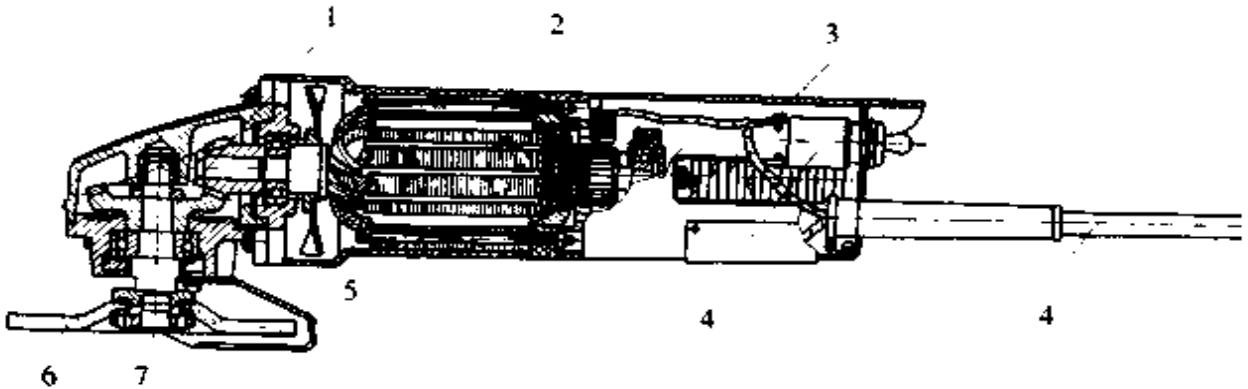


图 4.5.7 电动角向磨光机结构

1—减速箱 2—电动机 3—外壳 4—电源装置联接件  
5—砂轮保护罩 6—砂轮片 7—砂轮夹紧装置

齿轮箱内装置一对螺旋锥齿轮,箱壳一端与电动机的机壳用螺钉联接;另一端通过砂轮接盘与拔形砂轮和圆螺母紧固在一起。拔形砂轮的防护罩固定在齿轮箱壳体的下端,组成了砂轮装置。砂轮轴的上端采用滚针轴承,以减小拔形砂轮的径向摆动。

单相串激角向磨光机的电动机转轴附加绝缘采用在风扇与转轴配合处实施接轴绝缘,后罩用工程塑料制成。

电动角向磨光机作业工具有拔形砂轮、盘形钢丝刷、抛盘等。

拔形砂轮是用一个专用的弹性圆盘作支承体,在其上可设置棉织物或圆盘式砂布、砂纸。

115mm 以上的电动角向磨光机的齿轮箱一侧还设有一只辅助手柄,便于操作。辅助手柄与电动角向磨光机用螺纹联接,可以根据操作的需要进行装卸。螺纹联接的螺纹规格及旋合长度列于表 4.5.9。

表 4.5.9 螺纹联接辅助手柄的螺纹规格及旋合长度

螺纹规格	M8	M10	M12	M16	M20
螺纹旋合长度(mm)	≥6	≥8	≥10	≥12	≥15

工作时,电动机的高速旋转运动经一对螺旋锥齿轮减速,并与轴线变换成 90°



后驱动拔形砂轮作高速磨削或切割作业。

### 2.4.2 性能

电动角向磨光机按拔形砂轮直径分级,规格有 100、115、125、150、180、230mm,均采用安全线速度为 80m/s 的纤维增强树脂拔形砂轮。单相串激角向磨光机的技术性能数据列于表 4.5.10

表 4.5.10 双重绝缘 SIM 系列单相串激角向磨光机技术性能数据

型号	拔形砂轮规格 (mm)	额定电压 (V)	输入功率 (W)	额定转矩 (N·m)	额定转速 (r/min)	最高空载 转速 (r/min)	质量 (kg)
SIM-100	∅100×5×∅16	220~	370	0.38	≥5700	≤15000	1.9
SIM-115	∅115×5×∅22(16)	220~	530	0.50		≤13200	2
SIM-125	∅125×5×∅22	220~	530	0.63	≥5700	≤12500	3.0
SIM-150	∅150×5×∅22	220~	800	0.80	≥400	≤10000	4.5
SIM-180	∅180×5×∅22	220~	1700	2.50	≥4100	≤8500	6.5
SIM-230	∅230×5×∅22	220~	1700	3.55	≥3100	≤6600	8.0

### 2.4.3 使用方法

电动角向磨光机以高速旋转驱动作业工具来进行磨削、坡口、切割、砂光、抛光及除锈等作业,使用中除要注意一般的安全事项外,还需注意:

(1)使用前要检查拔形砂轮,砂轮厚薄应一致,砂粒分布应均匀,内孔偏差应为 0.11~0.13mm;外圆与内孔的不同轴度应较小,一般应为 0.15~0.20mm。用木槌轻击砂轮应无破裂声。砂轮出厂日期应在一年之内,如超过一年,由于增强树脂性能改变,应重新进行回转强度试验,以保证使用安全。

(2)在起动电动角向磨光机进行磨削或切割前,应先检查砂轮的旋转方向与齿轮箱头部标记的表示旋转方向的箭头方向是否相符,如一致才能进行作业。

(3)使用前必须检查拔形砂轮的安全线速度,不能低于 80m/s。

(4)操作电动角向磨光机不要用力过猛或冲撞工件,以免拔形砂轮受冲击使砂轮爆裂而引起伤亡事故。

调换拔形砂轮应按规定的顺序拆卸或装配。拆卸砂轮时用专用扳手夹持主轴,然后用叉形扳手拆卸固紧砂轮压板的圆螺母。带有主轴锁定装置的电动角向磨光机只要按下主轴锁定按钮即能把主轴锁定,然后只需用一只叉形扳手就能将固紧砂轮压板的圆螺母卸下,即可调换砂轮。当调换工作结束时,要检查主轴锁定按钮是否已复位。如锁定按钮未复位时就接上电源起动电动角向磨光机,将会因主轴制动而损坏。调换砂轮时砂轮一定要夹紧,否则起动时由于离心力的作用容易使砂轮飞出,造成意外事故。

### 2.4.4 选用

电动角向磨光机规格的选用应根据实际需要来确定。如∅100mm 电动角向

磨光机的功率较小,磨削效率较低,操作力稍大时易过载损坏;但其重量轻,并可单手操作,使用方便,尤其适用于爬高作业。 $\varnothing 180$ 、 $\varnothing 230$ mm 电动角向磨光机质量较重;但功率大,磨削效率高,在需要大量磨削的工件及坡口、切割作业时较适用。 $\varnothing 125$ mm 电动角向磨光机的功率及质量均在上述两者之间,在不需爬高的场所较为适宜。

#### 2.4.5 操作

操作电动角向磨光机除 $\varnothing 100$ mm 规格外,其他应装上辅助手柄,两手紧握工具以实现全面控制。但在启动时,启动扭矩会使工具出现短暂的突然跳动。

操作时应先启动电动角向磨光机,后接触工件;先离开工件,后切断电源。

进行磨削或切割作业应注意以下事项:

(1)为保证磨削效率,磨削时应使拔形砂轮平面与工件表面成 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,使拔形砂轮边缘在约2.5cm的表面接触工件。如用于切割,则应使电动角向磨光机沿切割砂轮平面推进,不要左右移动导致砂轮损坏。

(2)磨削不同材料工件时,为提高磨削效率,应选用不同粒度和硬度的拔形砂轮。磨削不同材料时,拔形砂轮的粒度及硬度的选择参见手持式直向砂轮机使用方法。

(3)操作时应戴好防护眼镜,无关人员不要接近作业现场。砂磨或切割工件时应均匀施加压力,不要用力过大,防止电动角向磨光机过载。当发现转速明显下降时,应减小压力以免损坏电动角向磨光机。

进行砂光、抛光作业时应按下述事项进行操作:

(1)进行砂光作业应先卸下砂轮,装上专用的弹性圆盘和圆盘式砂布或砂纸。砂布或砂纸一般粘有 $36^{\#}$ 或 $46^{\#}$ 磨料,适于去毛刺、爪痕、锈刃、打底和腻平前的粗磨等。

(2)进行抛光作业应先卸下砂轮和防护罩,装上抛盘,但抛盘的直径应比砂轮直径小,以不能大于抛盘的允许线速度为准。抛光常用的磨料有氧化铬、氧化铁、硅藻石或由这些磨料组成的各种混合物等。氧化铬磨料主要是作硬度高的金属抛光用;氧化铁磨料供镍、钢、铜抛光用;硅藻石供软金属抛光用。

表 4.5.11 各种材料加工的线速度推荐值 m/s

被加工材料	砂光	抛光
钢	15~40	20~35
铸铁	20~25	30~35
镍、铬	-	30~35
铜、黄铜、青铜	-	20~30
锡、铅、铝合金	-	18~25

(3)弹性圆盘和抛盘的线速度对工件的砂光和抛光有很大影响。表 4.5.11 列出了各种材料加工时推荐的线速度。

进行除锈作业时,应先卸下砂轮和防护罩,装上钢丝刷。换装的钢丝刷的外径一般应比砂轮小(如 $\varnothing 100\text{mm}$ 电动角向磨光机装用 $\varnothing 75\text{mm}$ 外径的钢丝刷),以免过载。

## 2.5 电动平板摆动式砂光机

电动平板摆动式砂光机适用于建筑装潢,房屋、商场装修,家具制造等场所对木结构件进行精磨砂光、打蜡上光以及内外墙面装饰的砂平、砂光作业;也能用于汽车、造船等部门作除锈、油漆工序中的打光腻子等。它既能用作平面的砂光,又能砂光略带弧形的曲面。

### 2.5.1 结构

电动平板摆动式砂光机由电动机、摆动机构、夹紧装置、电源开关及电源联接装置件等组成,结构如图4.5.8。

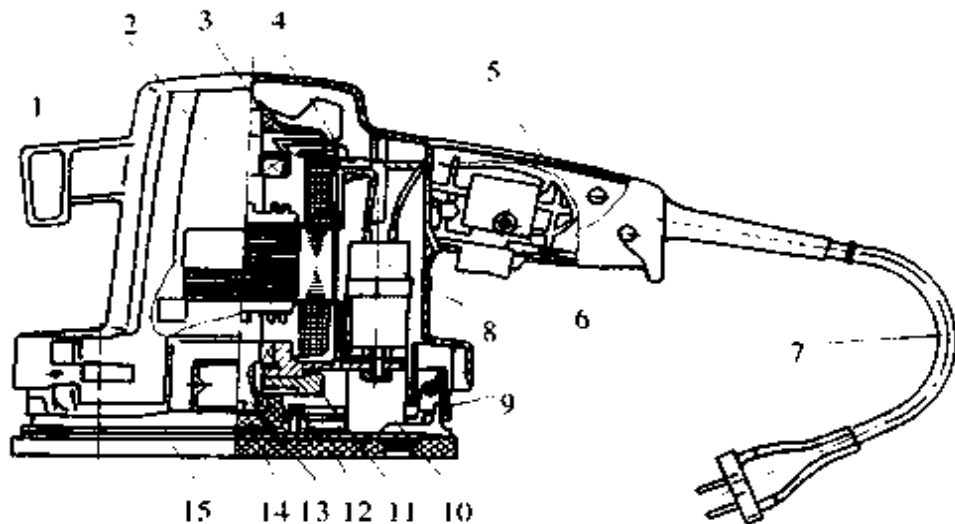


图 4.5.8 单相电容平板摆动式砂光机的结构

1—前手柄 2—外壳 3—风扇 4—上端盖 5—后手柄 6—开关  
7—电源联接装置件 8—电容器 9—夹紧装置 10—橡胶柱 11—偏心块  
12—摆动平板 13—偏心轴 14—塑料轴承座 15—橡胶海绵垫

电动平板摆动式砂光机由电动机的旋转运动带动偏心轴,偏心轴驱动装置各种粒度砂纸或砂布的摆动平板作轨道圆摆动,对作业面进行砂光。

按选用的电动机类型,电动平板摆动式砂光机有单相串激式和单相电容式两种。

图4.5.8是单相电容平板摆动式砂光机的结构,是Ⅱ类工具。电动机的定子和转子由上、下端盖固定,成为一个单独的部件。电动机由其端盖上的四个突缘与用聚碳酸酯注塑成型的外壳通过螺钉固定联接成一体,使塑料外壳与定子铁心构成定子附加绝缘。连接转子输出轴的轴承,其轴承室用增强尼龙注塑成型,轴承室与铝合金平板联接成一体。塑料的轴承室、转子输出轴与铝合金平板在电气上隔

开,从而使塑料轴承室构成转子的附加绝缘。

摆动机构由偏心轴、摆动平板、橡皮海绵垫、橡胶柱等构成。橡皮海绵垫贴附在用铝合金压制的平板上,砂纸或砂布由平板两端的弹簧等零件组成的夹紧装置牢固而平整地夹紧,并安置在橡胶海绵垫上。摆动平板由四只橡胶柱与外壳用螺钉相联接。四只橡胶柱在平板摆动时起吸振作用。

单相电容平板摆动式砂光机的平板动作呈轨道圆摆动,它是通过偏心结构来实现的。转子输出轴轴端为偏心,偏心距为2.5mm。偏心轴直接通过轴承座带动平板,平板质量约为0.72kg。为了克服偏心在旋转时产生的不平衡离心力而引起的振动,在紧靠平板的转子轴上安装一扇形偏心平衡块,平衡块质量约为0.115kg,其在轴上的安装方向与转轴的偏心平衡块方向成180°,使由转子偏心轴驱动平板形成的离心力与扇形偏心平衡块产生的不平衡离心力大小相等、方向相对,从而消除因转轴偏心而引起的整机振动。

扇形偏心平衡块虽然能有效地平衡整机的振动,但砂光机在操作时施加正压力后亦会引起整机跳跃的振动而影响操作。为消除这类振动,采取了以下措施:

- (1)在平板与砂纸或砂布之间贴附一层橡胶海绵。
- (2)平板与塑料外壳用四只橡皮柱作弹性连接。
- (3)增强尼龙的轴承座既作附加绝缘,又能起一定的吸振作用。

由于单相电容电动机竖立在壳体内,又因为温度等变化引起电动机转轴轴向尺寸的变化,在转轴两轴承挡之间要设置间隙。但此间隙会因转子的自重而下垂在前端盖上;在砂光作业时,转子也可能因振动而上、下窜动。因此,在上端盖轴承室内装置一对蝶形弹簧,以消除间隙,并以蝶形弹簧的变形来保证由于温度变化引起的尺寸链变化所需的间隙。

电源开关选用带自锁的自动复位开关,该开关输出端有4只接线端子,可供电动机主、副绕组引出线作接线端子用。

单相串激平板摆动式砂光机是Ⅱ类工具,其塑料外壳为对开式全止口结构。电动机、摆动机构等部件全部装置壳内,结构简单,装配维修方便。塑料外壳为定子附加绝缘;转子附加绝缘采用轴绝缘形式。

单相串激平板摆动式砂光机的平板作轨道圆摆动,对作业面进行砂光的原理与单相电容平板摆动式砂光机相同;差别在于摆动由电动机的旋转运动带动偏心风扇转动而产生。

为消除单相串激平板摆动式砂光机工作时对收音机、电视机的干扰,装置有抑制电磁干扰的基本抑制器和附加抑制器。

### 2.5.2 性能

电动平板摆动式砂光机以平板面积划分规格。国内生产的电动平板摆动式砂光机有单相电容式和单相串激式两个品种,技术性能数据列于表4.5.12。

表 4.5.12 电动平板摆动式砂光机技术性能

型 号	平板尺寸 (mm)	额定电压 (V)	额定输出 功率 (W)	额定电流 (A)	额定频率 (Hz)	额定摆动 次数 (min <sup>-1</sup> )	质量 (kg)
SIGB-250	250×100	220~	175	0.78	50	≥5500	3.0
SIGB-110	110×100	220~	180	-	50	≥24000	1.3

SIGB-250 型为单相电容平板摆动式砂光机, SIGB-110 型为单相串激平板摆动式砂光机。

### 2.5.3 使用方法

电动平板摆动式砂光机使用中应注意如下安全事项:

- (1) 电源电压应符合砂光机铭牌标志, 且不允许超过额定值的 10%。
- (2) 各机械、电气联接应牢固、可靠、无松动。砂光机运转正常, 无异常杂声。
- (3) 砂光机电源插头插入插座前应检查电源开关是否处于关断位置。
- (4) 操作时应戴防护用品, 例如防尘罩、护目眼镜等。

砂纸或砂布:

砂光机应使用标准规格的砂纸或砂布。砂磨不同材质的工件应选用不同磨料制成的砂纸或砂布。砂磨金属制件应采用 36<sup>#</sup> 或 46<sup>#</sup> 磨料制成的砂布; 砂光木制件应采用以刚玉作磨料的砂纸。砂纸或砂布的磨料粒度应按砂磨加工件的要求来选择, 一般粗砂选择粒度大一些的砂纸或砂布; 精砂应选择粒度小的砂纸或砂布。粗砂用的砂纸或砂布的磨料粒度为 36<sup>#</sup> 或 46<sup>#</sup>。

### 2.5.4 操作

操作砂光机的步骤和注意事项如下:

(1) 装置砂纸或砂布时应先按压压紧杠杆(单相电容式砂光机)或拉出压板杆(单相串激式砂光机)。将砂纸或砂布的边缘插入压板内并解除外施力, 让压紧杠杆或压板杆复位, 由压板上的锯齿将砂纸或砂布压紧定位。然后, 使砂纸或砂布保持适当的张力平复在衬垫上。按上述操作方法再将砂纸或砂布的另一端插入压板内, 由压板的锯齿牢固地咬住砂纸或砂布, 使其在砂磨时不松动、不打滑, 以免影响作业面的加工质量。

(2) 起动砂光机, 空载运行 1min。

(3) 砂磨时应在砂光机上施加径向正压力, 但加压要适当、均匀, 不要加压过猛而造成砂光机过载和损伤作业面。一般操作时, 砂光机应均匀地在作业面上移动, 一次只能磨削少量材料, 以获得光滑平整的加工质量面。

(4) 砂光机平板上如果装置绒布块, 可对家具、地板等打蜡上光。

(5) 砂光机平板上如果没有砂纸、砂布、绒布块等作业工具时不允许使用, 以免损坏平板衬垫。

单相电容平板摆动式砂光机中的电容器工作电压为 400V, 介电强度应满足

1500V 试验电压下历时 1min。这是因为单相电容电动机的起动转矩由电容器分相获得。定子绕组由主绕组和副绕组组成,副绕组中串联  $4\mu\text{F}$  电容器。这样,副绕组的电感、电阻和电容构成了阻抗三角形。在空载时,当外施电压为 220V 时,电容器两端的电压在 340~380V 之间,因此,在维修调换电容器时要注意安全。

## 2.6 电动扳手

电动扳手是装卸螺纹联接件的手持式电动工具,广泛应用于汽车、拖拉机、电机电器、动力机械、阀门、水泵、纺织机械等制造业的装配工作中,在化工、水泥预制件、塑料成型等作业中则用于生产流程中装拆真空罐、反应釜和水泥模板、带螺纹塑料件的脱模工作;也可用在铁道、桥梁、建筑等工程中作水泥轨枕、桁架节点、角钢脚手架等结构的安装、检修和拆换工作。

### 2.6.1 结构

电动扳手有安全离合器式和冲击式两种结构型式。

安全离合器式是一种采用达到一定力矩时就脱扣的安全离合器机构,来完成装拆螺纹件的结构型式;冲击式则是采用冲击机构,以其冲击力矩完成装拆螺纹件的结构型式。前者由于其结构简单,输出力矩较小,且存在一定的反作用力矩,一般仅适于制造 M8mm 及以下的电动扳手;后者结构较复杂,制造工艺要求高,但其输出力矩大,且反作用力矩甚小,一般适于制造较大规格的电动扳手。

冲击式电动扳手由电动机、行星齿轮减速器、滚珠螺旋槽冲击机构、正反转电源开关、电源联接装置件和机动套筒等组成,结构如图 4.5.1:

冲击式电动扳手按选用电动机的类型有单相串激电动扳手和三相电动扳手。

单相串激电动扳手的电动机装置在塑料外壳内。塑料外壳既用作支承电动机的结构件,又是电动机定子的附加绝缘。由于冲击式电动扳手在装配或拆卸螺纹件时,装置电动机的塑料外壳的端面与装置行星齿轮减速器和滚珠螺旋槽冲击机构的塑料前罩壳间存在着较大的轴向拉力,以及行星齿轮减速器要求有较高的装配精度,因此在塑料外壳的止口、轴承室和螺纹联接处均设置金属嵌件,以增强外壳的刚性,提高塑料外壳的加工精度和联接处承受轴向力的能力。

转子附加绝缘采用转轴绝缘,使转子铁心与机动套筒间在电气上隔离。

由于冲击式电动扳手的结构安排和大速比的要求,多采用行星齿轮减速装置。

图 4.5.9 是滚珠螺旋槽冲击结构。电动机的旋转运动经行星减速器带动主轴旋转,通过夹于两螺旋槽的滚珠带动主动冲击块旋转。由于工作弹簧的压力使主动冲击块和从动冲击块的牙处于啮合状态,从动冲击块即随着旋转,带动套筒使螺母迅速地拧紧。当螺母的端面与工件端面接触后,阻力矩急剧上升,转动的螺旋槽使滚珠带着主动冲击块克服摩擦力和工作弹簧压力向后移动,主动冲击块和从动冲击块互相啮合的牙脱离啮合。此时,从动冲击块不移动,而主动冲击块继续移

动。在转过从动冲击块的牙后,由工作弹簧的作用使主动冲击块瞬时前移,并沿螺旋槽产生一个角加速度,主动冲击块撞击从动冲击块,两牙产生碰撞。然后螺旋槽又使滚珠和主动冲击块后移,脱离啮合。这样周而复始产生一次又一次的碰撞,获得所需的冲击力矩,使螺母紧固。

滚珠螺旋槽冲击结构产生的力矩  $M_c$  由下式表示:

$$M_c = M_H + M_I (\text{N}\cdot\text{m})$$

式中  $M_H$ —旋转力矩( $\text{N}\cdot\text{m}$ );

$M_I$ —冲击力矩( $\text{N}\cdot\text{m}$ )。

由于滚珠和螺旋槽是滚动摩擦,所以旋转力矩  $M_H$  相对冲击力矩  $M_I$  是很小的。相反,主动冲击块的回转惯量很大,所以冲击力矩  $M_I$  相对旋转力矩  $M_H$  是很大的,这是明显区别于牙嵌式离合器结构的特征。

M16mm 以下规格的电动扳手采用手枪式手柄, M20mm 以上规格的电动扳手设置有辅助手柄。

电动扳手具有装卸螺纹联接件的功能,因此在手柄上装有两只开关。一只用作电源开关,以操作电动机的起动和停转;另一只用作改变转子的旋转方向,由于该开关的通断能力较小,不宜在接通电源时使用。一般情况下,当需要改变旋转方向时,应先用电源开关切断电流,然后再将改变旋转方向的开关旋钮转动  $90^\circ$ 。在单相串激电动扳手中,上述两只开关多制成一体,称正、反转开关。

套筒是紧固或拆卸六角头螺栓、六角螺母的作业工具。电动扳手采用机动四方传动套筒。

套筒与电动扳手用四方联接,方孔公称尺寸有 6.3、10、12.5、16mm 四挡。方孔与电动扳手的连接采用弹性销或 O 型橡胶圈两种结构型式。

套筒用机械性能不低于 40Cr 钢的合金结构钢制造。套筒的硬度不大于 HRC48。套筒的外表面有电镀金属覆盖层或进行氧化处理。

电动扳手的工作持续率为 25%。

## 2.6.2 性能

电动扳手以拧紧和拆卸螺栓、螺母的公称直径划分规格。国内生产的双重绝缘 PIB 系列单相串激电动扳手技术性能数据列于表 4.5.13。

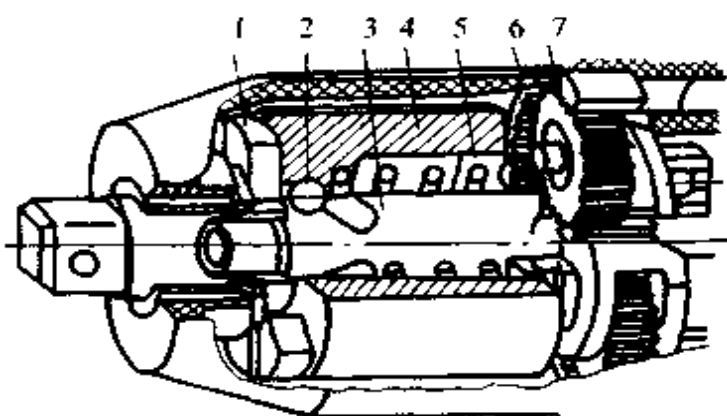


图 4.5.9 滚珠螺旋槽冲击结构

1—从动冲击块 2—钢珠 3—主轴 4—主动冲击块 5—工作弹簧 6—行星齿轮 7—内齿圈

表 4.5.13 单相串激电动扳手技术性能数据

型号	装拆螺纹件的最大规格 (mm)	最适用范围 (mm)	结构型式	额定电压 (V)	额定力矩 (N·m)	冲击次数 (min <sup>-1</sup> )	方头公称尺寸 (mm)	边心距 (mm)	质量 (kg)
PIB-8	M8	M6 ~ M8	安全离合器式	220 ~	0.4 ~ 15	≥1500		≤22	1.7
PIB-12	M12	M10 ~ M12	冲击式	220 ~	15 ~ 60	≥1500	12.5 × 12.5	≤36	2.0
PIB-16	M16	M14 ~ M16	冲击式	220 ~	50 ~ 150	≥1300	12.5 × 12.5	≤40	4.0
PIB-20	M20	M18 ~ M20	冲击式	220 ~	120 ~ 220	≥1500	20 × 20	≤50	5.7
PIB-24	M24	M22 ~ M24	冲击式	220 ~	220 ~ 400	≥1300	20 × 20	≤50	6.5
PIB-30	M30	M28 ~ M30	冲击式	220 ~	600 ~ 800	≥1500	20 × 20	≤50	6.8

注: PIB-8 型电动扳手工作头轴伸端不是方头而是对边距离为 10mm 的六角孔。

电动扳手的额定力矩或力矩范围与螺纹联接件的尺寸、材料、衬垫系统和拧紧时间均有关系。所谓额定力矩是指在额定电压、额定拧紧时间为 5s, 以该电动扳手最适用范围的由 45 号或 35 号钢制造的螺栓为试件, 采用刚性衬垫时电动扳手应达到的力矩。冲击式电动扳手的力矩用冲击时间来调节; 安全离合器式电动扳手的力矩用调节工作弹簧来达到。

边心距是指电动扳手工作头主轴中线与外形边缘平行线之间的距离。

### 2.6.3 使用方法

电动扳手使用中的安全事项基本与电钻相同。此外, 还必须注意:

(1) 电动扳手使用的套筒应采用机动套筒, 不应使用手动套筒, 以免由于强度不够而造成套筒爆裂飞溅, 引起事故。

(2) 三相电动扳手在使用前必须进行可靠保护接地后才能操作; 如果使用控制器则必须将控制器可靠接地后, 才能将电动扳手的电源插头插到控制器上。

### 2.6.4 选用

根据螺纹件拧紧作业所选用的电动扳手规格, 其额定力矩必须满足螺纹件拧紧力矩的要求。选用的规格小, 螺纹件达不到夹紧力而不能紧固; 选用的规格太大, 则螺纹件因夹紧张力过大而破坏。

表 4.5.14 列出了能达到设计夹紧力的部分规格螺钉的力矩范围及推荐选用的电动扳手的规格。如果电动扳手用于弹簧衬垫系统的螺纹件(如汽缸盖螺钉)的紧固, 则一般要选大一挡的规格。

表 4.5.14 螺钉规格的力矩范围推荐值及电动扳手规格的选用

螺纹规格 (mm)	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M30
力矩范围 (N·m)	4 ~ 8	8 ~ 15	15 ~ 40	25 ~ 60	50 ~ 100	100 ~ 150	120 ~ 180	150 ~ 220	220 ~ 300	270 ~ 400	-
选用电动扳手	PIB-8	PIB-12		PIB-16		PIB-20		PIB-24		PIB-30	



### 2.6.5 操作

(1) 起动电动扳手, 观察主轴旋转方向是否符合装配或拆卸螺纹件所需的方向。如果不符, 应切断电源, 待电动扳手停转后将换向开关旋转  $90^\circ$ , 然后再起动电动扳手进行作业。对有控制器的电动扳手, 应将控制器上的“手控”、“自控”手柄拨到“手控”位置, 然后起动电动扳手观察主轴旋转方向。旋转方向转换的方法同上。

(2) 根据被装配或拆卸螺栓、螺母的对边尺寸选择合适的机动套筒, 并与主轴方头连接成一体。

(3) 根据螺纹件的拧紧力矩要求选择合适的紧固(冲击)时间。有控制器的电动扳手将控制器“手控”、“自控”手柄拨到“自控”位置, 调整控制器的时间控制旋钮来选择螺纹联接件紧固(冲击)时间。一般, 装配一个螺纹件的冲击时间为  $2 \sim 3s$ , 不应超过  $5s$ , 以避免由于过高的螺纹夹紧力而损伤, 甚至破坏螺纹。间歇时间一般为  $7 \sim 10s$ 。因此, 操作时控制螺纹件的冲击时间可获得定值的拧紧力矩, 从而达到定扭矩的要求。

(4) 将螺栓、螺母的六角头部套入套筒内, 扶正电动扳手, 使其轴线与螺纹件轴线对准, 用手扶稳, 按下电源开关即可实现拧紧作业。操作时不需对电动扳手施加轴向压力, 只要将电动扳手扶持托稳即可。

(5) 电动扳手在操作中应认真执行  $25\%$  的工作持续率, 冲击时间不超过  $5s$ 。

电动扳手在操作过程中, 如果发生螺旋槽中滚珠脱离、工作弹簧的刚度降低、从动冲击块的牙打圆以及主动轴螺旋槽出现毛刺会引起输出力矩下降, 甚至主动冲击块被卡死造成电动扳手不脱扣而丧失工作能力。在电动扳手的保养和维护时应充分注意。

## 2.7 电动螺丝刀

电动螺丝刀适用于机械装配、造船、列车车厢、客车修造及家具、建筑中的螺钉联接的紧固或拆卸。

### 2.7.1 结构

单相串激螺丝刀的结构由单相串激电动机、齿轮减速箱、离合器装置、螺丝刀头和保护套、正反转电源开关及电源联接装置件等组成, 见图 4.5.10。

电动机置于塑料外壳内。塑料外壳既是支承电动机的结构件, 又是定子铁心的附加绝缘。

转子附加绝缘采用转轴绝缘, 使转子铁心与外露金属零件呈电气隔离。

齿轮箱用铝合金压铸而成, 一端通过中间盖与塑料外壳用螺钉联接; 另一端用螺纹与内装离合器装置的外套筒联接。齿轮箱内装置两对圆柱斜齿轮。

离合器装置由牙嵌离合器、压力弹簧、调节螺母和装卡螺丝刀头的主轴等组成, 结构见图 4.5.11。

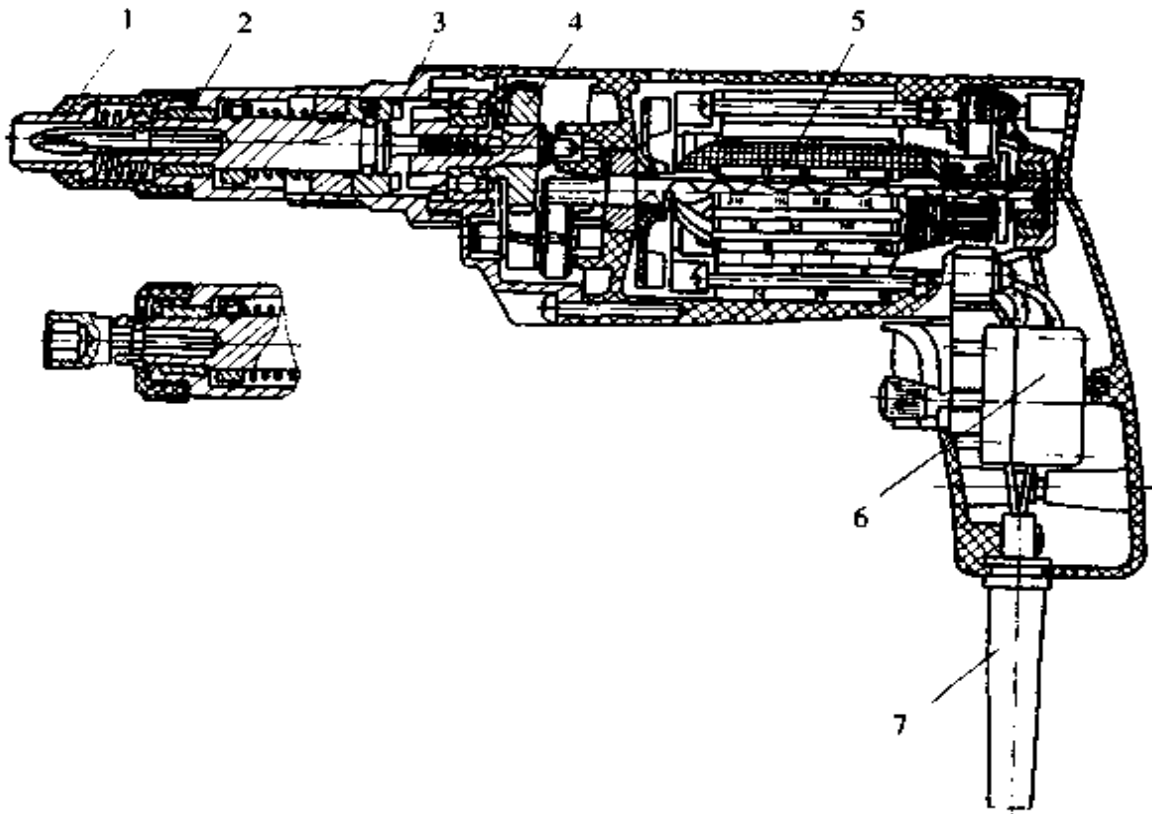


图 4.5.10 单相串激螺丝刀的结构

1—保护套 2—螺丝刀头 3—离合器装置 4—减速箱  
5—电动机 6—正反转开关 7—电源联接装置件

螺丝刀头的旋转运动由电动机经二级齿轮减速后,驱动空心轴4旋转。空心轴前端为牙嵌离合器的主动件,电动机起动后,空心轴空载旋转,螺丝刀头静止不动。当螺丝刀头受轴向压力时,空心轴弹簧1压缩,使离合器从动件5端面的牙与空心轴前端离合器主动件的牙啮合,从而由牙嵌离合器的钢球使主轴13单向旋转。主轴用轴销与螺丝刀头联成一体,螺丝刀头也一起旋转,即可进行拧紧或拆卸螺钉作业。

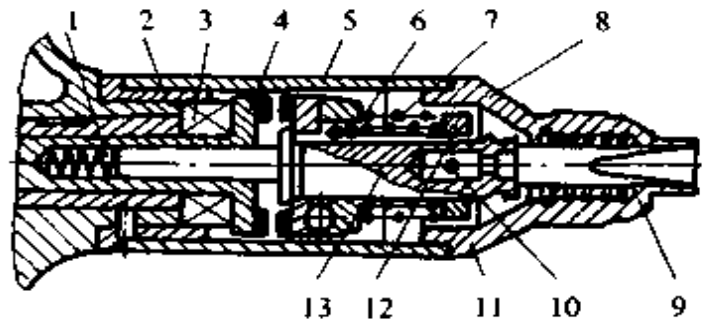


图 4.5.11 离合器装置结构

1—空心轴弹簧 2—外套筒 3—轴承 4—空心轴(离合器主动件) 5—离合器从动件 6—钢球  
7—工作弹簧 8—压缩弹簧 9—螺丝刀头 10—钢球 11—套筒 12—调节螺母 13—主轴

牙嵌离合器啮合后,由中间的两个钢球传递扭矩。工作时,如果达到所需扭矩或扭矩过大时,牙嵌离合器从动件就压缩弹簧8,从牙嵌离合器的主动件和从动件

脱离打滑,以防止损伤螺纹和电动机过载

调节螺母 12 用来调节螺丝刀头的输出扭矩。通过工作弹簧 7,调节牙嵌离合器从动件的压紧力,以保证在一定扭矩下牙嵌离合器能顺利分离。扭矩的大小可通过旋动调节螺母达到。如果调节螺母向牙嵌离合器方向旋动,弹簧压缩,传递扭矩大;如果调节螺母向牙嵌离合器反方向旋动,则弹簧受力小,传递扭矩也小。螺钉拧紧力矩可根据上述方法进行调整,以使螺钉与工件之间有稳定的夹紧力,从而保证螺钉与工件的装配质量

螺丝刀头有一字槽、十字槽和六角套等型式,根据被拧紧或拆卸的螺钉头部形式调换使用。

单相串激螺丝刀的手柄形式为手枪型。正反转电源开关装置在手柄的内腔。

### 2.7.2 性能

国内生产的双重绝缘 P1L-6 型单相串激螺丝刀技术性能数据如下:

拧紧最大螺钉直径(钢机制螺钉)	M6mm
木螺钉	M4mm
额定电压	交流 220V
额定电流	1.1A
输入功率	230W
拧紧力矩范围	2.5~8N·m
质量	1.7kg

### 2.7.3 使用方法

单相串激螺丝刀使用时的安全事项和操作方法与电动扳手基本相同。此外,还应注意:

(1)操作单相串激螺丝刀时,应先将螺丝刀头与螺钉头啮合并垂直;然后起动,再施加一定的轴向压力。

(2)单相串激螺丝刀的牙嵌离合器弹簧压力调整要适当。弹簧压力太大会损伤螺纹和使电动机过载;压力太小则螺钉拧不紧,达不到螺纹夹紧力的要求。一般可采取试拧螺钉,用测力螺丝刀来测定被拧螺钉的扭矩值,然后调节弹簧压力,直至获得所需的螺钉拧紧力矩的方法。

(3)单相串激螺丝刀用于拧紧木螺钉时,必须预先在木结构件上钻孔,其直径列于表 4.5.15。

表 4.5.15 不同木料预钻孔的钻头直径

	mm						
木螺钉公称直径	2.3	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
用于硬木的钻头直径	1.6	1.6	2.0	2.5	2.8	3.3	3.5
用于软木的钻头直径	1.4	1.4	1.8	2.0	2.4	2.8	3.0

## 2.8 冲击电钻和电锤

冲击电钻和电锤主要用于混凝土、砖石等建筑物、构件上凿孔、开槽、打毛等作业。用冲击电钻或电锤打孔可提高工作效率 15~20 倍,并可提高建筑物的装饰质量,以及设备、管道等的安装质量。

冲击电钻是一种旋转带冲击的电钻,一般制成可调式结构。当调节在旋转无冲击位置时,装上普通麻花钻就能在金属上钻孔;当调节在旋转带冲击位置时,装上镶有硬质合金片的钻头,就能在砖石、轻质混凝土等脆性材料上打孔。电锤制成具有冲击带旋转的机构,其冲击能量大,一般用在各类混凝土构件上打孔等作业。

### 2.8.1 冲击电钻的结构

冲击电钻由电动机、齿轮减速器、齿形离合器、调节环、电源开关及电源联接装置等组成。

冲击电钻前端头部置有调节环,调节环上设有“钻头”和“锤子”的标志。当调节环的“钻头”标志调到前罩壳上的定位标记时,离合器运动件脱离离合器静止件,电动机的旋转运动经齿轮减速后,主轴上的钻夹头夹持钻头作单一旋转运动;当调节环上的“锤子”标志调到前罩壳上定位标记时,离合器运动件与离合器静止件啮合,电动机的旋转运动经齿轮减速后带动离合器,主轴上的钻夹头夹持钻头在外施轴向力的作用下作旋转带冲击的复合运动。

离合器的静止件固定在用铝合金压铸的前罩壳内,离合器的运动件与主轴联接成一体。离合器静止件与运动件间装置一压缩弹簧。当电动机旋转时,经齿轮减速使主轴顺时针旋转,离合器主动件也随之一起旋转。由于操作者施加轴向压力,克服弹簧力使离合器啮合。

主轴的输出转矩使离合器主动件的齿产生轴向分力,离合器脱啮,而操作者继续施加轴向压力,使离合器重新啮合。这样,离合器脱开、啮合,同时产生轴向往复位移,主轴就产生旋转带冲击的复合运动。

冲击电钻的冲击力大小取决于电动机的输出转矩、转速及操作者施加的轴向压力大小。

一般离合器犬牙高度为 0.8mm,犬牙间的冲击距离约 1.6mm。离合器的犬牙齿数关系着冲击频率的大小。一般情况下,在输出转矩为定值时,冲击频率越高越好。冲击频率即为经减速后的主轴转速与犬牙齿数的乘积。

离合器犬牙在冲击电钻工作时承受着非常大的接触应力,是影响冲击电钻质量的重要部件之一,因此对离合器的材料选择和热处理工艺都有较高的要求。

冲击电钻有双速、无级调速等。打大孔时用低速,打小孔时用高速。

冲击电钻钻头用钻夹头夹持。钻夹头与主轴用短圆锥或螺纹联接,联接尺寸参见电钻。螺纹联接钻夹头能保证在较强振动情况下工作的钻夹头不易从冲击电

钻脱落。

冲击电钻设有辅助手柄和钻孔深度定位器。

冲击电钻的电动机采用单相串激电动机。Ⅱ类冲击电钻的电动机安置在塑料外壳内。塑料外壳既作支承电动机的结构件,又是电动机定子铁心的附加绝缘。转子附加绝缘采用转轴绝缘,以使转子铁心与外露的钻夹头、前罩壳等金属零件在电气上隔离。

冲击电钻的电源开关采用带自锁的自动复位开关;无级调速冲击电钻采用无级调速电源开关。电源开关装置在外壳的手柄型腔内。

### 2.8.2 电锤的结构

电锤由电动机、齿轮减速器、曲柄连杆冲击机构、转钎机构、过载保护装置、电源开关及电源联接装置件等组成,结构见图 4.5.12。

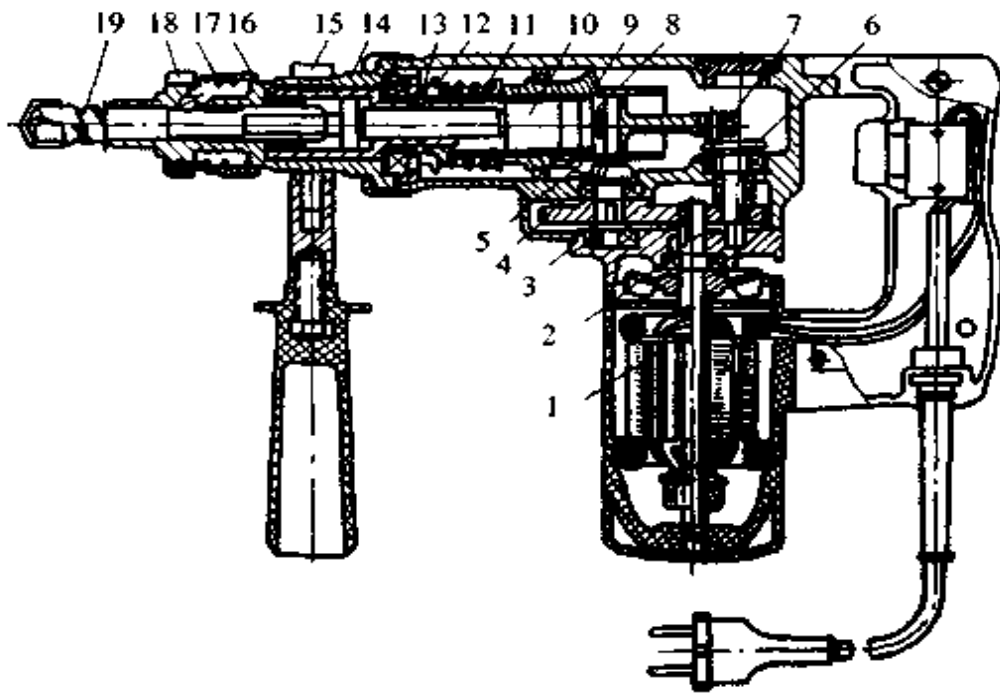


图 4.5.12 电锤的结构

1—电动机 2、3—齿轮 4、5—锥齿轮 6—偏心轴 7—连杆 8—压气活塞  
9—汽缸套 10—冲击活塞 11—弹簧 12—碗形垫圈 13—钢球 14—转套  
15—六方套 16—钻杆 17—钻头套 18—滚柱 19—建工钻

电动机的旋转运动由转轴轴齿轮 2、3,分别传动偏心连杆冲击机构及直齿锥齿轮副的转钎机构,以获得所需的冲击功和转矩。

冲击运动由电动机旋转运动通过齿轮 2 带动偏心连杆 6、7,使压气活塞 8 在汽缸套 9 内作往复运动,同时压气活塞与冲击活塞 10 间产生气垫。因冲击活塞随压气活塞同步往复而锤击钻杆 16 尾部,从而使建工钻 19 凿孔。由于气垫的形成,又起着整机受力回跳时的缓冲作用。

转钎运动由电动机通过齿轮 3 带动一对直齿锥齿轮 4、5,使汽缸套 9 经过过载保护装置与六方套 15 一起旋转,并传递转矩给钻杆 16。这样,与冲击机构同时形成了冲击带旋转的复合运动。冲击为主,旋转为辅,又锤又转,从而使建工钻推进,逐渐打成所需的圆孔。

弹簧 11、钢球 13、碗形垫圈 12 等组成过载保护装置。当阻力矩超过一定范围时(16mm、18mm 电锤为  $15 \sim 25 \text{N}\cdot\text{m}$ ;22mm、24mm 电锤为  $20 \sim 35 \text{N}\cdot\text{m}$ ),传递转矩的转套 14,通过其六个半圆凹孔挤压钢球 13,使钢球径向弹出,经碗形垫圈 12 压缩弹簧 11 到一定距离,使转套 14 与汽缸套 9 脱开。这时,电动机虽在旋转,钻杆已不转。这样可为由于混凝土软硬不一、松实不均或因使用不当导致钻杆被卡住,扭伤操作者手腕及烧毁电动机等提供保护。

电锤多设计有钻卡,它是一种可供快速拆装钻杆的装置。装电锤钻头时,只需将钻杆 16 向孔内一塞,滚柱 18 后退即能装入。此时钻头套 17 由弹簧自动复位,滚柱被推入钻杆小直径处,将钻杆卡住。拆卸电锤钻头时,将钻头套 17 向后一拉,即可把钻杆退出。

电锤设计制造成 II 类电钻。对于定子的附加绝缘,大规格的电锤(26mm 以上)由于电动机外壳为铝合金压铸件,所以采用在外壳与定子铁心间设置绝缘衬套的结构;小规格电锤(如 18mm 以下)采用塑料外壳结构。转子附加绝缘均采用转轴绝缘结构。

电锤电源开关采用耐震的、手掀式带自锁的复位开关。

电锤的电源线采用氟丁橡胶护套的软电缆,电源插头与软电缆压塑成一体,为不可重接电源插头。

钻头是冲击电钻和电锤的作业工具。冲击电钻用的钻头称“冲击钻”;电锤用的钻头称“电锤钻”,两者统称为建工钻。

建工钻的切削刃均采用优质硬质合金刀片。冲击钻用 YG8 等钨钴类硬质合金;电锤钻用 YG11 等钨钴类硬质合金。对于钻体材料,冲击钻用 45 号钢或同等性能的其他钢材,柄部热处理硬度不低于 HRC35;电锤钻用 40Cr 钢,柄部热处理硬度不低于 HRC40。

冲击钻的型式及基本尺寸见图 4.5.13 和表 4.5.16。

电锤钻的型式及基本尺寸见图 4.5.14 和表 4.5.17。

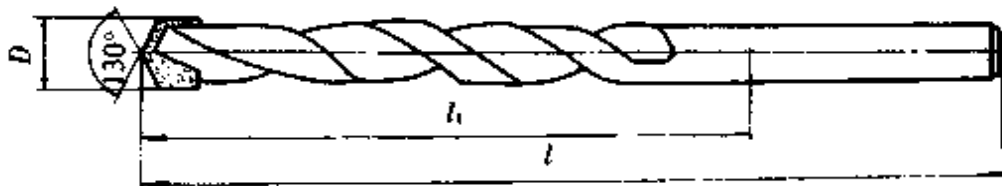


图 4.5.13 冲击钻的型式

表 4.5.16 冲击钻基本尺寸

$D$		$l$	$l_1$
基本尺寸	极限尺寸		
3.0	+0.30 -0.12	60	30
4.0		75	40
5.0		85	50
5.5		100	60
6.0		120	80
6.5	+0.36 -0.15	150	90
7.0		160	100
8.0			
8.5			
9.0			
10.0	+0.43 +0.18		
11.0			
12.0			
13.0			
14.0			
16.0	+0.52 +0.21		
18.0			
20.0			

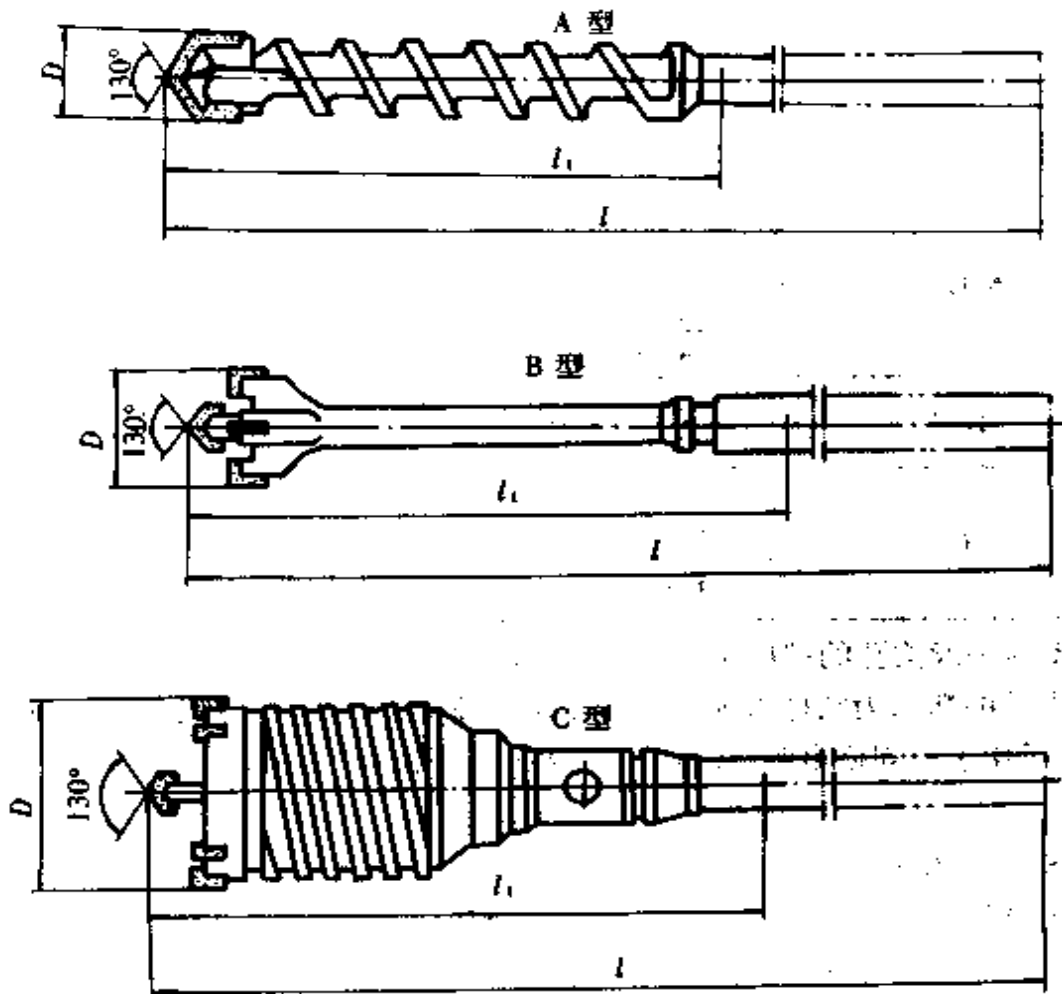


图 4.5.14 电锤钻的型式

表 4.5.17 电锤钻基本尺寸

mm

柄部型式	D		$l_1$	
	基本尺寸	极限偏差		
A	6.0	+0.30 -0.12	60	
	7.0	+0.36		
	8.0	+0.15		
	10.0			
	12.0	+0.43	110	
	14.0			
	16.0			+0.18
	18.0			
	20.0	+0.52 +0.21	150	
	22.0			
	24.0			
	26.0			
	28.0	+0.62 +0.25	200	
	32.0			
35.0				
38.0				
A、B、C	40.0			
	42.0			
	45.0			
	50.0			
B、C	65.0	+0.74		
	80.0	+0.30		
C	90.0	+0.87		
	100.0	+0.35		
	125.0	+1.00 +0.40		

A型为一般凿孔的螺旋钻；B型和C型为扩孔钻，用作扩钻大直径混凝土孔。

冲击钻的柄部为圆柱直柄。电锤钻的柄部结构有三种型式：A型为双键槽结构型式，适用于小规格电锤；B型、C型分别为直花键、六方结构型式，用于较大规格电锤。

### 2.8.3 性能

冲击电钻按加工砖石、轻质混凝土等材料时的最大钻孔直径划分规格；电锤按加工300号混凝土（抗压强度为3000~3500N/cm<sup>2</sup>）时最大凿孔直径划分规格。国内生产的双重绝缘Z1J系列单相串激冲击电钻和双重绝缘Z1C系列单相串激电锤



的技术性能数据列于表 4.5.18 和表 4.5.19。

表 4.5.18 单相串激冲击电钻技术性能数据

型号	最大成孔直径 (mm)		安装金属膨胀 螺栓最大尺寸 (mm)	额定电压 (V)	输入功率 (W)	额定冲击 频率 ( $\text{min}^{-1}$ )	额定转矩 ( $\text{N}\cdot\text{m}$ )	质量 (kg)
	钢	砖石						
Z1J-10	6	10	M6	220~	280	18000	1.02	1.8
Z1J-12	8	12	M8	220~	350	11250	2.3	2.8
Z1J-16	10	16	M10	220~	400	12000	2.9	2.5
Z1J-20	13	20	M14	220~	570	8400	4.56	4.0

表 4.5.19 单相串激电锤技术性能数据

型号	最大成孔直径 (mm)	安装金属膨 胀螺栓最大 尺寸 (mm)	额定电压 (V)	输入功率 (W)	额定冲击 频率 ( $\text{min}^{-1}$ )	钻削率 ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )	质量 (kg)
Z1C-16	16	M10	220~	480	3000	$\geq 15$	4.0
Z1C-18	18	M12	220~	500	3680	$\geq 18$	2.5
Z1C-22	22	M16	220~	520	2850	$\geq 24$	5.3
Z1C-26	26	M20	220~	560	3000	$\geq 30$	6.5
Z1C-38	38	M32	220~	780	3200	$\geq 50$	6.6

#### 2.8.4 冲击电钻的使用方法

冲击电钻和电锤在使用中的安全注意事项与电钻相同。

2.8.4.1 选用 冲击电钻是以钻削为主、冲击为辅的手持式钻孔工具,由于它较高的冲击频率而适于在砖、轻质混凝土和瓷砖上冲钻孔;对混凝土凿孔则应用电锤。

冲击电钻钻孔时,其规格的选择应考虑:

(1)按作业对象及成孔直径选择。在室内装修和电器布置时,一般使用尼龙膨胀螺栓,成孔直径在 6~12mm,应选用 10mm、12mm 规格的冲击电钻;而在建筑施工、水电设备安装和外墙装饰时,一般使用 M8~M14mm 的金属膨胀螺栓;或成孔直径在 12~20mm,应选用 16mm、20mm 规格的冲击电钻。

(2)按加工材质选择。10mm、12mm 规格的冲击电钻冲击频率较高,适于加工脆性材料,如瓷砖、红砖等制品;16mm、20mm 规格的冲击电钻输出功率和转矩大,适用于在红砖和轻质混凝土上凿孔。

(3)按作业环境选择。10mm、12mm 规格的冲击电钻可以单手操作,适于爬高和向上钻孔作业;16mm、20mm 规格的冲击电钻置有辅助手柄和打孔深度标尺,可

以用双手操作,适于地面和侧面成孔作业。

**2.8.4.2 钻头** 冲击电钻使用的钻头有普通直柄麻花钻头和冲击钻头两种。钻削钢、有色金属、塑料和类似材料时应使用麻花钻头,并将调节环转到有“钻孔”标记的位置;钻凿红砖、瓷砖和轻质混凝土时应使用冲击钻头,并将调节环转到有“锤击”标记的位置。钻头尾部的夹持部分直径不大于 13mm 的钻头装入钻夹头内时,必须在钻夹头钥匙定位孔中用力旋转,以夹紧钻头尾部。

钻头应保持锋利,对于冲击钻,一般 10mm 以下的钻头冲凿成孔 25 个左右后要进行修磨;10~20mm 的钻头冲凿 15 个孔后要进行修磨。

**2.8.4.3 操作** 冲击电钻在作钻孔操作时应注意如下事项:

(1)冲击电钻在钻孔前应空载运转 1min 左右。运转时声音应均匀,无异常的周期性杂声;手握工具无明显麻感。然后将调节环转到“锤击”位置,让钻夹头顶在硬木上,此时应有明显而强烈的冲击感;转到“钻孔”位置,则应无冲击现象。

(2)冲击电钻的冲击力是借助于操作者的轴向进给压力而产生的,但压力不宜过大。过大时不仅会降低冲击频率,还会引起电动机过载而损坏冲击电钻。对 10mm、12mm 规格的冲击电钻,一般轴向进给力在 150~200N 为宜;对 16mm、20mm 规格的冲击电钻,一般轴向进给力在 250~300N。

(3)在钻孔深度有要求的场所打孔,可使用辅助手柄上的定位杆来控制钻孔深度。使用时只要将蝶形螺母拧松,将定位杆调节到所需长度,再拧紧螺母即可。

(4)在脆性建筑材料上钻凿较深或较大孔时,应注意经常把钻头退出凿孔几次,以防止出屑困难而造成钻头发热磨损,钻孔效率降低甚至堵转的现象。

(5)冲击电钻由下向上钻孔时,必须带防护眼镜。此外,冲击电钻工作时有较强的振动,内部的电气结点易脱落,因此尽可能选用 II 类冲击电钻。如果选用 I 类冲击电钻钻孔,除必须实行正确的保护接地外,还应采用安全隔离变压器、漏电保护插头等附加安全措施,否则操作者必须带绝缘手套。

### 2.8.5 电锤的使用方法

电锤是以冲击为主、钻削为辅的手持式凿孔工具,由于其冲击功较大,适于在混凝土上凿孔;也能在其他脆性材料上凿孔,并有较高的生产效率。

**2.8.5.1 电锤凿孔时,其规格的选择** 电锤凿孔时,其规格的选择应考虑:

(1)按作业的性质、对象和成孔直径选择。用电锤在混凝土建筑物上凿孔,一般多使用金属膨胀螺栓。成孔直径在 12~18mm,应选用 16mm、18mm 规格的电锤;成孔直径在 18~26mm,应选用 22mm、26mm 规格的电锤;用电锤钻在混凝土构件上扩孔,应选用大规格的电锤。电锤不仅能冲凿圆孔,而且能在混凝土构件表面进行打毛、开槽等作业,此时选用的电锤应为大规格的。

(2)按加工的材质选择。电锤在 2 级配混凝土上凿孔时,凿孔的直径应选用相应规格的电锤;电锤在 3 级配或 3 级配以上的混凝土上凿孔时,选用的电锤规格应

大于凿孔的直径。用电锤在红砖、瓷砖、轻质混凝土上凿孔时,应选用 16mm、18mm 规格的电锤。这是由于小规格的电锤输出功率小,冲击功也小,但冲击频率高,因而能使成孔圆整、光洁。

(3)按操作环境选择。16mm、18mm 规格的电锤质量较轻,用于爬高和向上凿孔作业较适宜;22mm、26mm 规格的电锤质量较重,适于地面及侧面凿孔作业。

2.8.5.2 作业工具 电锤的作业工具有电锤钻、凿、铲、夯板等,分别用于在混凝土上凿孔、开槽、打毛、铲平及夯实作业。

凿孔用的电锤钻应保持锋利。

2.8.5.3 操作 电锤在操作中应注意如下事项:

(1)电锤是冲击类工具,工作过程中震动较大,负载较重。因此,使用前应检查各联接部的紧固可靠性后才能操作作业。

(2)电锤在凿孔前,必须探查凿孔的作业处内部是否有钢筋,在确认无钢筋后才能凿孔,以避免电锤钻的硬质合金刀片在凿孔中冲撞着钢筋而崩裂刃口。

(3)电锤在凿孔时应将电锤钻顶住作业面后再起动操作,以避免电锤空打而影响使用寿命。

(4)电锤在向下凿孔时,只要双手分别紧握手柄和辅助手柄,利用其自重进给,不需施加轴向压力;向其他方向凿孔时,只需施加 50~100N 轴向压力即可,如果用力过大,对凿孔速度、电锤及电锤钻的使用寿命反而不利。

(5)电锤凿孔时,电锤应垂直于作业面,不允许电锤钻在孔内左、右摆动,以免影响成孔的尺寸和损坏电锤钻。在凿深孔时,应注意电锤钻的排屑情况,要及时将电锤钻退出。反复掘进,不要猛进,以防止出屑困难而造成电锤钻发热磨损和降低凿孔效率。

(6)对成孔深度有要求的凿孔作业,可以使用定位杆来控制凿孔深度,操作方法和冲击电钻相同。

(7)用电锤来进行开槽作业时,应将电锤调节在只冲不转的位置,或将六方钻杆的电锤钻调换成圆柱直柄电锤钻。操作中应尽量避免用作业工具扳撬。如果要扳撬时,则不应用力过猛。

(8)电锤装上扩孔钻进行扩孔作业时,应将电锤调节在只转不冲的位置,然后才能进行扩孔作业。

(9)电锤在凿孔时,尤其在由下向上和向侧面凿孔时必须戴防护眼镜和防尘面罩。

(10)电锤是运用电锤钻的高速冲击与旋转的复合运动来实现凿孔的,活塞转套和活塞之间摩擦面大,配合间隙小,如果没有供给足够的润滑油则会产生高温和磨损,将严重影响电锤的使用寿命和性能,所以电锤每工作 4h,至少加油一次。

(11)电锤使用一定时间后,由于灰尘和磨损的金属屑等与油污混杂会卡住冲

击活塞,产生不冲击现象或其他故障,因此需定期将机械部分拆开清洗。重新装配时,活塞、转套等配合面都要加润滑油,并需注意不要将冲击活塞挤压到压气活塞的底部,否则会造成排除气垫,电锤将不能工作。

## 2.9 电圆锯

电圆锯是用于锯割木材和在木材上开锯缺口的手持式木工电圆锯,它也可用来锯割与木材硬度接近的其他材料,如纤维板、石棉板和塑料板等。用电圆锯锯割木材比手工锯割可提高工作效率2~8倍。

手持式电圆锯装置在台架上即能作为小型台锯使用。

### 2.9.1 结构

电圆锯由电动机、静罩壳、动罩壳、齿轮减速器、调节底板、圆锯片、电源开关和电源联接装置件等组成。

电圆锯多为Ⅱ类工具,采用单相串激电动机作动力。电动机置于塑料机壳内。塑料机壳既是结构件,又是电动机定子铁心的附加绝缘。转子附加绝缘采用转轴绝缘,以使转子铁心与外露的罩壳、底板、圆锯片等金属零件在电气上隔离。

手柄用塑料注塑而成,用螺钉安装在机壳上。塑料手柄内装有电源开关。

电圆锯的保护罩有静罩壳和动罩壳,用来保护圆锯片和防止操作时的伤害事故。动罩壳在电圆锯不工作时,由于弹簧力的作用处于下落位置,而锯割时即自动卷起。

在底板上面,静罩壳能有效防止从电圆锯的后面和侧面触及圆锯片的周边刃口;在底板下面,圆锯片的周边刃口用动罩壳加以遮护。当动罩壳处于闭合位置时,动罩壳圆周线和底板平面的交点与动罩壳前端边缘间所形成的对着旋转轴线的弧角应满足:

(1)如果底板的外周边没有在圆锯片直径的前面(与电圆锯相对的一边)将其封住时,不超过 $10^\circ$ 。

(2)如果底板的外周边在圆锯片直径的前面将其封住时,不能超过 $25^\circ$ 。

保护罩用2mm厚的钢板制造,不允许采用脆性材料制造。

底板用作支承机体,并借以调节锯割深度和锯割角度。

锯割深度超过18mm的电圆锯还设置一个用抗弯曲材料制成、厚度不小于圆锯片厚度,但不大于锯缝宽度的锯口导板。当锯割材料时,它处于锯割缝内,起着导向作用。锯口导板应与圆锯片位于同一平面内,并可在规定锯割深度的80%~100%进行调节。

电圆锯固定使用时,应设置一个在锯割时能防止圆木、圆棒及类似材料在圆锯片两侧滚动的保护装置和一个纵向停止器,并设置有防反冲力的措施。圆锯片直径大于250mm的则应设置防护板。

对于固定使用的电圆锯,开设在锯台上的锯缝应符合如下规定:

不使用动罩壳时,圆锯片直径在 150mm 以下,最大锯齿偏宽加上 7mm;圆锯片直径在 150mm 以上,最大锯齿偏宽加上 10mm。

使用动罩壳时,最大动罩壳的宽度加上 15mm。

电圆锯的动罩壳还标有醒目、耐久的表示圆锯片旋转方向的箭头。

圆锯片是电圆锯的作业工具,选用标准直径的圆锯片,它有纵割型和横截型两种。

圆锯片由夹紧压板紧固在主轴上。

圆锯片的使用线速度为 50~60m/s,在电圆锯的铭牌上标有主轴的最高空载转速。

为减小电圆锯的振动,提高锯割作业操作平稳性,电圆锯主轴的径向跳动量不大于 0.04mm。

### 2.9.2 性能

电圆锯按圆锯片的直径划分规格,国内生产的双重绝缘 M1Y 系列单相串激电圆锯的技术性能列于表 4.5.20。

表 4.5.20 电圆锯技术性能数据

型号	圆锯片尺寸 (mm)	锯割深度 (mm)	锯片倾斜 角度	额定电压 (V)	输入功率 (W)	圆锯片 转速 (r/min)	质量 (kg)
M1Y-160	∅160×1.2×∅25	15~45	0°~45°	220~	750	3910	6.1
M1Y-200	∅200×1.2×∅25	15~65	0°~45°	220~	950	3890	6.1
M1Y-250	∅250×1.5×∅30	15~90	0°~45°	220~	1200	3850	7.1
M1Y-315	∅315×1.5×∅30	15~155	0°~45°	220~	1500	3130	-

### 2.9.3 使用方法

电圆锯是以圆锯片的高速旋转实现锯割的电动工具,使用中应注意如下事项:

(1)不允许使用有裂纹或已变形的圆锯片。

(2)动罩壳为保护圆锯片用,也可防止人身事故发生,严禁拆除动罩壳使用电圆锯。

(3)各机械、电气联接应牢固、可靠,无松动。电圆锯运转时,无异常杂声。

(4)电圆锯电源插头插入插座前,应检查电源开关是否处于关断位置。

(5)操作时不要穿宽松服装,以免被圆锯片卷入而导致事故。还应戴上防护用品,例如防尘罩、护目眼镜等。

(6)电圆锯作台锯使用时,应设置防冲力措施和防止在锯割圆木类材料时被割锯物向圆锯片两边滚动的保护装置。

### 2.9.4 圆锯片

圆锯片是电圆锯的作业工具,使用前应修正锯路,磨削锯齿,锯齿依次向左右拨偏适当的角度。圆锯片安装后,应检查其旋转方向与动罩壳上标志的箭头方向是否一致,切勿将圆锯片装反。

斜齿圆锯片(纵割型)用于锯割纵向纤维木材;直齿圆锯片(横截型)锯割与纤维方向相反的木材。

圆锯片的锯齿应保持锋利。

### 2.9.5 操作

电圆锯在锯割作业时应注意:

(1)在锯割材料前应检查动罩壳转动是否灵活;锯口导板的尺寸是否与使用的圆锯片相配合,并作如下调整:锯口导板与锯割深度范围内的圆锯片齿圈的距离应不超过 5mm;锯口导板低于圆锯片的最高点应不超过 3mm。

(2)电圆锯起动后,要等转速稳定后才能开始锯割。由于电圆锯的技术性能参数是以推进速度为 1m/min,锯割中硬木(白松)来确定的。因此,锯割时要注意根据不同硬度木材、木材的纤维方向来控制推进速度,推力不要过猛;发现转速明显降低时,应减慢推进速度,以免电圆锯严重超载而损坏。电圆锯锯割结束时,不允许用压迫圆锯片侧平面的方法来制动。

(3)用电圆锯纵向锯割宽度小于 80mm 的材料时,应在纵向挡板旁设置一个滑杆或类似装置,使被锯割完的工件能及时地抛脱。

(4)为保证电圆锯锯割时的锯缝与木材边平行,可调节底板上装置的纵向挡板,将平整的木材边紧靠挡板,以此导向进行锯割。所要锯割的木材宽度从连接挡板的滑尺上读出。

## 2.10 电刨

电刨用于刨削木材或木结构件。使用电刨比手工刨可提高工作效率 5~10 倍。

电刨主要用手握持操作,但也可装置在台架上作为小型台刨使用。

### 2.10.1 结构

电刨由电动机、刀腔机构、刨削深度调节机构、手柄、电源开关和电源联接装置件等组成,结构见图 4.5.15。

电刨多为 II 类工具,采用单相串激电动机为动力。外壳、手柄用塑料注塑成一体。塑料外壳是电刨的结构件,又是定子铁心的附加绝缘。底板由前底板和后底板构成,用铝合金压铸而成。底板的长短与刨削后的木材表面的光滑、平整程度有关,一般长底板用作木材的精刨。转子的附加绝缘采用转轴绝缘,使转子铁心与外露金属零件在电气上隔离。电刨的尼龙传动带不允许作为附加绝缘。

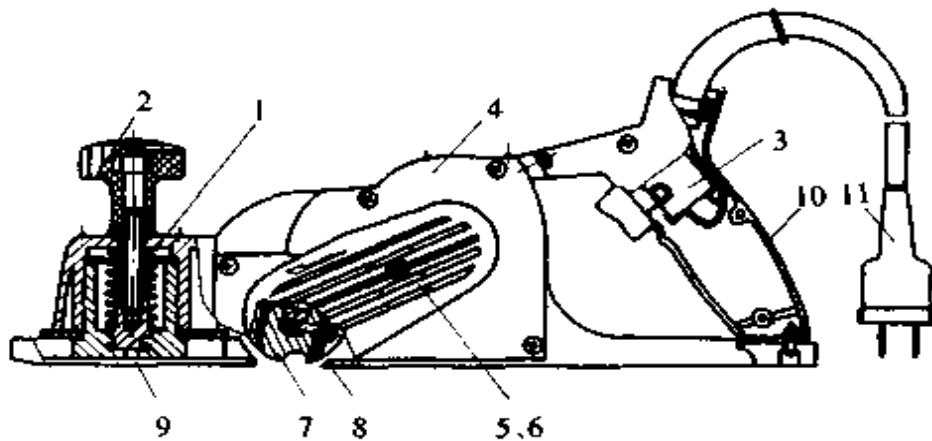


图 4.5.15 电刨的结构

1—防松弹簧 2—调节手柄 3—电源开关 4—外壳 5—电动机 6—传动带  
7—刀轴 8—刀片 9—前底板 10—手柄 11—电源联接装置件

刀腔结构有上、下两层。上层为排屑室，它通过壁口与电动机内腔相通，由此往外排屑。排屑内壁呈特种曲面，当刨削由下往上顺着壁面形成涡流时，借电动机风扇吹进来的冷却风进行排屑。

刨刀片装置在圆形刀轴上。刨刀片在径向突出刀轴的最大尺寸不能超过 1mm(图 4.5.16)。刀片的轨道圆迹与底板口之间的距离  $b$  不能大于 5mm。



图 4.5.16 刀轴与刀腔结构示意

刨削深度调节机构由调节手柄、刻度环、防松弹簧、前底板等组成。当拧动调节手柄时，使它与用螺纹联接的前底板作上、下移动，使前底板面与后底板面(或刃口)之间产生位移差，其数值在刻度环上标记，并且用弹簧螺柱装置予以锁定，以防止在使用过程中引起松动和变化。

电刨的电源开关采用手揷式带自锁的开关。

刨刀是作业工具，由刀片和刀体构成，用焊接方法形成一体。刀片用 CrWMn 合金工具钢或 W18Cr4V 高速钢制造；刀体材料为 A3 钢。刀片的硬度一般在 HRC56~65。

刨刀刃口的直线度不大于 0.03mm；两平面的平面度为 0.04mm。每副刨刀的质量应经配重，两片刨刀的质量差不超过 1g，以控制电刨在使用操作时由于刨刀

的不平衡离心力而引起电刨过大的振动。

国内生产的电刨刨刀均为双面刨刀,有 A 型、B 型和 C 型三种。

国外生产的电刨常用单面刨刀,刨刀长度有 60、80、90、100mm 等。

### 2.10.2 性能

电刨按刨削木材的最大宽度和刨削深度来划分规格。国内生产的双重绝缘 M1B 系列的单相串激电刨的技术性能数据列于表 4.5.21。

电刨备有刨刀一副,尼龙传动带两根,专用扳手一只,磨刀装置一个,对刀块一个。

表 4.5.21 单相串激电刨技术性能数据

型 号	刨削宽度 (mm)	刨削深度 (mm)	输入功率 (W)	额定电压 (V)	刀轴转速 (r/min)	额定转矩 (N·m)	质量 (kg)
M1B-60/1	60	1	395	220~	10000	$\geq 0.16$	2.5
M1B-80/1	80	1	520	220~	11000	$\geq 0.22$	3.0
M1B-80/2	80	2	640	220~	10000	$\geq 0.30$	3.5
M1B-80/3	80	3	720	220~	10000	$\geq 0.35$	-
M1B-90/2	90	2	700	220~	13000	$\geq 0.35$	5.4
M1B-90/3	90	3	840	220~	9500	$\geq 0.42$	-
M1B-100/2	100	2	840	220~	9500	$\geq 0.42$	-

### 2.10.3 使用方法

电刨在使用中应注意如下安全事项:

- (1)电源电压应符合电刨铭牌标志的电压,且不允许大于 10%。
- (2)各机械、电气联接应牢固、可靠、无松动。刀轴转动正常。
- (3)电刨电源插头插入插座前,应检查电源开关是否处于关断位置。
- (4)操作电刨时应戴防护用品,例如防尘罩、护目眼镜等。

### 2.10.4 刨刀的更换及调节

刨刀的刃口必须锋利,以减小操作时的反作用力和提高加工面的质量。刨刀两端均有刃口,可调换使用。更换刨刀或修磨刨刀时,必须使两片刨刀的宽度一致,质量差不大于 1g,否则会引起较大的振动;同时,两片刨刀刃口位置必须调节好,即要求刃口和电刨后底板保持在同一水平面上,否则不能刨削。

### 2.10.5 刨削规范

电刨的技术性能参数按刨削中硬木材(松木)、推进速度为 2m/min 来确定。因此,为了不使电刨经常过载操作而影响使用寿命,例如 M1B-80/2 型电刨使用时应按不同木质和不同刨削宽度,参考表 4.5.22 所列的刨削参数(即刨削深度与推进速度的关系)进行操作作业。



表 4.5.22 刨削参数推荐值

刨削深度 (mm)	木质	木材宽度(mm)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
推荐最大推进速度(m/min)									
0.5	软木								
	硬木								
1.0	软木			35	25	20	10	8	5
	硬木			30	20	12	6	4	3
1.5	软木			30	20	10	5	4	3
	硬木			20	15	5	4	3	2.5
2.0	软木		30	15	8	6	4	3	2.5
	硬木		25	8	6	4	1.5	1.3	1.0

刨削深度的调节方法:

调节时,按粗刨、精刨的要求,旋动调节手柄调节刨削深度。右旋为增大,左旋为减小,其调深值在刻度盘上读出。

### 2.10.6 刨削方法

(1)为了使刨削的工件和刀轴不受冲击,刨削前应先将电刨提在手中空载一定时间,然后缓缓地使前底板水平放在待加工木料的一端上,再平稳地向前推进。在推进时,右手掌握后手柄并向前方用力;左手轻扶前手柄(调节手柄)以稳定前进方向,但左手不得加垂直力,以免影响基准平面的平直度,造成加工面刨削不平。刨削木料两端时,电刨底板与加工平面应保持平行,否则两端部会出现斜坡现象。为使刨削宽度平直,可使用侧向定位板,使用时以侧平面为基准。宽度可以调节,调节后应将头部定位螺钉拧紧。

(2)电刨装置在台架上作台刨使用时,刀轴的不使用部分应始终处于遮住状态。当刨削有接缝的木料或短的木料时,必须使用送料装置和防冲击装置。

(3)电刨使用时,应设置刨削排出的保护措施。

(4)为提高刨削的质量和保证电刨的使用寿命,应使刨刀保持锋利;电刨每次使用后,应及时清除木屑、灰尘等污积物。

### 2.10.7 附件使用

(1)磨刀装置的使用。使用时,将两块刀片装夹在磨刀架的上、下两边,刃口紧靠斜面,放上压板,旋紧螺钉即可磨刀。

(2)装刀装置的使用。刀片刃磨后,应放在装刀架上校正,将刀刃一边紧贴胶木挡块,定位板一侧放在刀片上面,另侧紧贴装刀架,拧紧螺钉即可,然后再固定在刀轴上。

### 2.10.8 电刨在维修保养时的拆卸顺序

(1)先将传动带防护罩和传动带拆下,必要时可取下传动带轮。更换传动带或拆除传动带轮重新安装传动带时,必须保持两传动带轮的轴伸端伸出长度应一致,并在同一直线上才可装上传动带,否则必须调整。

(2)拧去端盖上的螺钉可取出刀轴。

(3)拧去电刷压紧螺帽取出电刷,再拧去电动机端盖上的螺钉,即可取出转子。

(4)前手柄往左方向旋出,即可取下前底板。

(5)装配时按上述相反次序进行。

## 3 电动工具的安全使用

### 3.1 电击保护

当电动工具的绝缘破坏时,由于故障电流经外壳流入大地,外壳对地即呈现“故障电压”。此时,如果人体触及外壳,对地电压一部分就作用于人体而遭电击。

电击分为直接接触和间接接触两个类型,相应电击保护也分成两种类型,但不是绝然分开的。

#### 3.1.1 直接接触保护

所谓“直接接触”即人体直接接触及带电部分。接触电压(作用于人体的电压)为工作电压。在通常情况下认为工作电压为额定电压,市电网络上触电电流可能达数百毫安,危险较大,往往会导致死亡。

防止直接接触是电动工具设计制造、使用必须保证的基本要求。电动工具直接接触的保护一般采用下述几种方法:

(1)绝缘保护:将带电部分用绝缘材料包封起来,使其不可能被人体直接接触。包封带电部分的绝缘应不可能被任意除去,且应能够承受在相应的工作条件下可能产生的电气、机械、化学、热的影响,绝缘性能始终有效。

(2)结构保护:将带电部分用外壳、罩盖等机械结构部分包封起来,不能使人体直接接触及带电部分。如果机械结构件由可导电的材料制成,则在带电部分与结构件之间还要隔开一定的间隙。在规定的条件下,不应使人体通过结构件上能通达带电部分的开口接触带电部分。用作直接接触保护的构件不能被任意拆除。

(3)采用安全电压:使电动工具的工作电压不论在正常工作情况或故障情况下,都低于交流 50V。采用高于 24V 的安全电压时,还必须采用其他直接接触保护措施。

#### 3.1.2 间接接触保护

所谓“间接接触”是指当电动工具的绝缘发生故障而失效时,使在正常工作状

态下不带电的可触及金属部分变成带电,当人触及金属零件时,就会受到一个危险的接触电压而发生电击事故。

间接接触保护的目的是防止人身电击伤亡事故。当然,在一般情况下也能防止电动工具绝缘失效引起的其他事故(如火灾等)。

间接接触保护一般采用下述两种措施:

(1)自动切断电源的保护:当电动工具绝缘失效时,如果在可触及的金属部分上呈现危险的故障电压,可通过熔断器、低压断路器等过流保护器或剩余电流保护器来切断电源。这些保护措施必须与低压配电系统的运行方式相配合。

(2)采用附加绝缘和加强绝缘:当基本绝缘失效时,由附加绝缘来提供电击保护。

综上所述,电击保护措施、实施手段和保护目的可归纳如图 4.5.17 所示。

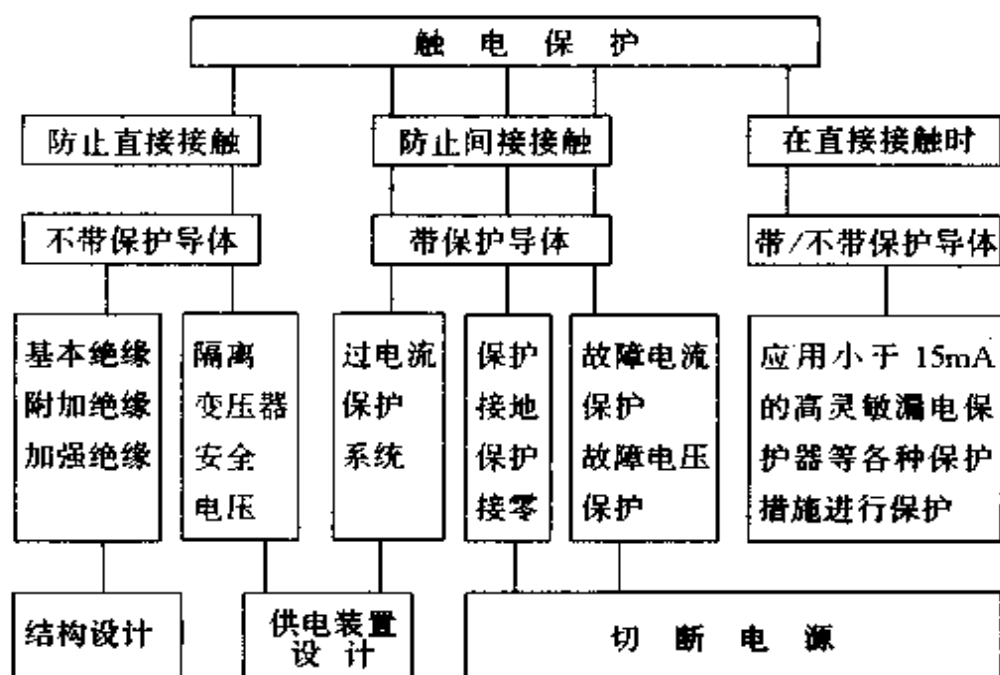


图 4.5.17 电击保护措施、实施手段及保护目的

### 3.2 电气安全措施

对于电动工具引起的电击危险,必须分析操作人员身体的一部分能接触到的地电位,同时其身体的另一部分接触到电源时的所有情况。

电动工具内部如出现下述故障,均能使工具的外露金属零件带电。

(1)电动机绝缘损坏或老化。

(2)绝缘表面覆盖导电的粉尘、金属微粒、潮气等,造成沿着两个绝缘系统向外壳形成爬电途径,形成绝缘表面的导电通路。

(3)工具内部的内接线、螺钉、垫片、弹簧等零件脱落并跨接在带电零件与可触

及的金属零件之间,造成可触及金属零件的带电。

(4)工具电源线的芯线部分或全部导线脱出,碰到可触及金属零件或接地装置,造成金属外壳带电。

(5)组件绝缘损坏。例如,电源开关接地故障;刷握(刷架)绝缘裂开;金属嵌件与塑料外壳之间通过裂缝形成爬电通路等。

此外,电动工具在使用中,也可能由于工作头切割或击中带电导体而引起整个工具带电。

综上所述,电动工具电击事故发生的主要原因是:在工具内部是由于各种形式的绝缘结构破坏,零部件脱落而引起外壳带电;在工具外部是由于保护系统失效,或操作中不慎击中带电体而使外壳带电。

常见的电动工具安全使用措施有以下几种。

### 3.2.1 保护接地

所谓保护接地,就是将在故障情况下可能出现危险的对地电压的可触及金属零件与大地可靠地联接起来。保护接地又称外露导电部分的接地。

在图 4.5.18 所示的不接地低压系统中,当工具的一相对外壳短路,接地电流  $I_d$  通过人体和电网对地绝缘阻抗形成回路,如果各相对地电容相等,该电流可由下式求得:

$$I_d = \frac{3UR_c}{\sqrt{9R_r^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

式中  $U$ ——电网电压(V);

$R_r$ ——人体电阻( $\Omega$ );

$\omega$ ——电源角频率(rad/s),  $\omega = 2\pi f$ ;

$C$ ——电网每相导线与地之间的电容(F)。

由上式知,电容量越大,电流也越大;电容量越小,电流也越小。一般情况下,该电流很小。但是,如果电网分布很广或者电网绝缘介电强度显著下降,这个电流也有可能达到危险程度。

图 4.5.19 是常用的低压配电网路中, I 类工具的基本绝缘失效,采用保护接地的触电分析。图中:

$$U = U_0 + U_d$$

$$U_d = I_d \cdot R_d = I_r R_r$$

$$U_0 = I_d R_0$$

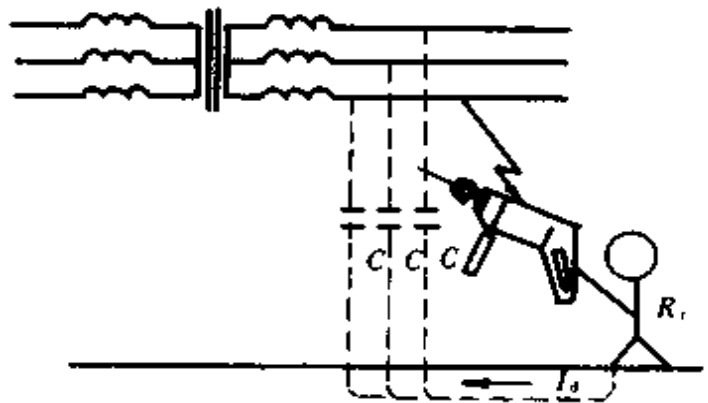


图 4.5.18 不接地的危险

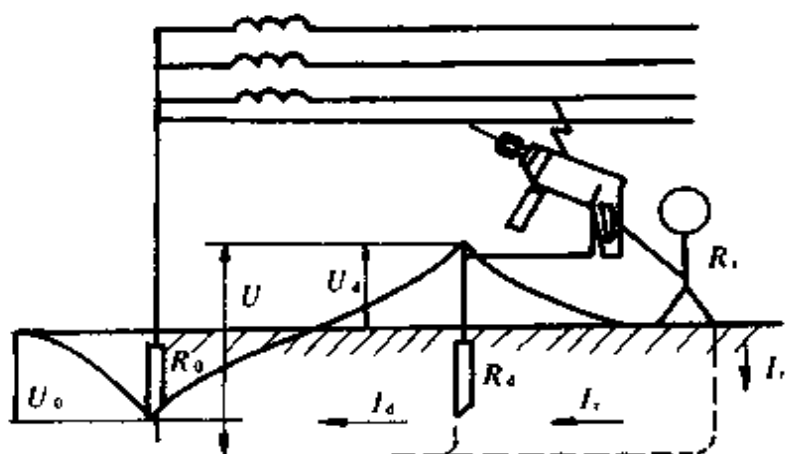


图 4.5.19 采用保护接地的触电分析

- 式中  $U$  ——电源电压(V);  
 $U_d$  ——人体的接触电压(V);  
 $U_0$  ——工作接地电阻的电压降(V);  
 $I_0$  ——接地故障电流(A);  
 $I_r$  ——流过人体的电流(A);  
 $R_d$  ——保护接地系统的接地电阻( $\Omega$ );  
 $R_r$  ——人体电阻(一般为  $1000 \sim 2000\Omega$ );  
 $R_0$  ——工作接地电阻( $\Omega$ )。

以  $U = 220\text{V}$  考虑,  $R_0$  按电力设计规程不超过  $4\Omega$ 。如果  $R_d = R_0 = 4\Omega$  时,  $I_0 = 27.5\text{A}$ , 则  $U_d = U_0 = U/2 = 110\text{V}$

$$I_r = \frac{U_d}{R_r} = \frac{110}{1000 \sim 2000} = 110 \sim 55\text{mA}$$

如前所述, 该电流值对人仍是非常危险的, 如果要保证人所接触的电压为安全值, 即小于  $50\text{V}$ , 则:

$$R_d < \frac{U_d R_0}{U_0} = \frac{50 \times 4}{220 - 50} = 1.18\Omega$$

如果  $R_0$  再小,  $R_d$  相对还要小。但  $R_d$  是网路中保护接地装置的接地电阻和各连接部位的接触电阻之和, 要保证这样小的数值是有困难的。而且, 由于电动工具的接地连接中可能多次使用插接连接, 这样连接可靠性差, 不能保证工具在使用中接地回路始终良好。因此, 保持完好和正确联接的接地回路和小的保护接地电阻是 I 类工具安全使用的关键。

### 3.2.2 双重绝缘结构

电动工具的双重绝缘结构是以改善工具的电气绝缘结构的方法来提高工具的

使用安全性的。它的防止电击的原理是:当基本绝缘损坏时,以附加绝缘将人体与带电体隔开,从而能杜绝电击事故;它不需要其他附加保护装置而能在 500V 以下的电网上安全使用。

双重绝缘的工具不允许有接地装置,采用二级不可重接的电源插头。

### 3.2.3 采用特低安全电压(SELV)

采用特低安全电压就是将工具设计制造成Ⅲ类工具。特低安全电压是由工具内部电源或其他独立电源(例如蓄电池、内燃发电机组等)供给,当由电网供电时,必须加用安全隔离变压器或具有同等隔离程度的、具有单独分开绕组的变流器。

Ⅲ类工具中不允许有非特低安全电压运用的内电路。

Ⅲ类工具的电击保护采用可靠的基本绝缘、电源对地绝缘和选用 50V 以下的特低电压的所谓“三重保护原理”。

特低电压:工具的额定电压为 42V 或以下。这样,当工具即使在使用中发生绝缘失效而对外壳短路,其对人体的电击电流仍能限制在人体允许电流的范围内,不会危及人身安全。

独立电源:独立电源有隔离变压器、变流机组等。独立电源的功能不仅是输出特低电压,而且它的输入电路与输出电路实行隔离,与其他电器设备也在电气上隔离。这样,由于输出电路不接地,一旦外壳带电,也无法形成电流回路。此外,能防止在同一电网上使用的其他电器设备短路时引起工具的外壳上出现高电位,从而保证工具的使用安全。

基本绝缘和外壳:工具采用特低安全电压供电,但对带电体仍采用基本绝缘或外壳防护,以防止人体直接接触带电体。

Ⅲ类工具采用专门设计的电源插头。三相工具规定用三极插头。插头的型式、基本参数和尺寸与一般工业和民用的通用插头不能互用,以避免误插入工业或市电电网而烧毁工具。

Ⅲ类工具由于其工作电压较低,所以在相同的功率下,工具的电流较大,损耗也大,而且在设计制造上带来一定的麻烦。使用时,需要相应电压的电源供电,辅助设备也投资较大。目前,Ⅲ类工具中较多地设计成三相中频工具,由专门变频机组供电,以提高使用的经济性。

## 3.3 电击保护用电器

电动工具常用的电击保护用配套电器有安全隔离变压器和剩余电流动作保护器。

### 3.3.1 安全隔离变压器

安全隔离变压器是一种单独供电装置,它能有效地避免在中性点直接接地的电网中,由于单相电击所造成的危险性。

在接地系统的低压回路中接入隔离变压器(1:1或降压),构成非接地系统回路(图4.5.20)。如果人体触及非接地系统的带电体时,电流经人体、电路分布电容而构成回路。由于隔离变压器输出绕组电路与大地间的分布电容较小,因此人体不会有大的容性电流通过,从而保证工具的安全使用。

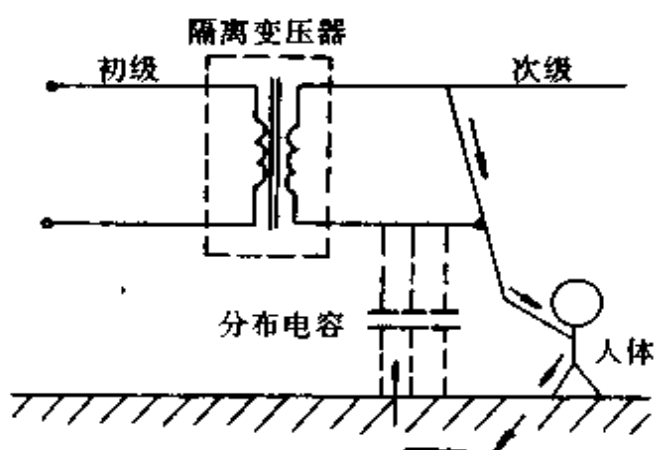


图4.5.20 非接地系统的电击

安全隔离变压器的输入绕组和输出绕组的绝缘必须十分良好,才能有较高的安全性。输出绕组决不能接地,否则会破坏对地绝缘而失去预期的安全效果。

1:1的安全隔离变压器一般用于Ⅰ类工具;降压的安全隔离变压器用于Ⅲ类工具。

### 3.3.2 剩余电流动作保护器

剩余电流动作保护器又称漏电保护器或漏电开关。它采用零序电流互感器来检测接地电流,当接地电流过大时能自动切断电源。

与电动工具配套使用的剩余电流动作保护器,其额定动作电流值应为30~50mA,不动作电流值为15mA;额定动作时间不超过0.1s。

## 4 选用、管理、检查和维修

### 4.1 电动工具按工作场所的选用

使用电动工具的工作场所大致可分为一般工作场所、危险工作场所和特别危险工作场所三类。

当电动工具外壳带电时,一般工作场所必须同时满足:

- (1)操作者与他站立的地面之间要绝缘;
- (2)与可触及的墙面之间要绝缘;
- (3)工具的外壳或其他零件与地面之间要绝缘或不使其外露。

常见的一般工作场所如干燥的和有采暖设备的场所;导电粉尘少或有绝缘地板(干燥木地板、沥青地面等)的场所。

危险工作场所一般指地面或墙面可导电的场所,这种导电是由于建筑物或工作场所的易导电体所造成或由潮湿所致。

常见的危险工作场所如潮湿场所,干燥但不温暖的场所,炎热或高温场所,导

电粉尘较多的场所,地面导电性能良好以及金属占有系数大于 20% 的场所,建筑工地是这类场所的典型。

狭窄的空间会造成特殊的工作环境,人体各部位很容易与导电体接触。在设备内腔、容器、管道内工作,即为特别危险工作场所。

此外,特别潮湿的场所、有腐蚀性气体或蒸汽的场所也属特别危险工作场所。

Ⅲ类工具:在所有情况下,使用Ⅲ类工具均能保证操作者不受触电的危险。在使用Ⅲ类工具时,要满足如下要求:

(1)安全隔离变压器或变流机组应具有防溅结构;

(2)Ⅲ类工具的额定电压要与安全隔离变压器或变流机组的额定输出电压相匹配。

为减小电压降和电源线的长度,安全隔离变压器或变流机组应尽可能靠近电动工具。另外,在锅炉、管道内等特别危险工作场所使用时,安全隔离变压器或变流机组必须放置在工作场所外面,同时应有人在外监护。

此外,在特别潮湿或狭窄的金属容器(例如锅炉)内使用电动工具,由于温度较高,操作者将因出汗而使皮肤电阻显著下降。在这类场所,操作者的姿势往往是跪着或躺卧着的,四周又是导电物体,此时电击电流的途径应考虑为左手到胸部的最危险途径,人体电阻值为人体内部电阻,约  $500\Omega$ 。

为充分保障操作者的安全,Ⅲ类工具的额定电压应设计为 24V、12V。

Ⅱ类工具:在规定的使用条件下,能充分保障使用安全。然而,Ⅱ类工具有通风散热等结构要求,外壳上设有进出风口,工具的密封性差。在露天使用时,如遇到潮湿或天气不好,绝缘易吸潮而降低其介质强度,使用时应注意不要在雨、雪的露天使用Ⅱ类工具。

Ⅱ类工具附加额定漏电动作电流为 15mA、动作时间不大于 0.1s 的剩余电流动作保护器,能使用在特别危险的工作场所。

装设剩余电流动作保护器或剩余电流动作插头是为保证工具软电缆或软线破损时不造成电击事故,同时也能杜绝Ⅱ类工具在潮湿环境下使用发生的电击事故。

剩余电流动作保护器额定动作电流为 15mA,主要为直接接触保护所要求的;其次,它的不动作电流为额定动作电流的 50% (7.5mA),此值接近人体的摆脱电流值。如果选择更小电流值,则灵敏度太高,容易误动作而影响使用。

Ⅰ类工具:选用Ⅰ类工具必须同时采取其他安全保护措施,如剩余电流保护器、剩余电流保护插头、安全隔离变压器等。否则,使用者必须戴绝缘手套、穿绝缘鞋或站立在绝缘垫上。

由于Ⅰ类工具的使用安全不仅要从工具的设计、制造上予以保证,即应符合安全标准的要求;而且,更重要的是应该从整个接地系统,过电流保护或剩余电流动作保护系统同时保证。此外,操作者缺乏用电知识、违反安全使用技术规程也严重



地影响着工具的使用安全。因此,Ⅰ类工具虽能保证抑制故障电压值,但它的电击保护是不完善的。目前,工厂企业、各种施工工程的接地系统的维护还不够完善,要长期维持很小的保护接地电阻和保证接地系统的完好都比较困难。所以,使用Ⅰ类工具要杜绝电击伤亡事故仍十分艰难。为此,国家劳动部门已作出规定:使用Ⅰ类工具,尤其在危险工作场所使用Ⅰ类工具,必须附加剩余电流动作保护器或保护插头作为间接接触保护,其额定动作电流应不大于30mA,动作时间不大于0.1s。

从使用安全考虑,在露天作业场所不应使用Ⅰ类工具。此外,Ⅰ类工具的电源线不允许任意接长或拆换,以防止保护接地线与相线可能出现的错接而造成事故。

## 4.2 电动工具的安全使用

### 4.2.1 电动工具使用的一般注意事项

电动工具的特点是电气驱动、手持操作。安全使用是提高工具的工作效率的最重要措施,应充分注意如下几点:

(1)对长期搁置不用的电动工具,在使用前必须用500V兆欧表测量其绝缘电阻。如果Ⅰ类工具绕组与外壳间绝缘电阻小于 $2M\Omega$ ,Ⅱ类工具小于 $7M\Omega$ 时,则必须进行干燥处理,直到绝缘电阻达到要求时才能使用。

(2)Ⅰ类工具使用前必须可靠接地。相线和接地线不能接错;中性线和接地线决不能联接在一起,以免外壳带电造成不应发生的电击伤亡事故。一般Ⅰ类工具出厂时,电源线中一芯绿黄双色线在任何情况下应牢固地联接在外壳的专用接地装置上,这样当工具绝缘在使用中损坏,外壳带电时,才能将外壳的对地故障电压限制在一定安全数值内,或自动切断电源。

(3)电动工具的电源插头应有足够的机械强度。单相Ⅰ类工具采用二极接地插头;三相Ⅰ类工具采用三极接地插头。带有接地插销的电源插头插座在插拔时应按规定的拔插顺序,即:电源插头插入插座时,应先由接地插销插入插座的接地销孔;拔出时,带电插销先离开插座的带电销孔,严防误插入。Ⅱ类工具只允许采用不可重接电源插头,插头体的介电强度、爬电距离、电气间隙等必须符合加强绝缘的要求。Ⅱ类工具和Ⅲ类工具的电源插头不允许有接地极。

(4)带有剩余电流动作保护器、剩余电流动作保护插头的工具,在使用前必须先按试验按钮,待确认工作正常后才能使用。

(5)电动工具上对危险的运动零部件的保护装置如保护罩、保护盖等,使用时不得任意拆卸。

(6)电动工具如有绝缘损坏、软电缆或软线的护层破裂、保护接地线脱落、电源插头开裂或有损于安全的机械损伤等故障时,应立即进行修理,在未修复前不得继续使用。

(7)电动工具不宜在下雨、下雪的露天和含有爆炸性、腐蚀性气体的场所使用。

#### 4.2.2 电动工具使用中的机械伤害防护

电动工具使用中造成的机械伤害常见的原因有下列几种:

(1)操作者意外触及电动工具内部的运动部件。

(2)操作者意外触及运行中的作业工具的未加防护的部分,例如高速运动的磨具、锯片的齿等。

(3)电动工具在运动中,由于作业工具的损坏如砂轮、圆锯片的碎裂或夹持不当而飞出。

(4)电动工具在运动中由于负载变化产生的突然制动而引起的过大反扭矩,使操作者失去控制。

(5)由于电动工具外形设计不合理、稳定性差而引起的倾倒或跌落。

(6)电动工具表面有锐边或锋利的凸起物。

#### 4.2.3 电动工具的选购

为避免造成伤害,在选购电动工具时应注意工具的结构和运动部分的布置,在操作时应合理使用工具。

工具的结构和各部分的布置应:

(1)电动工具外部不应有锐边和锋利凸出部分。

(2)不可能从电动工具外壳的开口处触及工具内部的运动零件。

(3)除作业工具外,电动工具的外部运动零件应具有光滑的表面。

(4)危险的作业工具应具有可靠有效的防护,如砂轮、圆锯片都应有合适的保护罩。保护罩应有足够的机械强度,例如,砂轮保护罩即使在砂轮碎裂情况下也能防止碎块伤害操作者。

(5)电动工具夹持机构应能保证正确、有效地夹持作业工具,如砂轮夹持螺母的螺纹旋向应是使工具在正常运行中螺纹被拧紧而不是相反。电锤、电镐等具有往复冲击机构的工具应具有防止作业工具脱落的装置,例如钎卡。并且应尽可能使作业工具在不受力时,冲击机构不向作业工具施加冲击力,以防脱出。

(6)电动工具上的各种防护器件只能用工具才能拆除。

(7)电动工具内设置限制向操作者施加反扭矩的机构,或工具外形结构尺寸能使操作者受到的反扭矩限制在安全的数值范围内。

(8)电钻、电动攻丝机、冲击电钻等使用的钻夹头的电动工具应设计成当钥匙松开时即能从夹头孔中脱出,并不得将钥匙用链条、绳子等物系在电动工具上。

(9)旋转方向的改变会造成伤害的工具如砂轮机、电圆锯、电动型材切割机等,应标有永久的旋转方向的标志,例如箭头。

(10)速度超过规定值会造成危害的电动工具应设置限速机构或器件。

(11)电源开关的位置和操作方式应使得电动工具在不正常运行时能方便地、及时地切断电源。

(12) 电动工具外形和重心位置应使工具具有足够稳定性,放置在地面、支架、托架、台座上时不会倾倒或跌落。

#### 4.2.4 电动工具的安全使用

为保障电动工具操作者的安全、获得满意的加工质量和工作效率,使用电动工具要做到:

(1) 在使用电动工具前应详细了解工具性能和掌握正确使用的方法。

(2) 不得任意将电动工具上的保护器件拆除。

(3) 不使用防护器件有缺陷的电动工具。

(4) 使用完好的作业工具,特别是砂轮、圆锯片等,使用前必须检查证实是完好无损的,并且符合电动工具的要求。

(5) 个人防护用品的使用必须符合规定。例如,不得带纱手套操作电钻等高速旋转的工具等。

(6) 操作者在使用电动工具时,操作姿势要正确,站立要稳。

此外,电动工具在使用前应认真检查,其检查项目有:

(1) 外壳、手柄有无裂纹或破损。

(2) 保护接地的联接是否正确、牢固可靠。

(3) 电源线是否完好无损。

(4) 电源插头是否完好无损。

(5) 电源开关动作是否正常、灵活,有无缺陷、破裂。

(6) 电气、机械保护装置是否完好。

(7) 电动工具的转动部分是否灵活、轻快、无阻滞现象。

当电源插座离电动工具的操作点距离较长时,允许采用一根长度合适、额定电流能满足使用要求的延伸软电缆。

延伸软电缆一端联接电源插头,与电源的插座联接;另一端联接电源联接器,由电源联接器与电动工具的电源线联接。不允许将延伸软电缆直接与电动工具电源线联接在一起使用。

延伸软电缆的长度、芯线规格与电动工具额定电流的对应关系见表 4.5.23,供采用延伸软电缆时参考。

### 4.3 电动工具的安全技术管理

从电动工具使用实践可以发现,凡电动工具安全技术管理严格,工具管理、检查、维修较好的单位,尽管工具品种、规格多,使用频繁,事故却很少发生;而工具使用较少但管理差的单位,加上工作场所环境恶劣等,事故发生就较多。因此,必须加强对工具使用的管理,严格执行安全操作规程;对工具的使用、管理、维修人员进行用电安全技术教育,是保证电动工具使用安全的重要措施。

表 4.5.23 延伸软电缆长度、芯线规格与额定电流关系

额定电流(A)	0~2.0	2.1~3.4	3.5~5.0	5.1~7.0	7.1~12.0	12.1~16.0
延伸电缆长度(m)	芯线规格(mm <sup>2</sup> )					
7.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0
15	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	3.5
22.5	1.0	1.5	1.5	2.0	3.5	3.5
30	1.0	2.0	2.0	3.5	5.5	-
45	1.5	3.5	3.5	3.5	-	-
60	1.5	3.5	3.5	5.5	-	-

同时,对电动工具引起的电击事故进行调查、统计、分析,以了解电动工具在设计制造以及管理、使用等各方面存在的缺陷,以利于采取必要的预防措施,防止同类事故的再次发生。

此外,电动工具有保证使用安全的使用寿命,美国规定电动工具的使用寿命为4年。我国也对各类电动工具规定了使用寿命,但使用单位往往无限期地使用,直到不能修复再用才报废。因此,从实际情况出发,建立电动工具的安全技术管理制度是保证电动工具使用安全的重要措施。

电动工具的安全技术管理应包括:

(1)贯彻执行电动工具的管理、使用、检查和维修安全技术规程和其他有关安全技术的规定。

(2)监督、检查电动工具的使用和维修。

(3)对电动工具的使用、保管、维修人员进行安全用电技术教育。

(4)对电动工具引起电击事故进行调查、统计和分析,提出预防措施。

(5)按照电动工具使用说明书的要求和实际使用条件,制订出相应的安全操作规程。

安全操作规程的内容至少应包括:工具的允许使用范围;工具的正确使用方法和操作程序;工具使用前应重点检查的项目和部位,以及使用中可能出现的危险和相应的防护措施;工具的存放、保管和保养方法;操作者应注意的事项。

(6)必须建立工具使用、检查和维修的技术档案。

#### 4.4 电动工具的维修

电动工具的维修可分定期检查、故障检查和故障修理。

#### 4.4.1 定期检查

对所使用的电动工具,应至少每季度全面检查一次。在温热带和温差变化大的地区要缩短检查周期,在霉雨季节则更应及时进行检查。

电动工具的定期检查内容除检查安全使用所述的项目外,还要检查:

(1)用 500V 兆欧表测量工具的绝缘电阻,其数值不小于表 4.5.24 的规定,否则应进行干燥处理和维修。

(2)单相串激电动工具的电刷长度如果小于 4mm,则必须更换,更换时必须成对地调换。

表 4.5.24 电动工具的绝缘电阻

测量部位	绝缘电阻(MΩ)
I类工具带电零件与外壳之间	2
II类工具带电零件与外壳之间	7

#### 4.4.2 故障修理

电动工具发生故障时,可按图 4.5.21 的程序寻找故障产生的原因。当找到故障以后进行修理时,应注意以下几点:

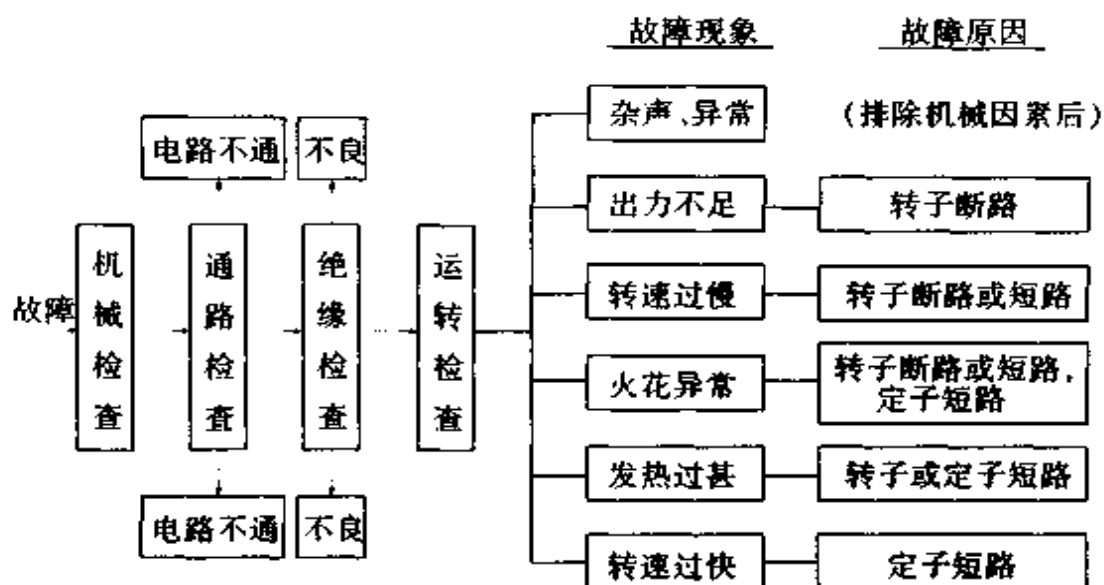


图 4.5.21 故障检查程序

(1)不可任意改变原设计参数,不允许采用低于原用材料性能的代用材料和与原有规格不符的零、部件。

(2)对电动工具绝缘衬垫、套管等不得任意拆除、调换和漏装。

(3)电气绝缘部分修理后必须进行下列试验:在相应部位施加波形为实际正弦波、频率为 50Hz 的交流试验电压 1min,不出现绝缘击穿或闪络。试验电压值按表 4.5.25 的规定。

表 4.5.25 电动工具的交流试验电压

试 验 部 位	试验电压(V)	
	I类工具	II类工具
带电零件与外壳之间: 仅由基本绝缘与带电零件隔开	950	-
由加强绝缘与带电零件隔开	-	2800

# 第 五 篇

# 电 器

本篇主编 黄国泰  
编写人 赵文玮 王少涛  
张江山 杨大林  
郭冬生 华大龙  
马功勋 花 皓  
刘景昌 陈明栋  
朱辛初 刘亮喜



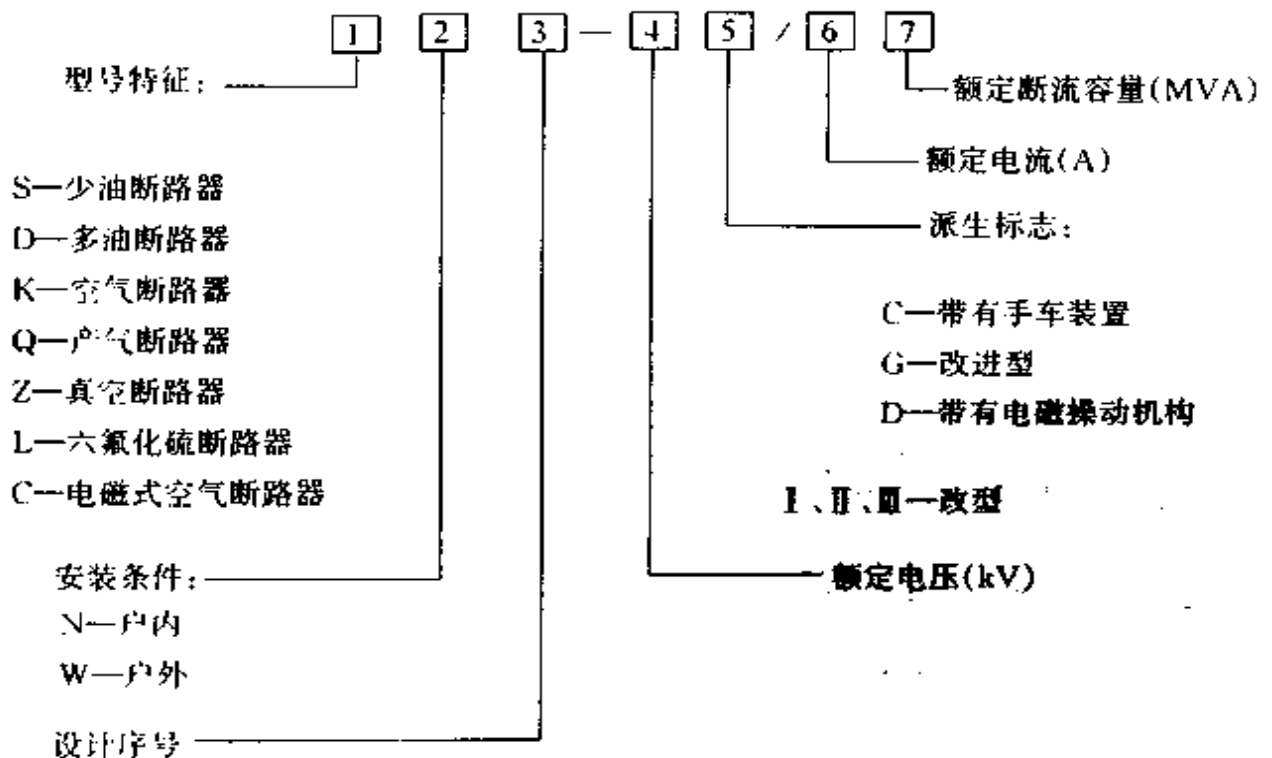


# 第一章 高压电器

## 1 高压断路器

高压断路器用于接通或断开高压电路,在突发事故情况下能迅速断开短路电流。

型号含义:



35kV 及以下断路器的主要数据如表 5.1.1 所列。

表 5.1.1 35kV 及以下断路器主要数据

名称	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	操作机构型号	备注
户内少油断路器	SN1-10G/400	10	400	CS2、CD2	
	SN1-10G/600	10	600		
	SN2-10G/400	10	400		
	SN2-10G/600	10	600		
	SN2-10G/1000	10	1000		
户内少油断路器	SN10-10/600	10	600	CS2、CD10	
	SN10-10/1000	10	1000	CS2、CD10	
户内多油断路器	DN1-10/200	10	200	CS1、CS2、CD2	
	DN1-10/400	10	400		
	DN1-10/600	10	600		
	DN1-10G/200	10	200		
	DN1-10G/400	10	400		
	DN1-10G/600	10	600		
	DN1-10G/800	10	800	CS2、CD13	
户内多油断路器	DW7-10/30	10	30		
	DW7-10/50	10	50		
	DW7-10/75	10	75		
	DW7-10/100	10	100		
	DW7-10/200	10	200		
	DW7-10/400	10	400		
户内产气断路器	QW1-10	10	200		
	QW1-35	35	200		
电磁式空气断路器	CN2-10/600	35	600		脱扣器电压 24V、48V
	CN2-10/1000	27.5	1000		
六氟化硫断路器	三相 LN1-35	35	600		
	单相 LN1-27.5	27.5	600		

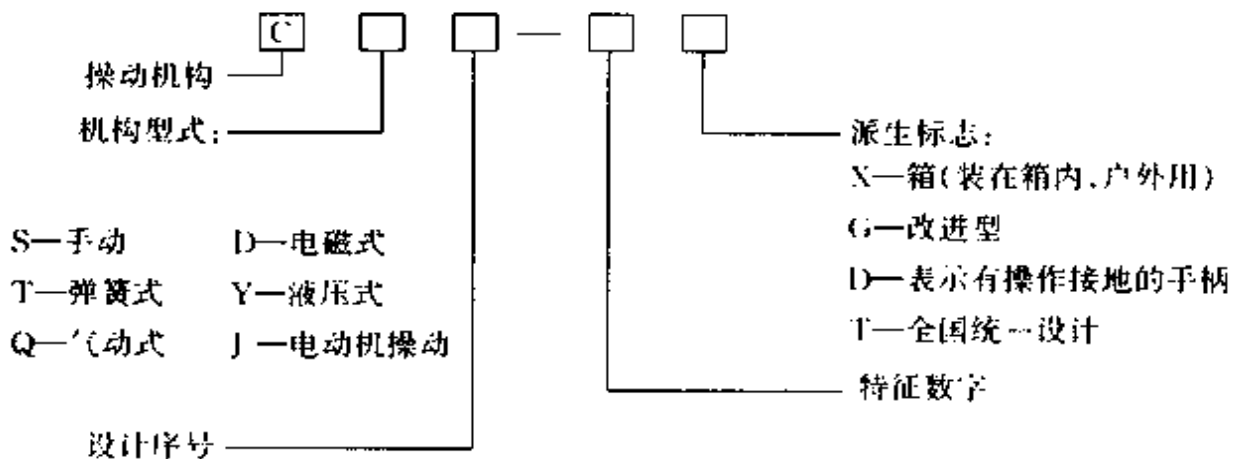
## 2 操动机构

操动机构是供操作高压断路器、负荷开关及隔离开关使用的电气控制设备。

对于 35kV 及以下断路器的操动机构,常用的有手动操动机构、直流电磁操动机构和交直流电动机驱动弹簧储能操动机构。

手动操动机构与少油断路器配用较多的是 CS2、CS15 型。CD10 型电磁操动机构在原 CD2 型的基础上改进设计,增大了合闸能力,目前已与 SN10-10 系列断路器在许多高压开关柜内配套使用。但目前 CD2 型仍然使用较多。弹簧储能操动机构中的 CTA、CT8 型为近年来设计的产品,较老产品有了改进。

35kV 及以下的负荷开关和隔离开关的操动机构目前仍以手动操动机构为主。型号含义:



订货时应注明操动机构的型号、数量、分合闸操作电源的电压。

## 2.1 CS2 型手动操动机构

### 2.1.1 概述

CS2 型手动操动机构供操作 SN10、SN1、SN2 型高压断路器及人工接地闸刀用。用手柄转动机构的连杆使断路器合闸,由于机构中具有自由脱扣机构,故能在合闸过程中的任何位置用手力或装在机构中的脱扣附件使断路器分闸。该机构装于箱内,可用于户外。

CS2 型手动操动机构的使用种类是由其脱扣附件数量和型式不同来区别的,每台操动机构中附件的数量最多不超过三种。该操动机构有四种脱扣器:

瞬时过载脱扣器( $T_1-1, T_1-6$ )——过载及短路保护用。

延时过载脱扣器( $T_1-2$ )——过载及短路保护用。

失压脱扣器( $T_1-3$ )——当网路电压降落时保护用。

切断电磁铁( $T_1-4$ )——用于其他需要的联锁操作或保护(由各种电源通过带有闭合触头的继电器来操作)

### 2.1.2 技术数据

技术数据如表 5.1.2 和 5.1.3 所列。

表 5.1.2 CS2 型操动机构脱扣保护使用种类

操动机构型号	过载脱扣器		失压脱扣器	切断电磁铁	
	瞬时的脱扣电流 5~10A	延时的脱扣电流 5~10A		动作由单独 电源供给	动作由 LQS-1 电流互感器供给
CS2-100	1				
CS2-110	2				
CS2-111	3				
CS2-113	2		1		
CS2-114	2			1	
CS2-130	1		1		
CS2-200		1			
CS2-220		2			
CS2-222		3			
CS2-223		2	1		
CS2-224		2		1	
CS2-300			1		
CS2-340			1	1	
CS2-344			1	2	
CS2-350			1		1
CS2-355			1		2
CS2-400				1	
CS2-450				1	1
CS2-455				1	2
CS2-500					1
CS2-550					2
CS2-555					3

表 5.1.3 CS2 型操动机构脱扣器技术数据

脱扣器种类		额定电压 (V)	动作值		额定电压 下的电流 (A)	消耗功率 (V·A)	线圈匝数	
			额定电压 百分率	电流 (A)				
瞬时过载 脱扣器	T <sub>1</sub> -1			5~10			300	
	T <sub>1</sub> -6			5~15			300	
延时过载 脱扣器	T <sub>1</sub> -2			5~15			300	
失压脱 扣器	T <sub>1</sub> -3	110~127	65%~35%				3000	
		220				6000		
		380				10800		
		500				14300		
切断电 磁铁	T <sub>1</sub> -4	直流	65%~ 120%		5.05	121	407	
					2.4	115	840	
					1.7	128	1960	
					0.68	150	3530	
		交流		110~127		3.1~3.45	341~440	1100
				220 380		2.15 0.85	473 312	1800 3500
T <sub>1</sub> -5 接 LQS-1	*			3.5			350	

### 2.1.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.1 所示。

## 2.2 CS15 型手动操动机构

### 2.2.1 概述

CS15 型手动操动机构是手动合闸,电动或手动分闸,专供操作高压少油断路器用的户内高压电气控制设备。目前是配置于 SN10 型 10kV 时的开断电流不大于 6.3kA 的高压少油断路器。

该机构附有自由脱扣机构,在合闸过程中从断路器触头间隙有可能击穿处起,至完全关合位置止的范围内,都能保证断路器可靠地断开。分闸或合闸操作均能由运行人员一次操作完成。

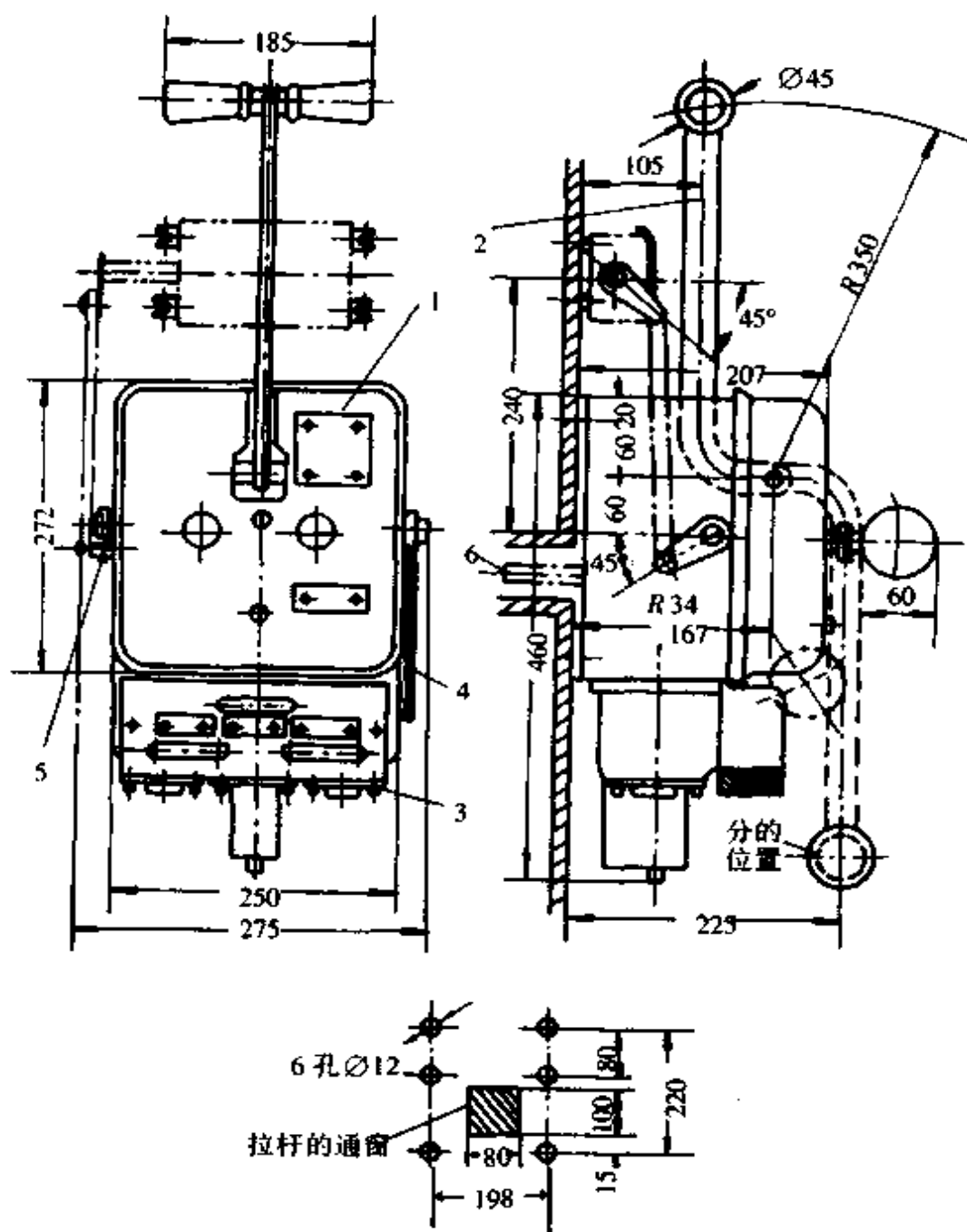


图 5.1.1 CS2 型手动操动机构外形及安装尺寸图

1—机壳 2—手柄 3—脱扣线圈 4—分合指示器

5—辅助开关连杆 6—传动轴

## 2.2.2 技术数据

技术数据如表 5.1.4、5.1.5 和 5.1.6 所示

表 5.1.4 CS15 型操动机构型式分类表

代号	瞬时过流脱扣器	失压脱扣器	分励脱扣器
110	2		
113	2	1	
114	2		1
400			1

表 5.1.5 CS15 型操动机构技术性能表

名称	单位	数据
机构主轴转动角度	度	90
机械寿命	次	2000
辅助开关接点	对	6
讯号接点	对	1
接线端子	个	20

表 5.1.6 CS15 型操动机构脱扣器技术性能表

脱扣器种类	额定电压 (V)	额定电流 (A)	脱扣功率 (V·A)
失压脱扣器	110		
	220		
	380		
分励脱扣器	直流	24	40
		48	40
		110	80
	交流	220	143
		380	
		380	
瞬时过流脱扣器		5~15	

## 2.2.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.2 所示

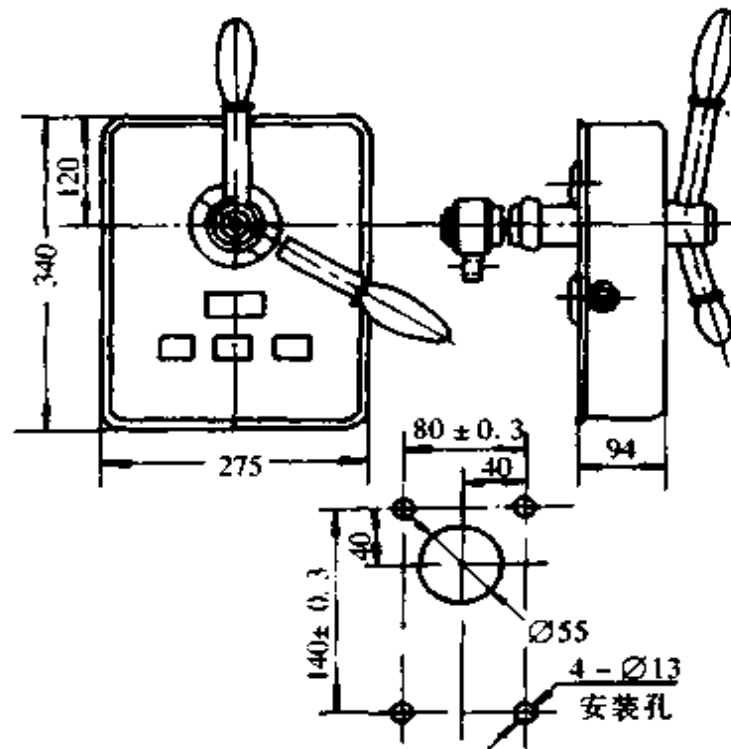


图 5.1.2 CS15 型手动操动机构外形及安装尺寸图

## 2.3 CD2 型直流电磁操动机构

2.3.1 概述 CD2 型直流电磁操动机构供操动高压断路器之用,它所需的能量直接由辅助直流电源供给。联接或分断操动机构的电力线路是用 CZO-40C 型直流接触器,能使断路器自动分闸,亦能用手动分闸。

CD2、CD2-G 为户内式,CD2-X 为户外式。CD2 型已逐步由其他改型产品取代。

### 2.3.2 技术数据

技术数据如表 5.1.7 所列。

表 5.1.7 CD2 型直流电磁操动机构技术数据

型 号	配用的断路器型号	线圈动作电流(A)						辅助触头节数	额定电压允许变动范围		质量(kg)
		合 闸		分 闸					合 闸	分 闸	
		110V	220V	110V	220V	24V	48V				
CD2	SN <sub>1</sub> -10 SN <sub>6</sub> -10	195	97.5					10	85% ~ 110%	65% ~ 120%	45
	SN7-15 LN1-35	195	97.5								
	SN8-10I	194	97	5	2.5	24	12				
	CN2-10	150	75								
	SN10-10/500	195	97.5								
CD2-1	SN10-10										
CD2-2	SN10-10C	195	97.5								
CD2-3	SN8-10										
CD2-4	SN8-10, LN1-35			5	2.5	24	12	10			45
CD2-5	CN2-10	150	75								
CD2-6	LN1-27.5	195	97.5								
CD2-7	DW6-35										
CD2-X	DW1-35, DW6-35	195	97.5	5	2.5	24	12	10			
CD2-G	DN1-10G	120	60	5	2.5	24	12	10			44

### 2.3.3 内部接线图

内部接线如图 5.1.3 所示。

### 2.3.4 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.4 所示。



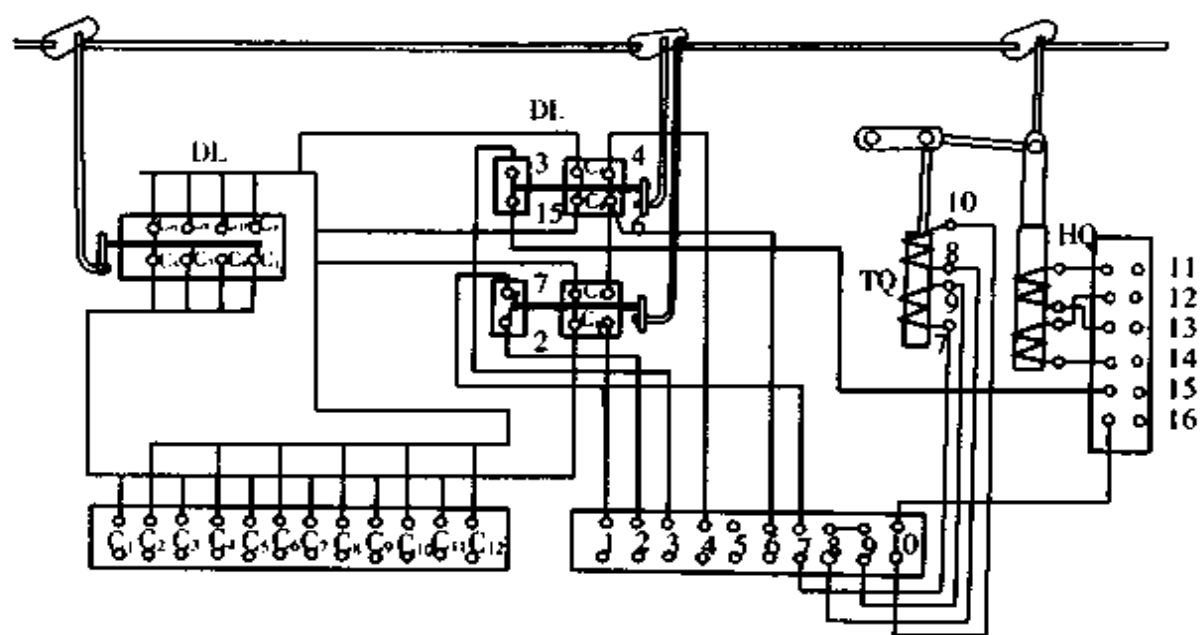


图 5.1.3 CD2 型操动机构内部接线图

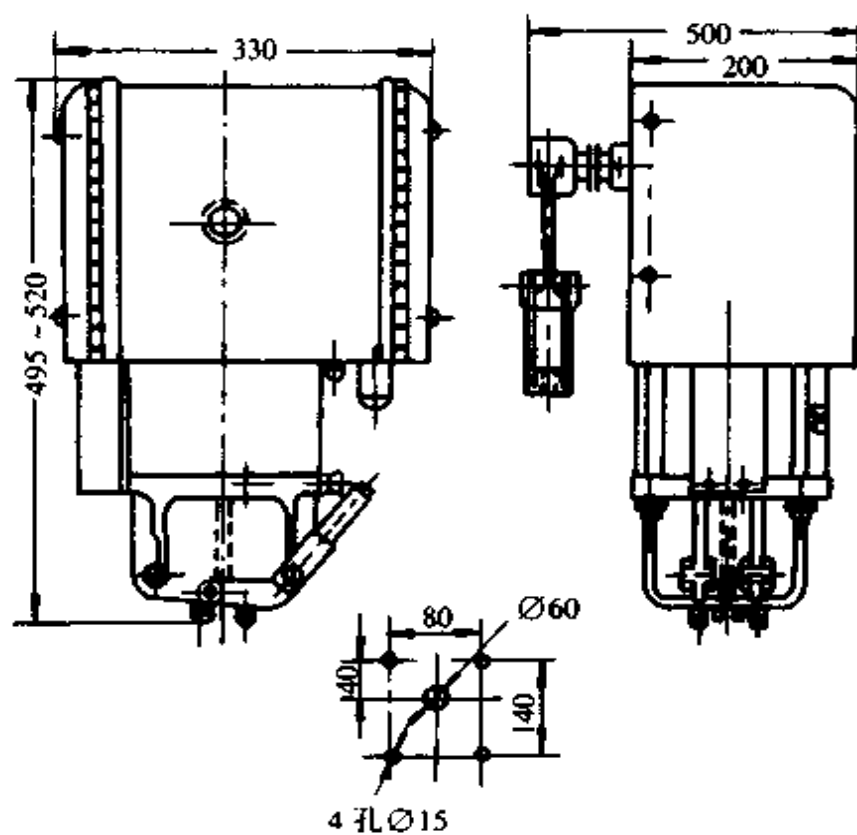


图 5.1.4 CD2 型操动机构外形及安装尺寸图

## 2.4 CD3 型直流电磁操动机构

### 2.4.1 概述

CD3-346 型直流电磁操动机构为户内型,供操动 SN3-10G 型高压断路器之用;CD3-X、CD3-XG 型电磁操动机构为户外型,供操动 DW2-35、SW2-35 型高压断路器之用。电磁操动机构在操作过程中所耗的能量直接由辅助直流电源供给。联接或分断操动机构的电力线路是用 CZO-40C 直流接触器。机构亦能手动分闸。

该操动机构由传动机构、电磁脱扣器、电磁系统和缓冲装置四部分组成。传动机构位于操作机构的中部,框架由钢板焊接而成,中间装有传动拐臂,框架壁上装有轴承和辅助开关。框架上部为电磁脱扣器,导磁体由铸铁做成,中间装有脱扣线圈和手动脱扣装置,其手柄伸出箱外作紧急脱扣用。框架下部为电磁系统,导磁体中部由四块钢板焊成一方框,在导磁体中间放有两只合闸线圈,线圈中间为铁心,铁心上端有顶杆通过上部导磁钢板的孔作用到传动机构的滚子上,启动传动机构,使断路器合闸;顶杆的下部套有弹簧,并在铁心上端垫有非磁性垫片,以防止铁心在吸合时被粘住。下部为缓冲装置,由四根角钢焊接而成,角钢在中部底板上固着橡皮,用以支持铁心和铁心合闸完毕后落下时作缓冲之用。在缓冲橡皮下可装 Q1-1 螺杆式手动起动机作断路器调整之用。

### 2.4.2 技术数据

技术数据如表 5.1.8 所列。

表 5.1.8 CD3 型操动机构技术数据

型号	配用的 断路器 型号	线圈动作电流 (A)						额定电压 允许变动 范围		辅助开关				质量 (kg)
		合 闸		分 闸				合闸	分闸	常开接点		常闭接点		
		110V	220V	110V	220V	24V	48V			合闸	分闸	合闸	分闸	
CD3-346	DN3-10	157	78.5	5	2.5	22.6	11.3	80%	65%					190
CD3-X	SW2-35	157	78.5	5	2.5	24	12	~	~	5×F <sub>1</sub>	1×F <sub>2</sub>	5×F <sub>1</sub>	1×F <sub>2</sub>	
CD3-XG	SW2-35	286	143	5	2.5			110%	110%					

### 2.4.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.5 和 5.1.6 所示。

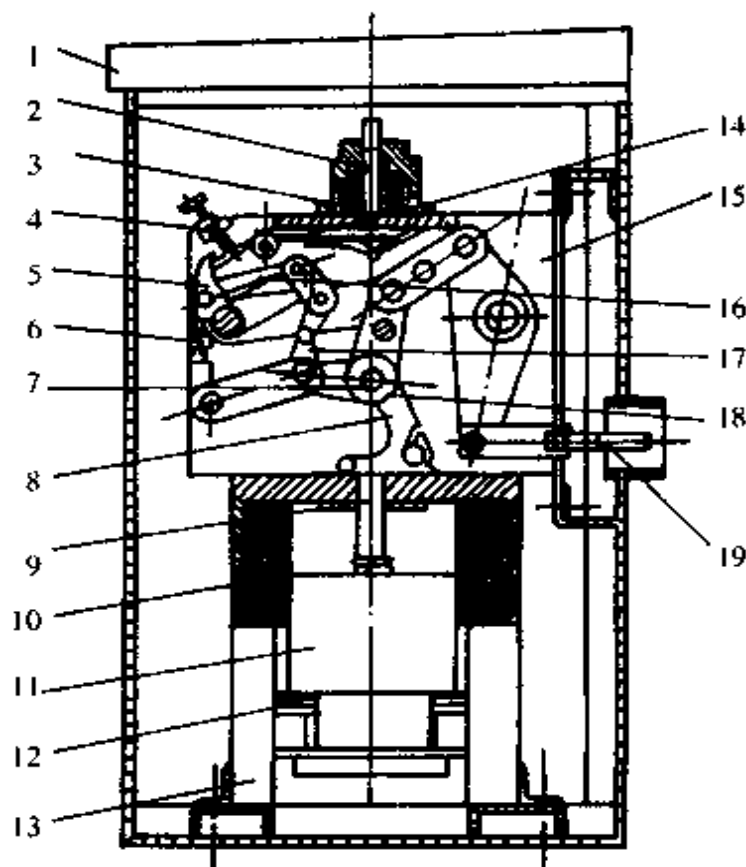


图 5.1.5 CD3-XG<sub>1</sub> 型操动机构外形图

- 1—机构箱 2—分闸铁心 3—分闸线圈 4—螺钉 5—定位器 6—螺钉 7—轴 8—支架  
 9—顶杆 10—合闸线圈 11—合闸铁心 12—橡皮缓冲器 13—底座 14—卡板  
 15—支架 16—自由脱扣机构 17—连板 18—滚轮 19—拉杆

## 2.5 CD10 型直流电磁操动机构

### 2.5.1 概述

CD10 型直流电磁操动机构是户内悬挂式、用于控制 SN10-10 型户内高压少油断路器。CD10 型属改型产品,比 CD2 型机构增大了合闸能力。该机构可以电动合闸、电动分闸和手动分闸,也可进行自动重合闸。分闸需要使用直流电源,控制合闸直流电流可用外接的 CZO-40C、CZO-40D 型低压直流接触器。机构内装有分闸电磁铁,既能手动分闸,也能电动分闸或遥控分闸。

该机构由脱扣器、电磁系统和缓冲底座三部分组成。操动机构上部的脱扣器是由铸铁弯板和五连杆机构及直角支承架组成,脱扣器的左边装有两组  $F_1$  型、 $F_2$  型辅助开关,右上侧装有一个  $F_1$  型辅助开关。操动机构中部是电磁系统,它由合闸线圈、合闸电磁铁心和方形磁轭组成。上述的铸铁弯板及方板也作为导磁体的一部分。为了防止铁心吸合时粘附板上,特加一黄铜垫圈和压缩弹簧,以便于铁心合闸终了时迅速下落,线圈和铁心间装一金属套管,防止铁心上下运动时磨损线

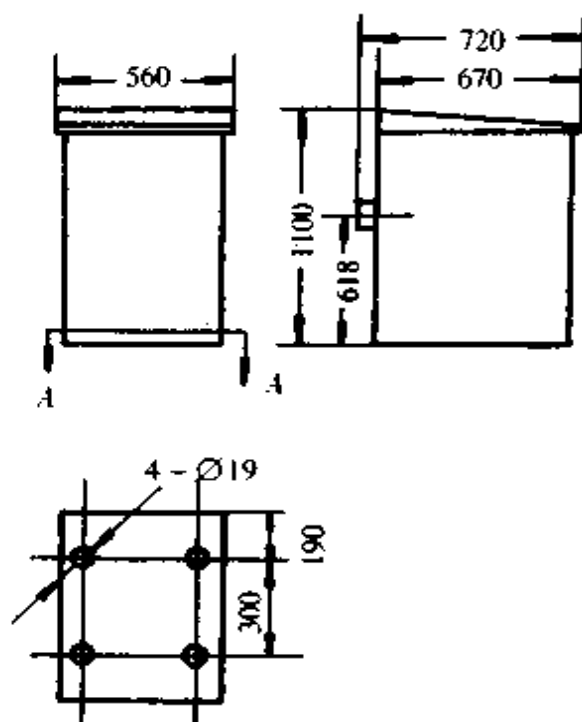


图 5.1.6 CD3-X<sub>1</sub> 型操动机构安装尺寸图

圈。机构下部是盖,它由帽状铸铁盖和分闸橡皮缓冲垫组成,盖上附有手力合闸手柄。

### 2.5.2 技术数据

技术数据如表 5.1.9 和 5.1.10 所列。

### 2.5.3 控制线路

控制线路如图 5.1.7 所示。

### 2.5.4 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.8 所示。

表 5.1.9 CD10 型电磁操动机构技术数据

名 称		数 据
合闸时间(s)	配 SN10-10 型少油	不大于 0.2
固有分闸时间(s)	断路器	不大于 0.06
主 轴 最 大 转 角 (°)		90
机械寿命(次)	CD10 I、II 型	2000
	CD10 III 型	1050

表 5.1.10 分合闸电磁线圈技术数据

操动机构型号	配用之断路器 型号	线圈动作电流 (A)						辅助 接点 (对)	质量 (kg)
		合 闸		分 闸					
		110V	220V	24V	48V	110V	220V		
CD10 I	SN10-10/630-16 SN10-10/1000-16	196	99						57
CD10 II	SN10-10/1000-31.5 SN10-10/1250-43.3	240	120	24	12	4.93	2.49	10	58
CD10 III	SN10-10/2000-43.3 SN10-10/3000-43.3	290	147						75

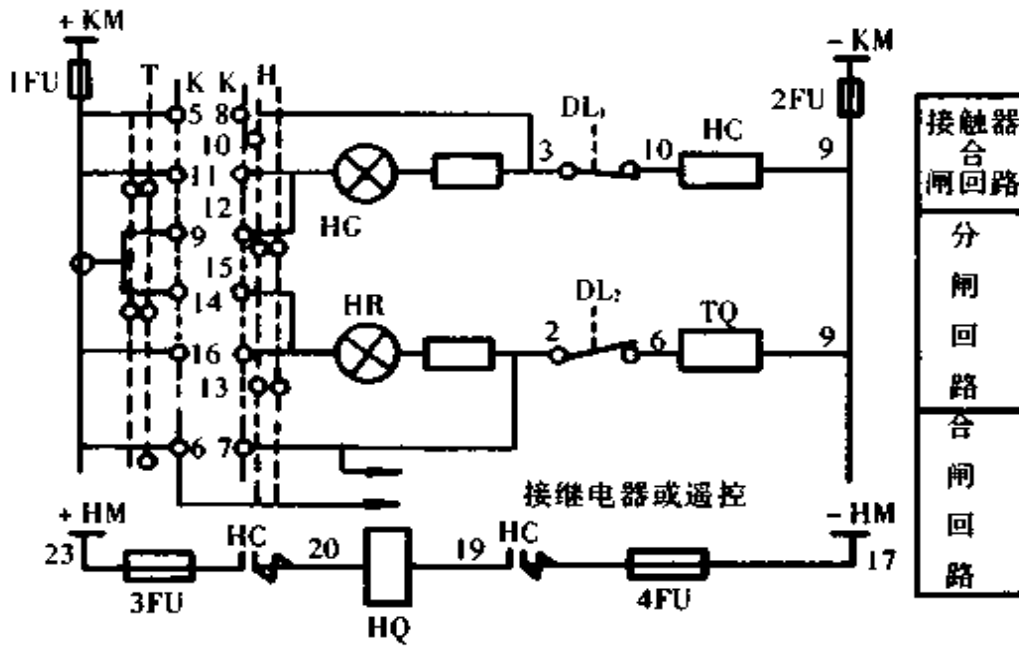


图 5.1.7 CD10 型电磁操动机构控制线路

HQ—合闸线圈 TQ—分闸线圈 1~4FU—熔断器 HR—红色信号灯  
 HG—绿色信号灯 DL<sub>1</sub>, DL<sub>2</sub>—辅助开关接点 HC—接触器

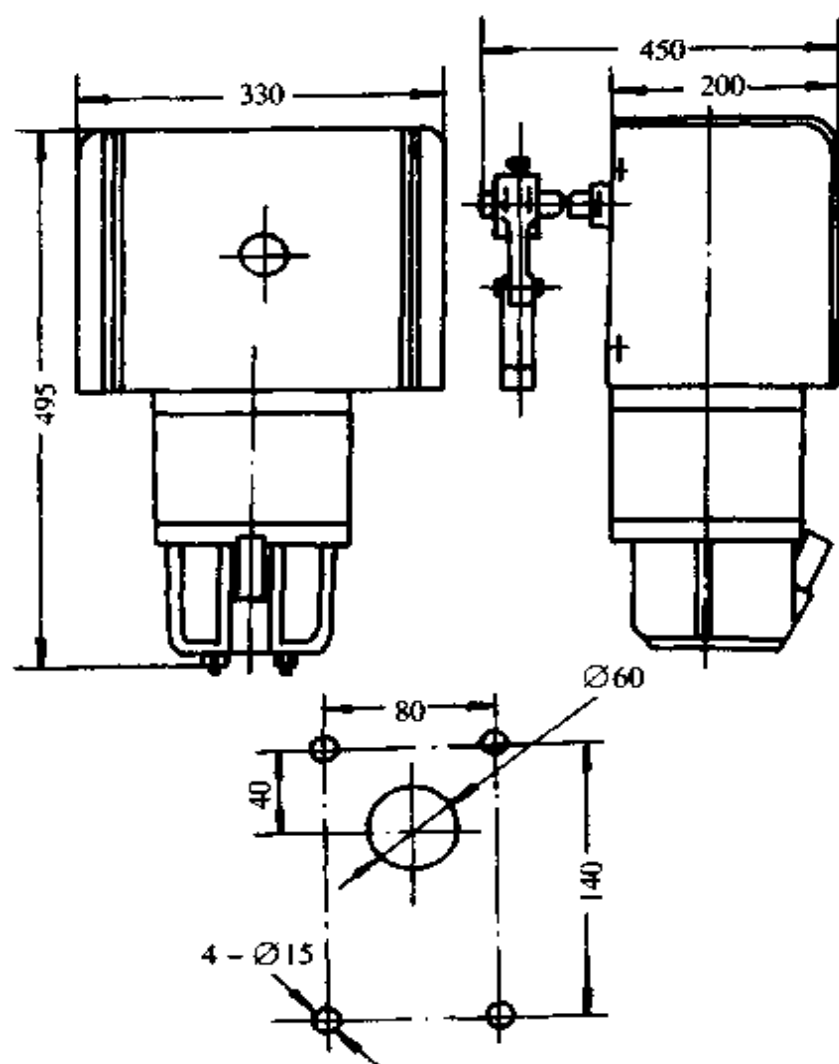


图 5.1.8 CD10 型电磁操动机构外形及安装尺寸图

## 2.6 CT7 型弹簧储能操动机构

### 2.6.1 概述

CT7 型弹簧储能操动机构由交直流两用串励电动机使合闸弹簧储能,在合闸弹簧释放能量的过程中将断路器合闸,适用于 3~10kV 级的断路器及小容量的 35kV 级的断路器,如 SN1-10、SN2-10、SN8-10、SN10-10、SN10-35 型少油断路器和 DW1-10、DW1-35 型多油断路器。它能进行一次快速自动重合闸、备用电源的自动投入及其他自动化操作。每台操动机构可安装 1~4 只脱扣线圈。

### 2.6.2 技术数据

技术数据如表 5.1.11 至 5.1.16 所列。

表 5.1.11 储能电动机技术数据

型 式	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定转速 (r/min)	额定电压下 储能时间 (s)	额定电压下 的电流 (A)	电机工作电压 极限范围
单相交直流串 激整流子式	交流 220、 直流 220	369	6000	小于 5	小于 5	(85% ~ 110%) 额定电压

表 5.1.12 合闸电磁铁技术数据

电压种类	额定电压 (V)	额定电流(A)		额定功率(V·A)		20℃时线圈 电阻(Ω)	动作电压 范围(V)
		铁心释放	铁心吸合	铁心释放	铁心吸合		
交流	110 ~ 127	2.2 ~ 2.54	0.8 ~ 0.92	242 ~ 322	88 ~ 117	30	85% ~ 110% 额定电压
	220	1.8	0.6	396	132	79	
	380	1.05	0.35	400	133	240	
直流	24	15.2		365		1.58	80% ~ 110% 额定电压
	48	8.3		399		5.78	
	110	3.9		430		28.2	
	220	2.08		458		106	

表 5.1.13 瞬时过流脱扣器(1型脱扣器)技术数据

脱扣电流等级 (A)		线圈阻抗(Ω)		脱扣功率(V·A)		脱扣电流 允许误差
		铁心释放	铁心吸合	铁心释放	铁心吸合	
5 ~ 10	5	0.985	2.6	23	60	± 10%
	7.5	0.423	1.17	22	60	
	10	0.239	0.67	22	61	
10 ~ 15	5	0.28	0.7	23	59	
	7.5	0.19	0.47	25	62	
	10	0.15	0.35	30	69	

表 5.1.14 失压脱扣器(3型脱扣器)技术数据

额定电压(V)	额定电流(A)		额定功率(V·A)		20℃时每个线圈 电阻(Ω)
	铁心释放	铁心吸合	铁心释放	铁心吸合	
110	0.465	0.1	51	11	104
220	0.24	0.05	53	11	929
380	0.145	0.03	55	12	1190

注:失压脱扣器使用交流电,当线圈电压低于额定电压的 35%时,铁心可靠地释放;当线圈电压大于 85%时,铁心可靠地吸持

表 5.1.15 电压切断电磁铁(4型脱扣器)技术数据

电 压 种 类		交 流			直 流			
额定电压 (V)		110~127	220	380	24	48	110	220
额定电流 (A)	铁心释放	1.25~1.44	0.78	0.66	2.57	1.26	0.86	0.73
	铁心吸合	0.42~0.485	0.31	0.255	2.57	1.26	0.86	0.73
额定功率 (V·A)	铁心释放	138~183	172	250	62	61	95	160
	铁心吸合	46~62	68	97	62	61	95	160
20℃时线圈电阻(Ω)		52	127	343	9.35	37.9	128	302
动作电压范围(V)		65%~120%额定电压			65%~120%额定电压			

表 5.1.16 电流切断电磁铁(5型脱扣器)技术数据

	脱扣器电流 (A)	线圈阻抗(Ω)	脱扣功率(V·A)
铁心释放	3.5	2.12	26
铁心吸合	3.5	4.9	56

注:电流切断电磁铁由 LQ3 速饱和电流互感器供电。

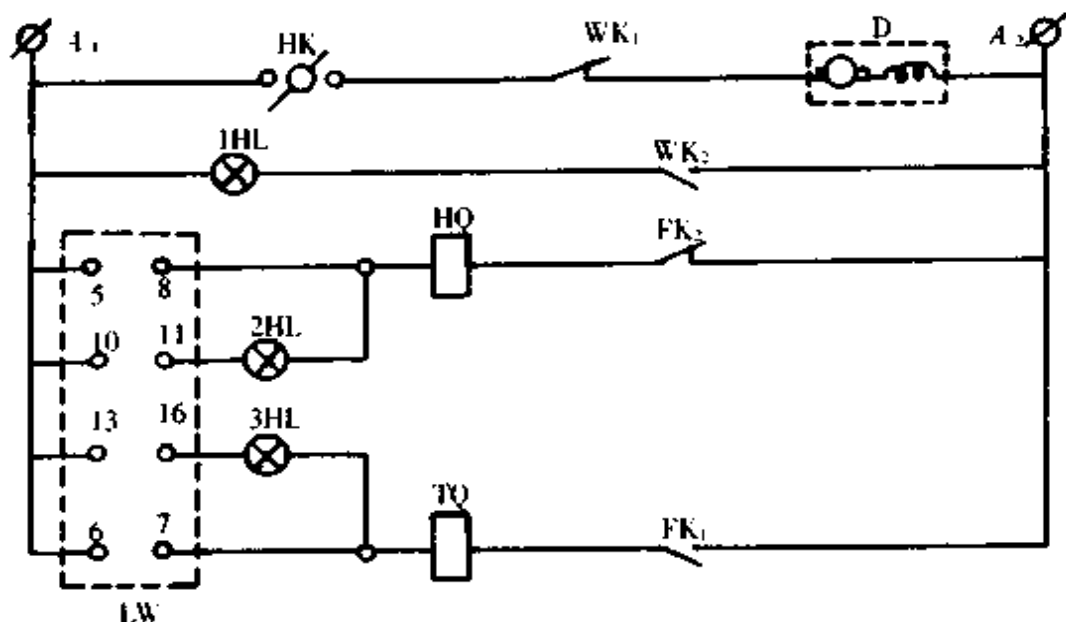


图 5.1.9 CT7 型操动机构控制线路

D—电动机 WK—电动机行程开关 FK—辅助开关 HQ—合闸电磁铁

TQ—电压切断电磁铁(上列电器均在机构内) HK—组合开关

LW—控制开关 1~3HL—信号灯



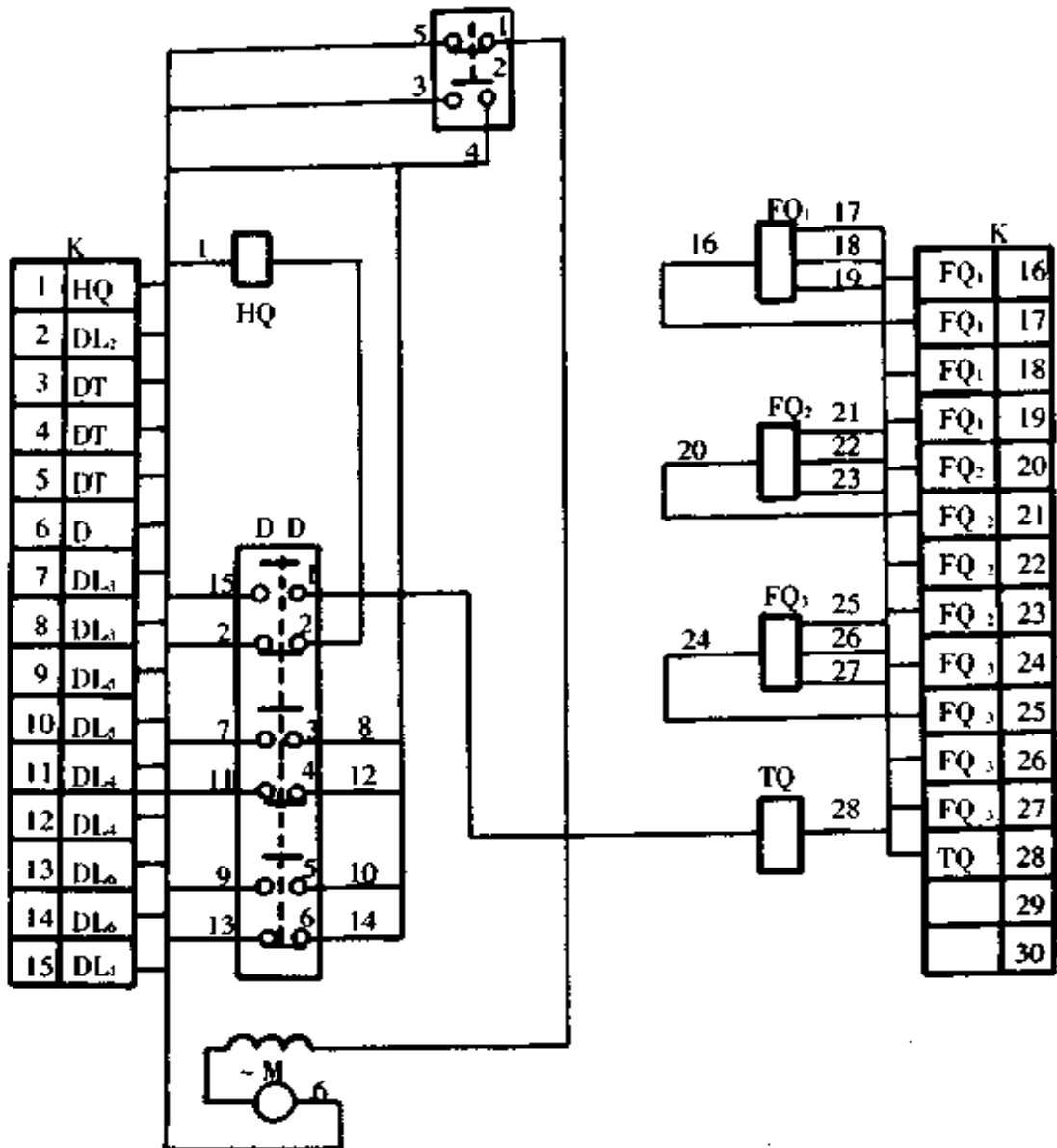


图 5.1.10 CT7 型操动机构安装接线图

FQ—过流或失压脱扣器 TQ—跳闸线圈 HQ—合闸线圈 D—电动机  
 DT—弹簧闭锁接点 DL—辅助开关 K—接线端子

弹簧机构基本控制线路如图 5.1.9 所示,图中弹簧处于尚未储能的分闸位置。当 HK 闭合后,电动机通电,弹簧储能。储能终了,行程开关 WK 的常闭接点 WK<sub>1</sub> 打开,电动机断电,WK<sub>2</sub> 闭合,黄色信号灯 1HL 亮,表示电动储能位置。当控制开关 LW 置于“合”的位置时,接点(5、8)接通,合闸电磁铁 HQ 通电,断路器合闸,合闸后接点(13、16)及辅助开关接点 FK<sub>1</sub> 闭合,红色信号灯 3HL 亮,表示合闸位置。当控制开关 LW 置于“分”位置时,接点(6、7)闭合,电压切断电磁铁 TQ 通电,断路器分闸,分闸后接点(10、11)及辅助开关接点 FK<sub>2</sub> 闭合,红色信号灯 2HL 亮,表示

分闸位置。安装接线如图 5.1.10 所示。

### 2.6.3 外形及安装尺寸

如图 5.1.11 所示。

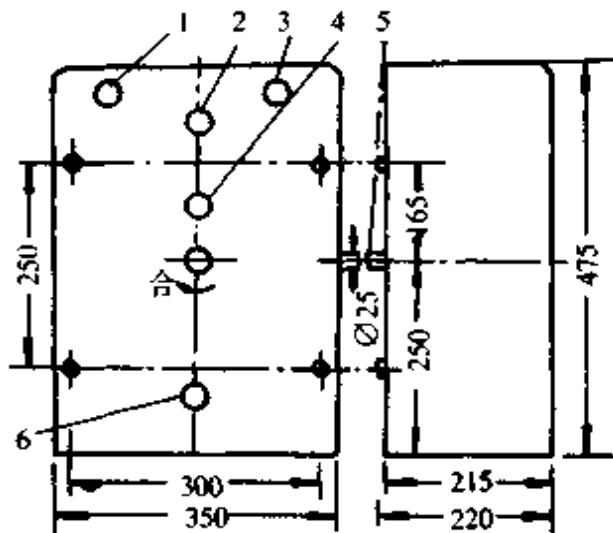


图 5.1.11 CT7 型操动机构外形及安装尺寸

1—合闸按钮 2—储能指示灯 3—跳闸按钮  
4—跳合闸指示灯 5—输出轴 6—手动储能轴

## 2.7 CTA-S、CTA-D 型弹簧储能操动机构

### 2.7.1 概述

CTA-S、CTA-D 型弹簧储能操动机构系户内设备,用于操动 SN10-10 I 型高压少油断路器。该机构由储能系统、传动系统、分合闸圆盘三部分组成。CTA-S 型为手动驱动弹簧储能;CTA-D 型可电动机驱动储能,亦可手动驱动储能。驱动电动机为 JZ1D-1 型单相交直流两用串励电机,额定电压 380V,额定电流 1.3A。

### 2.7.2 技术数据

技术数据如表 5.1.17 所列。

表 5.1.17 CTA-S、CTA-D 型操动机构分、合闸电磁铁技术数据

额定电压(V)	线径(mm)	匝数(匝)	电流(A)	直流电阻值( $\Omega$ ) (20 $^{\circ}$ C)
-220	0.31	3000	3.35	65.7
-110	0.44	1720	5.8	19

### 2.7.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.12 所示

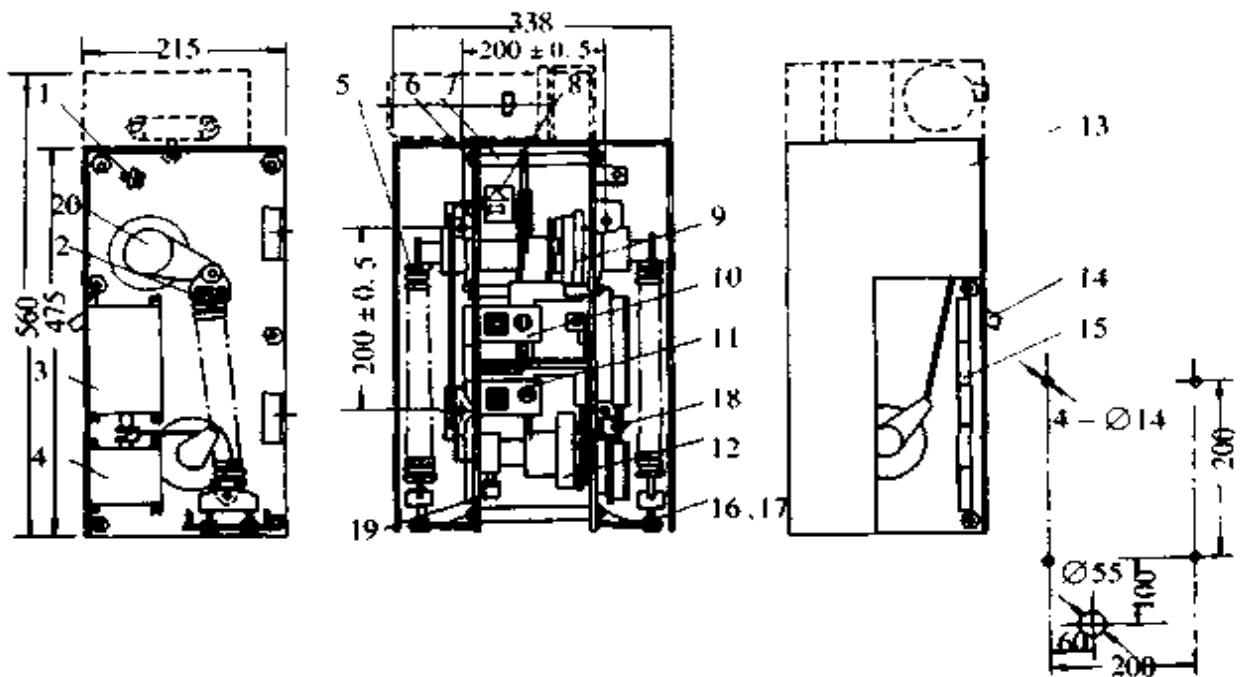


图 5.1.12 CTA-S、CTA-D 型操动机构外形及安装尺寸图

- 1—储能止钉 2—合闸缓冲 3—F1-8 辅助开关 4—F1-4 辅助开关  
 5—合闸弹簧 6—墙板 7—台阶螺栓 8—分合指示 9—储能轴装配  
 10—合闸电磁铁 11—分闸电磁铁 12—输出轴装配 13—外罩  
 14—操作手柄 15—接线端子 16—螺栓 17—螺母 18—方头支柱  
 19—输出拐臂 20—合闸弹簧拐臂

注：图上虚线部分为电机及减速箱系统

## 2.8 CT8 型弹簧储能操动机构

### 2.8.1 概述

CT8 型弹簧储能操动机构是户内型，用于操动 SN10-10(I)、(II) 型高压少油断路器，或合闸功与其相当的其他断路器。

合闸弹簧的储能方式有电动机储能和手动储能两种，机构的合闸操作具有手动合闸和电动（电磁铁）合闸两种方式。分闸操作除有手动分闸外，电动脱扣器有分闸电磁铁（分励脱扣器）、瞬时过电流脱扣器、失压脱扣器。

### 2.8.2 技术数据

(1) 电动脱扣的组合及代号如表 5.1.18 所列。

表 5.1.18 CT8 型操动机构电动脱扣的组合及代号

脱扣器组合代号	瞬时过电流脱扣器	失压脱扣器	分闸电磁铁
111	3	0	0
110	2	0	0
113	2	1	0
114	2	0	1
400	0	0	1
1113	3	1	0
1114	3	0	1

(2) 储能电动机数据如表 5.1.19 所列。

表 5.1.19 CT8 型操动机构储能电动机数据

型 号	HDZ <sub>1</sub> -5
额定电压(V)	110, 220, 380
额定功率(W)	450
电动机工作电压范围	85% ~ 110% 额定电压
额定电压下储能时间(s)	约 5

(3) 合闸电磁铁数据如表 5.1.20 所列。

表 5.1.20 CT8 型操动机构合闸电磁铁数据

电压类型		交 流			直 流		
额定电压(V)		110	220	380	48	110	220
额定电流 (A)	铁心启动	10	5	3	9.6	5	2.34
	铁心吸合	7	3.5	2			
额定功率 (V·A)	铁心启动	1100	1100	1140	460	550	515
	铁心吸合	770	770	760			
工作电压范围		85% ~ 110% 额定电压					

(4) 分闸电磁铁数据如表 5.1.21 所列。

(5) 瞬时过电流脱扣器: 额定电流 5A, 阻抗不大于 1.5Ω。

(6) 失压脱扣器: 工作电压为交流, 额定电压等级为 110V、220V、380V。消耗



### 2.8.4 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.14 所示。

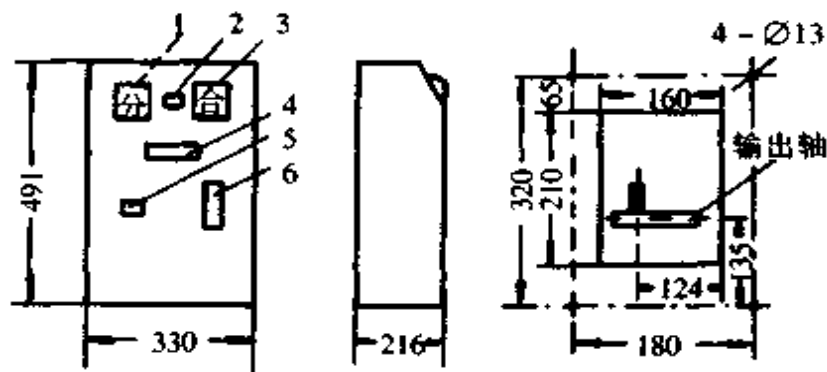


图 5.1.14 CT8 型操动机构外形及安装尺寸图

1—手动分闸按钮 2—储能指示牌 3—手动合闸按钮  
4—观察孔 5—分合闸指示牌 6—手动储能手柄孔

## 2.9 CS 系列隔离开关手动操动机构

### 2.9.1 概述

手动操动机构是隔离开关最常用的一种操动机构,型号中无“D”者有一个操作手柄;型号中有“D”者有两个操作手柄,一个操作隔离开关主闸刀,另一个操作接地闸刀,两个操作手柄有机械联锁,隔离开关接地闸刀只能在主闸刀完全打开时才能合闸,而主闸刀只能在接地闸刀完全打开时才能合闸,以保证安全操作。

主闸刀与接地闸刀均可带辅助开关,其型号为 F<sub>1</sub> 型,操动机构也可附电磁锁,需要时可向制造厂提出。

### 2.9.2 技术数据

技术数据如表 5.1.22 所列。

表 5.1.22 隔离开关手动操动机构技术数据

型 号	使用环境	操动隔离开关型号	质量(kg)
CS1-XG	户外	GW5-35GK	27
CS6-1T	户内	GN5-10、GN9- $\frac{6}{10}$ T、GN8- $\frac{6}{10}$ T	1.8~3.95
CS6-2	户内	GN $\frac{1}{2}$ -10、GN $\frac{1}{2}$ -20、GN $\frac{1}{2}$ -35	7.8
CS6-2T	户内	GN2-35T	6.1~7.8
CS7	户内	GN2-10/3000	
CS8-1	户外	GW1-6、GW1-10	

续表

型号	使用环境	操动隔离开关型号	质量(kg)
CS8-2D	户外	GW2-35D	16
CS8-3	户外	GW2-35	11
CS8-3D	户外	GW2-35GD	
CS8-5	户外	GW8-35	
CS8-6D	户外	GW4-35D、GW2-35GD	16
CS9	户内	GN10-10T、GN3-10	
CS11-G	户外	GW2-35G、GW4- $\frac{10}{35}$	9.6
CS11-I	户外	GW4-15	
CS14-G	户外	GW4-35D	10
CS-G	户外	GW5-35	

### 2.9.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.1.15 至 5.1.20 所示

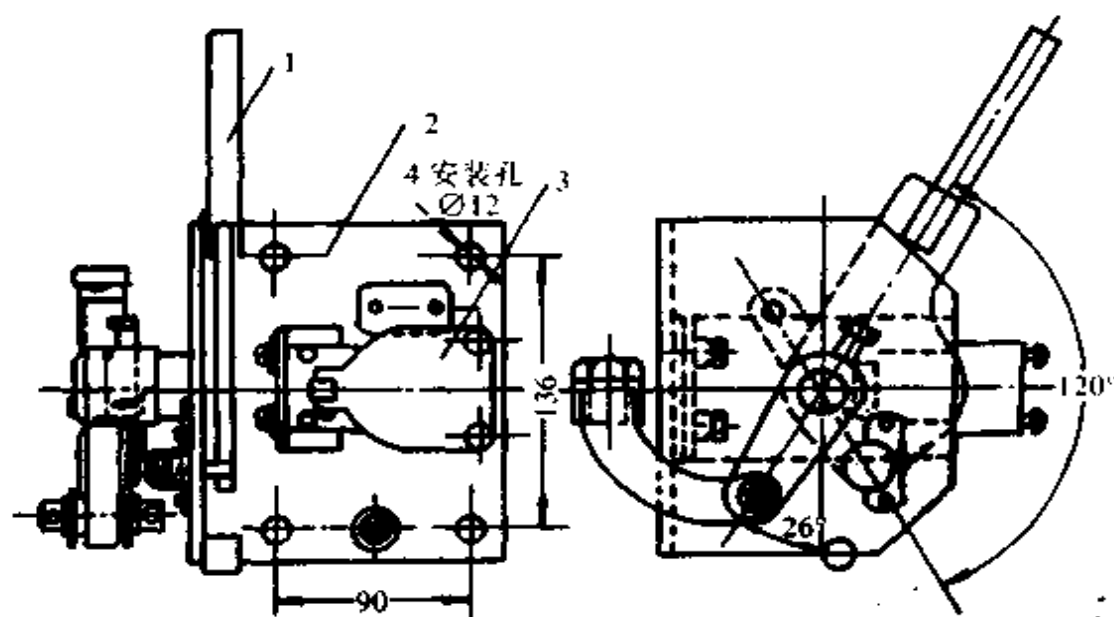


图 5.1.15 CS8-1 型手动操动机构外形及安装尺寸图

1—手柄 2—支架 3—电磁锁

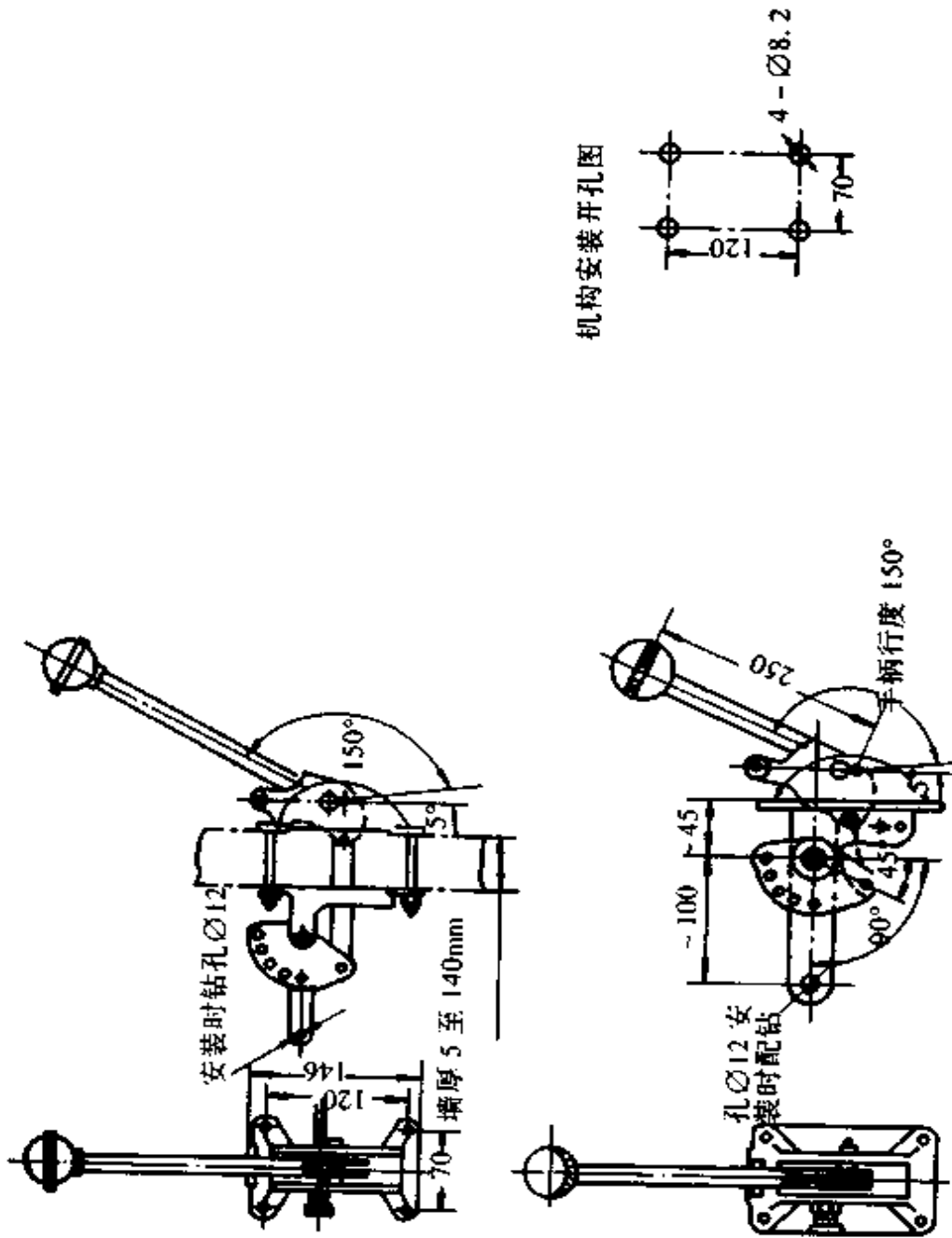


图 5.1.16 CS6-IT 型手动操作机构外形及安装尺寸图

注：因安装方式不同，CS6-IT 型操作机构有三种形式：第一种，供后联接牵引杆用，质量 3.95kg；第二种，供前联接牵引杆用，质量 1.885kg；第三种是第二种的变体，供成套配电装置用，质量 1.8kg



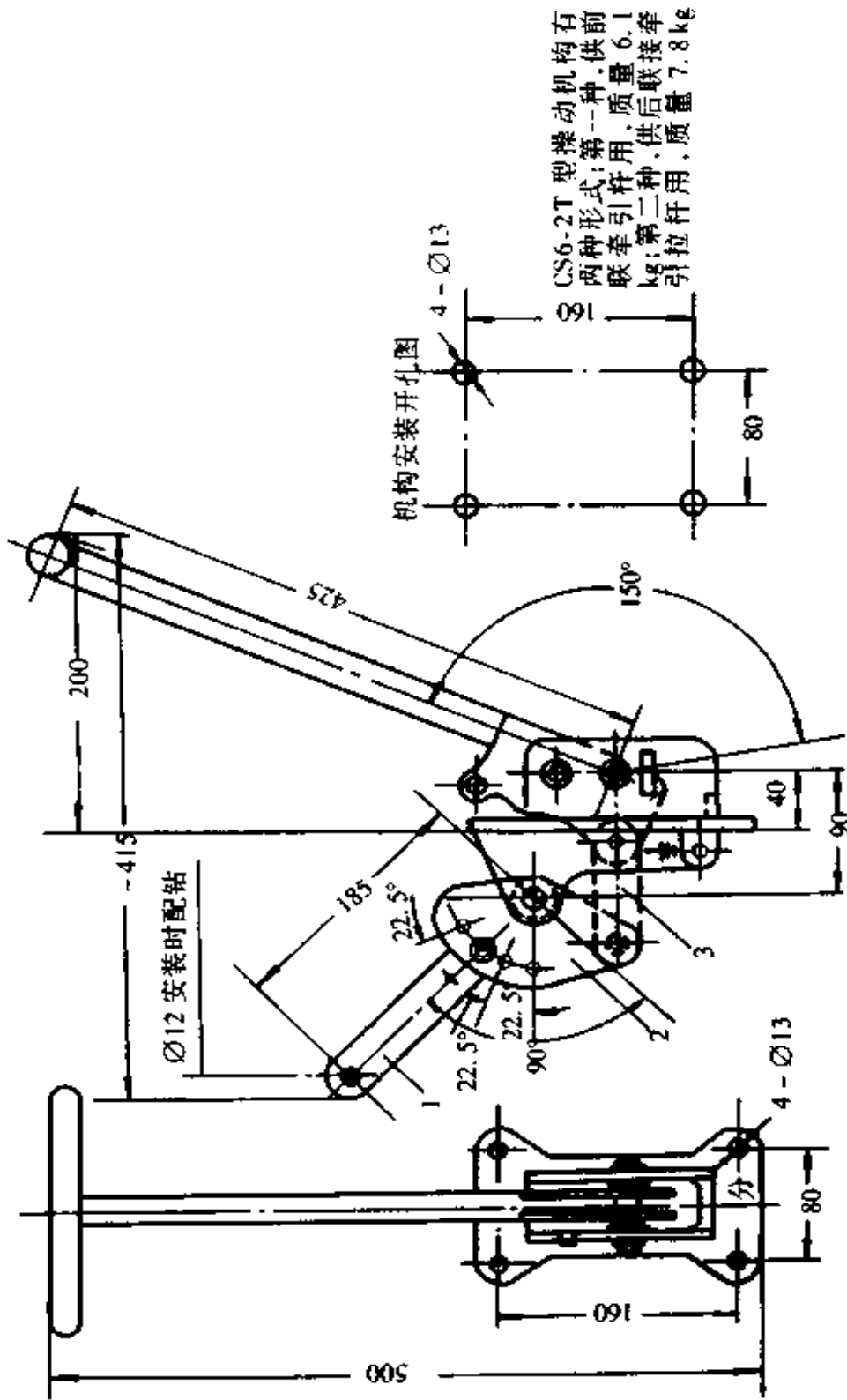


图 5.1.17 CS6-2T 型手动操动机构外形及安装尺寸图

1—调节板 2—调节板 3—连板

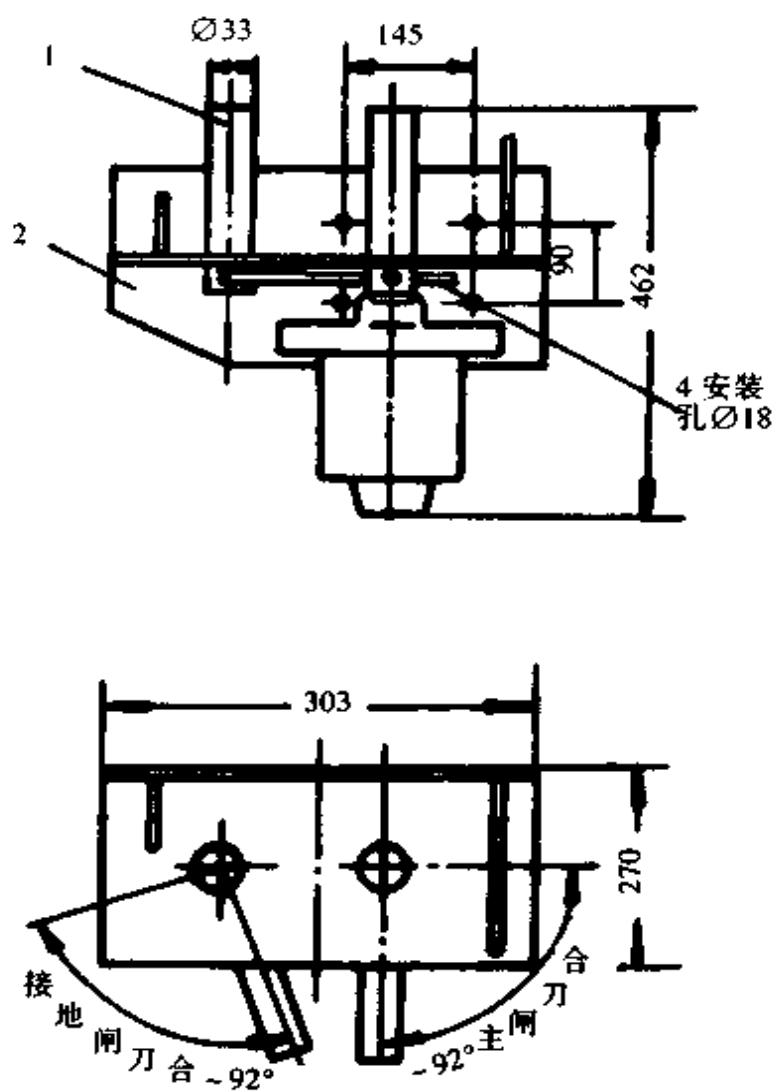


图 5.1.18 CS8-6D 型手动操动机构外形及安装尺寸图

1—转轴 2—躯壳

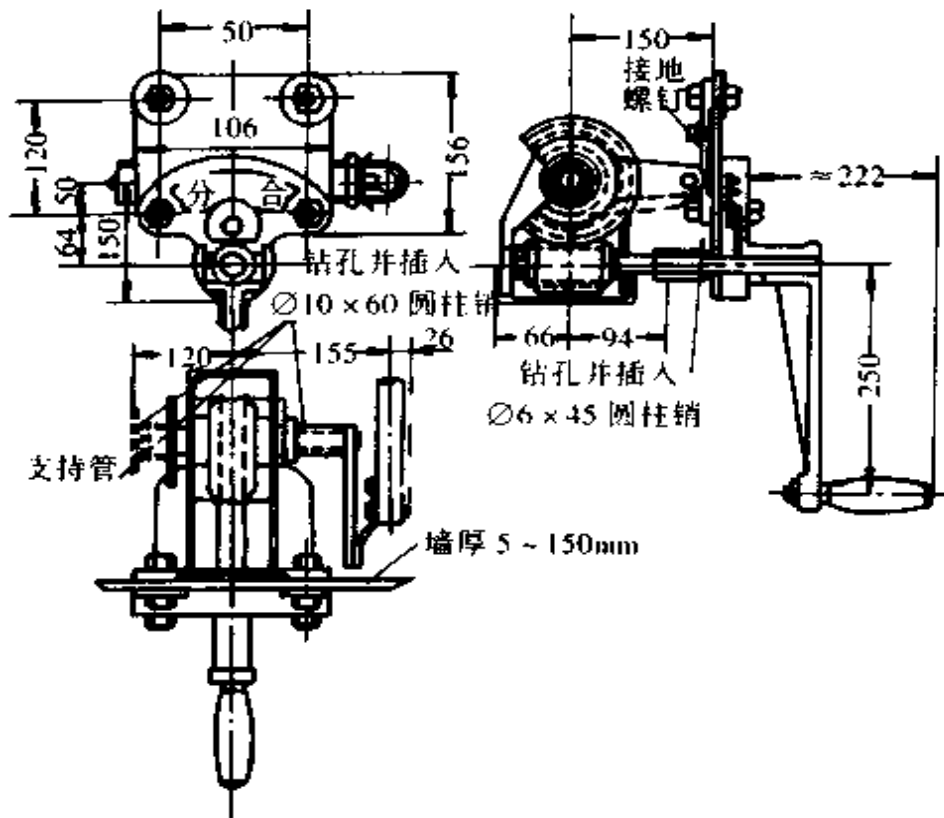


图 5.1.19 CS9 型手动操动机构外形及安装尺寸图

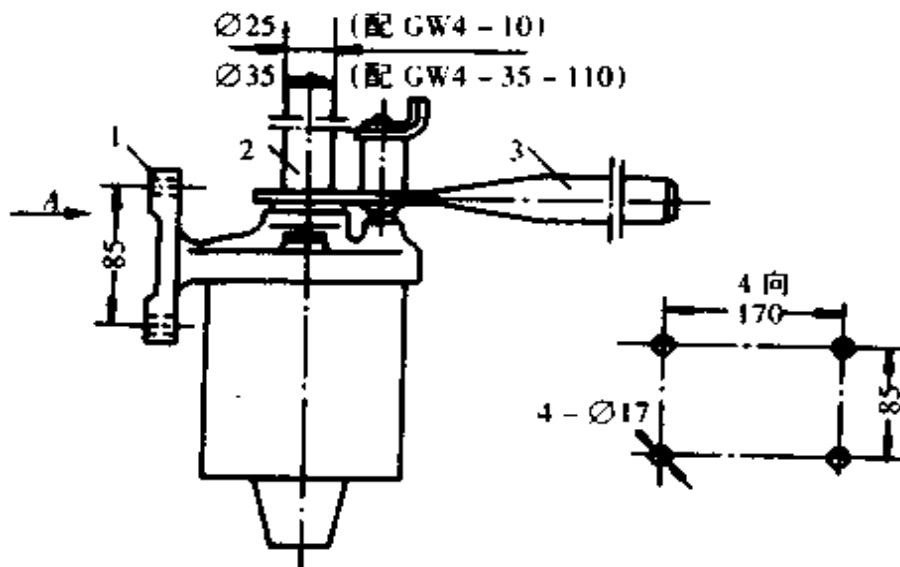


图 5.1.20 CS11 型手动操动机构外形及安装尺寸图 (CS14 型、CS11-1 型)

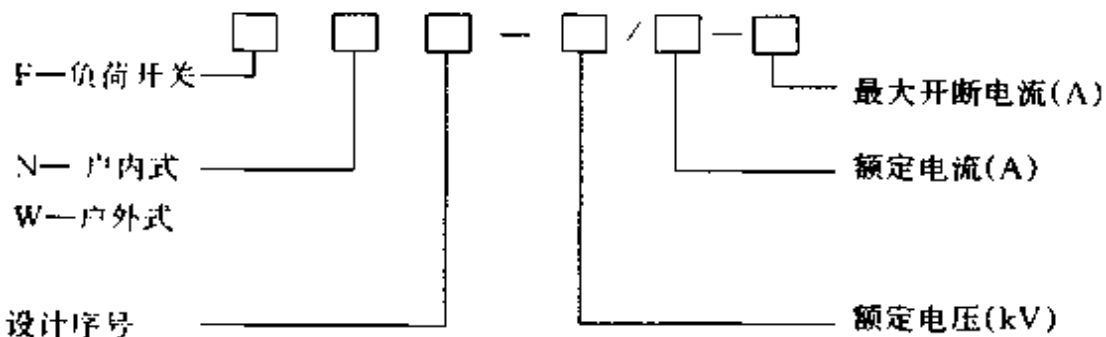
1—底座 2—转轴 3—杠杆

### 3 高压负荷开关

高压负荷开关适用于切断和闭合额定电流以及规定的过载电流。与熔断器配合使用时,可借助熔断器保护线路, FN3 负荷开关分为无熔断器和有熔断器的 FN3-10R/S 负荷开关(熔断器在开关上面), FN3-10R 负荷开关(熔断器在开关下面)。

FN4 型为真空式开关。

型号含义:



型号及主要数据如表 5.1.23 和 5.1.24 所列。

表 5.1.23 FN 型高压负荷开关数据

名称	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	配用操作机构型号
户内高压负荷开关	FN2-10/400	10	400	CS4, CS4-T
	FN2-10R/400	10	400	CS4, CS4-T
	FN3-6/400	6	400	CS3, CS3-T 及 CS2
	FN3-6R/400	10	400	
	FN3-10/400	10	400	
	FN3-10R/400	10	400	
	FN4-10/600	10	600	电磁

续表

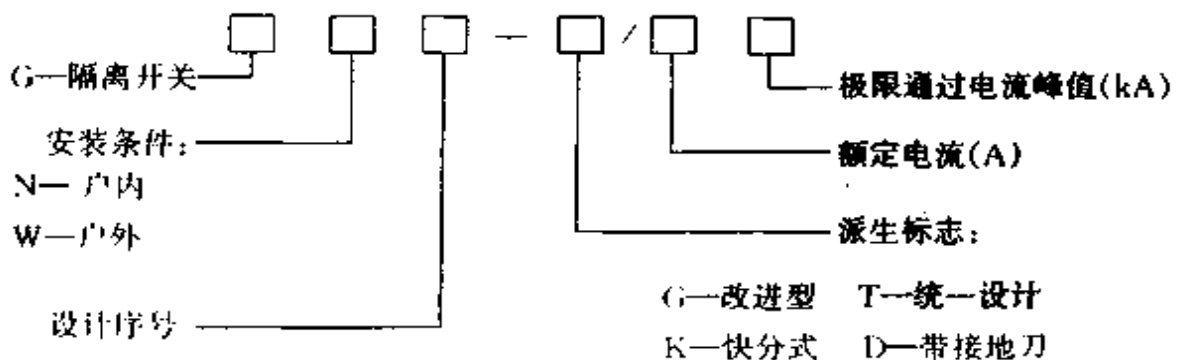
名称	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	配用操作机构型号
户外高压负荷开关	FW1-10/400	10	400	绝缘棒或绳索
	FW2-10G/200	10	200	绝缘棒或绳索
	FW2-10G/400	10	400	
	FW4-10/200	10	200	绝缘棒或绳索
	FW4-10/400	10	400	
	FW5-10/200	10	200	绝缘棒或绳索

表 5.1.24 高压负荷开关配用熔断器规格

负荷开关配用熔断器规格	电 压 (kV)		
	3	6	10
FN2-10R 负荷开关配用 RN1 型熔断器规格	20、100、200	20、75、200	20、50、100
FN3 型负荷开关配用 RW3 型熔断器规格	10~50 75 100~200	10~50 75 100、200	10~50 75 100~150

## 4 高压隔离开关

高压隔离开关供高压电气设备在无负载而有电压的情况下分合电路之用。  
型号含义：



主要技术数据如表 5.1.25 所示。

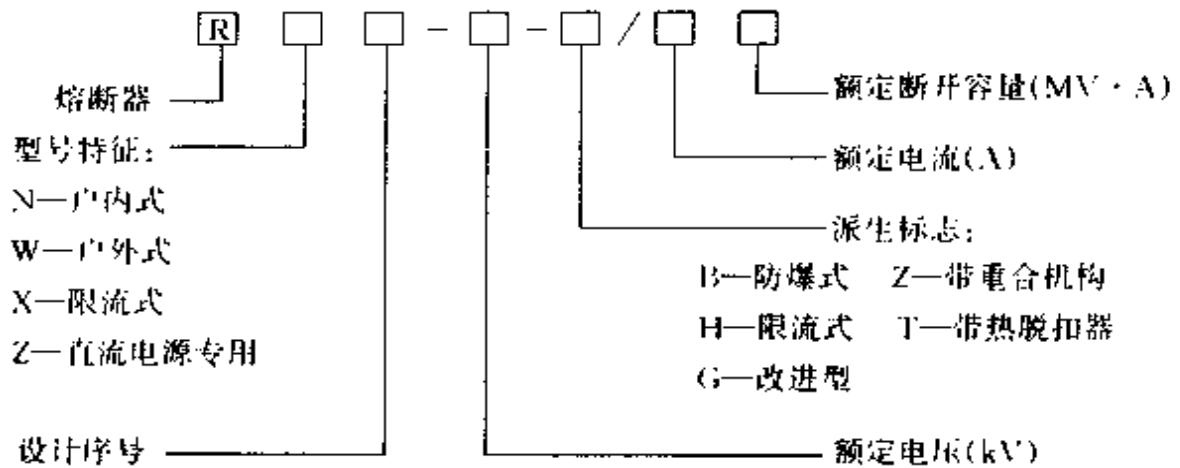
表 5.1.25 高压隔离开关主要技术数据

名 称	型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	配用操作机构
户外隔离开关	GW1-10/200	10	200	CS8-1
	GW1-10/400	10	400	
	GW1-10/600	10	600	
	GW1-10(W)/200	10	200	
	GW1-10(W)/400	10	400	
	GW1-10(W)/600	10	600	
	GW2-35/600	35	600	CS8-2
	GW2-35D/600	35	600	CS8-2D
户内高压隔离开关	GN1-6/400	6	400	CS6-1
	GN1-10/400	10	400	
	GN1-10/600	10	600	
	GN5-10/200	10	200	CS6-1
	GN5-10/400	10	400	
	GN5-10/600	10	600	
	GN5-10/1000	10	1000	CS6-1T
	GN6-10/200	10	200	CS6-1
	GN6-10/400	10	400	CS6-1T
	GN6-10/600	10	600	
	GN8-10 II /200	10	200	CS6-1
	GN8-10 II /400	10	400	CS6-1T
	GN8-10 II /600	10	600	

## 5 户内高压熔断器

高压熔断器适用于高压输电线路、电力变压器、电力电容器等电气设备的过载及短路保护。

型号含义:



主要型号及技术数据如表 5.1.26 所列:

表 5.1.26 户内高压熔断器主要技术数据

名 称	型 号	额定电压 (kV)	额定电流等级 (A)	备 注
高压熔断器	RN1-10/□	10	2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200	
	RN1-35/□	35	2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40	
	RN2-6/0.5	6	0.5	
	RN2-10/0.5	10	0.5	
	RN2-15/0.5	15	0.5	
	RN2-20/0.5	20	0.5	
	RN2-35/0.5	35	0.5	
	RN2-35/2	35	2	
	RN2-35/3	35	3	
	RN2-35/5	35	5	
RW3-10/50	10	2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50		
RW3-10/75	10	75		
RW3-10/200	10	100, 150, 200		
RW3-35/2, 3, 5	35	2, 3, 5		

续表

名 称	型 号	额定电压 (kV)	额定电流等级 (A)	备 注
户内高压限流熔断器	RW4-10/0.5	10	0.5	
	RW4-20/0.35	20	0.35	
户内高压熔断器	RW5-10/□	10	2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100	
户外跌落式熔断器	RW-10B	10	0.5, 3, 5, 7.5, 10	
	RW-35B	35	15, 20, 30, 40, 50	
	RW-60B	60	75, 100	
	RW-35BZ	35	5, 7.5, 10, 15	
	RW-60BZ	60	20, 30, 40, 50, 75, 100	

## 6 户外跌落式熔断器

### 6.1 户外爆炸式跌落、重合跌落熔断器

技术数据如表 5.1.27 所列。

表 5.1.27 户外爆炸式跌落、重合跌落熔断器技术数据

名 称	型 号	额定电压 (kV)	额 定 电 流		断流容量 (MV·A)
			熔 管	熔 丝	
爆炸式跌落、重合跌落熔断器	RW-10B	10	100	0.5, 3, 5, 7.5	200
	RW-35B	35		10, 15, 20, 30	600
	RW-60B	60		40, 50, 75, 100	700
	RW-35BZ	35	100	5, 7.5, 10, 15, 20,	250
	RW-60BZ	60		30, 40, 50, 75, 100	350
角型熔断器 高压限流电阻器	RW2-35 RDI-35	35 35	7.5 限阻 $400 \pm 4\Omega$	0.5, 2, 3, 5, 7.5, 0.5	极限分断电流 60A

### 6.2 户外跌落式高压熔断器

技术数据如表 5.1.28 所列。



表 5.1.28 户外跌落式高压熔断器技术数据

名 称	型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	备 注
户外跌落式熔断器	RW3-10G/100	6~10	100	
	RW3-10G/200		200	
	RW3-10T/50	6~10	50	
	RW3-10T/100		100	
	RW3-10/60		60	
	RW3-10/100		100	
	RW3-10/150		150	
	RW3-10/200		200	
	RW3-10/60	6~10	60	
	RW3-10/100		100	
	RW4-10/50	6~10	50	
	RW4-10/100		100	
RW4-10/200	200			
RW7-10/50	6~10	50		
RW7-10/100		100		
RW7-10/200		200		
RW5-35/100	35	100		

## 7 阀式避雷器

阀式避雷器用于保护配电变压器和电缆终端盒等电气设备,使之免受大气过电压的损害。主要技术数据如表 5.1.29 所列。

表 5.1.29 阀式避雷器主要技术数据

型 号	额定电压 (kV)	伞 数	备 注
FZ-3 型	3	2	
FZ-6 型	6	3	
FZ-10 型	10	5	
FZ-15 型	15	5	
FZ-20 型	20	7	
FZ-35 型	35	2	
FZ1-6 型	6	3	
FZ1-10 型	10	5	
FZ1-15 型	15	6	

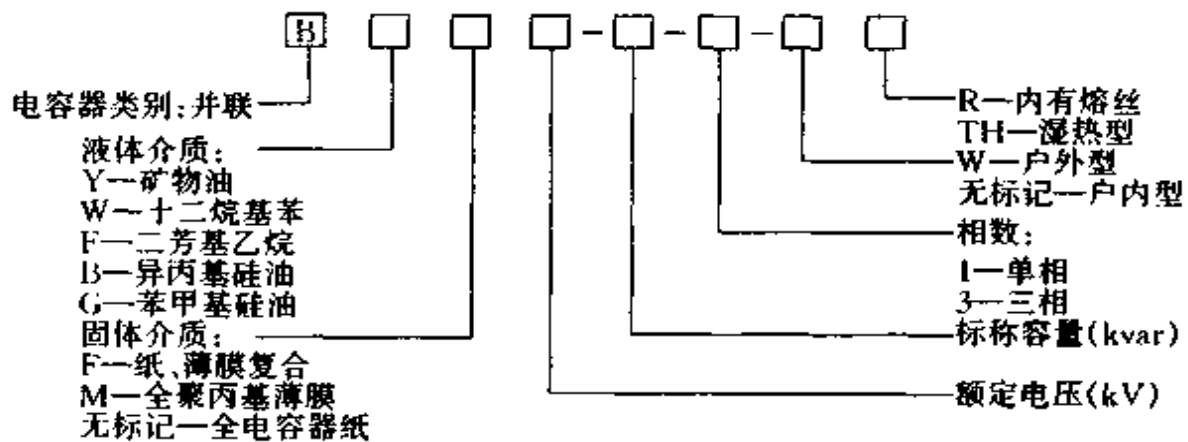
续表

型 号	额定电压 (kV)	伞 数	备 注
FZ1-20 型	20	7	
FZ1-30 型	30		
FZ1-35 型	35		
FS-3 型	3	2	
FS-6 型	6	3	
FS-10 型	10	5	
FS3-3N 型	3	2	
FS3-6N 型	6	3	
FS3-10N 型	10	5	
FS3-10 型	10		
FS4-2 型	3	2	
FS4-6 型	6	3	
FS4-10 型	10	5	
FS5-3 型	3	2	
FS5-6 型	6	3	
FS5-10 型	10	5	

## 8 并联电容器

主要用于提高工频交流电力系统的功率因数。

型号含义：



技术数据如表 5.1.30 所列,外形尺寸见图 5.1.21。

表 5.1.30 并联电容器主要技术数据表

型 号	额定电压 (kV)	标称容量 (kvar)	标称电容 ( $\mu\text{F}$ )	频率 (Hz)	相数	外形尺寸 (mm)				质量 (kg)	原 型 号
						L	B	H	h		
BW0.525-12-1	0.525	12	139	50	1	380	113	450	260	24	YW0.525-12-1
BW0.525-13-1	0.525	13	150	50	1	380	110	433	230	25	YW0.525-13-1
BW0.525-14-1	0.525	14	162	50	1	375	122	455	260	26	YW0.525-14-1
BW10.5-12-1	1.05	12	34.7	50	1	380	110	433	230	25	YW1.05-12-1
BW1.05-12-1-1TH	1.05	12	31.8	50	1	380	110	431	230	24	YW1.05-12-1TH
BW1.05-13-1	1.05	13	37.6	50	1	380	110	498	230	25	YW1.05-13-1
BW1.05-17-1	1.05	17	49.2	50	1	380	110	439	230	24	YW1.05-17-1
BW1.05-12-1TH	6.3	12	0.964	50	1	380	110	497	230	25	YW6.3-12-1TH
BW6.3-12-1W	6.3	12	0.96	50	1	380	113	550	275	24	YW6.3-12-1W
BW6.9-12-1W	6.3	12	0.80	50	1	380	113	550	270	24	YW6.9-12-1W
BW6.3-16-1W	6.3	16	1.28	50	1	375	122	550	275	24	YW6.3-16-1W
BW10.5-12-1W	10.5	12	0.35	50	1	380	113	590	275	24	YW10.5-12-1W
BW10.5-16-1W	10.5	16	0.46	50	1	375	122	590	275	24	YW10.5-16-1W
BW $\sqrt{3}$ -16-1W	11/ $\sqrt{3}$	16	1.26	50	1	375	122	590	275	24	YW11/ $\sqrt{3}$ -16-1W
BW12.7-16-1W	12.7	16	0.32	50	1	375	122	590	275	26	YW12.7-16-1W
BWF1.05-30-1	1.05	30	86.6	50	1	312	122	417	230	20	
BWF1.05-50-1	1.05	50	144.4	50	1	313	123	480	255	32	
BWF1.05-100-1	1.05	100	289	50	1	383	153	117	460	57	
BWF6.3-22-1W	6.3	22	1.76	50	1	312	122	538	255	21	
BWF6.3-25-1W	6.3	25	2.0	50	1	382	122	538	255	24	
BWF6.3-25-1	6.3	25	2.01	50	1	380	110	525	235	25	
BWF6.3-25-1-W	6.3	25	2.0	50	1	375	122	550	275	26	
BWF6.3-30-1W	6.3	30	2.4	50	1	312	122	538	255	20	YWF6.3-30-1W
BWF6.3-40-1W	6.3	40	3.2	50	1	382	122	538	255	23	YWF6.3-40-1W
BWF6.3-50-1W	6.3	50	4.0	50	1	313	123	490	355	32	YWF6.3-50-1W
BWF6.3-50-1W	6.3	50	4.01	50	1	381	111	815	420	25	YWF6.3-50-1W
BWF6.3-100-1W	6.3	100	8.0	50	1	382	153	813	460	57	YWF6.3-100-1W
BWF6.3-100-1W	6.3	100	8.0	50	1	620	130	665	270	25	YWF6.3-100-1W
BWF6.3-120-1W	6.3	120	9.63	50	1	620	130	790	340		YWF6.3-120-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -22-1W	11/ $\sqrt{3}$	22	1.74	50	1	312	122	568	255	21	YWF11/ $\sqrt{3}$ -2-1W
BW11/ $\sqrt{3}$ -25-1W	11/ $\sqrt{3}$	25	1.94	50	1	382	122	568	255	24	YWF11/ $\sqrt{3}$ -25-1W
BW11/ $\sqrt{3}$ -25-1W	11/ $\sqrt{3}$	25	2.01	50	1	380	110	560		25	YWF11/ $\sqrt{3}$ -25-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -30-1W	11/ $\sqrt{3}$	30	2.37	50	1	312	122	568	255	20	YWF11/ $\sqrt{3}$ -30-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -33.4-1W	11/ $\sqrt{3}$	33.4	2.63	50	1	380	110	560	235	23	YWF11/ $\sqrt{3}$ -33.4-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -40-1W	11/ $\sqrt{3}$	40	3.16	50	1	382	122	568	255	23	YWF11/ $\sqrt{3}$ -40-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1	313	123	493	355	32	YWF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W

续表

型 号	额定 电压 (kV)	标称 容量 (k var)	标称 电容 ( $\mu$ F)	频率 (Hz)	相 数	外形尺寸 (mm)				质量 (kg)	原 型 号
						L	B	H	h		
BWF11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.89	50	1	383	153	843	460	57	YWF11/ $\sqrt{3}$ -100-1W
BWF11/ $\sqrt{3}$ -120-1W	11/ $\sqrt{3}$	120	9.45	50	1	620	130	790	340		YWF11/ $\sqrt{3}$ -120-1W
BWF10.5-22-1W	10.5	22	0.64	50	1	312	122	568	255	21	YWF10.5-22-1W
BWF10.5-20-1W	10.5	25	0.72	50	1	382	122	568	255	24	YWF10.5-25-1W
BWF-10.5-30-1W	10.5	30	0.87	50	1	312	122	568	255	20	YWF10.5-30-1W
BWF-10.5-33.4-1W	10.5	33.4	0.96	50	1	380	110	560	235	35	YWF10.5-33.4-1W
BWF-10.5-40-1W	10.5	40	1.15	50	1	382	122	568	255	23	YWF10.5-40-1W
BWF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	313	123	933	550	32	YWF10.5-40-1W
BWF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1	383	153	843	460	57	YWF10.5-100-1W
BWF10.5-120-1W	10.5	120	3.47	50	1	620	130	740	340	35	YWF10.5-120-1W
BWF12.5-25-1W	12.5	25	0.51	50	1	380	110	560	235	25	YMF12.5-25-1W
BWF12.5-40-1W	12.5	40	0.82	50	1	380	110	560	235		YWF12.5-40-1W
BWF12.5-100-1W	12.5	100	2.04	50	1	620	130	640	250		YWF12.5-100-1W
BWF12.5-120-1W	12.5	120	2.45	50	1	620	130	700	270		
BWF12.5-150-1W	12.5	150	3.06	50	1	620	130	790	340		
BWM6.3-100-1W	6.3	100	8	50	1	313	123	813	460	38	
BWM6.3-200-1W	6.3	200	16	50	1	383	153	953	360	66	
BWM6.3-334-1W	6.3	334	26.8	50	1	603	168	953	360	110	
BWM11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1	312	122	568	255	20	
BWM11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.89	50	1	313	123	843	460	38	
BWM11/ $\sqrt{3}$ -200-1W	11/ $\sqrt{3}$	200	15.78	50	1	383	153	983	360	66	
BWM11/ $\sqrt{3}$ -314-1W	11/ $\sqrt{3}$	334	26.4	50	1	603	168	983	360	110	
BWM10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	312	122	568	255	20	
BWM10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1	313	123	843	460	28	
BWM10.5-200-1W	10.5	200	5.77	50	1	383	153	983	360	66	
BWM10.5-334-1W	10.5	334	9.65	50	1	603	168	983	360	110	
BFF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1	375	122	590	275	27	
BFF11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.9	50	1	315	135	855	490	40	
BFF6.3-100-1W	6.3	100	8.02	50	1	315	135	855	350	40	
BFF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	375	122	590	275	27	
BFF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1	315	135	855	490	40	
BGM11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.89	50	1	310	143	970	650	47	
BGM10.5-45-1W	10.5	45	1.30	50	1	380	110	570	250	25	

续表

型 号	额定电压 (kV)	标称容量 (kvar)	标称电容 ( $\mu\text{F}$ )	频率 (Hz)	相 数	外形尺寸 (mm)				质量 (kg)	原 型 号
						L	B	H	h		
BGM10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	380	120	570	250	26	
BGM10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1	380	143	970	650	47	
BGF6.3-50-1W	6.3	50	4.0	50	1	375	122	550	275	26	
BGF11 $\sqrt{3}$ -50-1W	11 $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1	375	122	550	275	26	
BGF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1	375	122	550	275	25	
BGF12 $\sqrt{3}$ -50-1W	12 $\sqrt{3}$	50	3.32	50	1	375	122	550	275	26	

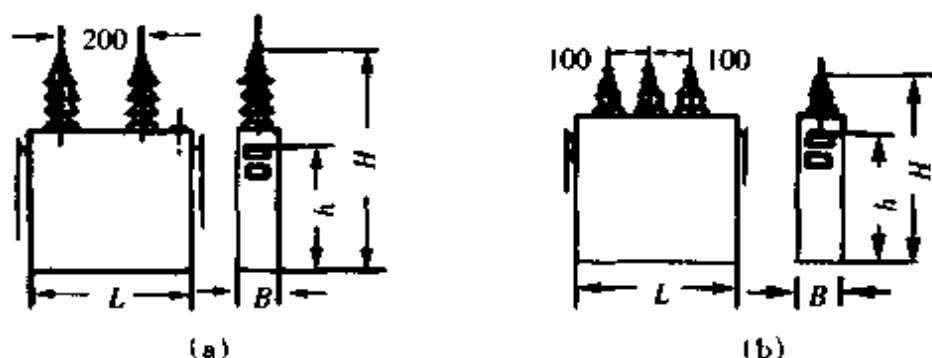


图 5.1.21 并联电容器外形尺寸

(a) 单相并联电容器 (b) 三相并联电容器

## 9 高压电抗器

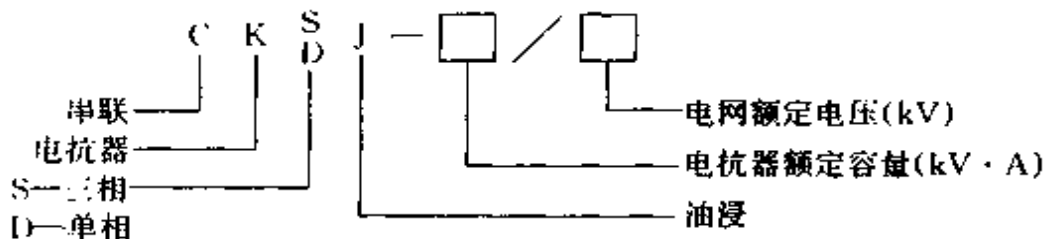
### 9.1 CKSJ、CKDJ 型串联电抗器

#### 9.1.1 概述

CKSJ、CKDJ 型串联电抗器用于电力网中,以限制电容器组合闸时的涌流和高次谐波引起的电容器组的过电流。

串联电抗器铁心是由硅钢片叠合而成,铁心柱在高的方向用绝缘垫片分成若干段,以便得到所需要的电抗值,铁轭上、下部有槽钢夹紧,并用垂直螺杆将其拉紧。线圈是由 ZB/-0.45 电磁线绕成饼式连续套在铁心柱上,构成串联电抗器的器身。器身装在腰圆形的油箱里,并浸于变压器油中,油箱盖上有六个瓷套,是作电抗器的引入电源和输出电源之用。

### 9.1.2 型号含义



工作条件:户外;环境温度  $-40^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ;海拔高度  $\leq 1000\text{m}$ 。

订货时须注明使用电网电压、电抗器组总容量、使用条件、冷却方式、电抗器额定电流及电抗器台数。

### 9.1.3 技术数据

技术数据如表 5.1.31 所列。

表 5.1.31 CKSJ、CKDJ 型串联电抗器技术数据表

投入的系统电压(kV)	35			10.5		
串联电抗器相数	三相			三相		
串联电抗器容量(kV·A)	300	600	1200	180	300	600
串联电抗器电压(kV)	1.212	1.212	1.212	0.363	0.363	0.363
相额定电抗值( $\Omega$ )	14.7	7.35	3.68	2.2	1.32	0.68
相额定电流值(A)	82.5	165	330	165	270	550

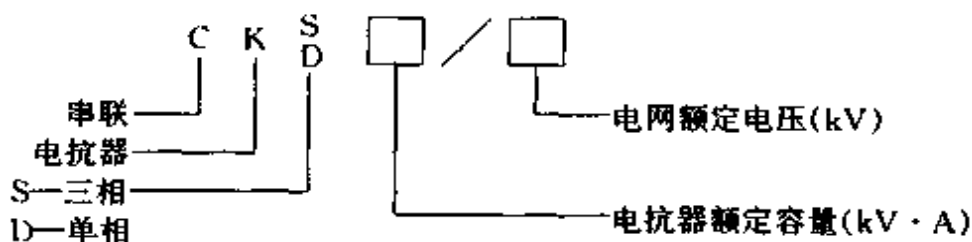
## 9.2 CKS、CKD 型串联电抗器

### 9.2.1 概述

CKS、CKD 型串联电抗器用于  $10 \sim 35\text{kV}$  供电网路中,以限制电容器组合闸时的涌流和高次谐波引起电容器组的过电流。

该电抗器铁心采取分相压紧装置,结构紧凑,有效地压紧铁心和气隙,为减低噪音整个器身采取缓振措施。

### 9.2.2 型号含义



### 9.2.3 技术数据

技术数据如表 5.1.32 所列。

表 5.1.32 CKD、CKS 型串联电抗器技术数据

型 号	相数	额定容量 (kV·A)	线路额定电压 (kV)	端子电压 (V)	额定端电流 (A)	质量(kg)		外形尺寸(mm) 长·宽·高	备 注
						器身 吊重	总重		
CKD-150/10	1	150	35	1212	133	580	1050	1070·1120·1800	CKD 型产品 使用于 35kV 网 路中,按 10kV 绝缘水平设计, 外壳用 35kV 级 支柱绝缘子支撑 CKD 型和 CKS 型产品均 为户外式(或通 风的户内)装置, 频率 50Hz
CKD-200/10	1	200	36	1247	160	700	1300	1500·1160·1750	
CKD-300/10	1	300	35	1212	247.5	900	1640	1560·1200·1860	
CKS-300/10	3	300	10.5	364	275	1270	2050	1720·980·1850	
CKS-450/10	3	450	10.5	364	412	1580	2710	1920·1080·2130	

注:1. 额定容量一般按电容器组容量的 6% 选择,允许偏差为  $\pm 10\%$ 。

2. 最大使用电流为额定电流的 1.35 倍

3. 温升:在 1.35 倍额定电流下线圈平均温升  $55^{\circ}\text{C}$  (电阻法);油面温升  $50^{\circ}\text{C}$  (温度计法)

4. 噪音水平:在额定负载下,距电抗器 2m 处,噪音  $\leq 70\text{dB}$

## 9.3 XKNL 型水泥电抗器

### 9.3.1 概述

水泥电抗器属于空心电抗器的一种,装于出线端或母线间,起限流的作用。当线路或母线发生故障时,短路电流受到限制,使母线电压不致过低。

20kV 以下,电流在 150~300A 的水泥电抗器,其线圈在金属模其中绕好后用混凝土浇装成牢固的整体。这种电抗器结构制造简单,成本低,运行可靠,维护方便。电压在 10kV 及以下时属于户内装置。

水泥电抗器都制成单相,组成三相组时有三种排列方式。不同的排列方式对线圈的绕向和匝数要求不同。按图 5.1.22a 中排列的电抗器,为了减少相间支撑瓷座的拉伸力,中间一线圈的绕向应与上下两相相反;按图 5.1.22b 排列时,重叠的两相绕向应相反,另一相与上面的一相相同;按图 5.1.22c 排列时绕向全相同。

400A 以上水泥电抗器线圈均用两根以上电缆并绕。为使并联分路中电流分配均匀,各并联分路应进行换位。

水泥电抗器一般用 DKL 型铝电缆绕制,电缆绝缘为每边包电缆纸 0.72mm,再绕纱编织带或玻璃布带作护套。用于 1000A 以上的大电流电抗器的电缆,为减少涡流损耗,电缆每股绞线间也包纸互相绝缘。

表 5.1.33 XKNL 型水泥

产 品 型 号	额定工作 电流 (A)	每相 电感量 (mH)	每相 75℃ 时损耗 (W)	短路稳定性	
				动稳定电流 (A)	一秒热稳定 (A·S)
XKNL-200/2.1	200	2.11	1800	12750	10170
XKNL-200/3	200	3.03	2270	12750	10000
XKNL-200/4	200	4.02	2770	11720	9900
XKNL-200/5.5	200	5.51	3430	8530	9900
XKNL-200/7.5	200	7.6	4160	6260	9820
XKNL-400/1.1	400	1.13	2160	25500	22400
XKNL-400/1.4	400	1.385	2420	25500	22300
XKNL-400/2.2	400	2.2	4410	21300	14500
XKNL-400/2.8	400	2.78	5150	16750	14950
XKNL-400/3.7	400	3.69	5980	12650	15600
XKNL-400/5.0	400	4.92	7400	9400	15400
XKNL-600/0.75	600	0.748	3000	38250	34000
XKNL-600/0.9	600	0.907	3500	38250	33200
XKNL-600/1.25	600	1.26	4330	37540	52900
XKNL-600/1.6	600	1.615	6220	29350	24100
XKNL-600/1.8	600	1.825	7170	26050	23150
XKNL-600/2.4	600	2.405	8460	19560	23000
XKNL-600/3.0	600	3.0	9500	15650	23800
XKNL-1000/0.6	1000	0.602	5350	51000	43500
XKNL-1000/0.8	1000	0.804	6500	51000	39700
XKNL-1000/0.95	1000	0.945	7180	49300	41000
XKNL-1000/1.2	1000	1.202	8440	39100	39400
XKNL-1000/1.7	1000	1.7	10460	27600	39200
XKNL-1000/2.0	1000	1.975	11700	23500	36900
XKNL-1500/0.4	1500	0.403	7560	76500	67100
XKNL-1500/0.49	1500	0.484	8690	76500	64200
XKNL-1500/0.72	1500	0.712	11350	65100	61800
XKNL-1500/0.8	1500	0.8	11740	58650	65000
XKNL-1500/0.96	1500	0.958	13360	49000	64000
XKNL-2000/0.46	2000	0.45	11050	84000	75000
XKNL-2000/0.57	2000	0.563	12620	80800	77300
XKNL-2000/0.7	2000	0.694	14600	67000	74900
XKNL-2000/0.8	2000	0.8	15760	58700	76700
XKNL-2000/0.9	2000	0.91	17100	52200	78000
XKNL-3000/0.38	3000	0.383	19280	123500	107000
XKNL-3000/0.65	3000	0.671	29650	72200	90800



电抗器技术数据表

结构数据			总质量 (kg)	外形及安装尺寸				备 注
混凝土 柱数	轴向段数	轴向层次		单相高度 (mm)	混凝土 外 径 (mm)	每相支撑 瓷座数	支撑瓷座 中心直径 (mm)	
8	8	8	510	810	1150	8	720	
8	10	8	585	900	1155	8	720	
8	12	8	660	890	1155	8	720	
8	16	7	720	1170	1165	8	810	
8	16	8	820	1170	1245	8	810	
8	8	6(7)	485	810	1075	8	720	
10	8	6(7)	590	810	1165	10	810	
10	10	7	630	900	1075	10	720	
8	12	7	600	990	1075	8	720	
8	10	8	620	900	1245	8	810	
8	12	8	700	990	1245	8	810	
10	10	8	730	900	1155	10	720	
10	14	7	790	1080	1075	10	720	
10	14	8	890	1080	1155	10	720	
10	12	9	940	990	1325	10	810	
8	18	8	900	1260	1155	8	720	
8	18	9	1030	1260	1235	8	720	
8	18	9	1055	1260	1325	8	810	
12	10	6(7)	695	900	1270	12	930	
12	12	6(7)	900	990	1270	12	930	上压瓷座 6 只
12	12	6(7)	920	990	1360	12	1000	上压瓷座 6 只
12	14	6(7)	1020	1080	1360	12	1000	
12	14	7(8)	1180	1080	1440	12	1000	
12	14	8(9)	1230	1080	1430	12	930	
12	12	8(9)	1120	990	1520	12	1000	上压瓷座 6 只
12	14	8(9)	1240	1080	1430	12	930	上压瓷座 6 只
12	18	8(9)	1490	1260	1430	12	930	上压瓷座 6 只
12	16	8(9)	1190	1170	1610	12	1150	上压瓷座 6 只
12	18	8(9)	1560	1260	1610	12	1150	上压瓷座 6 只
12	14	8(9)	1230	1080	1430	12	930	上压瓷座 6 只
12	14	8(9)	1270	1080	1520	12	1000	上压瓷座 6 只
12	16	8(9)	1400	1170	1520	12	1000	上压瓷座 6 只
12	16	8(9)	1430	1170	1610	12	1150	上压瓷座 6 只
12	16	8(9)	1550	1170	1700	12	1250	上压瓷座 6 只
12	24	6(7)	1615	1530	1540	12	1250	仅有三项水平排列
12	36	6(7)	2270	2070	1540	12	1250	仅有三项水平排列

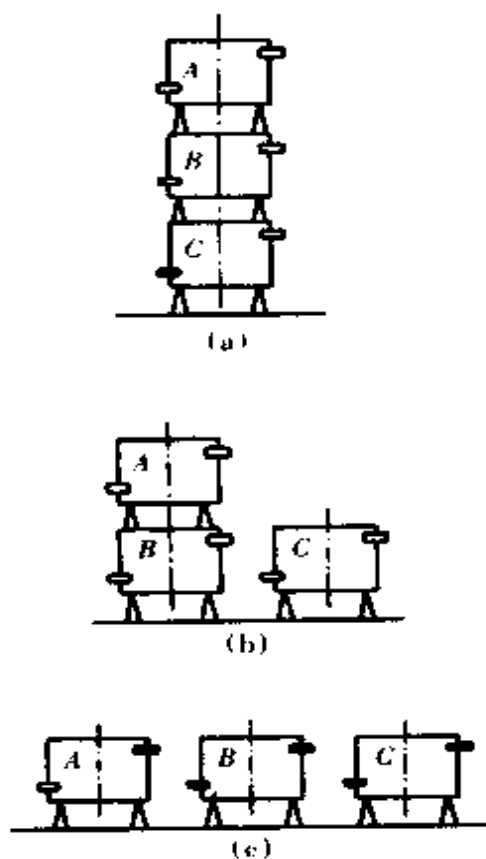
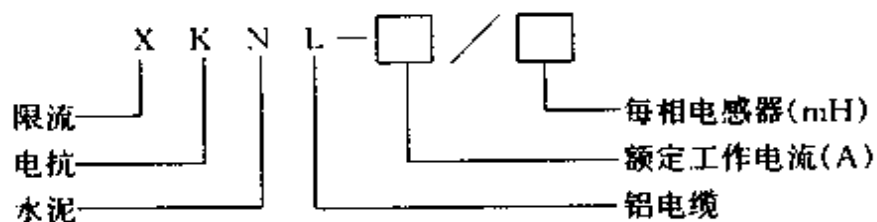


图 5.1.22 水泥电抗器三相组排列方式

### 9.3.2 型号含义



订货技术说明:

- (1) 型号及规格;
- (2) 使用额定电压(kV);
- (3) 相额定电流(A);
- (4) 三相电抗器排列方式;
- (5) 每相电感值及其裕度;
- (6) 数量(组)。

### 9.3.3 技术数据

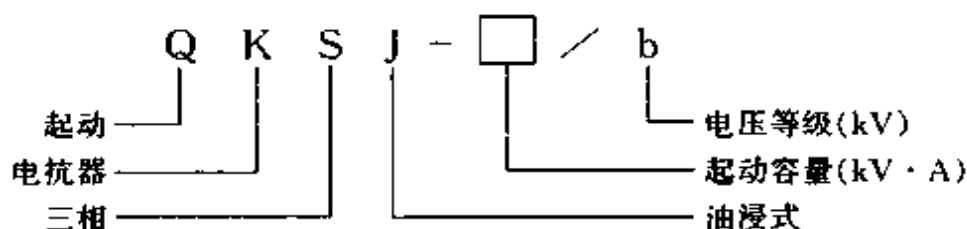
技术数据如表 5.1.33 所列。

## 9.4 QKSJ 型启动电抗器

### 9.4.1 概述

QKSJ 型启动电抗器用以限制额定电压为 6kV、频率为 50Hz 的电动机的启动电流。该系列电抗器系户内装置。

### 9.4.2 型号含义



工作条件:①户内;②环境温度  $-40^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ;③海拔高度不超过 1000m;④没有腐蚀性气体和尘埃的场所;⑤没有导电尘埃的场所;⑥不致发生火灾或爆炸危险的场所;⑦没有强烈振动和撞击作用的场所。

订货技术说明:电抗器型号及名称;启动容量;额定电压、额定电流;电抗值。

### 9.4.3 技术数据

技术数据如表 5.1.34 所列。

电抗器启动时间为 2min,两次启动时间间隔不小于 6h。若启动时间为 3min,启动电流允许值为额定电流值的 90%。该电抗器与高压综合启动柜配套使用,接线如图 5.1.23 所示,启动时合  $S_1$ ,待达到正常转速时合  $S_2$ 。

表 5.1.34 QKSJ 型启动电抗器技术数据表

型 号	启动容量 (kV·A)	额定电流 (A)	每相阻抗 ( $\Omega$ )	总重 (kg)	外形尺寸(mm)		
					长	宽	高
QKSJ-320/6	320	100	10.7	460	880	650	1195
QKSJ-320/6	320	180	3.3	460	880	650	1195
QKSJ-320/6	320	320	1.05	460	880	650	1195
QKSJ-560/6	510	100	17.0	500	880	650	1245
QKSJ-560/6	555	180	5.7	500	880	650	1245
QKSJ-560/6	585	320	1.9	500	880	650	1245
QKSJ-560/6	565	560	0.6	500	880	650	1245
QKSJ-1000/6	970	180	10.0	600	880	650	1395
QKSJ-1000/6	1015	320	3.3	600	880	650	1395

续表

型 号	起动容量 (kV·A)	额定电流 (A)	每相阻抗 ( $\Omega$ )	总重 (kg)	外形尺寸(mm)		
					长	宽	高
QKSJ-1000/6	990	560	1.05	600	880	650	1395
QKSJ-1000/6	1050	1000	0.35	600	880	650	1395
QKSJ-1800/6	1750	320	5.7	1165	1140	760	1520
QKSJ-1800/6	1695	560	1.8	1165	1140	760	1520
QKSJ-1800/6	1770	750	1.05	1165	1140	760	1520
QKSJ-1800/6	1800	1000	0.6	1165	1140	760	1520
QKSJ-1800/6	1915	1350	0.35	1165	1140	760	1520
QKSJ-3200/6	3010	560	3.2	1365	1140	760	1650
QKSJ-3200/6	3040	750	1.8	1365	1140	760	1650
QKSJ-3200/6	3150	1000	1.05	1365	1140	760	1650
QKSJ-3200/6	3280	1350	0.6	1365	1140	760	1650
QKSJ-5600/6	4045	560	4.3	1490	1140	760	1730
QKSJ-5600/6	5400	750	3.2	1710	1140	760	2055
QKSJ-5600/6	5400	1000	1.8	1710	1140	760	2055

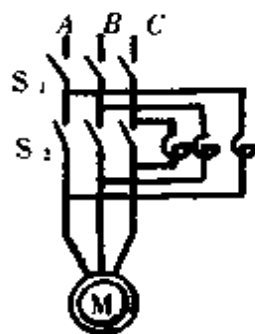


图 5.1.23 QKSJ 型起动电抗器接线原理图

## 第二章 低压电器

### 1 概 述

#### 1.1 低压电器的主要类别

低压电器的用途广泛,种类繁多。从应用场所提出的不同要求,在电气线路中所处的地位和作用的不同,可以分成配电电器和控制电器两大类。

配电电器包括刀开关和刀形转换开关、熔断器、断路器。控制电器包括控制器、接触器、起动器、主令电器、电阻器、变阻器、控制继电器、电磁铁。

#### 1.2 低压电器的正常工作条件

##### 1.2.1 周围空气温度

- (1) 周围空气温度上限不超过  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- (2) 周围空气温度 24h 的平均值不超过  $+35^{\circ}\text{C}$ ;
- (3) 周围空气温度下限一般不低于  $-5^{\circ}\text{C}$ 。

##### 1.2.2 海拔

安装地点的海拔不超过 2000m。

##### 1.2.3 大气条件

大气相对湿度在周围空气温度  $+40^{\circ}\text{C}$  时不超过 50%;在较低温度下可以有较高的相对湿度;最湿月的月平均最大相对湿度为 90%,同时该月的月平均最低温度为  $+25^{\circ}\text{C}$ ,并考虑到因温度变化发生在产品表面上的凝露。

##### 1.2.4 污染等级

电器或电器部件周围环境的污染等级分为四级,即污染等级 1,2,3,4。

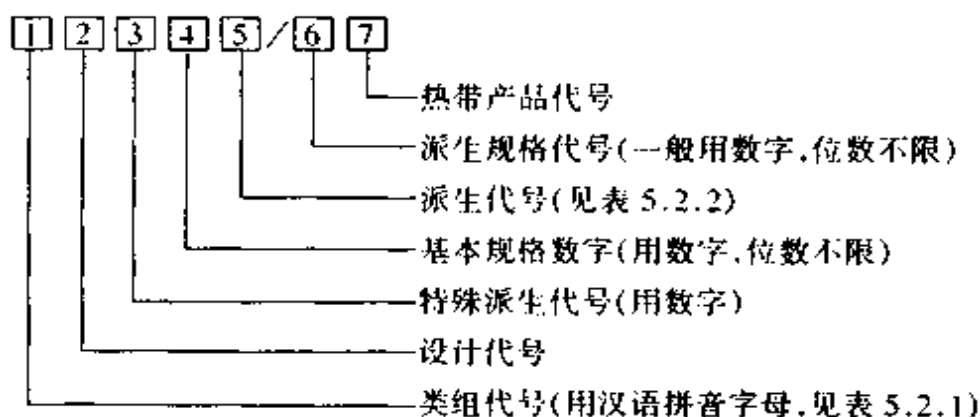
除非产品标准另有规定,对于“家用”或类似用途的低压电器通常推荐考虑污染等级 2,即一般情况仅有非导电性污染,但是必须考虑到偶然由于凝露造成短暂

的导电性 对于工业用的低压电器通常推荐考虑污染等级 3, 即有导电性污染, 或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性的

### 1.3 低压电器产品的型号编制方法

本方法适用于一般低压电器及其派生系列

全型号组成型式及说明:



低压电器产品型号类组代号如表 5.2.1, 低压电器产品型号派生代号如表 5.2.2。

表 5.2.1 低压电器产品型号类组代号

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	自动开关	控制继电器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他
A						按钮式		按钮					
B									极形元件				触电保护器
C		插入式				电磁式			冲片元件	旋臂式			插销
D	刀开关						漏电		铁铬铝带形元件		电压		信号灯
G				鼓形	高压				管形元件				
H	封闭式负荷开关	汇流排式											接线盒
J					交流	减压		接近开关					

续表

代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	自动开关	控制 器	接触 器	起动器	控制继 电器	主令 电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他
K	开启式 负荷开关				真空			主令 控制器					
L		螺旋式					电流			励磁			电铃
M		密闭 管式	灭磁		灭磁								
P				平面	中频					频敏			
Q										起动		牵引	
R	熔断器式 刀开关						热		非线性 电力 电阻				
S	刀形转换 开关	快速	快速		时间	手动	时间	主令 开关	烧结 元件	石墨			
T		有填料 封闭 管式		凸轮	通用		通用	足踏 开关	铸铁 元件	起动 调速			
U						油浸		旋钮		油浸 起动			
W			框架 式				温度	万能转 换开关		液体 起动		起重	
X						星三角		行程 开关	电阻器	滑线式			
Y	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	硅碳电 阻元件	其他		液压	
Z	组合开关	自复	塑料 外壳 式		直流	综合	中间					制动	

表 5.2.2 低压电器产品型号派生代号

派生字母	代表意义
A、B、C、D…	结构设计稍有改进或变化
C	插入式
I	交流、防溅式

续表

派生字母	代表意义
Z	直流、防震、正向、重任务、自动复位
W	失压、无极性、出口用、无灭弧装置
N	可逆、逆向
S	三相、双线圈、防水式、手动复位、三个电源、有锁住机构
P	单相、电压的、防滴式、电磁复位、两个电源
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	灭磁、母线式、密封式
Q	防尘式、手车式
L	电流的、摺板式、漏电保护
F	高返回、带分励脱扣
X	限流
TA	湿热带,为热带产品代号,加注在全型号的最后位置
TH	干热带,为热带产品代号,加注在全型号的最后位置

## 2 常用低压电器产品

### 2.1 刀开关和刀形转换开关

刀开关主要用来在负载切除以后,将线路与电源隔开,以保证检修人员的安全,也可以接通和分断额定电流。

刀形转换开关主要作为两种及两种以上的电源或负载的转换和通断电路之用。

刀开关有的带灭弧装置,有的不带灭弧装置,前者一般可带负荷接通、分断额定电流,后者仅作隔离作用,不应作负荷开关来分断电流。作隔离器使用时在操作时要注意操作顺序。接通电路时,应先把刀开关合闸,再把负荷开关合闸;分断电路时,操作次序正好相反。

为了满足成套装置的不同安装位置的需要,产品有正面或侧面操作,板前或板后接线,前面或后面维修之分,选用时要注意



### 2.1.1 HK1、HK2 胶盖瓷座闸刀开关

一般作电灯、电热、电阻等回路的控制开关用,也可作为分支线路的控制开关用。三极开关在适当降低容量使用时,也可以作为异步电动机的不频繁直接启动和停止之用。HK1、HK2 闸刀开关技术数据如表 5.2.3。

表 5.2.3 HK1、HK2 闸刀开关技术数据

型号	额定电流 (A)	极数	额定电压 (V)	控制电动机 容量(kW)	熔丝直径 <sup>①</sup> (mm)	熔丝成分 (%)		
						铅	锡	锑
HK1	15	2	220	1.5	1.45~1.59	98	1	1
	30			3.0	2.30~2.52			
	60			4.5	3.36~4.00			
	15	3	380	2.2	1.45~1.59			
	30			4.0	2.30~2.52			
	60			5.5	3.36~4.00			
HK2	10	2	250	1.1	0.25	铜丝 (含铜量不 小于 99.9%)		
	15			1.5	0.41			
	30			3.0	0.56			
	15	3	380	2.2	0.45			
	30			4.0	0.71			
	60			5.5	1.12			

注:①刀开关的熔丝不随产品供应。

### 2.1.2 HD11~HD14、HS11~HS13 系列刀开关

本系列开关用于交流 50Hz、额定电压 380V,直流额定电压 440V,额定电流 1500A 及以下低压成套配电装置中,作为不频繁地手动接通和分断交直流电路或作隔离开关用。其结构为开启式,其中:

HD11、HS11 用于磁力站中,仅作隔离开关用;

HD12、HS12 用于正面两侧方操作、前面维修的开关柜中;

HD13、HS13 用于正面操作、后面维修的开关柜中;

HD14 用于动力配电箱中。

其中带灭弧罩的刀开关可以切断额定电流以下的负荷电路。各系列刀开关分类如表 5.2.4,各系列刀开关主要技术数据如表 5.2.5,HD13-400/31 刀开关外形如图 5.2.1。

型号说明:

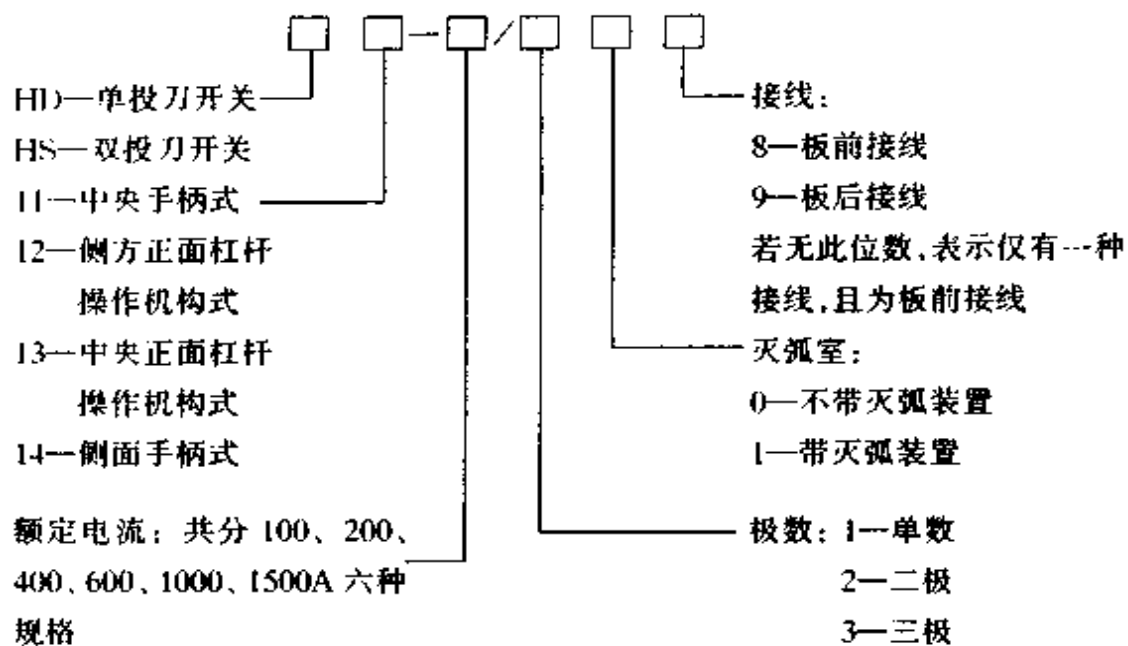


表 5.2.4 各系列刀开关分类

型号	结构型式	转换方向	极数	额定电流等级(A)
HD11-□/□8	中央手柄式	单投	1, 2, 3	100, 200, 400
HD11-□/□9				100, 200, 400, 600, 1000
HD12-□/□1	侧方正面杠杆 操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000
HD12-□/□0				100, 200, 400, 600, 1000, 1500
HD13-□/□1	中央正面杠杆 操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000
HD13-□/□0				100, 200, 400, 600, 1000, 1500
HD14-□/□31	侧面操作手柄	单投	3	100, 200, 400, 600
HD14-□/□30				100, 200, 400, 600
HS11	中央手柄式	双投	1, 2, 3	100, 200, 400, 600, 1000
HS12	侧方正面杠杆操作机构式	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000
HS13	中央正面杠杆操作机构式	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000

表 5.2.5 各系列刀开关主要技术数据

型号	有无 灭弧罩	在下列电压下断开的电流值(A)				电寿命
		交流 $\cos\varphi = 0.7$		直流 $T = 0.01s$		
		380V	500V	220V	440V	
HD12、13、14	有	$I_c$	$0.5I_c$	$I_c$	$0.5I_c$	装有灭弧罩的刀开关,在60%额定电流及在110%额定电压下,100、200、400A为1000次,600、1000A为500次
HS12、13	无	$0.3I_c$	—	$0.2I_c$	—	
HD11、HS11	—	用于不必分断电流的电路中				

注:  $I_c$  为刀开关额定电流

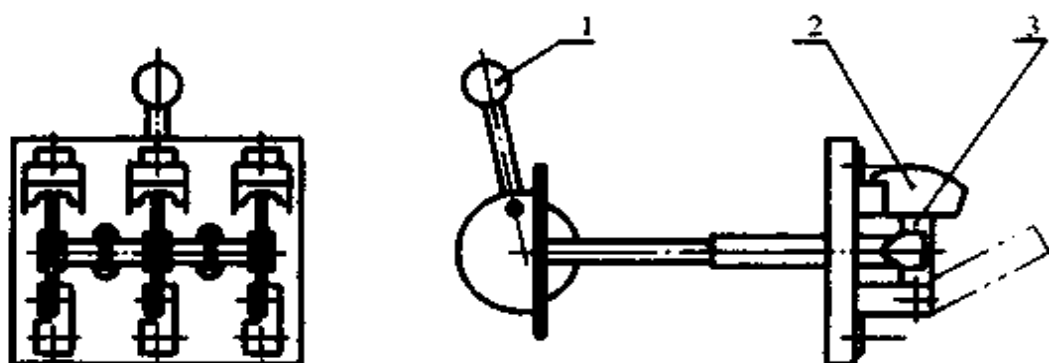


图 5.2.1 HD13-400/3E 刀开关外形图

1—操作手柄 2—灭弧罩 3—动触刀

### 2.1.3 HH3、HH4 系列铁壳开关

适用于工矿企业、农村电力灌溉和电热、照明等各种配电设备中,供不频繁手动接通和分断负载电路使用,具有短路保护,也可作为交流异步电动机的不频繁起动和停止之用。其主要技术参数如表 5.2.6、表 5.2.7、表 5.2.8 所示,结构如图 5.2.2 所示。开关极数:2、3 极。

表 5.2.6 HH3 系列铁壳开关熔体规格及所控制的电动机容量

开关额定电流(A)		15			30			60			100		200
熔体	额定电流(A)	6	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	200
	熔丝直径(mm)	0.26	0.35	0.46	0.65	0.71	0.81	1.02	1.22	1.32	1.62	1.81	
	材料	紫铜丝											紫铜片
控制的电动机容量(kW)	220V	2.0			4.5			9.5					
	380V	3.0			7			15					
	500V	4.5			10			20					

表 5.2.7 HH4 系列铁壳开关熔体规格

开关额定电流(A)		15			30			60		
熔体	额定电流(A)	6	10	15	20	25	30	40	50	60
	熔丝直径(mm)	1.08	1.25	1.98	0.61	0.71	0.80	0.92	1.07	1.20
	材料	软铅丝			紫铜丝					

表 5.2.8 HH3、HH4 系列铁壳开关接通和分断能力、熔断器分断能力

额定 电流 (A)	接通与分断电流(A)			熔断器极限分断能力(A)		
	AC 440V		DC 500V, $L/R =$ 0.006~0.008s	AC 440V		DC 500V, $L/R =$ 0.006~0.008s
	$\cos\varphi$	分断电流		$\cos\varphi$	分断电流	
15	0.4	60	22.5	0.8	1000	500
30	0.4	120	45	0.8	2000	2000
60	0.4	240	90	0.8	4000	4000
100	0.6	250	150	0.4	5000	4000
200	0.8	300	300	0.4	5000	5000

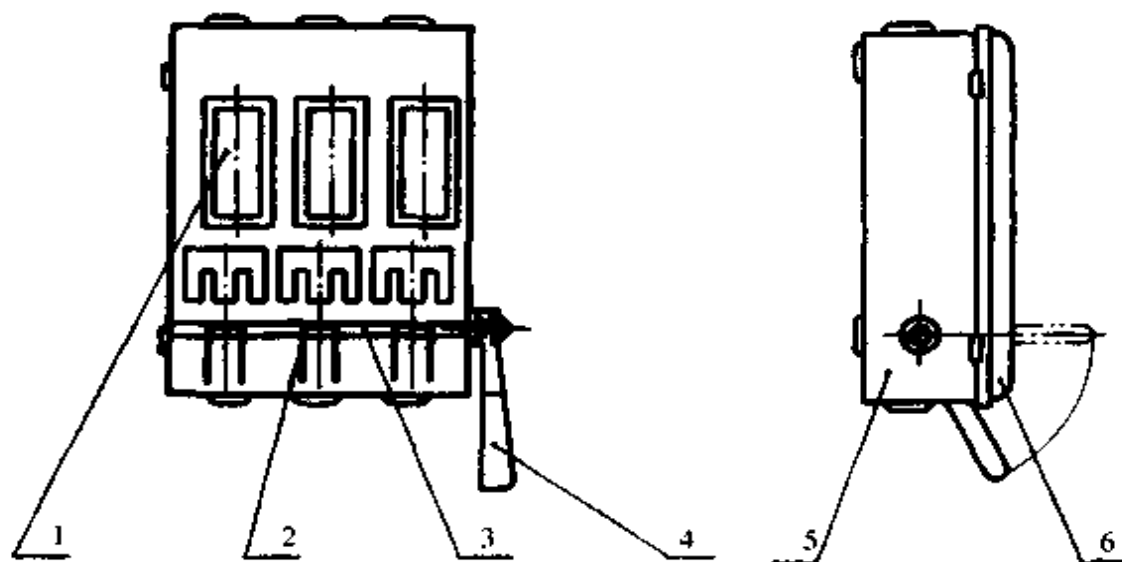


图 5.2.2 HH4-60 铁壳开关结构简图(左为去盖示意图)

1—RC1A 熔断器 2—动触刀 3—轴 4—操作手柄 5—壳体 6—盖

### 2.1.4 HH10D 系列开关熔断器组

作为手动不频繁地接通和分断有载电路及线路的过载、短路保护之用。其主要技术数据如表 5.2.9 所示。

型号说明：

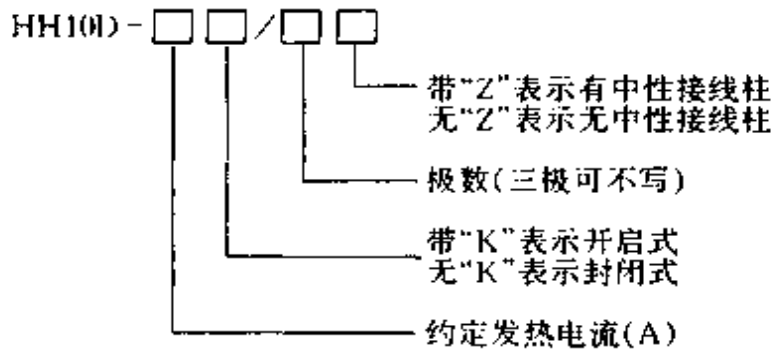


表 5.2.9 HH10D 系列开关熔断器组主要技术数据

型号规格	额定工作电压(V)	额定工作电流(A)		额定接通和分断电流(A)			极限分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.25$
		AC-21 AC-22	AC-23	$\cos\varphi$	接通	分断	
HH10D-20	AC415	20	8	0.65	80	64	50
HH10D-32		32	14		140	112	
HH10D-63		63	25	0.35	250	200	
HH10D-100		100	40		400	320	

### 2.1.5 HR11 系列熔断器式开关

适用于工业电气设备的配电系统中,作为手动不频繁地接通与分断负载电路及线路的过载保护之用。其主要技术数据如表 5.2.10 所示,外形如图 5.2.3。

型号说明：

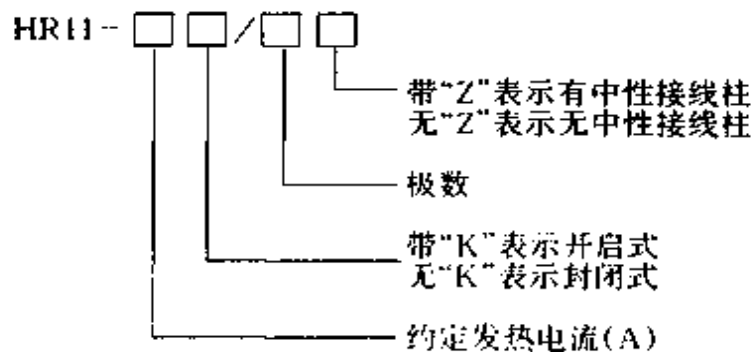


表 5.2.10 HR11 系列熔断器式开关主要技术数据

型号规格	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	额定接通与分断电流 (A)						极限分断能力 (kA) $\cos\varphi = 0.25$		
			接通电流			分断电流					
			AC-22	AC-23	AC-22	AC-23					
HR11-100		100		300		400		300		320	50
HR11-200	AC	200	$\cos\varphi$	600	$\cos\varphi$	800	$\cos\varphi$	600	$\cos\varphi$	640	
HR11-315	415	315	=	945	=	1000	=	945	=	800	
			0.65		0.35		0.65		0.35		
HR11-400		400		1200		1300		1200		1000	

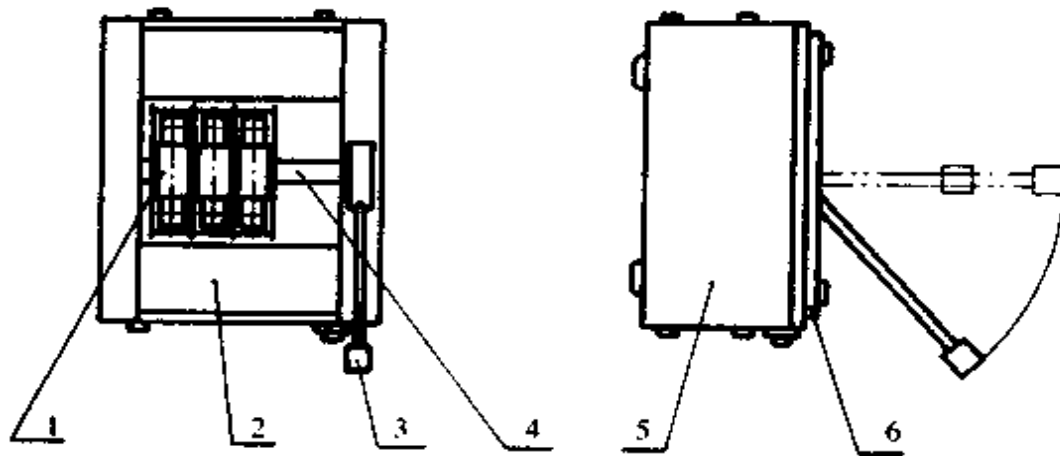


图 5.2.3 HR11 熔断器式开关结构简图(左为去盖示意图)

1—RT15 熔断器 2—挡板 3—操作手柄 4—横梁 5—壳体 6—盖

### 2.1.6 HR3 系列熔断器式开关

在工业企业配电网中,作为电气设备及线路的过载和短路保护用,以及正常供电情况下不频繁地接通和分断电路。其主要技术数据如表 5.2.11 所示。

型号说明:

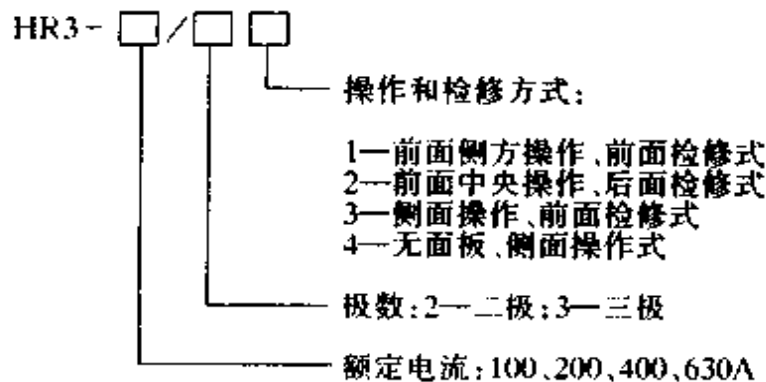


表 5.2.11 HR3 系列熔断器式开关主要技术数据

型号规格	刀开关分断能力(A)		熔断器极限分断能力(有效值)(A)	
	AC 380V $\cos\varphi \geq 0.6$	DC 440V $T = 0.0045s$	AC 380V $\cos\varphi = 0.3$	DC 440V $T = 0.15 \sim 0.02s$
HR3-100	100	100	50000	25000
HR3-200	200	200		
HR3-400	400	400		
HR3-600	600	600		

### 2.1.7 HR5 系列熔断器式隔离开关

主要用于有高短路电流的配电电路和电动机电路中,作为电源开关、隔离开关和应急开关,并对电路进行保护。一般不作为直接开闭单台电动机之用。

开关如配上带有熔断撞击器的熔断体时,当熔断体熔断,撞击器弹出,通过传动轴,触动开关侧面的 LX19K 行程开关,即发出信号或切断电动机控制回路,防止电路断相运行事故。其主要技术数据如表 5.2.12,外形如图 5.2.4。

型号说明:

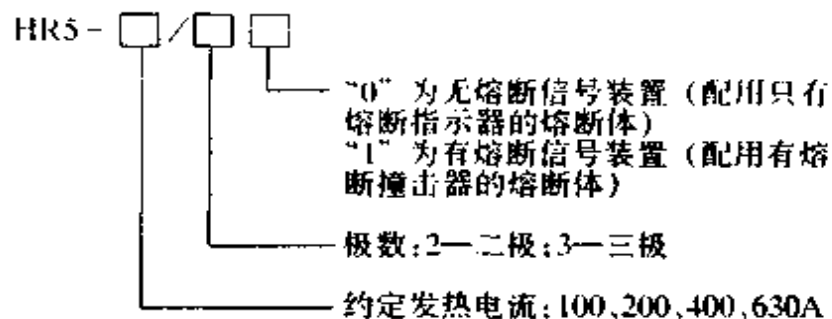


表 5.2.12 HR5 系列熔断器式隔离开关主要技术数据

型号规格	HR5-100	HR5-200	HR5-400	HR5-630
额定绝缘电压(V)	AC660			
额定电流(A)	100	200	400	630

续表

型号规格			HR5-100	HR5-200	HR5-400	HR5-630
额定接通 与分断能力 (A)	380V $\cos\varphi = 0.35$	接通	1000	1600	3200	5040
		分断	800	1200	2400	3780
	660V $\cos\varphi = 0.65$	接通	800	1200	2400	3780
		分断	300	600	1200	1890
额定熔断短路电流(有效值)(kA)			50			
最大预期电流(峰值)(kA)			100			
配用熔断体型号①			00	1	2	3
辅助开关 数据	额定电压(V)		AC380			
	额定电流(A)		5			
	控制功率(V·A)		300			

注:①当开关用于电动机电路中,允许配用额定电流大于开关额定电流的熔断体。

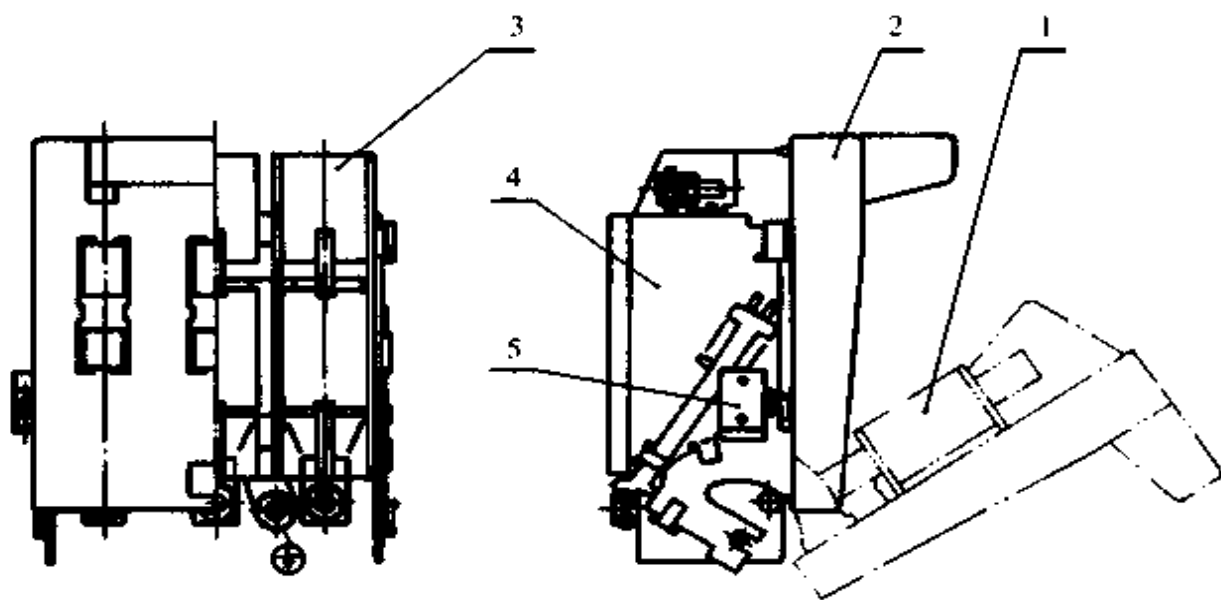


图 5.2.4 HR5-200/31 熔断器式隔离开关结构简图

1—熔断体 2—盖(操作手柄) 3—灭弧罩 4—底座 5—熔断指示用行程开关



### 2.1.8 HGI 系列熔断器式隔离器

适用于具有高短路电流的配电电路和电动机电路中,作为电源隔离器和电路保护之用。其主要技术数据如表 5.2.13 所示。

熔断器式隔离器配用交流 380V、RT14 有填料封闭管式圆筒形帽熔断体。当 32A 和 63A 隔离器配用带撞针的熔断体时,具有断相保护的功能。

表 5.2.13 HGI 系列熔断器式隔离器主要技术数据

约定发热电流(A)		20	32	63
额定熔断短路电流(kA)		50		
机械寿命(次)		3000		
辅助触头	额定电压(V)	AC380		
	约定发热电流(A)	5		
	额定控制容量(V·A)	300		
熔断指示 微动开关	额定电压(V)	AC220		
	约定发热电流(A)	1		
配用熔断体的尺码		10×38	14×51	22×58

### 2.1.9 HD18 系列空气式隔离器

适用于工业企业低压配电系统以及冶炼、电解、电镀、交通、整流设备中,主要用于负载切除以后将线路与电源隔离,以保证检修人员的安全。其额定工作电压为交流 50Hz、1200V 及以下,或直流 1500V 及以下,额定工作电流为 2500A、4000A。主要技术数据如表 5.2.14 所示。

其安装地点周围环境的污染等级为 3 级,安装类别为Ⅲ类。隔离器均附有 3 常开、3 常闭的辅助开关。

型号说明:

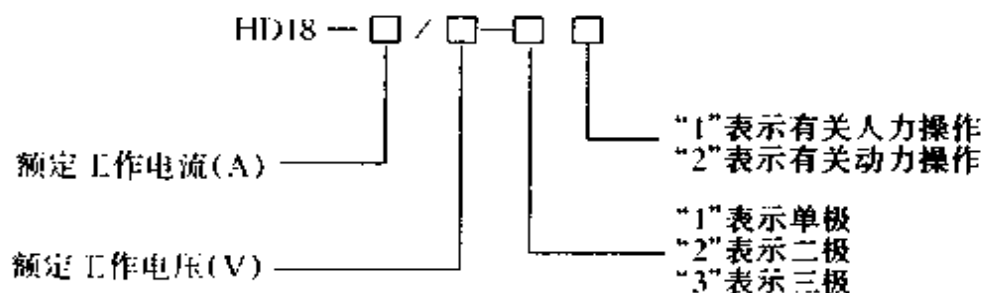


表 5.2.14 HD18 系列空气式隔离器主要技术数据

额定工作 电流 (A)	额定绝缘 电压 (V)	极数	操作 方式	工频耐压 试验电压 (有效值) (V)	短时耐受 电流(1s, 有效值) (kA)	额定限制 短路电流 (峰值) (kA)	机械寿命 (次)
AC <sup>2500</sup> DC	DC 1500	单极	手	5000	50	105	1000
			电				
	AC 1200	二级	手				
			电				
AC 1200	三级	手					
		电					
AC <sup>4000</sup> DC	DC 1500	单极	手	4200	80	176	
			电				
	AC 1200	二级	手				
			电				
AC 1200	三级	手					
		电					

注:①“手”为有关人力操作,“电”为有关动力操作。

### 2.1.10 HZ10 系列组合开关

适用于交流 50Hz、380V 及以下,直流 220V 及以下的电气线路中,作接通或分断电路,换接电源和负载,测量三相电压,调节电加热器的串、并联,控制小型异步电动机正反转之用。本系列开关不能作为频繁操作的手动开关。其主要技术数据如表 5.2.15 所示。

型号说明:

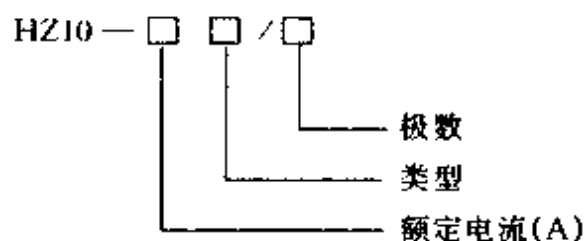


表 5.2.15 HZ10 系列组合开关主要技术数据

类型	型号	极数	层数	接线	额定电流 (A)				
					10	25	60	100	
同时通断 (“J”表示机床用开关)	HZ10-□/1	1	1	*	✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/2	2	2		✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/3	3	3		✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/4	4	4		✓	✓	✓	✓	
	HZ10-□/2J	2	*		✓	✓	✓		
	HZ10-□/3J	3	7		✓	✓	✓		
交替通断 (分母上的第一位数字是表示起点的接通路数;第二位数字是表示通断的总路数)	HZ10-□/12		2	*	✓	✓			
	HZ10-□/13		3		✓	✓			
	HZ10-□/14		4		✓	✓			
	HZ10-□/24		4		✓	✓			
	HZ10-□/25		5		✓	✓			
	HZ10-□/26		6		✓	✓			
两位转换 (“P”表示) (其中“有一位断路”的操动机构有限位装置)	有一位断路	HZ10-□P/1	1	1	*	✓	✓		
		HZ10-□P/2	2	2		✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/3	3	3		✓	✓	✓	✓
		HZ10-□P/4	4	4		✓	✓		
	有二位断路	HZ10-□P/B1	1	1		✓	✓		
		HZ10-□P/B2	2	2		✓	✓		
		HZ10-□P/B3	3	3		✓	✓		
		HZ10-□P/B4	4	4		✓	✓		
	无断路	HZ10-□P/01	1	1		✓	✓		
		HZ10-□P/02	2	2		✓	✓	✓	
		HZ10-□P/03	3	3		✓	✓	✓	
		HZ10-□P/04	4	4		✓	✓		

续表

类型	型号	极数	层数	接线	额定电流 (A)			
					10	25	60	100
三位转换 ("S"表示)	HZ10-□S/1	1	2	*	√	√		
	HZ10-□S/2	2	4		√	√	√	√
	HZ10-□S/3	3	6		√	√	√	√
四位转换 ("G"表示)	HZ10-□G/1	1	2	*	√	√		
	HZ10-□G/2	2	4		√	√		
	HZ10-□G/3	3	6		√	√		
测量三相电压的电压表用	HZ10-03 (HZ10-3X)	3	3	*	√			
测量三相四线电压的电压表用	HZ10-04	4	4	*	√			
换接两电阻单接、串联或并联、单 接用	HZ10-□R2		1	*	√	√		
换接两电阻并联、单接及串联用	HZ10-□R3		2	*	√	√	√	
换接三电阻单接、双并、三并用	HZ10-□R4							
控制 J(2) 电动机正反转用(操动机 构有限位装置)	HZ10-□N/3 HZ10-□N/3X	3	3	*	√	√		
星形—三角形起动用	HZ10-□X/3	3	6	*		√	√	
特殊规格	HZ10-□/E6		5	*		√		
	HZ10-□/E7		5					
	HZ10-□/E8		4		√			
	HZ10-□/E29		4		√			
	HZ10-□/E35		4					
	HZ10-□/E41		3		√			
	HZ10-□/E62		4		√	√	√	

注:1. 表中“√”表示有此规格 括号内的型号,是区别改进产品设计后暂用的型号,类型中未注操动机构形式的均为无限位的。

2. 表中未列入而不超过9层的种类产品,均可依次编排型号。

3. 表中所列各种规格,均可派生为船用及湿热型组合开关

4. 表中带“\*”项可参见产品样本

## 2.1.11 HZ15 系列组合开关

适用于交流 50Hz 或 60Hz、380V 及以下,直流 220V 及以下的电气线路中,供手动不频繁地接通或分断电路,转换电路之用。亦可直接开闭小容量交流电动机。其主要技术数据如表 5.2.16 所示。

型号说明:

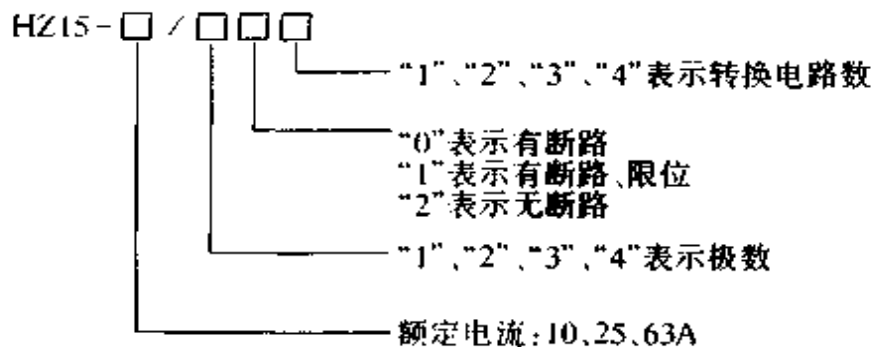


表 5.2.16 HZ15 系列组合开关的额定接通和分断能力

电流种类	使用类别		约定发热电流 (A)	接 通			分 断		
				试验电流 (A)	试验电压 (V)	功率因数 $\cos\varphi \pm 0.05$	试验电流 (A)	试验电压 (V)	功率因数 $\cos\varphi \pm 0.05$
交流	作为配电 电器用	AC-20	10	30	420	0.65	30	420	0.65
		AC-21	25	75			75		
		AC-22	30	190			190		
	作为控制 电动机用	AC-3	10(3) <sup>1</sup>	30			24		
			25(5.5) <sup>1</sup>	55			44		
电流种类	使用类别		约定发热电流 (A)	接 通			分 断		
				试验电流 (A)	试验电压 (V)	时间常数 $T \pm 1.5\%$ (ms)	试验电流 (A)	试验电压 (V)	时间常数 $T \pm 1.5\%$ (ms)
直流	DC-20 DC-21	10	15	242	1	15	242	1	
		25	38			38			
		63	95			95			

注:10A、25A 开关在分别控制容量不大于 1.1kW、2.2kW 的交流电动机时,其工作电流分别为 3A、5.5A。

## 2.1.12 QSA 系列隔离开关熔断器组, QA、QP 系列隔离开关

Q 系列开关是由丹麦引进技术生产的产品,符合 BS、VDE 和 IEC 标准。Q 系列开关有一个最新发展的,把滚动触头和刀形触头的优点结合起来的,具有独特性能的触头系统,见图 5.2.5。其主要技术数据如表 5.2.17、表 5.2.18、表 5.2.19 所示。结构如图 5.2.6 所示

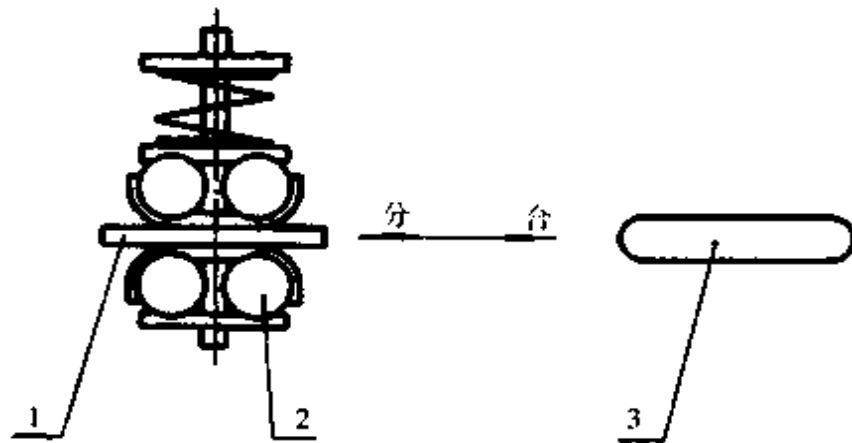


图 5.2.5 Q 系列开关的触头系统示意图

1—动触头系统 2—接触滚柱 3—静触头刀片

开关适用于交流 50Hz、额定绝缘电压 1000V、额定工作电压 380V 至 660V 有高短路电流的配电电路和电动机电路中,作为电源开关、隔离开关和应急开关,并对电路进行保护。

开关配用旋转操作手柄,手柄具有联锁、通断指示等功能。操作机构有储能弹簧,以实现无人力合分操作。

每个开关可装一个、两个或不装辅助开关,对 QP2500、QP3150,辅助开关多至四个。每个辅助开关具有一常开、一常闭两对触头。

型号说明:

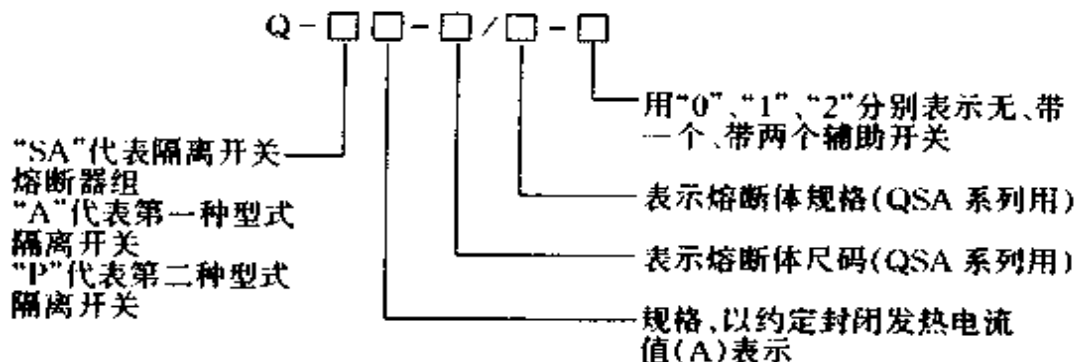


表 5.2.17 QSA 系列隔离开关熔断器组主要技术数据

型号规格		QSA 63	QSA 125	QSA 160	QSA 250	QSA 400	QSA 630
额定工作电压	(V)	380,660					
约定发热电流	(A)	80	160	160	400	400	800
约定封闭发热电流	(A)	63	125	160	250	400	630
额定工作电流/功率							
380V $\cos\varphi = 0.35$ AC-23 (A/kW)		80/30	160/75	160/90	250/132	400/200	630/333
660V $\cos\varphi = 0.35$ AC-23(A/kW)		80/55	160/110	160/150	250/220	400/375	630/560
额定熔断 短路电流 (有效值)(kA)	380V $\cos\varphi = 0.20$	100					
	660V $\cos\varphi = 0.25$	50					
机械寿命	(次)	15000		12000		3000	
电寿命	(次)	1000		300		150	
配用熔断体尺码		00			1-2		3

表 5.2.18 QA 系列隔离开关主要技术数据

型号规格		QA 125	QA 160	QA 200	QA 400	QA 630	QA 1000
额定工作电压	(V)	380,660					
约定发热电流	(A)	160	200	250	630	630	1000
约定封闭发热电流	(A)	125	160	200	400	630	1000
额定工作电流/功率							
380V $\cos\varphi = 0.35$ AC-23 (A/kW)		160/75	200/90	200/110	400/200	630/355	1000/500
660V $\cos\varphi = 0.35$ AC-23(A/kW)		160/110	160/150	160/150	400/375	400/375	800/710
额定熔断 短路电流 (有效值)(kA)	380V $\cos\varphi = 0.20$	100					
	660V $\cos\varphi = 0.25$	50					—
额定短路接通能力(峰值)(kA)		20 ( $\cos\varphi = 0.30$ )			50 ( $\cos\varphi = 0.25$ )		
额定短时耐受电流 $I_s$ (有效值)(kA)		4			15	50	
机械寿命	(次)	15000			12000		3000
电寿命	(次)	1000			300	150	150

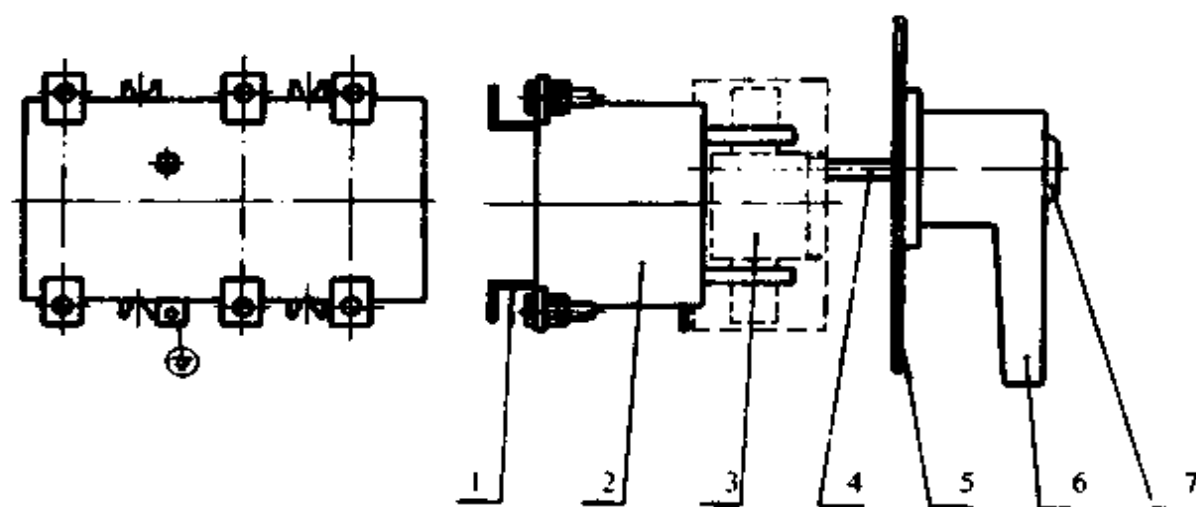


图 5.2.6 QSA400 隔离开关熔断器组结构示意图

1—安装支持件 2—开关壳体 3—熔断器 4—操动方轴  
5—面板 6—操作手柄 7—挂锁拉扣

表 5.2.19 QP 系列隔离开关主要技术数据

型号规格	QP 250	QP 630	QP 1000	QP 1250	QP 1600	QP 2500	QP 3150
额定工作电压 (V)	380, 660						
约定发热电流 (A)	315	630	1000	1250	1600	2500	3150
约定封闭发热电流 (A)	250	630	1000	1250	1600	2500	3150
额定工作电流							
380V $\cos\varphi = 0.65$ AC-22 (A)	315	630		800		—	
380V $\cos\varphi = 0.95$ AC-21 (A)	315	630	1000	1250	1600	2500	3150
660V $\cos\varphi = 0.95$ AC-21 (A)	315	630	1000	1250	1470	2500	—
额定熔断 短路电流 (有效值)(kA)	380V $\cos\varphi = 0.20$	100			—		
	660V $\cos\varphi = 0.25$	50		—			
额定短路接通能力(峰值) (kA)	39 ( $\cos\varphi = 0.3$ )	60 ( $\cos\varphi = 0.25$ )		85 ( $\cos\varphi = 0.25$ )		130 ( $\cos\varphi = 0.20$ )	
额定短时耐受电流(有效值) (kA)	8	32		50		80	
机械寿命 (次)	1500	12000		1000		300	
电寿命 (次)	1000	150		50		15	



## 2.2 熔断器

熔断器是串接在供、配电线路中,用作线路和设备的短路和过载保护的电器。其型号及应用如表 5.2.20 所示。

表 5.2.20 熔断器的型号及应用

系列	结构特点	使用范围
RC1A	半封闭插入式,有一定的灭弧措施(内加石棉垫),短路分断能力低	分支回路,作过载和短路保护
RL	熔断体内用石英砂作填料,有熔断指示器,可在带电情况下更换熔断体,短路分断能力较高	在配电线路中作过载和短路保护;作电动机短路保护
RLS	结构同 RL 系列,有较大的限流作用,短路分断能力较高	用作硅元件、晶闸管及其成套装置的短路保护和适当的过载保护
RTO	熔断体内用石英砂作填料,有熔断指示器,附有绝缘操作手柄,可在带电情况下更换熔断体,触头为刀形结构,短路分断能力高	用于要求较高,有可能产生大短路电流的电力系统和配电装置
RT16 RT17 RT20	结构同 RTO(其中 RT16 系列引进德国 AEG 公司 NT 系列技术制造),熔体用优质铜管精密加工制成,熔管用氧化铝瓷制成,短路分断能力高	用于保护特性要求较高,短路电流大的电力系统和配电装置
RT12 RT15	熔断体内用石英砂作填料,有熔断指示器,触刀在使用中用螺栓与外部导体连接,没有熔断器座,短路分断能力高	一般分别装于 HH10D、HR11 开关中使用
RT14	带有熔断撞击器,可作熔断指示,又可触动微型开关,控制接触器回路,切断电路,避免断相运行,熔断体内装石英砂填料,触头为圆管形帽,短路分断能力高	同 RL,也可装于 HG1 开关中使用
$g^F, a^M$	额定电流 25A 以下有填装熔断体的钳套,不带指示器;25A 以上的分带与不带钳套两种,带与不带指示器两种	广泛用于成套装置的电气控制, $g^F$ 级可用于线路过载和短路保护, $a^M$ 级可用于电动机的短路保护
RS0 RS3	有显著的限流作用,带熔断指示装置	RS0 可作为半导体整流元件,RS3 可作为晶闸管及其成套装置的短路保护及某些不允许过电流的过负荷保护

注:RT16 也可带熔断撞击器,装于 HR5-□/31 开关中使用。

## 2.2.1 RC1A 系列瓷插入式熔断器

其主要技术数据如表 5.2.21 所示。

表 5.2.21 RC1A 系列熔断器的主要技术数据

额定电流 (A)	额定工作电压 (V)	熔丝额定电流 (A)	极限分断电流 (A)	功率因数 $\cos\varphi$	分断次数 (次)	熔丝直径 (mm)	熔丝材料
10	380	6	750	0.8	3	0.52	铅保险丝 GB3132-82
		8				0.82	
		10				1.08	
15		12	1000			1.25	
		15				1.98	
60		40	4000			0.5	
		50		1.07			
		60		1.20			
100		80	4000	1.55			
		100		1.80			

## 2.2.2 RL1、RL2、RL6、RL7 系列螺旋式熔断器

其主要技术数据如表 5.2.22 所示。外形如图 5.2.7 所示。

型号说明：

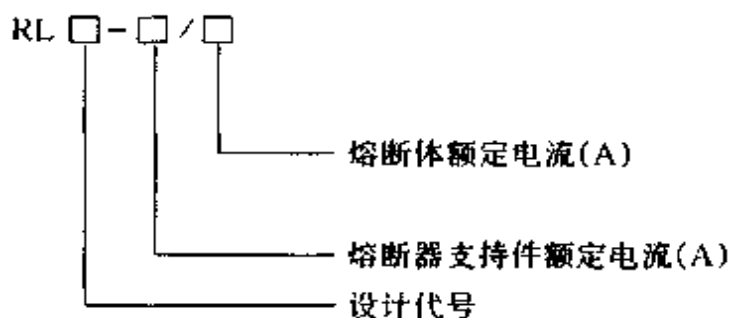


表 5.2.22 RL1、RL2、RL6、RL7 系列熔断器主要技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断器额定电流(A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力(kA)	试验回路参数	
					$\cos\varphi$	$T$ (ms)
RL1	AC380 DC440	15	2, 4, 6, 10, 15	25	0.35	15~20
		60	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60			
		100	60, 80, 100	50	0.25	
		200	100, 125, 150, 200			

续表

型号	额定电压 (V)	熔断器额定 电流(A)	熔体额定电流 (A)	额定分断 能力(kA)	试验回路参数	
					$\cos\varphi$	$T(\text{ms})$
RL2	AC380	25	2,4,6,10,15,20,25	25	$\leq 0.3$	
		60	35,50,60			
RL6	AC500	25	2,4,6,10,16,20,25	50	0.1~0.2	
		63	35,50,63			
		100	80,100			
		200	125,160,200			
RL7	AC660	25	2,4,6,10,16,20,25	25	0.1~0.2	
		63	35,50,63			
		100	80,100			

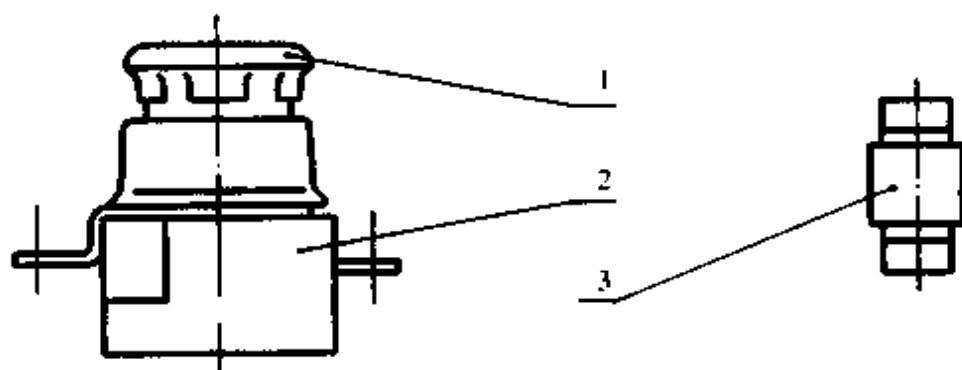
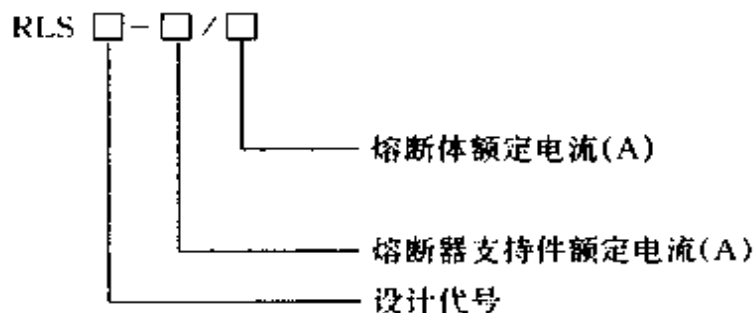


图 5.2.7 RL1-15 熔断器及其熔断体外形图

1—支持件 2—底座 3—熔断体

## 2.2.3 RLS1、RLS2 系列螺旋式快速熔断器

型号说明:



其主要技术数据如表 5.2.23 所示。

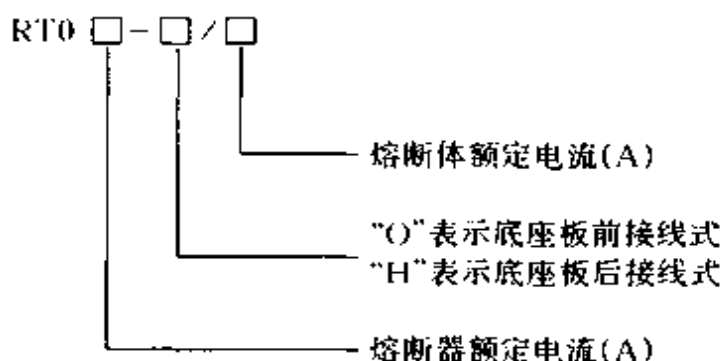
表 5.2.23 RLS1、RLS2 系列主要技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力 (kA)	功率因数 $\cos\varphi$
RLS1	500	10	3, 5, 10	50	$\leq 0.25$
		50	15, 20, 25, 30, 40, 50		
		100	60, 80, 100		
RLS2	500	(30)	16, 20, 25, (30)	50	0.1 ~ 0.2
		63	35, (45), 50, 63		
		100	(75), 80, (90), 100		

注:括号内的数值为满足特殊订货之用。

#### 2.2.4 RTO 系列有填料封闭管式熔断器

型号说明:



其主要技术数据如表 5.2.24 所示,外形如图 5.2.8 所示。

表 5.2.24 RTO 系列熔断器主要技术数据

额定电流 (A)	额定工作电压 (V)	熔体额定电流 (A)	极限分断能力 (kA)	
			AC 380V	DC 440V
50	AC 380 DC 440	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	50 (有效值) $\cos\varphi =$ 0.1 ~ 0.2	25 $T = 15 \sim 20\text{ms}$
100		30, 40, 50, 60, 80, 100		
200		80 <sup>①</sup> , 100 <sup>①</sup> , 120, 150, 200		
400		150 <sup>①</sup> , 200, 250, 300, 350, 400		
600		350 <sup>①</sup> , 400 <sup>①</sup> , 450, 500, 550, 600		
1000		700, 800, 900, 1000		

注:①尽可能不采用

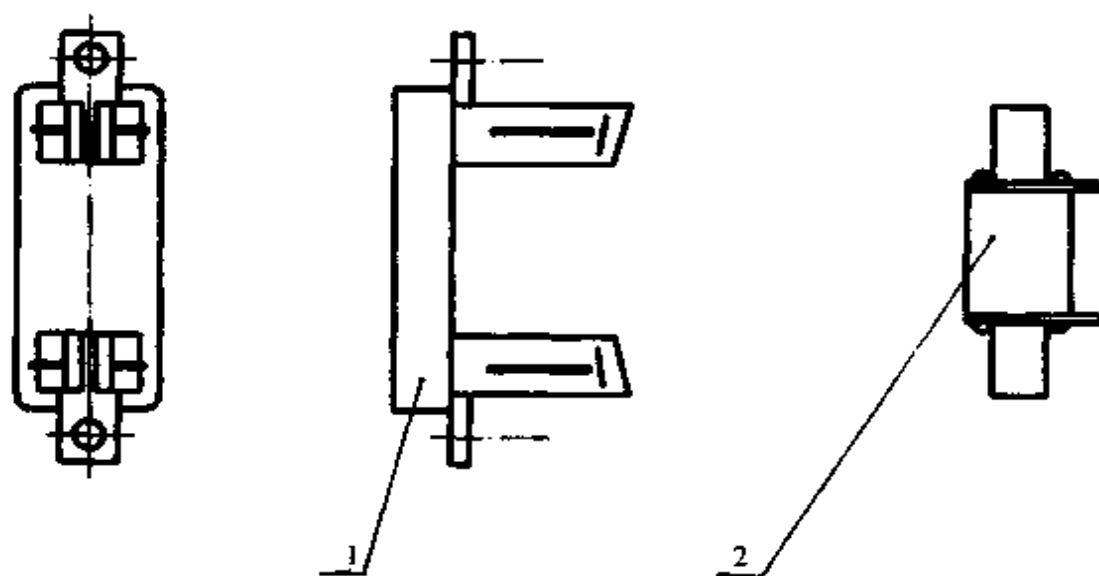


图 5.2.8 RTO 熔断器外形图

1—底座 2—熔断体

2.2.5 RS0、RS3 系列有填料封闭管式快速熔断器  
其主要技术数据如表 5.2.25 所示。

表 5.2.25 RS0、RS3 系列熔断器主要技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力 (kA)
RS0	250	50	30, 35	50 (有效值) $\cos\varphi \leq 0.25$
		100	50, 80	
		200	150	
		350	350	
		500	400, 480	
	500	50	30, 50	
		100	50, 80	
		200	150, 200	
		350	250, 320	
		500	480	
	750	350	250, 320	
700		700		

续表

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力 (kA)
RS3	500	50	10、15、30、50	50 (有效值) $\cos\varphi \leq 0.25$
		100	80、100	
		200	150、200	
		300	250、300	
		500	500	
	750	250	200、250	
		700	600、700	
	1000	450	450	

### 2.2.6 RT17系列有填料封闭管式刀型触头熔断器

熔断体为 g' 类熔断体,即全范围分断的一般用途熔断体。技术数据如表 5.2.26。

表 5.2.26 RT17 系列熔断器主要技术数据

额定电压(V)	额定电流 (A)		额定分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$
	底座	熔断体	
380	1000	800、1000	100

### 2.2.7 RT20系列低功耗高分断能力刀形触头熔断器

其主要技术数据如表 5.2.27 所示。

表 5.2.27 RT20 系列熔断器主要技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流(A)	额定分断能力(kA)
RT20-000	AC 500	4、6、10、16、20、25、32、40、50、63、80、100	120
RT20-00		125、160	
RT20-1		80、100、125、160、200、224 <sup>①</sup> 、250	
RT20-2		125、160、200、224 <sup>①</sup> 、250、315、355 <sup>①</sup> 、400	
RT20-3		315、355 <sup>①</sup> 、400、425 <sup>①</sup> 、500、630	

注:①非标准值。

### 2.2.8 RT16(NT)系列低损耗高分断能力熔断器

该产品是从德国 AEG 公司引进制造技术和生产许可证的,具有分断能力高、

限流特性好、功耗低、时间电流特性稳定、体积小和重量轻的特点,完全符合 IEC269 和 VDE0636 标准。其主要技术数据如表 5.2.28 所示。

表 5.2.28 RT16(NT)系列熔断器主要技术数据

型号	底座型号	额定电压(V)	熔断体额定电流(A)	额定分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$
NT-00 NT-0	sist 101 sist 160	AC 500, 660	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125 <sup>1</sup> , 160	50(660V) 120(500V)
NT-1	sist 201		80, 100, 125, 160, 200, 224, 250 <sup>1</sup>	
NT-2	sist 401		125, 160, 200, 224, 250, 300, 315, 355 <sup>1</sup> , 400 <sup>1</sup>	
NT-3	sist 601		315, 355, 400, 425, 500 <sup>1</sup> , 630 <sup>1</sup>	

注:①额定电压为 500V。

### 2.2.9 RT12、RT15 系列有填料封闭管式螺栓连接熔断器

目前,RT12 系列熔断器使用最多的场合是与 HH10D 系列开关配套,RT15 系列熔断器则与 HR11 系列开关配套。主要技术数据如表 5.2.29 所示,结构如图 5.2.9、图 5.2.10 所示。

型号说明:

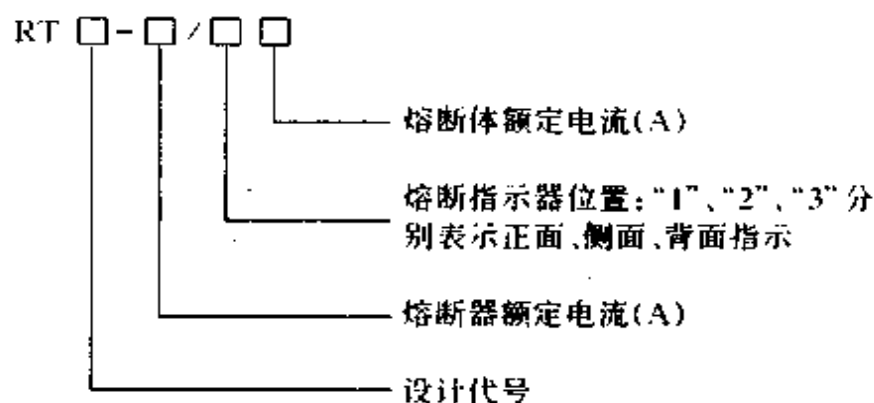


表 5.2.29 RT12、RT15 系列熔断器主要技术数据

型号	额定电压(V)	熔断器额定电流(A)	熔体额定电流(A)	额定分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$
RT12	AC 415	20	2, 4, 6, 10, 16, 20	80
		32	20, 25, 32	
		63	32, 40, 50, 63	
		100	63, 80, 100	

续表

型号	额定电压 (V)	熔断器额 定电流(A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.1 \sim 0.2$
RT15	AC 415	100	40, 50, 63, 80, 100	100
		200	125, 160, 200	
		315	250, 315	
		400	350, 400	

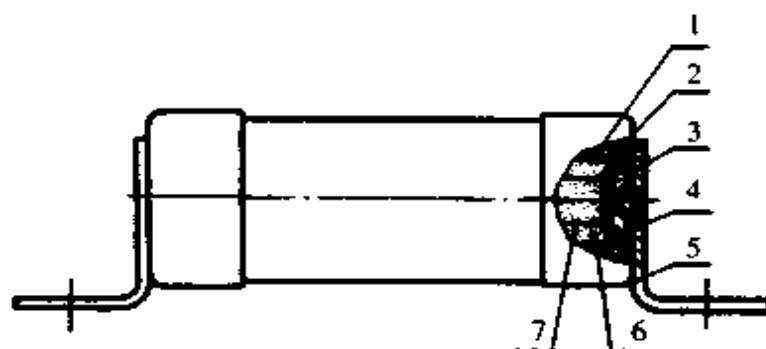


图 5.2.9 RT12 熔断器结构图

1—瓷管 2—内帽 3—封口塞 4—外帽  
5—触刀 6—石英砂 7—熔体

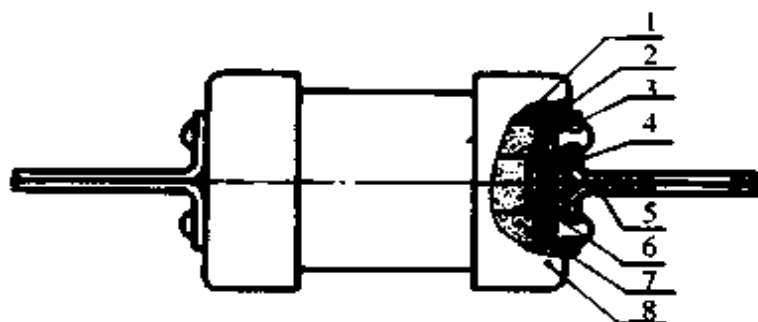


图 5.2.10 RT15 熔断器结构图

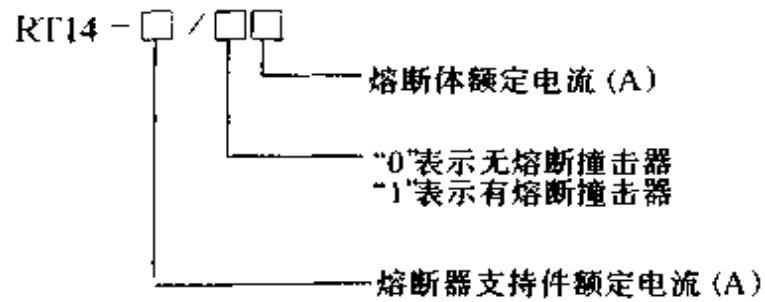
1—瓷管 2—内帽 3—熔体 4—垫片 5—接线头  
6—封口塞 7—石英砂 8—外帽

### 2.2.10 RT14 系列有填料封闭管式圆筒形帽熔断器

该熔断体为  $g^L$  类,即全范围分断的一般用途熔断体。带熔断撞击器的熔断体与熔断器式隔离器(如 HGI 系列)配套使用时,还可作为电动机断相保护之用。

型号说明:





其主要技术数据如表 5.2.30 所示。

表 5.2.30 RT14 系列熔断器主要技术数据

额定电压 (V)	熔断器支持件额定电流(A)	熔断体额定电流(A)	额定分断能力(kA) $\cos\varphi = 0.1 - 0.2$
AC 380	20	2, 4, 6, 10, 16, 20	100
	32	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32	
	63	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	

### 2.2.11 $g^F$ 、 $a^M$ 圆柱形管状有填料熔断器

该产品体积小,分断能力高,特性稳定,功耗小, $g^F$  级可用作线路的过载保护和短路保护, $a^M$  级可用作电动机的短路保护,广泛用于进口成套设备的保护装置。其主要技术数据如表 5.2.31 所示。

表 5.2.31  $g^F$ 、 $a^M$  系列熔断器主要技术数据

型号	额定工作电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	额定分断能力 $\cos\varphi = 0.15 - 0.25$ (kA)
$g^{F1}$ 、 $a^{M1}$	AC 500 DC 440	16	2, 4, 6, 8, 10, 12, 16	50
$g^{F2}$ 、 $a^{M2}$		25	2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25	
$g^{F3}$ 、 $a^{M3}$		40	4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40	
$g^{F4}$ 、 $a^{M4}$		125	10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	

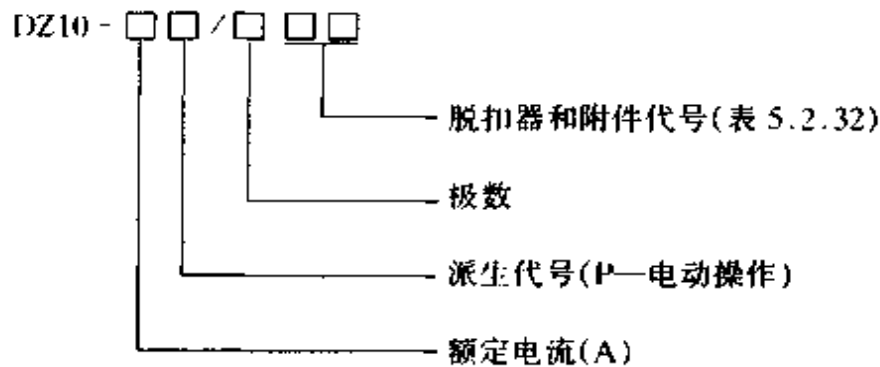
## 2.3 低压断路器

又称自动开关,接入供、配电线路中,用作线路的过载、短路、漏电或欠压保护。在正常情况下,也可用作不频繁地接通和分断线路。

## 2.3.4 DZ10 系列塑料外壳式断路器

适用于交流 50Hz 或 60Hz, 电压 500V 以下, 直流电压 220V 以下的线路中, 作不频繁接通和分断电路之用。本产品具有过载和短路保护装置。

型号说明:



其主要技术数据如表 5.2.32、表 5.2.33 所示。

表 5.2.32 DZ10 系列断路器的脱扣器和附件代号

代号 附件类别	脱扣方式和附件类别							
	不带附件	分励	辅助触头	欠压	分励辅助触头	分励欠压	二组辅助触头	失压辅助触头
无脱扣器	00	—	02	—	—	—	06	—
热脱扣器	10	11	12	13	14	15	16	17
电磁脱扣	20	21	22	23	24	25	26	27
复式脱扣 <sup>1</sup>	30	31	32	33	34	35	36	37

注:①指同时装有热脱扣器和电磁脱扣器。

表 5.2.33 DZ10 系列断路器主要技术数据

型号	复式脱扣器		电磁脱扣器	
	额定电流(A)	瞬时动作整定电流(A)	额定电流(A)	瞬时动作整定电流(A)
DZ10-100	15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100	10I <sub>c</sub>	15, 20, 25, 30, 40, 50	10I <sub>c</sub>
			100	(6~10)I <sub>c</sub>
DZ10-250	100	(5~10)I <sub>c</sub>	250	(2~7)I <sub>c</sub>
	120	(4~10)I <sub>c</sub>		(2.5~8)I <sub>c</sub>
	140, 170, 200, 250	(3~6)I <sub>c</sub> 或(>6~10)I <sub>c</sub>		(3~6)I <sub>c</sub> 或(>6~10)I <sub>c</sub>

续表

型 号	复式脱扣器		电磁脱扣器	
	额定电流(A)	瞬时动作整定电流(A)	额定电流(A)	瞬时动作整定电流(A)
DZ10-600	200、250、300、 350、400、500、600	$(3 \sim 10)I_n$	400	$(2 \sim 7)I_n$ 或 $(2.5 \sim 8)I_n$ 或 $(3 \sim 10)I_n$
			600	$(2 \sim 7)I_n$ 或 $(2.5 \sim 8)I_n$ 或 $(3 \sim 10)I_n$

注： $I_n$ 为脱扣器的额定电流。

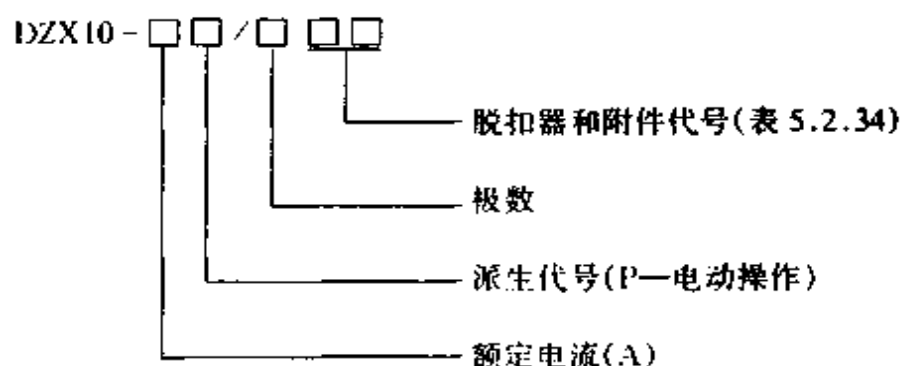
### 2.3.2 DZX10 系列塑料外壳式限流断路器

适用于交流 50Hz, 额定电压至 660V, 额定电流至 630A 的线路中。在集中配电、变压器并联运行或采用环形供电等要求高分断能力的分支线路场合, 可作为线路和设备的过负荷、短路、欠电压保护。在正常条件下可作为线路的不频繁转换之用。

接线方式分板前和板后两种, 保持了与 DZ10 系列断路器相同的宽度、高度尺寸和安装尺寸(100A 除外), 大部分零件与 DZ10 系列断路器相同, 通用性强。限流断路器的基本原理是利用短路电流所产生的电动力迅速使触头拆开, 从而达到限流的目的, 所以限流特性好, 分断能力高。由于进线端加设隔弧板, 使分断短路电流时更为可靠。

本产品安装地点周围环境的污染等级为 3 级, 安装类别为 II 类。

型号说明:



其主要技术数据如表 5.2.35 所示。

表 5.2.34 DZX10 限流断路器脱扣器和附件代号

代号 附件类别	脱扣方式和附件代号							
	不带附件	分励	辅助触头	欠压	分励辅助触头	分励欠压	二组辅助触头	失压辅助触头
电磁脱扣	20	21	22	23	24	25	26	27
复式脱扣	30	31	32	33	34	35	36	37

表 5.2.35 DZX10 系列断路器主要技术数据

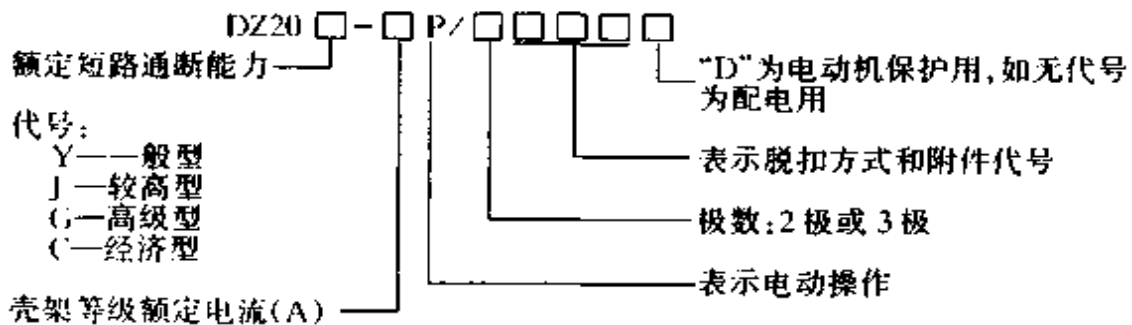
型号	额定电流 (A)	脱扣器额定电流 (A)	通断能力 (有效值) (kA) 380V $\cos\varphi = 0.3$	一次通断能力 (kA) $\cos\varphi = 0.25$	电寿命 (次)	机械寿命 (次)
DZX10-100	100	60, 80, 100	30	50	5000	10000
DZX10-200	200	100, 120, 140, 170, 200	40	60	5000	
DZX10-630	630	200, 250, 300, 350, 400, 500, 630	60 ( $\cos\varphi = 0.25$ )	80	2500	

### 2.3.3 DZ20 系列塑料外壳式断路器

适用于交流 50Hz, 额定工作电压至 380V (其中 400Y 型至 660V), 直流额定工作电压至 220V 的电路中作配电用, 200(225)A 及以下和 400Y 型断路器可作为电动机保护用。在正常情况下, 断路器可分别作为线路的不频繁转换及电动机的不频繁启动之用。

本产品可分配电用和保护电动机用两种; 极数有二级、三级; 按接通能力分为一般型(Y 型)、较高型(J 型)、高分断能力型(G 型)以及经济型(C 型)断路器; 接线方式有板前式和板后式之分。

型号说明:



其主要技术数据如表 5.2.36、表 5.2.37、表 5.2.38、表 5.2.39 所示。

表 5.2.36 DZ20 系列断路器脱扣方式及附件代号

代号 附件类别 脱扣方式	无	报警	分励	辅助	欠压	分励 辅助	分励 欠压	双辅 助	辅助 欠压	分励 报警	辅助 报警	欠压 报警	分励 报警	分励 欠压	双辅 助	辅助 欠压
	200	208	210	220	230	240	250	260	270	218	228	238	248	258	268	278
瞬时脱扣	200	208	210	220	230	240	250	260	270	218	228	238	248	258	268	278
复式脱扣	300	308	310	320	330	340	350	360	370	318	328	338	348	358	368	378

表 5.2.37 DZ20 系列断路器主要技术数据

壳架等级 额定电流 (A)	额定工作 电压 (V)	断路器 额定电流 (A)	代号	极限短路通断能力(kA)				电寿命 (次)	机械 寿命 (次)	
				交流		直流				
				380V	$\cos\varphi$	220V	T(ms)			
100	AC 380 DC 220	16、20、32、40、50、 63、80、100	Y	18	0.30	10	10	4000	4000	
			J	35	0.25	15	10			
			G	100	0.20	20	10			
200 (225)		AC 380 DC 220	100、125、160、 180、200、225	Y	25	0.25	20	10	2000	6000
				J	42	0.25	20	10		
				G	100	0.20	25	15		
400	AC 380、660 DC 220		200、250、315、 350、400	Y	30(15 <sup>①</sup> )	0.25(0.3 <sup>①</sup> )	25	15	1000	4000
				J	42	0.25	25	15		
				G	100	0.20	30	15		
630		AC 380 DC 220	400、500、630	Y	30	0.25	25	15	500	2500
				J	42	0.25	25	15		
1250			AC 380 DC 220	630、700、800、 1000、1250	Y	50	0.25	30		

注：①为交流 660V 时得出的。

表 5.2.38 DZ20 系列断路器短路保护用瞬时脱扣器整定电流值

型 号	瞬时脱扣器整定电流倍数	
	配电保护用	电动机保护用
DZ20Y·J·G-100	$10I_n$	$12I_n$
DZ20Y·J·G-200	$5I_n$ 和 $10I_n$	$8I_n$ 和 $12I_n$
DZ20Y-400	$10I_n$	$12I_n$
DZ20J·G-400	$5I_n$ 和 $10I_n$	
DZ20Y·J-630		
DZ20Y-1250	$4I_n$ 和 $7I_n$	

注:断路器额定电流  $I_n \leq 40A$  时,瞬时脱扣器最小整定电流为 500A。

表 5.2.39 DZ20 系列断路器的过载及时限特性

断路器 类型	试验电流 名称	$I/I_n$	约 定 时 间						起始 状态
			$I_m = 100$		$I_m$				
			$I_n \leq 63$	$63 < I_n \leq 100$	200	400	630	1250	
配 电 保 护 用	约定不脱扣电流	1.05	1h	2h	2h				冷态
	约定脱扣电流	1.05	—	2h	2h				热态
		1.35	1h	—	—				
		3.0 可返回	5s	8s	8s	12s	12s	12s	冷态
电 动 机 保 护 用	约定不脱扣电流	1.05	2h		2h		—		冷态
	约定脱扣电流	1.20	2h		2h		—		热态
		6.0 可返回	3s	5s	5s	8s	—		冷态

#### 2.3.4 TO、TG 系列塑料外壳式断路器

适用于交流 50Hz 或 60Hz, 额定绝缘电压 660V, 直流至 250V 的电路中作不频繁的接通和分断之用。断路器具有过载及短路保护装置, 能保护电缆和线路不致因过热而损坏。

本系列产品是从日本寺崎电气产业株式会社引进技术生产的同一电流等级两种不同类型的断路器, 适用于船舶和陆地。TO 系列为标准型, TG 系列为高分断能力型。主要技术数据如表 5.2.40 所列。

接线方式有: 板前接线、板后接线、插入式接线三种。

过电流脱扣型式分为热动—电磁型、电磁型两种。

本产品可带或不带附属装置。附属装置分内部附属装置(有分励脱扣器、欠压脱扣器、辅助开关、报警开关四种)和外部附属装置(有电动操作机构、外部手动操作机构、机械联锁、手柄闭锁、插入式用抽出装置五种)。

表 5.2.40 TO、TG 系列断路器主要技术数据

型 号	壳架额定 电流 (A)	脱扣器额定电流 (A)	通 断 能 力			
			试验电压 (V)	通断电流 (kA)	频率 (Hz)	$\cos\varphi$
TG-30	30	15、20、30	380·1.1	30	50	0.15~0.20
TO-100	100	15、20、30、40、50、 60、75、100	380·1.1	18	50	0.20~0.25
TG-100				30		0.15~0.20
TO-225	225	125、150、175、200、 225	380·1.1	25	50	0.15~0.20
TG-225				42		
TO-400	400	250、300、350、400	380·1.05	30	50	0.15~0.20
TG-400				42		
TO-600	600	450、500、600	380·1.05	30	50	0.15~0.20
TG-600				50		

### 2.3.5 DZ13、DZ15 系列塑料外壳式断路器

一般在照明线路中作过载、短路保护用。亦可作为线路的不频繁转换和电动机的不频繁起动之用。主要技术参数如表 5.2.41 所示。

DZ13 系列的极数有单极、双极、三极。

DZ13 系列额定电流 6A、10A 产品的额定电压为 120V、240V，额定通断能力为 5kA；15~70A 产品的额定电压为 240V、415V，额定通断能力为 3kA。

表 5.2.41 DZ15 系列断路器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	壳架电流 (A)	极数	额定电流 (A)	额定通断能力 (kA)	电气机械 寿命(次)
DZ15-40/1901	220	40	1	6、10、16、20、25、 32、40	3 ( $\cos\varphi=0.9$ 飞弧距离 $\leq 50\text{mm}$ )	15000
DZ15-40/2901	380		2			
DZ15-40/390□			3			
DZ15-40/4901			4			

续表

型 号	额定电压 (V)	壳架电流 (A)	极数	额定电流 (A)	额定通断能力 (kA)	电气机械 寿命(次)
DZ15-63/1901	220	63	1	10、16、20、25、32、 40、50、63	5 ( $\cos\varphi = 0.7$ 飞弧距离 $\leq 90\text{mm}$ )	10000
DZ15-63/2901	380		2			
DZ15-63/390□			3			
DZ15-63/4901			4			

注:□内数字1为保护配电线路用;2为保护电动机用。

### 2.3.6 DZ13L、DZ15L 系列漏电断路器

DZ13L、DZ15L 系列漏电断路器分别由 DZ13、DZ15 系列派生的,除原有功能外,尚具触电、漏电保护作用。

DZ15L 的额定漏电动作电流分 30、50、75 和 100mA 四种,漏电动作时间小于 0.1s。

### 2.3.7 DZ5-20、DZ5-50 系列塑料外壳式断路器

作为电动机和其他用电设备的过载和短路保护之用,也可作为不频繁起动的小容量电动机的起动器和线路的不频繁转换用。

DZ5-20 系列断路器有二极、三极之分,脱扣器额定电流为 0.15、0.2、0.3、0.45、0.65、1、1.5、2、3、4.5、6.5、10、15、20A 十四挡,带有一常开一常闭辅助触头。

DZ5-50 系列断路器极数为三极,脱扣器额定电流为 10、15、20、25、30、40、50A 七挡,可带一常开一常闭或二常开二常闭辅助触头。

### 2.3.8 DZX19 系列导线保护用限流型断路器

主要作组合照明箱以及类似装置使用。适用于交流 50Hz,电压至 220/380V、380V,电流至 63A 的各种建筑物的照明配电系统中,作为分配电能,线路的过载和短路保护之用。

额定电流:单极断路器有 6、10、20、32、40、50、63A 七挡;双极、三极断路器有 20、32、40、50、63A 五挡。

额定短路分断能力:6A 为 6kA( $\cos\varphi = 0.65 \sim 0.75$ ),10~63A 为 10kA( $\cos\varphi = 0.45 \sim 0.55$ )。

### 2.3.9 DW10 系列万能式断路器

适用于交流 50Hz,电压 380V 及以下,直流电压 440V 及以下的配电电路中,作为过载、短路及失压保护以及在正常工作条件下作为不频繁转换电路之用,其分类如表 5.2.42 所示,主要技术数据如表 5.2.43 所示。



表 5.2.42 DW10 系列断路器分类

分 类		DW10-									
		200	400	600	1000	1500	2500	4000			
极数	二极式		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	三极式		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
进出线 方式	板前进出线		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	板后进出线		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	板前进线,板后出线		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	板后进线,板前出线		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
操作 方式	直接手柄操作		✓	✓	✓	✓	✓	—	—		
	杠杆 操作	背面操作		✓	✓	✓	✓	✓	—	—	
		正面 操作	左侧		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
			右侧		✓	✓	✓	✓	✓	—	—
	电磁铁操作		✓	✓	✓	—	—	—	—		
	电动机操作		—	—	—	✓	✓	✓	✓		
过电流 脱扣器	保护方式	过载和短路均瞬时动作		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	安装 数量	二脱扣器式(二极或三极)		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
		三脱扣器式(三极)		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
失压或 分励脱 扣器	失压脱扣器		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	分励脱扣器		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	分励和失压脱扣器同时安装		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		

注:“✓”表示有此类型。

表 5.2.43 DW10 系列断路器主要技术数据

型 号	断路器额 定电流(A)	过电流脱 扣器额定 电流(A)	过电流瞬时脱扣器 整定电流(A)	极限分断能力(kA)	
				直流 440V $T \leq 0.01s$	交流 380V $\cos\varphi \geq 0.4$
DW10-200/2 DW10-200/3	200	100	100 ~ 150 ~ 300	10	10
		150	150 ~ 225 ~ 450		
		200	200 ~ 300 ~ 600		

续表

型 号	断路器额定电流(A)	过电流脱扣器额定电流(A)	过电流瞬时脱扣器整定电流(A)	极限分断能力(kA)	
				直流 440V $T \leq 0.01s$	交流 380V $\cos\varphi \geq 0.4$
DW10-400/2 DW10-400/3	400	100	100 ~ 150 ~ 300	15	15
		150	150 ~ 225 ~ 450		
		200	200 ~ 300 ~ 600		
		250	250 ~ 375 ~ 750		
		300	300 ~ 450 ~ 900		
		350	350 ~ 525 ~ 1050		
		400	400 ~ 600 ~ 1200		
DW10-600/2 DW10-600/3	600	400	400 ~ 600 ~ 1200	15	15
		500	500 ~ 750 ~ 1500		
		600	600 ~ 900 ~ 1800		
DW10-1000/2 DW10-1000/3	1000	400	400 ~ 600 ~ 1200	20	20
		500	500 ~ 750 ~ 1500		
		600	600 ~ 900 ~ 1800		
		800	800 ~ 1200 ~ 2400		
		1000	1000 ~ 1500 ~ 3000		
DW10-1500/2 DW10-1500/3	1500	1500	1500 ~ 2250 ~ 4500	20	20
DW10-2500/2 DW10-2500/3	2500	1000	1000 ~ 1500 ~ 3000	30	30
		1500	1500 ~ 2250 ~ 4500		
		2000	2000 ~ 3000 ~ 6000		
		2500	2500 ~ 3750 ~ 7500		
DW10-4000/2 DW10-4000/3	4000	2000	2000 ~ 3000 ~ 6000	40	40
		2500	2500 ~ 3750 ~ 7500		
		3000	3000 ~ 4500 ~ 9000		
		4000	4000 ~ 6000 ~ 12000		

### 2.3.10 DW12 系列万能式断路器

适用于交流 50Hz, 电压 380V, 电流 1250~6300A 的配电网中, 用来分配电能, 并对线路及电源设备的过载和短路进行保护。正常条件下, 也可作为线路的不频繁转换之用。

本系列断路器分断能力高, 具有选择性保护, 定时限保护采用机械式钟表延时机构, 因此动作较为可靠。断路器与电路连接采用插入式结构, 具有快速更换的特点, 可大大提高系统供电可靠性。其主要技术数据如表 5.2.44 所示。

本系列断路器按安装脱扣器的基本组合型式分为:

- (1) 反时限过电流脱扣器与分励脱扣器的组合。
- (2) 反时限过电流脱扣器与定时限过电流脱扣器及分励脱扣器的组合。

表 5.2.44 DW12 系列断路器主要技术数据

额定发热电流 (A)	试验电压 (V)	额定短路接通能力 (预期电流峰值) (kA)	额定短路分断能力 (有效值) (kA)	$\cos\varphi$	额定短路分断的定时限延时时间 (s)
2500, 3200	1.1 × 380	2.2 × 70	70	0.2 ~ 0.05	0.4 ± 0.04
5000, 6300		2.2 × 100	100		

### 2.3.11 DW15、DW15C 系列万能式断路器

适用于交流 50Hz, 额定工作电压至 1140V, 额定电流至 4000A 的陆上和煤矿井下配电网中用来分配电能, 保护线路、电源设备以及电动机的过载、欠电压和短路保护, 并可在正常条件下作线路不频繁转换及电动机不频繁起动之用。

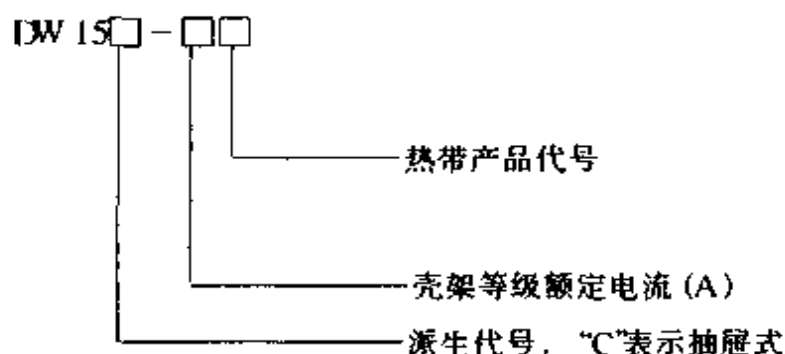
本系列断路器具有三段保护特性, 可以对电网作选择性保护。其安装类别为 IV 类 (1140V 等级为 III 类), 安装场所的污染等级为 3 级。

DW15-200、400、630 万能式断路器为立体布置式, 触头系统、快速电磁铁、左右侧板安装在一块绝缘板上。上部有灭弧系统, 操作机构可装在正前方或右侧面。有“合”、“分”指示及手动断开按钮。断路器左上方装有分励脱扣器; 背部装有与脱扣半轴相连的欠电压脱扣器。在下母线上套有速饱和电流互感器或电流电压变换器。欠压延时装置、热继电器或半导体脱扣器均分别装于下方。操作机构采用储能式 (可手动或电磁铁操作), 使触头闭合速度与操作速度无关。

DW15-1000、1600、2500、4000 万能式断路器也为立体布置式, 触头系统、操作机构均安装在钢制框架上, 上部装有灭弧系统, 右面装有操作机构, 有“合”、“分”指示及手动“合”、“分”按钮。带有分励、欠电压脱扣器, 速饱和电流互感器或电流电压变换器, 欠压延时装置, 热继电器或半导体脱扣器。操作机构也为储能式。

DW15C 系列是抽屉式断路器, 由断路器主体 (经改装的 DW15 断路器) 和抽屉座组成; 隔离触刀、二次回路动触头系统、接地触头系统、支承导轨等零件均固定在断路器本体上; 断路器上下方装有操作摇手柄、螺杆等组成的推位操作机构, 摇手

柄可以自由装卸。  
型号说明：



其主要技术数据如表 5.2.45 所示。

表 5.2.45 DW15 系列断路器主要技术数据

型 号		DW15-200 DW15C-200	DW15-400 DW15C-400	DW15-630 DW15C-630	DW15-1000 DW15-1600	DW15-2500	DW15-4000	
壳架等级额定电流 (A)		200	400	630	1000 1600	2500	4000	
断路器额定 电流 (A)	热式	100、160、 200	315、400	315、400、 630	630、800、 1000、1600	1600、2000、 2500	2500、3000、 4000	
	半导体式	100、200	200、400	315、400、 630	630、800、 1000、1600	1600、2000、 2500	2500、3000、 4000	
额定短路通断 能力 <sup>①</sup> (kA)	瞬时	AC380V	20	25	30	40	60	80
		AC660V	10	15	20	—	—	—
		AC1140V	—	10	12	—	—	—
	短延时	AC380V	4	8	12.6	30	40	60
		AC660V	4	8	10	—	—	—
机械寿命/抽屉机 械寿命(次)		20000/200	10000/200	10000/200	5000	5000	4000	
AC 380V 电寿命(次)	配电用	2000	1000	1000	500	500	500	
	保护电动机用	4000	2000	2000	—			

注：①DW15-2500、4000 断路器试验周期为 o-t-co-t-co，其余规格断路器试验周期为 o-t-co。

### 2.3.12 DWX15、DWX15C 系列万能式限流断路器

适用于交流 50Hz，额定电压 380~660V，额定电流 200~630A 可能发生特大短路电流的电路中，作配电和保护电机用。配电用断路器在配电网中用来分配电能和保护电力线路及电源设备的过载、欠电压和短路；电动机保护用断路器用于

保护电动机免受过载、欠电压和短路的危害。其主要技术数据如表 5.2.46 所示。  
在正常条件下可作线路的不频繁转换和电动机的不频繁直接起动之用。  
断路器安装地点周围环境的污染等级为 3 级,安装类别为 III 类。

表 5.2.46 DWX15 系列断路器主要技术数据

额定电流 (A)	快速脱扣器 整定电流 (A)	短路通断能力 (kA)		一次极限通断能力 (kA)		机械寿命 (次)	电寿命 (次)
		380V	660V	380V	660V		
200	2400	50	20	100	40	20000	2000
400	4800	50	20	100	40	10000	1000
630	7560	70	25	100	40	10000	1000

注:DWX15C 断路器的分断能力均为 50kA。抽屉装置的机械寿命为 100 次。

### 2.3.13 DW16 系列万能式断路器

主要用于交流 50Hz、额定工作电压至 380V、额定电流至 630A 的配电网中,用来分配电能,保护线路和电源设备的过载、欠电压、短路,防止变压器中性点直接接地的 TN 配电系统中的单相金属性接地故障,也可在交流 50Hz、380V 网络中用来保护电动机的过载、欠电压和短路,在正常条件下可分别作为线路不频繁转换及电动机的不频繁起动之用。其主要技术数据如表 5.2.47 所示。

断路器的安装类别为 IV 类,安装场所的污染等级为 3 级。

型号说明:

DW16 - □□

用途代号 (带接地保护—G;  
不带接地保护—无此代号)

壳架等级额定电流 (A)

表 5.2.47 DW16 系列断路器主要技术数据

壳架等级额定电流(A)		400	630
断路器额定电流(A)		100、160、200、250、315、400	315、400、630
额定极限短路 分断能力(kA)	AC 380V $\cos\varphi = 0.25$	30	30
	AC 660V $\cos\varphi = 0.3$	—	20
额定接地 动作电流	电子式	0.3 × 断路器额定电流	
	电磁式	0.5 × 断路器额定电流	

续表

额定接地动作电 流下的分断时间 (s)	瞬时	不大于 0.1	
	延时	0.4	
额定接地 通断能力(kA)	AC 380V $\cos\varphi = 0.5$	4.8	7.5
飞弧距离(mm)		250	
	寿命(次)	10000	
	其中:机械寿命	8900	
	接地动作	100	
	电寿命	1000	

本系列断路器的单相接地脱扣器分电磁式(仅瞬时动作)和电子式(瞬时动作或延时 0.4s 动作)两种。

使用本系列断路器时应注意其单相对地短路保护对象是变压器中性点直接接地的 TN 配电系统,而不是别的配电系统,且仅为单相金属性接地短路保护,即只能作为设备保护而不能作为人身触电保护之用。

DW16 系列断路器具有较高的短路分断能力和良好的保护特性,加上其相间距离、安装尺寸和飞弧距离等都和 DW10 系列断路器相同,故可十分方便地用 DW16 系列断路器替换 DW10 系列断路器。

### 2.3.14 DW17(ME)系列万能式断路器

适用于交流 50Hz,电压 380V,电流至 4000A 的配电网中,用来分配电能和保护线路及电源设备的过载、欠电压、短路。在正常的条件下可作为线路的不频繁转换之用。

1250A 以下的断路器在交流 50Hz、电压 380V 网络中可用来保护电动机的过载、短路,同时在正常条件下也可以作为电动机的不频繁起动之用。

ME630、ME1000、ME1600 断路器的工作电压可提高到交流 1000V。

本系列断路器引进了德国 AEG 公司的生产制造技术许可证。断路器采用立体式的积木结构,总体结构分固定连接式和抽屉式两种。接线方式有垂直进出线、水平进出线;操作方式有手动操作、直接电动操作、预储能操作。断路器的过电流脱扣器由瞬时、长延时和短延时脱扣器组成,可根据使用要求进行组合,以实现一段、二段和三段保护。

抽屉式断路器具有维修、更换十分方便的优点,可有接通、测试、断开和抽出四个位置。接通位置即断路器的主回路和辅助回路都处于接通的工作位置上。测试位置即主回路与电网系统脱离,并具有一定隔离距离状态。

本断路器安装地点周围环境的污染等级为 3 级,安装类别为 IV 类。

断路器结构如图 5.2.11 所示,主要技术数据如表 5.2.48、表 5.2.49 所示

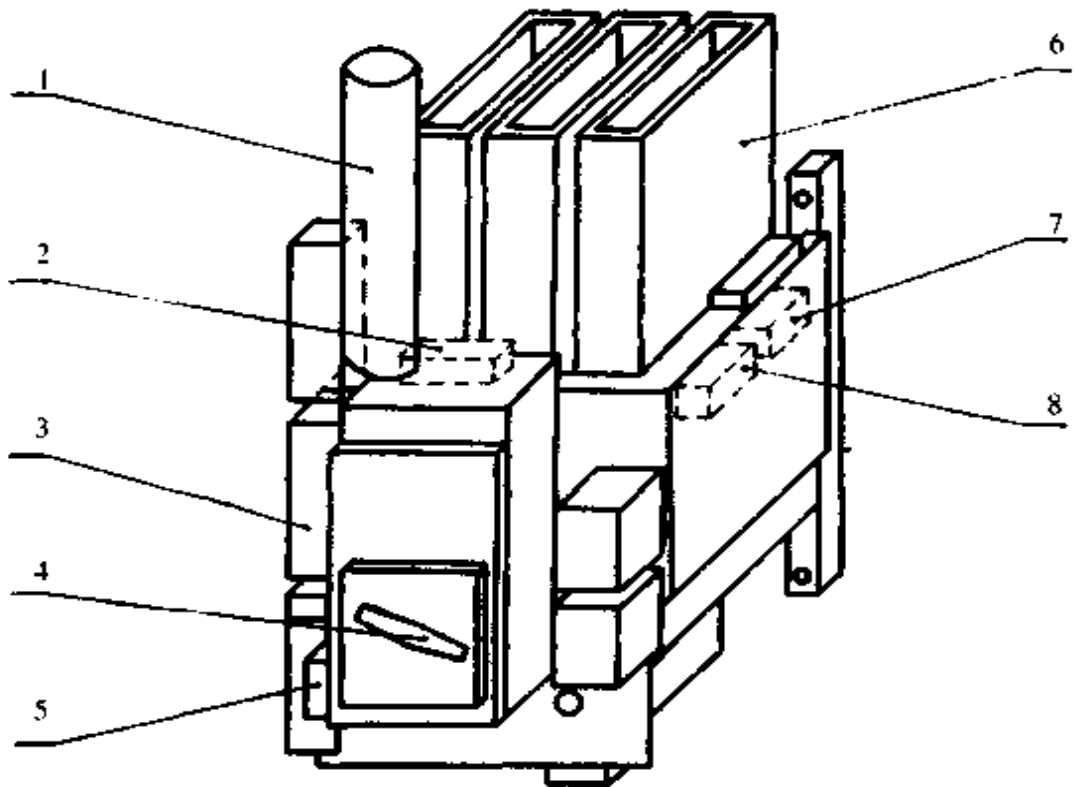


图 5.2.11 ME 型断路器结构简图

1—操作电动机 2—电动机传动带释能装置 3—HSS 辅助开关  
4—正面操作装置 5—限位开关 zh 6—灭弧罩 7—第一个分  
励脱扣器或闭锁电磁铁 8—欠电压脱扣器或第二个分励脱扣器

表 5.2.48 DW17(ME)系列断路器主要技术数据

断路器结构尺寸等级	原型号	额定电流 (A)	额定分断能力(kA)					额定通断能力 (交流峰值) (kA)		额定短时耐受电流 (1s)(kA)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命 (次)
			交流(有效值)			直流		380V	660V			
			380V	660V	$\cos\varphi$	220V	440V					
结构尺寸 1	ME630	630	50	0.25	40	30	15ms	105	50	2 <sup>D</sup>	1000	
	ME800	800										
	ME1000	1000										
	ME1250	1250										
	ME1600	1600										
	ME1605	1900										

续表

断路器结构尺寸等级	原型号	额定电流(A)	额定分断能力(kA)						额定通断能力(交流峰值)(kA)		额定短时耐受电流(1s)(kA)	机械寿命( $\times 10^4$ 次)	电寿命(次)
			交流(有效值)			直流			380V	660V			
			380V	660V	$\cos\varphi$	220V	440V	T					
结构尺寸2	ME2000	2000	80	0.2	60	15ms	180	80	80	1	500		
	ME2500	2500											
	ME2505	2900											
结构尺寸3	ME3200	3200	100	80	0.2	80	15ms	220	180	100	0.3	150	
	ME3205	3900											
结构尺寸4	ME4000	4000	100	80	0.2	80	15ms	220	180	100	0.3	150	
	ME4005	5000											

注:①具有预储能电动机传动的 ME630~1605 断路器的机械寿命为 10000 次。

表 5.2.49 ME 系列断路器电磁式过电流脱扣器的整定电流调节范围(额定电压 660V)

项目		原型号 ME												
		630	800	1000	1250	1600	1605	2000	2500	2505	3200	3205	4000	4005
过载长延时脱扣器整定电流调节范围(A)	200~400	√	√											
	350~630	√	√	√										
	500~800		√											
	500~1000			√	√	√		√						
	750~1250				√									
	900~1600					√								
	900~1900						√							
	1000~2000							√		√				
	1500~2500								√					
1900~2900									√					
短路短延时脱扣器整定电流调节范围(kA)	3~5	√	√	√	√									
	5~8	√	√	√	√	√	√	√						
	7~12						√	√	√	√				
	8~12								√	√				



续表

原型号 ME		630	800	1000	1250	1600	1605	2000	2500	2505	3200	3205	4000	4005
		项 目												
短路瞬时脱扣器 整定电流调节范 围 (kA)	1~2	✓												
	1.5~3		✓											
	2~4	✓		✓	✓									
	4~8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
	6~12						✓	✓	✓	✓				
	8~16									✓	✓			
	10~20											✓	✓	✓

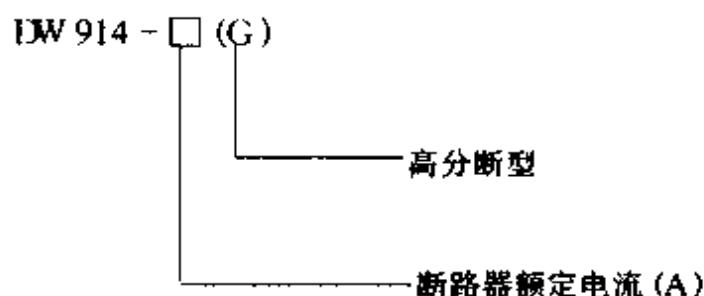
注:短路短延时和短路瞬动脱扣器两者只能任选一个;当断路器作保护电动机用时,瞬动脱扣器的整定电流调节范围可为4~8kA。

### 2.3.15 DW914(AH)系列船用框架式断路器

适用于交流50Hz或60Hz,660V及以下,直流440V及以下的船用和一般工业电力线路中,作为过载、欠压及短路保护,以及在正常工作条件下供线路不频繁转换使用。

本系列断路器是引进日本寺崎电气产业株式会社的产品,体积小,具有高的断流容量和高的电动稳定性,有固定式和抽屉式两种结构,多种过电流保护装置,保护性能完善,合闸操作方式多样化。

型号说明:



主要技术数据如表 5.2.50 所示。

表 5.2.50 DW914(AH)系列断路器主要技术数据

型 号	额定 工作 电压 (V)	额定 电流 (A)	脱扣器 额定电流 (一般工业用) (A)	额定短路电路 (有效值 kA)		额定接通值 (峰值 kA)		机械 寿命 (次)	电寿 命 (次)	飞弧 距离 <sup>①</sup> (mm)
				瞬时		短延时				
				~660V	~380V	~250V	~500V			
DW914-600	AC 660, 500, 440, 380	630	100, 160, 250, 400, 630		42/88.2		22/46.2	25000	1000	65 (380V)
DW914-1000		1000	250, 400, 630, 800, 1000		50/105		30/63	3000	500	115 (500V)
DW914-1600		1600	200, 250, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250		65/143			1000		135 (660V)
DW914-2000		2000	500, 800, 1250, 2000	30/63		40/40				140 (380V)
DW914-2000G					70/154		35/80.5			170 (660V)
DW914-3200		3200	2000, 3200		65/143			900		170 (380V)
DW914-3200G				50/105	85/187		42/88.2			260 (660V)
DW914-4000			4000	4000		120/264				

注:①飞弧距离指电子脱扣器顶部以上的飞弧距离。

### 2.3.16 AE 系列框架式断路器

AE 系列框架式断路器是从日本三菱电机公司引进的产品,额定电压交流 660V,额定电流至 3200A,其技术指标达到目前世界先进水平。该产品的通断能力高,体积小,外形尺寸标准化,共分三类:AE1000-S、AE1600-S 为一类,另两类为 AE2500-S、AE3200-S。有固定型和抽屉型两种类型,操作安全方便,均有手动、电动操作。全机种实现了可靠的电子技术化,有开闭次数计数器、防尘外壳、现场测试装置,符合 IEC、日本、英、美、德等国的相关标准。主要技术数据如表 5.2.51。

表 5.2.51 AE 系列断路器主要技术数据

型 号	AE1000-S	AE1600-S	AE2500-S	AE3200-S
额定电流 (A)	1000	1600	2500	3200
额定电压 (V)	660			
过电流脱扣装置的额定电流 (工业成套设备用)(A)	1000 ~ 800 ~ 600 500 ~ 400 ~ 300 200 ~ 160 ~ 120	1600 ~ 1280 ~ 900 1000 ~ 800 ~ 600 500 ~ 400 ~ 300	2500 ~ 2000 ~ 1500 2000 ~ 1600 ~ 1200 1000 ~ 800 ~ 600	3200 ~ 2560 ~ 1920 2000 ~ 1600 ~ 1200 1000 ~ 800 ~ 600
额定分断电流 (有效值) (kA)	带	30/63	42/88.2	50/105
	瞬	42/88.2	50/105	65/143
	时脱扣	50/105	65/143	85/187
额定接通电流 (峰值) (kA)	AC 500V 以下			
额定短时耐受电流 $I_n$ (kA)	42			
寿命 (次)	通 电	1500	1500	300
	不通电	3500	3500	3700
合闸机构	手动储能	全系列必备		
	电动储能	全系列可选用		
脱扣继电器 部 分	一 般 用	S	过电流脱扣	
		ST	过电流脱扣 + 脱扣指示器	
		SJT	过电流脱扣 + 接地脱扣 + 脱扣指示器	

## 2.3.17 DS-11、DS-12 系列直流快速断路器

适用于直流 800V 及以下直流电路中作短路、过载保护之用,如硅整流机组、晶闸管整流机组和直流发电机组的保护。主要技术数据如表 5.2.52。

型号说明:

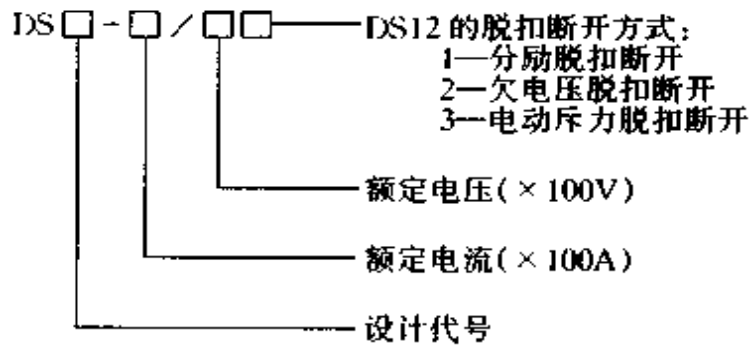


表 5.2.52 DS11、DS12 系列断路器主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	整定电流 范 围	额定分 断能力 (kA)	限流系数	全分断 时间 (ms)	机械寿命 (次)	电寿命 (次)
DS11-10/08	1000	1~2I <sub>e</sub> (0.8~1.6I <sub>e</sub> ) <sup>①</sup> 1.5~3I <sub>e</sub>	50	<0.6	<20	5000	500
DS11-20/08	2000						400
DS11-30/08	3150						100
DS11-40/08	4000						50
DS11-60/08	6300						50
DS11-120/08	12500						10
DS12-10/08	1000	0.8~2I <sub>e</sub>	50	0.65	≤30	5000	500
DS12-20/08	2000						400
DS12-30/08	3150						100
DS12-60/08	6300						50

注:①按用户需要可调出。

## 2.4 控制器

在电气控制设备中,用作转换主回路或励磁回路的接法和改变回路中的电阻值,以达到电动机的起动、转向和调速等目的的电器。

### 2.4.1 KT10 系列凸轮控制器

用于起重设备中控制三相交流感应电动机的起动、停止、调速、换向和制动,也可用于有相同要求的其他电力传动装置中。其操作机构为手轮式,结构布置型式为单断点旋转拍合式。主要技术数据如表 5.2.53。

表 5.2.53 KT10 系列控制器主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	额定功率 <sup>①</sup> (kW)		位置数		操作 力 (N)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	每小时操作 次数,不高于
		220V	380V	左	右			
KT10-25J/1	25	7.5	11	5	5	50	300	600 次(超过 时,须将控制器 额定功率降低 至 60%)
KT10-25J/2		②	②	5	5			
KT10-25J/3		3.5	5	1	1			
KT10-25J/5		2 $\times$ 3.5	2 $\times$ 5	5	5			
KT10-25J/6		7.5	11	5	5			
KT10-25J/7		3.5	5	1	1			
KT10-60J/1		60	22	30	5			
KT10-60J/2	②		②	5	5			
KT10-60J/3	11		16	1	1			
KT10-60J/5	2 $\times$ 7.5		2 $\times$ 11	5	5			
KT10-60J/6	22		30	5	5			
KT10-60J/7	11		16	1	1			

注:①为接通电动机在通电持续率为 25% 时的额定功率。

②由定子回路接触器功率而定。

### 2.4.2 KT14 系列凸轮控制器

主要作起重机交流电动机的起动、调速和换向之用。

本系列控制器操作机构为手柄式,结构型式为双断点直动式,具有可逆对称的电路,适用于起重机平移机构与升降机构,也能作同类型性质电动机的起动或调速之用。其额定工作制为间断长期工作制。主要技术数据如表 5.2.54。

### 2.4.3 KTJ1 系列凸轮控制器

主要作起重机交流电动机的起动、调速和换向之用。各控制器具有可逆对称的电路,能用于起重机的平移机构,也可用于起重机的升降机构。主要技术数据如表 5.2.55。

表 5.2.54 KT14 系列控制器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	工作位置数		通电持续率为 25% 时所能控制的电动机		额定操作频率 (次/h)	最大工作周期 (min)
			向前 (上升)	向后 (下降)	定转子最大电流 (A)	最大功率 (kW)		
KT14-25J/1	380	25	5	5	32	11.5	600	10
KT14-25J/2			5	5		2×6.3		
KT14-25J/3			1	1		8		
KT14-60J/1		60	5	5	80	32		
KT14-60J/2			5	5		2×16		
KT14-60J/4			5	5		2×25		

注: 1. KT14-25J/1、KT14-60J/1 控制 1 台三相绕线式异步电动机。

2. KT14-25J/2、KT14-60J/2 同时控制 2 台三相绕线式异步电动机。

3. KT14-25J/3 控制 1 台三相鼠笼式异步电动机。

4. KT14-60J/4 同时控制 2 台三相绕线式异步电动机, 但不带定子电路的触点。

表 5.2.55 KTJ1 系列控制器主要技术数据

型 号	位置数		额定电流(A)		额定控制功率(kW)		每小时操作次数 (次)
	向前 (上升)	向后 (下降)	长期工作制	通电持续率在 40% 以下的工作制	220V	380V	
KTJ1-50/1	5	5	50	75	16	16	≤600
KTJ1-50/2					①	①	
KTJ1-50/3	1	1			11	11	
KTJ1-50/4					11	11	
KTJ1-50/5	5	5			2×11	2×11	
KTJ1-50/6					11	11	
KTJ1-80/1	6	6	80	120	22	30	
KTJ1-80/2							
KTJ1-80/3					7	7	150

注: ①无定子电路触头, 其最大功率由定子电路中的接触器容量决定。

#### 2.4.4 KTJ15、KTJ16 系列交流凸轮控制器

KTJ15 系列用于改变三相异步电动机定子电路的接法或转子电路的电阻值；KTJ16 系列主要用于线绕式电动机，两系列凸轮控制器可作为起动机电动机的启动、调速、制动和换向之用。

KTJ15 系列控制器为避免起重机震动和意外碰撞使操纵机构误动作，其操作手柄带有零位自锁装置。只需将手柄压下，零位自锁装置打开，便可操作。控制器的棘轮上冲有六个定位孔，定位螺钉装入位置不同的孔内，即可决定操作手柄的挡位数。在左右各六挡范围内，挡位数可任意选择，定位棘轮弹簧力可以调整，这样通过调整棘轮弹簧力使手柄操作力在许可范围内。触头组结构为转动式双断点，机架、外罩和机座采用压制铝件，前后外罩均能方便拆下，供安装、配线和维修用。

KTJ16 系列重任务交流凸轮控制器的接触元件为直动式双断点，在动触头支架上装有滚子，在接触元件上并带有灭弧室。控制器制成钢板外壳防护式，防护性能符合 IP40 要求。KTJ15、KTJ16 主要技术数据如表 5.2.56、表 5.2.57。

表 5.2.56 KTJ15 系列控制器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制挡位		控制回路数	可控制电动机容量 (kW)	操作力 (N)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)
			左	右				
KTJ-32	380	32	6		15	15	$\leq 40$	300
KTJ-63		63				30		

表 5.2.57 KTJ16 系列控制器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定操作频率 (次/h)	操作力 (N)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)
KTJ16-32	380	32	600	$\leq 30$	300	30
KTJ16-63		63				

## 2.5 接触器

主要用作远距离及频繁地接通和分断正常工作的主电路，交、直流电动机或大容量的控制回路。

### 2.5.1 CJ8、CJ8-Z 系列交流接触器

适用于电力线路中,供远距离接通与分断电路之用,并用于对交流电动机的一定的频繁操作。

吸引线圈额定电压分为交流 50Hz、36、127、220、380V 四种,直流 48、110、220V 三种。

CJ8-Z 系列交流接触器吸引线圈适用于直流控制。其他两个系列接触器完全相同。其结构型式分为立体布置(60A 及以下)和平面布置(60A 以上)两种;60A 及以下的磁系统为直动式,60A 以上为转动式,该接触器的主要零部件均按照结构配合的原则组成,很少用紧固件。主要技术数据如表 5.2.58。

表 5.2.58 CJ8 系列交流接触器主要技术数据

型号		CJ8-10	CJ8-20	CJ8-40	CJ8-60	CJ8-100	CJ8-150
额定电流 (A)		10	20	40	60	100	150
控制电动机功率(kW)	127V	1.5	3	6	9	17	25
	220V	2.5	5.5	11	17	29	43
	380V	4.0	10	20	30	50	75
380V、50Hz $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$	分断能力(A)	$10I_n$					
	接通能力(A)	$12I_n$					
机械寿命	( $\times 10^4$ 次)	300					
电寿命	( $\times 10^4$ 次)	60					
最大操作频率	(次/h)	1200					

注:  $I_n$  为额定电流值。

### 2.5.2 CJ10 系列交流接触器

适用于交流 50Hz 或 60Hz、500V 及以下、150A 及以下远距离通断电路及频繁起动和控制交流电动机之用,是一般任务接触器。技术数据如表 5.2.59。



表 5.2.59 CJ10 系列交流接触器主要技术数据

型号	额定电流 (A)		控制三相电 动机最大功 率 <sup>①</sup> (kW)			触头的接通与分断能力						
						主触头		辅助触头		cosφ		
	主 触头	辅助 触头	220V	380V	500V	电压 (V)	电流 (A)	接通电 流(A)	分断电 流(A)			
CJ10-5	5		1.2	2.2	2.2	380×1.05	50	50 (380V ×1.05)	5 (380V ×1.05)	0.35 ±0.05		
						500×1.05	40					
CJ10-10	10		2.2	4	4	380×1.05	100					
						500×1.05	80					
CJ10-20	20		5.5	10	10	380×1.05	200					
						500×1.05	160					
CJ10-40	40	5	11	20	20	380×1.05	400					
						500×1.05	320					
CJ10-60	60		17	30	30	380×1.05	600				40 (500V ×1.05)	4 (500V ×1.05)
						500×1.05	480					
CJ10-100	100		30	50	50	380×1.05	1000					
						500×1.05	800					
CJ10-150	150		43	75	75	380×1.05	1500					
						500×1.05	1200					

注:①当接触器用作反接制动、点动等 AC-4 类负荷或操作频率超过 600 次/h 等工作条件,其控制电动机的功率应适当降低。

### 2.5.3 CJ10ZB 系列重任务交流接触器

主要技术数据如表 5.2.60。

表 5.2.60 CJ10ZB 系列接触器主要技术数据

型 号	主触头 额定电流 (A)	控制电动机 功率(kW)		AC-4 负荷下 操作频率 (次/h)	AC-4 负荷下电寿命 (×10 <sup>4</sup> 次)	
		220V	380V		600 次/h	1200 次/h
CJ10ZB-20	20	5.5	10	600	15	
		2.7	5	1200		30
CJ10ZB-40	40	11	20	600	10	
		5.5	10	1200		30

### 2.5.4 CJ12 系列交流接触器和 CS 系列锁扣接触器

适用于电力系统中,供远距离接通和分断电路,主要用于冶金、轧钢及起重机等设备中,作为频繁起动、停止和反转三相交流电动机用。

CJ12系列交流接触器主触头有二极、三极、四极、五极之分,额定电压交流50Hz,36、127、220、380V,直流有24、36、48、110、220V。主要技术数据如表5.2.61。

CS系列接触器是在CJ12系列基础上增加锁扣机构派生而成,因接触器带有锁扣机构和主触头为镶银质触头,使其工作更为可靠。接触器在工作时不消耗电力,电磁铁无噪音。

表 5.2.61 CJ12 系列接触器主要技术数据

型 号	额定电流 (A)	主 触 头				机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命 <sup>2</sup> ( $\times 10^4$ 次)	辅助触头 额定电流 (A)
		接通能力 <sup>1</sup>		分断能力 <sup>1</sup>				
		电流	次数	电流	次数			
CJ12-100	100	12I <sub>n</sub>	100	10I <sub>n</sub>	20	300	15	10
CJ12-150	150							
CJ12-250	250	10I <sub>n</sub>	100	8I <sub>n</sub>	20	200	10	
CJ12-400	400							
CJ12-600	600							

注:①接通与分断能力在1.05倍额定电压、 $\cos\varphi = 0.35 \pm 0.05$ 、每次通电时间不大于0.2s、每次操作间隔3~5s条件下。

②电寿命的条件是在额定电压下, $\cos\varphi = 0.65$ 、接通和分断2.5倍额定电流。

### 2.5.5 CJ20 系列交流接触器

适用于交流50Hz,额定电压至660V(个别等级至1140V),电流至630A的电力线路中,供远距离频繁接通和分断电路,控制电动机,并适宜与热继电器或电子式保护装置组成电磁起动器,用以保护电路和交流电动机可能发生的过负荷及断相。

本系列接触器具有较高的分断能力和高抗熔焊性能、耐电磨损性能,电寿命高。可取代CJ0、CJ8、CJ10系列,并可部分取代CJ12系列产品。

主要技术数据如表5.2.62。

表 5.2.62 CJ20 系列交流接触器主要技术数据

型号	CJ20-															
	10	16	25	40	63	100	160	160/11	250	250/06	400	400/06	630	630/06	630/11	
额定工作电压(V)	380/660	380/660	380/660	380/660	380/660	380/660	380/660	1140/660	380	660	380	660	380	660	1140	
额定工作电流(A)	10/5.2	16/13	25/14.5	40/25	63/40	100/63	160/100	80	250	200	400	250	630	400	400	

续表

型号		CJ20															
		10	16	25	40	63	100	160	$\frac{160}{11}$	250	$\frac{250}{06}$	400	$\frac{400}{06}$	630	$\frac{630}{06}$	$\frac{630}{11}$	
额定控制功率 (kW)	220V	2.2	4.5	5.5	11	18	28	48		80	80	115	115	175	175		
	380V	4	7.5	11	22	30	50	85		132	132	200	200	300	300		
	660V	4	11	13	22	35	50	85	85	190	220	220		350	350		
	1140V								85					400	400		
接通能力	电流(A)	12I <sub>e</sub>						10I <sub>e</sub>									
	次数	100															
分断能力	电流(A)	10I <sub>e</sub>						8I <sub>e</sub>									
	次数	25															
机械寿命(×10 <sup>4</sup> 次)		1000						300	600	300	600	300	600	300			
电寿命 (×10 <sup>4</sup> 次)	AC-2 380V					10	10	10		10		10		10			
	AC-3 380V	100	100	100	100	120	120	120		60		60		60			
	AC-4	380V	4	4	4	4	5	3	1.5		1		1		0.5		
		660V	4	4	4	4	1	1	1	1		1		0.5		0.5	
	1140V							1	1							1	

注:接通与分断能力均在  $1.1U_e, \cos\varphi = 0.35 \pm 0.05$  条件下进行。

### 2.5.6 CJ101 系列交流接触器

适用于交流 50~60Hz, 额定工作电压至 660V, 额定电流至 630A 的电力线路中, 供远距离接通和分断电路及频繁地起动和控制交流电动机之用, 并适用于与热继电器组成电磁起动器。

$I_e \geq 63A$  的交流接触器磁系统采用双 U 型系统、双线圈永久去磁气隙, 工作可靠; 触头采用新型的优质合金材料, 具有高的抗熔焊性和耐腐蚀性能, 触头密封挡弧性能好, 电弧升溢可能性小, 灰尘不能侵入, 工作可靠性好, 电寿命高。主要技术数据如表 5.2.63。

表 5.2.63 CJ101 系列交流接触器主要技术数据

型号		CJ101-9	CJ101-16	CJ101-32	CJ101-45	CJ101-63	CJ101-110	CJ101-170	CJ101-250	CJ101-400	CJ101-630
额定绝缘电压(V)		660			750	1000					
约定发热电流(A)		20	30	45	80	90 110	160	200	315	400	630
机械寿命(>10 <sup>4</sup> 次)		1000				600					
AC-1 负载	额定工作电流(A)	20	30	45	80	90 110	160	200	315	400	630
	额定电压 220V	7.5	11	17	30	34 38	61	76	114	152	240
	额定输出 380V (kW)	13	19.5	29.5	52.5	59 66	105	132	195	262	415
	660V	22	34	51	91	102 114	183	228	340	455	720
AC-3 负载	额定工作电流 (380V)(A)	9 12	16 22	32	45	63 75	110	170	250	400	630
	三相电机 220V	2.2 3	4 4.5	8.5	16	18.5 22	37	55	75	115	190
	额定输出 380V (kW)	4 4.5	7.5 11	15	22	30 37	55	90	132	200	325
	660V	5.5 7.5	11	15	37	47 55	90	132	200	355	560
AC-4 负载	额定工作电流 (A)	3.3 4.5	3.3 4.3	15.6	24	28 34	52	72	103	120	150
	控制鼠笼 220V	0.75 1.1	2 2.2	4.3	6.3	7.5 7.8	15.6	21	31	37.5	46
	电机功率 380V (kW)	1.4 1.9	3.5 4	7.5	11	14 17	27	37	55	65	80
	660V	2.4 3.3	6 6.6	11	20	23 28.5	45	64	92	106	130
线圈工作电压 (V)		50Hz 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380 60Hz 24, 42, 110, 220, 440, 460									
辅助触头最多数量		二常开 二常闭		四常开、四常闭						四常开 二常闭	

### 2.5.7 B 系列接触器

适用于交流 50~60Hz, 额定电压至 660V, 额定电流至 475A 的电力线路中, 供远距离接通和分断电力线路或频繁地控制交流电动机。它具有失压保护作用, 常与 T 系列热继电器组成电磁起动器, 此时具有过载和断相保护作用。

B 系列接触器是引进德国原 BBC 公司全套制造技术生产的, 由于采用了合理的结构设计、合理的尺寸参数的配合和选择, 各零部件按其功能选用最合适的材料和采用先进的加工工艺, 所以产品具有较高的技术经济指标。主要技术数据如表 5.2.64。

表 5.2.64 B 系列接触器主要技术数据

型号	交流操作	B9	B12	B16	B25	B30	B37	B45	B65	B85	B105	B170	B250	B370	B460
	带叠片式铁心的直流操作						BE37	BE45	BE65	BE85	BE105	BE170	BE250	BE370	
	带整块式铁心的直流操作						BC37	BC45							
最高工作电压 (V)		660													
额定发热电流 (A)		16	20	25	40	45	45	60	80	100	140	230	300	410	600
额定工作 电流(A)	380V, AC-3, AC-4	8.5	11.5	15.5	22	30	37	45	65	85	105	170	250	370	475
	660V, AC-3, AC-4	3.5	4.9	6.7	13	17.5	21	25	44	53	82	118	170	268	337
380V, AC-3 (600次/h), AC-4(300次 /h)条件下	控制功率 (kW)	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	33	45	55	90	132	200	250
	AC3电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	100													
	AC-4电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	4						3			2			1	
660V, AC-3, (600次/h), AC-4(300次 /h)条件下	控制功率 (kW)	3	4	5.5	11	15	18.5	22	40	50	75	110	160	250	315
380V 额定接通能力(A)		105	140	190	270	340	445	540	780	1020	1260	2040	3000	4450	5700
380V 额定分断能力(A)		85	115	155	220	300	370	450	650	850	1050	1700	2500	3700	4750
机械寿命 ( $\times 10^4$ 次) (1800次/h)	B	1000										600			
	BE							500			300				
	BC							3000							

## 2.5.8 NAR1 系列交流可逆接触器

适用于电力线路中,供远距离接通和分断电路,并用于频繁地起动和断开运转中的鼠笼型电动机及控制电动机反接制动和密接通断。对电动葫芦及其他起重、机床行业尤为适用。

本系列接触器是具有联锁装置的小型双联接触器,10A以上带辅助触点。接触器的防护等级为IP20。主要技术数据如表5.2.65所示。

表 5.2.65 NARI 系列接触器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	主触头	辅助触头	辅助触头约 定发热电流 (A)	控制电动机 最大功率(kW)		吸引线 圈电压 (V)
						220V	380V	
NARI-5	380	5	2·3	二常开 二常闭	6	1.5	2.2	36、110、
NARI-10		10	常开			2.2	4	220、380

## 2.5.9 NAI-3、NAI-16、NAI-32 交流接触器

本系列接触器可在电力线路中供远距离接通和分断电路之用,并适宜频繁地起动及控制电动机。NAI-3 接触器也适用于家用电器(空调机、洗衣机等)。其主要技术数据如表 5.2.66、表 5.2.67。

表 5.2.66 NAI-3 接触器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	约定发热 电流(A)	控制功率, AC-3 (kW)	线圈电压 (V)	触 头
NAI-3	380	16	2.2	24	四对常开、常 闭任意组合

表 5.2.67 NAI-16、NAI-32 接触器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制电动机功率 (kW)	线圈电压 (V)	主触头	辅助触头
NAI-16	220	16	4	220、 380、 500	3 对	一常开 一常闭
	380		7.5			
	500		7.5			
NAI-32	220	39	11	36、 127、 220、 380	3 对	二常开 二常闭
	380	32	15			
	500	20	11			

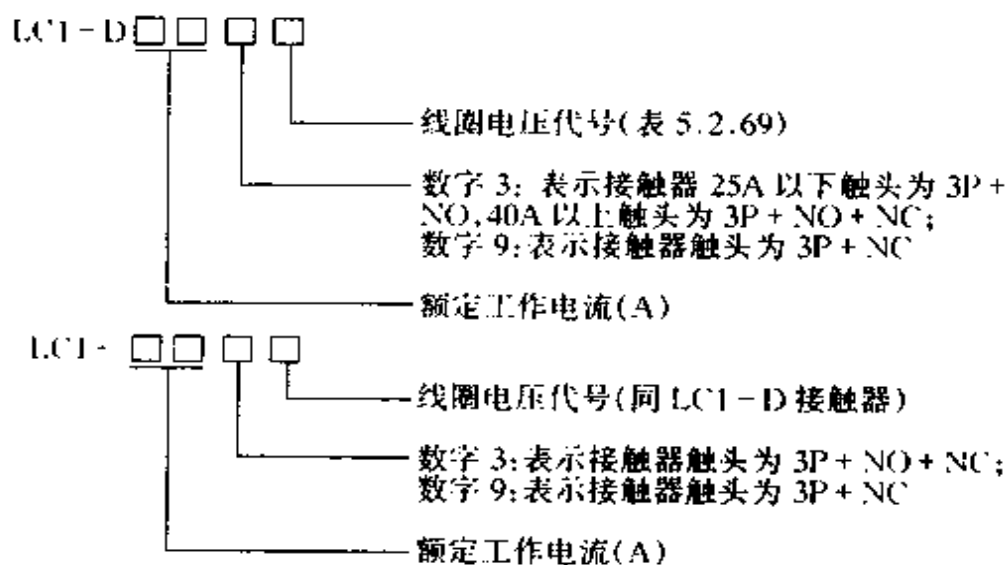
## 2.5.10 LCI-D 交流接触器、LC2-D 机械联锁接触器

D 系列接触器是从法国 TE 公司引进技术制造的产品,其结构简单紧凑,适合于在严酷的工业环境及各种气候条件下长期工作,接通和分断能力强,电寿命高达 200 万次,机械寿命高达 2000 万次。有标准安装卡轨,安装方便。

LCI-D 接触器可与 LRI-D 热继电器对接,直接组成磁力起动器,并可省去主电路接线。主要技术数据如表 5.2.68,另线圈电压代号如表 5.2.69。

LC2-D 联锁接触器能防止电动机改变运转方向时发生极间短路,比电气联锁安全可靠。联锁机构是通用部件。主要技术数据如表 5.2.70。

型号说明:



注: 3P — 三对常开主触头; NO — 常开辅助触头; NC — 常闭辅助触头

表 5.2.68 LC1-D 接触器主要技术数据

型 号	LC1-								
	D09	D12	D16	D25	D40	D50	D63	D80	
额定工作电流 AC-3 / AC-4 (A) ( $\leq 440V$ )	9/4	12/5	16/7	25/10	40/16	50/20	63/25	80/32	
控制三相标准电 动机功率(380V) (kW)	4	5.5	7.5	11	18.5	22	30	37	
控制三相鼠笼 电动机容量 (AC-3) (kW)	220V	2.2	3	4	5.5	11	15	18.5	22
	380V	4	5.5	7.5	11	18.5	22	30	37
	440V	4	5.5	9	11	22	30	37	45
	660V	5.5	7.5	7.5	15	30	33	37	45
电阻负载(AC-1, $\leq 40^\circ C$ ) (A)	25	25	32	40	60	80	80	125	
电寿命(380V) ( $\times 10^4$ 次)	AC-3	200	200	200	200	200	200	160	160
	AC-4	20	20~15	20~7	15~7	10~7	7	7~6	7~5
机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	2000							1000	

表 5.2.69 LC1-D 接触器线圈电压代号

线圈电压 (V)		24	42	48	110	120	127	220	240	380	415	440	480	500	600	660
50Hz	109~180	B	D	E	F	—	G	M	V	Q	N	N	—	S	—	Y
60Hz	109~112	—	—	D	F	F	—	M	M	—	—	N	N	—	S	X
	116~125	—	—	D	F	F	—	L	L	—	—	N	N	—	SC	X
	140~180	—	—	D	K	K	—	P	P	—	—	Q	Q	—	WE	SF

表 5.2.70 LC2-D 联锁接触器主要技术数据

型 号	额定工作电 流( $\leq 440V$ ) (A)		单相电 机容量 (kW)		三相电机容量(kW)						额定发 热电流 (A)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)		
	AC-3	AC-4	110V	220V	AC-3			AC-4				AC-3	AC-4	
					220V	380V	415V	440V	660V	220V	440V			
LC2-D099	9	4	0.4	0.75	2.2	4	4	4	5.5	0.4	0.75	25	200	20
LC2-D129	12	5	0.55	1.1	3	5.5	5.5	5.5	7.5	0.4	1.5	25	20	20~15
LC2-D169	16	7	0.75	1.5	4	7.5	9	9	7.5	0.75	2.2	32	200	20~7
LC2-D259	25	10	1.1	2.2	5.5	11	11	11	15	0.75	2.7	40	200	15~7
LC2-D403	40	16	1.5	3.7	11	18.5	22	22	30	2.7	5.5	60	200	10~7
LC2-D503	50	20	2.2	—	15	22	25	30	30	2.7	5.5	80	200	7
LC2-D633	63	25	3.7	—	18.5	30	37	37	37	3.7	7.5	80	160	7~6
LC2-D803	80	32	—	—	22	37	45	45	45	3.7	11	125	160	7~5

注:机械寿命与对应的交流接触器相同。

### 2.5.11 3TB 系列交流接触器

该系列接触器是从德国西门子公司引进而生产的产品,接线端都有端子覆盖罩,使用较为安全、可靠;主、辅触头均采用银基合金制成,采用封闭式灭弧室。技术数据如表 5.2.71。



表 5.2.71 部分 3TB 系列接触器主要技术数据

型 号	额定工作 电流 (A)		可控电动 机功率 (kW)		AC-4 工作 制可控电 动机功率 (kW)		辅助触头额定 工作电流(A)			电寿命( $\times 10^4$ 次)			机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	
										AC-3	AC-4	操作频率(次/h)		
	AC-11	DC-11	750	1000	250									
	380V	660V	380V	660V	380V	660V	380V	660V	220V					
3TB40	9	7.2	4	5.5	1.4	2.4	6	2	0.45	—	120	20	1500	
3TB41	12	9.5	5.5	7.5	1.9	3.3	6	2	0.45	—	120			
3TB42	16	13.5	7.5	11	3.5	6	6	2	0.45	120	—			
3TB43	22	13.8	11	11	4	6.6	6	2	0.45	120	—			
3TB44	32	18	15	15	7.5	11	4	2.5	0.9	120	—	1000		

## 2.5.12 CZO 系列直流接触器

本系列接触器主要用于冶金、机床等电气设备中,供远距离接通和分断额定参数下的直流电力线路,适宜于直流电动机的频繁启动、停止以及可逆运行或反接制动。技术数据及参数如表 5.2.72、表 5.2.73。

型号说明:

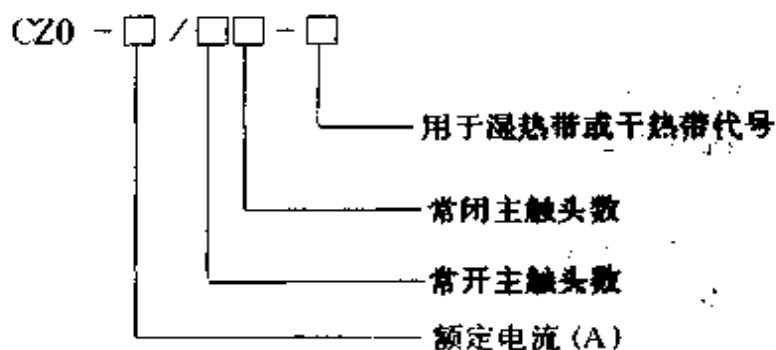


表 5.2.72 CZ0 系列直流接触器主要技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	主触头数量		联锁触头数量		联锁触头额 定电流(A)	额定操作频率 (次/h)	
			常开	常闭	常开	常闭			
CZ0-40/20	40	440	2					1200	
CZ0-40/02				2					
CZ0-100/10	100		1		2	2	5	1200	
CZ0-100/01				1					600
CZ0-100/20			2						1200
CZ0-150/10	150		1					1200	
CZ0-150/01				1					600
CZ0-150/20			2						1200
CZ0-250/10	250		1		可在 5 常开、 1 常闭与 5 常闭、1 常开 之间任意组 合		10	660	
CZ0-250/20			2						
CZ0-400/10	400	1							
CZ0-400/20		2							
CZ0-630/10	630		1						

表 5.2.73 CZ0 系列直流接触器主触头参数

接触器类型	通断能力 $T=0.015s$	临界分断能力 $T=0.015s$	电寿命			机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)
			接通	分断	( $\times 10^4$ 次)	
常闭接触器	$1.05U_n, 2.5I_n$	$0.2I_n$	$U_n, 2.5I_n$	$0.1U_n, I_n$	30	300
常开接触器	$1.05U_n, 4I_n$					

### 2.5.13 CZ2-2500 直流接触器

额定直流电压 600V, 额定电流 2500A; 最大允许闭合次数 200 次/h, 控制线圈额定电压为 110V 或 220V。

本接触器可装过载保护装置或无过载保护装置, 过载脱扣器的刻度为 2500—3750—5000A。

### 2.5.14 CZ17-150 型直流接触器

额定直流电压 24~48V, 额定电流 150A, 主要匹配于 KP2-150 型蓄电池车辆控制板。

CZ17-150/11 型适用于行走电动机正反转接触器;

CZ17-150/10 型适用于油泵电机控制接触器;

CZ17-150W/10 型适用于切割电阻控制接触器。

## 2.5.15 CZ18 系列直流接触器

适用于远距离接通与分断直流电力线路,直流电动机的频繁启动、停止以及可逆运行或反接制动。技术数据如表 5.2.74。

型号说明:

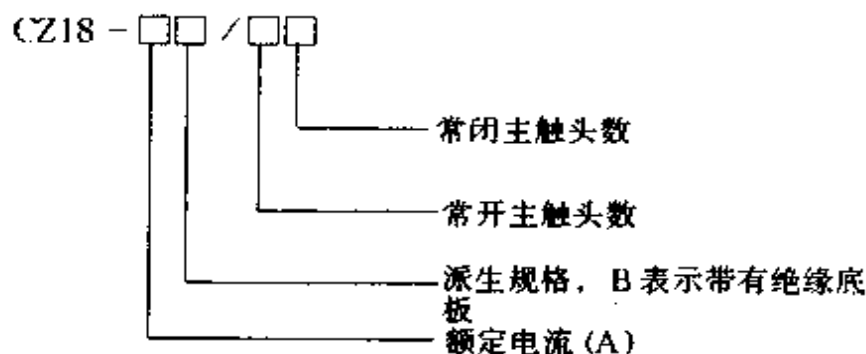


表 5.2.74 CZ18 系列直流接触器主要技术数据

型 号	额定工作电压 (V)	额定发热电流 <sup>①</sup> (A)	额定操作频率 (次/h)	常开主触头数	辅助触头		额定接通和分断能力 $T=15\text{ms}$	DC-2 时电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	
					触头数	额定发热电流 (A)				
CZ18-40/10	440	40 (5, 10, 20) <sup>②</sup>	1200	1	2	6	$1.1U_c,$ $4I_c$	50	500	
CZ18-40/20				2						
CZ18-80/10		1		常开						
CZ18-80/20		2								
CZ18-160/10		160	600	1	2	10		30	300	
CZ18-315/10		315								常闭
CZ18-630/10		630								
CZ18-1000/10		1000								

注:①当接触器工作于 DC-2, 在 440V 下的额定工作电流等于额定发热电流。

②吹弧线圈的额定工作电流。

## 2.5.16 CZ22-63 型直流接触器

CZ22-63 型接触器的控制电源为交流, 故特别适用于输出电压为可调的整流设备中。技术数据如表 5.2.75。

表 5.2.75 CZ22-63 型直流接触器主要技术数据

额定工作电压 (V)	不间断工作制额定工作电流 (A)	断续周期工作制额定工作电流 DC-2—DC-5 (A)	额定控制功率 (kW)	接通与分断能力		电寿命( $\times 10^4$ 次)		机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)
				DC-2 $T = 2.5\text{ms}$	DC-5 $T = 15\text{ms}$	DC-3 $T = 2.5\text{ms}$	DC-5 $T = 7.5\text{ms}$	
440	80	63	22	4 $\times$ 63		5	3	600
220			13					
110			7.5					

## 2.5.17 CMI-S 系列灭磁接触器

本系列接触器是由 CJ12 系列交流接触器派生而成,适用于励磁电压至 440V 的同步电动机励磁回路中,配合适当的电阻作自动灭磁之用。技术数据如表 5.2.76。

型号说明:

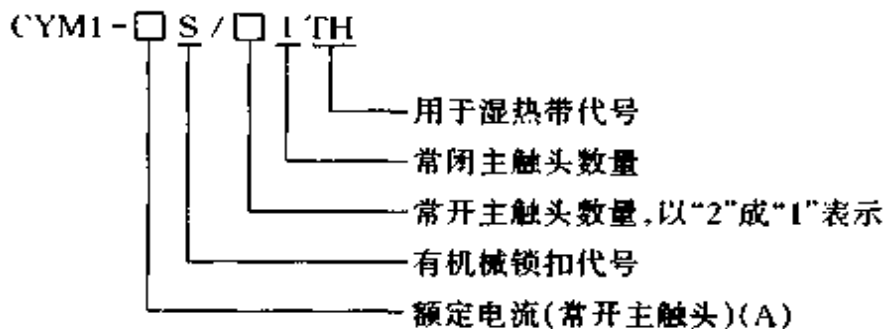


表 5.2.76 CMI-S 系列灭磁接触器主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流(A)		触头数目		每小时最高操作次数	联锁触头			吸引线圈额定电压(V)	
		常开触头	常闭触头	常开	常闭		额定电压 (V)	额定电流 (A)	组合情况		
CMI-150S/11	220 440	150	40	1	1	30	AC 380	10	六对: 5开1闭, 4开2闭, 3开3闭	AC 220, 380	
CMI-150S/21				2							
CMI-250S/11		250	60	1							
CMI-250S/21				2							
CMI-400S/11		400	100	1			DC 220	10		DC 220	110, 220
CMI-400S/21				2							
CMI-600S/11		600	150	1			2				
CMI-600S/21				2							

注:接触器本身占用两对常开触头。

## 2.5.18 CKJ5 系列、CKJ6 系列交流真空接触器

该两系列接触器特别适宜组成煤矿用隔爆型电磁起动器,也适宜于用来切换电容器组;在 660~1140V 电力系统,380V 重负荷场合及使用环境恶劣的场合均有明显的优越性。主要技术数据如表 5.2.77。

表 5.2.77 CKJ5、CKJ6 系列真空接触器主要技术数据

型 号	额定工 作电流 (A)	额定工 作电压 (V)	接通和分断能力				电寿命 ( $\times 10^4$ 次)		机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)
			接通		分断		AC-3	AC-4	
			电流(A)	次数	电流(A)	次数			
CKJ5-250	250	380、 660、 1140	2500	100	2000	25	60	6	300
CKJ5-400	400		4000		3200			2	
CKJ5-600	600		6000		4800			0.5	
CKJ6-100	100	660、 1140	1000	100	1000	25	30	6	300
CKJ6-125	125		1250		1000				

## 2.5.19 VS317、VS507 交流真空接触器

本产品系从德国 AEG 公司引进制造技术生产的,符合 IEC、VDE、BS 的相关标准。具有体积小、通断能力强、可靠性高、寿命长和维修量小等优点,特别适于矿用。技术数据如表 5.2.78、5.2.79。

表 5.2.78 VS317、VS507 真空接触器主要技术数据

型 号	额定工 作电压 (V)	额定工 作电流 (A)	额定接 通电流 (kA)	额定分 断电流 (kA)	频率 (Hz)	控制容量 (kW) AC-3、AC-4			
						380V	500V	660V	1140V
VS317	1200	315	5	5	40~60	160	220	290	450
VS507		500				250	340	450	690

注:操作频率:100%额定功率,AC-3 连续操作为 1200 次/h。

表 5.2.79 VS317、VS507 真空接触器辅助触头技术数据

额定绝缘电压 (V)	额定工作电流 (A)								持续发热电流 (A)
	交流(AC-11) $\cos\phi = 0.7$				直流(DC-11) $L/R < 15\text{ms}$				
	220V	380V	500V	660V	24V	60V	110V	220V	
AC 660 DC 800	2.5	1.5	1.5	1.2	10	6	4	1	10

## 2.6 起动器

主要用作交流电动机的起动、停止和可逆运转控制的电器。其类型和用途如表 5.2.80, 主要技术数据如表 5.2.81 至表 5.2.87。

表 5.2.80 起动器的类型和用途

类 型		型 号	用 途	
全压直接 起动器	电磁	QC10 QC12	供三相鼠笼型异步电动机远距离频繁直接起动、停止及可逆转换, 具有过载、断相和失压保护作用	
	手动	QSS QZ610	供三相鼠笼型异步电动机不频繁的直接起动、停止, 具有过载、断相及失压保护作用, 尤适宜农村使用	
减压 起动器	星— 角起 动器	自动	QX3 LC3-D	供三相鼠笼型异步电动机作星—三角起动及停止用, 具有过载、断相和失压保护作用。能自动地将定子绕组由星形转换为三角形联接
		手动	QX1	供三相鼠笼型异步电动机作星—三角起动及停止之用
	自耦 减压 起动器	自动	XJ101 QJ10D	供三相鼠笼型异步电动机作不频繁地降压起动及停止用, 并具有过载、断相及失压保护作用
		手动	QJ3 QJ1	
	电抗减压 起动器			供三相鼠笼型异步电动机的降压起动用。由于起动时电抗器的降压作用, 减少了起动电流
	电阻减压 起动器		QJ7	供三相鼠笼型异步电动机或小容量直流电动机的降压起动用。由于起动时电阻元件的降压作用, 减少了起动电流
延边三角 形起动器		XJ1	供三相鼠笼型异步电动机作延边三角形起动, 具有过载、断相及失压保护作用。在起动过程中, 将电动机绕组接成延边三角形, 起动完毕时自动转换接成三角形	
综合起动器		QZ73 FD10-QZ	供三相鼠笼型异步电动机远距离直接起动和停止用, 具有过载、短路、失压保护作用。FD10-QZ 可用于多粉尘、水汽、有化工气体腐蚀的环境中	
无触点起动器		QW1	供三相绕线型和鼠笼型异步电动机的起动、停止和正反转控制, 也可用来控制其他三相交流负载(如电炉温度控制等), 具有短路、过载、断相、电流不平衡和防止停电自动起动等保护。可在操作频率高和要求频繁可逆转换的场合, 有易燃、易爆气体的场所使用	

表 5.2.81 QC10 系列电磁起动器主要技术数据

型号	起动器 额定电流 (A)	吸引线圈消耗功率			控制鼠笼型电动机 的最大功率(kW)			机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命 (AC-3) ( $\times 10^4$ 次)
		起动 (V·A)	吸持		220V	380V	500V		
			(V·A)	(W)					
QC10-1	5				1.2	2.2	2.2	300	60
QC10-2	10	65	11	5	2.2	4	4		
QC10-3	20	140	22	9	5.5	10	10		
QC10-4	40	230	31	12	11	20	26		
QC10-5	60	495	95	26	17	30			
QC10-6	100	760	105	27	29	50			
QC10-7	150	950	110	28	47	75			

表 5.2.82 QC12 系列电磁起动器主要技术数据

起动器等级	控制鼠笼型电动机的最大功率(kW)			机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命(AC-3) ( $\times 10^4$ 次)
	220V	380V	500V		
1	1.2	2.2	2.2	300	60
2	2.2	4	4		
3	5.5	10	10		
4	11	20	20		
5	17	30	30		
6	29	50	50		
7	47	75	75		

表 5.2.83 QX3 系列星—三角起动器主要技术数据

型 号	控制电动机最大功率(kW)			通断能力		吸引线圈消耗功率			热继电器 <sup>①</sup>		
				$\cos\varphi = 0.35 \pm 0.05$		通断次数	起动(V·A)	吸持(V·A)	吸持(W)	额定电流(A)	整定电流范围(A)
	220V	380V	500V	电压(V)	电流(A)						
QX3-13	7.5	13	13	380×1.05	16×10	20	280	44	18	11	6.8~11
				500×1.05	12.5×10					16	10~16
										22	14~22
QX3-30	16	30	30	380×1.05	35×10	370	64	24	32	20~32	
				500×1.05	28×10				45	28~45	

注:①本系列起动器在电动机的绕组接成三角形时,其热继电器是接在三角形之内。故表中热元件的选择及整定应以被控制电动机额定线电流的 $1/\sqrt{3}$ 为依据。

表 5.2.84 LC3-D 系列星—三角起动器主要技术数据

型 号	额定工作电压(V)	额定频率(Hz)	额定工作电流 AC-3(A)	三相电机容量 AC-3 (kW)				配用热继电器型号
				220V	380V	415V	440V	
LC3-D123	660	50、60	12	5.5	11	11	11	LR1-D12316
LC3-D163			16	7.5	15	15	15	LR1-D16321
LC3-D403			40	18.5	37	37	37	LR1-D40355
LC3-D503			50	30	55	59	59	LR1-D63359
LC3-D803			80	37	75	75	75	LR1-D80363

注:1. 型号说明:D后面的头两位数表示额定工作电流;数字“3”表示对25A以下的起动器为三对常开主触头+常开辅助触头;对40A以上的起动器为三对常开主触头+



表 5.2.85 QZ73 系列综合磁力起动器主要技术数据

型号	主触头 额定 电流 (A)	380V 时 控制电动机 的最大功率 (kW)	吸引线圈电压 (V)	热元件 (JRC-40) 额定电流(A)	熔断器 (RL1) 额定电流 (A)
QZ73-1	6.4	3.2	36, 110, 127, 220, 380	1	2, 4
				1.6	4, 5, 6
				2.5	6, 10
				4	10, 15
				6.4	15
QZ73-2	6.4	3.2	380/36, 110, 127 <sup>1</sup>	同 QZ73-1	
QZ73-3	20	10	380/36, 110, 127 <sup>1</sup>	6.4	20
				10	20, 25, 30, 35
				16	35, 40, 50
				25	50, 60
QZ73-4	6.4	3.2	36, 110, 127, 220, 380	同 QZ73-1	
QZ73-5	20	10		同 QZ73-3	
QZ73-6	6.4	3.2		同 QZ73-1	
QZ73-7	20	10		同 QZ73-3	
QZ73-8	25	12.5	380/36, 110, 127 <sup>1</sup>	25	50, 60
QZ73-9	25	12.5	36, 110, 127, 220, 380	25	50, 60
QZ73-10	25	12.5		25	50, 60

注:①起动器内所装的降压变压器分别为 380/36V、380/110V、380/127V。

表 5.2.86 FD10-QZ 系列防护型综合起动装置主要技术数据

型号 <sup>i</sup>	额定工作 电压(V)	约定发热 电流(A)	控制电动机 功率(kW)	外壳防 护等级	外壳防 腐等级	额定短路分断 能力(kA)
FD10-QZ	380	160	75	IP55	F2	25 ( $\cos\varphi=0.3$ )

注:①全型号为 FD10-QZ/□, □代表控制回路数, 单个产品不加, 标准回路有 4、6、10 路。

表 5.2.87 QW1 型无触点起动器主要技术数据

额定工 作电压 (V)	约定发 热电流 (A)	额定控制容量 (kW)			操作 频率 (次/h)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	保护特性	
		鼠笼型异 步电动机	绕线型异 步电动机	三相电阻 炉负载			过电流整 定范围	断相动 作值
380 <sup>+10%</sup> <sup>-15%</sup>	300	22	60	150	$\geq 3000$	200	0.7~1.5 $I_c$	$\leq 0.5I_c$

注:  $I_c$  为负载额定工作电流。

## 2.7 主令电器

主令电器是用作接通和分断控制回路,以发布指令或作程序控制用的电器。其主要类型有控制按钮、行程开关、万能转换开关、主令控制器等。

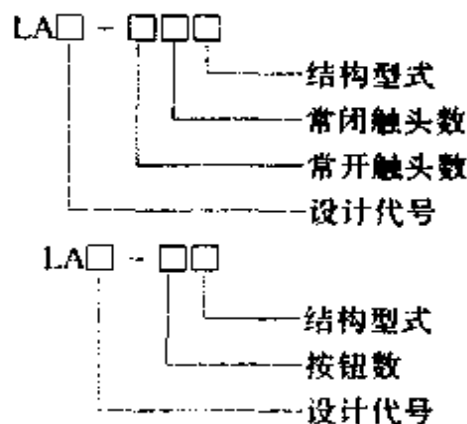
### 2.7.1 控制按钮

主要用于远距离控制接触器、电磁起动器、继电器的线圈及其他电气控制线路,也可用于电气联锁线路等。其类型和用途如表 5.2.88,主要技术数据如表 5.2.89、表 5.2.90、表 5.2.91。

表 5.2.88 控制按钮的分类和用途

类 型	用 途
开启式按钮	一般安装于开关柜、控制台、控制柜的面板上
保护式按钮	带有保护外壳,可防止内部的零件受机械损伤或操作者触及带电部分
防水式按钮	带有密封外壳,可防止雨水侵入,户外使用
防爆式按钮	适用于煤矿等有爆炸性气体和尘埃的环境使用
防腐式按钮	适用于有化工腐蚀性气体的环境使用
紧急式按钮	有红色大蘑菇头突出于按钮螺帽之外,供需紧急切断电源时使用
钥匙式按钮	只有用钥匙插入按钮才可操作,防止误动作
旋转式按钮	用手把旋转操作触头,接通或分断电路
带灯按钮	按钮内装有指示灯,除具按钮功能外,尚可兼作指示灯
自持按钮	按钮内装有自持用电磁机构,一般为面板操作
双速按钮	触头机构的操作可以通过接触器对具有两个绕组的双速电机进行无间歇的转换,保证电机及其他起重机械在转速变换时的机械性能

型号说明:



注:结构型式符号的含义:

K—开启式;H—保护式;S—防水式;F—防腐式;Y—钥匙式;X—旋转式;J—紧急式;  
D—带灯式。

表 5.2.89 LA19、LA20 系列按钮主要技术数据

型 号	结构型式	触头数		按 钮		指示灯	
		常开	常闭	按钮数	颜 色	电压 (V)	功率 (W)
LA19-11	一般型	1	1	1	红、绿、黄、白、蓝	6.3	<1
LA19-11J	紧急式				红		
LA19-11D	带指示灯				红、绿、黄、白、蓝		
LA19-11DJ	带指示灯, 紧急式				红		
LA19-11H	保护式						
LA19-11DH	带指示灯, 保护式						
LA20-11D	带指示灯	1	1	1	红、绿、黄、白、蓝	6	<1
LA20-11DJ	带指示灯, 紧急式	1	1	1	红		
LA20-22D	带指示灯	2	2	2	红、绿、黄、白、蓝		
LA20-22DJ	带指示灯, 紧急式	2	2	2	红		
LA20-2K	开启式	2	2	2	黑、红或绿、红		
LA20-3K	开启式	3	3	3	黑、绿、红		
LA20-2H	保护式	2	2	2	黑、红或绿、红		
LA20-3H	保护式	3	3	3	黑、绿、红		

表 5.2.90 LAZ 系列按钮主要技术数据

型 号	结构型式	触头数		按 钮	
		常开	常闭	钮数	颜 色
LAZ-11A LAZ-22A LAZ-33A	一般按钮	1 2 3	1 2 3	1	红、绿、黄、 白、蓝、黑
LAZ-11A/D LAZ-22A/D LAZ-33A/D	带指示灯 (6.3V, 1W)	1 2 3	1 2 3	1	红、绿、黄、 蓝、透明
LAZ-11A/G LAZ-22A/G LAZ-33A/G	杆式按钮	1 2 3	1 2 3	1	黑
LAZ-11A/XR LAZ-22A/XR LAZ-33A/XR	两位置 旋钮	1 2 3	1 2 3	1	黑
LAZ-11A/XS LAZ-22A/XS LAZ-33A/XS	三位置 旋钮	1 2 3	1 2 3	1	黑
LAZ-11A/MG LAZ-22A/MG LAZ-33A/MG	蘑菇头按钮	1 2 3	1 2 3	1	红、绿
LAZ-11A/Y LAZ-22A/Y LAZ-33A/Y	钥匙按钮	1 2 3	1 2 3	1	
LAZ-11A/B LAZ-22A/B LAZ-33A/B	板键按钮	1 2 3	1 2 3	1	黑

续表

型 号	结构型式	触头数		按 钮	
		常开	常闭	钮数	颜 色
LAZ-11A/ZX LAZ-22A/ZX LAZ-33A/ZX	自动复位 旋 钮	1 2 3	1 2 3	1	黑
LAZ-11A/K LAZ-22A/K LAZ-33A/K	自锁钮	1 2 3	1 2 3	1	红、绿、黄
LAZ-11A/KD LAZ-22A/KD LAZ-33A/KD	带指示灯 自锁钮	1 2 3	1 2 3	1	红、绿、黄、 蓝、透明
LAZ-11A/SH LAZ-22A/SH	双钮	1 2	1 2	1	红、绿
LAZ-11A/HR LAZ-11A/HS	双按钮盒 三按钮盒	2 3	2 3	2 3	

注：①如是高平头钮，型号分别为：LAZ-11A/1、LAZ-22A/1、LAZ-33A/1。

②如是长柄两位置钮，型号分别为：LAZ-11A/XR2、LAZ-22A/XR2、LAZ-33A/XR2。

③如是长柄三位置钮，型号分别为：LAZ-11A/XS2、LAZ-22A/XS2、LAZ-33A/XS2。

表 5.2.91 MP1-2 控制按钮、MPR1-22 双速按钮主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定控制 容量(V·A)	约定发热 电流(A)	额定操作 频率(次/h)	通电持续 率(%)
MP1-2	36	100	3	150	40
MPR1-22					

## 2.7.2 行程开关

行程开关主要用于将机械位移转变成电信号，使电动机的运行状态得以改变，从而控制机械动作或用作程序控制。按用途分为：

(1)一般用途行程开关，如 JW2、JW2A、LX19、LX31、LX32、LXW5、德国西门子公司引进的 3SE3 等系列。主要用于机床及其他生产机械、自动生产线的限位和程序控制。

(2)起重设备用行程开关，如 LX22、LX33 系列。主要用于限制起重设备及各种冶金辅助机械的行程。

主要技术数据如表 5.2.92 至表 5.2.99 所示。

表 5.2.92 JW2、JW2A 系列行程开关主要技术数据

型 号	额定控制容量		触头对数		工作行程 (mm)	触头超程 (mm)	触头转换时间 (s)	结构和特点
	交流 (V·A)	直流 (W)	常开	常闭				
JW2-11	100	10	1	1	2±1	≥0.5	≤0.04	元件,接线在内侧面,自动复位
JW2-11B			1	1	3	≥2		单滚轮组成,简易保护式,自动复位
JW2-11Z/3			3	3	3	≥2		三个滚轮组合成,自动复位
JW2-11Z/5			5	5	3	≥2		五个滚轮组合成,自动复位
JW2A-11			1	1	2	≥0.5		元件,接线在正面,自动复位
JW2A-11H/W1			1	1	≤5	≥2		直动保护式,自动复位(直进线)
JW2A-11H/W2			1	1	≤5	≥1.2		直动保护式,自动复位(横进线)
JW2A-11H/L			1	1	≤5	≥2		直动滚轮保护式,自动复位(直进线)
JW2A-11H/G			1	1	≤6	≥2		滚动杠杆保护式,自动复位(直进线)

表 5.2.93 LX19 系列行程开关主要技术数据

型 号	额定值	触头对数		工作行程	触头超程	触头转换时间 (s)	结构和特点
		常开	常闭				
LX19K	380V, 5A	1	1	3mm	1mm	≤0.04	元件
LX19-111				~30°	~20°		单滚轮装在传动杆内侧,自动复位
LX19-121				~30°	~20°		单滚轮装在传动杆外侧,自动复位
LX19-131				~30°	~20°		单滚轮装在传动杆凹槽内,自动复位
LX19-212				~30°	~15°		双滚轮装在 U 型传动杆内侧,不能自动复位
LX19-222				~30°	~15°		双滚轮装在 U 型传动杆外侧,不能自动复位
LX19-232				~30°	~15°		双滚轮装在 U 型传动杆内外侧各一个,不能自动复位
LX19-001				4mm	3mm		无滚轮,仅有径向传动杆,自动复位

表 5.2.94 LX31 系列微动开关主要技术数据

型号	额定工作电压 (V)	约定发热电流 (A)	额定工作电流 (A)		额定控制容量		工作行程 (mm)	超行程 (mm)	机械寿命 $\cdot 10^4$ 次	电寿命 ( $\cdot 10^4$ 次)		
			AC 380V	DC 220V	AC (V·A)	DC (W)				AC 380V	DC 220V	
LX31-1	AC 220, 380	6	0.79	0.046	300	10	$\leq 0.5$	$\geq 0.2$	1000	100	20	
LX31-2							$\leq 0.5$	$\geq 1.5$				
LX31-3							$\leq 0.5$	$\geq 4.5$				
LX31-4							$\leq 6$	$\geq 2.4$				
LX31-5/3							DC 24, 110, 220	$\leq 3.5$				$\geq 1.4$
LX31-5/2								$\leq 6$				$\geq 2.4$
LX31-6/3								$\leq 3.5$				$\geq 1.4$
LX31-6/2												
LX32-1	AC 220, 380	6	0.79	0.046	300	10	$\leq 2$	$\geq 3$	1000	100	20	
LX32-2							$\leq 4$	$\geq 5$				
LX32-3							$\leq 2$	$\geq 3$	300			
LX32-1S							$\leq 4$	$\geq 5$				
LX32-3S							$\leq 4$	$\geq 5$				
LX32-5S	DC 24, 110, 220					动作半径 R20						

表 5.2.95 LXW5 大电流型开关主要技术数据

电压 (V)		电 流 (A)					
		加热器负载		白炽灯负载		电动机、继电器螺管线圈负载	
		分断	接通	分断	接通	分断	接通
AC	110~115	15	15	1.5	3	15	15
	220~250	15	15	1.25	2.5	15	15
	440~460	3	3	0.75	1	2.5	2.5
	600	2	2	0.5	0.8	2	2
DC	6~8	15	20	1.5	3	15	20
	12~14	15	20	1.5	3	15	20
	24~30	10	10	1.5	3	10	10
	110~115	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	0.1
	220~230	0.3	0.3	0.3	0.3	0.05	0.05

表 5.2.96 LXW5 系列微动开关主要技术数据

额定电压 (V)	额定控制容量	额定发热电流 (A)	触头对数	
			常开	常闭
AC 380 DC 240	100V·A 10W	3	1	1

表 5.2.97 3SE3 系列行程开关主要技术数据

额定电压 (V)	额定电流 (A)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	使用环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	触头型式	动作方式	头部结构
AC500 DC600	10	10 (220V, AC-11, 分断 I <sub>c</sub> )	-40~85	1常开1常闭, 1常开2常闭, 2常开1常闭, 2常开2常闭	瞬动 蠕动	直动、滚轮直动、杠杆、 单轮、滚轮摆杆可调、杠 杆可调、弹簧杆

表 5.2.98 LX22 系列行程开关主要技术数据

额定电压 (V)	额定电流 (A)	电寿命 ( $\cos\varphi=0.35$ ) ( $\times 10^4$ 次)		机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)		操作频率 (次/h)
		接通 20A	分断 4A	机械部分	触头部分	
AC 380 DC 220	20	5		100	25	200

表 5.2.99 LX33 系列行程开关主要技术数据

额定工作电压 (V)	约定发热电流 (A)	额定工作电流 (A)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	操作频率 (次/h)	
					旋转式	其他
AC 380 DC 220	10	2.6 0.4	100	20	300	1200

### 2.7.3 主令控制器

主令控制器是用来频繁地切换复杂的多回路控制线路,以达到发布命令或与其他控制线路联锁、转换目的的主令电器。按其结构型式可分为下列两种:

(1) 凸轮调整式主令控制器。其凸轮片的位置能按给定的分合表进行调整,如 LK1、LK5、LK6 等系列。一般作为起重机械、轧钢机和其他生产机械的磁力控制屏的遥控之用。

(2) 凸轮非调整式主令控制器。其凸轮不能调整,只能接触头分合表作适当的排列组合,如 LK4、LK17、LK18 系列。一般适宜组成联动控制台,实现多点、多位控制。

LK18 系列可替代 LK1、LK14、LK15、LK16 等系列老产品。

型号说明:

LK18 · (□□□/□)

- 辅助规格代号,表示分合程序,用数字表示
- 操作方式:“L”表示立式手柄,无字母表示水平式手柄
- 防护形式:“K”表示无防护式,无字母表示防护式
- 基本规格代号,表示约定发热电流(A)

主要技术数据如表 5.2.100 至表 5.2.103。

表 5.2.100 LK1 系列控制器主要技术数据

额定电流 (A)	接通与分断能力 (A)					
	交 流			直 流		
	380V, $\cos\varphi = 0.4$		220V, $L/R = 0.05s$		440V, $L/R = 0.05s$	
	接通	分断	接通	分断	接通	分断
5	100	15	15	2	5	0.5

表 5.2.101 LK4 系列主台控制器主要技术数据

型 号	额定电 流(A)	控制的 电路数	减速器传动比	凸轮装配 旋转方式	防护 型式
LK4-024	15	2			保护式
LK4-044		4			
LK4-054		6			
LK4-028/1		2	1:30		
LK4-028/2		2	1:5		
LK4-048/1		4	1:30		
LK4-048/2		4	1:5		
LK4-058/1		6	1:30		
LK4-058/2		6	1:5		
LK4-148/3		8	1:16.65	串联	
LK4-148/4		8	1:1, 1:20, 1:36	并联	
LK4-168/3		16	1:16.65	串联	
LK4-168/4		16	1:1, 1:20, 1:36	并联	
LK4-188/3		24	1:16.65	串联	
LK4-188/4		24	1:1, 1:20, 1:36	并联	
LK4-658/4 <sup>①</sup>		5	1:30		防水式
LK4-658/5		5	1:30		
LK4-658/6		5	1:5		
LK4-658/7 <sup>①</sup>		5	1:5		

注:①其中 2 个电路带灭弧装置。

表 5.2.102 LK17 系列主令控制器主要技术数据

额定工 作电压 (V)	约定发 热电流 (A)	额定控 制容量	通断能力 $\cos\varphi = 0.15$ 或 $L/R = 50ms$		操作 频率 (次/h)	电寿 命 ( $\times 10^4$ 次)	机械 寿命 ( $\times 10^4$ 次)	最多控制 挡位数	
			电压(V)	电流(A)				左	右
AC 380	10	1000V·A	418	46	1200	60	300	6	6
DC 220		180W	242	6.3		30			



表 5.2.103 LK18 系列凸轮非调整式主令控制器主要技术数据

使用类别	额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	额定控制容量	通断能力 $\cos\varphi = 0.7$ 或 $T_{0.95} = 0.3s$				操作频率 (次/h)	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	最多控制挡位数
				接通		分断					
				$I_t$ (A)	$U_t$ (V)	$I_r$ (A)	$U_r$ (V)				
AC-11	380 220	2.6 4.5	1000 V·A	28.6 49.6	418 242	28.6 49.6	418 242	1200	100	300	5
DC-11	220 110	0.4 0.8	90W	0.44 0.88	242 121	0.44 0.88	242 121		60		

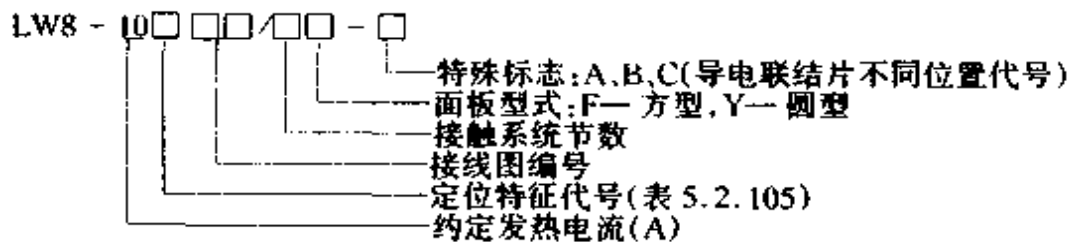
### 2.7.4 万能转换开关

万能转换开关主要作为控制线路和电气测量仪表的转换, 配电设备的远距离控制以及伺服电机的换向、变速之用。

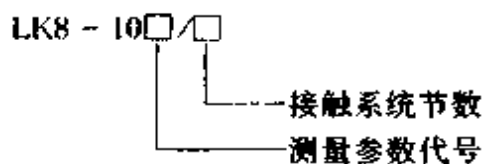
目前国内采用 LW5、LW6、LW8 系列万能转换开关。

型号说明:

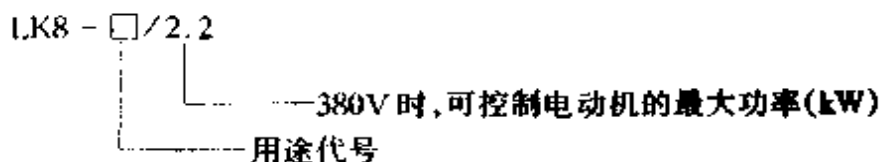
(1) 基本产品:



(2) 电气测量仪表用转换开关:



(3) 直接操作电动机用的转换开关:



主要代号及技术数据如表 5.2.104 至表 5.2.111 所示。

表 5.2.104 LW8 系列转换开关定位特性代号

定位型式	定位特征代号	手柄操作位置	限位角度	备注
自复式	A	0°←30°	30°	手柄操作位置 0°为手柄垂直 向上方向
	B	30°→0°←30°	60°	
定位式	C	0°, 60°	60°	
	D	60°, 0°, 60°	120°	
	E	90°, 30°, 30°, 90°	180°	
	F	120°, 60°, 0°, 60°, 120°	240°	
	G	120°, 60°, 0°, 60°, 120°, 180°	无	
	H	30°, 0°, 30°, 60°	90°	
I	60°, 30°, 0°, 30°, 60°	120°		
J	60°, 30°, 0°, 30°, 60°, 90°	150°		

表 5.2.105 LW8 系列转换开关测量参数代号

测量参数代号	用途	接触系统节数
YH1	有零位三相相电压转换测量	3
YH2	有零位三相线电压转换测量	3
YH3	无零位三相相电压转换测量	3
YH4	无零位三相线电压转换测量	2
YH5	有零位三相相电压和线电压转换测量	3
LH1	两个互感器有零位三相电流转换测量	2
LH2	三个互感器三相四线电流转换测量	4
LH3	三个互感器有零位三相电流转换测量	4

表 5.2.106 LW8 系列转换开关用途代号

用途代号	用途	接触系统节数
Q1	鼠笼型异步电动机直接起动, 运转中断开	2
N1	鼠笼型异步电动机正向和反向直接起动, 运转中断开	3
S1	鼠笼型双速电动机的直接起动和变速	4
S2	鼠笼型双速电动机的直接起动和变速, 可带指示灯	5

表 5.2.107 LW8 系列转换开关主要技术数据

使用类别	典型用途	额定工作电压 (V)	控制容量	电寿命 ( $\times 10^4$ 次)	机械寿命 ( $\times 10^4$ 次)	操作频率 (次/h)
AC-11	控制交流电磁铁	380	360V·A 720V·A	20 10	30 (定位三位以上) 100 (定位三位及以下)	120
DC-11	控制直流电磁铁	220	28V·A 56V·A	10 5		
AC-21	通断电阻性负载	380	3.8kW	5		
AC-3	鼠笼型电动机启动、分断	380	2.2kW	5		

表 5.2.108 LW5 系列转换开关电寿命的通断条件

电 压 (V)	交流电流 (A)		直流电流 (A)			
	接通	分断	双断点		四断点	
			接通	分断	接通	分断
24			8	2.7	18.7	3.7
48			4	1.3	9.4	1.9
110			1.8	0.6	4	0.8
220	75	4.5	0.9	0.3	2	0.4
380	42	2.6				
500	32	2	0.39	0.12	0.9	0.18

注: LW5 系列转换开关的额定工作电压为交流 500V 或直流 220V, 额定电流 15A, 允许正常操作频率 120 次/h, 机械寿命 100 万次, 电寿命 20 万次。

表 5.2.109 LW5 系列转换开关的定位特征

操作方式	代号	操作手柄位置											
自复型	A												
	B					45°	0°	45°					
定位型	C						0°	45°					
	D					45°	0°	45°					
	E					45°	0°	45°	90°				
	F				90°	45°	0°	45°	90°				
	G				90°	45°	0°	45°	90°	135°			
	H			135°	90°	45°	0°	45°	90°	135°			
	I			135°	90°	45°	0°	45°	90°	135°	180°		
	J		120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°		
	K		120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	
	L	150°	120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	
	M	150°	120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
	N						45°		45°				
	P						90°	0°	90°				

表 5.2.110 LW6 系列转换开关触头数

型 号	LW6-1	LW6-2	LW6-3	LW6-4	LW6-5	LW6-6	LW6-8	LW6-10
触头座数目	1	2	3	4	5	6	8	10
触头对数	3	6	9	12	15	18	24	30

注: LW6 系列转换开关额定电压为交流至 380V, 直流至 220V, 额定电流 5A, 机械寿命 100 万次, 额定操作频率 120 次/h, 电寿命 20 万次。

表 5.2.111 LW6 系列转换开关定位特征

定位特征代号	操作手柄位置												
						0°	30°						
A						0°	30°						
B					30°	0°	30°						
C					30°	0°	30°	60°					
D				60°	30°	0°	30°	60°					
E				60°	30°	0°	30°	60°	90°				
F			90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°				
G			90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°			
H		120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°			
I		120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°		
J	150°	120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°		
K	150°	120°	90°	60°	30°	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	

## 2.8 电阻器

电阻器是用以改变回路中电阻值或变电能为热能的电器。其结构类型有:

(1) 铸铁电阻器, 如 ZX1 型。

(2) 板形电阻器, 如 ZX2 型。

(3) 铁铬铝合金电阻器, 如 ZX9、ZX10、ZX12 型。

(4) 管形电阻器, 如 ZG11, 适用于电压 500V 及以下的低压电器设备电路中, 供降低电压、电流用。

其中前三种类型电阻器适用于交流 50Hz, 电压 660V 及以下, 直流电压 440V 及以下的电路中, 供电机起动、调速、制动和放电等用。

主要技术数据如表 5.2.112 至表 5.2.115 所示。

表 5.2.112 ZX2 型电阻器主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	+20℃时电阻值(Ω)		电阻元件		电阻 元件 匝数	电阻线尺 寸或直径 (mm)
		总 的	每片电阻 元 件	型 号	数 量		
ZX2-1/0.2	42	2.0	0.2	ZB1	10	15	10×1.0
ZX2-1/0.25	37	2.5	0.25				10×0.8
ZX2-1/0.33	32	3.3	0.33				10×0.6
ZX2-1/0.4	29	4.0	0.4				10×0.5
ZX2-1/0.5	26	5.0	0.5				10×0.4
ZX2-1/0.66	23	6.6	0.66				10×0.3
ZX2-2/0.7	22.3	7	0.7	ZB2	10	2×36	2.0
ZX2-2/0.9	19.9	9	0.9				1.8
ZX2-2/1.1	17.7	11	1.1				1.6
ZX2-2/1.45	15.4	14.5	1.45				1.4
ZX2-2/1.95	13.8	19.5	1.95				1.2
ZX2-2/2.8	11.2	28	2.8			74	2.0
ZX2-2/3.5	10.1	35	3.5				1.8
ZX2-2/4.4	8.9	44	4.4				1.6
ZX2-2/5.8	7.7	58	5.8				1.4
ZX2-2/8	6.6	80	8				1.2
ZX2-2/12	5.4	120	12			112	1.2
ZX2-2/18	4.4	180	18				1.0
ZX2-2/21.6	4.0	216	21.6				0.9
ZX2-2/27.6	3.5	276	27.6				0.8
ZX2-2/37	3.1	370	37				150
ZX2-2/48	2.7	480	48			0.7	
ZX2-2/68	2.3	680	68			0.6	
ZX2-2/96	1.9	960	96			0.5	
ZX2-2/140	1.6	1400	140			0.4	
ZX2-2/188	1.4	1880	188			0.35	
ZX2-2/260	1.2	2600	260	0.3			

表 5.2.113 ZX9 型铁铬铝合金电阻器主要技术数据

型 号	允许 负载 电流 (A)	电 阻 值 (Ω)							电阻元件			相当于 ZX1 型 电阻器 编 号
		总 的		每 级 的					型 号	数 量	接 法	
		标 准 值	计 算 值	1	2	3	4	5				
ZX9-1/10	215	0.10	0.106	0.032	0.021	0.021	0.032		ZD1-1	40	2并 <sup>①</sup>	5
ZX9-2/14	181	0.14	0.14	0.042	0.028	0.028	0.042		ZD1-2	40		7
ZX9-3/20	152	0.20	0.188	0.063	0.031	0.031	0.063		ZD1-3	48		10
ZX9-4/28	128	0.28	0.254	0.085	0.042	0.042	0.085		ZD1-4	48		14

续表

型 号	允许 负载 电流 (A)	电 阻 值 ( $\Omega$ )							电阻元件			相当于 ZX1 型 电阻器 编 号
		总的		每 级 的					型 号	数 量	接 法	
		标准 值	计算 值	1	2	3	4	5				
ZX9-1/40	107	0.40	0.426	0.128	0.085	0.085	0.128		ZD1-1	40	串	20
ZX9-2/55	91	0.55	0.560	0.168	0.112	0.112	0.168		ZD1-2	40		28
ZX9-3/80	76	0.80	0.756	0.252	0.126	0.126	0.252		ZD1-3	48		40
ZX9-4/110	64	1.10	1.016	0.339	0.169	0.169	0.339		ZD1-4	48		55
ZX9-5/152	55	1.52	1.467	0.489	0.306	0.306	0.183	0.183	ZD1-5	48		38(80)
ZX9-6/216	46	2.16	2.019	0.673	0.421	0.421	0.252	0.252	ZD1-6	48		54(110)
ZX9-5/300	39	3.00	2.935	0.855	0.612	0.612	0.428	0.428	ZD1-5	96		75
ZX9-6/420	33	4.20	4.044	1.18	0.842	0.842	0.59	0.59	ZD1-6	96		105
ZX9-7/560	29	5.60	5.378	1.57	1.12	1.12	0.784	0.784	ZD1-7	96	140	
ZX9-8/800	24	8.00	7.396	2.16	1.54	1.54	1.078	1.078	ZD1-8	96	200	

注:①2 并接法是把电阻器的两个元件并联成一组,再串联。

表 5.2.114 ZX12 型电阻器主要技术数据

型 号	允许负 载电 流 (A)	电 阻 值 ( $\Omega$ )					电阻元件			发热时 间常 数 (s)	相当 于 ZX10 电 阻 器 型 号
		总的	每级的				型 号	数 量	接 法		
			1	2	3	4					
ZX12-0.1	215	0.1	0.33	0.33	0.33		ZJ1-1	12	2 并 ①	200	ZX10-0.1
ZX12-0.14	181	0.14	0.047	0.047	0.047		ZJ1-2	12		150	ZX10-0.14
ZX12-0.2	152	0.2	0.067	0.067	0.067		ZJ1-3	12		120	ZX10-0.2
ZX12-0.28	128	0.28	0.07	0.07	0.07	0.07	ZJ1-4	16		140	ZX10-0.28
ZX12-0.4	107	0.4	0.133	0.133	0.133		ZJ1-1	12	串	200	ZX10-0.4
ZX12-0.56	91	0.56	0.187	0.187	0.187		ZJ1-2	12		150	ZX10-0.56
ZX12-0.8	76	0.8	0.267	0.267	0.267		ZJ1-3	12		120	ZX10-0.8
ZX12-1.1	64	1.1	0.275	0.275	0.275	0.275	ZJ1-4	16		140	ZX10-1.1
ZX12-1.6	54	1.6	0.4	0.4	0.4	0.4	ZJ1-5	16		128	ZX10-1.6
ZX12-2.2	46	2.2	0.55	0.55	0.55	0.55	ZJ1-6	16		104	ZX10-2.2
ZX12-3.0	39	3.0	0.75	0.75	0.75	0.75	ZJ1-7	24		136	ZX10-3.0
ZX12-4.2	33	4.2	1.05	1.05	1.05	1.05	ZJ1-8	24		104	ZX10-4.2
ZX12-5.6	29	5.6	1.4	1.4	1.4	1.4	ZJ1-9	24		96	ZX10-5.6
ZX12-8.0	24	8.0	2.0	2.0	2.0	2.0	ZJ1-10	24		80	ZX10-8.0

注:①2 并接法是把电阻器的两个元件并联成一组,再串联。

表 5.2.115 ZG11 管形电阻器主要技术数据

型 号	额定功率(W)	出线型式	型 号	额定功率(W)	出线型式
ZG11-7.5 ZG11-7.5A	7.5	导线 导线,可调夹	ZG11-50 ZG11-50A	50	导片 导片,可调夹
ZG11-15 ZG11-15A	15	导线 导线,可调夹	ZG11-75 ZG11-75A	75	导片 导片,可调夹
ZG11-20 ZG11-20A	20	导线 导线,可调夹	ZG11-150 ZG11-150A	150	导片 导片,可调夹
ZG11-25 ZG11-25A	25	导片 导片,可调夹	ZG11-200 ZG11-200A	200	导片 导片,可调夹

注:电阻器允许温升为 300℃。

## 2.9 变阻器

### 2.9.1 频敏变阻器

频敏变阻器是一种无触点的,能自动变阻的电磁元件。能使电动机达到接近恒转矩的机械特性,减少机械和电流的冲击,实现平稳无级的起动。

频敏变阻器依操作的频繁程度不同,可分为三类:

第一类:稍频繁,每小时 100~400 次。用于机械车间的桥式吊车上除主钩外,平移机构上的电动机,出炉辊道,拉钢机等。大多数是刚起动就断电。

第二类:较频繁,每小时 400~600 次。用于冶金轧钢车间桥式吊车除主钩外,平移机构上的电动机,轧机前后工作辊道、延伸辊道等。大多数是刚起动就断电。

第三类:频繁操作,每小时 600~1000 次。用于升降台,升降台辊道,压下装置,拔钢机,轧机中辊等。

目前使用的频敏变阻器有 BP1、BP2、BP3、BP4、BP6 等系列。

各系列参数如表 5.2.116 至表 5.2.122 所示。

表 5.2.116 频敏变阻器系列简况

型号	型号说明	用途	备注
BP1		适用于容量 22 ~ 2240kW 绕线型异步电动机的轻载和重轻载做偶尔起动用, 如水泵、空压机、轧钢机等	允许连续启动数次, 但总启动时间不得超过 80s
BP3		适用于容量 2.2 ~ 250kW JZR 系列绕线型异步感应电动机频繁操作情况下的启动	常接于电机转子回路中, 一般不另装短接装置
BP2		适用于容量为 10 ~ 1120kW 绕线型异步电动机的轻载偶尔启动, 如空压机、水泵等	线圈有 4 个抽头, 设在前面 2 个, 后面 2 个。性能与 BP1 系列基本相似
BP4		适用于容量 14 ~ 1000kW 绕线型异步感应电动机作重载偶尔起动用, 如球磨机、破碎机	允许连续启动三次, 总启动时间不得超过 90s。每相绕组有 2 个抽头
BP6	主要作绕线型异步电动机满载启动设备		

注: 轻载启动: 传动设备在启动过程中不带负载或带有轻微负载。

重轻载启动: 一种是传动设备在启动过程中其阻力矩随转速上升而下降, 在启动时阻力矩较大; 另一种是传动设备在启动过程中不带负载或带有轻微负载, 阻力矩较小。

重机启动: 传动设备在启动过程中带 100% 以下负载。



表 5.2.117 BP1 系列频敏变阻器系列表

电动机容量 (kW)	电动机转子电流 (A)	轻 载		重 轻 载	
		型 号 BP1-	每 组 台 数	型号 BP1-	每 组 台 数
22~28	51~63 64~80 81~100 101~125			205/10005 205/8006 205/6308 205/5010	1
29~35	51~63 64~80 81~100 101~125			206/10005 206/8006 206/6308 206/5010	1
36~45	51~63 64~80 81~100 101~125	204/16003 204/12504 204/10005 204/8006	1	208/10005 208/8006 208/6308 208/5010	1
46~55	64~80 81~100 101~125 126~160	205/12504 205/10005 205/8006 205/6308	1	210/8006 210/6308 210/5010 210/4012	1
56~70	126~160 161~200 201~250 215~315	206/6308 206/5010 206/4012 206/3216	1	212/4012 212/3216 212/2320 212/2025	1
71~90	161~200 201~250 251~315 316~400	208/5010 208/4012 208/3216 208/2520	1	305/5016 305/4012 305/3225 305/2532	1
91~115	161~200 201~250 251~315 316~400	210/5010 210/4212 210/3216 210/2520	1	306/5016 306/4020 306/3225 306/2532	1
120~140	201~250 251~315 316~400 401~500	212/4012 212/3216 212/2520 212/2025	1	308/4020 308/3225 308/2532 308/2040	1
145~180	201~250 251~315 316~400 401~500	305/6312 305/5016 305/4020 305/3225	1	310/4020 310/3225 310/2532 310/2040	1
185~225	201~250 251~315 316~400 401~500	306/6312 306/5016 306/4020 306/3225	1	312/4020 312/3225 312/2532 312/2040	1

续表

电动机容量 (kW)	电动机转子电流 (A)	轻 载		重 轻 载	
		型 号 BP1-	每 组 台 数	型号 BP1-	每 组 台 数
230 ~ 280	201 ~ 250 251 ~ 315 316 ~ 400 401 ~ 500	308/6312 308/5016 308/4020 308/3225	1	316/4020 316/3225 316/2532 316/2040	1
285 ~ 355	251 ~ 315 316 ~ 400 401 ~ 500 501 ~ 630	310/5016 310/4020 310/3225 310/2532	1	310/6312 310/5016 310/4020 310/3225	2 并
360 ~ 450	251 ~ 315 316 ~ 400 401 ~ 500 501 ~ 630	312/5016 312/4020 312/3225 312/2532	1	312/6312 312/5016 312/4020 312/3225	2 并
460 ~ 560	316 ~ 400 401 ~ 500 501 ~ 630 631 ~ 800	316/4020 316/3225 316/5016 316/4020	1	316/5016 316/4020 316/3225 315/2532	2 并
570 ~ 710	316 ~ 400 401 ~ 500 501 ~ 630 631 ~ 800	310/2225 310/2532 310/4020 310/3225	2 串	310/5016	2 串 2 并
			2 并	310/4020 310/3225 310/2532	2 并
720 ~ 900	401 ~ 500 501 ~ 630 631 ~ 800 801 ~ 1000	312/2225 312/2532 312/4020 312/3225	2 串 2 并	316/6312 316/5016 316/4020 316/3225	3 并
910 ~ 1120	401 ~ 500 501 ~ 630 631 ~ 800 800 ~ 1000	316/3225 316/2532 316/4020 316/3225	2 串	316/4020	2 串 2 并
			2 并	316/3225 316/5016 316/4020	4 并
1130 ~ 1400	631 ~ 800 801 ~ 1000 1001 ~ 1250 1251 ~ 1600	310/4020 310/3225 310/2532 310/2040	2 串 2 并 4 并	316/6312 316/5016 316/4020 316/3225	5 并
1410 ~ 1800	801 ~ 1000 1001 ~ 1250 1251 ~ 1600 1601 ~ 2000	316/5016 316/4020 316/3225 316/2532	3 并	316/3225	2 串 3 并
				316/2532 316/2040 316/1650	6 并
1810 ~ 2240	801 ~ 1000 1001 ~ 1250 1251 ~ 1600 1601 ~ 2000	316/3225 316/2532 316/4020 316/3225	2 串 2 并	316/4020	2 串 4 并
			4 并	316/3225 316/2532 316/2040	8 并

表 5.2.118 BP2 系列变阻器配 JZR、JZR2 系列电动机系列表

BP2 频敏变阻器					配 JZR 电动机 型号	BP2 频敏变阻器					配 JZR2 电动机 型号
型号	线圈 编号	接法	起动电 流倍数	负载 系数		型号	线圈 编号	接法	起动电 流倍数	负载 系数	
604	7204	Y	2	1	11-6	604	8204	Y	2	1	11-6
608	8204		2	1	12-6	608	8204		2.25	1	12-6
616	3604		2	1	21-6	616	4704		2	1	21-6
612	4104		2.25	1		612	5404		2.25	1	
608	4704		2.5	1		608	6204		2.5	1	
608	6204		2	0.75		608	7204		2	0.75	
628	3104		2	1	22-9	628	3604		2	1	22-6
620	3604		2.25	1		620	4704		2.25	1	
616	3604		2.5	1		616	5404		2.5	1	
612	5404		2	0.75		612	6204		2	0.75	
608	7204		2.25	0.75	31-6	608	8204		2.25	0.75	31-6
628	2109		2.5	1		628	2109		2.5	1	
624	2709		2	0.75		624	2709		2	0.75	
616	3609		2.25	0.75		616	3609		2.25	0.75	
628	2406		2	1	31-8	628	2706		2	1	31-8
624	2406		2.25	1		624	2706		2.25	1	
616	3106		2.5	1		616	3106		2.5	1	
616	3606		2	0.75		616	3606		2	0.75	
608	5406		2.25	0.75	41-8	608	4706		2.25	0.75	41-8
628	1609		2.5	1		628	1609		2.5	1	
624	2109	2	0.75	624		2109	2	0.75			
616	2409	2.25	0.75	616		2409	2.25	0.75			
620	1609	12Y	2.5	1	620	1609	12Y	2.5	1	42-8	
616	2109		2	0.75	616	2109		2	0.75		
624	2409	Y	2.25	0.75	624	2409	Y	2.25	0.75		
412	2413		2	1	412	2713		2	1	51-8	
628	2406	21Y	2	0.75	628	2706	21Y	2	0.75		
616	3106		2.5	0.75	616	3106		2.5	0.75		
408	2413	12Y	2	1	408	2713	12Y	2	1	52-8	
406	4113	Y	2.25	1	406	4713	Y	2.25	1		
624	2706	21Y	2.5	0.75	624	3106	21Y	2.5	0.75		
408	2126	Y	2	1	408	2126	Y	2	1	61-10	
406	2126		2.25	1	406	2126		2.25	1		
624	1613	21Y	2.25	0.75	624	1613	21Y	2.25	0.75		
408	2426	Y	2.25	1	408	2426	Y	2.25	1	62-10	
406	2726		2.5	1	406	2726		2.5	1		
620	1413	22Y	2.25	0.75	620	1413	22Y	2.25	0.75		

续表

BP2 频敏变阻器					配 JZR 电动机 型号	BP2 频敏变阻器					配 JZR2 电动机 型号
型号	线圈 编号	接法	起动电 流倍数	负载 系数		型号	线圈 编号	接法	起动电 流倍数	负载 系数	
412	2126	Y	2.25	1	63-10	410	2126	Y	2.25	1	63-10
410	2126		2.5	1		408	2126		2.5	1	
408	2726		2	0.75		620	1613	22Y	2.25	0.75	
620	1613	22Y	2.5	0.75	71-10	412	2426	Y	2.25	1	64-10
408	3613	21Y	2.25	1		410	2426		2.5	1	
412	2430	Y	2.5	1		408	3126	2	0.75		
410	2730		2	0.75		620	1613	22Y	2.5	0.75	
408	2730		2.5	0.75		408	3618	21Y	2.25	1	
412	3118	21Y	2.25	1	72-10	412	2130	Y	2.5	1	71-10
408	4118		2.5	1		410	2430		2	0.75	
412	3130	Y	2	0.75		408	2430	2.5	0.75		
410	2730		2.5	0.75		412	4118	21Y	2.25	1	
408	3118		22Y	2.25		1	408		3118	2.5	
412	3618	21Y	2.5	1	73-10	412	2730	Y	2	0.75	72-10
408	5418		2	0.75		410	2730		2.5	0.75	
412	2730	Y	2.5	0.75		406	3618	22Y	2.25	1	
						412	4118	21Y	2.5	1	
						408	5418		2	0.75	
						412	2730	Y	2.5	0.75	73-10

表 5.2.119 BP3 频敏变阻器配 JZR 系列电动机系列表

电动机型号 JZR-	电动机 转子 电流 (A)	电动机 功率 (kW)	每小时起动 100~400 次		每小时起动 400~600 次		每小时起动 600~1000 次	
			型号 BP3-	每组 台数	型号 BP3-	每组 台数	型号 BP3-	每组 台数
11-6	12.8	2.2			003/11203	1	005/8003	1
12-6	12.2	3.5	003/11203	1	005/10003	1	008/8003	1
21-6	20.6	5	005/10004	1	008/8004	1	012/6304	1
22-6	21.6	7.5	008/10004	1	012/8004	1	510/6304	1
31-6	35.6	11	506/6308	1	510/5008	1	406/6308	1
31-8	28	7.5	008/8006	1	012/6306	1	510/5006	1
41-8	46.7	11	506/5010	1	510/4010	1	406/5010	1
42-8	46.3	16	508/5010	1	512/4010	1	408/5010	1
51-8	70.5	22	512/3216	1	408/4016	1	412/3216	1
52-8	74.3	30	406/6316	1	410/4016	1	408/6308	2
61-10	133	30	406/3225	1	410/2525	1	408/4012	2
62-10	138	45	410/3225	1	408/5012	2	412/4012	2
63-10	180	60	412/2532	1	410/4016	2	408/3216	4
71-10	167	80	408/5016	2	412/4016	2	410/3216	4
72-10	170	100	410/5016	2	408/4016	4	412/3216	4
73-10	175	125	412/5016	2	410/4016	4	408/3216	8

表 5.2.120 BP3 频敏变阻器配 JZR2 系列电动机系列表

电动机型号 JZR2-	电动机 转子 电流 (A)	电动机功 率 (kW)	每小时起动 100~400 次		每小时起动 400~600 次		每小时起动 600~1000 次	
			型 号 BP3-	每 组 台 数	型 号 BP3-	每 组 台 数	型 号 BP3-	每 组 台 数
11-6	11.8	2.2			003/11203	1	005/8003	1
12-6	12.1	3.5	003/11203	1	005/10003	1	008/8003	1
21-6	17.7	5	005/10004	1	008/8004	1	012/6304	1
22-6	18.9	7.5	008/10004	1	012/8004	1	510/8004	1
31-6	32.2	11	506/8006	1	510/6306	1	406/8006	1
31-8	27.2	7.5	008/8006	1	012/6306	1	510/6306	1
41-8	49.2	11	506/5010	1	510/4010	1	406/5010	1
42-8	49	16	508/5010	1	512/6310	1	408/8010	1
51-8	64.1	22	512/4012	1	408/5012	1	412/4012	1
52-8	67	30	406/6312	1	410/5012	1	408/8006	2
61-10	145.6	30	406/3232	1	410/2532	1	408/3216	2
62-10	158	40	408/3232	1	412/2032	1	410/3216	2
63-10	164.8	50	410/2532	1	408/4016	2	412/3216	2
64-10	154	65	412/3232	1	410/4016	2	408/3216	4
71-10	176	80	408/5016	2	412/4016	2	410/3216	4
72-10	177.2	100	410/5016	2	408/4016	4	412/3216	4
73-10	181	125	412/5016	2	410/4016	4	408/3216	6

表 5.2.121 BP4 系列频敏变阻器星形接法配电动机系列表

型 号 BP4-	电动机功 率(kW)	转 子 电 流 (A)	型 号 BP4-	电动机功 率(kW)	转 子 电 流 (A)
02/10006	26~40	64~80	07/11213	101~125	126~160
02/08008		81~100	07/09016		161~200
02/06310		101~125	07/07120		201~250
02/05013		126~160	07/05625		251~315
02/04016		161~200	07/04532		316~400
02/03220		201~250	07/03640		401~500
03/11206	41~50	64~80	08/08020	126~160	201~250
03/09008		81~100	08/06325		251~315
03/07110		101~125	08/05032		316~400
03/05613		126~160	08/04040	401~500	
03/04516		161~200	09/09020	161~200	201~250
03/03620		201~250	09/07125		251~315
04/16006	51~63	64~80	09/05632		201~250
04/12508		81~100	09/04540	401~500	
04/10010		101~125	10/09020	201~250	
04/08013		126~160	10/07125		251~315
04/06316		161~200	10/05632		316~400
04/05020		201~250	10/04540	401~500	

续表

型号 BP4-	电动机功率(kW)	转子电流 (A)	型号 BP4-	电动机功率(kW)	转子电流 (A)
05/11210	64~80	101~125	11/08025	251~315	251~315
05/09013		126~160	11/06332		316~400
05/07116		161~200	11/05040		401~500
05/05620		201~250	11/04050		501~630
05/04525		251~315	12/10025		251~315
05/03632		316~400	12/08032		316~400
06/12510	81~100	101~125	12/06340	316~400	401~500
06/10013		126~160	12/05050		501~630
06/08016		161~200	13/11225		251~315
06/06320		201~250	13/09032		316~400
06/05025		251~315	13/07140		401~500
06/04032		316~400	13/05650		401~500
				401~500	501~630

表 5.2.122 BP6 系列频敏变阻器配电动机系列表

型号 BP6-	所配电动机			型号 BP6-	所配电动机				
	容量 (kW)	转子电压 (V)	转子电流 (A)		容量 (kW)	转子电压 (V)	转子电流 (A)		
1/6325	80~160	162~312	201~250	2/5032	161~315	252~504	251~315		
1/8025		252~500	201~250	2/6332		402~788	251~315		
1/5032		128~252	251~315	2/4040		202~400	316~400		
1/6332		203~394	251~315	2/5040		319~640	401~500		
1/4040		101~200	316~400	2/3250		160~315	401~500		
1/5040		161~320	316~400	2/4050		256~500	401~500		
1/8020	316~500	318~640	316~400	2/8020	501~630	397~800	316~400		
2/8020				2/6325		325~625	401~500		
1/6325		257~500	401~500	2/8025		505~1000	401~500		
2/6325		405~800	401~500	2/5032		256~504	501~630		
1/8025				2/6332		406~788	501~630		
2/8025				2/4040		202~400	631~800		
1/5032		205~397	501~630	2/5040		322~640	631~800		
2/5032				2/8020		630~1260	316~400		
1/6332		321~630	501~630	2/6325		505~1000	401~500		
2/6332				2/8025		802~1575	401~500		
1/4040				158~320		631~800	2/5032	406~788	501~630
2/4040							2/6332	631~1260	501~630
1/5040				259~504		631~800	2/4040	322~640	631~800
2/5040							2/5040	511~1000	631~800

注:适宜电动机定子中的最大电流不大于 $2.5I_e$ 。

## 2.9.2 其他变阻器

其他变阻器各项参数如表 5.2.123 至表 5.2.133 所示。

表 5.2.123 其他变阻器简况

类别	型号	结构特点	用途
起动变阻器	BXQ1-1	由电阻丝绕制在螺纹瓷管上,使用时通过手轮的旋转带动桥式动触头与多级指式静触头接触,来达到改变电阻值的目的,手轮上有指针,指示“停止—起动—运转”	适用于 220V 及以下并励复励直流电动机的起动
	BX1	同上,手轮指示为“停止—起动—运转—调速”	同上,还可通过改变励磁电流的方式来调节电机的转速
	BX2	电阻元件采用板形电阻元件(康铜) 当转动手轮时,其压力可调的动触头随中心轴旋转,手轮上装有指针,顺时针方向转动表示转速增加。外壳四周有通风孔,防护等级为 IP20	适用于交流 380V 及以下的三相绕线式异步电动机的转子对称电路中作恒转矩负载的不频繁起动、调速之用
励磁变阻器	BL1	电阻元件由镍铬丝或康铜丝(带)制成,主要部件都装在绝缘安装板上,外壳为防滴式,手轮固定在转轴上	适用于直流电压 500V 及以下的励磁电路中调整直流或交流发电机的电压 也可用于调整直流电动机的转速
	BL7	电阻元件由康铜或新康铜带(或丝)制成,绕在螺纹瓷管或板型瓷件上。转动手轮使刷形触头移动而改变电阻值	同上,也可在电路中手动调节电压或电流
滑线变阻器	BX2	电阻元件由高电阻合金导线制成,绕在带有瓷衬垫的钢板上,通过手柄在轴上滑动或手轮的转动使电刷移动来改变电阻值 有电流增加或减少的指示牌	适用于 250V 及以下的电路中调整电路的电流、电压
	BX7 BX8	电阻元件由康铜丝(外涂氧化绝缘膜层)密绕在外表涂釉的瓷管上。变阻器的滑动装置采用导电碳刷在电阻丝表面均匀滑动调节	适用于交流 500V 及以下,直流 400V 及以下电路中校验电气仪表时改变电压、电流或代替未定的实验电阻值。在实验室或教学中作电压、电流调节器
	BX1	电阻元件由电阻丝制成,能在最高使用温度 350℃ 下正常工作,除调节滑动接触面外,均覆以珐琅保护层。有开启式和保护式两种,保护式即在变阻器上加有涂漆面金属防护箱壳,并配有调节手轮	适用于 380V 及以下工业电气设备中作电压、电流调节。也可用于电站、交直流发电机、电子设备及仪器等电路调整或控制
	BX1	电阻元件由石墨碳精片制成,可动调节极板、固定极板均由石墨制成	适用于电压 12V 及以下的直流发电机配电网路中,及用于控制电镀槽电流、电压

表 5.2.124 BQ1 系列起动变阻器主要技术数据

型号	电流 (A)	保护装置型号		级数	电阻元件	
		接触器	继电器		型号	数量
BQ1-1	30	CZ8-40/00		4	ZG3	2
BQ1-1Z		CZ8-40/01				2
BQ1-2	40	CZ8-40/00		7		6
BQ1-2A						12
BQ1-3	100	CZ8-100/00		8		8
BQ1-3A						16
BQ1-4	200	CZ8-200/00		12	ZB3	6
BQ1-4A					和	10
BQ1-4B						14
BQ1-4C					ZB4	18

表 5.2.125 BT1 系列起动调速变阻器主要技术数据

型号	额定电流 (A)	保护装置型号		级数		触头压力 (N)	
		接触器	继电器	起动	调速		
BT1-3/1 BT1-3/2	40	CZ8-40/00		6	10	8~12	
BT1-12/3 BT1-12/4 BT1-12/5	100	CZ8-100/00			7	15	15~20
BT1-24/6 BT1-24/7 BT1-24/8	200	CZ8-200/00			10	20	20~25

表 5.2.126 BT2 系列起动调速变阻器主要技术数据

型号	额定功率 (kW)	触头电流等级(A)			分级数
		≤20	≤40	≤63	
BT2-1/□	1	✓	—	—	10
BT2-2/□	2	✓	—	—	
BT2-3/□	3	✓	✓	—	
BT2-4/□	4	✓	✓	✓	
BT2-5/□	5	✓	✓	✓	
BT2-7/□	7	✓	✓	✓	
BT2-9/□	9	✓	✓	✓	

注:1. 型号中□表示规格代号。

2. 带“✓”表示制造厂提供的通常规格。



表 5.2.127 BL1 系列励磁变阻器主要技术数据

型 号	额定功率 (W)	极限电流 (A)	级 数	
			不开路接线	开路接线
BL1-300P	300	15	32	30
BL1-450P	450			
BL1-650P	650		40	38
BL1-900P	900		60	58
BL1-1200P	1200	25	120	118
BL1-1800P	1800			
BL1-2400P	2400			
BL1-2500P	2500	25	120	118
BL1-3500P	3500			
BL1-4500P	4500			

表 5.2.128 BL7 系列励磁变阻器主要技术数据

型 号	额定功率 (kW)	电阻分级数	
		≤60A	≤100A
BL7-15	15	60	30
BL7-21	21		
BL7-26	26		
BL7-31	31		

表 5.2.129 BX2 系列滑线变阻器主要技术数据

元件 序号	BX2-1		BX2-2		BX2-4		BX2-6		BX2-8	
	一个元件		两个元件		四个元件		六个元件		八个元件	
	电阻 (Ω)	电流 (A)	电阻 (Ω)	电流 (A)	电阻 (Ω)	电流 (A)	电阻 (Ω)	电流 (A)	电阻 (Ω)	电流 (A)
1	700	0.92	1400	0.92	700	1.6	465	2.25	350	3
2	500	1.1	1000	1.1	500	1.9	335	2.7	250	3.6
3	375	1.25	750	1.25	375	2.15	250	3.05	187.5	4.1
4	300	1.4	600	1.4	300	2.4	200	3.45	150	4.53
5	240	1.55	480	1.55	240	2.7	160	3.8	120	5.05
6	160	1.95	320	1.95	160	3.35	105	4.8	80	6.35
7	120	2.25	240	2.25	120	3.9	80	5.5	60	7.35
8	100	2.45	200	2.45	100	4.25	66	6	50	8
9	70	2.95	140	2.95	70	5.1	46	7.25	35	9.65
10	50	3.45	100	3.45	50	6	33	8.45	25	11.25
11	40	3.95	80	3.95	40	6.75	26	9.55	20	12.7
12	32	4.3	64	4.3	32	7.45	21	10.5	16	14
13	25	4.9	50	4.9	25	8.5	16	12	12.5	16
14	21	5.35	42	5.39	21	9.25	14	13.1	10.5	17.4
15	19	5.6	38	5.6	19	9.7	12.5	13.7	9.5	18.5
16	16	6.1	32	6.1	16	10.5	10.5	15	8	20

续表

元件 序号	BX2-1		BX2-2		BX2-4		BX2-6		BX2-8	
	一个元件		两个元件		四个元件		六个元件		八个元件	
	电阻 ( $\Omega$ )	电流 (A)	电阻 ( $\Omega$ )	电流 (A)	电阻 ( $\Omega$ )	电流 (A)	电阻 ( $\Omega$ )	电流 (A)	电阻 ( $\Omega$ )	电流 (A)
17	13	6.8	26	6.8	13	11.75	8.5	16.7	6.5	22.2
18	11	7.4	22	7.4	11	12.8	7.5	18.1	5.5	24.1
19	9.5	7.95	19	7.95	9.5	13.75	6.5	19.5	4.75	25.9
20	7.5	8.95	15	8.95	7.5	15.5	5	22	3.85	29.2
21	6.5	9.6	13	9.6	6.5	16.6	4.5	23.5	3.25	31.3
22	5.5	10.5	11	10.5	5.5	18.2	3.6	25.7	2.75	33.5
23	5	10.95	10	10.95	5	19	3.3	26.9	2.5	35.8
24	4.5	11.5	9	11.5	4.5	19.9	3	28.2	2.25	37.5
25	4	12.25	8	12.25	4	21.2	2.6	30	2	40
26	3.5	13.1	7	13.1	3.5	22.7	2.3	32		
27	3.2	13.7	6.4	13.7	3.2	23.7	2.1	33.6		
28	2.8	14.65	5.6	14.65	2.8	25.4	1.8	35.9		
29	2.4	15.9	4.8	15.9	2.4	27.5	1.6	39		
30	1.9	17.8	3.8	17.8	1.9	30.8				
31	1.6	19.5	3.2	19.5	1.6	33.4				
32	1.4	20.8	2.8	20.8	1.4	36				
33	1.2	22.4	2.4	22.4	1.2	38.6				
34	1.1	23.3	2.2	23.3	1.1	40.5				
35	1	24.5	2	24.5						
36	0.9	25.8	1.8	25.8						
37	0.8	27.4	1.6	27.4						

表 5.2.130 BX7 系列滑线变阻器主要技术数据,电阻值

 $\Omega$ 

额定电流 (A)	BX7- □/11	BX7- □/12	BX7- □/13	BX7- □/14	BX7- □/15	BX7- □/16	BX7- □/21	BX7- □/22	BX7- □/23	BX7- □/24
0.2	5k	7k	8.5k	10k	12k	14k	17k	20k	24k	28k
0.24	3.5k	4.7k	6k	7k	8k	9.5k	11.5k	14k	16k	19k
0.3	2.2k	3k	3.7k	4.5k	5.2k	6k	7.5k	9k	11k	12k
0.32	1.9k	2.6k	3.2k	3.8k	4.5k	5k	6.4k	7.6k	9k	10k
0.36	1.4k	1.9k	2.4k	2.9k	3.4k	3.95k	4.8k	5.8k	6.8k	7.8k
0.42	1.1k	1.5k	1.9k	2.3k	2.7k	3.2k	3.8k	4.5k	5.4k	6.2k
0.5	800	1.1k	1.4k	1.6k	1.9k	2.2k	2.7k	3.2k	3.8k	4.2k
0.53	700	950	1.2k	1.5k	1.7k	1.9k	2.4k	3k	3.4k	3.8k
0.57	600	800	1k	1.2k	1.5k	1.7k	2k	2.4k	3k	3.4k
0.65	450	600	750	900	1.1k	1.25k	1.5k	1.8k	2.1k	2.4k
0.76	340	450	580	700	800	970	1.15k	1.4k	1.6k	1.9k
0.9	250	330	420	500	580	670	840	1k	1.2k	1.34k
1	200	280	350	420	470	550	700	840	950	1.1k
1.2	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800

续表

额定电流 (A)	BX7- □/11	BX7- □/12	BX7- □/13	BX7- □/14	BX7- □/15	BX7- □/16	BX7- □/21	BX7- □/22	BX7- □/23	BX7- □/24
1.4	100	140	170	210	250	280	350	420	500	570
1.7	80	110	140	170	200	220	280	340	400	460
2	55	75	90	110	130	150	180	220	260	300
2.5	34	45	56	67	78	90	112	134	156	180
3	24	32	40	48	56	64	80	96	112	128
3.5	18	24	30	33	42	48	60	66	84	96
4.5	10	14	17	20	24	28	34	40	48	55
5.5	6.5	9	11	13	16	18	22	26	32	36
6.8	4.5	6	8	9.5	11	12.5	15	19	22	25
8	3	4	5	6	7.5	8.5	10	12	15	17
9	2.4	3.2	4	5	6	6.5	8	10	11.5	13
11.5	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8
13.5	1.1	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.6	4.4	5	5.8
17	0.75	1	1.3	1.5	1.8	2	2.5	3	3.5	4
20	0.55	0.72	0.9	1.1	1.26	1.44	1.8	2.2	2.52	2.9

表 5.2.131 BX8 系列滑线变阻器主要技术数据,电阻值

Ω

额定电 流(A)	BX8- □/11	BX8- □/12	BX8- □/13	BX8- □/14	BX8- □/15	BX8- □/16	BX8- □/17	BX8- □/21	BX8- □/22	BX8- □/23	BX8- □/24
0.2	18.5k	21k	24k					35k	42k	48k	
0.24	13k	15k	17k					24.5k	30k	34k	
0.3	8k	9.5k	10.5k					15.5k	19k	21k	
0.32	7k	8.5k	9.5k	10.5k	12k	13k	14k	14k	17k	19k	21k
0.36	6k	6.5k	7k	8k	9k	9.5k	10.5k	11.5k	13k	14k	16k
0.42	3.9k	4.75k	5.25k	6k	6.5k	7k	7.8k	7.8k	9.5k	10.5k	12k
0.5	3k	3.4k	3.85k	4.25k	4.75k	5.25k	5.6k	5.9k	6.8k	7.7k	8.5k
0.53	2.6k	3k	3.4k	3.8k	4.25k	4.6k	5k	5.2k	6k	6.8k	7.6k
0.57	2.1k	2.5k	2.9k	3.2k	3.5k	3.9k	4.2k	4.2k	5k	5.8k	6.4k
0.65	1.65k	1.9k	2.15k	2.4k	2.65k	2.9k	3.15k	3.3k	3.8k	4.3k	4.8k
0.76	1.25k	1.45k	1.65k	1.85k	2k	2.2k	2.4k	2.5k	2.9k	3.3k	3.7k
0.9	900	1.05k	1.2k	1.35	1.5k	1.65k	1.75k	1.8k	2.1k	2.4k	2.7k
1	700	850	950	1.1k	1.2k	1.3k	1.4k	1.4k	1.7k	1.9k	2.2k
1.2	500	600	700	750	850	900	1k	1k	1.2k	1.4k	1.5k
1.4	375	425	500	550	600	650	700	750	850	950	1.1k
1.7	305	350	400	440	485	520	570	610	700	790	880
2	175	205	235	260	285	315	340	350	410	470	520
2.5	130	150	168	188	205	225	243	260	300	335	375
3	80	90	103	113	125	135	150	160	180	205	225
3.5	60	70	80	90	100	110	120	120	140	160	180
4.5	37	43	50	55	60	65	70	74	85	96	110
5.5	24	27	31	35	40	43	46	48	55	62	70

续表

额定 电流 (A)	BX8- □/11	BX8- □/12	BX8- □/13	BX8- □/14	BX8- □/15	BX8- □/16	BX8- □/17	BX8- □/21	BX8- □/22	BX8- □/23	BX8- □/24
6.8	16	19	21	24	27	30	32	33	38	43	48
8	11	12	15	16	18	20	22	22	25	29	32
9	9	10	11.5	13	14	15	16	18	20	23	26
11.5	5.5	6.5	7.5	8	9	10	10.5	11	13	15	16
13.5	3.75	4.25	4.5	5	6	6.5	7	8	9	10	11
17	2.75	3	3.5	3.75	4.25	4.5	5	5.5	6	7	7.5
20	2	2.25	2.5	3	3.25	3.5	3.75	4	4.5	5	6
额定 电流 (A)	BX8- □/25	BX8- □/26	BX8- □/27	BX8- □/31	BX8- □/32	BX8- □/33	BX8- □/34	BX8- □/35	BX8- □/36	BX8- □/37	
0.2				52k	63k	72k					
0.24				36k	45k	51k					
0.3				23k	28k	31k					
0.32	24k	26k	28k	21k	25k	28k	31k	36k	39k	42k	
0.36	18k	19k	21k	17k	19k	21k	24k	27k	28k	31k	
0.42	13k	14k	15.5k	12k	14k	15k	18k	19k	21k	23k	
0.5	9.5k	10.5k	11.5k	8.8k	10k	11k	12k	14k	16k	17k	
0.53	8.5k	9.5k	10k	7.8k	9k	10k	11k	13k	14k	15k	
0.57	7k	7.8k	8.5k	6.3k	7.5k	8.7k	9.6k	10.5k	12k	13k	
0.65	5.3k	5.8k	6.3k	4.9k	5.7k	6.4k	7.2k	8k	8.7k	9.4k	
0.76	4k	4.4k	4.8k	3.7k	4.3k	4.9k	5.5k	6k	6.6k	7.2k	
0.9	3k	3.3k	3.5k	2.7k	3.1k	3.6k	4k	4.5k	4.9k	5.2k	
1	2.4k	2.6k	2.8k	2.1k	2.5k	2.8k	3.3k	3.6k	3.9k	4.2k	
1.2	1.7k	1.8k	2k	1.5k	1.8k	2.1k	2.2k	2.5k	2.7k	3k	
1.4	1.2k	1.3k	1.4k	1.1k	1.27k	1.4k	1.6k	1.8k	2k	2.1k	
1.7	970	1.05k	1.15k	910	1k	1.1k	1.3k	1.45k	1.57k	1.72k	
2	570	630	680	520	610	700	780	850	940	1.02k	
2.5	410	450	485	390	450	505	562	615	675	725	
3	250	270	295	240	270	310	340	375	405	440	
3.5	200	220	240	180	210	240	270	300	330	360	
4.5	120	130	140	110	120	140	160	180	190	210	
5.5	77	85	92	72	80	90	100	110	130	140	
6.8	53	58	63	49	57	64	72	80	87	94	
8	36	39	42	33	37	43	48	54	58	63	
9	29	31	34	27	30	34	39	43	46	51	
11.5	18	20	21	16	19	22	24	27	30	31	
13.5	12	13	14	11	12	14	16	18	20	21	
17	8.5	9	10	8	9	10.5	11	13	14	15	
20	6.5	7	7.5	6	6.75	7.5	9	9.75	10.5	11.25	

表 5.2.132 BC1 系列瓷盘式变阻器主要技术数据

型 号	额定功率 (W)	电阻规格 ( $\Omega$ )	最高温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
BC1-25	25	1、1.5、2、2.5、	300
BC1-50	50	3、4、5、6、7、	300
BC1-100	100	7.5、8、10、15、	300
BC1-150	150	20、25、30、35、	350
BC1-300	300	40、45、50、60、	350
BC1-500	500	70、75、80、100、	350
BC1-50/2	100	125、150、200、	300
BC1-100/2	200	250、300、350、	300
BC1-150/2	300	400、500、600、	350
BC1-300/2	600	700、750、800、	350
BC1-500/2	1000	1k、1.2k、1.5k、	350
BC1-300H	300	2k、2.5k、3k、	350
BC1-300H/2	600	3.5k、4k、5k	350
BC1-500H	500		350
BC1-500H/2	1000		350
BC1-150/3	450		350
BC1-300/3	900		350
BC1-500/3	1500		350
BC1-150H	150		350
BC1-300H/3	900		350
BC1-500H/3	1500		350

表 5.2.133 BS1 系列石墨碳阻变阻器主要技术数据

型 号 <sup>①</sup>	额定 电流 (A)	电阻变化 范围 <sup>②</sup> ( $\Omega$ )	额定电流 最小电压降 (V)	电压调节 范围 <sup>③</sup> (V)	电流调节 范围 <sup>④</sup> (A)	额定 功率 (kW)
BS1-50/12	50	0.004~0.7	1	1~8	5~50	0.6
BS1-100/12	100				5~100	1
BS1-200/12	200				5~200	2.5
BS1-300/12	300	0.0021~0.8		1~10	10~300	3.6
BS1-400/12	400				10~400	4.8
BS1-500/12	500				10~500	6
BS1-750/12	750	0.0015~0.8	15~750		8	
BS1-1000/12	1000		15~1000	12		

注：①BS1-□/02(不带表头)和本表数据相同。

②指变阻器的冷态电阻变化范围。

③当配合在 6V 母线配电线路中,均为 2~5V。

④电流的最小调节范围与镀槽工作有关(指镀件截面积之大小、镀件面积变化,调节范围随之改变),此值仅供参考。

## 2.10 电磁铁

电磁铁是一种把电能转化为机械能的电器,它利用电磁吸力来操动、牵引机械装置

### 2.10.1 牵引电磁铁

目前常用的牵引电磁铁有 MQ1 和 MQ2、MQ3 系列,作为机械设备及自动化系统中各种操作机构的远距离控制之用,采用交流单相螺管式结构。MQ1 和 MQ2 系列有推动式和拉动式两种,MQ3 系列有推拉两用式和拉动式两种。

MQ3 系列符合 IEC 及 GB1497-85 标准,平均指标达到国外同类产品先进标准;机械寿命高,可靠性好,体积小,重量轻;采用不锈钢导轨,高强度导向杆和线圈骨架,因此运动导向好、摩擦力小。由于其各方面性能较好,MQ3 系列可取代 MQ1 和 MQ2 系列老产品。各系列技术数据如表 5.2.134 至表 5.2.136。

型号说明:

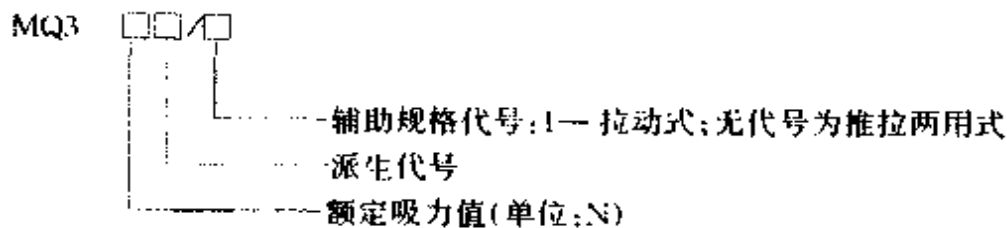


表 5.2.134 MQ1 系列交流电磁铁主要技术数据

型 号	额定吸力 <sup>①</sup> (N)	额定行程 (mm)	通电率 (%)	操作次数 (次/h)	衔铁质量 (kg)	消耗功率 (V·A)			
						起动	吸合		
MQ1-5101	15	20	100	600	0.25	450	50		
MQ1-5111	30	25			0.45	1000	80		
MQ1-5121	50				0.9	1700	95		
MQ1-5131	80	50		200	1.3	2200	130		
MQ1-5141	150				2.3	10000	480		
MQ1-5151	250				30	4	10000	780	
MQ1-6101	15	20		10	600	0.3	450	50	
MQ1-6111	30	25				0.55	1000	80	
MQ1-6121	50					1.23	1700	95	
MQ1-6131	80	20			200	1.65	2200	130	
MQ1-5102	30					400	0.25		
MQ1-5112	50						25	0.45	
MQ1-5122	80	0.9							
MQ1-5123	150	20	1.3						
MQ1-6102	30		0.3						
MQ1-6112	50	25	0.55						
MQ1-6122	80		1.23						
MQ1-6132	150		1.65						

注:①MQ1 后的第一位数字 5 表示拉动式,6 表示推动式。

②当施于线圈电压为 85% 额定值和额定初始行程时,电磁吸力不小于表中规定的吸

力值。当衔铁位于磁轭上方时,额定吸力值不包括衔铁的自重;而当衔铁位于磁轭下方时,额定吸力值包括衔铁的自重。吸引线圈额定电压有 127、220 和 380V

表 5.2.135 MQ2 系列交流电磁铁主要技术数据

型 号	额定吸力 (N)	额定行程 (mm)	线圈电压 (V)	通电率 (%)	操作次数 (次/h)	衔铁质量 (kg)	消耗功率(V·A)	
							起动	吸合
MQ2-0.7	7	10	127、 220、 380	100 (拉动 式)	600	0.15	102	16
MQ2-1.5	15	20				0.2	532	49
MQ2-3	30	25				0.25	817	68
MQ2-5	50	25			400	0.35	1825	99
MQ2-8	80	25				0.5	1980	110
MQ2-15	150	50	220、 380	200	1.6	8560	342	
MQ2-25	250	30			3	10120	437	
MQ2-1.5A	15	20	127、 220、 380	100 (推动 式)	600	0.2	532	49
MQ2-3A	30	25				0.25	817	68
MQ2-5A	50	25				400	0.35	1825
MQ2-8A	80	25			0.5		1980	110

表 5.2.136 MQ3 系列交流电磁铁主要技术数据

型 号	产品 分级	额定吸力	额定 行程 (mm)	操作 次数 (次/h)	吸引线圈 额定电压 (V)	线圈 绝缘 等级	机械 寿命 ( $\times 10^4$ 次)
		(N)					
MQ3-6.2(0.63) MQ3-7.8(0.8) MQ3-9.8(1.0) MQ3-12.3(1.25)	微 型	6.2 7.8 9.8 12.3	10	1200	36、110、 220、380	E	120
MQ3-15.7(1.6) MQ3-19.6(2.0) MQ3-24.5(2.5) MQ3-31(3.15) MQ3-39(4.0)	小 型	15.7 19.6 24.5 31 39	20	600	110、220、 380	E	120
MQ3-49(5.0) MQ3-62(6.3) MQ3-78(8.0) MQ3-98(10.0)	中 型	49 62 78 98	30	600	110、220、 380	E	100
MQ3-123(12.5)/1 MQ3-157(16)/1 MQ3-196(20)/1 MQ3-245(25)/1	大 型	123 157 196 245	40	300	220、380	B	70

## 2.10.2 制动电磁铁

制动电磁铁线圈电源有交流和直流之分,衔铁行程有长行程和短行程两种。

目前常用的交流制动电磁铁有 MZDI 和 MZSI 系列,直流制动电磁铁有 MZZ2 和 MZZ5 系列,常用的闸瓦式制动器有 TJ2 和 TZ2 系列。技术数据如表 5.2.137 至表 5.2.141。

表 5.2.137 MZD1 交流制动电磁铁主要技术数据

型 号	电磁铁转矩(N·cm)		衔铁的重 力转矩 (N·cm)	回 转 角	额定回转角度 下制动杆位移 (mm)	操作频率(次/h)	
	通电持续率					反复短 时制	长期 工作制
	40%	100%					
MZD1-100	550	300	56	7.5°	3	300	200
MZD1-200	4000	2000	360	5.5°	3.8		
MZD1-300	10000	4000	920	5.5°	4.4		

表 5.2.138 MZS1 交流制动电磁铁主要技术数据

型 号	衔铁行程 (mm)	电磁吸力 (N)	衔铁质量 (kg)	消耗功率 (W)	备 注
MZS1-6	20	80	2	70	1.线圈为三相 2.操作频率为 150 次/h, 超过此值,则其额定行 程将减少 3.额定电压 220,380V
MZS1-7	40	100	3	90	
MZS1-15	50	200	4.5	150	
MZS1-25	50	350	11	200	
MZS1-45	50	570	11	500	
MZS1-80	60	1150	33	750	
MZS1-1000	80	1400	42	1000	

表 5.2.139 MZZ2 系列直流制动电磁铁主要技术数据

型 号 <sup>1)</sup>	行 程 (mm)	吸 力 (N)				衔铁 质量 (kg)	线圈需要功率(W)	
		90% 额定电压下		80% 额定电压下			通电持续 率 = 25%	通电持续 率 = 40%
		通电持续 率 = 25%	通电持续 率 = 40%	通电持续 率 = 25%	通电持续 率 = 40%			
MZZ2-30S	30	65	45	50	30	0.7	180	130
MZZ2-40S	40	115	80	95	65	1.5	280	200
MZZ2-60S	60	190	140	160	120	2.8	350	250
MZZ2-80S	80	370	300	320	250	7	550	400
MZZ2-100S	100	520	400	450	330	12.3	750	520
MZZ2-120S	120	1000	720	800	570	23.5	1150	800
MZZ2-30H	30	65	45			0.7	200	140
MZZ2-40H	40	115	80			1.5	350	220
MZZ2-60H	60	190	140			2.8	560	330
MZZ2-80H	80	370	300			7	760	500
MZZ2-100H	100	520	400			12.3	1100	700
MZZ2-120H	120	1000	720			23.5	1600	950

注:①型号中字母“S”表示防水式,“H”表示保护式。

表 5.2.140 MZZ5 系列直流制动电磁铁主要技术数据

型 号	行程 (mm)		额 定 推 力 (N)				电 流 (最 大 值) (A)			
			通电持 续率 = 25%	通电持 续率 = 40%	通电持 续率 = 60%	八小 时工 作制	通电持 续率 = 25%	通电持 续率 = 40%	通电持 续率 = 60%	八小 时工 作制
	起始	额 定								
MZZ5-32	1.8	2.8	320	250	200	160	1.25	0.95	0.55	0.33
MZZ5-125	2.2	3.6	1250	1000	800	630	2.3	1.23	0.76	0.45
MZZ5-250	3	4.5	2500	2000	1600	1250	3.8	2.4	1.6	1.04



表 5.2.141 TJ2、TZ2 制动器主要技术数据

制动器型号	制动力矩 (N·m)		闸瓦退距 (正常/最大) (mm)	调整杆行程 (开始/最大) (mm)	配用的制 动电磁铁 型号
	通电持续 率 = 40%	通电持续 率 = 100%			
TJ2-100	20	10	0.4/0.6	2/3	MZDI-100
TJ2-200/100	40	20	0.4/0.6	2/3	MZDI-100
TJ2-200	160	80	0.5/0.8	2.5/3.8	MZDI-200
TJ2-300/200	240	120	0.5/0.8	2.5/3.8	MZDI-200
TJ2-300	500	200	0.7/1	3/4.4	MZDI-300
TZ2-100	20	17	0.4/0.6	2/3	MZZI-100
TZ2-200/100	40	32	0.4/0.6	2/3	MZZI-100
TZ2-200	160	130	0.5/0.8	2.5/3.6	MZZI-200
TZ2-300/200	240	200	0.5/0.8	2.5/3.6	MZZI-200
TZ2-300	500	440	0.7/1	3/4.5	MZZI-300

### 2.10.3 电力液压推动器

电力液压推动器俗称液压推杆,是代替传统的电磁铁产品的一种新型制动器的驱动元件,由于其可靠性和耐用性比交流电磁铁有明显提高,所以逐步被广泛采用。技术数据如表 5.2.142 至表 5.2.144。

表 5.2.142 MYT1 系列电力液压推动器主要技术数据

型 号	额定 推力 (N)	行程 (mm)	额定操 作频率 (次/h)	电动机额定参数			配用制动器参数						
				电压 (V)	功率 (W)	转速 (r/min)	型 号	制动力矩 (N·m)	制动瓦 退距 (mm)				
MYT1-25	250	25	720	AC 380	60	2800	YWZ-150/25	80	0.6				
		40					YWZ-200/25	180	0.7				
MYT1-45	450	40					120	YWZ-250/45	360	0.7			
		50									YWZ-300/45	630	0.7
		60									YWZ-400/45	1000	0.8
MYT1-90	900	60					250	YWZ-400/90	1600	0.8			
		80									YWZ-500/90	2100	0.8
MYT1-180	1800	80					400						
		100											
		120											

注:推动器采用 20<sup>#</sup> 机油。

表 5.2.143 MYT3 系列电力液压推动器主要技术数据

型 号	额定 推力 (N)	额定 行程 (mm)	额定操 作频率 (次/h)	通电 持续率 (%)	电动机额定参数			外壳防 护等级	机械 寿命 ( $\times 10^4$ 次)
					电压 (V)	功率 (W)	转速 (r/min)		
MYT3-40	400	40	1200	40、 100	380	180	2850	IP50	300
MYT3-70	700	50				250			
MYT3-125	1250	50				550			
MYT3-200	2000	80				750			
MYT3-315	315	80				1100			

注:周围空气温度高于 $-10^{\circ}\text{C}$ 时,推动器推荐采用 DB-25 变压器油(SY1351-77);周围空气温度等于或低于 $-10^{\circ}\text{C}$ 时,推动器推荐采用 10 号航空油(SY1181-76)。均不得混入其他油液。

表 5.2.144 YWZ2 制动器(与 MYT3 推动器配合)主要技术数据

型 号	制动轮 直径 (mm)	制动 力矩 (N·m)	制动瓦 块退距 (mm) <sup>①</sup>	推动器 初始行 程(mm)	配合推动器		
					型 号	额定推力 (N)	额定行程 (mm)
YWZ2-200/40	200	200	0.6~1.6	15	MYT3-40	400	40
YWZ2-300/40	300	400	0.7~1.4	20			
YWZ2-300/70		630	0.7~1.8		MYT3-70	700	50
YWZ2-400/70	400	1000	0.8~1.6	25			
YWZ2-400/125		1600			MYT3-125	1250	50
YWZ2-500/125	500	2500	0.9~1.5	30			
YWZ2-600/200	600	5000	1.0~2.3	34	MYT3-200	2000	80
YWZ2-700/315	700	8000	1.2~2.2	44	MYT3-315	3150	80
YWZ2-800/315	800	1250	1.4~2.0	57			

注:①退距中前者是初始值,对应于推动器的初始行程;后者是最终值,对应于推动器的额定行程。

## 2.11 信号灯及电气设备辅件

### 2.11.1 信号灯

信号灯在交直流线路中,作各种指示信号之用。技术数据如表 5.2.145 至表 5.2.147。

表 5.2.145 AD0 系列信号灯主要技术数据

型号规格	额定工作电压 (V)	配用白炽灯泡	配用电阻器	颜色
AD0-0(XD0)	6	XZ6.3-0.15E10/13		红、黄、 蓝、绿、 白、透 明
AD0-1(XD1)	12	XZ12-0.1E10/13		
AD0-5(XD5)	24	XZ12-0.1E10/13	RXY 25W 150Ω	
	48		RXY 25W 400Ω	
AD0-6(XD6)	110		RXY 30W 1000Ω	
	220		RXY 30W 2200Ω	
	380	XZ12-0.06E10/13	RXY 30W 6000Ω	
AD0-11(XD11) AD0-12(XD12)	6	XZ6.3-0.15E10/13		
	12	XZ12-0.1E10/13		
	24	XZ24-0.06E10/13		
AD0-13(XD13) AD0-14(XD14)	220	辉光灯泡 ND2	RJ 0.5W 30kΩ	红、黄、 白、绿
	380	辉光灯泡 ND1	RJ 1W 80kΩ	
			配用变压器	
AD0-7(XD7)	24	XZ12-0.1E10/13	24/10V 1.5V·A	红、黄、 蓝、绿、 白、透 明
	36		36/10V 1.5V·A	
AD0-8(XD8)	48		46/10V 1.5V·A	
	110		110/10V 1.5V·A	
	127		127/10V 1.5V·A	
	220		220/10V 1.5V·A	
	380		380/10V 1.5V·A	

型号说明:

ADI - □/□□

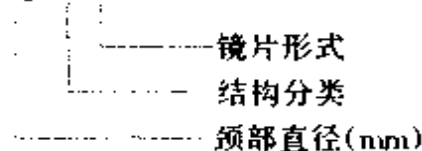


表 5.2.146 ADI 系列信号灯主要技术数据

型号规格	额定工作电压(V)	配用灯泡	内装减压装置		颜色	
			串联电阻	并联电阻		
22/31, 25/31, ADI-30/31, 22/32, 25/32, 30/32	110	XZ8-1W E10/13	变压器 110/6V		红、黄、 蓝、绿、 白、透 明	
	220		变压器 220/6V			
	380		变压器 380/6V			
ADI- 22/21, 25/21, 30/21 22/22, 25/22, 30/22	110	XZ60-1.5W E10/13	电阻 RX27-1-3, 1.2kΩ×2			
	220		电阻 RX27-1-7, 3kΩ×2			
22/11, 25/11 ADI-30/11, 22/12 25/12, 30/12	6	XZ8-1W E10/13				
	12	XZ12-1.2W E10/13				
	24	XZ24-1.5W E10/13				
	36	XZ36-1.5W E10/13				
ADI-30/111	48	XZ48-1.5W E10/13				
	24	24V 3W E14				
	36	36V 3W E14				
	48	48V 3W E14				
	110	110V 3W E14				
	127	127V 5W E14				
	220	220V 5W E14				
22/212, 25/212, ADI-30/212, 22/222, 25/222, 30/222	110	NDI-110 红 NDLI-110 绿	RI-1W 10k	RI-1W 100k	红、黄、 绿、白	
	220	NDI 红	RI-1W 27k	RI-1W 200k		
	380	NDLI 绿	RI-1W 75k	RI-1W 350k		

表 5.2.147 AD2 系列电容式信号灯主要技术数据

额定电压(V)	额定功率(W)	配用灯泡	灯泡颜色
110, 220, 380	1	24V 1.5W E10/13	红、绿、蓝、白、黄

注:型号 AD2-□/□中第一方框为基本规格代号,“22”、“26”、“30”分别表示安装规格尺寸 D22、D26、D30;第二方框为辅助规格代号,“1”、“2”、“3”分别表示额定电压为 110V、220V、380V。

## 2.11.2 接线座

### 2.11.2.1 JH 系列组合型接线座 结构特点如表 5.2.148。

表 5.2.148 JH 系列组合型接线座简况

型号	型号说明 <sup>1)</sup>	额定截面 (mm <sup>2</sup> )	结构特点	
JH1	JH1 - □□ ——特征代号 ——额定截面	1.5、2.5、6、25、35	1. 绝缘件采用热塑性工程塑料制成, 绝缘强度高, 机械性能好 2. 在接线座上上部有用于书写或打印电路符号的白色标记牌	1. 接线方式采用螺钉压接, 导线端应配用 TO、TU 型压接端头 2. 接线座顶部配有透明防护罩
JH2	JH2 - □□ ——特征代号 ——额定截面	1.5、2.5、6、16、35		1. 接线方式采用筒式压接, 导线端应配用 TZ 型针状压接端头 2. 接线座顶部配有透明防护罩
JH3	JH3 - □/□□ ——特征代号 ——接点对数 ——额定截面	2.5		接线方式采用插一插、插一压连接, 前者导线端应配用 TTI 型插套型端头, 后者导线端应配用 TO、TU 型端头
JH6	JH6 - □□ ——特征代号 ——额定截面	2.5、6、10、16、35		1. 接线方式采用筒式压接, 导线端应配用 TZ 型针状压接端头 2. 接线座顶部配有透明防护罩
JH9	JH9 - □□ ——特征代号 ——额定截面	1.5、2.5、6、10、25		1. 接线方式采用螺钉压接, 导线端应配用 TO、TU 型压接端头 2. 接线座顶部配有透明防护罩
JH4	JH4 - □ DD ——等电位代号 ——额定截面	1.5、10、25	接线座采用国际标准的 G 型安装轨安装, 安装轨用铜材制造, 以作为总接地装置	
JH5	JH5 - □□ ——特征代号 ——额定截面	1.5、2.5、6、10、25	1. 接线方式采用螺钉压接, 导线端应配用 TO、TU 型压接端头 2. 在接线座上上部有用于书写或打印电路符号的白色标记牌 3. 绝缘件采用热固性塑料制造	

注: ①基型接线座不注特征代号, 另外:

JH1 有 L、S、SL、RD、B、G;

JH2 有 JD、LX、L、H、S、SL、RD、K、B、G;

JH3 有 L、S、G、B;

JH5 有 L、T、TL、S、B、G;

JH6 有 L、SL、RD、JD、B、G；

JH9 有 Z、ZG。

其中：L—联络型；S—试验型；SL—试验联络型；RD—熔断器型；B—标记型；G—隔板；  
JD—接地型；LX—零线型；H—焊接型；K—开关型；T—特殊型；TL—特殊联络型；  
Z—终端型；ZG—终端隔板。

### 2.11.2.2 JF2、JF4、JF5 底座封闭型接线座

(1) JF2 型适用于频率 50Hz(或 60Hz)、交流额定电压 380V 电路中,作为截面  $1 \sim 2.5\text{mm}^2$  圆铜导线(线端压接端头)的连接之用。

(2) JF4 型适用于交流 50Hz(或 60Hz)、电压 500V 或直流电压 440V 电路中,作为截面  $0.5 \sim 4\text{mm}^2$  圆铜导线(线端压接端头)的连接之用。

(3) JF5 型适用于交流 50Hz(或 60Hz)、电压 660V 的电路中,作截面  $0.75 \sim 25\text{mm}^2$  圆铜导线(线端压接端头)的连接之用。

### 2.11.3 铜制裸压接端头

端头俗称线鼻子,为配置在导线的端部用以保证机械和电气连接性能的器件。在压接部位不带绝缘套的称为裸端头;压接部位带绝缘套的称为预绝缘端头。端头包括 U 型、O 型、UL 型、插片型、插套型、针状型、管状型、卡夹型等。

TO1 型、TUI 型端头系冲压成型,压接筒上的隙缝用银焊焊牢;TO2 型、TU2 型是采用紫铜棒通过冷冲压、热处理等工艺加工而成,它的筒部无缝,故无需采用银焊。TO、TU 型端头按导线截面分为  $0.5、1、1.5、2.5、4、6、10、16、25、35$  和  $50\text{mm}^2$  几种规格,按紧固螺钉直径分为  $2、2.5、3、4、5、6、8、10、12、14、16\text{mm}$  几种规格。

TZ1 型针状铜制裸压接端头适用于接线方式采用筒式压接连接的场合,按导线截面分为  $0.5、1、1.5、4、6\text{mm}^2$  几种规格,插针长度有  $8、10、12、13\text{mm}$ 。

TT1 插套型、TPI 型插片型端头配对使用,按导线截面分为  $0.5、1、2.5\text{mm}^2$  三种规格。

以上压接端头与导线的连接必须采用与其相配的专用压接钳进行冷挤压连接,使接线牢固,接触可靠。

## 3 低压电器常见故障和修理

### 3.1 低压电器安装、日常维护保养

(1) 低压电器安装、使用场所应符合低压电器产品的正常工作条件。如果环境条件比较恶劣,应采取必要的补救措施,如湿度偏大,可采用除湿机降低空气中的湿度;改善通风条件,加快电器产品散热等。

(2) 电器元件如装在密闭的开关柜或箱内,要留有适当的散热空间,必要时上、

下部开孔,装上铜丝网或塑料通风窗,以加强空气对流。按技术标准要求,保证有足够的电气间隙、爬电距离、飞弧距离(即灭弧室与导电部分和接地部分的距离)。

(3)安装前应用 500V 摇表检查电器产品的绝缘电阻。如果产品标准没有规定绝缘电阻值,其额定绝缘电压  $U_n \leq 60V$  的,绝缘电阻值不得少于  $1M\Omega$ ;  $60V < U_n \leq 660V$  的,不得少于  $1.5M\Omega$ 。

(4)安装前应检查零部件是否完好,元件的额定电压、额定电流是否符合使用要求;断路器的分励脱扣器、失压脱扣器动作是否正常,过电流脱扣器的整定位置是否符合要求,断路器等在闭合和断开过程中,其可动部分与灭弧室的零件应无卡住和碰撞现象;断路器安装完毕后应用手柄或其他操作装置检查开关动作是否正常;对于电磁机构产品,应把极面的防锈油抹净。

(5)在安装时,对导电部分的铜、铝连接,特别是大电流的导电连接,要有相应的措施,如涂抹导电膏,以降低使用中的接触电阻;连接处的螺钉要紧固牢靠。

(6)使用过程中,应定期、全面地检查电器的各部件,并用毛刷、压缩空气清除电器产品内部、外部的灰尘、金属粒子,及时修换损坏的零件。断路器分断短路电流后,必须清理灭弧壁、触头上的烟痕,如灭弧栅片被烧严重、灭弧罩损坏,即予更换;主触头烧损严重或有凹坑时,应进行修理或更换。

(7)电器产品在运行中,切忌超过温升极限值,否则有可能影响触头压力,加速绝缘老化。绝缘老化现象是按所谓“八度规律”变化的,即在极限允许温度的基础上,每升高  $8^\circ C \sim 12^\circ C$  时,其绝缘材料的使用寿命将减少一半。

(8)电器产品的转动部分应定期加润滑油,以保持转动灵活。

## 3.2 低压电器常见故障的修理

低压电器在现代工农业生产中起着重要的作用,但由于长期使用或维护保养不当、制造质量问题、使用条件恶劣等因素造成故障会直接影响正常供电,因此必须及时做好修理工作。

### 3.2.1 触头的修理

触头是用来接通和分断负载电路的,是断路器、接触器、继电器、按钮、转换开关等有触点电器的重要组成部分。触头工作的好坏会直接影响到开关电器的质量和特性,触头在工作中会由于热、电、磁以及金属变形等各种效应的作用而遭到破坏,如振动、电磨损和熔焊的损坏。因此要求触头有较高的耐热性、耐电弧性和耐磨损性。另一方面要掌握各种触头的使用参数,即触头的终压力、初压力、超行程及开距,这些数据一般在产品使用说明书或技术条件中可以查到。

3.2.1.1 触头的终压力 触头处于闭合位置时的触头压力,它保证触头在正常工作条件下温升不超过允许值。

3.2.1.2 触头的初压力 主要作用是减少触头的振动和电磨损。

触头的终压力和初压力一般依据经验数据并通过试验最后决定,如果一时查不到这些数据,下面给出的经验公式可提供一个数值范围。

当触头为线接触,额定电流  $I_n \geq 40\text{A}$  时:

$$P_f = 2.25 I_n / 10 \quad (\text{N})$$

$$P_c = 0.5 P_f \quad (\text{N})$$

当触头为指形触头,额定电流  $I_n = 40 \sim 80\text{A}$  时:

$$P_f = 0.78 I_n / 10 \quad (\text{N})$$

$$P_c = 0.65 P_f \quad (\text{N})$$

当触头为桥式触头时:

$$P_f = (0.6 \sim 1) I_n / 10 \quad (\text{N})$$

$$P_c = (0.67 \sim 0.72) P_f \quad (\text{N})$$

式中  $I_n$  —— 触头额定电流(A);

$P_f$  —— 触头终压力(N);

$P_c$  —— 触头初压力(N)。

触头压力可以用弹簧秤或砝码进行测量,图 5.2.12 所示是用弹簧秤测量触头压力的方法。测量初压力时把纸片放在触头和支持件之间,测量终压力时把纸片放在触头间,拉动弹簧秤,当纸片刚可拉出时弹簧秤的读数即为所测触头压力。如果没有专用测量器具,可用手直接拉动纸条,凭经验或与新的电器产品作对比,判断压力是否符合要求。一般对小容量电器产品,稍使劲纸条即可拉出而纸不撕裂;大容量电器,纸条拉出后会撕裂,这样可判断触头压力基本符合要求。

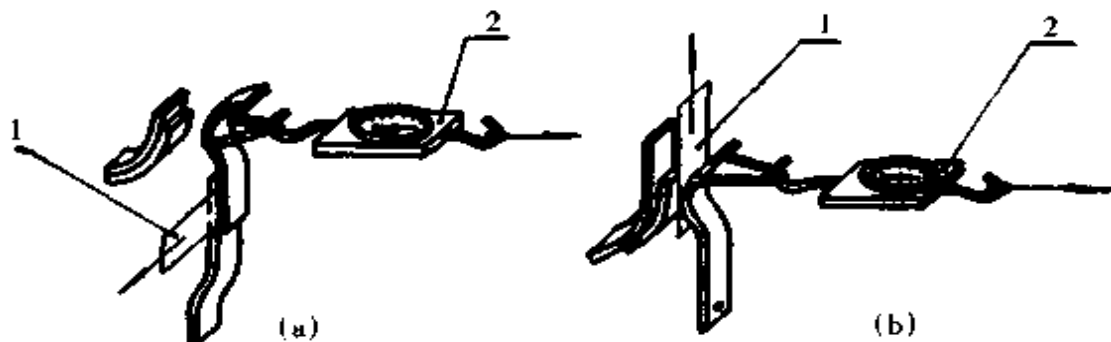


图 5.2.12 触头压力的测量法

(a) 初压力测量法 (b) 终压力测量法

1—纸片 2—弹簧秤

**3.2.1.3 触头的超行程** 从触头开始接触起到动触头再向前移动的一段距离。触头的超行程是保证触头在磨损一定程度以内仍能正常工作。由于触头接通和分断有载电路对触头的磨损是很严重的,一般当触头磨损了  $1/3 \sim 1/2$  厚度时必须更换新触头。



3.2.1.4 触头的开距 触头之间的最短距离。触头的开距希望尽量小些,这样衔铁行程便可小些,这将减小电磁铁的尺寸,减少触头的振动。但开距太小,不利于电弧的熄灭。

测量触头的超行程和开距,一般可用卡尺和塞规,采用专用测量器具可使测量更准确、快捷。

因此,在触头的修理时,上述参数必须符合产品的技术条件或使用说明书的要求,触头材料要用同样的材料进行修补或更换,但目前普遍使用银基合金触头,修补较困难。如果触头受电弧轻微烧灼或修补后触头表面稍有些毛糙,可不必修锉,以免减低触头寿命。如果触头被电弧烧成堆积状的熔滴时,可用细锉刀清除其四周溅珠。

如果触头弹簧失效,应采用碳素弹簧钢丝绕制。为使接触平稳,弹簧的两端应有将近一圈整平(如采用较粗的弹簧钢丝,可用砂轮磨平的方法),然后进行回火处理,回火温度为 $250^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ,保持 $20\sim 40\text{min}$ 。一般,弹簧需镀锌处理,为了消除镀锌后的氢脆,还要进行去氢处理,将弹簧放入 $200^{\circ}\text{C}$ 的烘箱保持 $2\text{h}$ 即可。

总之,电器产品对触头的材料、几何尺寸要求较高,自制零件在时间、质量、成本上都存在一定问题,有的使用单位无法自己加工,为了保证修理的质量,减少停电损失,最好向制造厂采购一些易损件作备件,以保证电器产品正常运行。

### 3.2.2 线圈的修理

低压电器的电磁系统包括线圈和铁心。线圈在运行过程中如果内部发生断线、短路、烧毁损坏等,必须更换。一般可采购一些线圈的备品,如果一时买不到或是线圈电压与实际不符就得重绕。

重绕线圈得有原有线圈的参数,如导线型号、线径(或截面尺寸)、线圈匝数等。如果是无骨架的线圈,应先自制一个木框,木框的轴芯应比铁心截面大些,以便线圈绕好,用黄蜡绸或白布带外包绝缘后能够放入铁心内。绕制线圈用的木框和线

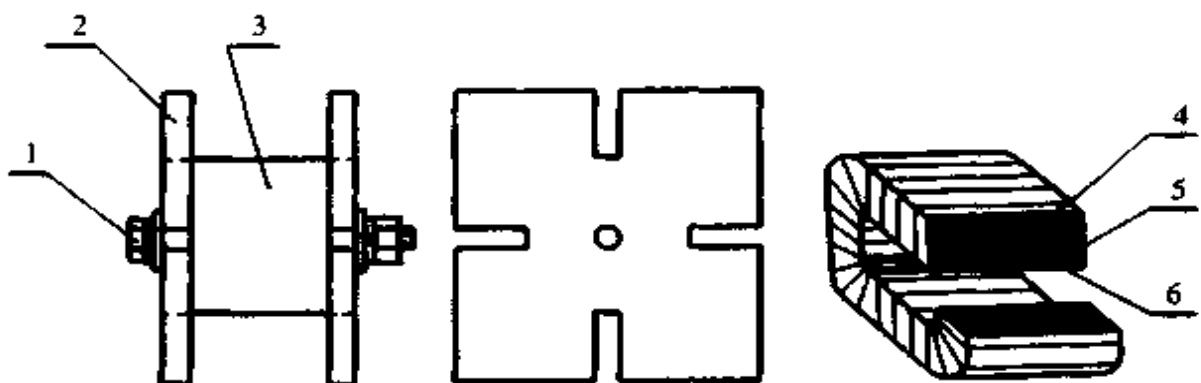


图 5.2.13 绕制线圈用的木框和线圈结构

1—螺栓 2—夹板 3—轴芯 4—一层间绝缘纸 $0.03\text{mm}$

5—绝缘纸板 $0.2\sim 0.3\text{mm}$  6—外部绝缘

圈的结构见图 5.2.13。

绕制时,导线的拉紧程度要适当。拉力太小,在线圈工作时由于承受各种作用力,导线之间的松动会产生互相磨擦,易使导线的漆膜磨损,造成短路。采用高强度漆包线的绕组,可以不用层间绝缘。如果线径较细,应先将端头去漆,绕于多股软线上,用电烙铁焊牢后引到接线端头。然后将绕好的线圈放入  $110^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  的烘箱中保温 2~3h,取出冷却至  $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  后浸入 1010 沥青漆或其他相应的清漆中。待漆渗透到线圈内部后取出线圈,滴去余漆再放入  $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  烘箱内 1~3h,再升至  $100^{\circ}\text{C}$  烘到干透。烘干后经冷却至常温后即可使用。

如果线圈的电压或通电持续率与实际情况不符,或线圈的参数无法查到时,则需要对线圈重绕的计算。

### 3.2.2.1 交直流电压线圈改变电压的计算

新线圈的匝数:

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot N_1$$

新线圈的线径:

$$d_2 = \sqrt{\frac{U_1}{U_2}} d_1 \quad (\text{mm})$$

新线圈的电阻:

$$R_2 = \frac{N_2}{N_1} \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 R_1 \quad (\Omega)$$

式中  $U_1$ ——原有线圈的电压(V);

$U_2$ ——新线圈的电压(V);

$N_1$ ——原有线圈的匝数;

$N_2$ ——新线圈的匝数;

$d_1$ ——原有线圈的线径(mm);

$d_2$ ——新线圈的线径(mm);

$R_1$ ——原有线圈的电阻( $\Omega$ );

$R_2$ ——新线圈的电阻( $\Omega$ )。

3.2.2.2 直流线圈改变通电持续率的计算 当线圈的发热条件和电压不变时,改变通电持续率。

新线圈的线径:

$$d_2 = \sqrt{\frac{JC_2}{JC_1}} d_1 \quad (\text{mm})$$

式中  $JC_1$ ——原有线圈的通电持续率;

$K_2$ ——新线圈的通电持续率

新线圈的匝数、电阻见 3.2.2.1 中计算公式。

3.2.2.3 交流电压线圈在原有参数不清楚时的计算 如果原有线圈的导线直径可从旧线圈取得,那么匝数  $N$  可由下式确定:

$$N = 45 \frac{U}{BS}$$

式中  $N$ ——线圈的匝数;

$U$ ——线圈的电压(V);

$B$ ——铁心磁通密度,一般取 1.4~1.6T;

$S$ ——铁心的截面积( $\text{cm}^2$ )。

如果原有线圈的线径无法查到,可先利用图 5.2.14 查出线圈每伏电压需要的匝数  $N'$ ,然后根据线圈电压  $U$  求出线圈的匝数:

$$N = U \cdot N'$$

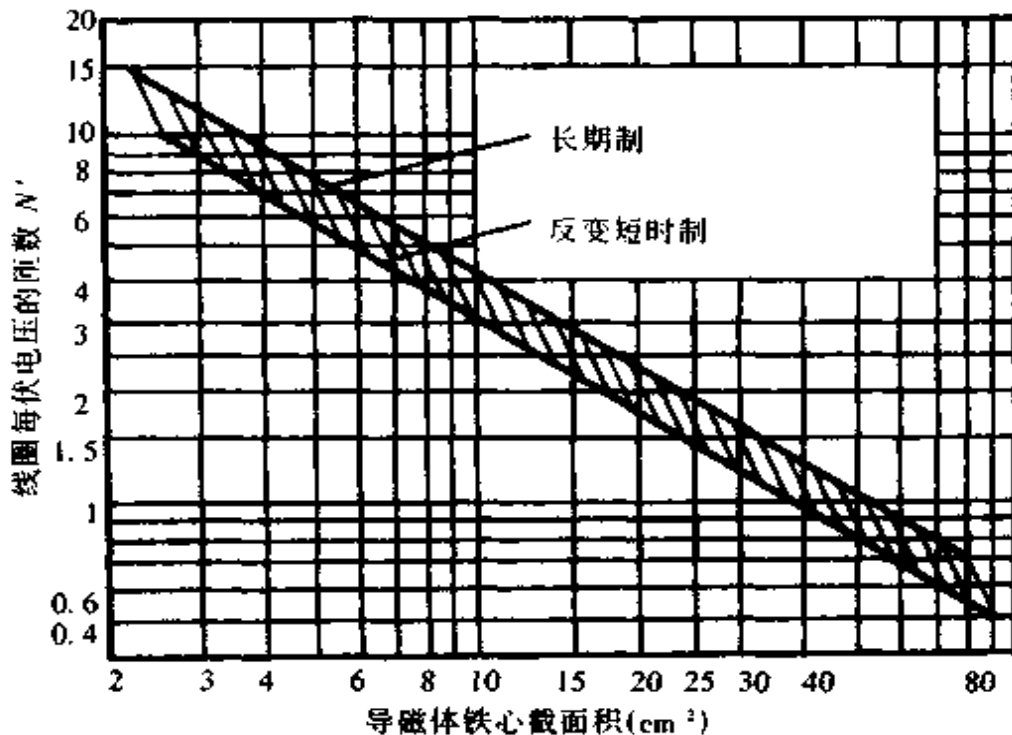


图 5.2.14 求线圈匝数的曲线

再查图 5.2.15 求填充系数  $K$  的曲线,查出窗口面积的填充系数  $K$ ,根据窗口面积  $Q_1$  求出导线的总截面积  $Q_2$ :

$$Q_2 = K \cdot Q_1$$

这样每根导线的截面积  $S_1$ 、直径  $d$  即可近似求得:

$$S_1 = \frac{Q_2}{N} \quad (\text{mm}^2)$$

$$d = 2\sqrt{\frac{S_1}{\pi}} \quad (\text{mm})$$

进而确定导线的标称直径和牌号。

填充系数  $K$  与有无骨架、导线绝缘漆厚度、线圈所用绝缘物厚度有很大的关系,因此选取时要充分考虑到。

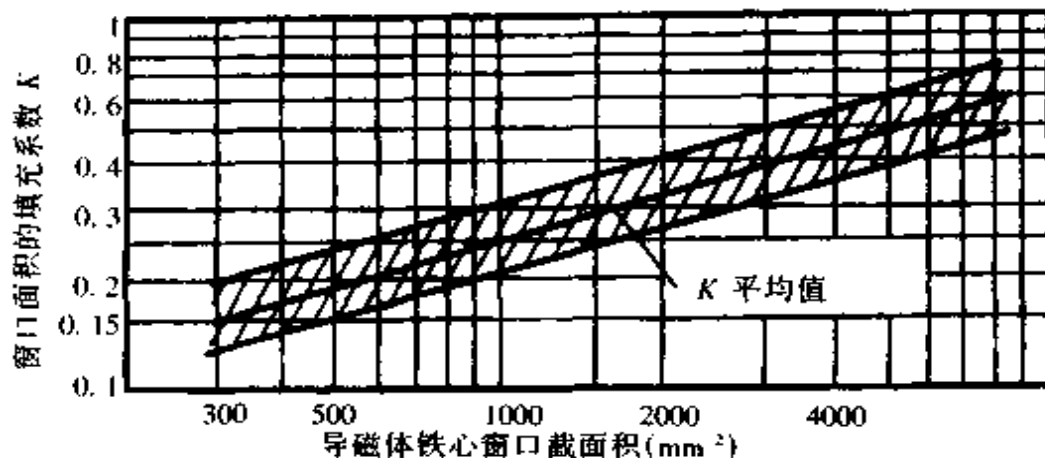


图 5.2.15 求填充系数  $K$  的曲线

3.2.2.4 交直流电流线圈改变电流时的计算 为了保持电磁吸力不变,新线圈的匝数应作相应改变。

新线圈的匝数:

$$N_2 = \frac{I_1}{I_2} N_1$$

新线圈的线径:

$$d_2 = \sqrt{\frac{I_2}{I_1}} d_1 \quad (\text{mm})$$

式中  $I_1$ ——原有线圈的电流(A);

$I_2$ ——新线圈的电流(A)。

### 3.3 部分低压电器的故障和处理方法

部分低压电器的故障和处理方法如表 5.2.149 至表 5.2.152 所示。

表 5.2.149 接触器的故障和排除

故障现象	原因	处理方法
吸不上或吸不到底	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电源电压太低;</li> <li>2. 线圈额定电压与回路电压不符;</li> <li>3. 线圈断线或烧毁;</li> <li>4. 衔铁或机械可动部分卡死、生锈、歪斜;</li> <li>5. 触头弹簧压力和超程过大;</li> <li>6. 直流操作双绕组线圈并联在保持绕组或经济电阻上的常闭辅助触头过早断开</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整至额定工作电压;</li> <li>2. 更换线圈或调整回路电压;</li> <li>3. 更换线圈;</li> <li>4. 排除卡死原因, 清锈, 加润滑油, 调整位置或更换零件;</li> <li>5. 调整至规定值;</li> <li>6. 调整或修理常闭辅助触头</li> </ol>
触头过热或灼伤、熔焊	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 触头弹簧压力过小;</li> <li>2. 操作频率过高或工作电流过大;</li> <li>3. 触头表面有金属颗粒或严重氧化;</li> <li>4. 触头的超程太小或环境温度过高, 导致触头过热或灼伤;</li> <li>5. 线圈电压过低, 触头引起振动导致熔焊;</li> <li>6. 负载短路导致熔焊;</li> <li>7. 三相触头闭合时不同步</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整触头弹簧压力;</li> <li>2. 避免过频繁操作或调换合适的接触器;</li> <li>3. 清理触头表面, 如用细锉刀轻轻锉平;</li> <li>4. 调整触头超程或接触器降容使用;</li> <li>5. 调整至额定工作电压;</li> <li>6. 排除短路故障;</li> <li>7. 调整动静触头间隙, 使之同步接触</li> </ol>
线圈过热或烧毁	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 交流接触器操作频率过高;</li> <li>2. 线圈电压过高或过低;</li> <li>3. 使用环境条件恶劣, 如湿度、温度过高;</li> <li>4. 交流接触器铁心由于长期频繁碰撞, 造成极面不平或气隙过大;</li> <li>5. 直流操作电磁铁的双绕组线圈因常闭辅助触头不释放</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 选择合适的接触器;</li> <li>2. 调整至额定工作电压;</li> <li>3. 选用符合该环境使用的线圈;</li> <li>4. 用锉刀修整或更换铁心;</li> <li>5. 修复常闭辅助触头</li> </ol>
交流电磁铁噪声大	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 极面磨损不平、生锈或有油污;</li> <li>2. 短路环断开;</li> <li>3. 触头弹簧压力过大;</li> <li>4. 磁系统歪斜或机械上卡住</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 清理极面或油污;</li> <li>2. 重焊或更换铁心;</li> <li>3. 调整弹簧压力;</li> <li>4. 调整装配位置或排除卡住原因</li> </ol>
不释放	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 触头弹簧压力过小;</li> <li>2. 铁心长期撞击、变形, 间隙消失, 致使剩磁增大;</li> <li>3. 反力弹簧弹力太小;</li> <li>4. 衔铁或机械可动部分卡死;</li> <li>5. 触头熔焊;</li> <li>6. 铁心极面有油污, 尘屑过多;</li> <li>7. 直流操作电磁铁的非磁性垫片脱落或磨损</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整弹簧压力;</li> <li>2. 更换铁心;</li> <li>3. 调整弹簧力或更换反力弹簧;</li> <li>4. 排除卡死原因;</li> <li>5. 排除熔焊原因, 整修或更换触头;</li> <li>6. 清除油污、尘屑;</li> <li>7. 装上或加厚</li> </ol>

表 5.2.150 自耦减压起动器的故障和排除

故障现象	原因	处理方法
起动器不能合闸,操作手柄不能停留在“运转”位置上	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 停止按钮,热继电器触头及连接线头松动;</li> <li>2. 热继电器脱扣动作;</li> <li>3. 失压脱扣线圈开路,或其电磁铁心、衔铁接触面油污,短路环断裂;</li> <li>4. 传动杠杆调节螺钉松动,定位板上压紧弹簧脱落;</li> <li>5. 定位板上“运转”位置的缺口棱角磨损</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 紧固松动的螺钉,修整触头接触面;</li> <li>2. 分析脱扣动作原因或调整动作电流值;</li> <li>3. 更换线圈,清洗修整电磁铁心部件,更换短路环;</li> <li>4. 紧固松动的螺钉,装配好定位板上的压紧弹簧;</li> <li>5. 修配定位板或更换</li> </ol>
起动器合闸,但电动机运转太慢或不起动	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 起动电压太低;</li> <li>2. 起动器与电动机不匹配;</li> <li>3. 熔断器熔断</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 测量电路电压,将起动器抽头提高一档(调至80%);</li> <li>2. 重新选配;</li> <li>3. 更换熔断体</li> </ol>
在正常运转前跳闸停转	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 开关触头超程过大,接触压力调整不当,三相触头不同步;</li> <li>2. 油箱内绝缘油质差,油量不够;</li> <li>3. 热继电器工作电流调整偏小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整,避免触头超程过大或不同步;</li> <li>2. 更换或添足合格的绝缘油至油位线;</li> <li>3. 重新调整热继电器工作电流值</li> </ol>
电动机起动太快	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 自耦变压器接在电压高的抽头;</li> <li>2. 自耦变压器绕组匝间短路;</li> <li>3. 电路接线错误</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接在电压低的抽头;</li> <li>2. 更换或重绕;</li> <li>3. 检查线路,核对说明书中接线图</li> </ol>
补偿器运行时声响异常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 变压器铁心未夹紧,出现“嗡嗡”声;</li> <li>2. 变压器绕组局部绝缘损坏,出现“嗡嗡”声;</li> <li>3. 开关触头接触不良,致使触头上跳火花,出现“吱吱”声;</li> <li>4. 补偿器绝缘损坏,致使导电部分直接接地,会发出爆炸声,冒烟</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 夹紧铁心;</li> <li>2. 用兆欧表查出绕组绝缘损坏处,进行相应处理(如加绝缘漆)或重绕;</li> <li>3. 检查修整触头,必要时更换;</li> <li>4. 进行绝缘处理,必要时更换</li> </ol>
线圈过热或烧毁	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 弹簧的反作用力过大;</li> <li>2. 线圈额定电压与电路电压不符;</li> <li>3. 实际通电持续率比线圈额定值高;</li> <li>4. 线圈匝间短路</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整弹簧压力;</li> <li>2. 更换线圈;</li> <li>3. 更换线圈;</li> <li>4. 更换线圈</li> </ol>

表 5.2.151 手控电器的故障和排除

故障现象	原因	处理方法
触头过热或烧毁	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电路电流过大;</li> <li>2. 触头表面有油污、杂物;</li> <li>3. 触点压力不足;</li> <li>4. 触点超行程过大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 改用相应工作电流的电器;</li> <li>2. 清除油污、杂物;</li> <li>3. 调整触点弹簧;</li> <li>4. 更换电器</li> </ol>
开关手把转动失灵	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 定位机构损坏;</li> <li>2. 静触点的固定螺钉松脱;</li> <li>3. 电器内部落入杂物</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 修理或更换;</li> <li>2. 拧紧固定螺钉;</li> <li>3. 清除杂物</li> </ol>

表 5.2.152 空气断路器故障和排除

故障现象	原因	处理方法
手动操作断路器,不能闭合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 失压脱扣器上无电压;</li> <li>2. 失压脱扣器上有电压,但不能吸合;</li> <li>3. 储能弹簧变形,闭合力减小;</li> <li>4. 反作用弹簧过大;</li> <li>5. 机构不能复位再扣;</li> <li>6. 手动脱扣器连杆没调整好;</li> <li>7. 漏电断路器线路漏电或接地</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查线路及线圈,必要时调换线圈;</li> <li>2. 检查控制电压装置,检查衔铁的压紧装置,必要时调整压紧片弹簧;</li> <li>3. 更换储能弹簧;</li> <li>4. 调整弹簧反力;</li> <li>5. 调整再扣接触面至规定值;</li> <li>6. 调整调节螺钉;</li> <li>7. 检查线路,排除漏电或接地故障</li> </ol>
电动操作断路器,不能闭合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 控制电源电压过低或电源容量不够;</li> <li>2. 电动机终端限位开关在断开位置没有断开;</li> <li>3. 电磁铁拉杆行程短;</li> <li>4. 控制回路不良,整流元件或电容器损坏</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调换电源;</li> <li>2. 对电动机终端限位开关进行调整;</li> <li>3. 调整或更换拉杆;</li> <li>4. 检查线路,更换损坏零件</li> </ol>
有一相触头不能闭合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 普通型断路器的一相连杆断裂;</li> <li>2. 限流型断路器斥开机构的可折连杆之间的角度变大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换连杆;</li> <li>2. 调整至技术条件规定值</li> </ol>
分励脱扣器不能使断路器断开	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 线圈断线或匝间短路;</li> <li>2. 电源电压过低;</li> <li>3. 线路故障或螺钉松动;</li> <li>4. 再扣接触面过大</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换线圈;</li> <li>2. 调整电源电压;</li> <li>3. 检查线路或拧紧螺钉;</li> <li>4. 重新调整</li> </ol>
欠压脱扣器不能使断路器断开	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 脱扣力小;</li> <li>2. 如为储能释放,则储能弹簧力变小;</li> <li>3. 机构卡死</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整弹簧,提高拉力;</li> <li>2. 调整储能弹簧;</li> <li>3. 消除卡死原因(如生锈、变形)</li> </ol>
启动电动机时断路器立即断开	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 过流脱扣器瞬动整定值太小;</li> <li>2. 电子式过流脱扣器零件参数变化</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整瞬动整定值;</li> <li>2. 更换损坏零件</li> </ol>
断路器闭合经过一段时间后断开	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 过流脱扣器长延时整定值太小;</li> <li>2. 电子式过流脱扣器零件参数变化</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 调整长延时整定值;</li> <li>2. 更换损坏零件</li> </ol>

续表

故障现象	原因	处理方法
欠压脱扣器噪声大	1. 反力弹簧力太大; 2. 铁心工作面有油污; 3. 短路环断裂	1. 调整反力弹簧; 2. 清除油污; 3. 更换衔铁或铁心
辅助开关故障	1. 辅助开关动触桥卡死或脱落; 2. 辅助开关传动杆断裂或滚轮脱落	1. 拨正或重新装好触桥; 2. 更换传动杆或更换辅助开关
半导体脱扣器误动作,使断路器分断	1. 半导体脱扣器个别零件损坏; 2. 外界电磁干扰	1. 更换损坏零件; 2. 消除外界电磁干扰,采取隔离或调整安装位置
断路器温升较高	1. 触头压力小; 2. 主回路连接螺钉松动; 3. 触头磨损严重; 4. 触头形成小颗粒金属屑	1. 调整触头弹簧压力或更换触头弹簧; 2. 清除氧化层,拧紧螺钉; 3. 超行程和接触压力要及时调整,必要时更换触头; 4. 予以铲除,保持原有平整状态
漏电断路器经常自行断开	线路漏电	检查线路是否绝缘损坏,改进线路绝缘状况

### 3.4 常见低压电器线圈数据

常见低压电器线圈参数如表 5.2.153 至表 5.2.161 所示。



表 5.2.153 CJ10 系列交流接触器线圈参数

型号	电压 (V)	匝数	线径 (mm)	吸引线圈 视在功率 (V·A)		工作 功率 (W)	动作时间 (ms)		动作特性					
				起动	吸持		起动	释放	吸持 电压	释放 电压				
CJ10-5	36	1000	0.25	35	6	2			能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%				
	110	3050 ± 15	0.14											
	220	6100 ± 30	0.1											
	380	10500 ± 50	0.08											
CJ10-10	36	830 ± 8	0.31	65	11	5	17	21			能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%		
	110	2540 ± 12	0.18											
	127	2915 ± 14	0.17											
	220	5070 ± 25	0.12											
	380	8750 ± 43	0.09											
CJ10-20	36	520 ± 5	0.53	140	22	9	16	18					能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%
	110	1630 ± 8	0.31											
	127	1885 ± 9	0.29											
	220	3260 ± 16	0.21											
	380	5660 ± 28	0.16											
CJ10-40	36	340 ± 3	0.59	230	32	12	23	22	能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%				
	110	1040 ± 5	0.35											
	127	1200 ± 6	0.33											
	220	2080 ± 10	0.23											
	380	3600 ± 18	0.18											
CJ10-60	36	180 ± 1	1.2	485	95	26	65	40			能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%		
	110	550 ± 3	0.72											
	127	635 ± 3	0.67											
	220	1100 ± 5	0.51											
	380	1900 ± 9	0.38											
CJ10-100	36	118 ± 1	1.5	760	105	27	32	15					能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%
	110	375 ± 2	0.83											
	127	435 ± 2	0.77											
	220	750 ± 4	0.59											
	380	1300 ± 7	0.44											
CJ10-150	36	114 ± 1	1.5	950	110	28			能在额定的 电压的 45%~ 85%~ 105% 范 围内正常 工作	额定电压 的 45%~ 55%				
	127	400 ± 2	0.93											
	220	695 ± 3	0.69											
	380	1200 ± 6	0.51											

表 5.2.154 CJ12 系列交流接触器线圈数据

型 号	电压 (V)	匝数	线径 (mm)	线圈 电阻 (Ω)	起动 容量 (V·A)	吸持 容量 (V·A)	工作 功率 (W)	动作时间 (ms)	
								起动	释放
CJ12-100/2 CJ12-100/3	36	188	1.45	0.383	920	85	22	43~ 48	21.5 ~26
	110	575	0.83	3.48					
	127	663	0.77	4.63					
	220	1150	0.59	13.8					
	380	1980	0.44	43.7					
CJ12-100/4 CJ12-100/5	36	165	1.62	0.269	1200	132	34	43~ 48	21.5 ~26
	110	550	0.93	2.41					
	127	580	0.86	3.28					
	220	1000	0.67	9.3					
	380	1755	0.49	31.2					
CJ12-150/2 CJ12-150/3	36	126	1.56	0.262	1450	119	30	42.5~ 55.5	19.5~ 36
	110	385	0.9	2.4					
	127	445	0.86	3.1					
	220	750	0.64	9.25					
	380	1250	0.49	26.25					
CJ12-150/4 CJ12-150/5	36	107	1.81	0.172	1860	213	39	42.5~ 55.5	19.5~ 36
	110	330	1.04	1.61					
	127	375	1	1.98					
	220	650	0.74	6.25					
	380	1100	0.57	17.8					
CJ12-250/2 CJ12-250/3	36	94	2.26	0.103	2100	170	45	39.5~ 55	15~ 23
	110	287	1.25	1.025					
	127	332	1.2	1.28					
	220	574	0.9	4.05					
	380	994	0.69	11.8					
CJ12-250/4	36	80	2.44	0.079	2530	302	50	39.5~ 55	15~ 23
	110	245	1.4	0.79					
	127	283	1.35	0.91					
	220	490	1	2.9					
	380	845	0.77	8.45					
CJ12-400/2 CJ12-400/3	36	64	3.28	0.041	4180	403	85	57~ 66	31~ 36
	110	195	1.95	0.36					
	127	226	1.74	0.51					
	220	390	1.35	1.45					
	380	675	1	4.58					
CJ12-400/4 CJ12-400/5	110	170	2.26	0.27	5800	690	128	57~ 66	31~ 36
	127	196	2.1	0.36					
	220	340	1.62	1.02					
	380	586	1.2	2.84					
	110	146	2.1	0.28					
127	169	1.95	0.38						
220	292	1.5	1.11						
380	505	1.12	3.43						
220 380	240 415	1.95 1.45	0.49 1.46	9900	737	128			

表 5.2.155 CJ20 系列交流接触器线圈数据

型号	电压 (V)	匝数	线径 (mm)	起动容量 (V·A/W)	吸持容量 (V·A/W)
CJ20-40	36	460	0.57	175/82.3	19/5.7
	127	1630	0.31		
	220	2820	0.23		
	380	4880	0.17		
CJ20-63	36	2×(146±1)	0.95	480/153	57/16.5
	127	2×(482±5)	0.51		
	220	2×(810±8)	0.39		
	380	2×(1410±14)	0.31		
CJ20-160	36	2×(85±1)	1.12	855/325	85.5/34
	127	2×(300±2)	0.62		
	220	2×(520±3)	0.44		
	380	2×(900±5)	0.35		
	矿用 127	2×(277±2)	0.72		
CJ20-250	127	2×(177±2)	0.9	1710/565	152/65
	220	2×(306±4)	0.67		
	380	2×(527±6)	0.5		
CJ20-630	127	2×(108±1)	1.46	3578/790	250/118
	220	2×(185±2)	1.12		
	380	2×(323±3)	0.86		

表 5.2.156 CZ0 系列直流接触器线圈数据

型号	电压 (V)	线圈数据			线圈功率(近似值)	
		匝数	线径 (mm)	电阻(20℃) (Ω)	起动 (W)	吸持 (W)
CZ0-40/20 (2常开主触头)	24	3050	0.49	36.5	18.5	18.5
	48	5500	0.35	127	21	21
	110	12000	0.25	575	22.7	22.7
	220	23000	0.16	2560	22	22
	440	48300	0.11	9300	20.8	20.8
CZ0-40/02 (2常闭主触头)	24	2760	0.55	27	23.4	23.4
	48	5500	0.33	114	22	22
	110	11050	0.25	520	23	23
	220	21900	0.18	2050	25	25
	440	44000	0.12	9200	21	21
CZ0-100/10	24	2680	0.51	29	19.9	19.9
	48	5350	0.35	121	19	19
	110	11000	0.25	500	24.2	24.2
	220	20400	0.17	1975	24.5	24.5
	440	44000	0.12	9200	21	21
CZ0-100/20 CZ0-150/10	24	2540	0.62	21	27.4	27.4
	48	4820	0.44	77	29.9	29.9
	110	10250	0.29	384	31.5	31.5
	220	20900	0.20	1610	29.4	29.4
	440	41600	0.15	6500	29.6	29.6

续表

型号	电压 (V)	线圈数据			线圈功率(近似值)	
		匝数	线径 (mm)	电阻(20℃) (Ω)	起动 (W)	吸持 (W)
CZO-100/01	24	$N_1 = 800$ $N_2 = 1550$	0.69 0.47	4 20.2	139	19.2
	48	$N_1 = 1530$ $N_2 = 3050$	0.49 0.33	14.6 86	148	21.2
	110	$N_1 = 3575$ $N_2 = 5740$	0.33 0.21	82.6 441	159	19.5
	220	$N_1 = 5900$ $N_2 = 12060$	0.23 0.15	274 1790	173	23
	440	$N_1 = 11500$ $N_2 = 25000$	0.16 0.1	1125 8460	172	20
CZO-150/20	24	2460	0.77	16.1	35.6	35.6
	48	5000	0.53	70	32.9	32.9
	110	10050	0.35	335	36.1	36.1
	220	20000	0.25	1260	38.4	38.4
	440	40000	0.17	5400	35.8	35.8
CZO-150/01	24	$N_1 = 680$ $N_2 = 1825$	0.93 0.55	2.29 24.6	252	21.4
	48	$N_1 = 1250$ $N_2 = 3750$	0.67 0.38	8.12 106.3	284	20.2
	110	$N_1 = 2800$ $N_2 = 7800$	0.44 0.25	42 508	288	22
	220	$N_1 = 5400$ $N_2 = 14500$	0.31 0.18	164 1825	295	24.4
	440	$N_1 = 11000$ $N_2 = 31000$	0.21 0.12	723 8740	268	20.4
CZO-250/10	24	$N_1 = 605$ $N_2 = 1280$	0.83 0.57	2.83 16.1	203	30.4
	48	$N_1 = 1205$ $N_2 = 2700$	0.57 0.38	12.3 76.5	200	26
	110	$N_1 = 2600$ $N_2 = 5800$	0.38 0.25	59 383	205	27.4
	220	$N_1 = 5000$ $N_2 = 10800$	0.27 0.18	225 1380	215	30.1
	440	$N_1 = 9800$ $N_2 = 23000$	0.19 0.12	890 6620	217	25.8
CZO-250/20	24	$N_1 = 670$ $N_2 = 1170$	1.08 0.64	2.04 12.45	282	39.7
	48	$N_1 = 1370$ $N_2 = 2420$	0.74 0.44	9.1 51.8	245	34
	110	$N_1 = 3100$ $N_2 = 5200$	0.49 0.29	48.2 291	251	35.7
	220	$N_1 = 5600$ $N_2 = 9700$	0.35 0.21	170 1035	285	40
	440	$N_1 = 11000$ $N_2 = 20000$	0.25 0.13	662 5600	292	30.9

续表

型号	电压 (V)	线圈数据			线圈功率(近似值)	
		匝数	线径 (mm)	电阻(20℃) (Ω)	起动 (W)	吸持 (W)
CZ0-400/10	24	$N_1 = 450$ $N_2 = 2100$	0.86 0.62	2.07 23.5	279	22.5
	48	$N_1 = 850$ $N_2 = 4000$	0.62 0.44	7.52 88.8	306	23.9
	110	$N_1 = 1830$ $N_2 = 8800$	0.41 0.29	37 450	328	24.8
	220	$N_1 = 3500$ $N_2 = 16500$	0.29 0.21	141 1615	343	27.6
	440	$N_1 = 7000$ $N_2 = 34000$	0.2 0.14	594 7460	326	24
CZ0-400/20	24	$N_1 = 500$ $N_2 = 1800$	1.12 0.74	1.61 16.7	358	31.5
	48	$N_1 = 960$ $N_2 = 3500$	0.8 0.53	6.05 64	381	32.9
	110	$N_1 = 2100$ $N_2 = 7500$	0.53 0.35	30.2 315	402	35.1
	220	$N_1 = 4000$ $N_2 = 14000$	0.38 0.25	112 1150	432	38.3
	440	$N_1 = 8000$ $N_2 = 27000$	0.27 0.17	447 4820	433	36.7
CZ0-600/10	24	$N_1 = 630$ $N_2 = 1650$	1.04 0.69	2.38 17.5	242	28.9
	48	$N_1 = 1200$ $N_2 = 3200$	0.74 0.49	8.9 67.3	259	30.2
	110	$N_1 = 2750$ $N_2 = 7500$	0.49 0.31	46.8 394	259	27.5
	220	$N_1 = 5000$ $N_2 = 12500$	0.35 0.23	166 1200	292	35.5
	380	$N_1 = 10000$ $N_2 = 25000$	0.25 0.15	658 5660	294	30.6

注:对于 20℃ 时所测量的电阻值,在阻值 > 1000Ω 时,允差 ± 4%;阻值 < 1000Ω 时,允差 ± 3%。

表 5.2.157 CZ22-63 直流接触器线圈数据

电压 (V)	线径 (mm)	匝数
36	1	2×130
127	0.53	2×470
220	0.4	2×310
380	0.31	2×1410

表 5.2.158 CM1-S 系列灭磁接触器线圈数据

型号	项目	交流电压(V)		直流电压(V)	
		220	380	110	220
CM1-150S	导线直径 (mm)	0.74	0.57	0.55	0.38
	匝数	650	1100	1250	2500
	电阻(20℃) (Ω)	6.25	17.8	20.8	87.5
CM1-250S	导线直径 (mm)	1.04	0.8	0.62	0.44
	匝数	465	805	1230	2350
	电阻(20℃) (Ω)	2.44	7.14	18.2	69
CM1-400S	导线直径 (mm)	1.62	1.2	0.74	0.55
	匝数	340	586	870	1600
	电阻(20℃) (Ω)	0.92	2.76	9.4	32
CM1-600S	导线直径 (mm)	1.95	1.45	0.86	0.59
	匝数	240	415	1025	2050
	电阻(20℃) (Ω)	0.49	1.46	9.83	41.8

表 5.2.159 BP1 系列频敏变阻器线圈数据

线圈编号	线圈匝数				导线规格 (mm)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )
	抽头 1	抽头 2	抽头 3	抽头 4		
1632	16	14	12	5	2(2.83×5.9)	32.4
1650	16	14	12	5	2(2.83×9.3)	51.6
2025	20	18	16	6	2(2.83×4.4)	24
2040	20	18	16	6	2(2.83×7.4)	40.8
2520	25	22	20	8	2.83×7.4	20.4
2532	25	22	20	8	2(2.83×5.9)	32.4
3216	32	28	25	10	2.83×5.9	16.2
3225	32	28	25	10	2(2.83×4.4)	24
4012	40	36	32	12	2.83×4.4	12
4020	40	36	32	12	2.83×7.4	20.4
5010	50	45	40	16	1.68×6.4	10.6
5016	50	45	40	16	2.83×5.9	16.2
6305	63	56	50	20	∅2.63	5.43
6308	63	56	50	20	1.68×4.7	7.78
6312	63	56	50	20	2.83×4.4	12
8004	80	71	63	25	∅2.26	4.01
8006	80	71	63	25	1.68×4.1	6.68
8010	80	71	63	25	1.68×6.4	10.6
10003	100	90	80	32	∅2.02	3.2
10005	100	90	80	32	∅2.63	5.43
10008	100	90	80	32	1.68×4.7	7.78
12504	125	112	100	40	∅2.26	4.01
12504	125	112	100	40	1.68×4.1	6.68
16003	160	140	125	50	∅2.02	3.2
16005	160	140	125	50	∅2.63	5.43

表 5.2.160 MQ1 系列牵引电磁铁线圈数据

型号	吸力 (N)	电压 (V)	线径 (mm)	匝数	线质量 (kg)	通电持续率 (%)
MQ1-5101	15	127	0.41	930	0.208	100
MQ1-6101		220	0.31	1610	0.183	
		380	0.23	2800	0.181	
MQ1-5102	30	127	0.47	780	0.28	10
MQ1-6102		380	0.25	2240	0.23	
MQ1-5111	30	127	0.55	660	0.244	100
MQ1-6111		220	0.41	1150	0.232	
		380	0.31	2000	0.232	
MQ1-5112	50	127	0.62	510	0.25	10
MQ1-6112		220	0.47	815		
		380	0.38	1350	0.24	
MQ1-5121	50	127	0.8	465	0.445	100
MQ1-6121		220	0.62	805	0.458	
		380	0.44	1390	0.39	
MQ1-5122	80	127	0.9	352	0.35	10
MQ1-6122		220	0.62	600	0.35	
		380	0.5	1050	0.42	
MQ1-5131	80	127	0.9	340	0.5	100
MQ1-6131		220	0.72	590	0.54	
		380	0.51	1020	0.56	
MQ1-5132	150	127	1	230	0.5	10
MQ1-6132		220	0.9	410	0.6	
		380	0.62	700	0.65	
MQ1-5141	150	127	1.6	236	1.36	100
MQ1-6141		220	1.2	430	1.45	
		380	1	705	1.31	

表 5.2.161 MZD1 系列制动电磁铁线圈数据

型号	通电持续率 (%)	电压(V)	导线规格	匝数	电阻( $\Omega$ )
MZD1-100	40	220	QZ0.69	660	8.1
		380	QZ0.49	1165	28.1
	100	220	QZ0.59	850	14.2
		380	QZ0.44	1500	45.1
MZD1-200	40	220	SBEC1.68	266	0.85
		380	QQSBC1.25	460	2.61
	100	220	QQSBC1.5	342	1.36
		380	QQSBC1.12	604	4.38
MZD1-300	40	220	SBECB2.83 $\times$ 3.8	147	0.132
		380	SBEC2.26	295	0.688
	100	220	SBEC2.63	219	0.376
		380	SBECB1.81 $\times$ 2.63	336	0.7

## 第三章 继电器

### 1 概 述

继电器品种繁多,应用范围宽广。本章介绍内容主要为一般工厂常用的产品。

JL14、15、JT17系列具有过电流保护功能;JZ系列中间继电器作一般交直流回路控制之用,以扩大控制功率及范围;JRX、JTX、JQX等继电器为小型通用继电器,其动作功率较小,动作时间短,工作位置任意,可在较恶劣的环境中工作;JS系列及ST系列时间继电器可用于延时控制回路,其中JS7系列结构简单,但延时误差较大,JS17、20及ST系列延时较精确;JR系列及LRI系列热继电器主要用于一般交流电动机的过负荷保护,有的还带断相运转保护或短路保护;JDM系列计数器可以记录工作循环次数,且当次数等于设定值时发出信号,可用于简单的自动控制回路;JAG系列干簧继电器动作速度快,较灵敏,其触点为密封结构,易于脱离激磁部分而构成位控制元件,例如用磁铁与干簧触点构成的位控制元件简单可靠,另外其动作时间仅数毫秒,可用于要求快速动作场合,是其他继电器所达不到的。

### 2 常用继电器产品

#### 2.1 JL14系列交直流电流继电器

##### 2.1.1 用途

JL14系列交直流电流继电器主要用于交流电压380V及以下、直流电压440V及以下的控制电路中,作为过电流式欠电流继电器之用。

##### 2.1.2 技术数据

- (1) JL14系列交直流电流继电器规格、型号、技术数据见表5.3.1。
- (2) 电流继电器新老产品代用对照表见表5.3.2。
- (3) JL14系列交直流电流继电器接点电寿命见表5.3.3。



表 5.3.1 JL14 系列交直流电流继电器规格、型号、技术数据

电流种类	型号	吸引线圈 额定电流, $I_0$ (A)	吸合电流调整范围	接点组合型式	备注
直流	JL14-□□Z	1, 1.5, 2.5, 5, 10, 15, 25, 40, 60, 100, 150, 300, 600, 1200, 1500	70% ~ 300% $I_0$	三常开; 三常闭;	手动复位 欠电流
	JL14-□□ZS		30% ~ 65% $I_0$	二常开, 一常闭;	
	JL14-□□ZQ		释放电流 10% ~ 20% $I_0$	一常开, 二常闭;	
交流	JL14-□□J	100, 150, 300, 600, 1200, 1500	110% ~ 400% $I_0$	二常开, 一常闭;	手动复位 欠电流
	JL14-□□JS			二常开; 二常闭;	
	JL14-□□JG			一常开; 一常闭	

注: 1. JL14-□□JG 吸引线圈  $I_0$  无 1200A、1500A。

2. JL14-□□J JL14-□□JS 吸引线圈  $I_0$  无 1500A。

表 5.3.2 电流继电器新老产品代用对照表

新产品型号	老产品型号	新产品型号	老产品型号
JL14-20Z	JL3-10	JL14-01JG	JL3-01J
JL14-20Z	JL3-20	JL14-20ZQ	JT3-20L
JL14-11Z	JL3-11	JL14-11ZQ	JT3-11L
JL14-02Z	JL3-01	JL14-02ZQ	JT3-02L
JL14-02Z	JL3-02	JL14-20J	JT4-20L
JL14-20ZS	JL3-10S	JL14-11J	JT4-11L
JL14-20ZS	JL3-20S	JL14-02J	JT4-02L
JL14-11ZS	JL3-11S	JL14-20JS	JT4-20S
JL14-02S	JL3-01S	JL14-11JS	JT4-11S
JL14-02ZS	JL3-02S	JL14-02JS	JT4-02S
JL14-10JG	JL3-10J		

表 5.3.3 JL14 系列交直流电流继电器接点电寿命

接点额定 电 流 (A)	接点电压 (V)		接通电流 (A)	分断电流(A)		电寿命 (万次)	cos $\phi$	时间常数 T (s)
				电感负荷	电阻负荷			
5	交流	380	22	2.2	2.2	50	0.3~0.4	—
	直流	110	6	1	2	50	—	0.05~0.1
		220	3	0.5	1			

## 2.2 JL15 系列交直流电流继电器

### 2.2.1 用途

JL15 系列交直流电流继电器是一种过电流瞬时动作的电磁式继电器。用于交流 50Hz、380V 及以下或直流 440V 及以下,电流 1200A 及以下的一次回路中,作为电力传动系统中的过电流保护元件。

本系列 JL15-F 型交流高返回系数继电器主要用于频繁操作的交流异步电动机的堵转保护。

### 2.2.2 技术数据

(1) JL15 系列电流继电器规格、型号、技术数据见表 5.3.4。

(2) JL15 系列电流继电器接点电寿命见表 5.3.5。

表 5.3.4 JL15 系列电流继电器规格型号技术数据

电流种类	型号	吸引线圈 额定电流, $I_n$ (A)	吸合电流 调整范围	接点组 合型式	接线方式	备注
直流或 交流	JL15-□/01	1.5、2.5、5、 10、15、20、 30、40、60、 80、100、 150、250、 300、400、 600、800、 1200	80% ~ 300% $I_n$	一常闭; 一常开; 一常闭;	60A 及以 下:板前接 线; 80A 及以 上:板前或 板后接线	
	JL15-□/11					
	JL15-□S/01					
	JL15-□S/11					
	JL15-□/02		120% ~ 400% $I_n$	二常闭;  二常开, 二常闭;		
	JL15-□/22					
	JL15-□S/02					
	JL15-□S/22					
交流	JL15-□F/01	120% ~ 400% $I_n$	一常闭; 一常开; 一常闭;		返回系数为 0.6 ~ 0.85, 对 600A 和 1200A 者,当 整定电流大 于两倍额定 电流时,允许 降 0.1	
	JL15-□F/11					

表 5.3.5 JL15 系列电流继电器接点电寿命

接点额定 电 流 (A)	接点电压 (V)		接通电流 (A)	分断电流 (A)	电寿命 (万次)	cos $\phi$	时间常数 T (s)
	交流	380	12	1.2			
5	直流	110	4	0.6	50	—	0.15
		220	2	0.3			
		440	1	0.15			
		380	12	1.2			

## 2.3 JT17 系列电磁继电器

### 2.3.1 用途

JT17 系列电磁继电器主要用于交流 50Hz、380V 及以下的电力传动控制设备中,作过电流继电器用。

### 2.3.2 技术数据

(1)JT17 系列电磁继电器规格、型号、技术数据见表 5.3.6。

(2)JT17 系列电磁继电器接点的最大接通和分断能力见表 5.3.7。

表 5.3.6 JT17 系列电磁继电器规格、型号、技术数据

型 号	吸引线圈额定电流, $I_n$ (A)	吸合电流调整范围	接点组合型号
JT17-11J	1.5、2.5、5、10、15、20、30、40、60、80、100、150、300、400、600、1200	110% ~ 350% $I_n$	一常开, 一常闭

注:1. 动作误差  $\pm 10\%$ 。

2. 固有动作时间 0.05s。

表 5.3.7 JT17 系列电磁继电器接点的最大接通和分断能力

接点额定 电流(A)	接点电压 (V)		最大接通电流 (A)	最大分断电流 (A)	cos $\phi$	时间常数 T(s)
5	交流	380 及以下	50	5	0.3~0.4	—
	直流	110	7.5	1	—	0.05~0.1
		220	4	0.5		

## 2.4 JT18 系列直流电磁通用继电器

### 2.4.1 用途

JT18 系列直流电磁式通用继电器主要用于直流电压至 440V 的主电路,作为

时间(断电延时)、电压(中间)、欠电流继电器;可用作直流电压至 220V,直流电流至 630A 电路中的一般用途的控制继电器。

### 2.4.2 技术数据

2.4.2.1 JT18 系列直流电磁通用继电器型号、规格、技术数据 主要技术数据见表 5.3.8。

表 5.3.8 JT18 系列直流电磁通用继电器型号、规格、技术数据

继电器类型	型号	可调参数 调整范围	延时可调 范围(s) 断电 短路	标准 误差	接点 数量	吸引线圈	
						额定电压 (或电流)	消耗 功率 (W)
电压	JT18-□	吸合电压 30%~50% $U_n$ 或释放电压 7%~20% $U_n$	—	重复误差: $\leq \pm 10\%$ 整定值误差: $\leq \pm 15\%$	一常开、 一常闭 或 二常开、 二常闭	直流 24、48、110、 220、440V,共 5 种 规格	19
电流	JT18-□L	吸合电流 30%~65% $I_n$ 或释放电流 10%~20% $I_n$	—	重复误差: $\leq \pm 10\%$ 整定值误差: $\leq \pm 15\%$	一常开、 一常闭 或 二常开、 二常闭	直流 1.6、2.5、4、 6、10、16、25、40、 63、100、160、250、 400、630A 共 14 种规格	19
时 间	JT18-□/1	—	$\frac{0.3 \sim 0.9}{0.3 \sim 1.5}$	重复误差: $\leq \pm 9\%$ 电源波动误差: $\leq \pm 15\%$ 温度误差: $\leq \pm 20\%$ 精度稳定性误 差: $\leq \pm 20\%$	一常开、 一常闭 或 二常开、 二常闭	直流 24、48、110、 220、440V,共 5 种 规格	19
	JT18-□/3		$\frac{0.8 \sim 3}{1 \sim 3.5}$				
	JT18-□/5		$\frac{2.5 \sim 5}{3 \sim 3.5}$				

注:1. 继电器的工作制主要有 8h 工作制和反复短时工作制。反复短时工作制的额定操作频率为 1200 次/h,额定通电持续率为 40%。

2. 具有两个接点元件的电压继电器,其吸引电压允许在 35%~50% 额定电压范围内调节。出厂试验按最低吸引电压值整定。

3. 具有两个接点元件的电流继电器,其吸引电流允许在 35%~65% 额定电流范围内调节。出厂试验按最低吸引电流值整定。

4. 具有两个接点元件的时间继电器,其最大延时值允许降低 30%。出厂试验按最大延时值整定。

5. 继电器机械寿命 300 万次,电寿命 50 万次。

2.4.2.2 JT18 系列直流电磁通用继电器的固有关合时间与固有关释放时间(固有关合时间指从线圈通电开始至继电器常开接点闭合为止的时间间隔)

(1)电压、欠电流继电器的固有关合时间为 0.02~0.07s;固有关释放时间与反力的大小有关,为 0.026~0.08s。

(2)时间继电器的固有关合时间略大于电压继电器的固有关合时间。

## 2.5 JZ11 系列中间继电器

### 2.5.1 用途

JZ11 系列中间继电器适用于交流 50Hz 或 60Hz,电压 500V 及以下,直流电压 440V 及以下的控制电路中,用来增加信号大小及数量。本产品可替代 JT3、CZ3、JZ1 等系列老产品。

### 2.5.2 技术数据

(1)JZ11 系列中间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.9。

(2)JZ11 系列中间继电器接点电寿命见表 5.3.10。

表 5.3.9 JZ11 系列中间继电器型号、规格、技术数据

型 号	电压种类	接点电压 (V)	接点额定电流 (A)	接点组合	通电持续率 (%)	额定操作频率 (次/h)	吸引线圈电压 (V)	吸引线圈消耗功率	
JZ11-□□J/□	交流	500	5	6 常开 2 常闭; 4 常开 4 常闭; 2 常开 6 常闭; (对于 JZ11P 除有上述接点组合外,还有 8 常开的规格)	60	2000	110、127、220、380	10V·A	
JZ11-□□JS/□									
JZ11-□□JP/□									
JZ11-□□Z/□	直流	400					12、24、48、110、220		7.5W
JZ11-□□ZS/□									
JZ11-□□ZP/□									

注:1.继电器的吸引线圈应能在 85%~105%额定电压的范围内可靠工作。

2.继电器的吸合和释放的固有时间不大于 0.05s。

3.JZ11-P 继电器仅适用于反复短时工作制(持续通电时间最长为 6min)。

表 5.3.10 JZ11 系列中间继电器接点电寿命

接点电压 (V)		接通电流 (A)	分断电流(A)			电寿命 (万次)	机械寿命 (万次)
			电感负荷 $\cos\varphi =$ $0.35 \pm 0.05$	电感负荷 时间常数 $T$ $= 0.05 - 0.06s$	电阻负荷		
交流	380	12	1.2	-	1.2	100	1000
	500	10	1.0		1.0		
直流	110	4	-	0.6	1.2		
	220	2		0.3	0.6		
	440	1		0.15	0.3		

## 2.6 JZ14 系列中间继电器

### 2.6.1 用途

JZ14 系列中间继电器适用于交流 50Hz 或 60Hz、电压 380V 及以下, 直流 220V 及以下的控制电路中, 用来增加信号的大小及数量。

### 2.6.2 技术数据

(1) JZ14 系列中间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.11。

(2) 继电器接点电寿命见表 5.3.12。

表 5.3.11 JZ14 系列中间继电器型号、规格、技术数据

型 号	电压 种类	接点 电压 (V)	接点额 定电流 (A)	接点组合	额定操 作频率 (次/h)	通 电 持续率 (%)	吸引线 圈电压 (V)	吸引线 圈消耗 功率
JZ14-□□J/Z	交流	380	5	6 常开, 2 常闭; 4 常开, 4 常闭; 2 常开, 6 常闭;	2000	40	110, 127, 220, 380	10V·A
JZ14-□□Z/□	直流	220					24, 48, 110, 220	7W

注: 1. 继电器热态吸合电压应不大于 85% 额定电压, 冷态释放电压应大于 5% 额定电压。

2. 继电器的吸合和释放的固有动作时间不大于 0.05s。

表 5.3.12 JZ14 系列中间继电器接点电寿命

电压种类	额定控制容量 (V·A)	试验电压 (V)	试验电流(A)		$\cos\varphi$ 或时间常数 $T \pm 5\%$ (ms)		电寿命 (万次)
			接通	分断	接通	分断	
交流	300	380	7.9	0.79	0.2 ± 0.05	0.25 ± 0.05	100
		220	13.6	1.36			
直流	60	220	0.82	0.27	30	150	
		110	1.65	0.55			

## 2.7 JZ15 系列中间继电器

### 2.7.1 用途

JZ15 系列中间继电器适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下,直流电压 220V 及以下的控制电路中,用来增加信号的大小及数量。

### 2.7.2 技术数据

(1)JZ15 系列中间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.13。

(2)JZ15 系列中间继电器接点电寿命见表 5.3.14。

表 5.3.13 JZ15 系列中间继电器型号、规格、技术数据

型号	电压种类	接点电压 (V)	接点额定电流 (A)	接点组合	额定操作频率 (次/h)	通电持续率 (%)	吸引线圈电压 (V)	吸引线圈消耗功率
JZ15-□□J/□	交流	380	10	6 常开,2 常闭; 4 常开,4 常闭;	1200	40	36,127, 220,380	起动 65V·A 吸持 11V·A
JZ15-□□Z/□	直流	220	10	2 常开,6 常闭			24,48, 110,220	11W

注:1. 继电器的热态吸合电压不大于 85% 吸引线圈电压;冷态释放电压不小于 5% 吸引线圈电压。

2. 继电器的吸合和释放的固有动作时间不大于 0.05s。

表 5.3.14 JZ15 系列中间继电器接点的电寿命

电压种类	试验电压 (V)		试验电流 (A)		$\cos\varphi$ 或时间常数 $T \pm 5\%$ (ms)		电寿命 (万次)	机械寿命 (万次)
	接通	分断	接通	分断	接通	分断		
交流	380		42	2.6	0.15 ± 0.05	0.2 ± 0.05	30	300
直流	220		2	0.4	50	200		

## 2.8 JRX-4 小型直流电磁继电器

### 2.8.1 用途

JRX-4 小型直流电磁继电器供各种便携式或移动式的自动装置、信号装置、通信设备中换接电路用。具有体积小、重量轻、结构简单、坚固等特性。继电器有胶木防尘外罩、接点系统采用双接点式,工作可靠,并能在较恶劣的环境下工作。

### 2.8.2 使用条件

- (1)环境温度:  $-50^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 。
- (2)相对湿度: 达 98% ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  时)。
- (3)振动: 振频 45Hz, 加速度达 4 倍重力加速度。
- (4)工作位置: 任意。

### 2.8.3 技术数据

(1)JRX-4 小型直流电磁继电器规格代号、技术数据见表 5.3.15。

(2)继电器吸引线圈电源为直流,在接点上开路电压为 28V,通过接点的电流为 1A 的无感负荷时,能可靠动作 10 万次。线圈消耗功率不大于 1.2W。

表 5.3.15 JRX-4 小型直流电磁继电器规格代号、技术数据

规格代号	接点组合	线圈直流电阻 ( $\Omega$ )	电气参数			时间参数(24V 时)	
			吸合电流 (mA)	释放电流 (mA)	吸合电压 (V)	吸合时间 (ms)	释放时间 (ms)
SRM4.523.000	二常开	$525 \pm 10\%$	$\leq 26$	—	—	—	—
SRM4.523.001		$750 \pm 10\%$	—	—	$\leq 22$	—	—
SRM4.523.003		$750 \begin{matrix} +5\% \\ -10\% \end{matrix}$	$\leq 25$	$\geq 5$	—	$\leq 16$	$\leq 3.5$
SRM4.523.004		$750 \pm 10\%$	$\leq 24$	—	—	—	—
SRM4.523.008		$140 \pm 10\%$	—	—	$\leq 10$	—	—
SRM4.523.010	一常开、 一常闭	$750 \pm 10\%$	$\leq 24$	—	—	—	—
SRM4.523.013		$750 \pm 10\%$	$\leq 25$	$\geq 5$	—	$\leq 16$	$\leq 3.5$
SRM4.523.018		$525 \pm 10\%$	—	—	$\leq 18$	—	—
SRM4.523.019		$100 \pm 10\%$	$\leq 60$	—	—	—	—
SRM4.523.034		$140 \pm 10\%$	—	—	$\leq 10$	—	—
SRM4.523.020	二常闭	$750 \pm 10\%$	$\leq 24$	—	—	—	—
SRM4.523.022		$525 \pm 10\%$	—	—	$\leq 18$	—	—



## 2.9 JTX 系列小型通用继电器

### 2.9.1 用途

JTX 系列小型通用继电器适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下,直流 220V 及以下的控制电路中,在一般的自动装置、继电保护装置、信号装置和通信设备中作为信号指示和合分电路的元件。

### 2.9.2 技术数据

(1) JTX 系列小型通用继电器规格、型号、技术数据见表 5.3.16。

(2) JTX 系列小型通用继电器接点分断容量见表 5.3.17。

表 5.3.16 JTX 系列小型通用继电器规格、型号、技术数据

电源种类	型 号	电压线圈 额定电压 (V)	电流线圈 额定电流 (mA)	转换接点 数量(对)	动作时间	线圈功耗
直流	JTX-1	220、 110、	20、	1	在额定电压 下(或额定电 流)的动作时 间不大于 20ms	1.5W
	JTX-2	48、 24、		2		1W
	JTX-3	12、 6	40	3		
交流	JTX-1	380、 220、		1		2.5V·A
	JTX-2	127、 110、		2		
	JTX-3	36、 24、 12、 6		3		

注:1. 交流电压继电器的动作电压不大于 85%  $U_n$ ; 交流电压继电器的返回电压不小于 15%  $U_n$ 。

2. 直流电压(或电流)继电器的动作值不大于 80% 的额定值; 直流电压(或电流)继电器的返回值不小于 10% 的额定值。

表 5.3.17 JTX 系列小型通用继电器接点分断容量

电压值 (V)		阻性负载				感性负载 $\cos\varphi = 0.4$ $L/R = 5ms$			
		电流(A)	断开容量	电流(A)	分断容量	电流(A)	分断容量	电流(A)	分断容量
交流	220	3	660V·A	2	440V·A	1	220V·A	0.7	154V·A
	380	1.2	456V·A	0.8	304V·A	0.4	152V·A	0.28	106.4V·A
直流	6	3	18W	2	12W	1.5	9W	1	6W
	12	2.7	32.4W	1.8	21.6W	1	12W	0.7	8.4W
	24	1.8	43.2W	1.2	28.8W	0.5	12W	0.18	4.32W
	220	0.2	44W	0.15	33W	—	—	—	—

注:1. 在接点额定分断容量下的电寿命为 50 万次。

2. 继电器的机械寿命为 500 万次。

## 2.10 JQX-10F 小型中间继电器

### 2.10.1 用途

JQX-10F 小型中间继电器体积小,控制功率大,可在通信设备、自动装置及电力系统中作为换接交、直流电路之用。继电器具有透明防尘罩和插座,便于安装和更换。

### 2.10.2 技术数据

(1)电源电压有直流和交流(50Hz 或 60Hz)两种。接点有两对转换和三对转换两种。接点容量为交流 220V、4A、127V、8A;直流 24V 无感负荷 10A,消耗功率直流不大于 2W,交流不大于  $3.5V \cdot A$ 。

(2)动作电压不大于额定电压的 85%。释放电压:交流不小于额定电压的 30%;直流不小于额定电压的 15%。连续工作最高电压不超过 110%。

(3)JQX-10F 小型中间继电器线圈电阻见表 5.3.18。

表 5.3.18 JQX-10F 小型中间继电器线圈电阻

电流种类	交 流									直 流						
	6	12	24	36	48	100	127	200	220	6	12	24	48	60	100	200
额定电压(V)	6	12	24	36	48	100	127	200	220	6	12	24	48	60	100	200
线圈电阻( $\Omega$ )	4	16.5	64	140	270	1200	1740	5400	5400	25	100	350	1200	1740	5400	10800

## 2.11 HH5 系列小型控制继电器

### 2.11.1 用途

HH5 系列小型控制继电器适用于交流 50Hz 或 60Hz、电压 240V 以下,直流电压 110V 以下的控制电路中,供电子设备、通信设备、电子计算机控制设备、自动化控制装置作切换电路及扩大控制范围用。本系列继电器是引进日本富士电机株式会社全套专利技术生产的,具有体积小、重量轻、开闭容量大、可靠性高、寿命长等特点。

### 2.11.2 技术数据

HH5 系列小型控制继电器主要规格见表 5.3.19。

HH5 系列小型控制继电器线圈参数见表 5.3.20。

#### 2.11.2.1 HH5 系列小型控制继电器其他技术数据

动作电压:75% 额定电压以下。

复位电压:HH5□为交流 30% 额定电压以下、直流 10% 额定电压以下;HH52P-R 为 75% 额定电压以下。

动作时间:HH5□为 20ms 以下;HH52P-R 为 30ms 以下。

复位时间:HH5□为 20ms 以下;HH52P-R 为 30ms 以下。

开闭频率:1800 次/h。

环境温度: -10℃ ~ +40℃。

接触电阻:50mΩ 以下。

绝缘电阻:100MΩ 以上。

耐压:接点线圈间交流 1500V, 1min;接点间距间交流 1000V, 1min;插座(HH5□)交流 1500V, 1min;插座(HH52P-R)动作、复位线圈间交流 1000V, 1min。

耐振动:10~55Hz, 振幅 1mm。

耐冲击:1000m/s<sup>2</sup>。

表 5.3.19 HH5 系列小型控制继电器主要规格

种类	结构			接点数量		额定电流 (A)
	插入式	印制电路板安装式	双头螺栓联结式	常开	常闭	
单接点型	HH52P	HH52B	HH52E	2	2	5
	HH53P			3	3	5
	HH54P	HH54B		4	4	3
双子接点型	HH54PW			4	4	3
磁保持型	HH52P-R			2	2	3

表 5.3.20 HH5 系列小型控制继电器线圈参数

型号	线圈电压(V)		消耗功率
	交流	直流	
HH5□	6、12、24、48、 100、110、200、 220、240	6、12、24、48、 100、110	交流:50Hz 时 1.9V·A(max); 60Hz 时 1.7V·A(max) 直流:1.2W(max)
HH52P-R	6、12、24、48、 100、110	6、12、24、48	交流:1.0V·A/0.3V·A 直流:1.4W/0.6W

### 2.11.2.2 HH5 系列小型控制继电器接点寿命

机械寿命:5000 万次以上。

电寿命:HH5□为 100 万次以上(交流 100V, 3A, 电阻负载);HH52P-R 为 25

万次以上(交流 100V, 3A, 电阻负载)。

其中双掷接点继电器采用镀金或包金接点, 机械寿命为 1000 万次以上。

## 2.12 JS7-A、JS7-B、JSK1、JJSK2 系列空气式时间继电器

### 2.12.1 用途

JS7-A 等系列空气式时间继电器适用于电压为 380V 及以下的交流控制线路中, 作为按时间控制机构动作的元件。

### 2.12.2 技术数据

(1) JS7-A 等系列空气式时间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.21。

(2) 继电器延时时间的连续动作重复误差  $\leq 15\%$ 。

(3) 继电器允许用于额定操作频率不大于 600 次/h, 通电持续率为 40% 的反复短时工作制及连续工作制。

(4) 继电器线圈的电压为其额定值的 85% ~ 105% 时, 继电器能可靠地工作。

(5) JS7-A 系列继电器在 380V、 $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$  的电路中接通电流为 3A, 分断电流为 0.3A。继电器线圈功耗约 8V·A。JS7-B 系列继电器在 380V、 $\cos\varphi = 0.15 \sim 0.2$  的电路中分断电流为 0.4A。继电器线圈起动功率约为 66V·A, 吸持功率约为 12V·A。

JSK1 系列继电器在 380V、 $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$  的电路中接通电流为 5A, 分断电流为 0.4A。继电器线圈的起动功率约为 75V·A, 吸持功率约为 12V·A。

JJSK2 系列继电器在 380V、 $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$  的电路中接通电流为 5A, 分断电流为 0.5A。

(6) 继电器电寿命 30 万次, 机械寿命 50 万次。

表 5.3.21 JS7-A 等系列空气式时间继电器型号、规格、技术数据

型 号	不带延时		有延时的接点数量				接点额 定电压 (V)	接点额 定电流 (A)	线圈电压 (V)	延时范围 (s)	额定操 作频率 (次/h)
	接点数量		通电延时		断电延时						
	常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭					
JS7-1A	—	—	1	1	—	—	380	5	50Hz: 36, 110, 127, 220, 380 60Hz: 36, 110, 127, 220, 380, 440	0.4 ~ 60	600
JS7-2A	1	1	1	1	—	—					
JS7-3A	—	—	—	—	1	1					
JS7-4A	1	1	—	—	1	1					

续表

型 号	不带延时		有延时的接点数量				接点额定电压 (V)	接点额定电流 (A)	线圈电压 (V)	延时范围 (s)	额定操作频率 (次/h)
	接点数量		通电延时		断电延时						
	常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭					
JS7-1B	—	—	1	1	—	—	380	5	50Hz:36、110、 127、220、380 60Hz:36、110、 127、220、380、440	0.4~60	600
JS7-2B	1	1	1	1	—	—					
JS7-3B	—	—	—	—	1	1					
JS7-4B	1	1	—	—	1	1					
JSK1-1	—	—	1	1	—	—	380	5	50Hz:36、 110、127、 220、380	0.4~60	600
JSK1-2	1	1	1	1	—	—					
JSK1-3	—	—	—	—	1	1					
JSK1-4	1	1	—	—	1	1					
JJSK2-1	—	—	1	1	—	—	380	5	50Hz:12、 36、110、127、 220、380	0.4~60	600
JJSK2-2	1	1	1	1	—	—					
JJSK2-3	—	—	—	—	1	1					
JJSK2-4	1	1	—	—	1	1					

## 2.13 JS17 系列电动式时间继电器

### 2.13.1 用途

JS17 系列电动式时间继电器适用于交流 50Hz、额定电压 500V 及以下的电气自动控制线路中,用来从一个电路向另一个需要延时的被控电路发送信号。由于这种继电器属同步电动机式,所以其延时长,整定偏差较小。

### 2.13.2 技术数据

JS17 系列电动式时间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.22。

表 5.2.22 JS17 系列电动式时间继电器型号、规格、技术数据

型 号	接点额定电压 (V)	接点接通和分断能力					主令脉冲持续时间 (s)	继电器返回时间 (s)	操作频率 (次/h)	延时范围	线圈电压 (离合电磁铁电动机) (V)	线圈功耗(V·A)	
		接通电流 (A)	分断电流 (A)	$\cos\varphi$	电寿命 (万次)	机械寿命 (万次)						离合电磁铁	电动机
JS17-1□ JS17-2□ JS17-3□ JS17-4□ JS17-5□ JS17-6□ JS17-7□	220	3	0.3	0.3~0.4	25	25	0.2	0.2	1200	0~8s 0~40s 0~4min 0~20min 0~2h 0~12h 0~72h	50Hz; 110、127、 220、380	4	4

注:1. 继电器整定偏差及重复偏差为最大整定值的  $\pm 2\%$ 。

2. 继电器带有不延时接点一常开一常闭;1型:线圈接通时延时,三常开二常闭;2型:线圈断开时延时,三常开二常闭。

## 2.14 JS20 系列晶体管时间继电器

### 2.14.1 用途

JS20 系列晶体管时间继电器是全国统一设计产品。与国内同类产品相比,具有通用性和系列性强、工作稳定可靠、精度高、延时范围广、输出接点容量较大等特点。适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下,直流电压 110V 及以下的控制电路中,作为控制时间的元件,以延时闭合或断开电路。

### 2.14.2 技术数据

JS20 系列晶体管时间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.23。

表 5.3.23 JS20 系列晶体管时间继电器型号、规格、技术数据

型号	结构型式	延时元件位置	延时范围 (s)	延时接点数量				不延时接点数量		误差 (%)		环境温度 (°C)	工作电压 (V)
				通电延时		断电延时		常开	常闭	重复	综合		
				常开	常闭	常开	常闭						
JS20-□/00	装置式	内接	0.1~300	2	2	—	—	—	—	±3 ±10	-10~+40	交流: 50Hz 36、127、220、380  直流: 24	
JS20-□/01	面板式	内接		2	2	—	—	—	—				
JS20-□/02	装置式	内外接		2	2	—	—	—	—				
JS20-□/03	装置式	内接		1	1	—	—	1	1				
JS20-□/04	面板式	内接		1	1	—	—	1	1				
JS20-□/05	装置式	外接	1	1	—	—	1	1					
JS20-□/10	装置式	内接	0.1~3600	2	2	—	—	—	—				
JS20-□/11	面板式	内接		2	2	—	—	—	—				
JS20-□/12	装置式	内外接		2	2	—	—	—	—				
JS20-□/13	装置式	内接		1	1	—	—	1	1				
JS20-□/14	面板式	内接		1	1	—	—	1	1				
JS20-□/15	装置式	外接	1	1	—	—	1	1					
JS20-□D/00	装置式	内接	0.1~180	—	—	2	2	—	—				
JS20-□D/01	面板式	内接		—	—	2	2	—	—				
JS20-□D/02	装置式	外接		—	—	2	2	—	—				

注:1. 每种延时等级的最大延时值不大于其标称延时值的 110%, 最小值不小于其标称值的 90%。

2. 通电延时型的重复工作时间间隔不小于 1s, 断电延时型的最小通电时间不小于 1s。

## 2.15 ST 系列超级时间继电器

### 2.15.1 用途

ST 系列超级时间继电器适用于各类机械、成套设备等要求高精度、高可靠性自动控制的场合,作延时控制之用。本系列产品是引进日本富士电机株式会社制造技术生产的,具有延时范围广、体积小、精度高、可靠性好、寿命长的特点。

### 2.15.2 技术数据

(1) ST 系列超级时间继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.24。

(2) 4 挡式时间继电器延时范围及延时范围代号见表 5.3.25。

表 5.3.24 ST 系列超继时间继电器型号、规格、技术数据

型号	ST3PA	ST3PC	ST3PF	ST3PK	ST3PY	ST3PR	ST6P
重复误差	$\pm 0.5\% \pm 10\text{ms}$	$\pm 0.5\% \pm 10\text{ms}$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0.5\% \pm 10\text{ms}$	$\pm 1\%$	$\pm 1\% \pm 20\text{ms}$
复位时间 (ms)	60	60	—	100	200	500	60
允许动作频率 (次/h)	1800	1800	1200	1200	—	—	1800
额定电压 (V)	交流: 100、110、 200、220 直流: 24、48	交流: 100、110、 200、220 直流: 24、48	交流: 100~120 200~220 直流: 24、48	交流: 100~110/ 200~220 直流: 24、48	交流: 100~110/ 200~220	交流: 100~110/ 200~220 直流: 24、48	交流: 100、110 200、220 直流: 24、48
额定电流 (A)	3	3	3	3	3	2	3
接点容量	交流 240V, 3A 电阻负载						
消耗功率	交流: 110V, 2.2V·A; 220V, 2.9V·A 直流: 24V, 1.2W	交流: 110V, 2.2V·A, 220V, 2.9V·A 直流: 24V, 1.2W	交流: 1V·A 直流: 1W	交流: 2V·A 直流: 0.8W	交流: 3V·A	交流: 2.5V·A 直流: 1.2W	交流: 110V, 2.2V·A 220V, 2.9V·A 直流: 24V, 1.2W
机械寿命 (万次)	5000 以上	1000 以上	2000 以上	2000 以上	2000 以上	2000 以上	5000 以上
电寿命(万次) (交流 110V, 3A) 电阻负载	100 以上	17 以上	30 以上	30 以上	30 以上	30 以上	100 以上

表 5.3.25 4 挡式时间继电器延时范围及延时范围代号

延时范围代号	1	2	3	4
A	0.05~0.5s	0.5~5s	5~30s	30s~3min
B	0.1~1s	1~10s	10~60s	1~6min
C	0.5~5s	5~50s	50s~5min	5~30min
D	1~10s	10~100s	100s~10min	10~60min
E	6~60s	1~10min	10~60min	1~6h
F	0.2~2min	2~20min	20min~2h	2~12h
G	0.4~4min	4~40min	40min~4h	4~24h

## 2.16 JR0、9、9-A、14、15、16 等系列热继电器

### 2.16.1 用途

各系列热继电器都是双金属片式热继电器,适用于长期工作或间断长期工作的一般交流电动机的过负荷保护(JR0、JR14 和 JR16 可带断相运转保护;JR9 系列还可具有短路保护功能),常与交流接触器配合组成电磁起动器。

### 2.16.2 技术数据

(1)各系列热继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.26、5.3.27 和 5.3.28。

(2)热继电器动作特性见表 5.3.29、5.3.30 和 5.3.31。

(3)热继电器具有带公共接点的一常开和一常闭接点。常闭接点用于控制回路,常开接点用于信号回路,它们的寿命均应可靠地接通或分断 1000 次。其分断能力见表 5.3.32。

(4)热继电器动作后的复位时间,当调为自动复位时,热继电器在 5min 内复位;当调为手动复位时,则在 2min 后,按复位按钮后能使继电器复位。

表 5.3.26 JR0、JR14、JR16 系列热继电器型号、规格、技术数据

型 号	额定电流 (A)	热元件等级	
		热元件额定电流 (A)	整定电流调节范围 (A)
JR0-20/3、20/3D	20	0.35	0.25~0.35
		0.50	0.32~0.5
		0.72	0.45~0.72
		1.1	0.68~1.1
		1.6	1.0~1.6
JR14-20/2、20/3、20/D		2.4	1.5~2.4
		3.5	2.2~3.5
JR16-20/3、20/3D		5	3.2~5
		7.2	4.5~7.2
		11	6.8~11
	16	10~16	
	22	14~22	



续表

型 号	额定电流 (A)	热元件等级	
		热元件额定电流 (A)	整定电流调节范围 (A)
JR0-40/2	40	0.64	0.4~0.64
		1.0	0.64~1.0
		1.6	1.0~1.6
		2.5	1.6~2.5
		4.0	2.5~4.0
		6.4	4.0~6.4
		10	6.4~10
		16	10~16
		25	16~25
		40	25~40
JR0-60/3,60/3D JR16-60/3,60/3D	60	22	14~22
		32	20~32
		45	28~45
		63	40~63
JR0-150/3,150/3D JR16-150/3,150/3D	150	63	40~63
		85	53~85
		120	75~120
		160	100~160
JR14-150/2,150/3,150/D	150	100	64~100
		150	96~150

表 5.3.27 JR15 系列热继电器型号、规格、技术数据

型 号	额定电流 (A)	热元件等级	
		热元件额定电流 (A)	整定电流调节范围 (A)
JR15-10/2	10	0.35	0.25~0.3~0.35
		0.50	0.32~0.4~0.5
		0.72	0.45~0.6~0.72
		1.1	0.68~0.9~1.1
		1.6	1.0~1.3~1.6
		2.4	1.5~2.0~2.4
		3.5	2.2~2.8~3.5
		5.0	3.2~4.0~5.0
		7.2	4.5~6.0~7.2
		11.0	6.8~9.0~11.0
JR15-40/2	40	11.0	6.8~9.0~11.0
		16.0	10.0~13.0~16.0
		24.0	15.0~20.0~24.0
		33.0	22.0~28.0~35.0
		45.0	30.0~37.5~45.0
JR15-100/2	100	50	32~40~50
		72	40~60~72
		100	60~80~100
JR15-150/2	150	110	68~90~110
		150	100~125~150

表 5.3.28 JR9、JR9-A 系列热继电器型号、规格、技术数据

型 号	额定电流 (A)	热元件电流调节范围 (A)	电磁元件电流调节范围 (A)
JR9-60	7.2	4.5 ~ 5.85 ~ 7.2	60 ~ 190
	11	7 ~ 9 ~ 11	
	17	10.8 ~ 13.9 ~ 17.0	
JR9-60A	26	16.6 ~ 21.3 ~ 26.0	180 ~ 600
	40	25.6 ~ 32.8 ~ 40.0	
	62	39.0 ~ 50.5 ~ 62.0	
JR9-300	38	24 ~ 31 ~ 38	300 ~ 1000
	57	37 ~ 47 ~ 57	
	86	56 ~ 71 ~ 86	
	125	85 ~ 100 ~ 125	
JR9-300A	176	124 ~ 150 ~ 176	900 ~ 2700
	230	170 ~ 200 ~ 230	
	310	226 ~ 268 ~ 310	

注:JR9-A 系列产品没有电磁元件。

表 5.3.29 一般型不带断相保护的热继电器  
动作特性

整定电流倍数	动作时间	起始状态
1.0	长期不动作	
1.2	小于 20min	从热态开始
1.5	小于 2min	从热态开始
6	大于 5s	从冷态开始

注:从热态开始是指以整定电流值加热使热继电器发热至稳定后(即在 30 分钟内,温升变化不超过 1%)开始。

表 5.3.30 带断相保护的热继电器动作特性

整定电流倍数	断相动作 时间	起始状态
1.05	小于 20min	以 0.6 倍整定电流加热至稳定后开始
1.3	小于 2min	以 0.75 倍整定电流加热至稳定后开始

注:带断相保护的热继电器其动作特性除满足本表规定外,还应满足表 5.3.29 的规定。

表 5.3.31 JR9-300 型限流热继电器的过负荷及短路保护特性

保护特性	整定电流倍数	动作时间	条件(在 +35℃ 环境下)
过负荷保护	1	长期不动作	冷态、三相同步通电
	1.4	12min 内动作	热态、三相同步通电
	6	大于 15s 动作	冷态、三相同步通电
短路保护	0.8	不动作	每相单独通电,或三相同步通电
	1.2	瞬时动作	

注:JR9-300A 型热继电器的过负荷保护特性与一般型热继电器相同(在 +40℃ 下整定)。

表 5.3.32 热继电器接点接通与分断能力

工作电压 (V)	常闭接点分断能力(A)		常开接点 接通能力(A)	接点长期持续电流(A)	
	交流 $\cos\varphi = 0.2$	直流时间常数 $T = 0.05(s)$	交流 $\cos\varphi = 0.3 \sim 0.4$	常闭接点	常开接点
220	3	0.2	5	3	5
380	2	-			
500	1	-			

## 2.17 LR1-D 系列热继电器

### 2.17.1 用途

LR1-D 系列热继电器适用于交流 50Hz 或 60Hz、电压至 660V、电流至 80A 以下的电路中,供交流电动机热保护用。它具有差动机构和温度补偿环节,可与 D 系列交流接触器插接安装。

### 2.17.2 技术数据

LR1-D 系列热继电器技术规格见表 5.3.33。

表 5.3.33 LR1-D 系列热继电器技术规格

型 号	整定电流 范围(A)	控制电动机功率(AC-3)(kW)					可插接安装的 接触器型号
		220V	380V	415V	440V	660V	
LR1-D09301	0.1~0.16						D09~D25
LR1-D09302	0.15~0.25						D09~D25
LR1-D09303	0.25~0.4						D09~D25
LR1-D09304	0.4~0.63					0.37	D09~D25
LR1-D09305	0.63~1					0.55	D09~D25
LR1-D09306	1~1.6		0.37		0.55	0.75 1.1	D09~D25
LR1-D09307	1.6~2.5	0.37	0.55 0.75	1.1	0.75 1.1	1.5	D09~D25
LR1-D09308	2.5~4	0.55 0.75	1.1 1.5	1.5	1.5	2.2 3	D09~D25
LR1-D09310	4~6	1.1	2.2	2.2	2.2	4	D09~D25
LR1-D09312	5.5~8	1.5	3	3.7	3 3.7	5.5	D09~D25
LR1-D09314	7~10	2.2	4	4	4	7.5	D09~D25
LR1-D12316	10~13	3	5.5	5.5	5.5	10	D09~D25
LR1-D16321	13~18	4	7.5	9	9	15	D09~D25
LR1-D25322	18~25	5.5	11	11	11	18.5	D09~D25
LR1-D40353	23~32	7.5	15	15	15	22	D40, D50, D63

续表

型 号	整定电流 范围(A)	控制电动机功率(AC-3)(kW)					可插接安装的 接触器型号
		220V	380V	415V	440V	660V	
LR1-D40355	30~40	10	18.5	22	22	30	D40,D50,D63
LR1-D63357	38~50	11	22	25	25	37	D40,D50,D63
LR1-D63359	48~57	15	25	30	30	45	D40,D50,D63
LR1-D63361	57~66	18.5	30	37	37	55	D40,D50,D63
LR1-D80363	63~80	22	33 37	40 45	40 45	59 63	

LR1-D系列热继电器技术数据见表 5.3.34。

表 5.3.34 LR1-D 系列热继电器技术数据

项 目		LR1-D09-D25	LR1-D40	LR1-D63-D80
工作环境温度(℃)		-25~+40	-25~+40	-25~+40
贮存温度(℃)		-60~+70	-60~+70	-60~+70
额定绝缘电压(V)		660	660	660
接点约定发热电流(A)		10	10	10
主回路接线端子 可接导线截面 (mm <sup>2</sup> )	软线	4	10	16
	硬线	6	10	25

## 2.18 JDM1 系列计数器和 JDM2(JJDM2) 系列计数继电器

### 2.18.1 用途

计数器适用于需要记录工作机构的动作次数的场合。计数继电器适用于需要控制动作次数(或工作循环次数)的工作机械的自动控制设备中,当它的输入信号次数与预先整定的次数相一致时,即能发出信号,使执行机构动作。若输入信号为某一恒定值时,也可以用作定时、定量、定长等各种自动控制。

### 2.18.2 技术数据

(1)计数器和计数继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.35。

(2)计数器和计数继电器输入信号的延续时间不大于 0.5h;电动复位的计数器和计数继电器输入信号的延续时间不大于 5s。

(3)计数器和计数继电器吸引线圈的消耗功率为交流 5V·A,直流 5W;电动复位产品吸引线圈的消耗功率为交流 27V·A,直流 27W。

表 5.3.35 计数器和计数继电器型号、规格、技术数据

型号	计数位数	复位方式	输入信号			工作电压 (V)	输出接点					
			最大频率 (Hz)	通电持续率 (%)	最小通电或断电时间 (ms)		数量		额定电压 (V)	额定电流(A)		
							常开	常闭		持续	接通	分断
JDM1-31 JDM1-41 JDM1-51 JDM1-61	3 4 5 6	手动	10	50	50	直流:6、12、 24、48、60 交流:50Hz 36、110、127	-	-	-	-	-	-
JDM1-32 JDM1-42 JDM1-52 JDM1-62	3 4 5 6	电动、 手动				直流:6、12、 24、48、60	-	-	-	-	-	-
JDM2-11 JDM2-21 JDM2-31 JDM2-41 JDM2-51 JDM2-61	1 2 3 4 5 6	手动				直流:6、12、 24、48、60 交流:50Hz 36、110、127	1	1	220	2	2	0.2
JDM2-12 JDM2-22 JDM2-32 JDM2-42 JDM2-52 JDM2-62	1 2 3 4 5 6	电动、 手动				直流:6、 12、24、48、 60						

## 2.19 JDM5、6、7 系列电磁式计数器

### 2.19.1 用途

本电磁式计数器是目前适应性最强,使用最广泛的一种工业计数器。它不但能进行次数统计,还能按设计要求输出信号,控制执行元件;它与电子式计数继电器作比较,有不需特殊复杂装置,断电保持记忆、电力恢复又继续工作之特点,是一种较理想的计数继电器元件。

本系列计数器是利用德国伊里昂福赛勒 IVO 公司的技术制造的新产品,包括累加计数器,加法预选和减法预选计数继电器 3 种类型。

### 2.19.2 技术数据

- (1)计数寿命:10<sup>8</sup> 脉冲。
- (2)额定电压允差:±10%。
- (3)通电率:100%。

(4)使用环境温度:0℃~45℃。

(5)电动复位:①电压与计数电压相同。②电动复位寿命:10<sup>6</sup> 脉冲。③最短脉冲持续时间为250ms。④通电率为10%,最长为1min。⑤最短间隙时间为9倍脉冲持续时间。⑥输出接点容量:直流最大容量30W,最高电压220V,最大电流1A。交流最大容量100V·A,最高电压220V,最大电流2A。⑦JDM5、6、7系列电磁式计数器型号及型号对照表见表5.3.36。⑧JDM5电磁式累加计数器技术数据见表5.3.37。⑨JDM6电磁式加法预选计数继电器技术数据见表5.3.38。⑩JDM7电磁式减法预选计数继电器技术数据见表5.3.39。

表 5.3.36 JDM5、6、7 系列电磁式计数器型号及型号对照表

中国型号	德国型号	名 称	复位方式	旧型号
JDM5-61	F307.65	电磁式累加计数器	按键	JDM1-61
JDM5-62	F309.65	电磁式累加计数器	按键+电动	JDM1-62
JDM6-51	FE307.55	电磁式加法预选计数继电器	按键	JDM2-51 JJDM2-51
JDM6-52	FE309.55	电磁式加法预选计数继电器	按键+电动	JDM2-52 JJDM2-52
JDM7-51	FS307.55	电磁式减法预选计数继电器	按键	—
JDM7-52	FS309.55	电磁式减法预选计数继电器	按键+电动	—

表 5.3.37 JDM5 电磁式累加计数器技术数据

型 号	位数	复位方式	固定方式	额定电压 (V)	计数 速度 (次/s)	功耗 W/(V·A)	最短脉冲(ms)	
							计数	间隙
JDM5-61	6	按 键	插件 或 面板	直流:12、24、48 110、220 交流:24、36、110 220	20	4	25	25
JDM5-62		按键+电动			10	5	50	50

表 5.3.38 JDM6 电磁式加法预选计数继电器技术数据

型 号	位数	复位方式	固定方式	额定电压 (V)	计数 速度 (次/s)	功耗 (W/(V·A))	最短脉冲(ms)	
							计数	间隙
JDM6-51	6	按 键	插件 或 面板	直流:12、24、48 110、220 交流:24、36、110 220	20	4	25	25
JDM6-52		按键+电动			10	5	50	50

表 5.3.39 JDM7 电磁式减法预选计数继电器技术数据

型 号	位数	复位方式	固定方式	额定电压 (V)	计数 速度 (次/s)	功耗 (W/(V·A))	最短脉冲(ms)	
							计数	间隙
JDM7-51	5	按 键	插件 或 面板	直流:12、24、48 110、220 交流:24、36、110 220	20	4	25	25
JDM7-52		按键+电动			10	5	50	50

## 2.20 JAG 系列干簧继电器

### 2.20.1 用途

JAG 系列干簧继电器动作速度快,较灵敏,其触点为密封结构,易于脱离激磁部分而构成位控制元件。常用于动作比较频繁的控制回路、信号回路和多种位控制回路中。

### 2.20.2 技术数据

JAG 系列干簧继电器型号、规格、技术数据见表 5.3.40。

表 5.3.40 JAG 系列干簧继电器型号、规格、技术数据。

型号规格	绕组数据			额定电压 (额定电流)	吸合 电流 (mA)	释放 电流 (mA)	触点负荷(阻性)		装于簧管		
	线径 (mm)	直流 电阻 ( $\Omega$ )	圈数				H	Z			
JAG-2-1 $\frac{H}{Z}A$	0.10	93	2200	6V	$\leq 44$	$\geq 9$	24V、 0.2A (直流)	24V、 0.1A (直流)	1		
JAG-2-1 $\frac{H}{Z}B$	0.07	370	4200	12V	$\leq 22$	$\geq 4.5$					
JAG-2-1 $\frac{H}{Z}C$	0.05	1200	7000	24V	$\leq 13.5$	$\geq 3$					
JAG-2-2 $\frac{H}{Z}A$	0.14	140	3300	6V	$\leq 28$	$\geq 7$			24V、 0.2A (直流)	24V、 0.1A (直流)	2
JAG-2-2 $\frac{H}{Z}B$	0.10	430	5200	12V	$\leq 18$	$\geq 4$					
JAG-2-2 $\frac{H}{Z}C$	0.07	1700	10000	24V	$\leq 9$	$\geq 2.2$					
JAG-2-3 $\frac{H}{Z}A$	0.17	87	2500	6V	$\leq 48$	$\geq 8$			24V、 0.2A (直流)	24V、 0.1A (直流)	3
JAG-2-3 $\frac{H}{Z}B$	0.12	320	4500	12V	$\leq 25$	$\geq 4.5$					
JAG-2-3 $\frac{H}{Z}C$	0.09	1080	8500	24V	$\leq 15$	$\geq 2.5$					
JAG-2-4 $\frac{H}{Z}A$	0.17	87	2500	6V	$\leq 48$	$\geq 8$	24V、 0.2A (直流)	24V、 0.1A (直流)	4		
JAG-2-4 $\frac{H}{Z}B$	0.12	320	4500	12V	$\leq 25$	$\geq 4.5$					
JAG-2-4 $\frac{H}{Z}C$	0.09	1080	8500	24V	$\leq 15$	$\geq 2.5$					
JAG-4-1HA	0.07	370	4200	18mA	$\leq 9$	$\geq 1.8$	12V、 0.05A (直流)		1		
JAG-4-1HB	0.05	1250	7000	10mA	$\leq 5$	$\geq 1.1$					
JAG-4-1HC	0.04	2900	11000	7mA	$\leq 3.5$	$\geq 0.7$					



续表

型号规格	绕组数据			额定电压 (额定电流)	吸合 电流 (mA)	释放 电流 (mA)	触点负荷(阻性)		装于 簧管
	线径 (mm)	直流 电阻 (Ω)	圈数				H	Z	
JAG-4-2HA	0.09	200	2600	32mA	≤16	≥3	12V、 0.05A (直流)		2
JAG-4-2HB	0.07	520	4300	20mA	≤10	≥1.8			
JAG-4-2HC	0.05	2000	7300	12mA	≤6	≥1.0			
JAG-4-3HA	0.11	130	2100	46mA	≤23	≥3.5			3
JAG-4-3HB	0.08	460	3600	26mA	≤13	≥2			
JAG-4-3HC	0.05	2180	7200	13mA	≤6.5	≥1			4
JAG-4-4HA	0.13	90	1600	60mA	≤30	≥4.5			
JAG-4-HB	0.10	270	2800	40mA	≤20	≥2.8			
JAG-4-4HC	0.06	1180	4800	20mA	≤10	≥1.6	最大电压: 300V(直流) 最大电流:2A 最大功率:200W	2	
JAG-5-2H-12V	0.27	50	2500	12V	≤130	≥35			
JAG-5-2Z-12V	0.27	50	2500	12V	≤130	≥35			
JAG-5-2H-27V	0.17	310	6000	27V	≤55	≥14			
JAG-5-2Z-27V	0.17	310	6000	27V	≤55	≥14			

### 3 继电器常见故障和修理

#### 3.1 安装使用及环境影响引起的故障

继电器必须装在固定机架上,并按照继电器规定的工作位置正确安装,使继电器能正确工作,达到各项技术指标要求。否则将发生严重的偏差,甚至导致拒动或误动。辨别正确工作位置应根据继电器有关技术资料的说明,在无资料的情况下可根据继电器的刻度盘确定,必要时通电检验其动作的正确性。一般安装方向对外形较大的继电器的影响大;对外形小的影响小或无影响。

继电器的各项技术指标一般都受环境温湿度及机械振动的影响,因此应注意工作环境是否满足继电器的要求。否则应设法改善环境,如安装空调以改善温湿

度环境参数,机架安装橡胶或弹簧减振垫以减轻冲击振动强度。

对于一些较灵敏而磁系统又存在较大的空气隙的继电器(如干簧继电器),其动作参数易受外界磁场影响,其安装位置应远离其他能在周围产生较强磁场的继电器及电器设备。

另外需要注意的是一般继电器不允许工作在有腐蚀性气体或易燃、易爆气体的环境中,否则继电器将迅速损坏甚至引起火灾及爆炸事故。

### 3.2 继电器的损坏及修理

继电器一般工作在保护设备或自动控制设备中。由于保护设备只在电力系统故障情况下才动作,所以继电器动作次数少,其磨损也少。自动控制设备则工作频繁,负荷较重,故继电器磨损也较严重。

继电器受磨损最终导致损坏,一般集中反映在继电器的两种零件上,即接点和线圈。

#### 3.2.1 接点的损坏及修理

继电器的磨损分机械磨损与电磨损。由于继电器动程不大,故机械磨损并不严重,而主要是电磨损。由于接点频繁接通和分断受控负荷,故在接点间产生电弧。电感性负荷最为严重,使接点金属熔蚀,接点间压力逐渐减少,最终因不能接触而不能工作。故应定时检查接点的磨损情况,及时修理。清理整修接点表面应使用锉刀或小刀锉平、刮光工作面,然后用布料抛光,使接点清洁光亮,并调整接点的超行程或压力,使满足工作要求。应当指出,用砂布或砂纸打磨接点是不适宜的,因为继电器触头为银料,质地软韧,用砂布打磨时,石英砂粒有可能会嵌在接点表面,造成工作的不可靠。

继电器的机械磨损一般不易觉察,当影响动作参数时,一般通过调整使之恢复。

#### 3.2.2 继电器线圈的损坏及复制

继电器的电压线圈线径细、匝数多,受潮后由于电腐蚀易发生断线。一般继电器线圈参数都标注在线圈标纸上,可按数据复制。对少数无数据线圈只能测线径及拆查匝数,也可由同规格线圈的电阻值,并根据测得的线径,近似地推算出匝数。

绕制线圈可用一般简易手摇绕线机绕制。对线径较细的线圈其出线应用多股绝缘软线引出,绕制时顺时针排绕,但并不必像小功率变压器线圈那样严格排线和不允许叠绕,以及必须垫以层间绝缘。排绕时只要做到能使线圈有平直的外形,避免层间匝数过多而易于击穿短路便可。对于线径在0.2mm以上的线圈,在有条件时可以精心排线避免叠绕,从而可制出高质量的线圈,尤其对交流线圈更应这样做。应当指出,绕制线圈时操作者应戴手套,特别在夏季。因为汗水是强腐蚀剂,而漆包线的涂层不可避免地存在针孔,汗水会降低线圈寿命,应予注意。

## 第四章 成套电器

### 1 高压配电装置

高压开关柜适用于发电厂、变电所和工矿企业变、配电站,是受电、配电和大型高压交流电动机的起动、保护的主要设备。

高压开关柜有固定式、手车式及活动式三种。活动式是前两种的过渡形式。手车式开关柜中的断路器及其他元件设备可拉出柜外检修,推入备用手车后可继续供电,具有安全、方便、缩短停电时间的优点。高压开关柜的主要技术数据如表 5.4.1 所列。

型号含义:

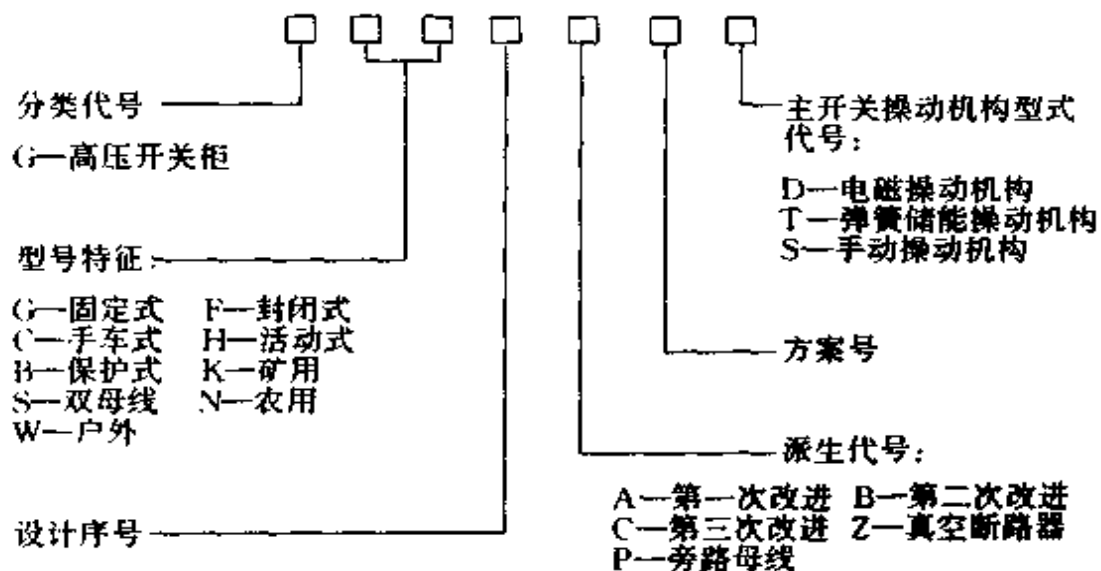


表 5.4.1 高压开关柜主要技术数据表

名称	型号	安装方式	断路器型号	额定电流 (A)	断流容量 (MV·A)			操动机构型号	外形尺寸 (mm) 高×宽×深	总质量 (kg)
					1kV	6kV	10kV			
固定式 开关柜	GG-1A(F)	靠墙	SN10-10	200~3000	100 150	200 300	200 500	CS2、CD10	3100×1218×1225	330~1000
	GG-10		SN10-10	400、600、1000		200	500	CS2、CD2	2600×1000×1200	1000~4000
	GG-11		SN10-10	400、600、1000			250 500	(1)、CD7	2600×1100×1175	600~900
	GG-15		SN10-10	600、1000			300 500	CD、CD10	2600×1000×1200	
	GG-1AZ		SN1-10	1000			300	断路器自带	3100×1200×1200 3100×1200×1400	

手车封 闭式开 关柜	GFC-1A	SN10-10	600, 900 2000, 3000				CD10、CT7	2132 × 1000 × 1520	
	GFC-3A	SN10-10	600 ~ 1000	200	300	500	CD10、CT7	1900 × 700 × 1250	600
	GFC-3B	SN10-10	600 ~ 1000	200	300	500	CD10、CT7	2100 × 800 × 1250	
	GFC-3C	SN10-10	400 ~ 2700	200	300	500	CD10、CT7	2200 × 800 × 1500 2200 × 1000 × 1500	
	GFC-3AZ	SN10- 1000-16	900			300	断路器自带	1900 × 700 × 1250	500
	GFC-10A	SN8-10 SN10-10	500 ~ 900		200	500	CD2	2000 × 800 × 1250	700 ~ 1000
	GFC-11	SN10-10	400, 600, 1000	100 150	200 300	300 500	CD10	2100 × 800 × 1200 2000 × 800 × 1250	800 ~ 1000
	GFC-15	SN10-10	600 ~ 3000			500 750	CD10	2000 × 700 × 1250	
	GFC-15Z	ZN1	600, 1000			200 300	CD10	2000 × 700 × 1250	
	GFC-15A	SN10-10					CD10	2000 × 700 × 1250	
	GFC-18	SN10-10C	600, 1000				CD10C	2100 × 880 × 1360	
	GFC-20	SN10-10	400, 600, 1000				CD10	1900 × 700 × 1250	
	GC-1	SN10-10	100 ~ 1000			300 500	CD10	2132 × 840 × 1450	700 ~ 900
	GC-1(Z)	ZN3-10						2100 × 800 × 1450	
	GFC-1A	SN3-10	2000	100	300	500	CD3	3000 × 1500 × 1500	800
	GFC-1	SN3-10	2000	150	300	500	CD3	3000 × 1500 × 1500	
	GFC-35	SN10-35	1000	35kV/1000			CD10	2500 × 1800 × 2000	1600
	GFC-35A	SN10-35	1000	35kV/1000			CD10、CT7	2500 × 1800 × 2000	

## 1.1 GG-1A(F)型固定式高压开关柜

### 1.1.1 用途

GG-1A(F)型高压开关柜为固定式五防高压开关柜,适用于发电厂、工矿企业、大型民用建筑等变电所,作为接受与分配电能之用。

### 1.1.2 使用环境

- (1)海拔不超过 1000m。
- (2)环境温度不高于 +40℃,不低于 -20℃。
- (3)相对湿度不大于 90%(±20℃时)。
- (4)没有火灾、爆炸、严重腐蚀金属及绝缘材料的化学气体、蒸汽的场所。
- (5)没有震动颠簸,且垂直倾斜度不超过 5°的场所。

注:本产品如果用于湿热带时,必须在订货时说明。

### 1.1.3 结构

该柜系在原 GG-1A 高压开关柜的基础上按国家规定加设五防程序锁板而成,以防止误入带电间隔,防止带负荷拉闸,防止误合、误分,防止带电检修,并保证油断路器与隔离开关操作的程序性。对于供电、检修、维护等具有很高的安全性与可靠性。

基本结构用薄钢板及角钢焊接而成。背面无保护板,靠墙安装,上下共有两扇门,中间有隔离门。上门可供安装仪表及继电保护设备等。

### 1.1.4 一次线路常用方案

该柜线路方案多达 120 种类型,一次线路常用方案及主要电器设备如表 5.4.2 所列。

### 1.1.5 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.4.1 至图 5.4.4 所示。

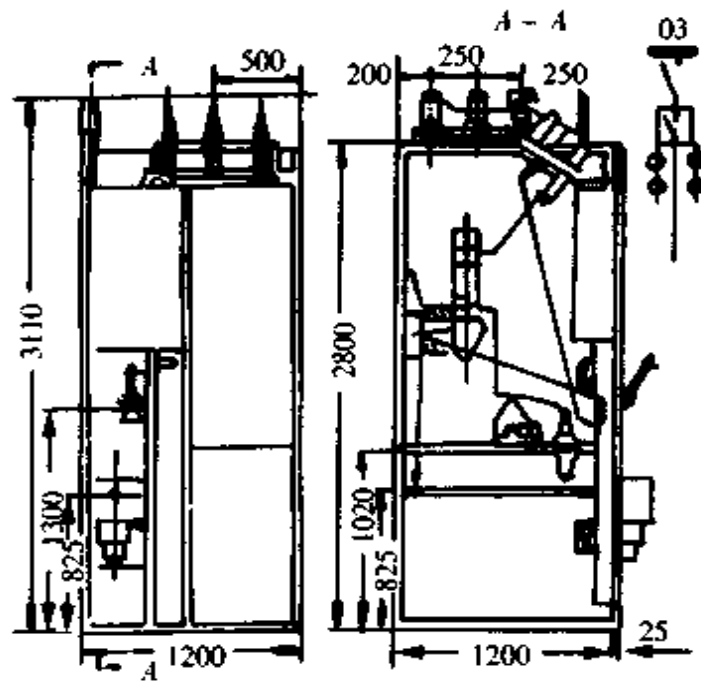


图 5.4.1 GG-1A(F)03 外形图

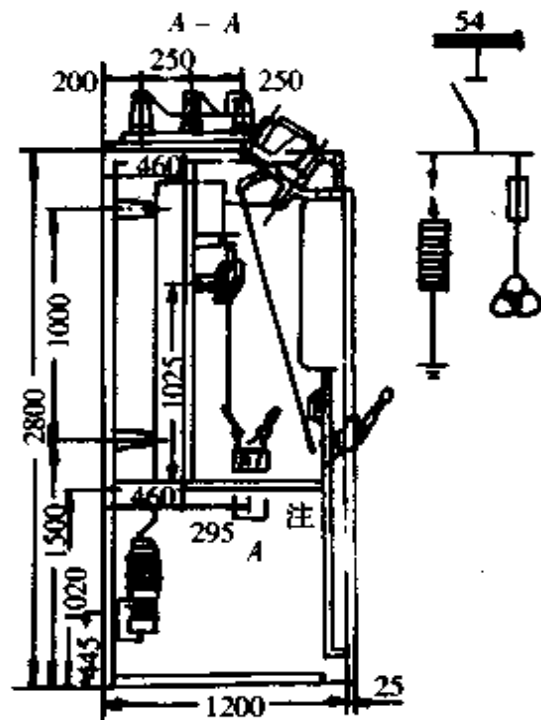
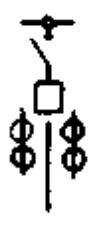


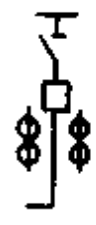
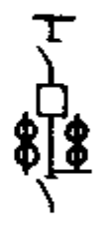







图 5.4.2 GG-1A(F)54 外形图

表 5.4.2 GG-1A(F)型一次线路常用

方 案 编 号	03	07	11	15	17
一次线路方案					
用 途	受 电 及				
隔离开关 GN8、GN6	1	2	1	1	2
断路器 SN10-10	1	1	1	1	1
负荷开关					
操动机构	2	2	2	2	3
电流互感器	2	2	2	2	2
电压互感器					
熔断器					
方 案 编 号	50	52	54	55	58
一次线路方案					
用 途	计 测 及 避				
隔离开关 GN8、GN6	1	1	1	1	2
断路器 SN10-10					
负荷开关					
操动机构	1	1	1	1	2
电流互感器			1	2	1
电压互感器	2		3	3	3
熔断器	3		3	3	3
避雷器		3	3	3	



方案及主要技术数据

22	32	35	37	43	49
配 电					计 测
2 1 3 2	2 1 3 2	2 1 3 2	1 1 2 2	1   1 2 3	1  1 1 3
59	89	101	119	121	124
雷 器		所用电	联 络	受 电	
2  2 2 3	2  2  3	1  1 电力变压器 1 3	1  1	1 1 3 2 2 3	1 1 3 2 2 3

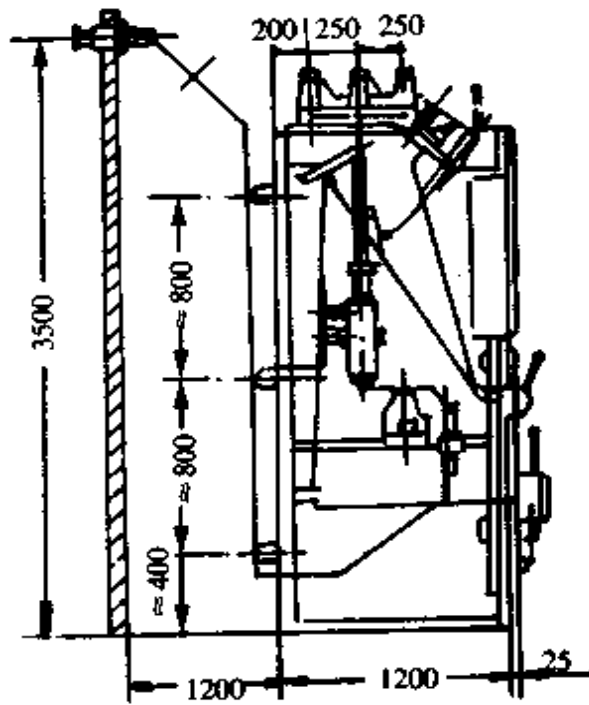


图 5.4.3 架空进线示意

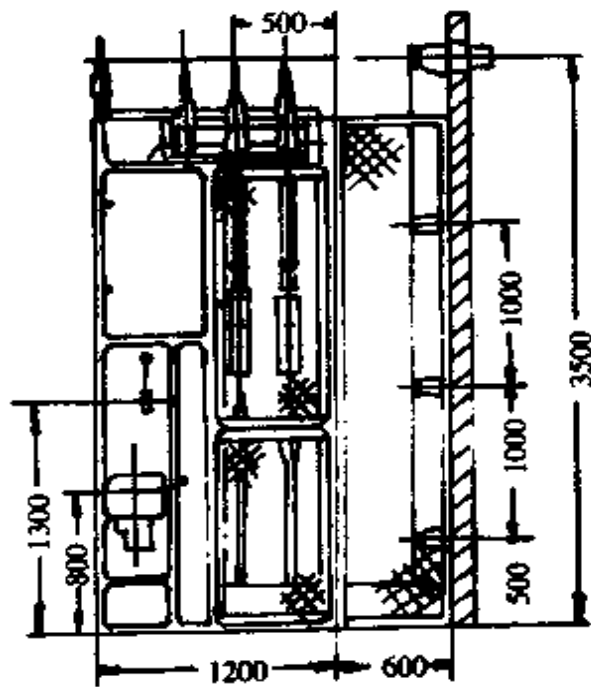


图 5.4.4 架空出线示意

## 1.2 GG-1A(J)型高压开关柜

### 1.2.1 概述

GG-1A(J)型高压开关柜用于中小型发电厂、变电所,交流频率 50Hz、电压 3~10kV、额定电流 400A 及以下单母线系统,作为输送或接收电能计量之用。

本产品系户内安装,与 GG-1A 型固定式高压开关柜配套使用。

### 1.2.2 结构

GG-1A(J)型高压开关柜的结构形式与 GG-1A 型高压开关柜完全相同。柜内装有隔离开关、高压熔断器以及提供高压测量用的电流互感器、电压互感器,计量仪表安装在中间观察门内。下部设有隔离开关及联络装置两种,以便进线及与邻柜联络。

### 1.2.3 一次线路常用方案

一次线路常用方案如表 5.4.3 所列。

表 5.4.3 GG-1A(J)型高压计量柜一次线路常用方案

一次线路方案编号	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>
一次线路方案				
数量 型号及名称	架空进线(单电源)联络	架空、电缆进出线(单电源)	架空进线(双电源)联络	架空、电缆进出线(双电源)
GN6-10 型隔离开关			1	1
GN8-10 型隔离开关	1	1	1	1
JDZ-6(10)型电压互感器	2	2	2	2
RN2-10 型熔断器	3	3	3	3
CS6-1(2)型手力操动机构	1	1	2	2
LQJ-10 型电流互感器	2	2	2	2
DS8 型三相有功电度表	1	1	1	1
DX 型三相无功电度表	1	1	1	1



表 5.4.4 KYN-10 型手车式开关柜一次线路常用方案主要技术数据

方案序号	01	02	03	05	11	17
一次线路方案						
用途	电缆进出	电缆进出	电缆进出	电缆进出	电缆进出	电缆进出
额定电流(A)	1250	1250	1250	1250	1250	1250
油断路器 SN-10	1	1	1	1	1	1
操动机构 CD-10	1	1	1	1	1	1
电流互感器 LDJ-10	2	2	2	2	2	2
带电显示装置		1				
接地开关 JN-10			1			

续表

方案序号	20	21	33 右/34 左	41	43	47
一次线路方案						
用途	架空进出	架空进出	隔离手车	避雷器计量	避雷器计量	贮用电
额定电流(A)	1250	1250	1250			
油断路器 SN-10	1	1		熔断器 RV-10	熔断器 RV-10	
操动机构 CD-10	1	1		避雷器 FS-	避雷器 FS-	
电流互感器 LDJ-10	2	2				3
电压互感器				2	2	
带电显示装置	1					
接地开关 JN-10JN 型		1				
变压器 SC-10						1

表 5.4.5 KYN-10 型开关柜一次线路常用方案组合方式示例

方案序号	08	17	24	45	48	24	16	07
组合接线								
用途	进线	避雷器及出线	出线	联络	母线过渡	出线	避雷器及出线	进线
外形尺寸	高 2300mm × 宽 800mm × 深 1540mm							

### 1.4.2 结构特点

该柜是由电缆进出线室、真空断路器室、水平母线室、控制室、辅助器件室等独立的组合单元构成。可预防误操作的联锁装置设在小车下面，保证断路器在“合闸”位置小车不能移动，一定要在“断开”位置才能拉出小车。

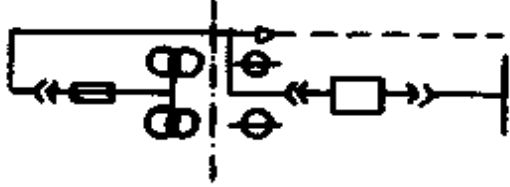
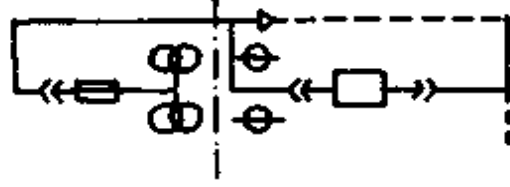
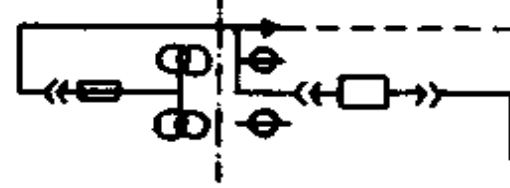
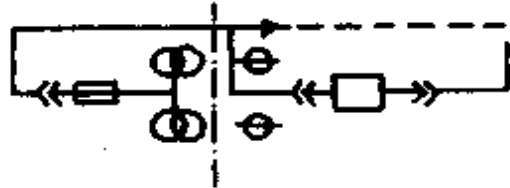
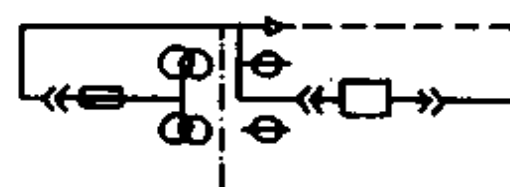
操作方式为电动弹簧储能操作机构。

外形尺寸(mm): 宽 800、深 1540、高 2300。

### 1.4.3 一次线路常用方案

一次线路常用方案如表 5.4.6, 组合方式示例如表 5.4.7 所列。

表 5.4.6 VG-10 型真空开关柜主要技术数据

方案序号	01	04 右出/05 左出	07	08	10
					
— 次 线 路 方 案					
用途	电缆进线	电缆进线	电缆进线	电缆进线	电缆进线
VK-10 真空断路器	1	1	1	1	1
LZJ-10 电流互感器	2	2	2	2	2
JDZ-10 电压互感器	2	2	2	2	2
RN <sub>2</sub> -10 高压熔断器	3	3	3	3	3
TMR 母线电流(A)	1250	1250	1250	1250	1250



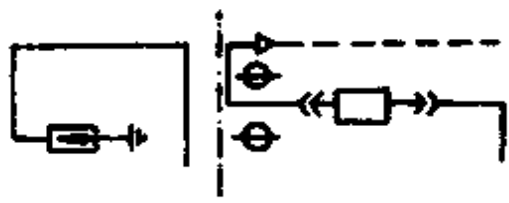
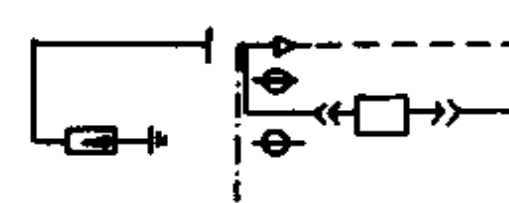
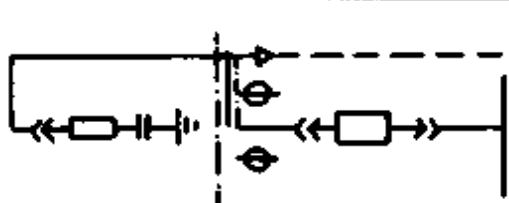
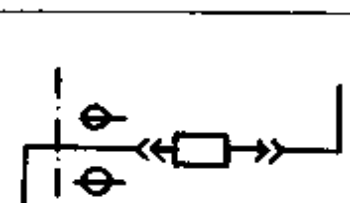
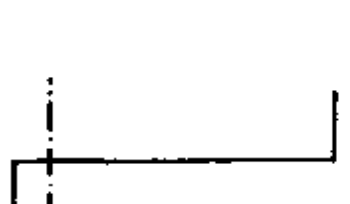
一次线路方案					
用途	避雷器及电缆进出线	避雷器及电缆进出线	电缆进线	左或右联络	左或右母线过波
VK-10 真空断路器	 1	 1	 1	 1	 1
LZJ-10 电流互感器	2	2	2	2	
$Y_3C_1$ (FCD <sub>k</sub> ) 避雷器	3	3			
氧化锌避雷器或 过电压吸收器			3(1)		
TMR 母线电流(A)	1250	1250	1250	1250	1250

表 5.4.7 VC-10 型一次线路方案组合方式

01	41	01	01	17	33	01	01	41	01
进线	避雷器、 计量	出线	出线	母联	联络	出线	出线	避雷器、 计量	进线

## 1.5 GR-1 系列高压静电电容器柜

### 1.5.1 概述

GR-1 系列高压静电电容器柜用于工矿企业 3~10kV 变配电所,作为改善电网功率因数的户内开启式成套装置。GR-1 系列高压静电电容器柜由电容器柜、测量及放电柜组成。

其主要性能如下:

(1)GR-1 型为普通型,共有 01~04 个方案,见表 5.4.8。

表 5.4.8 GR-1 型一次线路方案及主要电器设备

一次线路方案编号	电 容 器 柜		互 感 器 柜	
	01	02	03	04
一次线路方案				
额定电压(kV)	10.6	10.6	10.6	10.6

续表

一次线路方案编号		电 容 器 柜		互 感 器 柜	
		01	02	03	04
柜内主要电器 设备名称及型号		数 量	数 量	数 量	数 量
电容器	BW10.5-1	15	15		
	BW6.3-1	15	15		
熔断器	RN1-10/3 RN1-10/15	15	3		
	RN1-6/5 RN1-6/20	15	3		
电压互感器	JSJB-10、10/0.1 或 JDZJ-10、 $\frac{10}{\sqrt{3}}/\frac{0.1}{\sqrt{3}}/\frac{0.1}{3}$			1 或 3	1 或 3
	JSJB-6、6/0.1 或 JDZJ-6、 $\frac{6}{\sqrt{3}}/\frac{0.1}{\sqrt{3}}/\frac{0.1}{3}$			1 或 3	1 或 3
电压表	1T <sub>1</sub> -V 0~2000/100V			1	1
	1T <sub>1</sub> -V 0~7200/100V			1	1
信号灯	ZSD-38 110V 红色			3 3	3 3

(2)GR-1C 型为横差保护型,即当柜内某一电容器发生过流时,依靠接成横差线路的电流互感器,驱使主电路开关跳闸。横差保护型有 03、04、07、08 四种方案,见表 5.4.9。

(3)GR-1Y 型为抑制高次谐波、电抗器型,即带串联电抗器的电容器柜。抑制高次谐波、电抗器型有 01、02、09、10 四种方案,见表 5.4.9。它的主要性能是:①当线路中同时存在各种不同频率的高次谐波电流时,能有效地抑制这些谐波的电流总值,使其不超过电容器的允许值,避免电容器因过流而产生“鼓肚现象”。②当电容器组合闸时,可限制合闸冲击涌流不超过电容器组额定电流的 5 倍。③由于

表 5.4.9 GR-1C 及 GR-1Y 型一次线路方案及主要电器设备

型 号		GR-1C			
一次方案编号及类别		测量及放电柜		电容器柜	
		03	04	07	08
一次线路方案					
额定电压(kV)		6,10	6,10	6,10	6,10
每柜电容器总容量(kvar)				192,216,360	240,270,450
柜 内 元 件		数 量			
电 容 器	BW6.3-18-1 BW10.5-30-1			12	15
熔 断 器					
专 用 电 抗 器					
电压互感器	JDZ□/100V	2	2		
电 压 表	16L8-V	1	1		
信 号 灯	XD <sub>5</sub> -100	3	3		
转 换 开 关	LW <sub>2</sub>	1	1		
电 流 互 感 器	LAJ-10D/D,20/5				3
型 号		GR-1Y			
一次方案编号及类别		测量及放电柜		电容器柜	
		09	10	01	02
一次线路方案					

续表

型 号		GR-1Y			
一次方案编号及类别		测量及放电柜		电容器柜	
		09	10	01	02
额定电压(kV)		6.10	6.10	6.10	6.10
每柜电容器总容量(kvar)				240、270、450	240、270、450
柜 内 元 件		数 量			
电 容 器	BW6.3-18-1 BW10.5-30-1			15	15
熔 断 器				15	3
专 用 电 抗 器		3	3		
电压互感器	JDZ□/100V	2	2		
电 压 表	16L8-V	1	1		
信 号 灯	XD5-100	3	3		
转 换 开 关	LW2	1	1		
电 流 互 感 器	LAJ-10D/D,20/5				

串联电抗器的阻抗值与电容器组的阻抗值之比为6%，因此，当网络存在5次以上谐波时，可使网络的总阻抗始终保持感性，这样就能有效地防止网络产生并联谐振。串联电抗器的容量见表5.4.10。

表 5.4.10 GR-1Y型电容器柜所串电抗器容量值

电容器柜 总容量 (kvar)	240	270	375	450	480	540	720	810	1000	1500	2000
串联电抗 器容量 (kvar)	4.8×3	5.4×3	7.5×3	9×3	9.6×3	10.8×3	14.4×3	16.2×3	20×3	30×3	40×3

注：当电容器总容量为810kvar以下时，电抗器装于测量柜内；当为1000kvar以上时，电抗器单独安装在柜外。

### 1.5.2 结构简介

高压静电电容器柜的柜体由角钢骨架和钢板焊接而成,正面门上装有玻璃视察窗,可供观察内部电器运行情况之用。

### 1.5.3 一次线路方案

GR-1型电容器柜一次线路方案及主要电器设备见表5.4.8。GR-1C及GR-1Y型电容器柜一次线路方案及主要电器设备见表5.4.9。

### 1.5.4 外形及安装尺寸

GR-1型电容器柜(01、02方案)外形尺寸见图5.4.5,电压互感器柜(03、04方案)见图5.4.6。

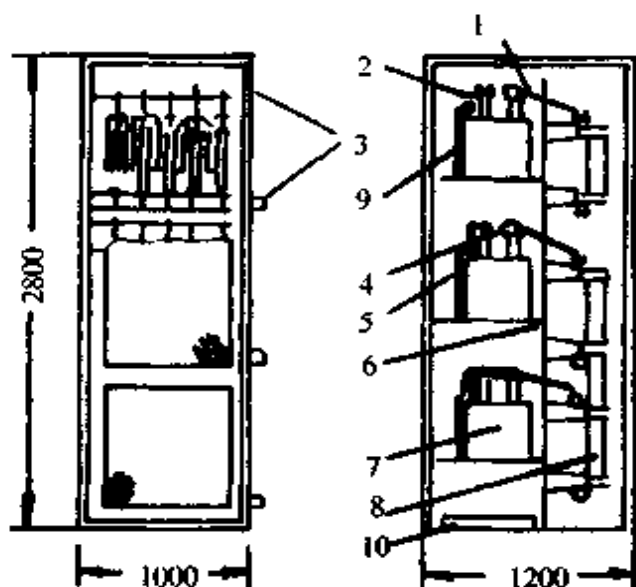


图 5.4.5 GR-1 型电容器柜(01、02 方案)  
外形尺寸

- 1—支母线 2—连接线 3、4—主母线  
5、9—接地线 6—板 7—电容器  
8—熔断器 10—油槽板

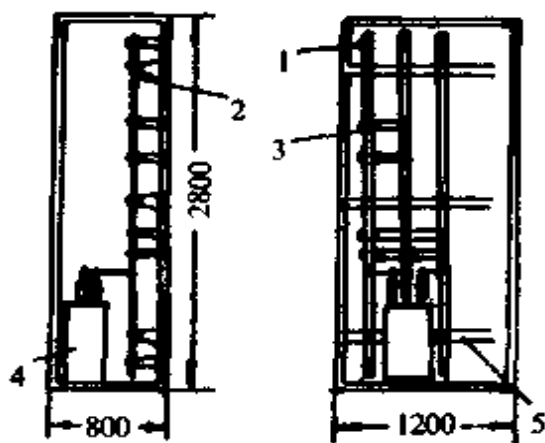


图 5.4.6 GR-1 型电压互感器柜  
(03、04 方案)外形尺寸

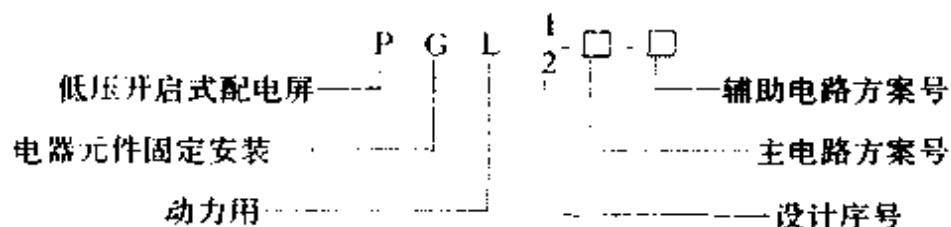
- 1、3—接线板 2—主母线  
4—电压互感器 5—角钢

## 2 低压配电装置

### 2.1 PGL- $\frac{1}{2}$ 型交流低压配电屏

PGL- $\frac{1}{2}$ 型系统低压配电屏适宜于发电厂、变电所及工矿企业作为交流 50Hz、额定工作电压不超过 380V 的低压配电系统中的动力及照明配电之用。该型为统一设计产品,将代替 BSL、BDL 等老产品。

#### 2.1.1 型号含义













#### 2.1.2 一次线路方案

主电路方案分 1 型和 2 型两种,1 型产品分断能力为 15kA(有效值);2 型方案分断能力为 30kA(有效值),作为变压器二次侧线路保护与分配电能之用。

该屏 1、2 型一次线路方案大体上相同,只是短路容量有所差别。选用时可注明短路容量及回路电器元件,要求厂家按需要加工制造。


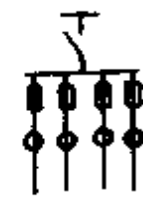
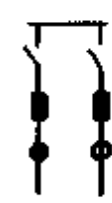
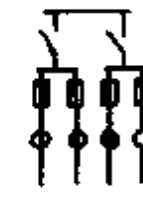
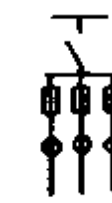
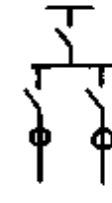
一次线路常用方案如表 5.4.11 所列。

表 5.4.11 PGL- $\frac{1}{2}$ 型一次线路常用

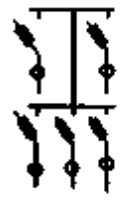




主电路方案编号	03	04/05	06/07	09	14/15
线路方案					
用途	受或馈	右/左 受或馈	左/右 受或馈	受或馈	右/左 联络及馈电
HD13-600, 1000, 1500 DW10-1000, 1500/3 电动 RTO-200-100-600 LMZJ <sub>1</sub> -0.5□/5 HS13-400, 600 CJ10-400/3 DZ10-100~250/3 HR <sub>3</sub> -400-200	1 1 2或3	1 1 2或3	2 1 2或3	2或3 1 1 4	1 2 2
主电路方案编号	27	28	29	30	34
线路方案					
用途	受或馈	受			
HD13-200, 100, 600 DW10-400, 600 DZ10-250, 600 LMZJ <sub>1</sub> -0.5□/5 CJ10-400, 600 HR <sub>3</sub> -200, 400, 600 RTO-200, 400	1 4 4	2 1 1 6	2 4 4	3 3 3	2(4) 4



方案及主要技术数据

19	20	21	22	23	26
					

受或馈

1	1	2	2	3	1
6	12	6	12	12	
2	4	2	4	3	2
					2
35	37	38	40	41	
					
或		馈			
2(5)			1	3	
5	1	2	3	DZ10-100×6	
	3	6		4(5)	
	1	2		6	

### 2.1.3 外形及安装尺寸

外形及安装尺寸如图 5.4.7 所示。

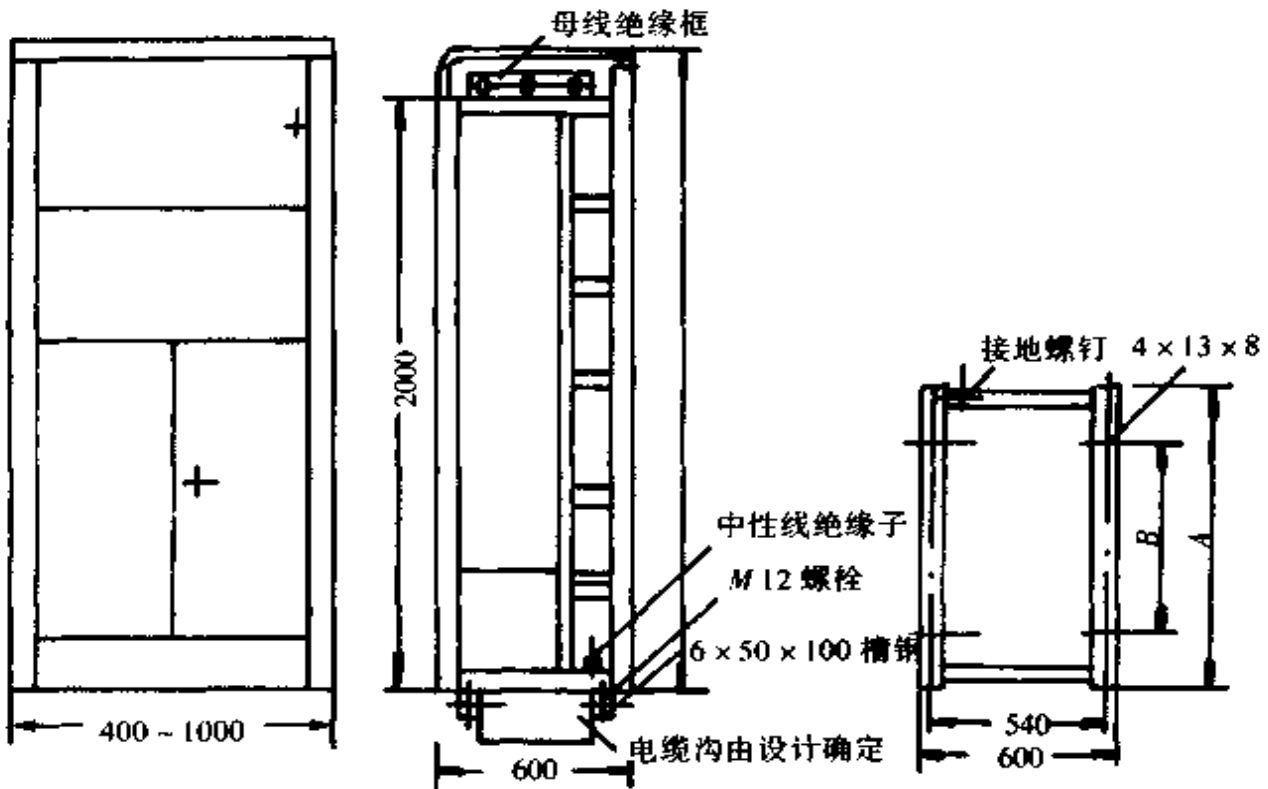


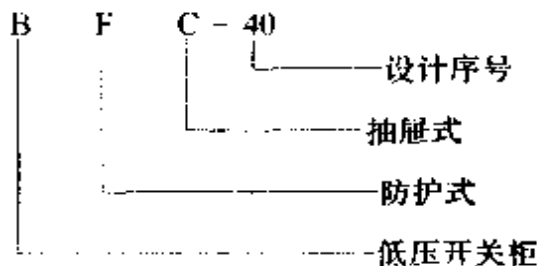
图 5.4.7 PGL<sub>2</sub><sup>1</sup>型低压配电屏外形及安装尺寸

## 2.2 BFC-40 型抽屉式低压开关柜

### 2.2.1 用途

BFC-40 型抽屉式低压开关柜适用于户内各工矿企业及变电所中,作为三相交流 50Hz、电压 380V 及以下电力系统动力、照明配电集中控制之用。

### 2.2.2 型号说明



### 2.2.3 使用环境

本开关柜系户内装置,适用于下列工作条件:



门打开时,解除锁扣装置后,抽屉可自由地抽出和推入。抽屉的机械联锁装置有明显的分闸、试验和合闸位置。

小室的控制电路需要试验时,可以手动断开小室的主回路联接器插座,这时只有控制回路带电,可作电路的功能试验。

对于非空气开关操作机构的抽屉则采用行程开关实现电气联锁、达到断电后才能开门。

**2.2.4.2 固定式结构** 固定式单元回路小室也分大、中、小3类,高度分别为660、990、1980mm 3种,所有电器设备固定全装在柜体的横梁上,每个小室用托板分隔。

### 2.2.5 技术数据及线路方案

**2.2.5.1 主要技术数据** 主要技术数据(本开关柜参照 IEC439—1 标准)如下。主回路额定工作电压:交流 380V;二次回路额定工作电压:交流 380V、220V;水平母线额定电流:2000A(电动机中心)、4000A(动力中心);垂直母线额定电流:800A;外壳防护等级:IP20。

**2.2.5.2 线路方案** 开关柜是由不同的线路方案组成,根据需要可单独或并列使用。其中分一次和二次线路方案。

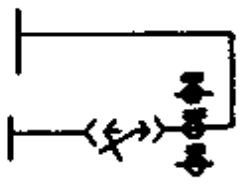
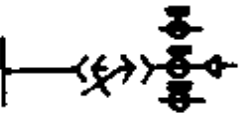
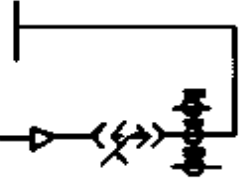
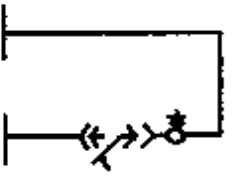
开关柜的一次线路方案及主要电器元件见表 5.4.12。本开关柜一次线路方案共 33 个(包括备用),采用抽屉式的方案共 24 个(包括备用),其余 9 个为固定式方案。

凡是采用抽屉式方案的,同一柜内可以任意组合。

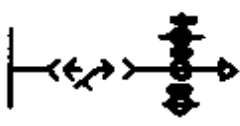
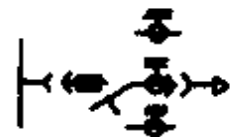
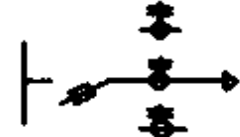

### 2.2.6 外形及安装尺寸

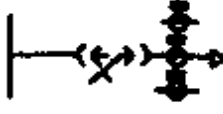
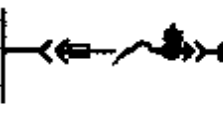
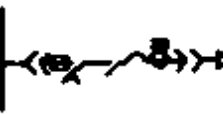

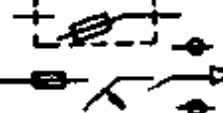
外形及安装尺寸见图 5.4.8 所示。

表 5.4.12 BFC-40 型抽屉式低压开关柜主回路一次方案




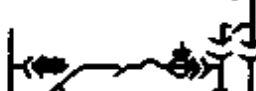
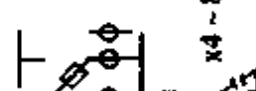

方案编号	01	02	03	04
主回路线路				
用途	受电(或馈电)	下进线受电	电缆受电	联 络
额定电流 (A)	630~3200	630~3200	200~630	630~3200
主回路主要设备	ME-630~3200 插入式	ME-630~3200 插入式	-630 DW×15C-400 -200	ME-630~3200 插入式
	LMZJ1-0.5/5	LMZJ1-0.5/5	LMZJ1-0.5/5	LMZJ1-0.5/5
小室高度 (mm)	990~1980	990~1980	660	990~1980

续表

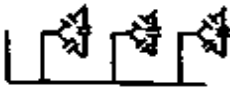


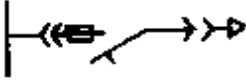
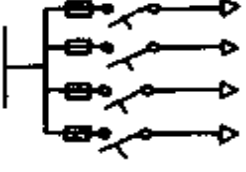
方案编号	11	12	13	14
主回路线路				
用途	馈电	馈电	馈电	馈电
额定电流 (A)	400~600	200	100	100~400
主回路主要设备	-200 DW×15C-400 -630	DZ10-250	DZ10-100	HH11-100-400k/3
		NT-200	NT-100	
小室高度 (mm)	660	LM-0.5/5		LM-0.5/5
		440	220	440

主回路线路					
用途	电动机				
额定电流 (A)	电动机				
主回路主要设备	200~600	60, 100, 150	60, 100, 150	100~400	250
	200 DWX15C-400 · 630	10, 20, 40 CJ10-20 40	10, 20, 40 DZ10-100	HH1-100-400k/3	400~630
	LMZJ1-0.5/5	60 CJ10-100 150	60 DZ10-250	NT-100	CJ20-250 三只
		100 NT-200	60 CJ10-100 150	10 CJ10-20 40	NT或HR DZ10
小室高度 (mm)	660	60 JR16D-150	60 JR16D-150	LM-0.5/5	JR16D-20
		LM-0.5/5	NT-100 NT-200 LM-0.5	LM-0.5/5	LMZJ1-0.5/5
	440	220	440	220	1980

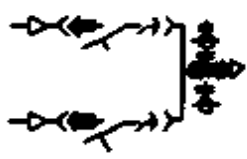


续表

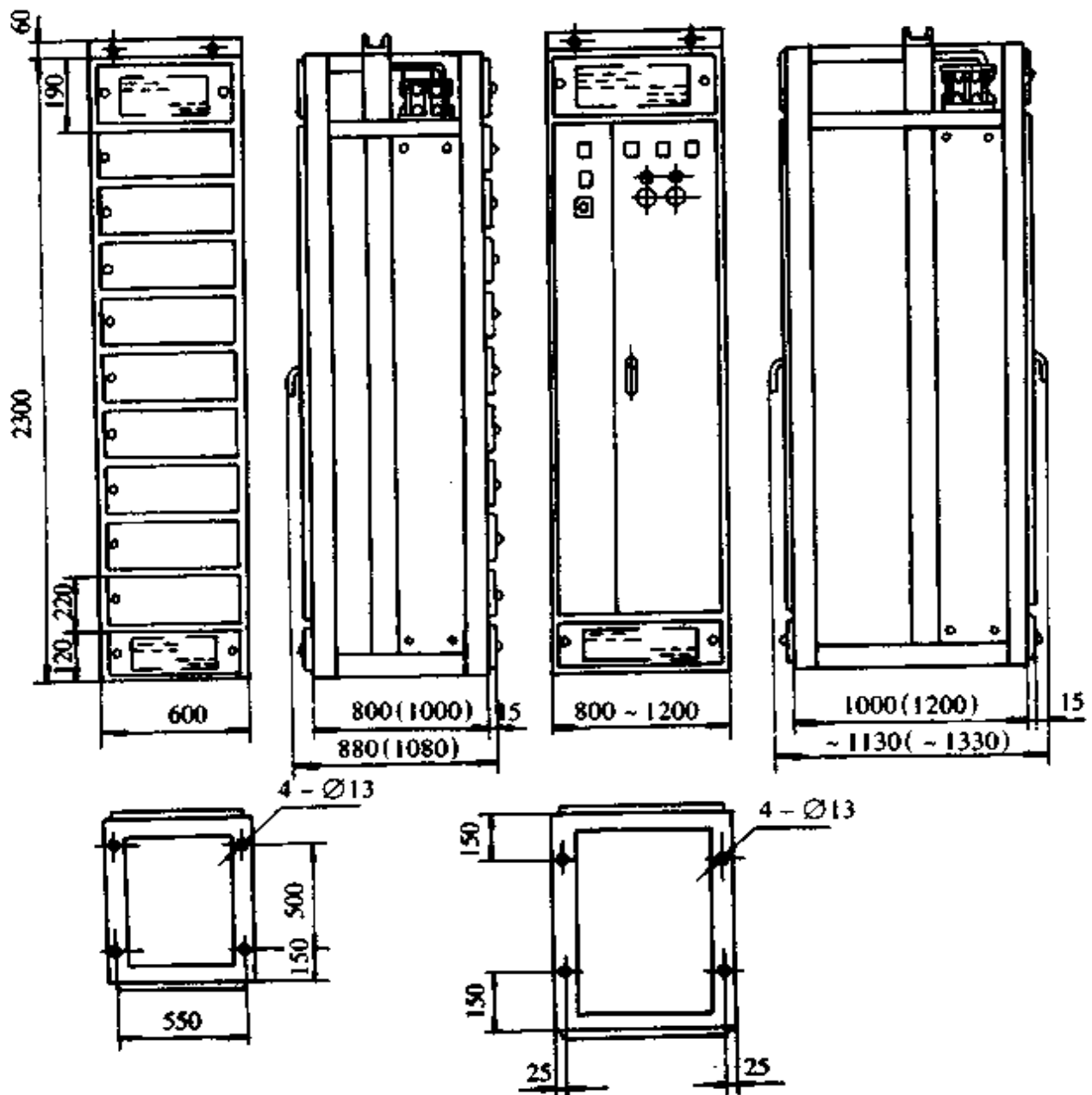
方案编号	31	32	33	34	35	36	37	38	40
主回路线路									
用途	电动机	电动机	电动机	电动机	电动机(Y-Δ)	电动机(Y-Δ)	电动机(Y-Δ)	电动机(Y-Δ)	电容手动控制
额定电流(A)	10, 20	40	10, 20	40	20, 40	60, 100, 150	20, 40	60, 100, 150	96 ~ 192 kvar
主回路主要设备	NT-100	NT-200	DZ10-100	DZ10-100	NT-100	NT-200	DZ10-100	DZ10-250	HH11-400k/3
	CJ10-10, 20, 40		CJ10-10, 20, 40	CJ10-10, 20, 40	CJ10-20, 40	60, 100, 150	CJ10, 20, 40	60, 100, 150	CJ20-63
	JR16D-20, 60		JR16D-20, 60	JR16D-20, 60	JR16D-20, 60, 150	JR16D-20, 60, 150	JR16D-20, 60, 150	JR16D-20, 60, 150	
	LM-0.5/5		NT-100	NT-200	LM-0.5/5	LM-0.5/5	NT-100, 200	NT-100	NT 100
			LM-0.5/5	LM-0.5/5			LM-0.5/5	LM-0.5/5	LMZJ1-0.5/5
小室高度(mm)	200	440	220	440	440	880	440	880	1980



主回路线路						
用途	电容器	电容自动—手动控制	电容器控制或照明	照 明	照 明	
额定电流 (A)	容量 288kvar	容量 96~192kvar	100      200	100      200	60	
主回路主要设备	BCMJ-0.4-24-3 共 12 只	KSC-4 自动调节器	DZ10-100, 250 NT-100, 200	DZ10-100, 250 NT-100, 200	NT-100 DZ10-100	
		FH11-400k/3				
		NT-100, 200, 400				
		CJ10-100, 150	LM-0.5/5	LM-0.5/5		
小室高度 (mm)	1980	1980	220      440	220      440	660	

续表

方案编号	46	47	51	52
主回路线路				
用途	事故照明交流切换	事故照明交直流切换	表计	
额定电流 (A)	100	100 150		
主回路主要设备	DZ10-100	DZ10-100, 250	DT8	DD17
	CJ10-100	CJ10-100, 150		
	NT-100, 200	NT-100, 200		
	LM-0.5/5			
小室高度 (mm)	1100	880	440	220



柜体外形尺寸

mm

外形尺寸	宽(mm)	深(mm)	高(mm)	每柜组装数
MCC柜	600	(800) 1000	2300	2~3
PC柜	600	1000		
200 DWX15C-400A 630	800	1000		
ME630-1600A	1000	1000		
ME2000, 2500A	1200	1200		
ME3200 无功功率补偿柜	800	1000		

注:括号内尺寸为非推荐规格。

图 5.4.8 BFC-40 型抽屉式低压开关柜外形及安装尺寸

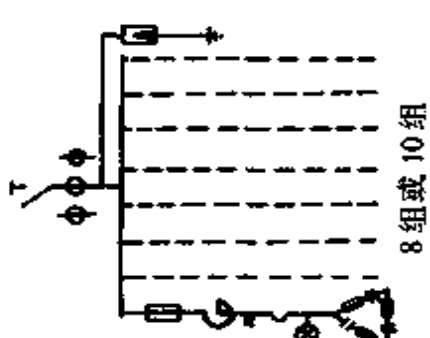
表 5.4.13 PGJIA 屏组合方式

一次线路系统方案		组 合 方 式						
		PGJ 型 号	屏 宽 (mm)	单 台 电 容 器 数 量 (只)	总 容 量 (kvar)	每 步 投 入 容 量 (kvar)	步 数	
		PGJ1-1	800	6	72	12	6	
		PGJ1-2	1000	8	96	12	8	
		PGJ1-1.3	800	6	144	24	6	
		PGJ1-2.4	1000	8	192	24	8	
		PGJ1-1.3	800	6	216	36	6	
		PGJ1-2.44	1000	8	288	36	8	
		PGJ1-2.444	1000	8	384	48	8	

一次线路系统方案		组 合 方 式						
		PGJIA 型 号	屏 宽 (mm)	单 台 屏 内 电 容 器 数 量 (只)	总 容 量 (kvar)	每 组 投 入 容 量 (kvar)	投 切 步 数	
		PGJIA-1	900	8	96	12	8	
		PGJIA-2	1100	10	120	12	10	
		PGJIA-1.3	900	8	192	24	8	
		PGJIA-2.4	1100	10	240	24	10	
		PGJIA-1.3	900	8	288	36	8	
		PGJIA-2.4	1100	10	360	36	10	
		PGJIA-1.3.3	900	8	384	84	8	



8组或10组

注: 1. 以上各组合方案还可以扩展, 每增加一台 PGJ1-3 辅屏容量增加 72kvar(或 PGJ1-4 辅屏 96kvar), 用户对容量如有特殊要求可与生产厂协商。  
 2. 补偿屏内电容器为单台 12kvar, 如改用单台 14kvar 电容器, 单台屏的容量可增加。即 PGJ1-1 为 84kvar, PGJ1-2 为 112kvar。

注: 1. 以上各组合方案还可以扩展, 每增加一台 PGJIA-3 辅屏容量增加 96kvar(或 PGJIA-4 辅屏 120kvar)。用户对容量如有特殊要求与生产厂协商。  
 2. 补偿屏内电容器为单台 12kvar, 如改用单台 14kvar 电容器, 单台柜的容量可增加。如 PGJIA-1 为 112kvar, PGJIA-2 为 140kvar。

## 2.3 PGJ- $\frac{1}{1A}$ 型无功功率自动补偿屏

PGJ- $\frac{1}{1A}$ 型无功功率自动补偿屏适用于发电厂、变电所及工矿企业、大型民用建筑供配电,改善电网无功消耗,电容器按负载变化自动投切,以保持最佳状态,从而可提高电网电压质量,减少配电系统的无功损耗。可与 PGL 型配电屏配套使用。

### 2.3.1 PGJ-1 型组合方式

PGJ-1 型组合方式如表 5.4.13 所列。

### 2.3.2 自动补偿屏单台补偿容量

自动补偿屏单台补偿容量如表 5.4.14 所列。

### 2.3.3 屏内主要控制电器元件

屏内主要控制电器元件如表 5.4.15 所列。

表 5.4.14 PGJ- $\frac{1}{1A}$ 单台补偿容量表

屏 别	型 号	单台容量 (kvar)	操作步数	屏 宽 (mm)
主 屏	PGJ1-1	72	6 步、带控制器	800
	PGJ1-2	96	8 步、带控制器	1000
辅 屏	PGJ1-3	72	6 步	800
	PGJ1-4	96	8 步	1000
屏 别	型 号	单台容量 (kvar)	操作步数	屏 宽 (mm)
主 屏	PGJ1A-1	96	8 步、带控制器	900
	PGJ1A-2	120	10 步、带控制器	1100
辅 屏	PGJ1A-3	96	8 步	900
	PGJ1A-4	120	10 步	1100

表 5.4.15 屏内主要电器控制元件设备表

名 称	元 件 型 号	PGJ1A-1	PGJ1A-2	PGJ1A-3	PGJ1A-4
刀 开 关	HD12-400/3	1	1	1	1
互 感 器	LMZ1-300/5	3	3	3	3
避 雷 器	FYS-0.5	3	3	3	3
熔 断 器	aM3-32A	24	30	24	30
电 抗 器	KDK-12 自制	24	30	24	30
接 触 器	CJ10-40/3A220V	8	10	8	10
热继电器	JR16 60/3 32A	8	10	8	10
电 容 器	BW0.4-12-3	8	10	8	10
电 流 表	59L1 300/5	3	3	3	3
电 压 表	59L1 450V	1	1		
cosφ 表	59L1 380V/5A	1	1		
控 制 器	ZKW-II	1	1		
熔 断 器	aM1-6A	6	6	2	2
指 示 灯	XI17-380V	16	20	16	20

## 2.4 直流电源成套装置

各种直流电源成套装置用作发电厂、各级电力系统配、变电所的直流控制及操作电源,以及工矿企业生产用的直流电源;也可用作大型旅游宾馆、饭店、科研等单位主要场所的不间断电源,当在交流电网发生事故停电的情况下,仍能满足继电保护、自动监控、远动遥控装置的控制保护供电,为事故照明、消防、保卫、通信系统提供可靠的供电电源。

在直流电源装置中采用镉镍蓄电池(碱性电池),它较铅酸性蓄电池有显著优点,充放电性能好,有很高容量的保持值,放电倍率可为额定容量的0.5至3倍,且有耐低温、寿命长、无腐蚀,不产生有害气体、使用维护简便、占地面积小等优点,是取代铅酸性蓄电池,进行更新换代的理想直流电源装置。

另一种直流电源装置,采用了晶闸管将交流电能变为直流电能,它具有价廉、设备简单,便于检修维护及使用方便等优点。但在无交流电源时则失去作用。

### 2.4.1 BZGN-10 型系列镉镍蓄电池直流电源装置

2.4.1.1 BZGN-10G 型镉镍蓄电池直流屏 该屏为10~80Ah高倍率镉镍蓄电池直流电源装置,可供电力系统中小型配变电所做控制电源,主要技术数据如表5.4.16所列。

表 5.4.16 BZGN-10G 型镉镍蓄电池直流屏主要技术数据

型 号	输入电压 (V)	屏面数	直流输出电压(V)		馈出回路数	
			经常负荷回路	合闸回路	合闸	控制信号
BZGN-10G-10/220	~220	2	220±2%	220±10%	4	5
BZGN-10G-20/220	~220	2	220±2%	220±10%	4	5
BZGN-10G-40/220	~220	3	220±2%	220±10%	6	8
BZGN-10G-40/110	~220	2	110±2%	110±10%	4	5
BZGN-10GS-20/220	~220	3	220±2%	110±10%	6	7
BZGN-10G-10/110	~220	2	110±2%	110±10%	4	5
BZGN-10GS-10/220	~220	3	220±2%	220±10%	4	5
BZGN-10GS-10/110	~220	3	110±2%	110±10%	4	5
BZGN-10G-20/110	~220	2	110±2%	110±10%	4	5
BZGN-10GS-20/110	~220	3	110±2%	110±10%	4	5
BZGN-10GS-40/110	~220	3	110±2%	110±10%	4	7

型 号	电压调整 器可调电压 (V)	输 出 直 流 负 荷			合闸时电池 端 电 压 (V)
		输入有电时经常 负荷(A)	事故负荷输出 容量(Ah)	输出合闸 电流(A)	
BZGN-10G-10/220	35	8	5	120	>198
BZGN-10G-20/220	35	12	10	240	>198
BZGN-10G-40/220	35	15	20	480	>198
BZGN-10G-40/110	20	15	20	480	>99
BZGN-10GS-20/220	35	15	20	480	>198
BZGN-10G-10/110	20	8	5	120	>99
BZGN-10GS-10/220	35	12	10	240	>198
BZGN-10GS-10/110	20	12	10	240	>99
BZGN-10G-20/110	20	12	10	240	>99
BZGN-10GS-20/110	20	15	20	480	>99
BZGN-10GS-40/110	20	15	40	960	>99

注:其他电压有:12V、24V、36V、48V、60V。容量分别有:10Ah、20Ah、40Ah。

装置特征代号:

G——高倍率电池;Z——中倍率电池;D——低倍率电池;Y——圆柱密封式电池;AS——复式双设备元件;K——可控硅整流方式;W——微机自动监测电压装置;M——母线电压微机自动控制装置。

2.4.1.2 BZGN-10Z 型镉镍蓄电池直流屏 该屏系由 75~1000Ah 中倍率镉镍蓄电池组装,适用于发电厂及电力系统中配变电所作控制保护用直流电源。输出合闸电流为 120A、240A、480A、960A,负荷输出容量可达 5Ah、10Ah、20Ah、40Ah。主要技术数据如表 5.4.17 所列。

表 5.4.17 BZGN-10Z 型镍镉中倍率蓄电池直流屏技术数据

型 号	屏面数	输入电压 (V)	输 出		直 流		负 荷		蓄电池组 额定容量 (Ah)
			直流输出 经常负荷 (A)	直流输出 电 压 (V)	合 闸 时 高低电压 (V)	事故负荷 输出容量 (Ah)	输出最大 合闸电流 (A)		
BZGN-10Z-75/110	3	~3φ380	20	110±1%	>99	37.5	262.5	1×75	
BZGN-10Z-75/220	4	~3φ380	20	220±1%	>198	37.5	262.5	1×75	
BZGN-10ZS-75/220	8	~3φ380	30	220±1%	>198	75	525	2×75	
BZGN-10Z-100/110	4	~3φ380	25	110±1%	>99	50	350	1×150	
BZGN-10Z-100/220	5	~3φ380	25	220±1%	>198	50	350	1×100	
BZGN-10Z-100/220	8	~3φ380	40	220±1%	>198	100	100	2×100	
BZGN-10Z-150/110	5	~3φ380	40	110±1%	>99	75	525	1×150	
BZGN-10Z-150/220	7	~3φ380	40	220±1%	>198	75	525	1×150	
BZGN-10ZS-150/220	10	~3φ380	60	220±1%	>198	150	1050	2×150	
BZGN-10Z-300/110	8	~3φ380	60	110±1%	>99	150	1050	1×300	
BZGN-10Z-300/220	12	~3φ380	750	220±1%	>198	150	1050	1×300	
BZGN-10ZS-300/220	23	~3φ380	120	220±1%	>198	300	2100	2×300	
BZGN-10Z-590/110	14	~3φ380	100	110±1%	>99	250	1750	1×500	
BZGN-10Z-500/220	25	~3φ380	100	220±1%	>198	250	1750	1×500	
BZGN-10ZS-500/220		~3φ380	150	220±1%	>198	500	3500	2×500	
BZGN-10Z-100/60	2	~3φ380	30	60±1%		100		1×100	
BZGN-10Z-150/60	2	~3φ380	40	60±1%		150		1×150	
BZGN-10Z-300/60	6	~3φ380	60	60±1%		300		1×300	
BZGN-10Z-500/60	9	~3φ380	100	60±1%		500		1×500	

注:其他电压有 12V、24V、36V、48V,容量 75Ah~1000Ah。



表 5.4.18 BZGN-10D 型镉镍蓄电池屏主要技术数据

型 号	输入电压 (V)	输出电压 (V)	稳压精度 (V)	输出电流 (A)	输出事故容量 (Ah)
BZGN-10D-50/48	220/380	DC 48	±1	6.5	50
BZGN-10D-75/48				15	75
BZGN-10D-100/48				25	100

2.4.1.3 **BZGN-10D 型镉镍蓄电池屏** 该屏主要用作通信程控交换机的电源。容量为 50Ah、75Ah 及 100Ah 三种,主要技术数据如表 5.4.18 所列。

2.4.1.4 **BZGN-10Y 型圆柱密封镉镍蓄电池直流屏** 该屏宜做配、变电所直流合闸电源,正常输出合闸电流可达 200A 和 300A。主要技术数据如表 5.4.19 所列。

2.4.1.5 **BZGN-10AS 型镉镍蓄电池直流屏** 该屏系双电路镉镍蓄电池直流电源成套装置,附有浮充电、控制母线、合闸母线用的联络开关,适用于大型发电厂、110kV 电力线路作直流控制保护电源,主要技术数据见表 5.4.20。

2.4.1.6 **BZGN-10K 型镉镍蓄电池直流屏** 该屏整流方式采用三相晶闸管自动控制,主要技术数据如表 5.4.21 所列。

BZGN-10K 型直流屏外形尺寸(mm):每分屏宽×高×厚为 800×2360×550。

上述成套装置配有微型计算机,可自动快速逐步测量 180 节蓄电池的电压值,并立即打印出数据。另设有蓄电池浮充放电装置、电压调节装置、故障信号装置、绝缘监察装置。

## 2.4.2 K、D 型晶闸管整流直流电源装置(屏)

2.4.2.1 **KDG 型镉镍电池直流电源装置** 该电源装置由晶闸管充电器、直流馈电回路和镉镍电池组三部分组成,适用于中小型发电厂、变电所,也适用于工矿企业、高层建筑、科研部门、电气化铁路等需要直流电源的场所,作直流控制、保护、指示等经常负荷和电磁操作机构分、合闸及事故照明之用。型号及规格见表 5.4.22 所列。

2.4.2.2 **KGHD 系列镉镍电池、硅合闸直流装置** 该装置由晶闸管充电器、镉镍电池组和硅整流器组成,具有自动稳压浮充电、均衡充电、自动转换、限流、过流保护及过压保护等功能,有“自动”和“手动”两种运行方式,适用于发电厂、110kV 以下变电所、工厂配电所,作为继电保护、信号回路及断路器分、合闸的直流电源,型号及规格见表 5.4.23 所列。

表 5.4.19 BZGN-10Y 型圆柱密封镍镉蓄电池直流屏技术数据

型号	正常输出 合闸电流 (A)	屏面数	输入电压(V)		输出电压 (V)	输出电流(A)		输出事故 容量 (Ah)
			控制	合闸		经常 负载	跳闸	
BZGN-10Y-4/220- $\frac{1}{II}$	200	2	~220/~160	~3φ380	DC 220	5	25	2
	300					8	45	
BZGN-10Y-7/220- $\frac{1}{II}$	200	2	~220/~160	~3φ380	DC 220	5	25	2
	300					8	45	

注:产品可附加 22Ah/6V 直流系统,用于模拟信号屏电源。

表 5.4.20 BZGN-10AS 型镍镉蓄电池直流屏主要技术数据

型号	浮充电机 数量/容量	调压 电路	充电机 数量/容量	电池 节数	控制 电路 输出	合闸电路 输出	事故 放电 电流 (A)	事故 放电 时间 (h)	合闸 电流 (A)	屏面 数
BZGN-10AS-20/220	2台/2kVA×2	2	1台/2kV·A	180×2	10路	6~8路	20	1	480	4
BZGN-10AS-40/220	2台/3kVA×2	2	1台/3kV·A	180×2	10路	6~8路	40	1	960	4
BZGN-10AS-80/220	2台/4kVA×2	2	1台/5kV·A	165×2	15路	9~12路	160	0.5	2000	5

表 5.4.21 BZGN-10K 型鋼線蓄電池直流屏主要技術數據

型 号	输入交流 电 压 (V)	输出直流 电 压 (V)	合闸回路	控制回路	屏面数	经常性 负 载 (A)	事故负 容 量 (Ah)	合闸电 流 (A)	合闸时电 池端电压 (V)
BZGN-10K-10/220		220	4	5	2	8	5	120	>198
BZGN-10K-10/110		110	4	5	2	8	5	120	>99
BZGN-10K-20/220		220	4	5	2	12	10	240	>198
BZGN-10K-20/110		110	4	5	2	12	10	240	>99
BZGN-10K-40/220		220	4	5	2	15	20	480	>108
BZGN-10K-40/110	3φ380	110	4	5	2	15	20	480	>99
BZGN-10KS-10/220		220	4	5	2	12	10	240	>198
BZGN-10KS-20/220		220	6	8	3	15	20	480	>198
BZGN-10KS-40/220		220	6	8	3	15	40	960	>198

表 5.4.22 KDG 系列镉镍电池直流电源装置的型号及规格

型号规格	交流输入		蓄电池容量 (Ah)	直流输出		直流母线电压 (V)	最大合闸电流 (A)	蓄电池数 (只)	组装屏数 (台)	馈电回路	
	相数	电压 (V)		电压 (V)	电流 (A)					合闸	控制
KDG1-10/220	单	380/220	10	30~320	0.3~8	220	120	180	2	4	6
KDG1-20/24	单	380/220	20	10~40	0.5~16	24		20	1		10
KDG1-20/48	单	380/220	20	12~80	0.5~16	48		38	1		10
KDG1-20/110	单	380	20	15~160	0.5~16	110	240	90	2	4	6
KDG1-20/220	单	380	20	30~320	0.5~16	220	240	180	2	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -20/110	三	380	20	12~160	0.5~16	110	240	90	2	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -20/220	三	380	20	30~320	0.5~16	220	240	180	2	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -40/110	三	380	40	15~160	1~30	110	480	90	2	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -40/220	三	380	40	30~320	1~30	220	480	180	3	8	6
KDG $\frac{2}{3}$ -60/110	三	380	60	15~160	2~40	110	900	90	3	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -60/220	三	380	60	30~320	2~40	220	900	180	3	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -80/110	三	380	80	15~160	2~50	110	1200	90	3	4	6
KDG $\frac{2}{3}$ -80/220	三	380	80	30~320	2~50	220	1200	180	3	4	6

注: 1. KDG $\frac{2}{3}$ 型蓄电池容量还有 100~1000Ah 可选配。

2. 可选配进口电池。KDG2 型带稳流充电调节。

3. 外形尺寸: 屏式结构 2360×800×550(mm)。

表 5.4.23 KGHD 系列镉镍电池、硅合闸直流装置的型号及规格

型号	输入路数	直流输出 (合闸)			直流输出 (控制)		直流馈电回路		屏数	外形尺寸 (mm)
		电压 (V)	电流 (A)		电压 (V)	电流 (A)	合闸	控制		
			瞬时值	持续值						
KGHD11-100/220	1	220	100	20	220 或 110	5	4	6	2	800 × 550 × 2360 (宽 × 深 × 高)
KGHD11-200/220			200							
KGHD11-300/220			300							
KGHD12-100/220			100							
KGHD12-200/220			200							
KGHD12-300/220			300							
KGHD21-100/220	2	220	100	20	220 或 110	10	4	6	3	800 × 550 × 2360 (宽 × 深 × 高)
KGHD21-200/220			200							
KGHD21-300/220			300							
KGHD22-100/220			100							
KGHD22-200/220			200							
KGHD22-300/220			300							

2.4.2.3 **KDZ 系列晶闸管整流装置** 该装置由晶闸管整流器、变压器、直流馈电回路及控制、保护回路组成,有自动稳压、自动稳流和手动调节三种运行方式,并设有限流、过流、过压、低电压及短路等保护,适用于发电厂、变电所、通信单位的充电电源及通用可调的自动稳压、自动稳流的直流电源。型号及规格见表 5.4.24 所列。

表 5.4.24 KDZ 系列晶闸管整流装置的型号及规格

型 号	输入电压 (V)	直流输出		冷却方式	备 注
		电 流 (A)	电 压 范 围 (V)		
KDZ-30/72 KDZ-30/165 KDZ-30/230 KDZ-30/320	380	30	0~72 0~165 0~230 0~320	自 然 冷 却	外形尺寸(mm) (宽×深×高) 1. 800×550×2360 2. 650×500×2000
KDZ-75/72 KDZ-75/165 KDZ-75/230 KDZ-75/320	380	75	0~72 0~165 0~230 0~320	自 然 冷 却	
KDZ-100/72 KDZ-100/165 KDZ-100/230 KDZ-100/320	380	100	0~72 0~165 0~230 0~320	自 然 冷 却	
KDZ-120/72 KDZ-120/165 KDZ-120/230 KDZ-120/320	380	120	0~72 0~165 0~230 0~320	自 然 冷 却	
KDZ-150/72 KDZ-150/165 KDZ-150/230 KDZ-150/320	380	150	0~72 0~165 0~230 0~320	自 然 冷 却	
KDZ-200/72 KDZ-200/165 KDZ-200/230 KDZ-200/320	380	200	0~72 0~165 0~230 0~320	强 迫 风 冷	
KDZ-300/72 KDZ-300/165 KDZ-300/230 KDZ-300/320	380	300	0~72 0~165 0~230 0~320	强 迫 风 冷	

**2.4.2.4 DTC 系列通信直流电源装置** 该装置由晶闸管整流器、直流馈电回路和镉镍电池组成,电池组装在电池屏内。整流器具有自动稳压浮充电、自动稳压均衡充电和手动调节三种运行方式。装置可与蓄电池并联向通信设备供电,也可单独对电池组进行充电或向通信设备供电。适用于有通信设施部门,也适用于中小型发电厂、变电所、供电调度所等。型号及规格见表 5.4.25 所列。

表 5.4.25 DTC 系列通信直流电源装置的型号及规格

型 号	输入电压 (V)	标称输出 电压(V)	输出电流 (A)	稳压范围 (V)	冷却方式	备 注
DTC-24/30	380	24	30	18~36	自然冷却	外形尺寸(mm) (宽×深×高) I型:650×500×2000 II型:650×350×2000 III型:650×500×1700
DTC-24/60			60			
DTC-24/120			120			
DTC-24/200			200			
DTC-24/300			300			
DTC-48/30		48	38~72	30	自然冷却	
DTC-48/60				60		
DTC-48/120				120		
DTC-48/200				200		
DTC-48/300				300		
DTC-60/30		60	48~90	30	自然冷却	
DTC-60/60				60		
DTC-60/120				120		
DTC-60/200				200		
DTC-60/300				300		
					强迫风冷	

**2.4.2.5 DZK 系列晶闸管整流装置** 该装置由晶闸管整流器、变压器及控制回路、保护回路等组成,具有自动稳压、自动稳流和手动调节三种运行方式,有限流、过流、过压和短路等保护功能。主要适用作通信设备的直流电源或电池组充电电源,也可用作稳压、稳流可调直流电源。型号及规格见表 5.4.26 所列。

表 5.4.26 DZK 系列晶闸管整流装置的型号及规格

型 号	输入电压 (V)	直 流 输 出			冷却方式	备 注
		额定电流 (A)	标称电压 (V)	稳压范围 (V)		
DZK-24/30	380	30	24	18~36	自然冷却	外形尺寸(mm) (宽×深×高) I型:550×400×1000 II型:650×500×1700 III型:650×500×2000
DZK-24/75		75				
DZK-24/120		120				
DZK-24/200		200				
DZK-24/300		300				
DZK-24/400		400				
DZK-60/30		30	60	48~90	自然冷却	
DZK-60/75		75				
DZK-60/120		120				
DZK-60/300		300				
DZK-110/30		30	110	105~165	自然冷却	
DZK-110/75		75				
DZK-110/120		120				
DZK-220/30		30	220	180~330		

## 2.5 动力配电箱

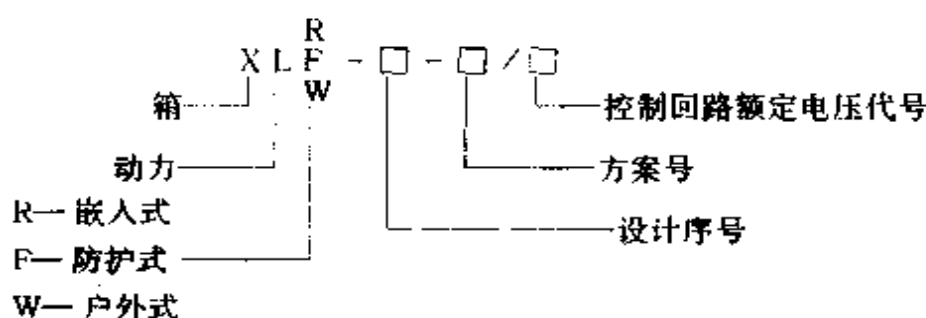
动力配电箱适用于工矿企业的车间及生产部门,并广泛用于民用建筑中,在交流 50Hz,500V 以下的供配电系统中起着控制、保护与电能分配的作用。

动力配电箱种类繁多,常用的有 XL-9~12 及 XL-21~31 型。前者断流容量低,后者断流容量大,熔体可自行更换。

XL(R)-20~XL(R)-31 型主电路采用刀熔开关或刀开关及自动开关。并可按需要在一次线中接装磁力起动器、接触器、热继电器等元件,用于控制电动机的可逆运转。

型号含义:





常用的动力配电箱有以下几种形式。

### 2.5.1 XL-9型动力配电箱

XL-9型动力配电箱主要电器设备及外形尺寸如表5.4.27所列。外形及安装尺寸如图5.4.9所示。

表 5.4.27 XL-9型动力配电箱主要电器设备数量及外形尺寸表

型 号	额定电流 (A)	主要电器设备数量		外形尺寸(mm)			总质量 (kg)
		DZ10-100	DZ10-250	A	B	C	
XL-9-31-11	400	6	0	850	750	600	70
XL-9-31-12		2	1				
XL-9-31-14		4	0				
XL-9-31-15		0	1				
XL-9-32-11	400	8	0	1060	960	810	89
XL-9-32-12		10	0				
XL-9-32-13		2	2				
XL-9-32-16		4	1				
XL-9-32-17		6	1				
XL-9-32-18		0	2				
XL-9-33-11	600	12	0	1165	1065	910	98
XL-9-33-12		0	3				
XL-9-33-13		8	1				
XL-9-33-14		4	2				
XL-9-41-11	400	4	0	850	750	600	66
XL-9-41-12		0	1				
XL-9-42-11	400	8	0	1060	960	810	86
XL-9-42-13		6	0				
XL-9-42-14		2	1				
XL-9-42-15		4	1				
XL-9-42-16		0	2				
XL-9-43-11	600	10	0	1165	1065	910	92
XL-9-43-12		6	1				
XL-9-43-13		2	2				

### 2.5.2 XL-10型动力配电箱

XL-10型动力配电箱技术数据如表5.4.28所列,外形尺寸及安装尺寸如表5.4.29及图5.4.10所示。

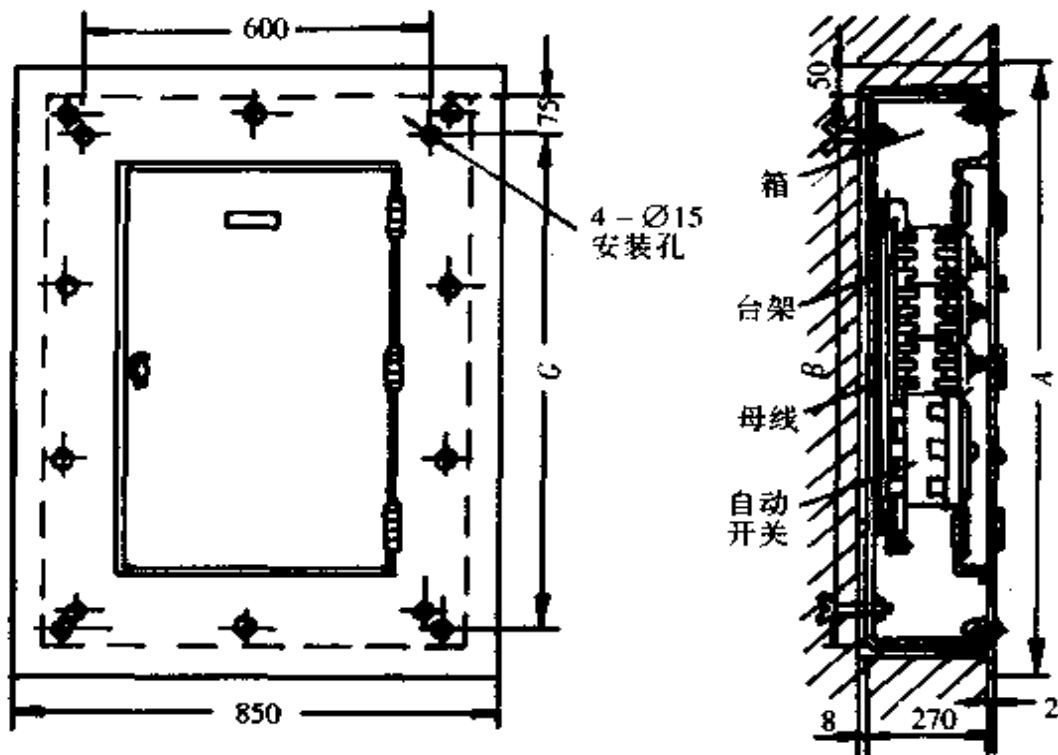


图 5.4.9 XL-9 型动力配电箱外形及安装尺寸图

表 5.4.28 XL-10 型动力配电箱技术数据表

型 号	额定电流 ×回路数 (A)	主 要 电 器 设 备				外形尺寸(mm)			总质量 (kg)
		型号规格	数量	型号规格	数量	高	宽	深	
XL-10-1/15	15×1	HZ10-25/3	1	RL1-15 (RM3-60)	3	540 (400)	300 (220)	210 (108)	10
XL-10-2/15	15×2	HZ10-25/3	2	RL1-15 (RM3-60)	6	540	440	210 (120)	22
XL-10-3/15	15×3	HZ10-25/3	3	RL1-15 (RM3-60)	9	540	570	210 (120)	28
XL-10-4/15	15×4	HZ10-25/3	4	RL1-15 (RM3-60)	12	540	740	210 (120)	40
XL-10-1/35	35×1	HZ10-60/3	1	RL1-60 (RM3-60)	3	630 (460)	340 (220)	235 (150)	12
XL-10-2/35	35×2	HZ10-60/3	2	RL1-60 (RM3-60)	6	630	505	235 (150)	28
XL-10-3/35	35×3	HZ10-60/3	3	RL1-60 (RM3-60)	9	630	670	235 (150)	40
XL-10-4/35	35×4	HZ10-60/3	4	RL1-60 (RM3-60)	12	630	835	235 (150)	45
XL-10-1/60	60×1	HZ10-100/3	1	RT0-100 (RM3-60)	3	630 (460)	340 (220)	248 (150)	12
XL-10-2/60	60×2	HZ10-100/3	2	RT0-100 (RM3-60)	6	630	505	248 (150)	28
XL-10-3/60	60×3	HZ10-100/3	3	RT0-100 (RM3-60)	9	630	670	248 (150)	40
XL-10-4/60	60×4	HZ10-100/3	4	RT0-100 (RM3-60)	12	630	835	248 (150)	45

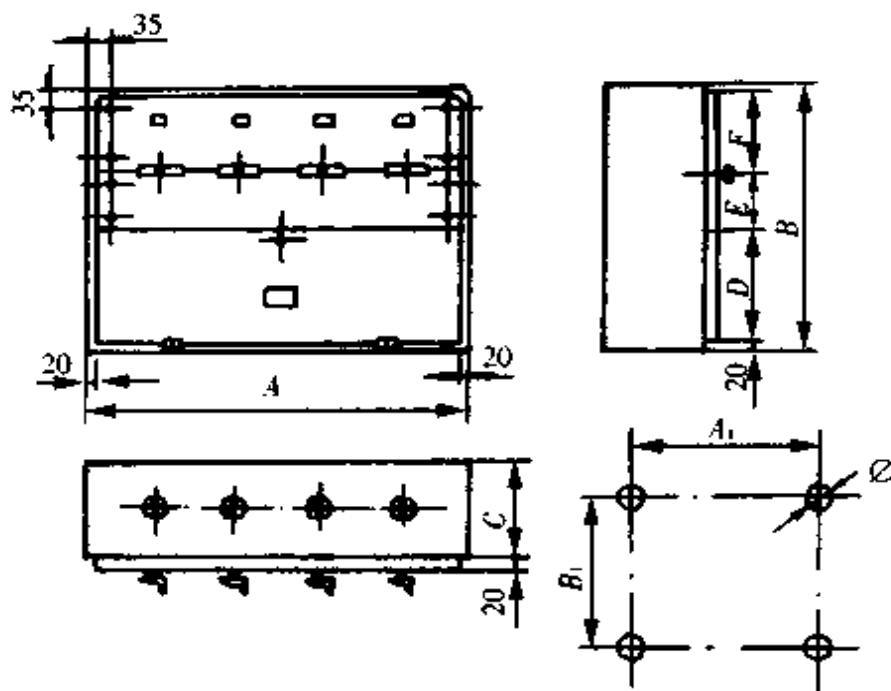


图 5.4.10 XL-10 型动力配电箱外形及安装尺寸图

表 5.4.29 XL-10 型动力配电箱外形尺寸表

动力配电箱型号	尺 寸 (mm)								
	A	B	C	D	E	F	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	∅
XL-10-1/15	220	400	88	180	80	100	180	360	12
XL-10-2/15	440	540	210	250	100	150	365	465	
XL-10-3/15	570	540	210	250	100	150	495	465	
XL-10-4/15	740	540	210	250	100	150	665	465	
XL-10-1/35	220	460	115	210	90	120	180	555	
XL-10-2/35	505	630	235	280	130	180	430	420	
XL-10-3/35	670	630	235	280	130	180	595	555	
XL-10-4/35	835	630	235	280	130	180	760	555	
XL-10-1/60	220	460	128	210	90	120	180	420	
XL-10-2/60	505	630	248	280	130	180	430	555	
XL-10-3/60	670	630	248	280	130	180	559	555	
XL-10-4/60	835	630	248	280	130	180	760	555	

### 2.5.3 XL-12 型动力配电箱

XL-12 型动力配电箱技术数据如表 5.4.30 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.11 所示。

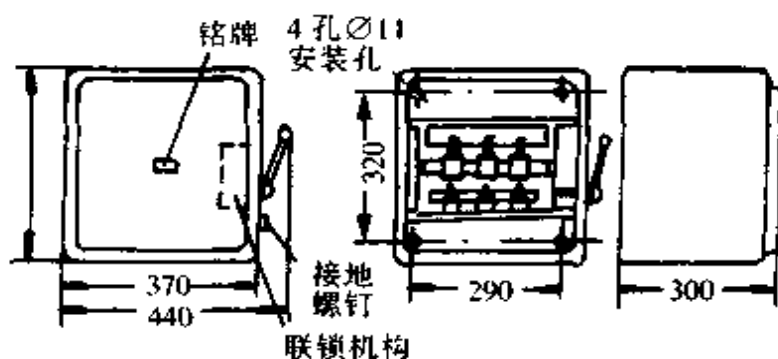


图 5.4.11 XL-12 型动力配电箱外形及安装尺寸图

表 5.4.30 XL-12 型动力配电箱主要数据表

型 号	额定电流 (A)	主要电器设备		外形尺寸(mm)			总质量 (kg)
		型号、规格	数量	高	宽	深	
XL-12-100	100	HR3-100/3	1	400	370	310	23
XL-12-200	200	HR3-200/3	1	400	370	310	23
XL-12-400	400	HR3-400/3	1	400	370	310	23
XL-12-600	600	HR3-600/3	1	450	400	370	23

#### 2.5.4 XLR-20 型动力配电箱

XLR-20 型动力配电箱技术数据如表 5.4.31 所列,外形尺寸及安装尺寸如表 5.4.32 及图 5.4.12 所示。

表 5.4.31 XLR-20 型动力配电箱技术数据表

箱号	型 号	自动开关数量		外形尺寸(mm)			主母线允许载流量 (A)	回路数
		DZ10-100	DZ10-250	高	宽	深		
I	XLR-20-1-1		1	600	400	233	250	1
II	XLR-20-2-1	4		600	800	233	350	4
III	XLR-20-3-1	8		800	800	233	350	8
	XLR-20-3-2	4	1	800	800	233	350	5
	XLR-20-3-3	2	2	800	800	233	350	4
IV	XLR-20-4-1	12		1000	800	233	350	12
	XLR-20-4-2	8	1	1000	800	233	350	9
	XLR-20-4-3	6	2	1000	800	233	350	8
	XLR-20-4-4	2	3	1000	800	233	350	5

注:挂墙式(XL-20)的面板四周与箱体大小一致,其尺寸在高宽方向均缩小 100mm。

表 5.4.32 XLR-20 型动力配电箱外形尺寸表

箱号	尺 寸 (mm)				
	A	B	C	D	E
I、II	600	400	300	456	256
III	800	800	700	856	656
IV	1000	800	700	856	656

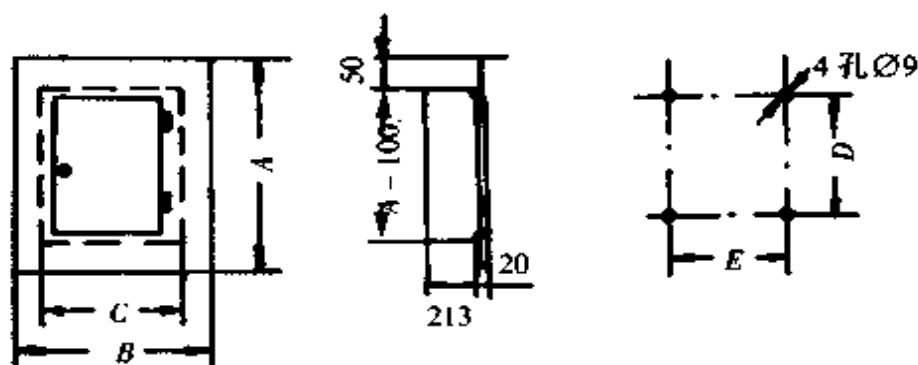


图 5.4.12 XLR-20 型动力配电箱外形及安装尺寸图

### 2.5.5 XL-21 型动力配电箱

XL-21 型动力配电箱用于工矿企业,交流 50Hz、电压 500V 以下电力系统,作动力、照明配电用。

**2.5.5.1 结构** 本产品系户内装置,用钢板弯制焊接制成。本产品单扇左手门,刀开关操动手柄装在箱前右柱上部,门上装有测量仪表、操作与信号电器。门打开后,全部电器敞露,便于检修维护。进出线方式采用电缆,用户有特殊要求亦可在箱顶盖板上开进线敲落孔。

**2.5.5.2 一次线路常用方案** XL(F)-21 型动力配电箱一次线路方案种类较多,可按用户需要加工,常用方案及主要电器设备如表 5.4.33 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.13 所示。

表 5.4.33 XL(F)-21 型动力配电箱一次线路

一次线路方案编号	01	02	03	04	05
一次线路方案					
额定电流(A)	200, 400, 600	200, 400	200, 400, 600	200, 400	
HD11-200, 400, 600 HR3-200, 400, 600 DZ10-100, 250, 600 DZ5-50 CJ10-20, 40, 60, 150 LMZJ1-0.5/□ RL1-15, 60, 100, 200 RT0-100, 200, 400	1 (1) 4	1 (1) 100×9	1 (1) 2  2 2	1 (1) 250×4  60×4	1 (1) 100×6  60×6
一次线路方案编号	21	22	31	32	43
一次线路方案					
额定电流(A)	200, 400, 600	200, 400			200, 400, 600
HR3-200, 400, 600 DZ10-100, 250, 600 DZ5-50 CJ10-20, 40, 60, 100, 150 LMZJ1-0.5/□ RL1-15, 60, 100, 200 RT0-100, 200, 400 HD11-200, 400, 600	1 2  2 或 1	4  4  2	1 100×12  6	2  6 2	1  1  1

常用方案及主要技术数据

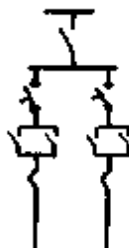

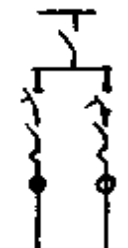
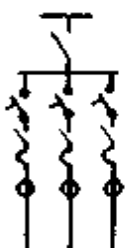


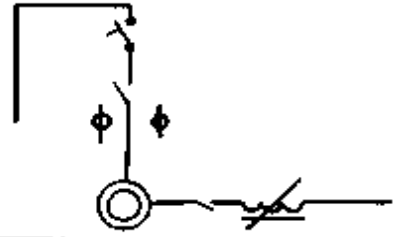
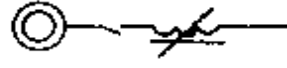
07	09	10	11	15	17
200, 400	200, 400, 600	200, 400			
1 (1) 100×8 60×8	1 (1) 2 2 6	1 6 18	1 4 12	1 100×12	1 60×8 12
44	47	68	72	76	80
200, 400		200, 400, 600	200, 400		
1 3 3 3	2 3 3 3	1 2 1 1	8 12 1	1 6 12	1 3 18 9

表 5.4.34 XL-31 型动力配电箱一次线

一次线路方案编号	02	04	06	10	11
一次线路方案					
HD12G- <sup>400</sup> / <sub>600</sub> 刀开关 DZ10-100、250、600 自动开关 44L <sub>3</sub> -V、0~450V QC10-4/2~4/4 电磁起动器 QC10-5/2~5/4 电磁起动器 QC10-6/2~6/4 电磁起动器 CJ10-10、20、60、80、100、150 LMK 电流互感器	1×600 9×100 1	1×600、2×250 3×100 1	1×600 4×250 1	1 4×100 1 4	1 4×100 1
一次线路方案编号	29	28	30	31	32
一次线路方案					
HD12G- <sup>400</sup> / <sub>600</sub> 刀开关 DZ10-100、250、600 自动开关 44L <sub>3</sub> -V、0~450V RT0-100、200 QC10-4/2~4/4 电磁起动器 LMK <sub>1</sub> -0.5 电流互感器 IT9-A JJSH <sub>2</sub> -3	1 1	1 1	1 1	1×100(定子)+ 1×100(转子) 1×100/330 (DZ)、2× 100/3(CJ10) 2×75/5 1×75/5	1×150(定子)+ 1×150(转子) 1×150/330 (DZ)、2× 150/3(CT10) 1 2×150/5 1×150/5



路常用方案及主要技术数据

					
<p>1 2 × 100</p> <p>1</p> <p>2</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>1</p>	<p>1 2 × 250</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p>1 1 × 250 2 × 100</p> <p>1</p> <p>3</p>	<p>1 3 × 100</p> <p>1</p> <p>3</p> <p>3</p>	<p>1 1 × 600</p> <p>1</p> <p>2</p>
<p>33</p>	<p>34</p>	<p>35</p>	<p>36</p>	<p>37</p>	<p>38</p>
					
<p>1 × 250 (定子) + 1 × 250 (转子)</p>	<p>1 × 600 (定子) + 1 × 600 (转子)</p>	<p>1 × 100 (转子)</p>	<p>1 × 150 (转子)</p>	<p>1 × 250 (转子)</p>	<p>1 × 600 (转子)</p>
<p>1 × 250/330 (DZ), 2 × 400/3(CJ12)</p>	<p>1 × 600/330 (DZ), 2 × 600/3(CJZ)</p>	<p>CJ10-100 /3 × 1</p>	<p>CJ10-150 /3 × 1</p>	<p>CJ12-400 /3 × 1</p>	<p>CJ12-600 /3 × 1</p>
<p>2 × 300/5 1 × 300/5</p>	<p>2 × □/5 1 × □/5</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>1</p>

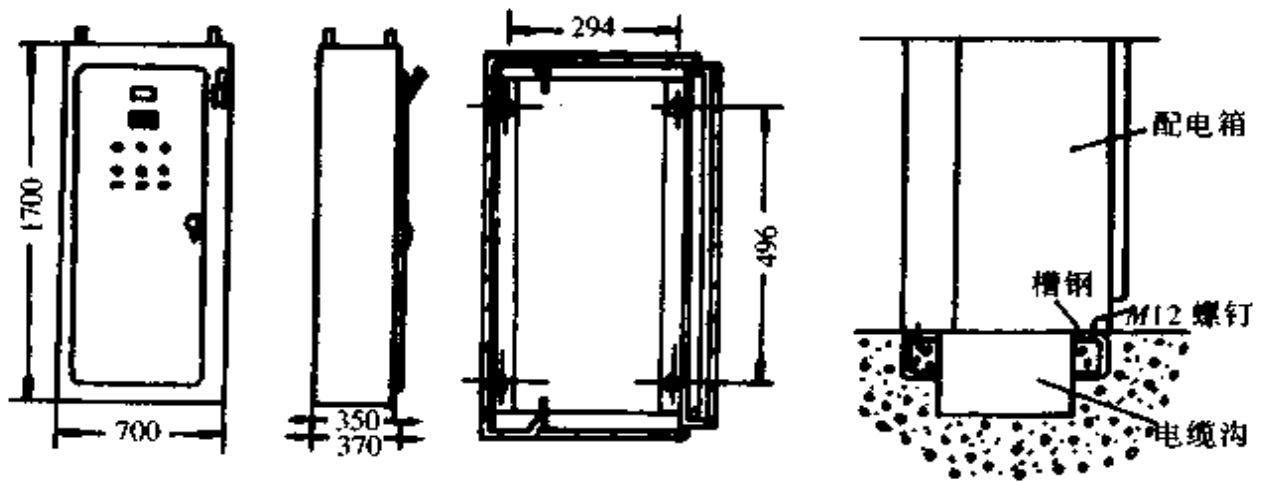


图 5.4.13 XL(F)-21 型动力配电箱外形及安装尺寸图

### 2.5.6 XL-31 型动力配电箱

一次线路及主要电器设备如表 5.4.34 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.14 所示。

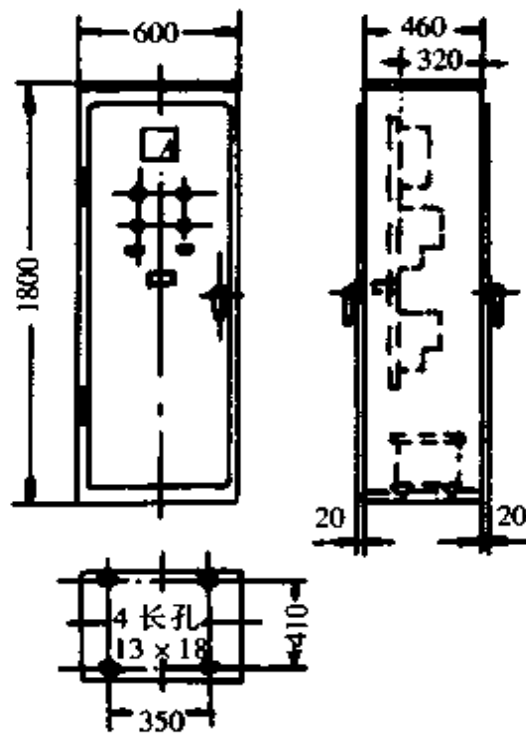
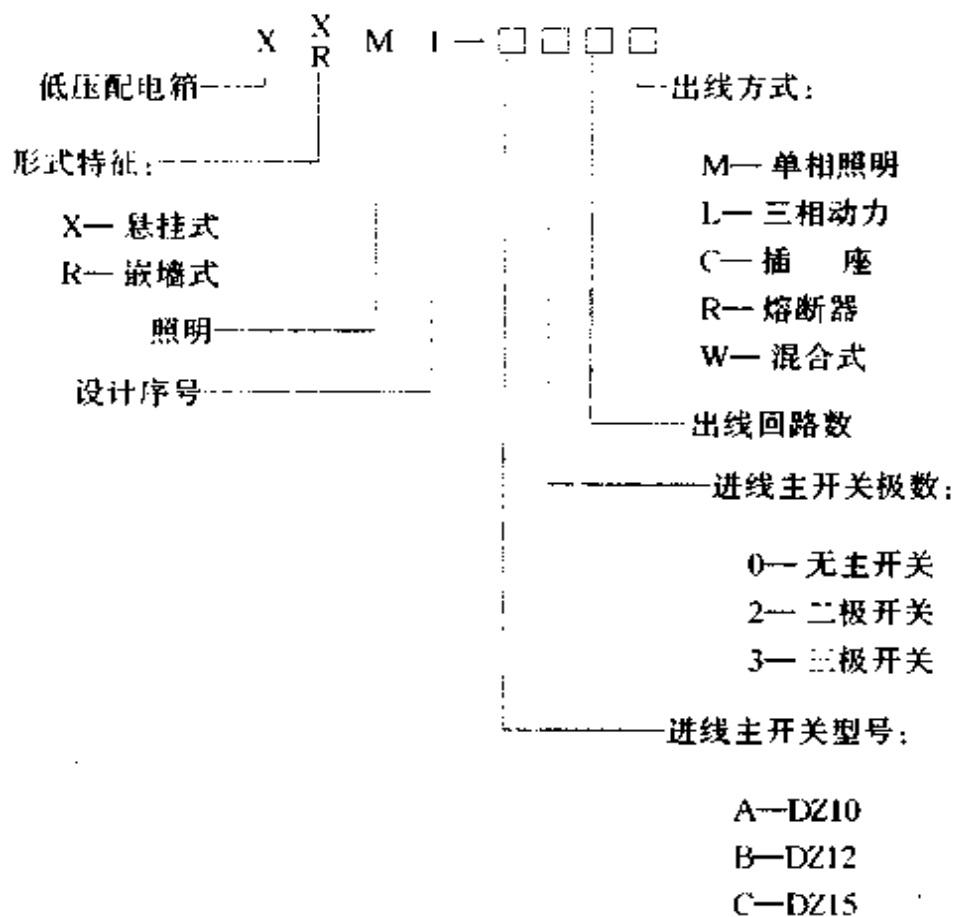


图 5.4.14 XL(F)-31 型线路方案 1~30 号  
的动力配电箱外形及安装尺寸图

## 2.6 照明配电箱

照明配电箱适用于工业与民用建筑中,在交流 50Hz、额定电压不超过 500V 的照明和小型动力系统中,作为线路的过载、短路保护之用。

型号含义:



### 2.6.1 $X_{R}^{X} M 1 - \frac{A}{C}$ 型照明配电箱

电路方案及技术数据如表 5.4.35 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.15。

### 2.6.2 $X_{R}^{X} M 9$ 型照明配电箱

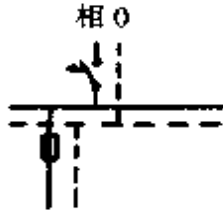
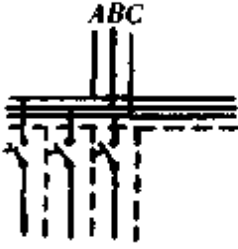

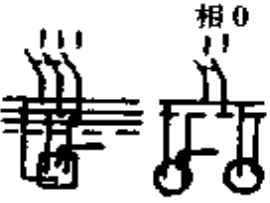

电路方案及技术数据如表 5.4.36 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.16 所示。

表 5.4.35  $X_{R}^{X}M1-B$ 型照明

电路方案 编号	电 路 方 案	型 号	进线主开关 数量、规格	出线主要电器元件 数量、规格
I		$X_{R}^{X}M1-B312M$	$1 \times DZ_{13}^{12}-60/3$	$12 \times DZ_{13}^{12}-6 \sim 20/1$
		$X_{R}^{X}M1-A303M$	$1 \times DZ10-100/330$	$3 \times DZ15-40/190$
		$X_{R}^{X}M1-A306M$	$1 \times DZ10-100/330$	$6 \times DZ15-40/190$
		$X_{R}^{X}M1-A309M$	$1 \times DZ10-100/330$	$9 \times DZ15-40/190$
		$X_{R}^{X}M1-A312M$	$1 \times DZ10-100/330$	$12 \times DZ15-40/190$
II		$X_{R}^{X}M1-A301L$	$1 \times DZ10-100/330$	$1 \times DZ15-40/390$
		$X_{R}^{X}M1-A302L$	$1 \times DZ10-100/330$	$2 \times DZ15-40/390$
		$X_{R}^{X}M1-A303L$	$1 \times DZ10-100/330$	$3 \times DZ15-40/390$
		$X_{R}^{X}M1-A304L$	$1 \times DZ10-100/330$	$4 \times DZ15-40/390$
III		$X_{R}^{X}M1-C312R$	$1 \times DZ15-50/3$	$12 \times \text{塑壳熔断器 } 10/10$
		$X_{R}^{X}M1-C321R$	$1 \times DZ15-50/3$	$24 \times \text{塑壳熔断器 } 10/6$
IV		$X_{R}^{X}M1-B204M$	$1 \times DZ_{13}^{12}-60/2$	$4 \times DZ_{13}^{12}-6 \sim 20/1$
		$X_{R}^{X}M1-B213M$	$1 \times DZ_{13}^{12}-60/2$	$13 \times DZ_{13}^{12}-6 \sim 20/1$

配电箱技术数据表

电源指示灯 DS-22	外形尺寸 (mm)					
	A	B	H	C	D	E
I	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30
	350 (380)	300 (330)	120	265	235	50
	500 (530)	300 (330)	120	400	235	50
I	350 (380)	300 (330)	120	265	235	50
	500 (530)	300 (330)	120	400	235	50
I	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30
	300 (330)	500 (530)	95	235	400	30
I	235 (265)	300 (330)	95	130	235	30
	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30

电路方案 编号	电 路 方 案	型 号	进线主开关 数量、规格	出线主要电器元件 数量、规格
V		$X_R^X$ M1-C212R	1×DZC15-50/2	12×塑壳熔断器 10/4
VI		$X_R^X$ M1-006M		6×DZ <sub>13</sub> <sup>12</sup> -6-20/1
		$X_R^X$ M1-015M		6×DZ <sub>13</sub> <sup>12</sup> -6-20/1
VI		$X_R^X$ M1-012R		12×塑壳熔断器 10/10
		$X_R^X$ M1-024R		21×塑壳熔断器 10/5
VII		$X_R^X$ M1-C304C	1×DZ15-40/3 40A 1×DZ15-40/2 20A	2×三相四线暗插座 20A 1×单相三线暗插座 15A 1×单相三线暗插座 5A
IX		$X_R^X$ M1-A3□W	1×DZ10-100/330	DZ15-40 单、双三极 开关任意组合

注:( )中系嵌入式箱的尺寸。

续表

电源指示灯 DS-22	外形尺寸 (mm)					
	A	B	H	C	D	E
I	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30
	235 (265)	300 (330)	95	130	235	30
	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30
	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30
	300 (330)	500 (530)	95	235	400	30
I	500 (530)	300 (330)	95	400	235	30

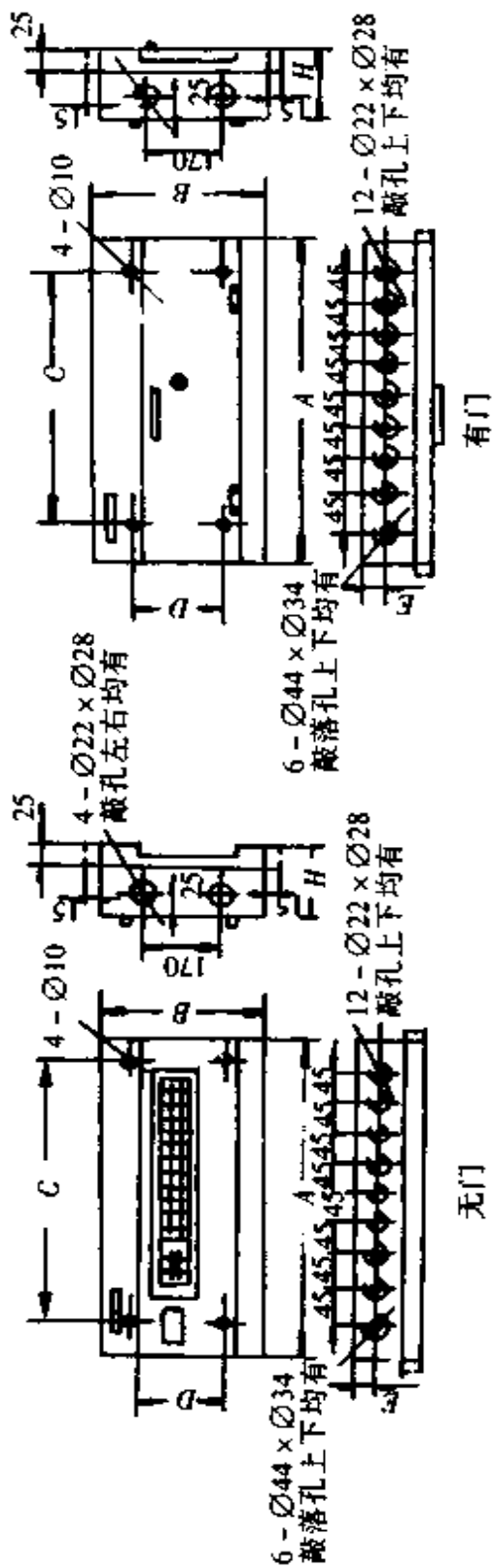


图 5.4.15 XCM1、XRM1 型照明配电箱  
外形及安装尺寸图(横式)



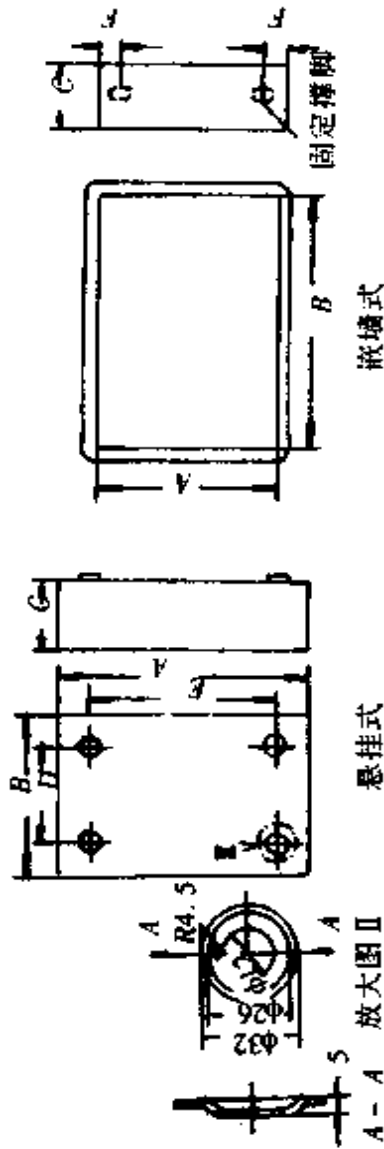
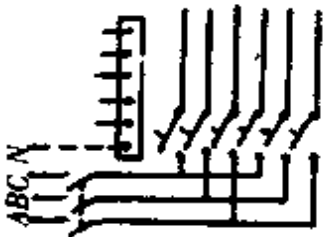
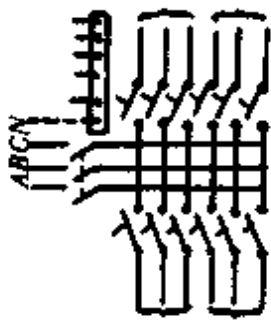


图 5.4.16 XRM9、XRM9R 型照明配电箱外形及安装尺寸图

表 5.4.36 X<sub>R</sub><sup>X</sup>M9 型照明配电箱技术数据表

电路方案	型号	自动开关数量			外形及安装尺寸(mm)						
		DZ 12-60/3	DZ 12-60/2	DZ 12-60/1	A	B	C	D	E	F	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-203		1	3	360	280	100 93	220	280		
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-206		1	6	400	280	100 93	220	320		
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-209		1	9	525	320	100 93	260	445		
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-212		1	12	590	320	100 93	260	510		





续表

电路方案	型号	号	自动开关数量			外形及安装尺寸(mm)					
			DZ 12-60/3	DZ 12-60/2	DZ 12-60/1	A	B	C	D	E	F
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-303		1		3	360	280	100 93	220	280	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-306		1		6	450	320	100 93	260	370	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-309		1		9	525	320	100 93	260	445	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-312		1		12	470	420	100 93	360	390	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-318		1		18	550	420	100 93	360	470	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-324		1		24	630	420	100 93	360	550	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-304/3		5			470	420	100 93	360	390	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-306/3		7			550	420	100 93	360	470	
	X <sub>R</sub> <sup>X</sup> M9-308/3		9			630	420	100 93	360	550	






2.6.3  $X_R^X$ M10 型照明配电箱

电路方案及技术数据如表 5.4.37 所列,外形及安装尺寸如图 5.4.17 所示。


表 5.4.37  $XXM10$ 、 $XRM10$  型照明配电箱技术数据表

电 路 方 案	型 号	主开关 DZ13-70			分路开关 DZ13-70			外形及安装尺寸 (mm)		
		单极	双极	三极	单极	双极	三极	L	A	B
 A0	$X_R^X$ M10-101				7			370	280	350
	$X_R^X$ M10-201				9			420	330	400
	$X_R^X$ M10-301				12			420	380	450
	$X_R^X$ M10-102					3		370	280	350
	$X_R^X$ M10-202					4		420	330	400
	$X_R^X$ M10-302					5		420	380	450
	$X_R^X$ M10-103						2	370	280	350
	$X_R^X$ M10-203						3	420	330	400
	$X_R^X$ M10-303						4	420	380	450
	$X_R^X$ M10-111	1			6			370	280	350
	$X_R^X$ M10-211	1			8			420	330	400
	$X_R^X$ M10-311	1			10			420	380	450

续表

电路方案	型号	主开关 DZ13-70			分路开关 DZ13-70			外形及安装尺寸 (mm)		
		单极	双极	三极	单极	双极	三极	L	A	B
	$X_R^X$ M10-112		1		4			370	280	350
	$X_R^X$ M10-212		1		6			420	330	400
	$X_R^X$ M10-312		1		8			420	380	450
	$X_R^X$ M10-113		1			2		370	280	350
	$X_R^X$ M10-213		1			3		420	330	400
	$X_R^X$ M10-313		1			4		420	380	450
	$X_R^X$ M10-114			1	3			370	280	350
	$X_R^X$ M10-214			1	6			420	330	400
	$X_R^X$ M10-215			1		2		420	330	400
	$X_R^X$ M10-216			1	3		1	420	330	400
	$X_R^X$ M10-314			1	2		2	420	380	450
	$X_R^X$ M10-315			1	5		1	420	380	450

续表

电路方案	型号	主开关 DZ13-70			分路开关 DZ13-70			外形及安装尺寸 (mm)		
		单极	双极	三极	单极	双极	三极	L	A	B
	$X_{R}^{X}$ M10-316			1	2	3		420	380	450

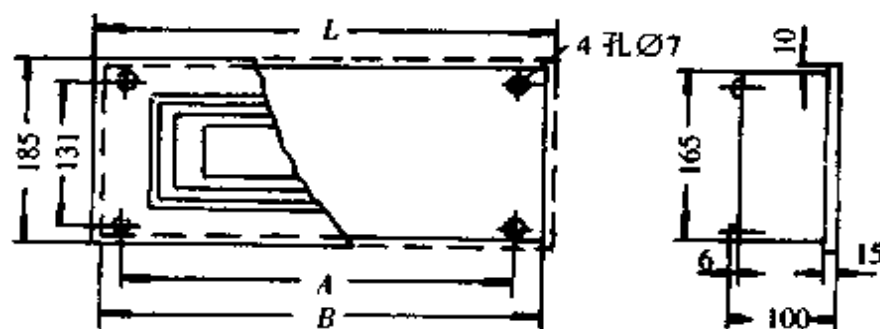


图 5.4.17 XRM10、XRM10 型照明配电箱外形及安装尺寸图

#### 2.6.4 $PXG_{R}^{X}$ 限流型照明配电箱

本型配电箱适用于正常环境的各类实验室、机房、车间、宾馆等工业及民用建筑物,作照明、小容量动力配电之用。主要技术参数如下:

适用电压:交流 380V/220V;

进线电路主电器脱扣器额定电流:20、32、40、50、63A;

馈线电路电器脱扣器额定电流:6、10、20、40、50、63A;

回路数:3、6、9、12、18、24 路。

#### 2.6.5 DCX 系列组合式插座箱(盒)、配电箱

本系列箱(盒)适用于一般室内正常环境中的科研楼、实验室、洁净厂房、电讯机房、宾馆、旅游设施等各类工业与民用建筑,作照明及小容量动力配电用。

DCX 系列组合式插座箱(盒)、配电箱有多种类别和多种功能,用于交流 50Hz、额定电压为 380V、220V 和直流 440V、220V 及以下的单相、三相四线、三相五线线路,最大负荷电流不超过 54A,总开关最大额定电流为 60A,作过载及短路保护。也可用于简单的远距离控制信号系统和线路的不频繁转换。

### 2.6.5.1 系统组合内容分类

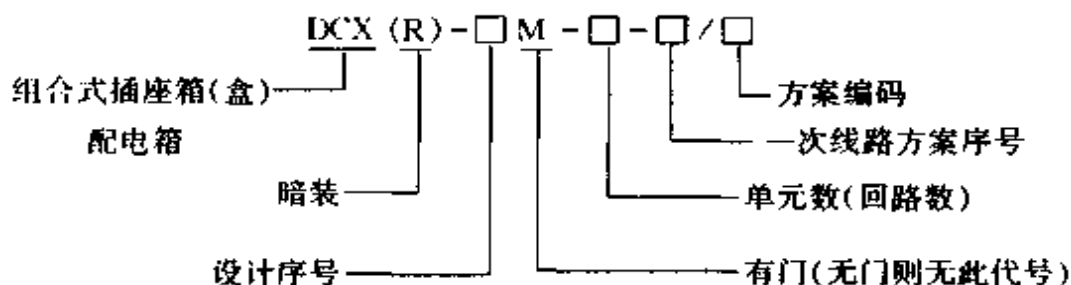
(1) DCX-10 型系列组合式插座箱(盒)。插座箱(盒)组装  $86 \times 86$  (mm) 面板暗插座,按单元数分有一、二、三、四单元四种。

(2) DCX-20 型系列组合式配电箱。该型箱可任意组合,按使用功能可组合为照明、动力配电箱,还可组合为熔断器箱、插座箱、开关箱及插座混合箱、接线端子箱、空箱(作交接用)等类型。每一类型按单元数分有一、二、三、四、五、六单元 6 种,组合灵活、拆换灵活、实用性强。

(3) DCX-30 型系列组合式双排插座箱。该箱元件作上下两排布置,并附一主开关(为自动开关),其他元件均组装在面板上,安装可互换。该型箱有三、四、五、六单元四种规格。

(4) DCX-40 型系列组合竖装式插座箱、配电箱。该箱主要特点是元器件竖向多层排列,适用于墙体较窄处及柱子上安装使用。其基本结构与 DCX-30 型相同,有三、四、五、六单元四种规格。使用功能及类型与 DCX-20 及 DCX-30 型相同。

### 2.6.5.2 型号含义



2.6.5.3 结构 该产品为钢板整体压制和拉伸成型,由箱体、面板、元件安装支架、各种元件、装饰板、接地端子排等组成。

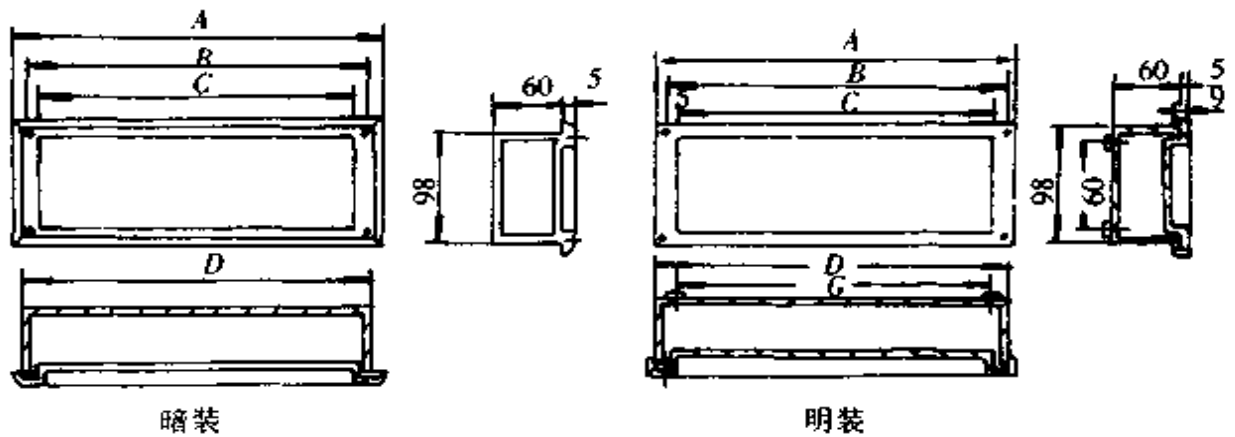
### 2.6.5.4 系统编码代号含义

O——三相(三极)自动开关;T——二相(二极)自动开关;1——单相(单极)自动开关一只;2——单相(单极)自动开关二只;3——单相(单极)自动开关三只;D——三极单相插座;d——二极单相插座;S——三极插座;r——熔断器;RR——三相熔断器(三个占两个单元);K——跷板开关( $K_1$ :单连; $K_2$ :双连; $K_3$ :三连开关);L——控制按钮;X——信号灯;V——电压表;A——电流表;Z——三根母线排;B——空单元;Y——电铃出线盒;W——电度表(3~5A);P——闪光信号报警器(8~100 门);⊥——接地端子;1)——单相引出线接线柱 2 只;2)——单相引出线接线柱 3 只;3)——三相引出线接线柱 4 只。

设计或选用时可按上述编码代号组合成所需要的一次线路方案。

2.6.5.5 DCX 系列插座箱(盒)、配电箱的系统方案及主要技术数据 方案及主要技术数据见表 5.4.38 至表 5.4.41 所列。

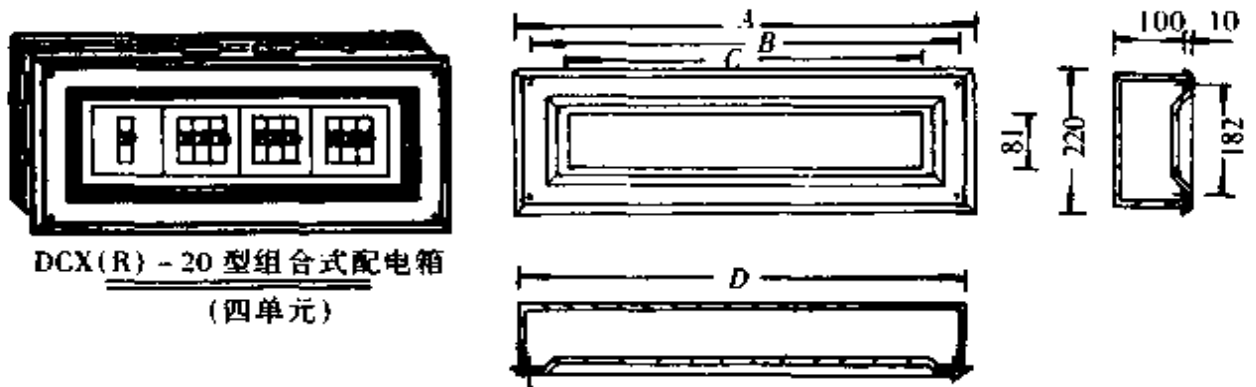
2.6.5.6 外形尺寸 外形尺寸见图 5.4.18 至图 5.4.21 所示。



mm

	一单元	二单元	三单元	四单元
A	126	212	298	384
A	120	206	292	378
B	101	187	273	359
C	86	172	258	344
D	116	202	288	374
G	76	162	248	334

图 5.4.18 DCX-10 型组合式插座箱外形尺寸图










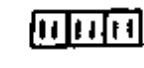







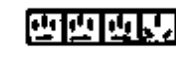
DCX(R)-20 型组合式配电箱  
(四单元)

mm

	一单元	二单元	三单元	四单元	五单元	六单元
A	220	306	392	478	564	650
B	182	268	354	440	526	612
C	81	167	253	339	425	511
D	200	286	372	458	544	630

图 5.4.19 DCX-20 型组合式配电箱外形尺寸图

表 5.4.38 DCX-10 型组合式插座箱系

箱型	DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
方案序号	117	118	119	120
方案编码	SA	XL·XL	⊥·Y	ddd
单元数	2	2	2	3
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	212×110	212×110	212×110
	明装	206×102	206×102	206×102
元件规格	25A	2-XD14 220V 2-LA18 220V	4-999 A 型	10A
	85L <sub>1</sub> -A 0~30A	2-XD14 220V 2-LA18 220V	5cm 220V	10A
				10A
箱型	DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
方案序号	125	126	127	128
方案编码	XL·⊥·Y	K <sub>1</sub> ·K <sub>2</sub> ·K <sub>3</sub>	SSSS	SSSD
单元数	3	3	4	4
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	298×110	298×110	384×110
	明装	292×102	292×102	378×102
元件规格	2-XD14	86K 11-5 12-5	25A	15A
	2-LA18	86K 21-5 22-5	15A	15A
	999 A 型		15A	15A
	5cm 220V	86K 31-5 32-5	15A	15A



统常用方案及主要元件技术数据

DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
121	122	123	124
DDD	SSS	SDd	SDD
3	3	3	3
298 × 110	298 × 110	298 × 110	298 × 110
292 × 102	292 × 102	292 × 102	292 × 102
15A	25A	15A	15A
10A	15A	15A	15A
10A	15A	10A	10A
DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
129	130	131	132
SSDD	SDDD	DDDD	SSSV
4	4	4	4
384 × 110	384 × 110	384 × 110	384 × 110
378 × 102	378 × 102	378 × 102	378 × 102
25A	15A	15A	15A
25A	15A	15A	15A
15A	10A	10A	15A
10A	10A	10A	85L <sub>1</sub> -V 0~450V

箱型	DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
方案序号	133	134	135	136
方案编码	SDDV	SSDX	SSDd	DXdd
单元数	4	4	4	4
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	384×110	384×110	384×110
	明装	378×102	378×102	378×102
元件规格		15A	15A	15A
		15A	15A	15A
		10A	15A	15A
		85L <sub>1</sub> -V 0~450V	NXD <sup>2</sup> -380V	10A
箱型	DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
方案序号	141	142	143	144
方案编码	SDXL	Ddd ⊥	SD·dd	Dddd
单元数	4	4	4	4
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	384×110	384×110	384×110
	明装	378×102	378×102	378×102
元件规格		15A	15A	15A
		15A	10A	15A
		2-XD14	10A	10A
		2-LA18	999 A型	10A

续表







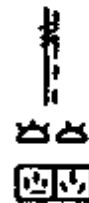










































DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
137	138	139	140
SDdd	dddd	SSD $\perp$	SDdX
4	4	4	4
			
384 × 110	384 × 110	384 × 110	384 × 110
378 × 102	378 × 102	378 × 102	378 × 102
25A	10A	15A	15A
15A	10A	15A	15A
10A	10A	10A	10A
10A	10A	999A 型	NXD <sup>2</sup> - 380V
DCX-10	DCX-10	DCX-10	DCX-10
113	114	115	116
dD	Sd	SD	SV
2	2	2	2
			
212 × 110	212 × 110	212 × 110	212 × 110
206 × 102	206 × 102	206 × 102	206 × 102
10A	15A	25A	15A
10A	10A	10A	85L <sub>1</sub> -V 0 ~ 450V

表 5.4.39 DCX-20 型组合式配电箱系统常用方案

箱型	DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
方案序号	2001	2002	2003	2004
方案编码	0	3	2	1
单元数	1	1	1	1
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	220 × 220	220 × 220	220 × 220
	明装	204 × 204	204 × 204	204 × 204
元件规格	DZ12-60/3 IH=40A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	2 × DZ12-60/1 IH=15A	DZ12-60/1 IH=60A
箱型	DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
方案序号	2009	2010	2011	2012
方案编码	000	003	033	 00
单元数	3	3	3	3
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	392 × 220	392 × 220	392 × 220
	明装	376 × 204	376 × 204	376 × 204
元件规格	DZ12-60/3 IH=40A	DZ12-60/3 IH=60A	DZ12-60/3 IH=40A	DZ12-60/3 IH=40A
	DZ12-60/3 IH=40A	DZ12-60/3 IH=40A	3 × DZ12-60/1 IH=15A	DZ12-60/3 IH=20A
	DZ12-60/3 IH=40A	3 × DZ12-60/1 IH=15A	3 × DZ12-60/1 IH=15A	DZ12-60/3 IH=20A

及主要元件技术数据

DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
2005	2006	2007	2008
00	03	33	□ S
2	2	2	2
			
306 × 220	306 × 220	306 × 220	306 × 220
290 × 204	290 × 204	290 × 204	290 × 204
DZ12-60/3 IH=60A	DZ12-60/3 IH=40A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	DZ15-40/3 IH=15A
DZ12-60/3 IH=60A	3 × DZ12-60/1 IH=20A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	15A
DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
2013	2014	2015	2016
□ 03	□ 33	□ 32	333
3	3	3	3
			
392 × 220	392 × 220	392 × 220	392 × 220
376 × 204	376 × 204	376 × 204	376 × 204
DZ12-60/3 IH=30A	DZ12-60/3 IH=30A	DZ12-60/3 IH=20A	3 × DZ12-60/1 IH=10A
DZ12-60/3 IH=20A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	3 × DZ12-60/1 IH=10A
3 × DZ12-60/1 IH=10A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	3 × DZ12-60/1 IH=10A	3 × DZ12-60/1 IH=10A

箱型	DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
方案序号	2033	2034	2035	2036
方案编码	☐ 33333	☐ 0000	☐ 0003	☐ 0033
单元数	5	5	5	5
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	564 × 220	564 × 220	564 × 220
	明装	548 × 204	548 × 204	548 × 204
元件规格	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=60A	DZ12-60/3 1H=60A	DZ12-60/3 1H=60A
	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=20A	DZ12-60/3 1H=15A
	3 × DZ12-60/1 1H=20A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A
	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
箱型	DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
方案序号	2041	2042	2043	2044
方案编码	000033	000333	003333	033333
单元数	6	6	6	6
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	650 × 220	650 × 220	650 × 220
	明装	634 × 204	634 × 204	634 × 204
元件规格	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=20A	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=30A
	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=20A	DZ12-60/3 1H=40A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
	DZ12-60/3 1H=30A	DZ12-60/3 1H=20A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
	DZ12-60/3 1H=20A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A

续表


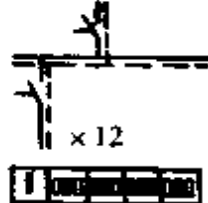
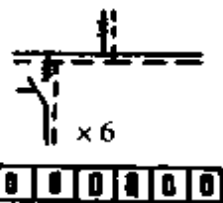
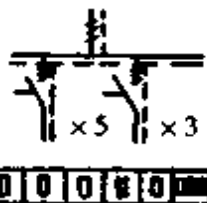
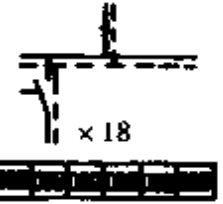
















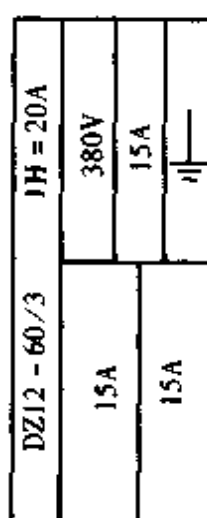
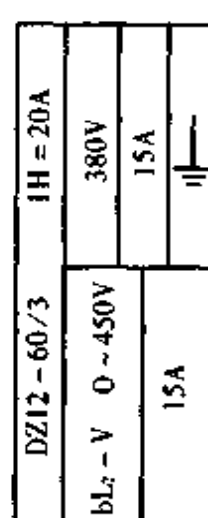
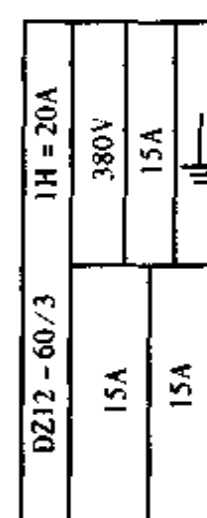
DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
2037	2038	2039	2040
□ 0333	□ 3333	□ 000000	□ 000003
5	5	6	6
			
564 × 220	564 × 220	650 × 220	650 × 220
548 × 204	548 × 204	634 × 204	634 × 204
DZ12-60/3 1H=50A	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=20A
DZ12-60/3 1H=15A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=40A	DZ12-60/3 1H=20A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=20A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A
		DZ12-60/3 1H=15A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
DCX-20	DCX-20	DCX-20	DCX-20
2045	2046	2047	2048
333333	□ 00000	□ 00003	□ 00033
6	6	6	6
			
650 × 220	650 × 220	650 × 220	650 × 220
634 × 204	634 × 204	634 × 204	634 × 204
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=60A	DZ12-60/3 1H=60A	DZ12-60/3 1H=60A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=20A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=20A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=20A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=15A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	DZ12-60/3 1H=20A	3 × DZ12-60/1 1H=10A
3 × DZ12-60/1 1H=10A	DZ12-60/3 1H=15A	3 × DZ12-60/1 1H=10A	3 × DZ12-60/1 1H=10A



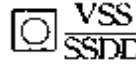

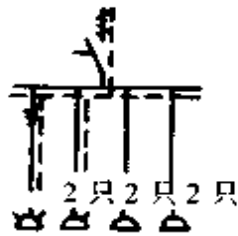
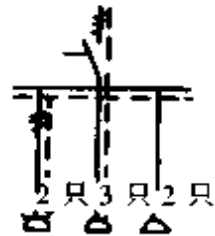





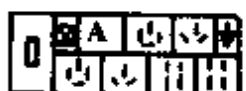
表 5.4.40 DCX-30 型组合式双排插座箱系统常用方案

箱型	DCX-30	DCX-30	DCX-30	DCX-30
方案序号	3001	3002	3003	3004
方案编码				
单元数	3	3	3	3
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	392 × 220	392 × 220	392 × 220
	明装	376 × 204	376 × 204	376 × 204
元件规格				



及主要元件技术数据

DX-30 3005	DX-30 3006	DX-30 3007	DX-30 3008																																
3	3	3	3																																
392 × 220	392 × 220	392 × 220	392 × 220																																
376 × 204	376 × 204	376 × 204	376 × 204																																
<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3</td> <td>IH = 20A</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>380V</td> </tr> <tr> <td>10A</td> <td>15A</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 20A	15A	380V	10A	15A			<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3</td> <td>IH = 20A</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>380V</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>15A</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 20A	15A	380V	15A	15A			<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3</td> <td>IH = 20A</td> </tr> <tr> <td>2 × LA18</td> <td>380V</td> </tr> <tr> <td>2 × NXD2-380V</td> <td>15A</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 20A	2 × LA18	380V	2 × NXD2-380V	15A			<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3</td> <td>IH = 20A</td> </tr> <tr> <td>10A</td> <td>380V</td> </tr> <tr> <td>10V</td> <td>15A</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 20A	10A	380V	10V	15A		
DZ12-60/3	IH = 20A																																		
15A	380V																																		
10A	15A																																		
DZ12-60/3	IH = 20A																																		
15A	380V																																		
15A	15A																																		
DZ12-60/3	IH = 20A																																		
2 × LA18	380V																																		
2 × NXD2-380V	15A																																		
DZ12-60/3	IH = 20A																																		
10A	380V																																		
10V	15A																																		

箱型	DCX-30	DCX-30	DCX-30	DCX-30																																																		
方案序号	3033	3034	3035	3036																																																		
方案编码																																																						
单元数	5	5	5	5																																																		
系统图方案																																																						
箱面单元排列																																																						
箱面尺寸	暗装	564 × 220	564 × 220	564 × 220																																																		
	明装	548 × 204	548 × 204	548 × 204																																																		
元件规格	<table border="1" data-bbox="319 1276 542 1780"> <tr><td>DZ12-60/3</td><td>IH = 20A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>11</td></tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 20A	2 × 10A	380V	2 × 10A	15A	10A	15A	10A	15A	10A	15A		11	<table border="1" data-bbox="614 1276 829 1780"> <tr><td>DZ12-60/3</td><td>IH = 30A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>15A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>11</td></tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 30A	15A	380V	15A	15A	2 × 10A	15A	2 × 10A	15A		11	<table border="1" data-bbox="901 1276 1117 1780"> <tr><td>DZ12-60/3</td><td>IH = 30A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>15A</td><td>6L<sub>2</sub>-V 0-450V</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>11</td></tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 30A	15A	380V	15A	6L <sub>2</sub> -V 0-450V	10A	15A	10A	15A		11	<table border="1" data-bbox="1197 1276 1412 1780"> <tr><td>DZ12-60/3</td><td>IH = 40A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>15A</td><td>6L<sub>2</sub>-A 0-50A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>11</td></tr> </table>	DZ12-60/3	IH = 40A	15A	380V	15A	6L <sub>2</sub> -A 0-50A	2 × 10A	15A	2 × 10A	15A		11
DZ12-60/3	IH = 20A																																																					
2 × 10A	380V																																																					
2 × 10A	15A																																																					
10A	15A																																																					
10A	15A																																																					
10A	15A																																																					
	11																																																					
DZ12-60/3	IH = 30A																																																					
15A	380V																																																					
15A	15A																																																					
2 × 10A	15A																																																					
2 × 10A	15A																																																					
	11																																																					
DZ12-60/3	IH = 30A																																																					
15A	380V																																																					
15A	6L <sub>2</sub> -V 0-450V																																																					
10A	15A																																																					
10A	15A																																																					
	11																																																					
DZ12-60/3	IH = 40A																																																					
15A	380V																																																					
15A	6L <sub>2</sub> -A 0-50A																																																					
2 × 10A	15A																																																					
2 × 10A	15A																																																					
	11																																																					






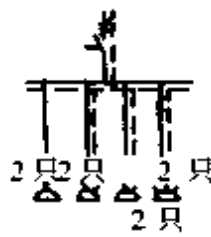




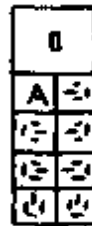

续表


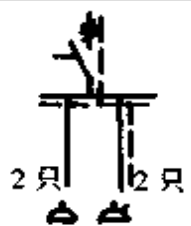

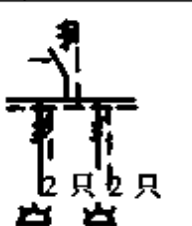




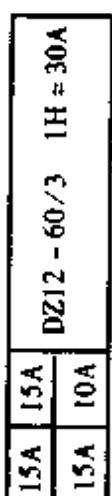
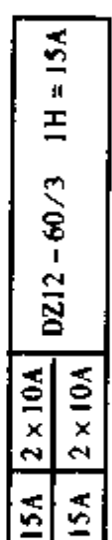
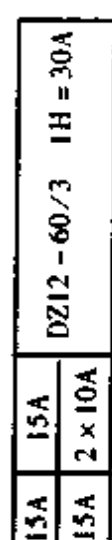
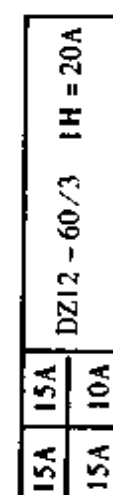
DCX-30 3037	DCX-30 3038	DCX-30 3039	DCX-30 3040																																																
5	5	5	5																																																
564 × 220	564 × 220	564 × 220	564 × 220																																																
548 × 204	548 × 204	548 × 204	548 × 204																																																
<table border="1"> <tr><td>DZ12 - 60/3</td><td>IH = 20A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>15A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>2 × 10A</td></tr> <tr><td></td><td>  </td></tr> </table>	DZ12 - 60/3	IH = 20A	15A	380V	15A	15A	2 × 10A	15A	2 × 10A	2 × 10A			<table border="1"> <tr><td>DZ12 - 60/3</td><td>IH = 20A</td></tr> <tr><td>999A 型</td><td>380V</td></tr> <tr><td>10A</td><td>8b<sub>1,2</sub> - V 0 - 450V</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>  </td></tr> </table>	DZ12 - 60/3	IH = 20A	999A 型	380V	10A	8b <sub>1,2</sub> - V 0 - 450V	2 × 10A	15A	2 × 10A	15A			<table border="1"> <tr><td>DZ12 - 60/3</td><td>IH = 20A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>  </td></tr> </table>	DZ12 - 60/3	IH = 20A	15A	380V	10A	15A	10A	15A	10A	15A			<table border="1"> <tr><td>DZ12 - 60/3</td><td>IH = 20A</td></tr> <tr><td>15A</td><td>380V</td></tr> <tr><td>15A</td><td>8b<sub>1,2</sub> - A 0 - 450A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>15A</td></tr> <tr><td></td><td>  </td></tr> </table>	DZ12 - 60/3	IH = 20A	15A	380V	15A	8b <sub>1,2</sub> - A 0 - 450A	2 × 10A	15A	2 × 10A	15A		
DZ12 - 60/3	IH = 20A																																																		
15A	380V																																																		
15A	15A																																																		
2 × 10A	15A																																																		
2 × 10A	2 × 10A																																																		
DZ12 - 60/3	IH = 20A																																																		
999A 型	380V																																																		
10A	8b <sub>1,2</sub> - V 0 - 450V																																																		
2 × 10A	15A																																																		
2 × 10A	15A																																																		
DZ12 - 60/3	IH = 20A																																																		
15A	380V																																																		
10A	15A																																																		
10A	15A																																																		
10A	15A																																																		
DZ12 - 60/3	IH = 20A																																																		
15A	380V																																																		
15A	8b <sub>1,2</sub> - A 0 - 450A																																																		
2 × 10A	15A																																																		
2 × 10A	15A																																																		

表 5.4.41 DCX-40 型组合式插座箱系

箱型	DCX-40	DCX-40	DCX-40	DCX-40																		
方案序号	441	442	443	444																		
方案编码	Λ □ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	□ ○ 3333	333333																		
单元数	6	6	6	6																		
系统图方案																						
箱面单元排列																						
箱面尺寸	暗装	650 × 220	650 × 220	650 × 220																		
	明装	634 × 204	634 × 204	634 × 204																		
元件规格	<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3-50A</td> </tr> <tr> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3-50A</td> </tr> </table>	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A	<table border="1"> <tr> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3-50A</td> </tr> <tr> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3 IH=15A</td> <td>DZ12-60/3-50A</td> </tr> </table>	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A	<table border="1"> <tr> <td>6 × DZ12-60/3 IH=10A</td> <td>6 × DZ12-60/1 IH=10A</td> </tr> </table>	6 × DZ12-60/3 IH=10A	6 × DZ12-60/1 IH=10A	<table border="1"> <tr> <td>6 × DZ12-60/1 IH=10A</td> <td>6 × DZ12-60/1 IH=30A</td> </tr> </table>	6 × DZ12-60/1 IH=10A	6 × DZ12-60/1 IH=30A
DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A																			
DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A																			
DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A																				
DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3 IH=15A	DZ12-60/3-50A																				
6 × DZ12-60/3 IH=10A	6 × DZ12-60/1 IH=10A																					
6 × DZ12-60/1 IH=10A	6 × DZ12-60/1 IH=30A																					

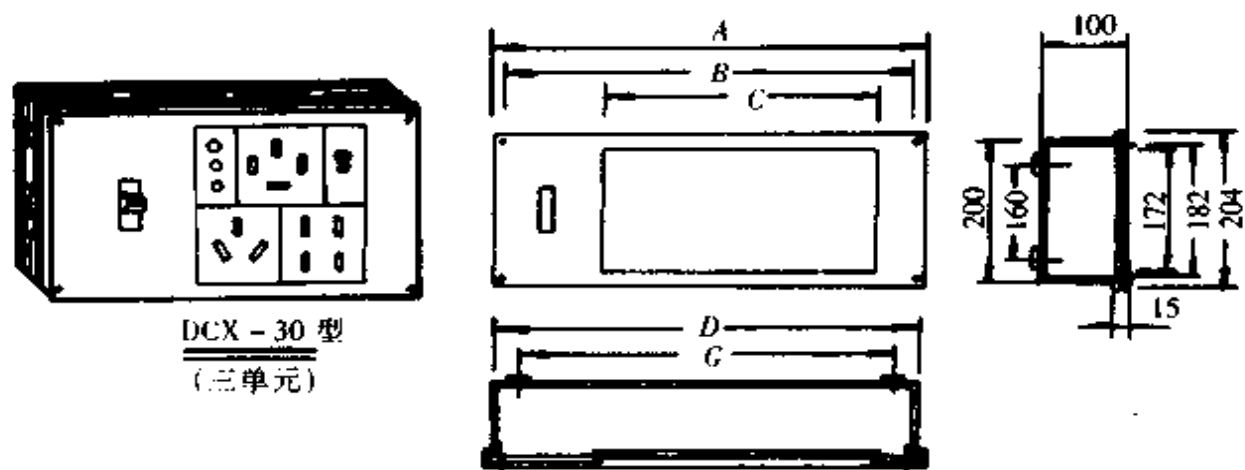
统常用方案及主要元件技术数据

DCX-40 445	DCX-40 446	DCX-40 447	DCX-40 448																																										
 DDDSSSS	 ddDDDDSS	 ASSSSSSS	 DDDDDddd																																										
6	6	6	6																																										
																																													
																																													
650 × 220	650 × 220	650 × 220	650 × 220																																										
634 × 204	634 × 204	634 × 204	634 × 204																																										
<table border="1" data-bbox="268 1305 371 1839"> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>10A</td><td>DZ12 - 60/3</td></tr> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>10A</td><td>IH = 50A</td></tr> </table>	15A	15A	15A	10A	DZ12 - 60/3	15A	15A	15A	10A	IH = 50A	<table border="1" data-bbox="555 1305 659 1839"> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>10A</td><td>10A</td><td>DZ12 - 60/3</td></tr> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>10A</td><td>10A</td><td>IH = 30A</td></tr> </table>	15A	15A	10A	10A	DZ12 - 60/3	15A	15A	10A	10A	IH = 30A	<table border="1" data-bbox="847 1283 951 1839"> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>15A - A</td><td>DZ12 - 60/1</td></tr> <tr><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>0 - 15A</td><td>IH = 30A</td></tr> </table>	15A	15A	15A	15A	15A - A	DZ12 - 60/1	15A	15A	15A	15A	0 - 15A	IH = 30A	<table border="1" data-bbox="1139 1294 1243 1854"> <tr><td>2 × 10A</td><td>2 × 10A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>DZ12 - 60/3</td></tr> <tr><td>2 × 10A</td><td>2 × 10A</td><td>15A</td><td>15A</td><td>IH = 20A</td></tr> </table>	2 × 10A	2 × 10A	15A	15A	DZ12 - 60/3	2 × 10A	2 × 10A	15A	15A	IH = 20A
15A	15A	15A	10A	DZ12 - 60/3																																									
15A	15A	15A	10A	IH = 50A																																									
15A	15A	10A	10A	DZ12 - 60/3																																									
15A	15A	10A	10A	IH = 30A																																									
15A	15A	15A	15A	15A - A	DZ12 - 60/1																																								
15A	15A	15A	15A	0 - 15A	IH = 30A																																								
2 × 10A	2 × 10A	15A	15A	DZ12 - 60/3																																									
2 × 10A	2 × 10A	15A	15A	IH = 20A																																									

箱型	DCX-40	DCX-40	DCX-40	DCX-40
方案序号	401	402	403	404
方案编码	□ DDSS	□ ddDD	□ DdSS	□ SSSS
单元数	4	4	4	4
系统图方案				
箱面单元排列				
箱面尺寸	暗装	478 × 220	478 × 220	478 × 220
	明装	462 × 204	462 × 204	462 × 204
元件规格				

续表

DCX-40 405	DCX-40 406	DCX-40 407	DCX-40 408																				
4	4	4	4																				
478 × 220 462 × 204	478 × 220 462 × 204	478 × 220 462 × 204	478 × 220 462 × 204																				
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>15A</td> <td>2 × 10A</td> <td rowspan="2">DZ12 - 60/3 1H = 20A</td> </tr> <tr> <td>999 型</td> <td>15A</td> </tr> </table>	15A	2 × 10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A	999 型	15A	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>15A</td> <td>10A</td> <td rowspan="2">DZ12 - 60/3 1H = 20A</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>10A</td> </tr> </table>	15A	10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A	15A	10A	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>15A</td> <td>2 × 10A</td> <td rowspan="2">DZ12 - 60/3 1H = 20A</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>15A</td> </tr> </table>	15A	2 × 10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A	15A	15A	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>15A</td> <td>2 × LA18</td> <td rowspan="2">DZ12 - 60/3 1H = 20A</td> </tr> <tr> <td>15A</td> <td>2 × NXD2 - 380V</td> </tr> </table>	15A	2 × LA18	DZ12 - 60/3 1H = 20A	15A	2 × NXD2 - 380V
15A	2 × 10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A																					
999 型	15A																						
15A	10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A																					
15A	10A																						
15A	2 × 10A	DZ12 - 60/3 1H = 20A																					
15A	15A																						
15A	2 × LA18	DZ12 - 60/3 1H = 20A																					
15A	2 × NXD2 - 380V																						



DCX-30 型  
(三单元)

mm

	三单元	四单元	五单元	六单元
A	376	462	548	634
B	354	440	526	612
C	172	258	344	430
D	372	458	544	630
G	332	418	504	590

图 5.4.20 DCX-30 型组合式双排插座箱外形尺寸图

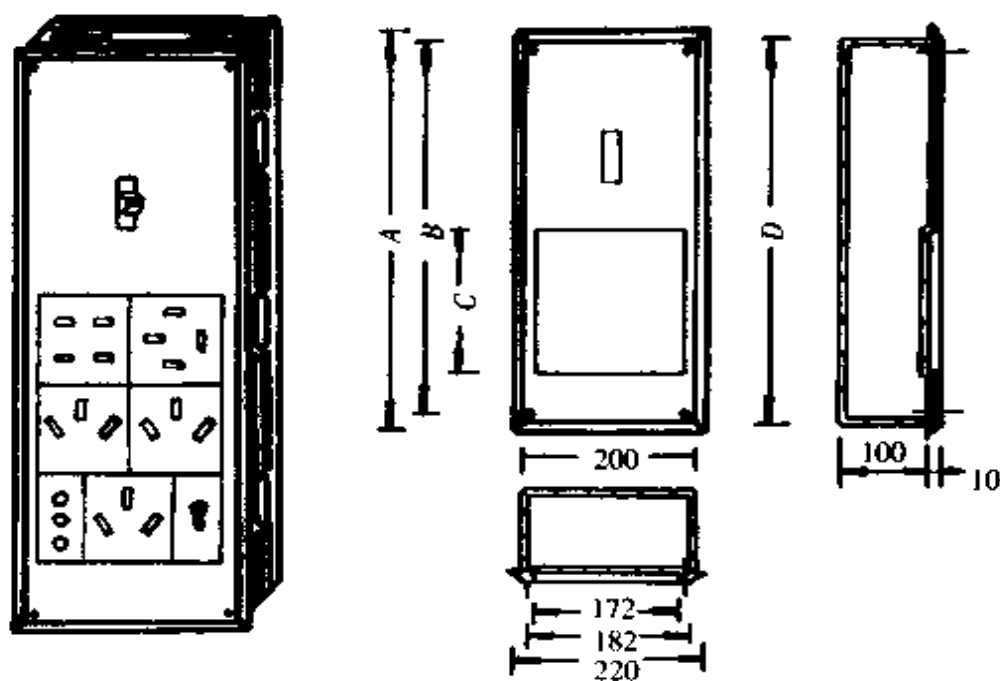


图 5.4.21 (图题见下页)



	mm			
	三 单 元	四 单 元	五 单 元	六 单 元
A	392	478	564	650
B	354	440	526	612
C	172	258	344	430
D	372	458	544	630

图 5.4.21 DCX-40 型组合式安装插座箱外形尺寸图

### 2.6.6 DZX 系列组合式配电箱

本系列配电箱为照明和小容量的动力配电装置,可作为工矿企业、民用建筑室内照明及动力供配电使用。

该产品结构紧凑、安全性能可靠、在单相和三相四线制线路中使用,还具有漏电、过载和短路保护措施。

DZX<sub>1</sub> 型配电箱是由 DZ<sub>12</sub> 型自动开关、HF-Ⅱ 型熔断器和 DZ<sub>12</sub>L 型漏电开关组合成 3、4、5、6 回路的数十种类型的配电箱。

DZX<sub>2</sub> 型配电箱是由主开关为 DZ<sub>12</sub> 型自动开关及单相插座、三相插座、指示灯、控制按钮等组合成数十种不同用途的组合插座箱,可供大专院校、科研单位、生产单位连接各种小型设备电源之用。

DZX<sub>1</sub> 型配电箱每单元宽度为 75mm, DZX<sub>2</sub> 型配电箱每单元宽度为 86mm。

DZX<sub>1</sub> 型和 DZX<sub>2</sub> 型组合配电箱的常用接线方案如表 5.4.42 和表 5.4.43 所列。

DZX<sub>1</sub> 型和 DZX<sub>2</sub> 型组合配电箱的外形及安装尺寸分别见图 5.4.22 和图 5.4.23 所示。

表 5.4.42 DZX<sub>1</sub> 型组合式配电箱常用接线方案

型号	DZX <sub>1</sub> (R)-3-001D	DZX <sub>1</sub> (R)-3-002D	DZX <sub>1</sub> (R)-3-003D	DZX <sub>1</sub> (R)-3-004D	DZX <sub>1</sub> (R)-3-005D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 30A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-Ⅱ6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × FH-Ⅱ6A 3 × FH-Ⅱ6A	DZ12L-60(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12L-60(L <sub>H</sub> = 30A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-6A
型号	DZX <sub>1</sub> (R)-4-011D	DZX <sub>1</sub> (R)-4-012D	DZX <sub>1</sub> (R)-4-013D	DZX <sub>1</sub> (R)-4-014D	DZX <sub>1</sub> (R)-4-015D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-Ⅱ6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-Ⅱ6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) 3 × FH-Ⅱ6A 3 × FH-Ⅱ6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) DZ12L-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)

续表

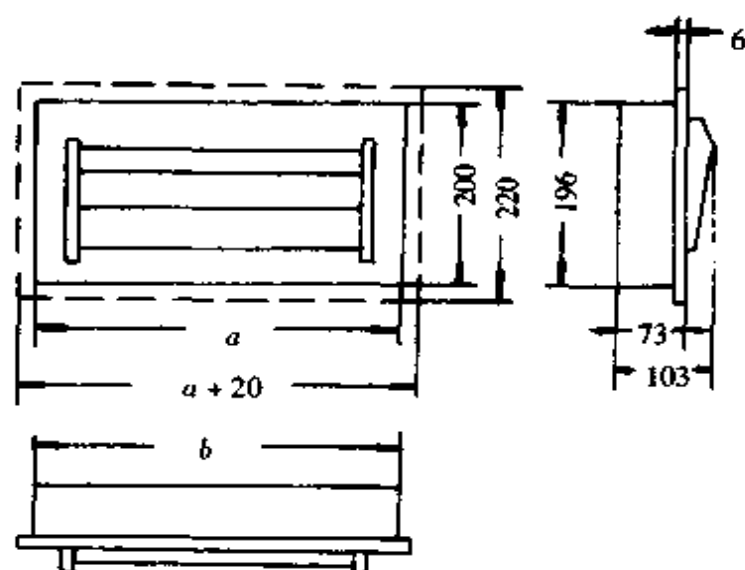
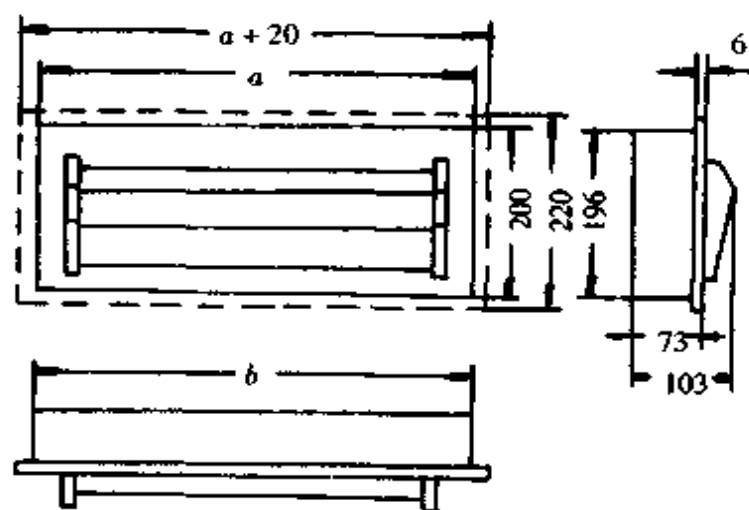
型号	DZX <sub>1</sub> (R)-5-031D	DZX <sub>1</sub> (R)-5-032D	DZX <sub>1</sub> (R)-5-033D	DZX <sub>1</sub> (R)-5-034D	DZX <sub>1</sub> (R)-5-035D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-II 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-II 6A 3 × FH-II 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × FH-II 6A 3 × FH-II 6A 3 × FH-II 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 3 × FH-II 6A 3 × FH-II 6A 3 × FH-II 6A
型号	DZX <sub>1</sub> (R)-6-101S	DZX <sub>1</sub> (R)-6-102S	DZX <sub>1</sub> (R)-6-103S	DZX <sub>1</sub> (R)-6-104S	DZX <sub>1</sub> (R)-6-105S
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 60A) DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 3 × DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A)

表 5.4.43 DZX<sub>2</sub> 型组合式配电箱常用接线方案

型号	DZX <sub>2</sub> (R)-3-121D	DZX <sub>2</sub> (R)-3-122D	DZX <sub>2</sub> (R)-3-123D	DZX <sub>2</sub> (R)-3-124D	DZX <sub>2</sub> (R)-3-125D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 10A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 10A) 6A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A NXD <sub>2</sub> -220V	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 16A) 6A NXD <sub>2</sub> -220V
型号	DZX <sub>2</sub> (R)-4-141D	DZX <sub>2</sub> (R)-4-142D	DZX <sub>2</sub> (R)-4-143D	DZX <sub>2</sub> (R)-4-144D	DZX <sub>2</sub> (R)-4-145D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 10A 10A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 10A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 6A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 6A 6A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 15A) 10A 6A NXD <sub>2</sub> -220V

续表

型号	DZX <sub>2</sub> (R) - 5 - 181D	DZX <sub>2</sub> (R) - 5 - 182D	DZX <sub>2</sub> (R) - 5 - 183D	DZX <sub>2</sub> (R) - 5 - 184D	DZX <sub>2</sub> (R) - 5 - 185D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 10A 10A 6A NXD <sub>2</sub> -220V	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 10A 6A 6A NXD <sub>2</sub> -220V	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 6A 6A 6A NXD <sub>2</sub> -220V	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 10A 10A 2 × LA18 NXD <sub>2</sub> -220V	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 20A) 10A 6A 2 × LA18 NXD <sub>2</sub> -220V
型号	DZX <sub>2</sub> (R) - 6 - 201D	DZX <sub>2</sub> (R) - 6 - 202D	DZX <sub>2</sub> (R) - 6 - 203D	DZX <sub>2</sub> (R) - 6 - 204D	DZX <sub>2</sub> (R) - 6 - 205D
接线方案图					
面板排列					
组成元件	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 10A 10A 10A 10A 10A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 30A) 10A 10A 10A 10A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 40A) 10A 10A 10A 6A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 30A) 10A 10A 6A 6A 6A	DZ12-60/1(L <sub>H</sub> = 30A) 10A 6A 6A 6A 6A

图 5.4.22 DZX<sub>1</sub> 型组合式配电箱外形及安装尺寸图

mm				
	三回路	四回路	五回路	六回路
<i>a</i>	358	444	530	616
<i>b</i>	354	440	526	612

图 5.4.23 DZX<sub>2</sub> 型组合式配电箱外形及安装尺寸图

注:虚线为暗嵌式配电线面板尺寸

## 第五章 电焊机

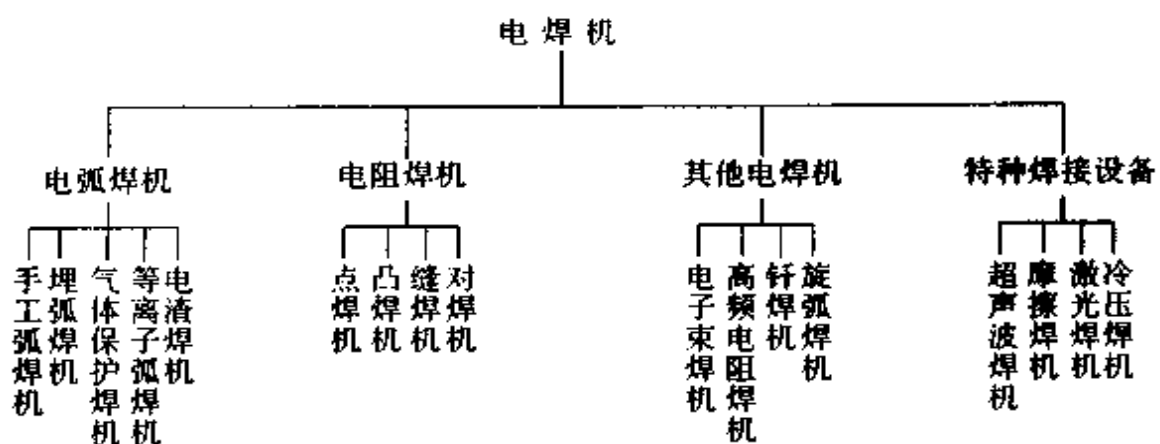
### 1 常用电焊机的分类及名词术语

#### 1.1 电焊机的分类和用途

目前,世界上先进工业国家焊接设备的品种、规格已多达 500 余种。电焊机按焊接热源和原理分,有电弧焊机和电阻焊机两种基本类型。前者通过电弧产生的热量熔化工件结合处而实现焊接;后者通过大电流使工件结合处产生电阻热达到塑熔并加压而实现焊接。随着生产和科学技术的发展,采用其他新能源或新焊接原理的焊接设备也在不断增加。

电焊机主要类别见表 5.5.1。

表 5.5.1 电焊机主要类别



各类电焊机特点及用途见表 5.5.2。

表 5.5.2 电焊机的特点及用途

类别	种类	特点	主要用途
电弧焊机	手工电弧焊机	<p>系指药皮焊条电弧焊的焊机,通常由弧焊变压器、直流弧焊发电机或弧焊整流器三种弧焊电源配以焊钳组成。</p> <p>手工弧焊变压器是一种具有高漏抗电磁结构的下降外特性变压器。</p> <p>手工直流弧焊发电机,是一种具有去磁或分磁作用励磁系统的下降外特性直流发电机,通常以电动机或内燃机驱动。</p> <p>手工弧焊整流器,是一种具有下降外特性的变压器或与磁放大器的组合体,利用半导体整流元件将交流电转变为直流电或利用晶闸管、大功率晶体管作为可控整流元件获得下降外特性。</p>	用于手工交流电弧焊焊接碳钢或手工直流电弧焊焊接碳钢、合金钢、不锈钢、耐热钢等材料
	埋弧焊机	电弧在焊剂层下燃烧,利用颗粒状焊剂作为金属熔池的覆盖层。焊剂靠近熔池处熔融并形成气包将空气隔绝,使空气不侵入熔池,这类焊机常制成自动焊车式。	用于中厚度钢板直缝和环缝拼接
	惰性气体保护焊机	利用惰性气体作为金属熔池的保护层,将空气隔绝,不使熔池受空气的侵入。常用惰性气体的种类是氩气。	用于轻金属及不锈钢、耐热钢等材料焊接
	二氧化碳弧焊机	利用廉价的二氧化碳气体作为金属熔池的保护层,焊丝的熔化速度较高,如使用管状焊丝还可在焊缝中渗入合金元素。	用于普通碳素钢及低合金钢材料的焊接
	等离子弧焊机	利用惰性气体,如氩、氮作保护,并压缩电弧产生高温等离子弧作为熔化金属的热源进行焊接。这种焊机的特点是电弧能量集中、温度高、穿透能力强。	用于铜、铝及其合金、不锈钢及其他难熔金属的焊接
电阻焊机	点焊机	利用强大的电流流过被焊金属,将接合点加热至塑熔状态,并施加压力形成焊点。	主要用于金属薄板点焊
	凸焊机	焊接原理、焊机结构型式与点焊机相同。但电极是平面板状。被焊金属的焊接处预先冲成凸出点,在压紧通电状态下一次可以形成几个焊点。	用于薄板不等厚度焊件或有电镀层的金属板焊接
	缝焊机	焊机结构型式类似点焊机。电极是一对滚轮,被焊金属经过滚轮电极的通电与挤压,即形成一连串焊点。	用于薄板缝焊
	对焊机	利用强大的电流流过两根被焊工件的接触点,将金属接触端面加热成塑性状态并施加顶锻压力,即形成焊接接头。	用于棒料、钢管、线材、板材等对接焊



续表

类别	种类	特点	主要用途
其他电焊机	电子束焊机	利用高速运动的电子轰击被焊金属时产生的热量将金属加热熔化达到焊接目的。其特点是焊缝深宽比大,热影响区小,焊后不需再加工,焊缝不受空气侵入,焊接质量高	用于难熔及活性金属如钨、钼、钎、钽、铌等材料的焊接
	高频电阻焊机	利用高频电流将金属加热焊接,其特点是能量集中,焊接速度高	适用于钢管纵缝对接焊
	电渣焊机	利用电流通过液态焊剂(渣池)产生电阻热使金属熔化焊接。焊接时将填充金属(焊丝或板极)连续不断地送入渣池,使其熔化为液态金属,填补焊缝间隙而形成焊缝	适用于重型机械制造大厚度钢材的拼接
	钎焊机	利用电阻或高频感应加热,将两被焊工件间的低熔点合金熔化而达到焊接	适用于刀具或其他难以用电弧及电阻焊实现焊接的零件焊接
特种焊接设备	超声波焊机	利用超声波机械振动的能量,在压力状态下使被焊金属结合而焊接	适用于金属薄膜、细丝及工件等导电性能差的材料焊接,或要求焊缝热影响区小的工件焊接
	摩擦焊机	利用被焊工件高速旋转摩擦产生的热量将金属加热,待达到适宜于焊接的温度时,立即快速制动停止旋转,并施加顶锻压力,即完成焊接过程。这类焊机的结构型式与对焊机类似。被焊工件的旋转动力,一般以电动机驱动	适用于钢棒、钢管对接焊和异种金属的对接焊
	激光焊机	利用激光光源,经聚焦系统聚焦后,所得高能量的光束将金属熔化而焊接	适用于金属与非金属材料焊接,如集成电路金属封盖与陶瓷底座焊接
	冷压焊接	利用挤压机构产生的压力,将两被焊工件挤压达到分子与分子相互结合而焊接	适用于铝—铝、铜—铜、铝—铜对接焊

## 1.2 电焊机专用名词术语

### 1.2.1 一般术语

(1)电焊机:将电能转换为焊接能量的整套装置设备,包括焊接电源、辅助设备及焊接附件。

(2)(电)弧焊机:用电弧供给焊接能量的焊机。

(3)半自动弧焊机:由手工操作焊枪或焊炬沿焊缝移动,由机械方式输送焊丝或填充焊丝的(电)弧焊机。

(4)自动弧焊机:用机械方式完成电弧相对于工件的移动及输送焊丝或填充焊丝,并可自动地进行电弧调节的(电)弧焊机。

(5)埋弧焊机:在颗粒状焊剂层下,利用焊丝与母材或焊丝间电弧的热量,进行焊接的焊机。

(6)气体保护弧焊机:为避免大气对电弧及熔融金属的影响而利用气体(如惰性气体、 $\text{CO}_2$  气体或混合气体)作保护进行焊接的弧焊机。

(7)二氧化碳弧焊机:采用熔化极、以  $\text{CO}_2$  作为主要保护气体的弧焊机。

(8)钨极惰性气体保护弧焊机:用工业纯钨或活性钨作不熔化电极、惰性气体作保护的弧焊机,可简称 TIG 焊机。

(9)熔化极惰性气体保护弧焊机:用金属熔化极作电极、惰性气体作保护的弧焊机,可简称 MIG 焊机。

(10)等离子弧焊机:用电极与工件间产生压缩的转移电弧或电极与压缩喷嘴间产生的非转移电弧来熔化金属进行焊接的焊机。由喷嘴孔喷出的炽热而电离的气体,对熔融金属作保护,保护气体可由附加的气源供给,焊时可加或不加填充金属。

(11)微束等离子弧焊机:焊接电源通常小于 25A 的等离子弧焊机。

(12)带极堆焊机:用带状熔化电极,以埋弧或气体保护作自动堆焊的焊机。

(13)电渣焊机:利用电流通过熔化极和导电熔化渣池的电阻热效应,使电极经渣池,溶入熔池,由逐渐上升的冷却滑块保持接缝间的金属熔池和熔化渣池,使焊接过程向上进行焊接的焊机。

(14)电子束焊机:供给和控制电子束焊接能量,以进行电子束焊接的整套装置,必要时带有操纵系统。根据工件在焊接时所处环境的真空度,一般可分为:高真空电子束焊机、低真空电子束焊机、非真空电子束焊机。

(15)(电)阻焊机:利用电流通过工件及焊接接触面间的电阻产生热量,同时对焊接处加压进行焊接的焊机。

(16)点焊机:在电极间的工件上产生点状焊接的电阻焊机。焊点的面积近似等于电极端头的面积,在整个焊接过程中,通常压力是通过电极连续地加到焊点上

的。

(17)凸焊机:利用结合面已形成的一个或几个凸出部位,焊接时焊接电流和压力局限于通过这些凸出部位,并将其压溃成焊点或焊道的电阻焊机。

(18)缝焊机:工件置于滚轮电极间或滚轮电极与条状电极之间,连续地滚压和间歇或连续地施加电流,形成线状焊缝的电阻焊机。

(19)电阻对焊机:两工件对接,通过夹头传递电流和压力,在连续加压下通电达到顶锻温度,完成焊接的电阻焊机。

(20)闪光对焊机:通过夹头传递电流和压力于工件,使接合面间轻微接触,在接触点熔化时产生电弧,工件被加热熔化,产生金属蒸气压力,使液态金属喷射闪光,这一过程反复进行,电弧反复熄灭和产生,直至快速施以顶锻压力完成焊接的焊机。闪光之前工件可由另外的电源预热,或者由重复的脉冲电流预热。

(21)电容贮能点焊机:在工件加压的瞬间将贮存在电容器内的电能通过变压器释放到焊点上,以此能量来作点焊的电阻焊机。

(22)高频电阻焊机:通过(电极)接触,向工件导入频率为10kHz或以上的交流电,使焊接相邻部位表面局部产生热量,随之施加挤压力而进行焊接的电阻焊机。

(23)螺栓焊机:把金属螺栓或类似零件的整个端面焊于工件上的焊机。有电弧、电阻、摩擦或其他合适加热方式,焊接时要加压,可加或不加保护气体。

### 1.2.2 结构组成的一般术语

(1)焊接电源:为焊接提供电流、电压并具有适合该焊接方法所要求的输出特性的设备。①焊接变压器:在(交流)主电网与焊接回路之间加以隔离的变压器电源。②焊接整流器:由整流器组件、变压器和主开关(或其他)装置等组成的焊接电源,用以把交流转换成直流。

(2)电极:焊接回路的组成部分,用以传输电能至金属表面,以形成焊接。①弧焊(切割)电极:弧焊(切割)用的棒、丝或管状电极。②(电)阻焊电极:用以向焊件传送焊接电流的电极,焊接所需压力加于这样的两个电极之间。

(3)(单相)弧焊变压器:供给焊接电弧能量的单相焊接变压器,通常具有下降电压特性。

(4)单(多)相弧焊整流器:由单(多)相弧焊变压器及整流器组件构成的焊接电源,用以提供直流输出。

(5)直流弧焊发电机:由原动机驱动,从换向器输出直流的旋转焊机,其电压特性符合焊接过程的要求。

### 1.2.3 技术性能和参数的一般术语

(1)负载持续率(电焊机):负载工作的持续时间与全周期时间的比值介于0~1之间,可用百分数表示。

(2)负载电压(弧焊电源):当一规定的电流通过实际上无感电阻负载时,在焊接电源输出端子间(即连接电极端子和返回导线的端子间)的电压。

(3)额定焊接电流:在约定焊接工作制,约定负载电压下,约定焊接电流的最大值。

(4)额定最大(小)电流:在最大(小)挡(位置)约定负载电压下,对电源可能供给的最大(小)电流值,对附件是指定的最大(小)电流值。

(5)额定短路电流:当外电路的总电阻介于0.008至0.01 $\Omega$ 时,具有下降特性的电源处于最大调节位置时所能供给的电流。

(6)空载电压(弧焊电源):外电路开路时,焊接电源输出端之间的电压,应不包括任何高频稳弧电压。

(7)电弧电压:两电极间或电极与工件间,尽量靠近电弧处测得的电压。

(8)外特性(弧焊电源):不同负载时,稳态负载电流与端电压之间的关系。

(9)下降特性(弧焊电源):在正常焊接范围内,电流增加时电压降落大于7V/100A的外特性。

(10)平特性(弧焊电源):在正常焊接范围内,电流增加时,电压降落小于7V/100A或上升小于10V/100A的外特性。

### 1.2.4 电阻焊机的技术性能和参数

(1)标称焊接周期:时间为60s,负载持续率为50%的焊接周期。

(2)最大短路电流:焊机置于最大调节挡位置施加额定电源电压,电极按标准试验方法规定短路,依以下次序测得的均方根值电流:最小阻抗(最小电极臂伸出长度和间距);最大阻抗(最大电极臂伸出长度和间距)。

(3)最大短路功率:指焊机输入端的最大视在功率。即在最大调节挡位置,电极按标准试验方法规定短路,焊机调到适合这一情况的最小次级阻抗作短路试验测得的视在功率。

(4)最大焊接功率:规定为最大短路功率的80%。

(5)负载持续率为50%的标称功率:在整个标称焊接周期内工作而不过载的最大输入视在功率。

(6)连续功率:在100%负载持续率下工作而不过载的最大输入视在功率与负载持续率为50%的标称功率的关系如下式: $S_p = \frac{S_n}{\sqrt{2}}$ ,式中 $S_p$ 为连续功率(W); $S_n$ 为标称功率(W)。

(7)负载持续率为50%标称电流:在标称焊接周期内焊机按实际或假设的工

作运行而不过载时,从变压器的各个不同调节挡上所取得的最高电流。

(8)连续电流:供焊机连续工作的电流,其值如下式: $I_{2p} = \frac{I_{2n}}{\sqrt{2}}$ ,式中  $I_{2p}$  为连续电流(A);  $I_{2n}$  为标称电流(A)。

(9)电极臂间距:①对于凸焊机,指两个电极台板之间的有效距离。②对于对焊机,指一对夹紧钳口之间可接近而不碰到的距离。

(10)电极臂伸出长度:①对于点焊、凸焊和缝焊机,指电极间的轴线、电极台板间的中心线或焊轮间的接触中心线与焊机机身的最近构件间的有效距离。②对于对焊机,指垂直于顶锻方向,焊机机身壁与钳口夹紧面,最远处之间的距离。

(11)电极行程:①当电极或夹紧钳与驱动缸直接相连,电极的最大行程等于驱动缸的总行程。②当动电极与杠杆摇臂相连,电极的最大行程等于动电极轴线上的一点在全行程中所走的弧线的弦长。即这一点位于动电极轴线上与固定电极头接触面的相交处,电极间所形成的最大行程。

(12)点焊、凸焊和缝焊的最大(小)电极力(电阻焊):焊接时,施加给工件的最大(小)作用力。

(13)对焊机的最大(小)顶锻力:焊接时,施加给工件的最大(小)挤压力。

(14)对焊机最大夹紧力:通过夹紧钳口作用于工件的夹紧部分的最大夹紧力。当在最大顶锻力作用时,能防止工件在钳口内打滑,并保持与电极有良好的接触。

(15)预压时间:电阻焊时,从电极开始加压至开始通电的一段时间。

(16)加热时间:在脉动焊和缝焊时,相继焊接电流的持续时间。

(17)冷却时间:在脉动焊和缝焊中,在同一焊接周期内两个前后相继的加热时间之间的一段时间。

(18)焊接(通电)时间:电阻焊时的每个焊接循环中,自焊接电流接通到焊接电流停止的持续时间。

(19)维持时间:在焊接期间,电流终止到电极压力去除之间的一段时间。

(20)休止时间:在点、凸、缝焊中,在两个相继的焊接循环之间,工件上不加电极压力的一段时间。

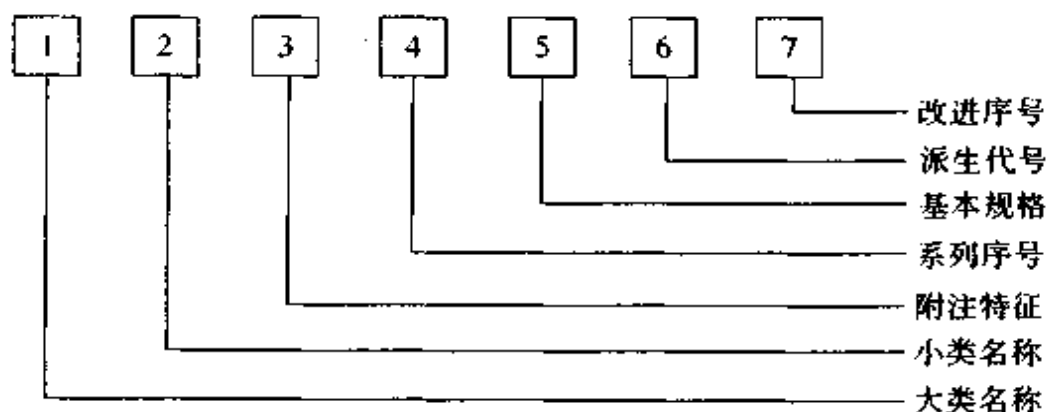
(21)(非)同步(引燃)起动(电阻焊):在电阻焊中,阻焊变压器的初级电流可在电压波任一相位下导通或关断,称非同步(引燃)起动;在点、凸、缝焊中,能控制阻焊变压器的初级电流各半周波在指定相位导通和关断,使其各半周波的电流具有同样波形,称同步(引燃)起动。

## 2 常用电焊机的型号编制方法

### 2.1 产品型号的组成

采用汉语拼音字母及阿拉伯数字。

### 2.2 产品型号的编排次序



(1) 型号中 **1** **2** **3** **6** 各项用汉语拼音字母表示。

(2) 型号中 **4** **5** **7** 各项用阿拉伯数字表示。

(3) 型号中 **2** **3** **4** **6** **7** 项如不用时,其他各项排紧。

(4) 附注特征和系列序号用于区别同一小类的各系列和品种,包括通用和专用产品。

(5) 派生代号以汉语拼音字母的顺序编排。

(6) 改进序号,按生产改进次数连续编号。

(7) 特殊环境用的产品在型号末尾加注代表字母,见表 5.5.3。

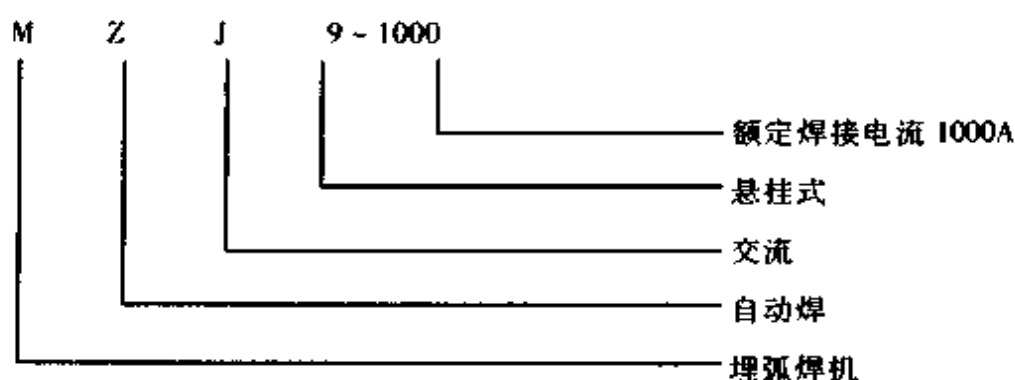
表 5.5.3 特殊环境用产品的代表字母

特殊环境	代表字母
热带	T
湿热带	TH
干热带	TA
高原	G

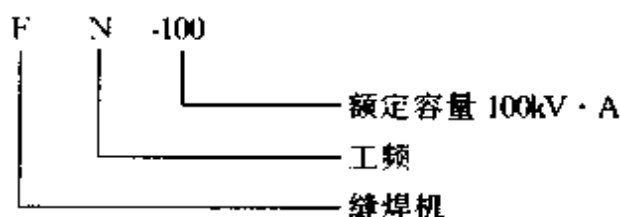
(8) 可同时兼作两大类焊机使用时,其大类名称的代表字母按主要用途选取。

(9) 编制型号举例:

① 悬挂式自动交流埋弧焊机,额定焊接电流 1000A。



②通用工频缝焊机,电极垂直运动式,额定容量  $100\text{kV}\cdot\text{A}$ 。



### 3 电弧焊机

电弧焊机按其运行方式可分为三大类:

(1)手工电弧焊机:焊接电弧的移动由人工操作,一般以手工焊钳或手工焊炬与相应的弧焊电源和控制系统组成,如药皮焊条手工弧焊机,钨极手工氩弧焊机等。

(2)半自动弧焊机:焊丝由机械送给机构连续送入焊接电弧区,焊接电弧移动靠人工操作。焊机由焊枪、送丝机和相应的弧焊电源及控制系统组成。

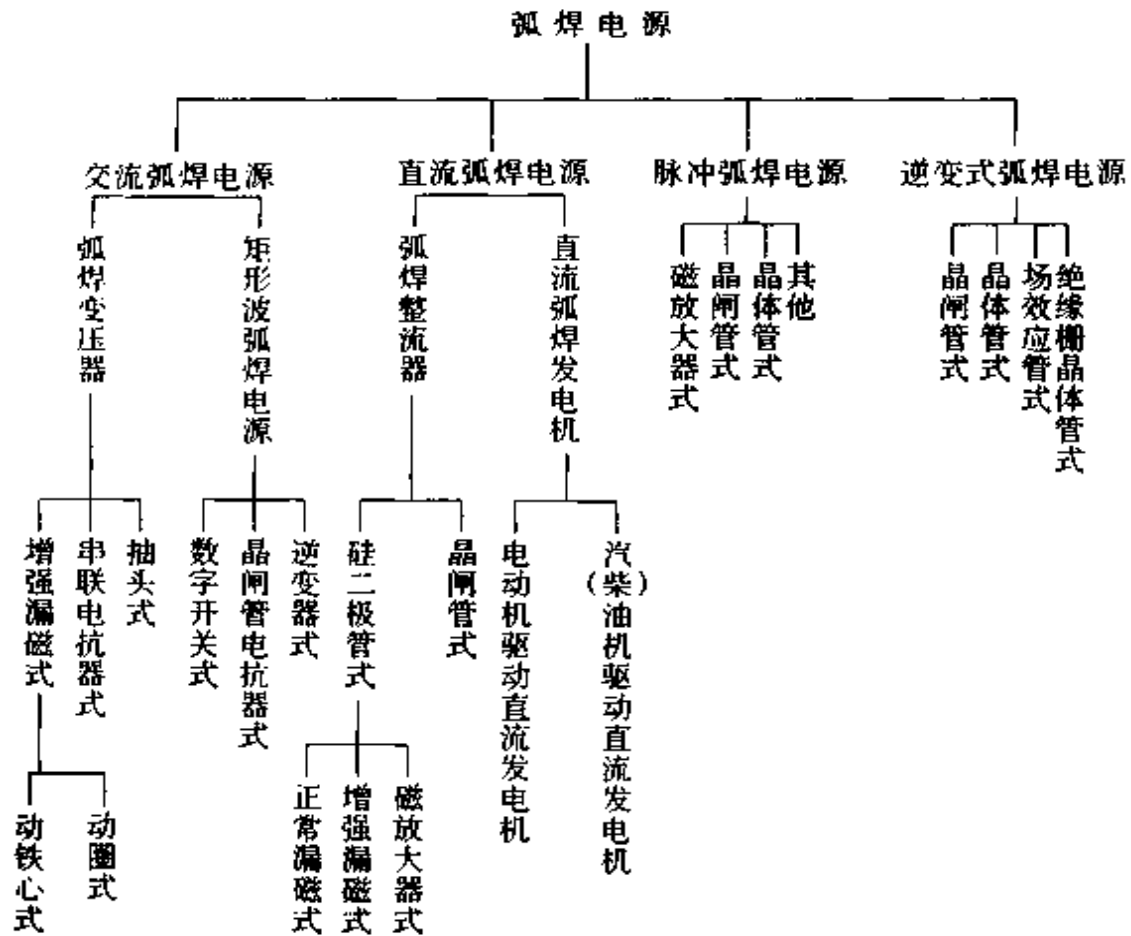
(3)自动弧焊机:焊丝输送及电弧移动由机械装置自动完成。焊机由焊接小车、送丝机、焊炬和相应的弧焊电源及控制系统等组成。

#### 3.1 弧焊电源

##### 3.1.1 弧焊电源分类

弧焊电源是电弧焊机中的主要部分,是对焊接电弧提供电能的一种装置。它必须具备电弧焊接所必需的主要电气特性,保证焊接过程中电弧的稳定燃烧和焊接过程的顺利进行,并得到良好的焊接接头。弧焊电源可分为四大类型:交流弧焊电源、直流弧焊电源、脉冲弧焊电源和逆变式弧焊电源。每一类型弧焊电源根据其结构特点不同,还可细分为多种型式,见表 5.5.4。

表 5.5.4 弧焊电源分类



注:上述弧焊电源中磁放大器式弧焊整流器、电动机驱动直流弧焊发电机属高耗能、耗材的淘汰产品,不应选用。

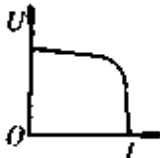
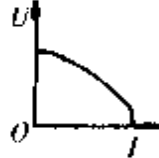
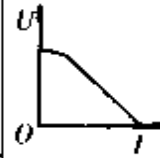
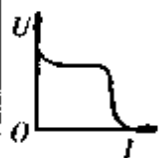
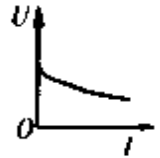
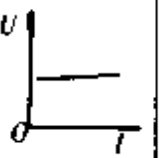
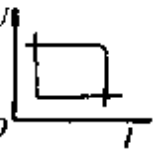
### 3.1.2 对弧焊电源的基本要求

弧焊电源要求结构简单、轻巧,制造容易,消耗材料少,节省电能,使用安全可靠、性能良好和容易维修。并应满足弧焊工艺对电源性能的特殊要求:保证引弧容易,电弧稳定燃烧,焊接规范调节范围宽和参数稳定。为了满足上述工艺要求,弧焊电源的电气性能应考虑以下三个方面。

3.1.2.1 对弧焊电源静态外特性的要求 各种不同的焊接方法,为了获得稳定的燃烧电弧,要求电源具有不同的静态外特性,见表 5.5.5。



表 5.5.5 弧焊电源外特性形状的分类及其适用范围

外特性	下降特性				平特性		双阶梯形特性
图形							
特征	在运行范围内 $I_1 =$ 常数, 又称垂直下降特性或恒流特性	$U=f(I)$ 图形接近 1/4 椭圆, 又称缓降特性, 其焊接电流变化较恒流特性大	在运行范围内 $U=f(I)$ 图形接近一斜线, 又称缓降特性	在运行范围内恒流带外拖, 外拖的斜率和拐点可调节	在运行范围内 $U =$ 常数, 又称恒压特性, 有时电压稍有下降	在运行范围内, 随电流增加电压稍有增高, 有时称上升特性	由 L 型和 T 型外特性切换而成双阶梯外特性
一般适用范围	钨极氩弧焊、非熔化极等离子弧焊	一般焊条手工弧焊, 变速送丝埋弧焊	一般焊条手工弧焊, 特别适合立焊、仰焊。粗丝 $CO_2$ 焊、埋弧焊	一般焊条手工弧焊	等速送丝的粗、细丝气体保护焊和细丝 (直径 $< 3mm$ ) 埋弧焊	等速送丝的细丝气体保护焊 (包括水下焊)	熔化极脉冲弧焊, 微机控制的脉冲自动弧焊

注: 各种电弧焊接时的规定负载特性如下:

$U_2 = 20 + 0.04I_2$  —— 药皮焊条手工电弧焊电源 (当电流超过 600A 时, 电压为 44V 不变);

$U_2 = 10 + 0.04I_2$  —— TIG 焊电源 (当电流超过 600A 时, 电压保持 34V 不变);

$U_2 = 14 + 0.05I_2$  —— MIG/MAG 焊电源 (当电流超过 600A 时, 电压保持 44V 不变)。

3.1.2.2 对弧焊电源调节性能的要求 为了获得一定范围所需的焊接电流和电压, 弧焊电源的外特性必须可以均匀调节。下降特性的弧焊电源, 其电流调节范围要求 (参见图 5.5.1) 为:

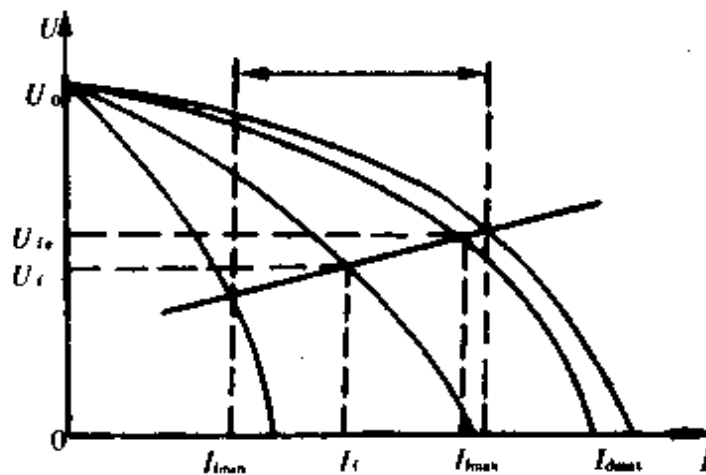


图 5.5.1 下降外特性电源的可调参数

$U_0$ —空载电压  $I_{min}$ —最小短路电流

$I_{max}$ —最大短路电流 其余符号见说明

$$I_{\max}/I_c \geq 1.0;$$

$$I_{\min}/I_c \leq 0.20 \text{ (TIG 焊要求 } I_{\min}/I_c \leq 0.10)$$

式中  $I_c$ ——额定焊接电流(A);

$I_{\max}$ ——最大焊接电流(A);

$I_{\min}$ ——最小焊接电流(A)。

平特性弧焊电源,其电压调节范围为最大工作电压  $U_{\max}$  与最小工作电压  $U_{\min}$  之间调节,要求弧焊电源在规定的负载条件下,经调节而获得稳定的工作电压(见图 5.5.2)。

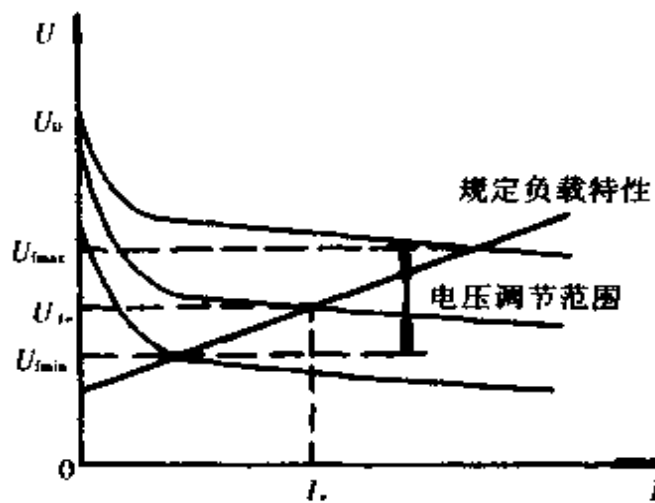


图 5.5.2 平特性电源可调参数

$U_0$ —空载电压  $U_{\max}$ —最大工作电压  $U_{\min}$ —最小工作电压

$U_c$ —额定工作电压  $I_c$ —额定工作电流

3.1.2.3 对弧焊电源动特性的要求 在手工弧焊采用短路引弧及熔化极气体保护焊采用短路过渡等情况下,其电弧长度、电弧电压和电流都将产生瞬间的变化,这就需要对弧焊电源动特性提出相应的要求。

弧焊电源瞬态工作状态有:空载至短路;负载至短路;短路至空载。例如:整流弧焊机当初级电压为额定值时,在规定电流调节范围的动特性指标见表 5.5.6 所示(JB1372-80)。

表 5.5.6 规定电流调节范围内的动特性指标

序号	项目		整定值		指标
			电流(A)	电压(V)	
1	空载至短路	$\frac{I_{sd}}{I_c}$	额定值	$U = 20 + 0.04I$	$\leq 3$
			20%额定值		$\leq 5.5$
2	负载至短路	$\frac{I_{sd}}{I_c}$	额定值		$\leq 2.5$
			20%额定值		$\leq 3$

注： $I_{sd}$ ——空载至短路时的瞬态短路电流峰值(A)；

$I_{sd}$ ——焊接至短路时的瞬态短路电流峰值(A)；

$I_e$ ——焊接电流(A)。

### 3.1.2.4 弧焊电源静态外特性测定方法

(1)按图 5.5.3 接线示意图接线。

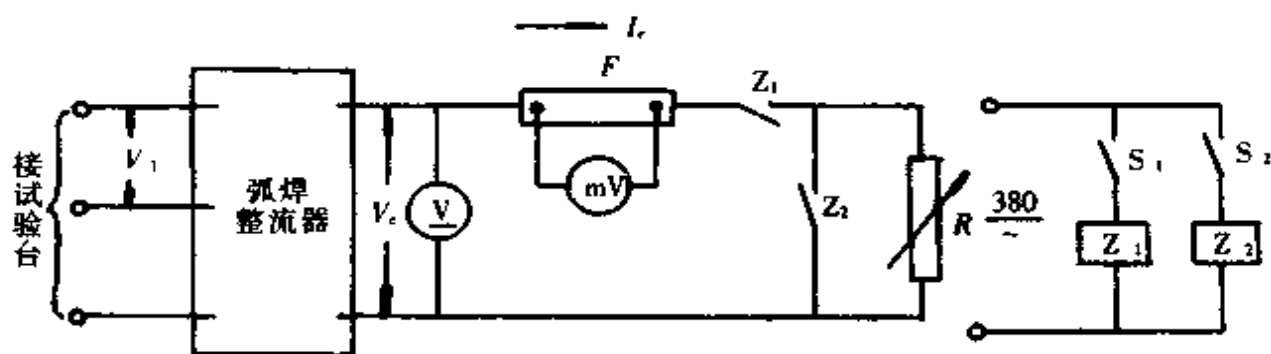


图 5.5.3 弧焊电源静态外特性测定接线示意图

$V_1$ —输入电压  $V_2$ —输出电压  $I_e$ —负载电流

$R$ —可调电阻  $Z_1, Z_2$ —交流接触器  $S_1, S_2$ —拨动开关

(2)静态外特性的测定,应在弧焊电源电流调节旋钮(或手轮)的三个位置即:额定焊接电流、最大焊接电流(或 120% 额定值)与最小焊接电流(25% 额定值)上进行。

(3)测定时应保持输入电压、频率为额定值。

(4)改变负载电阻数值,使其输出端自空载至短路,其中读数应不少于 8 点,记录每一位置时的输出电流值,并绘制外特性曲线(至少三条曲线)。

### 3.1.3 交流弧焊电源

弧焊变压器系一交流弧焊电源。它由初、次级相隔离的主变压器及调节和指示装置等组成,配以焊钳即为能进行手工电弧焊的交流弧焊机。常用的弧焊变压器有串联电抗器式和增强漏磁式。由于后者的体积小、材料省、效率高,故一般 400A 以下手工焊都采用抽头式、动铁心式和动圈式的增强漏磁式弧焊变压器。

增强漏磁式弧焊变压器电流调节范围涉及高漏抗计算。其最大焊接电流  $I_{tmax}$  和最小焊接电流  $I_{tmin}$  为:

$$I_{tmax} = \sqrt{U_0^2 - 1.17U_2^2} / X_{min} \text{ (A)}$$

$$I_{tmin} = \sqrt{U_0^2 - 1.17U_2^2} / X_{max} \text{ (A)}$$

式中  $U_0$ ——空载电压(V)；

$U_2$ ——工作电压(V)；

$X_{min}$ ——最小漏抗( $\Omega$ )；

$X_{max}$ ——最大漏抗( $\Omega$ )。

由此可见,增强漏磁式弧焊变压器利用调节变压器初、次级线圈之间的漏抗大小来调节输出电流的大小。

常用弧焊变压器主要技术数据见表 5.5.7。

表 5.5.7 常用弧焊变压器主要技术数据

结构特性 及型号	增强漏磁式							
	抽头式	动铁式			动圈式			
	BX <sub>0</sub> -120-1	BX <sub>1</sub> -135	BX <sub>1</sub> -300	BX <sub>1</sub> -500	BX <sub>3</sub> -120	BX <sub>3</sub> -300	BX <sub>3</sub> -500	
$I_0$ (A)	120	135	300	500	120	300	500	
$I_{\min} \sim I_{\max}$ (A)	45~160	25~150	75~360	115~680	20~160	40~400	60~670	
$U_0$ (V)	50	60~75	75	60	70~75	60~75	60~70	
$U_{te}$ (V)	24.8	30	32	40	25	30	30	
$U_1$ (V)	380	380	380	380	380	380	380	
$I_k$ (A)	15.8	23	64	82.5	23.5	54	87.4	
$F_{sc}$ (%)	20	65	60	60	60	60	60	
$S_c$ (kV·A)	6	8.7	24.3	31	9	20.5	33.2	
$\eta$ %	70	78		81.5	81	83	87	
$\cos\varphi$	0.6	0.48		0.61	0.45	0.53	0.52	
$G$ (kg)	25	110		200	100	190	275	
外形尺寸 (mm)	$c$	400	780	580	880	485	520	587
	$b$	252	475	420	518	480	525	560
	$h$	193	628	665	751	630	800	883

### 3.1.4 直流弧焊电源

直流弧焊电源分成两类:直流弧焊发电机和弧焊整流器。

已经生产的用电动机驱动的直流弧焊发电机是高耗能、耗材的淘汰产品,此处不再赘述。但在野外无电源的施工场合,仍采用汽油机(或柴油机)驱动的直流弧焊发电机。

**3.1.4.1 AXQ<sub>1</sub>、AXC<sub>1</sub> 系列汽油、柴油机驱动中频直流弧焊机** 为适应油田、管道施工、桥梁、建筑等野外无电源场所焊接施工,推荐采用 AXQ<sub>1</sub>、AXC<sub>1</sub> 系列弧焊机。该系列焊机由汽油或柴油机驱动 800Hz 中频交流发电机,经整流滤波输出直流供焊接使用,具有电弧挺度好、弹性强、易于引弧,整机重量轻、体积小等显著特点。其主要技术参数见表 5.5.8。

发电机的工作原理:永磁极转子(共 12 极),在高速运转中定子电枢绕组输出中频 800Hz 交流电,经整流后输出直流电供焊接使用,焊接电流的调节是调节电枢绕组中的励磁线圈的励磁电流,以获得下降的外特性。

表 5.5.8 AXQ<sub>1</sub>、AXC<sub>1</sub> 系列弧焊机主要技术参数

项 目		单 位	参 数			
规格			135	175	200	350
空载电压		(V)	50~65	50~75	50~75	50~75
额定焊接电流		(A)	135	175	200	350
额定工作电压		(V)	25.4	27	28	32
额定负载持续率		(%)	60			
额定转速		(r/min)	8500			
电流调节范围		(A)	30~135	60~175	60~200	80~350
焊机质量		(kg)	20	30	30	38
辅助电源电压		(V)	DC220			
辅助电源功率		(W)	1000	1500	2000	3000
发动机型号	柴油		F190	CC195-2	CC195-2	
	汽油		178F	190F	190F	
发动机质量	柴油	(kg)		165	165	
	汽油	(kg)		48	48	

3.1.4.2 弧焊整流器 弧焊整流器系一直流弧焊电源,一般由初、次级线圈相互隔离的主变压器、半导体整流元件组及为获得所需外特性的调节装置、指示装置等组成,配以焊钳即能作手工弧焊用。

目前常用的弧焊整流器,按其调节装置的作用原理分成三类:动铁式、动圈式、磁放大器式和晶闸管式。

动铁式或动圈式弧焊整流器调节电流原理与动铁式或动圈式弧焊变压器相似,只不过将变压器输出电压由硅二极管整流成直流,再经输出电抗器滤波,从而获得直流输出。动圈式弧焊整流器往往组成三相桥式整流装置。

磁放大器式弧焊整流器有三种形式,即内反馈式、无反馈式及外反馈式,用以调节电流获得所需的输出外特性。但由于磁放大器是高耗能、耗材的产品,制造麻烦,随着电子工业的发展,已经淘汰。

晶闸管弧焊整流器,具有良好的可控性能。对外特性形状的控制,焊接规范的调节,可通过改变晶闸管的导通角来实现。

晶闸管弧焊整流器的组成:整流器的电路原理框图,见图 5.5.4。其主电路由主变压器 B、晶闸管整流器组 SCR 和输出电抗器 DK 组成。晶闸管的触发由触发电路 C 和同步电路 T 组成。当要求得到下降外特性时,触发脉冲的相位由给定电压  $U_g$  和电流反馈信号  $U_i$  确定;当要求得到平外特性时,触发脉冲相位由给定电压  $U_g$  和电压反馈信号  $U_u$  确定。

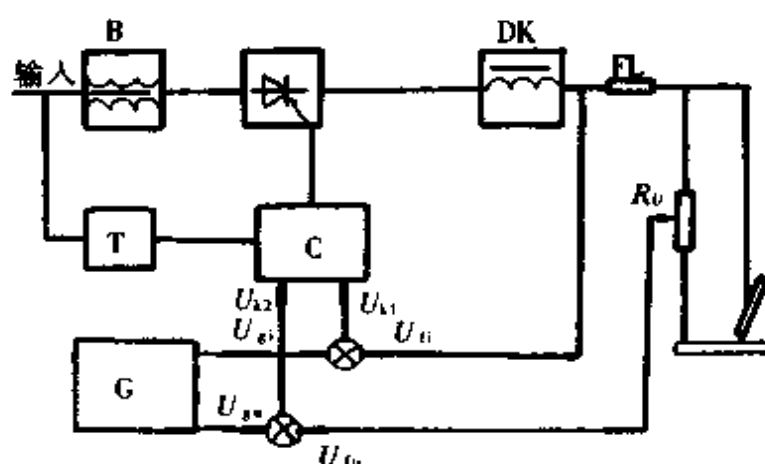


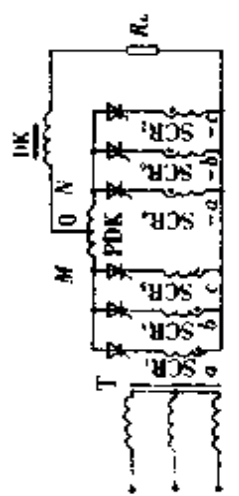
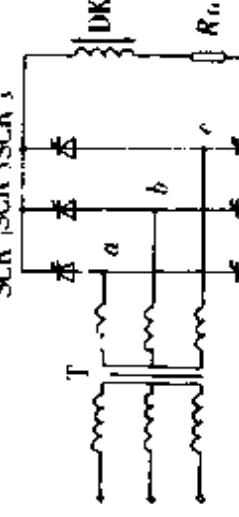
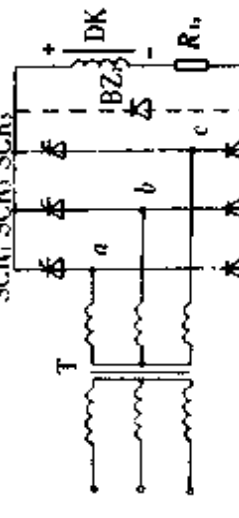
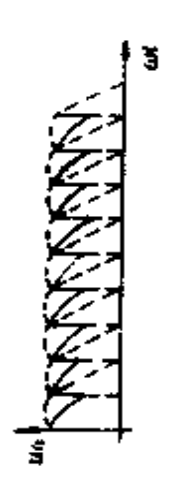
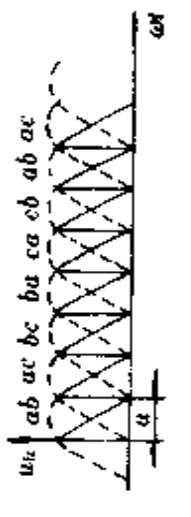
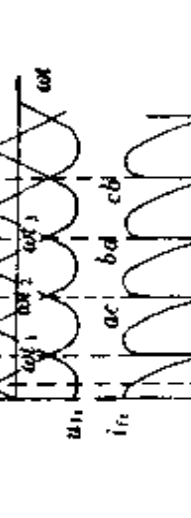
图 5.5.4 晶闸管弧焊整流器的电路原理框图

几种典型的晶闸管弧焊整流器的主要技术数据,主回路电路原理和用途见表 5.5.9。

表 5.5.9 几种典型的晶闸管弧焊整流器的主要技术数据、主回路电路原理和用途

主要技术参数	ZX5 系列			ZDK-500	ZP5-500
	ZX5-250	ZX5-400	ZX5-630		
电源电压(V)	380	380	380	380	380
电网频率(Hz)	50	50	50	50	50
相数	3	3	3	3	3
额定输入容量 (kV·A)	14	24	46	36.4	27
额定输入电流(A)	21	37	71	-	41
空载电压(V)	60	60	71	-	-
额定焊接电流(A)	250	400	630	500	500
额定焊接电压(V)	30	36	44	40(陡降)	39
额定负载持续率(%)	60	60	60	60	60
电流调节范围(A)	50~250	80~400	130~630	50~600(陡降)	50~500
电压调节范围(V)	-	-	-	15~50(平)	16.5~39
电网电压波动补偿度 (电网±10%)	±4%	±4%	±4%	-	±2%
效率	0.70	0.74	0.78	-	0.76
功率因数	0.70	0.74	0.78	-	0.88
外形尺寸(mm) 长×宽×高	562×487 ×898	562×487 ×960	885×620 ×760	940×540 ×1000	-
质量(kg)	160	220	290	350	-

续表

主要技术参数	ZX5 系列		ZDK-500	ZPS-500
	ZX5-250	ZX5-400 ZX5-630		
主回路原理	带平衡电抗器的双反星形整流电路		三相桥式全桥整流电路	三相半桥式整流电路
				
用途	属下降特性弧焊电源,适用于各种牌号焊条的直流手工电弧焊及碳弧气刨,特别适用于碱性低氢型焊条焊接重要的结构钢件 配有适当的控制箱,可进行TIG焊		平、陡两用的外特性电源,可用于手工电弧焊、埋弧焊和熔化极气体保护焊	要特性电源、电流、电压稳定度较高,用于熔化极气体保护焊
				
波电负电波移 考图,性时U1/2移 参阻载压形相角 形相角α=60°	α=0°~90°移相角		α=0°~180°移相角(电阻性负载); α=0°~90°移相角(电感性负载)	α=0°~60°移相角
移相范围 可图				

晶闸管弧焊整流器常见故障和排除方法见表 5.5.10。

表 5.5.10 晶闸管弧焊整流器常见故障和排除方法

序号	故障现象	原因	检查排除故障
1	指示灯不亮,风扇不转动	(1)输入电源有断相 (2)输入线路接触不良	(1)检查保险丝是否熔断 (2)检查网路、电器接点是否松脱
2	输入电流很大,主电源熔断器损坏	(1)焊机输入电源开关短路 (2)焊机主电源变压器及线圈短路 (3)主晶闸管 SCR1~6 损坏	(1)检查晶闸管。将晶闸管与主变压器断开,再合上电源,若正常则晶闸管损坏 (2)断开后,故障仍存在,则主变压器和电源开关损坏,更换
3	空载电压比额定值相差甚远	(1)有一组或多组晶闸管不导通 (2)晶闸管的导通控制角后移	(1)用示波器检查输出波形是否有缺相 (2)用示波器检查触发电路波形是否正常
4	焊机无输出电压	(1)稳压电路故障,无稳压电压输出 (2)移相电路故障	(1)检查稳压电路是否损坏 (2)检查控制回路运算放大器是否损坏,正常时输出 0.3~5.5V
5	空载电压正常,但负载后,电流突然增大,电流表达满刻度	(1)分流器的电流反馈线脱离,无电流反馈 (2)调节或整定电流的电位器失灵 (3)稳压电路故障,无 $\pm 15V$ 输出 (4)控制回路运算放大器或三极管损坏	(1)检查电流反馈线路 (2)检查电位器及其连线 (3)同序 3 项检查触发电路
6	电流无法调至最大值	(1)晶闸管一路无触发、无整流 (2)触发信号不同步	(1)检查触发回路触发极是否断线 (2)用示波器检查各控制回路的信号是否正常
7	焊接电流可以调大,但不能调小,焊接时,振荡并发出噪声	(1)晶闸管中有一只未导通 (2)电源缺相运行 (3)运行在整机共振点触发 (4)触发回路失控,造成触发信号混乱 (5)平衡电抗器引起	(1)用示波器测输出电压波形,若缺一波头即检晶闸管及控制回路,更换晶闸管 (2)停机检查 (3)调整电流,避开共振点 (4)检查触发回路 (5)检查线匝是否短路
8	输出电流失控,焊接电流不稳定	(1)同步线路有故障,晶闸管触发紊乱,空载电压 50V (2)电路中电位器工作点移动 (3)元器件、零件接线断线造成控制电压失控	(1)检查控制线路各部位连接情况 (2)检查控制线路是否正常 (3)检查电位器 (4)检查同步电路波形



### 3.1.5 脉冲弧焊电源

熔化极气体保护焊采用脉冲电流进行焊接,可以用低于喷射过渡临界电流的平均电流来达到喷射过渡,因此可以缩小熔池体积,易于实现全位置焊接,缩小热影响区。常用的脉冲电源有晶闸管式和晶体管式。其基本原理框图和电流波形见表 5.5.11。

表 5.5.11 脉冲弧焊电源的电路形式、原理框图和电流波形

序号 电路形式	原理框图、典型电流波形
1 晶闸管直流断续器	
2 晶体管脉冲弧焊电源	
3 并联单相脉冲电源	

### 3.1.6 逆变式弧焊电源

逆变式弧焊电源是新一代弧焊电源,其原理框图见图 5.5.5。

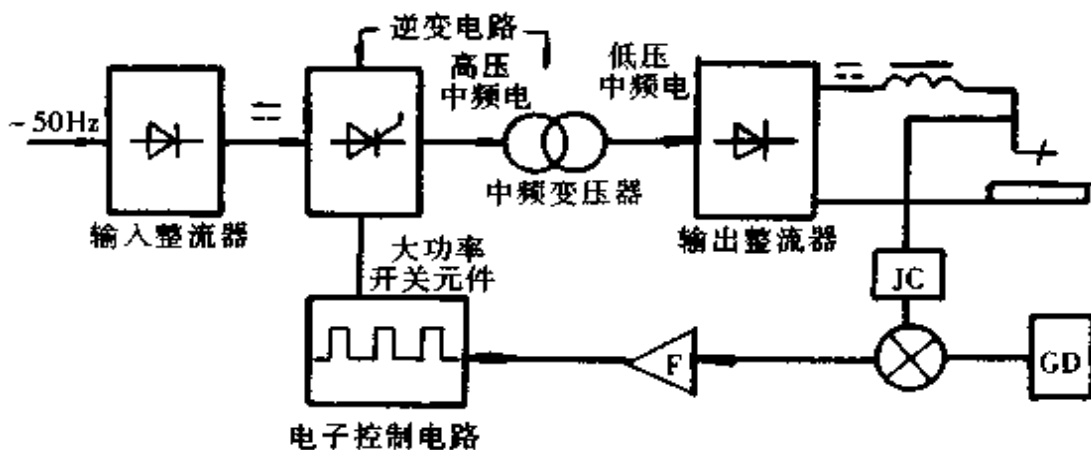


图 5.5.5 逆变式弧焊电源原理框图

逆变弧焊电流的交流顺序为：工频交流→直流→中频交流→直流。即所谓 AC→DC→AC→DC。

常用逆变式弧焊电源其大功率开关元件可用晶闸管(SCR管)、场效应管(MOS管)、大功率晶体管(GTR管)和绝缘栅大功率晶体管(IGBT管)等。

晶闸管逆变电源采用调频率的方式,来调节规范和控制外特性。

场效应逆变电源采用电压控制,控制功率小、工作频率高(20kHz以上),须多管并联,工作容易。

大功率晶体管采用电流脉宽控制,管子容量大,工作频率较高(15kHz)、过载能力差。

绝缘栅大功率晶体管采用电压控制,管子容量大、工作频率高(20kHz)、价格较贵。

### 3.2 CO<sub>2</sub>/MAG 气体保护焊机

此类电弧焊机均采用金属熔化极作电极,CO<sub>2</sub>气体作为保护气体,只不过焊接工艺中熔滴过渡形式有所不同,而焊机结构形式基本相同,此类焊机分半自动和自动两大类型。

配用晶闸管弧焊整流器的CO<sub>2</sub>/MAG焊机,其电路由主回路、移相与触发电路及同步电路、送丝电机和控制电路、程序控制电路等组成。

#### 3.2.1 半自动 CO<sub>2</sub> 气体保护焊机

半自动气体保护焊机适用于细焊丝( $\varnothing \leq 1.6\text{mm}$ )。焊机由弧焊电源、控制系统、送丝机构和焊枪、气路、水路系统等组成。如图 5.5.6 所示。

**3.2.1.1 弧焊(整流)电源** 细丝半自动气体保护焊机配合等速送丝,一般均采用平特性弧焊电源。细丝 CO<sub>2</sub> 弧焊,一般采用短路过渡规范。要求电源从短路到空载时,有足够大的空载电压恢复速度,在短路过渡时短路电流具有合适的上升速度,因此要求电源具有良好的动特性。采用直流输出可调电感或电子电抗器的

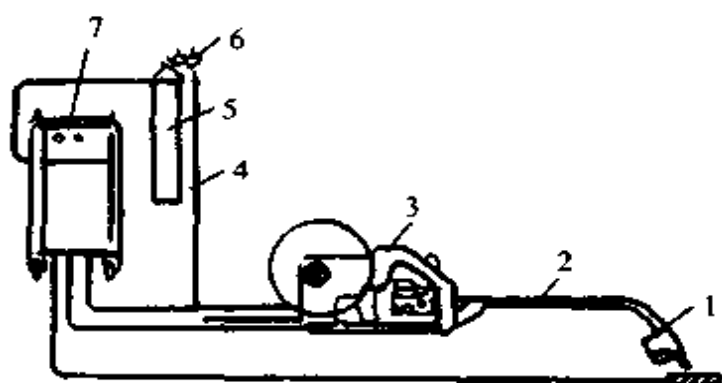


图 5.5.6 半自动气体保护焊机组成

- 1—焊枪 2—软管、气管及焊接电缆 3—送丝机构 4—气管  
5—气瓶 6—减压阀及流量计 7—弧焊整流电源

方法获得各种焊接工艺所需的动态性能,保证电弧燃烧稳定。

常用气体保护焊机弧焊电源的型式、主回路及特点,见表 5.5.12。

3.2.1.2 焊枪及其喷嘴 焊枪主要用以向焊接电弧区及熔池输送保护性气流,送进焊丝,传输焊接电流并加以导向。有些焊枪还设有水、气冷却系统。要求焊枪坚固牢靠并尽量减轻重量,要能耐受强烈弧光,高温辐射与熔化金属飞溅的影响。通过焊枪喷嘴的保护气体,能在熔池周围形成良好的保护区。焊枪的结构设计应便于焊工的操作,能清楚地观察熔池。因此,可靠、适用的焊枪,将直接提高焊缝质量和生产效率。

半自动鹅颈式焊枪其结构示意图,见图 5.5.7。

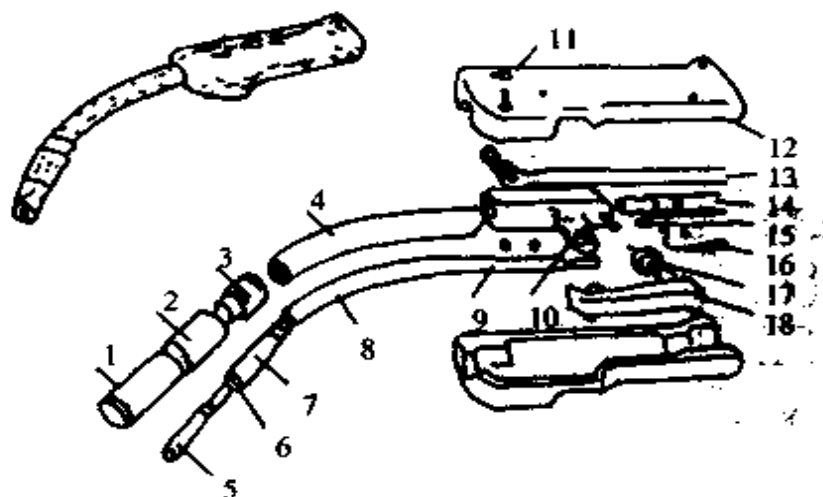
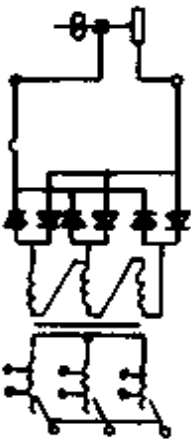

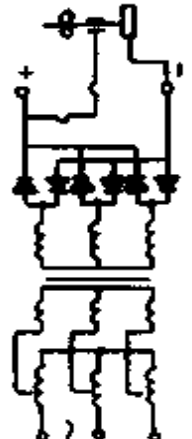

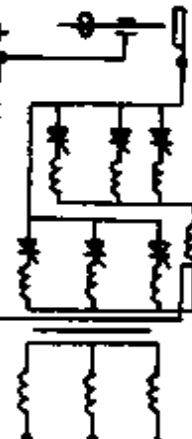





图 5.5.7 鹅颈式半自动焊枪

- 1—喷嘴 2—喷嘴夹圈 3—绝缘接头 4—硅橡胶管 5—导电嘴 6—导丝管  
7—通气孔 8—导电管 9—O形密封圈 10—接头 11—螺钉 12—枪柄  
13—扳机 14—导丝软管 15—气管 16—控制电缆 17—接触件及弹簧 18—扳机

表 5.5.12 常用气体保护焊机电源的类型、主回路及特点

电源型式	主回路示意图	外特性	特点
抽头式			<p>结构简单、制造方便、使用可靠、输出电流波形畸变小。调节不连续,不能遥控和实现自动控制</p>
滑动调压式			<p>结构简单、调节范围广、能连续调节、输出电流畸变小,实现自动控制较困难</p>
晶闸管式			<p>重量轻、效率高、控制功率小、调节范围广,具有良好的动特性和可调节特性,易实现自动化。电子元件维护要求高</p>
逆变式			<p>重量最轻、效率高、功率因数高、调节灵敏度最高、起弧容易、自动控制方便。电子元件要求高</p>

喷嘴的材料可用镀铬的紫铜,壁厚为2~3mm,其主要目的是可以降低飞溅在喷口处的粘结。大电流焊接的焊枪中的喷嘴,还加水冷却。为了提高气体保护效果,可采用加丝网或多孔板作气筛,以保证喷嘴内的气体形成层流,并使流速降低和均匀。表5.5.13给出喷嘴孔径、焊接电流与气体流量的参考值。

表 5.5.13 喷嘴孔径、焊接电流与气体流量的参考值

喷嘴孔径(mm)	焊接电流(A)	气体流量(L/min)
11~12	160	4.2~6.7
13~15	250	7.5~10.0
16~20	400	11.7~20.0

注:当焊接电流达1000A时,喷嘴孔径约为28mm(自动焊用)。

3.2.1.3 半自动气体保护焊机的控制系统 程序控制电路:焊机控制系统用以完成焊机的工作程序,其控制系统应具有如下功能:

- (1) 保证焊接开始时保护气体先导通和焊接结束时延时断气。
- (2) 引弧时采用慢送丝速度,高电压引弧。
- (3) 焊接电流(即送丝速度)和电弧电压一元化调节或优化参数一元化调节。
- (4) 收弧时送丝的速度、电弧电压衰减(可调),缩小焊丝端部“小球”直径,以提高再次引弧成功率。
- (5) 收弧时具有填弧坑的功能。
- (6) 送丝伺服电机的控制,采用测速或电压反馈,保证送丝稳定性。

送丝驱动电路:在一元化调节的焊机中,焊接电流靠改变送丝速度来调节。送丝速度的控制信号取自焊接电流给定,随给定电流的增加而增加,电路原理如图5.5.8。给定的送丝速度信号与送丝机电枢电压反馈信号相比较,差值经放大后触发晶闸管,调节送丝速度。由于加了电枢电压负反馈(或测速反馈),在一定的送丝速度(平均电流)给定下,送丝系统保持恒速送丝。

气路、水路系统:半自动气体保护焊机的气路系统中包括高压气瓶、截止阀、加热器(CO<sub>2</sub>焊接用)、高压表、减压阀、低压表、流量调整阀、流量计、电磁气阀等装置。气路系统示意图,见图5.5.9所示。

由于CO<sub>2</sub>气体中含有水分,气路系统中需要设置加热器,并将灌气后的气瓶倒置1~2h,放出气中自由状态之水分,在使用前再放气2~3min。

大电流气体保护焊机需采用水冷却系统,必须采用水流开关,以免水管阻塞或流量不足而烧坏元件。半自动气体保护焊机应尽量避免采用水冷结构的焊枪。

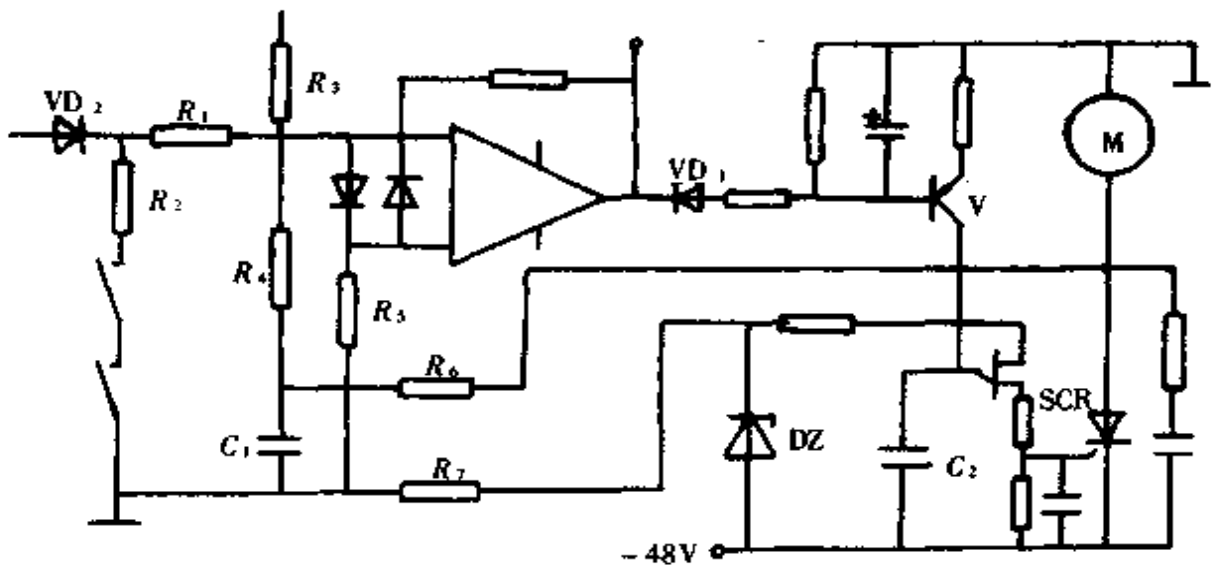


图 5.5.8 送丝驱动电路原理

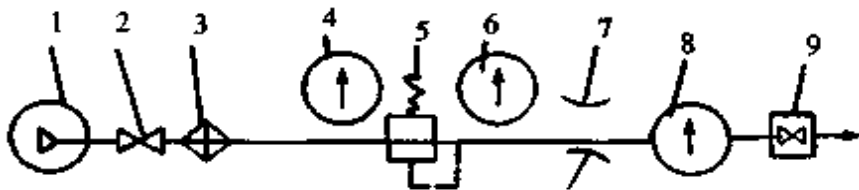


图 5.5.9 气路系统示意图

- 1—气源 2—截止阀 3—加热器 4—高压表 5—减压阀  
6—低压表 7—流量调整阀 8—流量计 9—电磁气阀

### 3.2.2 自动熔化极气体保护焊机

焊机由焊接小车、控制箱及焊接整流器组成。送丝机构与焊炬均装在焊车上，送丝与小车的移动都由机械操作，焊丝输送与焊车拖动均采用晶闸管拖动控制，并具有电枢电压或测速反馈功能，保证转速的均匀和稳定。自动焊接小车结构见图 5.5.10。

自动熔化极气体保护焊在粗丝焊时，常采用直流垂直下降外特性的恒流电源，配以电弧电压反馈控制变速送丝系统。用回抽引弧或缓送引弧方法引燃电弧。在细丝焊时，常采用直流平特性电源，配以等速送丝系统。为了减少焊缝的热输入量，还采用熔化极脉冲焊工艺，配以脉冲弧焊整流电源，可以周期性地改变熔化极电弧电流。由基本电流和脉冲峰值电流交替供电，实现脉冲可控喷射熔滴过渡。

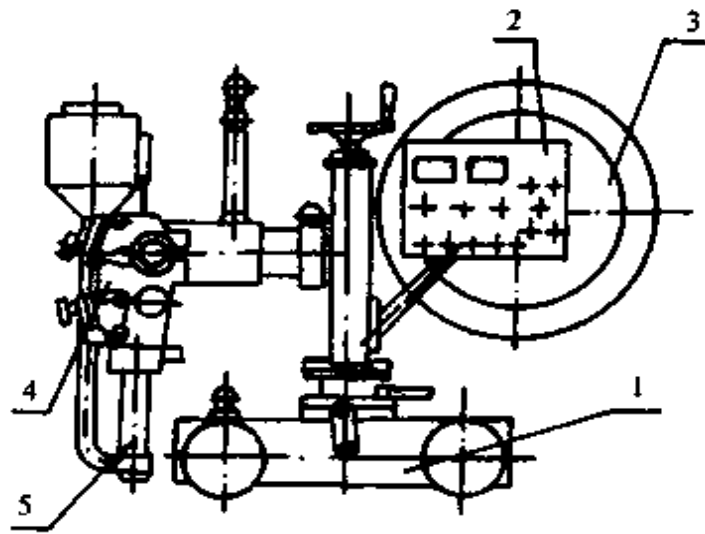


图 5.5.10 自动焊接小车结构图

1—自动小车 2—操作盒 3—焊丝盘 4—送丝机 5—焊炬

### 3.2.3 惰性气体保护焊机

惰性气体保护焊是一种以惰性气体(如 Ar、He)作为电弧和金属熔池区域保护介质的焊接方法。

惰性气体保护弧焊机按运行的方式可分为手工、半自动、自动三大类。它使用的电极有不熔化极(钨极)及熔化极(金属焊丝)两种。熔化极惰性气体保护焊机已在 MIG 焊气体保护焊中叙述,不再赘述。不熔化电极(钨极)氩弧焊又称 TIG 焊,按焊接对象的不同可以选用交流、直流或脉冲电源。一般情况下,对于较精密的小型零件、薄板结构,可用直流或脉冲钨极氩弧焊。铝、镁及其合金宜用交流钨极氩弧焊。

钨极氩弧焊机(TIG 焊机)通常由弧焊电源、焊炬、供气系统、引弧、稳弧(交流 TIG 焊用)及必要的程序控制装置组成。自动钨极氩弧焊机由配有焊炬及送丝机构(输送填充焊丝)的焊车代替手工焊炬。

**3.2.3.1 钨极直流氩弧焊机** 钨极直流氩弧焊机种类很多,但常用的以手工氩弧焊为主,它由钨极氩弧手工焊炬、控制设备及弧焊电源组成。

焊接电源一般选用垂直下降外特性的弧焊电源,空载电压 70~100V,亦可采用高空载电压、小电流的引弧电源与低空空载电压、大电流的主电源并联。电源应设有电网电压波动的补偿和起弧时电流递增及焊缝收尾时电流衰减装置。

焊机的工作电压推荐按下式计算,但最低不小于 16V。

$$U_e = 14 + 0.02I_e \text{ (V)}$$

式中  $I_e$ ——焊接电流(A)。

焊机的控制系统用于完成焊机的工作程序。手工钨极氩弧焊机工作程序见图 5.5.11。

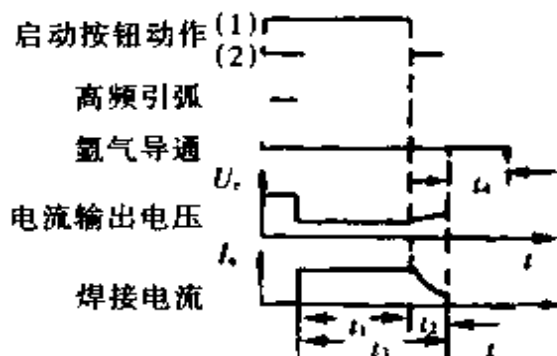


图 5.5.11 手工钨极氩弧焊机工作程序

$t_1$ —焊接时间  $t_2$ —焊接电流衰减  $t_3$ —燃弧时间  $t_4$ —滞后通气

控制系统保证焊接过程中高频引弧成功,焊接电流在起弧时缓升和停弧前缓降,以及保护气体提前送气和滞后停气等工作程序的可靠进行。

在手工钨极氩弧焊时,一般可用三种引弧方法。

**接触引弧:**在焊接时,可将钨极接触工件产生的火花引燃电弧。引燃时可用高电压、小电流的辅助电源,当电弧引燃后自动转入大电流焊接。这种方法简单,不需很复杂的控制装置,但可能会污染工件、影响焊接质量。

**高频引弧:**它利用火花式高频振荡器产生一个频率约 1MHz、2500~3000V 的小功率高频电压,以击穿钨极与工件间的间隙(3mm 左右)而引弧。其高频振荡器的电气原理见图 5.5.12。交流电源经变压器  $T_1$  升压,并对电容器  $C$  充电,此时火花放电器 FD 端电压渐增,直至被击穿,短接  $T_1$  的次级回路中止了对电容的充电,已充电的电容器  $C$  与振荡电感  $L_1$  和 FD 组成振荡回路,经高频变压器  $T_2$  将高频电压输入焊接回路。高频振荡器与焊接回路联接的方式,有并联及串联两种(见图 5.5.12)。一种新型的高频引弧器见图 5.5.13。线路由两部分组成,由  $C_2$ 、 $L_1$ 、SCR 等元件组成的中频脉冲发生器,其主要功能是将工频正弦电压变换成中频脉冲电压。整流桥  $D_1$  输出的直流电压通过电阻  $R_1$  对电容  $C_2$  充电,当充电电压达到稳压管  $DZ$  的击穿电压时,晶闸管 SCR 迅速导通,于是  $C_2$  将与中频升压变压器  $T_1$  的原边电感  $L_1$  发生电磁振荡,形成一个完整的中频脉冲电压。经  $T_1$  升压后再通过高频耦合变压器  $T_2$  的原边电感  $L_2$  对电容  $C_4$  快速充电,使火花放电器 FD 放电,形成高频的电磁振荡,此高频高压施加于钨极和工件间引燃电弧。这种新型高频引弧器采用了中频升压变压器代替工频升压变压器,从而使引弧器具有体积小、重量轻和引弧更可靠的优点。



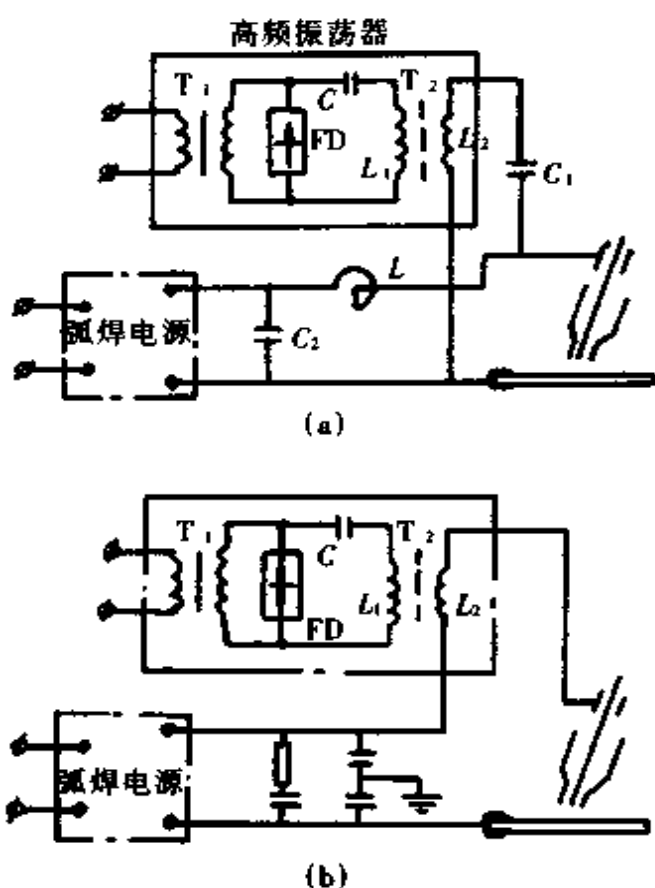


图 5.5.12 高频引弧电路  
(a)并联式 (b)串联式

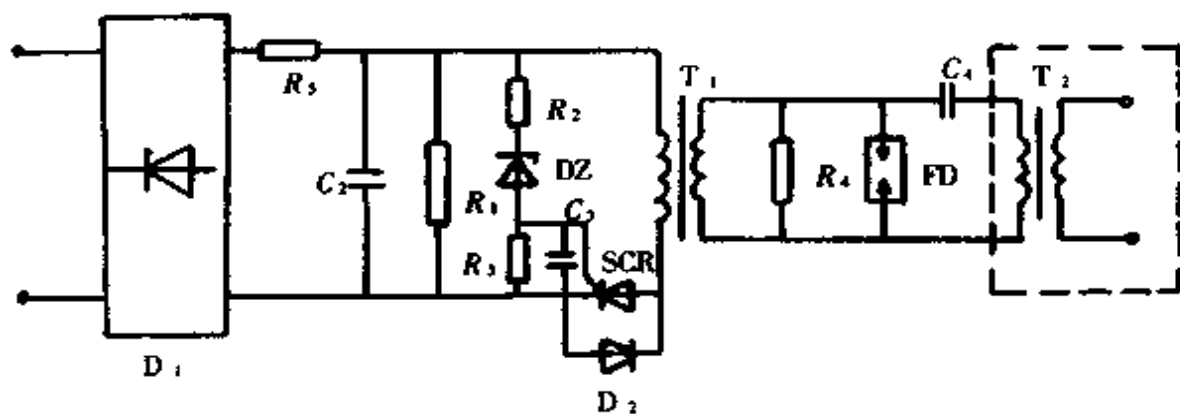


图 5.5.13 新型高频引弧器

脉冲引弧: 高压脉冲引弧, 可避免高频对工业无线电的干扰及对人体的有害影响, 是一种较好的手工脉冲氩弧焊机的引弧方式。见图 5.5.14, 它利用变压器  $T_1$  的次级在正半周时经  $VD_1 \sim 3$  向电容器  $C_1$  充电作为高压脉冲能源; 在负半周时,  $T_1$  次级 36V 端经  $R_4$ 、 $VD_3$  触发晶闸管 SCR, 它的导通使  $C_1$  向  $T_2$  的初级放电, 由此感应一高压脉冲电流引燃电弧。该高压脉冲的频率为 50Hz、峰值约 4000V。

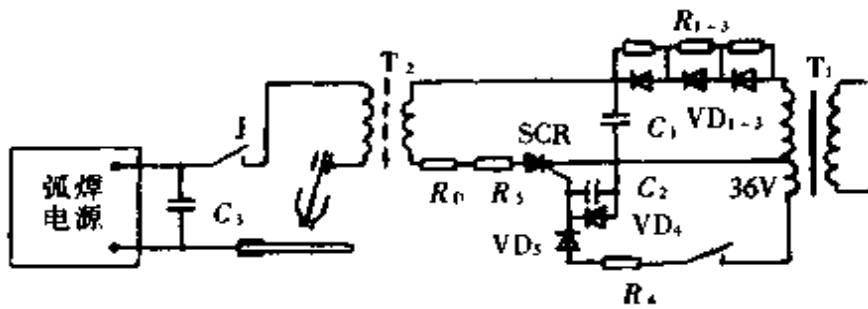


图 5.5.14 脉冲引弧电路

3.2.3.2 钨极交流氩弧焊机 钨极交流氩弧焊机适用于铝及铝合金焊接,其组成除采用弧焊变压器或晶闸管方波电源外,其他部分与直流氩弧焊机甚相似。为保证钨极交流氩弧焊在铝合金焊接时,钨极有较大的电流容量,又要使铝板受到阴极清理作用,因此必须采用交流电弧焊,但交流电流过零造成电弧不稳,故其控制系统主要解决交流电弧的稳定(即加速电流过零时的速度),以及消除或减小直流分量等问题。

(1) 直流分量的消除:钨极交流氩弧焊中,当钨极为负时,热电子发射容易,所以电弧电压低,电弧燃烧稳定,焊接电流大;当钨极为正时,工件为负极,此时阳极热电子发射条件差,所以电弧电压较高,焊接电流小。由于正、负两个半波电弧电参数的不对称,在焊接回路中存在一个由工件流向电极的直流分量,即所谓“二次整流作用”。这将减弱阴极雾化清洗作用,给焊接造成困难,同时导致变压器铁心单向磁化,造成电流波形畸变,影响电弧的稳定性,其电参数波形如图 5.5.15。

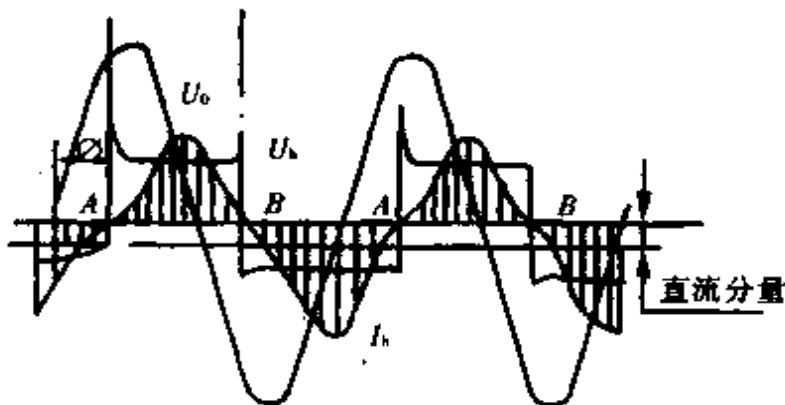


图 5.5.15 钨极交流氩弧焊时电流电压波形

$U_0$ —电源电压  $U_a$ —电弧电压  $I_b$ —焊接电流

消除直流分量的方法是,在焊接回路中串接大容量的电容器。其电容量可按下式计算:

$$C = (300 \sim 400) I_b \quad (\mu\text{F})$$

式中  $I_b$ ——焊接电流(A)。

(2) 引弧和稳弧: 钨极交流氩弧焊时, 每当工件处于交流正弦波负半周时, 由于电子发射困难, 当焊接电流过零点时, 必须施加稳弧脉冲, 以确保电弧不致熄灭。一般采用脉冲稳弧与高频稳弧两种方法, 引弧器应能保证电极处于正半周电压接近幅值时引燃电弧, 并确保每当钨极处于正半周的零值起始(图 5.5.15 中, A 点)施加正向、高压脉冲电流, 达到稳弧目的。

3.2.3.3 交流矩形波钨极氩弧焊机 通常采用工频正弦波交流电源对铝及其合金进行钨极氩弧焊时, 电弧稳定性较差, 正、负半波通电时间比不可调, 还需增设消除直流分量的装置。应用电子控制电路的矩形波交流电源, 其正、负半波通电时间比和电流比值均可以调节, 而且电流过零点时上升与下降率高, 因而它具有电弧稳定, 电流过零点时重新引弧容易, 不必加稳弧器; 通过调节正、负半波通电时间比, 在保证阴极雾化作用的条件下增大正极性电流, 从而可获得最佳的熔深, 提高生产率和延长钨极寿命, 可以不必采用消除直流分量的装置等优点。

矩形波交流电流的原理: 电源的主电路原理见图 5.5.16, 其电流、电压波形见图 5.5.17。

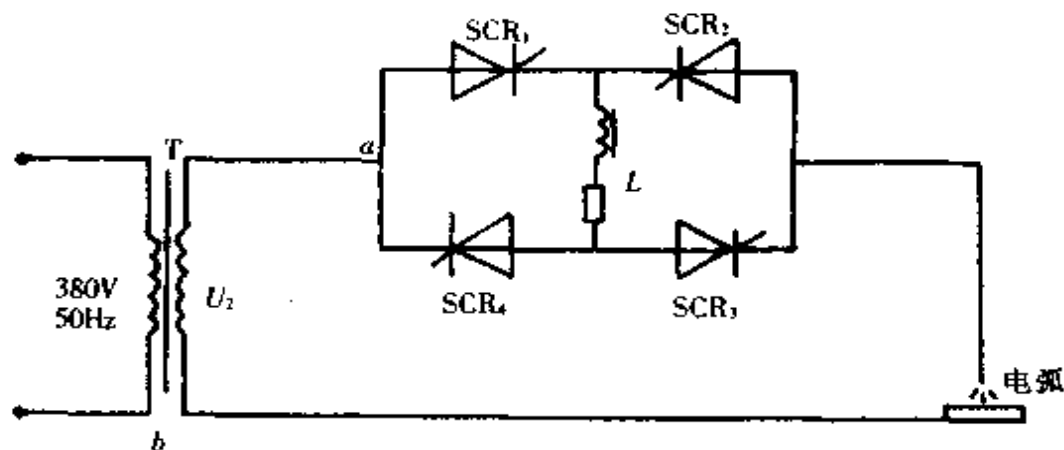


图 5.5.16 晶闸管矩形波交流电源主电路原理图

当在正半波  $t_1$  时触发晶闸管  $SCR_1$  和  $SCR_3$ , 则电流  $i_f$  的通路为:  $a \rightarrow SCR_1 \rightarrow L \rightarrow SCR_3 \rightarrow$  电弧  $\rightarrow b$ 。电流的大小由下列电压平衡方程式决定。

$$U_2 = L \frac{di_f}{dt} + U_f \quad (\text{V})$$

在  $t_1 \sim t_2$  期间, 因  $U_2 > U_f$ , 故  $L \frac{di_f}{dt} > 0$ , 即电流  $i_f$  增大,  $L$  的电感量很大, 限制电流的上升速度, 使电流从  $p$  点缓升到  $q$  点, 此时  $L$  处在储能过程中。

在  $t_2$  时刻,  $U_2 = U_f$ , 故  $L \frac{di_f}{dt} = 0$ , 电流  $i_f$  达到了  $q$  点对应的最大值。

在  $t_2 \sim t_3$  期间,  $U_2 < U_f$ , 故  $L \frac{di_f}{dt} < 0$ , 因此  $i_f$  减小。此时,  $L$  向电弧释放能

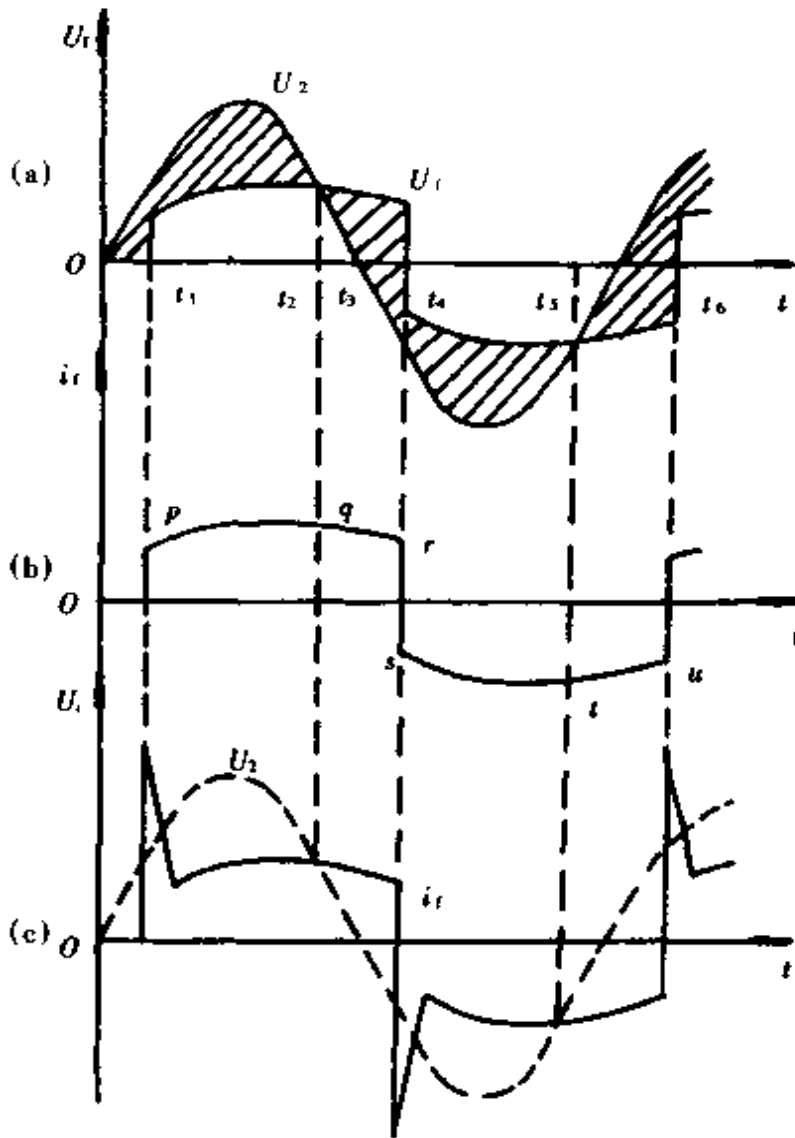


图 5.5.17 矩形波电流、电压波形

(a)  $U_i$  电压波形 (b)  $i_f$  电流波形 (c) 实际  $i_f$  电流波形

量,维持  $SCR_1$  和  $SCR_3$  的继续导通。电流  $i_f$  由  $q$  点开始缓慢下降直至  $t_4$  时刻的  $r$  点。此时触发脉冲使  $SCR_2$ 、 $SCR_4$  导通,而  $SCR_1$ 、 $SCR_3$  因承受反向电压而关断,  $i_f$  立即改变方向为负值,开始进入负半波。负半波电流通路为:  $b \rightarrow$  电弧  $\rightarrow SCR_2 \rightarrow L \rightarrow SCR_4 \rightarrow a$ 。

在  $t_4 \sim t_6$  期间,重复上述过程形成负半波电流。

由此可见,在  $L$  上的电流方向不变,在此回路中的电流为平稳直流,即电源可做成交直流两用的原理。实际电流波形在每个半波前沿均出现了幅值较大的尖峰电流,这是主电路中电感感应电动势所引起的,这对交流焊时稳弧是有利的。

3.2.3.4 钨极脉冲焊机 钨极脉冲焊机的供电形式有双电源供电和单电源

供电两种,采用比较普遍的是晶闸管弧焊电源,另加一个脉冲断续器,改变断续器接通频率,即可同时调节基本电流、脉冲电流的大小与频率。脉冲断续器的脉冲信号形成电路,见图 5.5.18,其工作原理如下:

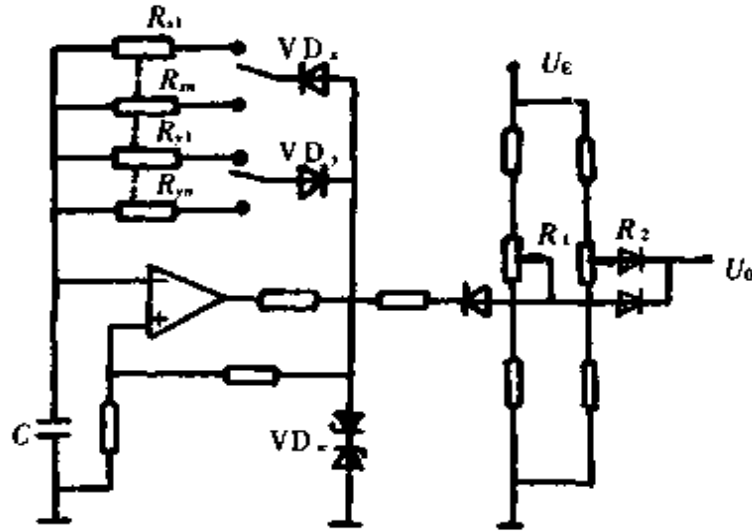


图 5.5.18 脉冲信号形成电路

以集成运算放大器为主构成了脉冲发生器,负反馈回路是由二极管和电阻组成的网络,二极管的单向导电性可以使积分电容的充放电时间常数相等( $R_x = R_y$  时)或不相等( $R_x \neq R_y$  时)。

设  $E_1$  和  $E_2$  为该电路的上、下门限电压,当电路的输出电压  $U_o$  为  $U_w$  时,通过负反馈回路的  $R_x$  对电容  $C$  充电,电容  $C$  两端的电压将按指数规律上升,当达到  $E_1$  时,输出状态就翻转, $U_o$  由  $U_w$  突跳到  $-U_w$ ,随即通过负反馈回路的  $R_y$  对电容  $C$  反向充电;当  $C$  两端电压下降到  $E_2$  时, $U_o$  又从  $-U_w$  突变为  $U_w$ , $C$  又开始正向充电,周而复始,就形成了自激振荡。改变  $R_x$  和  $R_y$  的阻值,便可以改变正向充电和反向充电的时间常数,从而改变脉冲峰值和底值的时间  $T_1$  和  $T_2$ ,其波形如图 5.5.19 所示。

$U_E$  为一稳定的直流电压, $W_1$  为脉冲输出峰值电压信号的调节电位器, $W_2$  为脉冲输出底值电压信号的调节电位器。脉冲信号发生器的输出对  $W_1$  的输出信号进行调制,便可使脉冲信号形成电路的输出信号。 $U_o$  为一个脉冲信号,其输出信号的峰值和底值的时间与脉冲信号发生器同步。由此信号控制焊接电源的输出,因而获得脉冲焊接电流。

### 3.3 埋弧焊机

埋弧焊机是将焊丝连续送进颗粒状焊剂层下,利用焊丝与母材或焊丝间电

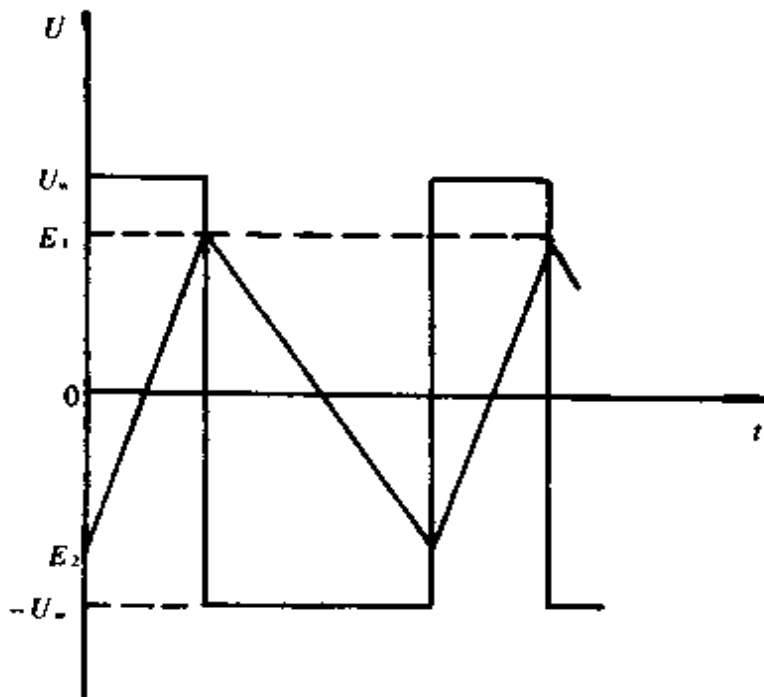


图 5.5.19 脉冲输出波形示意图

弧的热量,进行焊接的焊机。

埋弧焊机的种类很多,可分为单丝、双丝、多丝和带极四种。其焊接电源可以是直流、交流或交直流并用。目前最常用的是单丝焊车式等速送丝和变速送丝两用的自动埋弧焊机。最近发展的一种新型埋弧焊机,即窄间隙自动埋弧焊机,用来焊接大厚度钢板的纵缝和环缝。交直流两用的矩形波弧焊电源,也开始在自动埋弧焊中获得应用。

### 3.3.1 埋弧焊机的组成和结构原理

焊机的外形如图 5.5.20,它主要由焊接小车及装在小车上的焊接机头、焊剂漏斗、电气控制箱(兼操作盘)和其配套的弧焊电源等组成。焊接机头在小车上可以水平和上下移动,还可沿垂直和水平轴转动,操作盘也可以旋转角度。焊接小车设有四个车轮,其中两个是主动轮,它们靠一台直流伺服电机经一级齿轮和两级蜗轮蜗杆减速驱动,实现小车自动行走。小车减速系统的输出端与主动轮的轴间装有一个离合器,通过手柄操作,可快速调整在轨道上行走。

焊接机头包括焊丝送给和导电系统两部分。焊丝送给系统由送丝电机、减速箱、送丝滚轮、压紧滚轮及校直滚轮等组成。压紧轮装在压轮臂上,可以通过手柄来调节对焊丝的夹紧力,并与送丝滚轮、校直滚轮配合,起校直焊丝的作用。导电嘴可以采用整体圆筒式或夹持式。

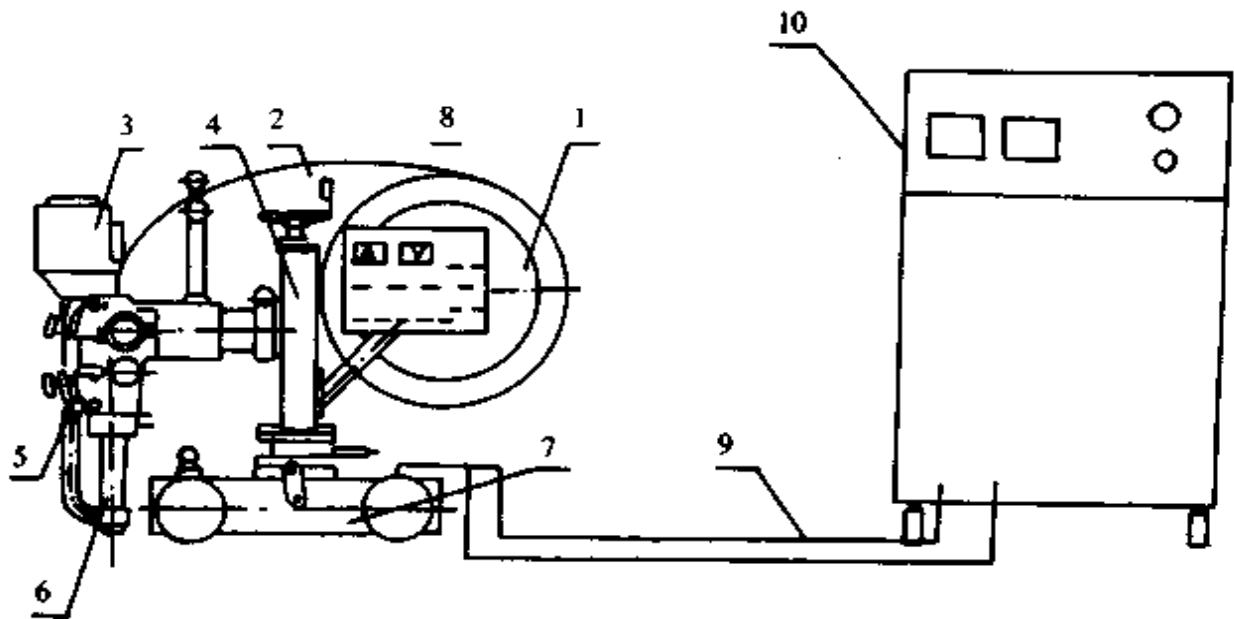


图 5.5.20 埋弧焊机结构示意图

1—焊丝盘 2—焊丝 3—熔剂漏斗 4—机头调整机构 5—送丝、校直机构  
6—焊炬、导电嘴 7—车身 8—控制箱 9—联接电缆 10—弧焊电源

### 3.3.2 埋弧焊机控制系统

控制系统应能实现下列动作：

- (1)在焊接开始前,能控制焊丝向上或向下,以调整焊丝端部与焊件接触。
- (2)焊接开始时,能远距离接通弧焊电源及引弧。
- (3)在焊接过程中,能自动以预定速度等速或变速输送焊丝及焊车沿焊缝移动。
- (4)在焊接结束时,能先停止焊丝输送,再切断弧焊电源,完成焊缝收尾。

在等速送丝的埋弧焊中,当使用的焊丝直径大于 3mm 时,则弧焊电源的外特性应以缓降为宜。使用细焊丝高电流密度时,可用缓降或平特性电源。

变速送丝的埋弧焊,焊丝的输送速度,按电弧电压的高、低可以自动调整,其弧焊电源的外特性以陡降或缓降为宜。图 5.5.21 为配用交流电源自动焊机变速送丝电气原理图。

送丝电动机 M 的电枢采用由单结晶体管触发的晶闸管 SCR 回路供电,接入电枢电压反馈,并通过  $R_1$  引入电弧电压反馈,使送丝速度随电弧电压的变化而变化,调节电位器  $R_2$  可以改变电弧电压反馈量的大小。

自动埋弧焊机引弧方式为：

- (1)定点接触、回抽引弧；
- (2)慢送丝划擦引弧。

以上两种方式,可根据工艺要求予以配置。

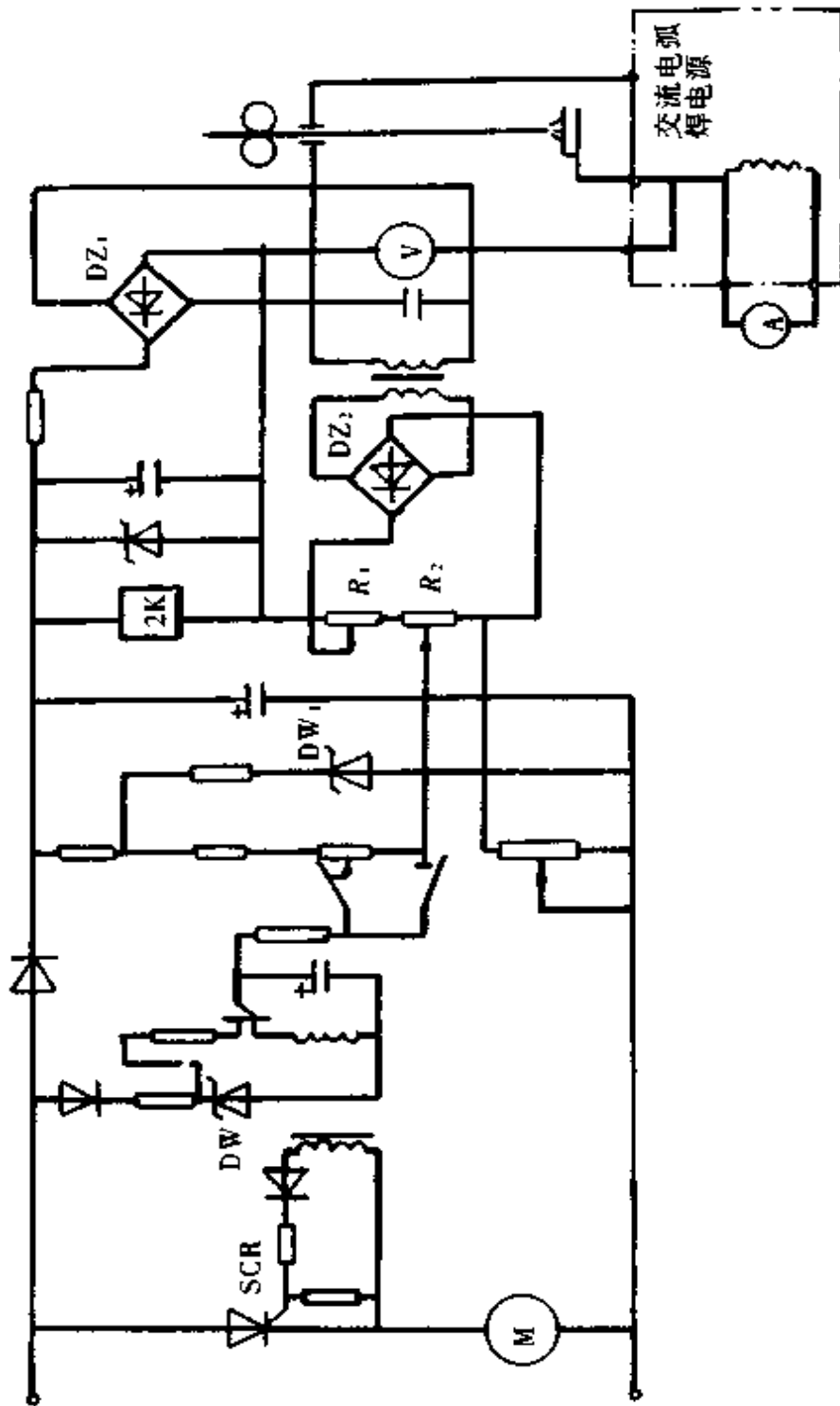


图 5.5.21 自动埋弧焊机变速送丝系统电气原理图



### 3.3.3 MZ-1250-2 自动埋弧焊机

主要电气技术参数如表 5.5.14 所示。

表 5.5.14 MZ-1250-2 自动埋弧焊机主要电气技术参数

名 称	适应范围
额定供电电压(V)	380
焊丝直径(mm)	3;4;5;6
送丝速度(mm/min)	400~2000;1000~5000
焊丝输送方法	等速送丝、变速送丝
引弧方式	定点引弧、缓送引弧
焊接速度(mm/min)	250~1170
额定焊接电流(A)	1250
焊接电流调节范围(A)	250~1250
配套电源	ZD5-1250 晶闸管弧焊整流器

常见故障及排除方法见表 5.5.15

表 5.5.15 MZ-1250-2 自动埋弧焊机常见故障及排除方法

故障现象	原 因	排 除 方 法
焊机不能启动	(1)保险丝断 (2)引弧方式有误 (3)控制板故障	(1)更换保险丝 (2)正确选择引弧方式 (3)检修或更换控制板
焊车不行走	(1)继电器不动作 (2)控制板故障	(1)更换继电器 (2)检修或更换控制板
送丝不稳	(1)送丝滚轮型号不 对或磨损严重 (2)控制板故障	(1)更换送丝轮 (2)检修或更换控制板

## 3.4 等离子弧焊机

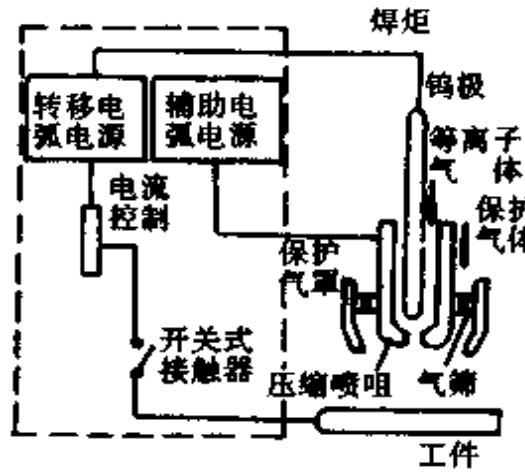
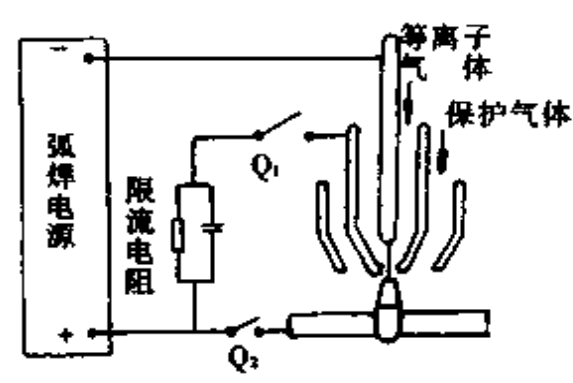
等离子电弧系一种压缩电弧,它是借助水冷喷嘴的外部约束条件使弧柱横截面受到限制,可使电弧的温度、能量密度、等离子流速都显著增大。它是一种高温(1600~33000K)、高度电离并包含着几乎相等的正、负粒子浓度的气体焰流。

等离子弧按电源连接方式分为转移型、非转移型与混合型三种。转移型等离子弧,电极接负极,工件接正极,等离子弧产生于电极与工件之间,常用于强电流等离子弧焊接 3mm 以上厚工件。非转移型等离子弧,电极接负极,喷嘴接正极,等离子弧产生于电极和喷嘴内壁表面之间,可用于非导电材料的焊接。混合型为转移型与非转移型的混合,常用于微束等离子弧焊接 3mm 以下的薄工件,特别适用于金属细丝、薄板的焊接。常用的型式为转移型与混合型两种。

等离子弧焊机分为手工焊和自动焊两种。用于手工焊等离子弧焊机一般制成

焊炬式。用于 30A 以下的小电流焊接, 俗称微束等离子弧焊机。自动等离子弧焊机常制成焊车式。它是靠焊车机械移动进行焊接, 一般用于 400A 以下的大电流焊接, 俗称强流等离子弧焊机。这两种等离子弧焊机除有不同型式的焊接操作机构外, 还需配以相应的电源、控制系统与气路系统, 并选用不同结构形式的焊炬, 其焊接电路原理见表 5.5.16。

表 5.5.16 两种常用等离子弧焊机的主要特征与适用范围

焊机名称	微束等离子弧焊机	强流等离子弧焊机
电流范围	0.1~30A	30~400A
焊接方式	熔入法: 焊接方式与钨极氩弧焊相同, 以较小喷射速度的等离子弧焰流熔化被焊金属母材和填充焊丝, 达到焊接目的	穿孔法: 采用较大喷射速度的等离子弧焰流, 穿透被焊金属的熔池, 在焊件背面形成穿孔, 当焊炬沿焊接方向前进移动时, 由于熔化金属的表面张力, 使熔化金属自持, 并逐渐收口凝固而获得单程双面成形全焊透的焊缝
电弧数量	主电弧(转移电弧) + 辅助电弧(稳定主电弧用)	一个转移电弧
引弧方法	先以接触法或高频振荡器在钨极和喷嘴间引弧, 再接通工件建立转移电弧	先用高频振荡器在钨极与喷嘴间引弧, 再转移至钨极与工件间。并由开关 $Q_1$ 切断通过喷嘴的电流
操作方式	手工	自动(不能采用手工)
焊接厚度	3mm 以下	3mm 以上
焊接电路原理图		

随着等离子弧焊接技术的发展和适用范围的扩大,已出现了一些新的等离子弧焊接方式。其类型为熔化极等离子弧焊、弱等离子弧焊、聚焦等离子弧焊、脉冲等离子弧焊、复合等离子弧焊、水下等离子弧焊等。

等离子弧焊机的电源应具有下降或垂直陡降的外特性,通常可以使用钨极氩弧焊所用的直流弧焊电源。用纯氩作为离子气时,电源的空载电压在 65~80V 即可使用。用 Ar + H<sub>2</sub> 混合气体作离子气时,空载电压需在 110~120V 的专用直流电源;若无合适的专用电源,也可用两台普通的直流弧焊电源串联使用,但此时必须采用防止触电的措施,在不进行焊接时,自动切断电源,以策安全。当以“小孔效应”焊接时,弧焊电源应附加电流递升与衰减装置。

大电流等离子弧焊都采用转移型弧,用高频振荡器引弧。引弧后切断非转移弧,因此转移弧合用一个电源,用串联电阻法获得非转移弧所需的较低电流。为减小体积,这个电阻常采用水冷结构。

在小电流(30A 以下)时,常用高频或接触短路回抽引弧;当使用 Ar、H<sub>2</sub> 混合气体的等离子弧焊时,常采用先在纯氩中引弧,然后再快速转入 Ar、H<sub>2</sub> 混合气流,这样可采用较低空载电压的弧焊电源。

在微束等离子弧焊时,需有两组陡降特性的直流弧焊电源,因为在焊接的同时存在转移电弧(主弧)与非转移电弧(维弧)。为了在较小的电流情况下保证电弧稳定,非转移电弧电源的电流不大于 5A,空载电压以 70~140V 为宜,工作电压为 18~25V;转移电弧电源的空载电压为 70~140V,工作电压为 20~40V,焊接电流为 0.5~30A。

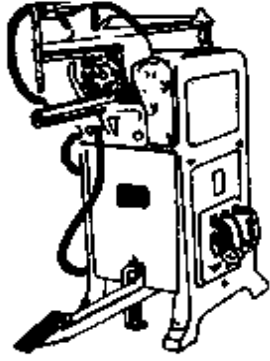
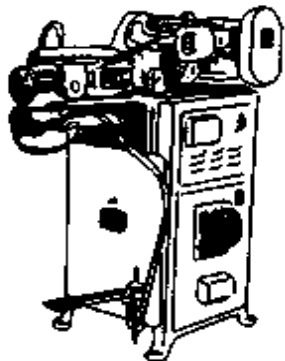
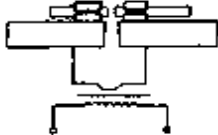
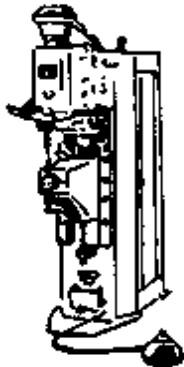
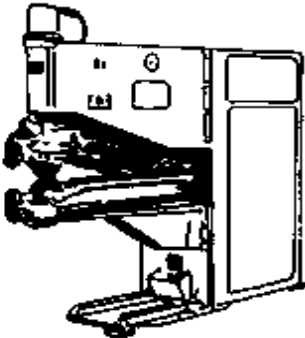
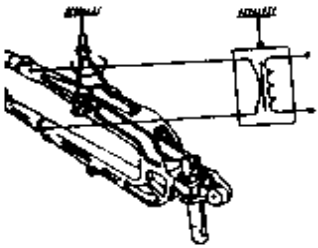
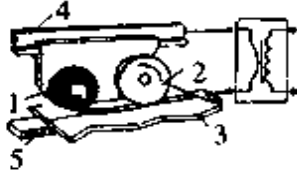
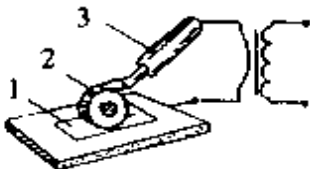
空气等离子切割机:空气等离子切割机的结构与基本工作原理,均与一般等离子切割机相似,它只是采用压缩空气为气源,主要区别在于割炬的结构。

## 4 电阻焊机

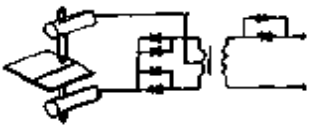
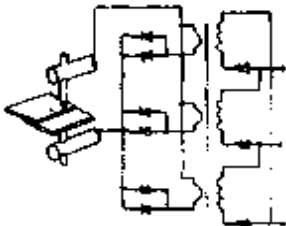

### 4.1 电阻焊机的分类、用途和组成

根据焊接接头型式不同,电阻焊机一般有点焊机、凸焊机、缝焊机和对接机等几种类型。电阻焊机的电源有工频、低频、直流冲击波、次级整流和逆变次级整流、电容储能等。根据焊接材料性能与焊接工艺要求选用,其中应用最普遍的是工频。电阻焊机的分类和用途见表 5.5.17。

表 5.5.17 常用电阻焊机的分类及主要用途

型式	点、凸焊机	缝焊机	对焊机	电容储能焊机
	脚踏杠杆传动式点焊机	电动凸轮式缝焊机	电阻对焊机	电容储能点焊机
外形结构				
	气压传动式点、凸焊机	气压传动式缝焊机	闪光对焊机	电容储能缝焊机
				
	悬挂式点焊机	特种缝焊机(垫缝焊)		电容储能螺栓焊机
				
	单面单缝焊机			
				

续表

型式	点、凸焊机	缝焊机	对焊机	电容储能焊机
采用电源和用途	直流冲击波点焊机 工频交流:黑色金属 次级整流:铝合金、镀锌件 直流冲击波:大厚度铝及其合金	工频交流:黑色金属 次级整流:铝合金及多层板	工频交流:黑色金属 有电顶锻:中厚板焊接 无电顶锻:管子对接	电容储能:适用不等厚度或不等截面的异种金属硬规范的焊接 螺栓焊
注:电原理图	单相次级整流 	三相次级整流 		

## 4.2 电阻焊变压器

电阻焊变压器是一个输出低电压(几伏至几十伏)、大电流(几千安至几十万安),低漏抗的特殊变压器。在工频电阻焊中,变压器为单相。在次级整流或逆变电阻焊中,变压器为带中心抽头式单相和三相变压器两种。电阻焊变压器主要由铁心、初级线圈、次级线圈、绝缘体及夹紧件等组成。铁心一般为壳式和卷铁心两种,线圈有筒式(小型)和盘式两种。初、次级线圈间采用紧耦合,以减少漏磁。由于焊接变压器是按断续周期运行的,当次级线圈采用强迫水冷结构时,为避免外壁有水滴凝聚影响电器绝缘性能,可用环氧树脂浇注。

各类电阻焊变压器结构特点见表 5.5.18。

表 5.5.18 常用不同功率电阻焊变压器的结构特点

项 目	小功率	中等功率	大功率
功率范围(kV·A)	<25	25~160	160~400
次级电流(A)	<8000	8000~20000	20000~40000
调节方式	初级线圈分级		
调节级数	8		16
铁心型式	铁壳式或C形铁心		
初级线圈	筒式		盘式
次级线圈	筒式、薄铜皮叠成		盘式、水冷铜板

典型的中、小功率电阻焊变压器初级线圈接线图见图 5.5.22。闸刀位置及相应参数见表 5.5.19。

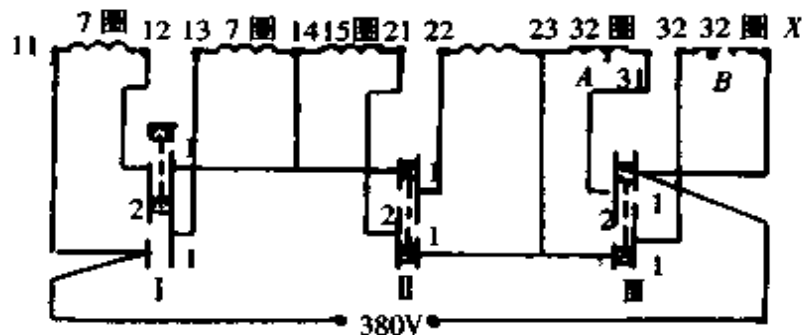


图 5.5.22 典型的中、小功率电阻焊变压器初级线圈接线图

表 5.5.19 闸刀位置及相应参数

闸刀位置	I	2	1	2	1	2	1	2	1
	II	2		1		2		1	
	III	2				1			
级数	1	2	3	4	5	6	7	8	
初级匝数	108	101	93	86	76	69	61	54	
次级电压(V)	3.52	3.76	4.09	4.42	5.0	5.5	6.23	7.04	

注：闸刀位置 2.1.1 是额定级。

#### 4.2.1 电阻焊变压器设计程序及参数确定

电阻焊变压器的设计程序如下：

(1) 首先根据所设计焊机的额定工作能力(可焊工件的厚度或截面)和焊接工艺要求,确定所需的额定焊接电流  $I_e$ 。

(2) 由所焊工件大小、焊机结构(即电极臂伸长度,电极开口距离),按图 5.5.23 曲线求得焊接回路的感抗,再加阻焊变压器的漏抗,得短路总感抗  $X_{hd}$ 。

(3)  $X_{hd}$ 求得后,加上焊接回路总电阻(短路电阻 + 工件电阻)计算额定级(指次级最大空载电压的前一级)次级电压:

$$E_{2e} = I_e \sqrt{X_{hd}^2 + (R_{hd} + r_g)^2}$$

式中  $E_{2e}$ ——额定级次级电压(V);

$I_e$ ——额定焊接电流(A);

$X_{hd}$ ——短路总感抗( $\Omega$ );

$R_{hd}$ ——短路电阻( $\Omega$ );

$r_g$ ——工件电阻( $\Omega$ )。

(4) 额定初级容量  $P_{\Sigma}$ 。

$$P_{\Sigma} = (1.02 \sim 1.05) I_e E_{2e} (\text{V} \cdot \text{A})$$

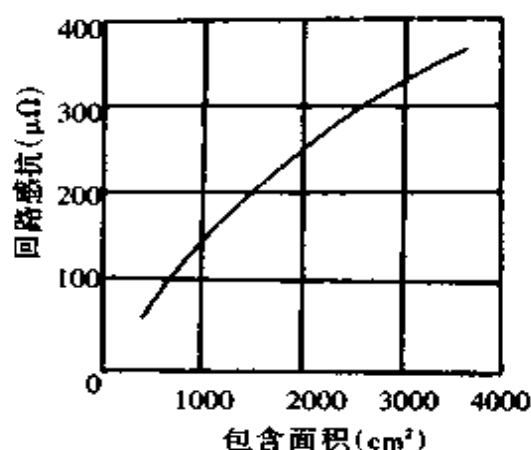


图 5.5.23 回路感抗和包含面积的关系

(5) 从焊机的生产率, 焊接通电时间, 确定变压器的额定负载持续率  $F_{sc}$ 。

$$F_{sc} = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

式中  $F_{sc}$ ——额定负载持续率(%)；

$t_1$ ——通电时间(s)；

$t_2$ ——休止时间(s)。

初级连续电流  $I_{ex}$

$$I_{ex} = \frac{P_{sc}}{U - U_g} \sqrt{F_{sc}/100} (\text{A})$$

式中  $U$ ——电网电压(V)；

$U_g$ ——初级回路中引燃管或晶闸管压降(V)。

(6) 确定次级圈数。因为它是大电流、低电压, 为了制造方便, 一般选用一圈, 但在悬挂式焊机中, 次级电压可高达 20V 左右。5kV·A 以下小型变压器及其他特殊焊机的变压器, 为了缩小铁心尺寸常超过一圈。

(7) 确定铁心面积  $A_z$ 。

$$A_z = (E_{2e}/4.44fB_m N_2) 10^{10} (\text{mm}^2)$$

式中  $N_2$ ——次级匝数；

$f$ ——电源频率(Hz)；

$B_m$ ——磁通密度(T)。

(8) 确定初级圈数  $N_1$ 。

$$N_1 = \frac{U_1}{U_2} \cdot N_2$$

式中  $U_1$ ——初级电压(V)；

$U_2$ ——次级电压(V)；

$N_2$ ——次级匝数。

(9)从额定功率及各级次级电压,按选用的电流密度确定初、次级铜线截面。

(10)上述各项参数求得后,即可按一般变压器的设计方法从焊接变压器的工作电压、绝缘等级、冷却方式、结构型式、线圈调节方式,对线圈及铁心窗口进行安排。

(11)最后校核励磁电流、初级电阻、次级电阻、重量及温升是否符合原设计要求。

#### 4.2.2 典型电阻焊变压器的主要制造数据举例

DNI-75 型点焊机使用的电阻焊变压器的主要数据见表 5.5.20。

表 5.5.20 DNI-75 型电阻焊变压器主要设计数据

项 目	额定容量(kV·A)		75		额定负载持续率(%)		20		
	冷却方式		次级水冷		冷却水流量(L/h)		200		
	初 级	额定电压(V)	380		次 级	额定级电压(V)	6.23		
		额定电流(A)	197			额定电流(A)	12000		
调节级数		8		电压调节范围(V)		3.52~7.04			
线圈编号	初 级					次级			
	1		2		3				
线圈型号	盘 式								
线圈数	2		2		2		1		
线规	SBECB								紫铜板
	3.88×6.93	2.03×9.57	2.98×9.63	2.03×9.57				7×48	
并联线数	1		1		1		1		
导线截面(mm <sup>2</sup> )	32.3		15.4		24		15.4		
电流密度(A/mm <sup>2</sup> )	2.73		2.88		2.86		2.88		
线圈匝数	7		9		15		23		
线圈抽头	0~7		0~9		0~15		0~23		
接线原理见图 5.5.22						铁心			
接线安装图						硅钢片规格	D21-0.5mm		
						铁心型式	壳式		
						铁心厚 198mm	截面积 110×198mm <sup>2</sup>		
						磁通密度(T)	14000		
尺寸									



### 4.2.3 逆变次级整流电阻焊机

将三相交流电经整流后变为直流,通过逆变器将此直流换成高频交流,提供给焊机或电阻焊机变压器的初级,其变压器的次级输出低电压、大电流的高频交流,再将其整流成直流以供焊接用。即所谓  $AC \rightarrow DC \rightarrow AC \rightarrow DC$  逆变式。电气原理见图 5.5.24。

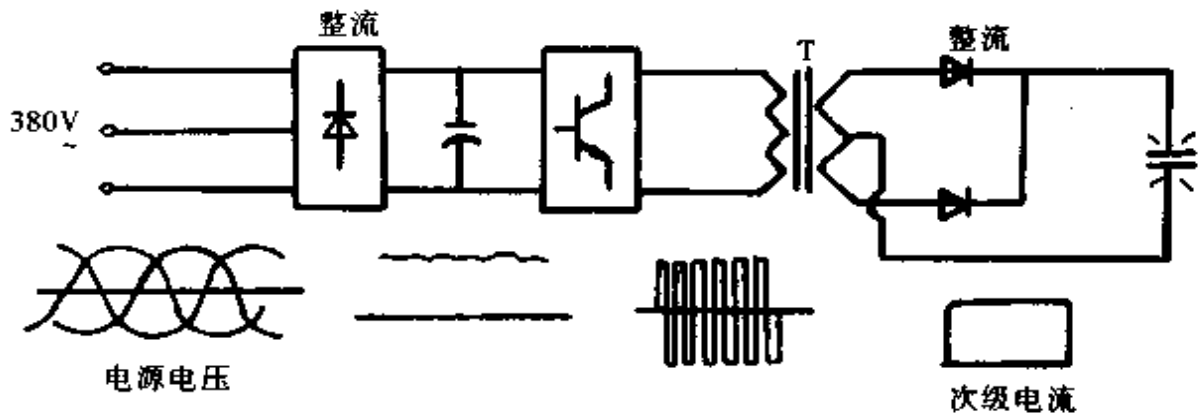


图 5.5.24 逆变式电阻焊机电气原理图

逆变次级整流焊机中的逆变器,由 GTR 大功率晶体管、IGBT 绝缘栅大功率晶体管等器件组成双端或三端串联逆变器,见图 5.5.25。逆变频率达  $600 \sim 1000\text{Hz}$ 。

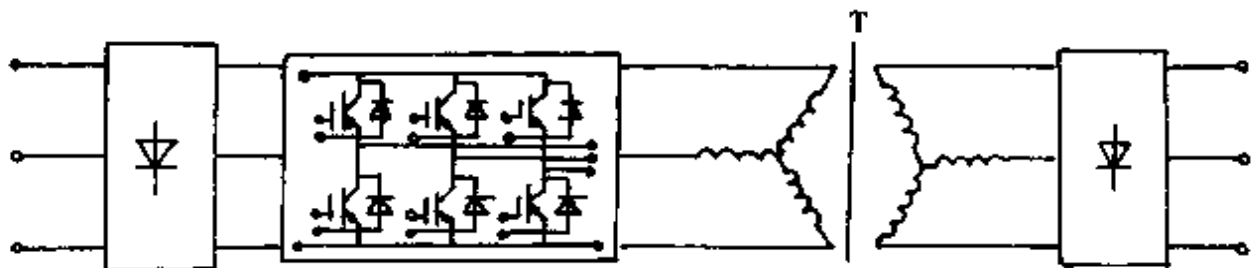


图 5.5.25 双端或三端串联逆变器

逆变电阻焊机的主要特点:

- (1)大幅度降低电阻焊变压器重量;
- (2)高速的动态响应速度和精确控制的电流稳定性,可达  $\pm 1\%$  范围内;
- (3)输入电网平衡、功率因数高、效率高;
- (4)可实现直流焊接,具有良好的工艺性。

### 4.2.4 电阻焊控制器

(1)电阻焊控制器的主要功能有:

- a. 焊接电流的控制;
- b. 电极电力的控制;
- c. 焊接的程序控制;

- d. 各程序的时间控制;  
e. 焊接规范存储和自适应功能等。

(2) 控制器的类型有:

- a. 电子管、引燃管式;  
b. 半导体逻辑电路、晶闸管式;  
c. 单片微处理器、晶闸管式;  
d. 大功率晶体管逆变式。

目前电子管式已逐渐淘汰, 逆变式控制器尚未成熟, 因此大量采用的是半导体逻辑电路和单片微机的晶闸管式控制器。电阻焊常用控制方式见表 5.5.21。

表 5.5.21 电阻焊机的常用控制方式

焊机类别	主要控制参数	控制方式	过程说明	应用范围与示例
点焊机	电极压力 $P_1$ , 焊接电流幅值 $I_h$ , 各工艺阶段的时间: $t_1$ (加压) $t_2$ (焊接) $t_3$ (维持) $t_4$ (休止)	不变压力一次通电式	在过程中采用单一的压力和电流值, 电流仅接通一次, 是最简单的点焊循环	适用于一般焊机, 焊接各种低碳钢, 如 DN <sub>2</sub> 系列等工频气动式通用点焊机
		不变压力多次通电式	一般在过程中采用单一的压力和电流值, 但对电流采取多次通断方式, 有时为进行预热和焊后热处理, 也可使各次电流有增减	等脉冲多用于焊接厚度 3mm 以上的工件, 热处理用于焊接有特殊要求的黑色金属。如 TN1-200 型工频气动式凸焊机
		不变压力调幅控制式	在过程中采用单一的压力但对电流进行调制使它开始时逐渐上升, 终了时逐渐下降, 以便进行预热和焊后处理。有时为满足特殊需要, 也可在多次通断的脉动焊接电流上再附加调幅控制	上升控制多用于有镀层的或表面不够清洁的焊件, 也用于大电流焊接。衰减控制用于焊后需要热处理的工件
		马鞍形压力, 一次通电式	过程中各阶段的压力不同, 使用较高的预压力和锻压力, 电流一般接通一次。特殊要求时亦可对电流进行各种调变	适用于焊接有色金属及其合金, 如 DJ 系列直流冲击波焊机
缝焊机	电极压力 $P$ , 焊接电流幅值 $I_h$ , 焊接电流通断时间: $t_1$ (焊接), $t_2$ (休止), 电极滚轮转速 $n$	连续通电式	两焊件先压紧, 然后焊轮连续转动, 使焊件连续移动, 但电流也一直接通。控制最简单, 焊接质量较差	适用于焊接低碳钢薄板或不重要的焊缝, 一般用于小功率焊机中, 如 FN-25 型脚踏杠杆式缝焊机
		断续通电式	两焊件先压紧, 然后焊轮连续转动, 使焊件连续移动, 电流断续接通, 焊接质量较好	适用于一般黑色金属材料焊接。如 FN1 系列等工频气动式通用缝焊机
		步进式	两焊件先压紧, 焊轮断续转动, 使焊件断续移动, 电流在焊件静止时接通	适用于铝合金焊接。如 FJ-400 型直流冲击波缝焊机

续表

焊机类别	主要控制参数	控制方式	过程说明	应用范围与示例
对焊机	顶锻力 $P$ , 焊接电流幅值 $I_h$ , 动夹具位移 $S$	电阻式	两焊件先压紧再通电, 加热到塑性状态时, 利用弹簧压力进行顶锻完成焊接。设备最简单, 但接头质量较难保证。有些高要求的对焊机也有采用顶锻增压	常用于小型焊机, 如焊接小直径棒料和管子的焊机, 如 UN 系列等工频手工电阻对焊机
		连续闪光式	先接通电源, 再使两焊件逐渐接近形成闪光。当加热足够时立即进行顶锻而完成焊接。接头质量较高, 焊机有一定的送料顶锻机构	可制成各种不同的型式以焊接棒料、管子、板材、型材或钢筋, 如 UN5 系列闪光对焊机
		预热闪光式	先用电阻法或闪光法进行预热, 再按连续闪光对焊方式焊接	适用于大截面焊件对接焊, 如 UN15-75、UN17-150 型对焊机

4.2.4.1 KD6 点焊控制器 KD6 点焊控制器是半导体式无触点控制器, 有加压、焊接、维持、休止四个可以独立调节的程序。每一程序时间的调节范围为 1~100 周, 采用减法线路的十进计数器, 焊接热量可以周期移相调节, 并采用积分控制线路来补偿电网电压变化的影响。各部分的控制线路尽可能简化, 并制成插入式的印刷电路板。

程序转换电路的作用是:

- (1) 在每一程序开始之前, 输出一个正的置码脉冲对计数器置码。
- (2) 当计数器结束一个程序之计数而将其输出信号送入到程序转换电路来时, 程序转换电路即依次转换一个程序。
- (3) 输出控制电磁阀的信号, 使焊机电极在加压、焊接、维持三个程序时均是压紧的, 而仅在休止程序放开。
- (4) 输出控制焊接电流的信号, 使在焊接程序时有焊接电流。

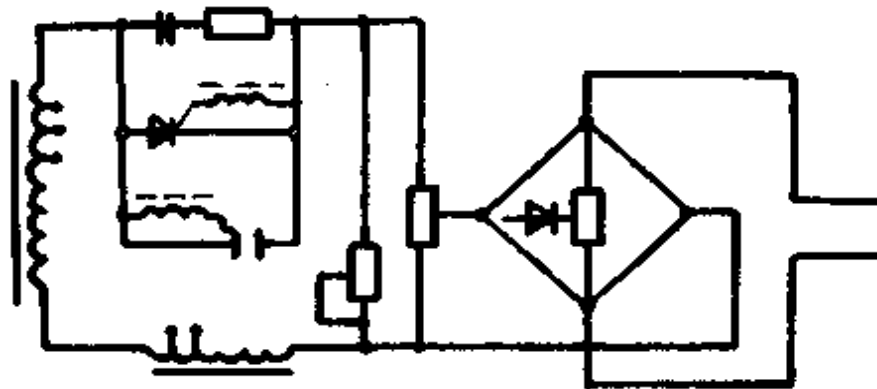


图 5.5.26 模拟焊机

模拟焊机见图 5.5.26 所示, 用电感  $L$  和电阻  $R_{402}$  来模拟焊机, 两只小电流

的晶闸管 SCR401 和 SCR402 用来模拟主回路,调节 R402 使模拟焊机的功率因数等于实际焊机的功率因数,那么从电阻 R403 两端输出再加以整流后就是模拟焊接电流的信号。当电网电压波动时,模拟焊接电流信号也跟着变动,差值积分器就会将两者差值的积分输出到焊接电流调节器,焊接电流调节器的输出同时控制模拟焊机 and 实际焊机,直到模拟焊接电流信号恢复到和主令焊接电流信号相等时为止。所以模拟焊接电流信号最终将不受电网电压波动的影响而仅取决于主令焊接电流信号。因为实际焊机受到与模拟焊机同样的调节,所以实际焊接电流也将取决于主令焊接电流信号而不受电网电压波动的影响,稳定电路方框图见图 5.5.27。

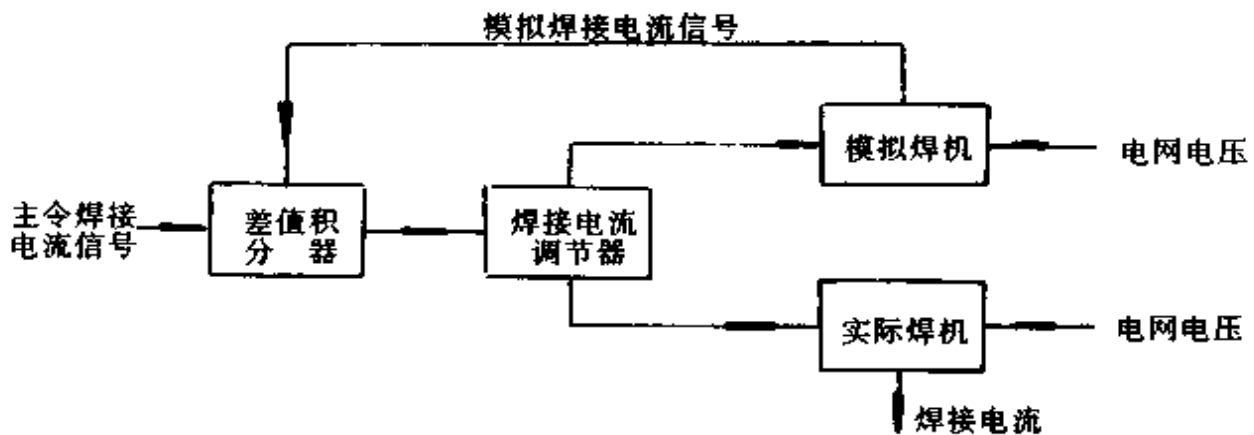


图 5.5.27 稳定电路方框图

4.2.4.2 **KD2-200 集成电路电阻点焊控制器** KD2-200 控制器是 KD6 控制器经改进后,把计数器和程序转换电路改成用 CMOS 门电路和双稳态等电路组成。焊接变压器初级采用反并联晶闸管控制来调节其焊接热量。

4.2.4.3 **KD3-200 单片微处理器电阻焊控制器** KD3-200 控制器是 70 年代末发展起来的多功能、高精度、智能化控制器。其硬件电路工作原理见图 5.5.28。

由 MCS-48 系列的单片机(8035)、片外程序存储器 EPROM(2716)、地址锁存器(74LS373)、地址译码器(74LS138)、I/O 扩展器(8243)、总线缓冲门(74LS244)、A/D 转换器(ADCO804)、六反向驱动器(74LS06)等组成单片机系统。控制器的软件存放在 EPROM(L2716)中,依据其指令,单片机(8035)由总线(BUS)从 74LS244 读入操作者输入的参数(各段程序的定时周数和热量值)、从 ADCO804 读入电网电压值、从  $PI_0 \sim PI_2$  口读入操作者设定的工作状态。上述信息经单片机的 CPU 处理后,从  $PO_0 \sim PO_2$  口经 74LS06 输出信号电压,分别用于触发控制焊机电磁气阀和焊接变压器(T)的晶闸管( $V_1, V_2, V_3$ );从  $PZ_0 \sim PZ_3$  口经 I/O 扩展器(8243)的  $P_4, P_5$  口以 BCD 数形式输出焊接参数。单片机还从  $T_1$  口输入电网电压过零信号——同步脉冲(每半周一个脉冲),作为各段程序计时(以整周数计)的时钟脉冲及主回路晶闸管移相触发的时标;从中断口(INT)输入主回路晶闸管

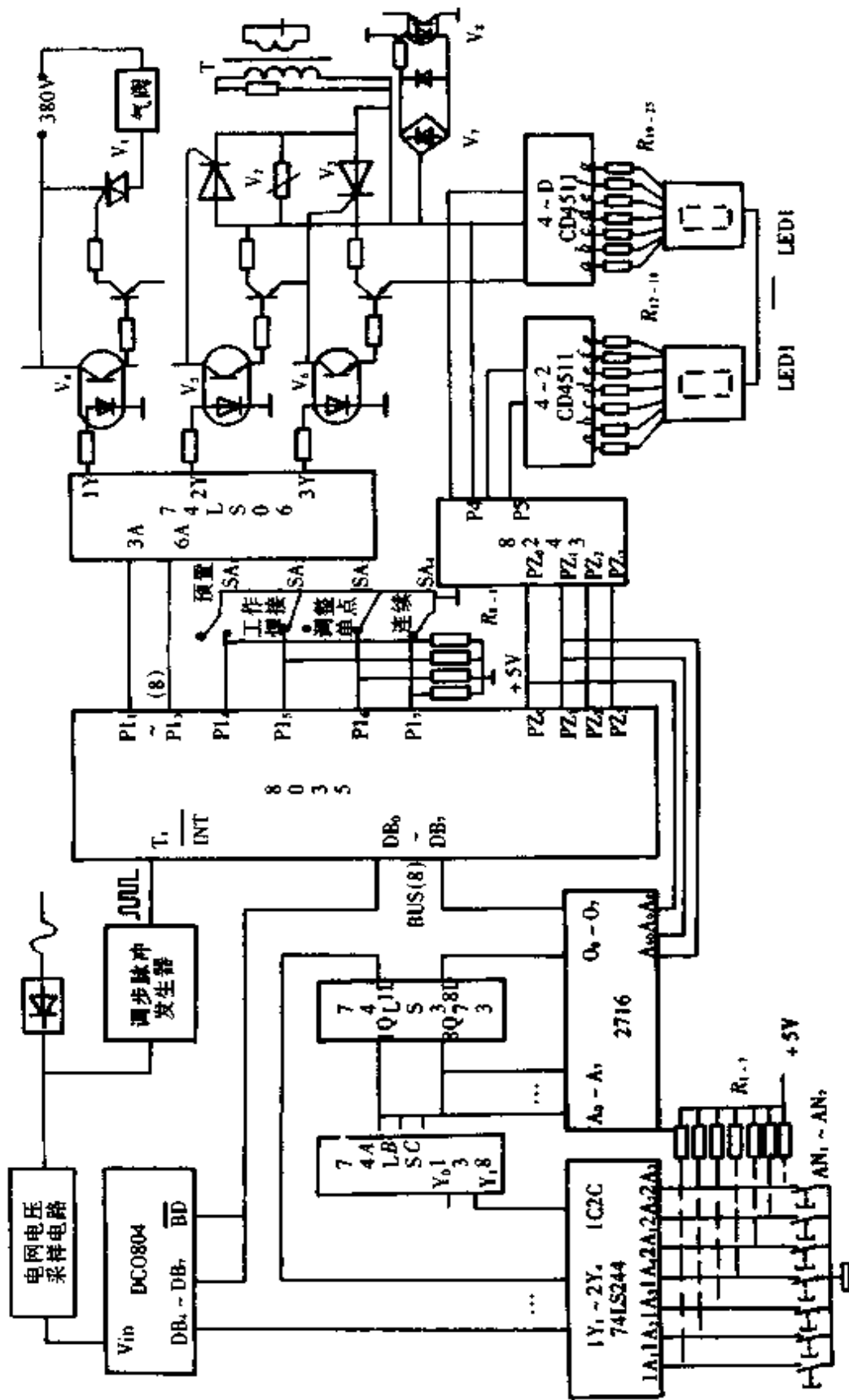


图 5.5.28 KD3-200 型控制电器工作原理图

( $V_2$ 、 $V_3$ )发生故障(不导通或误导通)的信号。

参数预置电路由按键  $AN_{1-7}$ 、电阻  $R_{1-7}$  组成的网络与 5V 电源及 74LS244 输入口相连。 $AN_{1-4}$  分别对应预压、焊接、维持、休止各程序段,  $AN_5$  对应“热量”值(实际为晶闸管  $V_2$ 、 $V_3$  的触发相位角),  $AN_{6-7}$  则分别用于调整各程序段时间和热量值的增大或减小。当  $PL_4$  口为高电平时, 单片机执行参数预置与显示程序, 当  $AN_{1-4}$  中某一按键闭合时, 74LS244 对应输入口为“0”电平, 其余为“1”电平。单片机读入 74LS244 输入口的信息并逐位判别“0”、“1”状态, 即可将要预置的参数存放到数据寄存器(RAM)的指定单片中。当判断出 74LS244 的  $2A_2$  口对应的数位为“0”(即  $AN_6$  闭合)时, 则对前述 RAM 单元中的存数据调增(逐次加 1); 当  $2A_3$  为“0”电平( $AN_7$  闭合)则调减。

参数显示电路由七段锁存—译码—驱动电路(CD4511)、两块 LED 数码显示器及相关元件组成。两片 CD4511 分别对 8243 的  $P_4$ 、 $P_5$  口输出 BCD 数译码, 使 LED 显示出以十进制表示的焊接参数。

由选择开关  $SA_{1-3}$ 、脚踏开关  $SA_4$  及相关元件组成的功能选择电路各开关处在代表不同功能的两个位置之一时, 使  $PL_{4-7}$  口或置“0”或置“1”。单片机读入  $PL_{4-7}$  口的信息并逐位判别, 即可按规定的功能执行相应的程序。

由光电耦合器  $V_4 \sim V_6$ 、晶体管  $V_7 \sim V_9$  及相关元件组成隔离驱动电路。 $V_4 \sim V_6$  即可传输单片机  $PL_{0-2}$  口经 74LS06 输出的控制信号, 又可将电磁气阀和焊接变压器电源的高电压与单片机系统从电气上隔离。 $V_7 \sim V_9$  则将上述控制信号放大, 提供可驱动晶闸管  $V_1 \sim V_3$  的控制极电流。

电网电压采样电路的结构为一峰值检波器, 其输入为与电网电压成比例的全波整流信号, 其输出经 ADCC0804 作 A/D 转换后供单片机读入。单片机每个半周读入一次电网电压值, 将其与额定电网电压值比较后, 按二者差值调整预置的“热量”值所对应的晶闸管  $V_2$ 、 $V_3$  触发相位角并按从  $PL_1$ 、 $PL_2$  口发生触发信号。

同步脉冲发生电路, 其电路结构为一过零信号发生器, 每当电网电压过零时输出一宽度小于 1ms 的脉冲送到单片机的  $T_1$  口。

由整流桥  $V_1$ 、光电耦合器  $V_6$  及相关元件构成晶闸管状态检测电路。当主回路晶闸管  $V_2$ 、 $V_3$  导通时  $V_6$  输出高电平, 截止时则输出低电平。该信号送到单片机的中断口(INT)用以判断晶闸管的工作状态。当晶闸管出现异常状态(如得到触发信号但不导通或未加触发信号而误导通)时, 单片机即执行故障处理程序并通过报警电路(图中省略)给出故障报警信号。

控制器的主程序流程见图 5.5.29 所示。起动后, 控制器即按预先写入单片机程序存储器中的程序开始运行。它对一个焊接循环中各程序段的定时控制、程序

转换、热量控制及电网电压补偿都是在电路硬件的基础上,由软件处理来实现的。

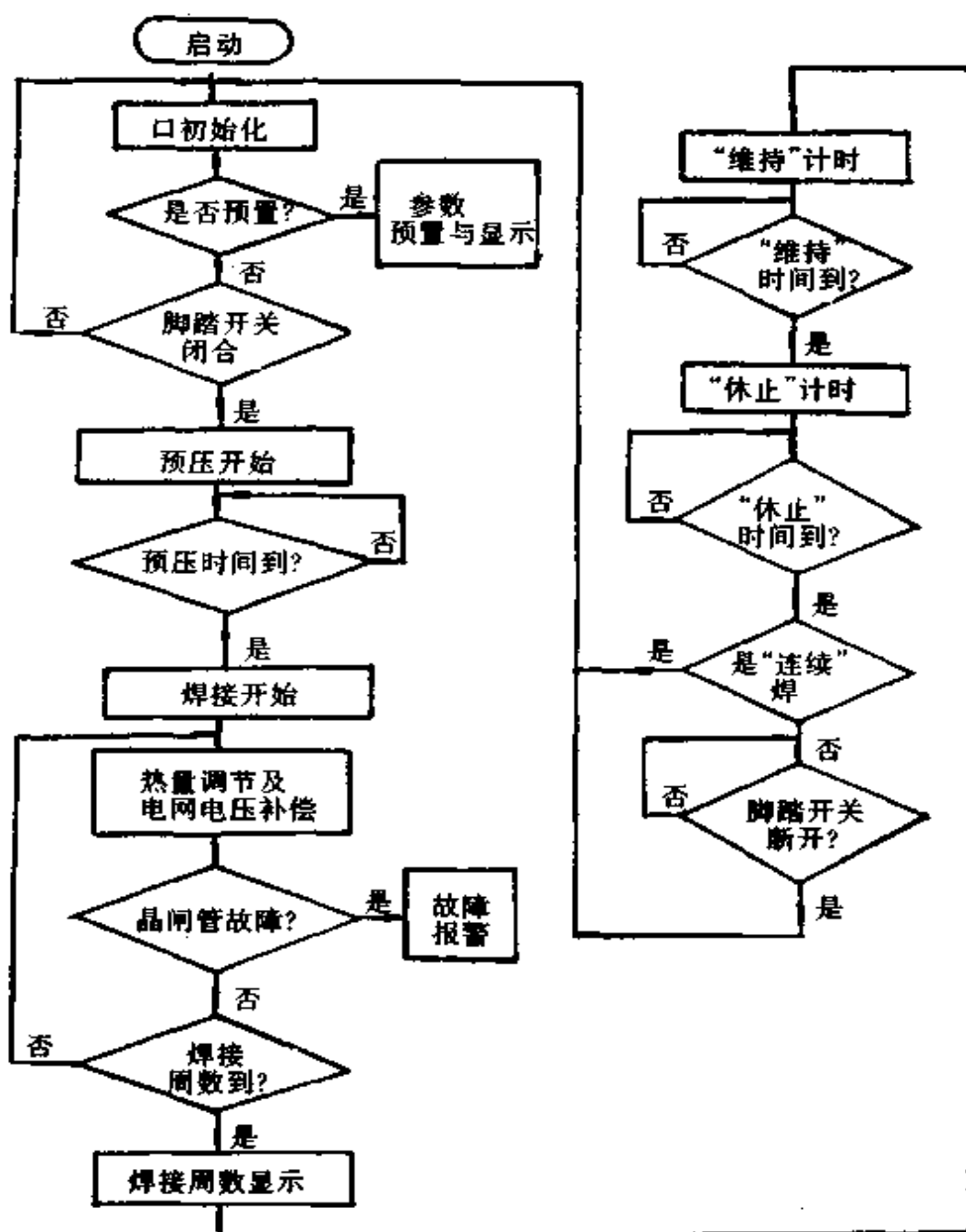


图 5.5.29 控制器主程序流程

当单片机判别到经  $P1_7$  口输入脚踏开关 ( $SA_4$ ) 状态信号为“1”电平后,先是从  $P1_0$  口输出“0”电平信号使晶闸管  $V_1$  导通(于是焊机汽缸开始对电极加压),然后将存放在数据寄存器中的预压周数(以补码的形式表示)传送到计数器中,随即执行  $STRT\ CNT$  指令起动计数器,计数器开始对  $T_1$  引脚输入的电网电压同步脉冲进行加法计数,一旦计满预压周数,计数器便溢出(标  $T_F \approx 1$ ),程序转换到下一

个程序段(即焊接程序)的起始地址。其余各程序段的计数定时及程序转换与此类同,直到完成一个焊接循环。

焊接参数中的“热量”值实际上是用电网电压有效值的百分数(经过变换处理)作地址,以主回路晶闸管的触发相位角(变换成以电网过零为起点的延时时间)为内容,用数表的形式存入 EPROM 中。当流程进入焊接程序时,单片机即按预置的“热量”值查表求得延时时间值,再通过软件延时后按指令以  $PI_1$  或  $PI_2$  口输出“0”电平使主回路晶闸管  $V_2$  或  $V_3$  导通。当电网偏离额定电压时,可通过软件对上述延时时间值进行修正,从而实现了“热量”调节和网压补偿。

单片机的性能参数见表 5.5.22,常用扩展器件及接口电路见表 5.5.23。

表 5.5.22 单片机的性能参数

型号	片内存贮器(字节)			晶振 (MHz)	指令周数 ( $\mu s$ )	I/O 接口线	外部 中断	定时/ 计数口	寻址范围	
	EPROM	ROM	RAM						EPROM	RAM
8748H	1K		64	6	2.5	27	1个	1×8位	4K	256
8749	2K		64	6	2.5	27	1个	1×8位	4K	256
8031			128	12	1	16	2个	2×16位	64K	64K
8035			64	6	2.5	27	1个	1×8位	4K	256
8051		4K	128	12	1	32	2个	2×16位	64K	64K

表 5.5.23 常用扩展器件及接口电路

器件种类	型号	功能说明	备注
标准 EPROM	2716	2K×8, 350ns	用户可编程,可擦除改写,通过外接锁存器和单片机相连
	2732	4K×8, 450ns 光可控	
标准 RAM	2114A	1K×4	通过锁存器与单片机相连
	8111A	256×4	
I/O 扩展	8243	16线,可将单片机的4条I/O线扩展为4个4位静态口	单片机,驱动能力强
标准外围芯片及接口电路	74LS244	总线缓冲门,8位输入口	用总线扩展的输入口 用总线扩展输出口 传送地址的低8位
	74LS377	锁存总线上输出的数据地址	
	74LS373	锁存器,用以传送单片机发出的地址与指令	
	74LS138 CD4511	三一八/译码器 BCD/七段锁存、译码、LED驱动电路	
模/数 数/模转换电路	AD7524	8位并行,D/A转换器,非线性度±0.05%	输出端带锁存器,可直接与单片机BUS连接
	AD7250	10位并行,D/A转换器	输出端不带锁存器,可直接或通过接口电路与单片机 $P_1$ 、 $P_2$ 口相连
	ADC0801 -0804	8位A/D转换器,转换时间100 $\mu s$	可与单片机BUS直接相连



## 5 特种焊机

### 5.1 电子束焊机

电子束焊接是利用电子枪的阴极发射出来的大量电子,经高压电场加速到极高的速度,并通过静电场与磁场聚焦成细束,用这种高能电子流轰击工件,使电子流巨大的动能转变成热能将金属熔化并焊接。电子束焊接一般在真空室中进行(真空度约 $0.13\text{Pa}$ )。电子束焊机主要由电子枪、高压电源系统、焊接工作室及工作台、真空系统、光学对中装置以及控制系统等组成。通用电子束焊机的组成见图 5.5.30。

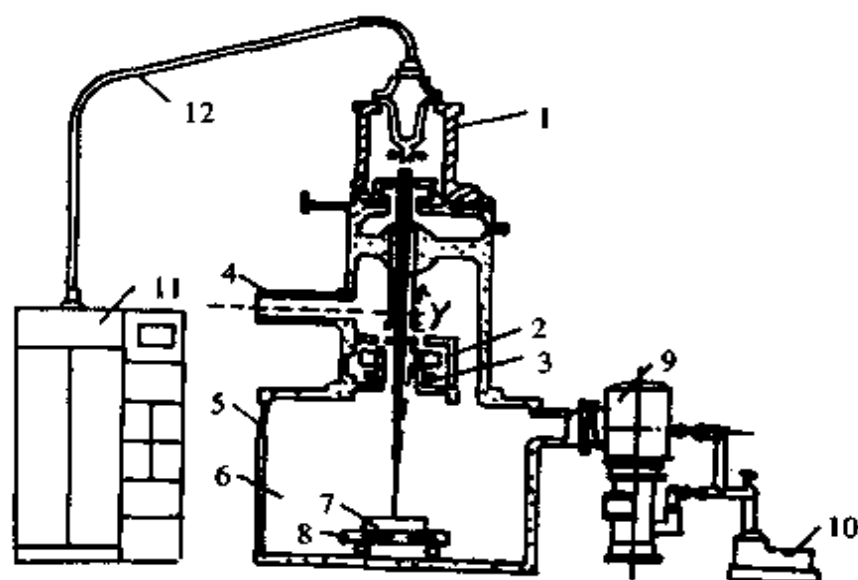


图 5.5.30 通用型电子束焊机组成示意图

1—电子枪 2—聚焦线圈 3—偏转线圈 4—观察系统 5—观察窗 6—工作室  
7—工件 8—工件移动装置 9—扩散泵 10—机械泵 11—高压电源 12—高压电缆

#### 5.1.1 电子枪

电子枪通常由阴极、聚束极(或栅极)、阳极、聚焦线圈及附加线圈等组成,它是在高真空下发射电子并使之聚焦、偏转的组合装置。阴极通过直接或间接加热而发射电子。聚束极在阳极周围,将电子聚合成束。阳极亦称加速极,其中间开有小孔,相对阴极有很高的直流电位。电子在阳极与阴极间的强电场作用下,被加速并射出阳极孔,经过聚焦线圈(电磁透镜)后进一步聚成细束。偏转线圈可使电子束根据需要按一定方向偏转或摆动。电子枪有二极式或三极式两种,前者由发射电子的阴极、聚束极和阳极组成,聚束极和阳极处于同电位。后者则将聚束极以控

制栅代替,栅极与阴极间加一负偏压,可改变这个负偏压来调节电流。三极枪结构示意图见图 5.5.31。电子枪阴极材料要求有较低电子逸出功,应有较高的发射电流密度,加工成形方便,高温时有足够的机械强度和足够长的寿命,化学性能稳定。一般采用难熔金属及其化合物,如钨、钽、六硼化钨等。

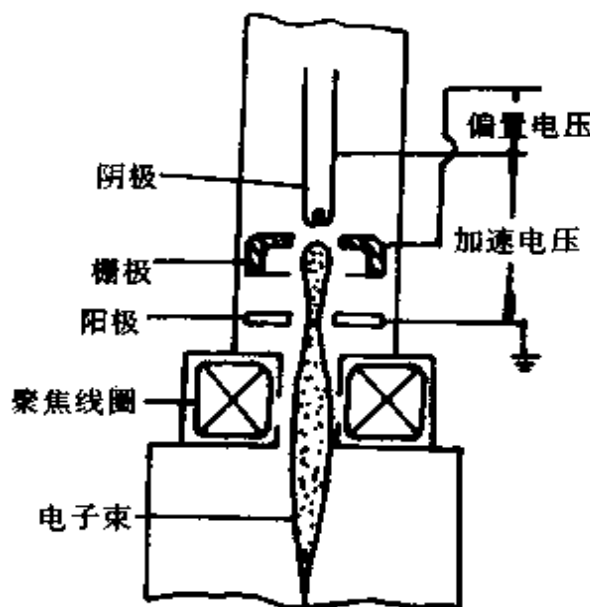


图 5.5.31 三极枪结构示意图

### 5.1.2 高压电源

电子枪所需的直流高压(达 150kV),一般由三相高压变压器、三相桥式整流装置和电容滤波器组成。在高压变压器的原边接入晶闸管作为高压调整环节。例如:当直流高压为 100~150kV,电子束电流为最大值时,该电源保证输出电压的纹波 $<1\%$ ,稳定性为 $\pm 0.5\%$ 。其绝缘结构大多采用油浸式结构。

### 5.1.3 控制系统

除了电子束焊机各种电气操作,真空系统的转动控制和测量装置外,控制系统还具有电子扫描对中控制、焊缝自动跟踪和焦距控制、功率控制等功能。其中磁透镜聚焦电流的高稳定控制是电子束焊接的关键。图 5.5.32 所示电路是一种高稳定度电子束焊机的磁透镜电源。聚焦线圈的励磁电流应与加速电压的二次方根成比例,这种控制使电子束焦点直径保持不变,亦可用于闭合焊缝接头的功率衰减收尾。

电子束焊机在使用和维修时必须注意安全操作,因电子束焊处于高压工作状态。检修前必须将高压对地放电,并严格遵照说明书中的安全操作要求正常检查设备接地是否可靠。

## 5.2 激光焊机

激光焊接是利用激光束作为焊接能源的一种熔焊过程。激光器有固体激光

器和气体激光器两类,其特点见表 5.5.24。

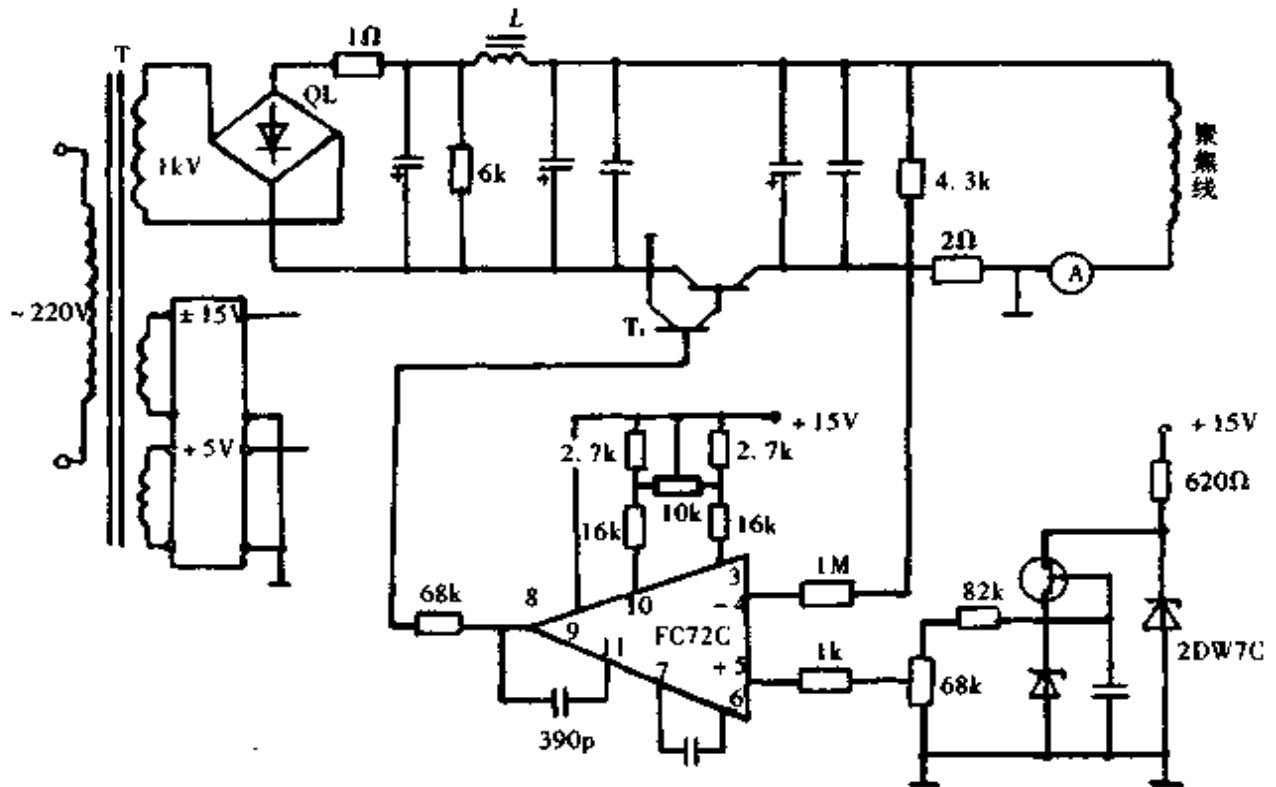
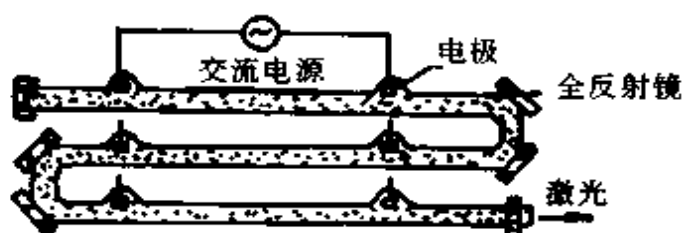


图 5.5.32 一种高稳定度的电子束焊机磁透镜电源电路原理图

多节折叠管式  $\text{CO}_2$  激光焊机结构示意图见图 5.5.33。大功率  $\text{CO}_2$  激光器常采用折叠式结构,放电管可用石英玻璃制成。全反射球面镜与输出窗口构成  $10.6\mu\text{m}$  波长的共振腔,其安装要保证全反射镜球面顶点和球心的连线与放电管中心轴线相重合,并垂直通过输出窗口的中心。

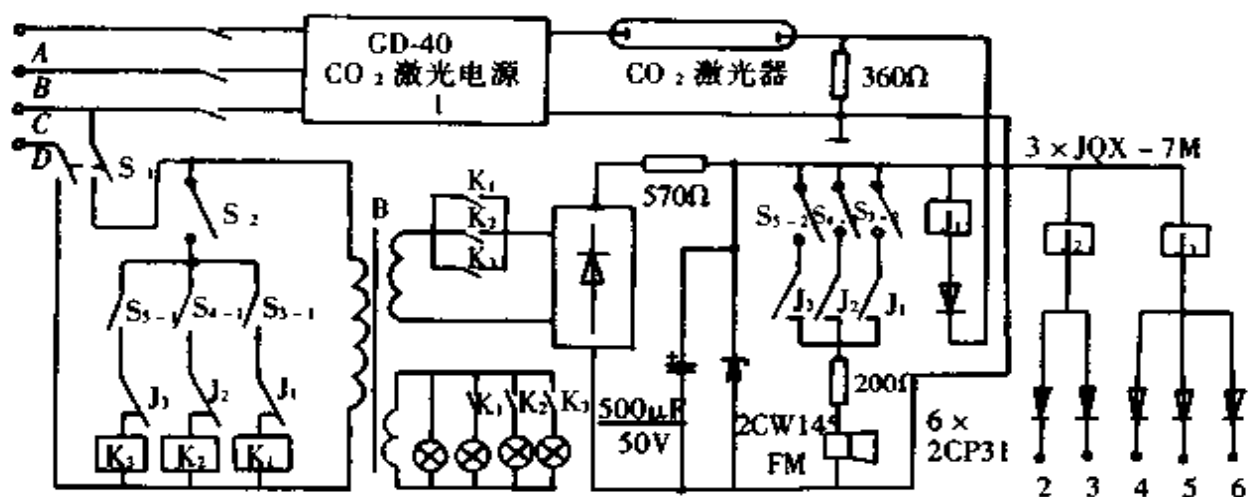
表 5.5.24 焊机中常用激光器的特性

激光器类别	工作物质	波长 ( $\mu\text{m}$ )	一般输出功率或能量	指向性 (rad)	效率 (%)
固体激光器	红宝石 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}^{3+}$ )	0.6943	脉冲 < 1J	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$\approx 1$
	钕玻璃	1.06	脉冲 < 1J	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$\approx 4$
	钕铝石榴石 ( $\text{YAG}; \text{Nd}$ ) ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}; \text{Nd}^{3+}$ )	1.06	连续 > 200W	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$\approx 3$
气体激光器	二氧化碳中加入少量氮及氦 ( $\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{He}$ )	10.6	连续 > 1kW	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$\approx 10$

图 5.5.33 多折叠管式 CO<sub>2</sub> 激光焊机结构示意图

全反射镜通常由玻璃透镜镀金而成,聚焦透镜必须由对波长  $10.6\mu\text{m}$  振波透过率大的材料(如锗等)制成,其外层应有防护玻璃,以免金属飞溅损伤透镜。

CO<sub>2</sub> 激光焊机的高压电源采用陡降的外特性,其电路原理见图 5.5.34。高压变压器初级电压等于电网电压与电抗器上的电压降之间的矢量差。当电源刚接通的瞬间,激光器尚未起辉,相当负载开路,通过电抗器的电流很小,此时电网电压几

图 5.5.34 GQ-0.5CO<sub>2</sub> 激光焊机电路原理

乎全部加到高压变压器的初级线圈,因而输出的直流高压使 CO<sub>2</sub> 激光器起辉,然后随电流的增加电抗器压降增加,加在高压变压器上的初级电压就越低,通过这样来调节电源的输出得到下降特性。利用接触器 K 变换电抗器的线圈匝数来调节放电电流,以改变 CO<sub>2</sub> 激光器的输出功率。高压变压器采用 H 级绝缘环氧树脂浇注工艺,防止高压击穿放电。为保证激光焊机使用的安全,焊机设有放电回路监视装置,并设有高压电源的泄漏电阻,并将焊机采用双接地的方案,即电源箱和工作台分别接地,在工作时任一接地点脱落都将发出声响报警,从而保证人身、设备的安全。

## 6 焊接成套设备

### 6.1 焊接成套设备的分类

焊接成套设备为汽车、发电设备、化工、冶金、工程机械、日用机械、家电等工业部门的大型工程项目提供所需的焊接设备及焊装生产线。已能成套供应的专用焊接设备和生产线有如下几大类:

(1)汽车焊装专用设备及生产线。包括汽车转动轴焊装生产线;汽车后桥扭矩管、轴管法兰自动气体保护焊机、汽车制动蹄点、凸焊、滚焊生产线及各种汽车专用多点焊机。

(2)电站锅炉、化工容器专用成套焊接设备。包括窄间隙自动埋弧焊成套设备;直管热丝 TIG 成套焊接设备;轻型容器成套自动埋弧焊设备。

(3)输变电、电机行业专用焊接设备。包括大型变压器散热片自动焊接生产线;电机定子液压氩弧焊设备;冶金起重交流电机转子引出线焊接成套设备。

(4)石油、冶金、工程机械专用焊接设备。包括液化石油气钢瓶专用埋弧焊机,输油、气螺旋管自动埋弧焊成套设备;热轧不锈钢带退火、酸洗生产线专用多点焊机,贴角双丝自动埋弧焊成套设备;汽车起重机吊臂自动 MIG 焊接机组,重型汽车刹车蹄自动焊机成套设备。

(5)航空、航天工业用焊接设备。包括次级整流式点、凸、缝焊机组,真空电子束成套焊接设备。

(6)日用机械、家用电器工业用成套焊接设备。包括摩托车钢圈焊装生产线,摩托车油箱专用缝焊机;全自动洗衣机壳体专用焊接生产线;显像管玻壳研磨具专用点焊机等。

成套焊接设备的特点:

将其专用焊接设备与被焊工件的组装、传输、焊接胎具、夹具以及各工位的自动传递组合成生产线,实现焊接机械化、自动化的工艺过程。因而自动控制将成为成套焊接设备的关键技术。

### 6.2 PC 机在焊接成套设备中的应用

可编程序控制器(简称 PC 机),是以微型计算机技术为基础的工业自动化控制器。它与继电器控制系统相比,具有控制能力强、功能灵活、编程方便、可靠性高、抗干扰能力强、调试维修方便等一系列优点。因此 PC 机在焊接生产线,尤其是周期性程序处理的场合应用十分广泛。

### 6.2.1 PC 控制系统功能

PC 控制系统功能如下:

(1) 生产线的工作节拍和程序,可以在一定范围内调整,以满足生产线工艺流程需要。

(2) 具有手动和自动工作两种操作方式。

(3) 各工位可各自单独调整。

(4) 具有精确定位传输控制功能(采用脉冲记数前进传输)。

(5) 具有焊接速度显示及焊缝(环缝)搭接量调整等功能,满足焊接工艺要求。

### 6.2.2 PC 机在汽车传动轴双头 CO<sub>2</sub> 焊接生产线中的应用

PC 机控制系统中心单元采用 F<sub>1</sub>-60MR 可编程序控制器及 F<sub>1</sub>-40ER 扩展器,配有 F<sub>2</sub>-20P-E 编程器。该系统共有 60 点输入、40 点继电器方式输出,整个 PC 机电源,输入、输出都具有过载保护功能,其工作原理框图见图 5.5.35。PC 机程序原理采用梯形图编程方式,程序原理流程框图见图 5.5.36。按钮或接近开关检测输入计数脉冲,通过 PC 机高速计数,比较判断达到高精度控制焊接转胎的转动位置,满足环缝焊接的搭接量要求。PC 机输出 DC24V 驱动电磁气阀和液压阀,完成气压、液压传动程序。同时 PC 机输出控制焊接电源,送丝机及传动电机正、反转信号,完成焊接生产线的生产流程全过程。

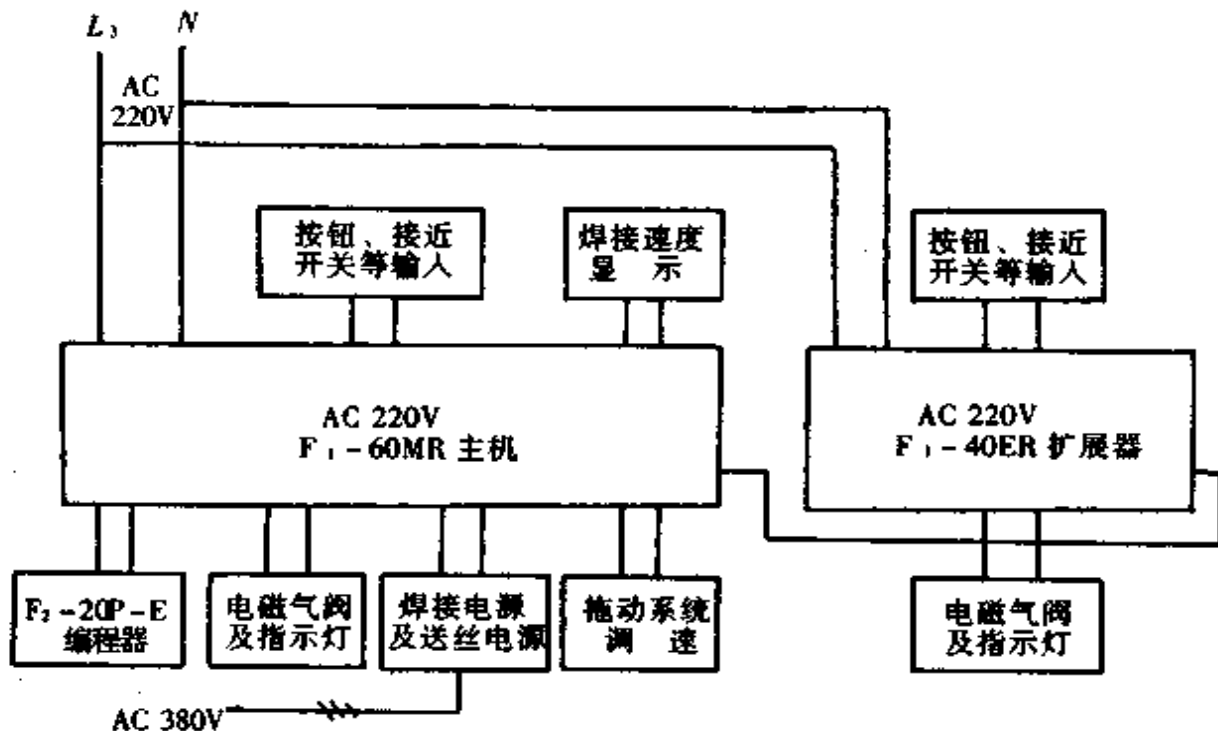


图 5.5.35 PC 机控制系统工作原理框图

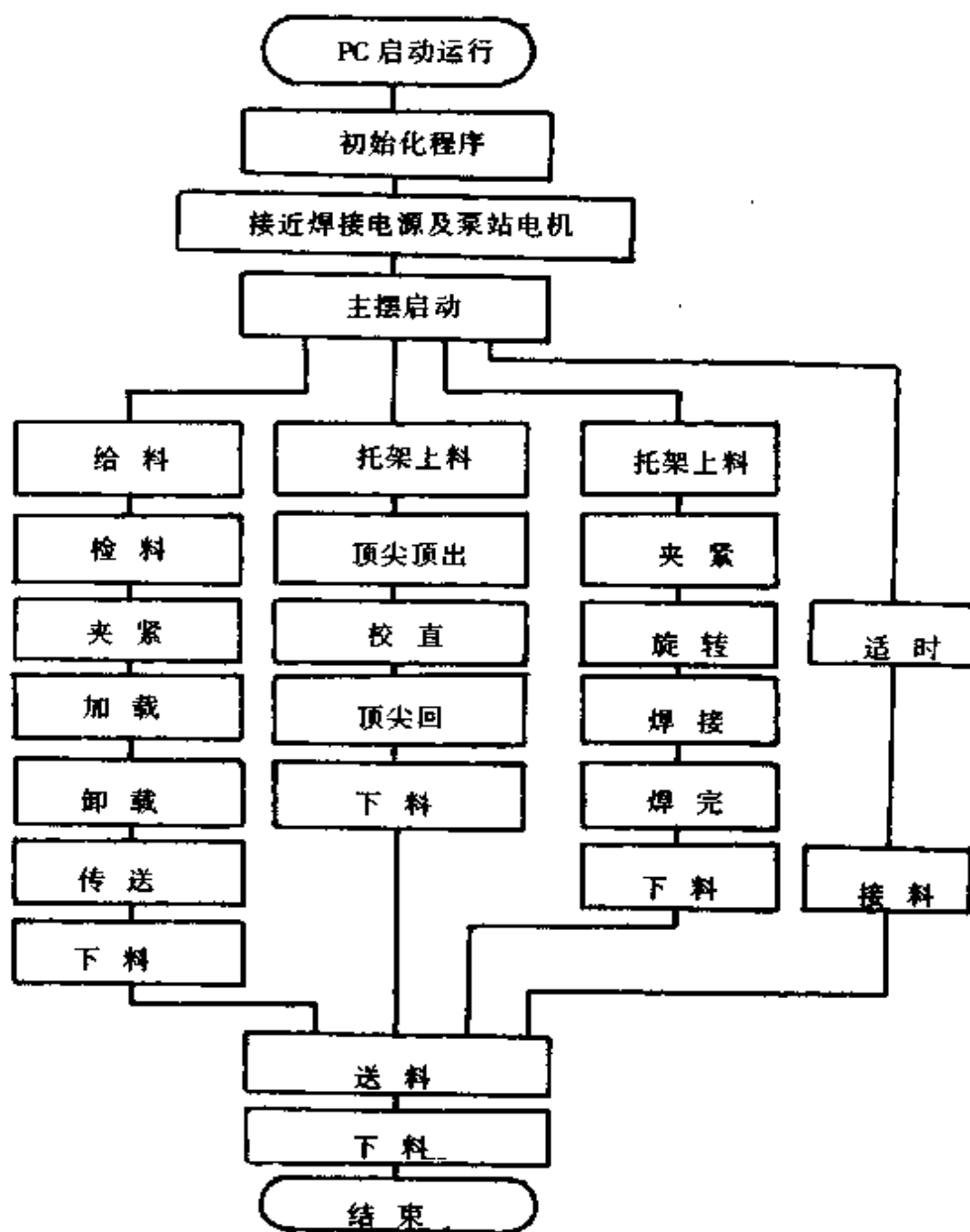


图 5.5.36 PC 机控制系统程序原理流程图

## 7 焊接机器人

电弧焊机器人是用机器人配有各种焊接装置来实现  $\text{CO}_2$ 、MIG、MAG、TIG 等离子弧焊等焊接方法,以及与之配套的夹具、工作台、移动道轨、焊炬清理装置等组成的机器人工作站,见图 5.5.37。

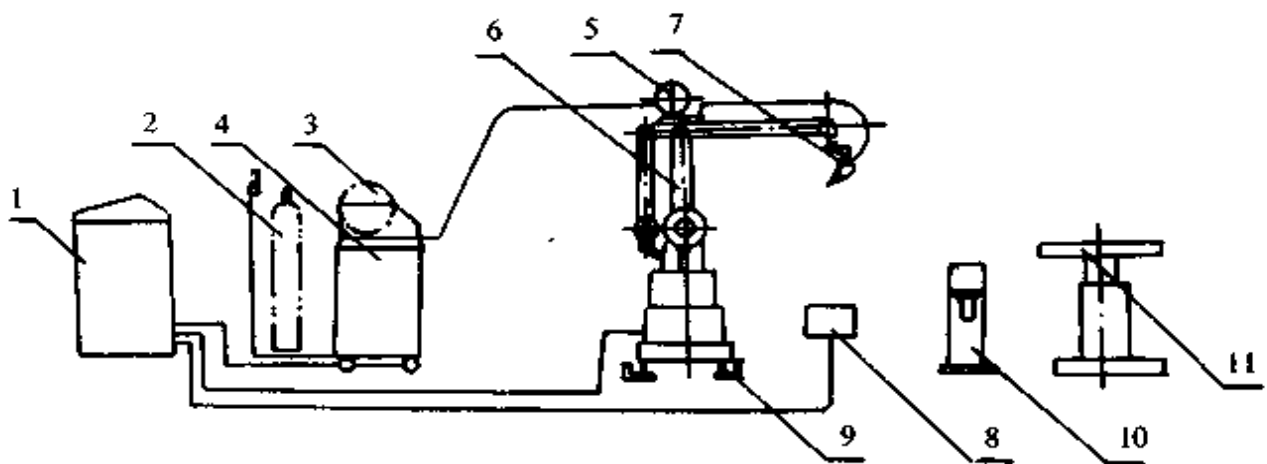


图 5.5.37 弧焊机器人工作站

- 1—计算机控制装置 2—气瓶 3—送丝机(推式) 4—弧焊电源  
 5—送丝机(拉式) 6—机器人本体 7—焊炬 8—示教盒  
 9—移动道轨 10—焊炬清理装置 11—工作台

## 7.1 示教再现式弧焊机器人

示教再现弧焊机器人的功能是模拟一些焊缝轨迹的运动,以及个别焊接参数的控制。它由机器人本体、控制装置、示教盒、外围焊接装置(包括焊接电源、送丝装置、夹具)等组成。机器人本体一般有5个或6个自由度(机器人的回转运动,臂的伸缩运动,臂的上下运动,腕倾斜、腕回转、手抓的旋转运动)。通过示教编程的方法,得到连续轨迹控制(即轮廓控制)。工作机构(焊炬)应精确定位,并不断地给定速度和方向跟踪焊缝,满足连续复杂的焊缝实现自动焊。

弧焊机器人应具有如下主要功能:

- (1)具有精确再现焊缝轨迹的能力,重复定位精度高达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。
- (2)具有非常精细地选择焊接规范的能力。
- (3)具有高度分解焊接速度,并精确再现和高速运动的能力。
- (4)具有防止焊丝粘接工件、焊丝停止输送、保护气体停止送气,焊炬与工件相碰等故障的判别能力。
- (5)具有使焊丝按所规定的不同曲线摆动的功能。

弧焊机器人的主要技术规格见表 5.5.25。



表 5.5.25 弧焊机器人技术规格

项 目		规 格
负荷能力(kg)		10
自由度		5个
各轴动作范围及 速度(同时控制)	回转	240° 90°/s
	下腕倾动	前 40° 后 40° 0.8m/s
	上腕倾动	上 20° 下 40° 1.2m/s
	手扭转	360° 150°/s
	手摆动	180° 100°/s
重复定位精度(mm)		±0.3
机器人本体重量(kg)		400
位置控制方式		积分式数字位置控制
位置记忆方式		磁线存储器
记忆位置数		标准 250 步(最大 600 步)
外部同步信号		输入 15 个接点、输出 15 个接点
异常停止输入		1 点
程序分组数		4 组

示教式弧焊机器人在焊接应用中,主要是要保证工件加工的精度,以及焊接夹具的设计和制造,使其在焊接过程中不因工件的变形而使焊缝偏离焊接区。目前正在研究有智能的机器人和有焊缝自动寻迹跟踪功能的机器人。

## 7.2 弧焊机器人配套的焊接设备

弧焊机器人所用的焊接设备与通用弧焊机基本一致。在熔化极气体保护焊中,采用推、拉式二级送丝机构,并要求起弧成功率高,电源动特性好的电弧焊机。目前已采用逆变弧焊电源,以满足焊接性能的要求。为了长期连续使用机器人,克服气体保护焊时飞溅和烟尘堵塞焊炬喷嘴,机器人配有自动清理焊炬的装置,它是一个气动旋转的工具,焊炬喷嘴插入,即可自动清理飞溅,并喷涂硅油。

在钨极氩弧焊中,为了避免高频干扰机器人的微机控制装置,应采用软起动接触引弧的方法为宜。

# 8 电焊机的使用安全

## 8.1 电焊机的主要安全条款

根据电焊机安全要求的规定,电焊机的使用应符合下列的主要安全条款。

### 8.1.1 绝缘电阻

绝缘电阻不得低于下列数值:

输入回路与焊接回路之间:5MΩ;

输入回路与机架和控制回路之间:2.5MΩ;

焊接回路与机架和控制回路之间:2.5MΩ。

### 8.1.2 介电强度

产品应能承受按表 5.5.26 中规定的试验电压而无击穿或闪络现象发生。

表 5.5.26 介电强度试验电压

额定工作电压 (有效值)(V)	交流介电试验电压 (有效值)(V)	
	控制回路和焊接回路对机架	控制回路对焊接回路
0~50	800	1000
51~130	1000	1000
输入回路	输入回路对控制回路和机架	输入回路对焊接回路
51~130	1000	2000
131~250	2000	3000
251~415	2500	4000
416~575	3250	4500
576~690	3500	5500
691~1000	4250	6500

### 8.1.3 电焊机的温升限值

(1) 绕阻的温升限值不得超过表 5.5.27 规定。

表 5.5.27 电焊机绕阻温升限值

绝缘等级	温度极限(℃)	热点差(℃)	温升限值(K)	
			温度计法	电阻法
A	105	5	55	60
E	120	5	70	75
B	130	10	75	80
F	155	10	95	105
H	180	15	115	125

(2) 产品外表面(外壳)温升限值见表 5.5.28。

表 5.5.28 产品外表面温升限值

部 位	温 升 限 值(K)
金属外壳	30
非金属外壳	40
金属手把	15
非金属手把	25

### 8.1.4 电焊机使用时必须良好接地

根据电焊机额定电流,推荐的接地螺钉最小直径见表 5.5.29。

表 5.5.29 接地螺钉推荐最小直径

电焊机额定电流 (A)	接地螺钉最小直径 (mm)
≤20	4
20~200	6
200~630	8
630~1000	10
1000	12

### 8.1.5 电焊机输入导线的截面

导线截面应根据最大输入连续电流来选用,可参见表 5.5.30 的推荐范围。

表 5.5.30 电焊机输入导线截面推荐范围

电焊机最大输入连续电流 (A)	输入导线截面推荐 (mm <sup>2</sup> )
10	1.5~2.5
16	1.5~4
25	2.5~6
35	4~10
50	6~16
63	10~25
80	16~35
100	25~35
125	35~70
160	50~95
250	95~150
315	120~240
400	150~300

### 8.1.6 电焊机输出

电焊机输出回路在不同环境使用的额定空载电压限值应符合表 5.5.31 规定。

表 5.5.31 不同环境额定空载电压限值

环境条件	额定空载电压(V)
触电危险性较大的环境	DC 113(峰值) AC 68(峰值)或 48(有效值)
触电危险性不大的环境	DC 113(峰值) AC 113(峰值)或 80(有效值)
对操作人员加强保护的机械夹持焊炬	DC 141(峰值) AC 141(峰值)或 100(有效值)
特殊环境	DC 710(峰值) AC 710(峰值)或 500(有效值)

### 8.1.7 焊接电缆截面与焊机额定焊接电流的关系

焊接电缆截面与焊机额定焊接电流的关系推荐见表 5.5.32。

表 5.5.32 额定电流与电缆截面的关系

额定电流(A)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
截面积(mm <sup>2</sup> )	16	16	25	35	50	70	95	120	150

### 8.1.8 防触电装置

空载电压超过表 5.5.31 规定的产品,应配备防触电装置。该装置应能可靠地减小由于空载电压超过允许的额定空载电压限值而引起的触电危险。其型式有电压降低装置和交流电流转换成直流电流装置两种。

## 8.2 预防触电的安全措施

(1)所有焊接设备的外壳必须接地,然后才能使用。正确的接地和次级配线方法见图 5.5.38 所示,注意切勿将焊机的接地与焊接电缆(地线)联接。

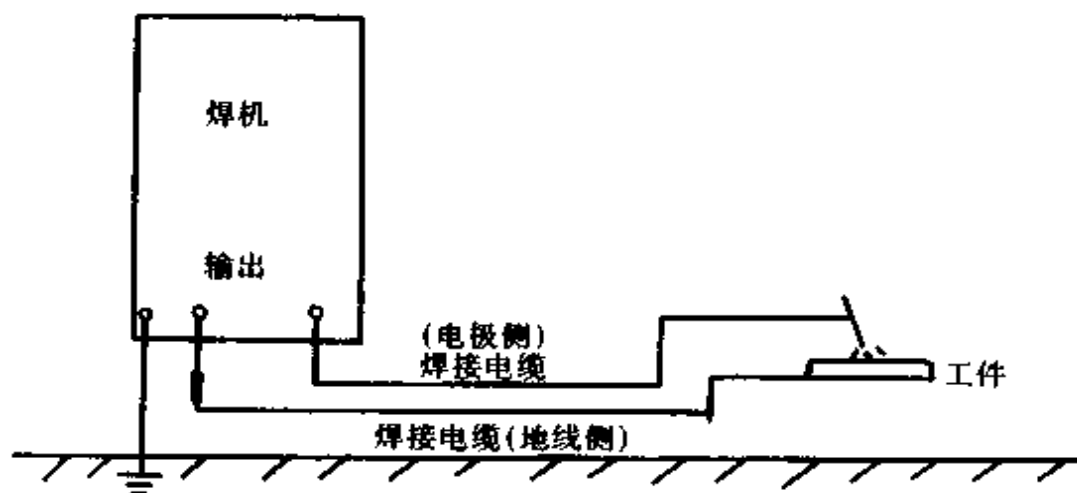


图 5.5.38 接地和次级配线方法

(2)焊机故障时,必须先拉断电源闸刀,然后通知电工检修。

(3)电焊钳的绝缘必须可靠,禁止采用无外壳的电焊钳,以免发生意外。

(4)在更换焊条时不能脱去手套,特别在出汗、衣衫潮湿后切勿靠在钢板上,避免触电。

(5)触电时流过人体电流的大小,决定于人承受的电压和人体电阻。当流过人体的电流超过 0.05A 时,生命就有危险。正常的人体电阻是 50k $\Omega$  左右,如果由于某种原因,如潮湿的有汗污的衣服、鞋和工作场地等,使人身电阻降到 800 $\Omega$  后,即使碰到 40V 电压都会引起 0.05A 的致命电流。因而此时焊工或检修电工都应穿戴劳保用品,以免发生意外。

### 8.3 焊机的正常使用、维护和保养

(1)新电焊机或长期停用的电焊机,在使用前应仔细观察电焊机有无损坏,电焊机内、外灰尘要吹净。检查电焊机是否受潮,电焊机初、次级对地绝缘电阻应分别大于 $0.5\text{M}\Omega$ 和 $0.2\text{M}\Omega$ 。如低于上述值,应进行烘干绝缘处理。

(2)电焊机使用前应检查供电回路、焊接回路的电缆截面是否符合要求,绝缘是否可靠,接头是否拧紧,电焊机的活动调节部分、电流指示器是否清洁、灵活。

(3)电焊机应防潮,在室外露天工作时,必须盖好,防止雨雪飘淋;在室内工作时,亦应放在比较干燥的地方。

(4)电焊机内外要保持清洁,应定期用压缩空气吹净灰尘,机壳上不应堆放金属或其他物品,以防短路和损坏外壳。

(5)工作完毕、临时离开工作场地或电焊机发生故障时,应及时切断电源。在电源未切断前,切勿触及电焊机的带电部分。

(6)有冷却风扇的电焊机应注意风扇旋转方向是否正确。风扇停转时,电焊机应停止使用(除有温度热保护装置焊机之外)。

(7)对直流弧焊发电机应特别注意整流器、电刷和轴承的维护。整流器要保证光滑,整流器中的云母片应保证稍低于整流器表面;电刷表面磨损和破坏以后要及时修整或更换新电刷;轴承则应经常保持清洁与润滑,定期检查,必要时更换新的。

(8)要注意电焊机的容量,不要在超过额定电流和额定负载持续率的条件下使用,以防电焊机发热过甚,绝缘老化甚至烧毁电焊机。

## 第六章 电 热

本章主要介绍电能通过电阻元件(如电热丝、碳化硅棒等)转变成热能的电热设备以及炼钢电弧炉、感应加热设备。请同时参阅第六篇第二章的2(电热材料)和3(热电锅)。

### 1 常用电热材料的性能、规格及电参数

在工业上常用的电热材料中,合金材料使用较为广泛。常用电热材料的主要性能见表 5.6.1。

表 5.6.1 常用电热材料的主要性能

材料种类	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	电阻率 $\rho_{20}$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	熔点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	最高工作温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
<b>金 属 材 料</b>				
Cr20Ni80	8.4	1.09 ± 0.05	1400	1150
Cr15Ni60	8.2	1.12 ± 0.05	1390	1050
1Cr13Al4	7.4	1.26 ± 0.08	1450	1100
0Cr13Al6Mo2	7.2	1.4 ± 0.10	1500	1300
0Cr25Al5	7.1	1.4 ± 0.10	1500	1300
0Cr27Al7Mo2	7.1	1.5 ± 0.10	1520	1400
<b>非 金 属 材 料</b>				
碳化硅元件 <sup>①</sup>	3.12~3.18	—	—	1500
二硅化钼元件 <sup>②</sup>	5.5	0.25	~2000	1700

注:①亦称硅碳元件;②亦称硅钼元件。

镍铬及铁铬铝合金的化学成分示于表 5.6.2。不同材质的电热合金线材的质量、长度及电阻换算表分别示于表 5.6.3~5.6.8。常用老式电阻炉加热元件的参考数据见表 5.6.9。

电阻炉功率与炉膛容积、炉子工作温度之间关系的公式示于表 5.6.10。

表 5.6.2 镍铬及铁铬铝合金的化学成分

材料种类	化学成分 (%)						杂质不大于 (%)				
	镍	铬	铁	铝	钼	硅	碳	锰	硫	磷	
镍铬合金	Cr20Ni80	余	20~23	≤1.0	≤0.5	—	0.6~1.6	0.10	0.7	0.025	0.03
	Cr15Ni60	55~61	15~18	余	≤0.5	—	0.5~1.6	0.10	1.5		
铁铬铝合金	1Cr13Al4	≤0.6	12~15	余	3.5~5.5	—	≤1.0	0.12	0.7	0.025	0.03
	0Cr13Al6Mo2	≤0.6	12.5~14	余	5~7	1.5~2.5	≤1.0	0.06	0.7		
	0Cr25Al5	—	23~27	余	4.5~6.5	—	≤0.6	0.06	0.7		
	0Cr27Al7Mo2	≤0.6	26.5~27.8	余	6~7	1.8~2.2	≤0.4	0.05	0.2		

表 5.6.3 Cr20Ni80 型镍铬合金线材的质量、长度及电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 (cm <sup>2</sup> /m)	质量 (kg/m)	长度 (m/kg)	20℃时电阻值 (Ω/m)	20℃时长度 (m/Ω)	20℃时表面积 (cm <sup>2</sup> /Ω)
0.50	0.1963	15.71	0.001649	606	5.55	0.1801	2.83
0.60	0.283	18.85	0.00238	421	3.86	0.259	4.89
0.70	0.385	22.00	0.00323	310	2.83	0.353	7.76
0.80	0.503	25.1	0.00422	237	2.17	0.461	11.59
0.90	0.636	28.3	0.00534	187.1	1.713	0.584	16.50
1.00	0.785	31.4	0.00659	152.3	1.387	0.721	22.7
1.10	0.950	34.6	0.00798	125.3	1.147	0.872	30.1
1.20	1.131	37.7	0.00950	105.3	0.963	1.038	39.1
1.40	1.539	44.0	0.01293	77.3	0.708	1.412	62.1
1.50	1.767	47.1	0.01484	67.4	0.617	1.621	76.4
1.60	2.01	50.3	0.01688	59.2	0.542	1.845	92.7
1.80	2.54	56.5	0.0214	46.7	0.428	2.33	132.0
2.00	3.14	62.8	0.0264	37.9	0.347	2.88	181.0
2.20	3.80	69.1	0.0319	31.3	0.287	3.49	241
2.50	4.91	78.5	0.0412	24.3	0.222	4.50	354
2.80	6.16	88.0	0.0517	19.34	0.1769	5.65	497
3.00	7.07	94.2	0.0594	16.84	0.1542	6.49	611
3.50	9.62	110.0	0.0808	12.38	0.1133	8.83	971
4.00	12.57	125.7	0.1056	9.47	0.0867	11.53	1450
4.50	15.90	141.4	0.1336	7.49	0.0686	14.59	2060
5.00	19.63	157.1	0.1649	6.06	0.0555	18.01	2830
5.50	23.8	172.8	0.1996	5.01	0.0458	21.8	3770
6.00	28.3	188.5	0.237	4.21	0.0386	25.9	4890
6.50	33.2	204	0.279	3.59	0.0329	30.4	6220
7.00	38.5	220	0.323	3.09	0.0283	35.3	7760

表 5.6.4 Cr15Ni60 镍铬合金线材的质量、长度及电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
0.50	0.1963	15.71	0.00161	621	5.71	0.1753	2.75
0.60	0.283	18.85	0.00232	431	3.96	0.252	4.76
0.70	0.385	22.0	0.00316	317	2.91	0.344	7.56
0.80	0.503	25.1	0.00412	243	2.23	0.449	11.28
0.90	0.636	28.3	0.00522	191.7	1.76	0.568	16.06
1.00	0.785	31.4	0.00644	155.3	1.426	0.701	22.0
1.10	0.950	34.6	0.00779	128.3	1.179	0.848	29.3
1.20	1.131	37.7	0.00927	107.8	0.990	1.010	38.1
1.40	1.539	44.0	0.01262	79.2	0.728	1.374	60.4
1.50	1.767	47.1	0.01449	69.0	0.634	1.578	74.3
1.60	2.01	50.3	0.01648	60.7	0.557	1.796	90.3
1.80	2.54	56.5	0.0209	47.9	0.440	2.27	128.5
2.00	3.14	62.8	0.0258	38.8	0.356	2.81	176.3
2.20	3.80	69.1	0.0312	32.1	0.294	3.39	235
2.50	4.91	78.5	0.0403	24.8	0.228	4.38	344
2.80	6.16	88.0	0.0505	19.80	0.1819	5.50	484
3.00	7.07	94.2	0.0580	17.25	0.1584	6.31	595
3.50	9.62	110.0	0.0789	12.68	0.1164	8.59	945
4.00	12.57	125.7	0.1031	9.70	0.0891	11.22	1411
4.50	15.90	141.4	0.1304	7.67	0.0704	14.20	2010
5.00	19.63	157.1	0.1610	6.21	0.0571	17.53	2750
5.50	23.8	172.8	0.1945	5.13	0.0471	21.2	3670
6.00	28.3	188.5	0.232	4.31	0.0396	25.2	4760
6.50	33.2	204	0.272	3.68	0.0337	29.6	6050
7.00	38.5	220	0.316	3.17	0.0291	34.4	7550

表 5.6.5 1Cr13Al4 型铁铬铝合金线材的质量、长度与电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
0.50	0.1963	15.71	0.001453	688	6.42	0.1558	2.45
0.60	0.283	18.85	0.00209	478	4.46	0.225	4.24
0.70	0.385	22.0	0.00285	351	3.27	0.306	6.73
0.80	0.503	25.1	0.00372	269	2.51	0.400	10.04
0.90	0.636	28.3	0.00471	212	1.981	0.505	14.29
1.00	0.785	31.4	0.00581	172.1	1.605	0.623	19.56
1.10	0.950	34.6	0.00703	142.2	1.326	0.754	26.1
1.20	1.131	37.7	0.00837	119.5	1.114	0.898	33.8



续表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
1.40	1.539	44.0	0.1139	87.8	0.819	1.221	53.7
1.50	1.767	47.1	0.01308	76.5	0.713	1.402	66.1
1.60	2.01	50.3	0.01488	67.2	0.627	1.595	80.2
1.80	2.54	56.5	0.01883	53.1	0.495	2.02	113.9
2.00	3.14	62.8	0.0233	43.0	0.401	2.49	156.6
2.20	3.80	69.1	0.0281	35.6	0.332	3.02	208
2.50	4.91	78.5	0.0363	27.5	0.257	3.90	305
2.80	6.16	88.0	0.0456	21.9	0.205	4.89	429
3.00	7.07	94.2	0.0523	19.12	0.1782	5.61	529
3.50	9.62	110.0	0.0712	14.05	0.1310	7.63	840
4.00	12.57	125.7	0.0930	10.75	0.1002	9.98	1254
4.50	15.90	141.4	0.1177	8.50	0.0792	12.62	1785
5.00	19.63	157.1	0.1453	6.88	0.0642	15.58	2450
5.50	23.8	172.8	0.1758	5.69	0.0530	18.90	3270
6.00	28.3	188.5	0.209	4.78	0.0446	22.5	4240
6.50	33.2	204	0.246	4.07	0.0380	26.3	5370
7.00	38.5	220	0.285	3.51	0.0327	30.6	6730

表 5.6.6 0Cr13Al6Mo2 型铁铬铝电热合金线材的质量、长度与电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
0.50	0.1963	15.71	0.001413	708	7.13	0.1402	2.20
0.60	0.283	18.85	0.00204	490	4.95	0.202	3.81
0.70	0.385	22.0	0.00277	361	3.64	0.275	6.04
0.80	0.503	25.1	0.00362	276	2.78	0.359	9.03
0.90	0.636	28.3	0.00458	212	2.20	0.454	12.86
1.00	0.785	31.4	0.00565	177	1.783	0.561	17.61
1.10	0.950	34.6	0.00684	146	1.474	0.679	23.5
1.20	1.131	37.7	0.00814	122.9	1.238	0.808	30.5
1.40	1.539	44.0	0.01108	90.3	0.910	1.099	48.4
1.50	1.767	47.1	0.01272	78.6	0.792	1.262	59.5
1.60	2.01	50.3	0.01447	69.1	0.697	1.436	72.2
1.80	2.54	56.5	0.01836	54.5	0.549	1.821	102.9
2.00	3.14	62.8	0.0226	42.5	0.446	2.24	140.8
2.20	3.80	69.1	0.0274	36.5	0.368	2.71	187.8
2.50	4.91	78.5	0.0354	28.2	0.285	3.51	275
2.80	6.16	88.0	0.0444	22.5	0.227	4.40	388
3.00	7.07	94.2	0.0509	19.65	0.1980	5.05	476
3.50	9.62	110.0	0.0693	14.43	0.1455	6.87	756
4.00	12.57	125.7	0.0905	11.05	0.1114	8.98	1128
4.50	15.90	141.4	0.1145	8.73	0.0881	11.36	1605
5.00	19.63	157.1	0.1413	7.08	0.0713	14.02	2200
5.50	23.8	172.8	0.1714	5.83	0.0588	17.00	2940
6.00	28.3	188.5	0.204	4.90	0.0495	20.2	3810
6.50	33.2	204	0.239	4.18	0.0422	33.7	4830
7.00	38.5	220	0.277	3.61	0.0364	27.5	6040

表 5.6.7 0Cr25Al5 型电热合金线材的质量、长度与电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
0.50	0.1963	15.71	0.001394	717	7.13	0.1402	2.20
0.60	0.283	18.85	0.00201	498	4.95	0.202	3.81
0.70	0.385	22.0	0.00273	366	3.64	0.275	6.04
0.80	0.503	25.1	0.00357	280	2.78	0.359	9.03
0.90	0.636	28.3	0.00452	221	2.20	0.454	12.86
1.00	0.785	31.4	0.00557	179.5	1.783	0.561	17.61
1.10	0.950	34.6	0.00675	148.1	1.474	0.679	23.5
1.20	1.131	37.7	0.00803	124.5	1.238	0.808	30.5
1.40	1.539	44.0	0.01093	91.5	0.910	1.089	48.4
1.50	1.767	47.1	0.01255	79.7	0.792	1.262	59.5
1.60	2.01	50.3	0.01427	70.1	0.697	1.436	72.2
1.80	2.54	56.5	0.01803	55.5	0.549	1.821	102.9
2.00	3.14	62.8	0.0223	44.8	0.446	2.24	140.8
2.20	3.80	69.1	0.0270	37.0	0.368	2.71	187.8
2.50	4.91	78.5	0.0349	28.7	0.285	3.51	275
2.80	6.16	88.0	0.0437	22.9	0.227	4.40	388
3.00	7.07	94.2	0.0502	19.92	0.1980	5.05	476
3.50	9.62	110.0	0.0683	14.64	0.1455	6.87	756
4.00	12.57	125.7	0.0892	11.21	0.1114	8.98	1128
4.50	15.90	141.4	0.1129	8.86	0.0881	11.36	1605
5.00	19.63	157.1	0.1394	7.17	0.0713	14.02	2200
5.50	23.8	172.8	0.1690	5.92	0.0588	17.00	2940
6.00	28.3	188.5	0.201	4.98	0.0495	20.2	3810
6.50	33.2	204	0.236	4.24	0.0422	23.7	4830
7.00	38.5	220	0.273	3.66	0.0364	27.5	6040

表 5.6.8 0Cr27Al7Mo2 型电热合金线材的质量、长度与电阻换算表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	表面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ )	质量 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$ )	长度 ( $\frac{\text{m}}{\text{kg}}$ )	20℃时 电阻值 ( $\frac{\Omega}{\text{m}}$ )	20℃时 长度 ( $\frac{\text{m}}{\Omega}$ )	20℃时表 面积 ( $\frac{\text{cm}^2}{\Omega}$ )
0.50	0.1963	15.71	0.001394	717	7.64	0.1309	2.06
0.60	0.283	18.85	0.00201	498	5.30	0.1887	3.56
0.70	0.385	22.0	0.00273	366	3.90	0.257	5.64
0.80	0.508	25.1	0.00357	280	2.98	0.335	8.42
0.90	0.636	28.3	0.00452	221	2.36	0.424	11.99
1.00	0.785	31.4	0.00557	179.5	1.911	0.523	16.43
1.10	0.950	34.6	0.00675	148.1	1.579	0.633	21.9
1.20	1.131	37.7	0.00803	124.5	1.326	0.754	28.4
1.40	1.539	44.0	0.01093	91.5	0.975	1.026	45.1
1.50	1.767	47.1	0.01255	79.7	0.849	1.178	55.5
1.60	2.01	50.3	0.01427	70.1	0.746	1.340	67.4
1.80	2.54	56.5	0.01803	55.5	0.588	1.700	96.1
2.00	3.14	62.8	0.0223	44.8	0.478	2.09	131.4
2.20	3.80	69.1	0.0270	37.0	0.395	2.53	174.9
2.50	4.91	78.5	0.0349	28.7	0.305	3.27	257
2.80	6.16	88.0	0.0437	22.9	0.244	4.11	361
3.00	7.07	94.2	0.0502	19.92	0.212	4.71	444
3.50	9.62	110.0	0.0683	14.64	0.1559	6.41	706
4.00	12.57	125.7	0.0892	11.21	0.1193	8.38	1054
4.50	15.90	141.4	0.1129	8.86	0.0943	10.60	1499
5.00	19.63	157.1	0.1394	7.17	0.0764	13.09	2060
5.50	23.8	172.8	0.1690	5.92	0.0630	15.87	2740
6.00	28.3	188.5	0.201	4.98	0.0530	18.87	3560
6.50	33.2	204	0.236	4.24	0.0452	22.1	4510
7.00	38.5	220	0.273	3.66	0.0390	25.7	5640

表 5.6.9 常用老式电阻炉加热元件的参考数据

电炉功率 (kW)	电压 (V)	电流 (A)	电阻 ( $\Omega$ )	相数	电阻线连接方式	加热元件温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	炉内温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	加 热 元 件						
								形状	材料	尺寸 (mm)	总长 (m)	表面 功率 ( $\text{W}/\text{cm}^2$ )		
1	220	4.55	48.4	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 1$	31	1.03		
						1100	1000			$\varnothing 1$	29	1.1		
						1200	1100			$\varnothing 0.9$	22.5	1.57		
2	220	9.1	24.2	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 1.6$	39	1.02		
						1100	1000			$\varnothing 1.6$	36.5	1.09		
						1200	1100			$\varnothing 1.4$	27	1.68		
3	220	13.7	16.1	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 2$	41	1.16		
						1100	1000			$\varnothing 2$	38	1.2		
						1200	1100			$\varnothing 1.8$	31	1.66		
4	220	18.2	12.1	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 2.6$	50	1		
						1100	1000			$\varnothing 2.6$	48.5	1.01		
						1200	1100			$\varnothing 2.3$	36	1.54		
5	220	22.7	9.7	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 3$	53	1		
						1100	1000			$\varnothing 3$	51	1.04		
						1200	1100			$\varnothing 2.6$	37	1.65		
6	220	27	8.15	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 3.3$	56.5	1.025		
						1100	1000			$\varnothing 3.4$	55	1.04		
						1200	1100			$\varnothing 3$	41.5	1.53		
7	220	31.8	6.91	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 3.6$	56	1.1		
						1100	1000			$\varnothing 3.8$	55	1.03		
						1200	1100			$\varnothing 3.3$	42	1.61		
8	220	36.4	6.05	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 4$	61.5	1.03		
						1100	1000			$\varnothing 4.2$	60	1.01		
						1200	1100			$\varnothing 3.6$	44	1.57		
9	220	40.7	5.4	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 4.3$	63.5	1.05		
						1100	1000			$\varnothing 4.5$	61.5	1.03		
						1200	1100			$\varnothing 4$	47	1.53		
10	220	44.5	4.84	1	串联	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 4.5$	64	1.1		
						1100	1000			$\varnothing 4.8$	63	1.05		
						1200	1100			$\varnothing 4.2$	48	1.58		
15	$\frac{380}{220}$	39	9.69	$\frac{1}{3}$	串联 Y	1000	900	线状	Ni60Cr15	$\varnothing 4$	98.1	1.22		
						1100	1000			$\varnothing 4$	91.5	1.3		
						1200	1100			$\varnothing 4$	87.6	1.36		
						1000	900			$2 \times 5$	带状	Ni60Cr15	78.15	1.37
						1100	1000						72.9	1.47
						1200	1100						69.8	1.53

续表

电炉功率 (kW)	电压 (V)	电流 (A)	电阻 (Ω)	相数	电阻 连接方 式	加热 元件 温度 (℃)	炉 内 温度 (℃)	加 热 元 件				
								形 状	材 料	尺 寸 (mm)	总 长 (m)	表 面 功 率 (W/cm <sup>2</sup> )
30	$\frac{380}{220}$	78.6	4.845	$\frac{1}{3}$	串联 Y	1000	900	线状	Ni60Cr15	∅6.5	129.3	1.13
						1100	1000	线状	Ni80Cr20	∅6.5	120.4	1.22
						1200	1100	线状	0Cr25Al5	∅6	98.4	1.66
						1000	900	带状	Ni60Cr15	1.4×15	81.9	1.12
						1100	1000	带状	Ni80Cr20	1.4×15	76.4	1.2
						1200	1100	带状	0Cr25Al5	1.2×15	62.6	1.48
45	$\frac{380}{220}$	68	3.23	3	Y Δ	1000	900	线状	Ni60Cr15	∅6	220.8	1.08
						1100	1000	线状	Ni80Cr20	∅6	206.1	1.16
						1200	1100	线状	0Cr25Al5	∅5.5	165.6	1.57
						1000	900	带状	Ni60Cr15	1.5×12	140.7	1.18
						1100	1000	带状	Ni80Cr20	1.5×12	131.1	1.27
						1200	1100	带状	0Cr25Al5	1.4×12	117	1.44
60	$\frac{380}{220}$	91	2.43	3	Y Δ	1000	900	线状	Ni60Cr15	∅7	225	1.21
						1100	1000	线状	Ni80Cr20	∅7	210	1.3
						1200	1100	线状	0Cr25Al5	∅7	201	1.36
						1000	900	带状	Ni60Cr15	1.6×15	141.6	1.27
						1100	1000	带状	Ni80Cr20	1.6×15	131.1	1.33
						1200	1100	带状	0Cr25Al5	1.6×15	117	1.55
75	$\frac{380}{220}$	114	1.93	3	Y Δ	1000	900	线状	Ni60Cr15	∅8	234.6	1.27
						1100	1000	线状	Ni80Cr20	∅8	219	1.36
						1200	1100	线状	0Cr25Al5	∅8	209	1.42
						1000	900	带状	Ni60Cr15	1.5×20	141.6	1.24
						1100	1000	带状	Ni80Cr20	1.5×20	130.5	1.33
						1200	1100	带状	0Cr25Al5	1.5×20	116	1.5

表 5.6.10 电阻炉功率与炉膛容积、炉温之间关系

最高工作温度 (℃)	功率 (kW)	单位炉膛面积功率 (kW/m <sup>2</sup> )
1200	$(100 \sim 150) \sqrt[3]{V^2}$	15~20
950	$(75 \sim 100) \sqrt[3]{V^2}$	10~15
650	$(50 \sim 75) \sqrt[3]{V^2}$	6~10
400	$(35 \sim 50) \sqrt[3]{V^2}$	4~7

注:1.  $V$  为按炉膛名义尺寸计算的炉膛容积(m<sup>3</sup>)。

2. 表中公式的系数,对于大型炉取下限值,小型炉取上限值。箱式炉所取数值比井式炉大。

3. 单位炉膛面积是指炉膛内布置加热元件部分的面积。

电阻炉功率也可以使用图 5.6.1 所示列线图来求取。

【例】设炉膛有效面积为 0.6m<sup>2</sup>,炉温为 1000℃,炉温升温时间为 3h,求所需的功率。

解:将 A 线上的 0.6m<sup>2</sup> 和 D 线上 1000℃ 的点相连,在 E 线上得交点 O,再将 C

线上 3h 的点与 O 点相连,并将其延长至与 B 线相交,此交点即为所求之功率(kW)。

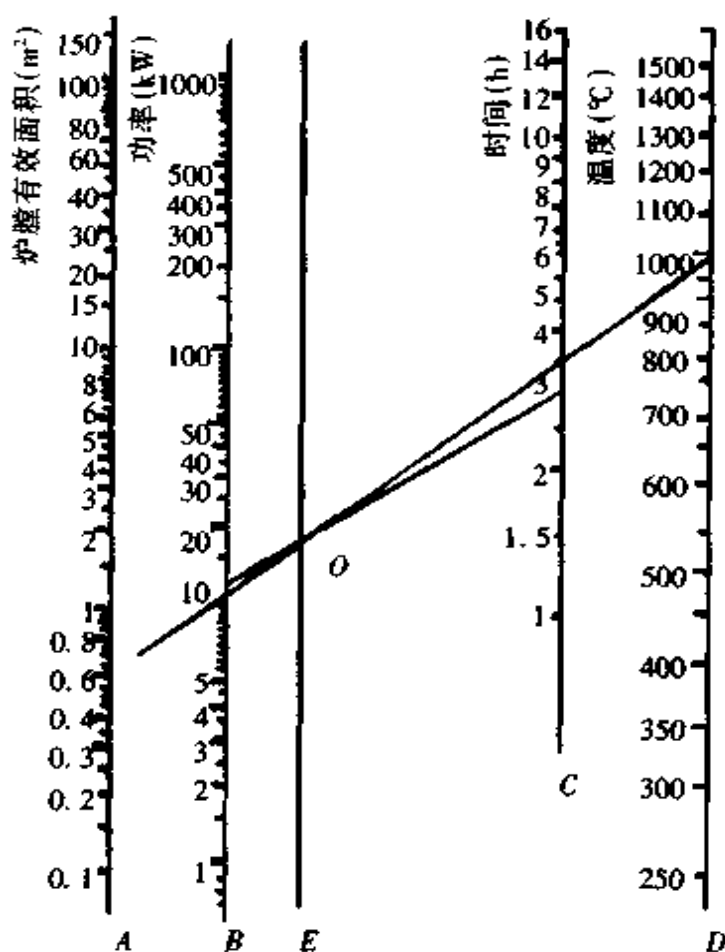


图 5.6.1 按炉膛有效面积求功率的列线图

在使用列线图时,炉子升温时间的长短对计算结果的影响较大。由炉子实际功率从引线图中推算出来的空炉升温时间,对于箱式炉、中高温井式炉与实际情况基本相符,但对于低温电炉,则实际功率比从列线图所得的值要高,使用列线图时应加以注意。

上述按炉膛容积确定炉子功率的方法是根据经验统计规律得出的。该方法仅适用于一般箱式炉、井式炉等间歇作业式电阻炉,不适用于连续式电阻炉。

## 2 加热元件的选用

### 2.1 加热元件的选用估算

加热元件的作用是把电能转变为热能,通过辐射、对流或传导,向炉内发射热量。其发射能力通常用“单位表面负荷”表示,简称表面负荷,即元件表面上每平方

厘米的瓦数( $W/cm^2$ )。元件所消耗的功率  $P = I^2 R$  等于元件表面上的总功率  $P_s S$ , 因此

$$P = I^2 R = P_s S$$

式中  $P$ ——元件功率(W);  
 $I$ ——元件通过的电流(A);  
 $R$ ——元件有效电阻( $\Omega$ );  
 $P_s$ ——元件表面负荷( $W/cm^2$ );  
 $S$ ——元件表面积( $cm^2$ )。

对于线形加热元件

$$P = I^2 \rho_t \frac{4L}{\pi d^2} = 10P_s \pi d L$$

式中  $\rho_t$ ——元件温度为  $t^\circ C$  时的电阻率( $\Omega \cdot mm^2/m$ );  
 $L$ ——线形加热元件长度(m);  
 $d$ ——加热元件直径(mm)。

$$d = 0.343 \sqrt[3]{I^2 \frac{\rho_t}{P_s}} = 0.343 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot \frac{\rho_t}{P_s}}$$

$$L = \frac{U^2 \pi d^2}{4P \rho_t} = \frac{P}{10\pi d P_s}$$

式中  $U$ ——元件两端电压(V)。

对于带状加热元件

$$P = I^2 \rho_t \frac{L}{K t^2} = 20P_s (K+1) t L$$

式中  $t$ ——带状加热元件厚度(mm);  
 $b$ ——带状加热元件宽度(mm);  
 $K$ ——带状加热元件的宽厚比  $b/t$  (通常  $K$  取 10);  
 $L$ ——带状加热元件长度(m)。

$$t = \sqrt[3]{\frac{1}{20K(K+1)} I^2 \frac{\rho_t}{P_s}} = \sqrt[3]{\frac{1}{20K(K+1)} \cdot \left(\frac{P}{U}\right)^2 \frac{\rho_t}{P_s}}$$

$$L = \frac{U^2 K t^2}{P \rho_t} = \frac{P}{20P_s (K+1) t}$$

由上述公式可以看到:在一定的工作条件下,如果表面负荷取得小,元件的温度就低,所用材料就多;反之,如果表面负荷取得大,元件的温度就高,所用材料就少。当表面负荷取得过大时,会使元件温度超过允许范围,元件寿命将大大降低。

允许表面负荷和加热元件材料、散热条件等因素有关,也和炉内热交换方式有关。加热元件的材质应根据炉子的工作温度、炉内气氛和炉子结构等进行选择。

设计时要正确选取允许表面负荷值,以保证元件具有合理的工作寿命。

在空气里,加热元件的工作温度和允许表面负荷值见表 5.6.11。

表 5.6.11 加热元件的温度和允许表面负荷

加热元件材料	Cr20Ni80	1Cr13Al4	0Cr25Al5 0Cr13Al6Mo2	0Cr27Al7Mo2	碳化硅 元件	二硅化 钼元件	
推荐工作温度 (℃)	1100	1000	1200	1350	1500	1700	
允许表面负荷(W/cm <sup>2</sup> )							
炉 温 (℃)	600		1.8~2.2				
	700		1.6~2.0				
	800	1.4~2.0	1.0~1.6	1.8~2.2			
	900	1.2~1.6	0.8~1.0	1.4~2.0			
	1000	0.8~1.2		1.0~1.6	1.8~2.4		
	1100			0.8~1.0	1.2~1.8	25	
	1200				1.0~1.5	20	
	1300				0.8~1.0	13	14~22
	1400					5	11~18
	1500						9~15
1600						6~11	

常用电热材料在不同气氛中的最高温度见表 5.6.12。

表 5.6.12 常用电热材料在不同气氛中的最高温度(℃)

气氛	铁 铬 铝 合 金		镍 铬 合 金	碳化硅元件	二硅化 钼元件
	0Cr13Al6Mo2 0Cr25Al5	0Cr27Al7Mo2	Cr20Ni80		
空气	1300	1400	1150	1500	1700
氢	1250	1350	1150	1200	1400
氨分解气	1150	1250	1100	1200	1400
氨燃烧气	1000	1000	1100	1200	1400
氮	950	950	1100	1200	1500
吸热式气体	1100	1200	950	1350	1350
放热式气体	1150	1250	1050	1350	1350

## 2.2 加热元件的选用示例

### 2.2.1 箱式及井式电阻炉

使用 0Cr25Al5 圆线作加热元件的国产各型电阻炉(或炉罐)及电炉盘分别示于图 5.6.2~5.6.7,其规格分别列于表 5.6.13~5.6.16。



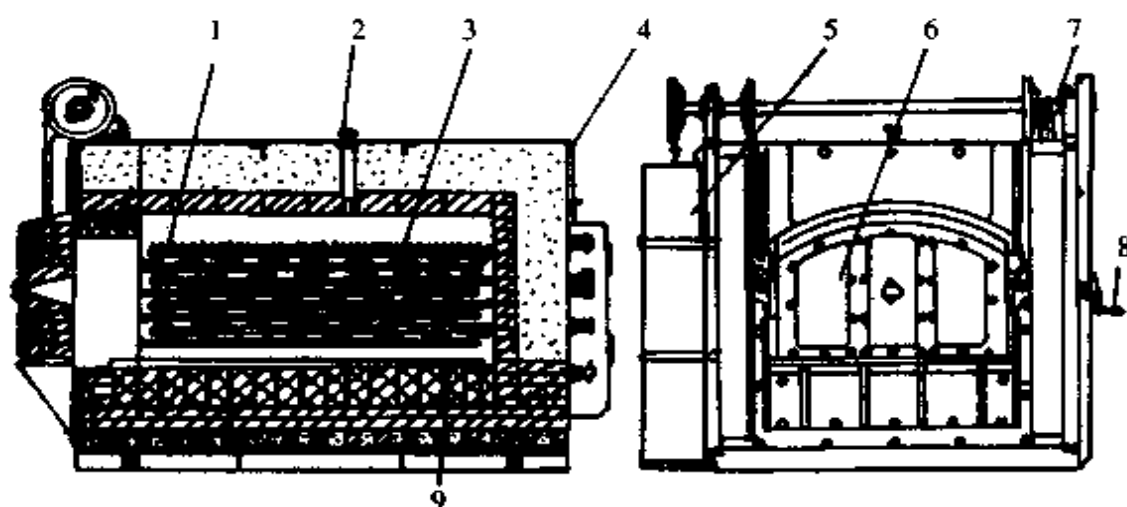


图 5.6.2 RX 型箱式电阻炉

1—电热元件 2—热电偶座 3—搁丝座 4—炉壳 5—平衡锤  
6—炉门 7—断路装置 8—摇手柄 9—炉底板

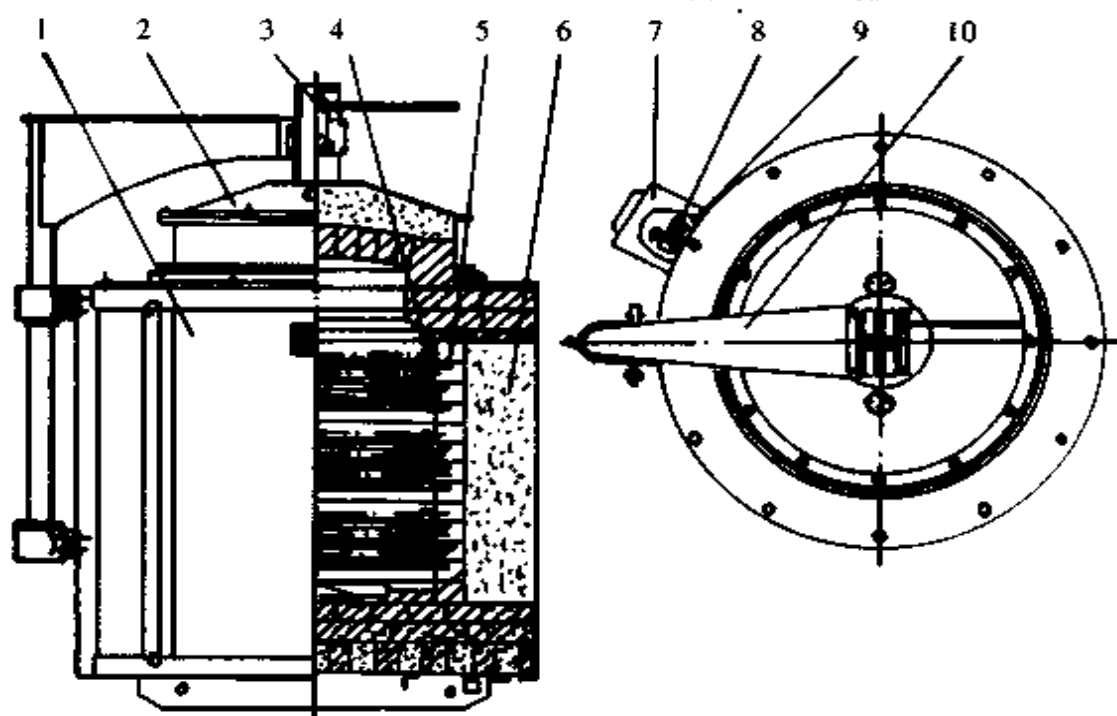


图 5.6.3 RJ 系列井式电阻炉

1—炉壳 2—炉盖 3—千斤顶 4—加热元件 5—炉衬 6—蛭石粉  
7—保护罩壳 8—热电偶座 9—出线盒 10—升降支承

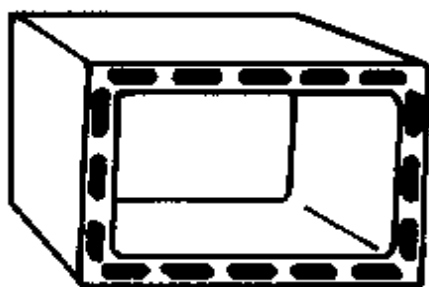


图 5.6.4 SX 型电阻炉炉罐



图 5.6.5 SG 型电阻炉炉罐

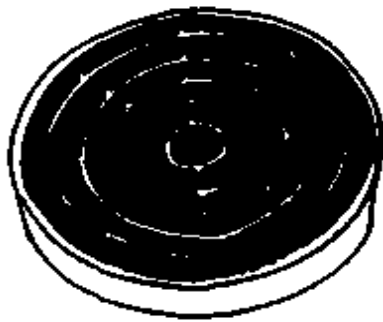


图 5.6.6 圆形电炉盘

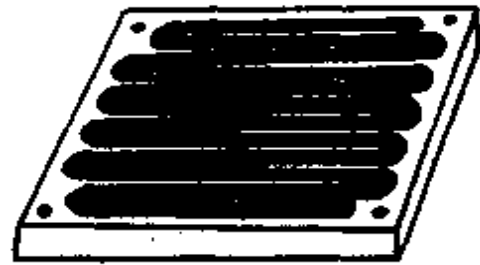


图 5.6.7 方形电炉盘

表 5.6.13 RX 型箱式电阻炉规格

电阻炉型号	RX-15-9	RX-30-9	RX-45-9	RX-75-9
额定功率(kW)	15	30	45	75
额定电压(V)	380/220	380/220	380/220	380/220
相数	1 或 3	3	3	3
电阻丝连接方法	串联/Y	Y/Δ	Y/Δ	YY/ΔΔ
最高工作温度(℃)	950	950	950	950
工作室尺寸(mm):				
长	650	950	1200	1800
宽	300	450	600	900
高	250	450	500	600
最高设计生产率(kg/h)	50	125	200	350
每相(或每组)电阻值(Ω):				
冷态	2.8~3.08	4.19~4.61	1.4~1.57	3.35~3.68
热态	2.94~3.23	4.4~4.84	1.47~1.61	3.52~3.87
电阻丝直径(mm)	4	4.5	5.5	5
螺旋中径(mm)	35	30	35	35
侧面加热器节距(mm)	8.5	10	20.2	15.8
底部加热器节距(mm)	8.5	10	20.2	16
相(或组)展开长度(m)	29	55	25.1	54.3
全台所需长度(m)	29×3	55×3	25.1×6	54.3×6
全台所需质量(kg)	7.7	22.7	27.3	45
引出棒根数	6	6	12	12
引出棒尺寸(mm):				
直径×长×根数	12×355	12×430×4 12×490×2	12×485×8 12×560×4	12×525×8 12×588×4
表面功率(W/cm <sup>2</sup> )	1.36	1.35	1.63	1.54

表 5.6.14 RJ 型并式电阻炉规格

电炉型号	RJ-30-9		RJ-70-9		
额定功率(kW)	30		70		
额定电压(V)	380/220		380/220		
相数	3		3		
电阻丝连接方法	Y/Δ		YYY/ΔΔΔ		
最高工作温度(℃)	950		950		
工作室尺寸(mm):					
直径	450		600		
深度	800		2500		
最大设计生产率(kg/h)	140		330		
每相(或每组)电阻值(Ω):					
冷态	4.19~4.61	4.84~5.3	4.84~5.3	6.55~7.2	3.28~3.6
热态	4.4~4.84	5.07~5.57	5.07~5.57	6.87~7.55	3.44~3.77
电阻丝直径(mm)	4.5		4.5		
螺旋节距(mm)	12.4		14.3		
螺旋中径(mm)	35		35		
相(或组)展开长度(m)	55		63.5		
全台所需总长度(m)	55×3		63.5×3		
全台所需质量(kg)	22.7		21.5		
引出棒根数	6		6		
引出棒(直径×长度)(mm)	12×440		12×486		
表面功率(W/cm <sup>2</sup> )	1.29		0.97		

表 5.6.15 SX 型与 SG 型电阻炉炉罐规格

实验用电阻炉型号	SX-12-9	SX-4-9	SX-3-9	SX-2-9	SG-3-9	SG-1.5-9
额定功率(kW)	12	4	3	2	3	1.5
额定电压(V)	380	220	220	220	220	220
相数	3	1	1	1	1	1
电阻丝连接方法	Y	并	并	并	并	
最高工作温度(℃)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
工作室尺寸(mm):						
长	500	325	275	250	直径 150	直径 100
宽	300	200	150	100		
高	200	125	100	75	250	150
每相(或每根)电阻值(Ω):						
冷态	11.2	22.4	29.9	44.8	29.9	29.9
热态	12.1	24.2	32.27	48.4	32.27	32.27
电阻丝直径(mm)	2.2	1.3	1.0	0.9	1.0	1.0
螺旋内径(mm)	10	5.5	5	5	5	5
每根展开长度(m)	30.4	21.2	16.8	20.4	16.8	16.8
全台所需长度(m)	30.4×3	21.2×2	16.8×2	20.4×2	16.8×2	16.8
全台所需质量(kg)	2.46	0.4	0.38	0.185	0.38	0.19
表面功率(W/cm <sup>2</sup> )	1.9	2.31	2.84	1.74	2.84	2.84

表 5.6.16 电炉盘用电炉丝的规格

圆形电炉盘规格 (mm)	配用的电炉丝 (W)	方(矩)形电炉盘规格 (mm)	配用的电炉丝 (W)
75	200~300	50×200	500~600
100	400	75×120	500~600
125	500	100×150	700~800
		100×200	800~1000
140	600	125×225	1000~1500
150	700~800	140×275	1000~1500
		150×165	1500
165	1000~1200	175×300	1500~2000
185	1500	175×400	2000~2500
200	1500~2000	200×200	1200~1500
250	3000	200×500	3000~4000
300	4000	275×275	2000~2500
		300×300	2500~3000
370	4500	125×125	600~700
520	6000	140×140	800~1000
600	6000	325×650	4000~5000

### 2.2.2 盐浴炉

盐浴炉是以熔盐为加热介质的电热浴炉。用于金属热处理的内热式盐浴炉的结构示意图如图 5.6.8 所示。内热式盐浴炉的热效率比外热式的高,对工件加热均匀,还可减少氧化和脱碳对工件的危害。

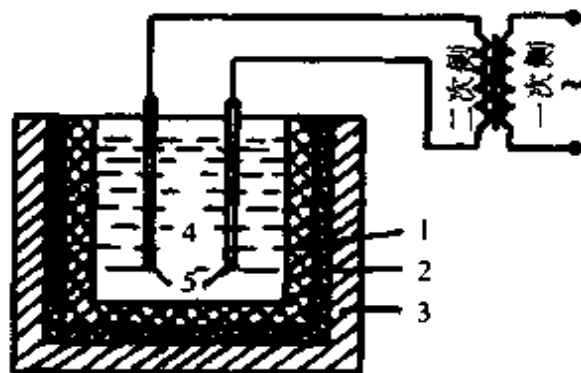


图 5.6.8 内热式盐浴炉结构示意图

1—耐火砖 2—绝热材料 3—普通砖 4—盐溶液 5—电极

盐浴炉的常用加热介质见表 5.6.17。

表 5.6.17 盐浴炉常用加热介质

加热介质的成分(按质量%计算)	熔点(℃)	使用温度(℃)
55% KNO <sub>2</sub> + 45% NaNO <sub>2</sub>	137	150~500
100% NaNO <sub>3</sub> (外加 2%~4% NaOH)	317	325~600
50% NaNO <sub>3</sub> + 50% KNO <sub>3</sub>	140	150~550
20% NaOH + 80% KOH (外加 10%~15% 水)	155	170~350
30% KCl + 20% NaCl + 50% BaCl <sub>2</sub>	560	580~700
30% NaOH + 70% BaCl <sub>2</sub>	650	700~1000
50% NaCl + 50% BaCl <sub>2</sub>	600	650~1000
20% NaCl + 80% BaCl <sub>2</sub>	650	700~1000
50% NaCl + 50% KCl	670	700~900
100% BaCl <sub>2</sub>	960	1100~1350

盐浴炉炉膛尺寸和功率的确定方法如下所述。

2.2.2.1 炉膛尺寸 电极盐浴炉的盐槽截面形状一般为正方形或长方形。盐槽的容积应能容纳在工作温度下所需要的熔盐的体积。熔盐在工作温度下的体积  $V_{\alpha}$  为:

$$V_{\alpha} = \frac{G_c}{\gamma_{\alpha}} (L)$$

式中  $G_c$ ——所需要的熔盐质量(kg);

$\gamma_{\alpha}$ ——工作温度下熔盐的密度(kg/l)。

根据经验,  $G_c$  与炉子生产率  $A$  (kg/h) 之间存在如下关系:

对于中温炉(炉温 650℃~950℃)

$$G_c = (2 \sim 3) A (\text{kg})$$

对于高温炉(炉温高于 950℃)

$$G_c = (1 \sim 1.5) A (\text{kg})$$

在具体确定盐槽尺寸时,除应能容纳上述计算所得的熔盐体积外,还应使工件在盐液中的位置能满足加热工艺的要求;电极底边应离开盐槽底 50~80mm,以避免盐渣对电极的腐蚀和对电极之间的导电产生影响;工件与盐槽壁面之间应有 30~50mm 的间隙,以满足加热工艺的要求。

2.2.2.2 盐浴炉功率的确定 盐浴炉功率可以按热平衡法计算确定,但这种方法比较复杂。一般采用下述经验公式确定:

$$P = KV_{\alpha} (\text{kW})$$

式中  $P$ ——盐浴炉功率(kW);

$V_{\alpha}$ ——盐浴炉中熔盐体积(L);

$K$ ——系数。

系数  $K$  与炉温有密切关系,对于埋入式盐浴炉,系数  $K$  值随熔盐体积与炉内

温度变化关系如表 5.6.18 所示。

表 5.6.18 熔盐体积与炉内温度决定的  $K$  值

熔盐体积 (L)	炉内温度(°C)		
	150~650	650~950	950~1350
0~10	0.6~0.8	1.0~1.2	1.6~2.0
10~20	0.5~0.6	0.8~1.0	1.4~1.6
20~30	0.4~0.5	0.6~0.8	1.2~1.4
30~50	0.35~0.4	0.5~0.6	1.0~1.2
50~70	0.3~0.35	0.4~0.5	0.9~1.0
70~100	0.2~0.3	0.35~0.4	0.7~0.9
100~150	0.17~0.2	0.25~0.35	0.6~0.7
150~300	0.14~0.17	0.2~0.25	0.5~0.6
300~500	0.1~0.14	0.14~0.2	0.4~0.5
500~1000	0.08~0.1	0.12~0.14	0.3~0.4
1000~1500	0.06~0.08	0.1~0.2	

电极和电极柄一般用低碳钢制造,电极可用锻件或用厚钢板切割而成。电极柄的截面尺寸可按  $50\sim 100\text{A}/\text{cm}^2$  的电流密度来计算,而电极面上的平均电流密度尽可能不大于  $3.5\text{A}/\text{cm}^2$ ,并且各相电极的电流密度应基本相等,以便保证各相功率平衡。三相功率不平衡度不应超过 10%。单相炉每对电极的功率不应大于 60kW。

### 2.2.3 碳化硅加热元件

碳化硅加热元件包括棒和管,是由发热部和冷端两部分组成,见表 6.2.15 和 6.2.16 所示。

碳化硅元件的表面负荷  $P_d$  值可用以下经验公式算出:

$$P_d = 5 \left[ \left( \frac{T_1}{1000} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{1000} \right)^4 \right] (\text{W}/\text{cm}^2)$$

式中  $T_1$ ——电热元件的绝对温度(K);

$T_2$ ——炉内绝对温度(K)。

一般把所需炉温加上  $50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$  作为元件温度,分别换算成各自的绝对温度后,算出表面负荷的选用值。此值也可由表 6.2.17 或图 5.6.9 中直接查出。

用碳化硅棒(硅碳棒)作炉子的电热元件时,先根据炉膛形状和尺寸决定碳化硅棒的根数  $N$ ,然后根据炉子的总功率  $P_i$  算出每根碳化硅棒的功率  $P$ ,即:

$$P = \frac{P_i}{N}$$

根据炉膛尺寸和碳化硅棒安置方法(横放还是竖放)决定电热元件工作部分的长度  $l$ ,再由下式求得碳化硅棒的直径  $d$ :

$$d = \frac{P \times 10^2}{P_d \pi l} (\text{mm})$$

式中  $P_d$ ——碳化硅棒的单位表面功率( $\text{W}/\text{cm}^2$ );

$d$ ——碳化硅棒直径(mm);  $l$ ——工作段长度(mm);

$P$ ——每根碳化硅棒的功率(W)。

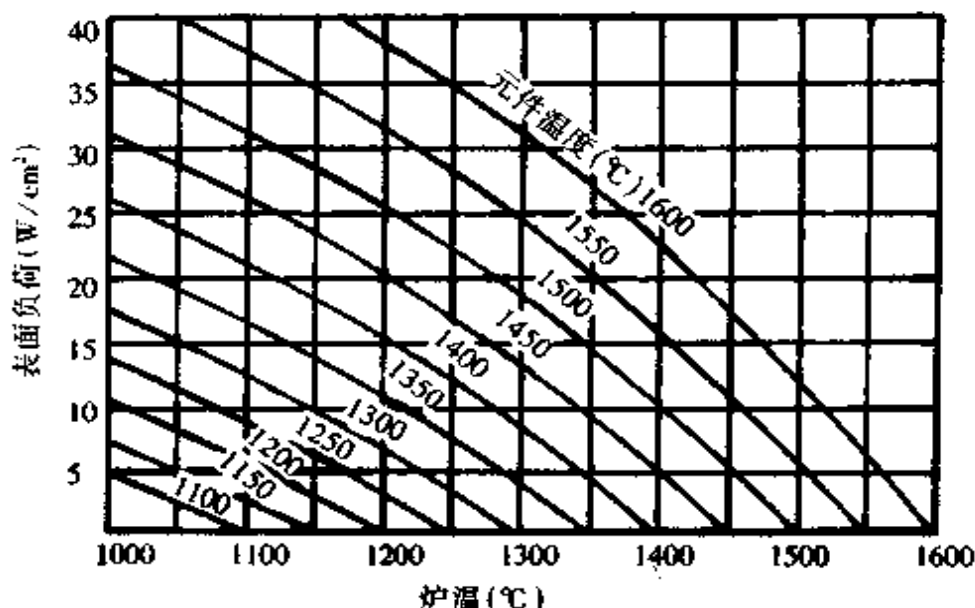


图 5.6.9 表面负荷对元件温度和炉内温度的关系曲线  
碳化硅棒工作时所需的电压:

$$U = \sqrt{PR} \text{ (V)}$$

$$R = \frac{4\rho_l l}{\pi d^2} \text{ (\Omega)}$$

式中  $\rho_l$ ——碳化硅棒工作温度下的电阻率( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$P$ ——每根碳化硅棒的功率(W)。

两种碳化硅棒加热元件的尺寸规格、阻值及允许负荷分别见表 6.2.15 和表 6.2.16 所列。

碳化硅元件在长期使用过程中会由于缓慢氧化而使其电阻逐渐增大,称之为老化。在使用过程中最好采用调压器随时调节电压,以保持其额定功率不变。

碳化硅加热元件目前广泛用于铁氧体烧结炉、荧光物质烧成炉、金属热处理炉等各种工业用电炉以及实验室电炉上。

### 3 管状加热元件

管状加热元件的结构是由铁铬铝电热材料作为发热体,外面包有金属套管,中间充以电熔结晶氧化镁填料,如图 5.6.10 所示。管状加热元件的选用见表 6.2.22 所示。

管状加热元件使用时应注意:

(1) 各种型号的元素是根据各种加热介质按照不同的管子表面负荷进行设计

的,所以不能互换使用,如表 6.2.22,因水的散热条件比空气好,所以在水中使用的 JGS 型的管子表面负荷大于在空气中使用的 JGQ 型。如果用 JGS 型加热元件加热空气,由于它的管子表面负荷过大,将使元件温度过高而烧坏。

(2)用于液体中的加热元件必须把其有效长度全部浸入液体中,以防止暴露于液面以上的部分过热而烧坏。

(3)因固体的散热条件不如液体,所以在盐浴炉或碱浴炉中使用,当盐或碱尚处在固态时,加热元件必须降低电压使用,以降低其表面负荷,待盐或碱全部溶化成液态后,方可升至额定电压。

(4)元件的工作电压不得超过其额定电压值的 10%。

(5)元件外壳应有效地接地,以策安全。

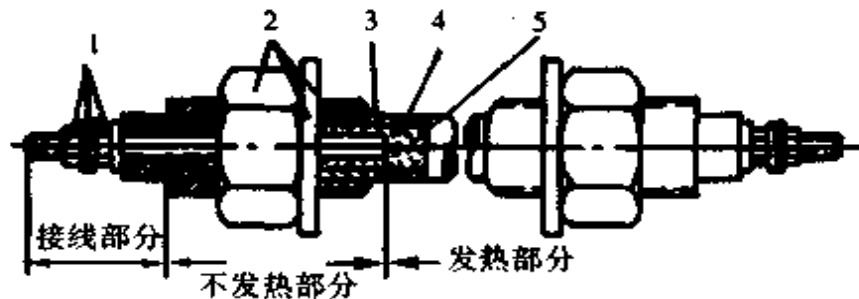


图 5.6.10 管状加热元件结构示意图

1—接线装置 2—紧固装置 3—金属套管 4—结晶氧化镁 5—电热材料

## 4 几种电热器的特性及加热元件的焊接方法

### 4.1 管状电热器

管状电热器是由管状加热元件和金属管组成的,如图 5.6.11 所示。电阻丝中通过一定的电流就发出热量。管状电热器可以安装在空气通道里,浸在水里或其他液体里,用来加热空气、水或其他液体。还可以直接放在固体金属中加热金属。它已广泛地用于航空、船舶、石油、化工以及日用工业等部门。管状电热器的型号、规格示于表 5.6.19 中。

### 4.2 板状电热器

板状电热器(电热板)是管状元件的一种变形。它以电阻丝作发热体,以氧化镁作绝缘物。其外形如图 5.6.12 所示,规格和外形尺寸见表 5.6.20。

板状电热器一般用于干燥作业,安装在各种敞开式或封闭式的烘道、烘箱中,用来干燥木质纤维、烘漆等;可作为红外线发生器;可用于熔铅、熔锡、熔蜡等;还可



以作为实验室加热器和在食品工业中烘面包、饼干等。

表 5.6.19 管状电热器型号、规格

型号	工作电压 (V)	额定功率 (kW)	管径 (mm)	加热介质最高温度 (°C)	极限表面负荷 (W/cm <sup>2</sup> )
SRS	220/380	1~5	14, 16	300	6
SRY	220/380	1~7	16, 18	400	3
SRQ	220/380	0.5~4	16	120~250	2
SR(X, J)	220/380	2~8	20, 22	550	4

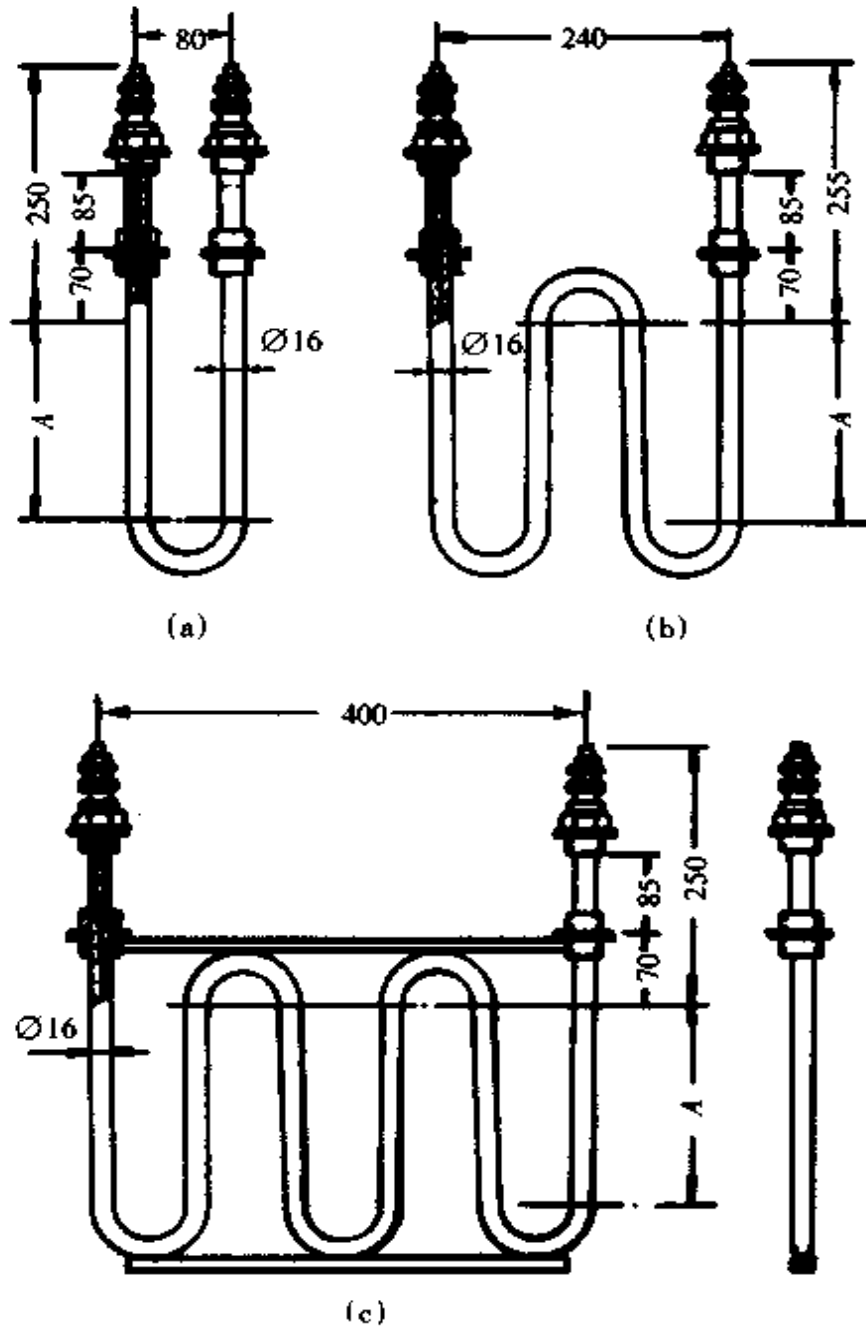


图 5.6.11 SRQ 型管状电热器



图 5.6.12 板状电热器外形

表 5.6.20 板状电热器的规格和外形尺寸

尺寸:长×宽×高 (mm)	150×300×12				
电压(V)	220				
功率(W)	200	400	600	800	1000

### 4.3 加热元件的焊接方法

加热元件的焊接方法有许多种,如气焊、保护气体焊、电弧焊、点焊等。下面介绍通常采用的电弧焊法。

#### 4.3.1 电弧焊接注意事项

电弧焊接比气焊质量好,它具有均匀稳定的电弧。所用焊条应与加热元件的材料相同。对于铁铬铝元件,炉温低于 950℃ 时,可使用镍铬合金焊条;炉温高于 950℃ 时,应采用铁铬铝焊条、高温不锈钢焊条。焊接处最好在 680℃ ~ 750℃ 下进行消除内应力退火(用任意办法将焊接处烧红 10 分钟左右即可)。使用的焊接电流数值可参考表 5.6.21。

表 5.6.21 不同元件尺寸采用的焊接电流数值

带材厚度 (mm)	线材直径 (mm)	电 流 (A)
0.5	1.0	30~50
1.0	2.0	50~75
1.5	3.0	75~100
2.0	4.0	100~125
2.6	5.0	125~150

#### 4.3.2 引出棒(或带)与加热元件的焊接

为了降低加热元件引出炉外一端的温度,以利于与电源连接,通常采用较大截面积(一般应在 3 倍以上)引出棒或引出带,其材料可采用铁铬铝、镍铬或镍铬铁、1Cr18Ni9 不锈钢等。其常用焊接方式如第六篇第二章的表 6.2.24 所示。

### 4.3.3 加热元件间的焊接

线状铁铬铝元件间的焊接一般采用钻孔焊或铣槽焊;线状镍铬元件间的焊接采用对焊;带状镍铬元件以及铁铬铝元件间多采用搭焊。几种常用的焊接方式如第六篇第二章的表 6.2.24 所示。

### 4.3.4 加热元件修理时的焊接法

(1)未用过的元件:线状元件若在搬运、安装中发生断裂时,可将断头处在  $700^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$  加热校直,然后用合适的方法焊接。带状元件断裂时,也将断头处先加热  $700^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ ,校直 3 倍宽度,以同样尺寸的带材,用钳子夹紧后进行焊接。

(2)经过高温使用过的元件:方法与未用过的相同,但应特别注意的是铁铬铝合金丝使用过后塑性很差,不可用力拉伸或重绕,最好在炉内焊接。

## 5 加热元件的联接方式及供电电压的选择

常用的电阻炉,一般使用 220V 或 380V 的工业电源电压。5kW 以下的小功率电热设备都使用单相 220V;在 10kW 时也有采用单相 220V 或 380V;大于 10kW 的电热设备一般均采用三相 380V。

表 5.6.22 加热元件几种联接方法的功率计算

联接方法	符号	元件数	相电压 $U_r$ (V)	相电阻 $R_r$ ( $\Omega$ )	相电流 $I_r$ (A)	总功率 $P$ (kW)
单相串联	—	$n$	$U_r = U$	$R_r = nr$	$I_r = \frac{U}{nr}$	$P = \frac{U^2}{10^3 nr}$
单相并联	=	$n$	$U_r = U$	$R_r = \frac{r}{n}$	$I_r = \frac{nU}{r}$	$P = \frac{nU^2}{10^3 r}$
三角形	$\Delta$	3	$U_r = U$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{r}$	$P = \frac{3U^2}{10^3 r}$
星形	Y	3	$U_r = \frac{U}{\sqrt{3}}$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{\sqrt{3}r}$	$P = \frac{U^2}{10^3 r}$
角形断一相 (V形接法)	$\wedge$	2	$U_r = U$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{r}$	$P = \frac{2U^2}{10^3 r}$
星形断一相	$\rangle$	2	$U_r = U$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{\sqrt{3}r}$	$P = \frac{2U^2}{3 \times 10^3 r}$
双三角形	$\Delta\Delta$	6	$U_r = U$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{r}$	$P = \frac{6U^2}{10^3 r}$
双星形	YY	6	$U_r = \frac{U}{\sqrt{3}}$	$R_r = r$	$I_r = \frac{U}{\sqrt{3}r}$	$P = \frac{2U^2}{10^3 r}$

注:  $U$ ——线电压(V);  $r$ ——元件电阻( $\Omega$ )。

每组加热元件以 30~60kW 为宜,即每相 10~20kW(相应的加热元件直径为 4~6mm)。在设计时可根据总功率数值,用几组并联方式达到要求。

炉子安装功率小于 25kW 时,加热元件的线路连接可采用单相串联或并联;功率在 25~75kW 之间时,可采用三相星形或角形接法;大于 75kW 时,可增加加热元件的组数,采用两组或多组接线法。几种常用联接方法的功率计算示于表 5.6.22 中。

在供电线路电压不变与加热元件电阻相等的前提下,联接方法不同,炉子功率将不同。因此,改变炉内元件的接法或切断某一组元件,就可达到改变输入炉内功率的目的。

## 6 常用电阻炉产品系列

国内几种常用电阻炉系列及其参数分别示于表 5.6.23 至 5.6.27。

表 5.6.23 RX 系列箱式电阻炉

型 号	额定温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	额定功率 (kW)	炉膛尺寸 (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)(mm)	最大装料量 (kg)
RX3-15-9	950	15	650 $\times$ 300 $\times$ 250	80
RX3-30-9		30	950 $\times$ 450 $\times$ 350	200
RX3-45-9		45	1200 $\times$ 600 $\times$ 400	400
RX3-60-9		60	1500 $\times$ 750 $\times$ 450	700
RX3-75-9		75	1800 $\times$ 900 $\times$ 550	1200
RX3-20-12	1200	20	650 $\times$ 300 $\times$ 250	50
RX3-45-12		45	950 $\times$ 450 $\times$ 350	100
RX3-65-12		65	1200 $\times$ 600 $\times$ 400	200
RX3-90-12		90	1500 $\times$ 750 $\times$ 450	400
RX3-115-12		115	1800 $\times$ 900 $\times$ 550	600
RX2-14-3	1350	14	550 $\times$ 220 $\times$ 220	120
RX2-25-13		25	600 $\times$ 280 $\times$ 300	200
RX2-35-13		35	810 $\times$ 550 $\times$ 370	500

注:对于通入控制气氛的炉子,其型号的末尾加字母“Q”,例如 RX3-30-9Q。1350 $^{\circ}\text{C}$  炉子不可通入控制气氛。

表 5.6.24 RJ 系列井式电阻炉

型 号	额定温度 (℃)	额定功率 (kW)	炉膛尺寸 (直径×深度)(mm)	最大装料量 (kg)
RJ2-25-6	650	25	∅400×500	150
RJ2-35-6		35	∅500×650	250
RJ2-55-6		55	∅700×900	750
RJ2-75-6		75	∅950×1200	1000
RJ2-40-9	950	40	∅600×800	350
RJ2-60-9		60	∅800×1000	800
RJ2-65-9		65	∅600×1600	700
RJ2-75-9		75	∅600×2400	1100
RJ2-90-9		90	∅1000×1200	1500
RJ2-95-9		95	∅800×2000	1600
RJ2-125-9		125	∅800×3000	2400
RJ2-140-9		140	∅1000×2400	3000
RJ2-190-9		190	∅1000×3600	4500
RJ2-50-12	1200	50	∅600×800	350
RJ2-75-12		75	∅600×1600	700
RJ2-80-12		80	∅800×1000	800
RJ2-105-12		105	∅1000×1200	1600
RJ2-110-12		110	∅800×1200	1500
RJ2-165-12		165	∅1000×2400	3000

注:对于通控制气氛的 950℃ 或 1200℃ 的炉子,其型号的末尾加“Q”,例如:RJ2-40-9Q。  
炉温 650℃ 炉子不能通控制气氛。

表 5.6.25 RQ 系列井式气体渗碳电阻炉

型 号	额定温度 (℃)	额定功率 (kW)	工作室空间尺寸 直径×深度(mm)	最大装料量 (kg)
RQ3-25-9	950	25	∅300×450	50
RQ3-35-9		35	∅300×600	70
RQ3-60-9		60	∅450×600	150
RQ3-75-9		75	∅450×900	220
RQ3-90-9		90	∅600×900	400
RQ3-105-9		105	∅600×1200	500

注:采用滴控渗碳的炉子,其型号的末尾加字母“D”,例如 RQ3-25-9D。

表 5.6.26 RT 系列台车式电阻炉

型 号	额定温度 (℃)	额定功率 (kW)	工作室空间尺寸 (长×宽×高)(mm)	最大装料量 (kg)
RT2-65-9	950	65	1100×530×450	1000
RT2-105-9		105	1500×800×600	2500
RT2-180-9		180	2100×1050×750	5000
RT2-320-9		320	2100×1050×750	12000

表 5.6.27 RYD 型电极盐浴炉

型 号	额定功率 (kW)	最高工作 温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	炉膛尺寸 (长 $\times$ 宽 $\times$ 深)(mm)	电极电压 (V)	最大生产率 (kg/h)
RYD-20-13	20	1300	245 $\times$ 180 $\times$ 430	5.5~17.5	90
RYD-35-13	35	1300	200 $\times$ 200 $\times$ 430	6.5~17.2	100
RYD-45-13	45	1300	340 $\times$ 260 $\times$ 600	5.5~17.5	200
RYD-75-13	75	1300	350 $\times$ 350 $\times$ 600	5.5~17.5	250
RYD-25-8	25	850	$\varnothing$ 340 $\times$ 472	6.5~16.6	90
RYD-50-6	50	600	920 $\times$ 600 $\times$ 540	5.5~17.5	100
RYD-100-8	100	850	920 $\times$ 600 $\times$ 540	5.5~17.5	160

## 7 热 电 偶

### 7.1 热电偶的种类和主要特性

#### 7.1.1 工业用测温热电偶

7.1.1.1 铂-铂铑合金热电偶 国产型号是 WRP 型。它适用于氧化性或中性的气体中。在  $1300^{\circ}\text{C}$  以下测温范围内能够长期使用,可短时(数小时)测量高达  $1600^{\circ}\text{C}$  左右的温度。在高温中使用时,易受氢、硫酸以及其他化合物如一氧化碳等还原性气体的侵蚀而变质。

这种热电偶稳定性好,准确度较高,一般误差在  $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$  左右,可作为校验用的标准热电偶。

7.1.1.2 镍铬-镍铝合金热电偶 国产型号是 WREU 型。这种热电偶可长期使用在  $900^{\circ}\text{C}$  以下。在  $500^{\circ}\text{C}$  以下的低温范围内适用于还原性、中性或氧化性的气体中。但在更高温度时,只适用于氧化性或中性气体中,并在数小时内可测温到  $1200^{\circ}\text{C}$ 。

这种热电偶的特点是热电动势大,并且热电动势与温度近似或成正比关系。

7.1.1.3 镍铬-考铜合金热电偶 国产型号是 WREA。这种热电偶适用于还原性或中性的气体中。长时间测温不能超过  $600^{\circ}\text{C}$ ,短时间(数小时)内可测温到  $800^{\circ}\text{C}$ 。

这种热电偶的特点是热电动势大。与其他热电偶相比,同样在  $300^{\circ}\text{C}$  时,铂铑-铂热电偶只有  $2.31\text{mV}$  热电动势;镍铬-镍铝热电偶只有  $12.21\text{mV}$  热电动势,而镍铬-考铜合金热电偶却能产生  $22.9\text{mV}$  热电动势。其缺点是测温范围较小,

考铜线易受氧化而变质。

### 7.1.2 特殊测温用热电偶

当被测温度在 1300℃ ~ 2000℃ 之间时,前面介绍的几种热电偶都不大适宜,一般可采用钨-钼热电偶、碳-钨热电偶和钨-铼热电偶等高温热电偶。

### 7.1.3 热电偶规格

常用热电偶的主要规格参数示于表 5.6.28。

表 5.6.28 热电偶主要规格参数

型号	适用范围	保护管材料	惰性时间 (min)	总长度 (mm)	插入深度 (mm)	工作压力 ( $\times 10 \text{ N/cm}^2$ )
<b>铂-铑-铂 热 电 偶</b>						
WRP-110	测 1300℃ 以下 加热炉温度	耐高温瓷	8	475、725、975、 1225、1475、1975	300、300、500、 500、750、750	接近大气压
<b>镍-铬-镍 铝 热 电 偶</b>						
WRN-110	测量 900℃ 以下 窑炉、反射炉或其 他非液体介质加 热炉中温度	耐高温瓷	8	500、750、1000、 1250、1500、2000	300、300、500、 500、750、1000	接近 大气压
WRN-111	测量 1000℃ 以下 加热炉中气体或 液体的温度	非工作部分 用碳钢,工作 部分用耐热 不锈钢	8	500、750、1000、 1250、1500、 2000、2500、3000	300、300、500、 500、750、1000、 1250、1500	接近 大气压
WRN-112X	测量 800℃ 以下 加热炉中气体或 液体的温度	耐热不锈钢	1.5	450、650、900、 1150、2150	300、500、750、 1000、2000	3
<b>镍-铬-镍 铝 热 电 偶</b>						
WRN-210	测量 800℃ 以下 管道和锅炉内气 体或液体温度	非工作部分 用碳钢,工作 部分用耐热 不锈钢	8	300、450、650、 900、1150	150、300、500、 750、1000	6
WRN-610X	测量温度在 600℃ 以下以及流 速小于 80m/s 蒸 汽和水的温度	耐热不锈钢	1.5	250、300、450	100、150、300	100
WRN-010	测量退火炉内钢 板加热温度,长时 间使用温度为 800℃ 以下	瓷管绝缘无 外部保护套		3200		接近大气压

续表

型号	适用范围	保护管材料	惰性时间 (min)	总长度 (mm)	插入深度 (mm)	工作压力 ( $\times 10 \text{ N/cm}^2$ )
镍 铬 - 考 铜 热 电 偶						
WRK-111	测量 600℃ 以下加热炉中气体和液体的温度	非工作部分用碳钢,工作部分用耐热不锈钢	8	500、750、1000、1250、1500、2000、2500、3000	300、300、500、500、750、1000、1250、1500	接近大气压
WRK-112X	测量 600℃ 以下加热炉中气体和液体的温度	耐热不锈钢	1.5	450、650、900、1150、2150	300、500、750、1000、2000	3
WRK-210	测量 600℃ 以下管道和锅炉内气体或液体温度	非工作部分用碳钢,工作部分用耐热不锈钢	8	300、450、650、900、1150	150、300、500、750、1000	10
WRK-610X	测量 600℃ 以下流速小于 80m/s 蒸汽和水的温度	耐热不锈钢	1.5	250、300、450	100、150、300	100

各型热电偶的外形如图 5.6.13 所示。

## 7.2 冷端温度变化对测温准确度的影响及其校正法

由热电偶基本定律知道,热电动势的大小取决于被测物与冷端的温度差,因此冷端温度变化将影响热电动势的大小。

目前各种温度指示仪表的刻度,都是按照热电偶冷端处于 0℃ 时设计制造的,因此冷端温度的变化将影响被测温度指示的准确度。为了消除冷端变化所引起的影晌,可采取以下几种校正方法。

### 7.2.1 补偿导线法

由于补偿导线和热电偶在一定温度范围(0℃ ~ 100℃)内的热电动势与温度关系正好相反,所以两者连接时在连接点所产生附加热电动势的代数和将不影响热电偶回路的电动势值。这样使热电偶的引出端接点(被测对象附近处温度为  $t_2$ )移至温度为  $t_3$  而近似恒定的仪表处,见图 5.6.14。但必须注意,如要保证冷端温度绝对恒定,还需另加补偿。补偿导线规格见表 5.6.29。



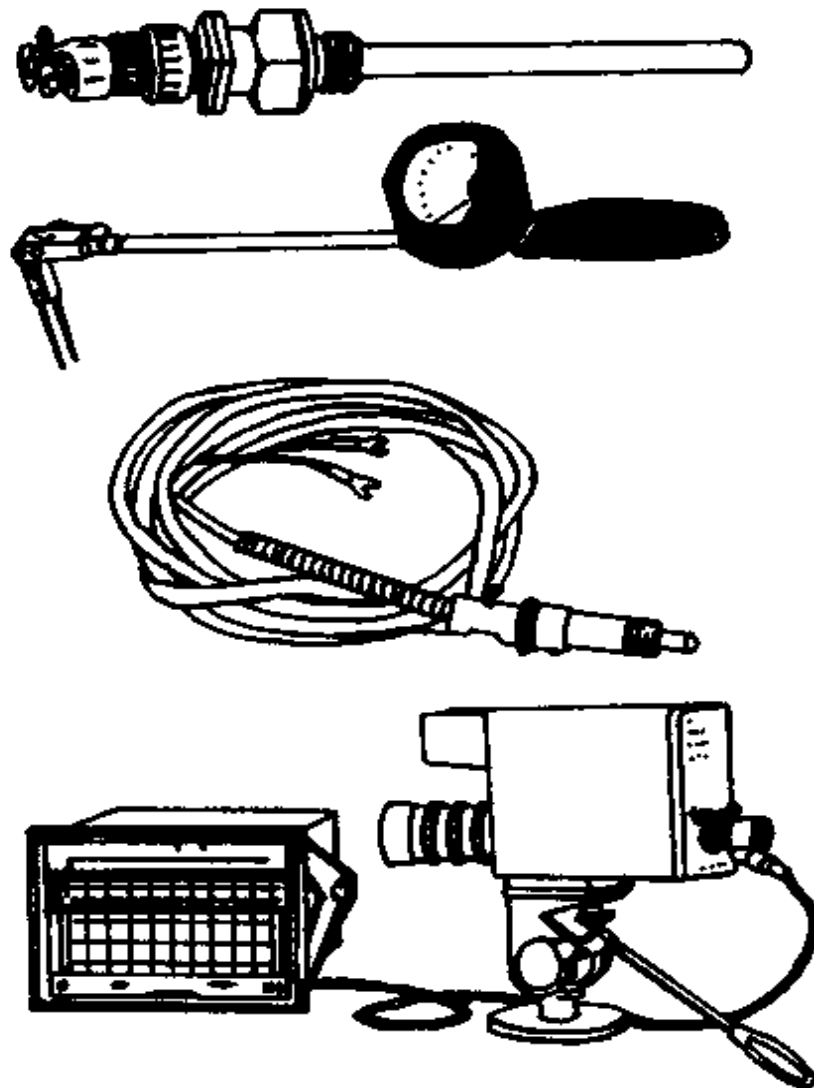


图 5.6.13 各型热电偶的外形图



图 5.6.14 热电偶连接补偿导线的电路

表 5.6.29 补偿导线规格

热电偶类别	补偿导线材料		100℃时热电动势 (mV)	1m 长的电阻值(Ω)		
	正	负		1mm <sup>2</sup>	1.5mm <sup>2</sup>	2.5mm <sup>2</sup>
铂铑-铂	铜	99.4%铜+0.6镍	0.64±0.03	0.05	0.03	0.02
镍铬-镍铝	铜	康铜	4.16±0.15	0.52	0.35	0.21
镍铬-考铜	镍铬	考铜	6.95±0.3	0.15	0.77	0.46
铁-考铜	铁	考铜	5.75±0.25	0.61	0.41	0.24
铁-康铜	铁	康铜	5.15	0.61	0.41	0.24
铜-康铜	铜	康铜	4.75±0.15	0.50	0.33	0.20

## 7.2.2 计算校正法

本方法适用于热电偶引出端接点处温度变化很小的场合。

7.2.2.1 对指示仪表温度的校正计算 在图 5.6.14 中,若仪表指示温度为  $t_{dr}$ ,引出端温度为  $t_3$ (因利用补偿导线已移至  $t_3$ ),那么,温度校正计算公式为:

$$t = t_{dr} + Kt_3$$

式中  $t$ ——校正后的真实温度(℃);

$t_{dr}$ ——仪表的指示温度(℃);

$t_3$ ——引出端(即冷端)温度(℃);

$K$ ——校正系数, $K$ 值对于不同热电偶和不同测量端温度有不同的校正值,如表 5.6.30 所示。对于中间温度的场合,可用插入法近似地计算  $K$  值。

7.2.2.2 在检定热电偶时对冷端温度的校正 检定热电偶时读取的在被测温度  $t_{by}$  下的相应电动势值  $E_{(t_{by}, t_3)}$ ,若冷端温度为  $t_3$ ,查表 5.6.31 得到相应电动势为  $E_{(t_3, t_0)}$ ,则实际温度下的电动势值应为:

$$E_{(t_{by}, t_0)} = E_{(t_{by}, t_3)} + E_{(t_3, t_0)}$$

然后按照这个电动势值再查表便能求得实际温度  $t$  值。

表 5.6.30 校正系数  $K$  值表

测量温度 (℃)	热电偶种类				
	铜-考铜	镍铬-考铜	铁-考铜	镍铬-镍铝	铂铑-铂
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
100	0.86	0.90	1.00	1.00	0.82
200	0.77	0.83	0.99	1.00	0.72
300	0.70	0.81	0.99	0.98	0.69
400	0.68	0.83	0.98	0.98	0.66
500	0.65	0.79	1.02	1.00	0.63
600	0.65	0.78	1.00	0.96	0.62
700		0.80	0.91	1.00	0.60
800		0.80	0.82	1.00	0.59
900			0.84	1.00	0.56
1000				1.07	0.55
1100					0.53
1200					0.53
1300					0.52
1400					0.52
1500					0.53
1600					0.53

必须注意:对铂铑-铂热电偶和镍铬-镍硅热电偶,只有当冷端温度低于100℃时才能有效地使用补偿导线,否则必须加长热电偶,使冷端离开热源,将其温度降至100℃以下。

表 5.6.31 温度与绝对毫伏数对照表

mV

工作温度 (℃)	铂铑-铂 LB-3	镍铬-镍铝 EU-2	镍铬-考铜 EA-2
0	0	0	0
10	0.056	0.40	0.65
20	0.113	0.80	1.31
30	0.173	1.20	1.98
40	0.235	1.61	2.66
50	0.299	2.02	3.35
60	0.364	2.43	4.05
70	0.431	2.85	4.76
80	0.500	3.26	5.48
90	0.571	3.68	6.21
100	0.643	4.10	6.95
200	1.436	8.13	14.66
300	2.315	12.21	22.90
400	3.250	16.40	31.48
500	4.220	20.65	40.15
600	5.222	24.90	49.01
700	6.256	29.13	57.74
800	7.322	33.29	66.36
900	8.421	37.33	
1000	9.556	41.27	
1100	10.723	45.10	
1200	11.915	48.81	
1300	13.116	52.37	
1400	14.313		
1500	15.504		
1600	16.688		

注:自由端温度为0℃。

### 7.2.3 桥式自动补偿器

桥式补偿器(图 5.6.15)是利用桥式电路不平衡电压来补偿热电偶由于冷端

温度变化而引起热电动势变化的。它接在热电偶冷端附近(或用补偿导线接入)。图中电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  都是用锰铜线制成的,  $R_4$  用铜线制成。当冷端温度升高时,  $R_4$  值也增大, 使电桥出现不平衡电压, 这个电压与热电动势串联而加以补偿。

国产桥式补偿器的型号为 WBC-57 型。

#### 7.2.4 冷端恒温或冷端移至测量仪表处

设法将热电偶的冷端保持恒温, 如冷端保持在  $0^{\circ}\text{C}$ , 则不需另加校正; 通常简单易行的方法是将冷端移向测量仪表处, 可避免由于冷端温度的波动所造成的误差。

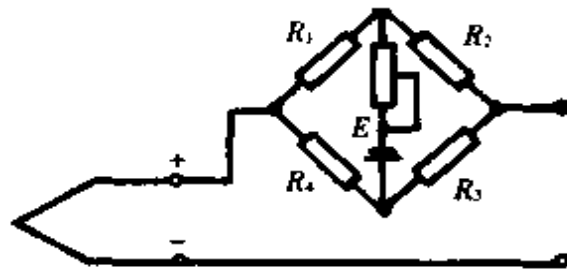


图 5.6.15 热电偶冷端桥式补偿器电路

## 8 电阻炉炉温的自动控制

电阻炉炉温的控制是靠调节电炉的平均输入功率来实现的。

常用的炉温自动控制方式及其特点见表 5.6.32。一次测温元件多数采用热电偶; 低温炉也可采用电阻温度计; 炉温高于  $1000^{\circ}\text{C}$  的炉子, 有的采用光电感温器或辐射感温器。常用的测量调节仪表是动圈式、电子电位差计式和平衡电桥式温度仪。

与各种温度自动控制方式相对应的供电回路, 以三相电路为例, 如图 5.6.16 所示。对于需要通过变压器与电网连接的炉子, 图中晶闸管、饱和电抗器、接触器或磁性调压器等元件都应接在变压器的一次回路中。

对于位式控制, 可采用加热元件分组切换或者三相星形与三角形接法转换等办法, 使炉子保温时的输入功率与实际需要功率相接近, 借以提高炉温控制精度, 如图 5.6.17 所示。

供电回路的过电流保护一般采用空气断路器。对采用晶闸管、饱和电抗器或磁性调压器的供电回路, 则可从主回路取电流信号, 当发生过电流时, 自动切断主回路或减小主回路中的电流。

电阻炉的温度控制系统会受到外来干扰, 可采用将热电偶一端接地和信号传送线路采用屏蔽等抗干扰措施。仪表本身都具有一定的抗干扰能力。

表 5.6.32 常用电阻炉炉温控制方式及其特点

控制方式	调节规律	执行机构	温控精度	主要特点
位式	二位式	接触器 或 晶闸管	约 $\pm 10^{\circ}\text{C}$	系统简单, 价格低; 但温度控制精度低, 炉温波动大; 采用接触器时有噪音, 接触器开关元件寿命短
	三位式			可实现切断输入功率控制, 或实现加热元件 Y- $\Delta$ 接法转换, 温控精度高; 炉温波动较二位式的稍高
	时间-比例			温控精度比二位式的稍高, 但通断频繁, 对接触器要求较高
晶闸管移相触发式	比例(P)、	晶闸管	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ 范围内	与位式控制相比, 温控精度高, 无噪音; 与饱和电抗器和磁性调压器式相比, 体积小, 重量轻、反应时间快, 但对电网干扰是各种控制方式中最严重的
晶闸管过零触发式	比例-积分(PI)	晶闸管		与晶闸管移相触发式相比, 对电网的干扰小得多, 但线路复杂
饱和电抗器式	比例-积分-微分(PID)	饱和电抗器		与晶闸管移相触发式或零位触发式相比, 可靠性好, 过载能力强, 对电网的干扰小, 但体积、重量、铜和钢的用量都大
磁性调压器式		磁性调压器		基本上同饱和电抗器式, 但体积略小, 材料消耗较少

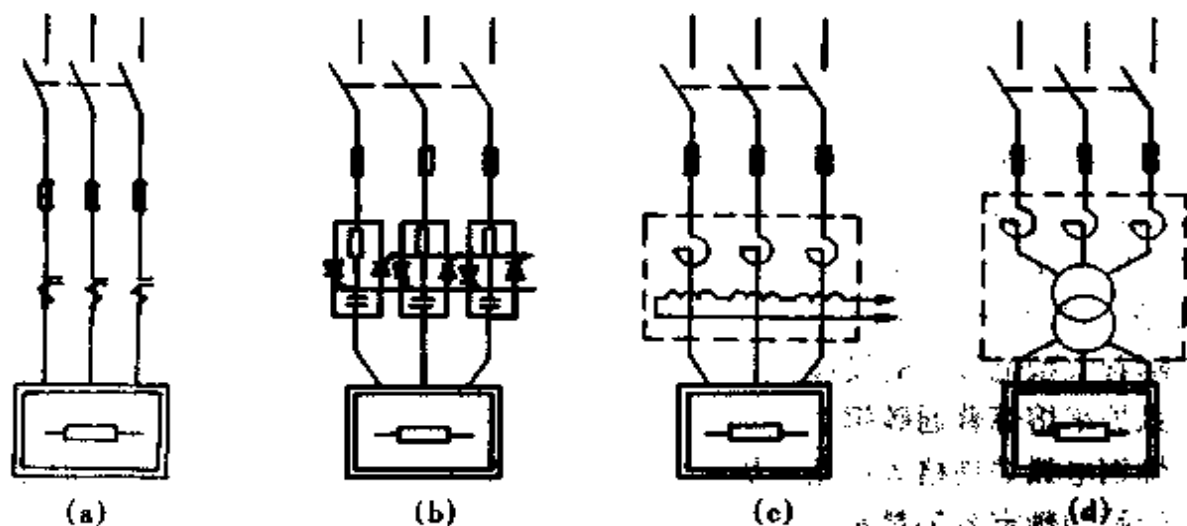


图 5.6.16 电阻炉的供电回路

(a)位式 (b)晶闸管式 (c)饱和电抗器式 (d)磁性调压器式

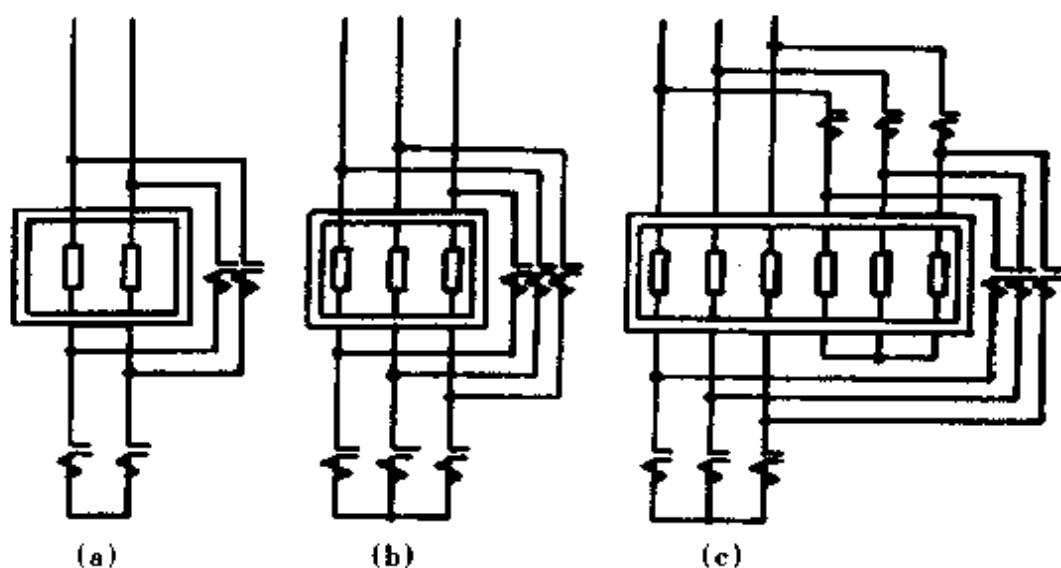


图 5.6.17 加热元件的切换和接法转换  
(a)单相串、并联 (b)Y- $\Delta$ 转换 (c)三相串、并联

## 9 炼钢电弧炉

电弧炉是利用电弧产生的热量来熔炼金属的一种电炉。炼钢电弧炉是各种电弧炉中最主要的一种,我们通常所说的电弧炉,就是指这一种电炉。

在现代工业中,各种高合金钢有着很重要的用途。为了得到高合金钢,不但需要把合金成分加进普通的碳素钢中,并且首先要将普通钢中的有害杂质如硫、磷等清除掉,有时还必须清除掉一部分碳和氧。这种清除钢中有害杂质的过程称为钢的精炼,这在电弧炉中进行最为方便。因为在电弧炉中,一方面能够形成氧化性很弱甚至是还原性气氛,能够促进钢的精炼;另一方面,调节炉内的加热过程也比较容易。由于在电弧炉中合金成分的烧损很少,因此虽然用电弧炉需要消耗很多电能,但是工业上还是愿意用这种电炉来熔炼各种昂贵的高级合金钢。

随着大型电弧炉的发展,电弧炉炼钢的成本也逐渐降低,因此目前在国内外也用电弧炉来熔炼普通碳钢。

炼钢电弧炉规格大小用其炉膛的额定容钢量来表示。比如说 3t 电弧炉,就表示其炉膛的额定容钢量是 3 吨。目前炼钢电弧炉的容量,小的只有 500kg,大的可以到几百吨以上。

### 9.1 炼钢电弧炉的供电线路

一个普通功率炼钢电弧炉的供电线路原理图示于图 5.6.18。

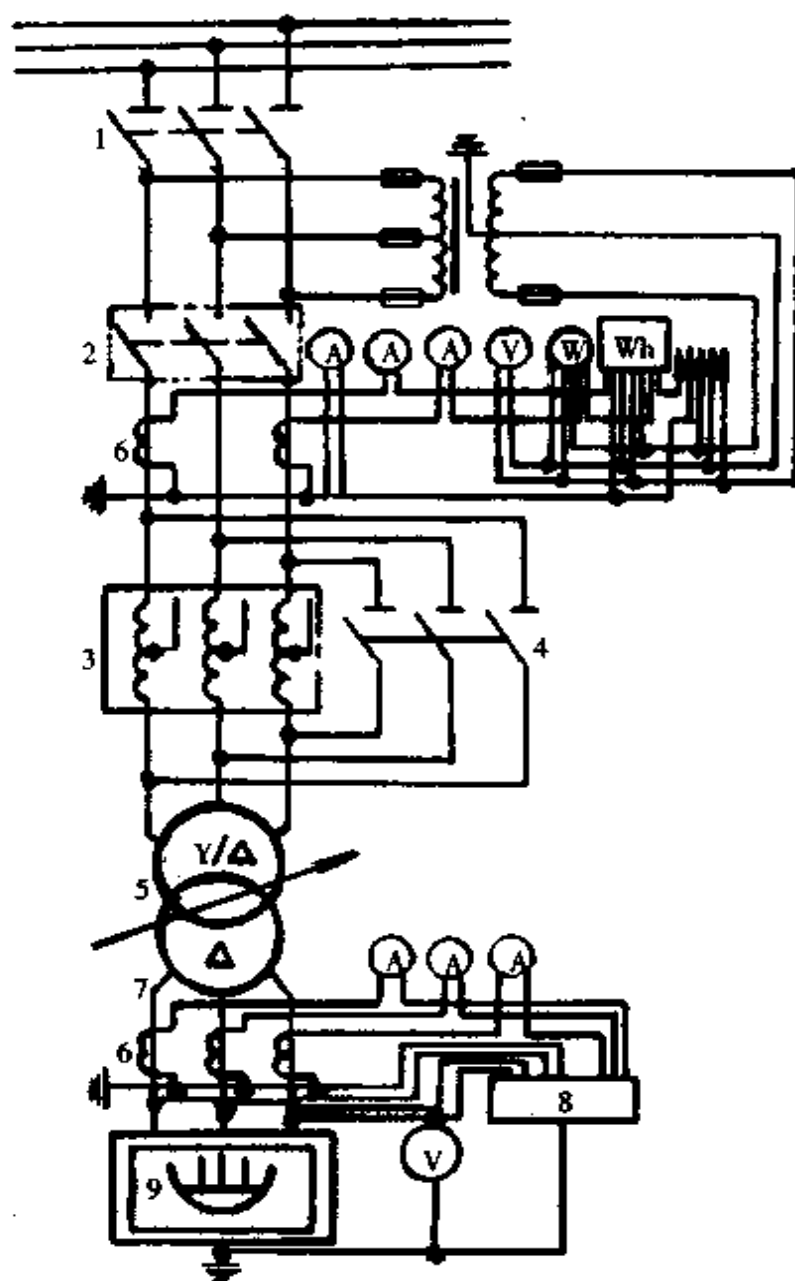


图 5.6.18 普通功率炼钢电弧炉供电线路原理图

1—进线隔离开关 2—高压断路器 3—外附电抗器 4—电抗器分接开关  
5—电炉变压器 6—电流互感器 7—短网 8—调节器 9—电弧炉

## 9.2 普通功率炼钢电弧炉系列

一个普通功率炼钢电弧炉系列的主要规格及参数示于表 5.6.33。

表 5.6.33 普通功率炼钢电弧炉系列主要规格及参数

电炉额定容量(t)	0.5	1.5	3	5	10	20	30	50	75	100
炉壳内径(m)	1.6	2.1	2.5	3.0	3.5	4.2	4.6	5.2	5.8	6.4
变压器额定容量 <sup>①</sup> (MV·A)	0.65	1.25	2.2	3.2	5.5	9	12.5	18	25	32
一次电压(kV)	10(或6)					35	35(或110)			
二次电压及调压级数 (V)	200	210	220	240	260	140	150	160	170	180
	170	180	190	210	240	~300	~340	~380	~430	~480
	116	121	127	139	210	12级	12级	12级	12级	12级
	98	104	110	121	139	以上	以上	以上	以上	以上
额定工作电流(kA)	1.88	3.44	5.78	7.71	12.21	17.31	21.21	27.38	33.6	38.53
电极直径(mm)	150	150~200	200	300	350	400	450	450	500	550
电抗器额定容量 <sup>②</sup> (kvar)	120	200	250	320	350	400	-	-	-	-
电抗器电抗压降 <sup>③</sup> (%)	18.5	16	11.4	10	6.4	4.4	-	-	-	-
电抗器安装形式	内附					外附	-	-	-	-
变压器阻抗压降 <sup>③</sup> (%)	10 ~11	9 ~10	8 ~9	7 ~8	7~8(10或35kV) 8.5~9.5(110kV)			6~7(35kV) 7.5~8.5(110kV)		
短网电抗压降约值(%)	5	8	12	15	20	28	28	32	35	38

注:①变压器额定容量系指二次电压最高时的容量。

②0.5~10t炉的电抗器附设在变压器内部(内附式),20t炉的电抗器是外附式。

③变压器阻抗压降(%)是指变压器二次电压最高时的相对值,当变压器采用漏磁结构时,因无电抗器,此时变压器阻抗压降的最大值应不小于表列变压器和电抗器阻抗压降之和。

### 9.3 炼钢电弧炉用变压器

电弧炉用变压器的作用是将电网来的高压电能转换成电弧炉所需要的低压电能。

根据电弧炉的特殊工作条件,电弧炉用变压器在结构上和工作状态上具有以下特点:

(1)具有较大的过载能力。根据炼钢电弧炉用变压器标准规定:在熔化期,负荷电流允许按1.2倍额定电流整定,每周期允许过负荷的持续时间应不超过表5.6.34的规定。

表 5.6.34 电弧炉用变压器允许过载时间

每周期时间 T(h)	允许持续时间(h)
≤4.5	0.55T
>4.5	2.5

在表5.6.34中,每周期时间T系指每炼一种钢从装料到出钢完毕所需的时间。当工作短路电流按3倍变压器额定电流整定时,短路持续时间不应超过6s。

(2)允许温升较低。炼钢炉用变压器各部分的使用温升极限值,应不超过表



5.6.35 规定。

表 5.6.35 炼钢炉用变压器允许温升表

变压器部位	温升极限值(℃)	测量方法
线圈	65	电阻法
铁心表面	75	温度计法
油顶层	55	温度计法

(3)二次电压可在较宽的范围内调节。

(4)较大的阻抗电压  $e_K$  (%) 值。为了限制短路电流,炼钢电弧炉用变压器必须设计成具有较大的阻抗压降  $e_K$  值,通常在 7%~10% 范围内。

(5)具有较大的电压比。因为一次侧输入高电压、小电流,而电弧炉冶炼需要低电压、大电流。

(6)具有较高的机械强度。因为炼钢电弧炉用变压器经常承受工作短路电流的冲断,所以它的绕组和引出线支撑部分必须具有较高的机械强度。

三级功率<sup>①</sup> 炼钢电弧炉用变压器系列参数示于表 5.6.36。

表 5.6.36 三级功率炼钢电弧炉用变压器系列参数

额定容量/最大容量 (t/t)	炉壳内径 (m)	变压器额定容量(MV·A)			石墨电极直径 <sup>①</sup> (mm)
		1类	2类	3类	
0.6/1	1.6	0.63			100(150)
1.5/2.5	2.1	1.25			150(200)
3/5	2.5	2			200(250)
6/10	3.0	3.15			250(300)
12/15	3.5	5 或 6.3			300,350
15/20	3.7	6.3	10	12.5	350(400)
20/25	4.0	8	12.5	16	350,400
25/30	4.3	10	12.5	16 或 20	400(450)
30/40	4.6	12.5	16	20 或 25	400,450
40/50	5.0	16	20	25 或 31.5	450,500
50/60	5.2	20 或 16	25	31.5 或 40	450,500
60/75	5.5	20	25	40	450,500
80/100	6.1	25	31.5	40 或 50	500,550
100/125	6.4		40	50 或 63	500,550
125/160	6.8			63	550(600)
160/200	7.4			80	600

注:根据石墨电极的允许电流负荷,石墨电极直径可在给出的两种规格中任选其一,但括号中的数值不推荐。

## 9.4 炼钢电弧炉的大电流线路

从炼钢电弧炉用变压器二次出线端至炼钢电弧炉中的电极(包括电极在内),这一段线路称为大电流线路(也称短网)。

① 三级功率指普通功率、高功率、超离功率。

## 9.4.1 大电流线路各区段允许电流密度

表 5.6.37 示出短网各区段电流密度。

表 5.6.37 短网各区段允许电流密度

大电流线路型式	允许电流密度(A/mm <sup>2</sup> )
矩形铜排 (空气自然冷却)	1.5~2.0(当一相母线截面在 5000mm <sup>2</sup> 以下时) 1.0~1.5(当一相母线截面在 5000mm <sup>2</sup> 以上时)
铜质软电缆 (空气自然冷却)	1.8~2.5(当一相母线截面在 4000mm <sup>2</sup> 以下时) 1.2~1.8(当一相母线截面在 4000mm <sup>2</sup> 以上时)
水冷铜电缆	3~4
水冷铜管	4~6

## 9.4.2 炼钢电弧炉用石墨电极

电极的作用是把大电流引导至炉子熔炼室。据统计,电极中的电气损失约占主回路中全部电气损失的 40%。

为了保证电弧炉正常工作,电极应具有足够的机械强度。在电弧炉中大多采用直径在 600mm 以下,长度在 2500mm 以下的圆形截面石墨电极。石墨电极的允许电流和物理性能示于表 5.6.38。

表 5.6.38 石墨电极的允许电流和物理性能

公称直径 (mm)	允许电流 (kA)	电阻率(不大于) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	抗弯强度(不小于) ( $\times 10^5 \text{ Pa}$ )	密度(不小于) (g/cm <sup>3</sup> )
75	1~2/1~1.4	8/8.5/10	98/78	2.2/2.18
100	2~3/1.5~2.4	8/8.5/10	98/78	2.2/2.18
130	3~4/2.2~3.4	8/8.5/10	98/78	2.2/2.18
150	4~5.4/3.5~4.9	8/9/11	98/78	2.2/2.18
200	5.4~10/5~6.9	8/9/11	98/78	2.2/2.18
250	10~13/7~10	8/9/11	225/176	2.2/2.18
300	13~17.4/10~13	7/9/11	225/176	2.2/2.18
350	17.4~24/13.5~18	7/9/11	225/176	2.2/2.18
400	24~32/18~23.5	7/9/11	225/176	2.2/2.18
450	32~40/22~27	7/9/11	225/176	2.2/2.18
500	40~48/25~32	7/9/11	225/176	2.2/2.18

注:1. 表中 A/B——A 表示高功率石墨电极值;B 表示普通功率石墨电极值。

2. A/B/C——A 同上述,B 和 C 分别表示普通功率石墨电极中的优质品和一级品。

超高功率电弧炉对电极有更高的要求,以直径 500mm 的电极为例,用表 5.6.39 列出一般的普通功率电极和超高功率电极的几项参数对比。

表 5.6.39 普通功率和超高功率电极参数对比

电极种类	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	允许电流密度 (A/cm <sup>2</sup> )	热膨胀系数 ( $\times 10^{-6}/\text{C}$ )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
普通功率电极	8.5~11	14~15	2.2~3.0	2.18~2.2
超高功率电极	5~7	25~30	2.0~2.3	2.31~2.52

国产普通功率石墨电极和高功率石墨电极尺寸系列示于表 5.6.40。

表 5.6.40 普通石墨电极和高功率石墨电极尺寸系列(mm)

公称直径	长度	长度允差
75	1000	+50 -75
100 130	1200	+50 -75
150 200	1600	+75 -100
250 300 350	1600 1800	+75 -100
400 450 500	(1600) (1800) 2000	±100, +75 -100

在大电流回路中,接触电阻最大的部位是电极与电极夹持器之间的接触电阻。该电阻值取决于电极夹头的夹紧程度及电极和夹头的材料。

电极夹持力可按下式计算:

$$P = \frac{G_{\text{电}}}{2f}$$

式中  $G_{\text{电}}$ ——电极总重(kg);

$f$ ——电极对电极夹头内表面之间的摩擦系数。

电极对电极夹持器夹头之间的接触电阻,不得超过表 5.6.41 所列数值。

表 5.6.41 电极-电极夹头之间接触电阻限值

电极材料	电极夹头材料	接触电阻(mΩ)
石墨电极	黄铜	0.08
石墨电极	钢	0.35
碳素电极	黄铜	0.42

为了保证不超过表 5.6.41 中所列的接触电阻值,必须做到:选择接触电阻小的导电材料;接触部分在运行中保持足够的压力;保证接触部分充分散热,如通水冷却。

### 9.4.3 炼钢电弧炉大电流回路用电流互感器

电弧炉变压器二次供电回路为大电流回路,为了测量大电流,需利用特殊结构的母线作为一次线圈的母线式电流互感器。表 5.6.42 中所列的 LYM-0.5 型电流互感器为户内用低压母线式,可供 500V 及以下的交流线路中测量电流、电能及继电保护用。

表 5.6.42 LYM-0.5 型电流互感器数据

额定一次电流 (A)	额定二次电流 (A)	准确度 (%)	额定负荷 ( $\Omega$ )	饱和倍数	一次热稳定倍数	最大二次电流倍数
750	5	3	0.8	6	70	13
1000	5	1	0.8	10	70	16
1500	5	0.5	0.8	14	70	19
2000	5	0.5	0.8	18	70	23
3000	5	0.5	0.8	20	70	27
4000	5	0.5	0.8	10	70	15
5000	5	0.5	0.8	10	70	14
7500	5	3	0.8	5	90	10
10000	5	3	0.8	3	90	9
15000	5	3	2	3	120	8
25000	5	3	2	3	170	8

#### 9.4.4 不同容量炼钢电弧炉的大电流回路

参数示于表 5.6.43。各部分的电抗相对值示于表 5.6.44。

表 5.6.43 不同容量炼钢电弧炉的大电流回路参数

炉子容量 (t)	变压器容量 (MV·A)	大电流回路每相电阻 $r_d$ (m $\Omega$ )	大电流回路每相电抗 $X_d$ (m $\Omega$ )
0.5	0.65	—	—
1.5	1.25	2.25~3.5	18.3~20
3	2.2	1.46	9.4
5	3.2	1.15~1.25	4.83~5.85
10	5.5	1.0~1.2	4.6
20	9	0.82~0.9	3.0~4.14

表 5.6.44 不同容量炼钢电弧炉大电流回路各部分相对电抗值

炉子容量 (t)	变压器容量 (MV·A)	变压器短路阻抗 (%)	电抗器相对电抗 (%)	大电流回路相对电抗 (%)
0.5	0.65	9~12	18.5	5
1.5	1.25	8~11	17.5	7
3	2.2	7~10	12.25	10
5	3.2	7~10	10	12
10	5.5	7~10	6.73	16
20	9.0	7~10	5	25
30	12.5	7~10	—	28
50	18.0	7~10	—	30

## 9.5 炼钢电弧炉的电极升降自动调节器

在炼钢过程中,由于电极同炉料的接触短路、炉料崩塌、炉料成分的气化等原因,会引起电弧电流和电弧电压很大波动,因此要求快速调节电极的位置,使电压和电流值保持在一定的范围之内,电极自动调节器就是执行这一任务的。

### 9.5.1 电弧炉电极升降自动调节器应满足下列要求

(1)应能使电极自动点弧。

- (2)应能自动消除电极与炉料之间的短路。
- (3)应能自动保持每相的给定输入功率。
- (4)当任何一相电极调节器线路发生故障时,应能迅速切换到备用的调节器上。
- (5)电极升降应能迅速从自动控制切换到手动控制或相反。
- (6)系统中应设有保护装置,用以防止电极与炉料(特别是不导电炉料)接触时因碰撞而损坏电极。

### 9.5.2 电极升降自动调节器指标

炼钢电弧炉电极升降自动调节器必须工作可靠,各项指标应能满足不同冶炼期的要求,如熔化期要求稳定性好,不断弧;精炼期要求灵敏度高,不使钢水增碳。电极升降自动调节器的技术指标不应低于 5.6.45 的要求。

表 5.6.45 电极升降自动调节器各项指标要求

炼钢电弧炉额定容量(t)			<5	5~10	>10
电极最大上升速度(m/min)			>2.0	>3.0	>5.0
电极最大下降速度(m/min)			>1.2	>1.8	>3.0
电极响应时间(s)	起动	上升	≤0.3	≤0.2	
		下降	≤0.4	≤0.3	
	制动	上升	≤0.2	≤0.2	
		下降	≤0.3	≤0.2	
不灵敏区 (%)	熔化期		≤30	≤20	
	精炼期		≤20	≤15	

注:表内指标摘自 GB10067.2。

不同型式电极升降自动调节器技术指标示于表 5.6.46。

表 5.6.46 不同型式电极升降自动调节器指标

调节器型式		晶闸管-直流 电动机式	晶闸管-转差 离合器式	晶闸管-交流 力矩电机式	电气-液压式
不灵敏区(%)		20	15	10	8
电极最大上升速度 (m/min)		1.5	3	4	5
电极响应时间 (s)	起动	0.5	0.3	0.2	0.15
	制动	0.5	0.3	0.2	0.15

## 9.6 炼钢电弧炉的排烟除尘装置

炼钢电弧炉熔炼每吨钢要产生 10~25kg 烟尘。许多国家从环保要求提出了向大气排放的烟气含尘量不大于 0.3~0.5kg/t 钢,所以必须装设排烟除尘装置。电弧炉的排烟除尘方式有以下三种:

(1)炉内抽烟式。这种方式是在炉盖上开孔,将炉气用管子导出,进行除尘净化处理。

(2)排烟罩式。这种方式是在炉盖三个电极孔上装设局部排烟罩,烟气经管道、风机及除尘净化后,排入大气中。

(3)全密封式。这种方式是将电弧炉全部密封起来,设置特殊出入口、排气口。常用的排烟除尘装置系列主要技术参数示于表 5.6.47。推荐采用的除尘器类型及其效率见表 5.6.48。

炉内抽烟式除尘器主要用于 20t 以上的电弧炉上。排烟罩式除尘装置主要用于 15t 以下的电弧炉上。全封闭式则主要用于大型超高功率电弧炉上。

采用前两种方式时,由于排烟抽气,使炉内压力降低。在这种情况下,炉内压力必须采取自动控制措施,使其保持正压,即保持在 0~98Pa 范围内。

表 5.6.47 电弧炉用排烟除尘装置系列主要技术参数

电弧炉容量 (t)	过滤面积 (m <sup>2</sup> )	处理风量 <sup>①</sup> (m <sup>3</sup> /h)	除尘效率 (%)	工作阻力 (Pa)	进口烟气温度 (℃)	过滤风速 (m/min)
0.5	60	6000	99	980~1470	120	1.67
1.5	110	12000	99	980~1470	120	1.81
3	230	24000	99	980~1470	120	1.74
5	340	36000	99	980~1470	120	1.76
10	450	48000	99	980~1470	120	1.78

注:①处理风量是在电炉最大装料量及吹氧的情况下,当烟气温度为 100℃~120℃ 时的混合烟气体量。

表 5.6.48 推荐采用的除尘器类型及其效率

电弧炉容量 (t)	推荐的除尘器类型	除尘效率(%)				备注
		对标准灰尘 60μm(80%) 10μm(30%) 2μm(10%)	对 10μm 灰尘	对 5μm 灰尘	对 1μm 灰尘	
<20	袋式过滤器	99.8	99.9	99.8	99	—
	袋式过滤器(带预除层)	99.9	99.9	99.9	99.9	
20~30	文氏管洗涤器	99.7	99.8	99.6	94	用萤石作熔剂时采用湿式;不用萤石时可用于式
	洗涤机	97.9	99.0	97.0	88	
>60	湿式静电除尘器	99.0	99	98	92	
	干式静电除尘器	94.1	98	92	82	
	文氏管洗涤器	99.7	99.8	99.6	94	
	洗涤机	97.7	99	97	88	

## 10 感应加热设备及感应熔炼炉

感应加热设备及感应熔炼炉分别用来对钢制零件的表面淬火和金属材料的加

热及合金钢、铸铁、有色金属熔炼等。这种电炉具有加热速度快,金属损失少,功率控制方便,熔炼及加热质量好,易于实现机械化、自动化,劳动条件好等一条列优点。

## 10.1 感应加热设备

感应加热设备有许多种,其中主要有感应淬火设备和感应透热设备。

### 10.1.1 感应淬火设备

用于钢质零件的表面淬火。淬火层深度和电流频率之间关系示于表 5.6.49。

表 5.6.49 电流频率和淬火层深度之间的关系

电流频率 (Hz)	1000	2000	3000	8000	70000	200000	500000
淬火层深度范围 (mm)	3.5~20	2.3~15	1.3~12	1.1~7	0.5~3.5	0.25~1.5	0.15~1

棒材和板材表面淬火所需的电流频率也可按下式选取:

$$150/\delta_k^2 < f < 2500/\delta_k^2$$

式中  $\delta_k$  ——所要求的淬硬层深度(cm)。

一组通用立式淬火机床的主要参数示于表 5.6.50。

表 5.6.50 通用立式淬火机床主要参数

淬火工件 最大长度 (mm)	淬火工件 最大直径 (mm)	淬火工件 最大质量 (kg)		淬火齿轮 最大模数 (mm)	感应器(或工件) 移动速度 (mm/min)		淬火工件 旋转速度 (r/min)		感应器 (或工件) 行程 (mm)
		上升	不上升		I挡	II挡	I挡	II挡	
1200	500	50	-	-	60~1200	2400	5~280	-	1100
2400	500	70	1000	40	20~600	60~1800	0.02~0.6	10~300	2400
3600	500	-	-	-	22~620	64~1900	3.95~118	3.95~118	3600
1300	500	70	200	40	20~620	60~1800	0.02~0.6	10~300	1300

### 10.1.2 感应透热设备

由于在加热过程中被加热的工件在整个截面上都被热透,所以叫做“透热”。圆柱形钢材适用的电流频率如表 5.6.51 所示。

表 5.6.51 圆柱形钢材感应透热用频率

工件直径 (mm)	>160	70~160	50~120	30~80	15~40	<15
电源频率 (Hz)	50	500	1000	2500	8000	30000~300000

透热控制设备用于加热过程的测量和控制,由仪器仪表和开关元件,以及近年来新开发的微型计算机式感应加热控温和测量装置组成。感应透热设备主要由感应器、装料出料机构和炉架几部分组成,中频感应透热设备的主要参数示于表 5.6.52。

表 5.6.52 中频透热设备主要参数(加热温度 1250℃)

额定产量 (kg/h)	600	900	1200	1500	1800	2400	3200	4800	6000
电源功率 (kW)	200	300	400	500	600	800	1050	1600	2000
炉料截面 (mm)	25~ 76	38~ 76	38~ 76	45~ 90	50~ 100	50~ 150	50~ 150	75~ 175	75~ 175
炉料长度 (mm)	25~ 150	38~ 150	38~ 150	45~ 150	50~ 150	50~ 600	50~ 600	75~ 600	75~ 600
耗水量 <sup>1</sup> (t/h)	8.46	11.3	14.2	14.9	19.9	25.7	35.6	51.2	65.5
炉体质量 (kg)	1690	1829	2160	2650	2812	3750	4500	6000	7250

注:①温度 25℃,水压 3kg/cm<sup>2</sup>。

## 10.2 感应熔炼炉

### 10.2.1 无心感应熔炼炉

主要用于合金钢、铸铁和有色金属及其合金的熔炼。

感应线圈是感应炉的关键部分,电能通过线圈传送给炉料。感应线圈为空心紫铜管,其最佳壁厚值见表 5.6.53。

表 5.6.53 感应线圈导电侧壁厚选用表

电源频率(Hz)	50	150	400	1000	2500	8000	≥50000
最佳壁厚(mm)	16	9.1	5.8	3.6	2.3	1.3	≥0.5
选用值(mm)	10~20	7~10	4.5~9.2	2.9~6.5	1.8~4	1~2.3	≥0.5

中频炼钢用无心感应熔炼炉系列参数见表 5.6.54。

表 5.6.54 中频炼钢用无心感应熔炼炉系列

炉子容量(kg)	30	100	250	500	1000	2000
额定功率(kW)	55	120	240	300	600	900
生产率(kg/h)	55	130	300	420	850	1300
耗电量(kW·h/kg)	1.0	0.85	0.75	0.75	0.7	0.7

熔炼铸铁用工频无心感应熔炼炉系列示于表 5.6.55。



表 5.6.55 熔炼铸铁用工频无心感应熔炼炉系列

坩埚容量 (t)	额定功率 (kW)	冷料熔剂 1450℃		1250℃→1450℃ 升温	
		生产率(t/h)	电耗(kW·h/t)	生产率(t/h)	电耗(kW·h/t)
0.8	312	0.5	620	6.7	47
1.5	435	0.75	580	10	43.5
3.5	800	1.52	530	20.2	40
5.0	1000	1.95	512	26	38.5
6.0	1200	2.39	502	32	37.5
8.0	1635	3.12	482	45.5	36
12	2200	4.6	480	61.5	36
16	3000	6.37	472	85	35.5
22.5	3800	8.6	460	115	34.5
31.5	5400	12.1	460	161	34.5

## 10.2.2 有心感应熔炼炉

有心感应熔炼炉有一个硅钢片叠成的闭合铁心。熔炼铸铁用的有心感应保温炉和熔炼有色金属用的有心感应熔炼炉分别示于表 5.6.56 及表 5.6.57。

表 5.6.56 铸铁用有心感应保温炉

额定容量(t)	5	7	10	15	20	25	30	35	40
总容量(含起熔体)(t)	6	9	12	18	24	30	36	45	50
额定功率(kW)	300	300	400	400	400	500	500	500	500
保温功率 1500℃(kW)	120	130	140	150	155	165	170	180	190
升温 100℃ 熔化率(t/h)	7.0	6.5	10	9.5	9.3	13	12.5	12.2	12

表 5.6.57 有色金属用有心感应熔炼炉

金属类别	额定容量 (t)	总容量(含 起熔体) (t)	额定功率 (kW)	工作温度 ℃	熔化时间 (min)	电耗 (kW·h/t)
黄铜	0.75	1.05	250	1200	35	200
黄铜	1.50	2.45	750	1200	24	200
黄铜	3.00	5.50	750	1200	50	200
黄铜	5.00	8.00	900	1200	60	200
黄铜	15.00	20.00	1980	1200	90	200
锌	20.00	20.00	220	500	600	110
锌	40.00	40.00	1390	500	150	110
铝	0.50	0.80	125	700	120	450~475
铝	1.00	1.45	250	700	120	450~475
铝	6.00	9.00	750	700	210	450~475

## 第七章 日用电器

### 1 范围和分类

日用电器按产品用途分,有:

(1)空调器具。用于加速室内空气流动,交换室内外空气或调节空气的温度、湿度,清除空气中的污染物,如电风扇、凉热风扇、房间空气调节器、空气清洁器、空气除湿器、空气加湿器等。

(2)冷冻器具。用于食品冷冻或低温储藏,如电冰箱、冷冻箱、冷饮机、制冰机、冷藏柜等。

(3)厨房器具。用于食品加工、烹饪及餐具清洗消毒,如电饭锅、电炒锅、电炉、电热杯、电子瓦罐、电水壶、电热水瓶、电咖啡壶、电烤箱、三明治炉、微波炉、电磁炉、食物搅拌器、洗碗机、电子消毒柜、和面机、绞肉机、炉灶吹风机等。

(4)清洁器具。用来消除室内环境灰尘以及衣物的洗涤、脱水、干燥,如洗衣机、干衣机、甩干机、吸尘器、地板打蜡机、擦玻璃机等。

(5)取暖器具。在寒冷季节用于取暖。如石英暖炉、暖风机、电热汀、电热毯、电热被、电暖鞋、暖手器、电热敷腰器等。

(6)整容和保健器具。用于美容颜、消除人体疲劳,如电吹风、电推剪、电剃须刀、烘发器、电动牙刷、电驱蚊器、电动按摩器、电子针灸器、电子体温计、远红外理疗机等。

(7)熨烫器具:用于衣物熨平,如电熨斗、熨衣机、烫平机等。

(8)照明器具。用于室内外照明,如台灯、吊灯、吸顶灯、镇流器、电子镇流器、起辉器、碘钨灯、节能灯等。

(9)电器附件。用于电气器具与电源连接或用于启闭电路,如白炽灯座、荧光灯座、插头、插座、电源开关、器具耦合器、面板、起辉器座等。

(10)声像器具。用于家庭生活的文化娱乐,如收音机、录音机、组合音响、电唱机、电视机、录像机、摄像机等。

(11)其他器具。如家用调压器、电烙铁、电铃、测电笔等。

## 2 常用的电器产品

### 2.1 电风扇和换气扇

电风扇是由电动机驱动风叶高速转动,加速空气流动,使在室内循环或与室外空气进行交换的器具。它具有结构简单、成本低、耗能小的优点。它广泛应用于各种生活和工作场所,作通风散热、空气循环、防暑降温之用。

#### 2.1.1 分类

(1)按供电电源不同,可分为交流、直流及交直流两用三大类。

(2)按驱动电动机型式不同,可分为三相交流异步、单相交流罩极式、单相交流电容运转式、直流及交直流两用式。

(3)按结构及使用方式,可分为台扇、壁扇、台地扇、落地扇、顶扇、吊扇、排气扇和转页扇等。

电风扇的规格都以风叶直径来划分。表 5.7.1 列出了电风扇的品种和规格。

表 5.7.1 电风扇的品种和规格

品 种	规 格 (mm)					
台 扇	200	250	300	350	400	
壁 扇	250	300	350	400		
台地扇	300	350	400			
落地扇	300	350	400	500	600	
吊 扇	900	1050	1200	1400	1500	1800
微型吊扇	350	400				
顶 扇	250	300	350	400		

#### 2.1.2 基本结构

**2.1.2.1 台扇、壁扇、台地扇和落地扇** 台扇及其派生的壁扇、台地扇、落地扇均由风叶、网罩、扇头和底座等部分组成。图 5.7.1 为台扇及其组装顺序示意图。扇头包括电动机、连接头和摇头装置,电动机后端盖附有齿轮箱、减速装置及其控制机构。底座是支承结构,由立柱架、底板和面板等组成,应具有良好的稳定性,确保扇头在仰俯一定角度工作时不发生翻倒。立柱一般用铝合金压铸,亦可用工程塑料注塑。

台地扇和落地扇由升降杆调节扇头的高度。调节高度在 150~300mm。壁扇的底座呈狭长形,适宜于在壁上安装,其调速和摇头机构采用拉线开关控制。

**2.1.2.2 顶扇** 顶扇一般用在列车、轮船、天花板等场所。由风叶、扇头和底

座等部分组成。底座采用易于安装在天花板上的结构。使用蜗轮蜗杆机构,风叶作 $360^{\circ}$ 回转。

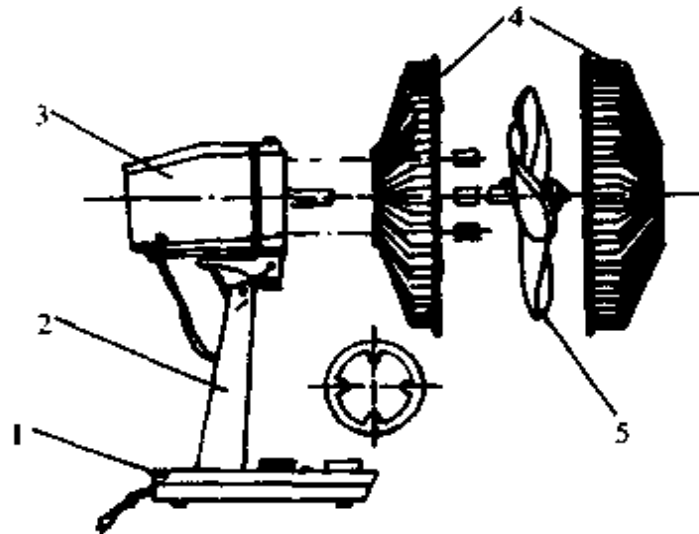


图 5.7.1 台扇及其组装顺序示意图

1—底座 2—立柱架 3—扇头 4—网罩 5—风叶

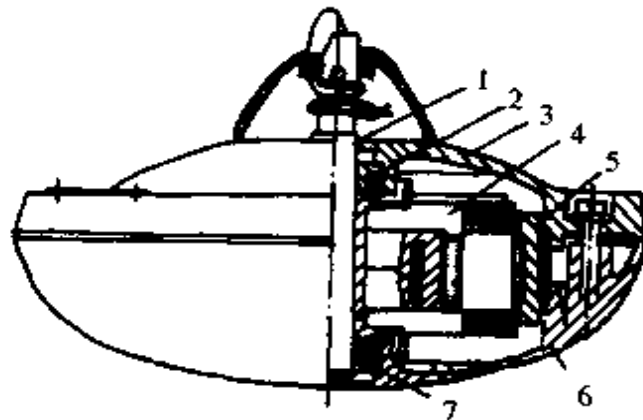


图 5.7.2 吊扇扇头的结构图

1—转轴 2—上轴承 3—上盖 4—定子 5—外转子 6—下盖 7—下轴承

2.1.2.3 吊扇 吊扇适用于剧场、礼堂、客厅等天花板较高的场所。它具有送风范围大、风量大、使用值高等优点。由风叶、扇头和悬吊装置组成。扇头结构如图 5.7.2 所示。风叶采用 $1.2\sim 1.8\text{mm}$ 厚的铝板冲压成形。叶片喷漆或喷塑后称重分组,保证每组叶片具有相等的重力矩。吊扇的调速装置是独立安装的调速器。电抗器调速较为常见,新型远红外遥控调速装置为消费者所欢迎。

2.1.2.4 排气扇 排气扇用于室内外空气交换,将室内浑浊气体排到室外。安装在厨房、厕所等窗户上部的家用排气扇,起调节空气的作用。排气扇由风叶、电动机和框架(附有百页窗)等组成。

2.1.2.5 转页扇 转页扇的送风角度较台扇大,且风力柔和,有自然风的感



三挡或五挡两种转速。国产电风扇大多数采用电抗器或电动机绕组抽头方法来改变电风扇的转速。新型电风扇则采用电子调速方法。

表 5.7.2 400mm 台扇的电动机主要参数

风扇牌号	定子槽数	转子槽数	主绕组		副绕组		调速方式	电容器容量( $\mu\text{F}$ )	
			线径(mm)	匝数	线径(mm)	匝数			
华生	8	17	$\varnothing 0.23$	4×530	$\varnothing 0.17$	4×890	电抗器	1.2	
钻石	16	22	$\varnothing 0.21$	4×570	$\varnothing 0.19$	4×720	抽头		
五羊				4×540		4×700			
长城				4×710	$\varnothing 0.17$	4×935	电抗器		
飞鹿				4×730		4×930			
双马				4×700		4×930			
乘风	8	17	$\varnothing 0.23$	4×530	$\varnothing 0.17$	4×820	电抗器		
晶宇	8	17	$\varnothing 0.23$	4×570	$\varnothing 0.19$	4×850			
红山花				4×530	$\varnothing 0.17$	4×780			
居友				4×520	$\varnothing 0.19$	4×850			
黄山	16	22		4×570	$\varnothing 0.19$	4×720			
庐山	8	17		4×530	$\varnothing 0.17$	4×870			
红梅				4×530		4×890			
冬梅				4×530	4×890				
蜂王	16	22		4×570	$\varnothing 0.19$	4×720			抽头
桐柏山				4×570		4×720			电抗器
新生	16			$\varnothing 0.22$	4×710	$\varnothing 0.17$	4×980		

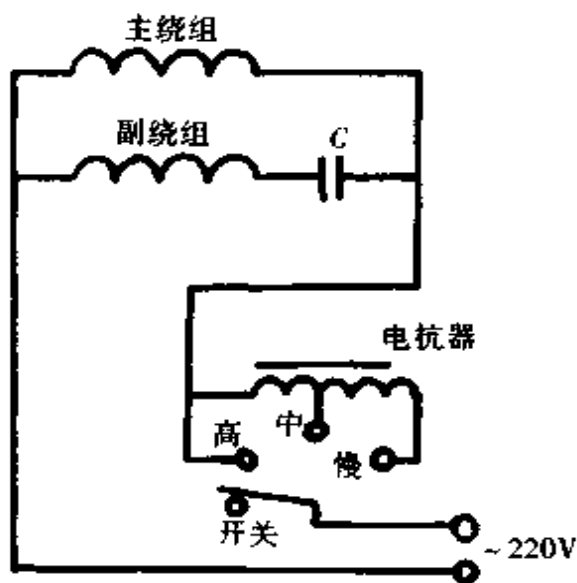


图 5.7.4 电抗器调速的电气原理图

(1) 电抗器调速方法。将电抗器串入电源电路,使电动机绕组上的电压降低,则电动机旋转力矩减小,转速相应下降。其原理线路如图 5.7.4 所示。电抗器由

□型或 E1 型铁心和线圈构成。它的参数应根据配用电风扇电动机的规格而定,即不同规格的风扇应配用不同的电抗器。电抗器调速的优点在于电动机制造简单,工艺性好,省工省时,电动机接线简单,调速性能好。缺点是费用大,增加电抗器的能耗。

(2)电动机抽头调速方法。它是利用改变电动机绕组抽头的方法,使定子绕组产生的磁场强度发生变化,达到调速目的。电动机绕组抽头调速降低了成本和重量,但工艺复杂。图 5.7.5 为电动机抽头调速的原理线路图。

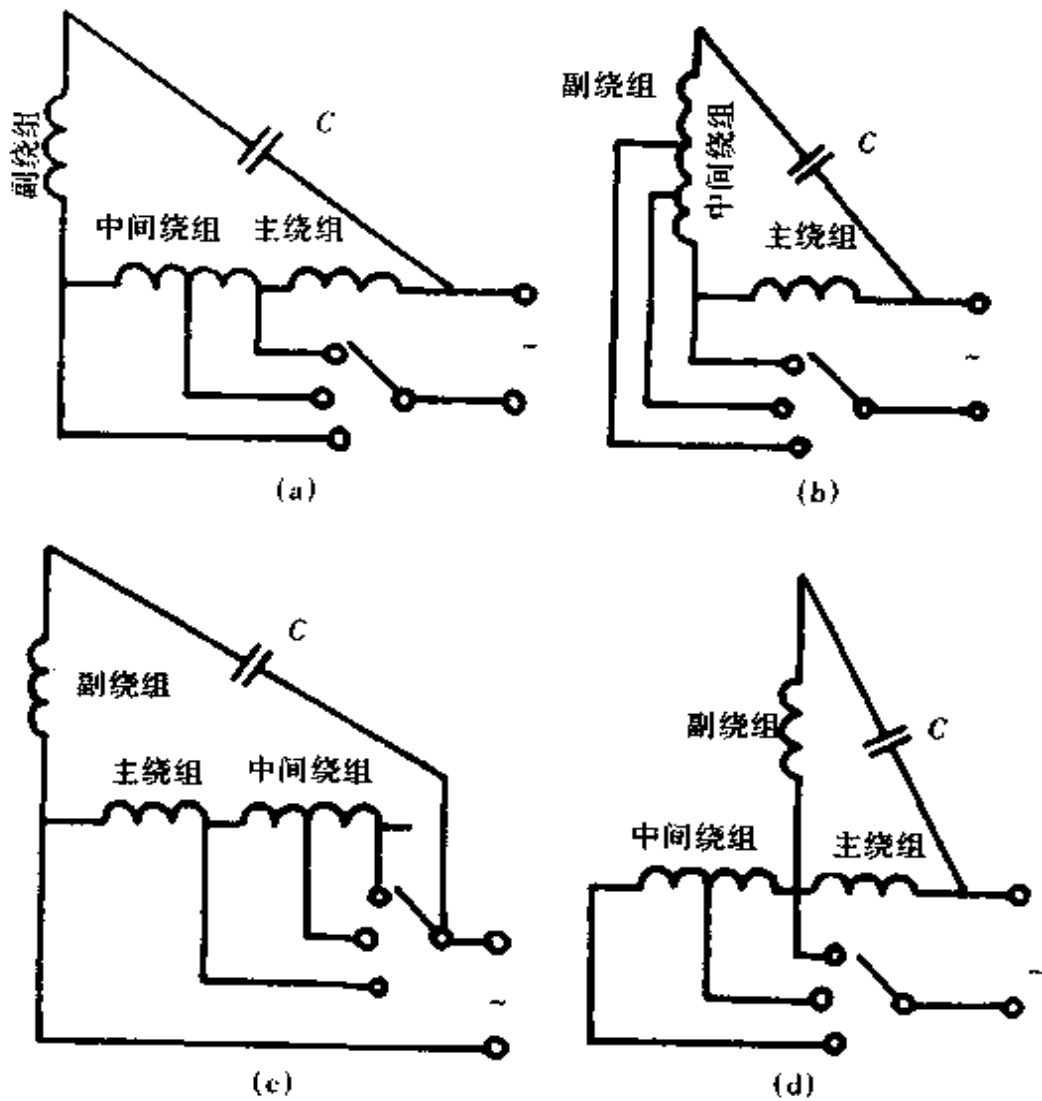


图 5.7.5 电动机抽头调速的电气原理图  
(a)、(b)、(c) 三种 L 型接法 (d) T 型接法

(3)智能化调速风扇。图 5.7.6 为微电脑控制电风扇的原理线路图。它具有体积小、重量轻、效率高的优点。

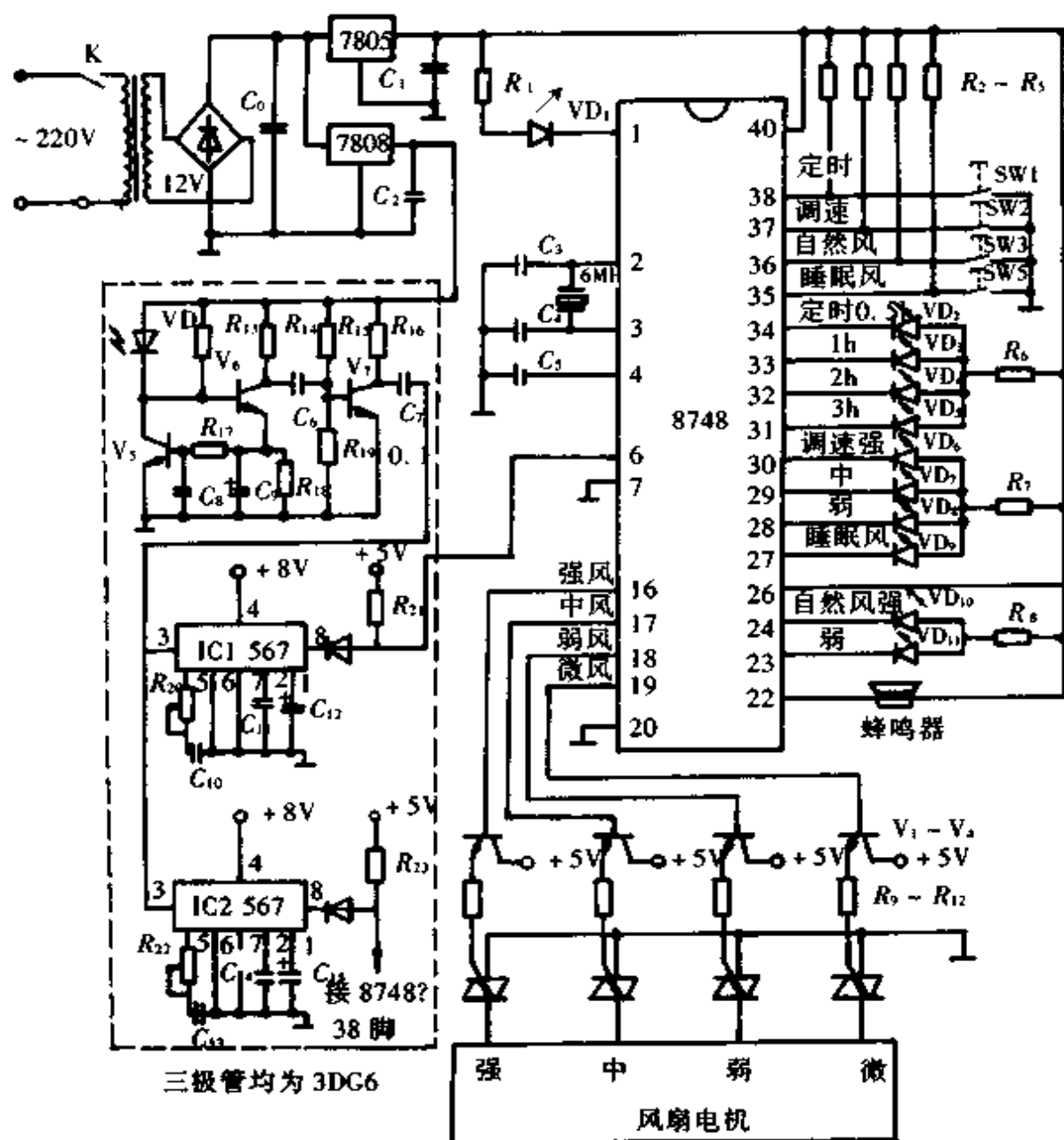


图 5.7.6 微电脑控制电风扇的电气原理图

### 2.1.4 选用、使用和保养

2.1.4.1 选用 电风扇的种类、规格繁多,如何选购合乎使用者需要的电风扇,可根据使用者的使用场所,审美爱好等方面来考虑。台扇可以放在台上,占地面积少,功能齐全。若要求摆设大方,豪华漂亮的落地扇有一定的装饰性,可为室内增色点缀。在大厅内可选用豪华型吊扇。

对于电风扇规格的选择,通常以选择大规格为好。大规格的风扇功能全,装饰性强,风速变化多,且风量大,电风扇在慢挡运行时,噪声相应地小。

对于电风扇的外观造型、色彩的选择应由选购者的审美爱好来确定。现代办



公室和家庭居室中,电风扇不仅是一种降温器具,也是室内陈设品,应与室内其他陈设品协调,创造出雅致、优美、舒适的室内环境。

**2.1.4.2 电风扇的外观检查** 外观工艺质量检查,喷漆或喷塑件表面是否均匀光亮,网罩钢丝有无扭曲,焊点有无松动,电源线与插头应完好无缺。

**2.1.4.3 操作检查** 外观检查后,在不通电的情况下,操作电风扇的各种操作机构,如琴键开关、摇头机构、定时器旋钮、扇头仰俯角调整装置等机构是否灵活可靠。

**2.1.4.4 运转检查** 在电风扇接通电源后,用电笔触及导体部件,氖灯不应亮,用手触及外壳亦不应有麻手的感觉。然后,按产品使用说明书的规定,检查起动性能,调速性能,摇头装置,对于转页扇的转页旋转次数(5次/min)进行检查。

**2.1.4.5 使用** 电风扇在使用前应根据使用说明书检查核对各种零配件、附件,再检查电风扇铭牌的标称电压、频率是否与本地电源电压、频率一致。

电风扇用螺丝刀、电工钳按说明书的图示进行装配。装配时,应注意表面的光洁,不要损伤风叶及网罩,风叶螺丝要紧固,有加油孔的风扇,装配后应加少许润滑油(缝纫机油亦可)。

对于吊扇的安装必须考虑到安全牢靠程度。在楼板处找出钢筋,焊接钩铁,并弯成S型吊钩,其下端用来钩住吊扇的滑轮。吊钩应能承受3~4倍吊扇的重量。

**2.1.4.6 保养要点** 保养好电风扇不但能保持正常运行,而且能延长使用寿命。

(1)加油。电风扇轴承一般为含油轴承。吊扇用的滚珠轴承,在出厂时均已加注润滑油,使用久后,往轴承加油是必要的。使用数年后,齿轮箱或滚珠轴承应更换润滑脂。可用3号锂基润滑脂。

(2)清洁。电风扇使用一段时间后,会沾上一些尘埃。可用软布沾少许肥皂水把污秽擦净。

(3)收藏。对不使用的风扇,可放入包装箱收藏起来,收藏前应进行清洁,加油。存放时注意防压、防潮,以免风叶变形或电动机受潮后绝缘下降。

## 2.2 房间空调器

### 2.2.1 型式和分类

房间空调器是调节室内温度、湿度、加速空气循环和过滤空气的装置。用于各种生活场所、实验室、计量室、精密加工车间等。

按用途分有房间空调器、冷风机、恒温恒湿机、去湿机等。

按安装方式分有整体式、组装式、分离式、中央集中式四种。

按制冷剂冷却方式分有风冷式和水冷式。

按制冷量大小分有立柜式和房间空调器。

### 2.2.2 主要性能参数

房间空调器的主要技术参数见表 5.7.3。

表 5.7.3 房间空调器的主要技术参数

名义制冷量(W(kcal/h))		≤2500(2150)	2500~4500	≥4500(3870)
噪声 (dB(A))	室内侧	≤54	≤57	≤60
	室外侧	≤60	≤64	≤68
性能系数 (W/W)	整体式	2.20	2.26	2.32
	分体式	2.30	2.37	2.44
制冷消耗功率		不应大于名义值的 110%		
电热制热消耗功率		不应大于名义值的 105%		
热泵制热量		不应小于热泵名义制热量的 92%		

空调器的名义制冷量 W(kcal/h) 优选系列: 1250(1075)、1400(1204)、1600(1376)、1800(1548)、2000(1720)、2250(1935)、2500(2150)、2800(2408)、3150(2709)、3500(3010)、4000(3440)、4500(3870)、5000(4300)、5600(4816)、6300(5418)、7100(6106)、8000(6880)、9000(7740)。

### 2.2.3 工作原理

尽管空调器的型式多种多样,但其工作原理是相同的(去湿机的原理有差异),而且都是由制冷系统、通风系统和电气控制系统三部分组成。

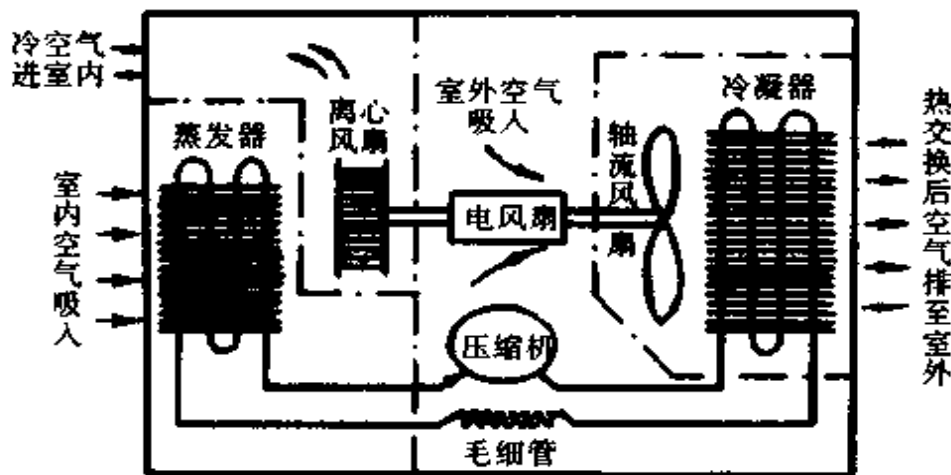


图 5.7.7 空调器制冷系统工作原理图

制冷系统由压缩机、冷凝器、蒸发器、毛细管等部件组成,如图 5.7.7 所示。压缩机把制冷剂  $R_{22}$  压缩成高温高压的气体( $90^{\circ}\text{C}$ ,  $1.9\sim 2\text{MPa}$ ),进入冷凝器。进入冷凝器的  $R_{22}$  在风扇作用下经室外空气的冷却带走热量,凝结成液体。经毛细管节流后成为易于气化的流体进入蒸发器,吸收室内空气的热量变成低温低压液体( $7^{\circ}\text{C}$ ,  $0.45\sim 0.5\text{MPa}$ )。进入蒸发器的液体  $R_{22}$ ,因压力降低,在蒸发器内强烈蒸发降温,室内侧循环风机使室内温度在  $27^{\circ}\text{C}$  以上的空气流过蒸发器,空气被冷却到  $16^{\circ}\text{C}\sim$

17℃后吹回室内。R<sub>22</sub>液体蒸发完后变为 R<sub>22</sub> 气体,回到压缩机,如此周而复始,不断循环。室内的热量不断地由制冷系统带到室外,使房间温度保持在 27℃ 左右。

通风系统包括风扇电动机、离心风扇、轴流风扇、进风栅、出风栅和新风口等部件。图 5.7.8 为通风系统工作示意图,其作用在于强化换热器的热传递过程。

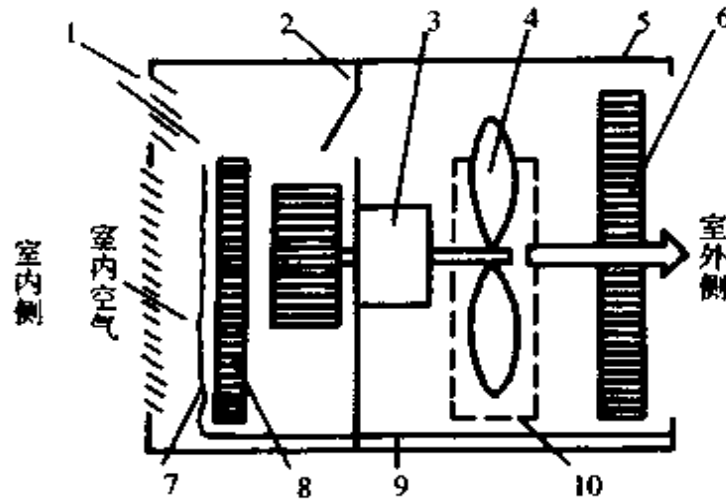


图 5.7.8 空调器通风系统工作示意图

- 1—新风口 2—隔板 3—电动机 4—轴流风扇 5—外壳 6—室外换热器  
7—空气滤网 8—室内换热器 9—积水盒 10—压缩机

电气控制系统由温控器、主令开关(选择开关)、过电流和超温保护器等组成。家用房间空调器多为单相 220V 电源,而立柜式空调器大多数采用三相 380V 电源供电。图 5.7.9 为单冷式空调器控制电路。用户可通过调节温控开关、主令开关,达到不同的使用目的。

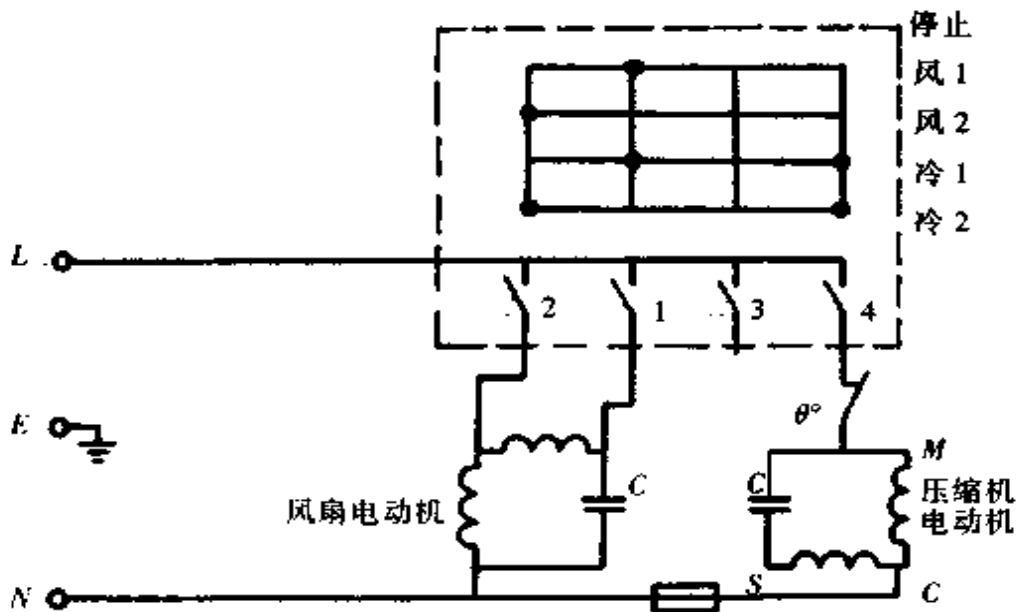


图 5.7.9 单冷式空调器的控制线路图

### 2.2.4 基本结构

2.2.4.1 窗式空调器 窗式空调器的外形如图 5.7.10 所示。它主要由制冷(或制热)装置、空气循环装置及电气控制和保护系统组成。

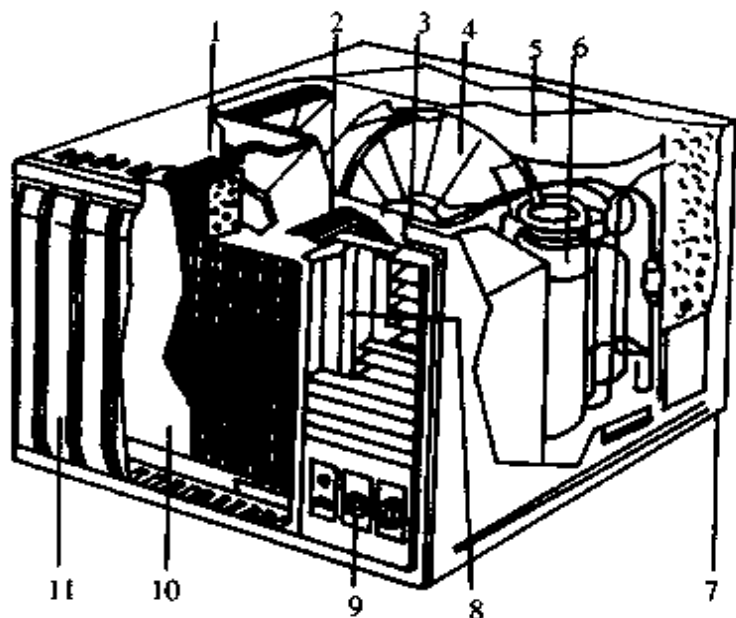
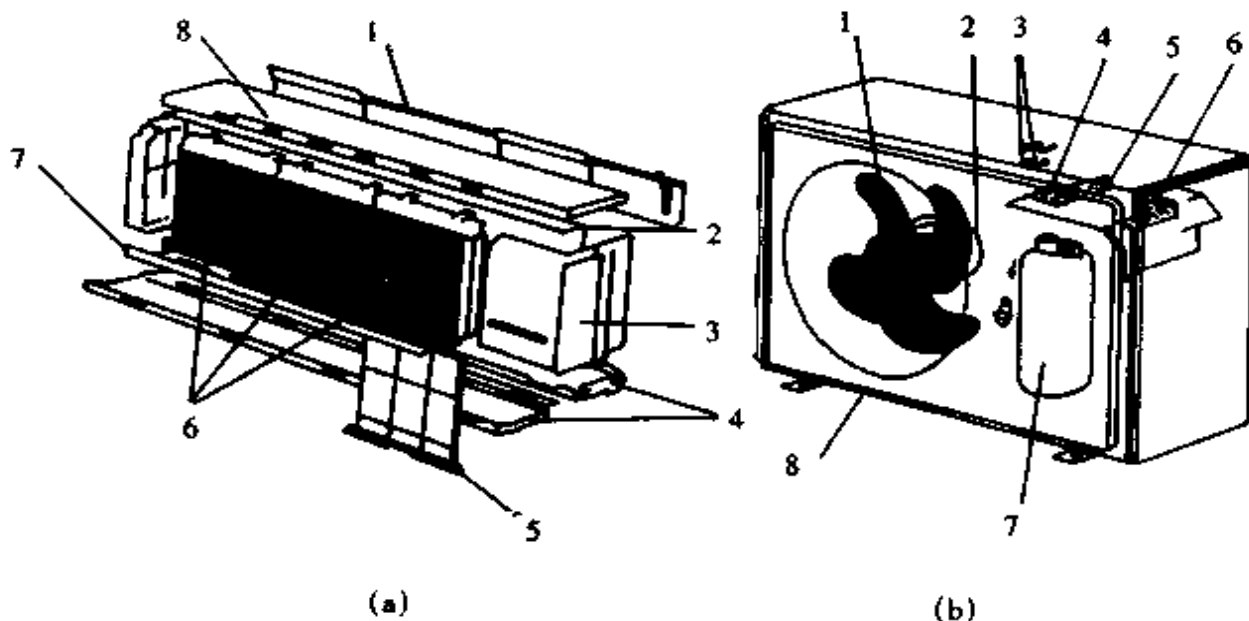


图 5.7.10 单冷却型窗式空调器的结构示意图

- 1—蒸发器 2—室内风扇 3—风扇电动机 4—室外风扇 5—冷凝器 6—压缩机  
7—外壳 8—格栅 9—旋钮 10—空气过滤器 11—面板



- 1—内壁夹板 2—卷形板 3—侧面板 1—风扇 2—电机 3—保险丝  
4—底板 5—过滤器 6—进气格栅 4—保护器 5—电容器  
7—保护板 8—顶框 6—压缩机保护器 7—压缩机 8—外壳

图 5.7.11 分体式空调器(壁挂式)的结构示意图

制冷循环部分:由封闭式压缩机、节流毛细管、冷凝器与蒸发器等组成封闭系统,系统内充注  $R_{22}$ 。

空气循环部分:由离心风扇、轴流风扇、驱动风扇用电动机、进风滤网、出风栅及新风装置等组成。

电气控制及保护装置:由电磁换向阀、热继电器、温控器、主令开关、中间继电器等组成。

2.2.4.2 分体式空调器 分体式空调器就是将制冷系统的压缩机和冷凝器单独组装,置于室外,而室内仅有蒸发器和通风机,室内部件与室外部件用自密封接头连接。其布置结构如图 5.7.11 所示。根据室内机组的形式,可分为:吊顶式、挂墙式、台式、落地式。分体式空调器噪声小,美观豪华,但需要技术熟练的电工安装,保证接头的密封,防止  $R_{22}$  漏出。

2.2.4.3 柜式空调器 柜式空调器的制冷量一般都在 7000W 以上,用在客厅、办公室、小型会议室等处,多为风冷式,亦由室内机组和室外机组组成,用管道进行连接。

## 2.2.5 选用、安装和保养

2.2.5.1 选用 在选用空调器时,应根据当地气候条件、房间条件、使用条件和经济性等综合考虑。首先是选择空调器的型式(窗式、分体式、柜式),主要性能比较如表 5.7.4 所列。

表 5.7.4 空调器选用表

型式	窗式	分体式	柜式
制冷量	小	中	大
噪声	大	小	大小
安装难易	容易	难	难
价格	便宜	贵	贵

选择好空调器的型式后,再根据房间的大小选择合适的规格。规格的选择要考虑到房间的保温性能,即密封程度。在炎热的夏季,应使室内温度控制在  $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ,较为合适。为此,可按表 5.7.5 选择空调器的规格。

表 5.7.5 空调器的规格选择

房间面积( $\text{m}^2$ )	10	12	14	16	18	20
空调器规格(W)	1200	1400	1600	1800	2000	2200

确定空调器的规格后,购买时应检查外观。颜色尽量与居室相协调,注意外壳件光亮程度、电镀件是否光滑明亮等。

2.2.5.2 安装 在安装空调器时,应注意安装位置避免阳光直接照射,一般装在房间的北侧或东侧为宜,但柜式空调器不受此限制。

空调器应安装距火炉、暖气等热源设备较远的位置。

窗式空调器应安装在离地面 1.5m 以上的窗口。外罩两侧的进风百叶窗应露在室外,有良好的通风。

对于水冷柜式空调器,冷却水应有专管供给,且水压不低于  $1.2\text{kg}/\text{cm}^2$ ,进水管应有水阀以调节水量。

空调器的电源接线应符合电流、电压要求和电工布线规定。外壳应牢靠地接地。

2.2.5.3 保养 空调器安装好后,应进行使用前检查,内容有:电源电压、水源水压、通风系统的风叶是否与外壳相碰。检查完毕后,再通电运行试机,先开通风机,然后作制冷运行。

空调器的内外务必定期清理,包括过滤器滤网、蒸发器、冷凝器等。滤网应定时检查、拆卸,必要时用水清洗,这样,有利于提高空调器的效能。

不用空调器的季节,最好拆下来清理各处所积尘埃。风扇电动机应定时加油。空调器在运转时,若有轻微的金属擦碰声,应停止使用,检查原因并排除故障后再用。空调器的维修技术要求较高,若发现有异常现象,最好请有修理经验的技术工维修。

## 2.3 家用电冰箱

电冰箱是利用电能能在箱体内产生低温环境的设备,用作日常生活中的冷藏设备,已成为家庭、商店、医院、旅店、餐厅等不可缺少的电器之一。人们对电冰箱的要求是省电、低噪声、款式新颖、结构实用、节省材料、控制自动化。

### 2.3.1 型式和分类

按制冷方式可分为机械压缩式、吸收式、热电式、半导体式和磁电式等。






按使用功能可分为冷藏箱、冷冻箱、冷藏冷冻箱。

按电冰箱的结构型式可分为单门、双门、多门、立式前开门、卧式上开门等。

按冷却方式可分为自冷式和强冷式两种。

家用电冰箱的温度分级、冷冻室温度与食品贮存期的关系见表 5.7.6。

表 5.7.6 不同星级的温度及食品贮存期

星 级	星标	冷冻温度(℃)	食品大约贮存期(月)
一 星		-6 以下	0.4
二 星		-12 以下	1
高二星		-15 以下	1.8
三 星		-18 以下	3
高三星		-18 以下	3

### 2.3.2 结构和特点

2.3.2.1 压缩式电冰箱 压缩式电冰箱由制冷系统、箱体和电气控制系统组成。压缩式制冷系统由压缩机、冷凝器、毛细管及蒸发器组成,各部件之间以管道联接成封闭系统,系统内充注  $R_{12}$ 。蒸发器装于箱体内部,冷凝器装于箱体外部。

箱体有外壳、内壳、门及附件。内外壳之间充填绝热材料,门与门框之间用门封隔热。箱体的绝热层采用泡沫塑料,起到良好的绝热作用。图 5.7.12 为压缩式电冰箱的结构和制冷系统图。表 5.7.7 列出各种压缩式冷冻器具的结构特点。

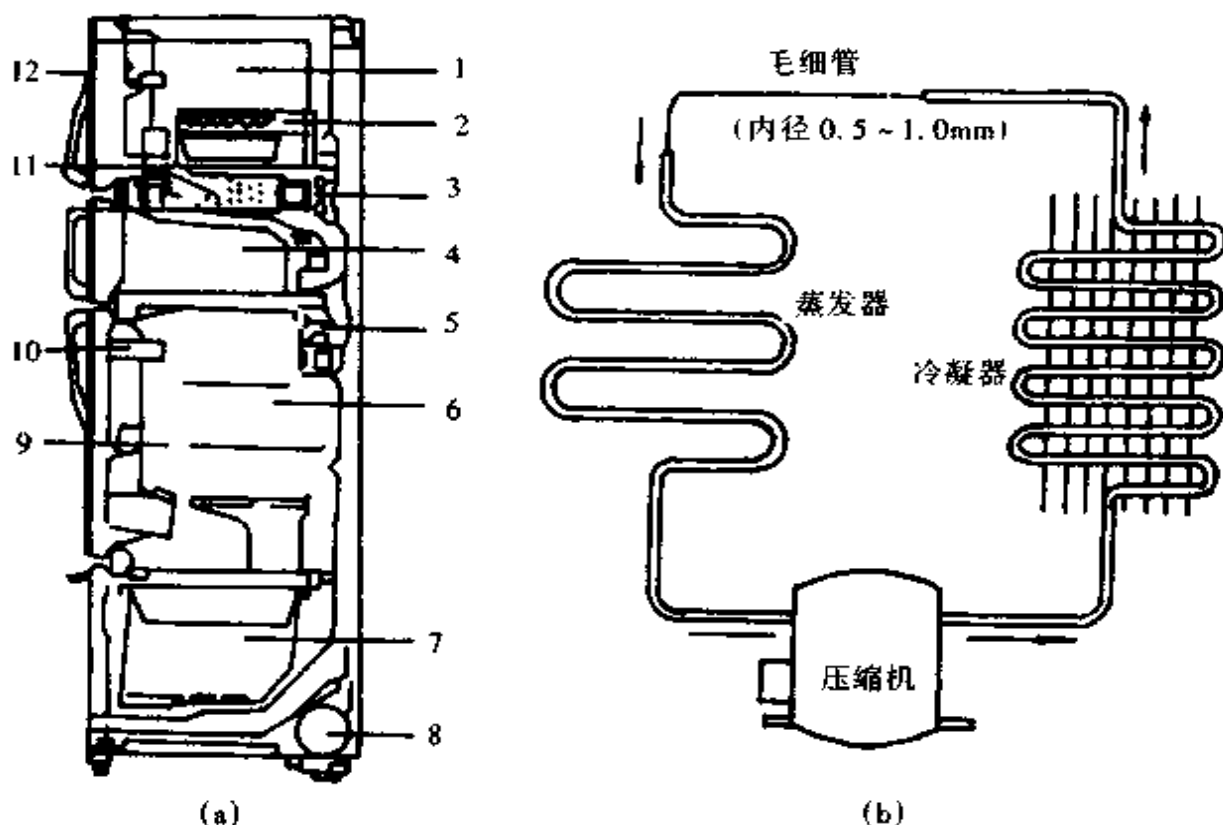


图 5.7.12 电冰箱(压缩式)的结构和制冷系统图

(a)结构示意图 (b)制冷系统图

- 1—冷冻室 2—制冰器皿 3—风机 4—新温度带室  
5—气阀 6—冷藏室 7—蔬菜室 8—压缩机  
9—调节栅 10—小物架 11—热交换器 12—门

表 5.7.7 压缩式冷冻器具的结构特点

名称	有效容积(L)	温度(℃)		结构型式及特点	电动机功率(W)	制冷剂
		冷藏室	冷冻室			
单门冰箱	50~200	0~10	-6~-12	蒸发器置于冷藏室上部,自冷式、手动除霜	30~120	R <sub>12</sub>
双门或多门冰箱	80~500	0~10	-12~-18	自冷式或强冷式,半自动或自动除霜,冷藏室、冷冻室分别设门	60~200	R <sub>12</sub>
冷冻箱	50~400	—	-18~-24	卧式或立式,自冷式或强冷式,设有温度超高报警,有脚轮	80~300	R <sub>12</sub> 或R <sub>502</sub>
商用冷藏箱	500~3000	8~-5	—	立式、多门,强冷式或自冷式,机组置于箱体顶部或下部,风壳为不锈钢,机组为风冷式	300~1000	R <sub>12</sub>
商用冰箱	500~3000	0~8	-12~-18	立式、多门,具有冷藏式和冷冻室,强冷式或自冷式,机组为风冷式	400~1200	R <sub>12</sub> 或R <sub>502</sub>
小型冷库	5~15m <sup>3</sup>	5~-5	—	库体为拼装结构,可以标准壁板组合成不同规格的库体,风冷式制冷机组	750~1700	R <sub>12</sub>
小型冷饮器	15~50	0~15	—	台式,透明塑料贮罐,有一微式泵使饮料循环,喷淋冷却,自动控温	100~300	R <sub>12</sub>
小型制冷机	每天15~50kg	—	—	供水、制冰、脱模取冰全过程自动控制,制冷时间20~30min	130~400	R <sub>12</sub>

**2.3.2.2 吸收式冰箱** 吸收式冰箱的制冷系统主要由发生器、冷凝器、蒸发器和吸收器组成。各部件之间用不同形状的钢管焊接起来,形成一个封闭系统,如图 5.7.13 所示。在制冷系统管路中注有制冷剂(氨)、吸收剂(水)和扩散剂(氢)。水在一定温度下有吸收氨的作用,但在温度升高时,氨又从水中分离出来。制冷剂和吸收剂混合物在发生器内加热后,温度和压力升高,氨气分离出,经精馏器分馏后进入蒸发器。此时,蒸发器内的氨与液态氨汽化形成的氨相混合,使氨液在蒸发器内具有较小分压力,无须节流装置就能产生致冷效应。蒸发器内的氨氨混合气体进入吸收器时,氨气被来自发生器的稀氨溶液所吸收,形成较浓的氨溶液流回发生器,如此不断循环,达到制冷目的。

**2.3.2.3 半导体式冰箱** 半导体式冰箱是利用半导体材料的珀尔帖效应制成的。如图 5.7.14 所示。N-P 半导体联接成电偶时,在电路中通过直流电,将有一接头放出热量  $Q_1$ ,另一接头吸收热量  $Q_0$ ,从而达到制冷的目的。

**2.3.2.4 磁制冷冰箱** 磁制冷冰箱是利用铁磁和顺磁物质在强磁场中绝热



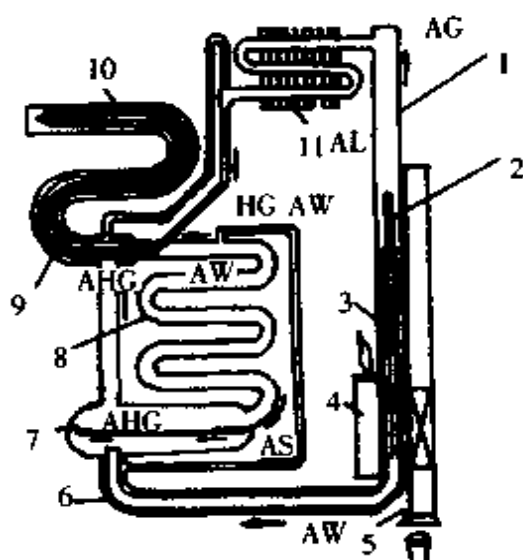


图 5.7.13 吸收式冰箱的工作原理图

1—精馏器 2—气泡泵 3—发生器 4—电加热器 5—气体加热器 6—液-液热交换器  
7—贮液罐 8—吸收器 9—气-气热交换器 10—蒸发器 11—冷凝器

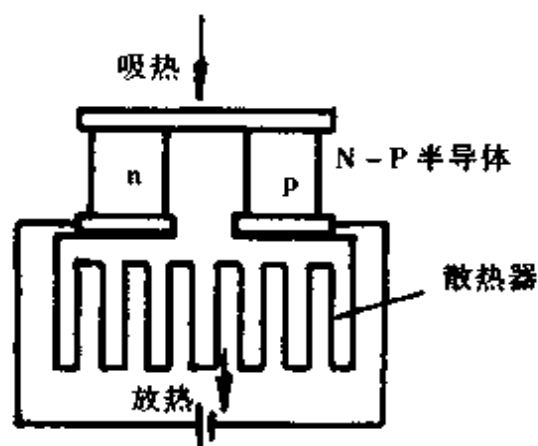


图 5.7.14 半导体式制冷原理图

磁化或绝热退磁时发生温度变化的磁卡诺效应而制成的设备,它必须实现如表 5.7.8 所列出的三个基本循环,才能获得磁制冷的最大效率。

表 5.7.8 磁制冷基本循环

基本循环	过 程
卡 诺 (Carnot)	等温磁化(磁场加强)→断热退磁(磁场降低,温度下降)→等温退磁(磁场降低)→断热磁化(磁场加强,温度上升)
斯特林 (Stirling)	等温磁化→等磁化(制冷材料的磁化强度保持不变,温度下降)→等温退热→等磁化(温度上升)
埃里克森 (Ericsson)	等温磁化→等磁场(外磁场保持不变,温度下降)→等温退磁→等磁场(温度上升)

磁冰箱由磁制冷材料及磁制冷循环系统组成。磁制冷材料的主要性能要求是磁矩大,吸收和放热过程的熵变大、热传导率高。稀土元素的化合物能满足此要求。如钷镨石榴石( $Gd_3Ga_5O_{12}$ ),钷镨铝石榴石( $Gd_3(Ga_{3.2}Al_2)_5O_{12}$ )等。

### 2.3.3 电冰箱的控制系統

控制系统由温度控制器、过热保护器、起动和自动除霜装置等组成,用于控制电冰箱制冷系统的正常工作,保证箱体有足够的低温来保存食品或药品。图 5.7.15 为自冷式双门电冰箱的控制线路图。

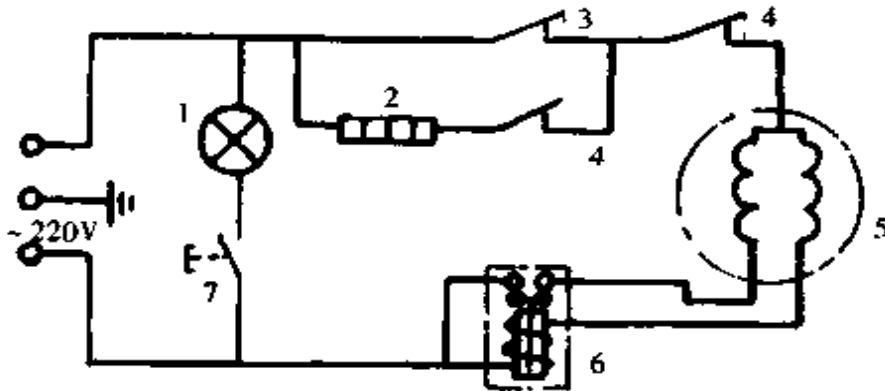


图 5.7.15 自冷式双门电冰箱的控制线路图

1—灯 2—除霜电热器 3—温控器 4—过热保护器  
5—压缩机 6—启动器 7—门开关

电冰箱的工作温度是通过温控器控制压缩机的开停来自动调节的。驱动压缩机的电动机靠启动器瞬间接通启动绕组而起动。热保护器是压缩机电机的安全保护装置,当电动机电流或机壳温度过高时切断电路。

### 2.3.4 选用、使用和保养

2.3.4.1 电冰箱的选用 家用电冰箱是家庭的重要电器设备,如何选好一台称心如意的冰箱,可从如下几方面考虑:

(1)结构。市场上有如表 5.7.9 所列的不同结构型式冰箱可供选购。

表 5.7.9 电冰箱选用对比表

项 目	单 门	双 门	多 门	豪 华
容积(L)	103 以下	100~200	150~300	150~300
冷冻温度(℃)	-10	-18	-18	-18
除霜装置	人工除霜	自动、人工除霜	自动除霜	自动除霜
控制系统	简单	复杂	复杂	功能多
耗电量大小	小	大	大	最大

(2)性能。结构型式确定后,判断电冰箱性能的优劣可通过简单试验。①制冷性能粗略判断:将温控器置于中点,关门后接通电源 30min 左右,打开门观察蒸发器的结霜情况,用手沾触内壁时,若有冻粘感觉,表明制冷性能良好。②工作周期判断:用手触压缩机外壳表面,记录压缩机工作时间和停机时间,从而计算出工作比。由工作比亦可推算出电冰箱的耗电量。例如 165L 的双门电冰箱,在冬天工作时间 5min,停机时间 16min,耗电功率 100W。由此可知工作比约 1/3,日耗电量约 0.8kW·h,每月耗电量约 24kW·h。在夏天,工作时间略长一些,耗电量要大一点。

2.3.4.2 使用 合理地使用电冰箱可以获得较好的制冷效果,降低使用费用,延长电冰箱的寿命。

(1)安装方法。电冰箱应放置在通风良好的环境中,便于冷凝器散热,有利于增强冷却效果,冰箱的背部和上部要留有 10cm 以上的空间,以利通风散热。冰箱的四脚要调垫平稳。电源的安装亦应按电工设备安装要求进行,切勿随意接线,切实接好安全地线是必不可少的。

(2)贮藏食品。需要放置的食品应放凉后,才放入箱体内。放置的食品不应堆积满箱体,食品间要有空隙,与箱壁间有 10mm 的间隙,以利冷气对流。

(3)经常除霜。对需人工除霜的电冰箱,要定时除霜,霜层过厚会影响冰箱的制冷能力,除霜后可以提高冷却效果,亦可保持冰箱内部的清洁。

(4)温度调节。冰箱内的温度调节要根据季节、气候,贮存食物的多少,调节好温控器。

2.3.4.3 保养 电冰箱是常年使用的电器设备,冷凝器和压缩机的工作温度亦较高,经常保持冰箱内外的清洁是十分必要的。冰箱内部最好每月清洗一次。清洗时,可用软布沾肥皂水擦拭,但不能用水喷淋冲洗。

冰箱背后的冷凝器和压缩机在运行中要对外散热,积落灰尘会影响散热效率,故应定期清扫灰尘。在清扫时,不要碰伤连接管道。

对于长时间不用的电冰箱,要将内部清扫干净。冰箱内外都要擦拭干净。待箱内干燥后,用塑料或布罩盖好。

## 2.4 家用洗衣机

家用洗衣机是通过搅拌洗涤液中的衣物,经洗涤液的化学作用与洗衣机的机械搅拌翼对衣物的机械物理作用,促使各种污秽微粒从织物上分离出来,达到将衣物洗涤干净的机器。

### 2.4.1 型式和分类

家用洗衣机可按结构原理和自动化程度来分类。

按洗衣机结构和搅拌翼的形状分:有波轮式、搅拌式和滚筒式三种。其工作方式、特点如表 5.7.10 所列。

表 5.7.10 家用洗衣机的类型

项目	波轮式	搅拌式	滚筒式
工作方式	安装在洗衣桶底部的波轮,正反方向旋转形成强大的水流进行洗涤	安装在洗衣桶同心轴的搅拌器在左右运转时,形成特殊水流进行洗涤	有许多小孔的滚筒以水平轴为支点旋转,滚筒内部的突筋带动衣物垂直地落下而洗涤
特点	结构简单,洗涤时间短,洗净率高,体积小,耗电少,制造容易,成本低	洗涤桶容量大,衣物磨损小,洗涤均匀,衣物不缠绕,洗净率适中	洗涤容量大,衣物磨损小,洗涤剂用量少,衣物不缠绕,可洗毛料丝绸衣物
缺点	衣物磨损大,用水多	结构复杂,体积大,洗涤时间长,制造困难	结构复杂,体积大,洗涤时间长,耗电大,制造困难,成本最高

按洗衣桶结构分:有单桶、双桶、套桶和滚筒。

按洗衣机控制自动化程度分:有普通型、半自动型和全自动型三种。智能型全自动洗衣机已研制成功。

洗衣机的规格,按洗涤容量分:1.0kg、1.5kg、2.0kg、2.5kg、3.0kg、4.0kg、5.0kg等。

## 2.4.2 结构和特点

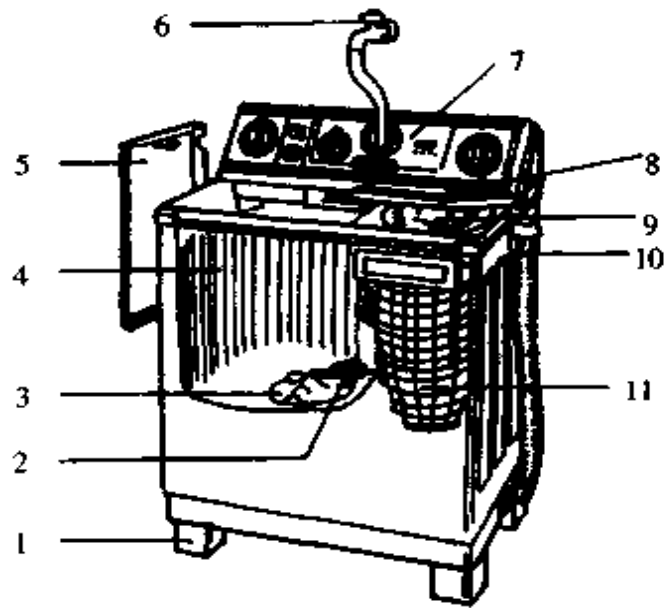
2.4.2.1 双桶洗衣机 图 5.7.16 是典型双桶波轮式洗衣机结构图。它主要由洗涤、排水、动力及传动、脱水、控制、箱壳等部件组成。

洗涤部分由洗涤桶、波轮、轴套及循环水系统等组成。其功能是完成洗涤和漂洗。

脱水部分由脱水内桶、脱水外桶、脱水电动机、刹车机构、减振装置及喷淋管等组成。

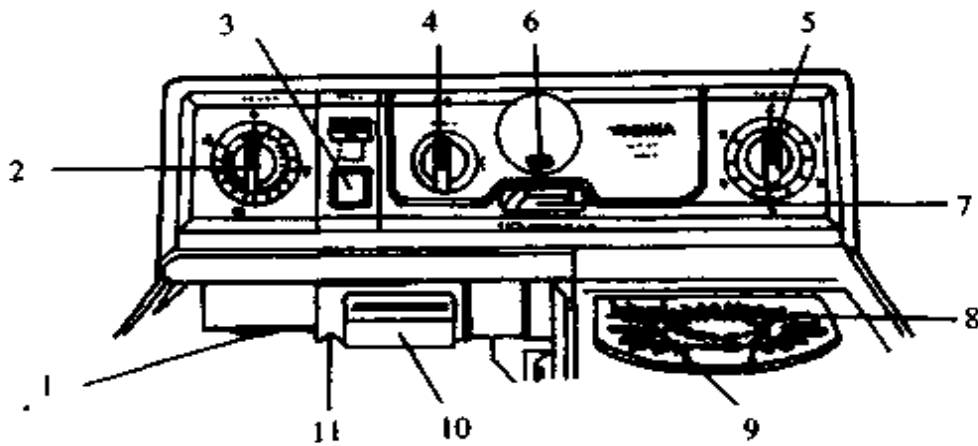
进、排水部分包括进水系统和排水阀两部分。

电动机采用单向电容运转式电动机。洗涤电动机工作特点是能正反向交替运转,起动转矩大,过载能力强,洗衣机电动机的效率较低,如 120W 洗涤电动机的效率约 52%,90W 的洗涤电动机的效率约 49%。



(a) 结构示意图

1—脚 2—排水滤清器 3—叶轮 4—洗涤槽 5—洗涤槽盖 6—龙头  
7—控制面板 8—脱水槽盖 9—内盖 10—软管钩 11—脱水槽



(b) 控制面板按键布置图

1—洗涤槽供水口 2—洗涤定时器 3—选择开关 4—排水阀  
5—脱水定时器 6—供水口 7—供水调选器 8—溢水指示器  
9—脱水槽进水口 10—去除线头器 11—溢流指示器

图 5.7.16 双桶波轮式洗衣机

控制部分由洗涤定时器、进水电磁阀、水流转换开关、脱水桶盖开关、脱水定时器等组成。能有效地控制双桶洗衣机的洗涤。图 5.7.17 为普通双桶洗衣机控制线路图。

2.4.2.2 套桶波轮式全自动洗衣机 图 5.7.18 为套桶全自动洗衣机结构示意图。所谓全自动洗衣机就是指进水、洗涤、漂洗、脱水、排水等过程均能自动连续完成,无须人工参与。

套桶波轮式全自动洗衣机的波轮有 L 形波轮、搅拌棒式、U 形波轮式、偏置波

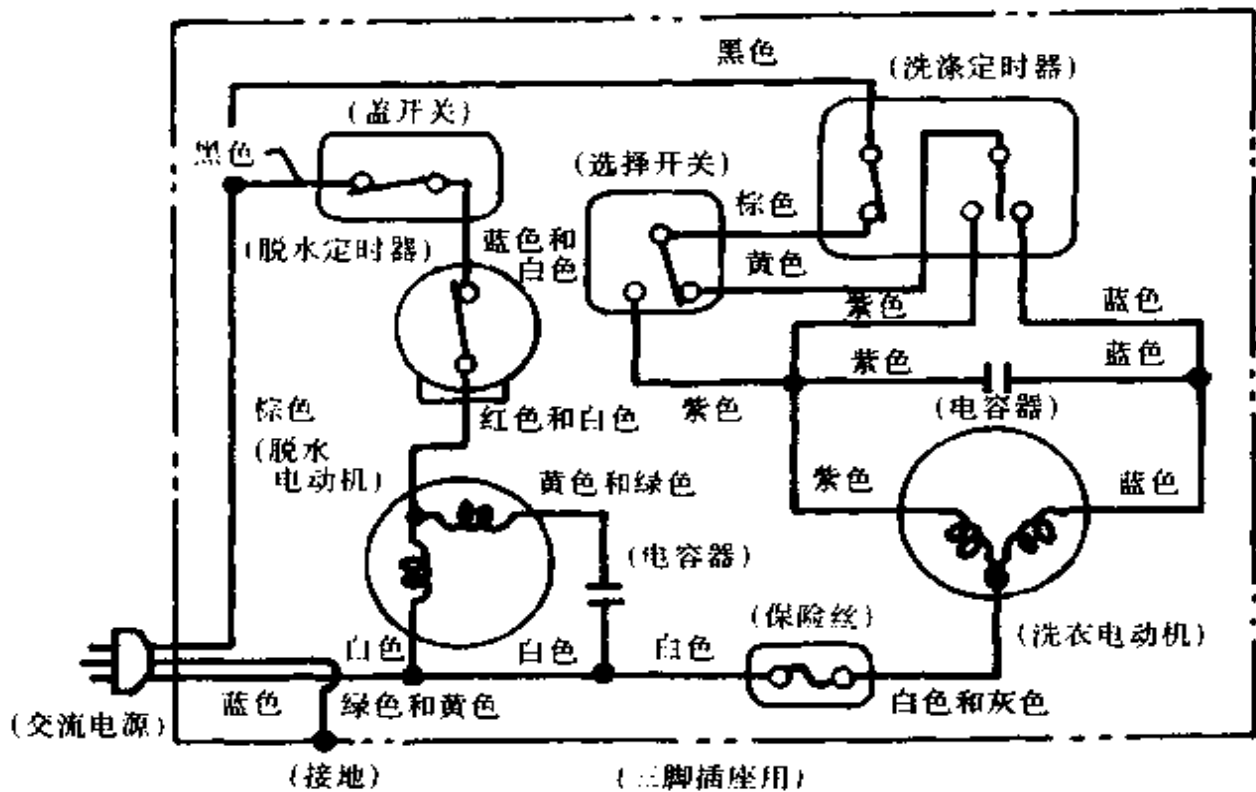


图 5.7.17 普通双桶洗衣机的控制线路图

轮式和旋转桶式多种,但洗衣机的结构均由离心桶、离合器、程控器、给排水系统、电动机、盛水桶、箱体等组成。

(1)盛水桶和离心桶。盛水桶供盛放洗涤液,固定在底盘上,上口部装有密封盖板,底部有排水口。离心桶也就是洗涤桶,洗涤和脱水同在桶内进行。因此,既要满足洗涤要求,又要满足脱水要求。

(2)离合器。对于单电机套桶波轮式洗衣机,要实现洗涤和脱水两种功能,是靠离合器来完成的。根据采用波轮型式不同(普通型,新水流式),离合器的内部结构和制动结构有所区别,通常有普通型离合器和减速离合器两种。

(3)程序控制器。是全自动洗衣机的指挥器件,有机械电动式、单程序控制器和电脑控制器三种。

机械电动式程控器是由永磁单相罩极式

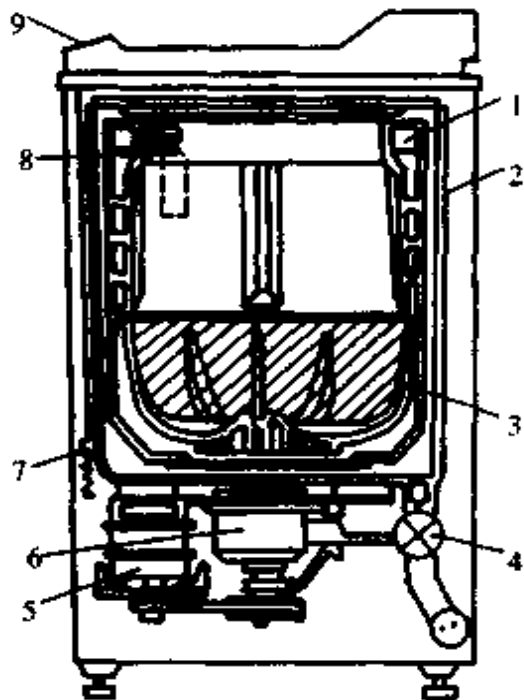


图 5.7.18 套桶式全自动洗衣机的结构示意图

- 1—脱水桶 2—外桶 3—旋转桶
- 4—排水阀 5—电动机 6—减速箱
- 7—挂钩 8—进水口 9—控制面板

低速同步电动机驱动齿轮减速机构和凸轮动作,控制各路开关触点的断开和闭合,完成进水、洗涤、漂洗排水、脱水等程序动作。图 5.7.19 为机械电动式程控线路原理图。

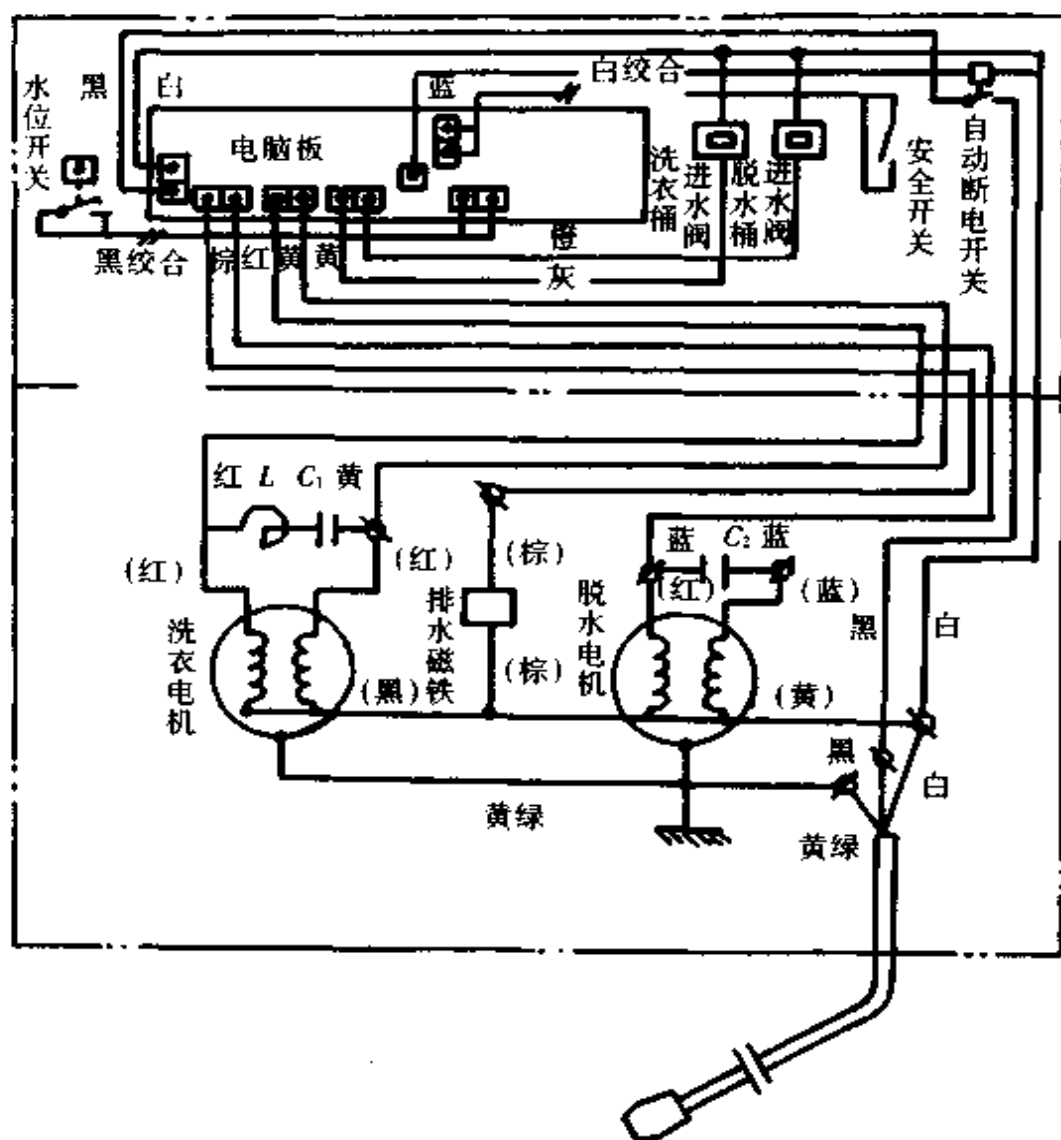


图 5.7.19 全自动洗衣机的程控线路原理图

微电脑程序控制器由带有 ROM 的大规模集成电路、稳压电源、振荡器、监测信号开关、按键、显示器、蜂鸣器、功率放大器及双向晶闸管等组成。对整个洗涤程序进行监测、判断、控制和显示。具有控制精度高,运行可靠,并能根据被洗涤衣物的不同,以最佳洗涤性能进行洗涤。图 5.7.20 为微电脑控制洗衣机的电气控制图。

2.4.2.3 滚筒式洗衣机 滚筒式洗衣机容易实现洗涤、漂洗、甩干一体化,所以滚筒洗衣机均是全自动的,进水—洗涤—排水—漂洗—脱水—烘干均不需人工进行转换。一般滚筒式洗衣机均有几组程序,可满足不同衣物,不同的洗涤方式。

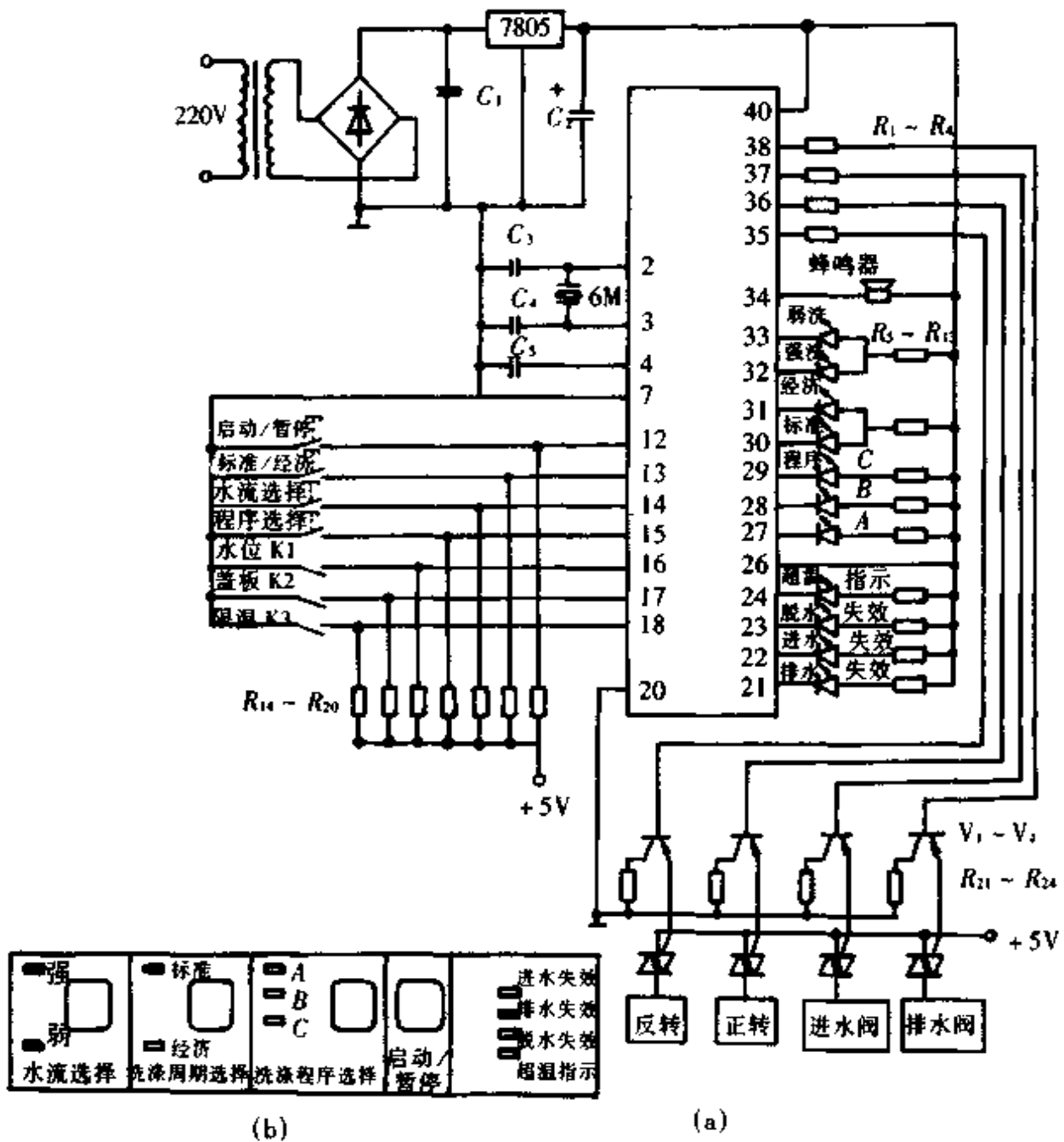


图 5.7.20 微电脑控制洗衣机的电气控制图

(a) 方块原理图 (b) 操作面板示意图

图 5.7.21 为典型的滚筒式洗衣机结构示意图。家用滚筒式洗衣机按衣物投入方式分,有前开式和上开式两种。但其结构大致相同,均由洗涤、传动、支承、给排水、加热装置、控制、操作盘和前面板等部分组成。

(1) 洗涤部分由内筒、外筒、内筒叉形架、转轴、外桶叉形架、滚动轴承等组成。

(2) 传动部分主要由双速电动机、小皮带轮、电容器、大皮带轮、三角皮带等组



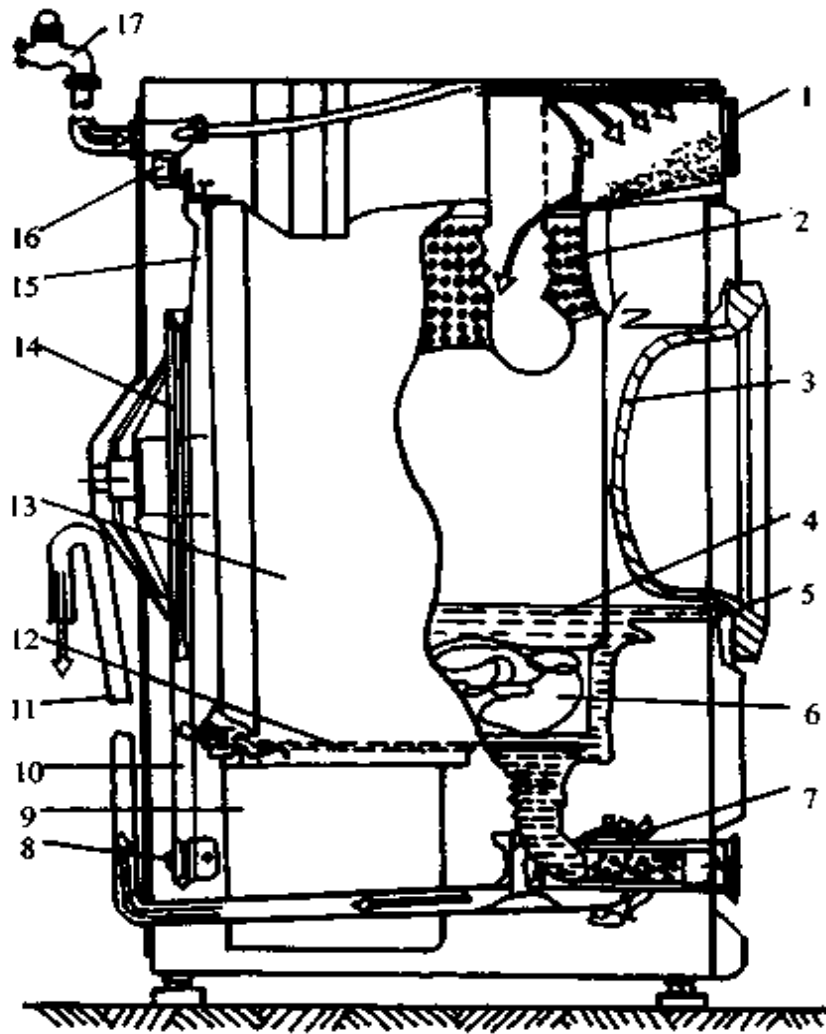


图 5.7.21 滚筒式洗衣机的结构示意图

- 1—操作盘 2—滚筒 3—玻璃视孔 4—洗涤液 5—密封结构  
 6—洗涤物 7—排水泵 8—小皮带轮 9—主电机 10—三角传动带  
 11—排水管 12—加热器 13—外筒 14—大皮带轮  
 15—支承吊杆 16—进水槽 17—进水龙头

成。双速电动机为单相电容运转电动机,定子上两套绕组,洗涤时电动机转速为 $450\text{r}/\text{min}$ ,输入功率为 $250\text{W}$ ,输出功率为 $40\text{W}$ ;脱水时电动机转速为 $2800\text{r}/\text{min}$ ,输入功率为 $650\text{W}$ ,输出功率为 $60\text{W}$ 。具有较好的起动特性和运转特性,过载能力强,并设有过热保护装置。

(3) 支承部分由四个拉伸弹簧、弹性支撑减振器、外箱体及四个底角等组成。

(4) 给排水系统由进水管、进水电磁阀、内进水管、洗涤剂盒、溢水管、回旋进水管、排水波纹管、过滤器、排水泵连接管、排水泵、排水管等组成。

(5) 加热装置是对洗涤液进行加热,以提高洗涤效果的装置。它是封闭式加热元件。

(6)控制器。滚筒式洗衣机的控制器由程序控制器、水位控制器、水温控制器和门开关组成。图 5.7.22 为冷热洗两用滚筒式全自动洗衣机电气原理图。

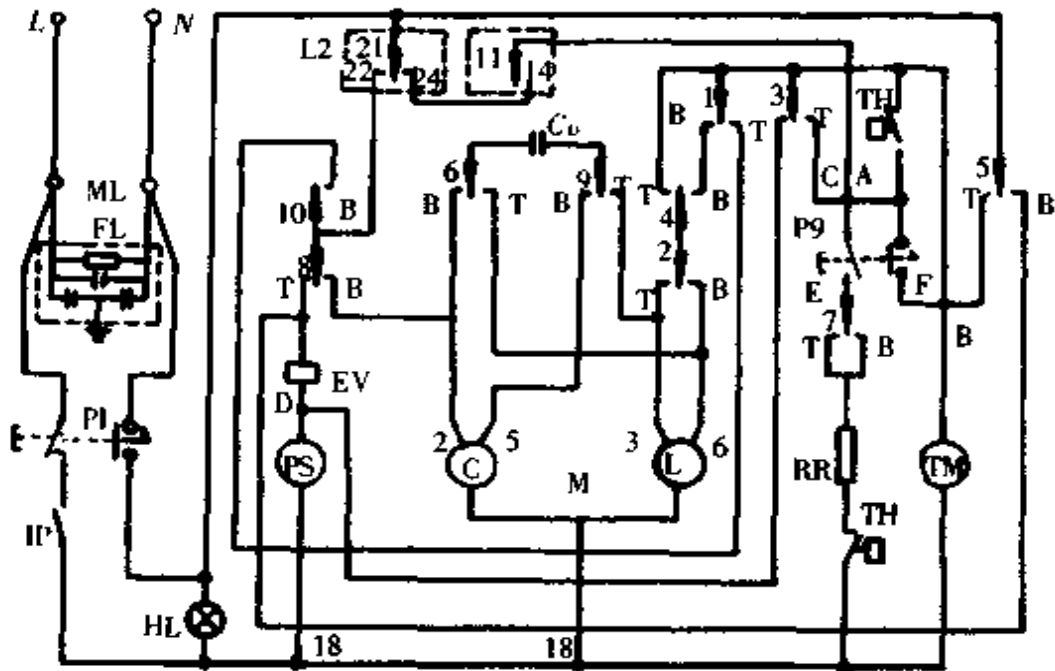


图 5.7.22 冷热洗两用滚筒式全自动洗衣机的电气原理图

ML—接线板 FL—滤噪器 PI—电源开关 IP—门开关 EV—进水电磁阀 PS—排水泵 HL—指示灯 L<sub>2</sub>—水位控制器 C<sub>0</sub>—电容器 M—双速电机(C—高速,L—低速)

TH—温度控制器 P9—冷热洗转换开关 TM—程度控制器电机 RR—加热器

图中未标代号的数字和字母均为程度控制器上的触点符号

### 2.4.3 选用、使用和保养

**2.4.3.1 选用** 在购买一台洗衣机时,首先应根据家庭的各方面情况,如放置洗衣机的地方大小和财力情况,确定购买洗衣机的型式。双桶半自动洗衣机价格便宜,占地面积大。单桶全自动洗衣机占地面积小,价格中等。而滚筒式洗衣机占地面积小,但价格贵。微电脑控制全自动洗衣机操作方便、可靠、价格适中,是人们选择的对象。

选择好洗衣机的型式后,按使用说明书的要求,熟悉洗衣机的性能特点和安装要求,检查洗衣机外观质量,然后再通电试验洗衣机的运转质量。

**2.4.3.2 安装和使用** 洗衣机的安装位置应在室内,避免阳光直射,不能放在雨、雪能淋到的地方。

**电源插座的安装:**电源插座应高度适中,离洗衣机的工作位置不要超过 2m,电源的保险丝的额定电流为 2.5A。

**进水管:**由于全自动洗衣机是自动进水控制,应有专用水龙头为好。

**排水管:**应有方便地将洗涤污水排放到下水道的水管。

调整水平,放置稳妥,这样可有效地减小洗衣机的振动。

洗涤衣物,投放的洗涤衣物不能超过洗衣机所承载的重量。否则,电动机将处于长时间过载而损坏。洗涤时间、洗涤剂、漂洗方法等都要根据洗涤衣物的种类、重量来确定最佳方案,在洗衣机的使用说明书中均有详细说明。

2.4.3.3 保养 洗衣机的日常保养:使用完毕后,应切断电源。将排水旋钮拧到“排水”位置,待洗涤桶内的污水排干净,再用软布将洗衣机洗涤桶内、边缘、控制盘、机箱等部位的水擦干净。定期给机械运转部位添加润滑剂,同时检查各传动部件。对易损件要经常检查,及时更换或修理。

## 2.5 电动吸尘器

电动吸尘器是由 10000~20000r/min 高速旋转的电动机驱动风机产生空气负压,吸入灰尘于集尘袋中的器具。

### 2.5.1 型式和分类

吸尘器的种类和型式很多,如表 5.7.11 所列。

表 5.7.11 吸尘器的型式

项 目	型 式	
结构型式	手持式 落地式:立式和卧式	
使用场所	地毯专用 工场专用 畜 用	汽车用 机床专用

吸尘器的额定功率有:250W 以下、250W、400W、500W、600W、700W、800W、900W、1000W 等。

### 2.5.2 结构和特点

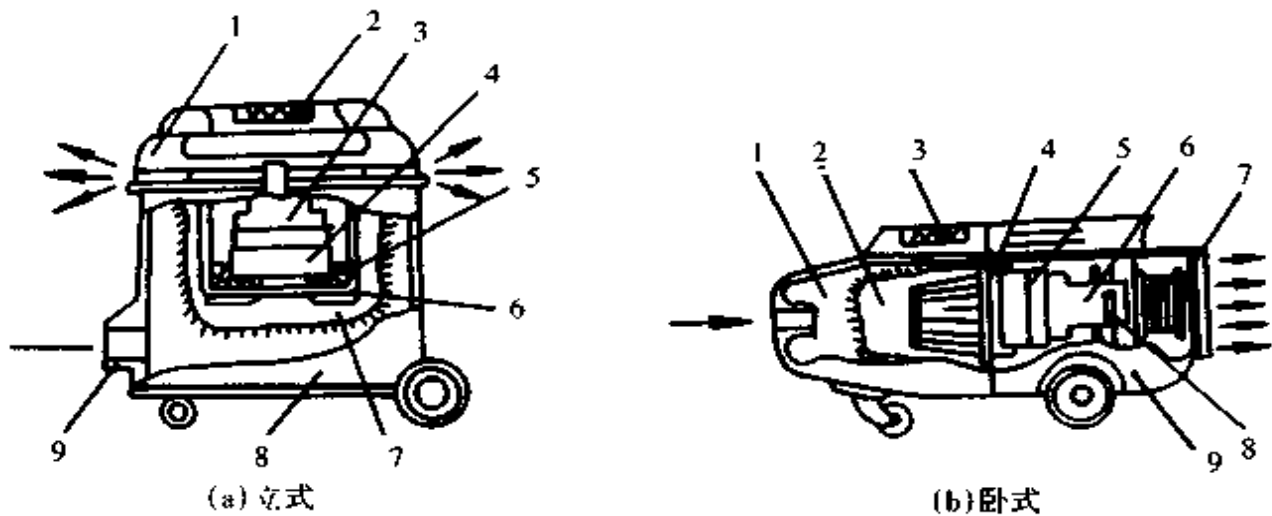
吸尘器的基本结构如图 5.7.23 所示。它主要由电动机、风机、滤尘器和集尘室、吸嘴及其附件、外壳、消声装置等部件组成。

大多数吸尘器电动机为串励电动机,接通电源后,电动机驱动叶轮高速旋转,使叶轮中的空气得到能量,从静叶轮边缘旋入,中心排出,形成一定的风压和风量,通过吸口、导管使充满尘埃和脏物的空气吸入吸尘器的集尘袋内,经过滤的清洁空气从出气口排出。

(1)电动机。吸尘器用的电动机广泛采用串励电动机,转速高,转矩大,它的软机械特性特别适合吸尘器的工作性质。

(2)风机由叶轮、导轮、风罩和机壳等组成。叶轮安装在电动机轴上,由电动机驱动,导轮和风罩固定在电动机轴承盖上。吸尘器风机一般都有二级或三级。这种风机可产生较大的真空度。

(3)滤尘器和集尘室是吸尘器的主要部件。滤尘器要求既能挡住极细的灰尘,密度不能太大,透气性能又要好,而且较长时间过滤不会堵塞。通常用滤纸或绒布



1—前壳体 2—滤尘器 3—积尘指示器  
4—风机防振圈 5—风机  
6—电动机 7—自动绕线机构  
8—电机防振座 9—后壳体

1—上盖 2—积尘指示器 3—电动机  
4—风机 5—风机防振圈 6—机座  
7—筒体 8—滤尘器 9—吸口座

图 5.7.23 吸尘器的结构示意图

嵌装在骨架上。一般用吸尘器外壳兼作集尘室。

(4)消声装置。噪音是吸尘器的一项重要指标,主要由气流、电磁和机械三种因素造成。为了减小和消除这些噪音,吸尘器都设有消声装置,消声方法有:在机壳内壁及出风口设置多孔性纤维状的聚氨酯泡沫塑料,在电动机后面及风机前面安装橡胶防振圈。

(5)吸尘器外壳是电动机和滤尘器的支承体及与外部的隔离体。目前各种形式的吸尘器均采用 ABS 工程塑料。

### 2.5.3 选用、使用和保养

2.5.3.1 选用 家用吸尘器的功率从 250~1000W,品种繁多。一般家庭可选用吸尘器额定功率 800~1000W,此范围的吸尘器吸力大,效率高,工作时间短。

选用立式或卧式吸尘器可根据各人的爱好而定。

要求外观表面光洁,附件齐全,伸长管和软管装卸方便,管内光滑,软管的伸缩性要好。

通电试机时,吸尘器本身不应有较大的振动或不正常的噪声。通电 10min 左右,电动机外壳的温升用手触摸,不应感到明显升温。

2.5.3.2 使用 在第一次使用吸尘器时,应仔细阅读使用说明书,按要求操作。尤其要检查供电电源是否与产品铭牌上的要求相符。

检查电源线路,保险丝和电度表的容量是否符合吸尘器的电流值。

在需要清洁的地方,如有大块纸片、塑料、金属屑、潮湿杂物,则应先清除掉,再进行吸尘。否则会堵塞吸管,增加电动机的负荷。

在使用吸尘器时,必须注意及时清除集尘室、滤尘器上的尘埃及脏物,避免积满灰尘仍继续使用。

**2.5.3.3 保养** 每次使用后,应将吸尘器及其附件用湿布擦拭干净,然后自然晾干。

经常检查吸尘器各紧固部件。如有松动,应及时固定好。

电刷是电动机的主要部件,长期运行后,电刷会被磨损,电动机转速会降低,产生换向火花,噪声增大,从而缩短电动机使用寿命。定期更换电刷并清理碳刷粉末是十分必要的。

定期更换轴承润滑脂。由于电动机转速达 20000r/min,轴承润滑脂应采用高速复合钙基脂或复合钠基脂。

## 2.6 电饭锅

电饭锅是一种能自动地将大米或其他食物煮熟并保温的加热炊具。它具有清洁卫生、使用方便的特点。

### 2.6.1 型式和分类

电饭锅的分类见表 5.7.12。

表 5.7.12 电饭锅分类

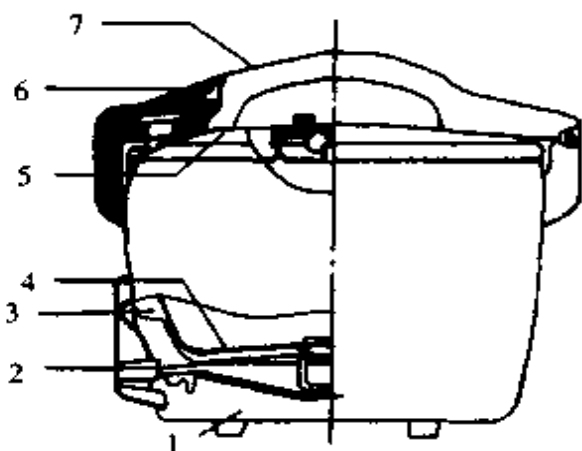
项 目	型 式
结构型式	组合式 整体式:单层、双层、三层
控制方式	自动保温式 定时启动自动保温式 电子式 微电脑控制式 模糊逻辑控制式
压力大小	普通型 压力型(温控型和压控型两种)

电饭锅的额定参数。额定电压:220V;额定容积:1.2L、1.5L、2.0L、2.5L、3.0L、3.5L、4.0L、4.5L、5.0L、6.0L;额定功率:350W、450W、650W、750W、900W。

### 2.6.2 结构和特征

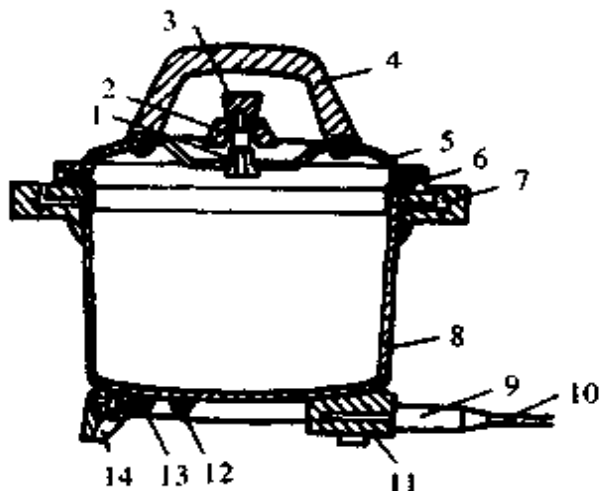
尽管电饭锅的种类繁多,但其基本结构均由锅盖、外壳、内锅、加热盘和开关等组成,如图 5.7.24 所示。

电热盘是电饭锅的关键元器件,国产电饭锅的电热盘都是管状电热元件铸铝的,它具有传热快、热容量大的特点。



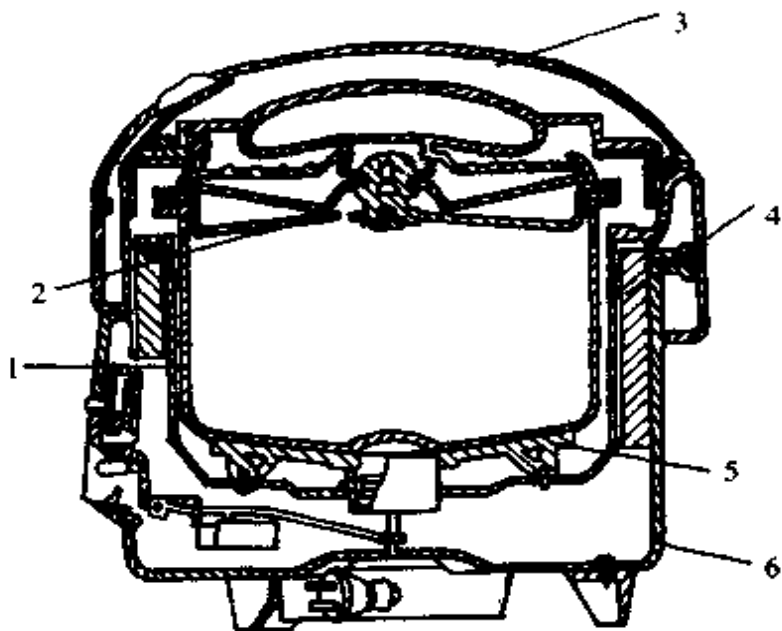
(a) 普通电饭锅

1—底片 2—限温器 3—内锅 4—电热盘  
5—锅盖 6—钮扣 7—手把



(b) 普通压力电饭锅

1—阀座 2—阀体 3—旋钮 4—锅盖手把  
5—锅盖 6—密封胶圈 7—锅体手把  
8—锅体 9—琴键开关 10—电源线 11—  
主控制器插座 12—内侧加热器 13—外侧  
加热器 14—底脚



(c) 保温压力电饭锅

1—内锅 2—内盖 3—手把 4—隔热层 5—电热盘 6—外壳 7—限压阀

图 5.7.24 各种电饭锅的结构示意图

内锅用1~2mm厚的铝板拉伸成型,底部加工呈球面状,与电热盘很好吻合,以提高热效率。

电饭锅的控温装置主要是温控器和限温器。限温器动作温度为 $100.5_{0}^{+0.5}$ ℃。温控器的动作温度调定在 $60\text{℃}\sim 80\text{℃}$ 。煮饭时,按下煮饭开关 $K_1$ ,电热盘通电发热,锅内温度上升,在达到 $60\text{℃}\sim 80\text{℃}$ 时,保温器 $K_2$ 断开,锅内温度继续上升,直至沸腾,焖煮,在温度达到 $100.5_{0}^{+0.5}$ ℃时,限温器开关 $K_1$ 断开,电热盘停止发热,内锅靠电热盘的余热进入焖饭阶段,锅内温度下降到 $80\text{℃}\sim 60\text{℃}$ 时,保温器开关接通电源,使内锅温度保持在 $60\text{℃}\sim 80\text{℃}$ 之间。

压力型电饭锅集压力锅与电饭锅功能于一体,具有使用方便、煮饭快捷、节能的特点,如图5.7.24b所示。尽管压力饭锅有温控型和压控型两种,但基本结构相同,区别在于控制锅内压力的方式不同而已。在设计压力电饭锅的压力时,压力的设定为:做饭用的低压力电饭锅压力为37226Pa;做菜做饭兼顾的中压力电饭锅压力为98000Pa;烹调用高压电饭锅压力为147000~196130Pa。

若设计成温控型压力电饭锅,在锅内温度上升到 $110\text{℃}$ 时,温度调节器断开,采用微火继续升温;当温度升至 $136\text{℃}$ 时,温度开关断开,停止升温。锅内温度在 $70\text{℃}$ 保温10min左右,米饭 $\beta$ 态完全转为 $\alpha$ 态,便成松软可口的米饭。

### 2.6.3 选用、使用和保养

**2.6.3.1 选用** 电饭锅是按容积划分的,通常额定容积1.2L,适合1~3人用,额定容积2.4~3.0L,适合2~5人用。电饭锅的功率大小只是对煮饭的快慢有关系,功率大的电饭锅,煮米量较多,煮饭时间可以短些。

电饭锅品种的选择亦是考虑的因素。普通自动电饭锅具有将米饭煮熟后自动断电并保温的优点,结构简单,维修容易,价格便宜。压力电饭锅煮饭升温快,节省电力,米饭味香柔软,但价格较贵。电脑控制电饭锅节能,结构新颖,操作方便,但价格较贵。

在选用电饭锅时还要注意外观:锅体表面喷漆或喷塑应均匀光亮,附着牢固,花纹颜色协调。锅盖、手柄应安装结实、光滑、无裂痕。

**2.6.3.2 使用** 在使用电饭锅之前,应仔细阅读使用说明书,并按说明书的规定进行操作。

电饭锅的功率较大,最好使用专用电源插座,并有良好的接地线。

在煮饭时,米与水量的配比要掌握好,一般一杯米加水一杯半左右,便能煮出适口的米饭。

米在内锅里要均匀分布,不能堆积在一处,否则煮出的米饭就会出现生熟不均,软硬不匀的现象。

在煮饭之前,放置内锅时,应将内锅转动一下,使内锅与电热盘接触良好。





不同规格电饭锅的内锅,或不同制造厂的电饭锅的内锅,不能互相替用,因各制造厂的内锅底面弧度与电热盘表面弧度不尽相同。若吻合不好,会因接触不良,造成电热盘过热而损坏。

用电饭锅煮饭时,接通电源,指示灯即发光,然后按下按键开始煮饭。当按键自动复位时,指示灯熄灭,表明饭已煮好,但最好不要马上开锅,稍等 10min 便可食用。采用电饭锅做饭经验表明:接通电源,电饭锅煮饭至沸腾后,将按键人工复位 5~8min,然后再按下按键电饭锅继续煮饭,直至限温器开关跳闸。这样煮出的米饭特别香,又充分利用了电热盘的余热,既节省电,又可延长电热元件的使用寿命。

在电饭锅煮饭完毕后,取出食用之前,应先将电源插头拔下。

**2.6.3.3 保养** 清洗电饭锅的内锅时,切忌碰撞变形,以免内锅不能和电热盘良好地接触。煮饭时,若结有锅巴,切忌用利器刮除,应采用其他方法排除。煮饭经验表明,煮饭时,水中加入几滴食油,煮出的饭呈颗粒状,不粘锅。

切勿用电饭锅煮酸、碱性食物,否则会使内锅表面发生化学变化。

做好饭后,应及时将电饭锅的电源线插头拔下。

应定期检查,保证各连接部接触良好。

## 2.7 液体加热器具

电热锅、电子瓦罐、电水壶、电茶壶等都是用加热元件将液体食物或水加热至沸腾的器具。这类器具都是用来加热液体的,工作温度都在 100℃ 以下。

### 2.7.1 型式和分类

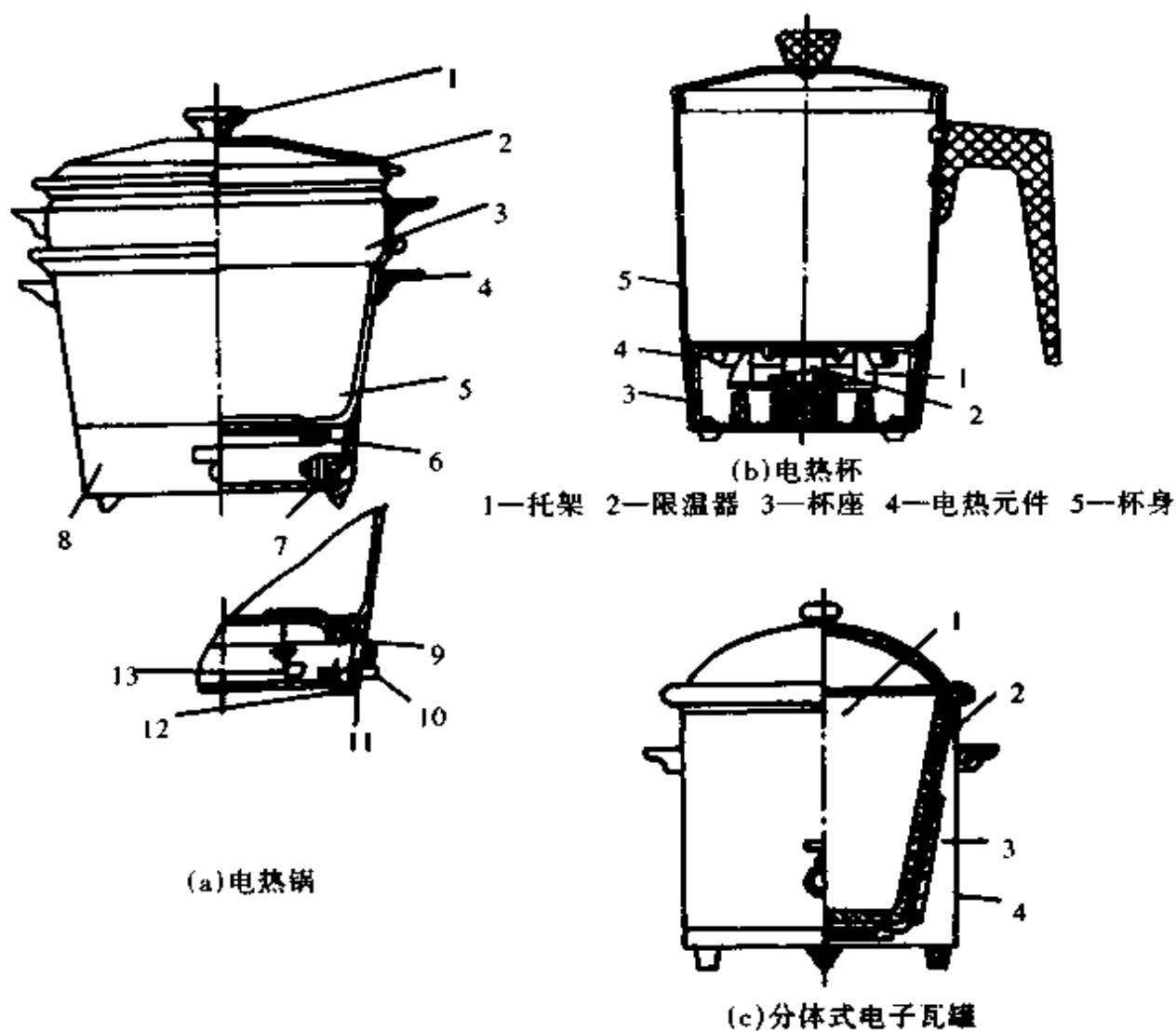
按器具的结构型式不同分:有整体式和组合式两种。

按器具的用途分:有电热锅、电热杯、电子瓦罐、电水壶和电热水瓶、电咖啡壶。

按器具的容积大小分:有 0.8L、1.2L、1.8L、2.5L、3.0L、4.0L、5.0L 等几种。

### 2.7.2 结构和特征

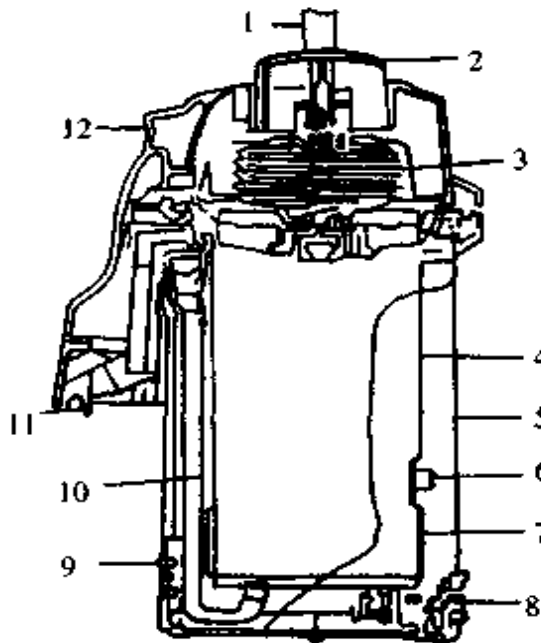
图 5.7.26(一)、(二)为各种液体加热器具的结构示意图。各类器具的结构名称及作用如表 5.7.13 所列。由表 5.7.13 可清楚地看出,尽管液体加热器具各式各样,但电热元件和控温元件是核心元器件,而且大多数采用管状加热元件。锅体则是各式各样,形状不同,容积大小不同。



- 1—手柄 2—锅盖 3—蒸笼  
 4—手把 5—锅体 6—固定电热管板  
 7—内接电源插座 8—底盖 9—电热管  
 10—限温器推杆 11—指示灯  
 12—推杆复位弹簧 13—折合式限温器

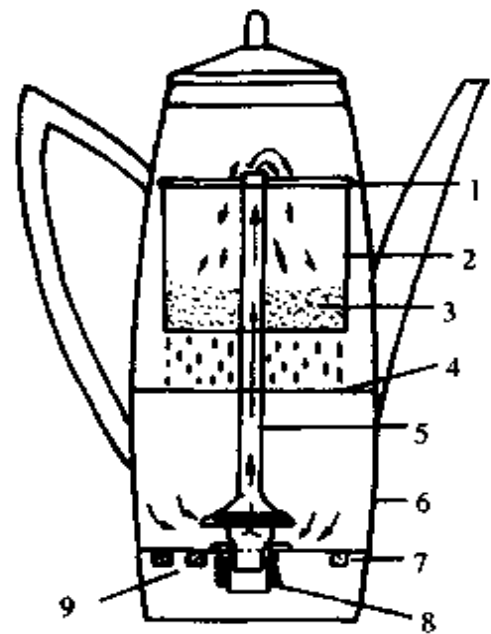
- 1—瓦锅 2—铝内锅 3—电热元件  
 4—外壳

图 5.7.26 各种液体加热器具的结构示意图(一)



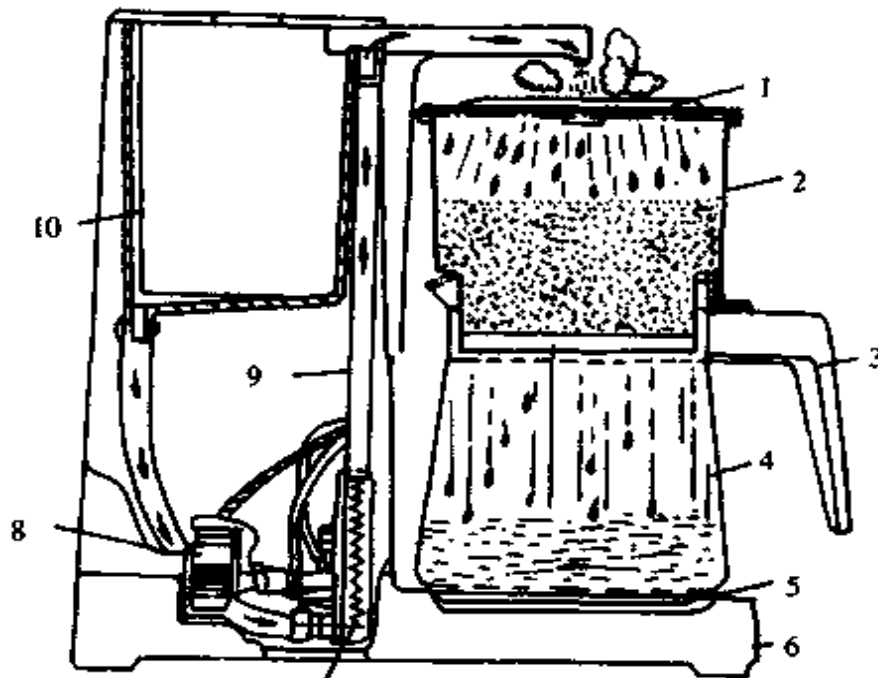
(d) 电热气压水瓶

- 1—提手 2—压钮 3—气囊 4—内胆  
5—壳体 6—控温器 7—加热圈 8—插头  
9—指示灯 10—吸管 11—水嘴 12—锁钮



(e) 渗漉式电咖啡壶

- 1—分流板口 2—咖啡篮 3—咖啡粒  
4—咖啡液面 5—输水管 6—壳体  
7,8—加热元件 9—过热保护器



(f) 滴漉式电咖啡壶

- 1—盖 2—过滤器 3—手把 4—咖啡瓶 5—保温板 6—底座  
7—电热元件 8—过热保护器 9—输水管 10—贮水箱

图 5.7.26 各种液体加热器具的结构示意图(二)

表 5.7.13 各种液体加热器

名称	主要元器件	元件构成材料
电热锅	锅体 电热元件 控温元件	盛放食物 多用铝板、不锈钢拉制管状电热元件 双金属片控温器
电热杯	杯体 电热元件 限温器	盛放饮料 用铝板式不锈钢拉制管状电热元件 突跳式限温器,超过 105℃ 时断电
电子瓦罐	锅体 电热元件 控温元件	内锅用沙锅,外壳用 0.5mm 厚铁板 用电热带固在锅壁双金属片控温器
电水壶	壶体 电热元件 控温器	用铝板拉制而成,盛水 用管状电热元件 水烧开后切断电源或水烧干后切断电源
电热水瓶	瓶身、瓶盖 电热元件 温度调节器	盛水用,有单层和双层两种多用管状电热元件,亦有用电热带、双金属片调温器安装在瓶底
电咖啡壶	渗漏式	外壳、底座 电热元件 输水管和过滤器
	滴漏式	座架 滤器 咖啡瓶

### 2.7.3 选用、使用和保养

2.7.3.1 选用 首先考虑按用途选用器具的种类,电热锅多用来涮羊肉,做豆腐煲、开煲狗肉、什锦火锅等,可边吃边烧,无烟无异味。电热杯用来烧牛奶、豆浆、面汤等,是加热流质食物的好器具,因体积小,故适于旅行用。若用来煮咖啡则选用咖啡壶是最适当的,若采用咖啡颗粒为原料,应选用自动咖啡壶(渗漏式)为好;若咖啡是小颗粒或粉状的,可选用滴漏式电咖啡壶。

其次是确定选用器具的规格。各种液体加热器具的规格如表 5.7.14 所列。

表 5.7.14 液体加热器具的规格

品种	功率 (W)				容 积 (L)			
电热锅	300	450	550		1.0	1.2	1.8	2.0
电热杯	300	350			0.8	1.0		
电水壶	800	1000	1500	2000	1.0	2.0	3.0	5.0
电热水瓶	800	1000			1.5	2.0	2.5	
电咖啡壶	750	900			0.8	1.0	1.5	

最后是器具外观的选择,若放在客厅里的器具应选用外观造型美观,具有时代感,颜色要着意适中,并能与其他器具的颜色相调和。外表应光滑,手感好,无裂纹。

**2.7.3.2 使用** 首先,应注意器具的电源电压与供电电压相一致,电源插座应具有接地线。其次,在器具接通电源前,必须先注入液体,并符合规定的限度要求。然后先把电源线的一端与器具连接好,再将电源插头插到电源插座,即可对液体加热,附有自动开关的应按下开关,使器具接通电源。必须注意的是,千万不要先接通电源再装入液体,这会烧坏电热元件。

液体器具制造厂都对各自的器具规定注入液体的最高限度线和最低限度线。液体注入量过多,当液体沸腾时会溢出,从而损坏电器元件。若液体注入量过少,很快便会烧干,如不能及时切断电源,电热元件很容易被烧坏。

气压电水瓶的使用方法是將开水供应扣锁置于“关”的位置,按箭头方向将外盖扣钮压下,打开外盖,然后再打开内盖,将水注入容器内,应注意注水量。接着将内盖塞紧,再将外盖关闭。不要用力挤压吸水管或开水流出口。接通电源,煮沸指示灯亮,当水煮沸后,煮沸指示灯熄灭,保温指示灯亮。此时,容器内的水已煮沸,可随时取用。取水时,将开水供应扣锁开关置于“开”的位置,压下开水供应按钮。在水位至“再加水”的记号时,必须再加水。加水后,煮沸指示灯又明亮,继续自动将水煮沸。

电咖啡壶的使用。各式咖啡壶都有它的额定加水量,加水量过多或过少都有可能损坏电咖啡壶。咖啡壶的额定加水量已把蒸发和咖啡末吸收的水量包括在内。各式咖啡壶的标志不尽相同,有的在盛水箱内壁用刻度表示,有的用液体标高示出。对于渗漏式电咖啡壶,加水时,先取出输水管和咖啡滤器,注入凉水。对于滴漏式电咖啡壶,只要打开贮水箱的盖子,注入适量的水就可以了。

电咖啡壶有盛放咖啡末的专用容器,有的容器本身就是一个过滤器,根据各人嗜好,放置适量的咖啡末,通常1杯水放5~10g咖啡末为宜。接通电源前,检查所有准备工作是否就绪,调定咖啡浓度开关,最后接通电源。煮好后,指示灯亮。此时,便可取用咖啡液。

液体加热器具使用后应注意清洗,切忌把水溅在带电部件上;不能将整个器具浸入水中,以免损坏电气元件和控制机构。

**2.7.3.3 保养** 经常注意液体加热器具的电源线、器具联接器、带电部件的干净、清洁,保证器具有良好电气绝缘。

器具使用日久、在底部积有水垢时,可定期地用醋或稀盐酸清洗一次。电水壶、气压水瓶采用磁化水,可以除去水垢,对人体健康亦有益。

## 2.8 电热水器

热水是家庭生活中不可或缺的,特别在严寒的冬天更为突出。电热水器是家庭供应热水的理想器具,它使用方便,加热迅速,只要接上电源,几分钟后就有热水供应。

### 2.8.1 型式和分类

热水器的分类如表 5.7.15 所列,主要技术参数如表 5.7.16 所列。

表 5.7.15 电热水器的分类

分类项目	型 式
结构	快热式和贮水式
用途	洗涤用(水温不超过 85℃)、饮用
加水方式	开启式和封闭式

表 5.7.16 热水器主要技术参数

项 目	快 热 式	贮 水 式
额定电压(V)	220	220
额定功率(W)	1600、2000、2500、3000	1000、1250、1600、2000、2500
额定容积(L)	—	10、15、25、30、50、100
最小流量(L/h)	80、100、120	—

洗涤用热水器主要供应洗刷淋浴用的热水,水温较低,一般在 30℃~60℃,最高不超过 85℃。快热式热水器的出水口温度为 42℃,并有调温装置。贮水式热水器控温器的调温范围为 30℃~85℃,制造厂应提供 24h 贮水的热损耗。

### 2.8.2 基本结构和特征

2.8.2.1 快热式电热水器 图 5.7.27 为快热式热水器结构示意图,主要由加热腔、电热元件、控制器和外壳等组成。

2.8.2.2 贮水式电热水器 图 5.7.28 是贮水式电热水器的结构示意图。其主要部件有贮水箱、发热元件、控温器、外壳、保温材料、淋浴组件。在贮水箱和外壳之间充填保温材料,以减少热量的逸散。电热元件都采用管状加热元件,有一组、两组或多组构成。正常使用时,电热元件完全浸泡在水中,其传热效率在 98% 以上。贮水式电热水器所采用的温度控制装置有压力式温控器和双金属恒温器两种。

### 2.8.3 选用、使用和保养

2.8.3.1 选用 电热水器的种类繁多,选用时主要根据用途来考虑。如果短

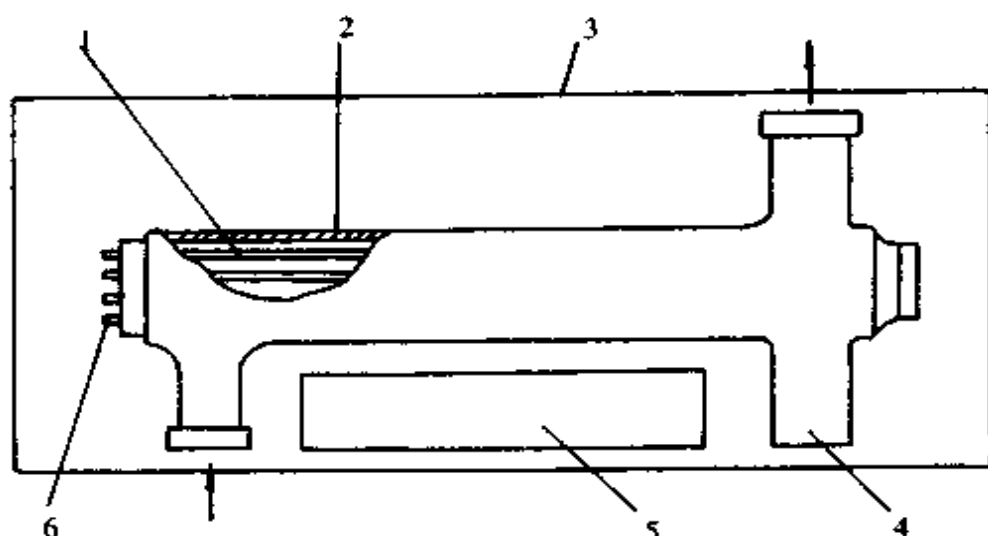


图 5.7.27 快热式热水器的结构示意图

- 1—电热元件 2—金属护套管壳 3—外壳 4—水压保护器  
5—控制系统 6—电热元件引出头

时使用,人数较多可选用快热式热水器。如果随时取用热水,经常有2~4人使用,可选用贮水式电热水器。热水器规格大小的选用,主要考虑贮水量,一般家庭选用15L、20L即可。功率大小应由电度表容量来考虑。对于5(10)A的电表,可选用2kW以下的热水器,对于3(5)A的电表,只能选用1kW以下的热水器。

**2.8.3.2 安装和使用** 电热水器买回后,若自己安装,必须按说明书规定进行。热水器固定好之后,须把机内的接地端子认真接上地线,确保使用安全。热水器安装固定好后,不要随意搬动或拆卸机件。

使用时,接通电源,指示灯亮,开始加热,当水温达到预定温度后,指示灯熄灭,加热终止。若指示灯时亮时灭,表明热水器处于自动保温。

热水器装附的水龙头组件,通常有止回流装置,并用颜色区分,蓝色为冷水,红色为热水。根据各人使用热水温度情况,调节两种水龙头,可得到最理想的浴用热水。

热水器的温度调节器标有“Ⅰ”“Ⅱ”或箭头指示方向,表示热水温度由低向高的调节位置,若把旋钮调节到某一位置上,热水温度便保持在该温度上。淋浴时,应先试探一下实际水温,以免因水温过高而烫伤。

第一次使用热水器时,必须先注满冷水,直至出水管有水流出后,才接通电源。切忌在未注水时接通电源,因热水器的电热元件表面负荷设计都取较大值(通常都在 $8\sim 12\text{W}/\text{cm}^2$ ),在没有水浸泡时,电热元件很容易损坏。

**2.8.3.3 保养** 电热水器的保养主要是注意电热元件不能在缺水时通电。其次是注意控温器的正常运行。当不能断开电源时,应找出原因,修复或更换同型号的控温器。

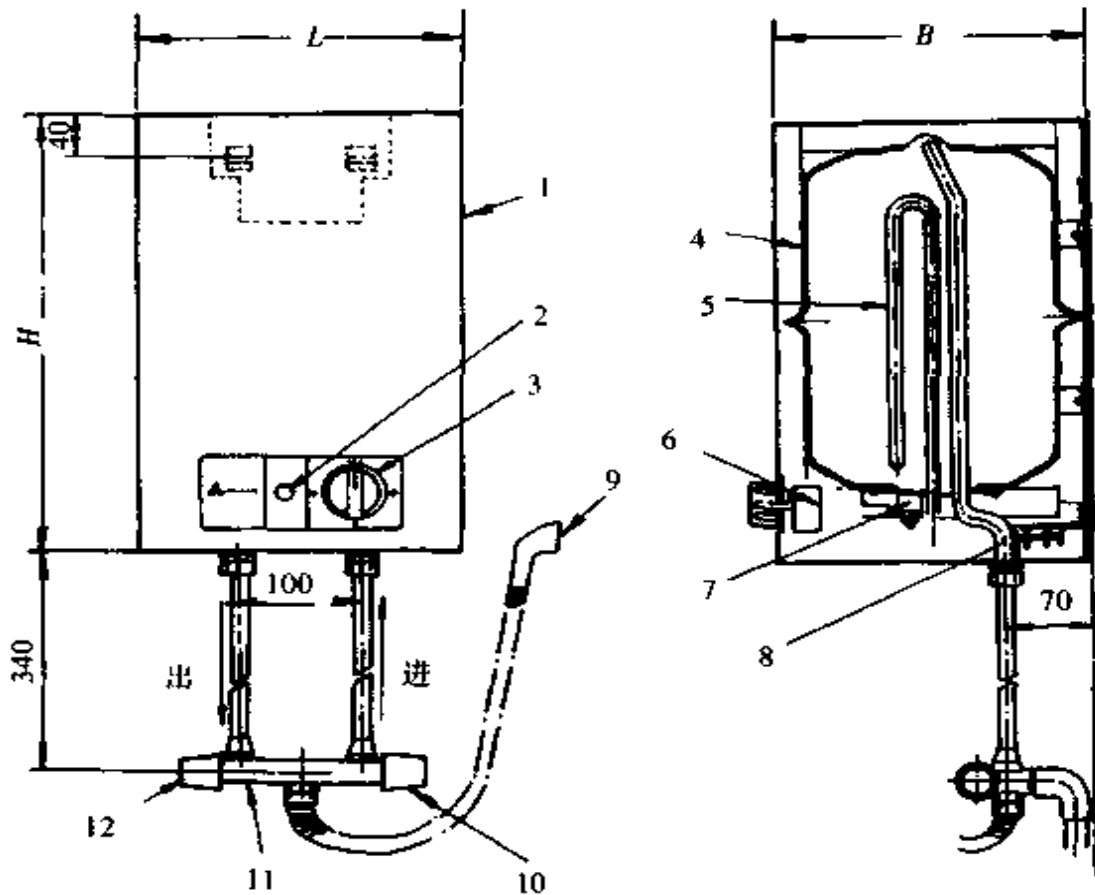


图 5.7.28 贮水式电热水器的结构示意图

$L$ —宽度  $H$ —高度  $B$ —深度

- 1—外壳 2—指示灯 3—温度控制旋钮 4—水槽  
 5—加热元件 6—恒温器 7—过热保护器 8—电源端子  
 9—淋浴喷头 10—热水龙头 11—淋浴组件 12—冷水龙头

使用已久的热水器,在贮水箱内壁和电热元件表面会结上一层白色的水垢,这对发热元件是有害的,故定期地清除水垢是必要的。清除水垢的办法是打开盖板,排除水箱内的积水,取出发热元件,用毛刷洗刷水箱内壁的水垢,但电热元件却不能用刷、刮的办法,可将电热元件浸在浓度为5%的稀盐酸溶液中,看到水垢被溶解后,再用清水浸洗干净,最后按原样装上。

## 2.9 微波炉

微波是指1mm到1m的电磁波,微波炉是利用微波发生器产生一个交变电场,对位于电场内的被加热物质进行烹饪的器具。加热用微波频率规定为915MHz和2450MHz两种。

### 2.9.1 型式和分类

微波炉的型式和分类如表5.7.17所示。



表 5.7.17 微波炉的分类

分类项目	型 式	特 征
工作频率 (MHz)	915 2450	多为商业烘烤,消毒用,家庭烹饪用
结构	便携式 固定式 组合式	容积小,功率在 1kW 以下 容积大,功率在 1kW 以上 与其他烘烤炉组合在一起
控制功能	普通型 电脑控制 智能型	有计时、调温、功率调节装置 有计时、温度、功率等级、解冻、记忆功能 根据烹饪食物自动地烹饪

### 2.9.2 微波加热原理及加热特点

2.9.2.1 微波加热的原理 食物都是由极性分子介质或无极性分子介质组成。利用微波炉内微波发生器(或称磁控管)产生高频交变电磁场,极性分子在电场的作用下,剧烈地改变排列方向。其取向随外施电场方向改变而反复变化。在改变过程中,分子间发生摩擦碰撞而产生热量,达到加热介质的目的,从而实现电磁能向热能的转换。所产生的热量与介质性质、微波场的电场强度及频率有关。电场强度越高,介质分子摆动幅度就越大;频率越高,分子间的摩擦和碰撞就越频繁。

2.9.2.2 微波加热的特点 微波加热不同于火焰、蒸汽、电阻、太阳能加热。其特点如下:

加热迅速、热效率高、节省能源。传统加热是利用热的传导、对流和辐射作用,将被加热物体表面加热,然后传到内部,需较长时间才能使物体内外温度一致,热传导率较低。而微波加热能使被加热物体表里同时直接受热,加热速度快,效率高。可节省电力 30%~40%。

加热均匀、控制方便。微波具有较强的穿透作用,能透入到物体内的有一定深度,内外同时加热,因而物体受热均匀,不会发生外焦里不熟的现象。微波炉一接通电源,磁控管立即产生交变电场,进行加热。一旦断电,便停止加热,没有热惯性,便于控制。

### 2.9.3 基本结构

微波炉由直流电源、控制系统、磁控管、波导、搅拌器、炉腔、转盘、炉门和外壳等组成,如图 5.7.29 所示。

现代家用微波炉的电脑控制方块图如图 5.7.30 所示。

微波炉接通市电,给定烹饪温度和时间后启动开关,便有微波输出,对食物直接进行加热。

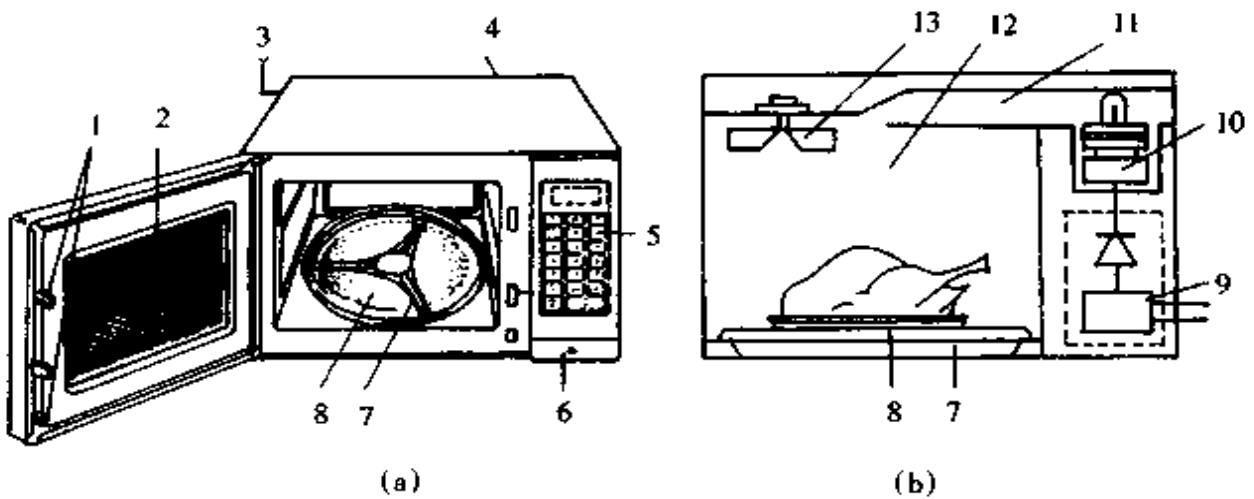


图 5.7.29 微波炉的结构原理图

1—门扣 2—玻璃观察窗 3—照明灯 4—排气口 5—控制面板 6—开门按键 7—转盘 8—玻璃转盘 9—变压器 10—微波发生器 11—波导管 12—炉腔 13—搅拌器

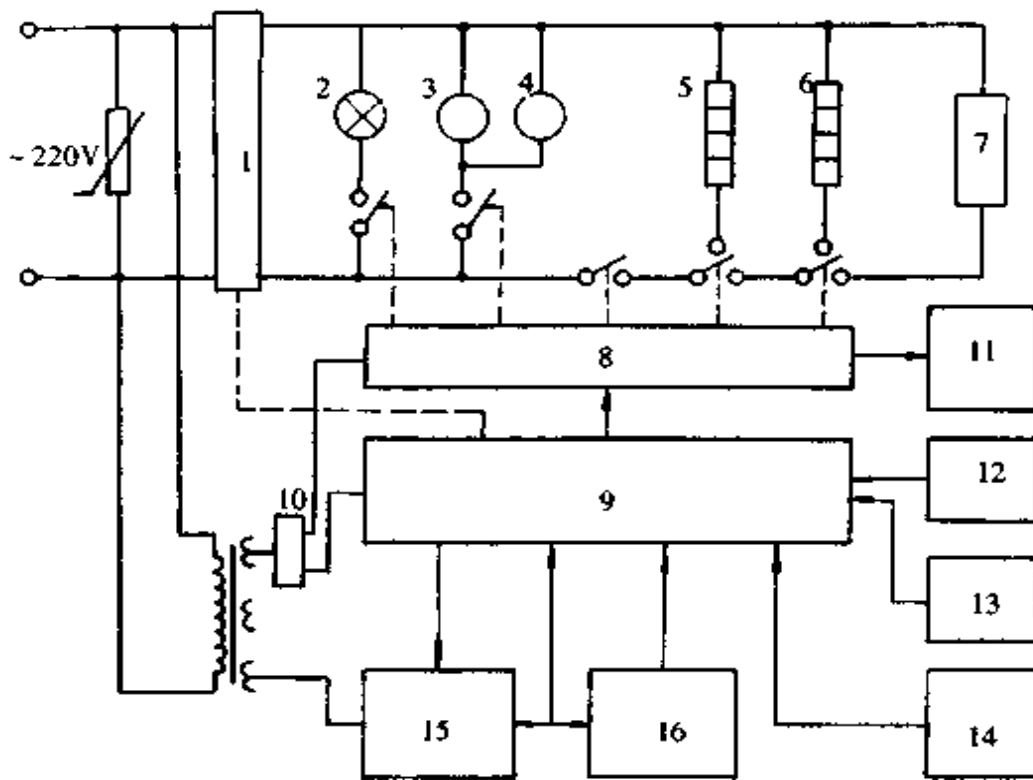


图 5.7.30 微波炉的电脑控制方块图

1—门开关 2—灯 3—风扇电动机 4—转盘电动机 5—发热元件(上) 6—发热元件(下) 7—磁控管电路 8—驱动器 9—控制器(IC 4 单元微电脑) 10—电源 11—蜂鸣器 12—重量检测 13—温度检测 14—计时器输入 15—显示器 16—键盘输入

### 2.9.4 主要技术参数

世界各国对微波炉有较完整的性能要求和质量要求。如 IEC335-25《微波烹调器具的特殊要求》、GB4706.21《微波烹调器具的特殊要求》、QB1198《家用和类似用途的微波烹调器具》。主要技术参数见表 5.7.18。

表 5.7.18 微波炉的主要技术参数

项 目	技 术 参 数
额定电压(V)	220
额定功率(W)	960 1000 1250 1300
微波输出功率(W)	500 550 650 700
炉腔容积(L)	18 20 24 26 28 40
效 率(%)	80 以上
加热均匀性(%)	70 以上
微波泄漏(mV/cm <sup>2</sup> )	5 以下
耐久性	连锁开关寿命 5 万个周期

### 2.9.5 选用、使用及保养

**2.9.5.1 选用** 家用微波炉的工作频率规定为 2450MHz,一般宜选用全自动微波炉。规格大小可根据家庭人口来选择,选用额定功率 1000W,容积在 20L 或 24L 是可取的。外观要求美观大方,漆层光洁平整,无划痕、碰伤。炉门应开启自如,开关可靠,按钮标志清楚,操作方便。

**2.9.5.2 使用** 微波炉的结构较复杂,操作按钮多,在使用之前,须认真阅读产品使用说明书,弄清各部件、按键、开关的作用、使用方法和注意事项等,严格按照规定操作。

待烹饪的食物用适当的非金属容器盛好,并放入炉腔转盘上。关好炉门,确保连锁开关和炉门开关闭合。

接好电源插座,根据需要调好定时器旋钮和功率旋钮(或温度旋钮)。按下起动开关,电源接通,面板或炉腔内照明灯亮,表明微波炉开始烹饪加热。如果微波炉是微电脑控制的,应先依次按动控制面板上的程序按钮,将烹饪程序输入电脑,然后再按下起动开关。

微波炉内部产生高电压,必须接上地线。为此,电源插座应有良好的接地线,以防止触电和干扰。

**2.9.5.3 注意事项** 微波发生器在产生微波时,会产生高温,炉内有小型冷却风扇。为此,微波炉不能放置在潮湿、高温的地方,以免损坏电气元件的绝缘性。

微波炉的放置应远离电视机和收音机,不能在不关炉门的情况下使用微波炉。

否则,将产生微波效应,危及使用者的安全。

微波炉内未放置食物时,切忌接通电源,以免微波发生器过热烧毁。

不能用金属容器盛装食物,放入微波炉内烹饪,金属件会影响微波的分布,不能有效地加热食物,严重时损坏微波发生器。

应经常注意炉门框四周的密封,若发现有损坏或污垢太多,应立即停止使用,并仔细清洁和修理,防止微波外泄,影响使用者的身体健康。

烹饪食物的大小、形状、加工量应按产品使用说明书的规定,食物块不宜太厚、太大,食品大小、厚薄不宜过分悬殊。对此,在实际烹调中应加以注意,才能达最佳的烹饪效果。

## 2.10 电磁灶

电磁灶是利用电磁感应加热原理制成的新型灶具。具有安全、无明火、节能、使用方便等特点。

### 2.10.1 型式和分类

电磁灶的型式和分类见表 5.7.19。

表 5.7.19 电磁灶的型式和分类

分类项目	型 式	特 征
工作频率	工 频 高 频	结构简单、效率低、有振动、噪声 结构复杂、效率高、工作频率在 20~40kHz
控制方式	普通型 微电脑控制	功能少、功率可调节、超温保护 功能多、操作方便、可靠性高
工作灶头	单 头 多 头	功率小,1kW 左右 功率大,1~2kW、工作灶头多

### 2.10.2 基本结构和工作原理

家用高频电磁灶由锅体、台面板、加热线圈、电力变换电路、控制系统及塑料外壳等组成,如图 5.7.31 所示。

市电经整流桥堆变换成直流电,并由电感、电容器组成滤波器使直流电稳定。此电源经高频逆变电路变换成高频交流电流(20~40kHz),并流经扁平空心螺旋状加热线圈,产生高频交变磁场,其磁力线穿过台面板作用于铁磁性锅体,在锅体感应出涡流,涡流克服锅体内阻力而作功——电磁能向热能转换。正是由于电磁能作用于锅体,因而使热效率高达 80% 以上。

高频电磁灶中所产生的电磁现象与带有气隙的变压器里的电磁现象基本相似。加热线圈相当于变压器的初级线圈,锅体相当于次级线圈。台面板就是变压器的气隙。图 5.7.32 为电磁灶加热原理及等效电路图。由此计算出锅体的吸收

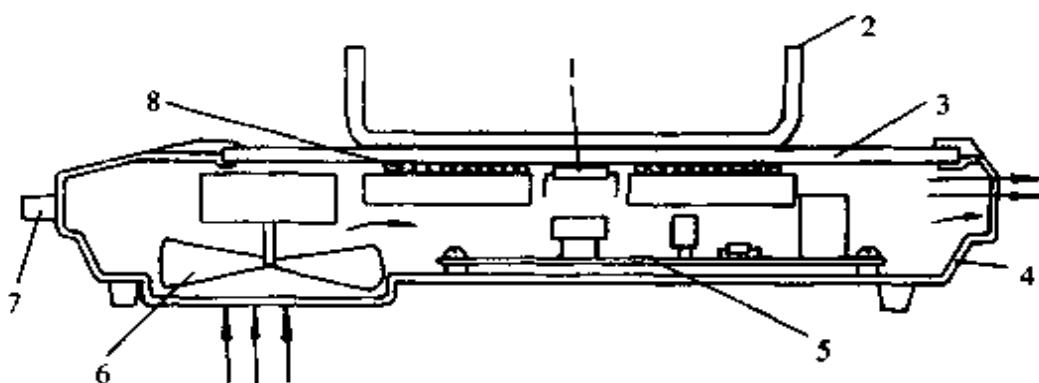


图 5.7.31 电磁灶的结构示意图

1—热敏电阻 2—锅体 3—台面 4—外壳  
5—控制线路 6—风扇 7—操作面板 8—加热线圈

功率。

$$P_c = kr(NI_a)^2$$

式中  $P_c$ ——锅体的吸收功率(W);  
 $k$ ——与锅体材料有关的系数;  
 $r$ ——锅体的有效电阻( $\Omega$ );  
 $N$ ——感应加热线圈匝数;  
 $I_a$ ——通过加热线圈的高频电流(A)。

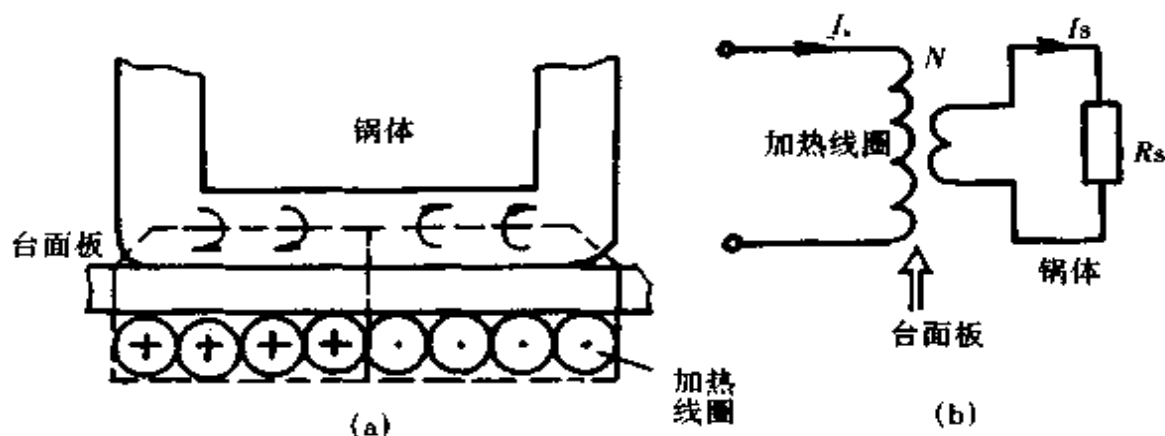


图 5.7.32 高频电磁灶的加热原理及等效电路图

(a)加热原理 (b)等效电路

高频电磁灶的控制系统,如图 5.7.33 所示。

### 2.10.3 主要性能参数

电磁灶的主要技术参数见表 5.7.20 所列。

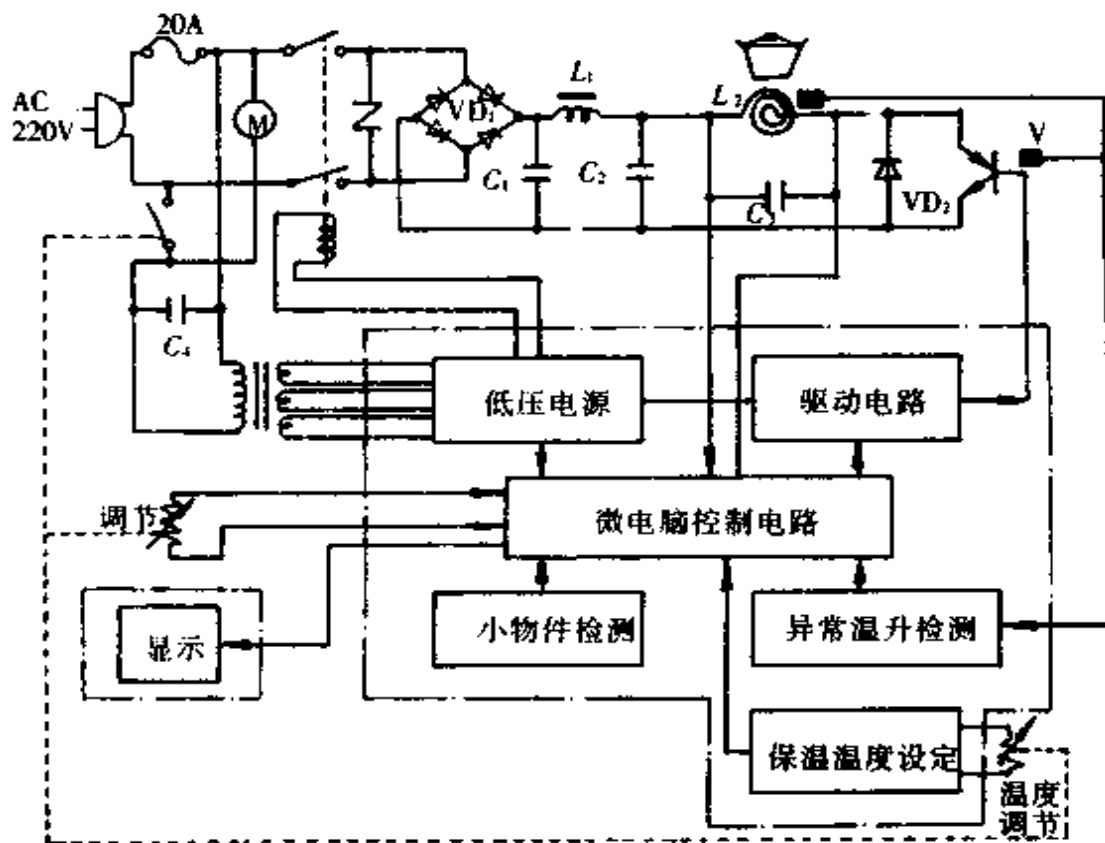


图 5.7.33 高频电磁灶的控制系统方块图

表 5.7.20 电磁灶的主要技术参数

项 目	性 能 参 数			
额定电压(V)	220			
额定功率(W)	1000	1250	1500	2000
热效率(%)	80 以上			
输入功率调整率(%)	30~100			
噪 声((dB) <sub>A</sub> )	50 以下			
限温值(℃)	200±15			
可靠性(h)	连续无故障工作时间 2000			
安全装置	防止小物件发热 负荷检测及显示 防止过热保护装置			

## 2.10.4 选用、使用和保养

2.10.4.1 选用 市售的高频电磁灶有普通型和电脑控制型两种。输出功率在 250~1000W 之间调节。适于“加热”、“保温”、“煎炸”等不同烹调需要。为此，家庭购买电磁灶时，可根据各自的经济情况，购买普通型或电脑控制型的产品。

电脑控制的电磁灶有自动报时显示、数字式温度显示、感应操作按键等。

2.10.4.2 使用 放置电磁灶的平台要平整，且离开墙壁 10cm 以上。不要影响进、排风口的通道。

由于电磁灶的功率较大,使用的电源插座容量应在 5A 以上,并要单独使用。

因电磁灶是应用电磁感应加热的,所以在通电以后,台面板并不发热,只有把铁磁性锅体放在台面上后,锅内的食物才会受热升温,故切忌用非铁磁性锅体。在烹饪时,切勿使锅体空烧,干烧,以免电磁灶面板过热而裂开。

电磁灶使用完毕,先将功率调节电位器拨至最小端,然后关断电源,再取下锅体。此时,切勿用手去触摸台面板,待其冷却后,用干净布擦拭面板。

电磁灶内部具有电子控制系统,在发生故障时,应送专门修理部门修理,未经专门培训过的人员切忌自己动手修理。

电磁灶用毕后,用干净布盖住,以防灰尘或异物进入。较长时间不用,应用原包装包好。

2.10.4.3 保养 电磁灶最忌湿气和热气,故应将其放置在远离热气和有水气的地方,且不靠近墙壁或其他物品。

定期清除灰尘可以使电磁灶长期稳定地工作。

## 2.11 食品电烤箱

电烤箱是利用电热元件的热量辐射、对流来烘烤食品的电炊器具。它具有清洁卫生、节省时间,可制作烤鸡、烤鸭、烤鹅、烤鱼、烤排骨、烤面包、糕点等多种食品的特点。

### 2.11.1 型式和分类

电烤箱的型式和分类见表 5.7.21。

表 5.7.21 电烤箱的型式和分类

分类项目	型 式	特 征
控制方式	普通型 自动恒温型 电脑控制	功能单一,温度不能控制 自动控温,功能多 功能多,自动地控制功率、温度
结构大小	家用电烤箱 商用电烤箱	功率有:900、1000、1200、1500W 多挡 功率在 3kW 以上

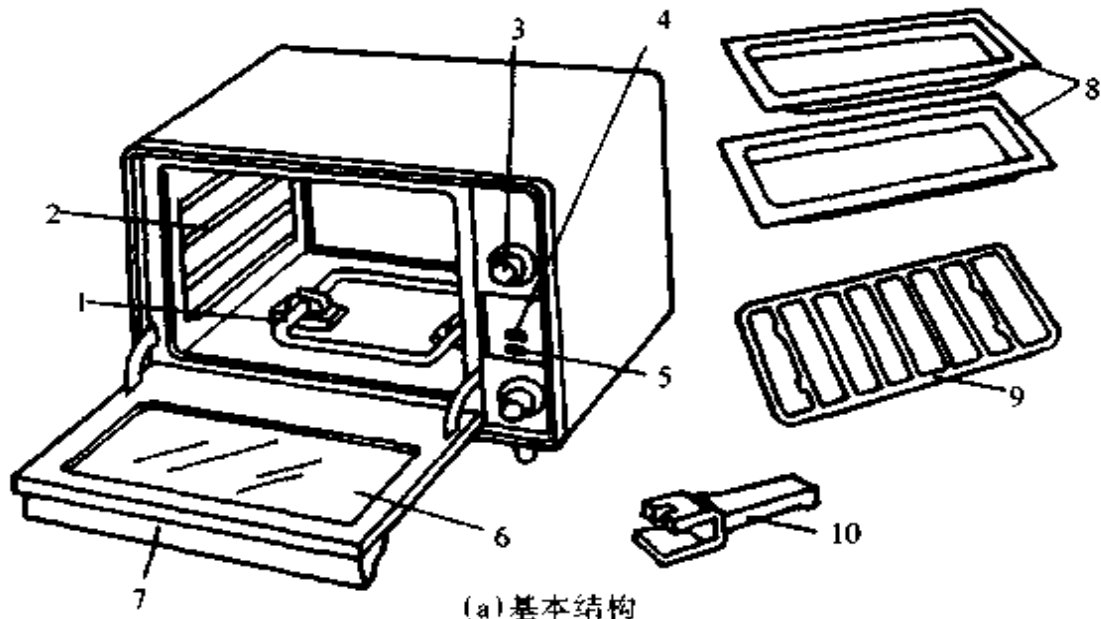
### 2.11.2 基本结构和特征

图 5.7.34 为电烤箱的基本结构及电气原理图。它主要由加热元件、控制系统、内腔、外壳和炉门组成,并附有必要的配件。

电热元件分别装在内腔的底部和顶部。通常是采用管状电热元件,表面喷涂远红外物质,元件表面负荷为  $4 \sim 6 \text{W}/\text{cm}^2$ ,表面温度设计值在  $400^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$  范围,工作腔温度不宜超过  $250^\circ\text{C}$ 。有的电烤箱采用陶瓷碳化硅或乳白色石英管状电热元件,它们同样具有热效率高、热惯性小、升温快的特点。

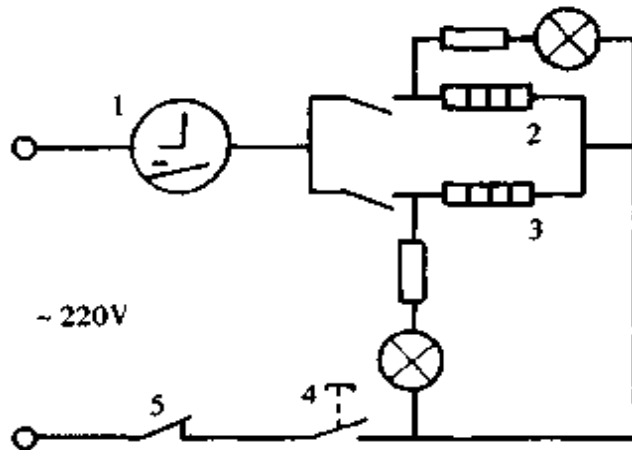
### 2.11.3 选用、使用及保养

2.11.3.1 选用 购买食品电烤箱,首先考虑选用的品种,电烤箱有普通型、自动恒温型和电脑控制型三种。普通型电烤箱结构简单,价格低,但用起来不方



(a)基本结构

- 1—加热器 2—烤架 3—调温旋钮 4—上加热指示灯 5—下加热指示灯  
6—炉门玻璃 7—门把手 8—烤盘 9—烤网 10—柄叉



(b)电气原理

- 1—定时器 2—发热元件(上) 3—发热元件(下) 4—门开关 5—控温器

图 5.7.34 电烤箱的基本结构及电气原理图

便,掌握不好,容易把食物烤焦。一般家庭购买自动恒温型或电脑控制型的电烤箱较理想。它具有使用方便,能烤出味香、色好的食品。

其次是选择规格大小。电烤箱的规格是以其耗电功率和容积表示的,如表 5.7.22 所示。

为满足烘烤要求,可选用 900W 以上的自动恒温电烤箱。它具有升温快、热损耗少的优点。

电烤箱的外观选择,主要注意炉门是否严密,观察玻璃是否光洁明亮,各旋钮操作是否灵活自如,外表油漆是否光亮平滑,手感好。



表 5.7.22 电烤箱的规格及参数

型 号	额定电压(V)	额定功率(W)	内腔容积(L)	热损耗(W)
CKF1-05	220	500	10	160
CKF-06		600	12	190
CKF-06B		400/600	12	128/190
CKF-09B		600/900	18	190/280
CKF-12		600/1200	24	280/360
CKF-20		2000	40	500
CKF-30		3000	60	600

2.11.3.2 使用 电烤箱所用的电源插头的电流容量应在 5A 以上,并有牢靠的接地线。

在使用前,应仔细阅读产品使用说明书。各产品制造厂的说明书都列出了烘烤不同种类食物的温度、时间选择表格,如表 5.7.23 所示。

表 5.7.23 常用食品烘烤温度和时间

食品名称	烘烤温度(℃)	烘烤时间(min)
烧鸡、鹅	200~250	30~40
烤鱼	250	10~15
面包	200	8~10
曲奇饼	180	7~10
花生(去壳)	200	10~12

接通电源后,将转换开关调至满负荷,控温器调至所需温度的位置,在温度升到预定值时,指示灯熄灭。此时,可将放有待烤食品的烤盘放进烤箱,关好炉门,便开始烘烤。

烘烤过程中可通过观察玻璃窗看食品烘烤是否均匀,必要时可用柄叉调整烤盘方向,翻动被烘烤的食物。当烘烤达到预定时间后,切断电源,稍待 5~6min,充分利用余热使食品烤透。

2.11.3.3 保养 电烤箱在使用过程中,要注意防水、防潮,不要用水冲刷或用湿布擦洗各带电部件。每次使用后,应及时将炉腔、烤盘等附件擦拭干净。待干燥后,放在通风的地方。

在电烤箱烘烤食物时,各种食物、油脂等残渣可能溅到电热元件上或炉腔壁上。对于这些残渣,切勿用水冲洗或用利具去削刮。可用过热烘烤办法来清除。将控温器调至最高挡,让电热元件在此温度下工作 15min 左右或直至工作腔内污物被碳化为止。待电烤箱冷却后,便很容易清除掉这些污物。

## 2.12 三明治炉

三明治炉用于烤制三明治(Sandwich)。三明治是一种用两块面包夹上肉类、

鸡蛋、干酪或果酱等,放进三明治炉烤制出来的夹馅面包。它具有外表香脆、肉质酥软的特点,是色香味都令人满意的食品。

### 2.12.1 结构原理和特点

图 5.7.35 为三明治炉的基本结构示意图。它由模腔、电热元件、控温器和外壳组成。

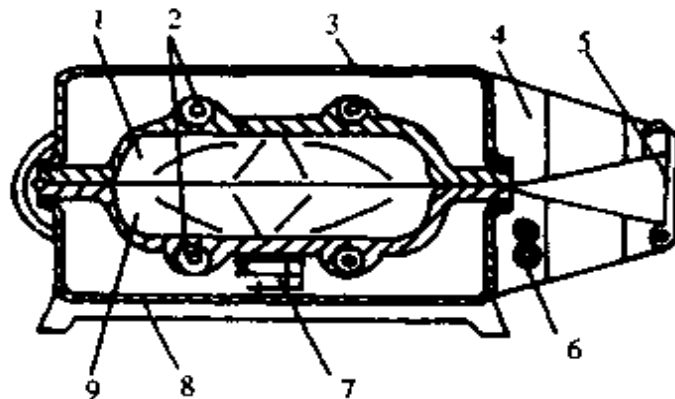


图 5.7.35 三明治炉的结构示意图

- 1—上模腔 2—电热元件 3—上外壳 4—手柄 5—压扣  
6—指示灯 7—控温器 8—下外壳 9—下模腔

模腔由上下两个对合组成,采用铝合金压铸而成。不同形状的模腔可烤制出不同形状三明治。模腔内喷涂了防粘无毒涂料——聚四氟乙烯。在模腔的背面有环形沟槽,压制着管状电热元件。电热元件与模腔板紧密地连接,传热性能好、热效率高。电热元件用低碳钢管作护套管,表面负荷为  $10 \sim 15 \text{W}/\text{cm}^2$ 。

三明治炉外壳的上、下两部分,分别罩于上、下腔模板的上面,把电热元件、控温器、电气接线等封闭成一个完整的炉体,外壳多为薄钢板,表面有装饰性保护镀层,与酚醛压塑手柄组成整体。

控温器多为双金属片式控温器,使模腔温度为  $200^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 。家用三明治炉的功率一般为  $700 \sim 900 \text{W}$ 。

### 2.12.2 选用、使用和保养

2.12.2.1 选用 三明治炉的品种、规格较单一,种类大致有立式和卧式两种,人们都习惯用自动恒温卧式三明治炉,它不会因过热而烧焦食物或造成电热元件损坏。

三明治炉的规格主要以功率表示,有  $350$ 、 $450$ 、 $500$ 、 $700$ 、 $800$ 、 $900$ 、 $1000 \text{W}$ ,模腔有  $2$ 、 $4$ 、 $6$ 、 $8$  格,每次可烤制出  $2 \sim 8$  块三明治。

2.12.2.2 使用 使用三明治炉时应先仔细阅读使用说明书。一般对于如何烤制出美味的三明治,都有详细的说明。

在第一次使用三明治炉时,宜用食油均匀地涂抹在模腔内,合上两个模腔后接

通电源,指示灯亮,待控温器第一次动作切断电源,绿灯亮时,打开上盖,立即把预先准备好的有馅料的两块面包片放入模腔内,合上盖子。若炉盖难于关合,说明所用的面包片太厚,此时,应减少馅料。三明治炉开始工作,应根据制作不同的三明治,采用不同的烤制时间。一般情况下,从控温器接通电源到第二次动作切断电源,即在三明治炉进入保温阶段,便可认为烤制结束。打开盖,用竹夹或筷子取出食品。

每次烘烤结束,应先切断电源,待冷却后再清理各种残渣油污等物。

2.12.2.3 保养和注意事项 在使用过程中,切勿用手触摸上、下模腔及外壳表面,以免烫伤。

放入或取出三明治时,切勿使用利器,以免损伤模腔上的防粘涂层。

不应在过度潮湿的地方使用和贮藏三明治炉,以确保安全和延长其使用寿命。

## 2.13 洗碗机

洗碗机是利用叶轮或喷射嘴的机械物理作用和洗涤剂的化学作用,使餐具清洁、干燥消毒的现代家庭厨房器具。

### 2.13.1 型式和分类

洗碗机的型式和分类见表 5.7.24。

表 5.7.24 洗碗机的分类

分类项目	型 式	特 征
整体结构	嵌藏式、落地式 轻便式 水槽式	固定安装或装于橱柜中,安装后不能移动 带有脚轮备有较长水管及电线,能灵活改变使用位置 在机顶安装有水槽,固定供、排水及电源
开门位置	前开式 顶开式	门从前打开,并可拉出洗碗格架 门从上打开,碗碟从顶上进取出
洗涤方式	叶轮式 喷射式 超声波式	底部装有叶轮,溅起水花飞溅各方 由水泵将水从喷臂上喷出 超声波换能器清洗餐具
控制功能	全自动型 电脑控制型	由机械定时器程序控制各部件运转 由单片机组成程序控制

### 2.13.2 基本结构

自动洗碗机是使溶解洗涤剂的热热水高速射向待清洗的餐具,洗涤后自动排水、更换净水清洗,然后由热空气将餐具吹干,最后起动消毒器进行消毒。

洗碗机的主要结构由安放餐具的网架、喷射机构、电动机、供排水系统、洗涤剂操纵机构、程序控制器、选择开关、安全装置和电热元件、内外箱体等组成,如图 5.7.36 所示。

(1) 叶轮式洗涤机构。叶轮由电动机带动旋转,将水向机内各方向喷溅出去,

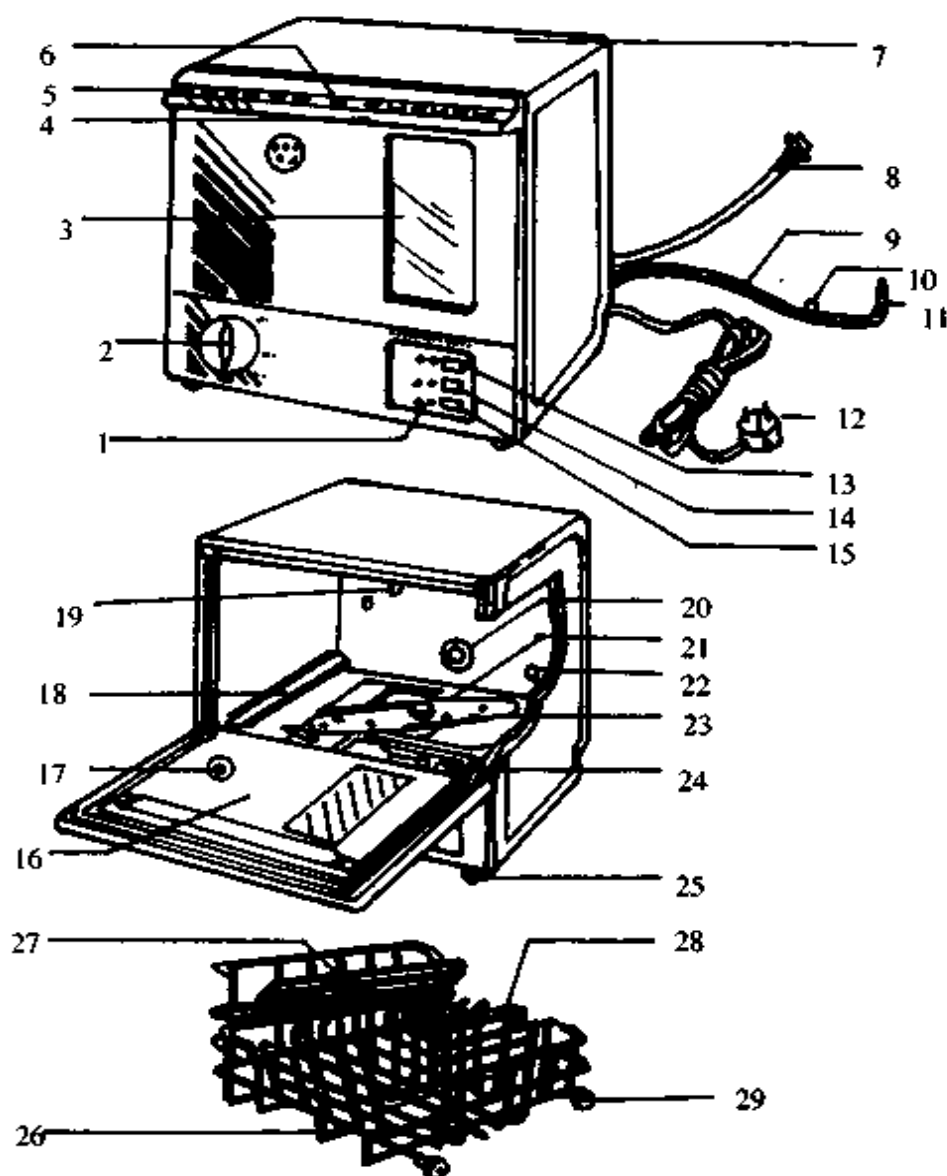


图 5.7.36 家用全自动洗碗机的外形和结构示意图

- 1—选择开关 2—程控器旋钮 3—观察窗 4—门扣 5—排气口 6—把手 7—外壳  
 8—进水管 9—排水管 10—吸盘 11—弯头 12—电源线及插头 13—65℃按钮  
 14—55℃按钮 15—常温按钮 16—机门 17—门内板凹坑 18—导轨  
 19—漂洗剂供料装置 20—通气口 21—加热器 22—进水口 23—喷臂  
 24—过滤器 25—机脚 26—碗架 27—杯架 28—刀叉网篮 29—滚轮

起洗涤作用。

(2)喷射式洗涤机构。循环水泵将滤过的水抽进喷臂,从喷臂上的许多喷嘴喷出,水的喷射方向与喷臂倾斜成一角度,在反作用力的驱动下喷臂快速旋转,使水不停地改变喷射方向,喷到所有碗碟上。

(3)网架放置待洗涤的碗碟,各种餐具的排列应能使水顺利淌流,不应有积水的部位。

(4)供、排水系统。自动洗碗机的注水是通过电磁进水阀来控制的,并由定时器

控制电磁阀的启闭时间,达到每次加水量相同。洗涤后的水由水管或排水泵排出。

(5)自动洗碗机的程序控制器。机械式定时器是通过微型同步电动机驱动一系列凸轮,改变各触点的通断,以控制主电动机、水泵、电磁阀、排水阀、洗涤剂杯及电热元件。

(6)安全装置。压力开关是洗碗机的一种溢流保护装置。门盖联锁开关亦是一种安全装置,只有门盖关好,才能接通电源,使洗碗机正常运转。

洗碗机的加热器采用管状电热元件,装在桶的底部,将洗涤用水及冲洗用水加热至所需的温度( $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ )。消毒用电加热器装于桶的中、顶部。水用加热器的功率为 $600 \sim 1000\text{W}$ ,消毒用加热器功率为 $750\text{W}$ 。

### 2.13.3 选用、使用和保养

2.13.3.1 选用 洗碗机的种类繁多,可根据家庭情况来选择固定式或是移动式。一般情况,移动式洗碗机较适宜于家庭使用。

目前,市场上出售的洗碗机大多为前开式,拉出洗碗格架,装取餐具方便,且顶部不开门,用户可较好地利用空间。

规格上的选择,洗碗机以耗电功率和容积大小来表示。

洗碗机的电加热器功率有 $600\text{W}$ 、 $700\text{W}$ 、 $800\text{W}$ 、 $1000\text{W}$ 。有效容积有:24L、30L、32L、36L、45L、56L等几种。可根据家庭人口的多少选择。人口少,选择小容积;人口多或集体使用,可适当选择容积大的洗碗机。

其他方面的选择,如水喷射是否均匀有力、洗涤情况、放碗碟方便与否,可在对比试机时确定。外观新颖,漆层光洁平滑,无划痕亦应加以考虑。

2.13.3.2 使用 在第一次使用洗碗机时,应仔细阅读产品使用说明书,辨明各部件的位置及其作用和功能。

洗碗机的洗涤过程是由定时器程控器来确定的。洗涤程序有:预洗—正式洗涤—净水清洗—热水清洗—干燥消毒。

只要认清洗碗机各操作旋钮的功能,启动该旋钮,便能方便地清洗各式餐具。在使用中应注意:

洗碗机的额定功率较大,应尽量采用专用的电源插座,并有可靠的接地线。

洗涤的餐具中切不可带有牙签、骨刺等硬物,以防堵塞过滤网或妨碍喷嘴旋转,影响洗涤效果,米饭、面包屑等亦易堵塞过滤网。因此,这些残渣杂物应预先倒清,再用洗碗机洗涤。

把要清洗的碗、碟、杯等餐具放入洗碗机的金属网架上,放置的位置要妥当,以免积水,不利于干燥消毒。各餐具之间应有间隙,不得重叠,均须竖置,以防水滴存底。

不耐热的塑料或高级漆器类餐具,在洗涤后会变形,一般不宜用洗碗机清洗。

2.13.3.3 保养 洗碗机内、外部必须保持清洁,定期地对槽内除臭,过滤器

要经常用刷子刷去污垢积物。

洗碗机的电气控制部分切忌淋水清洗,以免发生漏电事故。

为提高洗净效果,洗碗机均采用热水,要消耗一定的电能。尽管功率较小,如加上干燥消毒所需的电能,还是十分可观的。全天集中清洗或采用自然通风干燥的办法,可大大地降低耗电。

## 2.14 电子消毒柜

电子消毒柜是利用微生物很容易吸收远红外热而致死的原理制成的新型家用消毒器具。

### 2.14.1 型式和规格

按消毒源的不同,消毒柜有臭氧消毒柜和远红外消毒柜两种。其型式和规格见表 5.7.25。

表 5.7.25 电子消毒柜的型式和规格

项 目	额定电压(V)	额定功率(W)	容积(L)	工作温度(℃)
臭氧消毒	220	150、250	14、16、18	室温或 40
远红外消毒		750、900、1500、2000	20、26、32、38、45、50	125

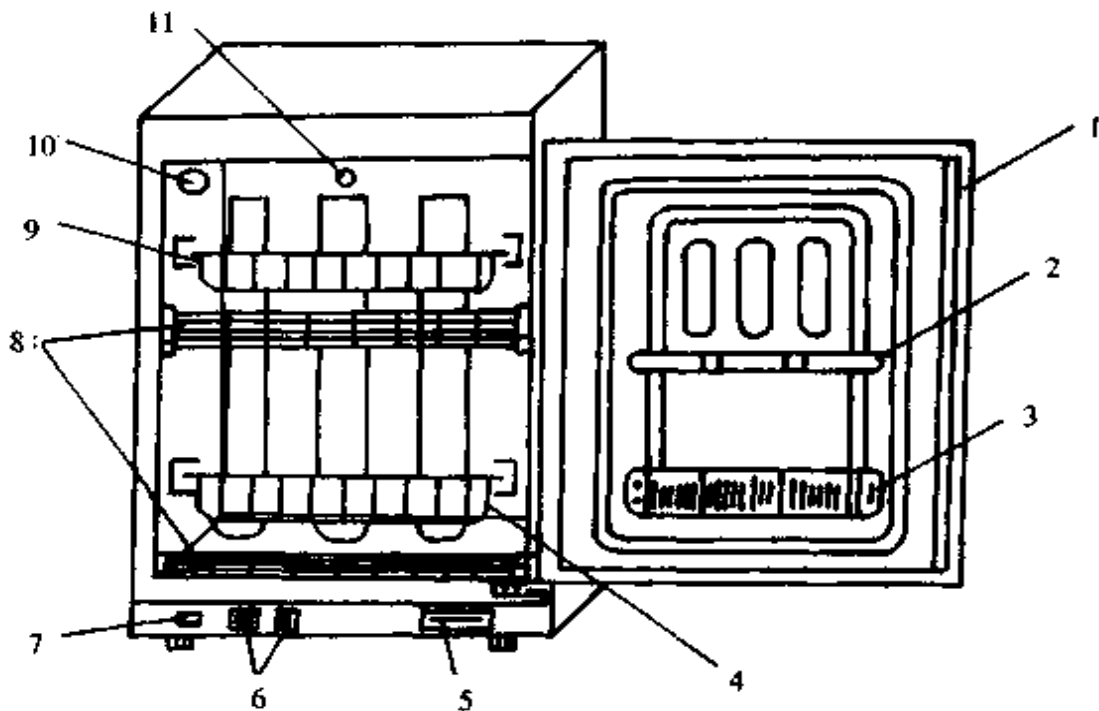
### 2.14.2 基本结构

**2.14.2.1 远红外线高温消毒柜** 图 5.7.37a 为高温消毒柜的结构示意图。它主要由箱体、门、碗碟架、电热元件、限温器及其控制系统等组成。把清洗好的餐具放置在消毒柜内的碗碟架上,关门后按下启动按钮,中间继电器通电,接通远红外线电热元件,使箱体温度不断上升,细菌很容易吸收远红外热源而致死,当箱体内温度上升到 125℃ 时,限温器动作,中间继电器切断电热元件的电源,保温 20min 左右,使餐具充分消毒。

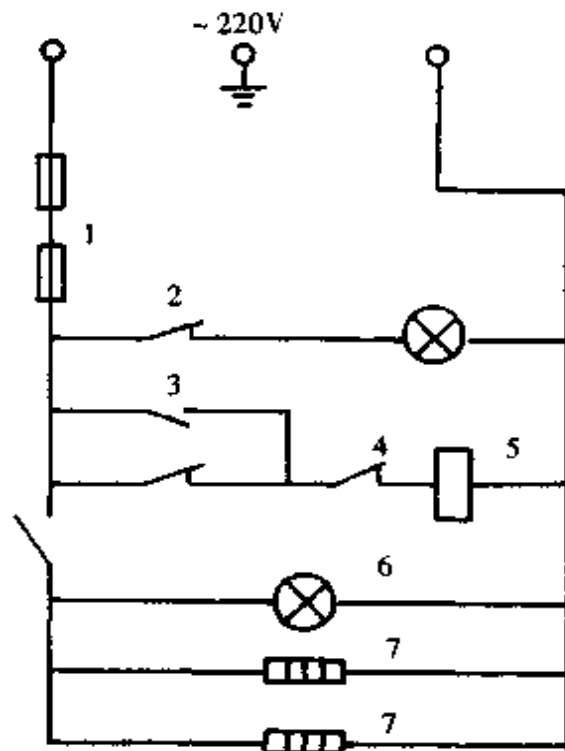
箱体和门采用聚氨酯材料作隔热层,这种材料导热系数仅有 0.026W/(m·K),保温性能好,使箱体温度保持时间长,而箱体和门表面的温度低,不致烫伤使用者。

**2.14.2.2 臭氧消毒柜** 它的基本结构和外形与远红外线消毒柜相似。它由箱体、门、碗碟架、臭氧发生器、定时器、电热元件、风机等元件组成。

当清洗干净的餐具放置在碗碟架上后关门,把定时器旋钮转到适当位置,接通臭氧发生器和远红外电热元件的电源,按规定的程序进行消毒、烘干,风机使箱体内臭氧保持均匀而无死角,使餐具消毒彻底。这种低温消毒适用于各种餐具,但餐具上会留有少许臭氧异味。



1—上门 2—上筷架 3—下筷架 4—碗碟架 5—接水盒 6—指示灯  
7—按钮 8—发热元件护网 9—电热元件 10—限温器 11—气孔



1—热熔断器 2—控温器 3—启动开关 4—控温器 Q125  
5—继电器 6—电源指示灯 7—发热元件

图 5.7.37 消毒柜的结构及电气原理图

### 2.14.3 选用、使用及注意事项

2.14.3.1 选用 首先根据家庭情况选择电子消毒柜的类型。高温消毒柜具有直观、消毒效果好的优点,其缺点是为使箱体内温度场均匀,提高消毒效果,故耗能较大。就750W功率来说,每天用一次,便需耗电0.4kW·h,每月耗电12kW·h。臭氧消毒柜为低温消毒,耗电少。如何控制臭氧浓度及采用合理的消毒时间以及去除臭氧所产生的异味,须靠使用经验。

碗碟架的选择要从实用出发。在有限的箱体内,哪一种电子消毒柜能放下较多的碗、碟等餐具,便可选用这种碗架设计合理的产品。

产品的外观质量选择同样不能忽视。外形美观、光滑平整,不应有凹痕等缺陷。

2.14.3.2 使用及注意事项 电子消毒柜的安放可根据居室及厨房的情况来定。若悬挂在墙上时,一定要安装牢靠。各产品制造厂的使用说明书都规定了安装方式及必要的安装配件,一定要按说明书的要求进行安装。

高温消毒柜均有接地要求。在安装时,必须把机内的接地线牢靠地接地,以确保使用安全。安装妥善后的消毒柜,最好不要随意搬动。

碗碟应侧放在碗碟架上,以有利于积水流出和烘干,不应平放,否则,日久后餐具会出现黄色。清除黄斑是很费事的,一般可将发黄的餐具浸泡在水中,并滴入酸性洗涤剂,轻擦几次便可消除餐具发黄现象。在放置碗碟餐具时,应切断电源,以确保安全。

把餐具放好并关门后,接通电源,启动按钮,餐具便在箱体内进行消毒。在工作过程中不宜开门,这样会影响消毒效果,特别是臭氧消毒柜,同时增加了耗电。

定期清洁箱体内外,有助于增强消毒效果。

## 2.15 吸排油烟机

吸排油烟机是一种用来调节和改善厨房环境和净化空气的新型家用电器。它具有噪声小、耗电省、吸排油烟效果好等特点。

### 2.15.1 型式和分类

吸排油烟机的分类如表5.7.26所列。

表5.7.26 吸排油烟机的分类

分类项目	型 式	特 征
净化方式	外排式 循环式 混合式	将油烟污染的空气排出室外 将油烟污染的空气经过滤装置后,排至室外 空气过滤装置可装可拆除
风道	单风道 双风道	只有一个抽风系统 有两个抽风系统
控制功能	普通型 自动型	只有开关起动,无报警装置 有自动保险报警装置



吸排油烟机均装有排气导管,其内径有 100mm、150mm、200mm 三种。

### 2.15.2 基本结构

图 5.7.38(a)为吸排油烟机的结构示意图。它主要由电机、风轮、风道和外壳组成。

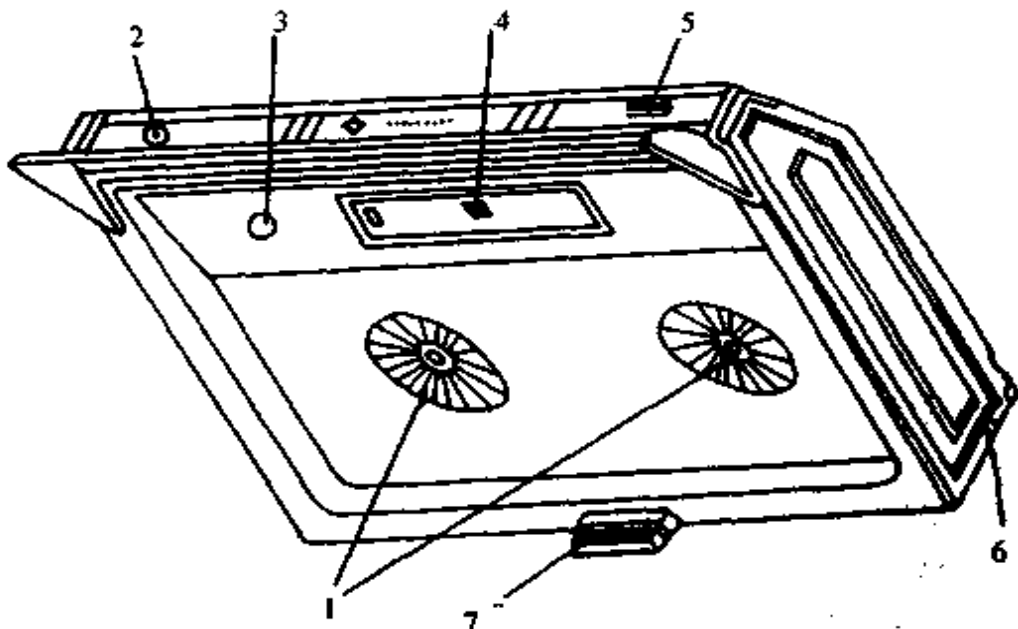
(1)风轮。由电机驱动旋转,在风道内形成真空,将污染的空气吸入,并把油雾分离、收集,通过排气口把气体排出室外。

(2)电机。吸排油烟机所采用的电机大多数为电容式双电机,电机轴承一端是含油轴承,另一端是滚珠轴承。

吸排油烟机所采用的风轮为离心式的,风叶结构有后向风叶、前向风叶和涡轮喷射风叶三种,但大多采用涡轮喷射风叶结构。具有设计合理、性能指标符合标准规定,与电机匹配效果好的特点。风道与外壳组成涡壳风道,采用塑料整体结构,涡壳基本上采用双曲线风道。涡壳形状对油烟机的空气动力性能有很大影响,其曲线有对数螺旋线、渐开线、双螺旋线、阿基米德螺旋线等。在给定转速下,应使风量、风压、功耗、噪音、效率等参数有最佳配合。

### 2.15.3 选用、使用和保养

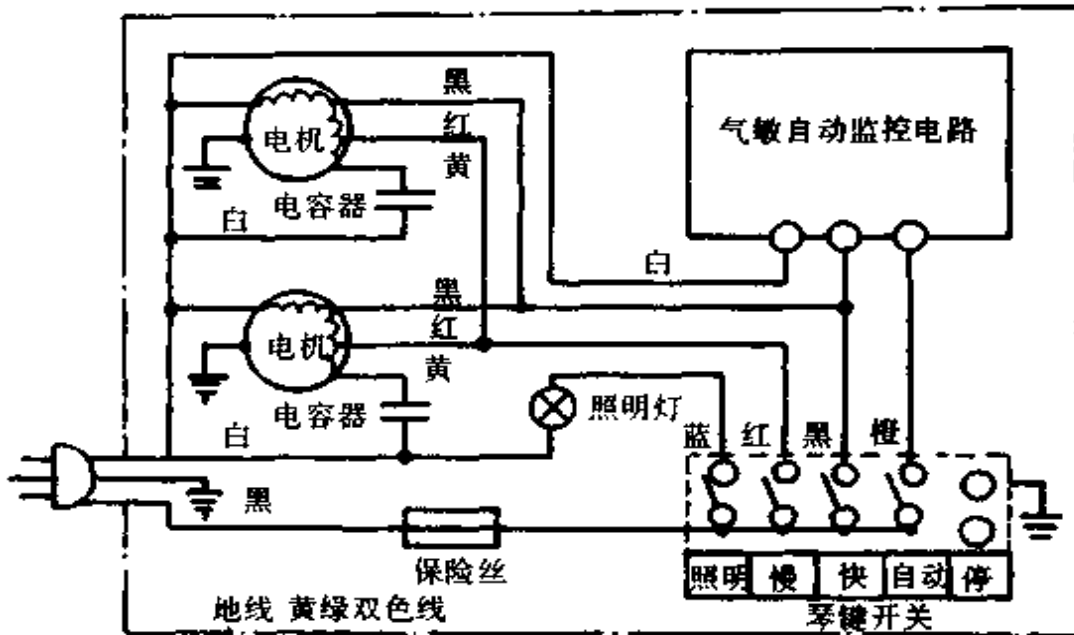
2.15.3.1 选用 市场上吸排油烟机大多数为普通型和自动型两种,且均是双风道结构的,消费者可在这两者间作选择。



(a)结构示意图

1—左右风道 2—报警指示 3—气敏感头  
4—照明灯 5—琴键开关 6—悬挂支架 7—集油盒

图 5.7.38 (图题见下页)



(b) 电气原理

图 5.7.38 吸排油烟机的结构及电气原理图

在购买时应注意:拆开外包装箱后,先检查机体表面漆层或喷塑层有无裂痕、气泡等。再检查随机附件、使用说明书、产品合格证等。最后,接上电源进行试机。先按照明按钮,看灯光是否正常;再按各个启动按钮,看电机运转是否正常。一般可选慢挡进行启动,看电机是否可正常运转,空气吸排是否畅通。

2.15.3.2 使用 吸排油烟机应安装在污浊气源的上方,安装高度,一般是距炉灶平面 750~800mm 的地方较为适当。安装过高,吸油烟效果欠佳;安装过低,易与烹调者的头部相撞,影响操作,且距离火焰太近,容易导致粘附油污起火。

用冲击钻在墙上打孔,两边的孔必须保持在同一水平位置,用螺钉安装牢固,并使机身有 5° 的自然仰角。

排气管要通到室外,若随机所带的排烟管不够长时,可自行加接。

普通型的吸排油烟机有四挡琴键开关,即开灯、慢速、快速、停,或五挡琴键开关,即开灯、左、右、双、停。自动吸排油烟机的五挡琴键开关是:灯、慢、快、自动、停。用户可根据实际需要使用自由选择。

自动型吸排油烟机按下“自动”按键时,绿色灯亮,气敏自动监控系统投入工作。当室内油烟及有害气体浓度达到动作值时,报警器便发出蜂鸣声,红色灯亮,抽风系统投入工作,直至室内有害气体浓度低于动作值时自动停止抽风。

2.15.3.3 保养 由于吸排油烟机工作环境条件差,各种油污、有害气体对各部件有腐蚀作用,故定期地清除油污是必要的。可喷上油烟机专用清洁液后,用半干湿布擦拭之。已有简便拆、装结构的新型吸排油烟机,其清洗问题便简单多了。有的产品在叶轮、风道(涡壳)涂上聚四氟乙烯,可减少油污的粘附。

## 2.16 多功能食品加工机

多功能食品加工机又称切碎机或电动万能搅拌器。它配有多种刀具,可根据需要,快捷、准确地将各类食品切成片状,而且切出的食物厚薄均匀,是家庭饮食炊事的好帮手。

### 2.16.1 型式和种类

多功能食品加工机有多速、无级调速和自动控制三种型式。

多功能食品加工机的规格多以其耗电功率的大小来表示:如 125W, 150W, 180W, 200W, 250W 等。

### 2.16.2 基本结构

图 5.7.39 为多功能食品加工机的结构及附件图。它主要由电动机底座、容器、盖、进料管、切刀及各种备用刀具等构成。

电动机装在底座里,采用串励式通用电动机,它具有转矩大、速度快的特点。容器是用高强度透明玻璃制成,放在底座上。切刀及容器下部的搅拌盘套在电动机的转轴上。盖用透明的有色玻璃制成,可透过盖而看到食物加工情况,盖上的进料管及导管,可随时加入食物,并将食物推落在转动的切刀上。

切刀和刀盘都是用金属制造的,并能装备在电动机底座上。切刀、刀盘是非常锋利的,在不用时,应放在工具箱或盛物架上,以防损伤或丢失。

多功能食品加工机的控制器比较简单,用琴键开关控制电动机的转速。电动机用抽头调速、电抗器调速或晶闸管调速。

多功能食品加工机的驱动方式有直接驱动和间接驱动两种。直接驱动是把切刀和刀盘直接装在电动机的转轴上;间接驱动是通过皮带式齿轮传动装置。直接驱动方式结构简单,但驱动力小,适用于功率小的加工机。间接驱动式结构复杂,驱动力大。一般大型食品加工机多采用间接驱动式。

### 2.16.3 选用、使用和保养

**2.16.3.1 选用** 从需要出发选择适用的机种、规格。在购买时,应先检查器具的外观,塑料件有无破裂变形,各种切刀、刀盘是否齐全,装拆、更换是否方便以及刀刃是否锋利等。

然后通电试运行。接通电源后,检查有无漏电现象。按动琴键开关时速度调节是否灵活,以调节范围大、电动机噪音低、振动小为好。

**2.16.3.2 使用** 首次使用加工机时,应仔细阅读产品使用说明书,要认清各操作旋钮、刀具的安装方法等。

使用食品加工机时,应将其放置在平稳的工作台面上。然后根据加工的需要配备刀具,如叶片刀用于切碎、刮泥、搅拌;切刀用于瓜果、萝卜、土豆、冻肉等切片;切丝刀用于瓜果、茎菜切丝。盛料缸用于承接切好的食品。

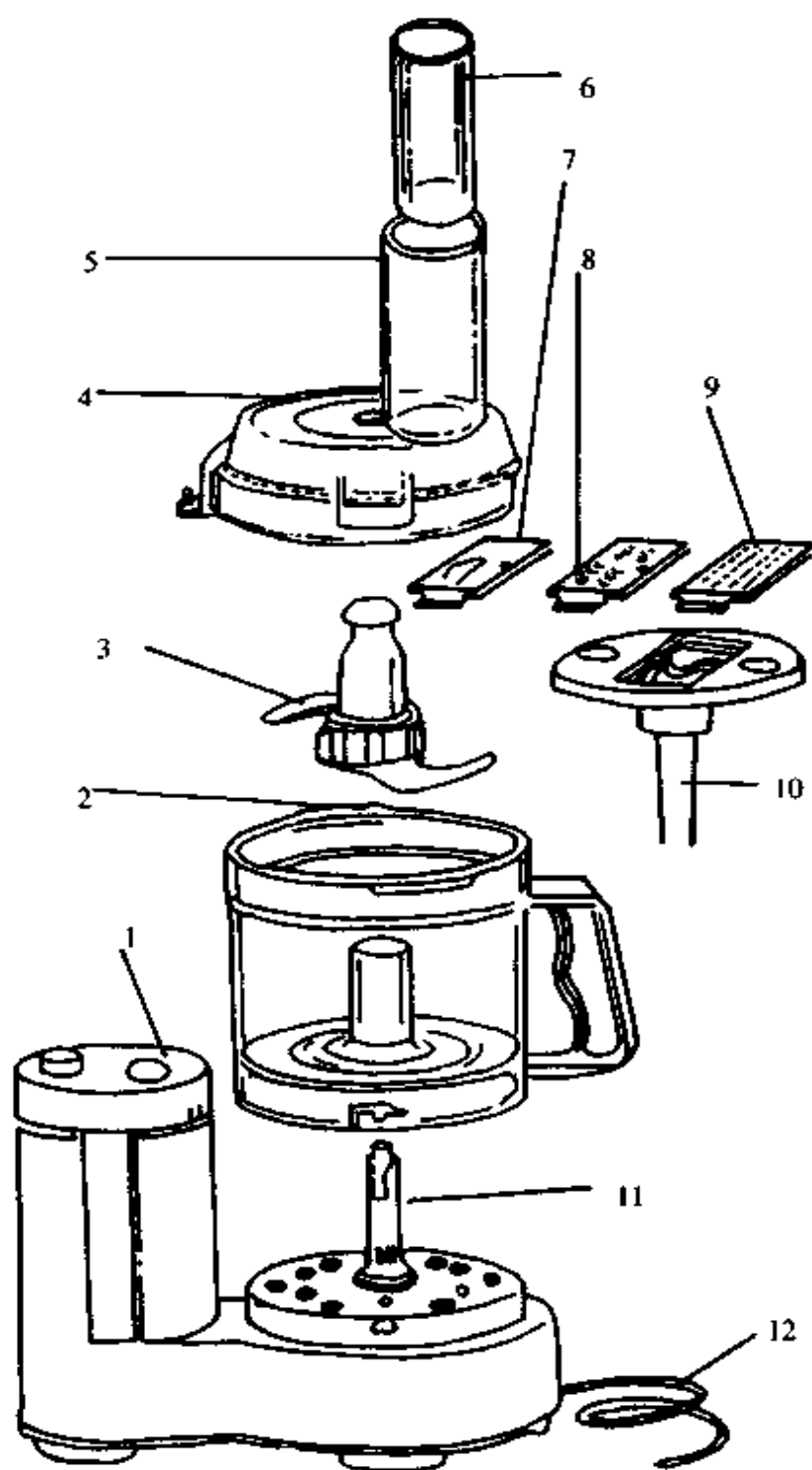


图 5.7.39 多功能食品加工机的结构拼装图

1—底座 2—容器 3—叶片刀 4—盖 5—进料管 6—导管 7—切片刀  
8—切丝刀(粗) 9—切丝刀(细) 10—刀盘 11—转轴 12—电源线

接上电源后启动开关,加工机便开始工作。运行过程中切忌空载或超载运行,千万别将手靠近切刀,以免发生危险。

食品加工机的额定工作时间及额定间歇时间为2分钟,操作时应避免过度切碎或过度搅拌等现象。

肉类加工前应将皮和屑去掉,加工其他食品也应先去壳或较硬部分,过硬的物料不宜放入加工。

2.16.3.3 保养 要经常保持刀片、切盘、容器的清洁,每次使用完毕后均应进行清理。简单的方法是在容器内加入热水(40℃~50℃)和少许洗涤剂,启动电动机搅拌一下,去除污物残渣,最后用干布抹拭干净。清洁时,不能把底座放在水中清洗,以免损坏电动机的绝缘而造成漏电事故。

对电动机的轴承部位应定期加润滑油

## 2.17 电动食物搅碎器

它是由电动机驱动容器内的刀片高速旋转搅碎食物,或驱动搅拌棒均匀搅拌食物的一种电动厨房器具。

### 2.17.1 型式和规格

家用搅碎器按功能分有:干搅碎器——主要搅碎固体食物,如大豆、咖啡豆、花生等;湿搅碎器——主要混和、搅碎多种液体或浸液固体食物;家用食物搅碎器——同时具有干、湿搅碎器两种功能

搅碎器的规格,按制造厂规定的额定容量划分。

干搅碎器:40g、50g、60g、100g及以上。

湿搅碎器:600ml、800ml、1000ml、1200ml、1800ml。

### 2.17.2 基本结构

电动食物搅碎器由容器和底座组成,如图5.7.40所示。容器由容器杯、盖、刀片和耦合器等组成。通过耦合器可使容器杯与底座自由嵌合或分离,杯体用耐热玻璃或无毒塑料制成,在内表面有凸棱,使食物翻转自由、搅拌均匀。

底座由电动机和调速装置组成,所用的电机多为单相串励通用电动机。这种电动机体积小、重量轻,起动转矩大,调速方便,可直接起动,机械

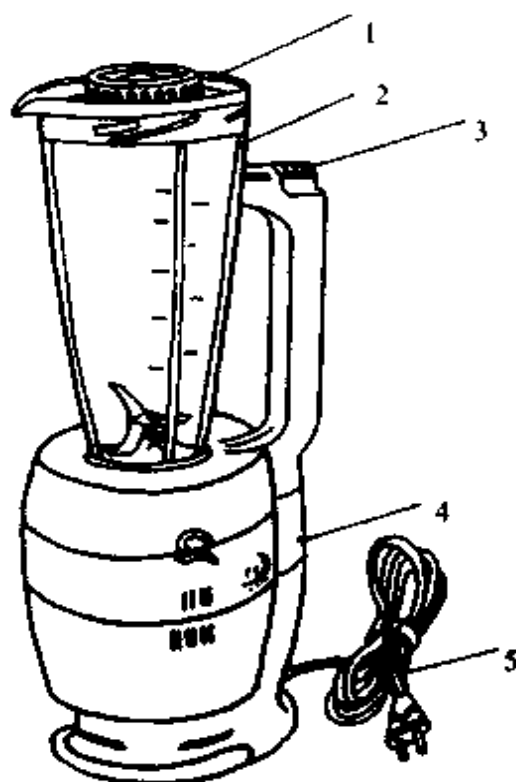


图 5.7.40 电动食物搅碎器的结构示意图

1—盖 2—容器杯 3—开关

4—底座 5—电源线

特性软,转速高,效率和功率因数好。单相通用电动机的额定转速一般在 4000~22000r/min,而搅碎器用的单相通用电动机的转速在 12000~18000r/min 之间,空载时转速高,负载时转速在 12000r/min 左右。在作搅碎用时,电动机与刀片直接耦合。在作搅拌混合用时,电动机则通过齿轮减速装置作用于搅拌棒上。

### 2.17.3 选用、使用和保养

2.17.3.1 选用 根据家庭使用要求,选择适宜的家用电动食物搅碎器,若专用来制作蛋糕,作鸡蛋混合用时,宜选择手提式或座式食物搅拌器。因非经常使用,故用手提式搅拌器。这种搅拌器具有轻巧,使用方便灵活,容易收藏,价格低的优点。若既用来搅碎肉片,又用来磨咖啡、胡椒、黄豆等时,宜选择多功能搅碎器。

按电动食物搅碎器国家标准,搅碎器的规格以容器的容积大小来表示,相应的耗电功率有:50W,60W,75W,85W,100W,125W 等,一般家庭宜选择 600~1000ml,电功率为:60~85W。若家庭人口多,常用来碎肉、碎粉、打豆浆用,应选用规格较大的电动食物搅碎器。

在购买时,应先检查器具外观,开关操作等,然后通电试机,用手去接触时,不应有麻电现象,电动机应运转平稳,振动小,噪声小。

2.17.3.2 使用及保养 将容器杯体插入底座轴上,此时,电动机轴直接带动刀片旋转。

将待搅碎的食物倒进容器杯体内,应注意一次投量不宜过多,否则,电动机会因负荷过重,发生堵转而损坏。

接通电源后启动开关,电动机带动刀片高速转动,不断地把食物搅碎。若进行干搅碎,操作方法最好是转动几秒,停几秒,周而复始地把食物搅碎。

若进行湿搅碎时,启动开关,使电动机转动几秒,停机后加少许水并翻动,再启动开关一停机,如此反复不断把食物搅碎。操作连续运转时间,一次不宜超过 2 分钟。

搅碎结束,拔出电源插头,切断电源。然后,取出容器杯体,倒出食物,并清洗干净。在清洗时,可将刀片取出,更容易清洗干净。切勿用水去冲洗底座,以免影响电动机绝缘。

使用日久,应对转动部位、轴承等加润滑油。整流子部位用酒精清洗干净。必要时,更换电刷,使电动机保持良好的运转状态。

## 2.18 室内取暖用电加热器具

### 2.18.1 型式和分类

室内取暖用电加热器具的型式和分类如表 5.7.27 所列。

表 5.7.27 室内取暖用电加热器具的型式和分类

类别	型式		特征
间接取暖	非储热式	自然对流式	直接加热空气如对流式电暖器、充油式电暖器
		辐射式	将热空气由辐射板反射出去,如石英管红外线电暖炉
		强迫对流式	热空气由风扇吹出去,如暖风机、PTC 暖风机
		复合式	自然对流与强迫对流两种组合在一起,如带风扇的石英管电暖器
	储热式		将热量储存起来的,如储热式电暖器
	柔软性		加热元件是柔软的,如电热壁毯、地毯
	中央取暖系统		与中央空调系统配套的加热器
直接取暖	电热毯	控制方式	普通型 加热温度不能控制
			调温型 加热温度可以调节
			保护限温型 加热温度有限制保护
	电工作业	安全电压	工作电压在 36V 以下
		市电压	工作电压为 220V
	其他		电热被、电热垫

按电热元件的外形结构分如表 5.7.28 所列。

表 5.7.28 电暖器的电热元件

电热元件型式		特征
裸露型		结构简单,但不安全,必须加安全防护罩
管状型	金属管状	结构复杂,安全可靠,可改变形状
	石英管状	安全可靠,易碎,热效率高
	陶瓷管状	安全可靠,热效率高
板状型	罩壳式	把电热元件包覆在板壳内
	铸板式	将电热元件铸在铁(或铝)板上
	碳化硅	碳化硅发热元件制成板状
带状	电热带	元件呈带状,质地柔软,热面积大,效率高,能缠绕在各种物件上
	电热线	元件为绳状,质地柔软
片状	电热片	元件为薄片状,再弯成各种形状
	电热圈	它是电热片制成圆筒形状

## 2.18.2 基本结构

2.18.2.1 对流式电暖器 它是一种以自然对流方式进行热交换的电暖器,如图 5.7.41 所示。它由电热元件、壳体和网罩等组成。工作过程是:冷空气由下方进气口 1 进入,经电热元件加热的空气从出气口 2 排出,而较冷的空气不断地从进气口补充。这样反复循环,使室内空气温度提高。一旦进气口被堵塞或环境温度过高时,控温器便自动切断电热元件的电源。功率调节器可以增减电热元件的

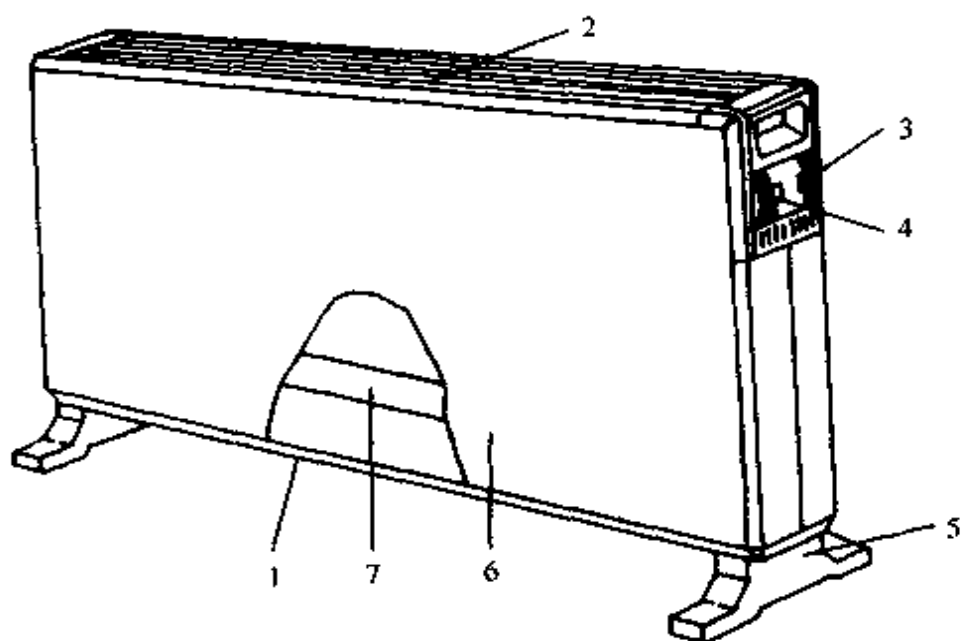


图 5.7.41 对流式电暖器的结构示意图

1—进气口 2—出气口 3—功率调节器  
4—温度调节器 5—支脚 6—壳体 7—电热元件

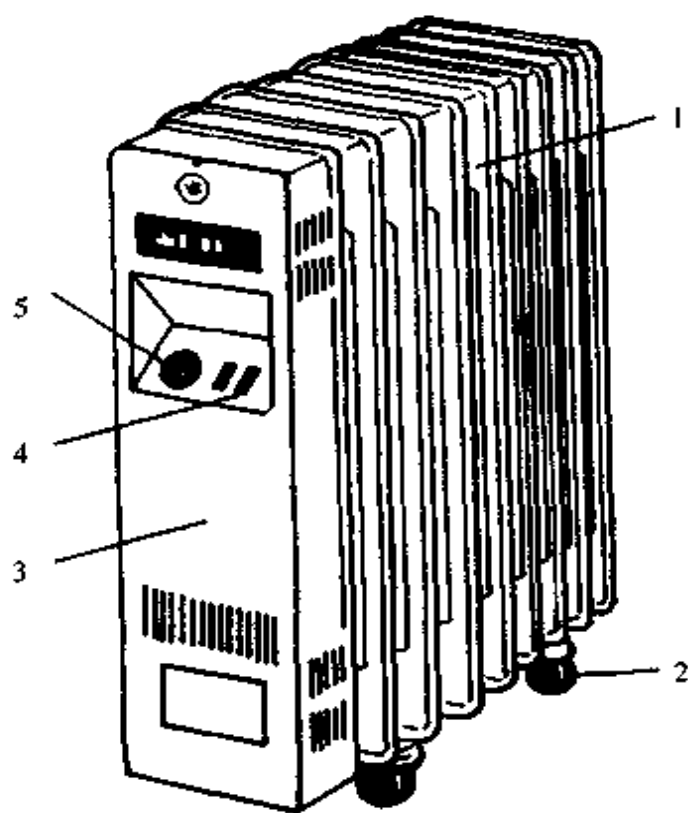


图 5.7.42 电热油汀的结构示意图

1—散热片 2—脚轮 3—控制器外壳 4—开关 5—控温器旋钮



加热功率。电热元件与壳体有一层附加绝缘,与电热元件本身的基本绝缘组成了双重绝缘。这种电暖器安全性能好,在湿度较大的环境中亦能使用,工作过程中,宁静、无噪声。

2.18.2.2 电热油汀 是一种充油的散热式电暖器,如图 5.7.42 所示。最常见的结构是将电热元件安装在带有许多散热筋的腔体底部。在腔体内注有变压器油或类似的传热效果较好的油介质。接通电源后,管状电热元件周围的变压器油被加热,升到腔体上部,将热量传给腔体并加热周围的冷空气。经过空气冷却的变压器油下降到电热元件周围又被加热。如此反复循环,使室内温度上升。这种电暖器散热面积大,电热元件加热效果显著。变压器油的温度是由温度控制器来控制的,当温度达到整定温度时,控温元件自动断开电源。电热油汀表面温度较低(一般为  $80^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ ),人体偶然触及时,不易造成严重灼伤,故热安全性好。缺点是热惯性大,升温较慢,适用于长期使用的室内加热。

2.18.2.3 辐射式石英管电暖器 石英管状电热元件,热交换方式以辐射传热为主。通常由两支石英管状电热元件、反射罩及网罩、支架组成,如图 5.7.43 所示。

石英管状电热元件由电热丝及石英玻璃管组成。接通电源后,电热丝处于红热状态,发射可见光和近红外光,套在电热丝外的乳白色无数微孔的半透明石英玻璃管吸收了电热丝发射的可见光和近红外光后,引起石英玻璃中晶格振动,产生远红外辐射。从而将热效率很低的可见光和近红外光辐射转变为热效率很高的远红外辐射光。因为人体皮肤和衣服对可见光吸收能力较弱,而对远红外光的吸收能力较强,并能使之立即转变为热能,故使人感到暖烘烘的。

反射罩由铝板弯曲成型,经电解抛光、阳极氧化处理,具有反射特性好、耐腐蚀等优点。亦有用不锈钢薄

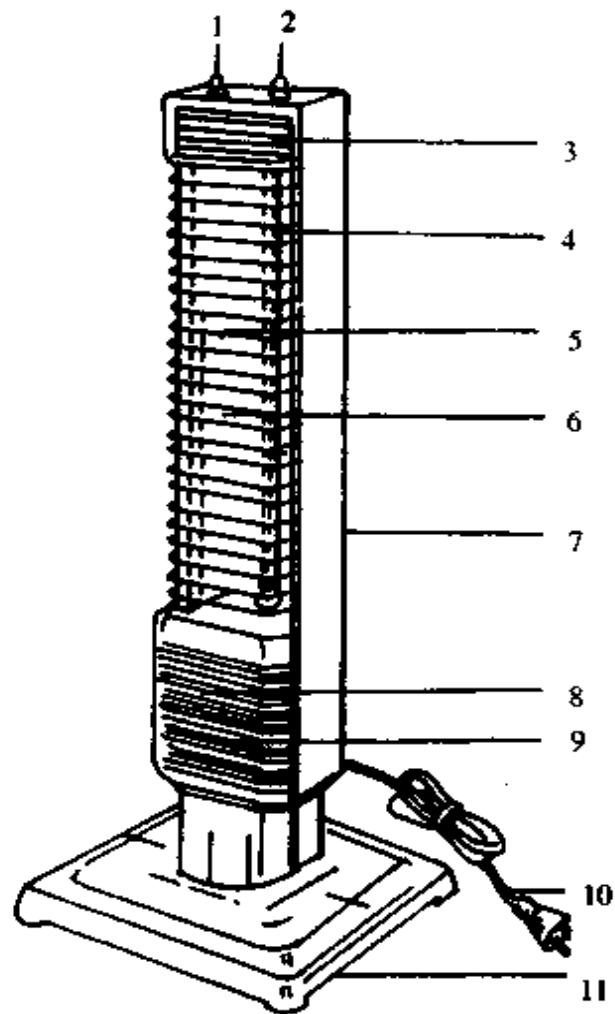


图 5.7.43 辐射式石英管电暖器的结构示意图

- 1—定时器 2—功率转换开关 3—出风口  
4—石英管 5—保护网罩 6—反射罩  
7—外壳 8—进风口 9—风扇  
10—电源线 11—底盘

板制成的。反射罩的弯曲形状应与石英管的位置相匹配,以取得较好辐射效果。

有的石英管电暖器带有摇头机构和定时器。

石英管电暖器外形美观,热惯性小,升温快,耐潮性好,但热辐射强度与距离成反比,适合于局部空间加热,如浴室等。

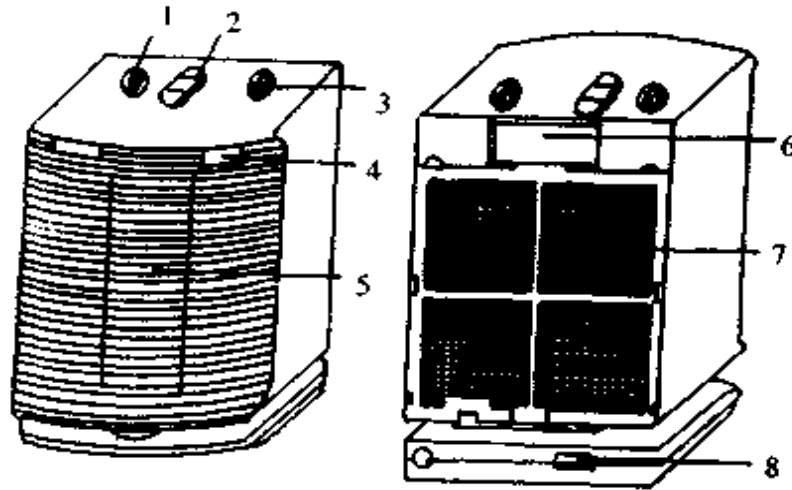


图 5.7.44 PTC 暖风机的结构示意图

1—功率旋钮 2—自动/手动转换开关 3—电源开关

4—指示灯 5—出风口 6—提手 7—后滤网 8—摇头开关

**2.18.2.4 PTC 暖风机** 它是近年来发展起来的新型恒温式电暖器,如图 5.7.44 所示。它由 PTC 发热元件、风机及控制元件组成。利用风机强迫空气流经 PTC 电热元件,使其被加热后排至室内空间,使室内温度升高。具有无明火、自动恒温、省电耐用、安全可靠、不受电源电压波动影响等优点。

PTC 是一种具有正温度系数的钛酸钡陶瓷电热元件。通电的瞬间,电阻小,电流大,升温速度快,当温度达到某一设计温度(居里温度)时,电阻值会增加几个数量级,电流下降,使温度不再继续上升,从而自动地维持在该设计温度值。

风机采用轴流式低噪声风机,用品闸管无级调速装置。

PTC 暖风机装有限温器,当热风出口或进风口被堵塞,以及风机风叶堵转时,暖风机内温度升高,使限温器动作,切断电源,防止意外事故发生。有的暖风机还装有倾斜开关,在暖风机翻倒时,会自动切断电源。

### 2.18.3 选用、使用和注意事项

**2.18.3.1 选用** 可根据居室条件,取暖人员状况及各种加热器具性能特点来合理选用。

从取暖范围来看,客厅、会议室或较大房间宜选用暖风机或可摇头的石英管状电暖器。因此类电暖器的热惯性小,升温快,可以较大范围内取暖。而餐厅或较小房间可选用不摇头的石英管状电暖器或对流式电暖器,这类取暖器具供热集中,局

部取暖效果显著。

从安全角度看,卧室和浴室宜选用电热油汀。因为杂物和水不会进入这种电暖器的电热元件而引起事故,它的散热体表面温度较低,不易造成烫伤。

有小孩的家庭,宜选用挂壁式的暖风机或挂壁式石英管状电暖器,以防小孩玩弄而引起火灾。

从外观装饰性方面考虑,可选用暖风机或台式石英管状电暖器。因此类电暖器造型多样,装饰性强,在供暖同时亦可作为一种家庭陈设品。

电暖器的品种选定后,可选用合乎要求的功率大小。

一般根据取暖房间面积大小、房间结构(散热情况)及室内外温差(升温要求),同时,考虑到家庭现有的电源条件(电度表、电源线和电源插座的规格)来选定所需的电暖器功率。

表 5.7.29 为取暖面积与选用电暖器功率经验推算结果。

表 5.7.29 取暖面积与选用功率

取暖面积(m <sup>2</sup> )	选用功率(W)
≤6	600
8~9	1000
10~12	2000
15~18	2500
20~30	3000

此外,考虑到 PTC 暖风机热效率高,1250~1500W 的 PTC 暖风机相当于 1500~2000W 的电热油汀;石英管状电暖器与房间大小无一定关系,一般取 800~1000W。房间虽大,但仅一人使用时,功率可选小一些;房间虽小,但使用人数多时,功率可选大一些。

2.18.3.2 使用 室内加热器是较长时间在室内工作的电热器具。

电暖器应安放在室内不易碰到的地方,如墙脚,背面离墙 20cm 为宜。如使用带活动脚架的,应按所需要的角度和高度固紧脚架螺丝。有其他特殊要求的,应按产品使用说明书规定的方式固定。

把电暖器电源接通后开启电源开关,指示灯亮,表明器具供电正常。然后把控温器调到较高温位置。如果是带摇头的取暖器,应按供暖范围调好摆动角度按钮。

在电暖器工作一段时间后,室内温度上升到 20℃ 左右时,把控温器调至最低位置。如果用的是没有自动调节风温的贮热式电暖器,应将节流阀打开。

在使用电暖器过程中,注意室内空气的湿度,若过于干燥,可在取暖器的蒸发盘中放些清水,使其蒸发,或在室内另放一盆清水,也可使用增湿机。

2.18.3.3 注意事项 在取暖器附近不应放置易燃物品,不要在取暖器上晾晒湿衣服或用衣物覆盖。

取暖器用的电源线切忌太细,电源插头、插座亦要达到足够的容量。在更换保险丝及其他部件时,一定要选择相同规格的。

对流式取暖器的进气口和排气口,不应有其他杂物堵塞,在取暖器前面应留有足够的空间,以利空气穿过,加强对流效果。进气口过滤网上的灰尘应经常清除。

不要让小孩靠近取暖器玩耍。

悬挂式取暖器的支架要有足够的强度。

## 2.19 电热毯

电热毯是一种以柔软的纺织物为外罩,里面有一层带电热线的芯布,供人们直接接触取暖的电热器具。

### 2.19.1 型式和分类

电热毯的型式如表 5.7.30 所列。

表 5.7.30 电热毯的型式

分类项目	型 式	
工作电压	安全电压型	市电型
控制方式	普通型	调温型
	电子恒温器	
发热元件材料	镍铬合金丝	铁铬铝合金丝
	铜基合金丝	PTC 电热膜型
发热面积	单人	双人

### 2.19.2 基本结构

图 5.7.45 为电热毯的电气原理图。它由电热线、毯体以及调温开关、电源线等组成。

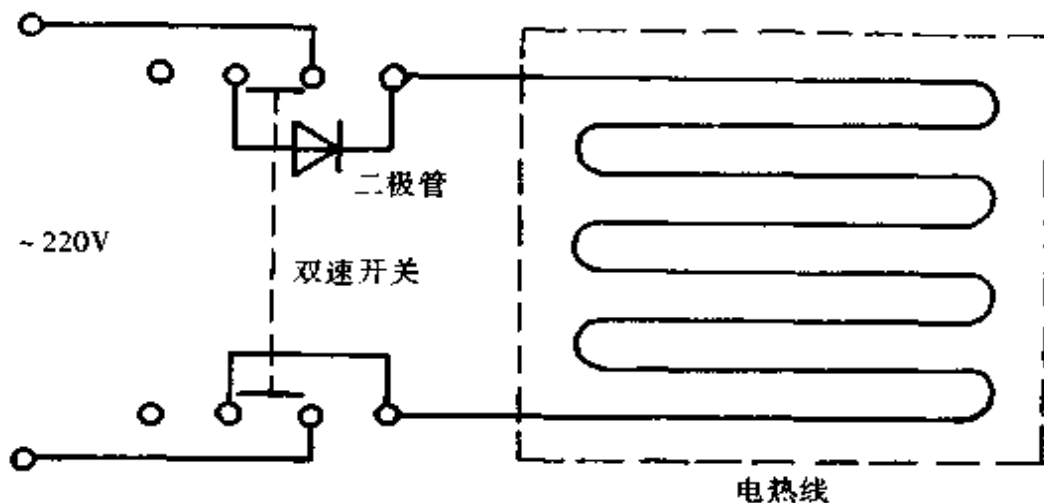


图 5.7.45 电热毯的电气示意图

电热线有螺旋电热件和带过热保护的安全型螺旋电热线两种。它是在玻璃纤维编织线或耐热涤纶编织线芯线上均匀地缠绕电热合金丝,再在外层加上一层耐热绝缘材料,如聚氯乙烯、聚氯乙烯电缆料等。带过热保护的安全型电热线是在普通型电热线上,增加了一层负温度系数的热敏塑料层和一条检测铜线。电热线呈回字形均匀固定在毯体内。毯体由棉毯、毛毯或合成纤维毯与底布复合组成。

电热毯的电热线与电源线的连接和密封是至关重要的。通常有压接法和接线盒两种。此两种线接头部位的密封防水也是很关键的,通常用高频热封和填充热熔胶等方法。

电热毯的温度控制方法有降压法和电子恒温控制器。所采用开关必须是双断点的。

### 2.19.3 选用、使用和注意事项

2.19.3.1 选用 电热毯的品种规格较多,在选购时,应注意安全可靠、实用和耐用。

应选用有生产许可证的产品,通常在产品标志中注明生产许可证的编号。

规格可根据用户需要选取。单人用 40~60W,毯面尺寸 0.7m×1.5m;双人用:中床 60~80W,毯面尺寸 1.1m×1.5m;大床 80~100W,毯面尺寸 1.4m×1.5m。

选择时要注意质量,外观整洁无破损;电源线无机械破损,引出根部应有护套并固定牢靠,无窜动;开关动作灵活,接触可靠。

2.19.3.2 使用和注意事项 在使用前,应仔细阅读产品说明书。

打开产品,检查外观无损伤后,再核对电源电压,才正式使用。

将电热毯展开平铺在棉垫上,在其上铺床单,不准折叠使用。

每次使用后或远离家门时,应将电源插头拔出。

电热毯可以用清水刷洗,但不准揉搓。洗净后,只能晾干不可暴晒,然后通电使用。

一旦发现电热丝断线,切不可驳接使用。

## 2.20 电熨斗

电熨斗利用电热元件使底板发热,用来熨烫服装、床单等各类织物,熨平洗涤后织物的褶皱,使之平整。

### 2.20.1 型式和分类

电熨斗的型式和分类如表 5.7.31 所列。

表 5.7.31 电熨斗的型式和分类

分类项目	型	式
功能	普通型 调温型 蒸汽型	蒸汽喷雾型
电热元件	云母骨架式管状电热元件	电子陶瓷式
调温方式	双金属片式 恒温发热式	电子调温式
应用范围	家用 旅行用 工业用	
电能特点	固体电热式 盐液式	
供电方式	有线式 无线式	

电熨斗的规格用耗电功率来表示,有 200W、300W、500W、750W、1000W 等。

### 2.20.2 基本结构

2.20.2.1 普通型电熨斗 由加热元件、底板、外壳、手柄以及压铁、引出端子组成。使用温度不能自动控制。这种电熨斗的功率不能过大,一般只有 300W、500W。

2.20.2.2 调温型电熨斗 在普通型电熨斗的基础上增加一只可调式控温器和一只指示灯。温度调节范围在  $60^{\circ}\text{C} \sim 230^{\circ}\text{C}$ ,在调温旋钮上标有不同织物的名称,当要熨烫某一织物时,可先将调温旋钮旋到指示这一织物的位置上,当底板温度达到适用于被熨烫物的温度时,调温器自动切断电源,停止加热;底板温度下降时,调温器又自动接通电源,周而复始,使底板温度恒定在所需要的温度范围。这种电熨斗使用方便,安全可靠。图 5.7.46 为调温型电熨斗的结构图。目前,市场上的新型电熨斗是用铝压铸底板和管状电热元件的轻型结构,底板再喷涂不粘聚四氟乙烯塑料,具有轻、快、滑的优点。

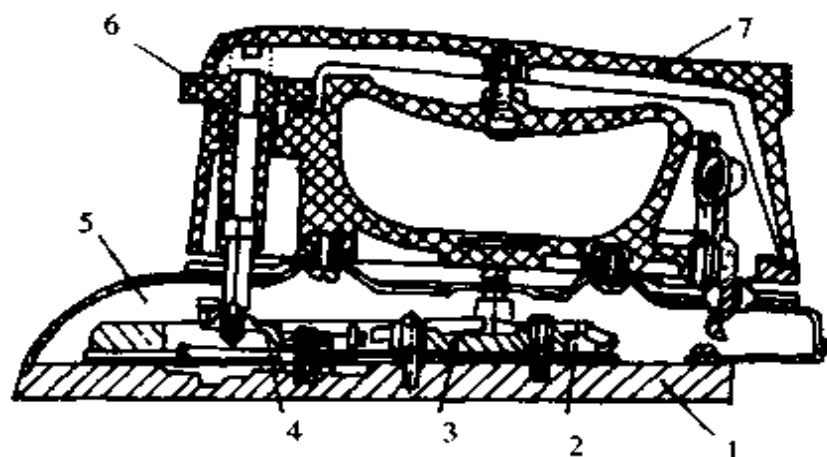


图 5.7.46 调温型电熨斗的结构示意图

1—底板 2—云母骨架电热元件 3—压板  
4—调温器 5—外壳 6—调温旋钮 7—手柄

2.20.2.3 喷雾型电熨斗 喷雾型电熨斗由铝合金底板、电热元件、水箱、外壳、手柄、调温器、蒸汽按钮、喷雾按钮等组成。

喷雾型电熨斗较适宜熨烫厚呢织物及褶皱较多的衣服。它在结构上比蒸汽型电熨斗多了一个喷雾系统,按下手柄前上方的喷雾按钮,便有水雾喷出来。喷雾系统工作原理是:在水箱底部有一毛细管,并浸入水中,当电熨斗加热后,使蒸汽按钮复位,则水箱中的水注入汽化室,产生蒸汽,蒸汽返回水箱内,在液面形成一定的气压,启动喷雾按钮,则蒸汽流向喷雾系统,通过毛细管将水吸上,在熨斗的前方喷出水雾。图 5.7.47 为喷雾型电熨斗的结构示意图。

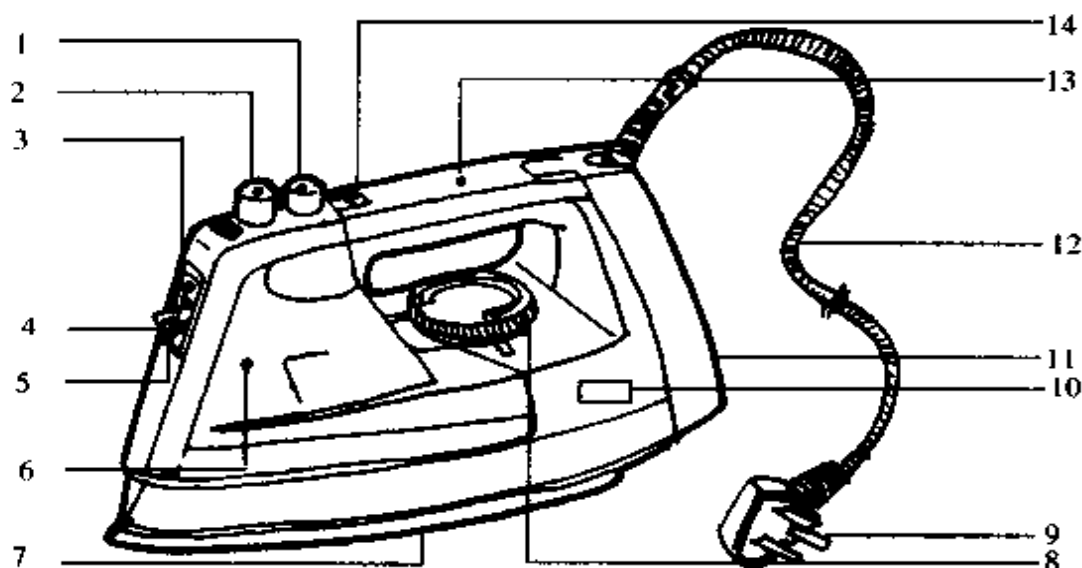


图 5.7.47 喷雾型电熨斗的结构示意图

- 1—喷雾钮 2—蒸汽钮 3—喷雾门 4—注水门 5—注水门盖  
6—水箱 7—底板 8—温控器旋钮 9—插头 10—指示灯  
11—织物温度指南 12—电源线 13—手把 14—锁扣

2.20.2.4 蒸汽型电熨斗 蒸汽型电熨斗的结构由金属底板、电热元件、水箱、外壳、调温器、蒸汽按钮、手板、指示灯等组成。

蒸汽型电熨斗有多种结构型式。按蒸汽发生方式分,有滴水式和锅炉式;按贮水箱结构分,有连体式和分体式;按汽化程度分,有普通式和强力喷射式。图 5.7.47 的产品如果没有喷雾系统即为滴水式蒸汽电熨斗的典型结构。底板工作温度由调温器来控制,并具有产生蒸汽的功能。这种电熨斗的电热元件多为管状电热元件,与金属底板(多为铝合金)铸成一体,底板上开有排气孔。电熨斗壳体内有一水箱,用不锈钢板或耐高温塑料制造,其贮水量为 100~200ml,水箱内有柱型阀或针型阀来控制排水量。将蒸汽按钮推下时,通过针阀封闭水箱的出水孔,底板上的汽化室无水,不产生蒸汽,只进行干熨。如果将蒸汽按钮向前推,使其复位,则针阀借助蒸汽弹簧的弹力向上抬起,打开出水孔,水注入底板上的汽化室。此时,调节调温器旋钮至羊毛和麻布织物位置,即可产生蒸汽。蒸汽电熨斗在熨烫衣物

时,不必用垫布,底板可直接与衣物接触,能使被熨烫的服装定型,手感舒适,色调不变,无光斑。

### 2.20.3 选用、使用和保养

2.20.3.1 选用 根据家庭情况从众多型式的电熨斗中选择适宜的品种。普通型电熨斗因温度不能调节,须靠使用者的经验来调节底板温度,容易熨坏衣物。自动调温喷雾喷汽型电熨斗功能齐全,适宜熨烫各种各样的布料,特别是较厚较大的毛料,使用方便,但价格贵。调温型电熨斗则较适宜普通家庭选用。

根据家庭电度表容量大小来选择电熨斗的功率大小。在家里使用可选 500W 的电熨斗,旅行用宜选用 200W 的旅行式电熨斗。服装厂最好选 750~1000W 的喷雾型电熨斗。

产品外观选择,要查看胶木手把是否有裂痕、调温器旋钮转动是否灵活,电镀层是否均匀、密实、光亮等。

2.20.3.2 使用 无论使用哪一种型式的电熨斗,都要首先阅读使用说明书,按使用说明书的规定正确使用。

检查电熨斗的工作电压与电源电压是否一致,电源插座是否有可靠的接地线。

使用前,应先用软布擦去电熨斗表面的防锈油,以免沾污衣物。接通电源后,指示灯亮,应将电熨斗放置在专用搁架上,切勿放置在易燃物品上。对底板表面有塑料涂层的电熨斗,应避免与坚硬的东西相碰撞,以免损坏保护层。

熨烫化纤织物时,最好垫上湿布,以免电熨斗温度过高,使织物变质。

电熨斗使用完毕,切断电源,待冷却后,用布擦净,放置于干燥处。

2.20.3.3 保养 电熨斗使用时间长了,由于底板温度超过织物所能承受的温度而将织物烧熔,使底板上结焦,有的甚至结成黑斑,严重的影响使用。清除办法是用一块湿布蘸上牙膏,慢慢来回擦拭,擦干净后,再涂上一点蜡,将电熨斗接上电源,待蜡熔化后再擦。特别要注意的是去除焦疤不能用刀刮或砂纸打磨,这样会损坏底板的电镀层。

对蒸汽型电熨斗的水箱除垢方法,同本章 2.7.3.3 所述的方法。

调温型电熨斗常因使用者整定调温器旋钮位置不恰当而影响使用效果。通常,旋钮标记与控温范围是:尼龙——60℃~100℃;合成纤维——100℃~125℃;丝绸——125℃~150℃;羊毛——150℃~180℃;棉——180℃~200℃;麻——200℃~230℃。

## 2.21 皮毛护发器具

皮毛护发器具主要用于洗头、理发后头发吹干和整型。亦可用于实验室、理疗室、工业生产等作局部干燥加热和清洁用。产品有电吹风、多用整发吹发器等。



### 2.21.1 型式和分类

皮毛护发器具常按电机型式、送风方式等进行分类：

按电机型式分类：有单相交流感应式、通用电机式、永磁直流式三种。

按送风方式分：有轴流式、离心式、滚筒式。

按外壳材料分：有金属式、塑料式、混合式。

无论是用来吹干头发还是梳整发型，这一类器具都由电机和电热元件两个部分组成。产品的型号规格用电机型式和电功率来表示。如 RCH-45 表示整容器具，感应式电机，功率为 450W。电机不同，送风速度亦不同，表 5.7.32 为不同类型电机的风速和风温的要求值。

表 5.7.32 电机类型和对风温、风速的要求

电机类型	风温(°C)	最低风速(m/min)	噪声((dB) <sub>A</sub> )
感应式(H)	70~165	≥300	60
通用式(E)	65~160	390	80
永磁式(Y)	60~155	390	70

### 2.21.2 基本结构

图 5.7.48 为三种电吹风的结构示意图。主要由壳体、电机、风叶、电热元件等组成。从图可见，电动机带动风叶高速旋转，将空气从进风口吸入，经过电热元件加热后，变成热风由出风口吹出。此三种电吹风所不同的只是电动机。

感应式电机噪声低、转速低，结构合理但产生的风速不够理想，体积大。通用式电机和永磁式电机转速高、风速大，但噪声大，使用寿命由电刷寿命来确定。使用日久后，应更换电刷。

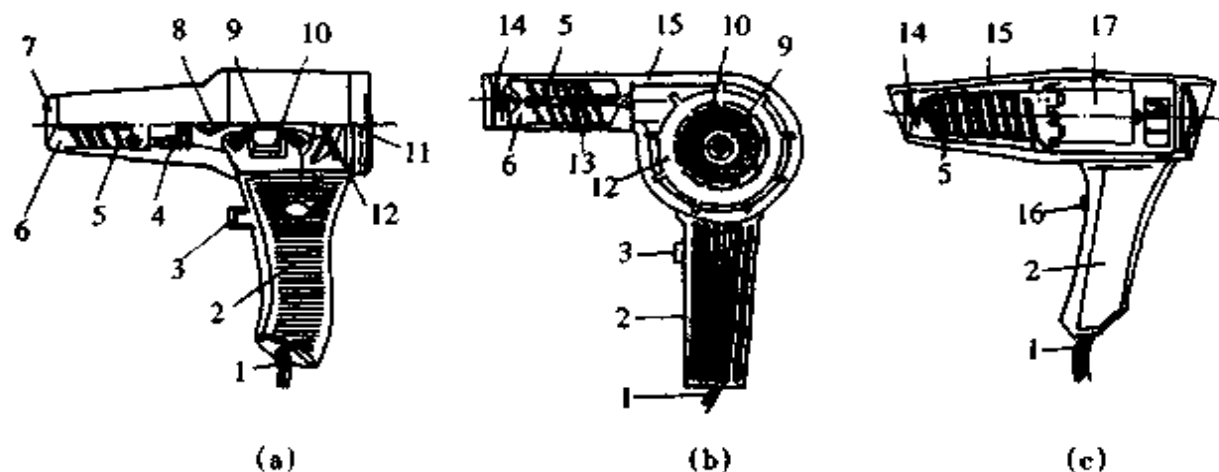


图 5.7.48 电吹风的结构示意图

(a)通用电机式 (b)感应式 (c)永磁式

1—电源线 2—手柄 3—选择开关 4—电热丝接线柱 5—电热丝 6—电热丝支架  
7—吹风口 8—电刷 9—转子 10—定子绕组 11—挡风板 12—风叶  
13—前嘴 14—支架弹簧 15—外壳 16—开关 17—电动机

电吹风的热风依靠电热元件通电发热产生。电热元件用裸露镍铬丝,较新型的发热元件采用 PTC 元件。这种元件采用钛酸钡半导体陶瓷材料,它具有电阻率随温度而变化的特殊性能。即在室温下,它是半导体,电阻率随着温度的升高而稍有降低;当温度再升高时,电阻率急剧地增加几个数量级,呈现正温度特性。表 5.7.33 为两种不同发热体的试验结果。

表 5.7.33 蜂窝状 PTC 发热体与镍铬铝发热体的比较表

试验电压(V)		220	200	175	150	110	220 进风封闭
PTC 发热体	功率(W)	580~640	600~630	620~623	615~630	565~580	电吹风仍可 长期工作
	出风口温度(℃)	82.3	83.2	84.2	86.5	92.0	
镍铬铝发热体	功率(W)	1110	1025	920	800	620	发热丝急速升温,超 温保护器动作,切断 电源
	出风口温度(℃)	78.1	71.6	62	54	42.5	

另一种新颖的无级调温调速电吹风采用了改变电源电压大小,对发热元件和电动机一起控制的方法。随着外施电压的变化,风口吹出的热风温度高低和风量大小也随着变化。这种吹风机不但适应性强,同时能适当节约电能。

电吹风的外壳结构,要求造型美观,重量轻,一般采用金属薄板冲压成形,表面镀铬,或用工程塑料压制而成。

风叶的结构种类较多,有不同的叶片数和形状。要求风量大、效率高、风损小。一般采用塑料制造。

### 2.21.3 选用、使用和保养

2.21.3.1 选用 皮毛护发器具的种类繁多,须根据用途进行合理选择。家庭使用,可选用 300~450W 的电吹风或多用整发器;旅行使用,可选用 300W 以下的小型电吹风或折叠式电吹风;服务行业用时,可选用 750~1000W 的电吹风、烘发器。

皮毛护发器具用功率标称其规格。如:250W,350W,450W,750W,1000W 等几种。

外观质量的选择十分重要,金属外壳应坚实耐用;塑料外壳应美观大方、轻巧、携带方便。

2.21.3.2 使用 为使皮毛护发器具能发挥吹干、定型的实用效果,应做到正确合理使用,以延长器具的使用寿命。在使用时应注意:

首先,必须详细阅读使用说明书,认清铭牌上的电源电压。对带接地线的器具应有可靠接地线的电源插座。

使用器具前,应检查进出风口,必须畅通无阻,才能达到热风输出,满足使用的效果。

电吹风机手柄上的选择开关都有三挡:关、热风、冷风。有的装有调速开关旋

钮,供选择风量大小和温度高低时使用。开始使用时,放在较低温度和低速挡,然后再换至高温、高速挡。每次使用结束前,应把器具选择开关转至冷风挡,这样,使电热元件的余热由冷风吹出,降低内部温度,减慢内部绝缘的老化,延长使用寿命。

为了安全,不要在浴室、盥洗间、厨房等潮湿的地方使用电吹风或多用整发器,以免电压击穿空气而触电。同时,洗头后,一定要把手擦干后方可插拔电源插头和握持器具手柄。

电吹风应避免强烈的撞击或摔落,以防外壳变形及震断电热元件。不用时应及时断电,冷却后收藏好。

电机轴承应定期加油,以保持润滑。电机的电刷、整流子要定期用酒精清洗干净。要定期检查电刷的磨损程度,必要时予以更换。

皮毛护发器具宜间断使用,不要连续使用时间太久,以免电热元件和电机过热而烧坏。

**2.21.3.3 保养** 皮毛护发器具应在干燥场合使用,切忌放置在露天或潮湿场合,长期不用后取出使用时,应先检查器具的绝缘性能,符合要求后方能继续使用。

在空气中有许多灰尘时,要注意清除过滤网上的灰尘。若非用不可时,最好加上一块薄过滤布,先把灰尘排在机外。

## 2.22 电动剃须刀

现代生活人们离不开电动剃须刀,男性的胡须,女性的后颈和发脚都要用剃须刀。它具有携带方便,使用安全、舒适的特点。

### 2.22.1 型式和分类

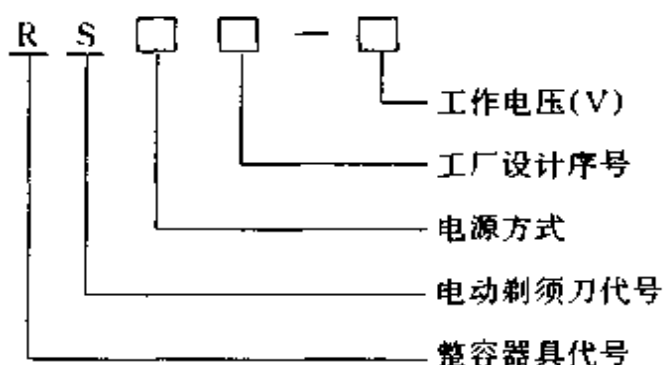
电动剃须刀的主要类型如表 5.7.34 所列:

表 5.7.34 电动剃须刀的类型

分类项目	型 式			
驱动机构	电动机	电磁振动器		
使用电源	干电池	充电式	交流式	组合式
刀片动作方式	旋转式	往复式		
外刀片型式	圆型网式外刀	圆形狭缝式外刀		
	长方形网式外刀	长方形狭缝式外刀		

电动剃须刀的型号及其含义如下:

如 RSZ-1.5 表示电动剃须刀,干电池式(Z—干电池,A—交流),电动机工作电压为 1.5V。



## 2.22.2 基本结构

2.22.2.1 旋转式电动剃须刀 图 5.7.49 为旋转式电动剃须刀的结构示意图。主要由网罩(固定刀)、内刀片(动刀)、可动刀托盘、电机、开关和壳体组成。

电动剃须刀的工作原理实质上是剪切原理。使用时,装上电池,启动开关后电机旋转带动可动刀托盘上的动刀片与网罩作相对运动,剪切胡须,不断将伸进网孔的胡须或头发切断刮净。旋转式电动剃须刀的工作性能主要取决于内外刀刃口的锋利程度、网罩外刀的光洁度以及内、外刀之间的表面接触好坏等。如果内刀片过分贴紧外刀表面,阻力增大,使电机负荷增加,会造成转速下降甚至停转、刃口磨损加快、缩短使用寿命。若内、外刀之间间隙太大,动刀在转动时,可能被须发迫起,不利于剪断,甚至会有拔须现象。

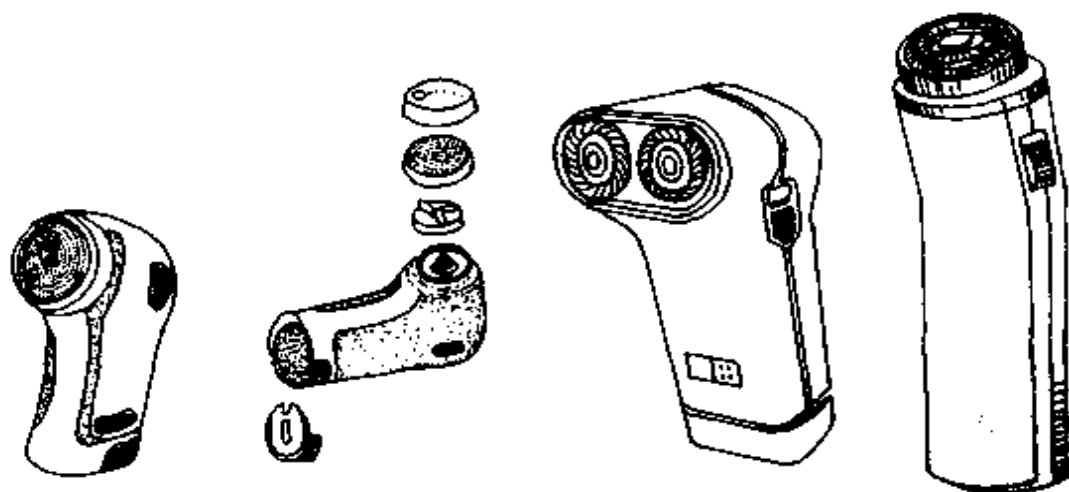


图 5.7.49 旋转式电动剃须刀的结构示意图

旋转式电动剃须刀具有结构简单、使用方便、噪声小、价格便宜、剃须效果好的特点。

2.22.2.2 往复式电动剃须刀 它主要由网罩(固定刀)、动刀片、动刀片支架、侧轧剪、按钮、开关、外壳和电机组成。充电兼用型产品还有充电插头、充电器和电池等。

对于电机驱动式的往复式电动剃须刀,按下按钮,启动开关后接通电源,电机便转动,转轴通过机械偏心杠杆机构,使动刀片支架作来回高速振动,卡装在动刀片支架上的密细平行动刀片与网罩之间形成相对运动。当胡须伸进网孔时,受剪切作用而被切断刮净。

往复式电动剃须刀的驱动机构是电磁振动式的,主要由刀头、刀凸轮、叉子、电磁铁组成。电磁振动器由电磁铁、衔铁和机械传动机构组成。电磁铁与衔铁间有一定的间隙。接通电源后,两者由于交变电磁场的作用,在相互交替进行吸引、释放下产生微振。与衔铁连接在一起的传动机械使凸轮、叉子作来回高速运动,剪切不断伸进网孔的胡须。

往复式电动剃须刀锋利,肤感和剃须效果都好,但噪声大、价格高。

### 2.22.3 选用、使用和注意事项

**2.22.3.1 选用** 选购电动剃须刀应先从本人的胡须、发脚、经济情况、使用场所等方面综合考虑。若胡须稀疏,选用旋转式或往复式两种均可以;若胡须密集而粗,最好选用往复式电动剃须刀。对于经常出差或野外工作的人员,宜选用小巧玲珑,携带方便的剃须刀。在家里使用的,可选用充电式或交流、干电池两用式的电动剃须刀。

电气和使用性能的选择亦不能忽视。在选购时,启动开关,电动剃须刀在空载运行时,声音应小而稳定,且不应有周期性波动杂音。刀刃是否锋利可拆下刀片,用手轻推动刀片架来检查电机轴和轴承的间隙大小,以间隙小的为佳。最后将转动的剃须刀放在脸上做剃须试验,用实际感觉和剃须效果来检验好坏。

电动剃须刀的外观检验亦十分重要。要看内、外刀片是否光滑,有无缺陷痕迹,刀片架与电机轴配合不能太松,刀片支架弹簧的张力均匀。

**2.22.3.2 使用和注意事项** 使用前安装电池时,应注意极性,不能接错。

一般不能待胡须留长后才剃,一天一次较为合适。实际上,胡须的粗细会随年龄的增加而变化,并不是越剃越粗,越剃越多。若胡须太长,宜先用小剪刀剪短一些,再用剃须刀则效果更好。

电动剃须刀的定刀片是剃须刀的娇贵零部件,因而一般在网罩外都有保护性外罩。在使用时不要碰伤网罩,要轻拿轻放。出现严重凹陷时,最好更换同样规格的网罩。

安装和拆卸刀片时,一定要断开电源。

内、外刀的刃口和间隙容易积藏须屑和皮屑,每次使用后,要用小刷子清扫干净。

剃须刀的驱动部件是核心元器件,其性能好坏对电动剃须刀的质量有很大影响。在使用过程中,为保证驱动机构的性能,应注意:

电动机前后盖装好后,径向和轴向都应有微小的间隙,用手转动主轴时运转自

如,过紧会出现卡死,而不能启动。

使用日久的电刷,应更换新的同样规格的电刷。并用酒精清洗整流子的污垢,确保整流子和电刷的良好运行。

### 3 日用电器的安全使用

日用电器是被对电的专业知识相对缺乏的人们所大量使用的电器产品。日用电器必须按相应的安全标准进行设计和制造。制造厂要保证产品不但能在各种正常使用条件下安全、可靠地工作,还要在可能的故障条件下也不致发生火灾或人身事故。不过,日用电器的安全使用也是十分重要的。

日用电器使用中的安全,要注意选购、安装、使用和维护等各个环节。

#### 3.1 产品的选购

从安全角度出发,选购产品时应考虑以下因素:

固定的大型产品,如电冰箱、洗衣机、电热水器等,要求具有接地保护措施,也就是在电源线中有一条专门的接地线引出。对小型轻便式产品,如电吹风、吸尘器、电风扇等,在使用时经常要移动,接地线可能不十分可靠,最好选用Ⅱ类电器。这类产品绝缘可靠,较一般产品安全,大多数采用塑料外壳,绝缘发生故障时,外壳不带电,不会危及操作者。对于与人体皮肤、毛发接触的产品,如电吹风、电推剪、电热毯等应选用Ⅱ类电器或Ⅲ类电器。选购Ⅳ类电器的的好处是工作电压低,皮肤接触带电部件亦不会造成危险。

用于户外和浴室的小型产品或食用器具应具有防水结构。

所选产品的插头应与使用场所的插座相适应。目前生产的日用电器,一般插头都符合国家标准规定,如插座不符合时,应予更换。更换时最好选用带安全门的二孔或三孔插座,这种安全插座的柱孔封闭时,只有合适的柱头插入,才能开门接触通电。有的还带指示灯,表明插座上是否有电。对一些贵重产品,如电冰箱、空调器、全自动洗衣机等,最好选用带熔断器的插座。

日用电器产品的电源线一般都是要聚乙烯导线,使用时间长后会发生老化开裂,也可能由于搬运造成表面破损,常常在较薄弱环节上出问题。因此,在选购或更换电源线时,要求都带护套保护。电热器具产品的电源线一般采用橡皮绝缘编织软电线,以防止导线触及发热部件而熔化,或在产品发生故障或错误使用时,可能会着火而燃烧。因此,其绝缘部件或外壳都要具有防火能力,如所用的塑料件,电热毯的绝缘布,必须通过防火试验。带定时器、熔断器和过热保护器的产品都比一般产品安全。但这些保护元件要求动作可靠,不会误动而影响使用。

## 3.2 安装

安装产品应按产品使用说明书的要求进行。水平放置要平稳,特别是带有旋转部件的产品,如洗衣机、电冰箱等。放置不平会增加运行噪音、影响其寿命,严重时翻倒。墙上挂装的产品,如热水器、吸排油烟机、墙挂式电热器等应有牢固可靠的螺钉打入墙壁内。

产品的电流容量要和供电电源线、熔断器和电度表相适应,否则会使线路超负荷而造成危险。固定式产品,如洗衣机、电热水器等使用时有水、有电,而且有时还有人操作,一定要有可靠的接地线,这类产品安装好后,应在使用前用试电笔检查电器外壳是否带电。老式建筑的住宅、商店,在无法加装接地线时,一定要安装漏电电流动作保护器。在小型产品的使用电路上,要用漏电动作电流为15~30mA的漏电电流动作保护器;大型产品,则要按其使用对象选用合适的容量。

## 3.3 使用与维护

家用电器产品要定期检查、维修。维修周期最好是半年。对季节性使用的产品,如电风扇、房间电热器、电热毯等可一年一次。维修的重点是去除脏污,加润滑油,检查动作是否灵活,外壳是否带电,电源线是否裂开等。漏电电流动作保护器在使用过程中,每月要按试验按钮一次,检查其是否能可靠地动作,要防止积灰尘、锈蚀、触点熔焊以及性能变坏等。

电动电器产品,使用时要注意防堵。堵转时,电流大,往往会烧坏电机及其他附件。

电热电器产品,使用时要防止翻倒。翻倒时,电热元件会触及地板等易燃品而引起燃烧。电热水器不允许在不通水的情况下接通电源。电热毯不允许在折叠状态下通电,此时,热量散不出去,时间一长可能引起着火。

电水壶、电热杯、咖啡壶、电熨斗等产品,使用时人不能离开,因水烧干或电热元件露出液面时,会损坏器具。线路熔断器更换时,一定要按照原规格,不能随意用铜丝或更大的熔断器代替。插头、插座不配套时,建议更换插座,不要随便使用钳子将插销拧弯。

## 第八章 照 明

利用电来发光作为光源的照明,称为电气照明。由于它具有灯光稳定、易于控制调节、安全、经济等优点,因此是现代人工照明中应用最为广泛的一种照明方式。

工业企业具有良好的照明,可以保证安全生产、提高产量和质量、改善工人劳动条件,具有重大意义。

工厂照明的方式可分为一般照明、局部照明和混合照明三种。若按照明使用性质则分为正常照明、事故照明、值班照明、警卫照明和障碍照明五种。

合理的照明,应满足一定的照度要求,正确选用电光源和照明器。

本章主要内容有电气照明的基本概念、照明电光源、照明灯具、电气照明设备的安装,电气照明的常见故障及维修。

### 1 电气照明的基本概念和名词术语

#### 1.1 光的本质和光谱

光是一种电磁波辐射能。可见光的波长在 380~780nm(毫微米)范围内。波长大于 780nm 的红外辐射不能引起视觉;波长小于 380nm 的紫外辐射也不能引起视觉。在可见光范围内,波长不同,引起的颜色感觉也不同。按照波长由大到小的次序排列,其颜色感觉依次为:

颜色	波长(nm)
红色	780~630
橙色	630~600
黄色	600~570
绿色	570~490
青色	490~450
蓝色	450~430
紫色	430~380



## 1.2 名词术语

### 1.2.1 光通量

光源在单位时间内向周围空间辐射并引起视觉的能量称为光通量。用  $\Phi$  表示,单位为流明(lm)。

定义:1 流明(lm)相当于波长 555nm 发出  $\frac{1}{683}$  W 的辐射功率。

### 1.2.2 发光强度

光源在某一特定方向上单位立体角( $\Omega$ )内辐射的光通量称为发光强度。用  $I$  表示,单位为坎德拉(cd)。

即: 
$$I(\text{cd}) = \frac{\Phi(\text{lm})}{\Omega}$$

### 1.2.3 亮度

发光体在垂直于光通量的单位面积上的发光强度,称为亮度。用  $L$  表示,单位为  $\text{cd}/\text{m}^2$ 。

### 1.2.4 照度

光通量与受照面面积之比,叫做照度。它用  $E$  表示,单位为勒克司(lx)。

$$E(\text{lx}) = \frac{\Phi(\text{lm})}{S(\text{m}^2)}$$


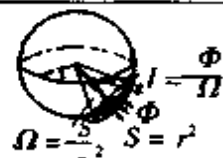
### 1.2.5 电光源发光效率(简称光效)

它指一个电光源发出的光通量与其消耗的电功率的比值,亦即每消耗 1W 功率所发出的光通量(lm),单位为流明/瓦(lm/W)。

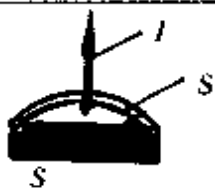
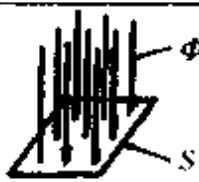

### 1.2.6 照明器的效率

它表示照明器辐射的光通量与电光源发出的光通量( $\Phi$ )之比值,即  $\Phi_1/\Phi_2$ 。表 5.8.1 示出照明基本计算公式和示意图,便于理解照明专业的名词术语。

表 5.8.1 照明基本计算公式

名称	代号	公式	单位	示意图
光通量	$\Phi$		lm	
发光强度	$I$	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$	cd	

续表

名称	代号	公式	单位	示意图
亮度	$L$	$L = \frac{I}{S}$	$\text{cd}/\text{m}^2$	
照度	$E$	$E = \frac{\Phi}{S}$	lx	
面发光度	$R$	$R = \frac{\Phi}{S}$	$\text{lm}/\text{m}^2$	

## 2 照明电光源

### 2.1 照明电光源分类

照明电光源按其发光原理分为热辐射光源和气体放电光源两大类。利用物体加热时辐射发光的原理所制造的光源称为热辐射光源。利用气体放电(气体原子被电流激发而产生光辐射)时发光的原理所制造的光源称为气体放电光源。

工厂常用照明光源可归纳两大类:

电光源	{	热辐射光源	钨丝白炽灯(白炽灯),如普通照明灯泡 卤钨循环白炽灯(卤钨灯),如管形照明卤钨灯														
		气体放电光源(按发光物质分类)	<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">金属</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td>汞灯</td> <td>低压汞灯,如荧光灯 高压汞灯,如荧光高压汞灯</td> </tr> <tr> <td>钠灯</td> <td>低压钠灯 高压钠灯</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">惰性气体</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">{</td> <td>氙灯</td> <td>如管形氙灯</td> </tr> <tr> <td>汞氙灯</td> <td>如管形汞氙灯</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>金属卤化物灯</td> <td>如钠铊铟灯、管形镝灯 (日光色镝灯)</td> </tr> </table>	金属	{	汞灯	低压汞灯,如荧光灯 高压汞灯,如荧光高压汞灯	钠灯	低压钠灯 高压钠灯	惰性气体	{	氙灯	如管形氙灯	汞氙灯	如管形汞氙灯		
金属	{	汞灯	低压汞灯,如荧光灯 高压汞灯,如荧光高压汞灯														
		钠灯	低压钠灯 高压钠灯														
惰性气体	{	氙灯	如管形氙灯														
		汞氙灯	如管形汞氙灯														
		金属卤化物灯	如钠铊铟灯、管形镝灯 (日光色镝灯)														

## 2.2 照明电光源技术参数及规格

### 2.2.1 白炽灯

它是利用钨丝通电加热而发光的一种热辐射光源。其特点是结构简单,成本低,使用方便。

白炽灯的品种很多,除普通照明灯泡外,近年来又发展了多种新型白炽灯,详见表 5.8.2。

表 5.8.2 几种新型白炽灯

名 称	结 构 及 特 点	用 途
柔光白炽灯	泡壳内壁涂一层均匀漫射层,使光线均匀柔和,看不见白炽体,不眩光。如乳白色及磨砂灯泡等	用作卧室照明
彩色灯泡	用各种彩色玻壳制造,其种类有彩色透明玻璃,彩色磁料或在玻壳内外涂色等,色彩鲜艳	用于广场、街道、建筑物、商店橱窗等场所作装饰照明
反射型普通照明灯泡	泡壳内壁镀反射层,以反射光来照明,用作定向照明,不需专门的反光装置。体积小,重量轻,使用方便	用于灯光广告牌、商店、橱窗、工地等需要光线集中照射的场合
蘑菇形反射型照明灯泡	外形呈蘑菇状,玻壳内壁镀反射层,以反射光照明。透光部分可以是透明的,也可以涂白色,后者使光线柔和,不眩光	宜作室内直接照明或局部照明,如台灯、床头灯等
异形白炽灯	外形类似日光灯,管内涂漫射柔光层,光色温暖而柔和	宜作室内高级照明、橱窗照明和展览室照明
充氩白炽灯	采用双螺旋灯丝,充氩气,使热对流损失减小,抑制钨的蒸发。光效高,寿命可延长至 3500h	用作一般照明
冷光白炽灯	内有多层介质膜的冷光镜面,能滤掉白炽体辐射的红外线,使红外线减少近 75%	用于博物馆、展览馆、橱窗、冷库等场所

2.2.1.1 普通照明灯泡 显色性好,广泛应用于工业与民用建筑及日常生活的照明。但其发光效率低,每瓦 7.3 ~ 18.6lm,色温为 2560K ~ 3050K,色表不够好。表 5.8.3 列出其数据。

表 5.8.3 普通照明灯泡数据

灯泡型号	额定值			极限值			主要尺寸(mm)					平均寿命(h)	灯头型号
	电压(V)	功率(W)	光通量(lm)	功率(W)	光通量(lm)	螺旋式灯头		插口式灯头		最大直径			
						L	H	L	H				
PZ220-15	220	15	110	16.1	91	61	107±3	90±4	123.5±4	88.5±4	105.5±3	1000	E27/27-1 或 2C22/25-2
PZ220-25		25	220	26.5	183								
PZ220-40		40	350	42.1	291								
PZ220-60		60	630	62.9	523								
PZ220-100		100	1250	104.5	1038								
PZ220-150	220	150	2090	156.5	1777	71	125±4	90±4	123.5±4	88.5±4	105.5±3	1000	E27/27-1 E27/35-2 或 2C22/25-2
PZ220-200		200	2920	208.5	2482								
PZ220-300		300	4610	312.5	3919								
PZ220-500	220	500	8300	520.5	7055	81	170±4	130±5	168.5±5	128.5±5	105.5±3	1000	E27/27-1 E27/35-2 或 2C22/25-2
PZ220-1000		1000	18600	1040.5	15810								

2.2.1.2 双螺旋普通照明灯泡 广泛应用于工农业生产和日常生活中。双螺旋就是把单螺旋灯丝再绕成螺旋状。因工艺较复杂,价格稍高,目前规格较少。表 5.8.4 列出其数据。

表 5.8.4 双螺旋普通照明灯泡数据

灯泡型号	电压(V)	功率(W)	光通量(lm)	平均寿命(h)	主要尺寸(mm)		灯头型号
					最大直径	全长	
PZ220-40	220	40	415	1000	61	110	E27/27 B22d/25×26
PZ220-60		60	715				
PZ220-100		100	1350				

2.2.1.3 局部照明灯泡 供工业与民用建筑作为局部照明用。其特点是电压低,使用安全。表 5.8.5 列出其数据。

表 5.8.5 局部照明灯泡数据

灯泡型号	电压(V)	功率(W)		光通量(lm)		额定光效(lm/W)	主要尺寸(mm)			平均寿命(h)	灯头型号
		额定值	极限值	额定值	极限值		直径(D)	全长(L)	光中心高度(H)		
JZ6-10	6	10	10.9	120	106	12 13 13.75 14.17 16 9 10 12.5 13.33 15.5	61	110	77±3	1000	E27/27 或 B22d/25×26
JZ6-20	6	20	21.3	260	229						
JZ12-15	12	15	16.1	180	156						
JZ12-25	12	25	26.5	325	286						
JZ12-40	12	40	42.1	550	484						
JZ12-60	12	60	62.9	850	748						
JZ12-100	12	100	104.5	1600	1320						
JZ36-15	36	15	16.1	135	119						
JZ36-25	36	25	26.5	250	220						
JZ36-40	36	40	42.5	500	440						
JZ36-60	36	60	62.9	800	704						
JZ36-100	36	100	104.5	1550	1364						

2.2.1.4 特殊供电电压普通照明灯泡 供矿山地区 110 伏和 127 伏电路上

照明用,外形尺寸和普通照明灯泡相同,功率规格一致。表 5.8.6 列出其数据。

表 5.8.6 特殊供电普通照明灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	额定值		极限值		平均寿命 (h)
		功率 (W)	光通量 (lm)	功率 (W)	光通量 (lm)	
PZ110-15	110	15	125	16.1	104	1000
PZ110-25		25	225	26.5	187	
PZ110-40		40	445	42.1	369	
PZ110-60		60	770	62.9	847	
PZ110-100		100	1420	104.5	1179	
PZ127-15	127	15	120	16.1	96	
PZ127-25		25	225	26.5	183	
PZ127-40		40	425	42.1	353	
PZ127-60		60	750	62.9	623	
PZ127-100		100	1380	104.5	1145	
KZ127-40		40	368	42.1	306	
KZ127-60		60	654	62.9	542	
KZ127-100		100	1275	104.5	1060	

2.2.1.5 反射型普通照明灯泡 是采用聚光型玻壳制造。玻壳圆锥部分的内表面蒸镀有一层反射性很好的镜面铝膜,因而灯光集中,适用于灯光广告牌、商店、橱窗、展览馆、工地等需要光线集中照射的场合。表 5.8.7 列出其数据,其外形见图 5.8.1。

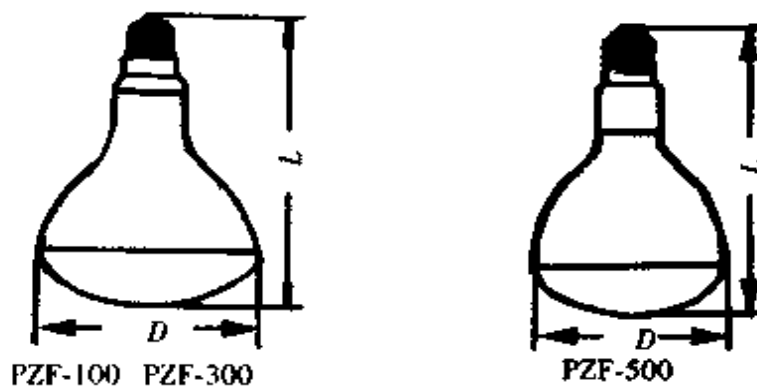


图 5.8.1 PZF 灯泡外形图

表 5.8.7 反射型普通照明灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	中心光强 (cd)	主要尺寸(mm)		平均 寿命 (h)	灯头型号
					最大 直径 (D)	全长 (L)		
PZF220-15	220	15	925	180(2×60°)	50	84	1000	B22d/25×26
PZF220-25		25			64	102		B22d/25×26
PZF220-100		100			81	120		E27/35×30
PZF220-300		300			127	175		E27/35×30
PZF220-500		500			154	236		E40/45

2.2.1.6 蘑菇形普通照明灯泡 主要用于日常生活照明,也可作装饰照明用。灯泡用全磨砂或乳白色的玻壳制造。表 5.8.8 给出其数据,其外形见图 5.8.2。

表 5.8.8 蘑菇形普通照明灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)		灯头型号
					最大直径 (D)	全长 (L)	
PZM220-15	220	15	107	1000	56	95	E27/27 B22d/25×26
PZM220-25		25	213	1000	56	95	
PZM220-40		40	326	1000	56	95	
PZM220-60		60	630	1300	61	107	

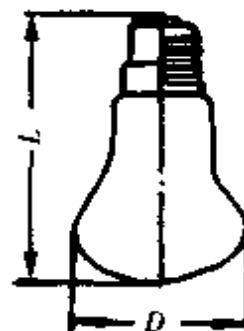


图 5.8.2 蘑菇形普通灯泡外形图

2.2.1.7 装饰灯泡 采用各种彩色玻壳制成,其种类有磨砂、彩色透明、彩色瓷料及内涂式等,颜色可分为红、黄、蓝、绿、白、紫等,色彩均匀鲜艳。可在建筑物、商店、橱窗等处,作为装饰照明用。表 5.8.9 列出其数据,其外形见图 5.8.3。

表 5.8.9 装饰灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	最大功率 (W)	主要尺寸(mm)		平均寿命 (h)	灯头型号
				最大直径 (D)	全长 (L)		
ZS-220-15 ZS-220-25 ZS-220-40 ZS-220-60 ZS-220-100	220	15	16.1	61	107±3	1000	E27/27 或 E22d/25×26
25		26.5					
40		42.1					
60		62.9					
100		104.5					
ZS-220-10A ZS-220-10B ZS-220-15A ZS-220-15B ZS-220-15C ZS-220-25B ZS-220-25C		10	11.5	41	66	1500	
10		11.5	37	100			
15		16.5	41	66			
15		16.5	37	100			
15		16.5	61	110			
25	26.5	37	100				
25	26.5	61	110				

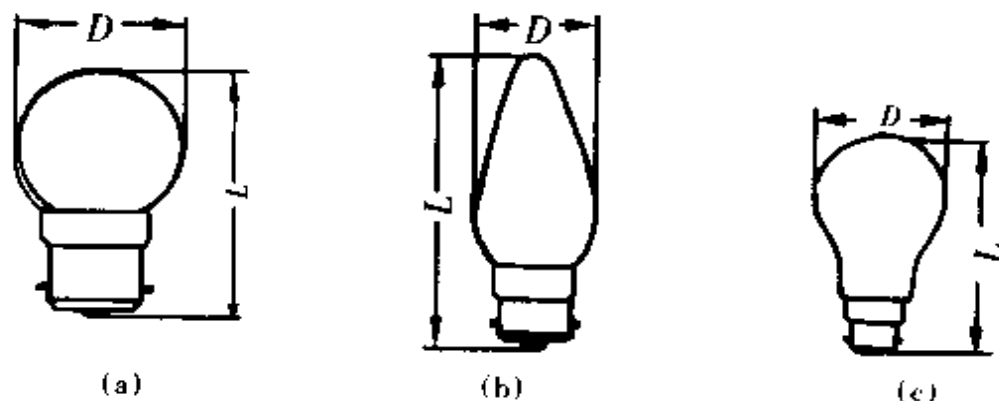


图 5.8.3 装饰灯泡外形图

2.2.1.8 彩色灯泡 采用各色的透明、瓷料、内涂色玻壳制成。应用于建筑物、商店橱窗、展览馆、喷泉瀑布等场所装饰照明。表 5.8.10 列出其数据,其外形见图 5.8.4。

表 5.8.10 彩色灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)		灯头型号	分图号
				最大直径 (D)	全长 (L)		
CS220-15 CS220-25 CS220-40	220	15	1000	61	107	E27/27 E22d/25×26	(a)
40							
100							
CS220-100 CS220-500	220	100	1000	81	120	E27/35×30	(b)
500		127		205	E27/65×45	(c)	



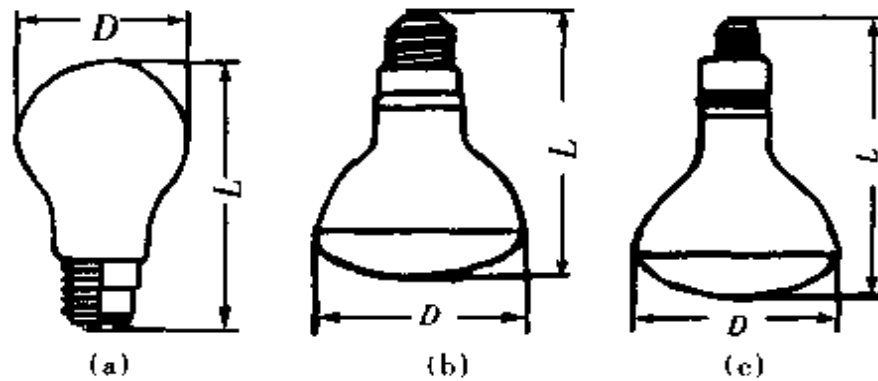


图 5.8.4 彩色灯泡外形图

2.2.1.9 水下灯泡 可作为水下照明或灯光诱鱼的光源。用各种彩色玻壳制成的灯泡,还可安装于喷泉、瀑布等处作为装饰用。此种灯泡应具有较好的耐压性能。表 5.8.11 列出其数据,其外形见图 5.8.5。

表 5.8.11 水下灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)			灯头型号
					直径 (D)	全长 (L)	颈部直径 (d)	
SX110-1000 SX110-1500	110	1000 1500	19000 30000	600 400	131.5	265	50	E40/45
SX220-1000 SX220-1500	220	1000 1500	18600 26100	600 400				

注:1.使用时,灯头部分必须套有专用的橡皮套管,以防止水直接与灯头接触。  
2.灯泡浸入水中所需的深度后才能接通电源,而在出水前先将电源关闭。

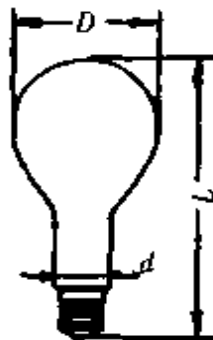


图 5.8.5 水下灯泡外形图

2.2.1.10 硬质玻璃卤钨灯泡 采用特殊耐高温玻壳制成,具有体积小、发光效率高(由于卤钨的循环作用可使灯泡的光通量始终不变)、价格低廉等优点,是目前电影摄制、电视播送、舞台照明、船舶探照等方面使用的理想光源。在彩色照相、摄影方面也广泛使用。表 5.8.12 列出其数据,其外形见图 5.8.6。

表 5.8.12 硬质玻璃卤钨灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	色温 (K)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)			
						最大直径 (D)	全长 (L)	光中心 (H)	灯脚距 (S)
LJY220-500	220	500	9800	3000	100	41	145	80	15
LJY220-1000	220	1000	22500	3200		52	150	82	15
LJY220-2000	220	2000	47000	3200		67	202	106	15
LJY220-3000	220	3000	70500	3200		97	270	145	25
LJY220-5000	220	5000	122500	3200		102	275	145	25
LJY110-1000	110	1000	23000	3200		52	150	82	15
LJY110-2000	110	2000	48000	3200		67	202	106	15
LJY110-3000	110	3000	72000	3200		97	270	145	25
LJY110-5000	110	5000	125000	3200		102	275	145	25

注:也可采用 E40 灯头。

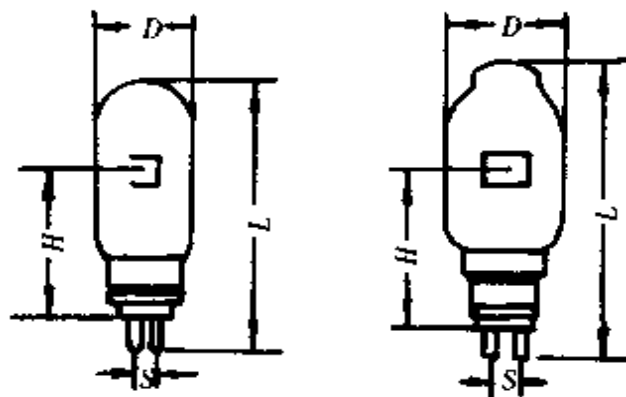


图 5.8.6 硬质玻璃卤钨灯泡外形图

2.2.1.11 反射型聚光摄影灯泡 具有亮度高、光线集中、使用方便等优点。广泛应用于电影、电视、舞台照明,也用于摄影照明。表 5.8.13 列出其数据,其外形见图 5.8.7,摄影灯泡配光曲线见图 5.8.8。

表 5.8.13 反射型聚光摄影灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	光强 (cd)	色温 (K)	平均 寿命 (h)	主要尺寸(mm)			灯头型号
							直径 (D)	全长 (L)	光中心 (H)	
JGF220-500	220	500	7120	1200	2900	100	81	118	78	E27/27
JGF220-1000	220	1000	17000	4000	2900	100	127	190	125	E40/45
SYF220-2000	220	2000	35200	9200	2900	50	152	215	140	E40/45
SYF220-3000	220	3000	52800	14100	2900	50	152	282	165	E40/75×54
SYF110-2000	110	2000	37900	10200	3000	50	152	215	140	E40/45
SYF110-3000	110	3000	57800	18300	3000	50	152	282	165	E40/75×54

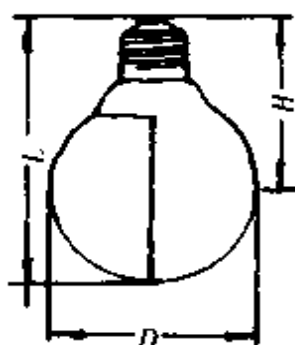


图 5.8.7 摄影灯泡外形图

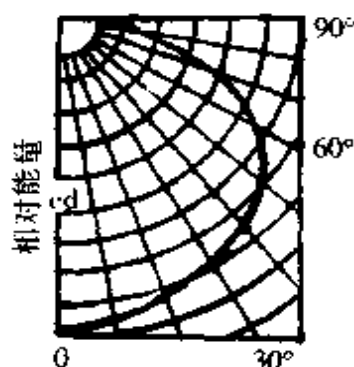


图 5.8.8 摄影灯泡配光曲线

2.2.1.12 聚光灯泡 适用于舞台照明、电影摄影及工地、大型厂房、公共场所、探照设备等处作强光照明,其中反射型聚光灯泡是玻壳内部镀有反射层的强光灯泡,可发出高强度的光辐射。表 5.8.14 示出其数据,其外形见图 5.8.9。

表 5.8.14 聚光灯泡数据

灯泡型号	额定值			极限值		主要尺寸(mm)			平均寿命(h)	灯头型号
	电压(V)	功率(W)	光强(cd)	功率(W)	光强(cd)	最大直径(D)	全长(L)	光中心高度(H)		
JG110-300	110	300	5050	330	4050	81	127	80±3	400	E27/27
JG110-500	110	500	9000	550	7200	127	180	115±5	400	E40/45
JG110-1000	110	1000	20000	1100	16000	127	205	125±5	400	E40/45
JG220-300	220	300	4850	330	3880	81	125	80±3	400	E27/27
JG220-500	220	500	8700	550	6950	127	180	115±5	400	E40/45
JG220-1000	220	1000	19500	1100	15600	127	205	125±5	400	E40/45
JGF110-300	110	300	870	330	700	81	125	80±3	200	E27/27
JGF110-500	110	500	1540	550	1230	127	180	115±5	200	E40/45
JGF110-1000	110	1000	4150	1100	3320	127	205	125±5	200	E40/45
JGF220-300	220	300	850	330	680	81	125	80±3	200	E27/27
JGF220-500	220	500	1500	550	1200	127	180	115±5	200	E40/45
JGF220-1000	220	1000	4000	1100	3200	127	205	125±5	200	E40/45

2.2.1.13 红外线灯泡 适用于直流或交流电路,作烘干、医疗、家畜饲养及灯光孵化等用。玻壳内壁有反射涂层,能将辐射出来的红外线集中向一个方向辐射,受热均匀。具有卫生、寿命长、成本低、使用方便等优点。表 5.8.15 列出其数据,其外形见图 5.8.10。

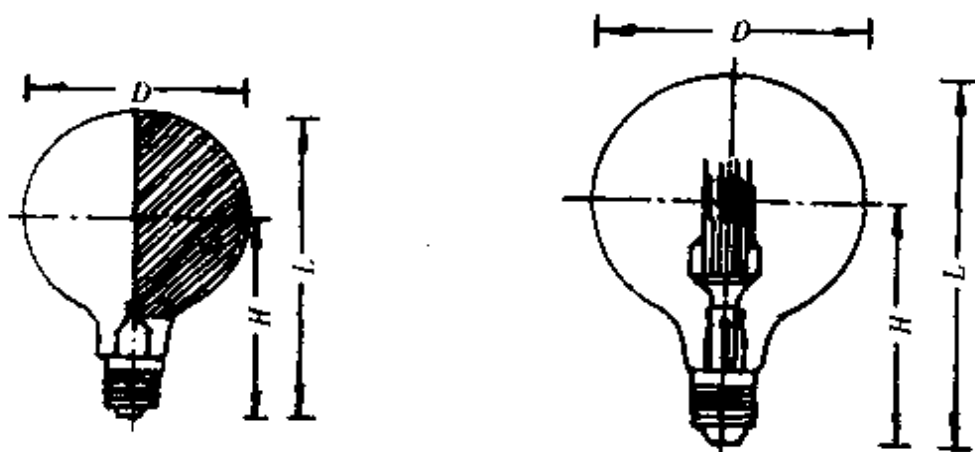


图 5.8.9 聚光灯泡外形图

表 5.8.15 红外线灯泡数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)		光效 (lm/W)		色温 (不大于) (K)	辐射 效率 (%)	主要尺寸 (mm)		平均 寿命 (h)	灯头型号
		额定 值	极限 值	额定 值	极限 值			直径 (D)	全长 (L)		
HW110-250	110	250	266				65	127	190 ± 7		
HW110-400	110	400	425				65	127	190 ± 7		
HW220-125	220	125	133.5	6.8	5.5	2350	60	81	129 ± 4	2000	E27/35 × 30
HW220-250	220	250	266				65	127	190 ± 7		
HW220-500	220	500	531				65	127	190 ± 7		

### 2.2.2 荧光灯

荧光灯是预热式阴极低压汞弧光放电灯,与普通白炽灯泡比,它具有光效高(约为普通白炽灯的四倍)、寿命长、色表好和显色性好的优点。

2.2.2.1 直管形荧光灯 适用于工厂、学校、机关、商店及家庭作室内照明用。它的内壁涂以不同的荧光粉,根据需要可做成不同的光色,发出白光、冷白光、暖白光及各种彩色的光线。表 5.8.16 列出其数据,其外形见图 5.8.11。



图 5.8.10 红外线灯泡外形图

表 5.8.16 典型直管形荧光灯数据

灯管型号	功率 (W)		光通量 (lm)		工作电压 (V)			电流 (A)		主要尺寸 (mm)				灯头型号	平均寿命 (h)	光衰退 (与燃点 100 小时实测值之比)	
	额定值	最大值	额定值	最小值	额定值	最大值	最小值	工作	预热	L 最大值	L <sub>1</sub>		D 最大值			燃点 200 小时	70% 寿命
											最大值	最小值					
YZ8RR	8	8.5	250	225	60	66	54	0.15	0.20	302.4	288.1	285.1	16.0	G5	1500	-	30%
YZ8RL			280	250													
YZ8RN			285	255													
YZ15RR	15	16.25	450	405	51	58	44	0.33	0.50	451.6	437.4	434.4	40.5	G13	3000	25%	-
YZ15RL			490	440													
YZ15RN			510	460													
YZ20RR	20	21.5	775	700	57	64	50	0.37	0.55	604.0	589.8	586.8	40.5	G13	3000	25%	-
YZ20RL			835	750													
YZ20RN			880	790													
YZ30RR	30	32	1295	1165	81	91	71	0.405	0.62	908.8	894.6	891.6	40.5	G13	5000	20%	30%
YZ30RL			1415	1275													
YZ30RN			1465	1320													
YZ40RR	40	42.5	2000	1800	103	113	93	0.45	0.65	1213.6	1199.4	1196.4	40.5	G13	5000	20%	30%
YZ40RL			2200	1980													
YZ40RN			2285	2055													
YZ20RN <sup>①</sup>	20	-	1000	-	59	-	-	0.36	-	604	589.8	-	32	-	3000	-	-
YZ40RR <sup>①</sup>	40	-	2500	-	107	-	-	0.43	-	1213.6	1199.4	-	32	-	5000	-	-
YZ40RR <sup>②</sup>	40	-	2200	-	103	-	-	0.43	-	1213.6	1199.4	-	38	-	5000	-	-

注:1. 型号中 RR 发光颜色为日光色 (色温为 6500K); RL 发光颜色为冷白色 (色温为 4500K); RN 发光颜色为暖白色 (色温为 2900K)。

2. 灯管在使用时必须配备相应的启辉器和镇流器。

3. 表中所列功率的数值为灯管本身的耗电量, 不包括镇流器的耗电量。

4. 预热式快速启动荧光灯管, 在使用时应配备相应的快速启动镇流器。

5. 配用镇流器的荧光灯照明线路中功率因数比较低, 为提高功率因数, 可在电路中并联一个电容器。

①为细管颈荧光灯管。

②为预热式快速启动荧光灯管。

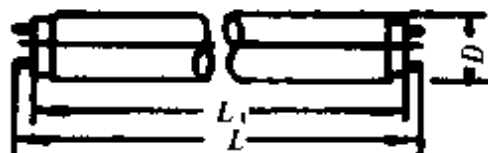


图 5.8.11 灯管外形尺寸

2.2.2.2 大功率直管形荧光灯 适用于工厂、机关、阅览室、礼堂、商店等较大面积场所的室内照明, 也可作为仪器光源。表 5.8.17 列出其数据, 其外形见图 5.8.12。

荧光灯管光色与型号对照如表 5.8.18 所示。

表 5.8.17 典型大功率直管荧光灯数据

灯管型号	电源电压 (V)	灯管电压 (V)	工作电流 (A)	功率 (W)		光通量 (lm)			启动方式	外形尺寸 (mm)				灯头型号	平均寿命 (h)
				额定值	最大值	额定值	最小值	寿终光衰退 (%)		L <sub>1</sub>		L 最大值	D 最大值		
										最大值	最小值				
YZ85RL	220	120 ± 10	0.80	85	90	5200	4900	30	不用启辉器	1763.8	1760	1778	40.5	G13	2000
YZ85RR	220	120 ± 10	0.80	85	90	4250	4000	30	不用启辉器	1763.8	1760	1778	40.5	G13	2000
YZ125RL	220	149 ± 15	0.94	125	132	7380	7000	30	不用启辉器	2374.9	2371	2389.1	40.5	G13	2000
YZ125RL	220	149 ± 15	0.94	125	132	7380	7000	30	不用启辉器	2374.9	2371	2389.1	40.5	G13	2000
YZ125RR	220	149 ± 15	0.94	125	132	6250	5900	30	不用启辉器	2374.9	2371	2389.1	40.5	G13	2000
YZ65RR	220	110 ± 10	0.67	65	68.75	-	-	-	-	1500	1497.0	1514.2	40.5	G13	-
YZ65RR <sup>①</sup>	220	120	0.67	65	-	3500	-	-	-	1500	-	1514.2	38	-	3000
YZ80RR	220	90 ± 10	0.87	80	84.5	-	-	-	-	1500	1497.0	1514.2	40.5	G13	-
YZ85RR <sup>①</sup>	220	120	0.80	85	-	4500	-	-	-	1763.8	-	1778	38	-	3000
YZ100RR <sup>②</sup>	220	92	1.50	100	-	4400	-	-	-	1199.4	-	1213.6	38	-	2000
YZ100RL <sup>②</sup>	220	92	1.50	100	-	4800	-	-	-	1199.4	-	1213.6	38	-	2000
YZ125RR <sup>①</sup>	220	149	0.94	125	-	5500	-	-	-	2374.9	-	2389.1	38	-	3000

注:1. 型号中 RR 发光颜色为日光色(色温为 6500K); RL 发光颜色为冷白光(色温 4500K)。

2. 寿终光衰退是指经 2000 或 3000 小时燃点后的测试值。

3. 灯管在使用时必须配备相应的启辉器和镇流器。

①为瞬时启动式(不用启辉器启动)荧光灯管。

②为预热式荧光灯管。

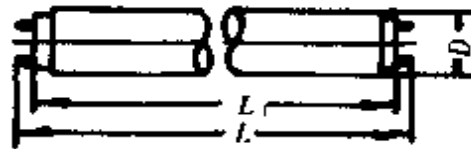


图 5.8.12 灯管外形尺寸

表 5.8.18 荧光灯管光色与型号对照表

光色	日光 6500K	冷白光 4500K	暖白光 2900K	绿	红	蓝	橙红	黄
型号	RR-40	RL-40	RN-40	RC-40	RH-40	RP-40	RS-40	RW-40

注:表中以 40W 为例,其余类推。

2.2.2.3 U形及环形荧光灯 它除有一般荧光灯的优点外,还有照度集中,照明均匀及造型优美等优点,可以用作装饰展览会、机车车厢及仪器照明等光源。表 5.8.19 和表 5.8.20 分别列出其数据。

表 5.8.19 典型 U 形荧光灯管数据

灯管型号	额定功率 (W)	工作电压 (V)			电流 (A)		光通量 (lm)		外形尺寸 (mm)				平均寿命 (h)	灯头型号
		额定值	最大值	最小值	工作	预热	额定值	极限值	L	L <sub>1</sub>	d	∅		
YU15RR	15	50	56	44	0.3	0.44	405	365	170 ± 5	163 ± 5	≤ 130	25 ± 1.5	1000	G13
YU30RR	30	108	118	98	0.36	0.56	1165	1049	415 ± 5	408 ± 5	≤ 130	25 ± 1.5	1000	G13
YU40RR	40	103	-	-	0.43	0.65	2300	-	626	611	-	38	2000	-

表 5.8.20 环形荧光灯管数据

灯管型号	额定功率 (W)	工作电压 (V)			电流 (A)		光通量 (lm)		外形尺寸 (mm)			平均寿命 (h)	灯头型号
		额定值	最大值	最小值	工作	预热	额定值	极限值	D	D <sub>1</sub>	∅		
YH20RR	20	57	-	-	0.37	0.55	800	-	207	145	32	2000	-
YH30RR	30	81	-	-	0.41	0.62	1400	-	308	244	32		
YH40RR	40	103	-	-	0.43	0.65	2300	-	397	333	32		

其外形如图 5.8.13 和图 5.8.14 所示。

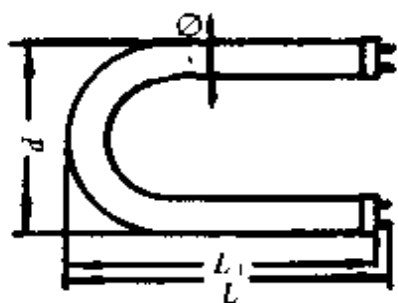


图 5.8.13 U 形荧光灯管外形尺寸

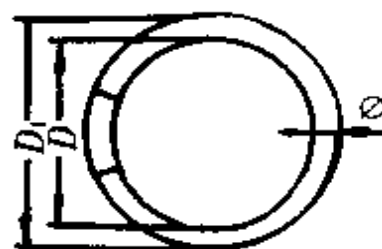


图 5.8.14 环形荧光灯管外形尺寸

2.2.2.4 三基色荧光灯 适用于电视录像的演播室、电化教育中心、宾馆、售货厅、展览厅、商场、文物馆等高级照明场所,也可作工矿企业的一般照明用。表 5.8.21 列出其数据。

表 5.8.21 三基色荧光灯数据

灯管型号	额定功率 (W)	外形尺寸 (mm)			额定参数				平均寿命 (h)	显色指数
		L	L <sub>1</sub>	D	启动电流 (A)	工作电流 (A)	灯管电压 (V)	光通量 (lm)		
YZS15RN	15	451.6	437.4	40.5	-	0.33	51	720	5000	80
YZS20RN	20	604	589.8	40.5	-	0.37	57	1240	5000	
YZS30RN	30	908.8	894.6	40.5	-	0.405	81	2070	5000	
YZS40RN	40	1213.6	1199.4	40.5	-	0.45	103	3200	5000	
YZS85RN	85	1778	1763.8	40.5	-	0.8	120	6800	3000	
YZS125RN	125	2389.1	2374.9	40.5	-	0.94	149	10000	3000	
3200K	40	1213.6	1199.4	38	0.65	0.43	103	3000	5000	
5000K	40	1213.6	1199.4	38	0.65	0.43	103	2800	5000	

注:1.灯管外形尺寸图及线路图与直管形荧光灯相同。

2.亮度比相同功率的直管形荧光灯高 20%。

3.显色性好,逼真,显示物体比本来物体的色力强。

4.用电量为卤钨灯的 1/3 至 1/6。

5.短波紫外线输出少,对高级文物的展览与保存有利。

2.2.2.5 冷阴极自镇流荧光灯管 不需外加镇流器等附属装置,可直接用于市电,使用方便,用电省,适用于家庭或亮度要求不高的地方照明。表 5.8.22 列出其数据,其外形见图 5.8.15。

表 5.8.22 冷阴极自镇流荧光灯管数据

灯管型号	电压 (V)	启动电压 (V)	功率 (W)		光通量 (lm)		平均寿命 (h)	外形尺寸 (mm)		灯头型号
			额定值	极限值	额定值	极限值		直径 (D)	长度 (L)	
YZZ <sub>3</sub> RL	220	190	3	4	21	18	3000	25	232	E27
YZZ <sub>3</sub>	220	190	3	2~4			1500	21.5	225	E22d/22

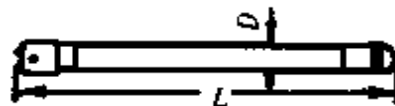


图 5.8.15 3 瓦荧光灯外形

2.2.2.6 低温快速启动荧光灯 灯的管壁涂有一条快速启动线,灯管接通电源后可即刻起跳燃点,光通量高、寿命长、无频闪现象。适用于工业与民用建筑、场地照明,该灯与相应灯具配合可作为化工等行业的防爆照明用。表 5.8.23 列出其数据,其外形见图 5.8.16。



表 5.8.23 低温快速启动日光灯数据

灯管型号	电压 (V)	功率 (W)		光通量 (lm)		工作电流 (A)	工作电压 (V)	平均寿命 (h)	外形尺寸 (mm)			
		额定值	极限值	额定值	极限值				全长 L	直径 D	灯脚直径 d	灯脚长 l
dsyz40RL	220	40	42.5	2300	1850	0.42	110 ± 10	5500	1218	38	6	18
dsyz20RL		20	21.5	950	760	0.23	57 ± 7	4000	610	40.5		

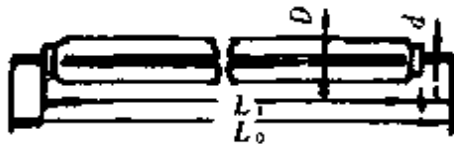


图 5.8.16 低温快速启动荧光灯外形

2.2.2.7 紫外线杀菌灯 该灯是低压水银灯的一种,其外壳是石英玻璃,点燃之后能辐射出波长 253.7nm 的高能紫外线,具有良好的杀菌效果。可用于医疗、细菌研究、制药和食品制造工业中作为杀菌、空气消毒及光化反应等用。表 5.8.24 列出其数据。

表 5.8.24 紫外线杀菌灯数据

型号	功率 (W)	电压 (V)	工作电压 (V)	预热电流 (A)	工作电流 (A)	外形尺寸 (mm)			灯头型号 (旧)
						全长	管长	外径	
ZSZ8	8	220~	60	0.22	0.16	302	287	16	2cj5
ZSZ15	15		65	0.45	0.3	452	437	20	2cj13
ZSZ30	30		140	0.5	0.25	910	895	20	2cj13

2.2.2.8 黑光灯 是一种能辐射出波长为 365nm 的紫外线的热阴极预热式低气压汞气荧光灯,由于某些昆虫对 365nm 紫外线有特别灵敏的向光性,黑光灯被广泛应用在农业上作夜间诱虫。近年来,还应用于光敏树脂的快速固化。表 5.8.25 列出其数据。

表 5.8.25 黑光灯数据

灯管型号	功率 (W)	工作电压 (V)	额定参数			外形尺寸 (mm)			平均寿命 (h)	灯头型号
			工作电流 (A)	启动电流 (A)	灯管压降 (V)	L 最大值	L <sub>1</sub> 最大值	D 最大值		
YHG8	8	60	0.15	0.20		302	288	16	1500	G5
YHG15	15	51	0.33	0.50		451	437	40.5	3000	G13
YHG20	20	57	0.37	0.55		604	589.8			
YHG30	30	81	0.40	0.62		908.8	894.6			
YHG40	40	103	0.43	0.65		1213.6	1199.4			
YHG100	100	92	1.5	1.8		1215.0	1200.0			
RA-20	20		0.35	0.46	60	604	589	38	2000	
RA-40	40		0.41	0.65	108	1215	1200			
RA-100	100		1.5	1.8	90	1215	1200			

注:1. 黑光灯的外形接线和配件与相应功率的普通荧光灯一致。

2. 装置黑光灯的架子(尤其是铁架)必须接地,绝对不能与相线(火线)相接,每只灯上应装置开关,检查灯管时应切断电源,以防触电。

3. 不能长时间目视燃点的黑光灯,以免紫外线灼伤眼睛。

2.2.2.9 縫隙式复印荧光灯管 分别用于以纯硒和硒碲合金作光导体的国产和进口静电复印机上,作复印文件、书和图纸的光源。该灯具有复印效果好、工作寿命长的优点。表 5.8.26 列出其数据。

表 5.8.26 縫隙式复印荧光灯管数据

灯管型号	功率 (W)	电流 (mA)	管电压 (V)	主要尺寸(mm)		相对燃点 $\times 100(\text{Lux})$
				直径 (D)	长度 (L)	
YF8	8	$220 \pm 10$	$54 \pm 2$	16	$301 \pm 1$	95
YF9	9			14	$330 \pm 1$	100
YF25	25	$800 \pm 10$	$37 \pm 2$	26	$374 \pm 3$	160

2.2.2.10 荧光灯用镇流器、启辉器和电容器 见表 5.8.27 至表 5.8.29。

表 5.8.27 镇流器数据

镇流器型号	功率 (W)	电压 (V)	工作状态		启动状态		最大功率 损耗 (W)	外形尺寸 (mm)			质量 (kg)
			电压 (V)	电流 (mA)	电压 (V)	电流 (mA)		长	宽	高	
YZ1-220/6	6	220	202	$140 + 20$	215	$180 \pm 20$	$\leq 4.5$	64	48	30	0.24
YZ1-220/8	8		200	$160 - 20$		$200 \pm 20$					
YZ1-220/15	15	220	202	$330 - 30$	215	$400 \pm 30$	$\leq 8$	120	60	42	0.87
YZ1-220/20	20		196	$350 - 30$		$460 \pm 30$					
YZ1-220/30	30(细)		163	$320 - 20$		$530 \pm 30$					
YZ1-220/30	30		180	$360 - 30$		$560 \pm 30$					
YZ1-220/40	40	220	165	$410 - 30$	215	$650 \pm 30$	$\leq 9$	120	60	42	0.87

表 5.8.28 荧光灯用启辉器数据

启辉器型号	额定电压 (V)	欠压启动		启辉电压 (V)	平均寿命 (次)
		电压 (V)	时间 (s)		
YQI-220/4~8	220	200	<5	$\geq 75$	5000
YQI-220/15~40	220	200	<4	$\geq 130$	5000
YQI-220/30~40	220	200	<4	$\geq 130$	5000
YQI-220/100	220	200	<5	130	5000
YQI-110-127/15~20	110~127	125	<5	75	3000
FS-2	110	105	<4	75	3000
FS-4	220	190	<4	130	5000
110~130V 25~80W	110~130	-	-	-	-
200~250V 4~80W	200~250	190	<4	$\geq 130$	5000

表 5.8.29 CZD 型荧光灯用电容器数据

型 号	额定电压 (V)	标称容量 ( $\mu\text{F}$ )	配用灯管 功率 (W)	外形尺寸(mm)			最大质量 (g)
				长	宽	高	
CZD	110/220	2.5	20	46	22	55	165
		3.75	30	48	28	65	240
		4.75	40			80	300

### 2.2.3 高压汞灯

2.2.3.1 荧光高压汞灯 是玻壳内表面涂有荧光粉的高压汞蒸气放电灯。与白炽灯泡比较具有光效高、寿命长、省电等优点,广泛应用于广场、街道、车间、车站、码头等场所,作大面积室内外照明光源。表 5.8.30 和表 5.8.31 列出其数据,其外形见图 5.8.17。



图 5.8.17 荧光高压汞灯外形图

表 5.8.30 荧光高压汞灯数据

灯泡型号	电压(V)	功率(W)	工作电压(V)	工作电流(A)	启动电压(V)	启动电流(A)	稳定时间(min)	再启动时间(min)	光通量(lm)	主要尺寸(mm)		光效(lm/W)	显色指数	镇流器阻抗 $\Omega$	平均寿命(h)	灯头型号
										直径 $D$	全长 $L$					
GGY50	220	50	95	0.62	180 (不大于)	1.0	10~15		1575	56	140	32		285	3500	F27/27
GGY80		80	110	0.85		1.3			2940	71	165	37		202		
GGY125	220	125	115	1.25	180 (不大于)	1.8		5~10	4990	81	184	40	35~40	134	5000	E27/35×30
GGY175		175	130	1.50		2.3			7350	91	215	42		100		
GGY250	220	250	130	2.15	180 (不大于)	3.7	4~8		11025	91	227	44		71	6000	E40/45
GGY400		400	135	3.25		5.7			21000	122	292	53		45		
GGY1000	220	1000	145	7.50		13.7			52500	182	400	53		18.5	5000	E40/75×64

注:1.灯泡在 $-20^{\circ}\text{C}$ 环境中启动电压不应大于210V。

- 2.灯泡必须与相应的镇流器配套使用。
- 3.电源电压的波动不能过大。
- 4.灯泡点燃稳定时间5~10min,再启动时间约10min。

表 5.8.31 GGY 型汞灯配套器件数据

灯泡型号	镇流器型号
GGY-50	GGY-50-Z
GGY-80	GGY-80-Z
GGY-125	GGY-125-Z
GGY-175	GGY-175-Z
GGY-250	GGY-250-Z
GGY-400	GGY-400-Z
GGY-1000	GGY-1000-Z

2.2.3.2 自镇流荧光高压汞灯 它是利用水银放电管、钨丝和荧光质三种发光要素同时发光的一种复合光源。适用于车间、礼堂、展览馆作室内照明光源,亦可在车站、广场码头、街道作室外照明光源。自镇流荧光高压汞灯泡的外形与荧光高压汞灯泡相同。表 5.8.32 列出其数据。

表 5.8.32 自镇流荧光高压汞灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电流 (A)	启动电压 (V)	启动电流 (A)	再启动时间 (min)	光通量 (lm)	主要尺寸 (mm)		平均寿命 (h)	灯头型号
								直径	全长		
GYZ100	220	100	0.46	180	0.56	3~6	1150	60	154	2500	E27/35×30
GYZ160		160	0.75		0.95		2560	81	184	2500	E27/35×30
GYZ250		250	1.20		1.70		4900	91	227	3000	E40/45
GYZ400		400	1.90		2.70		9200	122	310	3000	E40/45
GYZ450		450	2.25		3.50		11000	122	292	3000	E40/45
GYZ750		750	3.55		6.00		22500	152	370	3000	E40/55

2.2.3.3 反射型荧光高压汞灯 玻壳内壁镀反射层,具有发光效率高、寿命长、光线集中和有定向照射特性等优点,适用于广场、车间、码头、工地、运动场及工矿企业等场所照明。表 5.8.33 列出其数据,外形见图 5.8.18。

表 5.8.33 反射型荧光高压汞灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	光通量 (lm)	显色指数	光效 (lm/W)	主要尺寸		平均寿命 (h)	灯头型号	镇流器型号
								直径 D	全长 L			
GYF 400	220	400	135	3.25	16500	35~40	41	182	292	6000	E40/75×54	GGY-400-Z

2.2.3.4 晒图高压汞灯 是一种强紫外线光源,主要工作波长为 365nm,是晒图和复印设备的感光光源。还可应用于光化学及需要紫外线大面积照射的场合。表 5.8.34 示出其数据,外形见图 5.8.19。

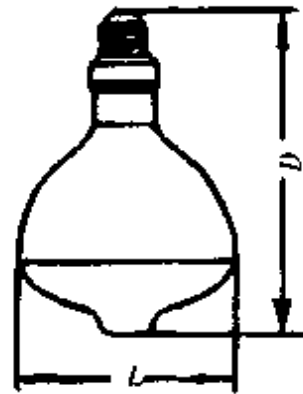


图 5.8.18 反射型荧光高压汞灯外形

表 5.8.34 晒图高压汞灯数据

灯泡型号	功率 (W)	电压 (V)	启动 电压 (V)	工作 电压 (V)	工作 电流 (A)	光通量 (lm)	寿命 (h)	主要尺寸(mm)			稳定 时间 (min)	再启动 时间 (min)
								外径 ( $\varnothing$ )	全长 (L)	有效发光 区长度 (l)		
GGS800	800	220	$\leq 600$	520	2.0	32000	3000	41	645	525	5~10	5~10
GGS1250	1250		$\leq$	650								
GGS1500	1500		$\leq 650$	650	2.5	38000						
GGS2000	1900		$\leq 1800$	1330	1.65	76000	3000	1350	1230			
GGS2000	2000		1500	1330	1.65	76000	38	1360	1230			
GGS3000	3000	380	1200	750	4.6	100000	1500	20	1380	1200		

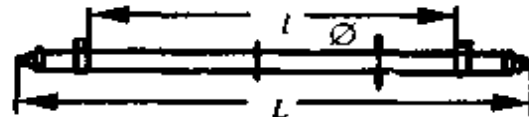


图 5.8.19 晒图高压汞灯外形

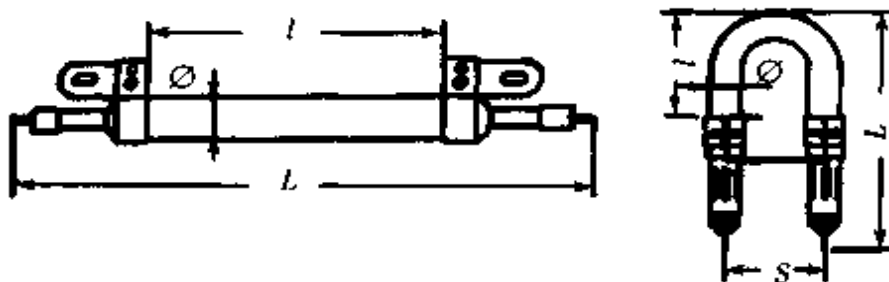


图 5.8.20 紫外线高压汞灯外形图

2.2.3.5 紫外线高压汞灯 是一种紫外线光源,主要工作波长 365nm,广泛应用于医学理疗、老化试验、塑料印刷、光化学、荧光分析和荧光探伤等方面。表 5.8.35 列出其数据,外形见图 5.8.20。

表 5.8.35 紫外线高压汞灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)			
						外径 ( $\varnothing$ )	全长 (L)	有效弧长 (l)	灯脚距 (S)
GGZ-125	220	125	115	1.2	500	10	110	28	-
GGZ-125A		125	115	1.2		10	56	28	50
GGZ-300		300	120	2.9		18.5	232	98	-
GGZ-500		500	125	4.4		20.5	290	144	-
GGZ-1000		1000	135	8.1		28.5	330	165	-
GGU-300		300	120	2.9		17	140	54	50
GGU-500		500	125	4.4		20.5	150	67	55

## 2.2.4 高压钠灯

2.2.4.1 高压钠灯 是一种高压钠蒸气放电灯,工作时发出金白色光。具有发光效率高,光效可达 90~100lm/W,用电省、透雾能力强等优点。广泛用于道路、机场、码头车站、广场及厂矿企业的照明。表 5.8.36 和表 5.8.37 示出其数据。

表 5.8.36 典型高压钠灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作 电压 (A)	工作 电流 (A)	光通量 (lm)	光效 (lm/W)	显色 指数	主要尺寸 (mm)		灯头型号	镇流器 型号
								直径	全长		
NG-110	220	110	95	1.40	8000	73	20~25	50	195	E27/35×30	GGY-125-Z
NG-215		215	100	2.45	16125	75		61	245	E40/45	GGY-250-Z
NG-250		250	100	3.0	20000	80					
NG-360		360	105	3.85	32400	90					
NG-400		440	100	4.6	38000	95		82	375	E40/75×54	GGY-400-Z
NG-1000	380	1000	185	6.5	100000	100	NG-400-Z				

注:NG-110~400W 配 CFQ-3-A 型触发器。

NG-215 灯泡配 HGD-500-1 型混光灯具。

NG-400 灯泡配 ZMD-400-1 型管形钠灯灯具。

高压钠灯配套器件有以下几部分:

(1)通用型高压钠灯电子启动器。供 70、100、215、250、360、400W 高压钠灯启动用。特点:体积小、启动快、使用寿命长,并允许在长时间空载情况下工作。

(2)NZW 系列高压钠灯外启动镇流器。供高压钠灯启动和镇流用。特点:采用启动器和镇流器一体结构,因此使用安装方便。启动快、使用寿命长、功耗省、温升低、线性阻抗好,延长了钠灯使用寿命。表 5.8.38 示出其数据。

表 5.8.37 典型高压钠灯数据

灯泡型号	光电参数									主要尺寸(mm)			平均寿命(h)	
	电压(V)	功率(W)	启动电压(V)	灯电压(V)	灯电流(A)	启动电流(A)	额定光通(lm) <sup>2</sup>	启动时间(s)	再启动时间(min)	直径(D)	长度(L)	灯头型号		
NG400	220	400	187 <sup>①</sup>	100 <sup>+20</sup> <sub>-15</sub>	4.6	5.7	42000	1	2	51	285	E40/45	5000	
NG360		360			3.25	5.7	36000				265			
NG250		250			3.0	3.8	23750							
NG215		215		2.35	3.7	19350	48				212			
NG150		150		1.8	2.2	12000								
NG110		110		1.25	1.45	8250								71
NG100		100		1.2	1.4	7500								
NG75		75		0.95	1.3	5250	71			175	E40/75 ×54			
NG70		70		0.9	1.2	4900								
NG1000		380		1000	185	6.5				100000	82	375		

注:①室温下零小时的数值;  
②点燃 100 小时后的数值。

表 5.8.38 NZW 系列高压钠灯外启动镇流器数据

型号	功率(W)	电压(V)	工作电流(A)	交流阻抗(Ω)	线性阻抗偏差值(%)	允许电源电压波动范围(V)	启动器工作电流(mA)	启动脉冲幅度(V)
NZW-400	400	220	4.6	39±1.2	≤±5	187~242	≤250	2500~5600
NZW-250	250		3.0	60±1.8				
NZW-150	150		1.8	100±3				
NZW-100	100		1.2	150±4.5				
NZW-70	70		0.9	200±6				

(3)DK 系列高压钠灯镇流器。与 70、100、150、250、400W 高压钠灯和启动器配套。特点:采用 C 型铁心结构、真空浸漆、整体灌注新工艺,安全可靠。表 5.8.39 示出其数据。

表 5.8.39 DK 系列高压钠灯镇流器数据

技术指标	型 号				
	DK-70	DK-100	DK-150	DK-250	DK-400
电源电压(V)	220				
工作电压(V)	180				
工作电流(A)	0.9	1.2	1.8	3.0	4.6
交流阻抗(Ω)	200	150	100	60	39
启动电流(A)	≤1.1	≤1.5	≤2.2	≤3.6	≤5.6
功率因数 cosφ	≤0.06	≤0.058	0.055	≤0.055	≤0.05
允许电源电压波动范围(V)	187~242				
线性偏差(%)	≤±5				
温升(℃)	≤30				
外形尺寸(mm)	198×104×80	198×104×80	218×104×80	218×104×102	240×126×102
质量(kg)	≤4.5	≤4.5	≤5	≤6	≤8



2.2.4.2 低压钠灯 它辐射单色黄光、光效高达 140lm/W 以上,透雾能力强。适用于公路、隧道、港口、货场和矿区的照明。表 5.8.40 列出其数据,外形见图 5.8.21。

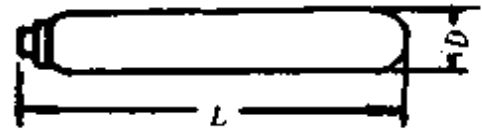


图 5.8.21 低压钠灯外形图

表 5.8.40 低压钠灯数据

灯泡型号	功率 (W)	电压 (V)	工作电流 (A)	工作电压 (V)	光通量 (lm)	外形尺寸(mm)		灯头型号	镇流器参数		
						D 不大于	L 不大于		校准 电流 (A)	电压/ 电流 比(Ω)	功率 因数
ND18	18	220	0.60		1800	54	216	BY22d	0.6	77	0.06
ND35	35			70	4800		311				
ND55	55		0.59	109	8000	425					
ND90	90		0.94	112	12500	528					
ND135	135		0.95	164	21500	775					
ND180	180		0.91	240	31500	1120					

### 2.2.5 卤钨灯

卤钨循环白炽灯(简称卤钨灯)是在白炽灯的基础上改进的产品。它与白炽灯比较有以下特点:体积小、光通稳定、光衰很小、光色好、光效高(每瓦为 10~30lm)、寿命长。但对电压波动比较敏感,耐震性也较差。

根据灯内充入的卤素不同,可分为碘钨灯和溴钨灯。溴钨灯的光效比碘钨灯高 4%~5%,色温也有所提高。碘钨灯和溴钨灯的结构、尺寸完全相同,因此,各生产厂对两灯的出厂数据均不区别。

2.2.5.1 照明管形卤钨灯 适用于体育场、广场、会场建筑物、舞台、工厂车间、机场的照明,也可用于火车、轮船、摄影、照相制版、烘干等场合。表 5.8.41 示出其数据,其外形见图 5.8.22。

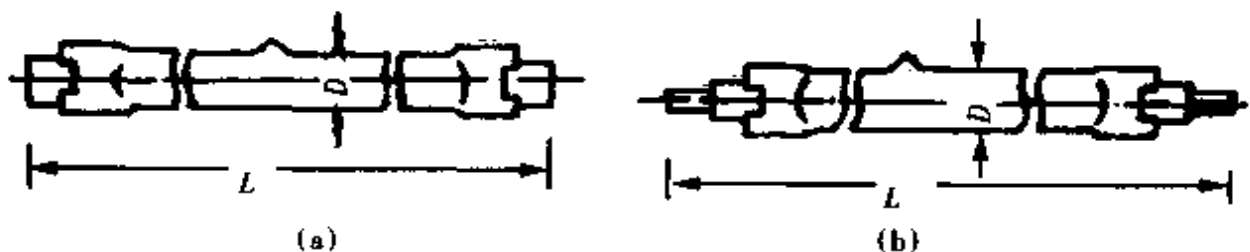


图 5.8.22 照明管形卤钨灯外形图

(a)顶式 (b)夹式

表 5.8.41 照明管形卤钨灯数据

灯泡型号	光电参数					外型尺寸		灯头型号	
	电压 (V)	功率 (W)	光通量 (lm)	色温 (K)	寿命 (h)	长度(L)	直径(D)		
						mm			
LZG36-70	36	70	1000	2800	1500	90 ± 2	9.5 ~ 10.5	Fa4	
LZG36-150		150	2400			96 ± 2			
LZG36-300		300	6000			64 ± 2	13		
LZG36-500		500	7000			182 ± 2	10.5 ~ 11.5		
LZG55-100	55	100	1500	1000	1500	80 ± 2	10		
LZG110-500	110	500	10250			123 ± 2	12		
LZG220-500	220	500	9020			1000		≤ 177	
LZG220-1000		1000	21000			1500		210 ± 2	
LZG220-1000J <sub>1</sub>		1000	21000	≤ 2.32					
LZG220-1500		1500	31500	293 ± 2	13.5				
LZG220-1500J <sub>1</sub>		1500		≤ 310					
LZG220-2000		2000	42000	293 ± 2					
LZG220-2000J <sub>1</sub>	2000	≤ 310							

2.2.5.2 红外线卤钨灯管 适用于烘干加热、取暖及作其他特种热源,受热温度均匀、使用方便。用于缝纫机、自行车、汽车、拖拉机等工业部门的烘化工艺,对棉布、丝绸印染工业等方面的烘干尤为适宜。表 5.8.42 列出其数据。

2.2.5.3 高硅氧远红外线管 灯壳是石英玻璃管,灯外壁涂有染色的高硅氧玻璃,具有全辐射能量大、体积小、重量轻、安装方便、寿命长、升温快、节约电力等特点。适用于多种工业的加热、烘烤、固化和脱水干燥。表 5.8.43 列出其数据。

表 5.8.42 红外线卤钨灯管数据

灯管型号	光电参数				外形尺寸		灯头型号
	电压 (V)	功率 (W)	色温 (K)	寿命 (h)	直径	全长	
					mm		
LHW220-500A	220	500	2300	5000	12	221 ± 3	R7s
LHW220-500B						223 ± 3	Fa4
LHW220-900		900				293 ± 3	
LHW220-1000A		1000				315 ± 3	R7s
LHW220-1000B						343 ± 3	Fa4
LHW110-500	110	500		2000		152 ± 3	
LHW220-500	220	500			10	≤275	
LHW220-1000		1000		5000	12	≤367	Fa4
LHW220-2000		2000			13	≤540	
LHW220-3600			3600		14	310	
LHW220-600	380	600				371 ± 3	Fa4
LHW380-/ 3000-4000		3000	2400	5000	18~3	683 ± 3	
		4000					

表 5.8.43 高硅氟远红外线管数据

灯管型号	电压 (V)	功率(W)		表面温度 (℃)	主要辐射 波长 (μm)	辐射峰 值波长 (μm)	平均 寿命 (h)	外形尺寸(mm)		灯头 型号
		额定值	极限值					直径 (D)	全长 (L)	
LHWG220-500	220	500	520	550~600	2.5	3~4	2000	9.5~ 10.5	240~250	R7s Fa4
LHWG220-600		600	624	480~530					405 ± 3	
LHWG220-750		750	780	620~670					300 ± 3	

## 2.2.6 氙灯

2.2.6.1 管形氙灯 是理想的光源,可见光部分接近于太阳光谱,点燃方便,不需要镇流器,自然冷却,能瞬时启动,可在交流电源网路中直接燃点。适用于广场、海港、机场的照明,还可用于老化试验的场所。表 5.8.44 列出其数据,其外形见图 5.8.23。

表 5.8.44 XG、XFG、XSG 型管形氙灯数据

灯管型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	光通量 (lm)	主要尺寸 (mm)				寿命 (h)	图号
						直径 (D)	全长 (L)	安装长 ( $L_0$ )	极间距离 ( $d_0$ )		
XG1500	220	1500	60	20	30000	32	350	280	150	1000	(a)
XFG1500			90	17		15	390	370	270		
XG3000	220	3000		14	60000	15	$\frac{680}{720}$	15	$580 \pm 20$	1000	(b)
XG6000		6000		27	120000	$\frac{19}{21}$	1070	21	$870 \pm 10$		
XG10000		10000		46	250000	25	1420	26	$1050 \pm 20$		
XG20000		20000		91	580000	38	1700	38	$1300 \pm 20$		
XG20000	380	6000			580000	28	2500			500	(c)
XSG6000 (水冷)	220			27	120000	9	425		$250 \pm 5$		

注:1. 启动灯管时应配用相应的触发器。

2. 因为灯需要高频高压启动,所以高压端配线对地应有良好绝缘,绝缘强度不应小于 30kV。

3. 灯燃点时有紫外线辐射,不可长时间近距离直接照射,以免紫外线灼伤。

4. 不同生产单位的接线方式不同,有的是螺母硬固定,有的是软线引出。

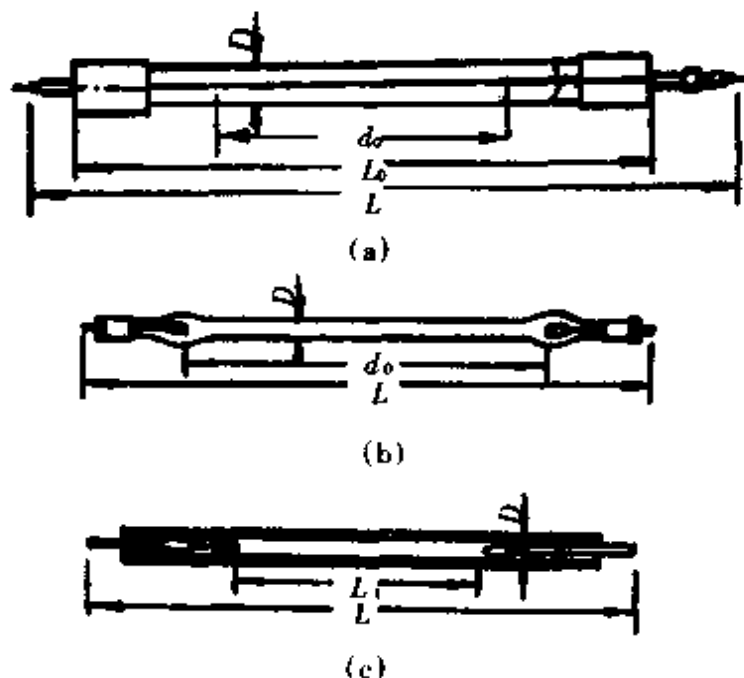


图 5.8.23 管形氙灯外形图

2.2.6.2 管形汞氙灯 具有汞灯和氙灯的优点,紫外线辐射强、光色好,应用于照相制版、棉布和化纤织物及橡胶老化试验。表 5.8.45 列出其数据,外形见图

5.8.24。

表 5.8.45 GXG 型管形汞灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作电压 (V)	工作电流 (A)	光通量 (lm)	平均寿命 (h)	主要尺寸(mm)	
							外径 ( $\varnothing$ )	全长 (L)
GXG-1000	220	1000	145	7.5	38000	1000	20	380



图 5.8.24 管形汞灯外形图

2.2.6.3 10kW 自然冷却式管形汞灯 功率大、体积小、光色好、光效高、功率因数高、启动方便、随开随亮、不需镇流及冷却装置。主要适用于广场、城市主要街道、机场、车站、码头、大型工地、厂房、体育场(馆)以及其他需要大面积高亮度的照明场所。表 5.8.46 列出其数据。

表 5.8.46 SZ 型 10000W 管形汞灯数据

型号	电压 (V)	电流 (A)	灯管直径 (mm)	全长 (mm)	极间距离 (mm)	发光效率 (lm/W)	平均寿命 (h)
SZ10.000	220	45	25 $\pm$ 1	1500	1050	25.5	1000

注:配 XC-10A 型汞灯触发器使用。

### 2.2.7 金属卤化物灯

它是近年发展起来的新型光源,具有光效高和光色好的优点,光效达 80lm/W,是普通白炽灯的 4~5 倍,适用于广场、体育场、机场的照明。表 5.8.47 列出其数据,表 5.8.48 和表 5.8.49 列出其配件数据,其外形见图 5.8.25。

表 5.8.47 金属卤化物灯数据

灯泡型号	电压 (V)	功率 (W)	工作 电压 (V)	工作 电流 (A)	光通量 (lm)	色温 (K)	显色 指数	主要尺寸 (mm)		燃点位置, 安装高度(m)	平均 寿命 (h)
								直径 D	全长 L		
DDG-1000	220	1000	130	8.3	70000	5000 ~ 7000	70	91	370	水平 ± 15°	500
DDG-2000	380	2000	220	10.3	150000		75	111	450		
DDG-3500		3500		18.0	280000		80	122	485		
DDG-3500A						4500 ~ 6500	70			倾斜 45 ± 15°	
DDG-250	380/	250	220	1.25	17500	6000 ± 1000	80	91	230	垂直 ± 15°	1000
DDG-400		480		2.75	33600		80	122	292		
DDF-250	220	250		1.25		46000	175	180	257	水平 ± 30°	1500
DDF-400		480		2.75		95000					1000
NTY-400	220	400	120	3.6	24000	6000 ± 1000	60	80	380	10 ~ 15	1000
NTY-1000		1000		10	75000			200	220	15	
NTY-1000A		1000						80	380		
NTY-3500A	380	3500	220	18	240000			100	490	25	
NTY-2000A		2000		10.3	140000						
KNG-1500	220/	1500	灯管 400~	3.6	120000	3500 ~ 5500		17	225		1000
KNG-750	380	750	500	1.7	60000			15	170		
KNG-1000	220	1000	135	8.3	70000	5000 ~ 7000	60				1000

注:1. DDG 为充铊的金属卤化物灯——管形碘灯;NTY 为钠铊铟的金属卤化物灯——钠铊铟灯管;KNG 为充钪钠的金属卤化物灯;DDF 为反射型日光色碘灯(俗称:生物效应灯)。

2. 灯必须与相应的触发器和镇流器配套使用。

3. 灯泡开始燃点时经 10min 后才能达到稳定状态。熄灭后再启动须间隔 10 ~ 15min。

表 5.8.48 DDG-型镇流器数据

灯泡型号	镇流器		触发器型号	灯具型号
	阻抗 (Ω)	型号		
DDG-1000	17.6	DDG-1000-Z	1kW 火花型	ZMD-1000-1
DDG-2000	26.8		3.5kW 火花型	ZMD-3500-1
DDG-3500	15	DDG-3500-Z		
KNG-1000		DDG-1000-Z	1kW 火花型	ZMD-1000-1

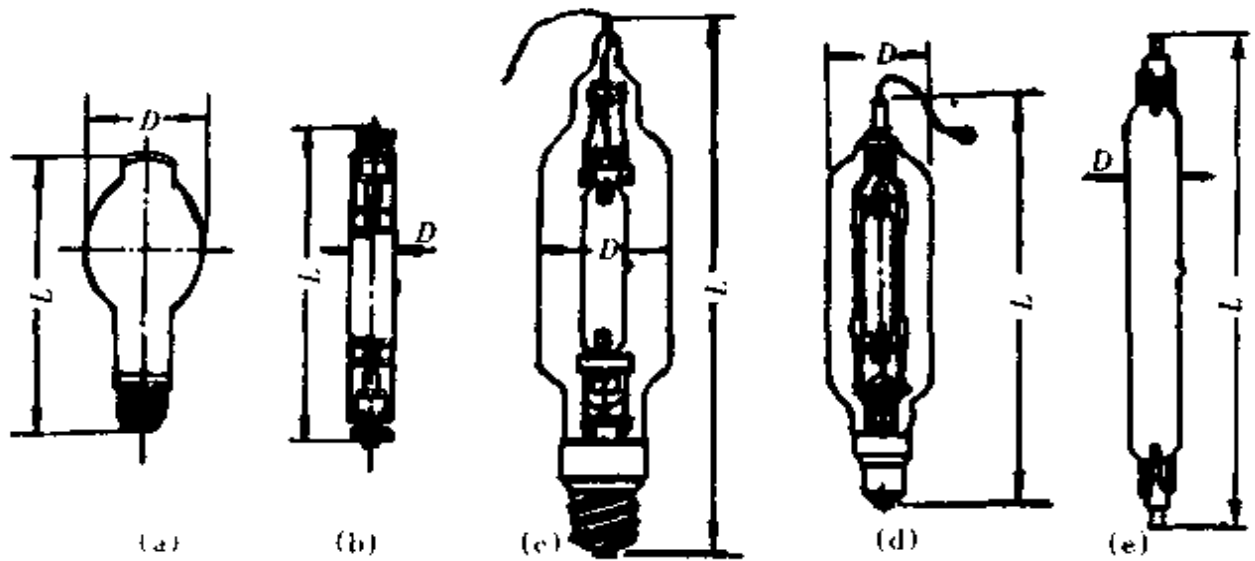


图 5.8.25 金属卤化物灯外形图

表 5.8.49 钠铊镨灯管 DYG-L<sub>1</sub>A 触发器数据

触发器型号	电压 (V)	触发频率 (kHz)	触发时间 (s)	触发极限时间 (s)	触发输出脉冲电压 (kV)	外形尺寸 (mm)
DYG-L <sub>1</sub> A	220	305	1~3	10	10	340 × 260 × 230

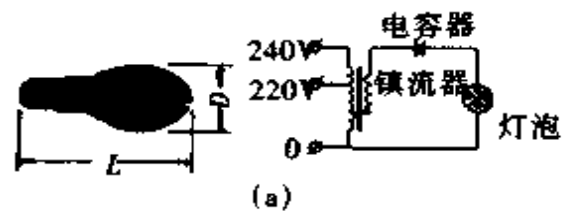
### 2.2.8 节能型金属卤化物灯

它的特点是日光色、发光效率高、寿命长、显色性好、任意位置燃点。可广泛用于体育场(馆)、展览中心、商场、游泳池等要求显色性好的室内外照明,也可用于街道、停车场、车站、码头等一般场所照明。表 5.8.50 给出 ZJD 系列金属卤化物灯的数据,图 5.8.26 给出了外形及接线图。

表 5.8.50 ZJD 系列金属卤化物灯的数据

灯泡 型号	功率 (W)	电源 电压 (V)	工作 电流 (A)	光通量 (lm)	平均 寿命 (h)	色温 (K)	灯 型号	主要尺寸 (mm)		燃点 位置	玻壳 外形图
								直径 (D)	全长 (L)		
ZJD150-1	150	220	1.5	11500	10000	4300	E27	56	146	任意	图 5.8. 26(a)
ZJD175-1	175			91				206			
ZJD250-1	250		2.15	20500			E40	122	280		
ZJD400-1	400		3.25	36000							
ZJD1000-1	1000		4.10	110000			3900	182	381		
ZJD1500-1	1500		6.20	155000							
ZJD150-2	150	380	1.5	11500	10000	4300	E27	81	184	任意	图 5.8. 26(b)
ZJD175-2	175			91				215			
ZJD250-2	250		2.15	20500			E40	122	280		
ZJD400-2	400		3.25	36000							
ZJD1000-2	1000		4.10	110000			3900	182	400		
ZJD1500-2	1500		6.20	155000							

功率(W)	电容(μF)
175	13
250	18
400	26
1000	30



灯泡型号	镇流器	触发器
ZJD150-2	175W 高压汞灯	CD-1
ZJD175-2	175W 高压汞灯	CD-3
ZJD250-2	250W 高压汞灯	CD-3
ZJD400-2	400W 高压汞灯	CD-3
ZJD1000-2	专用镇流器	CD-4
ZJD1500-2	专用镇流器	CD-4

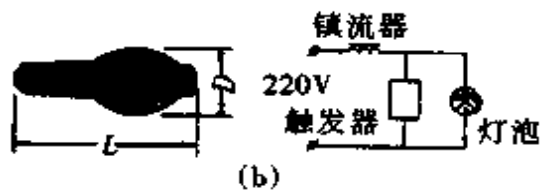


图 5.8.26 ZJD 系列金属卤化物灯外形图和接线图

注:150~400W 镇流器的阻抗和高压汞灯镇流器相同,但镇流器内浇注环氧绝缘材料

### 2.3 常用照明电光源的主要特性

照明用电光源品种很多,用途广泛。为了正确选择和使用照明电光源,就必须对各种常用的电光源特性参数有所了解和比较。

主要特性比较项目有:光量特性、光质特性、电气特性、机械特性、经济特性、心



理特性以及其他匹配特性等。常用照明电光源的主要特性比较见表 5.8.51。

表 5.8.51 常用照明电光源的主要特性比较

光源名称	普通照明灯泡	卤钨灯	荧光灯	荧光高压汞灯	管形氙灯	高压钠灯	金属卤化物灯
额定功率范围 (W)	15~1000	500~2000	6~200	50~1000	1500~100000	250、400	250~3500
光效 (lm/W) <sup>①</sup>	7~19	19.5~21	27~67	32~53	20~37	90、100	72~80
平均寿命 (h) <sup>②</sup>	1000	1500	1500~5000	3500~6000	500~1000	3000	1000~1500
一般显色指数	95~99	95~99	70~80	30~40	90~94	20~25	65~80
启动稳定时间	瞬时		1~3s	4~8s	1~2s	4~8min	4~10min
再启动时间	瞬时			5~10min	瞬时	10~20min	10~15min
功率因数 $\cos\varphi$	1	1	0.32~0.7	0.44~0.67	0.4~0.9	0.44	0.5~0.61
频闪效应	不明显			明显			
表面亮度	大	大	小	较大	大	较大	大
电压变化对光通量的影响	大	大	较大	较大	较大	大	较大
温度变化对光通量的影响	小	小	大	较小	小	较小	较小
耐震性能	较差	差	较好	好	好	较好	好
所需附件	无	无	镇流器、启辉器	镇流器	镇流器 <sup>③</sup> 、触发器	镇流器	镇流器、触发器 <sup>④</sup>

注：①光效是发光效率的简称，指一个电光源每消耗 1W 功率所发出的光通量，单位为 (lm/W)。

②光源的寿命有全寿命、有效寿命和平均寿命之分。全寿命指光源不能再启动和发光时所点燃的时间；有效寿命是指光源的发光效率下降到初始值的 70%~80% 时总共点燃的时间；平均寿命系指每批抽样试验产品有效寿命的平均值。

③小功率管形氙灯须用镇流器，大功率可不用镇流器。

④1000W 钠铊铟灯目前须用触发器启动。

由表中可见，白炽灯泡的发光效率是很低的，荧光灯的发光效率虽比白炽灯高得多，发光效率仍不很高。高压钠灯的发光效率最高。

按定义：1lm 相当于 1/683W 辐射功率，亦即 1W 电功率全部变为光能，可达 683lm。当然能量转换总是存在损耗的。白炽灯转换率最低，仅 1% 左右；荧光灯也只有 3.7%~10%；高压钠灯高些，转换率达 13%~15%。因此，工厂照明光源应选用高光效的电光源，并期待开发更高光效的电光源。

## 2.4 常用照明电光源的选用

一般工厂电气照明中,选用电光源种类的主要考虑因素是发光效率、寿命、显色性和初投资等。

根据常用照明电光源的特性以及不同场合对照明度的不同要求,应做到既要适用、经济,在可能的条件下尽量美观,又要避免浪费。总之,要按实际需求来选择合理的电光源。

(1)在较高的生产厂房、露天工作场所或主要道路等处,灯具悬挂高,又需要好的视看条件,宜选用荧光高压汞灯或卤钨灯,因为它们的单灯功率大、光效高、灯具少、投资省、维护量少。

(2)灯具悬挂在4m以下的车间、阅览室、商店等处,视看条件要好,宜采用荧光灯。由于灯具悬挂低,为了限制眩光和使照度均匀,不宜采用大功率电光源。荧光灯的光效高、寿命长、光色好、眩光少,应推荐采用。虽然初投资大些,但维修费用低,综合比较后还是经济的。

(3)在灯具高挂,又需大面积较好视看条件的屋外场所,例如露天场地、广场、体育场等宜采用管形氙灯,因为它具有功率大、光色好、光效高、受环境温度影响小、耐震动等特点。

(4)在特殊高大厂房或作为主要道路的照明场合,适宜采用金属卤化灯或高压钠灯,这是因为它的光效很高。

(5)白炽灯优点是简单经济、光色好、可频繁操作。常用于照度要求较低,且照明开关频繁的地方。

(6)如果采用一种电光源不能达到照明效果时,可在同一场所采用多种电光源混合改善光色。目前常见的混合方式是荧光高压汞灯与白炽灯混合。当白炽灯容量近似等于荧光高压汞灯容量的2倍时,可以得到较好的光色。只要白炽灯容量不小于荧光高压汞灯的容量,人们在视觉上就没有明显的不舒服感觉。

表5.8.52给出采用不同电光源的混光效果。

表 5.8.52 不同电光源的混光效果

混光方案	混光光源	白炽灯 或高压 钠灯占 混光 功率 (%)	白炽灯 或高压 钠灯占 混光 光通量 (%)	一般 显色 指数 $R_a$	混光 的光 效 (lm/W)
白炽灯 ( $R_a = 99$ ) 与 荧光高压汞灯 ( $R_a = 36$ ) 混光	白炽灯 $2 \times 500W$ 与 荧光高压汞灯 $1000W$	50	25	46	30
	白炽灯 $2 \times 500W$ 与荧光高压汞灯 $400W$	71	46	62	23
高压钠灯 ( $R_a = 21 \sim 25$ ) 与 荧光高压汞灯 混光	高压钠灯 $400W$ 与 荧光高压汞灯 $400W$	50	64	41	61
	高压钠灯 $2 \times 400W$ 与荧光高压汞灯 $400W$	67	78	50	67

表 5.8.53 几种光源的光通量波动深度

光源类型	接入电路的方式	光通量波动 深度(%)
日光色荧光灯	一灯接入单相电路	55
	二灯接入不同相电路	23
	二灯接入移相电路	23
	三灯接入不同相电路	5
冷白光色荧光灯	一灯接入单相电路	35
	二灯接入不同相电路	15
	二灯接入移相电路	15
	三灯接入不同相电路	3.1
荧光高压汞灯	一灯接入单相电路	65
	二灯接入不同相电路	31
	三灯接入不同相电路	5
氙灯	一灯接入单相电路	130
	二灯接入不同相电路	65
	三灯接入不同相电路	5
白炽灯	40W	13
	100W	5

由于交流电源的周期性变化,电光源的光通量也发生周期性的变化,从而会使人眼产生明显的闪烁感觉。表 5.8.53 给出几种电光源的光通量波动深度。根据实验,当光通量波动深度降低到 25% 以下时,频闪效应就可避免。

为了限制电光源直射眩光,一般距地面的悬挂最低高度及其保护角应不小于表 5.8.54 中的规定值。反过来,不同的厂房高度应选择何种电光源亦可从表中间接获得。

表 5.8.54 照明器最低悬挂高度

光源种类	反射器类型	保护角	灯泡容量 (W)	最低悬挂高度 (m)
白炽灯	搪瓷反射器	10°~30°	100 及以下	2.5
			150~200	3.0
			300~500	3.5
			500 以上	4.0
	乳白玻璃漫射罩		100 及以下	2.0
			150~200	2.5
			300~500	3.0
荧光高压汞灯	搪瓷反射器 铝抛光反射器	10°~30°	250 及以下	5.0
			400 及以上	6.0
卤钨灯	搪瓷反射器 铝抛光反射器	30° 及以上	500	6.0
			1000~2000	7.0
荧光灯	无反射器		40 及以下	2.0
金属卤化物灯	搪瓷反射器 铝抛光反射器	10°~30° 30°以上	400	6.0 <sup>①</sup>
			1000	14.0 以上
高压钠灯	搪瓷反射器 铝抛光反射器	10°~30°	250	6
			400	7

注:①1000W 金属卤化物灯有紫外线防护措施时,悬挂高度可适当降低。

表 5.8.55 给出各种电光源的适用场所及举例。

表 5.8.55 各种电光源的适用场所及举例

光源名称	适用场所	举 例
白炽灯	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 要求照度不高的生产厂房、仓库</li> <li>2. 局部照明,事故照明</li> <li>3. 要求频闪效应小的场所,开、关频繁的地方</li> <li>4. 需要避免气体放电灯对无线电设备或测试设备产生干扰的场所</li> <li>5. 需要调光的场所</li> </ol>	高度较低的机加工车间、配电所、变电所、小型动力站房、仓库、办公室、礼堂、宿舍、厂区次要道路等

续表

光源名称	适用场所	举例
卤钨灯	1. 照度要求较高, 显色性要求较好, 且无振动的场所 2. 要求频闪效应小的场所 3. 需要调光的场所	装配车间、精密机械加工车间及礼堂等
荧光灯	1. 悬挂高度较低, 又需要较高照度的场所 2. 需要正确识别色彩的场所	表面处理、理化、计量、仪表装配、主控制室、设计室、阅览室、办公室等
荧光 高压汞灯	照度要求高, 但对光色无特殊要求的场所	大中型机械加工车间、热加工车间、大中型动力站房及厂区主要道路等
管形氙灯	宜用于要求照明条件较好的大面积场所, 或在短时间需要强光照明的地方, 一般悬挂高度在20m以上	露天工作场地
金属卤化物灯	厂房高, 要求照度较高、光色较好的场所	铸钢车间、铸铁车间的熔化工段、总装车间、冷焊车间等
高压钠灯	1. 需要照度高, 但对光色无特殊要求的场所 2. 多烟尘的车间	铸钢车间、铸铁车间的熔化工段、清理工段、露天工作场地、厂区主要道路

### 3 电气装置和照明灯具

#### 3.1 电气装置件

##### 3.1.1 灯座

灯座有瓷质的、胶木压制的和金属材料的三种。使用时, 应根据不同使用场合、选择不同材料的灯座。灯座的种类大致分为螺旋式和插口式两种, 各种灯座的数据见表 5.8.56 所示。

表 5.8.56 灯座及启辉器座数据

名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
带开关悬吊式插口白炽灯座	250V、4A、C 22		∅37×65
悬吊式插口白炽灯座	250V、4A、C 22 50V、1A、C 15		∅34×48 ∅25×40
带开关悬吊式安全插口白炽灯座	250V、4A、C 22		∅43×75
悬吊式安全插口白炽灯座			∅43×65
带开关 M10 管接式插口白炽灯座	250V、4A、C 22		∅37×70
M10 管接式插口白炽灯座			∅35×55
平装式插口白炽灯座	250V、4A、C 22		∅57×41
	50V、1A、C 15		∅40×35
带开关悬吊式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅40×71
悬吊式螺口白炽灯座			∅40×56
带开关悬吊式安全螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅47×75
悬吊式安全螺口白炽灯座			∅47×65
带开关 M10 管接式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅40×77
M10 管接式螺口白炽灯座			∅40×61
平装式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅57×50
灯罩卡子			∅66×18
瓷平装式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅57×55
防雨悬吊式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅40×53
插口双插座分火带开关白炽灯座	250V、4A、C 22		60×45×38


续表

名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
插口双插座分火白炽灯座	250V、4A、C 22		45×40×31
插口单插座分火带开关白炽灯座	250V、4A、C 22		60×40×35
插口单插座分火白炽灯座	250V、4A、C 22		45×36×31
插口灯头式连接器	250V、4A、C 22		∅25×40
安全荧光灯座的活动座	250V、2.5A		54×33×45
安全荧光灯座的固定座(带启辉器座)	250V、2.5A		54×27×45
简易荧光灯座	250V、4A		58×20×37
带拉链开关 M10 管接式螺口白炽灯座	250V、4A、E 27		∅37×78
带拉链开关 M10 管接式插口白炽灯座	250V、4A、C 22		∅37×78
启辉器座	250V、2.5A		10×49×29 或∅41×12

### 3.1.2 开关、按钮开关及定时开关

各种开关、按钮开关及定时开关数据如表 5.8.57 所示。

表 5.8.57 开关、按钮开关及定时开关数据








名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
拉线开关	250V、4A		∅52×30
带吊线盒的拉线开关	250V、4A		∅57×40

续表










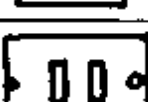



名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
瓷防雨式拉线开关	250V、4A		Ø72×87
吊线盒	250V、5A 或 250V、10A		Ø57×32
台灯开关	250V、2A		30×30×19
平开关	250V、5A		Ø52×40
带指示灯跷板式明开关	250V、4A		61×40×30
跷板式明开关	250V、4A		55×40×30
悬吊式跷板开关	250V、1A		55×18×25
明式电铃按钮	250V、3A		Ø45×30
悬吊式电铃按钮	50V、2.5A		Ø32×52
跷板式单控暗开关	250V、10A		86×86
跷板式双控暗开关			86×86
跷板式双联单控暗开关			
跷板式双联双控暗开关			
跷板式双联单控、双控暗开关			



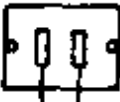
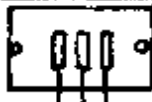



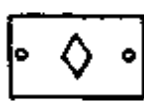

续表

名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
跷板式三联单控暗开关	250V、10A		86×86
跷板式三联双控暗开关			
跷板式三联单控、双控暗开关			
跷板式三联双控、单控暗开关			
带指示灯跷板式单控暗开关(I型)	250V、10A		86×86
带指示灯跷板式单控暗开关(II型)			
带指示灯跷板式双控暗开关			
带指示灯跷板式双联单控暗开关(I型)			
带指示灯跷板式双联单控暗开关(II型)	250V、10A		86×86
带指示灯跷板式双联双控暗开关			
带指示灯跷板式双联单控、双控暗开关			
带指示灯跷板式三联单控暗开关			
带指示灯跷板式三联双控暗开关	250V、10A		86×86
带指示灯跷板式三联单控、双控暗开关			
带指示灯跷板式三联双控、单控暗开关			
带指示灯跷板式三联双控、单控暗开关			
防潮防溅式单控暗开关	250V、10A		86×86
防潮防溅式双控暗开关			
防潮防溅式双联单控暗开关			
防潮防溅式双联双控暗开关			
防潮防溅式双联单控、双控暗开关	250V、10A		86×86
带指示灯防潮防溅式单控暗开关(I)			
带指示灯防潮防溅式单控暗开关(II)			
带指示灯防潮防溅式双控暗开关			
带指示灯防潮防溅式双联单控暗开关(I)	250V、10A		86×86
带指示灯防潮防溅式双联单控暗开关(II)			
带指示灯防潮防溅式双联双控暗开关			
带指示灯防潮防溅式双联单控、双控暗开关			

续表

名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
跷板式电铃开关	250V、0.3A		86×86
带指示灯跷板式电铃开关	250V、0.3A		86×86
带指示灯防潮防溅跷板式电铃开关	250V、0.3A		86×86
拉线式暗开关	250V、0.6A		86×86
拉线式双联暗开关	250V、0.6A		86×86
拉线式三联暗开关	250V、0.6A		86×86
暗装式电铃按钮	250V、6A		75×75
暗装式电话出线板			
带指示灯跷板式单控暗开关	250V、10A		75×75
跷板式单控暗开关	250V、10A		75×75
跷板式双联单控暗开关	250V、10A		75×100
跷板式三联单控暗开关	250V、10A		75×100
跷板式四联单控暗开关	250V、10A		75×125
拉线式暗开关	250V、4A		75×75
			75×100

续表

名称	规格	外形图	外形尺寸 (mm)
拉线式双联暗开关	250V、4A		75×100
拉线式三联暗开关	250V、4A		75×130
拉线式四联暗开关	250V、4A		75×130
跷板式附装开关	250V、10A		-
拉线式附装开关	250V、4A		-
暗装定时开关	250V、4A		75×100 83×108
变光开关	250V、25、40W		70×52

注:1. 表中所列 86 系列产品,是根据中国邮电工业总公司接插件经理部提供的资料而编写的。各种面板出厂时均为磁白色,有特殊要求可在订货时提出。表中所列 86 系列产品的跷板式开关,其安装孔尺寸除注明者以外,均为 60.3mm。

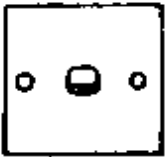





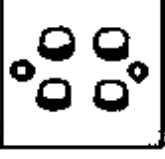
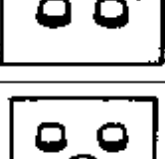
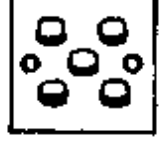
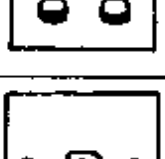

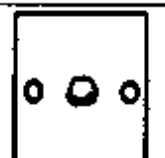

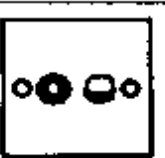
2. 暗装定时开关型号为 DK-A,安装时需配 XSS1 型暗盒。该产品在出厂时整定延时为 3min,如需改变延时时可在 1~10min 内调整,但订货时必须说明。

3. 变光开关目前只适用于普通白炽灯泡,不能用于荧光灯等气体放电灯。它使用简便,开关的一挡为强光,二挡为弱光,三挡为熄灭,安装方法与普通拉线开关一样,适用于卧室、厨房、病房、托儿所、庭院、走廊壁灯等场所。



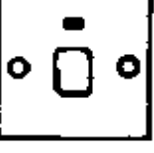
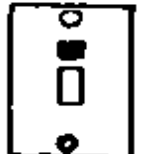





### 3.1.3 E 系列开关、插座、接线座

该产品设计新颖、安全耐用、美观别致、使用方便,适用于中、高级民用建筑或一般工业建筑,其数据见表 5.8.58。

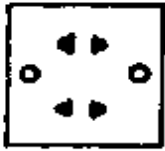


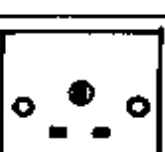





表 5.8.58 E 系列开关、插座、接线座数据

名称	规格	外形图	编号
单联单控开关	250V、10A		E31/1/2A
单联双控开关	250V、10A		E31/2/3A
双联单控开关	250V、10A		E32/1/2A
双联双控开关	250V、10A		E32/2/3A
三联单控开关	250V、10A		E33/1/2A
三联双控开关	250V、10A		E33/2/3A
四联单控开关	250V、10A		E34/1/2A
四联双控开关	250V、10A		E34/2/3A
五联单控开关	250V、10A		E35/1/2A
五联双控开关	250V、10A		E35/2/3A
电铃开关	250V、15A		E31BPA2
双极开关	250V、20A		E31D20A
双极带指示灯开关	250V、20A		E32D20NA
调光开关	250V、500VA		E32V500


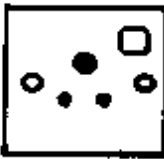


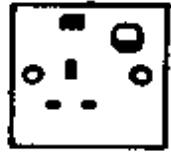




续表

名称	规格	外形图	编号
风扇调速开关	250V、400VA		E32V400F
双极重型开关(带指示灯)	250V、30A		ED30NSP
双极重型开关(带指示灯)	250V、45A		ED45NSP
三相三极重型开关 (带指示灯)	450V、35A		ET35N
5A 250V 圆脚插座	250V、5A		E426/5
扁脚插座(不带保护门)	250V、10A		E426/10
扁脚插座	250V、10A		E426/10S
带熔丝管扁脚插座	250V、10A		E426/10SF
扁圆两用插座	250V、10A		E426U





续表

名称	规格	外形图	编号
双联扁圆两用插座	250V、10A		E426U2
双联扁圆及扁脚插座 (不带保护门)	250V、10A		E426/10U
双联扁圆及扁脚插座	250V、10A		E426/10US
方脚插座	250V、13A		E426
圆脚插座	250V、15A		E426/15
扁脚插座	250V、15A		E426/15CS
带开关圆脚插座	250V、5A		E15/S
带开关扁脚插座	250V、10A		E15/10S
带开关扁圆两用插座	250V、10A		E15U

续表

名称	规格	外形图	编号
带开关方脚插座	250V、13A		E15
带开关圆脚插座	250V、15A		E15/15
带开关带灯圆脚插座	250V、5A		E15/5N
带开关带灯扁脚插座	250V、10A		E15/10N
带开关带灯方脚插座	250V、13A		E15N
带开关带灯圆脚插座	250V、15A		E15/15N
单联扁脚插座(二极)	250V、10A		E31/405A
双联扁脚插座(二极)	250V、10A		E32/405A
带熔丝管接线座	250V、13A		E30FSG

续表

名称	规格	外形图	编号
带熔丝管及双极开关接线座	250V、13A		E31D20FSG
带熔丝管、双极开关及指示灯接线座	250V、13A		E32D20NFSG
接线座	250V、25A		E31TB
接线座	250V、45A		E554

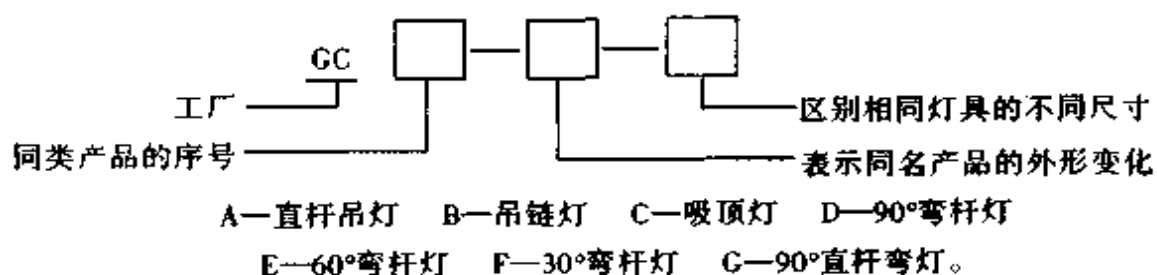
注：1. 外形尺寸(mm)全部为 86×86。

2. 除注明者外，所有插座均带保护门。

## 3.2 照明灯具

### 3.2.1 一般工厂灯具

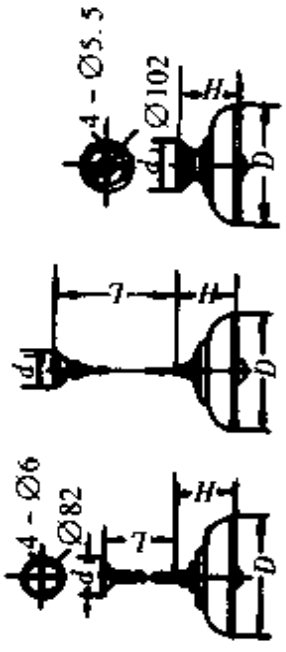
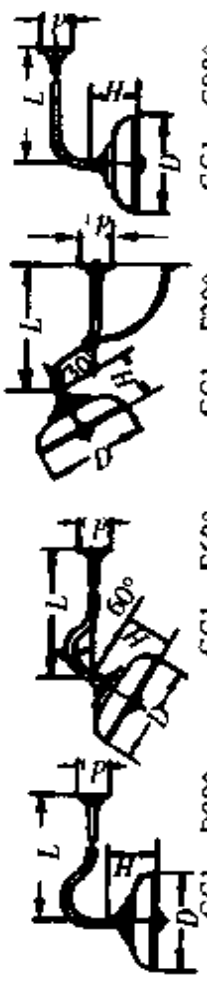
#### 3.2.1.1 型号说明



3.2.1.2 种类、外形、用途及技术参数 各种工厂灯具的名称、用途、外形图及技术数据列于表 5.8.59。



表 5.8.59 各种工厂灯具

名称	配照型工厂灯	用途	适用于一般性厂房、仓库及公共场所等照明	外形尺寸(mm)						质量(kg)
				型号	功率(W)	电压(V)	$d_1$	D	L	
外形	 <p>GCI-A GCI-B GCI-C</p>	结构特点	钢板搪瓷灯罩, 铝合金外壳, 内腔为白色, 外面为灰色。白瓷螺口风雨灯头, 铝合金灯座, 铸铁底座, 15mm 的焊接钢管。E27 灯头	GCI-D90°	GCI-E60°	GCI-F30°	GCI-G90°			
图	 <p>GCI-D90° GCI-E60° GCI-F30° GCI-G90°</p>	特点		GCI-D90°	GCI-E60°	GCI-F30°	GCI-G90°			
型号	GCI-A、B-1 GCI-C-1 GCI-D、E、F、G-1 GCI-A、B-2 GCI-C-2 GCI-D、E、F、G-2	PZ220-60~100 PZ220-60~100 PZ220-60~100 PZ220-150~200 PZ220-150~200 PZ220-150~200	60~100 60~100 60~100 150~200 150~200 150~200	220 220 220 220 220 220	100 120 100 100 120 100	355 355 355 406 406 406	300~1000 - 300 300~1000 - 350	209 210 209 200 220 200	质量(kg)	

摘要

名称	广照型工厂灯		用途	适用于车间、货垛、要道等固定照明																																																					
外形图	<p>GC3 - A GC3 - B GC3 - C GC3 - D90° GC3 - E60° GC3 - F30° GC3 - G90°</p>		结构特点	钢板搪瓷灯罩, 铝合金壳, 内腔为白色, 外面为灰色, 白瓷螺口风罩, 铸铝灯座, 铸铁底座, 15mm 焊接钢管。E27 灯头																																																					
型号	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">光源</th> <th colspan="3">外形尺寸(mm)</th> <th rowspan="2">质量(kg)</th> </tr> <tr> <th>型号</th> <th>功率(W)</th> <th>电压(V)</th> <th>d<sub>1</sub></th> <th>L</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GC3-A、B-1</td> <td>PZ220-60~100</td> <td>60~100</td> <td>220</td> <td>100</td> <td>300~1000</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>GC3-C-1</td> <td>PZ220-60~100</td> <td>60~100</td> <td>220</td> <td>120</td> <td>-</td> <td>165</td> </tr> <tr> <td>GC3-D、E、F、G-1</td> <td>PZ220-60~100</td> <td>60~100</td> <td>220</td> <td>100</td> <td>300</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>GC3-A、B-2</td> <td>PZ220-150~200</td> <td>150~200</td> <td>220</td> <td>100</td> <td>300~1000</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>GC3-C-2</td> <td>PZ220-150~200</td> <td>150~200</td> <td>220</td> <td>120</td> <td>-</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>GC3-D、E、F、G-2</td> <td>PZ220-150~200</td> <td>150~200</td> <td>220</td> <td>100</td> <td>300</td> <td>150</td> </tr> </tbody> </table>		光源		外形尺寸(mm)			质量(kg)	型号	功率(W)	电压(V)	d <sub>1</sub>	L	H	GC3-A、B-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	300~1000	140	GC3-C-1	PZ220-60~100	60~100	220	120	-	165	GC3-D、E、F、G-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	300	140	GC3-A、B-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	300~1000	150	GC3-C-2	PZ220-150~200	150~200	220	120	-	180	GC3-D、E、F、G-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	300	150	质量(kg)
光源		外形尺寸(mm)			质量(kg)																																																				
型号	功率(W)	电压(V)	d <sub>1</sub>	L		H																																																			
GC3-A、B-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	300~1000	140																																																			
GC3-C-1	PZ220-60~100	60~100	220	120	-	165																																																			
GC3-D、E、F、G-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	300	140																																																			
GC3-A、B-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	300~1000	150																																																			
GC3-C-2	PZ220-150~200	150~200	220	120	-	180																																																			
GC3-D、E、F、G-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	300	150																																																			

续表

名称	深照型工厂灯		用途	结构特点			
	适用于较高厂房、球场、大型机床间作固定照明						
外形图				钢板搪瓷灯罩, 内控白色, 外面灰色, 白瓷螺口风雨灯头, 铸铝灯座, 铸铁底座。15mm 焊接钢管。 200W 及以下为 E 27 灯头, 300 ~ 500W 为 E 40 灯头			
型号	型号	功率 (W)	电压 (V)	外形尺寸 (mm)		质量 (kg)	
GC5-A、B-1 GC5-C-1 GC5-D、E、F、G-1 GC5-A、B-2 GC5-C-2 GC5-D、E、F、G-2 GC5-A、B-3 GC5-C-3 GC5-D、E、F、G-3 GC5-A、B-4 GC5-C-4	PZ220-60~100 PZ220-60~100 PZ220-60~100 PZ220-150~200 PZ220-150~200 PZ220-150~200 PZ220-300 PZ220-300 PZ220-300 PZ220-300~500 PZ220-300~500	60~100 60~100 60~100 150~200 150~200 150~200 300 300 300 300~500 300~500	220 220 220 220 220 220 220 220 220 220 220	d <sub>1</sub>	D	L	H
				100 120 100 100 120 100 100 120 100 100 120	220 220 220 250 250 250 300 300 300 350 350	300~1000 - 300 300~1000 - 350 300~1000 - 400 300~1000 -	235 245 235 260 270 260 310 320 310 340 350

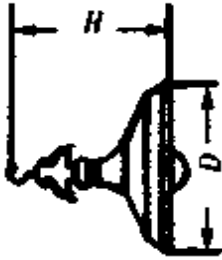
续表

名称	斜照型工厂灯	用途	结构特点	光源					外形尺寸(mm)			质量(kg)	
				型号	功率(W)	电压(V)	$d_1$	D	L	H			
名称	斜照型工厂灯	适用于室内外的画廊、 广告牌等作固定照明	<p>GC7-A GC7-C GC7-D90° GC7-C90°</p>						300~1000	220	100	220	255
				<p>钢板搪瓷或镀铬抛光 灯罩,白瓷螺口风雨灯 头,铸铝灯座,E27灯头, F3num的焊接钢管</p>						-	220	120	220
									300	220	100	220	256
									300~1000	220	100	220	285
									-	220	120	220	290
									350	220	100	220	285
名称	型号			光源		外形尺寸(mm)			质量(kg)				
GC7-A-1	PZ220-60			60	220	100	220	300~1000	255				
GC7-C-1	PZ220-60			60	220	120	220	-	265				
GC7-D、G-1	PZ220-60			60	220	100	220	300	256				
GC7-A-2	PZ220-100			100	220	100	250	300~1000	285				
GC7-C-2	PZ220-100			100	220	120	250	-	290				
GC7-D、G-2	PZ220-100			100	220	100	250	350	285				

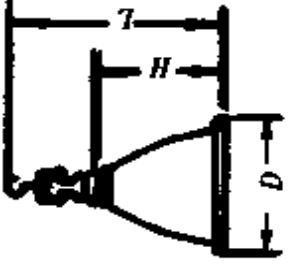
续表

名称	双罩型工厂灯(原万能型)		用途			
	外形图	结构特点				
	<p>4-Ø6 GC19-A 4-Ø82 GC19-B 4-Ø5.5 Ø102 GC19-C</p>	<p>适用于工厂厂房、大礼堂、会客室、资料阅览室等光线柔和的室内照明</p> <p>钢板搪瓷灯伞,乳白色嵌口玻璃罩,铸铝灯座,铸铁底座。E27 灯头,15mm 的焊接钢管</p>				
	<p>GC19-D-90° GC19-E-60° GC19-F-30° GC19-G-90° GC19-A, B-2</p>					
型号	光源		外形尺寸(mm)			质量(kg)
	型号	功率(W)	电压(V)	D	L	
GC19-A、B-1	PZ220-60~100	60~100	220	355	300~1000	210
GC19-C-1	PZ220-60~100	60~100	220	355	-	270
GC19-D、E、F、G-1	PZ220-60~100	60~100	220	355	300	210
GC19-A、B-2	PZ220-150~200	150~200	220	406	300~1000	320
GC19-C-2	PZ220-150~200	150~200	220	406	-	320
GC19-D、E、F、G-2	PZ220-150~200	150~200	220	406	350	320

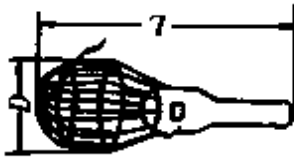
续表

名称	配照型挂灯	用途	适用于室内外移动性工作场所临时照明
外形图		结构特点	钢板搪瓷灯伞,内腔白色,外面灰色,白瓷螺口风雨灯头,铸铝灯座和吊线器。E27 灯头
型号	光源		外形尺寸(mm)
GC21-1 GC21-2	型号	功率 (W)	电压 (V)
	PZ220-60 ~100 PZ220-150 ~200	60~100 150~200	220 220
			D H 406 337 406 347
			质量 (kg)

续表

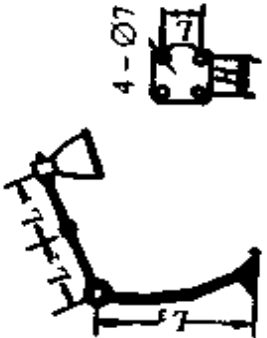
名称	深照型挂灯	用途	适用于厂房、运动场及室内外工作场所作移动照明	质量 (kg)		
					外形尺寸(mm)	
外形图		用途	适用于厂房、运动场及室内外工作场所作移动照明			
		结构特点	镀锌钝化吊钩、铸铝三通吊线器、深照型钢板搪瓷灯罩,内腔白色,外面灰色。200W 及以下为 E27 灯头,300~500W 为 E40 灯头			
型号	光源			质量 (kg)		
	型号	功率 (W)	电压 (V)			
GC23-2 GC23-3 GC23-4	PZ220-150 ~200	150~200	220	210 260 300		
	PZ220-300	300	220			
	PZ220-300 ~500	300~500	220			
			D	L	H	
			250	395	210	
			310	445	260	
			345	485	300	

续表

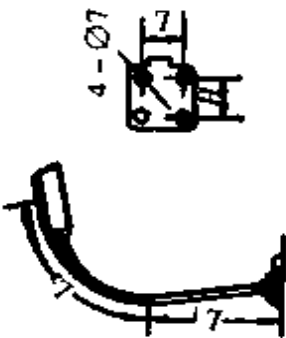
名称	行灯	用途	光源		外形尺寸(mm)		质量(kg)
			功率(W)	电压(V)	D	L	
外形图		适用于工厂、车间、货仓以及其他工作场所作临时性检修、安装等工作照明					
		橡皮手柄,铁丝镀锌钝化防护网罩,E27灯头,罩口制成叠压式,可直立也可挂吊使用。型号中 B—普通橡胶手柄; D—耐油橡胶手柄; E—耐油橡胶手柄,底座带开关,有挡光板					
型号							
GC30-B	PZ24/36-40~60	24/36	40~60	108	300	0.28	
GC30-D	PZ24/36-40~60	24/36	40~60	108	300	0.28	
GC30-E	PZ24/36-40~60	24/36	40~60	108	300	0.28	



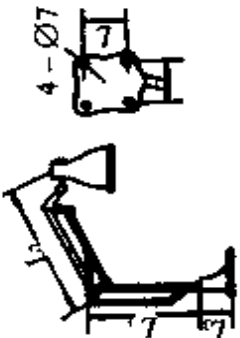
续表

名称	机床工作灯		用途	适用于各类机床作局部照明					
	外形图			烤漆灯管,搪瓷灯罩,瓷螺口灯座和手扳开关,E27灯头,可任意调节照射角度					
外形图			用途	适用于各类机床作局部照明					
结构特点			结构特点	烤漆灯管,搪瓷灯罩,瓷螺口灯座和手扳开关,E27灯头,可任意调节照射角度					
型号	光源			外形尺寸(mm)				质量 (kg)	
	型号	功率 (W)	电压 (V)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	H		L
JCS-1	PZ24-60	60	24	190	310	310	60	60	0.90~1.30
JCS-2	PZ24-60	60	24	265	475	475	60	60	0.90~1.30
JC6-1	PZ24-60	60	24	195	210	260	60	60	0.90~1.30
JC6-2	PZ24-60	60	24	265	315	475	60	60	0.90~1.30

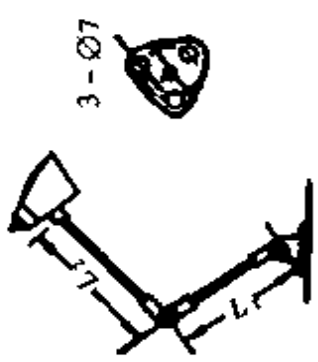
续表

名称	软管机床工作灯	用途	适用于各类机床作局部照明				
外形图		结构特点	钢质镀铬灯管,搪瓷灯罩,瓷或胶木螺口灯座,E27灯头,可任意调节照射角度。JC10型的灯罩为长方形,JC11型的灯罩为圆形				
型号	光源			外形尺寸(mm)			质量(kg)
	型号	功率(W)	电压(V)	$L_1$	$L_2$	$H$	$L$
JC10-1	PZ24-25~40	25~40	24	280	420	60	60
JC11-1	PZ24-25~40	25~40	24	280	345	60	60

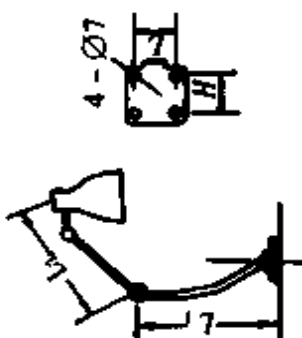
续表

名称	精密机床工作灯	用途	适用于各类精密机床、仪器仪表及绘图等作局部照明						
				结构特点					
外形图			钢质灯架,瓷螺口灯座,搪瓷灯罩,手扳开关及铸铁底座, E27 灯头						
型号	光源			外形尺寸(mm)				质量(kg)	
	型号	功率(W)	电压(V)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	H		L
JC13-A	PZ24-60	60	24	316	316	60	60	60	1.90
JC13-B (无底座)	PZ24-60	60	24	316	316	-	-	-	1.40
JC13-D (拉簧)	PZ24-60	60	24	240	250	60	60	60	1.20


续表

名称	工业缝纫机灯	用途	适用于工业缝纫机等作局部照明																								
外形图		结构特点	铝制灯罩, 镀铬灯杆, 铸铁底座。E27 灯头																								
型号	JC14	光源	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1027 1536 1228 1720">功率 (W)</td> <td data-bbox="1027 1352 1228 1536">12</td> <td data-bbox="1027 1167 1228 1352">电压 (V)</td> <td data-bbox="1027 427 1228 1167">6</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1027 1352 1228 1536">型号</td> <td data-bbox="1027 1167 1228 1352">PZ6-12</td> <td data-bbox="1027 427 1228 1167">外形尺寸 (mm)</td> <td data-bbox="1027 271 1228 427">质量 (kg)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1027 797 1228 981">L<sub>1</sub></td> <td data-bbox="1027 613 1228 797">L<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1027 981 1228 1167">286</td> <td data-bbox="1027 613 1228 797">∅</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1027 1167 1228 1352">390</td> <td data-bbox="1027 427 1228 613">90</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td data-bbox="1027 1352 1228 1536">1.10</td> <td data-bbox="1027 271 1228 427"></td> </tr> </table>	功率 (W)	12	电压 (V)	6	型号	PZ6-12	外形尺寸 (mm)	质量 (kg)			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>			286	∅			390	90			1.10	
功率 (W)	12	电压 (V)	6																								
型号	PZ6-12	外形尺寸 (mm)	质量 (kg)																								
		L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>																								
		286	∅																								
		390	90																								
		1.10																									


续表

名称	机床工作灯	用途	适用于小型机床作局部照明							
外形图		结构特点	钢质镀铬灯杆、铝制灯罩、灯座和底座，灯杆和底座的连接为圆球夹板、调节灵活。E27灯头							
型号	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">光源</th> </tr> <tr> <th>功率 (W)</th> <th>电压 (V)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table>	光源		功率 (W)	电压 (V)	40	24	外形尺寸(mm)		
光源										
功率 (W)	电压 (V)									
40	24									
JC15	PZ24-40	L <sub>3</sub>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>L<sub>1</sub> + L<sub>2</sub></th> <th>H</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>210</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub>	H	L	210	60	60	质量 (kg)
L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub>	H	L								
210	60	60								
				0.60						

续表

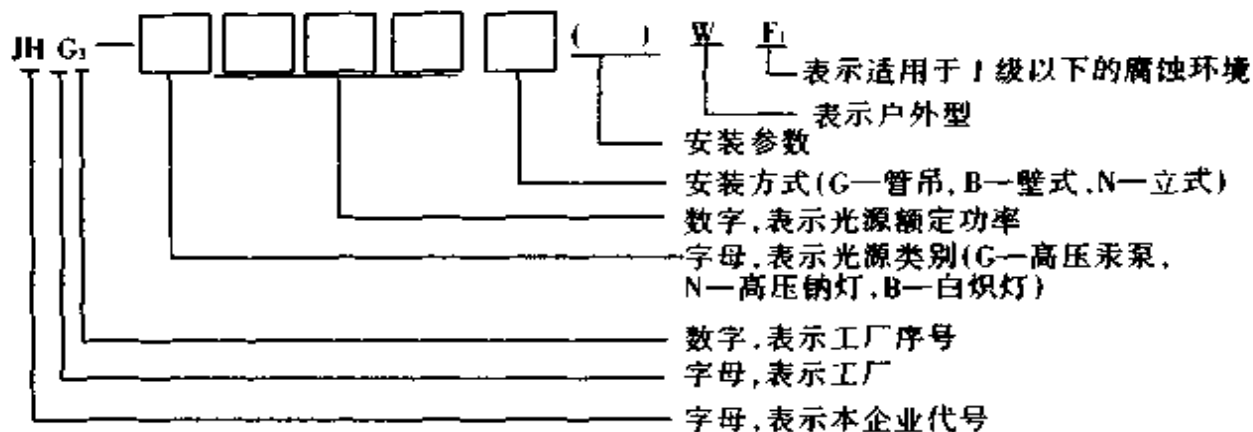
名称	软管机床工作灯	用途	适用于各类机床作局部照明				
外形图		结构特点	钢质镀铬软管, 搪瓷灯罩, 瓷螺口灯座, 手扳开关、铸铁灯座, E27 灯头				
型号	光源		外形尺寸(mm)		质量(kg)		
JC16(立式) JC17(卧式)	功率(W)	电压(V)	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	H	L	1.3 1.40
	60 60	24 24	600 635	60 115	60 60	60 60	

续表

名称	软管机床工作灯	用途	外形尺寸(mm)		质量 (kg)														
			L <sub>1</sub>	L															
外形图		适用于各类机床、制图及修理等作局部照明 镀铬软管、钢质灯罩、螺口灯座、手扳开关、铸铁底座、E27灯头	结构特点																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">型号</th> <th colspan="2">光源</th> <th rowspan="2">电压 (V)</th> <th rowspan="2">质量 (kg)</th> </tr> <tr> <th>型号</th> <th>功率 (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>JC18-1</td> <td>FZ220-40</td> <td>40</td> <td>220</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>JC18-2 (无底座)</td> <td>FZ24-40 -- --</td> <td>40</td> <td>24</td> <td>0.62</td> </tr> </tbody> </table>			型号	光源		电压 (V)	质量 (kg)	型号	功率 (W)	JC18-1	FZ220-40	40	220	1.50	JC18-2 (无底座)	FZ24-40 -- --
型号	光源		电压 (V)	质量 (kg)															
	型号	功率 (W)																	
JC18-1	FZ220-40	40	220	1.50															
JC18-2 (无底座)	FZ24-40 -- --	40	24	0.62															

## 3.2.2 防腐灯具

## 3.2.2.1 型号说明



3.2.2.2 用途、外形及技术数据 防腐灯具的用途、外形图及技术数据列于表 5.8.60。

表 5.8.60 防腐灯具的用途、外形图及技术数据

名称	防腐灯	用途	适用于化工厂、发电厂及其他工矿企业的 I 级以下腐蚀环境照明		
外形图		结构特点	采用优质材料, 拆装部位用不锈钢扣件锁紧结构, 透光部分使用棱晶无机玻璃罩		
型号	光源			灯头	质量 (kg)
	类别	功率 (W)	电压 (V)		
JHG <sub>3</sub>	高压汞灯 (G)	125~250	220	E27 E40	3
	高压钠灯 (N)	110~250	220		
	白炽灯 (B)	150~200	220		

## 3.2.3 防护灯具

防护灯具分为防潮型、防水型、防水防尘型三种。各种灯具的名称、用途、外形图及技术数据列于表 5.8.61。



表 5.8.61 各种防护灯具

名称	广照型防水防尘灯		用途	适用于室内多水 多尘场所照明	
	外形图	结构特点			
外形图			<p>钢板搪瓷灯伞, 螺口透明玻璃灯罩, 橡胶密封圈, 铸铝或铸铁灯座, 铸铁底座。E27 灯头, 15mm 的焊接钢管</p>		
型号	光 源	电压 (V)	功率 (W)	外形尺寸 (mm)	质量 (kg)
GC9-A、B-1	型号	220	60~100	$d_1$	H
GC9-C-1	PZ220-60~100	220	60~100	D	L
GC9-D、E、F、G-1	PZ220-60~100	220	60~100	355	300~1000
GC9-A、B-2	PZ220-60~100	220	60~100	120	-
GC9-C-2	PZ220-150~200	220	150~200	100	300
GC9-D、E、F、G-2	PZ220-150~200	220	150~200	100	300~1000
	PZ220-150~200	220	150~200	120	-
	PZ220-150~200	220	150~200	100	350

续表

名称	广照型防水防尘灯(有保护网)	用途	适用于室内多水多尘场所照明					
				结构特点				
外形图	<p>Technical drawings of various GC11 lamp models (A, B, C, D, E, F, G) showing different beam angles (D90, E60, F30, G90) and dimensions like diameter (D), height (H), and mounting arm length (L).</p>	<p>钢板搪瓷灯伞, 螺口透明玻璃罩, 橡胶密封圈, 铁丝保护网, 铸铝或铸铁灯座, 铸铁底座。E27灯头, 15mm的焊接钢管</p>						
型号	光源	外形尺寸(mm)						
	型号	功率(W)	电压(V)	$d_1$	D	L	H	质量(kg)
GC11-A, B-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	355	300~1000	305	
GC11-C-1	PZ220-60~100	60~100	220	120	355	-	330	
GC11-D, E, F, G-1	PZ220-60~100	60~100	220	100	355	300	305	
GC11-A, B-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	420	300~1000	330	
GC11-C-2	PZ220-150~200	150~200	220	120	420	-	330	
GC11-D, E, F, G-2	PZ220-150~200	150~200	220	100	420	350	330	

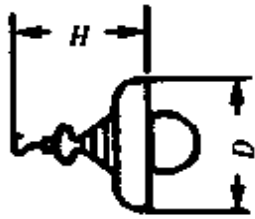
续表

名称	散照型防水防尘灯		用途	结构特点		
	外形图	光源				
	<p>GC15-A GC15-B GC15-C</p>	<p>GC15-D90° GC15-E60° GC15-F30° GC15-G90°</p>	适用于多水多尘场所照明	铝合金外壳, 乳白或透明玻璃灯罩, 瓷螺口灯座, 有橡胶密封防止水汽侵入灯内。E27灯头, 15mm的焊接钢管		
	型号	功率 (W)	电压 (V)	外形尺寸 (mm)		质量 (kg)
GC15-A, B-1	PZ220-60~100	60~100	220	d <sub>1</sub>	L	H
GC15-C-1	PZ220-60~100	60~100	220	130	300~1000	255
GC15-D, E, F, G-1	PZ220-60~100	60~100	220	130	-	205
GC15-A, B-2	PZ220-150~200	150~200	220	130	300	255
GC15-C-2	PZ220-150~200	150~200	220	150	300~1000	305
GC15-D, E, F, G-2	PZ220-150~200	150~200	220	150	-	345
				100	350	305

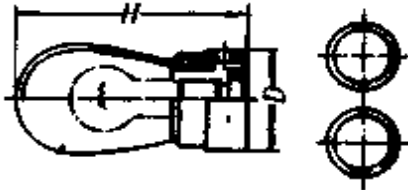
续表

名称	圆球型工厂灯(防水式)	用途	适用于精密仪器仪表装配 工房及办公室或水蒸气密度 不大的场所作固定照明	结构特点	乳白色玻璃球口圆球 灯罩,橡胶密封防水措 施,白瓷螺口灯头,铸铝 灯座,铸铁底座,E27灯 头,13mm的焊接钢管	外形尺寸(mm)						质量 (kg)
						型号	功率 (W)	电压 (V)	$d_1$	D	L	
外形图		GC17-A	100	220	100	204	300~1000	280	适用于精密仪器仪表装配 工房及办公室或水蒸气密度 不大的场所作固定照明			
		GC17-B	100	220	120	204	-	315				
		GC17-C	100	220	100	204	300	280				
		GC17-D90°	200	220	100	254	300~1000	320				
		GC7-F30°	200	220	120	254	-	365				
		GC7-G90°	200	220	100	254	40	320				
		PZ220-100	100	220	100	204	300~1000	280				
		PZ220-100	100	220	120	204	-	315				
		PZ220-100	100	220	100	204	300	280				
		PZ220-200	200	220	100	254	300~1000	320				
PZ220-200	200	220	120	254	-	365						
PZ220-200	200	220	100	254	40	320						

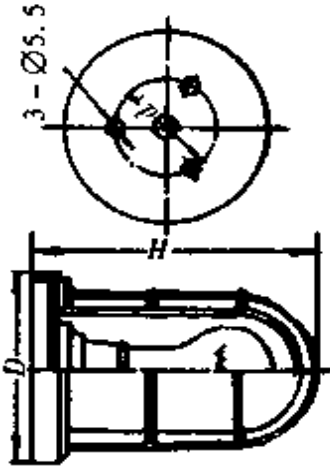
续表

名称	广照型防水防尘挂灯	用途	适用于室内外多尘厂房或露天场地等作临时移动照明																
外形图		结构特点	钢板搪瓷灯伞, 螺口透明玻璃灯罩, 有橡胶密封圈, 铸铝灯座和吊线器, E27 灯头																
型号	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="911 1061 1007 1182">光源</th> </tr> <tr> <th data-bbox="1007 1182 1106 1429">型号</th> <th data-bbox="1007 1061 1106 1182">功率(W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1106 1182 1193 1429">PZ220-60 ~100</td> <td data-bbox="1106 1061 1193 1182">220</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1193 1182 1281 1429">PZ220-150 ~200</td> <td data-bbox="1193 1061 1281 1182">220</td> </tr> </tbody> </table>	光源		型号	功率(W)	PZ220-60 ~100	220	PZ220-150 ~200	220	电压(V)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="911 297 1007 443">外形尺寸(mm)</th> </tr> <tr> <th data-bbox="1007 443 1106 689">D</th> <th data-bbox="1007 297 1106 443">H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1106 443 1193 689">420</td> <td data-bbox="1106 297 1193 443">437</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1193 443 1281 689">420</td> <td data-bbox="1193 297 1281 443">437</td> </tr> </tbody> </table>	外形尺寸(mm)		D	H	420	437	420	437
光源																			
型号	功率(W)																		
PZ220-60 ~100	220																		
PZ220-150 ~200	220																		
外形尺寸(mm)																			
D	H																		
420	437																		
420	437																		
GC22-1 GC22-2			质量 (kg)																

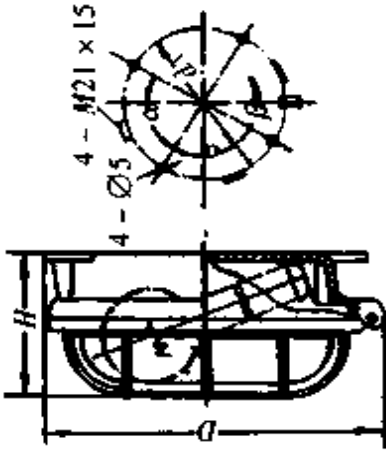
续表

名称	防水座灯(彩灯)	用途	适用于建筑物节日轮廓照明
外形图		结构特点	铸铝底座和口圈,外烤中灰漆,螺口玻璃罩,多种颜色,灯座进线方式分两通、三通和四通。吸顶式安装,E27灯头
型号	FMB709 1/15	光源	
	PZ220-15	功率(W)	15
	220	电压(V)	220
	90	外形尺寸(mm)	D
	200		H
	0.80		质量(kg)

续表

名称	防潮吸顶灯	用途	适用于地下室、隧道等场所照明	质量 (kg)
外形图		结构特点	铸铝底座和口圈, 表面烤灰漆, 保护网镀锌, 筒形透明玻璃罩, 有橡胶垫圈密闭, 吸顶式安装, E27 灯头	1.10
型号	光源		外形尺寸(mm)	
	功率(W)	电压(V)	D	$d_1$
FMI5707 1/60	60	220	145	70
	型号		H	
	PZ220-60		210	

续表

名称	防潮吸顶灯	用途	适用于地下室、隧道等场所照明						
外形图		结构特点	铸铝底座和压罩圈、钢丝保护网、透明玻璃罩,有密封橡胶圈和进线装置。吸顶式安装,E27灯头						
型号	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">光源</th> </tr> <tr> <td>功率 (W)</td> <td>电压 (V)</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>220</td> </tr> </table>	光源		功率 (W)	电压 (V)	100	220	外形尺寸(mm)	
光源									
功率 (W)	电压 (V)								
100	220								
FMB708 I/100	<table border="1"> <tr> <td>型号</td> <td>PZ220-100</td> </tr> </table>	型号	PZ220-100	D	310				
型号	PZ220-100								
		H	138						
		$d_1$	300						
		$\alpha$	90°						
		$\beta$	22.5°						
		质量 (kg)	2.60						



## 3.2.4 混光照明灯具

混光照明灯具是在同一灯具内,安装两种不同的气体放电光源,使其得到较好的混光,从而对改善光色、提高显色指数、提高照度和提高光效、节省电能,都达到了较好的效果。它的出现为既要求照度高,又要求节约电能的场所提供了一种新型灯具,也为工业厂房照明开辟了一条新的途径。因此广泛地受到人们的关注,迅速地得到了使用。

表 5.8.62 给出了几种混光灯具的名称、用途、外形图及技术数据。

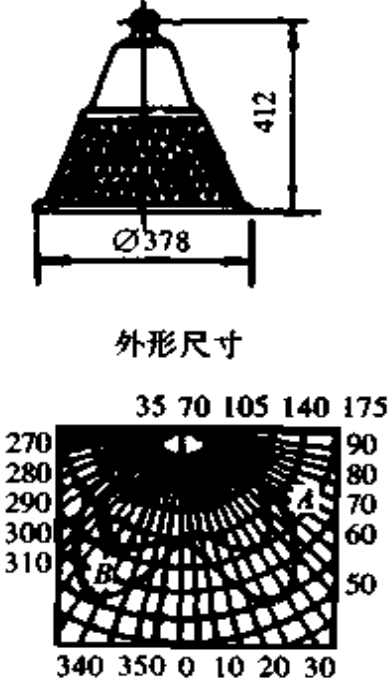
表 5.8.62 各种混光灯具

名 称	SHCD-101、CDHG-203 型混光灯具		
简 图			
	外形尺寸	配光曲线(NG-250 + GGY-400)	
结 构	灯具壳体与反光罩采用纯铝板拉伸成型,反光罩经电解抛光处理,壳体外表面喷烤漆。灯头可根据需要调节电光源上下位置		
用 途	适用于颜色识别要求一般的场所,如机械加工、装配等		
型 号	灯头型式	混光方案	安装方式
CDHG-203 或 SHCD-101	E40 + E40	GGY-400 + NG-250(215) GGY-400 + NG-250 GGY-250 + NG-250 GGY-400 + NG-400 KNG-400 + NG-250(215) KNG-250 + NG-250 KNG-250 + NG-400	吊  链
	E40 + E27	GGY-250 + NG-110(100) GGY-125 + NG-250 KNG-250 + NG-250	
	E 27 + E 27	GGY-250 + NG-110(100) GGY-1250 + NG-70	

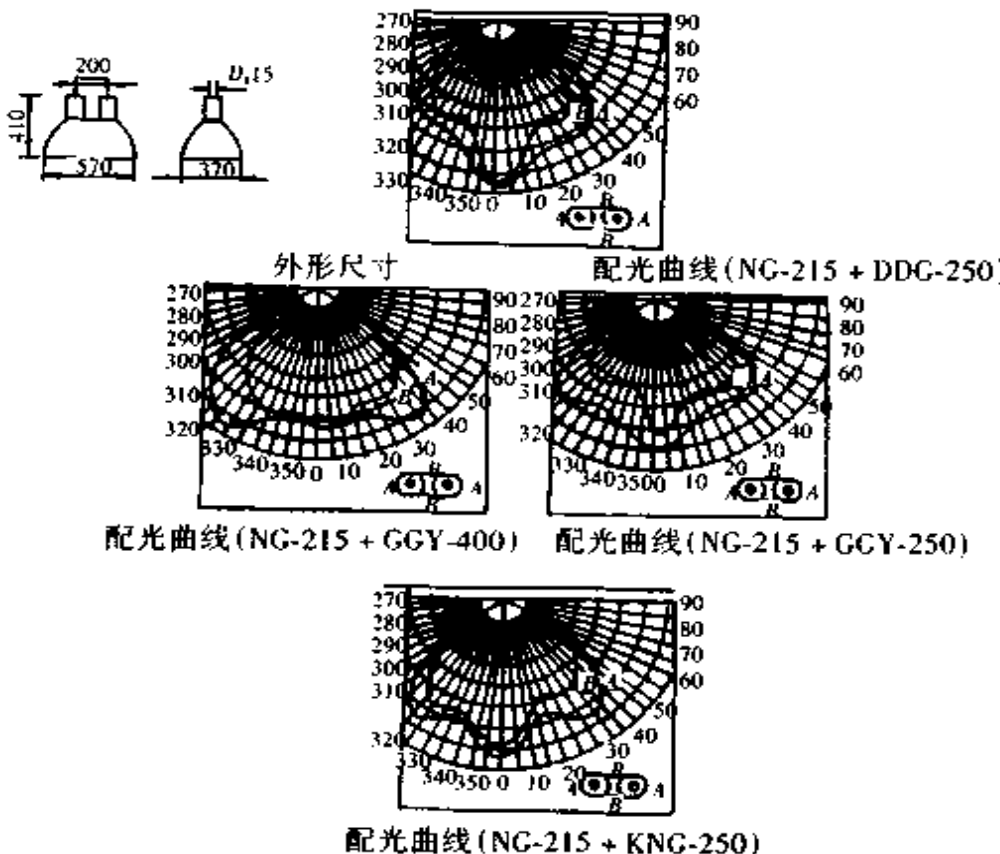
续表

名称	GHGD-101、GHGD-201 型混光灯具		
简 图	 <p style="text-align: center;">GHGD-201 型外形尺寸</p> <p style="text-align: center;">GHGD-201 型(GGY-125 + NG-110)配光曲线</p>		
结构	灯具反光罩与壳体采用高纯铝板拉伸成型,反光罩经电解抛光处理,壳体表面喷烤漆,透光罩采用耐温有机玻璃制成,配有防尘密封橡胶圈		
用途	适用于对颜色识别要求不高的场所,如轧钢、纺织漂洗、铸造、机械加工等		
型号	灯头型式	混光方案	安装方式
GHGD-101	E40 + E40	GGY-400 + NG-250	吊
		GGY-400 + NG-400	
		GGY-250 + NG-400	
GGY-250 + NG-250			
E40 + E27	GGY-250 + NG-110(100)		
GHGD-201	E40 + E27	GGY-250 + NG-110(100)	
		GGY-125 + NG-250	
		KNG-250 + NG-110(110)	
	E27 + E27	GGY-125 + NG-110(110)	
		GGY-125 + NG-150	
		GGY-125 + NG-70	

续表

名称	SHGD-201 型块板面混光灯具		
简图	<div style="text-align: center;">  <p>外形尺寸</p> <p>配光曲线</p> </div>		
结构	灯具壳体和反光板采用高纯铝板拉伸成型,反光板为块板反射面,灯具外表面喷烤漆,内表面电解抛光处理。保护罩由钢化平板玻璃制成		
用途	适用于体育馆、练习馆、剧场、礼堂及工厂等		
型号	灯头型式	混光方案	安装方式
SHGD-201	E27 + E27	NG-35 + GGY-50 NG-35 + GGY-80 NG-70 + GGY-80 NG-100 + GGY-125 NG-70 + GGY-125	吊链

续表

名称	CDHP-208 型混光灯具		
简图	 <p>外形尺寸</p> <p>配光曲线 (NG-215 + DDG-250)</p> <p>配光曲线 (NG-215 + GGY-400)</p> <p>配光曲线 (NG-215 + GGY-250)</p> <p>配光曲线 (NG-215 + KNG-250)</p>		
结构	<p>灯具采用高纯铝板拉伸成型,反射器经电解抛光后,再涂以二氧化硅(玻璃薄膜),因而灯具具有除氟酸外,对任何酸类及氯、碱的抗腐功能。灯具为开启式,亦可加装耐温有机玻璃制成的透光罩,并配有防尘密封橡胶圈,或加装电化铝格栅</p>		
用途	<p>工厂大中型车间、体育馆、港口、机场、车站、大厅、礼堂以及需要辨别颜色的场所</p>		
型号	灯头型式	混光方案	安装方式
CDHP-208		NG-215 + GGY-250 NG-215 + KNG-250 NG-215 + DDG-250 NG-215 + GGY-400	管吊、吊链、吸顶、柔性管吊










## 4 电气照明设备的安装













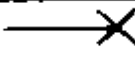
## 4.1 照明图用图形符号

表 5.8.63 示出自国家标准“电气图用图形符号”(GB4728)摘录的有关电气照明图用的图形符号。

表 5.8.63 照明图用图形符号

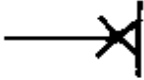

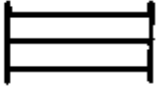
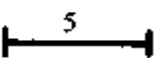












图形符号	说 明
	灯一般符号 信号灯一般符号 注:①如果要求指示颜色,则在靠近符号处标出下列字母: RD 红 YE 黄 GN 绿 BU 蓝 WH 白 ②如要指出灯的类型,则在靠近符号处标出下列字母: Ne 氖 Xe 氙 Na 钠 Hg 汞 I 碘 IN 白炽 EL 电发光 ARC 弧光 FL 荧光 IR 红外线 UV 紫外线 LED 发光二极管
	深照型灯
	广照型灯(配照型灯)
	防水防尘灯
	球形灯

续表





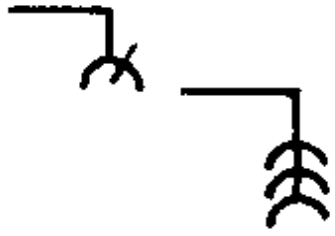
图形符号	说 明
	局部照明灯
	矿山灯
	安全灯
	隔爆灯
	天棚灯
	花灯
	弯灯
	壁灯
	闪光型信号灯
	投光灯一般信号
	聚光灯
	泛光灯
	示出配线的照明引出线位置






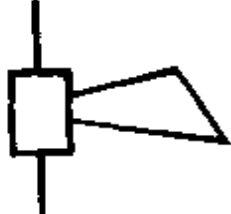



续表

图形符号	说 明				
	在墙上的照明引出线(示出配线向左边)				
	荧光灯一般符号				
	三管荧光灯				
	五管荧光灯				
	防爆荧光灯				
	在专用电路上的事故照明灯				
	自带电源的事故照明灯装置(应急灯)				
	气体放电灯的辅助设备 注:仅用于辅助设备与光源不在一起时				
	风扇一般符号(示出引线) 注:若不引起混淆,方框可省略不画				
<table border="0"> <tr> <td data-bbox="236 1261 339 1294">优选型</td> <td data-bbox="467 1261 571 1294">其他型</td> </tr> <tr> <td data-bbox="236 1317 316 1373"></td> <td data-bbox="467 1406 571 1462"></td> </tr> </table>	优选型	其他型			插座的一般符号 插孔的一般符号
优选型	其他型				
					
	单相插座  暗装  密闭(防水)  防爆				

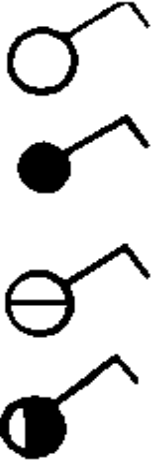



续表

图形符号	说 明
	带保护接点插座 带接地插孔的单相插座  暗装  密闭(防水)  防爆
	带接地插孔的三相插座  暗装
	带接地插孔的三相插座 密闭(防水)  防爆
	插座箱(板)
	多个插座(示出三个)

续表

图形符号	说 明
	具有护板的插座
	具有单极开关的插座
	具有联锁开关的插座
	电喇叭
<p>优选形</p>  <p>其他形</p>	电铃
	带熔断器的插座
	开关一般符号

续表

图形符号	说 明
	<p>单极开关</p> <p>暗装</p> <p>密闭(防水)</p> <p>防爆</p>
	<p>双极开关</p> <p>暗装</p> <p>密闭(防水)</p> <p>防爆</p>
	<p>三极开关</p> <p>暗装</p> <p>密闭(防水)</p> <p>防爆</p>
	<p>单极拉线开关</p>

续表

图形符号	说 明
	单极双控拉线开关
	单极限时开关
	双控开关(单极三线)
	风扇调速开关
	具有指示灯的开关
	调光器
	钥匙开关
	自动开关箱
	刀开关箱
	带熔断器的刀开关箱
	熔断器箱
	组合开关箱
	动力或动力-照明配电箱 注:需要时符号内可标示电流种类符号
	照明配电箱(屏) 注:需要时允许涂红



通过熟悉图形符号,就可对一般照明工程的施工图进行阅读,图 5.8.27 是照明施工图实例,实例中是采用导线穿暗管敷设的方法,图中仅画出两个回路作剖析:1 号回路接在  $L_1$  相位上,2 号回路接在  $L_2$  相位上,每个回路按设计要求布置了灯具、风扇、插座、开关等位置,同时标出了灯的类型、安装高度和安装方式。

为使照明照度均匀,一般采用 1:2:1 方式布置,即灯中心至墙面的距离为 1,灯与灯中心之间的距离为 2。照明开关和插座等安装高度可根据设计要求定,一般为离地坪 1.4 米。敷设导线的根数可按照明接线算出。一般来讲同一个回路的零线可共用,不同回路的零线应分开,不能共用。我们掌握了这种基本的规律,通过多次的工程实践,就不难熟悉工程施工图纸了。

## 4.2 线路的敷设和导线的连接

详见本手册第三篇第二章“户内配线工程”。

## 4.3 灯具、开关、插座和配电设备的安装

### 4.3.1 灯具的安装

除工程中有特殊要求外,一般要求如下:

(1)灯具的各种金属构件均应进行防腐处理,原来未做防腐处理的灯架须涂樟丹油一道、油漆两道。

(2)固定灯头吊盒的圆台一律采用塑制圆台或本质圆台。

(3)灯泡容量为 100W 及以下时可用胶质灯头;100W 以上及防潮封闭型灯具用瓷质灯头。

(4)采用瓷质或塑料等自在器吊线灯时,一律采用卡口灯。

(5)在危险性较大的场所,灯具安装高度低于 2.2m 以下,电源电压 36V 以上的金属灯具外壳,必须做好接地、接零保护。

(6)灯具接地或接零保护,必须有灯具专用接地螺丝并加垫圈和弹簧垫圈压紧。

(7)若灯座是螺旋式,则应注意把电源的中性线(零线)接到灯头的螺旋铜圈上,把相线(火线)经过开关接到灯头的中心铜片上。应注意灯泡的金属部分不得外露,以保证安全。

(8)日光灯灯具的安装应注意镇流器必须和电源电压、灯管功率相配合,启动器规格需根据灯管的功率大小来决定,不可乱用。

(9)在木制荧光灯架上装设镇流器时,应垫以瓷夹板隔热。

(10)荧光灯暗装时,其附件的装设位置应便于维护检修;其镇流器应做好防火隔热处理和防止绝缘油膏溢流。

安装图见图 5.8.28 至图 5.8.30。

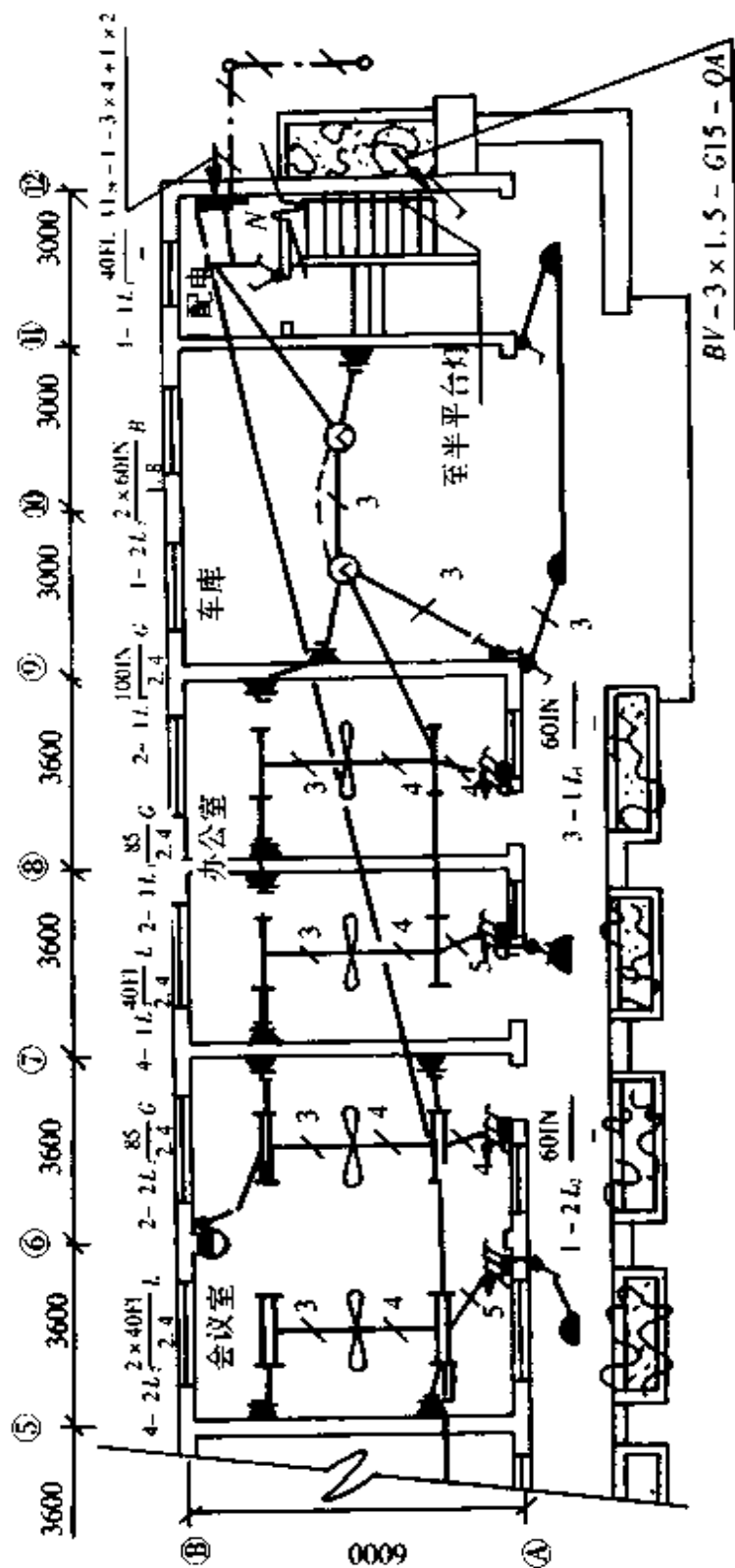
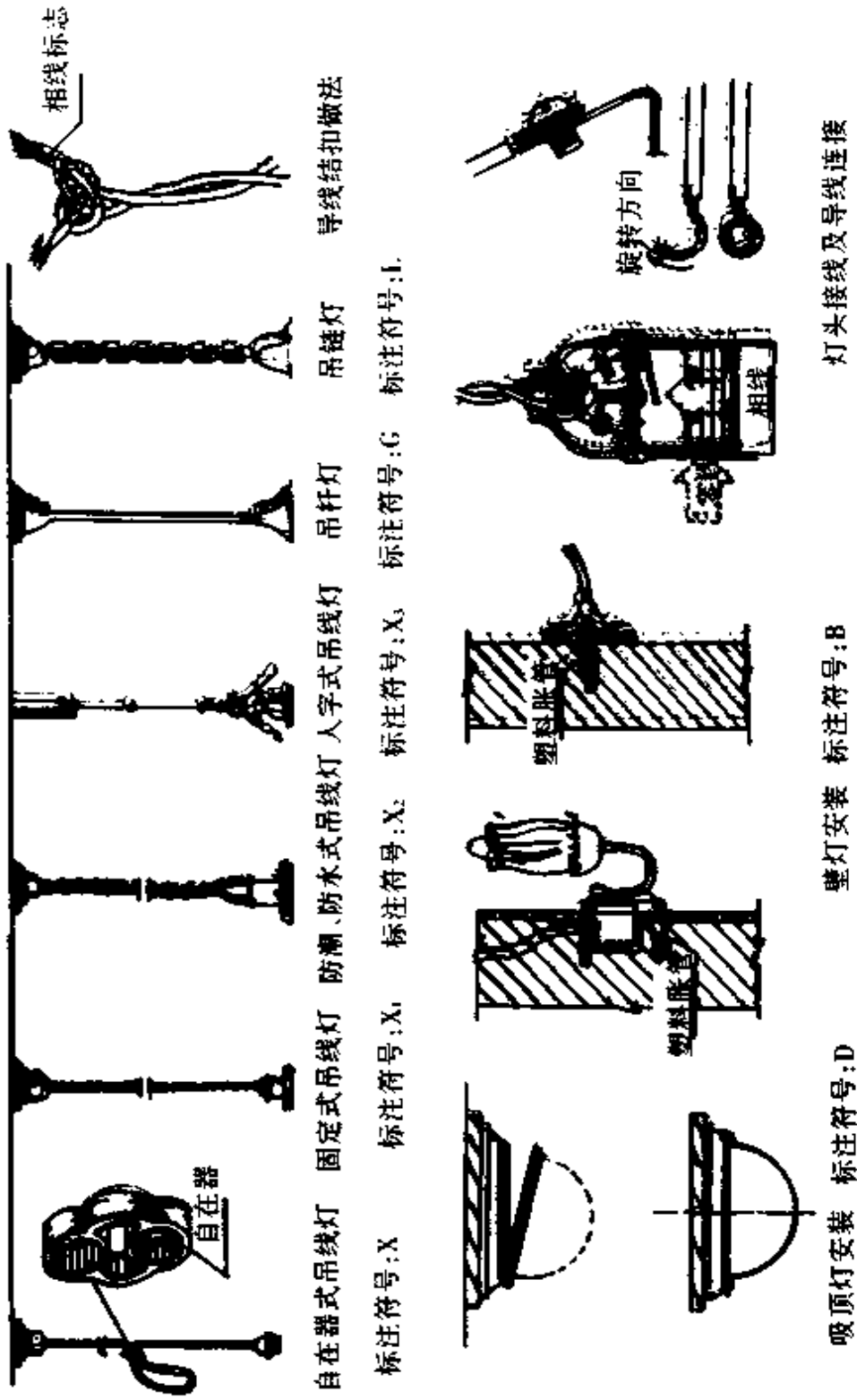


图 5.8.27 底层照明平面图





自在器式吊线灯 固定式吊线灯 防潮、防水式吊线灯 人字式吊线灯 吊杆灯 吊链灯 导线结扣做法

标注符号: X 标注符号: X<sub>1</sub> 标注符号: X<sub>2</sub> 标注符号: X<sub>3</sub> 标注符号: G 标注符号: L

吸顶灯安装 标注符号: D

壁灯安装 标注符号: B

灯头接线及导线连接

图 5.8.28 一般灯具安装图

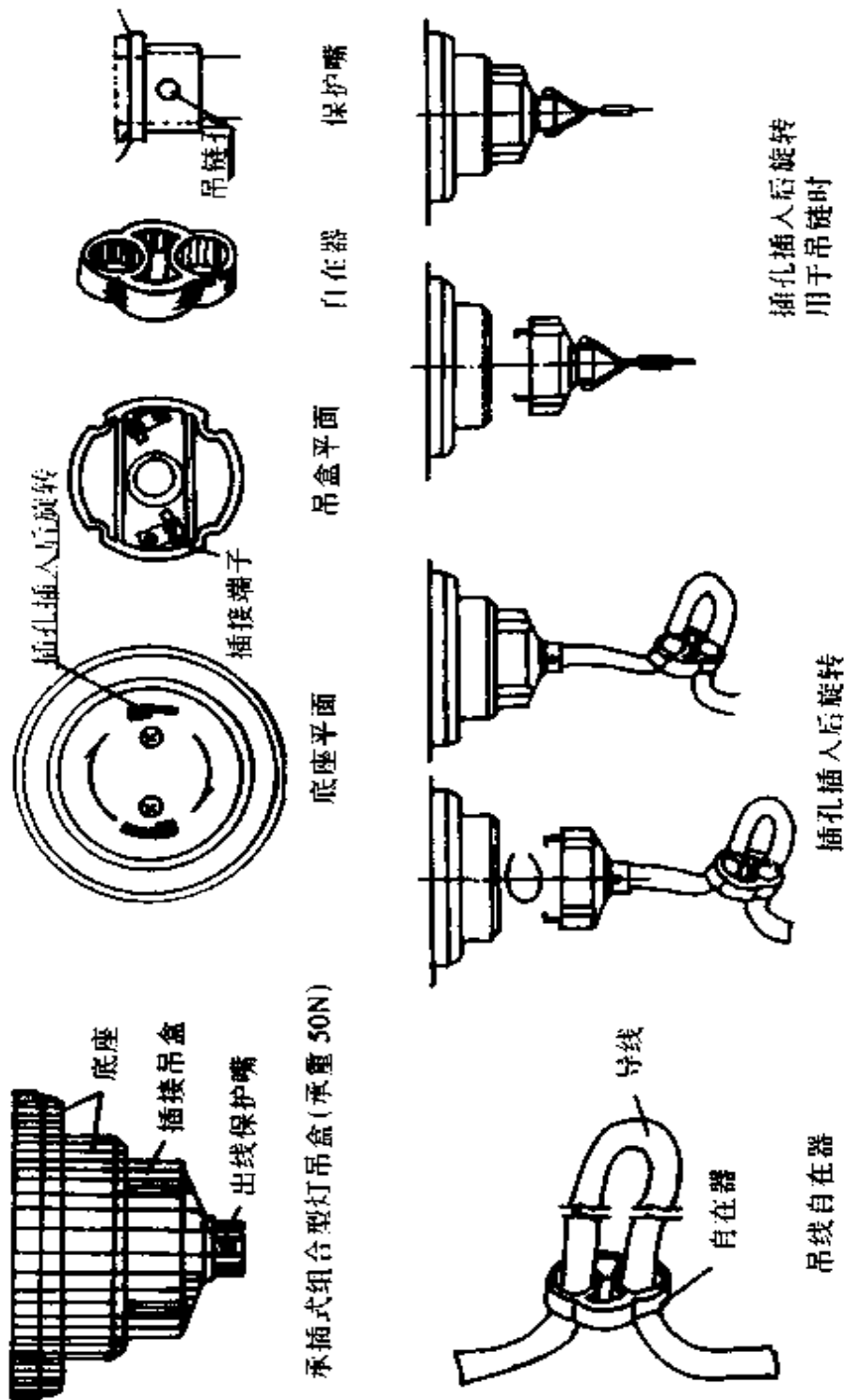


图 5.8.29 一般灯具用预装承插式吊盒安装示意图

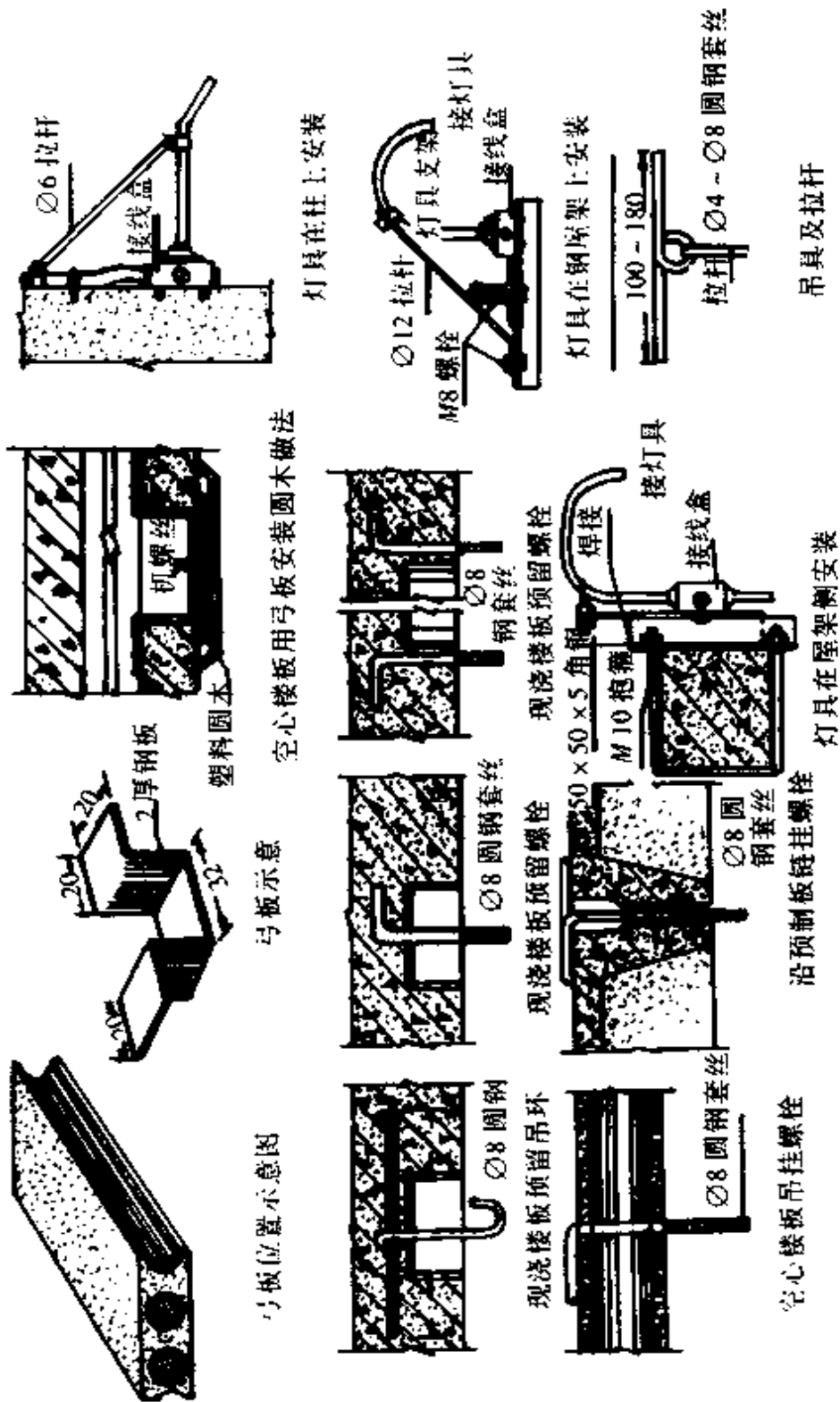


图 5.8.30 固定定位做法图

### 4.3.2 开关和插座的安装

在安装开关和插座时必须要与金属接线盒或塑料接线盒配套使用。塑制品接线盒的材质必须采用难燃型材料,禁止使用非难燃型材料。接线盒的安装深度根据实际使用情况选定为 50mm,当接线盒用于安装定时开关或共用天线用户插口时,应深埋 10mm。为保证安全,凡接至插座的专用接地或接零保护用导线的颜色应与供电导线有区别。见图 5.8.31 至图 5.8.35。

### 4.3.3 配电箱(柜)的安装

除工程中有特殊要求外,一般要求如下:

(1)配电箱在 24cm 厚墙内暗装时,其后壁需用 10mm 厚石棉板及铅丝直径为 2mm、网目为 10mm 的铅丝网钉牢,再用 1:2 水泥砂浆抹好,以防开裂。

(2)配电箱的金属构架、外壳和电器设备的金属外壳均应有良好的接地。

(3)对于保护接零系统中的零线,应在引入线处及末端配电箱处做好重复接地。

(4)配电箱暗装时,底口离地坪 1.4m;明装时为 1.3m。

安装图见图 5.8.36 和图 5.8.37。

### 4.3.4 单相和三相电度表的安装

电度表应安装在干燥、明净和震动小的地方,并应装在涂有防潮漆的方板上或电度表箱内。装在方板上时,板的上沿离地最高不得超过 2.2m,下沿离地不得低于 1.5m。装在电度表箱内时,电度表安装的高度应在人的视觉范围内(1.5m~1.7m)。

电度表必须安装得与地面垂直,否则要影响它的准确性。

电度表的总线(指供电单位总保险盒到电度表与电度表到总开关的两段电线)应采用铜芯电线,它的截面不得小于  $1.5\text{mm}^2$ 。

电度表的接线见图 5.8.38。相线必须接入电度表的电流线圈端子。由于有些电度表的接线方法特殊,具体的接线方法要参照电度表接线端子盖子上的接线图。

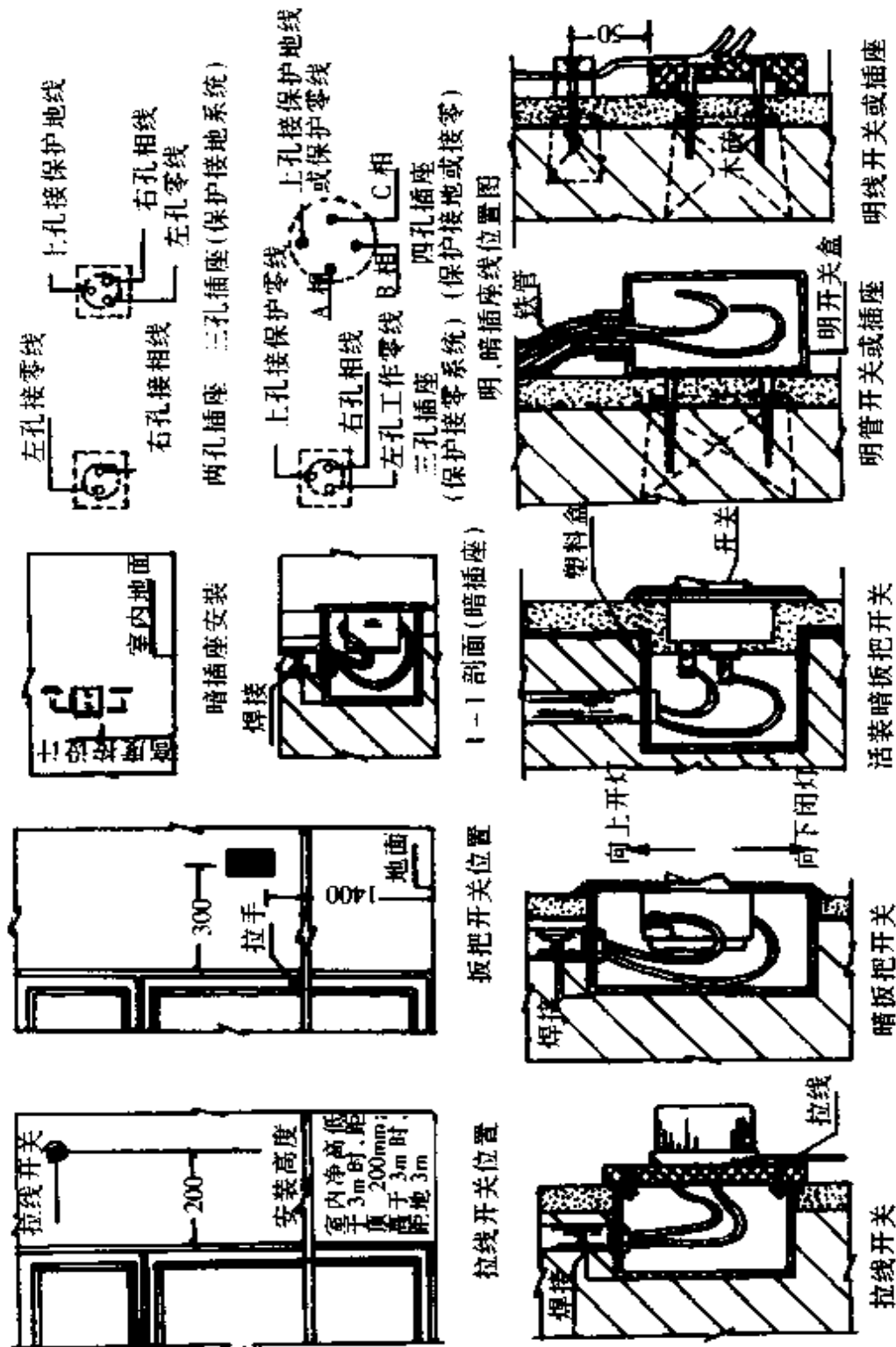


图 5.8.31 明、暗开关及其安装做法图

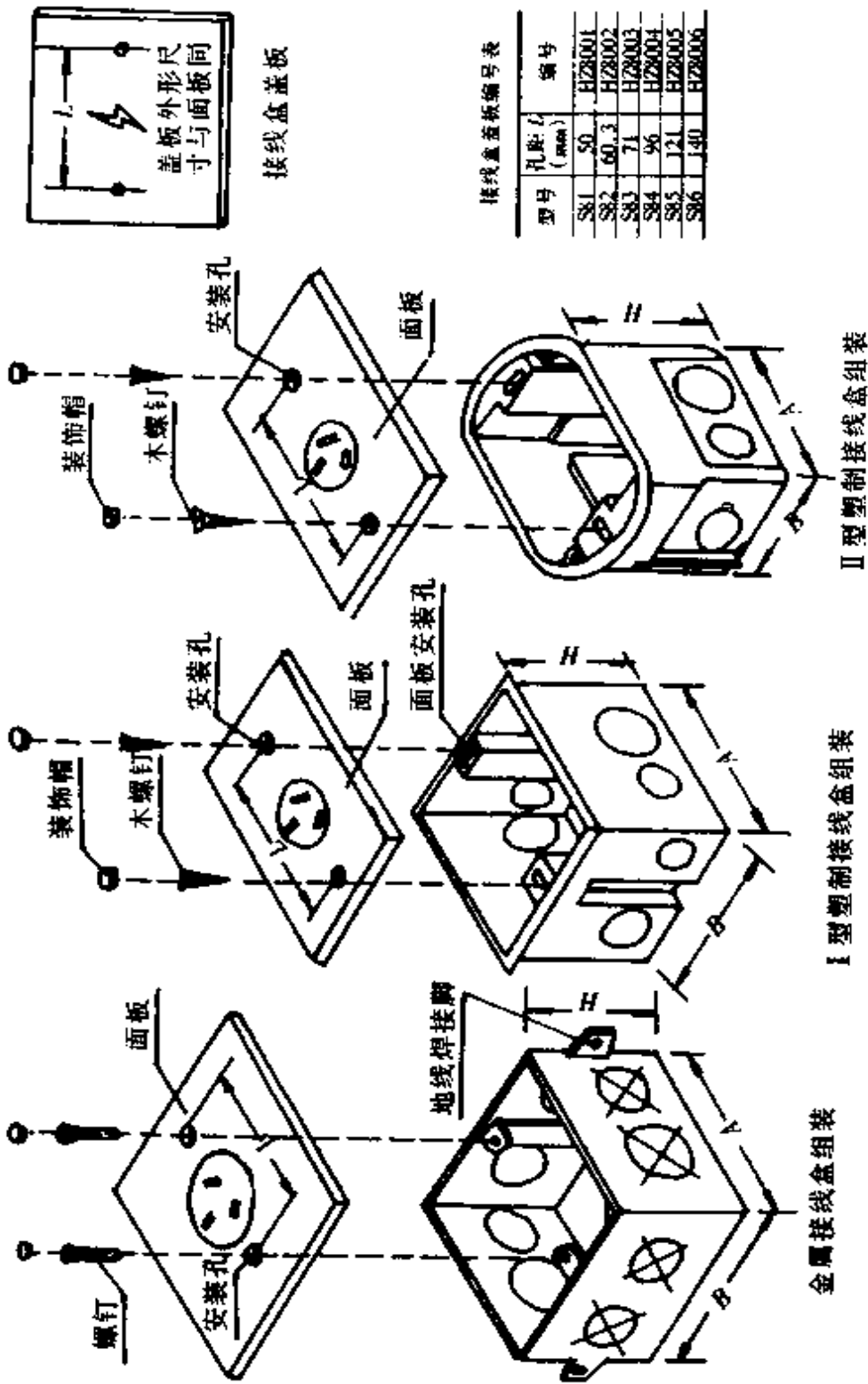


图 5.8.32 86 系列开关、插座、面板、盖板 and 接线盒组装示意图

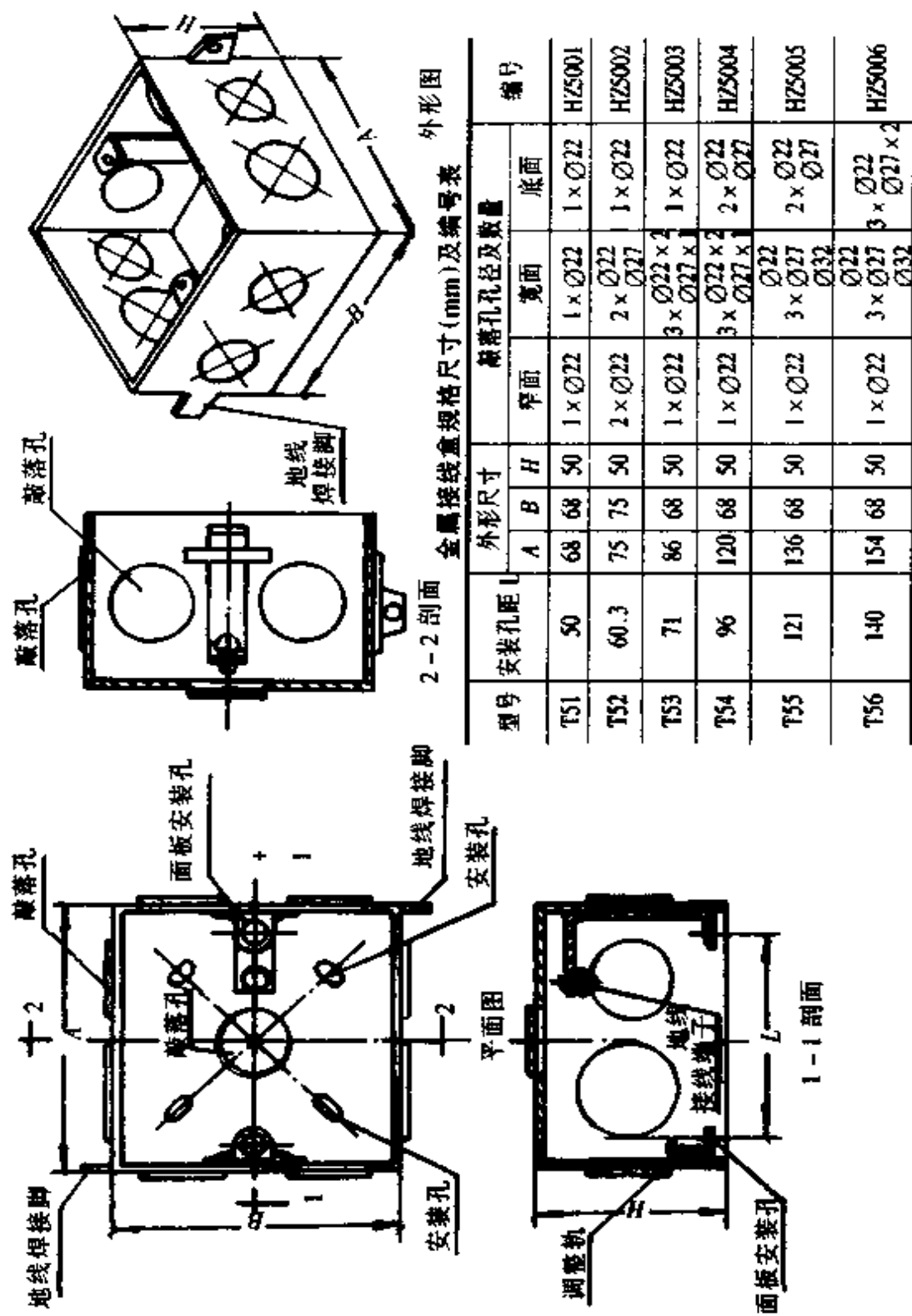
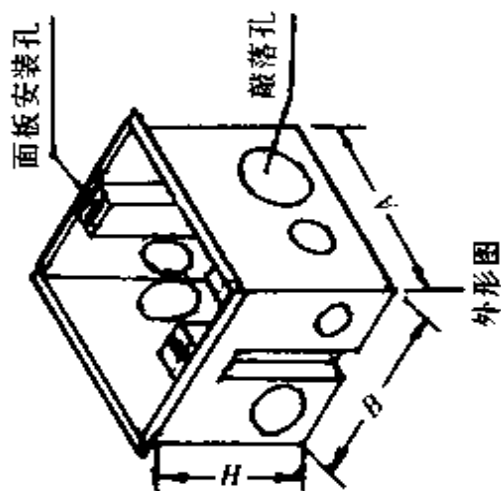
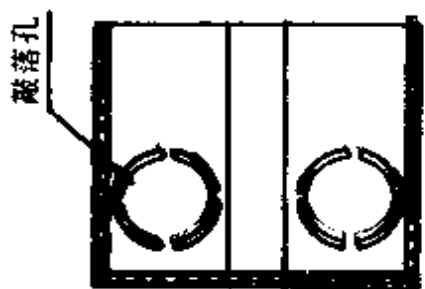


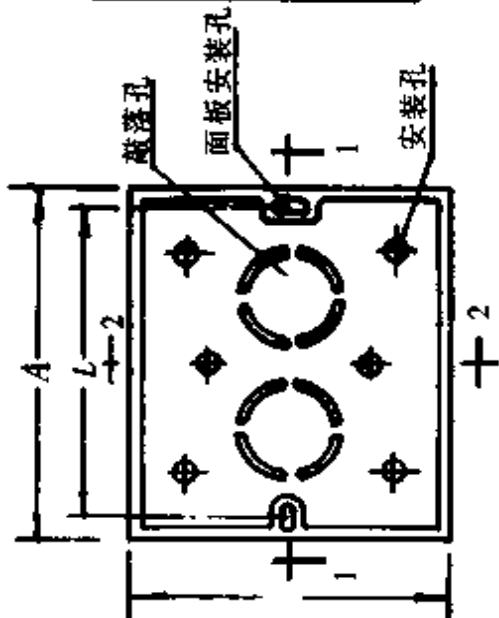
图 5.8.33 金属接线盒外形及规格尺寸图



外形图



2-2剖面



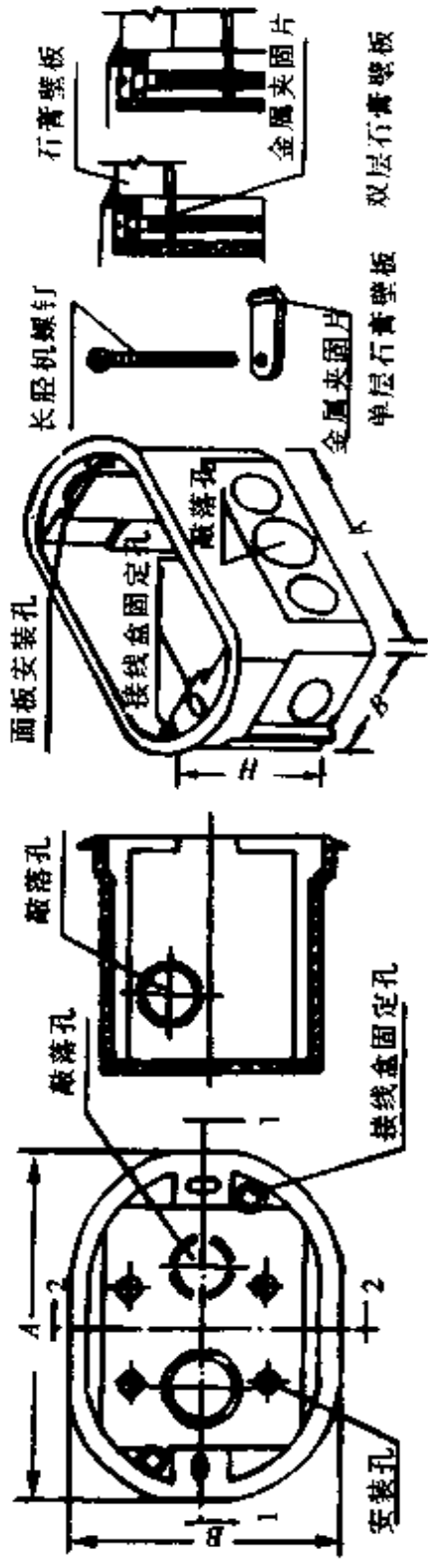
平面图

1 接线盒规格尺寸 (mm) 及编号表

型号	安装孔距L	外形尺寸			敲落孔孔径及数量				编号
		A	B	H	窄面	宽面	底面		
S61	50	68	68	50	1 × $\text{O}22$	1 × $\text{O}22$	1 × $\text{O}22$		HZ6001
S62	60.3	75	75	50	1 × $\text{O}22$	2 × $\text{O}22$	1 × $\text{O}22$		HZ6002
S63	71	86	68	50	1 × $\text{O}22$	3 × $\text{O}22 \times 2$ 3 × $\text{O}29 \times 1$	1 × $\text{O}22$		HZ6003
S64	96	120	68	50	1 × $\text{O}22$	3 × $\text{O}22 \times 2$ 3 × $\text{O}35 \times 1$	2 × $\text{O}22$		HZ6004
S65	121	136	68	50	1 × $\text{O}22$	3 × $\text{O}22 \times 2$ 3 × $\text{O}35 \times 2$	2 × $\text{O}22$		HZ6005
S66	140	154	68	50	1 × $\text{O}22$	3 × $\text{O}22 \times 1$ 3 × $\text{O}45 \times 2$	2 × $\text{O}22$		HZ6006

图 5.8.34 难燃型聚氯乙烯 I 型接线盒外形及规格尺寸图



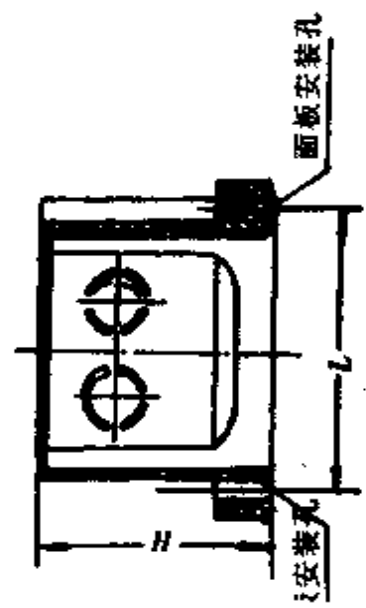


外形图  
II型接线盒规格尺寸(mm)及编号表

型号	安装孔距 L	外形尺寸			敲落孔孔径及数量			编号
		A	B	H	窄面	宽面	底面	
S71	50	Q68	60	60	1 × Q22	1 × Q22	1 × Q22	HZ7001
S72	60.3	Q75	60	60	1 × Q22	2 × Q29	1 × Q22	HZ7002
S73	71	86	68	60	1 × Q22	3 × Q29 × 2	1 × Q22	HZ7003
S74	96	120	68	60	1 × Q22	3 × Q35 × 2	2 × Q22	HZ7004
S75	121	136	68	60	1 × Q22	3 × Q35 × 2	2 × Q22	HZ7005
S76	140	154	68	60	1 × Q22	3 × Q45 × 2	2 × Q22	HZ7006

2-2 剖面

平面图



1-1 剖面

图 5.8.35 难燃型聚氯乙烯 II 型接线盒外形及规格尺寸图

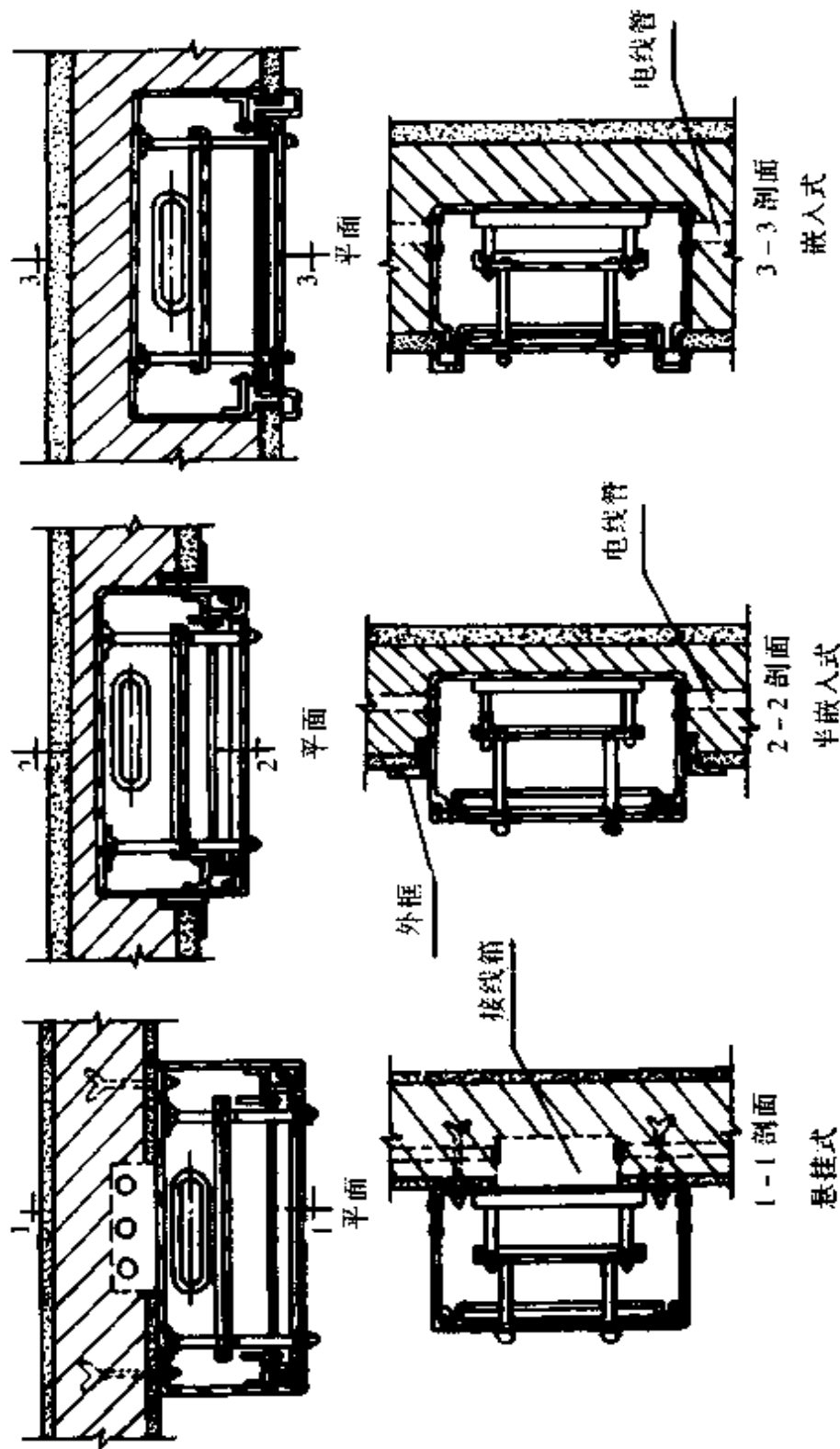
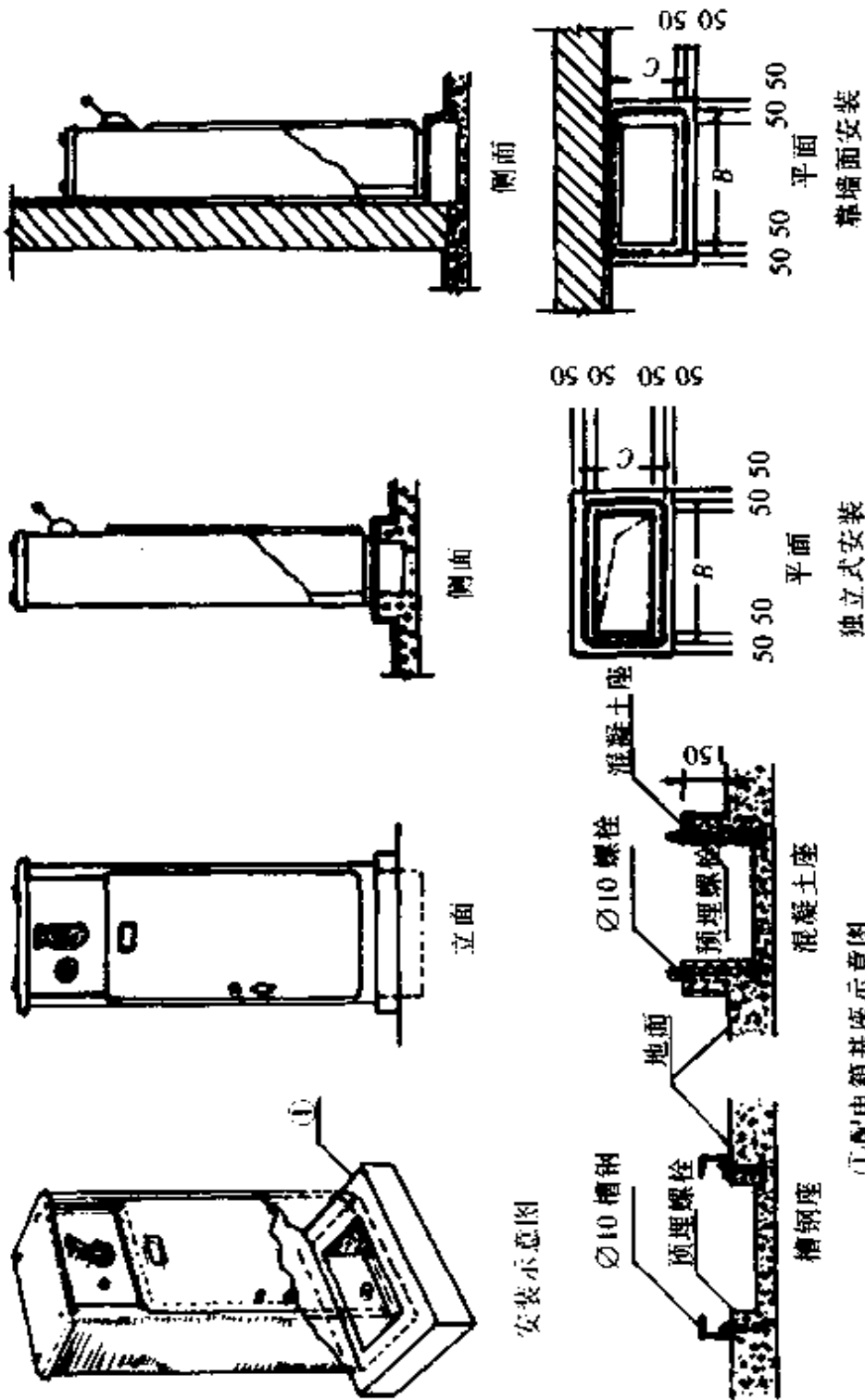
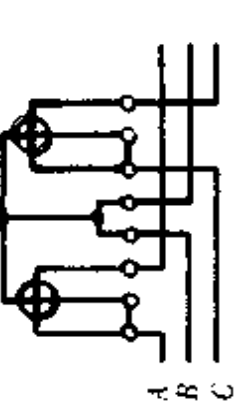


图 5.8.36 配电箱安装做法示意图

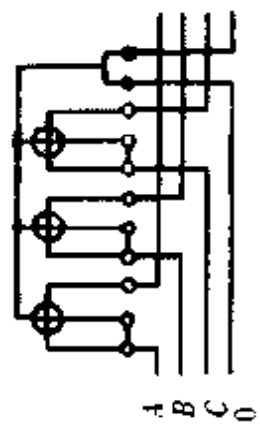


①配电箱底座示意图

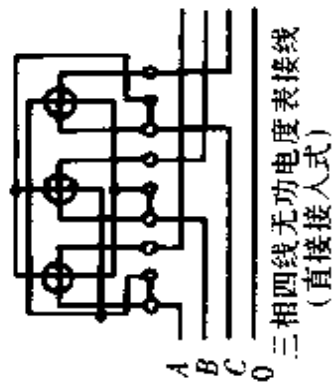
图 5.8.37 落地式配电箱安装做法示意图



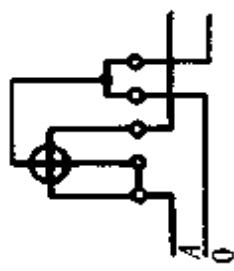
三相三线有功电度表接线  
(直接接入式)



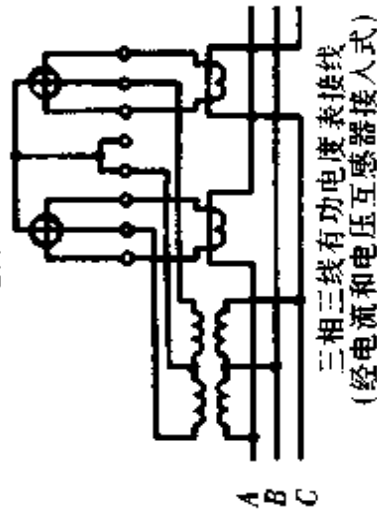
三相四线有功电度表接线  
(直接接入式)



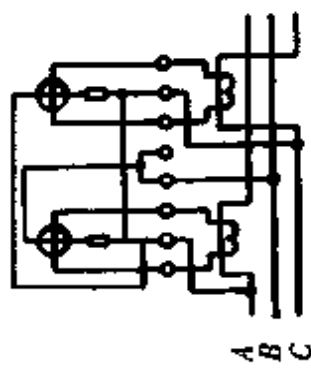
三相四线无功电度表接线  
(直接接入式)



单相电度表接线  
(直接接入式)



三相三线有功电度表接线  
(经电流和电压互感器接入式)



三相三线带 60°相角差的无功电度表接线  
(经电流互感器接入式)

图 5.8.38 电度表的几种典型接线图

## 4.4 各种照明线路及安装注意事项

## 4.4.1 白炽灯和卤钨灯

表 5.8.64 给出白炽灯照明几种基本线路。

表 5.8.64 白炽灯照明基本线路

线路名称和用途	接线图	说 明
一个单连开关控制一盏灯		开关应安装在相线上,以使开关断开后,灯头上无电压,确保安全
一个单连开关控制一盏灯,插座与它们相连接		比下面线路用线少,但由于线路上有接头,日久易松动,会增高电阻而产生高热,有引起火灾等危险,且接头工艺复杂
		电路中无接头,较安全,但比上面线路用线多
一个单连开关控制两盏灯(或多盏灯)		一个单连开关控制多盏灯时,可如左图中所示虚线接线,但应注意开关的容量是否允许
两个单连开关控制两盏灯		多个单连开关控制多盏灯时,可如左图所示虚线接线
用两个双连开关在两个地方控制一盏灯		用于楼梯上或走廊中的电灯,需在楼上、楼下或走廊两端都能开关的场合
两个 110V 相同功率灯泡串联		注意两灯泡功率必须一样,不然小功率灯泡就会烧坏

注意事项:

(1) 灯泡的电压应与供电电压相符。

- (2)灯座(灯口)的型式必须与灯头相适应。
- (3)开关要装在相线上,使修理时安全。
- (4)一个开关控制多盏灯时,要注意开关的容量是否允许。
- (5)卤钨灯的电路图与白炽灯相同,但它的容量较大,特别要注意开关的容量和导线的载流量是否允许。
- (6)卤钨灯应为水平安装,其他位置安装时会影响它的性能,产生不良影响。
- (7)卤钨灯不允许采用人工冷却,以保证卤钨正常循环。
- (8)卤钨灯灯脚引入线应采用耐高温的导线。
- (9)装卸灯泡、灯管时,应先关闭开关。
- (10)卤钨灯管需确认无电,冷却后方可装卸。

#### 4.4.2 荧光灯

图 5.8.39 示出荧光灯单灯和双灯接线图。

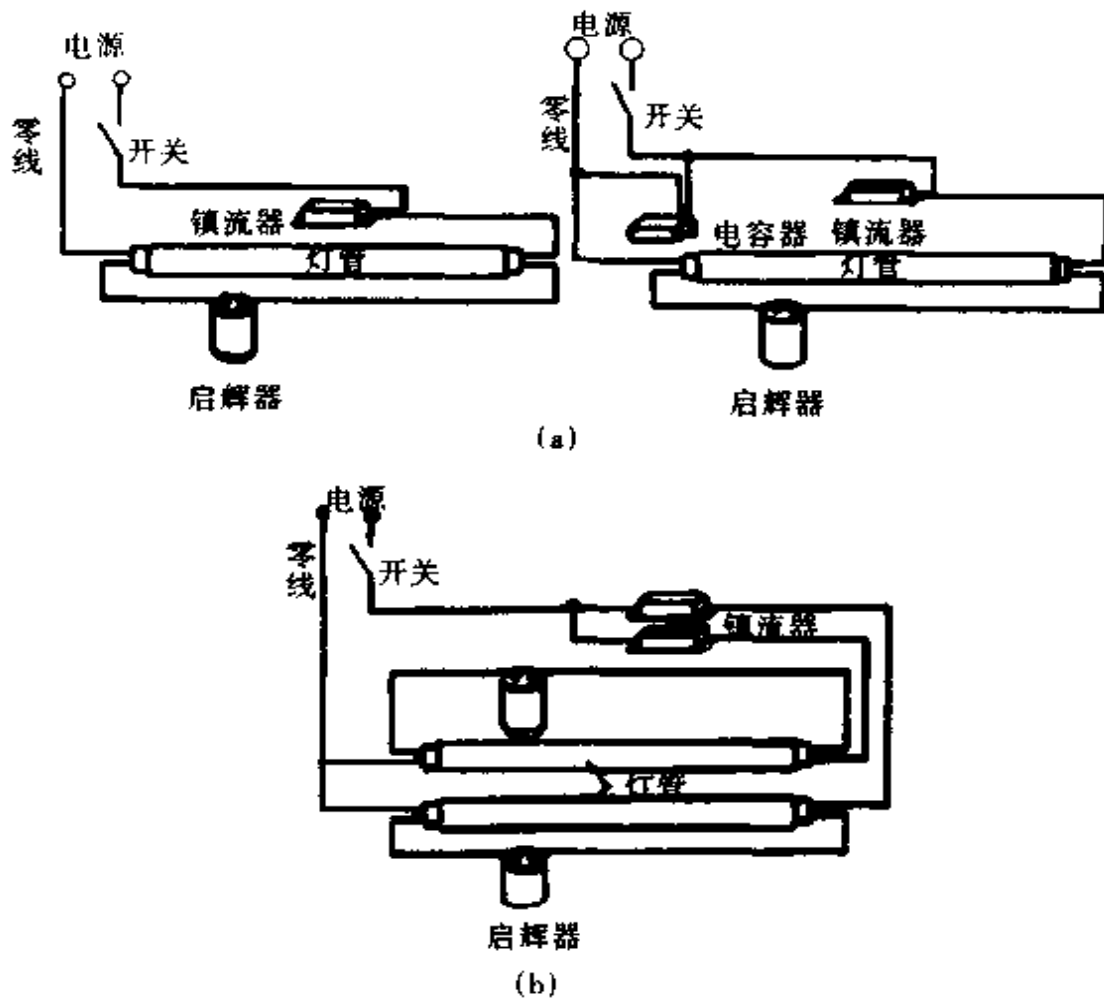


图 5.8.39 荧光灯单灯和双灯接线图  
(a)单灯电路 (b)双灯电路

注意事项:

- (1)通电前必须检查接线,防止接错线,损坏元件。

- (2) U形和环形荧光灯的附件与同功率直管形荧光灯的附件相同,其接线图也相同。  
 (3) 环形荧光灯管的灯头不能扭转,以免电线短路。  
 (4) 镇流器功率应与灯管功率匹配,工作中注意它的散热情况。

#### 4.4.3 荧光高压汞灯

图 5.8.40 示出高压汞灯接线图。

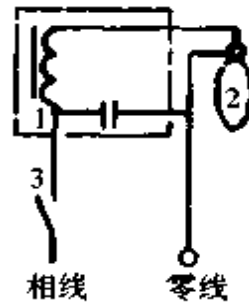


图 5.8.40 荧光高压汞灯接线图

1—镇流器 2—高压汞灯 3—电源开关

注意事项:

- (1) 由于高压汞灯工作时温度较高,故配用的灯具必须具有良好的散热条件,不致影响灯的性能和寿命。
- (2) 高压汞灯最好在垂直位置点燃。
- (3) 使用时电源电压波动不宜太大。电压太低时,例如突然降低 5% 以上,会造成高压汞灯自熄。
- (4) 荧光高压汞灯必须配用专门镇流器(内镇流式产品除外),否则会使灯泡立即损坏。镇流器还需与灯泡功率相匹配。
- (5) 高压汞灯熄灭后,不能立即再启动,一般需冷却 10min 以后,方可第二次启动使用。
- (6) 高压汞灯泡壳破碎后,要及时处理,防止水银气以及紫外线对人的伤害。

#### 4.4.4 高压钠灯

高压钠灯接线图如图 5.8.41 所示。

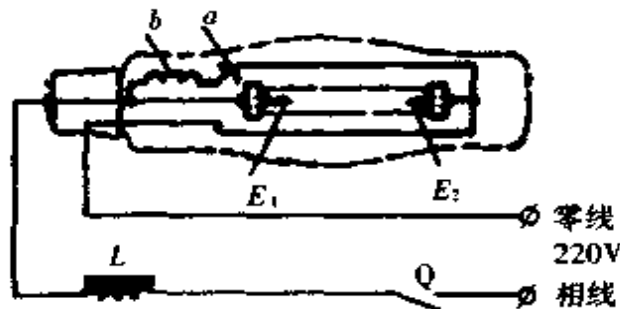


图 5.8.41 高压钠灯接线图

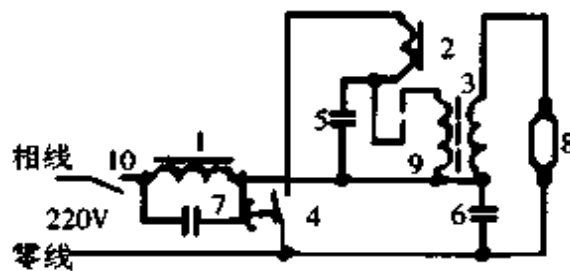
当灯由 Q 接入电源后,电流经过镇流器 L,加热线圈 b,因为双金属片常闭触点 a,而形成通路。此时,放电管内无电流。一定时间后,线圈发热,双金属片受热后断开,产生很高的自感电势,使放电管 E<sub>1</sub> 和 E<sub>2</sub> 间电离放电,此时电流只通过放电管,主要是钠放电发光。

注意事项:

- (1) 电源电压变化会影响光效、光色,并容易引起灯自熄。
- (2) 高压钠灯必须和专用镇流器、电容器配套使用。
- (3) 当电源中断使灯熄灭后,即使立即恢复供电,灯也不能立即点燃。需 10~20min 后,待双金属片冷却并回复到闭合状态时,才能再启动。

#### 4.4.5 金属卤化物灯

各种金属卤化物灯的接线图如图 5.8.42 所示,其中图 5.8.42a 为 1000W 钠-铊-铟灯-铊-铟灯触发启动接线图;图 5.8.42b 为管形钠灯接线图。



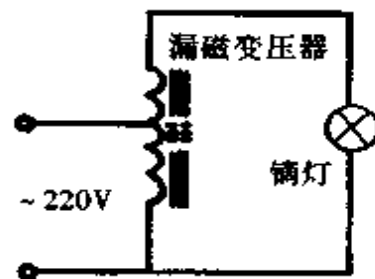
(a) 1000W 钠-铊-铟灯

- 1—镇流器 2—振动子线圈 3—脉冲变压器 4—触发按钮 5—谐振电容器  
6—交连电容器 7—旁路电容器 8—灯 9—振动子触点 10—电源开关



(b) 管形钠灯

- 1—灯泡 2—触发器 3—镇流器 4—功率因数补偿电容器 5—电源开关



(c) 用高压汞灯镇流器代用管形钠灯工作线路 (d) 与漏磁变压器配套管形钠灯工作线路

图 5.8.42 金属卤化物灯接线图



对于镝灯,当电源电压为 380V 时,其镇流器可以将两个荧光高压汞灯用的镇流器串联代用,见图 5.8.42c;当电源电压为 220V 时,则需配漏磁升压变压器,才能满足启动及工作要求,见图 5.8.42d。

注意事项:

(1)无玻壳的金属卤化物灯,悬挂高度应不低于 14m,人眼不宜长时间正视,以防止紫外光线的伤害。

(2)管形镝灯安装必须严格按照灯的方向标记,切勿弄错。

(3)电源电压不宜太大,低于 5% 时会自熄。

(4)金属卤化物点燃时经 10min 后才能达到稳定状态,熄灭后需待 10~15min 才能再启动。

#### 4.4.6 氙灯

管形氙灯接线方法如图 5.8.43 所示。

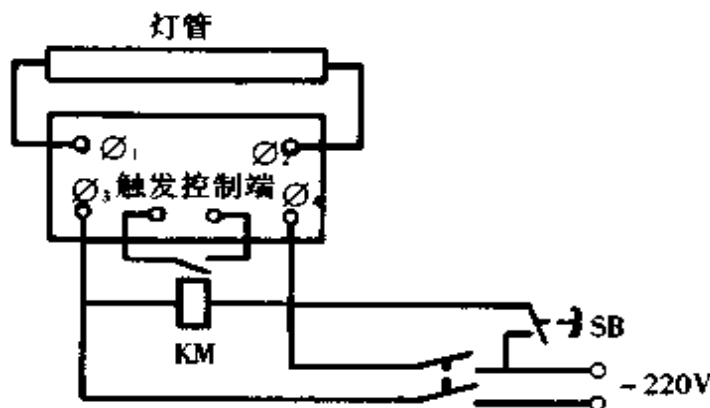


图 5.8.43 管形氙灯接线图

注意事项:

(1)氙灯是在高频、高压下启动的,因此对地绝缘应良好。会瞬时产生 30kV 以上的高压脉冲,应注意安全。

(2)氙灯必须配用相应的触发器。触发时间不超过 10ms。

(3)氙灯管应水平安装,高度不低于 20m,以免紫外线灼伤。

(4)安装时应注意防雨问题。

## 5 电气照明的常见故障及维修

### 5.1 白炽灯(含卤钨灯)照明

如果白炽灯不亮或发生故障,应从灯泡、电源电压和电路(导线、熔丝、开关)三部分去检查和修理。

对灯泡的灯丝断掉或熔丝熔断,可以目测或者用万用表测量来确定,但如何来查明电路中短路及电源中断现象呢?

电源中断可以用试电笔和检验灯,如果电源进线有电,校验灯亮,说明电源的相线和零线均正常。同样可用此法去查明各电灯支路电源是否正常。

电路短路的检查方法是将零线上熔丝拔下,用校验灯串入拔下的熔丝两端,若灯亮了,说明电路有短路现象。各个电灯支路中是否有短路现象,用校验灯接在开关的两端,若灯亮了,说明这个支路中有短路现象。

白炽灯照明的常见故障及处理方法见表 5.8.65。

表 5.8.65 白炽灯照明的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
灯泡不亮	1. 灯丝已断 2. 电源保险丝烧断时: (1) 灯座内两线短路 (2) 灯座内中心触头与螺旋圈相碰短路 (3) 线路中短路  3. 电源保险丝未断时: (1) 灯头与灯座内的触头接触不良 (2) 电源中断 (3) 开关接触不良	1. 换新灯泡  2. 依次检查后修复  3. (1) 检查灯座内触头是否有足够弹力与灯头接触 (2) 用试电笔检查电源线路是否有电,若有电,再逐段检查线路及触头 (3) 检修开关
灯泡强白	1. 灯丝短接(搭丝),从而电阻减小,电流增大 2. 电源电压与灯泡电压不符	1. 换新灯泡  2. 调换电压相符的灯泡
灯光暗淡	1. 灯泡内钨丝蒸发后积聚在玻壳内表面使玻壳发乌,透光度减低;另一方面钨丝蒸发后变细,电阻增大,电流减小,光通量减小 2. 电源电压过低或离电源点太远 3. 线路绝缘不良有漏电现象,致使电压过低 4. 灯泡外部积垢或积灰	1. 正常现象,不必修理  2. 不必修理或改接到近电源点  3. 检修线路,恢复绝缘  4. 擦去灰垢

续表

故障现象	可能原因	处理方法
灯泡忽亮忽暗或忽亮忽熄	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灯座、开关等处接线松动</li> <li>2. 保险丝接触不牢</li> <li>3. 电源电压的变化或附近电动机等大容量用电设备启动</li> <li>4. 灯丝正好断在挂灯丝的钩子处, 受振后忽接忽离</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 检查拧紧</li> <li>2. 检查拧紧</li> <li>3. 不必修理</li> <li>4. 换新灯泡</li> </ol>

## 5.2 荧光灯照明

荧光灯照明的常见故障及处理方法见表 5.8.66。

表 5.8.66 荧光灯照明的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
灯管不能发光或发光困难	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接触不良</li> <li>2. 启辉器损坏</li> <li>3. 灯丝已断</li> <li>4. 电源保险丝烧断               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 接线中有短路处</li> <li>(2) 线路中短路</li> </ol> </li> <li>5. 灯管漏气</li> <li>6. 若是新装日光灯, 可能接线错误或接触不牢</li> <li>7. 电源电压太低或线路压降大</li> <li>8. 镇流器配用规格不合或内部接线不牢</li> <li>9. 气温过低</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 转动灯管, 压紧灯座电极与灯管电极之间的接触, 或转动启辉器, 使启辉器电极与底座电极接触牢固</li> <li>2. 将启辉器取下, 用两把螺丝刀的金属头分别触及启辉器座的两电极, 然后将金属杆短接一下后马上离开, 如灯管能发光, 则说明是启辉器坏了, 需换新</li> <li>3. 用万用表测量看灯丝通不通, 或用一个小电珠串联 3V 电池后搭接灯丝的两极, 看电珠亮不亮</li> <li>4. 依次检查后排除</li> <li>5. 如荧光粉变色, 表明灯管漏气应换灯管</li> <li>6. 检查线路和接触点</li> <li>7. 如有条件, 可升高电源电压, 或加粗导线</li> <li>8. 检查修理或换新</li> <li>9. 灯管加热、加罩或换用低温管</li> </ol>
灯管两头生黑斑	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灯管陈旧, 寿命将终的现象</li> <li>2. 如系新灯管, 可能因启辉器损坏致使灯丝发射物质加速蒸发</li> <li>3. 灯管内水银凝结, 是细灯管常有的现象</li> <li>4. 电源电压太高</li> <li>5. 启辉器不良或接线错误, 不牢而引起长时间的闪烁</li> <li>6. 镇流器配用不当</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 换灯管</li> <li>2. 换启辉器</li> <li>3. 启动后即能蒸发, 将灯管旋转 180°</li> <li>4. 测量电压并加以调整</li> <li>5. 换启辉器, 检查接线</li> <li>6. 换适当镇流器</li> </ol>

续表

故障现象	可能原因	处理方法
灯管光度减低或色彩较差	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灯管陈旧的必然现象</li> <li>2. 气温降低或冷风直吹灯管</li> <li>3. 电源电压太低或线路压降太大</li> <li>4. 灯管上积垢太多</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 换灯管</li> <li>2. 加防护罩或避开冷风</li> <li>3. 检查电压及线路用线</li> <li>4. 清洗灯管</li> </ol>
镇流器过热或冒烟	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灯架内温度过高</li> <li>2. 电路电压过高或容量过载</li> <li>3. 内部线圈匝间短路,或启辉电容器短路,或接线不牢</li> <li>4. 灯管闪烁时间或连续使用时间过长</li> <li>5. 内部线圈短路后烧毁</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 改善装置方法,保持通风散热</li> <li>2. 如有条件,可调低电压或换用容量较大的镇流器</li> <li>3. 修理或换新</li> <li>4. 检查闪烁原因或减少连续使用时间</li> <li>5. 立即切断电源,更换镇流器</li> </ol>
灯管寿命短或立即熄灭	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 镇流器配用规格不合,或质量较差,或镇流器内部线圈短路,致使灯管电压过高</li> <li>2. 开、关次数太多,或启辉器不良引起长时间闪烁</li> <li>3. 受到剧震,使灯丝震断</li> <li>4. 新装灯管因接线错误或一端单独误接电源,而将灯丝烧断</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 更换或修理镇流器</li> <li>2. 减少开关次数,调换启辉器</li> <li>3. 改善安装位置及更换灯管</li> <li>4. 摇动灯管有响声,可能是灯丝脱落,改正接线后更换灯管再试</li> </ol>
无线电干扰	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同一电路灯管放射电波的辐射作用</li> <li>2. 收音机与灯管距离太近</li> <li>3. 镇流器质量不佳</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电路上加装电容器或进线上加滤波器</li> <li>2. 增大距离</li> <li>3. 换一个镇流器进行试验</li> </ol>
杂声及电磁声	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 镇流器质量较差,硅钢片铁芯未夹紧</li> <li>2. 线路电压升高或过高而引起镇流器发出声音</li> <li>3. 镇流器过载,内部短路</li> <li>4. 镇流器有微弱声,但影响不大</li> <li>5. 镇流器受热过度</li> <li>6. 启辉器不良,引起开启时辉光杂声</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 换镇流器试一试</li> <li>2. 测试电压并设法降压</li> <li>3. 修理或更换</li> <li>4. 系正常现象,可用橡皮垫衬,减少振动</li> <li>5. 检查受热原因</li> <li>6. 换启辉器</li> </ol>

### 5.3 氙灯照明

氙灯照明的常见故障及处理方法见表 5.8.67。

表 5.8.67 管形氙灯照明的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
不能触发,火花放电器不放电	1. $B_1$ 二次侧开路 2. $B_2$ 二次侧严重短路 3. $L_1$ 或 $L_2$ 开路	1. 调换 $B_1$ 2. 调换 $B_2$ 3. 暂时可把 $L_1$ 或 $L_2$ 短路先使用,然后再换
不能触发,火花放电器火花很小	1. $B_1$ 二次侧短路 2. $C_1$ 内部开路 3. 电路断开	1. 调换 $B_1$ 2. 调换 $C_1$ 3. 接通电路
不能触发,火花放电器正常,经检查无高压输出或很小	1. $B_3$ 胶木筒打穿 2. 高压瓷瓶( $\phi_1$ )击穿 3. $B_3$ 输出处与铁箱击穿	1. 调换 $B_3$ 2. 调换瓷瓶,调整铜排位置 3. 使 $B_3$ 距铁箱 40mm 以上
触发正常,灯管点不亮,检查触发器全部正常,但灯管无一点火花或只一端有蓝光	1. 灯管漏气 2. 高压输出线与地线严重短路	1. 调换灯管 2. 检查修理

### 5.4 霓虹灯

霓虹灯变压器是漏磁变压器,电抗大,功率因数甚低(为 0.2~0.5),受到供电部门的严格管理。

霓虹灯变压器次级电压高达 8000~15000V,所以二次回路与所有金属框架、建筑物等必须完全绝缘。

霓虹灯变压器次级的中性点、金属外壳和铁心都应可靠接地。

表 5.8.68 示出霓虹灯常见故障及处理方法。

表 5.8.68 霓虹灯常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
灯管全部不亮或一段不亮	1. 变压器次级断线 2. 某一段灯管漏气 3. 电源熔丝熔断	1. 更换变压器 2. 更换该段灯管 3. 调换熔丝
灯管闪光,不能亮	次级电压低或负荷重	升高电压或缩短灯管
变压器过热	1. 变压器受潮 2. 变压器次级局部短路 3. 变压器超负荷	1. 烘干处理 2. 进一步检查更换 3. 减小负荷
灯管电极发黑	1. 电压太高 2. 灯管老化,寿命已到	1. 适当降低电压 2. 更换灯管

## 第 六 篇

# 常用电工材料

本篇主编 董保申  
编写人 阮 婴  
阮 平  
谢 敏  
晓 电





## 第一章 常用导电材料

导电材料应具有较高的导电性能、足够的机械强度、不易氧化、不易腐蚀、易进行加工和易于焊接等特性。

### 1 导电金属

常用的导电金属材料有铜和铝,某些特殊场合也采用银、金、铂等贵金属。导电金属的主要特性和用途见表 6.1.1。

表 6.1.1 导电金属的主要特性和用途

名称	符号	密度 ( $g/cm^3$ )	熔点 ( $^{\circ}C$ )	抗拉强度 ( $N/mm^2$ )	电阻率 ( $20^{\circ}C$ ) ( $10^{-2}\Omega \cdot mm^2/m$ )	电阻温度 系数 ( $20^{\circ}C$ ) ( $10^{-3}/^{\circ}C$ )	主要特性	主要用途
银	Ag	10.50	961.93	160~180	1.59	3.80	有最好的导电性和导热性,抗氧化性好,易压力加工,焊接性好	航空导线、耐高温导线、射频电缆导体和镀层,瓷电容器极板等
铜	Cu	8.90	1084.5	200~220	1.69	3.93	有好的导电性和导热性,良好的耐腐蚀性和焊接性,易压力加工	各种电线、电缆用导体,母线和载流零件等
金	Au	19.30	1064.43	130~140	2.40	3.40	导电性仅次于银和铜,抗氧化性好,易压力加工	电子材料等特殊用途
铝	Al	2.70	660.37	70~80	2.65	4.23	有良好的导电性、导热性、抗氧化性和耐腐蚀性,密度小,易压力加工	各种电线、电缆用导体,母线、载流零件和电缆护层等

续表

名称	符号	密度 ( $g/cm^3$ )	熔点 ( $^{\circ}C$ )	抗拉 强度 ( $N/mm^2$ )	电阻率 ( $20^{\circ}C$ ) ( $10^{-2}\Omega \cdot$ $mm^2/m$ )	电阻温度 系数 ( $20^{\circ}C$ ) ( $10^{-3}/^{\circ}C$ )	主要特性	主要用途
钼	Mo	10.20	2620	700~1000	4.77	3.30	有高的硬度和抗拉强度,耐磨,熔点高,性脆,高温易氧化,需特殊加工	超高温导体,电焊机电极,电子管栅极丝及支架等
钨	W	19.30	3387	1000~1200	5.48	4.50	抗拉强度和硬度很高,耐磨,熔点高,性脆,高温易氧化,需特殊加工	电光源灯丝,电子管灯丝及电极,超高温导体和电焊机电极等
锌	Zn	7.14	419.58	110~150	6.10	3.70	耐蚀性良好	导体保护层和干电池阴极等
镍	Ni	8.90	1455	400~500	6.90	6.0	抗氧化性好,高温强度高,耐辐射性好	高温导体保护层,高温特殊导体,电子管阳极和阴极等零件
铁	Fe	7.86	1541	250~330	9.78	5.0	机械强度高,易压力加工,电阻率比铜大6~7倍,交流电损耗大,耐蚀性差	在输送功率不大的线路上作广播线、电话线和爆破线等
铂	Pt	21.37	1772	140~160	10.5	3.0	抗氧化性和抗化学剂性特好,易压力加工	精密电表及电子仪器的零件等
锡	Sn	7.30	231.96	15~27	11.4	4.20	塑性高,耐蚀性好,强度和熔点低	导体保护层,焊料和熔丝等
铅	Pb	11.37	327.5	10~30	21.9	3.90	塑性高,耐蚀性好,密度大,熔点低	熔丝,蓄电池极板和电缆护层等
汞	Hg	13.55	-38.87	-	95.8	0.89	液体,沸点为 $357^{\circ}C$ ,加热易氧化,蒸气对人体有害	水银整流器,水银灯和水银开关等

## 1.1 铜及铜合金

### 1.1.1 铜

纯铜外观呈紫红色,一般称紫铜,密度为 $8.90g/cm^3$ 。它具有良好的导电性能,仅次于银,且铜质愈纯,导电性能愈好;有良好的导热性,仅次于银和金;并具有

一定的机械抗拉强度和良好的耐腐蚀性,无低温脆性,易于焊接,塑性较高,易于进行各种冷、热加工等优点。广泛应用在仪表和电机、电器等电工产品上,用作导线和导电零部件及特殊用途。

导电用铜通常选用含铜量为 99.90% 的普通纯铜,在特殊要求下,可用无氧铜和无磁性高纯铜。导电用铜的品种及其主要用途见表 6.1.2。

表 6.1.2 导电用铜的品种及其主要用途

类别	品种	代号	含铜量(%) (不小于)	主要用途
普通纯铜	一号铜	T <sub>1</sub>	99.95	各种电线电缆用导体
	二号铜	T <sub>2</sub>	99.90	仪器、仪表开关和一般导电零件
无氧铜	一号无氧铜	Tu <sub>1</sub>	99.97	电真空器件、电子管和电子仪器用零件、耐高温导体微细丝等,真空开关触头
	二号无氧铜	Tu <sub>2</sub>	99.95	
无磁性高纯铜		TWC	99.95	作无磁性漆包线的导体,制造高精密仪器、仪表的动圈

### 1.1.2 铜合金

在电器仪表中,有些特殊零件除要求具有良好的导电性能外,还要求提高机械强度、弹性和韧性,有的还要求在温度变化的情况下具有一定的稳定性等等。这些要求纯铜满足不了,常需用铜合金来代替,但其电导率比纯铜稍有降低。

**1.1.2.1 银铜** 在铜合金中,银铜的导电性能最好;它的接触电阻小,是良好的电接触材料;并具有良好的导热性;有一定的硬度和耐磨性;耐腐蚀、抗氧化性能也较好。银铜是铜中加入了少量的银(含银量一般为 0.1%~0.2%),可显著地改善其软化温度和抗蠕变性能,而对导电率影响极小。银铜中若加入少量的铬、钴、镁和镉,可进一步提高强度和耐热性。银铜主要用作继电器、电位器、衰减器的触点材料,电子管引线、整流子片等。

含有铈、镧或混合稀土的稀土铜,其性能不亚于银铜,可代替银铜作整流子片。

**1.1.2.2 铬铜** 铬铜的突出特点是在较高的温度(<400℃)下,具有较高的强度和硬度;经时效硬化处理后,其导电性、导热性、强度、硬度均显著提高;易于焊接,能钎焊;抗腐蚀性能良好,高温抗氧化性也好;易于进行冷、热加工。缺点是在缺口和尖角处容易造成应力集中,引起机械损伤。常用铬铜一般含铬 0.5%~0.8%;若再加入少量硅(0.1%),则具有高电导率、高抗拉强度和耐高温性能;若加入少量镁和铝,可进一步提高耐热性,并大大改善缺口敏感性的不足。铬铜主要用作电器、仪表的开关零件、电子管零件等。

**1.1.2.3 镉铜** 镉铜含镉量为 1% 左右,其突出的性能是耐磨,减摩性能好,抗拉强度高,灭弧性能和抗电弧灼蚀性能良好,压力加工性能也较好。在镉铜中加入铬可增加其时效硬化效果,显著地提高其耐热性;如加入少量钴、银、镁、锌等可

进一步提高强度。镉铜主要用作电器开关的接点及其他导电耐磨零件电极等。

1.1.2.4 铍铜 铍铜须在淬火后进行冷变形,再时效处理,才能获得较高的强度和电导率。它的突出特点是在很高温度(400℃)下,还能保持冷作硬化的强化效果,即保持高强度,并在淬火状态下具有纯铜的塑性。铍铜主要用于较高温度(>350℃)下工作的电器或仪表的开关零件、导线、电焊电极、整流子片等。

1.1.2.5 铍铜 铍铜一般含铍量大于1%,与其他铜合金相比,具有高强度、高硬度和高弹性,且弹性后效小,弹性稳定性好;并具有良好的耐腐蚀、耐磨和耐疲劳性能;无磁性,冲击无火花;易于焊接,能钎焊;性能对时效温度变化的敏感性小;在淬火状态下有极高的塑性,易于压力加工;价格较低廉。铍铜主要用作电器、仪表的弹簧等弹性元件,各种耐磨零件和敏感元件,如波纹管、膜片、膜盒、弹片、弹簧管等。

1.1.2.6 钛铜 钛铜是新型的高强度合金,性能接近铍铜。与铍铜相比,导电性较差,但耐热性好,生产工艺简单。用途同铍铜。

1.1.2.7 镍铜类 有镍钛铜、镍硅铜、镍钛锡铜,其电导率和强度都接近铍铜,耐热性能比钛铜更高,可代替铍铜使用。

部分铜合金品种及其性能见表6.1.3。

表6.1.3 铜合金品种及其性能

类别	名称	室温性能				高温强度 (N/mm <sup>2</sup> )
		抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	硬度 (HB)	电导率 (% IACS)	
高导电、 中强度	硬铜 (作比较)	350~450	2~6	80~110	98	20~24 (200℃)
	银铜	350~450	2~4	95~110	96	250~270 (290℃)
	铬铜	450~500	15	110~130	80~85	310 (400℃)
	钴铜	450~500	10	120~130	90	350 (400℃)
	镉铜	600	2~6	100~115	85	
中导电、 高强度	镍钛铜	600	10	150~180	50~60	400 (500℃)
	镍硅铜	600~700	6	150~180	40~45	
	镍钛锡铜	650~800	7~12	210~250	42~50	390 (425℃)
低导电、 特高强度	铍铜	1300~1470	1~2	350~420	22~25	
	钛铜	700~900	5~15	250~300	10~15	

## 1.2 铝及铝合金

### 1.2.1 铝

铝是银白色的轻金属,密度为  $2.70\text{g/cm}^3$ ,约为铜的 33%;具有良好的导电性能,与铜比较,当截面相同时,单位长度铝的电导率为铜的 64%,若按质量计算,则相当于铜的 200%,大大超过了铜;导热性能良好,热导率是铜的 56%。铝耐酸,但不耐碱,更不耐盐雾腐蚀;塑性好,易于进行压力加工,可压成薄片或抽成细丝,对光和热的反射率大。缺点是机械强度比铜低,焊接性能较差,但铝资源较为丰富。

导电用铝通常选用含铝量在 99.5% 以上的工业纯铝,主要导电用铝的品种有:特一号(Al-00),含铝 99.7% 以上;特二号铝(Al-0),含铝 99.6% 以上;一号铝(Al-1),含铝 99.5% 以上。这几种工业纯铝,可压力加工成各种型材和线材,具有较高的可塑性、高导电性及高导热性,常用作电线电缆的线芯,变压器及电机的电磁线,仪器仪表的导电零件和表盘、指针、转轴、器壳及框架等。

### 1.2.2 铝合金

纯铝的强度较低,工业上应用受到限制。采用铝合金,可在尽量少地降低铝的电导率的情况下,提高其强度及耐热性,并改善耐腐蚀性和焊接性能。铝合金常用于架空导线、电车线以及要求重量轻、强度高的导电线芯,还可用作电器仪表的导电零部件及结构材料。

导电铝合金的品种、性能、特征及用途见表 6.1.4。

表 6.1.4 导电铝合金的品种、性能、特征及用途

类别	合金名称	状态	抗拉强度 ( $\text{N/mm}^2$ )	延伸率 (%)	屈服强度 ( $\text{N/mm}^2$ )	电导率 (%) (IACS)	特征与用途
	铝 (作比较)	软	70~95	20~40	3~4	61~65	
		半硬	95~140	-	-		
		硬	150~180	>0.5	-		
热处理型	铝镁硅 Al-Mg-Si	硬	300~360	4		53	强度高,用于架空导线、电器、仪表壳体等零件

续表

类别	合金名称	状态	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	电导率 (%) (IACS)	特征与用途
非 热 处 理 型	铝镁 Al-Mg	硬	230-260	2		53-56	中等强度,耐蚀性 极好,用于架空导线 架或支架和电车线, 软线用于电缆线芯
	铝镁铁 Al-Mg-Fe	软	113-120	15	52	58-60	电线、电缆、电磁线 线芯
	铝镁铁铜 Al-Mg-Fe-Cu	软	113-130	15	52	58-60	
	铝镁硅铁 Al-Mg-Si-Fe	软	113	17	50	53	耐热性好,用于架 空线、汇流排
	铝锆 Al-Zr	硬	180-190	2		58-60	
	铝铁 Al-Fe	软	90	30		61	强度比铝高,用途 与铝同
	铝硅 Al-Si	硬	260-330	0.5- 1.5		50-53	加工性特好,可拉 成特细丝,用于电子 工业连接线

### 1.3 复合金属导体

两种导电金属复合在一起使用,可发挥各自的优点。复合金属导体的种类繁多、形式多样,有线、棒、带、板、片和管材等。被覆金属有的包在基体金属的周围,如铜包钢线;有的包在基体金属的一侧,如钢铝电车线;有的被覆在基体金属的一面或两面,如铝覆铁、铝黄铜覆铜等。

复合金属导体的分类、产品名称、特征和用途见表 6.1.5。

表 6.1.5 复合金属导体的分类、产品名称、特性和用途

分类	产品名称	包覆金属	基体金属	特 性	主 要 用 途
高强度	铝包钢线	铝	镀锌钢线	抗拉强度高,耐蚀性好。抗拉强度为 $900 \sim 1300 \text{N/mm}^2$ ; 电导率为 $29\% \sim 30\%$ IACS; 延伸率不小于 $1.5\%$	输配电线,载波避雷线,通信线及制造大跨越架空导线
	钢铝电车线	钢	铝	钢耐磨,截面 $85 \text{mm}^2$ ,拉断力为 $30150 \text{N}$ 以上,截面 $100 \text{mm}^2$ 拉断力为 $40000 \text{N}$ 以上	电车线
	铜包钢线和排	铜	钢	抗拉强度高: $650 \sim 1500 \text{N/mm}^2$ ; 电导率为 $30\% \sim 40\%$ IACS; 延伸率不小于 $1\%$ ,耐蚀性好	高频通信线、输电线、大跨越及盐雾等特殊地区的架空导线,排可作小型电机整流子片,直流电机用电刷弹簧,配电装置中的汇流排,刀闸的栏条等
高导电	铜包铝线和排	铜	铝	导电率比铝高,连接与铜一样方便;抗拉强度 $210 \text{N/mm}^2$ (硬态); 工作温度不能高于 $250^\circ\text{C}$ 。废品处理困难	高频通信线,电视电缆,电磁线,高频屏蔽配电线。排可做电机整流子片导电排等
	银覆铝	银	铝	电导率高,接触性好	航空用导线,波导管
高弹性	铜覆铍铜	铜	铍铜	弹性好,导电性高	导电弹簧
	弹簧钢覆铜	弹簧钢	铜	高弹性,高导电,耐高温腐蚀	导电弹簧
耐高温	铝覆铁	铝(另一面镀镍)	铁	抗高温氧化性好	电子管阳极
	铝黄铜覆铜	两面分别覆铝、黄铜	铜	抗高温氧化性好,电导率可达 $80\%$ IACS	作高温大电流导体,如电炉配用电用汇流排
	镍包铜	镍	铜	抗高温氧化性好,电导率高,可达 $89\%$ IACS(与镍层厚度有关)	在 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ 范围内作高温导线
	镍包银	镍	银	抗高温氧化性好,电导率高,可达 $85\% \sim 91\%$ IACS(与镍层厚度有关)	在 $400^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ 范围内作高温导线(10%镍层可用于 $400^\circ\text{C}$ , 20%镍层可用于 $650^\circ\text{C}$ )
	耐热合金包银	耐热合金(镍铬合金)	银	抗高温氧化性好,电导率高	在 $650^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 范围内作高温导线

续表

分类	产品名称	包覆金属	基体金属	特 性	主 要 用 途
耐 腐 蚀	不锈钢覆铜	不锈钢	铜	耐蚀性、导热性和成型性好,电导率为73%IACS	大功率真空管用零件
	银包(或镀银)铜线	银	铜	电导率高,抗氧化性高,接触性好,易焊接	高温用线圈。雷达电缆用编织导体,高温导线线芯
	镀银铜包铜线	镀银铜	铜	抗拉强度高,抗氧化性好	射频电缆及高温导线线芯
	镀锡铜线	镀锡	铜	耐蚀性好,焊接性好	橡皮绝缘电线电缆,仪器仪表连接线、编织线和软接线等
其他	铁镍钴合金包铜	铁镍钴合金	铜	电导性和导热性好,膨胀系数与玻璃相近	与玻璃密封的导电导热材料

## 1.4 铝导体焊接

### 1.4.1 铝及铝合金的焊接

铝表面易氧化,而铝氧化膜的熔点高(约2050℃),不易还原,密度比铝大,焊接时不易从熔融铝中浮起,易产生夹渣;同时,氧化膜吸附的水分,在气焊时会生成气孔,影响焊接质量。一般可在焊接前用机械或化学方法清除铝表面氧化膜,或在焊接时用机械力将其挤去;为防止铝在焊接时再氧化,可采用氩气保护,在气焊时则采用焊药等措施。

### 1.4.2 铝铜焊接

铝铜接触面在250℃以上会产生脆性的 $\text{CuAl}_2$ ,影响焊接质量,采用快速的闪光焊、储能焊和摩擦焊或低温的冷压焊和钎焊等方法,可减少 $\text{CuAl}_2$ 的生成。

### 1.4.3 铝铁焊接

铝的导热系数和比热都比铁的大一倍多,因此,焊接时要求使用能量集中的焊接热源;另外,铝凝固时的收缩率比铁大两倍,焊接时要采取措施,防止变形大而产生裂纹。

### 1.4.4 铝及铝合金的机械连接

铝表面氧化膜的导电性差,铝与铝或与其他金属连接时,接触电阻较大。铝与铜连接还会发生电化学腐蚀,使接触电阻进一步增大。用螺栓连接的接头,由于工作时电流变化引起热胀冷缩,易使铝发生永久变形,在使用一定时间后,导致连接处松弛,使接触电阻增大,造成接头过热,甚至引起电弧放电,烧灼接头,还会发生火灾。因此,根据连接件的具体情况,应采取连接面镀银或搪锡,使用铝合金接线端子、铜铝过渡接头,以及适当的压接工艺等措施。

导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法的简要说明和主要应用范围见



表 6.1.6。

表 6.1.6 导电用铝及铝合金的主要焊接与机械连接方法

名称	简要说明	主要应用范围
电阻焊	通电使接头加热,顶压挤出氧化膜,进行焊接。效率高,操作简便	铝杆、铝线的焊接
闪光对焊	在大电流下,焊件局部接触,使金属强烈熔化蒸发形成爆炸除去氧化物,电弧稳定后,立即顶压焊接。接头质量较好,耗电大	制造截面 $\geq 1200\text{mm}^2$ 的铜-铝过渡接头
储能焊	利用电容放电加热,顶压挤出氧化膜进行焊接。接头质量好,速度快	制造截面 $< 15\text{mm}^2$ 的铜-铝过渡接头
摩擦焊	利用旋转摩擦发热进行焊接。热能利用率高,接头质量好	制造截面为 $700\text{mm}^2$ 左右的铜-铝过渡接头,只适用于圆形工件
冷压焊	利用较大机械压力挤去氧化膜,靠金属原子间相互结合使其焊接。接头质量好,设备较简单,焊接速度较慢	焊接铝杆和铝线,及较小铜-铝过渡接头。小截面单线可用手持式冷压钳焊接
氩弧焊	在氩气保护下,用电弧进行焊接。接头质量优良,不用焊剂,需氩气及专用设备,应有劳动防护措施	大、中截面多根铝线、铝排等接头
气焊	用氧气乙炔火焰,使铝熔化焊接,焊后必须除净焊剂以防腐蚀。设备较普通,工艺简便,接头强度较低	小截面铝-铝接头;亦可用于小直径的铜-铝接头,但性能较差
钎焊	用低熔点焊料进行焊接。设备简单,操作方便,接头强度低	中、小截面铝-铝、铜-铝接头
渗铝焊	将表面清洗后的钢焊件,浸入铝液中渗铝,再在模具中浇铝。设备简单	制造钢-铝过渡接头
药包焊	铝粉和氧化铁粉在高温点燃时产生高热,使金属熔化焊接。操作简便,接头强度较低	适用于中、小截面架空铝导线的焊接
爆炸压接	在压接金属表面放置炸药,引燃后产生高压,使金属压合。操作简便迅速,须采取安全措施	铝与铝或其他金属如铜、铁等的覆合,适用于单线、绞线及带箔
套管压接	铝或铝合金套管紧压在被连接的铝导线上	电缆铝线芯及架空铝导线等的连接

## 2 裸导体

裸导体中的一部分产品是提供给各种电线、电缆作导电线芯用的,如圆单线、扁线、铜绞线、铝绞线等;另一部分在电机、电器、变压器等电气设备中作为导电部件使用,如母线、梯排、异形排和软接线等。

对裸导体的性能要求,主要是应具有良好的导电性能和物理、机械性能。高导电性能为有效地传输电能和节约材料所必需;至于机械性能,对于不同用途的产品有着不同的要求,一般要求具有较高的机械强度、足够的硬度、软好的柔软性和良

好的弯曲性能,耐振动、耐腐蚀以及较小的蠕变等性能。

裸导体按产品的形状与结构可分为4个系列:即圆单线、绞线、型线和软接线。

裸导体的分类、名称、特性和用途见表6.1.7。

表6.1.7 裸导体的分类、名称、特性和用途

分类	名称	型号	特性	主要用途	
圆单线	圆铜线	TY TR	硬线的抗拉强度比软线大一倍,半硬线有一定的抗拉强度和延伸率,软线的延伸率高	硬线主要用作架空导线;半硬线、软线主要用作电线、电缆及电磁线的线芯,亦用于其他电器制品	
	圆铝线	LY LYB LR			
	镀锡圆铜线	TRX	具有很好的耐蚀性与焊接性能,并起到铜线与被覆绝缘(如橡皮)之间的隔离作用	电线、电缆用线芯和屏蔽层及电器制品	
	无磁性圆铜线		含铁量小,磁性小	无磁性漆包线线芯	
	铝合金圆线	HL(Al-Mg-Si) HL <sub>2</sub> (Al-Mg)	具有比纯铝线高的抗拉强度	硬线用于架空导线,软线用于电线、电缆线芯等	
	铜包钢圆线	GTA GTB GTVD	高的抗拉强度和铜、铝一样的耐蚀性,镀银铜包钢线,在高频通信上有较大的优越性	架空导线,通信用载波避雷线,大跨越导线,高温电线线芯	
	铝包钢圆线	GL			
	镀银圆铜线		耐高温性好	航空用氟塑料导线,射频电缆线芯等	
	镀锌铁线		抗拉强度大	农村通讯线路架空导线	
绞线	铜绞线	TJ	导电性、机械性能良好,钢芯铝绞线拉断力比铝绞线大一倍	低压或高压架空输电线路用,铜绞线尽量少用	
	铝绞线	LJ			
	钢芯铝绞线	LGJ			
型线	铜电车线	TCY TCG		电气运输架空线路,电气化铁道、工矿电机车及城市电车架空线路	
	钢铝电车线	GLCA GLCB			
	铝合金电车线	HLCA(Al-Mg)			
	扁铜线	TBY TBR	铜、铝扁线和母线的机械特性和圆线相同。扁线、母线的结构形状均为矩形,仅在规格尺寸和公差上有所区别	铜、铝扁线主要用于电机、电器等线圈或绕组;铜、铝母线主要作汇流排用,亦用于其他电器制品	
	扁铝线	LBY LBBY LBR			
	铜母线	TMY TMR			
	铝母线	LMY LMR			
		铜带	TDY TDR	编织成带	通信电缆线芯外导体
		空心扁铜线 空心扁铝线	TBRK LBRK	导电并兼作冷却水通道	用于水内冷电机、变压器及感应电炉等作绕组和线圈
		梯形铜排 梯形银铜排 异形银铜排	TPT TYPT TYPT-1	银铜合金排,具有比铜好的耐磨性,较高的机械强度和硬度	直流电机换向器片
	七边形铜排	TMR-2		大型水轮发电机绕组	

续表

分类	名称	型号	特性	主要用途
软接线	铜电刷线	TS TSX TSR TSXR	多股铜线或镀锡铜线绞制,柔软,耐振动,耐弯曲	电刷连接线
	铜天线	TT TTR		通信架空天线
	铜软绞线	TRJ TRJ-3 TRJ-1 TRJ-4 TRJ-2	柔软,TRJ-4特别柔软,为提高抗腐蚀性,TRJ-2、3、4可用镀锡铜线绞制	引出线、接地线、整流器和晶闸管的引出线等,电器设备部件间连接用线
	铜编织线	TYZ TRZX-1 TYZX TRZ-2 TRZ-1 TRZX-2	柔软	小型电炉和电器设备等连接线
	铜编织线	QC	柔软	汽车、拖拉机、蓄电池连接线

## 2.1 圆单线

圆单线包括:圆铜单线(硬、软及镀锡的);圆铝单线(硬、半硬及软的);铝合金单线(热处理及非热处理型的);铜包钢单线;铝包钢单线。

### 2.1.1 圆铜单线

圆铜单线可作为架空绞线及绝缘电线、电缆的导电线芯材料,并可供电器产品作组成材料,部分大规格可单独作为电力及通信架空线路的输电线之用。

圆铜单线按其柔软性可分为硬圆铜线(TY)和软圆铜线(TR)两种。其规格范围、电气性能及机械性能分别见表 6.1.8、6.1.9 及 6.1.10。

表 6.1.8 圆铜单线规格范围

mm

单线直径	允许偏差	单线直径	允许偏差
0.020~0.025	±0.002	1.01~2.50	±0.02
0.030~0.100	±0.003	2.51~3.50	±0.03
0.110~0.250	±0.005	3.51~4.50	±0.04
0.260~0.700	±0.010	4.51~6.00	±0.05
0.710~1.000	±0.015		

表 6.1.9 圆铜单线电气性能

单线直径 (mm)	电阻系数 20℃时不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )		电阻温度系数 $\alpha_{20}$ (1/℃)	
	TY	TR	TY	TR
1.00 及以下	0.0181			
1.01~6.00	0.0179	0.01748	0.00385	0.00395

表 6.1.10 圆铜单线机械性能

单线直径 (mm)	TY		TR	
	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)
0.020~0.050	412	0.5	-	12
0.060~0.100	412	0.5	-	15
0.110~0.200	412	0.5	200	18
0.210~0.700	412	0.5	200	20
0.710~1.000	412	0.6	200	25
1.01~2.00	402	0.8	200	25
2.01~3.00	400	1.0	206	30
3.01~4.00	382	1.2	206	30
4.01~5.00	373	1.5	206	30
5.01~6.00	363	1.5	206	30

## 2.1.2 镀锡圆铜软单线

镀锡圆铜软单线主要用作电线、电缆的导电线芯,电机电器产品的电磁线,电刷线及导电引接线等。

镀锡圆铜软单线的规格范围、电气性能及机械性能分别见表 6.1.11、6.1.12 及 6.1.13。

表 6.1.11 镀锡圆铜软单线规格范围

mm

单线直径	允许偏差	单线直径	允许偏差
0.03~0.10	+0.006	1.01~2.00	+0.04
	-0.003		-0.02
0.11~0.25	+0.010	2.01~3.00	+0.05
	-0.005		-0.03
3.01~4.00	+0.06	0.26~0.70	+0.02
	-0.04		-0.01
0.71~1.00	+0.03		
	-0.015		

表 6.1.12 镀锡圆铜软单线电气性能

单线直径 (mm)	电阻系数 20℃, 不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}$ (1/℃)
0.50 及以下	0.0179	0.00385
0.50 以上	0.0176	0.00385

表 6.1.13 镀锡圆铜软单线机械性能

单线直径 (mm)	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)	单线直径 (mm)	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)
0.03~0.08	200	8	0.31~0.70	200	15
0.09~0.15	200	12	0.71~2.00	206	20
0.16~0.30	200	15	2.01~4.00	216	25

### 2.1.3 圆铝单线

圆铝单线在很大程度上取代了圆铜单线作为各类电工产品的导电材料,如作为架空铝绞线、各种铝芯电线、电缆、铝电磁线及其他电器制品的原材料。

按各类电工产品对铝导体柔软性能的不同要求,圆铝单线按不同的初炼工艺分为:硬圆铝线(LY)、半硬圆铝线(LBY)及软圆铝线(LR)三种。其规格范围、电气性能及机械性能分别见表 6.1.14、6.1.15 及 6.1.16。

表 6.1.14 圆铝单线规格范围

mm

单线直径	允许偏差	单线直径	允许偏差
0.06~0.100	±0.003	1.01~2.50	±0.02
0.110~0.250	±0.005	2.51~3.50	±0.03
0.260~0.700	±0.010	3.51~4.50	±0.04
4.51~6.00	±0.05	0.710~1.000	±0.015

表 6.1.15 圆铝单线电气性能

型 号	电阻系数 20℃时不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}(1/^\circ\text{C})$
LY	0.0290	0.00403
LR、LYB	0.0283	0.00410

表 6.1.16 圆铝单线机械性能

单线直径 (mm)	LY		LYB		LR	
	抗拉强度 不小于 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)	抗拉强度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)	抗拉强度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)
0.060~0.200	178	-	95~140	1.0	70~95	-
0.210~0.500	178	0.5	95~140	1.0	70~95	8
0.520~1.000	178	1.0	95~140	1.5	70~95	10
1.01~1.50	178	1.2	95~140	1.5	70~95	12
1.51~2.00	167	1.2	95~140	2.0	70~95	15
2.01~2.50	167	1.5	95~140	2.0	70~95	15
2.51~3.50	157	1.5	95~140	2.5	70~95	18
3.51~6.00	147	2.0	95~140	3.0	70~95	20

### 2.1.4 铝合金单线

铝合金单线具有比纯铝单线高得多的抗拉强度,目前广泛使用的是热处理型铝镁硅合金单线(HL)和非热处理型的铝镁合金单线(HL<sub>2</sub>)两种。前者(HL)的抗拉强度为硬铝单线的两倍以上,适用于制造电力和通信架空电线;后者(HL<sub>2</sub>)可作为电线、电缆的导电线芯之用。铝合金单线的规格范围、电气性能及机械性能分别见表 6.1.17、6.1.18 及 6.1.19。

表 6.1.17 铝合金单线规格范围

mm

单线直径	允许偏差
1.33~2.00	±0.03
2.01~3.00	±0.04
3.01~4.24	±0.05

表 6.1.18 铝合金单线电气性能

型 号	电阻系数 20℃, 不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}$ (1/℃)
HL HL <sub>2</sub>	0.0328	0.0036

表 6.1.19 铝合金单线机械性能

单线直径 (mm)	抗拉强度 不小于 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		伸长率 不小于 (%)		弯曲半径 (mm)		弯曲次数 不少于	
	HL	HL <sub>2</sub>	HL	HL <sub>2</sub>	HL	HL <sub>2</sub>	HL	HL <sub>2</sub>
1.33~1.70	300	260	4	2	5	-	6	-
1.71~2.50	300	260	4	2	5	-	5	-
2.51~4.24	300	260	4	2	10	-	5	-

### 2.1.5 铜包钢单线

铜包钢单线是以钢线为线芯,外包铜层的双金属复合导线,用于高频通信线路时,其电阻值与铜层相近,而抗拉强度很高,并有很好的抗腐蚀性能。作为架空通信线路使用时,技术经济指标极为合理;在大跨越、盐雾及其他有腐蚀性环境等特殊地区,可作为电力输送线路之用。目前生产的铜包钢单线有两种:一种是供架空线路用的 GTA 型,一种是供制造绞线用的 GTB 型。铜包钢单线的规格及性能分别见表 6.1.20 及 6.1.21。

表 6.1.20 铜包钢单线规格

单线直径 (mm)	允许偏差 (mm)	铜层最小厚度 不小于 (mm)		每圈最小质量 (kg)
		GTA	GTB	
1.2	±0.06	0.06	0.04	10
1.4	±0.06	0.07	0.05	10
1.5	±0.06	0.07	0.06	10
1.6	±0.06	0.08	0.06	10
1.8	±0.06	0.09	0.06	15
2.0	±0.06	0.10	0.07	15
2.2	±0.06	0.11	0.08	15
2.5	±0.06	0.12	0.09	15
2.8	±0.06	0.14	0.10	15
3.0	±0.06	0.15	0.11	30
4.0	±0.08	0.20	0.14	40
5.0	±0.08	0.20	-	40
6.0	±0.08	0.20	-	40

注:铜层截面与铜包钢线截面之比在 30%~40% 之间。

表 6.1.21 铜包钢单线性能

单线直径 (mm)	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)	耐弯曲		扭转次数 不少于	20℃时的直流电阻 不大于 (Ω/km)	
			次数 不少于	弯曲半径 (mm)		GTA	GTB
1.2	750	1.0	17	5	7	47.3	58.0
1.4	750	1.0	14	5	7	34.0	41.0
1.5	750	1.0	12	5	7	29.7	35.5
1.6	750	1.0	12	5	7	26.0	32.0
1.8	750	1.0	11	5	7	19.3	25.0
2.0	750	1.0	10	5	7	16.4	20.0
2.2	750	1.0	9	5	7	13.5	17.0
2.5	750	1.0	8	10	7	10.4	13.0
2.8	750	1.0	8	10	7	8.2	10.0
3.0	750	1.0	8	10	7	7.1	9.0
4.0	750	1.5	8	10	7	4.0	5.0
5.0	650	1.5	6	10	7	2.5	3.5
6.0	650	1.5	6	10	7	2.0	—

注:直径 3.0~6.0mm 的铜包钢线,须经受以其自身直径卷绕,正、反方向各一次,不应开裂或起皮。

### 2.1.6 铝包钢单线

铝包钢单线是以钢线为线芯,外包铝层的双金属复合导线,抗拉强度较高。作为配电线、载波避雷线、通信线及制造大跨越架空绞线之用。铝包钢单线(GL)产品制造规格范围为直径 3.7~4.0mm。以直径为 3.8mm 的铝包钢单线为例,其结构规格及性能分别见表 6.1.22 及 6.1.23。

表 6.1.22 铝包钢单线结构规格举例

项 目	数 据	项 目	数 据
单线直径	3.8	最小铝层厚度	0.2
线径偏差	±0.04	平均铝层厚度	0.4

表 6.1.23 直径 3.8mm 的铝包钢单线性能

项 目	数 据	项 目	数 据
相对密度	5.73	压缩剥离(N)	70000
电阻系数 20℃时(Ω·mm <sup>2</sup> /m)	0.063	弯曲(次)	6
扭转(次)	8	断裂伸长率(%)	1.5
电阻温度系数 α <sub>20</sub> (1/℃)	0.0042		
弹性系数(N/mm <sup>2</sup> )	147000		
拉断力(N)	9600		

注:成品铝包钢单线不允许焊接,每圈质量不得小于 60kg。

## 2.1.7 镀锌铁线

镀锌铁线电阻系数较大,导电性能比铜、铝差,但其抗拉强度较大,常用于农村作为通信广播线路的架空线,也用作钢芯铝绞线及军用被覆线的线芯材料。镀锌铁线的规格及性能见表 6.1.24。

表 6.1.24 镀锌铁线规格及性能

直径 (mm)	直径公差 (mm)	截面 (mm <sup>2</sup> )	质量 (kg/km)	最大直流电阻 (Ω/kg)(20℃)	抗张力 (N)	伸长率 (%)
6.0	0.13	28.27	220.5	4.691	9704	12
5.5	0.13	23.76	185.3	5.581	8155	12
5.0	0.13	19.64	153.2	6.753	6737	12
4.5	0.10	15.90	124.0	8.341	5452	10
4.0	0.10	12.57	98.05	10.55	4314	10
3.5	0.10	9.621	75.04	13.78	3302	10
3.2	0.08	8.042	62.73	16.49	2761	10
2.9	0.08	6.605	51.52	20.08	2267	10
2.6	0.06	5.309	41.41	24.98	1822	7
2.3	0.06	4.155	32.41	31.92	1426	7
2.0	0.06	3.142	24.51	42.21	1080	7
1.8	0.06	2.545	19.85	52.11	873	7
1.6	0.05	2.011	15.69	65.95	690	7

## 2.1.8 常用圆铜单线及圆铝单线规格

常用的圆铜单线及圆铝单线的规格、单位净重及直流电阻见表 6.1.25。

表 6.1.25 常用圆铜单线及圆铝单线的规格、每千米净重及直流电阻

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	圆铜线			圆铝线		
		每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)
0.05	0.00196	0.0175	8970	11060			
0.06	0.00283	0.0252	6210	7660			
0.07	0.00385	0.0342	4570	5640			
0.08	0.00503	0.0447	3500	4320			
0.09	0.00636	0.0565	2760	3410			
0.10	0.00785	0.0698	2240	2770			
0.11	0.00950	0.0845	1854	2290			
0.12	0.01131	0.1005	1556	1918			
0.13	0.0133	0.1179	1322	1630			
0.14	0.0154	0.1368	1142	1410			
0.15	0.01767	0.157	995	1227			
0.16	0.0201	0.179	875	1080			
0.17	0.0227	0.202	775	956			
0.18	0.0255	0.226	690	852			
0.19	0.0284	0.262	620	765			
0.20	0.0314	0.279	560	692	0.085	901	1100
0.21	0.0346	0.308	506	628	0.097	820	1000
0.23	0.0415	0.369	424	524	0.112	682	835
0.25	0.0491	0.436	359	443	0.133	577	705
0.27	0.0573	0.509	307	379	0.155	494	604



续表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	圆 铜 线			圆 铝 线		
		每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)
0.29	0.0661	0.587	266	329	0.178	428	524
0.31	0.0755	0.671	233	285	0.204	375	458
0.33	0.0855	0.760	206	254	0.231	331	405
0.35	0.0962	0.855	183	226	0.260	294	360
0.38	0.1134	1.008	156.0	191.3	0.306	250	305
0.41	0.1320	1.170	133.0	164	0.357	214	262
0.44	0.1521	1.352	116.0	142.5	0.411	186	227
0.47	0.1735	1.54	101.0	125.0	0.469	163	199.5
0.49	0.1886	1.68	93.3	115.0	0.509	150	183.5
0.51	0.204	1.81	86.0	106.2	0.550	138.6	169.5
0.53	0.221	1.98	79.4	98.2	0.600	128.0	156.5
0.55	0.238	2.12	73.7	91.2	0.643	119.0	145.5
0.57	0.255	2.27	68.8	85.2	0.689	111.0	135.5
0.59	0.273	2.42	64.2	79.5	0.734	103.6	127
0.62	0.302	2.68	58.0	72.0	0.813	93.8	114.7
0.64	0.322	2.86	54.5	67.4	0.868	88.0	107.5
0.67	0.353	3.13	49.6	61.5	0.950	80.2	98.0
0.69	0.374	3.32	47.0	58.0	1.01	75.7	92.5
0.72	0.407	3.62	43.0	53.3	1.10	69.5	85.0
0.74	0.430	3.82	40.6	50.5	1.16	65.8	80.5
0.77	0.466	4.14	37.6	46.5	1.26	60.7	74.4
0.80	0.503	4.47	34.9	43.1	1.36	56.3	68.9
0.83	0.541	4.81	32.4	40.1	1.46	52.4	64.0
0.86	0.581	5.16	30.2	37.3	1.57	48.7	59.6
0.90	0.636	5.66	27.5	34.1	1.72	44.5	54.5
0.93	0.679	6.04	25.8	31.9	1.83	41.7	51.7
0.96	0.724	6.43	24.3	30.0	1.95	39.1	47.8
1.00	0.785	6.98	22.3	27.6	2.12	36.1	44.1
1.04	0.849	7.55	20.7	25.6	2.28	33.3	40.9
1.08	0.916	8.14	19.20	23.7	2.47	30.9	37.8
1.12	0.985	8.75	17.80	22.0	2.65	28.8	35.1
1.16	1.057	9.40	16.6	20.6	2.85	26.8	32.8
1.20	1.131	10.05	15.50	19.17	3.05	25.0	30.6
1.25	1.227	10.91	14.3	17.68	3.31	23.1	28.2
1.30	1.327	11.80	13.2	16.35	3.58	21.5	26.1
1.35	1.431	12.73	12.30	14.10	3.86	19.8	24.2
1.40	1.539	13.69	11.40	13.90	4.15	18.4	22.5
1.45	1.651	14.70	10.60	13.13	4.45	17.15	20.9
1.50	1.767	15.70	9.33	12.28	4.77	16.00	19.6
1.56	1.911	17.0	9.18	11.35	5.15	14.80	18.1
1.62	2.06	18.32	8.53	10.5	5.56	13.73	16.8
1.68	2.22	19.7	7.90	9.78	5.98	12.75	15.6
1.74	2.38	21.1	7.37	9.12	6.40	11.95	14.54
1.81	2.57	22.9	6.84	8.45	6.95	11.00	13.45
1.88	2.78	24.7	6.31	7.80	7.49	10.2	12.45

续表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	圆 钢 线			圆 铝 线		
		每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	每千米 的净重 (kg)	20℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)	75℃时每 千米的 直流电阻 (Ω)
1.95	2.99	26.5	5.88	7.26	8.06	9.46	11.60
2.02	3.20	28.5	5.50	6.78	8.65	8.85	10.8
2.10	3.46	30.8	5.11	6.27	9.34	8.18	10.0
2.26	4.01	35.7	4.39	5.41	10.83	7.05	8.63
2.44	4.68	41.6	3.76	4.63	12.64	6.05	7.40
2.63	5.43	48.3	3.24	4.00	14.65	5.22	6.37
2.83	6.29	55.9	2.80	3.45	16.98	4.50	5.50
3.05	7.31	65.0	2.41	2.97	19.75	3.88	4.74
3.28	8.45	75.1	2.08	2.57	22.8	3.35	4.10
3.53	9.79	87.0	1.80	2.22	26.4	2.89	3.54
3.80	11.34	100.8	1.55	1.915	30.6	2.49	3.05
4.10	13.20	117.3	1.332	1.642	35.6	2.14	2.62
4.50	15.90	141.4	1.108	1.362	43.0	1.78	2.18
4.80	18.1	160.9	0.973	1.198	48.9	1.56	1.91
5.20	21.2	188.8	0.827	1.020	57.4	1.33	1.627

注:表中计算公式如下:

每千米的净重  $G = 1000(\text{m}) \times \text{截面}(\text{mm}^2) \times \text{密度} \times 10^{-3}(\text{kg})$ ; 其中铜的密度为  $8.9\text{g}/\text{cm}^3$ ; 铝密度为  $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

每千米的直流电阻:  $R_t = \frac{\text{电阻系数} \times 1000}{\text{截面}(\text{mm}^2)} (\Omega/1000\text{m})$

其中当温度  $t = 20^\circ\text{C}$  时 铜的电阻系数为  $0.0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

铝的电阻系数为  $0.0283\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

温度  $t = 75^\circ\text{C}$  铜的电阻系数为  $0.0217\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

铝的电阻系数为  $0.0346\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

## 2.2 裸绞线

常用的裸绞线有铝绞线、钢芯铝绞线、硬铜绞线和铝合金绞线。裸绞线的结构如图 6.1.1 所示。



图 6.1.1 裸绞线的结构  
(a) 铝绞线 (b) 钢芯铝绞线

### 2.2.1 铝绞线

铝绞线因其抗拉强度较低,一般用于工矿企业和农村短距离低压电力线路上。铝绞线(LJ)的规格、结构与技术性能见表 6.1.26。

表 6.1.26 铝绞线的规格、结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	实际截面 (mm <sup>2</sup> )	结构尺寸 根数/直径 (mm)	计算直径 (mm)	直流电阻 (20℃) (Ω/km)	拉断力 (N)	弹性系数 (N/mm <sup>2</sup> )	热膨胀系 数×10 <sup>-6</sup> (1/℃)	计算质量 (kg/km)
10	10.10	3/2.07	4.46	2.896	1600	60000	23.0	27.6
16	15.89	7/1.70	5.10	1.847	2520	60000	23.0	43.5
25	24.71	7/2.12	6.36	1.188	4000	60000	23.0	67.6
35	34.36	7/2.50	7.50	0.854	5500	60000	23.0	94.0
50	49.48	7/3.00	9.00	0.593	7400	60000	23.0	135
70	69.29	7/3.55	10.65	0.424	9800	60000	23.0	190
95	93.27	19/2.50	12.50	0.317	15000	57000	23.0	257
95(1)	94.23	7/4.14	12.42	0.311	13140	60000	23.0	258
120	116.99	19/2.80	14.00	0.253	17500	57000	23.0	323
150	148.07	19/3.15	15.75	0.200	22060	57000	23.0	409
185	182.80	19/3.50	17.50	0.162	27300	57000	23.0	504
240	236.38	19/3.98	19.90	0.125	33100	57000	23.0	652
300	297.57	37/3.20	22.40	0.0996	45000	57000	23.0	822
400	397.83	37/3.70	25.90	0.0745	56000	57000	23.0	1099
500	498.07	37/4.14	28.98	0.0595	70000	57000	23.0	1376
600	603.78	61/3.55	31.95	0.0491	80000	55000	23.0	1669

### 2.2.2 钢芯铝绞线

钢芯铝绞线广泛应用于各种电压等级的电力传输线路,抗拉强度较大。为适合不同用途的要求,除了钢芯铝绞线(LGJ)外,还有轻型钢芯铝绞线(LGJQ)及加强型钢芯铝绞线(LGJJ)等品种。

钢芯铝绞线、轻型钢芯铝绞线和加强型钢芯铝绞线的规格、结构与技术性能分别见表 6.1.27、6.1.28 及 6.1.29。

表 6.1.27 钢芯铝绞线的规格、结构与技术性能

标称 截面 (mm <sup>2</sup> )	实际截面 (mm <sup>2</sup> )		铝钢 截面比	结构尺寸 根数/直径 (mm)		计算直径 (mm)		直流电阻 20℃ (Ω·km)	拉断力 (N)	弹性系数 (N/mm <sup>2</sup> )	热膨胀系 数×10 <sup>-6</sup> (1/℃)	计算质量 (kg/km)
	铝	钢		铝	钢	电线	钢芯					
10	10.60	1.77	6.0	6/1.50	1/1.5	4.50	1.5	2.774	3600	78000	19.1	42.9
16	15.27	2.54	6.0	6/1.80	1/1.8	5.40	1.8	1.926	5200	78000	19.1	61.7
25	22.81	3.80	6.0	6/2.20	1/2.2	6.60	2.2	1.289	7800	78000	19.1	92.2
35	36.95	6.16	6.0	6/2.80	1/2.8	8.40	2.8	0.796	11700	78000	19.1	149
50	48.26	8.04	6.0	6/3.20	1/3.2	9.60	3.2	0.609	15200	78000	19.1	195
70	68.05	11.34	6.0	6/3.80	1/3.8	11.40	3.8	0.432	21000	78000	19.1	275
95	94.23	17.81	5.3	28/2.07	7/1.8	13.68	5.4	0.315	34300	80000	18.8	401
95(1)	94.23	17.81	5.3	7/4.14	7/1.8	13.68	5.4	0.312	32500	80000	18.8	398
120	116.34	21.99	5.3	28/2.30	7/2.0	15.20	6.0	0.255	42300	80000	18.8	495
120(1)	116.33	21.99	5.3	7/4.60	7/2.0	15.20	6.0	0.253	40200	80000	18.8	492
150	140.76	26.61	5.3	28/2.53	7/2.2	16.72	6.6	0.211	50000	80000	18.8	599
185	182.40	34.36	5.3	28/2.88	7/2.5	19.02	7.5	0.163	65000	80000	18.8	774
240	228.01	43.10	5.3	28/3.22	7/2.8	21.28	8.4	0.130	77100	80000	18.8	969
300	317.52	59.69	5.3	28/3.80	19/2.0	25.20	10.0	0.0935	110000	80000	18.8	1348
400	382.4	72.22	5.3	28/4.17	19/2.2	27.68	11.0	0.0778	132000	80000	18.8	1626

表 6.1.28 轻型钢芯铝绞线的规格、结构与技术性能

标称 截面 (mm <sup>2</sup> )	实际截面 (mm <sup>2</sup> )		铝钢 截面比	结构尺寸 根数/直径 (mm)		计算直径 (mm)		直流电阻 20℃ (Ω·km)	拉断力 (N)	弹性系数 (N/mm <sup>2</sup> )	热膨胀系 数 × 10 <sup>-6</sup> (1/℃)	计算质量 (kg/km)
	铝	钢		铝	钢	电线	钢芯					
150	143.58	17.81	8.0	24/2.76	7/1.8	16.44	5.4	0.207	41000	74000	19.8	537
185	176.50	21.99	8.0	24/3.06	7/2.0	18.24	6.0	0.168	51000	74000	19.8	661
240	253.88	31.67	8.0	24/3.67	7/2.4	21.88	7.2	0.117	70000	74000	19.8	951
300	297.84	37.16	8.0	54/2.65	7/2.6	23.70	7.8	0.0997	85000	74000	19.8	1116
300(1)	298.58	37.16	8.0	24/3.98	7/2.6	23.72	7.8	0.0994	82000	74000	19.8	1117
400	97.12	49.48	8.0	54/3.06	7/3.0	27.36	9.0	0.0748	110000	74000	19.8	1487
400(1)	398.86	49.48	8.0	24/4.60	7/3.0	27.40	9.0	0.0744	106000	74000	19.8	1491
500	478.81	59.69	8.0	54/3.36	19/2.0	30.16	10.0	0.0620	136000	74000	19.8	1795
600	580.61	72.22	8.0	54/3.70	19/2.2	33.20	11.0	0.0511	160000	74000	19.8	2175
700	692.23	85.95	8.0	54/4.04	19/2.4	36.24	12.0	0.0429	190000	74000	19.8	2592

表 6.1.29 加强型钢芯铝绞线的规格、结构与技术性能

标称 截面 (mm <sup>2</sup> )	实际截面 (mm <sup>2</sup> )		铝钢 截面比	结构尺寸 根数/直径 (mm)		计算直径 (mm)		直流电阻 20℃ (Ω·km)	拉断力 (N)	弹性系数 (N/mm <sup>2</sup> )	热膨胀系 数 × 10 <sup>-6</sup> (1/℃)	计算质量 (kg/km)
	铝	钢		铝	钢	电线	钢芯					
150	147.26	34.36	4.3	30/2.50	7/2.5	17.50	7.5	0.202	61000	83000	18.2	677
185	184.73	43.10	4.3	30/2.80	7/2.8	19.60	8.4	0.161	71000	83000	18.2	850
240	241.27	56.30	4.3	30/3.20	7/3.2	22.40	9.6	0.123	93000	83000	18.2	1110
300	317.35	72.22	4.4	30/3.67	19/2.2	25.68	11.0	0.0937	123000	82000	18.3	1446
400	409.72	93.27	4.4	30/4.17	19/2.5	29.18	12.5	0.0726	160000	82000	18.3	1868

## 2.2.3 硬铜绞线

架空输电线路大部分采用钢芯铝绞线,仅在一些特殊场合采用硬铜绞线。硬铜绞线(TJ)的规格、结构与技术性能见表 6.1.30。

表 6.1.30 硬铜绞线的规格、结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
16	7×1.68	5.0	1.20	139
25	7×2.11	6.3	0.74	220
35	7×2.49	7.5	0.54	306
50	7×2.97	8.9	0.39	437
70	19×2.14	10.7	0.28	618
95	19×2.49	12.5	0.20	838
120	19×2.80	14.0	0.158	1057
150	19×3.15	15.8	0.123	1339
185	37×2.49	17.4	0.103	1649
240	37×2.84	19.9	0.078	2141
300	37×3.10	21.7	0.062	2562
400	37×3.66	25.6	0.047	3564

## 2.2.4 铝合金绞线

铝合金绞线主要用于架空电力线路,具有很好的抗拉强度,尤其是热处理型铝镁硅合金绞线的抗拉强度大于铝绞线近一倍,而电导率只比铝线低 10% 左右,可用于大跨越输电线路。常用的铝合金线有热处理型铝镁硅合金绞线(HLJ)、非热处理型铝镁合金绞线(HL<sub>2</sub>J)及钢芯铝合金绞线(HL<sub>2</sub>GJ),其规格、结构及技术性能分别见表 6.1.31 及 6.1.32。

表 6.1.31 HLJ、HL<sub>2</sub>J 型铝合金绞线的规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )	根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω·km)	计算质量 (kg/km)
10	10.10	3×2.07	4.46	3.275	27.6
16	15.89	7×1.70	5.10	2.089	43.5
25	24.71	7×2.12	6.36	1.344	67.6
35	34.36	7×2.50	7.50	0.966	94.0
50	49.48	7×3.00	9.00	0.671	135
70	69.29	7×3.55	10.65	0.480	190
95	93.27	19×2.50	12.50	0.359	257
95(1)	94.23	7×4.14	12.42	0.352	258
120	116.99	19×2.80	14.00	0.286	323
150	148.07	19×3.15	15.75	0.226	409
185	182.80	19×3.50	17.50	0.183	504
240	236.38	19×3.98	19.90	0.141	652
300	297.57	37×3.20	22.40	0.113	822
400	397.83	37×3.70	25.90	0.0843	1099
500	498.07	37×4.14	28.98	0.0673	1376
600	603.78	61×3.55	31.95	0.0555	1669

注:某些规格一种标称截面有两种导线绞合结构。以下各表均同。

表 6.1.32 HL<sub>2</sub>GJ 型钢芯铝合金绞线的规格、结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )		根数×线径 (mm)		计算 外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算 质量 (kg/km)
	铝股	钢芯	铝股	钢芯			
10	10.60	1.77	6×1.5	1×1.5	4.50	3.137	42.9
16	15.27	2.54	6×1.8	1×1.8	5.40	2.178	61.7
25	22.81	3.80	6×2.2	1×2.2	6.60	1.458	92.2
35	36.95	6.16	6×2.8	1×2.8	8.40	0.900	149
50	48.26	8.04	6×3.2	1×3.2	9.60	0.689	195
70	68.05	11.34	6×3.8	1×3.8	11.4	0.489	275
95	94.23	17.81	28×2.07	7×1.8	13.68	0.356	401
95(1)	94.23	17.81	7×4.14	7×1.8	13.68	0.353	398
120	116.34	21.99	28×2.30	7×2.0	15.20	0.288	495
120(1)	116.33	21.99	7×4.60	7×2.0	15.20	0.286	492
150	140.76	26.61	28×2.53	7×2.2	16.72	0.239	598
185	182.40	34.36	28×2.88	7×2.5	19.02	0.184	774
240	228.01	43.10	28×3.22	7×2.8	21.28	0.147	969
300	317.52	59.69	28×3.80	19×2.0	25.20	0.106	1348
400	382.4	72.22	28×4.17	19×2.2	27.68	0.088	1626

## 2.3 软接线

常用的软接线有铜电刷线、裸铜天线、裸铜软绞线和铜编织线,其品种、型号、截面范围及主要用途见表 6.1.33。

表 6.1.33 软接线的品种、型号、截面范围及主要用途表

产品名称	型号	截面范围 (mm <sup>2</sup> )	主要用途
裸铜电刷线	TS	0.3~16	供电机、电器线路连接用
软裸铜电刷线	TSR	0.16~2.5	
纤维编织铜电刷线	TSX	0.3~16	
纤维编织软铜电刷线	TSXR	1.0~2.5	
硬铜天线	TT	1.0~25	供通信架空天线用
软铜天线	TTR	1.0~25	
裸铜软绞线	TRJ	10~500	供移动电器设备连接线之用
	TRJ-1	25~500	供移动电器设备连接线之用
	TRJ-2	0.1~1.0	供无线电设备内部连接线用
	TRJ-3	6~50	供要求较柔软的电器设备连接线用
	TRJ-4	1.0~50	供要求特别柔软的电器设备连接线用
硬裸铜编织线	TYZ	4~185	供移动电器设备连接线用
软裸铜编织线	TRZ-1	5~50	
硬裸铜镀锡编织线	TRZ-2	4~35	
软裸铜镀锡编织线	TYZX	4~185	
	TRZX-1	5~50	
	TRZX-2	4~35	
软铜编织蓄电池线	QK	16~43	供汽车、拖拉机蓄电池接线用

## 2.3.1 铜电刷线

铜电刷线由多股铜线或镀锡铜线绞制而成,结构稳定,有良好的柔软性,用作电机中电刷的引接线,能承受经常取放电刷时多次弯曲而不易断裂。铜电刷线按结构分为裸铜电刷线(TS)、软裸铜电刷线(TSR)、纤维编织铜电刷线(TSX)及纤维编织软铜电刷线(TSXR)四种,其规格、尺寸及技术性能分别见表 6.1.34 及 6.1.35。

表 6.1.34 TS、TSX 型电刷线结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)		直流电阻 20℃不大于 (Ω/km)	伸长率 不小于 (%)
			TS	TSX		
0.3	0.296	7×11×0.07	1.0	1.8	63.00	18
0.5	0.511	7×19×0.07	1.4	2.2	36.40	
0.75	0.769	7×14×0.10	1.5	2.3	24.20	
1.0	0.990	7×18×0.10	1.7	2.5	18.80	
1.5	1.48	7×27×0.10	2.1	2.9	12.60	
2.0	1.93	7×36×0.10	2.4	3.2	9.40	
2.5	2.53	7×46×0.10	2.8	3.6	7.36	
3	2.97	7×54×0.10	3.0	3.8	6.27	
4	3.96	7×72×0.10	3.6	4.4	4.70	
5	4.94	7×90×0.10	3.8	4.6	3.74	
6	5.93	7×75×0.12	4.3	5.1	3.14	
8	8.01	12×59×0.12	5.1	5.9	2.40	
10	10.04	12×75×0.12	6.0	6.8	1.90	
12	1.93	12×88×0.12	6.3	7.1	1.62	
16	16.12	19×75×0.12	7.1	7.9	1.20	

表 6.1.35 TSR、TSXR 型软电刷线结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)		直流电阻 20℃不大于 (Ω/km)	伸长率 不小于 (%)
			TSR	TSXR		
0.16	0.165	7×12×0.05	0.65	-	113.00	15
0.3	0.302	7×22×0.05	1.0	-	61.60	
0.5	0.518	12×22×0.05	1.4	-	37.20	
0.75	0.753	12×32×0.05	1.5	-	25.60	
1.0	1.012	12×43×0.05	2.0	2.8	19.00	
1.5	1.53	19×41×0.05	2.4	3.2	12.60	
2.5	2.50	19×67×0.05	3.0	3.8	7.70	

## 2.3.2 裸铜天线

裸铜天线由多根铜线束绞成股线(绞向为左向),再由股线复绞(绞向为右向)而成,分为硬铜天线(TT)、软铜天线(TTR)两种,用作通信架空天线用,其规格、结构及技术性能见表 6.1.36。



表 6.1.36 裸铜天线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	拉断力不小于 (N)		直流电阻 20℃ 不小于 (Ω/km)		计算质量 (kg/km)
			TT	TTR	TT	TTR	
1.0	7×7×0.16	1.44	350	162	19.0	18.5	9.4
1.5	7×7×0.20	1.80	540	255	12.2	12.0	14.6
2.5	7×7×0.25	2.25	840	392	7.8	7.6	22.8
4	7×7×0.32	2.88	1400	657	4.8	4.6	37.3
6	7×7×0.39	3.51	2100	981	3.2	3.1	55.5
10	7×7×0.51	4.59	3500	1670	1.9	1.8	94.8
16	7×7×0.64	5.76	5600	2600	1.2	1.15	150
25	7×7×0.80	7.20	8600	4100	0.8	0.75	233

## 2.3.3 裸铜软绞线

裸铜软绞线按其结构,亦即绞制方式的不同,有 TRJ、TRJ-1、TRJ-2、TRJ-3 及 TRJ-4 五种。TRJ 及 TRJ-1 型股线采用正规绞合、再按正规绞合复绞;TRJ-2 型采用束绞,无复绞;TRJ-3 及 TRJ-4 型股线采用束绞,再按正规绞合复绞,都可作连接电机、电器设备部件之用。以其柔软程度的差异分别满足不同使用场合的要求,其规格、结构及技术性能分别见表 6.1.37、6.1.38、6.1.39、6.1.40 及 6.1.41。

表 6.1.37 TRJ 型钢软绞线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )	根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
10	10.41	49×0.52	4.7	98
16	15.76	49×0.64	5.8	147
25	25.89	98×0.58	7.7	242
35	35.14	133×0.58	8.7	328
50	48.30	133×0.68	10.2	451
70	63.63	189×0.68	12.6	640
95	94.06	259×0.68	14.3	878
120	117.50	259×0.76	16.0	1097
150	144.51	336×0.74	18.1	1350
185	183.64	427×0.74	20.0	1715
240	242.30	427×0.85	23.0	2260
300	291.10	513×0.85	26.1	2715
400	398.90	703×0.85	29.8	3724
500	498.30	703×0.95	33.3	4651

表 6.1.38 TRJ-1 型钢软绞线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	计算截面 (mm <sup>2</sup> )	股数·根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于(Ω/km)	计算质量 (kg/km)
25	25.89	7×14×0.58	7.7	0.695	238
35	35.14	7×19×0.58	9.0	0.512	323
50	48.30	7×19×0.68	10.5	0.373	444
70	68.64	7×27×0.68	13.0	0.262	631
95	94.06	7×37×0.68	14.5	0.191	865
120	117.67	12×27×0.68	18.0	0.153	1080
150	150.94	19×14×0.85	19.0	0.120	1389
185	183.85	12×27×0.85	22.0	0.098	1690
240	251.95	12×37×0.85	25.0	0.072	2320
300	291.10	19×27×0.85	26.5	0.062	2680
400	398.92	19×37×0.85	30.0	0.045	3670
500	498.30	19×37×0.95	33.5	0.036	4580

表 6.1.39 TRJ-2 型钢软绞线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
0.1	7×0.15	0.5	150	1.1
0.15	5×0.20	0.6	115	1.4
0.2	7×0.20	0.7	81.8	2.0
0.3	10×0.20	0.8	58.1	2.8
0.4	12×0.20	0.9	47.6	3.4
0.5	7×0.30	0.95	36.7	4.5
0.6	7×0.32	1.0	32.1	5.1
0.8	7×0.39	1.2	21.5	7.5
1.0	12×0.32	1.35	18.8	8.7

表 6.1.40 TRJ-3 型钢软绞线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
6	7×27×0.20	3.8	3.03	55
10	7×46×0.20	5.0	1.78	93
16	7×72×0.20	6.0	1.13	146
20	7×92×0.20	6.8	0.89	186
25	7×114×0.20	7.5	0.72	231
35	7×160×0.20	9.0	0.51	324
50	7×3×76×0.20	10.5	0.36	462

表 6.1.41 TRJ-4 型钢软绞线结构与技术指标

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	计算外径 (mm)	直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
1.0	7×37×0.07	1.6	18.5	9.2
1.5	7×56×0.07	1.9	12.3	13.9
2.5	7×90×0.07	2.4	7.6	22.4
3	7×3×37×0.07	3.2	6.2	28.4
4	7×3×50×0.07	4.0	4.57	38.4
5	7×3×60×0.07	4.3	3.82	46.1
6	7×3×74×0.07	4.6	3.09	56.8
10	7×3×60×0.10	6.0	1.87	94
16	7×3×95×0.10	7.5	1.18	148
25	7×3×150×0.10	9.5	0.75	235
35	7×3×210×0.10	11.0	0.54	330
50	7×3×300×0.10	13.5	0.38	470
50(1)	7×3×5×60×0.10	16.0	0.38	470

## 2.3.4 铜编织线

铜编织线除有裸铜编织线和镀锡铜编织线供移动电器设备作连接线用之外,还有专供汽车、拖拉机中蓄电池作连接用的软铜编织蓄电池线。按其结构和柔软性分有TYZ、TRZ-1、TRZ-2、TYZX、TRZX-1、TRZX-2及QC(蓄电池线),产品除要求具有椭圆形的品种外,均滚轧成带状。其五种型号的规格、结构及技术性能分别见表6.1.42、6.1.43、6.1.44及6.1.45。

表 6.1.42 TYZ、TYZX 型钢编织线规格、结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×套数×线径 (mm)	电线尺寸 (mm)		直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
		宽度	公差		
4	24×10×1×0.15	8	±1	5.31	44
6	24×15×1×0.15	10	±1	3.54	67
8	24×19×1×0.15	11	±1	2.80	84
10	24×25×1×0.15	13	±2	2.12	111
16	24×38×1×0.15	17	±2	1.40	169
35	24×20×2×0.15+24×40×1×0.15	椭圆形 16	±2.5	0.66	385
50	24×20×2×0.15+24×40×2×0.15	椭圆形 18	±2.5	0.44	580
95	24×20×3×0.15+24×40×4×0.15	椭圆形 20	±3	0.24	1200
150	24×20×2×0.15+24×40×8×0.15	椭圆形 25	±3	0.15	1850
185	24×20×2×0.15+24×40×10×0.15	椭圆形 28	±3	0.12	2300

表 6.1.43 TRZ-1、TRZX-1 型铜编织线规格、结构与技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×套数×线径 (mm)	电线尺寸 (mm)		直流电阻 20℃不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
		宽度	厚度		
5	36×8×1×0.15	12±1	1.0±0.2	4.24	53
	48×6×1×0.15				
8	48×9×1×0.15	16±1	1.1±0.2	2.81	80
10	48×12×1×0.15	19±1	1.4±0.2	2.12	106
16	48×20×1×0.15	24±1	2.0±0.2	1.27	176
25	48×15×2×0.15	22±2	2.4±0.4	0.85	264
35	48×20×2×0.15	26±2	3.5±0.4	0.64	352
50	48×20×3×0.15	28±2	5.0±0.5	0.43	530

表 6.1.44 TRZ-2、TRZX-2 型铜编织线规格、结构及技术性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	电线尺寸 (mm)		直流电阻 20℃不大于 (Ω/km)	计算质量 (kg/km)
		宽度	厚度		
4	36×14×0.10	8±1	1.0±0.2	5.46	41
6	36×21×0.10	10±1	1.2±0.2	3.58	63
10	48×27×0.10	16±1	1.8±0.2	2.12	106
16	36×56×0.10	16±1	2.4±0.4	1.37	164
20	36×72×0.10	18±1	3.0±0.4	1.06	211
25	36×87×0.10	20±1	3.6±0.4	0.88	256
25	48×65×0.10	24±1	3.0±0.4	0.88	256
35	24×190×0.10	21±1.5	5.0±0.5	0.61	371

表 6.1.45 蓄电池线规格及结构

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	股数×根数×线径 (mm)	电线尺寸 (mm)		计算质量 (kg/km)
		宽度	厚度	
16	24×21×0.20	14±1	2.8±0.2	146
17	48×5×0.30	-	2.0±0.2	187
25	24×33×0.20	16±1	2.8±0.2	230
35	24×28×0.26	23±2	3.0±0.4	330
43	34×34×0.26	26±2	3.5±0.4	401

## 2.4 型线

常用的型线品种有扁铜线、铜母线及铜带、扁铝线、铝母线、梯形铜排、异形铜排及异形铜带、空心导线和电车线等。型线的品种、型号、生产范围及主要用途见表 6.1.46。

表 6.1.46 型线的品种、型号、生产范围及主要用途表

产品名称	型号	生产范围 (mm)	主要用途
硬扁铜线	TBY	厚 0.80~7.1	供电机、电器、安装配电设备 及其他电工方面之用
软扁铜线	TBR	宽 2.00~35.5	
硬铜带	TDY	厚 1.00~3.55	
软铜带	TDR	宽 9.00~100	
硬铜母线	TMY	厚 4.0~31.5	
软铜母线	TMR	宽 16.0~125	供电机、电器、安装配电设备 及其他电工方面之用
硬扁铝线	LBY	厚 0.80~7.1	
半硬扁铝线	LBBY	宽 2.00~35.5	
软扁铝线	LBR		
硬铝母线	LMY	厚 4.0~31.5	
软铝母线	LMR	宽 16~125	供电机换向器整流片用 供电机换向器整流片用 供大型水轮发电机绕组用 供电机换向器整流片用
梯形铜排	TPT	宽 3~18 高 10~150	
银铜梯排	TYPT	宽 18 及以下 高 148 及以下	
七边形铜排	TMR-2	355~690(mm <sup>2</sup> )	
换向器用异形银铜排	TYPT-1	厚 30 宽 5.64~9.26	
触头铜排	TPC	宽 18~36, 高 6	供电气开关触头用
接触头	TPC-1	宽 22~30	
异形铜带	TDR-1	高 7~9.5	
空心铝导线	LBRK	宽 8.5~22.5 高 1.5~14	供水内冷电机、变压器作绕 组线圈用
空心铜导线	TBRK	宽 5~18 高 5~18	
圆形铜电车线	TCY	30~65(mm <sup>2</sup> )	供电气运输系统架空接触线 用
双沟形铜电车线	TCG	65~100(mm <sup>2</sup> )	
双沟形钢铝电车线	GLCA GLCB	100/215(mm <sup>2</sup> ) 80/173(mm <sup>2</sup> )	

### 2.4.1 扁铜线、铜母线及铜带

扁铜线用作制造电机、变压器、电器及电气设备绕组的导体；铜母线及铜带用于电机、电器、配电设备及其他电工装备连接导体和汇流排之用。按产品的柔软度分，扁铜线、铜母线及铜带均有软、硬两种，其产品的截面如图 6.1.2 所示。

2.4.1.1 扁铜线 扁铜线分硬扁铜线(TBY)和软扁铜线(TBR)两种。扁铜线尺寸允许偏差见表 6.1.47；扁铜线的圆角半径见表 6.1.48；扁铜线(含铜母线、铜带)的机械性能及电气性能分别见表 6.1.49 及 6.1.50；常用扁铜线(含扁铝线)的标称尺寸及计算截面见表 6.1.51。(注：为便于排版，表 6.1.47 至 6.1.50 移至表 6.1.53 后。)

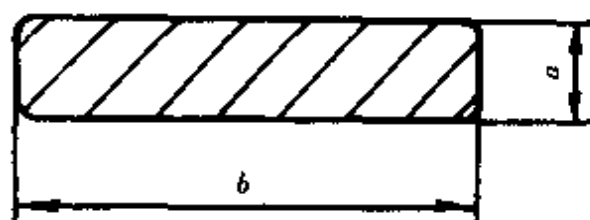


图 6.1.2 扁线、母线及带的截面  
a—厚度 b—宽度

表 6.1.51 常用扁铜线、扁

厚 $a$ (mm) 宽 $b$ (mm)	0.90	1.00	1.08	1.16	1.25	1.35	1.45	1.56	1.68	1.81	1.95
2.10	1.72	1.89	2.06	2.23	2.42	2.63	2.84	3.07	3.32	3.59	-
2.26	1.86	2.05	2.23	2.41	2.62	2.84	3.07	3.32	3.59	3.83	-
2.44	2.03	2.23	2.43	2.62	2.84	3.08	3.33	3.60	3.89	4.21	4.53
2.63	2.20	2.42	2.63	2.84	3.03	3.34	3.60	3.80	4.21	4.55	4.92
2.83	2.38	2.62	2.85	3.07	3.33	3.61	3.89	4.20	4.54	4.91	5.31
3.05	-	2.84	3.08	3.33	3.60	3.91	4.21	4.55	4.91	5.31	5.74
3.28	-	3.07	3.33	3.60	3.89	4.22	4.55	4.91	5.30	5.73	6.19
3.53	-	3.32	3.60	3.89	4.20	4.56	4.91	5.30	5.72	6.18	6.67
3.8	3.25	3.59	3.89	4.20	4.54	4.92	5.30	5.72	6.17	6.67	7.20
4.1	-	3.89	4.22	4.55	4.92	5.33	5.74	6.19	6.68	7.21	7.79
4.4	-	4.19	4.54	4.89	5.29	5.73	6.17	6.65	7.18	7.75	8.37
4.7	-	4.49	4.87	5.24	5.67	6.14	6.61	7.12	7.79	8.30	8.96
5.1	-	4.89	5.30	5.71	6.17	6.68	7.19	7.75	8.36	9.02	9.74
5.5	-	5.29	5.73	6.17	6.67	7.22	7.77	8.37	9.03	9.75	10.50
5.9	-	5.69	6.16	6.63	7.17	7.76	8.35	8.99	9.70	10.50	11.30
6.4	-	6.19	6.70	7.21	7.79	8.43	9.07	9.77	10.60	11.40	12.30
6.9	-	6.69	7.24	7.79	8.42	9.11	9.79	10.60	11.40	12.30	13.30
7.4	-	7.19	7.78	8.37	9.04	9.78	10.50	11.30	12.60	13.30	14.20
8.0	-	7.79	8.43	9.07	9.79	10.60	11.40	12.30	13.20	14.40	15.40
8.6	-	8.39	9.08	9.77	10.60	11.40	12.30	13.20	14.20	15.50	16.60
9.3	-	-	-	-	-	12.40	13.30	14.30	15.40	16.60	17.90
10.0	-	-	-	-	-	-	-	15.40	16.60	17.90	19.30
10.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.30	20.90
11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:1.表中  $a$  代表厚度,  $b$  代表宽度, 单位以 mm 计算;

2.表中数值计算截面积值( $\text{mm}^2$ ), 所列数值已考虑了圆角;

3.表中粗线以下亦为铝扁线规格, 其最小截面为  $1.0 \times 2.44 = 2.23(\text{mm}^2)$ 。

铝线的标称尺寸及计算截面

mm<sup>2</sup>

2.10	2.26	2.44	2.63	2.83	3.05	3.28	3.53	3.8	4.1	4.4	4.7	5.1	5.5
3.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	4.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.64	-	5.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.04	5.46	5.94	6.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.46	5.92	6.43	-	7.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.93	6.41	6.96	7.54	8.15	8.72	-	-	-	-	-	-	-	-
6.41	6.93	7.52	8.15	8.80	9.51	10.30	-	-	-	-	-	-	-
6.93	7.50	8.13	8.80	9.51	10.30	11.10	12.00	12.9	-	-	-	-	-
7.50	8.11	8.79	9.51	10.30	11.10	12.00	-	13.90	-	-	-	-	-
8.13	8.79	9.52	10.30	11.10	12.00	13.00	14.00	15.10	15.90	-	-	-	-
8.76	9.46	10.20	11.10	12.00	12.90	13.90	15.00	16.20	17.10	18.50	-	-	-
9.39	10.10	11.00	11.90	12.80	13.80	14.90	16.10	17.40	18.40	-	21.2	-	-
10.20	11.00	11.90	12.90	13.90	15.10	16.20	17.50	18.90	20.0	21.5	-	25.1	-
11.10	11.90	12.90	14.00	15.10	16.30	17.50	18.90	20.4	21.7	23.3	25.0	27.2	-
11.90	12.80	13.90	15.00	16.20	17.50	18.90	20.30	21.9	23.3	25.1	26.8	29.2	-
12.90	14.00	15.10	16.30	17.60	19.00	20.5	22.1	23.8	25.3	27.3	29.2	31.7	34.3
14.00	15.10	16.30	17.70	19.00	20.6	22.1	23.1	25.7	27.4	29.5	31.5	34.3	37.1
15.00	16.20	17.60	19.00	20.4	22.1	23.6	25.6	27.6	29.4	31.7	33.9	36.8	39.8
16.30	17.60	19.00	20.5	22.1	23.9	25.7	27.7	29.9	31.9	34.3	36.7	39.9	43.1
17.60	18.90	20.5	22.1	23.8	25.7	27.7	29.9	32.2	34.4	36.9	39.5	43.0	46.4
19.00	20.50	22.2	24.0	25.8	27.9	30.0	32.3	34.8	37.2	40.0	42.8	46.5	50.3
20.50	22.1	23.9	25.8	27.8	30.0	32.3	34.8	37.5	40.1	43.1	46.1	50.1	54.5
22.20	23.9	25.9	27.9	30.1	32.4	34.9	37.6	40.5	43.4	46.6	49.9	54.2	58.5
23.90	25.7	27.8	30.0	32.3	34.9	37.5	40.5	43.6	46.7	50.1	53.6	58.3	62.9
25.80	27.8	30.0	32.4	34.9	37.6	40.5	43.6	47.0	50.4	54.1	57.9	62.9	67.9
-	-	32.4	35.0	37.7	40.7	43.8	47.2	50.8	54.5	58.5	62.6	68.0	73.4
-	-	34.9	37.6	40.5	43.7	47.1	50.6	54.6	58.6	62.9	67.3	74.1	78.9

表 6.1.52 铜母

尺寸 (mm)	厚度 (a)	4.0	4.5	5.0	5.6	6.3	7.1	8.1	9	
宽度 (b)	正负偏差 (mm)	0.05			0.07					
										计
16	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	
18		-	-	-	-	-	-	-	-	
20		-	-	-	-	-	-	-	-	
22.4	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
25		-	-	-	-	-	-	200.0	225.0	
28		-	-	-	-	-	-	224.0	252.0	
31.5		-	-	-	-	198.5	223.7	252.0	283.5	
35.5		-	-	177.5	198.8	223.7	252.1	284.0	319.5	
40	0.25	160.0	180.0	200.0	224.0	252.0	284.0	320.0	360.0	
45		180.0	202.5	225.0	252.0	283.5	319.5	360.0	405.0	
50		200.0	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0	450.0	
56		224.0	252.0	280.0	313.6	352.8	397.6	448.0	504.0	
63	0.30	252.0	283.5	315.0	352.8	396.9	447.3	504.0	567.0	
71		284.0	319.5	355.0	397.6	447.3	504.1	568.0	639.0	
80		320.0	360.0	400.0	448.0	504.0	568.0	640.0	720.0	
90	0.35	360.0	405.0	450.0	504.0	567.0	639.0	720.0	810.0	
100		400.0	450.0	500.0	560.0	630.0	710.0	800.0	900.0	
112		-	-	-	-	-	795.2	896.0	1008.0	
125		-	-	-	-	-	887.5	1000.0	1125.0	

注:表列计算截面  $F = a \times b$ ;有圆角时  $F = (a \times b - 0.858r^2) \text{mm}^2$ , 允许简化为: 绕组用铜母线  $F = (a \times b - 1.3)$



线的规格及截面积

10	11.2	12.5	14	16	18	20	22.4	25	28	31.5
0.09			0.12				0.20			
算 截 面(F)(mm <sup>2</sup> )										
-	179.2	200.0	224.0	256.0	-	-	-	-	-	-
-	201.6	225.0	252.0	288.0	-	-	-	-	-	-
200.0	224.0	250.0	280.0	320.00	360.0	400.0	-	-	-	-
224.0	250.9	280.0	313.6	358.4	403.2	448.0	-	-	-	-
250.0	280.0	312.5	350.0	400.0	450.0	500.0	560.0	625.0	-	-
280.0	313.6	350.0	392.0	448.0	504.0	560.0	627.2	700.0	-	-
315.0	352.8	393.8	441.0	504.0	567.0	630.0	705.6	787.5	882.0	992.3
355.0	397.6	443.8	497.0	568.0	639.0	710.0	795.2	887.5	994.0	1118.3
400.0	448.0	500.0	560.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	1120.0	1260.0
450.0	504.0	562.5	630.0	720.0	810.0	900.0	-	-	-	-
500.0	560.0	625.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	-	-	-	-
560.0	627.2	700.0	784.0	896.0	1008.0	1120.0	-	-	-	-
630.0	705.6	787.5	882.0	1008.0	1134.0	1260.0	-	-	-	-
710.0	795.2	887.5	994.0	1136.0	-	-	-	-	-	-
800.0	896.0	1000.0	-	-	-	-	-	-	-	-
900.0	1008.0	1125.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1000.0	1120.0	1250.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1120.0	1254.4	1400.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1250.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

mm<sup>2</sup>;其他用有圆角铜母线  $F = (a \times b - 0.5) \text{mm}^2$ ;

表 6.1.53 铜带

宽度 $b$ (mm) $R_{20}$	厚									
	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70
	计 算									
9.00	8.785	9.299								
10.00	9.785	-	10.93	11.50						
11.20	10.99	11.63	12.28	-	13.67					
12.50	12.29	-	13.73	14.45	15.29	16.13	17.08	18.27		
14.00	13.79	14.60	15.41	-	17.17	-	19.18	-	21.85	
16.00	15.79	-	17.65	18.58	19.67	20.75	21.98	23.52	25.05	26.58
18.00	17.79	18.84	19.89	-	22.17	-	24.78	-	28.25	-
20.00	19.79	-	22.13	23.30	24.67	26.03	27.58	29.52	31.45	33.38
22.40	22.19	23.50	24.82	-	27.67	-	30.94	-	35.29	-
25.00	24.79	-	27.73	29.20	30.92	32.63	34.58	37.02	39.45	41.88
28.00	27.79	29.44	31.09	-	34.67	-	38.78	-	44.25	-
31.50	31.29	-	35.01	36.87	39.04	41.21	43.68	46.77	49.85	52.93
35.50	35.29	37.39	39.49	-	44.04	-	49.28	-	56.25	-
40.00	39.79	-	44.53	46.90	49.67	52.43	55.58	59.52	63.45	67.38
45.00	44.79	47.46	50.13	-	55.92	-	62.58	-	71.45	-
50.00	49.79	-	55.73	58.70	62.17	65.63	69.58	74.52	79.45	84.38
56.00	55.79	59.12	62.45	-	69.67	-	77.98	-	89.05	-
63.00	62.79	-	70.29	74.04	78.42	82.79	87.78	94.02	100.3	106.5
71.00	70.79								113.1	
80.00	79.79								127.5	
90.00	89.79								143.5	
100.00	99.79								159.5	

## 的规格及截面积

度 $a$ (mm) $R_{40}$												
1.80	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35	3.55
截 面 (F) (mm <sup>2</sup> )												
28.11	29.63											
31.71	-	35.14	-	39.24	-							
35.31	37.23	39.14	41.44	43.72	46.01							
39.63	-	43.94	-	49.10	-							
44.31	46.73	49.14	52.04	54.92	57.81	61.16	64.74	68.32				
49.71	-	55.14	-	61.64	-	68.66	-	76.72				
56.01	59.08	62.14	65.82	69.48	73.15	77.41	81.97	82.52	92.57	97.10	103.1	109.1
63.21	-	70.14	-	78.44	-	87.41	-	97.72	-	109.7	-	123.3
71.31	75.23	79.14	83.84	88.52	93.21	98.66	104.5	110.3	118.1	123.8	131.6	139.3
80.31	-	89.14	-	99.72	-	111.2	-	124.3	-	139.6	-	157.0
89.31	94.23	99.14	105.0	110.9	116.8	123.7	131.0	138.3	148.1	155.4	165.1	174.8
100.1	-	111.1	-	124.4	-	138.7	-	155.1	-	174.3	-	196.1
112.7	118.9	125.1	132.6	140.0	147.5	156.2	165.4	174.7	187.1	196.3	208.6	220.9
		141.1				176.2						
		159.1				198.7						
		179.1				223.7						
		199.1				248.7						

表 6.1.47 扁铜线尺寸允许偏差

mm

尺寸 $a$ 或 $b$	允许偏差	尺寸 $a$ 或 $b$	允许偏差
0.80~1.20	$\pm 0.02$	9.51~15.00	$\pm 0.09$
1.21~2.85	$\pm 0.03$	15.01~20.00	$\pm 0.12$
20.01~25.00	$\pm 0.15$	2.86~6.00	$\pm 0.05$
6.01~9.50	$\pm 0.07$	25.01~35.50	$\pm 0.20$

表 6.1.48 扁铜线的圆角半径

mm

厚度 $a$	标称圆角半径	允许圆角半径范围	厚度 $a$	标称圆角半径	允许圆角半径范围
1.00 及以下	$1/2a$	0.3~0.5	2.25~3.55	0.80	0.6~1.0
1.01~1.60	0.50	0.4~0.6	3.56~6.00	1.00	0.8~1.3
1.61~2.24	0.65	0.5~0.8	6.01~7.10	1.20	0.9~1.5

表 6.1.49 扁铜线、铜母线、铜带的机械性能

厚度 $a$ (mm)	TBR		TBY	厚度 $a$ (mm)	TDY	TDR	软铜母线(TMR)的抗拉强度应不小于 $206\text{N/mm}^2$ , 伸长率应不小于 35%; 硬铜母线的布氏硬度应不低于 HB65
	抗拉强度 不小于 ( $\text{N/mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)	抗拉强度 不小于 ( $\text{N/mm}^2$ )		抗拉强度 不小于 ( $\text{N/mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)	
0.80~1.32	206	30	294	1.00~1.32	294	30	
1.33~3.35	206	32	264	1.33~3.35	264	32	
3.36~7.00	206	34	255	3.36 及以上	255	34	
7.01 及以上	206	35	245				

表 6.1.50 扁铜线、铜母线、铜带的电气性能

型号	电阻系数 20℃, 不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}$ ( $1/^\circ\text{C}$ )
TBY, TMY, TDY	0.01790	0.00385
TBR, TMR, TDR	0.01748	0.00395

2.4.1.2 铜母线 铜母线分有硬铜母线(TMY)及软铜母线(TMR)两种,其产品规格及截面积见表 6.1.52。

2.4.1.3 铜带 铜带分硬铜带(TDY)和软铜带(TDR)两种,其产品规格及截面积见表 6.1.53,尺寸允许偏差见表 6.1.54。

### 2.4.2 扁铝线

扁铝线用作制造电机、变压器、电器及电气设备绕组的导体,在很多方面可取代扁铜线,变压器常用纸包扁铝线。扁铝线分硬扁铝线(LBY)、半硬扁铝线(LB-BY)及软扁铝线(LBR)三种。扁铝线的标称尺寸及计算截面与扁铜线相同,见表 6.1.51。扁铝线尺寸允许偏差及其圆角半径分别见表 6.1.55 及 6.1.56,其机械性能及电气性能分别见表 6.1.57 及 6.1.58。

表 6.1.54 铜带尺寸允许偏差

mm

厚度 $a$	厚度 $a$ 的允许偏差	宽度 $b$	宽度 $b$ 的允许偏差
1.00~1.25	$\pm 0.04$	15.0 及以下	$\pm 0.13$
1.26~1.80	$\pm 0.05$	15.1~50.0	$\pm 0.25$
1.81~3.55	$\pm 0.06$	50.1 及以上	$\pm 0.35$

表 6.1.55 扁铝线尺寸允许偏差

mm

尺寸 $a$ 或 $b$	允许偏差	尺寸 $a$ 或 $b$	允许偏差
0.80~1.20	$\pm 0.02$	9.51~15.00	$\pm 0.09$
1.21~2.85	$\pm 0.03$	15.01~20.00	$\pm 0.12$
2.86~6.00	$\pm 0.05$	20.01~25.00	$\pm 0.15$
6.01~9.50	$\pm 0.07$	25.01~35.50	$\pm 0.20$

表 6.1.56 扁铝线的圆角半径

mm

厚度 $a$	标称圆角半径	允许圆角半径范围	厚度 $a$	标称圆角半径	允许圆角半径范围
1.00 及以下	$2/a$	0.3~0.5	2.25~3.55	0.80	0.6~1.0
1.01~1.60	0.50	0.4~0.6	3.56~6.00	1.00	0.8~1.3
1.61~2.24	0.65	0.5~0.8	6.01~7.10	1.20	0.9~1.5

表 6.1.57 扁铝线的机械性能

厚度 $a$ (mm)	抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> ) 不小于			伸长率(%) 不小于		
	LBY	LBBY	LBR	LBY	LBBY	LBR
0.80~3.35	127	98	73	1.5	3.0	20
3.36~7.00	127	98	73	2.0	4.0	20
7.01~7.10	118	98	73	2.0	4.0	20

表 6.1.58 铝扁线的电气性能

型 号	电阻系数 20℃, 不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}$ (1/℃)
LBR	0.0283	0.00410
LBBY	0.0283	0.00410
LBY	0.0290	0.00403

### 2.4.3 铝母线

铝母线供电机、电器、配电设备及其他电气装置作连接导体或作输配电的汇流排之用,在很多方面可取代铜母线。铝母线有硬铝母线(LMY)及软铝母线(LMR)两种,其机械电气性能见表 6.1.59,其规格及截面积见后表 6.1.61(见第 1598 页~1599 页)。

### 2.4.4 梯形铜排

梯形铜排是作为制造电机中的换向器(亦称整流子)之用。梯形铜排有纯铜的梯排(TPT)和银铜梯排(TYPT)两种。银铜梯排是用含银 0.1%~0.2%的银铜合金制成的。梯形铜排的截面如图 6.1.3 所示;梯形铜排的规格、尺寸及允许偏差见表 6.1.60。纯铜梯排的硬度不低于布氏硬度 80 度,银铜梯排不低于布氏硬度 90 度。

表 6.1.59 铝母线的机械电气性能

型号	抗拉强度 不小于 ( $N/mm^2$ )	伸长率 不小于 (%)	电阻系数 20℃ 不大于 ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )	电阻温度系数 $\alpha_{20}$ ( $1/^\circ C$ )
LMY	118	3	0.02900	0.00403
LMR	74	20	0.02830	0.00410

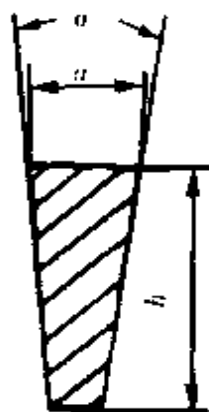


图 6.1.3 梯排截面图

表 6.1.60 梯形铜排的规格、尺寸及允许偏差

mm

a	按精度等级的允许偏差		h	允许偏差
	5级	6级		
3及以下	-0.04	-0.06	10及以下	-0.10
3.01~6.00	-0.05	-0.08	10.5~18	-0.20
6.01~10.00	-0.06	-0.10	18.5~30	-0.30
10.01~18.00	-0.07	-0.12	30.5~50	-0.60
			50.5~80	-0.80
			80.5~150	-1.00

### 2.4.5 异形铜排

异形铜排有七边形铜排(TMR-2)、换向器异形银铜排(TYPT-1)、触头铜排(TPC)及接触头(TPC-1)等,此外,还有异形铜带(TDR-1),均为供制造电机绕组及作为电器零件之用。

2.4.5.1 七边形铜排 七边形铜排外形如图 6.1.4 所示,七边形铜排的规格、尺寸及质量见表 6.1.62。

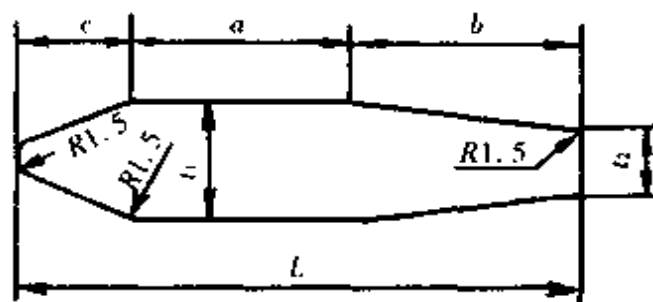


图 6.1.4 TMR-2 型七边形铜排

表 6.1.62 七边形铜排(TMR-2)规格、尺寸及质量

规格 $t_1 \times L \times b$ (mm)	计算 截面 (mm <sup>2</sup> )	$t_1$ (mm)		$t_2$ (mm)	$L$ (mm)		$a$ (mm)	$b$ (mm)		$c$ (mm)		计算 质量 (kg/m)
		尺寸	偏差		尺寸	偏差		尺寸	偏差	尺寸	偏差	
8×50/20	355	8	±0.1	6.0	50	±0.3	22	20	±0.2	8	±0.2	3.16
8×55/22	402	8	±0.1	6.7	55	±0.3	25	22	±0.2	8	±0.2	3.58
8×58/23	415	8	±0.1	7.1	58	±0.3	27	23	±0.2	8	±0.2	3.70
8×58/23	420	8	±0.1	7.2	58	±0.3	27	23	±0.2	8	±0.2	3.74
6.7×60/24	465.5	6.7	±0.1	5.3	60	±0.3	28	24	±0.2	8	±0.2	3.25
6.7×60/24	466	6.7	±0.1	5.4	64	±0.3	28	24	±0.2	8	±0.2	3.26
8×64/25	473.8	8	±0.1	6.7	74	±0.3	31	25	±0.2	8	±0.2	4.21
9.4×74/30	640	9.4	±0.1	8.0	74	±0.3	36	30	±0.2	8	±0.2	5.70
8×76/30	563	8	±0.1	6.5	76	±0.3	38	30	±0.2	8	±0.2	5.00
10×76/30	700	10	±0.1	8.5	76	±0.3	38	30	±0.2	8	±0.2	6.23
9.5×80/32	690	9.5	±0.1	8.0	80	±0.3	40	32	±0.2	8	±0.2	6.22

2.4.5.2 换向器异形银铜排 换向器异形银铜排分有甲、乙两型,其外形如图 6.1.5 所示,结构尺寸见表 6.1.63。

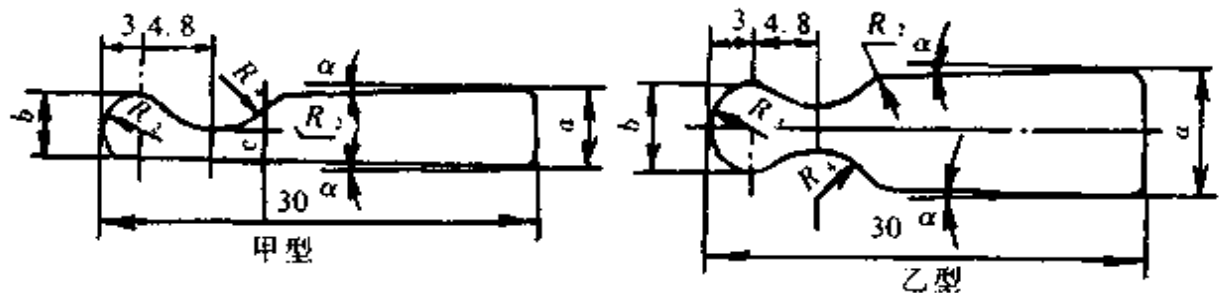


图 6.1.5 TYPT-1 型换向器异形银铜排

表 6.1.63 TYPT-1 换向器异形银铜排结构尺寸

甲 型				乙 型			mm
$a$	$b$	$c$	$\alpha$	$a$	$b$	$\alpha$	
5.64	4.140	1.68	1°33'	8.66	5.418	1°17'55"	
6.73	4.484	2.85	1°18'29"	9.26	5.400	1°57'24"	

2.4.5.3 触头铜排 触头铜排共分 RTO-100、RTO-200、RTO-400 及 RTO-600 四个型号,RTO-100、200 及 400 三个型号的外形如图 6.1.6 所示,其结构尺寸见表 6.1.64;RTO-600 型号的外形及具体尺寸如图 6.1.7 所示。

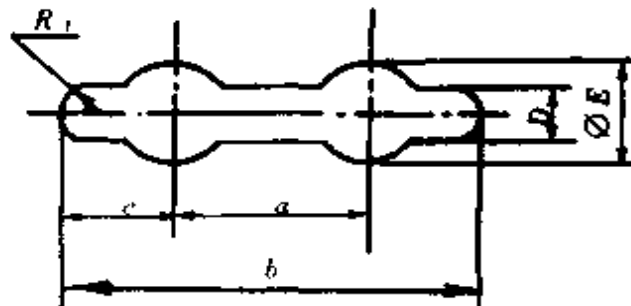


图 6.1.6 触头型号为 RTO-100、200 及 400 的 TPC 型触头铜排

表 6.1.61

尺寸 (mm)	厚度 (a)	4	4.5	5	5.6	6.3	7.1	8
宽度 (b)	正负偏差 (mm)	0.2			0.3			
16	0.5	64.0	72.0	80.0	89.6	100.8	113.6	128.0
18		72.0	81.0	90.0	100.8	113.4	127.8	144.0
20		80.0	90.0	100.0	112.0	126.0	142.0	160.0
22.4		89.6	100.8	112.0	125.4	141.1	159.0	179.2
25		100.6	112.5	125.0	140.0	157.5	177.5	200.0
28	0.7	112.0	126.0	140.0	156.8	176.4	198.8	224.0
31.5		126.0	141.8	157.5	176.4	198.5	223.7	252.0
35.5		142.0	159.8	177.5	198.8	223.7	252.1	284.0
40		160.0	180.0	200.0	224.0	252.0	284.0	320.0
45		180.0	202.5	225.0	252.0	283.5	319.5	360.0
50		200.0	225.0	250.0	280.0	315.0	355.0	400.0
56	0.9	224.0	252.0	280.0	313.6	352.8	397.6	448.0
63		252.0	283.5	315.0	352.8	396.9	447.3	504.0
71		-	-	355.0	397.6	447.3	504.1	568.0
80		-	-	400.0	448.0	504.0	568.0	640.0
90		-	-	450.0	504.0	567.0	639.0	720.0
100		-	-	500.0	560.0	630.0	710.0	800.0
112		-	-	-	-	705.6	795.2	896.0
125		-	-	-	-	787.5	887.5	1000.0

注:1. 表列计算截面  $F = a \times b$ .

2. 有圆角时  $F = (a \times b - 0.858r^2) \text{mm}^2$ , 允许简化为: 绕组用铝母线  $F = (a \times b -$



铝母线的规格及截面积

9	10	11.2	12.5	14	16	18	20	22.4	25	28	31.5
0.4		0.4			0.5						

截面积(mm<sup>2</sup>)

144.0	160.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162.0	180.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180.0	200.0	224.0	250.0	-	-	-	-	-	-	-	-
201.6	224.0	250.9	280.0	-	-	-	-	-	-	-	-
225.0	250.0	280.0	312.5	350.0	400.0	-	-	-	-	-	-
252.0	280.0	313.6	350.0	392.0	448.0	-	-	-	-	-	-
283.5	315.0	352.8	393.8	441.0	504.0	567.0	630.0	705.6	787.5	882.0	992.3
319.5	355.0	397.6	443.8	497.0	568.0	639.0	710.0	795.2	887.5	994.0	1118.3
360.0	400.0	448.0	500.0	560.0	640.0	720.0	800.0	896.0	1000.0	1120.0	1260.0
405.0	450.0	504.0	562.5	630.0	720.0	810.0	900.0	-	-	-	-
450.0	500.0	560.0	625.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	-	-	-	-
504.0	560.0	627.2	700.0	784.0	896.0	1008.0	1120.0	-	-	-	-
567.0	630.0	705.6	787.5	882.0	1008.0	1134.0	1260.0	-	-	-	-
639.0	710.0	795.2	887.5	994.0	1136.0	-	-	-	-	-	-
720.0	800.0	869.0	1000.0	1120.0	1280.0	-	-	-	-	-	-
810.0	900.0	1008.0	1125.0	1260.0	1440.0	-	-	-	-	-	-
900.0	1000.0	1120.0	1250.0	1400.0	1600.0	-	-	-	-	-	-
1008.0	1120.0	1254.4	1400.0	-	-	-	-	-	-	-	-
1125.0	1250.0	1400.0	1562.5	-	-	-	-	-	-	-	-

1.3)mm<sup>2</sup>;其他用有圆角铝母线  $F = (a \times b - 0.5) \text{mm}^2$ 。

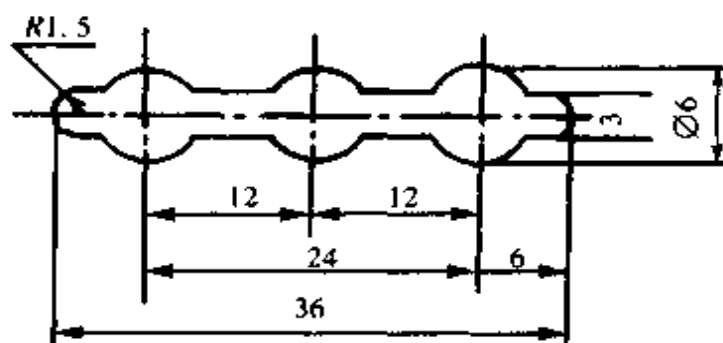


图 6.1.7 触头型号为 RTO-600 的 TPC 型触头铜排

表 6.1.64 TPC 型触头铜排结构尺寸

mm

触头型号	$a$	$b$	$c$	$D$	$\varnothing E$
RTO-100	$9 \pm 0.1$	$18 \pm 0.2$	4.5	$2 + 0.2$	$6_{-0.2}^{+0.03}$
RTO-200	$12 \pm 0.1$	$23 \pm 0.2$	5.5	$2 + 0.2$	$6_{-0.08}^{+0.03}$
RTO-400	$16 \pm 0.1$	$30 \pm 0.2$	7.0	$2 \pm 0.2$	$6_{-0.08}^{+0.03}$

2.4.5.4 接触头 接触头外形如图 6.1.8 所示,具体尺寸见表 6.1.65。

2.4.5.5 异形铜带 异形铜带外形及结构尺寸如图 6.1.9 所示。

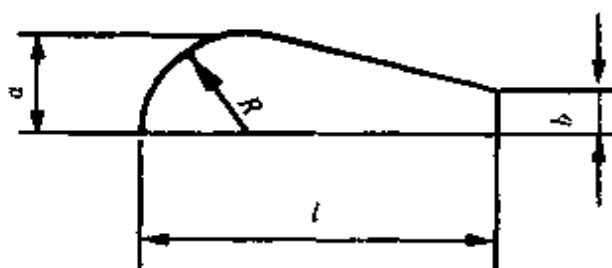


图 6.1.8 TPC-1 型接触头

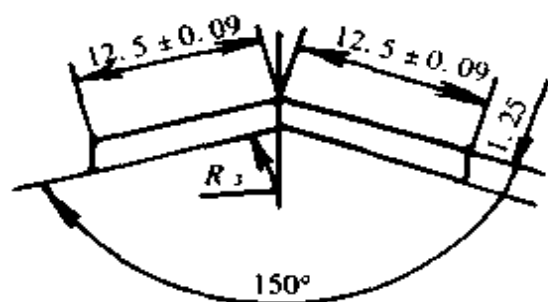


图 6.1.9 异形铜带

表 6.1.65 TPC-1 型接触头结构尺寸

mm

$l$	$a$	$b$	$R$	尺寸公差
22	7.0	3	7	9 级精度
22	9.5	4	7	9 级精度

## 2.4.6 空心导线

空心导线供水内冷电机、变压器及感应电炉作绕组线圈的导体用,有空心铜导线(TBRK)及空心铝导线(LBRK)两种,其截面一般为扁形,也有方形的,其截面形状如图 6.1.10 所示。

2.4.6.1 空心铜导线 空心铜导线的结构尺寸见表 6.1.66,其壁厚尺寸允许偏差见表 6.1.67,制造长度不少于 100m。

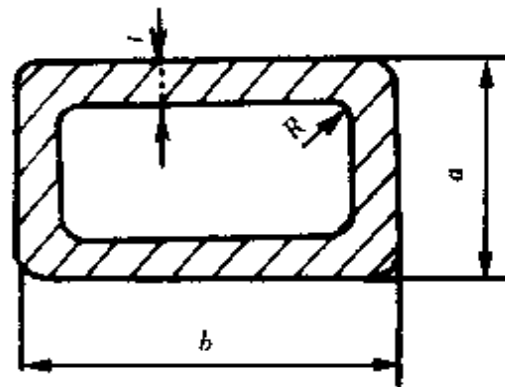


图 6.1.10 空心导线截面形状

$a$ —厚度  $b$ —宽度  $t$ —壁厚  $R$ —内圆角

表 6.1.66 空心铜导线的结构尺寸

mm

厚度 $a$		宽度 $b$		壁厚 $t$	圆角半径 $R$
尺寸	偏差	尺寸	偏差		
5~6	$\pm 0.07$	5~6	$\pm 0.07$	1.0~1.5	1.5
7~8	$\pm 0.07$	7~8	$\pm 0.07$	1.0~2.0	1.5
9~11	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	9~11	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	1.5~2.5	1.5
12~13	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	12~13	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	1.5~3.0	2.0
14	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	14	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	2.0~3.5	2.0
15~18	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	15~18	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	2.0~4.5	2.0
6~9	$\pm 0.07$	5~7	$\pm 0.07$	1.0~1.5	1.0
10~12	$\pm 0.07$	5.5~7	$\pm 0.07$	1.5~1.7	1.0
12~13	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	8~11	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	2.0~2.5	2.0
14~16	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	12~13	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	2.5~3.5	2.0
16~17	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	14~15	$\begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.10 \end{smallmatrix}$	3.0~4.5	2.0

表 6.1.67 空心铜导线壁厚尺寸允许偏差

mm

壁厚	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
允许偏差	$\pm 0.04$	$\pm 0.04$	$\pm 0.06$	$\pm 0.06$	$\pm 0.08$	$\pm 0.08$	$\pm 0.10$	$\pm 0.10$

空心铜导线的机械及电气性能见表 6.1.68。

表 6.1.68 空心铜导线的机械及电气性能

抗拉强度 不小于 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 不小于 (%)	电阻系数 20℃ 不大于 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弯曲性能
216	30	0.01748	弯曲 90° 时, 不得有 开裂、起层等缺陷

空心铜导线的管壁应能承受规定压力的密封性试验,即按规定压力、经 15min 的水压试验,试验中不应有漏水、渗水现象,且不应有塑性变形,其规定压力见表 6.1.69。

表 6.1.69 空心铜导线密封性试验压力

$a$ (mm)	$b$ (mm)	$t$ (mm)	压力不小于 (N/mm <sup>2</sup> )
12~15	8~11	2.0~3.0	78~118
14~16	12~15	3.0~4.5	118~177

2.4.6.2 空心铝导线 空心铝导线的结构尺寸见表 6.1.70。

表 6.1.70 空心铝导线的结构尺寸

规格	尺寸			壁厚 $t$	圆角半径 $R$	制造长度 不小于 (m)
	厚度 $a$	宽度 $b$	$a$ 和 $b$ 的 偏差			
8.5×6.5×1.5	6.5	8.5	±0.1	1.5	1.0	40
22.5×14.0×2.5	14.0	22.5	±0.2	2.5	1.5	20

### 2.4.7 电车线

电车线在铁道电气机车、工矿电力牵引机车和城市电车等电力运输系统中作为架空的接触导线之用。电车线有圆形铜电车线(TCY)、双沟型铜电车线(TCG)及双沟型钢铝电车线(GLCA、GLCB)三种。

2.4.7.1 铜电车线 双沟型铜电车线的截面尺寸如图 6.1.11 所示,铜电车线的结构尺寸见表 6.1.71,其机械及电气性能见表 6.1.72。

表 6.1.71 铜电车线的结构尺寸

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	尺寸及允许偏差(mm)									计算 质量 (kg/km)	制造 长度 不小于 (m)
	TCY		TCG								
	直径	允许 偏差	A	允许 偏差	B	允许 偏差	$a$	$R$	截面 允许 偏差 (%)		
30	6.20	-0.12	-	-	-	-	-	-	-	270	1850
40	7.10	-0.14	-	-	-	-	-	-	-	360	1400
50	8.00	-0.16	-	-	-	-	-	-	-	445	1100
65	9.10	-0.18	10.19	±0.20	9.30	±0.18	0.50	5.30	± $\frac{1}{4}$	580	850
85	-	-	11.76	±0.23	10.80	±0.22	1.30	6.00	± $\frac{1}{4}$	760	650
100	-	-	12.81	±0.26	10.80	±0.24	1.80	6.50	± $\frac{1}{4}$	890	550

表 6.1.72 铜电车线的机械及电气性能

标称截面 (mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 不小于 (%)	弯曲性能		扭转转数 不少于		电阻系数 20℃ 不大于 (Ω·mm <sup>2</sup> /m)
			弯曲半径 (mm)	次数 不少于	TCY	TCG	
30	392	1.5	10	3	9	-	0.0179
40	382	2.0	10	2	9	-	
50	382	2.0	10	2	9	-	
65	373	2.7	13	2	9	3	
85	353	3.5	16	2	-	3	
100	343	4.0	16	2	-	3	

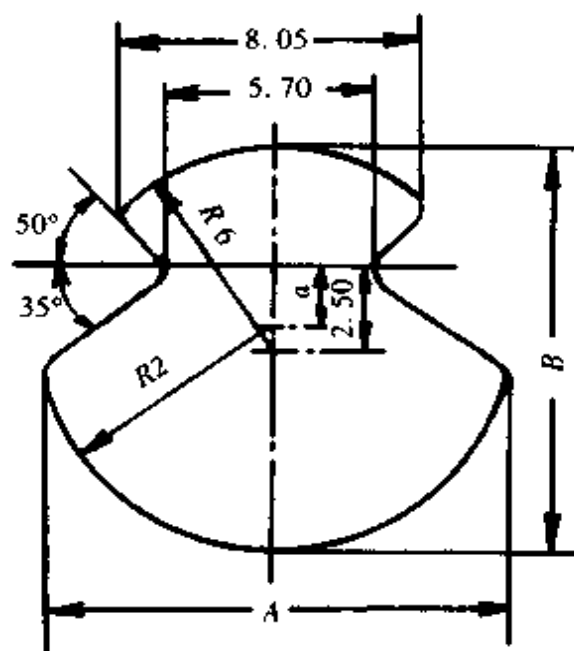


图 6.1.11 双沟型钢电车线截面尺寸

2.4.7.2 钢铝电车线 钢铝电车线有 GLCA 型和 GLCB 型两种规格。

GLCA 型钢铝电车线截面尺寸如图 6.1.12 所示,其标称截面积为 215mm<sup>2</sup>,铝线部分截面积为 148mm<sup>2</sup>,钢线部分截面积为 67mm<sup>2</sup>,其导电性能相当于 100mm<sup>2</sup>的铜电车线。

GLCB 型钢铝电车线的截面尺寸如图 6.1.13 所示,其标称截面积为 173mm<sup>2</sup>,铝线部分截面积为 119mm<sup>2</sup>,钢线部分截面积为 54mm<sup>2</sup>,其导电性能相当于 85mm<sup>2</sup>的铜电车线。

钢铝电车线的结构尺寸见表 6.1.73,其机械及电气性能见表 6.1.74。

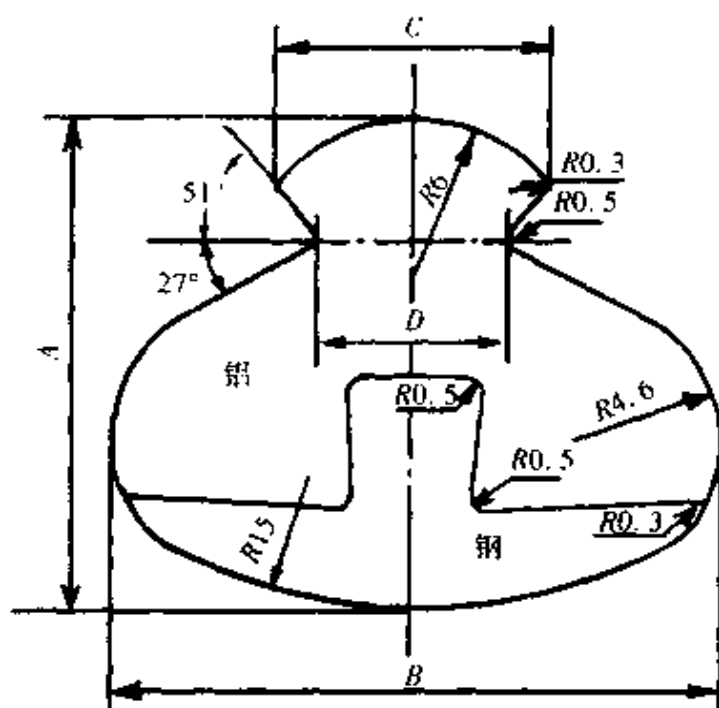


图 6.1.12 GLCA 型钢铝电车线截面尺寸

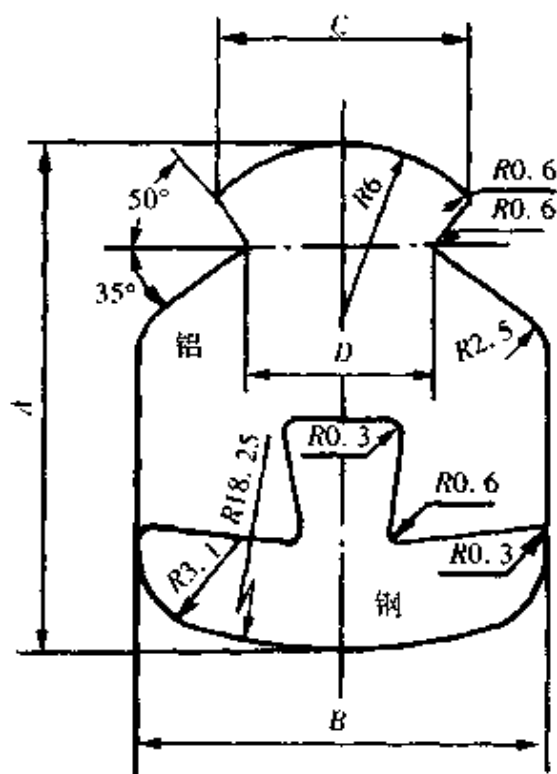


图 6.1.13 GLCB 型钢铝电车线截面尺寸

表 6.1.73 钢铝电车线的结构尺寸

产品型号	标称截面 (mm <sup>2</sup> )	尺寸及允许偏差(mm)								计算质量 (kg/km)	制造长度 (m)
		A	允许 偏差	B	允许 偏差	C	允许 偏差	D	允许 偏差		
GLCA	215	16.5	$^{+0.33}$ $_{-0.33}$	19.6	$^{+0.38}$ $_{-0.38}$	8.4	$^{+0.2}$ $_{-0.2}$	5.6	$\pm 0.25$	925	550~2500
GLCB	173	16.7	$^{+0.33}$ $_{-0.33}$	13.2	$^{+0.26}$ $_{-0.26}$	8.05	$^{+0.2}$ $_{-0.2}$	5.7	$^{+0.20}$ $_{-0.40}$	744	550~3000

表 6.1.74 钢铝电车线的机械及电气性能

产品型号	标称截面 (mm <sup>2</sup> )	机 械 性 能		直流电阻 20℃ 不大于 (Ω/km)
		导线综合拉断力 不小于(N)	钢铝间的接合强度 不小于(N)	
GLCA	215	39230	2450	0.184
GLCB	173	29570	1960	0.230

### 3 电磁线

电磁线是用导电金属包覆绝缘层制成的,它用于绕制电工产品的线圈或绕组,又称绕组线。电流通过电磁线(线圈)产生磁场或电磁线(线圈)切割磁力线产生电流,从而实现电能与磁能的互相转换。

电磁线所用导电线芯多数为铜和铝,也有的用高强度的铝合金线和在高温(220℃)下工作抗氧化性好的复金属材料,如镍包铜线等;线芯常制成圆形、扁形、带状和箔片等型材。电磁线的绝缘层材料,主要采用天然材料(绝缘纸、植物油、天然丝等)、有机合成高分子化合物(缩醛、聚酯、聚氨酯、聚酯亚胺树脂等)和无机材料(玻璃丝、氧化铝膜、陶瓷等),目前天然材料大部分已被有机合成材料和无机材料所代替,也有采用复合绝缘(如聚酯漆包、聚氨酯漆包等)和组合绝缘(如油浸渍纸包、浸漆玻璃丝包等)。根据包覆绝缘层材料的耐温性能,电磁线分为不同耐热等级,即 Y 级(90℃)、A 级(105℃)、E 级(120℃)、B 级(130℃)、F 级(155℃)、H 级(180℃)及 C 级(180℃以上)。

电磁线可分为漆包线、绕包线、无机绝缘线和特种电磁线。

电磁线型号中汉语拼音代号的含义见表 6.1.75。

表 6.1.75 电磁线型号中汉语拼音代号的含义

绝 缘 层				导 体		派生
绝缘漆	绝缘纤维	其他绝缘层	绝缘特征	导体材料	导体特征	
Q 油性漆	M 棉纱	V 聚氯乙烯	B 编织	L 铝线	B 扁线	- 1 薄漆层
QA 聚氨酯漆	SB 玻璃丝	YM 氧化膜	C 醇酸胶粘漆浸渍	TWC 无磁性铜	D 带(箔)	- 2 厚漆层
QG 硅有机漆	SR 人造丝		E 双层		J 绞制	
QH 环氧漆	ST 天然丝		G 硅有机胶粘漆浸渍		R 柔软	
QQ 缩醛漆	Z 纸		J 加厚			
QXY 聚酰胺酰亚胺漆			N 自粘性			
QY 聚酰亚胺漆			F 耐制冷性			
QZ 聚酯漆			S 彩色			
QZY 聚酯亚胺漆						

### 3.1 漆包线

电工产品所用漆包线的绝缘层是漆膜,在导电线芯上涂覆绝缘漆后经烘干形成。其特点是:漆膜均匀、光滑,便于线圈的绕制;漆膜较薄,有利于提高空间因数(线圈中导体总截面与该线圈的横截面之比),漆包线广泛用于中小型和微型电工产品中。漆包线的品种、规格、特点和主要用途见表 6.1.76。

漆包线的性能主要表现在:漆膜的耐刮与弹性的机械性能;击穿电压与介质损耗角正切的电性能;软化击穿、热老化和热击穿的热性能;耐有机溶剂性能;耐化学药品性能及耐制冷剂性能等,常用漆包线主要性能比较见表 6.1.77。

铜漆包线的规格及其安全载流量见表 6.1.78。



表 6.1.76 漆包线的品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> mm	耐温等级 ℃	特点		主要用途
					优点	局限性	
油性漆包线	油性漆包圆铜线	Q	0.02~2.50	A(105)	1. 漆膜均匀	1. 耐刮性差	中、高频线圈及仪表、电器的线圈
					2. 介质损耗角正切小	2. 耐溶剂性差 (对使用的浸渍漆应注意)	
缩醛漆包线	缩醛漆包圆铜线	QQ-1	0.02~2.50	E(120)	1. 热冲击性优 2. 耐刮性优 3. 耐水解性能良	漆膜受卷绕应力易产生裂纹(浸渍前须在120℃左右加热1小时以上,以消除应力)	普通中小电机、微电机绕组和油浸变压器器的线圈, 电仪表用线圈
		QQ-2					
	缩醛漆包圆铝线	QQL-1	0.06~2.50	E(120)	同上。抗拉强度比铝线大,可承受线圈在短路时较大的应力	同上。	大型变压器线圈和换位导线
		QQL-2					
	彩色缩醛漆包圆铜线	QQS-1	0.02~2.50	E(120)	同上。	同上。	要求Q值稳定的高频线圈, 电视频圈和仪表用的微细线圈
		QQS-2					
缩醛漆包扁铜线	QQB	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	E(120)	同上。	同上。	要求Q值稳定的高频线圈, 电视频圈和仪表用的微细线圈	
	QQLB	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0					
缩醛漆包扁铝合金线	—	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	E(120)	同上。	同上。	要求Q值稳定的高频线圈, 电视频圈和仪表用的微细线圈	
		0.015~1.00					
聚氨酯漆包线	聚氨酯漆包圆铜线 彩色聚氨酯漆包圆铜线	QA-1 QA-2	0.015~1.00	E(120)	1. 在高频率条件下, 介质损耗角正切小 2. 可以直接焊接, 不需刮去漆膜 3. 着色性好, 可制成不同颜色的漆包线, 在接头时便于识别	1. 过负载性能差 2. 热冲击及耐刮性能尚可	要求Q值稳定的高频线圈, 电视频圈和仪表用的微细线圈

续表

类别	产品名称	型号	规格 mm	耐温等级 ℃	特点		主要用途	
					优点	局限性		
环氧漆包线	环氧漆包圆铜线	QH-1	0.06~2.50	E(120)	1. 耐水解性能优 2. 耐潮性优 3. 耐酸碱腐蚀和耐油性优	1. 弹性差, 耐刮性较差, 不适用于高速自动绕线工艺 2. 对含氯绝缘油相容性差	油浸变压器线圈和耐化学药品腐蚀、潮湿电机的绕组	
		QH-2						
聚酯漆包线	聚酯漆包圆铜线	QZ-1	0.02~2.50	B(130)	1. 在干燥和潮湿条件下, 耐电压击穿性能优 2. 软化击穿性能优	1. 耐水解性差 (用于密闭电机、电器时须注意) 2. 热冲击性尚可 3. 与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氟高分子化合物不相容	普通中小电机的绕组、干式变压器的绕组和仪器仪表的线圈	
		QZ-2						
	彩色聚酯漆包圆铜线	QZL-1	0.06~2.50	B(130)				
		QZL-2						
	聚酯漆包扁铜线	聚酯漆包扁铜线	QZS-1	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	B(130)			
			QZS-2					
聚酯漆包扁铜线	聚酯漆包扁铜线	QZB	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	B(130)				
		QZ1B						
	聚酯漆包扁铝合金线	—	a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	B(130)	同上, 抗拉强度比铝线大, 可承受较大的短路时应力	同上, 电阻率比铝线稍大	干式变压器线圈	

聚酯亚胺漆包线	<p>圆 聚酰胺亚胺漆包线</p> <p>扁 聚酰胺亚胺漆包线</p>	<p>QZY-1 QZY-2</p> <p>QZYB</p>	<p>0.06~2.50</p> <p>a 边 0.8~5.6 b 边 2.0~18.0</p>	<p>F(155)</p>	<p>1. 在干燥和潮湿条件下,耐电击性能优</p> <p>2. 热冲击性能良好</p> <p>3. 软化冲击性能良好</p>	<p>1. 在含水密封系统中电机电器须注意)</p> <p>2. 与聚氯乙烯、高氯丁橡胶等含氯分子化合物不相容</p>	<p>高温电机和冷装置中电器的绕组、干式变压器的线圈</p>
聚酰胺酰亚胺漆包线	<p>圆 聚酰胺酰亚胺漆包线</p> <p>扁 聚酰胺酰亚胺漆包线</p>	<p>QXY-1 QXY-2</p> <p>QXYB</p>	<p>0.06~2.50</p> <p>a 边 0.8~5.6 b 边 2.0~18.0</p>	<p>200</p>	<p>1. 耐热性优,热冲击及软化冲击性能优</p> <p>2. 耐刮性优</p> <p>3. 在干燥和潮湿条件下耐电击性能优</p> <p>4. 耐化学药品腐蚀性优</p> <p>5. 适用于密闭式电机电器的绕组</p>	<p>与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯的分子化合物不相容</p>	<p>高温重负荷电机、牵引电机、制冷设备电机的绕组、干式变压器的线圈</p>
聚酰胺亚胺漆包线	<p>圆 聚酰胺亚胺漆包线</p> <p>扁 聚酰胺亚胺漆包线</p>	<p>QY-1 QY-2</p> <p>QYB</p>	<p>0.02~2.50</p> <p>a 边 0.8~5.6 b 边 2.0~18.0</p>	<p>220</p>	<p>1. 漆膜的耐热性是目前最好的</p> <p>2. 软化冲击性能优,能承载负荷</p> <p>3. 耐低温性优</p> <p>4. 耐辐射性优</p> <p>5. 耐溶剂及化学药品腐蚀性优</p>	<p>1. 耐刮性尚可</p> <p>2. 耐碱性差</p> <p>3. 在含水密封系统中,容易水解</p> <p>4. 漆膜受卷绕应力容易产生裂纹(浸渍前,须在150℃左右加热1h以上,以消除应力)</p>	<p>耐高温电机、干式变压器、密封式继电器及电子元件</p>

续表

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> mm	耐温等级 ℃	特点		局 限 性	主要用途
					优 点	特 点		
特 种 漆 包 线	自粘直焊漆包圆铜线	QAN	0.10~0.44	E(120)	在一定温度下,不需剥去漆膜,可直接焊接,同时不需要浸渍处理,能自行粘合成型	在过负载条件下使用	微型电机仪件的线圈、无骨架的线圈	
	环氧自粘性漆包圆铜线	QHN	0.10~0.51	E(120)	1. 不需要浸渍处理,在一定温度下能自行粘合成型 2. 耐油性良	1. 漆膜弹性差,耐刮性较差,不适用于高速自动绕线 2. 因系热塑性自粘层,容易在溶剂中溶解	仪表和电器的线圈、无骨架的线圈	
	缩醛自粘性漆包圆铜线	QQN	0.10~1.00	E(120)	1. 能自行粘合成型 2. 热冲击性良	因系热塑性的自粘层,容易在溶剂中溶解	仪表和电器的线圈、无骨架的线圈	
	聚酯自粘性漆包圆铜线	QZN	0.10~1.00	B(130)	1. 能自行粘合成型 2. 耐击穿电压性能优	因系热塑性的自粘层,容易在溶剂中溶解	仪表和电器的线圈、无骨架的线圈	
	无磁性聚氨酯漆包圆铜线	QATWC	0.02~0.20	E(120)	1. 漆包线中的铁含量极低,对感应磁场所起的干扰作用极微 2. 在高频条件下,介质损耗角正切小 3. 不需剥去漆膜即可直接焊接	不推荐在过负载条件下使用	精密仪表和电器的线圈,如直流互感器、流量计、磁通表、测震仪等的线圈	
	耐制冷剂漆包线 <sup>②</sup>	QF	0.6~2.50	A(105)	在密闭装置中,能耐潮、耐制冷剂	漆膜受卷绕应力易产生裂纹(浸渍前须在120℃左右加热1h以上,消除应力)	空调设备和制冷组	
	聚酯亚胺漆包扁铜线	—	a 边 0.8~5.6 b 边 2.0~18.0	F(155)	同聚酯亚胺漆包线,又可改善其耐化学腐蚀性	同聚酯亚胺漆包线	同聚酯亚胺漆包线,又可用于有化学腐蚀的环境	

注:①圆线规格以线芯直径表示,扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示。②制冷剂系指 CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CClF<sub>3</sub>、CHClF<sub>2</sub> 等。

表 6.1.1.77 常用漆包线主要性能比较表

漆包线种类	耐温等级 ℃	机械性能		电性能		热性能			耐有机溶剂性能				耐化学药品性能				耐制冷剂(氟里昂-22)性能
		弹性	耐刮性	击穿电压	介质损耗角正切	软化击穿温度	热老化	热冲击	溶剂油、二甲苯、正丁醇混 <sup>①</sup> 合溶剂	二甲苯、正丁醇混 <sup>②</sup> 合溶剂	二甲苯	苯乙烯	5%硫酸	5%盐酸	5%氢氧化钠	5%氯化钠	
油性漆包线	105	好	差	良	优	差	可	差	差	差	良	良	良	良	良	良	差
缩醛漆包线	120	优	优	良	好	可	优	良	良	良	良	良	良	良	良	良	差
聚氨酯漆包线	120	良	可	良	优	良	可	优	优	优	优	优	优	优	优	优	差
聚酯漆包线	130	良	良	良	好	良	可	良	好	良	良	良	良	良	良	良	差
聚酯亚胺漆包线	155	优	良	优	好	良	可	优	好	优	优	优	优	优	优	优	差
聚酯亚胺漆包线	200	优	优	优	-	优	良	优	优	优	优	优	优	优	优	优	差
耐制冷剂漆包线	105	优	优	优	-	好	良	优	优	优	优	优	优	优	优	优	差

注:①溶剂油:二甲苯:正丁醇=6:3:1。

②二甲苯:正丁醇=1:1。

表 6.1.78 铜漆包线规格及安全载流量

标称直径 (mm)	外皮直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	质量 (kg/km)	$j = 2.5A/mm^2$ 时,导线 容许通过 电流(A)	$j = 3A/mm^2$ 时,导线 容许通过 电流(A)	每厘米 可绕 匝数 (匝)	每立方厘 米可绕 匝数 (匝)	20℃时电 阻值 (Ω/km)
0.06	0.085	0.0028	0.0252	0.0070	0.0084	117	13689	64.40
0.07	0.095	0.0038	0.0342	0.0095	0.0114	105	11025	47.30
0.08	0.105	0.005	0.0448	0.0125	0.0150	95	9025	36.30
0.09	0.115	0.0064	0.0567	0.0160	0.0192	86	7395	28.60
0.10	0.125	0.0079	0.070	0.0197	0.0237	80	6400	22.40
0.11	0.135	0.0095	0.085	0.0237	0.0285	74	5476	18.50
0.12	0.145	0.0113	0.101	0.0282	0.0339	68	4624	15.50
0.13	0.155	0.0133	0.118	0.0332	0.0399	64	4096	13.20
0.14	0.165	0.0154	0.137	0.0385	0.0462	60	3600	11.40
0.15	0.180	0.0177	0.158	0.0442	0.0531	55	3025	9.94
0.16	0.190	0.0201	0.179	0.0502	0.0603	52	2704	8.73
0.17	0.200	0.0227	0.202	0.0567	0.0681	50	2500	7.73
0.18	0.210	0.0254	0.227	0.064	0.0762	47	2209	6.88
0.19	0.220	0.0284	0.253	0.0710	0.0852	45	2025	6.18
0.20	0.230	0.0315	0.280	0.0787	0.0945	43	1849	5.58
0.21	0.240	0.0347	0.309	0.0867	0.104	41	1681	5.07
0.23	0.270	0.0415	0.370	0.103	0.124	37	1369	4.23
0.25	0.290	0.0492	0.437	0.123	0.147	34	1156	3.57
0.27	0.310	0.0573	0.510	0.143	0.171	32	1024	3.06
0.29	0.330	0.0660	0.589	0.165	0.198	30	900	2.66
0.31	0.350	0.0755	0.673	0.188	0.226	28	784	2.33
0.33	0.370	0.0855	0.762	0.213	0.256	27	729	2.05
0.35	0.390	0.0962	0.857	0.240	0.288	25	625	1.82
0.38	0.420	0.1134	1.01	0.283	0.340	23	529	1.55
0.41	0.450	0.1320	1.17	0.330	0.396	22	484	1.33
0.44	0.480	0.1521	1.35	0.380	0.456	20	400	1.15
0.47	0.510	0.1735	1.54	0.433	0.520	19	361	1.01
0.49	0.530	0.1886	1.67	0.471	0.565	18	324	0.93.1
0.51	0.560	0.204	1.82	0.510	0.612	17	317	85.9
0.53	0.580	0.221	1.96	0.552	0.663	17.2	295	79.3
0.55	0.600	0.238	2.11	0.595	0.714	16.6	275	73.9
0.57	0.620	0.255	2.26	0.637	0.765	16.1	259	68.7
0.59	0.640	0.273	2.43	0.682	0.819	15.6	243	64.3
0.62	0.670	0.302	2.69	0.755	0.906	14.8	222	57.9
0.64	0.690	0.322	2.89	0.805	0.966	14.4	207	54.7
0.67	0.720	0.353	3.14	0.882	1.05	13.8	190	49.7
0.69	0.740	0.374	3.33	0.935	1.12	13.5	182	46.9

续表

标称直径 (mm)	外皮直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	质量 (kg/km)	$j=2.5A/mm^2$ 时,导线容许通过电流(A)	$j=3A/mm^2$ 时,导线容许通过电流(A)	每厘米可绕匝数 (匝)	每立方厘米可绕匝数 (匝)	20℃时电阻值 (Ω/km)
0.72	0.770	0.407	3.72	1.01	1.22	12.9	166	43
0.74	0.800	0.430	3.83	1.07	1.29	12.5	156	40.8
0.77	0.830	0.466	4.15	1.16	1.39	12	144	37.6
0.80	0.860	0.503	4.48	1.25	1.50	11.6	134	34.9
0.83	0.890	0.541	4.28	1.35	1.62	11.2	125	32.4
0.86	0.920	0.581	5.17	1.45	1.74	10.8	117	30.2
0.90	0.960	0.636	5.67	1.59	1.90	10.4	108	27.5
0.93	0.990	0.679	6.05	1.69	2.03	10.1	102	25.8
0.96	1.02	0.724	6.45	1.81	2.17	9.8	96	24.2
1.00	1.08	0.785	7.00	1.96	2.35	9.25	85.6	22.4
1.04	1.12	0.849	7.87	2.12	2.54	8.92	79.5	20.6
1.08	1.16	0.916	8.16	2.29	2.74	8.62	74.3	19.2
1.12	1.20	0.986	8.78	2.46	2.95	8.33	69.4	17.75
1.16	1.24	1.057	9.41	2.64	3.17	8.06	65	16.6
1.20	1.28	1.131	10.0	2.84	3.39	7.81	61	15.5
1.25	1.33	1.227	10.9	3.06	3.68	7.51	56.4	14.3
1.30	1.38	1.327	11.8	3.31	3.98	7.24	52.4	13.2
1.35	1.43	1.431	12.7	3.57	4.29	7	49	12.2
1.40	1.48	1.539	13.7	3.84	4.61	6.75	45.56	11.4
1.45	1.53	1.651	14.7	4.12	4.95	6.53	42.44	10.6
1.50	1.58	1.767	15.7	4.41	5.30	6.32	39.94	9.89
1.56	1.64	1.911	17.0	4.77	5.73	6.09	37.08	9.18
1.62	1.70	2.06	18.3	5.15	6.18	5.88	34.57	8.50
1.68	1.76	2.22	19.7	5.55	6.66	5.68	32.26	7.92
1.74	1.82	2.38	21.1	5.95	7.14	5.49	30.14	7.36
1.81	1.90	2.57	22.9	6.42	7.71	5.26	27.66	6.83
1.88	1.97	2.78	24.7	6.95	8.34	5.07	25.70	6.30
1.95	2.04	2.99	26.6	7.47	8.97	4.9	24.01	5.87
2.02	2.11	3.20	28.5	8.00	9.60	4.73	22.37	5.48
2.10	2.20	3.46	30.8	8.65	10.3	4.54	20.61	5.06
2.26	2.36	4.01	35.7	10.0	12.0	4.23	17.89	4.38
2.44	2.54	4.67	41.6	11.6	14.0	3.93	15.44	3.75
2.63		5.43	48.4	13.5	16.2			3.23
2.83		7.00	56.0	17.5	21.0			2.79
3.05		8.14	65.1	20.3	24.4			2.4
3.28		9.40	75.3	23.5	28.2			2.08
3.53		10.90	87.2	27.2	32.7			1.80
3.80		12.63	101	31.5	37.9			1.55
4.10		14.70	117	36.7	44.1			1.33
4.50		17.71	141	44.2	53.1			1.10
4.80		20.16	161	50.4	60.4			0.968
5.20		23.66	189	59.1	70.9			0.829

漆包圆铜线拉力见表 6.1.79。

表 6.1.79 漆包圆铜线拉力表

线号 SWC	直径 (mm)	拉力 (N)	直径 (英寸)	美规 AWG	线号 SWG	直径 (mm)	拉力 (N)	直径 (英寸)	美规 AWG
漆包圆铜线拉力表					漆包圆铜线拉力表				
25	0.508	13	0.02	24	45	0.071	0.4	0.0028	41
26	0.457	11	0.018	25	46	0.061	0.3	0.0024	42
27	0.417	9	0.016	26	47	0.051	0.26	0.002	44
28	0.376	8	0.0146	27	48	0.041	0.17	0.0016	46
29	0.345	7	0.0135	27 1/2		0.0375	0.15	0.00147	46 1/2
30	0.315	6	0.0125	28		0.0355	0.13	0.0014	47
31	0.295	5	0.0115	29		0.0335	0.12	0.00133	47 1/2
32	0.273	4.5	0.0108	29 1/2	49	0.0315	0.11	0.00125	48
33	0.254	4	0.01	30		0.03	0.10	0.0012	48 1/2
34	0.234	3.5	0.009	31		0.028	0.09	0.0011	49
35	0.213	3	0.0083	31 1/2		0.025	0.07	0.001	50
36	0.193	2.5	0.0076	32 1/2		0.0225	0.06	0.0009	51
37	0.173	2	0.0068	33 1/2		0.02	0.05	0.0008	52
38	0.152	1.5	0.006	34 1/2		0.0175	0.04	0.0007	53
39	0.132	1.3	0.0052	35 1/2		0.0151	0.03	0.0006	54 1/2
40	0.122	1.1	0.0048	36		0.0125	0.02	0.00048	56
41	0.112	1	0.0044	37		0.011	0.018	0.00044	57
42	0.102	0.8	0.004	38		0.01	0.015	0.0004	58
43	0.091	0.7	0.0036	39		0.009	0.012	0.00036	59
44	0.081	0.6	0.0032	40		0.008	0.010		60

### 3.2 绕包线

电工产品所用绕包线是用天然丝、玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导电线芯上,形成绝缘层;也有在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外,其他如玻璃丝等须经胶粘绝缘漆的浸渍处理,以提高其电性能、机械性能和防潮性能;除少数天然丝外,一般绕包线的特点是:绝缘层是组合绝缘,比漆包线的漆膜层要厚些,电性能较高,能较好地承受过负荷,一般应用于大中型电工产品中;薄膜绝缘绕包线则具有更高的机械性能和电性能,用于大中型电机设备中。绕包线的品种、规格和特点见表 6.1.80。



表 6.1.80 绕包线品种、规格和特点

类别	产品名称	型号	规格 <sup>J</sup> (mm)	特点						
				耐温等级 (°C)	优点	局限性				
纸包线	纸包圆铜线	Z	1.0~5.6	A(105) <sup>2</sup>	在油浸变压器中作线圈,耐电压击穿性优	绝缘纸容易破裂				
	纸包圆铝线	ZL	1.0~5.6							
	纸包扁铜线	ZB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	纸包扁铝线	ZLB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
玻璃丝包线	双玻璃丝包圆铜线	SBEC	0.25~6.0	B(130)	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优 3. 玻璃丝包漆包线的耐潮性好	1. 弯曲性较差 2. 耐潮性较差				
	双玻璃丝包圆铝线	SBELC	0.25~6.0							
	双玻璃丝包扁铜线	SBECB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	双玻璃丝包扁铝线	SBELCB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	单玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBCEB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	单玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBLCB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	QZSBCEB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	双玻璃丝包聚酯漆包扁铝线	QZSBELCB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0							
	单玻璃丝包聚酯漆包圆铜线	QZSBC	0.53~2.50							
	玻璃丝包漆包线	单玻璃丝包聚酯漆包圆铜线	QQSBC				0.53~2.50	E(120)	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优 3. 耐潮性优	弯曲性较差
		双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线 单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYSBEFB QZYSBFB				a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0 a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	F(155)	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优 3. 耐潮性优	弯曲性较差
	玻璃丝包漆包线	硅有机漆双玻璃丝包圆铜线 硅有机漆双玻璃丝包扁铜线	SBEG SBEGB				0.25~6.0 a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	H(180)	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优 3. 用硅有机漆浸渍改进了耐水耐潮性能	1. 弯曲性较差 2. 硅有机浸渍漆粘合能力较差,绝缘层的机械强度较差
双玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线 单玻璃丝包聚酯亚胺漆包扁铜线		QYSBEGB QYSBGB	a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0 a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	H(180)	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优 3. 耐潮性优	弯曲性较差				

续表

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> (mm)	特点		
				耐温等级 (℃)	优点	局限性
丝包圆铜线	双丝包圆铜线	SE	0.05~2.50	A(105) <sup>②</sup>	1. 绝缘层的机械强度较好 2. 油性漆包线的介质损耗角正切小 3. 丝包漆包线的电性能优	如果不浸渍, 丝包线的耐潮性差
	单丝包油性漆包圆铜线	SQ	0.05~2.50			
	单丝包聚酯漆包圆铜线	SQZ	0.05~2.50			
	双丝包油性漆包圆铜线	SEQ	0.05~2.50			
	双丝包聚酯漆包圆铜线	SEQZ	0.05~2.50			
	圆铜线	SEQZ	0.05~2.50			
薄膜绕包线	聚酰亚胺薄膜绕包圆铜线	Y	2.5~6.0	220	1. 耐热性和低温性优 2. 耐辐射性优 3. 在高温下电压击穿性能好 4. 和玻璃丝包线相比槽满率较高	在含水密封系统中易水解
	聚酰亚胺薄膜绕包扁铜线	YB	a边 2.0~5.6 b边 2.0~16.0			
玻璃丝包线	玻璃丝包聚酯薄膜绕包扁铜线		a边 1.12~5.6 b边 2.0~15.0	E(120)	1. 耐电压击穿性能 2. 绝缘层的机械强度高	绝缘层较厚, 槽满率较低

注: ①圆线规格以线芯直径表示, 扁线以线芯窄边(a)及宽边(b)长度表示;

②系指在油中或用浸渍漆处理后的耐温等级

## 3.2.1 玻璃丝包圆线和丝包圆线

玻璃丝包圆线和丝包圆线的规格尺寸和最大外径见表 6.1.81。

表 6.1.81 玻璃丝包圆线和丝包线的导线直径和最大外径 mm

导线直径(铜铝)		玻璃丝包线最大外径		丝包线最大外径				
标称直径	公差	单玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包线	双丝包线	单丝包油性漆包线	双丝包油性漆包线	单丝包聚酯漆包线	双丝包聚酯漆包线
0.050	±0.003			0.16	0.14	0.18	0.14	0.18
0.060	±0.003			0.17	0.15	0.19	0.16	0.20
0.070	±0.003			0.18	0.16	0.20	0.17	0.21
0.080	±0.003			0.19	0.17	0.21	0.18	0.22
0.090	±0.003			0.20	0.18	0.22	0.19	0.23
0.100	±0.005			0.21	0.19	0.23	0.20	0.24
0.110	±0.005			0.22	0.20	0.24	0.21	0.25
0.120	±0.005			0.23	0.21	0.25	0.22	0.26
0.130	±0.005			0.24	0.22	0.26	0.23	0.27
0.140	±0.005			0.25	0.23	0.27	0.24	0.28

续表

导线直径(铜铝)		玻璃丝包线最大外径		丝包线最大外径				
标称直径	公差	单玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包线	双丝包线	单丝包油性漆包线	双丝包油性漆包线	单丝包聚酯漆包线	双丝包聚酯漆包线
0.150	±0.005			0.26	0.24	0.28	0.25	0.29
0.160	±0.005			0.28	0.26	0.30	0.28	0.32
0.170	±0.005			0.29	0.27	0.31	0.29	0.33
0.180	±0.005			0.30	0.28	0.32	0.30	0.34
0.190	±0.005			0.31	0.29	0.33	0.31	0.35
0.200	±0.005			0.32	0.30	0.35	0.32	0.36
0.210	±0.005			0.33	0.32	0.36	0.33	0.37
0.230	±0.005			0.36	0.35	0.39	0.36	0.41
0.250	±0.005		0.49	0.38	0.37	0.42	0.38	0.43
(0.270)	±0.010							
0.280	±0.010			0.41	0.40	0.45	0.41	0.46
(0.290)	±0.010							
0.310	±0.010			0.44	0.43	0.48	0.44	0.49
0.330	±0.010			0.47	0.46	0.51	0.48	0.53
0.350	±0.010			0.49	0.48	0.53	0.51	0.55
0.380	±0.010			0.52	0.51	0.56	0.53	0.58
0.400	±0.010			0.54	0.53	0.58	0.55	0.60
0.420	±0.010			0.56	0.55	0.60	0.57	0.62
0.450	±0.010			0.59	0.58	0.63	0.60	0.65
0.470	±0.010			0.61	0.60	0.65	0.62	0.67
0.500	±0.010			0.64	0.63	0.68	0.65	0.70
0.530	±0.010	0.73	0.79	0.67	0.67	0.72	0.69	0.74
0.560	±0.010	0.76	0.82	0.70	0.70	0.75	0.72	0.77
0.600	±0.010	0.80	0.86	0.74	0.74	0.79	0.76	0.81
0.630	±0.010	0.83	0.89	0.77	0.77	0.83	0.79	0.84
0.670	±0.010	0.88	0.93	0.82	0.82	0.87	0.85	0.90
(0.690)	±0.010							
0.710	±0.015	0.93	0.98	0.86	0.86	0.91	0.89	0.94
0.750	±0.015	0.97	1.02	0.91	0.91	0.97	0.94	1.00
(0.770)	±0.015							
0.800	±0.015	1.02	1.07	0.96	0.96	1.02	0.99	1.05
(0.830)	±0.015							
0.850	±0.015	1.07	1.12	1.01	1.01	1.07	1.04	1.10
0.900	±0.015	1.12	1.17	1.06	1.06	1.12	1.09	1.15
(0.930)	±0.015							
0.950	±0.015	1.17	1.22	1.11	1.11	1.17	1.14	1.20
1.000	±0.015	1.25	1.29	1.17	1.18	1.24	1.22	1.28
1.060	±0.020	1.31	1.35	1.23	1.25	1.31	1.28	1.34

续表

导线直径(铜铝)		玻璃丝包线最大外径		丝包线最大外径				
标称直径	公差	单玻璃丝包漆包线	双玻璃丝包线	双丝包线	单丝包油性漆包线	双丝包油性漆包线	单丝包聚酯漆包线	双丝包聚酯漆包线
1.120	±0.020	1.37	1.41	1.29	1.31	1.37	1.34	1.40
1.180	±0.020	1.43	1.47	1.35	1.37	1.43	1.40	1.46
1.250	±0.020	1.50	1.54	1.42	1.44	1.50	1.47	1.53
1.300	±0.020	1.55	1.59	1.47	1.49	1.55	1.52	1.58
(1.350)	±0.020							
1.400	±0.020	1.65	1.69	1.57	1.59	1.65	1.62	1.68
(1.450)	±0.020							
1.500	±0.020	1.75	1.81	1.67	1.69	1.75	1.72	1.78
(1.560)	±0.020							
1.600	±0.020	1.87	1.91	1.78	1.80	1.87	1.83	1.90
1.700	±0.025	1.97	2.01	1.88	1.90	1.97	1.93	2.00
1.800	±0.025	2.07	2.11	1.98	2.00	2.07	2.03	2.10
1.900	±0.025	2.17	2.21	2.08	2.10	2.17	2.13	2.20
2.000	±0.025	2.27	2.31	2.18	2.20	2.27	2.23	2.30
2.12	±0.030	2.39	2.48	2.30	2.32	2.39	2.35	2.42
2.24	±0.030	2.51	2.60	2.42	2.44	2.51	2.47	2.54
2.36	±0.030	2.63	2.72	2.54	2.56	2.63	2.59	2.66
2.50	±0.030	2.77	2.86	2.68	2.70	2.77	2.73	2.80
2.65	±0.030		3.01					
2.80	±0.030		3.16					
3.00	±0.030		3.37					
3.15	±0.030		3.52					
3.35	±0.030		3.72					
3.55	±0.040		3.92					
3.75	±0.040		4.12					
4.00	±0.040		4.37					
4.25	±0.040		4.63					
4.50	±0.050		4.88					
4.75	±0.050		5.13					
5.00	±0.050		5.38					
5.30	±0.050		5.68					
5.60	±0.050		5.98					
6.00	±0.060		6.38					

注:所有括号内的规格系漆包线的保留规格,不推荐使用。

### 3.2.2 玻璃丝包扁线

扁电磁线截面尺寸标准如图 6.1.14 所示。玻璃丝包扁线的绝缘厚度见表 6.1.82,扁导线的尺寸允许偏差参见表 6.1.47(铜)及 6.1.55(铝)。

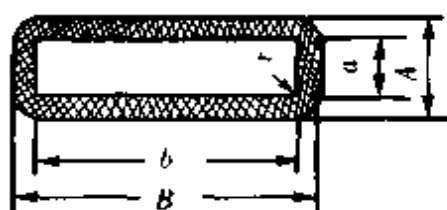


图 6.1.14 扁电磁线截面尺寸标准

表 6.1.82 玻璃丝包扁线绝缘厚度

mm

导线标称尺寸		绝 缘 厚 度					
		双玻璃丝包扁线		单玻璃丝包漆包扁线		双玻璃丝包漆包扁线	
$a$ (窄边)	$b$ (宽边)	$A-a$	$B-b$	$A-a$	$B-b$	$A-a$	$B-b$
0.90~1.90	2.00~3.75	0.28~0.35	0.25	0.24~0.37	0.29	0.34~0.47	0.37
	4.00~6.00	0.30~0.37	0.25	0.25~0.39	0.29	0.36~0.50	0.37
	6.30~8.00	0.31~0.39	0.25	0.26~0.40	0.29	0.38~0.52	0.37
	8.50~14.00	0.34~0.43	0.25	0.27~0.42	0.29	0.40~0.55	0.37
2.00~3.75	2.80~6.00	0.30~0.38	0.31	0.25~0.39	0.33	0.36~0.51	0.43
	6.30~10.00	0.33~0.41	0.31	0.27~0.41	0.33	0.40~0.54	0.43
	10.60~14.00	0.35~0.44	0.31				
	15.00~18.00	0.37~0.46	0.31				
4.00~5.60	5.60~10.00	0.36~0.45	0.40	0.30~0.45	0.42	0.43~0.58	0.52
	10.60~14.00	0.38~0.48	0.40				
	16.00~18.00	0.42~0.52	0.40				

注:玻璃丝包扁线的最大尺寸以扁导线标称尺寸加正公差或漆包扁线最大尺寸加绝缘最大厚度计算。

### 3.2.3 纸包圆线

纸包圆线的绝缘厚度见表 6.1.83,圆导线的尺寸允许偏差参见表 6.1.8(铜)及 6.1.14(铝)。

表 6.1.83 纸包圆线绝缘厚度

mm

导 线 直 径 $d$			
1.00~2.12		2.24~5.6	
绝缘标称厚度	绝缘厚度允许偏差	绝缘标称厚度	绝缘厚度允许偏差
$D-d$		$D-d$	
0.30	$\pm 0.05$	0.30	$\pm 0.05$
0.45	$\pm 0.05$	0.45	$\pm 0.05$
0.80	$\pm 0.10$	0.80	$\pm 0.10$
		1.20	$\pm 0.12$
		1.80	$\pm 0.15$
		4.25	$\pm 0.30$

注:纸包圆线的最大外径( $D$ )以导线标称直径加正公差加绝缘最大厚度计算。 $D$ 代表纸包线外径。



增量率(%)													mm	
2.10	2.26	2.44	2.63	2.88	3.05	3.28	3.53	3.8	4.1	4.4	4.7	5.1	5.5	
4.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	4.50	-	4.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.50	-	4.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4.31	-	3.90	3.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.73	3.93	3.74	-	3.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.96	3.77	3.58	3.41	3.27	3.17	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.82	3.63	3.45	3.28	3.14	-	2.87	-	-	-	-	-	-	-	
3.69	3.49	3.32	3.16	3.01	2.88	2.76	2.64	-	-	-	-	-	-	
3.56	3.37	3.20	3.04	2.89	2.77	2.64	-	2.44	-	-	-	-	-	
3.44	3.26	3.08	2.92	2.80	2.67	2.54	2.43	2.33	2.30	-	-	-	-	
3.34	3.16	3.04	2.84	2.70	2.57	2.47	2.36	2.25	2.21	2.11	-	-	-	
3.25	3.09	2.91	2.75	2.63	2.50	2.38	2.28	2.17	2.13	-	-	-	-	
3.16	2.99	2.83	2.67	2.54	2.40	2.30	2.19	2.09	2.04	1.96	-	1.80	-	
3.06	2.91	2.75	2.57	2.45	2.33	2.23	2.12	2.02	1.96	1.89	1.81	1.72	1.66	
2.99	2.84	2.67	2.53	2.39	2.27	2.15	2.06	1.95	1.90	1.82	1.75	1.66	-	
2.92	2.74	2.60	2.46	2.32	2.20	2.09	1.99	1.90	1.84	1.75	1.68	1.60	1.53	
2.85	2.71	2.54	2.38	2.26	2.14	2.04	1.93	1.84	1.77	1.69	1.62	1.54	1.47	
2.81	2.64	2.48	2.34	2.22	2.09	1.99	1.88	1.79	1.73	1.64	1.57	1.49	1.42	
2.77	2.58	2.43	2.29	2.16	2.04	1.94	1.83	1.74	1.67	1.59	1.51	1.44	1.38	
2.67	2.53	2.37	2.24	2.12	2.00	1.89	1.78	1.70	1.62	1.55	1.48	1.39	1.33	
2.64	2.48	2.33	2.19	2.07	1.95	1.85	1.75	1.65	1.58	1.50	1.44	1.36	1.29	
2.58	2.44	2.29	2.15	2.03	1.91	1.81	1.70	1.62	1.54	1.47	1.39	1.32	1.25	
2.55	2.40	2.24	2.11	1.99	1.87	1.77	1.67	1.58	1.50	1.43	1.36	1.28	1.23	
2.51	2.36	2.21	2.07	1.96	1.84	1.74	1.63	1.55	1.47	1.40	1.33	1.25	1.19	
2.48	2.32	2.18	2.04	1.92	1.81	1.70	1.60	1.52	1.44	1.36	1.30	1.22	1.16	
-	-	2.15	2.01	1.89	1.78	1.67	1.57	1.49	1.41	1.34	1.27	1.19	1.13	
-	-	2.12	1.99	1.87	1.75	1.65	1.55	1.46	1.38	1.31	1.24	1.15	1.11	

### 3.2.4 纸包扁线

扁电磁线截面尺寸标准如图 6.1.14 所示。纸包扁线绝缘厚度见表 6.1.84，扁导线的尺寸允许偏差参见表 6.1.47(铜)及 6.1.55(铝)。变压器用纸包扁线的纸包增重率见表 6.1.85(见第 1620 页~1621 页)。

表 6.1.84 纸包扁线绝缘厚度

	mm							
绝缘标称厚度	0.45	0.60	0.95	1.35	1.60	1.95	2.45	2.95
最大绝缘厚度(A-a)	0.57	0.74	1.14	1.56	1.84	2.23	2.77	3.32
最小绝缘厚度(B-b)	0.40	0.53	0.85	1.23	1.46	1.78	2.25	2.70

注:纸包扁线的最大尺寸以扁导线标称尺寸加正公差加绝缘最大厚度计算。

## 3.3 无机绝缘线

电工产品中所用无机绝缘线的绝缘层是用无机材料如陶瓷、氧化铝膜等组成的,但单一的无机绝缘层常有微孔存在,会影响电性能等,故一般常用有机绝缘漆浸渍后经烘干填实微孔。无机绝缘电磁线的特点是耐高温、耐辐射,主要用于在高温或有辐射的场合工作的电工设备中。无机绝缘电磁线的品种、规格、特点和主要用途见表 6.1.86。

表 6.1.86 无机绝缘电磁线品种、规格、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	规格 <sup>①</sup> (mm)	特点		主要用途
				优点	局限性	
氧化膜线	氧化膜圆铝线	YML YMLC <sup>②</sup>	0.05~5.0	1. 不用绝缘漆封闭的氧化膜耐温可达 250℃。用绝缘漆封闭的氧化膜,耐热性取决于绝缘漆 2. 槽满率高 3. 重量轻 4. 耐辐射性好	1. 弯曲性能差 2. 击穿电压低 3. 氧化膜耐刮性差 4. 耐酸、耐碱性能差 5. 不用绝缘漆封闭的氧化膜耐潮性差	起重电磁铁、高温制动器、干式变压器线圈,并用于需耐辐射场合
	氧化膜扁铝线	YMLB YMLB <sup>②</sup>	a 边 1.0~4.0 b 边 2.5~6.3			
	氧化膜铝带(箔)	YMLD	厚 0.08~1.00 宽 20~900			
陶瓷绝缘线	陶瓷绝缘线	TC	0.06~0.50	1. 耐高温性能优,长期工作温度可达 500℃ 2. 耐化学腐蚀性优 3. 耐辐射性优	1. 弯曲性差 2. 击穿电压低 3. 耐潮性差,如果没有密封层,不推荐在高湿度环境中使用	用于高温以及有辐射的场合

注:①圆线规格以线芯直径表示,扁线以线芯窄边(a)、宽边(b)长度表示,带(箔)以导体厚、宽表示。

②在氧化膜层上再涂以绝缘漆使其密封



### 3.3.1 氧化膜铝带(箔)

氧化膜铝带(箔)是用阳极氧化法在铝带(箔)表面生成一层致密的三氧化二铝( $Al_2O_3$ )膜而成,用氧化膜铝带(箔)绕制线圈可提高空间因数和线圈的热传导性能,未经绝缘密封的氧化膜铝膜带,一般加热到 $350^{\circ}C$ 时,其击穿电压可保持在 $180\sim 220kV$ ;在直径 $50mm$ 圆棒上弯曲,两端共加重物 $3.8kg$ ,其击穿电压仍保持在 $200kV$ 左右;在室温和相对湿度为 $65\%$ 时,其绝缘电阻为 $0.36\times 10^{11}\sim 0.40\times 10^{11}\Omega$ 。

### 3.3.2 陶瓷绝缘线

陶瓷绝缘线是在导线上浸涂玻璃浆后,经烘炉烧结而成的,可在 $500^{\circ}C$ 高温环境下长期使用。在此温度下铜线将氧化,故线芯一般要采用镀镍铜线、镍包铜线或不锈钢包铜线为导体。陶瓷绝缘线有极好的耐辐射性能,适宜在高能物理、宇航等领域中应用。

## 3.4 特种电磁线

特种电磁线是以能够适应特殊场合使用要求的材料为绝缘层的电磁线。在高温、超低温、高湿度、强磁场或高频辐射等环境下工作的仪器、仪表和其他电工产品中的电磁线,要求其绝缘结构和机电性能适应这些特殊环境的要求,保证具有良好的效果,特种电磁线就是为适应这些特殊要求而制造的。特种电磁线的品种、规格、特点和主要用途见表6.1.87。

表 6.1.87 特种电磁线品种、规格、特点和主要用途

产品名称	型号	规格	特 点		主要用途	
			耐温等级 $^{\circ}C$	优 点 局 限 性		
单丝包高频 绕组线 双丝包高频 绕组线	SQJ SEQJ	由多根漆包 线绞制成线芯	Y(90)	1. Q 值大 2. 系多根 漆包线组成, 柔软性好,可 降低趋肤效应 3. 如使用 聚氨酯漆包线 有直焊性	耐潮性差	要求 Q 值稳定和 介质损耗 角正切小 的仪表电 器线圈
玻璃丝包中 频绕组线	QZJBSB	宽 2.1 ~ 8.0mm 高 2.8 ~ 12.5mm <sup>①</sup>	B(130) H(180)	1. 系多根 漆包线组成, 柔软性好,可 降低趋肤效应 2. 嵌线工 艺简单		1000 ~ 8000Hz 的 中频变频 机绕组

续表

产品名称	型号	规格	特 点			主要用途
			耐温等级 ℃	优 点	局 限 性	
换位导线	QQLBH	a 边 1.56~ 3.82mm b 边 4.7~ 10.8mm	A(105)②	1. 简化绕制 线圈工艺 2. 无循环电 流, 线圈内涡 流损耗小 3. 比纸包线 的槽满率高	弯曲性 能差	大型变 压器线圈
潜水电机绕 组线	QQV	线芯截面 0.6~11.0mm <sup>2</sup>	Y(90)	聚乙烯绝缘 耐水性能较好	槽满率 低, 绕制 线圈时易 损伤绝缘 层	潜水电 机绕组
湿式潜水电 机绕组线	—	线芯截面 0.5~7.5mm <sup>2</sup>	Y(90)	1. 聚乙烯绝 缘耐水性良好 2. 尼龙护套 机械强度高	槽满率 低	潜水电 机绕组

注:①宽、高系指多根漆包线绞合、压缩成形后的尺寸。

②系指在油中或用浸渍漆处理后的耐温等级。

### 3.4.1 换位导线

换位导线是由多根漆包线组成的,其外形如图 6.1.15 所示。



图 6.1.15 换位导线外形图

### 3.4.2 潜水电机绕组线

潜水电机绕组线一般为铜线线芯,较大的线芯由多股导线绞制而成,线芯截面为 0.5~7.5mm<sup>2</sup>,其结构如图 6.1.16 所示。图 b 为两层聚乙烯绝缘,中间加阻止层,以防局部击穿,阻止层一般采用尼龙、硅油等绝缘材料。潜水电机绕组线能在交流电压 500V、温度 60℃、工作水压不超过 60N/mm<sup>2</sup> 条件下长期工作。

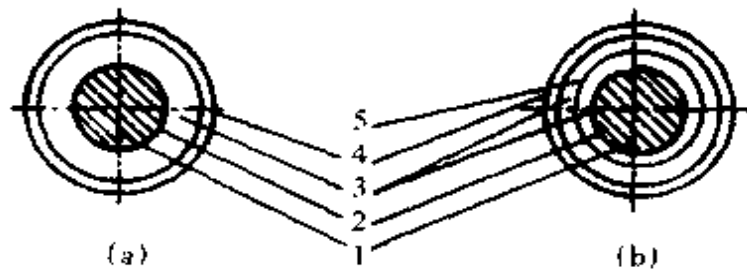


图 6.1.16 潜水电机绕组线结构示意图  
1—导体 2—导体封闭层 3—聚乙烯绝缘层  
4—尼龙层 5—阻止层

## 3.5 电磁线的应用

### 3.5.1 电磁线的选用

不同的电工产品由于其使用条件和制造工艺的不同,对电磁线有不同的要求。设计电工产品时,要有主次地分析其对电磁线的有关性能要求,对各种电磁线的优缺点进行比较,然后加以选用,以便既能保证产品质量、满足使用要求,又能降低成本。表 6.1.88 所列为目前生产的各种电磁线适应选用的情况举例,可供参考。

### 3.5.2 漆包线去漆法

漆包线在使用时,需要去掉线端头的部分漆皮,以便接线。漆包线去漆皮的方法一般有如下三种:

3.5.2.1 燃烧去漆法 将线端需要去掉漆皮的部分,在酒精灯的火焰上燃烧,使漆皮炭化,然后,迅速浸入乙醇中,取出后,用洁净的棉花或棉布擦净,漆皮即可去掉。

3.5.2.2 甲酸去漆法 将线端需要去掉漆皮的部分,插入常温的甲酸溶液中,经数分钟后取出,用蘸有乙醇的棉花将甲酸擦净,漆皮即可去掉。在甲酸中加入少量丙酮或苯能减少刺激性气味。

3.5.2.3 碱液去漆法 将线端需要去掉漆皮的部分,插入 50% 浓度的苛性钠溶液中,然后取出,用蒸馏水洗去碱液,漆皮即可去掉。碱液浓度越高,去掉漆皮的时间越短。

## 4 绝缘电线

绝缘电线广泛应用于各种电气装备,有通用绝缘电线和专用绝缘电线两大类。

### 4.1 通用绝缘电线

通用绝缘电线有:橡皮绝缘电线、塑料绝缘电线、橡皮绝缘软电线、塑料绝缘软电线、屏蔽电线等。

表 6.1.88 电工产品

种类	电磁线名称	耐温等级 T	交流发电机		
			大型	中小型	一般用途
漆包线	油性漆包线	A(105)			
	缩醛漆包线	E(120)			● <sup>②</sup>
	聚氨酯漆包线	E(120)			
	环氧漆包线	E(120)			
	聚酯漆包线	B(130)			●
	聚酯亚胺漆包线	F(155)			●
	聚酰胺酰亚胺漆包线	200		●	
	聚酰亚胺漆包线	220			
	自粘直焊漆包线	E(120)			
	自粘性漆包线	E(120), B(130)			
	耐制冷剂漆包线	A(105)			
	聚酯亚胺-聚酰胺酰亚胺漆包线	F(155)		●	
	绕包线	纸包线	A(105)		
玻璃丝包线		B(130), H(180)		●	●
玻璃丝包漆包线		E(120), F(155), H(180)	●	●	
丝包线		A(105)			
丝包漆包线		A(105)			
聚酰亚胺薄膜绕包线		220	●		
玻璃丝包聚酯薄膜绕包线		E(120)	●	●	
其他电磁线	氧化膜铝带(箔)	—			
	高频绕组线	Y(90)			
	换位导线	A(105)			

注:①包括互感器、调压器、电抗器等。

②表中注有“●”者,表示可供选用的电磁线。

选用电磁线举例

交流电动机							直流电动机	变压器 <sup>↓</sup>					仪表电 信设备 用线圈	电力系 统用线圈
通用大型	通用中小型	通用微型	起重、 辊道型	防爆型	耐制 冷剂型	电动 工具	轧钢、 牵引型	高温 干式	一 般 干 式	油 浸 大 型	油 浸 中 小 型	高 频		
												●	●	
	●	●				●			●		●	●	●	●
		●										●	●	
	●				●			●	●		●	●		●
	●	●					●	●	●			●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●	●					●
	●	●	●		●	●	●	●						
						●		●						
		●											●	
		●											●	
					●						●			●
	●	●	●	●	●	●	●	●						
										●	●			
●	●		●	●			●	●	●					●
●			●	●			●	●	●					●
													●	
													●	
●							●	●						
●	●		●	●										
								●	●					
													●	
										●				

## 4.1.1 橡皮、塑料绝缘电线

橡皮、塑料绝缘电线广泛应用于交流电压 500V、直流电压 1000V 及以下的各种电器、仪器仪表、电信设备、动力线路及照明线路,作固定敷设之用。固定敷设布电线的导电线芯采用铜线或铝线;电源软接线采用铜线。橡皮绝缘电线的绝缘主要采用天然丁苯橡皮和氯丁橡皮,塑料绝缘电线的绝缘主要采用普通聚氯乙烯和耐热聚氯乙烯。普通橡皮绝缘电线需采用棉纱、玻璃纤维或合成纤维浸渍沥青作为机械保护及防老化护套,氯丁橡皮绝缘电线和塑料绝缘电线一般不采用护套,只是在机械防护要求较高的场合才采用橡皮护套或塑料护套电线,如用作移动电源引接线或直埋于土壤或灰浆里等。

4.1.1.1 橡皮绝缘电线 常用的橡皮绝缘电线的品种、型号、长期允许工作温度及敷设场合见表 6.1.89,各类品种电线的结构尺寸分别见表 6.1.90、6.1.91、6.1.92 及 6.1.93。

表 6.1.89 橡皮绝缘电线产品品种

产 品 名 称	型 号	导线长期 允许工作 温度(°C)	敷 设 场 合 与 要 求
铝芯氯丁橡皮线 铜芯氯丁橡皮线	BLXF BXF	65	固定敷设有,尤其适用于 户外,可明敷、暗敷
铝芯橡皮线 铜芯橡皮线	BLX BX		固定敷设有,可明敷、暗 敷
铜芯橡皮软线	BXR		室内安装,要求较柔软时 用
铝芯橡皮绝缘和护套电线 铜芯橡皮绝缘和护套电线	BLXHF BXHF	65	敷设于较潮湿的场合,可 明敷、暗敷

表 6.1.90 BLXF、BXF 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)
0.75	1/0.97	1.0	3.4
1	1/1.13	1.0	3.5
1.5	1/1.37	1.0	3.7
2.5	1/1.76	1.0	4.1
4	1/2.24	1.0	4.6
6	1/2.73	1.2	5.6
10	7/1.33	1.2	7.0
16	7/1.70	1.4	8.7
25	7/2.12	1.4	10.1
35	7/2.50	1.6	11.8
50	19/1.83	1.6	13.6
70	19/2.12	1.8	15.7
95	19/2.50	1.8	17.7

表 6.1.91 BLX、BX 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)			
			1芯	2芯	3芯	4芯
0.75	1/0.97	1.0	4.4	-	-	-
1	1/1.13	1.0	4.5	8.7	9.2	10.1
1.5	1/1.37	1.0	4.8	9.2	9.7	10.7
2.5	1/1.76	1.0	5.2	10.0	10.7	11.7
4	1/2.24	1.0	5.8	11.1	11.8	13.0
6	1/2.73	1.0	6.3	12.2	13.0	14.3
10	7/1.33	1.2	8.1	15.8	16.9	18.7
16	7/1.70	1.2	9.4	18.3	19.5	21.7
25	7/2.12	1.4	11.2	21.9	23.5	26.1
35	7/2.50	1.4	12.4	24.4	26.2	29.1
50	19/1.83	1.6	14.7	28.9	31.0	34.6
70	19/2.12	1.6	16.4	32.3	34.7	38.7
95	19/2.50	1.8	19.5	38.5	41.4	46.1
120	37/2.00	1.8	20.2	39.9	42.9	47.8
150	37/2.24	2.0	22.3	-	-	-
185	37/2.50	2.2	24.7	-	-	-
240	61/2.24	2.4	27.9	-	-	-
300	61/2.50	2.6	30.8	-	-	-
400	61/2.85	2.8	34.5	-	-	-
500	91/2.62	3.0	38.2	-	-	-
630	127/2.50	3.2	42.5	-	-	-

表 6.1.92 BXR 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)
0.75	7/0.37	1.0	4.5
1	7/0.43	1.0	4.7
1.5	7/0.52	1.0	5.0
2.5	19/0.41	1.0	5.6
4	19/0.52	1.0	6.2
6	19/0.64	1.0	6.8
10	19/0.82	1.2	8.2
16	49/0.64	1.2	10.1
25	98/0.58	1.4	12.6
35	133/0.58	1.4	13.8
50	133/0.68	1.6	15.8
70	189/0.68	1.6	18.4
95	259/0.68	1.8	21.4
120	259/0.76	1.8	22.2
150	336/0.74	2.0	24.9
185	427/0.74	2.2	27.3
240	427/0.85	2.4	30.8
300	513/0.85	2.6	34.6
400	703/0.85	2.8	38.8

表 6.1.93 BLXHF、BXHF 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	计算外径 (mm)	最大外径 (mm)	计算质量(kg/km)	
						BXHF	BLXHF
0.75	1/0.97	0.5	0.8	3.6	4.0	23	-
1.0	1/1.13	0.5	0.8	3.7	4.2	26	-
1.5	1/1.37	0.5	0.8	4.0	4.4	32	-
2.5	1/1.76	0.5	0.8	4.4	4.8	43	28
4	1/2.24	0.5	0.8	4.8	5.3	60	36
6	1/2.73	0.5	0.95	5.6	6.1	85	49
10	7/1.33	0.5	0.95	6.9	7.4	136	74
16	7/1.68	0.5	1.15	8.3	9.0	213	109
25	7/2.11	0.5	1.15	9.6	10.3	306	149
35	7/2.49	0.5	1.20	10.9	11.5	402	192
50	19/1.81	0.5	1.40	12.9	13.6	577	264
70	19/2.14	0.5	1.40	14.5	15.3	780	342
95	19/2.49	0.5	1.60	16.7	17.5	1045	452
120	37/2.01	0.5	1.70	18.5	19.5	1286	540
150	37/2.24	0.5	1.80	20.3	21.3	1596	650
185	37/2.49	0.5	1.90	22.2	23.3	1932	787

4.1.1.2 塑料绝缘电线 作为动力和照明线路用线,塑料绝缘电线已逐步取代橡皮绝缘电线。常用的塑料绝缘电线的品种、型号、长期允许工作温度及敷设场合与要求见表 6.1.94,各类塑料绝缘电线的结构尺寸分别见表 6.1.95、6.1.96、6.1.97、6.1.98、6.1.99、6.1.100、6.1.101、6.1.102 及 6.1.103。



表 6.1.94 塑料绝缘电线产品品种

产 品 名 称	型 号	导线长期 允许工作 温度(℃)	敷设场合与要求
铝芯聚氯乙烯绝缘电线 铜芯聚氯乙烯绝缘电线	BLV BV	65	固定敷设于室内外及 电气装备内部,可明敷、 暗敷,最低敷设温度不低 于-15℃
铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线 铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线	BLV-105 BV-105	105	固定敷设于高温环境 的场所,可明敷、暗敷,最 低敷设温度不低 于-15℃
铜芯聚氯乙烯软线	BVR	65	固定敷设,用于安装时 要求柔软的场所,最低敷 设温度不低 于-15℃
铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线	BLVV BVV		固定敷设于潮湿的室 内和机械防护要求高的 场合。可明敷、暗敷和直 埋地下,最低敷设温度不 低于-15℃
农用铝芯聚氯乙烯绝缘电线 农用铝芯聚氯乙烯绝缘和护套电线 农用铝芯聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电 线	NLV NLVV NLYV	65	直埋地下,埋设深度 1m 及以下,最低敷设温 度不低 于-15℃
铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘软线	BVR-105	105	同 BV-105,用于安装 时要求柔软的场所
纤维和聚氯乙烯绝缘电线 纤维和聚氯乙烯绝缘软线	BSV BSVR	65	电器、仪表等作固定敷 设的线路接线用 用于交流 250V 或直流 500V 的场合
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘电气装置 用电线 丁腈聚氯乙烯复合物绝缘电气装置 用软线	BVF BVFR	65	交流 500V 或直流 1000V 及以下的电器、仪 表等装置作连接线用
聚乙烯绝缘电线	BY	80	供固定或移动式无线 电设备等的接线用,绝缘 电阻较高,可用于高频的 场合,最低使用环境温度 -60℃

表 6.1.95 BLV、BV、BLV-105、BV-105 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)	
			单 芯	二芯平型
0.03	1/0.20	0.25	0.8	0.8×1.6
0.06	1/0.30	0.3	1.0	1.0×2.0
0.12	1/0.40	0.3	1.1	1.1×2.2
0.2	1/0.50	0.4	1.4	1.4×2.8
0.3	1/0.60	0.4	1.5	1.5×3.0
0.4	1/0.70	0.4	1.7	1.7×3.4
0.5	1/0.80	0.5	2.0	2.0×4.0
0.75	1/0.97	0.6	2.4	2.4×6.8
1	1/1.13	0.6	2.6	2.6×3.2
1.5	1/1.37	0.8	3.3	3.3×6.6
2.5	1/1.76	0.8	3.7	3.7×7.4
4	1/2.24	0.8	4.2	4.2×8.4
6	1/2.73	0.8	4.8	4.8×9.6
10	7/1.33	1.0	6.6	6.6×13.2
16	7/1.70	1.0	7.8	-
25	7/2.12	1.2	9.6	-
35	7/2.50	1.2	10.9	-
50	19/1.83	1.4	13.2	-
70	19/2.14	1.4	14.9	-
95	19/2.50	1.6	17.3	-
120	37/2.00	1.6	18.1	-
150	37/2.24	1.8	20.0	-
185	37/2.50	1.8	22.2	-

表 6.1.96 BV、BV-105 型绞型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度(mm)	电线最大外径(mm)	
			2 芯	3 芯
0.03	1/0.20	0.25	1.6	1.7
0.06	1/0.30	0.3	2.0	2.1
0.12	1/0.40	0.3	2.2	2.4
0.2	1/0.50	0.4	2.8	3.1
0.3	1/0.60	0.4	3.0	3.3
0.4	1/0.70	0.4	3.4	3.6
0.5	1/0.80	0.5	4.0	4.3
0.75	1/0.97	0.6	4.8	5.1

表 6.1.97 BV 型彩色线的色谱表

单 芯						双 芯	三 芯	
BV-1 单色	BV-2 双色		BV-3 三色					
红	蓝-白	灰-白	紫-白	蓝-白-黑	灰-白-黑	棕-灰-红	单色+单色	单色+单色+单色
黄	蓝-黄	红-白	紫-红	蓝-黄-黑	蓝-黄-红	灰-白-红	单色+双色	单色+单色+双色
蓝	蓝-绿	红-蓝	紫-灰	蓝-绿-黑	蓝-绿-红		双色+双色	单色+单色+三色
白	蓝-棕	红-黄	紫-绿	蓝-棕-黑	蓝-棕-红			单色+双色+双色
黑	蓝-灰	红-绿		蓝-灰-黑	蓝-灰-红			单色+双色+三色
绿	黄-白	红-棕		黄-白-黑	蓝-白-红			
棕	黄-绿	红-灰		黄-绿-黑	黄-白-红			
灰	黄-棕	黑-白		黄-棕-黑	黄-绿-红			
紫	黄-灰	黑-红		黄-灰-黑	黄-棕-红			
橙	绿-白	黑-蓝		绿-白-黑	黄-灰-红			
	绿-棕	黑-黄		绿-棕-黑	绿-白-红			
	绿-灰	黑-绿		绿-灰-黑	绿-棕-红			
	棕-白	黑-棕		棕-白-黑	绿-灰-红			
	棕-灰	黑-灰		棕-灰-黑	棕-白-红			

注：双芯、三芯及三芯以上的色谱，根据需要可以双方协议。色条成螺旋状，1m 长度内应不少于 150 个同色环。

表 6.1.98 BVR、BVR-105 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径, mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)
0.75	7/0.37	0.6	2.5
1	7/0.43	0.6	2.7
1.5	7/0.52	0.8	3.5
2.5	19/0.41	0.8	4.0
4	19/0.52	0.8	4.6
6	19/0.64	0.8	5.3
10	49/0.52	1.0	7.4
16	49/0.64	1.0	8.5
25	98/0.58	1.2	11.1
35	133/0.58	1.2	12.2
50	133/0.68	1.4	14.3

注：BVR-105 型电线生产范围 0.75~10mm<sup>2</sup>。

表 6.1.99 BLVV、BVV 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度		电线最大外径(mm)		
			1,2 芯	3 芯	1 芯	2 芯	3 芯
0.75	1/0.97	0.6	0.7	0.8	3.9	3.9×5.7	4.2×8.9
1	1/1.13	0.6	0.7	0.8	4.1	4.1×6.7	4.3×9.5
1.5	1/1.37	0.6	0.7	0.8	4.4	4.4×7.2	4.6×10.2
2.5	1/1.76	0.6	0.7	0.8	4.8	4.8×8.1	5.0×11.5
4	1/2.24	0.6	0.7	0.8	5.3	5.3×9.1	5.5×13.1
6	1/2.73	0.8	0.8	1.0	6.5	6.5×11.3	7.0×16.5
10	7/1.33	0.8	1.0	1.2	8.4	8.4×14.5	8.8×21.1

表 6.1.100 农用铝芯塑料绝缘电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度(mm)		护套厚度 (mm)
		NLV	NLVV NLYV	
2.5	1/1.76	1.0	0.6	0.7
4	1/2.24	1.0	0.6	0.7
6	1/2.73	1.0	0.8	0.8
10	7/1.33	1.2	0.8	1.0
16	7/1.70	1.2	1.0	1.0
25	7/2.12	1.4	1.2	1.0
35	7/2.50	1.4	1.2	1.2
50	19/1.33	1.6	1.4	1.2

表 6.1.101 BSV、BSVR 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/直径,mm)		绝缘厚度 (mm)	最大外径		计算质量(kg/km)	
	BSV	BSVR		BSV	BSVR	BSV	BSVR
0.07	1/0.30	-	0.3	1.1	-	1.6	-
0.12	1/0.39	7/0.15	0.3	1.25	1.3	2.4	2.5
0.14	1/0.43	18/0.10	0.3	1.3	1.35	2.9	3.0
0.20	1/0.52	12/0.15	0.4	1.6	1.6	4.0	4.0
0.35	1/0.68	20/0.15	0.4	1.9	1.9	6.0	6.2
0.50	1/0.79	16/0.20	0.5	2.0	2.2	7.5	8.0
0.75	1/0.97	19/0.23	0.5	2.3	2.5	11.0	11.5
1.50	1/1.37	19/0.32	0.5	2.7	3.0	19.0	20.0

表 6.1.102 BVF、BVFR 型电线结构尺寸

型号	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
BVF	0.75	1/0.97	1.0	3.5	13
	1.0	1/1.13	1.0	3.7	16
	1.5	1/1.37	1.0	3.9	21
	2.5	1/1.76	1.0	4.4	33
	4	1/2.24	1.0	4.9	49
	6	1/2.73	1.0	5.4	68
BVFR	0.75	7/0.37	1.0	3.6	14
	1.0	7/0.43	1.0	3.9	17
	1.5	7/0.52	1.0	4.1	22
	1.5	19/0.41	1.0	4.8	37
	4	19/0.52	1.0	5.3	53
	6	19/0.64	1.0	5.9	72
	10	19/0.82	1.2	7.4	120
	16	49/0.64	1.2	9.2	187
	25	98/0.58	1.4	11.8	304
	35	133/0.58	1.4	12.9	399
	50	133/0.68	1.6	15.0	508
	70	189/0.68	1.6	17.6	748

表 6.1.103 BY 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
0.06	7/0.10	0.20	0.8	2.5
0.12	7/0.15	0.20	0.9	5.9
0.18	16/0.12	0.20	1.1	7.4
0.20	7/0.20	0.20	1.1	7.5
0.30	16/0.15	0.30	1.2	9.6
0.40(1)	19/0.16	0.30	1.3	12.2
0.40(2)	7/0.27	0.30	1.5	16.3
0.50	7/0.30	0.30	1.6	17.4
1.0	19/0.27	0.4	2.3	37.1
1.3	19/0.30	0.4	2.4	38.6
1.5	49/0.20	0.4	2.7	52.2
2.5	19/0.41	0.5	3.2	68.9

#### 4.1.2 橡皮、塑料绝缘软电线

橡皮、塑料绝缘软电线适用于各种使用交、直流电的移动式电器、电工仪表、电信设备及自动化装置等。它的特点是柔软,可经受多次弯曲,外径小而重量轻,作为日用电器的电源线及照明灯头线,得到广泛应用。导电线芯多采用铜导线,绝缘层用橡皮、塑料及复合物等作为绝缘材料,护套有聚氯乙烯和橡皮两种。聚氯乙烯绝缘和护套软线可在野外一般环境条件下作轻型的移动式电源线或信号控制线

使用,在较恶劣的环境条件下,应选用橡胶套软电缆或野外控制电缆。塑料绝缘软电线已逐步替代橡皮绝缘软电线。

4.1.2.1 橡皮绝缘软电线 常用的橡皮绝缘软电线的品种、型号及导线长期允许工作温度见表 6.1.104,该类各品种的结构尺寸见表 6.1.105 及 6.1.106。

表 6.1.104 橡皮绝缘软电线品种表

产品名称	型号	导线长期允许工作温度(℃)
棉纱编织橡皮绝缘平型软线	RXB	65
棉纱编织橡皮绝缘绞型软线	RXS	
棉纱总编织橡皮绝缘软线	RX	

表 6.1.105 RXB 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)
2×0.4	23/0.15	0.8	2.40×4.80
2×0.5	28/0.15	0.8	2.56×5.10
2×0.6	34/0.15	0.8	2.65×5.30
2×0.7	40/0.15	0.8	2.80×5.60
2×0.8	45/0.15	0.8	2.90×5.80
2×1.0	32/0.20	0.8	2.95×5.90
2×1.5	48/0.20	0.8	3.23×6.46

表 6.1.106 RXS、RX 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	最大外径(mm)			计算质量(kg/km)		
		RXS	RX		RXS	RX	
			2 芯	3 芯		2 芯	3 芯
0.2	12/0.15	5.8	5.1	5.4	16	19	25
0.28	16/0.15	5.9	5.3	5.7	18	21	28
0.4	23/0.15	6.3	5.7	6.0	22	26	34
0.5	28/0.15	6.4	5.8	6.1	24	28	37
0.6	34/0.15	6.6	6.0	6.4	27	31	42
0.7	40/0.15	7.7	7.0	7.5	36	42	56
0.75	42/0.15	7.8	7.2	7.5	39	45	61
1.0	32/0.20	7.9	7.3	7.7	44	51	69
1.2	38/0.20	8.5	7.7	8.3	49	57	78
1.5	48/0.20	8.7	8.1	8.5	57	65	89
2.0	64/0.20	9.5	8.8	9.4	70	80	110

4.1.2.2 塑料绝缘软电线 常用的塑料绝缘软电线的品种、型号及导线长期允许工作温度见表 6.1.107,该类各品种的结构尺寸见表 6.1.108、6.1.109、6.1.110(见第 1640 页)及 6.1.111。

表 6.1.107 塑料绝缘软电线品种表

产品名称	型号	导线长期允许工作温度(℃)	备注
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘平型软线 丁腈聚氯乙烯复合物绝缘绞型软线	RFB RFS	70	
聚氯乙烯绝缘软线 聚氯乙烯绝缘平型软线 聚氯乙烯绝缘绞型软线 聚氯乙烯绝缘护套软线	RV RVB RVS RVV	65	安装温度不应低于-15℃
耐热聚氯乙烯绝缘软线	RV-105	105	

表 6.1.108 RFB、RFS 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)	
			RFS	RFB
0.12	7/0.15	0.5	3.2	1.6×3.2
0.2	12/0.15	0.6	4.0	2.0×4.0
0.3	16/0.15	0.6	4.2	2.1×4.2
0.4	23/0.15	0.6	4.6	2.3×4.6
0.5	28/0.15	0.6	4.8	2.4×4.8
0.75	42/0.15	0.7	5.8	2.9×5.8
1	32/0.20	0.7	6.2	3.1×6.2
1.5	48/0.20	0.7	6.8	3.4×6.8
2	64/0.20	0.8	8.2	4.1×8.2
2.5	77/0.20	0.8	9.0	4.5×9.0

表 6.1.109 RV、RV-105 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径 (mm)
0.012	7/0.05	0.25	0.7	0.75	42/0.15	0.6	2.7
0.03	7/0.07	0.3	0.9	1	32/0.20	0.6	2.9
0.06	7/0.10	0.4	1.2	1.5	48/0.20	0.6	3.2
0.12	7/0.15	0.4	1.4	2	64/0.20	0.8	4.1
0.2	12/0.15	0.4	1.6	2.5	77/0.20	0.8	4.5
0.3	16/0.15	0.5	1.9	4	77/0.26	0.8	5.3
0.4	23/0.15	0.5	2.1	6	77/0.32	1.0	6.7
0.5	28/0.15	0.5	2.2				

表 6.1.111 RVV 型

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	二芯椭圆
			3.1×4.5
0.12	7/0.15	0.4	3.1×4.5
0.2	12/0.15	0.4	3.3×4.9
0.3	16/0.15	0.5	3.6×5.5
0.4	23/0.15	0.5	3.8×5.9
0.5	28/0.15	0.5	4.0×6.2
0.75	42/0.15	0.6	4.5×7.2
1	32/0.20	0.6	4.6×7.5
1.5	48/0.20	0.6	5.0×8.2
2	64/0.20	0.8	6.2×10.3
2.5	77/0.20	0.8	6.7×11.2
4	77/0.26	0.8	7.5×12.9
6	77/0.32	1.0	9.4×16.1
护 套 厚 度		护套前直径(mm)	
		6.0 及以下	
		6.01~10.0 10.0 以上	

表 6.1.112 绝缘屏

产 品 名 称	型 号
聚氯乙烯绝缘屏蔽电线聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽电线	BVP
	BVVP
聚氯乙烯绝缘屏蔽软线聚氯乙烯绝缘和护套屏蔽软线	RVP
	RVVP
耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	BVP-105
耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽软线	RVP-105
纤维和聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	BSVRP

注:也可生产绝缘线芯各自屏蔽的电线。



## 电线的结构尺寸

## 电线最大外径

二芯圆形	3芯	4芯	5芯	6,7芯	10芯	12芯	14芯	16芯	19芯	24芯
4.5	4.7	5.1	5.0	5.5	6.8	7.0	7.4	7.8	8.6	10.2
4.9	5.1	5.5	5.5	6.0	7.6	7.8	8.7	9.1	9.6	11.4
5.5	5.8	6.3	6.4	7.0	9.3	9.6	10.1	10.6	11.2	13.8
5.9	6.3	6.8	7.0	7.6	10.1	10.4	11.0	11.6	12.2	15.1
6.2	6.5	7.1	7.3	7.9	10.6	10.9	11.5	12.1	12.8	15.7
7.2	7.6	8.3	9.1	9.9	12.6	13.4	14.2	14.9	15.7	18.9
7.5	7.9	9.1	9.5	10.4	13.7	14.1	14.9	15.7	16.6	19.9
8.2	9.1	9.9	10.4	11.4	15.0	15.5	16.3	17.3	18.2	21.9
10.3	11.0	12.0	12.7	14.4	-	-	-	-	-	-
11.2	11.9	13.1	14.3	15.7	-	-	-	-	-	-
12.9	14.1	15.5	-	-	-	-	-	-	-	-
16.1	17.1	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-
2~4芯护套厚度(mm)			5~24芯护套厚度(mm)							
0.8			0.6							
1.0			0.8							
1.2			1.0							

## 蔽线产品品种

导线长期允许工作温度(°C)	敷设场合及要求
65	固定敷设,安装时温度不低于-15°C。护套电线用于防潮及要求严格的场合
	移动使用和安装时要求柔软的场所,其余同上
105	固定敷设,同BVP
	移动使用,同RVP
65	移动使用,同PVP

表 6.1.110 RVB、RVS 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)	
			RVS	RVB
0.12	7/0.15	0.5	3.2	1.6×3.2
0.2	12/0.15	0.6	4.0	2.0×4.0
0.3	16/0.15	0.6	4.2	2.1×4.2
0.4	23/0.15	0.6	4.6	2.3×4.6
0.5	28/0.15	0.6	4.8	2.4×4.8
0.75	42/0.15	0.7	5.8	2.9×5.8
1	32/0.20	0.7	6.2	3.1×6.2
1.5	48/0.20	0.7	6.8	3.4×6.8
2	64/0.20	0.8	8.2	4.1×8.2
2.5	77/0.20	0.8	9.0	4.5×9.0

#### 4.1.3 屏蔽电线

屏蔽电线是在绝缘电线或绝缘软电线的绝缘外面包绕了一层金属箔或编织了一层金属丝,以减少外界电磁波对绝缘电线内电流的干扰;同时,也可减少绝缘电线内电流产生的电磁场对外界的影响。屏蔽电线广泛应用于要求防止相互干扰的各种电器、仪表、电信设备、电子仪器及自动化装置等线路中。导电线芯多采用铜导体,有的铜线采取镀锡,屏蔽层多采用镀锡铜丝编织或绕包,有的用细圆铜线或扁铜线单层绞制,也有用铝箔和聚酯薄膜复合带纵包,兼有绝缘和屏蔽双重作用;多芯电线也可采取各芯单独屏蔽的结构。

屏蔽电线的产品品种见表 6.1.112(见第 1638 页~1639 页);该类各品种的结构尺寸见表 6.1.113、6.1.114、6.1.115、6.1.116 及 6.1.117;屏蔽电线屏蔽结构见表 6.1.118。

表 6.1.113 BVP、BVP-105 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)		
			1 芯	2 芯圆	2 芯椭圆
0.03	1/0.20	0.25	1.3	2.1	1.3×2.1
0.06	1/0.30	0.3	1.5	2.5	1.5×2.5
0.12	1/0.40	0.3	1.7	2.8	1.7×2.8
0.2	1/0.50	0.4	2.0	3.4	2.0×3.4
0.3	1/0.60	0.4	2.1	3.6	2.1×3.6
0.4	1/0.70	0.4	2.2	4.1	2.2×4.1
0.5	1/0.80	0.5	2.5	4.8	2.5×4.8
0.75	1/0.97	0.6	3.2	5.6	3.2×5.6

表 6.1.114 RVP、RVP-105 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)		
			1 芯	2 芯圆	2 芯椭圆
0.03	7/0.07	0.3	1.4	2.3	1.4×2.3
0.06	7/0.10	0.4	1.8	3.0	1.8×3.0
0.12	7/0.15	0.4	1.9	3.3	1.9×3.3
0.2	12/0.15	0.4	2.1	3.7	2.1×3.7
0.3	16/0.15	0.5	2.4	4.6	2.4×4.6
0.4	23/0.15	0.5	2.9	5.0	2.9×5.0
0.5	28/0.15	0.5	3.0	5.2	3.0×5.2
0.75	42/0.15	0.6	3.5	6.2	3.5×6.2
1	32/0.20	0.6	3.7	6.6	3.7×6.6
1.5	48/0.20	0.6	4.0	7.2	4.0×7.2

表 6.1.115 BVVP 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度(mm)		电线最大外径(mm)		
			1、2 芯椭圆	2 芯圆	1 芯	2 芯圆	2 芯椭圆
0.03	1/0.20	0.25	0.3	0.4	2.0	3.0	2.0×3.0
0.06	1/0.30	0.3	0.3	0.4	2.2	3.4	2.4×3.4
0.12	1/0.40	0.3	0.3	0.4	2.3	3.6	2.5×3.6
0.2	1/0.50	0.4	0.5	0.6	3.1	4.7	3.3×4.7
0.3	1/0.60	0.4	0.5	0.6	3.2	5.0	3.4×5.0
0.4	1/0.70	0.4	0.5	0.6	3.3	5.5	3.8×5.5
0.5	1/0.80	0.5	0.5	0.6	3.6	6.1	4.1×6.1
0.75	1/0.97	0.6	0.5	0.6	4.3	6.9	4.5×6.9

表 6.1.116 RVVP 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径, mm)	绝缘厚度 (mm)	电 线 最 大 外 径 (mm)												
			2 芯		3 芯	4 芯	5 芯	6, 7 芯	10 芯	12 芯	14 芯	16 芯	19 芯	24 芯	
			圆	椭圆											
0.03	7/0.07	0.3	2.3	3.2	2.3×3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	5.7	5.9	6.1	6.3	6.6	7.6
0.06	7/0.10	0.4	2.6	3.9	2.6×3.9	4.0	4.8	5.1	5.8	7.0	7.2	7.5	7.8	8.6	10.3
0.12	7/0.15	0.4	2.8	4.2	2.8×4.2	4.8	5.5	5.9	6.3	7.7	7.9	8.7	9.1	9.7	11.3
0.2	12/0.15	0.4	3.0	5.0	3.4×5.0	5.5	5.9	6.4	6.8	8.8	9.1	9.8	10.2	10.7	12.5
0.3	16/0.15	0.5	3.3	5.9	4.0×5.9	6.2	6.7	7.2	7.8	10.4	10.7	11.2	11.7	12.3	14.9
0.4	23/0.15	0.5	3.8	6.3	4.2×6.3	6.6	7.2	7.8	8.9	11.2	11.5	12.1	12.7	13.8	16.2
0.5	28/0.15	0.5	3.9	6.6	4.4×6.6	6.9	7.5	8.5	9.2	11.7	12.0	12.6	13.6	14.3	16.8
0.75	42/0.15	0.6	4.9	7.6	4.9×7.6	8.4	9.1	10.2	11.0	14.1	-	-	-	-	-
1	32/0.20	0.6	5.0	7.9	5.0×7.9	8.8	9.8	10.6	11.5	14.8	-	-	-	-	-
1.5	48/0.20	0.6	5.4	9.0	5.8×9.0	9.8	10.6	-	-	-	-	-	-	-	-
护套前外径(mm)			3.0及以下			3.01~6.00			6.01~10.00			10.01及以上			
护套厚度(mm)			0.4			0.6			0.8			1.0			

表 6.1.117 BSVRP 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	电线最大外径(mm)		
			1芯	2芯	3芯
0.14	18/0.10	0.3	2.0	-	-
0.20	12/0.15	0.4	2.3	-	-
0.35	20/0.15	0.4	2.5	4.6	4.9
0.50	16/0.20	0.5	2.8	5.2	5.4
0.75	19/0.23	0.5	3.3	5.8	6.3

表 6.1.118 屏蔽电线屏蔽层结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	镀锡铜丝的规格		编织覆盖率, 不小于(%)
	屏蔽前外径(mm)	铜丝直径 不大于(mm)	
0.12 及以下	3.0 及以下	0.10	一芯及二芯 50 (其余同下)
0.2~1.5	3.01~6.00	0.15	80
	6.01 及以上	0.20	

#### 4.1.4 通用绝缘电线的应用

通用绝缘电线应用范围广泛,不同使用场合对绝缘电线和软电线的要求见表 6.1.119;通用绝缘电线和软电线的选用实例见表 6.1.120(第 1646 页~1647 页)。

表 6.1.119 不同使用场合对绝缘电线和软线的要求

使用场合		使用要求
固定安装敷 设	室内	电性能优良、稳定、使用寿命长,有一定的机械和热老化性能,能够穿管或穿墙敷设
	室外	除符合室内要求外,应能承受日光、雨淋、风吹(张力与摆动)和冰冻等环境条件,有较好的耐大气老化性能 进户线的机械强度应比一般室外架空用线略高
	土壤中直埋	在长期浸水(地下水)的情况下,绝缘电阻稳定,并能经受轻度酸、碱及土壤中其他腐蚀物质的侵蚀,在有虫、鼠害的场合,应采用特殊的绝缘护套配方材料 直埋一般不允许承受机械外力
移动式使用		应有优良的柔软性,能经受多次弯曲,使用中不易打结,有一定的机械强度。一般不允许承受机械外力和拉力。常用于室内,可短期用于室外

续表

使用场合		使用要求
特殊环境	高温	环境温度在 45℃ 及以上, 绝缘、护套材料应有良好的热老化性能
	高湿	绝缘、护套材料应有较小的透潮和吸湿性, 绝缘电阻稳定
	严寒	在低温(一般高于 -30℃)条件下安装时和长期运行中, 要求电线用材料不开裂, 移动使用的电线应保持柔软性与可弯曲性
	接触油类	绝缘、护套材料应有较好的耐油性
	易燃	绝缘、护套材料应具有耐燃性或不延燃性
	易受外力破坏、易爆	对易受外力破坏的部位和易爆场合的电线宜采用塑料管、蛇皮管、铁管等作机械保护

## 4.2 专用绝缘电线

专用绝缘电线有: 汽车、拖拉机用绝缘电线, 电机、电器引接线, 航空用电线, 热电偶连接线等。

### 4.2.1 汽车、拖拉机用绝缘电线

汽车、拖拉机用绝缘电线按其具体用途分为低压电线和高压点火线两大类。

**4.2.1.1 汽车、拖拉机用低压电线** 它的导电线芯采用铜绞线, 绝缘层主要采用聚氯乙烯或丁腈聚氯乙烯复合物, 线芯绝缘分色, 一般没有护层, 在要求较高的场合采用薄层尼龙护套, 可提高工作温度 10℃ 左右, 并延长使用寿命。低压电线用于汽车、拖拉机中的发动机、照明、仪表等作连接线及内部布线, 也可用于其他内燃车的动力、照明及控制线路, 机床控制线路, 工作温度为 -40℃ ~ +65℃, 其品种有汽车用聚氯乙烯绝缘低压电线(QVR)及汽车用丁腈聚氯乙烯复合物绝缘低压电线(QFR)。结构尺寸见表 6.1.121。

表 6.1.121 QVR、QFR 型低压电线结构

导线截面 (mm)	导线结构(根数/ 直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
0.5	7/0.30	0.6	2.2	8.5
0.6	19/0.20	0.6	2.3	9.7
0.8	19/0.23	0.6	2.5	11.7
1.0	19/0.26	0.6	2.6	14.7
1.5	19/0.32	0.6	2.9	19.7
2.5	19/0.41	0.8	3.8	31.4
4	19/0.52	0.8	4.4	48.5
6	19/0.64	0.9	5.2	71.7
8	19/0.74	0.9	5.7	92.6
10	49/0.52	1.0	6.9	116.7
16	49/0.64	1.0	8.0	177.5
25	98/0.58	1.2	10.3	286.0
35	133/0.58	1.2	11.3	375.0
50	133/0.68	1.4	13.3	517.0

4.2.1.2 汽车、拖拉机用高压点火线 汽车、拖拉机用高压点火线一般采用铜绞线作导电线芯,采用橡皮和塑料作绝缘和护套材料。橡皮绝缘的线芯铜导线表面镀锡,高压阻尼线芯采用半导体塑料或纤维石墨线芯,绝缘及护层材料具有耐热、耐寒、耐油、耐潮和不延燃性能。高压点火线用于汽车、拖拉机等发动机的点火装置连接线之用,工作时的脉冲电压达 15kV,具有较好的耐表面放电性能。高压点火线的产品品种及结构尺寸见表 6.1.122。

表 6.1.222 汽车用高压点火线品种及结构

产品名称	型号	线芯材料	导线结构(根数/ 直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
铜芯聚氯乙烯绝缘高压点火线	QGV	铜芯	7/0.39	3	-	7.0±0.3	60
铜芯橡皮绝缘聚氯乙烯护套高压点火线	QGXV			1.8	0.7		
铜芯橡皮绝缘氟丁橡皮护套高压点火线	QGX			3	-		
铜芯聚氯乙烯绝缘耐油橡套高压点火线	QGVY	铜芯	7/0.39	1.8	0.7	7.0±0.3	60
铜芯橡皮绝缘耐油橡套高压点火线	QGXY						
铜芯氯磺化聚乙烯绝缘高压点火线	DG	铜芯	19/0.26	2.85	-	6.9±0.3	
铜芯氯磺化聚乙烯绝缘屏蔽高压点火线	DGP				-	7.7±0.5	
全塑料高压阻尼点火线	QG	半导体塑料	单根空芯,内径0.5 外径2.3	2.35	-	7.0±0.3	54
纤维石墨线芯橡皮绝缘高压阻尼点火线	QGZ	纤维石墨绳				7.0±0.3	

表 6.1.120 通用绝缘

使用场合		塑料绝缘电线和					
		BLV BV	BVR	BLVV BVV	BLV-105 BV-105	BVR-105	NLV NLVV NLYV
建筑物内	厂房内动力、照明	√		△			
	配电干线	√	△				
	日用电器、住宅室内照明						
室外架空、沿墙动力、照明		√		△			
进户线				√			△
农用低压动力线				△			√
设备、电器、仪表内部安装线	大型	√	√				
	中型		√				
	小型						
设备、电器、仪表电源线	固定敷设	√	√	△			
	移动使用						
特殊环境	高温				√	√	
	高湿 (浴室、冷藏室)			√			
	严寒						
	接触油类	△	△	△	△	△	△
	易燃	√	√	√	√	√	√

注:1.√——优先选用,△——可以选用。

2.导电线芯有铝芯与铜芯的产品,一般优先用铝芯。

3.一般品种,可固定敷设于-30℃及以上的环境中使用,RFB、RFS可短期在-30℃



电线和软线的选用实例

软线				橡皮绝缘电线和软线				
RV RVB RVS	RFB RFS	RV-105	RVV	BLX BX	BLXF BXF	BXR	BLXHF BXHF	RX RXS RXB
				✓			△	
				✓		△		
✓	✓		△				△	✓
				✓	✓		△	
			△				✓	
				✓		△		
△	△							
✓	✓							
			△	✓			△	△
✓	✓		✓					✓
		✓						
			✓				✓	
	△							
△	△	△	△					
✓	✓	✓	✓		✓		✓	

— -40℃下使用,在更低温度下不宜用通用产品。

## 4.2.2 电机、电器引接线

电机、电器引接线的导电线芯一般采用铜绞线,小截面的采用柔软型结构;特大截面的采用特软型结构,用于微电机和小型电器中;特大截面的柔软结构,其导线一般镀锡。引接线的绝缘层按耐热等级配套要求选择绝缘材料:B级(耐热130℃)及以下的引接线采用通用天然-丁苯橡胶或丁腈聚氯乙烯绝缘;F级(耐热155℃)的引接线采用乙丙橡胶或氯磺化聚乙烯绝缘;H级(耐热180℃)的引接线采用硅橡胶或氟橡胶绝缘,微电机的引接线可采用氟-46绝缘电线;高压电机引出线采用半导体层。引接线一般场合不采用护套,天然-丁苯橡胶绝缘的引接线采用丁腈橡胶护套,以改善其浸漆耐油性能;6kV级的引接线采用氯丁橡胶护套,以提高其耐电晕和防开裂性能;硅橡胶绝缘的引接线采用玻璃丝编织护套,以提高其机械性能。引接线广泛应用于电机、电器设备中作为配套使用的产品。引接线的产品品种见表6.1.123,各品种的结构尺寸见表6.1.124、6.1.125、6.1.126、6.1.127及6.1.128。

表 6.1.123 电机引接线产品品种

产品名称	型号	配套电机 电器耐温 等级	用途
橡皮绝缘丁腈护套引接线	JBQ	B级	交流电压 1140 伏及以下 电机、电器引接线
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘引接线	JBF	B级	交流 500 伏及以下电机、 电器引接线
6 千伏橡皮绝缘氯丁护套引接线	JBHF	B级	交流电压 6 千伏级电机、 电器引接线
氯磺化聚乙烯绝缘引接线	JBYS	B级	交流电压 6 千伏及以下 电机、电器引接线
硅橡胶绝缘引接线	JHS	H级	交流电压 500 伏及以下 电机、电器引接线

表 6.1.124 JBQ 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/ 直径,mm)	绝缘厚度(mm)		护套 厚度 (mm)	最大外径 (mm)	
		500V	1140V		500V	1140V
0.2	12/0.15	0.6	-	0.8	3.9	-
0.3	16/0.15	0.6	-	0.8	4.0	-
0.4	23/0.15	0.6	-	0.8	4.1	-
0.5	28/0.15	0.6	1.0	0.8	4.3	5.1
0.75	42/0.15	0.6	1.0	0.8	4.5	5.4
1	32/0.20	0.6	1.0	0.8	4.7	5.5
1.5	48/0.20	0.6	1.0	0.8	5.0	5.9
2.5	19/0.41	0.8	1.2	1.0	6.2	7.1

续表

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/ 直径,mm)	绝缘厚度(mm)		护套 厚度 (mm)	最大外径 (mm)	
		500V	1140V		500V	1140V
4	19/0.52	0.8	1.2	1.0	6.8	7.7
6	19/0.64	0.8	1.2	1.0	7.5	8.4
10	49/0.52	1.0	1.4	1.2	10.0	10.9
16	49/0.64	1.0	1.4	1.2	11.2	12.0
25	98/0.58	1.0	1.4	1.4	13.7	14.6
35	133/0.58	1.0	1.4	1.4	14.9	15.7
50	133/0.68	1.2	1.6	1.6	17.1	17.9
70	189/0.68	1.2	1.6	1.6	19.6	20.5
95	259/0.68	1.4	1.8	1.6	21.9	22.8
120	259/0.76	1.6	1.8	1.8	24.6	25.0

表 6.1.125 JBF 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根 数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根 数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)
0.03	7/0.07	0.4	1.1	1.5	48/0.20	0.7	3.4
0.06	7/0.10	0.4	1.2	2.5	19/0.41	1.0	4.5
0.12	7/0.15	0.4	1.4	4	19/0.52	1.0	5.1
0.2	12/0.15	0.4	1.6	6	19/0.64	1.0	5.7
0.3	16/0.15	0.5	1.9	10	49/0.52	1.2	7.8
0.4	23/0.15	0.5	2.1	16	49/0.64	1.2	9.0
0.5	28/0.15	0.5	2.2	25	98/0.58	1.4	11.5
0.75	42/0.15	0.7	2.9	35	133/0.58	1.4	12.7
1	32/0.20	0.7	3.1	50	133/0.68	1.6	14.7

注:截面为 0.2mm<sup>2</sup> 及以下者供交流电压 250 伏及以下的场合使用。

表 6.1.126 JBHF 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	最大外径 (mm)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	最大外径 (mm)
6	3.5	1.8	15.2	50	3.5	2.0	23.3
10	3.5	1.8	16.8	70	3.5	2.5	27.0
16	3.5	1.8	18.0	95	3.5	2.5	28.9
25	3.5	2.0	20.6	120	3.5	2.5	30.8
35	3.5	2.0	21.7				

表 6.1.127 JBYS 型电线结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	500V		1140V		6000V	
	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)
0.2	0.8	2.4	-	-	-	-
0.3	0.8	2.5	-	-	-	-
0.4	0.8	2.8	-	-	-	-
0.5	1.0	3.6	1.2	3.8	-	-

续表

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	500V		1140V		6000V	
	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)
0.75	1.0	3.8	1.2	4.0	-	-
1.0	1.0	3.8	1.2	4.2	-	-
1.5	1.0	4.1	1.2	4.5	-	-
2.5	1.2	4.9	1.4	5.3	-	-
4	1.2	5.5	1.4	5.9	-	-
6	1.2	6.2	1.4	6.6	5	14.5
10	1.4	8.2	1.4	8.2	5	16.2
16	1.4	9.4	1.4	9.4	5	17.3
25	1.6	12.0	1.6	12.0	5	19.5
35	1.6	13.1	1.6	13.1	5	20.6
50	1.8	14.9	1.8	14.8	5	21.8
70	1.8	17.4	1.8	17.4	5	24.4
95	2.0	19.7	2.0	19.7	5	26.2
120	2.0	21.6	2.0	21.6	5	28.0

表 6.1.128 JHS 型电线的结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根 数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	计算外径 (mm)	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根 数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	计算外径 (mm)
0.75	19/0.23	1.0	4.1	35	259/0.41	1.6	13.0
1.0	19/0.26	1.0	4.3	50	361/0.41	1.8	15.0
1.5	19/0.32	1.0	4.6	70	513/0.41	1.8	17.4
2.5	49/0.26	1.0	5.3	95	703/0.41	2.0	19.6
4.0	49/0.32	1.0	6.1	120	555/0.52	2.0	22.3
6	49/0.39	1.0	6.7	150	703/0.52	2.2	23.8
10	84/0.39	1.2	8.5	185	854/0.52	2.4	26.3
16	84/0.49	1.4	10.1	240	1121/0.52	2.6	31.2
25	133/0.49	1.6	11.7				

注:硅橡胶绝缘外包一层硅橡胶玻璃布带或玻璃丝编织后涂硅有机漆。

#### 4.2.3 航空导线与特殊安装线

航空导线与特殊安装线是应用于各型飞机、飞行器和航天电器中的电线,常用产品的导电线芯采用镀锡铜线、镀银铜线或镀镍铜线;绝缘层采用聚氯乙烯绝缘,要求耐高温的电线采用氟-46或聚四氟乙烯绝缘;护套采用尼龙护层,高压点火线采用玻璃丝编织硅有机浸渍护层;屏蔽层采用镀锡铜线编织。航空导线与特殊安装线具有外径小、重量轻、耐高温、耐严寒、柔软易于安装、耐振动、耐冲击等性能,它应用在飞机和飞行器中作为传输电能、传递信号和连接仪器、仪表和电子设备的引接线。常用的航空导线与特殊安装线普通品种见表 6.1.129,各品种的生产规格及结构见表 6.1.129、6.1.130、6.1.131 及 6.1.132。氟塑料有红、黄、蓝、绿和本色五种颜色,可供分色。

表 6.1.129 航空导线与特殊安装线产品品种

产品名称	型号	工作温度范围(℃)	主要用途
电阻温度计用耐热电线	RSMP	120	电机内部敷设在没有水分的介质中作连接电阻温度计用
聚氯乙烯绝缘尼龙护套电线 聚氯乙烯绝缘尼龙护套屏蔽电线	FVN FVNP	-60~+80 -60~+80	供交流 250V 及以下的低压线路之用, FVNP 用于要求防止无线电干扰的场合
聚氯乙烯绝缘尼龙护套屏蔽软线	FVNR	-60~+80	供交流 2000V 或直流 4000V 及以下线路用, 安装时要求柔软
氟塑料-46 绝缘安装线 氟塑料-46 绝缘屏蔽安装线 聚四氟乙烯绝缘安装线 聚四氟乙烯绝缘屏蔽安装线	AF-200 AFP-200 AF-250 AFP-250	-60~+200 -60~+200 -60~+250 -60~+250	作高温环境电气设备及仪表线路用, 交流额定电压 500V 及以下
铜芯聚四氟乙烯绝缘玻璃丝编织 硅有机浸渍高压点火线 铜芯聚四氟乙烯绝缘玻璃丝编织 硅有机浸渍高压点火线	FGF FGGF	-60~+250 -60~+250	在高温环境中作点火线用, 短时工作温度允许为 360℃, 时间应不超过 3h

表 6.1.130 RSMP, FGF 与 FGGF 型电线结构

型号	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构(根数/直径, mm)	绝缘厚度 (mm)	绝缘材料	最大外径 (mm)
RSMP	2×0.75	19/0.23	0.5	氟化聚醚	3.0×6.0
FGF	铜芯	7/0.37	1.25	聚四氟乙烯薄膜	4.5
FGGF	不锈钢丝	7/0.30	1.65	聚四氟乙烯薄膜	6.5

表 6.1.131 FVN、FVNP 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	镀锡导线结构 (根数/直径, mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	电线外径				计算质量 (kg/km)			
				FVN		FVNP		FVN		FVNP	
				计算	最大	计算	最大	计算	最大	计算	最大
0.3	16/0.15	0.35	0.12	1.7	1.9	2.2	2.4	4.8	6.4	9.7	12.8
0.4	23/0.15	0.35	0.12	1.85	2.1	2.3	2.6	6.4	7.7	11.8	14.8
0.5	28/0.15	0.35	0.12	1.9	2.15	2.4	2.7	7.4	9.2	12.9	16.5
0.6	19/0.20	0.35	0.12	1.95	2.2	2.8	3.1	8.2	9.9	20.5	24.7
0.8	19/0.23	0.35	0.12	2.1	2.3	2.9	3.2	10.2	12.1	23.4	27.8
1.0	19/0.26	0.35	0.12	2.3	2.5	3.1	3.3	12.6	15.0	26.5	31.5
1.2	19/0.28	0.40	0.12	2.4	2.6	3.2	3.5	14.8	17.4	29.8	34.8
1.5	19/0.32	0.40	0.12	2.6	2.9	3.4	3.7	18.5	21.5	34.5	40.0
2.0	49/0.23	0.40	0.12	3.1	3.4	3.9	4.3	25.5	29.1	44.0	51.0
2.5	49/0.26	0.40	0.12	3.4	3.9	4.2	4.8	31.3	36.9	51.2	61.5
3	49/0.28	0.45	0.12	3.7	4.0	4.5	4.9	36.4	42.5	57.8	67.8
4	77/0.26	0.45	0.12	4.4	4.8	5.2	5.7	48.2	56.7	73.4	86.4
5	98/0.26	0.45	0.12	4.6	5.1	5.4	5.9	59.1	69.5	85.4	101.0
6	77/0.32	0.45	0.16	5.2	5.6	6.0	6.5	71.0	81.3	101.0	116.0
8	98/0.32	0.50	0.16	5.6	6.0	6.4	6.9	88.0	101.0	119.0	138.0
10	126/0.32	0.50	0.16	6.6	7.1	7.4	7.9	111.0	128.0	148.0	170.0
16	209/0.32	0.60	0.20	8.3	9.0	9.1	9.7	186.0	213.0	232.0	265.0
20	247/0.32	0.60	0.20	8.7	9.4	9.5	10.2	219.0	269.0	266.0	324.0
25	209/0.39	0.60	0.20	9.7	10.4	10.9	11.6	270.0	300.0	351.0	393.0
35	285/0.39	0.60	0.20	10.8	11.6	12.0	12.8	361.0	402.0	450.0	504.0
50	323/0.45	0.65	0.25	13.1	14.0	14.3	15.2	535.0	583.0	642.0	705.0
70	444/0.45	0.65	0.25	14.9	15.9	16.1	17.3	716.0	780.0	838.0	918.0
95	592/0.45	0.70	0.25	16.7	17.8	17.9	19.2	934.0	1033.0	1070.0	1187.0

注:屏蔽层采用 0.1~0.3mm 镀锡铜线编织,编织覆盖率不小于 80%。

表 6.1.132 FVNR 型电缆生产规格及结构

导线 截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径, mm)	250V(或直流 500V)				500V(或直流 1000V)				1000V(或直流 2000V)				2000V(或直流 4000V)			
		绝缘 厚度 (mm)	护套 厚度 (mm)	计算 外径 (mm)	计算 质量 (kg/km)	绝缘 厚度 (mm)	护套 厚度 (mm)	计算 外径 (mm)	计算 质量 (kg/km)	绝缘 厚度 (mm)	护套 厚度 (mm)	计算 外径 (mm)	计算 质量 (kg/km)	绝缘 厚度 (mm)	护套 厚度 (mm)	计算 外径 (mm)	计算 质量 (kg/km)
0.50	28/0.15	0.4	0.12	2.2	8	0.6	0.12	2.6	10	1.0	0.12	3.5	14	1.6	0.12	4.9	24
0.75	24/0.20	0.4	0.12	2.5	11	0.6	0.12	3.0	13	1.0	0.12	3.9	18	1.6	0.12	5.1	28
1.0	32/0.20	0.4	0.12	2.7	14	0.6	0.12	3.1	16	1.0	0.12	4.0	21	1.6	0.12	5.3	31
1.5	48/0.20	0.4	0.12	3.1	20	0.6	0.12	3.6	23	1.0	0.12	4.5	29	1.6	0.12	5.8	40
2.5	77/0.20	0.4	0.12	3.9	32	0.6	0.12	4.4	33	1.0	0.12	5.3	40	1.6	0.12	6.5	54
4.0	133/0.20	0.6	0.12	4.9	51	0.8	0.12	5.3	52	1.2	0.12	6.2	60	1.8	0.12	7.5	79
6.0	133/0.23	0.6	0.16	5.5	65	0.8	0.16	6.6	66	1.2	0.16	6.8	75	1.8	0.16	8.1	96

表 6.1.133 AF 和 AFP 型电线结构

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度(mm)		最大外径(mm)			
		AF-200, AFP-200		AF-200		AFP-200	
		AF-250, AFP-250		AF-250		AFP-250	
		250V	500V	250V	500V	250V	500V
0.013	7/0.05	0.20	0.30	0.65	0.85	1.10	1.30
0.035	7/0.08	0.20	0.30	0.75	0.95	1.20	1.40
0.05	7/0.10	0.20	0.30	0.85	1.05	1.35	1.60
0.07	7/0.12	0.20	0.30	0.90	1.10	1.40	1.65
0.10	7/0.14	0.20	0.30	1.00	1.20	1.55	1.75
0.14	7/0.16	0.20	0.30	1.10	1.30	1.65	1.85
0.20	7/0.20	0.20	0.30	1.20	1.40	1.75	1.95
0.35	19/0.16	0.20	0.30	1.40	1.60	1.95	2.20
0.50	19/0.18	0.25	0.35	1.60	1.80	2.20	2.40
0.80	19/0.23	0.25	0.35	1.80	2.00	2.40	2.60
1.0	19/0.26	0.25	0.35	2.00	2.20	2.60	2.90
1.2	19/0.28	0.25	0.35	2.20	2.40	2.80	3.10
1.5	19/0.32	0.30	0.40	2.40	2.60	3.10	3.30
2.0	19/0.37	0.30	0.40	2.70	2.90	3.40	3.60
2.5	49/0.26	0.40	0.50	3.40	3.60	4.20	4.40
3	49/0.28	0.40	0.50	3.60	3.80	4.40	4.60
4	49/0.32	0.40	0.50	4.00	4.20	4.80	5.10
5	49/0.36	0.50	0.60	4.50	4.70	5.30	5.60
6	49/0.39	0.50	0.60	4.80	5.00	5.70	5.90

## 4.2.4 热电偶连接线(补偿导线)

补偿导线是用于高温计连接热电偶与检流计的电线,导电线芯根据热电偶测温的需要采用多种合金组合成对,绝缘和护套采用聚氯乙烯或丁腈聚氯乙烯复合物。导线结构有一般结构和柔软结构两种。一般结构适用于户内固定敷设,柔软电线用于移动设备连接线。每对导线制成平型,便于安装。补偿导线的产品品种见表 6.1.134,补偿导线线芯金属组合代号和分色标志见表 6.1.135,补偿导线的产品结构见表 6.1.136。

表 6.1.134 补偿导线产品品种

产品名称	型号	最高工作温度(℃)	用途
聚氯乙烯绝缘和护套补偿电线	BCV	65	作为高温计连接热电偶与检流计的连接线
聚氯乙烯绝缘和护套补偿软线	BCVR		
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘和护套补偿电线	BCVF	80	在室内固定敷设或移动设备连接用
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘和护套补偿软线	BCVFR		



表 6.1.135 补偿导线线芯金属组合代号和分色标志

补偿线芯代号	每对金属的名称	线芯分色
NM	铜 - 考铜	红 - 绿
NG	镍铝合金 - 考铜	蓝 - 绿
TK	铜 - 康铜	红 - 白
TN	铜 - 铜镍	红 - 黑
	镍铬 - 镍硅	蓝 - 咖啡
GK	铁 - 康铜	黄 - 白
G	铁 - 考铜	黄 - 绿

表 6.1.136 补偿导线规格与结构

型号	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	导线结构 (根数/直径, mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度 (mm)	最大外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
BCV	1.5	1/1.4	0.7	0.8	4.8×7.9	60
	2.5	1/0.8	0.9	1.0	6.2×10.1	98
BCVR	0.8	7/0.4	0.7	0.8	4.6×7.5	47
	1.4	7/0.5	0.7	0.8	5.0×7.5	56
	2.0	7/0.6	0.7	0.8	5.3×8.8	75
	2.7	7/0.7	0.9	1.0	6.5×10.8	108
BCVF	1.0	1/1.13			4.1×6.7	
	1.5	1/1.37			4.4×7.1	
	2.5	1/1.8			5.2×8.6	
BCVFR	1.0	7/0.42			4.3×7.0	
	1.5	7/0.52			4.6×7.5	
	1.8	7/0.57			4.7×7.8	
	2.5	7/0.67			5.1×8.4	

## 5 电气装备用电缆

电气装备用电缆常采用橡皮绝缘和橡皮护层的橡套电缆,类别较多,本手册仅介绍通用橡套电缆和一些常用的橡套电缆,如电焊机用软电缆、机车车辆用电缆、无线电装置用电缆、摄影光源软电缆和防水橡套电缆等。

### 5.1 通用橡套电缆

通用橡套电缆的导电线芯采用软铜线束绞,结构柔软,大截面的导线表面采用纸包,改善弯曲性能;绝缘采用天然-丁苯橡皮,老化性能较好;护层采用同样橡皮,户外型产品采用全氯丁橡胶或以氯丁橡胶为主的混合橡皮,老化性能及机械性能均较好。产品结构分轻型、中型、重型三类。一般轻型橡套电缆适用于日用电器、

小型电动设备,柔软、轻巧、弯曲性能好;中型橡套电缆普遍用于工农业各部门;重型橡套电缆用于港口机械、探照灯、大型排灌站等场合。通用橡套电缆的产品品种见表 6.1.137,其产品规格见表 6.1.138。

表 6.1.137 普通橡套软电缆产品品种

产品名称	型号	导线长期工作最高允许温度(℃)	主要用途
轻型通用橡套电缆	YQ	65	连接交流电压 250V 及以下轻型移动电气设备和家用电器
户外型通用轻型橡套电缆	YQW		同上,具有耐气候性和一定的耐油性
中型通用橡套电缆	YZ		连接交流电压 500V 及以下各种移动电气设备(包括各种农用电动装置)
户外型通用中型橡套电缆	YZW	65	同上,具有耐气候性和一定的耐油性
重型通用橡套电缆	YC		同 YZ,但能承受较大的机械外力作用,如港口机械用
户外型通用重型橡套电缆	YCW		同上,具有耐气候性和一定的耐油性

表 6.1.138 通用橡套软电缆产品规格

型号	电压等级(V)	主线芯导线截面(mm <sup>2</sup> )	芯数	
			主线芯	地线芯
YQ、YQW	250	0.3~0.75	2,3	—
YZ、YZW	500	0.5~6	2,3	—
			3	1
YC、YCW	500	2.5~120	1,2,3	—
			3	1

## 5.2 电焊机用软电缆

电焊机用软电缆的导线采用柔软型结构,导线外包一层聚酯薄膜绝缘带,绝缘和护套采用较好的橡皮,厚度也较大,以保证在复杂的环境条件下使用具有良好的绝缘、抗老化和机械性能。产品分铜芯橡套软电缆(YH)和铝芯橡套软电缆(YHL),铝芯电缆的线芯采用铝合金,既大大减轻了电缆重量,又能保证具有足够的机械强度。电焊机用软电缆用作电焊机二次侧接线及连接电焊钳的软电缆,其产品结构尺寸见表 6.1.139。工作电压 220V。

表 6.1.139 电焊机用电缆结构尺寸

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	YH			YHL		
	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	最大外径 (mm)
10	322/0.2	1.6	9.1	-	-	-
16	513/0.2	1.8	10.7	228/0.3	1.8	10.7
25	798/0.2	1.8	12.6	342/0.3	1.8	12.6
35	1121/0.2	2.0	14.0	494/0.3	2.0	14.0
50	1596/0.2	2.2	16.2	703/0.3	2.2	16.2
70	999/0.3	2.6	19.3	999/0.3	2.6	19.3
95	1332/0.3	2.8	21.1	1332/0.3	2.8	21.1
120	1702/0.3	3.0	24.5	1702/0.3	3.0	24.5
150	2109/0.3	3.0	26.2	2109/0.3	3.0	26.2
185	-	-	-	2590/0.3	3.2	28.8

### 5.3 机车车辆用电缆

机车车辆用电缆的导电线芯采用软铜线绞制的柔软结构,绝缘采用天然丁苯橡胶,护套采用耐臭氧和不延燃性的氯丁橡胶,地铁车辆用电缆采用防霉性好的配方橡胶。机车车辆用电缆分电气化车辆用电缆和地铁车辆用电缆,其产品品种及其用途见表 6.1.140,产品规格见表 6.1.141。

表 6.1.140 机车车辆用电缆产品品种

产品名称	型号	导线长期 工作最高 允许温度 (℃)	主要用途
电气化车辆用橡皮绝缘非燃性橡套电缆 电气化车辆用橡皮绝缘棉纱编织电线	DCHF DCBX	65	连接直流电压 500、1000、2000V 及以下的电气化车辆内部的电气设备
地铁车辆用橡皮绝缘丁腈聚氯乙烯复合物护套电缆	DCXVF	65 (最低环境温度 -35℃)	供地下铁道机车车辆用各种供电装置,照明、通信、广播之用。电压级为交流 500V 或直流 1000V;直流 3000V。通信、广播用的交流电压为 250V 及以下
地铁车辆用橡皮绝缘氯丁护套电缆	DCXHF		
地铁车辆用橡皮绝缘氯丁护套多芯屏蔽电缆	DCXHFP		
地铁车辆用丁聚物绝缘聚氯乙烯护套屏蔽广播线	DCVFVP		

表 6.1.141 机车车辆用电线电缆产品规格

型号	芯数	导线截面 (mm <sup>2</sup> )	电压(V)	
			直流	交流
DCHF	1	1.0~25	500	-
DCBX		1.0~95	1000	-
		1.5~300	2000	-
DCXVF	1	1.0~6	1000, 3000	500
DCXHF	1	10~120	1000, 3000	500
DCXHFP	多芯	26×1.5+2×0.5	1000	500
DCVFVP	2	2×0.5	-	250

## 5.4 无线电装置用电线

无线电装置用电线是供移动式无线电装置用的电线,分为一般性的橡胶套电线(SBH)和具有屏蔽作用的橡胶套电线(SBHP)两种,其产品规格见表 6.1.142。工作温度为 -50℃~50℃。

表 6.1.142 无线电装置用电线产品规格

型号	芯数	额定电压(V)		
		250	500	3000
		导线截面(mm <sup>2</sup> )		
SBH	2~8, 10, 12, 14	0.35~2.5	0.75~2.5	1.5~2.5
	2及3	4~10	4~10	-
SBHP	1~8, 10, 12, 14	0.35~2.5	0.75~2.5	1.5~2.5
	2及3	4~10	4~10	-

## 5.5 摄影光源用软电线

摄影光源用软电线的导体线芯采用多股细铜线先束后绞制成软细的柔软型结构,绝缘层及护套采用乙丙橡胶,允许工作温度为 90℃,型号为 GER-500,其规格与结构见表 6.1.143。

表 6.1.143 摄影光源软电线规格与结构

导线芯数与截面(mm <sup>2</sup> )				导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	护套厚度(mm)			
单芯	2芯	2芯 平型	4芯			单芯	2芯	2芯 平型	4芯
-	1.0	1.0	1.0	32/0.2	1.0	-	1.5	1.5	1.5
-	1.5	1.5	1.5	48/0.2	1.0	-	1.5	1.5	1.5
-	2.5	2.5	2.5	77/0.2	1.0	-	1.5	1.5	2.0
-	4.0	4.0	4.0	126/0.2	1.0	-	1.5	1.5	2.0
-	6.0	6.0	6.0	189/0.2	1.0	-	2.0	2.0	2.0
10	10	10	-	323/0.2	1.2	1.5	2.0	2.0	-
16	16	16	-	513/0.2	1.2	1.5	2.0	2.0	-
25	25	25	-	798/0.2	1.4	2.0	2.5	2.5	-
35	35	35	-	1121/0.2	1.4	2.0	2.5	2.5	-
50	50	50	-	1596/0.2	1.6	2.0	2.5	2.5	-

## 5.6 防水橡套电缆

防水橡套电缆供向潜水电机传输电能用。交流电压 500V 及以下,环境温度 为  $-40^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ , 允许最高工作温度不超过  $65^{\circ}\text{C}$ 。电缆在长期浸水并有较大水 压的工作情况下,具有良好的电气绝缘性能。电缆柔软、弯曲性能好,能承受经常 移动,型号为 JHS,其结构见表 6.1.144。

表 6.1.144 防水橡套电缆结构

芯数	芯数×截面 ( $\text{mm}^2$ )	导线结构 (根数/直径,mm)	绝缘厚度 (mm)	橡套厚度 (mm)	计算外径 (mm)	计算质量 (kg/km)
单 芯	1×4	49/0.32	1.2	2.0	9.3	
	1×6	49/0.39	1.2	2.0	9.9	
	1×10	49/0.52	1.4	2.0	12.1	
	1×16	84/0.49	1.4	2.0	13.5	
	1×25	133/0.49	1.6	2.5	16.2	
	1×35	133/0.58	1.6	2.5	17.5	
	1×50	133/0.68	1.6	2.5	19.0	
	1×70	189/0.68	1.6	2.5	21.4	
三 芯	3×2.5	49/0.26	1.0	2.0	13.4	282
	3×4	49/0.32	1.0	2.0	15.5	386
	3×6	49/0.39	1.0	2.0	16.9	485
	3×10	49/0.52	1.2	2.5	22.3	850
	3×16	49/0.64	1.2	2.5	24.6	1103
	3×25	98/0.58	1.4	2.5	31.6	1774
	3×35	133/0.58	1.4	2.5	33.8	2164
四 芯	3×2.5+1×1.5	49/0.26+19/0.32	1.0+1.0	2.0	15.1	349
	3×4+1×2.5	49/0.32+49/0.26	1.0+1.0	2.0	16.5	425
	3×6+1×4	49/0.39+49/0.32	1.0+1.0	2.5	18.9	596
	3×10+1×6	49/0.52+49/0.39	1.2+1.0	2.5	23.2	943
	3×16+1×6	49/0.64+49/0.39	1.2+1.0	2.5	25.3	1180
	3×25+1×6	98/0.58+49/0.39	1.4+1.0	2.5	25.3	1895
	3×25+1×6	133/0.58+49/0.39	1.4+1.0	2.5	32.4	2268
				34.4		

## 5.7 电梯电缆

电梯电缆是供高层建筑电梯及其他起重运输等设备传递信号及控制之用,是 一种信号传递用控制电缆,适应自由悬吊和多次弯曲,其截面见图 6.1.17;其品种 和用途见表 6.1.145。

表 6.1.145 电梯电缆品种和用途

产品名称	型号	工作电压 (V)	长期工作最 高温度(°C)	规格	用途
电梯用信 号电缆	YT	250	65	截面: 0.75mm <sup>2</sup> 芯数: 24,30,42	户内移动信号线路用
	YTF				户外或接触油污及要求不延 燃的移动信号线路用
电梯用控 制电缆	YTK	500	65	截面: 1.0mm <sup>2</sup> 芯数: 8,18,24	同 YT 的条件,控制线路用
	YTKF				同 YTF 的条件,控制线路用

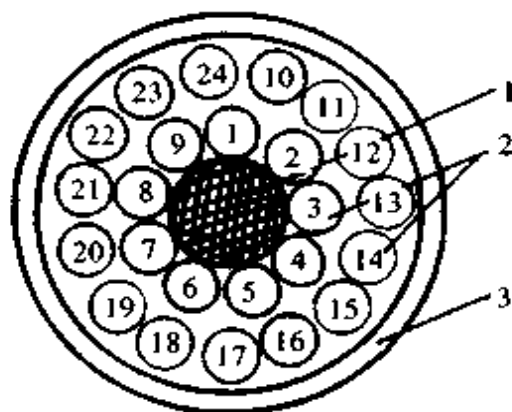


图 6.1.17 电梯电缆截面

1—尼龙加强绳 2—绝缘线芯 3—橡皮护套

电缆均为多芯,导电线芯要用铜绞线,绝缘层采用橡皮,成缆时中心有尼龙加强绳,以承受电缆悬吊时自重,并使之柔软,护套采用机械强度高的橡皮。

## 6 低压电力电缆

电力电缆应用在电力系统中传输或分配较大功率的电能,根据电力系统电压等级的不同,生产有不同电压等级的电力电缆。本手册仅介绍 35kV 以下的低压电力电缆。

低压电力电缆主要生产的品种有油浸纸绝缘电力电缆、橡皮绝缘电力电缆、聚氯乙烯绝缘电力电缆和聚乙烯及交联聚乙烯绝缘电力电缆。

## 6.1 油浸纸绝缘电力电缆

油浸纸绝缘电力电缆有铅护套或铝护套的铜芯或铝芯电缆等品种。绝缘方式有普通型、滴干型和不滴流型三种。单芯电缆的导电线芯为圆形,用电缆纸带以同心式多层绕包;多芯电缆的导电线芯制成半圆形、椭圆形或扇形,每根线芯上分别绕包多层绝缘纸带(即芯绝缘),几根线芯绞合成缆,其空隙处填有电缆麻、电缆纸绳,使之形成圆形,再绕包上一定厚度的绝缘纸带(即带绝缘)。电压稍高的电缆线芯表面及绝缘层外层采用半导体屏蔽层。纸绝缘层经浸渍处理,采用不同的浸渍剂分别制成普通型、滴干绝缘和不滴流电缆。电缆的内护层采用热压铅或铝的密封护套,根据不同敷设场合的条件,为了能承受电缆的拉力和保护电缆内护层免受机械损伤或腐蚀等破坏,电缆采用沥青浸渍电缆麻被、钢带或细钢丝铠装等外护层。10kV 及以下三芯油浸纸绝缘电力电缆的结构见图 6.1.18。



图 6.1.18 三芯油浸纸绝缘电力电缆结构

油浸纸绝缘电力电缆的生产范围:额定电压为 1~35kV;芯数为 1~4 芯;单芯的截面为 2.5~800mm<sup>2</sup>、多芯的截面为 2.5~400mm<sup>2</sup>,截面等级依次为 2.5、4、6、10、16、25、35、50、70、95、120、150、185、240、300、400、500、625、800mm<sup>2</sup>。油浸纸绝缘电力电缆广泛应用于交流电压的输配电网中,作为传输电能之用,也可用于直流,其工作电压可提高一倍。滴干绝缘和不滴流电缆用于高落差及垂直敷设场合,不滴流电缆也可用于热带地区。油浸纸绝缘电力电缆的型号及其敷设场合见表 6.1.146,纸绝缘铅包电力电缆的产品规格见表 6.1.147,纸绝缘铝包电力电缆的产品规格见表 6.1.148。

表 6.1.146 油浸纸绝缘电力电缆的型号及其敷设场合

型号 品种	单芯和多芯统包型		分相铅包型		外护层 种类	敷设场合
	铝芯	铜芯	铝芯	铜芯		
油浸纸绝缘铅包电力电缆	ZLQ	ZQ	-	-	裸铅护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力作用,对铅护套有中性环境
	ZLQ1	ZQ1	-	-	麻被层	同上,但可用于有腐蚀的环境
	ZLQ2	ZQ2	ZLQF2	ZQF2	钢带铠装,外麻被	直埋于土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
	ZLQ20	ZQ20	ZLQF20	ZQF20	裸钢带铠装	敷设在室内、隧道及沟管中,其余同ZLQ2
	ZLQ3	ZQ3	-	-	细钢丝铠装,外麻被	敷设在土壤中,能承受机械外力,并能承受相当的拉力
	ZLQ30	ZQ30	-	-	裸细钢丝铠装	敷设在室内及矿井中,其余同ZLQ3
	ZLQ5	ZQ5	ZLQF5	ZQF5	粗钢丝铠装,外麻被	敷设在水中,能承受较大的拉力
缘油铅浸包纸滴力干电缆	ZLQP2	ZQP2	ZLQPF2	ZQPF2	钢带铠装,外麻被	用于一定范围内的垂直或高落差敷设
	ZLQP20	ZQP20	ZLQPF20	ZQPF20	裸钢带铠装	
	ZLQP3	ZQP3	-	-	细钢丝铠装,外麻被	
	ZLQP30	ZQP30	-	-	裸细钢丝铠装	
	ZLQP5	ZQP5	ZLQPF5	ZQPF5	粗钢丝铠装外麻被	
电油力浸电纸绝缘铝包	ZLL	ZL	-	-	裸铝护套	敷设在室内、隧道及沟管中,对电缆应没有机械外力,对铝护套有中性环境
	ZLL11	ZL11	-	-	一级防腐麻被层	同ZLL,但可用于对铝护层有腐蚀的环境



续表

品种	型号	单芯和多芯统包型		分相铅包型		外护层种类	敷设场合
		铝芯	铜芯	铝芯	铜芯		
油浸纸绝缘铅包电力电缆	ZLL12	ZL12	-	-	一级防腐钢带铠装, 外麻被	直埋于对铝护层有腐蚀的土壤中, 能承受较大机械外力, 但不能承受拉力	
	ZLL120	ZL120	-	-	一级防腐裸钢带铠装	敷设在对铝护层有腐蚀的室内、隧道及沟管中, 其余同ZLL12	
	ZLL13	ZL13	-	-	一级防腐细钢丝铠装, 外麻被	敷设在对铝护层有腐蚀的土壤和水中, 能承受机械外力和相当的拉力	
	ZLL130	ZL130	-	-	一级防腐裸细钢丝铠装	敷设在对铝护层有腐蚀的室内、隧道及矿井中, 其余同ZLL13	
	ZLL15	ZL15	-	-	一级防腐粗钢丝铠装	敷设在对铝护层有腐蚀的水中, 能承受较大的拉力	
	ZLL22	ZL22	-	-	二级防腐钢带铠装	敷设在对铝护层和钢带或钢丝均有严重腐蚀的环境中, 其余分别同 ZLL12 ZLL13 ZLL15	
	ZLL23	ZL23	-	-	二级防腐细钢丝铠装		
	ZLL25	ZL25	-	-	二级防腐粗钢丝铠装		
纸绝缘 不滴流 浸渍剂 电力电缆	ZLQD3	ZQD3	-	-	细钢丝铠装, 外麻被	敷设在土壤中, 能承受机械外力并能承受相当的拉力	
	ZLQD30	ZQD30	-	-	裸细钢丝铠装	敷设在室内、隧道及矿井中, 其余同ZLQD3	
	ZLQD5	ZQD5	-	-	粗钢丝铠装, 外麻被	敷设在水中, 能承受较大的拉力	

表 6.1.147 油浸纸绝缘铅包电力电缆的产品规格

型 号	线芯数	额 定 电 压 (kV)					
		1	3	6	10	20	35
		导电线芯截面(mm <sup>2</sup> )					
ZQ, ZLQ, ZQ1, ZLQ1 ZQ2, ZLQ2, ZQ20, ZLQ20 <sup>①</sup> ZQ3, ZLQ3, ZQ30, ZLQ30 <sup>②</sup> ZQP2, ZLQP2, ZQP20, ZLQP20 <sup>①</sup> ZQP3, ZLQP3, ZQP30, ZLQP30 <sup>②</sup>	1	2.5~800 4~800 50~800	6~625 6~625 35~625	10~500 10~500 -	16~500 16~500 -	25~400 -	50~300 -
ZQ, ZLQ, ZQ1, ZLQ1, ZQ2, ZLQ2, ZQ20, ZLQ20 ZQ3, ZLQ3, ZQ30, ZLQ30 ZQP2, ZLQP2, ZQP20, ZLQP20 ZQP3, ZLQP3, ZQP30, ZLQP30	2	2.5~150 25~150 4~120 25~120	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
ZQ, ZLQ, ZQ1, ZLQ1, ZQ2, ZLQ2, ZQ20, ZLQ20 ZQ3, ZLQ3, ZQ30, ZLQ30, ZQ5, ZLQ5 ZQF2, ZLQF2, ZQF20, ZLQF20 ZQF5, ZLQF5 ZQP2, ZLQP2, ZQP20, ZLQP20 ZQP3, ZLQP3, ZQP30, ZLQP30, ZQP5, ZLQP5 ZQPF2, ZLQPF2, ZQPF20, ZLQPF20 ZQPF5, ZLQPF5	3	2.5~240 25~240 - - 4~150 25~150 - -	4~240 25~240 - - 6~150 25~150 - -	10~240 16~240 - - 16~150 16~120 16~150 16~150	16~240 16~240 - - - - 25~150 25~150	- - 25~185 25~185 - - - -	- - 50~185 50~150 - - - -
ZQ, ZLQ, ZQ1, ZLQ1, ZQ2, ZLQ2, ZQ20, ZLQ20 ZQ3, ZLQ3, ZQ30, ZLQ30 ZQP2, ZLQP2, ZQP20, ZLQP20 ZQP3, ZLQP3, ZQP30, ZLQP30 ZQ5, ZLQ5 ZQP5, ZLQP5	4	4~185 16~185 4~120 16~120 25~120 25~120	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -	- - - - - -

注:①单芯钢带铠装电缆仅能用于直流输配电线路中。

②单芯钢丝铠装电缆采取隔磁措施后,亦可应用于交流系统。

表 6.1.148 油浸纸绝缘铝包电力电缆的产品规格

型 号	芯 数	额定电压(kV)			
		1	3	6	10
		导 电 线 芯 截 面(mm <sup>2</sup> )			
ZL, ZLL, ZL11, ZLL11, ZL12, ZLL12, ZL120, ZLL120, ZL22, ZLL22	1	50~625	50~625	50~500	50~500
ZL13, ZLL13, ZL130, ZLL130, ZL23, ZLL23		50~625	50~625	-	-
ZL, ZLL, ZL11, ZLL11, ZL12, ZLL12, ZL120, ZLL120, ZL22, ZLL22	2	16~150	-	-	-
ZL13, ZLL13, ZL130, ZLL130, ZL23, ZLL23		25~150	-	-	-
ZL, ZLL, ZL11, ZLL11, ZL12, ZLL12, ZL120, ZLL120, ZL22, ZLL22	3	10~240	10~240	10~240	16~240
ZL13, ZLL13, ZL130, ZLL130, ZL23, ZLL23, ZL15, ZLL15, ZL25, ZLL25		25~240	25~240	16~240	16~240
ZL, ZLL, ZL11, ZLL11, ZL12, ZLL12, ZL120, ZLL120, ZL22, ZLL22	4	10~185	-	-	-
ZL13, ZLL13, ZL130, ZLL130, ZL23, ZLL23		16~185	-	-	-
ZL15, ZLL15, ZL25, ZLL25		25~120	-	-	-

注:①单芯铠装电缆仅能用于直流输配电线路中。

## 6.2 橡皮绝缘电力电缆

橡皮绝缘电力电缆的导电线芯有铜芯和铝芯两种,橡皮绝缘,内护层有铅包、聚氯乙烯及氯丁橡胶护套,有的电缆还采用钢带铠装沥青浸渍麻被外护层。三芯橡皮绝缘电力电缆结构见图 6.1.19。

橡皮绝缘电力电缆生产范围:额定电压为 0.5~6kV;芯数为 1~4 芯;单芯的截面为 1.0~500mm<sup>2</sup>,多芯的截面为 1.5~185mm<sup>2</sup>,截面档次与油浸纸绝缘电力电缆的基本相同。橡皮绝缘电力电缆广泛应用于定期移动的场所,作固定敷设之用,氯丁橡胶和聚氯乙烯护套都可用于要求非燃或不延燃的场所。橡皮绝缘电力电缆的品种与敷设场合见表 6.1.149,其产品规格见表 6.1.150。

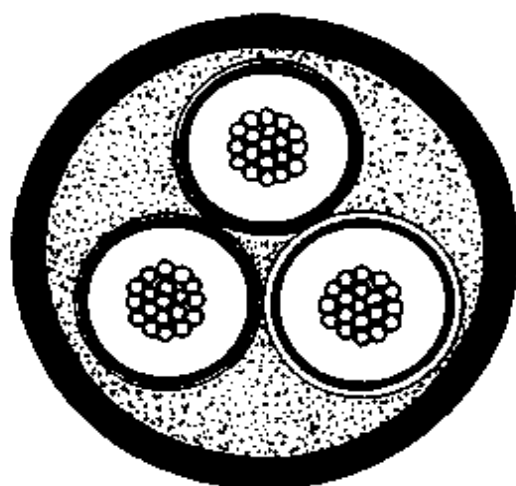


图 6.1.19 三芯橡皮绝缘电力电缆结构

表 6.1.149 橡皮绝缘电力电缆的品种与敷设场合

品 种	型 号		外护层 种 类	敷 设 场 合
	铝芯	铜芯		
橡皮绝缘铅 包电力电缆	XLQ	XQ	无外护层	敷设在室内、隧道及沟管中。不能承受机械外力和振动,对铅层应有中性环境
	XLQ2	XQ2	钢带铠装, 外麻被	直埋敷设在土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
	XLQ20	XQ20	裸钢带铠装	敷设在室内、隧道及沟管中。其余同XLQ2
橡皮绝缘聚 氯乙烯护套电 力电缆	XLV	XV	无外护层	敷设在室内、隧道及沟管中。不能承受机械外力
	XLV29	XV29	钢带铠装	敷设在地下,能受一定机械外力作用,但不能受大的拉力
橡皮绝缘氯 丁橡胶套电力电 缆	XLF	XF	无外护层	敷设于要求防燃烧的场合,其余同XLV

表 6.1.150 橡皮绝缘电力电缆的产品规格

型 号	芯 数		额定电压(V)	
	主线芯	接地或 中性线芯	500	6000
			导线截面( $\text{mm}^2$ )	
XLV XLF	1	0	2.5~630	-
XV XF			1~240	-
XLQ			2.5~630	4~500
XQ			1~240	2.5~400

续表

型 号	芯 数		额定电压(V)	
	主线芯	接地或 中性线芯	500	6000
			导线截面(mm <sup>2</sup> )	
XLV XLF	2	0	2.5~240	-
XV XF XQ			1~185	-
XLV20 XLQ XLQ2 XLQ20			4~240	-
XV29 XQ2 XQ20			4~185	-
XLV XLF	3	0 或 1	2.5~240	-
XV XF XQ			1~185	-
XLV20 XLQ XLQ2 XLQ20			4~240	-
XV29 XQ2 XQ20			4~185	-

### 6.3 聚氯乙烯绝缘电力电缆

聚氯乙烯绝缘电缆的导电线芯有铜芯和铝芯两种,单芯电缆的导电线芯为圆形,多芯电缆的线芯可为圆形、扇形或半圆形。绝缘层采用聚氯乙烯电缆绝缘料热挤压而成,多芯电缆的线芯绝缘分色标志,主线芯取黄、绿、红色,中性线芯用黑色,中性线芯也可采用裸导体结构;6kV单芯电缆的绝缘层表面及多芯电缆在成缆绕包塑料带前,绕包两层铝带或一层铜带。电缆护套采用聚氯乙烯普通电缆护套料,其护层结构有三种:一是无铠装层仅有聚氯乙烯护套(VLV、VV型);二是由聚氯乙烯挤制或聚氯乙烯带绕包的衬垫,其外用钢带铠装(VLV29、VV29型)或钢丝铠装(VLV39、VV39、VLV59、VV59),铠装层外再挤压聚氯乙烯外护套;三是只有内护层和铠装层,没有外护套的裸铠装(VLV30、VV30、VLV50、VV50)。三芯聚氯乙烯绝缘电力电缆结构见图6.1.20。

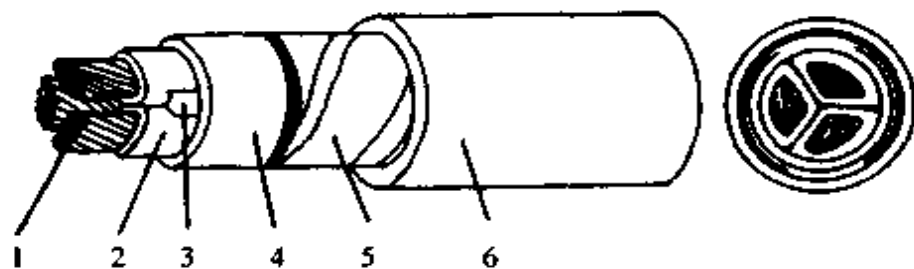


图 6.1.20 聚氯乙烯绝缘电力电缆结构

1—导电线芯 2—聚氯乙烯绝缘 3—边角填充  
4—内衬垫 5—铠装钢带 6—聚氯乙烯护套

聚氯乙烯绝缘电力电缆生产范围:额定电压为1~6kV;芯数为1~4芯;单芯的截面为1~800mm<sup>2</sup>,多芯的截面为1~300mm<sup>2</sup>,截面等级与油浸纸绝缘电力电缆的基本相同。聚氯乙烯绝缘电力电缆适用于交流6kV及以下电压级的电力线

路中,作为固定敷设、传输电能的干线及支线电缆,其工作温度应不超过  $65^{\circ}\text{C}$ , 没有敷设位差的限制。聚氯乙烯绝缘电力电缆的品种及其敷设场合见表 6.1.151, 其产品规格见表 6.1.152。

表 6.1.151 聚氯乙烯绝缘电力电缆的品种及其敷设场合

型 号		护 层 种 类	敷 设 场 合
铝 芯	铜 芯		
VLV	VV	聚氯乙烯护套,无铠装层	敷设在室内、隧道及沟管中,不能承受机械外力的作用
VLV29	VV29	内钢带铠装,聚氯乙烯护套	直埋敷设在土壤中,能承受机械外力,不能承受大的拉力
VLV30	VV30	聚氯乙烯护套,裸细钢丝铠装	敷设在室内、矿井中。能承受机械外力和相当的拉力
VLV39	VV39	内细钢丝铠装,聚氯乙烯护套	敷设在水中,能承受相当的拉力
VLV50	VV50	聚氯乙烯护套,裸粗钢丝铠装	敷设在室内、矿井中,能承受较大拉力
VLV59	VV59	内粗钢丝铠装,聚氯乙烯护套	敷设在水中,能承受较大的拉力

表 6.1.152 聚氯乙烯绝缘电力电缆产品规格

型 号		芯 数	额 定 电 压 (kV)	
铝 芯	铜 芯		1	6
		导电线芯标称截面 ( $\text{mm}^2$ )		
-	VV	1	1~800	10~500
VLV	-		2.5~800	10~500
VLV29	VV29		10~800	10~500
-	VV	2	1~150	10~150
VLV	-		2.5~150	10~150
VLV29	VV29		4~150	10~150
-	VV	3	1~300	10~300
VLV	-		2.5~300	10~300
VLV29	VV29		4~300	10~300
VLV39; VLV30 VLV59; VLV50	VV39; VV30 VV59; VV50		-	16~300
VLV	VV	4	4~185	-
VLV29	VV29			

注:有铠装的单芯电缆仅适用于直流系统。

## 6.4 交联聚乙烯绝缘电力电缆

交联聚乙烯绝缘电力电缆的特点是其绝缘层采用交联聚乙烯。交联聚乙烯是

聚乙烯在高能射线(如 $\gamma$ 射线、 $\alpha$ 射线、电子射线等)或交联剂的作用下,使其大分子之间生成交联,可提高其耐热等性能。采用交联聚乙烯作绝缘的电缆,其长期工作温度可提高到 $90^{\circ}\text{C}$ ,能承受的瞬时短路温度可达 $170^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

交联聚乙烯绝缘电缆产品结构与聚氯乙烯绝缘电力电缆基本相同。导电线芯有铜芯和铝芯两种,单芯电缆线芯为圆形,多芯电缆线芯为圆形或半圆形;每相绝缘分别由内屏蔽层、交联聚乙烯绝缘层及外屏蔽层所组成,导电线芯的屏蔽(内屏蔽层)采用半导体交联聚乙烯复合物挤包,绝缘屏蔽(外屏蔽层)采用双面涂胶的半导体丁基橡胶布带绕包或用半导体高分子复合物挤包。绝缘屏蔽半导体层外面均重叠绕包一层电工用韧铜带;移动式的电缆则编织一层镀锡铜丝,铜带外再绕包一层聚氯乙烯带或电缆纸;护层结构与聚氯乙烯绝缘电力电缆基本相同,采用聚氯乙烯护套、钢带或钢丝铠装,分无铠装(VJLV、VJV、VJLVF、VJVF)、内铠装(VJLV29、VJV29、VJLV39、VJV39、VJLV59、VJV59)及裸铠装(VJLV30、VJV30、VJLV50、VJV50);多芯电缆各主线芯有分色标志,采用除红色以外的彩色纤维(纱或丝)放置在外屏蔽铜带里层或在外屏蔽的半导体丁基橡胶布带上印有彩色条纹,以区别各相。交联聚乙烯电力电缆的结构见图 6.1.21。

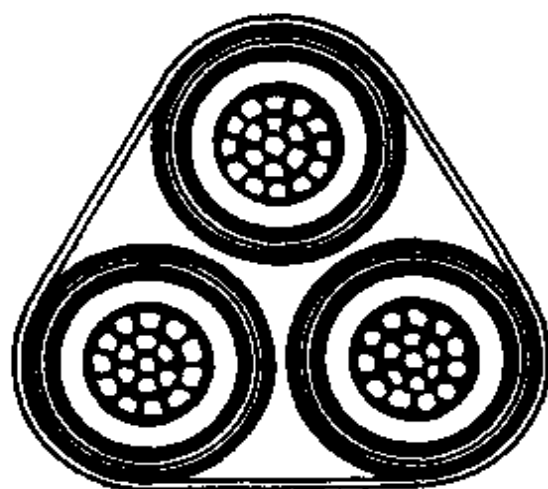


图 6.1.21 交联聚乙烯绝缘电力电缆结构

交联聚乙烯绝缘电力电缆的生产范围:额定电压为 6、10、20 及 35kV;芯数为 1 及 3 芯;单芯的截面为 $16\sim 500\text{mm}^2$ ,三芯的为 $16\sim 240\text{mm}^2$ ,截面等级与油浸纸绝缘电力电缆基本相同;广泛应用于交流电压的输配电网中,作传输电能之用,可替代油浸纸绝缘电力电缆,无敷设位差的限制,还可用于定期移动的固定敷设场合,除具有较高的耐热性能外,且有良好的耐寒性能。交联聚乙烯绝缘电力电缆的品种及其敷设场合见表 6.1.153,其产品规格见表 6.1.154,交联聚乙烯绝缘电力电缆长期连续负载流量见表 6.1.155。

表 6.1.153 交联聚乙烯电力电缆品种及其敷设场合

型 号		名 称	敷 设 场 合
铜 芯	铝 芯		
YJV	YJLV	交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在室内外、隧道内(须固定在托架上)、混凝土管组或电缆沟中,允许在松散土壤中直埋,电缆不能承受机械外力作用,但可经受一定的敷设牵引
YJVF	YJLVF	交联聚乙烯绝缘、分相聚氯乙烯护套电力电缆	同 YJV、YJLV 型
YJV29	YJLV29	交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套内钢带铠装电力电缆	敷设在地下,电缆能承受机械外力作用,但不能承受大的拉力
YJV30	YJLV30	交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套裸细钢丝铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及矿井中,电缆能承受机械外力作用,并能承受相当的拉力
YJV39	YJLV39	交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套内细钢丝铠装电力电缆	敷设在水中或具有落差较大的土壤中,电缆能承受相当的拉力
YJV50	YJLV50	交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套裸粗钢丝铠装电力电缆	敷设在室内、隧道内及矿井中,电缆能承受机械外力作用,并能承受较大的拉力
YJV59	YJLV59	交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套内粗钢丝铠装电力电缆	敷设在水中,电缆能承受较大的拉力

注:1. 单芯电缆不允许敷设在铁质管道中,允许在非磁性管道中敷设;

2. 一般情况下,不制造单芯钢带铠装电力电缆。

表 6.1.154 交联聚乙烯绝缘电力电缆产品规格

型 号		芯 数	额 定 电 压(kV)				
铝 芯	铜 芯		6	10	20	35	
YJLV	YJV	1	16~500	16~500	25~400	50~300	
YJLV	YJV		16~500	16~400	25~185	50~70	
YJLV30	YJV30		16~500	16~400	25~185	50~150	
YJLV50	YJV50		16~500	16~400	25~185	50~150	
YJLV29	YJV29		3	16~500	16~400	25~185	50~150
YJLV39	YJV39			16~500	16~400	25~185	50~120
YJLV59	YJV59			16~500	16~400	25~185	50~70
YJLVF	YJVF			16~500	16~400	25~185	50~150



表 6.1.155 交联聚乙烯电缆长期连续负载流量

A

三芯 10kV 交联聚乙烯电缆					单芯 35kV 交联聚乙烯电缆				
导线最高温度 90℃ 环境温度 25℃ 电缆中心距 $s = 2d$ 土壤热阻系数 $g = 100(\text{℃} \cdot \text{cm}/\text{W})$					导线最高温度 80℃ 环境温度 25℃ 电缆中心距 $s = 2d$ 土壤热阻系数 $g = 100(\text{℃} \cdot \text{cm}/\text{W})$				
导线截面 (mm <sup>2</sup> )	埋地		空气		导线截面 (mm <sup>2</sup> )	埋地		空气	
	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯		铜芯	铝芯	铜芯	铝芯
16	118	92	121	94	-	-	-	-	-
25	151	117	158	123	-	-	-	-	-
35	180	140	190	147	-	-	-	-	-
50	217	169	231	180	50	213	166	260	206
70	260	202	280	218	70	256	202	317	247
95	307	240	335	261	95	301	236	377	295
120	348	272	388	303	120	342	269	433	339
150	394	308	445	347	150	385	303	492	386
185	441	344	504	394	185	429	339	557	437
240	504	396	587	461	240	495	390	650	512
300	567	481	671	527	300	550	439	740	586
400	654	518	790	623	-	-	-	-	-
500	730	580	893	710	-	-	-	-	-

注：上列载流量系根据计算而得，供选择时参考。

## 6.5 低压电力电缆附件

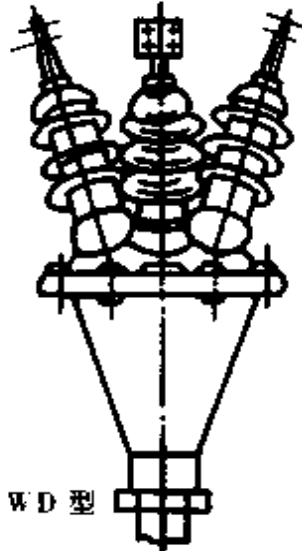
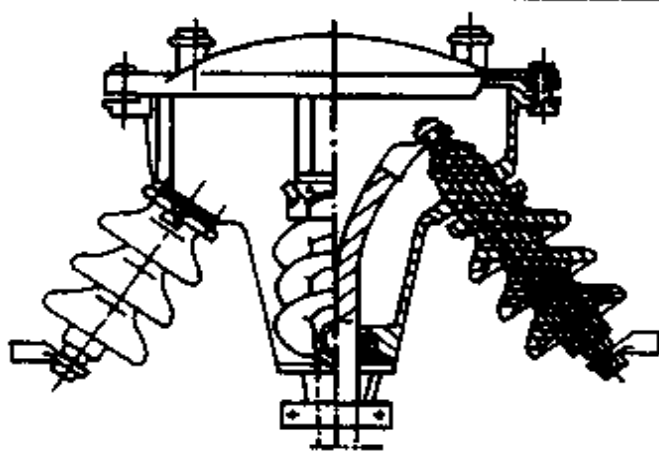
电力电缆需通过终端与架空线、变压器等输变电设备相连接，在较长的电缆线路中，各段电缆的连接需通过连接盒。终端和连接盒的性能及安装质量直接关系到输电线路的运行安全。

### 6.5.1 终端

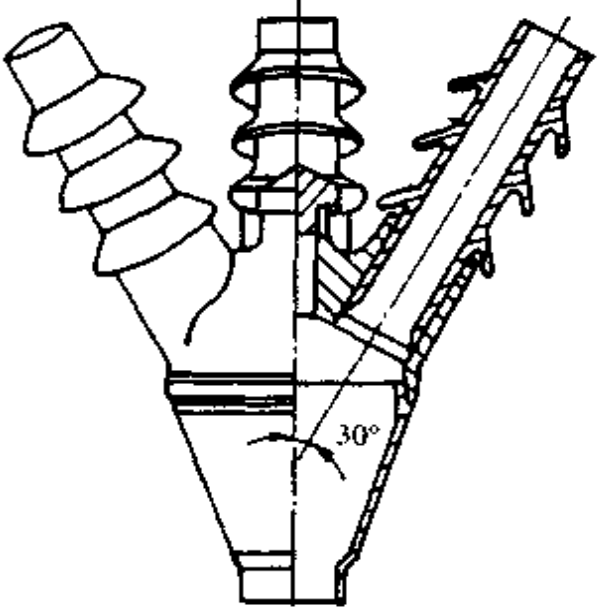
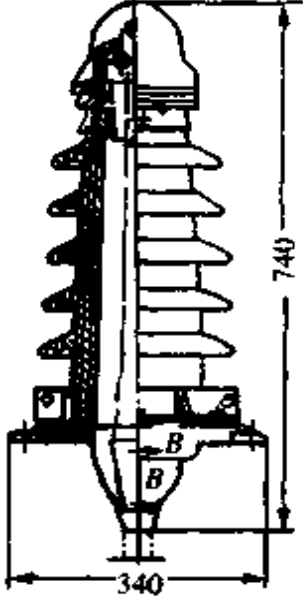
终端又称终端头。

**6.5.1.1 油浸纸绝缘低压电力电缆终端** 它是由壳体(铸铁、陶瓷、环氧树脂等材料制成)、瓷套、出线端子和组装用密封件、支撑装置等部分组成。组装后壳体内浇灌绝缘复合剂以增强绝缘。低压电缆终端的品种及特点和结构图见表 6.1.156。

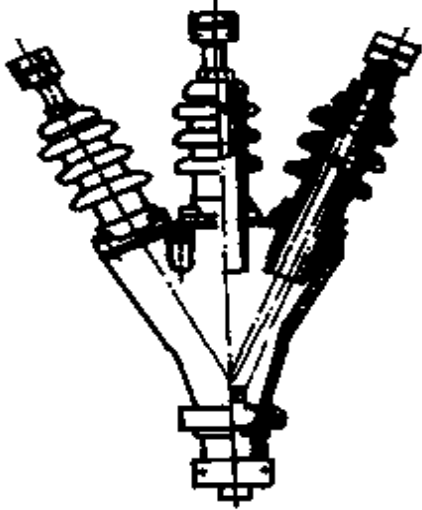
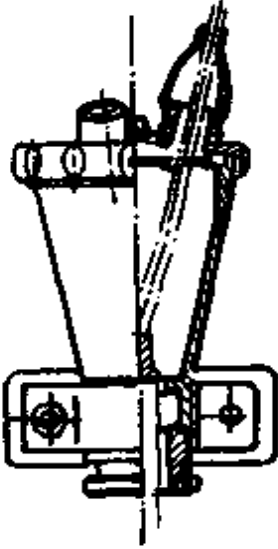
表 6.1.156 油浸纸绝缘低压电力电缆终端的品种及特点和结构图

名称、型号	性能特点	适用场合	结构图
鼎足式终端 WD型 (铸铁壳)、 WDC型 (瓷壳)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3或4个瓷套如鼎足倒放(WDX型瓷套和壳体连在一起)</li> <li>2. 各芯施加增绕绝缘,壳体内浇灌沥青混合物或环氧树脂</li> <li>3. 性能稳定,安全裕度大</li> <li>4. WD型尺寸大,较笨重;WDC型尺寸小,较轻便</li> <li>5. WDC型不宜承受机械冲击或槌击</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于户外的塔杆上,墙边或设备的支架上</li> <li>2. WD型不宜用于有严重腐蚀的场合,WDC型不受限制</li> </ol>	 <p style="text-align: center;">WD型</p>
倒挂式终端 WG型 (铸铁壳)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 顶部采用大壳盖,使水分不能进入壳内。线芯由侧面向下引出,使水分无法沿连接杆螺纹渗入到绝缘内。特别适用于多雨和潮湿地区</li> <li>2. 电缆芯端部受弯曲较大</li> <li>3. 安装方便</li> <li>4. 外形尺寸比WD型还大</li> </ol>	<p>同上。特别适用于多雨和潮湿地区,但不宜用于严重污秽和有强烈振动的场合</p>	 <p style="text-align: center;">WG型</p>

续表

名称、型号	性能特点	适用场合	结构图
环氧树脂终端	<p>1. 将预制的环氧树脂壳体、壳盖、防雨套管与电缆组装后,再在安装现场浇灌环氧树脂,固化后成为一个整体</p> <p>2. 体积小、重量轻、密封性好、机械强度高</p> <p>3. 品质受现场制作工艺影响较大</p> <p>4. 在日光强烈地区和潮湿地区,应涂以保护漆或涂料</p>	<p>适用于尤严重污秽的场所,较多用于变电站附近,对差数和端度较高的所更为适宜</p>	
单芯电缆管式终端 558型 511型 512型	<p>1. 套管可根据电压级、污秽程度、海拔高度的不同而改变</p> <p>2. 20~35kV级的设计有内补油装置,以补充上端滴流流失的油剂,不致形成贫油状态</p>	<p>可供35kV及以下单芯电缆和20~35kV分相(铅)护套用。适用于户外及各种环境,亦可用于相应电压级的橡皮或塑料电缆,但应采用低温浇灌剂</p>	

续表

名称、型号	性能特点	适用场合	结构图
扇形终端 WS(铸铁壳、户外用)、 NS(铸铁壳、户内用)	1. 三个瓷套在一个平面上, 适宜靠墙安装 2. 形状扁平, 另两个方向尺寸则较大 3. 壳体结构牢固	适宜于易受外力作用、环境较恶劣和安全要求较高的场合	
鼎足式户内终端 NTN(尼龙料)、 NTC(瓷质)	1. 结构小巧, 轻便 2. 一般场合中使用性能良好 3. NTC 为整体瓷件; NTN 为全尼龙装配式	户内用 NTN不宜用于环境温度高、污秽多、有火种的场合, 但可用于有轻度化学腐蚀的环境中, 特别适用于配电设备附近。NTC的使用场合没有限制, 但不宜承受机械冲击	

6.5.1.2 橡皮、塑料绝缘低压电力电缆终端 它是由手套形分支盒、自粘带绕包的增强绝缘、保护带、接线端子等几部分所组成。户外型须加雨罩, 不附加浇注剂, 是干式结构。施工、维修方便, 但电性能及耐潮湿性能较差, 适用于干燥和较清洁的环境中。

10kV 塑料、橡皮电缆终端结构如图 6.1.22 所示。

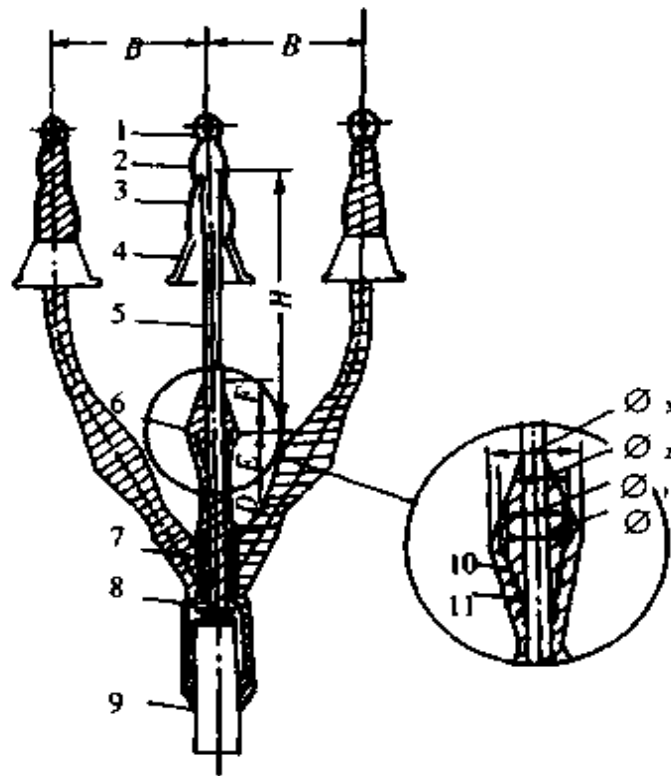


图 6.1.22 10kV 塑料、橡皮电缆终端

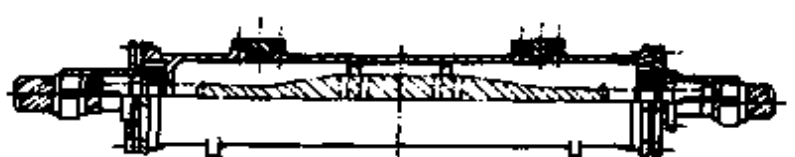
- 1—导线接线端子 2—自粘性橡胶带 3—塑料胶粘带 4—雨罩(户外用)  
 5—电缆绝缘线芯 6—屏蔽环 7—电缆屏蔽层 8—三芯分支手套  
 9—接地铜线 10—铝屏蔽带 11—半导电布带

### 6.5.2 连接盒

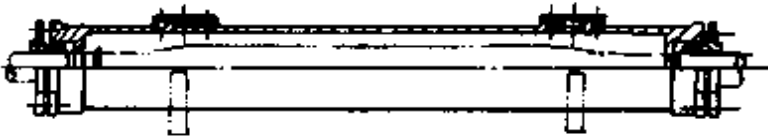

连接盒又称中接头。

6.5.2.1 低压电力电缆连接盒 它的外壳用铸铁或铝合金整体制成,两端及灌注孔用机械密封;或用环氧树脂灌模固化成型,其品种、特点和结构示意图见表 6.1.157。

表 6.1.157 低压电力电缆连接盒的品种及特点

名称	结构特点	适用场合
LB 系列中间连接盒	<p>1. 结构示意图如下</p>  <p>2. 外壳用铸铁或铝合金整体制成,二端电缆引入处及灌注孔处用机械密封</p> <p>3. 安装方便,结构简单</p>	<p>适用于 10kV 及以下电缆的隧道敷设和直埋敷设</p>

续表

LL 系列 中间连 接盒	<p>1. 结构示意图如下</p>  <p>2. 外壳用铸铝整体制成, 二端电缆引入处及灌注孔处用机械密封</p> <p>3. 安装方便, 结构简单</p>	适用于 20 ~ 35kV 分相铅包、铝包电缆的隧道敷设和直埋敷设
环氧树 脂中间 连接盒	<p>1. 结构示意图如下</p>  <p>2. 电缆线芯绕包后放在金属或塑料的模子中, 灌注环氧树脂, 固化后去除模子</p> <p>3. 防止线芯沿轴向和径向渗油是工艺控制的关键</p> <p>4. 要能严格保证内外密封时性能良好, 否则埋地敷设易渗水击穿</p>	适用于 10kV 及以下电缆的隧道敷设, 如用于直埋敷设, 应注意密封

6.5.2.2 塑料、橡皮绝缘低压电力电缆连接盒 以 10kV 级为例, 它的结构见图 6.1.23; 其主要尺寸见表 6.1.158。

表 6.1.158 10kV 塑料、橡皮电缆连接盒的主要尺寸

导线面积 (mm <sup>2</sup> )	尺 寸 (mm)								
	A	B	C	D	E	F	H	J	M
16	76	10	25	40	100	610	10	38	83
25	78	10	25	40	100	620	12	40	87
35	80	10	25	40	100	640	14	42	91
50	84	10	25	40	100	650	16	44	95
70	90	10	25	40	100	670	18	46	100
95	100	10	25	40	100	690	21	49	106
120	105	15	30	40	110	780	23	51	111
150	105	15	30	40	110	820	25	53	115
185	110	15	30	40	110	850	27	55	120
240	120	15	30	40	110	910	31	59	128

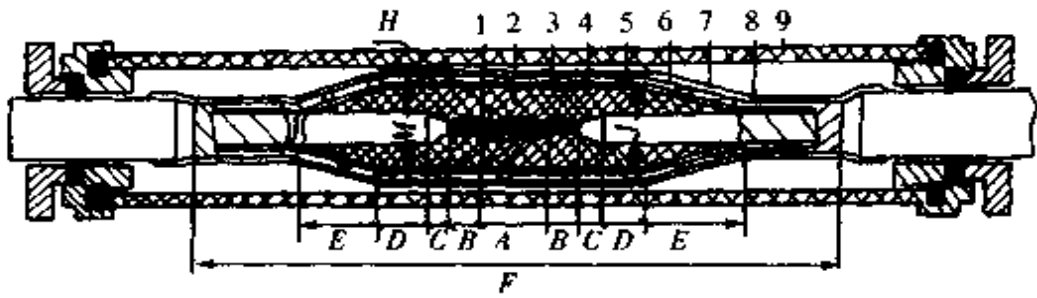


图 6.1.23 10kV 塑料、橡皮电缆连接盒  
 1—连接管 2—自粘性橡胶带 3—半导电带(或纸) 4—铝屏蔽带 5—软铜丝  
 6—塑料胶粘带 7—布带 8—多股镀锡铜带 9—塑料连接盒

## 6.6 电力电缆的选用

### 6.6.1 敷设位差的选择

选用电缆时,应考虑其最大允许敷设位差能符合线路位差的需要。各种电缆的最大允许位差见表 6.1.159。

表 6.1.159 电缆的最大允许位差

电 缆 类 型	最大允许位差(m)	
	铅护层	铝护层
普通粘性浸渍电缆		
1~3kV 铠装	25	25
无铠装	20	25
6kV	15	20
10kV	15	-
20~35kV	5	-
不滴流电缆 塑料绝缘电缆 橡皮绝缘电缆	无限制	

### 6.6.2 导线截面的选择

根据电缆线路的传输容量及短路电流,按产品载流量选择电缆导线截面;然后再计算其在短路电流作用期间的导线温度,如不超过其允许短路温度,方可选用。

### 6.6.3 电缆护层的选择

合理选择护层,才能保证电缆的使用寿命,各种电缆护层的适用敷设场合见表 6.1.160。

表 6.1.160 各种电

序号	名称		型号	适					
				敷 设 方					
				架空	室内	电缆沟	隧道	管道	
1	裸金属护套	平铝护套	L	✓	✓	✓	✓		
		皱纹铝护套	LW	✓	✓	✓	✓		
		铅护套	Q	✓	✓	✓	✓	✓	
2	橡皮护套	一般橡胶套		✓	✓	✓	✓	✓	
		不延燃橡胶套	F	✓	✓	✓	✓	✓	
		耐寒橡胶套	H	✓	✓	✓	✓	✓	
3	塑料护套	聚氯乙烯护套	V	✓	✓	✓	✓	✓	
		聚乙烯护套	Y	✓	✓	✓	✓	✓	
		双护套	YV	✓	✓	✓	✓	✓	
4	一级防腐 外护层	铝(L或LW)	塑料 护套	11	✓	✓	✓	✓	✓
		铅(Q)			✓	✓	✓	✓	✓
		皱纹钢管(GW)			✓	✓	✓	✓	✓
		裸钢带铠装	120		✓	✓	✓		
		钢带铠装	12		✓	✓	○		
		裸单层细圆钢丝	130						
		单层细圆钢丝	13						
		裸双层细圆钢丝	140						
		双层细圆钢丝	14						
		裸单层粗圆钢丝	150						
		单层粗圆钢丝	15						
裸双层粗圆钢丝	160								
双层粗圆钢丝	16								
5	二级防腐 外护层	钢带铠装	22						
		单层细圆钢丝	23						
		双层细圆钢丝	24						
		单层粗圆钢丝	25						
		双层粗圆钢丝	26						



缆护套的适用敷设场合

用 敷 设 场 合								备 注
式			环 境 条 件					
竖井	埋地	水下	易燃	移动	多砾石	一般腐蚀	严重腐蚀	
			✓				✓	
			✓				✓	
			✓				✓	
				✓			✓	✓
			✓	✓			✓	✓
				✓			✓	✓
	✓		✓	✓			✓	✓
	✓			✓			✓	✓
	✓		✓	✓			✓	✓
			✓				✓	✓
	✓		✓				✓	✓
	✓		✓				✓	
	✓		○		✓		✓	
✓			✓				✓	
○	✓	✓	○		✓		✓	
✓			✓				✓	
○	✓	✓	○		✓		✓	
✓			✓				✓	
○	✓	✓	○		✓		✓	
✓			✓				✓	
○		✓	○				✓	
	✓		✓		✓			✓
✓	✓	✓	✓		✓			✓
✓	✓	✓	✓		✓			✓
○	✓	✓	○		✓			✓
○		✓	○				✓	

耐 油  
到 - 50℃  
有普通、耐寒柔软等品种

内护套: 聚乙烯  
外护套: 聚氯乙烯  
推荐埋地用

可承受大拉力  
可承受大拉力

可承受大拉力

序号	名称	型号	适用						
			敷 设 方 式						
			架空	室内	电缆沟	隧道	管道	竖井	
6	普通外护层 (仅用于铅护套)	麻 被	1		√	√	√		
		裸钢带铠装	20		√	√	√		
		钢带铠装	2		√	√	○		
		裸单层细圆钢丝	30						√
		单层细圆钢丝	3						○
		裸双层细圆钢丝	40						√
		双层细圆钢丝	4						○
		裸单层粗圆钢丝	50						√
		单层粗圆钢丝	5						○
		裸双层粗圆钢丝	60						√
		双层粗圆钢丝	6						○
7	内铠装塑料 外护层 (全塑电 缆用)	钢 带	29		√	√	√		
		单层细圆钢丝	39						√
		单层粗圆钢丝	59						√
8	特种护层	防 霉	TH	湿热带有防霉要求地区					
		防 鼠		鼠类活动地区(电缆外径在 15mm 以下时)					
		防 白 蚁		白蚁活动地区					
		防 雷		雷电活动地区的易遭雷击地段					
		防 辐 射		放射线辐射地区					

注:1.“√”表示适用;“○”表示外被层为玻璃纤维时适用。

2. 适用范围是根据技术性和经济性考虑的,无标记者不推荐采用。

3. 裸金属护套一级防腐外护层,由沥青复合物加聚氯乙烯套组成。

4. 铠装一级防腐外护层,由衬垫层、铠装层和外被层组成。衬垫层由两个沥青复合物、聚氯乙烯带和浸渍皱纸带的防水组合层所组成。外被层由沥青复合物、浸渍电缆麻(或浸渍玻璃纤维)和防止粘合的涂料组成。

5. 裸铠装一级防腐外护层的衬垫层与铠装一级外护层的衬垫层相同,没有外被层。

6. 铠装二级防腐外护层的衬垫层与铠装一级外护层的衬垫层相同。钢带及细钢丝铠装的外被层由沥青复合物和聚氯乙烯护套组成。粗钢丝铠装的镀锌钢丝外面应挤包一层聚氯乙烯护套或其他同等效能的防腐涂层,以保护钢丝免受外界腐蚀。

7. 单芯钢带铠装电缆不适用于交流线路。



## 第二章 特种电工材料

特种导电材料是指一些除具有导电基本性能外还具有特种用途的导电材料,包括电阻合金、电热材料、热电偶、热双金属片、电触头及电碳制品等。

### 1 电阻合金

电阻合金是制造电阻元件的材料,它具有电阻温度系数小、稳定性好、机械强度高特性,可制成粉、线、箔、片、带、棒、管等形状,表面还可覆盖绝缘层,广泛应用于电机、电器、仪器、仪表及电子等工业。

电阻合金按其用途可分为:调节元件用、精密元件用、电位器用和传感元件用电阻合金。常用的电阻合金有康铜、新康铜、锰铜和镍铬合金线等。

#### 1.1 调节元件用电阻合金

调节元件用电阻合金具有机械强度高,抗氧化和耐腐蚀性能好,工作温度较高等优点,主要用于电流和电压的调节与控制元件的绕组。调节元件用电阻合金的主要材料有康铜、新康铜、镍铬合金等,其性能和特点见表 6.2.1。

#### 1.2 精密元件用锰铜合金

精密元件用电阻合金具有电阻温度系数小、稳定性好、对铜热电动势小等特点,一般制成聚酯高强度漆包线,主要用于仪器、仪表中作绕组,按其用途可分为电工仪器用锰铜合金、分流器用锰铜合金及高电阻率合金等。

##### 1.2.1 电工仪器用锰铜合金

电工仪器用锰铜合金主要用作电桥、电位差计及标准电阻等电工仪器中的电阻元件。由于它在 20℃ 附近的电阻随温度变化的误差很小,故在恒温室内使用时,仪器的准确度和稳定度很高。电工仪器用锰铜合金有通用型(0 级、1 级及 2 级)和硅锰铜两种,其性能和特点见表 6.2.2。

##### 1.2.2 分流器用锰铜合金

分流器用锰铜合金在 30℃ ~ 50℃ 范围内的电阻值最大,可用于温升较高、温

表 6.2.1 调节元件用电阻合金的性能和特点

名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20°C) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/\text{°C}$ )	对铜热电动势 $E_{cu}$ ( $\mu\text{V}/\text{°C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	最高工作温度 ( $\text{°C}$ )	特点
康铜	Ni39~41, Mn1~2, Cu余量	0.48	$\approx 50$	-43	8.9	390~590	15~30	500	抗氧化性能良好
新康铜	Mn10.8~12.5, Al2.5~4.5, Fe1.0~1.6, Cu余量	0.48	$\approx 50$	0.3~0.5	8.0	390~540	15~30	500	抗氧化性能比康铜差, 价廉
镍铬	Cr20~23, Ni余量	1.09	$\approx 70$	3.5~4.0	8.4	640~780	10~30	500	焊接性能较差
镍铬铁	Cr15~18, Ni55~61, Fe余量	1.12	$\approx 150$	<1	8.2	640~780	20~35	500	焊接性能较差
铁铬铝	Cr12~15, Al3.5~5.5, Fe余量	1.26	$\approx 120$	3.5~4.5	7.4	540~740	10~30	500	焊接性能较差

表 6.2.2 电工仪器用电阻合金的性能和特点

名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20°C) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数		对热电动势 $E_0$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	工作温度 ( $^\circ\text{C}$ )	特点
			$\alpha$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )	$-\beta$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}^2$ )						
通用型锰铜	Mn11~13, Ni2~3, Cu余量	0.47	-2~2	0~0.7	$\leq 1$	8.4	390~540	10~30	5~45	电阻稳定性高,焊接性能好,抗氧化性能较差
			-3~5							
			-5~10							
硅锰铜	Mn8~10, Si~2, Cu余量	0.35	-3~5	0~0.25	$\leq 1$	8.4	390~540	10~30	5~45	电阻对温度曲线较平坦,宽温度范围内的阻值误差比通用型锰铜小

注:①0级适用于准确度高的电阻元件。

表 6.2.3 分流器用锰铜合金的性能和特点

名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20°C) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数		对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	工作温度 ( $^\circ\text{C}$ )	特点
			$\alpha$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )	$-\beta$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )						
F1 级 <sup>①</sup>	Mn8~10, Si1~2, Cu余量	0.35	0~10	0~0.25	$\leq 2$	8.4	390~540	10~30	20~80	电阻对温度曲线较平坦,在宽温度范围内阻值误差比 F2 级小
F2 级	Mn11~13, Ni2~5, Cu余量	0.44	0~40	0~0.7	$\leq 2$	8.4	390~540	10~30	20~80	电阻最高点温度比通用型锰铜高

注:①主要成分同硅锰铜(见表 6.2.2),但两者的电阻温度系数不同。F1 级适用于准确度较高的分流器。

表 6.2.4 高电阻率合金的性能和特点

名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20°C) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $\alpha_a$ (0~100°C) ( $10^{-6}/\text{C}$ )	对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	工作温度 (°C)	特点
镍铬铝铁	Cr18~20, Al1~3, Fe1~3, Ni余量	1.33	-20~20	$\leq 2$	8.1	780~980	10~25	-65~125	机械强度高, 耐磨性好,焊接 性能较差
镍铬铝铜	Cr18~20, Al2~4, Cu1~3, Ni余量	1.33	-20~20	$\leq 2$	8.1	780~980	10~25	-65~125	焊接性能比 镍铬铝铁略好, 余同上。
镍铬锰硅	Cr17~19, Mn2~4, Si1~4, Al, Ni余量	1.35	-20~20	$\leq 2$	8.1	780~980	10~25	-65~125	焊接性能比 镍铬铝铜略好, 余同上。
镍铬铝矾	Cr17~19, Al3~5, V3~5, Mn, Ni余量	1.70	-30~30	$\leq 5$	8.1	$\approx 1600$	$\approx 15$	-65~125	焊接性能较 差
镍锰铬钼	Mn34~37, Cr7~10, Mo, Ni余量	1.90	-50~50	$\leq 7$		$\approx 1600$	6~10	-65~125	焊接性能较 好



表 6.2.5 滑线锰铜的性能和特点

主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20°C) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数		对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	工作温度 (°C)	特点
		$a$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}$ )	$-\beta$ ( $10^{-6}/^\circ\text{C}^2$ )						
Mn12~13, Ni1~3 Al, Cl 余量	0.45	0~40	$\leq 0.5$	$\leq 2$	8.4	390~540	10~30	20~80	抗氧化性比通用型锰铜好, 电焊性能良好, 电阻对温度曲线较平坦, 电阻最高点温度较高

度变化范围较宽的分流器或分压器上。分流器用锰铜合金有 F1 级和 F2 级两种, F1 级用作准确度较高的分流器, F2 级用作精密电阻器、分流器和一般电阻器。它们的性能和特点见表 6.2.3。

### 1.2.3 高电阻率合金

高电阻率合金的电阻率较高,能加工成细线( $\varnothing 0.01\text{mm}$ )或轧制成薄膜( $< 0.01\text{mm}$ ),主要用于高阻值元件、高阻值电阻箱、高阻值电阻器、小型电阻元件等,也可用于电位器。高电阻率合金有镍铬铝铁、镍铬铝铜、镍铬锰硅等,其性能和特点见表 6.2.4。

## 1.3 电位器用电阻合金

电位器用电阻合金具有耐腐蚀性能好、表面光洁、接触电阻小而恒定等特性。一般采用康铜(见表 6.2.1)和镍铬基合金(见表 6.2.4)以及滑线锰铜。滑线锰铜的性能和特点见表 6.2.5。

康铜对铜的热电动势较大,仅能用于不受直流热电动势干扰的交流电路中,在要求较高的电位器中,须采用贵金属电阻合金。电位器用贵金属电阻合金有铂基、金基、钯基及银基等各类合金,其性能和特点见表 6.2.6。

表 6.2.6 电位器用贵金属电阻合金的性能和特点

类型	名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $\alpha$ (0~100℃) ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		特点
					硬	软	
铂基	铂铑	Rh10, Pt 余量	0.19	1700	$\approx 1180$	$\approx 490$	1. 具有较好化学稳定性,但对有机物质的抗侵蚀性能差 2. 接触电阻较低 3. 耐磨性好
	铂铱	Ir10, Pt 余量	0.25	1330	$\approx 1230$	$\approx 540$	
	铂钌	Ru10, Pt 余量	0.42	470	$\approx 1370$	$\approx 7800$	
	铂铜 8.5	Cu8.5, Pt 余量	0.50	330	$\approx 1470$	$\approx 780$	
	铂钨	W8, Pt 余量	0.62	280	$\approx 1470$	$\approx 9860$	
	铂铜 20	Cu20, Pt 余量	0.90	100	$\approx 1380$	$\approx 590$	
金基	金银铜	Ag20, Cu30, Au 余量	0.12		$\approx 940$	$\approx 640$	1. 化学性能较稳定,特别能抗有机物质的侵蚀 2. 具有较稳定的接触电阻 3. 摩擦系数较大 4. 接触力大时,耐磨性能不够高
	金镍铜	Ni7.5, Cu1.5, Au 余量	0.19			$\geq 490$	
	金镍	Ni5, Au 余量	0.14	71			
	金镍铬	Ni5, Cr1, Au 余量	0.24	35	750	380	
钯基	金钯铁	Pd40.5, Fe10, Au 余量	1.9	20~75			
	金钯铁铝	Pd50, Fe11, Al1, Au 余量	0.75~2.30	$\approx 0$			
钯基	钯银	Ag40, Pd 余量	0.42	30	$\approx 1080$	$\approx 390$	1. 机械性能及耐磨性能好 2. 抗腐蚀性能好,但抗有机物质的侵蚀性能差
	钯银铜	Ag36, Cu4, Pd 余量	0.45	30	$\approx 880$	$\approx 490$	
	钯钼	Mo10, Pd 余量	0.90		$\approx 1380$	$\approx 590$	

续表

类型	名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $d$ (0~100℃) ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )		特点
					硬	软	
银基	银锰锡 1	Mn6~8, Sn0.5~1.5, Ag余量	0.28	0~5			1. 能抗有机酸、含氮化合物、稀 NaCl, HNO <sub>3</sub> , NaOH 溶液和 CO <sub>2</sub> 等气体, 适合于海洋性及潮湿环境, 但易硫化 2. 具有良好的电接触性能 3. 硬度低
	银锰锡 7.5	Mn7~8, Sn7~8, Ag余量	0.53	10~20			

## 1.4 传感元件用电阻合金

传感元件用电阻合金主要用于仪器、仪表中, 制成应变、温度、磁场和压力等参数的传感元件。这种传感元件可以把上述这些参数的变化转变为相应的电阻变化, 以便于对它们进行测量、控制和补偿。这种电阻合金具有传感灵敏度高, 复现性和互换性好, 反应快, 漂移小及稳定性好等特性, 按所传感的参数和作用分为应变元件用电阻合金、温度补偿用电阻合金及测量用电阻材料。

### 1.4.1 应变元件用电阻合金

应变元件用电阻合金制成的传感元件主要用于测定应变、伸长率和应力等。应变元件用电阻合金具有灵敏系数大、电阻温度系数小、对铜的热电动势小等特点。应变元件用电阻合金有铁基、镍基和贵金属基各类合金, 其性能和特点见表 6.2.7。

表 6.2.7 应变元件用电阻合金的性能和特点

类别	名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $\alpha_a$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻对温度关系线性范围 (℃)	应变灵敏系数 $K$	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/\text{℃}$ )	特点
铁基	铁镍铬银	Ni32~37, Cr6~9, Mo, Fe余量	1.13	100~470	20~230	2.1~3.6	~1200	≈3.5	1. 高温下抗氧化性能比镍基好, 工作温度较高 2. 高温下蠕变大 3. 冷加工性能较差 4. 原料丰富, 成本低
	铁铬铝	Cr20~23, Al3~7, V, Mo, Fe余量	1.45	-40~40	-	2.7	≈180		
		Cr20~23, Al8~12, Fe余量	1.78	≈-120	20~1000	2.0			

续表

类别	名称	主要成分 (%)	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $\alpha_0$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻对温度关系线性范围 (℃)	应变灵敏系数 (K)	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/\text{℃}$ )	特点
镍基	镍铜	Ni40~45, Mn1~4, Cu余量	0.48	-20~20	20~300	2.0	590~690	-43	1. 冷加工性能较好, 易拉制成细线 2. 电阻对温度关系的直线性较好 3. 工作温度一般不高于400℃
	镍铬	Cr20~23, Ni余量	1.10	≈70	20~400	2.2	770~1380	≈4	
	镍铬铝铁	Cr18~23, Al1~3, Fe1~3, Ni余量	1.33	-10~10	20~400	2.1	900~1270	≈3	
	镍铬铝	Cr18~23, Al1~3, Ni余量	1.45	-30~30	20~450	2.0	≈1200		
	镍钼铝	Mo20~25, Al1~3, Ni余量	1.55	-30~30	-200~20 20~520	2.1	≈1400	≈8	
贵金属基	铂钨	W8, Pt余量	0.66	≈230	0~700	3.5~4	≈880	6.1	1. 高温下抗氧化性能好, 稳定性好 2. 除金钯铁外, 电阻对温度关系的直线性较好 3. 原材料贵重 4. 随温度升高, 应变灵敏系数下降较大
		W8.5, Pt余量	0.68	≈200	0~700	3.5~4	≈980	6.4	
		W9.5, Pt余量	0.75	≈170	0~700	3.0~3.5	≈1180	6.5	
	铂钯钨	Pd45, Mo10, Pt余量	0.86	≈130	0~450	2.5	≈830	6.8	
	铂钨铼	W7.5, Re5.5, Pt余量	0.84	≈88	0~800	2.8	≈1380	3.6	
金钯铁	Pd48, Fe10, Au余量	1.60~1.78	-20~20	非线性	≈2.0	≈1280	1		

#### 1.4.2 温度补偿用电阻合金

温度补偿用电阻合金具有负值电阻温度系数, 其电阻值随温度的升高而降低, 适用于电工仪表中作线路温度补偿。若电工仪表中的铜线电阻因温度升高而电阻值增大时, 可用这种电阻合金起抵消作用, 使之得到补偿。温度补偿用电阻合金的材料有铁锰铝, 其性能和特点见表 6.2.8。

表 6.2.8 温度补偿用电阻合金的性能和特点

名称	主要成分 (%)	电阻率, $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	平均电阻温度系数 $\alpha_0$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	对铜热电动势 $E_a$ ( $\mu\text{V}/\text{℃}$ )	工作温度 (℃)	特点
铁锰铝	Mn32~37, Al5~7, Fe余量	1.25~1.35	-200~-300	<2	-50~60	焊接性能较差

### 1.4.3 测温用电阻材料

测温用电阻材料具有较高的正值电阻温度系数,其电阻值随温度上升而显著增大,可利用它们的电阻变化来测量温度,其常用材料为铂、铜、镍等纯金属线,其有关性能见本篇第一章的表 6.1.1。

## 1.5 常用的电阻合金

常用的电阻合金有康铜、新康铜、锰铜和镍铬、镍铬铁等合金。

### 1.5.1 康铜

康铜用于起动的、分流的、限流的、调整的变阻器及镇流器的电阻,它具有较高的电阻率、较小的温度系数和长时间承受振动及能承受 100℃~200℃ 高温的能力。

### 1.5.2 新康铜

新康铜是不含镍的电阻合金,价格低廉,可代替康铜用于各种变阻器中作为电阻元件。电阻系数与康铜相近。

### 1.5.3 锰铜

锰铜用于标准电阻、电阻箱、分流器及附加电阻,它具有较高的电阻率、极小的温度系数、不随时间而改变的特性和与铜接触时具有很小的热电动势。

### 1.5.4 镍铬、镍铬铁

镍铬、镍铬铁用于电阻式加热仪器及电炉,它具有较高的电阻率、很小的温度系数和长时间承受高温的能力。

康铜(新康铜)、锰铜及镍铬电阻合金裸线规格见表 6.2.9。

表 6.2.9 康铜、锰铜及镍铬电阻合金裸线规格

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	每米电阻值(Ω/m)			每千克长度(m/kg)	
		康 铜	锰 铜	镍 铬	康锰铜	镍 铬
0.025	0.00049	958.01	937.63	2 242.6	234 289.7	248 575.6
0.03	0.000706	665.25	651.09	1 556.9	162 692.8	172 613.1
0.04	0.001256	374.20	366.24	875.79	91 514.75	97 094.9
0.05	0.001962	239.49	234.39	560.50	58 569.4	62 140.7
0.06	0.002826	166.31	162.77	389.24	40 673.2	43 153.2
0.07	0.003846	122.20	119.60	286.01	29 886.2	31 708.5
0.08	0.005024	95.550	91.56	218.94	22 878.6	24 273.7
0.09	0.006358	73.923	72.349	173.01	18 078.4	19 180.7
0.10	0.007850	59.872	58.598	140.12	14 642.3	15 535.1
0.12	0.0011304	41.578	40.693	97.310	10 168.3	10 788.3
0.13	0.0013266	35.428	34.675	82.918	8 664.4	9 192.7
0.14	0.015386	30.547	29.897	71.493	7 470.6	7 926.1

续表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	每米电阻值( $\Omega/m$ )			每千克长度(m/kg)	
		康 铜	锰 铜	镍 铬	康锰铜	镍 铬
0.15	0.017662	26.610	26.043	62.278	6 507.7	6 904.5
0.16	0.020096	23.387	22.890	54.737	5 719.6	6 068.4
0.17	0.022686	20.717	20.276	48.486	5 066.5	5 375.4
0.18	0.025434	18.479	18.086	43.249	4 519.2	4 794.8
0.19	0.028338	16.585	16.232	38.816	4 056.1	4 303.8
0.20	0.0314	14.968	14.649	35.009	3 660.5	3 883.7
0.23	0.04152	11.318	11.077	26.489	2 767.9	2 936.7
0.25	0.04906	9.5801	9.3762	22.426	2 342.8	2 485.7
0.27	0.05722	8.2129	8.0382	19.223	2 028.6	2 131.0
0.28	0.06154	7.6368	7.4743	17.873	1 867.6	1 981.5
0.30	0.07065	6.6525	6.5109	15.569	1 626.9	1 726.1
0.32	0.08038	5.8469	5.7225	13.684	1 429.9	1 517.1
0.35	0.09616	4.8375	4.7835	11.438	1 195.2	1 268.1
0.37	0.10746	4.3734	4.2804	10.235	1 070.6	1 134.7
0.38	0.11335	4.1463	4.0580	9.7041	1 014.0	1 075.8
0.40	0.1256	3.742	3.6624	8.7579	915.15	970.94
0.45	0.1589	2.9567	2.8938	6.9199	723.09	767.18
0.50	0.1962	2.3949	2.3439	5.6050	585.69	621.40
0.55	0.2374	1.9792	1.9371	4.6322	484.03	513.55
0.60	0.2826	1.6631	1.6277	3.8924	406.73	431.53
0.70	0.3846	1.2220	1.1960	2.8601	298.86	317.08
0.80	0.5024	0.9355	0.9156	2.1894	228.78	242.73
0.90	0.6358	0.7392	0.7234	1.7301	180.78	191.80
1.00	0.785	0.5987	0.5859	1.4012	146.42	155.35
1.20	1.1304	0.4157	0.4069	0.9731	101.68	107.88
1.40	1.5386	0.3054	0.2989	0.7149	74.70	79.26
1.60	2.0096	0.2338	0.2289	0.5473	57.19	60.68
1.80	2.5434	0.1847	0.1808	0.4324	45.19	47.94
2.00	3.1415	0.1476	0.1464	0.3500	36.60	38.83
2.30	4.1526	0.1131	0.1107	0.2648	27.67	29.36
2.60	5.3066	0.0885	0.0866	0.2072	21.66	22.98
3.00	7.065	0.0665	0.0651	0.1556	16.26	17.26
3.20	8.038	0.0584	0.0572	0.1368	14.29	15.17
3.50	9.616	0.0483	0.0478	0.1143	11.95	12.68
4.00	12.56	0.0374	0.0366	0.0875	9.15	9.70
4.50	15.89	0.0295	0.0289	0.0691	7.23	7.67
5.00	19.62	0.0239	0.0234	0.0560	5.85	6.21
5.50	23.74	0.0197	0.0193	0.0463	4.84	5.13
6.00	28.26	0.0166	0.0162	0.0389	4.06	4.31
6.50	33.16	0.0141	0.0138	0.0331	3.46	3.64
7.00	38.46	0.0122	0.0119	0.0286	2.98	3.17
8.00	50.24	0.0093	0.0091	0.0218	2.28	2.42

## 2 电热材料

电热材料用于制造各种电阻加热设备中的发热元件,作为电阻体接在电路中,把电能转变为热能,使炉温升高。它在高温下具有良好的氧化性能和一定的机械强度,电阻率较高,电阻温度系数较小,易于加工成形。

### 2.1 电热材料的类别和品种

电热材料有金属和非金属之分,金属电热材料有贵金属及其合金(如铂、铂铱、铱等)和重金属及其合金(如钨、钼、镍铬、铁铬铝等),通常铁铬铝用得较多;非金属电热材料有硅碳(亦称碳化硅)和硅钼(亦称二硅化钼)等。常用的电热材料中,合金材料使用较广。高熔点纯金属材料的工作温度一般比合金高,但它需在保护气氛中工作。硅碳及硅钼电热材料是制成元件状态供应的,其工作温度也较高,但质硬而脆,使用中不如金属电热材料方便。此外,还有在金属套管内绝缘埋入合金电热线形成管状电加热元件,所用绝缘材料一般为氧化镁粉。常用电热材料及元件的类别、品种、工作温度、特点和用途见表 6.2.10。

表 6.2.10 常用电热材料及元件的类别、品种、工作温度、特点和用途

类别	品 种		发热体工作温度(℃)		特 点 和 用 途
			常用	最高	
材 料	镍铬合金	Cr20Ni80	1000~1050	1150	1. 电阻率较高; 2. 加工性能好, 可拉成细丝; 3. 高温强度较好, 用后不变脆, 适用于移动式设备上; 4. 具有奥氏体组织, 基本上无磁性
		Cr15Ni60	900~950	1050	
	铁铬铝合金	1Cr13Al4	900~950	1100	1. 抗氧化性能比镍铬好; 2. 电阻率比镍铬高, 密度较小, 用料省; 3. 不用镍, 价较廉; 4. 高温强度低, 且用后变脆, 适用于各种固定式设备; 5. 加工性能稍差; 6. 具有铁素体组织, 有磁性
		0Cr13Al16Mo2	1050~1200	1300	
0Cr25Al5		1050~1200	1300		
0Cr27Al7Mo2	1200~1300	1400			
高熔点纯金属	铂 Pt 钼 Mo 钽 Ta 钨 W	1300~1400	1600	1. 铂可在空气中使用, 但其氧化物在高温下挥发影响使用寿命。钨、钽须在惰性气体、真空及氢中使用。钽除不适用于氢以外, 其他同钨、钼; 2. 电阻率较低, 电阻温度系数较大(须配调压装置, 开始加热时, 须降低电压, 防止电流过大); 3. 材料价高; 4. 适用于实验室或特殊电炉	
			1800		
			2200		
			2400		
	石墨 C		3000	1. 电阻率较低(须配大电流低电压调压器); 2. 适用于真空或保护气氛中使用	

续表

类别	品 种	发热体工作温度(℃)		特点和用途
		常用	最高	
元 件	硅碳棒 硅碳管 SiC	1250 ~ 1400	1500	1. 高温强度高; 2. 硬而脆; 3. 元件间的电阻值一致性较差; 4. 易老化, 电阻随使用时间延长而增大(须配调压装置)
	硅钼棒 MoSi <sub>2</sub>	1500 ~ 1600	1700	1. 表面有 SiO <sub>2</sub> 保护膜, 抗氧化性能好, 无老化现象; 2. 正向电阻温度系数较大(须配调压装置, 开始加热时, 须降低电压, 防止电流过大); 3. 室温下硬而脆, 1350℃ 开始变软, 而有延展性; 4. 不宜在 800℃ 以下长期使用, 因不能形成较好的氧化膜
	管状电加热元件	550℃ 以下 (介质温度)		1. 结构简单; 2. 可直接在液体中加热, 热效率较高; 3. 机械强度好, 可弯成各种形状; 4. 拆装便利, 使用安全; 5. 适用于液体加热槽、易熔金属熔化炉、空气干燥加热器及日用电热器等; 6. 必须在规定的加热介质和工作温度下使用

## 2.2 电热材料的性能

常用电热材料的物理及机械性能见表 6.2.11, 其不同温度下的电阻修正系数见表 6.2.12。

## 2.3 电热材料的规格与选用

电热元件的作用是把电能转变成热能, 并通过辐射、对流或传导向炉内散发做功。其散发能力用“单位表面负荷  $w$ ”表示, 它是电热元件表面上每平方厘米面积所能散发的功率, 单位为: 瓦/厘米<sup>2</sup> (W/cm<sup>2</sup>)。对电热材料的选用主要取决于炉温对材料表面负荷  $w$  值的要求。

### 2.3.1 金属线、带材电热元件

表面负荷  $w$  值的大小决定着电热元件温度与炉内温度之间的差额,  $w$  值愈大, 两温度的差额愈大。

在元件温度相同情况下, 炉温增高, 表面负荷须相应减少, 否则元件过热, 影响使用寿命; 反之, 炉温降低, 表面负荷可相应增大。

在炉温相同的情况下, 增大表面负荷将提高元件温度, 可减少元件表面积, 减少电热材料用量; 反之, 减少表面负荷可延长元件使用寿命, 但须增加电热材料用量。

镍铬及铁铬铝合金产品规格见表 6.2.13; 铁铬铝合金表面负荷的选用范围见表 6.2.14。



表 6.2.11 常用电热材料的物理及机械性能

性能	镍铬合金		铁铬铝合金				铂	钨	钼	钽	硅碳棒	硅钼棒
	Cr20Ni80	Cr15Ni60	1Cr13Al4	0Cr13Al6Mn2	0Cr25Al5	0CrAl7Mn2						
密度(g/cm <sup>3</sup> )	8.4	8.2	7.4	7.2	7.1	21.5	10.2	16.6	19.3	3.1~3.2	5.3~5.5	
线膨胀系数(20℃~1000℃) (10 <sup>-6</sup> /℃)	14	13	15.4	15.6	16	16	8.9	6.1	6.5	5.9	5 (20℃~1500℃)	
比热(J/g·℃)	0.441	0.462	0.491	0.496	0.496	0.133	0.315	0.143	0.143	0.714		
导热系数(kJ/m·h·℃)	60.5	45.4	52.9	49.1	46.2	45.4	249.5	529.2	196.6	468.3	84	
熔点约值(℃)	1400	1390	1450	1500	1500	1520	1773	2622	2996	3400		2030
抗张强度(N/mm <sup>2</sup> )	640~780	640~780	590~740	690~840	640~780	690~780	157~177	780~1180	290~440	1070	40~50 (抗折)	250~350 (抗弯)
伸长率(%)	≥20	≥20	≥12	≥12	≥12	≥10						
反复弯曲次数			≥5	≥5	≥5	≥5						
电阻率(20℃) (Ω·mm <sup>2</sup> /m)	1.09±0.05	1.12±0.05	1.26±0.08	1.40±0.10	1.40±0.10	1.50±0.10	0.106	0.0563	0.124	0.549	1000左 右(1400℃)	0.25

表 6.2.12 常用电热材料在不同温度下的电阻率修正系数 ( $C_t$ )

温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	
镍 铬 合 金	Cr20Ni80	1.000	1.006	1.016	1.024	1.031	1.035	1.026	1.019	1.017	1.021	1.028	1.038												
	Cr15Ni60	1.000	1.013	1.029	1.046	1.062	1.074	1.078	1.083	1.089	1.097	1.105													
铁 铬 铝 合 金	Cr13Al4	1.000	1.004	1.013	1.027	1.041	1.062	1.090	1.114	1.126	1.135	1.142													
	0Cr13Al6Mn2	1.000	1.001	1.003	1.007	1.014	1.028	1.048	1.053	1.057	1.060	1.063	1.066	1.069											
	0Cr25Al5	1.000	1.002	1.007	1.013	1.022	1.036	1.056	1.063	1.068	1.072	1.076	1.079	1.082											
	0Cr27Al7Mn2	1.000	0.997	0.994	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992											
高熔点 纯金属	铂 Pt	1.000	1.291	1.645	1.987	2.32	2.64	2.95	3.25	3.53	3.81	4.08	4.33	4.58	4.81	5.03	5.25								
	钨 W	1.000	1.362	1.822	2.28	2.74	3.20	3.66	4.12	4.58	5.06	5.58	6.11	6.64	7.18	7.71	8.24	8.79	9.34	10.43	11.51	12.61	13.73		
	钽 Ta	1.000	1.275	1.621	1.960	2.31	2.65	2.99	3.34	3.68	4.02	4.35	4.67	4.96	5.23	5.50	5.77	6.03	6.29	6.80	7.30	7.78	8.23	8.70	9.13
	钼 Mo	1.000	1.352	1.801	2.28	2.79	3.32	3.85	4.39	4.94	5.49	6.05	6.62	7.19	7.78	8.36	8.96	9.56	10.16	11.40	12.65	13.94	15.25	16.58	17.95

1400 $^{\circ}\text{C}$ 时电阻率为1000 $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ 左右,升温至900 $^{\circ}\text{C}$ 时电阻率由大变小,900 $^{\circ}\text{C}$ ~1450 $^{\circ}\text{C}$ 则由小变大

硅碳棒元件

硅碳棒元件	1.00	1.40	2.00	2.60	3.32	4.08	4.96	5.84	6.80	7.76	8.80	9.76	10.80	11.84	12.84	13.92	14.92	16.00						
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--	--	--	--	--	--

注:电阻率修正系数  $C_t = \rho_t / \rho_{20}$ , 式中  $\rho_t$  —— 温度  $t^{\circ}\text{C}$  时的电阻率;  $\rho_{20}$  —— 20 $^{\circ}\text{C}$  时电阻率。

表 6.2.13 镍铬及铁铬铝合金产品规格

形状	状态	规格(mm)
线材	冷拔	$\varnothing 0.2 \sim 7.0$
	热轧	$\varnothing 8.0 \sim 14.0$
带材	冷轧	厚度:0.1~4.0;宽度:5~200
	热轧	厚度:2.0~7.0;宽度:15~250

表 6.2.14 铁铬铝合金(0Cr25Al5)表面负荷的选用范围

电热设备类型	工业电阻炉		日用电炉		电烙铁		电熨斗	管状电加热元件
	炉温 1000℃~1200℃	炉温 950℃	开启式	半开启式	外热式	内热式		
材料形状	线材	线材	线材	线材	带材	带材	带材	线材
表面负荷选用范围 (W/cm <sup>2</sup> )	1.0~1.5	1.4~1.8	4~6	13~15	2~3	8~10	5~8	8~25

注:带材元件的表面负荷可高出表列线材元件 20% 左右。

镍铬合金的工作温度比铁铬铝合金低,故其表面负荷须相应减少,一般为表 6.2.13 铁铬铝合金的 60% 左右。

### 2.3.2 硅碳电热元件

硅碳电热元件包括棒和管,系由碳化硅为原料经高温再结晶制成,它由发热部和接线端两部分组成。硅碳棒及单螺纹硅碳管的尺寸规格、每支电阻值及允许负荷分别见表 6.2.15 及 6.2.16;硅碳电热元件在不同元件温度和炉温下的表面负荷值见表 6.2.17。

表 6.2.15 硅碳棒尺寸规格、每支电阻值及允许负荷



$d$ —发热部直径(mm)  $D$ —接线端直径(mm)

$l$ —发热部长度(mm)  $l_2$ —接线端长度(mm)

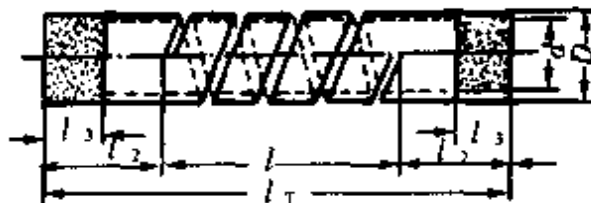
$l_3$ —喷铝部长度(mm)  $l_T$ —元件总长度(mm)

规格 ( $d/l/l_2$ )	各部尺寸(mm)						发热部 表面积 ( $\pi dl$ ) ( $\text{cm}^2$ )	1400℃ 时电阻 ( $\Omega$ ) ( $\pm 10\%$ )	下列炉温时每支元件的允许负荷(W) (元件温度 = 1450℃)			
	发热部		接线端		喷铝 长度 $l_3$	全长 $l_T$			1100℃ ( $w=26.3$ )	1200℃ ( $w=20.5$ )	1300℃ ( $w=13.47$ )	1400℃ ( $w=4.91$ )
	直径 $d$	长度 $l$	直径 $D$	长度 $l_2$								
6/60/75	6	60	12	75	25	210	11.31	2.2	297	232	152.3	55.5
6/100/130	6	100	12	130	25	360	18.85	3.5	496	386	254	92.6
8/100/85	8	100	14	85	30	270	25.1	2.4	660	515	338	123.2
8/100/130	8	100	14	130	30	360	25.1	2.4	660	515	338	123.2
8/150/85	8	150	14	85	30	320	37.7	3.6	992	773	508	185.1
8/150/150	8	150	14	150	30	450	37.7	3.6	992	773	508	185.1
8/180/60	8	180	14	60	30	300	45.2	4.4	1189	927	609	222
8/180/150	8	180	14	150	30	480	45.2	4.4	1189	927	609	222
8/200/85	8	200	14	85	30	370	50.3	4.8	1323	1031	678	247
8/200/150	8	200	14	150	30	500	50.3	4.8	1323	1031	678	247
8/250/100	8	250	14	100	30	450	62.8	6.2	1652	1287	846	308
8/250/150	8	250	14	150	30	550	62.8	6.2	1652	1287	846	308
8/300/85	8	300	14	85	30	470	75.4	7.4	1983	1546	1016	370
8/400/85	8	400	14	85	30	570	100.5	10	2640	2060	1354	493
12/100/200	12	100	18	200	35	500	37.7	1.1	992	773	508	185.1
12/150/200	12	150	18	200	35	550	56.5	1.7	1486	1158	761	277
12/200/200	12	200	18	200	35	600	75.4	2.2	1983	1546	1016	370
12/250/200	12	250	18	200	35	650	94.2	2.8	2480	1931	1269	463
12/300/200	12	300	18	200	35	700	113.1	3.4	2970	2320	1523	555
12/300/250	12	300	18	250	35	800	113.1	3.4	2970	2320	1523	555
14/200/250	14	200	22	250	40	700	88	1.8	2310	1804	1185	432
14/200/350	14	200	22	350	40	900	88	1.8	2310	1804	1185	432
14/250/250	14	250	22	250	40	750	110	2.2	2890	2260	1482	540
14/250/350	14	250	22	350	40	950	110	2.2	2890	2260	1482	540
14/300/250	14	300	22	250	40	800	131.9	2.6	3470	2700	1777	648
14/300/350	14	300	22	350	40	1000	131.9	2.6	3470	2700	1777	648
14/400/250	14	400	22	250	40	900	175.9	3.5	4630	3610	2370	864
14/400/350	14	400	22	350	40	1100	175.9	3.5	4630	3610	2370	864
14/500/250	14	500	22	250	40	1000	220	4.4	5790	4510	2960	1080
14/500/350	14	500	22	350	40	1200	220	4.4	5790	4510	2960	1080
14/600/250	14	600	22	250	40	1100	264	5.2	6940	5410	3560	1296
14/600/350	14	600	22	350	40	1300	264	5.2	6940	5410	3560	1296

续表

规格 ( $d/l/l_2$ )	各部尺寸(mm)						发热部 表面积 ( $\pi dl$ ) ( $\text{cm}^2$ )	1400℃ 时电阻 ( $\Omega$ ) ( $\pm 10\%$ )	下列炉温时每支元件的允许负荷(W) (元件温度 = 1450℃)			
	发热部		接线端		喷铝 长度 $l_3$	全长 $l_T$			1100℃ ( $w=26.3$ )	1200℃ ( $w=20.5$ )	1300℃ ( $w=13.47$ )	1400℃ ( $w=4.91$ )
	直径 $d$	长度 $l$	直径 $D$	长度 $l_2$								
18/250/250	18	250	28	250	50	750	141.4	1.3	3 720	2 900	1 905	694
18/250/350	18	250	28	350	50	950	141.4	1.3	3 720	2 900	1 905	694
18/300/250	18	300	28	250	50	800	169.6	1.7	4 460	3 480	2 280	833
18/300/350	18	300	28	350	50	1000	169.6	1.7	4 460	3 480	2 280	833
18/300/400	18	300	28	400	50	1100	169.6	1.7	4 460	3 480	2 280	833
18/400/250	18	400	28	250	50	900	226	2.3	5 940	4 630	3 040	1 110
18/400/350	18	400	28	350	50	1100	226	2.3	5 940	4 630	3 040	1 110
18/400/400	18	400	28	400	50	1200	226	2.3	5 940	4 630	3 040	1 110
18/500/250	18	500	28	250	50	1000	283	2.7	7 440	5 800	3 810	1 390
18/500/350	18	500	28	350	50	1200	283	2.7	7 440	5 800	3 810	1 390
18/500/400	18	500	28	400	50	1300	283	2.7	7 440	5 800	3 810	1 390
18/600/250	18	600	28	250	50	1100	339	3.4	8 920	6 950	4 570	1 664
18/600/350	18	600	28	350	50	1300	339	3.4	8 920	6 950	4 570	1 664
18/600/400	18	600	28	400	50	1400	339	3.4	8 920	6 950	4 570	1 664
18/800/250	18	800	28	250	50	1300	452	4.6	11 890	9 270	6 090	2 220
18/800/350	18	800	28	350	50	1500	452	4.6	11 890	9 270	6 090	2 220
25/300/400	25	300	38	400	70	1100	236	1.0	6 210	4 840	3 180	1 159
25/400/400	25	400	38	400	70	1200	314	1.3	8 260	6 440	4 230	1 542
25/600/500	25	600	38	500	70	1600	471	2.0	12 390	9 660	6 340	2 310
25/800/500	25	800	38	500	70	1800	628	2.6	16 520	12 870	8 460	3 080
30/1000/400	30	1000	45	400	100	1800	942	1.7	24 800	19 310	12 690	4 630
30/1000/500	30	1000	45	500	100	2000	942	1.7	24 800	19 310	12 690	4 630
30/1500/400	30	1500	45	400	100	2300	1414	2.6	37 200	29 000	19 050	6 940
30/1500/500	30	1500	45	500	100	2500	1414	2.6	37 200	29 000	19 050	6 940
30/2000/500	30	2000	45	500	100	3000	1885	3.4	49 600	38 600	25 400	9 260
30/2000/650	30	2000	45	650	100	3300	1885	3.4	49 600	38 600	25 400	9 260
40/2000/500	40	2000	60	500	100	3000	2510	2.8	66 000	51 500	33 800	12 320
40/2000/650	40	2000	60	650	100	3300	2510	2.8	66 000	51 500	33 800	12 320

表 6.2.16 单螺纹硅碳管尺寸规格、每支电阻值及允许负荷



d—硅碳管内径(mm) D—硅碳管外径(mm)  
 l—螺纹带长度(mm)  $l_2$ —接线端长度(mm)  
 $l_3$ —喷铝部长度(mm)  $l_T$ —元件总长度(mm)

规格 $D/d \times l/l_2$	各部尺寸(mm)						发热部 表面积 ( $\text{cm}^2$ ) $\pi dl$	1400℃ 时电阻 ( $\Omega$ )	下列炉温时每支元件的允许负荷(W) (元件温度 = 1450℃)			
	直径		螺纹 带长 度 l	接线 端长 度 $l_2$	喷铝 长度 $l_3$	全长 $l_T$			1100℃	1200℃	1300℃	1400℃
	外径 D	内径 d							( $w=26.3$ )	( $w=20.5$ )	( $w=13.47$ )	( $w=4.91$ )
40/30×200/100	40	30	200	100	30	400	251	3~6	6600	5150	3380	1232
40/30×300/100	40	30	300	100	30	500	377	5~8	9920	7730	5080	1851
40/30×400/100	40	30	400	100	30	600	503	7~10	13230	10310	6780	2470
50/40×300/100	50	40	300	100	35	500	471	4~7	12390	9660	6340	2310
50/40×400/100	50	40	400	100	35	600	628	6~9	16520	12870	8460	3080
50/40×500/100	50	40	500	100	35	700	785	8~11	20600	16090	10570	3850
60/50×400/100	60	50	400	100	40	600	754	5~7	19830	15460	10160	3700
60/50×500/100	60	50	500	100	40	700	942	7~10	24800	19310	12690	4630
60/50×600/100	60	50	600	100	40	800	1131	9~12	29700	23200	15230	5550
70/60×500/100	70	60	500	100	45	700	1100	7~10	28900	22600	14820	5400
70/60×600/100	70	60	600	100	45	800	1319	8~11	34700	27000	17770	6480
70/60×700/100	70	60	700	100	45	900	1539	9~12	40500	31500	20700	7560
80/70×600/100	80	70	600	100	50	800	1508	7~10	39700	30900	20300	7400
80/70×700/100	80	70	700	100	50	900	1759	8~11	46300	36100	23700	8640
80/70×800/100	80	70	800	100	50	1000	2010	9~12	52900	41200	27100	9870
90/80×600/100	90	80	600	100	55	800	1696	7~10	44600	34800	22800	8330
90/80×700/100	90	80	700	100	55	900	1979	8~11	52000	40600	26700	9720
90/80×800/100	90	80	800	100	55	1000	2260	9~12	59400	46300	30400	11100
100/90×600/100	100	90	600	100	60	800	1885	7~10	49600	38600	25400	9260
100/90×700/100	100	90	700	100	60	900	2200	8~11	57900	45100	29600	10800
100/90×800/100	100	90	800	100	60	1000	2510	9~12	66000	51500	33800	12320

注：因硅碳管内部散热条件比外部差得多，故仅以其外表面作为发热部表面积。

表 6.2.17 硅碳元件在不同元件温度和炉温下的表面负荷值  $W/cm^2$ 

元件温度(°C)	炉 温(°C)											
	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550
1100	4.63	2.45										
1150	7.37	5.19	2.74									
1200	10.41	8.23	5.78	3.04								
1250	13.77	11.60	9.15	6.41	3.37							
1300	17.47	15.29	12.84	10.1	7.06	3.70						
1350	21.6	19.38	16.93	14.19	11.15	7.78	4.09					
1400	26.0	23.9	21.4	18.67	15.63	12.26	8.57	4.48				
1450	30.9	28.8	26.3	23.6	20.5	17.17	13.47	9.39	4.91			
1500	36.3	34.1	31.7	28.9	25.9	22.5	18.82	14.73	10.26	5.35		
1550	42.1	39.9	37.5	34.7	31.7	28.3	24.6	20.5	16.05	11.15	5.80	
1600	48.4	46.2	43.8	41.0	38.0	34.6	30.9	26.8	22.4	17.46	12.11	6.32

注:计算表面积时,只考虑工作部分,两粗端不计。

### 2.3.3 硅钼棒电热元件

硅钼棒电热元件的尺寸规格见表 6.2.18;硅钼棒的发热端、接线端及每支参数的计算公式见表 6.2.19; $\varnothing 6/13\text{mm}$  及  $\varnothing 9/18\text{mm}$  硅钼棒各种规格及电参数分别见表 6.2.20 及表 6.2.21。

表 6.2.18 硅钼棒尺寸规格

mm



产品规格	$l$	$a$	$D$	$d$
$\varnothing 6/13$	$\leq 300$ $> 300$	40; 50 50	13	6
$\varnothing 9/18$	$\leq 300$ $> 300$	40; 50; 60 50; 60	18	9

注:1. 发热体总长  $l = 2(l_1 - \frac{a}{2} - \frac{d}{2}) + \frac{\pi a}{2}$  (mm)。

2.  $l$  及  $l_2$  见表 6.2.15 与 6.2.16。

表 6.2.19 硅钼棒的发热端、接线端及每支参数的计算公式

发热端电阻 $r_R = 3.80 \frac{4l}{1000\pi d^2}$	接线端电阻 $r_L = 1.70 \frac{2 \times 4l_2}{1000\pi D^2}$ 每支电阻 $r_1 = r_R + r_L$
发热端电压 $U_R = I r_R$	接线端电压 $U_L = I r_L$ 每支电压 $U_1 = U_R + U_L$
发热端功率 $P_R = I U_R$	接线端功率 $P_L = I U_L$ 每支功率 $P_1 = P_R + P_L$

表 6.2.20  $\varnothing 6/13\text{mm} (\alpha = 50\text{mm})$ 

发热端长度 $l_1$ (mm)			150	200	250	300	350	400	450	
发热体总长 $l$ (mm)			323	423	523	623	723	823	923	
接线端长度 $l_2$ (mm)	电参数		$r_R$	0.0434	0.0569	0.0703	0.0837	0.0972	0.1106	0.1241
	$U_R$	$R_R$	5.6	7.4	9.1	10.9	12.6	14.4	16.1	17.8
			$R_R$	734	961	1188	1415	1642	1869	2096
150	$r_L$	0.0038	$r_1$	0.0472	0.0607	0.0741	0.0875	0.1010	0.1144	0.1279
	$U_L$	0.5	$U_1$	6.1	7.9	9.6	11.4	13.1	14.9	16.6
	$P_L$	65	$P_1$	799	1026	1253	1480	1707	1934	2161
200	$r_L$	0.0054	$r_1$	0.0485	0.0620	0.0754	0.0888	0.1023	0.1157	0.1292
	$U_L$	8.7	$U_1$	6.3	8.1	9.8	11.6	13.3	15.1	16.8
	$P_L$	87	$P_1$	821	1048	1275	1502	1729	1956	2183
250	$r_L$	0.0064	$r_1$	0.0498	0.0633	0.0767	0.0901	0.1036	0.1170	0.1305
	$U_L$	0.8	$U_1$	6.4	8.2	9.9	11.7	13.4	15.2	16.9
	$P_L$	108	$P_1$	842	1069	1296	1523	1750	1977	2204
300	$r_L$	0.0077	$r_1$	0.0511	0.0646	0.0780	0.0914	0.1049	0.1183	0.1318
	$U_L$	1.0	$U_1$	6.6	8.4	10.1	11.9	13.6	15.4	17.1
	$P_L$	130	$P_1$	864	1091	1318	1545	1772	1999	2226
350	$r_L$	0.0090	$r_1$	0.0524	0.0659	0.0793	0.0927	0.1062	0.1196	0.1331
	$U_L$	1.2	$U_1$	6.8	8.6	10.3	12.1	13.8	15.6	17.3
	$P_L$	152	$P_1$	886	1113	1340	1567	1794	2021	2248
400	$r_L$	0.0102	$r_1$	0.0536	0.0671	0.0805	0.0939	0.1074	0.1208	0.1343
	$U_L$	1.3	$U_1$	6.9	8.7	10.4	12.2	13.9	15.7	17.4
	$P_L$	173	$P_1$	907	1134	1361	1588	1815	2042	2269
450	$r_L$	0.0115	$r_1$		0.0684	0.0818	0.0952	0.1087	0.1221	0.1356
	$U_L$	1.5	$U_1$		8.9	10.6	12.4	14.1	15.9	17.6
	$P_L$	195	$P_1$		1156	1383	1610	1837	2064	2291
500	$r_L$	0.0128	$r_1$		0.0697	0.0831	0.0965	0.1100	0.1234	0.1369
	$U_L$	1.7	$U_1$		9.1	10.8	12.6	14.3	16.1	17.8
	$P_L$	217	$P_1$		1178	1405	1632	1859	2086	2313
550	$r_L$	0.0141	$r_1$			0.0844	0.0978	0.1113	0.1247	0.1382
	$U_L$	1.8	$U_1$			10.9	12.7	14.4	16.2	17.9
	$P_L$	238	$P_1$			1426	1653	1880	2107	2334
600	$r_L$	0.0154	$r_1$			0.0857	0.0991	0.1126	0.1260	0.1395
	$U_L$	2.0	$U_1$			11.1	12.9	14.6	16.4	18.1
	$P_L$	260	$P_1$			1448	1675	1902	2129	2356
650	$r_L$	0.0167	$r_1$				0.1004	0.1139	0.1273	0.1408
	$U_L$	2.2	$U_1$				13.1	14.8	16.6	18.3
	$P_L$	281	$P_1$				1696	1923	2150	2377
700	$r_L$	0.0179	$r_1$				0.1016	0.1151	0.1285	0.1420
	$U_L$	2.3	$U_1$				13.2	14.9	16.7	18.4
	$P_L$	303	$P_1$				1718	1945	2172	2399
750	$r_L$	0.0192	$r_1$						0.1298	0.1433
	$U_L$	2.5	$U_1$						16.9	18.6
	$P_L$	325	$P_1$						2194	2421
800	$r_L$	0.0205	$r_1$						0.1311	0.1446
	$U_L$	2.7	$U_1$						17.1	18.8
	$P_L$	346	$P_1$						2215	2442

炉内温度: 1500℃  
表面负荷: 12W/cm<sup>2</sup>

元件发热端温度: 1625℃  
元件接线端平均温度: 800℃  
电 流: 130A



硅钼棒各种规格及电参数 电参数单位: ( $\Omega$ )、(V)、(W)

500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
1023	1123	1223	1323	1423	1523	1623	1723	1823	1923	2023
0.1375 17.9 2323	0.1509 19.6 2550	0.1644 21.4 2777	0.1778 23.1 3005	0.1913 24.9 3232	0.2047 26.6 3459	0.2181 28.4 3686	0.2316 30.1 3913	0.2450 31.8 4140	0.2585 33.6 4367	0.2719 35.3 4594
变压器选用: 输出电压应按表内数值增加 20% 输出电流应按表内数值增加 40%										
0.1426 18.6 2410	0.1560 20.3 2637	0.1695 22.1 2864	0.1829 23.8 3092	0.1964 25.6 3319						
0.1439 18.7 2431	0.1573 20.4 2658	0.1708 22.2 2885	0.1842 23.9 3113	0.1977 25.7 3340	0.2111 27.4 3567	0.2245 29.2 3794	0.2380 30.9 4021	0.2514 32.6 4248	0.2649 34.4 4475	0.2783 36.1 4702
0.1452 18.9 2453	0.1586 20.6 2680	0.1721 22.4 2907	0.1855 24.1 3135	0.1990 25.9 3362	0.2124 27.6 3589	0.2258 29.4 3816	0.2393 31.1 4043	0.2527 32.8 4270	0.2662 34.6 4497	0.2796 36.3 4724
0.1465 19.1 2475	0.1599 20.8 2702	0.1734 22.6 2929	0.1868 24.3 3157	0.2003 26.1 3384	0.2137 27.8 3611	0.2271 29.6 3838	0.2406 31.3 4065	0.2540 33.0 4292	0.2675 34.8 4519	0.2809 36.5 4746
0.1477 19.2 2496	0.1611 20.9 2723	0.1746 22.7 2950	0.1880 24.4 3178	0.2015 26.2 3405	0.2149 27.9 3632	0.2283 29.7 3859	0.2418 31.4 4086	0.2552 33.1 4313	0.2687 34.9 4540	0.2821 36.6 4767
0.1490 19.4 2518	0.1624 21.1 2745	0.1759 22.9 2972	0.1893 24.6 3200	0.2028 26.4 3427	0.2162 28.1 3654	0.2296 29.9 3881	0.2431 31.6 4108	0.2565 33.3 4335	0.2700 35.1 4562	0.2834 36.8 4789
0.1503 19.6 2540	0.1637 21.3 2767	0.1772 23.1 2994	0.1906 24.8 3222	0.2041 26.6 3449	0.2175 28.3 3676	0.2309 30.1 3903	0.2444 31.8 4130	0.2578 33.5 4357	0.2713 35.3 4584	0.2847 37.0 4811
0.1516 19.7 2561	0.1650 21.4 2788	0.1785 23.2 3015	0.1919 24.9 3243	0.2054 26.7 3470	0.2188 28.4 3697	0.2322 30.2 3924	0.2457 31.9 4151	0.2591 33.6 4378	0.2726 35.4 4605	0.2860 37.1 4832
0.1529 19.9 2583	0.1663 21.6 2810	0.1798 23.4 3037	0.1932 25.1 3265	0.2067 26.9 3492	0.2201 28.6 3719	0.2335 30.4 3946	0.2470 32.1 4173	0.2604 33.8 4400	0.2739 35.6 4627	0.2873 37.3 4854
0.1542 20.1 2604	0.1676 21.8 2831	0.1811 23.6 3058	0.1945 25.3 3286	0.2080 27.1 3513	0.2214 28.8 3740	0.2348 30.6 3967	0.2483 32.3 4194	0.2617 34.0 4421	0.2752 35.8 4648	0.2886 37.5 4875
0.1554 20.2 2626	0.1688 21.9 2853	0.1823 23.7 3080	0.1957 25.4 3308	0.2092 27.2 3535	0.2226 28.9 3762	0.2360 30.7 3989	0.2495 32.4 4216	0.2629 34.1 4443	0.2764 35.9 4670	0.2898 37.6 4897
0.1567 20.4 2648	0.1701 22.1 2875	0.1836 23.9 3102	0.1970 25.6 3330	0.2105 27.4 3557	0.2239 29.1 3784	0.2373 30.9 4011	0.2508 32.6 4238	0.2642 34.3 4465	0.2777 36.1 4692	0.2911 37.8 4919
0.1580 20.6 2669	0.1714 22.3 2896	0.1849 24.1 3123	0.1983 25.8 3351	0.2118 27.6 3578	0.2252 29.3 3805	0.2386 31.1 4032	0.2521 32.8 4259	0.2655 34.5 4486	0.2790 36.3 4713	0.2924 38.0 4940

表 6.2.21  $\varnothing 9/18\text{mm}$  ( $a = 60\text{mm}$ ) 硅钼棒各种规格及

发热端长度 $l_1$		(mm)	150	200	250	300	350	400	450	
发热体总长 $l$		(mm)	325	425	525	625	725	825	925	
接线端 长度 $l_2$ (mm)	电参数		$r_R$	0.0194	0.0254	0.0314	0.0373	0.0433	0.0493	0.0553
	$U_R$	4.6	6.0	7.5	8.9	10.3	11.7	13.2		
$P_R$	1095	1438	1776	2114	2453	2791	3129			
150	$r_L$	0.0020	$r_1$	0.0214	0.0274	0.0334	0.0393	0.0453	0.0513	0.0573
	$U_L$	0.5	$U_1$	5.1	6.5	8.0	9.4	10.8	12.2	13.7
	$P_L$	114	$P_1$	1213	1552	1890	2228	2567	2905	3243
200	$r_L$	0.0027	$r_1$	0.0221	0.0281	0.0341	0.0400	0.0460	0.0520	0.0580
	$U_L$	0.6	$U_1$	5.2	6.6	8.1	9.5	10.9	12.3	13.8
	$P_L$	151	$P_1$	1250	1589	1927	2265	2604	2942	3280
250	$r_L$	0.0033	$r_1$	0.0227	0.0287	0.0347	0.0406	0.0466	0.0526	0.0586
	$U_L$	0.8	$U_1$	5.4	6.8	8.3	9.7	11.1	12.5	14.0
	$P_L$	189	$P_1$	1288	1627	1965	2303	2642	2980	3318
300	$r_L$	0.0040	$r_1$	0.0234	0.0294	0.0354	0.0413	0.0473	0.0533	0.0593
	$U_L$	1.0	$U_1$	5.6	7.0	8.5	9.9	11.3	12.7	14.2
	$P_L$	227	$P_1$	1326	1665	2003	2341	2680	3018	3356
350	$r_L$	0.0047	$r_1$		0.0301	0.0361	0.0420	0.0480	0.0540	0.0600
	$U_L$	1.1	$U_1$		7.1	8.6	10.0	11.4	12.8	14.3
	$P_L$	265	$P_1$		1703	2041	2379	2718	3056	3394
400	$r_L$	0.0053	$r_1$		0.0307	0.0367	0.0426	0.0486	0.0546	0.0606
	$U_L$	1.3	$U_1$		7.4	8.8	10.2	11.6	13.0	14.5
	$P_L$	303	$P_1$		1741	2079	2417	2756	3094	3432
450	$r_L$	0.0060	$r_1$			0.0374	0.0433	0.0493	0.0553	0.0613
	$U_L$	1.4	$U_1$			8.9	10.3	11.7	13.1	14.6
	$P_L$	341	$P_1$			2117	2455	2794	3132	3470
500	$r_L$	0.0067	$r_1$			0.0381	0.0440	0.0500	0.0560	0.0620
	$U_L$	1.6	$U_1$			9.1	10.5	11.9	13.3	14.8
	$P_L$	378	$P_1$			2154	2492	2831	3169	3507
550	$r_L$	0.0073	$r_1$				0.0446	0.0506	0.0566	0.0626
	$U_L$	1.7	$U_1$				10.6	12.0	13.4	14.9
	$P_L$	416	$P_1$				2530	2869	3207	3545
600	$r_L$	0.0080	$r_1$				0.0453	0.0513	0.0573	0.0633
	$U_L$	1.9	$U_1$				10.8	12.2	13.6	15.1
	$P_L$	454	$P_1$				2568	2907	3245	3583
650	$r_L$	0.0087	$r_1$				0.0460	0.0520	0.0580	0.0640
	$U_L$	2.1	$U_1$				11.0	12.4	13.8	15.3
	$P_L$	492	$P_1$				2606	2945	3283	3621
700	$r_L$	0.0094	$r_1$				0.0467	0.0527	0.0587	0.0647
	$U_L$	2.2	$U_1$				11.1	12.5	13.9	15.4
	$P_L$	530	$P_1$				2644	2983	3321	3659
750	$r_L$	0.0100	$r_1$				0.0473	0.0533	0.0593	0.0653
	$U_L$	2.4	$U_1$				11.3	12.7	14.1	15.6
	$P_L$	568	$P_1$				2682	3021	3359	3697
800	$r_L$	0.0107	$r_1$				0.0480	0.0540	0.0600	0.0660
	$U_L$	2.5	$U_1$				11.4	12.8	14.2	15.7
	$P_L$	605	$P_1$				2719	3058	3396	3734

炉内温度: 1500℃  
 表面负荷:  
 12W/cm<sup>2</sup>  
 元件发热端温度:  
 1625℃  
 元件接线端平均温度:  
 800℃  
 电 流: 238A

电参数 电参数单位: (Ω)、(V)、(W)

500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
1025	1125	1225	1325	1425	1525	1625	1725	1825	1925	2025
0.0612 14.6 3468	0.0672 16.0 3806	0.0732 17.4 4144	0.0791 18.8 4482	0.0851 20.3 4821	0.0911 21.7 5159	0.0971 23.1 5497	0.1030 24.5 5836	0.1090 26.0 6174	0.1150 27.4 6512	0.1210 28.8 6851
0.0632 15.1 3582	变压器选用: 输出电压应按表内数值增加 20% 输出电流应按表内数值增加 40%									
0.0639 15.2 3619										
0.0645 15.4 3657	0.0705 16.8 3995	0.0765 18.2 4333	0.0824 19.6 4671	0.0884 21.1 5010	0.0944 22.5 5348	0.1014 23.9 5686				
0.0652 15.6 3695	0.0712 17.0 4033	0.0772 18.4 4371	0.0831 19.8 4709	0.0891 21.3 5048	0.0951 22.7 5386	0.1011 24.1 5724	0.1070 25.5 6063	0.1130 27.0 6401	0.1190 28.4 6739	0.1250 29.8 7078
0.0659 15.7 3733	0.0719 17.1 4071	0.0779 18.5 4409	0.0838 19.9 4747	0.0898 21.4 5086	0.0958 22.8 5424	0.1018 24.2 5762	0.1077 25.6 6101	0.1137 27.1 6439	0.1197 28.5 6777	0.1257 29.9 7116
0.0665 15.9 3771	0.0725 17.3 4109	0.0785 18.7 4447	0.0844 20.1 4785	0.0904 21.6 5124	0.0964 23.0 5462	0.1024 24.4 5800	0.1083 25.8 6139	0.1143 27.3 6477	0.1203 28.7 6815	0.1263 30.1 7154
0.0672 16.0 3890	0.0732 17.4 4147	0.0792 18.8 4485	0.0851 20.2 4823	0.0911 21.7 5162	0.0971 23.1 5500	0.1031 24.5 5838	0.1090 25.9 6177	0.1150 27.4 6515	0.1210 28.8 6853	0.1270 30.2 7192
0.0679 16.2 3846	0.0739 17.6 4184	0.0799 19.0 4522	0.0858 20.4 4860	0.0918 21.9 5199	0.0978 23.3 5537	0.1038 24.7 5875	0.1097 26.1 6241	0.1157 27.6 6552	0.1217 29.0 6890	0.1277 30.4 7229
0.0685 16.3 3884	0.0745 17.7 4222	0.0805 19.1 4560	0.0864 20.5 4898	0.0924 22.0 5237	0.0984 23.4 5575	0.1044 24.8 5913	0.1103 26.2 6262	0.1163 27.7 6590	0.1223 29.1 6928	0.1283 30.5 7267
0.0692 16.5 3922	0.0752 17.9 4260	0.0812 19.3 4598	0.0871 20.7 4936	0.0931 22.2 5275	0.0991 23.6 5613	0.1051 25.0 5951	0.1110 26.4 6290	0.1170 27.9 6628	0.1230 29.3 6966	0.1290 30.7 7305
0.0699 16.7 3960	0.0759 18.1 4298	0.0819 19.5 4636	0.0878 20.9 4974	0.0938 22.4 5313	0.0998 23.8 5651	0.1058 25.2 5989	0.1117 26.6 6328	0.1177 28.1 6666	0.1237 29.5 7004	0.1297 30.9 7343
0.0706 16.8 3998	0.0766 18.2 4336	0.0826 19.6 4674	0.0885 21.0 5012	0.0945 22.5 5351	0.1005 23.9 5689	0.1065 25.3 6027	0.1124 26.7 6366	0.1184 28.2 6704	0.1244 29.6 7042	0.1304 31.0 7381
0.0712 17.0 4036	0.0772 18.4 4374	0.0832 19.8 4712	0.0891 21.2 5050	0.0951 22.7 5389	0.1011 24.1 5727	0.1071 25.5 6065	0.1130 26.9 6404	0.1190 28.4 6742	0.1250 29.8 7080	0.1310 31.2 7419
0.0719 17.1 4073	0.0779 18.5 4411	0.0839 19.9 4749	0.0898 21.3 5087	0.0958 22.8 5426	0.1018 24.2 5764	0.1078 25.6 6102	0.1137 27.0 6441	0.1197 28.5 6779	0.1257 29.9 7117	0.1317 31.3 7456

**硅钼棒的选用** 根据电炉的尺寸,从表 6.2.20 或 6.2.21 中选定一种合适规格,包括发热端长度  $l_1$ 、接线端长度  $l_2$ 、发热端直径  $d$  和弯曲部中心距  $a$ ,把所需电炉总功率  $P_1$  除以选定规定的每支功率  $P_2$  算出元件支数  $Z$ ,在三相电路中,须把  $Z$  凑成 3 的倍数。

### 2.3.4 管状电加热元件

管状电加热元件是由铁铬铝或镍铬电热材料作为发热体,外面套以金属套管,中间填以电熔结晶氧化镁填料组成,其结构见图 6.2.1,管状电加热元件选用见表 6.2.22。

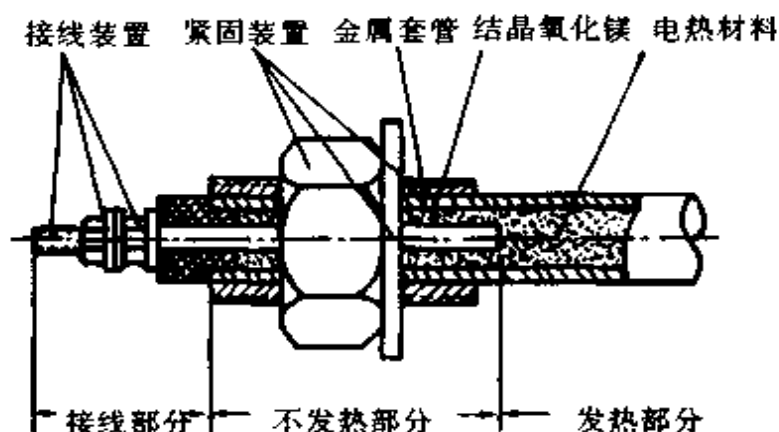


图 6.2.1 管状电加热元件结构示意图

表 6.2.22 管状电加热元件选用表

型号	加热介质	管子材料	管子单位表面负荷 (W/cm <sup>2</sup> )	工作温度 (°C)	每支功率的范围	
					220V	380V
JGQ	非流动空气	*10 钢	1.2~1.8	300	0.5~ 1.5kW	2~3kW
		1Cr18Ni9Ti	1.2~3.0	500 (管子温度 800°C)		
	流动空气风 速 >6m/s	*10 钢	1.8~3.0	300		
		1Cr18Ni9Ti	2~4			
JGY	油	静止	*10 钢	2.5~2.8	1~8kW	5~8kW
		流动	*10 钢	3~6		
JGS	水	铜、*10 钢、 1Cr18Ni9Ti	5~10	100~105	1~5kW	4~7kW
JGX	硝酸盐	1Cr18Ni9Ti	3~3.5	550		2~7kW
JGJ	碱	*10 钢	3~3.5	550		2~7kW
JGM	金属模具	*10 钢 1Cr18Ni9Ti	2~4	220	36V 0.2~1.5kW 55V 0.2~0.3kW 110V 0.4~0.5kW 220V 0.2~1.5kW	
	石蜡	*10 钢	1.6~1.8	200		
	低熔点金属	*10 钢 1Cr18Ni9Ti	3~4 (嵌入式)	500		


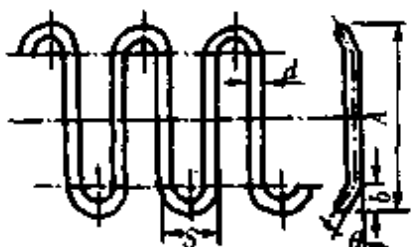
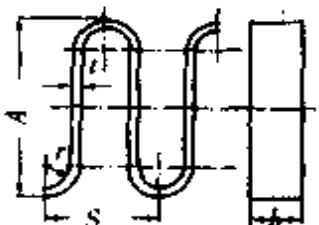
注:管状电加热元件的尺寸、形状可参阅有关厂的产品资料。

## 2.4 电热材料应用中注意事项

### 2.4.1 合金线、带材元件的形状及尺寸比例

为了使合金电热元件在高温下具有一定的刚性,防止螺旋软化倒塌或下垂,其形状及尺寸应遵守一定的比例规定,详见表 6.2.23。

表 6.2.23 电热合金线、带材元件的形状及尺寸比例

种类	元件形状	尺寸比例	
线材螺旋形元件		铁铬铝合金: $h \geq 2d$ D 值: 700℃ 以下 (7~10)d 700℃ ~ 1000℃ (6~8)d 1000℃ 以上 (5~7)d	镍铬合金: $h \geq 2d$ $D = (6 \sim 12)d$
线材波形(之字形)元件		$b = (\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6})A$ ; $S \geq 3d$ ; $\theta = 10^\circ \sim 20^\circ$ 铁铬铝合金: $A = 150 \sim 250\text{mm}$ 镍铬合金: $A = 200 \sim 300\text{mm}$	
带材波形(之字形)元件		铁铬铝合金 $t \geq 1.5\text{mm}$ ; $S \geq 2b$ $b = (5 \sim 15)t$ , 一般取 10 $A < 80t$ $r = (4 \sim 8)t$ 当 $b/t > 10$ 时, 为防止高温时元件倒伏, 应加辅助挂钩或支撑	镍铬合金 $S \geq 2b$ $r \geq 3t$ A: 平放在炉底时为 100~150mm, 挂在炉壁上时为 200~300mm

### 2.4.2 电热合金的焊接

铁铬铝合金在焊接过程中,较易出现晶粒长大而产生脆性,且不能用热处理将它消除,故要求快速焊接,为缩短焊接时间,应尽可能增大焊接电流。最好采用氩弧焊,也可采用直流电弧焊。为了限制受热范围,可采用分段间隔焊接。每次只焊

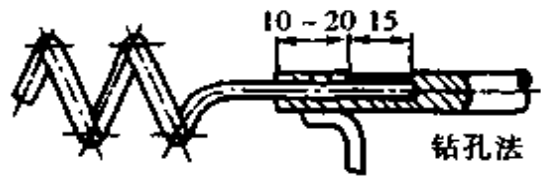
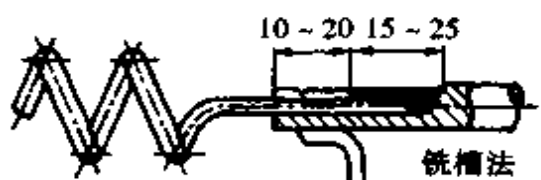
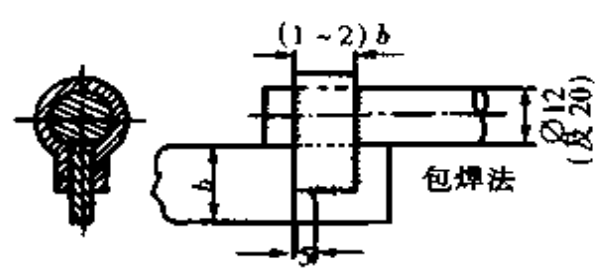
一小段,留一小段不焊,再焊另一小段,最后再补焊齐全。焊缝的起点与终点须离元件末端 5mm,以防止两端单股处过热脆断。焊好后须在 800℃ 左右退火,以消除焊接应力。对镍铬合金的焊接,电弧焊及气焊都可采用。


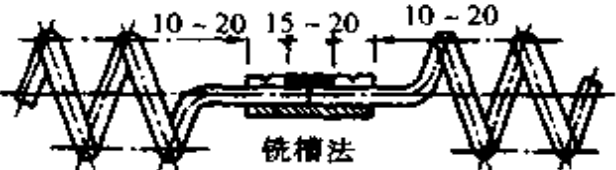

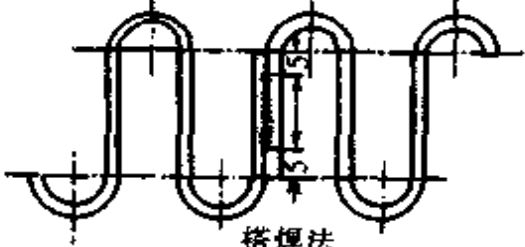
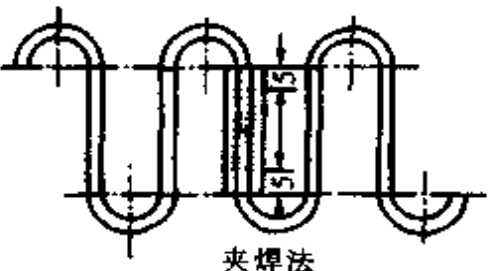
焊接铁铬铝合金时须使用同样材料的焊条。

焊接方式见表 6.2.24。

表 6.2.24 电热合金的各种常用焊接方式

mm

焊接类型	焊接方式	适用材料
引出棒与元件间焊接	 <p>10 ~ 20 15 钻孔法</p>	铁铬铝与镍铬合金
	 <p>10 ~ 20 15 ~ 25 铣槽法</p>	
带状元件	 <p>(1 ~ 2) b 包焊法 Φ12 (及 20)</p>	

		续表	
焊接类型		焊接方式	适用材料
线状元件	元件之间焊接		铁铬铝合金
			
			镍铬合金
带状元件	元件之间焊接		镍铬合金
			铁铬铝合金

### 2.4.3 炉内气氛对电热材料的影响

由于电热材料在高温下工作,炉内气氛如氮、硫、一氧化碳及烃类(甲烷、丙烷、丁烷)会破坏合金的氧化膜保护层,有的还会渗入合金基体,使之受到侵蚀。除应采用使电热元件与气氛隔离和将电热元件定期再氧化等防护措施外,对常用电热材料在各种气氛中的最高工作温度有所规定,见表 6.2.25。

表 6.2.25 常用电热材料在各种气氛中的最高工作温度(℃)

气 氛	铁铬铝合金		镍铬合金 Cr20Ni80	硅碳棒	硅钼棒
	0Cr13Al6Mo2 0Cr25Al5	0Cr27Al7Mo2			
空气	1300	1400	1150	1500	1700
氢	1250	1350	1150	1200	1400
分解氨	1150	1250	1100	1200	1400
燃烧氨	1000	1000	1100	1200	1400
氮	950	950	1100	1200	1500
含硫氧化性气氛	1050	1150	不适宜	1350	1600
吸热式气体	1100	1200	950	1350	1350
放热式气体	1150	1250	1050	1350	1350
真空( $10^{-3}$ 以下)	1100	1150	1100	不适宜	1250
卤素元素	对电热材料有直接危害性,不宜使用				

## 2.5 远红外电热元件

利用远红外线加热干燥是一项新技术,它适用于各种有机物、高分子物质和含水物质,如油漆、绝缘漆、纺织品、粮食、木材、烟草、蔬菜和药材的干燥;食品的烘焙;金属的退火热处理和应力消除;治疗人体疾病等方面。具有投资省、烘干时间短、升温速度快、占地面积少、烘物质量高和消耗电能少等优点,一般可节电 30%~50%。远红外电热元件有金属管状、陶瓷类和直热式远红外辐射元件。

### 2.5.1 金属管状远红外元件

金属管状远红外元件是在普通金属管状电加热元件上加涂远红外辐射涂层而制成的,可以做成不同长度、各种形状。它具有起动升温快、热效率高、使用寿命长和安装维修方便等优点,但它的表面负荷率较小,一般不大于  $4\text{W}/\text{cm}^2$ ,不适用于大功率高温加热。元件的直径有 10、12、14 及 16mm 等几种,它的基体管有不锈钢和碳钢两种材质。碳钢管面覆盖的远红外辐射涂料不易脱落;而在有腐蚀性气体或使用温度较高的场所,宜选用不锈钢管。

### 2.5.2 陶瓷类远红外元件

陶瓷类远红外元件有碳化硅板和锆英石板等。它的制造工艺简易,使用方便、寿命长,节电效果好,适用于温度较高、辐射强度大的加热炉,但它一般比较脆,不耐碰撞和振动,安装、检修较麻烦。碳化硅板加热器的规格性能见表 6.2.26。

表 6.2.26 碳化硅板加热器的规格性能

尺寸(mm)	单件电压(V)	单件功率(W)
150×250×40	110~220	600~800
250×300×40	110~220	800~1000
150×500×40	110~220	800~1000



### 2.5.3 直热式远红外元件

直热式远红外元件是在电阻带朝向炉心的正面涂覆远红外辐射涂料,而在电阻带的背面涂覆低辐射率的二氧化铝涂料。它的表面负荷率较大,可达  $10\text{W}/\text{cm}^2$ ,被照射面可得到较大的辐射强度,达到较高的加热温度。

### 2.5.4 远红外辐射材料及涂覆工艺

2.5.4.1 辐射材料 常用的辐射材料可分为六大体系,其配方见表 6.2.27。

表 6.2.27 常用远红外辐射材料的配方

编号	体系	配方(按质量比)
1	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 单一体
2	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	$\text{TiO}_2$ 80%、 $\text{ZrO}_2$ 20%
3	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	$\text{TiO}_2$ 77%、 $\text{ZrO}_2$ 20%、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 3%
4	$\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$	$\text{TiO}_2$ 72%、 $\text{ZrO}_2$ 20%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 2%、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 2% $\text{MnO}_2$ 2%、 $\text{Co}_2\text{O}_3$ 2%
5	$\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$ 80%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 20%
6	$\text{SiC-Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiC}$ 60%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 25%、 $\text{SiO}_2$ 10%、 $\text{Ni}_2\text{O}_3$ 3%、 $\text{MnO}_2$ 2%
7	$\text{SiC-Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiC}$ 80%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 15%、 $\text{Ni}_2\text{O}_3$ 3%、 $\text{MnO}_2$ 2%
8	Re 稀土	$\text{ReCaMnFeO}_x$ (铁锰酸稀土钙)
9	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$ 68%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 7%、 $\text{MnO}_2$ 2.5%、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 2%、 $\text{Co}_2\text{O}_3$ 0.5%、粘土 20%
10	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$ 52%、矾土 15%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 3%、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 3%、 $\text{MnO}_2$ 2%、苏州机选土 10%、漳州黑土 15%
11	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$	$\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$ 50%、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 25%、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 20%、 $\text{MnO}_2$ 5%、2号阳粘土 10%、阿拉伯树胶 1%

2.5.4.2 涂覆工艺 常用的涂层方法有等离子喷涂法、涂刷法、撒布法和复合烧结法四种,其中涂刷法工艺简单、施工方便,不需专用设备,应用最普遍。

涂刷法和刷漆的工艺一样,先将金属加热元件或碳化硅电加热元件进行喷砂及用有机溶剂的清洗处理,然后用毛刷将预制的料浆均匀地涂刷在电加热元件上,涂层厚  $0.2\sim 0.4\text{mm}$ ,晾干后,在  $100^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$  温度下烘 2h 即可。

涂刷的料浆是用粘结剂与远红外辐射涂料按一定的比例(质量比)经球磨或搅拌混合均匀制得的,其配方见表 6.2.28。

表 6.2.28 远红外料浆配方

质量比	材料名称	远红外辐射材料	硅溶胶	中性水玻璃	有机硅高温漆	水	二甲苯
配方一		4	1-2	-	-	适量	-
配方二		2	-	1-2	-	适量	-
配方三		2	-	-	1	-	1

### 3 热电偶

热电偶广泛用于测量和控制温度。它具有测控精确可靠、结构简单、使用方便等优点,工作温度可以从 4.2K(-268.95℃)的深低温直至 2800℃ 的超高温。热电偶测温原理示意图见 6.2.2。

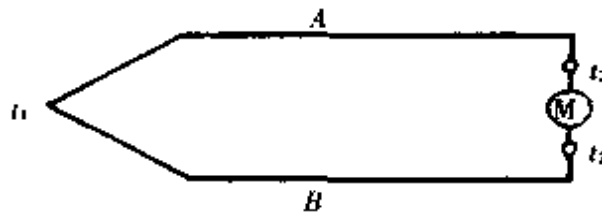


图 6.2.2 热电偶测温原理示意图

图 6.2.2 中的 A 和 B 是两根合金成分不同、但具有一定热电特性的材料,称为热电极;它们的一端焊接在一起,构成一支热电偶。热电偶的焊接端称为工作端或热端,测温时将工作端插在测温部位,其温度为  $t_1$ ;另一端称为自由端或冷端,跨接指示仪表 M,其温度为  $t_2$ 。如果热电偶两端温度不同( $t_1 > t_2$ ),在回路中将产生热电动势,由指示仪表 M 显示出来。

#### 3.1 常用热电偶材料

热电偶材料分高温、中温和低温三种,其分类和品种见表 6.2.29;主要热电偶材料的特点及用途见表 6.2.30;常用热电偶的热电动势见表 6.2.31。

表 6.2.29 常用热电偶材料的分类和品种

类别	品种
低温热电偶	镍铬—考铜,镍铬—镍铝,铜—康铜,镍铬—康铜,镍铬—金铁 0.07 原子%,镍铬—金铁 0.03 原子%,铜—金铁 0.07 原子%
中温热电偶	钯铂 31 金 14—金钯 35,镍铬—镍硅,镍铬—镍铝,镍铁—硅考铜,铁—康铜,镍铬—考铜,镍铬—康铜,铜—康铜
高温热电偶	钨铼 5—钨铼 20,钨铼 5—钨铼 26,钨铼 3—钨铼 25,钨—钨铼 26,铱铼 40—铼,铂铼 40—铂铼 20,铂铼 30—铂铼 6,铂铼 20—铂铼 5,铂铼 13—铂铼 1,铂铼 13—铂,铂铼 10—铂,铂钨 5—铂钨 0.1

表 6.2.30 主要热电偶材料的特点和用途

热电偶材料 (主要成分%)		工作温度(°C)		容许误差	主要特点	主要用途
		短期工 作最高 温度	推荐工 作温度			
正 极	负 极					
铂铑 40 (Pt60Rh40)	铂铑 20 (Pt80Rh20)	1850	1600~ 1800	$\leq 600^{\circ}\text{C}: \pm 3^{\circ}\text{C}$ $> 600^{\circ}\text{C}: \pm 0.5\%t$	具有良好的化学稳定性、热稳定性和高温抗氧化性。适用于真空(短期使用)、惰性及氧化性气氛中。不能用于还原性气氛或含有铅、锌等金属蒸气和磷、硫、砷等非金属蒸气的气氛,一般不必进行自由端温度校正	用于测量 1800°C 高温
铂铑 20 (Pt80Rh20)	铂铑 5 (Pt95Rh5)	1770	1300~ 1600	同上	晶粒长大的倾向性少,稳定性好。气氛适用情况同上,一般不必进行自由端温度修正	用于钢水温度,各种高温热处理炉、加热炉及其他高温测量
铂铑 10 (Pt90Rh10)	铂铑 5 (Pt100)	1600	1000~ 1300	$\leq 600^{\circ}\text{C}: \pm 2.4^{\circ}\text{C}$ $> 600^{\circ}\text{C}: \pm 0.4\%t$	精度较高,稳定性和重现性较好;可作一、二等标准温度传递。气氛适用情况同上	各种金属熔炼、高温热处理炉、加热炉及其他高温测量
镍 铬 (Ni90.5Cr9.5)	镍 硅 <sup>①</sup> (Ni97.5Si2.5)	1300	600~ 1250	同上	在较廉价金属热电偶中具有最好的抗氧化性能。适用于真空(短期使用)惰性气氛。磷、硫及硅会影响其寿命	有色金属熔炼、各种高温热处理炉、加热炉及航空、石油、化工等高温测量
镍 铬 (Ni90.5Cr9.5)	镍 铝 <sup>②</sup> (Ni95Al2Mn2Si1)	1200	600~ 1000	同上	有良好抗氧化性能,能耐中子辐照。气氛适用情况同上	可用于核场中测温,余同上
铁 (Fe100)	康 铜 (Cu55Ni45)	800	300~ 600	$\leq 400^{\circ}\text{C}: \pm 3^{\circ}\text{C}$ $> 400^{\circ}\text{C}: \pm 0.75\%t$	热电势与热电势率较高,价格较廉,在真空中可长期使用。缺点是在潮湿空气中易生锈。在500°C以上易氧化。气氛适用情况同上	石油、化工等 生产中测温
镍 铬 (Ni90.5Cr9.5)	考 铜 <sup>③</sup> (Cu66.5Ni43Mn0.5)	800	0~600	$\leq 400^{\circ}\text{C}: \pm 4^{\circ}\text{C}$ $> 400^{\circ}\text{C}: \pm 1\%t$	在常用热电偶材料中,它具有最高热电势和热电势率。耐热性及耐热性比铁-康铜优良。气氛适用情况同上	石油、化工等 生产中测温

续表

热电偶材料 (主要成分%)		工作温度(℃)		容许误差	主要特点	主要用途
		短期工 作最高 温度	推荐工 作温度			
正 极	负 极					
镍 铬 (Ni90.5Cr9.5)	康 铜 (Cu55Ni45)	800	0~600	同上	耐中子辐照,其热电势和热电势率比镍铬—考铜热电偶小,其他性能基本相同。适用气氛同上	石油、化工等生产中测温
铜 (Cu100)	康 铜 <sup>①</sup> (Cu55Ni45)	300	0~300	-40℃~100℃ ±0.8℃ 100℃~300℃ ±0.75% <i>t</i> 精密级的误差 减半	均匀性和稳定性都较好。在潮湿空气中有抗蚀性。气氛适用情况同上	石油、化工等生产中测温

注:①分度号:EU-2;②分度号:EU-2;③分度号:EA-2;④分度号:CK。

表 6.2.31 常用热电偶的热电势

热端 温度 <i>t</i> (℃)	冷端温度为 0℃ 时热电偶的热电势(mV)								
	康铜-铜	康铜-银	康铜-铁	镍-碳	镍-镍铬 合金	康铜-镍 铬合金	铂铑 40- 铂铑 20	铂铑 20- 铂铑 5	铂铑 10- 铂
-200	-5.46	-	-7.50	-	-	-	-	-	-
-100	-3.32	-	-4.40	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	-	0	0	-	-	-
20	0.76	0.78	-	0	0.82	1.25	-	-	0.113
100	4.1	4.12	5.15	1.76	4.07	5.62	0.041	0.074	0.643
200	8.8	8.84	10.48	4.17	8.12	11.08	0.093	0.268	1.436
300	14.1	14.1	15.77	6.54	12.22	19.09	0.161	0.569	2.315
400	19.9	19.77	20.96	8.38	16.32	26.48	0.250	0.966	3.250
500	26.3	25.79	26.12	10.28	20.62	34.18	0.363	1.447	4.220
600	-	32.15	31.47	12.50	24.87	41.95	0.505	2.005	5.222
700	-	-	37.15	15.29	29.12	50.02	0.678	2.633	6.256
800	-	-	43.25	18.30	33.12	57.94	0.884	3.327	7.322
900	-	-	49.26	21.80	37.27	65.75	1.124	4.084	8.421
1000	-	-	-	25.63	41.45	-	1.397	4.902	9.556
1100	-	-	-	29.79	45.62	-	1.703	5.767	10.723
1200	-	-	-	34.35	49.77	-	2.041	6.678	11.915
1300	-	-	-	-	-	-	2.409	7.633	13.116
1400	-	-	-	-	-	-	2.806	8.618	14.313
1500	-	-	-	-	-	-	3.228	9.619	15.504
1600	-	-	-	-	-	-	3.667	10.622	16.688
1700	-	-	-	-	-	-	4.119	11.613	-
1800	-	-	-	-	-	-	4.572	-	-

## 3.2 补偿导线

工业上应用的热电偶,其自由端(冷端)常靠近热源,温度波动较大。为了消除因自由端温度变化所产生的测量误差,通常采用补偿导线,如图 6.2.3 所示。

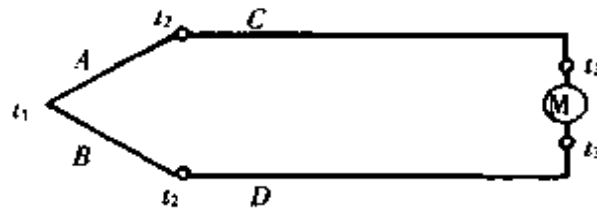


图 6.2.3 使用补偿导线的测温回路

用补偿导线  $C$ 、 $D$  将热电偶  $A$ 、 $B$  的自由端从热源近处的  $t_2$  点延伸至远离热源、温度较恒定的  $t_3$  点。 $C$ 、 $D$  可分别看作是  $A$ 、 $B$  的延长线,回路中的总热电动势将不受中间温度  $t_2$  变化的影响。补偿导线价格低廉,在使用贵金属热电偶时,如延伸距离较长,必须使用补偿导线。在连接补偿导线时,正、负极性不能接反。常用补偿导线的性能与用途见表 6.2.32。补偿导线的产品品种、线芯金属组合和分色标志及产品结构参见表 6.1.134、6.1.135 及 6.1.136。

## 3.3 特种热电偶

### 3.3.1 铠装热电偶

铠装热电偶又称套管热电偶,它是由热电偶丝、绝缘材料和金属外套管三者组合而成的坚固体,用于冶金、机械、电工、电子、化工、原子能等行业。它的结构剖面见图 6.2.4。

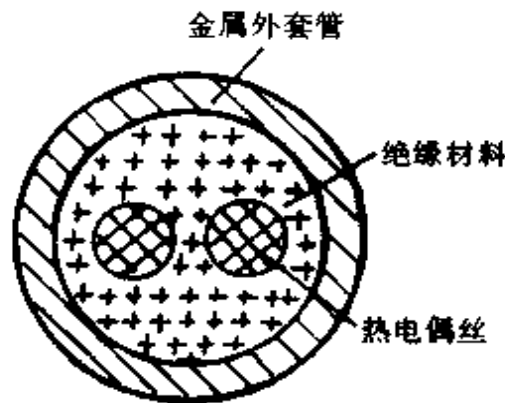


图 6.2.4 铠装热电偶结构剖面图

铠装热电偶反应速度快,时间常数小,使用范围广,便于安装在狭小或结构复杂的测温部位,能承受高压、冲击与震动。热电偶线处于密封状态,不易受各种介

表 6.2.32 常用补偿导线的性能与用途

品 种	热电动势 mV(允差 mV)					往复电阻 ( $\Omega/m$ ) <sup>①</sup>	补偿导线极性 及绝缘皮颜色标志		配用热电偶
	100℃	150℃	200℃	300℃	400℃		铜 (+) 铜镍 (-)	镍铬 (+) 考铜 (-)	
铜-铜镍 0.6 (Cu-CuNi0.6)	0.643 ( $\pm 0.023$ )	1.025 ( $+0.024$ ) ( $-0.055$ )	1.436 ( $\pm 0.064$ )	2.315 ( $\pm 0.072$ )	3.250 ( $\pm 0.072$ )	<0.04	铜 (+) 铜镍 (-)	铂铑 10 (+) 铂 (-)	
镍铬-考铜 (NiCr10- CuNi43Mn0.5)	6.95 ( $\pm 0.30$ )	10.69 ( $\pm 0.38$ )	14.66 ( $\pm 0.43$ )	22.90 ( $\pm 0.43$ )	31.48 ( $\pm 0.43$ )	<1.25	镍铜 (+) 考铜 (-)	镍铬 (+) 考铜 (-)	
铜-康铜 (Cu-CuNi40-Mn1.5)	4.10 ( $\pm 0.15$ )	6.13 ( $\pm 0.20$ )	8.13 ( $\pm 0.23$ )	12.21 ( $\pm 0.23$ )	16.40 ( $\pm 0.23$ )	<0.648	铜 (+) 康铜 (-)	镍铬 (+) 镍硅 (-) (镍铝)	
铜-铜镍 1.8 (Cu-CuNi1.8)	1.35 ( $\pm 0.05$ )	2.05 ( $\pm 0.09$ )	2.96 ( $\pm 0.11$ )	4.61 ( $\pm 0.16$ )	6.37 ( $\pm 0.16$ )	<0.04	铜 (+) 铜镍 (-)	铂铑 5 (+) 铂铑 20 (-)	

注:①补偿导线的往复电阻值是指当温度为 20℃,长度各为 1m,截面积各为 1mm<sup>2</sup> 时的两导线总阻值。

质侵蚀,热稳定性高,使用寿命长。外径可以从 0.25 至 10mm,长度可从几十至几百米,并可制成多芯或不等断面结构。

铠装热电偶的品种有铂铑 30-铂铑 6、铂铑 10-铂、铂钨 5-铂钨 0.1、镍铬-镍硅、镍铬-镍铝、镍铬-考铜、铜-康铜等。

### 3.3.2 薄膜热电偶

薄膜热电偶是一种具有薄膜状工作端接点的热电偶,一般采用真空蒸镀、真空溅射、化学涂覆等工艺将热电偶材料薄膜沉积在云母、陶瓷等非金属材料基板上。由于薄膜的热容量很小,其时间常数可达毫秒级以下,适用于测量瞬变的表面温度和快速测量轧辊、轴承及燃气轮机叶片等表面温度。有镍-铁(0~300℃)、银-镍(0~600℃)及其他测更高温度的品种。

### 3.3.3 非金属热电偶

非金属热电偶的主要特点是熔点高、耐腐蚀和可在含碳、硫等气氛中测温,多数非金属热电偶的热电动势和热电势率均较大,但它的脆性大。具有代表性的品种有:

3.3.3.1 二硅化钨—二硅化钼 在金属蒸气、氧化性气氛、水蒸气、二氧化碳等介质中可测温至 1600℃。

3.3.3.2 石墨—碳化钛 在渗碳介质和含氮与一氧化碳气氛中使用,一般可测温至 2000℃,最高可达 2500℃;在 500℃ 以上,热电特性呈线性;2400℃ 时的热电动势为 160mV;600℃~2500℃ 的平均热电势率为 65 $\mu$ V/℃。

## 3.4 热电偶材料的选用

主要应根据所需测温范围和测温精度选用合适的热电偶材料。选用时应注意使用场所气氛、介质及环境的影响,必要时要采取保护措施,防止气氛侵蚀与机械损伤,以延长其使用寿命;应尽量选用廉价金属,以节约贵金属。如工业上使用在 1300℃ 以下的场合,推荐选用镍铬-镍硅热电偶材料,而尽量不采用铂铑系贵金属;镍铬-镍铝及镍铬-考铜等廉价金属热电偶线径大小与工作温度有关,在较高温度下工作,须选用较大的线径。热电偶在使用一段时间后,由于材质变化或受到周围介质侵蚀,热电特性将有所改变,故应定期进行检定。

## 3.5 热电偶材料的焊接

热电偶材料常用的焊接方法有气焊、碳弧及汞弧焊接。

### 3.5.1 气焊焊接

气焊焊接使用由乙炔—氧(或氢—氧)混合气体燃烧的火焰,须调节至乙炔稍微过量的中性焰后使用。焊接时,将接点放在焰心以外 1.2~2.0mm 的位置加热;操作时,火焰应时起时落,不能始终停留在一点;两金属线一经熔合,立即移开火

焰,冷却后即可获得一球形接点。

### 3.5.2 碳弧焊接

碳弧焊接可使用交流或直流电弧焊接,以直流较好;在直流下,热电偶线作正极,碳电极作负极,接通电源后,将碳极尖端对准热电偶线,轻轻接触后,迅速拉开,使产生电弧;当热电偶线刚熔化时,立即拉开碳极,使电弧中断,熔融金属形成球状接点。较易氧化的材料可在氩气保护下焊接。

### 3.5.3 汞弧焊接

汞弧焊接适用于焊接 $0.3\sim 1.5\text{mm}$ 线径的热电偶线,可使用交流或直流,电压为 $20\sim 60\text{V}$ ;使用直流电时,须将热电偶线接正极,杯盛水银接负极(不能接反,否则水银剧烈蒸发,对人体有害。可在水银表面覆上一层变压器油,以防止焊接点氧化和水银蒸发);焊接时,将热电偶线端碰上水银表面,然后稍微提高,使产生电弧;热电偶线很快熔化,这时提起热电偶线,使电弧熄灭,冷凝后,即形成一球状接点,焊接点的结晶组织细而致密,气孔及杂质较少,焊接质量较高。

## 4 热双金属片

热双金属片是由两层不同热膨胀系数的金属(或合金)彼此牢固结合的组合材料,其中热膨胀系数较高的一层称为主动层;热膨胀系数较低的一层称为被动层。有时为了获得特殊性能的双金属片,还可以有第三层、第四层,但习惯上仍然统称为热双金属片。

热双金属片受热时,主动层自由膨胀的长度大于被动层,如图6.2.5所示;但由于两层结合在一起,相互牵制,主动层的自由膨胀受到被动层的限制,产生向外的张力;而被动层的自由膨胀受到主动层的拉伸,产生向内的拉力,这两个力组成

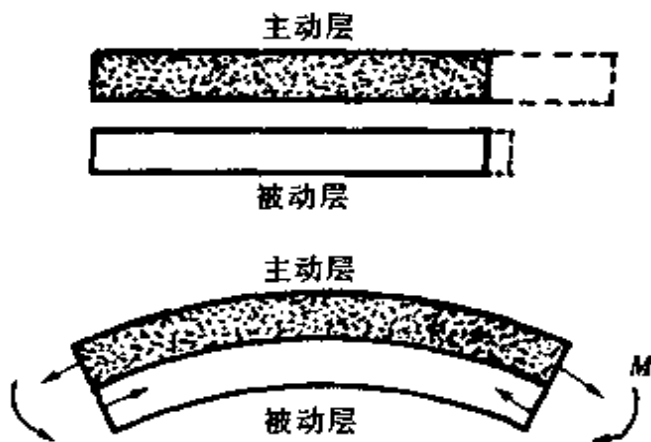


图 6.2.5 热双金属片弯曲原理示意图



的力矩使热双金属片弯曲成主动层凸起、被动层凹进的圆弧形,如图 6.2.5 所示。冷却时,则与上述情况相反。当这种弯曲受到限制时,将产生推力,即把热能转变为机械能,可推动某些部件动作。热双金属片的厚度愈小、长度愈大,受热弯曲程度愈大。一般热双金属片厚度为 0.1cm 左右,通常制成弧状或卷成螺旋状。

#### 4.1 热双金属片组合层材料

热双金属片组合层的主动层及被动层所用材料较多,常用主动层材料及被动层材料的物理性能分别见表 6.2.33 及 6.2.34。

表 6.2.33 常用主动层材料的物理性能

主动层材料	线膨胀系数 $\alpha$ (20℃~100℃) ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弹性模量 $E$ (20℃) ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
Mn75Ni15Cu10	27.0	1.70	107800
3Ni24Cr2	18.1	0.80	196000
Ni20Mn6	20.0	0.78	235000
Ni19Cr11	17.6	0.78	206000

表 6.2.34 常用被动层材料的物理性能

被动层材料	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弹性模量 $E$ (20℃) ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	居里点 $\theta_c$ (℃)
Ni34	2.6 (20~100℃)	0.86		165
Ni36	<1.8 (20~100℃)	0.78	147000	230
Ni42	4.8 (20~300℃)	0.58	147000	340
Ni50	9.7 (20~500℃)	0.47	167000	480

#### 4.2 热双金属片的分类

热双金属片按其使用特点分为以下几种类型:

- (1)通用型:具有较高的灵敏度和强度,适用于多种用途和中等使用温度范围。
- (2)高温型:具有较高的强度和抗氧化性能,灵敏度较低,适用于在 300℃ 以上的温度工作。
- (3)低温型:适合于在 0℃ 以下温度工作。
- (4)高灵敏型:具有高灵敏度、高电阻等特性。
- (5)电阻型:在基本性能不变的情况下,有高低不同的电阻率可供选用,适合于小型化、标准化电气保护装置。
- (6)耐腐蚀型:具有良好的耐腐蚀性能,适应于在各种腐蚀性介质中使用。

(7)特殊型:具有特种性能,适用于某些特殊场合。

### 4.3 常用热双金属片

热双金属片的结构简单牢固,动作可靠,广泛应用于电工、电子、电信和交通运输、农业等方面的自动控制仪器和测量仪表中。热双金属片常用品种的尺寸规格见表 6.2.35;其性能及特点见表 6.2.36(第 1722 页~1723 页)。

表 6.2.35 热双金属片常用品种的尺寸规格

厚度(mm)		宽度(mm)		长度
规格	允许偏差	规格	允许偏差	
≤0.15	-0.015	20~80	±0.5	成卷供应
0.15~0.25	-0.02	20~80		
0.25~0.5	-0.03	20~100		
0.5~0.75	-0.04	20~120	±1.0	直条供应,长度为 0.5~1.5m。也可成卷供应
0.75~1.0	-0.05	20~120		
1.0~1.3	-0.06	20~120	±1.0	直条供应,长度为 0.5~1.5m
1.3~1.6	-0.07	20~120		
1.6~2.0	-0.08	20~120		
2.0~3.0	-0.10	20~120		

注:1.以冷轧状态供应。

2.宽度一般以 5mm 为进级单位。

#### 4.3.1 电阻型热双金属片

电阻型热双金属片是由一层用高导电金属或合金制成的附加层与热双金属组元牢固地结合在一起的制品。附加层夹在热双金属组合层之间,或覆盖在热双金属片表面;改变附加层的厚度比,就可以调整制品要求的电阻率。用这种热双金属片作电气保护装置的敏感元件,在同一外型、尺寸的保护装置中,只要更换不同电阻率的敏感元件,便能作多种不同容量的过载保护。电阻型热双金属片的主要性能见表 6.2.37。

#### 4.3.2 高温型热双金属片

高温型热双金属片的线性温度范围较宽,在高温下有良好的抗氧化性能,为了避免过高的热应力,它的比弯曲值较低,适用于 300℃ 以上环境温度中使用,最高的工作温度可达 650℃。高温型热双金属片的主要性能见表 6.2.38。

#### 4.3.3 耐腐蚀型热双金属片

耐腐蚀型热双金属片按其耐腐蚀的措施一般分组元合金耐腐蚀型、防腐蚀覆盖型和表面处理型三类,适合于恶劣环境或特定的腐蚀介质(如在冷水、热水、蒸气、高湿度空气、海洋性热带气候或某些工业气氛)中使用。耐腐蚀型双热金属片的主要性能及特点见表 6.2.39。

表 6.2.37 电阻型热双金属片的主要性能

类型	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	比弯曲 $K$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
R161	1.621	8.6	
R141	1.410	13.3	134000
R112	1.120	19.3	140000
R90	0.930	13.0	169000
R80	0.786	13.5	177000
R70	0.656	13.5	177000
R60	0.582	13.1	172000
R50	0.499	13.0	172000
R40	0.430	13.3	177000
R33	0.332	13.1	177000
R25	0.250	13.1	177000
R20	0.206	13.0	177000
R16 <sup>①</sup>	0.160	13.5	160000
R15	0.148	13.1	177000
R11	0.119	13.1	177000
R8	0.083	13.0	177000
R5	0.051	13.3	124000
R3	0.036	11.7	190000

注:①同表 6.2.36 中的 5J101。

表 6.2.38 高温型热双金属片的主要性能

组合层材料		比弯曲 $K$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	线性温度范围 上限(℃)
主动层	被动层				
Ni19Cr11 <sup>①</sup>	Ni42	10.6	0.70	$\geq 170000$	$\approx +300$
Ni20Mn6	Ni42	12.4	0.65	$\geq 160000$	$\approx +310$
3Ni24Cr <sup>②</sup>	Ni50	7.5	0.57	$\geq 170000$	$\approx +400$
Ni20Mn6	Ni29Co18	12.0	0.56	$\geq 140000$	$\approx +450$
Ni20Mn6	Ni50	9.0	0.69	$\geq 160000$	$\approx +500$
Ni46Cr22	Cr22	3.5	0.85	195000	$\approx +650$

注:①同表 6.2.36 中的 5J23; ②同表 6.2.36 中的 5J25。

表 6.3.39 耐腐蚀型热双金属片的主要性能及特点

组合层材料				比弯曲 $K$ ( $10^{-6}/\text{℃}$ )	电阻率 $\rho$ (20℃) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	特点
覆盖层	主动层	被动层	覆盖层				
	Ni10Cr- 12Mn16 1Cr18Ni9Ti	Ni36CuTa- NbMo Ni20Cr8Co25		12.0 7.5	0.88 0.78	170000 $\geq 160000$	以耐腐蚀型合金作组合层,热敏感性能较低
1Cr18- Ni9Ti 1Cr18- Ni9Ti	Mn75- Ni15Cu10 Ni20Mn6	Ni36Nb Ni36	0Cr13	15.0 11.5	1.10 0.80	$\geq 130000$ $\geq 160000$	以耐腐蚀金属或合金作覆盖层,有较高热敏感性能,但切边处仍易锈蚀
	3Ni24Cr2	Ni36		15.0	0.80	$\geq 160000$	通过一定的表面处理,以提高耐腐蚀能力,可保持材料原有性能

表 6.2.36 热双金属片常用品种

牌号	组合层材料		比弯曲 $K(20^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C})$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	电阻率 $\rho$ ( $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	弹性模量 $E$ ( $20^{\circ}\text{C}$ ) ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	线性温度 范围( $^{\circ}\text{C}$ )	允许工作 温度范围 ( $^{\circ}\text{C}$ )
	主动层	被动层					
5J11	Mn75Ni15 Cu10	Ni36	18.0~22.0	1.08~1.18	$\geq 130000$	-20~180	-70~200
5J16	Nn20Mn6	Ni36	13.8~16.0	0.77~0.82	$\geq 160000$	-20~200	-70~350
5J17	Cu62Zn38	Ni36	13.4~15.2	0.14~0.19	$\geq 110000$	-20~180	-70~200
5J18	3Ni24Cr2	Ni36	13.2~15.5	0.77~0.84	$\geq 160000$	-20~180	-70~375
5J19	Ni20Mn7	Ni34	13.0~15.0	0.76~0.84	$\geq 160000$	-50~100	-80~450
5J23	Ni19Cr11	Ni42	9.5~11.7	0.67~0.73	$\geq 170000$	0~300	-70~450
5J24	Ni	Ni36	8.5~11.0	0.14~0.19	$\geq 170000$	-20~200	-70~400
5J25	3Ni24Cr2	Ni50	6.6~8.4	0.54~0.59	$\geq 170000$	0~450	-70~480
5J101	3Ni24Cr2 中间层:Cu	Ni36	12.0~15.0	0.14~0.18	$\geq 160000$	-20~180	-70~200

## 的性能及特点

允许应力 $\sigma$ (20℃) (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	推荐热处理 温度 和时间	类型	特 点
150	75~850	260℃~280℃ 1~2h	高灵敏度型	具有很高热敏感性能和电阻率,但弹性模量和允许应力较低,防腐蚀性较差。可提高仪器灵敏度,缩小尺寸或增大作用力
200	750~850	300℃~350℃ 1~2h	通用型	有较高热敏感性能,低温稳定性良好,焊接较容易。其他性能与5J18相同,但能节约镍铬等元素
100	650~750	150℃~200℃ 1~2h	通用型	热敏感性能与5J18相似,但电阻率、弹性模量、许用应力都较低,热导率较高
200	800~900	300℃~350℃ 1~2h	通用型	热敏感性能比5J16稍低,其余性能相同。但组合层合金含镍、铬等元素较多
200	750~850	300℃~350℃ 1~2h	低温型	在0℃以下低温具有较高热敏感性能,适合于低温范围内使用
200	800~900	380℃~400℃ 1~2h	高温型	线性温度范围较宽,适合于高温范围内使用
100	600~700	300℃~350℃ 1~2h	特殊型	热敏感性能和电阻率较低。在300℃以上停止弯曲,可避免在高温下产生过大应变
200	850~950	400℃~420℃ 1~2h	高温型	线性温度范围比5J23更宽,可在更高温度下使用
150	750~850	230℃~250℃ 1~2h	电阻型	热敏感性能与5J18相同,但电阻率低得多

#### 4.3.4 特殊型热双金属片

特殊型热双金属片是根据某些特殊要求所制造的具有相应的特殊性能的制品。

4.3.4.1 磁致热双金属片 它是由 Ni22Cr3Fe、Ni36Fe、纯 Ni(具有高的负磁致伸缩系数)和 Ni50Fe(具有正磁致伸缩系数)四种金属所组成,必要时在 Ni50Fe 与 Ni 之间还加入 Cu 分流层。这种热双金属片既有热敏感性能,又对磁场产生反应,它在过载电流感应所产生的磁场作用下将发生磁弯曲,并与由热引起的热弯曲叠加在一起,能使断路器更快地断开;而磁弯曲比热弯曲发生得更快,可用来克服动作机构的静摩擦阻力,提高断路器动作的灵敏度。

4.3.4.2 无磁热双金属片 它磁化率小、感温灵敏度高。

4.3.4.3 高强度热双金属片 它的抗张强度在室温下可达  $1300 \sim 1400 \text{ N/mm}^2$ 。

4.3.4.4 中子敏感热双金属片 它具有对中子敏感性能,用于核反应堆内作控制和保护装置的元件。

4.3.4.5 高温敏感热双金属片 它具有在  $10^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  感温性能很低、而在  $150^\circ\text{C}$  以上感温性能高及电阻率较低等性能。

4.3.4.6 低热敏双金属片 它具有热敏感性能和电阻率较低、在  $300^\circ\text{C}$  以上温度时停止弯曲的性能,可避免在高温下产生过大应变,其性能见表 6.2.36 中 5J24 项。

### 4.4 热双金属片的应用

#### 4.4.1 热双金属片的选用

热双金属片的选用原则如下:

(1)一般要求元件的工作温度应在其线性温度范围内,在此范围内,热双金属片具有恒定的和最大的灵敏度;元件必须超出此范围工作时,也应在允许使用温度范围内。

(2)若元件是直接加热的,除了考虑温度系数外,还须考虑热双金属片的电阻率和电阻温度系数;若是以热传导方式间接加热的元件,应选用导热性能好的材料,也可在元件上附加铜层;若是靠辐射传递热量的,则应选用表面为暗黑色的材料。

(3)对于快速或跳跃式的元件,应选择弹性优越的材料,使元件具有较好的耐疲劳和抗变形性能。

(4)对承受较大负荷和较大弯曲应力的元件,应选用强度较高的热双金属片;但对须弯曲成形的元件,不宜选用过硬的材料。

(5)热双金属片的几何形状有单支点直条形、双支点直条形、对折形、直螺旋形、平螺旋形、不等边度直条形、碟形、U字形、直角形、圆弧形、反焊直条形及反焊U字形等十几种。可根据所需的动作方式、位移量大小、允许空间和受力情况等从中选用合适的元件形状。在选用直条形元件时,元件长度一般不小于宽度的3倍、宽度不大于厚度的15倍,以保证元件动作均匀;为了获得较大推力必须选用较宽条片时,可沿其长度方向开槽,以减少横向应力对纵向弯曲的影响;若承受较大弯曲应力时,可用几块条片叠成一组来代替单片,可保持一定的灵敏度。

#### 4.4.2 热双金属片的加工

热双金属片加工应注意事项如下:

(1)应沿纵向(片材轧制方向)落料,横向落料时热敏感性能及承受弯曲负荷的能力均有所降低,且易折断。

(2)冲剪后的元件边缘应不带毛边,否则热敏感性能将降低。

(3)尽量避免过小的弯折半径,否则易出现裂纹;须要较高弯折性能的,应选用较软的材料。

(4)绕制螺旋形元件时,应考虑电热双金属片的反弹力,以便符合要求的外形尺寸。

(5)在制作元件时,应加适当的标记(如缺口等),以便于识别。

(6)热双金属片在生产及元件制作与装配过程中,会产生一些残余应力,必须通过热处理以减少残余应力,使元件工作稳定;热处理温度及时间见表6.2.36。

(7)热双金属片可采用铆钉、螺钉、点焊或钎焊固定,焊接区高温不应波及工作区,避免元件软化产生应力。

(8)元件表面需要防护。在低温下工作的可用油漆或塑料涂层防护;在高温下工作的可进行电镀;在恶劣环境中工作的则应采用耐腐蚀型热双金属片。

## 5 弹性合金

弹性是指金属在外力作用下产生变形、当外力取消后又恢复到原来形状和大小的一种特性。弹性合金具有良好的弹性性能;同时还具有一定的导电性、无磁性或一定的导磁性,以及耐热、耐腐蚀、耐磨和高硬度等性能。弹性合金主要用于制造仪器、仪表中的弹性元件:如游丝、张丝、悬丝、簧片、膜片等。弹性元件的质量优劣,关系着仪器仪表的精度、稳定性和使用寿命。

### 5.1 弹性合金的基本性能

表征弹性合金基本性能的有弹性极限、弹性模量、切变模量、弹性模量温度系数、弹性后效及疲劳极限等。

### 5.1.1 弹性极限( $\sigma_e$ )

弹性材料在保持弹性变形的前提下可能承受的最大应力,称为弹性极限,用 $\sigma_e$ 表示。弹性极限越高,材料性能越好。

### 5.1.2 弹性模量( $E$ )

弹性材料受到拉伸或压力作用时,在弹性变形范围内,应力 $\sigma$ 与应变 $\epsilon$ 的比值 $E$ 称为弹性模量,即 $E = \sigma/\epsilon$ 。弹性模量越大,材料刚度越大,在一定应力作用下发生应变越小。

### 5.1.3 切变模量( $G$ )

弹性材料受到扭转作用力时,在弹性范围内,剪切应力 $\tau$ 与切应变 $\gamma$ 的比值 $G$ 称为切变模量,即 $G = \tau/\gamma$ 。切变模量也是衡量材料刚度的指标,其值越大,在一定应力作用下,发生变形越小。

### 5.1.4 弹性模量或切变模量的温度系数( $\beta_E$ )

在一定温度范围内,弹性模量或切变模量随温度变化的相对变化率 $\beta_E$ 称为弹性模量温度系数或切变模量的温度系数。即:

$$\beta_E = \frac{E_2 - E_1}{E_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} (1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$$

这一温度系数越小,则弹性元件的温度误差就越小。

### 5.1.5 弹性后效

弹性材料在受到低于弹性极限的恒定应力作用时,首先产生一符合虎克定律的弹性应变 $\epsilon_e$ ;然后随着应力作用时间的延长,应变逐渐增大,但其应变速度逐渐减慢,直至达到平衡应变值;通常把应力作用10min后缓慢增加的那一部分应变值 $\Delta\epsilon_{10}$ 称为残余应变值, $\Delta\epsilon_{10}/\epsilon_e$ 的比值称为弹性后效值 $H_{10}$ 。弹性后效越小,则仪器、仪表的精度越高。

### 5.1.6 疲劳极限

弹性材料在重复或交变应力(拉伸和压缩)作用下,在规定的周期基数( $1 \sim 10 \times 10^7$ )内不变生断裂时所承受的最大应力。疲劳极限越高,性能越好,它直接关系到其性能的稳定性和使用寿命。

## 5.2 常用弹性合金

常用弹性合金有高弹性合金(时效硬化型)、高温高弹性合金(时效硬化型)、恒弹性合金(时效硬化型)、耐腐蚀弹性合金(时效硬化型及加工硬化型)和铜基弹性合金(时效硬化型及加工硬化型)等类型。

### 5.2.1 高弹性合金

高弹性合金具有较高的弹性极限和弹性模量,弹性后效较低,并有较好的不锈



性和一定的耐酸碱腐蚀等性能,但导电性能差。大部分高弹性合金呈弱磁性,有些可在高温下使用。这类合金有铁镍铬基、镍钼基和钴铬镍钼基等。

5.2.1.1 铁镍铬基高弹性合金 这类合金在淬火状态下有良好的塑性,时效硬化后获得高弹性、低弹性后效等良好的综合性能;冷变形后进行时效处理,弹性更高,但塑性较差;在软态下,点焊、缝焊、氩弧焊及电子束焊性能均好,在时效处理后,点焊与缝焊性能较差;如要进行低温锡铅焊接,应在合金表面镀镍后进行。合金具有耐磁性,耐酸碱腐蚀性能也较好。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.40;其热处理规范、机械及弹性性能见表 6.2.41。

表 6.2.40 铁镍铬基高弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	最高工作温度 (°C)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
3J1 (Ni36, Cr12, Ti3, Al1, Fe 余量)	200	12~14	7.9	0.9~1.0	耐蚀性、工艺性均较好。时效处理后可获得良好的弹性。用于膜片(盒)、波纹管、弹簧管、螺旋弹簧以及压力传感器的传送杆,转子发动机刮片弹簧等
3J2 (Ni36, Cr12, Ti3, Al, Mo5, Fe 余量)	300	12~14	8.0	1.0~1.1	耐热性较高。从室温至 300°C,强度下降不超过 4%。其余同 3J1
3J3 (Ni36, Cr12, Ti3, Al1, Mo8, Fe 余量)	350	12~14	8.3	1.0~1.1	耐热性更高。从室温至 500°C,强度下降不超过 11%,其余同 3J1

表 6.2.41 铁镍铬基高弹性合金热处理规范、机械及弹性性能

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性极限 $\sigma_e$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 温度系数 $\beta_E$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	硬度 HV
3J1	软化: 920°C ~ 980°C, 水冷	735 ~ 784	35 ~ 40	245 ~ 392		171500 ~	100	150 ~ 180
	软时效: 650°C ~ 720°C, 2~4h	>1176	>8	833 ~ 1078	784①	210700		340 ~ 360
	硬时效: 600°C ~ 650°C, 2~4h	>1372	>5	1274	882①	176400 ~ 215600		360
3J2	软化: 980°C ~ 1000°C, 水冷	833 ~ 882	30 ~ 35	490 ~ 568			100	200 ~ 215
	软时效: 750°C, 2~4h	1225 ~ 1372	8 ~ 10	882 ~ 1078	833	186200		420 ~ 450
	硬时效: 700°C, 2~4h	1372	5	1274				450
3J3	软化: 980°C ~ 1050°C, 水冷	882 ~ 931	20 ~ 25	588 ~ 637			100	200 ~ 230
	软时效: 750°C, 2~4h	1372 ~ 1421	6 ~ 7	1078 ~ 1127	931	205800		485 ~ 495
	硬时效: 700°C, 2~4h	1372	5	1274				495

注: ①弯曲弹性极限。

5.2.1.2 镍铍基高弹性合金 这类合金在淬火状态下有良好的塑性,时效处理后获得高导电性、高弹性、高强度、高的抗疲劳和耐腐蚀性能;它具有磁性。由于它具有较高的导电性能,故又称高导电高弹性合金。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.42;其热处理规范、机械及弹性性能见表 6.2.43。

表 6.2.42 镍铍基高弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	最高工作温度 (°C)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
NiBe <sub>2</sub> (Be <sub>2</sub> , Ni 余量)	250	13.5 (硬时效)	8.1	0.35(软) 0.10 (硬时效)	室温及高温弹性均优于 3J1。从室温至 200°C,弹性极限值从 1210N/mm <sup>2</sup> 下降至 103kgf/mm <sup>2</sup> 。用于微动开关接触簧片、高温下使用的特殊弹簧等
NiBe <sub>2</sub> Ti (Be <sub>2</sub> , Ti <sub>0.5</sub> , Ni 余量)	250	14.5	8.84		在 NiBe <sub>2</sub> 合金中加入钛,抗疲劳和耐蚀性较好,用途同上
NiBe <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> W <sub>6</sub> (Be <sub>1.7</sub> , Co <sub>3</sub> , W <sub>6</sub> , Ni 余量)	400			0.35	耐热性优于 NiBe <sub>2</sub> ,电阻温度系数较低,用途同上
NiBe <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> W <sub>8</sub> (Be <sub>1.7</sub> , Co <sub>3</sub> , W <sub>8</sub> , Ni 余量)	450			0.52	耐热性更高。用途同上

表 6.2.43 镍铍基高弹性合金热处理规范、机械及弹性性能

合金名称	推荐热处理规范及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性极限 $\sigma_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	硬度 HV
NiBe <sub>2</sub>	软化:1020°C~1050°C,水冷 软时效:500°C~520°C,2~3h	<873 1670~1790	>2.5 3.5~7.5	<440 1372~1470	882~1078	196000 >186000	<250 500
	硬态: 70%硬时效:480°C~500°C,2~3h <sup>①</sup>	>980 >1670	>3 >3	>686 >1421	>1176	205800	>285 >470
NiBe <sub>2</sub> Ti	软化:1020°C~1050°C,水冷 软时效:500°C,2~3h	1568		1372	833	196000	225 500
NiBe <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> W <sub>6</sub>	软化:1060°C,水冷 硬时效:600°C,45min	1715		1670	1607	196000~ 205800	165~185 430~560
NiBe <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> W <sub>8</sub>	软化:1060°C,水冷 硬时效:600°C,45min	1715		1685	1617	196000~ 205800	190~220 540~590

注:①以高导电性为主要指标时,热处理温度提高至 530°C。

5.2.1.3 钴铬镍钼基高弹性合金 这类合金具有优良的耐热性和耐腐蚀性；淬火后需通过大的冷加工变形后再进行时效处理,方能获得高的弹性性能和硬度。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.44;其热处理规范、机械及弹性性能见表 6.2.45。

表 6.2.44 钴铬镍钼基高弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	最高工作温度 (°C)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
3J21 (Co40, Ni15, Cr20, Mo7, Mn2, C<0.12, Fe余量)	400	13~16	8.3	0.9~1.0	弹性高。耐磨性及耐腐蚀性好,能耐硫化氢腐蚀。用于精密机械的轴尖、弹簧、平膜片、发条、游丝等
3J22 (Co40, Ni15, Cr20, Mo3.5, W4, Mn2, C<0.12, Fe余量)	450	14~16	8.5	0.9~1.0	冷热加工性能比 3J21 有所改善。有较高的加工时效强化效果。用途同上
3J24 (Co40, Ni19, Cr12, Mo3.5, Ti2, Mn2, Al0.5, C<0.12, Fe余量)	400	14.0	8.5	1.0~1.1	具有很高的冷变形能力。时效后组织是 $\gamma$ 固溶体、金属间化合物相 $[(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Fe})_3(\text{Ti}, \text{Al})]$ 和少量碳化物。此外,软态时效也有一定强化效果。用于形状较复杂的弹性元件
YC-11 (Co42, Cr17, W10, Mo4, Mn2, C<0.08, Ni余量)	400		8.7	0.9~1.1	耐蚀、高硬度、耐磨、抗冲击。丝材淬火后经 92% 冷变形,塑性优于 3J22,弯折 90° 不断,便于校直下料。时效温度范围宽。用于航空与电测仪表轴尖及其他弹性元件

表 6.2.45 钴铬镍钼基高弹性合金热处理规范、机械及弹性性能

合金名称	推荐热处理规范及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性极限 $\sigma_e$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量温度系数 $\beta_E$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	硬度 HV
3J21	软化:1150°C~1180°C,水淬 硬时效:500°C~550°C,4h	686~784 2450~2646	40~50 3~5	2254~2450	1372~1568	196000	208~250	180~200 600~700
3J22	软化:1150°C~1180°C,水淬 硬时效:500°C~550°C,4h	686~735 2940~3136	40~50 4~6	2254~2744	1617~1670	205800	200~250	180~200 ≥750

续表

合金名称	推荐热处理规范及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $N/mm^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ ( $N/mm^2$ )	弹性极限 $\sigma_e$ ( $N/mm^2$ )	弹性模量 $E$ ( $N/mm^2$ )	弹性模量温度系数 $\beta_E$ ( $10^{-6}/^\circ C$ )	硬度 HV
3J24	软化: 1150 $^\circ C$ ~ 1180 $^\circ C$ , 水淬 硬时效: 500 $^\circ C$ ~ 550 $^\circ C$ , 4h	686 ~ 784 1960 ~ 2156	55 ~ 60 4 ~ 6	343 ~ 392 1764 ~ 1960	> 1176	215600	200 ~ 250	140 ~ 160 550 ~ 600
YC-11	软化: 1100 $^\circ C$ ~ 1160 $^\circ C$ , 水淬 硬态: 90% 冷加工度 硬时效: 500 $^\circ C$ ~ 600 $^\circ C$ , 4h	931 ~ 1078 > 2156	$\geq 40$		$\geq 392$ $\geq 1078$	$\geq 166600$ $\geq 215600$		$\geq 280$ $\geq 560$ $\geq 804$

## 5.2.2 高温高弹性合金

这类合金的工作温度一般在 500 $^\circ C$  左右, 耐腐蚀性能良好; 作为耐热弹性元件, 冷变形不宜超过 30%。这类合金有镍铬铌基、铁镍铬基等。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.46, 其热处理规范、机械与弹性性能见表 6.2.47。

表 6.2.46 高温高弹性合金品种、物理性能、特点用途

合金名称 (主要成分%)	最高工作温度 ( $^\circ C$ )	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^\circ C$ )	密度 $d$ ( $g/cm^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )	主要特点与用途
NiCr19W10Co6TiAl (Cr19, W10, Co6, Ti3, Al 1.5, C 0.05, Ni 余量)	500				无磁性。500 $^\circ C$ 以下的塑性、弹性及强度均优于 3J1, 3J2, 3J3。有好的各向同性。时效硬化后析出 $Ni_3(Ti, Al, W)$ 。在热带气候及腐蚀介质中的稳定性良好。用于弹性敏感元件如膜片弹簧等
NiCr15Nb9Mo3Al (Cr15, Nb9, Mo3, Al1, C 0.06, Ni 余量)	550	13.5	8.5	1.4	无磁性。固溶处理后塑性优于 3J21。在 500 $^\circ C$ ~ 550 $^\circ C$ 有高的抗松弛性能。时效处理后析出 $Ni_3Nb$ 和 $[(Ni, Cr)_3(Nb, Mo, Al)]$ 强化相。在 20 $^\circ C$ ~ 50 $^\circ C$ 的浓硝酸中耐蚀性极好。用途同上
NiCr15Nb9Mo3W2Al (Cr15, Nb9, Mo3, Al1, C 0.06, Ni 余量)	550		8.5	1.38	无磁性。时效处理后合金组织为 $[(Ni, Cr)_3(Nb, W, Mo, Al)]$ 强化相。抗松弛性能更高, 在 550 $^\circ C$ 200h 应力下降 14%。焊接性能良好。用途同上
NiCr15Ti3AlNb (Cr15, Ti3, Al1, Nb1, C 0.06, Ni 余量)	500	16.5			在室温时弹性和强度低于 3J1, 但 500 $^\circ C$ 时具有较好的抗松弛性能。700 $^\circ C$ 时具有较高的屈服极限稳定性, 用于载荷不高 (400 $N/mm^2$ 以下) 但在受热条件下工作的弹性元件, 如彩色电视显像管的聚焦栅等



续表

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉 强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服 极限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性 极限 $\sigma_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性 模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 温度系数 $\beta_E$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	硬度 HV
Cr15Ni26Ti2Mo	软化: 1050°C~1080°C,水淬	833 1029~ 1080	30 2					120 370~375
	硬态: 60%冷加工度 硬时效: 600°C~650°C,2~5h	1420~ 1520 1200 (500°C)	2.5~ 3.0 3~4 (500°C)			191100 163670 (500°C)		440~550
NiCr10Co13Mn4W6Ti	50%硬时效: 650°C~700°C, 3~4h	1176~ 1372 1600°C)	3 (600°C)			176400~ 181300 (600°C)	220~280 (600°C)	≥450

### 5.2.3 恒弹性合金

这类合金淬火后塑性良好,易于加工成型制作各种弹性元件;时效处理后具有较高的弹性;但它对磁场敏感,使用温度范围较窄;且对化学成分、热处理参数的变化都较敏感,在使用时要正确选用时效温度。这类合金大部分是时效硬化型铁磁性铁镍基合金。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.48;其热处理规范、机械与弹性性能见表 6.2.49。

表 6.2.48 恒弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	工作温 度范围 (°C)	线膨胀 系数 $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	密度 $d$ (g/cm <sup>3</sup> )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	居里点 $T_c$ (°C)	主要特点与用途
3J53 (Ni42, Cr5.5, Ti2.5, C 0.05, Fe 余量)	-40~80	8.3	8.4	1.0~1.1	115~120	具有低的弹性模量温度系数与频率温度系数,机械品质因素大于 9000。缺点是性能对成分变化较敏感。用于弹性敏感元件如膜片、弹簧管等,以及频率元件如机械滤波器中振子、频率谐振器中音叉、谐振电器中簧片等
Ni42Cr6Ti (Ni42, Cr6.5, Ti2.8, C 0.05, Fe 余量)	-50~60	8.7	8.1	1.0~1.2	80~90	切变模量温度系数较 3J53 低,对成分敏感性小,用于螺旋弹簧,延迟线等
YC-12 (Ni42, Cr3.5, Ti2, Mo2.5, Cu 0.3, C 0.05, Fe 余量)	20~150	7.0			180~185	频率温度系数 $\leq 1 \times 10^{-6}/\text{°C}$ ; 对热处理敏感性比 3J53 小,机械品质因素大于 10000,用于频率元件及弹性元件

续表

合金名称 (主要成分%)	工作温度范围 (°C)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	居里点 $T_c$ (°C)	主要特点与用途
3J58 (Ni43, Cr5.5, Ti2.5, C 0.05, Fe 余量)	-40~120	8.3		1.0	150~160	频率温度系数比 3J53 小, 工作温度范围有所扩大, 用途同 3J53
Ni45CrTi (Ni45, Cr6, Ti2.5, C 0.05, Fe 余量)	-40~200	8.0		1.0		增加镍含量, 工作温度范围进一步扩大, 用途同 3J53
Ni39Mo8Ti (Ni39, Mo8, Ti2, Fe 余量)	20~40			1.0		弹性后效小, 用作 0.2 级电磁系电表张丝, 其力矩温度系数小于 0.05%/10°C。但与铜基合金相比则电阻大, 较难焊接, 有磁性
Ni39Mo5CrTi (Ni39, Mo5, Cr3, Ti2, Fe 余量)	20~40			1.1		通过适当控制冷加工度与热处理规范, 张丝的力矩温度系数小于 0.03%/10°C, 弹性后效小于 0.03%。弱磁性。用于 0.1 级电磁系电表张丝
NbTi39Al5 (Ti39.5, Al5.5, Nb 余量)	20~500	8.8		0.9~1.1		无磁性钨基合金。高温及耐蚀性均好。弹性模量及其温度系数均较小。弹性极限接近 1000N/mm <sup>2</sup> 。在 150°C 的 5% 硫酸、盐酸和磷酸中, 在 200°C 的 35% 硝酸和有机酸中均有良好的耐蚀性。用于无磁恒弹性张丝和特殊用途弹簧
NbMo3.5Zr2.5Cr2Ti2 (Mo3.5, Zr2.5, Cr2, Ti2, C0.03, Nb 余量)	20~600					同上。工作温度更高, 抗松弛性能良好。在 700°C、200h, 应力下降 5%~6%

表 6.2.49 恒弹性合金热处理规范、机械与弹性性能

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ (%)	弹性模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 温度系数 $\beta_E$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	频率温 度系数 $\beta_f$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	硬度 HV
3J53	软化: 950°C ~ 980°C, 水冷 软时效: 650°C ~ 700°C, 2~4h 硬时效: 600°C ~ 650°C, 2~4h	540  >1180  >1125	40  >8  >5	  >171500  >176400	  <20  <20	  0 ~ +20  0 ~ +20	  360  400
Ni42Cr6Ti	软化: 950°C, 水冷 硬时效: 650°C, 4h	  1568	  >5	  68600 (切变模量)	  10		  440
YC-12	软化: 980°C ~ 1000°C, 水冷 硬时效: 500°C ~ 600°C, 4h	  >1370	  >3	  196000		  ≤1	  >400
3J58	软化: 950°C ~ 980°C, 水冷 硬时效: 550°C ~ 650°C, 4h	540  1370	40  5	  181300		  -5 + 10	  ≥360
Ni45CrTi	软化: 910°C ~ 950°C, 水冷 软时效: 700°C, 4h 硬时效: 600°C, 4h	640  1170  1140	45  20  10	  176400 ~ 168200			130  300
Ni39Mo8Ti (丝材)	软化: 950°C ~ 1000°C, 水冷 硬时效: 650°C ~ 700°C, 2h	830  1410~1530	30  2~4			20  14	120  >400
Ni39Mo5CrTi (丝材)	硬时效: 600°C ~ 630°C, 2h	>1470	>2	186200 ~ 196000	-50		>500



续表

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ (%)	弹性模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 温度系数 $\beta_E$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	频率温 度系数 $\beta_f$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	硬度 HV
NbTi39Al5	软化: 1000°C, 真空炉冷	590~670	25~28	110740	-70~-90 (20~500°C)		>300
	软时效: 700°C~725°C, 5~10h 硬时效 725°C, 1h	>930	3				
NbMo3Zr2.5 Cr2Ti2	软化: 1600°C, 真空炉冷	880~980	3~6	102900~ 112700	1~2 (20~700°C)		350
	软时效: 950°C, 2~3h	1030~ 1176	2				

#### 5.2.4 耐腐蚀弹性合金

这类合金具有耐强酸、强碱及尿素、乙烯、氟离子和硫化氢等化工产品腐蚀的性能,分为时效硬化型和加工硬化型两大类型。

5.2.4.1 时效硬化型耐腐蚀弹性合金 这类合金淬火后有良好塑性,时效处理后获得较高的强度和弹性;这类合金有镍基、铁镍铬基等。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.50;其热处理规范、机械与弹性性能见表 6.2.51。

表 6.2.50 时效硬化型耐腐蚀弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	线膨胀系数 $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> /°C)	密度 $d$ (g/cm <sup>3</sup> )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
0Cr20Ni65Ti2AlNb (Cr20, Ti2.5, Al0.8, Nb1, C ≤ 0.05, Ni 余 量)	13.1 (16°C~ 100°C)	8.3		在含有硫酸根或氟离子等氧化性硝酸以及 25% 硝酸中的耐腐蚀性优于 Cr17Ni7Al 半奥氏体不锈钢,且在频繁振动和碰撞条件下仍有良好的耐腐蚀性。还能耐硫化氢腐蚀,有良好高温强度。合金冷加工变形时,硬化程度较高,须增加多次中间软化处理。用于弹性敏感元件或其他结构件

续表

合金名称 (主要成分%)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
NiCr47Mo3 (Cr47, Mo3, Ni余量)	11~12	7.8	0.68~0.80	在硝酸中耐蚀性远优于311合金。在沸腾的56.7%硝酸中极耐蚀。耐强氧化性介质腐蚀和耐高温。用途同上
Ni40Cr17Mo5Cu3Ti3 (Ni40, Cr17, Mo5, Cu3, Ti3, Fe余量)	11.3			能耐硫化氢和80℃的10%~60%硫酸腐蚀。用途同上

表 6.2.51 时效硬化型耐腐蚀弹性合金热处理规范、机械与弹性性能

合金名称 (主要成分%)	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性极限 $\sigma_r$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	硬度 HV
0Cr20Ni65Ti2AlNi	软化: 1080℃~1100℃,水淬	755~870	50~62	340~470			170~197
	软时效: 750℃,8h+650℃,8h	1245	30~33			233240	330~375
	15%硬时效: 750℃,8h+620℃,8h	1370~1390	13~15				460~490
NiCr47Mo3	软化: 1200℃~1250℃,水淬	830~980	30~40				240
	软时效: 700℃~750℃,5h	1320~1420	5~10	1225~1320	1130~1176	215600~225400	400~430
Ni40Cr17Mo5Cu3Ti3	软化: 1050℃~1080℃,水淬						
	软时效: 700℃~750℃,5~15h	98	10	686		229320	
	15%硬时效: 750℃,8h+650℃,8h	1370	12~14				460~490

5.2.4.2 加工硬化型耐腐蚀弹性合金 这类合金淬火后不能进行时效硬化,主要以冷加工变形提高其强度和弹性;冷加工变形后,再进行低温退火,可进一步提高其弹性。这类合金有镍基、铁镍铬基等。其品种、物理性能、特点与用途见表6.2.52;其热处理规范、机械与弹性性能见表6.2.53。

表 6.2.52 加工硬化型耐腐蚀弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
1Cr18Ni9Ti (Cr18, Ni9, Ti0.5, C $\leq$ 0.12, Fe余量)	16.6 (20 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$ )	7.9	0.75	由于含钛可使碳化物稳定,提高了抗晶间腐蚀能力。焊接性能好。对下列介质有良好的耐蚀性: 20 $^{\circ}\text{C}$ :浓硝酸,95%浓硫酸;40 $^{\circ}\text{C}$ :50%硝酸;90 $^{\circ}\text{C}$ :78%硫酸+6%硝酸;沸腾温度:50%磷酸;-15 $^{\circ}\text{C}$ ~-8 $^{\circ}\text{C}$ :30%~35%醋酸+60%~80%醋酸乙烯。用于弹簧管、波纹管及其他结构元件等
2Cr19Ni9Mo (Cr19, Ni9, Mo2, Mn3, C0.2, Fe余量)			0.88	具有较高的弹性极限、弹性模量和疲劳极限。加工性能良好。对缺口不敏感,用于照相机快门弹簧、钟表发条、电机恒压刷握等
1Cr18Ni12Mo2Ti (Cr18, Ni12, Mo2, Ti0.5, C $\leq$ 0.12, Fe余量)	16.1 (20 $^{\circ}\text{C}$ ~200 $^{\circ}\text{C}$ )	7.9	0.75	在还原性介质中,耐蚀性优于1Cr18Ni9Ti,无晶间腐蚀倾向,对下列介质有良好的耐蚀性: 20 $^{\circ}\text{C}$ :40%硫酸,5%盐酸,80%磷酸,干燥氟气;沸腾温度:98%醋酸+2%甲酸;120 $^{\circ}\text{C}$ :78%氢氧化钠;180 $^{\circ}\text{C}$ :尿液、氨、二氧化碳和水(压力:2000N/mm $^2$ ),用于膜片(盒)、弹簧管等
00Cr26Ni35Mo3CuTi (Cr26, Ni35, Mo3, Cu4, Ti0.5, C $\leq$ 0.03, Fe余量)	15.7 (26 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$ )		1.07	在氧化性、还原性以及氧化-还原性复合介质中均有良好的耐蚀性。对下列介质抗点蚀和缝隙腐蚀的性能较好: 45 $^{\circ}\text{C}$ :50%硫酸;<200 $^{\circ}\text{C}$ :氟气; <300 $^{\circ}\text{C}$ :100%氯化氢;沸腾温度:65%硝酸;硫化氢。用于弹性敏感元件和结构件
0Cr17Ni17Mo7Cu2 (Cr17, Ni17, Mo7, Cu2, C0.05, Fe余量)	16.6 (16 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$ )		1.07	在70 $^{\circ}\text{C}$ 对于65%硫酸和含氯、铁、铜等离子体的硫酸,以及硫化氢均有良好的耐蚀性。用途同上
00Cr16Ni75Mo2Ti (Cr16, Mo2.5, Ti0.5, Fe $\leq$ 8, C $\leq$ 0.03, Ni余量)	14.3 (20 $^{\circ}\text{C}$ ~300 $^{\circ}\text{C}$ )	8.5	1.15	合金在450 $^{\circ}\text{C}$ ~550 $^{\circ}\text{C}$ 的氢氟酸气氛中,虽有氧存在,不会产生晶间腐蚀。在5%稀氢氟酸中,对氧也不敏感。用途同上

续表

合金名称 (主要成分%)	线膨胀系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
00Cr16Ni60Mo17W4 (Cr16, Mo17, W4, $\text{Fe}\leq 7, \text{C}\leq 0.03, \text{N}$ 余量)	12.0 ( $15^{\circ}\text{C}$ $\sim 200^{\circ}\text{C}$ )	8.9	1.30	既耐蚀又具有良好的高温弹性和高电阻率。在湿氯、次氯酸盐、醋酸、强氧化性盐溶液(氯化铁、氯化铜)中极耐腐蚀,对下列介质亦有良好的耐蚀性: < $600^{\circ}\text{C}$ : 氢氟酸气氛; $20^{\circ}\text{C}$ : 99% 氢氟酸, 85% 磷酸; $20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ : 25% ~ 50% 硫酸。用途同上
0Ni65Mo28Fe5V (Mo28, Fe5, V0.3, $\text{C}\leq 0.5, \text{Ni}$ 余量)	14.4 ( $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ )	9.2	1.35	含钒可降低晶间腐蚀倾向,在高温下具有较高强度、刚性、高电阻率和尺寸稳定性等。在下列介质中有良好的耐蚀性: $20^{\circ}\text{C}$ : 96% 硫酸, 37% 盐酸, 99% 氢氟酸; 沸腾温度: 50% 硫酸, 85% 磷酸; 硫化氢。用途同上
NiCu28-2.5-1.5 (Cu28, Fe2.5, Mn1.5, Ni 余量)(蒙 乃尔合金)	14.0	8.8	0.40	在有色金属与合金中,除铂与银外,它最耐氢氟酸腐蚀。对下列介质有良好的耐蚀性: $20^{\circ}\text{C}$ : 48% ~ 50% 氢氟酸(无氧存在); 沸腾温度: 10% 硫酸; 硫化氢。用途同上

表 6.2.53 加工硬化型耐腐蚀弹性合金热处理规范、机械与弹性性能

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弯曲弹性 极限 $\sigma_s$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	硬度 HV
1Cr18Ni9Ti	软化: $1000^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ , 水冷 半硬态 硬态 15% 冷加工度 + $350^{\circ}\text{C}$ , 2h	>540 735 880 930	>40	>200 500 880	275 315	171500 196000	300~320
2Cr19Ni9Mo	>85% 冷加工度 + $500^{\circ}\text{C}$ , 1.5h	$\geq 1560$			1180	176400	
1Cr18Ni21Mo2 Ti	软化: $1000^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ , 水冷 8% ~ 10% 冷加工度 15% 冷加工度 + $420^{\circ}\text{C}$ , 2h	>540 590 790	>40 25	>220 825		1370~ 1860 198940	280

续表

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 $\delta$ (%)	屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	弯曲弹性 极限 $\sigma_e$ (N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量 E (N/mm <sup>2</sup> )	硬度 HV
00Cr26Ni35 Mo3Cu 4Ti	软化: 1000℃~1050℃,水冷 5%~8%冷加工度+ 500℃,4h 15%冷加工度+500℃,4h	>540 676~686 820	>40 25~26	>220 725		187200	147 240~250
0Cr17Ni17 Mo7Cu2	软化: 1140℃~1160℃,水冷 15%冷加工度+650℃, 1h	590 800	30	650		198940	174 242~247
00Cr16Ni75 Mo2Ti	软化: 1050℃~1100℃,水冷 硬态	540 125~ 1370	>35 2.5~ 3.8	>200			140 325~ 327
00Cr16Ni60 Mo17W4	软化: 1180℃~1200℃,水冷 5%~10%冷加工度	>690 1080~ 1170	>25 33~38	>345 700~735		19600	208
0Ni65Mo28 Fe5V	软化: 1150℃~1170℃,水冷 10%~30%冷加工度	>780 980~1180	>38 14~25	>345		211680	325 400~460
NiCu28-2.5-1.5 (蒙乃尔合金)	软化: 870℃~950℃,空冷 硬态	490~590 550~755	30~50 2~15			179340	140~220

### 5.2.5 铜基弹性合金

这类合金具有很高的导电性,耐大气腐蚀性能也好,多用作制造弹性敏感元件和高导电性的弹性元件,如电刷片、簧片、游丝、张丝等。这类合金有时效硬化型和加工硬化型两大类。

**5.2.5.1 时效硬化型铜基弹性合金** 这类合金弹性模量低,时效硬化后显著提高弹性极限;淬火后塑性好,便于加工成复杂形状;导电、导热、抗疲劳及低温性能均好,撞击时不发生火花。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.54;其热处理规范、机械及弹性性能见表 6.2.55。

表 6.2.54 时效硬化型钢基弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	最高工 作温度 (°C)	线膨胀 系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
QBe2(铍青铜) (Be2, Ni0.4, Cu余量)	150	16.6	8.2	0.06~ 0.10	淬火后为 $\alpha$ 固溶体,时效处理后析出 $\gamma$ 相(CuBe)。弹性后效较小( $H_{10} < 0.2\%$ )。对大气、海水有良好的耐蚀性。用于制造膜片、波纹管、弹簧管、游丝、张丝、簧片、耐磨零件
QBe1.9(铍镍钛铜) (Be1.9, Ni0.3, Ti0.2, Cu余量)	150		8.3	0.061	虽降低了含铍量,但由于添加了钛,有很优越的疲劳极限,在 $240\text{N}/\text{mm}^2$ 应力下,循环次数 $1.30 \times 10^7$ 不断,弹性极限亦高于QBe2。对热处理时效敏感性小。弹性后效 $H_{10} < 0.2\%$ 。用途同上
QBe1.7(铍镍钛铜) (Be1.7, Ni0.3, Ti0.2, Cu余量)	150			0.06	特性与QBe1.9相似,但机械性能稍低。用途同上
QTi3.5(铜钛合金) (Ti3.5-4.0, Cu余量)	150	16.6	8.6	0.12~ 0.57	机械性能与QBe2接近,成本低,但耐蚀性和抗氧化性较差,用于簧片、弹簧等
QTi6-1(铜钛铝合金) (Ti6, Al1, Cu余量)	150	15.0	8.4	0.97	机械性能高于QTi3.5。比铍青铜成本低。在10%氯化钠中有较好的耐蚀性。疲劳性能好。用于簧片、弹簧等

表 6.2.55 时效硬化型钢基弹性合金热处理规范、机械与弹性性能

合金名称	推荐热处理规范及 合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	弯曲弹性 极限 $\sigma_e$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	弹性模量 $E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	硬度 HV
QBe2(铍青铜)	软化: 780°C ~ 800°C, 氨气保护, 水冷 硬态: 软时效: 310°C ~ 330°C, 2h 硬时效: 310°C ~ 330°C, 2h	390~590 >640 >1130 >1180	>30 >2.5 >2 >1.5	735 800	107800 ~ 127400	<130 >170 >320 >360

续表

合金名称	推荐热处理规范及合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ ( $N/mm^2$ )	伸长率 $\delta$ (%)	弯曲弹性 极限 $\sigma_e$ ( $N/mm^2$ )	弹性模量 $E$ ( $N/mm^2$ )	硬度 HV
QBe1.9(铍镍钛铜)	软化: 780℃~800℃, 氨气保护, 水冷	390~590	>30			<120
	硬态:	>640	>2.5			>160
	软时效: 310℃~330℃, 2~2.5h	>1130	>2	765	112700	>350
	硬时效: 310℃~330℃, 2~2.5h	>1180	>1.5	850	132300	>370
QBe1.7(铍镍钛铜)	软化: 780℃~800℃, 氨气保护, 水冷	430	50		104900	<120
	硬态:	>590	>2.5			>150
	软时效: 310℃~330℃, 2h	1130	3.5		121500	>310
	硬时效: 310℃~330℃, 2h	>1080	>2		127400	>340
QT3.5(铜钛合金)	软化: 850℃~900℃, 水冷	<490	>30		119600	120~ 130
	冷轧:	690~880	2.5~4.5		122500	230~ 260
	硬时效: 400℃, 2h	940~1140	5~11	780	136200	310
QT6-1(铜钛铝合金)	软化: 850℃~900℃, 水冷	390~590	30			140
	硬态:	830	2.5		117600	200
	软时效: 450℃, 2h	1080	2	600	123500	320
	硬时效: 420℃, 2h	1180	1.5	775	125400	350

5.2.5.2 加工硬化型钢基弹性合金 这类合金主要依靠冷加工变形后获得弹性。冷加工硬化后,可通过低温退火,进一步提高弹性极限和降低弹性后效。这类合金弹性不如铍青铜高,但来源广、价格低,大量用于制造弹性敏感元件及簧片等。其品种、物理性能、特点与用途见表 6.2.56;其热处理规范、机械及弹性性能见表 6.2.57。

表 6.2.56 加工硬化型钢基弹性合金品种、物理性能、特点与用途

合金名称 (主要成分%)	最高工 作温度 (°C)	线膨胀 系数 $\alpha$ ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	密度 $d$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	主要特点与用途
QSn6.5-0.1(锡磷青 铜) (Sn6.5, P0.1, Cu 余 量)	100	17.2	8.8	0.128	有良好的弹性、耐磨性、抗磁性和 可焊性。能耐大气和淡水腐蚀。用 于膜片、波纹管、弹簧管、簧片等
QSn6.5-0.4(锡磷青 铜) (Sn6.5, P0.4, Cu 余 量)	100	17.7	8.8	0.176	同上,弹性稍有提高,有高的疲劳 极限。能耐海水腐蚀。用于弹簧管、 合金丝钢等
QSn4-3(锡锌青铜) (Sn4, Zn3, Cu 余量)		18.0	8.8	0.09	弹性低于 QSn6.5-0.1,但有优 良的冷热加工性能,用于电表中游 丝、张丝等
QSi3-1(硅锰青铜) (Si3, Mn1, Cu 余量)		15.8	8.4	0.15	加工硬化后,具有高的屈服极限和 弹性极限,特别优良的耐磨性。在低 温下塑性仍不降低,用于螺旋弹簧等
BZn15-20(锌白铜,德 银) (Ni15, Zn20, Cu 余 量)		16.6	8.6	0.26	具有高的化学稳定性。冷热加工 性能均好。弹性优于 QSn6.5-0.1 等锡磷青铜。焊接性能稍差。用于 弹簧管、簧片等

表 6.2.57 加工硬化型钢基弹性合金热处理规范、机械及弹性性能

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度	伸长率	弯曲弹性	弹性模量	硬度 HV
		$\sigma_b$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$\delta$ (%)	模量 $\sigma_s$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	$E$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	
QSn6.5-0.1 (锡磷青铜)	软化:600°C~650°C,空冷	>295	>38			70~90
	硬态:	>540	>8	343	93100~	160~
	特硬态:	>670	>2	392	112700	200
	60%冷加工度 60%冷加工度+260°C,1h			540		
QSn6.5-0.4 (锡磷青铜)	软化:600°C~650°C,空冷	>295	>38		109800	80
	硬态:	>540	>8			180
	特硬态:	>670	>2			



续表

合金名称	推荐热处理规范 及合金状态	抗拉强度	伸长率	弯曲弹性 模量 $\sigma_e$	弹性模量	硬度 HV
		$\sigma_b$ ( $\text{N/mm}^2$ )	$\delta$ (%)	( $\text{N/mm}^2$ )	$E$ ( $\text{N/mm}^2$ )	
QSn4-3 (锡锌青铜)	软化: 600℃, 空冷	>295	>38			60
	硬态: 特硬态: 60%冷加工度 60%冷加工度 + 150℃, 30min	>540 >670	>3 >2	430 520	121500	160
QSi3-1 (硅锰青铜)	软化: 700℃ ~ 750℃, 空冷	>370	>45			
	硬态: 特硬态: 60%冷加工度 60%冷加工度 + 275℃, 1h	>640 >735	>5 >2	372 530	117600	
BZn15-20 (锌白铜、德 银)	软化: 700℃ ~ 750℃, 空冷	>340	>35			77
	硬态: 特硬态: 60%冷加工度 60%冷加工度 + 300℃, 4h	>540 >640	>1.5 >1	490 610	137200	183

### 5.3 弹性合金的选用

弹性合金的选用原则:

(1) 制造弹性敏感元件要求合金材料具有较高的弹性极限、较低的弹性模量及较低的弹性后效; 制造起弹力作用的簧片、接插件中的弹性件要求合金材料具有较高的弹性极限和足够高的弹性模量。

(2) 在腐蚀介质中工作的弹性元件应选用耐相应介质腐蚀的弹性合金。

(3) 带材弹性合金的性能不均匀, 其头尾与边缘部位的弹性性能低于中间部位, 取材时应避开性能低的部位。

(4) 对有方向性的弹性元件如簧片等, 在落料时应予注意。

(5) 簧片等简单元件要求合金材料为硬态; 膜片、波纹管等结构复杂的元件要求材料为软态; 用加工硬化型弹性合金材料作膜片时, 软态成型的加工度往往不能满足弹性性能要求, 则需采用有一定加工度的合金材料来成型膜片。

各种弹性元件对合金材料的性能要求见表 6.2.58。

表 6.2.58 各种元件对弹性合金提出的不同要求

弹性元件类别	弹性极限	弹性模量	弹性模量系数	弹性后效	强度	伸长率	疲劳强度	耐腐蚀性	耐热性	导电性	磁性	表面状况	尺寸公差	成型性能	易焊性	举 例
敏感元件	√	√	*	√	-	√	√	*	*	*	*	√	√	√	√	膜片(盒)、波纹管、弹簧管、游丝、电磁传感器中的磁弹元件等
弹力元件	√	√	*	-	√	√	√	*	*	*	-	√	*	*	*	发条、螺旋弹簧、簧片等
动态应用元件	-	√	√	-	-	-	-	*	*	*	*	*	*	-	*	机械滤波器振子、延迟线、音叉等
挠性结构元件	*	√	-	-	√	√	√	*	*	-	-	*	-	√	√	进行密封、介质隔离、软轴连接等用的波纹管

注:1.符号说明:√:有要求;\*:根据具体情况有要求;-:一般无要求。

2.磁性栏一般指无磁性,有时指一定温度范围内有一定的磁性,如电磁传感器中的磁弹元件等。

3.此外,还有带材的方向性、性能均匀性等未列入本表。

## 6 电触头

在电力和通信系统中,许多电气装置需要各种型式的电触头,有开闭触头、固定触头和滑动触头三种类型,这里介绍的仅限于开闭触头。开闭触头在开关电器中承担接通、载流、分断和隔离的任务,主要要求接触电阻低、操作可靠和使用寿命长等特性。

### 6.1 电触头材料的性能要求

不同的使用条件对电触头材料有不同的性能要求。

#### 6.1.1 强电用电触头材料

对于强电用电触头材料,首先要求它具有低的接触电阻,保证长时间通过额定电流不会过热;其次是要求电磨损率和机械磨损率较小,有较长的使用寿命;第三是抗熔焊性能好,在故障大电流的情况下能顺利分断电路;第四是灭弧能力强,当分断大电流时,在灭弧装置的配合作用下,能迅速熄灭电弧,不会引起电弧重燃或持续电弧。

### 6.1.2 真空开关触头

真空开关触头是一种特殊的强电用电触头,所用材料也须满足上述对强电用电触头材料的要求;此外,由于在真空中的触头表面特别洁净,比在空气中更易熔焊,故要求具有更高的抗熔焊性能;在高压真空断路器中,触头间的开距小、电压梯度大,容易引起电击穿,故要求材料有坚固而致密的组织,在强电场作用下仍保持光滑完整的表面,具有足够的耐电压强度;真空中,触头的灭弧能力较强,在分断小电流时,易发生过早灭弧,引起过电压,故要求触头材料具有足够小的截止电流;还要求真空开关触头材料的含气量很低,以保证在电弧的作用下,从材料中释放出来的极微量气体不致影响灭弧室中的真空度。

### 6.1.3 弱电用电触头材料

对于弱电用电触头材料,要求它具有较低而稳定的接触电阻和较小的电磨损率,使能长期保持可靠的电接触和具有较长的使用寿命;还要求它的最小起弧电压和最小起弧电流值较高,触头不易起弧,使触头尽可能地在无电弧情况下操作,避免电弧腐蚀;在直流下操作时,其材料转移要小。

## 6.2 常用电触头材料

### 6.2.1 常用电触头材料的分类

常用电触头材料分类见表 6.2.59。

表 6.2.59 常用电触头材料分类表

类 别		品 种
强 电 用	复合触头材料	银-氧化镉,银-钨,铜-钨,银-铁, 银-镍,银-石墨,铜-石墨,银-碳化钨
	真空开关触头材料	铜铋铈,铜铋银,铜碲硒,钨-铜铋铈,铜 铁镍钴铋
弱 电 用	铂族合金	铂铱,钯银,钯铜,钯铱
	金基合金	金银,金镍,金铈
	银及其合金	银,银铜
	钨及其合金	钨,钨钼

### 6.2.2 常用电触头材料的品种、性能及用途

强电用电触头材料的物理性能及用途见表 6.2.60;弱电用电触头材料的物理性能见表 6.2.61。

表 6.2.60 强电用电触头材料的物理性能和用途

名称	代表符号	密度 (g/cm <sup>3</sup> ) 不小于	电阻率 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ) 不大于	布氏硬度 (N/mm <sup>2</sup> )		抗弯强度 (N/mm <sup>2</sup> ) 不小于	用途
				硬态 <sup>②</sup> 不小于	软态 <sup>②</sup> 不小于		
银-氧化镉	Ag-CdO12	9.75	2.30	540		320	低压接触器、断路器、继电器等
	Ag-CdO15	9.65	2.60	640		330	
	Ag-CdO12 <sup>f</sup>	10.20		690			
	Ag-CdO15 <sub>2</sub>	10.10		780			
银-钨	Ag-W30	11.90	2.30	780		370	低压断路器、高压断路器等
	Ag-W40	12.50	2.65	840		390	
	Ag-W70	14.80	3.40	177		640	
铜-钨	Cu-W50	12.00	3.00	1280	1030	560	高压断路器等
	Cu-W60	12.80	3.50	1570	1130	590	
	Cu-W70	14.00	4.10	1960	1570	640	
	Cu-W80	15.10	5.20	2160	1770	690	
银-铁	Ag-Fe7	10.00	2.00	590			低压中小电流等级接触器、断路器等
银-镍	Ag-Ni10	10.10	1.80	490			低压中小电流等级接触器、断路器、精密仪表、继电器等。常与Ag-C5配对使用
	Ag-Ni30	9.75	2.70	740			
银-石墨	Ag-C5	8.50	3.20	340	230	150	与Ag-Ni30配对,用在断路器、高压磁吹开关、铁道信号继电器等
铜-石墨	Cu-C5	7.00	3.40	390	290	200	低压断路器
银-碳化钨	Ag-WC20	11.20	2.50	780			低压断路器、高压断路器等
	Ag-WC40	12.00	3.60	880			
	Ag-WC60	12.90	5.50	1080			
铜铋铈	Cu-Bi-Ce	8.80	2.10	440	-		真空断路器
钨-铜铋铈	W-Cu-Bi-Zr	(13~14)		2550~2720	-		真空接触器
铜铁镍铈铋	Cu-Fe-Ni-Co-Bi	8.80	(10~11)	780	-		大容量真空接触器

注:①用内氧化法制造。

②软态是指烧结后未经复压的产品。硬态是指烧结后再经复压的产品。

表 6.2.61 弱电用电触头材料的物理性能

系列	名称	代表符号	熔点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	电阻率 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	导热系数 ( $\text{W}/\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}$ )	布氏硬度 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )	最小起弧		材料转移 倾向
								电压 $U_0$ (V)	电流 $I_0$ (A)	
铂族合金	铂铱	PtIr10	1780	21.6	24.5	0.30	920	20	1.0	中等
		PtIr15	1790	21.6	27.0		1280			
		PtIr20	1815	21.7	30.0	0.175	1800			
		PtIr25	1840	21.7	33.0		2100			
		PtIr30	1890	21.8	35.0	0.156	2400			
	钯银	PdAg40	1330	11.0	42.0	0.31	510		0.5	弱
		PdAg50	1290	10.9	31.0	0.35	410			
		PdAg80	1070	10.7	10.10	0.92	340			
		PdAg90	1000	10.6	5.90	1.42	290			
		PdAg95	975	10.5	3.80	2.20	260			
	钯铜	PdCu40	1200	10.40	35.0		840		0.6	弱
	钯铱	PdIr10	1580	12.6	27.0		1180			弱到中等
		PdIr18	1610	13.0	33.0		1940			
	金基合金	金银	AuAg30	1025	16.6	10.4	0.67	310	14	0.4
AuAg90			965	11.4	3.6	1.95	280	11	0.25	强强
金镍		AuNi5	1000	18.3	12.3		970	15	0.4	无
金锆		AuZr3	1045	18.3	20.0		1180			无
银及其合金	银	Ag100	961	10.5	1.6	4.16	250	12	0.45	中到强
	银铜	AgCu7.5	778	10.3	1.9	3.50	540			
		AgCu10	778	10.3	2.0	3.45	590			
		AgCu20	778	10.2	2.1	3.40	690			
		AgCu50	778	9.7	2.1	3.15	740			
钨及其合金	钨	W100	3370	19.3	5.5	1.70	3400	15	1.4	无到弱
	钨钼	WMo5	3160		7.0		2950			无到弱
WMo34		2950		9.0		2750				

## 6.3 电触头材料的应用

### 6.3.1 强电用电触头材料的选用原则

(1) 线路保护开关和铁路信号用继电器, 为确保安全, 要求绝对不得熔焊, 故须选用抗熔焊性能较好的触头材料, 如烧结挤压法银-石墨、银-钨、银-碳化钨、银-氧化钨等。

(2) 分断电流在 100A 以下的接触器可选用银-铁, 如弹跳严重的可选用银-氧化钨; 分断电流在 100A 以上的接触器大都选用抗熔焊、耐电磨损及灭弧性能良好的银-氧化钨; 在磁吹开关中, 磁场较弱时选用耐磨性好的内氧化法银-氧化钨; 磁场较强时选用烧结挤压法银-氧化钨; 分断速度较快的选用烧结法银-氧化钨, 分断速度较慢的选用内氧化法银-氧化钨。

(3)额定电流在 63A 以下、分断电流在 3000A 以下的低压空气断路器选用烧结挤压法银-氧化镉,在此电流下,它能保证有良好的抗动熔焊性能,接触电阻较小,电磨损较小。

(4)额定电流在 400A 以下、分断电流在 20000A 以下的低压空气断路器选用银-石墨对银-镍非对称性触头对。银-石墨有较高的抗熔焊性能,但灭弧性能差,而银-镍则有助于将电弧引入无弧室,相辅相成;选用烧结挤压法银-石墨其电磨损率比一般烧结银-石墨显著降低,与银-镍接近。

(5)额定电流在 630A 以上、分断电流在 25000A 以上的低压空气断路器选用银-钨或银-碳化钨,它们都具有较高的耐电磨损性能,其中以银-碳化钨的熔焊倾向更小,并能抑制绝缘性钨酸物的形成。

(6)额定电流在 250A 以上、分断电流在 15000A 以上的低压空气断路器也可采用主、弧两档触头结构。主触头选用导电性好、接触电阻小的银、银-镍或银-氧化镉制造,以负载额定电流;弧触头可选用浸渍法银-钨或铜-钨制造,它们具有较高的抗熔焊和耐电磨性能;分断时,主触头首先断开,由弧触头承担电流的分断。

(7)高压断路器的闭合力大、触头开距大、电弧强。触头将承受大的机械冲击力和强电弧的急热急冷作用,一般钨粒度细的银-钨或铜-钨触头材料易碎裂与破损,可选用钨粒度较粗的高韧性材料,其电磨损虽大,但可消除触头碎裂故障。

(8)真空接触器操作频繁,且常在小电流下分断,故须选用电磨损与截止电流均小的触头材料,如钨-铜铋锆和钢铁镍钴铋合金等。较大容量的真空接触器则宜选用不含钨的触头材料,因钨的剩余电流较大,限制了它的分断能力。

(9)真空断路器是用来分断大的短路电流或过载电流的,要求触头材料具有足够大的抗熔焊和电流分断能力。当分断容量在 100MW 左右时,一般选用铜铋铈合金;分断容量更大时,则须选用灭弧能力更强的材料,如铜铋钨合金等;在高压真空断路器中,须选用机械强度和耐电压更高的材料,如铜铋银和铜铋钨合金等。

### 6.3.2 弱电用电触头材料的选用原则

仪表、电信、自动化等方面使用的电触头,承受的电流小、电压低、电弧及火花小,因此,选用材料时应着重要求其接触可靠、耐腐蚀、抗氧化、使用寿命长等几个方面。选用原则如下:

(1)直流状态工作的材料转移比交流状态时严重,可选用导热系数不同的两种材料,以导热系数高的制成阳极,导热系数低的制成阴极,以防止材料从阳极向阴极的正向转移。

(2)在有电感的回路中,或触头动作速度快,则分断时将出现高的电压峰值。电压愈高,材料转移与电磨损愈大,应选用材料转移和电磨损均小的触头材料。

(3)当条件不允许提高接触压力时,应选用贵金属合金作触头;但如果接触力

较高,则应选用硬度较高、能耐机械磨损的触头材料,以延长使用寿命。

(4)如触头间隙受到限制、不能增大时,应选用灭弧能力较好的触头材料。

(5)在高湿度下使用的触头,应选用耐腐蚀性能好的铂基、钨基、金基、银基合金等。

(6)根据具体环境气氛,选用合适的耐腐蚀能力较强的触头材料,如在硫化气氛中选用铂基合金或钨银合金;但在汽油及其他油料气氛中,如选用铂基合金将会在触头上堆积起黑色粉末,增大接触电阻,此时应选用钨触头。

(7)小电流触头,如采用软质触头易粘附尘埃,影响接触效能,且不易清除,因此,应选用硬度较高的触头。

### 6.3.3 电触头的尺寸

电触头的尺寸决定于额定电流的大小。在额定电流相等的情况下,则应考虑开关操作频率、触头运动速度、触头间隙、接触压力等因素,如操作频率高,应加大尺寸,额定电流与电触头尺寸的关系见表 6.2.62。

表 6.2.62 额定电流与电触头尺寸

额定 电流 (A)	交流接触器				低压断路器			
	厚度 (mm)	面积 (cm <sup>2</sup> )	参考尺寸		厚度 (mm)	面积 (cm <sup>2</sup> )	参考尺寸	
			圆形直径 (mm)	正方形边长 (mm)			圆形直径 (mm)	正方形边长 (mm)
10	1.0	0.15~0.20	4.5~5	4~4.5				
20	1.0~1.5	0.3~0.5	6~8	5.5~7	1.0~1.5	0.3	6	5.5
40	1.5~2.0	0.5~0.8	8~10	7~9				
50					1.5~2.0	0.35~0.5	6.5~8	6~7
60	1.5~2.0	0.8~1.2	10~12	9~11				
100	2.0~2.5	1.2~2.0	12~16	11~14	2.0~2.5	0.6~1.0	8.5~11	7.5~10
150	2.0~2.5	2.0~2.5	16~18	14~16				
200					3.0~4.0	2.0~2.6	16~18	14~16
250	2.5~3.0	2.5~3.2	18~20	16~18				
400					3.0~4.0	2.6~3.2	18~20	16~18
600	3.0~4.0	5.7~7.0	27~30	24~27	3.0~4.0	3.2~4.0	20~22.5	18~20

注:1. 表列尺寸适用于银基触头。

2. 触头形状如果是梯形或长方形时,可根据面积推算。

3. 动触头表面带弧形。

### 6.3.4 电触头的形状和接触形式

通常电触头的接触形式有三种:球面对平面的点接触、圆柱形对平面的线接触和两平面间的面接触。在小接触压力范围内,以点接触的接触电阻较小,但随着压力的增大,接触电阻下降得不是很快;而在线接触情况下,随着压力的增大,不仅增

大了接触面积,还增多了接触点,故接触电阻下降较快;在大接触压力范围内,以面接触的接触电阻较小。故为了得到最小的接触电阻,如继电器等小功率电器多数选用点接触;如断路器等大功率电器,则多数选用接近于面接触或线接触的触头。

### 6.3.5 电触头的焊接

不同的触头材料应选用不同的焊料和焊剂,为了提高焊接质量,可在真空或保护气体中焊接。电触头的焊接方法、特点及适用范围见表 6.2.63;几种常用焊料及其适用范围见表 6.2.64;几种常用焊剂及应用举例见表 6.2.65。

表 6.2.63 电触头的焊接方法、特点及适用范围

焊接方法	简要工艺过程	特点	适用范围
火焰钎焊 (或称银焊)	用氧-乙炔、煤气-空气、酒精-空气、甲苯-空气等作加热热源,加热工件上的焊料与焊剂;熔化后,加上另一工件,使互相连接	工艺过程简单,不需特殊设备,费用低。其缺点是劳动条件差,生产率低,焊接质量不稳定,被焊工件受到退火作用,硬度下降的区域较大	不宜采用其他焊接方法的异形工件
电阻焊 (或称点焊)	把被焊工件叠放在两个铜电极之间,施加一定压力,并通入大电流。由于工件间接触电阻所产生的热量,使接触面熔化而焊接	操作过程简单,生产效率高,可进行自动或半自动操作。但对工件表面要求高,要求设备的电压和电极压力稳定,设备投资较大	薄片或厚薄相差较大的小型工件
电阻钎焊	同电阻焊相似,但在被焊工件之间,加上焊料和焊剂,用石墨电极加压通电,使焊料熔化而焊接	焊接质量好,劳动强度和操作条件比火焰钎焊大为改善,生产效率高	有规则工件
高频钎焊	把高频电流通入感应线圈,利用被焊工件的涡流损耗与磁滞损耗所产生的热量,使焊料迅速熔化而焊接	加热快,焊接质量好,劳动生产率高,但设备投资大,使用和维护要求高	有规则工件
氢气保护钎焊	把焊料放在被焊工件之间,放入氢气炉加热,使焊料熔化,把工件焊接。冷却后,推出炉外	焊接质量和劳动条件比火焰钎焊好,劳动生产率高	任何形状的大工件



表 6.2.64 几种常用焊料及其适用范围

型号	名称	化学成分(%)					熔化温度 (℃)	适用范围
		Ag	Cu	Zn	P	Sb		
LAgP-1	银磷焊料 1 号	14~16	余量		4~6		640~750	铜-钨
LCuP-3	铜磷锡焊料	—	余量		5~7	1.5~2.5	650~700	铜-钨
LAg25	25%银焊料	24.7~25.3	39~41	余量	—	—	745~775	铜
LAg35	35%银焊料	32~38	29~31	余量	—	—	600~725	铜-钨
LAg45	45%银焊料	44.5~45.5	29~31	余量	—	—	600~725	银、银-镍、银-铁、银-钨
LAg50	50%银焊料	49.5~50.5	33~35	余量	—	—	690~775	同上
LAg65	65%银焊料	64.5~65.5	19~21	余量	—	—	685~720	银-钨、银-氧化镉
LAg70	70%银焊料	69.5~70.5	25~27	余量	—	—	730~755	铜铋铈
LAg72	72%银焊料	71~73	27~29	余量	—	—	779	钨、钨-铜铋铈、铜铋铈、铜铋铈等
—	银铜磷焊料	25	余量		5	—		银-石墨、铜-钨
—	金镍焊料	Au82.5	Ni11.5		—	—	950	纯钨

表 6.2.65 几种常用焊剂及应用举例

序号	焊 剂	应用举例
1	XH-442 银焊焊剂	银、铜及其合金,银-钨、铜-钨等
2	氟硼酸钾 62%, 剂 101 银焊粉 38%	银、钨
3	四硼酸钠 70%, XH-442 银焊熔剂 30%	银-氧化镉、其他银基触头
4	硼酸水溶液(硼酸:水=1:10), 微量磷酸三钠	银、银-氧化镉、其他银基触头
5	氟硼酸钾 24.4%, 三氧化二硼 58.8%, 四硼酸钠 16.5%, 磷酸氢钠 0.3%	银-钨
6	氟硼酸钾 21%~25%, 氟化钾 40%~44%, 三氧化二硼 33%~37%	银-镍、银-石墨
7	XH-421 铜焊粉	铜和铜基触头
8	氟硼酸钾 70%~75%, 四硼酸钠 25%~30%	铜、铜-钨
9	氟硼酸钾 42%, 氟化钾 40%, 硼酸 18%	铜-钨

## 7 电碳制品

电碳制品是由碳、碳-石墨、天然石墨、电化石墨和金属-石墨质材料等基体材料组成。它具有很多宝贵的特性,有些是金属导体所不具备的。它的基本特性有:能导电,并具有很大的各向异性;能导热,导热系数极高;耐高温,在无氧化性气

表 6.2.66 电刷的类别、型号、特征和主要应用范围

类别	型号	基本特征	主要应用范围
石墨电刷	S-3	硬度较低, 润滑性较好	换向正常、负荷均匀、电压为 80~120V 的直流电机
	S-4	以天然石墨为基体、树脂为粘结剂的高阻石墨电刷, 硬度和摩擦系数较低	换向困难的电机, 如交流整流流子电动机, 高速微型直流电机
	S-6	多孔软质石墨电刷, 硬度低	汽轮发电机的集电环, 80~230V 的直流电机
	D104	硬度低, 润滑性好, 换向性能好	一般用于 0.4~200kW 直流电机, 充电用直流发电机、轧钢用直流发电机、汽轮发电机、绕线转子异步电动机集电环、电焊直流发电机等
	D172	润滑性好, 摩擦系数低, 换向性能好	大型汽轮发电机的集电环, 励磁机, 水轮发电机的集电环, 换向正常的直流电机
	D202	硬度和机械强度较高, 润滑性好, 耐冲击振动	电力机车用牵引电动机, 电压为 120~400V 的直流发电机
电化石墨电刷	D207	硬度和机械强度较高, 润滑性好, 换向性能好	大型轧钢直流电机、矿用直流电机
	D213	硬度和机械强度较 D214 高	汽车、拖拉机的发电机, 具有机械振动的牵引电动机
	D214	硬度和机械强度较高, 润滑、换向性能好	汽轮发电机的励磁机, 换向困难、电压在 200V 以上的带有冲击性负荷的直流电机, 如牵引电动机、轧钢电动机
	D215	硬度中等, 换向性能好	换向困难、电压为 120~440V 的直流电机, 牵引电动机, 汽轮发电机的励磁机
	D252	质地硬, 电阻系数较高, 换向性能好	换向困难的直流牵引电动机, 角速度较高的小型直流电机, 以及电机扩大机
	D308		电力机车用直流牵引电动机
	D309		
	D373		

D374	多孔,电阻系数高,换向性能好	换向困难的高速直流电机、牵引电动机,汽轮发电机的励磁机,轧钢电动机
D479		换向困难的直流电机
J101 J102 J164	高含铜量,电阻系数小,允许电流密度大	低电压、大电流直流发电机,如:电解、电镀、充电用直流发电机,绕线转子异步电动机的集电环
J104 J104A		低电压、大电流直流发电机,汽车、拖拉机用发电机
J201	中含铜量、电阻系数较高含铜量电刷大,允许电流密度较大	电压在 60V 以下的低电压、大电流直流发电机,如:汽车发电机,直流电焊机,绕线转子异步电动机的集电环
J204		电压在 40V 以下的低电压、大电流直流电机,汽车辅助电动机,绕线转子异步电动机的集电环
J205	低含铜量,与高、中含铜量电刷相比,电阻系数较大,允许电流密度较小	电压在 60V 以下的直流发电机,汽车、拖拉机用直流起动的电动机,绕线转子异步电动机的集电环
J206		电压为 25~80V 的小型直流电机
J203 J220		电压在 80V 以下的大电流充电发电机,小型牵引电动机,绕线转子异步电动机的集电环

金 属 石 墨 电 刷

体介质中能在 3000℃ 的高温下工作;机械强度在 2500℃ 以内随温度的升高而增大;密度小,介于镁与铝之间;温度超过 3500℃ 时,碳直接升华为气体;不与液体金属沾粘;自润滑性能好;化学稳定性好,仅与很强的氧化剂作用;热发射电流密度随温度的升高而急剧增大等。电碳制品的主要用途有:电机用电刷;电力机车和无轨电车用碳滑板(块);电器用碳和石墨触头;弧光照明、碳弧气刨和光谱分析用碳和石墨电极;碳电阻;碳和石墨电热元件;电池用碳棒;电真空器件用高纯石墨件等。

## 7.1 电机用电刷

### 7.1.1 电刷的类别与特性

电机用电刷用于电机的换向器或集电环上,作为传导电流的滑动接触件。其特性有:在其接触表面有由氧化亚铜、石墨和水分等形成的薄膜,接触性能好;对换向器和集电环的磨损小;不易出现对电机有危害的火花;噪音小,电功率损耗小、机械损耗小,使用寿命长等。电刷的类别、型号、特征和主要应用范围见表 6.2.66;电刷的技术特性及运行条件见表 6.2.67。

表 6.2.67 电刷的技术特性及运行条件

类别	型号	电阻系数 <sup>1)</sup> ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	硬 度		一对电刷 接触电压 降 <sup>3)</sup> (V)	摩擦系数 不大于	额定电流 密度 ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	最大圆 周速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )	使用时允许 的单位压力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )
			肖氏 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	洛氏 <sup>2)</sup> ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
石墨电刷	S-3	14		220	1.9	0.25	11	25	2~2.5
	S-4	100		200	4.5	0.15	12	40	2~2.5
	S-6	20		39	2.6	0.28	12	70	2.2~2.4
电化石 墨电刷	D104	11		60	2.5	0.20	12	40	1.5~2
	D172	13	250		2.9	0.25	12	70	1.5~2
	D202	25		310	2.6	0.23	10	45	2~2.5
	D207	27	450		2.0	0.25	10	40	2~4
	D213	31		300	3.0	0.25	10	40	2~4
	D214	29	500		2.5	0.25	10	40	2~4
	D215	30	400		2.9	0.25	10	40	2~4
	D252	13		170	2.6	0.23	15	45	2~2.5
	D308	40	480		2.4	0.25	10	40	2~4
	D309	38	450		2.9	0.25	10	40	2~4
	D373	52	500		2.5	0.20	15	50	3.2~3.5
	D374	57		350	3.8	0.25	12	50	2~4
	D479	25		160	2.1	0.25	12	40	2~4

续表

类别	型号	电阻系数 <sup>①</sup> ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	硬 度		一对电刷 接触电压 降 <sup>③</sup> (V)	摩擦系数 不大于	额定电流 密度 ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	最大圆 周速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )	使用时允许 的单位压力 ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )
			肖氏 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	洛氏 <sup>②</sup> ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					
金属石墨电刷	J101	0.09		110	0.2	0.20	20	20	1.8~2.3
	J102	0.22		90	0.5	0.20	20	20	1.8~2.3
	J104	0.25		120	0.4	0.25	20	20	1.8~2.3
	J104A								
	J164	0.10		80	0.20	0.20	20	20	1.8~2.3
	J201	3.5		280	1.5	0.25	15	25	1.5~2
	J203	8		180	1.9	0.25	12	20	1.5~2
	J204	0.75		250	1.1	0.20	15	20	2~2.5
	J205	6		180	2.0	0.25	15	35	1.5~2
	J206	3.5		200	1.5	0.20	15	25	1.5~2
	J220	8		160	1.4	0.26	12	20	1.5~2

注：①电阻系数的数值为平均值。

②洛氏硬度，是用直径为7.94mm的钢球压入测定。对中等硬度的试样，载荷60kg，预压10kg；对较软的试样，载荷30kg，预压10kg。单位为 $\text{N}/\text{mm}^2$ 。表内数值为平均值。

③为额定电流密度下之值。表内数值为平均值。

### 7.1.2 电刷的理化特性

电刷的理化特性有电阻系数、硬度和灰分杂质。

7.1.2.1 电阻系数 在非金属中碳是良好的导电材料，但导电性不如金属。电化石墨的最低电阻系数约 $7\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，与铜相差400倍，但在运行中电刷电阻引起的损耗较接触电阻和摩擦引起的损耗小。一般要求电刷的电阻系数波动范围要小，根据其电阻系数值以确定它的适用范围，见表6.2.68。

表6.2.68 电刷电阻系数值及适用范围

电阻系数值 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	电刷基体类别	适用范围
50以上	树脂石墨电刷、碳黑基和木炭基电化石墨电刷	换向困难的电机
30~50	碳黑基和木炭基电化石墨电刷	换向困难的电机
20~30	焦炭基电化石墨电刷	一般直流电机
10~20	石墨电刷、焦炭基和石墨基电化石墨电刷	一般直流电机
10以下	含有25%~50%铜的金属石墨电刷	电压较低的电机
0.5~1	含有60%~75%铜的金属石墨电刷	低压电机
0.1~0.5	高含铜量金属石墨电刷	低压大电流电机

7.1.2.2 硬度 电刷的硬度和电阻系数，可以综合反映电刷的使用性能，它

们中间之一偏离允许的极限值,就会影响使用效果。如电阻系数偏高而硬度值偏低,易产生较高的磨损;两者都偏高,易导致电压降过高、产生机械性火花;两者都偏低,则使磨损率增大,易出现电气性火花;电阻系数偏低而硬度值偏高,也易产生机械性火花。所以,要选用适当。

7.1.2.3 灰分杂质 电刷中含有少量极细微的灰分,能提高电刷的耐磨性能,并对换向器和集电环有磨光的效能;但若含有少量硬质磨料颗粒,则会使换向器和集电环被严重磨损甚至拉成沟槽,对电机的危害极大,必须严格检定。

### 7.1.3 电刷的结构

7.1.3.1 电刷的尺寸 电刷的规格用厚度( $b$ ) $\times$ 宽度( $L$ ) $\times$ 高度( $h$ )表示,其常用尺寸见表 6.2.69。

表 6.2.69 电刷尺寸

mm

电刷厚度 $b$	电刷宽度 $L$	电 刷 高 度 $h$							
		12.5	16	20	25	32	40	50	65
4	5	○							
	10		○	○					
5	6.5	○	○						
	8		○						
	10			○	○				
	12.5			○	○	○			
6.5	8			○	○				
	10			○	○	○			
	12.5			○	○	○			
	16				○	○			
8	20				○	○			
	25				○	○			
	32				○	○	○		
						○	○	○	
						○	○	○	
10	12.5					○	○		
	16					○	○		
	20					○	○	○	
	25					○	○	○	
	32					○	○	○	○

续表

电刷厚度 $b$	电刷宽度 $l$	电刷高度 $h$							
		12.5	16	20	25	32	40	50	65
12.5	16				○	○	○		
	20					○	○		
	25					○	○	○	
	32					○	○	○	
	40						○	○	○
16	20					○	○		
	25					○	○		
	32					○	○	○	
	40						○	○	○
	50							○	○
20	25					○	○	○	
	32						○	○	○
	40							○	○
	50							○	○
25	32					○	○	○	○
	40						○	○	○
	50							○	○
32	40							○	○
	50							○	○

注：○表示可选用的尺寸。

7.1.3.2 电刷的外形 电刷的外形有：辐射式、前倾式、后倾式及分层电刷等。

(1)辐射式电刷：又称径向式电刷。有两种型式：一种是平顶面辐射式电刷，适用于单向运转和正反向运转的电机；一种是上端面倾斜的辐射式电刷，适用于单向运转的电机，由于电刷与刷握前壁紧靠，可保证稳定运行。

(2)前倾式及后倾式电刷：电刷对换向器倾斜一定角度，前倾式的倾角约  $30^\circ$ ，后倾式的倾角约  $15^\circ$ ，刷顶可采用平顶面或倾斜面。

(3)分层电刷：有很多型式：两块电刷拼合的称双子电刷，适用于高速、振动大和换向困难的电机，如电力机车和内燃机车，这种电刷易与换向器保持良好的吻合；中间粘结并互相绝缘的为多层粘合电刷，这种电刷的横向电阻大，对改善换向可以起到良好作用。

7.1.3.3 电刷引出导线的装配方式 通常有填塞法、扩铆法、焊接法和压入法等方式，要求装配牢固，与电刷接触良好。

### 7.1.4 电刷的使用维护与故障处理

7.1.4.1 电刷的安装 同一台电机应采用同一种型号的电刷,并将引出导线均匀地紧固在刷杆上,使每块电刷的电流分布均匀,以免产生过热和火花现象;对电流大、换向困难的电机,可采用双子电刷,其滑入边配用电流密度大或润滑性能好的电刷,滑出边则配用换向性能好的电刷,从而使电机运行状况得到改善。

7.1.4.2 电刷的更换与磨合 经过长期运行的电刷,引出导线和金属附件有氧化、腐蚀或刷体磨损长短不齐时,则需更换。电刷宜一次全部更换,不能新旧混用,否则会出现电流分布不均的现象。对中小型电机,在更换电刷前,先将换向器磨光研平,再用细玻璃砂纸(不可用金刚砂纸)沿电机运转方向研磨电刷;研磨后,先以20%~30%电流负荷运转数小时,使电刷与换向器表面磨合,形成表面薄膜,再逐步提高电流至额定负荷。对于大型电机,可不停机,每次更换20%的电刷,每次间隔1~2周;待磨合后,再逐次更换其余电刷,以保证机组正常持续运行。

### 7.1.5 电刷运行中常见故障与处理方法

电刷运行中常见故障与处理方法见表6.2.70。

表6.2.70 电刷运行中常见故障与处理方法

序号	故障现象	产生故障的原因	处理方法
1	电刷磨损异常	电刷选型不当;换向器偏摆、偏心;换向片、绝缘云母凸起等	应根据电机的运行条件选配合适的电刷,并排除故障
2	电刷磨损不均匀	电刷质量不均匀或弹簧压力不均匀	更换电刷或调整弹簧压力
3	电刷下出现有害火花	1. 机械原因如:换向器偏摆、偏心;换向片、绝缘云母凸起和振动等;2. 电气原因如:负荷变化迅速、电机换向困难、换向极磁场太强或太弱	1. 排除外部机械故障; 2. 选用换向性能好的电刷; 3. 调整气隙,移动换向极位置等
4	电刷导线烧坏或变色	1. 电刷导线装配不良;2. 弹簧压力不均	1. 更换电刷;2. 调整弹簧压力
5	电刷导线松脱	1. 振动大;2. 电刷导线装配不良	1. 排除振源;2. 更换电刷
6	换向器面拉成沟槽	电刷工作表面有研磨性颗粒,包括外部混入杂质;长期轻载、过冷、严重油污、有害气体,损害接触点间表面薄膜的形成	清扫电刷;更换电刷;排除故障
7	电刷或刷握过热	1. 弹簧压力太大或不均匀;2. 通风不良或电机过载;3. 电刷的摩擦系数大;4. 电刷型号混用;5. 电刷安装不当	1. 降低或调整弹簧压力; 2. 改善通风或减小电机负荷; 3. 选用摩擦系数小的电刷; 4. 换用同一型号的电刷; 5. 正确安装电刷



续表

序号	故障现象	产生故障的原因	处理方法
8	刷体破损,边缘碎裂	1. 振动大; 2. 电刷材质软、脆	1. 排除振源; 2. 选用韧性好的电刷; 3. 采取加缓冲压板等防振措施
9	电机运行中出现噪音	电刷的摩擦系数大; 电机及刷握振动大; 空气湿度低	选择摩擦系数小的电刷; 排除振源; 调整湿度
10	电刷表面“镀铜”	1. 由于电刷与换向器间接触不好而产生电镀作用, 在电刷表面粘附铜粒; 2. 由于产生火花, 使铜粒脱落, 并积聚在电刷面上; 3. 局部电流密度过高	1. 排除换向器偏摆, 电刷跳动, 弹簧压力低而不均等故障; 2. 消除产生火花的原因; 3. 排除电流密度不均的故障

## 7.2 碳滑板和碳滑块

碳滑板和碳滑块具有导电好、自润滑性好、不与金属导线沾粘、接触电阻稳定以及切断接触时不易出现气体放电等特点, 用于电力机车和无轨电车作为从接触网引入电能的滑动接触件。用它取代金属滑板和金属滑块, 具有如下优点:

(1) 它在接触网导线的磨面滑动摩擦时产生一层碳润滑膜, 不用外涂润滑油就可减少导线的磨损, 延长导线使用寿命, 减轻维护和更换工作。

(2) 它能在弯曲度大、隧道长、气候恶劣、坡度大的电气化铁道上长期工作。

(3) 使用碳滑板能大大减少接触电弧, 减轻导线和滑板的烧伤, 并减少电弧对无线电波的干扰。

碳滑板和碳滑块的技术特性和用途见表 6.2.71。

表 6.2.71 碳滑板和碳滑块的技术特性和用途

型号	基体材料	肖氏硬度 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) 小大于	抗折强度 (N/cm <sup>2</sup> ) 不小于	抗压强度 (N/cm <sup>2</sup> ) 不小于	用途
C11 C12	碳质	600	50	2500	-	无轨电车
C21	碳质	600	40	3000	7000	干线电力机车
C22	碳-石墨质	350	20	2000	2300	矿山电力机车
C23	碳质	400	35	2000	3500	矿山电力机车

### 7.3 碳和石墨触头

碳和石墨触头具有导电性、导热性和自润滑性好,耐高温,不与金属沾粘以及化学性能稳定等特点,用于电气控制设备中作为导电的接触件,它的技术特性和用途见表 6.2.72。

表 6.2.72 碳和石墨触头的技术特性和用途

型号	硬度 (N/mm <sup>2</sup> )	电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	用途
C31	350 ~ 650 (肖氏)	$\leq 50$	电铲控制器、汽车和拖拉机分电器
C32	350 ~ 650 (肖氏)	$\leq 50$	
C33	100 ~ 350 (洛氏)	8 ~ 20	

### 7.4 碳棒

碳在高温下直接升华为气体,并在燃烧时发射出强光,故碳棒用作电弧放电的电极,能产生很高的温度和发光强度。碳棒的品种按用途和使用特点分,主要有照明碳棒、碳弧气刨碳棒、光谱碳棒及电池用碳棒等。

#### 7.4.1 照明碳棒

用照明碳棒为电极的弧光灯,是照明设备中发光强度最高的一种。弧光灯可使用直流或交流电源,在相等的电流强度下,交流电弧的光通量比直流电弧的小 25% ~ 50%,直流电弧更接近于点光源。照明碳棒按用途分有:电影放映碳棒、高色温摄影碳棒、紫外线型和阳光型碳棒、照相制版碳棒等。

**7.4.1.1 电影放映碳棒** 用于电影放映机的直流弧光灯,是一种高光强的弧光碳棒,芯料是氟化铈。它能满足如下要求:具有足够的亮度,燃烧时稳定性好;燃烧速度低;保持干燥,在燃烧时不易引起电弧喷闪等。它的规格、技术特性、工作条件和用途见表 6.2.73。为了增加导电性和降低燃烧速度,外壳镀上一层薄铜。

表 6.2.73 电影放映碳棒的规格、技术特性、工作条件和用途

碳棒型号	规格 (mm)	直径 1.2mm 的火焰口中心的平均亮度 ( $\times 10^6 \text{cd/m}^2$ ) 不小于	允许最大的燃烧速度 (mm/h)	电流 (A)	电压 (V)	用途	备注
B107(+)	$\varnothing 7 \times 355$	480	350	50	38	普通银幕	镀铜
B107(-)	$\varnothing 6 \times 230$		130				
B108(+)	$\varnothing 8 \times 355$	500	320	60	42	普通银幕	镀铜
B108(-)	$\varnothing 7 \times 230$		130				
B109(+)	$\varnothing 9 \times 355$	700	650	90	55	宽银幕	镀铜
B109(-)	$\varnothing 8 \times 230$		130				

7.4.1.2 高色温摄影碳棒 用于拍摄影片的照明弧光灯,是一种高光强弧光碳棒,光强而色白,能发出近似太阳光的光谱,照射距离远,燃烧噪音小,对它的要求与电影放映碳棒基本相同。它的规格和工作条件见表 6.2.74。

表 6.2.74 高色温摄影碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	规格 (mm)	电流 (A)	电压 (V)	备注
B202(+)	$\varnothing 16 \times 550$	150~170	75~85	不镀铜
B202(-)	$\varnothing 11 \times 305$			
B203(+)	$\varnothing 16 \times 550$	190~230	85~95	不镀铜
B203(-)	$\varnothing 13 \times 305$			
B204(+)	$\varnothing 16 \times 400$	150~170	75~85	不镀铜
B204(-)	$\varnothing 16 \times 310$			

7.4.1.3 紫外线型和阳光型碳棒 用于橡胶、塑料、油漆和颜料等进行人工老化试验用的弧光灯,这两种碳棒的芯料中都含有钾盐。紫外线型碳棒用于封闭式交流弧光灯,弧光呈蓝紫色,含有丰富的紫外线光谱;阳光型碳棒用于非封闭式直流弧光灯,发出近似太阳光的光谱。紫外线型和阳光型碳棒的规格和工作条件见表 6.2.75。

表 6.2.75 紫外线型和阳光型碳棒的规格和工作条件

类型	碳棒型号	规格 (mm)	电源	电流 (A)	电压 (V)	备注
紫外线型	B413	$\varnothing 13 \times 330$	交流	12~17	50~80	不镀铜
		$\varnothing 13 \times 305$				
阳光型	B423(+)	$\varnothing 23 \times 305$	直流	60	50	镀铜
	B423(-)	$\varnothing 13 \times 305$				

7.4.1.4 照相制版碳棒 用于照相制版作业晒版用的各种交流弧光灯。点燃时,两电极间的球状白炽气体产生强烈的弧光,成为点状光源,光强而色白,色温近似太阳光,弧光稳定,燃烧速度慢,发光效率高。其规格和工作条件见表6.2.76。

表 6.2.76 照相制版碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	规格 (mm)	电流 (A)	电压 (V)	备注
B313	∅13×355 ∅13×305	30-50	30-60	不镀铜
B315	∅15×355 ∅15×305	35-60	30-60	不镀铜
B316	∅16×355 ∅16×305	40-65	30-60	不镀铜
B318	∅18×305	40-65	30-60	不镀铜

注:电源为交流。

#### 7.4.2 碳弧气刨碳棒

碳弧气刨碳棒应用于碳弧气刨工艺,它可以进行挑焊根、焊缝返修时刨除缺陷,金属部件开坡口,刨除和修整铸件的冒口和铸疤,切割金属,钻孔以及拆除焊接件和铆接件等作业。具有加工效率高、质量高、操作方便、设备简单等优点。碳弧气刨碳棒的规格和工作条件见表6.2.77。

表 6.2.77 碳弧气刨碳棒的规格和工作条件

碳棒型号	型 式	规格(mm)	电流(A)
B504	圆 形	∅4×355	150-250
B505		∅5×355	150-250
B506		∅6×355	200-300
B507		∅7×355	300-400
B508		∅8×355	300-400
B509		∅9×355	350-450
B510		∅10×355	350-450
B512		∅12×355	400-500
B514		∅14×355	500-600
B516		∅16×355	500-650
B5510	矩 形	5×10×355	320-380
B5512		5×12×355	320-380
B5515		5×15×355	350-450
B5518		5×18×355	350-450
B5520		5×20×355	350-450
B5525		5×25×355	450-550
B5620		6×20×355	450-550

注:1.电源为直流;2.碳棒外壳镀铜。

### 7.4.3 光谱碳棒

光谱碳棒用作光谱分析用的摄谱仪的碳电极。具有纯度高、杂质含量低、不影响分析精度、机械强度高以及导电性和热稳定性好等特点。它的电弧波谱在 2000~3500 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ) 范围内。其规格和技术特性见表 6.2.78。

表 6.2.78 光谱碳棒的规格和技术特性

碳棒型号	规格 (mm)	纯度 (%)	杂质含量	相对密度	气孔率 (%)	抗折强度 ( $\text{N/cm}^2$ )	电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )
B606	$\varnothing 6 \times 300$	99.995~ 99.999	硼、硅、镁、铁元素光谱线微弱出现 铜、铝、钙元素光谱线微弱出现或不出现	1.6	25	4000	9~12
B608	$\varnothing 8 \times 300$						
B610	$\varnothing 10 \times 300$						
B613	$\varnothing 13 \times 300$						
B615	$\varnothing 15 \times 300$						

### 7.4.4 电池用碳棒

电池用碳棒通常用作电池或电池组的阳极,具有导电性和化学稳定性好等特性。它的规格和技术特性见表 6.2.79。

表 6.2.79 电池用碳棒的规格和技术特性

规格 (mm)	抗折强度 ( $\text{N/cm}^2$ ) 不小于	电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) 不大于
$\varnothing 4 \times (26 \sim 34)$	4000	50
$\varnothing 6 \times (32 \sim 55)$	5000	60
$\varnothing 8 \times (58 \sim 96)$	1700	60
$\varnothing 10 \times 85$	1800	70
$\varnothing 15 \times (116 \sim 120)$	1700	80
$\varnothing 18 \times (150 \sim 180)$	1500	80

## 7.5 高纯石墨件

高纯石墨是以石油焦和沥青焦为主要原料,经 2500℃ 以上高温处理制成的,所含杂质极低,用作大功率电子管的阳极和栅极,真空电炉用电热、隔热和支撑元件,以及电真空器件的石墨件等。它的主要特性:灰分不超过 0.1%,特殊净化的可达 0.001% 以下,可使因杂质元素蒸发污染使用系统的现象减少到最低;结构致密、机械强度高,具有较大的支撑能力和抗振性能,在高温下不掉粉、不碎裂;电子热发射效率高,重量轻,能耐高速电子流的轰击;在高空中经高温除气处理后性能稳定,能保证设备在高真空状态下正常工作。高纯石墨的技术特性和用途见表 6.2.80。

表 6.2.80 高纯石墨的技术特性和用途

型 号	G21	G31	G41
灰分(%) 不大于	0.01	0.025	0.10
含硫量(%) 不大于	0.03	0.05	0.05
含钙量(%) 不大于	0.002	0.003	0.003
相对密度 不小于	1.60	1.50	1.50
电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	6~12	10~16	10~20
气孔率(%) 不大于	25	30	30
抗压强度( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) 不小于	4000	2300	-
抗折强度( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) 不小于	-	-	1800
用 途	真空电炉石墨电 热元件	真空电炉石墨电 热、隔热和支撑元 件,石墨坩埚	大功率电子管石 墨阳极和栅极,真空 冶炼用石墨坩埚和 电热元件

## 7.6 碳电阻片柱

碳电阻片柱是由许多平整的碳片或碳圈叠合而成的,其电阻值随压力负荷变化而在较大范围内改变,并能在除去压力负荷后恢复原来的电阻值。对碳电阻片柱的要求是电阻变化范围大、机械变形小。它用于发电机的自动电压调整器、电动机转速调整器、连续改变电阻的各种变阻器和压力调整器等电气设备。组成碳电阻片柱的碳片和碳圈是用碳黑和天然石墨的混合料制成的。碳电阻片柱的规格、冷态和热态技术特性分别见表 6.2.81、6.2.82 及 6.2.83。

表 6.2.81 碳电阻片柱的规格

mm

型 号	碳柱 高度	中间电阻片规格			接触片规格			接触点规格	
		外径	内径	厚度	外径	内径	厚度	直径	高度
P1	90	18	13	0.5	-	-	-	-	-
P2	90	32	26	0.5	-	-	-	-	-
P5	90	60	50	1	-	-	-	-	-
P05	52	11	5	0.7	11	5	0.7	8.5	19
P06	52	11	5	0.7	11	5	0.7	8.1	19

表 6.2.82 碳电阻片柱的冷态技术特性

型号	不同压力下碳柱的电阻( $\Omega$ )						碳柱的机械变形			碳柱的机械强度		接 触 点	
	0.85N 不小于	0.2N 不小于	0.3N 不小于	8.5N 不大于	10N 不大于	12N 不大于	压力负荷 改变(N)	碳柱高 度改变 (mm)	静负荷 试验 次数	破坏力 (N)	电阻系数 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )	肖氏 硬度	
	由		到										
P1	92	-	-	-	5.2	-	10	0.2	5	150	-	-	
P2	65	-	-	-	5.2	-	10	0.2	5	150	-	-	
P5	-	-	35	-	-	5.2	12	0.3	5	150	-	-	
P05	30	-	-	1.0	-	-	8.5	0.085	5	70	31~50	420~650	
P06	60	-	-	2.0	-	-	8.5	0.085	5	70	31~50	420~650	

表 6.2.83 碳电阻片柱的热态技术特性

型号	输入功率(W)	工作温度( $^{\circ}\text{C}$ )	压力负荷(N)	补充压力负荷(N)	热电阻( $\Omega$ )不大于
P1	30	250	0.2	2.5	70
P2	60	250	0.2	2.5	45
P5	120	225	0.3	2.5	18
P05	60	200~280	0.10~0.25	-	14
P06	60	200~280	0.10~0.25	-	24

## 第三章 常用磁性材料

物质在外磁场作用下,都会呈现出不同的磁性。按其表现可分为抗磁性物质、顺磁性物质、铁磁性物质、反铁磁性物质和亚铁磁性物质。铁磁性物质和亚铁磁性物质为强磁性物质,其他均为弱磁性物质,工程上实用的磁性材料属于强磁性物质。磁性材料按其特性和应用通常分为软磁材料和永磁材料。

### 1 磁性材料基本性能

磁化曲线和磁滞回线是反映磁性材料基本磁性能的特性曲线。在这两条曲线上可确定材料的磁导率 $\mu$ 、饱和磁感应强度 $B_s$ 、矫顽力 $H_c$ 、剩磁 $B_r$ 以及铁损 $P$ 等参量。同一类材料由于使用情况不同,对其磁特性参量的要求与侧重点也有所不同。

#### 1.1 磁化曲线

磁性材料在外磁场反复磁化下,以磁中性状态为出发点,磁场强度从零开始逐渐增加,其磁感应强度 $B$ 随磁场强度 $H$ 而变化的规律的曲线,就是该磁性材料的基本磁化曲线,通常简称磁化曲线,如图6.3.1所示的 $B-H$ 曲线。图中 $B$ 值随着 $H$ 的增加:在 $Oa$ 段增加较快; $ab$ 段则越来越慢;过 $b$ 点后渐近饱和, $B_s$ 称为饱和磁感应强度,其相应的磁场强度为 $H_s$ ,通常要求磁性材料有较高的 $B_s$ 值。

在磁化曲线( $B-H$ )上任何一点 $B$ 与 $H$ 之比就是磁导率 $\mu$ ,即 $\mu = B/H$ 。根据 $B-H$ 曲线选点可以绘制出 $\mu-H$ 曲线,如图6.3.1所示。图中, $\mu_i$ 为初始磁化率; $\mu_m$ 为最大磁化率。软磁材料一般要求最高的 $\mu$ 值。在一定磁场强度下, $\mu$ 值越高,传递等量磁通所需用的材料就越少。在低磁场下使用的软磁材料,其初始磁化率 $\mu_i$ 更能恰当地反映出材料在工作情况下的磁性能。

#### 1.2 磁滞回线

磁性材料在其磁化曲线上任意一点( $a'$ )所对应的磁场强度变化一周( $H_1 \rightarrow O$



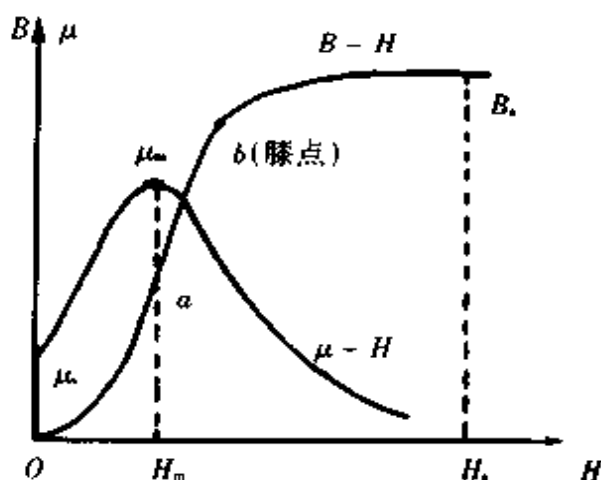


图 6.3.1 磁化曲线

→ -H<sub>1</sub> → O → H<sub>1</sub>), B 值随之变化的曲线, 即该材料在 a' 点的磁滞曲线, 如图 6.3.2 所示。

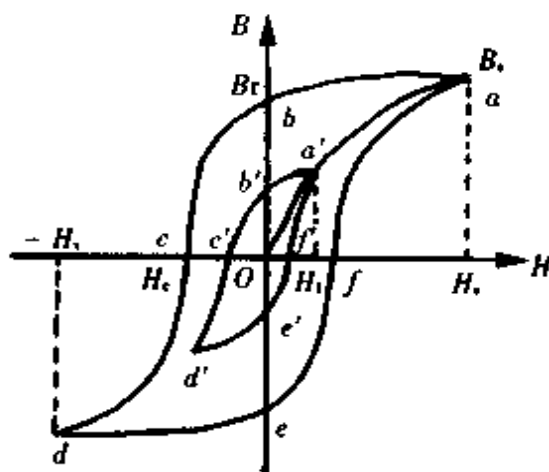


图 6.3.2 磁滞回线

图中: 磁性材料在强度为  $H_1$  的磁场中被磁化至  $a'$  点时, 再减少磁场, 磁感应强度  $B$  不是沿  $Oa'$  曲线下降, 而是沿另一曲线  $a'b'$  下降, 显然  $B$  的变化滞后于  $H$ , 这个现象称为磁滞。由于磁滞引起的损耗, 称为磁滞损耗。由于磁滞原因, 使  $B$  随  $H$  变化成为一闭合曲线  $a'b'c'd'e'f'a'$ , 称为磁滞回线。在磁化曲线  $Oa$  上任意点可对应的磁场强度变化一周, 都可得到相应的磁滞回线。随着磁场强度增加, 磁滞回线的面积也随着增大。当磁化达到饱和时, 再增大磁场, 磁滞回线的面积基本上不变, 这时的磁滞回线称为极限磁滞回线, 如图 6.3.2 中  $abcdefa$  回线。由极限磁滞回线可以看出: 当  $H_s$  降为零时, 磁感应强度  $B$  并不回到零, 而下降到  $b$  点, 该点的  $B$ , 称为剩余磁感应强度, 简称剩磁; 当要  $B$  降为零, 必须加一反向磁场  $H_c$ , 这个反向磁场的绝对值称为磁感应矫顽力, 通常简称矫顽力 ( $H_c$ )。

磁滞回线的面积与磁性材料的损耗有关。单位重量的磁性材料在交变磁场磁化下,所消耗的功率称为铁损( $P$ ),它包括磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗。

磁滞回线的形状和面积直接表征磁性材料的主要磁特性:软磁材料的磁滞回线窄,故其矫顽力低、损耗也低,用它制成的器件工作稳定、效率高;矩磁材料的磁滞回线窄而接近矩形,不仅其矫顽力低,而且剩磁比(剩磁  $B_r$  与饱和磁感应强度  $B_s$  之比即  $B_r/B_s$ )高,适宜作记忆元件和开关元件;永磁材料经饱和磁化后,具有磁滞回线的面积宽,其剩磁  $B_r$  与矫顽力  $H_c$  值高,磁滞面积大等性能,储存磁能量大。

### 1.3 居里温度

磁性材料的饱和磁化强度  $M_s$  随温度升高而降低,当温度升高至某一数值时,  $M_s$  降为零,这个温度称为居里温度(居里点)  $T_c$ 。通常磁性材料的  $T_c$  高,其允许使用温度也高;但对一些特殊用途的软磁材料,则要求  $T_c$  在常温附近。

磁感应温度系数  $\alpha_B$  是用来衡量经饱和磁化后的永磁材料磁感应强度随温度升高而下降的程度。 $\alpha_B$  越小,永磁材料的温度稳定性越好。

## 2 软磁材料

软磁材料是磁滞回线形状窄而陡的铁磁材料,其特点是磁导率高,剩磁和矫顽力低,在较低的外磁场作用下,就能产生高的磁感应强度,随着外磁场的增大,很快达到饱和;一旦外磁场消除,磁性也基本消失,是一种极易磁化也易去磁、磁滞损失较小的铁磁材料。软磁材料的品种、主要特点和用途范围见表 6.3.1。

表 6.3.1 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

品 种	主 要 特 点	应 用 范 围
电工用纯铁	含碳量 0.04% 以下,饱和磁感应强度高,冷加工性好。但电阻率低,铁损高,有磁时效现象	一般用于直流磁场
硅钢片	铁中加入 0.8% ~ 4.5% 的硅,就是硅钢。它和电工用纯铁相比,电阻率增高,铁损降低,磁时效基本消除。但导热系数降低,硬度提高,脆性增大	电机、变压器、继电器、互感器、开关等产品的铁心
铁镍合金	和其他软磁材料相比,在低磁场下,磁导率高,矫顽力低,但对应力比较敏感	频率在 1MHz 以下的低磁场中工作的器件
铁铝合金	和铁镍合金相比,电阻率高,密度小,但磁导率低。随着含铝量增加,硬度和脆性增大,塑性变差	低和高磁场下工作的器件

续表

品 种		主 要 特 点	应 用 范 围
软磁铁氧体		烧结体,电阻率非常高,但饱和磁感应强度低,温度稳定性也较差	高频或者高频率范围内的电磁元件
其他软磁材料	铁钴合金	饱和磁感应强度特高,饱和磁致伸缩系数和居里温度高,但电阻率低	航空器件的铁心、电磁铁磁极、换能器元件
	恒导磁合金	在一定的磁感应强度、温度和频率范围内,磁导率基本不变	恒电感和脉冲变压器等的铁心
	磁温度补偿合金	居里温度低,在环境温度范围内磁感应强度随温度升高后急剧、地近似线性地减少	磁温度补偿元件

## 2.1 电工用纯铁

铁具有高饱和磁感应强度、高磁导率和低矫顽力。它的纯度愈高,磁性能愈好。但制备高纯度的铁,工艺复杂,成本较高,因此,在工程技术上广泛采用的是电工用纯铁。在冶炼电磁纯铁时,加入适量的铝或硅铝,以削弱碳、氮、氧等杂质对磁性的有害影响,成为铝镇静纯铁或硅铝镇静纯铁。制造电器、电信及仪表磁性元器件的纯铁一般采用厚度不大于4mm的热轧或冷轧纯铁薄板或截面不大于250mm<sup>2</sup>的热轧、冷轧、热锻纯铁材。电工用纯铁品种的牌号、名称和用途见表6.3.2,其磁性能见表6.3.3。

表 6.3.2 电工用纯铁的种类、名称、代号及用途

种 类	名 称	代 号	一 般 用 途
沸腾纯铁	电铁 1	DT1	不考虑磁时效的一般电磁元件和一般炉料
	电铁 1 高	DT1A	
	电铁 2	DT2	不考虑磁时效的电磁元件和高纯度炉料
	电铁 2 高	DT2A	
铝镇静纯铁	电铁 3	DT3	不考虑磁时效的一般电磁元件
	电铁 3 高	DT3A	
	电铁 4	DT4	在一定时效工艺下,保证无时效的电磁元件
	电铁 4 高	DT4A	
	电铁 4 特	DT4E	
电铁 4 超	DT4C		
硅铝镇静纯铁	电铁 5	DT5	不考虑磁时效的一般电磁元件
	电铁 5 高	DT5A	
	电铁 6	DT6	在一定时效工艺下,保证无时效、磁性范围较稳定的电磁元件
	电铁 6 高	DT6A	
	电铁 6 特	DT6E	
电铁 6 超	DT6C		

注:代号中“DT”表示电工用纯铁,后面数字为序号,数字后的字母表示电磁性能等级,即“A”、“E”、“C”分别表示“高”、“特”、“超”级,未用字母表示的为“普”级。

表 6.3.3 电工用纯铁的磁性能

磁性等级	代 号	矫顽力	最大磁导率	B5	B10	B25	B50	B100
		$H_c$ 不大于 (A/m)	$\mu_m$ 不小于 (H/m)					
普级	DT1 DT2 DT3 DT4 DT5 DT6	96	0.0075	1.40	1.50	1.62	1.71	1.85
高级	DT1A DT2A DT3A DT4A DT5A DT6A	72	0.00875					
特级	DT4E DT6E	18	0.0113					
超级	DT4C DT6C	32	0.015					

注: B5、B10、B25、B50、B100 分别表示磁场强度为 500、1000、2500、5000 及 10000A/m 时的感应强度值。以后类同。

纯铁薄板的磁性能,其矫顽力比纯铁材稍大,最大磁导率比纯铁材稍低,磁感应强度比纯铁稍高。

电工用纯铁加工成磁性元件后,必须进行退火处理,以消除应力和提高磁性能。其热处理工艺是:随炉升温至 800℃,再以 50℃/h 升温到 860℃~930℃,保温 4h,以小于 50℃/h 冷却到 700℃,再炉冷至 500℃ 出炉。

## 2.2 硅钢片

硅钢片是在铁中加入 0.8%~4.5% 硅的一种软磁材料。铁中加入硅后,可以提高电阻率,并有助于分离有害杂质、提高磁导率、降低矫顽力和铁损;但硬度和脆性增高、导热系数降低,对机械加工和散热不利,一般硅含量不超过 4.5%。硅钢片按制造工艺分热轧和冷轧两种,而冷轧又有取向和无取向之分。

电机工业使用的硅钢片厚度为 0.35 和 0.50mm;电信工业使用频率高,涡流损耗大,常采用 0.05~0.20mm 的薄带硅钢。

硅钢片在冲剪、叠装或卷绕铁心过程中,都会产生应力,使磁性能退化。在某些情况下,要采用退火处理以消除应力和恢复原磁性。同时,退火还能长大晶粒、改善磁性。硅钢片的退火工艺有三种:

(1) 砂封退火。将冲片或铁心装入炉内,用砂密封,防止氧化;随炉升温至 600℃,再以低于 40℃/h 升温至 760℃~800℃,保温 2~4h,以低于 40℃/h 降温至 600℃,炉冷至 300℃ 以下出炉。

(2) 保护气氛退火。升温、保温、降温与砂封退火类似,不同的是当升温至 300℃ 经除油后,通以保护气氛(纯氮或纯氮再混合 2% 以下纯氢);降温至 500℃,停止通气。

表 6.3.4 常用硅钢片的品种及其磁性能

硅钢品种	代号	厚度 (mm)	铁损(W/kg) 不大于				不同磁场强度下的 磁感应强度值不小于				叠装 系数 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	弯曲 次数	
			P <sub>10/50</sub>	P <sub>15/50</sub>	P <sub>17/50</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>25</sub>	B <sub>50</sub>	B <sub>100</sub>	(Wb/m <sup>2</sup> )				
热轧硅钢片	D21	0.50	2.5	6.1			1.48	1.59	1.78	92	7.70	-		
	D22	0.50	2.2	5.3			1.51	1.61	1.74	92	7.70	-		
	D23	0.50	2.1	5.1			1.54	1.64	1.76	92	7.70	-		
	D32	0.50	1.8	4.0			1.50	1.61	1.74	91	7.65	4		
	D32	0.35	1.4	3.2			1.50	1.61	1.74	90	7.65	5		
	D42	0.50	1.35	3.15			1.45	1.56	1.68	91	7.55	1		
	D43	0.50	1.20	2.90			1.44	1.55	1.67	91	7.55	1		
	D42	0.35	1.15	2.80			1.45	1.56	1.68	90	7.55	1.5		
	D43	0.35	1.05	2.50			1.43	1.54	1.66	90	7.55	1.5		
	冷轧硅钢片	W21	0.50	2.3	5.3			1.54	1.64		96	7.75	-	
		W22	0.50	2.0	4.7			1.52	1.62		96	7.75	-	
		W32	0.50	1.6	3.6			1.50	1.60		95	7.65	5	
		W33	0.50	1.4	3.3			1.50	1.60		95	7.65	5	
		W32	0.35	1.25	3.1			1.48	1.58		94	7.65	5	
W33		0.35	1.05	2.7			1.48	1.58		94	7.65	5		
Q3		0.35	0.7	1.6	2.3	1.67	1.80	1.86		95	7.65	3		
Q4		0.35	0.6	1.4	2.0	1.72	1.85	1.90		95	7.65	3		
Q5		0.35	0.55	1.2	1.7	1.76	1.88	1.92		95	7.65	3		
Q6		0.35	0.44	1.1	1.51	1.77	1.92	1.96		95	7.65	3		

注: P<sub>10/50</sub>、P<sub>15/50</sub>、P<sub>17/50</sub> 表示频率为 50Hz、磁感应强度分别为 1.0、1.5 和 1.7 Wb/m<sup>2</sup> 时的铁损, 以后在不同频率和不同磁感应强度下铁损的表示法皆依此类推。

(3)连续退火。将硅钢片在连续炉内处于 760℃ ~ 800℃ 范围内,保持 4min,即能达到退火目的。

三种退火工艺各有特点,砂封退火工艺装备简单;保护气氛退火效果好;连续退火效率高。

常用硅钢片的品种及其磁性能见表 6.3.4,冷轧单取向薄带硅钢的磁性能见表 6.3.5,常用硅钢片的应用范围见表 6.3.6。

表 6.3.5 冷轧单取向薄带硅钢的磁性能

代号	厚度 (mm)	铁损(W/kg) 不大于		在不同磁场强度下的磁感应值不小于						矫顽力 $H_c$ (A/m)
				$B_{0.4}$	$B_{0.8}$	$B_2$	$B_4$	$B_{10}$	$B_{25}$	
		$P_{10/400}$	$P_{15/400}$	(Wb/m <sup>2</sup> )						
G1	0.20	12.0	28.0	0.60	0.90	1.20	1.35	1.55	1.70	-
G2	0.20	11.0	26.0	0.80	1.00	1.30	1.42	1.60	1.75	
G3	0.20	10.9	24.0	0.90	1.10	1.40	1.50	1.66	1.82	
G4	0.20	9.0	22.0	1.00	1.20	1.50	1.57	1.70	1.84	
G1	0.08	10.0	22.0	0.60	0.90	1.20	1.35	1.55	1.70	36
G2	0.08	8.5	19.0	0.80	1.10	1.30	1.42	1.60	1.75	32
G3	0.08	7.5	17.0	0.90	1.10	1.40	1.50	1.66	1.82	28
G4	0.08	7.0	16.0	1.00	1.20	1.50	1.57	1.70	1.84	26
G1	0.05	10.0	21.0	0.60	0.90	1.20	1.35	1.55	1.70	36
G2	0.05	8.5	19.0	0.80	1.00	1.30	1.42	1.60	1.75	34
G3	0.05	7.5	16.0	0.90	1.00	1.40	1.50	1.66	1.82	32
G4	0.05	7.0	15.0	1.00	1.20	1.50	1.57	1.70	1.84	32

表 6.3.6 常用硅钢片的主要应用范围

产品名称	热 轧						冷轧无取向				冷轧单取向			
	D21	D22	D23	D32	D42	D43	W21	W22	W32	W33	Q3	Q4	Q5	Q6
大型交流发电机					○	○			○	○	○	○	○	○
大型交流电动机					○	○			○	○				
大型直流电机	○	○	○				○	○						
中型交流电动机	○	○	○	○			○	○						
中小型直流电机	○	○	○	○			○							
小型交流电动机	○	○	○				○	○						
间歇运转电动机	○	○	○	○										
驱动微电机	○													
控制微电机			○	○	○		○		○					
电力变压器					○	○			○	○	○	○	○	○
电焊变压器				○			○	○						
音频变压器											○	○	○	○
电抗器、磁放大器									○	○	○	○	○	○
互感器											○	○	○	○
继电器				○			○							
扼流圈	○	○		○			○	○						

## 2.3 铁镍合金

铁镍合金是在铁中加入 36%~81% 的镍,经真空冶炼而成的铁磁材料,俗称坡莫合金,是仪器、仪表工业中常用的一种高级软磁材料。它在冶炼过程中,用改变成分的配比及工艺因素的方法,生产出多种磁性能各异的品种,如具有矩形磁滞回线、高磁感应强度、恒磁导率、高磁导率、高初始磁导率以及高磁致伸缩系数等品种,以适应各种需要。铁镍合金具有独特的性能,在弱磁场下有极高的磁导率和很低的矫顽力;但它的电阻率不高、饱和磁感应强度较低,宜在 1MHz 以下频率范围的弱磁场中使用。铁镍合金含有稀有金属镍、成本较高,多制成小功率的磁性元件,在直流及低频(150~400Hz)的弱磁场中使用。铁镍合金加工性好,可制作形状复杂、尺寸精确的元件。

应力对铁镍合金有着极其密切的影响,在进行冲剪、弯曲、拉伸以及辗压、装叠、卷绕等工艺过程中,或者受到冲击、振动和碰撞时,铁镍合金将产生不规则的内应力,会产生塑性变形,从而使磁导率下降、矫顽力增大,故需进行退火处理,以消除内应力,使其磁性恢复到最佳状态。经热处理后的铁镍合金磁性元件,对应力更加敏感,因此必须轻拿轻放,小心保管,不能碰压或冲击;绕线时,不能直接绕在该磁性元件上,应该装盒绕制,避免应力再生,防止磁性能变劣。

常用铁镍合金的种类、特性和主要用途见表 6.3.7;其冷轧带材的牌号、主要成分和直流磁性能见表 6.3.8;其在不同频率下的交流磁性范围见表 6.3.9;铁镍合金的物理和机械性能见表 6.3.10;铁镍合金磁性元件热处理工艺见表 6.3.11。

表 6.3.7 铁镍合金的种类、特性和主要用途

种类	牌 号	含镍量 范围(%)	特 性	主 要 用 途
1J50 类	1J46、1J50 1J54	36~50	饱和磁感应强度高,磁导率低和矫顽力较大	中小功率变压器、扼流圈和控制微电机等的铁心
1J51 类	1J51 1J52 1J34	34~50	具有晶粒取向或磁场热处理后具有磁畴取向,沿易磁化方向磁化具有矩形磁滞回线。其他磁性与 1J50 类相近	中小功率的、高灵敏度的磁放大器,中小功率的脉冲变压器和记忆元件
1J65 类	1J65 1J67	65 左右	磁场热处理后,获得磁畴取向,沿易磁化方向直流磁导率最高,磁滞回线呈矩形。但磁性不太稳定	中等功率的磁放大器和扼流圈,计算机的记忆元件。但合金的电阻率低,不宜在较高的频率下使用

续表

种类	牌 号	含镍量 范围(%)	特 性	主 要 用 途
1J79类	1J79、1J80 1J83、1J76	74~80	在低磁场下有很高的最大磁导率,初始磁导率仅次于1J85类合金,矫顽力也很低,但饱和磁感应强度不高	在低磁场下使用的高灵敏性的小型功率变压器、小功率磁放大器、继电器、扼流圈和磁屏蔽等
1J85类	1J85 1J86 1J77	80 81 77	具有最高的初始磁导率,极低的矫顽力和很高的最大磁导率,对微弱信号反应灵敏,电阻率比1J79类高。但饱和磁感应强度低,应力对磁性的影响很明显	仪表和电信工业中作扼流圈、音频变压器、高精度电桥变压器、互感器、快速放大器以及精密电表中的动片和定片

表 6.3.8 常用铁镍合金冷轧带材的牌号、主要成分和直流磁性能

牌号	主要成分 (%)			厚度 (mm)	直 流 磁 性				
	Ni	Mo	Fe 和 其他		初始磁导 率 $\mu_i$ 不小于 (H/m)	最大磁导 率 $\mu_m$ 不小于 (H/m)	矫顽力 $H_c$ 不大 于(A/m)	饱和磁感应 强度 $B_s$ 不小于 (Wb/m <sup>2</sup> )	磁场为 80A/m 时 的 $B_c/B_m$ 值不小于
1J50	49~51		余量	0.10~0.19	0.0040	0.0400	14.4	1.50	
				0.20~0.34	0.0045	0.0500	11.2	1.50	
				0.35~1.00	0.0056	0.0625	9.6	1.50	
1J51	49~51		余量	0.05~0.09		0.0625	16	1.50	0.90
				0.1		0.0750	14.4	1.50	0.90
1J79	78~80	3.8~ 4.1	余量	0.10~0.19	0.0250	0.188	2.0	0.75	
				0.20~0.34	0.0275	0.225	1.6	0.75	
				0.35~1.00	0.0300	0.250	1.2	0.75	
1J85	79~81	4.80~ 5.2	余量	0.10~0.19	0.0375	0.188	1.6	0.70	
				0.20~0.34	0.0500	0.225	1.2	0.70	
				0.35~1.00	0.0625	0.312	0.8	0.70	



表 6.3.9 常用铁镍合金冷轧带材在不同频率下的交流磁性范围

牌号	频率 (Hz)	厚度 (mm)	初始磁导率 $\mu_i$ (H/m)	最大磁导率 $\mu_m$ (H/m)	磁场强度为 80A/m 时			铁损 (W/kg)		
					矫顽力 (A/m)	磁感应强度 (Wb/m <sup>2</sup> )	剩磁比	$P_{10}$	$P_{12}$	$P_{14}$
1J50	50	0.35	0.0052~0.0156	0.0394~0.0563	16.0~25.6	0.975~1.25	0.815~0.935	-	-	-
		0.10	0.00408~0.0106	0.0510~0.0818	10.4~17.6	1.08~1.20	0.83~0.92	0.195~0.36	0.31~0.68	0.61~1.85
	400	0.35	0.0073~0.0076	0.0123~0.0169	-	-	-	-	-	-
		0.10	0.00413~0.0104	0.0318~0.0533	18.4~31.2	1.08~1.20	0.87~0.92	3.10~5.50	4.95~9.20	9.35~14.0
1J51	800	0.10	0.004~0.0104	0.0229~0.0402	24.8~41.6	1.08~1.20	0.90~0.92	8.55~15.5	13.0~23.5	22.5~38.5
		0.10	0.00331~0.0079	0.0316~0.0245	40.8~67.2	0.94~1.15	0.92~0.97	30.5~63.0	51.0~105	78.5~147.0
	400	0.05	-	-	19.2~29.6	1.25~1.47	0.93~0.99	2.13~4.21	2.54~5.37	2.98~10.5
		0.02	-	-	20~28.8	1.40~1.50	0.94~0.98	2.83~3.98	3.71~5.20	4.93~6.73
1J79	800	0.05	-	-	22~31.6	1.25~1.47	0.93~0.99	4.25~9.25	5.10~11.9	5.95~23.2
		0.02	-	-	22.4~31.2	1.40~1.50	0.945~0.98	6.20~8.46	8.17~11.1	10.9~16.0
	2000	0.05	-	-	29.6~39.6	1.245~1.44	0.94~0.995	21.4~25.6	28.1~35.8	36.1~50.8
		0.02	-	-	26.4~32	1.35~1.47	0.955~0.98	18.2~24.2	23.9~30.3	31.8~53.8
1J79	50	0.35	0.0212~0.0563	0.0833~0.114	10.4~15.6	0.71~0.80	0.79~0.84	-	-	-
		0.10	0.0225~0.050	0.143~0.236	1.6~6.64	0.71~0.78	0.68~0.85	-	-	-
	400	0.35	0.0115~0.0188	0.0248~0.0368	43.2~59.2	0.67~0.78	0.79~0.92	-	-	-
		0.10	0.020~0.040	0.0588~0.123	4.8~14.4	1.71~0.78	0.75~0.85	-	-	-
800	0.10	0.0188~0.0338	0.0364~0.0818	8.0~24.0	0.70~0.78	0.78~0.87	-	-	-	
	2000	0.10	0.0125~0.0223	0.0119~0.0457	19.2~48.0	0.70~0.77	0.85~0.89	-	-	-

表 6.3.10 铁镍合金的物理和机械特性

牌号	电阻率 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	居里温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	抗拉强度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	延伸率 (%)
1J50	45	8.20	500	460	37
1J51	45	8.20	500		
1J79	55	8.60	450	570	50
1J85	56	8.85	400		

表 6.3.11 铁镍合金磁性元件的热处理工艺

牌号	退火气氛	加热温度 及速度	保温时间	冷却速度
1J50 1J79	氮或真空	1050 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1150 $^{\circ}\text{C}$ 陡炉升温	3~6h	以 100 $^{\circ}\text{C}$ ~ 200 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 速度 冷却到 300 $^{\circ}\text{C}$ 出炉
1J51	氮或真空	1050 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1150 $^{\circ}\text{C}$ 陡炉升温	1h	以 100 $^{\circ}\text{C}$ ~ 200 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 速度 冷却到 300 $^{\circ}\text{C}$ 出炉
1J85	氮或真空	1100 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1200 $^{\circ}\text{C}$ 陡炉升温	3~6h	以 100 $^{\circ}\text{C}$ ~ 200 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 速度 冷却到 480 $^{\circ}\text{C}$ 、再快冷到 400 $^{\circ}\text{C}$ 出炉

## 2.4 铁铝合金

铁铝合金是以铁和铝(6%~15%)为主要组成成分,具有很高的电阻率,密度小,硬度高,耐磨性好;抗振动和抗冲击性能也好,用它制成的器件涡流损耗小,重量轻。但含铝量超过 10%时,铁铝合金变脆,塑性降低,加工困难。它的饱和磁感应强度随含铝量增加而下降,通过热处理可获得高的磁导率和低的矫顽力。在某些场合可以代替铁镍合金使用。铁铝合金制成的元件必须进行高温退火,以提高磁性。

铁铝合金的牌号、含铝量、特点和主要用途见表 6.3.12;其磁性范围见表 6.3.13;其物理性能见表 6.3.14;其热处理工艺见表 6.3.15。

表 6.3.12 铁铝合金的牌号、含铝量、特点和主要用途

牌号	含铝量范围 (%)	特点	主要用途
1J6	5.5~6.0	在铁铝合金中有最高的饱和磁感应强度。其磁性能不如硅钢片,但有较好的耐腐蚀性	微电机、电磁阀等的铁心
1J12	11.6~12.4	其磁导率和饱和磁感应强度介于 1J6 与 1J16 之间,与 1J50 属于同类型的合金。有高的电阻率和抗应力、耐辐照等	控制微电机、中等功率的音频变压器、脉冲变压器和继电器等的铁心
1J13	12.8~14.0	与纯镍比,其饱和磁感应强度高,矫顽力低,饱和磁致伸缩系数高。但抗腐蚀性不如纯镍	水声和超声器件,如超声清洗、超声探伤、研磨、焊接等器件
1J16	15.5~16.3	在铁铝合金中,它的磁导率最高、矫顽力最低。但饱和磁感应强度不高	在低磁场下工作的小功率变压器、磁放大器、互感器、磁屏蔽等

表 6.3.13 铁铝合金的磁性范围

序号	牌号	厚度 mm	直流磁性能			
			$\mu_0$	$\mu_0 s$	最大磁导率 $\mu_m$	矫顽力 $H_c$
			(H/m)			(A/m)
1	IJ6	0.35			0.00375~0.0075	32~48
2	IJ12	0.2~0.5		0.0025~0.0068	0.0188~0.0625	5.6~12
3	IJ13				0.00625~0.0125	48~57.6
4	IJ16	0.10	0.00313~0.00438		0.0313~0.0438	5.6~7.2
		0.20	0.005~0.01		0.0625~0.125	1.6~2.4
		0.35	0.005~0.01		0.0625~0.125	1.6~2.4
		0.50	0.005~0.01		0.0625~0.125	1.6~2.4

序号	直流磁性能						饱和磁致 伸缩系数 ( $\lambda_s$ )	铁损 (W/kg)	
	不同磁场强度下的磁感应强度值							$P_{75/400}$	$P_{10/400}$
	$B_5$	$B_{10}$	$B_{24}$	$B_{25}$	$B_{32}$	$B_{124}$			
(Wb/m <sup>2</sup> )									
1	1.15~1.25	1.25~1.35		1.35~1.50					
2								12.0~15.0	20.5~25.0
3			1.005~1.10	1.10~1.30		0.25~0.50		35~ 40 × 10 <sup>-6</sup>	
4				0.75~0.93			0.37~0.44		
				0.65~0.75			0.27~0.35		
				0.65~0.75			0.27~0.35		
				0.65~0.75			0.27~0.35		

表 6.3.14 铁铝合金的物理性能

牌号	电阻率 ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	居里温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
1J6	70(退火后)	7.2	730
1J12	100(退火后)	6.7	655
1J13	90(退火后) 125~130(淬火后)	6.6	510
1J16	140~160(淬火后)	6.5	400

表 6.3.15 铁铝合金热处理工艺

牌号	退火气氛	加热温度	保温时间	冷却速度
1J6	氢或真空	950 $^{\circ}\text{C}$ ~1050 $^{\circ}\text{C}$ 随炉升温	2~3h	以 100~150 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 冷却到 250 $^{\circ}\text{C}$ 出炉
1J12	氢或真空	1050 $^{\circ}\text{C}$ ~1200 $^{\circ}\text{C}$ 随炉升温	2~3h	以 100~150 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 冷却到 500 $^{\circ}\text{C}$ , 快炉冷(吹风)到小于 200 $^{\circ}\text{C}$ 出炉
1J13	空气或氢	900 $^{\circ}\text{C}$ ~950 $^{\circ}\text{C}$ 随炉升温	2h	以 100 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 冷至 650 $^{\circ}\text{C}$ ,再以不 大于 60 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 冷却到 200 $^{\circ}\text{C}$ 以下出 炉
1J16	氢或真空	950 $^{\circ}\text{C}$ ~1150 $^{\circ}\text{C}$ 随炉升温	2h	100~150 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$

## 2.5 软磁铁氧体

铁氧体是复合氧化物烧结体,是一种用陶瓷工艺制作的非金属磁性材料。与金属软磁材料相比,具有较高的电阻率,在高频磁场中使用,涡流损耗小;但其饱和磁感应强度低,温度稳定性较差。适于制造高频或较高频范围的电磁元件。软磁铁氧体常用的品种有铁氧体软磁材料、铁氧体矩磁材料和铁氧体压磁材料。

### 2.5.1 铁氧体软磁材料

铁氧体软磁材料的电阻率为  $10^6 \sim 10^{12}/(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ ,适用于几千到几百兆赫兹的频率范围,其特点是初始磁导率  $\mu_i$  高,比磁滞损耗系数 ( $\tan\delta/\mu_i$ ) 小,磁导率随温度变化小。常用的材料有镍锌和锰锌铁氧体,主要用于制作滤波线圈、脉冲变压器、可调电感器、高频扼流圈以及天线等的铁心。铁氧体软磁材料常用的牌号和主要磁性能见表 6.3.16。

表 6.3.16 铁氧体软磁材料常用的牌号和主要磁性能

牌号	初始磁导率 $\mu_i$ ( $\times 10^{-6} \text{H/m}$ )	比损耗系数				磁导率比 温度系数 $\alpha_{\mu_i}/\mu_i$ ( $20^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ )	比磁滞损耗系数 $\eta_H$ ( $\times 0.16\pi^2 \times 10^6$ )
		频率 $f_1$ (MHz)	$\tan\delta_1/\mu_i$ ( $\times 1/0.4\pi$ )	频率 $f_2$ (MHz)	$\tan\delta_2/\mu_i$ ( $\times 1/0.4\pi$ )		
R20	25	4	250	75	1000	0~30	
R60	75	2	80	25	350	0~35	
RK1	125	1.5	70	15	200	0~5	
RK4	500	0.05	10	1.5	60	0~8	
R1K	1250			0.5	35	0~3	0.05(10kHz)
R6K	7500	0.002	5			0~2	
R10K	12500	0.002	3			$\pm 1$	

牌号	减落系数 $D \cdot F \times 1/0.4\pi$ ( $-5^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ )	矫顽力 $H_c$ (A/m)	饱和磁感应强度 $B_s$ ( $\text{Wb/m}^2$ )	居里温度 $T_c$ ( $^\circ\text{C}$ )	电阻率 $\rho$ ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	密度 $d$ ( $\text{g/cm}^3$ )
R20		1200	0.22	350	$10^{12}$	4.0
R60		320	0.32	300	$10^{11}$	4.2
RK1	20	240	0.30	250	$10^{11}$	4.3
RK4		80	0.32	180	$10^9$	4.5
R1K		16	0.31	150	$10^8$	4.8
R6K	2	8	0.34	100	$10^6$	4.8
R10K	0.5	4	0.34	85	$10^6$	4.9

### 2.5.2 铁氧体矩磁材料

铁氧体矩磁材料的磁滞回线接近矩形,矫顽力越低,磁性能越好。电阻率比金属矩磁材料要高得多,因而涡流损耗极小。它的开关时间短,抗辐射性强,制造工艺简单,成本低,但其饱和磁感应强度低,温度稳定性也较差。它主要用于电子计算机、自动控制和远程控制中作记忆元件、开关元件和逻辑元件。

铁氧体矩磁材料通常分为两类:一类是在常温下使用的,称常温矩磁材料,典型品种是镁锰铁氧体;一类是在较宽温度范围内使用的,称宽矩磁材料,典型品种是锂锰铁氧体。锂锰铁氧体与镁锰铁氧体相比,其温度系数小,开关时间短,但其磁滞回线的矩形性稍差,矫顽力稍大。这两种铁氧体的磁性能见表 6.3.17。

表 6.3.17 镁锰和锂锰铁氧体的磁性能

种类	饱和磁感应强度 $B_s$ ( $\text{Wb/m}^2$ )	矫顽力 $H_c$ (A/m)	剩磁比 $B_r/B_s$	居里温度 $T_c$ ( $^\circ\text{C}$ )
镁锰铁氧体	0.28	96	0.92	250
锂锰铁氧体	0.32	160~320	0.90	600

### 2.5.3 铁氧体压磁材料

铁氧体压磁材料是指含有钴离子的镍铁氧体。这种铁氧体由于磁致伸缩效应,使其处在一定的偏磁场和交流磁场同时作用下,将发生相同频率的机械振动,即压磁效应。利用其压磁效应可制造超声器件、回声器件以及机械滤波器、混频器、超声延迟线等。它和纯镍等金属压磁材料相比,能用于较高频率的场合,而金属压磁材料适用于低频和大功率场合。铁氧体压磁材料的磁性能见表 6.3.18。

表 6.3.18 铁氧体压磁材料的磁性能

饱和磁感应强度 $B_s$ ( $\text{Wb/m}^2$ )	剩磁 $B_r$ ( $\text{Wb/m}^2$ )	矫顽力 $H_c$ ( $\text{A/m}$ )	居里温度 $T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	电阻率 $\rho$ ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	密度 $d$ ( $\text{g/cm}^3$ )	声速 $c$ ( $\text{m/s}$ )
0.20~0.25	0.14~0.16	160~200	$\geq 400$	$\geq 10^{12}$	5	5600

## 2.6 其他软磁材料

### 2.6.1 高饱和磁感应合金

常用的高饱和磁感应合金是含钴 50%、钒 1.4%~1.8%,其余为铁的铁钴合金,其牌号为 1J22。在软磁材料中,它的饱和磁感应强度最高,适合用于制作重量轻、体积小的空间技术用器件,如微电机、电磁铁、继电器等。它有很高的居里温度( $980^{\circ}\text{C}$ ),适合于高温环境工作;它有很高的饱和磁致伸缩系数( $60 \times 10^{-6}$ ),利用它作磁致伸缩换能器,输出能量很高;它经热处理后成为各向异性合金,其剩磁比和矫顽力可得到进一步改善;但它的电阻率低( $\approx 27\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ),高频下铁损骤增,加工性差,容易氧化,价格昂贵。1J22 合金的磁性能范围见表 6.3.19。

表 6.3.19 1J22 合金的磁性能范围

厚度 (mm)	直流磁性能				矫顽力 $H_c$ ( $\text{A/m}$ )	铁 损 ( $\text{W/kg}$ )			
	不同磁场强度下的磁感应强度值					$P_{15/50}$	$P_{20/50}$	$P_{15/400}$	$P_{20/400}$
	$B_4$	$B_{16}$	$B_{40}$	$B_{80}$					
	(Wb/m <sup>2</sup> )								
0.10	1.68~1.785	2.12~2.15	2.28~2.31	2.35~2.40	120~148	3.54~4.74	6.32~9.05	30.15~39	48.7~63.2
0.20	1.70~1.80	2.145~2.18	2.30~2.33	2.40~2.41	115.2~134.8	3.68~4.03	6.7~7.87	35.2~36.3	58.4~64.2
0.35	1.70~1.81	2.115~2.17	2.275~2.34	2.355~2.39	123.2~135.2	3.79~4.19	6.29~8.27	45.1~51.6	77.5~88.4

1J22 合金的热处理工艺是:退火气氛为氢或真空,随炉升温至  $850^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$  保温 3h,以  $100^{\circ}\text{C/h}$  冷却到  $600^{\circ}\text{C}$ ,炉温降到  $300^{\circ}\text{C}$  出炉。

### 2.6.2 磁温度补偿合金

磁温度补偿合金的居里温度一般在  $25^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$  之间。在居里温度以下,它的磁感应强度值随温度升高而近似线性地急剧下降。一般永磁体的磁性随温度升

高而减弱,影响到用于仪表中的永磁体磁极气隙间的磁通密度改变,导致仪表测量误差;通常用磁温度补偿合金在永磁体两极间设置一磁分路,就能补偿磁路的温度特性,使永磁体两极间的磁通密度基本保持不变。磁温度补偿合金的牌号和磁性能见表 6.3.20;其成分、用途、使用温度范围和退火工艺见表 6.3.21。

表 6.3.20 磁温度补偿合金的牌号和磁性能

牌号	在磁场强度 $H = 8000\text{A/m}$ 时各温度下的磁感应强度值 ( $\text{Wb/m}^2$ )					磁感应强度降落差 ( $\text{Wb/m}^2$ )		
	-20℃	20℃	40℃	60℃	80℃	$B_{-20^\circ\text{C}} - B_{20^\circ\text{C}}$	$B_{20^\circ\text{C}} - B_{40^\circ\text{C}}$	$B_{20^\circ\text{C}} - B_{80^\circ\text{C}}$
1J30	0.40~0.60	0.20~0.45		0.02~0.13				
1J31	0.60~0.85	0.40~0.65		0.15~0.45				
1J32	0.80~1.10	0.60~0.95		0.40~0.75				
1J33		0.47~0.70			0.10~0.40			0.22~0.42
1J38	0.40~0.50	0.30~0.38	0.20~0.30			0.10~0.20	0.10~0.18	

表 6.3.21 磁温度补偿合金的成分、用途、使用温度范围和退火工艺

牌号	主要成分 %				用途	使用温度范围 (℃)	退火工艺
	Ni	Al	Cr	Fe 和其他			
1J30	29.50~30.50			余量	风向风速表、行波管、磁控管	-55~+70	将元件在保护气氛或埋入 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉中,加热到 800℃~1000℃,保温 30~120min,然后炉冷
1J31	30.50~31.50			余量			
1J32	31.50~32.50			余量			
1J33	32.80~33.80	1.00~2.00		余量	电压调节器	-40~+80	
1J38	37.50~38.50		12.50~13.50	余量	里程速度表、汽油表、电度表	-40~+60	

### 2.6.3 恒磁导合金

含镍 45%、钴 25% 及钼 7% 的铁镍钴和铁镍钴铝合金是一种在相当宽的磁感应强度、一定宽的温度和频率范围内,其磁导率基本不变的软磁材料,1J66 合金是其代表品种。它经热处理后,其磁导率的恒稳范围在  $0.002 \sim 0.6\text{Wb/m}^2$  之间,此时它的磁化曲线和磁滞回线接近于直线。可用作恒电感和中等功率的单极性脉冲变压器等的铁心。恒磁导合金的主要成分和磁性能见表 6.3.22。

表 6.3.22 恒磁导合金的主要成分和磁性能

牌号	厚度 (mm)	主要成分 (%)		感应磁导率 $\mu_L$	磁场强度 $H = 8000\text{A/m}$ 时的磁感应强度值 ( $\text{Wb/m}^2$ )	交流稳定值 $a_1$	交直流稳定值 $a_2$	温度稳定值 $a_T$
		Ni	Fe 和其他					
1J66	0.05~0.10	64.5~65.5	余量	0.00375	1.30	<7%	<6%	<5%

注:感应磁导率是保证磁感应强度  $B$  为正弦的条件下,把线圈等效成电感与电阻并联,在交流电桥上测量而计算出来的一种磁导率。

恒磁导合金的电阻率是  $25\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ,密度  $8.25\text{g}/\text{cm}^3$ ;居里温度是  $600^\circ\text{C}$ 。

1J66 的热处理工艺:退火气氛是氢气,随炉升温至  $1200^\circ\text{C}$ ,保温 3h,以  $100^\circ\text{C}/\text{h}$  冷却到  $600^\circ\text{C}$ ,炉温降至  $300^\circ\text{C}$  出炉;1J66 合金的磁场热处理工艺是:氢气保护下,加不小于  $16000\text{A}/\text{m}$  的磁场,随炉升温到  $650^\circ\text{C}$ ,保温 1h,以  $50\sim 100^\circ\text{C}/\text{h}$  冷却到  $200^\circ\text{C}$  出炉。

## 2.7 软磁材料的选用

软磁材料绝大多数是在交流磁场下使用,选用时主要考虑的因素是工作磁通密度、磁导率、损耗和价格等。可根据其磁化曲线确定工作点,如图 6.3.3 所示。

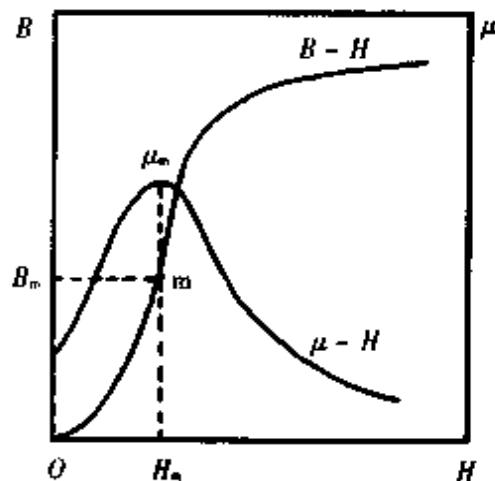


图 6.3.3 根据磁化曲线确定软磁材料工作点的示意图

图 6.3.3 中,  $\mu - H$  曲线的峰值点,即最大磁导率  $\mu_m$  点,所对应的磁场强度为  $H_m$ ,  $H_m$  所对应的磁感应强度是  $B - H$  曲线上的  $m$  点所对应的  $B_m$ ,  $m$  点称为磁化曲线的拐点,是选用软磁材料工作点的参考点。

### 2.7.1 高磁场下使用的软磁材料

高磁场下最常用的软磁材料是硅钢片。电机和变压器铁心用的硅钢片,其工作点往往选在磁化曲线上高于  $m$  点的某点,如冷轧单取向硅钢片和无取向硅钢片通常分别选在  $1.7\text{Wb}/\text{m}^2$  和  $1.5\text{Wb}/\text{m}^2$  左右。这样,产品效率虽稍有降低,但铁心的体积和质量将减少,硅钢片的特性得到充分利用。对于不同的产品应选用不同特性的硅钢片。例如:

(1) 电力变压器铁心:为了减少损耗,要选用低铁损和高磁感应强度的材料。

(2) 小型电机铁心:选用高磁感应强度的硅钢片,对其铁损的要求可放宽,因铁心体积小,铁损比铜损要小,而磁感应强度高,可使铜损降低,电机的总损耗得到补偿,同时也可节约金属材料。



(3)大型电机铁心:因其铁心体积大,铁损在总损耗中所占比例一般较高,对铁损应从严要求;大型高速电机,因离心力大,除要求有好的磁性外,还要有足够的抗拉强度。

(4)间歇运转的电机铁心:因启动频繁,应选用磁感应强度高的硅钢片,以减少启动电流,而对铁损不作严格要求。

(5)互感器铁心:主要要求误差小,工作点应选在  $m$  点或低于  $m$  点的  $B-H$  曲线的线性部分。

### 2.7.2 低磁场下使用的软磁材料

低磁场下经常选用的软磁材料有铁镍合金、铁铝合金以及冷轧单取向硅钢薄带等。它们的磁导率和磁感应强度高,矫顽力低,能满足弱信号下的使用要求,但不同的产品仍要选用不同材料。例如:

(1)磁放大器用的材料:要选用具有高饱和磁感应强度、高磁导率、高电阻率、低矫顽力和高剩磁比的 1J51 类铁镍合金。

(2)电源变压器铁心:要选用具有高饱和磁感应强度和高磁导率的冷轧单取向硅钢薄带;也可选用 1J50 类铁镍合金,1J50 类合金的饱和磁感应强度虽不及冷轧单取向硅钢薄带高,但因其磁导率高,所需变压器初级磁化电流小,功率因素高,铁损小,效率高。不过它的成本也高。

(3)小功率音频变压器铁心:因它不能有非线性失真,故通常选用 1J79 类铁镍合金或 1J16 类铁铝合金。

### 2.7.3 高频下使用的软磁材料

高频下一般选用具有较高导磁率、较低矫顽力和很高电阻率的铁氧体软磁材料,它的品种较多,应根据不同的使用频率范围选用合适材料。

### 2.7.4 特殊场合下使用的软磁材料

根据特殊场合的具体要求选用,例如:

(1)空间技术中电器用的软磁材料,除保证产品性能外,还要求体积小、质量轻,可选用饱和磁感应强度最高的 1J22 铁钴合金;

(2)记忆元件和开关元件用的软磁材料,可选用具有矩形磁滞回线的铁氧体或铁镍合金;

(3)自动控制系统的校正网络中做恒电感的扼流圈铁心,可选用 1J66 恒磁导合金;

(4)超声技术中使用的软磁材料,可选用具有高的磁致伸缩系数的 1J22 铁钴合金、1J13 铁铝合金或铁氧体压磁材料。

## 2.8 软磁材料的表面处理

在交流状态下使用的软磁材料,为了减少涡流损耗,必须将材料制成比较薄的

片(带),并在其表面涂覆绝缘层,或采用一定方法,在其表面形成氧化绝缘层。涂层材料要求有好的绝缘性、耐热性、耐油性和防潮性,且干燥要快。常用的涂料有油性硅钢片漆、醇酸硅钢片漆、环氧酚醛硅钢片漆、有机硅钢片漆、聚酰胺酰亚胺硅钢片漆和氧化镁等。前五种适用于热轧硅钢片,后一种适用于铁镍、铁钴等合金。冷轧硅钢片出厂时表面已涂绝缘层;铁铝合金表面有绝缘的氧化层;磁温度补偿合金用于恒定磁场,不需涂层;铁镍、铁钴和恒磁导合金通常采用氧化镁电泳涂层。

### 3 永磁材料

永磁材料是指磁滞回线形状宽而厚的铁磁材料,又称硬磁材料。其特点是经饱和磁化后,具有较高的剩磁和矫顽力,磁滞回线的面积比较大;若将所加磁化磁场去掉以后,它仍能在较长时间内保持强的和稳定的磁性。可见,永磁材料能储存一定的恒磁能,并作为磁源用在磁路中,能在一定的空间内提供恒定的磁场。永磁体磁化后,有两种工作状态:一种是在气隙距离或气隙中磁通不变的状态下工作的永磁体,称为静态永磁体,又称固定气隙永磁体,如磁电式仪表、扬声器等用的永磁体;另一种是工作时气隙的距离或气隙中磁通是变化的,在这种动态条件下工作的永磁体,称为动态永磁体,又称变化气隙永磁体,如永磁吊头、永磁选矿机等用的永磁体。

#### 3.1 永磁材料的品种

常用永磁材料按其制造工艺和应用上的特点,可分为铸造铝镍钴系、粉末烧结铝镍钴系、铁氧体、稀土钴和塑性变形永磁材料以及近年来开发出的钕铁硼等永磁材料。

##### 3.1.1 铸造铝镍钴系永磁材料

铸造铝镍钴永磁材料是用铸造方法制得的,它具有较大的剩磁、很小的磁感应温度系数和高的居里温度,组织结构稳定,其矫顽力和最大磁能积在永磁材料中达到中等以上的水平,是电机工业中应用很广的一种永磁材料。这类材料按制造工艺和合金组分的特点可分为三个系列。

**3.1.1.1 各向同性铝镍型和铝镍钴型系列** 这一系列材料制造工艺简单,可做成体积大或多对磁极的永磁体,但磁性能是铸造铝镍钴系中最低的,一般用于永磁电机、电气仪表中。

**3.1.1.2 热磁处理各向异性铝镍钴型和铝镍钴钛型系列** 这个系列的剩磁和最大磁能积比各向同性系列的大得多,但制造工艺复杂,在使用时,永磁体的磁极轴线不应偏离最优磁性方向。铝镍钴型与铝镍钴钛型相比,后者矫顽力高,剩余磁感应强度较低,制造工艺对性能影响较为敏感,磨削加工比较困难,宜作尺寸比

( $L/D$ )较小或体积较小的永磁体,如内磁结构仪表中的永磁体。

**3.1.1.3 定向结晶各向异性铝镍钴型和铝镍钴钛型系列** 这一系列的磁性能是铝镍钴系永磁材料中最高的,但工艺复杂,脆性大,易折断,应用时,永磁体的磁极轴线要与最优磁性方向一致。它可做成简单的柱体或空心柱体,最大高度为100~150mm。这个系列的铝镍钴钛型合金的特点与热磁处理各向异性铝镍钴钛型合金相似。

### 3.1.2 粉末烧结铝镍钴系永磁材料

粉末烧结铝镍钴系永磁材料用粉末冶金方法制成,不产生铸造缺陷,但磁性能略低,宜用作体积小或要求工作磁通均匀性高的永磁体。它表面光洁,不需磨削加工,密度小,原料消耗低。这类永磁材料分为各向同性铝镍型和铝镍钴型系列,热磁处理各向异性铝镍钴型和铝镍钴钛型系列两种,它们的特点与铸造铝镍钴系永磁材料的相应系列相似。这类材料多用作微电机、继电器等的永磁体。

### 3.1.3 铁氧体永磁材料

铁氧体永磁材料的矫顽力很高,回复磁导率较小,密度小,电阻率大,其最大磁能积不大,但最大回复磁能积却较大,故宜用作在动态条件下工作的永磁体,如仪表电机、磁疗器械和电声部件等的永磁体。由于它的剩磁很小,最大磁能积也小,而磁感应温度系数很高,故不宜用于测量仪表中。这类永磁材料分为各向同性和各向异性两个系列。各向异性系列沿外磁场方向磁性能最好。

### 3.1.4 稀土钴永磁材料

稀土钴永磁材料是由部分稀土金属和钴形成的一种金属间的化合物,常见的有钐钴、镨钴、镨钐钴、混合稀土钴以及铈钴铜等。它们具有优异的磁性能,其矫顽力和最大磁能积均高于其他永磁材料,适于作微型或薄片状永磁体。它们与铝镍钴系永磁材料相比,其居里温度低,磁感应温度系数较大,价格较贵,不宜用在高于200℃温度下工作。这类材料只有各向异性系列,沿成型时所施外磁场方向上的磁性较好。镨钴、镨钐钴与钐钴相比,前者的工艺对磁性能影响不太敏感,价格较廉,但居里温度较低,温度的稳定性略差,其他磁性基本相似。这类材料一般用作传感器、助听器等永磁体。

### 3.1.5 塑性变形永磁材料

塑性变形永磁材料是经过适当热处理后,有良好的塑性和机械加工性,可制成板、带、棒及线材或其他形状的永磁体。这类材料主要有永磁钢(碳钢、钨铬钢等)及铁钴钼型、铁钴钒型、铂钴、铜镍铁和铁铬钴型等合金。其中:永磁钢、铁钴钼型和铁钴钒型合金具有相当大的剩磁,但矫顽力较低,只宜作尺寸比( $L/D$ )很大的永磁体;铂钴合金具有很高的矫顽力和最大磁能积,磁稳定性好,耐腐蚀性强,但剩余磁感应强度不高,价格较贵,可用作特殊要求的微型永磁体;铁铬钴型合金是较新

的一种永磁材料,分为各向同性和各向异性系列,其磁性能接近铸造铝镍钴系中某些品种,故可以取代应用,一般用作里程表、微电机等的永磁体。

### 3.1.6 钕铁硼永磁材料

钕铁硼永磁材料是近年来开发出的第三代稀土永磁体,其性能优异,相对成本较低;它的剩磁  $B_r$  可达 1.0T 以上,矫顽力  $H_c$  可达 800kA/m 以上,磁能积  $(BH)_{max}$  可达 30~40MGOe,其磁性能除温度稳定性稍差外,其余均居各类永磁体之首。目前,我国已推广应用它制作成稀土永磁发电机、同步电机、起动电机、驱动电机、伺服电动和电动工具用钕铁硼永磁直流电动机等。用钕铁硼永磁体制作的电机,在功率、功率因数和效率等方面都得到大幅度的提高。钕铁硼永磁体可提供线圈磁场所能达到的工作磁通密度,因此,在电机励磁结构方面,钕铁硼永磁体结构将进一步取代传统的电励磁结构。稀土钕铁硼永磁体的开发应用,推动了电机产品向轻型化、高性能化方向发展,导致电机产品的重大改革。

常用永磁材料部分品种的物理和机械性能见表 6.3.23;其磁性能和主要用途见表 6.3.24(第 1788 页~1789 页)。

表 6.3.23 永磁材料部分品种的物理和机械性能

品种名称	密度 ( $g/cm^3$ )	电阻率 ( $\mu\Omega \cdot cm$ )	线膨胀系数 ( $20^\circ C \sim 300^\circ C$ ) ( $\times 10^{-6}/^\circ C$ )	硬 度 RC	抗拉强度 ( $N/mm^2$ )
铝 镍 10	7.0	60~65	13.0	45~47	
铝镍钴 13	7.2	65	12.4	52	20
铝镍钴 32	7.3	47	11.2	50	40
铝镍钴 52	7.3	50	11.2	50	
铝镍钴钛 32	7.4	62	11.0	58~59	210
铝镍钴钛 72	7.4		11.0	58~59	
烧结铝镍 9	6.7~6.8		13.0	43	
烧结铝镍钴 25	7.0	50	11.3	45	
铁氧体 10T	4.0~4.8	$10^{10} \sim 10^{14}$	9	45~60	30~70 <sup>①</sup>
铁氧体 15 铁氧体 20 铁氧体 25 铁氧体 30 铁氧体 35	4.5~5.2	$10^{10} \sim 10^{14}$	9	45~60	30~70 <sup>①</sup>
铁铬钴 30		60~70	~10	40~50	200~300

注:①为抗弯强度( $N/mm^2$ ),铁氧体的抗压强度为 700~1500 $N/mm^2$ 。

## 3.2 永磁体的磁稳定性

随时间的推延和外界条件(如温度、反磁场、高能粒子辐照、机械振动或冲击以及与强磁性物质接触等)的变化,都会引起永磁体组织结构和磁结构的改变,使其磁性能产生变化。永磁体组织结构改变引起磁性能改变,可通过对材料的重复热处理,使磁性能获得部分恢复;磁结构改变引起的磁性能变化,可通过对材料的重复磁化基本上得到恢复。

## 3.3 永磁体的老化处理

永磁体通过老化处理(亦即人工时效),使其组织结构和磁结构处于比较稳定的状态,则在应用过程中,衰减率会相对地减少。老化处理通常是永磁体磁化后,模拟工作时可能会受到的外界因素作用的条件下进行,如在高温或负温度下工作的永磁体,老化条件为:从室温至高于工作高温  $50^{\circ}\text{C}$  之间或从室温至低于负温度的  $20^{\circ}\text{C}$  之间,循环加热或冷却若干次。如永磁体是在室温下工作的,老化处理的条件为  $900^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$  加热  $6 \sim 8\text{h}$ ,如此等等。

## 3.4 永磁体的磁化

永磁体磁化时所加的磁场强度大小和磁化方法都会影响永磁体的性能。

### 3.4.1 永磁体磁化的磁场强度

在闭合磁路中磁化永磁体时,所用磁场强度应不小于材料的饱和磁场强度,一般是材料矫顽力  $H_c$  的  $3 \sim 5$  倍;在非闭合磁路中磁化永磁体时,所用磁场强度比闭合磁路的要大,一般也可由试验方法来确定,当磁化的磁场强度增加到某值时,即使再增加但永磁体工作磁通不再增加,则磁化的磁场强度应不小于此值。

### 3.4.2 永磁体的磁化方法

永磁体应在组装成磁路后,再在直流磁场或脉冲磁场中磁化到饱和。磁化时,应使磁化的磁场轴线同永磁体工作时所要求的磁通轴线完全一致;对各向异性材料制成的永磁体,要使其工作时磁通轴线与最优磁性方向一致;对已经磁化的稀土钴永磁体,如再磁化时,应使前后两次磁化的磁极完全相同。

## 3.5 磁滞材料

磁滞电机转子用的磁滞材料是以特定的(非饱和)磁化状态时的磁滞功工作的,它是由定子绕组的磁场不断地进行反复磁化的。

### 3.5.1 磁滞材料系列

常用塑性变形磁滞材料有各向同性铁钴钼和各向异性铁钴钒两个系列,其主要特点及应用范围见表 6.3.25。

表 6.3.24 常用永磁材料部分品

种类	系列	品种名称	剩磁 $B_r$ (Wb/m <sup>2</sup> )	矫顽力 $H_c$ (kA/m)
铸造铝镍钴系永磁材料	各向同性	铝镍 10	0.60	36
		铝镍钴 13	0.68	48
	热磁处理 各向异性	铝镍钴 32	1.20	44
		铝镍钴 32H	1.10	56
		铝镍钴钛 32	0.80	100
		铝镍钴钛 40	0.72	140
	定向结晶 各向异性	铝镍钴 52	1.30	56
		铝镍钴 60	1.35	60
		铝镍钴钛 56	0.95	104
		铝镍钴钛 70	0.90	145
		铝镍钴钛 72	1.05	111
	铝镍钴钛 85	1.08	120	
	粉末烧结 铝镍钴系 永磁材料	各向同性	烧结铝镍 9	0.5
热磁处理 各向异性		烧结铝镍钴 25	1.05	46
		烧结铝镍钴钛 28	0.70	95
铁氧体 永磁材料	各向同性	铁氧体 10T	0.20	128~160
	各向异性	铁氧体 15	0.28~0.36	128~192
		铁氧体 20	0.32~0.38	128~192
		铁氧体 25	0.35~0.39	152~208
		铁氧体 30	0.38~0.42	160~216
		铁氧体 35	0.40~0.44	176~224
稀土钴 永磁材料	各向异性	铈钴铜 60	0.55~0.70	270~400
		混合稀土钴 95	0.70~0.80	320~480
		混合稀土钴 110	0.80~0.95	440~550
		钐 钴 125	0.82~0.95	500~660
塑性变形 永磁材料	各向同性	铁铬钴 15	0.85	44
	各向异性	铁铬钴 30	1.10	48
稀土钨铁硼永磁材料			1.28	756

种的磁性能和主要用途

最大磁能积 ( $BH$ ) <sub>max</sub> (kJ/m <sup>3</sup> )	回复磁导率 $\mu_{rv}$ ( $10^{-6}$ H/m)	磁温度系数 $\alpha_B$ (%·°C <sup>-1</sup> )	居里点 $T_c$ (°C)	主 要 用 途
10	7.5~8.5	-0.022	760	一般磁电式仪表、永磁电机、磁分离器、微电机、里程表
13	7.5~8.5		810	
32	4.4~6.0	-0.016	890	精密磁电式仪表、永磁电机、流量计、微电机、磁性支座、传感器、扬声器、微波器件
32	4.0~5.7			
32	3.0~4.5	-0.020	850	
40				
52	3.0~4.5	-0.016	890	精密磁电式仪表、永磁电机、微电机、地震检波器、磁性支座、扬声器、微波器件
60	3.0~4.5		890	
56	3.0~4.5	-0.020~-0.025	850	
70				
72	2.5~4.0	-0.020~-0.025	850	
85	2.5~3.8		850	
9	7.5~8.5		760	微电机、永磁电机、继电器、小型仪表
25	4.0~5.4		890	
28			850	
6.4~9.6	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	永磁点火电机、永磁电机、永磁选矿机、永磁吊头、磁推轴承、磁分离器、扬声器、微波器件、磁医疗片
14.3~17.5	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	
18.3~21.5	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	
22.3~25.5	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	
26.3~29.5	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	
30.3~33.4	1.3~1.6	-0.18~-0.20	450	
60.0~80.0	1.1~1.4	-0.09~-0.125	≈500	低速转矩马达、启动马达、力矩马达、传感器、磁推轴承、助听器、电子聚焦装置
95~110	1.3~1.5	-0.04~-0.07	≈475	
110~130	1.3~1.5	-0.045~-0.06	≈525	
125~160	1.3~1.4	-0.03~-0.05	≈725	
13.5~16.0	6.9~8.0	-0.052		里程表、罗盘仪
27.0~35	5.0~6.0	-0.035 -0.045		
242		-0.123		永磁电动机、发电机、励磁机等

表 6.3.25 常用塑性变形磁滞材料的性能

序号	系列	品种代号	磁滞性能			
			工作磁场强度 $H_p$ (kA/m)	工作磁感应强度 $B_p$ (Wb/m <sup>2</sup> )	比磁滞损耗 $P_p$ (J/m <sup>3</sup> Hz 10 <sup>-4</sup> )	能量系数 $K_p$
1	各铁 同 性	2J21	9.5~12.7	1.0~1.3	2.0	0.48
2		2J23	14.5~17.5	1.0~1.3	3.0	0.48
3		2J25	16.0~22.4	0.9~1.2	3.8	0.50
4		2J27	24~28.5	0.9~1.2	4.7	0.45
5	各向 异性 铁 钴 钕	2J3	2.2~2.8	1.4~1.7	0.8	0.63
6		2J4	4.0~5.2	1.3~1.6	1.5	0.62
7		2J7	6.4~9.5	1.0~1.3	1.9	0.61
8		2J9	8.8~12	0.9~1.25	2.2	0.59
9		2J10	14.5~18.4	0.9~1.2	3.0	0.58
10		2J11	16.0~20.7	0.9~1.2	3.5	0.58
11		2J12	20~28	0.8~1.1	4.5	0.56

## 永磁性能

## 其他性能

序号	矫顽力 $H_c$ (kA/m)	剩磁 $B_r$ (Wb/m <sup>2</sup> )	电阻率 $\rho$ ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	热膨胀系数 $\alpha$ (20℃~300℃) (10 <sup>-6</sup> ℃ <sup>-1</sup> )	硬度 (最终热 处理后) RC	抗拉强度 $E \times 10^3$ (N/mm <sup>2</sup> )	密度 $d$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	8.0	1.2	35	11.24	35~42	216	8.2
2	12	1.15	37	11.1	35~42	206	8.3
3	16	1.05	42	11.2	35~42	206	8.3
4	21.5	1.0	38	11.2	35~42	216	8.4
5	3.2	1.9	45	10.1	40~46	177	8.1
6	4.5	1.65	33	10.7	40~46	177	8.2
7	6.0	1.4	61	10.6	40~46	177	8.1
8	9.5	1.3	65	10.6	40~46	177	8.1
9	12	1.2	71	11.3	40~46	186	8.1
10	16	1.1	77	11.2	40~46	167	8.1
11	20	0.9	74	13.4	40~46	167	8.1



## 3.5.2 磁滞材料的最终热处理

塑性变形磁滞材料经最终热处理后,硬度增加,但不能再进行机械切削。因此,加工成磁滞电机转子形状后,才进行最终热处理。不同系列、品种的合金,最终热处理的要求是不同的。塑性变形磁滞材料的最终热处理工艺见表 6.3.26。

表 6.3.26 塑性变形磁滞材料的最终热处理工艺

系 列	品种名称	最终热处理工艺
各向同性 铁 钴 钼	2J21	淬火处理:1200℃保温 30min 后,在油中冷却
	2J23	回火处理:625℃~675℃保温 60min 后,在空气中冷却
	2J25	淬火处理:1250℃保温 30min 后,在油中冷却
	2J27	回火处理:625℃~675℃保温 60min 后,在空气中冷却
各向异性 铁 钴 钒	2J3	回火处理:620℃~660℃保温 20~30min 后,在空气中冷却
	2J4	回火处理:600℃~660℃保温 20~30min 后,在空气中冷却
	2J7	回火处理:580℃~660℃保温 20~30min 后,在空气中冷却
	2J9、2J10、2J11、2J12	回火处理:580℃~640℃保温 20~30min 后,在空气中冷却

## 第四章 常用绝缘材料

绝缘材料又称电介质,它在直流电压作用下,只有极微小的电流通过,其电阻率大于  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

绝缘材料主要用来隔离带电的或不同电位的导体,使电流按一定的方向流通;在不同的电工产品中,往往还起着其他某些不同的作用,诸如:散热冷却、机械支撑和固定、储能、灭弧、防潮、防霉以及保护导体等。

绝缘材料的品种很多,按其形态一般可分为气体、液体和固体绝缘材料三大类。

### 1 绝缘材料特性

绝缘材料并不是绝对不导电的材料,在外电场作用下,会发生电导、极化、损耗、击穿等过程,在长期使用条件下,还会发生老化。

#### 1.1 电导率与电阻率

绝缘材料在被施加一定的直流电压后,就会流过微弱的电流,其中由内部带电质点导电而产生的电流,即漏导电流。漏导电流密度  $i_l$  和直流电场强度  $E$  之比值  $r = i_l/E$ ,称为绝缘材料的电导率,电导率的倒数  $\rho$  为绝缘材料的电阻率。在固体绝缘材料中,漏导电流分为表面电流和体积电流两部分。电阻率也相应分两部分:表面电阻率  $\rho_s$ ,单位为  $\Omega$ ,它表征绝缘材料表面的电导特性;体积电阻率  $\rho_v$ ,单位为  $\Omega \cdot \text{cm}$ ,它表征绝缘材料内部的电导特性,通常在  $10^9 \sim 10^{21} \Omega \cdot \text{cm}$  范围内。

#### 1.2 相对介电系数

电容器极间为真空时的电容量为  $C_0$ ,当极间充以某电介质时的电容量为  $C$ ,则两者比值  $\epsilon_r = C/C_0$  叫做电介质(即绝缘材料)的相对介电系数。 $C$  总是比  $C_0$  大,故  $\epsilon_r$  总是大于 1,这是绝缘材料极化所造成的。绝缘材料极化的结果,使靠近其表面处出现束缚电荷,相应地使电容器极板上的自由电荷也增加,造成电容量增

大。绝缘材料的相对介电系数是表征在交流电场下绝缘材料极化程度的一个参数,极化质点的极化率  $\alpha$  越大,相对介电系数  $\epsilon_r$  就越大。

### 1.3 介质损耗

在交流电压作用下,绝缘材料中的部分电能将转变成热能,这部分能量称为电介质损耗,单位时间内消耗的能量称为介质损耗功率。电介质损耗主要由电导和极化所引起,是导致绝缘材料发生热击穿的根源。工程上常用介质损耗角正切  $\tan\delta$  作为衡量电介质损耗的参数。 $\delta$  是对绝缘材料施加交流电压后,绝缘材料中流过的电流和电压相角差的余角。绝缘材料在单位电场强度下,电场交变一次所产生的单位体积介质损耗功率称为损耗指数。

### 1.4 击穿强度

当施加于绝缘材料上的电场强度高于临界值时,就会使通过绝缘材料的电流剧增,绝缘材料发生破裂或分解而完全失去绝缘性能,这种现象称为电介质的击穿。绝缘材料发生击穿时的电压称为击穿电压  $U_b$ ,击穿时的电场强度称为击穿强度  $E_b$ 。在均匀电场中,设击穿处绝缘材料的厚度为  $h$ ,则  $E_b = U_b/h$ 。电介质的击穿机理大致如下:

(1)气体电介质击穿:一般是在强电场中,气体中带电质子获得巨大能量碰撞分子电离产生一系列新电子,形成电子崩向阳极发展,最后形成一条具有高电导的通道,导致气体击穿。

(2)液体电介质击穿:一般纯净液体的击穿和气体击穿机理相似,但工程上液体绝缘材料不可避免地含有杂质。当液体中含乳化状水滴和纤维时,在强电场下使纤维极化,引起电导剧增,局部温度骤升,最后导致热击穿;如液体中含有气体,在强电场下,液体局部过热,气体迁移集中形成气泡,导致局部发热更甚,附近液体气化,使气泡逐渐扩大,形成两极导电小桥,导致整个电介质击穿。

(3)固体电介质击穿:一般分为电击穿、热击穿和放电击穿三种形式。在强电场下,电介质内部带电质子剧烈运动,发生碰撞电离,破坏分子结构,增加电导,以致击穿,为电击穿;在强电场下,电介质由于介质损耗而发出热量,若来不及散发出去,温度升高,导致分子结构破坏而击穿,为热击穿;在强电场下,电介质内含气泡电离而放电,所含杂质也因受热而气化产生气泡,使气泡放电进一步发展,导致整个材料击穿,为放电击穿。工程上常用液体电介质浸渍固体绝缘材料,以改善电场分布和散热条件,使击穿强度提高。

### 1.5 绝缘材料的老化

绝缘材料在运行过程中,由于各种因素的长期作用,会发生一系列不可逆的化

学、物理变化,从而导致其电气性能和机械性能的劣化,这种变化通称老化,其变化过程称之为老化过程。影响绝缘材料老化的因素大致有热、电、光、氧化、机械力、射线和微生物等,需作具体分析,分清主次,采取相应措施,以延缓绝缘材料的老化过程。为了使绝缘材料获得最经济的使用寿命,特按其在正常运行条件下容许的最高工作温度进行分级,其耐热等级分为:Y级—90℃;A级—105℃;E级—120℃;B级—130℃;F级—155℃;H级—180℃;C级 180℃以上。

## 2 绝缘气体

常用作绝缘材料的气体有空气、六氟化硫和氟里昂。

### 2.1 空气

空气的液化温度低,击穿后有自恢复性,电气和物理性能稳定,在电气开关中广泛应用空气作为绝缘介质。空气的物理性能与电气性能见表 6.4.1。

表 6.4.1 空气的物理性能与电气性能

序号	性能名称	数值
1	密度(g/l)(20℃,1个大气压)	1.166
2	粘度(Pa·s)	$1.81 \times 10^{-5}$
3	热膨胀系数(1/℃)(0℃~100℃)	$3.76 \times 10^{-3}$
4	导热系数(W/m·℃)(30℃)	$2.14 \times 10^{-2}$
5	绝热指数	1.4
6	定压比热(J/kg·℃)(25℃,1个大气压)	$1.77 \times 10^3$
7	电阻率(Ω·cm)	$10^{18}$
8	介质损耗角正切	$10^{-4} \sim 10^{-6}$
9	相对介电系数 1个大气压	1.00058
	20个大气压	1.01108
	40个大气压	1.0218
10	直流击穿强度(kV/cm)	33

### 2.2 六氟化硫

六氟化硫(SF<sub>6</sub>)是一种无色、无臭、不燃烧、不爆炸、电负性很强的惰性气体。它具有较高的热稳定性和化学稳定性,在 1500℃时,不与水、酸、碱、卤素、氧、氢、碳、银、铜和绝缘材料等作用,500℃时仍不分解;它具有良好的绝缘性能和灭弧性能,在均匀电场中,其击穿强度为空气和氮的 2.3 倍,在不均匀电场中约为 3 倍,在 3~4 个大气压下,其击穿强度与 1 个大气压下的变压器油相似,在单断口的灭弧室中,其灭弧能力约为空气的 100 倍,也远比压缩空气强。六氟化硫气体可用于全

封闭组合电器、电力变压器、电缆、电容器、避雷器和高压套管等；也可与氮或二氧化碳混合用作绝缘介质，以降低成本；采用高压力的六氟化硫气体或它的混合气体绝缘，由于其击穿场强增大，可有效地缩小设备的体积，降低造价，延长检修周期，特别适用于地下变电站等特殊条件使用的电气设备。六氟化硫气体(SF<sub>6</sub>)的物理性能见表 6.4.2。

表 6.4.2 SF<sub>6</sub> 的物理性能

序号	性能名称		数值
1	密度(g/l)20℃, 1个大气压		6.25
	2个大气压		12.3
	6个大气压		38.2
	11个大气压		75.6
	16个大气压		119
2	临界状态	温度(℃)	45.55
		压力((N/cm <sup>2</sup> )	383.5
		密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.730
3	粘度(Pa·s)(30℃, 1个大气压)		$1.54 \times 10^{-5}$
4	导热系数(W/m·℃)(30℃)		$1.4 \times 10^{-2}$
5	绝缘指数		1.07
6	定压比热(J/kg·℃)(25℃, 1个大气压)		665.87
7	蒸发热(J/g) - 40℃		17976
	0℃		12600
	40℃		4200
8	在油中的可溶性(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		0.297
9	在水中的可溶性(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		0.001
10	相对介电系数 25℃(1个大气压)		1.002

纯 SF<sub>6</sub> 是无毒的，但若在合成过程中净化不彻底，有可能混有有毒杂质；另外，在使用过程中，由于火花和电弧的高温作用，也会分解出氟原子和某些有毒的低氟化合物。有些低氟化合物被潮气水解，会产生氟化氢等有强腐蚀性的剧毒物；氟原子在电弧区域内能与金属蒸气作用，生成氟化铜、氟化钨、氟化铅等粉末，在有水分的情况下，这些粉末易与硅、钙和碳等作用，影响这些材料的性能和使用寿命。因此，应用 SF<sub>6</sub> 时，要严格控制含水量，并对接触 SF<sub>6</sub> 的各部件、容量等采取除潮和防潮措施，以保证 SF<sub>6</sub> 气体在运行中含水量不超过  $150 \times 10^{-6}$ 。同时，还应采用适当的吸附剂，以清除在使用过程中产生的低氟化合物及水分。充有 SF<sub>6</sub> 气体的设备或安装地沟内，在没有通风条件下，工作人员不能进入，以防窒息；需要接触 SF<sub>6</sub> 气体的人应采取劳动保护措施。

## 2.3 氟里昂

氟里昂是氟化碳烃衍生物的总称,也叫 fron,其分子中除氟原子外,还常引入氯、溴、氢等原子。氟里昂的种类较多,常用的几种氟里昂气体的特性见表 6.4.3。

表 6.4.3 各种氟里昂气体的特性

名称	分子式	击穿电压比 (对 N <sub>2</sub> 气)	沸点 (°C)	临界温度 (°C)	临界压力 (Pa)
F12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	2.4~2.5	-29.8	112.0	5346.1
F14	CF <sub>4</sub>	1.1~1.25	-128.8	-47.3	4492.8
F113	CCl <sub>2</sub> F-CClF <sub>2</sub>	2.6	47.6	214.1	4332.9
F116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	1.8	-78.3	24.3	4332.9
F218	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	2.0~2.2	-37.8	70.5	3532.9
FC318	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	2.3~2.8	-6.04	115.3	3559.6

### 2.3.1 F12

F12 在常温下无毒、无臭、不燃、不爆;在常态下,它是惰性气体,但电弧放电的作用下会生成有毒的腐蚀性分解物,侵蚀金属和绝缘材料;击穿强度与绝缘油相当,它用作电气绝缘介质和冷冻机的冷媒。

### 2.3.2 F218、F14、F16、FC318

F218、F14、F16、FC318,它们相类似,其击穿强度和沸点随分子量增大而升高。其中 F218 是无毒、不燃、热稳定性比六氟化硫好的气体,可用于工作温度较高的电器中作绝缘介质,其击穿强度和六氟化硫大致相同,但受电弧放电作用时,会产生分解物,侵蚀金属和绝缘材料。

### 2.3.3 F113

F113 的沸点高,常温下为液体;它不燃,可用它和发热体直接接触而气化,作为某些电工设备的冷却兼绝缘用的沸腾冷却剂;气态 F113 的击穿强度和六氟化硫大致相同,一般用于电解和电气化铁道用的整流器。

## 3 绝缘油

用作绝缘介质的油类材料主要有矿物油、合成油及精制蓖麻油,它们主要用在变压器、油开关、电容器和电缆等电工产品中,起绝缘、冷却、浸渍和填充作用;在油开关中还起灭弧作用,在电容器中还起贮能作用。

绝缘油共同的特点是:电气性能好、闪点高、凝固点低;在氧、高温、高电场作用下性能稳定;无毒,对结构材料不腐蚀;除变压器油外,其他设备用油的粘度小,且不随温度而明显变化;油开关用油灭弧性能好,在电弧作用下分解碳粒少;电容器油的相对介电系数较大。

### 3.1 矿物油

#### 3.1.1 矿物油的品种和性能

按其用途分为变压器油、开关油、电容器油和电缆油等,其主要性能见表6.4.4(见第1798页~第1799页)。

#### 3.1.2 油的维护

绝缘油在贮存、运输和运行过程中,会被污染和老化,必须随时进行监督与维护,并采取防止老化的措施,以保证电工设备的安全运行,延长检修周期。

防止油老化一般可采取:加强散热以降低油温;用氮或薄膜使油与空气隔绝;添加抗氧化剂;防止日光照射;采用热虹吸过滤器,使油连续再生等措施。

必须经常对油的性能进行检查与测定。运行中油不符合标准时,则需对油进行净化和再生。运行中变压器油的质量标准见表6.4.5。

表 6.4.5 运行中变压器油的质量标准

序号	名 称	技 术 要 求
1	水溶性酸 pH	$\geq 4.2$
2	酸值(mgKOH/g)	$\leq 0.1$
3	闪点( $^{\circ}\text{C}$ )	1. 比新油标准不低于 $5^{\circ}\text{C}$ 2. 比前次测量值不低于 $5^{\circ}\text{C}$
4	击穿强度(kV)	$\geq 20$ (对 15kV 以下变压器) $\geq 30$ (对 20~35kV 变压器)
5	介质损耗角正切( $70^{\circ}\text{C}$ )	$\leq 0.02$
6	羰基(mg/g)	$\leq 0.28$
7	界面张力(N/cm)	$\geq 15 \times 10^{-3}$

注:①变压器油用作户外开关油时,应增加凝固点试验,其凝固点不可高于当地最低气温。

②发现闪点下降时,应分析油气组成,以查明原因。

#### 3.1.3 油的净化

绝缘油常用的净化方法有:

(1)压力过滤法:用框式过滤机过滤,除去油中水分和机械杂质。

(2)真空喷雾法:对于运行中的油,采用移动式真空净化系统,可以有效地清除油中水分、杂质以及低分子酸、油泥和不稳定的饱和烃类,使油恢复到新油水平,最后加入 2,6-二叔丁基对甲酚,使油有较长时期的稳定性。

(3)电净化:将污油流经强直流电场(电压为 10~40kV 或 50kV 以上),使油中的水分、纤维、树脂、油泥等物质被强行电离,并被静电电场所吸附;如用高压交流电场净化,对除去油中水分和盐类物质效果较好。

(4)白土再生法:在油的老化程度不太严重时,利用白土的优良吸附性能,除去

表 6.4.4 各种矿物油

序号	性能名称	变压器油	
		10号	25号
1	运动粘度( $m^2/s$ )0℃	-	-
	20℃	<30	20~30
	50℃	7.5~9.6	8.5~9.6
2	闪点(℃)(闭口)	135~160	135~155
3	凝固点(℃)	-12~-10	-28~-25
4	酸值(mgKOH/g)	0.006~0.05	0.004~0.05
5	灰分(%)	0.001~0.005	0.002~0.005
6	残碳(%)	-	-
7	苛性钠抽出(级)	1~2	<2
8	透明度(5℃时)	透明	透明
9	抗氧化安定性,氧化后沉淀物(%)	0.01~0.1	0.06~0.1
	氧化后酸值(mgKOH/g)	0.02~0.35	0.04~0.35
10	电阻率( $\Omega \cdot cm$ ) 20℃	-	-
	100℃	-	-
11	介质损耗角正切 20℃	<0.005	0.0005~0.005
	70℃	0.0025~0.025	0.001~0.025
	100℃, 50Hz	-	-
	100℃, $10^3$ Hz	-	-
	老化后	-	-
12	相对介电系数 20℃, 50Hz	-	-
	10 <sup>3</sup> Hz	-	-
13	击穿强度(kV/cm)	160~180	180~210

注:①DL-1为自石油分馏精制而得的油,DL-1H为重合油,重合油残碳允许不大于

②开口法闪点。

③测试前油样允许在100℃真空干燥2h。

④测试前油样允许用真空干燥或过滤法处理。



的性能

开关油 (45号变压器油)	电容器油	电 缆 油	
		低压电缆油 <sup>①</sup> (DL-1) (DL-1H)	高压电缆油 (DL-Z)
-	-	-	20~50
<30	37~45	-	8~18
6~9.6	9~12	25~27(100℃)	3.5~6
135~145	135~175	250~265 <sup>②</sup>	>125
-47~-45	-48~-45	-13~-12	<-45
0.003~0.05	0.003~0.02	0.003~0.1	<0.008~0.01 (115℃,96h)
0.003~0.005	0.0015	-	-
-	-	0.5~0.6	-
2	<1	-	-
透明	透明	-	-
0.02~0.10	-	-	-
0.048~0.35	-	-	-
-	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	-	-
-	>10 <sup>13</sup>	-	-
-	-	-	-
-	-	0.01~0.03 <sup>③</sup>	<0.0015 <sup>①</sup>
-	<0.005	-	-
-	<0.002	-	-
-	-	-	-
-	-	0.03~0.12 <sup>④</sup> (150℃,48小时)	<0.004 <sup>①</sup> (115℃,96小时)
-	2.1~2.3	-	-
-	2.1~2.3	-	-
-	200~230	140~160 <sup>⑤</sup>	<200

0.8%。

表 6.4.6 合成油的

序号	性能名称	十二烷基苯
1	相对密度 20℃	0.8627~0.8647
2	折光率 $n_D^{20}$	1.480~1.495
3	运动粘度(m <sup>2</sup> /s)20℃	6.5~8.5
	50℃	3.0~4.0
	恩氏粘度(°E)90℃	—
4	闪点(开口)(℃)	125~133 <sup>②</sup>
5	凝固点(℃)	-69~-65
6	酸值(mgKOH/g)	0.004~0.008
	115℃ 96h 老化后	0.004~0.008
7	电阻率(Ω·cm) 常态	
	100℃	
8	介质损耗角正切 常态	
	100℃	$5 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
	115℃ 90h 老化后	$7 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$
9	相对介电系数 常态	
	125℃	
10	击穿强度(kV/cm)	240

注:①25℃时测得。②闭口法。③在60℃测得。

## 主要性能

硅 油			聚异丁烯 (电容器用)	三氟联苯
甲基硅油	苯甲基硅油	乙基硅油		
0.930~0.975 <sup>①</sup>	1.01~1.08 <sup>①</sup>	0.95~1.06	0.86	1.370 <sup>②</sup>
1.390~1.410 <sup>①</sup>	1.460~1.495 <sup>①</sup>	-	-	1.6272
9~1050 <sup>①</sup>	100~200 <sup>①</sup>	8~550	13820	-
-	-	-	97(100℃)	-
-	-	-	-	1.145
155~300	280~300	110~250	165~175	173
-65~-50	-45~-40	<-60	-10	-23
		<0.01	0.3	0.0025
$>10^{14}$	$>10^{14}$	$>2.5 \times 10^{13}$	$10^{17}$	
		$>1.0 \times 10^{13}$	$10^{14}(125^\circ\text{C})$	$8 \times 10^{12}$
$<3.0 \times 10^{-4}$	$<3.0 \times 10^{-4}$	$<3.0 \times 10^{-4}$	$(1\sim9) \times 10^{-5}$	
		$<8.0 \times 10^{-4}$	$10^{-4}(125^\circ\text{C})$	$3 \times 10^{-3}\sim 8 \times 10^{-3}$ (90℃)
>2.6	2.6~2.8	2.35~2.65	2.15~2.3	5.6
		-	2.0~2.1	5.0(89℃)
150~180	>180	150~180		59.3 <sup>③</sup>

油中杂质和水分,能取得较好的再生效果;硫酸—白土再生法适用范围较广,不论油的老化程度如何,用后效果都是好的;硫酸—白土—水洗再生法适用于老化程度较严重、且油中游离酸和苛性钠较多的情况,在水洗后再用白土处理一次,以清除残余水分。

(5)硅胶—活性氧化铝再生法:当油轻微老化时,用它的吸附原理对油进行再生;如老化程度较严重,可将硅胶和活性氧化铝与硫酸配合使用。

## 3.2 合成油

合成油是化学合成的绝缘油,常用的有十二烷基苯、硅油、聚异丁烯和三氯联苯等,其主要性能见表 6.4.6(第 1800 页~1801 页)。

### 3.2.1 十二烷基苯

十二烷基苯具有很好的热稳定性和介电稳定性,其原始和老化后的介质损耗角正切值都很小,击穿强度较高,在强电场作用下,不但不放出气体,而且还能吸气。用它与纸组成的组合绝缘比矿物油的工作场强高,特别适用于自容式充油电缆。十二烷基苯的衍生物如硝化十二烷基苯、乙酰化十二烷基苯的相对介电系数较大,其他性能与十二烷基苯相近,主要用作电容器浸渍介质。

### 3.2.2 硅油

硅油的耐热性能好,闪点高,不易燃烧,长期工作温度可达  $200^{\circ}\text{C}$ ,对酸、碱、盐的作用稳定,不腐蚀金属;它的粘度随温度的变化很小;能耐电晕、耐电弧,在较宽的频率范围( $10^3 \sim 10^8 \text{ Hz}$ )和温度范围( $-40^{\circ}\text{C} \sim +110^{\circ}\text{C}$ )内,相对介电系数和介质损耗角正切值几乎不变;硅油还具有挥发性小、凝固点低、导热性好、无毒、疏水等特点。

### 3.2.3 聚异丁烯

聚异丁烯在高温下的电气性能好,相对介电系数随温度的变化很小,在很宽的温度和频率范围内介质损耗角正切值很低,在电场作用下抗析气性比矿物油好。不同聚合度的聚异丁烯分别用作电容器、钢管充油电缆和压力电缆的浸渍介质。

### 3.2.4 三氯联苯

三氯联苯的相对介电系数大,化学稳定性和抗析气性好,可用于电容器。三氯联苯有毒,高温时,对金属和有机材料的腐蚀性较大,使用时应有严密的防毒措施。

三氯联苯用于直流电场时需加稳定剂。

## 3.3 蓖麻油

蓖麻油的主要成分是蓖麻酸甘油酯,它的相对介电系数较大,无毒,不易燃,耐电弧,击穿时无碳粒;但锡对蓖麻油的热老化有明显的催化作用,它的相对介电系数和介质损耗角正切值随频率的变化很大,且粘度大,难于精制,仅用于标准电容器绝缘。电容器用蓖麻油的性能见表 6.4.7。

表 6.4.7 电容器用蓖麻油的性能

序号	性能名称	数值
1	相对密度	0.950~0.970
2	折光率 $n_D^{20}$	1.4770~1.4780
3	恩氏粘度(*E)50℃	17.0~17.5
4	凝固点(℃)	-17~-15
5	酸值(mgKOH/g)	1.5
6	皂化值(mgKOH/g)	176~186
7	碘值	82~88
8	电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	
	20℃	$10^{13}$
	50℃	$10^{11} \sim 10^{12}$
9	介质损耗角正切(50Hz)	
	20℃	$5 \times 10^{-3}$
	100℃	$5 \times 10^{-2}$
10	相对介电系数(50Hz)	
	20℃	4.2
	100℃	3.5
11	击穿强度(kV/cm)(50Hz)	200

## 4 绝缘浸渍材料

绝缘浸渍材料是以合成树脂(或天然树脂)为基础,能在一定的条件下固化成绝缘膜或绝缘整体的流体绝缘材料。合成树脂具有优良的电气性能、机械性能和耐热性能,原料丰富,制造方便。目前用合成树脂制造的绝缘浸渍材料有绝缘漆、绝缘胶和熔敷绝缘粉等。

### 4.1 绝缘漆

绝缘漆主要是以合成树脂(或天然树脂)为漆基与溶剂、稀释剂、填料、颜料等辅助材料混合而成。绝缘漆按用途可分为浸渍漆、漆包线漆、覆盖漆、硅钢片漆和防电晕漆等几类。

#### 4.1.1 浸渍漆

浸渍漆分为有溶剂漆和无溶剂漆两大类,主要用于浸渍电机、电器的线圈和绝缘零件,以填充其间隙和微孔,固化后能在其表面形成连续平整的漆膜,并使线圈结成一个整体,提高绝缘结构的耐潮、导热、击穿强度和机械强度等性能。浸渍漆的基本特点是:粘度低,固体含量高,便于浸透;固化快,干燥性好,粘结力强,有热弹性,固化后能承受电机运转时的离心力;具有较高电气性能,较好耐潮性、耐热性、耐油性和化学稳定性,对导体和其他材料的相容性好。

4.1.1.1 有溶剂浸渍漆 它具有渗透性好、储存期长、使用方便等特点,但浸

表 6.4.9 常用有溶剂

序号	性能名称	沥青漆 1010	油改性 醇酸漆 1030	丁基酚 醛醇酸 漆 1031	三聚氰 胺醇酸 漆 1032	醇酸玻 璃丝包 线漆 C34-1
1	粘度(s)(4号粘度计)20℃±1℃	30~50	30~60	30~70	30~60	250~310
2	固体含量(%)不少于	42	47	47	47	45
3	渗透性(渗透云母带纸层数)(层)不少于	30	-	30	-	-
4	干燥时间(h)	5~6 (105℃)	1.5~2 (105℃)	<2 (120℃)	1.5~2 (105℃)	<2 (150℃)
5	厚层干透性(h) 于温度 120℃±2℃时,不多于	-	-	16	-	-
6	酸值(mgKOH/g)	-	6~12	<10	5~10	<12
7	吸水率(%)	0.4~1	-	-	1~2	-
8	耐热性(h),不少于	7 (150℃)	48 (150℃)	30 (150℃)	30 (150℃)	30 (150℃)
9	耐油性(h) 于温度 105℃±2℃变压器油中,不少于	-	24	24	24	-
10	击穿强度(kV/mm)					
	常态	55~90	70~90	>70	70~95	>45
	热态	25~50 (90℃)	-	-	-	-
	受潮后	-	-	-	-	-
	浸水后	22~35	30~55	>40	40~55	-
11	体积电阻率(Ω·cm)					
	常态	-	-	>10 <sup>14</sup>	-	-
	热态 <sup>①</sup>	-	-	>10 <sup>11</sup> (130℃)	-	-
	受潮后	-	-	-	-	-
	浸水后	-	-	>10 <sup>12</sup>	-	-

注:①测试温度除注明外,与击穿强度的测试温度同。

浸渍漆的性能

环氧 酯漆 1033	环氧醇 酸漆 H30-6	聚 酯 浸渍漆 155	有机硅 浸渍漆 1053	低温干燥 有机硅漆 9111	聚酯改性 有机硅漆 931	有机硅 玻璃丝 包线漆 1152	聚酰胺酰 亚胺浸 渍漆 PAI-2
30~70	20~35	30~60	30~65	20~65	25~70	30~80	50~90
47	45	45	50	50	50	55	30
30	-	-	-	-	-	-	-
1~2 (120℃)	<1.5 (105℃)	1~3 (130℃)	1.5~2 (200℃)	1/4~1 (105℃)	0.5~1 (180℃)	1.5~2 (200℃)	<1/6 (180℃)
16	-	16	-	-	-	-	-
3~6	<8	5~10	-	-	-	-	-
1~1.5	1~1.5	-	-	-	-	-	-
50 (150℃)	60 (150℃)	50 (180℃)	200 (200℃)	150 (200℃)	75 (200℃)	200 (200℃)	200 (200℃)
24	24	24	-	-	-	-	-
70~95	60~95	65~100	65~100	50~100	90~110	65~90	90~110
-	-	35~75 (155℃)	30~45 (200℃)	25~35 (180℃)	30~50 (200℃)	30~55 (200℃)	80~90 (180℃)
-	-	50~80	40~90	25~95	70~90	40~85	70~90
40~60	30~55	-	-	-	-	-	-
$10^{14} \sim 10^{16}$	-	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{14} \sim 10^{15}$
$10^{12} \sim 10^{13}$ (130℃)	-	$10^{10} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	$10^{13} \sim 10^{14}$
-	-	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	-
$10^{13} \sim 10^{14}$	-	-	-	-	-	-	$10^{13} \sim 10^{14}$

渍和烘焙时间长,固化慢,溶剂挥发会造成浪费与污染。它的品种很多,以醇酸类漆和环氧类漆应用最为广泛,常用的品种、组成、特性和用途及其性能分别见表 6.4.8及 6.4.9(见第 1804 页~第 1805 页)。

表 6.4.8 常用有溶剂漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
沥青漆	1010 L30-10	石油沥青、干性植物油、松脂酸盐,溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	A	耐潮性好。供浸渍不要求耐油的电机线圈
油改性醇酸漆	1030	亚麻油、桐油、松香改性醇酸树脂,溶剂为 200 号溶剂汽油	B	耐油性和弹性好。供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇酸漆	1031	蓖麻油改性醇酸树脂、丁醇改性酚醛树脂,溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、内干性较好,机械强度较高。供浸渍线圈,可用于湿热地区
三聚氰胺醇酸漆	1032 A30-1	油改性醇酸树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂,溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、耐油性、内干性较好,机械强度较高,且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈
醇酸玻璃丝包线漆	1230 C34-1	干性植物油改性醇酸树脂	B	耐油性和弹性好,粘结力较强。供浸涂玻璃丝包线
环氧酯漆	1033 H30-2	干性植物油酸、环氧树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂,溶剂为二甲苯和丁醇	B	耐潮性、内干性好,机械强度高,粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧醇酸漆	H30-6 8340	酸性醇酸树脂与环氧树脂共聚物、三聚氰胺树脂	B	耐热性、耐潮性较好,机械强度高,粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
聚酯浸渍漆	155 Z30-2	干性植物油改性对苯二甲酸聚酯树脂,溶剂为二甲苯和丁醇	F	耐热性、电气性能较好,粘结力强。供浸渍 F 级电机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053 W30-1	有机硅树脂,溶剂为二甲苯	H	耐热性和电气性能好,但烘干温度较高。供浸渍 H 级电机电器线圈和绝缘零部件
低温干燥有机硅漆	9111	有机硅树脂,固化剂,溶剂为甲苯	H	耐热性较 1053 稍差,但烘干温度低,干燥快。用途同 1053
聚酯改性有机硅漆	931 W30-P	聚酯改性有机硅树脂,溶剂为二甲苯	H	粘结力较强,耐潮性和电气性能好,烘干温度较 1053 低,若加入固化剂可在 150℃ 固化。用途同 1053
有机硅玻璃丝包线漆	1152	有机硅树脂,溶剂为甲苯或二甲苯	H	漆膜柔软,机械强度高。供浸涂 H 级玻璃丝包线
聚酰胺酰亚胺浸渍漆	PAI-2	聚酰胺酰亚胺树脂,溶剂为二甲基乙酰胺,稀释剂为二甲苯	H	耐热性优于有机硅漆,电气性能优良,粘结力强,耐辐照性好。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电机、电器线圈



有溶剂浸渍漆一般采用多次浸渍、烘焙和逐步升温的工艺,以避免由于溶剂挥发过快而形成漆膜针孔或气泡,影响产品性能和寿命;烘焙温度与漆的工作温度相同,或高出 20℃ 左右;若用真空压力浸渍,可缩短烘焙时间和提高绝缘结构性能。

溶剂的选择,主要是综合考虑其溶解能力、挥发速度、毒性大小及对导线和其他材料的相容性。溶剂漆常用的溶剂的品种、物理常数和用途见表 6.4.10。稀释剂的溶解能力较差,常与溶剂混合使用,以降低成本和减小挥发物的毒性。

表 6.4.10 常用溶剂的物理常数及用途

名称	分子量	沸点 (℃)	闪点(闭口法) (℃)	适用范围
溶剂汽油	-	120~200	33	油性漆、沥青漆、醇酸漆等
煤油	-	160~285	71~73	
松节油	136	150~170	30	
苯	78.05	80.1	-11	沥青漆、聚酯漆、聚氨酯漆、醇酸漆、环氧树脂漆和有机硅漆等
甲苯	92.13	110.6	4	
二甲苯	106.08	135~145	29.5	
丙酮	58.05	56.2	9	环氧树脂漆、醇酸漆等
环己酮	98	156.7	47	
乙醇	46.07	78.3	14	酚醛漆、环氧树脂漆等
丁醇	74.12	117.8	35	聚酯漆、聚氨酯漆、环氧树脂漆、有机硅漆等
甲酚	108	190~210	-	聚酯漆、聚氨酯漆等
糠醛	96.08	161.8	60(开口法)	聚乙烯醇缩醛漆
乙二醇乙醚	90.12	135.1	40	聚酰亚胺漆
二甲基甲酰胺	73	154~156	-	
二甲基乙酰胺	87	164~167	-	

4.1.1.2 无溶剂浸渍漆 它是由合成树脂、固化剂和活性稀释剂等组成的,其特点是固化快,粘度随温度变化大,流动性和浸透性好,绝缘整体性好,固化过程挥发物少,应用它可提高绝缘结构的导热性能和耐潮性能,降低材料消耗,改善劳动条件,缩短生产周期。常用的无溶剂浸渍漆主要有环氧型、聚酯型或环氧聚酯型。与聚酯型相比,环氧型粘结力好、收缩率小,漆膜的电气机械性能、耐潮性和耐霉性均较好,但漆的贮存稳定性和漆膜韧性不及聚酯型;环氧聚酯型漆的性能则介

于两者之间。常用的无溶剂浸渍漆的品种、组成、用途及其性能分别见表 6.4.11 及 6.4.12。

表 6.4.11 常用无溶剂浸渍漆的品种、组成、特性和用途

名 称	主 要 组 成	耐热等级	特 性 和 用 途
环氧无溶剂漆 110	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯	B	粘度低,击穿强度高,贮存稳定性好。可用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 672-1	672 环氧树脂、桐油酸酐、苄基二甲胺	B	挥发物少,固化快,体积电阻高。适用于滴浸小型电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9102	618 或 6101 环氧树脂、桐油酸酐、70 酸酐、903 或 901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	挥发物少,固化较快。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 111	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯、二甲基咪唑乙酸盐	B	粘度低,固化快,击穿强度高。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 H30-5	苯基苯酚环氧树脂、桐油酸酐、二甲基咪唑	B	特性用途与 111 相同
环氧无溶剂漆 594 型	618 环氧树脂、594 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低,体积电阻高,贮存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9101	618 环氧树脂、901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低,固化较快,体积电阻高,贮存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 1034	618 环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、正钛酸丁酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、苯乙烯	B	挥发物较少,固化快,耐霉性较差。用于滴浸小型低压电机、电器线圈
聚丁二烯环氧聚酯无溶剂漆	聚丁二烯环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、邻苯二甲酸二丙烯酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、对苯二酚	B	粘度较低,挥发物较少,固化较快,贮存稳定性好,耐热性较 1034 高。用于沉浸小型低压电机、电器线圈

续表

名称	主要组成	耐热等级	特性和用途
环氧聚酯酚醛 无溶剂漆 5152-2	6101 环氧树脂、丁醇改性 甲酚甲醛树脂、不饱和聚酯、 桐油酸酐、过氧化二苯甲酰、 苯乙烯、对苯二酚	B	粘度低,击穿强度高,贮存稳定性好。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 EIU	不饱和聚酯亚胺树脂、618 和 6101 环氧酯、桐油酸酐、过 氧化二苯甲酰、苯乙烯、对苯 二酚	F	粘度低,挥发物较少,击穿强度高,贮存稳定性好。用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆 319-2	二甲苯树脂、改性间苯二甲 酸不饱和聚酯、苯乙烯、过氧 化二异丙苯	F	粘度较低,电气性能较好,贮存稳定性好。可用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈

无溶剂浸渍漆可采用沉浸、整浸和滴浸等方法浸渍。不同的浸渍工艺,对无溶剂漆的特性要求有不同的侧重点。沉浸法要求漆的贮存期长、固化快,以减少漆在滴干和烘焙过程中的流失量。整浸法是以电机绕组嵌好线后整台定子进行真空压力浸渍和旋转烘焙、固化,减少了绕组在嵌线时受损,多用于中型高压电机整体浸渍,绝缘整体性好,可提高绝缘结构的导热、耐潮和电气性能。整浸法要求漆的贮存期长、挥发物少、电气性能好,尤其是介质损耗角正切值要小。滴浸法适用于批量生产的微型和小型电机绕组浸渍,浸渍处理的周期短,漆的流失量小,填充能力强,绝缘整体性好,设备紧凑灵活,适宜组织自动化生产。滴浸法要求漆固化快,挥发物少。为满足这三种工艺要求,可采用潜伏性固化剂,不仅可获得较快的固化速度,而且能有较长的贮存期。

活性稀释剂是指粘度低且分子中含有活性基因的化合物,常用的有苯乙烯、单环氧化合物和低粘度多环氧化合物等。其中以低粘度多环氧化合物的稀释能力强,挥发性小,使用较广。常用的环氧活性稀释剂的品种、特性见表 6.4.13。

#### 4.1.2 漆包线漆

漆包线漆主要用于导线的涂覆绝缘制成漆包线,用作电机、电器绕组的电磁线。漆包线漆具有良好的涂覆性,漆膜附着力强,柔软而富有耐挠曲性,并有一定的耐磨性和弹性,漆膜表面光滑,有足够的电气性能、耐热性和耐溶剂性,对导体无腐蚀作用。常用的漆包线漆有油性漆、缩醛漆、聚氨酯漆、聚酯漆、环氧漆、聚酯亚胺漆、聚酰胺酰亚胺漆、聚酰亚胺漆和特种漆包线漆等,其品种、特性和用途见表 6.4.14。

表 6.4.12 常用无溶剂浸渍漆的性能

性能名称	环氧无溶剂漆						氧聚酯 无溶剂漆 1034	聚丁二烯 环氧聚酯 无溶剂漆	环氧聚酯 酚醛无溶 剂漆 5152-2	环氧聚酯 无溶剂漆 E1U	不饱和聚 酯无溶 剂漆 319-2
	110	672-1	9102	111	H30-5	594型					
粘度(s)(4号粘度计)	30~70 (20℃)	150 (25℃)	110~240 (20℃)	30~60 (20℃)	85~100 (25℃)	19~25 (60℃)	40~65 (20℃)	50~70 (25℃)	15~30 (25℃)	20~50 (25℃)	30~60 (25℃)
胶化时间(min)	-	3~4 <sup>②</sup> (130℃)	14~17 <sup>③</sup> (130℃)	8~12 (120℃)	15~20 (130℃)	5~10 <sup>④</sup> (200℃)	30~60 <sup>⑤</sup> (140℃)	10~20 (140℃)	-	-	180 <sup>⑥</sup> (155℃)
贮存稳定性(月) (h)	4	30	24	30	72	12	6	6	3	3	6
击穿强度 <sup>⑦</sup> (kV/mm)											
常态	70~85	18~25	-	70~90	80~95	>40	20~30	25~35	70~95	70~120	20~30
热态	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>30 (155℃)	-
浸水后	40~60	-	-	40~80	40~70	-	20~30	20~30	45~75	40~90	-
体积电阻率 <sup>⑧</sup> (Ω·cm)											
常态	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	>10 <sup>16</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>16</sup>	10 <sup>16</sup> ~10 <sup>17</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>16</sup>	>10 <sup>15</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>
热态	-	>10 <sup>14</sup> (130℃)	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup> (120℃)	-	-	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup> (130℃)	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>	-	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>
浸水后	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	-	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	>10 <sup>13</sup>	-	>10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	(155℃) 10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	(155℃) 10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>
介质损耗角正切 <sup>⑨</sup> 50Hz											
常态	-	-	-	-	-	0.025~0.04	0.027~0.02	-	-	0.03	-
热态	-	-	-	-	-	0.015~0.03	0.01~0.06	-	-	-	-

注:①1号粘度计;②圆孔法;③铝盒法;④试管法;⑤热板法;⑥电气性能测试试样,110,111,5152-2,H30-5与E1U等为漆膜,余为漆饼。

表 6.4.13 常用环氧活性稀释剂

名 称	型号	环氧值 (当量/100g)	特 性
环氧丙烷苯基醚	690	$\geq 0.5$	耐热性尚可,但易引起过敏
环氧丙烷丁基醚	501	0.5~0.65	粘度低,弹性好
环氧丙烷糠基醚	502	0.45~0.55	机械强度高
环氧丙烷异辛基醚	503	0.3~0.4	耐水性、耐腐蚀性好
乙二醇双缩水甘油醚	6508	$> 0.7$	粘度低,挥发性小,柔韧性好
二缩水甘油醚	600	1.15~1.3	耐热性尚可
一缩乙二醇双缩水甘油醚	6509	$> 0.6$	粘度低,挥发性小,柔韧性好
二氧化二戊烯	269	0.9~1	沸点高,粘度低,耐热性好

表 6.4.14 漆包线漆的品种、组成、特性和用途

名 称	主 要 组 成	耐热等级	特 性 和 用 途
油性漆	甲酚或二甲酚砵巴树脂、干性植物油、松脂酸盐	A	高频下介质损耗小,耐潮性好,涂线工艺性好,耐溶剂性、耐刮性和耐热性差。适于涂制潮湿环境使用的中、高频电器,仪表或通信仪器等用漆包线
缩醛漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	E	漆膜耐刮性、耐热冲击性、耐水解性以及耐油性好。可涂制高强度漆包线
耐致冷剂漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	A	耐致冷剂。适于涂制封闭式冷冻机的电机的漆包线
自粘性漆	漆包线内层为聚酯树脂、缩醛树脂或环氧树脂等,外层为聚乙烯醇缩丁醛树脂	E-B	适于涂制中小型电机、电器、仪表等用漆包线及无支撑线圈用漆包线。此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体,不需浸漆
聚氨酯漆	聚氨酯甲酸酯树脂、聚酯树脂、二异氰酸酯	E	高频下介质损耗小,着色性好,有直焊性(漆包线焊接前不需清除漆膜),耐过负载性差。适于涂制要求 Q 值稳定的中高频小型线圈和电视、仪表用漆包线
无磁性漆	同聚氨酯漆	E	铁含量极低,磁场对它的感应极微。适于涂制精密仪表和精密电器用漆包线
自粘直焊漆	同聚氨酯漆	E	有直焊性,此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体,不需浸漆,但耐过负载性能差。适于涂制微型电机、仪表、无线电元件、无支撑线圈用漆包线

续表

名称	主要组成	耐热等级	特性和用途
环氧漆	环氧树脂、脲醛树脂	E	漆膜耐酸、耐碱、耐腐蚀、耐油、耐潮、耐水解性好,但弹性、耐刮性以及含氯绝缘油相容性差。适于涂制油浸变压器、化工电器、潮湿环境工作的电机用漆包线
聚酯漆	对苯二甲酸多元醇聚酯树脂	B	漆膜耐热、耐刮、耐溶剂性较好,耐电压和耐软化击穿性好,但耐碱、耐热冲击性和耐水解性较差,与含氯高聚物如聚氯乙烯、氯丁橡胶等不相容。适于涂制中小型电机、电器、仪表、干式变压器等用漆包线
水溶性聚酯电泳漆	含亲水基团的聚酯树脂,用水作溶剂	B	可一次涂成所需厚度漆膜,性能、用途与聚酯漆相同,可涂制异形线材
水散体聚酯漆	同上	B	同上
聚酯亚胺漆	聚酯亚胺树脂	F	耐热冲击性优于聚酯漆,其他性能与聚酯漆相同。适于涂制F级电机、制冷装置电机、干式变压器、电器、仪表用漆包线
水乳性聚酯亚胺电泳漆	含亲水基团的聚酯亚胺树脂	F	工艺性与水溶性聚酯漆相同,特性、用途与聚酯亚胺漆相同
聚酰胺酰亚胺漆	聚酰胺酰亚胺树脂	H-C	耐热性、耐热冲击性、耐电压和耐软化击穿性好,耐刮和耐化学药品腐蚀性好。与含氯高聚物不相容。适于涂制高温、重负荷电机,密封式电机,制冷设备电机,干式变压器和电器、仪表用漆包线
聚酰亚胺漆	聚酰亚胺树脂	H-C	耐热性、耐热冲击性、耐软化击穿性好,能承受短期过载负荷,耐辐照、耐溶剂及耐化学药品腐蚀性好,但耐碱性差,在含水的密闭系统中容易水解,漆膜受卷绕应力易产生裂纹。适于涂制耐高温电机、干式变压器、密封式继电器及电子元件用漆包线

#### 4.1.3 覆盖漆

覆盖漆分为瓷漆和清漆两种。含有填料和颜料的称瓷漆,不含填料和颜料的称清漆。它用于涂覆经浸漆处理的线圈和绝缘零部件,在其表面形成漆膜,作为绝缘保护层,以防止机械损伤和受大气、润滑油、化学药品等的侵蚀,提高表面放电电

压。覆盖漆具有干燥快、附着力强、漆膜坚硬、机械强度高以及耐潮、耐油、耐腐蚀等特性。覆盖漆按树脂分类分为醇酸漆、环氧漆和有机硅漆。与醇酸漆相比,环氧漆具有更好的耐潮性、耐霉性、内干性和附着力强以及漆膜硬度高等优点,广泛用于湿热带地区电机、电器零部件的表面覆盖。有机硅漆耐热性高,可用作H级绝缘电机、电器的覆盖漆。同一树脂的瓷漆比清漆的漆膜硬度大,导热、耐热和耐电弧性好,但其他性能稍差。瓷漆多用于线圈和金属表面涂覆;清漆多用于绝缘零部件表面和电器内表面的涂覆。覆盖漆的干燥方式有晾干和烘干两种。同一树脂的晾干漆较烘干漆的性能差,贮存不稳定,但适用作大型电气设备或不宜烘焙的部件的覆盖漆。

覆盖漆的品种、组成、用途与性能分别见表6.4.15和6.4.16。

表 6.4.15 常用覆盖漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
晾干醇酸漆	1231 C31-1	干性植物油或脂肪酸改性邻苯二甲酸季戊四醇醇酸树脂、干燥剂	B	晾干或低温干燥,漆膜的弹性、电气性能、耐气候性和耐油性较好。用于覆盖电器或绝缘零部件
晾干醇酸灰瓷漆	1321 C32-9	油改性醇酸树脂、干燥剂、颜料	B	晾干或低温干燥,漆膜硬度较高,耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰
醇酸灰瓷漆	1320 C32-8	油改性醇酸树脂、颜料	B	烘焙干燥,漆膜坚硬,机械强度高,耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈
晾干环氧酯漆	9120 H31-3	干性植物油酸与环氧酯化物、干燥剂	B	晾干或低温干燥,干燥快,漆膜附着力好,耐潮、耐油和耐气候性好,有弹性。用于覆盖电器或绝缘零部件,可用于湿热地区
环氧酯灰瓷漆	163 H31-4	环氧树脂酯化物、氨基树脂、防霉剂	B	烘焙干燥,漆膜硬度大,耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈,可用于湿热地区
晾干环氧酯灰瓷漆	164 H31-2	环氧树脂酯化物、颜料、干燥剂、防霉剂	B	晾干或低温干燥,漆膜坚硬,耐潮、耐霉、耐油性好,用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰,可用于湿热地区
环氧聚酯铁红瓷漆	6341 H31-7	环氧树脂、酚醛树脂、己二酸聚酯树脂	B	烘焙干燥,漆膜附着力强,耐潮、耐霉、耐油性好,用于覆盖电机、电器线圈,可用于湿热地区
晾干有机硅红瓷漆	167	有机硅树脂、醇酸树脂、颜料	H	晾干或低温干燥,漆膜耐热性高,电气性能好。用于覆盖耐高温电机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红瓷漆	1350 W32-3	有机硅树脂、颜料	H	烘焙干燥,漆膜耐热性、电气性能比167好,且硬度大,耐油。用途同晾干有机硅红瓷漆

表 6.4.16 常用覆盖

序号	性能名称	晾干醇酸漆 1231	晾干醇酸灰 瓷漆 1321	醇酸灰瓷漆 1320
1	粘度(4号粘度计)(s) 20℃ ± 1℃	47~80	90~150	90~110
2	固体含量 (%) 不少于	47	-	-
3	酸值 (mgKOH/g)	10~18	-	-
4	硬度(摆式硬度计)	-	0.15~0.35	0.35~0.65
5	细度(刮板细度计) (μm) 不少于	-	30	30
6	干燥时间 (h) (20℃)	10~20	20~24	2~3
7	吸水率 (%)	-	5~8	4~5
8	耐热性 (h) (150℃ ± 2℃)	>6	1~5	>10
9	耐油性 (h) 于温度 105℃ ± 2℃ 变压器油中, 不少于	24	24	24
10	耐电弧 (s)	-	4~8	4~8
11	击穿强度 (kV/mm)			
	常态	70~95	30~40	30~60
	热态	45~60(130℃)	-	-
	受潮后	-	-	-
	浸水后	30~60	8~20	10~30
12	表面电阻率 (Ω)			
	常态	-	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>13</sup>
	热态	-	-	-
	受潮后	-	-	-
	浸水后	-	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>10</sup>



漆的性能

晾干环氧 酯漆 9120	环氧酯灰 瓷漆 163	晾干环氧酯 灰瓷漆 164	晾干有机硅 红瓷漆 167	有机硅红 瓷漆 W32-3
50~70	60~240	120~420	>40	40~80
45	55	45	55	60
9~15	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	30	30	-	30
<24 (25℃)	<2 (120℃)	<24 (25℃)	<24 (20℃)	<2 (120℃)
-	3~5	<5	-	-
>6	10~20	1~5	>80	>80
24	24	-	-	24
-	-	-	-	-
30~60	35~45	>30	>30	>40
-	-	-	-	>16(180℃)
-	-	-	10	-
8~20	10~20	>10	-	>16
-	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>11</sup>	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>13</sup>
-	-	-	-	>10 <sup>10</sup> (180℃)
-	-	-	>10 <sup>10</sup>	-
-	>10 <sup>11</sup>	>10 <sup>9</sup>	-	>10 <sup>11</sup>

## 4.1.4 硅钢片漆

硅钢片漆用于涂覆硅钢片表面,以降低电机、电器等铁心的涡流损耗,增强防锈和耐腐蚀等能力,涂覆漆后需经高温短时烘干。覆盖漆的特点是:涂层薄,附着力强,漆膜坚硬、光滑、厚度均匀,并具有良好的耐油性、耐潮性和电气性能。常用硅钢片漆的品种、组成、用途与性能分别见表 6.4.17 及 6.4.18。

表 6.4.17 常用硅钢片漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
油性漆	1611	干性植物油、松脂酸盐	A	在高温(400℃~500℃)下干燥快,漆膜厚度均匀、坚硬、耐油。供涂覆一般用途小型电机、电器用硅钢片
醇酸漆	9161 5364	油改性醇酸树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂	B	在 300℃~350℃ 下干燥快,漆膜有较好的耐热性和耐电弧性。供涂覆一般电机、电器用硅钢片,但不宜涂覆磷酸盐处理硅钢片
环氧酚醛漆	H52-1 E.9 114	环氧树脂、酚醛树脂	F	附着力强,在 200℃~350℃ 下干燥快,漆膜有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能。供涂覆大型电机、电器用硅钢片,且适宜涂覆磷酸处理硅钢片和其他硅钢片
有机硅漆	947S W35-1	有机硅树脂	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂覆高温电机、电器用硅钢片,但不宜涂覆磷酸盐处理硅钢片
聚酰胺酰亚胺漆	PAI-Q	聚酰胺酰亚胺树脂	H	漆的涂覆工艺性和干燥性好,漆膜附着力强、耐热性高、耐溶剂性优越。供涂覆高温电机、电器用各种硅钢片

表 6.4.18 常用硅钢片漆的性能

序号	性能名称	油性漆 1611	醇酸漆 9161	环氧酚醛漆 H52-1	有机硅漆 947S	聚酰胺酰亚胺漆 PAI-Q
1	粘度(4号粘度计)(s) 25℃	70~95 (20℃)	50~80	50~80	40~70	30~50
2	固体含量 (%)	57	48	35	65	22
3	干燥时间 (min)	11~12 210±2(℃)	2~12 160±2(℃)	15~40 180±2(℃)	~15 200±2(℃)	~10 150±2(℃)
4	耐油性 (h) (浸油温度)	24 105±2(℃)	-	24 155±2(℃)	-	-
5	耐热性 (h)	-	-	50 (180℃)	-	200 (200℃)
6	击穿强度 (kV/mm)					
	常态	-	-	50~90	60~100	80~110
	热态	-	-	-	25(200℃)	-
7	体积电阻率(Ω·cm)					
	常态	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup> ~10 <sup>15</sup>
	热态	-	-	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup> (155℃)	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup> (200℃)	-

### 4.1.5 防电晕漆

防电晕漆一般由绝缘清漆和金属导体粉末(如炭黑、石墨、碳化硅等)混合而成,有时还加有填料,它主要作高压线圈防电晕的涂层用。它的电阻率稳定,附着力和耐磨性好,干燥速度快,贮存稳定性好。防电晕漆分为低电阻漆和高电阻漆两类。低电阻防电晕漆用于大型高压电机槽部;高电阻防电晕漆用于大型高压电机线圈的端部。防电晕漆可单独涂在线圈表面,也可涂在石棉带、玻璃布带上,再包扎在线圈外层或涂在玻璃布带上与主绝缘一起成型。

防电晕漆的品种、组成和性能分别见表 6.4.19 及 6.4.20。

表 6.4.19 防电晕漆的品种、组成与特性

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性
醇酸防电晕漆	1233 1234	油改性醇酸树脂漆、乙炔黑、立德粉、干燥剂	B	漆膜较坚硬、耐油,可于室温干燥
环氧防电晕漆	1235	环氧树脂漆、炭黑、石墨。使用时加入 651 聚酰胺树脂	B	漆膜附着力强、坚硬,可于室温固化

表 6.4.20 防电晕漆的性能

性能名称	醇酸防电晕漆		环氧防电晕漆
	1233	1234	1235
细度( $\mu\text{m}$ )(括板细度计)不大于	50	50	50
干燥时间(h)20℃	6~8	6~8	-
表面电阻率 <sup>①</sup> ( $\Omega$ )	$10^3 \sim 10^5$	$10^{10} \sim 10^{12}$	$10^3 \sim 10^4$

注:①表面电阻率允许根据使用要求确定。

## 4.2 绝缘胶

绝缘胶与无溶剂漆相似,一般加有填料,广泛应用于浇注 20kV 及以下电流互感器、10kV 及以下电压互感器、某些干式变压器、船用变压器、电缆终端和连接盒、密封电子元件和零部件等。它的特点是适形性和整体性好,可提高产品耐潮、导热和电气性能;浇注的工艺装备简单,易于实现自动化生产。绝缘胶可分为电器浇注胶和电缆浇注胶。

### 4.2.1 电器浇注胶

4.2.1.1 浇注胶用树脂 它所用树脂要求具有粘度小、流动性好、收缩率小、挥发物少、固化快、低压成型性好,并有足够的电气、机械性能和化学稳定性等特性。环氧树脂基本上符合要求,所以环氧浇注胶的应用最为广泛。浇注胶用环氧树脂的理化常数见表 6.4.21。

表 6.4.21 浇注胶用环氧树脂的理化性能和特性

环氧树脂 型号	环氧值(当 量/100g) (盐酸吡啶 法)	挥发物(%) 不大于(110 ℃ 3h)	熔点 (℃)	软化点 (℃) (水银法)	有机氯值 (当量/100 g)	无机氯值 (当量/100 g)	特 性
E-51 (618)	0.48~0.54	2	-	-	0.02	0.005	为双酚 A 型环 氧树脂,粘度低,粘 合力强,使用方便
E-44 (6101)	0.41~0.47	1	-	12~20	0.02	0.005	为双酚 A 型环 氧树脂,粘度比 618 稍高,其他性 能相仿
E-42 (634)	0.38~0.45	1	-	21~27	0.02	0.005	为双酚 A 型环 氧树脂,粘度比 6101 稍高,收缩率 较小,为常用浇注 树脂
E-35 (637)	0.3~0.4	1	-	20~35	0.02	0.005	为双酚 A 型环 氧树脂,粘度比 634 稍高
E-37 (638)	0.23~0.38	1	-	40~55	0.02	0.005	为双酚 A 型环 氧树脂,粘度比 637 稍高,但收缩 率小
R-122 (6207)	-	-	185	-	-	-	为脂环族环氧树 脂,耐热性高,固化 物热变形温度 300℃。用适当固 化剂配合时粘度低
H-75 (6201)	0.61~0.64	-	-	-	-	-	为脂环族环氧树 脂,粘度低,工艺性 好,可室温固化,热 膨胀系数小,耐沸 水
W-95 (300,400)	1~1.03	-	55	-	-	-	为脂环族环氧树 脂,固化物机械强 度比双酚 A 型环 氧树脂高 50%,延 伸性好,耐热性高
V-17 (2000)	0.16~0.19	-	-	-	-	-	为环氧化聚丁二 烯树脂,耐热性好
A-95 (695)	0.9~0.95	-	95~115	-	-	-	为脂环族环氧树 脂,固化物交联密 度高,马丁耐热达 200℃,耐电弧性优 异

4.2.1.2 环氧树脂用固化剂 一般要求固化剂的固化温度低、固化物有良好的韧性、耐热性和足够的电气性能、机械性能以及毒性小、操作方便等。常用的固化剂有酸酐类和胺类。其中酸酐类固化剂,特别是液体酸酐性能好、使用方便,应用较广;胺类固化剂毒性大、固化物易开裂,应用较少;硼胺络合物是广泛应用的一种潜伏性固化剂,可延长胶的使用期。常用的酸酐类固化剂和胺类固化剂的理化性能与特性分别见表 6.4.22 及 6.4.23。

表 6.4.22 常用酸酐类固化剂性能与特性

名 称	型号 或 代号	外 观	分子量	熔点 (℃)	用量 (%)	固化条件		特 性
						温度 (℃)	时间 (h)	
邻苯二甲酸酐	PA	白色或红 色粉末	148	128~131	30~45	120	20~30	固化物电气性能好, 固化时放出热量小,但 易升华,固化时间长。 可用于大型浇注
						130	2	
						150	10	
顺丁烯二酸酐	MA	白色结晶	98.06	52.8	30~40	100 150	2 24	易升华,刺激性 大,固化物电气性能 好,但机械性能差
均苯四甲酸二 酐	PM DA	白色粉末	218	286	13~21	120	3	固化物热变形温 度高,但固化工序较 复杂,成本高
						220	2	
内次甲基四氧 邻苯二甲酸酐	NA	白色结晶	164.6	164~167	60~80	100 260	1 20	固化物耐热性好, 但需高温固化,使用 困难
四氢化苯二甲 酸酐异构体混 合物	70	低粘度 液体	152	-3~-5	150~100	180	2	使用方便,固化物 耐热性好
桐油酸酐	TOA	低粘度 液体	-	-	100~200	100	5	使用方便,成本 低,固化物弹性好, 但不耐冷冻
						80	20	
环戊二烯顺 酐加成物	647	白色或浅 黄色固体	137~147	34	60~80	100	8	使用时需进行预 聚合,否则气味大。 固化物弹性好
						150	3	

表 6.4.23 常用胶类固化剂理化性能和特性

名称	型号或代号	外观	分子量	沸点(°C)	熔点(°C)	胺值	用量(%)	固化条件		特性
								温度(°C)	时间(h)	
乙二胺		无色液体	60.1	116	8.5	-	6~8	25	24	室温固化快,但毒性大,固化物性能较差
								80	3	
间苯二胺	MP	固体	108.1	284~289	61~63	-	14~16	150	4	固化物耐热性和电气性能好
聚酰胺树脂	H-4 650	棕色液体	-	-	-	200±20	30~100	20	24	无毒,可在室温固化,固化时发热量小,固化物热冲击性好
								140	4	
聚酰胺树脂	651	浅黄或棕色液体	-	-	-	400±20	30~50	20 140	24 4	无毒,可在室温固化,固化时发热量小,固化物热冲击性好
硼胺络合物	594 595 901	棕色液体	-	240~250	-	200~350	10~25	150	5	是潜伏性固化剂。配胶后胶的贮存期长,固化物耐热性好

4.2.1.3 常用添加剂 包括常用增塑剂和填充剂等。适量的增塑剂可降低脆性,提高抗弯和冲击强度。常用的增塑剂有聚酯树脂,一般用量为 15%~20%。胶中加入填充剂可减少固化物的收缩率,提高导热系数、注形稳定性、耐湿性、耐腐蚀性和机械强度,降低成本。石英粉是较理想的填充剂。

4.2.1.4 电器浇注胶的配制 浇注胶的配方和固化工艺应根据产品结构、外形尺寸、技术条件和使用环境等而定。浇注一般户内或工作温度不高的电器,可用双酚 A 型环氧树脂或聚酯树脂;对户外或高温下工作的电器,可用脂环族环氧树脂或用几种环氧树脂混合配胶,并采用酸酐或芳香族胺固化剂固化。

4.2.1.5 浇注的工艺要点 配制浇注胶时应充分搅拌均匀,尽量消除气泡;固化成型采用分阶段升温,减少胶的流失量,并防止因固化不均产生应力开裂;浇注前模具要预热,浇注后要注意排气并补满胶料;固化和脱模时间应按浇注物的大小和形状复杂程度不同分别规定;脱模后要保温,使之缓缓冷却。

#### 4.2.2 电缆浇注胶

常用的电缆浇注胶有松香酯型、沥青型和环氧树脂型三类,其组成、性能和用途见表 6.4.24。

表 6.4.24 电缆浇注胶的组成、性能和用途

名称 (型号)	主要成分	软化点 (环球法) (°C)	收缩率 (150°C→20°C) (%)	击穿电压 (kV/2.5mm)	特性和用途
黄电缆胶 (1810)	松香或松香甘 油酯、机油	40~50	≤8	>45	电气性能较好,抗 冻裂性好。适于浇注 10kV以上电缆连接 盒和终端
黑电缆胶 (1811或 1812)	石油沥青或石 油沥青、机油	65~75或 85~95	≤9	>35	耐潮性较好。适于 浇注10kV以下电缆 连接盒和终端
环氧电缆胶	环氧树脂、石英 粉、聚酰胺树脂	-	-	>82	密封性好,电气、机 械性能高。适于浇注 户内10kV以下电缆 终端。用它浇注的终 端结构简单,体积较 小

### 4.3 熔敷绝缘粉

熔敷绝缘粉是由合成树脂、固化剂、填料、增塑剂、颜料等制成的一种粉末状绝缘材料。其特点是:在高于树脂熔点的温度下,它能均匀地涂覆在工件表面,经烘焙后形成厚度均匀、平整光滑、粘结紧密的绝缘涂层。这种涂层导热性好,具有耐潮、耐腐蚀等特性,并可进行切削加工;熔敷工艺简便,效率高,易于实现机械化生产;适用作低压电机的槽绝缘,绕组线圈端部绝缘以及零部件的密封和防腐涂覆材料;由于绝缘层的厚度薄、导热性好、机械强度高,可以提高电机的槽满率、降低电机温升。

熔敷绝缘粉所用树脂主要是环氧树脂和聚酯树脂,常用的品种、组成、特性和用途及其性能分别见表 6.4.25 及 6.4.26。

表 6.4.25 熔敷绝缘粉的品种、组成、特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
高温环氧粉末	CZ1530 171	601、604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、气相二氧化硅、双氰胺	B	涂层坚硬、光亮,耐潮和耐腐蚀。用于不需弯曲的工件绝缘,中小型电机槽绝缘以及电器零部件表面密封、防腐涂覆
高温弹性环氧粉末	CZ1531-1	604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、双氰胺	B	涂层柔软性较好。用于需要挠曲的工件绝缘或电机转子铜排绝缘
	CZ1531-2	604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、癸二酸二酞肼	B	涂层柔软性较好。用于需要挠曲的工件绝缘或电机转子铜排绝缘。但固化较快

续表

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
低温环氧粉末	CZ1532 173	601、604 环氧树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、二氨基二苯甲烷	B	涂层坚硬,固化温度较低。适用于小型变压器、电阻、电容、线圈等电子元件绝缘涂覆
聚酯粉末	174	对苯二甲酸多元醇聚酯树脂、石英粉、气相二氧化硅	F	涂层薄,弹性好,耐热性较高。适用于微电机槽绝缘或其他绝缘涂覆
聚酯改性弹性环氧粉末	176	604 环氧树脂、己二酸聚酯树脂、聚乙烯醇缩丁醛树脂、石英粉、气相二氧化硅、双氰胺	B	涂层弹性好,无冷脆性。用于电机转子铜排或线圈的绝缘涂覆

表 6.4.26 常用熔敷绝缘粉的性能

序号	性能名称	CZ1530	CZ1531-1	CZ1531-2	CZ1532	174	176
1	颜色	白	淡黄	淡黄	白	白	白
2	细度 (%)	大于 80 目 小于 200 目	1~5 5~30	95 <sup>①</sup> 95 <sup>①</sup>	1~5 15~30	>50 <sup>②</sup> 15	>50 <sup>②</sup> 15
3	胶化时间(min)	180℃	4~10	2~10	1~6	3~12 (130℃)	1.5~2.5 (260℃)
4	水平流动性(mm)	(180℃, 10min)(流动距离)	18.5~21 (5min)	16.5~19	16.5~19	19~23 (130℃)	1.5~2.5 (260℃)
5	边角覆盖率 (%)		42~55	-	-	42	42
6	抗冲击强度 (N·cm/cm <sup>2</sup> )		>450	>500	>500	>450	>500
7	耐弯曲性 (角度)		-	115 (20℃)	115 (13℃)	-	-
8	击穿强度(kV/mm)	常态 浸水 24h 后 于 10% 盐水中	- - 20~30	30~45 25~40 -	30~45 25~40 20~35	- - -	40 35 -
9	体积电阻率(Ω·cm)	常态 浸水 24h 后	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>15</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>14</sup>	>10 <sup>13</sup> >10 <sup>12</sup>
10	表面电阻率(Ω)	常态 浸水 24h 后	>10 <sup>13</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>	- -	- -	>10 <sup>13</sup> 10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>	>10 <sup>13</sup> >10 <sup>12</sup>
11	贮存稳定性(月)	25℃~30℃	12	12	-	6	12

注:①通过 80 孔(孔径 0.197mm)。②70~120 目。

## 5 绝缘纤维织品

电工产品中经常采用纱、带、绳、管等作绝缘材料。制造这类纺织品常用的纤维有棉纤维、无碱玻璃纤维和合成纤维。棉纤维制品易吸潮,耐热性差,使用时通



常需经一定的浸渍处理,以提高电气、抗老化和耐潮性能及导热能力。无碱玻璃纤维具有耐热及耐腐蚀性好、吸湿性小、抗张强度高优点,但较脆、密度大、伸长率小、对皮肤有刺激,易吸附水分、柔软性差等缺点。用合成纤维制成的制品兼有棉及玻璃纤维的优点。

## 5.1 棉织品

单股棉纱用于纱包线及电线电缆的绝缘和护层,合股棉纱用于电线电缆的编织护层。

棉布带由棉纱以平纹或斜纹编织而成,未浸漆的斜纹布带和细布带用于线圈整形或浸胶过程中的临时包扎。

棉纤维由于耐热性差、易吸潮,同时为了节约用棉,已逐渐被玻璃纤维和合成纤维制品所代替。

棉布带的技术条件见表 6.4.27。

表 6.4.27 棉布带的技术条件

名 称	标称宽度 (mm)(公差)	额定厚度 (mm)	密度(根数)		抗张力 (N)	断裂伸长率 (%) 不小于
			经 (带宽度内)	纬 (每厘米内)		
斜纹布带	10、12( $\pm 0.5$ )	0.45 $\pm$ 0.02	26~32	16	140~170	9
	15( $\pm 1.0$ )	0.45 $\pm$ 0.02	40	16	210	9
	20、25、30( $\pm 1.5$ )	0.45 $\pm$ 0.02	52~78	16	260~370	9
	35、40、50( $\pm 2.0$ )	0.45 $\pm$ 0.02	92~130	43~58	430~580	9
平纹白布带	10、12( $\pm 0.5$ )	0.25 $\pm$ 0.02	28~34	19	90~110	8
	15( $\pm 1.0$ )	0.25 $\pm$ 0.02	42	19	130	8
	20、25、30( $\pm 1.5$ )	0.25 $\pm$ 0.02	54~78	19	160~210	8
	35、40、50( $\pm 2.0$ )	0.25 $\pm$ 0.02	90~132	19	2320~3220	9
平纹细布带	12( $\pm 0.5$ )	0.22 $\pm$ 0.02	40	23	120	5
	16( $\pm 1.0$ )	0.22 $\pm$ 0.02	52	23	160	5
	20、25、30( $\pm 1.5$ )	0.22 $\pm$ 0.02	64~90	23	190~270	5
	25( $\pm 2.0$ )	0.22 $\pm$ 0.02	106	23	310	5
平纹薄布带	12( $\pm 0.5$ )	0.18 $\pm$ 0.02	44	30	80	5
	16( $\pm 1.0$ )	0.18 $\pm$ 0.02	60	30	110	5
	20( $\pm 1.5$ )	0.18 $\pm$ 0.02	70	30	130	5

## 5.2 玻璃纤维制品

无碱玻璃丝电气性能好,用于玻璃丝包线和安装的绝缘;中碱玻璃丝用于 X 光电缆和电线电缆的编织护层。

玻璃丝带由玻璃丝编织而成,有预浸漆和不浸漆两种,用于绕包绝缘。

玻璃丝套管系用无碱玻璃丝编织,经高温脱蜡定纹,并浸渍有机硅氧烷而成。它的弹性好、剪口不散,在 $-60^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$ 范围内不硬化,可用作绝缘护套,其规格有:

内径:1;1.5;2;2.5mm      壁厚:0.25mm  
 3;3.5;4;5mm              0.30mm  
 6;7;8;9mm                0.40mm

玻璃丝及玻璃带的技术条件分别见表 6.4.28 及 6.4.29。

表 6.4.28 玻璃丝的技术条件

分类	牌 号	单纤维公称直径 ( $\mu\text{m}$ )	股数	公制支数 (公制号数) <sup>①</sup>	支数不均率 (%) 不大于	抗张力 (N) 不小于	捻 度 (捻/m)	捻向 <sup>②</sup>
无碱玻璃纤维	无碱纱 4-600/2	4	2	300 $\pm$ 30 (3.3 $\pm$ 0.3)	7	1.5	120 $\pm$ 15	S
	无碱纱 4-360/2	4	2	180 $\pm$ 20 (5.6 $\pm$ 0.6)	7	2.5	150 $\pm$ 15	S
	无碱纱 5-250/2	5	2	125 $\pm$ 10 (8.0 $\pm$ 0.8)	7	4	120 $\pm$ 15	S
	无碱纱 6-160/2	6	2	80 $\pm$ 8 (12.5 $\pm$ 1.3)	7	5	120 $\pm$ 15	S
	无碱纱 6-80/2	6	2	40 $\pm$ 4 (25.0 $\pm$ 2.5)	7	10	110 $\pm$ 15	S
	无碱纱 6-80/4	6	4	20 $\pm$ 2 (50.0 $\pm$ 5.0)	7	20	110 $\pm$ 15	S
	无碱纱 6-80/8	6	8	10 $\pm$ 1 (100 $\pm$ 10)	7	35	110 $\pm$ 15	S
	无碱纱 8-40/2	8	2	20 $\pm$ 2 (50.0 $\pm$ 5.0)	7	16	110 $\pm$ 15	S
	无碱纱 6-80/1	6	1	80 $\pm$ 8 (12.5 $\pm$ 1.3)	7	4.5	55 $\pm$ 10	Z
中碱玻璃纤维	中碱纱 6-75/2	6	2	37.5 $\pm$ 3.8 (26.7 $\pm$ 2.7)	7	8	50~120	S
	中碱纱 6-75/4	6	4	18.8 $\pm$ 1.9 (53.3 $\pm$ 5.3)	7	15	50~120	S
	中碱纱 8-45/1	8	1	45 $\pm$ 5 (22.2 $\pm$ 2.2)	7	5	50~120	Z
	中碱纱 8-45/2	8	2	22.5 $\pm$ 2.2 (44.4 $\pm$ 4.4)	7	10	50~120	S
	中碱纱 8-45/3	8	3	15 $\pm$ 2 (66.7 $\pm$ 6.7)	7	15	50~120	S
	中碱纱 8-45/4	8	4	11.3 $\pm$ 1.1 (88.9 $\pm$ 8.9)	7	20	50~120	S
	中碱纱 8-45/10	8	10	4.5 $\pm$ 0.5 (222 $\pm$ 22)	7	50	50~120	S

注:①1000m 玻璃纤维纱的质量的克数称为公制号数。 ②S 表示右捻,Z 表示左捻。

表 6.4.29 玻璃带的技术条件

序号	牌 号	厚 度 (mm)	原纱支数/股数 (公制号数)		单纤维 公称直径 ( $\mu\text{m}$ )	密 度 (根/cm)		抗张力 (N) ( $10 \times 100\text{mm}^2$ ) 不小于
			经纱	纬纱		经纱	纬纱	
1	无碱带-60	$0.060 \pm 0.005$	160/2 (12.5)	160/2 (12.5)	6	$27 \pm 2$	$22 \pm 2$	130
2	无碱带-80	$0.080 \pm 0.010$	80/2 (25.0)	160/2 (12.0)	6	$27 \pm 2$	$22 \pm 2$	200
3	无碱带-100	$0.100 \pm 0.010$	80/2 (25.0)	80/2 (25.0)	6	$27 \pm 2$	$14 \pm 1$	200
4	无碱带-170	$0.170 \pm 0.015$	80/4 (50.0)	80/4 (25.0)	6	$27 \pm 2$	$15 \pm 1$	300
5	无碱带-200	$0.200 \pm 0.020$	80/6 (75.0)	80/2 (50.0)	6	$20 \pm 1$	$15 \pm 1$	400
6	无碱带 Q-170	$0.170 \pm 0.015$	40/2 (50.0)	80/2 (25.0)	8(经) 6(纬)	$27 \pm 2$	$15 \pm 1$	300
7	无碱带 Q-200	$0.200 \pm 0.020$	40/3 (75.0)	40/2 (50.0)	8(经) 8(纬)	$27 \pm 1$	$15 \pm 1$	350
8	无碱带 Q-270	$0.270 \pm 0.030$	80/12 (50.0)	80/4 (50.0)	6(经) 6(纬)	$17 \pm 1$	$15 \pm 1$	500

### 5.3 合成纤维制品

#### 5.3.1 合成纤维丝

5.3.1.1 聚酰胺 6(又称尼龙 6,或称锦纶) 它的抗张强度高,弹性好,耐磨、耐腐蚀、耐霉,防虫蛀,着色性好;但耐光、耐热性较差,易变形。它主要用于安装电线的绕包及编织绝缘,其技术条件见表 6.4.30。

5.3.1.2 聚酯(又称涤纶)纤维丝 它的耐光性和耐热性比聚酰胺好,且耐霉、耐腐蚀(不耐浓碱)、不怕虫蛀,但抗张强度比聚酰胺稍低,密度较大,用于电线电缆绝缘,其技术条件见表 6.4.31(见第 1830 页)。

表 6.4.30 锦纶丝的技术条件

序号	性 能 名 称	No. 200(12 孔)	No. 64(39 孔)
1	公制支数	195~205	62~66
2	支数偏差率(%)	不大于 $\pm 3$	$\pm 3$
3	断裂长度(km)	不低于 45	50
4	伸长率(%)	22~28	19~25
5	伸长不均率(%)	不大于 8.5	10
6	捻度(捻/m)	$200 \pm 2$	$200 \pm 2$

表 6.4.34 漆布的电

名 称	标称厚度 (mm)	抗 张 力 (N)		常 态	常 态 弯 折 后
		径 向	沿 径 向 45° 角		
油性漆布 (2010)	0.15	80~120	45~60	6.0~8.0	3.6~5.0
	0.17	100~170	50~90	6.8~8.0	4.2~4.5
	0.20	100~170	50~90	7.5~8.5	4.6~5.6
	0.24	100~170	50~90	8.8~10.0	5.3~7.0
油性漆布 (2012)	0.17	100~170	50~90	>7.7	3.4~4
	0.20	100~170	50~90	>8.6	3.6~5
	0.24	100~170	50~90	>9.8	4.0~7
油性漆绸 (2210)	0.04	30~40	17~40	1.0~2.5	-
	0.05	30~40	17~40	1.7~3.5	-
	0.06	30~40	17~40	3.3~5.0	-
	0.08	45~90	25~50	4.8~5.5	3.0~5.0
	0.10	45~90	25~50	5.8~7.0	4.4~6.0
	0.12	55~100	30~80	7.2~8.0	6.3~7.5
	0.15	55~100	30~80	8.7~9.5	6.9~8.0
油性漆绸 (2212)	0.08	45~90	25~50	>5	3.2~5.0
	0.10	45~90	25~50	>6.6	5.2~6.5
	0.12	55~100	30~80	>9.1	6.9~8.0
	0.15	>55	>30	>9.5	>7.7
油性玻璃漆布 (2412)	0.11	100~220	50~120	4.4~6.0	2.4~3.5
	0.13	100~220	50~120	5.0~7.5	3.0~4.6
	0.15	150~320	80~140	5.7~9.0	3.4~6.0
	0.17	150~320	80~140	6.8~9.0	4.0~6.0
	0.20	220~350	110~180	7.7~12.0	4.4~9.0
	0.24	220~350	110~180	>8.6	>4.8
沥青醇酸玻璃 漆 布 (2430)	0.11	100~220	50~120	5.3~8.0	2.9~4.0
	0.13	100~220	60~120	6.1~9.0	3.5~4.5
	0.15	150~320	80~140	6.6~9.0	4.2~5.5
	0.17	180~320	90~140	8.0~10.0	5.0~9.0
	0.20	220~350	110~180	9.0~12.0	7.0~10.0
	0.24	250~350	130~180	>11.0	>8.8
醇酸玻璃漆布 (2432)	0.11	100~220	50~120	5.3~9.0	2.9~4.0
	0.13	100~220	60~120	6.1~9.0	3.5~4.5
	0.15	150~320	80~140	6.6~10.0	4.2~5.0
	0.17	180~320	90~140	8.0~10.0	5.0~6.0
	0.20	220~350	110~180	9.0~12.0	7.0~8.0
	0.24	250~350	130~180	>11.0	>8.8

## 气、机械性能

击穿电压(kV)			体积电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		
热态	受潮后	标定延伸率时 <sup>①</sup>	常态	热态	受潮后
4.1~7.0 5.0~7.6 5.5~9.0 6.5~10.0	3.6~8.0 4.1~7.0 4.6~8.0 5.4~7	>4.2 >4.8 >5.3 >6.2	$10^{10} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (105℃)	$10^{10} \sim 10^{13}$
5.0~7.0 5.9~8.0 6.8~9.0	4.7~8.0 5.4~8.0 6.0~8.0	>5.4 >6.0 >6.9	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (105℃)	$10^{10} \sim 10^{13}$
- - - 3.0~4.0 4.3~6.0 5.2~7.0 5.8~9.0	- - - 2.3~4.0 3.5~4.2 4.1~4.5 4.7~7.0	- - - - >4.1 >5.0 >6.1	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (105℃)	$10^{10} \sim 10^{13}$
3.3~5.0 4.8~6.0 5.5~7.0 >7.4	3.2~4.0 4.2~5.5 4.7~8.0 >5.5	- >4.6 >6.4 >6.6	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (105℃)	$10^{10} \sim 10^{13}$
2.2~5.0 2.8~6.0 3.2~8.0 3.8~8.4 4.2~12.0 >4.6	2.2~3.0 2.9~5.0 3.4~6.0 3.9~8.0 4.4~9.0 >5.1	>2.6 >3.0 >3.4 >4.1 >4.6 >5.2	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^9 \sim 10^{11}$ (105℃)	$10^{10} \sim 10^{12}$
2.9~6.0 3.6~7.0 4.1~7.5 4.8~8.0 5.3~8.2 >6.2	2.6~4.0 3.4~4.0 3.8~4.5 >4.6 >5.0 >6.0	>3.7 >4.3 >4.6 >5.6 >6.9 >7.7	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^9 \sim 10^{13}$ (130℃)	$10^{10} \sim 10^{12}$
2.4~6.0 3.0~6.0 3.4~6.0 4.0~6.0 4.4~6.0 >5.2	2.4~5.0 3.1~6.0 3.5~7.0 4.2~7.0 4.6~7.0 >5.5	>3.7 >4.3 >4.6 >5.6 >6.9 >7.7	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^9 \sim 10^{10}$	$10^{10} \sim 10^{11}$

名 称	标称厚度 (mm)	抗 张 力 (N)		常 态	常 态 弯 折 后
		径 向	沿 径 向 45° 角		
醇酸薄玻璃漆布	0.04	>30	-	>3	-
	0.06	>45	-	>2	-
	0.08	45~100	-	3.5~6.8	>2.8
环氧玻璃漆布 2433	0.13	80~230	>40	5.5~7.7	3.2~4.0
	0.15	>120	>60	>6.0	>3.8
	0.17	>120	>60	>7.8	>4.2
有机硅玻璃漆布 (2450)	0.06	60~92	-	2.9~5.0	-
	0.08	60~97	-	3.6~5.2	-
	0.11	100~230	-	4.7~8.0	1.8~7.0
	0.13	100~230	-	5.3~9.0	2.4~8.0
	0.15	150~270	-	5.8~10.0	3.0~9.0
	0.17	150~270	-	6.6~10.0	3.5~10.0
	0.20	220~310	-	7.4~12.0	4.0~10.0
硅橡胶玻璃漆布 (2550)	0.10	80~90	-	1.5~2.4	>1.0
	0.23	160~250	-	2.0~4.0	>1.4
聚酰亚胺玻璃 漆 布 (2560)	0.10	>100	-	>2.5	>2.0
	0.15	>120	-	>5.5	>3.8
	0.17	160~400	-	6.5~7.0	4.5~6.0
	0.20	>180	-	>7.0	>6.0

注：①各种漆布的标定延伸率(沿径向  $45^\circ \pm 1^\circ$  角)如下：油性漆布 6%；油性漆绸 20%；

②  $180^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$  处理 18h 后。

续表

击穿电压(kV)			体积电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		
热态	受潮后	标定延伸率时①	常态	热态	受潮后
-	-	-	$10^{12} \sim 10^{14}$	-	-
3.5~4.0 >4.0 >4.5	>3.2 >3.6 >4.2	- - -	$>10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (130℃)	$10^{10} \sim 10^{14}$
0.9~1.5 1.5~3.5 2.7~5.0 3.2~5.5 3.8~6.0 4.3~9.0 4.7~10.0 >5.3	1.0~1.4 2.0~4.0 3.2~6.0 3.7~6.0 4.2~7.0 4.8~7.0 5.3~9.0 >5.8	>1.8 >2.2 >2.6 >3.0 >3.4 >3.8	$10^{14} \sim 10^{16}$	$10^{11} \sim 10^{12}$ (180℃)	$10^{13} \sim 10^{14}$
1.0>1.3② 1.4~4.6	0.8~1.3 1.8~2.4	- -	$10^{12} \sim 10^{14}$	-	$10^{10} \sim 10^{12}$
>1.5 >3.5 4.0~6.0 >4.5	>1.5 >5.0 5.0~6.0 >5.0	- - - -	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{13} \sim 10^{14}$

醇酸玻璃漆布和沥青醇酸玻璃漆布 15%；油性玻璃漆布和有机硅玻璃漆布 10%。

表 6.4.31 涤纶丝的技术条件

序号	性能名称		No. 64	No. 73	No. 120
1	支数		64	73	120
2	支数偏差率(%)	不大于	±3	±2	±5
3	扯断力(N/袋)	不小于	0.065	0.50	0.585
4	伸长率(%)	不大于	10	14	8

### 5.3.2 合成纤维带、合成纤维绳

5.3.2.1 合成纤维带 有聚酯纤维和聚酯纤维(经向)与玻璃纤维(纬向)交织带两种。这两种带的耐热性比棉布带高,延伸率比玻璃布带大,用作电机线圈的绑扎。聚酯纤维与玻璃纤维交织带的厚度为 0.15mm,宽度为 25mm,抗张力为 34N,延伸率为 3.5%。

5.3.2.2 合成纤维绳 即涤纶护套玻璃丝绳,简称涤玻绳。它的耐热性好,强度大,可用作 B 级绝缘电机线圈端部绑扎,简化工艺,提高可靠性。涤玻绳的规格和性能见表 6.4.32。

表 6.4.32 涤玻绳的规格和性能

外套直径 (mm)	面 层		芯 线		每米质量 (g/m)	断裂强度 (N) (绳芯)	伸长率 (%)
	涤纶纱规格	锭×根	无蜡纱规格 支×根	根			
10	20 支	40×8	10×50	4	25.8	2120~3000	35~41
12	20 支	52×10	10×50	8	41.3	2800~3980	40~45
16	20 支	52×15	10×50	8	56.6	2400~4000	37~60
22	20 支	52×20	10×50	8	164.7	18300~24000	37~43

## 5.4 浸渍织品

### 5.4.1 漆布

根据底材的不同,分为漆布、漆绸、玻璃漆布和玻璃纤维与合成纤维交织漆布等几类。分别由其底材浸渍不同的绝缘漆,并经烘干、切带而成。其品种、组成和用途及电气、机械性能分别见表 6.4.33 及表 6.4.34(见第 1826 页~第 1829 页)。



表 6.4.33 漆布的品种、组成和用途

名 称	型号	组 成		耐热等级	特 性 和 用 途
		底 材	绝 缘 漆		
油性漆布 (黄漆布)	2010 2012	白细布	油性漆	A	2010 柔软性好, 但不耐油。可用于一般电机、电器的衬垫或线圈绝缘。2012 耐油性好, 可用于有变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器的衬垫或线圈绝缘
油性漆绸 (黄漆绸)	2210 2212	薄 绸	油性漆	A	具有较好的电气性能和良好的柔软性。2210 适用于电机、电器薄层衬垫或线圈绝缘; 2212 耐油性好, 适用于有变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器的薄层衬垫或线圈绝缘
油性玻璃漆布 (黄玻璃漆布)	2412	无碱玻璃布	油性漆	E	耐热性较 2010、2012 漆布好。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘, 以及在油中工作的变压器、电器的线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布	2430	无碱玻璃布	沥青醇酸漆	B	耐潮性较好, 但耐苯和耐变压器油性差。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘
醇酸玻璃漆布	2432	无碱玻璃布	醇酸三聚	B	耐油性较好, 并具有一定的防霉性。可用作油浸变压器、油断路器等线圈绝缘
醇酸玻璃—聚酯交 织 漆 布	2432-1	玻璃纤维聚酯 纤维交织布	酰胺漆		

续表

名称	型号	组成		耐热等级	特性和用途
		底材	绝缘漆		
醇酸薄玻璃漆布	-	无碱玻璃布	醇酸三聚	B	具有良好的弹性和韧性,较高的机械性能、电气性能和耐热性,并具有一定的防霉性和耐油性。可代替漆绸作电器线圈绝缘
醇酸薄玻璃-聚酯交织漆布	-	玻璃纤维聚酯纤维交织布	氰胺漆		
环氧玻璃漆布	2433	无碱玻璃布	环氧酯漆	B	具有良好的耐化学药品腐蚀性,良好的耐湿热性和较高的机械性能和电气性能。适用于化工电机、电器槽绝缘、衬垫和线圈绝缘
环氧玻璃-聚酯交织漆布	2433-1	玻璃纤维聚酯纤维交织布			
有机硅玻璃漆布	2450	无碱玻璃布	有机硅漆	H	具有较高的耐热性,良好的柔软性,耐霉、耐油和耐寒性好。适用于H级电机、电器的衬垫和线圈绝缘
有机硅薄玻璃漆布	-	无碱玻璃布	有机硅漆	H	具有较高的耐热性,良好的柔软性,耐霉、耐油和耐寒性好。适用于H级特种电器线圈绝缘
硅橡胶玻璃漆布	2550	无碱玻璃布	甲基硅橡胶瓷漆	H	具有较高的耐热性,良好的柔软性和耐寒性。适用于特种用途的低压电机端部绝缘和导线绝缘
聚酰亚胺玻璃漆布	2560	无碱玻璃布	聚酰亚胺漆	C	具有很高的耐热性,良好的电气性能,耐溶剂和耐辐照性好,但较脆。适用于工作温度高于200℃的电机槽绝缘和端部衬垫绝缘,以及电器线圈和衬垫绝缘
有机硅防电晕玻璃漆布	2650	无碱玻璃布	有机硅防电晕瓷漆	H	具有稳定的低电阻率,耐热性好。适于作高压电机定子线圈防电晕材料

经纬线垂直编织的漆布,可按平行经线或与经线成  $45^\circ \pm 2^\circ$  角切成带子使用。平行剪切的,延伸率较小,适宜于包绕截面相同、形状规则的线棒和线圈等;斜切的,延伸率较大,包绕时可紧贴被包物,减少形成折皱和气囊,但用力不宜过大,以免损伤漆膜。使用时一般均按  $45^\circ \pm 2^\circ$  角斜切,以增加延伸率;要防止  $180^\circ$  折叠;对已包绕好的绝缘件不能敲击,以免造成机械损伤。

由漆布包绕的电机、电器绝缘结构,需进行浸渍处理。应注意漆布和浸渍漆的相容性问题,如选择不当,会发生漆布表面漆膜膨胀或脱落。常用浸渍漆和漆布的相容性见表 6.4.35。

表 6.4.35 常用浸渍漆与漆布的相容性

漆布 \ 浸渍漆	油性漆-石油溶剂	醇酸漆-苯类溶剂	醇酸酞醛漆-苯醇溶剂	醇酸三聚氰胺漆-苯石溶剂	环氧树脂漆-醇溶剂	聚酯漆-苯溶剂	有机硅漆-苯类溶剂	二苯醚漆-酮类溶剂	聚酰亚胺漆-强极性溶剂
	油性漆布	优	良	良	良	良	0	0	0
沥青醇酸玻璃漆布	良	良	良	良	可	可	0	0	0
醇酸玻璃漆布	良	优	优	优	良	良	0	0	0
环氧玻璃漆布	0	良	良	良	优	良	0	0	0
有机硅玻璃漆布	0	0	0	0	0	0	良	可	0
硅橡胶玻璃漆布	0	0	0	0	0	0	可	可	0
聚酰亚胺玻璃漆布	0	0	0	0	0	0	0	0	可

注:相容性顺序是:优、良、可、0 表示不推荐。

### 5.4.2 漆管

漆管有棉纱漆管、涤纶漆管和玻璃丝漆管等几类,分别由相应的纤维以不同的绝缘漆经烘干而成。漆管的品种、组成、性能和用途见表 6.4.36。

表 6.4.36 漆管的品种、组成、性能和用途

名称	型号	组成		耐热等级	击穿电压(kV)				特性和用途
		底材	绝缘漆		常态	缠绕后	受潮后	热态	
油性漆管	2710	棉纱管	油性漆	A	5~7	2~6	1.5~5	-	具有良好的电气性能和弹性,但耐热性、耐潮性和耐霉性差。可作电机、电器和仪表等设备引出线和联接线绝缘
油性漆玻璃漆管	2714	无碱玻璃纱管	油性漆	E	>5	>2	>2.5	-	
聚氨酯涤纶漆管	-	涤纶纱管	聚氨酯漆	E	3~5	2.5~3	2~4	3~5 (105℃)	具有优良的弹性和一定的电气性能和机械性能。适用于电机、电器、仪表等设备的引出线和联接线绝缘

续表

名称	型号	组成		耐热等级	击穿电压(kV)				特性和用途
		底材	绝缘漆		常态	缠绕后	受潮后	热态	
醇酸玻璃漆管	2730	无碱玻璃纱管	醇酸漆	B	5~7	2~6	2.5~5	-	具有良好的电气性能和机械性能,耐油性和耐热性好,但弹性稍差。可代替油性漆管作电机、电器和仪表等设备引出线和联接线绝缘
聚氯乙烯玻璃漆管	2731	无碱玻璃纱管	改性聚氯乙烯树脂	B	5~7	4~6	2.5~4	-	具有优良的弹性和一定的电气性能、机械性能和耐化学性。适于作电机、电器和仪表等设备引出线和联接线绝缘
有机硅玻璃漆管	2750	无碱玻璃纱管	有机硅漆	H	4~7	1.5~4	2~6	-	具有较高的耐热性和耐潮性,良好的电气性能。适于作H级电机、电器等设备的引出线和联接线绝缘
硅橡胶玻璃丝管	2751	无碱玻璃纱管	硅橡胶	H	4~9	-	2~7	3~7 (180℃)	具有优良的弹性、耐热性和耐寒性,电气性能和机械性能良好。适用于在-60℃~180℃工作的电机、电器和仪表等设备的引出线和联接线绝缘

### 5.4.3 绑扎带

绑扎带是以经硅烷处理过的长玻璃纤维经过整纱并浸以热固性树脂制成的半固化带状材料,又称无纬带。绑扎带按所用树脂种类分为聚酯型、环氧型、聚芳烷基醚酚型和聚胺-酰亚胺型等几类,主要用作绑扎变压器铁心和代替无磁性合金钢丝和钢带等金属材料绑扎电机转子。绑扎带的性能和应用工艺参数见表6.4.37。

表 6.4.37 绑扎带的性能和应用工艺参数

项目名称	聚酯绑扎带	环氧绑扎带	聚芳烷基醚酚绑扎带	聚胺-酰亚胺绑扎带
胶含量(%)	27±3	25±2	27±3	30±3
其中可溶性树脂占总胶量(%)	97	95	-	-
挥发物 (%)	3±0.5	3±0.5	-	-
环抗张力(N/cm <sup>2</sup> )	80000~110000	90000~124000	-	>60000
常态	保留60%~65%	保留60%~65%	>60000	>50000
热态	(130℃)	(130℃)	(180℃)	(180℃)
耐热等级	B	F	H	H

续表

项 目 名 称	聚酯绑扎带	环氧绑扎带	聚芳烷基 醚酚绑扎带	聚胺-酰亚 胺绑扎带
贮存期 (月) 常态 5℃	3 —	— 1	3 —	1 —
工件预热温度 (℃)	80~100	80~100	—	80~100
烘焙固化工艺 的温度(℃)时间(h)	1.80~90/2 2.110~120/2 3.130~140/17 ~20	1.80~90/2 2.110~120/2 3.130~155/17 ~20	1.80~90/2 2.140/2 3.160/2 4.180/15~16	1.80/2 2.100~120/4 3.160/2 4.180/2 5.200/2

## 6 绝缘纸品

绝缘纸品是指用植物纤维、合成纤维和玻璃纤维制成的绝缘纸、绝缘纸板、绝缘纸管等,是在电工产品中直接应用的绝缘材料。

### 6.1 绝缘纸

绝缘纸主要有植物纤维纸和合成纤维纸两类。植物纤维纸按用途可分为电缆纸、电话纸、电容器纸和卷绕纸。合成纤维纸按纤维类别可分为聚酯纤维纸、聚酰胺纤维纸、聚矾酰胺纤维纸和噁二唑纤维纸,后三种为耐高温合成纤维纸。

#### 6.1.1 电缆纸

电缆纸包括低压电缆纸(通称电缆纸)、高压电缆纸和绝缘皱纹纸。低压电缆纸主要用作35kV及以下的电力电缆、控制电缆和通信电缆的绝缘,其性能见表6.4.38。

表 6.4.38 低压电缆纸的性能

序号	性 能 名 称	型 号		
		DL-08	DL-12	DL-17
1	厚度(mm)	0.08±0.005	0.12±0.007	0.17±0.01
2	紧度(g/cm <sup>2</sup> )	0.7	0.7~0.9	0.7~0.9
3	透气度(ml/min)	<25	<25	<25
4	抗张力(N)	纵向	160~180	220~280
		横向	7~8	>11
5	伸长率(%)	纵向	2.0~2.2	2.0~2.1
		横向	6.0~7.2	6.0~7.0
6	耐折度 往复次数,常温下	>1000	2000~3000	2000~3000
7	水分(%)	6~9	6~9	6~9
8	灰分(%)	<1.0	<1.0	<1.0
9	硫离子含量(%)	<0.015	<0.015	<0.015
10	水抽出物 pH值	7.0~9.5	7.0~9.5	7.0~9.5

表 6.4.40

类别	型号	厚度 ( $\mu\text{m}$ )	紧度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	透气度 ( $\text{ml}/\text{min}$ )	纵向裂断长 ( $\text{m}$ )
A类	A-II	$4 \pm 0.5$	$1.2 \pm 0.05$	0.4~10	8000~10000
		$5^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.5~15	8500~9600
		$6^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.4~8	8500~10000
		$7^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.2~5	8000~9500
		$7^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.3~3	8000~9200
		$8^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.3~3	7500~97000
		$8^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	0.5~3	7000~9200
B类	B-I型	$10 \pm 0.7$	$1.0 \pm 0.05$	0.5~7	7000~9600
		$12 \pm 1.0$	$1.0 \pm 0.05$	0.1~5	7000~9300
		$15 \pm 1.0$	$1.0 \pm 0.05$	0.3~5	7000~8700
	B-II型	$8^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \sim 0.05$	0.9~3	8000~9400
		$10 \pm 0.6$	$1.2 \sim 0.05$	0.5~3	7500~10000
		$12 \pm 0.7$	$1.2 \sim 0.05$	0.7~3	7000~9500
		$15 \pm 1.0$	$1.2 \sim 0.05$	0.2~2	7000~8500
	BD-I型	$10 \pm 0.7$		$1.0 \pm 0.05$	>7000
		$12 \pm 1.0$		$1.0 \pm 0.05$	7000~8700
		$15 \pm 1.0$		$1.0 \pm 0.05$	>7000
	BD-II型	$8^{+0.4}_{-0.5}$	$1.2 \pm 0.05$	<3	8000
		$10 \pm 0.6$	$1.2 \pm 0.05$	0.6~3	7500~8400
		$12 \pm 0.7$	$1.2 \pm 0.05$	<2	>7000
		$15 \pm 0.8$	$1.2 \pm 0.05$	<2	>7000
	BD-0型	$15 \pm 0.8$	$0.8 \pm 0.05$	1~5	7000~8000

注:①试验方法按 GB463。

电 容 器 纸 的 性 能

水分 (%)	灰分 (%)	水抽出物酸度 (%)	交流击穿电压 (V)	介质损耗角正切 (60℃)
4~10	0.19~0.35	0~0.007	220~280	0.0014~0.002
4~10	0.25~0.35	<0.007	250~350	0.0015~0.002
4~10	0.20~0.35	<0.007	270~330	0.0015~0.002
4~10	0.20~0.35	<0.007	280~450	0.0016~0.002
4~10	0.13~0.35	0.001~0.007	310~470	0.0016~0.002
4~10	0.16~0.35	0.0007~0.007	350~550	0.0017~0.002
4~10	0.22~0.35	0.0004~0.007	380~550	0.0016~0.002
4~10	0.22~0.35	<0.007	300~450	0.0015~0.0017
4~10	0.20~0.35	0.0007~0.007	325~470	<0.0017
4~10	0.24~0.35	0.0018~0.007	350~500	<0.0017
4~10	0.22~0.35 <sup>①</sup>	0.003~0.007	310~430	0.0016~0.002
4~10	0.19~0.35	0.0012~0.007	350~450	<0.0020
4~10	0.20~0.35 <sup>①</sup>	0.0025~0.007	380~670	<0.0020
	0.22~0.35	0.007	430~600	0.0018~0.002
4~10	<0.35	<0.007	>300	<0.0014
4~10	0.22~0.35 <sup>①</sup>	0.0025~0.007	325~540	<0.0012~0.0014
4~10	<0.35	<0.007	>350	<0.0014
4~10	<0.35	<0.007	>310	<0.002
4~10	0.17~0.35 <sup>①</sup>	0.0007~0.007	350~500	<0.002
4~10	<0.35	<0.007	>380	<0.002
4~10	<0.35	<0.007	>430	<0.002
4~10	0.17~0.350 <sup>①</sup>	0.0053~0.007	380~490	<0.0011

## 6.1.2 电话纸

电话纸主要用于通信电缆的绝缘,也可作为云母箔的补强材料用于电机绝缘,其性能见表 6.4.39。

表 6.4.39 电话纸的性能

序号	性能名称	DH-50	DH-75
1	厚度(mm)	$0.05 \pm 0.003$	$0.075 \pm 0.004$
2	紧度( $g/cm^3$ )	0.70~0.82	0.74~0.82
3	抗张力(N) 纵向 横向	55~61 24~25	72~91 30~39
4	伸长率(%) 纵向 横向	2.0~2.7 4.0~8.4	2.0~2.8 4.0~9.8
5	耐折度 往复次数	>500	>500
6	扭曲度 转数,纵向	>10	>10
7	水抽出液 pH值	7~8	7~8
8	灰分(%)	<1	<1
9	水分(%)	5~8	5~8

## 6.1.3 电容器纸

电容器纸的特点是紧度大、纸薄而偏差小。按使用要求分为 A 类和 B 类, A 类用于电子线路电容器, B 类用于电力电容器,都是用作极间介质。B 类中 BD 型纸在  $60^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  时的介质损耗角正切值较低,应用它可提高电力电容器的运行温度。电容器纸的性能见表 6.4.40(见第 1836 页~1837 页)。



### 6.1.4 卷绕纸

卷绕纸主要用于制造绝缘管、绝缘筒,也用于包缠电器、无线电的零部件。它的性能见表 6.4.41。

表 6.4.41 卷绕纸的性能

序号	性能名称	数值
1	厚度(mm)	0.07 纵向 $+0.004$ $-0.003$ 横向 $+0.003$ $-0.002$
2	紧度 ( $g/cm^3$ )	0.72~0.85
3	抗张力(N) 纵向 横向	45~83 27~44
4	纵向耐折度 往复次数	>320
5	吸水高度(mm/5min)	4~10
6	水分 (%)	5~9
7	灰分 (%)	0.4~1.0
8	水抽出物 pH值	7.0~8.5
9	击穿强度(kV/mm)	8~10

### 6.1.5 聚酯纤维纸

聚酯纤维纸一般与聚酯薄膜制成复合品,用于 B 级电机槽绝缘,它的性能见表 6.4.42。

表 6.4.42 聚酯纤维纸的性能

序号	性能名称	数值	
1	厚度(mm)	$0.08 \pm 0.02$	
2	定量( $g/m^2$ )	28~32	
3	密度( $g/cm^3$ )	0.35~0.40	
4	抗张力(N)	纵向	12~18
		横向	12~18
5	伸长率(%)	纵向	15~40
		横向	15~40
6	收缩率(%)	纵向	1.0~3.5
		横向	1.0~3.5

### 6.1.6 耐高温合成纤维纸

耐高温合成纤维纸有聚酰胺纤维纸、聚矾酰胺纤维纸和噁二唑纤维纸。它们常与聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜组合成复合制品,主要用于 F 级和 H 级绝缘电机的

槽绝缘和导线的换位绝缘,它们的性能见表 6.4.43。

表 6.4.43 耐高温合成纤维纸

序号	性能名称	芳香族聚酰胺纤维纸 (轧光)	芳香族聚砒酰胺纤维纸 (轧光)	噁二唑纤维纸 <sup>①</sup> (轧光)
1	厚度(mm)	0.08~0.09	0.15±0.015	0.16±0.01
2	密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.9±0.02	0.92	1.03
3	定量(g/m <sup>2</sup> )	70~80	158.4	169
4	抗张力(N) 纵向	>40	96	107.4
	横向	>20	74.2	76.6
5	收缩率(%) 270℃,10min	<2 <sup>②</sup>	<2	1
	290℃,3h		<2	<1
6	延伸率(%) 纵横向	>5	-	-
7	抗撕强度(N) 纵向	>1.5	-	-
8	体积电阻率(Ω·cm) 常态	1×10 <sup>15</sup>	2.6×10 <sup>16</sup>	2.2×10 <sup>15</sup>
	180℃	-	7.8×10 <sup>14</sup>	2.3×10 <sup>14</sup>
	受潮 48h 后	1×10 <sup>11</sup>	8.2×10 <sup>13</sup>	1.8×10 <sup>14</sup>
	浸水 24h 后	-	≤10 <sup>8</sup>	≤10 <sup>8</sup>
9	表面电阻率(Ω) 常态	-	2.0×10 <sup>13</sup>	4.9×10 <sup>13</sup>
	受潮 48h 后	-	5.6×10 <sup>11</sup>	8.8×10 <sup>11</sup>
10	击穿强度(kV/mm) 常态	14	22	20
	在变压器油中	-	34	27
	弯折后	12	10	-
	180℃	14	19.6	16
	浸水 24h 后	-	5.3	2.1
	受潮 48h 后	-	18	14

注:①系噁二唑短切纤维与聚砒酰胺沉析纤维混合抄成的纸。②在 260℃,1h 后测得。

### 6.1.7 金属化纸和半导体纸

金属化纸由电缆纸或电话纸与金属膜粘合,或在电容器纸上真空喷涂一层金属而成;半导体纸由渗有碳黑的纸浆抄纸而成。金属化电缆纸、金属化电话纸和半导体纸用作电力电缆、通信电缆、橡皮绝缘船用电缆等的屏蔽层;金属化电容器纸用作直流电容器极板和极间绝缘。

## 6.2 绝缘纸板

绝缘纸板由木质纤维或掺有棉纤维的混合纸浆经抄纸、轧光制成。掺有棉纤维的纸板抗张强度和吸油量较高,可用作空气中和不高于 90℃ 的变压器油中的绝缘材料和结构保护材料。绝缘纸板分为 50/50 型和 100/00 型两种型号。



## 6.3 钢纸品

钢纸品有硬钢纸板、钢纸管和玻璃钢复合钢纸管。

### 6.3.1 硬钢纸板

硬钢纸板通称反白板,由无胶的棉纤维厚纸经氯化锌处理后用水漂洗、再经热压而成。它的组织紧密,有良好的机械加工性,适于作小型低压电机的槽楔和其他绝缘零件。硬钢纸板的性能见表 6.4.45。

表 6.4.45 硬钢纸板的性能

序号	性能名称	一号	二号
1	紧度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		
	厚度 0.5~0.9mm	1.1~1.18	1.05~1.29
	厚度 1.0~6.0mm	1.2~1.36	1.10~1.34
	厚度 7.0~30.0mm	>1.1	>1.1
2	抗张强度( $\text{N}/\text{cm}^2$ )		
	纵向,厚度 0.5~0.9mm	6500~9900	5500~8500
	厚度 1.0~3.0mm	7000~10400	5500~9600
	厚度 3.5~5.0mm	>6500	>5000
	厚度 6.0~30.0mm	>5000	>4500
	横向,厚度 0.5~0.9mm	4500~5400	3500~5700
	厚度 1.0~3.0mm	4500~6500	3500~5600
	厚度 3.5~5.0mm	>4000	>3000
	厚度 6~30.0mm	>3000	>3000
3	胶合系数( $\text{g}/\text{cm}$ )	160~570	160~600
4	吸水率(%) 在 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 水中浸 24h		
	厚度 0.5~0.9mm	62~65	50~65
	厚度 1.0~3.5mm	48~60	43~65
	厚度 3.6~12.0mm	<50	32~60
	厚度 12.1~30.0mm	<40	<60
5	氯化锌含量(%)	0.13~0.15	0.15~0.20
6	灰分(%)	0.4~1.5	0.72~2.5
7	水分(%)	6~10	6~10
8	体积电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )( $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ )	> $10^8$	-
9	击穿强度( $\text{kV}/\text{mm}$ )		
	厚度 0.5~0.9mm	7.0~10	4.5~14
	厚度 1.0~2.0mm	5.0~10	3.5~10
	厚度 2.1~12.0mm	3.5~11	2.0~8

## 6.3.2 钢纸管

钢纸管由氯化锌处理的无胶棉纤维纸经卷绕后用水漂洗而制成。有良好的机械加工性,在 100℃ 下长期工作,其外形及理化性能没有明显变化,吸油性小,灭弧性好,适于作熔断器、避雷器等管芯和电机用线路套管,它的性能见表 6.4.46。

表 6.4.46 钢纸管的性能

序号	性能名称	数值
1	紧度(g/cm <sup>3</sup> )	1.3~1.4
2	轴向断面抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )	3000~5700
3	吸水率 <sup>①</sup> (%) 壁厚 2.5~3.5mm 壁厚 3.6~5.0mm 壁厚 5.1~10.0mm	5~50 17~45 11~40
4	氯化锌含量(%)	0.1~0.15
5	灰分(%)	0.6~1.5
6	水分(%)	6~10
7	壁厚击穿强度(kV/mm) 壁厚 2.5~3.0mm 壁厚 3.1~5.0mm 壁厚 5.1~10.0mm 壁厚 10.1~15mm	>3.0 >2.5 >2.0 >1.0
8	轴向击穿强度 kV/20mm	>25

注:①在 10℃~30℃ 水中浸 24h。

## 6.3.3 玻璃钢复合钢纸管

玻璃钢复合钢纸管又叫高压消弧管,是用浸有环氧树脂或聚酯树脂的无捻玻璃纤维用湿法缠绕在钢纸管上而制成。它具有很好的灭弧能力和良好的电气性能,机械强度较高,可承受 1000~2000 个大气压,耐热、耐潮、耐寒、耐日光照射,可用作 10~110kV 熔断器和避雷器的消弧管,其性能见表 6.4.47。

表 6.4.47 玻璃钢复合钢纸管的性能

序号	性能名称	数值
1	相对密度	1.6~1.7
2	吸水率(%)	0.7~0.8
3	马丁氏耐热性(℃)	>70
4	抗弯强度 <sup>①</sup> (N/cm <sup>2</sup> )	16000~18500
5	抗压强度(N/cm <sup>2</sup> )	9000~10000
6	抗剪强度(N/cm <sup>2</sup> )	>800
7	表面电阻率(Ω)	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
8	体积电阻率(Ω·cm)	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
9	介质损耗角正切值	<0.05

续表

序号	性能名称	数值
10	垂直壁层耐电压(kV)(常态,5min)	
	壁厚 2.0mm	>14
	壁厚 2.5mm	>16
	壁厚 3.0mm	>18
	壁厚 4.0mm	>20
	壁厚 5.0mm	>24
	壁厚 6.0mm	>28
	壁厚 7.0mm	>32
11	表面耐电压 <sup>②</sup> (kV)	>12

注:①包括内管和外管。②受潮后,电极距离为 30mm。

## 7 云母制品

在电工产品中,广泛应用云母及其制品作为绝缘材料。其品种有:天然云母、合成云母及粉云母、云母带、云母板、云母箔、云母玻璃等。

### 7.1 天然云母

天然云母种类较多,用作电工绝缘材料的有白云母和金云母两种。白云母具有玻璃光泽,一般无色透明;金云母有金属光泽和半金属光泽,常见的有金黄色、棕色或浅绿色等,透明度稍差。白云母和金云母具有良好的电气性能和机械性能,耐热性好,化学稳定性和耐电晕性好。两种云母都可以剥离加工成厚度为 0.01~0.03mm 的柔软而富有弹性的薄片。白云母的电气性能比金云母好,但金云母柔软,耐热性能比白云母好。

按用途,云母一般可分为云母薄片(又称薄片云母)、电容器用云母和电子管用云母厚片三类,这三类云母的面积、厚度规格分别见表 6.4.48、6.4.49 及 6.4.50;其级别和用途见表 6.4.51。

表 6.4.48 云母薄片的面积规格

规格编号	面积 <sup>①</sup> (cm <sup>2</sup> )	规格编号	面积 <sup>①</sup> (cm <sup>2</sup> )
#3	65 以上	#6	15~20
#4	50~65	#6 $\frac{1}{2}$	10~15
#4 $\frac{1}{2}$	40~50	#7	6~10
#5	30~40	#8	4~6
#5 $\frac{1}{2}$	20~30		

注:①指云母片上最大矩形面积。

表 6.4.49 云母薄片的厚度组别

规格编号	组别	厚度( $\mu\text{m}$ )
#3, #4, #4 $\frac{1}{2}$ , #5, #5 $\frac{1}{2}$ , #6, #6 $\frac{1}{2}$ , #7	I	10~20
#3, #4, #4 $\frac{1}{2}$ , #5, #5 $\frac{1}{2}$ , #6, #6 $\frac{1}{2}$ , #7	II	20~30
#8	III	5~35

表 6.4.50 电容器及电子管用云母片的面积、厚度、规格

规格编号	电容器用云母片		电子管用云母片	
	面积 <sup>①</sup> ( $\text{cm}^2$ )	厚度 <sup>②</sup> ( $\mu\text{m}$ )	直径 <sup>③</sup> (mm)	厚度 (mm)
#1	155 以上	(1)20~25 (2)26~35 (3)36~45 (4)46 以上	18	0.2 以上
#2	90~155		20	0.2 以上
#3	65~90		25	0.25 以上
#4	40~65		30	0.25 以上
#5	20~40		50	0.3 以上
#6	10~20		70	0.3 以上
#7	6~10		80	0.3 以上
#8	-		100	0.3 以上
#9	-		119	0.3 以上

注:①指云母片最大矩形面积。

②每一规格编号的云母,均有四种厚度规格。

③指云母片上有效面积内可冲剪零件的直径。

表 6.4.51 云母薄片的级别和用途

级 别	磁铁矿、褐铁矿 斑点所占面积(%)	用 途
特级	无	用于高压大型电机主绝缘和标准电容器、电子管绝缘
甲级	10	用于电压不高的中型电机主绝缘和一般电器绝缘
乙级	25	用于低压电机、电器绝缘
丙级	50	用于低压电机、电器绝缘

## 7.2 合成云母

业已生产的合成云母是氟金云母,由于氟金云母无结晶水,纯净度高,其耐热性、抗热冲击性和介电性能均优于天然云母。合成云母与天然云母的比较见表 6.4.52。

表 6.4.52 合成云母与天然云母的比较

性能名称	白云母	金云母	合成云母 (氟金云母)
化学式	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	$K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	$KMg_3Al \cdot Si_3O_{10} \cdot F_2$
密度 ( $g/cm^3$ )	2.65~2.7	2.3~2.8	2.6~2.8
吸潮性 (%)	0.02~0.65	0.1~0.77	0~0.16
耐热性 ( $^{\circ}C$ )	600~700	800~900	1100
线胀系数 ( $10^{-6}/^{\circ}C$ ) (20 $^{\circ}C$ ~500 $^{\circ}C$ )	19.8	18.3	19.9
相对介电系数 20 $^{\circ}C$ , 50Hz 20 $^{\circ}C$ , 10 $^6$ Hz	5.4~8.7 5.4~8.7	- 5.6~6.3	6.5 6.5
介质损耗角正切 20 $^{\circ}C$ , 50Hz 20 $^{\circ}C$ , 10 $^6$ Hz	0.0025 0.0001~0.0004	- 0.0003~0.07	0.002~0.004 0.0001~0.0003
体积电阻率 ( $\Omega \cdot cm$ )	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{16} \sim 10^{17}$
击穿电压(kV) 厚度为 20 $\mu m$ 厚度为 50 $\mu m$	4 5	3 4	4.5 7.5
化学稳定性	除氢氟酸外, 可耐大多数化学 物品	耐酸能力弱, 碱的作用很小	较天然云母为 好, 具有高度的 耐油、耐高压和 耐高温水性能

### 7.3 粉云母

粉云母即粉云母纸, 是利用云母碎料在 750 $^{\circ}C$ ~800 $^{\circ}C$  下煅烧后, 经酸处理、制浆、抄纸等工序制成的; 也有将云母碎料通过高压水粉碎后, 经水洗、抄纸制成。由于粉云母纸的厚度均匀、电气性能稳定、成本低, 用于电机绝缘, 不但节约了珍贵的云母片、提高了云母原料的利用率, 而且为设计高压电机的高性能绝缘结构和工艺提供了新型的绝缘材料。

粉云母纸有 501、502、503 和 504 四个型号。其中: 501、503 型的渗透性好, 适于制作云母带和柔软云母板; 502、504 型的含有微量白明胶, 渗透性稍差, 但机械强度较高, 适于制作硬质云母板。还有一种大鳞片粉云母纸, 这种粉云母纸的鳞片较大, 机械性能和抗切通性高于一般粉云母纸, 适宜制作硬质粉云母板和少胶、中胶粉云母纸。

合成云母也可制造粉云母纸。

粉云母纸的性能见表 6.4.53。



表 6.4.53 粉云母纸的性能

性 能	501 型	502 型	503 型	504 型
厚度 (mm)	0.03~0.08	0.03~0.06	0.03~0.08	0.03~0.06
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.6~1.7	1.6~1.7	1.6~1.7	1.6~1.7
水分 (%)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
灼烧减量 (%)	<1	<1	<1	<1
抗张强度 (N/cm <sup>2</sup> )	20~29	20~34	22~35	25~34
击穿强度 (kV/mm)	30~40	25~35	35~45	20~30

## 7.4 云母带

云母带是由胶粘剂粘合云母片或粉云母纸与补强材料经烘干而成。胶粘剂主要有沥青漆、虫胶漆、醇酸漆、环氧树脂漆、有机硅漆和磷酸胺水溶液等；补强材料主要有云母带纸、电话纸、绸和无碱玻璃布。

粉云母带厚度均匀，柔软，环氧粉云母绝缘的电气、机械性能好。使用粉云母带时，应根据其所用胶粘剂的胶化时间确定其成型工艺。当胶粘剂的胶化时间在  $200^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  下为 1~3min 时，成型温度为  $160^{\circ}\text{C} \sim 170^{\circ}\text{C}$ ，模压时间为 3~6h，液压时间为 7~10h。绝缘厚度增加，成型时间适当延长。

云母带及粉云母带的品种、性能和用途见表 6.4.54。

表 6.4.54 云母带及粉云母带的品种、性能和用途

名 称	型号	耐热等级	厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	抗张力 (N)	特性和用途
沥青绸云母带	5032	A~E	0.13, 0.16	16~25	50~60	柔软性、防潮性和介电性能好，贮存期较长（6个月），作线圈绕包绝缘，易嵌线，但绝缘厚度偏差大，耐热性较低，可作高压电机主绝缘
沥青玻璃云母带	5034	E	0.13, 0.16	16~25	50~100	
醇酸纸云母带	5430	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	30~60	耐热性较高，但防潮性较差。可作直流电机电枢线圈和低压电机线圈的绕包绝缘
醇酸绸云母带	5432	B	0.13, 0.16	16~25	50~100	
醇酸玻璃云母带	5434	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	70~140	
环氧聚酯玻璃粉云母带	5437-1	B	0.14, 0.17	20~35	70~140	热弹性较高，在室温下贮存期可达6个月，但介质损耗较大，可代替醇酸云母带作电机匝间绝缘和端部绝缘，不宜作高压电机主绝缘

续表

名称	型号	耐热等级	厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	抗张力 (N)	特性和用途
环氧玻璃粉云母带	5438-1	B	0.14, 0.17	24~45	100~200	含胶量大, 厚度均匀, 固化后电气、机械性能较好, 但贮存期较短(半个月), 适用于模压或液压成的高压电机线圈绝缘
钛改性环氧玻璃粉云母带	9541-1	B	0.14, 0.17	24~45	100~200	柔软性好, 绕包工艺性好, 由于胶粘剂流动性大, 故固化时间长, 适宜作液压成型的高压电机的主绝缘
环氧玻璃粉云母带		B	0.11, 0.13	24~45	100~200	贮存期长, 适用于整浸式中型高压电机的主绝缘
有机硅玻璃云母带	5450	H	0.10, 0.13, 0.16	16~25	70~170	耐热性高, 主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃粉云母带	5450-1	H	0.14, 0.17	16~30	70~170	耐热性高, 主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃金云母带	5450-2	H	0.10, 0.13, 0.16	16~20	70~170	耐热性高, 主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘

## 7.5 云母板

云母板是由胶粘剂粘合云母片(或粉云母纸)与补强材料, 经烘焙或烘焙热压而成。根据使用要求, 由不同的材料组成, 制备具有不同特点的云母板。柔软云母板在室温下柔软, 可弯曲; 塑型云母板在室温下坚硬, 加热变软, 可塑制成绝缘件; 换向器云母板胶含量少, 在室温下坚硬, 压缩性小, 厚度均匀; 衬垫云母板的性能和特性与换向器云母板近似。它们的品种、组成、性能和用途分别见表 6.4.55 及 6.4.56。

表 6.4.55 柔软云母板和塑型云母板的品种、组成、性能和用途

名称	型号	耐热等级	击穿强度 (kV/mm)(常态)				体积电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		用途
			厚 0.15 mm	厚 0.2 ~ 0.25 mm	厚 0.3 ~ 0.5 mm	厚 0.6 ~ 1.2 mm	常态	受潮 48h 后	
醇酸纸柔软云母板	5130	B	15~28	20~30	15~26	-	$>10^{12}$	$>10^{10}$	供作低压交直流电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸纸柔软粉云母板	5130-1	B	16~35	18~55	$>16$	-	-	-	

续表

名称	型号	耐热等级	击穿强度 (kV/mm)(常态)				体积电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		用途
			厚 0.15 mm	厚 0.2~ 0.25mm	厚 0.3~ 0.5mm	厚 0.6~ 1.2mm	常态	受潮 48h后	
醇酸玻璃柔软云母板	5131	B	16~20	18~25	16~22	-	$>10^{12}$	$>10^{10}$	用于一般和电端部槽层间绝缘
醇酸玻璃柔软粉云母板	5131-1	B	16~25	18~25	16~22	-	-	-	
沥青玻璃柔软云母板	5135	E	16~25	18~25	16~22	-	$>10^{12}$	$>10^{10}$	用于低压电机槽绝缘
环氧纸柔软粉云母板	5136-1	B	$>16$	$>18$	$>16$	-	-	-	用作电机槽绝缘及匝间绝缘
环氧玻璃柔软粉云母板	5137-1	B	$>25$	$>30$	$>30$	-	-	-	用于低压电机槽端部或绝缘层外包绝缘
环氧薄膜玻璃柔软粉云母板	5138-1	B		$>35$	$>35$	-	-	-	用于高压电机定子匝间绝缘或他种衬垫绝缘
醇酸柔软云母板	5133	B	25~30	25~32	25~28	-	$>10^3$	$>10^{12}$	用于高压电机定子匝间绝缘或他种衬垫绝缘
有机硅柔软云母板	5150	H	$>20$	$>25$	$>20$	-	$>10^{12}$	$>10^{10}$	用于H级电机槽层间绝缘
有机硅玻璃柔软云母板	5151	H	16~26	18~28	16~26	-	$>10^{12}$	$>10^{10}$	
有机硅玻璃柔软粉云母板	5151-1	H	$>15$	$>25$	$>20$	-	-	-	
醇酸塑型云母板	5230	B	35~50	35~50	30~40	25~30	$>10^{13}$	$>10^{12}$	用于电机整流子V型环和电机、电刷器件绝缘结构
虫胶塑型云母板	5231	B	35~47	35~47	30~38	$>25$	$>10^{13}$	$>10^{12}$	
醇酸塑型云母板	5235	B	35~50	35~50	30~40	$>25$	$>10^{13}$	$>10^{12}$	用于温升较高、转速较快的电机整流子V型环和绝缘结构件
虫胶塑型云母板	5236	B	35~50	35~50	30~40	25~30	$>10^{13}$	$>10^{12}$	
有机硅塑型云母板	5250	H	35~50	35~50	30~40	$>25$	$>10^{13}$	$>10^{11}$	用于耐热电机、电器、仪表绝缘结构件

表 6.4.56 换向器云

名 称	型 号	耐热等级	击穿强度 (kV/mm)(常态)		体积电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	
			厚 0.15 mm	厚 0.4~ 2.0mm	常 态	受潮 48h 后
虫胶换向器 云 母 板	5535	B	-	18~35	-	-
虫胶换向器 金云母板	5535-2	B	-	>18	-	-
环氧换向器 粉云母板	5536-1	B	-	20~40	-	-
磷酸铵换向 器金云母板	5560-2	H	-	>18	$5 \times 10^{12} \sim 10^{13}$	$5 \times 10^{10} \sim 10^{11}$
醇酸衬垫云 母 板	5730	B	-	20~40	$>10^{13}$	$>10^{12}$
虫胶衬垫云 母 板	5731	B	-	20~40	$>10^{13}$	$>10^{12}$
环氧衬垫粉 云 母 板	5737-1	B	-	20~40	-	-
有机硅衬垫 云 母 板	5755	H	30~50	>20	$5 \times 10^{12} \sim 10^{13}$	$5 \times 10^{10} \sim 10^{11}$
有机硅衬垫 金云母板	5755-2	H	>30	>20	$5 \times 10^{12} \sim 10^{13}$	$5 \times 10^{10} \sim 10^{11}$
磷酸铵衬垫 金云母板	5760-2	H	-	>10	$5 \times 10^{12} \sim 10^{13}$	$5 \times 10^{10} \sim 10^{11}$

注:①换向器云母板试样尺寸为 20cm×20cm;

②衬垫云母板试样尺寸为 40cm×40cm;

③板厚 0.65mm 及以下者;

④板厚 0.7mm 及以上者。

母板和衬垫云母板的品种、组成、性能和用途

收缩率(%)不大于 (压力 6000N/cm <sup>2</sup> )		起层率(%)			主 要 用 途
		试样厚度与面积			
20℃ ± 5℃ 160℃ ± 5℃		0.15mm 20cm × 40cm	0.4~0.65mm 20cm × 20cm 或 20cm × 40cm <sup>①</sup>	0.7~1.0mm 20cm × 40cm 或 40cm × 40cm <sup>②</sup>	
9 <sup>③</sup> 7 <sup>④</sup>	1.4	-	5	10	用于一般直流 电机换向器绝缘
9 <sup>③</sup> 7 <sup>④</sup>	1.4	-	5	10	用于一般直流 电机换向器绝缘
9	2.5	-	3	5	用于汽车电机 和其他小型直流 电机换向器绝缘
10	1.0	-	10	10	用于耐高温电 机换向器绝缘
-	-	-	5	10	用于电机、电器 衬垫绝缘
-	-	-	5	10	用于电机、电器 衬垫绝缘
-	-	-	3	5	用于电机、电器 衬垫绝缘
-	-	5	10	10	用于耐高温电 机、电器衬垫绝缘
-	-	5	10	10	用于耐高温电 机、电器衬垫绝缘
-	-	5	10	10	用于耐高温电 机、电器衬垫绝缘

## 7.6 云母箔

云母箔由胶粘剂粘合云母片(或粉云母纸)与单面补强材料,经烘焙或烘焙压制而成。其厚度较薄,在室温下弹性较好,在一定温度下具有可塑性。云母箔的品种、组成、性能及用途见表 6.4.57。

表 6.4.57 云母箔的品种、组成、性能及用途

名 称	型 号	耐热等级	标称厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	用 途
醇酸纸云母箔	5830	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
醇酸纸粉云母箔	5830-1	B	0.17 0.22	25~40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸云母箔	5831	E~B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸粉云母箔	5831-1	E~B	0.15 0.20 0.25	25~40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸金云母箔	5831-2	E~B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~30	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
醇酸玻璃云母箔	5832	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶玻璃云母箔	5833	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶玻璃金云母箔	5833-2	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~30	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
环氧玻璃粉云母箔	5836-1	B	0.15 0.20 0.25	25~50	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
有机硅玻璃云母箔	5850	H	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于H级电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘

## 7.7 云母玻璃

云母玻璃是由云母粉与低熔点硼铅玻璃粉混合后,经热熔模压成型的硬质板材。耐热性和耐电弧性好,主要用作高压电器的耐弧、耐高温绝缘材料。质地坚硬,一般要采用高速钢或砂轮刀具进行加工。云母玻璃的性能见表 6.4.58。

表 6.4.58 云母玻璃的性能

序号	性能名称	云母玻璃	合成云母玻璃
1	相对密度	2.65~2.8	2.6~3.8
2	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )	7600~8600	8500~10000
3	耐热性(℃)	300~350	350~650
4	体积电阻率(Ω·cm)	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>16</sup>	10 <sup>15</sup>
5	介质损耗角正切(10 <sup>6</sup> Hz)	1.3×10 <sup>-3</sup> ~5×10 <sup>-3</sup>	1.3×10 <sup>-3</sup> ~2.3×10 <sup>-3</sup>
6	相对介电系数(10 <sup>6</sup> Hz)	6.5	6.8~9.8
7	击穿强度(kV/mm)	14~20	13~20

## 8 电工用膜带

### 8.1 电工用薄膜

电工用薄膜是用各种不同特性的高分子聚合物制成的,可适应不同用途。其共同的特点是:膜薄、柔软、耐潮、电气性能和机械性能好;其厚度范围一般为0.006~0.5mm。薄膜主要用作电机、电器线圈和电线电缆绕包绝缘以及电容器介质。电工常用的合成树脂薄膜主要有以下几种。

#### 8.1.1 聚丙烯薄膜

聚丙烯薄膜比其他薄膜都轻,可拉伸成0.006mm或更薄的材料,具有较高的电气性能、机械性能和化学稳定性,介质损耗比电容器纸小,击穿场强比纸高近10倍,采用它与电容器纸组合介质的电力电容器比采用纸介质的体积小、质量轻。

#### 8.1.2 聚酯薄膜

聚酯薄膜具有较高的抗张强度、较高的电阻和击穿强度,耐有机溶剂好,但易

醇解和水解,耐碱性和耐电晕性差,工作温度为 $-60^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$ 。

### 8.1.3 聚苯酯薄膜

聚苯酯薄膜的耐热性比聚酯薄膜好,弹性模数高,断裂伸长率小,在高温下易水解,但水解速度比聚酯薄膜慢,耐酸、耐碱、耐芳香胺比聚酯薄膜好,耐气候性优良。

### 8.1.4 聚酰胺薄膜

聚酰胺薄膜耐溶剂好,熔点高,具有一定的电气性能和机械性能;耐变压器油的性能好,在 $80^{\circ}\text{C}$ 的变压器油中浸1000h后,薄膜只有轻度的卷曲,但耐潮性稍差。

### 8.1.5 聚酰亚胺薄膜

聚酰亚胺薄膜具有优异的耐高温和耐深冷性能,可长时间在 $250^{\circ}\text{C}$ 下使用,在 $400^{\circ}\text{C}$ 中可工作数小时,超过 $800^{\circ}\text{C}$ 时则炭化,但不燃烧;在液氮温度下能保持柔软性;能耐所有的有机溶剂和酸,但不耐强碱,也不宜在油中使用;有较好的耐磨、耐电弧、耐高能辐照等特性。

### 8.1.6 聚四氟乙烯薄膜

聚四氟乙烯薄膜具有很高的耐热性和耐寒性,可在 $-250^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$ 下工作,超过 $300^{\circ}\text{C}$ 时性能下降;有优良的电气性能和化学稳定性,但置于某些卤化胺及芳香族碳氢化合物中有轻微的溶胀现象,碱金属和氟元素在高温下对它有明显的腐蚀作用;介质损耗小,在很宽的温度和频率范围内变化极微;在电弧作用下不炭化;在高温下抗张强度下降幅度较大,延伸率增大,低温时抗张强度上升,延伸率降低。使用时需采用特殊粘合剂粘结。

### 8.1.7 全氟乙丙烯薄膜

全氟乙丙烯薄膜具有优良的高频特性,介质损耗小,且受温度、频率变化的影响小;吸湿性小;化学稳定性与聚四氟乙烯薄膜相似;机械性能较差,抗张强度比聚四氟乙烯好;在高温高压下能自粘或与其他材料粘结;工作温度为 $-250^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

### 8.1.8 聚苯乙烯薄膜

聚苯乙烯薄膜是非极性电介质,有良好的电气性能,介质损耗小,而且在很宽的温度和频率范围内变化不大;但耐热性和柔软性差,较脆,抗冲击和抗撕裂强度低。

### 8.1.9 聚乙烯薄膜

聚乙烯薄膜的机械性能和耐热性较差,长期工作温度为 $70^{\circ}\text{C}$ ,可用作通信电缆绝缘和电力电缆护层等。

电工常用薄膜的综合性能与用途见表6.4.59。



薄膜表面在分切加工过程中,会产生较强的静电场,吸附周围空气中的灰尘,从而导致薄膜的电气性能下降,故在进行薄膜分切加工时工作环境需保持清洁,加工设备应带有静电消除器。

## 8.2 薄膜复合箔

薄膜复合箔是在薄膜的一面或双面粘合绝缘纸或漆绸等纤维材料组成的复合材料。所粘纤维材料加强了薄膜的机械性能,提高了抗撕强度和表面挺度。薄膜复合箔适合于作中小型电机的槽绝缘及电机、电器的线圈端部和相间绝缘。

薄膜复合箔的品种、组成、性能和用途见表 6.4.60。

## 8.3 粘带

电工用粘带有薄膜粘带、织物粘带和无底材粘带三类。

薄膜粘带是在薄膜的一面或两面涂以胶粘剂,经烘焙切带而成。薄膜粘带所用胶粘剂的耐热性一般应与薄膜材料相匹配。

织物粘带是以无碱玻璃布或棉布为底材涂以胶粘剂,经烘焙切带而成。

无底材粘带是由硅橡胶或丁基橡胶和填料、硫化剂等经混炼、挤压而成。

粘带的绝缘工艺性好,使用方便,适用于作电机、电器线圈绝缘和包扎固定以及电线接头的包扎绝缘等。

电工常用粘带的品种、主要性能、特性和用途见表 6.4.61。

# 9 电工用层压制品

电工用层压制品是由纸或布等作底材,浸(或涂)以不同的胶粘剂,经热压(或卷制)成的层状结构的绝缘材料,主要包括层压板、层压管(筒)和棒、电容套管和其他特种型材。层压制品的性能取决于所用底材和胶粘剂的性质以及成型工艺。一般都具有优良的机电性能和耐热、耐油、耐霉、耐电弧、防电晕等特性。

常用的底材有木纤维纸、棉纤维纸、棉布和无碱玻璃布。木纤维纸浸渍性好,适用于压制层压纸板、层压棒和卷制层压纸管(筒)和电容套管芯等;棉纤维纸适用于压制冷冲剪板;无碱玻璃布耐高温,电气性能、机械性能和化学稳定性都好,但浸渍性差、粘结力差,经表面处理后可提高其粘结强度与抗剪切性能,适用于作 B、F 及 H 级绝缘层压制品的底材;棉布层压制品的粘合强度高,耐磨和易于机械加工,但耐热性、电气性能和机械性能不如玻璃布层压制品,电气性能和高频性能不如纸层压制品。

常用的胶粘剂有酚醛树脂、三聚氰胺树脂、环氧酚醛树脂、有机硅树脂、聚二苯醚树脂和聚酰亚胺树脂等。层压制品对耐热等级与机械、电气和耐电弧等性能要

表 6.4.59 电工常用薄膜

名 称	结晶定 向程度	耐热 等级	厚 度 (mm)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	收缩率 (%)		延伸率 (%)		抗张强度 (N/mm <sup>2</sup> )	
					纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
聚丙烯薄膜	定向	-	0.006~ 0.02	0.89~ 0.92	2 (120℃)	2 (120℃)	30~100	30~100	>100	>140
聚酯薄膜	定向	E	0.006~ 0.10	1.38~ 1.40	<3 (150℃)	<3 (150℃)	40~130	40~130	140~ 180	140~ 180
聚苯酯薄膜	定向	F	0.02~ 0.10	1.35~ 1.40	0.33 (100℃)	-	46~66	21~75	140~ 250	210~ 250
芳香族聚酰胺薄膜	不定向	H	0.03~ 0.06	-	1.08 (200℃)	1.05 (200℃)	7.1	6.3	88~118	78~108
聚酰亚胺薄膜	不定向	C	0.03~ 0.06	1.38~ 1.41	0.3 (200℃)	-	15~30	-	88~118	-
聚四氟乙烯薄膜	定向	C	0.01~ 0.10	2.1~2.3	-	-	>30	>30	>29	>29
	半定向	C	0.04~ 0.12	-	-	-	>50	>50	>15	>15
	不定向	C	0.02~ 0.50	2.1~2.3	-	-	>100	>100	>10	>10
全氟乙丙烯薄膜	不定向	C	0.01~ 0.50	2.15	-	-	>300	>300	18~20	-
聚苯乙烯薄膜	定向	Y以下	0.02~ 0.10	0.93	-	-	2~4	2~4	>49	>49
聚乙烯薄膜	不定向	Y以下	0.02~ 0.20	0.93	-	-	>200	>200	>10	>10

的综合性能与用途

击穿强度 (kV/mm)		体积电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		介质损耗角正切		相对介电系数		用途
常态	热态	常态	热态	50Hz	$10^6$ Hz	50Hz	$10^6$ Hz	
>150	-	$10^{15} \sim 10^{17}$	-	0.0007 (100℃)	-	-	2~2.2	可用作电容器介质
>130	100~180 (130℃)	$10^{16} \sim 10^{17}$	-	<0.005	<0.02	$3.2 \pm 0.23$	$3.0 \pm 0.2$	可用作低压电机、电器线圈匝间、端部包扎绝缘,衬垫绝缘,电磁线绕包绝缘,E级电机槽绝缘和电容器介质
>210	150 (155℃)	$10^{16}$	-	<0.004	-	2.9	-	可用作F级电机槽绝缘、导线绕包绝缘和线圈端部绝缘
90~130	87 (180℃)	$10^{13} \sim 10^{14}$	-	-	0.003~0.004	-	3.5~4	可用作F、H级电机槽绝缘
100~130	70~110 (200℃)	$10^{16}$	$10^{12}$ (200℃)	0.004~0.01	-	3	-	可用作H级电机、微电机槽绝缘,电机、电器绕组和起重电磁铁外包绝缘以及导线绕包绝缘
>60 (直流)	-	$10^{16} \sim 10^{17}$	-	-	0.0002	1.8~2.2	1.8~2.2	可用作工作温度为-60℃~250℃电容器介质、电器、仪表、无线电装置的层间衬垫绝缘和耐热电磁铁、安装线、耐油电缆、耐热导线绝缘
>15 (直流)	-	$>10^{16}$	-	-	-	-	-	
>40 (直流)	-	$10^{15} \sim 10^{16}$	-	-	0.0002	-	-	
196	-	$10^{18} \sim 10^{19}$	-	0.0003	-	2.0 ( $10^3$ Hz)	2.0	可用作电线、同轴电缆的包覆层和印刷电路板
>110	-	$10^{17}$	-	-	0.003	-	2.3~2.7	可用作高频电信电缆绝缘和电容器介质
>40	-	$10^{17}$	-	-	0.0004	-	2.5	可用作电信电缆绝缘及工作温度不超过70℃的电缆绝缘护层

表 6.4.60 薄膜复合箔

名 称	型号 或 代号	厚 度 (mm)	组 成	耐热 等级	抗张力(N)	
					纵向	横向
聚 酯 薄 膜 绝 缘 纸 复 合 箔	6520	0.15~0.30	一 层 聚 酯 薄 膜、 一 层 绝 缘 纸 (青 壳 纸)	E	177 ~ 324	118 ~ 294
聚 酯 薄 膜 玻 璃 漆 布 复 合 箔	6530	0.17~0.24	一 层 聚 酯 薄 膜、 一 层 玻 璃 漆 布	B	245 ~ 324	196 ~ 294
聚 酯 薄 膜 聚 酯 纤 维 纸 复 合 箔	DMD	0.20~0.25	一 层 聚 酯 薄 膜、 两 层 聚 酯 纤 维 纸	B	177 ~ 265	148 ~ 216
聚 酯 薄 膜 芳 香 族 聚 酰 胺 纤 维 纸 复 合 箔	NMN	0.25~0.30	一 层 聚 酯 薄 膜、 两 层 芳 香 族 聚 酰 胺 纤 维 纸	F	> 88	> 69
聚 酯 亚 胺 薄 膜 芳 香 族 聚 酰 胺 纤 维 纸 复 合 箔	NHN	0.25~0.30	一 层 聚 酰 亚 胺 薄 膜、两 层 芳 香 族 聚 酰 胺 纤 维 纸	H	127 ~ 275	98 ~ 206

的品种、组成、性能和用途

击穿电压(kV)				体积电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )			用途
常态	弯折	受潮后	热态	常态	受潮后	热态	
6.5~12	6~12	4.5~12	-	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	用于E级电机槽绝缘、端部层间绝缘
8~12	6~8	6~10	-	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	用于B级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘。可用于湿热地区
10~12	9~12	8~12	8~11 (130℃)	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	用于B级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘。可用于湿热地区
12~15	>10	-	>10 (155℃)	-	-	-	用于F级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘
7~12	6~11	7~9	-	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	用于F级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘，但适用于H级电机

表 6.4.61 常用粘带

名 称	厚 度 (mm)	组 成	抗张强度 (N/mm <sup>2</sup> ) (纵向)	延伸率 (%) (纵向)	永久 变形 (%)	击穿强度 (kV/mm)		
						常态	受潮后	热态
聚乙烯薄膜粘带	0.22~0.26	聚乙烯薄膜、橡胶型胶粘剂	121~153	460~480	-	>30	-	-
聚乙烯薄膜纸粘带	0.10	聚乙烯薄膜、纸、橡胶型胶粘剂	59	-	-	>10	-	-
聚氯乙烯薄膜粘带	0.14~0.19	聚氯乙烯薄膜、橡胶型胶粘剂	-	-	-	>10	-	-
聚酯薄膜粘带	0.055~0.17	聚酯薄膜、橡胶型或酸酐聚丙稀酸酯胶粘剂	-	-	-	>100	-	-
聚酰亚胺薄膜粘带	0.045~0.07	聚酰亚胺薄膜、聚酰亚胺树脂胶粘剂	106~123	25~45	-	190~210	120~150	130~150 (180℃)
聚酰亚胺薄膜粘带	0.05	聚酰亚胺薄膜、F <sub>46</sub> 树脂胶粘剂	88~98	40~50	-	>120	-	80 (180℃)
环氧玻璃粘带	0.17	无碱玻璃布、环氧树脂胶粘剂	>118 <sup>①</sup>	-	-	>6 <sup>②</sup>	3.8 <sup>③</sup>	-
有机硅玻璃粘带	0.15	无碱玻璃布、有机硅树脂胶粘剂	>78 <sup>①</sup>	-	-	>0.6 <sup>②</sup>	-	-
硅橡胶玻璃粘带	-	无碱玻璃布、硅橡胶胶粘剂	>196 <sup>①</sup>	-	-	3~5 <sup>②</sup>	-	-
自粘性硅橡胶三角粘带	-	硅橡胶、填料、硫化剂	5~8	36~50	2.5~10	20~30	-	-
自粘性丁基橡胶	-	丁基橡胶、薄膜隔离材料等	>1.5	>400	-	>20	-	-

注:①抗张力(N);②击穿电压(kV);③弯折后;④180℃处理18h后。

的品种、主要性能和用途

体积电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )			表面电 阻率 ( $\Omega$ )	介质损耗 角正切 ( $10^6 \text{Hz}$ )	相对介电 系 数 ( $10^6 \text{Hz}$ )	特 性 和 用 途
常态	受潮后	热态				
$10^{13} \sim 10^{16}$	-	-	-	0.02~0.03	1.8	有一定的电气性能和机械性能,柔软性好,粘结力较强,但耐热性低(低于Y级)。可用于一般电线接头包扎绝缘
-	-	-	-	-	-	包扎服贴,使用方便,可代替黑胶布带作电线接头包扎绝缘
-	-	-	-	-	-	有一定的电气性能和机械性能,较柔软,粘结力强,但耐热性低(低于Y级)。供作电压为500~6000V电线接头包扎绝缘
-	-	-	-	-	-	耐热性较好,机械强度高。可用作半导体元件密封绝缘和电机线圈绝缘
$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{12}$ (180°C)	-	0.003	2.6~3.2	电气性能和机械性能较高,耐热性优良,但成型温度较高(180~200°C)。适于作H级电机线圈绝缘和槽绝缘
$>10^{16}$	-	$>10^{15}$ (180°C)	$10^{14} \sim 10^{15}$	0.001	2	同上,但成型温度更高(300°C以上)。可用于H级或C级电机、潜油电机线圈绝缘和槽绝缘
$>10^{14}$	$>10^{13}$	$>10^{12}$ (130°C)	-	-	-	具有较高的电气性能和机械性能。供作变压器铁心绑扎材料,属B级绝缘
$>10^{11}$	-	$>10^{12}$ ④	-	-	-	有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性,以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线联接绝缘
$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	-	$>10^{13}$	-	-	有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性,以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线联接绝缘,但柔软性较好
$10^{14} \sim 10^{15}$	-	-	$10^{14} \sim 10^{15}$	0.0014~0.01	$>4$	具有耐热、耐潮、抗震动、耐化学腐蚀等特性,但抗张强度较低。适用于半叠包法作高压电机线圈绝缘,但需注意胶带保持清洁才能粘牢
$>10^{15}$	-	-	-	0.02	2.5~2.75	有硫化型和非硫化型两种。胶带弹性好。伸缩性大,包扎紧密性好。主要用于电力电缆联接和端头包扎绝缘

求的不同,选用的胶粘剂和胶含量也不同。环氧酚醛树脂制成的玻璃布层压制品具有优良的电气性能和机械性能,热变形温度较高;有机硅树脂和二苯醚树脂制成的玻璃布层压制品具有很高的热态机械性能、电气性能和热变形温度。

常用的成型工艺有层压、卷制和模压三种。

## 9.1 层压板

层压板包括层压纸板、层压布板、层压玻璃布板和其他特种层压板(如敷铜箔板和防电晕层压板等)四类,其品种、组成、特性和用途见表 6.4.62;各类层压板的性能分别见表 6.4.63、6.4.64、6.4.65(见第 1868 页)及 6.4.66。

表 6.4.62 层压板的品种、组成、特性和用途

名 称	型号	组 成		耐热等级	特 性 和 用 途
		底 材	胶 粘 剂		
酚醛层压纸板	3020	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	电气性能较好,耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
	3021	浸渍纸	苯酚或甲酚甲醛树脂	E	机械强度高,耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
	3022	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	有较高的耐潮性。适于作高湿度条件下工作的电工设备中的绝缘结构件
	3023	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	介质损耗低。适于作无线电、电话和高频设备中的绝缘结构件
	-	漂白棉纤维	合成橡胶改性酚醛树脂	E	外观好,具有良好的冷冲剪性能。适于作无线电和其他电器设备的冷冲剪绝缘结构件
酚醛层压布板	3025	棉 布	苯酚甲醛树脂	E	机械强度高。适于作电器设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
	3027	棉 布	苯酚甲醛树脂和甲酚甲醛树脂	E	电气性能好,吸水性小。适于作高频无线电装置中的绝缘结构件
酚醛层压玻璃布板	3230	无碱玻璃布	苯酚甲醛树脂	B	机械性能、耐水和耐热性比层压纸、布板好,但粘合强度低。适于作电工设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
苯胺酚醛层压玻璃布板	3231	沃兰处理玻璃布	苯胺酚醛树脂	B	电气性能和机械性能比酚醛玻璃布板的好,粘合强度与棉布板相近。可代替棉布板用作电机、电器中的绝缘结构件



续表

名称	型号	组成		耐热等级	特性和用途
		底材	胶粘剂		
环氧酚醛层压玻璃布板	3240	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	具有很高的机械强度,电气性能好,耐热性和耐水性较好,浸水后的电气性能较稳定。适于作要求高机械强度、高介电性能以及耐水性好的电机、电器绝缘结构件,并可在变压器油中使用
有机硅环氧层压玻璃布板	3250	沃兰处理玻璃布	有机硅环氧树脂	H	电气性能和耐热性好,机械强度较高。供作耐热和湿热地区H级电机、电器绝缘结构件
有机硅层压玻璃布板	3251	沃兰处理玻璃布	有机硅树脂	H	耐热性好,电气性能和机械性能与3230相近,并耐化学药品腐蚀,耐辐照。可用作H级电机电器绝缘结构件
聚二苯醚层压玻璃布板	-	沃兰处理玻璃布	聚二苯醚树脂	H	具有优良的耐热性和机械性能,耐辐照,耐腐蚀,能熄灭电弧。适于作H级电机、电器绝缘结构件
聚酰胺亚胺层压玻璃布板	-	无碱玻璃布	聚酰胺亚胺树脂	H	具有良好的机械性能,电气性能和耐热、耐辐照性。适于作H级电机、电器绝缘结构件
聚酰亚胺层压玻璃布板	-	无碱玻璃布	聚酰亚胺树脂	C	具有很好的耐热性,耐辐照。用作H级电机、电器绝缘结构件
酚醛纸敷铜箔板	3420 (双面) 3421 (单面)	棉纤维纸	酚醛树脂	E	具有高的抗剥强度,较好的机械性能、电气性能和机械加工性。适于作无线电、电子设备和其他设备中的印刷电路板
环氧酚醛玻璃布敷铜箔板	3440 (双面) 3441 (单面)	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	具有较高的抗剥强度和机械强度,电气性能和耐水性好。用于制造工作温度较高的无线电、电子设备及其他设备中的印刷电路板
防电晕环氧玻璃布板		无碱玻璃布	加有导电材料的环氧酚醛树脂	F	具有较稳定的低电阻。适于作高压电机槽部的防电晕材料

6.4.63 酚醛层压纸板的性能

序号	性能名称	3020	3021	3022	3023
1	相对密度	1.3~1.45	1.3~1.45	1.3~1.45	1.3~1.45
2	吸水率(%)	1~10	1.2~12	-	-
3	热稳定性(℃)				
	板厚 20mm 以下	125	115	125	-
	板厚 20mm 以上	100	90	100	-
4	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )	10000~19500	12000~21700	12000~17900	-
5	抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )	8000~15500	10000~18600	8000~16800	8000~15500
6	粘合力(N)	>3800	>3200	>3600	-
7	抗冲击强度(N·cm/cm <sup>2</sup> )	120~350	150~400	120~350	-
8	表面电阻率(Ω)				
	常态	-	-	>10 <sup>11</sup>	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>
	浸水后	-	-	-	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>
	浸盐水后	-	-	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>11</sup>	-
9	体积电阻率(Ω·cm)				
	常态	-	-	-	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
	浸水后	-	-	-	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>
10	平行层向绝缘电阻(Ω)				
	常态	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>9</sup>	>10 <sup>10</sup>	>10 <sup>11</sup>
	受潮后	>10 <sup>8</sup>	>10 <sup>7</sup>	-	-
	浸盐水后	-	-	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>9</sup>	>10 <sup>8</sup>
11	介质损耗角正切(10 <sup>6</sup> Hz)				(浸水后)
	常态	-	-	-	<0.035
	浸水后	-	-	-	<0.06
12	垂直层向耐电压 <sup>①</sup> (kV/mm) (在变压器油中耐电压 5min)				
	20℃ ± 5℃				
	厚 1mm 以下	25	16	17	33 <sup>②</sup>
	厚 1.1~2mm	22	15	16	27 <sup>②</sup>
	厚 2.1~3mm; 3mm 以上一面 经加工至 3mm	19	13	14	25 <sup>②</sup>
	90℃ ± 5℃				
	厚 0.5~1mm	12	-	-	-
	厚 1.1~2mm	11	-	-	-
	厚 2.1~3mm; 3mm 以上一面 经加工至 3mm	9	-	-	-
13	平行层向耐电压(kV) (在变压器油中耐电压 5min)				
	20℃ ± 5℃	16	14	14	-
	90℃ ± 2℃	8	-	-	-

注:①表中垂直层向耐电压的耐压值应按实际厚度与指标换算。

②系击穿强度值。

表 6.4.64 酚醛层压布板的性能

序号	性能名称	3025	3027
1	相对密度	1.3~1.42	1.3~1.42
2	吸水率(%)	-	1.5~8
3	马丁氏耐热性(℃)不低于	125	135
4	抗弯强度 (N/cm <sup>2</sup> )	11000~16400	9000~17300
5	抗张强度 (N/cm <sup>2</sup> )	7000~12400	6000~11400
6	粘合力(N)	>5500	>5500
7	抗冲击强度(N·cm/cm <sup>2</sup> )	250~550	200~500
8	表面电阻率(Ω)		
	常态	-	>10 <sup>11</sup>
	受潮后	-	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>9</sup>
9	体积电阻率(Ω·cm)		
	常态	-	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>
	受潮后	-	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>9</sup>
10	平行层向绝缘电阻(Ω)		
	板厚 10mm 及以上		
	常态	-	>10 <sup>10</sup>
	受潮后	-	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>9</sup>
11	垂直层向击穿强度(kV/mm)		
	板厚 10mm 以下,(在 90℃ ± 2℃ 的变压器油中试验)		
	板厚 0.5~1mm	4	8
	板厚 1.1~2mm	3	6
	板厚 2.1~3mm 和板厚 3mm 以上经一面加工	2	5
12	平行层向击穿电压(kV)		
	(在 90℃ ± 2℃ 的变压器油中试验)	-	10

表 6.4.66 层压玻

序号	性能名称	酚醛玻璃布板 3230	苯胺酚醛玻璃 布板 3231
1	相对密度	-	-
2	吸水率(%)	0.2~1	<0.5
3	马丁氏耐热性(℃)	-	150~200
4	热稳定性(℃)	-	-
5	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )	11000~23400	>25000
6	抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )	10000~21100	20000~24800
7	粘合力(N)	1300~2900	2500~4400
8	抗冲击强度(N·cm/cm <sup>2</sup> )	50~140	100~200
9	抗压强度(N/cm <sup>2</sup> )	-	-
10	表面电阻率(Ω) 常态	10 <sup>11</sup> ~10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
	180℃±2℃	-	-
	受潮后	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup> (浸水后)
11	体积电阻率(Ω·cm) 常态	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
	180℃±2℃	-	-
	受潮后	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>12</sup> (浸水后)
12	平行层向绝缘电阻(Ω)板厚 10mm 及以上 常态	>10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>11</sup>
	浸水后	10 <sup>8</sup> ~10 <sup>9</sup> (受潮后)	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>8</sup>
13	介质损耗角正切 常态	-	-
	180℃±2℃	-	-
	受潮后	-	-
14	相对介电系数(10 <sup>6</sup> Hz)	-	-
15	垂直板层冲击强度(kV/mm)不小于 板厚 10mm 以下(在 90℃±2℃ 变压器 油中)		
	板厚 0.5~1mm	14	22
	板厚 1.1~2mm	12	20
	板厚 2.1~3mm 及 3mm 以上经一面加 工	10	18
	板厚 2mm 以下(空气中)		
	常态	-	-
	180℃±5℃	-	-
	受潮后	-	-
	板厚 2mm 以上至 10mm, 加工到 2mm± 0.1mm(空气中)	-	-
16	平行板层击穿电压(kV) 板厚 10mm 及以上(在 90℃±20℃ 的变 压器油中试验, 电极间中心距离为 15mm)	10~32	>30

注:①板厚 6mm 以上。②在空气中试验。

璃布板的性能

环氧酚醛玻璃布板 3240	有机硅环氧玻璃布板 3250	有机硅玻璃布板 3251	聚二苯醚玻璃布板	聚酰亚胺玻璃布板	聚胺酰亚胺玻璃布板
1.7~1.9	-	-	1.6~1.8	1.7	-
-	0.05~1	0.2~1	<0.5	-	<0.2
200~230	>250	225~260	>250	-	>300
-	>200	>220	-	-	-
40000(纵) 30000(横)	20000~31000	11000~20400	>30000	18000~39000	>38000(常态)、 >18000(250℃)
35000(纵) 25000(横)	17000~22000	10000~25000	>20000	-	>30000
>5800	2000~2600	1000~1900	>2500	-	>3500
1500(纵)1000(横)	800~2300	500~2400	>1500	-	>1800
-	35000~42000	-	-	-	-
$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	$>10^{13}$	$10^{13} \sim 10^{14}$	$>10^{13}$
-	$10^{11} \sim 10^{12}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	$>10^{11}$	$10^{10} \sim 10^{13}$ (250℃)	$10^{10} \sim 10^{13}$ (250℃)
$10^{11} \sim 10^{12}$ (浸水后)	$10^{11} \sim 10^{12}$	$10^{10} \sim 10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	-
$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$>10^{13}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$
-	$10^{10} \sim 10^{11}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	$>10^{11}$	$10^{11} \sim 10^{13}$ (250℃)	$>10^{11}$ (250℃)
$10^{11} \sim 10^{12}$ (浸水后)	$10^{11} \sim 10^{12}$	$10^{10} \sim 10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{10}$	-
$10^{10} \sim 10^{11}$	-	-	-	-	-
>108	-	-	-	-	-
0.03~0.05	0.02~0.04	-	<0.03	0.01(10 <sup>6</sup> Hz)	<0.05
-	<0.12	<0.05	<0.1	-	<0.05(10 <sup>6</sup> Hz)
-	<0.3	-	<0.2	-	-
-	-	-	-	3.5	-
22	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
-	18	10	18	30	20
-	12	-	12	10(250℃)	15(250℃)
-	12	-	12	15	-
-	-	8	-	-	-
30~45 <sup>①</sup>	-	10~40 <sup>②</sup>	-	-	-

表 6.5.65 敷铜箔层压板的性能<sup>①</sup>

序号	性能名称	酚醛纸敷铜箔板 3420(双面)、 3421(单面)	环氧酚醛玻璃布敷 铜箔板 3430(双面)、 3441(单面)
1	相对密度	1.30~1.45	1.70~1.90
2	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )	10000	30000
3	粘合面的表面电阻率( $\Omega$ )		
	常态时	$10^9 \sim 13^{13}$	$>10^{12}$
	受潮后	$10^8$	$10^{10} \sim 10^{12}$ (浸水后)
4	平行层向绝缘电阻( $\Omega$ )		
	常态时	$>10^9$	$>10^{10}$
	受潮后	$>10^8$	$>10^8$ (浸水后)
5	介质损耗角正切( $10^6$ Hz)		
	常态时	0.04	0.03
	受潮后	0.06	0.04(浸水后)
6	表面击穿电压(kV)		
	常态时	1.5	2.0
	受潮后	1.2	1.5(浸水后)
7	耐浸焊性(焊锡温度 $^{\circ}\text{C}$ )/(浸泡时间 s)	240 $\pm$ 2/10 不起 泡、开裂、分层	260 $\pm$ 2/20 不起泡、 开裂、分层
8	铜箔对基板的抗剥力(N)		
	常态时	12	15
	不同条件下连续处理后	$10^{②}$	$12^{③}$
	浸焊后	10	12

注:①表中第1~6项为基板性能。

②试样在  $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  下保持 8h, 在  $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  及相对湿度  $95\% \pm 3\%$  的环境下保持 24h, 在  $-55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  下保持 6h 后, 应无起泡、分层, 再测其抗剥力。

③试样在  $125^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  下保持 8h, 在  $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的蒸馏水中 24h, 在  $-55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  下保持 24h,  $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  下保持 6h 后应无起泡、分层, 再测其抗剥力。

## 9.2 层压管棒

层压管(筒)和棒按底材分为纸、布和玻璃布三类,其品种、组成、特性和用途及其性能分别见表 6.4.67、6.4.68 及 6.4.69。

6.4.67 层压管的品种、组成、特性和用途

名 称	型号	组 成		耐热等级	特 性 和 用 途
		底 材	胶 粘 剂		
酚醛纸管	3520	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	电气性能好,适于作电机、电器绝缘结构件。可在变压器油中使用
	3522	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	电气性能好,介质损耗较小。适于作无线电和电信装置中的绝缘结构件
	2523	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	具有良好的机械加工性。适于作电机、电器的绝缘结构件,可在变压器油中使用
酚醛布管	3526	煮炼布	苯酚甲醛树脂	E	具有较高的机械强度和一定的电气性能。适于作电机、电器绝缘结构件,可在变压器中使用
环氧酚醛玻璃布管	3640	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B-F	具有高的电气性能和机械性能,耐潮性和耐热性较好。适于作电机、电器绝缘结构件,可在高电场强度、潮湿环境或变压器油中使用
有机硅玻璃布管	3650	无碱玻璃布	改性有机硅树脂	H	具有高的耐热性,耐潮性好。适于作 H 级电机、电器绝缘结构件

## 9.3 层压制品的机械加工

层压制品的导热性差,硬度和层间粘结强度不均匀,如加工方法不当,会引起材料结构破坏,产生分层、起毛、表面炭化等现象。为此,在进行层压制品机械加工时,为保证其表面质量,加工设备应保持良好的动平衡性能,切削和冲剪工具必须锐利,切削可用高速钢工具,磨削可用金钢砂轮;为了防止过热,切削量宜小、切削速度应高,采用压缩空气冷却,加工后要经修整和浸漆处理,同时加工过程中应有

表 6.4.68 层压管

序号	性能名称	酚 醛 纸			
		3520			
		内径 15mm 以下	内径 16mm 及以上		
1	相对密度	不小于	1.0	1.1	
2	吸水率(%)				
3	热稳定性(℃)	不低于	105(12h)	105	
4	耐油性(℃)(变压器油中经 4h)		-	-	
5	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )		-	8000~12800	
6	抗压强度(N/cm <sup>2</sup> )		-	4000~9400	
7	抗剪强度(N/cm <sup>2</sup> )		-	-	
8	表面电阻率(Ω)	常态	-	-	
		受潮后	-	-	
9	体积电阻率(Ω·cm)	常态	-	-	
		受潮后	-	-	
10	平行层向绝缘电阻(Ω)	常态	-	-	
		浸水后	-	-	
	介质损耗角正切 50(Hz)	常态	-	<0.03	
		受潮后	-	-	
		180℃ ± 2℃	-	-	
11	相对介电系数 (10 <sup>6</sup> Hz)		-	-	
12	垂直壁层耐电压(kV) (90℃ ± 2℃ 变压器油中试验 5min)不小于		壁厚 1.0mm	11	-
			壁厚 1.5mm	-	16
			壁厚 2.0mm	22	20
			壁厚 2.5mm	-	22
			壁厚 3.0mm	27	24
			壁厚 4.0mm	34	28
			壁厚 5.0mm	38	32
			壁厚 6.0mm	39	36
			壁厚 7.0mm	43	40
			壁厚 8.0mm	48	44
			壁厚 9.0mm	-	48

注:①垂直于壁层耐电压在 20℃ ± 5℃ 变压器油中试验 5min。

②壁厚 1.5 及小于 1.5mm 者,在 10<sup>6</sup>Hz 测量。

③壁厚大于 1.5mm 者在 10<sup>6</sup>Hz 测量。

④系内径为 50mm 及小于 50mm 者。

⑤常态下进行 1min。



的性能

管		酚醛布管	环氧酚醛玻璃布管	有机硅玻璃布管
3522	3523	3526	3640	3650
1.05	1.1	1.05	1.4	1.3
3-12	105	<4	-	200
·	·	130(4小时)	-	-
·	·	>130	-	-
>80000	-	8000-12200 <sup>①</sup>	8000-31500	-
>5000	-	4500-14300 <sup>②</sup>	7000-20300	-
·	·	-	1500-2700	-
>10 <sup>10</sup>	-	10 <sup>9</sup> -10 <sup>12</sup>	-	>10 <sup>11</sup>
>10 <sup>8</sup>	-	10 <sup>7</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup> -10 <sup>14</sup>	>10 <sup>10</sup>
>10 <sup>12</sup>	-	10 <sup>9</sup> -10 <sup>13</sup>	-	>10 <sup>13</sup>
>10 <sup>9</sup>	-	10 <sup>7</sup> -10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup> (浸水后)	>10 <sup>10</sup>
			>10 <sup>10</sup>	
<0.05 <sup>①</sup> , <0.04 <sup>②</sup>	-	-	>10 <sup>7</sup>	<0.035
<0.08 <sup>①</sup> , <0.06 <sup>②</sup>	-	-	<0.03	<0.1
-	-	-	-	<0.3
9	-	-	-	-
·	-	-	-	-
·	16	-	12	-
·	20	-	14	-
·	22	-	16	10
·	24	-	18	-
·	28	-	20	15
·	32	-	24	18
·	36	-	28	20
·	40	-	32	22
·	44	-	36	24
·	48	-	40	26
·	12	-	12	-
·	-	-	-	-
6	-	3.5	-	-
-	-	2	-	-

表 6.4.69 层压棒的组成、性能和用途

名称	耐热等级	相对密度	吸水率 (%)	耐油性① (°C)	抗弯强度 (N/cm <sup>2</sup> )	抗张强度 (N/cm <sup>2</sup> )	平行层向绝缘电阻 (Ω)		平行层向击穿电压 (kV) (在变压器油中)	特性和用途
							常 态	浸水后		
酚醛纸棒 3720	E	1.25	-	105	10000~25000	7000~16000	>10 <sup>10</sup>	-	8~22 <sup>②</sup>	具有一定的机械性能。适用于电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
酚醛布棒 3721	E	1.25	<10.0	-	12000~18000	8000~17000	>10 <sup>8</sup>	-	10~40	具有较好的机械性能。适用于电机、电器及其他电工设备的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
环氧酚醛 玻璃布棒 3840	B、F	1.75~ 2.00	-	-	35000~56000	20000~42000	10 <sup>10</sup> ~10 <sup>12</sup>	10 <sup>7</sup> ~10 <sup>10</sup>	15~30	具有良好的电气性能和机械性能。适用于电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件,可在湿热地区或变压器油中使用

注:①在变压器油中 4h; ②系内电阻率,单位为 Ω·cm; ③电极间距为 10mm。

## 10.1 热固性塑料

热固性塑料是由热固性树脂、填料(木粉、石粉、石棉纤维、玻璃纤维等)、固化剂、促进剂、润滑剂、颜料或染料等配制而成,有酚醛塑料、氨基塑料、聚酯塑料和耐高温塑料等。热固性塑料在热压成型后,成为不溶熔的固化物,一般用作制造绝缘零部件。热固性塑料的成型工艺主要有模压、递模和注射三种方法。热固性塑料的品种、组成、特性和用途见表 6.4.70,其性能见表 6.4.71。

表 6.4.70 热固性塑料的品种、组成、特性和用途

类别	名称	型号	组成	耐热等级	特性和用途
酚 醛 塑 料	酚醛塑料	4010	由苯酚甲醛树脂、木粉和固化剂等组成	A	具有一定的电气性能和机械性能,但吸湿性较大,耐霉性差。适于塑制一般低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	酚醛塑料	4013	由苯酚甲醛树脂、木粉、石粉和固化剂等组成	A	树脂含量较 4010 高,表面光泽性好,吸湿性小,耐霉性好。可塑制湿热地区使用的低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	二甲苯改性酚醛塑料	-	由二甲苯改性酚醛树脂、木粉、石粉和固化剂等组成	A	具有良好的耐潮性和耐霉性。适于塑制湿热地区使用的低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	丁腈橡胶改性酚醛塑料	4511	由丁腈橡胶改性酚醛树脂、木粉或高岭土和固化剂等组成	A	抗冲击性好,耐潮性和耐霉性好。适于塑制耐震或湿热地区使用的低压电机、电器和仪器、仪表绝缘零部件
	聚酰胺改性酚醛塑料	35-1	由聚酰胺改性酚醛树脂、石粉和固化剂等组成	B	具有较高的电气性能和尺寸稳定性,耐潮性和耐霉性好。适于塑制高压、高频和湿热地区使用的电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	酚醛玻璃纤维塑料	4330	由苯胺、聚乙烯醇缩丁醛改性酚醛树脂和定向玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能和机械性能,热变形温度较高,耐潮性和耐霉性好。适于塑制湿热地区使用的电机、电器绝缘零部件
	无氮酚醛塑料	17-1	由苯酚苯胺甲醛树脂和木粉等组成	A	长期使用中无氮产生。适于塑制要求无氮产生的电器和仪表等绝缘
	高频酚醛塑料	14-5	由苯酚苯胺甲醛树脂、苯酚甲醛树脂、石英或云母粉和固化剂等组成	B	具有优良的电气性能,机械强度高,收缩性小,耐潮性和耐霉性好。适于塑制高频电器、仪表和电信设备绝缘零部件

续表

类别	名称	型号	组成	耐热等级	特性和用途
氨基塑料	脲醛塑料	212	由尿素甲醛树脂和漂白棉纤维纸浆组成	A	具有较好的机械性能和电气性能,色泽鲜艳,但吸湿性大,耐热性差。可塑制照明器材、电话机、电工仪表等的零部件。用三聚氰胺改性的脲醛塑料可用在湿热地区
	三聚氰胺甲醛玻璃纤维塑料	34	由三聚氰胺甲醛树脂和定向玻璃纤维组成	B	具有较高的机械性能和热变形温度,表面光泽和耐电弧性好。适于塑制防爆电机、电器、电动工具绝缘结构件以及高压开关耐弧部件,可在湿热地区使用
	三聚氰胺甲醛石棉塑料	4220	由三聚氰胺甲醛树脂、石棉和其他添加剂组成	B	具有优良的耐电弧性,热变形温度高,但机械性能较低。适于塑制电器开关灭弧罩和其他耐弧部件
聚酯塑料	聚酯料团	L-200	由邻苯二甲酸酐、顺丁烯二酸酐丙二醇型不饱和聚酯树脂和无碱玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能和机械性能,热变形温度较高,耐霉性好,成型工艺性好。适于塑制湿热地区电机、电器绝缘零部件
	邻苯二甲酸二丙烯酸酯塑料	D200	由邻苯二甲酸二丙烯酸酯树脂和无碱玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能,耐潮性、耐霉性和耐化学药品性好,尺寸稳定,成型工艺性好。适于塑制湿热地区电机、电器和电信设备等的绝缘零部件
耐高温塑料	有机硅石棉塑料	4250	由有机硅树脂和石棉纤维组成	H	具有较高的耐热性和耐电弧性,但机械性能差,成型时间长。适于塑制耐高温和防爆电机、电器绝缘零部件。制件需进行后处理
	聚酰亚胺塑料	-	由聚酰亚胺树脂和无碱玻璃纤维组成	H	具有较高的耐热性,良好的电气性能和机械性能,耐辐照性、耐腐蚀性和耐磨损性优良。但成型温度高,时间长。适于塑制耐高温、高强度的电机、电器绝缘零部件

## 10.2 一般电工用热塑性塑料

一般电工用热塑性塑料有纯树脂的,也有由树脂、填料及添加剂组成的。主要品种有聚苯乙烯、苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物、聚甲基丙烯酸甲酯、聚酰胺、聚碳酸酯、聚砜、聚甲醛、聚苯醚等。热塑性塑料在热压或热挤出成型后,其物理、化学性质不发生明显变化,仍具有可溶熔性能,可以多次反复成型。一般电工用塑料主要有注射成型、挤出成型等方法。

### 10.2.1 聚苯乙烯(PS)

PS是由苯乙烯聚合而成,是无色透明体,有良好的电气性能和透光性,着色性好,耐矿物油,耐有机酸、碱、盐、低级醇及这些物质的水溶液;但性脆、易燃,在某些烃类、酮类中会软化或溶解,制品易产生应力开裂。用丁苯橡胶、聚甲基丙烯酸甲酯或丙烯腈改性,可提高其抗冲击强度。聚苯乙烯和改性聚苯乙烯可用作各种仪表外壳、罩壳、绝缘垫圈、线圈骨架、绝缘套管、引线管、指示灯罩、电池盒以及开关按钮等。可用注射、挤出或模压法成型。

### 10.2.2 苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物(ABS)

ABS由苯乙烯、丁二烯和丙烯腈共聚而成,是象牙色不透明体,有良好的综合性能,在一定温度范围内尺寸稳定,有较高的表面硬度,易于成型和机械加工,并可在表面镀金属;但其耐气候性、耐热和耐寒性较差,接触冰醋酸和醇类等某些化学药品及某些植物油时,易产生应力开裂。调整三种组分的配比,可制成高抗冲击型、中抗冲击型和耐热型塑料;改变单体和添加剂、填料等,可制成耐寒、耐燃、耐气候等不同特性的塑料品种。ABS适用于制作各种仪表外壳、支架、小电机外壳、接线板、电动工具外壳等,可用注射、挤出或模压法成型。

### 10.2.3 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)

PMMA是由单体聚合而成,俗称有机玻璃,是透光性优异的无色透明体,可透过92%以上的阳光和73.5%的紫外线,耐气候性好,电气性能优良,常态下尺寸稳定,易于成型和机械加工;但可溶于丙酮、氯仿等有机溶剂,性脆,耐磨性、耐热性差。PMMA适用于制作仪表的一般结构零件、绝缘零件、读数透镜以及电器外壳、罩盖、接线柱等,可用注射、挤出或模压法成型,也可用型材进行加工。

### 10.2.4 聚酰胺(尼龙)1010

尼龙1010是由癸二酸与癸二胺缩聚而成,是白色半透明体,在常温下具有较高的机械强度,良好的冲击韧性、耐磨性、自润滑性和较好的电气性能;有较好的耐油、耐有机溶剂性;与其他聚酰胺类相比,其吸水性较小,尺寸较稳定,耐寒性好,但热变形温度较低,刚性和抗蠕变性较差。聚酰胺1010可用作方轴绝缘套、小方轴、插座、线圈骨架、接线板以及机械传动件如仪表齿轮等;玻璃纤维增强型可用作电

表 6.4.71 热固性

序号	性能名称	酚醛塑料 4010	酚醛塑料 4013	二甲苯改 性酚醛 塑料	丁腈橡胶 改性酚醛 塑料 4511	聚酰胺改 性酚醛 塑料 35-1	酚醛玻璃 纤维塑料 4330
1	相对密度	≤1.4	≤1.5	≤1.5	≤1.7	≤1.9	≤1.9
2	比容( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.2	≤2.0	-
3	吸水性(%)	≤0.1	≤0.04	≤0.04	≤0.03	≤0.02	≤0.05
4	计算收缩率(%)	0.5~0.9	0.5~0.9	0.5~0.9	0.5~0.9	0.4~0.7	-
5	拉西格流动性(mm)	100~180	100~190	200	90~190	100~190	-
6	马丁氏耐热性( $^{\circ}\text{C}$ )	125~140	125~140	>125	125~140	125~135	200~250
7	抗弯强度( $\text{N}/\text{cm}^2$ )	6000~9400	7000~9100	>7000	4500~8100	9000~11500	>25000
8	抗冲击强度 ( $\text{N}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$ )	59~88	59~88	>59	78~98	59~78	470~2260
9	表面电阻率( $\Omega$ )	$10^{11} \sim 10^{13}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$>10^{12}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$>10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{14}$
10	体积电阻率( $\Omega\cdot\text{cm}$ )	$10^{10} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	$>10^{11}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	$>10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{14}$
11	击穿强度( $\text{kV}/\text{mm}$ )	10~15	13~16	>13	13~15	>16	13~19
12	介质损耗角正切 ( $10^6\text{Hz}$ )	-	-	-	-	$8 \times 10^{-2} \sim$ $1.2 \times 10^{-2}$	$2.8 \times 10^{-2}$ $\sim 5 \times 10^{-2}$
13	相对介电系数( $10^6\text{Hz}$ )	-	-	-	-	3~5	6~8
14	耐电弧性(s)	-	-	-	-	-	-
15	耐霉性	差	良	良	良	优	优

注:①50Hz。

②电流强度 6.5mA, 电极距离 5mm。

③电流强度 40mA, 电极距离 40mm。

塑料的性能

无氨酚醛 塑料 17-1	高频酚醛 塑料 14-5	脲醛塑料 212	三聚氰胺 甲醛玻璃 纤维塑料 34	三聚氰胺 甲醛石棉 塑料 4220	聚酯料团 L-200	邻苯二甲 酸二丙烯 酯塑料 D200	有机硅石 棉塑料 4250	聚胺酰 亚胺塑料
≤1.4	≤1.9	≤1.5	≤2.0	≤1.75	≤1.9	≤1.7	≤1.95	1.3
≤2.0	≤2.0	≤3.0	-	-	-	-	-	-
≤0.07	≤0.025	≤0.5	≤0.1	≤0.1	≤0.08	≤0.05	-	≤0.035
0.6~1.0	0.4~0.7	0.4~0.8	≤0.3	0.3~0.6	-	0.1~0.8	≤0.5	-
100~180	100~180	130~190	-	100~190	-	-	100~160	150~180
120~140	>140	100~130	160~180	150~160	150~200	130~150	>300	>210
6000~ 8800	8000~ 11700	9000~ 13400	12000~ 20000	4500~ 7200	12000~ 25000	5000~ 8000	2500~ 4200	>8800
54~88	59~78	78~118	>980	≥49	780~196	>49	34~88	>75
$10^{13} \sim 10^{15}$	$10^{13} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{10} \sim 10^{13}$	$>10^{16}$
$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{13}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{11} \sim 10^{14}$	$>10^{14}$
13~15	12~16	>10	10~12	10~14	8~12	>12	3~10	>14
$8 \times 10^{-20}$	$7 \times 10^{-3}$ ~ $1 \times 10^{-2}$	-	-	-	-	$<2 \times 10^{-2}$	-	-
-	3~6	-	-	-	-	<5	-	-
-	-	-	≥60 <sup>②</sup>	≥60 <sup>②</sup>	-	-	>180 <sup>③</sup>	-
良	优	良	优	优	优	良	良	良

刷架,还常用作航空电线电缆的护层。可用注射、挤出或离心浇铸法成型,也可喷涂使用。

### 10.2.5 聚碳酸酯(PC)

PC由双酚A与碳酸二苯酯进行酯交换反应而成,或由光气与双酚A反应而成。是无色或微黄色透明体,有突出的抗冲击强度和抗蠕变性能,抗弯强度较高,耐热和耐寒性亦较好,在较广的温度范围内电气性能优良;它吸水性小,尺寸稳定,能耐油,但部分溶于芳香烃、酮和酯中;缺点是耐磨性较差,易产生应力开裂,若能进行彻底干燥,并在加工过程中防止水分浸入,以及采用玻璃纤维增强等,可有效地减少或消除应力开裂。PC可用作电器、仪表中的接线板、支架、线圈骨架、线圈筒和端子板等绝缘件及小负荷低速的机械传动件,可用注射、挤出、模压或浇铸法成型。

### 10.2.6 聚砜(PSF)

PSF由4,4-二氯二苯基砜和双酚A的钠盐(或钾盐)在二甲基亚砜溶液中缩聚而成。是带琥珀色的透明体,有较高的耐热性,可在150℃长期使用,耐寒性好,电气性能优良,机械强度高,抗蠕变性好,尺寸稳定;但成型温度高,耐溶剂性差,易被酮类、卤代烃等溶剂腐蚀。PSF可用作电刷架、集电环绝缘、手电钻外壳、电机槽楔、方轴绝缘、高压开关座、接线板、接线柱、线圈骨架以及带有金属嵌件的绝缘部件,可用注射、挤出法成型。

### 10.2.7 聚甲醛(PA)

PA以不同的聚合方式、用三聚甲醛可制得均聚甲醛或共聚甲醛。聚甲醛呈乳白色,有优异的综合性能,耐电弧性好,在-40℃~+100℃范围内机械性能和尺寸几乎不变,抗疲劳强度和抗蠕变性好,在常温下不溶于任何有机溶剂;但受热易分解,成型收缩率较大,故在加工成型时要控制温度,它的耐气候性较差。均聚甲醛的机械强度较高,共聚甲醛的耐热性较好。PA可用作绝缘垫圈、骨架、电器壳体、配电盘及机械传动件等,可用注射、挤出法成型。

### 10.2.8 聚苯醚(PPO)

PPO由2,6-二甲基苯酚在催化作用下经氧化偶合反应缩聚而成,呈淡黄色或白色,有突出的综合性能,电气性能良好,机械强度较高,抗蠕变性好;可在-127℃~+121℃范围内长期使用;在不受力的情况下,间断工作温度可达204℃;能耐浓酸、碱和盐的水溶液,并有优异的耐水及耐水蒸气性能;但有应力开裂倾向,抗疲劳强度偏低,加工成型较困难。PPO可用作电子装置零件、高频印刷电路及机械传动件等,可用注射、挤出、模压、溶剂浇铸等法成型。

一般电工用热塑性塑料的性能见表6.4.72。



表 6.4.72 一般电工用热塑性塑料的性能

序号	性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯		
		纯料	玻璃纤维增强	203A	204	AS
1	相对密度	1.04~1.09	1.2~1.3	1.1	1.01	1.06
2	硬度 洛氏	M65~80	M90~95	-	-	-
	布氏(N/mm <sup>2</sup> )	-	-	-	-	-
3	吸水率(%)	0.03~0.10	0.05~0.07	-	0.17	-
4	熔点(℃)	200	-	-	-	-
5	热变形温度(℃) 186N/cm <sup>2</sup> 时	96	104	-	-	-
	46N/cm <sup>2</sup> 时	-	-	-	-	-
6	马丁氏耐热性(℃)	≥56	-	76	75	79~81
7	维卡耐热性(℃)	≥80	-	≥80	-	93~94
8	连续耐热性(℃) (不受力)	65	82~93	-	60~96	-
9	脆化温度(℃)	≥-30	-	≥-30	≥-30	≥-40
10	导热系数 (kJ/m·h·℃)	0.50	-	-	-	-
11	线膨胀系数(×10 <sup>-5</sup> /℃)	8	3.0~4.5	-	-	-
12	模塑收缩率(%)	0.4~0.7	0.1~0.3	0.4~0.7	0.4~0.7	0.4~0.7
13	抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )	3500~8400	7700~10500	4000	≥5000	≥5500
14	抗弯强度(N/cm <sup>2</sup> )	6000~9800	10500~13000	≥6000	≥7200	≥13000
15	抗冲击强度, (N·cm/cm <sup>2</sup> )缺口	14~21	124	-	-	-
	无缺口	120~160	-	≥250	≥160	210~260
16	抗压强度(N/cm <sup>2</sup> )	8000~11000	-	-	≥9000	-
17	疲劳强度 (N/cm <sup>2</sup> )(10周)	-	-	-	-	-
18	伸长率(%)	1.0~2.5	0.75~1.1	-	12~48	-
19	拉伸弹性模数 (×10 <sup>4</sup> N/cm <sup>2</sup> )	28~42	-	-	-	-
20	弯曲弹性模数 (×10 <sup>4</sup> N/cm <sup>2</sup> )	30~33	-	-	-	-
21	体积电阻率(Ω·cm)	10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>
22	表面电阻率(Ω)	-	-	>2.0× 10 <sup>15</sup>	1.4× 10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>
23	击穿强度(kV/mm)	20~28	14~17	29	25	22
24	介质损耗角正切(50Hz)	1×10 <sup>-4</sup> ~ 3×10 <sup>-3</sup>	(1~3) ×10 <sup>-3</sup>	-	(1~3) ×10 <sup>-4</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
25	相对介电系数	2.4~2.7	2.7~3.4	-	3.12	-
26	燃烧性	易燃	易燃	易燃	易燃	易燃

续表

序号	苯乙烯-丁二烯- 丙烯腈共聚物			聚甲基丙 烯酸甲酯	聚酰胺(尼龙)	
	高抗 冲击型	中抗 冲击型	耐热型		1010 纯料	玻璃纤维 增强
1	1.02~1.04	1.05~1.07	1.06~1.08	1.17~1.20	1.04~1.09	1.23~1.30
2	R65~109	R108~121	R105~116	M85~105	-	-
	-	-	-	177	70~89	118~147
3	0.3	0.3	0.2	0.3~0.4	0.5~1.0	0.05
4	217~237	217~237	217~237	>108	200~210	-
5	87~103	89~107	96~118	70~90	45	-
	96~107	98~110	104~121	75~115	-	-
6	>50	-	-	65	42~48	90~180
7	71~80	-	-	≥110	123~160	-
8	71~99	71~93	87~110	-	82~120	-
9	-	-40	-	-	-60	-60
10	0.67~ 1.22	0.67~ 1.22	0.67~ 1.22	0.50~ 0.71	0.15~ 0.61	-
11	9.5~10.5	5~8.5	6.0~9.0	5.0~9.0	8.5~16	3.1
12	0.3~0.8	0.3~0.8	0.3~0.8	0.5	1.0~2.5	1.2~1.5
13	3500~4400	4200~6200	4500~5700	4900~7700	4500~5500	6900~18000
14	5200~8100	6900~9700	7000~8500	9100~12000	7800~8900	11000~31000
15	530	60	16~32	-	40~270	85
	1800~1900	-	-	≥160	1000~4900	600~1000
16	-	-	-	7700~10500	7900	15700
17	1100~1500	1100~1500	1100~1500	-	-	-
18	5~60	5~25	3~20	2~10	50~250	-
19	16~25	21~31	21~30	31~35	10~16	88~130
20	18	30	28~26		13~16	59~74
21	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	5.0×10 <sup>16</sup>	>10 <sup>14</sup>	10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>15</sup>
22	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>15</sup>
23	13~18	14~16	14~16	18~22	15~24	18~29
24	3×10 <sup>-3</sup> ~ 2×10 <sup>-2</sup>	(3~8) ×10 <sup>-3</sup>	3.4×10 <sup>-2</sup>	(2~6) ×10 <sup>-2</sup>	(2~3) ×10 <sup>-2</sup>	2.7× 10 <sup>-1</sup>
25	2.4~5.0	2.4~5.0	2.7~3.5	3.0~3.7	2.5~3.6	3.5~4.6
26	缓慢	缓慢	缓慢	可燃	自熄	自熄

续表

序号	聚碳酸酯		聚砜	聚甲醛		聚苯醚	
	纯料	玻璃纤维增强		共聚	均聚	纯料	改性
1	1.20	1.40~1.45	1.24	1.41~1.43	1.42~1.43	1.06~1.07	1.06
2	M70~80 R118	M93	R120	M94R120	M80~94	M78 R118~123	M78R119
	95~102	126	106	130~180	-	-	-
3	0.13~0.24	0.07~0.1	0.12~0.22	0.22~0.25	0.25	0.06~0.07	0.07~0.14
4	220~230		343~360	166	175	>300	-
5	132~142	140~149	174	110	124	185~193	130~190
	-	150~155	181	158	170	-	-
6	110~140	150~152	156	57~75	60~64	144~160	-
7	156	-	-	148~153	154	-	-
8	121	140~141	150	104	85	185~220	110~130
9	-100	-	-100	-40	-	-127	-45
10	0.70	0.46	-	0.84~ 1.13	0.84~ 1.13	0.63	0.78
11	5~7	1.6~2.7	5.0~5.2	10.9~11.4	8.1~10.0	5.0~5.6	6.0~6.7
12	0.5~0.8	-	0.8	2.0~3.0	2.0~2.5	0.7~1.0	0.5~0.7
13	5500~7000	11000~17000	7200~8500	5400~7000	6700~7700	6650~7700	6700
14	9500~11000	14000~19600	10800~12700	8000~12500	9000~13500	9800~13700	9500
15	640~750	90~130	70~81	65~90	65~70	83~102	59~70
	不断	650	1700~3700	360~1200	900~1100	530~640	-
16	7500~8800	10000~13500	8900~9700	9200~11300	12200	9100~11200	11500
17	700~1000	4500	-	2500~2700	3000~3500	840~1400	1400~2000
18	60~130	1~5	20~100	32~75	15~25	30~80	20~30
19	21~25	65~119	25~28	28	29	25~28	16~25
20	20~30	48~75	27~28	26	29	20~21	25
21	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{16}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$10^{16} \sim 10^{17}$	$>10^{17}$
22	$>10^{15}$	-	$>10^{16}$	$>10^{14}$	$>10^{14}$	$10^{15} \sim 10^{17}$	-
23	17~22	19~29	16~20	19	18	16~21	-
24	(6~7) $\times 10^{-3}$	(3~7) $\times 10^{-3}$	(1~6) $\times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$4 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$	(4~6) $\times 10^{-4}$
25	3.0	3.2~3.5	2.9~3.1	3.8	3.7	2.58	2.64
26	自熄	不燃	自熄	缓慢	缓慢	缓慢-自熄	自熄

### 10.3 电线电缆用热塑性塑料

电线电缆用热塑性塑料主要有聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、氟塑料、氯化聚醚和聚酰胺等。

#### 10.3.1 聚氯乙烯

聚氯乙烯是由氯乙烯聚合而得,添加增塑剂、稳定剂、润滑剂、颜料和染料等进行塑制,成为聚氯乙烯塑料。按其用途可分为绝缘及护层级两类;按其耐热性能、绝缘级可分为耐温 65℃、80℃、90℃和 105℃四种,护层级耐温 65℃。聚氯乙烯的机械性能优越,电气性能良好,对酸、碱和有机化学药品亦较稳定,且有耐潮、耐电晕、不延燃、成本低、加工方便等优点。聚氯乙烯所用颜料和染料主要有槽法炭黑、金红石型钛白粉、酞青蓝和酞青绿等,制成多种颜色。聚氯乙烯可用普通挤出机进行加工。加工粒状料时,螺杆的长径比( $L/D$ )为 16 以上,压缩比为 1.5~2.1;加工粉状料时,螺杆的长径比为 20~24,压缩比为 3.5~5.1。螺杆需冷却,线模承线部分应比挤出粒状料时的稍长,以增加反压力。

聚氯乙烯受热时容易变形收缩,可采用化学交联或辐照交联方法制成交联聚氯乙烯,以提高其耐热性能。

聚氯乙烯可用作电线电缆的绝缘和护套、电缆金属护套(铝包、铅包、钢带等)的外护层,以防金属被腐蚀;用作绝缘时,其电压等级为 10kV;交联聚氯乙烯可用作电子计算机的联接线绝缘等。

#### 10.3.2 聚乙烯

聚乙烯的制造方法有高压、中压和低压三种,按密度大小有低密度、中密度和高密度三种。电线电缆主要用低密度高压聚乙烯,根据使用要求,还可制成泡沫聚乙烯和交联聚乙烯等。聚乙烯具有优异的电气性能,其相对介电系数和介质损耗角正切值在较宽的频率范围内几乎不变;对非氧化酸和碱的作用极为稳定;在室温下耐溶剂性较好,耐潮、耐寒性优良,但软化温度较低;长期工作温度不高于 70℃。

泡沫聚乙烯的相对介电系数较小,其衰减比实体聚乙烯相应地降低 20%,且制造方便,生产效率高;但其机械强度和击穿强度随发泡度的增长而显著下降,发泡度以控制在 55%~60% 范围内为宜。

用化学交联法生产的交联聚乙烯电缆,其交流和脉冲击穿电压可分别提高 50%~70%和 20%~70%,绝缘厚度可降低 60%~70%;采用高压(如 500kV)变压型加速器对聚乙烯绝缘电缆的两面进行辐照,这样辐照交联均匀,电气性能优于化学交联,针孔和气泡少。绝缘层易从导体剥离,适宜作薄层电线绝缘,交联聚乙烯长期工作温度为 80℃~90℃,并可避免环境应力开裂,其电性能与聚乙烯相近。

聚乙烯主要用途是作通信电缆、电力电缆的绝缘和护层材料。用于电力电缆,其电压等级可达 225kV;由于它有优良的耐水性,故可用作潜水电机的绕组绝缘,

但绕组铜导体必须采用漆包线,以漆膜作为隔离层,以消除铜离子向聚乙烯绝缘层扩散而导致电气性能下降。泡沫聚乙烯只用作通信电缆绝缘;交联聚乙烯主要用作电力电缆绝缘,其抗过载电流能力远高于一般聚乙烯,使用温度比一般聚乙烯高。

### 10.3.3 聚丙烯

聚丙烯的物理、机械性能优于聚乙烯,耐磨性能仅次于聚酰胺;电气性能优越,在宽广的频率范围内不发生明显的变化;它还具有优良的耐潮性、较好的耐溶剂性和耐碱性,但不耐浓硝酸、发烟硫酸和王水等;聚丙烯对热氧老化比较敏感,耐热和耐大气老化性能不如低密度聚乙烯。此外,铜和锰能明显地加速聚丙烯的热老化,故需加入 0.5 份的防老剂和 0.1~0.5 份的铜抑制剂,以改进聚丙烯的耐热老化性能。

聚丙烯是电线电缆的优良绝缘材料,其绝缘层厚度可以较薄,且在高温下直接与溶剂、极性物质或强氧化性气体接触,仍具有较好的环境应力开裂性能;它质地柔韧、耐磨,可用作电缆护层;纯净的聚丙烯可用作高频电缆的绝缘;此外,泡沫聚丙烯可用作电话电缆绝缘。

### 10.3.4 氟塑料

氟塑料的耐热性很好,对化学药品和溶剂的作用极为稳定,是一种耐高温的优良塑料。在电线电缆工业中用作特殊用途的电线电缆绝缘,如航空电线、测油井电缆、地质勘探电缆、耐辐射电线、耐高温电线及加热电缆等。氟塑料在挤出或烧结加工时,其分解物有毒,应加防护措施。

氟塑料的品种有聚四氟乙烯(F-4)、四氟乙烯-六氟丙烯共聚物(F-46)、四氟乙烯和乙烯共聚物(F-40)、四氟乙烯和全氟烷基乙烯基醚共聚物(PFA)、聚偏二氟乙烯(F-2)及聚三氟氯乙烯(F-3)等。

**10.3.4.1 聚四氟乙烯(F-4)** 它具有极好的耐热、耐腐蚀性能,长期工作温度为 250℃,分解温度为 415℃;除熔融碱金属和氟在高温下对它有侵蚀作用外,对酸、碱及其他化学药品和各种溶剂的稳定性优于其他氟塑料;电气性能优良,相对介电系数和介质损耗角正切在已知固体绝缘材料中是最低的,但耐电晕性不好;柔软性好,在低温下也能弯曲;摩擦系数是已知固体材料中最低的,但耐磨性差,加入石英粉或二硫化钼能提高制品的耐磨性;在非氧化性气体或真空中有良好的耐辐照能力,但在氧中受高能辐照后会变脆;此外,它的抗切割性较差,又有冷流现象,加工较困难。F-4 在高温下粘度仍很高,不能采用热熔挤出法制造电线,一般采用的方法有:导线绕包 F-4 带,然后烧结;将 F-4 的悬浮液浸涂导线,而后进行干燥和烧结;采用活塞挤出或糊状冷挤出后,再进行烘干烧结。

**10.3.4.2 四氟乙烯-六氟丙烯共聚物(F-46)** 它又称全氟乙丙烯,其基本性能与 F-4 相近,但熔点稍低,长期工作温度为 205℃,耐弯曲疲劳性能远低于 F-4。

流动性较好,加工容易,可采用管式挤出法制造绝缘电线,挤出拉伸比为 100 倍左右,也可采用普通挤出机进行加工,螺杆长径比为 20,压缩比为 3。对 F-46 进行高能辐照,可改善其开裂和机械性能。

10.3.4.3 四氟乙烯和乙烯共聚物(F-40) 它具有优良的综合性能,柔软、弯曲性好,有阻燃性、抗切通性,脆化温度为  $-100^{\circ}\text{C}$ ,长期工作温度为  $150^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ ,有良好的耐辐照性能,特别适用于飞机、油井、机车、汽车和电子计算机等用电线电缆的绝缘,还可用于核能电站。可采用螺杆挤出机进行加工,螺杆长径比为 20。

10.3.4.4 四氟乙烯和全氟烷基乙烯基醚共聚物(PFA) 它的物理、化学性能和电性能与 F-4 相近,长期工作温度为  $250^{\circ}\text{C}$ ,具有阻燃性,主要用于同轴电缆和耐高温电线的绝缘和护层,可用普通挤出机进行加工。

10.3.4.5 聚偏二氟乙烯(F-2) 它的分子结构不对称,极性较大,绝缘电阻和相对介电系数较其他氟塑料差,但其抗张强度、抗冲击强度和抗压强度高,热变形温度比 F-4 高  $28^{\circ}\text{C}$ ,抗切通性超过聚酰胺塑料;它的耐辐照性和耐大气老化性好,对化学药品较稳定,但可溶于丙酮、二噁烷和二甲基甲酰胺等,长期工作温度  $150^{\circ}\text{C}$ ,受辐照时工作温度约为  $130^{\circ}\text{C}$ ,可用普通挤出机进行加工。

10.3.4.6 聚三氟氯乙烯(F-3) 它具有抗冷流性好、吸潮性小、耐电弧和耐化学药品性好等优点,但耐热性较差,长期工作温度为  $130^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ,可用普通挤出机进行加工。

### 10.3.5 氟化聚醚

氟化聚醚具有良好的电气性能,抗张强度高,吸水性极低,透气性小,有阻燃性;耐油和耐溶剂性仅次于氟塑料,对酸和碱极为稳定,长期工作温度为  $120^{\circ}\text{C}$ 。其绝缘电线可在石油原油和变压器油中长期使用,并可用作有特殊要求的电器、仪表绝缘零部件和机械传动件。

氟化聚醚抗冲击性差,容易开裂,伸长率低,用于电线电缆绝缘需填加增塑剂;加入防老剂,可显著提高其耐热性能。

### 10.3.6 聚酰胺

聚酰胺用作电线绝缘的有聚酰胺 1010、聚酰胺 66 等。主要用作航空电线的护层,以提高其抗切通性和耐磨性;它还具有阻燃性。参见本章 10.2.4。

电线电缆用塑料的性能见表 6.4.73。

## 11 电工用橡胶

橡胶分天然橡胶和合成橡胶。天然橡胶属非极性橡胶；合成橡胶是高分子聚合物，有非极性的合成橡胶，也有极性的合成橡胶。非极性合成橡胶主要有丁苯橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶和硅橡胶；极性合成橡胶有氯丁橡胶、丁腈橡胶、氯磺化聚乙烯、氯化聚乙烯、聚酯橡胶和氟橡胶等。非极性橡胶主要用作电线电缆绝缘，极性橡胶主要用作电线电缆的外护层。橡胶只有经过硫化以后才有实用价值，以下介绍的各种橡胶性能和用途，均指经硫化后的橡胶。在电工产品中橡胶应用广泛，如用于软电线、油矿电缆、船用线缆和航空电线绝缘与护套；硅橡胶还可用作电机绝缘和电器、电子元件的整体包装材料；橡胶的模压制品、橡胶带和热收缩管等在电工中亦有广泛应用；硬质橡胶可作蓄电池外壳。

电工常用橡胶的品种和性能见表 6.4.74。

### 11.1 天然橡胶

天然橡胶的主要成分是聚异戊二烯，它的抗张强度、抗撕性和回弹性比多数合成橡胶好，但耐热老化性能和耐大气老化性能较差，不耐臭氧、不耐油、不耐有机溶剂，易燃。天然橡胶在电缆工业中用作绝缘和护套，长期使用温度为  $60^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ ，电压等级可达 6kV，尤为适用于对柔软性、弯曲性和弹性要求较高的电线电缆。但不能用于直接接触矿物油或有机溶剂的场合，也不宜用于户外。电线电缆铜导体中铜离子是橡胶热老化促进剂，当用于工作温度较高的电线时，其铜导体应镀锡或加其他隔离层。

### 11.2 合成橡胶

#### 11.2.1 丁苯橡胶

丁苯橡胶是丁二烯和苯乙烯的共聚物，在干燥状态下的电气性能与天然橡胶相近，但抗张强度远不及天然橡胶；如若加入补强剂炭黑后，可提高至天然橡胶水平。耐热性比天然橡胶稍好，采用有效的防老剂后，可进一步改善耐老化性能。

在电缆工业中，丁苯橡胶用作绝缘材料，一般与天然橡胶按 1:1 混合使用，电压等级为 6kV。这两种橡胶的并用可以互补机械强度与耐热性的不足，使混合橡胶耐热老化性有所提高。

#### 11.2.2 丁基橡胶

丁基橡胶是异丁烯的聚合物，对氧和臭氧的作用相当稳定，其耐热性、耐大气老化性、耐电晕性和其他电气性能均优于天然橡胶和丁苯橡胶；它透气性很小，吸

表 6.4.73 电线电缆用

序号	性能名称	聚氯乙烯		聚 乙 烯			
		绝缘级	护层级	低密度	中密度	高密度	交联
1	相对密度	约 1.5	约 1.25	0.910~0.925	0.926~0.940	0.941~0.965	0.92
2	硬度	D95	D33	R10	R15	R30~50	-
3	吸水率(%)不大于	0.5	1.0	0.02	0.02	0.01	-
4	抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )	>1800	>1200	960~1300	1300~1785	1785~3100	-
5	伸长率(%)	>200	>300	20~350	100~600	15~700	>200
6	热变形温度℃ (46N/cm <sup>2</sup> )	-	-	41~45	49~66	64~85	-
7	导热系数(kJ/m·h·℃)	0.45~0.6	0.45~0.6	1.20	-	1.65~1.8	-
8	体积电阻率(Ω·cm)	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>9</sup> ~10 <sup>10</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>16</sup>
9	相对介电系数(50Hz)	5.0~6.0	-	2.3	2.3	2.35	2.3
	(10 <sup>3</sup> Hz)	4.5~5.8	-	2.3	2.3	2.35	2.3
	(10 <sup>6</sup> Hz)	3.5~4.5	-	2.3	2.3	2.35	2.3
10	介质损耗角正切(50Hz)	5×10 <sup>-2</sup> ~ 1.5×10 <sup>-1</sup>	-	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-4</sup>
	(10 <sup>3</sup> Hz)	6×10 <sup>-2</sup> ~ 1.6×10 <sup>-1</sup>	-	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-4</sup>
	(10 <sup>6</sup> Hz)	7×10 <sup>-2</sup> ~ 1.7×10 <sup>-1</sup>	-	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	2×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-4</sup>
11	击穿强度(kV/mm)	>20	16~18	18~28	20~28	18~20	18~28
12	耐电弧性(s)	-	-	熔融	熔融	>125	-
13	燃烧性	自熄	缓慢	缓慢	缓慢	缓慢	缓慢
14	长期工作温度(℃)	65~105	65	70	70	70	80~90



塑料的性能

聚丙烯	氟 塑 料						氯化 聚醚
	F-4	F-46	F-40	PFA	F-2	F-3	
0.90~0.91	2.13~2.20	2.14~2.17	1.7	-	1.76	2.1~2.16	1.4
R90~110	D50~60	R25	R50	D60	D70~80	R111~115	R100
0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	-	0.01
3000~4000	1370~3000	>2000	-	-	>6000	3000~4000	>4000
400~700	200~300	250~330	>200	>300	>300	125~175	60~160
99~110	121	72	104	-	149	129	149
0.49	0.89	0.89	0.89	-	0.68	0.89	-
>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>16</sup>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>15</sup>
2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	8.4	2.3~2.8	3.0
2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	7.7	2.3~2.8	3.0
2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	6.4	2.3~2.8	3.0
(2~3) ×10 <sup>-4</sup>	<2×10 <sup>-4</sup>	<3×10 <sup>-4</sup>	6×10 <sup>-4</sup>	3×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-2</sup>	1.2×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
(2.5~3) ×10 <sup>-4</sup>	<2×10 <sup>-4</sup>	<3×10 <sup>-4</sup>	8×10 <sup>-4</sup>	3×10 <sup>-4</sup>	1.9×10 <sup>-2</sup>	3.6×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
(4~6) ×10 <sup>-4</sup>	<2×10 <sup>-4</sup>	<7×10 <sup>-4</sup>	5×10 <sup>-4</sup>	3×10 <sup>-4</sup>	1.6×10 <sup>-2</sup>	3.6×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
30~35	>19	20~24	16~20	-	10~50	>20	>16
-	>300	>300	75	-	>50	>300	-
缓慢	非燃	非燃	非燃	非燃	自熄	自熄	自熄
120	250	205	150~180	250	130~150	130~150	120

表 6.4.74 常用橡胶的

序号	名称	天然橡胶 NR	丁苯橡胶 SBR	三元乙丙 橡胶 EPDM	丁基橡胶 IIR
1	相对密度	0.92~0.96	0.94	0.86	0.91
2	硬度(邵氏)	20~100	35~100	30~90	15~75
3	脆化温度(℃)	-50~-60	-30~-60	-40~-60	-40~-55
4	长期工作温度(℃)	60~65	65~70	80~90	80~85
5	耐辐照剂量(rad)	$5 \times 10^6$	$10^6$	-	$10^6$
6	抗张强度(N/cm <sup>2</sup> )				
	不加补强剂和填料	1720~2100	137~280	137~350	1000~1300
	加补强剂	2450~2800	1720~2450	1000~2450	1000~2000
7	伸长率(%)	750~850	400~800	300~800	400~800
	(不加补强剂和填料)				
8	体积电阻率( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	$10^{15} \sim 10^{16}$	$10^{15}$	$10^{15} \sim 10^{16}$	$10^{16} \sim 10^{17}$
9	击穿强度(kV/mm)	>20	>20	30~40	25~30
	(瞬时)				
10	相对介电系数( $10^3 \text{Hz}$ )	2.3~3.0	2.9	3.0~3.5	2.1~2.4
11	介质损耗角正切	0.0023~	0.0032	0.004 <sup>②</sup>	0.003
	( $10^3 \text{Hz}$ )	0.0030			
12	导热系数(J/cm <sup>2</sup> ·s·℃)	$17 \times 10^{-4}$	$29 \times 10^{-4}$	-	$8 \times 10^{-4}$
13	回弹性	优 <sup>①</sup>	可	可	差
14	抗撕性	良	可	可~良	良
15	抗压缩变形	良~优	良~优	良	可良
16	耐磨性	优	良~优	良~优	良
17	耐酸性	稀酸	可~良	可~良	优
	浓酸	可~良	可	优	优
18	耐碱性	可~良	可~良	优	优
19	耐溶剂性				
	脂肪烃	差	差	差	差
	芳烃	差	差	差	差
	氯烃	劣	劣	差	差
	油脂	劣	劣	差	劣
	动植物油	差	可~良	良~优	优
20	耐水性	优	优	优	优
21	耐阳光性	差	差	优	优
22	对氧的稳定性	良	良	优	良~优
23	耐臭氧性	差~可	差~可	优	优
24	阻燃性	差	差	差	差

注:①100Hz。

②50Hz。

③优、良、可、差、劣表示性能优劣顺序。

品种和性能

氯丁橡胶 CR	丁腈橡胶 NBR	氯磺化 聚乙烯 CSM 或 CSPE	氯化 聚乙烯 CM 或 CPE	硅橡胶	氟硅橡胶	氟橡胶 (26 型)
1.23~1.25	0.96~1.02	1.12~1.28	1.16~1.32	0.97	1.4	1.85
20~95	10~100	40~95	-	30~80	50~60	50~60
-35~-55	-15~-40	-40~-60	-	-70~-115	-68	-34~-45
70~80	80~85	90~105	90~105	180~200	200	200
10 <sup>7</sup>	-	5×10 <sup>7</sup>	5×10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	-	10 <sup>6</sup> ~10 <sup>7</sup>
>1500	343~618	834~2400	-	>280	700	>1370
2060~2450	1510~3100	2100	>1500	412~1240	-	>1370
400~900	450~700	100~600	400~500	200~800	100~200	100~500
10 <sup>10</sup> ~10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>	10 <sup>17</sup> ~10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup> ~10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup>
10~20	15~20	15~20	15~20	20~30	>15	20~25
7.5~9.0	13.0	7.0~10	7.0~10	3.0~3.5	6.9~7.4 <sup>①</sup>	-
0.03	0.055	0.03~0.07	0.01~0.03	0.001~0.01	0.03~0.07 <sup>①</sup>	0.3~0.4
21×10 <sup>-4</sup>	13×10 <sup>-4</sup>	-	-	25×10 <sup>-4</sup>	-	-
良	可	可	可	劣~良	-	可
良	良	可	优	可~良	-	可
可	良	可	可	良~优	良	优
优	优	优	优	差~良	-	良
优	良	良	良	优	良	优
良	良	良	良	可	可	优
良	可	良	良	差~良	差~良	优
可	优	可	可	差	优	优
劣	良	差	差	差	优	优
良	劣	良	良	劣	优	优
良	可~优	良	良	差~良	优	优
良	优	良	良	优	优	优
优	良	优	优	优	优	优
优	差	优	优	优	优	优
优	可	优	优	优	优	优
良	差	良	良	可~优	良~优	良

水量约为天然橡胶的 25%；它对植物油、多数化学药品(包括硫酸和硝酸)和霉菌的侵蚀都比较稳定；但丁基橡胶强度低、弹性小、不耐矿物油。丁基橡胶在加入热处理剂、与陶土或碳黑、白碳黑混合后，能显著提高其抗拉强度、抗张强度、弹性和耐磨性，并能保持相当高的绝缘电阻。

丁基橡胶可用作船用电缆、控制电缆、电力电缆和高压电机引接线的绝缘材料，电压等级可达 35kV，可用于户外，但不宜与矿物油和溶剂直接接触。

### 11.2.3 乙丙橡胶

乙丙橡胶是乙烯和丙烯的共聚物，它电气性能优良，耐大气老化性能、耐臭氧和耐热老化性能优于丁基橡胶和氯丁橡胶，耐溶剂和化学药品的性能与丁基橡胶相似。

乙丙橡胶可用作电力电缆、电焊机电缆、船用电缆、控制电缆、电机引接线、点火线和日用电器用电线的绝缘，并可用作电缆连接盒和终端的绝缘材料，适用环境与丁基橡胶相似。乙丙橡胶的机械性能较差，用作绝缘时需加护套；但与低密度聚乙烯按 70:30 并用，电气性能优良，抗张强度也较高，可不必另加护套。

### 11.2.4 氯丁橡胶

氯丁橡胶是氯丁二烯的聚合物，可分为三类，即 G 型(硫改性)、W 型(非硫改性)和特殊类型(用作胶粘剂)。电缆工业主要采用前两类，特别是 W 型结构中不含硫，耐热性较好。氯丁橡胶的机械性能与天然橡胶相近，它结构中有氯原子，具有阻燃性、优良的耐大气老化性、耐臭氧和良好的耐油、耐溶剂等特性，在二烯类橡胶中，它的耐热性仅次于丁腈橡胶，但分子极性大，电气性能较差，绝缘电阻低。

氯丁橡胶主要用作电线电缆的护套材料，由于它具有阻燃性，特别适用于煤矿电缆、船用电缆和航空电线等。氯丁橡胶可长期用于户外，并可在与矿物油直接接触的场合使用。氯丁橡胶与天然橡胶或丁苯橡胶掺合，绝缘电阻稍有提高，达  $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ ，可作为低压(220V)电线的绝缘，并可不必再加外护层，其耐大气老化性能远远超过棉纱编织涂沥青护层的电线，但氯丁橡胶含量应不小于总含胶量的 50%。

### 11.2.5 丁腈橡胶

丁腈橡胶是丁二烯和丙烯腈的共聚物，热稳定性好，最突出的特点是具有优良的耐油性和耐溶剂性，随着丙烯腈含量的增多，其耐热性、耐磨性、耐油性以及定伸强度和抗张强度均可提高，密度、硬度增大，透气度变小，但弹性、耐寒性及电气性能下降。加入增塑剂可改善其耐寒性；加入虫胶不仅具有增塑作用，还能显著提高丁腈橡胶耐煤油和耐石油醚的能力，并改善其抗张强度和伸长率；加入碳黑作补强剂，还能改进其耐油性，但会加速其热老化；氧化镁用量在 80 份以上，对它也有增强作用，且不致影响其热老化性能。

丁腈橡胶和聚氯乙烯的掺合物具有较好的耐大气老化性及耐臭氧、耐油和耐化学药品的性能，其耐热老化性和耐磨性也有所提高。

丁腈橡胶以其优异的耐油、耐溶剂特点被用于作油矿电缆护套和电机、电器的引接线绝缘,但不宜用于户外;丁腈橡胶和聚氯乙烯的掺合物具有阻燃性,可用作电焊机用电缆、电气机车和内燃机车用电缆、船用电缆、油矿电缆和电力电缆的护套。

#### 11.2.6 氯磺化聚乙烯

氯磺化聚乙烯是聚乙烯与氯、二氧化硫的反应物,它的电气性能、耐大气老化、耐热老化、耐臭氧和耐化学药品侵蚀等性能都比氯丁橡胶好,耐稀硫酸、稀苛性钠溶液和强氧化剂的性能更为优越,抗张强度也较高,耐磨损性优良,阻燃性和耐电晕性良好,但耐寒性较差。

氯磺化聚乙烯主要用作船用电缆、电气机车和内燃机车电缆以及电焊机电缆的护套材料;还可作为高压电机和 F 级电机的引接线以及飞机、汽车的引火线和 2kV 以下电线的绝缘,用它作护套的电线电缆可与矿物油和植物油接触,并可长期用于户外。

#### 11.2.7 氯化聚乙烯

氯化聚乙烯是由聚乙烯与氯作用生成的,呈弹性体,其性能与氯磺化聚乙烯相似,其抗撕性较优,但回弹性差;流动性好,易于加工;有优良的耐大气老化、耐臭氧和耐电晕等性能;与聚乙烯及聚氯乙烯有良好的相容性。

氯化聚乙烯适用于矿用电缆、航空电线、电力电缆、控制电缆、汽车点火线和电焊机电缆的护套材料,可用于户外;氯化聚乙烯的体积电阻率较低,但与聚乙烯掺合后可用作电力电缆、照明线、电机及电器的引接线和话筒线的绝缘材料。

#### 11.2.8 氯醚橡胶

氯醚橡胶有优良的耐臭氧和耐热老化性能,长期工作温度为  $105^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ ;它的耐油和耐有机溶剂的性能极优,比丁腈橡胶还好;还具有良好的抗弯曲疲劳性能;透气性小,约为丁基橡胶的三分之一。其缺点是密度较大,低温柔软性差,加工性能较差。

氯醚橡胶有均聚物(CHR)和共聚物(CHC)两类。CHR 含氯量为 38%,有阻燃性;CHC 含氯量为 26%,燃烧缓慢。CHC 的耐寒性较好,并具有良好的耐水性;CHC 的弹性可与天然橡胶媲美。

氯醚橡胶适用于作耐油、耐热电缆的护套材料,特别适用于油井电缆的护套。

#### 11.2.9 硅橡胶

硅橡胶是分子主链中含硅氧键、经硫化后具有弹性的有机硅聚合物,有加热硫化型和室温硫化型两大类;按分子组成和结构又分为甲基硅橡胶、甲基乙烯基硅橡胶(简称乙烯基硅橡胶)、苯基甲基硅橡胶(简称苯基硅橡胶)、氟硅橡胶、腈硅橡胶和苯撑硅橡胶等。

硅橡胶的耐热性和耐寒性比一般橡胶好;抗张强度低,但它在 150℃ 以上时的机械性能却超过其他橡胶;它的电气性能随温度和频率的变化甚微,耐电弧性好;导热系数较高,散热性好,但耐油和耐溶剂性能较差;它的透气性极高,约为天然橡胶的 30~40 倍。

加热硫化硅橡胶的抗张强度和耐热性比室温硫化硅橡胶好,它主要用作船舶控制电缆、电力电缆和航空电线的绝缘,以及作为 F~H 级绝缘电机、电器的引接线绝缘;在电机工业中采用模压成型的硅橡胶做中型高压电机的主绝缘;自粘性硅橡胶三角带和玻璃布带可用作高压电机的耐热配套绝缘材料;硅橡胶热收缩管可用于电线的联接、终端或电机部件的绝缘。

室温硫化硅橡胶在电器、电子和航空等工业部门用作绝缘、密封、包覆、胶粘和保护材料。

#### 11.2.10 氟橡胶

氟橡胶的品种较多,电缆工业中主要应用的是偏二氟乙烯和全氟丙烯的共聚物,即 26 型氟橡胶。氟橡胶有很高的耐热性和优异的耐油、耐有机溶剂以及耐化学药品的性能,其热稳定性超过硅橡胶;它的耐臭氧和耐大气老化的性能很好;但在高温下机械性能降低幅度较大,耐寒性差,对高温水蒸气不够稳定。

氟橡胶主要用作特殊电线电缆的护套材料,适用于高温和存在有机溶剂、化学药品侵蚀的场合。

## 第 七 篇

# 常用电工测量及仪表

本篇主编 沈 蓁  
编写人 乔关荣  
方 俊  
潘小慧  
沈 蓁





# 第一章 电工测量原理

## 1 电工仪表常用知识

### 1.1 测量及误差表示方法

#### 1.1.1 直接测量和间接测量

当我们进行测量时,对不同的量要使用不同的测量工具和选择合适的测量方法。尽管被测量种类繁多,使用的工具千差万别,但是就测量方法而论,大体上可归纳为两大类。一类为直接测量法,就是把被测量与同一种类的量相比较,或将被测量产生的效应与同一种类的量产生的效应相比较,从而直接得出测量结果的方法。如用尺来测量长度;用交直流热电比较仪在一个很短的时间内,产生相等的热偶电势的交流有效值与直流值相同,因而可用测量直流的方法来度量交流有效值等。另一类为间接测量法,它无法直接得出被测量的结果,而是先测量出与被测量有一定函数关系的其他量,然后利用公式计算得到被测量。如测量出线路内的功率值和时间值,再计算得到电能值,这种方法属于间接测量。

#### 1.1.2 误差的表示方法

由于测量仪表本身的固有误差、测量方法的不完善、环境的影响、测量人员的疏忽和人们感觉器官的限制等因素,总会使测量结果与被测量的真值有一个差距,这个差距就是误差。也就是说,我们只能得到一个与被测量接近的近似值——实际值。随着科技的发展、人们认识能力的深化,测量的准确度和可靠性将会越来越高。误差的表示方法一般有两种。

1.1.2.1 绝对误差 被测量的测得值  $x$  与被测量的实际值  $x_0$  之间的差值  $\Delta x$  叫绝对误差。

即

$$\Delta x = x - x_0$$

由于被测量的真值通常是未知的,所以在测量技术中,往往把标准表的读数当

作  $x_0$ 。

实际值与测得值之差叫修正值。设修正值用  $c$  来表示，

则

$$c = x_0 - x = -\Delta x$$

修正值的大小与绝对误差相等但符号相反。测量值和修正值的代数和就是被测量的实际值。

即

$$x_0 = x + c$$

例如：一个标称值为  $100\Omega$  的电阻，实际测量为  $100.01\Omega$ ，那么它的绝对误差为  $\Delta x = x - x_0 = 100.01\Omega - 100\Omega = 0.01\Omega$ ，它的修正值  $c = -\Delta x = -0.01\Omega$ 。

1.1.2.2 相对误差 绝对误差  $\Delta x$  与实际值  $x_0$  之比值用百分率来表示叫相对误差。

即

$$r = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

因为在一般情况下  $x$  很接近  $x_0$ ，所以工程上也可以用下式表示相对误差：

$$r = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

相对误差没有量纲，只用百分数表示。相对误差  $r$  和实际值  $x_0$ 、测量值  $x$  之间有如下关系：

$$x = x_0(1 + r)$$

$$x_0 = x(1 - r)$$

相对误差不但可以表示出测量结果的准确度，也便于对不同的测量方法进行比较。例如：当测量  $10\text{A}$  电流时，绝对误差为  $1\text{mA}$ ；在另一次测量中测  $100\text{mA}$  时，其绝对误差也是  $1\text{mA}$ ，在两次测量中绝对误差是一样的，但第一次测量的相对误差仅万分之一，而第二次为百分之一。显然第一次的测量优于第二次的测量。

## 1.2 电工仪表的准确度及量程的选择

### 1.2.1 指示仪表的准确度

在电测量指示仪表中，准确度等级往往用相对引用误差  $r_n$  来表示。

即

$$r_n = \frac{\Delta x}{x_N} \times 100\%$$

式中： $x_N$  为仪表的基准值。

对不同的电测量指示仪表，它的基准值也不同，国标 GB7676-87 有如下的规定：

(1) 对机械或电零位在标尺一端的仪表——单向标度尺的仪表，基准值是测量范围的上限。

(2) 对机械或电零位在标度尺内的仪表——双向标度尺的仪表，基准值相当

于测量范围两个被测电量值之和,不考虑符号。

(3) 频率表的基准值为测量范围的上限。对多排振簧系频率表,每一排可视为一个单独的量限,都有自身的基准值,即每排的测量范围上限。

(4) 相位表、功率表的基准值相当于 90 度电角度。

根据国标规定,电测量指示仪表的准确度等级可分为:0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1、1.5、2、2.5、3、5,共 11 个等级。

### 1.2.2 量程选择与仪表准确度等级的关系



从相对引用误差  $r_n$  的计算公式可以看出仪表的准确度等级是与仪表的基准值有关,而基准值是和仪表的量程有关。量程越大,该仪表的测量绝对误差也越大。

例如,用一只 0.2 级、量程为 600V 的电压表去测量 100V 的电压,其可能产生的最大测量误差为  $600 \times 0.2\% = 1.2\text{V}$ ;而用一只 0.5 级、150V 量程的电压表去测量,其可能产生的误差为  $150 \times 0.5\% = 0.75\text{V}$ 。结果是准确度等级指数低的表反而测量误差小。所以合理选择测量仪表的量程对提高测量的准确度是有利的。一般选择在使仪表的指针指示在 2/3 刻度以上为好。








## 1.3 仪表刻度盘上常见符号及其意义

表 7.1.1 列出仪表刻度盘上常见符号及其意义。

表 7.1.1 仪表刻度盘上常见符号及其意义

名称	符号	名称	符号
安培	A	乏	var
分贝	dB	瓦特	W
赫兹	Hz	功率因数	cos $\phi$
欧姆	$\Omega$	交流线路或交流响应的测量机构	~
秒	s	直流和(或)交流线路和(或)直流和交流响应的测量机构	—
西门子	S	三相交流线路(通用符号)	3~
伏特	V	试验电压 500V	☆
伏安	VA	试验电压高于 500V(例如 2kV)	☆
不经受电压试验的装置	☆	电磁系仪表	
标度盘垂直使用的仪表	⊥	电动系统表	

续表

名称	符号	名称	符号
标度盘水平使用的仪表		铁磁电动系仪表	
标度盘相对水平面倾斜(例 60°)的仪表		电动系比率表	
等级指数(例如 1), 基准值为标度尺长		铁磁电动系比率表	
等级指数(例如 1), 基准值为指示值		感应系仪表	
等级指数(例如 0.5), 基准值为量程		静电系仪表	
磁电系仪表		振簧系仪表	
磁电系比率表		分流器	
动磁系仪表		参阅单独文件	

## 1.4 有关影响量对仪表准确度的影响

测量仪表的准确度等级是指仪表在标准条件下的基本误差的大小。当标准条件或标准范围发生变化时,就会给仪表带来附加误差。如环境温度的影响,当标准使用温度为 23℃,如果我们每改变 ±10℃ 来使用,即在 13℃ 或 33℃ 的温度下使用,就会使仪表降低一个准确度等级,原来是 0.5 级的表就会变成 1.0 级的仪表了。

部分有关影响量对仪表准确度的影响见表 7.1.2。

表 7.1.2 部分有关影响量对仪表准确度的影响

影响量	标称使用范围极限	等级指数 允许改变量
环境温度	标准温度 ±10℃ 标准范围下限 -10℃ 和标准范围上限 +10℃	100%
湿度	相对湿度 25% 和 80%	100%

续表

影响量	标称使用范围极限	等级指数 允许改变量
位置	未标志标准位置为水平和垂直	100%
	在任意方向偏离 5°	50%
辅助电源	电压 标准值 ± 10% 或标准范围下限 - 10% 和标准范围上限 + 10%	50%
	频率 标准值 ± 5% 或标准范围下限 - 5% 和标准范围上限 + 5%	50%

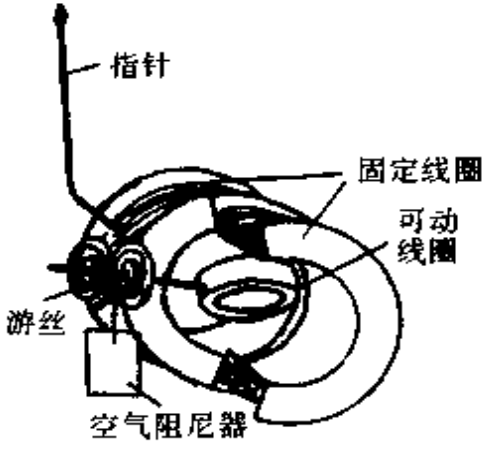
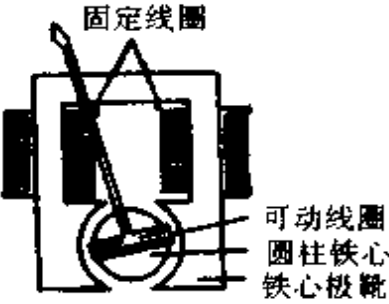
### 1.5 常用电工测量仪表的结构形式及其特点

常用电工测量仪表的结构形式及其特点见表 7.1.3。

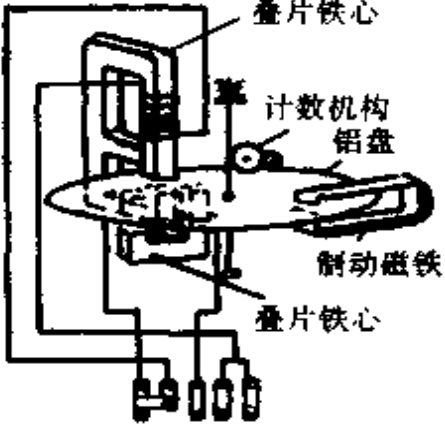
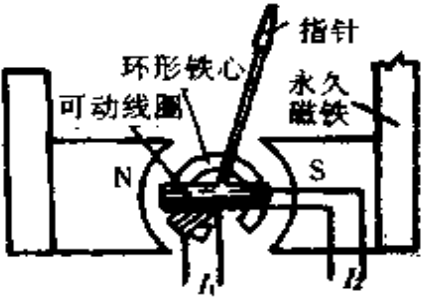
表 7.1.3 常用电工测量仪表的结构形式及其特点

结构型式	作用原理	原理结构图	优点	缺点
磁电式 (又叫动圈式)	线圈处于永久磁铁的气隙磁场中,当线圈中有被测电流流过时,通有电流的线圈在磁场中受力并带动指针而偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度均匀</li> <li>2. 灵敏度和准确度较高</li> <li>3. 读数不受外界磁场的影响小</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表头本身只能测量直流(当采用整流装置后也可用来测量交流)</li> <li>2. 过载能力差</li> </ol>
电磁式 (又叫动铁式)	在线圈内有—块固定铁片和—块装在转轴上的动铁片,当线圈中有被测电流通过时,定铁片和动铁片同时被磁化,并呈同一极性。由于同性相斥的缘故,动铁片便带动转轴一起偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于交、直流测量</li> <li>2. 过载能力强</li> <li>3. 无需辅助设备即可测量大电流</li> <li>4. 可用于测量非正弦量的有效值</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 标度不均匀</li> <li>2. 准确度不高</li> <li>3. 读数受外磁场影响</li> </ol>

续表

结构型式	作用原理	原理结构图	优点	缺点
<p>电动式</p>	<p>仪表由固定线圈和活动线圈所组成。当它们通有电流后,由于载流导体磁场间的相互作用(或者载流导体间的相互作用)而使活动线圈偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数。</p>		<p>1. 适用于交、直流测量 2. 灵敏度和准确度比其他型式仪表为高 3. 可用于测量非正弦量的有效值</p>	<p>1. 标度不均匀 2. 过载能力差 3. 读数受外磁场影响大</p>
<p>铁磁电动式</p>	<p>作用原理基本上同电动式,只是通有电流的活动线圈是在励磁线圈(绕在衔铁上的固定线圈)的磁场中受力偏转。当与弹簧反作用力矩平衡时,便获得读数。它是为消除外界磁场对电动式仪表读数的影响和增加仪表的偏转力矩而由电动式仪表改变而成的。</p>		<p>1. 适用于交、直流测量 2. 有较大的转动转矩 3. 较其他类型仪表耐震动 4. 受外界磁场影响小 5. 可做成广角的表</p>	<p>1. 标度不均匀 2. 准确度较低</p>

续表

结构型式	作用原理	原理结构图	优点	缺点
<p>感应式</p>	<p>仪表由一个或数个绕在铁心上的线圈组成。当线圈中通有交流电时,在气隙中便产生交变磁通。铝盘在交变磁通的作用下,感应产生涡流,此涡流在交变磁通的作用下受力,于使铝盘转动。由于制动磁铁和可动部分和铝盘相互作用产生了制动力矩,它和转动力矩成比例,当转动力矩和制动力矩大小相等、方向相反时,转速达到平衡</p>	 <p>叠片铁心 计数机构 铝盘 制动磁铁 叠片铁心</p>	<p>1. 转矩大,过载能力强 2. 受外界磁场影响小</p>	<p>1. 只能用于一定频率的交流电 2. 准确度较低</p>
<p>流比计 (又叫比率计)</p>	<p>在同一根转轴上装有两只交叉的线圈,两线圈在磁场(磁电式流比计磁场由永久磁铁建立,电动式流比计磁场由另一个线圈建立)中所受的作用力矩相反。其偏转取决于两线圈中流过的电流之比<math>I_1/I_2</math>,故叫流比计。因为这种仪表没有作用力弹簧,不用时指针可在任意位置</p>	 <p>指针 永久磁铁 环形铁心 可动线圈 N S <math>I_1</math> <math>I_2</math></p>	<p>1. 具有磁电式和电动式的某些优点 2. 可做成多种类型的仪表,例如兆欧表、相位表、频率表等 3. 能消除外界的影响(如电压、频率的波动等)</p>	<p>1. 标度不均匀 2. 过载能力差</p>

注:表中介绍的电磁式仪表是一种排斥式,另一种吸入式这里从略。

## 1.6 仪表的量值传递及周期检定

由于种种原因,测量仪表本身都具有不同程度的误差。在使用过程中由于磨损、环境影响、元件老化以及使用不当等原因又会增加新的误差。为了保证我们所使用的仪表其误差在允许范围内,测量结果准确可靠,在工矿企业中必须进行量值传递工作。各部门、各车间所使用的计量仪表的量值要与企业的最高计量标准的量值有溯源关系,企业的最高计量标准的量值又要与国家计量基准的量值有溯源关系。另外所使用的仪表还必须按检定规程或暂行检定方法的规定进行周期性的检定。

只有通过正确的量值传递的仪表,才是可供使用的合格仪表。

## 2 电流和电压的测量

### 2.1 电流的测量

#### 2.1.1 直流电流的测量

测量直流电流时,要注意仪表的极性和量程。采用直接接入法时按图 7.1.1 接线。在用带有分流器的仪表测量时,按图 7.1.2 接线。分流器的电流端钮接入电路,电位端钮通过外附定值导线与电表相连。由图 7.1.2 可见,它实际上是一只毫伏表,用电流来刻度而已。如不用定值导线就会影响表头的毫伏值而产生误差,所以必须配用阻值为  $0.035\Omega$  的定值导线。

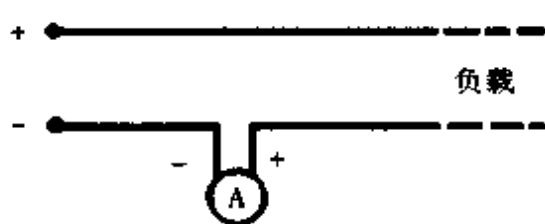


图 7.1.1 直流电流表直接接入法

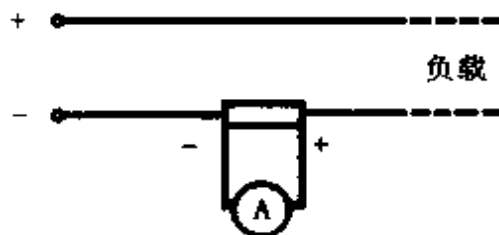


图 7.1.2 带有分流器的直流电流表接入法

#### 2.1.2 交流电流的测量

单相交流电流的测量按图 7.1.3 接线,如果被测电流较大,无法直接测量,可通过电流互感器来扩大其量程,带有电流互感器的测量按图 7.1.4 接线。三相交流电流的测量可参照单相测量的接线。



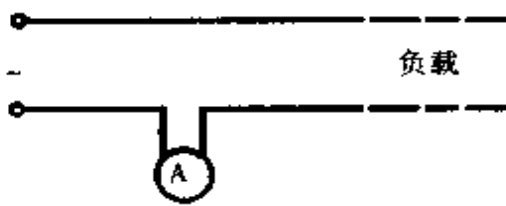


图 7.1.3 交流电流表直接接入法

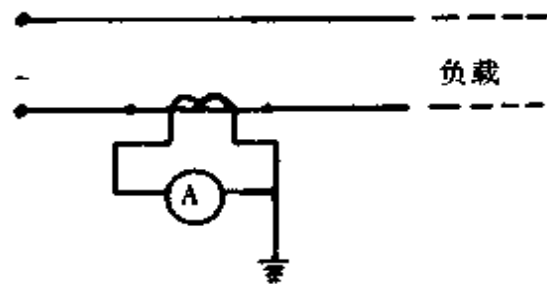


图 7.1.4 带有电流互感器的交流电流表接入法

### 2.1.3 用钳形电流表测量交直流电流

用钳形表测量电流的最大优点是方便。将被测载流导线卡于钳口中央,便可直接测量读数。

测量交流的钳形表实际是一个交流互感器和一个磁电系整流仪表的组合。被测载流的导线相当于电流互感器的一次绕组,磁电系整流仪表就是它的二次负载,采用磁电整流系仪表主要是为了减小负载,提高其灵敏度。这类钳形表的型号有 T301、T302、MG24 等。

测量交直流的钳形表,它的结构稍有不同。电表部分是电磁系结构仪表,它位于铁心的缺口中央,卡在钳口中央的被测载流导线产生的磁通在铁心中形成回路,电磁系测量机构在磁场作用下发生偏转获得读数。由于此结构的偏转不受电流种类的影响,所以可以测量交直流。这类钳形表的型号有 MG20、MG21 等。近年来,钳形表已经发展到不但可以测量交直流电流,还可以测量电压、电阻等。这类表的型号有 MG60、MG28、MG24、MG26。

钳形表的使用方法及注意事项:

- (1) 使用前应先调整好机械零位,让仪表指零。
- (2) 被测的载流导线应置在钳口的中央,以免产生误差。
- (3) 选择合适的量程。如不知被测量的大小,可先选用较大量程测量,然后再转到合适的量程上去。
- (4) 应保证钳口的两个铁心面有很好的接触,否则会产生较大的误差。测量前必须仔细检查,如有污垢铁锈应该擦净,测量时多开合几次看读数是否稳定,听钳口不应有电磁声发出。
- (5) 测量完毕,应将量程开关置最大档,以免下次使用误测大电流而损坏仪表。
- (6) 在测量较小电流时,为了得到较准确的指示,如果允许的话可将导线多绕几圈放进钳口进行测量。此时将测得的电流值除以在钳口内的导线圈数,即为被测电流的实际值。

## 2.2 电压的测量

### 2.2.1 直流电压的测量

进行直流电压测量时要注意仪表的极性(图 7.1.5)和量程。在采用带有附加电阻的电压表测量时(图 7.1.6),如果电源有接地的话,为了操作人员的安全起见,应将仪表接在近地端。

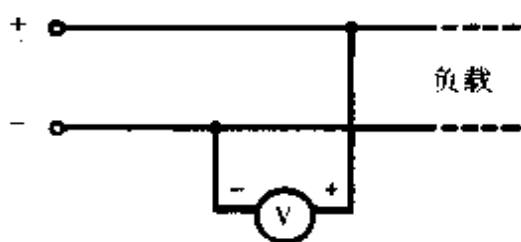


图 7.1.5 直流电压表的  
直接接入法

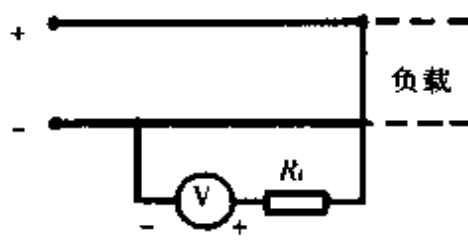


图 7.1.6 带有附加电阻的  
直流电压表接入法

### 2.2.2 交流电压的测量

单相交流电压的测量接线如图 7.1.7 和图 7.1.8 所示。三相交流电压的测量可参照单相测量接线。

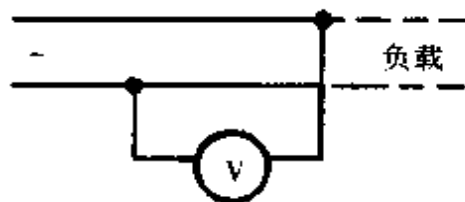


图 7.1.7 交流电压表的  
直接接入法

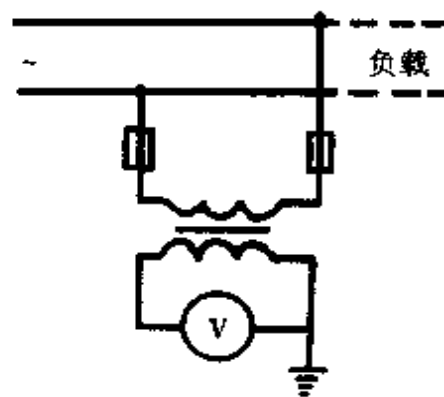


图 7.1.8 带有电压互感器的  
交流电压表接入法

## 2.3 常用电流表、电压表的型号及规格

部分常用电流表、电压表的型号及规格见表 7.1.4。

表 7.1.4 部分常用电流表、电压表的型号及规格

名称	型号	等级指数	类型	量 限	外形尺寸(mm)
画框式 直流 电流表 电压表	59C23- $\frac{A}{V}$	1.5	磁电式	50~500 $\mu$ A; 1~500mA; 1~10A 15A起外附 FL-2 分流器 1.5~600V 750V起外接 FJ-17 附加电阻	129×69
画框式 交流 电流表 电压表	59L19- $\frac{A}{V}$	1.5	电磁式	0.1~20A 直接接通, 大于 20A 配用 电流互感器 3~600V 直接接通, 380V、500V、1 ~380kV 配用电压互感器, 次级为 100V	129×69
矩形系列 直流 电流表 电压表	59C2- $\frac{A}{V}$	1.5	磁电式	50~500 $\mu$ A; 1~500mA; 1~10A 15A起外附 FL-2 分流器 1.2~600V 750V起外附 FJ-17 附加电阻	120×100
矩形系列 交流 电流表 电压表	59L1- $\frac{A}{V}$	1.5	电磁式	0.5A; 2A; 5A; 10A; 20A。大于 20A 配用电压互感器 3~600V 直接接通, 380V、500V、1 ~380kV 配用电压互感器, 次级 100V	120×100
方形 直流 电流表 电压表	1C2- $\frac{A}{V}$	1.5	磁电式	1~500mA; 1~50A。75A起外附 FL-2 分流器 3~600V, 750V起外附 FJ-17 附加 电阻	160×160
方形 交流 电流表 电压表	1T1- $\frac{A}{V}$	1.5	电磁式	0.5~150A; 200A(2.5级)。大于 200A 配用电压互感器 15~600V 直接接入。1~380kV 经电压互感器接入, 次级 100V	160×160
钳形 交流电流表	T-301	2.5	整流式	0~10~25~100~250A 0~10~25~100~300~600A 0~10~30~100~300~1000A	
钳形交 流电流 电压表	T-302	2.5	整流式	0~10~50~250~1000A 0~250~500V(或0~300~ 600V)	

续表

名称	型号	等级指数	类型	量 限	外形尺寸(mm)
交直流 钳形电 流表	MG20	5	电磁式	0~100A, 0~400A 0~200A, 0~500A 0~300A, 0~600A	
	MG21	5	电磁式	0~750A 0~1000A 0~1500A	
钳形交 流电压 表	MG24	2.5	整流式	0~5~25~50A 0~300~600V	

### 3 电阻的测量

#### 3.1 一般阻值(100Ω~10kΩ)电阻的测量

此类规格的电阻用得较多,在工矿企业中常用的测试方法有以下几种。

##### 3.1.1 万用表法

选用万用表中合适的电阻量程(一般以指针指在刻度中间为宜),将表笔短接,用零欧姆调节器调好零位,直接去测量被测电阻。测量时,双手不应接触被测电阻的两端,以免带入人体电阻,影响测量结果。此种方法的优点是简便。

##### 3.1.2 电压表和电流表法

我们从欧姆定律  $R = \frac{U}{I}$  中知道,如果分别用电压表和电流表测得电阻上的电压和电流值,那么通过计算就可得到被测电阻值。但是电压表和电流表本身也具有一定的内阻,所以测量线路必须有所选择。当电压表内阻  $R_V \gg R_x$  时按图 7.1.9 接线;当电流表内阻  $R_A \ll R_x$  时按图 7.1.10 接线。

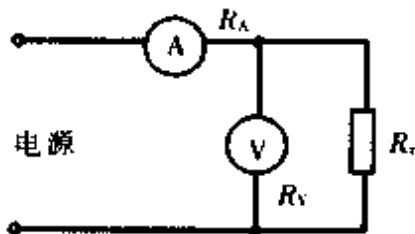


图 7.1.9  $R_V \gg R_x$  时的接线

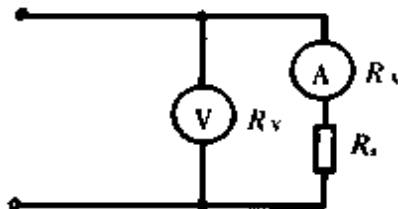


图 7.1.10  $R_A \ll R_x$  时的接线

此法测量电阻的特点是可以测出电阻在实际工作情况下的电阻值,像 220V 白炽灯或 1kW 电烙铁等。我们可以加上它的额定电压或额定电流,测得的阻值就是实际使用情况下的阻值。

## 3.1.3 单臂电桥测量法

在需要精确地测量电阻值时采用此法。单臂电桥测量电阻的原理如图 7.1.11 所示。

$R_x$ ——被测电阻

G——检流计

E——电源

$R_1, R_2$ ——量程变换器

$R_3$ ——测量盘

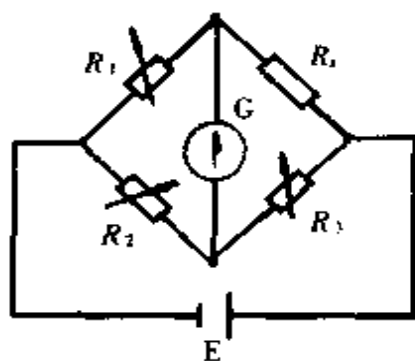


图 7.1.11 单臂电桥原理线路

在测量时,接上被测电阻  $R_x$ ,改变  $R_1, R_2$  组成的量程变换器,使其在合适的量程上,按下按钮,改变测量盘  $R_3$  的数值,使 G 指零,此时电桥平衡。

在电桥平衡时,电桥有以下的关系式,即:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x$$

则

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$$

在电桥中,实际是将  $\frac{R_1}{R_2}$  做在一个盘上的。转动这个盘,同时改变了它们的比值。一般有  $\times 0.001, \times 0.01, \times 0.1, \times 1, \times 10, \times 100, \times 1000$  等。 $R_3$  往往有四个盘组成,像十进式电阻箱一样。

将测得的读数乘以倍率值就是被测的阻值。同时其中的测量盘也可以作一般的十进制式电阻箱来使用。典型产品有 QJ23 单臂电桥。

它的电原理线路如图 7.1.12 所示,它的测量范围和相对误差见表 7.1.5。

表 7.1.5 QJ23 单臂电桥倍率、测量范围和准确度等级关系

量程倍率	有效量程( $\Omega$ )	等级指数		电源电压(V)
		内附 G	外附 G	
$\times 10^{-3}$	1~9.999	2	2	4.5
$\times 10^{-2}$	10~99.99	0.2	0.2	
$\times 10^{-1}$	$10^2 \sim 999.9$			
$\times 1$	$10^3 \sim 9999$	1	0.5	6
$\times 10$	$10^4 \sim 99990$	2		15
$\times 10^2$	$10^5 \sim 499900$	5		
	$499900 \sim 999900$	20	2	
$\times 10^3$	$10^6 \sim 9999000$			

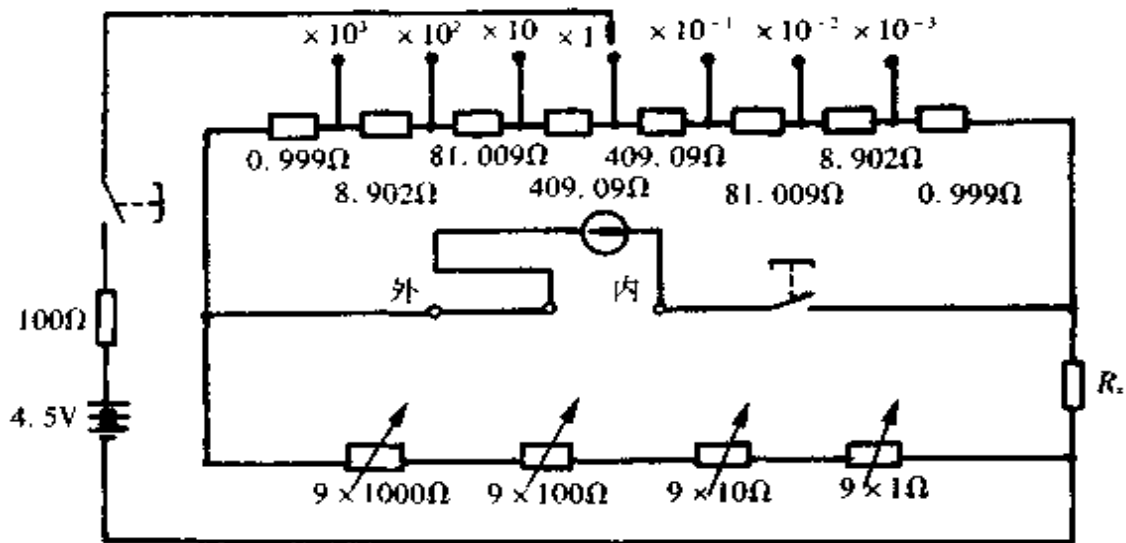


图 7.1.12 QJ23 直流单臂电桥电原理线路

### 3.1.4 单臂电桥的使用注意事项

- (1) 使用前应将各盘来回转动数次,使其接触良好。
- (2) 根据被测电阻阻值的大小,按技术说明书上的规定,选择量程变换器的倍率值。
- (3) 在测试过程中,如发现转动最后一只测量盘,检流计灵敏度较低,则必须核查电池是否该更换。如采用外接电源,则必须注意电源的极性和电压的大小。
- (4) 在测量小阻值( $1\Omega$ 以下)的电阻时,要快速,以免电池放电时间过长。
- (5) 测试电感负载的阻值(如变压器绕组的电阻)时,应先接通电源按钮,再接通检流计按钮;断开时,应先断 G 按钮,再断电源按钮,以免自感电势打坏检流计。
- (6) 电桥使用后,应将检流计锁住或将其短接,避免搬动时损坏。
- (7) 从电桥到被测电阻之间的连线应尽量采用导线截面较大的线,不能采用夹接的方式,以减小接线电阻和接触电阻的影响。
- (8) 测量盘作电阻箱使用时,应注意使用功率,一般每只电阻按  $0.1W$  来计算。

## 3.2 低阻值电阻的测量

### 3.2.1 双臂电桥的原理及使用

先从单臂电桥平衡公式  $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$  来看,似乎只要量程变换器  $R_1$  的个数足够多,测量盘  $R_3$  的调节范围足够大,那么被测电阻的范围也可以无所不包,其实不然。由于接触电阻和接线电阻的存在,它对被测电阻的影响很大。尤其是测量电机绕组或开关的接触电阻,因其本身的阻值很小,带来的影响就更为明显。为了清除接线、接触电阻的影响,就必须采用双臂电桥来测量。图 7.1.13 为 QJ44 双

臂电桥的电原理线路图。

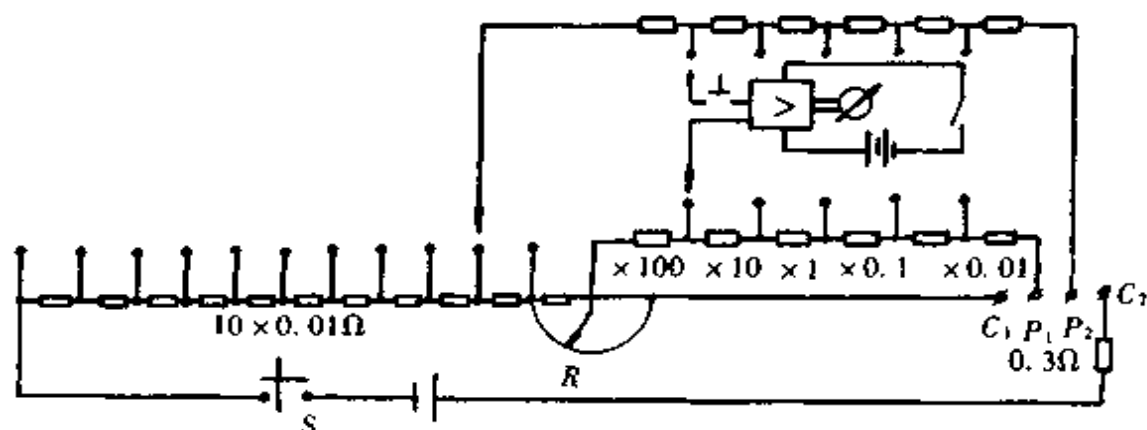


图 7.1.13 QJ44 双臂电桥电原理线路

图中测量盘由 10 个  $0.01\Omega$  和滑线盘  $R$  组成。量程变换器由六个固定电阻和一个联动开关组成,倍率为  $\times 100$ 、 $\times 10$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 、 $\times 0.01$  几个档。

被测电阻的接线端钮,分为电流  $C_1$ 、 $C_2$  端钮和电位  $P_1$ 、 $P_2$  端钮,形成四端钮接法。电阻电流端的接线:接触电阻和电源相串联,它只影响线路灵敏度,对测量准确度没影响;电位端的接线:接触电阻和阻值高达  $1k\Omega$  的倍率臂相串联,其接线、接触电阻可忽略不计。所以在测小电阻时,它仍可保持较高的精度。

QJ44 双臂电桥在测不同范围的电阻时,量程变换器的位置和其等级指数见表 7.1.6。

表 7.1.6 QJ44 型双臂电桥各量程主要参数

量程倍率	有效量程( $\Omega$ )	等级指数(C)
$\times 100$	1~11	0.2
$\times 10$	0.1~1.1	0.2
$\times 1$	0.01~0.11	0.2
$\times 0.1$	0.001~0.011	0.5
$\times 0.01$	0.0001~0.0011	1

双臂电桥进行测量时的注意事项和单臂电桥基本一样,所不同的就是要注意被测电阻的电流端、电位端应相应地联接于电桥的电流端钮和电位端钮上。在实际使用中,被测电阻往往没有电流、电位端。所以测量时应注意,要使被测电阻的电位端接在一对电流端的内侧,如图 7.1.14,切不可接错。

常用的直流单臂、双臂电桥的型号及规格见表 7.1.7 所列。

表 7.1.7 常用直流单臂、双臂电桥的型号及规格

名称	型号	测量范围( $\Omega$ )	等级指数		电源电压(V)
			内附 G	外接 G	
直流单臂电桥	QJ23	1~9.999	2	2	4.5
		10~9999	0.2	0.2	
		$10^4$ ~99990	1	0.5	6
		$10^5$ ~499900	2		
		499900~999900	5		15
		$10^6$ ~9999000	20	2	
	QJ23a	1~11.11	0.5	0.5	4.5
		10~111.1	0.2	0.2	
		100~1111	0.1	0.1	
		1~5k	0.1		
		5~11.11k	0.2		
		10~50k	0.5		6
		50~111.1k	1		
		100~500k	2		0.2
		500~1111k	5		
		1~11.111M	20	0.5	
	QJ49a	1~111.110	0.1	1.5	
		100~111110	0.05		
		100000~1111100	0.1		
	直流双臂电桥	QJ42	0.011~11	2	1.5
0.0001~0.011			20		
QJ44		0.01~11	0.2	1.5	
		0.001~0.011	0.5		
直流单双臂电桥	QJ31	10~11110	0.1	1.5	
		10000~111100	0.2		
		100000~1111000	0.5	10.5	
		111.1~0.0001	0.1	1.5	



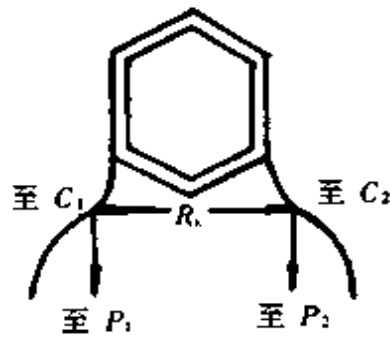


图 7.1.14 被测绕组的四端钮接法

### 3.2.2 电桥的维修

不管单臂电桥还是双臂电桥,在维修前一定要弄清其工作原理,不能贸然下手,否则反而会扩大故障。常见的故障以超差、检流计单偏或无反应为多。常用的维修手段是清洗。打开面板,露出滑线盘、测量盘等,用酒精棉球仔细揩擦滑线盘和开关的接触点。表面有氧化的地方应进行研磨。清洗后的开关应该表面光洁,接触良好,电刷的压力均匀,并在其滑动的表面涂上仪用润滑油。由于现在生产的开关都属于轻压力开关,所以涂脂要求薄而均匀。

对超差的电桥则必须根据检定结果进行调整。由于电阻都进行过老化处理,故桥臂的电阻值均极为稳定,所以要尽可能利用换位法而不用调修电阻元件来进行误差调整。对某些经换位后仍不合格的十进盘,有必要调修电阻元件来进行误差调整。阻值在  $100\Omega$  以下的元件,在只有正误差的原电阻元件上串加一只适量的小电阻;若为负误差则用并联电阻的方法来调整。对新绕制的电阻,由于稳定性差些,为了减少该电阻对整个盘的影响,一般通过换位法,将其置在十进盘的最后一个位置上,这样其相对误差也小多了。

检流计的单向偏转一般是测量盘内部开路或带有放大器的检流计的放大部分有故障。由于测量盘的十进盘之间的连线较粗,且在焊接处都涂有淡金水,不易发觉开路。必须用手轻轻拨动,并用万用表的电阻档来测量,找出开路处,重新焊接。对带放大器的检流计可用换晶体管放大板的方法来确定毛病是在何处,然后再行修复。

## 3.3 绝缘电阻的测量

兆欧表也称摇表、高阻表,它的测量单位为兆欧(M $\Omega$ ),是一种现场测量电气线路及电气设备绝缘电阻的常用携带式仪表。

### 3.3.1 兆欧表的结构及工作原理

一般兆欧表的结构都可以分为手摇发电机和表头两大部分。老式的手摇发电机都为动圈式发电机,它可以直接输出直流高压。目前生产的以交流发电机为多,

要经过倍压整流方能供给测量线路。由于是动磁式,磁能利用率高,而且是倍压线路,所需的交流电压只要动圈式的一半,因此被广泛采用。现在还有用 220V 电压作电源或用电池作电源的兆欧表。

表头部分是由一只电压线圈和一只电流线圈交叉组合而成。原理图见图 7.1.15。实际结构中在电流线圈  $L_i$  内有一部分是电压线圈  $L_v'$ ,它产生的转矩方向和  $L_v$  相反。当电流流过后, $L_v$  产生作用力矩, $L_v'$  产生反作用力矩,在  $E$ 、 $L$  端钮开路时,使指针指在“ $\infty$ ”处。同样,在电压线圈  $L_v$  中有一部分电流线圈  $L_i'$ ,在  $E$ 、 $L$  端钮短路时,使指针指在“0”处。

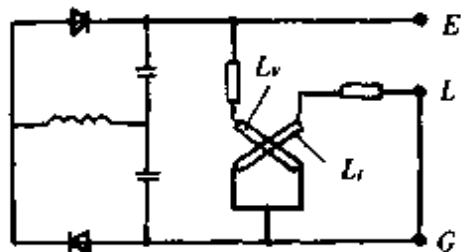


图 7.1.15 交流发电机的兆欧表原理图

### 3.3.2 兆欧表的使用及注意事项

在兆欧表的表壳上有  $E$ 、 $L$ 、 $G$  三个端钮,在测量时, $E$  为接地端, $L$  接线路, $G$  是屏蔽端钮。

屏蔽端钮有两种作用:一种作用是避免潮湿或兆欧表本身材料绝缘电阻的降低所造成的漏电流流入测量线路而产生误差。另一种作用是当兆欧表接入线路中时,被测对象的中间绝缘层上,由于水分或污垢等原因,会有泄漏电流引入测量回路,使被测值实际上是体积绝缘电阻和绝缘层上的泄漏电阻的并联阻值而形成误差。接上保护环就无此弊病。具体接线见图 7.1.16。

兆欧表在使用时应注意如下几点:

(1) 必须切断电源并充分放电,只有在被测对象在完全不带电的状态下才可进行测量。

(2) 接线端钮和被测物之间的连接线必须用单根导线,不准复合使用,以免引起误差。

(3) 测量前先将兆欧表  $E$ 、 $L$  端钮进行一次开路、短接自检试验,摇动电机,指针应分别指在“ $\infty$ ”和“0”处,否则说明该表有误差存在。

(4) 为防止被测设备表面有泄漏电阻的影响,使用时必须接上屏蔽端钮(保护环)。

(5) 兆欧表电压等级的选用见表 7.1.8。

(6) 对容性负载的绝缘测试(如对电缆的测试),需要连续摇动发电机手柄,使指针稳定后,方可读数。测试完毕后,应对被测体进行放电。

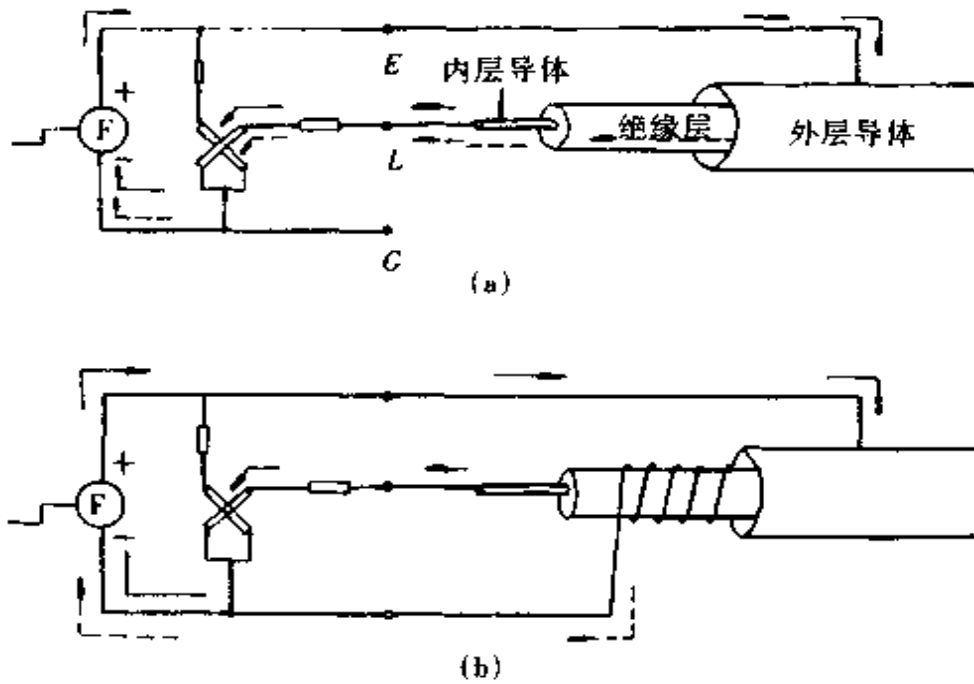


图 7.1.16 兆欧表保护环的作用

(a) 未接屏蔽端钮保护环时测量回路有泄漏电流流过 (b) 接上保护环后, 泄漏电流不再流入测量回路

表 7.1.8 兆欧表电压等级的选用

测试电压(V)	适用范围
100	低压配电线路及低压电讯装置的绝缘试验
250	邮电通讯设施及船舶布线的绝缘试验
500	一般电器及 220V 电路及电器的绝缘试验
1000	380V 电路及电压更高的设备、电缆等的绝缘试验
2500 及以上	高压电器及绝缘套管等的绝缘试验

常用兆欧表的型号及规格见表 7.1.9, 兆欧表的常见故障及修理见表 7.1.10。

表 7.1.9 常用兆欧表的型号及规格

型号	规格	等级指数	型号	规格	等级指数
ZC11D-1	100V 500MΩ	1.0	ZC11E	1000V 1000MΩ	1.5
ZC11D-2	250V 1000MΩ	1.0		500V 500MΩ	
ZC11D-3	500V 2000MΩ	1.0		250V 250MΩ	
ZC11D-4	1000V 5000MΩ	1.0		多电压多量程型	
ZC11D-5	2500V 10000MΩ	1.5			
ZC11D-6	100V 20MΩ	1.0	ZC42-1	100V 100MΩ 250V 200MΩ	1.5
ZC11D-7	250V 50MΩ	1.0	ZC42-2	250V 200MΩ 500V 500MΩ	
ZC11D-8	500V 100MΩ	1.0	ZC42-3	500V 500MΩ 1000V 1000MΩ	
ZC11D-9	50V 200MΩ	1.0			
ZC11D-10	2500V 2500MΩ	1.5		市电式兆欧表	
			ZC44-1	50V 50MΩ	1.5
ZC25-1	100V 100MΩ	1.0	ZC44-2	100V 100MΩ	
ZC25-2	250V 250MΩ	1.0	ZC44-3	250V 200MΩ	
ZC25-3	500V 500MΩ	1.0	ZC44-4	500V 500MΩ	
ZC25-4	1000V 1000MΩ	1.0			

表 7.1.10 兆欧表的常见故障及修理

发电机故障	检查输出电压	无电压	查机械	摇时卡死	定子转子相碰、传动齿轮损坏、顶盖螺钉松动
				摇时打滑	调速弹簧太松、摩擦轮上沾油、摩擦轮松动、棘轮弹簧损坏
			查电气	无交流输出 无直流输出	定子线圈断路、定子线圈脱焊、二极管损坏、电容器损坏
				电压低	查机械
		查电气	电压偏低 一半电压		磁钢失磁、定子线圈有短路、一臂二极管损坏、一臂电容器损坏
		电压不稳	查机械	转速不稳	调速螺母松紧不够
			查电气	时好时坏	有虚焊点

续表

表头故障	指示游动	动圈或定件上有毛丝、导流丝碰撞	
	吊卡	轴尖太紧、导流丝碰撞、动圈与定件相擦,磁隙内有铁屑	
	“∞”指示	无指示	电压线圈断路、接线断路、电阻断路、导流丝断路
		超出刻度	导流丝变形、磁性弱、平衡破坏
		不到刻度	导流丝变形、平衡破坏、电压回路阻值变大。轴尖、宝石间阻滞
	“0”指示	无指示	电压线圈断路、接线断路、电阻断路、导流丝断路
		超出刻度	导流丝变形、表盘松动、指针歪斜、 $L_V$ 中的 $L_V$ 短路
		不到刻度	电流线圈短路、电阻变值

## 4 功率的测量

### 4.1 直流电路功率的测量

直流电路内负载功率  $P = U \cdot I$ 。因此只要用直流电流表和电压表测出电路中的电流和电压值,两者相乘即可。当电压表的内阻  $R_V \gg R_Z$  时可按图 7.1.17a 接线。当电流表内阻  $R_A \ll R_Z$  时,可按图 7.1.17b 接线。如果用直流功率表来测量直流电路的功率可按图 7.1.18 接线,功率表的读数就是被测负载的功率值。

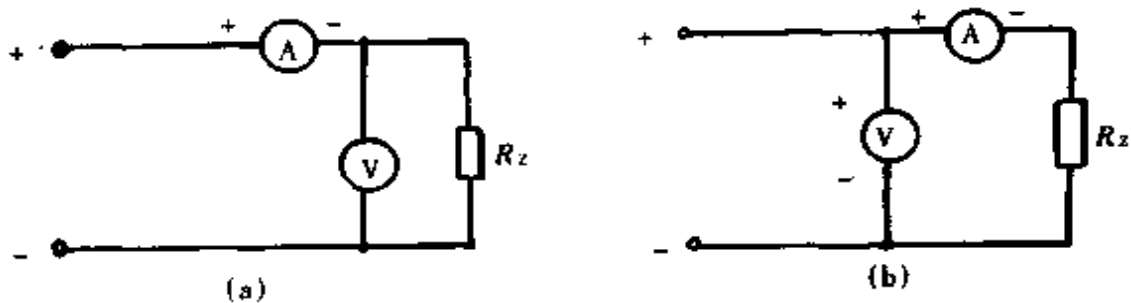


图 7.1.17 用电流表、电压表测量功率的电路

(a)  $R_V \gg R_Z$  时 (b)  $R_A \ll R_Z$  时

### 4.2 单相交流电路功率的测量

在单相交流电路内,负载的功率  $P = u \cdot i \cdot \cos\varphi$ 。它可以用交流电流表、交流电压表和功率因数表测得的三值相乘求得。但由于此法用表较多,内阻影响大,又

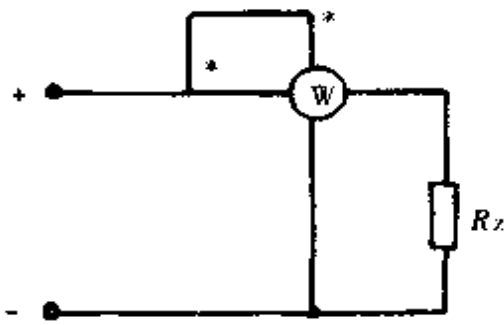


图 7.1.18 功率表测量功率的电路

需同时读数,故一般不采用。常用的测量方法是用功率表(瓦特表)直接测得。这是一种电动系交直流两用功率表,它由两组线圈组成,一组是电流线圈,负载电流通过它;一组是电压线圈。指针的偏转与负载的电压、电流以及它们的相位差的余弦乘积成正比,因此可以测量交流电路的功率。

由于它的测量与电流、电压之间的相角有关,所以电流线圈与电压线圈的接线必须按规定的方式联接,才能获得正确的测量值。仪表上注有“\*”或“±”号的端点应接在一起,如图 7.1.18 所示。

要注意功率表的读数是编格数,而实际功率值还要经过计算。

当需要对高电压、大电流电路进行功率测量时,功率表的量程不够,可按图 7.1.19 接线。这时电路的功率为:

$$P = P_1 \times k_1 \times k_2$$

式中  $P$ ——被测功率;

$P_1$ ——功率表的读数;

$k_1$ ——电流互感器一次侧电流与二次侧电流之比值;

$k_2$ ——电压互感器一次侧电压与二次侧电压之比值。

当测量低功率因数负载的有功功率时,为了减小误差需采用低功率因数瓦特表。

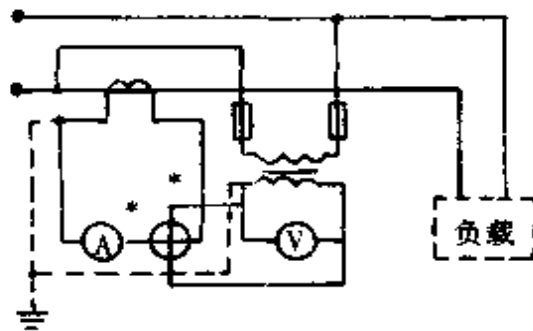


图 7.1.19 应用电流互感器和电压互感器测量单相交流功率的电路

### 4.3 三相交流电路功率的测量

在三相交流电路内,平均有功功率计算公式如下。

当负载星形接法时:

$$P = V_A I_A \cos \varphi_A + V_B I_B \cos \varphi_B + V_C I_C \cos \varphi_C$$

当负载三角形接法时:

$$P = V_{AB}I_{AB} \cos\varphi_{AB} + V_{BC}I_{BC} \cos\varphi_{BC} + V_{CA}I_{CA} \cos\varphi_{CA}$$

式中:  $V_A, V_B, V_C, V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$  分别为负载星形或三角形接法时的电压有效值;

$I_A, I_B, I_C, I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  分别为负载星形或三角形接法时电流的有效值;

$\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C, \varphi_{AB}, \varphi_{BC}, \varphi_{CA}$  分别为负载星形或三角形接法时的相电压与相电流或线电压与线电流之间的相位差。

当三相电路完全对称时,三相电路的平均功率为:

$$P = 3U_p I_p \cos\varphi = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

式中  $U_p, I_p$  —— 相电压、相电流的有效值;

$U, I$  —— 线电压、线电流的有效值;

$\cos\varphi$  —— 平均功率因数。

### 4.3.1 有功功率的测量

#### 4.3.1.1 三相四线电路中有功功率的测量方法

用三只单相有功功率表按图 7.1.20 接线。此种方法不管三相电压是否对称,也不管三相电流是否平衡,测量的结果总是正确的。当三相电压完全平衡且三相电流也完全对称时,可以用图中任何一只功率表来测量,然后把该表的读数乘以 3 就是三相有功功率值。

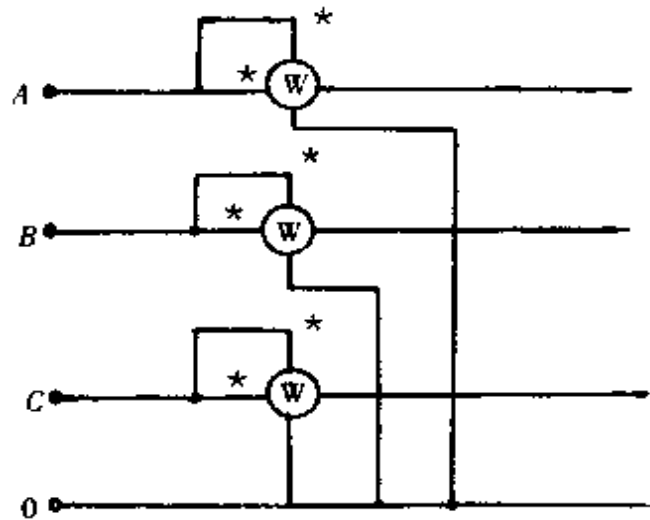


图 7.1.20 三功率表法测量三相四线电路有功功率

#### 4.3.1.2 三相三线电路中的有功功率的测量方法

(1) 双功率表法: 按图

7.1.21 接线,不管负载是星形还是三角形接法,三相功率值是两只瓦特表读数的代数和。此种测量方法,可以正确反映出三相三线电路中的有功功率,同时两个功率表的读数大小也可以反映出功率因数的变化。当  $P_A = P_C$  时:  $\cos\varphi = 1$ ; 当  $P_A = 0$  时:  $\cos\varphi = 0.5$ (感性); 当  $-P_A = P_C$  时:  $\cos\varphi = 0$ (感性)。应注意的是每只瓦特表上承受的是线电压。

(2) 三功率表法: 按图 7.1.22 接线。不管负载是星形还是三角形接法,都可以正确地测量出三相三线电路的有功功率。此种接线方法,如三相电路完全对称的话,每只功率表反映的是各相功率;如不对称的话,每只功率表的指示值虽不等于各相的有功功率,但三只表读数的代数和却等于三相电路的有功功率。所以不

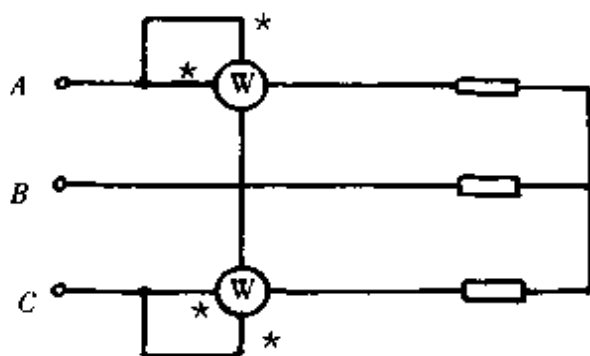


图 7.1.21 双功率表法测量三相三线电路功率

管三相电路是否对称,负载是何种接法,也不管三只功率表的内阻是否完全相等,它总能正确反映三相电路的有功功率。每只瓦特表上承受的是相电压。

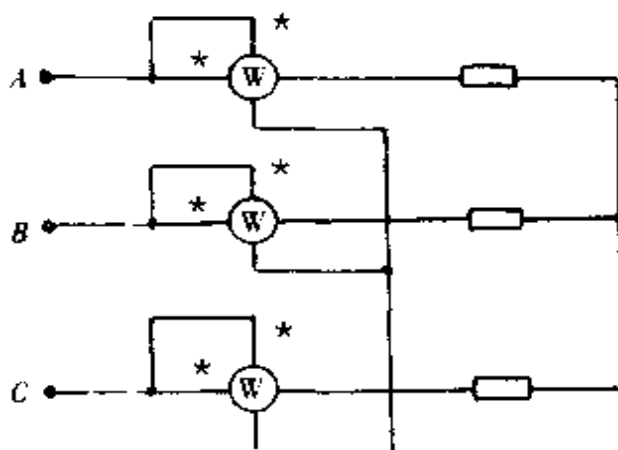


图 7.1.22 三功率表法测量三相三线电路功率

(3) 一功率表法:当三相三线电路完全对称(电压对称、电流平衡)时,可以用一只有功功率表测量三相有功功率,接线如图 7.1.23。图 7.1.23a 的接线适用于星形负载,且其中性点可以引出来的情况,功率表承受的是相电压;图 7.1.23b 适用于三角形负载,功率表承受的是线电压;图 7.1.23c 和图 7.1.23d 对两种负载都可适用。当采用图 7.1.23c 的接线时,要求  $R_B = R_C = R_P$ , 式中  $R_P$  是功率表中电压电路的内阻。当采用图 7.1.23d 的接线时,要用开关换一次电压,两次读数的和就是三相有功功率。当采用前三种接法时,必须把有功功率表的读数乘以 3 才是三相有功功率。

(4) 用三相有功功率表进行测量的接线如图 7.1.24。

三相有功功率表实际上相当于两个单相功率表组合在一起的铁磁电动系(或电电动系)仪表,它有两个电压主线圈和两个电流线圈,分别接于电路之中,其内部接法就是图 7.1.21 的两功率表法。当采用电压或电流互感器时,电路的实际功率  $P$  为电表的读数  $P_1$  乘以电压互感器和电流互感器的比率。



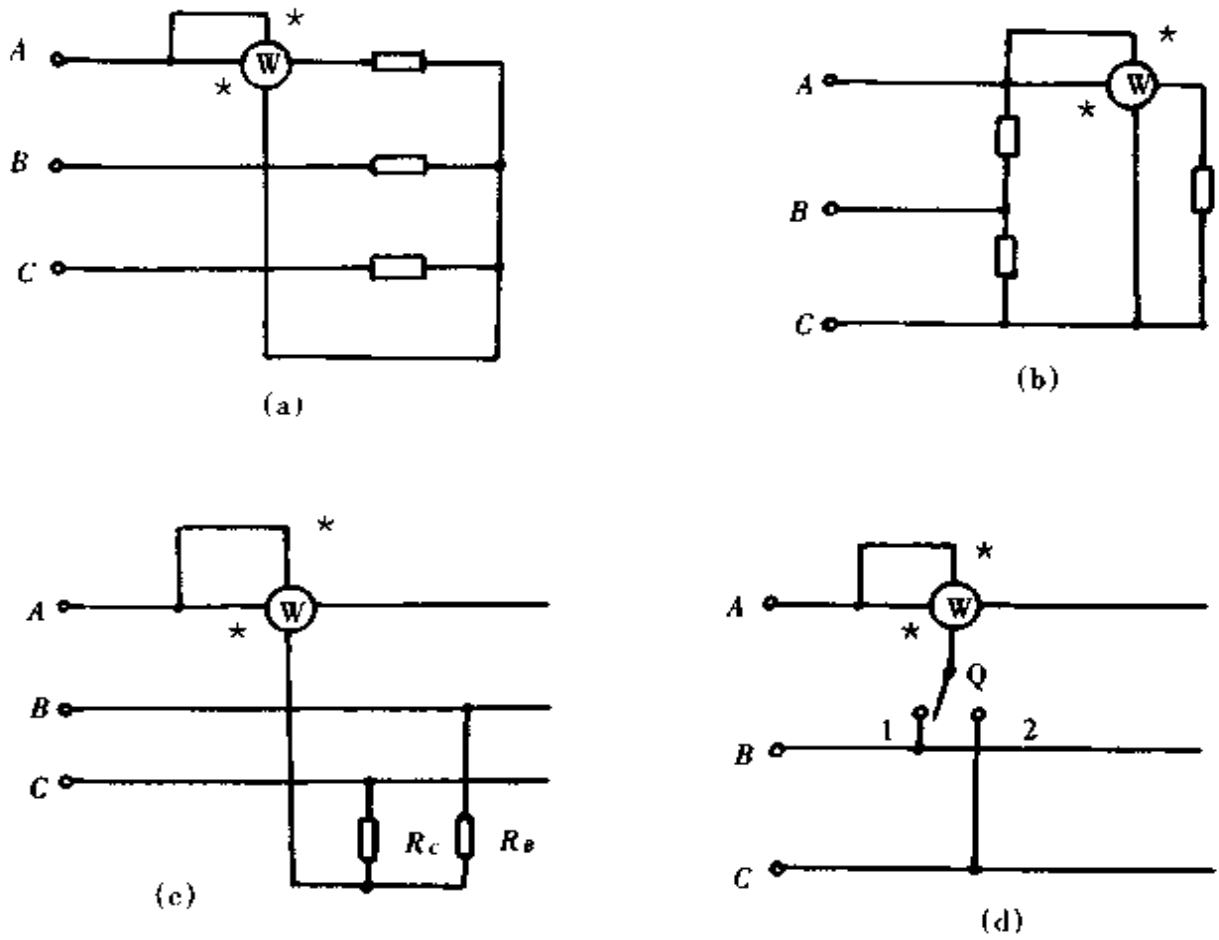


图 7.1.23 一只功率表测量三相有功功率  
 (a)负载为星形时 (b)负载为三角形时 (c)人工中心点法 (d)切换开关法

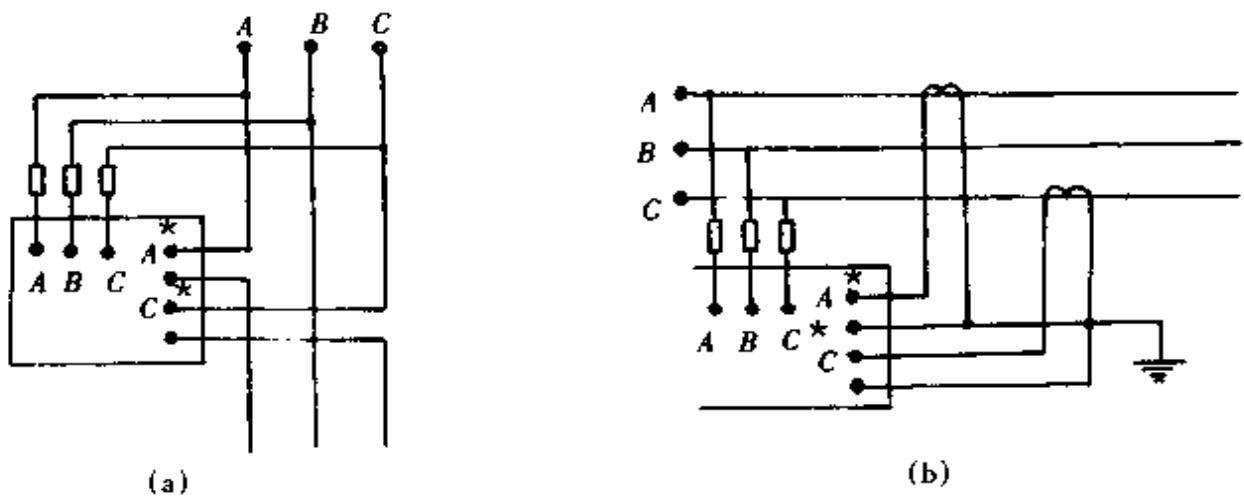


图 7.1.24 三相有功功率表的接线  
 (a)直接接入法 (b)带有电流互感器的接法

即： $P = P_1 \times k_1 \times k_2$

### 4.3.2 无功功率的测量

(1) 按图 7.1.25 接线,用两只单相有功功率表,跨相  $90^\circ$  接法,可以测量对称三相交流电路的无功功率。其值为两只有功功率表读数之和乘以  $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ,单位为乏(var)。

(2) 用一个三相无功功率表(又叫千乏表),可以直接测对称三相电路的无功功率,其结构和三相有功功率表一样。内部接线和图 7.1.25 一样,外部接线同图 7.1.24。

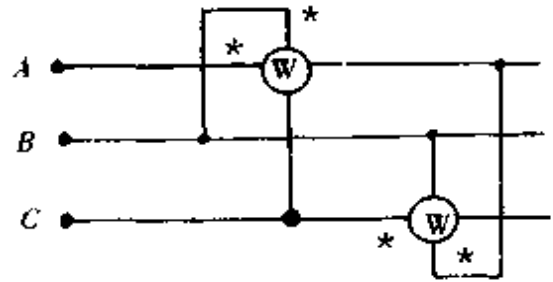


图 7.1.25 用两只瓦特表跨相  $90^\circ$  来测量三相无功功率

### 4.3.3 常用的单相、三相有功、无功功率表的型号及规格 见表 7.1.11。

表 7.1.11 常用单相、三相有功、无功功率表的型号及规格

名称	型号	等级指数	额定电压(V)	额定电流(A)
单相瓦特表	D26-W	0.5	0-75-150-300	0-0.5-1 0-1-2 0-2.5-5 0-5-10 0-10-20
			0-125-250-500	
			0-150-300-600	
	D-19-W	0.5	0-150-300	0-0.5-1 0-2.5-5 0-5-10
	44L1-W(矩形)	2.5	50; 100; 220	0.5; 5
	59L2-W(矩形)			
	6L2-W(方形)			
	42L6B-W(方形)			

续表

名称	型号	等级指数	额定电压(V)	额定电流(A)
三相瓦特表	D33-W	0.5	0-50-100-200	0-0.5
			0-75-150-300	0-1
			0-100-200-400	0-2
			0-125-250-500	0-2.5
			0-150-300-600	0-5 0-10
三相无功表	44L1-W(矩形)	2.5	50; 100; 220	0.5; 5
	59L2-W(矩形)			
	6L2-W(方形)			
	42L6B-W(方形)			
三相无功表	44L1-var(方形) 59L2-var(方形)	2.5	50; 100; 220	0.5; 5
	6L2-var(方形) 42L6B-var(方形)			

## 5 电能的测量

### 5.1 电度表的结构原理

电度表作为测量电路中的电能( $W = P \cdot t$ )的专用仪表,在工厂企业中被广泛应用。

电度表是一种感应式结构的仪表。固定部分由电流线圈、电压线圈和永久磁钢等电磁元件组成;可动部分是由上、下宝石轴承固定的转动铝盘。由电压线圈产生的磁通 $\Phi_u$ 在铝盘中感生电流 $i_u$ 与由电流线圈产生的磁通 $\Phi_i$ 相互作用,由于 $\Phi_i$ 二次穿过铝盘,我们看作它为 $+\Phi_i$ 和 $-\Phi_i$ ,它们在铝盘中产生感应电流 $i_i$ 与电压线圈的磁通 $\Phi_u$ 相互作用,磁通 $\Phi_u$ 、 $+\Phi_i$ 、 $-\Phi_i$ 在相位上、空间上都有差异,与涡流相互作用的结果形成移进磁场,产生转矩驱使铝盘转动。当转动力矩和由磁钢产生的反作用力矩相等时,圆盘恒速转动。

如果负载是感性的,那么负载电流将滞后于电压 $\phi$ 角,我们调整电压磁通 $\Phi_u$ 滞后于电压 $90^\circ$ ,此时它的转矩公式:

$$M = k \cdot \Phi_i \cdot \Phi_u \cdot \sin\varphi$$

式中  $k$  —— 转矩常数;  
 $\varphi$  —— 是 $\Phi_i$ 和 $\Phi_u$ 之间的角度。

因为  $\varphi = 90^\circ - \phi$ ,  $\Phi_u$  正比于  $u$ ,  $\Phi_i$  正比于  $I$ , 所以  $M = \Phi_i \times \Phi_u \times \sin(90^\circ - \phi) = k_1 u I \cos \phi = k_1 P$

若制动磁铁的磁通保持不变, 则制动力矩与铝盘转速成正比。

即

$$M_T = k_2 n$$

当电度表接入电路的功率不变时, 电度表圆盘的转速稳定, 这时:  $M = M_T$ , 即  $k_1 P = k_2 n$ , 也就是电度表圆盘的转速与电路的功率成正比。如果在时间  $t$  内电路所供给的功率是  $P$ , 则消耗的电能  $W = Pt = knt = kN$ , 即消耗的电能与电度表圆盘在这时间内的旋转数  $N$  成正比。因此电能可用电度表圆盘的转数来计量。

## 5.2 交流电路有功电能的测量

交流电路的供电分为单相、三相三线和三相四线制等形式, 作为测量电能用的电度表也相应分成这三种形式, 它的具体接线如图 7.1.26 所示。

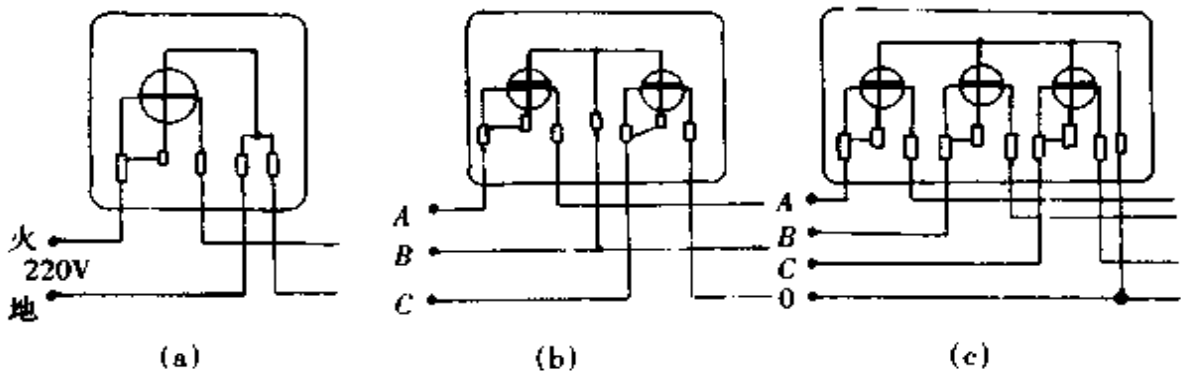


图 7.1.26 交流有功电度表的接线

(a) 单相电度表接线 (b) 三相三线电度表接线 (c) 三相四线电度表接线

## 5.3 三相三线交流电路无功电能的测量

无功电能 在电路中促使线路增加损耗, 对无功电能的测量, 可以设法提高功率因数, 在国民经济中有着极其重要的意义。

它可以用三相三线无功电度表直接测量, 接线如图 7.1.27。如果没有现成的三相三线无功电度表, 也可以用三相三线有功电度表利用跨相  $90^\circ$  的接法来测量。

$$\text{有功电度表读数} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \text{无功电度值}$$

三相有功电度表的内部接线如图 7.1.26b, 将其改接成图 7.1.27 就可以。

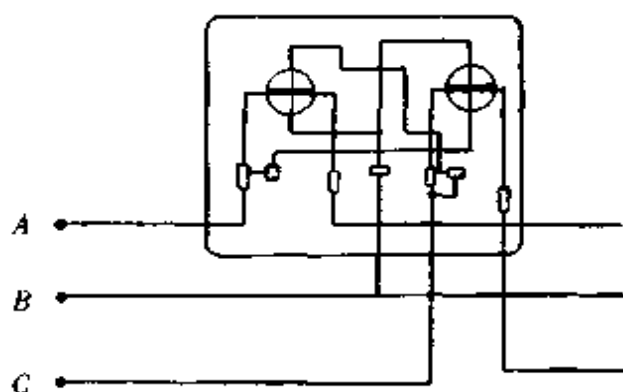


图 7.1.27 三相无功电度表的接线

### 5.4 D86 系列电度表的性能规格

旧型号的电度表由于能耗、性能等问题已规定淘汰。新一代 D86 系列电度表是全国联合设计的电度表,它的明显特点是:

- (1) 宽负荷。过载能力为额定电流的四倍,即 5A 的表可以用到 20A。
- (2) 长寿命。使用寿命长达 10~15 年,比老产品高出数倍以上。可以延长用户的维修周期,从而节约了大量的人力、物力。
- (3) 高灵敏度。和老产品相比,它的启动电流几乎小了一半,这样在轻负荷时,老产品的电度表可能不计费,而 D86 系列新型号电度表已经完全启动计费,所以经济效益明显,特别对大容量的用电户。

D86 系列电度表的型号及规格详见表 7.1.12。

表 7.1.12 D86 系列电度表的型号及规格

名称	规格	等级指数	额定电压(V)	额定电流(A)	外形尺寸(mm)
DS862- $\frac{2}{4}$ 型 三相三线有功电度表		2	3×100 3×380	3×3(6) 3×5(20) 3×10(40)	273×172×124
DT862- $\frac{2}{4}$ 型 三相四线有功电度表		2	3×380/220	3×3(6) 3×5(20) 3×10(40) 3×30(100)	273×172×124
DX862-2型 三相四线无功电度表		3	3×380	3×3(6)	273×172×124
DX865-2型 三相三线无功电度表		3	3×100 3×380	3×3(6)	273×172×124

续表

名称	规格	等级指数	额定电压(V)	额定电流(A)	外形尺寸(mm)
DX862-4型 单相电度表		2	220	2.5(10) 5(20) 10(40) 30(100)	118×167×118
DT864-2型 三相四线有功电度表		1	3×380/220	3×3(6)	
DS864-2型 三相三线有功电度表		1	3×100	3×3(6)	
DX863-2型 三相三线无功电度表		2	3×100	3×3(6)	
DX864-2型 三相四线无功电度表		2	3×380/220	3×3(6)	
DS21型 三相三线有功电度表		0.5	3×100	3×5	165×252×126

## 5.5 电度表在联合接线中的检查

电度表的接线往往不是单独的,它常与电流互感器、电压互感器以及电流表、电压表、功率表、功率因数表等联合在一起进行接线,由于二次线错综复杂,经常会出现差错,可是电度表还是在转动,其接线是否正确很难判断。下面以三相三线有功电度表在联合接线中为例,介绍在线中检查的方法,这种方法毋需停电,只要断开中相(B相)电压,便立见分晓,十分方便,具体见表7.1.13。

表 7.1.13 三相三线电度表抽中相电压的接线检查法

序号	抽中相电压前后电度表方向及转速	结论
1	抽前正转,抽后正转,但转速较前慢一半	接线正确
2	抽前正转,抽后反转,但转速较前慢一半	元件1、2相序正确,元件1电流极性反
3	抽前反转,抽后正转,但转速较前慢一半	元件1、2相序正确,元件2电流极性反
4	抽前反转,抽后反转,但转速较前慢一半	元件1、2相序正确,但电流极性均反
5	抽前不转,抽后反转	元件1、2相序接反,电流极性均正
6	抽前反转,抽后反转,转速为抽前1/4	元件1、2相序错,且元件1电流极性反
7	抽前正转,抽后正转,转速为抽前1/4	元件1、2相序错,且元件2电流极性反
8	抽前不转,抽后正转	元件1、2相序错,且元件1、2电流极性反

标准接线见图7.1.28。

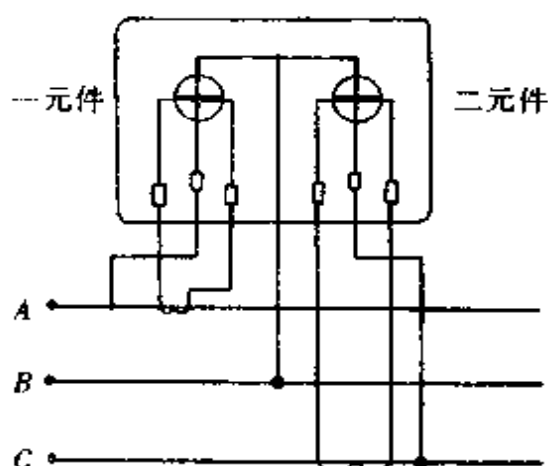


图 7.1.28 带电流互感器的三相三线有功电度表的标准接线

## 5.6 单相电度表的校验、维修及改制

### 5.6.1 电度表的校验

电度表在使用过程中,由于铝盘在轴承中终日不断地转动,会引起摩擦误差的增加。震动会引起电磁元件位置的相对变化和永久磁钢磁性的变化。诸多因素将造成误差的变化,所以必须定期校准。

根据检定规程,校验周期一般为3~5年。以单相有功电度表为例,它在额定电压下,功率因数 $\cos\varphi=1$ 时,负载电流分别在10%、50%、100%的标定电流下各点进行检定,同时又在 $\cos\varphi=0.5$ 感性负载,电流为20%、100%的标定电流下各点检定。通过这些点的检测、调整后,这只电度表将能准确运行。

在没有专用校验台的情况下,我们也可以现场在线数铝盘转数,用秒表测时间的办法来估算其误差的大小,然后按下式来计算误差:

$$\gamma = \frac{T - t}{t} \times 100\%$$

式中  $t$ ——实测时间(s),即电度表在恒定功率下,转  $N$  转时,标准测时器测定的时间;

$T$ ——算定的时间,即一只正确运行的电度表在恒定功率下,转  $N$  转应需要的时间,它可按下式计算:

$$T = \frac{3600 \times 1000 N}{CP}$$

式中  $C$ ——电度表铭牌上的常数;

$P$ ——实际功率(W);

$N$ ——选定的转数( $r$ )。

按规定算定时间  $T$  对 2.0 级和 3.0 级电度表应不少于 50s。

在检测时按图 7.1.26a 接线。

在校验中,由于电压波动会引起负载功率的变化,要测试准确,必须功率要恒定。

根据电度表的转盘常数的意义可以得如下公式:

$$P = \frac{6000 \times n}{C}$$

式中  $n$ ——电度表铝盘每分钟的转数(r/min);

$C$ ——电度表转盘常数(r/kW·h)。

上式中我们只要数出电度表每分钟的转数和从铭牌上查得常数  $C$ ,就可以计算出负载的具体功率是多少了。

### 5.6.2 电度表的维修

电度表的可动部分由于润滑油的干涸、磨损以及计度器的摩擦,齿轮啮合不良等都会产生故障,所以在校验前必须进行清洗。它包括将计度器卸下,上、下宝石轴承拆开,各电磁元件紧固,永久磁钢隙缝清洁,用压缩空气吹清内部灰尘等。

清洗的元件置航空汽油中,洗净待干后装配起来,润滑油一般采用手表油。发现有缺损的零件应该调换。

经清洗装配后的电度表应该铝盘转动灵活自如,位置平整,在防潜针起作用时其红色标记在窗口正中央,计度器的齿轮和转轴的蜗轮的啮合一般保持在齿深的  $1/2 \sim 1/3$  之间,计度器走字灵活,翻字轻快。

只有经过清洗,装配正确的电度表,才能保证误差的顺利调整。

为了使电度表准确运行,安装地点必须防震、挂表应垂直,保持运行负载在额定负载的 70% 以上,但不得超过 125% 的额定负载。

在配用电压互感器和电流互感器时,读数要乘以变比值。

### 5.6.3 单相电度表的改制

这里的改制主要是指改电压线圈和电流线圈,如将 100V 改为 220V;220V 改为 380V 或将 5A 改成 10A。

(1) 电流线圈改制的原则是改制前和改制后其安匝数不变。另外转数的改变与容量的改变成反比,读数的倍数与转数的倍数成反比。

(2) 电压线圈的改制是改制以后电度表的转数和容量的改变成反比,读数的倍数和转数的倍数成反比。

改制以后的电流、电压线圈要平整、紧密,电压线圈每绕 4 层加一层绝缘,以防短路。改制以后的电流线圈要求通入 120% 的额定电流时不发热。



## 6 相位和频率的测量

### 6.1 相位的测量

#### 6.1.1 直接测量法

采用相位表直接测量出交流电路中的电压与电流矢量间的相位差角或者功率因数。

这种表一般是电动系或铁磁电动系结构,前者多做成携带型的,后者主要用作安装式仪表。近年来新生产了变送器式功率因数表。它是一个变送器再加上一个磁电系仪表作为指示仪表。变送器安装在测量现场,其输出可通过线路接至较远的监测中心,达到遥测、通讯的目的。

**6.1.1.1 D3- $\varphi$ 型单相相位表的结构原理** 它是采用电动系比率表的原理来工作的。固定线圈串接在被测的电流回路中,电流流经固定线圈产生磁场,可动部分的转轴上固定有两个互相交叉成 $60^\circ$ 角的无框架动圈。一个动圈串接电感,一个动圈串接电阻,两者均和被测的电压回路并联。两个动圈流过的电流各自与流过固定线圈的电流所产生的磁场作用,产生作用力矩。两个动圈的作用力矩的方向相反,对不同的被测相位角,可动部分偏转到一定的角度时,两个作用力矩即达到相互平衡,固定在可动部分上的指针即指示出被测的相位角差来。

仪表的测量线路经过专门调整,用开关换接的方法来测量不同的容性和感性的相位角差。象限开关共有四个位置,能够测量从 $0\sim 360^\circ$ 的相角差或 $1\sim 0\sim 1\sim 0\sim 1$ 的功率因数。仪表的电原理线路如图 7.1.29。

固定线圈(电流线圈) $A_1$ 、 $A_1'$ 通以负载电流,量限有 5A、10A 两挡,可通过切换开关转换。

量限为 5A 时仅接触片 2 与 3 接通,使线圈  $A_1$ 、 $A_1'$  串联;当量限为 10A 时,1 与 2、3 与 4 分别接通,使线圈  $A_1$ 、 $A_1'$  并联。

仪表的左下方设置了象限选择开关,通过它的转换改变了电压回路的接法,可测量出在四个象限内的相位角和功率因数。

**6.1.1.2 D3- $\varphi$ 型功率因数表的使用和维修** 使用时仪表应安置在水平位置上,尽可能远离强电流导线及强磁性物质。断开电源,按图 7.1.30 将仪表接入线路。

**6.1.1.3 象限选择** 象限选择开关共分为四个象限,Ⅰ象限为负载端电感位置,Ⅱ象限为负载端电容位置,Ⅲ象限为发电机端电感位置,Ⅳ象限为发电机端电容位置。

使用时根据被测线路的性质,将其置于不同象限位置上。当不清楚被测线路

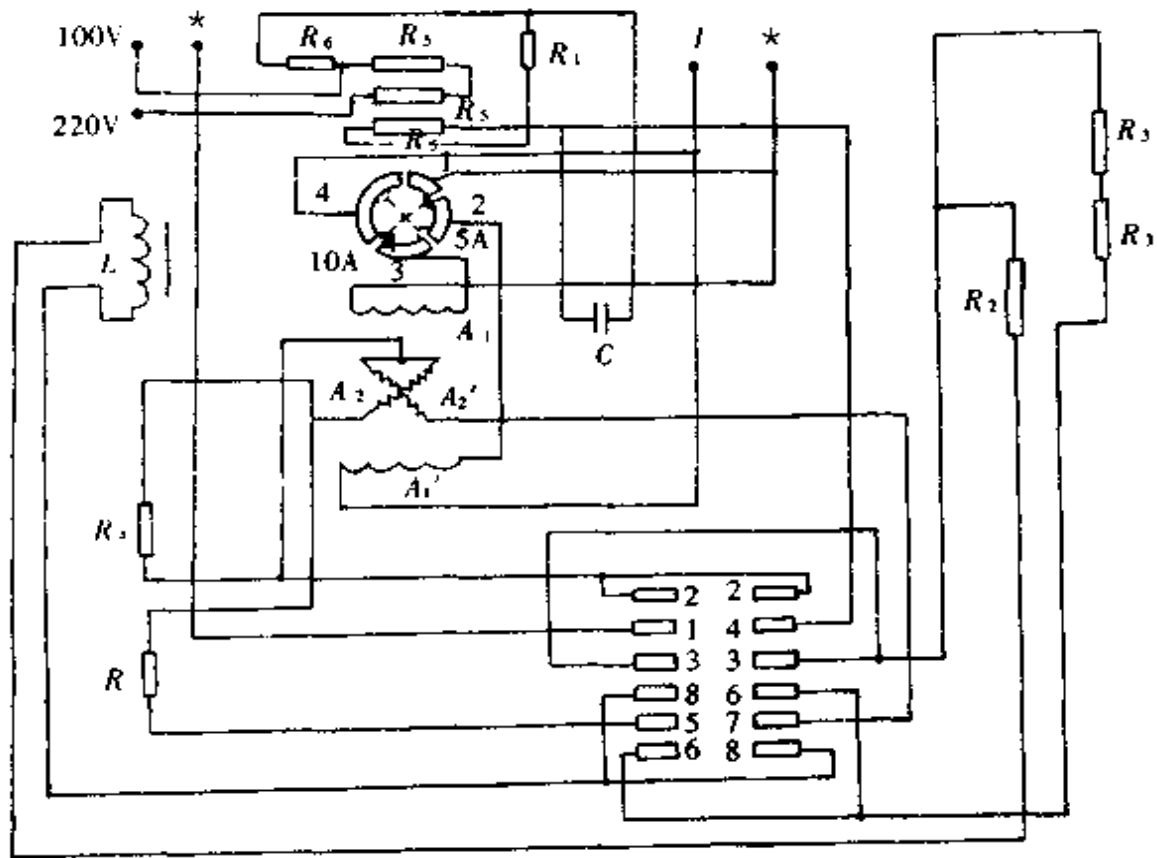


图 7.1.29 D3-φ 型功率因数表电原理图

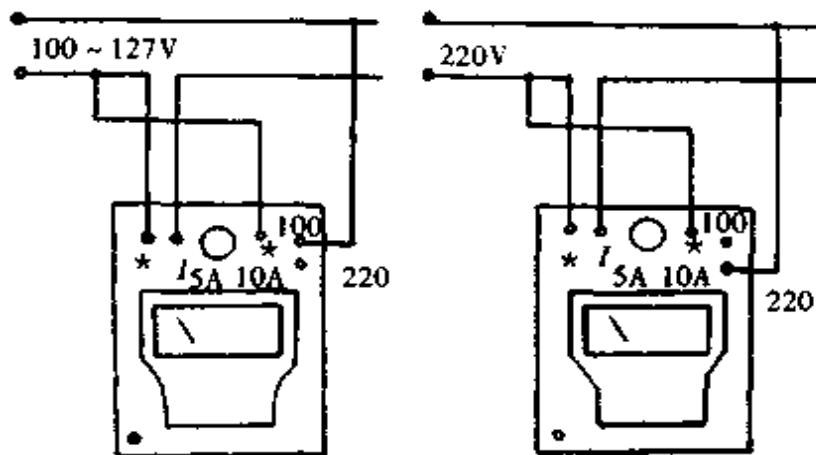


图 7.1.30 D3-φ 相位表直接接入法

的性质时,可先置在 I 象限上,如指示小于“0”度,可以转换至 II 象限位置上。在 I 象限上的示值表示电流滞后电压的相角, II 象限上的示值是电流超前电压的相角。

一般工程上测量相位用这两个象限就可以了,但在测量移相器等设备时,如果在 I 象限的指示超出 90°就必须切换至 IV 象限上。同理,也可从 II 象限上切换至 III

象限上。这里的发电机端不过是在负载端接法时的电压反向 $180^\circ$ 而已。所以发电机电容端的 $30^\circ$ 也就是负载电感端的 $150^\circ$ ，其象限开关位置和相角示意各见图7.1.31。

在转换象限开关时，必须将被测量减小至零再操作，以免指针受冲击。

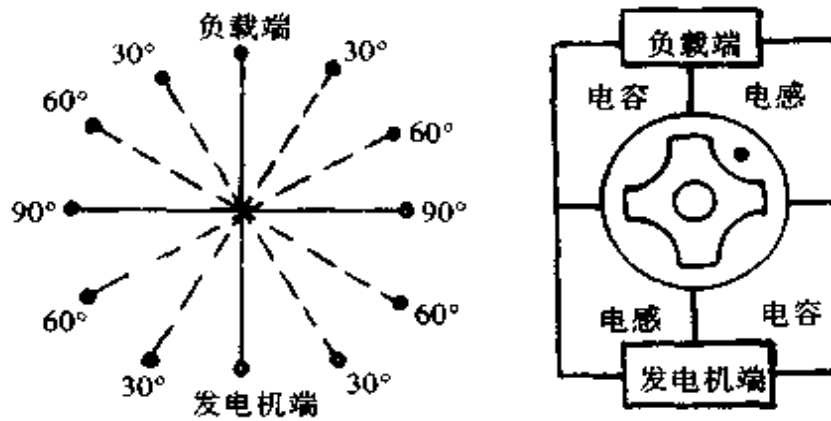


图 7.1.31 象限开关位置和相角示意图

6.1.1.4 使用误差 仪表在使用过程中，由于受冲击引起指针与动圈的夹角的改变，电容量 $C$ ，电感 $L$ 值和电阻值的变化，均会引起误差。D3- $\varphi$ 表的技术数据见表7.1.14，误差调整方法见表7.1.15。

表 7.1.14 D3- $\varphi$ 型功率因数表电路技术数据

标号	名称	阻值( $\Omega$ )	线径(mm)	材料
$A_2$	可动线圈	90~125	$\varnothing 0.1, 330$ 匝(内)	高强度漆包铝线
$A_2'$	可动线圈	90	$\varnothing 0.1, 280$ 匝(外)	高强度漆包铝线
$R$	电阻	5/10/30	$\varnothing 0.2/0.2/0.25$	单线漆包锰铜线
$R_1$	电阻	375		单线漆包锰铜线
$R_2$	电阻	300		单线漆包锰铜线
$R_3$	电阻	450		单线漆包锰铜线
$R_4$	电阻	1000~2500		
$R_5$	电阻	1400		锰铜线
$R_6$	电阻	156		锰铜线
$L$	电感线圈(50Hz)	2.75亨直流电阻 105	$\varnothing 0.25, 1600 \pm 16$ 匝	高强度漆包线
$C$	电容器	0.3 $\mu$ F		

表 7.1.15 D3-φ 型功率因数表误差调整方法

误差偏大现象	调整方法
不论负载为什么性质,指示值全“快”或全“慢”	改变指针角度,若全“快”,把指针向左移;全“慢”向右移
指示值普遍“快”或普遍“慢”,但“负载端电感”和“负载端电容”恰好相反,且 100V 和 200V 挡指示值不重合	改变与电容 C 并联的电阻 $R_1$ 的阻值。若电感端偏“快”,则应减小电阻 $R_1$ ,反之增大 $R_1$
以 $60^\circ$ 附近为中心,负载为电感时前“快”后“慢”,负载为电容时前“慢”后“快”,或者相反	增大电感,即把电感线圈螺丝向下调,反之应减少电感
不论负载为电感或电容,各挡扩展度均大或均小	调整与动圈 $A_2$ 并联电阻 $R_4$ 的阻值
$\varphi = 0^\circ$ 和 $\varphi = 90^\circ$ 两侧出现普遍“快”或普遍“慢”的误差	检查并调整两动圈间夹角 $r$ 为 $60^\circ$

### 6.1.2 功率因数的间接测量

6.1.2.1 单相和对称三相电路 在单相和三相电路中,电流和电压的相位差可用三只仪表(电流表、电压表和功率表)来间接测量,若测得的电压为  $U$ ,电流为  $I$ ,有功功率为  $P$ ,则可按下公式计算:

$$\text{单相: } \cos\varphi = \frac{P}{UI}$$

$$\text{三相: } \cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}UI}$$

式中  $U$ ——线电压; $I$ ——线电流。

在对称三相电路中还广泛采用双功率表法测量功率因数,其接线方法见图 7.1.21,其计算公式为:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}\right)^2}}$$

或

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + 3\left(\frac{1 - K}{1 + K}\right)^2}}$$

式中  $K = \frac{P_1}{P_2}$  (感性)或  $K = \frac{P_2}{P_1}$  (容性)

6.1.2.2 三相不对称电路 在三相不对称电路中可以通过有功功率表和无功功率表的读数来算出某一瞬间的  $\cos\varphi$  值。

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_q}{P}\right)^2}}$$

式中  $\tan \varphi = \frac{P_q}{P}$ ;  $P_q, P$ ——无功功率和有功功率

为了监视工业负荷的运行状态,测量一段时间内的平均功率因数在经济上更有意义。平均功率因数可由有功电度表和无功电度表的读数,按下式计算:

$$\cos \varphi_p = \frac{W_p}{\sqrt{W_p^2 + W_q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_q}{W_p}\right)^2}}$$

式中  $W_p, W_q$ ——分别为所选定时间间隔内有功电度表和无功电度表的读数。

在实际计算中,可先算出  $\frac{W_q}{W_p}$ ,然后根据  $\tan \varphi_p = \frac{W_q}{W_p}$  查出相应的  $\varphi_p$  和  $\cos \varphi_p$ 。

### 6.1.3 常用相位表的规格型号

常用相位表的型号及规格见表 7.1.16。

表 7.1.16 常用相位表的型号及规格

	型 号	量 程	等级 指数	外形尺寸(mm)
携 带 型	D26-cosφ(单)	电压:110V、220V; 电流:0.25/ 0.5A; 0.5/1A; 1/2A; 2.5/5A; 5/10A; 10/20A。 cosφ: 滞后0.5~1~0.5 超前	1.0	266×193×133
	D31-cosφ(三相)	电压:110V、220V、380V。 电流:0.25/0.5A; 0.5/1A; 1/ 2A; 2.5/5A; 5/10A; 10/20A。 cosφ:0.5~1~0.5	1.0	266×193×133
	D3-φ(单相)	电压:110V、220V。 电流:2.5/5A。 φ:0~360° cosφ:1~0~1~0~1	1.5	
安 装 型	44L1-cosφ(单相) 59L2-cosφ(单相)	电压:100V、220V。 电流:5A。 cosφ: 滞后0.5~1~0.5 超前	2.5	100×80 120×100
	42L6B-cosφ(单相) 6L2-cosφ(单相)	电压:100V、220V。 电流:5A。 cosφ: 滞后0.5~1~0.5 超前	2.5	80×80 120×120
	42L6B-cosφ 6L2-cosφ	电压:100V、380V。 电流:5A。 cosφ: 滞后0.5~1~0.5 超前	2.5	80×80 120×120

## 6.2 频率的测量

频率是电能质量的重要指标之一。我国电力系统的额定频率是 50Hz, 它的测量就是用频率表来完成的。频率表的种类很多, 有电动系、铁磁电动系、电磁系、振荡系、整流系等多种。在实验室作为标准表使用的基本是电动系的; 在生产现场用来监视频率用的安装式频率表则大都采用铁磁电动系。近年来也广泛采用了数字式频率表, 它精度高, 读数方便, 但价格较贵, 有些表的可靠性往往还不及普通机电式, 所以目前和今后的一段时间内, 频率表将是机电式和数字式并存, 而且大量采用的还是机电式。

### 6.2.1 1D1-Hz 型和 16D2-Hz 型铁磁电动系频率表的结构原理

它们都是安装式铁磁电动系频率表。测量范围为 45~55Hz, 基本误差不超过 0.5Hz, 基本原理相同。其测量机构和电原理图见图 7.1.32。

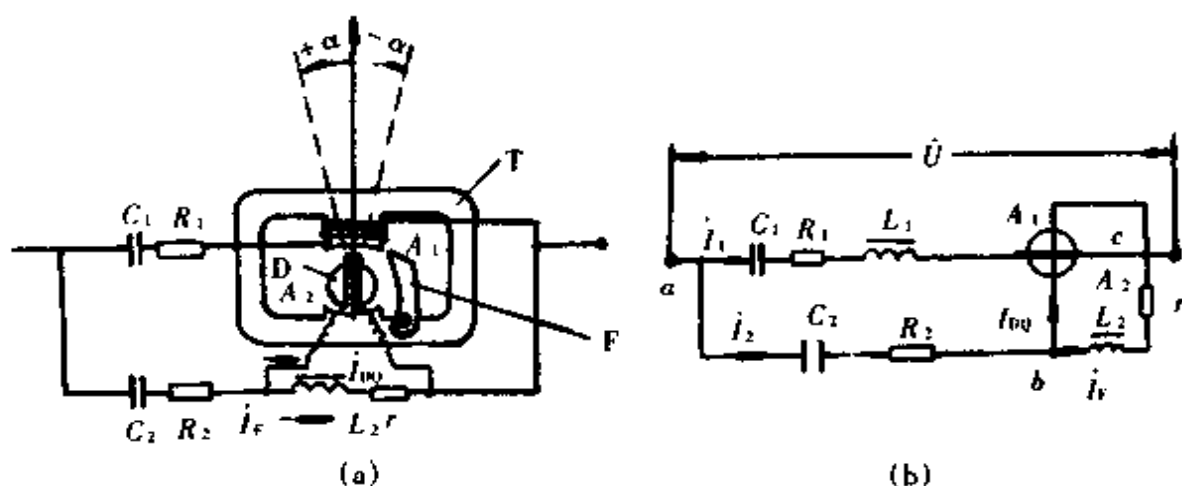


图 7.1.32 1D1-Hz 型频率表

(a) 结构原理图 (b) 电路图

在结构原理图中, T 是由硅钢片叠成的导磁体, 在中间的磁极上绕有励磁线圈  $A_1$ ; D 是芯柱, 也是由硅钢片叠成的, 在它外面有动圈  $A_2$ ; F 是分磁片, 可用以调整仪表的误差。它的转动力矩由流经可动线圈的电流和由  $R_1$ 、 $C_1$  和  $L_1$  组成串联谐振回路的电流产生的磁场互相作用产生。这种仪表没有机械游丝, 上下两盘导流丝仅起导通电流的作用。它的反作用力矩由动圈  $A_2$ 、电阻  $r$  和电感  $L_2$  的闭合电路形成的所谓“电气游丝回路”来产生。当作用力矩等于反作用力矩时, 指针指示出被测电路中的频率。

## 6.2.2 1D1-Hz型、16D2-Hz型频率表的技术数据见表7.1.17

表 7.1.17 1D1-Hz型、16D2-Hz型频率表技术数据

名称与 标号	1D1-Hz	1D1-Hz	16D2-Hz
励磁线圈 和电感	电感约 50H, 电阻约 1920Ω	励磁线圈用直径为 0.12mm 铜线绕制,电阻为 1436Ω。 另有电感线圈,用漆包铜线 绕 7000 匝	直径为 0.13mm 漆包铜 线绕 4×2600 匝,电感 约 51H
动圈	299Ω	用直径为 0.08mm 漆包铜线 绕制,318Ω	用直径为 0.05mm 漆包 铜线绕制,匝数为 900 ±10,电阻 600~660Ω
电阻 $R_1$	3007Ω	2000Ω	800Ω
电容器 $C_1$	0.2μF	0.2μF, 直流电压 800V	CYM-0.2μF
电阻 $R_2$	无	600Ω	无
电容器 $C_2$	0.1μF	0.1μF, 直流电压 600V	CZM-0.1μF
电阻 $r$	123Ω(可调)	300Ω(可调)	100Ω(可调)
电感 $L_2$	331Ω	116Ω	直径为 0.13mm 漆包铜 线绕 3200 匝,电感为 2.4~3.2H

注:1D1-Hz型频率表,生产厂家较多,电路数据也不尽一致。有的厂采用变压器变压,有的不用变压器,这里是两家生产厂生产的 1D1-Hz 型频率表的数据。

## 6.2.3 常用频率表的型号及规格

见表 7.1.18。

表 7.1.18 常用频率表的型号及规格

	型 号	量 程	等级 指数	外形尺寸(mm)
携 带 型	D3Hz-1	额定电压: 36~110~220V 或 110~220~380V 45/65; 90/110; 135/165; 180/ 220; 350/450; 450/550; 700/ 900; 900/1100; 1800/2200; 2250/2750Hz	0.5	266×193×167

续表

	型 号	量 程	等级指数	外形尺寸(mm)
安 装 型	44L1-Hz 59L2-Hz (矩形)	电压:50V;100V;220V;380V 频率:45~55Hz;55~65Hz;350 ~450Hz;450~550Hz	1.0	100×80 120×100
	46L1-Hz 16L1-Hz (槽形)	电压:100V;220V;380V 频率:45~55Hz;55~65Hz	1.0	120×60 160×80
	81L1-Hz 62L1-Hz (方形船用)	电压:100V;220V;380V 频率:45~55Hz;55~65Hz;350 ~450Hz;450~550Hz	1.0	65×65 85×85
	6L2-Hz 42L6B-Hz (方形)	电压:50;100;220;380V 频率:45~55Hz;55~65Hz;350 ~450Hz;450~550Hz	1.0	80×80 120×120

#### 6.2.4 1D1-Hz型、16D2-Hz型频率表的常见故障及排除方法 见表 7.1.19。

表 7.1.19 1D1-Hz型、16D2-Hz型频率表的常见故障及排除方法

故障现象	可能的原因	发现或排除故障法
通电后指针仍处于自由状态	1. 电压未加上。 2. 谐振电路断线。 3. 动圈断路或烧毁	1. 检查线路,测电压。 2. 检查 $C_1$ 、 $L_1$ 、 $R_1$ 和导线。 3. 测动圈电阻
通电后,指针总是停在中间刻度附近某一点	移相电路不起作用, $C_2$ 或 $R_2$ 断线	逐一检查移相电路元件
灵敏度极端增大	“电气游丝”失灵	检查 $r$ 、 $L_2$ 是否断路或 $L_2$ 短路
灵敏度极度降低	1. $I_1$ 匝间短路 2. $r$ 被短路	1. 测匝数或直流电阻,必要时重新绕制。 2. 测 $r$ 电阻
通电后仪表指针倒向高频段	$C_1$ 被击穿或被短路,使谐振电路呈 $R-L$ 性质	检查 $C_1$ ,因 $C_1$ 常受数百伏高压,且对误差影响极大,故其耐压应不低于 600V 的优质电容
通电后,仪表指针倒向低频段	1. $C_2$ 短路,使 $\phi_1$ 、 $I_{D_2}$ 夹角减小,若 $R_2$ 为零时,可能使仪表动圈烧毁。 2. $L_1$ 短路,使谐振电路呈 $R-C$ 性质	1. 更换电容,工作电压可较 $C_1$ 稍低,但一定是优质电容。 2. 检查 $L_1$ ,测电阻或匝数



## 第二章 常用电工仪表及仪器

### 1 万用电表

万用电表是一种具有多量程,可对多种电量进行测量的直读式电气仪表,一般以测量交直流电流、交直流电压和直流电阻为主要目标。此外,派生的测量电量还有电感、电容、音频电平等。由于万用表具有量程广泛、使用和携带方便等优点,所以较广泛用于工厂、企业、学校和科研单位。

#### 1.1 万用电表的结构

万用电表在结构上主要由指示部分(表头)、测量线路和转换开关三部分组成。

(1) 指示部分(表头)用以指示被测电量的数值,通常用磁电系微安表作为表头。它是万用电表的关键部件,很多重要性能(如灵敏度、准确度等级、阻尼、升降变差及指针回零等)都主要取决于表头的性能。万用电表的重要性能之一是灵敏度,它的灵敏度是以满刻度偏转电流来衡量的。满刻度偏转电流越小,则灵敏度越高,测量电压时内阻就越大,万用电表的性能就越好。

(2) 测量线路的主要作用是把各种被测的电量转变成适合表头指示的微小直流电流。例如,将被测的大电流通过分流电阻变换成表头所需的微弱电流;将被测的高电压通过分压电阻变换成所需的低电压;将被测的交流电流(电压)通过整流器变换成表头所需的直流电流(电压)等。因此测量线路通常由分流电阻、分压电阻、整流器等元件组成。

(3) 由于万用电表需要作多种测量,因此必须由转换装置把仪表的电路转换成所选定的测量种类和量程。转换装置通常由转换开关(测量种类、量程选择开关)、插孔、接线柱、按钮等元件组成。

#### 1.2 万用电表的工作原理

万用电表的型号繁多,结构各异,但是它们测量电流、电压、电阻等电量时,部

分线路原理是一样的,只有繁简与量限多少之别。所以只要熟悉万用电表基本工作原理,就不难分析各种型号的线路。

### 1.2.1 直流电流的测量

磁电系微安表能直接测量直流电流,但其容许通过的电流是有限的,测量较大电流时,需与测量机构并联一个分流电阻,如图 7.2.1 所示。这样被测电流  $I$  的大部分将通过分流电阻  $r$ ,而小部分电流  $I_0$  通过测量机构。分流电流的大小与  $r$  的大小成反比,因此改变  $r$  的大小,就能改变仪表的测量范围。

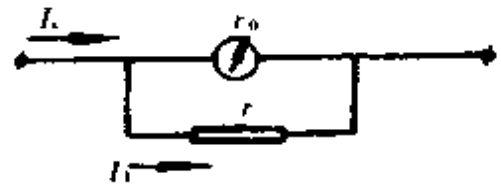


图 7.2.1 测量机构并联分流器

万用电表测量直流电流最常用的是多量程闭合式分流器,如图 7.2.2 所示。这种分流器的优点是:与仪表测量机构形成闭合回路的电阻值不随量程的改变而变化,因此仪表的阻尼时间是不变的;其次,由于量程转换方式引起的接触电阻与分流电阻的阻值无关,只串联在电路中,所以引起的误差极小。但其中某一电阻的变化,会不同程度地影响各个量程,因此给调整误差带来一定的困难,需要经过反复调整,才能将各量程的阻值调好。

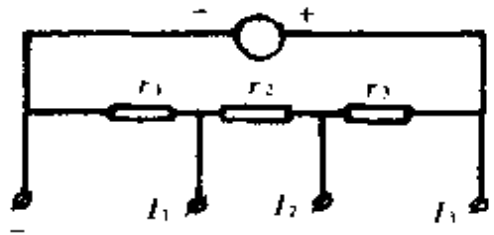


图 7.2.2 多量程闭合式分流器

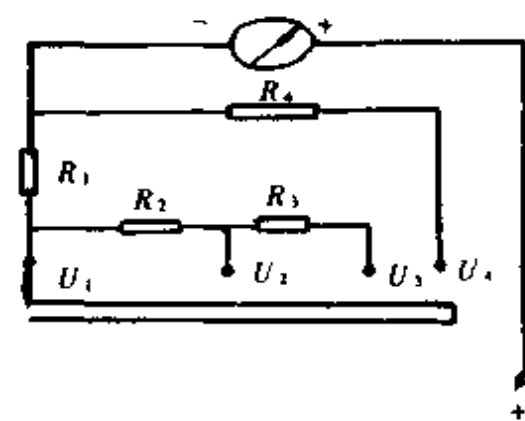


图 7.2.3 扩大电压测量用串联电阻

### 1.2.2 直流电压的测量

万用电表中,电压测量的基础仍然是电流测量电路。它本身既是电流表,又可以看成是一个电压表。因为当电阻值一定时,使电表指示满刻度偏转的电压是一个定值,因此也可以作为电压表使用。但是作万用表使用的表头的端压降只有几十毫伏,如不加任何措施,则只能作为毫伏表使用。

扩大电表的测量范围,通常采用与电表串联电阻的方法,如图 7.2.3 所示。万用表电路一般除小量程用锰铜线绕电阻外,大部分是采用炭膜电阻或金属膜电阻作为附加电阻的。

在实际使用中,表头往往串接电阻及并联分流电阻,如适当选择串、并联电阻,能起到温度补偿作用。不过,由于表头串、并联电阻后,灵敏度会有所下降,附加电阻的阻值不宜过大,以免增加在制造工艺中对电路的绝缘要求。

### 1.2.3 交流电流、电压的测量

磁电系仪表只能测量直流,如需测量交流,则必须采用一个交直流变换装置。万用电表最常用的交直流变换器是整流器,如图 7.2.4 所示。整流系交流电流、电压表的工作原理与直流电流、电压表相似,不同点是将交流整流后进行测量,但应把交流有效值换算成为直流的平均值。

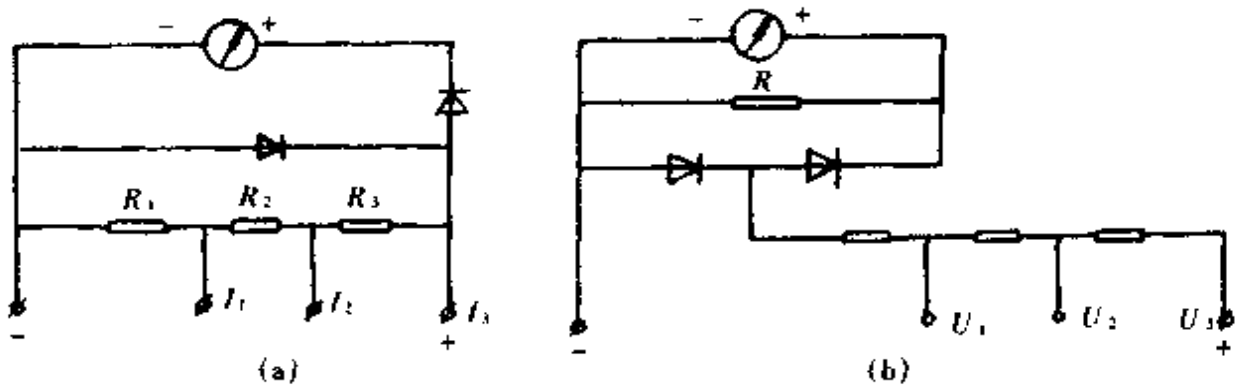


图 7.2.4 交流电流、电压的测量示意图

(a) 交流电流的测量 (b) 交流电压的测量

整流系电表有灵敏度高、本身消耗功率小、读数比较不受频率影响等优点。但由于整流器的伏安特性的非线性,使仪表刻度成为不均匀刻度,同时整流器的性能具有温度敏感性和随时间的不恒定等因素,会引起仪表的误差,所以万用电表交流挡测量等级一般都低于 1.5 级。

### 1.2.4 电阻的测量

万用电表测量电阻的部分,实际上是个欧姆表。电阻测量的方式往往由量程来决定。小电阻的测量,通常采用被测电阻与电表并联的方式;大电阻的测量,通常采用被测电阻与电表串联及加高电压的方式。

测量电阻的原理电路如图 7.2.5 所示。电阻测量是基于欧姆定律,即在电池电压恒定时,电流与回路电阻成反比。根据欧姆定律:

$$I = \frac{E}{R_i + R_1 + \frac{R_i R_A}{R_i + R_A}}$$

可见,当  $R_i = 0$  时,通过电流为最大;当  $R_i = \infty$  时,电流为零。因此欧姆表的刻度值同直流电流刻度方向是相反的。又由于外接电阻  $R_i$  每变化同一数值,电流  $I$  并不相应变化同等数值,这就造成了欧姆表的刻度不均匀的特点。

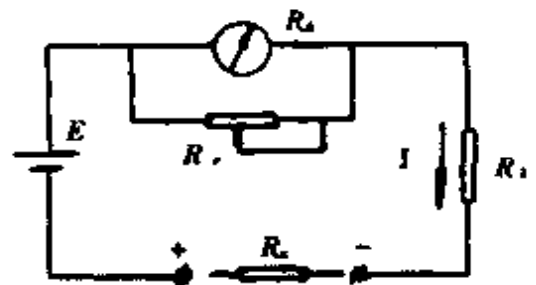


图 7.2.5 测量电阻的原理电路

$R_s$  的作用:当  $R_s = 0$  时,  $I$  应为最大值,但由于电池电压变化的原因,使指针转角达不到或超过满刻度值,这时可改变  $R_s$  的阻值(即改变分流电流),从而改变流入表头的电流,使指针回到欧姆表的零位。

欧姆中心值的意义:由图 7.2.5 可知,当  $R_s = 0$  时,表头通过的电流

$$I = \frac{E}{R_i + \frac{R_s R_A}{R_s + R_A}}$$

若  $R_s = R_i + \frac{R_s R_A}{R_s + R_A} = R'$  时

则  $I_1 = \frac{E}{R_s + R'} = \frac{E}{2R'} = \frac{I}{2}$

从上式可以看出,当被测电阻  $R_x$  等于欧姆表总内阻时,欧姆表电路中总电流将减小一半,表头电流也减小一半,指针指示在刻度尺的中央。由此说明,欧姆表刻度尺的中心阻值等于欧姆表该挡的总内阻值。

## 1.3 万用电表的使用方法和注意事项

### 1.3.1 转换开关位置的选择

根据被测对象,将转换开关转到所需的位置。选择时应先选择测量的种类,然后再选择测量的量程。

(1) 选择测量种类时,要特别细心,稍有不慎就有可能造成严重后果。如果误用电流挡或电阻挡来测量电压,轻者会使表针损坏,重者将导致表头、线路电阻、转换开关等烧坏。

(2) 选择测量量程时,如果对于被测电流、电压的大小心中无数,应先拨到最大量程上试测,以保证表头不被损坏,然后再拨至合适的量程上进行测量。最好使指针指示在量程的二分之一到三分之二的范围内,读数最为准确。注意不可带电转换量程,以避免转换开关触头烧坏。

### 1.3.2 端钮(或插孔)的选择

(1) 测量直流电流或直流电压时,必须注意仪表的极性。红色测试棒接正极,黑色测试棒接负极。在测量电流时,应注意把测量电路断开,将万用电表串接在测量电路中。

(2) 测量 2500V 交流或直流电压时,要注意人身安全。使用时,黑色测试棒仍接在黑色端钮(或“—”插孔内),红色测试棒接到 2500V 端钮(或插孔内)。

### 1.3.3 欧姆挡的正确使用

(1) 测量电阻时,倍率挡的选择以使指针指示在刻度线较稀的部分为宜。指针越接近标度尺的中间,读数就越准确;越往左边,刻度线越挤,读数的准确度就越

差(电阻测量误差是以刻度尺长度的百分数来表示的)。

(2) 测量低电阻时要注意接触电阻;测量高电阻时应注意不可加入并联电路(例如不应将人手接触测试棒或电阻的引线部分)。

(3) 不能测量带电的电阻。因为带电测量,相当于接入一个额外电源,不仅得不到正确的测量数据,而且还可能损坏仪表。

(4) 表上有一个供测量电阻时用的零点调整电位器。测量电阻之前,应当将两根测试棒短接,同时转动调零旋钮,使指针指在标度尺的零位上。每换一次欧姆挡,都要重复这一步骤,以保证测量的准确性。若无法调节指针到零点,则说明电池电压不足,应予以换新。

(5) 测量交流电压时须考虑被测电压的波形。因为万用电表交流电压挡的刻度实际上是按照正弦电压经过整流后的平均值换算到交流有效值来刻度的,所以不能用它来测量非正弦电压的有效值。

(6) 在万用电表上有很多标度尺,它们分别代表不同的被测对象。所以测量时应在对应的标度尺上读数,同时也应注意标度尺读数和量程的配合,以免出差错。

(7) 每次测量完毕后,应将转换开关转到空挡或交流电压最高量程挡,以防他人误用或下次测量时疏忽而损坏仪表;也可避免由于将量程停留在电阻挡,而测试棒万一短接在一起时,仪表内电池长时间的耗电。

(8) 平时要养成正确使用习惯,每当测试棒接触被测线路前,应作一次全面检查,注意万用电表各部分的位置是否正确。

## 1.4 万用电表的故障分析和调整

### 1.4.1 看线路图的方法

万用电表是由直流电流(电压)表、交流电流(电压)表、欧姆表等线路通过转换装置综合组成的。要熟练地进行万用电表的故障判别和调修,必须善于分析万用电表的线路。下面介绍一下看万用电表线路的基本方法。

(1) 先熟悉仪表各元件代表的符号,了解各元件的作用及其分布位置。

(2) 查线路之前,应先确定各开关触点所处的位置。一般开关触点位置应处于所需查看的测量种类和量程挡。

(3) 看电压和电流测量线路时,一般应从接线柱(插孔)“+”端出发,经过各元件再回到“-”端。看欧姆测量线路时,则应从内附电池“+”端出发,经各元件再回到电池“-”端(此时假设被测电阻  $R_x$  已接于接线柱两端)。

(4) 在查看线路时,如碰到几条电路的交点,而难以分清该通过哪条电路时,应对各条支路分别查下去,直到被开关切断为止。对未被切断的支路继续查下去,直至回到接线柱(电池)的另一端,则该支路元件与这电路有关,分析电路时应将这

条支路考虑进去。

### 1.4.2 故障的检查和调整

1.4.2.1 外观检查 第一步先看外壳有无损坏现象,玻璃有无破碎脱落,指针是否平直,调零器能否起作用。接下来再看接线柱端钮(插孔)有无损坏,欧姆调零电位器旋钮、转换开关是否轻便灵活,定位是否正确和符合要求。

最后粗略地检查一个欧姆挡。先将转换开关转向  $R \times 1$  挡,并将正、负接线柱短接,旋动调零电位器,观察其指针是否能调到欧姆零点,指针在偏转过程中有无卡碰现象。在观察过程中,同时判别电池容量是否足够。其他欧姆挡的检查可仿此进行。

1.4.2.2 直流电流测量部分的故障及调整 直流电流测量部分的故障及可能原因见表 7.2.1 所列。

表 7.2.1 万用电表直流电流测量部分的故障及可能原因

故障现象	可能原因
标准表和被校表都无指示	1. 分挡开关未接通; 2. 公共线路断线
标准表有指示而被校表无指示	1. 表头线头脱落或动圈断路; 2. 与表头串联电阻值变大; 3. 表头被短路
各量程均为正误差	1. 表头灵敏度偏高; 2. 与表头串联电阻值变小; 3. 分流电阻值偏高
各量程均为负误差	1. 表头灵敏度降低; 2. 表头串联电阻阻值大
各量程误差无一致性	1. 分流电阻某挡焊接不良; 2. 分流电阻某一挡烧坏而短路; 3. 各挡分流电阻变值

调整方法:应先将那些特大误差初步调整到大部分量程一致。然后在最小量程用改变表头灵敏度或改变与表头串联的公共调整电阻阻值的方法,使电表各数字点的误差尽可能小,其余量程的误差可以从最大量程到最小量程方向逐个调整至各数字点均合格,并尽量最小。

1.4.2.3 直流电压测量部分的故障及调整 直流电压测量部分的故障及可能原因见表 7.2.2 所列。

表 7.2.2 万用电表直流电压测量部分的故障及可能原因

故障现象	可能原因
被校表无指示	1. 最低量程附加电阻断路; 2. 电压部分开关接触点或联线断开
某一量程不工作 其他量程工作	转换开关接触点不良或该量程的附加电阻联线断线
小量程误差大,随量程增大而误差减小	该量程的附加电阻不良或阻值变化
某一量程误差很大,以前量程误差合格,其以后量程随量程增大而误差减小	1. 该量程附加电阻变质或短路; 2. 电阻功率不够,超负荷而阻值变化
250V 以上量程挡误差大	1. 转换开关绝缘片不好; 2. 电阻变值; 3. 高压电阻板绝缘不良

调整方法:直流电压的调整是在直流电流已调好的基础上进行的,调整时应从小量程到最大量程逐挡调整,直到各挡全部合格为止。

一般炭膜电阻的误差比较大(5%~10%),这给误差调整带来很大困难,为了能将仪表的误差调到尽可能小,在空间许可的情况下,可串上小电阻来补偿其数值之不足。

高压绝缘不良时,应将绝缘件擦洗干净,置于 60℃~70℃ 的温度下干燥 8h,必要时应将绝缘件烘烤后浸漆,对严重损坏的必须更换。

1.4.2.4 交流电流、电压测量部分的故障及调整 交流电流、电压测量部分的故障及可能原因见表 7.2.3 所列。

表 7.2.3 万用电表交流电流、电压测量部分故障及可能原因

故障现象	可能原因
指针在刻度零点左右快速摆动	与表头串接的整流器被击穿
被校表指示约 50%	全波整流电路中有一个整流器被击穿
各挡测量值偏低,误差率一致	整流器反向电阻值变小

调整方法:交流电流调整是在直流调整好之后进行的,而且必须先排除整流器的故障。交流分流电路也为直流电流的分流电路时,一般只调整表头公共电路中交流专用调整电阻,即能使交流电流各量程合格。当个别量程不合格时,只有把交流电流量程所包括的直流量程的分流电阻稍加调整,并兼顾交流电流和直流电流各量程的误差使其均合格。

由于直流电流、直流电压、交流电流等已调好,交流电压的故障就大大缩小了。交流电压各量程误差一致或大部分量程有一致性的趋势时,可调整公用电路中专用以改变交流电压测量电路灵敏度的电阻来减小误差。当个别量程不合格时,只能调整该量程的附加电阻,调整个别量程误差时,应兼顾直流电压误差不得超过允许值。

1.4.2.5 直流电阻测量部分的故障及调整 直流电阻测量部分的故障及可能原因见表 7.2.4 所列。

表 7.2.4 万用电表直流电压测量部分的故障及可能原因

故障现象	可能原因
无指示	1. 电池无电压输出; 2. 转换开关公共触点未接通或断线; 3. 电阻测量电路专用与表头串联的电阻不通
正负棒短路时指针调不到零位; 调零时指针跳动误差大	1. 电池容量不足; 2. 与表头串联电阻变大, 调零电位器接触不良, 各量程分流电阻和限流电阻变化

调整方法: 电阻测量电路的调整, 应在电流、电压量程完好的基础上进行。在调整之前, 应先检查电池容量是否充足。正负端子短路时, 各量程均应调零, 并能稳定指示, 不得有飘移现象。欧姆调零接触不良时, 应将其接触部分清洗干净, 使其接触良好, 需要更换尽量保持原阻值, 以免电池电压变更时指针调不到零位。

电阻测量电路误差调整一般应自  $R \times 1$  挡至最大量程依次进行。当电阻测量电路与直流电流的分流电路共用时, 最好不调分流电阻, 而调限流电阻, 因为直流电流的精度在万用电表中最高, 而且误差已调好。

1.4.2.6 万用电表常用维修数据 万用电表常用维修数据见表 7.2.5 所列。

表 7.2.5 万用电表常用维修数据

仪表型号	测量机构 电流灵敏度 ( $\mu\text{A}$ )	动圈数据			游丝外径(mm) 和游丝力矩( $\times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{cm}/90^\circ$ )	
		线径 (mm)	匝数	内阻 ( $\Omega$ )	上	下
					外径 $\times$ 力矩	外径 $\times$ 力矩
500	40	0.03	2800	1500	9 $\times$ 14	9 $\times$ 14
MF7	63	0.03	900	1800	9 $\times$ 21	9 $\times$ 14
MF9	40	0.03	1200	2050	9 $\times$ 14	9 $\times$ 14
MF10	9.3	0.02	1200	3350	8 $\times$ 7	8 $\times$ 7
MF12	45	0.04	400	330	9 $\times$ 10	9 $\times$ 10
MF14	161	0.05	200	110	9 $\times$ 17	9 $\times$ 17
MF15	176	0.04	500	268	8 $\times$ 10	8 $\times$ 7
MF16	157	0.03	700	680	8 $\times$ 12	8 $\times$ 12
MF18	45	0.04	400	330	9 $\times$ 10	9 $\times$ 10
MF19	39.5	0.03	1200	2200	9 $\times$ 21	9 $\times$ 14
MF20	45	0.04	400	330	9 $\times$ 10	9 $\times$ 10
MF21	85	0.04	400	330	9 $\times$ 21	9 $\times$ 17
MF24-1	35	0.04	500	500	9 $\times$ 21	9 $\times$ 17
MF27-1	157	0.03	700	680	7 $\times$ 8	7 $\times$ 8
MF30	40.6	0.02	1500	3000	8 $\times$ 10	8 $\times$ 10

注: 上列数据仅供参考。

## 2 电子毫伏表

电子毫伏表是一种测量正弦波电压有效值的电子仪器, 具有灵敏度高、量程



大、输入阻抗高等优点。

电子毫伏表主要由放大电路、检波电路、指示器和稳压电源四部分组成。根据频率测量范围的要求,可分为检波—放大式和放大—检波式两种。前者的特点是被测电压加到仪表输入端后,先检波,后放大。由于检波后得到的电压是直流,因此具有宽广的频率响应而被广泛地用于超高频毫伏表,频率范围可以达到几百兆赫兹,但是被测电压未经放大就检波,在测量小电压时外界干扰影响较大,因此只能作伏特表(如DYC-5型、DA-22型、HFJ-8型)。放大—检波式的特点是被测电压先作交流放大、检波置于最后,使在大信号检波时产生良好的指示线性,同时便于对微弱电压的测量。也可通过一定的转换装置进行直流电压、电阻、电平测量(如DY-5型、DYF-5型)。

## 2.1 电子毫伏表的主要技术性能

电子毫伏表的主要技术性能见表 7.2.6 所列。

表 7.2.6 各种电子毫伏表的主要技术性能

型号	GB-2 (电子管)	GB-9B (电子管)	DA-16 (晶体管)	DA-21 (晶体管)
测量范围 (V)	1m~300 分10挡	1m~300 分10挡	1m~300 分11挡	0.1~1000 分15挡
测量基本误差 (%)	±2.5	±2.5	±3	±3
输入阻抗 (kΩ)	150	在1kHz时 ≥500	在1kHz时 >1000	2000
输入电容 (pF)	100	在1kHz时 40~70	在1kHz时 50~70	40
被测电压频率 (Hz)	50~50k	25~200k	20~1M	5~2M

## 2.2 DA-16型晶体管毫伏表

### 2.2.1 工作原理

DA-16型晶体管毫伏表是一种放大—检波式电压表,图 7.2.6 是它的工作原理方框图,图 7.2.7 是它的电气原理图。它是由高阻分压器、射极输出器、低阻分压器、放大电路、检波电路、指示器和电源供给电路等几部分组成。

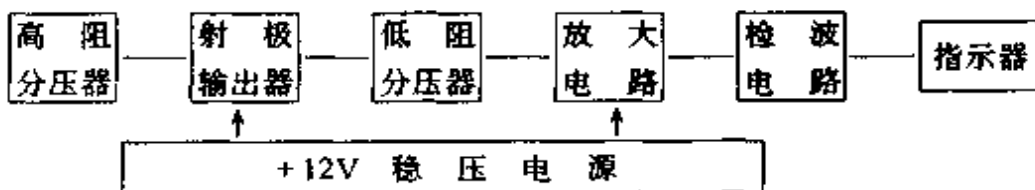


图 7.2.6 DA-16型晶体管毫伏表的工作原理方框图

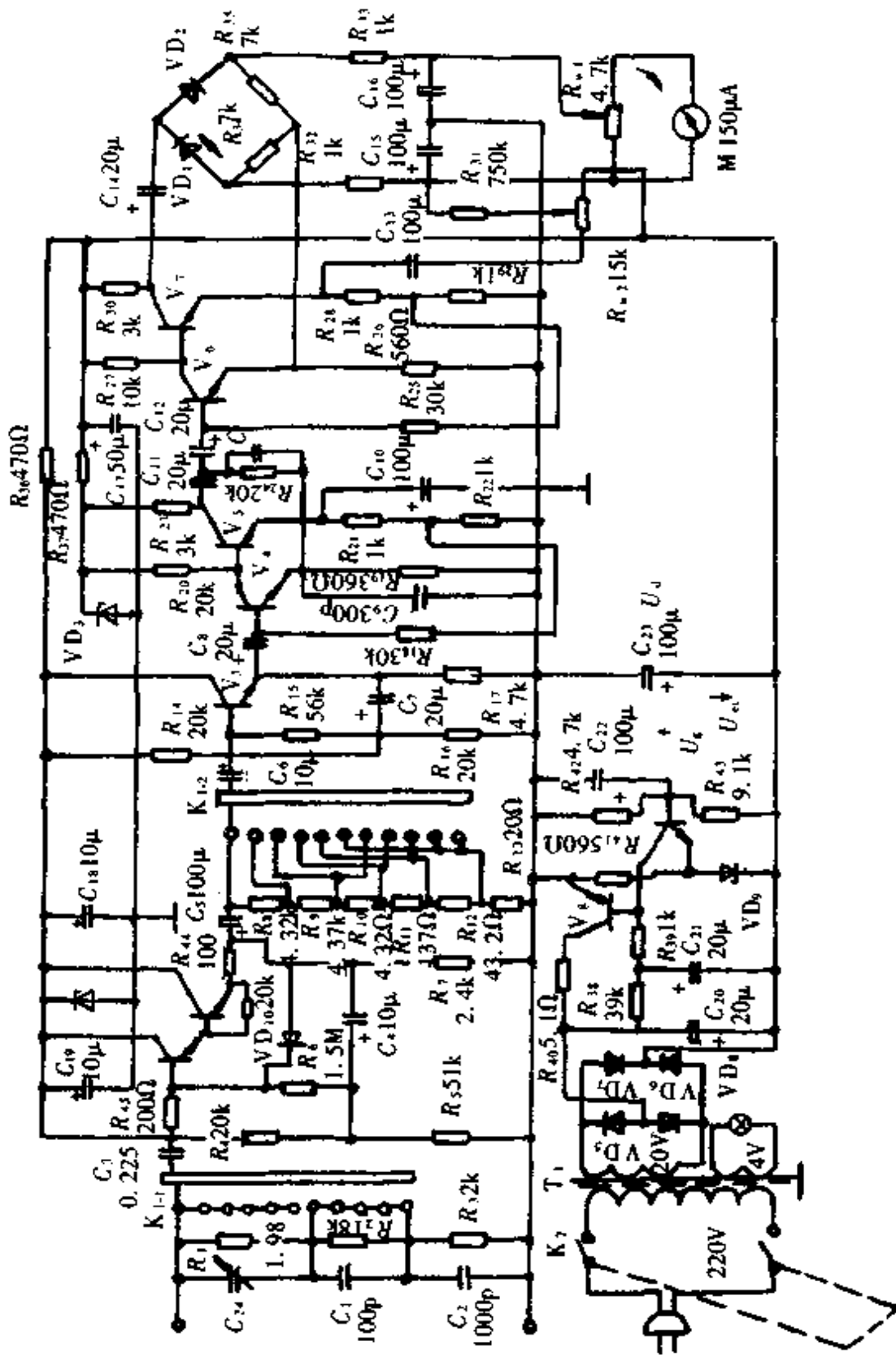


图 7.2.7 DA-16 型晶体管毫伏表的电气原理图

当被测信号输入后,先经高阻分压器衰减,接入射极输出器。利用射极输出器高输入阻抗和低输出阻抗的特性,分别与前级高阻分压器和后级低阻分压器相匹配。本仪器使用两个晶体管  $BG_1$ 、 $BG_2$  串接组成一射极输出器,使输入阻抗更高。由于前级高阻分压器频率响应不易做好,故此电路将 0.3V 以下电压不经高阻分压器直接经射极输出器变换成低阻抗后进行分压。对大于 0.3V 的信号电压,为避免输出失真及烧坏晶体管而在前级衰减后进入射极输出器。

被测信号电压经分压电路后,保持一定的大小送到放大电路进行电压放大。放大电路是由  $BG_3 \sim BG_7$  五个晶体管组成。放大电路的电压增益 60dB 左右。第一级亦采用射级输出器,以减小对前级低阻分压器的影响。放大电路具有反馈式线性补偿和频响补偿,能有效克服检波二极管的非线性及温度系数,提高仪器的稳定度,并改善了毫伏表的频率响应特性。

被测信号经放大电路后,加到检波电路进行检波。检波电路由  $VD_1$ 、 $VD_2$ 、 $R_{34}$ 、 $R_{35}$  组成桥式全波整流,把放大后的被测正弦交流信号电压转换成相应大小的直流电流,随后推动直流微安偏置。

### 2.2.2 使用方法

(1) 仪器应垂直放置(仪器面板与地面垂直),仪器接通之前应先调整表头机械零点调整螺丝,使电表指示在零位。

(2) 接通电源待电表摆动数次至稳定后(输入线短接),校正调零旋钮,使指针在零位置,即可进行测量。

(3) 连接电路时,被测电路的公共地端应与毫伏表的接地线相连。连接时先接上地线,然后接另一端;测量完毕时,则应先断开不接地的一端,然后断开地线,以避免在较高灵敏度挡级(毫伏挡)时,因人手触及输入端而使表头指针过载打坏。

(4) 根据被测信号的大小,选择适当的量程。在不知被测电压大小情况下,可先选大量程进行试测,再确定合适量程进行测试,以免过载而烧坏晶体管。一般选量程时,应符合使电表指示有最大的偏转角为宜。

(5) 根据量程选择开关的位置读相对应的电表指示刻度线。当用作电平表进行电平测量时,被测点的实际电平分贝数为表头指示分贝数和量程选择开关所示的电平分贝数的代数和。

### 2.2.3 使用注意事项

(1) 所测交流电压中的直流分量不得大于 300V。

(2) 用本毫伏表测量市电时,应相线接输入端,中线接地,不能接反。测量 36V 以上电压时,要注意机壳带电。

(3) 由于本仪器灵敏度较高,使用时必须正确选择接地点,以免造成测试错误。

## 2.2.4 故障及其修理

(1) 接通电源后指示灯不亮。

修理:①用万用电表交流电压挡、电阻挡分别检查工作电源、变压器和开关,消除故障,使电源接通。②更换指示灯或将灯与灯座拧紧。

(2) 电源接通,指示灯亮,信号输入表针不动。

修理:①检查输入线接触是否良好。②检查被测电压与仪器电压挡级是否符合。③仪器电源板是否有+12V直流电压输出。④射极输出器、放大电路、检波电路工作是否正常。各晶体管对地工作点电压见表7.2.7(参考值)。

表7.2.7 各种晶体管对地工作点电压

代号	$e(V)$	$b(V)$	$c(V)$
$V_1$	4.8	5	8.5
$V_2$	4.1	4.8	8.5
$V_3$	3	3.7	8.5
$V_4$	0.1	0.77	2.5
$V_5$	1.8	2.5	4.8
$V_6$	0.44	1.15	3.7
$V_7$	3.1	3.7	7.1
$V_8$	0	-0.12	-12
$V_9$	4.2	4	-0.12

(3) 零位调不到。

修理:改变电阻  $R_{31}$  阻值,用以改变补偿电流。

(4) 指针轻微抖动。

修理:①表头保护二极管  $VD_{10}$  (2CP16)性能不好,更换。② $V_1$  (3DG6B)或  $V_7$  (3DG6C)性能不稳,低频噪声过大,更换。

(5) 更换晶体管后,1mV挡时输入短路,表头调不到零。

修理:增大  $V_2$  发射极串联电阻  $R_{44}$ ,抑制自激振荡。

(6) 修理及更换元件后满度不准。

修理:将满度电位器  $R_{41}$  锁紧螺母松开,在1V挡级,输入频率为1kHz的标准1V电压,调节  $R_{41}$  使指示为准满度,紧固锁紧螺丝(调整前先将输入短路,使表针指在零位)。

### 3 电子示波器

电子示波器是一种用途广泛的电子测量仪器,可以把随时间变化的电信号,在示波管的屏幕上描绘成可见的图像,还可以作某些电参量的测量,如电压、电流、频率、周期、相位等。

电子示波器的种类很多,功能也各不相同,大体可分为通用示波器、多踪示波器、多束示波器、取样示波器、记忆存贮示波器等,但是使用最普遍的是单踪单扫描的通用示波器。

#### 3.1 电子示波器的结构原理

##### 3.1.1 示波管

示波管是示波器的主要部件,其作用是把待观察的电压信号变换成发光的图形显示出来。示波管是由电子枪、偏转板、荧光屏三个主要部分组成,如图 7.2.8 所示。

**3.1.1.1 电子枪** 电子枪的作用是产生和发射出一束高速的电子射线轰击在荧光屏上,使荧光屏亮出光点。电子枪包括灯丝、阴极、控制栅极、第一阳极、第二阳极和第三阳极。

灯丝:一般是通以 6.3V 交流电压,用来加热阴极;

阴极:灯丝通电后,阴极受热而发射电子;

控制栅极:控制阴极发射出来的电子数;

第一阳极:对电子射线进行聚焦;

第二阳极:加速从阴极发射出来的电子,并配合第一阳极对电子射线进行聚焦;

第三阳极:是在示波管的锥体内部涂上一层石墨形成的。它有三个作用:第一,加快经过偏转区后的电子射线的速度,使荧光屏提高亮度;第二,回收因电子射

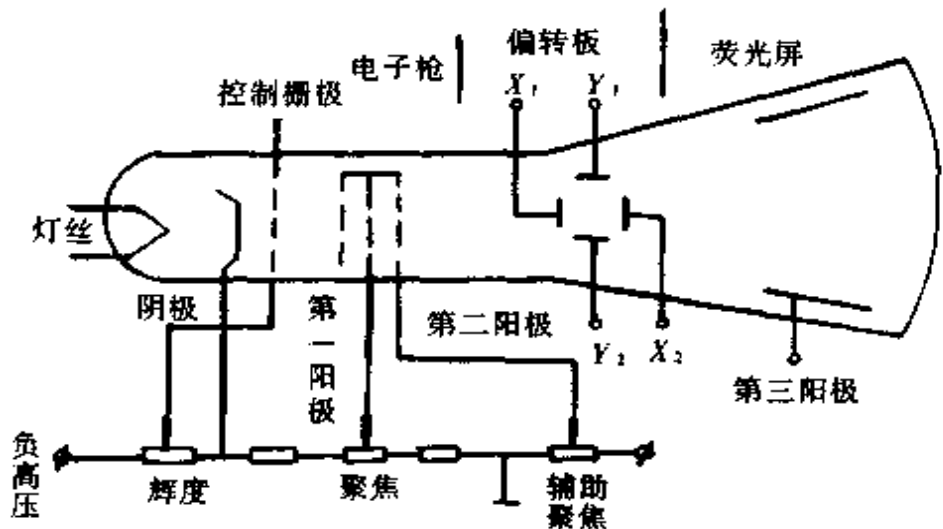


图 7.2.8 示波管的组成

线以很高速度射向荧光屏后而产生的二次电子;第三,起屏蔽作用,使电子射线不受外来强电场的干扰。

3.1.1.2 偏转板 偏转板有两对。一对是 Y 轴偏转板(或称垂直偏转板);另一对是 X 轴偏转板(或称水平偏转板)。偏转板的作用是使电子束按一定规律上下左右移动,如果没有偏转板的控制作用,亮点只能停留在荧光屏的中心。

3.1.1.3 荧光屏 它是用发光材料涂在玻璃屏的内壁形成的。电子束轰击荧光屏使它发光,显示出被测信号的图形。荧光屏的材料不同,荧光屏的发光颜色也不同,通常有绿、黄、蓝等色。

当电子束停止轰击后,因荧光粉的发光作用要经过一定时间才停止,这段时间叫作余辉时间,一般分长余辉、中余辉和短余辉三种。一般示波器采用比较多的是中余辉示波管;当观察频率较低的信号时,可用余辉时间较长的示波管;当观察频率较高信号时,需用余辉时间较短的示波管。

3.1.1.4 示波管的型号及其意义 示波管的型号由四部分组成:

第一部分的阿拉伯数字代表荧光屏的直径或对角线长度,以厘米为单位,取其整数,如 13SJ37J,其荧光屏的直径是 13.6cm,取其 13 这个整数;

第二部分的汉语拼音字母代表管子的类型,如 SJ 表示静电式电子射线管;

第三部分的阿拉伯数字代表型号的序数,即大小相同的各种示波管的不同性能;

第四部分的汉语拼音字母代表示波管的余辉程度。J 字代表中余辉;D 字代表长余辉;A 字代表短余辉。

### 3.1.2 亮点亮度控制原理

亮点亮度的控制是通过改变控制栅极和阴极之间的电位差,从而控制通过控制栅极的电子数目而实现的。调节辉度电位器,使控制栅极电压负值越大,控制栅极和阴极之间电位差越大,通过控制栅极的电子数目就越少,荧光屏上亮点较暗;相反控制栅极和阴极之间电位差小,通过控制栅极的电子数目就越多,荧光屏上的亮点就越亮。

### 3.1.3 亮点聚焦原理

示波器亮点的聚焦,是由第一阳极和第二阳极组成的电子透镜系统所产生的静电场来完成的。第二阳极和第一阳极相比是处于正电位,并有一定的电位差,因此它们之间就有静电场存在。根据电子逆电力线方向运动的原理,电子从阴极发射出来后,受到静电场的作用,使电子集中形成一束很细的电子射线,在荧光屏上呈现一个亮点。改变第一阳极和第二阳极的电位差,是利用聚焦点电位器和辅助聚焦点电位器来实现的。

### 3.1.4 示波器波形形成原理

现在常用的示波管一般是采用静电偏转的方法。所谓静电偏转,就是在偏转

极之间加上一定的电压,这样就会在偏转板两极之间产生静电场。当电子射线通过偏转区域时受到电场力的作用而产生偏转。

3.1.4.1 偏转板加直流电压 在偏转板上加直流电压,两偏转板之间产生静电场,电场的电力线方向是由“+”向“-”,所以电子射线向上移动。反之把所加极性对换一下,则电场方向相反,电子射线向下移动。如果偏转板两极之间电位相等,亮点则在荧光屏的中心。见图 7.2.9 所示。

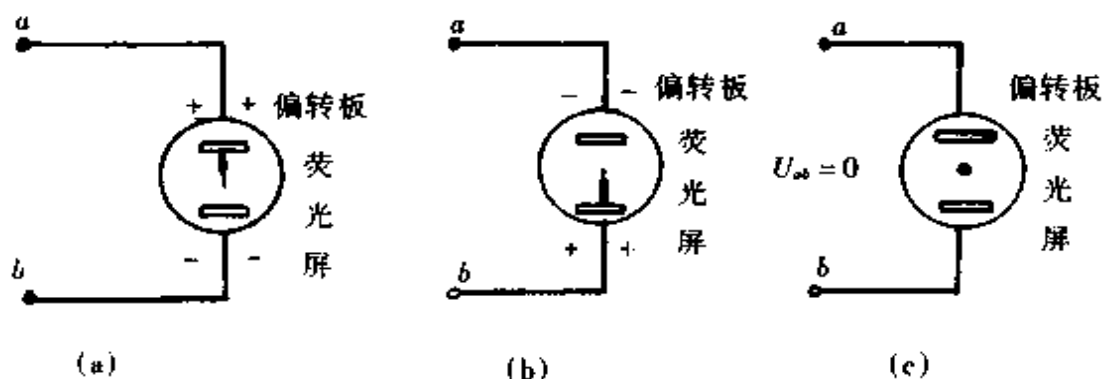


图 7.2.9 偏转板上加直流电压

3.1.4.2 Y 轴偏转板加周期性变化电压 在 Y 轴偏转两极板上加周期性变化电压,两极板间产生交变电场,电子射线经过偏转板时将受到交变电场的控制。由于荧光屏的余辉和人们眼睛的视觉残留作用,荧光屏就显示出电子射线周期性运动轨迹——垂直线。见图 7.2.10。

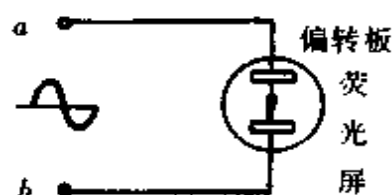


图 7.2.10 Y 轴偏转板上加交变电压

3.1.4.3 X 轴偏转板加锯齿形电压 X 轴偏转板和 Y 轴偏转板的作用和原理一样,示波器观察一个随时间变化的信号波形必须在荧光屏的水平方向显示一条扫描线。如果在 X 轴偏转板上加锯齿形电压,就能得到水平扫描线。

为了分析方便,我们把锯齿形电压的一个周期  $t_1 \sim t_4$  分为三个阶段来讨论,见图 7.2.11a。

第一个阶段  $t_1 \sim t_2$ :在这段时间内,锯齿形电压处于正半周。假设  $a$  极为正电位, $b$  极为负电位,亮点向左移动,见图 7.2.11b。当时间由  $t_1 \rightarrow t_2$  时,锯齿形电压由正峰值  $\rightarrow 0$ ,偏转板  $ab$  之间电位差减小,亮点逐步向荧光屏中心移动。在时间  $t_2$  时,偏转板  $ab$  之间电压相等,亮点就处于荧光屏中心,见图 7.2.11c。

第二个阶段  $t_2 \sim t_3$ :锯齿形电压由零下降到负半周的峰值,此时偏转板  $a$  极为负电位, $b$  极为正电位,亮点由中间逐步向右移动。在时间  $t_3$  时,亮点到达荧光

屏的左边,见图 7.2.11d。

第三个阶段  $t_3 \sim t_4$ :锯齿形电压从负峰值瞬间上升到正峰值,亮点从荧光屏的右边迅速回到左边,见图 7.2.11b。

锯齿形电压的一个周期完成一次扫描,如果每秒钟扫描次数达到十几次以上,加上荧光屏的余辉作用,我们在荧光屏上就能看到一条水平扫描线,见图 7.2.11c。水平扫描线的长短与加在 X 轴偏转板上的锯齿形电压幅度有关。电压幅度大,扫描线长;电压幅度小,扫描线短。

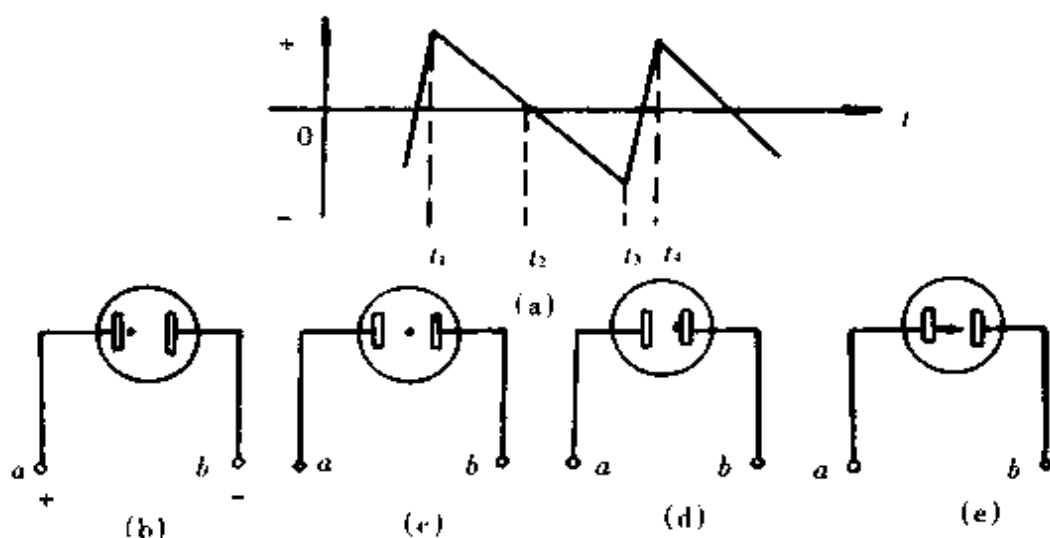


图 7.2.11 X 轴偏转板上加锯齿形电压

3.1.4.4 D 波形的形成 如在 Y 轴偏转板加一个变化量,同时在 X 轴偏转板加另一个变化量,在荧光屏上就能显示两个变化量的函数关系。一般在 X 轴偏转板上加锯齿形电压,在 Y 轴偏转板上加被测信号电压。为了便于分析,我们把时间分成若干小段,如图 7.2.12 所示。

当  $t=1$  时, Y 轴偏转板上的电位差等于零, X 轴偏转板上的电位差为负值,光点在荧光屏“1”的位置。

当  $t=2$  时, Y 轴和 X 轴偏转板上都加有一定的电压,在偏转板上电压作用下,荧光屏上的光点向“2”位置移动。其他的各个时间区域的光点移动位置可依此类推,结果在示波管的屏幕上就形成了一个完整的与施加在 Y 轴偏转板上的信号相同的波形。

当光点到达“5”位置时, Y 轴上的信号电压变化了一个周期,此时 X 轴上的电压立即回复到起始数值,光点也就恢复到“1”的位置。接着就进入第二个周期,在第二个周期中,光点又进行与上述同样的移动。

在这里要指出的是锯齿形波的重复周期与被测信号的重复周期相等,或者是等于被测信号周期的整数倍时,在屏幕上才能显示出稳定的图形。否则,每次扫描



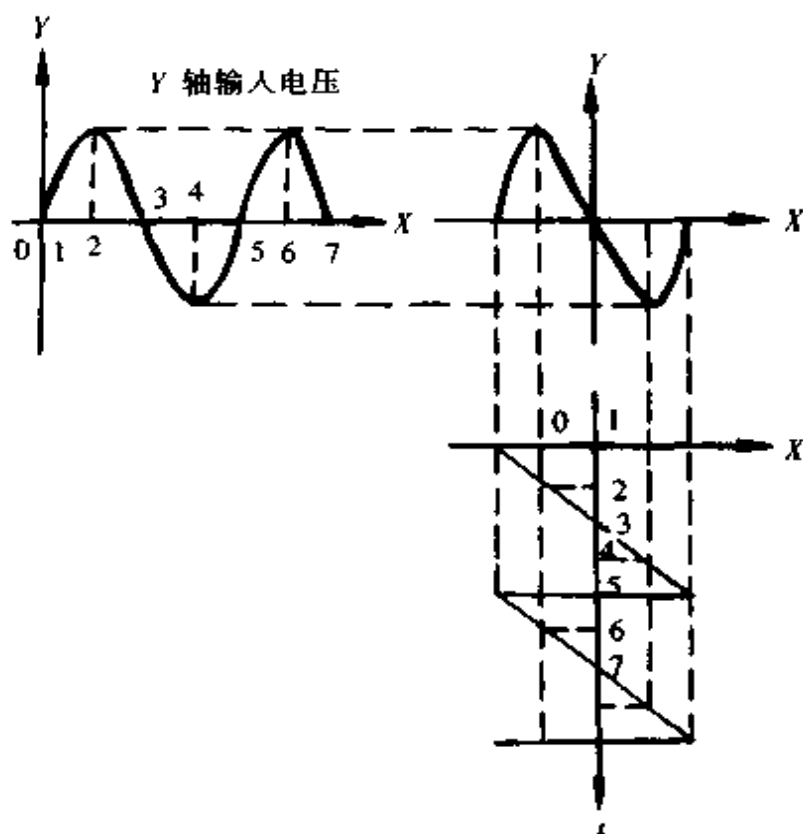


图 7.2.12 波形的形成

出现的信号波形就不会完全吻合。这时在屏幕上显示的图像就会不断移动,甚至难以观察。所以在电子示波器中必须加入同步触发电路,使能显示出稳定的图形。

### 3.2 示波器的电路结构

示波器的电路原理框图,如图 7.2.13 所示。

电源系统由电源变压器、整流和滤波电路组成,它提供示波管和各电路所用的各种不同的高低电压电源。标准信号发生器是一个幅度和频率准确已知的机内信号源,用以校正示波器的 X 轴和 Y 轴的刻度。Y 轴偏转系统由前置放大器(包括衰减器、倒相放大器)、延迟线、输出放大器等组成;X 轴偏转系统由来自 Y 通道送来的内触发信号通过同步触发电路、扫描发生器、放大器等组成。X 通导和 Y 通导的作用是将被测电压变换成大小合适的电压信号,在示波器的荧屏上显示出来。

### 3.3 电子示波器的使用

电子示波器的类型较多,因此使用前应先阅读仪器说明书中的技术性能、控制机件的作用以及使用方法等,这对如何正确和有效掌握仪器使用范围及操作方法等都会带来一定帮助。这里以 ST16 型示波器为例,介绍使用方法。其他类型示

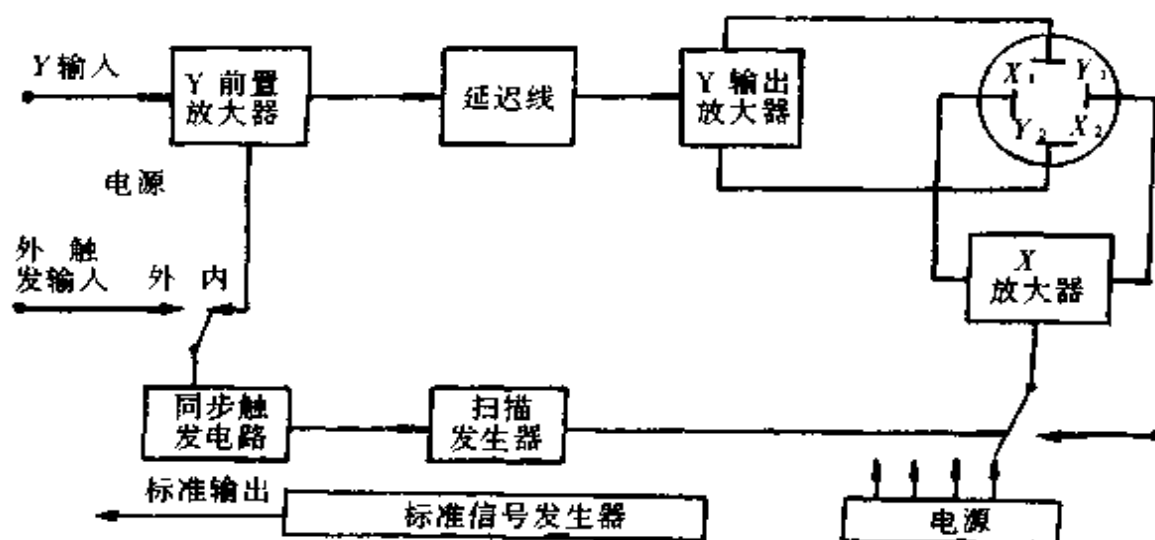


图 7.2.13 示波器的电原理图

波器的测量方法也可参照进行。


### 3.3.1 使用前的检查和校准

仪器初次使用前,或久置后复用时,应对仪器进行一次能否工作的简单检查,在每次使用前应进行一次校正。

(1) 仪器电源与电网电压连接前应注意供电电网与仪器出厂时规定的电压(220V)相符。如使用场合的供电电网电压为110V时,应将仪器后盖板打开,重新加以调整。

(2) 将仪器面板上各控制机件置于表7.2.8所列的位置。

表 7.2.8 各控制机件在示波器面板上的位置

控制机件	作用位置	控制机件	作用位置
✖	逆时针旋足	AC⊥DC	⊥
◎	居中	电平	自动
○	居中	$t/div$	2ms
↑↓	居中	微调	校准
→	居中	+、-、外接、x	+
V/div		内,电视场,外	内
微调	校准		

(3) 接通电源,指示灯应发亮光。预热片刻后,仪器应能进入正常工作。

(4) 顺时针调节“✖”辉度旋钮,此时屏幕上应显示出不同步的校准信号方波。

(5) 调节“◎”聚焦旋钮和“○”辅助聚焦旋钮,使荧光屏上的电子射线达到较细的最佳宽度。

(6) 将触发电平调离“自动”位置,并向逆时针方向转动直至方波波形得到同步(否则应调整稳定度电位器)。然后将方波波形移至屏幕中间,如若仪器性能基本正常,则此时屏幕显示的方波垂直幅度值约为 5div,方波在水平轴上的宽度约为 10div(电网频率为 50Hz)或 8.3div(电网频率为 60Hz)。

(7) 将“电平”旋钮置于“自动”位置,用小螺丝刀调节面板上的“平衡”电位器,使改变灵敏度 V/div 开关挡级和调节“微调”旋钮时,所显示的扫描基线不发生 Y 轴方向上的位移为止。

(8) 由于示波管的加速电压值(-1200V)的大小受到电网电压变化的牵制,当电网电压偏离 220V(或 110V)时,将直接影响示波管的偏转灵敏度,从而使垂直输入灵敏度 V/div 和水平时基扫描 t/div 造成较大的误差。因此仪器在使用前必须对垂直系统的“增益校准”和水平系统的“扫描校准”分别进行校准,使屏幕上显示的校准信号垂直幅度为 5div,周期宽度恰为 10div(电网频率为 50Hz 时)或 8.3div(电网频率为 60Hz 时)。

### 3.3.2 直流电压的测量

被测信号中,如含有直流电平,且此直流电平亦需进行测量时,首先应确定一个相对的参考基准电位,一般情况下的基准电位直接采用仪器的地电位。其测量步骤如下:

(1) 将 Y 轴输入耦合选择开关置于“⊥”,触发电平处于“自动”,使屏幕出现一条扫描基线。调节 Y 轴移位旋钮,使扫描基线位于屏幕上某一特定基准位置,作为零电平基准线。

(2) 将输入耦合选择开关置于“DC”位置,选择 V/div 和 t/div 挡级开关的适当位置,并将被测信号直接或经 10:1 衰减探极接至 Y 轴输入端,然后调节触发“电平”使波形稳定。

(3) 根据屏幕坐标刻度,如图 7.2.14 所示,分别读出显示信号波形的交流分量(峰-峰)为 Adiv(A=2),直流分量为 Bdiv(B=3)以及被测信号某特定点 R 与参考基准线间的瞬时电压值为 Cdiv(C=3.5)。若仪器 V/div 挡级的标称值为 0.5 V/div,同时 Y 轴输入端使用了 10:1 衰减探极,则被测信号的各项电压值分别为:

$$\text{交流分量: } U_{p-p} = 0.5/\text{div} \times 2\text{div} \times 10 = 10V_{p-p};$$

$$\text{直流分量: } U = 0.5/\text{div} \times 3\text{div} \times 10 = 15V;$$

$$R \text{ 点瞬时值: } U = 0.5V/\text{div} \times 3.5\text{div} \times 10 = 17.5V。$$

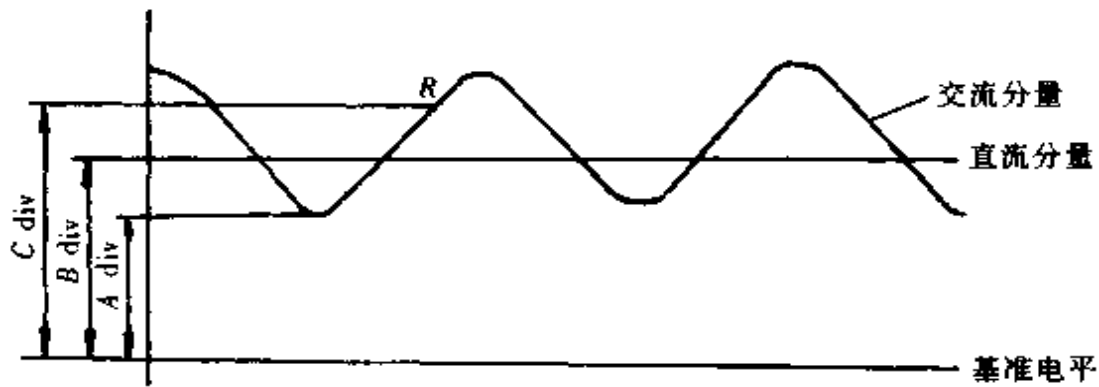


图 7.2.14 直流电压的测量

### 3.3.3 交流电压的测量

一般直接测量交流分量的峰—峰值,测量时通常被测信号通过输入端的隔直电容,使信号中所含有的交流予以分离。否则,被测信号的交流和直流分量叠加后往往会超过放大器的有效动态范围,故不得不采用较低的输入灵敏度挡级,从而影响交流分量的测量精度。所以垂直系统的输入耦合选择开关应置于“AC”位置,其测量和计算方法仍按上述直流电压测量方法进行。

### 3.3.4 时间的测量

(1) 按被测信号波形上两特定点  $P$  与  $Q$  的时间间隔,选择适当的  $t/\text{div}$  扫描挡级,使两特定点的距离在屏幕的有效面内达到最大限度,以便提高精度。见图 7.2.15。

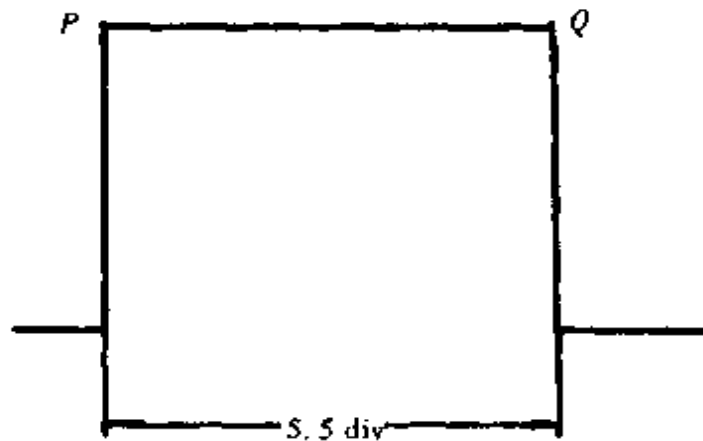


图 7.2.15 时间的测量

(2) 根据屏幕坐标的刻度,读出被测信号两特定点  $P$  与  $Q$  间的距离为  $D\text{div}$ ,如  $t/\text{div}$  扫描开关挡级的标称值为  $2\text{ms}/\text{div}$ ,  $D=5.5$ ,则  $P$ 、 $Q$  两点的時間间隔

$$t = 2\text{ms}/\text{div} \times 5.5\text{div} = 11\text{ms}$$

### 3.3.5 频率的测量

对重复信号的频率测量,一般可按时间测量的步骤进行,测出其信号周期,并按其倒数计算出频率值。

例如某重复信号测得其周期  $T = 5\mu\text{s}$ , 则频率

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \times 10^{-6}} = 0.2 \times 10^6 = 200\text{kHz}$$

### 3.3.6 脉冲上升时间的测量

(1) 按照被测信号的幅度选择  $V/\text{div}$  挡级,并调节灵敏度“微调”电位器,使屏幕上所显示的波形垂直幅度正好为  $5\text{div}$ 。

(2) 调节触发“电平”及“ $\rightleftharpoons$ ”水平移位电位器,并按照脉冲前沿上升时间的宽度,选择适当的  $t/\text{div}$  扫描挡级,使屏幕上显示信号波形,如图 7.2.16 所示。

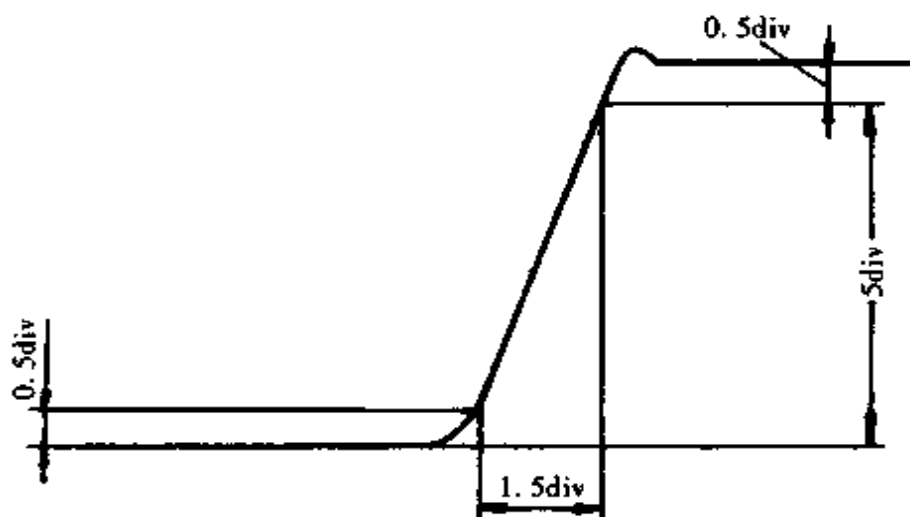


图 7.2.16 脉冲上升时间的测量

(3) 根据屏幕上坐标刻度显示的波形位置,读出信号波形的前沿在垂直幅度的 10% 与 90% 两位置之间间隔为  $D\text{div}$ 。若  $t/\text{div}$  挡级挡级的标称值为  $0.1\mu\text{s}/\text{div}$ ,  $D\text{div} = 1.5\text{div}$ , 则前沿上升时间  $t_Y$  为:

$$t_Y = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} = \sqrt{(0.1 \times 1.5 \times 1000)^2 - 70^2} \approx 133\text{ns}$$

其中:  $t_1$  为垂直幅度 10% 与 90% 的时间间隔;  $t_2$  为仪器固有上升时间,约为  $70\text{ns}$ 。

### 3.3.7 相位的测量

在未具备专用的相位测量仪表情况下,通常用示波器来进行相位差的测量。例如要测量正弦波通过放大器后的滞后相角值,其方法和步骤如下:

(1) 将仪器的触发源选择开关置于“外”,同时将导前的信号  $A$  分别接入仪器的  $Y$  轴输入插座和外触发输入端。然后调节“ $t/\text{div}$ ”扫描开关、扫描“微调”和触发“电平”,使屏幕上所显示信号周期宽度在  $X$  轴上坐标刻度恰为  $9\text{div}$ , 这样轴上的

坐标刻度值就直接与信号的角度值相对应,即: $360^\circ/9\text{div}=40^\circ/\text{div}$ 。

(2) 读出导前信号波形 A 的特定点 P 在 X 轴上的位置,同时应保持仪器的外触发信号、“ $t/\text{div}$ ”开关、扫描“微调”、触发“电平”和“ $\leftrightarrow$ ”水平移位电位器皆不变,然后将原输入 Y 轴的导前信号 A 改为滞后信号 B,并读出滞后信号在 X 轴上的相应特定点 P' 的位置。见图 7.2.17。

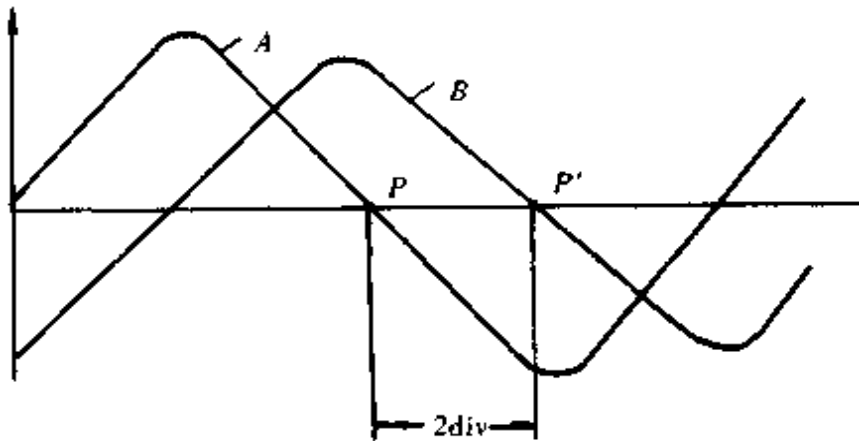


图 7.2.17 相位的测量

(3) 根据两特定点 P、P' 的距离  $D\text{div}(2\text{div})$  计算两信号间的相移。

$$\varphi = D\text{div} \times 40^\circ/\text{div} = 2\text{div} \times 40^\circ/\text{div} = 80^\circ$$

### 3.3.8 使用注意事项

- (1) 输入端不应馈入过高电压。
- (2) 应在示波管有效屏面的中心区进行测量,以免因示波管的边缘失真而产生测量误差。

(3) 应避免手指或人体其他部位触及 Y 轴输入端或探针,以免输入人体感应的 50Hz 交流电压而影响测试,或导致 Y 轴放大器过载。

(4) 示波器暂停使用关断电源后,如需继续使用时,应待数分钟后再开启电源,以免烧坏保险丝。

## 3.4 电子示波器的维修

电子示波器的种类很多,电路结构比较复杂,检修的难度也比较大。虽然各种类型示波器的电路都各具特色,但是它们的基本结构和原理只是大同小异。因此,只要掌握了电子示波器的基本结构和原理,还是可以查出故障、予以排除的。

在检查故障时,应采用适当的检查方法,以便确定故障的部位,使能有效而迅速地排除故障。现将检查故障原因的基本方法介绍如下。

### 3.4.1 不通电观察法

在检修仪器时,可先在不通电的情况下,观察面板上的控制器件有无错位、松

脱等迹象;也可打开仪器外壳,先观察仪器内部是否堆积尘垢,如有可用毛刷、吹风机等将其清除,然后观察内部的元件、插件、电源变压器等,有无烧焦、漏液、发霉、击穿、脱落和断线等现象。

### 3.4.2 通电观察法

经过不通电观察法后,如果还不能发现问题,那就应该采用通电观察法作进一步检查。通电观察法特别适用于检查跳火、冒烟、焦味和烧保险丝等故障现象。这些故障通常发生在仪器的整流电路部分,若发现电源变压器、电阻等元器件等有发热、冒烟、跳火等现象,应立即切断电源。当查出损坏的器件后,不要立即予以更换,而要分析损坏原因,作进一步检查。

### 3.4.3 测量电压法

电子电路的工作电压不正常,是导致仪器产生故障的原因之一。在仪器说明书中,大多都标明了主要部位的工作电压值,在检修时可参照进行测量,从而能够很快查明故障产生的原因和损坏变值的元器件。

### 3.4.4 信号寻迹法

采用合适的外部信号源,加到待修仪器的输入端上,然后利用示波器逐一观察每一级放大器的输入和输出信号波形,来寻找反常的迹象。如果某一级放大器的输入信号是正常的,而其输出信号不正常,例如输出信号的电压幅度反而降低,或者有失真现象等,那么故障就在这一级放大器中。

### 3.4.5 分割测试法

有些仪器的电路比较复杂,其中的元器件也很多,并且相互牵制,多方相互影响。在检查时可采用分割测试法,把电路分割开来。具体的做法是焊掉电路连线的一端,或者是取掉有关的单元插件板,观察其对故障现象的影响。

### 3.4.6 器件替代法

在检修仪器时,通常可使用相同型号、相同规格、相同结构的元器件、印刷电路板、单元接插件等来临时替代有疑问的部分,以便观察其对故障现象的影响。如果故障因此而消失,则说明被替代的部分有问题。

### 3.4.7 测试元器件法

对仪器中有问题的电路元器件作定量测试,有助于确定和分析故障产生的原因。例如在测试晶体三极管的 $\beta$ 值后,可以帮助确定双稳态电路不翻转的原因,特别是由于电路元器件的参数变值而引起的故障,更需要求助于测试元器件法。

## 4 晶体管特性图示仪

晶体管特性图示仪是一种能在示波管荧光屏上直接观察各种晶体管特性曲线

的专用仪器,它可以测定晶体管的共集电极、共基极、共发射极的输入特性、输出特性、反馈特性、 $\beta$  参数特性、 $\alpha$  参数特性等;也可以测定二极管的正向、反向特性;稳压管的稳压特性;晶体管的各种击穿电压和各种反向饱和电流;还可以对可控硅整流器的特性进行测试。

### 4.1 示波管显示晶体管特性曲线的原理

图 7.2.18 是用示波管显示晶体管特性的原理图,图中以 PNP 晶体管共射接

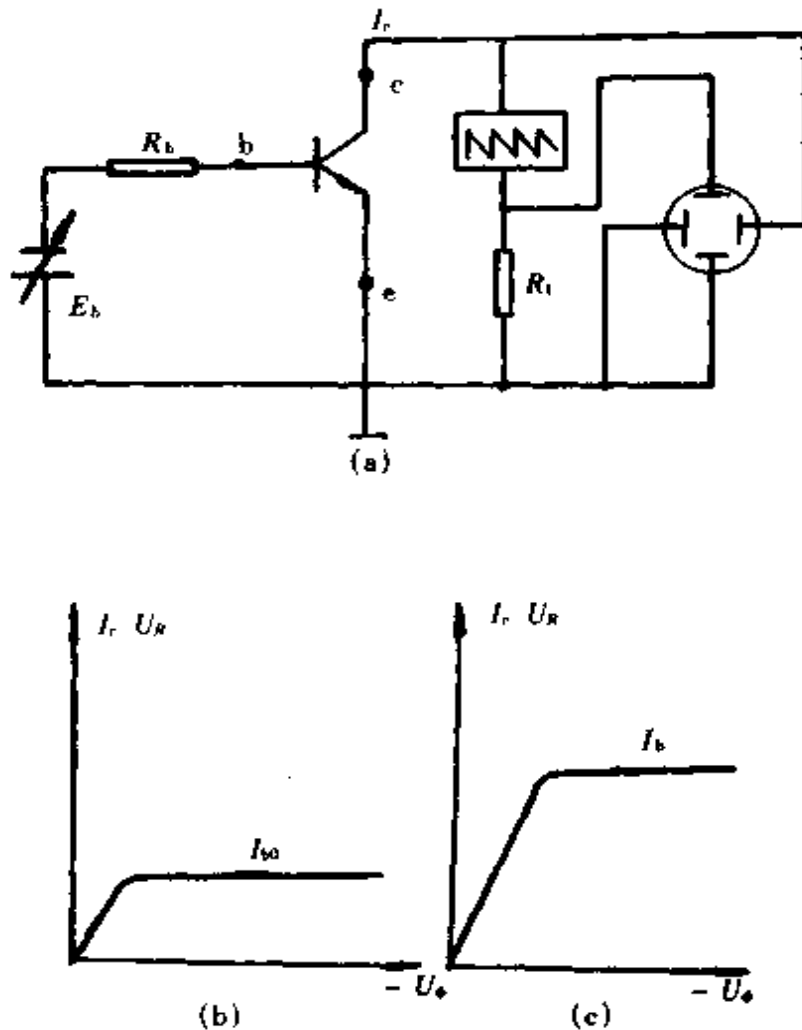


图 7.2.18 示波管显示晶体管特性的原理

法为例。显示的是输出特性。它是将锯齿波信号电压加于 X 轴进行水平扫描,同时将该锯齿波信号电压串入晶体管输入回路中。当晶体管基极注入电流为  $I_{b0}$  (对应基极输入电压为  $E_{b0}$ ) 时,集电极电流  $I_c$  随扫描电压而变化。在  $R \gg r_o$  ( $r_o$  为晶体管输出电阻) 条件下,输出电压  $U_R$  与  $I_c$  成正比,将  $U_R$  引入 Y 轴,就能显示如图 7.2.18b 所示的曲线,改变  $E_b$  为  $E_{b1}$ ,则显示图 7.2.18c 所示的曲线。这样,不断改变  $E_b$ ,就能显示出不同  $I_b$  时的输出特性曲线。用图 7.2.19a 所示的阶梯波



电压替代手工调节  $E_b$ , 再加上同步信号, 如图 7.2.19b。在示波管的荧光屏上就能显示出图 7.2.19c 所示的曲线簇。这就是晶体管特性图示仪的工作原理。

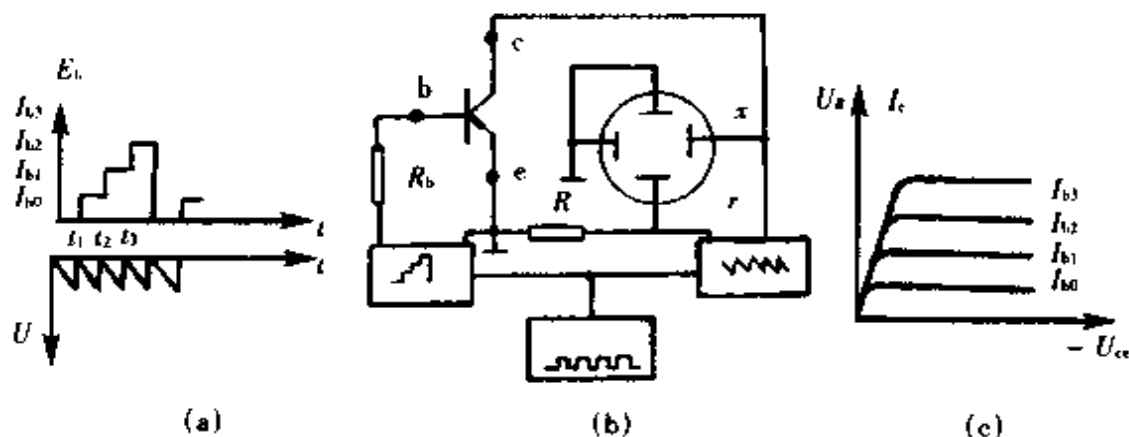


图 7.2.19 晶体管特性图示仪工作原理

晶体管特性图示仪主要由下列几个部分组成:①阶梯波发生器;②阶梯放大器;③X轴、Y轴偏转放大器;④集电极扫描发生器;⑤主电源;⑥高频高压电源及示波管控制电路。

## 4.2 晶体管特性图示仪的使用

目前应用较普遍的晶体管特性图示仪有 JT-1、QT-2、XJ4810 等。以下介绍 XJ4810 的使用方法。

XJ4810 型半导体管特性图示仪是继 JT-1 后开发的产品,具有 JT-1 的优点,并增设集电极双向扫描电路及装置,能同时观察二极管的正反向输出特性曲线,简化测试手续。它还配有双簇曲线显示电路,对于中小功率晶体管各种参数的配对尤为方便。

XJ4810 型半导体管特性图示仪的前面板单元划分见图 7.2.20。

### 4.2.1 测试前的调整

**4.2.1.1 示波管及其控制电路的调整** 接通电源(拉出辉度旋钮 $\times$ ),预热 15min 后,调节辉度旋钮 $\times$ ,使荧光屏上的光点和线条调节到适中的亮度。调节聚焦旋钮 $\odot$ 和辅助聚焦旋钮 $\circ$ ,使光点线条清晰。

**4.2.1.2 阶梯信号零电位的调整** 将“Y轴选择”置于基极电流或基极源电压;“X轴选择”置于集电极电压  $V_{ce}$  的 1V/度挡;“阶梯选择”拨至 0.05V/级;“重复、关”按至重复,再将“峰值电压范围”置于 0~10V 挡,“峰值电压”旋钮调到 10V,此时在示波管上可以看到阶梯信号的波形,调节“级/簇”旋钮,使屏上显示 10 条横线,然后调节“X轴移位”和“Y轴移位”,使图像显示在标尺位置上。

如测发射极接地的 NPN 型晶体管,将集电极电压单元与阶梯信号单元中的极

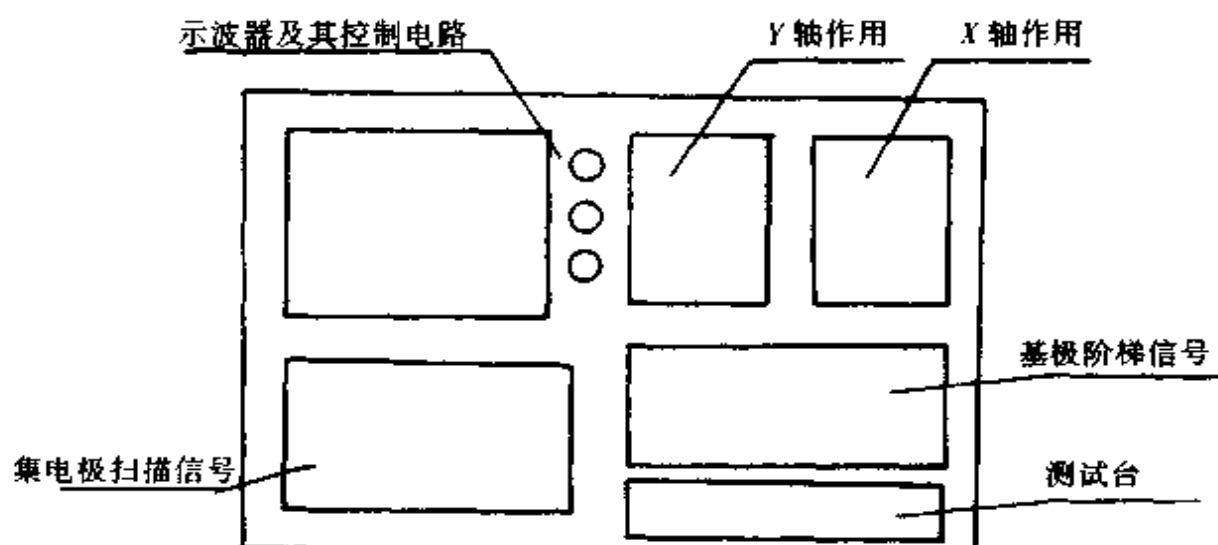


图 7.2.20 XJ4810 型半导体管特性图示仪的前面板单元划分

性开关按至“+”，然后将测试台上的“测试选择”开关置于“零电压”，调“Y轴移位”使阶梯信号的起始级与最下面的一根标尺重合，复位“测试选择”开关，调节“阶梯调零”，使阶梯信号的起始级仍与最下面的一根标尺重合，这样阶梯信号的零电位被准确地校正了。

如测发射极接地的 PNP 型晶体管，则极性开关按至“-”，阶梯信号起始级以最上面的一根标尺为准。

4.2.1.3 对 Y 轴、X 轴放大器灵敏度进行校准 将显示开关自“上”至“校准”，此时光点或基线在 Y 轴、X 轴方向各有 10 度偏转。如有超过或不足，应进行 Y 轴增益和 X 轴增益的调整。

#### 4.2.2 测试

测试前，对被测管的主要直流参数应有所了解，并对被测管进行必要的估算，防止因使用不当而损坏被测管或仪器的内部电路。

(1) 集电极扫描：将“峰值电压范围”置于合适的挡级，“峰值电压”为零，测试时再按顺时针方向慢慢加大输出电压。根据被测管的极性（NPN 型还是 PNP 型），将“极性”开关置于“+”或“-”位置。将“功耗限制电阻”置于合适的挡级。

(2) Y 轴作用：将“电流/度”与“倍率”开关调到待测的范围。

(3) X 轴作用：将“电压/度”开关调到所需的范围。

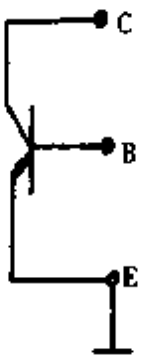
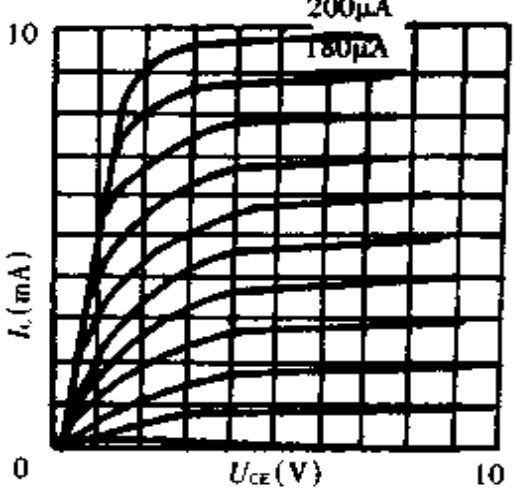
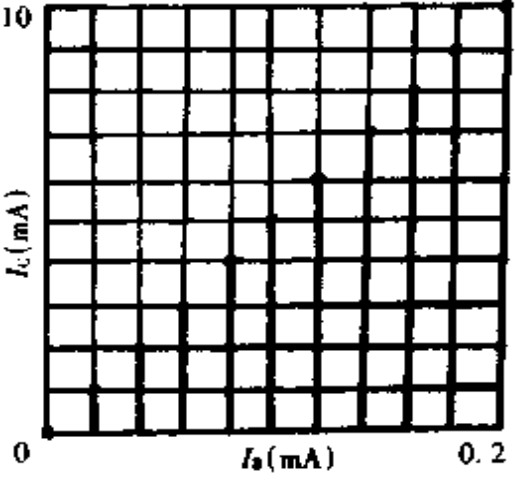
(4) 基极阶梯信号：将“极性”、“串联电阻”、“阶梯选择”（毫安/级或伏/级）调到所需的范围，“重复、关”开关、“单、簇”开关视需要作好选择。

(5) 测试台：根据被测管所处的位置，按下“测试选择”开关的左右或二簇按钮，然后调节峰值电压，此时即有曲线显示，再经 Y 轴、X 轴、阶梯三部分的适当修正，即能进行有关的测试。


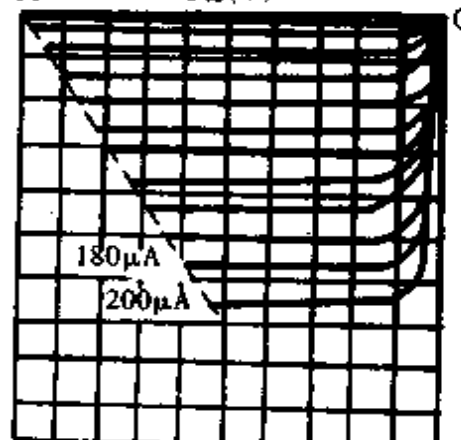
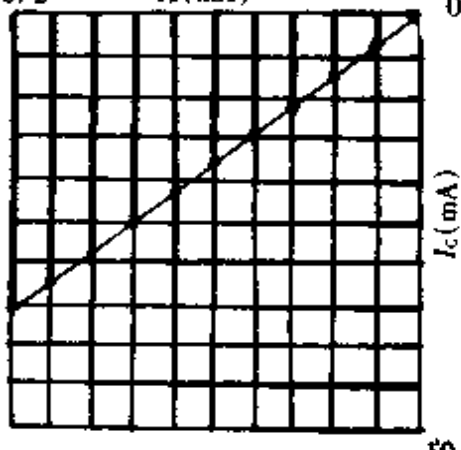
## 4.2.3 测试范例

见表 7.2.9 所列。

表 7.2.9 XJ4810 型半导体管特性图示仪测试范例

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
$U_{CE} - I_C$ 特性测试及 电流放大倍数 $h_{FE}$ 计算	NPN 型硅小 功率开关三 极管 3DK2 	峰值电压范围: 0~10V 极性: E(+) 功耗电阻: 250Ω X 轴: 集电极电压 1V/度 Y 轴: 集电极电流 1mA/度 阶梯信号: 重复 极性: E(+) 阶梯选择: 20μA/级		选择曲线: $I_B = 180\mu A, 200\mu A$ $h_{FE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ $= \frac{1\text{mA/度} \times 1\text{格}}{0.02\text{mA}}$ $= 50$
$I_B - I_C$ 特性测试及 电流放大倍数 $h_{FE}$ 计算		峰值电压范围: 0~10V 极性: E(+) 功耗电阻: 250Ω X 轴: 基极电流或基极源电压(— $\square$ —) Y 轴: 集电极电流 1mA/度 阶梯信号: 重复 极性: E(+) 阶梯选择: 20μA/级		$h_{FE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \approx \frac{I_C}{I_B}$ $= \frac{10}{0.2} = 50$

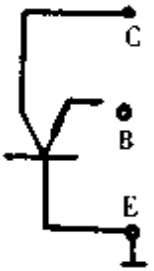
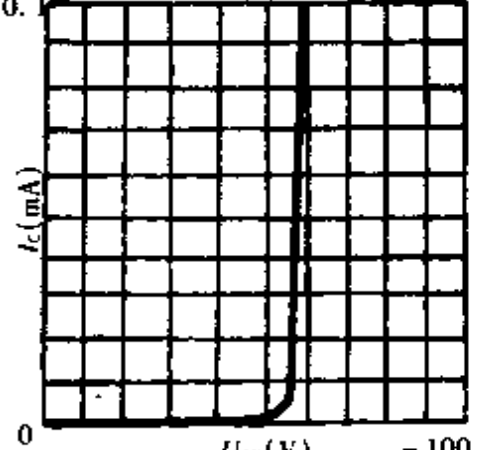
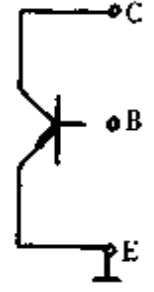
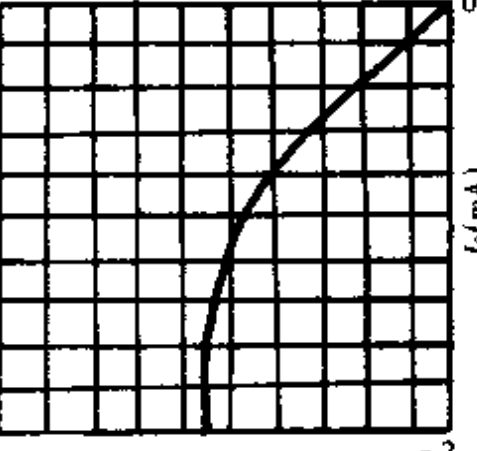
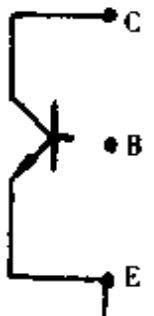
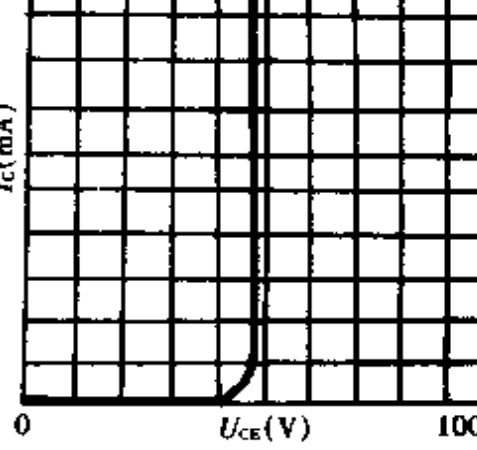
续表

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
$U_{CE} - I_C$ 特性测试及电流放大倍数 $h_{fe}$ 计算	PNP 型高频小功率硅管 3G3C 	峰值电压范围: 0~10V 极性: 负(-) 功耗电阻: 1kΩ X 轴: 集电极电压: 1V/度		
		Y 轴: 集电极电流 1mA/度 阶梯信号: 重复 极性: 负(-) 阶梯选择: 20μA/级		选择曲线: $I_B = 180\mu A, 200\mu A$ $h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1mA/度 \times 0.6格}{0.02mA} = 30$
$I_B - I_C$ 特性测试及电流放大倍数 $h_{fe}$ 计算		X 轴: 基极电流或基极源电压(—┐┌) Y 轴: 集电极电流 1mA/度 阶梯信号: 重复 极性: 负(-) 阶梯选择: 20μA/级		$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{1mA/度 \times 6.6格}{0.02mA/级 \times 10} = 33$

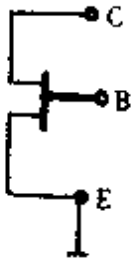
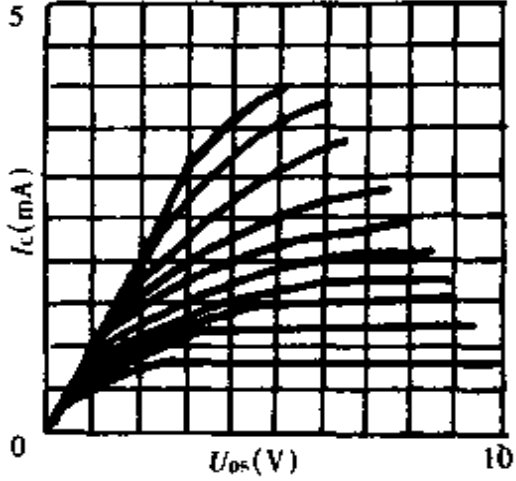
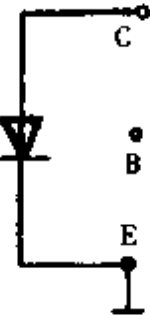
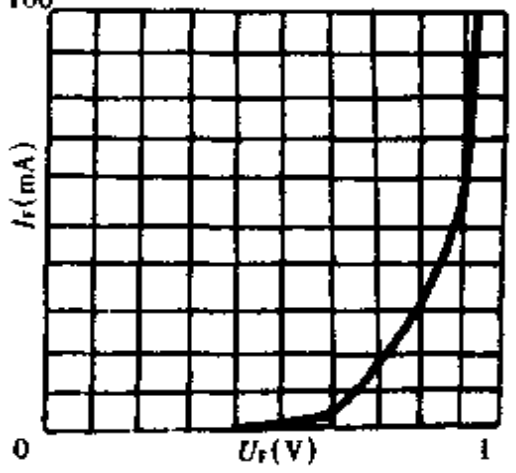

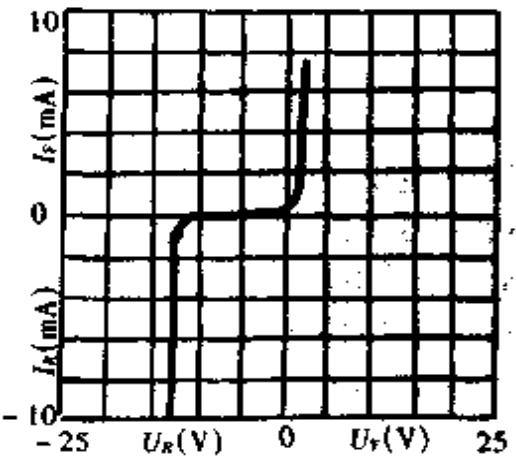
续表

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
发射极开路基极—集电极反向漏电流 $I_{CBO}$	PNP小功率锗三极管 3A×31	峰值电压范围:0~10V 极性:负(-) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 1V/度 Y轴:集电极电流 10μA/(度×0.1) 阶梯信号:关 极性:负(-)		$I_{CBO} = 10\mu\text{A}/\text{度}$ $\times 0.1 \times 3$ $= 3\mu\text{A}$
基极开路集电极穿透电流 $I_{CEO}$	3A×31	峰值电压范围:0~10V 极性:负(-) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 1V/度 Y轴:集电极电流 10μA/度 阶梯信号:关 极性:负(-)		$I_{CEO} = 10\mu\text{A}/\text{度}$ $\times 2.2\text{格}$ $= 22\mu\text{A}$
发射极开路集—基极反向击穿电压 $BV_{CBO}$	3A×31	峰值电压:0~100V 极性:负(-) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 10V/度 Y轴:集电极电流 0.1mA/度 阶梯信号:关		$BV_{CBO} = 10\text{V}/\text{度}$ $\times 6\text{格}$ $= 60\text{V}$ 逐渐调节峰值电压使所显示曲线中 $I_{CBO}$ 达到规定值 1mA (由手册查得), 此时对应的电压即为 $BV_{CBO}$

续表

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
	NPN 型小功率硅三极管 	峰值电压:0~10V 极性:正(+) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 10V/度 Y轴:集电极电流 10μA/度 阶梯信号:关		$BV_{CEO} = 10V/度$ $\times 5.8 格$ $= 58V$ (手册查得 $I_{CEO}$ 为 0.1mA)
基极开路 集电极-发射极反向击穿电压 $BV_{CEO}$	3A×31 	峰值电压范围:0~100V 极性:负(-) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 5V/度 Y轴:集电极电流 0.2mA/度 阶梯信号:关		$BV_{CEO} = 5V/度 \times$ $5.5 格$ $= 27.5V$ (手册查得 $I_{CEO}$ 为 2mA)
	3DG12 	峰值电压范围:0~100V 极性:负(-) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 10V/度 Y轴:集电极电流 20μA/度 阶梯信号:关		$BV_{CEO} = 10V/度$ $\times 4.8 格$ $= 48V$ (手册查得 $I_{CEO}$ 为 0.2mA)

续表

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
N沟耗尽型管的特性曲线	3DJ7 	峰值电压范围:0~10V 极性: E(+) 功耗电阻:1kΩ X轴:集电极电压 1V/度 Y轴:集电极电流 0.5mA/度 阶梯信号:重复  极性:负(-)阶梯选择:0.2V/度	5  0 $U_{CS}(V)$ 10	
二极管特性曲线	硅整流二极管 2CZ82C 	峰值电压范围:0~10V 极性: E(+) 功耗电阻:250Ω X轴:集电极电压 0.1V/度 Y轴:集电极电流 10mA/度	100  0 $U_R(V)$ 1	$U_F = 0.1V/\text{度}$ $\times 9.3 \text{ 格}$ $= 0.93V$ (手册查得 $I_F = 0.1A$ )
稳压二极管特性曲线		峰值电压范围:AC 0~10V 功耗电阻:5kΩ X轴:集电极电压 5V/度 Y轴:集电极电流 2mA/度	10  -10 $U_Z(V)$ 0 $U_Z(V)$ 25	稳定电压 $U_Z = 5V/\text{度} \times 2.4 \text{ 格} = 12V$ (手册查得 $I_Z = 10mA$ )

续表

测试项目	被测管	面板上开关和旋钮位置	显示曲线	测试结果
三极管二簇特性曲线比较	NPN型 3DG8	峰值电压范围:0~10V 极性:E(+) 功耗电阻:250Ω X轴:集电极电压 1V/度 Y轴:集电极电流 1mA/度		

#### 4.2.4 使用注意事项

(1) 硅管反向漏电流极小,一般不测  $I_{CBO}$  和  $I_{CEO}$ 。

(2) 测  $I_{CBO}$  时荧光屏上显示出回线是正常现象,这是仪器本身的问题,与被测管无关。

(3) 对于线性不良的管子或大功率管,测其电流放大系数时应根据工作电流用  $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$  方法读数,不宜用  $\beta = \frac{I_c}{I_b}$  方法读数。

(4) 集电极扫描的各旋钮与基极阶梯信号不能随便调节,要视管子的极限参数而定,否则容易损坏管子或仪器。

(5) 其他各可供选择的旋钮位置,一般均应视需要而定。如测  $BV_{CBO}$  时,当峰值电压范围为 0~500V 时,X 轴作用旋钮宜由小拨到大,调节峰值电压由小到大。一般情况下,只要看出击穿电压就可以,电流值不一定要达到测试条件规定值。

## 5 直流电位差计

在直流精密测量中,直流电位差计是发展较早、应用最广的仪器之一。由于此类仪器是采用被测电动势(电压)与电阻上已知压降的相互平衡(补偿)的原理作为基础的,在测量时几乎不损耗被测对象的能量,测量结果稳定可靠,而且具有很高的测量精度,所以在电测量和非电量电测法中占据着极重要的地位,并在工厂、科研、计量等部门得到广泛使用。

### 5.1 直流电位差计的工作原理

直流电位差计是用比较测量法测量电动势或电压的一种比较式仪器,其工作



原理如图 7.2.21 所示。

- $E_N$ ——标准电池
- $E_x (U_x)$ ——被测电动势(电压)
- $R_N$ —— $E_N$  的补偿电阻
- $R$ ——测量盘电阻
- $B$ ——工作电源
- $R_f$ ——工作电流调节电阻
- $G$ ——检流计
- $Q$ ——“标准-未知”开关

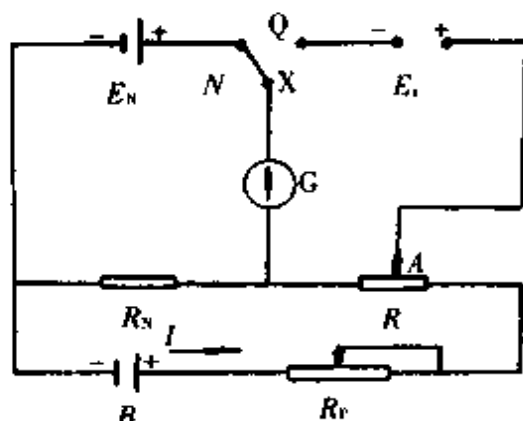


图 7.2.21 直流电位差计的工作原理

测量未知电动势  $E_x$  时,先把换接开关拨到“N”位置,利用工作电流调节电阻,调节好一定大小的工作电流  $I$ ,使检流计  $G$  指零,此时检流计电流的不存在就表明  $IR_N$  与  $E_N$  相互补偿。即:

$$IR_N = E_N, \quad I = \frac{E_N}{R_N}$$

再将换接开关拨到“X”位置,同时移动“A”触点,再使检流计内的电流消失( $I_g = 0$ ),此时说明  $E_x$  与  $E_A$  相互补偿。即:

$$E_x = E_A = IR_A = \frac{E_N}{R_N} R_A = \frac{R_A}{R_N} E_N$$

从上式中看出用直流电位差计测量有两个特点:

(1) 在达到补偿时,既不从标准电池取得电流,也不从被测电动势或电压的电源取得电流,因此不论标准电池,被测电动势的电源或连接导线都没有压降存在,所以被测电动势或电压能高度准确地保持原有大小。

(2) 用电位差计测量未知电动势  $E_x$ ,实质上是将  $E_x$  与  $E_N$  进行比较的过程。当  $E_N$  极为准确时, $E_x$  测量的准确度仅取决于  $R_A/R_N$  的比值误差。电阻的大小可以确定到误差不超过  $\pm 0.01\%$ ,因此测量的结果可以达到很高的准确度。

但是必须注意,在这种测量方法中,必须保持供给测量线路的电源电动势恒定不变,才能有好的结果。

由图 7.2.21 可知,一台完整的电位差计基本上由三个部分组成:

- (1) 标准回路:主要由  $E_N$ 、 $R_N$ 、 $G$ 、 $Q$  等组成;
- (2) 测量回路:主要由  $E_x$ 、 $R$ 、 $G$ 、 $Q$  等组成;
- (3) 工作电流回路:主要由  $B$ 、 $R_f$ 、 $R$ 、 $R_N$  等组成。

这三个回路组成了一台电位差计的有机整体。电位差计由低级向高级,测量盘由简单分压十进盘发展到各种类型的多测量盘,继而发展到高精度的直流比较

仪式电位差计,都是基于测量技术发展需要。

## 5.2 直流电位差计的分类

根据结构不同,直流电位差计大体可以分为低阻电位差计和高阻电位差计两类。

在低阻电位差计中,主要电路的电阻在接检流计两端之间是  $20 \sim 100\Omega$ ,工作电流在  $1\text{mA}$  以上。这类电位差计用来测量内阻很小的电源电动势和很小的电动势或电压。它所采用的检流计应具有比较小的临界电阻。这时,它在接近补偿时线路灵敏度比高阻电位差计大。如果采用临界电阻比较大的检流计,它将在欠阻尼状态下工作。

高阻电位差计主要电路的电阻约为每伏  $10000\Omega$ ,工作电流通常为  $0.1\text{mA}$ 。它们采用的检流计应具有较大的临界电阻。高阻电位差计适合于用来测量较大的电动势和较大内阻的电动势。

## 5.3 直流电位差计的一般调整和修理

### 5.3.1 用万用电表欧姆挡检查电位差计三个基本回路的完好情况

5.3.1.1 检查工作电源回路有无故障 将万用电表接在电位差计的工作电源“B”的两端钮间,对高阻电位差计用  $\times 1\text{k}\Omega$  挡;对低阻电位差计用  $\times 10\Omega$  挡。操作极性开关、工作电流调节电阻、测量盘等,观察有无明显的不正常现象。

5.3.1.2 检查标准回路有无故障 将万用电表接在电位差计的标准“E<sub>N</sub>”端钮上,将标准—未知开关拨向标准一边,检流计短路按钮短路,操作检流计按钮和温度补偿盘,观察回路通断和按钮控制情况,分析故障。

5.3.1.3 检查测量回路有无明显故障 由于测量盘的结构和线路组成形式多样且复杂,因此,将万用电表接在“未知”两端钮,“Q”倒向“未知”一边时,只能粗略地判断测量回路有无明显故障,如开关接触不良,电刷未接触或接触不良,电阻断路,输出电阻范围是否基本符合等。

### 5.3.2 开关清洗和修理的注意事项

仪器的精度及稳定性,除主要取决于电阻元件的调定精度和结构元件的加工精度外,仪器性能在使用中的降低往往与开关触点的清洁状况有关。如清洁状况不好,开关触点接触位置和压力不好,都会增加电位差计的零电势和变差,有的还会降低仪器的绝缘电阻。

(1) 开关清洗必须有顺序地进行,取下的电刷不允许随便堆放,必须依次搁在一边,做好顺序标记。在同一仪器中,往往不少刷形开关的结构大小完全一致,但也不允许任意调换。因为在一台仪器中的各盘使用频繁程度不同,磨损的程度也不相同,而各对电刷和触点经过长期的使用已形成良好配合性能,所以“各就各

位”的原则,是修理精密仪器的重要原则之一。

(2) 开关电刷和触点的清洗可用毛笔和电容器纸先清除明显的堆积油污,再分别用棉花球蘸汽油和酒精作两次清洗。在清洗过程中如发现磨损厉害或有氧化铜绿时,可用“00”号砂纸仔细清除,对覆银开关出现发黑时,可用硬橡皮擦除,然后再清洗。

(3) 清洗完成后,须等汽油和酒精挥发干后再涂油,一般可涂上一层薄薄的中性凡士林油。对于轻压力开关,因凡士林粘滞性较大,故建议采用“0”号锡炼牌油。

(4) 清洗、涂油工作完成后,应有顺序地安装好所有拆卸之零部件,使之各就各位。安装时应对电刷的压力或触点的位置及形状进行仔细调整。全部工作完成后,所有各盘应来回转动几次,待一切都正常时,便可进行示值检定或修前的示值误差测定工作。

### 5.3.3 绝缘电阻降低的修理

(1) 有些年久的老式开关,由于绝缘材料性能差,一般无法修理,需要调换。

(2) 有些开关绝缘电阻的降低,往往是触点间有残余金属粉末或脏物所致,只要用竹片剔除异物,并用酒精洗后,一般都可以修复。

(3) 对于因湿度大而引起的绝缘电阻下降,一般可用红外线灯泡缓慢烘干的办法(要注意隔开一定的距离,且温度不能太高),使绝缘性能提高。

## 5.4 UJ37 型直流电位差计的调整和修理

UJ37 型直流电位差计属于携带型电位差计,其线路原理图如图 7.2.22 所示。

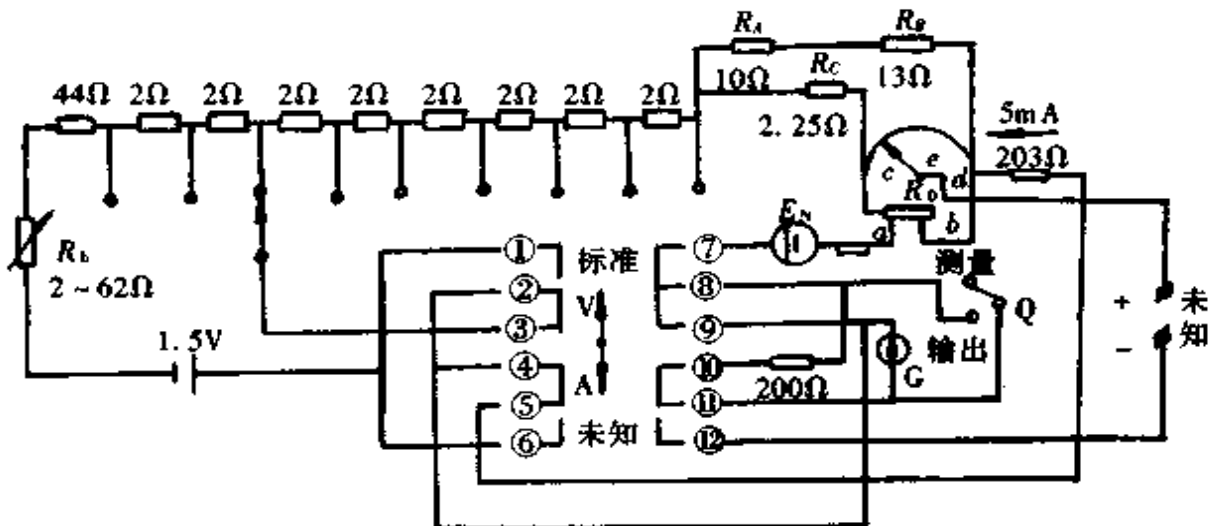


图 7.2.22 UJ37 型直流电位差计线路原理图

它为一般分压线路电位差计的改进型式,由于线路上在低量程范围中采用了桥式回路,使检流计在整个量程中处于近临界状态,除了具有负读数优点外,电位

差计的零电势也相应得到了减小。该电位差计装了一个“测量—输出”开关,可以直接输出  $0 \sim 103\text{mV}$  范围内的精度约为  $\pm 0.1\% V_{\text{max}}$  的标准直流信号,这样就使检定、维修电子电位差计和 PID 温度调节仪大为方便。

UJ37 型直流电位差计的常见故障、可能原因及排除方法见表 7.2.10 所列。

表 7.2.10 UJ37 型直流电位差计的常见故障、可能原因及排除方法

常见故障	可能原因	排除方法	
“标准—未知”选择开关倒向标准时检流计出现如右情况	指针产生严重冲击	1. 工作电源极性接反 2. 电位器 $R_p$ 断路 3. 选择开关①、②触点接触不良 4. $203\Omega$ 电阻短路	1. 检查电源并纠正 2. 修理或更换电位器 3. 砂光或调整触点 4. 修理或更换电阻
	调节工作电流,检流计无偏转	1. 图 7.2.22a 点处不接触 2. 选择开关⑦、⑧或⑩、⑪的触点 不接触	1. 紧固触点 2. 调整或砂光触点 3. 修理或更换动圈
	调节工作电流,检流计始终偏向一边	1. 工作电源电压偏低 2. 电位器 $R_p$ 断路	1. 更换电池 2. 修理或更换电位器
	调节工作电流,检流计偏转幅度小	1. 图 7.2.22a 点处接触不良 2. 标准电池内阻增大很多 3. 检流计动圈局部短路	1. 砂光触点并紧固 2. 更换标准电池 3. 更换动圈
	在选择开关刚倒向标准时,检流计出现瞬时冲击	①、②和⑦、⑧触点不同步	调整触点位置,使①、②先接通,⑦、⑧后接通
选择开关倒向未知时检流计出现如右情况	无偏转	1. 图 7.2.22e 点处断路 2. 选择开关②、③或⑩、⑪间不接触	1. 调整接触片或焊接引线 2. 砂光调整触点
	始终偏向一边	步进盘座上的触点与中心环沟短路	找出故障点加以排除
	在选择开关刚倒向未知时,检流计出现瞬时冲击	⑤、⑥和⑩、⑪触点不同步	调整触点位置,使⑩、⑪触点稍落后于⑤、⑥接通
超差	限值变化	修理更换	
测量时,检流计处于欠阻尼状态	1. $200\Omega$ 电阻损坏 2. ⑧、⑨或⑩、⑪触点接触不良	1. 更换电阻 2. 砂光调整触点	
输出时,检流计有偏转现象	转换开关接触不良	修理或更换开关	

注:同时参阅图 7.2.22。

## 第三章 常用数字式电工仪表

数字式电工仪表目前已广泛应用于电工测量领域。由于数字式仪表的准确度、灵敏度高,读数直观,坚固耐用,特别是它能提供数字化的被测量,能与打印机及其他数字化仪器相联,实现数据的自动化记录与处理,使其不仅在某些场合代替了传统的电工仪表,而且在开关屏、控制台上取代了传统的指示仪表。本章主要介绍常用的便携式数字式电工仪表。

### 1 数字式多用表

数字式多用表的功能等同于万用电表,一般可用于测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻,有些数字式多用表还有扩展功能,可用于测量电容、电感、频率等。数字式多用表的主要原理是基于模数转换器,把被测直流电压经过与标准电压的比较转换成计数脉冲序列,从而得到相应的数值,而其他电工量,如直流电流、交流电压、交流电流、电阻都经过一定的转换电路,称为模—模转换器,转换成相应的直流电压,然后进行数字化转换。这类模数转换器都已经制成大规模集成电路芯片,所以,数字式多用表的线路是简单可靠的。其显示数字的部分采用液晶显示器,消耗的能量极低,仅微安级。

数字式多用表电源采用叠层电池(9V)或5号电池两节。由于内部使用了输入放大器,测量灵敏度较高,输入阻抗一般不低于几十兆欧。

便携式的数字式多用表分为三位半与四位半两挡,分别指它们显示的数字的位数。所谓三位半是指在显示的四位数中,首位最大只显示“1”,最大满度显示值为“1999”。故把首位称为“半位”。四位半则最大显示值为“19999”。

常用数字式多用表列于表7.3.1,数字式多用表常用集成电路芯片及其主要技术性能列于表7.3.2。

表 7.3.1 常用

技术指标		型号		
		DT810	DT830A	DT890C <sub>+</sub>
测量项目				
显示位数及最大显示值		3½位, ±1999	3½位, ±1999	3½位, ±1990
测量挡数(含附加挡)		22	30	31
量程转换方式		手动	手动	手动
直流电压		0.1mV~1000V	0.1mV~1000V	0.1mV~1000V
交流电压		100mV~750V	0.1mV~700V	0.1mV~750V
直流电流		10nA~20A	10nA~20A	1μA~20A
交流电流		无	10nA~20A	1μA~20A
电 阻		0.1Ω~20MΩ	0.1Ω~20MΩ	0.1Ω~20MΩ
电 导		无	无	无
电 容		无	无	1pF~20μF
V <sub>F</sub> 、h <sub>FE</sub> 、BZ 挡		只有 V <sub>F</sub> 、BZ 挡	均有	均有
温 度		无	无	有
频 率		无	无	无
读数保持		无	无	无
峰值保持		无	无	无
相对值测量		无	无	无
模拟条图显示		无	无	无
自动关机		无	无	无
逻辑测试		无	无	无
基本挡 准确度	直流电压	±(0.5%RDG+1字)	±(0.5%RDG+1字)	±(0.5%RDG+1字)
	交流电压	±(1.2%RDG+10字)	±(1.2%RDG+3字)	±(1.2%RDG+3字)
	电 阻	±(0.8%RDG+3字)	±(0.8%RDG+3字)	±(0.8%RDG+3字)
外形尺寸:长×宽×高(mm)		172×80×30	172×88×36	172×88×36
质量(包括9V电池)(g)		225	340	340

注:①DT980改进型增加了自动关机功能。

数字式多用表

DT930F,	DT960T	DT970	DT980	DT1000
4½位, ±19999	3½位, ±1999	3¾位, ±3999	4½位, ±19999	4½位, ±19999
32	38	32	29	31
手动	自动	自动/手动	手动	手动
0.01mV~1000V	0.1mV~1000V	0.1mV~1000V	0.01mV~1000V	0.01mV~1000V
0.1mV~700V	1mV~700V	0.1mV~750V	0.01mV~750V	0.1mV~700V
0.01μA~10A	10μA~20A	0.1mA~20A	1μA~20A	0.1μA~20A
0.1μA~10A	10μA~20A	0.1mA~20A	1μA~20A	1μA~20A
0.01Ω~20MΩ	0.1Ω~30MΩ	0.1Ω~40MΩ	0.01Ω~20MΩ	0.01Ω~200MΩ
0.1nS~100nS	无	无	无	无
0.1pF~20μF	无	1pF~4μF	1pF~20μF	0.1pF~20μF
只有 V <sub>F</sub> 、h <sub>FE</sub> 挡	只有 V <sub>F</sub> 、BZ挡	只有 V <sub>F</sub> 、BZ挡	只有 V <sub>F</sub> 、BZ挡	只有 V <sub>F</sub> 、h <sub>FE</sub> 挡
无	无	有	无	无
有	有	有	有	有
有	无	无	有	有
无	无	有	无	无
无	有	无	无	无
无	有	无	无	无
无	无	无	有 <sup>①</sup>	有
无	无	有	无	无
±(0.05%RDG+3字)	±(0.5%RDG+2字)	±(0.5%RDG+1字)	±(0.05%RDG+3字)	±(0.05%RDG+3字)
±(0.8%RDG+10字)	±(1%RDG+10字)	±(0.8%RDG+3字)	±(0.8%RDG+20字)	±(0.6%RDG+5字)
±(0.2%RDG+5字)	±(0.8%RDG+2字)	±(0.8%RDG+3字)	±(0.1%RDG+5字)	±(0.15%RDG+5字)
172×88×36	190×85×40	190×85×40	190×85×40	172×88×36
340	350	350	350	340

表 7.3.2 数字式多用表常用集成

位数	型号	主要特点	显示类型	A/D 转换速率 (次/s)	基本量程
3½	7106	双积分式,内基准,低成本,单电源供电	静态驱动 3½位 LCD	0.1~15	$\frac{200\text{mV}}{2\text{V}}$
	7136	为 7106 的改进型,进一步降低了功耗	静态驱动 3½位 LCD	0.1~4	$\frac{200\text{mV}}{2\text{V}}$
	7107	双积分式,内基准,低成本,双电源供电	静态驱动 共阳极 3½位 LED	0.1~15	$\frac{200\text{mV}}{2\text{V}}$
	7137	为 7107 的改进型,进一步降低了功耗	静态驱动 共阳极 3½位 LED	0.1~4	$\frac{200\text{mV}}{2\text{V}}$
	9207	单片自动/手动转换量程式数字万用表芯片,有 25 个量程,可测直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻,还设有二极管挡、检查线路通断挡,有超量程和读数保持(HOLD)功能	动态驱动 3½位 LCD		200mV~2000V DC, 2V~2000V AC, 2mA~20A DC, 2mV~20V AC, 100Ω~20MΩ
	818A	818A 与 818D 配合使用,可以构成 3½位 41 段模拟条图双显示数字万用表,双积分式,外基准,单电源,手动/自动转换量程,能读数保持	动态驱动 3½位 LCD 数字显示器与 41 段 LCD 条图 显示器,有单位 符号显示	2	200mV~ 1000V DC, 2V~700V AC, 30mA~20A DC, 30mA~10A AC, 200Ω~ 30MΩ, BZ
	818D				



电路芯片及其主要技术性能

输入阻抗 ( $\Omega$ )	转换 误差 (字)	基准 电压 (V)	电源 电压 电流	管脚数 <sup>†</sup>	国外型号	国内对应型号
$10^{10}$	$\pm 1$	$\frac{0.100}{1.000}$	9V 1.8mA	DIP-40	ICL7106 TSC7106 NJU9201	CC7106 CH7106
$10^{10}$	$\pm 1$	$\frac{0.100}{1.000}$	9V 100 $\mu$ A	DIP-40	ICL7136	CH7136
$10^{10}$	$\pm 1$	$\frac{0.100}{1.000}$	$\pm 5$ V 1.8mA	DIP-40	ICL7107 TSC7107 NJU9202	CC7107 CH7107
$10^{10}$	$\pm 1$	$\frac{0.100}{1.000}$	$\pm 5$ V 200 $\mu$ A	DIP-40	ICL7137	——
$10^{10}$	$\pm 1$		3V < 1.0mA	PLCC-80	UJN9207	——
$10^{10}$	$\pm 1$	163.85 mV	9V 0.8mA	PLCC-60	TSC818A	——
				DIP-20	TSC818D	——

位数	型号	主要特点	显示类型	A/D转换速率 (次/s)	基本量程
3½	14433	双积分式,外基准,具有多路调制BCD码输出,有超量程、欠量程输出,可配微机	动态驱动 3½位共阴极LED	3~10	200mV
					2V
3¾	7139	单片自动转换量程式数字万用表芯片,18个量程,有单位符号及低电压指示输出,能读数保持	动态驱动 3¾位LCD,有单位符号显示	2	400mV、4V、40V、400V、4mA、40mA、400mA、4A、4kΩ、40kΩ、400kΩ、4MΩ、BZ
	7149				
4½	7135	双积分式,外基准,有超量程、欠量程、忙碌输出,能读数保持,可配微机	动态驱动 4½位共阴极LED	0.1~7.5	2V
	7129	多重积分式,外基准,数字调零,有量程输入、超量程、欠量程、低电压指示,标志符输出,能读数保持	动态驱动 4½位LCD,有单位符号显示	1~6	200mV 2V
5½	7159	多重积分,外基准,自动数字调零,高分辨率,高精度,高速A/D转换,有两个串行口和一个并行口,可配微机、打印机,芯片本身带微处理器	动态驱动 5½位或者4½位LCD	15 (5½位)  60 (4½位)	2V

注:①DIP表示双列直插式,PLCC代表扁平封装,后面的数字是管脚数。

续表

输入阻抗 ( $\Omega$ )	转换 误差 (字)	基准 电压 (V)	电源 电压 电流	管脚数 <sup>①</sup>	国外型号	国内对应型号
$10^9$	$\pm 1$	200mV	$\pm 5V$ , 静态电 流 $\leq 2mA$	DIP-24	MC14433 TSC14433	5G14433 CH14433
		2.000V				
$10^{10}$	$\pm 1$	1.000V	9V 1.5mA	DIP-40	ICL7139	——
					ICL7149	——
$10^{10}$	$\pm 1$	1.0000	5V 3.0mA	DIP-28	ICL7135	CH7135
$10^{10}$	$\pm 0.5$	1.0000	9V 1.4mA	DIP-40	ICL7129	——
$10^9$	$\pm 12$ (5 $\frac{1}{2}$ 位)	1.00000	$\pm 5V$	DIP-28	HI7159	——
	$\pm 2$ (4 $\frac{1}{2}$ 位)					

## 1.1 数字式多用表的使用方法和注意事项

(1) 数字式多用表的选用应根据实际测量准确度的要求,分别选用三位半或四位半的仪表。切勿盲目追求过高的准确度,因为多用表的价格相差悬殊。

(2) 使用时,必须先接通电源,并正确选择测量功能及量程。功能、量程选择错误,就可能损坏仪表。尽可能选用自动量程仪表。

(3) 使用测棒,极性要注意正确。在测量高电压时,应注意人身安全。测棒应先接到电路上,然后再接通被测电路。

(4) 测量交流电压时,应注意电压的波形。因为一般的数字多用表的交流一直流变换电路都采用平均值检波方式,对正弦波按比例显示有效值。因而,对其他的波形,如方波、三角波或畸变的正弦波,显示值就不准确。

(5) 测量电阻值时要注意切断被测电路的电源,并先对电路放电,以免电路中大电容的放电损坏仪表,并注意被测元件不应被其他回路所分流。双手不能接触表的测棒,以免人体电阻的分流造成误差。

(6) 测量中发现测值严重偏差时,应更换电池。一般测量 AC220V 电压指示值严重偏大,说明电池已经耗尽,应予更换。某些表设有电源检查功能,应先检查电源指示是否达到正常标志,或显示屏上是否有电池不足的标志。

(7) 数字多用表在每次使用结束后,必须关断电源。如果较长时间停止使用,则应将仪表内的电池取出,以免电池泄漏,造成电解液损坏仪器。

## 1.2 DT830 型数字万用表

DT830 型数字万用表电原理图见图 7.3.1。

DT830 型仪表是目前使用较广的一种  $3\frac{1}{2}$  位数字多用表,其主要技术指标如下。

基本挡 28 个:

DC V 200mV、2V、20V、200V、1000V

AC V 200mV、2V、20V、200V、750V

DC A 200 $\mu$ A、2mA、20mA、200mA

AC A 200 $\mu$ A、2mA、20mA、200mA

$\Omega$  200 $\Omega$ 、2k $\Omega$ 、20k $\Omega$ 、200k $\Omega$ 、2M $\Omega$ 、20M $\Omega$

检查二极管:

NPN 测量 NPN 型晶体三极管的  $h_{FE}$  值

PNP 测量 PNP 型晶体三极管的  $h_{FE}$  值

检查线路通断(蜂鸣器)

附加挡 2 个:

DC A 10A

AC A 10A

DT830 型仪表采用 9V 叠层电池供电,总电流约 2.5mA,整机功耗为 17.5~25mW。工作温度  $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ,环境相对湿度  $\leq 80\%$ 。外形尺寸  $160 \times 84 \times 26(\text{mm}^3)$ ,质量约为 200g。时钟脉冲频率为 40kHz,测量周期 0.4s。测量速率为 2.5 次/s。

DT830 型仪表的测量范围及准确度见表 7.3.3 所列。

DT830 型数字万用表的核心部分是模拟/数字转换芯片 ICL7106,它是采用双积分原理工作的。这一类用于数字万用表的模拟/数字转换芯片的品种相当多,从  $3\frac{1}{2}$  位到  $5\frac{1}{2}$  位,都有产品供应,见表 7.3.2 所列。DT830 型数字万用表由下列部分组成,参见图 7.3.2。

表 7.3.3 DT830 型仪表的测量范围及准确度

测量项目	测量范围	测量准确度
直流电压 DC	0.1mV~1000V	$\pm(0.5\% + 2\text{字}) \sim \pm(0.8\% + 2\text{字})$
交流电压 AC	0.1mV~750V	$\pm(1.0\% + 5\text{字})$
直流电流 DC	0.1 $\mu\text{A}$ ~10A	$\pm(1.0\% + 2\text{字}) \sim \pm(2.0\% + 2\text{字})$
交流电流 AC	0.1 $\mu\text{A}$ ~10A	$\pm(1.2\% + 5\text{字}) \sim \pm(2.0\% + 5\text{字})$
电阻( $\Omega$ )	0.1 $\Omega$ ~20M $\Omega$	$\pm(1.0\% + 2\text{字}) \sim \pm(2.0\% + 3\text{字})$
分辨率		1 个字

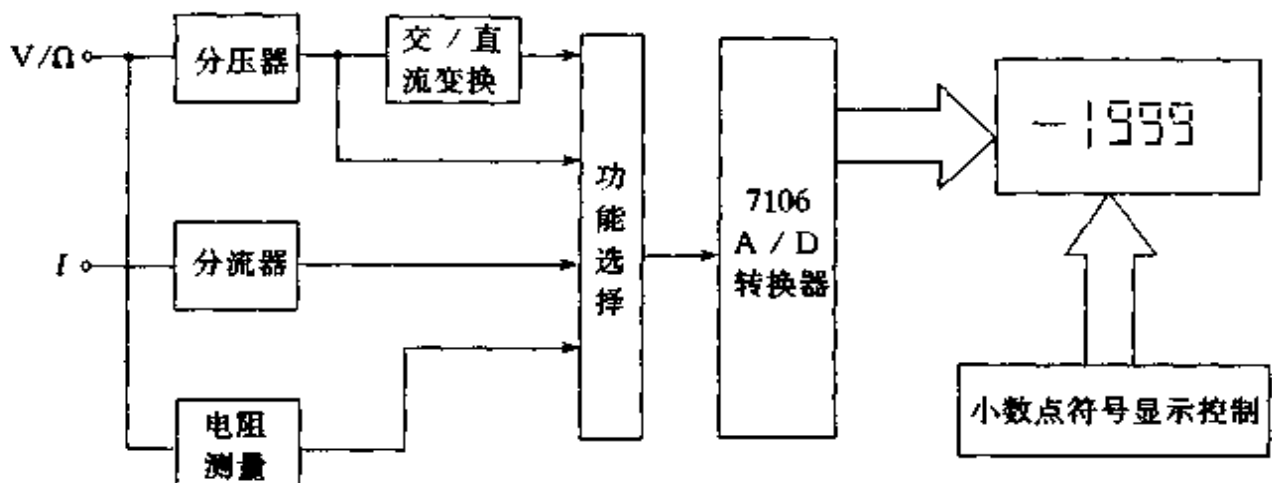


图 7.3.2 DT830 型数字万用表的构成

- (1) 分压器:将输入电压分压为 200mV 的额定值。
- (2) 分流器:将输入电流转换为 200mV 的额定值。

- (3) 电阻测量电路:标准电阻串接被测电阻,进行比例测量。
  - (4) 交/直流变换电路:将交流电压转换成平均值直流电压。
  - (5) A/D 转换器:是核心部件,将被测电压信号转换成数字量。
  - (6) 数字显示电路:LCD 液晶显示器及小数点、符号驱动器。
- 另有晶体管、二极管测量电路、蜂鸣电路等组成部分。

## 2 数字式频率计

### 2.1 数字式频率计的工作原理

数字式频率计是一种数字化的测量仪表,它不仅可以直接测量被测量信号的频率值,而且还可以进行周期值的测量,也可以用来测量两个频率信号的频率比,以及两个脉冲之间的时间间隔或方波的脉冲宽度。此外,也可以进行脉冲统计,同时也可以作为信号源,输出不同频率值的整数标频信号、时基与时标信号。数字式频率计对于仪器本身能否正常工作,可进行自测。也可配以适当的外部转换设备测量一些与时间函数有关的物理量,以及能转换成时间或频率量的其他物理量。

数字式频率计由输入电路、主闸门电路、时基电路、控制电路和计数显示电路五个主要部分组成,图 7.3.3 给出了典型数字频率计的构成方框图。

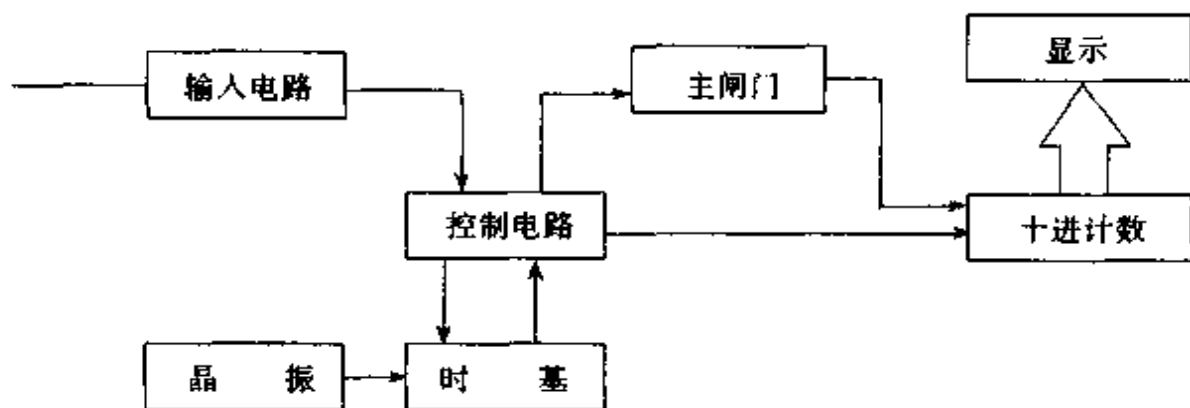


图 7.3.3 数字频率计构成框图

#### 2.1.1 测量频率的原理

频率是指单位时间内振动的次数。交流电信号或脉冲信号的频率是指单位时间内所产生的电振荡次数或脉冲的个数。测量频率的原理电路如图 7.3.4 所示。

被测频率信号经 A 通道放大、整形后加到主闸门。主闸门的开启时间由时基分频器输出的标准时间间隔脉冲控制。在主闸门开启的时间内,信号脉冲通过主闸门进入计数器计数。根据计数器所计的脉冲数  $N$  和时基选择开关所选的标准时间  $T$ ,即可知被测信号在时间间隔  $T$  内的平均频率值  $f_s = \frac{N}{T}$ 。

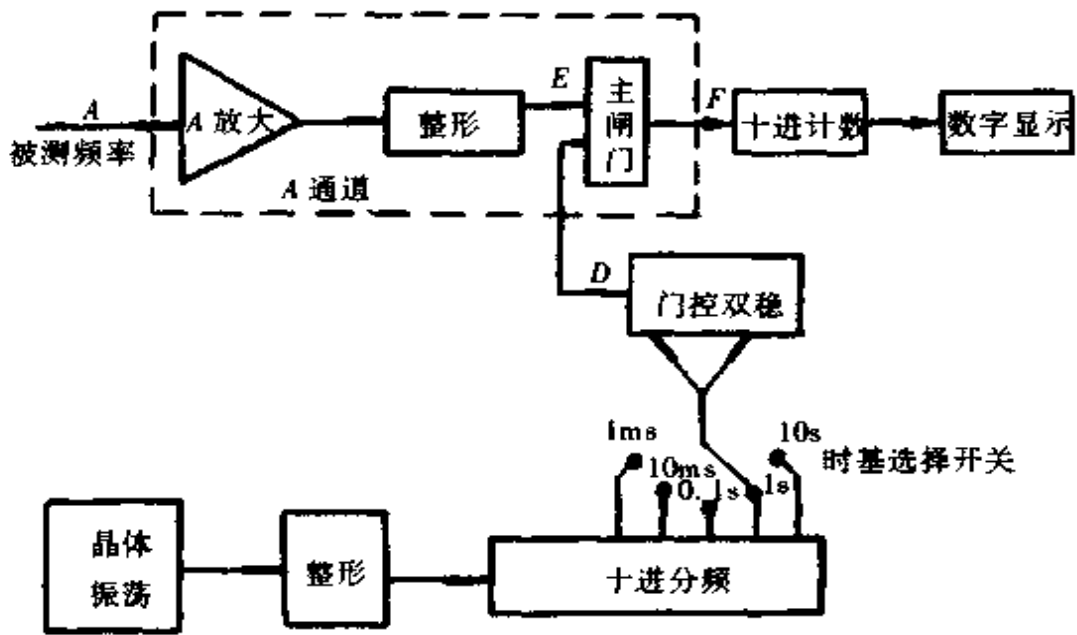


图 7.3.4 测量频率的原理电路

### 2.1.2 测量周期和平均周期的原理

周期  $T$  是指电信号振荡一个循环所需的时间，周期与频率之间互为倒数关系：即  $T = \frac{1}{f}$ ，所以测量周期和测量频率的逻辑规律正好相反。相当于把测频状

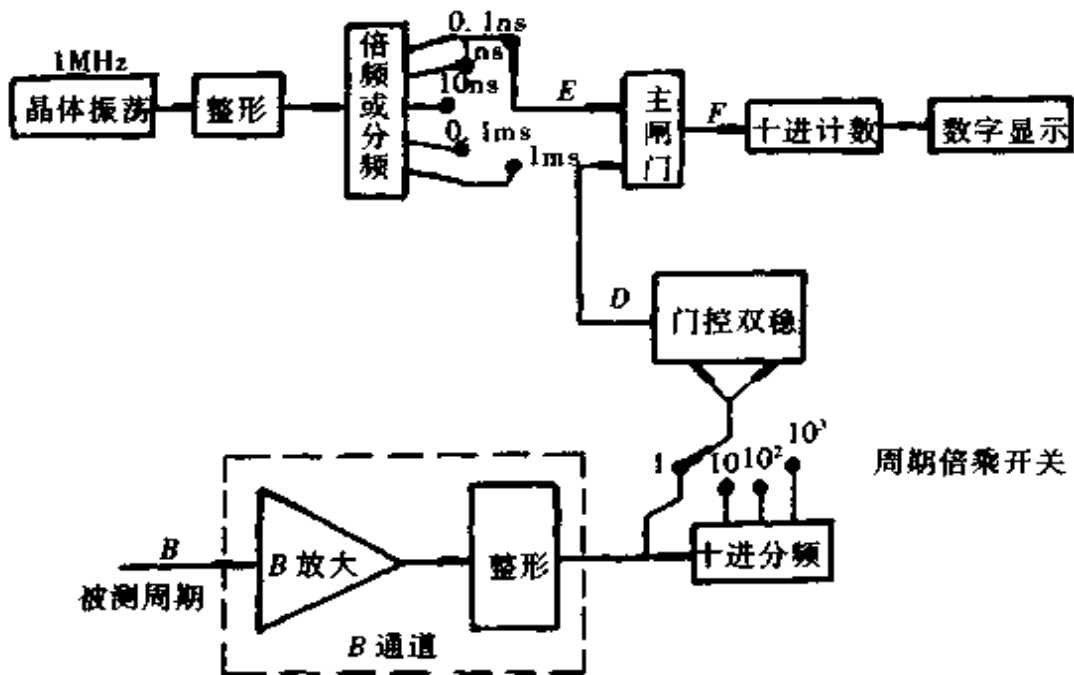


图 7.3.5 测量周期的原理电路

态下的本机晶振信号与被测信号的位置互换一下。测量周期的原理电路如图 7.3.5 所示。

被测周期信号经  $B$  通道放大、整形后被送经门控双稳作计数触发脉冲。门控双稳的输出  $U_D$  作为主闸门的控制信号,使主闸门仅在被测周期  $T$  时间内开启,同时晶振产生的高频率的标准信号经整形、分频或倍频后成为已知的时间标准信号  $U_E$ ,在主闸门开启时间内, $U_E$  进入计数器计数,设时间标准信号  $U_E$  的周期为  $\tau_0$ ,计数器读数为  $N$ ,则被测周期为  $T = N\tau_0$ 。

为提高测量准确度,可对被测周期信号分频,使被测周期得到倍乘,用倍乘后的信号触发门控双稳,使主闸门的开启时间也得到倍乘。若倍乘系数为  $n$ ,计数器读数为  $N'$ ,则被测信号的平均周期为  $T = \frac{N'\tau_0}{n}$ 。

### 2.1.3 测量频率比 $\frac{f_A}{f_B}$ 的原理

信号  $A$  和信号  $B$  之间的频率比  $\frac{f_A}{f_B}$  的测量原理电路如图 7.3.6 所示。

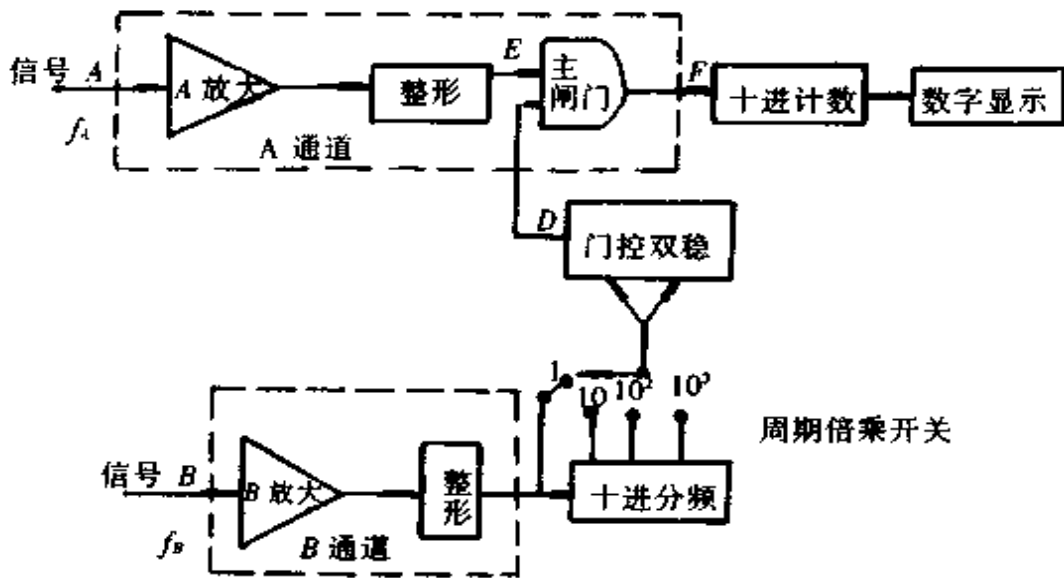


图 7.3.6 频率比  $\frac{f_A}{f_B}$  的测量原理图

电路中以信号  $B$  代替了图 7.3.4 中的晶体振荡器,信号  $B$  经  $B$  通道放大、整形后作为门控双稳的触发信号。测量前,预置门控双稳使主闸门关闭。测量时, $B$  信号的上跳沿使门控双稳翻转,门控双稳的输出  $U_D$  使主闸门开启,在  $B$  信号的同一周期的结束时刻,脉冲的上跳沿又使门控双稳再次翻转,将主闸门关闭。信号  $A$  经放大、整形后成为矩形脉冲  $U_E$ ,在主闸门开启时间内进入计数器计数。这



样,计数器累计了  $B$  信号周期  $T$  内的  $A$  信号脉冲数  $N$ ,从而实现了  $A$  信号频率  $f_A$  与  $B$  信号频率  $f_B$  之比的测量。

$$f_A = \frac{N}{T} = \frac{N}{T_B}$$

因

$$f_B = \frac{1}{T_B}$$

故

$$f_A = \frac{N}{\frac{1}{f_B}} = Nf_B$$

$$N = \frac{f_A}{f_B}$$

式中  $T$ ——由信号  $B$  周期控制的主闸门的开启时间(s);

$T_B$ ——信号  $B$  的周期(s);

$N$ ——在  $T_B$  时间内计数器所计信号  $A$  的脉冲数。

### 2.1.4 测量时间的原理

2.1.4.1 测量  $(B - C)$  时间的原理  $(B - C)$  时间实际上是指两列周期信号之间的时间差。测量  $(B - C)$  时间和测量周期原理相仿,其原理电路及波形图如图 7.3.7 所示。

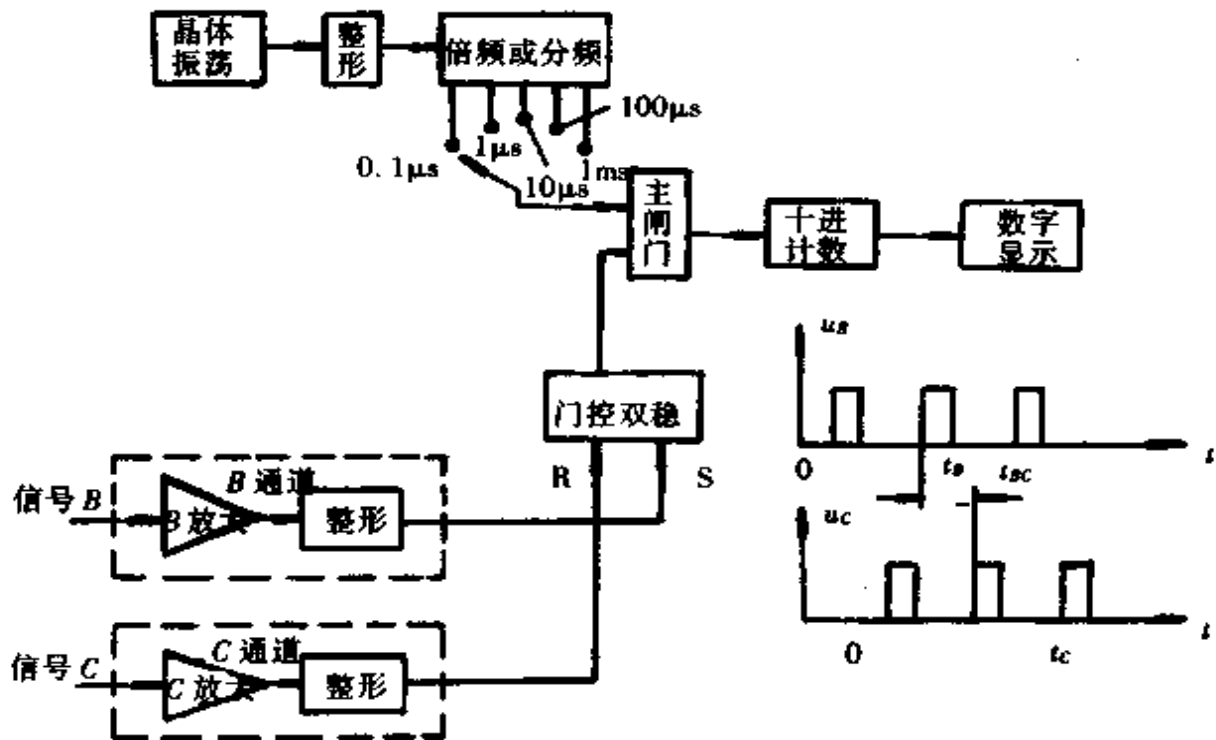


图 7.3.7 时间  $(B - C)$  的测量原理电路及波形图

信号  $B$  经  $B$  通道放大、整形后作为门控双稳的置“1”信号,使主闸门开启,晶

振产生的标准时冲脉冲经倍频或分频后作为时标脉冲,通过主闸门,进入计数器计数。信号  $C$  经  $C$  通道放大、整形后作为门控双稳的置“0”信号,使主闸门关闭,设计数器的读数为  $N$ ,所选的时标信号周期为  $\tau_0$ ,则  $(B-C)$  时间间隔  $t_{B-C}$  为  $t_{B-C} = N\tau_0$ 。

2.1.4.2 测量  $A/(B-C)$  时间的原理 测量  $\frac{A}{B-C}$  时间是测量在  $(B-C)$  时间内信号  $A$  的脉冲个数,测量的原理电路如图 7.3.8。与测量  $(B-C)$  时间不同之处是计数脉冲由被测信号  $A$  提供。假设  $A$  的周期为  $T_A$ ,则  $t_{A/(B-C)} = NT_A$ 。

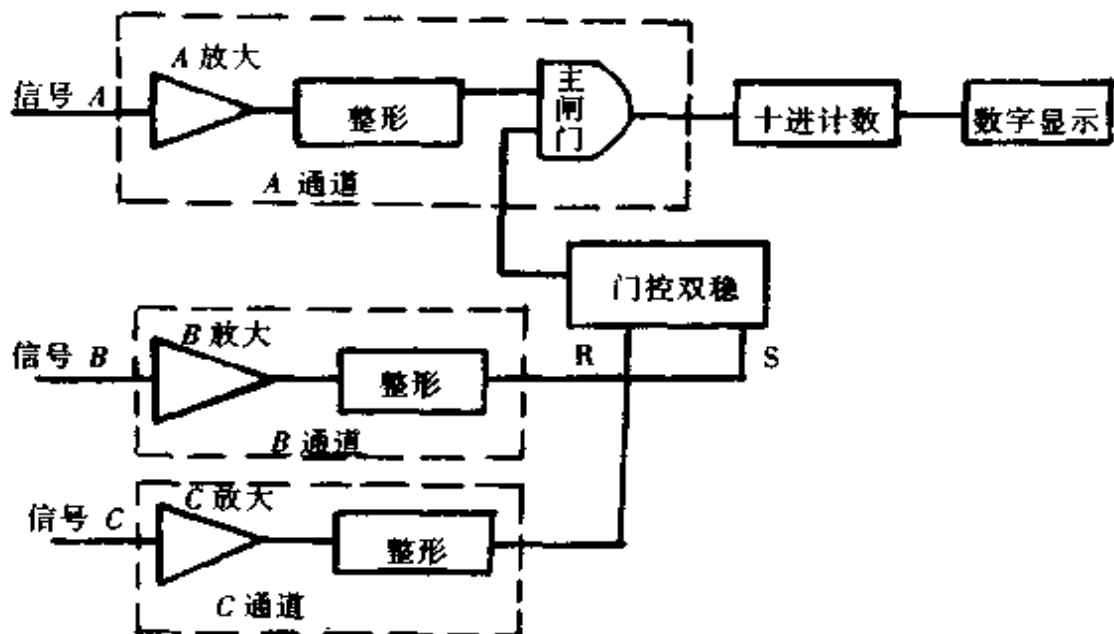


图 7.3.8 测量  $\frac{A}{B-C}$  时间的原理图

### 2.1.5 测量累加计数的原理

测量累加计数是指在一定时间内,对信号  $A$  所发出的脉冲个数进行测量,测量电路如图 7.3.9 所示。

开始计数时,置“1”端加触发信号,门控双稳的输出使主闸门打开,计数器对信号  $A$  进行计数;终止测量时,置“0”端加触发信号,使主闸门关闭,计数器停止计数,在累加计数时间内计数器所计的值就是累加计数值。

## 2.2 PP11a 型通用频率计数器

PP11a 型通用频率计主要用途有:①测量频率;②测量周期;③累加计数;④测量时间间隔  $B-C$ ;⑤输出十进标准时间间隔脉冲;⑥作为十进分频器使用。

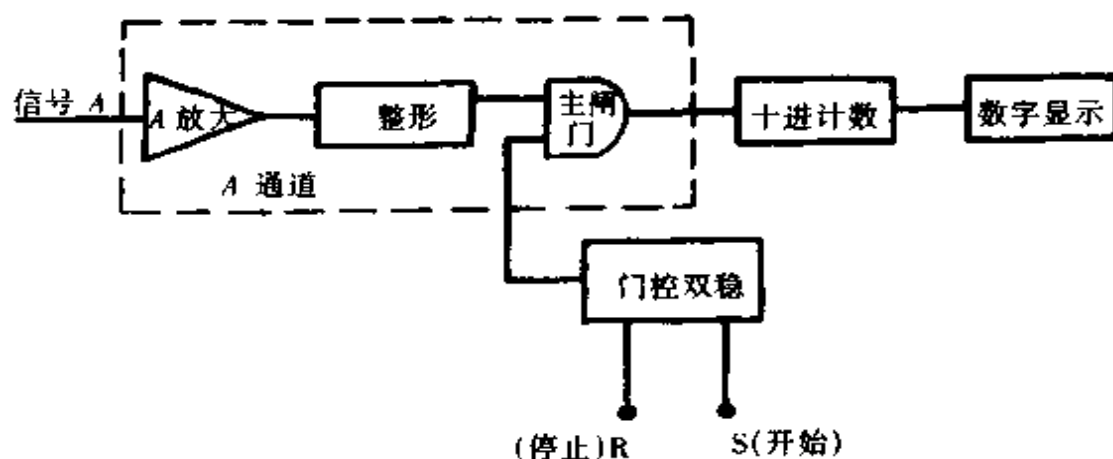


图 7.3.9 测量累加计数的原理图

### 2.2.1 主要技术数据

机内晶体振荡器标称值 1MHz;

晶振稳定度  $5 \times 10^{-6}/d$ ;

测量频率范围:1Hz~1MHz, 测量周期范围:0.1Hz~100kHz;

输入波形:正弦波、方波、三角波;

输入幅度:300mV~30V(有效值)。

### 2.2.2 使用方法

仪器前、后面板上的控制器和信息插座分布如图 7.3.10 所示。

#### 2.2.2.1 测试准备

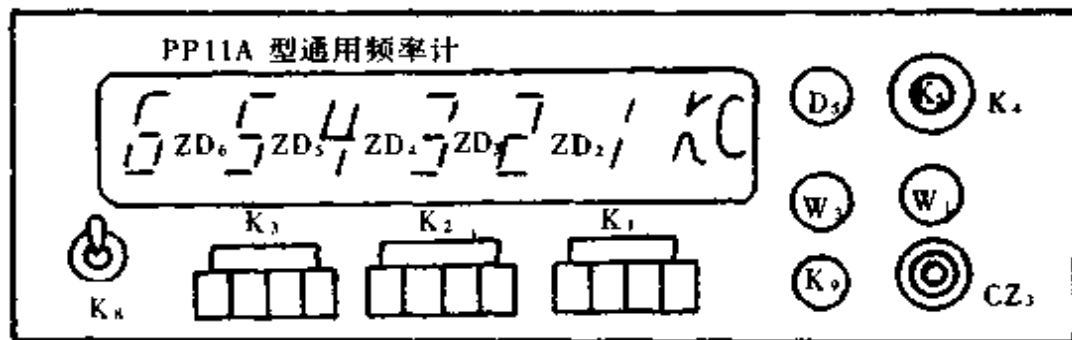
(1) 通电后,将工作选择开关  $K_1$  置于“自校”状态,改变“时基”开关  $K_2$  和“门时”开关  $K_3$ ,仪器显示应符合表 7.3.4 所列。

(2) 旋转“采样”电位器  $W_3$ (采样间隔时间应连续可调),将仪器调到适当的采样速度上。

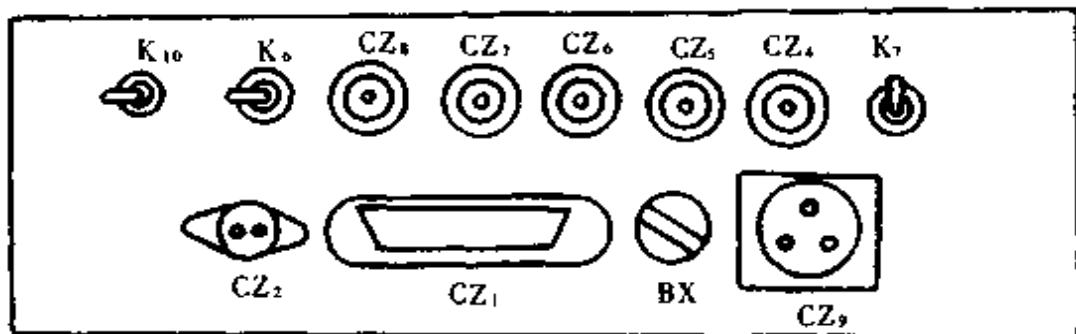
(3) 把  $K_2$  置于“1 $\mu$ s”, $K_3$  置于“0.1s”,在此状态下,预热 30min。

表 7.3.4 PP11a 时基开关和门时开关的选择

时基 \ 门时	1ms	10ms	0.1s	1s	10s
1 $\mu$ s	001000kc	01000.0kc	1000.00kc	000.000kc	00.0000kc
10 $\mu$ s	000100kc	00100.0kc	0100.00kc	100.000kc	00.0000kc
0.1ms	000010kc	00010.0kc	0010.00kc	010.000kc	10.0000kc
1ms	000001kc	00001.0kc	0001.00kc	001.000kc	01.0000kc



(a)



(b)

图 7.3.10 PP11a 型通用频率计数器的前后面板布置图

(a) 前面板 (b) 后面板

### 2.2.2.2 测量频率

(1) 将“工作选择”开关  $K_1$  置于“频率”位置。

(2) 根据待测频率的大概范围,把“门时”开关  $K_3$  置于适当位置,使显示位数足够地多。

(3) 把“采样”旋钮  $W_1$  调到适当位置,“采样”指示灯“ $D_5$ ”按相应的时间间隔作周期性的闪亮。

(4) 根据被测信号输入电压的大概范围,按表 7.3.5 把衰减开关  $K_4$  放在适当的位置上。

表 7.3.5 PP11a 衰减开关  $K_4$  位置与对应的被测信号输入电压

衰减开关 $K_4$	1	3	10	30
输入电压	300mV~1V	0.3~3V	1V~10V	3V~30V

(5) 根据被测信号的特点,将“AC—DC”开关放在“AC”或“DC”位置上。一般用“AC”耦合测试较方便。

(6) 将输入信号加到仪器“输入端” $CZ_3$  上,若为“AC”耦合,仪器显示器上即显

示出被测信号频率值;若为“DC”耦合,则需调节“电平调节”旋钮  $W_1$ ,使仪器显示出稳定的测量结果。

#### 2.2.2.3 测量周期和平均周期

- (1) 将“工作选择”开关  $K_1$  置于“周期”位置。
- (2) 测单个周期时,“倍乘”开关  $K_3$  置于  $\times 1$  位置;测平均周期时,  $K_3$  置于  $\times 10$  或  $\times 10^2$ 、 $\times 10^3$ 、 $\times 10^4$  位置。选择“倍乘”时,应使测量结果有足够的显示位数。
- (3) 把“时基”开关  $K_2$  置于合适的位置。
- (4) 根据输入信号幅度及频率高低,适当选择“衰减”及“AC”或“DC”耦合方式。
- (5) 将输入信号加到仪器“输入端” $CZ_3$ ,显示器将显示被测信号的周期值。

#### 2.2.2.4 测量时间间隔(B-C)

- (1) 把“标频”开关  $K_6$  置于“内”。
- (2) 把“工作选择”开关  $K_1$  置于“周期”位置。
- (3) 根据所测时间间隔的大约范围,参照表 7.3.6 把“时基”开关  $K_2$  置于适当的位置上。

表 7.3.6 PPI1a 测量时间间隔时时基开关位置及其相应的测量范围

时基(kc)	$1\mu s$	$10\mu s$	0.1ms	1ms
(B-C)的测量范围	$10\mu s \sim 0.99s$	$10\mu s \sim 9.9s$	$0.1ms \sim 99s$	$1ms \sim 999s$

(4) 从仪器后面板上的 B 信号输入插座  $CZ_5$  和 C 信号输入插座  $CZ_6$  分别输入待测信号  $f_B$  和  $f_C$ 。

(5) 作(B-C)测量时,仪器显示的小数点和符号无实际意义,(B-C)的测量结果为所选用的“时基”与读得的数码的乘积。

#### 2.2.2.5 连续计数

(1) 按下“工作选择”开关  $K_1$  的“计数”按钮,“采样”指示灯一直发亮,表示主闸门已打开。

(2) 把被测信号加到仪器的“输入端”,并根据输入信号的幅度和特点,把“衰减”开关  $K_4$  和“AC—DC”开关  $K_5$  置于适当的位置上,使仪器连续计数。

(3) 若要清除以前所计的数,重新从 0 开始计数,只要将“手动”按钮  $K_9$  按下,使计数器置“0”,放开  $K_9$ ,即重新开始计数。

2.2.2.6 其他 从仪器后面板上的“时基”输出插座  $CZ_7$  和“门时”输出插座  $CZ_8$  上还可得到相应的标准时间间隔脉冲。

仪器还可对输入幅度为 1~10V 的正弦波、方波、三角波等周期性信号进行十进分频。

仪器还具有“定时计数”的功能。

### 2.2.3 维修

为保证 PP11a 型通用频率计的使用准确度,必须用“自校”来检查仪器内部电路的工作是否正常。

若发生故障,可参考下列方法进行维修。

#### 2.2.3.1 “自校”不正常

(1) “自校”无数字显示:

- ①检查后面板上的标频开关  $K_0$  的位置,应放在“内”位置上。
- ②参照表 7.3.4,检查  $K_2$  和  $K_3$  的配合关系,是否已超出了该情况下的显示范围。
- ③检查仪器内的直流供电电压与各级分频器的输出,检查琴键开关接触是否良好。

(2) “自校”有数字显示,但显示数字不符合表 7.3.4:

- ①检查直流供电电压是否正常。
- ②检查分频电路、计数电路输出是否正常。

#### 2.2.3.2 “自校”状态正常,但不能测量信号

(1) 在整机输入端加上信号后,仪器不能动作,无显示:

- ①输入信号电缆插头接触不良或断线。
- ②衰减量太大或直流耦合输入时电平调节位置不适当。
- ③680 板上的厚膜电路 HM-7332-GF, HM-7322-DW 工作不正常。
- ④琴键开关接触不良引起。

(2) 采样指示灯能“闪亮”,但无数字显示或显示不正确:

- ①“门时”或“时基”选择不适当,被测量超出了该情况下的显示容量。
- ②测低频周期时,由于“倍乘”太大,需要较长时间才会显示出结果,可能会造成仪器无显示的错觉。
- ③计数板(683、684/1、684/2)上的译码器 5G632 或荧光管有的笔划工作不正常,可用“计数”状态来检查各位数字的显示和进位情况,然后调换不正常的电路和元件。

## 第 八 篇

# 常用电气传动控制电路

本篇主编 李 智  
编写人 李 智  
董成明  
杨在明  
屈稳太  
洪文治





## 第一章 传动电动机的选择

传动电动机的一般选择程序见图 8.1.1。电动机类型选择取决于机械的负载性质、使用环境条件、生产工艺要求及电网供电情况等因素。电动机规格的选择主要是通过电动机的发热、最小起动转矩、最大过载转矩等参数来确定电动机的额定功率、电压、转速等。

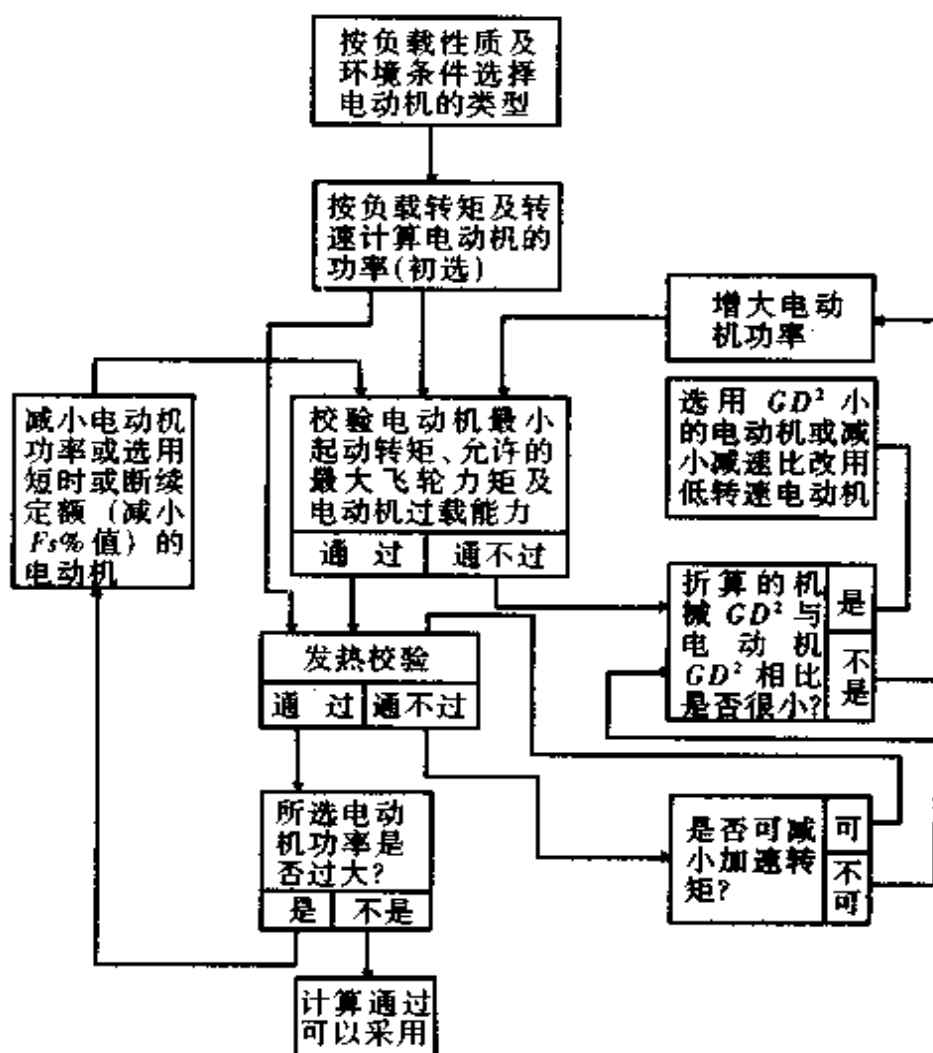


图 8.1.1 电动机类型及规格的选择程序

## 1 电动机的类型选择

### 1.1 根据环境条件选择电动机类型

(1) 正常环境下一般采用防护型电动机。

(2) 湿热带地区或比较潮湿的场所,应采用湿热带型电动机;如用普通型电动机,应采取防潮措施。

(3) 粉尘较多的场所,宜用封闭式电动机。腐蚀性气体的场所,宜用化工防腐型电动机或管道通风型电动机;在加强通风的场所,也可用封闭式电动机。

(4) 露天场所,宜用户外型电动机。

(5) 高温车间,应选用相应绝缘等级的电动机。高温多尘埃场所,宜用封闭式或管道通风型电动机。对频繁操作、重复短时工作的电动机,采用强迫通风后,既改善了工作条件,又提高了输出功率。

(6) 有爆炸危险的车间,应选用防爆型电动机。

### 1.2 根据负载性质选择电动机的类型

(1) 不需调速的机械,应首先考虑交流电动机。平稳、长期工作、负载又无特殊要求的机械,应采用一般笼型异步电动机。需重载起动时,可采用高起动转矩的笼型异步电动机或绕线型异步电动机。

(2) 带周期性波动负载长期工作制机械,可装设飞轮,并选用高转差率笼型电动机(小容量)或绕线型异步电动机(大、中容量)。

(3) 需恒转速或补偿功率因素,应优先采用同步电动机。

(4) 有级调速机械,可采用多速笼型异步电动机。

(5) 需大起动转矩恒功率调速的机械(如电车、牵引机车等),常用直流串励电动机。

(6) 对起动、制动及调速有较高要求时,宜选用直流他励电动机或带调速装置的交流电动机。

(7) 要求宽调速的机械,应从机械变速和电气调速综合考虑。

(8) 自扇冷式电动机,不宜长期低速运行。如需长期低速运行,当超过电动机允许发热时,应增设外通风措施。

### 1.3 电动机转速的选择

(1) 不需调速的高、中速机械,一般应选用相应转速的异步或同步电动机直接驱动(如风机、水泵、压缩机等)。

(2) 不需调速的低速机械,一般选用适当转速的电动机通过减速机驱动(如球磨机、水泥旋窑等)。

(3) 要求调速的机械,电动机的最高工作速度应与生产机械最高速度相适应,可采用直接升(减)速传动。如选用直流电动机,调速方案应从充分利用电机功率出发合理考虑。

(4) 频繁起动、制动及正、反转的机械,电动机转速除满足机械要求的最高稳定工作速度外,还需保证机械达到最大加、减速而选择的合适传动比,以获最高生产率。

(5) 对某些低速重复短时工作机械(如矿山卷扬机、电梯、某些轧机主、辅传动等),为提高生产率和传动系统动态性能和节能,减少机械制造困难及维修费用,减少初投资及运行噪声等,宜采用无减速机的直接传动。

## 2 电力传动的计算公式及机械参数

### 2.1 电力传动的基本计算公式

电力传动的基本计算公式见表 8.1.1。

### 2.2 电动机的机械特性及参数

#### 2.2.1 电动机的机械特性

电动机的机械特性见表 8.1.2。

#### 2.2.2 电动机的过载能力及平均起动转矩

(1) 过载能力:一般常用电动机允许的转矩过载倍数( $\lambda = \frac{M_{max}}{M_N}$ ),见表 8.1.3,具体可查电机资料。

(2) 交流电动机的平均起动转矩:笼型和同步电动机异步起动时,起动过程的机械特性  $M = f(n)$  为非线性。因此平均起动转矩值要根据机械特性计算。一般估算见表 8.1.4。

### 2.3 飞轮力矩的计算

飞轮力矩的计算见表 8.1.5。

### 2.4 机械参数

机械传动效率平均值见表 8.1.6;

滚动摩擦系数  $\rho$  见表 8.1.7;

滑动摩擦系数  $\mu$  见表 8.1.8。

表 8.1.1 电力传动的基本计算公式

名称	公式	符号及单位
1. 功率	$P = \frac{M_D n_D}{975} \quad P = \frac{Fv}{102}$	$P$ ——电动机功率(kW) $M_D$ ——电动机的转矩(N·m) $n_D$ ——电动机的转速(r/min) $F$ ——作用到物体上的力(N) $v$ ——物体运动的速度(m/s)
2. 运动物体的动能	$E = 9.81 \frac{mv^2}{2} \quad E = 9.81 \frac{J\omega^2}{2}$ $\omega = \frac{\pi n}{30}$	$E$ ——物体运动的动能(J) $m$ ——运动物体的质量(kg) $J$ ——转动惯量(kg·m <sup>2</sup> ) $\omega$ ——旋转角速度(rad/s)
3. 转矩 (1) 滑动摩擦的静阻转矩 (2) 滚动摩擦的静阻转矩 (3) 折算到电动机轴上的静阻转矩	(1) $M_1 = G\mu \frac{d_1}{2} \times 10^{-2}$ (2) $M_1 = G\rho \times 10^{-2}$ (3) $M_{D1} = \frac{M_1 n_{mec}}{\eta^2}$	$M_1$ ——摩擦静阻转矩(N·m) $G$ ——物体的质量或压力(N) $\mu$ ——滑动摩擦系数(见表 8.1.8) $\rho$ ——滚动摩擦系数(cm)(见表 8.1.7) $d_1$ ——轴颈直径(cm)
4. 折算到电动机轴上的飞轮力矩	$GD^2 = GD_{mec}^2 \left(\frac{n_{mec}}{n_D}\right)^2$ $J = J_{mec} \left(\frac{n_{mec}}{n_D}\right)^2$ $J = \frac{GD^2}{4}$	$M_{D1}$ ——折算到电动机轴上的静阻转矩(N·m) $n_{mec}$ ——机械轴的转速(r/min) $\eta$ ——机械传动系统的总效率 $GD^2$ ——折算到电动机轴上的飞轮力矩(N·m <sup>2</sup> ) $GD_{mec}^2$ ——机械轴的飞轮力矩(N·m <sup>2</sup> ) $J$ ——折算到电动机轴上的转动惯量(kg·m <sup>2</sup> ) $J_{mec}$ ——机械轴的转动惯量(kg·m <sup>2</sup> )
5. 转速从 $n_1$ 变化到 $n_2$ (加速) 或从 $n_2$ 变化到 $n_1$ (减速) 的时间 (1) 动态转矩恒定时 (2) 动态转矩按直线变化时① (3) 动态转矩为非恒值时②	(1) $t_s = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 M_d}$ $t_b = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 (-M_d)} = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 M_d}$ 加速时 $+M_d = M_{D1} - M_1$ 减速时 $-M_d = -(M_{D1} + M_1)$ (2) $t_s = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 (M_{D1} - M_{D2})}$ $\ln \frac{M_{D1} - M_1}{M_{D2} - M_1}$ $t_b = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 (M_{D1} - M_{D2})} \ln \frac{M_{D1} + M_1}{M_{D2} + M_1}$ (3) $t_s = \frac{\Sigma GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M_d}$ (加速时 $M_d > 0$ ) $t_b = \frac{\Sigma GD^2}{375} \int_{n_2}^{n_1} \frac{dn}{M_d}$ (减速时 $M_d < 0$ )	$M_{D1}$ ——折算到电动机轴上的静阻转矩(N·m) $n_{mec}$ ——机械轴的转速(r/min) $\eta$ ——机械传动系统的总效率 $GD^2$ ——折算到电动机轴上的飞轮力矩(N·m <sup>2</sup> ) $GD_{mec}^2$ ——机械轴的飞轮力矩(N·m <sup>2</sup> ) $J$ ——折算到电动机轴上的转动惯量(kg·m <sup>2</sup> ) $J_{mec}$ ——机械轴的转动惯量(kg·m <sup>2</sup> ) $t_s$ ——加速时间(s) $M_d$ ——加(减)速的动态转矩(N·m) $\Sigma GD^2$ ——电动机轴上的总飞轮力矩(N·m <sup>2</sup> ) $M_{D1}$ ——加(减)速时电动机的动态转矩(N·m \ +2) $t_b$ ——减速时间(s) $S$ ——行程(m) $v_0$ ——初始速度(m/s) $a$ ——加(减)速度(m/s <sup>2</sup> ) $N$ ——电动机转过的转数(转)
6. 行程 (1) 等变速直线运动时 (2) 动态转矩恒定时, 起、制动过程中电动机转过的转数	(1) $S = v_0 t_s + \frac{at_s^2}{2}$ (加速) $S = v_0 t_b - \frac{at_b^2}{2}$ (减速) (2) $N = \frac{\Sigma GD^2 (n_2^2 - n_1^2)}{45000 M_d}$	

注: ①当动态转矩按直线变化时如右图。

②当动态转矩为非直线变化时, 可将其分成若干段, 每段可近似地视为直线, 仍可按上式计算。

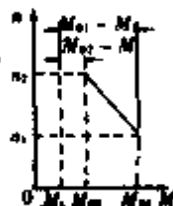


表 8.1.2 电动机的机械特性

类型	特性公式	符号	特性曲线	性能
交 流 电 机	$P = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi$	$P$ —电磁功率 (W)		<p>笼型电动机： 简单、耐用、可靠、易维护、价格低、特性硬，但起 动和调速性能差，轻载时功率因 数低。一般无 调速要求的机械 广泛采用。在可 变频率电源供电 下可平滑调速。 变极数多速电动 机，可分级变速 调节，但体积大， 价格较贵</p> <p>绕线式电动 机： 因有滑环，比 笼型电动机维护 麻烦，价格也稍 贵，但由于它起 动转矩大，起 动时功率因数高， 且可进行小范围 的速度调节，控 制设备简单，故 广泛用于各种生 产机械，尤其是 电网容量小、起 动次数多的机 械，如提升机、起 重机及轧钢机械 等</p>
	$M = \frac{m_1}{\omega_s} \frac{U_1^2 r_2' s}{(r_1 s + r_2')^2 + s^2 x_k^2}$	$m_1$ —相数 $U_1$ —定子相电 压 (V) $I_1$ —定子相电 流 (A)		
	$s_\alpha = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$	$\cos\varphi$ —功率因数		
	$M_\alpha = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_s (\sqrt{r_1^2 + x_k^2} - r_1)}$	$M$ —电磁转矩 (N·m)		
	$M = \frac{2M_\alpha (1+q)}{\frac{s}{s_\alpha} + \frac{s_\alpha}{s} + 2q}$	$r_1$ —定子相电阻 (Ω) $r_2'$ —折算到定 子侧的转子相 电阻 (Ω)		
	$s_\alpha = s_N (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1})$	$x_1$ —定子电抗 (Ω) $x_2'$ —折合到定 子侧的转 子电抗 (Ω)		
	$\lambda_M = \frac{M_\alpha}{M_N}$	$x_k$ —短路电抗 (Ω)		
	$M_s = \frac{m_1}{\omega_s} \frac{U_1^2 r_2'}{(r_1 + r_2')^2 + x_k^2}$	$S$ —转差率 $S_N$ —额定转差 率 $S_\alpha$ —临界转差 率		
	$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$	$\lambda_M$ —转矩过载 倍数		
	$n_s = \frac{60 f_1}{p}$	$M_N$ —额定转矩 (N·m) $M_\alpha$ —临界转矩 (N·m) $M_s$ —起动转矩 (N·m)		
	$q = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$	$\omega$ —角速度 (1/s) $\omega_s$ —同步角速度 (1/s)		
	大电机的 $r_1$ 很小，可以忽略，则 $s_\alpha \approx \frac{r_2}{x_k}$	$n_s$ —同步转速 (r/min) $n$ —电动机转速 (r/min) $f_1$ —供电频率 (Hz) $p$ —磁极对数 $q$ —系数		
	$M_\alpha \approx \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_s x_k}$			
	$M \approx \frac{2M_\alpha}{\frac{s}{s_\alpha} + \frac{s_\alpha}{s}}$			
	$M_s \approx \frac{m_1}{\omega_s} \frac{U_1^2 r_2'}{r_2'^2 + x_k^2}$			

续表

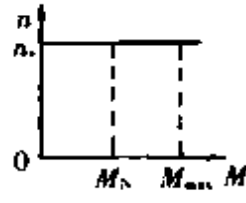
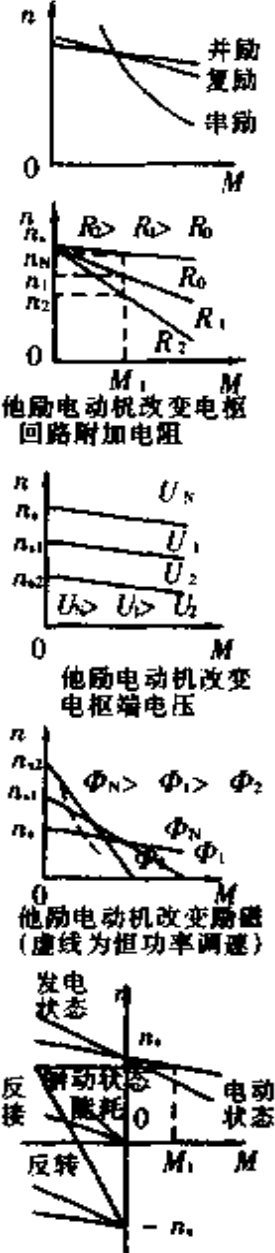
类型	特性公式	符 号	特性曲线	性 能
交流同步电动机	$n_s = \frac{60f}{p}$ $M_s = \frac{0.975 m_1 U_1 E_0}{n_s x_s} \sin\theta$ $M_{max} = \frac{0.975 m_1 U_1 E_0}{n_s x_s}$	$E_0$ —空载电势 (V) $\theta$ —电势与电压的相角差 $M_s$ —同步转矩 (N·m) $x_s$ —同步电抗 ( $\Omega$ )		恒转速, 功率因数可调节, 价格贵, 一般只在高压、不需调速的机械上采用, 能提高功率因数
直流电动机	$E = K_e \Phi n = C_e n$ $K_e = \frac{pN}{60a}$ $M = K_m \Phi I_a = C_m I_a$ $K_m = \frac{K_e}{1.03}$ $n = \frac{U - I_a(R_s + R)}{K_e \Phi}$ $n_s = \frac{U}{K_e \Phi}$ $n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{R_s + R}{K_e K_m \Phi^2} M$ $M_N = 975 \frac{P_N}{n_N}$	$E$ —反电势 (V) $\Phi$ —磁通 (Wb) $K_e$ —电机结构常数 $K_m$ —电机结构常数 $N$ —电枢绕组的导体总数 $a$ —电枢绕组的支路对数 $I_a$ —电枢电流 (A) $U$ —电枢电压 (V) $M$ —电磁转矩 (9.8N·m) $R_s$ —电枢电阻 ( $\Omega$ ) $R$ —电枢回路附加电阻 ( $\Omega$ ) $M_N$ —额定转矩 (9.8N·m) $M_l$ —负载转矩 (9.8N·m) $P_N$ —额定功率 (kW) $C_e$ —电机电势常数 $C_m$ —电机转矩常数 $n$ —电动机转速 (r/min) $n_s$ —理想空载转速 (r/min)		调速性能好, 范围宽, 采用电子控制, 能充分适应各种机械负载特性的需要, 但它的价格贵、维护复杂, 且需直流电源, 因此在交流电动机不能满足调速要求时才采用它。串励电动机的特点是起动转矩大、过载能力大、特性软, 适用于电力牵引机械和起重机等。复励电动机的起动转矩和过载能力比并励电动机大, 但调速范围稍窄。接成积复励时, 适用于起动转矩很大、负载具有强烈变化的设备上。

表 8.1.3 一般电动机允许的转矩过载倍数 ( $\lambda = \frac{M_{max}}{M_N}$ )

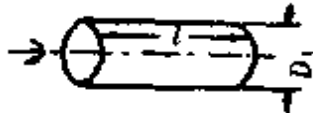
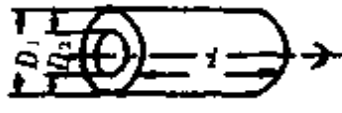
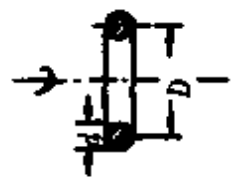

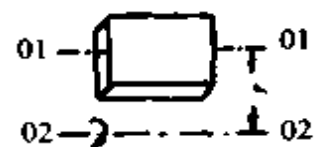
电动机类别	工作制	过载倍数 $\lambda$
笼型异步电动机	连续工作制	$\geq 1.65$
	起重冶金型(10kW 及以下)	$\geq 2.5^{\text{①}}$
	起重冶金型(10kW 以上)	$\geq 2.8^{\text{①}}$
绕线型异步电动机	连续工作制	$\geq 1.8^{\text{①}}$
	起重冶金型(10kW 及以下)	$\geq 2.5^{\text{①}}$
	起重冶金型(10kW 以上)	$\geq 2.8^{\text{①}}$
同步电动机	$\cos\varphi = 0.8$ (超前) 强励时	$\geq 1.65$ 3~3.5
直流电动机(一般型)	额定励磁时	1.5

注:①是电机厂提出的保证值。

表 8.1.4 交流电动机的平均起动转矩

电动机类型	平均起动转矩	符 号
同步电动机 $M_s > M_p$ 时 $M_s \leq M_p$	$M_{av} = 0.5(M_s + M_p)$	$M_{av}$ ——平均起动转矩
	$M_{av} = 1.0 \sim 1.1M_s$	$M_s$ ——最初起动转矩( $s=1$ 时)
笼型异步电动机(一般用途)	$M_{av} = 0.45 \sim 0.5(M_s + M_G)$	$M_p$ ——牵入转矩
		$M_G$ ——临界转矩

表 8.1.5 飞轮力矩的计算

飞 轮 力 矩	物体的几何形状	符号及单位
实心圆柱体 $GD^2 = G \frac{D_1^2}{2} = \frac{\pi}{8} \rho D_1^4 l$		$GD^2$ ——飞轮力矩 ( $N \cdot m^2$ ) $G$ ——质量(kg) $D_1$ ——外径(m) $\rho$ ——密度( $N/m^3$ ) $l$ ——长度(m)
空心圆柱体 $GD^2 = \frac{G(D_1^2 - D_2^2)}{2} = \frac{\pi}{8} \rho (D_1^4 - D_2^4) l$		$D_2$ ——内径(m)
圆环 $GD^2 = G(D^2 + 0.75d^2)$ $= \frac{\pi^2}{4} \rho (D^3 d^2 + 0.75 D d^4)$		$D$ ——圆环直径(m) $d$ ——环截面直径(m) $a$ ——厚度(m) $b$ ——宽度(m) $r$ ——回转半径(m)
六面体(对轴线 01-01) $GD_{01}^2 = \frac{G(a^2 + b^2)}{3} = \frac{a^2 + b^2}{3} \rho a b l$		
六面体(对轴线 02-02) $GD_{02}^2 = G_{01}^2 + 4Gr^2$		

## 2.5 一般工业机械传动电动机的功率计算

一般工业机械传动电动机的功率计算见表 8.1.9。

## 2.6 根据打滑条件允许的最大速度

对于车轮、起重机的行走机械，运送钢材的辊道等机械，为防止加、减速过程产生打滑，其最大允许加速度为：

$$a_{\max} < g\mu \quad (\text{m/s}^2)$$

式中  $g$ ——重力加速度( $g = 9.8\text{m/s}^2$ )；

$\mu$ ——摩擦面最小滑动摩擦系数(见表 8.1.8)。

例如在辊道上输送钢材时：

冷钢材  $a_{\max} \approx 0.98 \sim 1.47\text{m/s}$ ；热钢材  $a_{\max} \approx 1.47 \sim 2.94\text{m/s}$

从满足上式条件出发，可换算成限制电动机在加(减)速过程中的动态转矩值：

$$M_d \leq \frac{60g}{375} \cdot \frac{i\mu GD^2}{\pi DK_c} \quad (9.8\text{N}\cdot\text{m})$$

式中  $D$ ——传动轮(辊子)直径(m)；

$i$ ——机械传动系统总速比；

$\mu$ ——滑动摩擦系数(见表 8.1.8)；

$K_c$ ——滑动系数，取  $K_c = 0.98$ ；

$GD^2$ ——传动系统总飞轮力矩( $9.8\text{N}\cdot\text{m}^2$ )。

## 3 电动机的容量校验

校验电动机容量主要根据生产机械的工作制和负载图，按等效转矩(电流)法或平均损耗法来计算。亦可通过试验、实测或对比等方法来确定。电机容量除满足发热要求外，还应从生产发展、负载性质、电网电压波动、计算误差等因素考虑，留适当裕度(一般为 10% 左右)。

### 3.1 平稳负载长期工作制电动机的容量校验

#### 3.1.1 计算电动机的额定功率

对长期连续运转恒定负载(或变化很小)的机械，按下式选择电动机功率

$$P_N > P_L = \frac{M_L n_N}{975} \quad (\text{kW})$$

式中  $P_N$ ——电动机额定功率(kW)；

$n_N$ ——电动机额定转速(r/min)；



$M_L$ ——折算到电动机轴上的静负载转矩(9.8N·m)。

对恒定负载转矩,在额定转速以上调速时,按最高转速来校验电动机的容量:

$$P_N \geq \frac{M_L n_{max}}{975} \quad (\text{kW})$$

式中  $n_{max}$ ——电动机的最高工作转速(r/min)。

表 8.1.6 机械传动效率平均值

传动装置	效率 $\eta$
齿轮传动(圆锥形、圆柱形、伞形) 一般数据	0.96~0.98
圆柱形齿轮传动	
(1) 磨制过的正齿轮	0.99
(2) 车削加工的正齿轮	0.98
(3) 粗加工的正齿轮	0.96
(4) 人字齿轮	0.985
伞齿轮减速机	0.97~0.98
链条传动	0.98
摩擦传动	0.7~0.8
蜗轮传动( $\mu=0.1$ )	
(1) 螺纹角为 $4^\circ \sim 6^\circ$	0.41
(2) 螺纹角为 $8^\circ \sim 10^\circ$	0.55
(3) 螺纹角为 $15^\circ \sim 20^\circ$	0.66
钢绳传动	0.90
皮带传动	0.94~0.98
三角皮带传动	0.90
绳索及链条卷筒	0.96
绳索及链条滑车	0.94~0.96
复式滑车	0.92~0.98
	包括支座的摩擦损耗
支座轴颈	
(1) 滚动轴承	0.99
(2) 滑动轴承	0.97
(3) 滑动轴承但润滑不良	0.94
(4) 带油环润滑	0.98

表 8.1.7 滚动摩擦系数表

辘子轮子或车轮型式	滚动摩擦系数 $\rho$ (cm)
车轮与钢轨间(起重机大车行走等)	
(1) 车轮加工良好	0.08~0.05
(2) 车轮粗加工	0.10
(3) 平均值	0.08
铁路轮对	0.025~0.015

续表

辊子轮子或车轮型式	滚动摩擦系数 $\rho(\text{cm})$
滚动轴承中的滚柱和滚珠	0.001~0.003
辊道的辊子在运输过程中: (1) 900℃~1200℃热钢锭包覆一层厚氧化铁皮 (2) 冷钢锭, 包覆氧化铁皮 (3) 500℃~1000℃的轧件 (4) 冷轧件	0.25 0.20 0.15 0.10
汽车轮胎 (1) 对沥青路面 (2) 对土路面	0.25 1.0~1.5

表 8.1.8 滑动摩擦系数

接 触 物 体	滑动摩擦系数	
	静止的 $\mu_0$	运动中 $\mu$
轮缘与钢轨间 (1) 起动时 (2) 速度 $v=5\text{m/s}$ 运动时	0.20	0.15
钢锭与钢制辊子间 (1) 热金属 (2) 冷金属	0.3~0.25 0.15	
滑动轴承 (1) 热轧机带有金属轴衬 (2) 冷轧机带有金属轴衬 (3) 带有木质塑料制轴衬 (4) 液体摩擦系数 (5) 青铜对青铜 (6) 铁对铁 (7) 钢对青铜 (8) 生铁对青铜		0.07~0.10 0.05~0.07 0.01~0.03 0.003~0.005 0.11 0.11 0.105 0.15~0.20
滚动轴承(有润滑时) (1) 减速机 (2) 吊车车轮 (3) 辊道辊子与热金属 (4) 辊道辊子与冷金属		0.005 0.008 0.015 0.010

表 8.1.9 一般工业机械传动电动机的功率计算

机械名称	计算公式	符号及单位
1. 离心式 通风机	$P = \frac{k_1 QH}{102 \eta \eta_c}$	<p><math>P</math>——传动电动机的计算功率(kW)  <math>k_1</math>——余量系数(见表 8.1.11)  <math>Q</math>——空气耗量(<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)  <math>H</math>——空气压力(<math>9.8\text{N}/\text{m}^2</math>)  <math>\eta</math>——风机效率为 0.4~0.75  <math>\eta_c</math>——传动效率,直接传动时 <math>\eta_c = 1</math></p>
2. 离心泵 及活塞泵	$P = \frac{k_2 \gamma Q(H + \Delta H) \times 10^3}{102 \eta \eta_c}$	<p><math>P</math>——传动电动机的计算功率(kW)  <math>k_2</math>——余量系数(见表 8.1.12)  <math>Q</math>——泵的出水量(<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)  <math>H</math>——水头(m)  <math>\Delta H</math>——主管水头压力(m)  <math>\eta</math>——泵的效率 一般取 0.6~0.84  <math>\eta_c</math>——传动效率 直接传动时 <math>\eta_c = 1</math>  <math>\gamma</math>——液体比重(<math>\text{N}/\text{m}^3</math>)</p>
3. 离心式 压缩机	$P = \frac{Q}{102 \eta} \cdot \frac{A_d + A_r}{2}$	<p><math>P</math>——传动电动机的计算功率(kW)  <math>Q</math>——压缩机的生产率(<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)  <math>A_d</math>——压缩 <math>1\text{m}^3</math> 空气至绝对压力 <math>p_1</math> 的等温功(<math>9.8\text{N}\cdot\text{m}</math>)(见表 8.1.10)  <math>A_r</math>——压缩 <math>1\text{m}^3</math> 空气至绝对压力 <math>p_1</math> 的绝热功(<math>9.8\text{N}\cdot\text{m}</math>)(见表 8.1.10)  <math>\eta</math>——压缩机总效率为 0.62~0.82</p>
4. 机床传 动电动机	<p>(1) 主传动电动机(不调速)  <math display="block">P \geq \frac{M_L n_N}{975}</math></p> <p>(2) 主传动多速电动机  <math display="block">P \geq \frac{P_{\max}}{\eta_{\min}}</math></p> <p>(3) 进给传动电动机  <math display="block">P \geq \frac{F_S V_{\max}}{6120 \eta_1}</math></p> <p>(4) 辅助传动电动机  <math display="block">P \geq \frac{G \mu V}{6120 \eta}</math>  <math display="block">M_{DS} &gt; M_{LS}</math>  <math display="block">M_{LS} = \frac{975 G \mu_0 V}{6120 n_D \eta}</math></p>	<p><math>P</math>——电动机额定功率(kW)  <math>M_L</math>——电动机负载转矩(<math>\text{N}\cdot\text{m}</math>)  <math>n_N</math>——电动机额定转速(<math>\text{r}/\text{min}</math>)  <math>V_{\max}</math>——最大进给速度(<math>\text{m}/\text{min}</math>)  <math>F_S</math>——进给运动的总阻力(kgf)  <math>\eta_1</math>——进给传动效率  <math>G</math>——移动件重量(kg)  <math>V</math>——移动速度(<math>\text{m}/\text{min}</math>)  <math>M_{DS}</math>——电动机起动转矩(<math>\text{N}\cdot\text{m}</math>)  <math>M_{LS}</math>——负载起动转矩(<math>\text{N}\cdot\text{m}</math>)  <math>\mu, \mu_0</math>——动、静摩擦系数  <math>n_D</math>——电动机转速(<math>\text{r}/\text{min}</math>)  <math>\eta</math>——传动效率  <math>P_{\max}</math>——机床最大切削功率(kW)  <math>\eta_{\min}</math>——传动最低效率</p>

表 8.1.10  $A_d, A_r$  与终压压力  $p_1$  的关系

$p_1$ 大气压	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
$A_d(N \cdot m)$	4050	6900	11000	13900	16100	17900	19500	20800	22000	23000
$A_r(N \cdot m)$	4300	7700	12900	17100	20500	23500	26100	28600	30700	32700

表 8.1.11 离心风机电动机容量余量系数  $k_1$ 

功率(kW)	1.0 以下	1~2	2~5	>5.0
附加值%	100	50	25	15~10

表 8.1.12 离心泵电动机容量余量系数  $k_2$ 

功率(kW)	2.0 以下	2~5	5~50	50~100	100 以上
附加值%	70	50~30	15~10	8~5	5

### 3.1.2 校验起动过程的最小转矩及允许的最大飞轮力矩<sup>①</sup>

对静阻转矩较大或带较大飞轮力矩的机械,当采用笼型或同步电动机时,除按负载功率选择电机容量外,还应按下述两式校验最小起动转矩及校验允许的机械最大飞轮力矩  $GD_{\max}^2$ ,以保证顺利起动和电动机在起动过程中不致过热。

$$M_{\min} \geq \frac{M_{L_{\max}} K_s}{K_u^2} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

式中  $M_{\min}$ ——起动过程中电动机的最小转矩(N·m);

$M_{L_{\max}}$ ——起动过程中的最大负载转矩(N·m);

$K_s$ ——保证起动时有足够加速转矩的系数,  $K_s = 1.15 \sim 1.25$ ;

$K_u$ ——电压波动系数,  $K_u = \frac{U_s}{U_N} \approx 0.85$ 。

$$GD_{\max}^2 \leq GD_{\text{im}}^2 = GD_0^2 \left(1 - \frac{M_{L_{\max}}}{M_{\min} K_u^2}\right) - GD_0^2 \quad (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

式中  $GD_{\max}^2$ ——传动机械实际最大飞轮力矩(折算至电机轴上)(N·m<sup>2</sup>);

$GD_{\text{im}}^2$ ——允许传动机械最大飞轮力矩(折算至电机轴上)(N·m<sup>2</sup>);

$GD_0^2$ ——包括电机的整个传动系统允许最大飞轮力矩(折算到电机轴上)(N·m<sup>2</sup>)(由电机资料中查取);

$GD_0^2$ ——电动机转子的飞轮力矩(N·m<sup>2</sup>)

注:① 直流电动机和绕线型电动机不必做此两项校验。

$M_{av}$ ——电动机平均起动转矩(见表 8.1.4) ( $N \cdot m^2$ )。

上述两项校验通过,则电动机起动校验通过。

### 3.2 短时工作制电动机的容量校验

短时工作的机械应尽量选用短时定额电动机。如工作周期远小于电动机发热时间常数,且停歇时间足以使电动机完全冷却到环境温度,此时电动机额定功率一般还可以按过载能力来选择。通常可选用断续定额电动机,对异步电动机:

$$P_N \geq \frac{P_{Lmax}}{0.75\lambda} \quad (\text{kW})$$

式中  $P_{Lmax}$ ——短时负载功率最大值(kW);

$\lambda$ ——电动机允许转矩过载倍数 (见表 8.1.3)。

### 3.3 波动负载长期工作制电动机容量校验 (不带飞轮工作)

图 8.1.2 所示波动负载长期工作制电动机的发热可用等效(均方根)转矩或等效(均方根)电流来校验。等效转矩:

$$M_{ms} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

或等效电流:

$$I_{ms} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (\text{A})$$

式中  $M_1 \sim M_n$ ——各分段时间的转矩值( $N \cdot m$ );

$I_1 \sim I_n$ ——各分段时间的电流值(A);

$t_1 \sim t_n$ ——对应于  $M_1 \sim M_n$  ( $I_1 \sim I_n$ )的各段时间(s)。

当  $M_{ms} < M_N$  或  $I_{ms} < I_N$  时,表示发热校验通过。 $M_N$ 、 $I_N$  表示电动机额定转矩、电流。

当负载曲线呈如图 8.1.3 所示的梯形或三角形时,应将每个梯形或三角形的转矩(或电流)换算成等效平均值,然后再计算等效转矩或等效电流。每个梯形转矩(电流)的等效平均值(时间  $t_3$  间隔内)可按下式求得:

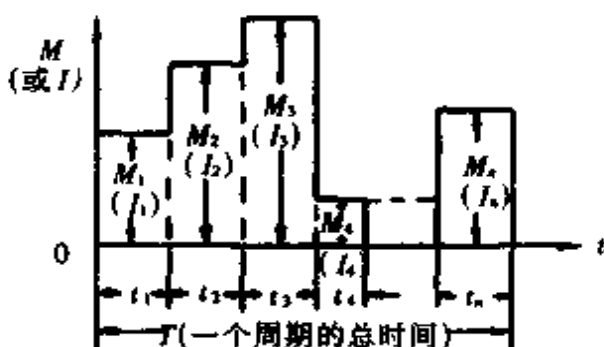


图 8.1.2 波动负载长期工作制电动机的负载图

$$M_{av} = \sqrt{\frac{M_1^2 + M_2^2 + M_1 M_2}{3}}$$

$$I_{av} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + I_1 I_2}{3}}$$

三角形曲线转矩(电流)的等效平均值(时间  $t_1$  间隔内)可按下式求得

$$M_{av} = \sqrt{\frac{M_1^2}{3}} = 0.578 M_1$$

$$I_{av} = \sqrt{\frac{I_1^2}{3}} = 0.578 I_1$$

等效电流法适用于直流电动机,绕线型及笼型异步电动机。当电动机固定损耗变化或主回路电阻不是恒值时,计算误差偏大。等效转矩法只适用于转矩与电流成正比的条件,不能用于直流串励电动机。

### 3.3.1 校验最大过载转矩

在不带飞轮工作的机械上除发热校验外,还应按最大负载转矩校验电动机的过载能力。

$$M_N \geq \frac{M_{Lmax}}{0.9 K_u \lambda} \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

式中  $M_N$ ——电动机额定转矩 (N·m);

$M_{Lmax}$ ——最大负载转矩 (N·m);

$\lambda$ ——电动机转矩过载倍数 (见表 8.1.3)

$K_u$ ——电网电压波动对转矩的影响系数,同步电动机  $K_u = 0.85$ ;异步电动机  $K_u = 0.72$ ;直流电动机  $K_u = 1.0$ 。

### 3.3.2 校验起动过程的最小转矩及允许的最大飞轮力矩

校验起动过程的最小转矩及允许的最大飞轮力矩见本章 3.1.2。

## 3.4 重复短时工作制电动机容量校验

图 8.1.4 为一般重复短时工作的电动机负载图,这类机械通常选用断续定额电动机。为合理利用电机容量,规定了不同负载持续率  $F_s\%$  时的额定功率、电流、转速等。如 JZ、JZR 系列电机的标准负载持续率  $F_s\%$  值分为 25%、40%、60% 三种,并规定 10min 作为周期计算时间。当实际  $F_s\% > 60\%$  时,应按长期工作制选择电动机或采取强迫通风。电动机的发热可采用等效转矩(等效电流)法进行校验。

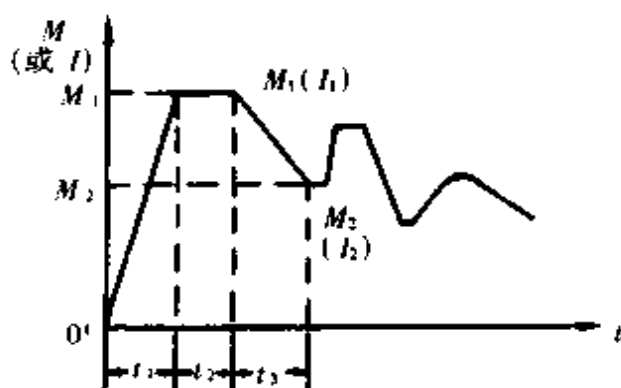


图 8.1.3 梯形和三角形曲线的负载图

## 3.4.1 按等效转矩(等效电流)法校验发热

对图 8.1.4 所示负载图,电动机在一个工作周期  $T$  内的等效(均方根)转矩(或电流)的计算公式为:

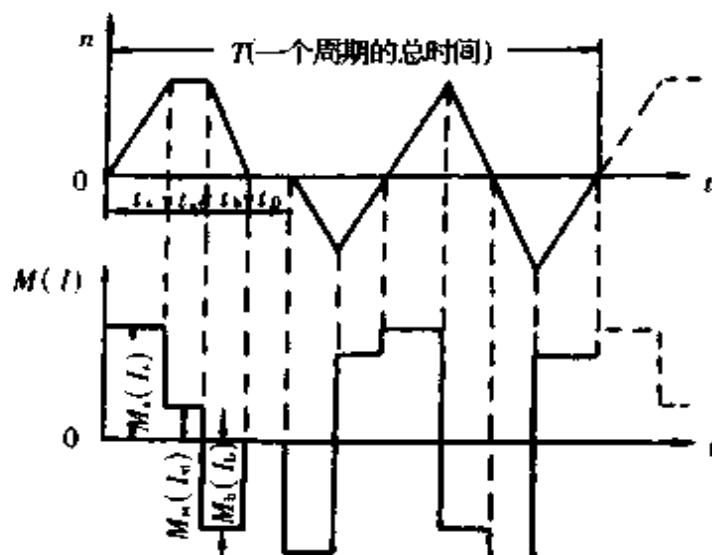


图 8.1.4 重复短时工作制电动机速度与负载图

$$M_{mb} = \sqrt{\frac{\sum M_s^2 t_s + \sum M_b^2 t_b + \sum M_{st}^2 t_{st}}{C_a (\sum t_s + \sum t_b) + \sum t_{st}}} \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

$$I_{mb} = \sqrt{\frac{\sum I_s^2 t_s + \sum I_b^2 t_b + \sum I_{st}^2 t_{st}}{C_a (\sum t_s + \sum t_b) + \sum t_{st}}} \quad (\text{A})$$

- 式中  $M_s(I_s)$ ——起动转矩(电流) (N·m)(A);  
 $M_b(I_b)$ ——制动转矩(电流) (N·m)(A);  
 $M_{st}(I_{st})$ ——稳态运行转矩(电流) (N·m)(A);  
 $\sum t_s$ ——一个周期起动时间总和(s);  
 $\sum t_b$ ——一个周期制动时间总和(s);  
 $\sum t_{st}$ ——一个周期稳态运转时间总和(s);

$C_a$ ——电动机起、制动过程散热恶化系数  $C_a = \frac{1+C_\beta}{2}$ ,  $C_\beta$  值见表 8.1.13。

表 8.1.13  $C_\beta$  值

电动机的冷却方式	$C_\beta$ 值
封闭式电动机(无冷却风扇)	0.95~0.98
封闭式电动机(强迫通风)	0.9~1.0
封闭式电动机(自带内冷风扇)	0.45~0.55
防护式电动机(自带内冷风扇)	0.25~0.35

实际负载持续率:

$$F_s\% = \frac{\sum t_s + \sum t_b + \sum t_m}{T} \times 100\%$$

式中  $T$ ——一个周期的总时间(s)。

实际负载持续率与电动机铭牌规定的负载持续率不同(但相差不多)时,应将铭牌数据( $I_N$ 或 $M_N$ )折算到实际负载持续率来计算,折算公式为:

$$M'_N = \sqrt{\frac{F_{sN}\%}{F_s\%}} M_N \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

$$I'_N = \sqrt{\frac{F_{sN}\%}{F_s\%}} I_N \quad (\text{A})$$

式中  $M'_N$ ——折算至实际持续率的额定转矩 (N·m);

$I'_N$ ——折算至实际持续率的额定电流 (A);

$F_{sN}\%$ ——电机铭牌规定负载持续率;

$M_N(I_N)$ ——对应于  $F_{sN}\%$  时电动机的额定转矩(电流) (N·m)(A);

当  $M_{\text{max}} \leq M'_N$  或  $I_{\text{max}} \leq I'_N$  时,发热校验通过。

### 3.4.2 校验最大过载转矩

校验最大过载转矩见本章 3.3.2。

## 3.5 容量校验实例

### 3.5.1 平稳负载长期工作电动机容量校验实例

3.5.1.1 机械及工艺参数 负载转矩  $M_L = 1446\text{N}\cdot\text{m}$ ; 起动时最大静阻转矩  $M_{L\text{max}} = 562\text{N}\cdot\text{m}$ ; 要求电机转速  $n = 2900 \sim 3000\text{r}/\text{min}$ ; 传动机械折算到电动机轴上的总飞轮力矩  $GD_{\text{max}}^2 = 1960\text{N}\cdot\text{m}^2$ 。

3.5.1.2 计算负载功率 按表 8.1.1 计算负载功率

$$P_L = \frac{M_L n_N}{975 \times 9.8} = \frac{1446 \times 2975}{975 \times 9.8} = 450\text{kW}$$

初选 JK-500 笼型异步电动机。  $P_N = 500\text{kW}$ ;  $n_N = 2975\text{r}/\text{min}$ ; 转矩过载倍数  $\lambda = 2.5$ ; 最小起动转矩倍数

$$M_{\text{Dmin}}^* = \frac{M_{\text{Dmin}}}{M_N} = 0.73$$

电动机转子飞轮力矩  $GD_0^2 = 441\text{N}\cdot\text{m}^2$ ; 允许最大飞轮力矩  $GD_0^2 = 3822\text{N}\cdot\text{m}^2$ 。

电动机额定转矩  $M_N = \frac{975 P_N}{n_N} = \frac{975 \times 500 \times 9.8}{2975} = 1602\text{N}\cdot\text{m}$

电动机的实际负荷率



$$\epsilon = \frac{P_L}{P_N} = \frac{450}{500} = 90\%$$

3.5.1.3 最小起动转矩校验 按本章 3.1.2 中公式计算起动过程中电动机需要的最小起动转矩:

$$M_{\min} = \frac{M_{D\max} K_s}{K_u^2} = \frac{562 \times 1.25}{0.85^2} = 972 \text{ N}\cdot\text{m}$$

电动机实际最小起动转矩  $M_{D\min} = M_{D\min}^* \cdot M_N = 0.73 \times 1602 = 1169 \text{ N}\cdot\text{m}$ ; 所以  $M_{D\min} > M_{\min}$ ; 最小起动转矩校验通过。

3.5.1.4 最大飞轮力矩校验 从表 8.1.4 中得

$$M_{\text{av}} = 0.45(M_s + M_{cr}) = 0.45(0.73 + 2.5)1602 = 2329 \text{ N}\cdot\text{m}$$

式中  $M_s = M_{D\min}^* M_N$ ;  $M_{cr} = \lambda M_N$

按计算允许最大飞轮力矩:

$$GD_{\text{av}}^2 = GD_0^2 \left(1 - \frac{M_{L\max}}{M_{\text{av}} K_u^2}\right) - GD_D^2 = 3822 \left(1 - \frac{562}{2329 \times 0.85^2}\right) - 441 = 2104 \text{ N}\cdot\text{m}^2$$

因为  $GD_{\text{av}}^2 (2104 \text{ N}\cdot\text{m}^2) > GD_{\text{mec}}^2 (1960 \text{ N}\cdot\text{m}^2)$

所以 校验通过

结论:选用 JK-500 型电动机是可行的。

### 3.5.2 重复短时工作电动机的容量校验实例

3.5.2.1 机械工艺参数 负载转矩  $M_L = 108 \text{ N}\cdot\text{m}$ ; 钢锭与辊子打滑的最大负载转矩  $M_{L\max} = 326 \text{ N}\cdot\text{m}$ ; 一个工作周期总时间  $T = 79.7 \text{ s}$ , 其中起动 14 次, 每次起动时间  $t_s = 1.24 \text{ s}$ , 反接制动 14 次, 每次时间  $t_{\text{br}} = 0.88 \text{ s}$ ; 稳定运转时间总和  $\sum t_{\text{st}} = 37.9 \text{ s}$ , 停歇时间总和  $\sum t_0 = 12.1 \text{ s}$ 。

3.5.2.2 电动机参数 初选 JZRB61/10 绕线型异步电动机。当  $F_s\% = 25\%$  时:  $P_N = 30 \text{ kW}$ ;  $n_N = 574 \text{ r/min}$ ;  $M_N = 500 \text{ N}\cdot\text{m}$ ;  $I_N = 80 \text{ A}$ ; 临界(最大)转矩  $M_{cr} = 1646 \text{ N}\cdot\text{m}$ ; 封闭式带内冷风扇。电动机转子采用串电阻二级起动, 并常接  $0.175 R_N$  电阻软化机械特性使与邻近工作辊道速度同步。其起动、反接制动特性示于图 8.1.5。从图中  $I = f(M)$  曲线得到: 起动最大电流  $I_{\text{st}} = 100 \text{ A}$ ; 最小(切换)电流  $I_{\text{st}} = 70 \text{ A}$ ; 反接制动最大电流  $I_{\text{br}} = 95 \text{ A}$ ; 最小制动电流  $I_{\text{br}} = 70 \text{ A}$ ; 稳定运转电流  $I_{\text{st}} = 60 \text{ A}$  (当  $M_L = 108 \text{ N}\cdot\text{m}$  时)。

3.5.2.3 用等效电流法校验电动机发热 按本章公式计算

$$\begin{aligned} I_{\text{ms}} &= \sqrt{\frac{\sum I_s^2 t_s + \sum I_{\text{br}}^2 t_{\text{br}} + \sum I_{\text{st}}^2 t_{\text{st}}}{C_{\text{a}} (\sum t_s + \sum t_{\text{br}}) + \sum t_{\text{st}}}} \\ &= \sqrt{\frac{7300 \times 17.4 + 6850 \times 12.3 + 3600 \times 37.9}{0.725(17.4 + 12.3) + 37.9}} = 76.5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{式中 } I_s^2 = \frac{1}{3}(I_{s1}^2 + I_{s2}^2 + I_{s1} I_{s2}) = \frac{1}{3}(100^2 + 70^2 + 100 \times 70) = 7300 \text{ A}^2$$

$$I_b^2 = \frac{1}{3}(I_{b1}^2 + I_{b2}^2 + I_{b1} I_{b2}) = \frac{1}{3}(95^2 + 70^2 + 95 \times 70) = 6850 \text{ A}^2$$

$$I_{s3}^2 = 60^2 = 3600 \text{ A}^2$$

$$\sum t_s = 14 \times t_{s1} = 14 \times 1.24 = 17.4 \text{ s}$$

$$\sum t_b = 14 \times t_{b1} = 14 \times 0.88 = 12.3 \text{ s}$$

$$C_\alpha = \frac{1 + C_\beta}{2} = \frac{1 + 0.45}{2} = 0.725 \quad C_\gamma = 0.45 \text{ (由表 8.1.13 查取)}$$

实际负载持续率

$$F_s \% = \frac{\sum t_s + \sum t_b + \sum t_{s3}}{T} \times 100\% = \frac{17.4 + 12.3 + 37.9}{79.7} \times 100\% = 85\%$$

折算到  $F_s\%$  时电动机的额定电流

$$\begin{aligned} I_N' &= \sqrt{\frac{F_{sN}\%}{F_s\%}} I_N = \sqrt{\frac{25}{85}} \times 80 \\ &= 43.2 \text{ A} \end{aligned}$$

结论:

因为  $I_{ms} (76.5 \text{ A}) > I_N' (43.2 \text{ A})$ , 所以电动机发热通不过。

#### 3.5.2.4 电动机改用强迫通风

因为  $F_s\% = 85\%$ , 故采用强迫通风增大容量, 此时等效电流(包括停歇时间)

$$\begin{aligned} I_{ms} &= \sqrt{\frac{\sum I_s^2 t_s + \sum I_b^2 t_b + \sum I_{s3}^2 t_{s3}}{T}} \\ &= \sqrt{\frac{7300 \times 17.4 + 6850 \times 12.3 + 3600 \times 37.9}{79.7}} \\ &= 66 \text{ A} \end{aligned}$$

采取强迫通风后, 电机散热条件不随转速变化, 相当于连续运行, 此时其  $I_N'$  约为  $F_{sN}\%$  时的 93%:  $I_N' = 0.93 I_N = 0.93 \times 80 = 74.4 \text{ A}$ , 实际负荷率

$$\epsilon = \frac{I_{ms}}{I_N'} = \frac{66}{74.4} \times 100\% = 89\%$$

所以发热校验通过。

#### 3.5.2.5 最大过载转矩校验 根据公式得

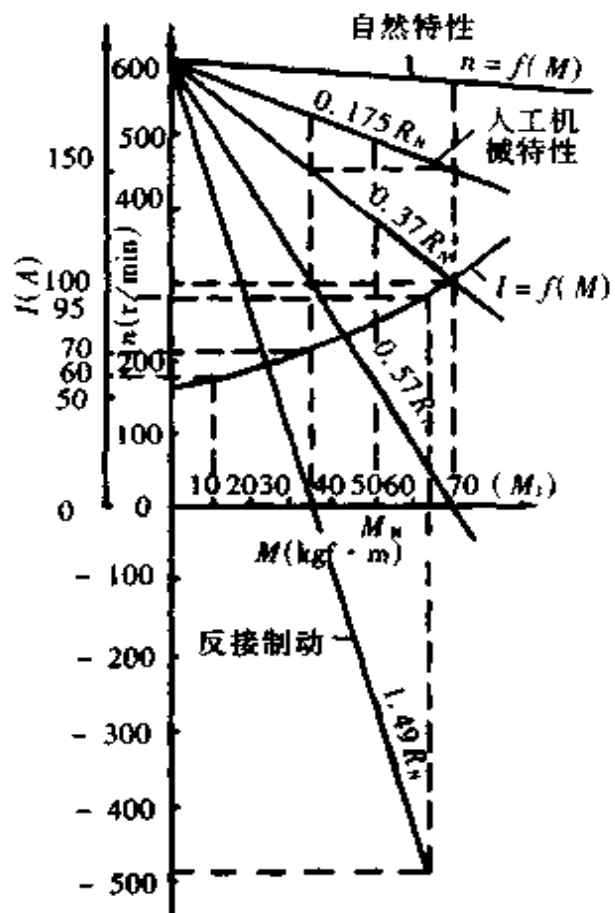


图 8.1.5 索道电动机起动及反接制动的机械特性

$$M_N \geq \frac{M_{L_{\text{max}}}}{0.9K_a\lambda} = \frac{326}{0.9 \times 0.72 \times 3.3} = 152 \text{N}\cdot\text{m}$$

式中  $\lambda = \frac{M_r}{M_N} = \frac{1646}{500} = 3.3$

所以  $M_N (500 \text{N}\cdot\text{m}) \geq 152 \text{N}\cdot\text{m}$ , 校验通过。

结论: 选用 JZRB61/10 型电动机采用强迫通风后, 可以满足工艺机械的要求。

## 第二章 电器控制线路

### 1 电动机的起动

电动机的起动方式一般可分为直接起动与降压起动。

#### 1.1 交流电动机起动应满足的条件

(1) 起动时不超过允许的电压降。起动时允许的电压降一般为:经常起动的电动机不大于额定电压的 10%;偶尔起动的电动机不大于额定电压的 15%。

在保证生产机械所要求的起动转矩,又不影响其他用电设备运行的条件下,起动时电动机端的电压降允许 20% 或更大。

由单独变压器供电的电动机,其起动时电压降允许值由生产机械的起动转矩决定。

(2) 保证起动转矩需要的端电压。为保证电动机起动转矩大于生产机械的负载转矩,所需的电动机端电压为:

$$U_D^* = \sqrt{\frac{1.1M_L^*}{M_s^*}}$$

式中  $U_D^*$  ——电动机端电压对额定电压的标么值;

$M_L^*$  ——传动机械的负载转矩对电动机额定转矩的标么值;

$M_s^*$  ——电动机起动转矩对电动机额定转矩的标么值。

传动机械的负载转矩由生产机械工艺提供。

(3) 起动容量不超过供电设备和电网的过负荷能力。

(4) 电动机及起动设备的动、热稳定度应符合制造厂的规定。

(5) 一般按电源情况允许直接起动的功率见表 8.2.1、表 8.2.2。

表 8.2.1 按电源容量允许直接起动的笼型电动机功率

电 源	允许直接起动笼型电动机的最大功率
小容量发电厂	每 1kV·A 发电机容量为 0.1~0.12kW
变电所	经常起动时,不大于变压器容量的 20% 偶尔起动时,不大于变压器容量的 30%
变压器-电动机组	电动机容量不大于变压器容量的 80%

表 8.2.2 6(10)/0.4kV 变压器允许直接起动的笼型电动机最大功率

变压器供电的 其他负荷	起 动 时 允许电压降 %	供电变压器容量 $S_b$ kV·A					
		100	180	320	560	750	1000
		起动笼型异步电动机的最大容量 (kW)					
$S_1 = 0.5S_b$ $\cos\varphi = 0.7$	10	22	40	75	115	155	215
	15	30	55	100	185	240	280
$S_1 = 0.6S_b$ $\cos\varphi = 0.7$	10	17	30	75	100	130	185
	15	30	55	100	185	240	280

注:1. 上表所列数据系指电动机与变压器低压母线直接相连时的情形。

2.  $S_1$  及  $\cos\varphi$  为变压器所供给的其他负荷及功率因数。

## 1.2 笼型异步电动机的起动

### 1.2.1 直接起动

笼型异步电动机按电网容量(见表 8.2.1、8.2.2)优先采用直接起动。

### 1.2.2 降压起动

低压笼型电动机降压起动有:电阻降压、星三角形降压、延边三角形降压和自耦变压器起动等方式。各种降压起动方式比较见表 8.2.3。自耦变压器、电抗器起动方式比较见表 8.2.4。

高压笼型异步电动机用电抗器或自耦变压器降压起动与同步电动机的异步起动相同,见本章 1.4.1 和 1.4.2。

## 1.3 绕线型异步电动机的起动

### 1.3.1 电阻分段起动

绕线型异步电动机转子接三级起动电阻,见图 8.2.1。起动时的机械特性见图 8.2.2。

表 8.2.3 笼型电动机降压起动方式比较表

起动方式	电阻降压起动	星-三角起动	延边三角形起动				
			抽头比 $K = \frac{a}{b}$				
			1:1	1:2	1:3	3:5	
接线图							
电动机 起动电压	$aU_N$	$\frac{1}{\sqrt{3}}U_N$	$0.69U_N$	$0.75U_N$	$0.8U_N$	$0.73U_N$	
电动机 起动电流	$aI_s$	$\frac{1}{3}I_s$	$0.5I_s$	$0.6I_s$	$0.67I_s$	$0.57I_s$	
电动机 起动转矩	$a^2M_s$	$\frac{1}{3}M_s$	$0.5M_s$	$0.6M_s$	$0.67M_s$	$0.57M_s$	

注:①延边三角形数据是根据下面及抽头比  $K = \frac{a}{b}$  估算:

$$\frac{U_s'}{U_N} = \frac{1 + \sqrt{3}K}{1 + 3K}$$

$$\frac{I_s'}{I_s} = \frac{1 + K}{1 + 3K}$$

$$\frac{M_s'}{M_s} = \frac{1 + K}{1 + 3K}$$

式中及表中  $U_N$ ——电动机额定电压

$a$ ——降压系数 ( $a = \frac{U_s'}{U_N}$ )

$I_s$ ——直接起动时起动电流

$M_s$ ——直接起动时起动转矩

$I_s'$ ——延边三角形抽头起动时起动电流

$M_s'$ ——延边三角形抽头起动时起动转矩

表 8.2.4 同步电动机两种起动方式比较表

降压起动方式	电抗器降压起动	自耦变压器起动
电动机起动电压	$aU_N$	$aU_N$
电动机起动电流	$aI_s$	$a^2I_s$
电动机起动转矩	$a^2M_s$	$a^2M_s$

注:  $a$ ——压降系数 ( $a < 1$ ), 对自耦变压器为变压比;

$I_s$ ——直接起动时的起动电流;

$M_s$ ——直接起动时的起动转矩。

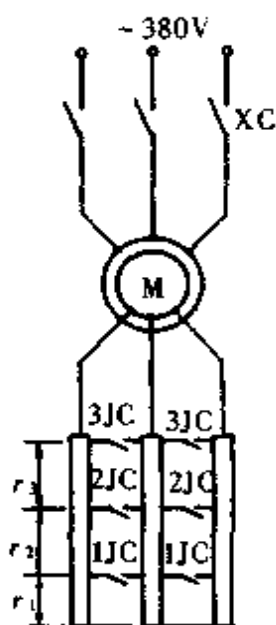


图 8.2.1 绕线型电动机三级起动电阻线路图

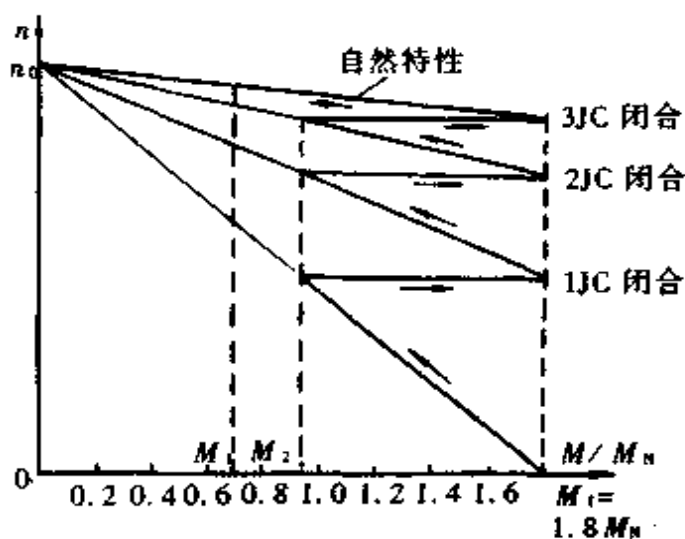


图 8.2.2 绕线型电动机电阻分级起动特性

表 8.2.5 绕线电动机起动级数  $q$ 

电动机容量 kW	接触器继电器控制时起动级数	
	全负荷	半负荷
0.75~7.5	1	1
10~20	2	2
22~35	2~3	2
35~55	3	2~3
60~95	4~5	3
100~200	4~5	3
220~370	6	4

## 1.3.1.1 分析法

(1) 确定起动电阻级数  $q$ , 见表 8.2.5。(2) 已知起动级数  $q$ , 求  $\lambda$  值:

$$\lambda = \sqrt[q]{\frac{1}{S_N M_1^*}}$$

式中  $\lambda$ ——最大起动转矩与切换转矩之比值  $\frac{M_1}{M_2}$ ;

$M_1$ ——最大起动转矩(应小于电动机的临界转矩  $M_{\sigma}$ , 一般不超过  $0.9M_{\sigma}$ )  
( $\text{N}\cdot\text{m}$ );

$M_2$ ——切换转矩( $\text{N}\cdot\text{m}$ );

$M_1^*$ ——最大起动转矩对电动机额定转矩的标么值;

$S_N$ ——电动机额定转差率。

(3) 求  $r_N$  值:

$$r_N = S_N R_{2N}$$

式中  $R_{2N} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}$  (电动机转子额定电阻)( $\Omega$ )。

(4) 确定各级起动电阻:

$$r_m = r_N(\lambda - 1) \quad (\Omega)$$

$$r_{m-1} = r_m \cdot \lambda \quad (\Omega)$$

$$r_2 = r_3 \cdot \lambda \quad (\Omega)$$

$$r_1 = r_2 \cdot \lambda \quad (\Omega)$$

**【例】** 应用分析法求电动机起动电阻。某绕线型电动机额定功率  $P_N = 30\text{kW}$ ,  $n_N = 570\text{r}/\text{min}$ ,  $n_0 = 600\text{r}/\text{min}$ , 转子额定电压  $U_{2N} = 132\text{V}$ , 转子额定电流  $I_{2N} = 147\text{A}$ ,  $M_L = 343\text{N}\cdot\text{m}$ , 求三级起动时( $q = 3$ )各段电阻值(参见图 8.2.1)。

$$M_N = 9555 \frac{P_N}{n_N} = 9555 \frac{30}{570} = 503\text{N}\cdot\text{m}$$

$$S_N = \frac{n_s - n_N}{n_s} = \frac{600 - 570}{570} = 0.05$$

$$\text{设: } M_1 = 1.8M_N \quad M_1^* = 1.8$$

$$\text{求: } \lambda = \sqrt[q]{\frac{1}{S_N \cdot M_1^*}} = \sqrt[3]{\frac{1}{0.05 \times 1.8}} = 2.23$$

切换转矩标么值

$$M_2^* = \frac{M_1^*}{\lambda} = \frac{1.8}{2.23} = 0.8$$

切换转矩

$$M_2 = 0.8M_N = 0.8 \times 503 = 402\text{N}\cdot\text{m} > 343\text{N}\cdot\text{m} (M_L)$$

电动机转子额定电阻



$$R_{2N} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}} = \frac{132}{1.73 \times 147} = 0.52\Omega$$

$$r_N = S_N \cdot R_{2N} = 0.05 \times 0.52 = 0.026\Omega$$

各级加速电阻

$$r_3 = 0.026 \times (2.23 - 1) = 0.032\Omega$$

$$r_2 = 0.032 \times 2.23 = 0.071\Omega$$

$$r_1 = 0.071 \times 2.23 = 0.158\Omega$$

1.3.1.2 图解法 参见本章 1.5.1 直流电动机的电阻分级起动。

### 1.3.2 频敏变阻器起动

频敏变阻器是一种由铸铁片或钢板叠成铁心,外面套上线圈的三相电抗器。将频敏变阻器接于绕线型电动机转子回路内,其线圈电抗和铁心损耗(主要为涡流损耗)决定的等效电阻随转子的转差率而变化,在电动机起动过程中,随着转子频率减小,其等效阻抗也随着减小,即随着电动机转速的增加,自动均匀地减小阻抗值,从而得到平滑地调节起动电流和起动转矩,其特性见图 8.2.3 和图 8.2.4。

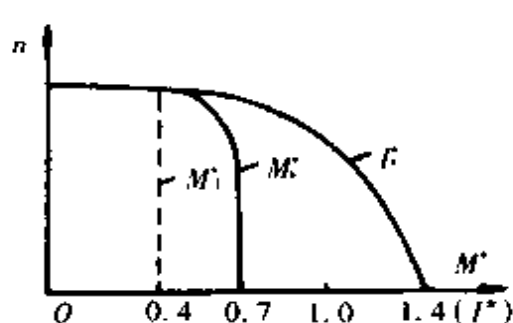


图 8.2.3 绕线型电动机频敏变阻器轻载起动特性

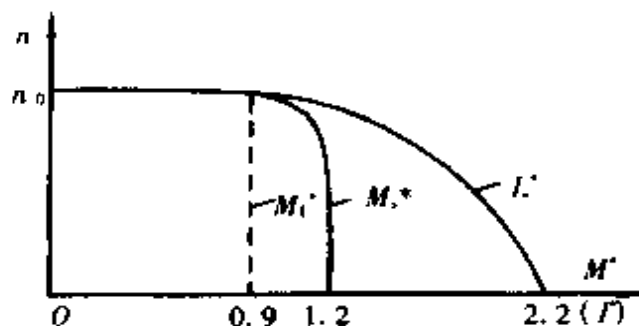


图 8.2.4 绕线型电动机频敏变阻器重载起动特性

当电动机反接时( $s$  接近于 2),频敏变阻器的等效阻抗最大,从反接制动到反转过程中,其等效阻抗随转子频率降低而减少,使电动机在反接过程中的转矩接近恒定。故频敏变阻器适用于反接制动和经常正反向运转的绕线型异步电动机,如冶金工厂的辊道传动等。

频敏变阻器结构简单,占地面积小,运行可靠,无须经常维护。但其功率因数低,起动转矩小,对于有低速运转和要求起动转矩大的传动装置,不宜采用频敏变阻器起动。

目前,我国生产的频敏变阻器系列产品,有偶尔起动与重复短时工作制起动两类。偶尔起动的转子接线图参见图 8.2.5,起动完毕后用接触器短接变阻器。重复短时工作制起动,是将频敏变阻器常接转子内,见图 8.2.6。

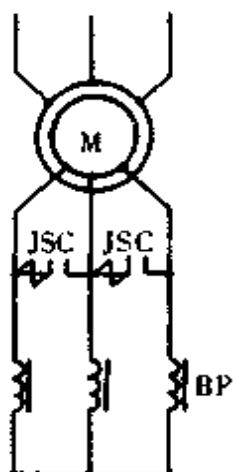


图 8.2.5 偶尔起动频敏变阻器接线图

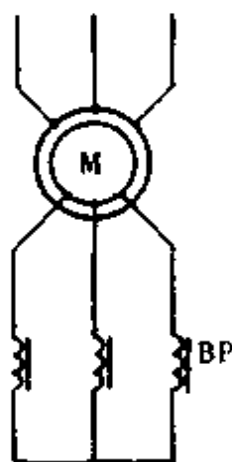


图 8.2.6 常接频敏变阻器接线图

为了使单台频敏变阻器的体积、重量不要过大,当电动机容量较大时,可由多台频敏变阻器串联或并联使用,见图 8.2.7。

频敏变阻器的铁心与铁轭间设有气隙,在绕组上留有几组抽头,改变气隙大小和绕组匝数,可调整电动机的起动电流和起动转矩(见图 8.2.8、图 8.2.9)。

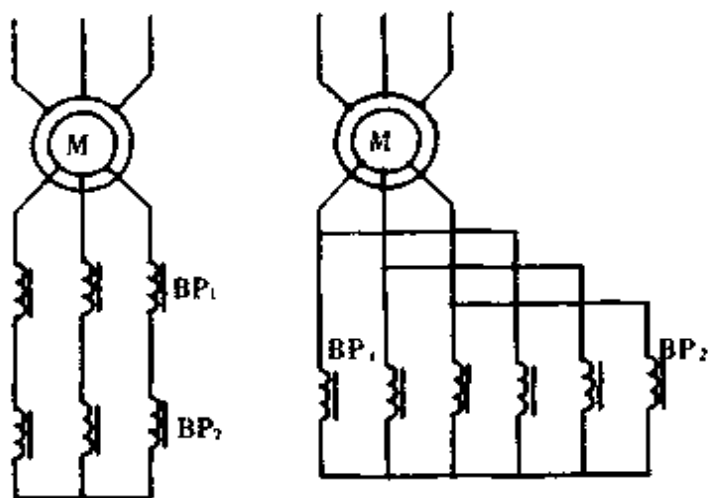


图 8.2.7 频敏变阻器串联与并联接线图

从图中可知:

- (1) 起动电流过大,起动太快,应增加匝数。
- (2) 起动电流过小,起动转矩不足,起动太慢,可减小匝数。
- (3) 在刚起动时,起动转矩过大,对机械有冲击,但起动完毕时,稳定转速偏低,当短接频敏电阻器时,电流冲击较大,这时可增加铁心气隙,但起动电流有所增加。

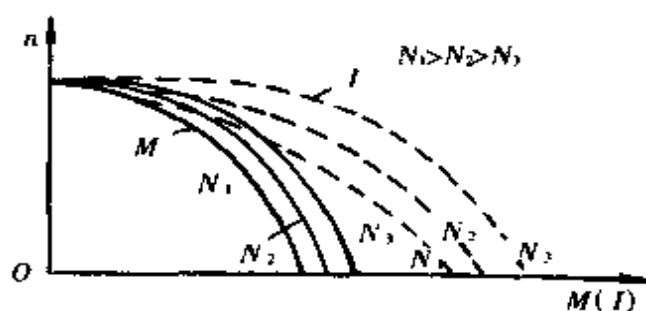
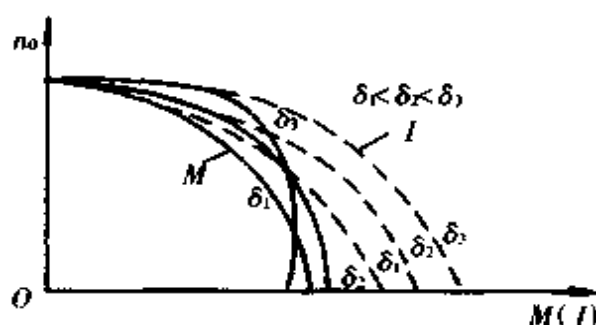


图 8-2-8

图 8.2.8 改变频敏变阻器匝数时的特性( $N$  为绕组匝数)图 8.2.9 改变频敏变阻器气隙时的特性( $\delta$  为气隙长度)

## 1.4 同步电动机的起动

### 1.4.1 电抗器降压异步起动

假设电网容量为无限大,同时忽略变压器的电抗压降,估算降压起动电抗器的电抗值。

(1) 按降压起动转矩  $M'_s$  值求取降压系数  $\alpha$ 。

$$\alpha = \sqrt{\frac{M'_s}{M_s}}$$

(2) 求取降压时电动机的起动电流  $I'_s$ 。

$$I'_s = \alpha I_s (\text{A})$$

(3) 确定电动机定子回路中每相所接起动电抗器的电抗值。

$$X_k = \frac{U_N}{\sqrt{3}I'_s} - X_d (\Omega)$$

式中  $X_d$ —— $s=1$  时,电动机定子每相电抗值( $\Omega$ )。

此法为工程估算法,计算出的  $X_k$  值偏大。

【例】某传动用同步电动机 1400kW, 6kV, 158.8A, 250r/min, 同步电动机带机械空载起动, 总  $GD^2 = 207250\text{N}\cdot\text{m}^2$  (折算到电动机轴上), 总摩擦阻力转矩

$M_1 = 0.16M_N$ , 供电变压器为  $3200\text{kV}\cdot\text{A}$ ,  $35/6\text{kV}$ , 直接起动电流  $I_s = 645\text{A}$ , 直接起动转矩  $M_s = 1.02M_N$ 。

因电动机容量已超过变压器容量的 30%, 所以不能直接起动(见表 8.2.1), 采用电抗器降压起动(见图 8.2.10)。

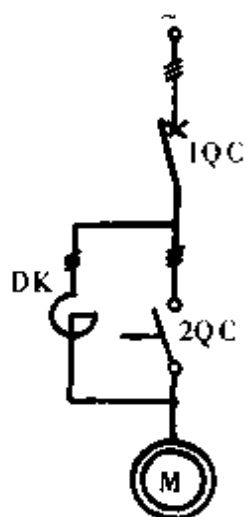


图 8.2.10 同步电动机电抗器起动线路简图

假设降压起动转矩  $M'_s = 0.5M_N$ , 按公式得

$$\alpha = \sqrt{\frac{M'_s}{M_s}} = \sqrt{\frac{0.5M_N}{1.02M_N}} = \sqrt{0.49} = 0.7$$

$$I'_s = \alpha I_s = 0.7 \times 645 = 452\text{A}$$

当  $s = 1$  时, 电动机每相电抗

$$x_d = \frac{6000}{\sqrt{3}I_s} = 5.35\Omega$$

$$x_d + x_k = \frac{U_N}{\sqrt{3}I'_s} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 452} = 7.65\Omega$$

$$x_k = 7.65 - 5.35 = 2.3\Omega \quad (\text{电抗器每相电抗})$$

选择 QKSJ-3200/6 三相油浸电抗器  $3.2\Omega/\text{相}$ ,  $560\text{A}$ 。

校验:

$$x_d + x_k = 5.35 + 3.2 = 8.55\Omega$$

$$I'_s = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 8.55} = 404\text{A}, \quad \alpha' = \frac{404}{645} = 0.63$$

(1) 起动转矩核算

$$M'_s = 1.02M_N \alpha'^2 = 1.02M_N (0.63)^2 = 40\%M_N$$

起动转矩  $40\%M_N > 16\%M_N$ , 能起动

(2) 起动时间核算。

设加速转矩为恒值,估算起动时间

$$GD^2 = 207250 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

$$n_s = 250 \text{ r/min}$$

$$M_N = 9555 \frac{P}{n_s} = \frac{9555 \times 1400}{250} = 53508 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_s - M_1 = 40\% M_N - 16\% M_N = 0.24 M_N$$

起动时间

$$t = \frac{GD^2 n_s}{3675(M'_s - M_1)} = \frac{207350 \times 250}{3675 \times 0.24 \times 53508} = 10.8 \text{ s}$$

(3) 校验电抗器热稳定。

电抗器连接允许起动次数  $N = 8$ , 每台电动机起动时间  $t = 10.8 \text{ s} = 0.191 \text{ min}$ 。

按电抗器样本所给公式

$$I^2 t_1 > (I_s')^2 t N$$

式中  $t_1 = 2 \text{ min}$  (电抗器按额定电流计算)。

$$(560)^2 \times 2 > (404)^2 \times 0.191 \times 8, \text{热稳定校核通过。}$$

一般同步电动机起动过程中当转差率  $S = 5\%$  时,投入励磁电流是可以顺利牵入同步的。同步电动机的起动转矩和引入转矩与励磁绕组的连接方式和放电电阻阻值的大小有关,一般放电电阻取转子绕组电阻的 10 倍。起动时,励磁绕组切不可开路,否则将感应很高的电压而损坏电机绝缘。

#### 1.4.2 自耦变压器起动

同步电动机用自耦变压器起动线路较电抗器起动线路复杂些。见图 8.2.11,在主回路中需三只高压开关 1QC~3QC。

#### 1.4.3 利用晶闸管变频电源起动

近年来由于大功率变频装置的出现,可利用变频装置来实现大功率同步电动机的平滑起动。其方法是用变频电源向同步电动机定子绕组供电。当电源的频率由零连续上升时,同步电动机转速亦随之连续上升,直到转速达全速后,然后投入电网,其办法类似于“准同期起动”。用此法可起动容量为数万千瓦的同步电动机。

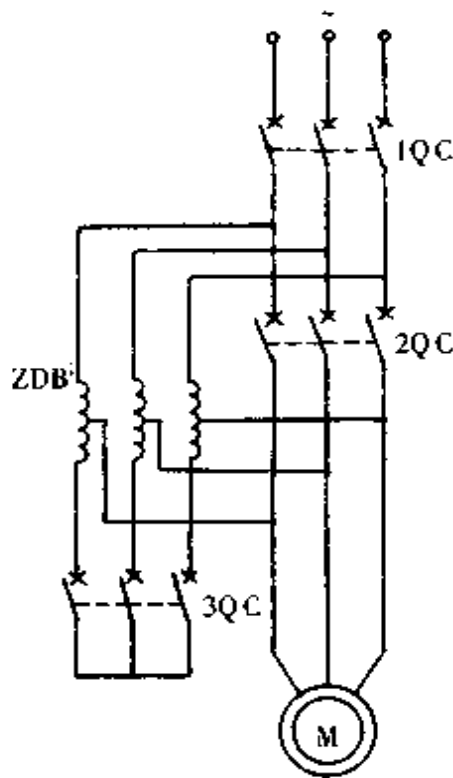


图 8.2.11 同步电动机自耦变压器起动线路图

## 1.5 直流电动机的起动

### 1.5.1 电阻分级起动

1.5.1.1 图解法 直流并励电动机起动电阻值用图解法来确定比较方便,以图 8.2.12 所示的三级电阻起动为例来说明如何用图解法确定起动电阻。

(1) 用百分值或相对单位绘出电动机自然特性(见图 8.2.13)。

(2) 选定最大起动转矩  $M_1$  和切换转矩  $M_2$ 。

一般取:

$$M_1 = (1.5 \sim 2.2) M_N$$

$$M_2 = (1.1 \sim 1.2) M_1$$

(3) 在  $M_1$  和  $M_2$  之间绘制起动曲线,如果绘出的曲线与原先确定的起动电阻级数相符(级数参见表 8.2.5),则所确定的  $M_1$  和  $M_2$  值是合适的,否则应予调整。

(4) 在  $M_N$  处作 AF 线,求出各级起动电阻。

$$r_1 = r_1^* R_N \quad (\Omega)$$

$$r_2 = r_2^* R_N \quad (\Omega)$$

$$r_3 = r_3^* R_N \quad (\Omega)$$

式中  $R_N$ ——电动机的额定电阻  $R_N = \frac{U_N}{I_N} \quad (\Omega)$ 。

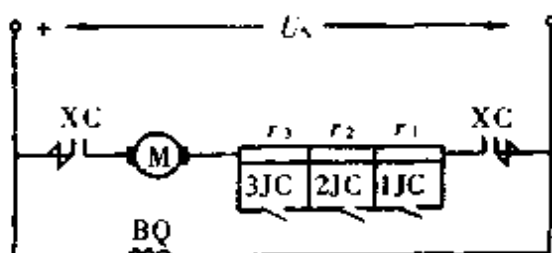


图 8.2.12 直流电动机三级起动电阻线路图

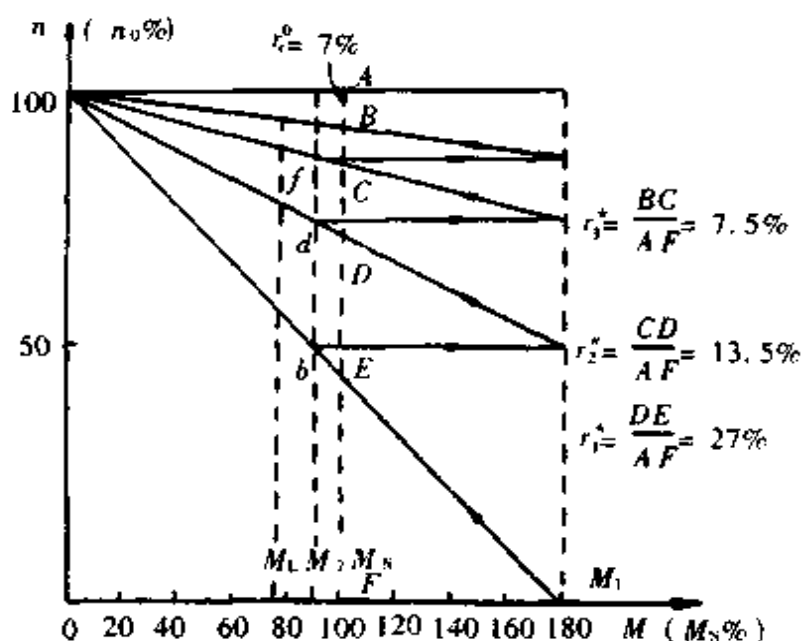


图 8.2.13 直流电动机起动特性及电阻计算图解法

【例】 Z2-91 型 30kW 直流并励电动机, 220V, 1000r/min, 158A,  $r_a = 0.098\Omega$ , 负载转矩  $M_L = 225\text{N}\cdot\text{m}$ 。

$$\text{额定电阻 } R_N = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{158} = 1.4\Omega$$

$$r_a^0 = \frac{r_a}{R_N} = \frac{0.098}{1.4} = 7\%$$

(1) 在额定转矩  $M_N$  处, 作 AB 段 = 7%, 如图 8.2.13 所示, 则可得到 B 点, 通过 B 点可作出电动机的自然特性。

$$(2) M_N = 9555 \frac{P_N}{n_N} = 9555 \times \frac{30}{1000} = 286\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\text{以标么值表示的负载转矩 } M_L^* = \frac{23}{30} = 0.77$$

设最大起动转矩  $M_L = 1.8M_N$

切换转矩  $M_2 = 1.2M_L$

(3) 绘制起动曲线, 在  $M_N$  处作  $FA$  线, 得出各段电阻的 % 值 ( $DE$ 、 $CD$ 、 $BC$  三段)。

$$r_1^* = 27\%, \quad r_2^* = 13.5\%, \quad r_3^* = 7.5\%$$

$$r_1 = r_1^* R_N = \frac{27}{100} \times 1.4 = 0.378\Omega$$

$$r_2 = r_2^* R_N = \frac{13.5}{100} \times 1.4 = 0.189\Omega$$

$$r_3 = r_3^* R_N = \frac{7.5}{100} \times 1.4 = 0.105\Omega$$

起动初电枢电路的电阻

$$r_1 + r_2 + r_3 + r_a = 0.77\Omega$$

最大起动电流

$$I_{\max} = \frac{220}{0.77} = 285\text{A}$$

$$I_{\max}/I_N = \frac{285}{158} = 1.8$$

$M$  正比于  $I$ , 所以电动机的最大起动转矩  $M_1 = 1.8M_N$ , 与图符合。

1.5.1.2 分析法 用分析法求直流电动机起动电阻, 与前述绕线型电动机用分析法求起动电阻相似, 但求  $\lambda$  的公式为:

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{1}{r_a^* \cdot M_1^*}}$$

式中  $r_a^* = \frac{r_a}{R_N}$ ;

$r_a$ ——直流电动机电枢电阻( $\Omega$ );

$R_N$ ——直流电动机额定电阻  $R_N = \frac{U_N}{I_N}$  ( $\Omega$ )。

各级起动电阻由下列公式决定:

$$r_3 = r_a(\lambda - 1) (\Omega)$$

$$r_2 = r_3 \cdot \lambda (\Omega)$$

$$r_1 = r_2 \lambda (\Omega)$$

## 2 电动机的制动

电动机的制动分机械制动和电力制动; 常用的电力制动有: 能耗制动(动力制动)、反接制动、回馈制动(再生制动)。



(1) 经常正反向运转的绕线型异步电动机,常采用反接制动(如起重机等)。需要准确地停车于零位时,不宜采用反接制动。

(2) 笼型异步电动机为了避免大的反接制动电流,一般反接制动只限用在小功率(10kW以下)机上,较大容量者宜采用能耗制动。

(3) 同步电动机不用反接制动,而采用能耗制动。

(4) 直流串励电动机一般不采用回馈制动,因为与它的机械特性不适合;也很少用能耗制动,因其在低转速时不能产生所需要的制动转矩,而在高速时制动转矩又过大,易于损坏传动机械,所以常用反接制动,可得到较平滑的制动转矩。

## 2.1 异步电动机的制动

### 2.1.1 异步电动机的能耗制动

见图 8.2.14。将运转中的笼型电动机定子绕组从电网断开后,接到制动用的直流电源上而得到励磁,此电动机即变为一台交流发电机运转,其电能消耗于回路,而产生制动转矩。随着电动机的转速下降,制动转矩也减小。调节励磁电流  $I_f$ ,可改变制动转矩,其制动特性见图 8.2.15。

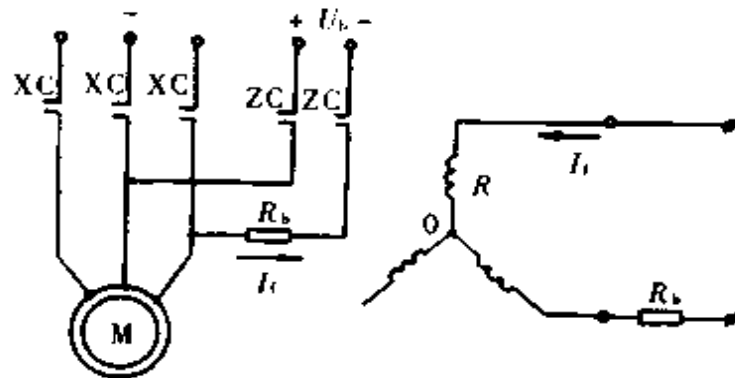


图 8.2.14 笼型电动机能耗制动线路图

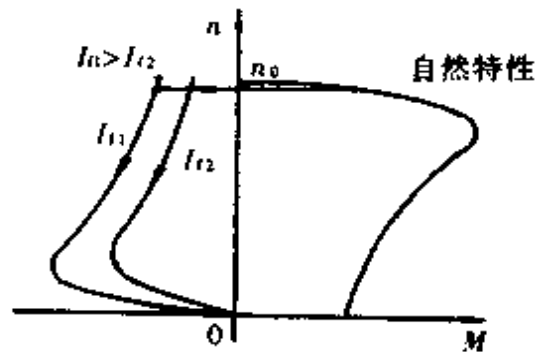


图 8.2.15 异步电动机能耗制动机械标准曲线

制动时一般取励磁电流  $I_f = (1 \sim 2) I_{IN}$  ( $I_{IN}$  为电动机定子额定电流)。

绕线型电动机的能耗制动与笼型电动机相同。

### 2.1.2 绕线型电动机的反接制动

见图 8.2.16。断开 2C 接触器,合上 FC 接触器,即改变了电源相序,使电动机定子的旋转磁场反向,则电动机所产生的转矩方向与转速方向相反,产生制动作用,特性见图 8.2.17。

反接制动时电动机转子电压较高,有较大的反接电流。为了限制反接电流,在转子中必须串接反接制动电阻  $r_{\text{B}}$ 。

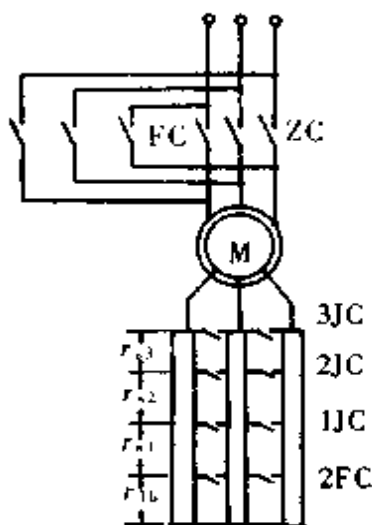


图 8.2.16 绕线型电动机反接制动线路图

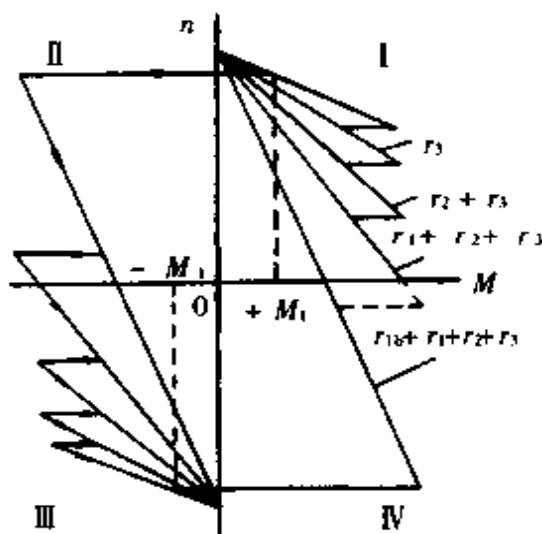


图 8.2.17 绕线型电动机反接制动机械特性曲线

绕线型电动机,在反接制动时转子接频敏变阻器较接电阻更好,因其阻抗可随频率的变化而变化,能自动限制反接制动电流。因此,它更适用于经常反接的系统,并能得到平滑的正反向运转。

绕线型异步电动机反接制动电阻计算:

$$R_{\Sigma} = \frac{s_0}{M_0^*} R_{2N} \quad (\Omega)$$

$$r_{\text{B}} = R_{\Sigma} - r_1 - r_2 \quad (\Omega)$$

式中  $R_{\Sigma}$ ——反接制动时,转子回路总电阻( $\Omega$ );

$M_0^*$ ——反接制动时,转矩标么值(要考虑电动机能承受的最大转矩)

$s_0$ ——反接制动开始时电动机的转差率,一般取 2;

$R_{2N}$ ——电动机转子额定电阻( $\Omega$ );

$r_1$ ——起动电阻( $\Omega$ );

$r_2$ ——电动机转子绕组电阻( $\Omega$ )。

【例】 JZR31-8, 7.5kW 电动机,  $U_{2N} = 185\text{V}$ ,  $I_{2N} = 28\text{A}$ ,  $r_2 = 0.21\Omega$ ,

$r_s = 1.12\Omega$ , 则

$$R_{2N} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}} = \frac{185}{\sqrt{3} \times 28} = 3.81\Omega$$

设  $M_0^* = 1.98$ , 由上述反接制动电阻计算公式得

$$R_{\Sigma} = \frac{S_0}{M_0^*} R_{2N} = \frac{2}{1.98} \times 3.82 = 3.85\Omega$$

$$r_0 = R_{\Sigma} - r_1 - r_2 = 3.85 - 1.12 - 0.21 = 2.52\Omega$$

### 2.1.3 异步电动机的回馈制动

见图 8.2.18。当电动机被生产机械的位势负载或惯性拉着作为发电机运转, 将机械能变为电能送回电网而得到制动转矩时, 其转速  $n$  大于同步转速  $n_0$ , 其运行特性曲线在第二象限, 此时电动机工作如一个与电网并联的异步发电机, 同时从电网吸取无功功率作为励磁用。

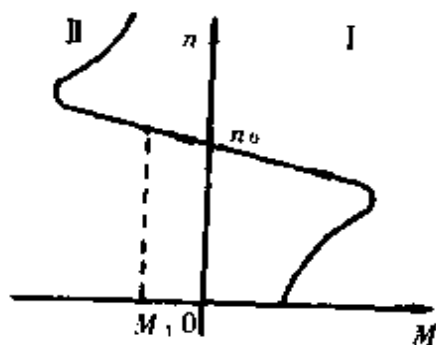


图 8.2.18 异步电动机回馈制动机械特性曲线

异步电动机回馈制动, 常用于多速异步电动机, 由高速切换至低速过程中产生制动作用。

## 2.2 同步电动机的制动

同步电动机的制动常用能耗制动, 见图 8.2.19。当运转的同步电动机从交流电源断开后, 将定子绕组接于一个外电阻  $R_b$  (或频敏变阻器) 上, 并保持转子励磁绕组的直流供电, 即可使同步电动机进行能耗制动。

## 2.3 直流电动机的制动

### 2.3.1 直流他励电动机能耗制动

将电动机电枢从电源断开后, 并联制动电阻  $R_b$ , 这时电动机依靠生产机械的动能或位能而做功, 成为一台向  $R_b$  供电的发电机运转 (见图 8.2.20)。制动电阻值越小, 制动越迅速 (见图 8.2.21), 其制动电阻计算如下:

$$R_b = \frac{E}{I_b} - r_s$$

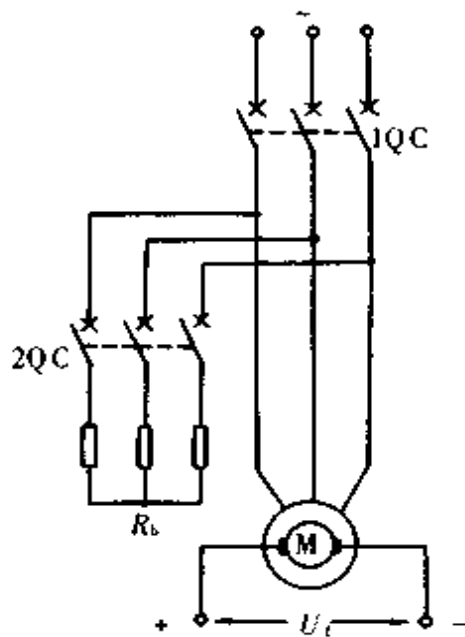


图 8.2.19 同步电动机的能耗制动线路图

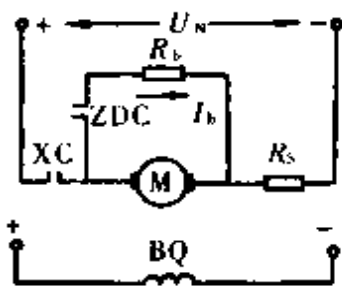


图 8.2.20 直流电动机能耗制动线路图

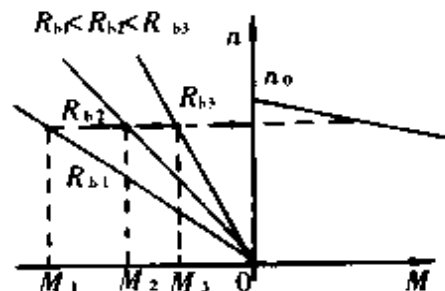


图 8.2.21 直流电动机能耗制动机械特性曲线

### 2.3.2 直流他励电动机的反接制动

在直流电动机运转时，励磁不变，突然将电枢电源反接，由于反接后的电源电压极性和电动机的反电势极性相同，在电枢回路中产生较大的反向制动电流  $I_b$ ，如图 8.2.22。

从图 8.2.23 的机械特性曲线上可以看出，电动机在反接制动时由曲线 1 的 A 点接到曲线 2 的 B 点，沿曲线 2 第二象限的实线部分运行，如转速降到零（C 点），电源还不断开，电动机将会反向起动。在可逆系统中，从正转直接变为反转时，采用反接制动比较方便。

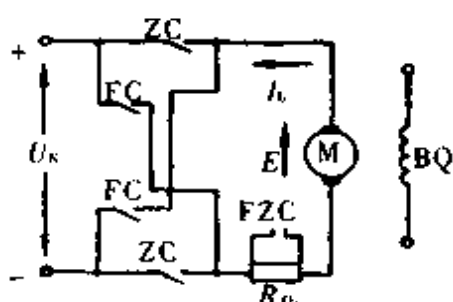


图 8.2.22 直流电动机反接制动简图

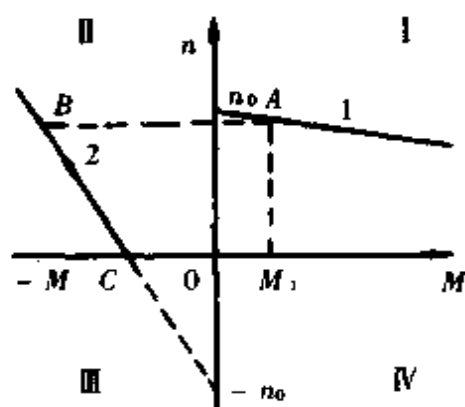


图 8.2.23 直流电动机反接制动机械特性

(1) 直流电动机反接制动电阻计算:为了限制反接制动电流,在电动机的电枢回路内必须接入反接电阻  $R_{fb}$ 。

$$R_{fb} = \frac{U_N + E_{\max}}{I_{b\max}} - (R_a + R_s) \quad (\Omega)$$

式中  $I_{b\max}$  ——允许最大反接制动电流(A);

$E_{\max}$  ——电动机最大反电势(V);

$R_s$  ——起动电阻( $\Omega$ );

$R_a$  ——电动机电枢电阻( $\Omega$ )。

$I_{b\max}$  取决于电动机允许的电流过载倍数,一般取  $(1.5 \sim 2.5) I_N$ 。

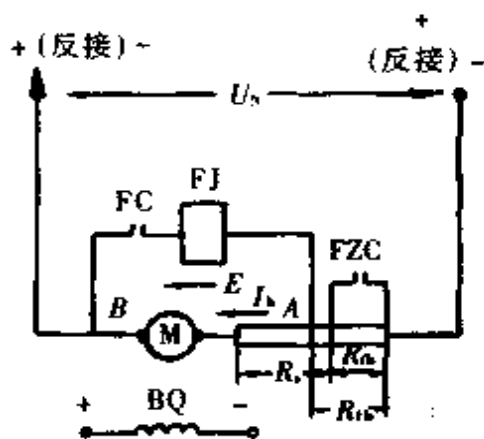


图 8.2.24 反接继电器整定简图

(2) 反接继电器的整定:反接继电器  $FJ$  是保证当反接制动开始时,将电阻  $R_{fb}$  接入电路,当制动到电动机转速接近于零时,将电阻  $R_{fb}$  短接,见图 8.2.24 和图 8.2.22。当反接制动开始时, $FZC$  断开, $R_{fb}$  接入,以限制反接制动电流,此时电源电压  $U_N$  与  $R_{fb}$  电阻上压降相近,电动机反电势  $E$  与电阻  $R_{fb}$  上压降相近,所以

继电器 FJ 线圈两端电压接近于零, FJ 不吸。当电动机转速接近于零时,  $E \approx 0$ , FJ 线圈两端电压升高, FJ 吸合, FZC 吸合, FZC 触头短接电阻  $R_b$ , 反接制动完毕。

按图来确定 FJ 线圈连接点 A 的阻值  $R_s$ 。当反接开始, 制动电流  $I_b = I_{bmax}$ , FJ 两端电压为零时

$$\text{则} \quad I_{bmax} \cdot R_s = U_N, \quad R_s = \frac{U_N}{I_{bmax}}$$

$$\text{由于} \quad I_{bmax} = \frac{U_N + E_{max}}{R}, \quad R = R_s + R_b$$

$$\text{所以} \quad R_s = R \frac{U_N}{U_N + E_{max}}$$

$$\text{取} \quad U_N \approx E_{max} \quad (\text{最大转速时反电势})$$

$$\text{则} \quad R_s \approx \frac{1}{2} R$$

即 FJ 继电器连接点在总电阻  $R$  值的一半处; FJ 继电器吸上电压, 一般整定在  $0.4 \sim 0.45 U_N$ 。

### 2.3.3 直流电动机转速反向时的反接制动

当直流电动机依靠机械的动能或位能, 使电动机转速反向(见图 8.2.25), 此时电动机所发生的转矩方向与电动机运转方向相反, 所以  $M_b$  成为制动转矩, 其机械特性应在第四象限 C 点上, 见图 8.2.26, 这种反接制动应用在起重机低速下降时。

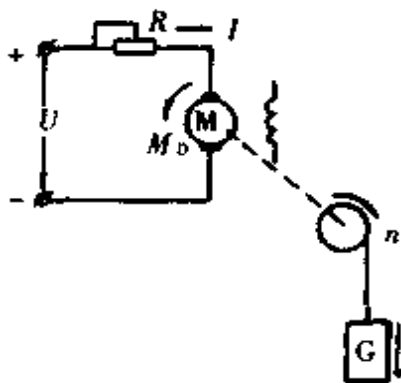


图 8.2.25 直流电动机转速反向的反接制动

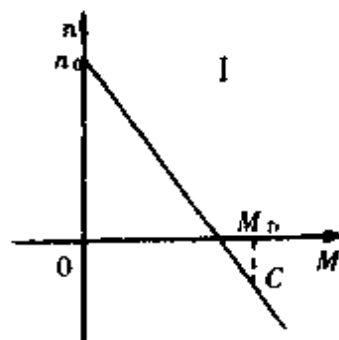


图 8.2.26 直流电动机转速反向的反接制动机械特性曲线

### 2.3.4 直流电动机的回馈制动

当直流电动机被生产机械的位势负载或惯性拉着作为发电机运转(见图 8.2.27), 此时  $n > n_0$ ,  $M_b$  是负值, 进入机械特性的第二象限运转(见图 8.2.28)。这表示电动机在回馈制动下工作, 电动机作为发电机运转, 将电能回馈至电网去。

这种制动运转常在起重机重特下降时可得到稳定的制动运转状态。

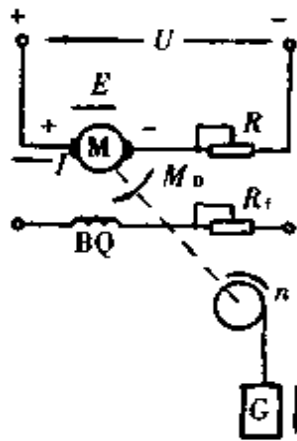


图 8.2.27 直流电动机的回馈制动

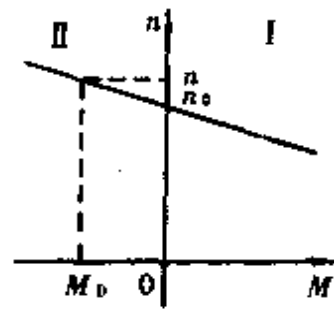


图 8.2.28 直流电动机回馈制动的机械特性曲线

### 3 电动机常用控制线路

(1) 不可逆笼型异步电动机控制线路(图 8.2.29),用于不需要调速和改变转向的生产机械。

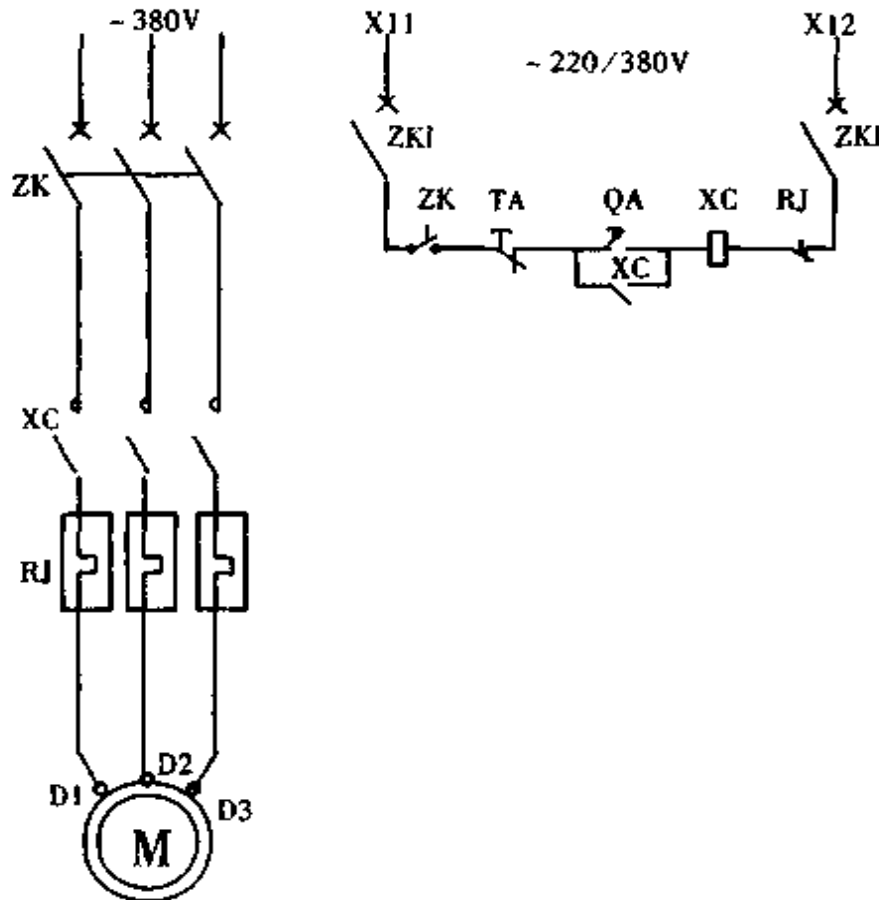


图 8.2.29 不可逆笼型异步电动机控制线路





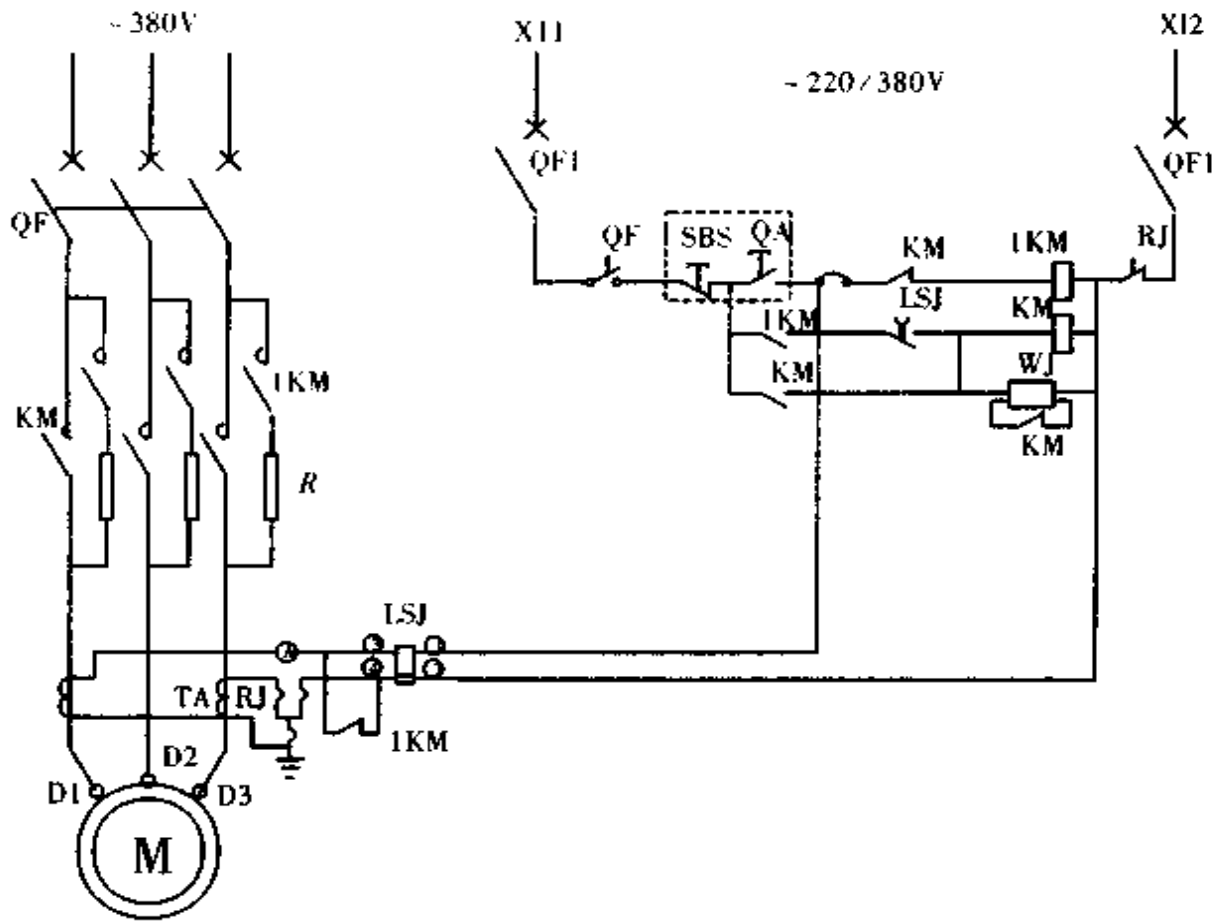


图 8.2.31 不可逆笼型异步电动机定子串电阻降压起动控制线路

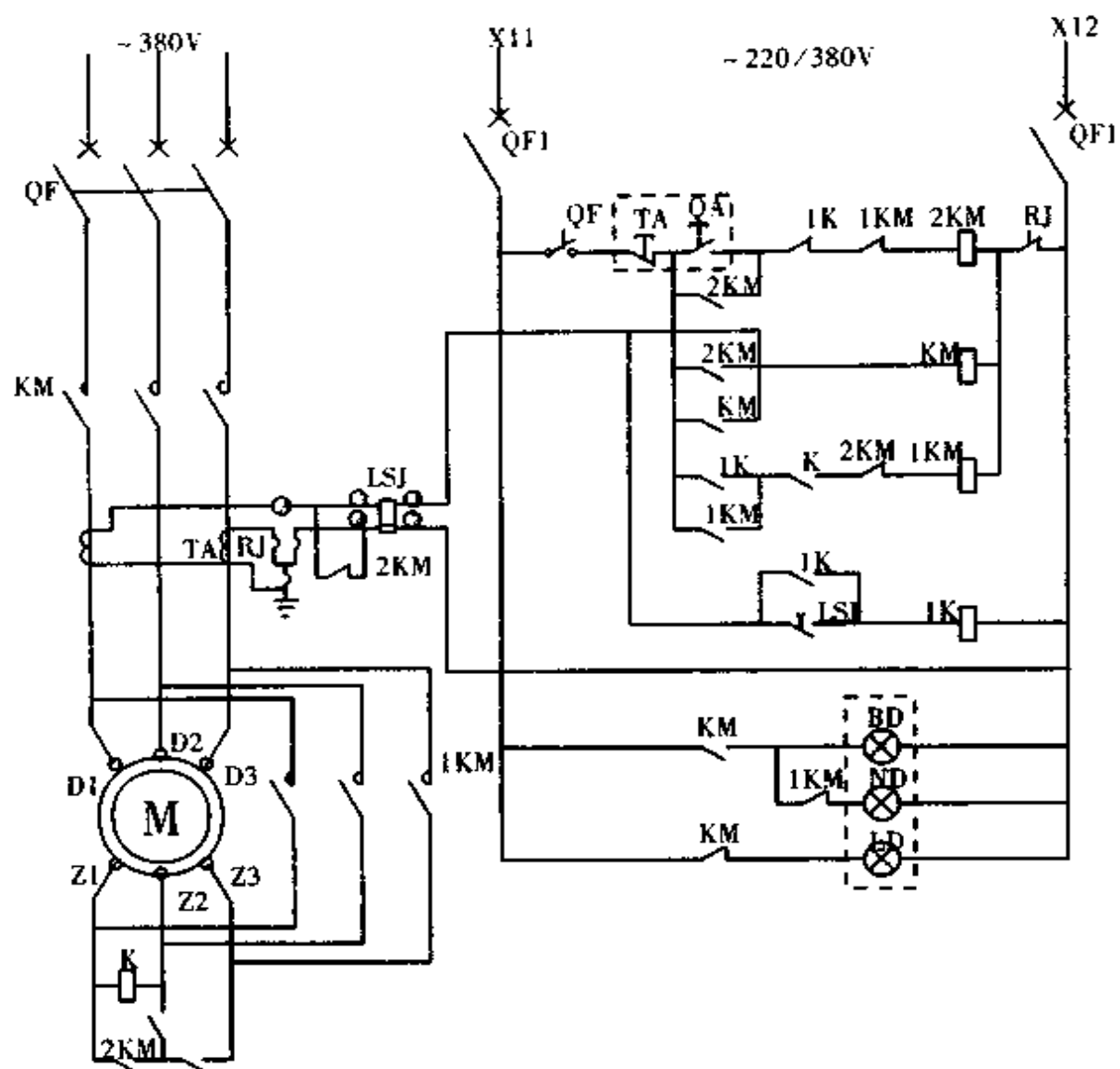


图 8.2.32 不可逆笼型异步电动机星三角起动(星三角切换按定子电流及延时原则)

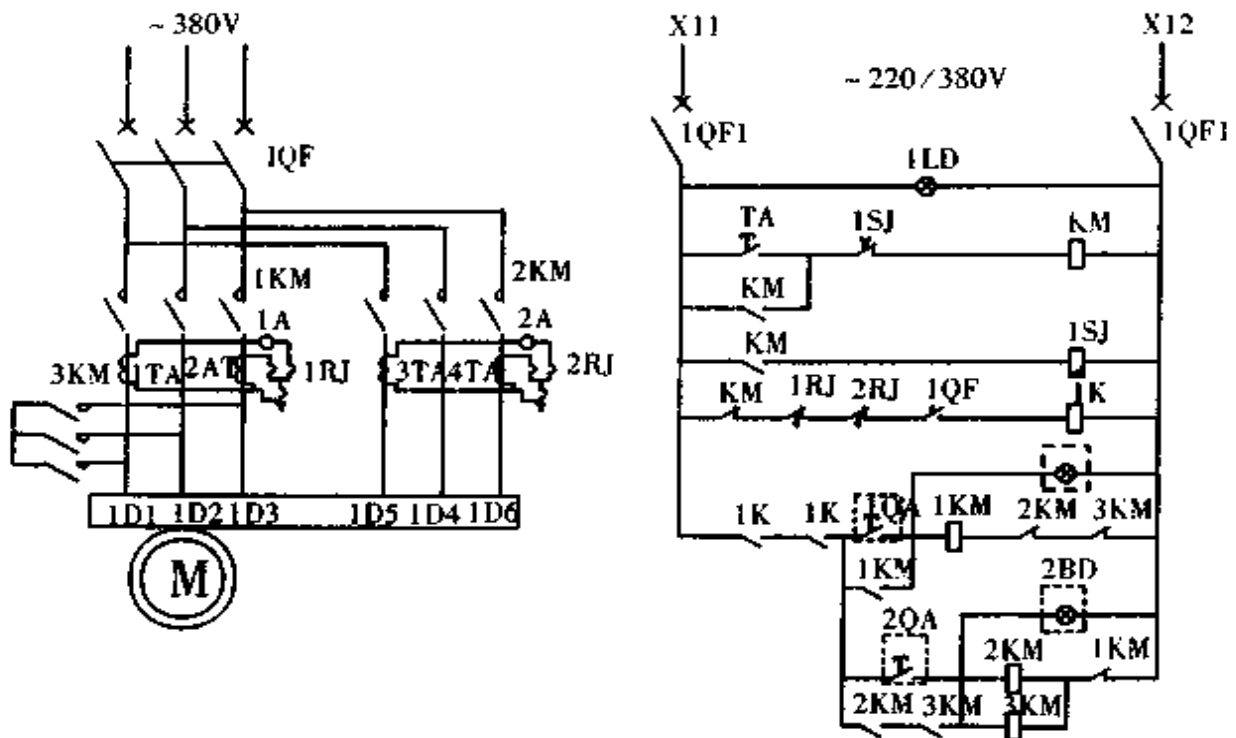


图 8.2.33 变极数双速笼型异步电动机控制线路

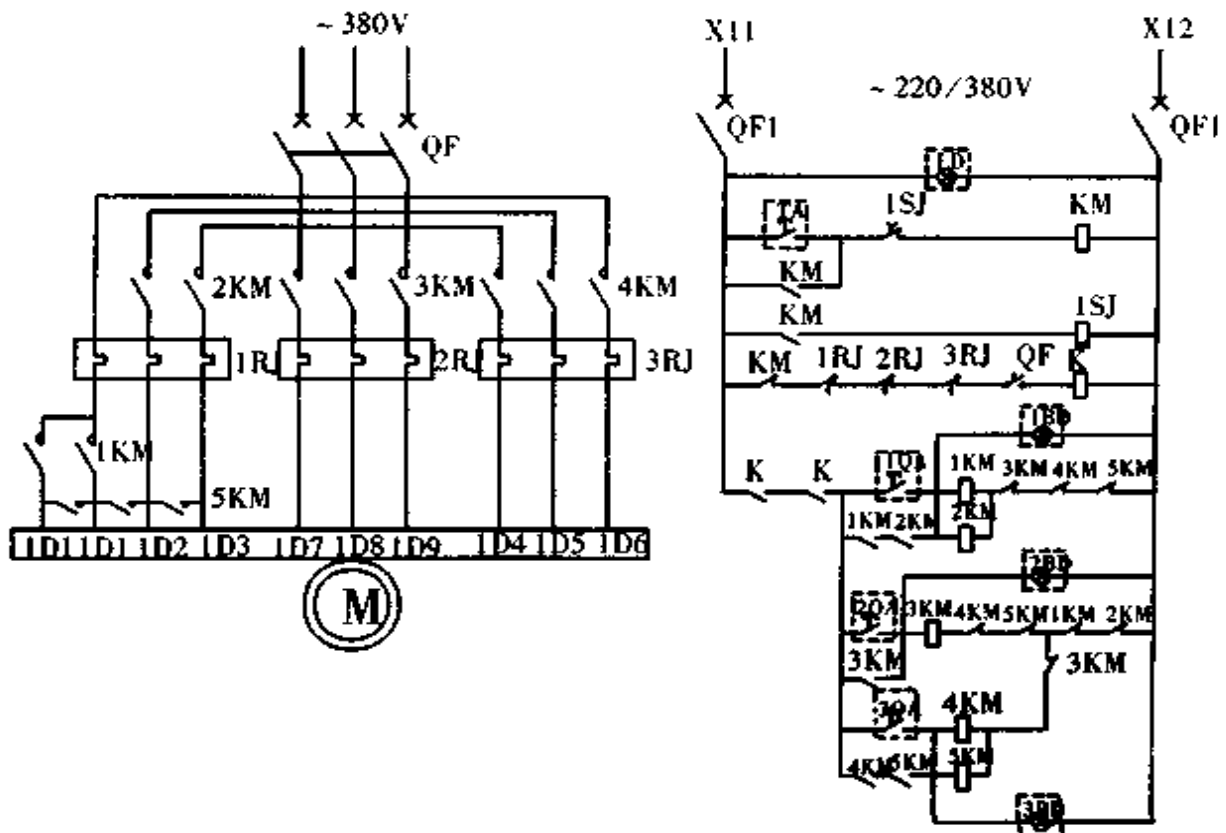


图 8.2.34 变极数三速笼型异步电动机控制线路

(7) 不可逆笼型异步电动机自耦变压器降压起动控制线路见图 8.2.35。

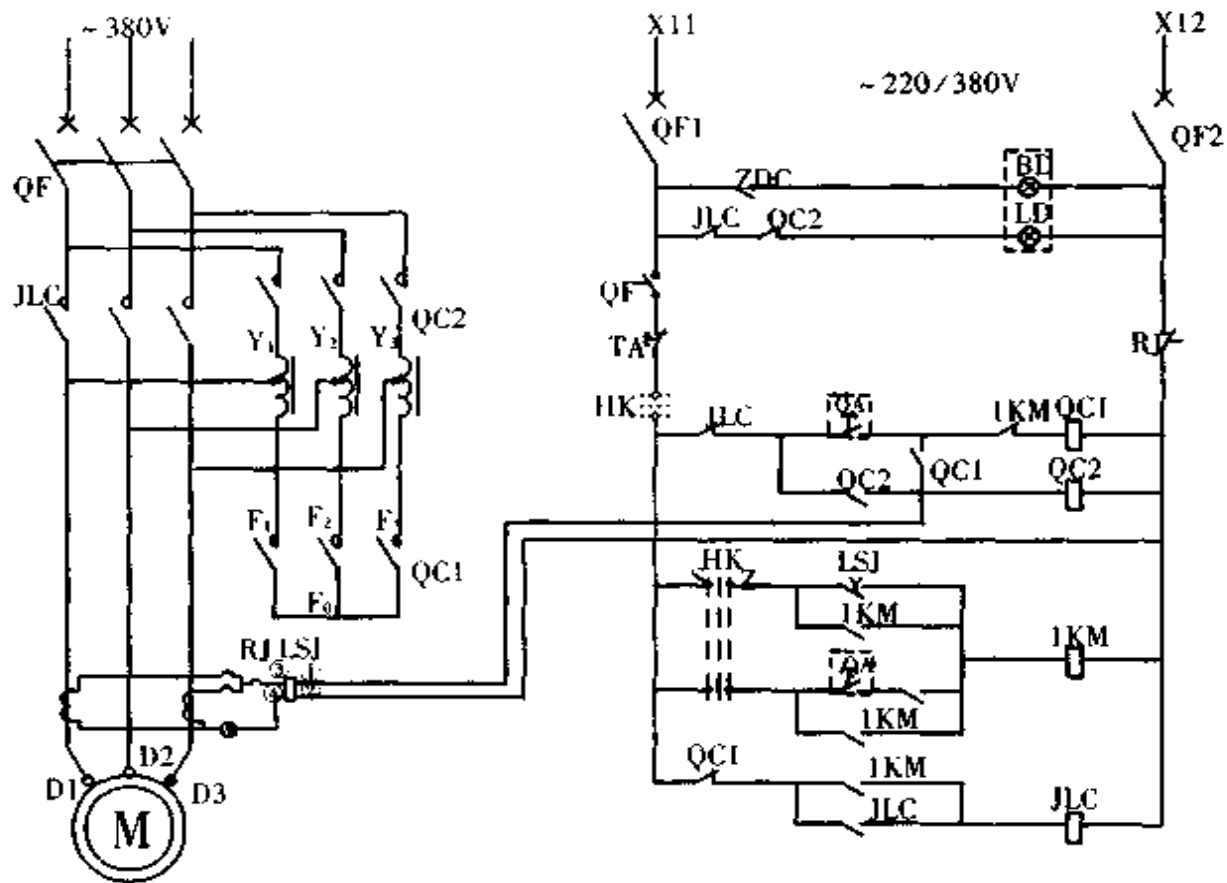


图 8.2.35 不可逆笼型异步电动机自耦变压器降压起动控制线路

(8) 绕线型异步电动机转子串电阻(按时间控制原则切换)不可逆控制线路见图 8.2.36.

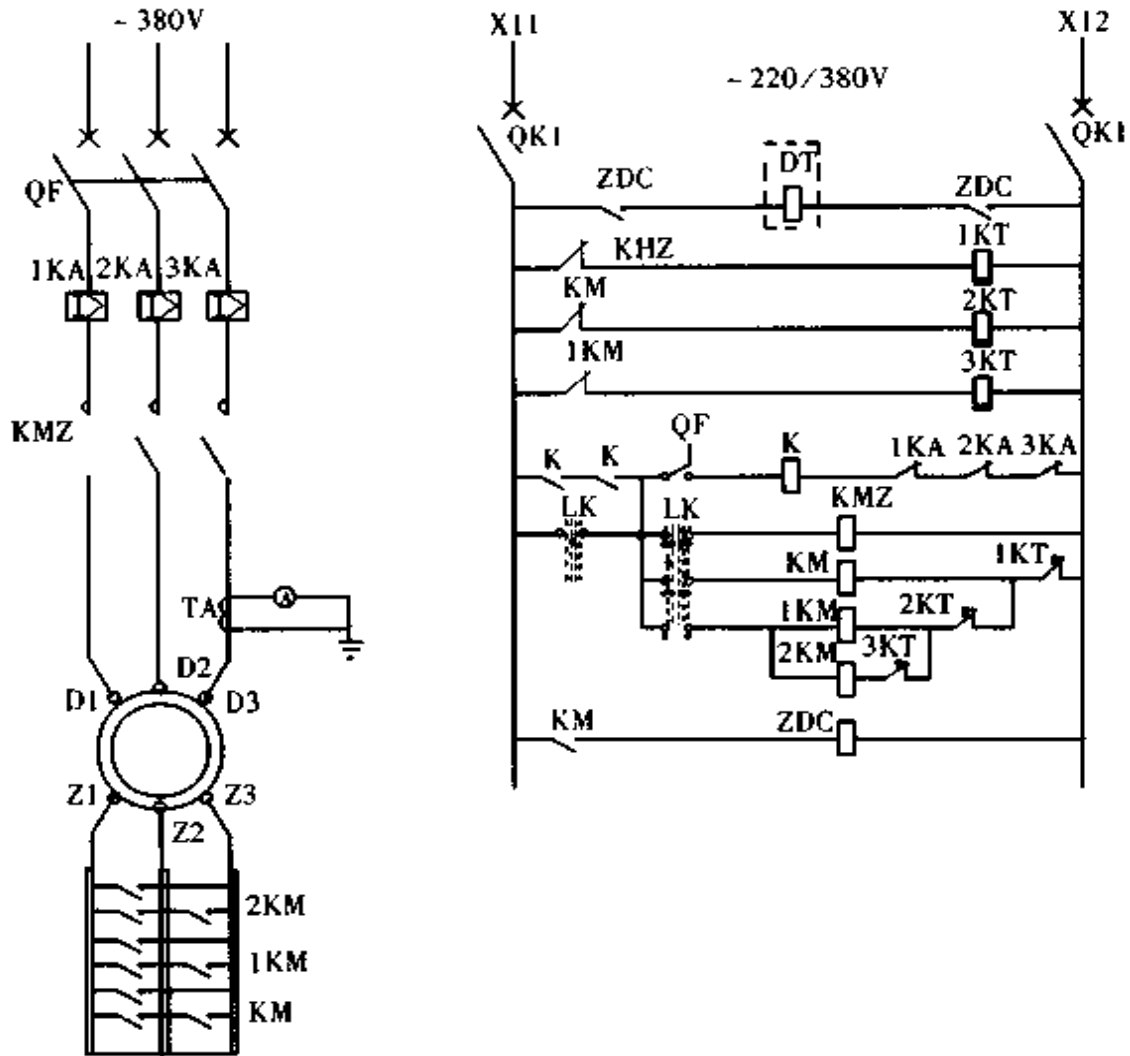


图 8.2.36 绕线型异步电动机转子串电阻(按时间控制原则切换)不可逆控制线路

(9) 绕线型异步电动机转子串电阻(按定子电流原则切换)可逆控制线路见图 8.2.37.

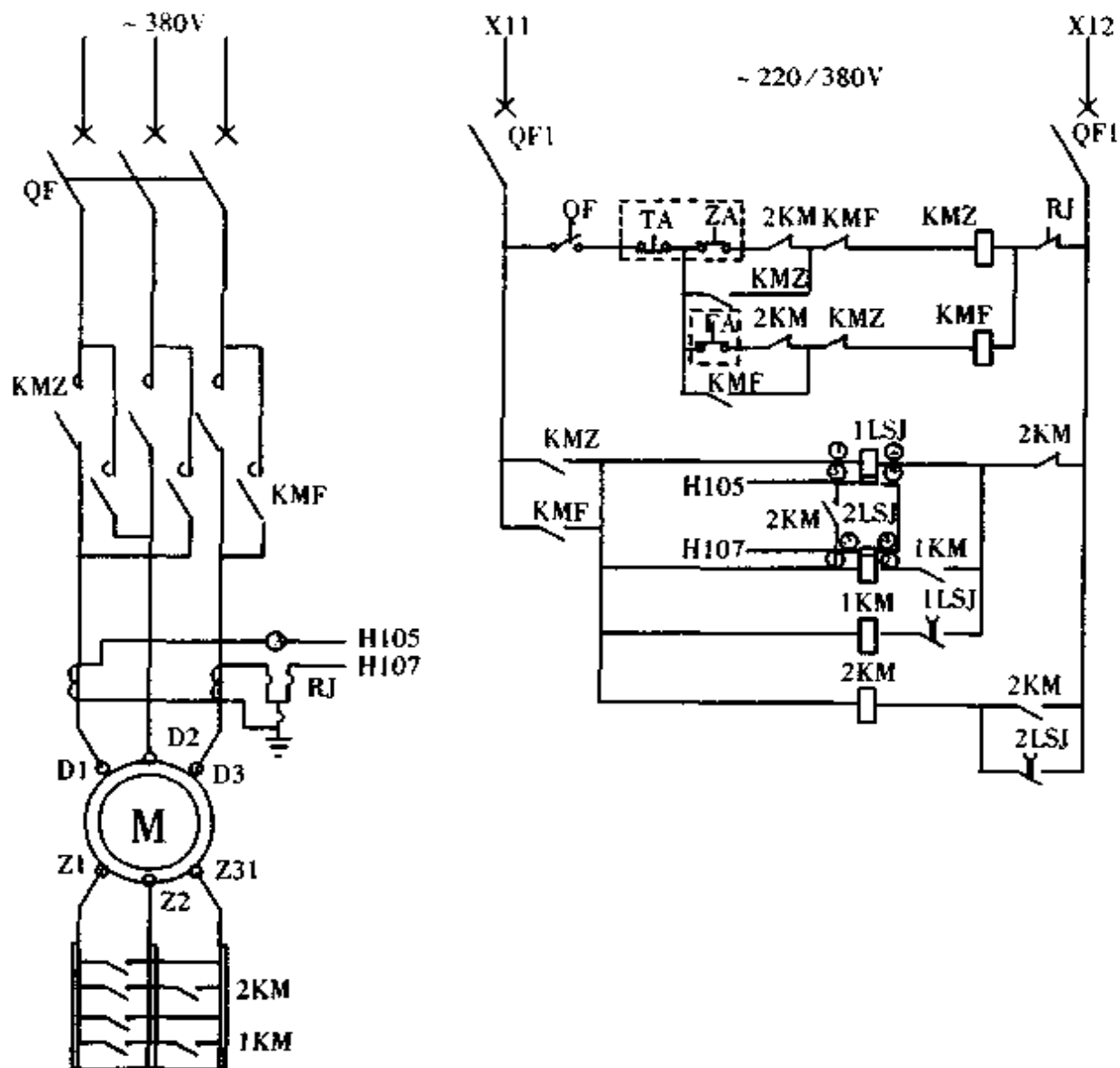


图 8.2.37 绕线型异步电动机转子串电阻(按定子电流原则切换)可逆控制线路

(10) 绕线型异步电动机转子串电阻(按时间原则起动,并带反接、能耗、电磁抱闸制动)可逆控制线路见图 8.2.38。

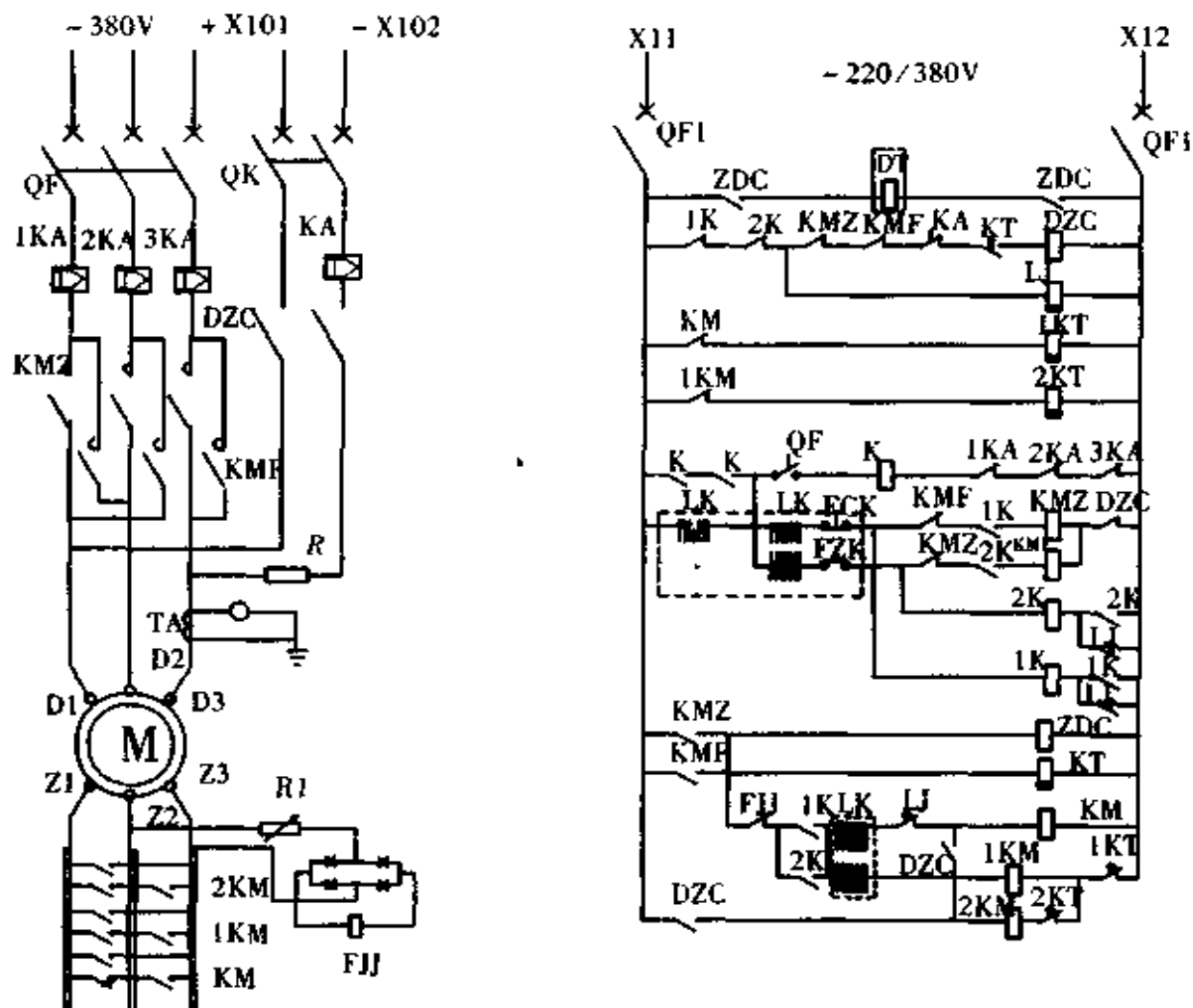


图 8.2.38 绕线型异步电动机转子串电阻(按时间原则起动,并带反接、能耗、电磁抱闸制动)可逆控制线路





(12) 绕线型异步电动机转子串频敏变阻器(按定子电流原则起动,并带能耗、反接、电磁抱闸制动)可逆控制线路见图 8.2.40。

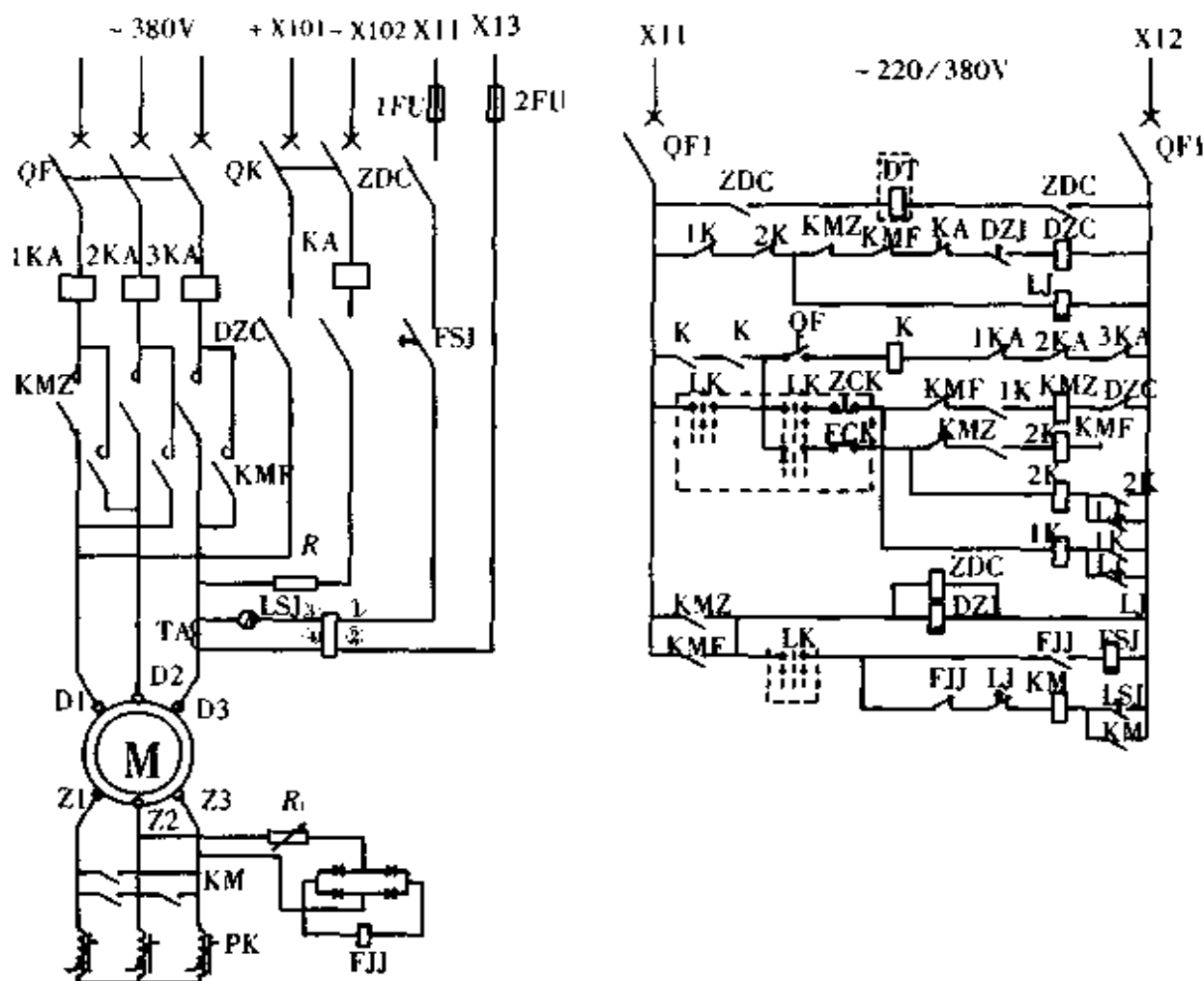


图 8.2.40 绕线型异步电动机转子串频敏变阻器(按定子电流原则起动,并带能耗、电磁抱闸制动)可逆控制线路

(13) 不可逆直流他励电动机电枢串电阻(按时间原则起动)控制线路见图 8.2.41。

(14) 可逆直流他励电动机电枢串电阻(按时间原则起动及带反接制动)控制线路见图 8.2.42。

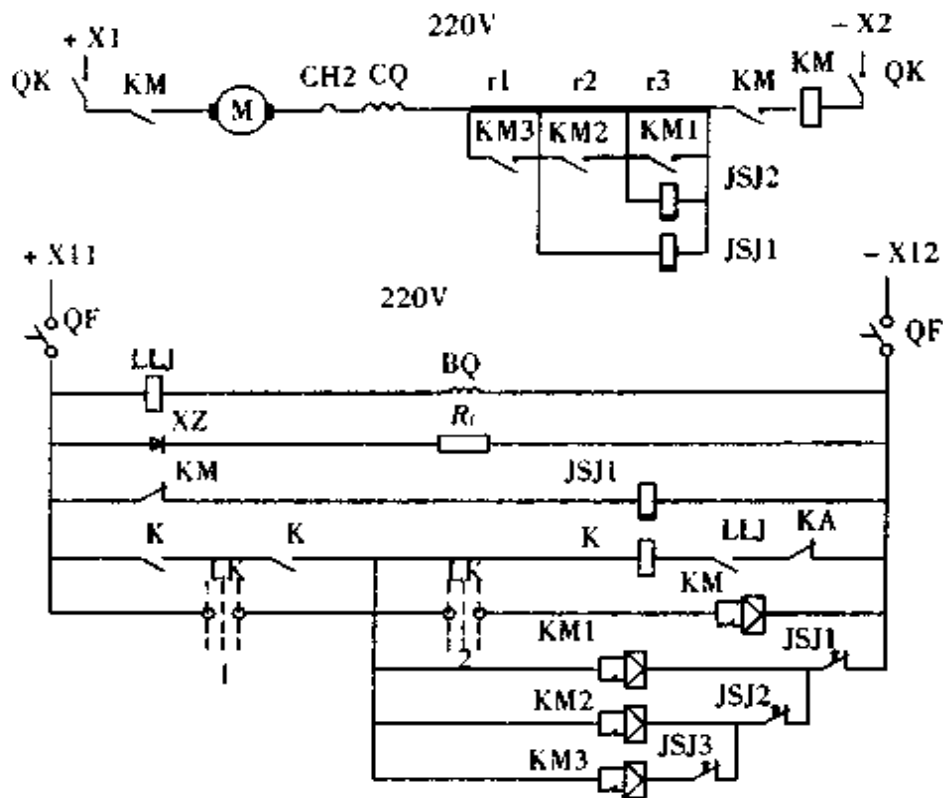


图 8.2.41 不可逆直流他励电动机电枢串电阻(按时间原则起动)控制线路

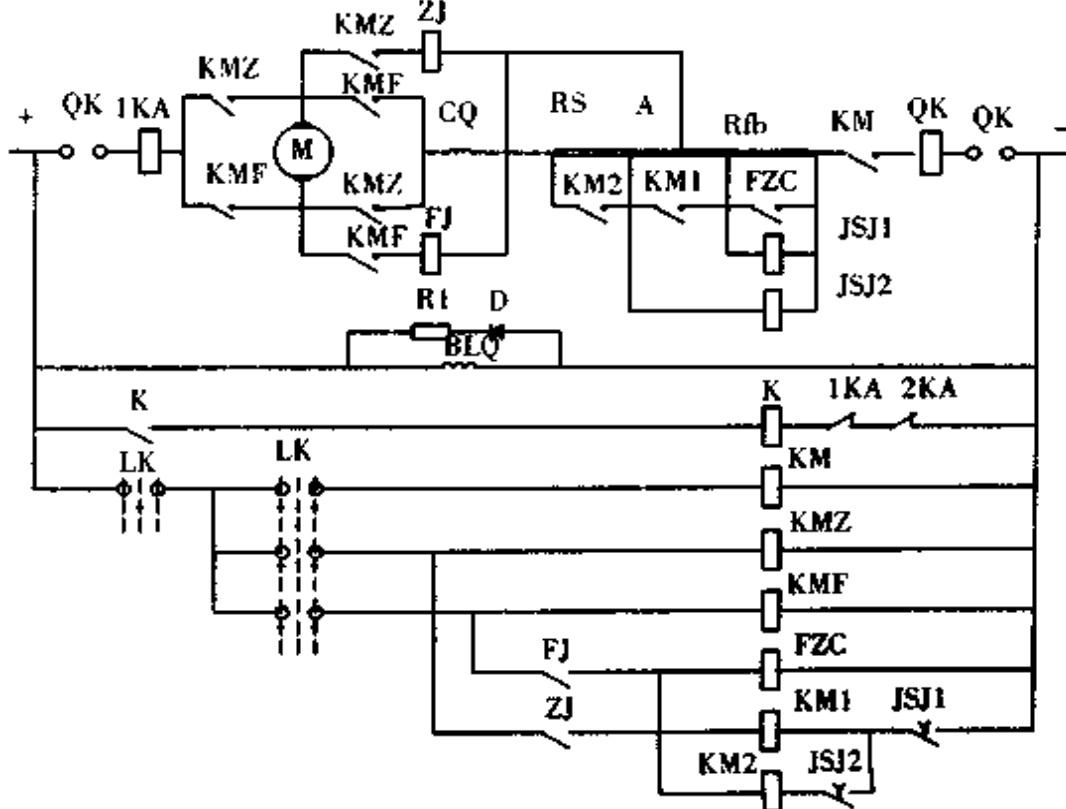


图 8.2.42 可逆直流他励电动机电枢串电阻(按时间原则起动及带反接制动)控制线路

## 第三章 电气传动调速系统

### 1 调速系统的静态指标

#### 1.1 转速变化率

转速变化率是指在某一调节转速下,负载由空载到额定负载变化,空载下转速 $n_0$ 与额定负载下的调节转速 $n$ 之差的相对值。即:

$$\text{转速变化率} = \frac{n_0 - n}{n} \times 100\%$$

对特殊负载(如风机),其转速变化率可另作规定。

#### 1.2 调速比(调速范围)

电动机在额定负载下,转速变化率不大于指定值时,最高工作转速到最低工作转速的可调范围称为调速比。即:

$$\text{调速比} = \frac{\text{最高工作转速}}{\text{最低工作转速}}$$

#### 1.3 调速平滑性

调速平滑性用调速时相邻两级转速比来说明。

无级调速时,该比值接近于1,为连续平滑调速。

#### 1.4 经济指标

选择调速方案除考虑上述技术指标外,还必须考虑经济指标,如:设备投资费、电能消耗、维修量、功率因数等。

## 2 直流电动机调速

### 2.1 直流电动机的调速方案

直流电动机的稳态转速  $n$  为:

$$n = \frac{U_0 - IR_a}{K_c \Phi}$$

由上式可推出三种基本调速方式,即:

- (1) 改变电枢回路电阻  $R_a$ ;
- (2) 改变电枢电压  $U_a$ ;
- (3) 改变电动机磁通  $\Phi$ 。

#### 2.1.1 改变电枢回路电阻调速

各种直流电动机均可按图 8.3.1a 所示。通过改变电枢串联电阻  $R$  的方式调速,如下式:

$$n = \frac{U - I(R_{1a} + R)}{K_c \Phi}$$

式中  $R_{1a}$ ——电动机电枢回路电阻;

$R$ ——外串电阻;

$U$ ——加于电枢及外串电阻上的总电压。

在一定负载下,电动机转速随着  $R$  的增加而减小,其机械特性见图 8.3.1b。 $R$  由接触器 1C、2C、3C 的开闭来改变。

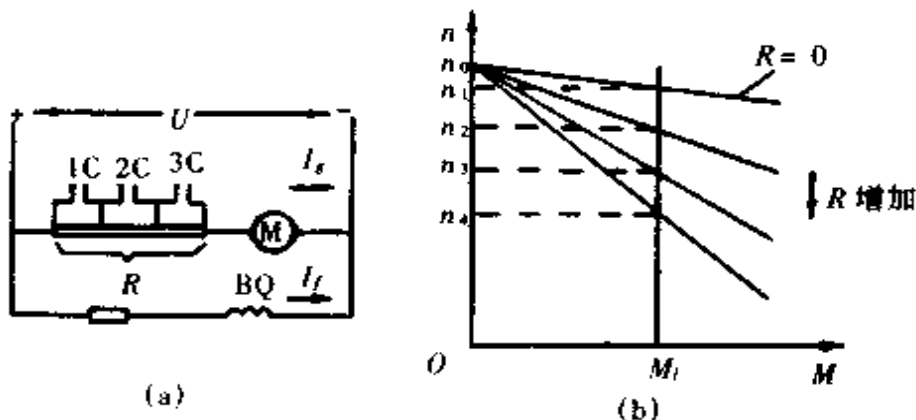


图 8.3.1 直流电动机电枢串电阻调速

(a)原理图 (b)机械特性

这种调速方案为有级调速,调速比约为 2:1,转速变化率大,轻载下难以得到

低速;低速时,调速电阻损耗大。但这种调速方法简单,可由公共电源供电,故仍被采用。

### 2.1.2 改变电枢电压调速

改变电动机电枢电压  $U_a$ , 可得到如图 8.3.2 的调速特性。这种调速方法属于恒转矩调速, 如果采用反馈控制系统, 调速比可达 50:1~150:1, 甚至更大。表 8.3.1 列出了各种变电压的调速方法。其中晶闸管变流装置已取代汞弧整流器变流装置, 并正在逐渐取代变流机组。

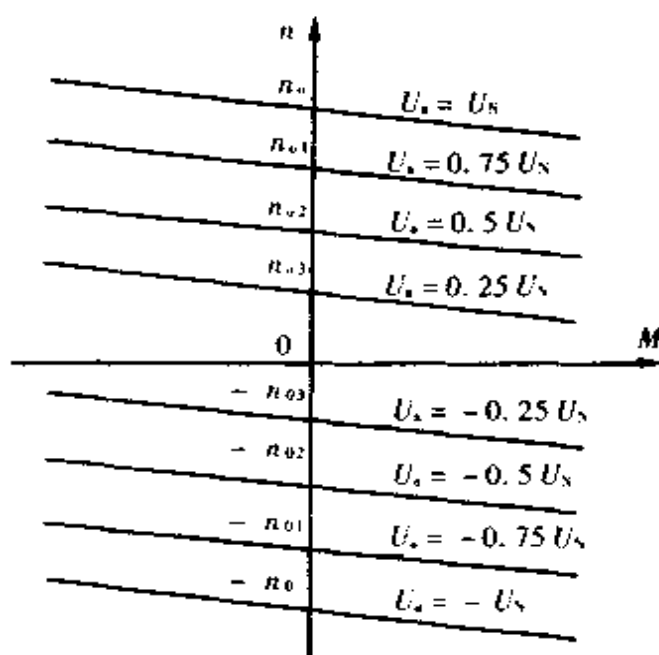


图 8.3.2 直流电动机变电压调速的机械特性

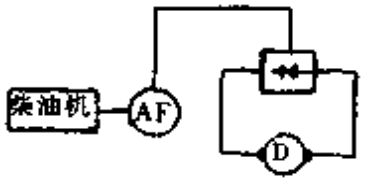
表 8.3.1 直流电动机变电压调速方法

变压方法	原理电路	装置组成	性能及适用场合
电动机-发电机组(旋转变流机组)		原动机可用同步电机、绕线异步电机(包括带飞轮和转差调节的机组)、笼型异步电机、柴油机等, 励磁方式有励磁机、电机扩大机、磁放大器、晶闸管励磁装置等。控制方式可有继电器接触器、磁放大器、半导体控制装置等	输出电流无脉动, 带飞轮的机组对冲击负载有缓冲作用, 带同步机的机组能提供无功功率改善功率因数。因有旋转机组效率较低, 噪音、震动大, 继电器接触器和电机扩大机控制时控制功率大, 构成闭环系统一般动态指标较差, 晶闸管励磁可提高动态指标

续表

变压方法	原理电路	装置组成	性能及适用场合
晶闸管变流器		包括交流变压器、晶闸管变流装置、直流侧电抗器、快速开关、半导体控制装置等	效率高, 噪音、震动小, 控制功率小, 构成闭环系统动态指标好; 但输出电流有脉动, 冲击负载时对电网有功及无功冲击大, 深控时功率因数低
直流斩波器		包括晶闸管、换相电感电容、输入滤波电感电容及半导体控制装置等	适用于公共直流电源或蓄电池组供电场合, 如电车、蓄电池车等机动车辆
交流调压器硅整流器		调压变压器、硅整流装置等	效率高, 噪音震动小, 输出电流脉动较小, 比供电功率因数有改善, 但实现自动调速较困难。适用于不经常变速小功率 (< 15kW) 手动开环控制场合
升压机组		与公共直流电源串联的直流发电机或晶闸管交流装置及相应的控制装置	适用于公共直流电源供电场合, 设备较经济, 但调速范围不大
汞弧整流器变流器		包括交流变压器、汞弧整流器变流装置、直流侧电抗器、快速开关、磁性或半导体控制装置等	与晶闸管变流器相似, 但效率较低, 有点弧设备, 维护工作量大, 并有水银蒸气污染等问题, 已被晶闸管变流器所取代
磁放大器		变压器、磁放大器、硅整流器及控制装置等	静止, 可靠性高, 适用于小功率场合, 效率及动态指标均较晶闸管系统低, 正被晶闸管变流器所取代

续表

变压方法	原理电路	装置组成	性能及适用场合
柴油机交流发电机-硅整流器		柴油发动机交流发电机、硅整流装置及相应的控制装置等	改变交流发电机 AF 电压,经硅整流装置整流得到可变直流电压,用于电动轮车等独立电源场合

在牵引机械调速方面,晶闸管斩波器调压调速已得到了应用。

变电压调速的特点是在空载或负转矩负载时也能得到稳定转速,能平滑调速,并可实现回馈制动。若配上各种调节器,可组成性能指标较高的调速系统。

### 2.1.3 改变磁通调速

当电动机电枢电压  $U_a$  一定时(通常为电动机额定电压),电动机转速随磁通的减弱而增加(成反比)。由于电机换向条件限制,电动机的允许工作转矩随转速升高而减小,故这种调速方式适用于恒功率调速。调速比一般为 1.5:1~3:1,特殊场合可达 5:1。

磁通的改变是通过改变励磁电压,从而改变励磁电流实现的。

在多台电动机由公共电源供电的场合下,通过改变某台电动机的磁通可进行单台电动机的调速。在单独电源供电的场合,把基速以下调压和基速以上调磁结合起来可得到更大的调速比。

根据调磁与调压的关系,调磁调压系统可分为独立控制与非独立控制两种。所谓独立控制系统,是指在这种系统中电动机的励磁不受电动机电枢电压控制。所谓非独立控制系统,是指在这种系统中电动机的励磁与其端电压有一定联系。图 8.3.3 是一个独立控制系统的例子。它不采用转速反馈,而具有电动机电枢电压和电动机励磁电流两个独立闭环。其中电压闭环由电压调节器 YT、发电机励磁电流调节器 FLT、发电机晶闸管励磁装置、直流发电机 G 及相应的反馈检测环节构成。电动机励磁电流闭环由磁通调节器  $\Phi T$ 、电动机晶闸管励磁装置及相应的反馈检测环节构成。这两个闭环彼此独立,电动机励磁与电枢电压无关。在基速以下,比较器 BJ 的输出为零,在电动机磁通给定  $\Phi_0$  的作用下使电动机保持额定磁通不变,给定积分器 GD 通过限幅器 XF 给出电动机电枢电压给定值,实现基速以下调速。在基速以上时,比较器 BJ 有输出,使电动机弱磁,实现基速以上弱磁调速。这时, XF 饱和(其限幅值即相应电动机额定电压),从而维持基速以上电动机电枢电压不变。图 8.3.3 系统中还将电动机电枢电流截止反馈加入到给定积分器中,当电流过大时减小积分器的输出,起过电流保护作用。

图 8.3.4 是一个非独立控制系统的例子。在基速以下,其工作情况与独立控制系统相似,比较器 BJ 的输出为零,在电动机磁通给定  $\Phi_0$  的作用下使电动机保

持额定磁通不变。给定积分器(GD)通过转速调节器(ST)、电流调节器(LT)、发电机励磁电流调节器(FLT)来改变发电机G的晶闸管励磁装置的输出电压,实现基速以下调速。当(GD)输出进一步增加,使电动机端电压升到某一预定值(例如95%额定电压)时,BJ有输出,使电动机开始弱磁。当电动机端电压达到额定值时(这时相当于GD输出达到最大值),电动机磁通减到最弱,速度最高。这样,电动机电枢电压从95%额定电压升到100%额定电压,使电动机实现基速以上的弱磁调速。由于是通过电枢电压来控制弱磁,故称为非独立控制系统。

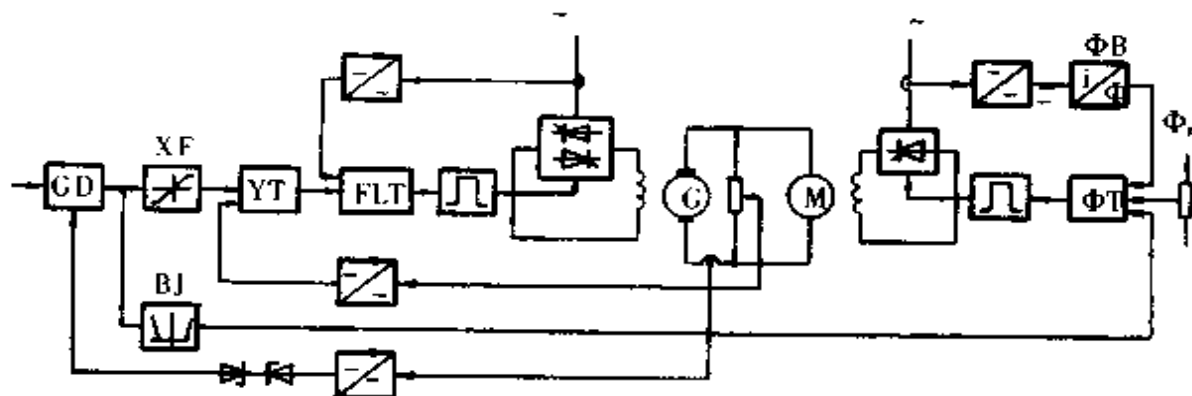


图 8.3.3 调压调磁独立控制系统

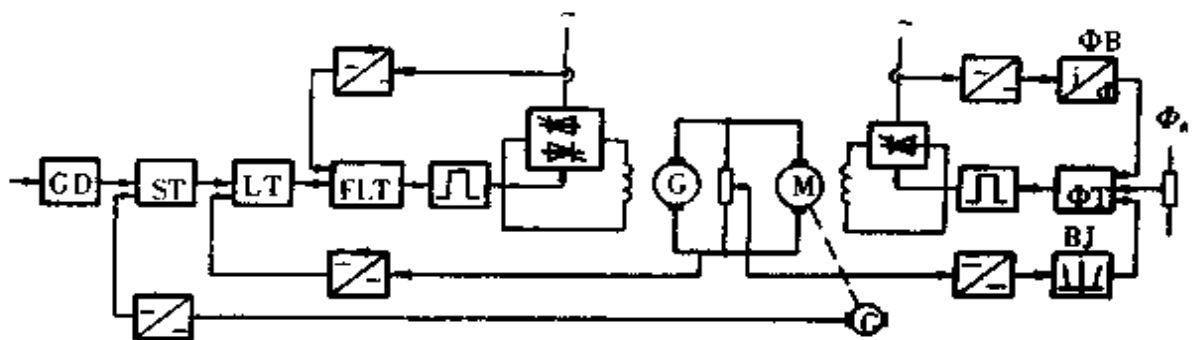


图 8.3.4 调压调磁非独立控制系统

一般说来,独立控制系统不用测速发电机,系统易于调整和稳定,适用于对调速精度要求不高的场合。非独立控制系统一般都用测速发电机反馈,适用于对调速精度要求较高的场合。非独立控制系统在弱磁后系统的放大系数和被控对象参数变化较大,系统容易振荡,调整比较麻烦。

近来,某些独立控制系统也采用测速发电机来提高调速精度。某些非独立控制系统亦可在弱磁过程中电枢电压不变,并通过采用转速适应调节等改善弱磁后系统的性能。



## 2.2 他励直流电动机调电枢电压的调速系统

这种系统需要一个可调电压的供电电源,它可以用直流发电机,也可以用晶闸管变流器。

晶闸管直传动与发电机电动机组相比,其主要特点是效率高、控制特性好、体积小、重量轻、易于安装、维护方便、噪音小等,在电气传动领域里获得广泛应用。

### 2.2.1 发电机—电动机调速系统

图 8.3.5 是发电机—电动机调速的原理图,改变发电机励磁电流就可以调节发电机电压从而改变电动机转速。当发电机励磁电流改变方向时,电动机可实现可逆运行。

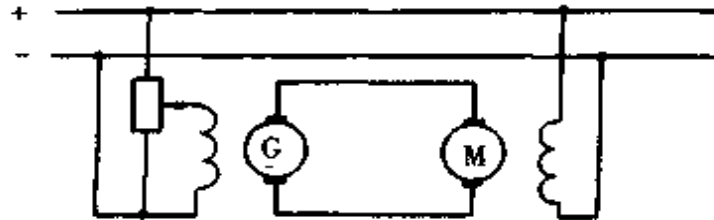


图 8.3.5 发电机—电动机调速

发电机的电压很低时,电动机在低速运转,由于剩磁和电枢反应的影响,特性变为非线性。此时若负载波动,电动机的转速便不稳定,使系统不能深调。停车时,由于剩磁影响造成系统爬行。在发电机励磁采用不可逆的变流器供电时,为了消除剩磁所带来的有害影响,在发电机上可以另配置一个恒定的励磁线圈,其磁势与给定绕组的磁势相反,以消除剩磁所产生的影响。

为了扩大调速范围,引入电流、电压及转速等反馈控制,以改善系统的控制性能,发电机的励磁往往用中间放大器控制。常用的放大器有交磁电机扩大机、磁放大器及晶闸管变流器等。

用交磁电机扩大机控制的 F-D 系统如图 8.3.6 所示。F-D 控制系统采用电机扩大机后可以实现各种反馈控制,调速范围可增加到 50:1。常用的控制线路有:电流截止电压反馈线路、电压截止电流反馈线路、相压电流相互截止线路、转速反馈控制线路等。现以电流截止电压反馈线路为例说明其应用。线路的特点是:

(1) 给定绕组 GDQ 建立扩大机的基本磁势  $A_{t_0}$ ,  $A_{t_0}$  在起动、反转及稳态运转时保持不变。 $A_{t_0}$  的大小比建立发电机额定电压所需的安匝大几倍,以便对发电机励磁进行强迫。

(2) 电压负反馈绕组 YDQ, 建立与发电机电压成比例的去磁安匝,其方向与  $A_{t_0}$  相反, YDQ 提高了发电机电压的稳定性,当负载变动时引起发电机电压  $U_t$  变化到要求值,达到自动调整的目的。但增加电压负反馈后降低了系统的电压放大系数。

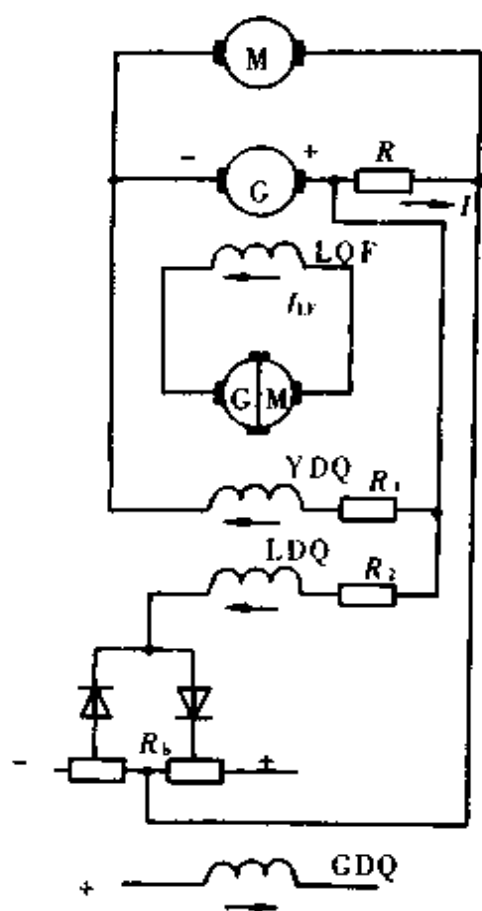


图 8.3.6 电流截止电压反馈控制

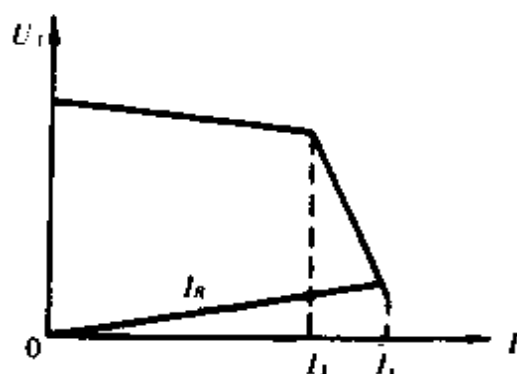


图 8.3.7 挖土机特性

(3) 电流反馈绕组 LDQ 建立与电流  $I$  成正比例的去磁安匝  $A_{t1}$ , 其方向与  $A_{t2}$  相反,  $A_{t1}$  限制主回路电流不超过允许值。

为了提高系统的快速性, 主回路电流在过渡过程中应尽可能丰满。为了改善电流波形, 在电流反馈回路中加上一个比较电压组成电流截止线路, 当主回路电流在电阻  $R$  上的压降小于或等于比较电压分压器  $R_b$  上的压降时, 即  $I \leq I_1$  (截止电流) 时, LDQ 不起作用,  $A_{t1} = 0$ 。当  $I > I_1$  时, LDQ 建立去磁安匝  $A_{t1}$ , 限制主电流的增长不超过允许值。此时负载特性迅速下降, 电动机速度很快下降。当电流  $I = I_2$  (堵转电流) 时, 电动机处于堵转状态, 形成挖土机特性, 如图 8.3.7 所示。  $I_1$  和  $I_2$  取决于电动机的过载能力, 对冶金型电机, 一般  $I_1 = 1.6I_N$ ,  $I_2 = 2.1I_N$  ( $I_N$  为电动机的额定电流)。

### 2.2.2 晶闸管变流器供电的不可逆调速系统

采用转速反馈控制原理工作的系统见图 8.3.8。控制系统由电流内环和转速外环组成。这种双闭环系统具有精度高、反应快、易于稳定等特点, 在晶闸管变流

器供电的调速系统中是常用的。电流环和速度环配合,可获得固定的限流特性。此外,对电网电压波动可以迅速补偿,使转速免受电压波动的影响。速度环用于电动机转速控制,其输出为电流环的给定,对速度调节器进行限幅控制,即可改变电流的最大值。

有些电气传动装置,机械设备不允许承受剧烈的冲击,要求平滑加速,在系统的主令信号中可设定给定积分器。在给定积分器加上阶跃信号时,其输出信号总是按整定的斜率上升。

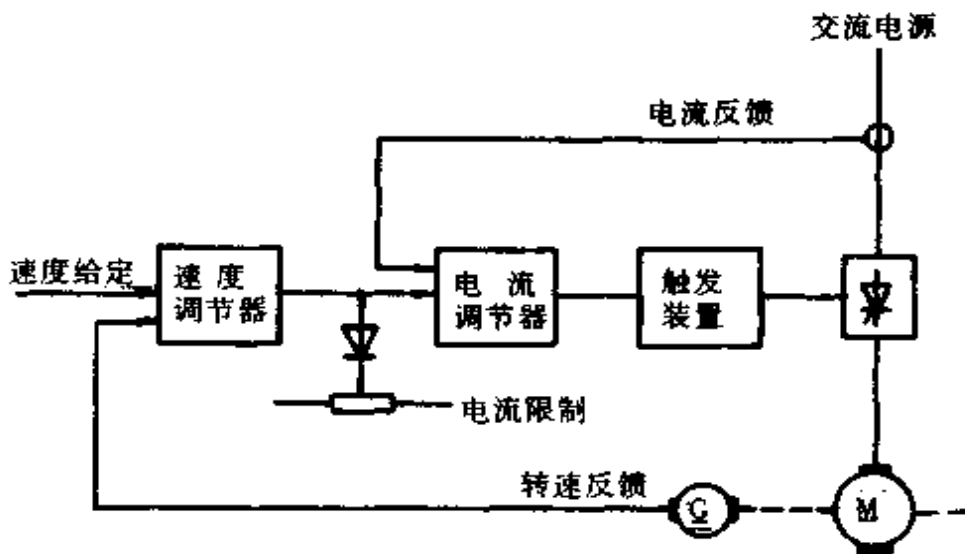


图 8.3.8 不可逆调速系统

晶闸管传动系统,设置常用的过流保护、过压保护、失磁保护、超速保护等。还可用控制极封锁过流保护。这时要判断系统是工作在整流状态还是逆变状态。如在整流状态时可直接封锁控制极;如在逆变工作状态工作,则先把脉冲移向最大逆变,经延时后再封锁控制极。

双闭环控制的晶闸管变流器供电系统虽有许多优点,但电流上升率不易限制与调节。晶闸管变流器的电压—电流特性,在电流断续和电流连续时不一样,在截止频率较低时,电流环的响应在电流断续时比电流连续时慢得多,给调速系统的稳定性带来不良后果。所以目前某些调速系统中,在电流调节环内又增设了反应较快的电压调节环或电流变化率环,或采用电流自适应调节器,用以补偿变流器电流断续和连续时的非线性。鉴于电流变化率环实现比较容易,故用得较广。

对于控制轧钢机主传动,已采用图 8.3.9 带电流变化率控制的电流调节器。

采用了电流变化率反馈,可以限制  $\frac{di}{dt}$ ,改善变流器在电流断续时的非线性,改善电机换向条件,逆变时可防止晶闸管换弧失败,改善系统在电流断续时的动态特性。

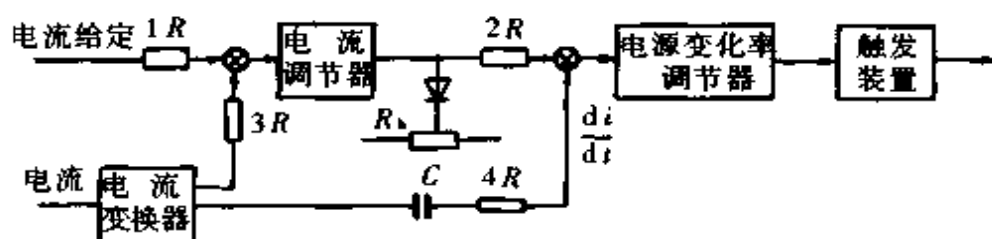


图 8.3.9 带电流变化率控制的电流调节器

某些系统对转速精度没有太高要求时,可以用电压反馈代替转速反馈,图 8.3.10 是带电流限制的电压控制系统。在电动机电流小于整定电流限制值时,系统按电压反馈进行工作。如果电动机电流大于整定的电流限制值时,由于二极管的导通,使电压反馈控制转换成电流反馈控制,限制电流增加。

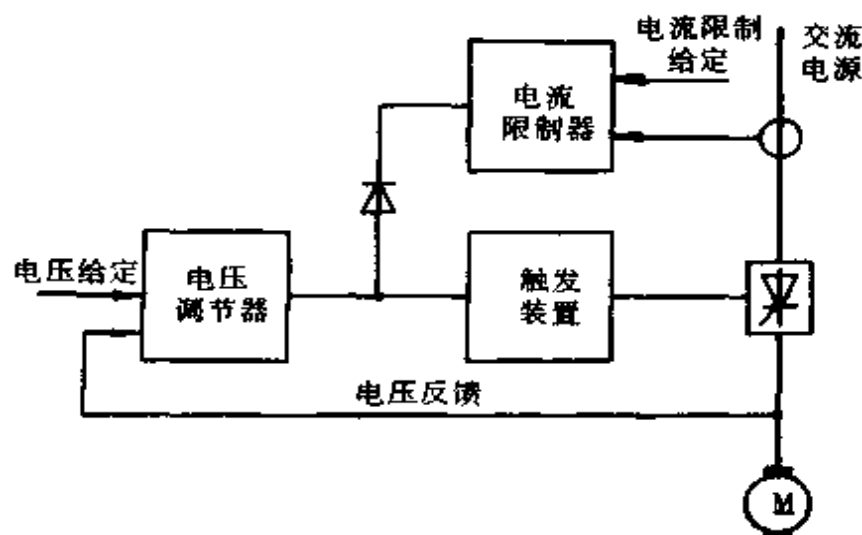


图 8.3.10 带电流限制的电压控制系统

有些生产机械如卷取机,在生产过程中要求保持张力恒定,这种系统通常采用电流控制,图 8.3.11 为带转速限制的电流控制系统。系统中设有电流调节器、速度调节器和电流综合放大器。正常工作时,电动机在电流反馈控制下具有软特性(即负载增加时速度降落很大),使速度调节器于饱和状态下工作,其饱和输出值由电流综合放大器的输出值所限定,对电流调节器相当于给定电流,只要改变电流综合放大器的给定,就可以改变电动机的电流值,从而达到电流控制的目的。但是在特殊状态下,例如卷取机断带,负载电流突然下降,由于系统是电流控制,电动机将不断加速,这是生产机械不允许的。为此,系统中设置速度调节器,断带后自动地由电流控制转换成速度控制,防止转速的继续上升。

某些生产机械低速时需要大转矩工作,高速时转矩容许相应降低,通常采用先升压后弱磁的所谓非独立控制系统。其控制原理和控制特性分别见图 8.3.12 和图 8.3.13。

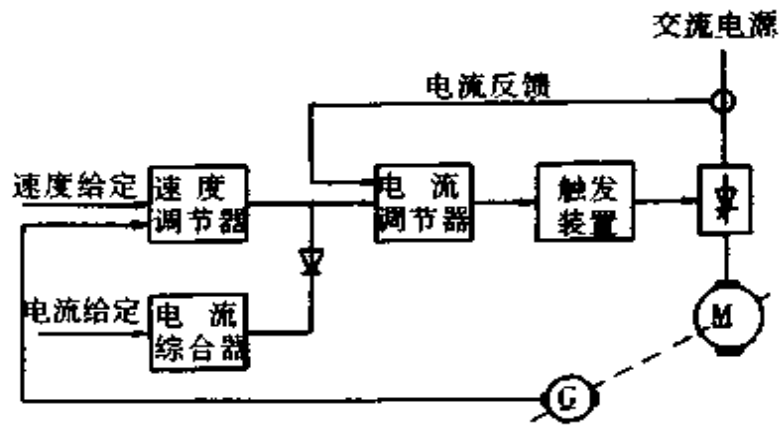


图 8.3.11 带转速限制的电流控制系统

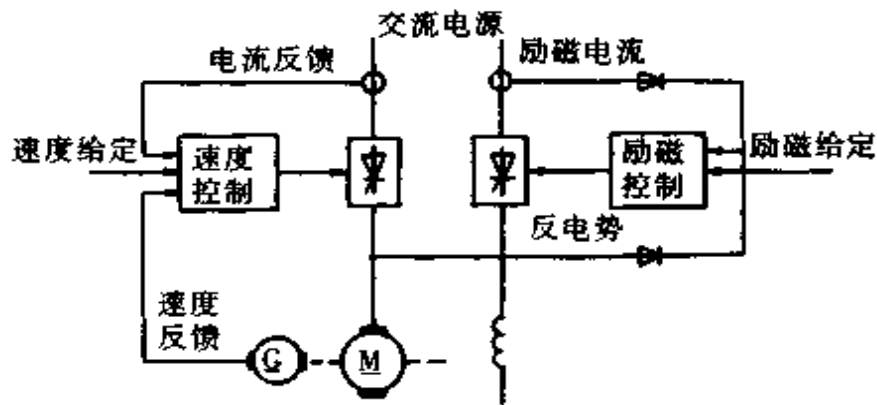


图 8.3.12 非独立控制系统的控制原理

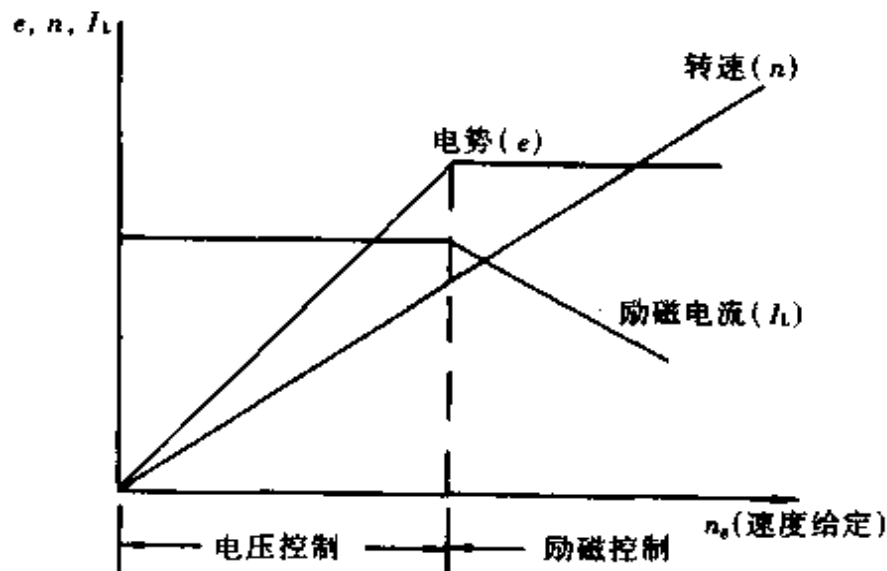


图 8.3.13 非独立控制系统的特性

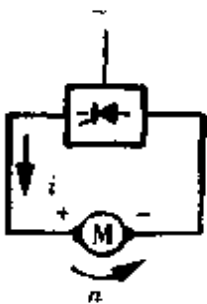
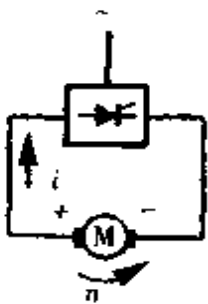
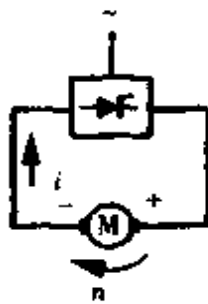

在电动机励磁调节回路中设有一个或门,分别控制励磁电流反馈和电势反馈,两个值中选择其中较大的一个值起作用,系统参数的选择使电动机在基速(电动机反电势在95%额定电势时)以下,励磁电流反馈起作用,保持励磁电流恒定。到达95%额定电势后,电势反馈投入工作,系统自动地由励磁电流反馈转入电势反馈,转速增加,磁通减小,电势不变;直到电动机转速和要求的给定速度相等时为止。

这种控制方式操作简便,能获得最大的加减速转矩,缩短过渡过程时间,因而在传动系统中广泛应用。要改善系统的动态性能,随着磁通的改变,应使转速调节器有自适应能力。

### 2.2.3 晶闸管变流器供电的可逆传动系统

许多生产机械要求电气传动系统能在机械特性的四个象限运行,即有表8.3.2中的四种工作状态。由于晶闸管元件的单向导电性,只用一套变流器时只能实现I、IV(或II、III)象限工作。

表 8.3.2 可逆传动的四种工作状态

I 正向工作	II 正向制动	III 反向工作	IV 反向制动
电枢电压 +	电枢电压 +	电枢电压 -	电枢电压 -
电枢电流 +	电枢电流 -	电枢电流 -	电枢电流 +
电动机转速 +	电动机转速 +	电动机转速 -	电动机转速 -
晶闸管状态 整流	晶闸管状态 逆变	晶闸管状态 整流	晶闸管状态 逆变
			

实现四个象限运行,有图8.3.14所示的三种方法。即:

- (1) 电枢用一套变流器,用切换开关反向(图 a)。
- (2) 电枢用一套变流器,磁场反向(图 b)。
- (3) 电枢用二套变流器可逆运行(图 c)。

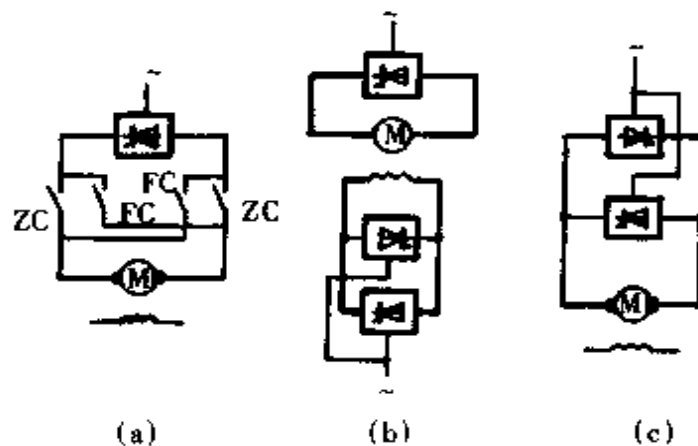


图 8.3.14 直流电动机可逆传动三种方式

表 8.3.3 直流电动机可逆方式比较

比较项目	电枢一套变流器， 开关切换	电枢一套变流器， 磁场反向	电枢两套变流器， 电枢反向
设 备	1 电枢变流器一套 2 电枢回路切换开关 3 切换逻辑	1 电枢变流器一套 2 励磁变流器两套 3 切换逻辑	1 电枢变流器两套 2 无环流切换逻辑或环流电抗器
性 能	有触点开关快速性差，正反转开关切换死时0.2~0.5s，减速时开关要切换两次 采用无触点开关可将切换死时减少到0.1s	快速性差，正反转磁通反向时间几百毫秒到1秒，减速时磁通要切换两次	快速性好，切换死时零至几十毫秒
可 靠 性	主回路不会产生环流，有触点开关维护工作量大，寿命低	主回路不会产生环流，无触点切换，要求有可靠的可逆励磁回路	要求触发器、逻辑切换可靠及抗干扰能力强
系统与投资	系统简单，投资少	系统复杂，但投资较少	系统较简单，但投资大
适用场合	正反转调速不频繁，受开关容量限制，一般在几十千瓦以下，如吊车等	正反转调速不频繁，对调速精度要求不高，容量几十到几千千瓦，如卷扬机等	正反转调速频繁，容量从几到几千千瓦，如轧机主、辅传动，可逆运转机床等

表 8.3.3 对三种方式进行了比较。下面作进一步介绍。

2.2.3.1 电枢用晶闸管变流器供电开关反向 电枢用一套晶闸管变流器供电，由切换开关反向的系统如图 8.3.15 所示。当正向接触器 ZC 闭合，反向接触器 FC 断开时，系统处于 I、IV 工作状态。当 FC 闭合，ZC 断开时，系统处于 II、III 工作状态。

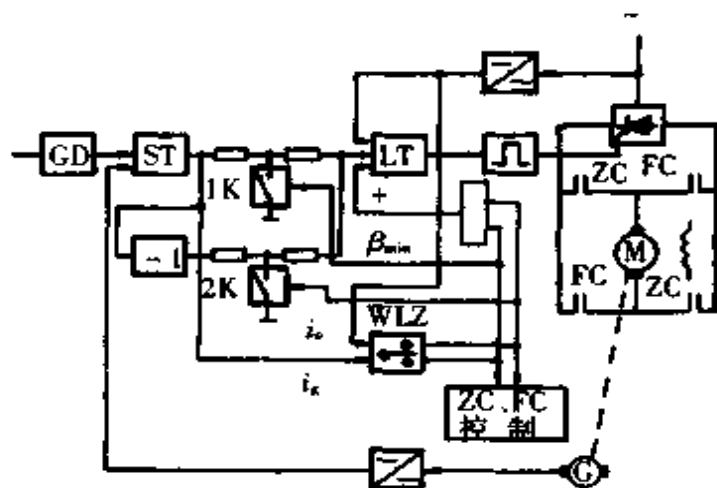


图 8.3.15 电枢用切换开关反向的可逆系统

ZC、FC由无环流转换逻辑WLZ来控制，WLZ根据电枢电流给定信号 $i_a$ 的极性及电枢零电流信号的情况，保证FC与ZC的切换只在电枢电流为零的情况下进行。在切换期间，电枢电流及电动机转矩均为零。为了防止切换后的电流冲击，当WLZ发出切换指令时，在电流调节器LT再附加一个 $\beta_{min}$ 信号，该信号通过LT把触发脉冲推到最小超前角 $\beta_{min}$ 处。

由于只用一套晶闸管变流器，所以无论正向工作与反向工作，加到电流调节器LT的给定信号极性应相同。在正向工作时，电子开关2K闭合，1K打开，转速调节器ST输出直接加到LT上；当反向工作时，GD输出极性改变，ST输出极性改变，但这时2K打开，1K闭合，ST输出经反号器加到LT上，保持了LT给定信号极性不变。

这种系统利用开关反向，切换开关维护工作量大，开关寿命较短，正反向切换零电流死区时间为0.2~0.5s，故仅适用于小功率、不频繁切换的场合。

为了避免采用大电流切换开关所带来的缺点，可用图8.3.16所示的以晶闸管无触点开关代替有触点开关的可逆系统。这种系统可减少开关的维护和减少正反向切换零电流“死时”，但设备费用增加。

在图8.3.16系统中，用晶闸管开关 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 来代替图8.3.15系统中的切换开关ZC、FC。晶闸管开关则分别由继电器ZJ、FJ来控制。ZJ接通，FJ断开时， $Z_1$ 、 $Z_2$ 接通， $F_1$ 、 $F_2$ 断开。反之，ZJ断开，FJ接通时， $F_1$ 、 $F_2$ 接通， $Z_1$ 、 $Z_2$ 断开。而ZJ、FJ的控制方式则与图8.3.15中ZC、FC的控制方式完全相同。

2.2.3.2 电枢用晶闸管变流器供电磁场反向 图8.3.17为这类系统的原理图。励磁绕组可由一套变流器供电和开关反向，也可由两套变流器可逆供电。通常是用后一种方式。

由于励磁绕组时间常数很大，若要缩短反转时间，励磁绕组需要加很大强迫电



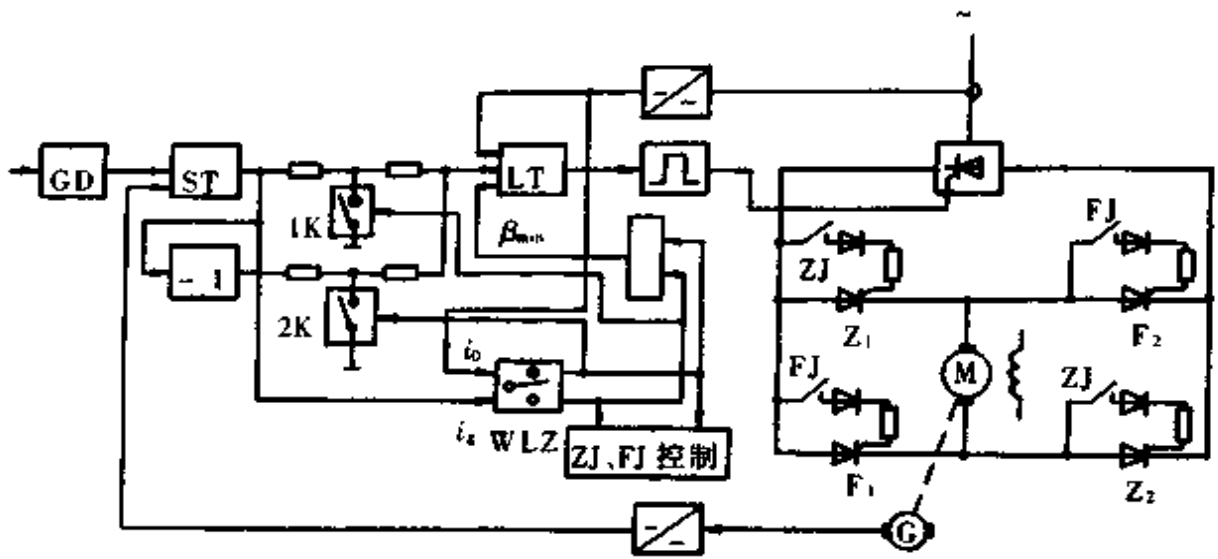


图 8.3.16 用晶闸管开关切换的可逆系统

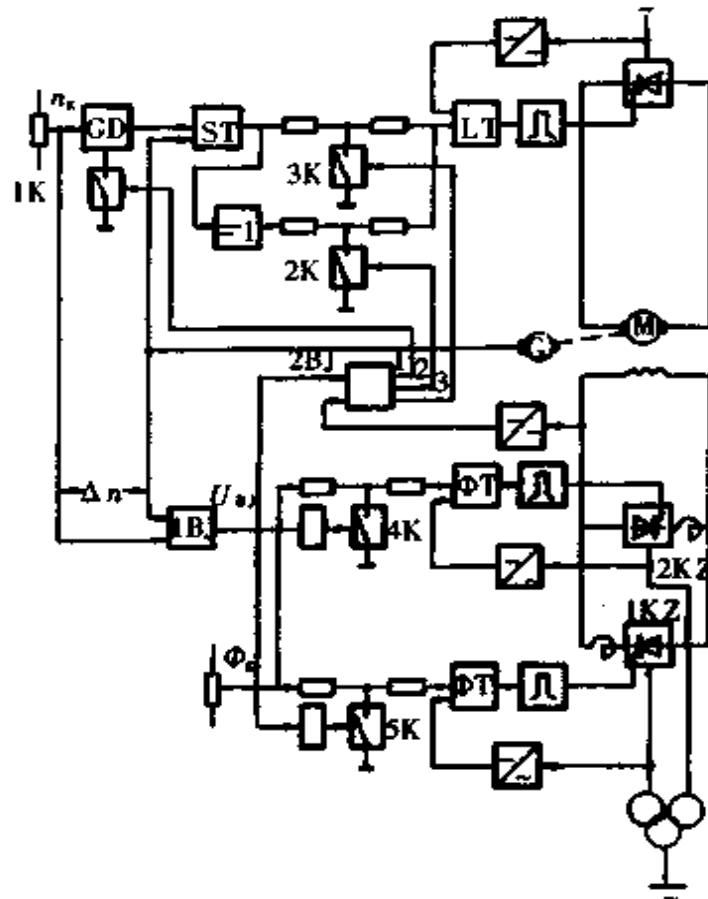


图 8.3.17 磁场反向的可逆系统

压,甚至可达十几倍额定励磁电压值。在反转过程中,不仅励磁电流反向需要时

间,而且磁通对励磁电流还有涡流滞后(在某些大型整体铸钢定子电机中,滞后可达1s以上),故在正反时,电流存在数百毫秒甚至更大的过零死时。在由高速到低速的减速过程中,为了从高速到低速制动,电动机磁场先要从正到反地反向一次,当制动完毕后,电动机磁场又要从反到正再反向一次。磁场要切换两次,响应更慢。

以图8.3.17的系统为例来说明这类系统的特点与工作原理:

(1) 必须采用测速反馈。用比较器1BJ判别转速偏差 $\Delta n$ 的极性。用比较器2BJ根据 $\Delta n$ 与电动机励磁电流的极性关系,控制电子开关1K、2K、3K,使在磁场反向期间给定积分器GD输出保持不变和使电枢电流调节器LT输入为零。

(2) 当需要制动或反向时, $\Delta n$ 的极性改变,1BJ的输出 $U_{W1}$ 极性亦随之改变,通过电子开关4K、5K使电动机励磁电流迅速反向,以获得制动力矩。当 $U_{W1}$ 为正时,4K闭,5K开,励磁晶闸管变流器1KZ工作,流过正向励磁电流。当 $U_{W1}$ 为负时,4K开,5K闭,励磁晶闸管变流器2KZ工作,流过反向励磁电流。

(3) 在励磁电流方向改变前,不希望电动机产生力矩,因此必须使电动机电枢电流为零。在这期间,2BJ的两个输入量极性必然相反,其输出端2、3的电平均为“1”,使2K、3K均闭合,LT输入为零。此外,在此期间,2BJ输出端1的电平亦为“1”,1K闭合,使GD的输出在此期间维持不变,避免励磁电流换向完成后产生电流冲击。

(4) 当励磁电流方向改变后,2BJ的两个输入量极性必然相同。这时其输出端1、2、3的电平根据输入量的极性而定。若输入量极性为负(代表转速应为负),则输出端1、2的电平均为“0”,输出端3的电平为“1”,使1K、2K断开,3K闭合,转速调节器ST输出经反号器送到LT,电动机反向工作。若输入量极性为正(代表转速应为正),则输出端1、3的电平均为“0”,输出端2的电平为“1”,使1K、3K断开,2K闭合,ST输出直接送到LT,电动机正向工作。图8.3.18为此系统从正向到反向过程中各有关参数的变化过程。

**2.2.3.3 两套晶闸管变流器可逆供电** 两套变流器的接线方式一般有三种,如图8.3.19所示。表8.3.4对这三种接线方式进行了比较。

为了得到低脉动的十二相整流效果,在某些大功率场合可采用变压器分别为 $\Delta$ 和Y接法的两组三相桥式整流线路并联,如图8.3.20所示的系统。

由两套变流器组成的可逆系统,正反向时电流过零死时很小或可消除,响应快,目前大多可逆系统采用这种系统。但由于用两套变流器,增加了设备投资。

根据在两套变流器之间有无环流存在,这种可逆系统分为无环流与有环流两大类。

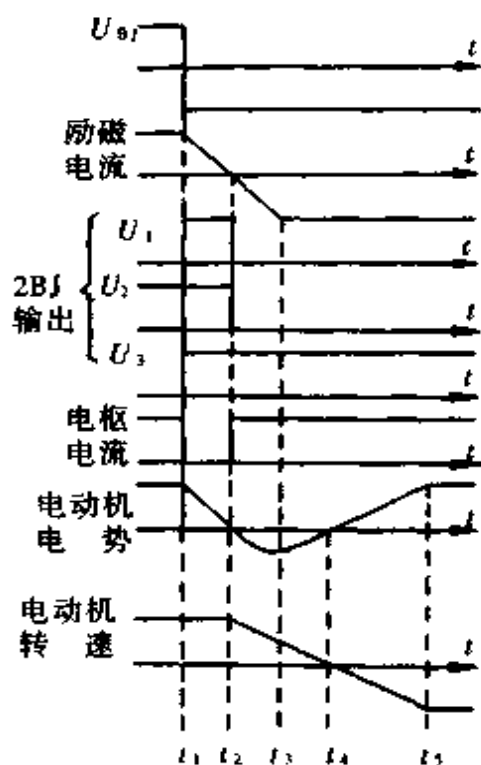


图 8.3.18 磁场反向可逆系统从正转到反转各参数的变化过程

$t_1$ —转速偏差极性改变  $t_2$ —制动开始  $t_3$ —磁场反向完成

$t_4$ —反转开始  $t_5$ —反转完毕

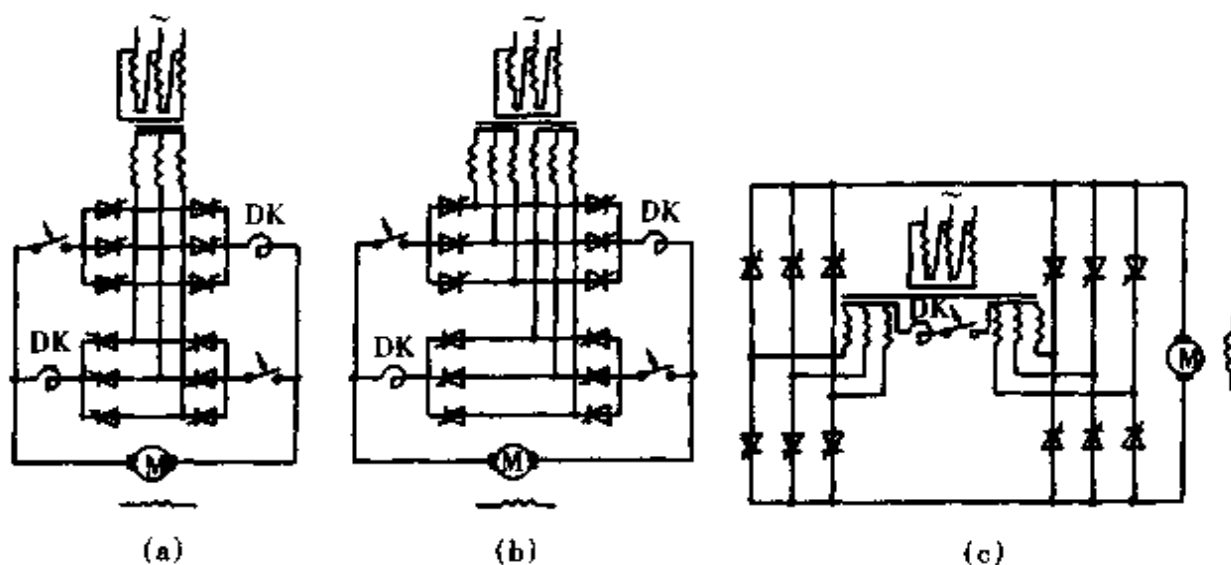


图 8.3.19 电枢用两套变流器可逆供电的三种接线方式

(a)反并联 (b)交叉 (c)“H”接线

表 8.3.4 电枢用两套变流器可逆供电三种接线方式比较表

反 并 联	交 叉	“日” 接 线
1. 适用于无环流工作, 若用于有环流, 环流较交叉大, 两组变流器之间由于共用变压器次级, 相互干扰较大, 可靠性较差 2. 变压器利用好, 等值容量小( $1.05p_d$ ) <sup>①</sup> 3. 电抗器、开关各两台, 若元件直接反接无环流时, 电抗器、开关只需各一台 4. 无环流工作时有零电流死时 5. 目前用得最多	1. 适用于有环流工作, 环流较小 2. 需用两个变压器, 交叉相互干扰小, 可靠性较好, 但变压器利用率较差, 等值容量大( $1.26p_d$ ) 3. 电抗器、开关各两台 4. 有环流, 故无零电流死时, 但有环流损耗 5. 在某些对动态要求较高或可靠性较高的场合仍应用较多	1. 适用于无环流工作 2. 变压器利用率较差, 等值容量大( $1.26p_d$ ) 3. 电抗器、开关只各需一台, 较经济 4. 有零电流死时, 电流检测接线复杂 5. 目前用得较少

注: ①  $p_d$  为变流装置的理想直流输出功率。

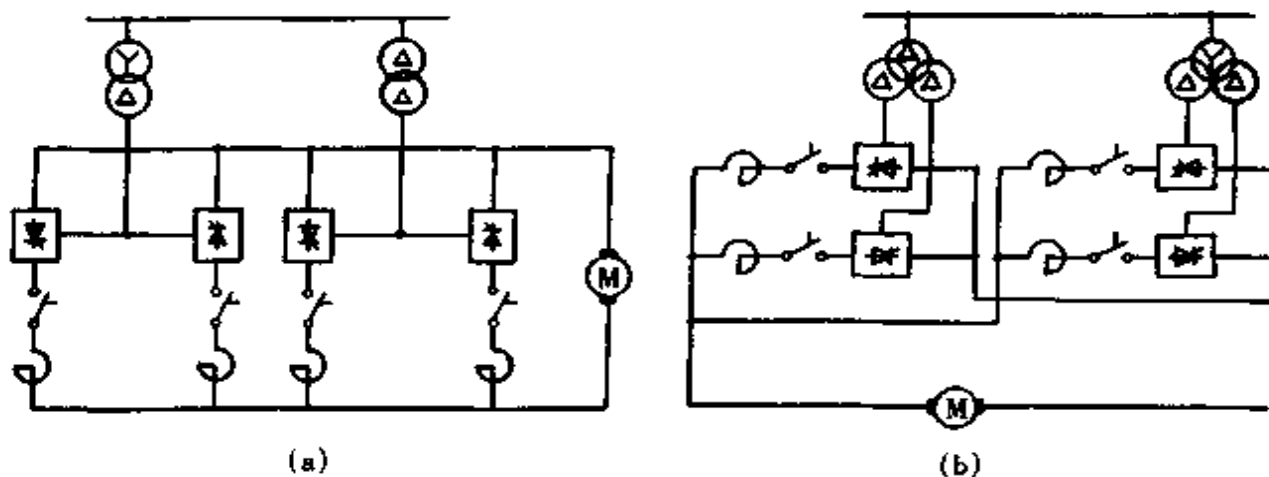


图 8.3.20 十二相变流线路

(a)反并联接线 (b)交叉接线

无环流类系统,按无环流的控制方式又可分为逻辑无环流与错位选触无环流两种。前者按切换时待工作的晶闸管变流器的情况,还分为无切换准备与有切换准备两种。

有环流类系统,按环流的控制方式又可分为自然环流( $\alpha = \beta$ 方式)、恒定环流,小电流时恒定环流、大电流时无环流三种。

有关这些系统的工作原理及性能将在下面说明。表 8.3.5 给出了这些系统的比较。

表 8.3.5 两套变流器电枢可逆系统方案比较

线路	有环流交叉线路			无环流反并联线路		
	$\alpha = \beta$ 控制	恒定环流控制	小电流有环流 大电流无环流	逻辑无环流		错位选触无环流
				无切换准备	有切换准备	
主回路设备	正反两组变流器由独立的变压器次级绕组供电,利用率低(三相桥式线路 $S_T/p_d = 1.26$ );快速开关 2 台;环流电抗器 2 台(兼限制电流脉动)			正反两组变流器共用变压器次级,利用率高(三相桥式线路 $S_T/p_d = 1.05$ ),快速开关 2 台;直流电抗器 2 台限制故障 $di/dt$ 及电流脉动(在某些晶闸管元件直接反并联的系统中,只用一台快速开关与一台直流电抗器)		
控制回路	不必设环流调节器 触发器 2 台	环流调节器 2 台 触发器 2 台	环流调节器 2 台 触发器 2 台	无环流切换逻辑,触发器一台(或把功率级分开),为改善小电流切换时性能可增设 $di/dt$ 调节器或其他措施	无环流切换逻辑,触发器一台(或功率级分开),并增设电势跟随调节器、电子开关、电流检测光电隔离器等措施	必须设电压内环(电压检测及调节器),仍需要简单的切换逻辑和触发器一台(或功率级分开),进一步提高性能亦需电流检测光电隔离器等
性能	环流随滞后角而变,无法控制	环流保持恒定	小电流有环流,大电流无环流。减少环流损耗和装置容量	按三阶预期选电流调节器参数时,切换零电流死时一般为 30~100ms,采取 $di/dt$ 调节器或其他措施,死时可到 10~15ms	切换零电流死时可减小到 0.8~3.3ms,平均 2ms	切换零电流死时一般 6~20ms,进一步提高性能可减小到 3.3ms
	在环流连续条件下平滑过渡,无切换死时			有切换零电流死时,但无环流,可减小损耗及设备容量		

注:①  $S_T$  为变流变压器的等值容量,  $p_d$  为变流装置的理想直流输出功率。

2.2.3.4 晶闸管变流器供电的无环流可逆系统 无环流可逆系统是通过控制两套晶闸管变流器的触发脉冲,使两套变流器按照需要处于工作或封锁状态实现可逆运行。在任何情况下只有一套变流器工作而另一套变流封锁,因此在两套变流器之间不产生环流。

由于变流器只有在其电流为零之后才能恢复其封锁能力,因此,对这类系统切换控制的基本要求是:按照给定的电流极性,并在晶闸管中的电流确实为零的条件下进行二套变流器的切换。常用的切换控制方式有逻辑控制(或叫逻辑无环流)与错位选触控制两种。采取适当措施,这两种控制方式可得到相近效果。

(1) 逻辑无环流系统。逻辑无环流系统可分为无切换准备与有切换准备两

种。图 8.3.21 是无切换准备的逻辑无环流系统。以从正转到反转的过程来说明这种系统的工作原理。

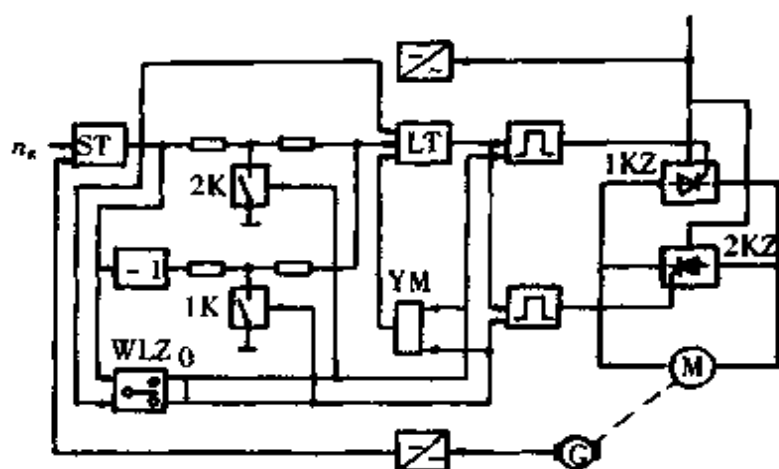


图 8.3.21 无切换准备的逻辑无环流系统

正转时,无环流转换逻辑单元 WLZ“0”端为低电平,“1”端为高电平,电子开关 1K 闭合,2K 打开。转速调节器 ST 的给定  $n_r$  为正,ST 的输出加到电流调节器 LT 的输入,变流器 1KZ 工作,2KZ 封锁,电动机正转。当反转时, $n_r$  极性改变,LT 输出改变极性,1KZ 从整流状态变到逆变状态,主回路电流迅速减小。在主回路电流到零之前,WLZ 输出电平不变,1K 仍闭合,2K 打开。待主回路电流到零后,WLZ “0”端与“1”端均为高电平,1K、2K 均闭合,“与”门 YM 有输出。LT 输出将 2KZ 的触发脉冲移到  $\beta_{min}$  处(即所谓推  $\beta$ )等待参与工作。待 WLZ 切换延时结束后,WLZ 的“0”端仍为高电平,“1”端变为低电平,YM 输出为零,推  $\beta$  信号取消。这时 2K 闭合,1K 打开,ST 输出经反号器送入 LT,LT 将 2KZ 的触发脉冲从  $\beta_{min}$  向  $\beta$  增加方向移动,电动机电枢电流反向,电动机继续制动到零速并反向加速,直到与  $n_r$  相对应的转速为止。

图 8.3.21 系统反向时零电流死时较大。其中小部分是 WLZ 本身的切换延时,约 5ms;大部分是由于 LT 具有积分作用,故当推  $\beta$  信号取消后,其输出要经一段时间才能使晶闸管电压达到与电动机电势相适应的数值,电枢才出现反向电流。这一部分死时还与电动机工作状态有关,有时可达 100~200ms,如图 8.3.23a 所示。死时大,不仅会引起转速和电流超调,而且会使转速环振荡。改变电流调节器参数和接线可以减少死时,例如将图 8.3.22a 串联式 PI 调节器改成图 8.3.22b 并联式 PI 调节器,或采用图 8.3.22c 带  $di/dt$  内环控制的电流调节器,这样不但可减小死时,而且可改善电流断续后系统性能(死时可减小到 14ms,如图 8.3.23c)。

为了进一步改进无环流切换的性能,可采用有切换准备的逻辑无环流系统。所谓有切换准备,就是电流反向时,待参加工作的那一组变流器在换向逻辑延时结

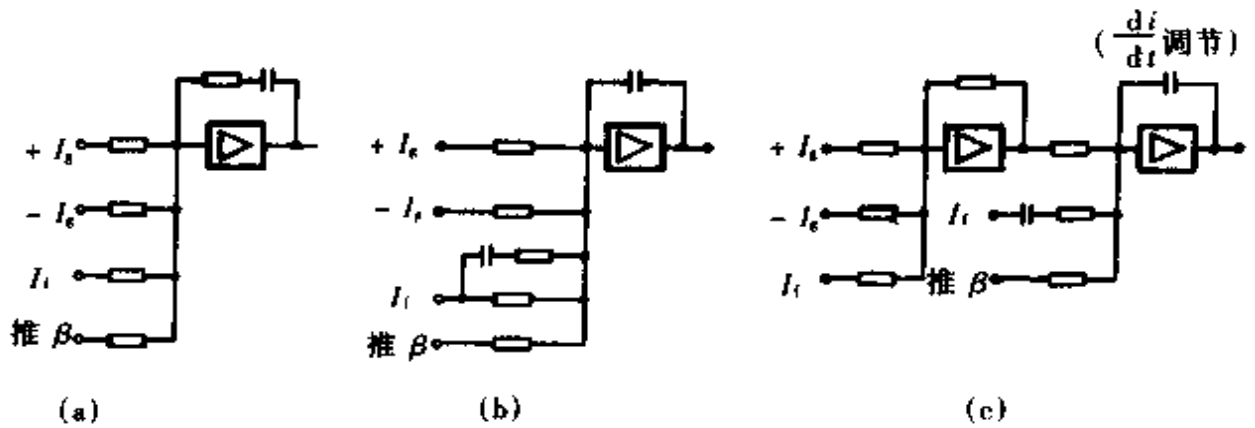


图 8.3.22 几种不同的电流调节器

(a)串联式 PI 调节器 (b)并联式 PI 调节器 (c)带  $di/dt$  控制的 PI 调节器  
 $I_g$ : 电流给定  $I_f$ : 电流反馈 推  $\beta$ : 切换时将触发脉冲推至  $\beta_{min}$  处的信号

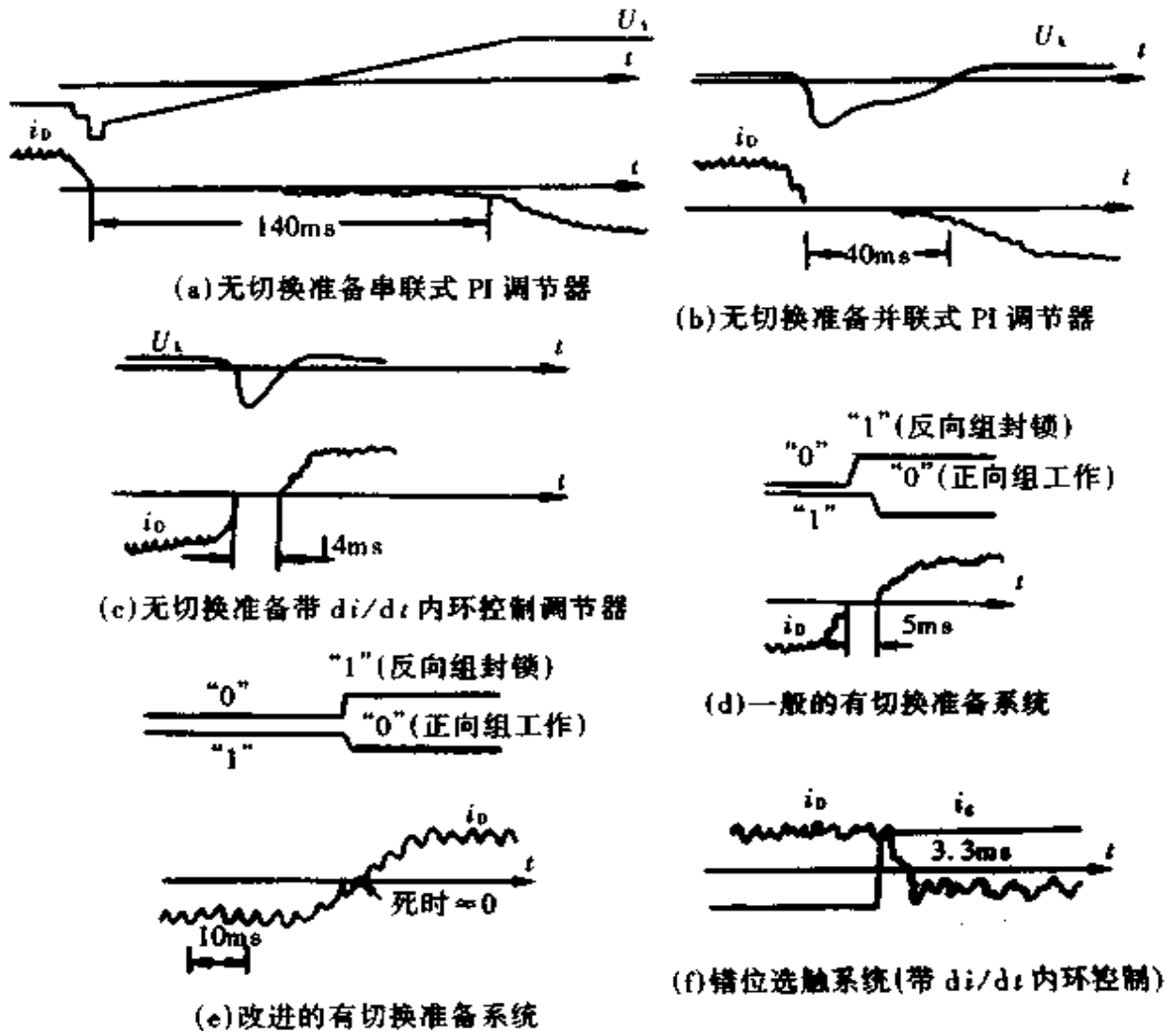


图 8.3.23 各种系统小电流无环流切换过程

束时,其触发脉冲相位不是处在  $\beta_{\min}$  处,而是处在与电动机反电势相适应的电角度。这样,既避免了电流冲击又能在换向逻辑动作一旦结束后立刻出现反向电流,从而大大减少了反向时的零电流死时。

图 8.3.24 与图 8.3.21 的系统相比,仅增加了电子开关 3K~5K、电压检测 YB 和反号器 2FH、3FH。由 2FH、3FH、4K、5K 及 YB 构成了一个反馈系数为 1 的电压(电势)正反馈,3K 则用来将电流调节器 LT 置零。

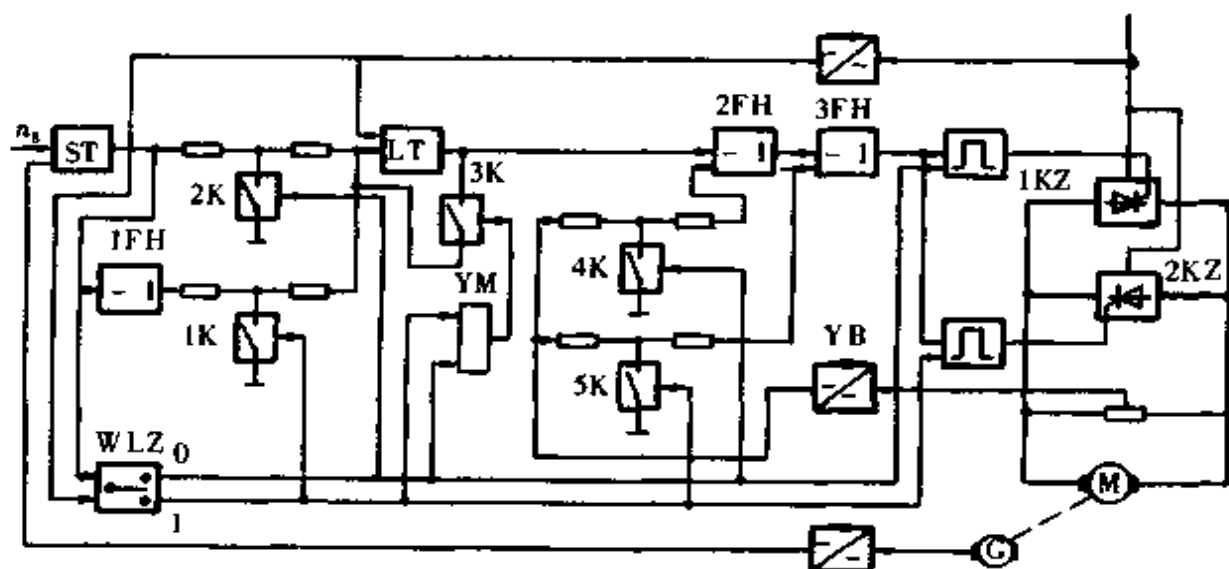


图 8.3.24 有切换准备的逻辑无环流系统

正转时, WLZ“0”端为低电平,“1”端为高电平, 2K、3K、4K 打开, 1K、5K 闭合, 正向通路畅通, 变流器 1KZ 工作, 2KZ 封锁。电动机在稳定工作时电流不变化, LT 的输出为零, 由 YB、2FH、3FH 的正反馈回路维持 1KZ 的输出电压。当反转时, 转速给定信号  $n_g$  极性改变, LT 有输出, 1KZ 从整流状态变到逆变状态, 主回路电流迅速减小。待电流到零后, WLZ 开始动作, 其“0”端与“1”端均为高电平。这时, 1K~5K 均闭合, LT 被 3K 置零, 由于 4K、5K 闭合, 2FH、3FH 的输出亦均为零, 1KZ、2KZ 均封锁。待 WLZ 切换延时结束后, 其“0”端变为高电平, “1”端变为低电平, 1K、3K、5K 打开, 2K、4K 闭合, 反向通路畅通, 1KZ 封锁, 2KZ 工作。3K 刚打开时, 由于 LT 的积分作用其输出仍维持零, 在 YB、3FH 反馈回路作用下, 2KZ 的电压正好与电动机反电势相适应(即所谓有准备), 马上可出现反向电流。电动机继续制动到零, 并反向加速直到与  $n_g$  相对应的转速为止。

这种系统反向零电流死时取决于 WLZ 本身整定延时(为 5~6ms), 如图 8.3.23d 所示。若对 WLZ 再作适当改进, 如用光电耦合器检查每一桥臂元件的管压降, 迅速而准确判定晶闸管通断的情况, WLZ 本身整定延时还能进一步减小。可以把反向零电流死时缩短到平均 2ms 左右, 最小死时接近于零, 如图 8.3.23e 所





给定信号  $n_r$  所规定的转速为止。

在图 8.3.25 的系统中,还加了一个电流调节器可变限幅环节 BF,使 LT 的限幅随着电网电压而变。这样,可以避免电网电压降低时因为逆变角太小而引起“颠覆”的故障。

这种系统无论在什么速度下正反向,都有一个固定的零电流死时,该死时主要取决于 YT 的积分时间常数。一般零电流死时为 6~20ms,若电流调节器带  $di/dt$  内环控制,再加上用光电耦合器迅速而准确判定晶闸管通断的情况,采用所谓参量电压调节器,则可进一步压缩死时。在小电流反向时,零电流死时也能减到 3.3ms,如图 8.3.23f 所示。

**2.2.3.5 晶闸管变流器供电的有环流系统** 有环流的可逆系统在电流反向中不存在切换死时,只适用于精密速度控制、快速位置控制及要求经常在零电流附近频繁改变方向的场合。但有环流系统需要增加限制环流用的电抗器,并且因存在环流而增加了功率损耗。有环流系统一般采用交叉接法,因此变流变压器的等值容量亦较大。

有环流系统中,正反向二套变流器同时加上触发脉冲,使正向组与反向组的整流电压的平均值大小相等极性相反。因此,两套变流器之间的过渡是平滑的,没有死时。由于两套变流器的整流电压的瞬时值不能相互抵消,因此在两套变流器之间会形成环流,这个环流可以用电抗器加以限制。通常把环流的平均值限制在 5%~10% 额定整流电流范围内。

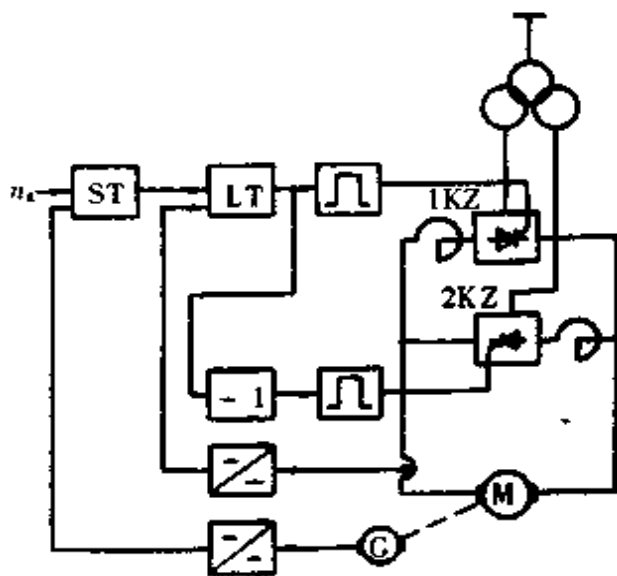


图 8.3.26 按  $\alpha = \beta$  原则的有环流可逆系统

图 8.3.26 是按  $\alpha = \beta$  原则进行控制的自然环流系统。在触发器没有输入信号时,变流器 1KZ、2KZ 的触发脉冲相位  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  都定在  $90^\circ$ ,这时整流电压平均值为

零,但在1KZ、2KZ之间流过环流。当触发器输入正信号时,触发脉冲从 $90^\circ$ 向 $\alpha$ 减小(即 $\beta$ 增加)方向移动。由于2KZ的触发器前加了一个反号器,因此1KZ、2KZ的输入信号总是大小相等极性相反的,它们触发脉冲移动的角度也是相等但相反的(即 $\alpha = \beta$ )。当LT输出为正时,1KZ工作在整流状态,2KZ工作在逆变状态,电机正转;当LT输出为负时,1KZ工作在逆变状态,2KZ工作在整流状态,电机反转。这种控制方式的环流随触发装置的移相角( $\alpha$ )而变,故又称自然环流系统。

某些有环流控制系统采用了可控环流的方式,即把环流保持在某一预定的数值上,不随触发装置的移相角而变。这种系统的优点是可以减小电抗器的电抗值及尺寸。图8.3.27是这种控制系统的一例。在这个系统里,与图8.3.26不同的是用电流检测装置1LB、2LB分别检测1KZ、2KZ的电流和用了两个电流调节器 $LT_2$ 、 $LT_1$ 分别控制1KZ和2KZ的触发器。正转时,给定信号 $n_g$ 为正,转速调节器ST输出为负,二极管1VD通。 $LT_2$ 除了有环流给定信号 $I_{kg}$ 之外,还有ST输出的给定信号。这时,1KZ承担工作电流,电机正转。由于ST输出为负,经反号器后2VD不通, $LT_1$ 仅有 $I_{kg}$ 作给定,因此2KZ在电流环的作用下维持相应于 $I_{kg}$ 的环流不变。当给定信号 $n_g$ 为负时,情况则相反,1VD不通,2VD通,2KZ承担工作电流,电机反转,1KZ则维持相应于 $I_{kg}$ 的环流。

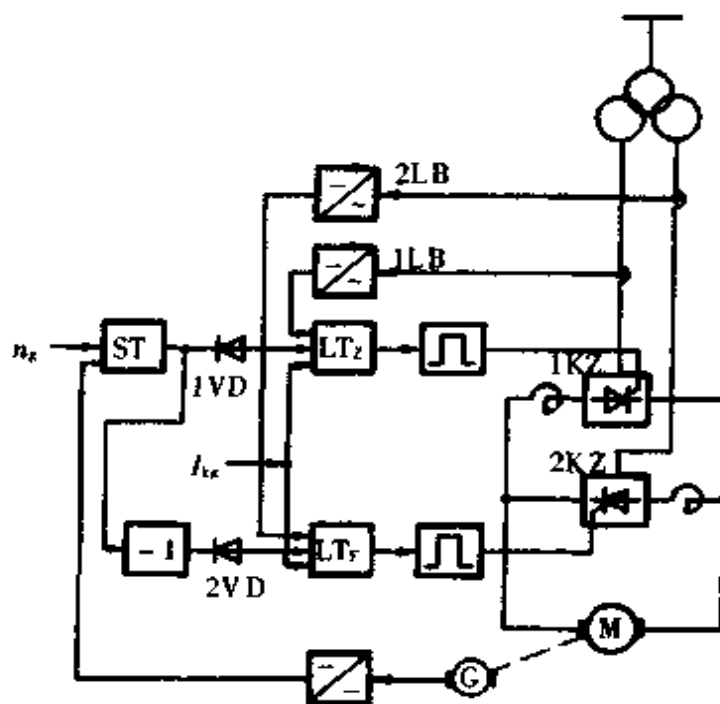


图 8.3.27 可控环流可逆系统

在某些大功率场合,为了减小环流损耗,往往采用小电流时有环流、大电流时无环流的控制方式。这样,既可以平滑快速过渡,又可以使稳态工作时没有环流损耗。例如在图8.3.27的系统中,与二极管1VD、2VD并联电阻 $R$ ,或将1VD、2VD

短接,就可以做到这一点。

### 3 直流半导体电气传动系列装置

直流半导体电气传动系列装置(88~8370kW)是通用型产品,适用于冶金、矿山、一般工业单机和生产线上直流电动机的调速传动。本系列装置分五个部分:

第一部分为控制单元。由这些单元可组成大、中功率直流电动机典型的控制系统,还可组成半导体保护环节和无触点联锁环节,以实现分合闸顺序联锁、故障信号的综合和显示、自动记忆多故障中最先一次故障信号,并发出音响和灯光报警,以缩短排除故障的时间。

第二部分为晶闸管功率单元。这是变流器组成的基本部件。

第三部分为TZS<sub>1</sub>系列直流电动机调速装置。其功率范围为88~704kW,在440V及其以下的直流电动机调速传动。通过改变电枢电压或在改变电枢电压后再改变励磁来进行调速。

第四部分为TPZ<sub>1</sub>系列直流电动机供电装置。适用于750~900V的ZD型大功率直流电动机及660~900V的ZD<sub>2</sub>型直流电动机的调速传动。功率范围为937~8370kW。

第五部分为TDL<sub>1</sub>系列直流电动机励磁装置。功率范围为0.7~277kW,不可逆。

下面对这些部分进行选择性的介绍及说明。

#### 3.1 控制单元

##### 3.1.1 概述

在组成自动调速直流半导体电气传动系统时,要采用给定指令、调节运算、移相触发、隔离变换、逻辑控制和保护信号等控制部件,还要配备这些部件所需的各种稳压和非稳压的交、直流电源。把上述各种控制部件和部分电源在结构上设计成具有系列标准尺寸的插件模块,这些模块统称为控制单元。在组成系统时,可选用所需控制单元,积木式地插入插件箱,插件箱再装入柜内而与系统结为一体。这种结构形式既便于组成各种不同的系统,也便于检修和更换。

88~8370kW电气传动装置所采用的控制单元共46种,可构成多种类型的具有良好性能的系统。本系列装置的可逆系统主要采用带电势记忆的有准备无环流控制,换向零电流死时可减小到0.8~3.3ms。

控制单元采用集成电路,使控制单元性能稳定可靠,结构紧凑又便于调试维修。运放器选用中增益线性集成电路,可满足调速范围在1:20以内,精度要求小

于 0.5% 的一般电气传动系统。单元中逻辑元件主要采用 HTL 元件,使用正逻辑,“0”电平为低电位,“1”电平为高电位。

控制单元除按双闭环(电流内环、速度或电压外环)不可逆及有准备逻辑无环流可逆两种调速系统配置外,也可适应用户要求,组成有环流可逆、磁场可逆、弱磁调速、机组励磁、电流控制和顺序触发控制等系统。

### 3.1.2 结构形式及尺寸

3.1.2.1 插件 控制单元插件框架和其所用 LJC-1 型插件的基座均由改性聚碳酸酯压制而成。插件框架结构如图 8.3.28 所示,外形尺寸为  $20 \times 180 \times 280\text{mm}$ ,配用印制板尺寸为  $150 \times 250\text{mm}$ 。印制板引出线与 LJC1 型接插头焊接,控制单元插入插件箱中,插头为 21 线;镀金,片簧式接插。

插件箱的标准节距  $12.5\text{mm}$ ,插件宽度可为  $n \times 12.5\text{mm}$ ( $n$  为正整数)。

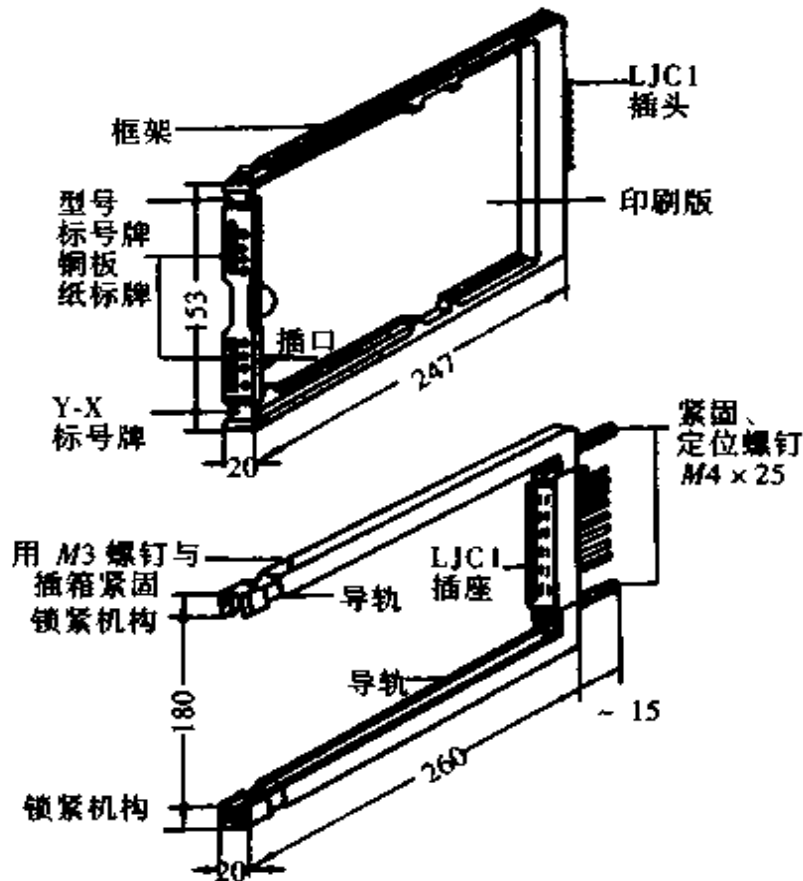


图 8.3.28 插件框架结构

3.1.2.2 插件箱和插件组合 如图 8.3.29 所示,插件箱型式宽度  $B$  有 400、500、600、700、800mm 五种,深度为 318mm(包括走线槽)。

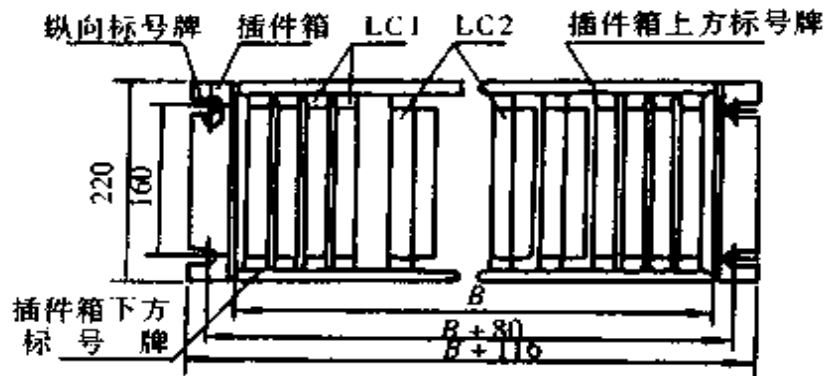


图 8.3.29 插件箱、插件组合

### 3.1.3 品种与规格

品种与规格见表 8.3.6。

### 3.1.4 基本功能相近单位的比较与应用

某些单元功能相近甚至名称相同,但各有特点,其对比如表 8.3.7,供参考。

### 3.1.5 移相触发装置的应用组合

3.1.5.1 移相触发的关连部件 移相触发控制单元(CF-3、CF4、MX-1)的输出要经脉冲变压器隔离和变换,或隔离、变换和功率放大后再去触发晶闸管,为此有三种晶闸管脉冲板,它们均置于晶闸管功率单元中,其基本参数见表 8.3.8。

3.1.5.2 移相触发装置的组合 根据装置主回路整流柜的需要,可按表 8.3.9 所示数量组合移相触发有关单元和部件。

表 8.3.6 品种与规格

类别	序号	名称	型号	结构类型	插件型宽 (mm)	基本性能参数
通用电源	1	直流稳压电源	ZWY-3	LC2	75	额定输出电压 15V(±1%) 额定输出电流 1A
给定指令	2	有触点给定	YG-1	LC1	62.5	输出电压 0~±10V
	3	无触点给定	WG-1	LC1	62.5	输出电流 0±3mA 输出电压 0~±10V 输出电流 ±2mA
	4	给定积分器*	GJ-1	LC1	25	输出电压斜率可调范围: 1.8/5~8/0.3V/s; 2.8/10~8/1.25V/s; 3.8/10~8/5V/s 积分时间误差 ≤10%
	5	给定积分器*	GJ-2	LC1	25	保持误差 ≤1%/min 其余参数同 GJ-1 单元

续表

类别	序号	名称	型号	结构类型	插件型宽 (mm)	基本性能参数	
调节运算	6	电枢电流调节器*	LT-1	LC1	25	比例系数 $K_p = 0.3 \sim 10$ 积分时间常数 $T_i = 10 \sim 30\text{ms}$	
	7	电枢电流调节器	LT-4	LC1	25	比例系数 $K_p = 0.3 \sim 10$ 积分时间常数 $T_i = 10 \sim 30\text{ms}$	
	8	速度调节器*	ST-1	LC1	25	比例系数 $K_p = 2.5 \sim 25$ 积分时间常数 $T_i = 26 \sim 900\text{ms}$ 微分时间常数 $T_D = 0 \sim 28\text{ms}$	
	9	速度调节器*	ST-2	LC1	25	参数同 ST-1 单元	
	10	电压内环调节器	YT-1	LC1	25	积分时间常数 $T_i = 4\text{ms}$	
	11	电势记忆调节器	DJ-1	LC1	25		
	12	励磁电流调节器	LLT-1	LC1	25	比例系数 $K_p = 3 \sim 30$ 积分时间常数 $T = 20\text{ms}$	
	13	磁通调节器*	CT-1	LC1	25	比例系数 $K_p = 4 \sim 30$ 积分时间常数 $T = 20\text{ms}$	
	14	乘法器	CQ-1	LC1	25	$V_X = 10\text{V}$ 运算精度不低于 $\pm 1\%$ $V_Y = 10\text{V}$ 运算精度不低于 $\pm 2\%$	
	15	除法器	CQ-2	LC1	25	除数为 $-10 \sim -1\text{V}$ 时运算精度不低于 $\pm 3\%$	
	16	限幅调节器	XF-1	LC1	25		
	17	通用调节器	TT-1	LC1	25		
	18	励磁调节单元	DT	LC1	25		
	逻辑控制	19	运转控制器*	YK-1	LC1	25	动作输入最小电压绝对值不大于 $0.2\text{V} \sim 1\text{V}$ 电平电压 $\leq -13.5\text{V}$
		20	运转控制器	YK-2	LC1	25	参数同 YK-1 单元
		21	换向逻辑*	HL-1	LC1	25	工作组封锁延时 $1 \sim 2\text{ms}$ 待工作组开放延时 $4 \sim 5\text{ms}$
		22	换向逻辑*	HL-1	LC1	25	工作组封锁延时 $0.3 \sim 0.5\text{ms}$ 待工作组开放延时 $0.5 \sim 0.8\text{ms}$
		23	比较放大器*	1 BF-2 3	LC1	25	输出特性回环宽 $\leq 0.1\text{V}$ 每个放大器可带 $1\text{W}$ 继电器 1 台
隔离变换	24	交流电流变换器*	LB-1	LC1	37.5	交流输入 $0.1\text{A}$ 时输出 $0 \sim \pm 10\text{V}$ , 可调零电流电平输出“0”,非零电流输出“1”	
	25	交流电流变换器	LB-2	LC1	37.5	电流变换参数同 LB-1 单元, $>50\%$ 电平输出“0”, $<25\%$ 输出“1”	
	26	光电零电流变换器	GB-1	LC1	25	电流断续输出“0”,连续则输出“1”	
	27	高频磁放大器	GCF-1 2	LC1	37.5	GCF-1: 输入 $\pm 75\text{mV}$ , 输出 $\pm 8\text{V}$ GCF-2: 输入 $\pm 8\text{V}$ , 输出 $\pm 8\text{V}$ 输出线性误差绝对值 $\leq 80\text{mV}$	
	28	直流电压变换器*	YB-1	LC1	37.5	输入 $\pm 10\text{V}$ , 输出正负值均大于 $10.5\text{V}$ , 输出线性误差绝对值小于 $1\%$	

续表

类别	序号	名称	型号	结构类型	插件型宽 (mm)	基本性能参数
隔离变换	29	直流电压变换器*	YB-2	LC1	37.5	参数同 YB-1 单元
	30	速度变换器	SB-3	LC1	25	输入直流 55、110、160、220V, 输出 $\geq 8V$ , 超速电平输出“1”, 记忆, 正常输出“0”
	31	速度变换器	SB-4	LC1	25	输入交流 55、220V, 输出 $\geq 8V$
	32	磁通变换及给定	CBG-1	LC1	25	超速电平输出“1”, 记忆, 正常输出“0”, 弱磁给定放大器放大倍数 $> 10$
保护信号	33	电源异常	DY-1	LC1	25	交流主电源欠压保护动作范围 $85\% \sim 50\% U_{ad}$ , 交流控制电源欠压保护动作范围 $90\% \sim 60\% U_{ad}$ , $\pm 15V$ 稳压电源低于 12V 动作, 故障电平输出“1”, 正常输出“0”, 交流失压缺相记忆
	34	过激磁过电压	GCY-1	LC1	25	故障电平输出“1”, 记忆, 正常输出“0”,
	35	故障综合	GZ-2	LC1	25	可综合四故障, 外接信号灯显示第一故障, 故障电平输出“1”, 正常输出“0”, 可外接 1W 故障释放继电器
	36	故障信号	GX-1	LC1	50	除 GZ-2 单元性能外, 提供: 故障电平输出“0”, 正常输出“1”, 外接 1W 故障吸合继电器, 记忆
移相触发	37	触发输入及保护	CSR 2	LC1	25	输入 $-8 \sim +8V$ , 输出最小 $\leq 0.5V$ , 最大 $\geq 10V$ , 输出特性线性误差绝对值 $< 5\%$ , 过流故障电平输出有“1”和“0”两种, 记忆
	38	触发脉冲	CF-3	LC1	25	双脉冲(每个脉冲宽 $\leq 10$ ), 双通道, 无封锁移相范围 $\geq 170^\circ$ , 线性误差绝对值 $\leq 1.5\%$ , 可直接触发 1~4 只 500A 可控硅
	39	触发脉冲	CF-4		25	双脉冲, 双输出, 带封锁 其余参数同 CF-3 单元
	40	脉冲移相	MY-1	LC1	25	脉冲宽度 $(115 \pm 5)^\circ$ , 移相范围 $\geq 170^\circ$ , 线性误差绝对值 $\leq 1.5\%$
	41	脉冲列组成	MX-1	LC1	25	单通道, 带封锁, 输出 $(10 \pm 1)kHz$ 全波脉冲列宽脉冲
	42	高频电源	GPY-1	LC1	25	输出电压频率 $(10 \pm 1)kHz$
	43	励磁触发脉冲	CF	LC1	25	双脉冲(每个脉冲宽 $\leq 10^\circ$ ), 双通道, 无封锁, 移相范围 $10^\circ \sim 170^\circ$ , 可触发一只 50A 可控硅

注: 1. 本系列装置调节回路的基准电压(即给定和反馈至调节器输入正、负最大电压)设



计为 8V。

2. 单元中数字集成电路与非门输出的逻辑电平“0”电压小于 1.2V;“1”为大于 13.5V,集成电路运算放大器(构成电平检测器时)输出的逻辑电平“0”电压小于 0V,“1”为大于 10V。归结定为“0”电压小于 2V,“1”电压大于 8V。

表 8.3.7 功能相似控制单元的对比

型 号	名 称	特点对比	应用
YG-1 WG-1	有触点给定 无触点给定	速度给定有级(三级),可联动 速度给定无级	根据需要选择
GJ-1 GJ-2	给定积分器 给定积分器	加减速过程无中途保持速度功能 具有加减速过程中途保持速度功能	根据需要选择
LT-1	电枢电流调节器	1.带电流检测反馈环节; 2.单通道给定; 3.无输出锁零	1.组成系统时不用电流变换单元; 2.用于不可逆系统; 3.配用 YK-1 或 ST-1 速度调节器,以在停车时输出移相至 $\beta_{min}$ 信号
LT-4	电枢电流调节器	1.有一个不带电子开关给定输入和二个带电子开关给定输入; 2.有输出锁零环节	1.主要用于无环流可逆系统,亦可用于其他可逆、不可逆系统; 2.锁零用于无环流可逆有准备切换系统
ST-1	速度调节器	1.停车无速度给定时有移相至 $\beta_{min}$ 信号输出; 2.无输出锁零; 3.弱磁升速时,单方向输出自动改变限幅	1.用于不可逆系统; 2.组成系统时不必采用运转控制器,但运转控制功能不完善
ST-2	速度调节器	1.有反号器,故可提供极性相反的二个输出; 2.弱磁升速时,双方向输出自动改变限幅	1.主要用于可逆,亦可用于不可逆系统; 2.组成系统时必须采用运转控制器,采用后,运转控制功能完善
YK-1	运转控制器	换向逻辑切换正、反组变流器均封锁时,电流调节器输出移相至 $\beta_{min}$ 信号	用于无准备逻辑无环流可逆系统,换向后如应移相至 $\alpha_{min}$ 信号,则死区还较大
YK-2	运转控制器	换向逻辑切换正、反组变流器均封锁时,电流调节器输出置零。停车时,向触发输入与保护单元输出移相至 $\beta_{min}$ 信号	用于有准备逻辑无环流可逆系统,换向后动态过程中电流调节器只输出 $iR$ 压降补偿信号,死区小
HL-1	换向逻辑	1.工作组封锁延时 1~2ms,待工作组开放延时 4~5ms; 2.封锁延时结束后,前部(7.8 端)	1.在采用 LB-1 电流型零电流检测时,封锁延时 1~2ms,两者配合构成电流断续检测;

续表

型 号	名 称	特点对比	应用
HL-2	换向逻辑	<p>逻辑状态互锁,并立即开始开放延时</p> <p>1. 工作组封锁延时 0.3~0.5ms,待工作组开放延时 0.5~0.8ms;</p> <p>2. 封锁延时结束,线路前部(7.8端)逻辑状态切换并互锁,立即对电流调节器和电势记忆调节器提供切换后的电子开关状态控制信号,以便有准备地切换,但在两组均封锁时再次检测确认为零电流时才开始开放延时</p>	<p>2. 断续后还可能有一个电流脉波,故再延时 4~5ms 反组开放;</p> <p>3. 适用于采用 LB-1 零电流检测的逻辑无环流(有准备或无准备切换)可逆系统</p> <p>1. 它是一种用于可逆系统的快速换向逻辑单元,与 GB-1 电压型零电流检测单元配用,可得到正、反组可靠的快速切换,调整也容易;</p> <p>2. 由于切换时间极短(仅约 1ms),所以只有与有准备切换方式(待工作组开放后,电流死区甚小)配用方有意义</p>
BF-1 BF-2 BF-3	比较放大器 比较放大器 比较放大器	<p>有两个放大器</p> <p>有两个放大器和一个比较器</p> <p>有两个放大器和一个比较器</p>	根据需要选择
LB-1	交流电流 变 换	带有电流型零电流检测 有电流变换环节	用于主回路和磁场无环流可逆系统的电流检测与控制,并可用于除自然环流可逆外其他可逆与不可逆系统的电流检测(反馈)
LB-2	交流电流 变 换	带欠电流故障检测 无电流变换环节	用于电动机不可逆恒磁与弱磁控制的励磁电流检测与保护
LB-1 GB-1	交流电流 变 换 光电零电 流 变 换	<p>带有电流型零电流检测 有电流变换环节</p> <p>带有电压型零电流检测 无电流变换环节</p>	<p>配用 HL-1 单元的封锁延时 1~2ms,构成电流断续检测</p> <p>封锁延时可显著缩短,但封锁时刻和 HL-1、LB-1 联用的系统相近;其意义在于开放延时可显著减小,不必等待一个脉波,即两组均封锁的失控死区极小</p>
GCF-1	高频磁 放大器	输入电压 $\pm 75mV$	直流电流隔离检测。可用于自然环境可逆系统
GCF-2	高频磁 放大器	输入电压 $\pm 8V$	直流电压隔离检测,可用于有准备逻辑无环流、错位无环流可逆系统
YB-1	直流电压 变 换 器	输入 $\pm 10V$ ,输出有有极性、恒正、恒负三种	应用除同 GCF-2 外,还可用于磁场可逆与不可逆弱磁控制
YB-2	直流电压 变 换 器	输入 $\pm 10V$ ,输出有恒正、恒负两种	其线路较 YB-1 简单,无变极性要求时优先选用。可用于弱磁控制(磁场可逆与不可逆)
SB-3	速度变换器	1. 输入接直流测速发电机; 2. 输出有极性	用于正、反转系统
SB-4	速度变换器	1. 输入接交流测速发电机; 2. 输出极性固定	用于不反转系统

续表

型号	名称	特点对比	应用
CBG-1 CT-1	磁通变换及给定 磁通调节器	具有磁通模拟( $\Phi$ )与磁通补偿给定( $\Delta\Phi$ )两环节 1. 具有磁通模拟( $\Phi$ )与磁通或励磁电流调节器( $I$ )两环节; 2. 调节器输入有内给定、最大值选择和主回路电流不平衡( $\Delta I$ )补偿	与 CT-1 或 LLT-1 单元结合应用于弱磁控制 与有关单元可构成几种典型系统: 1. 恒磁的磁通或励磁电流调节。 2. 用于双电机传动, 利用 $\Delta I$ 信号调一个励磁电流而使主回路电流平衡。 3. 按励磁电流与电枢电势最大值选择的原则, 构成非独立控制弱磁的励磁电流或磁通(采用磁通模拟)调节。 4. 与 CBG-1 单元中磁通补偿给定环节配合使用, 并采用磁通模拟, 构成性能较好的非独立控制弱磁的磁通调节。 5. 采用磁通模拟, 进行磁通调节时, 可补偿由于饱和度不同引起的励磁绕组时间常数的变化, 保证良好的动态特性; 在弱磁系统中, 还可提供速度自适应调节所需的磁通信号
LLT-1	励磁电流调节器	1. 仅有调节器—主要环节, 其动态参数和 CT-1 调节器的相同; 2. 调节器有扩展、内给定、带电子开关的两个外给定、励磁反馈、最大值选择等输入端; 3. 有输出锁零环节	1. 与 YB-2 和 CBG-1 中两环节一起可组成 CT-1 所构成的那些系统; 2. 还可组成“恒磁”磁场可逆及非独立弱磁磁场可逆系统, 后者的非独立弱磁控制部分与 CT-1 组成的那些系统构成方法相似; 3. 与 CT-1 相比, 它还可应用于磁场可逆系统
GZ-2	故障综合	1. 故障时, 输出电平信号为“1”; 2. 输出只有故障释放(外接)继电器接点信号; 3. 本单元本身无记忆功能	1. 可综合四故障信号, 显示第一故障; 2. 输出电平和继电器接点信号供 YK 和开关操作
GX-1	故障信号	1. 故障时输出“0”、“1”两种电平信号供选用; 2. 输出有故障释放和故障吸合两种(外接)继电器接点信号, 后者有记忆功能(手动复位)	1. 和 GZ-2 相同; 2. 故障吸合继电器接点信号可供声、光报警; 3. 故障检测点较多时, 可用 GZ-2 作初步综合, 再由本单元进一步综合, 每个 GZ-2 代表一个“区”, 便于查找。亦可通过 GZ-2 对轻、重故障只报警而不强行停车
CF-3	触发脉冲	1. 双通道, 可供两桥臂触发; 2. 无封锁环节	供不可逆和有环流, 错位无环流可逆系统用
CF-4	触发脉冲	1. 单通道, 双输出, 供逻辑无环流可逆系统正、反组中同一相序桥臂触发; 2. 有封锁环节, 两输出在稳态时互为开放、封锁状态	供逻辑无环流可逆系统用

表 8.3.8 脉冲板基本性能及参数

型 号	名 称	基 本 性 能 参 数
MB-1	晶闸管脉冲板	1. 无功率放大; 2. 与 CF-3 或 CF-4 配用, 输出双窄脉冲; 3. 输出脉冲 $10\Omega$ 电阻时强触发 $\leq 1.5A$ (10% ~ 90% 上升时间 $< 1.5\mu s$ ), 触发电流 $\leq 400mA$ , 脉冲宽度 $\leq 10^\circ$ , 其伏·秒值符合脉冲变压器设计允许值
MB-2	晶闸管脉冲板	1. 配用隔离电源 GDY 而构成功率放大; 2. 与 CF-3 或 CF-4 配用, 输出双窄脉冲; 3. 输出脉冲波形参数除强触发电流上升时间 $< 1\mu s$ 外, 其余同 MB-1
MB-3	晶闸管脉冲板	1. 配用隔离电源 GDY 而构成功率放大; 2. 与 MX-1 配用, 输出宽脉冲; 3. 输出脉冲波形参数除宽度 $115^\circ \pm 5^\circ$ 外, 其余同 MB-2

表 8.3.9 移相触发装置的组合

脉 冲 规 格	双 窄 脉 冲		双 窄 脉 冲		宽 脉 冲	
	不可逆	可逆	不可逆	可逆	不可逆	可逆
每臂元件数 $n$	1~4		4~12		12~24	
主回路形式	不可逆	可逆	不可逆	可逆	不可逆	可逆
三相同步变压器	1	1	1	1	1 (2)	1 (2)
CSR-2	1	1	1	1	1 (2)	1 (2)
CF-3	3	—	3	—	—	—
CF-4	—	6	—	6	—	—
MY-1	—	—	—	—	6 (12)	6 (12)
MX-1	—	—	—	—	6 (12)	6 (24)
GPY-1	—	—	—	—	1	2 (4)
MB-1	$6 \times n$	$12 \times n$	—	—	—	—
MB-2	—	—	$6 \times n$	$12 \times n$	—	—
MB-3	—	—	—	—	$6 \times n$	$12 \times n$
隔离直流电源 GDY-1	—	—	$6 \times n$	$12 \times n$	$6 \times n$	$12 \times n$
隔离电源供电变压器	—	—	$m$	$m$	$m$	$m$

注: 1. 本表中所考虑采用的晶闸管元件, 其额定正向平均电流均为 500A。

2.  $n$  为每一桥臂晶闸管元件的总数,  $n = 12 \sim 24$  一栏主要考虑用于大容量、电压较高 (如 900V) 的电动机, 每臂采用两个元件串联, 故并联数为 6~12; 其他两栏  $n$  均为并联数, 对特殊应用,  $n = 1 \sim 11$  亦可采用宽脉冲。

3. 可逆系统是考虑采用逻辑无环流控制方式。

4.  $m$  为整流柜的数量,即供电变压器每柜一个。
5. 顺序控制的主回路线路具有功率因数高,无功冲击小,两串联桥电源相位差  $30^\circ$  时变压器原边五、七次谐波电流相互有一定的抵消作用(控制角  $\alpha$  相同时完全抵消)等优点,它往往在装置容量大而电网容量相对较小的情况下使用。在顺序控制线路中,两串联桥的电源一般相差  $30^\circ$ ,控制角又不是处处重合,为保证电流断续时的正常工作,要求采用宽脉冲。采用顺序控制时,控制单元和部件的需要是括号中的数量。

3.1.5.3 同步变压器的接线方法 同步变压器的接线方法可用图 8.3.30 说明。如共阴极 A 相元件,其触发角  $\alpha = 0$  应为 A 相相电压  $U_{Ao}$  为  $30^\circ$  位置,实际同步信号如虚线所示,因该信号是经滤波滞后  $60^\circ$ ,故同步变压器的电压如粗实线所示,它超前于  $U_{Ao}$   $30^\circ$ ,与主回路线电压  $U_{Ab}$  同相。主回路整流变压器不同组别时,同步变压器的接法如表 8.3.10 所示。

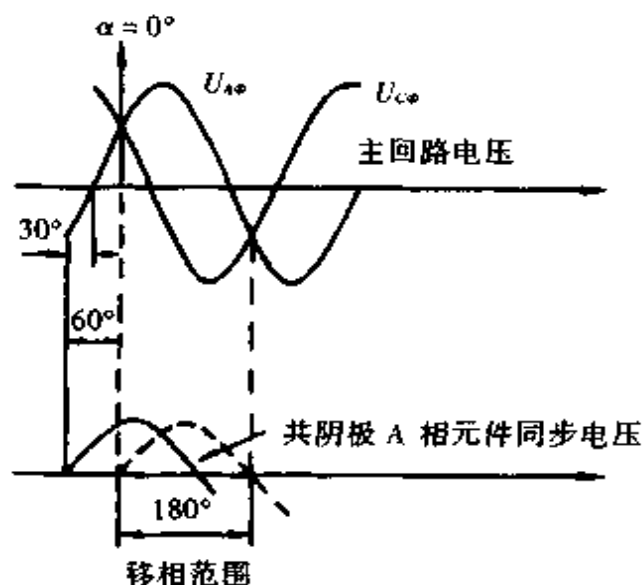


图 8.3.30 同步电压与主电压的相位关系

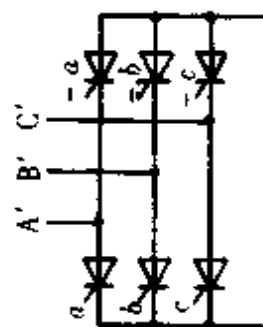
3.1.5.4 移相触发装置应用组合线路 本移相触发装置主要用于三相全控桥整流回路中触发晶闸管。它与调节器、电流、电压检测、换相逻辑、运转控制器等单元共同组成控制系统(参见后)。

### 3.1.6 典型控制单元的原理线路及简要说明

3.1.6.1 GJ-1 给定积分器 用途:本单元把阶跃或快速给定输入电压变为按一定变化率随时间而增减的给定值输出电压。主要用于提供调速系统一定加速度的速度给定信号,具有加速度限制功能,还可用于限制电流变化率。图 8.3.31 和图 8.3.32 分别是本单元的概览图及原理图。

表 8.3.10 主变压器与同步变压器接法与电压矢量图

整流变压器		Y/Δ-1			Δ/Δ-12			Δ/Y-11		
组别	Y/Y-12	Y/Δ-1	Δ/Δ-12	Δ/Y-11	Y/Y-4	Y/Y-10	Y/Y-4	Y/Y-10	Y/Y-4	Y/Y-10
初级										
次级										
组别	Δ/Y-11, Y-5	Y/Y-12, Y-6	Δ/Y-11, Y-5	Δ/Y-11, Y-5	Y/Y-4, Y-10	Y/Y-4, Y-10	Y/Y-4, Y-10	Y/Y-4, Y-10	Y/Y-4, Y-10	Y/Y-4, Y-10
初级										
次级										



使用说明:本单元有由放大器  $FD_1$ 、 $FD_2$ 、 $FD_3$  组成的比较器、积分器和反号器等环节。积分器输出电压变化率为:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\alpha u_1}{RC_1}$$

式中  $u_1$ ——比较器输出电压限幅值;

$\alpha$ ——电位器  $W_3$  与电阻  $R_{10}$  串联输出的分压系数;

$R$ —— $R_{13}$  与  $R_{14}$  并联阻值。对于输入电压  $U_i$  的积分时间为  $\frac{U_i}{\alpha u_1} RC_1$ , 调整

$\alpha$ 、 $u_1$ 、 $R$ 、 $C_1$  可改变积分时间,  $R_{13}$ 、 $C_1$  参数与积分时间关系见表 8.3.11。

表 8.3.11  $R_{13}$ 、 $C_1$  参数与积分时间关系

积分时间(s)	$R_{13}$ (k $\Omega$ )	$C_1$ ( $\mu$ F)
0.3~2.5	510	1
1.25~10	510	4
5~40	开路	8

本单元 6 号端输入给定信号, 5 号端输入补偿信号, 对给定值进行调整。20 号端供输入加速度补偿信号。17 号端输出在恒磁系统中的加速动态电流信号。16 号端为

本单元的输出, 12 号端为反极性输出端。比较器输出具有反馈式限幅环节, 以正限幅为例, 当输入增大, 使电位器  $W_3$  与电阻  $R_{11}$  连接点电位由负增至零后, 三极管  $V_1$  导通, 输出限幅。正、负限幅由  $W_3$  和  $W_4$  调整。在弱磁调速系统中, 正速度信号由 3 号端输入, 达额定转速(约 3.8V)时, 由  $R_6$  和  $R_4$  分压, 使接点电位高于零开始,  $V_1$  基流逐渐加大, 比较器输出限值下降, 即加速度降低, 限制了弱磁高速下主回路电流, 以适应电动机的换向能力。4 号端供输入负速度信号。本单元实际上是一自动调节闭环, 当给定输入变化率大于  $\frac{\alpha U_1}{RC_1}$  或为阶跃变化时, 输出电压变

化率为  $\frac{\alpha u_1}{RC_1}$ ; 当输入变化率小于此值时, 本单元进入线性调节状态, 其传递函数以

$\frac{RC_1}{K\alpha}$  ( $K$  为比较放大倍数) 为时间常数的小惯性环节, 即输出基本跟随输入而变。

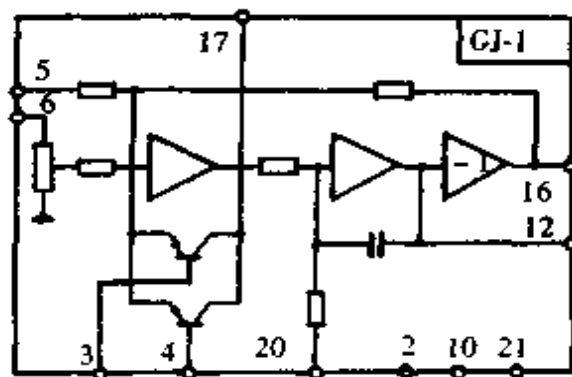
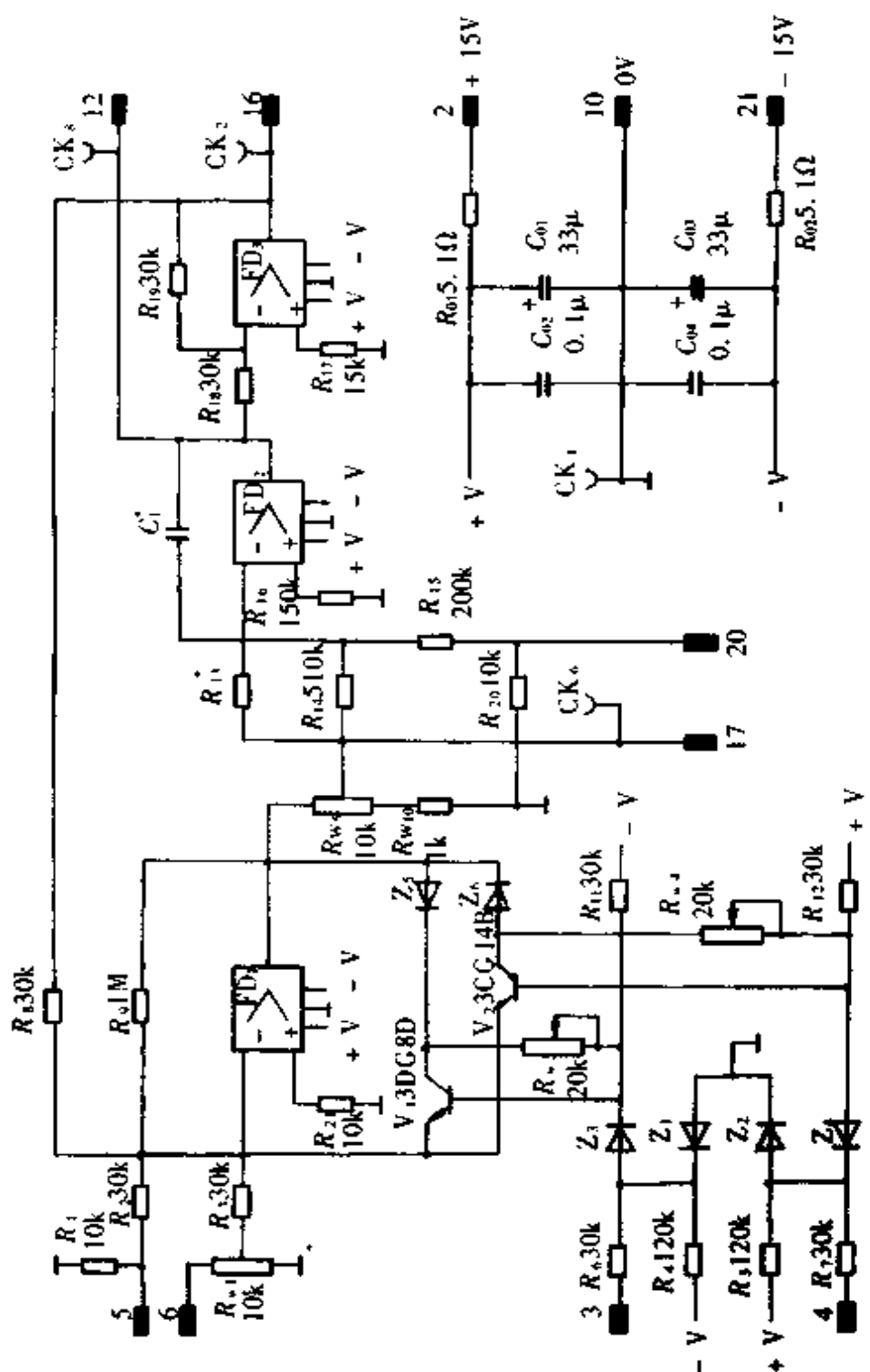


图 8.3.31 给定积分器(GJ-1)概览图



Z1-6 :2CP12

图 8.3.32 给定积分器 (GJ-1) 原理线路图



使用调试方法: 调零时, 在输入 5 号或 6 号端接 0V 情况下, 电压表接 16 端,  $FD_1$  调零; 表接 12 端,  $FD_2$  调零; 表接 17 端,  $FD_3$  调零; 反复循环进行。调零不好在积分过程输出会有交流分量。

技术数据:

电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 20mA$
额定输入电压	$\pm 8V$
最大输入电压	$\pm 15V$
额定输出电压、电流	$\pm 8V, \pm 4mA$
输出电压变化率可调范围	$0.2 \sim 26V/s$
输出积分时间可调范围	$0.3 \sim 40s$

3.1.6.2 LT-1 电枢电流调节器 用途: 本单元在电流调节闭环中完成交流电流变换, 并对电流偏差信号进行比例积分(PI)运算, 其输出对触发进行控制, 完成电枢电流调节。本单元只用于不可逆直流电气传动系统。图 8.3.33 和图 8.3.34 分别是本单元的概览图及原理图。

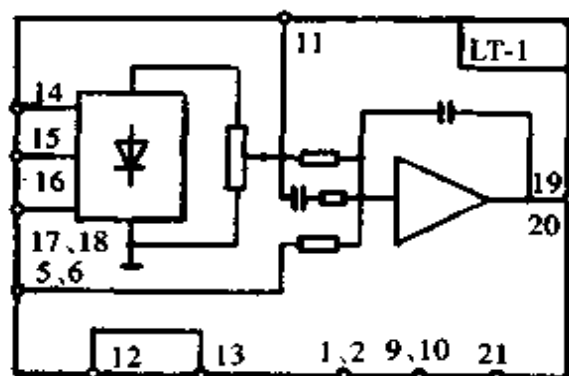


图 8.3.33 电枢电流调节器(LT-1)概览图

使用说明: 二极管  $Z_1 \sim Z_3$ 。三相整流桥接受交流电流互感器 0.1A 副边额定信号, 变换为直流电压作为电流反馈信号。为防止互感器副边开路产生的过电压, 本单元 12 号和 13 号端间有联锁接线, 只有本单元接入系统时主回路方可合闸。

由放大器 FD 组成的调节器, 5(6)号端接速度调节器输出信号, 输出接触发输入单元。调节器采用并联校正, 按三阶“最佳”综合, 它在电流死区和有电流时的特性与串联校正完全等效, 调节器主通道对经电阻输入信号的传递特性为积分型, 抗干扰能力强, 故可适当提高电流环放大倍数, 从而改善电流断续时的特性。调节器的近似等值结构如图 8.3.35 所示, 图中  $k_p$  为比例系数。因  $C_2 = C_3$ , 故

$k_p = \frac{\alpha_2 C_2}{\alpha_4 C_3} = \frac{\alpha_2}{\alpha_4}$ ,  $\alpha_2, \alpha_4$  分别为电位器  $R_{w2}$  与  $R_{14}$  串联,  $R_{w4}$  与  $R_{10}$  串联后输出的分压系数;  $T_1$  为积分时间常数,  $T_1 = \alpha_2 R_4 C_2$  (注:  $R_4 \approx R_2 + R_3$ );  $T_F$  为反馈滤波时间常数,  $T_F = R_5 C_2$ 。可调节  $R_{w2}, R_{w4}$  来整定  $k_p$  和  $T_1$ 。输出电压限幅约为  $\pm 8V$ 。

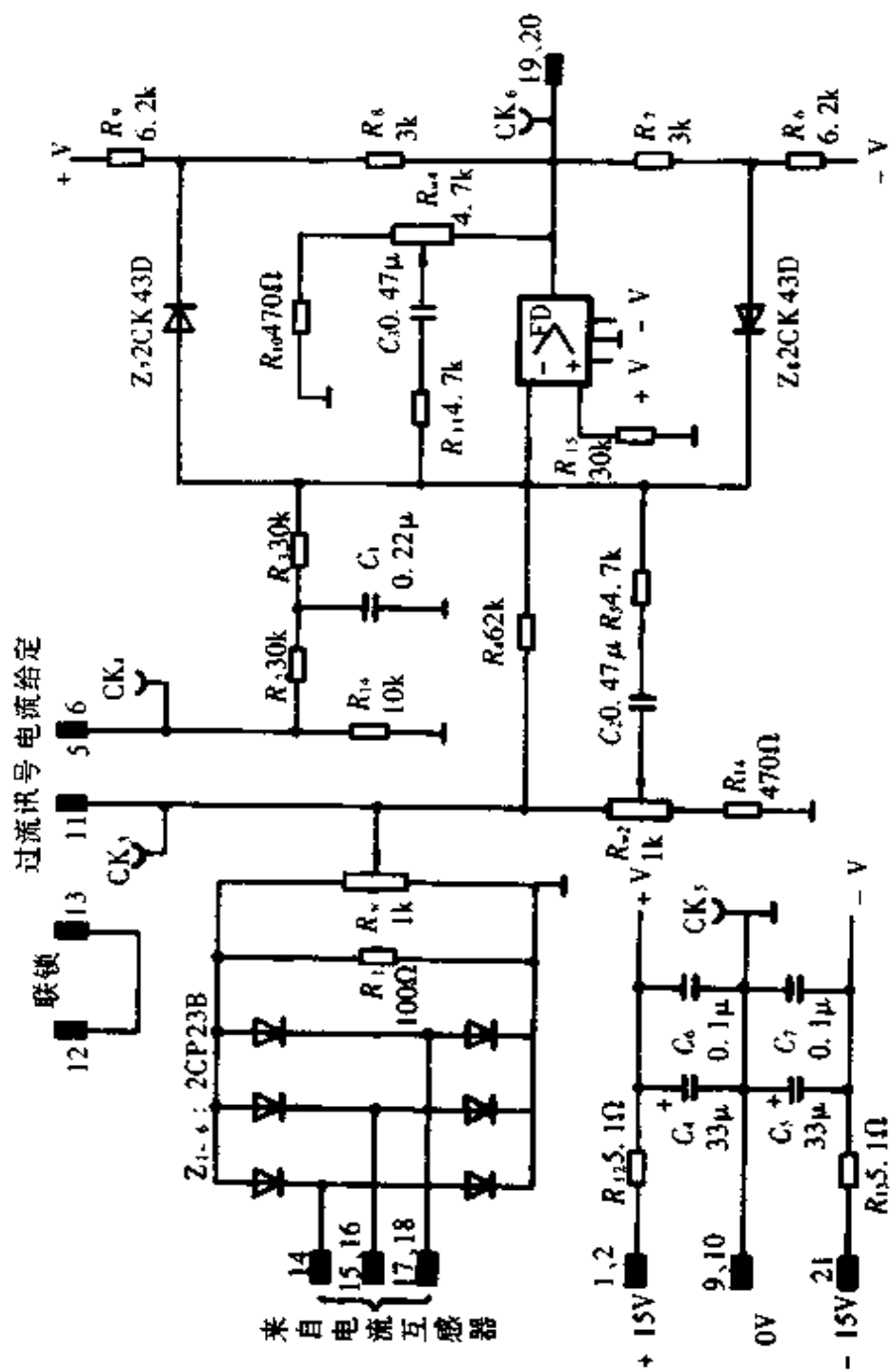


图 8.3.34 电枢电流调节器 (L.T-1) 原理线路图

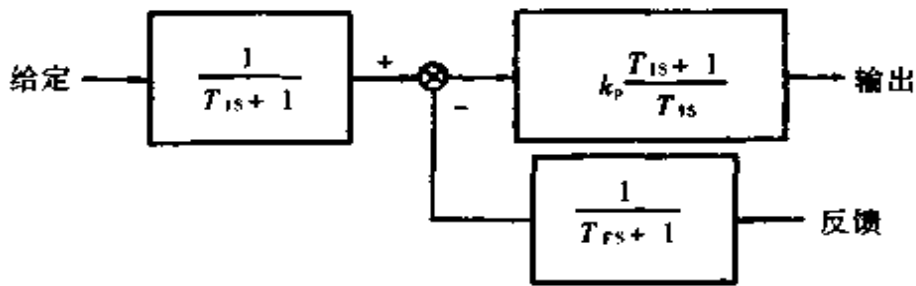


图 8.3.35 LT-1 电枢电流调节器等效结构图

使用调试方法:对电流变换环节,可在其三输入端中任选两端,加不同极性直流电压,电位器  $W_1$  旋至最大输出,11 号端可测得同值负电压为好。在电流开环工作时,按最大电流使 11 号端输出 8V(整定  $W_1$ )。对电流调节器,在 5(6)号端加不同极性电压,输出能达正、反向限幅值为正常。然后将 5(6)端接零,  $W_1$  旋至最大输出,则可对放大器调零(通过调零电位器缓慢反复调整),调至接近零电压即可。在 5(6)号端加正或负突变电压,用慢扫描示波器可在 19(20)端观察到两方向积分型动态过程;在 11 号加上上述信号则可观察到 PI 型动态过程。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 30mA$
最大输出电压	绝对值 $\leq 8V$
最大输出电流	绝对值 $\leq 6.4mA$
电压限幅范围	$\pm (8 \pm 0.5)V$
比例系数 $k_p$	0.3~10
积分时间常数 $T_i$	10~30ms

3.1.6.3 LT-4 电枢电流调节器 用途:本单元在电流调节闭环中实现 PI 运算,完成电枢电流调节。主要用于逻辑无环流可逆直流电气传动系统。图 8.3.36 及图 8.3.37 分别是本单元的概览图及原理图。

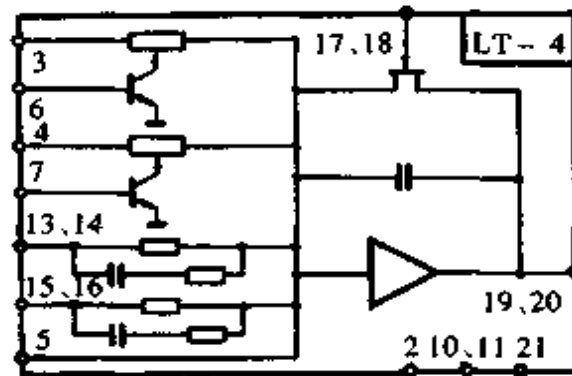


图 8.3.36 电枢电流调节器(LT-4)概览图

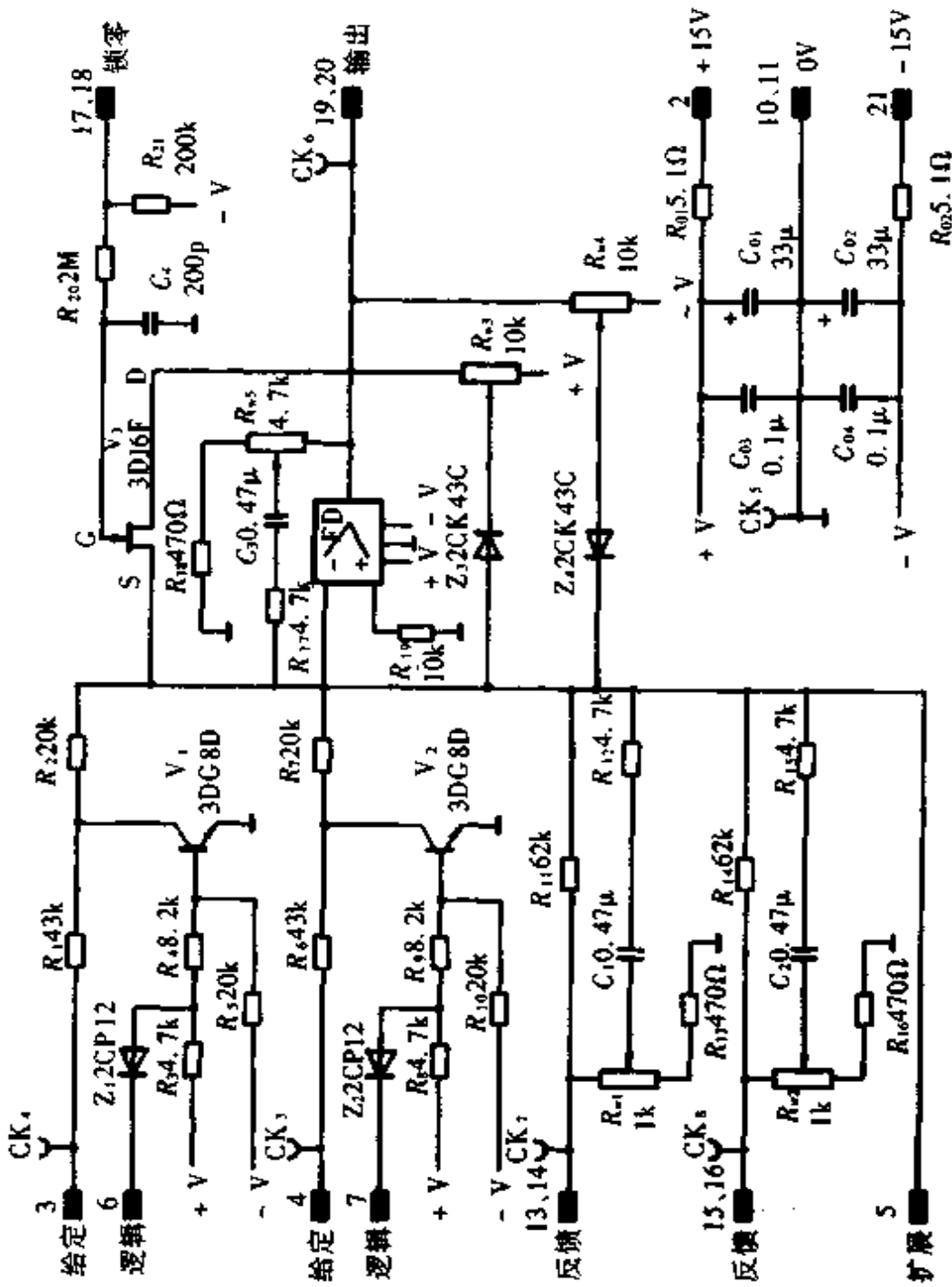


图 8.3.37 电枢电流调节器 (LT-4) 原理线路图

使用说明:本单元有两个带电子开关的电流给定(3、4号)端,6、7号端输入来自换向逻辑单元的开关控制信号,以匹配可逆工作电流给定的极性。速度调节器输出接本单元3、4端,单元输出接电势记忆调节器或触发输入单元。锁零环节( $V_3$ ),在有准备切换无环流可逆系统中,停车、事故状态和切换过程正、反两组变流器均封锁时, $V_3$ 由夹断变为导通,使调节器输出置零。调节器采用并联校正,按三阶“最佳”综合,在电流死区和有电流时的特性,与串联校正等效。调节器的近似等值结构如图8.3.38所示,图中 $k_p$ 为比例系数。因 $C_1 = C_3$ ,故 $k_p = \frac{\alpha_1 C_1}{\alpha_5 C_3} = \frac{\alpha_1}{\alpha_5}$ , $\alpha_1$ 、 $\alpha_5$ 分别为电位器 $R_{w1}$ 与电阻 $R_{13}$ 串联, $R_{w5}$ 与 $R_{18}$ 串联后的分压系数; $T_I$ 为积分时间常数, $T_I = \alpha_1 R_{11} C_1$ ;  $T_F$ 为反馈滤波时间常数, $T_F = R_{12} C_1$ 。由 $R_{w1}$ 、 $R_{w5}$ 整定 $k_p$ 和 $T_I$ 。输出正、负限幅均可调,正限幅用 $R_{w4}$ ,负限幅用 $R_{w3}$ 。

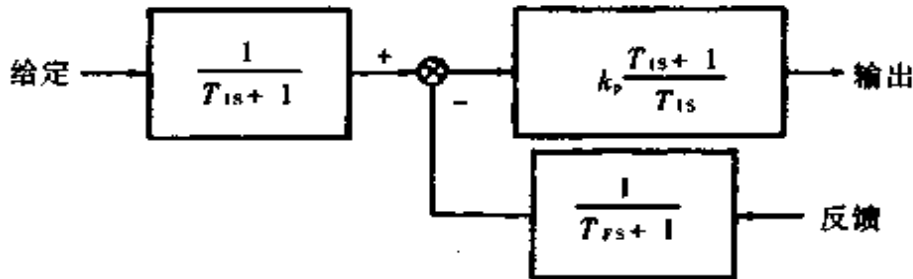


图 8.3.38 LT-4 电枢电流调节器等值结构图

使用调试方法:如从3端输入信号电压,6端接“0”电平电位,在3端加不同极性电压,输出达正、反向限幅值;6端接“1”电平,3端电压极性改变对输出无作用。对3、7号端重复上述试验。3(4)端接0V,通过小板调零电器缓慢反复调整,可对放大器调零。6端接“0”,3号端加正或负突变电压,用慢扫描示波器可在输出19(20)端观察到双方向积分动态过程;在13(14)端加上上述信号则可观察到PI型动态过程。仿此,可在4、7、15(16)端试验。在有输出情况下,对锁零17(18)端加“1”电平电位,输出降至0V;17(18)端接“-1”( $< -13.5V$ 或开路),输出将逐渐偏离0V。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 30mA$
最大输出电压	绝对值 $\leq 8V$
最大输出电流	绝对值 $\leq 6.4mA$
电压限幅范围	$\pm 1.5 \sim \pm 8V$
比例系数 $k_p$	0.3~10
积分时间常数 $T_I$	10~30ms

3.1.6.4 速度调节器 用途:本单元在速度调节闭环中对速度偏差信号进行PI运算,并提供一定的实际速度微分信号以抑制超调。输出作为电流(转矩)给定,接至电流调节单元。本单元用于不可逆直流电气传动系统。图 8.3.39 和图 8.3.40 分别是本单元的概览图及原理图。

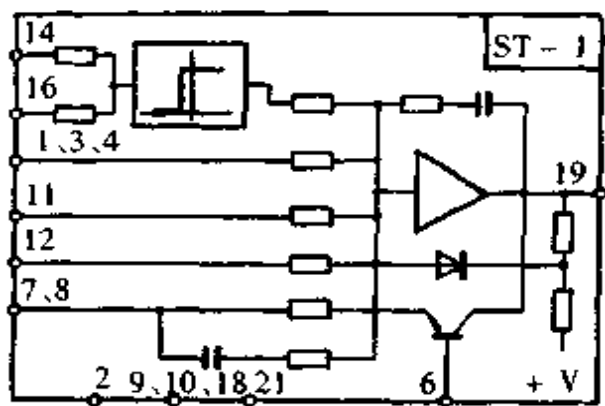


图 8.3.39 速度调节器(ST-1)概览图

使用说明:本单元由  $FD_1$ 、 $FD_2$  组成比较器和调节器。比较器由放大器  $FD_1$  加正反馈( $R_{14}$ )形成,具有继电特性,用以鉴别是否有速度给定。无速度给定时, $FD_1$  输出正最大值,使  $FD_2$  输出负限幅电压(约  $-2V$ )至电流调节器,后者输出一推  $\beta_{min}$  信号,使系统处于可靠停机状态;14(16)端输入达  $-0.2V$  时比较器翻转,输出信号为零(电位器  $W_2$  按此要求调整),解除封锁。调节器输出正限幅由  $W_3$  调整为  $+8V$ 。在弱磁调速系统中,可在 6 端输入正速度信号,其值达到  $\frac{R_{19}}{R_{20}} \times 15V \approx 3.8V$  以上时,限幅值将随此信号增加而下降(其值  $U_0$  与 6 端电压  $U_1$  关系如图 8.3.41),限制了弱磁高速下主回路电流,以适应电动机换向能力。调节器的等值结构如图 8.3.42。图中  $k_p = \frac{R_{24}}{\alpha_4(R_5 + R_6)}$ ,  $\alpha_4$  为  $W_4$  与  $R_{27}$  串联后分压系数;  $T_D$  为反馈回路微分时间常数,  $T_D = \alpha_1 R_1 C_2$ ,  $\alpha_1$  为  $W_1$  的分压系数;  $T_I$  为强制积分时间常数,  $T_I = \frac{R_{24} R_{25} R_{26} (C_9 + C_{10})}{R_{24} R_{25} + R_{25} R_{26} + R_{26} R_{24}}$ ;  $T_G$  为给定滤波时间常数,  $T_G = \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6} \cdot C_4$ ;  $T_F$  为反馈滤波时间常数,  $T_F = C_2 R_2$ 。使用本单元,速度给定电压必须为负。一般情况下,系统不必再用运转控制器。



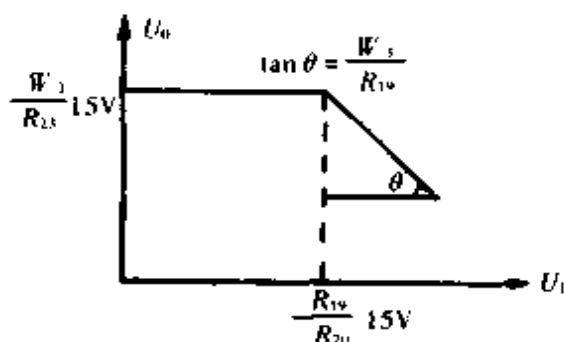
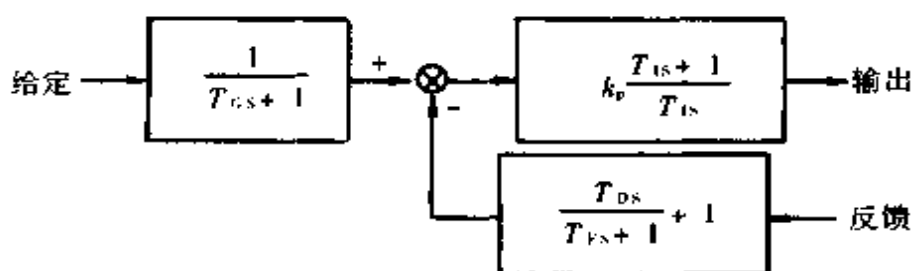
图 8.3.41  $U_o$  与  $U_i$  关系

图 8.3.42 ST-1 速度调节器等值结构图

使用调试方法:首先调比较器,然后在 14 端加  $-0.5V$  电压才能调调节器。 $FD_2$  好坏的判别与调零参见 LT-1 单元。本单元对给定端突加由正到负和由负到正电压的反应为 PI 型,对反馈端的反应为 PID 型( $W_1$  输出不在零位)。因负限幅值低,给定正、负电压大小相同时,正、负波形不同。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 30mA$
最大输出电压	正向 $\leq 8V$ ; 负向 $-2 \pm 0.5V$
最大输出电流	绝对值 $\leq 6.4mA$
电压限幅范围	正向: $1.5 \sim 8V$ ; 负向: $-2 \pm 0.5V$
比例系数 $k_p$	$2.5 \sim 25$
积分时间常数 $T_I$	$26 \sim 900ms$
微分时间常数 $T_D$	$0 \sim 28ms$
动作给定电压值	$-0.2V$

3.1.6.5 ST-2 速度调节器 用途:本单元在速度调节闭环中对速度偏差信号进行 PI 运算,并提供一定的实际速度微分信号以抑制超调。本单元具有两种极性输出以匹配可逆调节回路极性。输出作为电流(转矩)给定,接电流调节器。本单元主要用于逻辑无环流可逆直流电气传动系统,亦可用于有环流或错位无环流



可逆系统及不可逆系统。图 8.3.43 及图 8.3.44 分别是本单元的概览图及原理图。

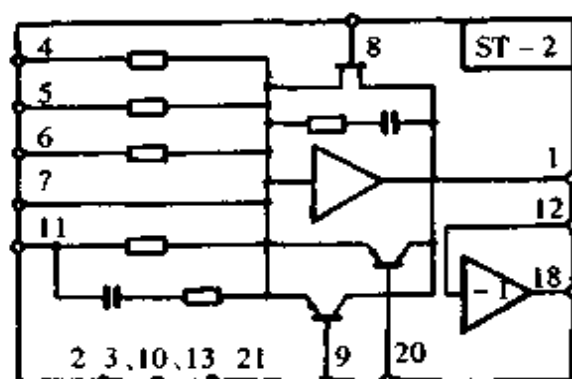


图 8.3.43 速度(电压)调节器(ST-2)概览图

使用说明:由放大器  $FD_1$ 、 $FD_2$  组成调节器及反号器。调节器结构见图

8.3.45。 $k_p$  为比例系数,  $k_p = \frac{R_{21}}{\alpha_1(R_1 + R_2)}$ ,  $\alpha_1$  为电位器  $W_1$  与电阻  $R_{24}$  串联的分压系数;  $T_D$  为反馈回路的微分时间常数,  $T_D = \alpha_3 R_9 C_4$ ,  $\alpha_3$  为  $W_3$  的分压系数;  $T_I$  为强制积分时间常数,  $T_I = \frac{R_{21} R_{22}}{R_{21} + R_{22}} (C_5 + C_6)$ ;  $T_G$  为给定滤波时间常数,  $T_G = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1$ ;  $T_F$  为反馈滤波时间常数,  $T_F = R_{10} C_4$ 。 $W_5$ 、 $W_6$  调整正、负限幅输出 ( $\pm 8V$ ); 用于弱磁调速系统, 可将正、负速度信号分别接至 9 和 20 端, 信号达  $+\frac{R_{15}}{R_{13}} 15V$  或  $-\frac{R_{16}}{R_{14}} 15V$  ( $\pm 3.8V$ ) 时, 限幅值自动下降, 限制了弱磁高速下的主回路电流。限幅原理及调节特性参见 GJ-1、ST-1 单元。反号器用来取得与调节器输出相反的信号, 供逻辑无环流可逆系统匹配极性切换使用。这种情况下, 12 端与 1 端相接, 反号器比例系数为 1。锁零环节(V3)与 LT-4 类同。

使用调试方法:  $FD_1$  调零同 LT-1 单元;  $FD_2$  对调零不灵敏。锁零环节调试见 LT-4 单元。在 4、5 端正、负阶跃电压, 在调节器输出端 1、11 分别观察到 PI、PID 型动态过程 ( $W_3$  不在零位)。

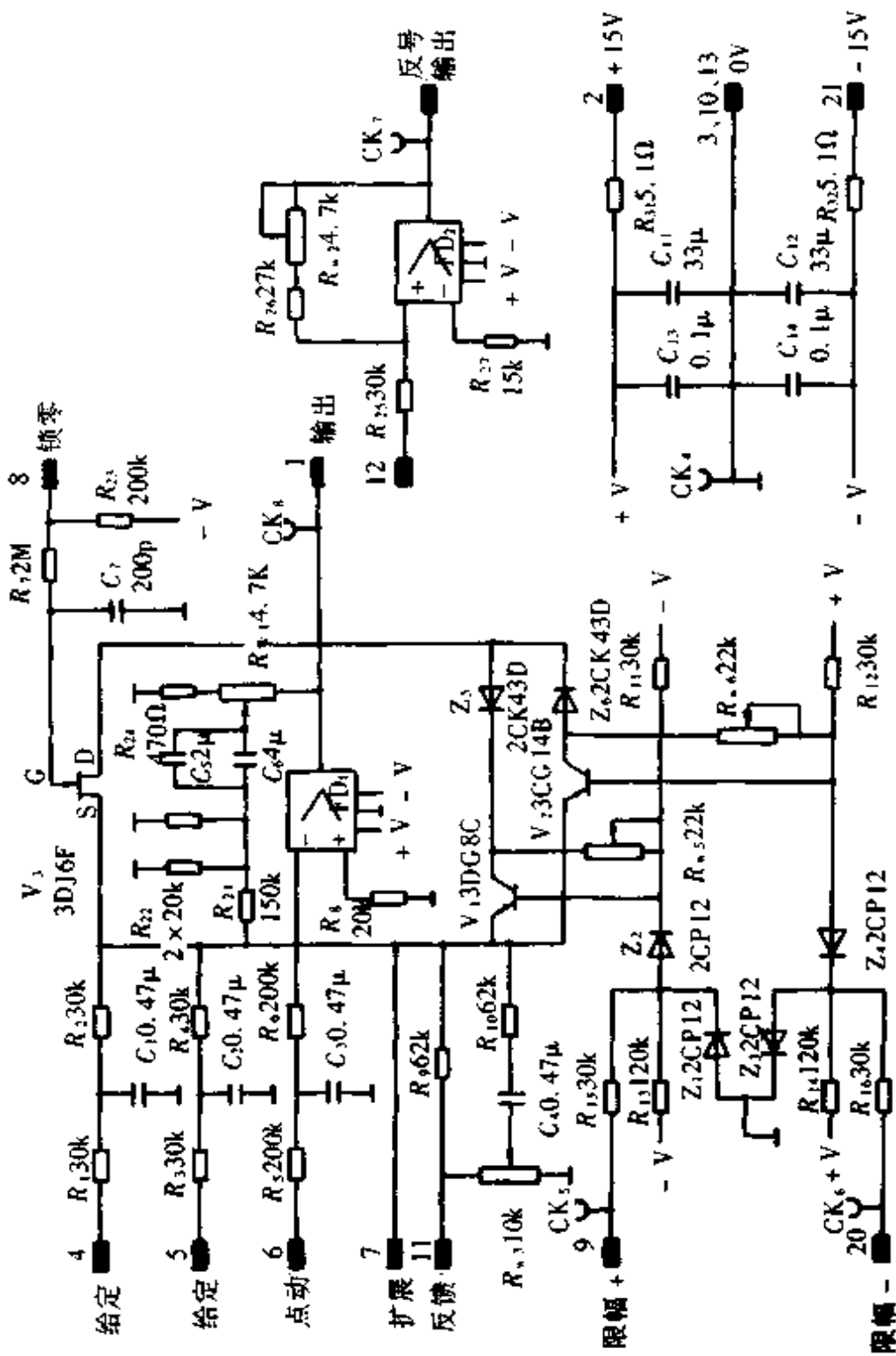


图 8.3.44 速度(电压)调节器(ST-2)原理线路图

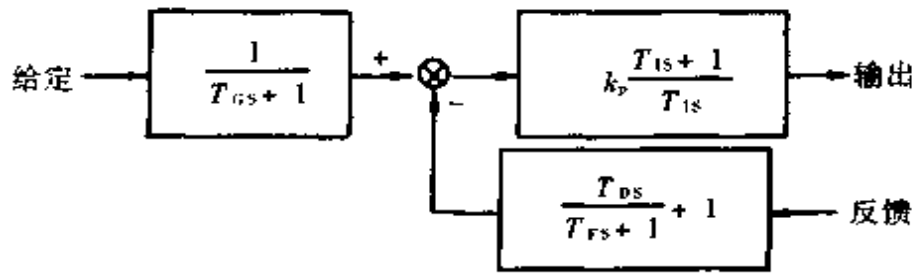


图 8.3.45 ST-2 速度调节器等值结构图

技术数据:

- 工作电源电压  $\pm 15V(\pm 1\%)$
- 消耗电流  $< 30mA$
- 最大输出电压 绝对值  $\leq 8V$
- 最大输出电流 绝对值  $\leq 6.4mA$
- 电压限幅范围  $\pm 1.5 \sim \pm 8V$
- 比例系数  $k_p$   $2.5 \sim 25$
- 积分时间常数  $T_I$   $18 \sim 900ms$
- 微分时间常数  $T_D$   $0 \sim 28ms$

3.1.6.6 YT-1 电压内环调节器

用途:本单元在三环(电压、电流与速度)调速系统的电压调节闭环中对电压的偏差信号进行积分运算,其输出用来控制触发,完成电压调节。本单元用于三环控制不可逆系统,亦可用于错位无环流、错位选触无环流可逆系统,作为电压内环调节器改善电流断续区的特性,对可逆系统可缩小换向死区。图 8.3.46 及图 8.3.47 分别是本单元的概览图及原理图。

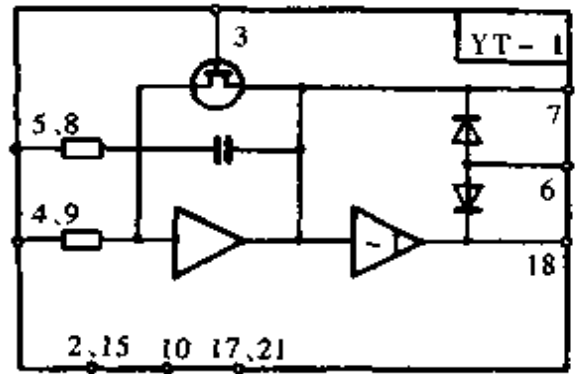


图 8.3.46 电压内环调节器(YT-1)概览图

使用说明:单元由  $FD_1$ 、 $FD_2$  组成调节器及反号器。调节器为一积分器,  $T_I = R_2 C_2 = 4ms$ 。调节器输出 7 和 18 端(极性相反),变流器输出电压经电压变换器接反馈 4(9)端。在三环调速系统中,可根据需要选择其输出接触发输入与保护单元;在错位无环流可逆系统输出分别接正、反组触发输入及保护单元;在错位选触无环流可逆系统中,7 号端接选触单元,6 号端接触发输入与保护单元。正、负限幅由  $W_2$ 、 $W_1$  调整。锁零环节( $V_1$ ),供停车时对调节器输出置零。

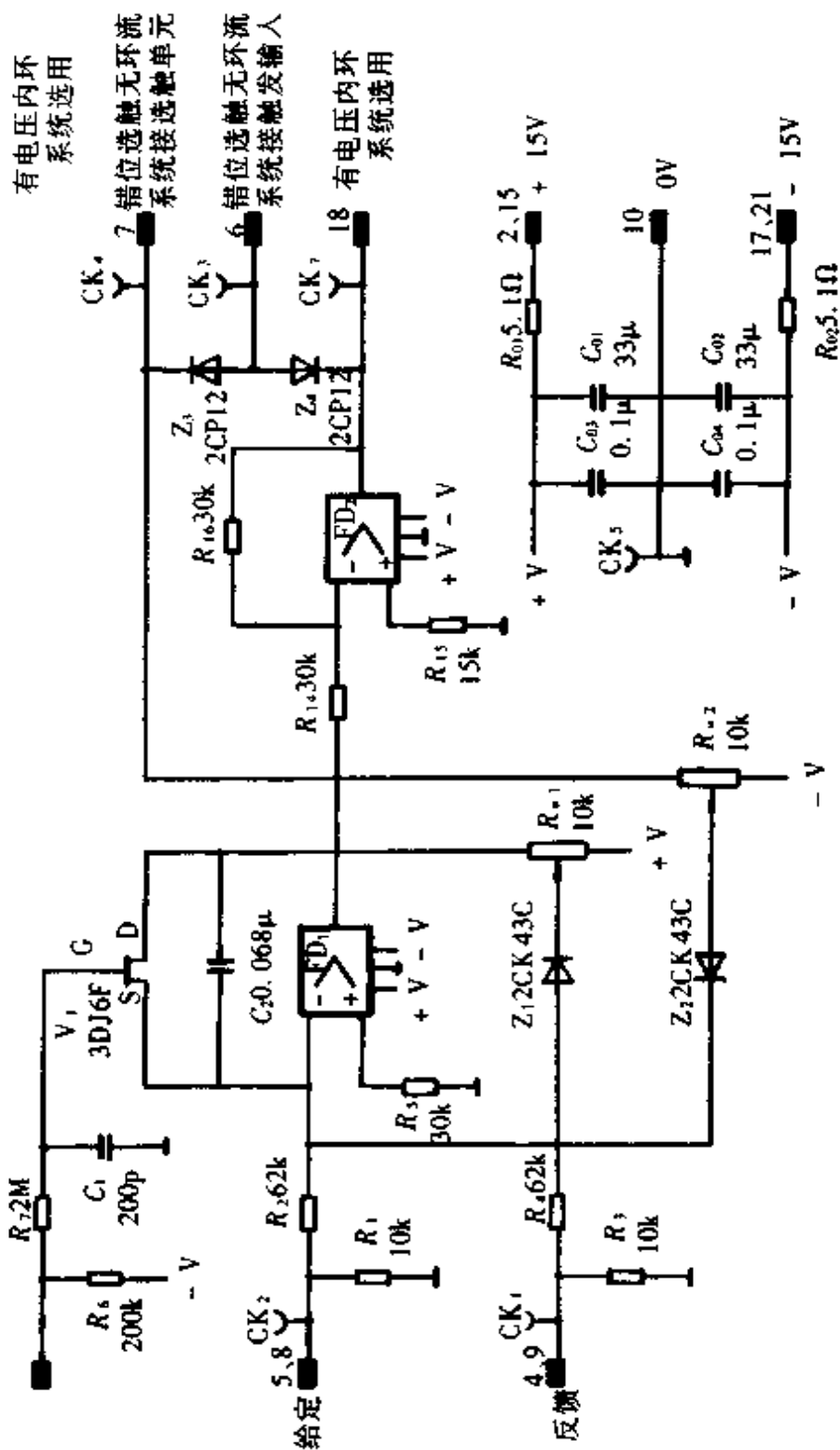


图 8.3.47 电压内环调节器(VT-1)原理线路图

使用调试方法:在 5、8 端或 4、2 端交替加正、负电压,7、18 端能交替输出两极性限幅值则器件正常。调零时应将 5、8 或 4、2 端接零,调整  $FD_1$  调零电位器调零,而  $FD_2$  调零不灵敏,一般无需调整,调零电位器可调端置于中间位置即可。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 60mA$
最大输出电压	绝对值 $< 8V$
最大输出电流	绝对值 $< 8mA$
电压限幅范围	$\pm 1.5 \sim \pm 8V$
积分时间常数 $T_i$	约 $4ms$

3.1.6.7 DJ-1 电势记忆调节器 用途:本单元可将变流装置输出电压通过电子开关按一定极性与电流调节器输出的动态电流和变流器内阻电流压降补偿信号予以综合,得到触发输入与保护单元所需的控制信号。本单元主要用于有准备切换逻辑无环流可逆直流传动系统。同时还可对电枢电压和内阻电流压降进行运算而输出电势信号,用于弱磁控制系统检测电动机电势。图 8.3.48 及图 8.3.49 是本单元的概览图及原理图。

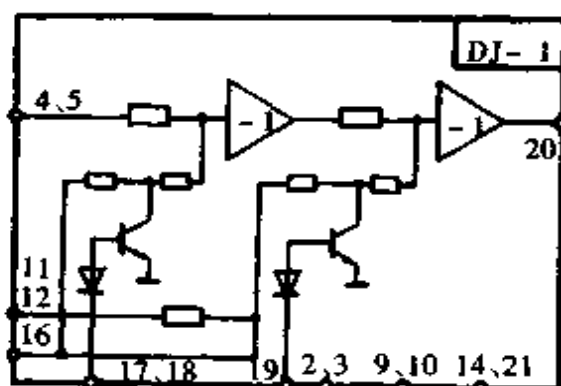


图 8.3.48 电势记忆调节器(DJ-1)概览图

使用说明: $FD_1$  和  $FD_2$  组成两个反号器, $V_1$ 、 $V_2$  组成两个电子开关。本单元作为电势记忆调节器时,4(5)端接 LT-4 电流调节器输出;16 端接 YB-1 电压变换器输出,电压变换器输入接变流装置的输出电压;在电动机恒磁工作系统中,16 端也可输入测速发电机电压。在有准备切换无环流可逆系统待工作组开放前,电流调节器锁零,变流器无电流,16 号端输入电动机电势信号,通过电子开关的配合,本单元已向触发、保护输入单元输出了待工作组开放时所需触发角相应的信号。而无准备切换系统此时处于  $\beta_{min}$ ,待工作组开放后,还将有由  $\beta_{min}$  移至所需触发角的一段死时,高速时切换后如变流器为整流状态,则死时尤大。由上所述,本单元在切换时检测、记忆了电势值,故名电势记忆调节器。采用本单元构成的有准

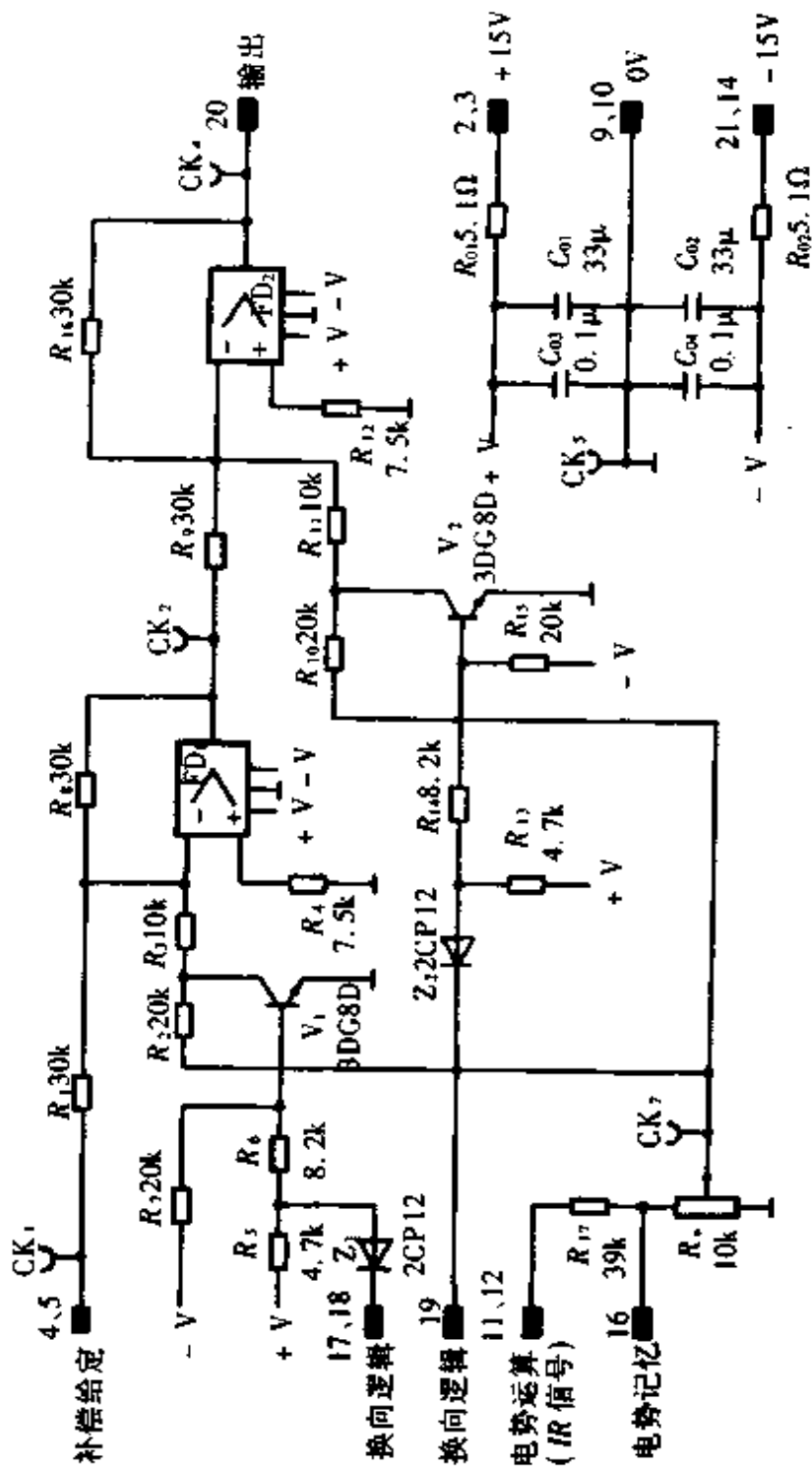


图 8.3.49 电势记忆调节器 (DJ-1) 原理线路图

备切换方式,切换死时小,故速度动态性能较好。因为正、反两组整流状态所需触发信号极性相同,而16端输入的电势信号极性又相反,故用电子开关控制两者分别通过一个和两个反号器而达到触发极性相同。当本单元作为电势运算器而使用时,电压信号经YB-1电压变换器由4(5)端输入,电流信号(IR)由LB-1电流变换器以固定极性输入到11(12)端,为匹配两信号的比例,电流信号经 $R_{17}$ 予以初步衰减。通过电子开关的配合,使电势运算可在四象限进行,运算符合下列四式:

I象限(正向启动,  $i > 0, u > 0$ ):  $E = u - |i|R$ ;

II象限(正向制动,  $i < 0, u > 0$ ):  $E = u + |i|R$ ;

III象限(反向启动,  $i < 0, u < 0$ ):  $E = u + |i|R$ ;

IV象限(反向制动,  $i > 0, u < 0$ ):  $E = u - |i|R$ 。

使用调试方法:首先从4(5)端输入电压,观察二反号器输出电压是否相等且反极性。再从16端加电压试电子开关。17(18)端接0V,  $R_2$ 、 $R_3$ 信号回路通,接“1”则断;19端接0V,  $R_{10}$ 、 $R_{11}$ 信号回路通,接“1”则断。

技术数据:

工作电源电压  $\pm 15V(\pm 1\%)$

消耗电流  $< 40mA$

最大输出电压 绝对值  $\leq 8V$

最大输出电流 绝对值  $\leq 6.4mA$

3.1.6.8 LLT-1 励磁电流调节器 用途:在励磁电流调节闭环中对电流偏差信号进行PI运算,输出接触发单元,完成励磁电流调节。此外还可完成非独立控制自动弱磁功能。本单元可用于磁场可逆和不可逆,带弱磁和恒磁等电动机的励磁调节。图8.3.50及图8.3.51是本单元的概览图及原理图。

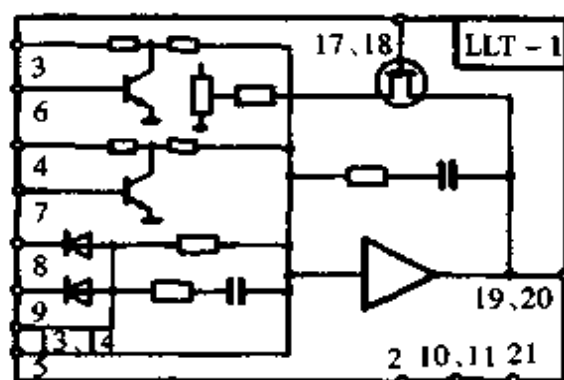


图 8.3.50 励磁电流调节器(LLT-1)概览图

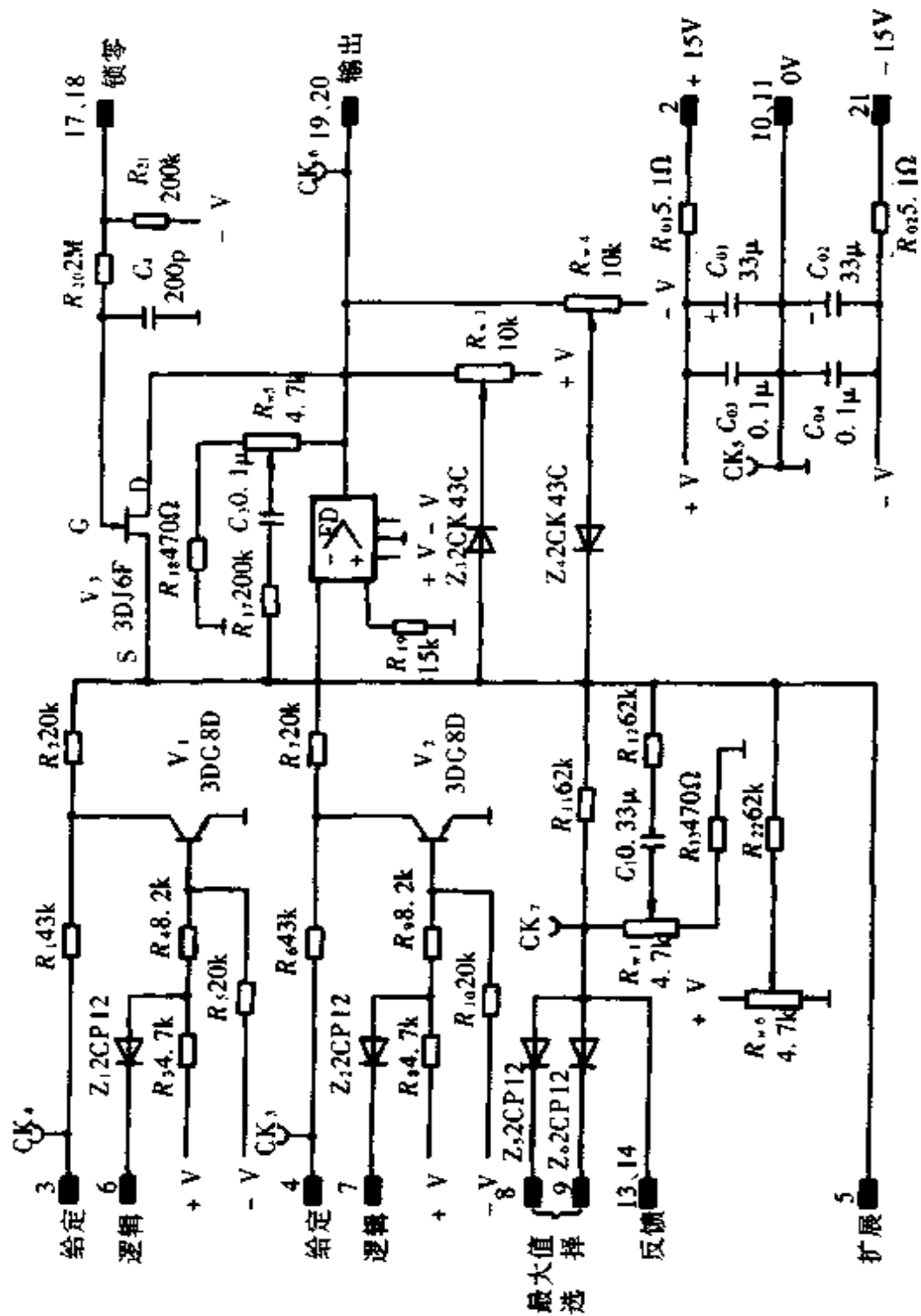


图 8.3.51 励磁电流调节器(LLT-1)原理图



使用说明:调节器的等值结构如图 8.3.52 所示,  $k_p = \frac{R_{17}}{\alpha_5 R_{22}}$ ,  $\alpha_5$  为电位器  $W_5$  与电阻  $R_{18}$  串联后输出分压系数;  $T_D = \alpha_1 R_{11} C_1$ ,  $\alpha_1$  为  $W_1$  与  $R_{13}$  串联分压系数;  $T_I = R_{17} C_3$ ;  $T_F$  为反馈回路滤波时间常数,  $T_F = R_{12} C_1$ 。

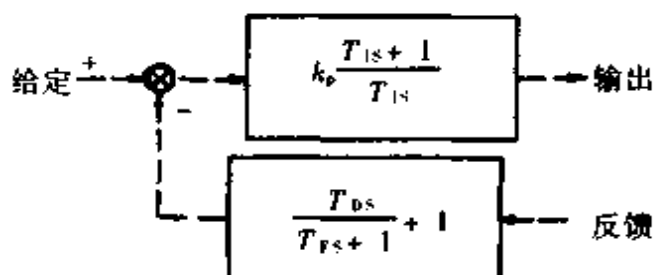


图 8.3.52 励磁电流调节器(LLT-1)等值结构图

用于恒磁系统时,励磁电流由  $W_6$  内给定,反馈接 13(14)端。用于一般弱磁系统时,满磁电流由  $W_6$  内给定,来自电流变换器的励磁电流负信号接最大值选择器 8、9 之一端,另一端输入接电压变换器变换的电机端电压(电势)负信号。在额定转速以下按电流调节,励磁电流恒定;在额定转速以上,电势负值更大,选择按反电势恒定调节,随转速升高而自动弱磁。本单元与 CBG-1 磁通变换及给定单元一起使用时,可组成能补偿弱磁导致的参数变化及涡流效应的良好调磁系统。这时,励磁满磁通由  $W_6$  内给定,13(14)端输入磁通反馈(由 CBG-1 单元提供)。达到满速后,CBG-1 单元磁通给定环节输出弱磁信号接 3 或 4 端,作为磁通附加给定,形成磁通内环、电势外环的双环调节,参数易于整定,且磁通变化所致励磁绕组(大惯性环节)时间常数的变化由磁通变换环节放大倍数的变化补偿,涡流效应也由该环节补偿,故品质良好。在用于磁场可逆系统时,内给定  $W_6$  置零,主回路速度调节器输出极性变换信号经匹配放大器和反号器输出作为励磁给定接 3 和 4 端,配合换向逻辑单元而工作。磁场可逆而又需弱磁的系统,弱磁只能通过大值选择器进行控制。锁零环节用于磁场可逆正、反向切换死时阶段,使本单元输出为零。 $W_1$ 、 $W_3$  调整输出正、负限幅。

使用调试方法:与 LT-4 相似。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 30mA$
最大输出电压	绝对值 $\leq 8V$
最大输出电流	绝对值 $\leq 6.4mA$
电压限幅范围	$\pm 1.5 \sim \pm 8V$
比例系数 $k_p$	4~30

积分时间常数  $T_i$  20ms

反馈微分时间常数  $T_D$  2~20ms

3.1.6.9 DT 励磁调节单元 用途:本单元功能有:提供触发用 +30V 电源和控制用  $\pm 15V$  稳压电源,励磁电流调节、触发输入匹配、交流电流变换(或直流电流变换)、失磁保护和过励保护等。本单元用于中等容量电动机的三相全控桥(输出电压 110~330V,输出电流至 55A)励磁装置中,可用以组成恒磁和非独立弱磁控制系统。图 8.3.53 及图 8.3.54 为本单元的概览图及原理图。

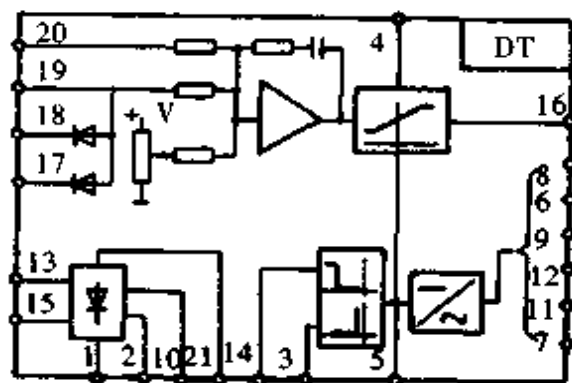


图 8.3.53 励磁调节单元(DT)概览图

使用说明:原理图上半部分为电源、调节器和触发输入匹配等环节,分述如下:

(1) 13、15 端输入交流电源,经整流得 +30V 强触发电源,由 1 端输出,用于 CF 触发脉冲;其后再经稳压分压得  $\pm 15V$  电源供触发脉冲单元(CF)和本单元用。两电源经  $Z_{10}$ 、 $Z_{11}$  隔离。

(2) 调节器以运放为基础构成。励磁电流内给定  $W_3$  电位器经  $R_1$ 、 $R_2$  输入;17 端接电流反馈负信号; $Z_1$ 、 $Z_2$  构成大值选择器,用于非独立弱磁控制调节,负电势信号由 18 端输入;调节器比例系数由  $W_1$  调节;19、20 端供扩展功能输入。

(3) 在触发输入匹配环节中, $W_4$  给出偏压(9~10V),它与调节器输出间的电位差由  $R_3$ 、 $R_4$  分压后确定了三极管  $V_1$  基极电位,即将调节器的正负输出信号变成触发脉冲单元所需的零正控制信号,由 16 端输出,调节器输出为 0V 时,16 号端为 4~5V,由此得到匹配; $W_2$  为  $\beta_{min}$  限制调整用, $W_3$  为  $\alpha_{min}$  限制调整用,此两电位器输出电压即为 16 号端控制电压的上、下限(为 1~8V);4 端用于引入故障联锁移相至  $\beta_{min}$  信号。

原理图下半部分为交、直流电流变换、失磁和过励保护环节,分述如下:

(1) 交流互感器副边由 9、11、7 端接入,经二极管整流变换为直流负电压,使用交流检测时应将  $R_7$  拆除,6 和 8 端、12 和 10 端分别短接;使用直流互感器时, $Z_5$ 、 $Z_7$  拆除;6、8、9、10、11、12 号端为输入端,与直流互感器副边绕组相接。

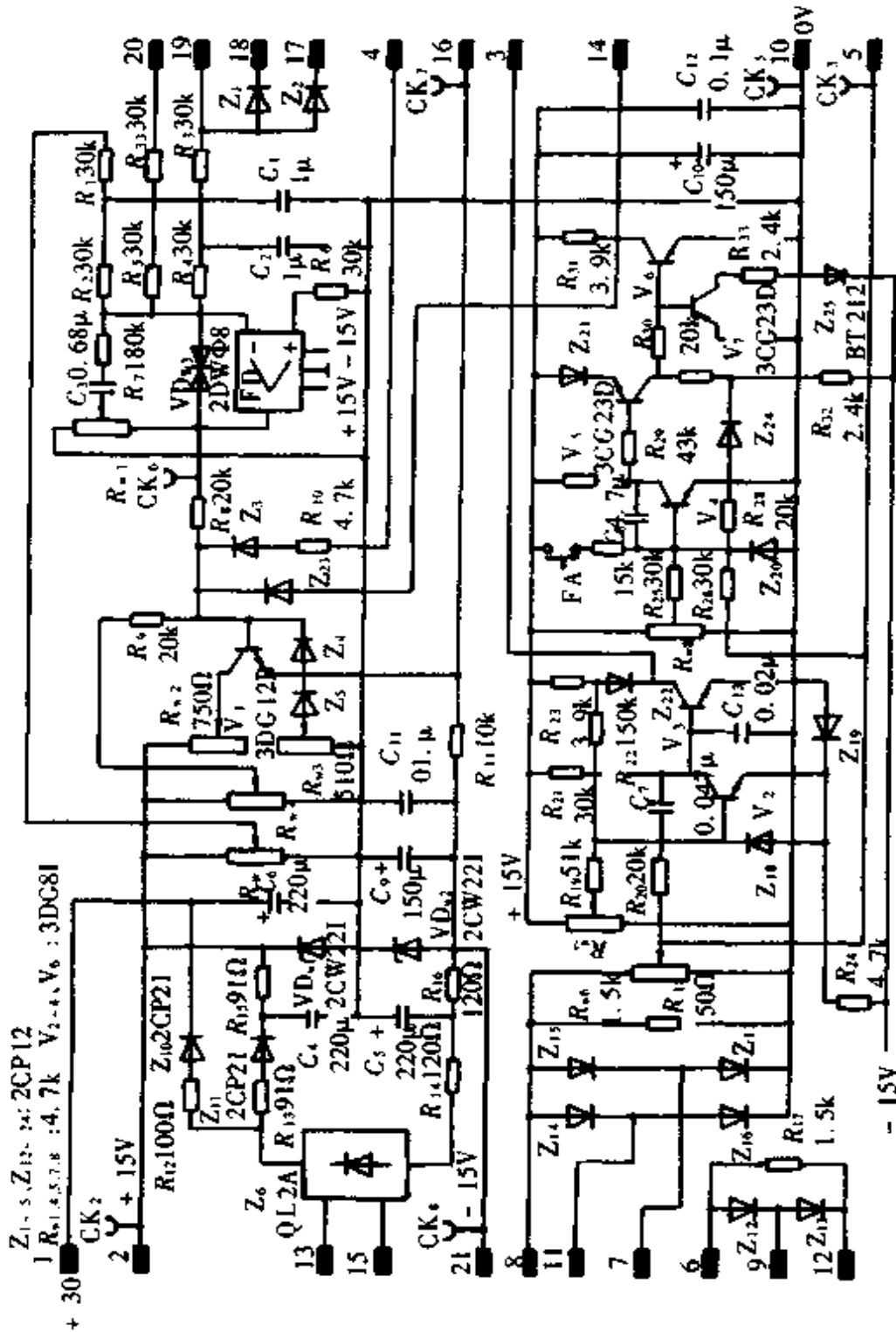


图 8.3.54 励磁调节单元(DT)原理线路图

(2) 电流反馈量由  $W_6$  整定, 5 端输出, 再接 17 端输入调节器。

(3) 失磁保护环节由  $V_2$ 、 $V_3$  为基础组成,  $W_6$ 、 $W_7$  输出电位差加于  $R_{19}$ 、 $R_{20}$  组成的分压电路。正常时,  $V_2$  截止,  $V_3$  导通, 3 端输出“0”电平; 失磁时,  $V_2$  导通,  $V_3$  截止, 3 端输出“1”电平故障信号。  $R_{22}$  提供正反馈使动作带继电特性; 通过  $Z_{19}$  的箝位作用, 在失磁保护动作时限制  $V_2$  的功耗。失磁(欠磁)保护动作点由  $W_7$  配合  $W_6$  的输出整定(考虑正常弱磁范围, 一般整定在 25% 额定值)。

(4) 过励磁保护由  $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ 、 $V_7$  组成,  $R_{25}$ 、 $R_{26}$  组成分压电路, 过励时  $V_4$  截止,  $V_5$  亦截止,  $V_7$  基极电位低于 0V 而导通, 发光二极管亮,  $V_6$  截止, 14 端输出“1”电平故障信号, 通过  $Z_{23}$  使 16 端输出推  $\beta_{\min}$  信号, 使励磁电流下降。由于  $R_{32}$  上端电位降低,  $Z_{24}$  导通,  $V_4$  基极维持低电位而记忆故障, 按下 FA 钮解除记忆。过励保护动作点由  $W_8$  整定。

技术数据:

交流 $2 \times 25V$ 整流输出电压	+ 30V
稳压输出电压	$\pm 15V$
4 端推 $\beta_{\min}$ 信号输入	正常“0”, 故障“1”
17 端电流反馈信号	0 ~ -10V
18 端电枢电势反馈信号	0 ~ -10V
3 号端失磁信号输出	正常“0”, 故障“1”
14 号端过励磁信号	正常“0”, 故障“1”
5 号端电流反馈信号	0 ~ -10V
6 号端控制信号	1 ~ 8V

3.1.6.10 YK-1 运转控制器 用途: 用在调速系统判别速度给定与反馈的有无以及其他运转、事故状况, 输出有关单元所需的工作或封锁信号, 控制、故障信号, 保证调节系统正常工作状态和可靠停车。本单元用于无准备切换逻辑无环流可逆直流电气传动系统, 亦可用于有环流可逆和不可逆系统。图 8.3.55 及图 8.3.56 是本单元的概览图及原理图。

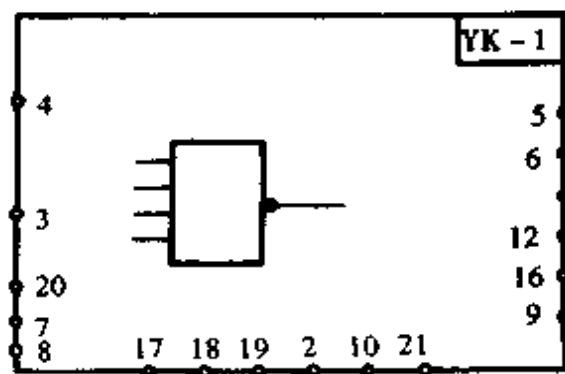


图 8.3.55 运转控制器(YK-1)概览图

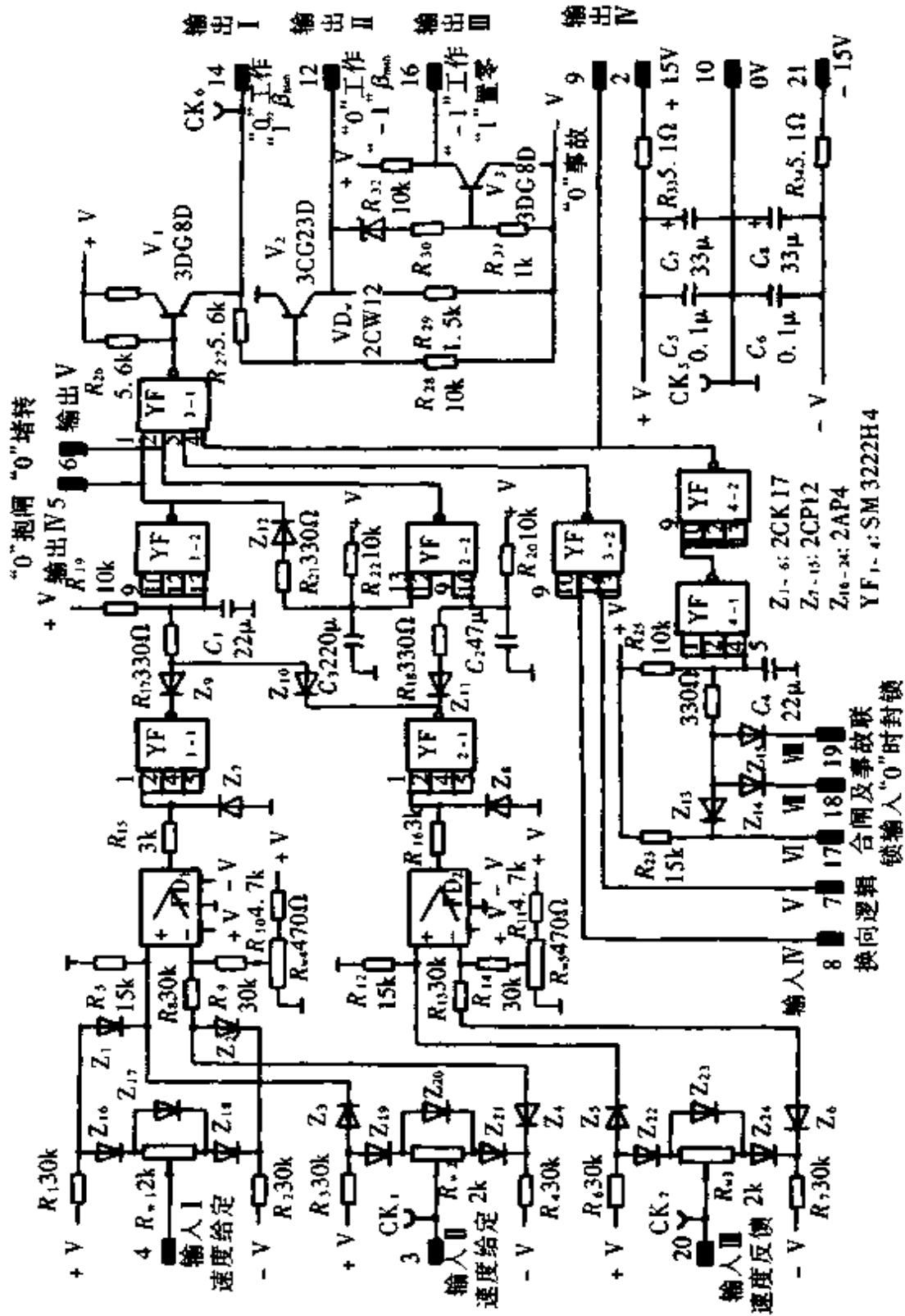


图 8.3.56 运转控制器(YK-1)原理线路图

使用说明:由放大器  $FD_1$ 、 $FD_2$  分别组成判别是否有速度给定和反馈的两个电平检测器,其结果由二极管  $Z_9$ 、 $Z_{10}$  或门输出;与非门  $YF_{2,2}$  判别是否堵转; $YF_{3,2}$  判别是否处于换向死区; $YF_{4,2}$  判别主回路开关的分合及事故有无。上述四信号在  $YF_{3,1}$  综合,决定输出运转控制信号的状态( $YF_{3,1}$  输入均为“1”时输出工作信号)。电平检测整定动作电平  $\pm 0.25V$ ,速度输入或反馈电平高于动作电平,则  $YF_{1,2}$  输出工作信号;输入均低于动作电平,经  $100ms$ ( $R_{19}C_1$  充电延时)后封锁信号。换向过程中,正、反组变流器均封锁时,输入  $IV$ 、 $V$  均为“1”, $YF_{3,2}$  输出封锁信号。输入  $VI$  经主回路开关常闭辅助接点接零,合闸后延时  $100ms$ , $YF_{4,2}$  输出工作信号, $R_{23}$  为常闭接点提供  $10mA$  电流,保证可靠接触。输入  $VI$ 、 $VI$  为事故电平信号输入端,事故时为“0”,输出  $I$ 、 $II$  可接电流调节器或触发输入与保护单元,提供“1”或“-1”推  $\beta_{min}$  信号。给定速度  $1s$ ( $R_{22}C_3$  充电延时)后如无速度反馈,则输出  $V$  提供堵转“0”信号,0 输出  $VI$  提供事故“0”电平信号。本单元有抱闸信号输出,故位势负载亦可应用。在用于有环流可逆和不可逆系统时,7、8 号之一端或两端接零。本单元在用于调速范围大于 20 的系统,给定和反馈要经比较放大器输入。

使用调试方法:电平检测器动作电平分别由  $W_4$ 、 $W_5$  调整,正、负输入对称度分别由  $W_1$ 、 $W_2$  和  $W_3$  调整。亦可在输入加  $0.25V$  交流电压  $U_1$ ,用双踪示波器观察电平检测器输出  $U_2$  方波,调出如图 8.3.57 对称波形(图中两量衰减不同),且动作点处于交流电压约  $45^\circ$  既可。输入  $IV$  或  $V$  接  $0V$ ,加给定则输出  $I$ 、 $II$ 、 $III$  信号翻转,经  $1s$  后复原输出  $I$ 、 $II$ 、 $III$ ,并发堵转信号;反馈端给电压,输出翻转并保持。

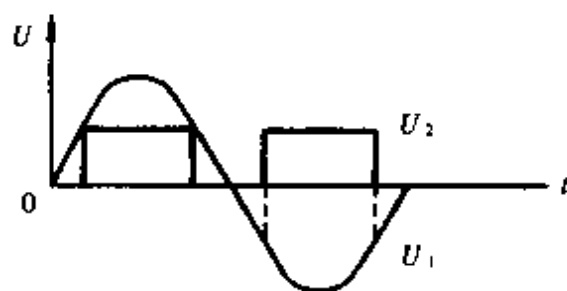


图 8.3.57 输出  $U_2$  波形

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V$ ( $\pm 1\%$ )
消耗电流	$< 50mA$
电平检测最小动作电压	绝对值 $\geq 0.2V$
正负值之差	$< 0.05V$

3.1.6.11 YK-2 运转控制器 用途:功能与 YK-1 基本类同。主要用于有准备切换逻辑无环流可逆直流电气传动系统,亦可用于有环流可逆和不可逆系统。

图 8.3.58 及图 8.3.59 是本单元概览图及原理图。

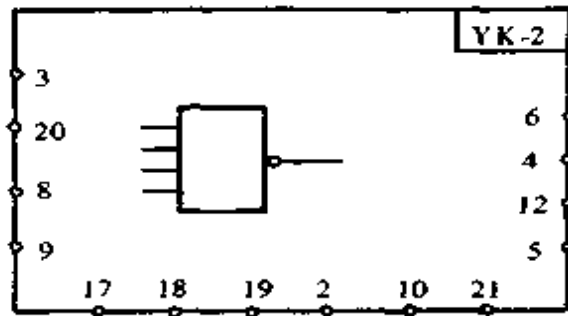


图 8.3.58 运转控制器(YK-2)概览图

使用说明:  $FD_1$ 、 $FD_2$  分别组成速度给定与反馈电平检测,两结果经  $Z_{13}$ 、 $Z_{14}$  组成的或门输出;  $YF_{2,2}$  判是否堵转;  $YF_{5,2}$  判主回路开关的分合及事故有无。上述三信号综合(在  $YF_{3,1}$ )后输出 I 输出工作或推  $\beta_{min}$  信号至触发输入与保护单元;同时  $YF_{3,1}$  输出经  $YF_{3,2}$ 、 $YF_{4,1}$  和  $V_1$ 、 $V_2$  输出调节器的工作“-1”和置零“1”信号(输出 II)。在换向死区,8、9 端均输入“1”信号,经  $YF_{4,1}$ 、 $V_1$ 、 $V_2$  输出“1”调节器置零信号。速度给定(输入 I)或反馈(输入 II)输入电平高于  $FD_1$  或  $FD_2$  动作电平,  $YF_{1,2}$  输出“1”工作信号;如均低于动作电平,则经  $100ms$  ( $R_{18}C_1$  充电延时)后输出反馈“0”信号。加给定速度  $1s$  ( $R_{19}C_3$  充电延时)后如无速度反馈,  $YF_{2,2}$  (输出 IV)输出堵转“0”信号。 $R_{20}C_2$  充电延时  $200ms$ , 长于  $R_{18}C_1$  充电延时,是为防止停车时  $YF_{2,2}$  输出错误堵转信号。输入 III、IV 是使换向死区时调节器置零。输入 V 经主回路开关常闭辅助接点接  $0V$ , 合闸后延时  $100ms$ 。输入 VI、VII 为事故电平信号输入端。输出 III 输出故障“0”电平信号。电平检测动作电平可调至  $\pm 0.25V$ , 满足 1:20 调速范围(给定为  $0.4\sim 8V$ ), 如调速范围要求更大, 给定和反馈要经比较放大器变换再输入本单元。用于有环流可逆和不可逆系统时,8 或 9 接  $0V$ , 本单元与 YK-1 不同之处在于它考虑有准备换向, 在换向死区, 触发输入与保护单元“准备”了换向后与电势对应的触发相位, 而不移至  $\beta_{min}$ , 在 YK-1 单元, 则与停车、故障等状态同样处理。

使用调试方法: 参见 YK-1 说明。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 50mA$
电平检测最小动作电压	绝对值 $\geq 0.2V$
正负值之差	$< 0.05V$

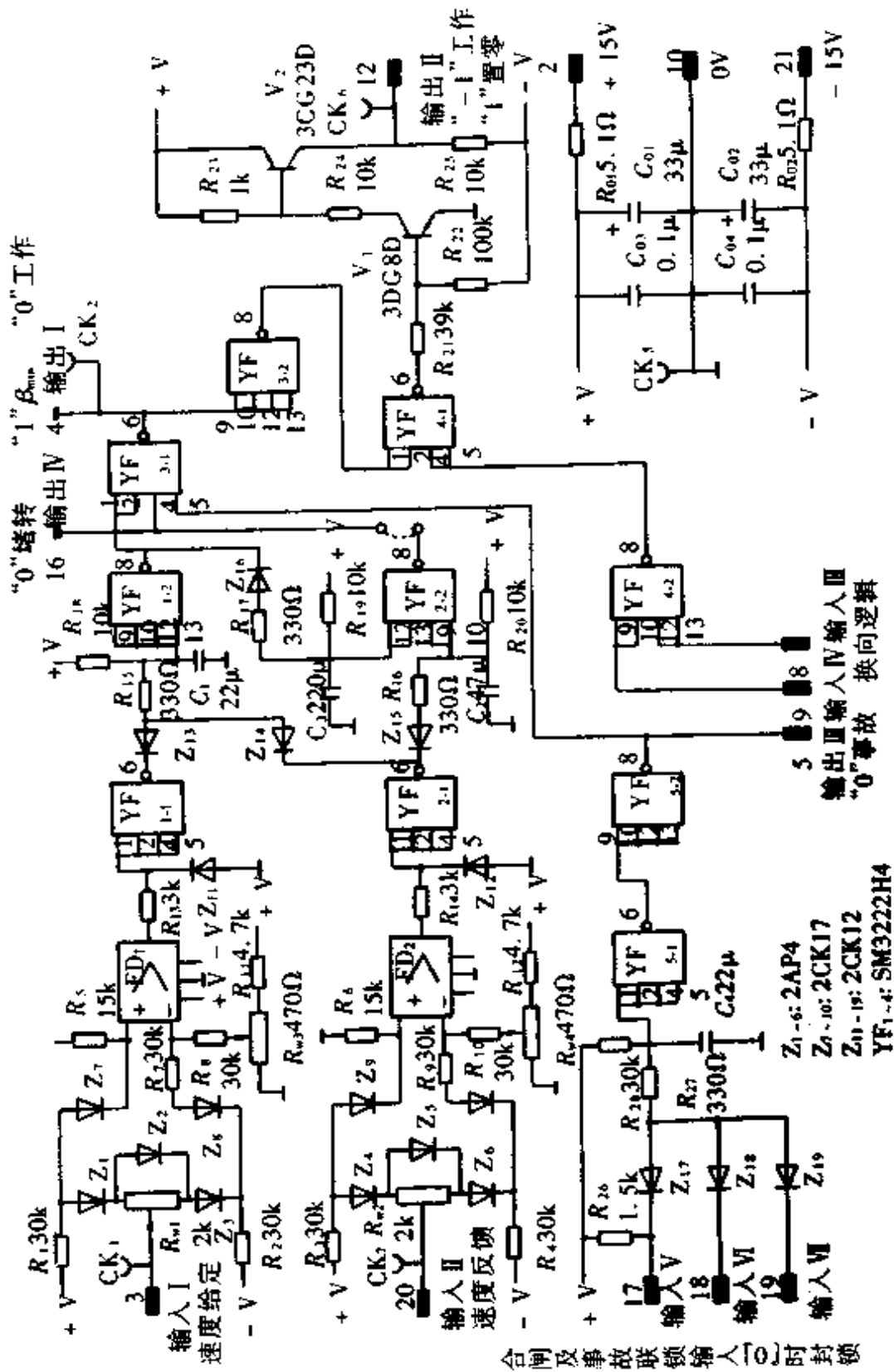


图 8.3.59 反转控制器(YK-2)原理线路图



3.1.6.12 HL-1 换向逻辑单元 用途:本单元在逻辑无环流可逆直流传动系统中根据电流给定信号的极性和零电流检测的结果,以一定的时间、逻辑关系输出正、反组变流器无环流工作和安全切换所需的触发脉冲工作和封锁信号。主要用于有准备和无准备切换逻辑无环流可逆直流电气传动系统。图 8.3.60 和图 8.3.61 是本单元的概览图和原理图。

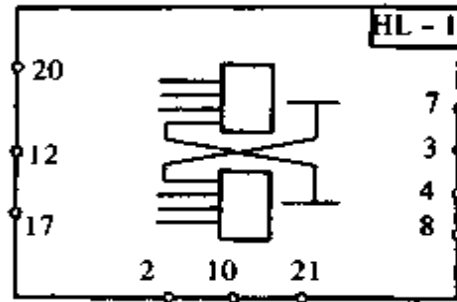


图 8.3.60 换向逻辑(HL-1)概览图

使用说明:由 FD 组成具有一定回环的极性鉴别器。其输入(输入 I 端)接电流给定信号(即速度调节器输出),其极性变化是正、反组变流器切换的必要条件。与非门  $YF_{2.1}$ 、 $YF_{2.2}$  为零电流鉴别器,其输入 II、III 端输入信号来自 LB-1 电流变换器的电平检测器,有电流时为“1”电平,使  $YF_{3.1}$ 、 $YF_{3.2}$  输入端为“1”电平,两门输出均为“0”, $YF_{4.1}$ 、 $YF_{4.2}$  的输出已互锁,电流给定极性变化亦不能使其翻转。只有当两电流信号均为“0”时,二极管  $Z_3$ 、 $Z_4$ 、 $Z_6$ 、 $Z_7$  截止,输入 I 极性变化才能使  $YF_{3.1}$ 、 $YF_{3.2}$  之一输出翻转,开始换向。所以,电流为“0”是换向的必要条件。如输入 II、III 端只用其一,另一端应接 0V。开车前,输入 I 电流给定为 0,输入 II、III 为“0”电平,输出状态是随机的。当电流给定为负,极性鉴别器输出“0”, $YF_{1.1}$  输出“1”,开始为零电流,故  $YF_{3.1}$ 、 $YF_{3.2}$  可切换, $YF_{3.1}$  输出“0”而  $YF_{3.2}$  输出“1”, $YF_{4.1}$ 、 $YF_{4.2}$  分别输出“1”、“0”,而且互锁,继之  $YF_{6.1}$ 、 $YF_{6.2}$  分别输出“0”、“1”,亦被互锁而保证稳定。输出 I 为“0”,用于接产生负电流的那组触发脉冲单元,如  $YF_{4.1}$ 、 $YF_{4.2}$ 、 $YF_{6.1}$ 、 $YF_{6.2}$  原状态正确,则给定后它们维持原状。产生电流后,如前述  $YF_{3.1}$ 、 $YF_{3.2}$  输出均为“1”,其后各门不再动作。当给定极性变正,电流下降为零后, $YF_{3.2}$  输入经  $R_6 C_2$  充电延时 1~2ms 才变为“1”, $YF_{6.1}$  输入几乎随即由“1”变为“0”,输出 I 翻转为“1”,工作组封锁。 $YF_{3.2}$  的动作延时称为关断延时  $\Delta t_1$ 。它与零电流动作电平  $U_f$  相配合,实际上是检测电流的断续,断续后封锁脉冲,才能可靠关断。关断延时结束时输出 III、IV 也翻转,在有准备切换系统中,以信号接电势记忆调节器,准备好待工作组触发所需信号的正确极性。 $YF_{4.2}$  翻转为“1”,但经开放延时  $\Delta t_2$  ( $R_{12} C_4$  充电延时 4~5ms),即待原工作组电流脉冲结束后, $YF_{6.2}$  输出(输出 II)才翻转为“0”,待工作组开放(见图 8.3.62)。相反的切换过程与上述情况相似。

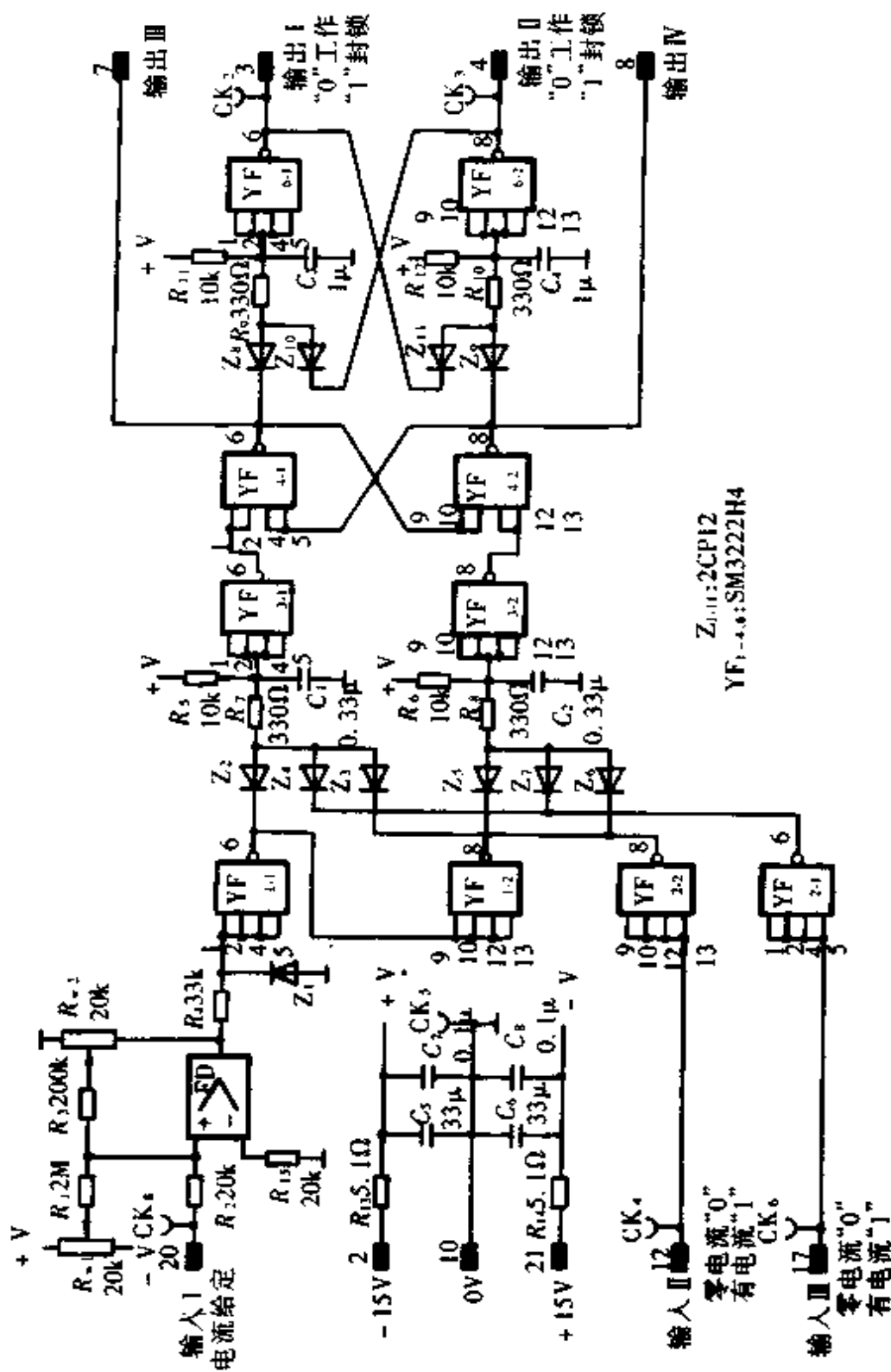


图 8.3.61 换向逻辑 (HL-I) 原理线路图

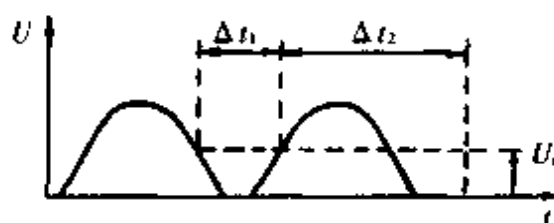


图 8.3.62 电压波形图

使用调试方法:极性鉴别动作电平由电位器  $W_2$  调整,正、负极性对称性或差异由  $W_1$  调整,一般调为对称  $\pm 2V$ 。延时时间长短、动作正常与否及与非门输入输出关系的检查可将输入 II、III 接  $0V$ ,在输入 I 加  $5V$  交流电压,用示波器观察。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$+15V: < 50mA$
	$-15V: < 20mA$
电平检测最小动作电压	绝对值 $\geq 2V$
正负值之差	$< 0.05V$
关断延时 $\Delta t_1$	$1 \sim 2ms$
开放延时 $\Delta t_2$	$4 \sim 5ms$

3.1.6.13 LB-1 交流电流变换器 用途:本单元与交流电流互感器配合,将交流进线电流变换成与其成正比的直流电压,作电流反馈信号用,并设有零电流检测环节。单元主要用于逻辑无环流可逆系统主回路交流电流变换。图 8.3.63 及图 8.3.64 是本单元概览图及原理图。

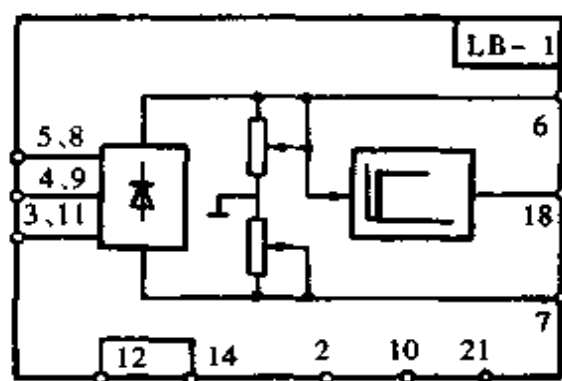


图 8.3.63 交流电流变换器(LB-1)概览图

使用说明:将交流进线电流通过电流互感器变换成额定值为  $0.1A$  的电流信号,输入本单元 3、4、5 号端,经三相全波整流为直流电压信号,极性有正、负两种供选。6、7 端分别输出正、负信号,输出量大小由电位器  $W_1$ 、 $W_2$  调整。 $R_1$ 、 $R_2$  电阻为防止电流互感器副边开路而设。另外,本单元 12、14 端应与控制系统形成反馈。

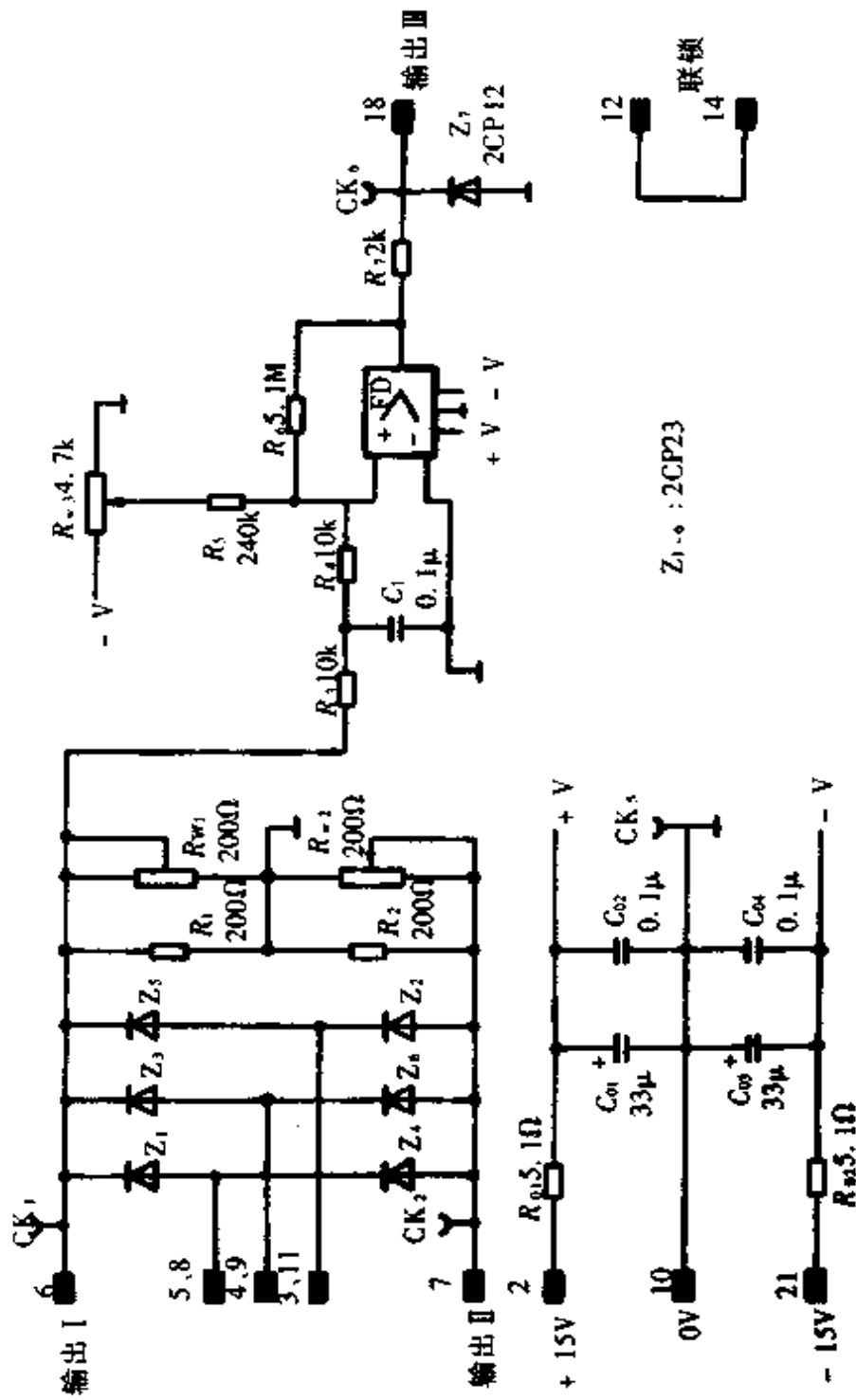


图 8.3.64 交流电流变换器(LB-1)原理线路图

防止本单元插入前主回路合闸引起电流互感器副边开路导致过压击穿事故。本单元只适用于主回路为三相桥式整流的装置,互感器可用3只,也可选2只接成V型。零电流检测环节由FD组成的电压比较器构成。电流反馈的电压正信号经 $R_3$ 、 $R_4$ 电阻接FD的同号端,与负偏电压比较,当输入信号超过电位器 $W_3$ 给出的负偏置值时,18端输出“1”,说明有电流,无电流则输出“0”。 $R_6$ 正反馈电阻为使零电流检测器形成 $<0.1V$ 回环的继电特性。零电流信号一般接至换向逻辑单元,控制换向逻辑单元输出状态的改变。本单元输入允许短时过载三倍。

使用调试方法:采用三相调压器,副边每相接50W、500 $\Omega$ 电阻,串入电流表,然后输入到本单元3、4、5输入端,接好 $\pm 15V$ 稳压电源。调节三相调压器,使电流表指示0.1A。调节电位器,测6端,电压在0~10V范围内变化;调 $W_2$ 测7端,电压在0~-10V变化。调 $W_1$ 使6端为2V,调节 $W_3$ 使18端输出“1”,电压大于10V。调 $W_4$ 使6端为1V,调 $W_3$ 使18端输出为“0”。具体整定值也可由选用者决定。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 20mA$
输入电流为0.1A时	输出 I : 0~+10V 输出 II : 0~-10V
比较器输出:有电流	“1”
比较器输出:无电流	“0”
零电流动作值	0.2~1V可调

3.1.6.14 GB-1 光电零电流变换单元 用途:用于检测三相整流桥各桥臂上晶闸管电压是否全部为零的方法判别和取得零电流信号。本单元和LB-1同时使用可提高零电流检测的可靠性,主要用于有准备切换逻辑无环流可逆系统。图8.3.65及图8.3.66是本单元概览图及原理图。

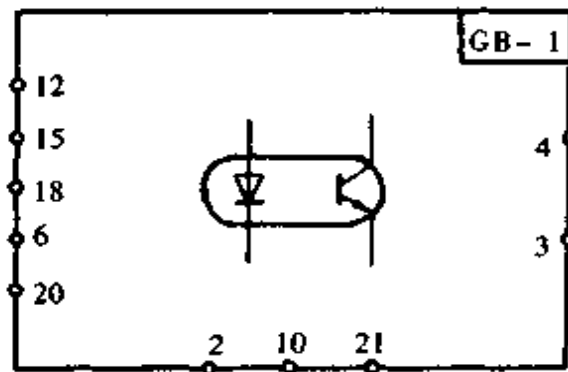


图 8.3.65 光电零电流变换(GB-1)概览图

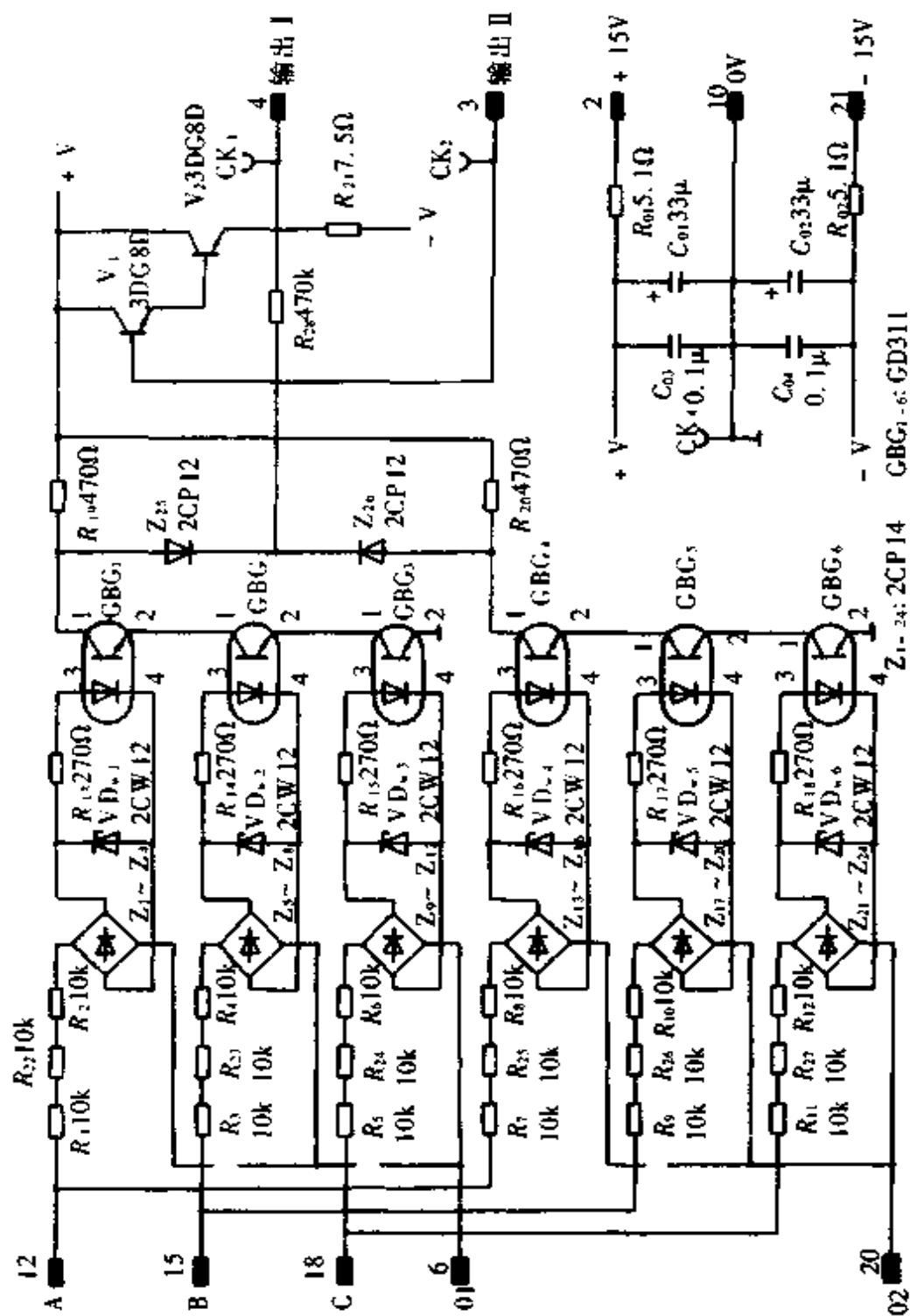


图 8.3.66 光电零电流变换(GB-1)原理线路图

使用说明:三相整流桥 A、B、C 交流输入端分别接入本单元的 12、15、18 端,整流桥的正、负输出分别接本单元的 01、02 端。因而六个桥臂晶闸管端电压分别输入本单元的检测回路。将桥臂上的端电压经电阻衰减输入到二极管整流桥,通过整流及稳压管稳压输入到光耦三极管。当六个桥臂都存在电压时,则  $GBG_1 \sim GBG_6$  都导通,  $V_1$ 、 $V_2$  截止,3、4 端输出为“0”,表示零电流。当桥臂中有一个晶闸管导通,即无桥臂电压,此臂对应的光耦管截止,使  $V_1$ 、 $V_2$  导通,3、4 输出为“1”,说明有电流,此信号禁止正、反组切换。输出 II 供两组整流桥并联工作时,两个光电零电流检测单元并联使用(即两单元输出 II 并联)。本单元应用于额定电压为 220V 或 440V 的直流电动机系统,当用于 220V 直流电动机传动系统时,应将电阻  $R_{23}$ 、 $R_{24}$ 、 $R_{26}$  短接。

使用调试方法:将 40V 的交流电压其一端通过  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  三个开关分别接到本单元 12、15、28 端;另一端通过  $K_4$ 、 $K_5$  两个开关分别接到 6、20 端。当  $K_1 \sim K_5$  五个开关全合时,输出 3、4 端为“0”,小于 2V。 $K_4$ 、 $K_5$  闭合,断开  $K_1 \sim K_3$  中任一个开关时,输出 3、4 端为“1”,大于 10V。当  $K_1 \sim K_3$  闭合, $K_4$ 、 $K_5$  任一开关断开时,输出 3、4 端为“1”,大于 10V。

技术数据:

工作电压  $\pm 15V(\pm 1\%)$

消耗电流  $< 10mA$

输出电平 主回路有电流:“1”

主回路无电流:“0”

3.1.6.15 **SB-3 速度变换器** 用途:本单元将直流测速发电机电压经分压后向速度调节器提供转速反馈信号、转速指示仪用信号、超速保护信号以及在弱磁高速情况下向速度调节器输出自动限幅所需的速度信号,用于速度调节系统。图 8.3.67 及图 8.3.68 是本单元的概览图及原理图。

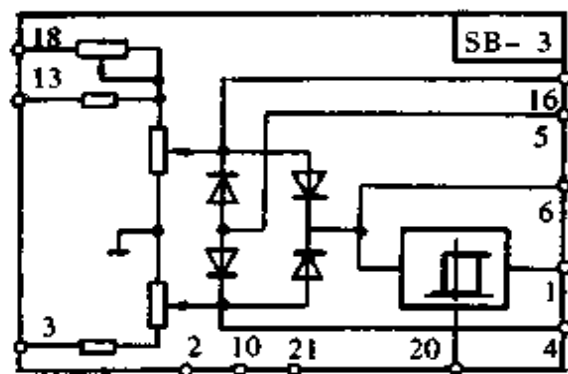


图 8.3.67 速度变换器(SB-3)概览图

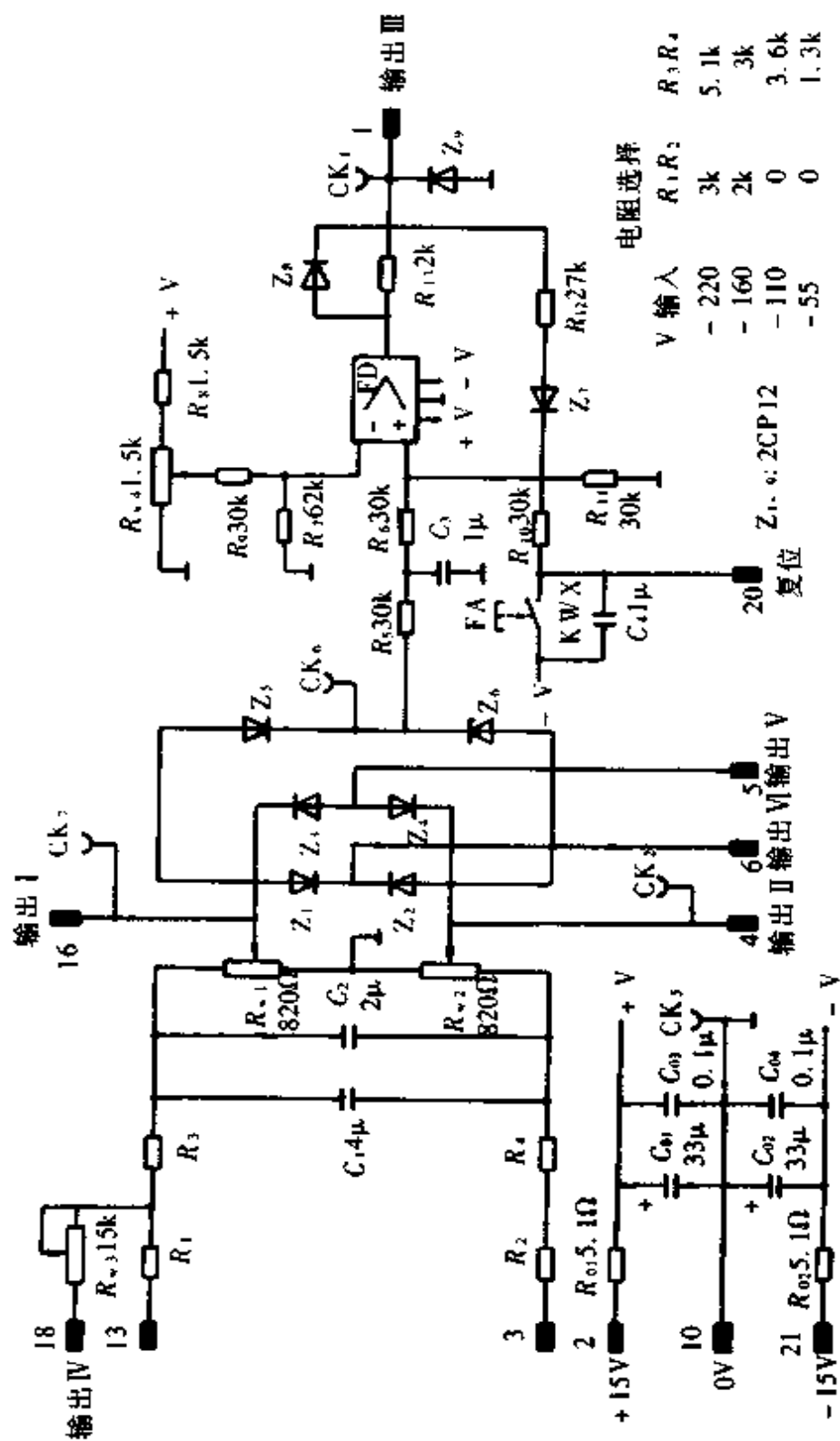


图 8.3.68 速度变换器(SB-3)原理线路图



使用说明:单元 3、13 端接直流测速发电机,根据测速发电机的电压等级,输入电压分为直流 55V、110V、160V、220V 四种,可根据不同电压选择相应衰减电阻值。输入信号经电阻  $R_1 \sim R_4$  衰减后,从电位器  $W_1$  取出某种极性的转速反馈信号经 16 端输出。从  $W_2$  取反极性转速反馈信号经 4 端输出。另经二极管  $Z_1 \sim Z_4$  整流后,从 6 端输出恒正信号,从 5 端输出恒负信号,以供速度调节器自动改变输出限幅值用。输出 IV 接转速指示仪表,电位器  $W_3$  可调节输出值。超速保护环节由带记忆功能电压比较器组成,转速反馈信号经二极管  $Z_5$ 、 $Z_6$  整流变成绝对值信号送入 FD 的同号输入端,与取自  $W_4$  上偏置值比较,正常时小于偏置值,FD 输出负,因  $Z_5$  的作用,使 1 端输出为“0”。超速时,速度反馈信号大于偏置值,FD 输出变正,通过  $Z_7$ 、 $R_{12}$  正反馈使输出保持“1”记忆。按 FA 钮才能解除记忆。比较器动作值由  $W_4$  调整。 $R_{13}$  为限流电阻, $Z_8$  可提高“1”态输出负载能力。

使用调试方法:用可调直流电源接本单元 3、13 端,接好  $\pm 15V$  稳压电源,调直流电源到选定的额定电压值,调  $W_1$  使输出 I 为  $+8V$ ,调  $W_2$  使输出为  $-8V$ ,此时输出 VI 与输出 V 间的电压约为  $+15V$ 。若输出为“1”,调节  $W_4$  加大偏置,按 FA,输出应从“1”变“0”,调节  $W_1$  使反馈信号增加(即超速),比较器输出 III 应从“0”变“1”,当调  $W_1$  使输出返回  $8V$ (正常速度)后,输出 III 仍应为“1”,实现记忆,按 FA 解除记忆,输出从“1”复“0”。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 20mA$
直流测速机电压	220V, 160V 110V, 55V
输出 I、II 最大值	绝对值 $< 8V$
比较器输出	超速 “1”(带记忆)
	未超速 “0”

3.1.6.16 CBG-1 磁通变换及给定单元 用途:本单元由磁通变换和磁通给定两部分组成。磁通变换部分是一个函数发生器,它把从电流变换器来的励磁电流信号变换为磁通信号,作为励磁电流(或磁通)调节器的电流反馈信号。磁通给定部分是一个电压比较器,其输入电压是由变换器来的电动机电势信号,当此信号电压大于 95%(或 90%)额定电压后,其输出作为励磁电流(或磁通)调节器自动弱磁信号,这时的系统为带有磁通环的电势调节系统。本单元用于需补偿因磁通变化而引起系统参数变化的自动弱磁系统。图 8.3.69 及图 8.3.70 是本单元的概览图及原理图。

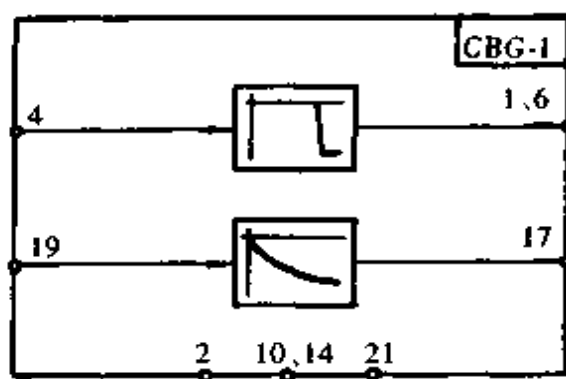


图 8.3.69 磁通变换及给定单元(CBG-1)概览图

使用说明:磁通变换部分由带有惯性的函数发生器构成。它不仅能模拟磁化曲线及涡流滞后,而且能模拟不同饱和程度下涡流滞后的变化。模拟的磁化曲线由四段直线连接组成,各段拐点固定。拐点分别由  $R_{16}$  和  $R_{19}$ 、 $R_{17}$  和  $R_{20}$ 、 $R_{18}$  和  $R_{21}$  电阻配置所决定,各段折线的斜率由电位器  $W_7$ 、 $W_6$ 、 $W_5$  和  $W_4$  调整。 $FD_2$  的 19 端输入电动机励磁电流信号,一般接交流电流变换 LB-2 单元的输出, $FD_2$  的 17 端输出磁通信号,可作为磁通调节系统的反馈信号,同时也是弱磁系统中速度自适应调节所需的信号,一般接 LLT-1 或 CT-1 单元。

磁通给定部分是由  $FD_1$  构成的电压比较器, $FD_1$  的 4 端接电压变换器 YB-1 单元固定极性为正的输出端,输入反电势实际值,与  $W_1$  给出负偏置内给定比较。当小于偏值时,比较器输出 1、6 端为零;反之,比较器输出负信号,而自动弱磁升速。一般负偏置调整在 95% (或 90%) 额定电势值,即输入反电势超过此值后电机进入弱磁升速。弱磁信号作为调节单元的励磁附加给定信号,其最大值与额定励磁给定电压之比应等于最大弱磁化  $\frac{\Delta\Phi}{\Phi_0}$  ( $\Delta\Phi$  为磁通变化量; $\Phi_0$  为额定磁通),此比值可由  $W_3$  精确整定。在弱磁信号电压最大值初步确定条件下, $W_1$  内给定约为 7.6V (设 8V 为额定电势值),比较器放大倍数由  $W_2$  调整,最低  $k_p = 10$ 。放大倍数越大,弱磁时反电势变化量就越小。稳压管  $WG_1$  对负输出限幅,以防电机过分弱磁而超速。

使用调试方法:首先运放器  $FD_1$ 、 $FD_2$  进行调零。然后调  $W_1$  到某值, $FD_1$  输出高电平,因  $Z_3$  截止,故 1 端输出为 0V。4 端输入正电平逐渐增加,当超过  $W_1$  负偏置电压时, $FD_1$  翻转,输出负电压,其大小由  $W_3$  整定,调节  $W_1$ 、 $W_2$  可改变动作电压和动作后的斜率。

调零后,从 19 端输入一个从 0 ~ +10V 的电压,17 端输出一条由四折线组成的与磁化曲线相近的函数曲线,如相差甚远,可改变  $R_{16}$  ~  $R_{21}$  拐点电阻的配置, $W_4$  ~  $W_7$  由使用者按系统要求整定。

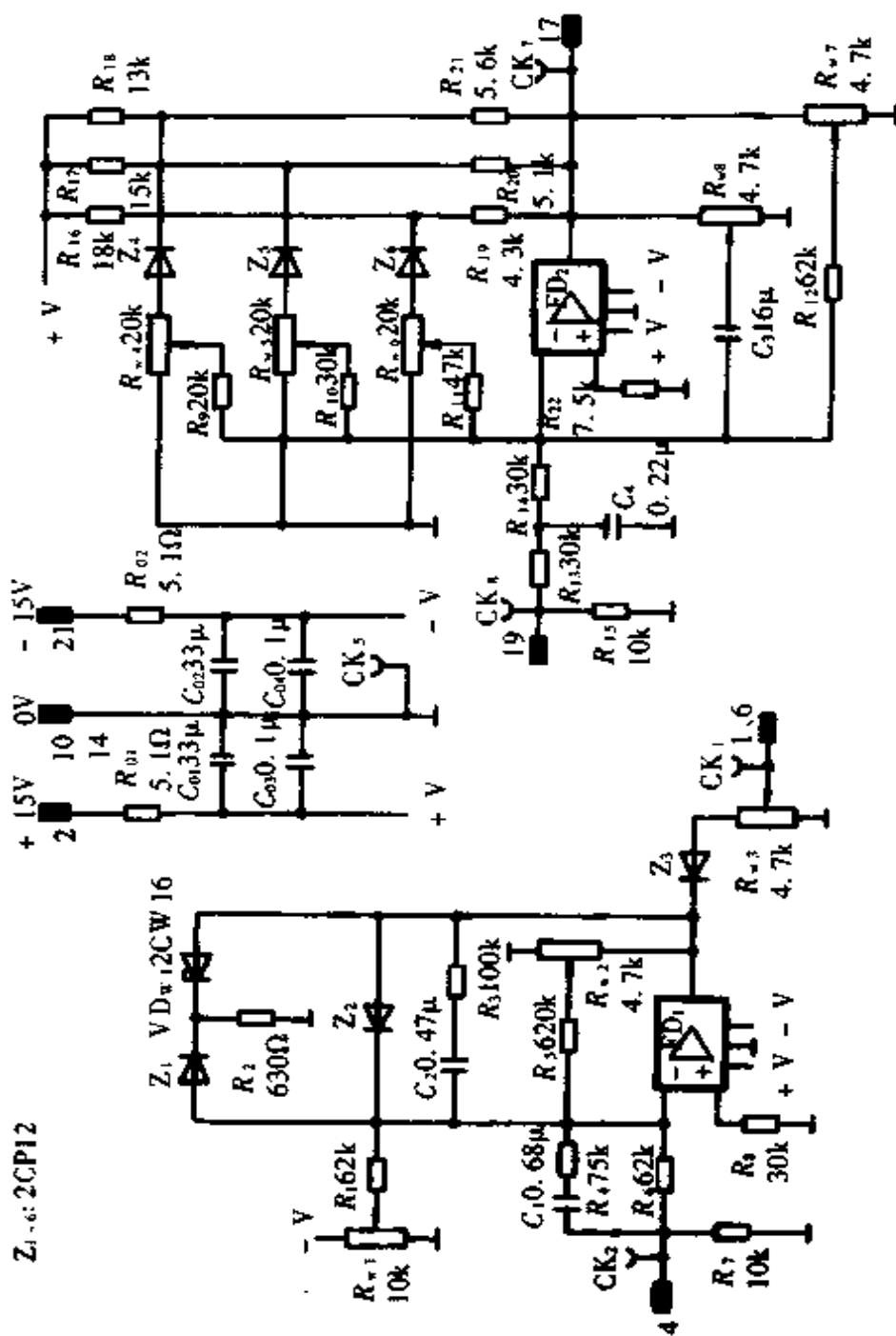


图 8.3.70 磁通变换及给定(CBG-1)原理线路图

技术数据:

工作电源电压  $\pm 15V(\pm 1\%)$

消耗电流  $< 30mA$

最大输出电压  $-8 \sim -9.5V$

3.1.6.17 **DY-1 电源异常检测单元** 用途:本单元用于直流电气传动系统中对三相交流控制电源、三相整流主回路电源缺相、欠压及两组  $\pm 15V$  稳压电源欠压和直流  $+24V$  电源的失压等进行检测。对三相电源缺相、欠压具有记忆功能。图 8.3.71 及图 8.3.72 是本单元的概览图及原理图。

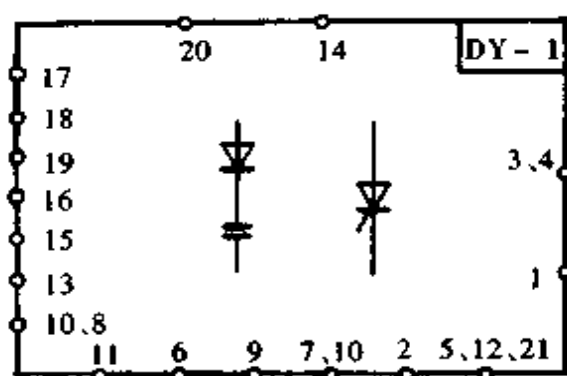


图 8.3.71 电源异常(DY-1)概览图

使用说明:被检测的三相交流控制电源、三相整流主回路电源需经  $\Delta/Y_0$  或  $Y/Y_0$  隔离变压器降压成副边电压  $22V$ (线电压)后输入本单元。隔离变压器副边零线接 8 端与单元零线相连。被检控制电源接 17、18、19 输入端。被检三相主电源接 13、15、16 输入端。 $KG_1$  晶闸管控制极电位由三部分提供:由  $Z_1 \sim Z_3$  组成的整流电路经  $R_3$  提供负电位;由  $WG_1$  稳压管经  $R_5$  提供正电位;由  $-15V$  电源经  $R_6$  提供负电位。当控制电源电压正常时, $KG_1$  控制极电位为负值而关断, $V_4$  导通,1、3 输出为“0”。当控制电源欠压或缺相时,整流回路输出负电压降低,使  $KG_1$  控制极上电位变正而导通,发光二极管  $XD_1$  亮,并使  $V_4$  截止,输出变“1”,发出故障信号。1 端用于电平信号输出,3 和 4 端外接  $24V$ 、继电器释放,发出接点信号。 $KG_1$  记忆可按 FA 钮或外接复位按钮复位, $KG_1$  关断, $XD_1$  熄灭, $V_4$  导通,1、3 端输出“0”,继电器吸合。所以  $+24V$  电源可以由继电器接点信号进行检测。主电源失压时  $XD_2$  亮,其他动作情况与上述相同。11 端和  $-15V$  之间必须接主电源开关辅助常闭连锁接点,以免控制电源接通、主电源未合时误发异常信号。此连锁接点必须在主电源合闸后延时放开。二组被检  $\pm 15V$  稳压电源分别经 2 和 21、6 和 9 端输入。当正常时, $V_2$  导通, $V_3$  截止, $V_4$  导通,输出“0”,外接继电器吸合。当欠压到  $+12V$  或  $-12V$  时,基极电位低于  $WG_3$  稳压值, $V_2$  截止, $V_3$  导通, $V_4$  截止,发出故障“1”信号,继电器释放。此信号可接至故障综合 GZ-2 单元。本单元电源异常

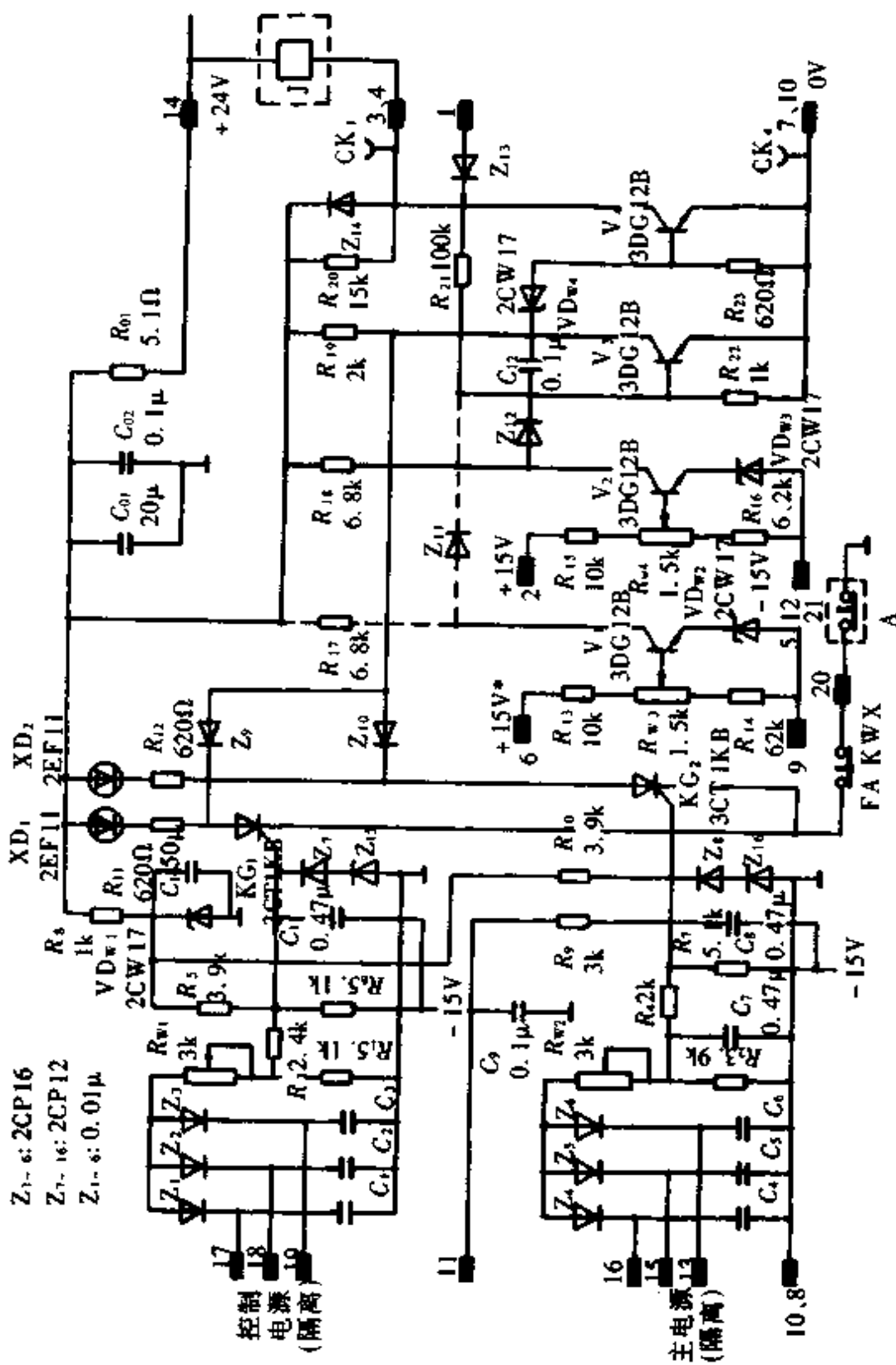


图 8.3.72 电源异常(DY-1)原理线路图

动作值分别由电位器  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$  予以整定。

技术数据:

工作电源电压  $\pm 15V(\pm 1\%)$ ,  $+24V$

消耗电流  $<20mA$ ,  $<100mA$

检测电压范围:三相控制电源 90%~60%

三相主电源 80%~50%

$\pm 15V$  稳压电源  $\pm 13 \sim \pm 10V$

$\pm 24V$  直流电源 有、无

3.1.6.18 GCY-1 过励磁及过电压信号单元 用途:用于直流电气传动系统中对直流电动机的过励磁及电枢过电压进行检测,并具有记忆功能。图 8.3.73 及图 8.3.74 是本单元概览图及原理图。

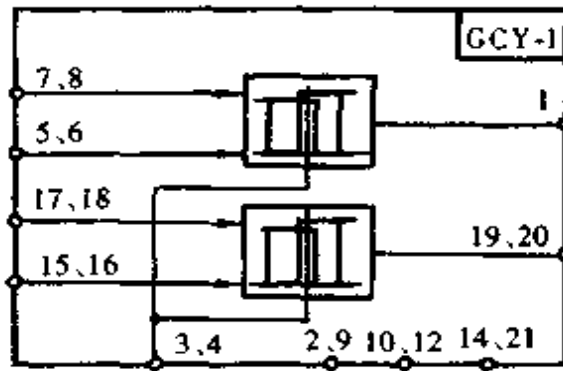


图 8.3.73 过励磁及过电压(GCY-1)概览图

使用说明:过励磁 GC 检测环节有一个反号输入 17 端和一个同号输入 15 端。当采用励磁电流变换器的正输出信号作输入时接 15 端,17 端接 0V;反之,负输入接 17 端,15 端接 0V。过电压 GY 检测环节的使用与此相似,其输入信号取自电枢电压变换器的恒极性输出端,当取恒正极性信号时从 5 端输入,7 端接 0V;反之,恒负极性信号接 7 号端,5 号端接 0V。GC、GY 两检测环节均采用正偏置,因此,当输入信号小于偏置值(即正常)时,比较器输出 1 及 19 端为“0”;当超限(即过励磁、过电压)时,则输出“1”。因具有强正反馈,故有记忆功能。按 FA 钮解除记忆或通过 3 端进行远方解除。过励和过压整定值由  $W_1$ 、 $W_2$  整定。正常时因  $Z_2$ 、 $Z_7$  箝位,使输出为“0”,并由  $R_8$ 、 $R_{18}$  限流。故障“1”输出时, $Z_1$ 、 $Z_6$  可提高输出负载能力。 $C_5$ 、 $C_6$  电容可提高抗干扰能力。

使用调试方法:把输入信号调节为 8V,调节  $W_1$ 、 $W_2$  使输出为“0”。增加输入信号至 10V,调节  $W_1$ 、 $W_2$  使输出刚好变到“1”,降低输入电压,保持输出“1”,按 FA 钮,恢复为“0”输出。

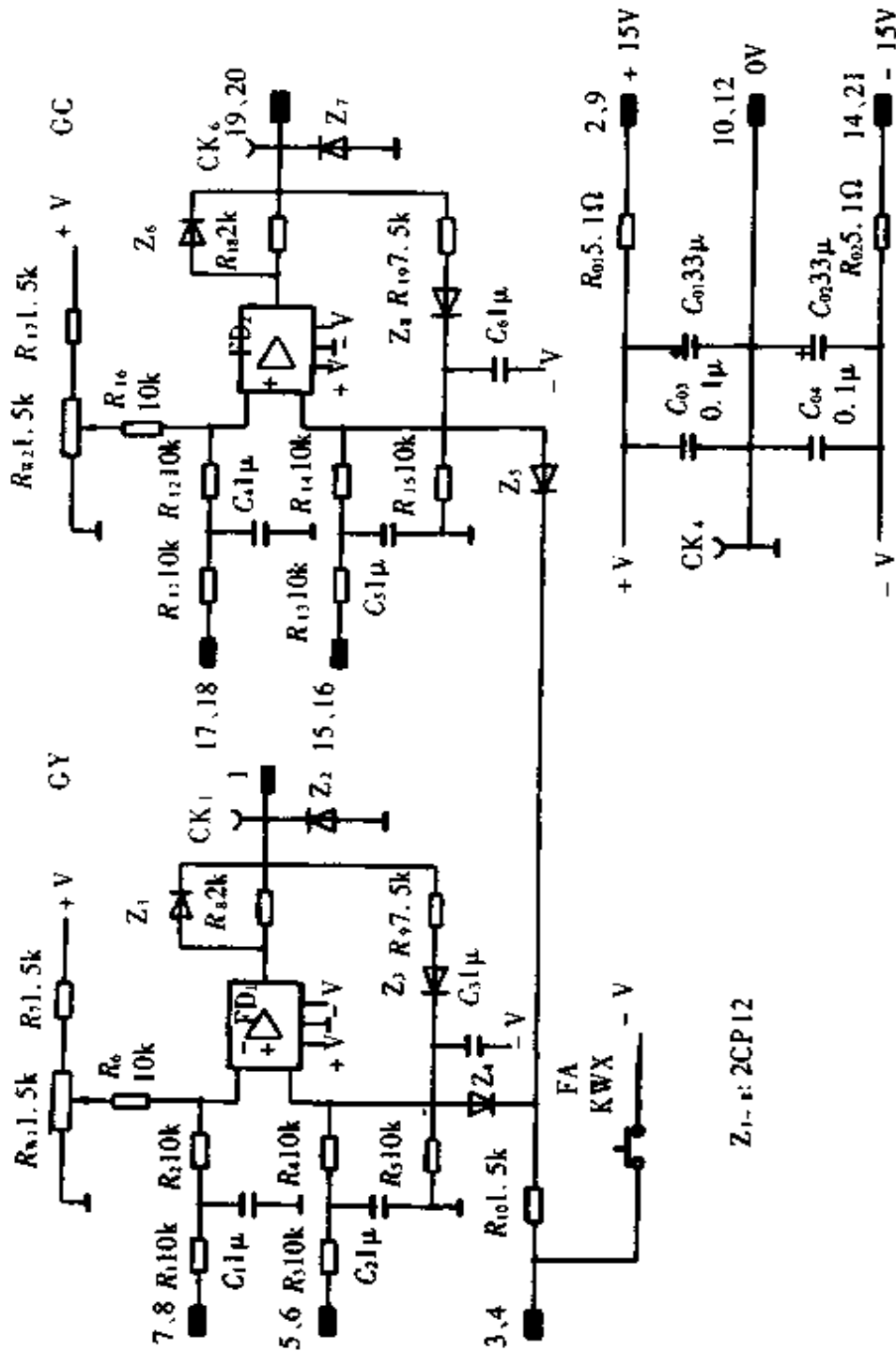


图 8.3.74 过励磁及过电压(GCY-1)原理线路图

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 30mA$
最大输入电压	绝对值 $> 10V$
故障输出电平	"1"
输出电流	$\leq 4mA$

3.1.6.19 GZ-2 故障综合单元 用途:用于调速系统中进行故障信号的综合与鉴别。通过外接信号灯显示第一故障所在,还能输出电平信号,通过外接继电器为系统提供联锁接点信号。图 8.3.75 及图 8.3.76 是本单元概览图及原理图。

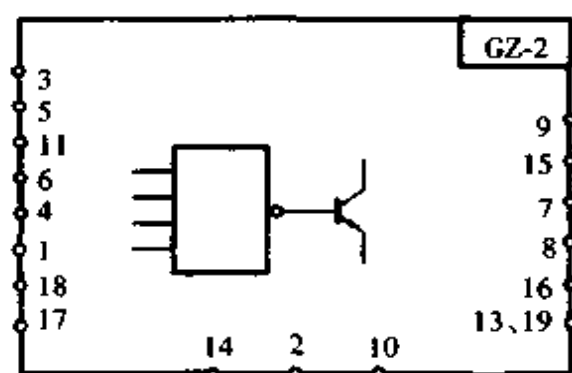


图 8.3.75 故障综合(GZ-2)概览图

使用说明:本单元采用 HTL 与非门组件对故障信号进行综合。单元四个故障信号输入端,正常时四个输入均为“0”,7、8、9、15 输出端均为“1”,外接信号灯均不亮,13 号端输出“0”, $YF_{3,2}$  输出“1”, $Z_1$  截止, $V$  导通,16 端输出“0”,其外接继电器吸引。假设 3 输入端输入由“0”变“1”(故障状态),则 9 端输出变“0”, $XD_1$  灯亮,显示故障所在,同时此“0”信号闭锁其他三个输入与非门输入端,此时其他三输入有故障时(即输入“1”)亦不受理,达到显示第一故障目的,因 9 端为“0”则 13 端变“1”,输出故障电平信号, $V$  截止,16 端变“1”,继电器释放,发出接点信号。本单元也可以接收接点信号输入。电平信号可直接从输入 I~IV 端输入;按图 8.3.77 接法,1 端接 +15V 是为增大接点电流,保证接触良好。为减小干扰,接点输出需用双绞线接入。不用输入端不得空头(空头相当于“1”),必须接 0V。当系统采用多台 GZ-2 进行分区综合时,可将 13 端输出接至下一级故障输入端,供分区故障显示报警用。



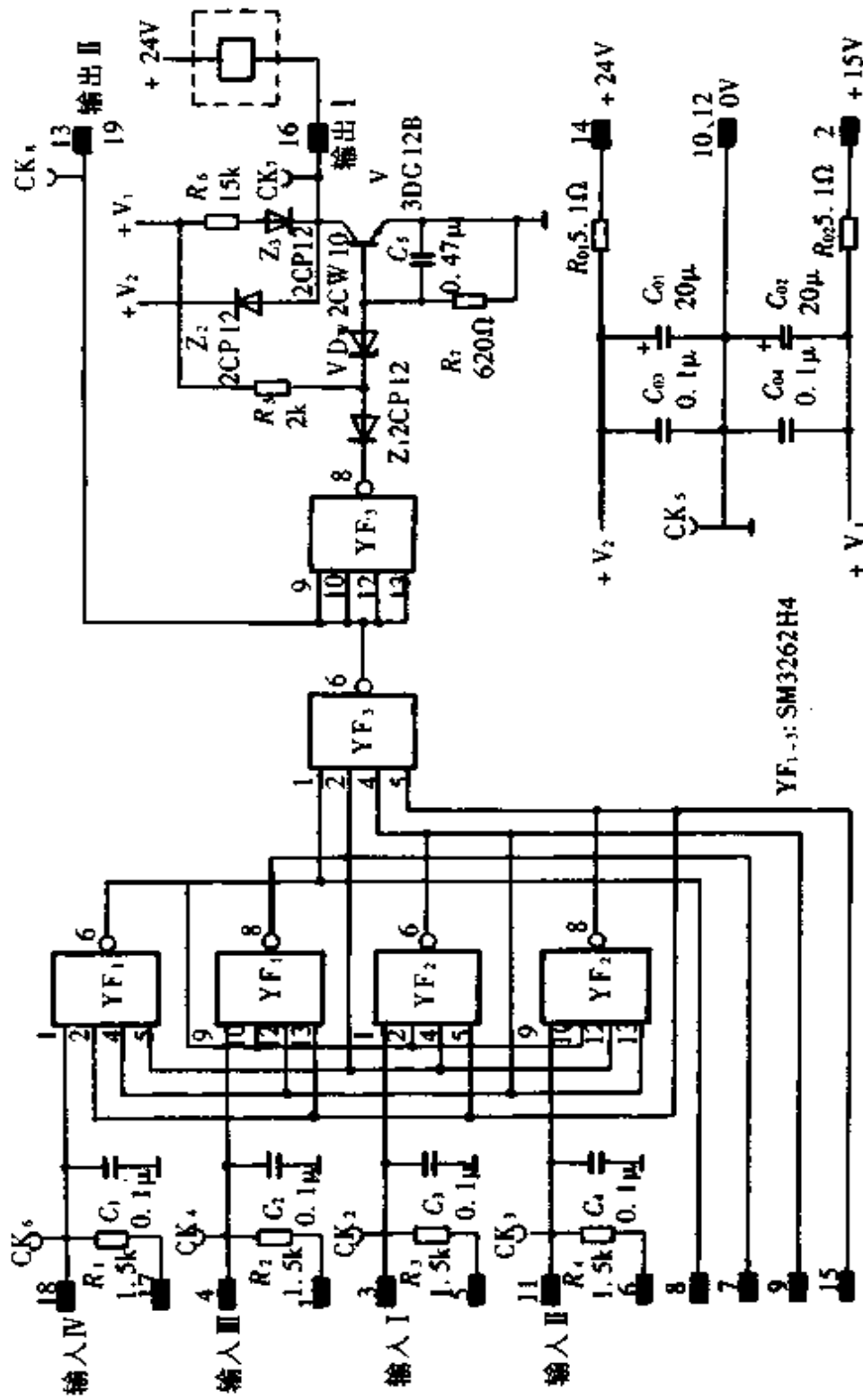


图 8.3.76 故障组合(GZ-2)原理线路图

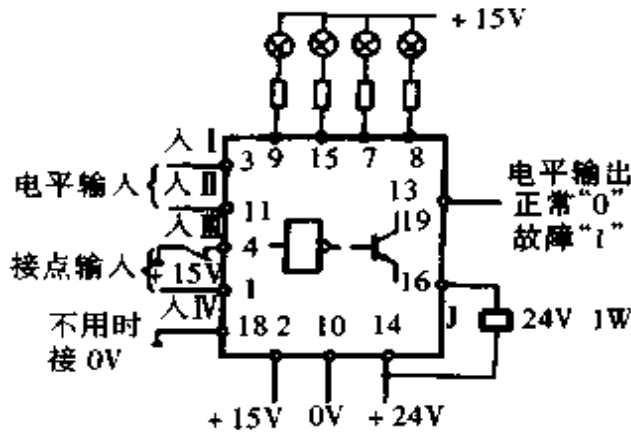


图 8.3.77 故障综合(GZ-2)外部接线图

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$ ; +24V
消耗电流	+15V; <30mA
逻辑电平:输入 I ~ IV	正常“0”,故障“1”
13、19 端输出	正常“0”,故障“1”
输出参数:输出 I (16 端)	继电器 24V,1W
8、7、9、15 端输出	$\geq 40mA$

3.1.6.20 GX-1 故障信号单元 用途:用于调速系统中故障信号的综合与鉴别,通过外接信号灯显示第一故障。故障时可输出“1”、“0”两种电平信号及继电器(外接)接点信号,其中一个继电器具有记忆功能。当故障测点较多时,还可综合四个 GZ-2 故障综合单元信号。图 8.3.78 及图 8.3.79 是本单元概览图及原理图。

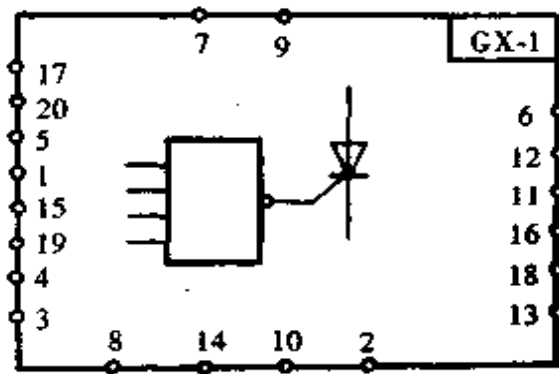


图 8.3.78 故障信号(GX-1)概览图

使用说明:其输入故障综合连锁环节与 GZ-2 相同,只是增加了反相故障电平输出(7 端)。正常时,7 端为“1”, $V_1$  导通,18 端为“0”,外接继电器吸引,晶闸管 KG 阻断,外接于 13 号端的报警继电器释放。当系统有故障时,7 端由“1”变“0”, $Z_1$  导通使  $V_1$  截止,正电流向  $C_8$  充电使  $V_2$  导通,脉冲变压器 MB 原边流过电流,

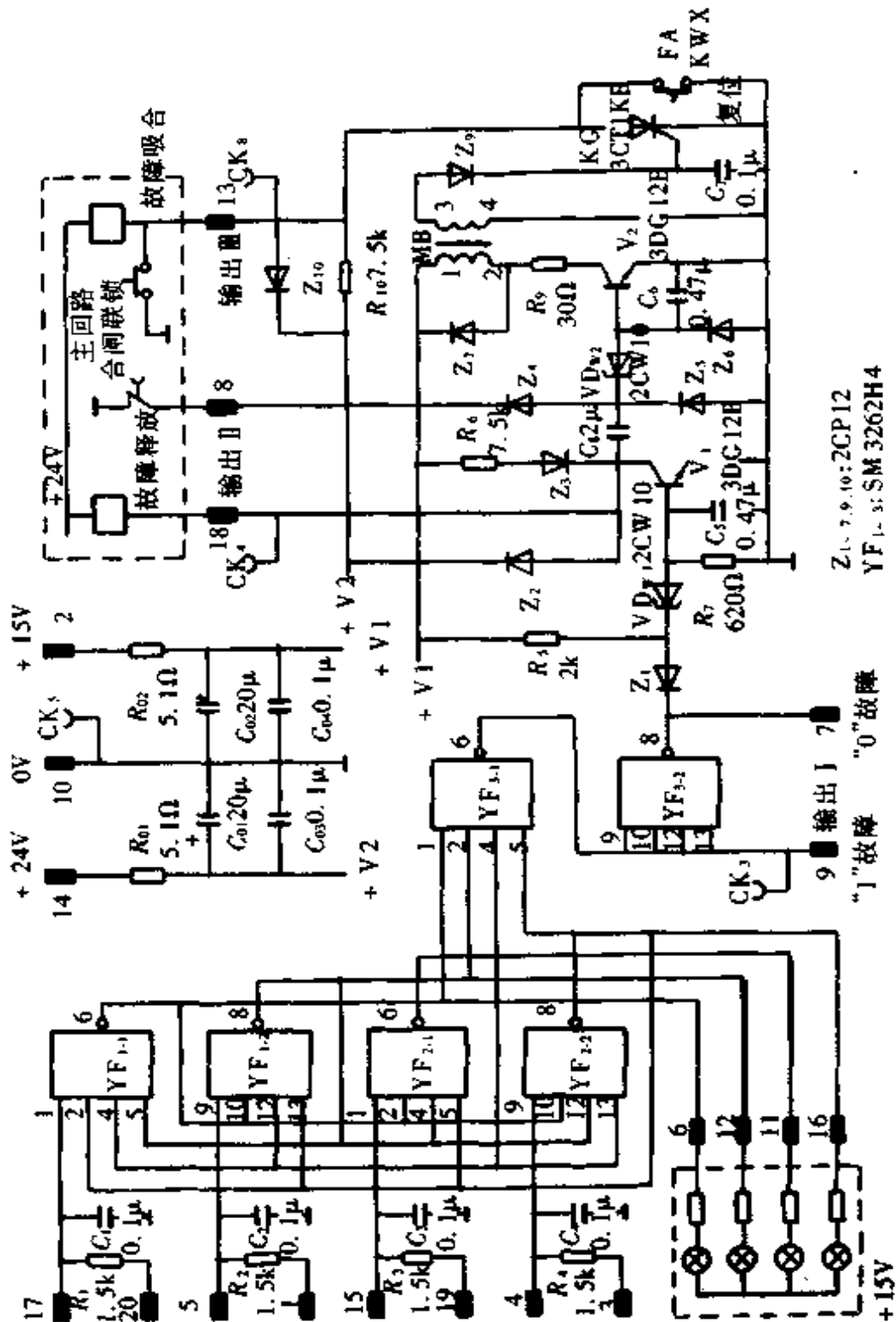


图 8.3.79 故障信号(GX-1)原理线路图

副边感应电压经  $Z_2$  触发小晶闸管 KG 导通并记忆, 13 端输出“0”, 报警继电器吸合。按 FA 钮可解除此报警。本单元还设有主回路合闸联锁 8 端输入, 以保证主回路合闸前闭锁报警和跳闸。

技术数据:

工作电源电压  $\pm 15V(\pm 1\%), +24V$

消耗电流  $+15V: < 50mA$

逻辑电平: 输入 正常“0”, 故障“1”

输出 9 端正常“0”, 故障“1”

7 端正常“1”, 故障“0”

输出能力: 信号灯  $> 40mA$

输出 II 继电器 24V、1W

输出 III 继电器 24V、1W

3.1.6.21 CSR-2 触发装置输入及保护单元 用途: 用于电流调节器与触发脉冲器之间电位配合用, 在动态过程中限制输出电压变化率。在有环流可逆系统中, 调节移相信号的升降速率, 使整流电势小于逆变电势以限制动态环流。本单元设有过流保护环节和 +30V 触发电源, 可用于不可逆和可逆系统。图 8.3.80 及图 8.3.81 是本单元概览图及原理图。

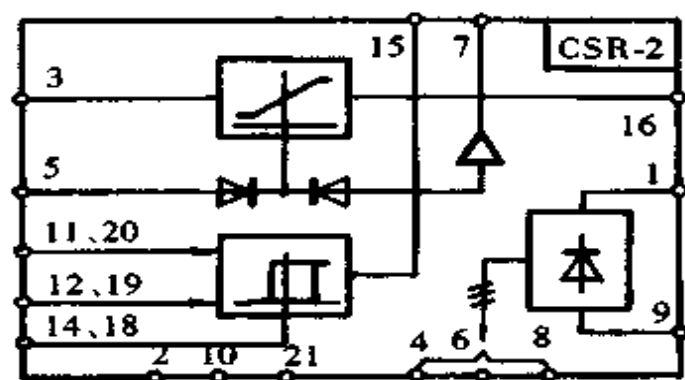


图 8.3.80 触发装置输入及保护(CSR-2)概览图

使用说明: 当系统主回路电流超过过流整定值时, 过流保护动作, 15 端输出由“0”变“1”, 同时将触发脉冲推至最小逆变角  $\beta_{min}$  并保持, 使变流器处于最大逆变电压下工作, 迫使主回路电流下降, 以免事故扩大。另外, 7 端输出由“1”变“0”, 使外接继电器吸引, 发出接点信号。W<sub>1</sub> 电位器可改变过流整定值。

触发装置输入的作用是将来自电流调节器输出的正负信号变换为正输出信号, 以适应触发装置移相信号要求。当输入信号为零时, 通过偏移电位器 W<sub>2</sub> 的调节, 可改变系统的初始移相角, 使其处于约 90° 或所需值。当 3 号端控制信号发生突变时, 其 16 端输出为渐变信号, 其上升速率比下降速率快, 其作用为: 第一, 当调



节回路输出有较大脉动或快速变化时,使触发装置避免多脉冲或漏脉冲;第二,在有环流可逆系统中,人为地使脉冲前移速度低于脉冲后移速度以限制动态环流。此外,本单元还设有  $\alpha_{\min}$  和  $\beta_{\min}$  限制环节,其值由  $W_3$  和  $W_4$  电位器调节。联锁信号输入 5 端接运转控制器输出,在停车时及无准备逻辑无环流可逆系统换向时(用 YK-1),使触发角移至  $\beta_{\min}$ 。30V、1A 电源作触发装置功率电源用。

使用调试方法:用一台三相调压器,原边接 380V,副边接 4、6、8 号输入端,把电压调至 22V,输出 1、9 端间电压应为 30V。当输入 11、12 端为 0V, $W_1$  电位器置于某一电压时,FD 输出 15 端为“0”,7 端为“1”;当输入 11 端(输入负电流信号)或 12 端(输入正电流信号)的输入信号大于  $W_1$  偏置值时,输出 15 端为“1”,7 端为“0”,16 端输出的控制信号电压保持在将触发脉冲推至最小逆变角  $\beta_{\min}$  位置的数值,当故障处理后按外接于 14 端的按钮或本单元的复位按钮 FA,解除记忆,15 端复“0”。同理,联锁输入 5 端加“1”信号,16 端电压保持在  $\beta_{\min}$  的相应电压值上,当 5 端输入“0”时,不影响后面部分的工作。当 3 端电压为 0V 时,调节  $W_2$  电位器使 16 端输出某一电压值(相当于系统初始移相角电压对应值),如 4V,当 3 端输入控制信号电压由正、负变化,16 端电压亦相应增大、减小(但都为正值),调节  $W_4$ 、 $W_3$  电位器,使 16 端电压限制在  $\beta_{\min}$  和  $\alpha_{\min}$  相应的电压值上。本单元  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$  电位器的具体整定值由选用者决定。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$ , $\sim 3\phi 22V$
消耗电流	+20mA, -5mA
输入电压范围	-8~+8V
输出参数:电压	1~8V
电压上升速率	$\leq 1.6V/ms$
电压下降速率	$\geq 1.15V/ms$
过流保护输入信号动作范围	0.5~10V
过流保护输出信号:正常	15 端“0”,7 端“1”
过流	15 端“1”,7 端“0”

3.1.6.22 CF-3 触发脉冲单元 用途:本单元用于触发装置输入及保护单元(CSR-2)与晶闸管脉冲板(MB- $\frac{1}{2}$ )之间,将来自 CSR-2 的输入电压转换成相位移动的脉冲输出,去推动脉冲板触发晶闸管。本单元包括二组相同的触发脉冲通道,可输出两相双窄脉冲移相信号。主要用于不可逆和有环流可逆系统。图 8.3.82 及图 8.3.83 是本单元概览图及原理图。

使用说明:本单元由两组相同又各自独立的移相触发电路组成。每组各由同步、恒流、锯齿波形成、脉冲形成、脉冲整形、双脉冲形成和脉冲功放等环节组成。

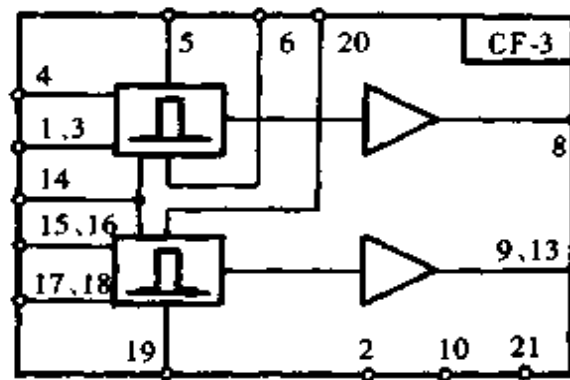


图 8.3.82 触发脉冲(CF-3)概览图

同步信号由 1、4 端输入(1 号接同步变压器中点),经  $R_1$ 、 $C_1$ 、 $W_1$ 、 $R_2$  组成的滤波环节后加到  $V_1$  基、射极间,当  $C_1$  上端正时, $Z_1$  导通, $V_1$  截止;反之,当  $C_1$  下端正时, $Z_1$  截止、 $V_1$  导通。 $V_1$  的状态完全取决于  $C_1$  上电压的极性。移相滤波环节可消除电网电压波形畸变对三极管开关作用的影响,同时使同步信号幅值减小,并产生相位后移(约  $54^\circ$ ),调节  $W_1$  可使相角在  $6^\circ$  范围内变化,以调节对称度。

恒流环节由  $Z_2 \sim Z_4$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  等组成。 $V_2$  接成射极跟随电路, $V_2$  基极电位固定,集电极电流保持恒值,其值随  $W_2$  电阻增加而减小。

从 CSR-2 来的控制信号由 1、10 端引入,控制信号始终为正。当  $V_1$  导通时, $C_2$  两端电压为零,因控制信号为正,故  $Z_3$  截止。当  $V_1$  截止时, $C_2$  由恒流源充电, $U_{C2}$  电压随时间呈线性增长, $C_2$  下端为正,上端为负,形成了锯齿波。当  $U_{C2}$  绝对值大于控制电压时, $Z_3$  导通, $V_3$  截止,正电源通过  $R_7$ 、 $C_4$ 、 $Z_7$  为  $V_4$  提供基流, $V_4$  导通,充电时间由  $R_7$ 、 $C_4$  决定。由  $V_4$ 、 $V_5$  组成的单稳电路使在  $V_4$  导通时,正电源通过  $Z_{28}$ 、 $R_{11}$ 、 $C_5$  为  $V_5$  提供基流, $V_5$  导通,为  $V_4$  (通过  $R_{12}$ 、 $Z_{10}$ ) 提供饱和导通的基流(即使  $Z_7$  取得的充电电流消失)。当  $U_{C5}$  充电到接近电源电压时, $V_5$  截止,脉冲结束。脉宽由  $C_5$ 、 $R_{11}$  和  $R_{10}$  数值决定。

从  $V_5$  集电极取得的脉冲为单脉冲,它通过 5 端输出前  $60^\circ$  一相一个补脉冲,同时从 6 端输入一个在相位上滞后  $60^\circ$  一相送来的补脉冲,因此在  $Z_{12}$  的阴极得到了相位差为  $60^\circ$  的双脉冲。此脉冲电压经  $V_6$ 、 $V_7$ 、 $V_{15}$  功率放大后,从 8 号端输出脉冲去控制晶闸管脉冲板触发晶闸管。一相 CF-3 触发脉冲可直接带动 4 块 MB-1 板,触发 4 只 500A 晶闸管;可推动 12 块 MB-2,触发 12 只 500A 晶闸管。锯齿波斜率由  $W_2$  电位器调节,调节斜率即调节移相放大倍数,通常取  $22^\circ/V$ 。另一通道工作原理相同。

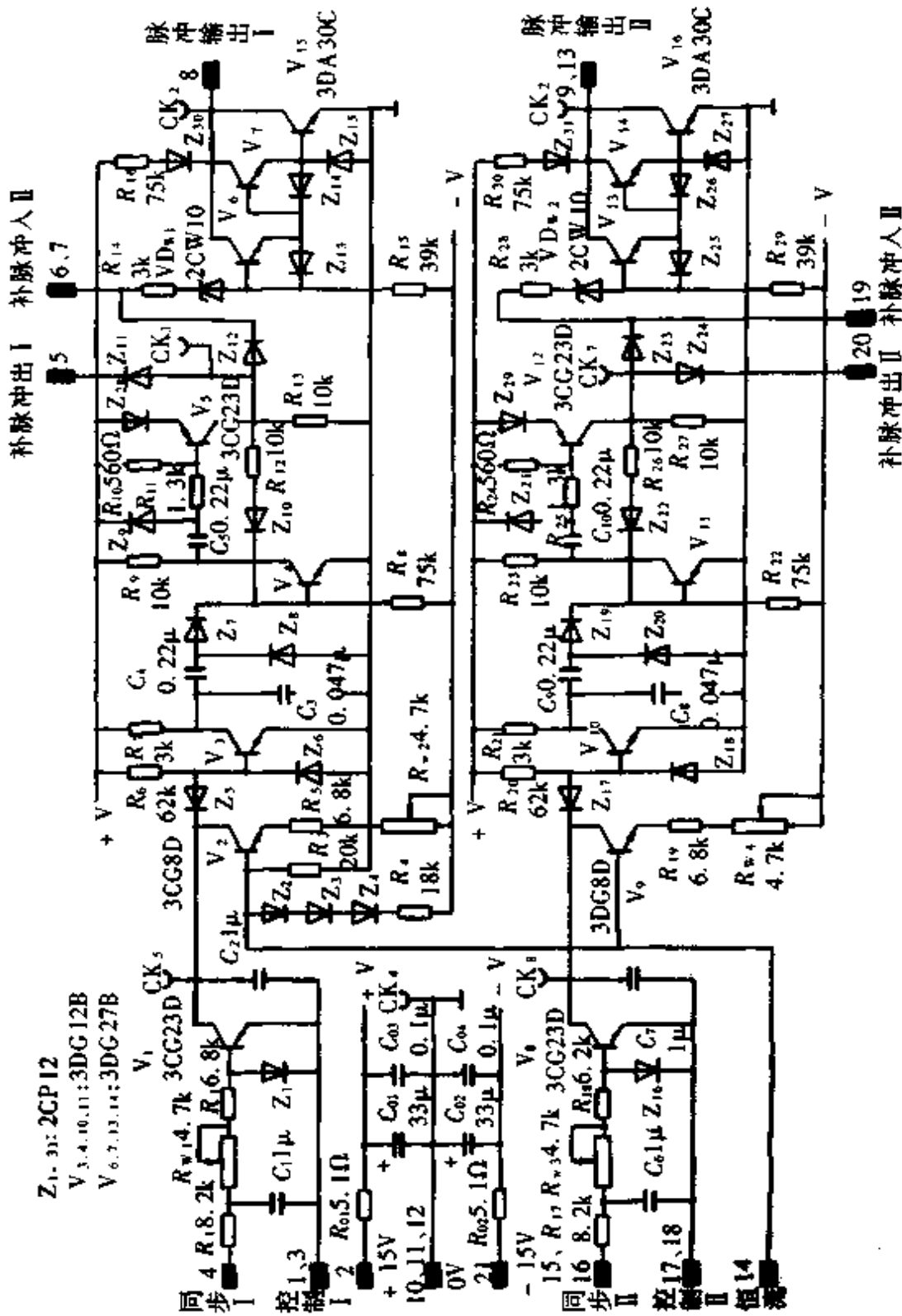


图 8.3.83 触发脉冲(CF-3)原理线路图



技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 10mA$
移相范围	$\leq 170^\circ$
脉冲宽度	$\leq 10^\circ$
锯齿波斜率调节范围	$18^\circ/V \sim 25^\circ/V$
输出能力:带 MB-1 板	4 块
带 MB-2 板	12 块

3.1.6.23 CF-4 触发脉冲单元 用途:本单元可输出一相双脉冲移相信号,带有两个具有封锁控制的脉冲功放级。主要用于逻辑无环流和错位选触无环流可逆系统。图 8.3.84 及图 8.3.85 是本单元概览图及原理图。

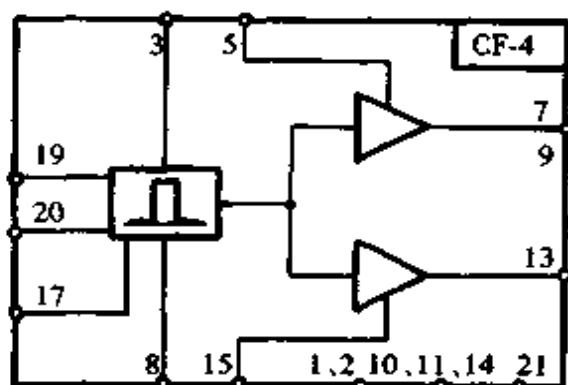


图 8.3.84 触发脉冲(CF-4)概览图

使用说明:本单元由同步、恒流、锯齿波形成、脉冲形成、脉冲整形、双脉冲形成、脉冲功放和脉冲封锁等环节组成。除脉冲功放及封锁环节外,其他环节与 CF-3 单元部分原理相同。本单元有二组脉冲功放和脉冲封锁环节,输出双脉冲能否进入功放级,决定于封锁信号的状态,当 5 号(封锁 I)、15 号(封锁 II)端输入为“1”时, $V_8$ 、 $V_9$  导通,将前级脉冲短路,功放级关断,无脉冲输出,脉冲被封锁。封锁信号为“0”时, $V_8$ 、 $V_9$  截止,允许前级脉冲进入功放级,去推动  $V_6$ 、 $V_7$ 、 $V_{12}$  及  $V_{10}$ 、 $V_{11}$ 、 $V_{13}$ ,并从 7 号(输出 I)、13 号(输出 II)输出双脉冲。7、13 端各接至正、反组变流器的同相臂脉冲板。 $W_2$  可调节锯齿波斜率(通常取  $22^\circ/V$ ),输出 I、II 可直接带动 4 块 MB-1 板、触发 4 只 500A 晶闸管;可推动 12 块 MB-2 板,触发 12 只 500A 晶闸管。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V(\pm 1\%)$
消耗电流	$< 10mA$
脉冲移相范围	$\leq 170^\circ$



脉冲宽度	$\leq 10^\circ$
锯齿波斜率调节范围:	$18^\circ/V \sim 25^\circ/V$
封锁逻辑电平:封锁时	"1"
工作时	"0"
输出能力:带 MB-1 板	4 块
带 MB-2 板	12 块

3.1.6.24 CF 励磁触发单元 用途:本单元用于励磁调节单元 DT 和晶闸管脉冲板 MB 之间,将来自 DT 的输入电压转换成两个相位移动且互差  $180^\circ$  的窄脉冲输出,去推动脉冲板触发晶闸管。本单元用于 50A 及以下晶闸管组成的不可逆三相或单相变流电路。图 8.3.86 及图 8.3.87 是本单元概览图及原理图。

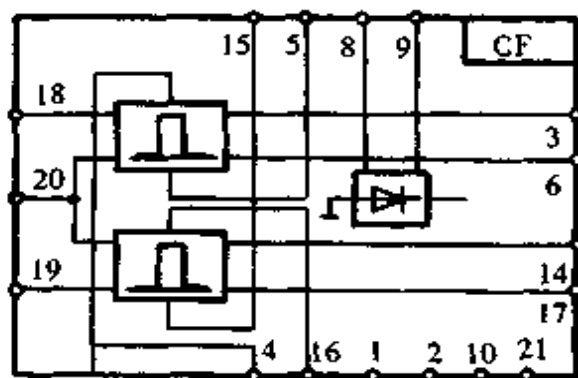


图 8.3.86 励磁触发(CF)概览图

使用说明:本单元由两组相同的移相触发电路组成。它由同步、锯齿波形成、脉冲形成、脉冲放大环节组成。

同步信号由 18、19 端输入,20 端接同步变压器中点,经  $W_1$ 、 $R_1$ 、 $C_1$ 、 $R_2$  移相滤波环节加至  $V_1$ 、 $V_2$  基极。移相滤波环节可消除电网电压畸变对  $V_1$ 、 $V_2$  开关作用的影响,并可使同步信号产生相位后移,调节  $W_1$  可使移相角在  $35^\circ \sim 68^\circ$  范围内变化,以调节对称度。控制信号  $U_K$  从 20、10 端引入(即 20 号接 DT 的 16 号端),要求  $U_K$  始终为正值。当  $C_1$  两端的电压  $U_{C1}$  下正上负时, $V_1$  导通, $C_2$  两端电压  $U_{C2} = 0$ , $U_K$  为正,故  $Z_3$  截止。当  $U_{C1}$  上正下负时, $V_1$  截止,电流由  $U_K \rightarrow C_2 \rightarrow R_3 \rightarrow W_2 \rightarrow -15V$  对  $C_2$  充电,上负下正。当  $U_{C2}$  绝对值大于  $U_K$  时, $Z_3$  导通, $V_3$  由导通变截止, $V_5$ 、 $V_6$  通过  $R_7$ 、 $C_3$  获得基流,由截止变导通而输出触发脉冲。脉冲宽度由  $R_7$ 、 $C_3$  的数值决定。由  $R_9$ 、 $C_4$  组成的正反馈电路加快这一转化过程。 $+30V$ 、 $+15V$  电源分别通过 MB 脉冲变压器原边放电,因而在脉冲变压器副边产生触发脉冲的强触发前沿和平台。锯齿波斜率由  $W_2$  调节,当  $U_K = +4.5V$ , $\alpha = 90^\circ$  时,其斜率约为  $20^\circ/V$ 。通过 4、16 端送出补脉冲到前一相,通过 5、15 号端,引进后一相的补脉冲。通过 3、6 及 14、17 号端输出相位互差  $180^\circ$  的两组双

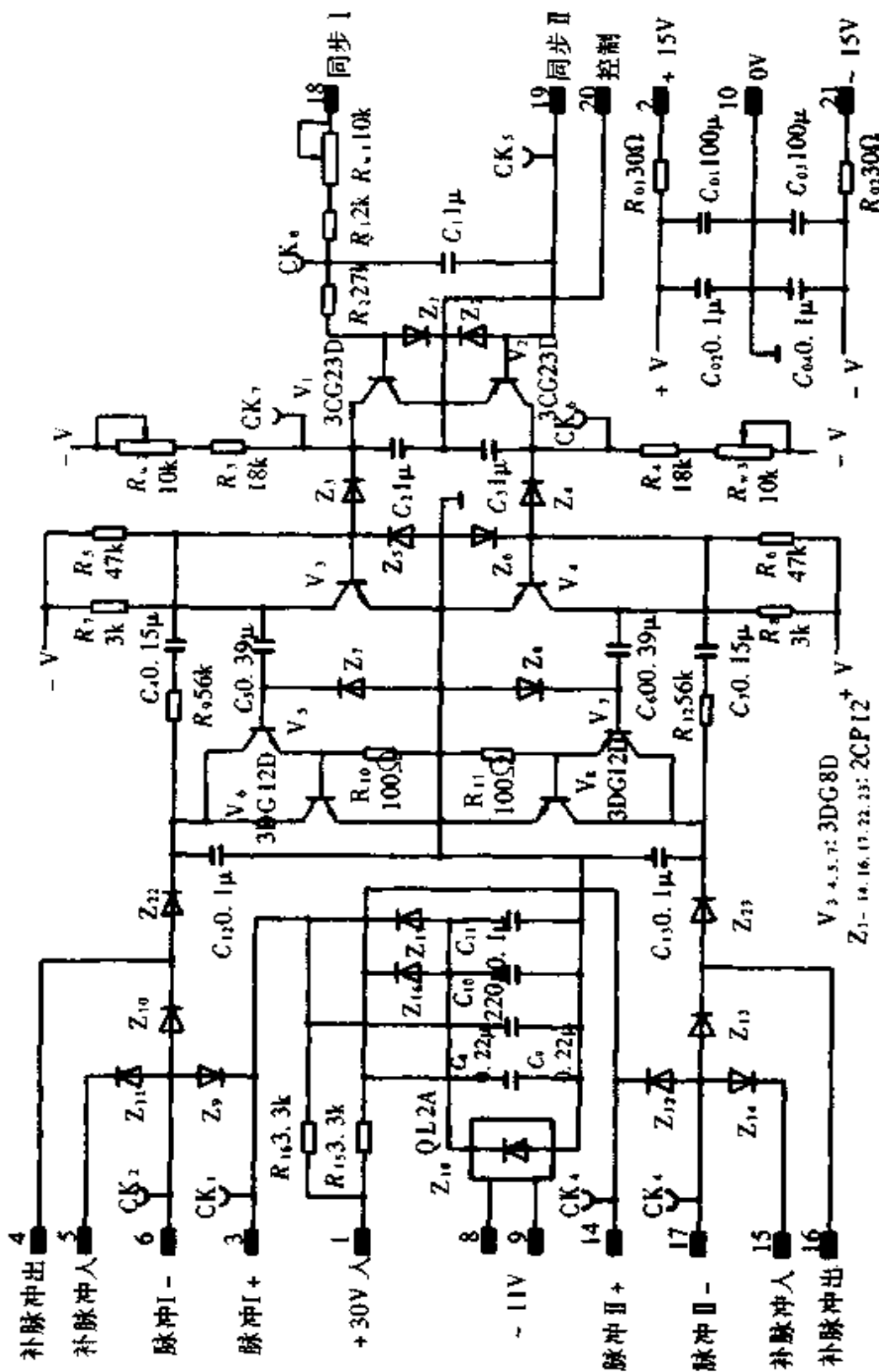


图 8.3.87 励磁触发电单元(CF)原理线路图

窄触发脉冲,接至脉冲变压器触发晶闸管。一相 CF 触发脉冲可触发一个 50A 及以下的晶闸管。

技术数据:

工作电源电压	$\pm 15V, + 30V$
锯齿波斜率调节范围	$110^\circ/7V \sim 160^\circ/7V$
输出脉冲参数: 移相范围	$10^\circ \sim 170^\circ$
(3.6 和 14、17 脉冲宽度	$\leq 10^\circ$
号端分别接 脉冲前沿(10%~90%)	$< 10\mu s$
20 $\Omega$ 电阻时) 强触发脉冲电流	$\leq 500mA$
触发脉冲电流	$\leq 200mA$

3.1.6.25 MB-1 晶闸管脉冲板 用途:本板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒里,它接受来自 CF-3 或 CF-4 单元的双窄脉冲触发信号,经脉冲变压器隔离并变换为带有强触发的双窄脉冲去触发晶闸管。一个晶闸管需要一块 MB-1 脉冲板。

使用说明:从图 8.3.88 可知,来自 CF-3 或 CF-4 的脉冲信号自 M 端输入。三极管 V 导通时为有脉冲信号,截止时无脉冲信号。当没有脉冲信号,即 V 截止时,

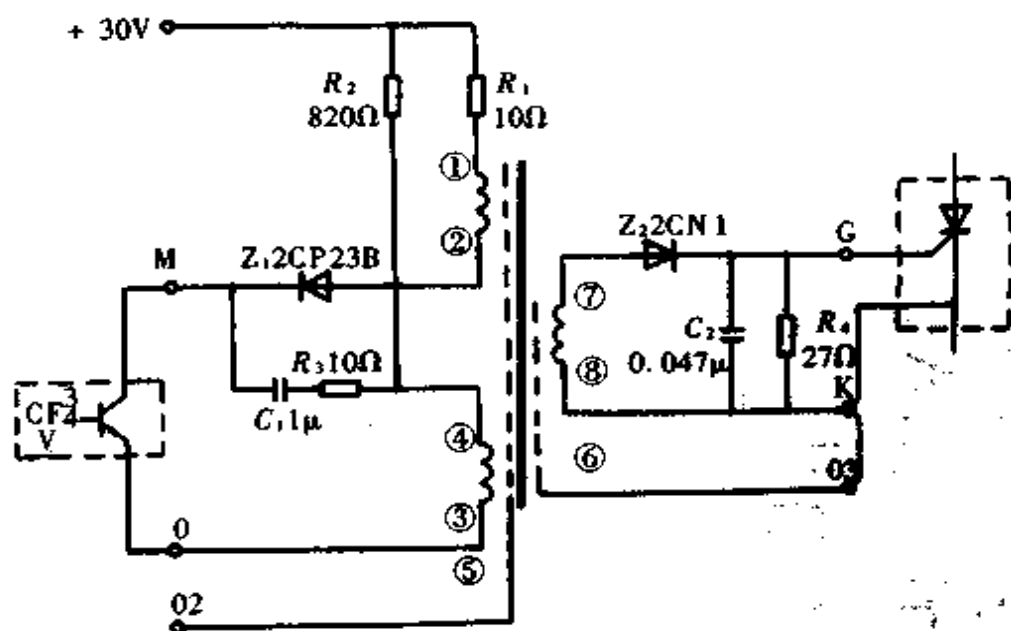


图 8.3.88 晶闸管脉冲板(MB-1)原理线路图

来自触发输入及保护单元 SCR-2 的 +30V 电源对电容  $C_1$  充电,直到  $U_{C1} = 30V$  为止。当有脉冲信号时, V 导通,  $C_1$  立即经 V 放电产生尖脉冲。其尖脉冲宽度取决于  $C_1$  和电阻  $R_3$  的值。与此同时, +30V 电源通过电阻  $R_1$ 、MB 的 1、2 端和二极管  $Z_1$ 、V 形成脉冲平台,其宽度取决于外来脉冲。绕组③、④除构成强触发脉冲

形成回路外,又与  $R_2$  构成脉冲变压器的去磁回路。

技术数据:

工作电源电压	+ 30V
输出参数: 脉冲前沿陡度(10% ~ 90%)	$\leq 0.6/\mu\text{s}$
(负载电阻为 10 $\Omega$ 时) 脉冲最大幅值	1.5A
脉冲平台幅值	400mA
脉冲宽度	$\leq 10^\circ$

3.1.6.26 MB-2 晶闸管脉冲板 用途:本板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒里,它接受来自 CF-3 或 CF-4 单元的双窄脉冲信号,经脉冲变压器隔离,并经三极管  $V_1$ 、 $V_2$  放大后变换为带有强触发的双窄脉冲去触发晶闸管。本脉冲板具有对晶闸管的控制极提供负偏压以防止误导通功能。一块 MB-2 脉冲板与一个隔离电源 GDY-1 联用去触发一个晶闸管。

使用说明:由隔离电源 GDY-1 提供 +30V 功率电源。由图 8.3.89 可知,来自 CF-3 或 CF-4 的脉冲信号自 M 端输入,三极管  $V$  导通时产生脉冲信号。无脉冲时  $V_1$ 、 $V_2$  截止。+30V 电压按  $R_1/R_2$  比例分配在  $C_6$  和  $C_7$  上,由  $R_2$  取反偏电压供晶闸管控制极起抗干扰作用和防止正向  $\frac{dU}{dt}$  过大引起误导通。当 M 端有脉冲

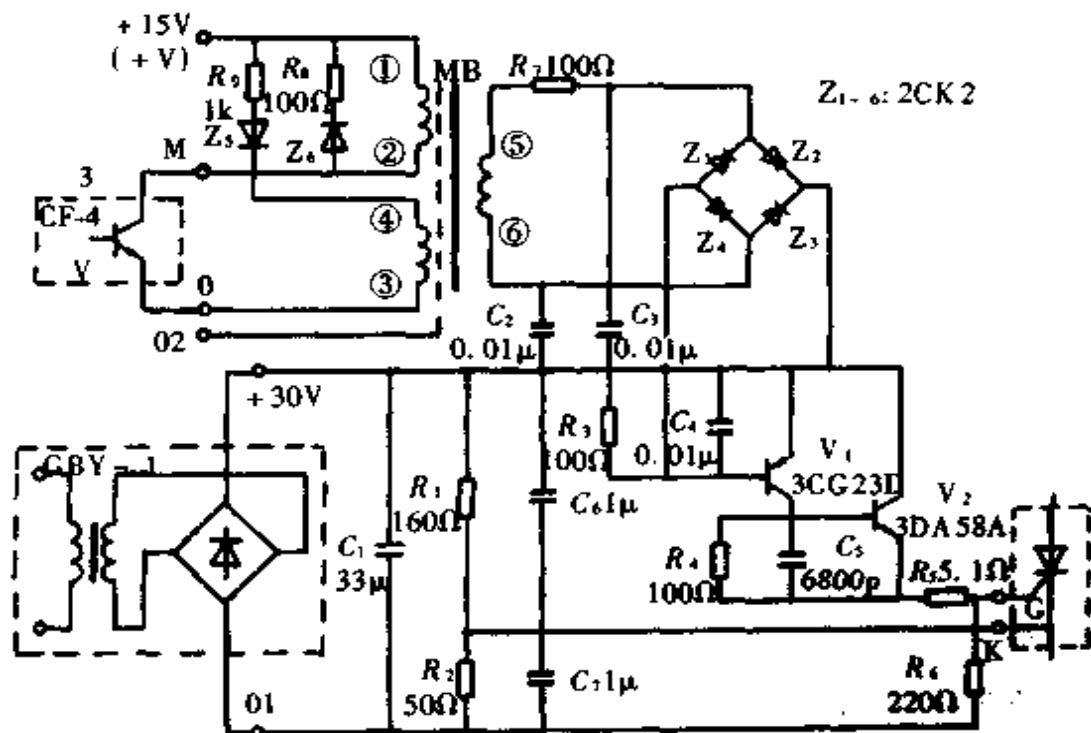


图 8.3.89 晶闸管脉冲板(MB-2)原理线路图

信号时,  $V_1$ 、 $V_2$  导通,  $C_6$  经  $V_2$ 、 $R_5$  晶闸管控制极和阴极回路放电产生强触发, 电阻  $R_2$  限制触发平台电流。脉冲变压器 MB 的③、④绕组为去磁绕组。

技术数据:

工作电源电压		+ 30V, + 15V
输出参数:	脉冲前沿陡度 (10% ~ 90%)	$\leq 1.5A/\mu s$
(负载电阻 为 10 $\Omega$ 时)	脉冲最大幅值	1.5A
	脉冲平台幅值	400mA
	脉冲宽度	$\leq 10^\circ$

3.1.6.27 MB-3 晶闸管脉冲板 用途: 本板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒里, 它接受来自脉冲列形成单元 MX-1 的脉冲列信号, 经过脉冲变压器隔离, 经三极管放大后变换为带有强触发的宽脉冲去触发晶闸管。本脉冲板具有对晶闸管的控制极提供负偏压防止误导通功能。一块 MB-3 脉冲板与一个隔离电源 GDY-1 联用去触发一个晶闸管。MB-3(图 8.3.90)和 MB-2 原理基本相同, 其区别在于输入脉冲、输出脉冲的波形和宽度不同。MB-3 输入脉冲为交替脉冲列, 输出为带强触发的宽脉冲。MB-2 输入输出脉冲均为窄脉冲。

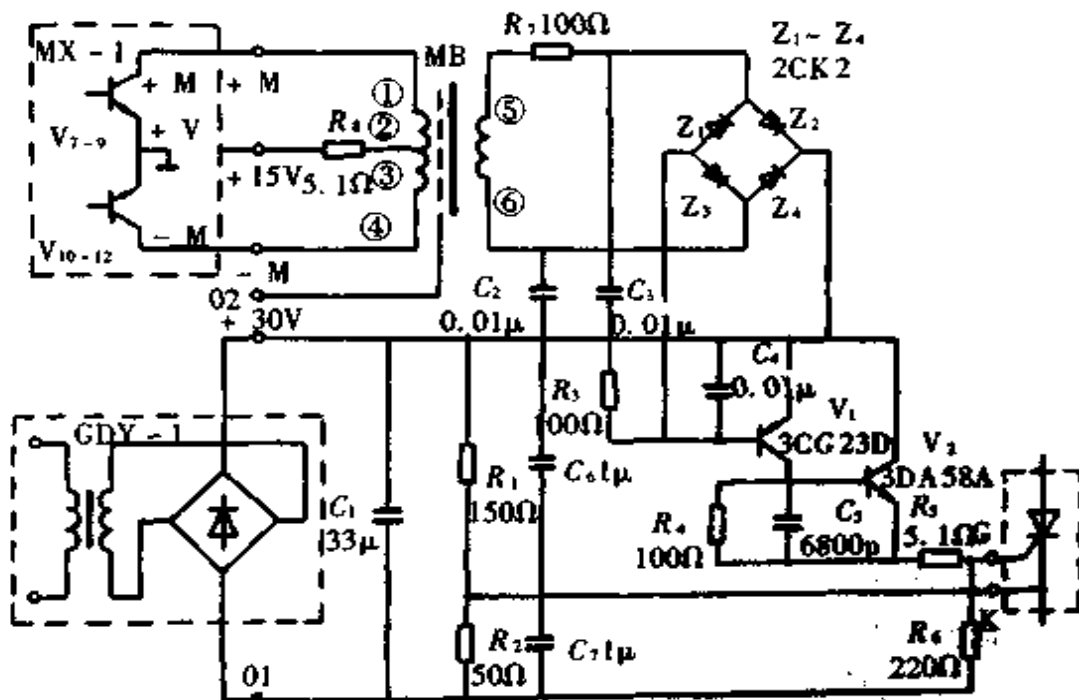


图 8.3.90 晶闸管脉冲板(MB-3)原理线路图

技术数据:

工作电源电压	+ 15V, + 30V
输出参数: 脉冲前沿陡度(10% ~ 90%)	$\leq 1.5A/\mu s$
(负载电阻为 10 $\Omega$ 时) 脉冲最大幅值	1.5A
脉冲平台幅值	400mA
脉冲宽度	$115^\circ \pm 5^\circ$

### 3.1.7 控制单元组合

3.1.7.1 不可逆系统控制单元组合 不可逆系统基本组合见图 8.3.91,它一般用于单方向运转的摩擦负载(停车情况下反接磁场后亦可反转);如用 ST-2 代换 ST-1,并增加 YK-1 单元,亦可用于正反转情况和加减速过程均不出现负力的位势负载的提升与下放(I、IV象限工作),下放时装置处于本桥逆变状态。其原理说明如下:

(1) 加速度限制器采用 GJ-1 给定积分器,限制加速度时的电流,如不超过限幅值,运转速度跟随 GJ-1 输出变化,速度调节器呈闭环状态。停车时给定的减速度如低于自由停车减速度,则运转速度仍跟随 GJ-1 输出变化,否则即为无电流自由停车。

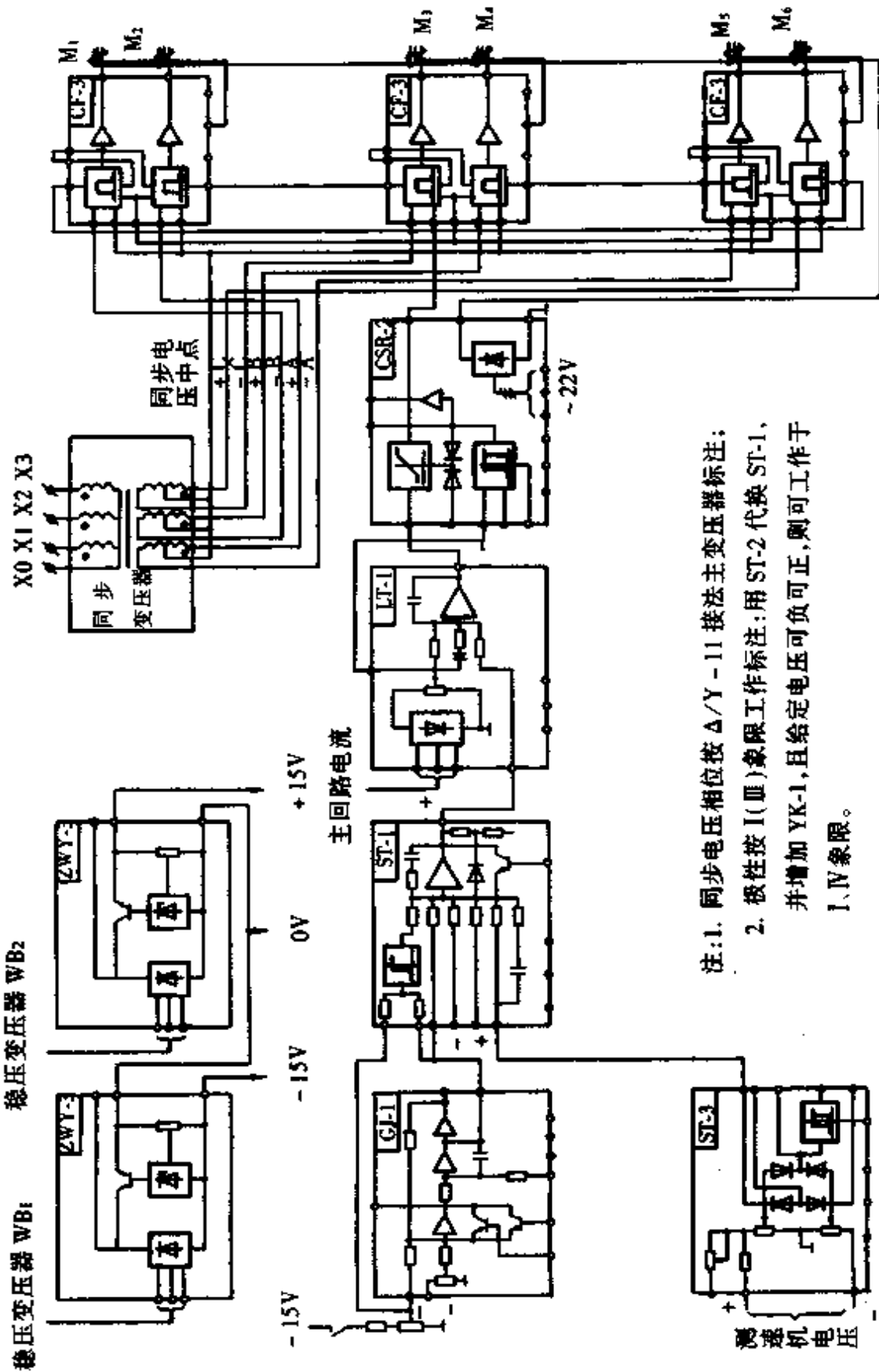
(2) 轻载时,如出现速度超调,因不能给出反力矩而自由下降。

(3) 速度给定为零时,将由 ST-1 速度调节器输出使触发角移至  $\beta_{min}$  的信号,以防止因调节器失调和漂移而引起的爬行。本系统未采用运转控制器,故运转控制功能不够完善,如不能及时发出堵转信号。

3.1.7.2 有准备逻辑无环流可逆系统控制单元组合 一般逻辑无环流可逆系统具有线路简单、投资少等优点。但无准备逻辑无环流可逆系统在电流换向切换到待工作组时,为防止电流冲击,电流调节器输出移相至  $\beta_{min}$  信号,高速情况下切换,切换后为整流顺变状态,则待工作组开放后将由  $\beta_{min}$  移相到接近  $\alpha_{min}$  的死区,不仅换向慢,且作为一等值滞后,将对电流环、速度环的动态特性有一定影响。为避免此缺点,本系列装置采用有准备逻辑无环流切换,其控制单元的基本组合情况见图 8.3.92。部分原理说明如下:

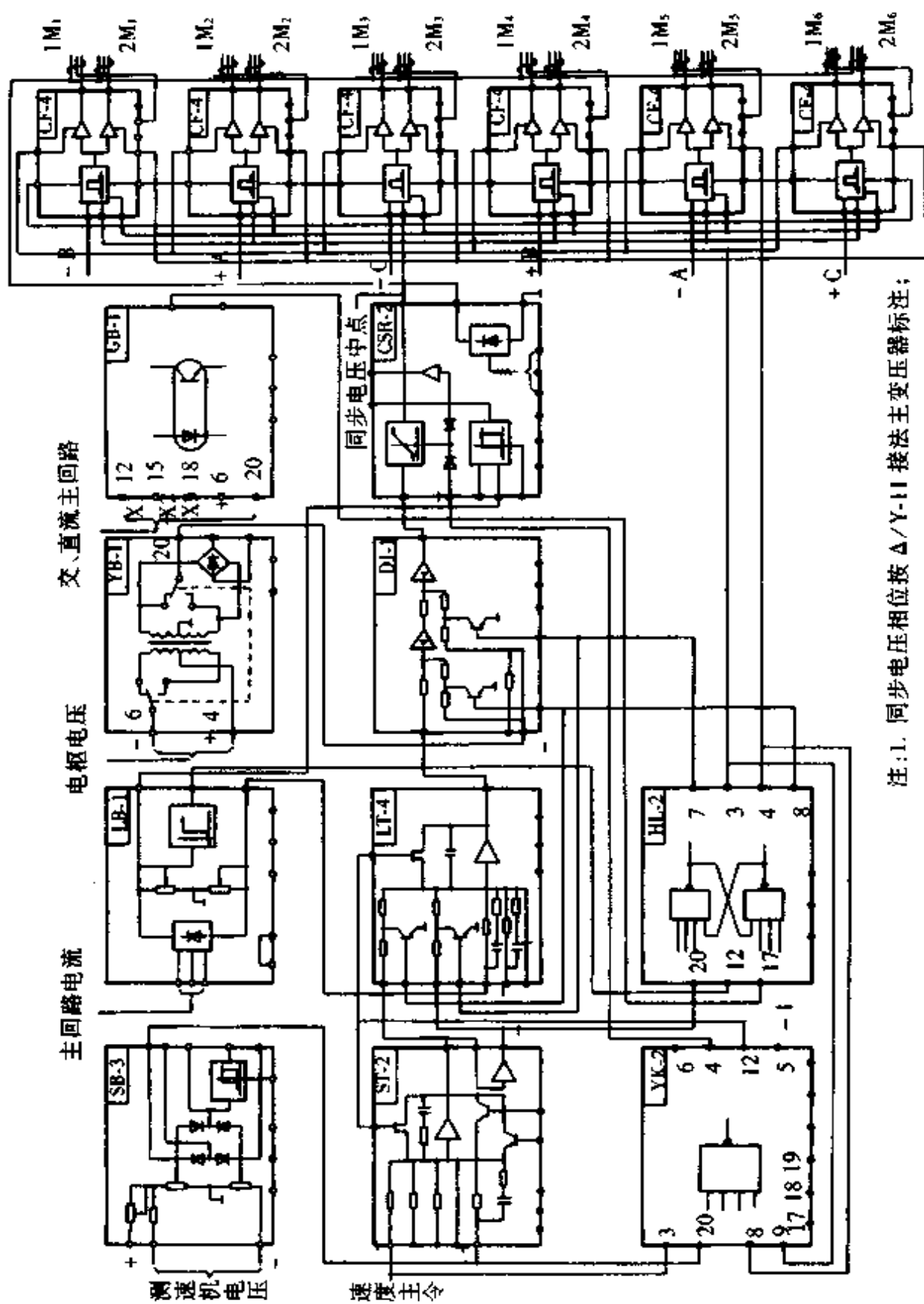
(1) 换向开始时,工作组电流为零(断续),开始封锁延时,当延时结束时,HL-2换向逻辑单元 7、8 号两输出端立即切换,DJ-1 电势记忆调节器中的电子开关随之切换,向 CSR-2 输出对应于待工作组开放后合适移相角的电势信号,作好了“准备”。而此时 HL-2 单元的 3、4 端输出使正、反组 CF-4 触发脉冲单元均封锁的“1”信号,此“1”信号同时接至 YK-2 运转控制器,由 YK-2 单元输出信号使 ST-2 速度调节器和 LT-4 电流调节器锁零。经过工作组开放延时后,HL-2 单元 3、4 号两输出端信号才完成切换,待工作组开放后,ST-2 和 LT-4 两单元解除锁零。由于已有电势“准备”,LT-4 只需输出动态中电流的回路压降补偿信号。





- 注:1. 同步电压相位按  $\Delta/Y-11$  接法主变压器标注;  
 2. 极性按 I(III)象限工作标注;用 ST-2 代换 ST-1, 并增加 YK-1, 且给定电压可负可正, 则可工作于 I、IV 象限。

图 8.3.91 不可逆系统控制单元组合图



注:1. 同步电压相位按  $\Delta/Y-11$  接法主变压器标注;  
 2. 极性性与逻辑电平按 I(圆)象限工作标注。

图 8.3.92 有准备逻辑无环流可逆系统控制单元组合图

(2) 电势信号由电压变换器取自变流器输出端时,如变流器内阻理想地认为是零,则稳态时 LT-4 单元输出近似为零。

(3) 由于实现了有准备换向,故死区显著减小,此时进一步减少换向逻辑延时就有意义了。当采用 GB-1 光电零电流变换检测零电流,使开放延时由 HL-1 单元的 4~5ms 减小到 0.5~0.8ms。为保证可靠,在开放延时时再次验证电流是否真正为零。HL-2、GB-1 单元与有准备原理配合应用组合便可完成此要求。

(4) 在恒磁情况下,电势信号可取自测速发电机,而取消 YB-1 电压变换器,系统工作原理基本不变,只是 LT-4 单元无论在静态或动态情况都要输出电枢电流主回路压降补偿信号。

**3.1.7.3 主回路可逆非独立控制弱磁系统控制单元组合** 弱磁调速适用于恒功率负载。弱磁控制有两种方式:一为独立控制,弱磁人为控制,有级调节,与主回路的自动调节(可以是调压或调速系统)无关;另一种为非独立控制,当速度达到额定值后,主回路电压(电动机反电势)基本上保持不变,以此为原则自动弱磁而升速,因弱磁升速的调速段主回路电压只有很小的变化,故必须采用测速反馈调速方式。主回路可逆非独立控制弱磁系统控制单元的结构图和基本组合情况见图 8.3.93 和图 8.3.94。系统主回路采用了有准备逻辑无环流控制方式,其原理前已详述。现说明非独立控制弱磁有关单元组合原理如下:

(1) LLT-1 励磁电流调节器有内给定,给定额定磁通。由 LB-2 交流变换单元输出的电动机励磁电流信号经 CBG-1 磁通变换与给定单元中的磁通变换环节的变换得到磁通反馈量  $\Phi$ ,构成磁通自动调节。如反馈量直接取自 LB-2 单元,不经 CBG-1 单元变换,则构成励磁电流自动调节,但性能以前者为好,因经过磁通变换环节(其放大系数随饱和情况而变)可以对励磁绕组时间常数的变化产生一定的补偿作用,使调节性能在不同饱和情况下保持不变。

(2) 弱磁非独立控制是在 CBG-1 单元 4 端引入不变极性的电枢电压而实现的,此电压与 CBG-1 单元中磁通给定部分的内给定(开始弱磁电势)相比较,小于内给定时无输出,大于内给定时,输出经放大(放大系数大于 10,可调)的差值信号,作为  $\Phi$  的附加给定  $\Delta\Phi$ (减磁)送入 LLT-1 单元,系统弱磁而升速,并保持电枢电压基本不变。磁通给定部分起电势调节器作用,其内给定略低于电动机额定电势(变换值),为 90% 以上至最大弱磁时,实际电势也不显著大于或不大于额定值。

(3) 图中还将 CBG-1 单元的磁通变换输出引至主回路调节通道的除法器。速度调节器输出为转矩给定(在恒磁情况下亦可视为电流给定),经除以磁通,便得到电流给定,以提供电流闭环电流给定值。

在调速系统正向通道结构图(图 8.3.93)中,调节对象的积分时间常数为:

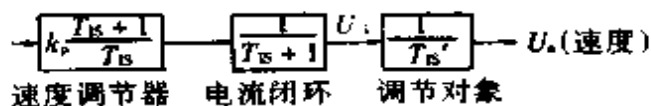


图 8.3.93 调速系统正向通道结构图



$$\begin{aligned}
 T_i' &= \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\max}}{M_{\max}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\max}}{C_M \Phi I_{\max}} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\max}}{C_M \Phi_{\max} I_{\max}} \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\Phi} \\
 &= \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_{\max}}{M_{\max}} \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\Phi} = T_i \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\Phi}
 \end{aligned}$$

可见当弱磁时,  $T_i'$  为变数, 如果在通道中增加一除数因子  $\frac{\Phi_{\max}}{\Phi}$  ( $\Phi_{\max}$  为常数), 则积分时间常数  $T_i'$  将由一恒定值  $T_i$  代替, 因而构成了速度自适应。控制单元组合图中的 CQ-2 除法器即为此而设, 故该系统具有对磁通变化的自适应功能。在速度调节器本身的并联反馈端串入  $\Phi$  的乘法因子亦具有同样功能, 此时速度调节器输出为电流给定。

**3.1.7.4 磁场反向可逆系统控制单元组合** 转矩可逆可以由主回路电流反向或励磁电流反向来实现。主回路电流反向可逆系统的控制简单, 快速性较好; 其主回路变流器有正反两组, 两者容量可以相同, 亦可不同, 当总容量较大时, 装置成本高, 占地面积大。励磁电流反向可逆系统控制复杂, 但较经济, 快速性稍差, 但对某些机械仍然适用, 如矿井提升机电动机容量在 600kW 以上时可考虑采用。这种系统控制单元基本组合见图 8.3.95。其原理说明如下:

(1) 图中绝对值变换器、匹配放大器和反号器是用 TT-1 通用调节器改装实现的。

(2) 由于传动机构存在柔性(钢丝绳)连接和齿轮间隙, 为避免振荡冲击和减小钢丝绳的冲击应力, 设置了电流变化率限制器, 选用 GJ-1 给定积分器单元, 时间常数为 300~500ms。当其处于纯积分状态时, 速度调节变为开环; 正常稳定运行时, 它是小惯性环节。

(3) 主回路电流和励磁电流均由电流变化率限制器输出给定, 只要励磁电压有足够的(3~5 倍甚至更大)强迫系数, 则励磁电流的调节相对于给定速率是很快的, 在励磁电流反向时, 可与主回路基本上同步跟随同一给定而变化过零, 达到协调工作。

(4) 绝对值变换器是为匹配不可逆主回路调节系统的极性而用。

(5) 为保证大部分正常工作时有较高的功率因数, 同时要避免励磁电流频繁地切换, 只有当主回路电流下降到最大值的 1/3~1/2 时, 励磁电流才开始随主回路电流而减小, 过零而反向。所以, 匹配放大器的放大倍数取 2~3, 且其输出达励磁电流额定给定值时被限幅。

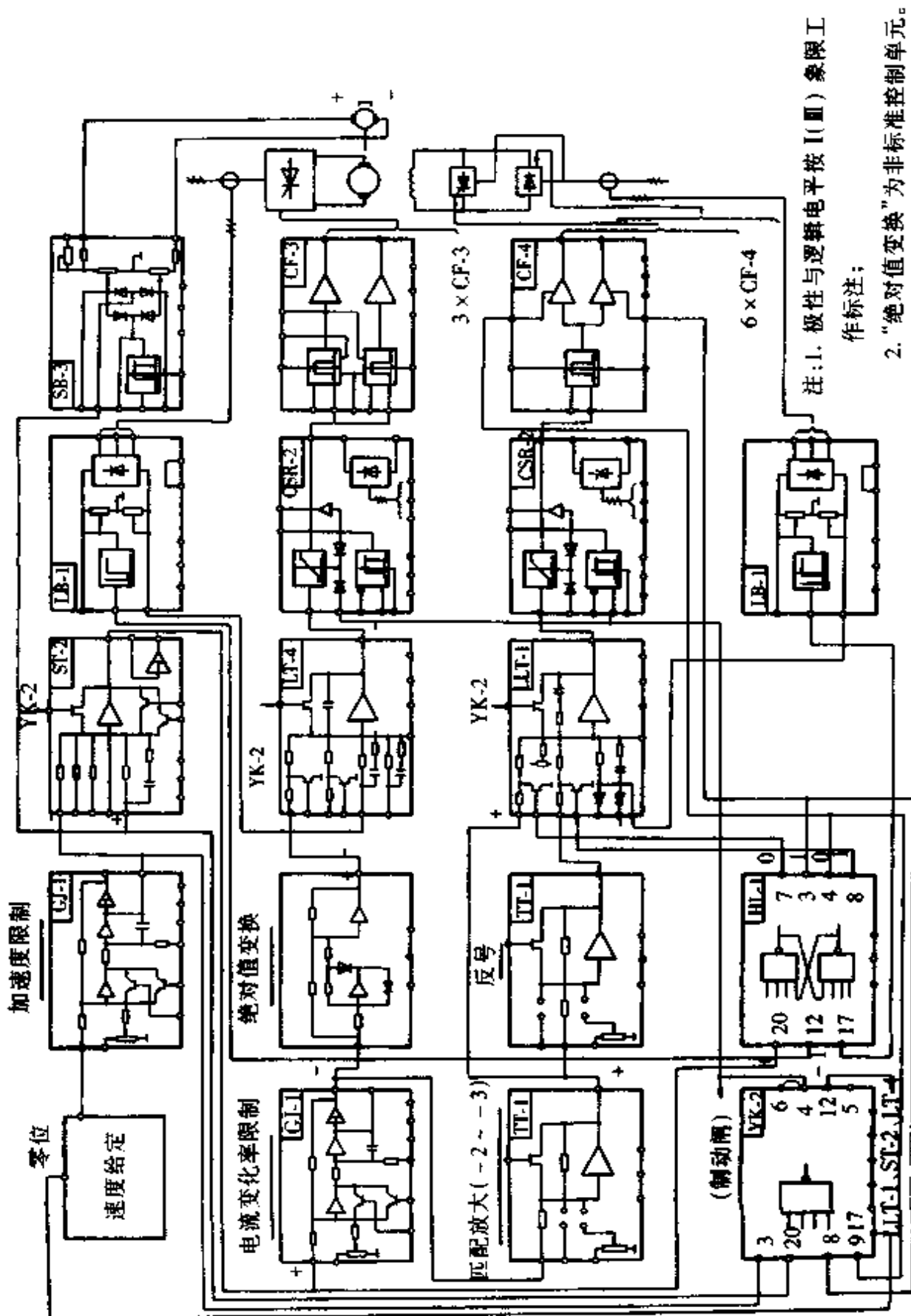


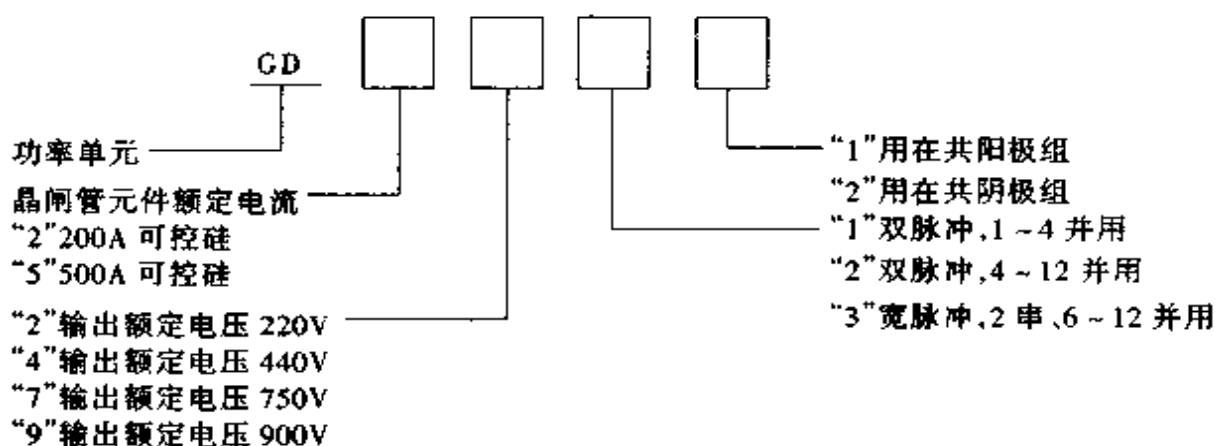
图 8.3.95 磁场反向可逆系统控制单元组合图

## 3.2 晶闸管功率单元

该单元为直流电动机调速装置中的基本单元。包括有脉冲盒、功率单元框架、晶闸管、电阻、电容等。

### 3.2.1 产品系列及技术参数

#### 3.2.1.1 型号含义



3.2.1.2 产品系列参数及规格 本单元采用 KP-500 型晶闸管元件(带 SF-15 型散热器)和 KP-200 型晶闸管元件(带 SF-12 型散热器)。

本功率单元品种规格如下:

(1) GD521<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD541<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD571<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD572<sub>2</sub><sup>1</sup> 系列功率单元是与大功率双脉冲触发装置配合使用的功率单元,其参数见表 8.3.12。

表 8.3.12 GD521、GD541、GD571、GD572 系列单元参数

型 号	直流额定 输出电压(V)	晶闸管额定数据		脉冲板 型 号	备 注
		电流(A)	电压(V)		
GD521 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	220	500	900	MB-1	用于晶闸管并联支路数 $n = 1 \sim 4$ 的产品中
GD541 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	440	500	1800		
GD571 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	750	500	2500 (2600)		
GD572 <sub>2</sub> <sup>1</sup>	750	500	2500 (2600)	MB-2	用于晶闸管并联支路数 $n = 4 \sim 12$ 的产品中

脉冲板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒内,它接受来自 CF-3 或 CF-4 单元的双窄脉冲触发信号,然后经脉冲变压器隔离放大后去触发晶闸管。

(2) GD523<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD543<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD573<sub>2</sub><sup>1</sup>、GD593<sub>2</sub><sup>1</sup> 系列功率单元是与大功率宽脉冲触发

装置配合使用的功率单元,其参数见表 8.3.13。

表 8.3.13 GD523、GD543、GD593 系列单元参数

型 号	直流额定 输出电压(V)	晶闸管额定数据		脉冲板 型 号	备 注
		电流(A)	电压(V)		
GD523 $\frac{1}{2}$	220	500	900	MB-3	用于晶闸管并联支路数 $n$ = 2~12 的产品中
GD543 $\frac{1}{2}$	440	500	1800		
GD573 $\frac{1}{2}$	750	500	2500 (2600)		用于晶闸管并联支路数 $n$ = 4~12(二串)的产品中
GD593 $\frac{1}{2}$	900	500	2000		

脉冲板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒内,它接受来自 MX-1 的脉冲列宽脉冲信号,然后经脉冲变压器隔离放大后去触发晶闸管。

(3) GD221 $\frac{1}{2}$ 、GD241 $\frac{1}{2}$  系列功率单元是与大功率双脉冲触发装置配合使用的功率单元,其参数见表 8.3.14。

表 8.3.14 GD221、GD241 系列单元参数

型 号	直流额定 输出电压(V)	晶闸管额定数据		脉冲板 型 号	备 注
		电流(A)	电压(V)		
GD221 $\frac{1}{2}$	220	200	900	MB-3	用于励磁装置
GD241 $\frac{1}{2}$	440	200	1800		

脉冲板安装在晶闸管功率单元的脉冲盒内,接受来自 CF-3 单元的双窄脉冲触发信号。经脉冲变压器隔离后去触发晶闸管。

### 3.2.2 原理线路图

GD221 $\frac{1}{2}$ 、GD241 $\frac{1}{2}$ 、GD521 $\frac{1}{2}$ 、GD541 $\frac{1}{2}$ 、GD571 $\frac{1}{2}$  功率单元原理线路见图 8.3.96;

GD572 $\frac{1}{2}$  功率单元原理线路见图 8.3.97;

GD523 $\frac{1}{2}$ 、GD543 $\frac{1}{2}$ 、GD573 $\frac{1}{2}$  功率单元原理线路见图 8.3.98;

GD593 $\frac{1}{2}$  功率单元原理线路见图 8.3.99。



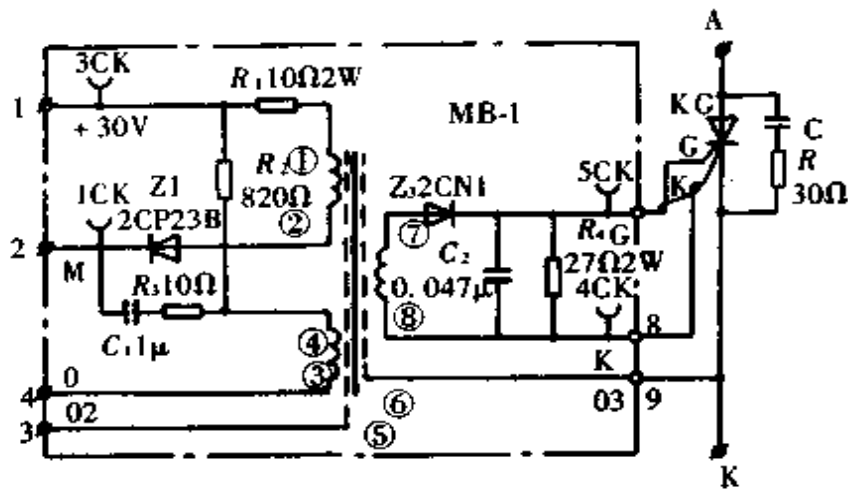


图 8.3.96 GD221<sub>1/2</sub>、GD241<sub>1/2</sub>、GD521<sub>1/2</sub>、GD541<sub>1/2</sub>、GD571<sub>1/2</sub> 功率单元原理线路图

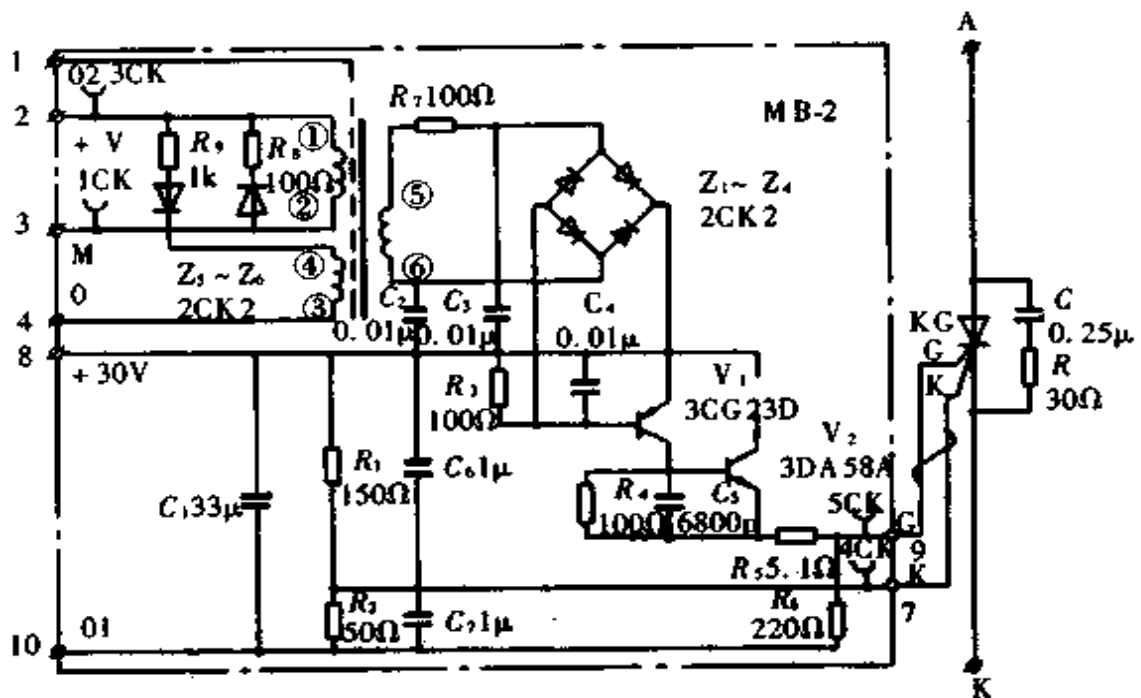


图 8.3.97 GD572<sub>1/2</sub> 功率单元原理线路图

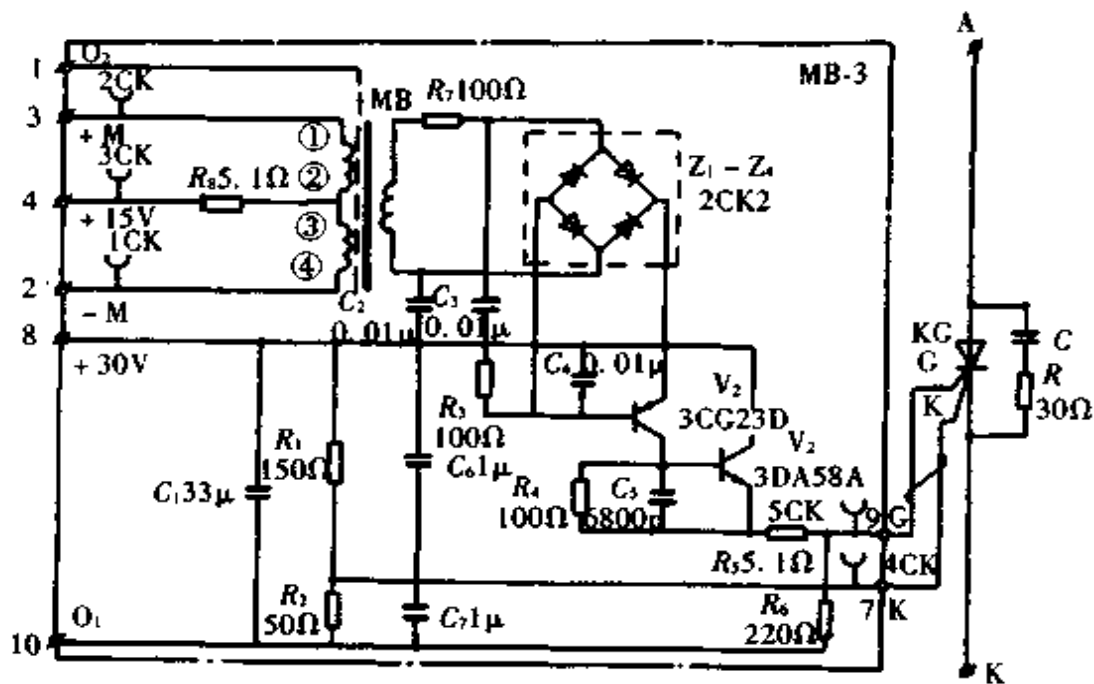


图 8.3.98 GD523<sub>1/2</sub>、GD543<sub>1/2</sub>、GD573<sub>1/2</sub> 功率单元原理线路图

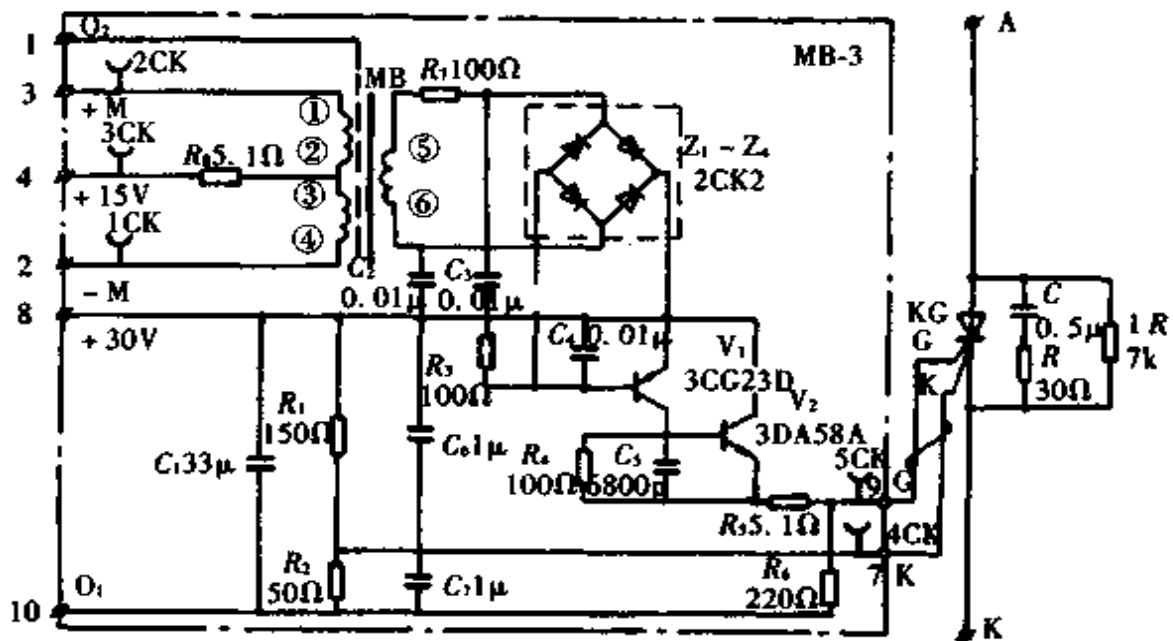
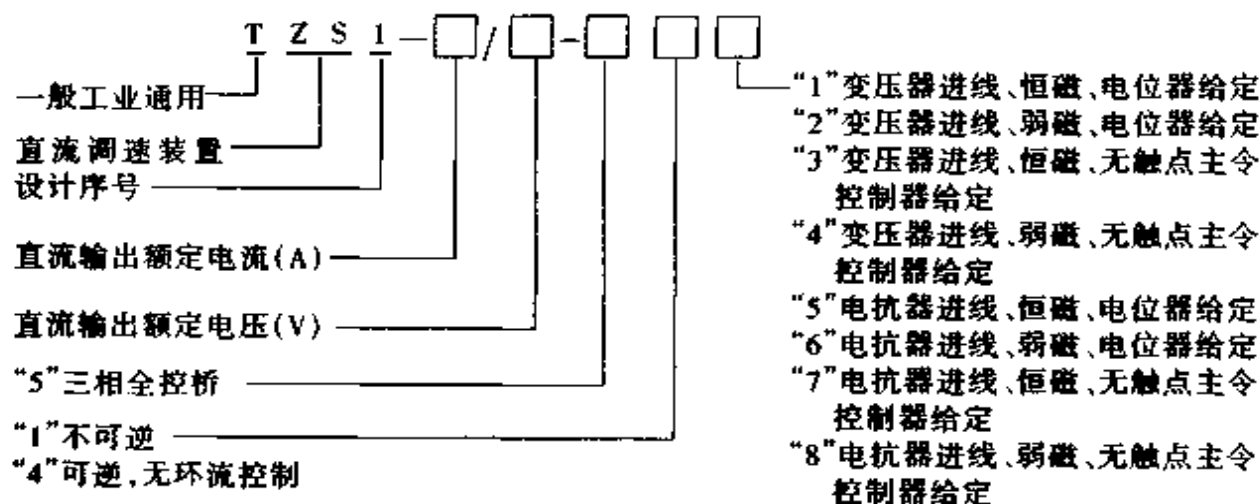


图 8.3.99 GD593<sub>1/2</sub> 功率单元原理线路图

### 3.3 TZS1 系列直流电动机调速装置

TZS1 系列直流电动机调速装置的功率范围是 88 ~ 704kW。适用于冶金、矿山、一般工业单机和生产线直流电机的调速传动。

#### 3.3.1 型号含义



其中电位器给定,是指电位器及有触点给定。无触点主令控制器给定是指自整角机经相敏整流后的无触点给定。

#### 3.3.2 产品系列参数及规格

本装置系列规格有:

- (1) 控制系统有不可逆恒磁、不可逆自动弱磁、可逆恒磁、可逆自动弱磁四种。
- (2) 交流进线有电抗器、变压器进线方式。
- (3) 给定有电位器给定、无触点主令控制器给定两种方式。
- (4) 直流额定电压有 220、360、400、440V。
- (5) 直流额定电流有 400、500、630、800、1000、1250、1600A。

本系列装置的规格见表 8.3.15,控制类别见表 8.3.16。由上述两表可知,通过组合共有 138 个品种(其中电抗器进线的装置额定输出电流最大为 800A,另外 TZS1-□/□ 515、516 型装置额定输出电压无 360V, TZS1-□/□ 545、546、547、548 型装置额定输出电压无 400V;变压器进线的装置额定输出电流最大为 1600A,额定输出电压只有 220V、440V 两种)。

表 8.3.15 TZS1 型直流电动机调速装置系列技术参数

序号	型号	直流输出			
		额定功率(kW)	额定电压(V)	额定电流(A)	最大过载电流(A)
1	TZS1-400/220-□□□	88	220	400	1000
2	TZS1-500/220-□□□	110		500	1000
3	TZS1-630/220-□□□	138		630	1600
4	TZS1-800/220-□□□	176		800	1600
5	TZS1-400/360-□□□	144	360	400	1000
6	TZS1-500/360-□□□	180		500	1000
7	TZS1-630/360-□□□	226		630	1600
8	TZS1-800/360-□□□	287		800	1600
9	TZS1-400/400-□□□	160	400	400	1000
10	TZS1-500/400-□□□	200		500	1000
11	TZS1-630/400-□□□	252		630	1600
12	TZS1-800/400-□□□	320		800	1600
13	TZS1-400/440-□□□	176	440	400	1000
14	TZS1-500/440-□□□	220		500	1000
15	TZS1-630/440-□□□	276		630	1600
16	TZS1-800/440-□□□	352		800	1600
17	TZS1-1000/440-□□□	440		1000	2500
18	TZS1-1250/440-□□□	550		1250	2500
19	TZS1-1600/440-□□□	704		1600	3200

本装置在长期额定负载电流条件下,允许 2 倍或 2.5 倍额定电流持续 1min 的过载,其过载周期间隔不小于 20min。在重复短时工作状态,装置容量选择可参考本章 3.4.3 的介绍。

装置在速度闭环时,速度精度指标为 0.5%,即:

$$\text{速度精度} = \frac{\Delta n_{\max}}{n_N} \times 100\% = 0.5\%$$

式中  $\Delta n_{\max}$ ——稳态最大速度变化值(负荷由 10% ~ 100% 额定电流变化);

$n_N$ ——额定速度。

调速比,即额定工作速度与最低工作速度之比可达 20:1,其速度精度满足一般工业运行的要求。

表 8.3.16 TZS1 型直流电动机调速装置控制方式类别

项号	型号	进线方式	励磁方式	转矩方向	给定方式	调节方式
1	TZS1-□/□-511	变压器(外设)	恒定励磁	不可逆	电位器	双环速度(或电压)调节系统
2	TZS1-□/□-512	变压器(外设)	自动弱磁	不可逆	电位器	双环速度调节系统,带加速度和最大电流限制功能
3	TZS1-□/□-515	电抗器(内设)	恒定励磁	不可逆	电位器	双环速度(或电压)调节系统
4	TZS1-□/□-516	电抗器(内设)	自动弱磁	不可逆	电位器	双环速度调节系统,带加速度和最大电流限制功能
5	TZS1-□/□-541	变压器(外设)	恒定励磁	可逆	有触点主令控制器(三级速度给定)	双环速度(或电压)调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制
6	TZS1-□/□-542	变压器(外设)	自动弱磁	可逆	有触点主令控制器(三级速度给定)	双环速度调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制,且带加速度和最大电流限制功能
7	TZS1-□/□-543	变压器(外设)	恒定励磁	可逆	无触点主令控制器	双环速度(或电压)调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制
8	TZS1-□/□-544	变压器(外设)	自动弱磁	可逆	无触点主令控制器	双环速度调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制,且带加速度和最大电流限制功能
9	TZS1-□/□-545	电抗器(内设)	恒定励磁	可逆	有触点主令控制器(三级速度给定)	双环速度(或电压)调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制
10	TZS1-□/□-546	电抗器(内设)	自动弱磁	可逆	有触点主令控制器(三级速度给定)	双环速度调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制,且带加速度和最大电流限制功能
11	TZS1-□/□-547	电抗器(内设)	恒定励磁	可逆	无触点主令控制器	双环速度(或电压)调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制
12	TZS1-□/□-548	电抗器(内设)	自动弱磁	可逆	无触点主令控制器	双环速度调节系统,带电势记忆的逻辑无环流控制,且带加速度和最大电流限制功能

### 3.3.3 典型装置电气原理图及简明介绍

#### 3.3.3.1 典型装置电气原理图

- (1) 调速系统单线图:见图 8.3.100。
- (2) 主回路调节原理图:见图 8.3.101。
- (3) 主回路原理图:见图 8.3.102。
- (4) 电枢整流回路原理图:见图 8.3.103。
- (5) 控制电源回路原理图:见图 8.3.104。
- (6) 风机操作回路原理图:见图 8.3.105。
- (7) 交流主开关操作回路原理图:见图 8.3.106。
- (8) 运行操作回路原理图:见图 8.3.107。
- (9) 故障综合与显示回路原理图:见图 8.3.108。
- (10) 电动机励磁回路原理图:见图 8.3.117~图 8.3.118。



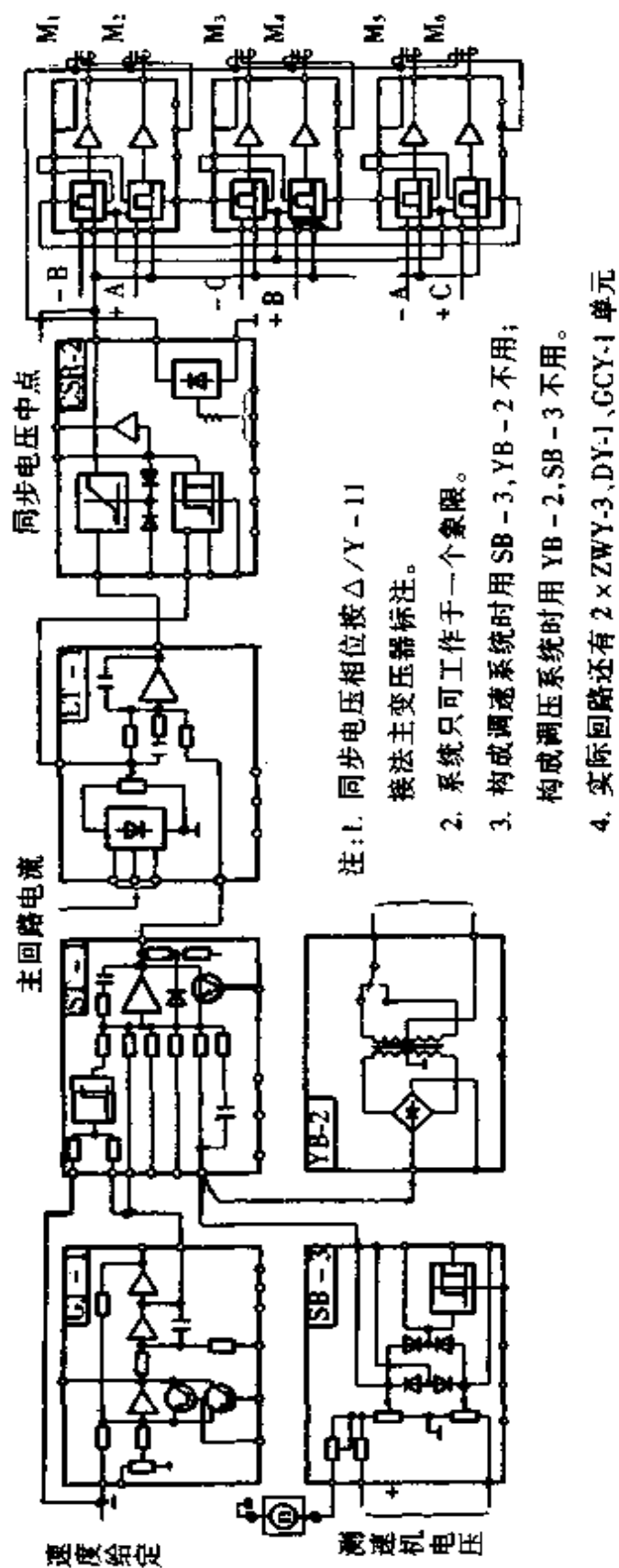


图 8.3.101 不可逆磁系统主回路调速原理图



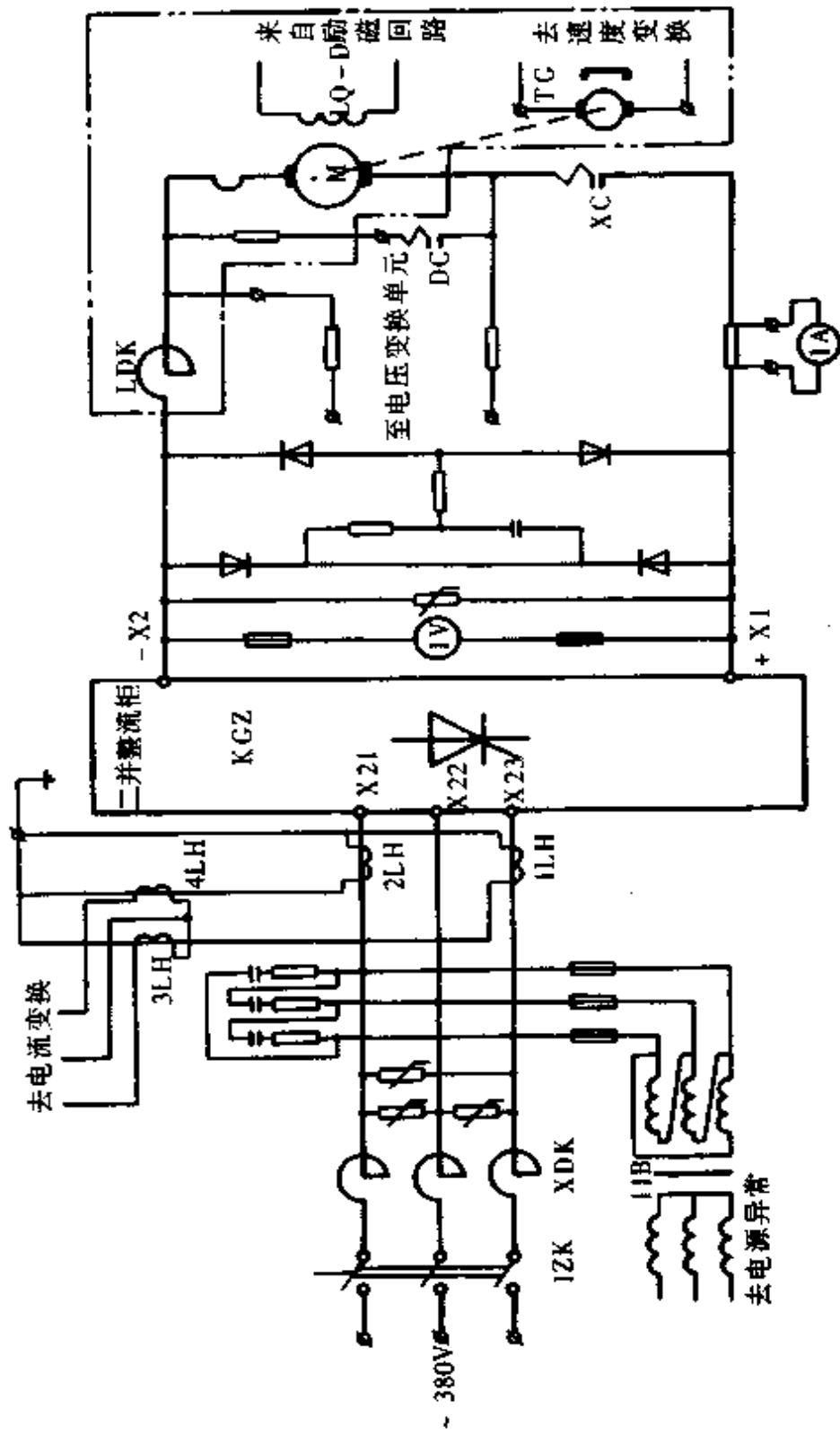


图 8.3.102 主回路原理图

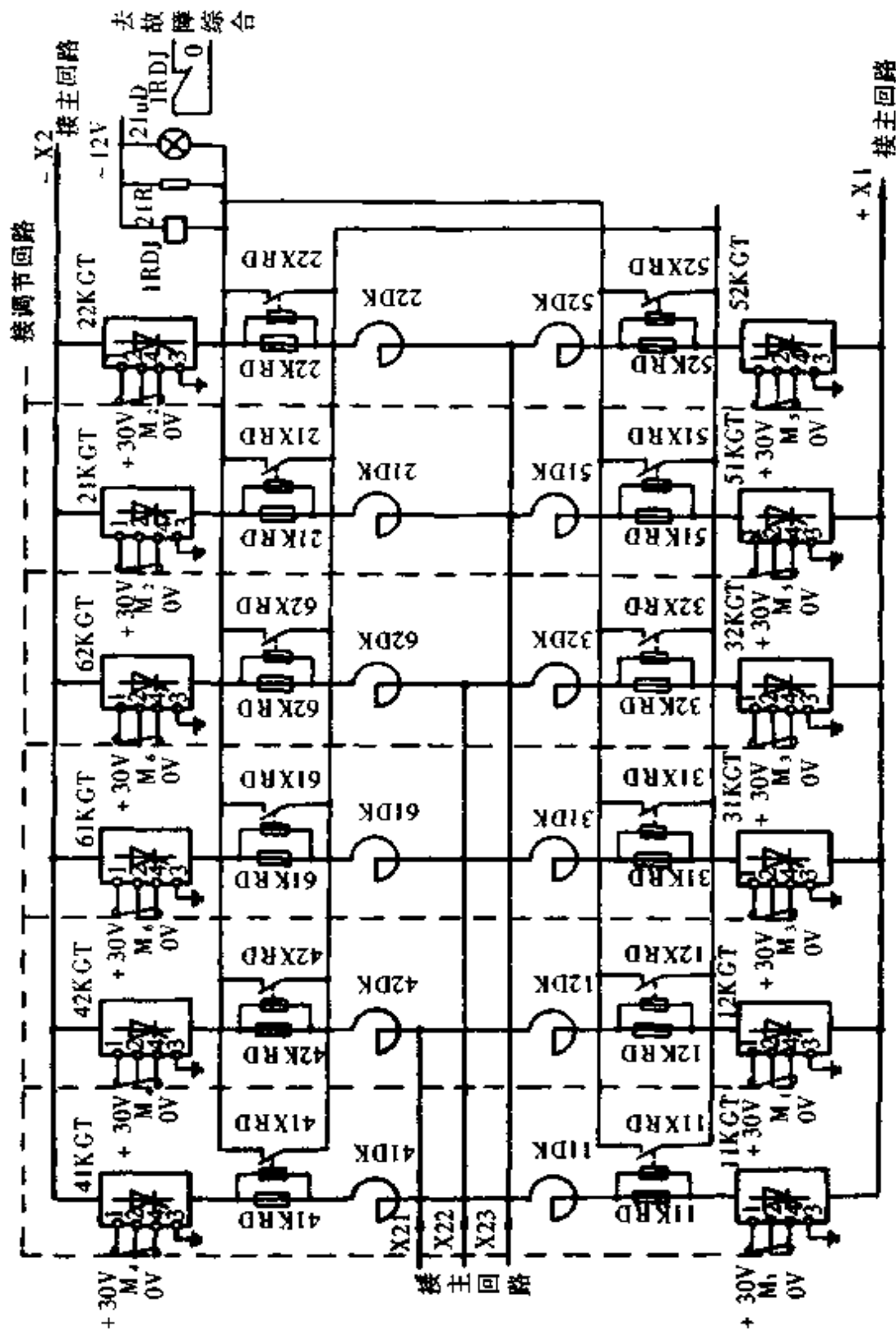


图 8.3.103 电枢整流回路原理图

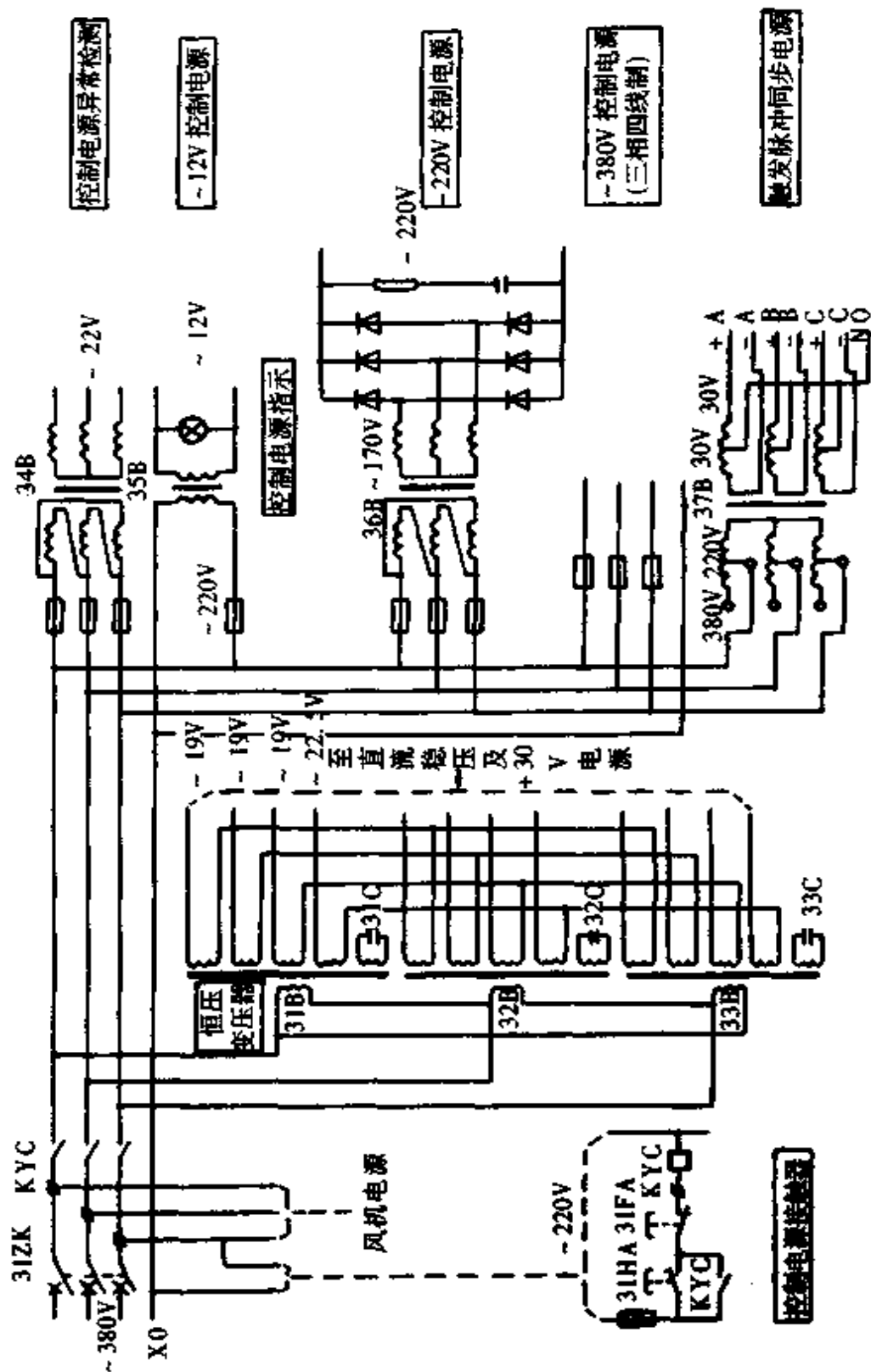


图 8.3.104 控制电源回路原理图

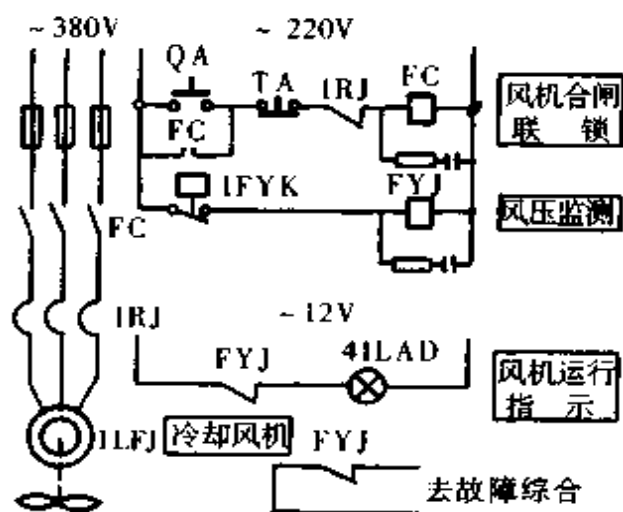


图 8.3.105 风机操作回路原理图

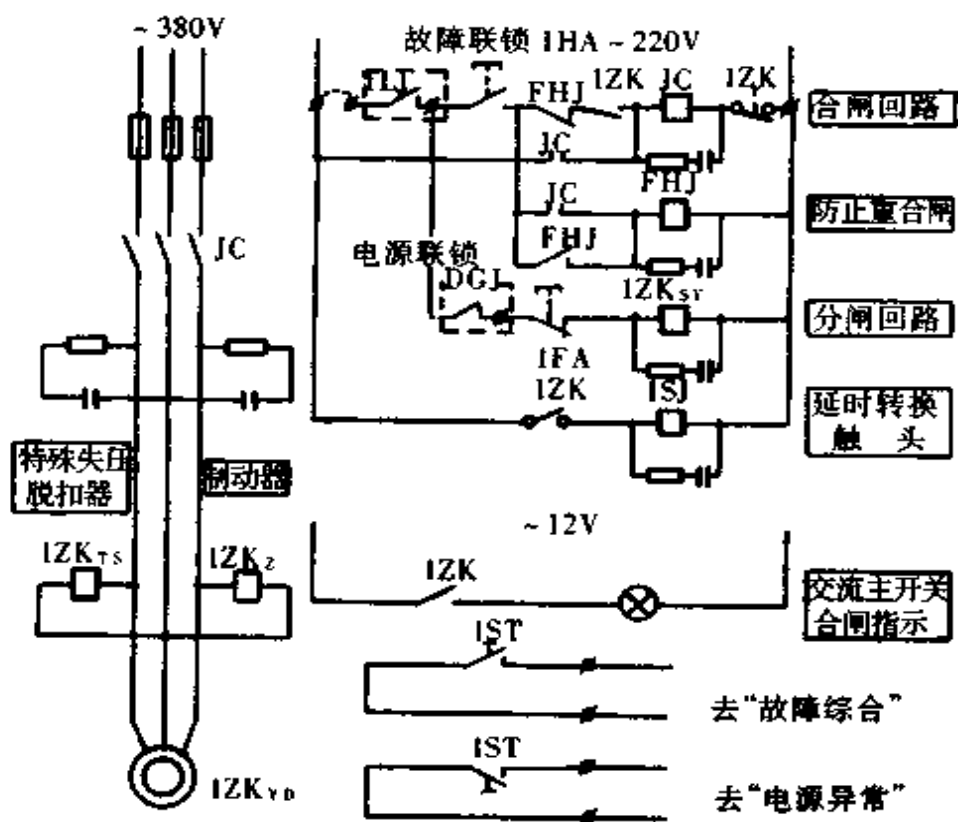


图 8.3.106 交流主开关操作回路原理图

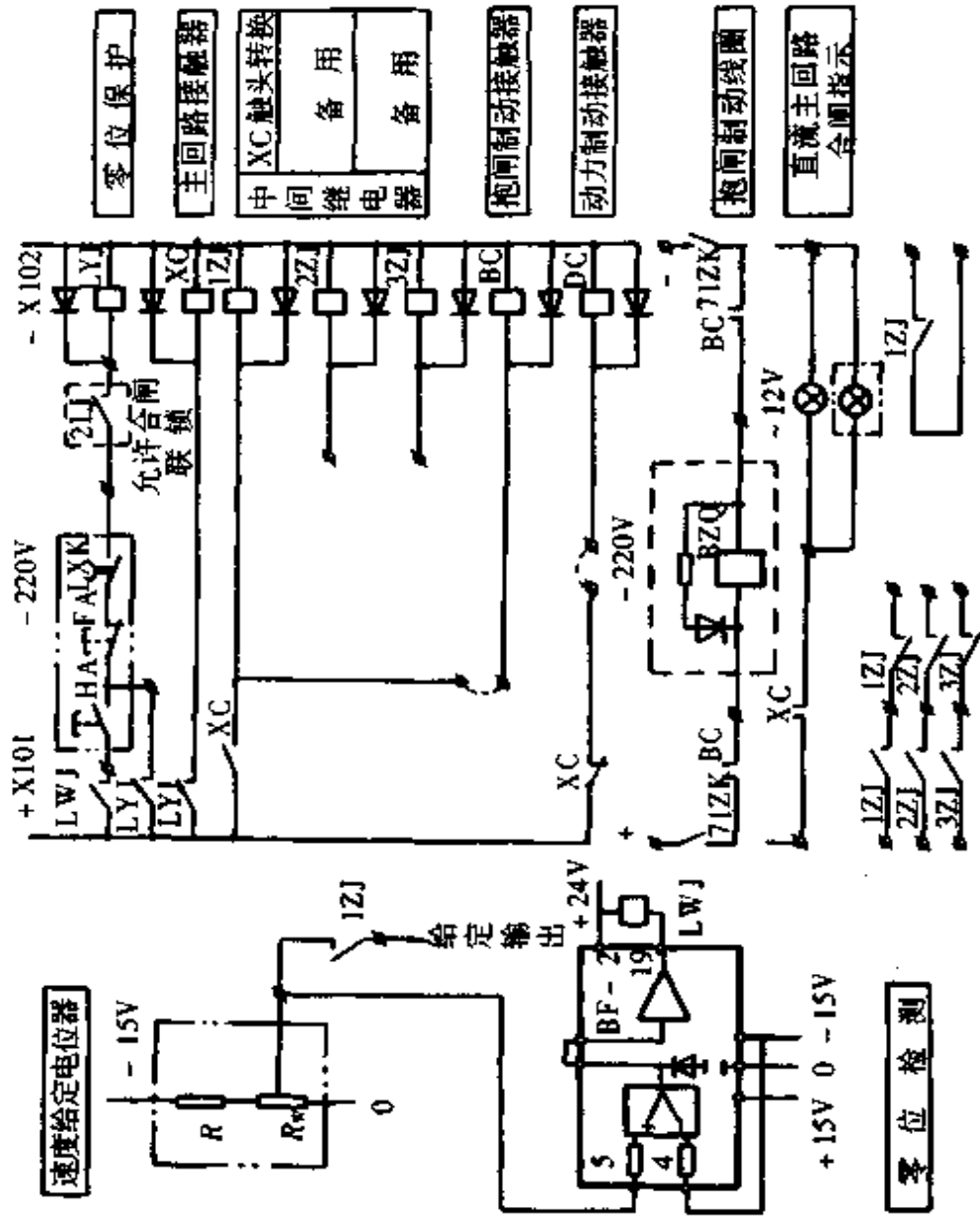


图 8.3.107 运行操作回路原理图

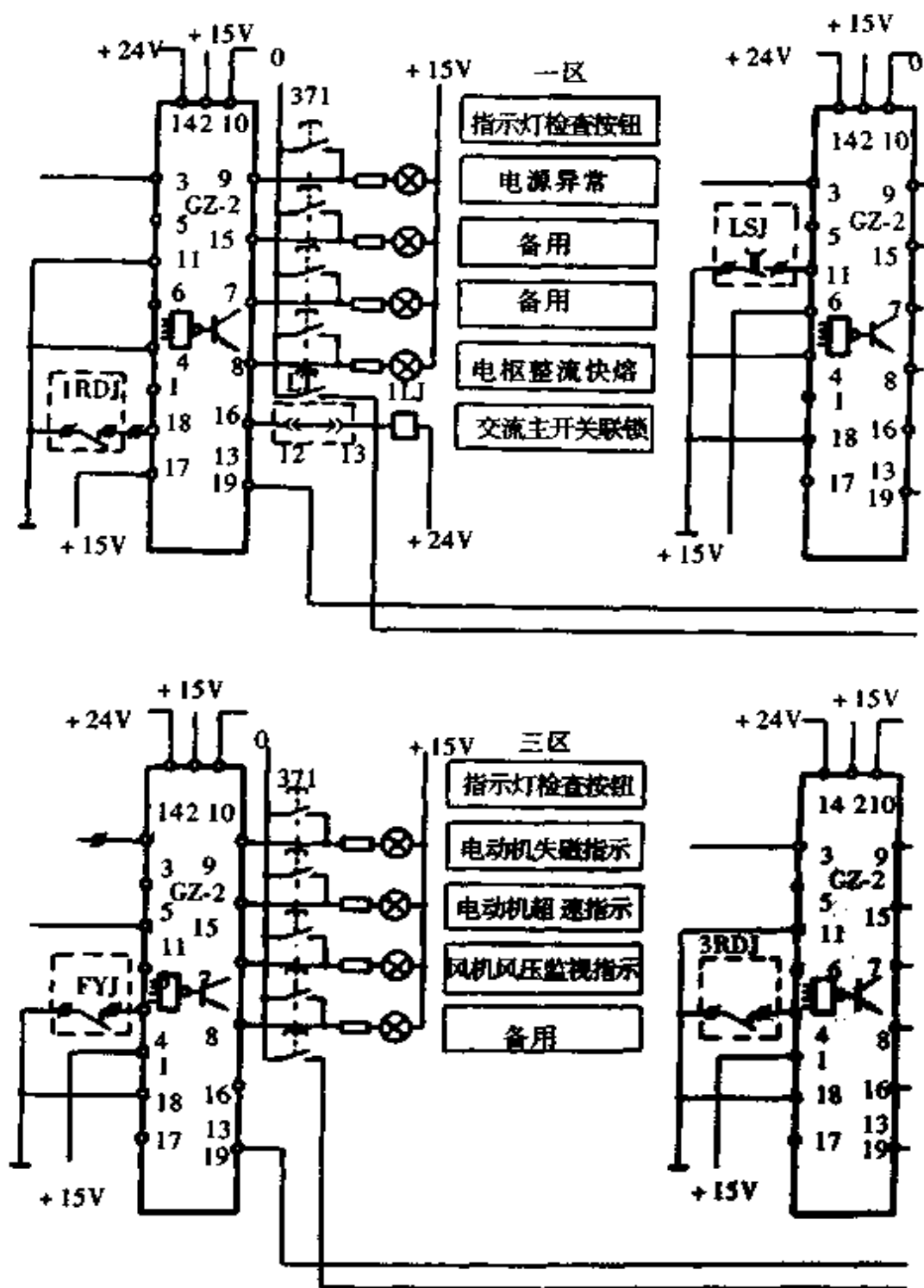
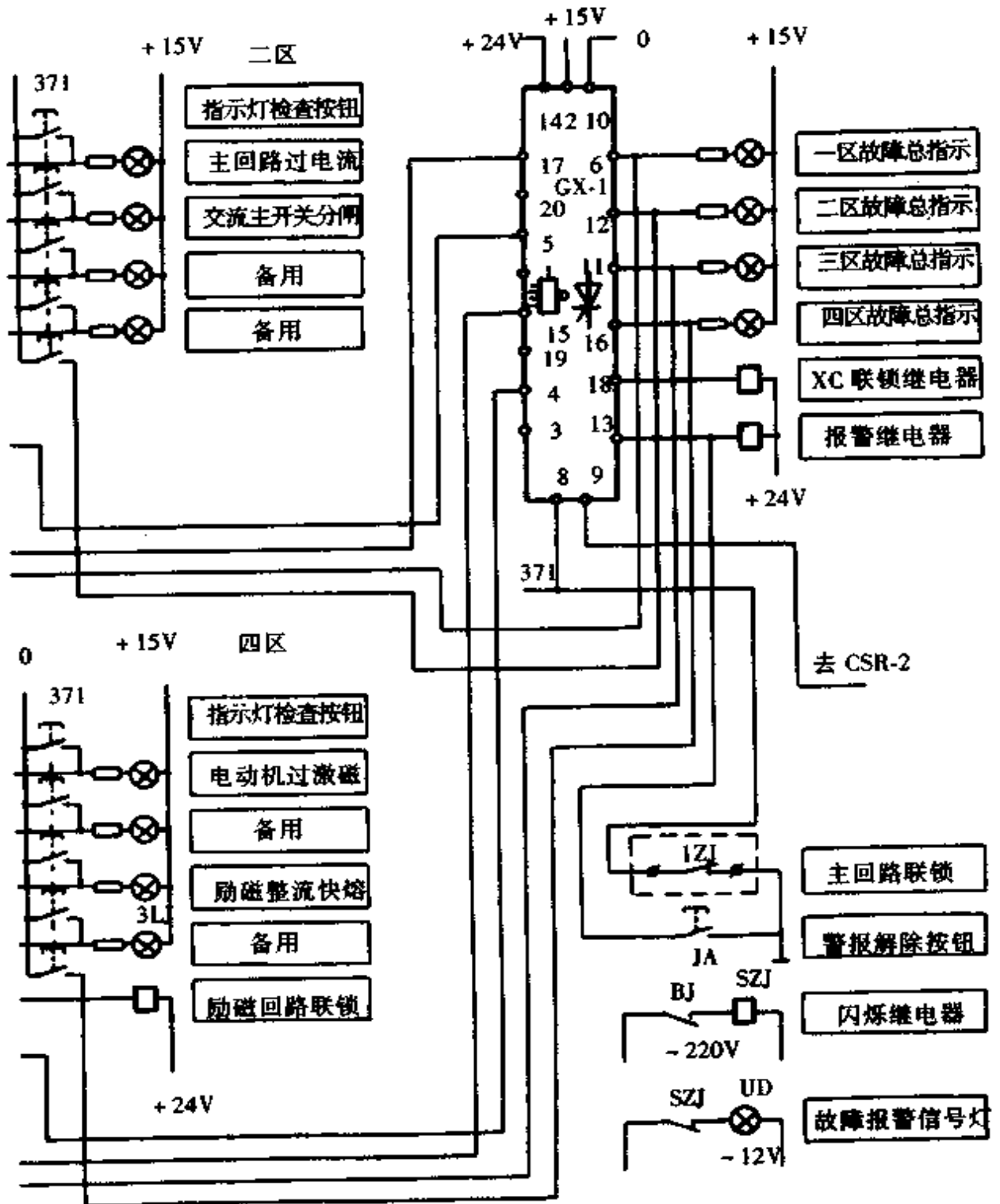


图 8.3.108 故障综合与显示



回路原理图

3.3.3.2 简介 本系列装置主回路均采用三相全控桥线路。根据功率大小,每个桥臂由1~4个晶闸管功率单元并联(不串联)组成。其额定功率为88~704kW,额定电压为220、360、400、440V,额定电流为400、500、630、800、1000、1250、1600A。可逆系统由两组三相全控桥接成反并联回路。

在直流侧均设置了直流接触器,以方便操作、调试和检修。另外还设置了动力制动和电磁抱闸制动控制环节,供选用。

主回路的保护主要有短路保护和过电压保护。短路保护采用快速熔断器和直流快速开关。对可逆88~352kW的装置,在直流侧设置一台快速开关和一台滤波电抗器,这样可切断直流侧的短路电流。对440~704kW的装置,在反并联回路中设置了两台快速开关和两台滤波电抗器,这样可切断环流电流和直流侧的短路电流,有利于快速开关、快速熔断器、晶闸管元件之间的匹配,当发生环流或直流侧短路时,可保护住快速熔断器和晶闸管元件。对于直流快速开关的合闸、分闸而产生的过电压,在交流侧采用R-C和压敏电阻来吸收,直流侧采用R-C及压敏电阻来保护。对于440V、1000A、1250A、1600A的可逆装置直流侧采用了两套过电压吸收。另外为抑制晶闸管开通时造成的 $\frac{du}{dt}$ 和 $\frac{di}{dt}$ ,在220~440V、400A、500A的装置中桥臂母线套上磁环,而在220~400V、630~1600A的装置中串入空芯电抗器。

本系列装置的调速系统采用了电流内环、速度(或电压)外环的双环调节系统。它具有反应快、易于稳定、便于调整等特点。对可逆系列,本装置采用带有电势记忆的准备式快速逻辑无环流系统,即电流反向时电流调节器输出不是使触发脉冲移到最小逆变角,而是直接移到与电动机电势相对应的逆变角(或整流角)位置,待换向逻辑动作结束,另一组整流装置开放时,整流出的电压正好与电动机的电势大小相等,方向相反,这样既无电流冲击,又减小了触发脉冲的移相时间。电流调节环具有并联校正环节,改善了系统在电流断续区的品质。因此本系统具有正反向过渡过程平滑、反向死时小的特点。若系统中采用HL-2换向逻辑单元和GB-1光电零电流变换器相配合,则反向死时更小。

本装置的不可逆系列采用电位器给定方式。可逆系列可采用有触点主令控制器给定及脚踏式(WLK-1型)或手板式(WLK-2型)无触点主令控制给定两种方式。对于主电源的过流和失压,励磁和控制电源的过电流、直流侧的短路等最基本的保护环节采用有接点保护。半导体保护环节还设有主回路过电流,主电源和控制电源欠压、缺相、电动机超速、过压、过励磁和失磁、稳压电源过压和欠压等保护。半导体无触点联锁可实现合分闸顺序联锁、故障信号综合、声光报警显示。

励磁回路采用恒磁和自动弱磁两种系统。恒磁系统又分速度调节系统和电压调节系统。弱磁仅有非独立控制速度调节系统。励磁系统采用单相半控桥和三相全控桥线路。具体的线路和结构可在本章3.5所介绍的励磁装置中选择。



### 3.3.4 装置选用说明

(1) 本系列装置交流进线有电抗器和变压器供电两种方式。电抗器(内设)进线功率范围为 88~352kW。数台相同等级的传动装置可用一台公用电源变压器或利用 380V 动力变压器通过各个电抗器接到装置上。单台变压器(外设)供电装置功率范围为 88~704kW。原边电压为 380V 或以下时的装置功率范围为 88~352kW。功率范围在 440~704kW 时,原边进线电压可以是低压,也可以是高压。

(2) 带进线电抗器的装置额定容量  $P_N$  应小于或等于公共电源变压器容量  $P_s$  的 1/5,即  $P_N/P_s \leq \frac{1}{5}$ 。

(3) 根据电网允许波动范围和过载的要求,对带三相整流变压器的线路,变压器次级电压  $U_2$  与直流额定电压  $U_N$  的比值为:

电枢回路:  $U_2/U_N = 0.95$ (不可逆);  $1.05$ (可逆)

对带进线电抗器线路,电源母线的线电压  $U_L$  与额定电压  $U_N$  的比值:

电枢回路:  $U_L/U_N = 0.95$ (不可逆);  $1.05$ (可逆)

单相半控桥励磁回路:  $U_L/U_N = 1.25 \sim 1.3$

(4) 在连续额定负荷运行时,允许 2~2.5 倍额定电流持续过载 1min,过载周期  $\leq 20$ min。符合此条件者,可按下式选择装置:

$$U_N \geq U_D; I_N \geq I_D$$

式中  $U_N, I_N$ ——装置的额定电压、额定电流;

$U_D, I_D$ ——电动机的额定电压、额定电流。

在重复短时工作状态,按本章 3.4.3 选择装置容量。

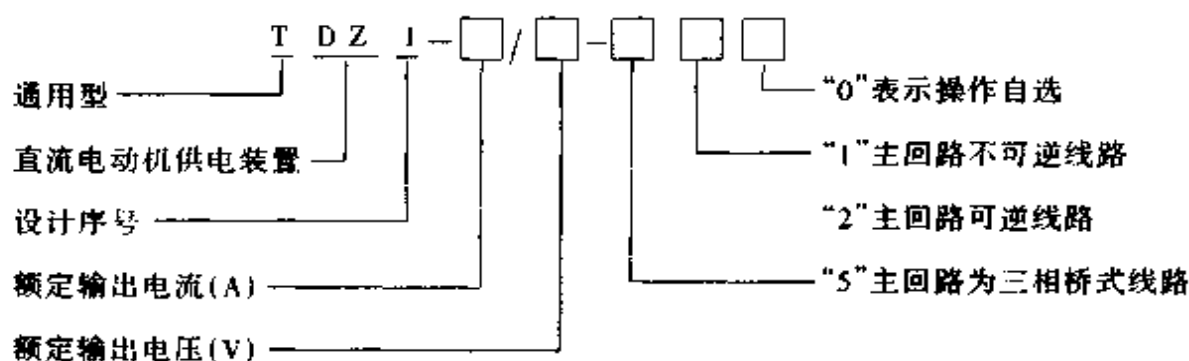
选出装置额定电压、电流后,根据进线方式、给定方式、可逆或不可逆及恒磁或弱磁等不同要求,对照本系列型谱选择装置型号。

## 3.4 TDZ1 系列直流电动机供电装置

本系列装置仅有主变流器部分。直流输出功率为:937~8370kW。

### 3.4.1 产品系列及技术参数

#### 3.4.1.1 型号含义



3.4.1.2 产品系列参数及规格 本系列装置均采用三相全控桥不可逆整流线路,主回路采用相并接线方式,用低噪音离心式风机强迫通风,基本形式有下列两种:一种是直流输出额定电压 750V 的直流电动机不可逆供电装置,其输出功率 937~3485kW,额定电流为 1250~4650A。采用双窄脉冲触发形式。另一种是直流输出电压 900V 的直流电动机不可逆供电装置,其输出功率为 2130~4185kW,额定电流为 2370~4650A。采用脉冲列宽脉冲触发形式。

本系列产品的规格共有 15 种,详见表 8.3.17。

表 8.3.17 TDZ1 系列产品规格

序号	型号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	最大过载电流 (A)	晶闸管元件串/并数	触发脉冲形式
1	TDZ1-1250/750-510	937	750	1250	2500	1/3	双窄脉冲
2	TDZ1-1600/750-510	1200		1600	3200	1/4	
3	TDZ1-2000/750-510	1500		2000	4000	1/5	
4	TDZ1-2370/750-510	1775		2370	4740	1/6	
5	TDZ1-2760/750-510	2070		2760	5520	1/7	
6	TDZ1-3130/750-510	2345		3130	6260	1/8	
7	TDZ1-3520/750-510	2640		3520	7040	1/9	
8	TDZ1-3890/750-510	2915		3890	7780	1/10	
9	TDZ1-4270/750-510	3200		4270	8540	1/11	
10	TDZ1-4650/750-510	3485		4650	9300	1/12	
11	TDZ1-2370/900-510	2130	900	2370	4740	2/6	脉冲列宽脉冲
12	TDZ1-3130/900-510	2815		3130	6260	2/8	
13	TDZ1-3520/900-510	3165		3520	7040	2/9	
14	TDZ1-3890/900-510	3500		3890	7780	2/10	
15	TDZ1-4650/900-510	4185		4650	9300	2/12	

说明:

(1) 4260~8370kW 装置由表中两组装置以十二相并联组成。

(2) 装置采用 NGT-3 型 450A/1000V 快速熔断器。

(3) 本装置在长期连续负载工作制或短时重复工作制下的容量选择见本章 3.4.3。本系列晶闸管并联的均流系数  $K_1$  应符合下列指标:

$$K_1 \geq \frac{1 + (n-1)K}{n}$$

式中  $n$ ——晶闸管并联支路数;

$K$ ——不均衡系数,取 0.8。

### 3.4.2 装置选用说明

(1) 本装置仅有主回路变流器部分,调节控制可选用本系列产品中控制单元组成。其他进出线、交直流侧保护、操作回路及互感器等亦需另行设计和选用。

(2) 装置允许在额定负载下长期连续运行,且允许 2 倍额定电流持续 1min 过载,其过载周期大于 20min。重复短时工作容量选择见本章 3.4.3。

(3) 根据电网允许波动范围和过载要求,对三相整流变压器次级电压  $U_2$  与直流额定电压  $U_N$  比值规定如下:

$$U_2/U_N = 0.95 \text{ (不可逆)}; U_2/U_N = 1.05 \text{ (可逆)}$$

### 3.4.3 装置选择方法

本装置采用的典型负载图如图 8.3.109 所示。

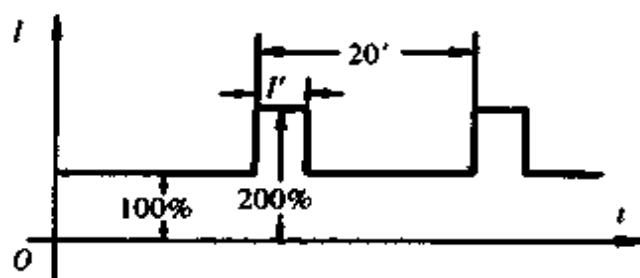


图 8.3.109 整流装置典型负载图

二次过载的周期为 20min,在这段时间内能使柜内发热元件(主要是晶闸管)的温度下降到过载前的温度。

对于长期运行而偶然过载的生产机械用晶闸管供电装置,可以按装置额定数据进行选择。对重复短时过载类型的生产机械,如轧钢机、矿井提升机、电铲等,选择供电装置要考虑两个因素:

(1) 根据负载图(若不是矩形波,则需近似折算为一系列矩形波)计算工作周期内的电流均方根值  $I_{RSM}$ ,计算公式为:

$$I_{RSM} = \sqrt{\frac{\int_0^T i^2(t) dt}{T}}, \text{ 应满足 } I_{RSM} \leq I_N$$

式中  $I_N$ ——装置的额定电流(A);

$T$ ——周期(s)。

(2) 晶闸管元件的结温,我国 KP 型元件的额定值规定为  $115^{\circ}\text{C}$ ,只要根据负载图利用瞬态热阻曲线计算出来的元件最高结温  $T$ ,小于  $115^{\circ}\text{C}$ ,即为装置选择合适。

TDZ1 系列装置串联风道中最底层晶闸管元件瞬态热阻曲线如图 8.3.110 中曲线 1 所示。用叠加原理计算元件的结温是将加在元件上任何一种变化的负载所引起的结温升,用等值的一组正阶跃的负载结温上升值和一组负阶跃的负载结温上升值的代数和来等效。其中每一个阶跃负载都是长期负载,见图 8.3.111。为简化计算,可采用近似法,即在负载周期以前取一个平均长期负载,使总的工作时间为  $2000\text{s}$ ,然后再按等效负载图用叠加法进行计算。图 8.3.111 可等效为图 8.3.112 的负载图,图中:

$$I_{AV} = \frac{I_1(t_2 - t_1) + I_2(t_3 - t_2)}{t_3 - t_1}$$

式中  $I_{AV}$  为一个周期电流的平均值(A)。

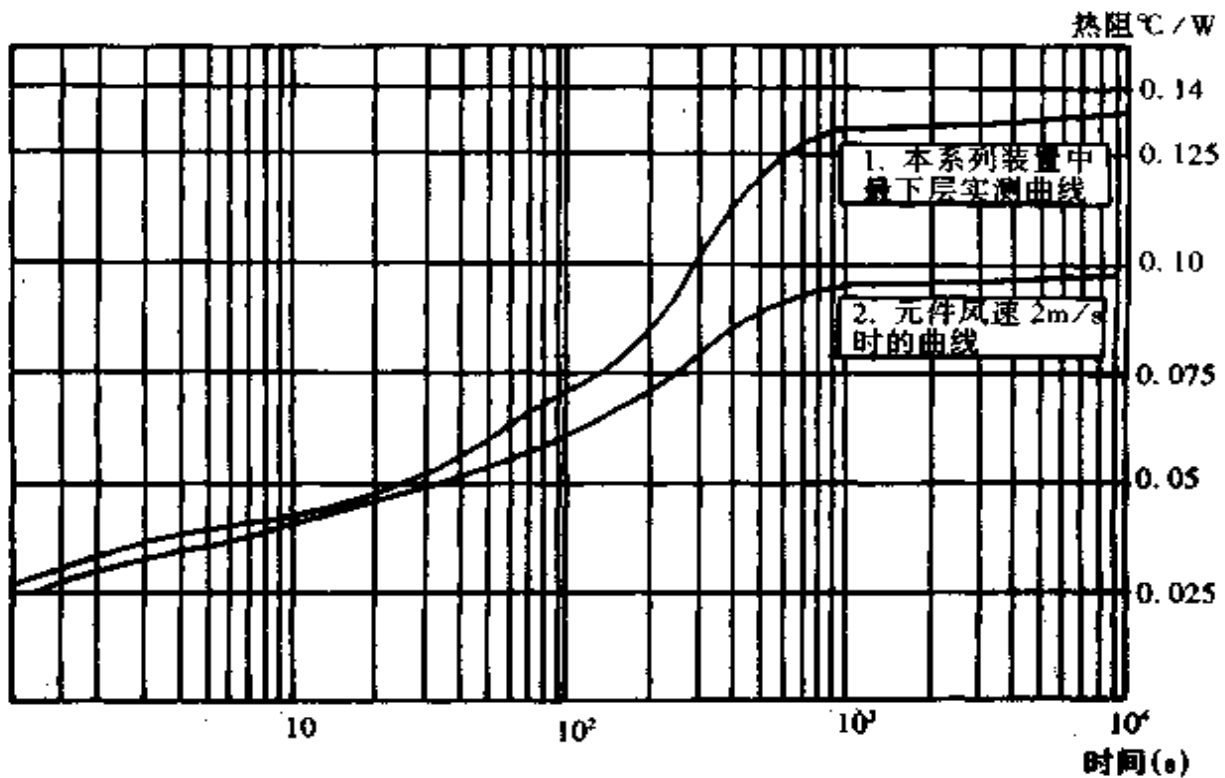


图 8.3.110 KP-500A 晶闸管瞬态热阻曲线

由于采用瞬态热阻曲线进行结温升计算比较麻烦,又不太直观,因此推荐采用负载电流—通电持续时间的等温升曲线的方法来进行结温升计算。曲线见图 8.3.113,纵坐标为折算到一个整流桥的直流输出电流;横坐标为对数时间坐标,从右到左为  $1\text{s}$  到  $2 \times 10^3\text{s}$ 。将负载图按叠加原理分解为多个正和负的阶跃负荷,估

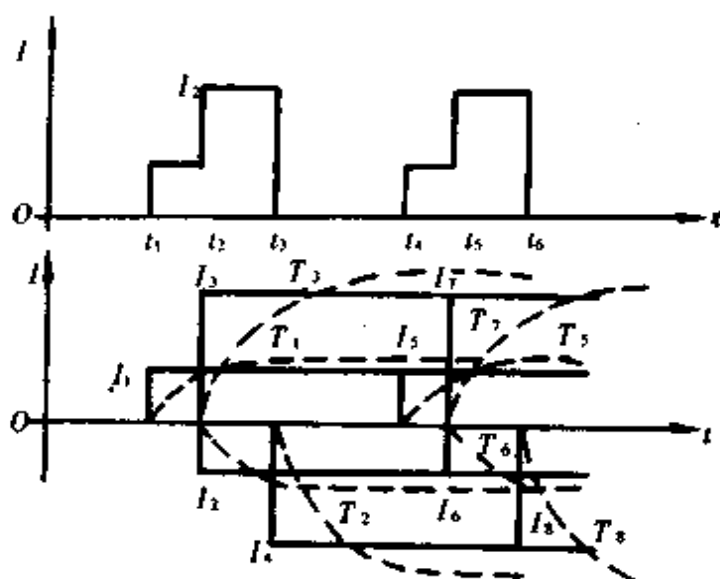


图 8.3.111 结温计算的叠加原理图

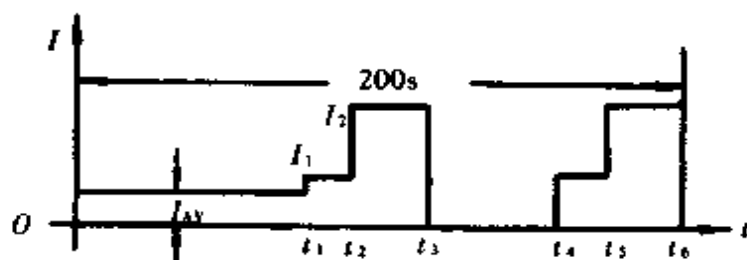


图 8.3.112 结温计算等效负载图

计产生最大结温升的一点为时间零点,根据负载电流和通电持续时间可在曲线组上找到相应的结温升。查曲线时,如果交点不在曲线上(如 A 点),则可以用比例法找到相应的结温升。如图 8.3.114,其结温升为  $\Delta T = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{\Delta L}{L}$ 。

【例】可逆热轧机主传动典型负荷装置容量的选择。

负载图见图 8.3.115,纵坐标为额定电流倍数,横坐标为时间。从负载图上知,正向组的负载比反向组的负载稍大,故只计算正向组即可。如正反向组负载差别较大,则应分别计算,并采用不对称可逆线路。

如果  $I_1 = 1185\text{A}$ ,  $I_2 = 5344\text{A}$ ,则一个周期的电流均方根值为:

$$I_{\text{RSM}} = \sqrt{\frac{1185^2 \times (1+2+2+2+2) + 5344^2 (2+3.2+5+8+8)}{135}} = 2370(\text{A})$$

对照表 8.3.17 选择六并装置,其  $I_N = 2370\text{A}$ ,满足  $I_{\text{RSM}} \leq I_N$  要求。折算到每个整流桥的直流电流

$$I' = \frac{I}{K_1 \cdot n}$$

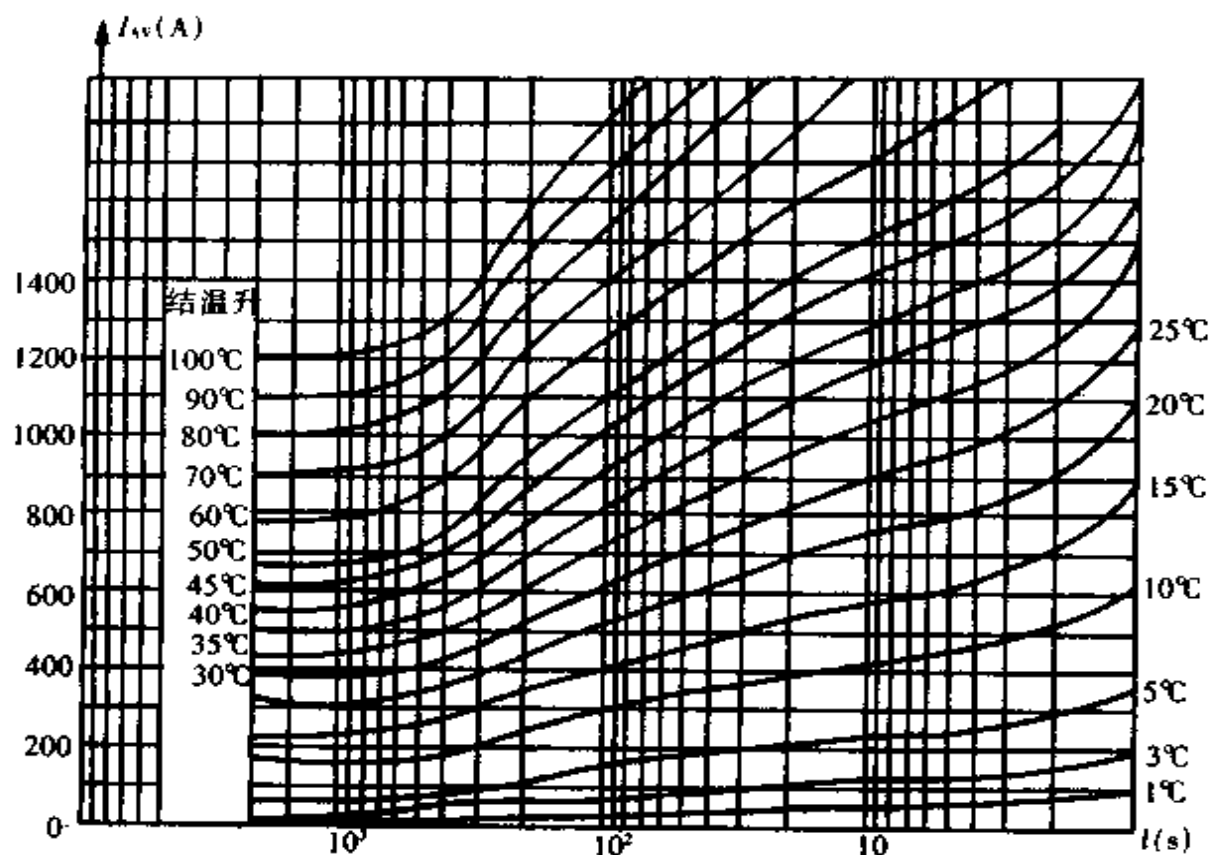


图 8.3.113 晶闸管温升计算图

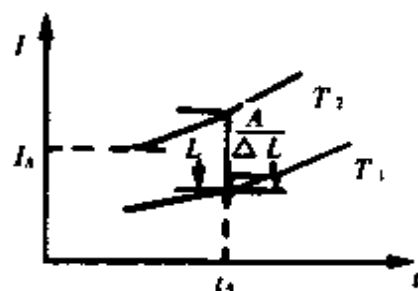


图 8.3.114 温升推算图

式中  $n=6$ ;  $K_1 = \frac{(n-1)K+1}{n} = \frac{(6-1) \times 0.8+1}{6} = 0.8333$ 。

所以  $I_1' = \frac{1185}{0.8333 \times 6} = 237(\text{A})$

$I_2' = \frac{5344}{0.8333 \times 6} = 1066(\text{A})$

则其平均电流

$$I_{AV} = \frac{237 \times (1+2+2+2+2) + 1066 \times (2+3.2+5+8+8)}{135} = 223(\text{A})$$

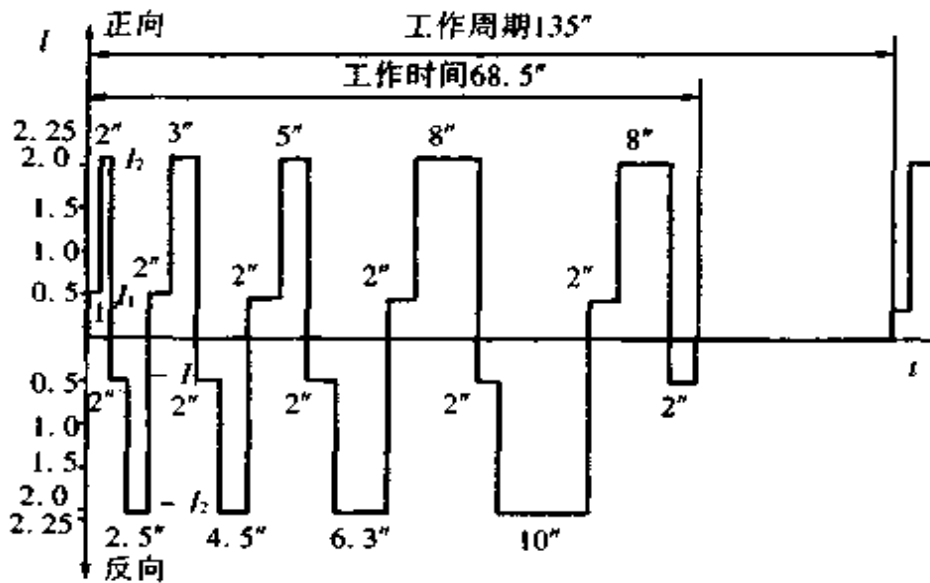


图 8.3.115 典型的可逆热轧机的负载循环曲线

画出一个正向整流桥的负载图,如图 8.3.116 所示,并进行计算。从图 8.3.113 查出一组结温升,其代数和为晶闸管元件的结温升(环境温度取 +40℃),见表 8.3.18。最高结温为:42.3℃ + 40℃ = 82.3℃,其值小于晶闸管额定结温,故符合要求。

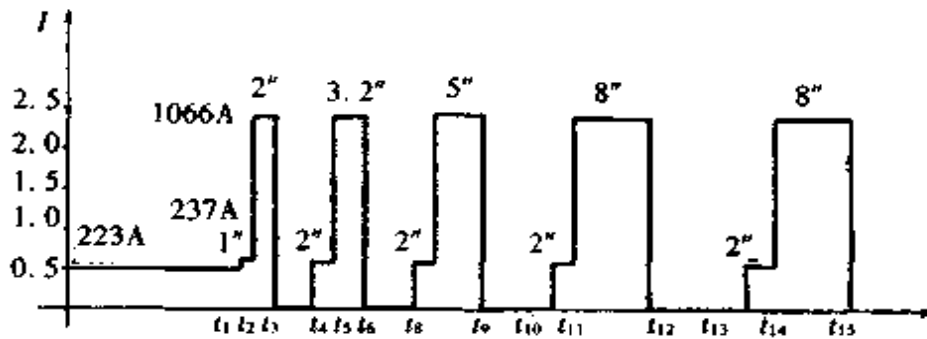


图 8.3.116 正组晶闸管结温升计算等效负载图

表 8.3.18 晶闸管元件的结温升

电 流 (A)	时 间 (s)	结 温 升 (℃)
+ 223	$t = t_{15} = 2000$	+ 13.68
- 223	$t_{15} - t_1 = 66$	- 6.738
+ 237	$t_{15} - t_1 = 66$	+ 7.1
- 237	$t_{15} - t_2 = 65$	- 7.086
+ 1066	$t_{15} - t_2 = 65$	+ 43

续表

电 流 (A)	时 间 (s)	结 温 升 (℃)
- 1066	$t_{15} - t_3 = 63$	- 42.28
+ 237	$t_{15} - t_4 = 58.5$	+ 7
- 237	$t_{15} - t_5 = 56.5$	- 6.8
+ 1066	$t_{15} - t_5 = 56.5$	+ 41.7
- 1066	$t_{15} - t_6 = 53.3$	- 41
+ 237	$t_{15} - t_7 = 47.3$	+ 6.48
- 237	$t_{15} - t_8 = 45.3$	- 6.38
+ 1066	$t_{15} - t_8 = 45.3$	+ 40
- 1066	$t_{15} - t_9 = 40.3$	- 39
+ 237	$t_{15} - t_{10} = 32$	+ 6
- 237	$t_{15} - t_{11} = 30$	- 5.9
+ 1066	$t_{15} - t_{11} = 30$	+ 37
- 1066	$t_{15} - t_{12} = 22$	- 34.3
+ 237	$t_{15} - t_{13} = 10$	+ 5
- 237	$t_{15} - t_{14} = 8$	- 4.9
+ 1066	$t_{15} - t_{14} = 8$	+ 29.7
总 计		42.3

综上所述,对重复短时工作的机械,选择晶闸管供电装置的步骤如下:

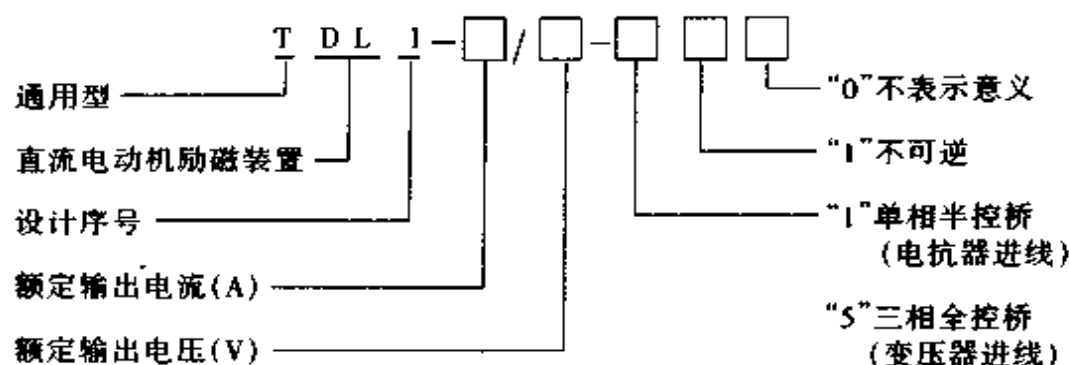
- (1) 根据工作机械的负载图,计算出一个工作周期的电流均方根值  $I_{RSM}$ 。
- (2) 对照系列型谱选择装置,使装置额定电流  $I_N \geq I_{RSM}$ 。
- (3) 根据晶闸管元件并联数计算出均流系数  $K_1$  及每个整流桥的直流平均电流  $I_{AV}$ ,根据此电流查出起始温升。
- (4) 根据正组或反组的负载图计算并查曲线得出晶闸管元件的最高结温,其值应小于元件允许的最高结温。

### 3.5 TDL1 系列直流电动机励磁装置

TDL1 系列直流电动机励磁装置适用于大、中功率直流电动机的励磁,励磁方向不可逆。励磁整流线路有单相半控桥和三相全控桥两种。结构形式有励磁箱和励磁柜两种。单相半控桥励磁箱功率范围为 0.7~11.6kW,三相全控桥励磁箱功率范围为 4.4~20.8kW,励磁柜功率范围为 11~277kW。



## 3.5.1 型号含义



## 3.5.2 产品系列参数及规格

本系列装置的励磁电流方向不可逆,有单相半控桥和三相全控桥线路。单相半控桥采用电抗器进线,三相全控桥采用变压器进线。交流进线电压有 380V 和 220V 两种。装置冷却方式有自然冷却和风机强迫通风冷却。

装置直流输出额定电压有 110、170、220、290、330、440V,直流输出额定电流有 4、6.3、10、16、25、40、63、100、160、250、400、630A,共 38 种规格。其中:

单相半控桥励磁箱,有 12 种规格,见表 8.3.19;

三相不可逆励磁箱,有 6 种规格,见表 8.3.20;

三相不可逆励磁柜,有 20 种规格,见表 8.3.21。

表 8.3.19 单相半控桥励磁箱技术参数

序号	型号	额定输出			冷却方式	晶闸管元件	
		容量 (kW)	电压 (V)	电流 (A)		电压 (V)	电流 (A)
1	TDL1-4/170-110	0.7	170	4	自冷	900	10
2	TDL1-6.3/170-110	1.1		6.3			
3	TDL1-10/170-110	1.7		10			
4	TDL1-16/170-110	2.7		16			
5	TDL1-25/170-110	4.3		25			
6	TDL1-40/170-110	6.8		40			
7	TDL1-4/290-110	1.2	290	4	自冷	1800	10
8	TDL1-6.3/290-110	1.8		6.3			
9	TDL1-10/290-110	2.9		10			
10	TDL1-16/290-110	4.6		16			
11	TDL1-25/290-110	7.3		25			
12	TDL1-40/290-110	11.6		40			

表 8.3.20 三相不可逆励磁箱技术参数

序号	型号	额定输出			冷却方式	晶闸管元件	
		容量 (kW)	电压 (V)	电流 (A)		电压 (V)	电流 (A)
1	TDL1-40/110-510	4.4	110	40	风冷	900	50
2	TDL1-63/110-510	6.9		63			
3	TDL1-40/220-510	8.8	220	40			
4	TDL1-63/220-510	13.9		63			
5	TDL1-40/330-510	13.2	330	40		1800	
6	TDL1-63/330-510	20.8		63			

表 8.3.21 三相不可逆励磁柜技术参数

序号	型号	额定输出			冷却方式	晶闸管元件	
		容量 (kW)	电压 (V)	电流 (A)		电压 (V)	电流 (A)
1	TDL1-100/110-510	11	110	100	自冷	900	200
2	TDL1-160/110-510	17.6		160	风冷		
3	TDL1-250/110-510	27.5		250			
4	TDL1-400/110-510	44		400			
5	TDL1-630/110-510	69.3		630			
6	TDL1-100/220-510	22	220	100	自冷	900	200
7	TDL1-160/220-510	35.2		160	风冷		
8	TDL1-250/220-510	55		250			
9	TDL1-400/220-510	88		400			
10	TDL1-630/220-510	138.6		630			
11	TDL1-100/330-510	33	330	100	自冷	1800	200
12	TDL1-160/330-510	52.8		160	风冷		
13	TDL1-250/330-510	82.5		250			
14	TDL1-400/330-510	132		400			
15	TDL1-630/330-510	207.9		630			
16	TDL1-100/440-510	44	440	100	自冷	1800	200
17	TDL1-160/440-510	70.4		160	风冷		
18	TDL1-250/440-510	110		250			
19	TDL1-400/440-510	176		400			
20	TDL1-630/440-510	227.2		630			

注:1. 本系列装置允许在额定负载下长期连续运行。

2. 本系列装置的励磁电流调节范围为 25% ~ 100%。

### 3.5.3 原理线路简介

#### 3.5.3.1 单相半控桥不可逆励磁回路(170、290V, 4~40A, 见图 8.3.117)

励磁回路可直接由车间电源供电,其电压有 380V、220V 两种,经自动开关、进线电抗器到半控桥。通电时有信号灯指示,直流电流有电流表指示。交直流侧有压敏电阻及阻容保护。直流侧还接有适应窄脉冲触发的预负载电阻。快熔熔断报警信号由  $Q_1$ 、 $Q_2$  输出。励磁电流用直流互感器进行检测。 $+X_1$ 、 $-X_2$  接电动机励磁线圈。

控制系统为励磁电流调节系统。 $L1$  为励磁电流信号输出, $L2$  为零励磁信号输出, $L5$  为励磁电流反馈信号输入,当需要弱磁时从  $L4$  可引进电势信号。当系统需其他附加信号时也可用 DT 附加输入端。

3.5.3.2 三相全控桥不可逆励磁回路(110、220、330V, 40~63A, 见图 8.3.118) 交流 380V 电源经低压断路器、整流变压器引入三相全控整流桥。用交流互感器进行电流检测。控制系统为励磁电流调节系统。励磁电流由 DT 单元中的电位器  $W_5$  给定,通过  $R_1$ 、 $R_2$  输入放大器 FD。励磁电流反馈从检测环节的电位器  $W_6$  上获得,经 DT 5 端,励磁箱的  $L1$ 、 $L5$  端再回到 DT 的 17 端,经由二极管  $Z_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  送到 FD。励磁电流的给定与反馈量进行比较后的偏差值,经励磁电流调节器的 PI 运算后,送入功放级,通过  $W_4$  调整,并通过  $R_8$ 、 $R_9$  将励磁电流调节器输出的正负变化信号变成仅为大小变化的正信号,由 16 端输出作为移相触发 CF 的控制信号( $\alpha_{min}$  及  $\beta_{min}$  限制由  $W_3$ 、 $W_2$  调整)。然后从 CF 单元的 6、3 和 14、17 端输出两个相位互差  $180^\circ$ ,其角度与控制信号成正比的脉冲信号,经脉冲变压器 MB 加至晶闸管的控制极,使主回路直流侧产生励磁电压和电流。励磁电流经电流互感器 DT 的电流检测环节送回到励磁电流调节器与给定值进行比较,使励磁电流控制在给定值。零励磁和过励磁检测动作值分别由 DT 的  $W_7$  和  $W_8$  电位器调节。励磁正常时,输出“0”电平信号;零励磁、过励磁故障时,输出“1”电平信号(分别由 DT 单元 3、14 端经  $L2$ 、 $L8$  输出)。快速熔断器上均装有信号熔断器,快速熔断器熔断时,可发出接点信号,通过外部线路的组合,将触发角移至  $\beta_{min}$  并发出跳闸信号。移  $\beta_{min}$  信号可从  $L7$  引到 DT 的 4 端。过励磁时,系统能自动将触发角移至  $\beta_{min}$ ,若不准备移  $\beta_{min}$ ,则将 DT 中的  $Z_{23}$  拆除。

当直流电动机需弱磁调速时,来自电动机电枢回路的电势信号,可从  $L4$  端加入,经 DT 的 18 端与加在 17 端的弱磁电流反馈信号进行比较。当电枢电压小于额定电压 90% 时,其反电势的负的绝对值信号小于励磁电流反馈信号,即  $U_{18} > U_{17}$ ,系统为电流调节系统。当电枢电压升到接近额定电压时,电势信号与励磁电流信号相同以至更负,此时  $U_{17} > U_{18}$ , $Z_1$  导通, $Z_2$  截止,反馈信号由电流变为电势,系统变成电势调节系统,电动机处在弱磁调速工作状态。

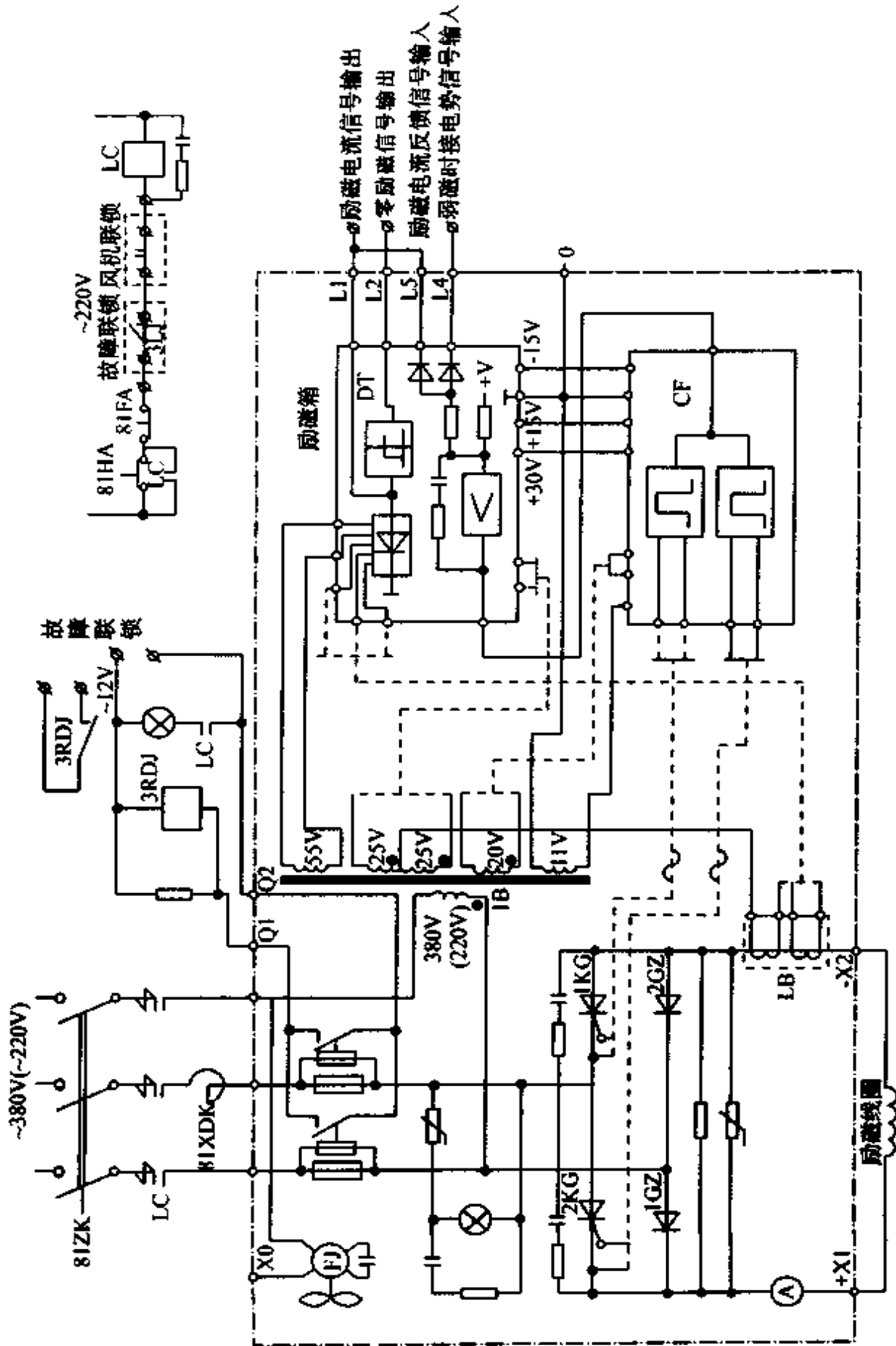


图 8.3.117 单相半控桥不可逆励磁回路原理图

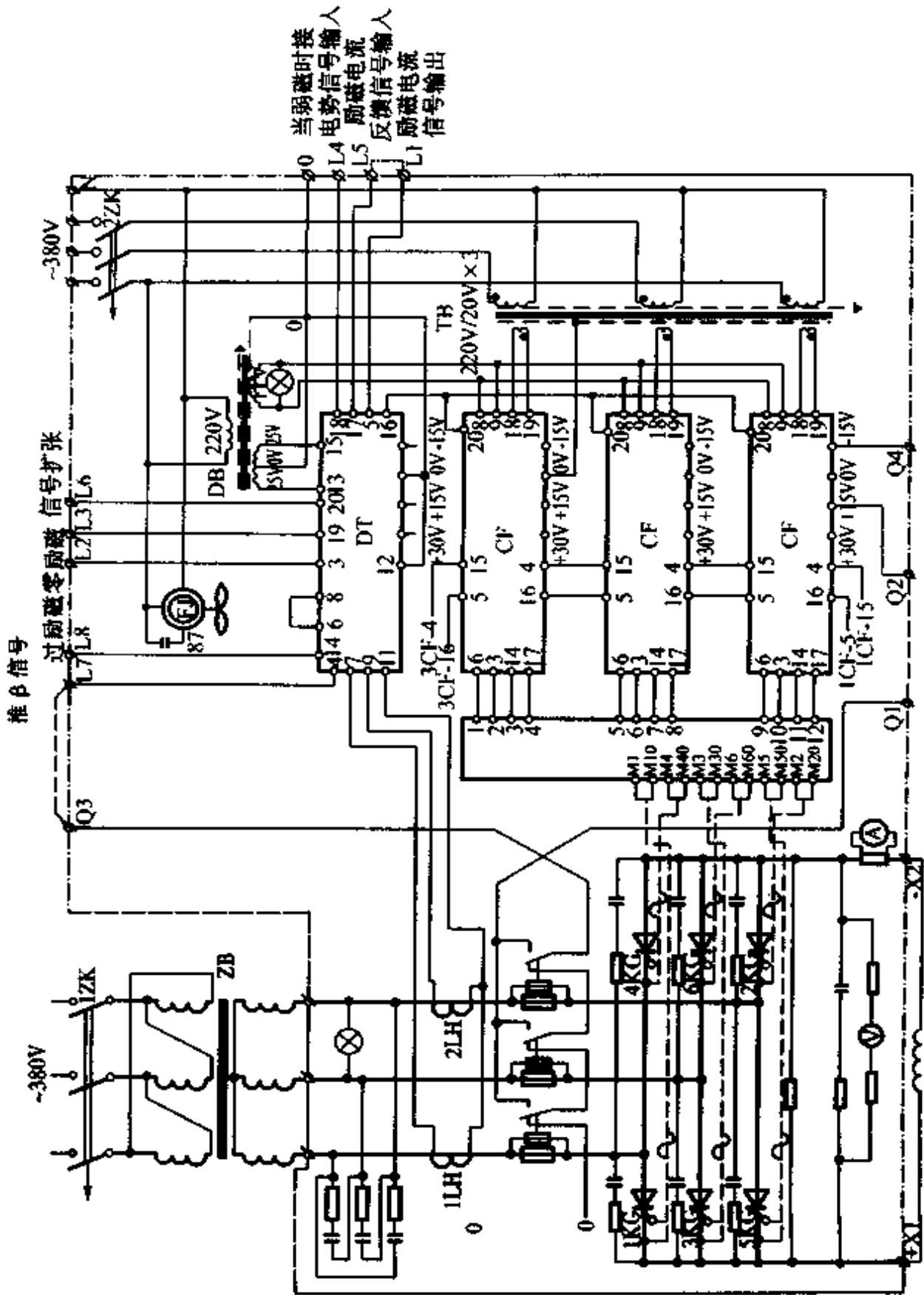


图 8.3.118 三相全控桥不可逆励磁回路原理图

励磁线圈

3.5.3.3 三相不可逆励磁回路(110、220、330、440V, 100~630A, 见图8.3.119) 380V电源经低压断路器、整流变压器、全控桥整流后供给电动机励磁绕组。交直流侧的过电压保护均采用阻容和压敏电阻。直流侧有电压、电流指示仪表。采用交流互感器和LB-2电流变换器检测主回路电流作为励磁电流反馈信号输入至CBG-1,经CBG-1中的磁通变换器把励磁电流信号模拟成磁通信号,与LLT-1单元内给定电位器 $W_0$ 的额定磁通量进行比较,经FD比例积分调节输出励磁电流控制信号给CSR-2,经CSR-2单元变换输出给CF-3触发脉冲单元控制晶闸管的开放角。此时,电动机处于恒磁状态下工作,系统为励磁磁通调节系统。

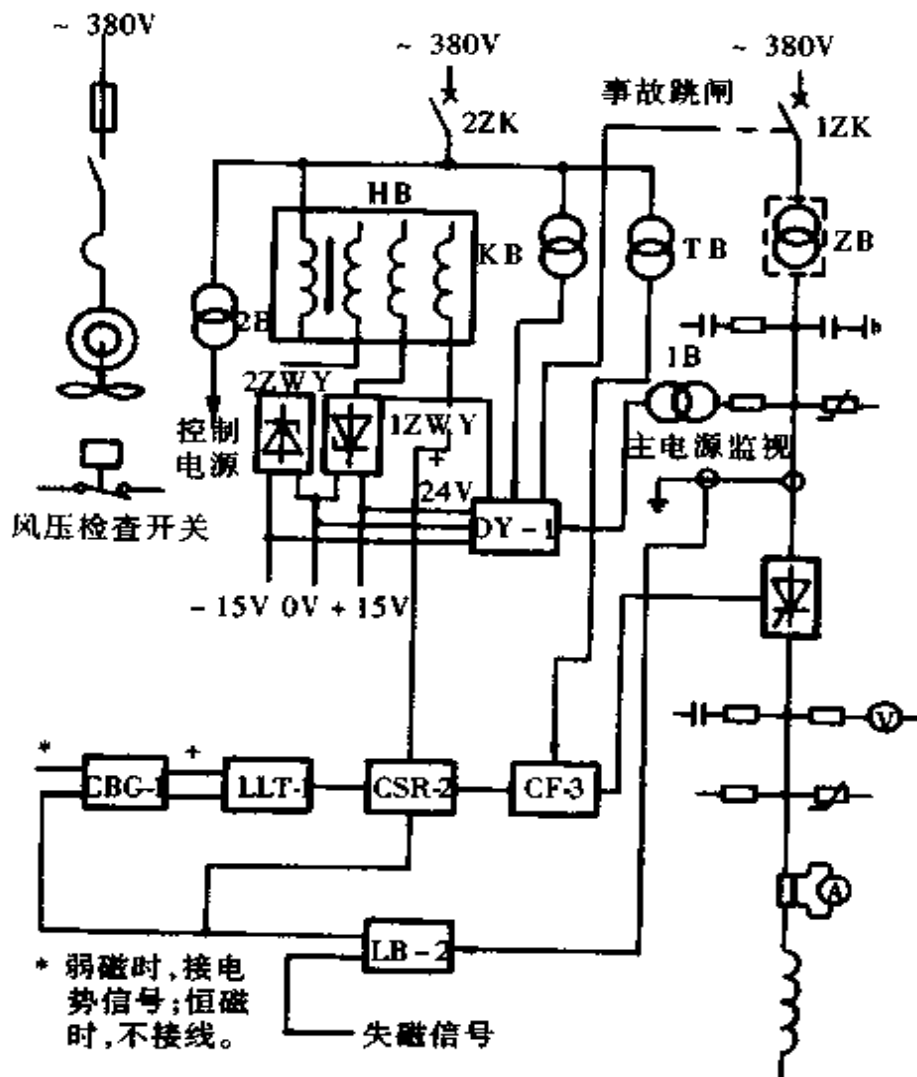


图 8.3.119 三相不可逆励磁回路单线系统图

当作为非独立控制弱磁系统应用时,图中\*处接电势信号,接YB-2(或YB-1)单元输出信号,与CBG-1的给定比较( $W_1$ 一般整定为95%额定电势值)。当电动机在95%额定电压以下运行时处于恒磁状态工作,当电压超过95%额定电压时,

电势调节器有输出,使磁通给定值下降,电动机进入弱磁调速状态。只要电动机的实际转速小于给定值,电枢回路就有加速电流,电势就企图升高,经电势调节使磁通继续减小,因而转速继续上升,直到速度给定等于速度反馈,系统进入稳速运行阶段。这时的系统称为带有磁通环的电势调节系统。

本系统还设有控制电源、主电源的欠压、缺相、 $\pm 15V$  稳压电源欠压、零励磁和过励磁等保护环节。当故障时自动将触发角移至  $\beta_{min}$  并断开主回路电源进线开关。

3.5.3.4 MB 脉冲板(见图 8.3.120) MB 脉冲板安装于三相不可逆励磁箱内,每块 MB 板上有 6 个脉冲变压器,来自 3 个 CF 单元的脉冲触发信号,经脉冲变压器隔离,去触发 6 个 50A 或 50A 以下的晶闸管。

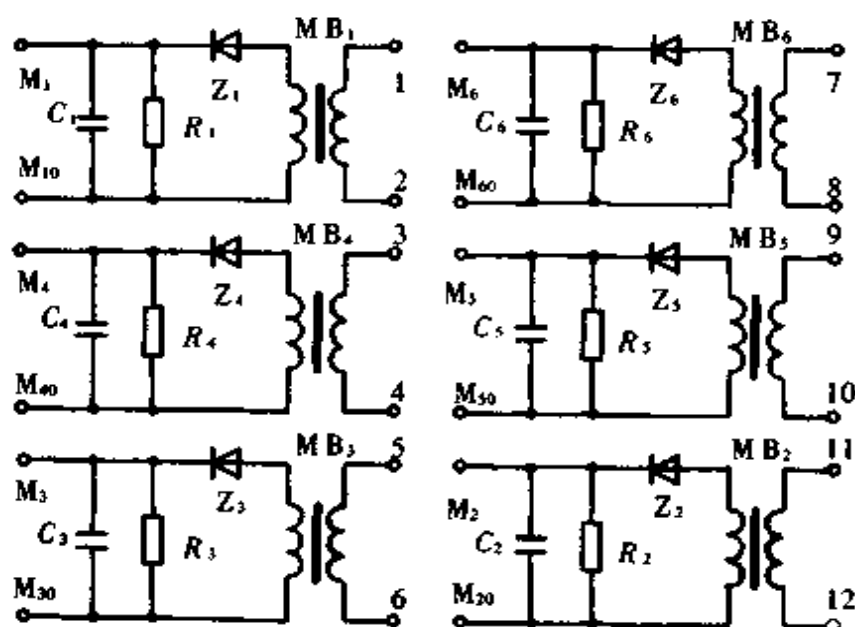


图 8.3.120 MB 脉冲板原理图

#### 3.5.4 装置选用说明

装置选择必须符合下列两式的要求：

$$U_N \geq k_q U_D (V);$$

$$I_N > I_D (A)。$$

式中  $U_N$ 、 $I_N$ ——装置的额定电压、额定电流；

$U_D$ 、 $I_D$ ——电动机的额定励磁电压、额定励磁电流；

$K_q$ ——励磁电压的强迫倍数,用于可逆励磁时一般可取 3~5 倍,甚至更大。

## 第四章 交流异步电动机调速控制

与直流电动机相比,交流电动机结构简单、制造容易、维修方便、价格低廉,而在交流电动机中,笼型和绕线转子异步电动机的上述特点尤为突出。因此,交流电动机特别是笼型异步电动机的应用最为普遍。常用异步电动机的调速有以下几种方法:变极调速、调压调速、变频调速、电磁转差离合器调速、转子串电阻调速和串级调速。

### 1 笼型异步电动机的调速

#### 1.1 变极对数调速

变极对数调速是通过改变笼型电动机的同步转速  $n_0$  进行调速,极对数  $p$  与同步转速  $n_0$  成反比。在工频电网频率  $f_1 = 50\text{Hz}$  时,当极对数  $p = 1, 2, 3, \dots$ , 即可得到  $n_0 = 3000, 1500, 1000\text{r/min}$  等不同的转速。由于  $p$  只能是正整数,所以不能平滑调速,是级差较大的有级调速。适用于只要求几种特定转速的负载。通常用得更多的是两级,叫双速电动机,也有三速、四速等多速电动机。

##### 1.1.1 变极调速的工作原理

由于电动机三相定子绕组是对称的,为分析问题方便,只取其一相来研究即可。

图 8.4.1 中以一相绕组由两个线圈组成不同接法为例,如电流都是由  $A \rightarrow X$ , 图 8.4.1a 为两个线圈 1、2 首尾顺序串联,根据右手定则,可以得到 4 极 ( $2p = 4$ ) 的磁场分布;若按图 8.4.1b 将两个线圈 1、2 的首尾反串联,或按图 8.4.1c 将两个线圈 1、2 的首尾反并联,则可得到 2 极 ( $2p = 2$ ) 的磁场分布。因此,通过改变电动机定子绕组的接线方法,就可改变电动机的磁极对数  $p$ ,从而改变电动机同步转速  $n_0$ ,实现调速。

由此可见,将一相绕组中的半相绕组电流方向反相,就可使磁极对数减少为原



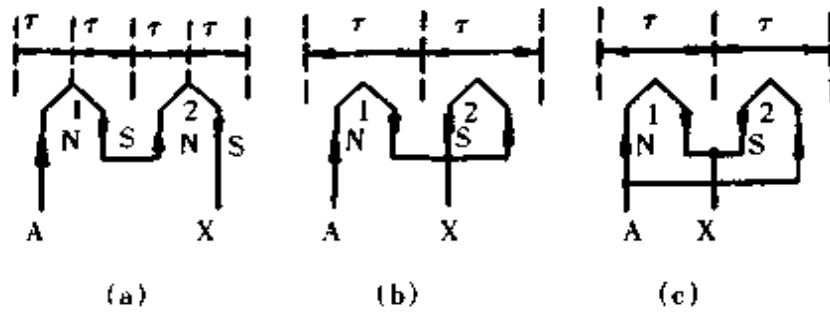
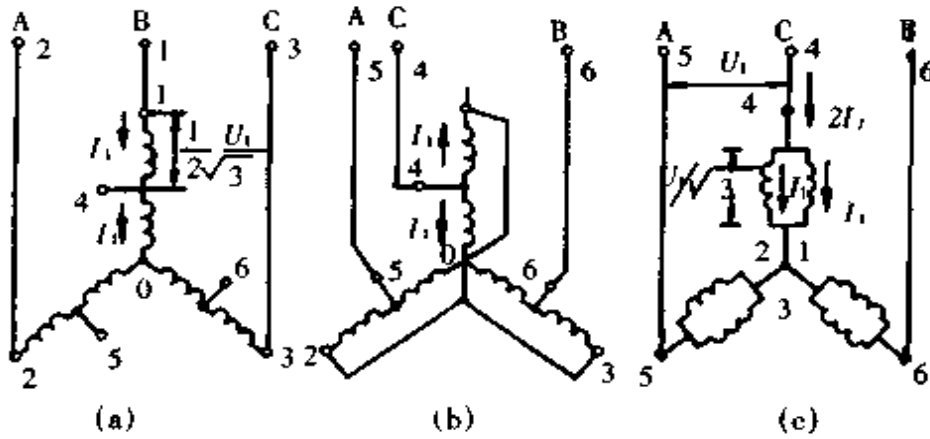


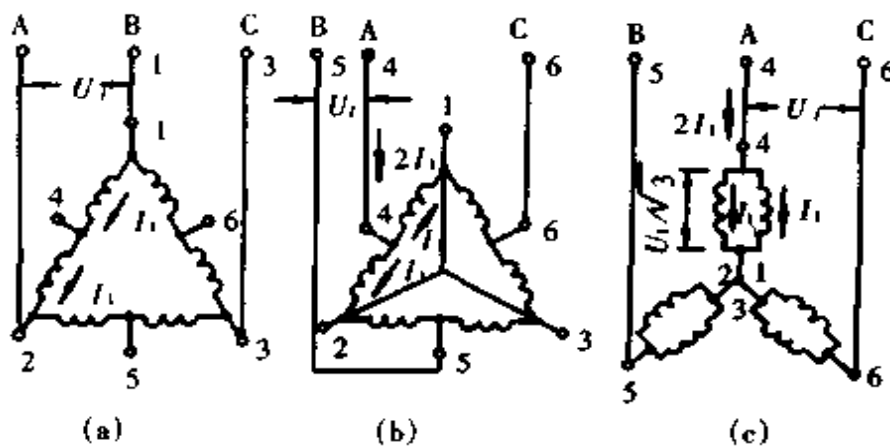
图 8.4.1 定子绕组极对数改变的方法( $\tau$ 为极距)

(a)  $2p=4$  (b)  $2p=2$  (c)  $2p=2$



① Y/YY 变换时的三相绕组

(a) Y形 (b)、(c) YY形



②  $\Delta$ /YY 变换时的三相绕组

(a)  $\Delta$ 形 (b)、(c) YY形

图 8.4.2 两种常用定子变极调速的接法

来的一半。对三相电机而言,只要同时使每相绕组的半相绕组电流反向,就可使极对数减少为原来极对数的一半,因而转速提高一倍。这即为三相异步电动机变极调速的原理。

图 8.4.2 表示出两种常用的变极调速的接法。其中①为由一个星形改接为两个星形的并联接线,以 Y/YY 表示。②为由一三角形改接成两个星形并联接,以  $\Delta/YY$  表示。

必须注意,绕组改接时应同时改变电源相序,以保持高低速的旋转方向相同。原理说明如下:

电动机的 A、B、C 三相绕组空间机械角度互差  $120^\circ$  对称分布,对于旋转磁场以一对极为  $360^\circ$  电角度,所以当  $p=1$  时,机械角度与电角度是一致的;当  $p=2$  时,每对极仍是  $360^\circ$  电角度,而在空间却只占  $180^\circ$ ,因此

$$\text{电动机旋转磁场角度} = p \times \text{机械角度}$$

这样,在  $p=2$  时,各相绕组对应的电角度为:

	$p=1$	$p=2$
A 相	$0^\circ$	$2 \times 0^\circ = 0^\circ$
B 相	$120^\circ$	$2 \times 120^\circ = 240^\circ$
C 相	$240^\circ$	$2 \times 240^\circ = 480^\circ$ 相当于 $120^\circ$

因为  $480^\circ = 360^\circ + 120^\circ$ ,所以 C 相超前 B 相  $120^\circ$ ,可见  $p=2$  后相序已反。为保持原相序,必须在变极的同时变相序。如图 8.4.2①中 B、C 相序改变所示。

### 1.1.2 变极调速的机械特性

变极调速的接线方法,有 Y/YY, Y/ $\Delta\Delta$ ,  $\Delta/YY$ ,  $\Delta/\Delta\Delta$  变换等等。究竟采用哪种接法,取决于负载对调速特性的要求,即恒转矩负载或恒功率负载的要求。因为不同的接线方法,电动机具有不同的机械特性。

1.1.2.1 Y/YY 变换(恒转矩调速接法) 如图 8.4.2①所示。Y 形接法时的输出功率为:

$$P_Y = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_l \eta$$

式中  $U_l, I_l$ ——三相线电压和线电流;

$\cos \varphi_l \eta$ ——电动机的功率与效率之积,视为常数。

YY 接法时的输出功率为:

$$\begin{aligned} P_{YY} &= \sqrt{3} U_l (2I_l) \cos \varphi_l \eta \\ &= 2P_Y \end{aligned}$$

而 YY 接法的速度为:

$$n_{YY} = 2n_Y$$

输出转矩为:

$$\begin{aligned}
 M_{YY} &= 975 \frac{P_{YY}}{n_{YY}} \\
 &= 975 \frac{2P_Y}{2n_Y} \\
 &= M_Y
 \end{aligned}$$

可见属恒转矩。

由于电动机由 Y 变换 YY 时同步转速增高一倍而转矩不变,从而最大转矩  $M_{\max}$  也不变,而绕组接线变换前后的电阻和感抗之比不变,故临界转差率  $S_K$  不变,因此,变极前后的机械特性形状相同。

对于恒转矩负载,无论是高速(Y Y 接线),还是低速(Y 接线),电动机绕组的负载电流  $I_l$  都是一样的,但高速时绕组上承受电压为  $U_l$ ,而低速时承受  $\frac{1}{2} U_l$  电压。如电动机按低速时设计,则高速时绕组过压,主磁通增大,铁心饱和,励磁电流、铜耗及铁耗增大,引起电动机发热。为此,电动机只能按高速设计。因此,低速时电动机容量不能充分利用。

1.1.2.2  $\Delta/YY$  变换(恒功率调速接法) 如图 8.4.2②图所示。 $\Delta$ 形接法时的输出功率为:

$$P_{\Delta} = 3U_l I_l \cos\varphi_1 \eta$$

式中  $U_l, I_l$ ——电动机线电压、线电流。

而 YY 接法时输出功率为:

$$\begin{aligned}
 P_{YY} &= \sqrt{3}U_l (2I_l) \cos\varphi_1 \eta \\
 \frac{P_{YY}}{P_{\Delta}} &= \frac{\sqrt{3}U_l (2I_l) \cos\varphi_1 \eta}{3U_l I_l \cos\varphi_1 \eta} = 1.15
 \end{aligned}$$

可见为近似恒功率特性。两种接法的转矩之比近似为:

$$\frac{M_{YY}}{M_{\Delta}} = \frac{1}{2}, \quad \frac{M_{\max YY}}{M_{\max \Delta}} = \frac{1}{2}$$

但因转子绕组的电阻、电感之比不变,两接法的临界转差率  $S_K$  不变。

### 1.1.3 变极调速的控制线路

变极调速两种转速可以是成倍比(整数)关系,如 2 极与 4 极电动机;也有非整数倍比关系的,如 4/6 极转换,也有三速电动机,如 4/6/8 极转换。双速及三速变极转换的典型控制电路见本篇第二章图 8.2.33 和图 8.2.34。

### 1.1.4 变极调速的应用

变极调速具有操作简便、机械特性硬、效率高等优点,可以获得恒转矩和恒功率调速,因此得到广泛应用。根据负载性质选择变极调速的接线方法。例如,起重葫芦、运输传送带以及馈水高度不变的活塞泵等恒转矩负载,采用 Y/YY 接线,

而对于机床等要求恒功率的场合,采用 $\Delta/\text{YY}$ 接线。

## 1.2 变极与调压配合调速

### 1.2.1 异步电动机调压调速时的机械特性

由异步电动机的转矩特性,即  $M-S$  曲线可知,当改变电动机的定子电压  $U$  时,可改变其  $M-S$  特性曲线与负载特性的交点,实现调压调速。而异步电动机的临界转差率  $S_k$  仅与电动机本身的参数有关,而与定子电压无关,故调压时的机械特性如图 8.4.3 所示。

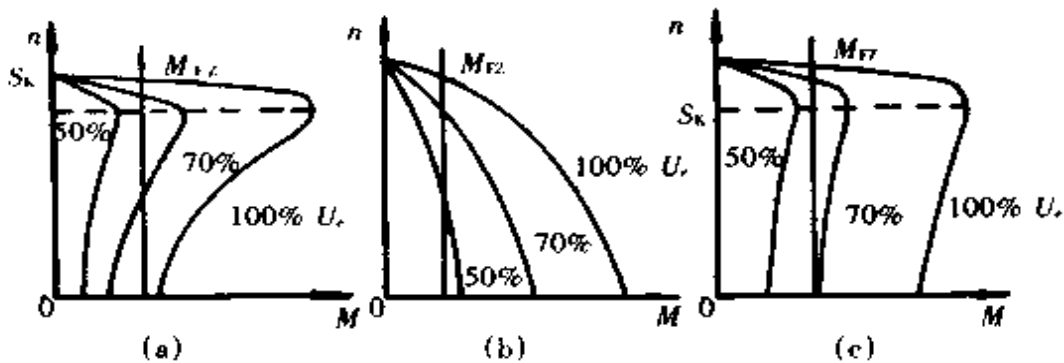


图 8.4.3 异步电动机调压时的机械特性

(a) 普通鼠笼转子的特性 (b) 高电阻转子的特性 (c) 具有频敏特性转子的特性

异步电动机的最大转矩与定子电压的平方成正比。

普通异步电动机如图 8.4.3a 所示。在稳定工作区内其机械特性较硬,降低定子电压调速时,其最大转矩成平方下降,因而其调速范围很小。而在低速时,没有足够的转矩,在恒转矩负载时,不可能在低速下稳定运行。随着转速降低,转差  $S$  增大,转子回路阻抗( $r_2/s$  占主要成分)减少,转子电流增大,因而定子电流增大,可能产生过电流而烧毁电动机。

为了适应调压调速,电动机必须做成软特性,即高电阻转子特性,机械特性如图 8.4.3b 所示,从而获得较大的调速范围。在恒转矩负载特性时,电动机可在大转差率下工作,而又不致使电动机过热。但是,由于转子电阻大,机械特性软,在全电压、满载时仍有较大的转差率、较低的额定运行速度。

比较理想的是转子回路电阻具有频敏特性,如图 8.4.3c 所示。

由于低速时转子回路电阻加大,转子电流降低,从而定子电流降低,提高了功率因数,增加了电动机的输出转矩。

不论哪一种电机特性,采用调压调速时,如无速度负反馈,当负载转矩变化或电源电压波动时,都会引起转速的波动。特别是在低速时,工作不易稳定,无法使用。为了提高调压调速的特性硬度,常采用闭环控制系统。

下面简述基本工作原理。

给定电压  $U_m$  给出一工作速度的电压信号, 测速反馈电压  $U_n$  与  $U_m$  相比较, 比较的压差  $\Delta U = U_m - U_n$ , 经速度调节器输出控制电压  $U_K$ ,  $U_K$  决定调压的双向晶闸管的导通角, 从而改变了加在定子上的电压  $U_1$ , 实现调压调速的目的。各参量的关系是:

$$\Delta U \uparrow \rightarrow U_K \uparrow \rightarrow \alpha \downarrow \rightarrow U_1 \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

如原来的稳定工作点为“a”点, 负载由  $M_H$  变到  $M_L$  时, 当系统开环工作(无测速反馈),  $U_1$  不变, 则工作点由“a”点变到“b”点, 显然, 转速下降很大。当闭环控制时, 系统的控制作用如下:

$$n \downarrow \rightarrow U_n \downarrow \rightarrow \Delta U \uparrow \rightarrow U_K \uparrow \rightarrow \alpha \downarrow \rightarrow U_1' \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

使系统自动调节到 C 点工作, 使原来的开环软特性变为硬特性。

### 1.2.2 调压调速的优缺点及节能的应用范围

由上述可知, 采用双向晶闸管实现调压调速的方法是采用相位控制的。由波形分析可知, 电动机的电压和电流波形是非正弦波的, 含有高次谐波分量。这些高次谐波产生附加损耗, 影响电动机的额定输出。在选用调压调速时, 应根据不同的接线方式, 适当增加电动机的容量, 以弥补高次谐波的影响, 增加的百分比如下:

三相 Y 连接	增加 8% (在 $s = 0.33$ 时)
三相 $Y_0$ 连接	增加 14% (在 $s = 0.33$ 时)
三相不对称 Y 连接	增加 38.2% (在 $s = 0.33$ 时)
星点三角形连接	增加 43.4% (在 $s = 0.33$ 时)

调压调速的主要优点是线路简单, 调压装置体积小、价格低、使用维修比较方便; 主要缺点是低速运行时转差功率损耗大、效率低、调速特性软, 需要硬特性时必须加测速反馈。

对于风机、泵类机械, 一般调速范围在 70% ~ 100%, 对 100kW 以下的鼠笼型电动机以采用调压调速为宜, 具有节能效果。

采用调压调速, 轻载时可提高功率因数, 减少电动机空载损耗, 同时也可作为鼠笼电机的降压起动设备。

### 1.2.3 变极与调压配合调速

为了克服变极调速的有极缺点和调压调速的上述缺点, 采用变极与调压配合调速, 可以得到高效率的、平滑的调速特性。其方法是利用变极调速实现粗调(有级), 利用调压调速实现细调(平滑无级)。

由于调压时的效率  $\eta = 1 - s$ , 用多速电动机可以改变同步转速, 使在一定的调速范围内  $s$  不太大, 相应的效率可以提高, 如以单绕组四、六、十级三速电动机为例, 效率曲线如图 8.4.4 所示, 可见低速时多速电动机效率比四极单速电机提高很

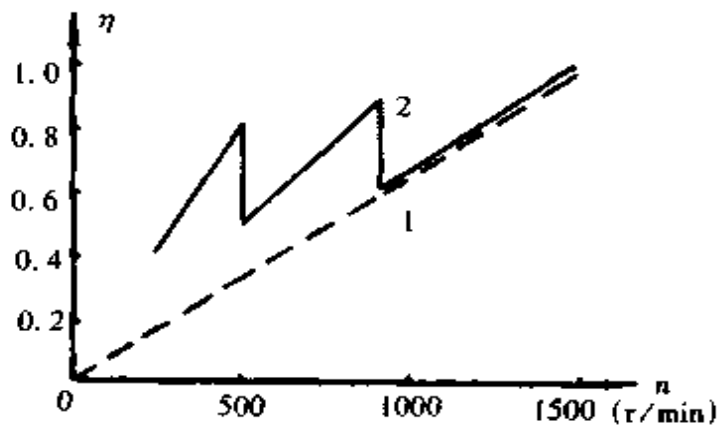


图 8.4.4 单绕组(四、六、十极)多速电动机效率曲线  
1—调压调速时(四极) 2—变极调压调速时(四、六、十极)

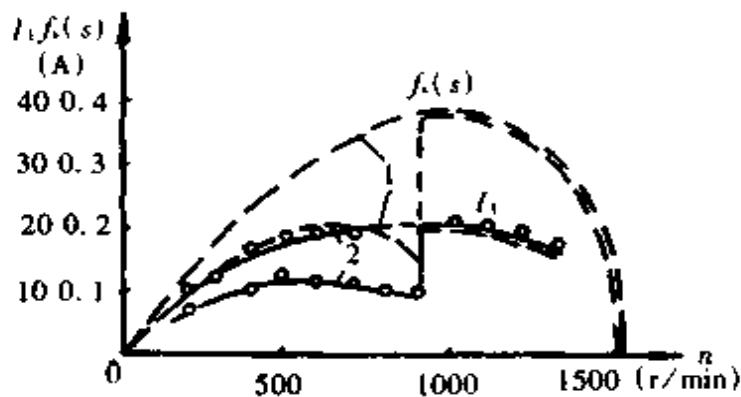


图 8.4.5 带风机水泵类负载变极调压调速定子电流曲线  
1—四极调压调速 2—四、六极调压调速  
(虚线表示理论曲线,实线表示实测曲线)

多。定子电流也可以小得多,图 8.4.5 画出了四、六极多速电动机带风机水泵类负载定子电流的理论和实测曲线。相应的变极调压调速的机械特性见图 8.4.6。由前面提到调压调速带风机水泵类负载最大损耗出现在  $s = \frac{1}{3}$  处(即  $n_2 = \frac{2}{3} n_0$

处),为避开这点,应注意使变极的同步转速比  $\frac{n_{02}}{n_{01}} > \frac{2}{3}$  (即极数反比  $\frac{P_1}{P_2} > \frac{2}{3}$ );

四、六极  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{2}{3}$ ; 六、八极  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{3}{4} > \frac{2}{3}$ ; 八、十级  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{4}{5} > \frac{2}{3}$ 。

变极调压调速系统原理结构如图 8.4.7 所示。此系统基本上是将多速电动机的接触器控制和带转速反馈的调压控制系统结合起来。这里多了几个环节:电流截止负反馈,作为过流保护用;制动环节,作为制动时给定子通入直流,进行能耗制动控制用;自动换极逻辑装置,可根据转速给定的大小自动换极,不必分变极、调压两方面控制。现对其主要部分作一简单介绍。

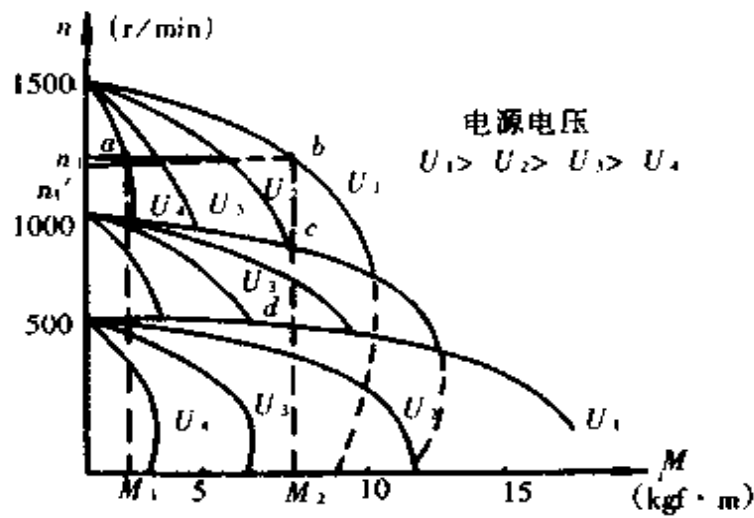


图 8.4.6 变极调压时的机械特性

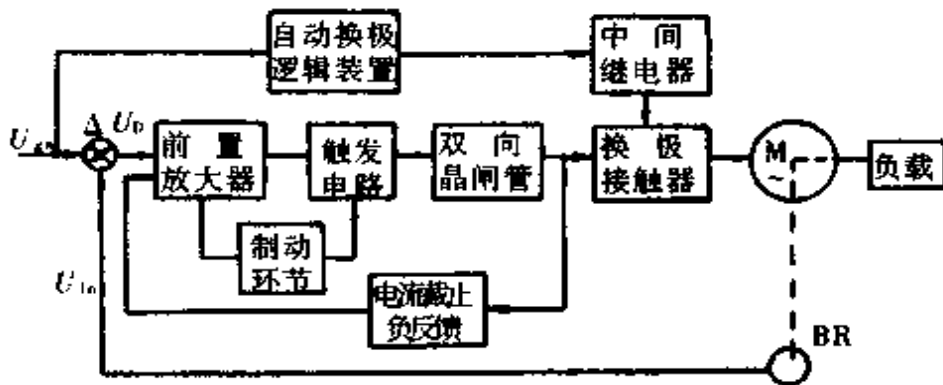


图 8.4.7 变极调压调速系统原理结构图

被控笼型电动机为三速异步电动机,极数为四、六、十极,对应同步转速为 1500、1000、600r/min。

1.2.3.1 调压调速部分 主回路由自动开关 Q 提供三相主电源,经三个双向晶闸管 3CTS-50/1000V 调压后,供给多速电动机定子绕组。接触器 I~VI 用作联接定子绕组改变三种不同极对数。控制回路由调节器与触发器组成。其工作原理扼要介绍如下。

(1) 调节器由  $V_{T1} \sim V_{T7}$  组成,  $V_{T1} \sim V_{T4}$  为互补差动电压放大器,  $V_{T5} \sim V_{T7}$  为互补射极跟随器组成的电流放大器。由电位器  $R_1$  来的转速给定信号与测速发电机 BR 的转速反馈比较后加到调节器的输入,经放大和  $R_1, R_2, C_1$  动态校正后,输出控制信号  $U_k$  送各触发器,以控制双向晶闸管的移相角  $\alpha$  进行调压控制。主回路电流互感器 TA 测得电流信号经桥式整流和稳压管限幅,作为过流截止信号加在调节器输入端。 $R_3, R_6$  用作调整调节器输出限幅值。

(2) 触发器由  $V_{T11} \sim V_{T14}$ 、 $V_{T21} \sim V_{T24}$ 、 $V_{T31} \sim V_{T34}$  组成的三相锯齿波触发器,产生的双脉冲经脉冲变压器  $1T_{P1} \sim 3T_{P1}$  送至三相晶闸管,以控制导通时刻。由同步变压器( $\Delta/Y_0-11$ 接法)来的同步信号控制  $V_{T11}$  以产生同步锯齿波信号,控制信号  $U_K$ 、锯齿波信号、偏移信号同时送入由  $V_{T12}$ 、 $V_{T13}$  组成的施密特电路,当三种输入信号综合过零时, $V_{T12}$  通, $V_{T13}$  截止,输出负尖脉冲,经  $V_{T14}$  放大后送脉冲变压器  $1T_{P1}$ 。在 A 相触发器产生控制脉冲时,经二极管  $V_{D6}$  给 B 相触发器补一个脉冲,以便在系统起动时能有通路。同样 B 相有触发时也经  $V_{D7}$  给 C 相补一个脉冲。

(3) 制动线路。本系统在降速、停车时采用能耗制动,即在制动时在 A、B 相定子绕组通以恒定直流,使转子感应电流,产生制动转矩,使电动机迅速减速。当减速和停车时,转速给定信号  $U_m$  小于转速反馈信号  $U_b$ ,调节器输入反号,输出变正,则  $V_{T1} \sim V_{T3}$  截止,封锁去触发器的控制信号  $U_K$ ,因此各触发器停止输出相控脉冲。同时,由于  $V_{T8}$  集电极电位  $b$  由正变负,通过  $V_{D4}$  将  $U_K$  送入 A 相触发器,因此使 A、B 相导通。另外,与电网  $U_{AB}$  同相位的同步信号  $U_w$  通过  $V_{D5}$  送至  $V_{T9}$  基极,当  $U_w$  为正时, $V_{T9}$  截止, $U_K$  可通过  $V_{D4}$  送至 A 相触发器;当  $U_w$  为负时, $V_{T9}$  饱和导通, $V_{T8}$  集电极电位被钳至零电平, $V_{D4}$  截止, $U_K$  不能送入 A 相触发器,A、B 相不能导通,保证了只有在  $U_{AB}$  为正半周内 A、B 相导通得到直流制动电流。调整调节器的正限幅( $R_5$ )可达到调节制动效果的目的。

### 1.2.3.2 变极调速部分

(1) 变极方式采用接触器变极方式,其四、六、十极定子接线方式为 YY、YY、YY。各种极数的定子绕组联接法与相应动作的继电器、接触器见表 8.4.1。

表 8.4.1 定子绕组联接方式与继电器接触器动作表

极数	转速	动作继电器	动作接触器	定子绕组联接方式			
				接入 A相	接入 B相	接入 C相	短接点
10	低	$G_1$	I、II、VI	1,2	4,5	7,8	3,6,9
6	中	$G_2$	I、III、V	1,3	4,6	7,9	2,5,8
4	高	$G_3$	II、III、IV、VII	2,3	5,6	8,9	VI、1,4,7

(2) 自动换极逻辑电路见图 8.4.8。此电路保证在转速达一定值时自动变极切换(共三极)。每极电路都由电平检测、施密特电路、逻辑电路和继电器驱动电路组成。转速给定信号  $U_m$  加于  $R_1 \sim R_3$ ,调整  $R_1 \sim R_3$  使各施密特电路对应于不同的变极切换点。当  $U_m$  在  $U_1$  与  $U_2$  之间, $a$  点为“1”电平, $b$ 、 $c$  点为“0”,第一组逻辑电路输出为“1”态,二、三组输出为“0”, $KM_1$  动作,控制极数最多的绕组接法投入运行。当  $U_m$  上升到  $U_2$  时, $a$ 、 $b$  点均为“1”,第二组输出“1”态,其余二组为“0”, $KM_2$  动作,使中等转速的极数投入运行。同理当  $U_m$  上升到  $U_3$ ,则  $KM_3$  动



作,控制最高转速运行,从而实现自动变极控制。

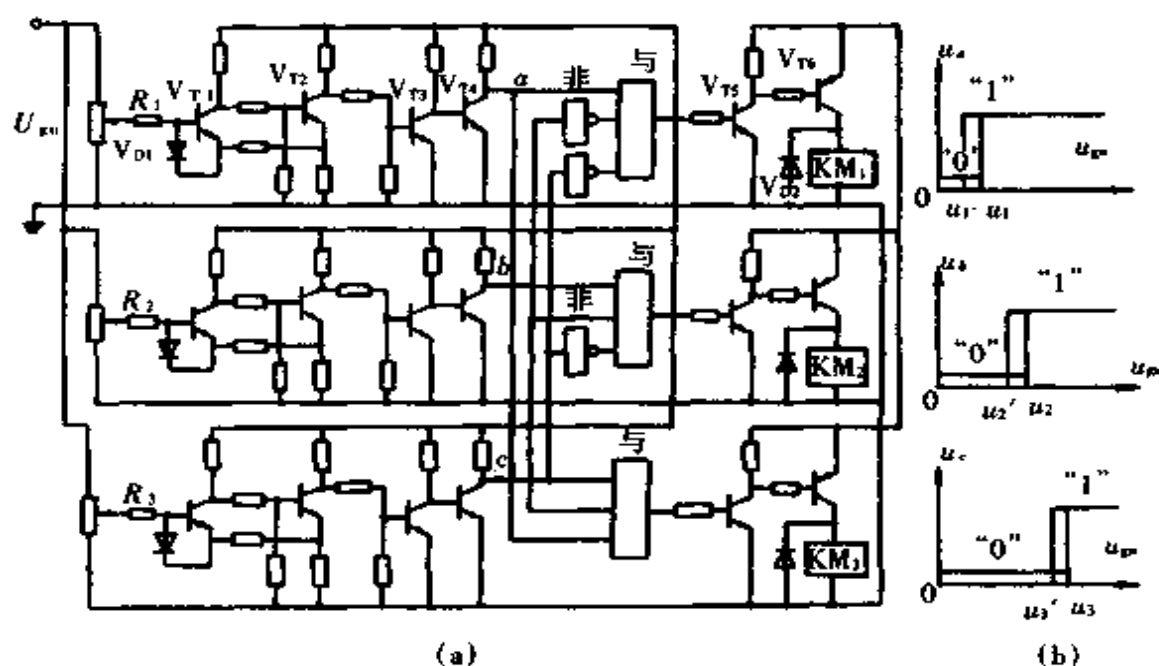


图 8.4.8 自动变极电路

### 1.3 变极与电磁转差离合器配合调速

请同时参阅第 4 篇第 2 章的 12(电磁调速异步电动机)。

#### 1.3.1 电磁调速电动机调速的工作原理及特性

电磁调速电动机由恒速的异步电动机和以直流励磁的涡流式电磁转差离合器以及直流励磁电源(即控制装置)三部分组成。异步电动机作为原动机,带动离合器的主动部分,离合器的从动部分与负载连在一起,主、从两部分由磁力线耦合在一起。通过控制励磁电流改变耦合主、从部分的磁通,使离合器产生相应于该磁通的涡流转矩,实现调速。如采用转速闭环调节,在调速范围大于 10 时,调速精度可达到 2%。

现在国产电磁转差离合器的结构有爪式和感应式。

滑差电动机的机械特性可近似地用经验公式表示:

$$n = n_0' - K \frac{M^2}{I_m^4}$$

式中  $n_0'$ ——离合器主动部分的转速;

$n$ ——离合器从动部分的转速;

$M$ ——离合器转矩;

$I_m$ ——励磁电流;

$K$ ——与离合器类型有关的系数。

这种特性不宜用于要求转速稳定的生产机械上。为此,可采用转速负反馈的闭环控制得到较硬的机械特性,如图 8.4.9 所示。在图 8.4.10 中,当系统工作在  $n_1$  点( $I_m = I_{m1}$ ,  $M_l = M_{l1}$ ),负载由  $M_{l1}$  增至  $M_{l2}$ ,开环控制时,转速由  $n_1$  降至  $n_2$ 。在闭环控制时,系统自动使励磁电流由  $I_{m1}$  增至  $I_{m5}$ ,从而使转速又上升到  $n_1$ ,达到稳定转速的目的。

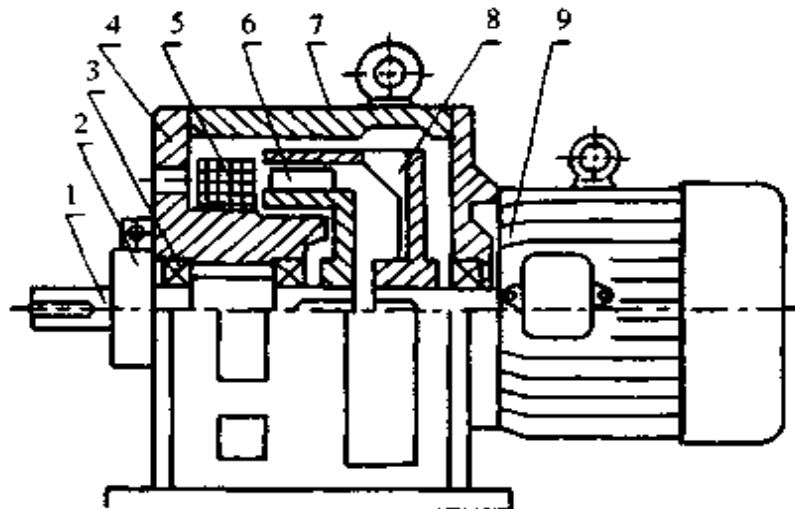


图 8.4.9 单电枢感应式调速电动机结构

1—轴 2—测速发电机 3—轴承 4—托架 5—励磁绕组  
6—磁极 7—机架 8—电枢 9—拖动电动机

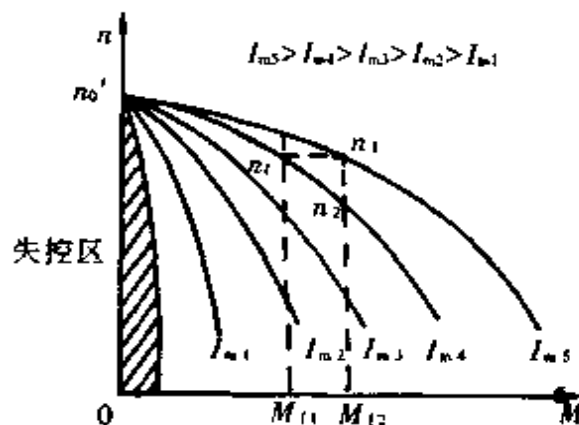


图 8.4.10 电磁调速电动机的机械特性

由于有剩磁转矩、主动部分和从动部分的摩擦转矩的影响,在负载转矩  $M_l < 10\% M_N$  ( $M_N$  为离合器的额定转矩)时,有一失控区,如图 8.4.10 阴影部分所示。目前,国内对调速电动机作了结构改进,可以提供无失控区的电磁调速电动机。

### 1.3.2 电磁调速电动机调速的控制线路

电磁调速电动机的控制配套产品见表 8.4.2。现以常用的 ZLK-1 型及 ZLK-10 型控制装置作简要说明。

表 8.4.2 电磁调速电机控制装置

型号	被控电机型号	电机容量 (kW)	操作方式	转速变化率 (%)
ZLK-1	JZT2、YCTD	0.6~30	手动	$\leq 4$
ZLK-5	JZTM	0.6~160	自动	$\leq 2.5$
ZLK-10		0.6~11	速度自动控制系统 <sup>①</sup>	$\leq 2$
ZLK-11	JZT、JZT2	15~40	速度自动控制系统 <sup>①</sup>	$\leq 2$
ZLK-12	JZTTY、CTD	40~200	速度自动控制系统 <sup>①</sup>	$\leq 2$
LDIA		0.6~90	手动	$\leq 3$
LDIB		0.6~90	高稳定度、手动	$\leq 2$
LDIC		0.6~90	速度自动控制系统 <sup>①</sup>	$\leq 2$

注:①与 ZKJ 系列组件可构成 20 种以上操作方式。

#### 1.3.2.1 ZLK-1 型控制装置

(1) 电磁调速电动机主回路。鼠笼电动机接三相交流电源,经三相断路器、熔断器、热继电器、接触器接定子绕组。

(2) 励磁电路。单相交流 220V 电源经带续流二极管  $V_{10}$  的晶闸管  $V_{11}$  半波整流,为转差离合器励磁绕组提供可变直流电源。

(3) 励磁控制电路。其原理扼要介绍如下:给定电压由 3、4 端输入  $\sim 50V$  电源,经整流、滤波、稳压后作为给定信号的稳压电源,调节电位器  $R_9$  改变给定电压实现电机调速。测速反馈由三相交流测速发电机 BR 经整流滤波输出反馈直流信号。通过  $R_{10}$  调节反馈大小。给定与反馈差值经  $V_{12}$  放大,在  $V_{12}$  负载电阻  $R_5$  取得放大信号输入触发器。 $V_{12} \sim V_{14}$  对输入信号实行正、反向限幅。 $R_7$  为电压负反馈电阻,提高稳定性,调节  $R_8$  改变放大倍数,以满足系统精度要求。移相和触发采用同步电压为锯齿波的  $V_{11}$  触发电路。

(4) 调速过程(以增速为例)和稳速过程。需增速时,调电位器  $R_9$  增加给定电压,经  $V_{12}$  放大控制电压  $U_K$  增加,触发脉冲  $U_G$  前移,移相角  $\alpha$  减小,励磁电压  $U_f$  增加,转速上升。当负载增加,转速下降,转速反馈信号减小,给定与反馈电压差增加, $V_{11}$  输入信号增加,励磁电流自动增加而保持转速接近给定,达到稳速目的。

#### 1.3.2.2 ZLK-10 型装置 与 ZLK-1 相比改进部分有三点,作扼要叙述。

(1) 采用集成运放组成速度调节器 AS,调速比例( $R_{46}$ )和积分( $R_{45}$ )参数以适应系统的动态要求,并提高了精度。

(2) 采用了由  $V_{11} \sim V_{14}$  组成的锯齿波触发器提高了线性度。

(3) 采用了集成稳压块  $WY_1$ 、 $WY_2$ ,提高了精度。

控制装置的转速给定信号  $U_g$  与速度反馈信号  $U_m$  比较的差值送入调节器 AS, 经 PI 运算得控制电压  $U_K$  控制触发器。触发器在同步信号  $U_T$  (3 端) 为正时,  $V_{T1}$  饱和导通,  $U_T$  为负时  $V_{T1}$  截止,  $C_{18}$  由  $R_{30}$  充电形成上升锯齿波, 直到  $V_{T1}$  导通时  $C_{18}$  放电,  $R_{24}$  提供的偏压使  $U_K$  为零时  $V_{T2}$  负偏置截止 (参见图 8.4.11)。当

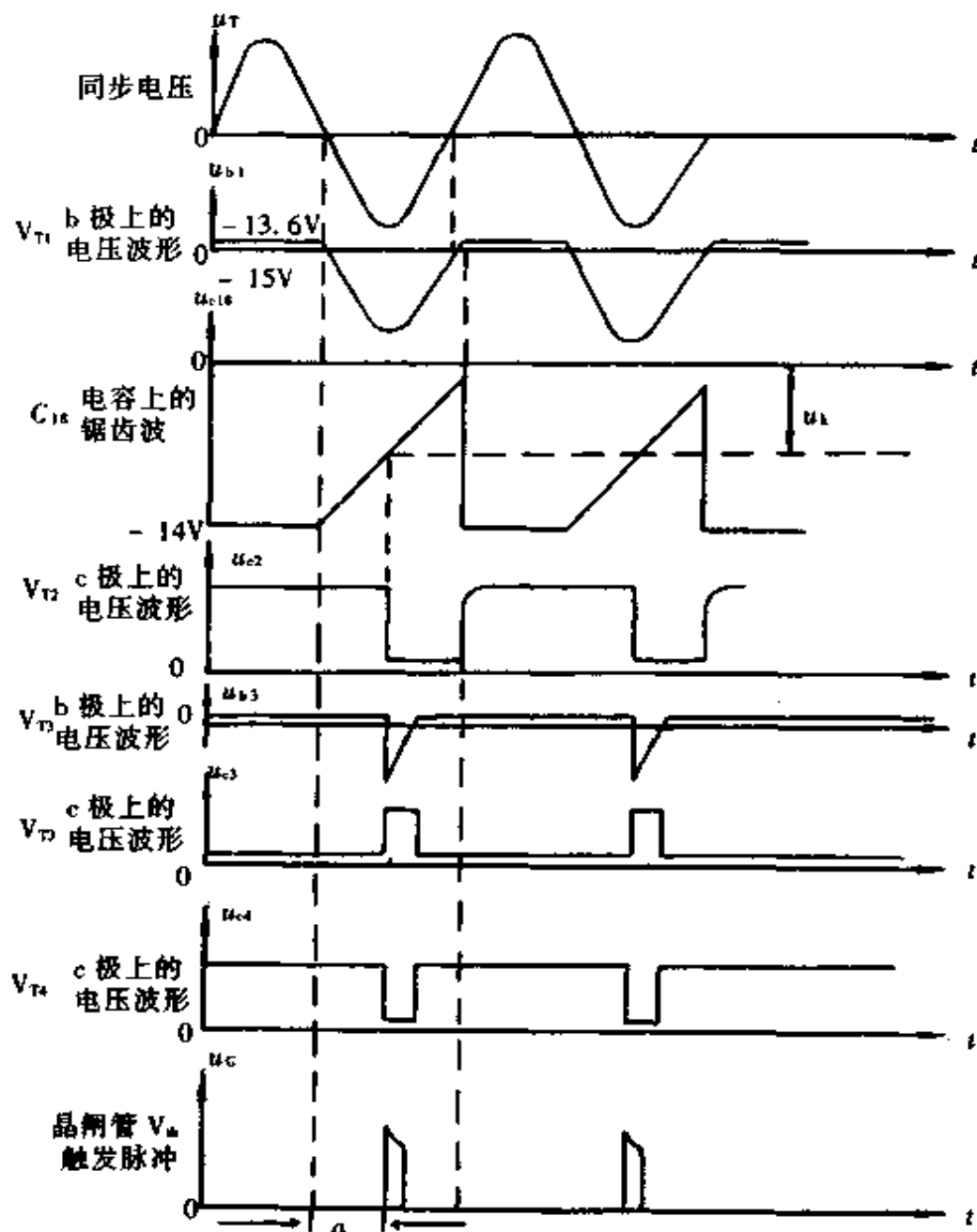


图 8.4.11 ZLK-10 型控制装置触发电路波形

$U_K$  正信号送入触发器后, 锯齿波使  $V_{T2}$  正偏置导通, 使  $V_{T3}$  得一负脉冲截止并输出高电平给  $V_{T4}$ ,  $V_{T4}$  导通使脉冲变压器  $T_{PI}$  得正脉冲, 触发  $V_b$  导通, 输出  $U_d$  供离合器励磁电流。由图 8.4.11 可看出,  $U_K$  越大,  $\alpha$  越小,  $V_b$  导通越早, 输出  $U_d$  越

高,励磁电流越大,调速特性越硬,系统转速也越高。其调速、稳速原理与 ZLK-1 相似。

### 1.3.3 电磁调速电动机调速的优缺点

优点:结构简单、加工方便、运行可靠、价格便宜、控制线路简单、对电网无谐波影响、维修容易。闭环调速范围大于 10,也有一定的调速精度(20%左右)。

缺点:低速效率低(对风机、水泵类负载,损耗绝对值比重不大);高速特性软(仅为 80% 同步转速),有速度损失。

### 1.3.4 变极与电磁转差离合器配合调速

采用变极与电磁转差离合器配合调速,可扩大平滑调速范围,减小低速损耗,提高效率。YCTT(JZTT)系列电磁调速电动机的原动机为 4/6 极变极电动机,与电磁转差离合器装在同一机座内,如图 8.4.12 所示。其转子、测速发电机装成一体。电磁转差离合器部分,由电枢、磁极和励磁绕组组成,其工作原理与单电枢式相同。

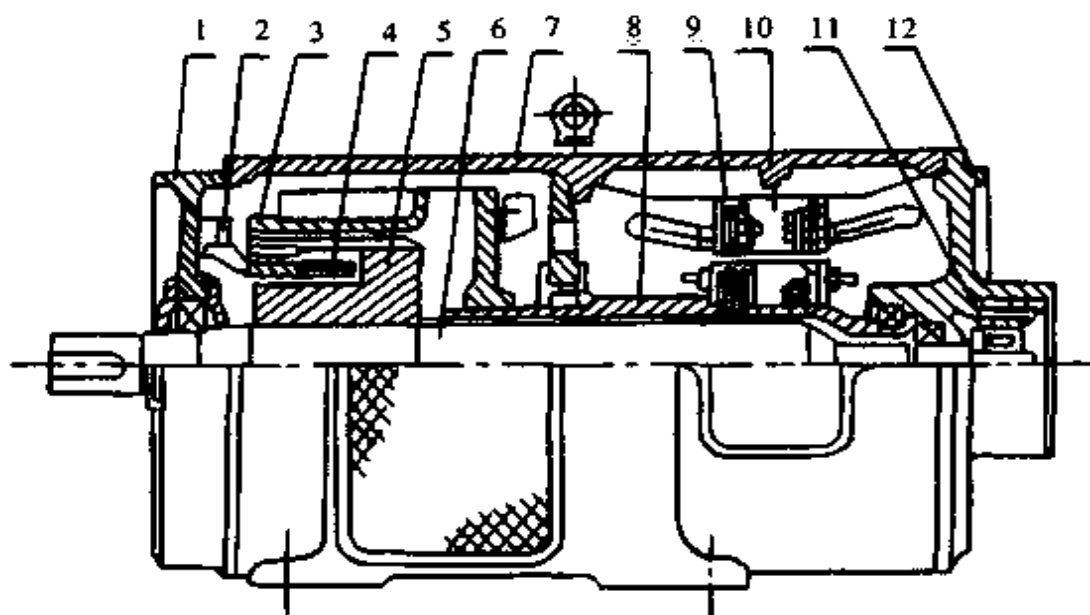


图 8.1.12 YCTT(JZTT)系列整体式双定子绕组电磁调速电动机的结构图

1—前端盖 2—托架 3—电枢 4—励磁绕组 5—磁极 6—主轴 7—机座

8—空轴 9—原动机转子 10—原动机定子 11—测速发电机 12—后端盖

ZKJ-H 型自动换极控制器,由施密特触发器 SM 或延时元件 HT、干簧继电器  $KD_1$ 、 $KD_2$  以及中间继电器、接触器等元件组成。由 +24V 及交流 220V 电源供电。输入端  $Z_{13}$ 、 $Z_{14}$  接测速发电机的信号。当信号电平小于换极整定值时(相应于调速电动机转速为 800~850r/min),SM-Y 为高电平, $KD_2$  不吸合,则  $KA_1$  不吸合;但

SM- $\bar{Y}$  为低电平, HT-Y 为低电平,  $KD_1$  吸合,  $KA_3$ 、 $KM_6$  吸合, 使原动机按 6 极电机运转。其同步转速为 1000r/min。当  $Z_{13}$ 、 $Z_{14}$  的电平随着速度给定值升高而增大到超过换极整定值时, SM 的输出翻转, SM-Y 变为低电平, SM- $\bar{Y}$  变为高电位, 因此,  $KD_1$ 、 $KA_3$ 、 $KM_6$  断电而  $KD_2$  吸合,  $KA_4$ 、 $KM_4$  吸合, 其原动机按 4 极电动机工作, 使之达到给定速度。

由于或延时元件 HT 为通电延时型, 所以当速度给定由高变低到某一定值(相当于 800r/min)时, 虽然 SM 翻转,  $KD_2$ 、 $KA_4$ 、 $KM_4$  立即断电, 原动机立即脱离 4 极工作状态, HT-Y 延时变为低电平后,  $KD_1$ 、 $KA_3$ 、 $KM_6$  才能吸合, 原动机按 6 极工作, 这样可使低速运转的效率明显提高。“四极”和“六极”的切换延时是防止电网的冲击, 时间按系统的飞轮惯量大小调节。为避免在换极区因转速波动造成频繁换极, 施密特触发器保证有 100r/min 的返回回环死区。采用系列操作器、控制器组成的这种调速系统, 比较变极调压调速与变极滑差电机调速, 前者高速时速度损失小, 不需增加中间机械装置, 反应速度快, 但线路较复杂; 后者控制线路简单、可靠、维护方便, 对电网无谐波干扰。但机械结构上多一个转差离合器, 安装面积大。

## 1.4 变频调速

由于异步电动机的同步转速  $n_0 = \frac{60f}{p}$ , 故改变供电电源的频率便可改变其同步转速, 此即变频调速。只要平滑调节频率, 就可得到转速的平滑调节。由于变频调速时, 电动机运行在固有特性上, 所以其精度高、特性好、效率高, 一般负载情况下, 开环运行即可满足要求。其调速范围相当宽, 根据不同的变频电源, 调速范围可在 100:1 以上, 甚至可从零频率开始运行, 并保持其指标。

根据不同的控制方式, 在变频调速中, 可实现三种运行方式, 即: 恒转矩调速、恒最大转矩调速、恒功率调速。

(1) 恒转矩调速: 电动机转矩与电动机的主磁通及转子电流之积成正比, 为保持恒转矩输出, 就须保持主磁通一定, 为此必须使定子电压与频率成比例变化, 即:

$$\Phi_m \frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1N}}{f_{1N}} = \text{常数} \quad (U_{1N} \cdot f_{1N} \text{—额定频率时的数值})$$

此即电压、频率协调控制的原则。这时电动机机械特性如图 8.4.13 所示。

(2) 恒最大转矩调速: 即  $M_m = \text{常数}$  调速。当恒转矩调速时, 采用  $U_1/f_1 = \text{常数}$  控制时, 在低速时, 最大转矩  $M_m$  因定子电阻引起的压降成分增大而有所下降, 使起动转矩降低。为克服这一缺点, 必须对定子电阻压降适当补偿(见图 8.4.14), 应按照下述原则进行协调控制:

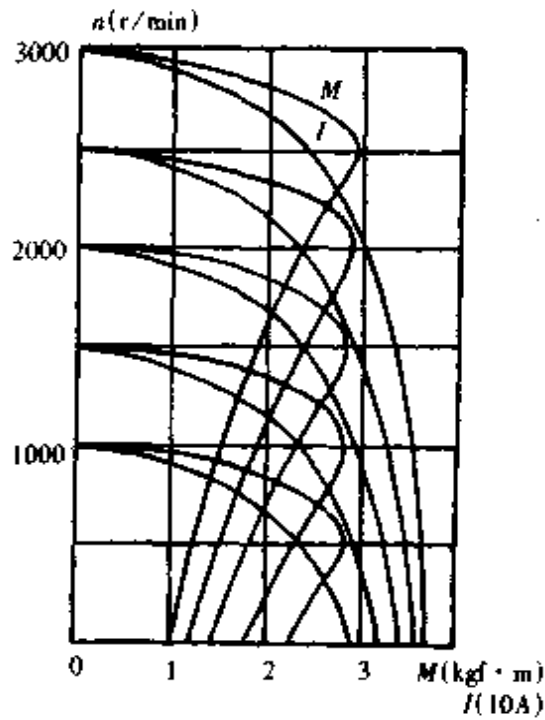


图 8.4.13  $U_1/f_1 = \text{常数}$  时,变频调速机械特性

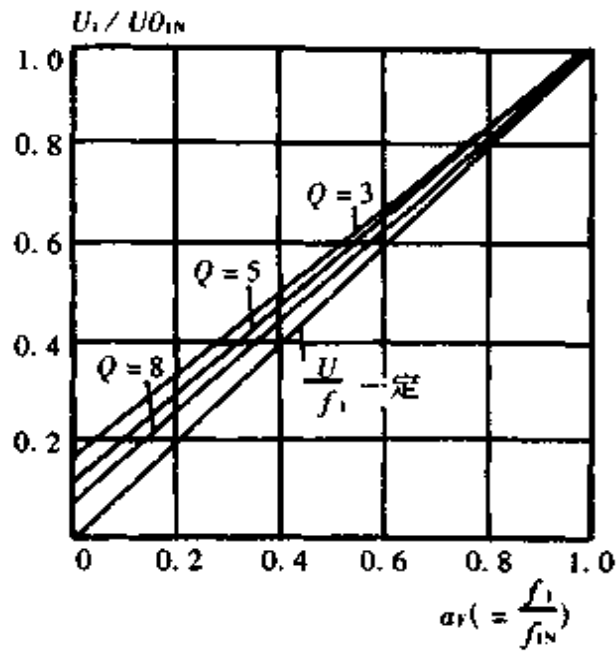


图 8.4.14 恒  $M_m$  调速时  $U_1$  与  $f_1$  的关系

$$\frac{\text{定子电势 } E_1}{\text{定子频率 } f_1} = \text{常数}$$

恒最大转矩控制时的机械特性见图 8.4.15。

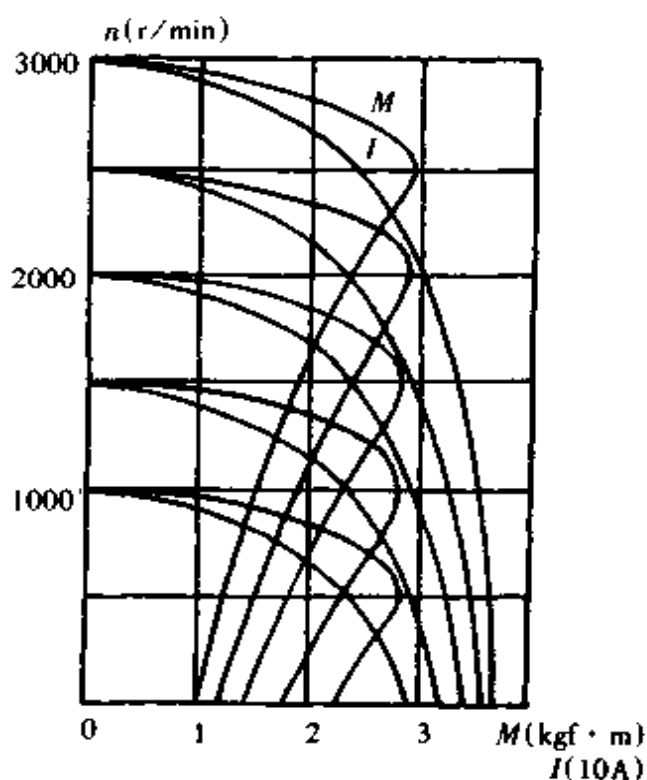


图 8.4.15 恒  $M_m$  调速时的机械特性 ( $E_1/f_1 = \text{常数}$ 时)

(3) 恒功率调速: 当需要电动机转速高于额定转速时, 可以保持电压恒定而升高频率, 这时主磁通随着频率的升高而降低, 电动机转矩则随转速的升高而下降, 从而得到近似恒功率变频调速。

变频调速可以四象限运行。当电动机运行在第一、三象限时处于电动状态, 而在二、四象限时则处于再生发电状态。再生发电状态时, 电动机转速高于供电频率所决定的同步转速。再生发电状态下, 可以通过变频装置将能量反馈给电网, 也可以热能的形式消耗, 这取决于变频装置的型式。当异步电动机在某一频率下运转时, 欲使转速下降而降低频率, 在频率下降比转速下降得快时, 便产生再生发电制动。

变频调速的主要环节是提供变换频率电源的变频装置, 变频装置中的功率半导体器件, 应用得较为广泛的有三种, 即: 大功率三极管 (GTR、MOSFET、IGBT)、晶闸管、可关断晶闸管 (GTO); 其控制电路可为模拟量, 也可为全数字。

根据变频装置所采用的主电路形式, 可以分为交流  $\rightarrow$  直流  $\rightarrow$  交流 (简称交—直—交) 变频器和交流  $\rightarrow$  交流 (简称交—交) 变频器。根据不同的特点分类如表 8.4.3。



表 8.4.3 变频器的分类

类别	分类依据	具体类型
交一直一交变频器	调压方式	相位控制 晶闸管直流开关 脉冲宽度调制(PWM型)
	直流电源	电压型 电流型
	换流电路	串联电感式 串联二极管式 带辅助晶闸管式
	导通时间	180°通电型 120°通电型
交—交变频器	相数	单相 三相
	联接方式	反并联 交叉 开口三角形 环形
	环流	有环流 无环流

变频调速具有显著的优点:效率高,无附加转差损耗,调速范围大,特性硬,精度高,平滑无级调速,起制动能耗小,可以供电给标准鼠笼型电动机,特别适合于对旧设备进行技术改造,可以根据负载型式而配以合适的协调(即  $f/U$ )控制。

变频调速的主要缺点是较为复杂,初投资大。

#### 1.4.1 电压型变频调速控制

1.4.1.1 电压型变频器 电压型变频器由整流器和逆变器两部分组成,在逆变器的直流侧并有大电容,用来缓冲无功功率。逆变器的开关元件如果采用晶闸管必须具有换流电路;如果采用自关断器件(如 GTR, GTO 等)则可省掉换流电路。在晶闸管逆变器中,其换流电路是逆变器的核心部分,它对变频装置的性能指标、工作可靠性以及造价、体积等方面起着决定性的作用,因此人们通常根据逆变器所采用的换流电路形式来命名逆变器。电压型逆变器的换流电路很多,常用的有串联电感式和辅助晶闸管换流式。作扼要叙述如下。

(1) 串联电感式电压型逆变器:① 主电路。串联电感式逆变器属于 180°通电型,晶闸管  $V_{\theta}$  的导通顺序号为 1、2、3、4、5、6,各触发信号彼此差 60°电角度,在任意瞬间都有三个晶闸管同时导通,此时触发信号的宽度为 180°电角度,每个晶闸管的导通电角度也为 180°。② 换流原理。180°通电型逆变器其换流是在同一相内进行的,即晶闸管  $V_{\theta 1}$  和  $V_{\theta 4}$ 、 $V_{\theta 3}$  和  $V_{\theta 6}$ 、 $V_{\theta 5}$  和  $V_{\theta 2}$  相互换流,故称这种换流方式为相互换流方式。换流过程是整个逆变器能否正常工作的关键所在。③ 参数计算与

元件选择。晶闸管额定电流  $I_T \approx 2I_{Im}$ ,  $I_{Im}$  为最大输出线电流(对电动机负载来讲,如果采用直接起动,则  $I_{Im}$  应是起动电流);晶闸管承受的最高电压稳态时为  $U$ ,关断时承受反向电压也为  $U$ ,故晶闸管的反向峰值电压 PRV 应选:  $PRV \geq (1.5 \sim 2)U$ ;二极管的电流可选取和晶闸管电流  $I_T$  同样的数值,一般二极管的规定电压为其击穿电压的  $1/2$  倍,已有足够的裕量,所以可直接选:  $U_D = U$ ;换流电感  $L$  ( $L_1 + L_2$ )和换流电容  $C$  ( $C_1$  或  $C_2$ )可按式选择:

$$C = \frac{I_{max} t_0}{0.425 U_{min}} \quad (F)$$

$$L = \frac{U_{max} t_0}{0.425 I_{max}} \quad (H)$$

式中  $t_0$ ——晶闸管关断时承受反压的时间(s),通常取  $t_0 \geq 2 \sim 3 t_{off}$  ( $t_{off}$  为晶闸管的关断时间);

$I_{max}$ ——负载电流最大值(A);

$U_{max}$ ——电源电压最大值(V);

$U_{min}$ ——电源电压最小值(V)。

【例】三相异步电动机额定功率  $P_N = 34W$ 、额定电流  $I_N = 7.1A$ ,采用积分延时起动。求变频调速系统中逆变器换流电容和换流电感值。设逆变器输入直流电压最大和最小值分别为  $511V$  和  $102V$ 。

解:采用积分延时低频起动,起动电流可取为额定电流的三倍,即

$$I_{Im} = 3I_N = 3 \times 7.1 = 21.3A$$

峰值电流为  $I_{max} = \sqrt{2}I_{Im} = \sqrt{2} \times 21.3 = 30.1A$

晶闸管关断时间  $t_{off} = 20\mu s$ ,取  $t_0 = 2t_{off} = 40\mu s$ ,则换流电容和换流电感分别为:

$$C = I_{max} t_0 / 0.425 U_{min} = 30.1 \times 40 \times 10^{-6} / 0.425 \times 102 = 27.6\mu F$$

$$L = U_{max} t_0 / 0.425 I_{max} = 511 \times 40 \times 10^{-6} / 0.425 \times 30.1 = 1.6mH$$

(2) 带有辅助晶闸管换流的电压型逆变器:①主电路。与串联电感式逆变器相比,线路要复杂一些,但它具有效率高,换向能力强和可靠性高等重要优点,特别是可用作脉宽调制(PWM)型逆变器,因此它是一种高性能的逆变器。②换流原理。由于三相逆变器的三条桥臂电路及换流原理相同,因此只要分析其中一相就可以了。换流过程的基本原理是待关断的主晶闸管先由辅助晶闸管换流关断,再由反馈二极管续流,保证为主晶闸管施加一定时间的反压。③换流参数计算。根据振荡方程式的求解以及换流回路储存最大能量与输入能量之比为最小值的原理,作为选择换流电容及电感最佳参数的依据:

$$C = 1.44 \frac{I_{max} t_0}{U_{min}} \quad (F)$$

$$L = 0.439 \frac{U_{\max} t_c}{I_{\max}} \quad (\text{H})$$

其中  $L$  为  $L_1$  与  $L_2$  之和,通常  $L$  为几十微亨。

由上式可看出,这种换流元件的参数较串联电感式的数值要小得多。

1.4.1.2 两种电压型逆变器的比较 两种电压型逆变器的比较见表 8.4.4。

表 8.4.4 两种电压型逆变器的比较

项目	串联电感式	辅助晶闸管换流式
换流方式	相互换流	辅助晶闸管换流
换流效率	换流能量全部消耗,故换流效率低	换流过程为 LC 能量交换过程,损耗小,故换流效率高
触发脉冲	宽脉冲 $90^\circ \sim 120^\circ$	宽脉冲 $90^\circ \sim 120^\circ$
换流元件参数	大	小
触发导通的灵活性	差	好 可根据使用者要求,作为 PWM 逆变器
应用场合	负载变化不大,调速范围较小的场合	调速范围较大的场合

1.4.1.3 电压型变频调速的控制系统 电压型变频调速系统的组成如图 8.4.16 所示。逆变器输出电压为矩形波,而输出电流波形由矩形波电压与电动机

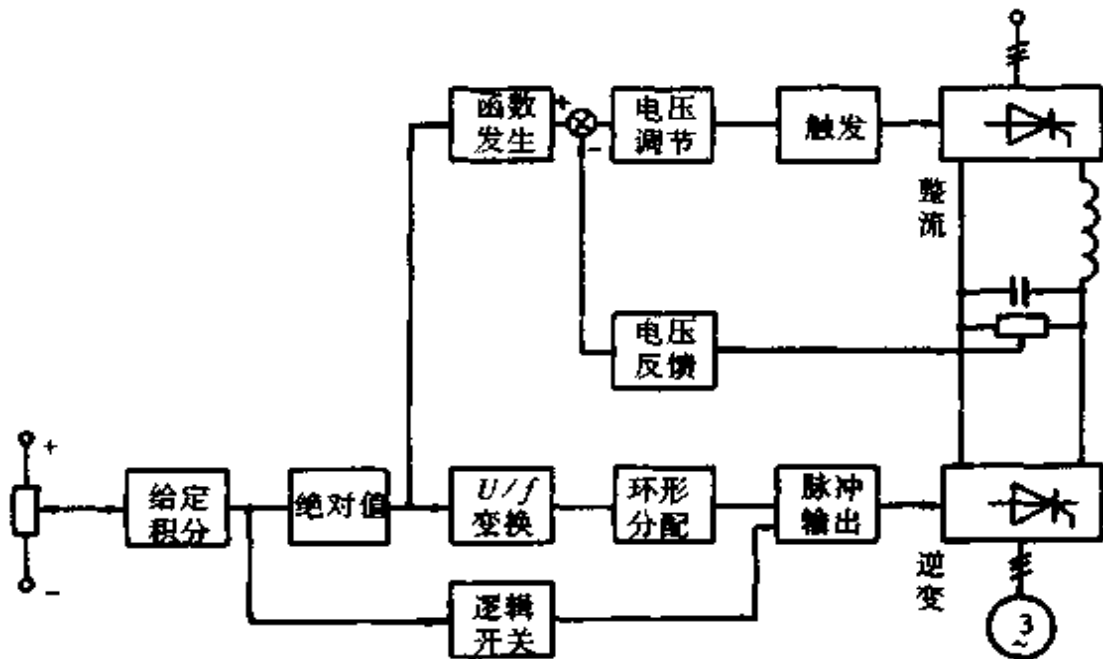


图 8.4.16 电压型变频调速系统

正弦形反电势之差形成,接近正弦波。这种电压型变频器实现再生发电制动困难,需另外附加逆变装置,从而使主回路和控制回路复杂化,因此在一般场合下不采用再生发电制动而采用能耗制动。

电压型变频调速系统由于直流输出电压稳定,因此异步电动机输出转速的精度取决于变频器输出频率的精度(主要由  $U/f$  变换器决定)及电动机本身的转差率,前者精度较高,后者一般在  $3\% \sim 8\%$  之间,故在电压型变频调速系统中一般采用开环控制。

电压控制回路是采用相控原理,改变晶闸管  $\alpha$  角来控制整流器的直流输出电压大小,这和一般直流拖动  $V_{\text{M}} - M$  调速系统相似。

频率控制回路多采用恒磁通协调控制的变频原则,要求逆变器输出电压和频率之比  $U/f$  保持恒值。通过  $U/f$  变换器将给定电压变换为相应频率的脉冲信号,由环形计数器将 6 个脉冲组成一组即六分频后经脉冲放大依次分配给逆变器的 6 个晶闸管进行变频工作。

在电动机要求有正、反转功能的系统中,给定积分器输出电压的数值经过绝对值运算器后,用来控制整流器输出电压和逆变器输出频率;输出电压的极性经过逻辑开关来控制逆变器按正相序(A、B、C)或逆相序(A、C、B)输出,达到电机正、反转的要求。

绝对值运算器把给定积分器输出的正、负极性电压变为单一极性的控制电压,因为在系统调频过程中,改变整流器输出电压和逆变器输出频率仅需单一极性的控制电压。

函数发生器是根据  $U/f$  为常数的变频原则而设置的,并考虑到在低频运行时,由电动机定子电阻压降的影响,使电动机的最大转矩有所下降从而作了低频补偿。其特性关系曲线如图 8.4.17 所示。图中曲线 1 为未加补偿时  $U/f$  的比例关系,曲线 2 为加入补偿后的  $U/f$  比例关系。

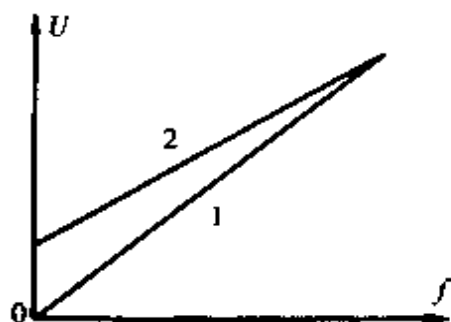


图 8.4.17 函数发生器的特性

## 1.4.2 电流型变频调速控制

### 1.4.2.1 电流型变频器

(1) 电流型变频器的主电路:电流型变频器主电路通常由晶闸管整流器、直流电抗滤波器及逆变器三部分组成。由于中间采用电抗器滤波,因此电源阻抗很大,类似于电流源,逆变器输出矩形波电流,输出电压波形由电动机感应电势决定,近似为正弦波。

逆变器为  $120^\circ$  导电型换流电路,任意瞬间只有两个晶闸管同时导通,电动机轮流形成两相通电(换相过程有短时的三相通电)。

在这种系统中,当突然降低逆变器输出频率时,电动机可以从电动状态自动地进入再生发电状态。在正常的电动运转状态下,电动机定子电压频率(即逆变器输出频率) $f_1$ 大于异步电动机旋转频率 $f_n$ ,滑差 $1 > s > 0$ ,电动机转速落后于旋转磁场转速,电动机的功率因数 $\cos\varphi > 0$ , $\varphi < 90^\circ$ ,电动机处于电动状态,逆变器工作于逆变状态,整流器工作于整流状态。

当定子频率突然降低时, $f_1 < f_n$ ,滑差 $s < 0$ ,旋转磁场转速小于电动机转速, $\cos\varphi < 0$ , $\varphi > 90^\circ$ ,电动机运行于再生发电状态,由于电流不能反向因而逆变器输出电压反向,逆变器工作于整流状态,整流器工作于逆变状态,系统把电动机的机械能转变成电能,回馈到交流电网。

(2) 电流型逆变器的换流:电流型逆变器如图 8.4.18a 所示。假设逆变器原来是晶闸管  $V_{th1}$ 、 $V_{th2}$  导通,参看图 8.4.18b,电动机的 A-C 相通电,现在欲换流到  $V_{th2}$ 、 $V_{th3}$  导通,电动机 B-C 两相通电。下面分析电流从 A 相换到 B 相的换流过程。把此过程分为 5 个区段如图 8.4.19 所示。

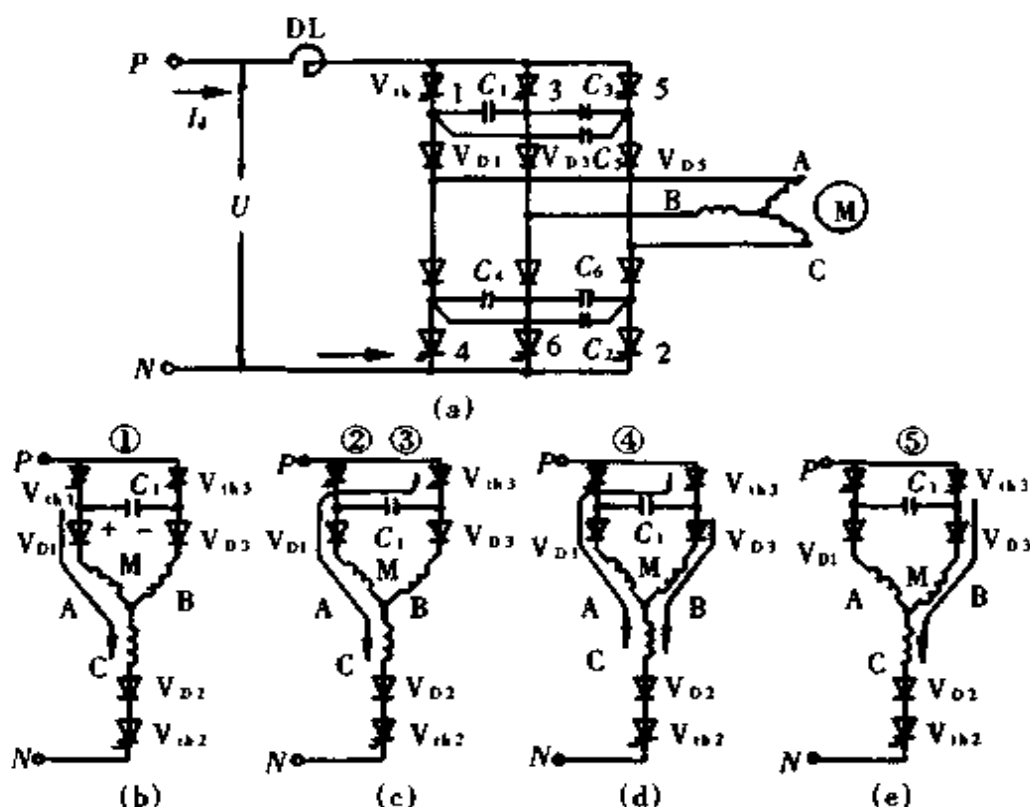


图 8.4.18 串联二极管式换流电路及换流过程

区段①: $t_1$ 以前为原始工作状态,晶闸管  $V_{th1}$ 、 $V_{th2}$  导通,负载电流由电源正极 P 点 $\rightarrow V_{th1} \rightarrow V_{D1} \rightarrow M$ (A-C 相) $\rightarrow V_{D2} \rightarrow V_{th2}$  流回电源负极 N 点,如图 8.4.18b 所示,同时电容  $C_1$  的充电电流沿路径 P 点 $\rightarrow V_{th1} \rightarrow C_1 \rightarrow V_{D3} \rightarrow M$ (B-C 相) $\rightarrow V_{D2} \rightarrow$

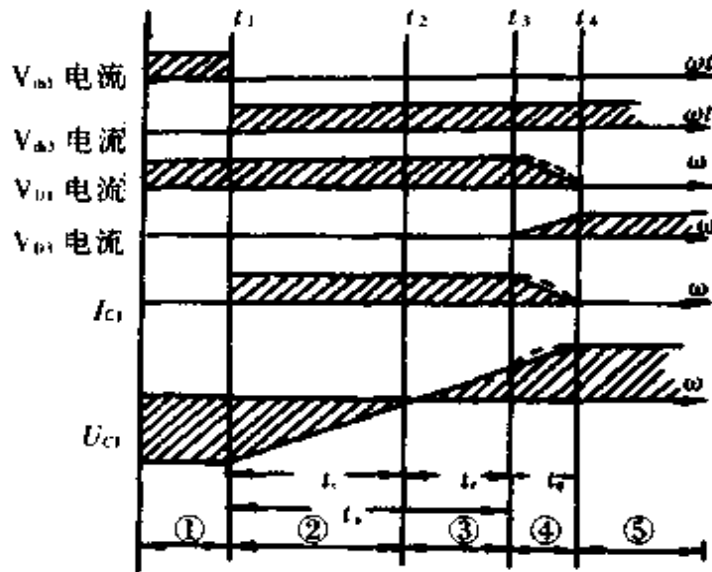


图 8.4.19 换流过程曲线

$V_{b2} \rightarrow N$  点,  $C_1$  的电压极性为左正右负。

区段②:  $t_1 - t_2$  为晶闸管  $V_{b1}$  加反压时间  $t_c$ , 当  $V_{b2}$  导通  $60^\circ$  后, 在  $t_1$  时刻给  $V_{b3}$  触发脉冲,  $V_{b3}$  导通,  $C_1$  上的反向电压  $U_{C1}$  直接加在  $V_{b1}$  上, 使之立即关断。此时由于二极管  $V_{b3}$  承受负偏压不能导通,  $V_{a1}$  继续导通, 感性负载电流将维持有电流在电源正极  $P$  点  $\rightarrow V_{b3} \rightarrow C_1 \rightarrow V_{a1} \rightarrow M(A-C \text{ 相}) \rightarrow V_{b2} \rightarrow V_{a2} \rightarrow N$  点回路流通, 如图 8.4.18c 所示。同时电容  $C_1$  进行恒流放电, 到  $t_2$  时刻  $C_1$  放电到  $U_{C1} = 0$ ,  $t_1$  到  $t_2$  的时间  $t_c$  为  $V_{b1}$  承受反压时间, 为使晶闸管关断可靠, 反压时间  $t_c$  应大于晶闸管的关断时间  $t_{off}$ 。

区段③:  $t_2$  到  $t_3$  为  $C_1$  起始充电到  $V_{b3}$  开始导通的时间  $t_r$ ,  $t_2$  时刻  $C_1$  反向恒流充电, 直到  $V_{b3}$  承受正偏压  $t_3$  时刻  $V_{b3}$  才导通, 在此期间, 负载电流仍同区段②流通过径。

区段④:  $t_3$  到  $t_4$  为二极管  $V_{a1}$  和  $V_{b3}$  同时导通换流时间  $t_q$ , 当  $C_1$  上充电电压达到负载线电势  $e_{BA}$  数值后,  $V_{a1}$  将承受正偏压而导通, 负载 A 相与 B 相同时流过

电流,  $i_A$  逐渐减小,  $i_B$  逐渐增加, 两路电流由电源正极  $P$  点  $\rightarrow V_{b3} \rightarrow C_1 \rightarrow V_{a1} \rightarrow M(A \text{ 相})$  和  $V_{b3} \rightarrow M(B \text{ 相})$  两路同时流通, 如图 8.4.18d 所示。

区段⑤:  $t_4$  时刻,  $C_1$  充电电压达峰值,  $i_A$  衰减到零,  $i_B$  上升到稳态值  $I_d$ , 即电流只沿路径  $P$  点  $\rightarrow V_{b3} \rightarrow V_{b3} \rightarrow M(B \text{ 相}) \rightarrow M(C \text{ 相}) \rightarrow V_{a2} \rightarrow V_{b2} \rightarrow N$  点流通, 如图 8.4.18e 所示, 换流过程结束。同时电容  $C_1$  充好电, 为下次换流做好准备。

综上所述, 换流过程有三种换流工作状态: 一种是换流稳态, 包括换流前的原

始工作状态区段①及换流后的新稳态区段⑤；第二种是晶闸管  $V_{1m}$  导通后，电流经  $V_{1m}$  流通包括  $C_1$  放电到电压为零的区段②及反向充电到  $V_{1m}$  导通的区段③；第三种是  $V_{1m}$  和  $V_{1n}$  同时导通的区段④，即 A 相与 B 相电流换流工作状态。实际上，在区段④内，由于换流电容已处于非恒流充电，此区段内的换流曲线为非线性，呈正弦曲线变化。

(3) 参数计算与元件选择。

①参数计算：

换流电容  $C$  上的峰值电压  $U_{CM}$ ：

$$U_{CM} = U_0 + \sqrt{3}E_m \sin\varphi$$

式中  $U_0$ ——电感负载与换流电容发生谐振的谐振电压，

$$U_0 = \sqrt{\frac{4L}{3C}} I_d;$$

$L$ ——负载电机的每相总漏感；

$I_d$ ——恒流源直流电流；

$E_m$ ——相反电势幅值；

$\varphi$ ——负载功率因数角。

晶闸管  $V_{1n}$  承受的最高电压  $U_{Tm}$ ：

$U_{Tm}$  等于换流电容  $C$  上的峰值电压，如果取其最大值，则：

$$U_{Tm} = \sqrt{\frac{4L}{3C}} I_d + \sqrt{3}E_m$$

隔离二极管  $V_D$  承受的最高电压  $U_{Dm}$ ：

$U_{Dm}$  为换流电容  $C$  上的峰值电压与负载电动机线电势之和，即

$$U_{Dm} = \sqrt{\frac{4L}{3C}} I_d + 2\sqrt{3}E_m \sin\varphi$$

直流电流  $I_d$  与电机基波电流  $I_1$  的关系：

电流型逆变器的输出电流为矩形波，按富氏级数展开，其基波电流有效值  $I_1$  为

$$I_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d$$

②元件选择：

换流电容  $C$  的选择。从  $C$  给晶闸管  $V_{1n}$  施加反压的时间  $t_c$  满足大于  $V_{1n}$  的关断时间  $t_{off}$  的条件出发算出的电容值往往比较小，一般总容易满足，而我们在实际上，常取换流电容  $C$  的谐振电压  $U_D$  等于电动机线电势的幅值  $\sqrt{3}E_m$ ，根据这个条件得出：

$$C = \frac{4LI_d^2}{9E_m^2}$$

C 承受的最高电压  $U_{cm} = 2\sqrt{3}E_m$

晶闸管  $V_{th}$  的选择。考虑一定的安全系数,晶闸管  $V_{th}$  的电压  $U_{Vth}$  选为  $(1.3 \sim 1.5)U_{cm}$ 。

晶闸管电流由于导通  $120^\circ$ , 为  $\frac{1}{3}$  周期, 故其电流  $I_{Vth}$  选为:

$$I_{Vth} = \frac{K_1}{3} I_{dmax}$$

式中  $K_1$  ——安全系数常取  $1.5 \sim 2$ ;

$I_{dmax}$  ——最大负载时的直流电流。

晶闸管的关断时间  $t_{off}$  由于施加反向较长, 故可选择普通晶闸管。

③ 隔离二极管  $V_D$  的选择:

$$\text{电压} \quad U_{VD} = K_D U_{Dm}$$

$$\text{电流} \quad I_{VD} = \frac{1}{3} I_{dmax}$$

式中  $K_D$  ——电压储备系数。

**1.4.2.2 电流型变频调速的控制系统** 图 8.4.20 所示为电流型变频器的频率开环调速系统。在逆变器调频输出时, 由于负载电动机要求输入电压与频率作相应的变化, 因此在电流型变频器的频率开环调速系统中, 仍需设置电压内环, 以保证调频过程中同时调压。电压调节器的输出作为电流给定值, 以控制电流闭环。当电压调节器输出为限幅值时, 系统主回路的电流达到限幅值, 因而能够抑制故障电流。

电流型变频调速系统的频率控制部分与电压型变频调速系统类似。

#### 1.4.2.3 电流型变频器的特点及应用注意

(1) 主要特点: ①主电路结构简单, 便于实现四个象限运行。②由于采用电流源, 故快速性好。③由于控制系统设有电流内环调节, 增强了限流能力, 提高了保护性能, 它可耐受负载短路, 自动进行保护, 从而提高了运行可靠性。④晶闸管利用率高, 可选用普通晶闸管。

(2) 应用注意: ①为了改善系统性能, 电动机的漏感应尽量小。②在电压波形中含有尖峰, 故为了电动机安全运行, 应适当加强其绝缘。③晶闸管和二极管耐压要求高, 系统调整工作比较困难。

表 8.4.5 列出了电流型与电压型变频调速系统的性能比较。



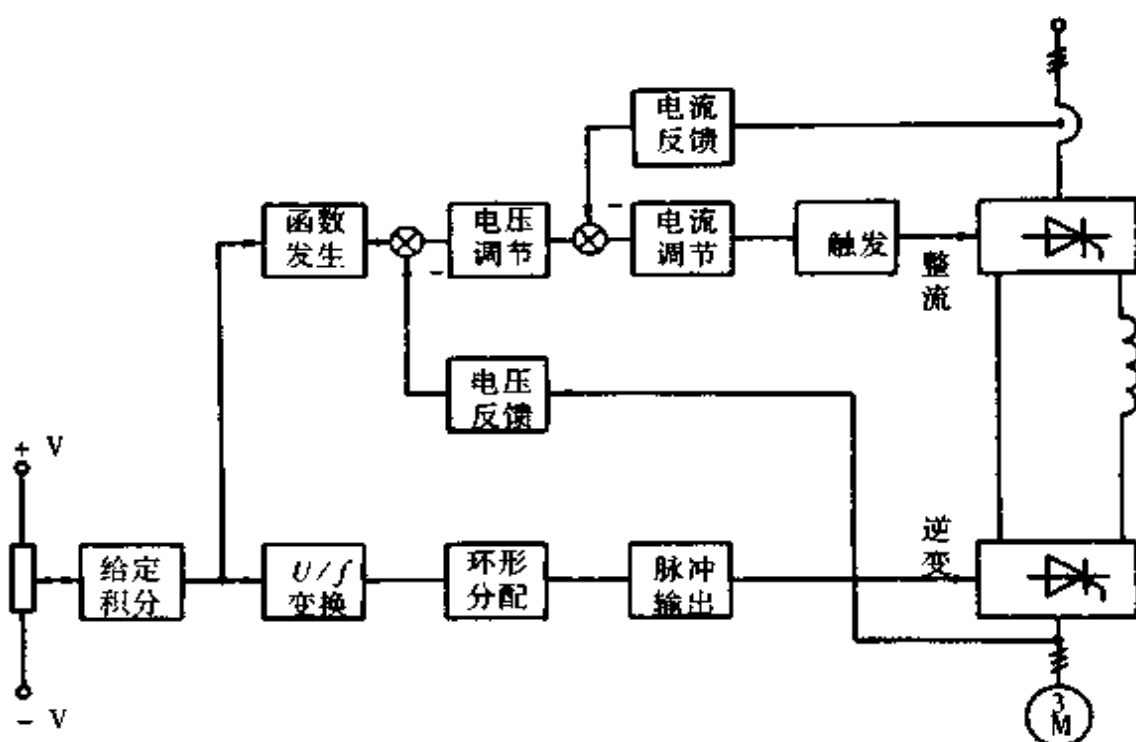


图 8.4.20 电流型变频调速系统

表 8.4.5 电压型及电流型变频系统的性能比较表

项 目	电压型变频	电流型变频
再生发电能力	本身没有再生发电能力(除非采用两组晶闸管整流器)	具有再生发电能力
电流控制的能力	因有滤波电容器存在,故电流控制困难	可以采用电流内环控制
直流能耗制动	可以采用能耗制动,制动损耗较大	可以实现从再生发电能耗制动的连续控制,经济
电压波形	与负载功率因数无关	1. 随负载功率因数改变而改变 2. 在电动机负载场合下近似为正弦波
电流波形中高频谐波成分	对异步电动机负载: 五次谐波:约 40% 七次谐波:约 20%	对异步电动机负载: 五次谐波:约 20% 七次谐波:约 14%
其 他	1. 需要换流电感 2. 要求晶闸管的关断时间短 3. 若输出短路必导致逆变失败 4. 需要大的滤波电容器	1. 不需要换流电感 2. 可以使用关断时间较长的晶闸管 3. 输出短路尚可继续运行(电流环限制) 3. 不需要滤波电容器

### 1.4.3 脉宽调制(PWM)变频调速控制

脉宽调制(PWM)变频器大多采用电压源型,其构成如图 8.4.21 所示,由二极管整流器和逆变器组成。逆变器输入恒定不变的直流电压,通过调节逆变器输出电压的脉冲宽度和输出电压的频率既实现了调压又实现了调频,调频调压都由

PWM 逆变器承担。主电路简单,只要有相应的控制电路就可以了。由于输出电压直接由逆变器决定,所以调节速度快,系统的动态响应好。另外它的输入功率因数高,而且多个逆变器可以接在一个直流母线上,便于实现多个电动机拖动。

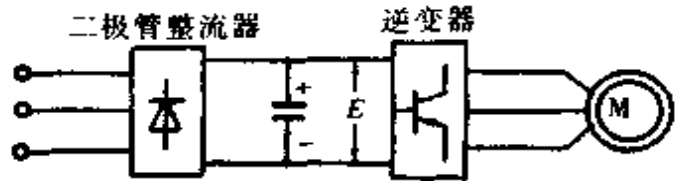


图 8.4.21 PWM 型变频器

#### 1.4.3.1 PWM 逆变器

(1) 主电路: PWM 逆变器主电路根据所采用的开关元件有晶体管型(GTR)、可关断晶闸管型(GTO)、绝缘栅晶体管型(IGBT)以及晶闸管型等。GTR、GTO、IGBT 都是自关断器件,在构成 PWM 逆变器时,其主电路结构相同,不同之处在容量上及开关特性上。而晶闸管不是自关断器件,在构成 PWM 逆变器时需要有强迫换流线路。

通常采用的是晶体管 PWM 型逆变器,主电路如图 8.4.22 所示,由 6 个电力晶体管(GTR)和 6 个续流二极管组成,平波电容器  $C$  起着中间能量存贮作用。当负载工作在再生情况下,反馈能量将流过续流二极管  $V_{U1} \sim V_{U6}$  向电容充电,而平波电容器容量有限,势必将直流电压抬高。为了避免直流电压过高,在直流侧接入制动(放电)电阻  $R$  和晶体管  $V_{T7}$ ,当直流电压升高到某一限定值后,使  $V_{T7}$  饱和导通接入电阻  $R$ ,将部分反馈能量消耗在电阻上,这样电动机就可以在四个象限内运行了。

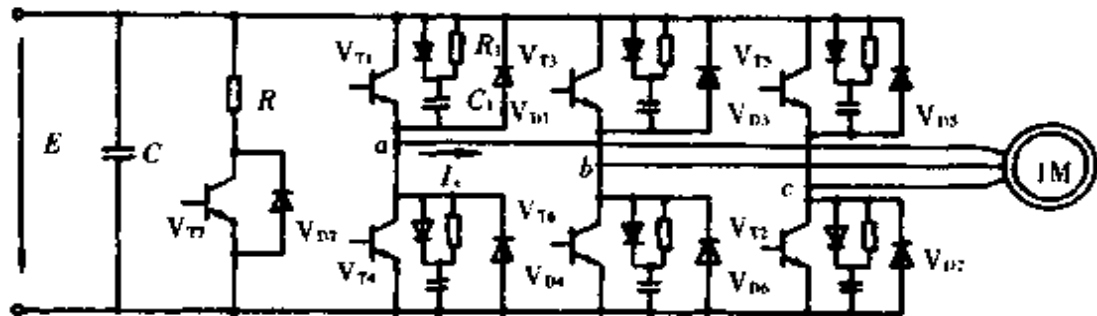


图 8.4.22 晶体管通用型三相逆变器

当使电动机降速或停车工作在再生情况时,某些续流二极管导通,此时电力晶体管仍处于调制工作状态,必将出现电动机两端线间经导通的二极管和晶体管短路,对此反馈电流必须加以限制,办法是当电流超过允许值时,由控制电路发出信号,封锁晶体管以免损坏。

晶体管本身保护接有缓冲电路,由并联的二极管  $V_D$  和电阻  $R$ 、电容  $C$  构成,其作用是:在管子截止关断时,延缓管子  $U_{CE}$  的电压上升率;在管子饱和导通时,电阻  $R$  限制放电环流。

(2) PWM 信号的产生: PWM 信号从调制脉冲的极性上看,可以分为单极性调制和双极性调制两种;从载频信号与参考信号(或称基准信号)频率之间的关系可以分为同步式和异步式两种。

①单极性调制。单极性直流参考电压调制方法。为了说明方便,采用图 8.4.23 所示的逆变器原理电路图,并设负载为直接三相对称电阻负载。各开关管的基极驱动信号控制其通断,基极驱动信号在电路中一般常以载频信号  $U_c$  与参考信号  $U_r$  相比较产生。这里  $U_c$  采用单极性等腰三角形而  $U_r$  采用直流电压,在  $U_c$  与  $U_r$  相交处发出调制信号。

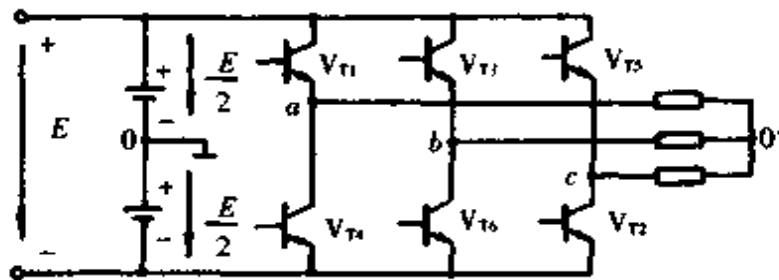


图 8.4.23 电压型三相逆变器原理电路

单极性正弦参考电压调制方法。参考信号为正弦波的脉宽调制叫做正弦波脉宽调制即 SPWM。产生的调制波是一系列等幅、等距而不等宽的脉冲列,如图 8.4.24 所示,SPWM 的基本特点是在半个周期内,中间的脉冲宽,两边的窄,脉宽和正弦曲线下的积分面积成正比,脉宽基本上成正弦分布。SPWM 输出波形中基波分量,谐波分量小。

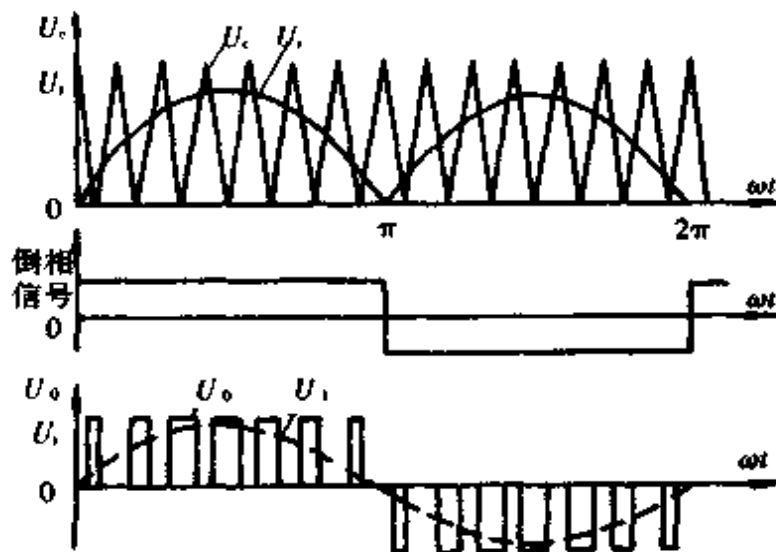


图 8.4.24 正弦波脉宽调制波形

输出电压的大小和频率均由正弦参考电压  $U_r$  来控制,当改变  $U_r$  的幅值时,即改变了输出电压的大小;改变  $U_r$  的频率时,其输出电压的频率随之改变。但正弦波的幅值  $U_m$  必须小于等腰三角形的幅值。对于三相逆变器,必须产生互差  $120^\circ$  的三相调制脉冲列。载频三角波三相可以共用,但必须有一个可变频变幅的三相正弦波发生器,产生可变频变幅的三相正弦参考信号,然后分别比较产生三相输出脉冲列。

若三角波和正弦波的频率成比例地改变,不论输出频率高低,每半周的输出脉冲数不变,即为同步调制式。

若三角波频率一定,只改变正弦参考信号的频率,正负半周的脉冲数和相位在不同输出频率下就不是完全对称的了,这种方式称为异步调制方式。异步式虽然正、负半周输出波形不能完全对称,会出现偶次高次谐波,但是每周输出的脉冲数将随输出频率的降低而增多,有利于改善低频输出特性。

②双极性调制。单极性调制脉冲的极性不改变,要正负半周输出不同极性的脉冲,必须另加倒相电路。与此相对应,若在调制过程中,载频信号和参考信号的

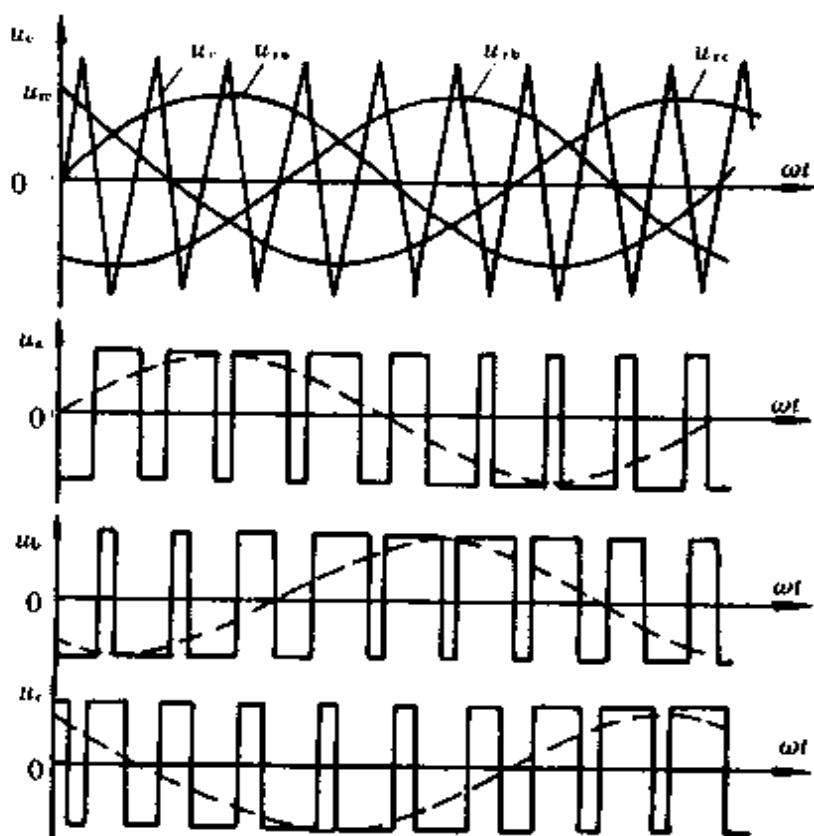


图 8.4.25 三相正弦波脉宽调制波形

极性交替不断改变的则称双极性调制,其调制波形如图 8.4.25 所示。图中画出的三相调制波形,与上述单极性 SPWM 的情况相同,输出电压的大小和频率也是由

改变正弦参数信号  $U_i$  的幅值和频率来实现的。参考信号也可以采用阶梯式准正弦波。逆变器带感应电动机负载时,在脉宽调制过程中,应使输出基波电压的大小与频率之比为恒值。

**1.4.3.2 PWM 变频调速的控制系統** PWM 变频调速系统的控制电路的核心是 PWM 信号的产生,产生 PWM 信号的具体电路有用分立元件实现的,也有用微型计算机靠软件实现的。专用大规模集成电路芯片 HEF4752 可用来产生 SPWM 信号,是全数字化的元件。其芯片管脚如图 8.4.26 所示。它输出的三对互补的 PWM 信号,由 ORM1、ORM2、OYM1、OYM2,和 OBM1、OBM2 引出,接到三相逆变器六个开关器件的驱动电路输入端。为了提供用晶闸管作开关器件的逆变器中所需的强迫换流信号,芯片还有三对辅助换流信号,它们从 ORC1、ORC2, OYC1、OYC2 和 OBC1、OBC2 引出。该芯片共有七个输入控制信号,它们全是数字量,或是高电平或是低电平。其中, I 输入端为晶体管或晶闸管逆变器选择,为高电平时用于驱动晶体管逆变器,为低电平时用于驱动晶闸管逆变器。CW 输入端为相序选择,高电平时相序为 R(红)—Y(黄)—B(蓝),低电平时相序为 R—B—Y,以控制异步电动机的正、反转。L 输入端低电平时,封锁所有 PWM 信号,它的功能除用于起动/停止的控制外,还可用于过电流保护。K 输入端与时钟输入 OCT 一起决定互锁延迟间隔的长短。其关系为 K 为低电平时,延迟间隔为  $8/f_{OCT}$  (ms),K 为高电平时延迟间隔为  $16/f_{OCT}$  (ms),其中  $f_{OCT}$  的单位为 kHz。互锁延迟间隔的设置是为了防止同相的上、下两个开关器件同时导通,形成短路。在上、下二管换向期间,插入一个互锁延迟间隔,在此间隔内上、下两管均不导通。A、B、C 三个输入端为试验用端口,在正常工作状态下,它们均被置零。

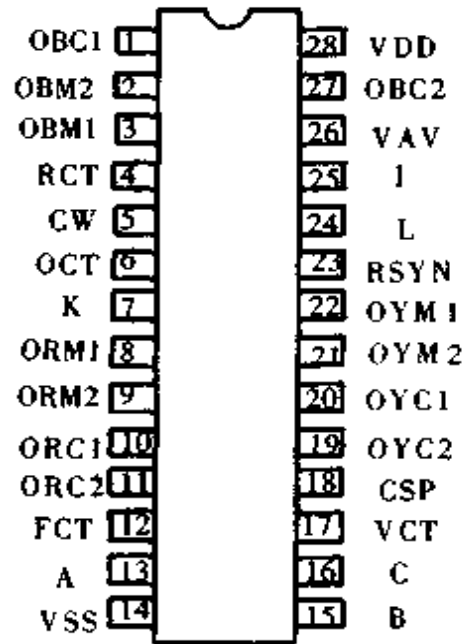
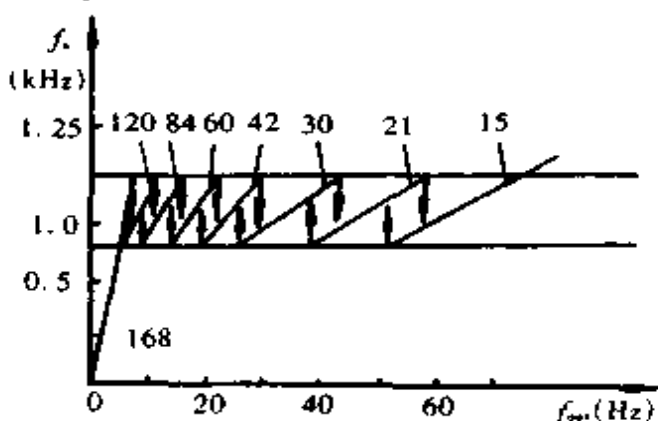


图 8.4.26 HEF4752 管脚

时钟输入信号有四个。其中,FCT 时钟信号是用于控制 PWM 逆变器输出基波频率,逆变器输出基波频率  $f_{out} = f_{VCT} / 3360\text{Hz}$ 。VCT 输入端的时钟信号决定逆变器输出基波电压幅值  $U_{out}$ ,其关系为  $f_{VCT} = K_v f_{out} / U_{out}$ 。若  $f_{VCT}$  恒定,则频压比  $f_{out} / U_{out}$  恒定,通过改变  $f_{VCT}$  可改变频压比。在异步电动机调速系统中,为了做到恒磁通的协调控制及低频时的补偿,可通过对  $f_{VCT}$  的控制来实现。RCT 时钟信号决定了 PWM 逆变器中晶体管的最高开关频率  $f_{max}$ 。其关系为  $f_{RCT} = 280 \cdot f_{max}$ 。因此可以根据晶体管容许的开关频率来选定频率  $f_{RCT}$ ,它是一个固定频率。OCT

时钟输入信号有四个。其中,FCT 时钟信号是用于控制 PWM 逆变器输出基波频率,逆变器输出基波频率  $f_{out} = f_{VCT} / 3360\text{Hz}$ 。VCT 输入端的时钟信号决定逆变器输出基波电压幅值  $U_{out}$ ,其关系为  $f_{VCT} = K_v f_{out} / U_{out}$ 。若  $f_{VCT}$  恒定,则频压比  $f_{out} / U_{out}$  恒定,通过改变  $f_{VCT}$  可改变频压比。在异步电动机调速系统中,为了做到恒磁通的协调控制及低频时的补偿,可通过对  $f_{VCT}$  的控制来实现。RCT 时钟信号决定了 PWM 逆变器中晶体管的最高开关频率  $f_{max}$ 。其关系为  $f_{RCT} = 280 \cdot f_{max}$ 。因此可以根据晶体管容许的开关频率来选定频率  $f_{RCT}$ ,它是一个固定频率。OCT

时钟信号决定互锁延迟间隔。为了使控制线路简化通常选取  $f_{\text{CT}} = f_{\text{RCT}}$ 。图 8.4.27 给出了一个  $f_{\text{min}}$  为 1kHz 的调制方案, 逆变器开关频率  $f_s$  是输出频率  $f_{\text{out}}$  的整数倍, 即  $f_s = Nf_{\text{out}}$ , 其中  $N = 15, 21, 30, 42, 60, 84, 120$  和 168 共八个值。在频率比变化点附近有一个小的回环, 以确保电动机运行在这区域时稳定, 避免在两个频率比之间来回切换。最小开关频率由集成电路内部设置为  $f_{\text{min}} = 0.6f_{\text{max}}$ 。

图 8.4.27  $f_s - f_{\text{out}}$  关系

其他管脚有 23 号脚 RSYN, 它输出脉冲信号, 脉宽与 VCT 时钟脉宽相同, 频率为  $f_{\text{out}}$ 。它被选在 R 相电压由负向正转化的瞬间出现。因此, 它为触发示波器提供了一个稳定的基准。26 号脚 VAV, 它输出一数字信号, 用来模拟逆变器输出电压平均值, 它不受互锁延迟的影响, 而与 L 输入状态无关。VAV 信号的频率等于逆变器输出频率  $f_{\text{out}}$ , 并且由  $6f_{\text{out}}$  所调制。VAV 信号特别适用于  $f_{\text{CT}}$  的闭环控制。18 号脚 CSP, 该端口输出 2 倍于逆变器开关频率的脉冲链, 每个脉冲的下降沿都在主输出的调制零点出现。在一般系统中, 上述三个信号均不使用。

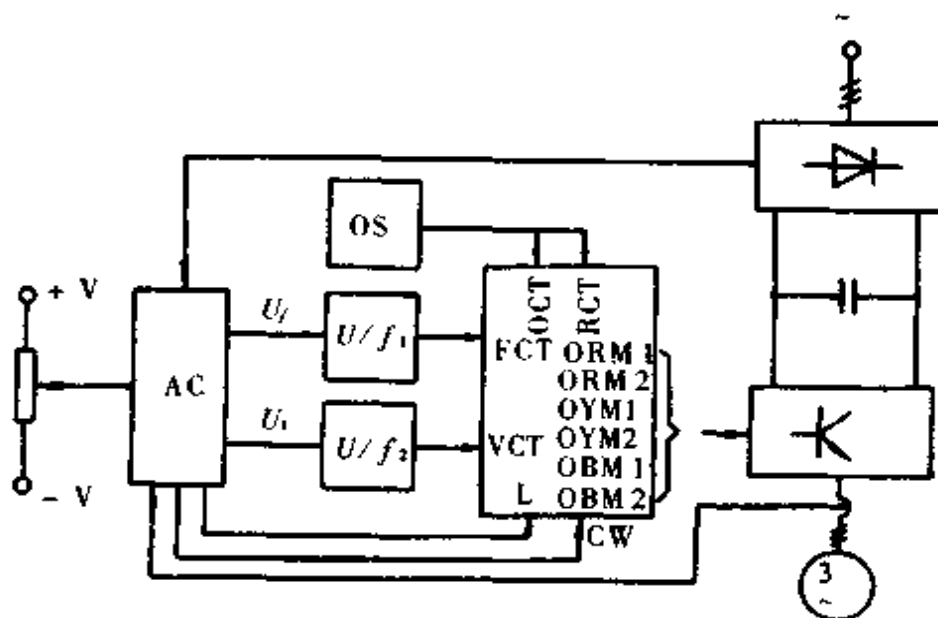


图 8.4.28 PWM 变频调速系统

用 HEF4752 构成的 PWM 变频调速系统如图 8.4.28 所示。其主电路由二极管整流器、平波电容器和 GTR 三相逆变器组成。而控制电路由 PWM 芯片和有关

辅助电路组成。辅助控制电路包括有:振荡器 OS 提供固定频率的时钟信号作为 OCT 和 RCT 的输入信号;模拟控制器 AC 同时输出频率和电压信号  $U_f$  和  $U_v$ ,  $U_f$  经过压控振荡器  $U/f_1$  提供 FCT 时钟信号,它决定逆变器的输出基波频率; $U_v$  经过压控振荡器  $U/f_2$  提供 VCT 信号,决定逆变器输出的频压比。

此外,为确保系统安全、可靠运行,模拟控制器 AC 还应具有如下功能:提供加速、减速时间可调节的起动、制动和停止信号;一旦出现过流应封锁所有 PWM 信号,即将芯片 L 输入端置低电平;还可通过 CW 端控制电动机的正、反转;当平波电容器上电压超过一定值后,接通与其并联的能耗电阻(参见图 8.4.22),以吸收异步电动机的再生能量。

## 2 绕线型异步电动机的调速

### 2.1 转子串电阻调速

改变转子电阻可以改变临界转差率  $S_k$  而保持  $M_m$  不变,异步电动机的机械特性变软。由图 8.4.29 可知,改变转子电阻即转子串电阻可实现调速。常用的有级调速一般采用 5 级或 8 级切换。起动时转子回路串入全部电阻,电动机以最大

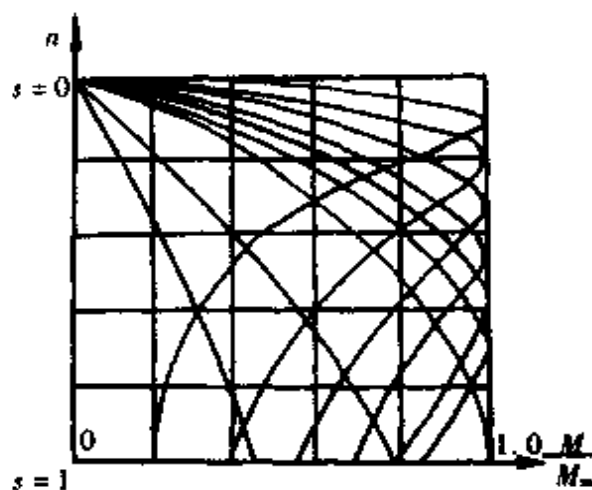


图 8.4.29 转子电路串联电阻时的机械特性

转矩起动,然后按时间或电流原则逐级加速到额定转速。其控制线路及计算方法见本篇第二章。

### 2.2 串级调速

在转子电路中接一个与转子电势相位相差  $180^\circ$  的附加电势,用改变附加电势的大小来实现调速即为串级调速。为此,将转子交流电势整流成直流,利用晶闸管

换流器产生与转子整流电势极性相反的电势,组成了静止式晶闸管串级调速装置,其原理图如图 8.4.30 所示。

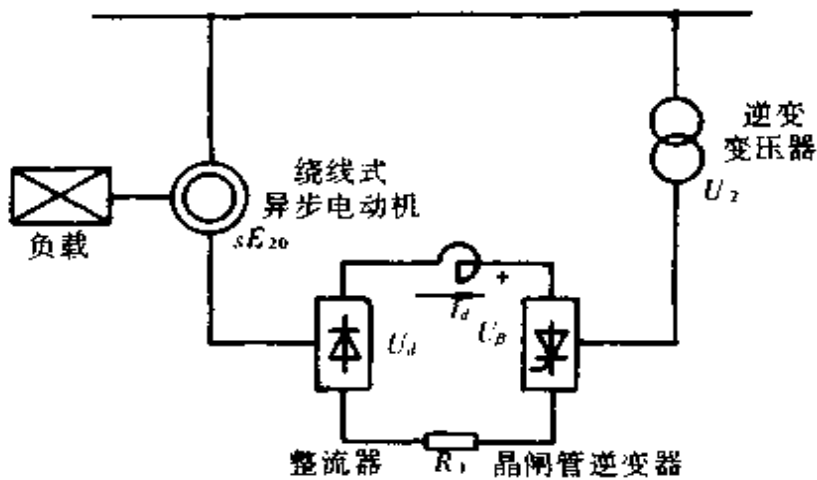


图 8.4.30 串级调速单线系统图

### 2.2.1 串级调速的调速原理及特性

由图 8.4.30 可知,串级调速是利用晶闸管逆变器通过逆变变压器将转差能量 PS 反馈到电网中,调节逆变电压  $U_{\beta}$  即可改变电动机转速。这里仅描述低于同步转速即所谓次同步串级调速。我们可以由图 8.4.30 直流回路的电势平衡方程式导出下列关系式:

$$S = K_1 \cos\beta + K_2 I_d$$

$$n = (1 - S)n_0 = (1 - K_1 \cos\beta - K_2 I_d)n_0$$

$$K_1 = \frac{U_2}{E_{20}}; K_2 = \frac{R_{\Sigma}}{2.34 E_{20}}$$

式中  $n_0$ ——同步转速;

$R_{\Sigma}$ ——直流回路总电阻

可见,理想空载与负载特性之差是由直流回路电阻  $R_{\Sigma}$  产生的转速降,对于不同的  $\beta$  角,在负载由空载到满载,可得到不同的特性,如图 8.4.31 所示。特性是一族近似平行的曲线。

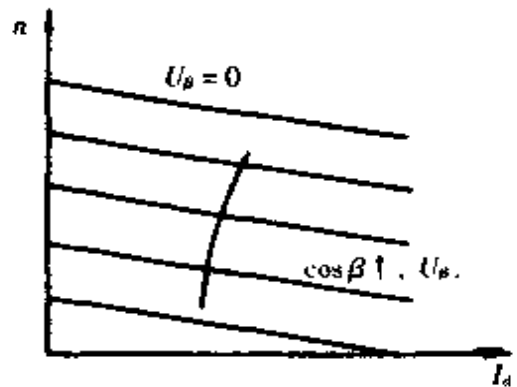


图 8.4.31  $n = f(I_d)$  关系曲线

### 2.2.2 串级调速系统的总效率与功率因数

串级调速时,由于转差功率大部分反馈到电网,因而比串电阻法调速时的效率要高得多。由串调能流图 8.4.32a 可得到串调时电动机总效率为:

$$\eta = \frac{P_{\text{st}}}{P_{\text{w}}} \times 100\%$$



$$= \frac{P_M(1-S) - \Delta P_J}{P_M(1-S) + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_J} \times 100\%$$

式中  $P_w$ ——电网输入总功率；  $P_1 = P_w + P_U$ ——定子输入功率；  
 $P_U$ ——返回电网的转差功率；  $\Delta P_1$ ——定子铜、铁损耗；  
 $P_M = P_1 - \Delta P_1$ ——转子电磁功率；  $P_s = SP_M$ ——转差功率；  
 $\Delta P_2 + \Delta P_3$ ——转子回路总损耗；  $\Delta P_J$ ——通风、摩擦损耗；  
 $P_2 = P_M(1-S)$ ——转子轴功率；  $P_{sc} = P_2 - \Delta P_J$ ——电动机轴输出功率。

对大容量电动机,电动机本身效率较高,因而串级调速时的总效率相应提高,可达90%左右,大大高于串电阻调速时的总效率(见图8.4.32b),这是串调显著优点之一。

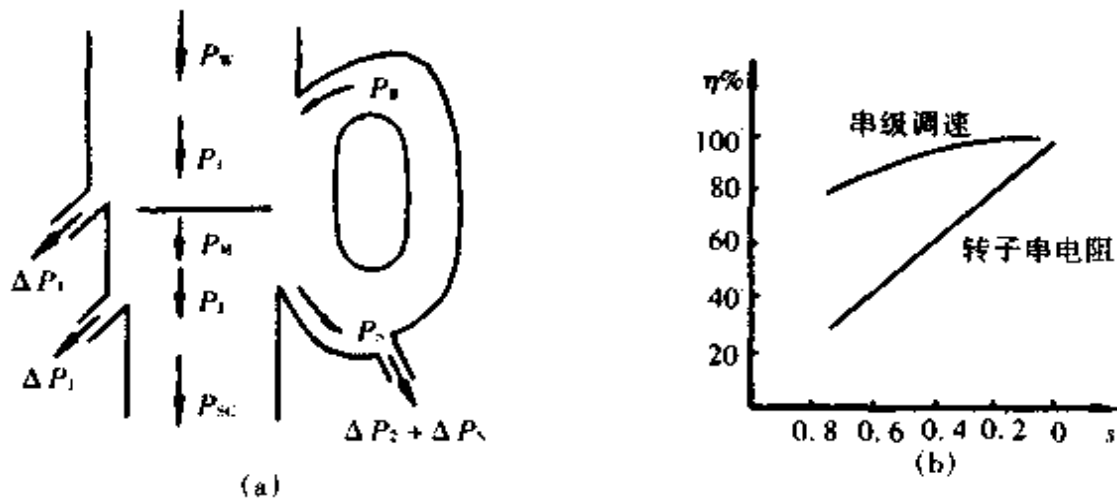


图 8.4.32 串调系统能流图和总效率曲线

(a)能流图 (b)总效率曲线

在串级调速系统中,电动机和逆变器都从电网吸收无功功率,由于转子整流器的重叠换流效应以及各种高次谐波的影响,更加增大了整个系统从电网吸收无功功率,因而使串调时的功率因素显著降低。因为转子漏抗较大,转子整流器换流时的重叠角较大,电动机本身的功率因数因而降低,这时电动机功率因数  $\cos\varphi_d$  为

$$\cos\varphi_d = \cos\varphi_r \cdot \frac{\nu}{2}$$

式中  $\nu$ ——转子换流重叠角。

逆变功率因数恶化的原因在于有源逆变器必须工作在深控状态。当在最低速时,逆变器的控制角  $\beta \geq 30^\circ$ ,而在最高速时  $\beta \leq 90^\circ$ ,因而,在整个调速范围内,逆变器的电流全为滞后。

串调时的功率因数,当考虑到各高次谐波的影响时,为:

$$\cos\varphi_s = \frac{P}{S} = \frac{P_1 - P_B}{\sqrt{(P_1 - P_B)^2 + (Q_1 + Q_B)^2}}$$

系统的总有功功率  $P$  为电动机吸收的有功功率  $P_1$  和逆变变压器反馈电网有功功率  $P_{11}$  之差,系统的总无功功率为电动机吸收的无功功率  $Q_1$  和逆变变压器所吸收的无功功率  $Q_2$  之和,功率因数为总有功功率与总视在功率之比。一般,串调时的功率因数在 0.5 以下,这是串级调速的缺点之一。

### 2.2.3 串级调速控制系统及应用

**2.2.3.1 串级调速系统的起动方式** 从理论上讲,串级调速的调速范围可以做到从零到额定转速,属恒转矩调速范畴。实际上,串级调速适合于大容量、低调速范围,如风机、水泵类负载,要求调速范围在 2:1 左右时,应用串级调速的技术经济指标比较合理。因为可以利用较低的造价(60% 左右)得到相同的调速范围。

串级调速的起动设备大多采用频敏变阻器,也可用电阻起动。起动时 1K 闭合,电动机起动并加速到  $S \leq S_{max}$ , 2K 闭合,1K 断开,串级调速投入运行。当串级调速装置故障时,3K 闭合,2K、1K 断开,电动机转子短路,电动机处于最高速运行,以保证负载不受影响,这是串级调速的显著优点之一(见图 8.4.33)。

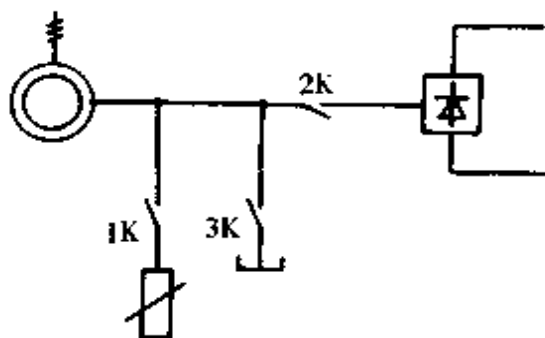


图 8.4.33 串级调速的起动

1K、2K 的切换也可以按时间原则确定。根据负载性质和起动时间,在起动完成之后(要保证切换时的转差  $S < S_{max}$ ),由 1K 切换到 2K。

**2.2.3.2 串级调速的合、分闸顺序** 为保证可靠工作,串级调速应用有源逆变器必须遵守一定的合、分闸程序。起动时,必须首先起动逆变器,然后依次起动电动机、切换到串级调速运行。停车时,必须先断开电动机定子电源,然后依次断开串调接触器(2K),最后断开逆变器电源。

**2.2.3.3 闭环调节系统** 串级调速的机械特性类似他励直流电动机的机械特性。对于要求不高的场合,如无精度要求或其他参量控制时,开环运行即可。但对有调速精度要求,或有压力、流量等参量控制时,必须采用闭环控制。

**2.2.3.4 串级调速的保护** 串级调速装置的保护是很重要的。最主要的问题是对付瞬时电网电压突然降低甚至停电,特别是对大容量装置所带的负载如水泵等,在瞬时停电时不希望造成停车,而在电网恢复后自动重新起动。对串级调速装置,在瞬时停电时除了要保证逆变装置正常外,还要在电网复电时保证逆变装置

的工作点和复电时电动机的转速相匹配,就是说在复电时不产生过电流冲击而导致过电流保护动作或损坏逆变装置的元器件,这就是“瞬时停电”保护。

对大容量的装置,应考虑电动机、逆变变压器、滤波电抗器等的温度保护和监视。

晶闸管逆变器的保护是逆变装置保护的关键问题。对有源逆变器来说,除对付瞬时停电外,主要应考虑逆变器的“颠覆”。要核算晶闸管逆变的最小逆变角 $\beta_{\min}$ 是否满足下式:

$$\beta_{\min} \geq \mu + \nu$$

式中  $\mu$ ——换流重叠角;

$\nu$ ——晶闸管元件的反向阻断恢复时间。

$\beta_{\min}$ 可按下式计算

$$\cos(\beta_{\min} - \mu) - \cos\beta_{\min} = \frac{P}{\pi} \cdot \frac{XI_d}{E_b}$$

式中  $P$ ——为逆变器相数;

$X$ ——逆变变压器的相漏抗;

$E_b$ ——空载逆变电压。

由于谐波的影响,采用串调装置时,电动机的最大转矩下降约 15%,所以要适当加大电动机的容量,以免电动机过热。

串级调速装置可作为节能产品推广应用。

## 附录 A 交流调速控制装置产品介绍

### A1 调压调速装置

见表 A-1、表 A-2、表 A-3。

### A2 起重机控制屏

见表 A-4。

### A3 串级调速装置

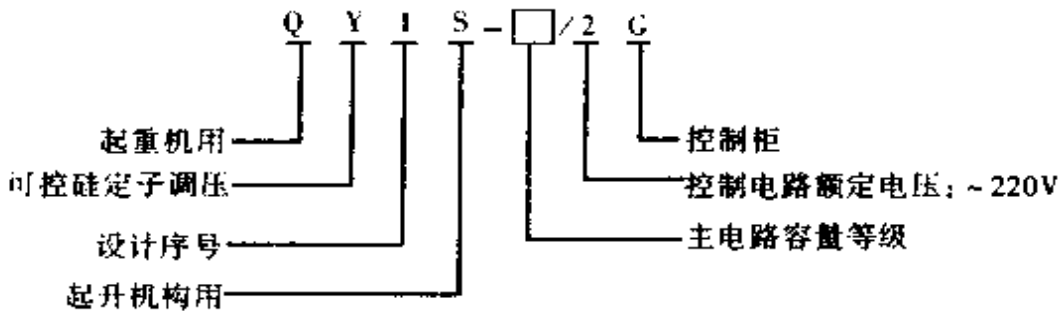
见表 A-5、表 A-6。

### A4 变频调速装置

见表 A-7、表 A-8、表 A-9。

表 A-1 QYIS-□/2G 系列交流起重机可控硅定子调压调速电控设备

型号意义:



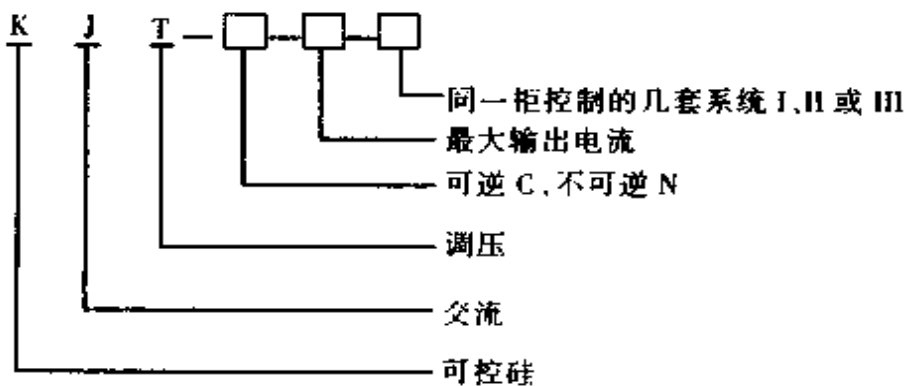
用途: QYIS-□/2G 交流起重机可控硅定子调压调速电控设备系用可控硅交流开关来控制绕线式电动机的定子电压, 以实现在四象限内进行转速的自动调节来控制起重机的提升机构。

技术参数:

型 号	交流输出			调速范围	可调速度	速度波动率	切换时间 (ms)	外形尺寸 (mm)
	容量 (kW)	额定电流 (A)	额定电压 (V)					
QYIS-63/2G	30	63						QY□S-250G 调节柜
QYIS-100/2G	52	100						800×660×1464 调压柜
QYIS-160/2G	75	160	0-380	$D \geq 10$	+50% $n_0$ -50% $n_0$	< 5%	≤ 250	800×660×1700 继电器柜
QYIS-200/2G	96	200						1000×500×1600 接触器柜
QYIS-250/2G	100	250						1000×500×1600

表 A-2 KJT 型可控硅交流调压调速装置

型号意义:



用途:KJT型可控硅交流调压调速装置是以JZR、JZR<sub>2</sub>系列绕线式电动机为主要控制对象的电气控制设备,适合高层建筑用塔式起重机卷扬、回转、小车三机构的调速,同样适用于其他建筑、港口、桥式起重机上重复短时工作制的拖动系统的调速。

技术参数:

型号	控制容量 (kW)	调速范围 $D = n_{max}/n_{min}$	最低速静差率	堵转力矩	起动时间 (s)	制动时间 (s)	正反转 时间 (s)	电网电 压幅值 (V)
KJT	2.2~4.5	$\geq 20$	$\delta \leq 5\%$ $(n = \frac{1}{15} n_{max}$ 时)	MDY $\geq 2MH$ (JC=25%时)	$t_{qd} \leq 0.45$	$t_{zd} \leq 0.5$	$t_{zf} \leq 1$	380(±10%)

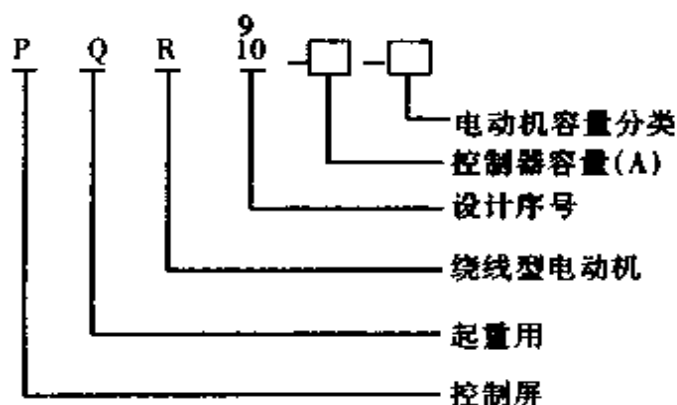
表 A-3 YYT 系列调压调速电动机

技术参数:

机座号	额定转矩 (N·m)	调速范围 (r/min)	转速变化率 小于等于 (%)
YYT90S-4	2	1250~125	1
YYT90L-4	3.0		
YYT100L <sub>1</sub> -4	3.5		
YYT100L <sub>2</sub> -4	5.0		
YYT112M-4	8.5		
YYT132S-4	15		
YYT132M-4	20		
YYT160M-4	40		
YYT160L-4	60		

表 A-4 PQR<sub>10</sub><sup>9</sup> 系列起重机控制屏

型号意义:



用途: PQR<sub>10</sub><sup>9</sup>系列控制屏主要用于控制起重机交流绕线型电动机的起动、调速、换向及制动,它与LK14型主令控制器配合使用。起重机的电流为交流50Hz,电压至380V,其工作制为通电持续率=40%,每小时操作次数不大于600次的反复短时工作制。

技术参数:

控制对象	型 号	被控电动机功率 (kW)	电流继电器额定电 流(A)	接触器额定电流 (A)		外形尺寸 (mm)	
				定子	转子	高	宽
平移机构控制屏	PQR9-150-I	11	30	150	60	1600	500
	PQR9-150-H	16	40	150	60	1600	500
	PQR9-150-G	22	60	150	60	1600	500
	PQR9-250-F	30	75	250	60	1600	800
	PQR9-250-E	40	100	250	100	1600	800
	PQR9-250-D	50~65	150	250	100	1600	800
	PQR9-250-C	80~100	200	250	150	1600	800
升降机构控制屏	PQR10-150-H	16	40	150	60	1600	800
	PQR10-150-G	22	60	150	60	1600	800
	PQR10-250-F	30	75	250	60	1600	800
	PQR10-250-E	40	100	250	100	1800	800
	PQR10-250-D	50~65	150	250	100	1800	800
	PQR10-250-C	80~100	200	250	150	1800	800
	PQR10-400-B	125	300	400	150	1800	800
	PQR10-600-A	160	600	600	250	1800	800

表 A-5 天津电气传动设计研究所晶闸管串级调速装置

技术参数:

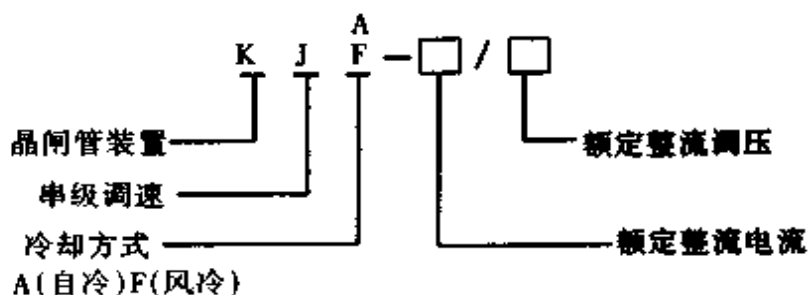
适用电动机		装置	装置	调速比	调速精度	主回路接线	控制方式
型号	容量 (kW)	直流电压 (V)	直流电流 (A)				
JZR 71-10	63	397	158.6	10:1	<1%	三相桥	开环
JRQ 1512-10	480	300	520	1:1.3	<5%	三相桥	开环
JRQ-158-6	550	362	630	1:1.4	±1.5%	双桥串接	速度、压力参量双闭环
JR 1512-8	630	304	556	1:1.4	±3%	双桥串接	速度、压力参量双闭环
YR 143/58-10	1250	580	665	1:1.43	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环
YR 2500/2150-10	2500	482	1580	1:1.3	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环
JRZ 800-16	800	621	900	1:1.3	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环

技术特点:

装置的逆变线路分三相桥和三相桥串接叉相控制两类,后者目的是提高装置本身的功率因数。装置各种保护功能齐全,具有瞬时停电保护,适于恒转矩负载和平方转矩负载,并具有按参量(压力、速度等)控制的闭环系统结构。

表 A-6 KJA 系列串级调速装置

型号意义:



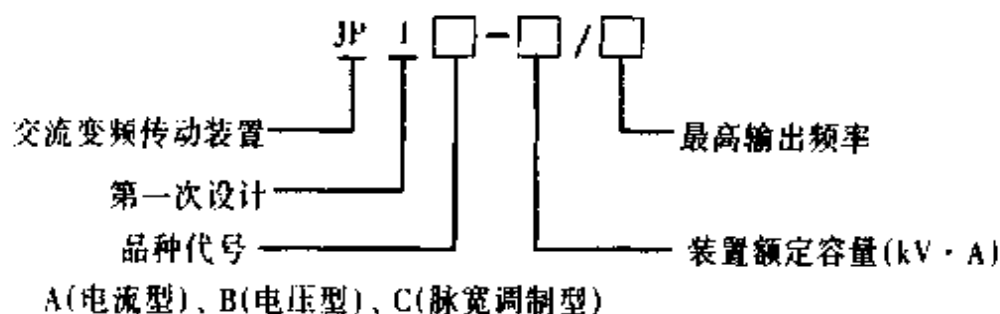
技术参数:

型号	适用电动机				调速比	直流 电 流 (A)	直 流 电 压 (V)	逆变变压器				外型尺寸 高×宽×深 (mm)
	型号	功率 (kW)	转子 电压 (V)	转子 电流 (A)				$U_1$ (V)	$U_2$ (V)	$I_2$ (A)	容量 kV·A	
KJA-100/115	JR-81-6	28	276	67	1.4:1	100	115	380	96	90	15	1676×860 ×600
	JR <sub>3</sub> -180IM-4	22	166	85	2:1	100	115	380	96	90	15	
	JR <sub>3</sub> -200M-4	30	265	69	1.45:1	100	115	380	96	90	15	
KJF-450/290	JR137-10	151	351	283	2.56:1	450	290	380	250	430	185	2200×830 ×1060
	JR128-8	151	340	290	2.77:1							
	JR138-10	160	387	300	2.27:1							
	JR136-8	150	353	325	1.85:1							
	JR137-8	210	392	341	2.17:1							
	JR138-8	245	443	355	2.00:1							
	JR137-6	200	490	361	2.17:1							
	JR136-6	240	407	370	2.00:1							
		177	390	270	1.69:1							
	JR0147-8	200	403	318	2.00:1							
JR0148-8	240	442	346	2.22:1								

表 A-7 交流变频调速装置

分电压型、电流型与脉宽调制型(PWM)三个品种

产品型号:





JP<sub>1</sub>A 装置主要技术参数:

型 号	JP <sub>1</sub> A-125/70	JP <sub>1</sub> A-250/70	JP <sub>1</sub> A-500/70	JP <sub>1</sub> A-1000/70	JP <sub>1</sub> A-1250/70	JP <sub>1</sub> A-1500/70
三相额定输入电压(V)	380	380	415	460	500	660
额定输入频率(Hz)	50±2%	50±2%	50±2%	50±2%	50±2%	50±2%
额定输出容量(kV·A)	125	250	500	1000	250	1500
三相额定输出电压(V)	380	380	415	400	500	660
输出频率(Hz)	5~70					
频率精度(%)	±0.5(最高频率,20℃时)					
额定输出电流(A)	100	380	695	1255	1440	1310
一分钟内允许 过载电流(A)	1.5倍额定电流					
频率调节方式	机内或外部控制					
冷却方式	强迫通风					

JP<sub>1</sub>C 主要技术参数:

型 号	JP <sub>1</sub> C- 55/100	JP <sub>1</sub> C- 11/100	JP <sub>1</sub> C- 22/100	JP <sub>1</sub> C- 28/100	JP <sub>1</sub> C- 40/100	JP <sub>1</sub> C- 47/100	JP <sub>1</sub> C- 72/100
三相额定输入电压(V)	380±10%						
额定输入频率(Hz)	50±2%						
额定输出容量(kV·A)	5.5	11	22	28	40	47	72
三相额定输出电压(V)	380(最大)						
输出频率(Hz)	3~50(最大100)						
频率精度(%)	±0.5(最高频率)						
额定输出电流(A)	8.5	17	33	43	60	71	110
允许过载倍数	1.5倍额定电流(1min)						
频率调节方式	本机、外控均为无级						
冷却方式	强迫通风						

JP<sub>3</sub>C 装置主要技术参数:

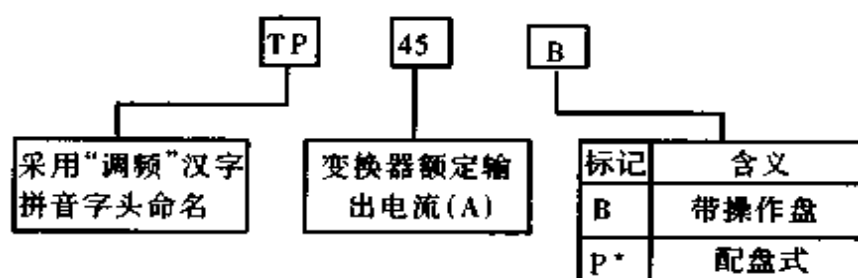
型 号	JP <sub>3</sub> C-50/70	JP <sub>3</sub> C-100/70	JP <sub>3</sub> C-150/70	JP <sub>3</sub> C-200/70
三相额定输入电压(V)	380±10%			
额定输入频率(Hz)	50±2%			
额定输出容量(kV·A)	50	100	150	200
三相额定输出频率(Hz)	360(最大)			
频率精度(%)	0~70 ±0.5(最高频率)			
额定输出电流(A)	80	160	240	320
允许过载电流倍数	1.5倍额定电流(1min)			
频率调节方式	本机、外控均为无级			
冷却方式	强迫通风			

表 A-8 TP 系列变频调速器

规格构成:

型 号	TP-8	TP-11	TP-15	TP-22	TP-30	TP-38	TP-45
额定输出电流(A)	8	11	15	22	30	38	45
适用电机功率(kW)	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22
型 号	TP-55	TP-69	TP-83	TP-104	TP-138	TP-206	TP-275
额定输出电流(A)	55	69	83	104	138	206	275
适用电机功率(kW)	30	37	45	55	75	110	132

型号意义:



技术参数及性能指示:

输入电源	相数	三 相
	电压和频率	380V(+10%~15%) 50Hz±2Hz
控 制	控制方式	正弦波 PWM 控制
	输出电压	三相 380V(最高) 注:输出电压正比于输入电压
	输出频率	0.5~67Hz 0.5~80Hz 上至 1~160Hz 2~320Hz
	频率精度	最高频率的±0.5%(25℃±10℃)
	压频比	V/f一定:至 50Hz 或 60Hz; V一定:50Hz 或 60Hz 以上
	过载能力(电流)	110%连续, 150% 30s(注: TP-138、TP-206、TP-275 110% 连续; 130% 30s)
	频率设定信号	DC:0~12V/DC:4~20mA(可切换)
	交换效率	约 95%

续表

输入电源	相数	三 相
	电压和频率	380V(+10%~15%) 50Hz±2Hz
功 能	加速/减速时间	1~20s(精度±20%)加速减速可分别设定(可延长至120s; TP-206、TP-275可延长至200s)
	制 动	电容充电制动20%以上(配再生能量放电装置后可达70%)
	起 动	由外接触器1a接点起动,如果外接触器断开,电动机处于自由运转状态
	正转/反转	可用外接触器切换
	输出频率的上/下限	频率基准可用电位器分别设定
保护机能	保 护	失速保护、接地保护、过电流保护、过电压保护、DBR 过热保护、瞬时停电(15ms)保护、短路保护、熔断器烧损保护
	故障输出信号	过电流、过电压、欠电压、短路等保护时由接触器1C接点输出(1C:FL)
	故障复位	由印刷电路板上的复位按钮和外接触器1a实现(1a:MC)
显 示	输出频率	输出频率由三位七段LED显示
	故 障	接地、过电流、过电压、欠电压、DBR 过热时由LED显示
	电容充电	电容充电由印刷电路板上的发光二极管显示
输出端子	频率表	DC1mA 满度
	安培表	DC1mA 满度
周围环境	设置场所	室内 注:无腐蚀性气体,无尘埃
	周围温度	-10℃~40℃(无盖时-10℃~50℃)
	相对湿度	90%以下,无凝露
	振 动	0.5G以下(10~50Hz),0.1mmpp以下(50~100Hz)
结 构 型 式		壁挂型带前盖(TP-8~138);放置型带前盖(TP-206~275)

表 A-9 BPTS 变频器

主要技术特点:

1. 采用数字 PWM 调制技术;
2. 独创的面板键盘设定技术,既方便了用户,又提高了装置的可靠性;
3. 独创的能耗制动技术能在大惯量负载下转速由高速制动到零;
4. 完善的抗干扰及保护措施,使装置具有高度可靠性,能顺利通过下列试验:

(1) 大惯量负载频繁起制动正反转试验,试验条件:

$GD^2 = 3.55 \text{kgm}^2$       周期:8s      转速:1500r/min

电机功率:5.5kW

装置反复运行 40h,完好无损。

(2) 各种完善的保护功能,特别是短路保护(对地及相间短路)保护成功率为 100%。

(3) 抗干扰性能符合 GB3797-83,能在 1000V 高频干扰脉冲下可靠工作。

(4) 在电网接有其他各种电机作满负载频繁起制动的严重现场干扰情况下变频器能可靠运行。

规格、性能:

项 目		内 容									
型号		BPTS-E <sub>2</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>10</sub>	E <sub>15</sub>	E <sub>20</sub>	E <sub>30</sub>	E <sub>40</sub>	E <sub>50</sub>	E <sub>60</sub>	E <sub>75</sub>
装置容量(kV·A)		2	6	10	15	20	30	40	50	60	75
适用电动机(kW)		1.5	4	7.5	11	15	22	30	37	45	55
额定电流(A)		4	8	16	27	29	43	58	72	87	108
输 入	电 压	3 相 380V(±10%)									
	频 率	50/60Hz									
输 出	调制方式	正弦脉宽调制 PWM									
	电 压	3 相 380V(最大)									
出	频率范围	0.6~125Hz									
	频率精度	±0.5%									
设 定	频 率	四 段									
	电压/频率	8 条曲线 U <sub>1</sub> ~U <sub>8</sub>									
定	升降速时间	0.6~80s									
保护功能		过压、欠压、过流、短路、失速									
显 示		四位 LED									
特殊功能		1. 频率跟随再生发电能耗制动,可在大惯量负载情况下速度迅速制动到 0;2. 转速、线速度记数显示等									
外部设定信号		0~5V 4~20mA									
环 境	湿 度	90% 以下(无水珠凝结现象)									
	温 度	-10℃~40℃									
境	振 动	0.5G 以下									
安装方式		挂 壁 式									
冷却方式		自然冷却	强 制 风 冷								

## 第 九 篇

# 常用电子技术及元器件

本篇主编 王芳卿  
编写人 王芳卿  
谭克勤  
季宝麟  
段鸿昌  
林海  
刘锐  
何弋



# 第一章 二极管、三极管及其应用

## 1 半导体器件型号命名方法

半导体器件可分为两大类:分立器件和集成电路。本章主要介绍分立器件中的二极管和三极管。其命名方法按 GB249-74 规定。为便于读者对国外分立器件的应用,本节还列出美国、日本、欧洲及前苏联等国的半导体分立器件型号命名方法。

### 1.1 国产半导体分立器件型号命名法

它由五部分组成。每部分的含义如下:

第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分	
阿拉伯数字	汉语拼音字母	汉语拼音字母	阿拉伯数字	汉语拼音字母	
↓	↓	↓	↓	↓	
表示电极的数目	表示材料和极性	表示器件的类型	表示器件的序号	表示器件的规格	
【例 1】	2 二极管	C 硅 N 型	P 普通管	11 序号	A 规格
【例 2】	3 三极管	D 硅 P 型	G 高频小功率管	6 序号	C 规格

有些半导体分立器件型号命名省缺第一、二部分。它们是光电耦合管、场效应管、复合管(特林顿管)、激光管等。

【例】	GD	213
	光电耦合管	序号

表 9.1.1 列出了国产半导体分立器件型号命名法的前三部分符号及含义。

表 9.1.1 国产半导体分立器件型号命名法的前三部分符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分	
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类别	
符号	意义	符号	意义	符号	意义
2	二极管	A	N型、锗材料	P	普通管
		B	P型、锗材料	V	微波管
		C	N型、硅材料	W	稳压管
		D	P型、硅材料	C	参量管
3	三极管	A	PNP型、锗材料	Z	整流管
		B	NPN型、锗材料	L	整流堆
		C	PNP型、硅材料	S	隧道管
		D	NPN型、硅材料	N	阻尼管
		E	化合物材料	U	光电器件
				K	开关管
				X	低频小功率管 ( $f_c < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )
				G	高频小功率管 ( $f_c \geq 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )
				D	低频大功率管 ( $f_c < 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )
				A	高频大功率管 ( $f_c \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )
				T	可控整流器(半导体整流管)
				Y	体效应器件
				B	雪崩管
		J	阶跃恢复管		
		CS	场效应器件		
		BT	半导体特殊器件		
		FH	复合管		
		PIN	PIN型管		
		JG	激光器件		

## 1.2 美国半导体分立器件型号命名法

它是按美国电子工业协会(EIA)电子元件联合会(JEDEC)制定的标准命名的。由五部分组成:第一部分为前缀;第二、三、四部分为型号的基本部分;第五部分是后缀。各部分的符号及含义见表 9.1.2





### 1.3 日本半导体分立器件型号命名法

它由五个基本部分及附加后缀字母或符号组成,后缀用来进一步说明器件的特点,由各器件生产厂自己规定。五个部分的符号及含义见表 9.1.3。

表 9.1.3 日本半导体分立器件型号命名法的各部分符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分	
用数字表示器件有效电极数目或类型		日本电子工业协会 (JEIA) 注册标志		用字母表示器件使用材料极性和类型	
符号	意义	符号	意义	符号	意义
0	光电二极管或三极管及包括上述器件的组合管	S	已在日本电子工业协会 (JEIA) 注册登记的半导体器件	A	PNP 高频晶体管
1	二极管			B	PNP 低频晶体管
2	三极管或具有三个有效电极的其他器件			C	NPN 高频晶体管
3	具有四个有效电极的器件			D	NPN 低频晶体管
$n$	具有 $n$ 个有效电极的器件			F	P 控制极晶闸管
				G	N 控制极晶闸管
				H	单结晶体管
				J	P 沟道场效应管
				K	N 沟道场效应管
				M	双向晶闸管
第四部分		第五部分			
器件在日本电子工业协会 (JEIA) 的登记号		同一型号的改进型产品标志			
符号	意义	符号	意义		
多位数字	这一器件在日本电子工业协会 (JEIA) 的注册登记号性能相同,不同厂家生产的器件可以使用同一个登记号	A	表示这一器件是原型号产品的改进产品		
		B			
		C			
		D			
		⋮			

【例 1】	2	S	D	882
	三极管	JEIA注册标志	NPN低频晶体管	JEIA登记号

【例 2】	2	S	B	1000
	三极管	JEIA注册标志	PNP低频晶体管	JEIA登记号

## 1.4 欧洲各国半导体分立器件型号命名法

欧洲各国除采用 JEDEC 命名法外,较多采用国际电子联合会的命名法。它由四个基本部分组成。各部分的符号及含义列于表 9.1.4(见第 2226 页)。

【例 1】	B	D	247
	硅材料	低频大功率三极管	通用器件登记序号

【例 2】	B	F	Y26
	硅材料	高频小功率三极管	专用器件登记序号

在国际电子联合会的命名法中,为进一步标明器件的特性,常加后缀。后缀与基本部分间用破折号隔开。常见的后缀有以下几种:

(1)稳压二极管的后缀由三部分组成。第一部分为字母,表示标称稳压值的允许误差范围。详见表 9.1.5。

后缀的第二部分是数字,表示标称稳定电压的整数。后缀的第三部分由字母 V 和数字组成,V 表示小数点,V 后的数字为标称稳定电压的小数值。

表 9.1.5 标称稳压值符号及其允许误差范围

符 号	A	B	C	D	E
允许误差(%)	±1	±2	±5	±10	±15

(2)整流二极管的后缀是数字,表示该器件的最大反峰耐压值,单位为 V。

(3)晶闸管的后缀是数字,表示最大反峰耐压和最大反向关断电压中数值小的那个电压值,单位为 V。

表 9.1.4 国际电子联合会半导体分立器件型号命名法的各部分符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用字母表示器件使用的材料		用字母表示器件的类型及主要特性		用数字或字母加数字表示登记号		用字母对同一类型号器件进行分档	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
A	器件使用禁带为 0.6 ~ 1.0eV 的半导体材料如锗	A	检波二极管, 开关二极管, 混频二极管	三位数字	代表通用半导体器件的登记序号(同---类型)的器件使用一个登记号	A	表示同一类型号的半导体器件按某一参数进行分档的标志
B	器件使用禁带为 1.0 ~ 1.3eV 的半导体材料如硅	B	变容二极管	一个字母三位数字	代表专用半导体器件的登记序号(同---类型)的器件使用一个登记号	B	
C	器件使用禁带为大于 1.3eV 的半导体材料如砷化镓	C	低频小功率三极管 $R_{(th)lc} > 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$			C	
D	器件使用小于 0.6eV 的半导体材料如锡化铟	D	低频大功率三极管 $R_{(th)lc} \leq 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$			D	
R	器件使用复合材料, 如霍尔元件光电池使用的材料	E	隧道二极管			E	
		F	高频小功率三极管 $R_{(th)lc} > 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		G	复合器件及其他器件				
		H	磁敏二极管				
		K	开放磁路中的霍尔元件				
		L	高频大功率三极管 $R_{(th)lc} \leq 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		M	封闭磁路中的霍尔元件				
		P	光敏器件				
		Q	发光器件				
		R	小功率晶闸管 $R_{(th)lc} > 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		S	小功率开关管 $R_{(th)lc} > 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		T	大功率晶闸管 $R_{(th)lc} \leq 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		U	大功率开关管 $R_{(th)lc} \leq 15^{\circ}\text{C}/\text{W}$				
		X	倍增二极管				
		Y	整流二极管				
		Z	稳压二极管				

## 1.5 前苏联半导体分立器件型号命名法

前苏联先后推出三个命名法标准,这里介绍第三个标准。它是1973年实行的前苏联国家标准(ГОСТ)10862-72。该标准由四个基本部分组成。其符号及含义见表9.1.6。

表 9.1.6 前苏联半导体分立器件型号命名法的各部分符号及含义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用字母或数字表示器件使用材料		用字母表示器件的类型		用数字表示器件基本参数分类		用字母对同一型号分挡	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
Г 或 1	锗或锗的化合物	Т	三极管	101 ⋮ ⋮ 999	(见表 9.1.7)	А	代表同一型号的不同挡别
		П	场效应管			Б	
Д	二极管	В					
Ц	整流器件	Г					
А	特高频二极管	Д					
К 或 2	硅或硅的化合物	В	变容二极管			Е	
		И	隧道二极管			Ж	
		Н	晶闸管			⋮	
		У	双向晶闸管			⋮	
А 或 3	镓或镓的化合物	Л	发光器件				
		Г	噪声发生器				
		Б	体效应器件				
		К	稳流管				
		С	稳压管				
		Ф	光电器件				

【例 1】 1      Т      841      Г  
 锗材料      三极管      中频大功率管      1Т841型中Г挡

【例 2】 К      Т      651      А  
 硅材料      三极管      高频中功率管      КТ651型中А挡

其中第三部分用三位有效数字表示(见上面两例)。此数字及对应的含义列于表 9.1.7 中。

表 9.1.7 前苏联半导体分立器件型号命名法的第三部分符号及含义

A 三极管与场效应管	
101~199	低频( $f_T \leq 3\text{MHz}$ )小功率( $P_{CM} \leq 0.3\text{W}$ )管
201~299	中频( $3\text{MHz} < f \leq 30\text{MHz}$ )小功率( $P_{CM} \leq 0.3\text{W}$ )管
301~399	高频与特高频( $f > 30\text{MHz}$ )小功率( $P_{CM} \leq 0.3\text{W}$ )管
401~499	低频( $f_T \leq 3\text{MHz}$ )中功率( $0.3\text{W} < P_{CM} \leq 1.5\text{W}$ )管
501~599	中频( $3\text{MHz} < f_T \leq 30\text{MHz}$ )中功率( $0.3\text{W} < P_{CM} \leq 1.5\text{W}$ )管
601~699	高频与特高频( $f_T > 30\text{MHz}$ )中功率( $0.3\text{W} < P_{CM} \leq 1.5\text{W}$ )管
701~799	低频( $f_T \leq 3\text{MHz}$ )大功率( $P_{CM} > 1.5\text{W}$ )管
801~899	中频( $3\text{MHz} < f_T \leq 30\text{MHz}$ )大功率( $P_{CM} > 1.5\text{W}$ )管
901~999	高频与特高频( $f_T > 30\text{MHz}$ )大功率( $P_{CM} > 1.5\text{W}$ )管
B 二极管	
101~199	小功率( $I_F \leq 0.3\text{A}$ )整流二极管
201~299	中功率( $0.3\text{A} < I_F \leq 10\text{A}$ )整流二极管
301~399	大功率( $I_F > 10\text{A}$ )整流二极管
401~499	低频( $f_T < 1\text{kHz}$ )通用二极管
501~599	低速( $\tau > 150\text{ns}$ )开关管
601~699	中速( $30\text{ns} < \tau < 150\text{ns}$ )开关管
701~799	高速( $5\text{ns} < \tau < 30\text{ns}$ )开关管
801~899	高速( $1\text{ns} < \tau \leq 5\text{ns}$ )开关管
901~999	超高速( $\tau \leq 1\text{ns}$ )开关管
C 整流器件	
101~199	小功率( $I_F \leq 0.3\text{A}$ )整流柱
201~299	中功率( $0.3\text{A} < I_F \leq 10\text{A}$ )整流柱
301~399	小功率( $I_F \leq 0.3\text{A}$ )整流堆
401~499	中功率( $0.3\text{A} < I_F \leq 10\text{A}$ )整流堆
D 特高频二极管	
101~199	混频管
201~299	检波管
401~499	参量管
501~599	调制管
601~699	阶跃管
701~799	振荡管
E 隧道二极管	
101~199	放大管
201~299	振荡管
301~399	开关管
401~499	反向管
F 变容二极管	
101~199	电调谐管
201~299	阶跃管

## 2 半导体二极管的应用

### 2.1 半导体二极管

#### 2.1.1 工作原理

半导体二极管是由 P 型和 N 型半导体组成的 P-N 结,其结构见图 9.1.1a,符号  $\rightarrow$ 。P-N 结有单向导电性能,当 P 端外接电位高于 N 端时,二极管呈现极小的电阻特性,此时 P-N 结加的电压称正向电压,二极管处于正向导通态;当 N 端外接电位高于 P 端时,二极管呈现很高的阻性,称为反向阻断。当反向电压超过某定值时,P-N 结也会呈现低阻性,电流突然增加,称为反向击穿。通常是不允许在这种情况下运行的,因这样会造成二极管永久性损坏。二极管的单向导电性能常用伏安特性表示。图 9.1.1b 为某型号二极管的伏安特性。

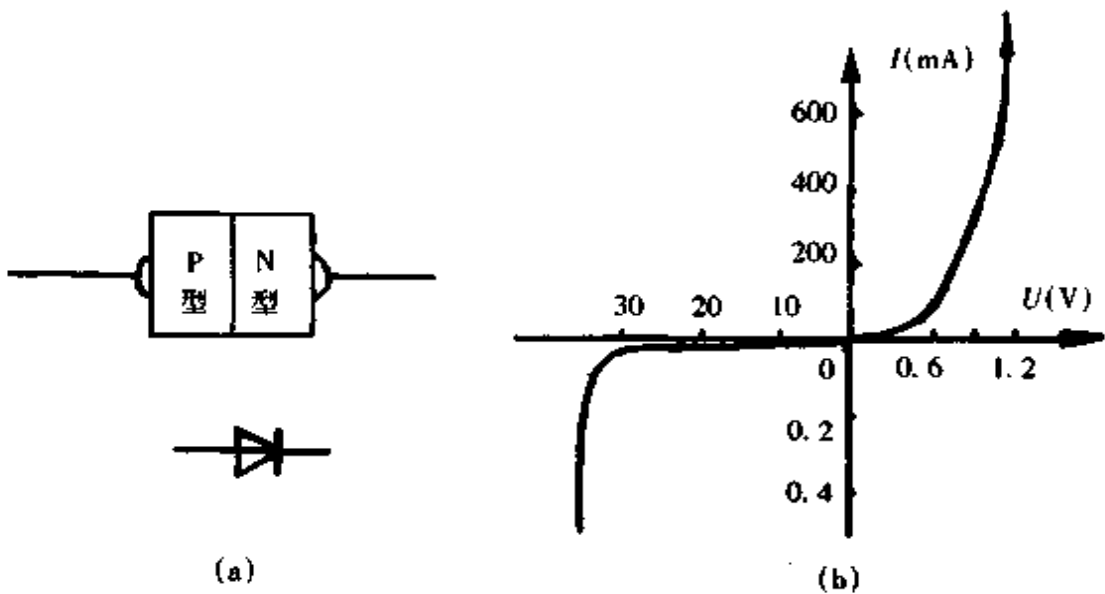
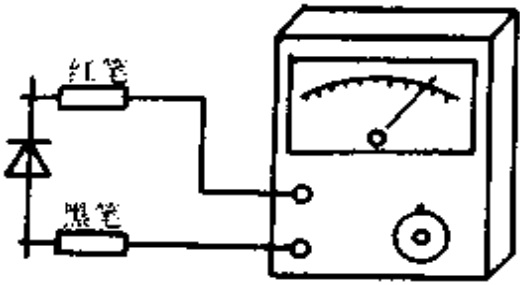
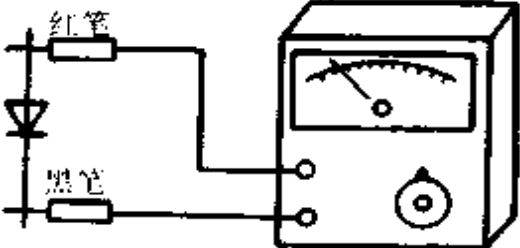


图 9.1.1 二极管的结构、符号及伏安特性  
(a)结构与符号 (b)伏安特性

#### 2.1.2 简易测试

实际应用常需判断二极管是否损坏和二极管的 P-N 结的极性。根据二极管的单向导电性,可用万用电表进行简易测试。具体方法见表 9.1.8。

表 9.1.8 二极管性能简易测试法

项目	测试方法	正常数据	测试结果
正向电阻		几百欧 至几千欧	<p>极性判别: 在正常数据范围内, 万用电表黑笔对应连接的是二极管阳极(P)</p> <p>好坏判别: 表针不动, 二极管为断路; 电阻值为零, 二极管可能已击穿</p>
反向电阻		几百千欧 以上	<p>极性判别: 在正常数据范围内, 万用电表红笔连接的是二极管的阴极(N)</p> <p>好坏判别: 表针不动, 二极管已断开; 电阻值接近零, 二极管已击穿</p>

注: 1. 不同型号管子测试时, 万用电表欧姆挡的量程要选择

2. 一般正、反向电阻相差大的, 二极管的性能就佳。

### 2.1.3 几种常用二极管及其主要技术参数

二极管的种类较多, 不同用途的二极管的材料、工艺和结构也不相同。其性能指标和技术参数也有差别。常见的有整流二极管、检波二极管、稳压二极管及发光二极管等。它们的主要技术参数如下所述。

#### 2.1.3.1 整流二极管的主要技术参数

(1) 额定正向平均电流( $I_F$ ): 在环境温度为  $40^\circ\text{C}$  和规定的冷却条件下, 在阻性负载的单相工频正弦半波电路中, 允许连续通过整流二极管的最大正向平均电流。

(2) 正向压降( $V_F$ ): 整流二极管通过额定正向平均电流时, P-N 结产生的电压降。

(3) 最高反向工作电压( $V_R$ ): 整流二极管所允许的最大反向重复峰值电压。其值为伏安特性反向段的急剧弯曲点电压的三分之二。

(4) 反向漏电流( $I_R$ ): 在正弦半波最高反向工作电压下的漏电流的平均值。

(5) 正向浪涌电流( $I_{FSM}$ ): 整流二极管在额定正向平均电流下稳定后, 所能承受的最大过载电流的峰值。

(6) 额定结温( $T_{JM}$ ): 在规定的使用条件下, 允许的 P-N 结的最高温度。

整流二极管的最高反向工作电压( $V_R$ )可分为 22 挡, 用符号 A~X 表示。其对应的电压见表 9.1.9。有些整流二极管用色环表示最高反向工作电压等级。色



环与电压对应关系见表 9.1.10。

表 9.1.9 整流二极管最高反向工作电压分档

符号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
$V_R$ (V)	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000

表 9.1.10 色环与最高反向工作电压对应表

色环	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰
$V_R$ (V)	30	100	200	300	400	500	600	700	800

整流二极管在应用时应注意:正向电流和反向峰值电压不可超过额定值。对于容性负载,额定正向平均电流应降低使用;对于感性负载则二极管的最高反向电压应选择高于阻性负载的 1.5~2 倍。大功率整流二极管应按规定加装散热片和必要的通风(水)冷却设备。

### 2.1.3.2 检波二极管的主要技术参数

- (1)正向电流( $I_F$ ):在规定的正向电压( $V_F$ )条件下,通过的电流。
- (2)反向工作电压( $V_R$ ):在通过规定的反向电流时,极间产生的电压。
- (3)反向峰值击穿电压( $V_R$ ):在给定的反向电流下的电压值。
- (4)反向直流电流( $I_R$ ):测反向特性时所给定的反向电流值。
- (5)最大正向电流( $I_{CM}$ ):在规定的条件下,能承受的最大正向瞬时电流。
- (6)检波效率( $\eta$ ):检波二极管输入端加上规定的正弦电压(峰值)时,输出端的直流电压与输入端电压之比。
- (7)浪涌电流( $I_{SR}$ ):通过检波二极管正向脉动电流的最大值。
- (8)极间电容( $C_j$ ):二极管两端加规定偏压时,检波管的总电容。

2.1.3.3 稳压二极管的主要技术参数 稳压二极管伏安特性的特点是反向击穿区曲线陡直。在一定的击穿电流范围内,管子两端的压降变化很小。而且在这范围内管子不会损坏。稳压二极管就是工作在击穿区达到稳压目的的。其主要技术参数有:

- (1)稳压值( $V_Z$ ):稳压二极管通过规定的反向电流时两极间产生的压降。
- (2)最大耗散功率( $P_{ZM}$ ):在给定条件下,稳压二极管允许承受的最大功率。
- (3)最大工作电流( $I_{ZM}$ ):在最大耗散功率下,稳压管允许通过的电流。 $I_{ZM} \approx P_{ZM}/V_Z$ 。
- (4)动态电阻( $R_Z$ ):在测试电流下,稳压二极管的电压微小变量与由此而产生的电流微小变量之比值。(显然,动态电阻愈小,反向击穿特性就愈陡,稳压作用也就愈佳。)

- (5)电压温度系数( $C_{TV}$ ):在测试电流下,稳定电压的相对变化与环境温度的

绝对变化之比值。

(6)反向测试电流( $I_Z$ ):又称稳定电流,它是指测试反向电参数时,给定的反向电流。

应用稳压二极管时要避免并联运行,因为稳压值的微小差异都会加重电流分配的不均,造成电流大的管子负担过重而损坏。

2.1.3.4 发光二极管的主要技术参数 发光二极管是电—光变换器件,英文缩写为LED。它是利用正向电流通过时,在PN结中产生热和光,使一层粘附着的磷化物受激励而发出可见光,不同材料的半导体在不同电流(电压)下发出光的颜色和强度也不一样。图9.1.2为发光二极管的电流—亮度特性曲线例。从曲线可知,当电流小于某值时亮度很小。以后电流与亮度几乎成线性变化。当电流大到一定程度,亮度变化又小起来,直到饱和。

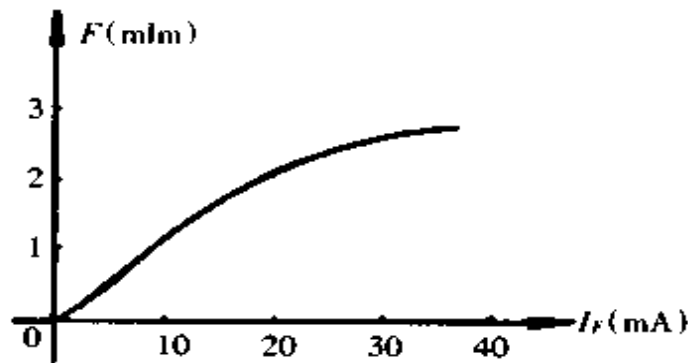


图 9.1.2 发光二极管的电流—亮度特性曲线例

发光二极管的技术参数由电参数和光参数两类组成。电参数与一般二极管的主要参数相似。如:最大工作电流( $I_{FM}$ )、最大功耗( $P_M$ )、反向耐压( $V_R$ )等。其光参数有光亮度( $F$ )、波长( $\lambda$ )等。

发光二极管的反向击穿电压较低,在使用时要防止过高的反向电压加在管子上。另外发光二极管的最大工作电流受环境温度影响较大,不宜在高温中运行。

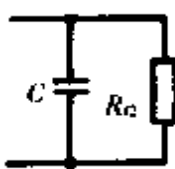
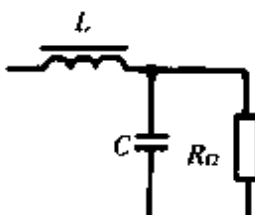
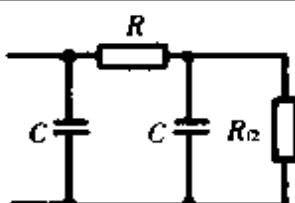
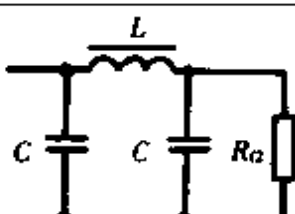
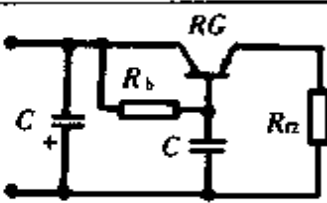
## 2.2 二极管的应用

### 2.2.1 整流

利用二极管的单向导电性能可组成各种整流电路。常用的有单相半波、全波、桥式及倍压等整流电路以及三相半波和桥式整流电路。各种电路及其主要参数见表9.1.12。

为使直流电压更为平稳,常在整流电路后加滤波器。常用的无源滤波器有电容型、电感型、阻容型、 $\Gamma$ 型和 $\Pi$ 型等。表9.1.11列出常用无源滤波电路及其性能比较。

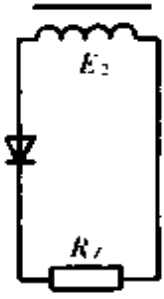
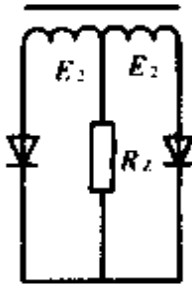
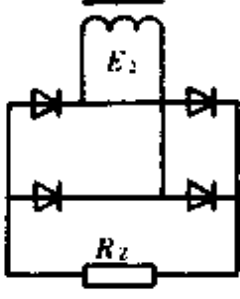


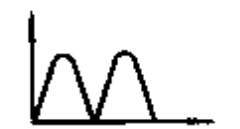
表 9.1.11 常用无源滤波器电路及其性能比较

电路型式	优点	缺点	适用场合
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 输出电压高</li> <li>2. 小电流时滤波效果较好</li> <li>3. 结构简单</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负载变动时输出电压变动大</li> <li>2. 电源起动时充电电流大, 使整流器承受很大的正向浪涌电流</li> </ol>	负载电流较小的场合
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 带负载能力好</li> <li>2. 大电流时滤波效果好</li> <li>3. 和电容滤波相比整流器不受浪涌电流的损害</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负载电流大时, 需要体积和重量很大的电感, 才能有较好的滤波效果</li> <li>2. 输出电压低</li> <li>3. 当负载电流变动时, 电感上产生的反电动势可能击穿整流管</li> </ol>	负载电流大而且变动大的场合
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 结构简单</li> <li>2. 能兼起降压限流的作用</li> <li>3. 滤波效果较好</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 带负载能力差</li> <li>2. 有直流电压损失</li> </ol>	负载电阻大, 电流较小, 要求脉动很小的场合
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 滤波效果好</li> <li>2. 输出电压高</li> </ol>	体积较大, 成本高	负载电流大, 要求脉动很小的场合
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 体积小、重量轻</li> <li>2. 滤波效果好</li> </ol>	当负载电流较大时, 就需要用大功率晶体管和散热片, 失去了原有的优点	负载电流小

### 2.2.2 检波

利用二极管正向特性的非线性, 可把原始信号从调制的信号中取出来。按不同的调制方式, 检波可分为振幅检波、频率检波和相位检波等。由于调制的信号频率较高, 所以要求检波二极管有优良的频率响应特性。应选用 P-N 结电容较小的点接触式二极管, 如 2AP 或 2AK 等管子。常用的检波电路见表 9.1.13。

表 9.1.12 几种常用整流

电路名称	单相半波	单相全波	单相桥式
线路图			
输出波形			
输出直流电压 $U_2$	$0.45E_2$	$0.9E_2$	$0.9E_2$
输出直流电流 $I_2$	$0.45 \frac{E_2}{R_L}$	$0.9 \frac{E_2}{R_L}$	$0.9 \frac{E_2}{R_L}$
二极管承受最大反向电压	$1.41E_2$	$2.83E_2$	$1.41E_2$
流过每只二极管平均电流	$I_L$	$\frac{1}{2} I_L$	$\frac{1}{2} I_L$

电路及其主要技术参数

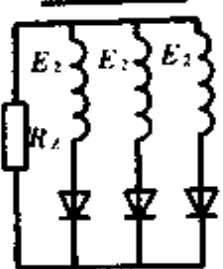
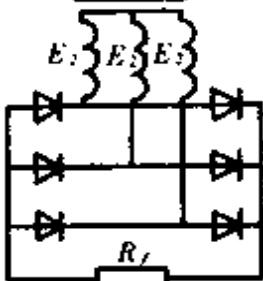
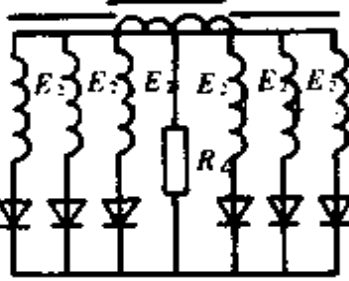
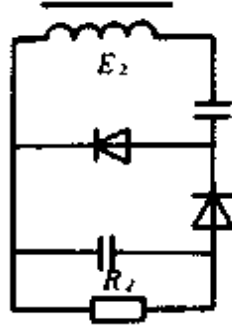



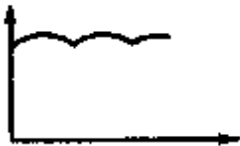
三相半波	三相桥式	六相双反星形	单相倍压
			
			
$1.17E_2$	$2.34E_2$	$1.17E_2$	$2.24E_2$
$1.17 \frac{E_2}{R_L}$	$2.34 \frac{E_2}{R_L}$	$1.17 \frac{E_2}{R_L}$	$2.24 \frac{E_2}{R_L}$
$2.45E_2$	$2.45E_2$	$2.45E_2$	$2.83E_2$
$\frac{1}{3} I_L$	$\frac{1}{3} I_L$	$\frac{1}{6} I_L$	$I_L$

表 9.1.13 几种常用的检波电路

名称		鉴 频 器	
幅度检波电路 (包络检波器)		斜率鉴频器	
		双失谐鉴频器	
名称	幅度检波电路 (包络检波器)	单失谐鉴频器	双失谐鉴频器
电路图			
原理要点	由二极管作非线性元件,电容 C 作低通滤波器组成	利用单失谐回路的输出振幅随瞬时频率而变化原理,达到频率→幅度变换,再用包络检波器检出信号	用双失谐回路特性重叠后得到鉴频特性,实现频率→幅度变换。再用包络检波器检出信号
特点	简单,但范围小	线性好,工作范围大	

续表

鉴 频 器	
名称	比例鉴频器
相位鉴频器	比例鉴频器
电 路 图	
原 理 要 点	利用回路的相位—频率特性关系完成 频率→幅度变换。再用包络检波器检 出信号
特 点	有自行限幅作用,灵敏度高

### 2.2.3 稳压

它是由稳压二极管及其他元件组成的简单稳压器。电路图见图 9.1.3。图中,由于稳压元件(稳压二极管)与负载并联,故称并联式稳压器。这种稳压电路的负载电流不大,但电路简单,得到广泛的应用。在选择稳压二极管时应遵循两条原则:

- (1) 负载所需电压应与稳压二极管的稳压值相同。
- (2) 负载电流必须小于稳压二极管的最大工作电流。

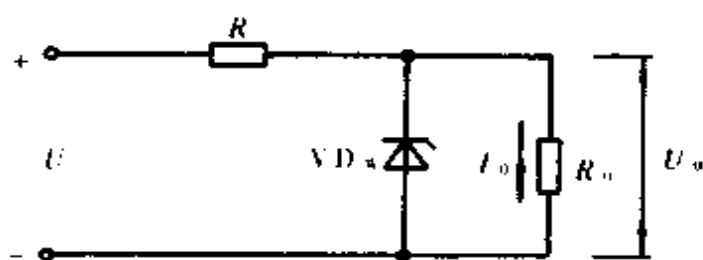


图 9.1.3 简单并联式稳压电路

【例】在图 9.1.3 中,若负载电流为  $I_0$ ; 负载电压为  $U_0$ , 选择图中的限流电阻 ( $R$ ) 和稳压二极管。

解: 设输入直流电压的最大值为  $U_{\max}$ , 最小值为  $U_{\min}$ 。

2.2.3.1 选择限流电阻  $R$  当电压为  $U_{\max}$  时, 若负载开路, 应防止流过稳压二极管的电流超过其最大工作电流 ( $I_{ZM}$ )。即:

$$I_{ZM} > \frac{U_{\max} - U_Z}{R} \quad \text{或} \quad R > \frac{U_{\max} - U_Z}{I_{ZM}} (\Omega)$$

当电压为  $U_{\min}$  时, 若负载电流最大, 必须使稳压二极管工作在稳压区 (反向击穿区)。即:

$$I_Z < \frac{U_{\min} - U_Z}{R} - I_0 \quad \text{或} \quad R < \frac{U_{\min} - U_Z}{I_0 + I_Z}$$

式中  $U_Z$ ——稳压二极管稳压值,  $U_Z = U_0$ ;

$I_Z$ ——稳压二极管的稳定电流。

限流电阻 ( $R$ ) 的功率:

$$P_R > (I_0 + I_Z) \cdot U_Z \cdot n (\text{W}) \quad (\text{通常 } n \text{ 取 } \geq 3)$$

2.2.3.2 选择稳压二极管 常用经验公式估算: 取稳压值为负载电压值, 即

$$U_Z = U_0$$

取稳压二极管的最大工作电流 ( $I_{ZM}$ ) 为输出电流的 3 倍。即:

$$I_{ZM} \approx 3I_0$$

再用最大耗散功率验证之。即负载开路、 $U_{\max}$  时应保证满足下式:



$$I_{ZM} > \frac{U_{max} - V_Z}{R}$$

### 2.2.4 显示

用发光二极管作显示应用很广。有单个显示(表示信号有无、开关的合分等)、数字显示、阶梯型指示器和跳跃型指示器(表示信号的强度)等。图 9.1.4 为继电器动作指示电路。当继电器吸合时,LED 发光。图 9.1.5 为七段发光二极管显示电路。它由七只发光二极管组成 0~9 十个数字。输入的二十进制数字(BCD 码)经译码/驱动器后送到对应的七只发光二极管,使相应的线条发光,组成某个数字。图 9.1.6 为收录机中应用的阶梯型指示器原理图。当送入扬声器的信号( $u_i$ )增大时,发光二极管组自左至右发光。即小信号时 LED<sub>1</sub> 发光;信号大些 LED<sub>1</sub> 与 LED<sub>2</sub> 同时发光;信号再大,LED<sub>1</sub>~LED<sub>3</sub> 同时发光……图 9.1.7 为另一种称为跳跃型信号指示器的原理图。即信号值与某一发光二极管对应。信号越强愈靠右的二极管发光。随着信号的强弱变化,二极管跳跃着发光。

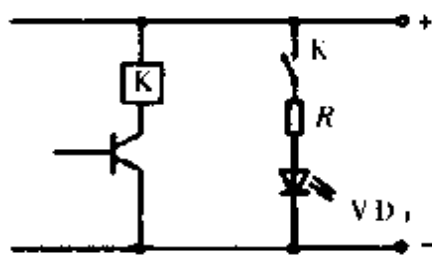


图 9.1.4 继电器动作指示电路

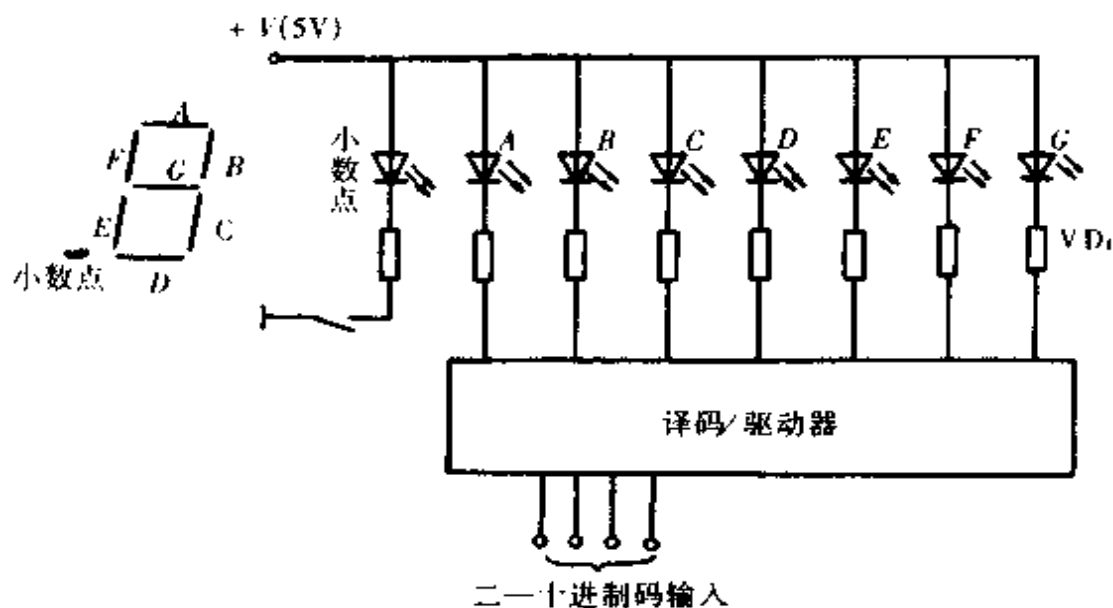


图 9.1.5 七段发光二极管显示电路



晶体管最常用作放大元件。由于输入信号和输出信号的公共点所对应的晶体管的极不同,有共射极、共基极和共集电极三种电路。其中,尤以共射极电路最为典型。这里就共射极电路的工作原理作简单介绍。

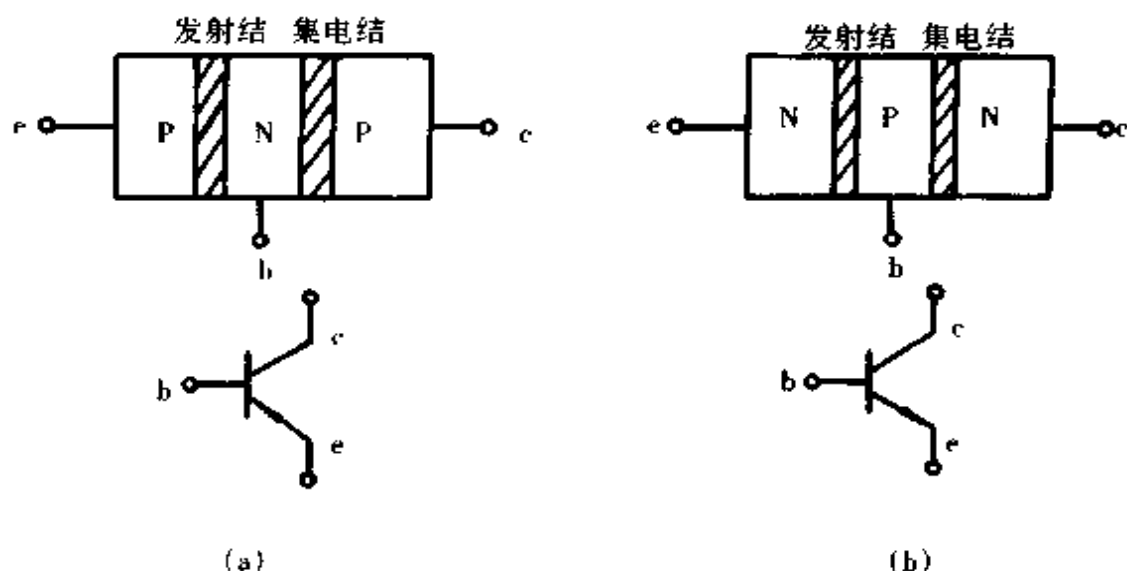


图 9.1.8 晶体管的结构及符号图  
(a)P-N-P 管及符号 (b)N-P-N 管及符号

### 3.1.1 晶体管的工作原理

图 9.1.9 为 P-N-P 型晶体管的共射极电路。输入信号( $u_i$ )与输出信号( $u_o$ )的公共点为发射极。

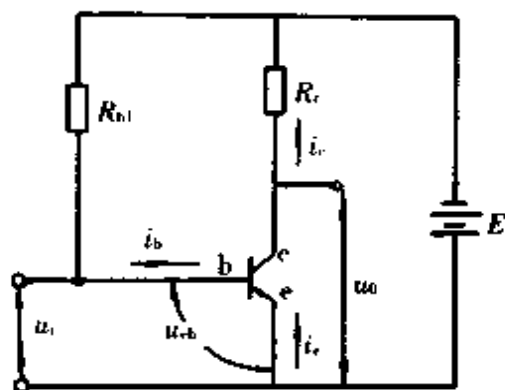


图 9.1.9 晶体管共射极电路原理图

3.1.1.1 电流放大原理 在图 9.1.9 中, $R_C$  称集电极电阻; $R_B$  为基极电阻,它使晶体管得到一个合适的工作电压。此时 e-b 结加的是正向电压;c-b 结则加反向电压。在正向电压  $u_{eb}$  的作用下,存在电流  $i_e$ 。由于中间 N 型半导体层极薄,而集电极又加上较大的负电压,使  $i_e$  的极大部分冲过 b 极所对应的 N 型半导体而进

人集电极,形成集电极电流( $i_c$ )。只有小部分成为基极电流( $i_b$ )。对于某只晶体管,这种电流分配的比例是基本固定的。设某晶体管的  $i_b$  为  $i_c$  的  $\frac{1}{100}$ , 则  $i_c$  为  $i_b$  的  $\frac{99}{100}$ 。因此  $i_c$  是  $i_b$  的 99 倍。当输入信号( $u_i$ )引入后,  $i_b$  将发生变化,也引起  $i_c$  和  $i_e$  的按比例变化。设  $i_b$  变化  $10\mu\text{A}$ , 即

$$\Delta i_b = 10\mu\text{A}$$

则

$$\Delta i_c = 10\mu\text{A} \times 100 = 1\text{mA}$$

$$\Delta i_e = 10\mu\text{A} \times 99 = 990\mu\text{A} \text{ 或 } \Delta i_e = \Delta i_c - \Delta i_b = 1\text{mA} - 10\mu\text{A} = 990\mu\text{A}$$

这样,若把  $i_b$  作为输入信号,  $i_c$  或  $i_e$  作输出信号,就能得到电流放大。这就是晶体管共射极电路的电流放大原理。

**3.1.1.2 电压放大原理** 晶体管电压放大原理可通过晶体管的输入特性和输出特性来解释。图 9.1.10 为晶体管特性测试电路。晶体管共射极电路的输入特性是反映输入电压与输入电流的关系曲线。在图 9.1.10 中,每变化一次  $R_b$  就得到一个  $i_b$  和  $u_{be}$ 。这样便可获得  $i_b$  与  $u_{be}$  的关系曲线。图 9.1.11 为某晶体管的输入特性曲线。它与二极管的正向伏安特性相似。当集电极电位改变时,输入特性略有变化。

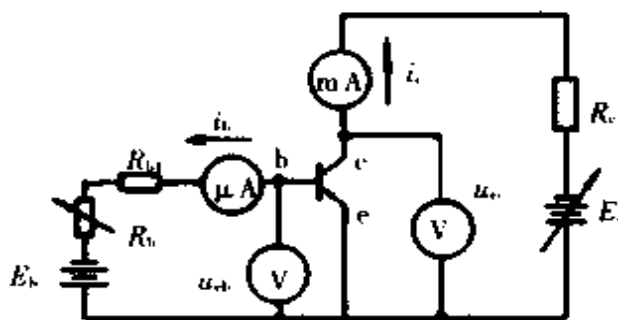


图 9.1.10 晶体管特性测试电路

晶体管的输出特性是表示在不同的  $i_b$  时输出电流  $i_c$  与输出电压  $u_{ce}$  间的关系。在图 9.1.10 中,固定一个  $i_b$ , 每变化一次  $E_c$  测出相应的  $i_c$  和  $u_{ce}$ , 获得一条曲线。再改变一次  $i_b$ , 重复上述过程又得到另一条  $i_c$  与  $u_{ce}$  的关系曲线, 这样, 最后便得到一簇曲线。图 9.1.12 为某晶体管的输出特性曲线。该特性曲线可分三个区域: ①截止区:  $i_b \leq 0$ , 发射结加零电压或反向电压。无  $i_b$ , 故  $i_c$  和  $i_e$  也接近零 (有少量的漏电流)。晶体管中无电流流过, 处于截止状态。②放大区:  $i_b > 0$ ,  $i_c$  和  $i_e$  随  $i_b$  而变化。当  $i_b$  为某定值时,  $i_c$  也基本不变 (与  $u_{ce}$  变化无关)。改变  $i_b$  可得到与之对应的一簇  $i_c$  变化曲线, 此曲线与  $u_{ce}$  基本无关, 接近平行于横坐标。从图 9.1.12 可以得到, 当  $i_b$  变化  $50\mu\text{A}$  时,  $i_c$  变化为  $5\text{mA}$ 。此时晶体管处于放大状

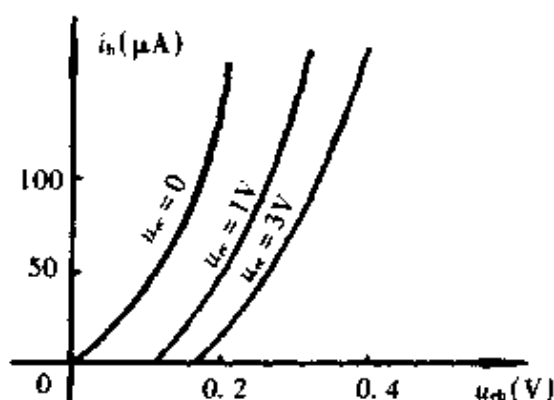


图 9.1.11 晶体管的输入特性曲线例

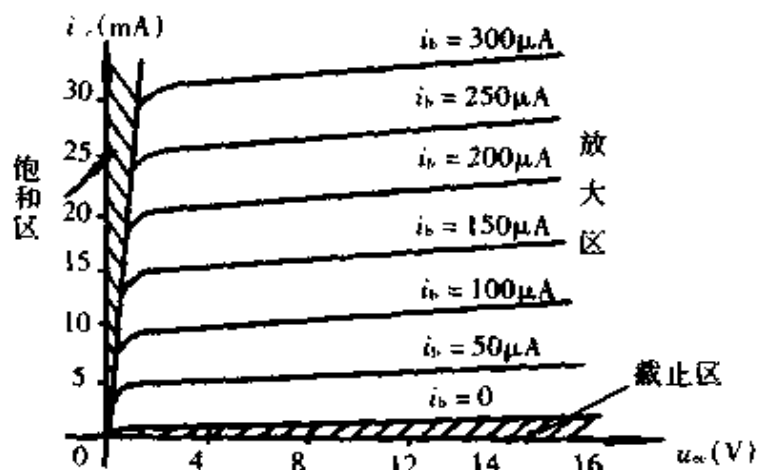


图 9.1.12 晶体管的输出特性曲线例

态。③饱和区:当  $u_{ce}$  减小到一定值时 ( $u_{ce} \leq u_{be}$ ),  $i_c$  已不随  $i_b$  而变化。晶体管的 e-c 极已完全导通。此时晶体管处于饱和状态。对应的  $i_c$  和  $u_{ce}$  分别称为饱和电流和饱和电压。

所谓电压放大是指输出电压变化量与输入电压变化量之比。从晶体管的输入特性得到输入电压与输入电流间关系。在图 9.1.11 中,当  $\Delta u_{be}$  为 0.05V 时,  $\Delta i_b$  为  $50\mu\text{A}$ 。在输出特性(图 9.1.12)中的放大区,当  $\Delta i_b$  为  $50\mu\text{A}$  时,  $\Delta i_c$  为 5mA。设共射极放大电路(图 9.1.9)中的  $R_c = 1\text{k}\Omega$ ,所以输出电压变化量就为 5V。这就可得出此电路的电压放大倍数:

$$K = \frac{\text{输出电压变化量}}{\text{输入电压变化量}} = \frac{\Delta u_{ce}}{\Delta u_{be}} = \frac{5\text{V}}{0.05\text{V}} = 100 \text{ 倍}$$

显然电压放大倍数是与  $R_c$  大小成正比的。具体见本章 3.3 对放大器的介绍。

### 3.1.2 主要技术参数

晶体管的技术参数较多,主要有以下几个:

3.1.2.1 放大系数( $\beta$ 和 $\alpha$ )

(1)共射极电流放大系数( $\beta$ ):它分静态和动态两种。静态电流放大系数是指集电极电流( $I_c$ )与基极电流( $I_b$ )之比。动态电流放大系数是集电极电流的变化量( $\Delta I_c$ )与基极电流变化量( $\Delta I_b$ )之比。即:

$$\beta_{st} = \frac{I_c}{I_b}; \beta_{动} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \Big|_{u_{ce} = \text{常数}}$$

$\beta$ 常用 $h_{FE}$ 或 $h_{21}$ 表示。

(2)共基极电流放大系数( $\alpha$ ):它是射极电流( $I_e$ )与集电极电流( $I_c$ )之比。也有静态和动态两种。即:

$$\alpha_{st} = \frac{I_c}{I_e}; \alpha_{动} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} \Big|_{u_{cb} = \text{常数}}$$

$\alpha$ 常用 $h_{FB}$ 或 $h_{21B}$ 表示。

$\alpha$ 与 $\beta$ 的关系: $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}; \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ 。

3.1.2.2 截止频率( $f_\beta$ 和 $f_\alpha$ )和特征频率( $f_T$ ) 晶体管的放大系数( $\beta$ 和 $\alpha$ )是受信号频率影响的。在一定频率范围内放大系数能保持不变。当频率超过某定值时, $\beta$ 和 $\alpha$ 值就开始下降。当 $\beta$ 和 $\alpha$ 下降到原值的0.707时的频率称为截止频率,分别用 $f_\beta$ 和 $f_\alpha$ 表示。使 $\beta$ 下降到1时的信号频率称特征频率,用 $f_T$ 表示。

3.1.2.3 直流特性参数 它指各种反向饱和电流参数。用以评价晶体管工作稳定性的指标。

(1)集电极—基极反向饱和电流( $I_{CBO}$ ):当发射极开路,在集电极与基极间加规定的反向电压时的集电极电流。此值常随温度升高而增大。应选用 $I_{CBO}$ 小的管子使电路工作稳定。一般小功率锗管的 $I_{CBO}$ 为 $1 \sim 10\mu A$ ;大功率管的 $I_{CBO}$ 可达几毫安。硅管的 $I_{CBO}$ 远小于锗管。

(2)集电极—发射极反向饱和电流( $I_{CEO}$ ):当基极开路并在集电极与发射极间加上规定的反向电压时的集电极电流,又称穿透电流。由晶体管电流分配关系可知: $I_{CEO} = (1 + \beta)I_{CBO}$ ,由于 $I_{CBO}$ 随温度变化,故 $I_{CEO}$ 不但受温度影响大,而且还与 $\beta$ 的大小成正比。所以在选择晶体管时不能只追求高 $\beta$ 值。

(3)发射极—基极反向饱和电流( $I_{EBO}$ ):当集电极开路,在发射极与基极间加规定的反向电压时的发射极反向饱和电流。一般小功率锗管 $I_{EBO}$ 小于 $10\mu A$ ;小功率硅管的 $I_{EBO}$ 小于 $0.1\mu A$ 。

3.1.2.4 极限参数 它是保证晶体管正常运行的参数。超过它轻则工作不稳定、性能变差,重则元件损坏。使用时必须严格限制。晶体管的极限参数主要有

击穿电压、集电极最大允许功耗和集电极最大允许电流等。其含义如下:

(1) 击穿电压: 它又分三种。①集电极—基极击穿电压( $BV_{(CB)}$ ): 当发射极开路时, 集电结的反向击穿电压。手册中常规定为在环境温度  $25^{\circ}\text{C}$  时测出的数据。②发射极—基极击穿电压( $BV_{(EB)}$ ): 当集电极开路时, 发射结(e 与 b 间)的反向击穿电压。③集电极—发射极击穿电压( $BV_{(CE)}$  和  $BV_{(EC)}$ )。

$BV_{(CB)}$ : 当基极开路时, 集电极与发射极间的击穿电压。对于同一只晶体管, 通常  $BV_{(CB)} < BV_{(CE)}$ 。

$BV_{(EC)}$ : 当基极与发射极间加接电阻后, 集电极与发射极间的击穿电压。

对于同一只晶体管, 通常  $BV_{(CB)} < BV_{(EC)} < BV_{(CE)}$ 。

(2) 集电极最大允许耗散功率( $P_{CM}$ ): 晶体管工作时, 主要热量集中在集电结。为使管子正常工作, 必须限制集电极的功耗不大于  $P_{CM}$ 。手册中给出的  $P_{CM}$  值通常是指环境温度在  $25^{\circ}\text{C}$  条件下的数据。当环境温度上升时,  $P_{CM}$  值就要相应减少。

(3) 集电极最大允许电流( $I_{CM}$ ): 指晶体管参数的变化不超过规定允许值时的集电极最大电流。在集电极电流超过  $I_{CM}$  时, 放大系数( $\alpha$ 、 $\beta$ )等参数都会变小。一般  $I_{CM}$  是在  $\alpha$  值减小到原值的  $2/3$  时的  $I_c$  值。

### 3.1.3 简易测试法

晶体管的各项参数可用晶体管特性图示仪测得。在要求不高的场合, 可用万用电表进行简易测试。测试的主要内容有以下两点。

3.1.3.1 管型(P-N-P 或 N-P-N)及引脚的判别 通常先判别管型, 后判定引脚的电极。详见表 9.1.14。

3.1.3.2 主要性能判别 用表 9.1.15 所示的方法定性估算管子的  $\beta$  值、 $I_{CEO}$  和稳定性。

表 9.1.14 晶体管管型及引脚的判别

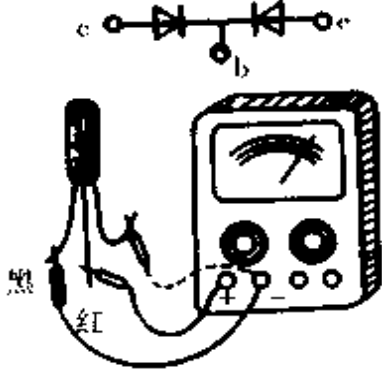
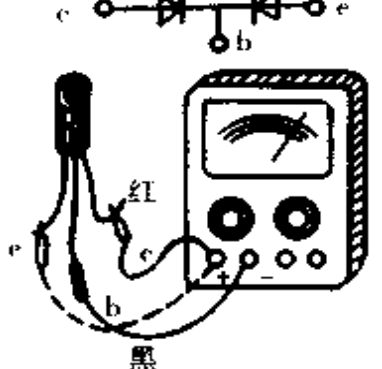
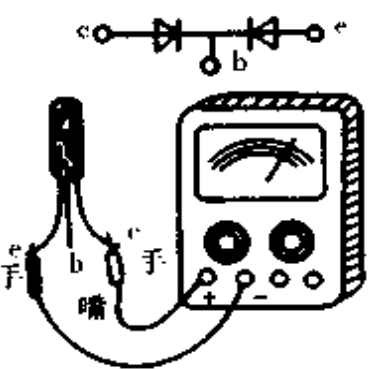
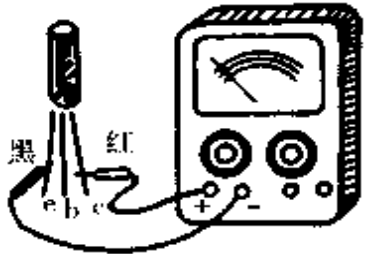
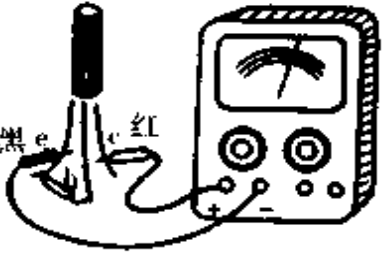
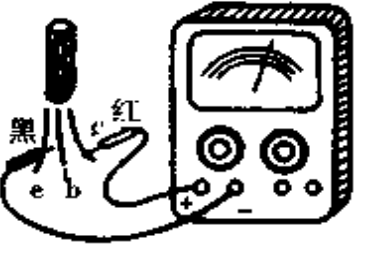
判断内容	方 法	说 明
第一步 判断基极  PNP 型 晶体 管	 <p>两次读数均较小</p>	<p>可以把晶体三极管看成两个二极管来分析。用万用电表电阻挡(<math>R \times 100</math> 或 <math>R \times 1k</math>), 将正测试棒(红色)接某一管脚, 负测试棒(黑色)分别接另二管脚, 测量两个阻值。当两个阻值均较小时, 红棒所接管脚即为 PNP 管基极。若两阻值一大一小或都大, 可将红棒另接一管脚再试, 直到两个阻值均较小为止。</p>
第二步 判断集电极  NPN 型 晶体 管	 <p>两次读数均较小</p>	<p>方法同上, 但以黑表棒为准, 红棒分别接另两管脚, 测得两阻值均较小, 即为 NPN 管的基极。</p>
第二步 判断集电极	 <p>指针偏转较大(即阻值小)</p>	<p>再利用晶体管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个测试棒接到管子的两个脚上, 用嘴含住假定的基极, 利用人体电阻实现偏置, 测读万用电表指针的偏转角(或阻值)。再将两个测试棒对调同样测读, 比较二次读数, 对 PNP 管, 偏转角大(阻值小)的一次中红棒所接的即为集电极; 对 NPN 管, 偏转角大(阻值小)的一次中黑棒所接的即为集电极。</p>







表 9.1.15 晶体管主要性能的判别

比较内容	方 法	说 明
穿透电流 $I_{CEO}$		用万用电表电阻挡( $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ )测集电极 - 发射极反向电阻, 阻值越大, 说明 $I_{CEO}$ 越小, 晶体管性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大, 高频管比低频管阻值大, 小功率管比大功率管的阻值大。对低频小功率锗管约在几千欧以上
共发射极 电流放大 系数 $\beta$		如果再在基极 - 集电极间接入 $100k\Omega$ 电阻, 集电极 - 发射极反向电阻便减少, 万用表指针偏转。偏转角越大, 说明 $\beta$ 越大
晶体管稳 定性能		在判断 $I_{CEO}$ 同时, 用手捏住晶体管, 由于受人体体温影响, 晶体管集电极 - 发射极反向电阻将有所减小, 但如果发现指针摇摆较大或阻值迅速减少, 则晶体管的稳定性较差
备注	对于 NPN 型晶体管, 将万用电表测试棒对调即可	

### 3.2 场效应三极管(场效应管)

场效应管有很高的输入阻抗( $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ ), 已被广泛地应用。按结构分, 它有两大类: 结型场效应管和绝缘栅型场效应管。按基片的半导体材料不同, 结型可分为 N 沟道和 P 沟道两种; 绝缘栅型又可分为 N 沟道耗尽型、增强型和 P 沟道耗尽型、增强型四种。以上六种场效应管用四个符号表示。详见表 9.1.16。

表 9.1.16 场效应管的符号

型号	绝缘栅型		结 型	
	P 沟道	N 沟道	P 沟道	N 沟道
符 号				

### 3.2.1 工作原理

这里以 N 沟道结型场效应管为例。图 9.1.13 为这种管子的结构原理图。它

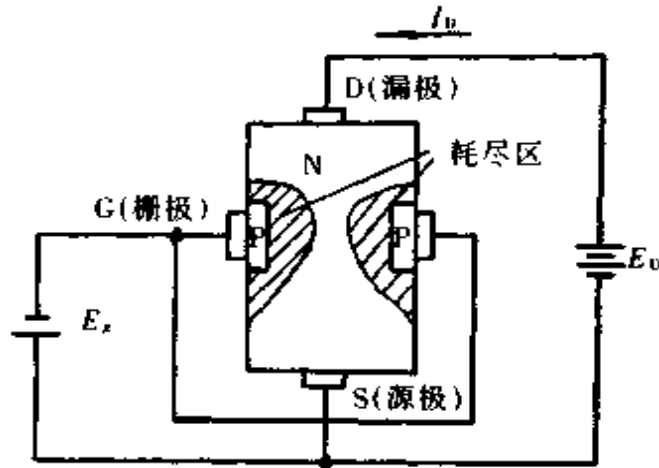


图 9.1.13 N 沟道结型场效应管结构原理图

是在 N 型半导体基片的两端引出两个极：漏极 (D) 和源极 (S)。再在两侧制成两个 P-N 结，并使 P 型半导体的杂质远多于 N 型基片中的杂质。再把两个 P 极相连，组成栅极 (G)。当 S-D 间加上电压  $E_D$ ；G-S 间加电压  $E_g$  (电压极性见图所示) 时，在 S-D 间就形成两个加反向电压的 P-N 结。产生的两个区域 (图中阴影部分) 称为耗尽区。耗尽区的大小影响 N 半导体源极和漏极间导电能力。 $E_g$  愈大，P-N 结反向电压愈高，耗尽区就愈大，S-D 间的电阻也愈大，漏极电流 ( $I_D$ ) 就愈小。当  $E_g$  大到某值时，两个耗尽区相碰， $I_D$  就为零，此状态称夹断。此时的  $E_g$  称为夹断电压，用符号  $U_p$  表示。即当  $E_g \geq U_p$  时，管子处于夹断态或称截止态)。当  $E_g = 0V$  时，耗尽区消失， $I_D$  较大。结型场效应管就是利用改变栅源电压 ( $E_g$ ) 来达到控制沟道电流 ( $I_D$ ) 的原理来工作的。由于栅源电压使 P-N 结反向偏置，其阻抗很高，控制电流极小，所以它是电压控制元件，即用栅源电压控制漏极电流。

场效应管的特性曲线：主要有转移特性和输出特性。图 9.1.14 为特性测试电路。

**3.2.1.1 转移特性** 它是反映栅源电压与漏极电流 ( $I_D$ ) 之间定量关系的曲线 (在漏源电压  $U_{DS}$  一定值时)。在图 9.1.14 中， $E_g$  从零起增加，每变化一次，测量相应的漏极电流。直到  $E_g = U_p$ ， $I_D \approx 0$ ，管子夹断。图 9.1.15 为 N 沟道结型场效应管的转移特性。图中：当  $U_{DS} = 0$  时， $I_D$  最大。此时的  $I_D$  称为漏极饱和电流，用符号  $I_{DSS}$  表示。转移特性表示了栅源电压对漏极电流的控制能力，常用跨导 ( $g_m$ ) 来表示。其含义是漏极电流变化与所引起此变化的栅源电压的变化量之比。

$$g_m = \left. \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{gs}} \right|_{U_{DS} = \text{常数}} (\text{mA/V})$$

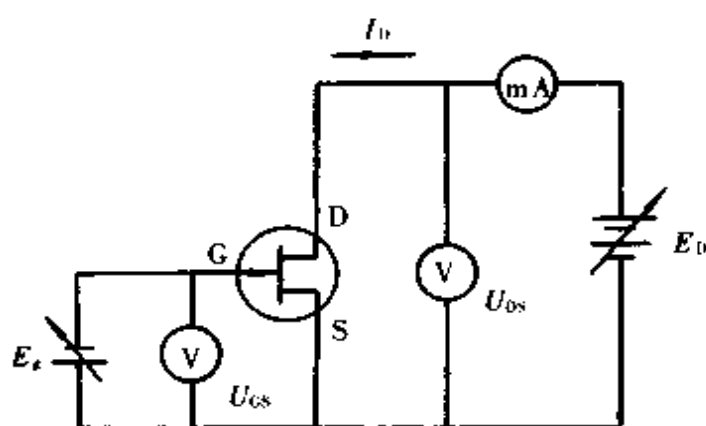


图 9.1.14 场效应管特性测试电路

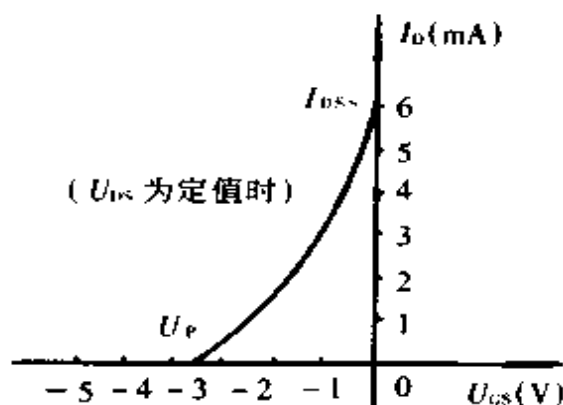


图 9.1.15 N 沟道结型场效应管的转移特性

3.2.1.2 输出特性 输出特性反映当栅源电压一定时,漏极电流( $I_D$ )与漏源电压( $U_{DS}$ )的关系。图 9.1.16 为 N 沟道结型场效应管的输出特性曲线。它可分为三个区域: I 区为可调电阻区。此区的  $U_{DS}$  较小,当  $U_{DS}$  上升时,沟道内电场强

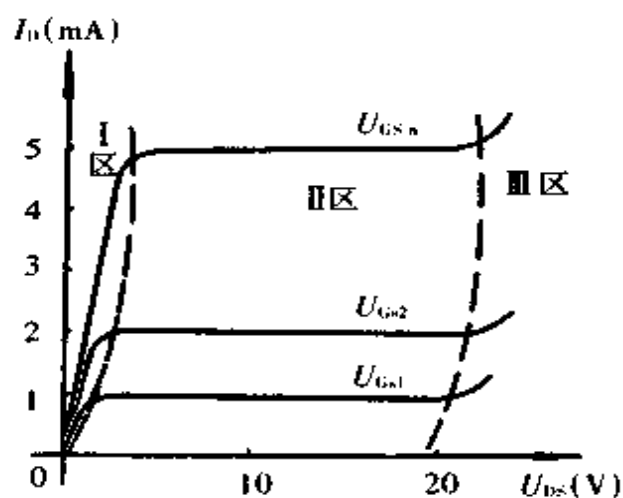


图 9.1.16 N 沟道结型场效应管的输出特性

度增强,漏极电流( $I_D$ )随之直线上升,呈现电阻特性。Ⅱ区为恒定电流区。此区漏极电流的大小由栅源电压决定,栅极电压越正,漏极电流越大。它反映栅源电压对漏极电流的控制作用。Ⅱ区是场效应管的放大区。Ⅲ区为击穿区。当漏源电压增加到一定值后,漏极电流急剧上升,栅源电压已失去对漏流的控制。此时的漏源电压称漏源击穿电压,用 $BV_{DS}$ 表示。图9.1.17为几种场效应管的特性曲线。

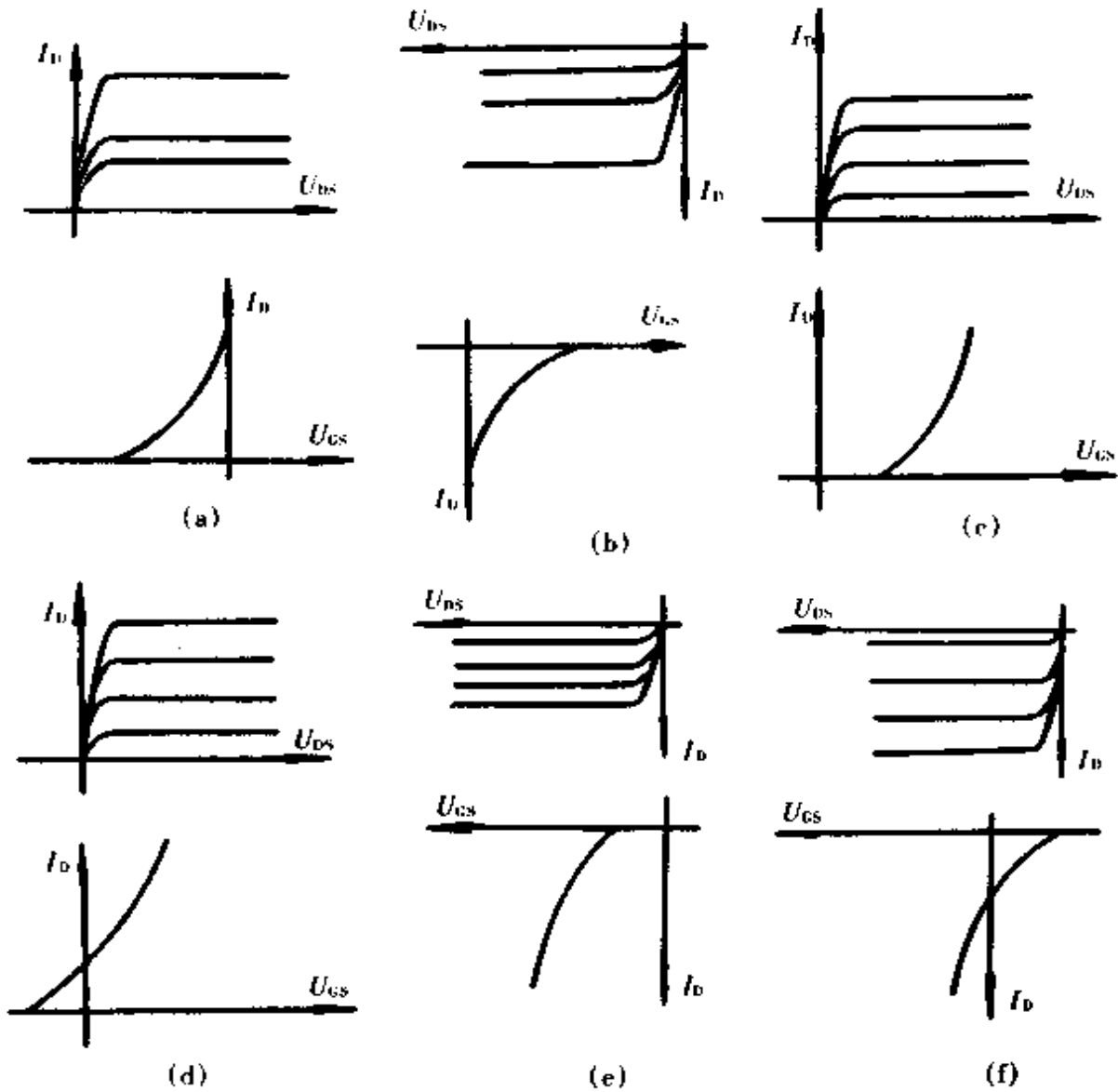


图 9.1.17 几种场效应管的特性曲线

场效应管的电压放大作用:图9.1.18为结型场效应管的共源放大电路。根据转移特性,当栅源间电压变化为 $\Delta U_{GS}$ 时,漏极输出电流相应变化量为 $\Delta I_D$ ,即:

$$\Delta I_D = \Delta U_{GS} \cdot g_m$$

式中  $g_m$  为跨导。

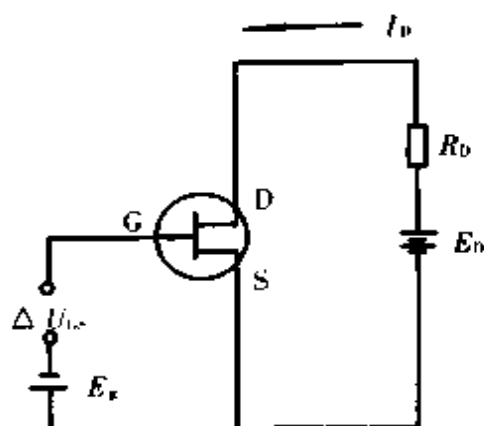


图 9.1.18 共源放大电路

图中负载电阻  $R_D$  两端的电压变化量为：

$$\Delta U_{(D)} = -\Delta U_{DS} = \Delta I_D \cdot R_D = \Delta U_{GS} \cdot g_m \cdot R_D$$

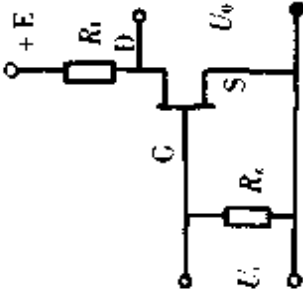
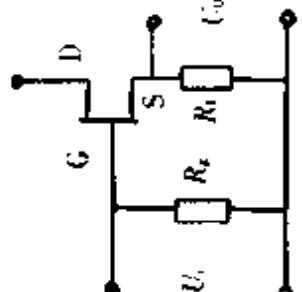
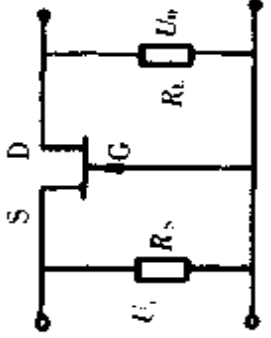
电压放大倍数：

$$K = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta U_{GS}} = \frac{-\Delta U_{GS} \cdot g_m \cdot R_D}{\Delta U_{GS}} = -g_m \cdot R_D$$

即场效应管的电压放大倍数为跨导与负载电阻之乘积。负号表示输出与输入信号反相。

与晶体管放大器相似，场效应管也有三种基本电路。表 9.1.17 列出 N 沟道结型场效应管的三种基本放大电路及其主要参数。

表 9.1.17 N 沟道结型场效应管三种基本放大电路及其参数

电 路			
放 大 倍 数 (K)	$\frac{R_d \cdot R_L}{K_m R_L + R_d}$ ( $R_d$ —管子内阻)	$\frac{K_m \cdot R_L}{1 + K_m R_L}$ ( $K \leq 1$ )	$\frac{(K_m + \frac{1}{R_d}) R_L}{1 + \frac{R_L}{R_d}} \approx K_m R_L$
输出电阻 ( $R_o$ )	$R_d$	$\frac{R_d}{1 + K_m R_d} \approx \frac{1}{K_m}$	$R_d$
输入电阻 ( $R_i$ )	$R_g$	$R_g$	$\frac{R_s}{1 + K_m R_s} \approx \frac{1}{K_m}$
主要用途	用作各类放大器	源极跟随器	高频电路

### 3.2.2 主要技术参数

(1)开启电压( $U_T$ ):指器件开始有输出电流时的栅源电压。开启电压是只对增强型场效应管而言的。

(2)夹断电压( $U_P$ ):器件输出电流减小到接近零时的栅源电压。它是只对耗尽型场效应管而言的。

(3)饱和漏源电流( $I_{DSS}$ ):当栅源电压为零时,漏源间在规定电压(通常为10V)下的漏源电流。它表征零栅压时原始沟道的导电能力。它是只对耗尽型而言的。

(4)跨导( $g_m$ ):一般在  $U_{DS} = 10V$ ,  $I_{DSS} = 3mA$ ,  $f = 1kHz$  条件下,漏极电流的微小变量和引起此变化的栅极电压微量变化之比。它表明栅源电压对漏极电流的控制作用大小。单位为欧姆( $\Omega$ )的倒数,用符号 $\cup$ 表示。

(5)栅源直流输入阻抗( $R_{GS}$ ):栅源间的直流绝缘电阻。一般在  $U_{GS} = 10V$ ,  $U_{DS} = 0V$  时测得。对于绝缘栅型管子  $R_{GS}$  可达  $10^{15}\Omega$ 。

(6)最大漏源耐压(漏源击穿电压  $BV_{DS}$ ):使漏源电流达到“雪崩”时的  $U_{DS}$ 。它是场效应管的一个极限参数,超过它会造成器件的烧毁。

(7)最大栅源耐压( $BV_{GS}$ ):栅源之间能够承受的最高电压。也是极限参数,使用时必须严格控制。

(8)最大耗散功率( $P_{DM}$ ):允许耗散功率的最大值。为防止场效应管温度升得太高而损坏,实际耗散功率必须小于此值。

## 3.3 半导体三极管的应用

### 3.3.1 放大器

3.3.1.1 交流放大器 交流放大器的种类繁多。按信号频率可分为低频、高频和超高频等放大器;按被放大的信号大小可分为前置放大器和功率放大器等;按放大器运行的工作点可分为甲类、乙类、甲乙类、丙类等放大器;还有按输入、输出信号相对于晶体管引脚分为共射极、共基极和共集电极放大器等。表 9.1.18 列出了常用交流放大器基本电路及其主要参数计算公式。可以应用这些基本电路组成多级放大器,也可加以适当的变形,成为各种放大电路。

为提高放大器的性能,使其稳定性好、频率宽等,常采用各种负反馈方法组成反馈放大器。(反馈是把输出信号的一部分或全部馈送到输入端。当馈送信号的相位与输入信号相反时称负反馈,反之则为正反馈。)图 9.1.19 为负反馈放大电路的原理框图。常用的反馈有电压反馈(串联式和并联式)和电流反馈(串联式和并联式)两大类。表 9.1.19 为这四种基本负反馈放大电路及其主要参数计算公式。

表 9.1.18 常用交流放大器基本电路及其主要参数计算公式

电路型式	共发射极放大电路		
	固定偏压	分压式电流负反馈偏置	具有部分未旁路射极电阻
电路图			
静态 工作点	$I_{BQ} = \frac{E_c - U_{BE}}{R_B}$ $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} R_C$	$U_{BQ} \approx E_c \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ $I_{BQ} \approx \frac{U_{BQ} - U_{BE}}{R_B}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} (R_C + R_E)$	$U_{BQ} \approx E_c \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ $I_{BQ} \approx \frac{U_{BQ} - U_{BE}}{R_B + R_E}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} (R_C + R_E)$
输入电阻	$R_i = R_B // h_{ie} \approx h_{ie}$	同左	$R_i = R_B // (h_{ie} + \beta R_E)$
电压放大 倍数	$K_V = -\beta \frac{R'_L}{h_{ie}}$ $R'_L = R_C // R_L$	同左	$K_V = -\beta \times \frac{R'_L}{h_{ie}(\beta + 1)R_E}$ $\approx \frac{R'_L}{R_E}$
输出电阻	$R_o \approx R_C$	同左	同左
特点和 应用	电路最简单,放大倍数大。但工作点不稳定,只适用于温度变化小,技术要求不高的情况	放大倍数大,工作点稳定,应用很广	工作点稳定,放大倍数较小,但十分稳定,输入电阻大,应用广泛



续表

		共发射极放大电路	
电路型式	具有输入变压器	直耦双管	
电路图			
静态 工作点	$U_{b1} \approx E_c \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}}$ $I_{c1} \approx \frac{U_{b1} - U_{be1}}{R_{e1}}$ $U_{ce1} = E_c - I_{c1} \times (R_{c1} + R_{e1})$	$\begin{cases} U_{c2} \frac{R_l}{R_l + R_{c2}} \approx U_{be2} + I_{c2} R_{e2} \\ I_{c2} \approx \frac{E_c - U_{c2} - U_{be2}}{R_{e2}} \end{cases}$ <p>解方程得: <math>I_{c2}, U_{c2}</math></p> $I_{ce2} \approx \frac{U_{c2}}{R_{e2}}$	
输入电阻	$R_i = \frac{h_{ie}}{n^2}$	$R_i = R_{b1} // R_{b2} // h_{ie1}$	
电压放大 倍数	$K_v = -\beta \frac{n R_{c1}'}{h_{ie}}$ $R_{c1}' = R_{c1} // R_{b1}$	$K_v \approx \beta_1 \cdot \beta_2 \frac{R_{c2}'}{h_{ie1}}$ <p>其中 <math>R_{c2}' = R_{c2} // R_l</math></p>	
输出电阻	$R_o \approx R_{c1}$	同左	
特点和 应用	工作稳定, 输入端便于阻抗匹配	工作点稳定	

续表

电路型式	发射极输出(共集电极电路)	共基极电路
电路图		
静态 工作点	$U_b \approx E_c \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ $I_{EQ} \approx \frac{U_b - U_{BE}}{R_E}$ $U_{EQ} = E_c - I_{EQ} R_E$	$U_b \approx E_c \frac{R_{E2}}{R_{B1} + R_{E2}}$ $I_{EQ} \approx \frac{U_b - U_{BE}}{R_E}$ $U_{EQ} = E_c - I_{EQ} (R_C + R_E)$
输入电阻	$R_i = R_{B1} // \beta (R_E // R_L)$	$R_i = \left( \frac{h_{ie}}{\beta + 1} // R_E \right) + R_s \approx r_e + R_s$
电压放大 倍数	$K_V \approx 1$	$K_V = \frac{R'_L}{R_s + r_e}$ <p>式中 <math>R'_L = R_L // R_C</math></p>
输出电阻	$R_o = R_E // \left( \frac{h_{ie} + R_i}{\beta} \right)$ $\approx \frac{h_{ie} + R_i}{\beta}$	$R_o \approx R_C$
特点和 应用	<p>输入电阻大, 输出电阻小, 有电流放大而无电压放大, 常用做输入或输出级</p>	<p>输入电阻小, 有电压放大而没有电流放大, 高频特性好, 做低频放大应用得很少</p>

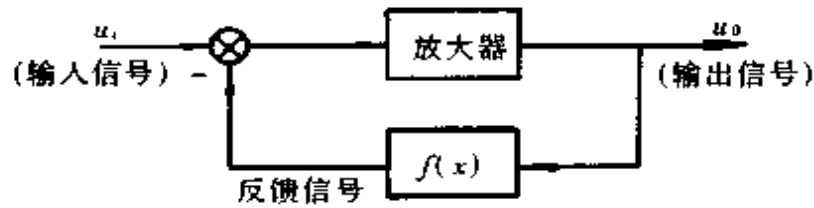


图 9.1.19 负反馈放大电路的原理框图

表 9.1.19 四种负反馈放大电路及其主要参数计算公式

内容 电路名称	电 路	电压放大倍数 $K_B$	输入电阻( $R_i$ )	输出电阻( $R_o$ )
电压串联负反馈		$K_B \approx \frac{K}{1+K} \leq 1,$ $K = \frac{(\beta+1)R_e}{r_{be}}$	$r_{be} + (1+\beta)R_e$	$\frac{R_c + r_{be}}{\beta}$
电压并联负反馈		$\frac{R_b}{R_f}$ ( $R_{s_i}$ —信号源内阻)	$r_{be} // \frac{R_b}{1+K}$	$\frac{R_b}{\beta}$

续表

内容 电路名称	电 路	电压放大倍数 $K_B$	输入电阻( $R_i$ )	输出电阻( $R_o$ )
电流串联负反馈		$\frac{\beta R_C}{r_{be} + \beta R_B}$ $\approx \frac{R_C}{R_B}$ (负反馈很深时)	$r_{be} + (1 + \beta)R_E$	$R_C$
电流并联负反馈		$\frac{(R_B + R_C)R_{C2}}{R_C R_{in}}$ ( $R_{in}$ —信号源内阻)	$r_{be} // \frac{R_B}{1 + K \frac{R_C}{R_{C2}}}$	$R_{C2}$

3.3.1.2 直流放大器 是指对变化缓慢的信号进行放大,如温度变化。由于信号变化缓慢,放大器间的耦合就不能用电容或电感元件,而常用直接耦合方式。这就带来两个问题:直流电位的相互牵制和零点漂移。所谓零点漂移主要是晶体管等元件的参数随温度而变化,这些变化被放大后造成放大器输出的变化。由于这种变化较缓慢,在交流放大器中被电容或电感等耦合元件所隔离,对输出影响小,但在直流放大器中必须引起足够重视。图 9.1.20 为一种克服电位牵制的电路图。这里巧妙地把两种不同类型的晶体管组合。在  $V_2$  的发射极上加接一只稳压二极管,提高了后级的静态输入阻抗,减弱了级间的电位牵制。

图 9.1.21 是一种温度补偿电路图。它是利用二极管的反向电流随温度变化的特性对晶体管的漂移作补偿。由于二极管与晶体管的温漂特性有差异,故达不到完全补偿。

为了较理想地消除直流放大器的零漂,应用最多的是差分放大器(差动放大器)。这种放大器的种类较多。表 9.1.20 列出四种基本类型差分放大器及其主要参数计算公式。

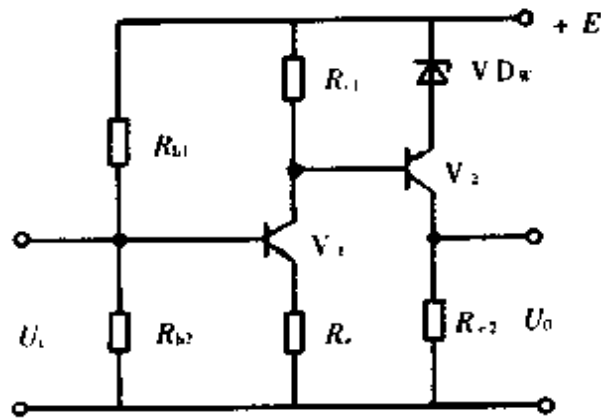


图 9.1.20 一种克服电位牵制的电路图

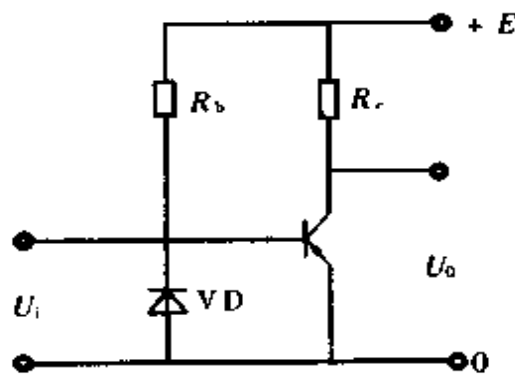
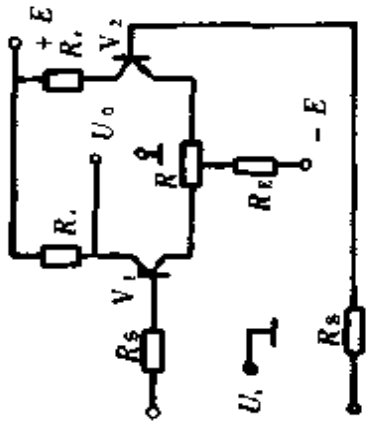
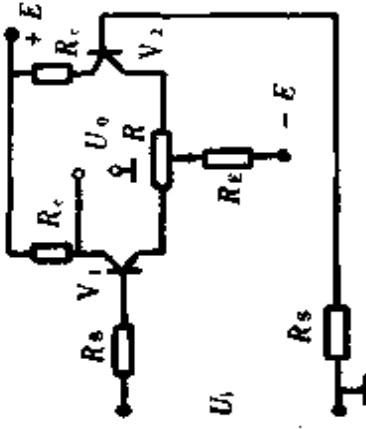


图 9.1.21 一种简单的温度补偿电路图

表 9.1.20 四种基本型差分放大器及其主要参数计算公式

电路名称	电路	差模放大倍数( $K_d$ )	输入电阻( $R_i$ )	输出电阻( $R_o$ )	用途
双端输入, 双端输出		$-\frac{\beta R'_L}{R_S + r_{be} + (1 + \beta) R_E}$ <p>式中 <math>R'_L = R_L // R_L / 2</math>  <math>R_L</math> 为负载电阻</p>	$2[R_S + r_{be} + (1 + \beta) R_E]$	$2R_c$	多级差分放大器的中间级, 也可作输入输出级
单端输入, 双端输出		$-\frac{\beta R'_L}{R_S + r_{be} + (1 + \beta) R_E}$	$2[R_S + r_{be} + (1 + \beta) R_E]$	$2R_c$	常用在输入级

<p>双端输入、单端输出</p>		$\frac{\beta R_L'}{2[R_S + r_{be} + (1 + \beta)R_E]}$ <p>式中 <math>R_L' = R_L // R_L</math>  <math>R_L</math> 为负载电阻</p>	$2[R_S + r_{be} + (1 + \beta)R_E]$	$R_L$	<p>常用在差分放大器的中间级</p>
<p>单端输入、单端输出</p>		$\frac{\beta R_L'}{2[R_S + r_{be} + (1 + \beta)R_E]}$	$2[R_S + r_{be} + (1 + \beta)R_E]$	$R_L$	<p>用于输入和输出均有一点接地的场合</p>

3.3.1.3 直流稳压电源 这里介绍的是应用直流放大器组成的串联型稳压电源。在介绍稳压二极管时曾谈到了简单的并联式稳压器,但由于其稳压性差、输出电流小等缺点而限制了它的应用范围。串联型稳压电源克服了简单并联式稳压器的弱点,成为应用最广的直流稳压电源。

(1)直流稳压电源的主要技术指标:①稳压值:稳压器输出的额定电压值( $U_o$ )。②动态内阻:稳压值的变化量与引起此变化的负载电流变化量之比  $R_o = \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o}(\Omega)$ ,显然  $R_o$  愈小,稳压器的输出愈稳定。③额定电流:稳压电源能正常工作允许的输出电流。

(2)串联型稳压电源原理:图 9.1.22 是串联型直流稳压电源原理框图。它由取样、基准电压、比较放大器和调整器等环节组成。稳压电源的输出电压( $U_o$ )是输入电压( $U_i$ )与调整器上压降( $U_a$ )之差,即  $U_o = U_i - U_a$ 。取样器把稳压值部分取回与基准电压比较,其差值经放大器后去控制调整器,使调整器上的压降变化,保证输出电压稳定不变。如:当某种原因使  $U_o \downarrow$ ,取样器得到的电压也变小。它与基准电压之差变小,放大器输出也小,使调整器的压降也减小。最终  $U_o$  又回到原稳定值。反之亦然。

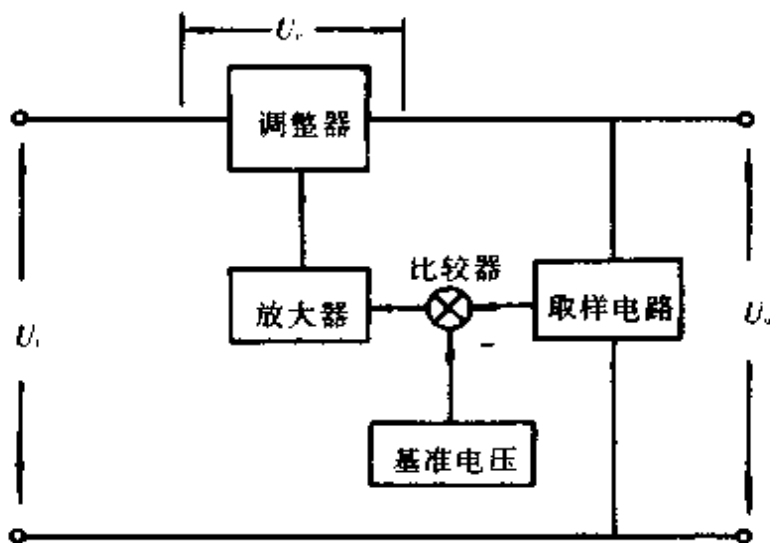


图 9.1.22 串联型直流稳压电源原理框图

(3)几种常用的稳压电路:串联型稳压电源的电路形式很多,但基本环节是不变的,只是具体组成基本环节的电路不同。有些电路还加上保护环节,以提高其运行的可靠性。图 9.1.23 为典型的串联型稳压电源电路图。 $R_1$  和  $R_2$  分压值作为取样电压,与稳压二极管的稳压值比较,其差值由晶体管  $V_1$  放大。放大器的输出送到调整器  $V_2$  的基极,改变  $V_2$  的导通程度,也就改变了  $V_2$  的  $U_{ce}$ ,从而保证输出电压的稳定。常称  $V_2$  为调整管。



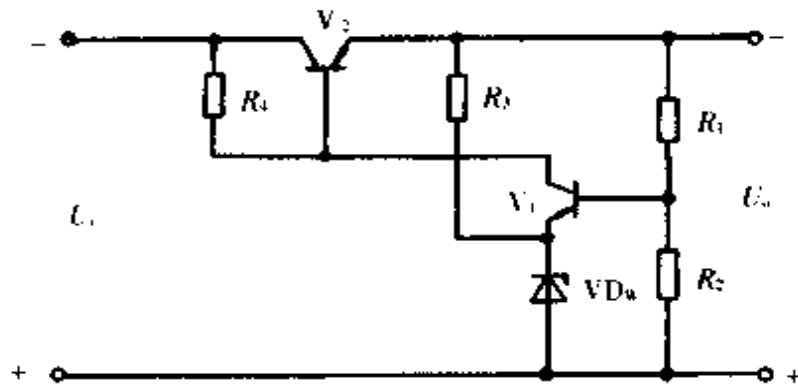


图 9.1.23 典型串联型稳压电源电路图

为了改善稳定性和增加稳压器的输出电流,调整管常用复合管形式。图 9.1.24 中调整器由  $V_2$ 、 $V_3$  复合而成。

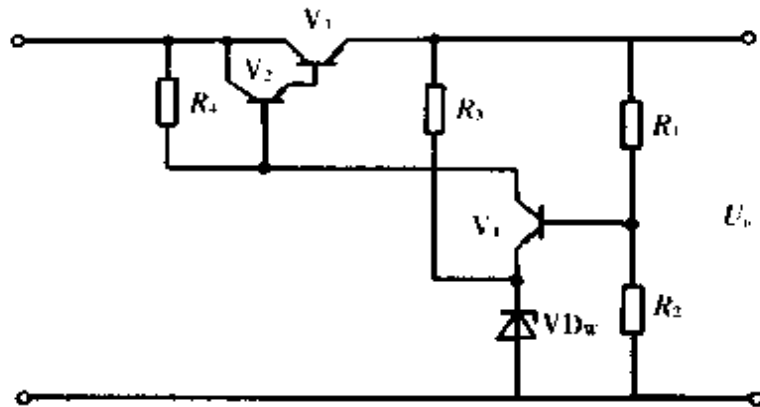


图 9.1.24 调整器用复合管的稳压电源电路图

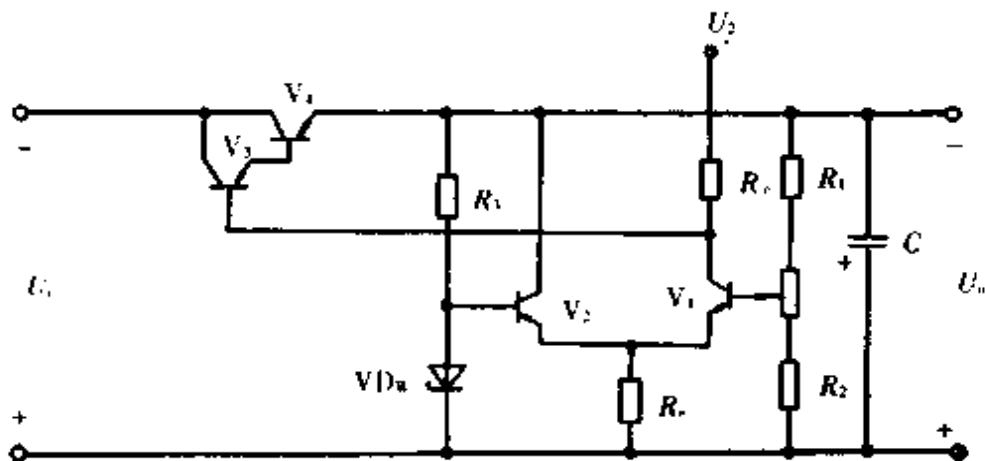


图 9.1.25 用差分放大器作比较放大器的稳压电源电路图

图 9.1.25 电路用差分放大器作为比较放大器。它进一步提高了稳压电源的性能。为使差分放大器工作得更合理,电路中加一组辅助电源( $U_2$ )。

图 9.1.26 为带过流保护环节的稳压电路。图中  $V_4$ 、 $R_5 \sim R_7$  组成过流保护环节。当负载电流超过规定值时,  $R_7$  上压降增大使  $V_4$  因发射极电位下降而导通。 $V_4$  的导通把  $V_2$  基极电位拉低, 调整管就截止, 输出电压立即下降, 输出电流便降低, 保护了调整管。保护环节的类型很多, 这里不一一列举。

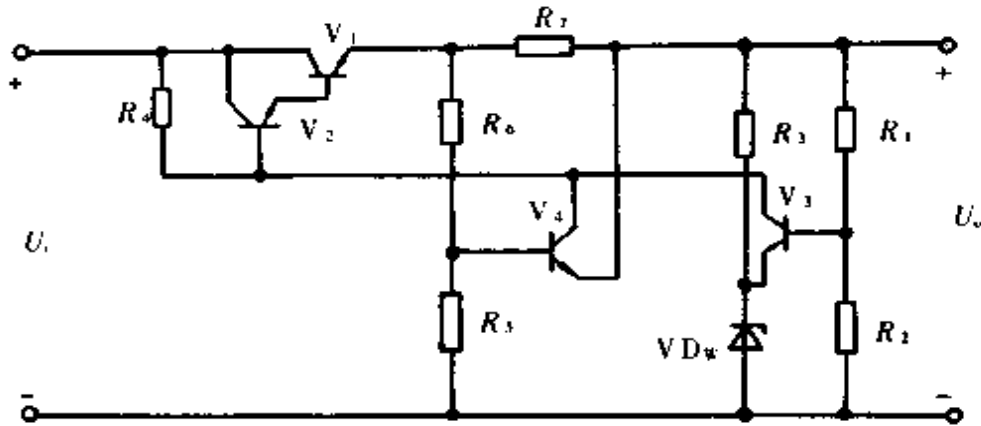


图 9.1.26 带过流保护环节的稳压电源电路图

(4) 典型稳压电源电路的计算: 计算内容是按照负载对稳压电源的要求来设计或选择电路, 计算出电路中各元器件(晶体管、电阻、稳压二极管等)的参数输入直流电压并选择各元器件。

【例】某负载对稳压电源的要求如下:

稳定电压: 12V;

输出电流: 0~0.5A;

动态电阻:  $R_z < 1.2\Omega$ ;

输入电压变化为  $\pm 10\%$ 。

选用图 9.1.23 的稳压电路, 计算图中各元件参数并选择这些元件。

解: 确定输入直流电压值。为保证调整管正常工作, 调整管的  $U_{ce}$  应为 3~5V。此值太高会增加调整管的功耗; 太低会使其工作点离开线性放大区。暂定  $U_{ce} = 4V$ 。

在图 9.1.23 中 
$$U_o = U_i - U_{ce}$$

$$U_i = U_o + U_{ce} = 12V + 4V = 16V$$

考虑输入电压变化为  $\pm 10\%$

$$U_i = \frac{16V}{1 - 10\%} = 17.8V$$

最后取输入电压为 17.5V。

基准电压元件( $R_1$ 、 $R_2$ 、 $VD_w$ 、 $R_3$ )的选择。取样值愈接近输出值愈能精确反映稳定值的变化。但必须保证比较放大器晶体管  $V_1$  工作在放大区。取样值高,

$V_{Dw}$  稳压值也要跟着高,使  $V_i$  的工作范围缩小。

今取基准电压为 7V, 可选用 2CW72 或 2CW15。

$R_3$  值: 计算原则是保证  $V_{Dw}$  工作在适宜的反向击穿区。对于上面选用的稳压二极管, 通常工作在 5~10mA 范围为宜, 今取 6mA。

则 
$$R_3 = \frac{12V - 7V}{6mA} = 840\Omega, \text{ 选用 } 860\Omega / \frac{1}{4} W \text{ 电阻}$$

$R_1$  和  $R_2$ : 它们既是取样电阻, 又是空载时的负载(泄放电阻)。为使调整管始终处在放大态,  $R_1$  和  $R_2$  阻值不能太大。考虑泄放电流取总负载电流的 3%~5%。今取总电流的 3%。

则 
$$R_1 + R_2 = \frac{U_o}{I_o \times 3\%} = \frac{12V}{0.5A \times 0.03} = 800\Omega$$

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{12V - 7V}{0.5A \cdot 0.03} = 333\Omega \quad \text{选用 } 320\Omega / \frac{1}{4} W \text{ 电阻}$$

$$R_2 = 800\Omega - R_1 = 480\Omega \quad \text{选用 } 470\Omega / \frac{1}{4} W \text{ 电阻}$$

调整管的选择: 主要考虑其  $BV_{ceo}$ 、 $I_M$  和  $P_M$ 。

实际承受最大电压:  $U_{umax} = U_i \times (1 + 10\%) = 19.25V$

$$U_{cemax} = U_{umax} - U_o = 19.25V - 12V = 7.25V$$

流过调整管的最大电流:  $I_{imax} = I_o + 3\% \times I_o = 0.515A$

管子实际最大功耗:  $P_{imax} = U_{cemax} \cdot I_{imax} = 7.25V \times 0.515A = 3.73W$

所以可选择功耗  $\geq 5W$  管子。其  $I_M$  取 1A,  $BV_{ceo} \geq 30V$ 。

经查找, 3AD7B 管子的主要参数如下:

$$P_M = 10W, I_M = 2A, BV_{ceo} \geq 50V$$

考虑  $V_i$  的驱动能力, 调整管的  $\beta$  值略选高些, 可取  $\beta = 60$  的管子。

此时调整管的基极电流  $I_{b2} \leq \frac{I_o}{\beta} = \frac{0.5A}{60} = 8.3mA$

比较放大管的选择:

$$U_{ce} = U_o - U_{Dw} + U_{d2} \approx U_o - U_{Dw} = 5V$$

$$I_{c1} > I_{b2} \quad \text{取 } I_{c1} = 10mA$$

$\therefore V_i$  可选用普通中、小功率晶体管,  $\beta$  略选大些(70~100)。

今选用 3AX31B 管子, 其主要参数如下:

$$P_M = 125mW, I_M = 125mA, V_{ce0} \geq 30V, \text{ 色点: 蓝 } (\beta = 80 \sim 120)$$

### 3.3.2 开关电路

晶体管除工作在放大区作放大器外, 还可工作在饱和区和截止区。此时晶体管工作在饱和导通和截止关断状态。这类电路称晶体管开关电路。若把晶体管的

饱和、截止表示二进制数的“0”和“1”，可组成各种数字电路。

### 3.3.2.1 几种常用的继电器控制电路

(1)简单水位控制电路:图 9.1.27 为水位控制电路原理图。当水位达到一定值时,晶体管饱和导通,继电器( $K_1$ )吸合。其常闭触点切断水泵的电源,停止供水。当水位低于此设定值时,晶体管截止。继电器释放,其常闭触点把水泵电源接通,开始供水。如此重复循环,使水位控制在某一定值附近。

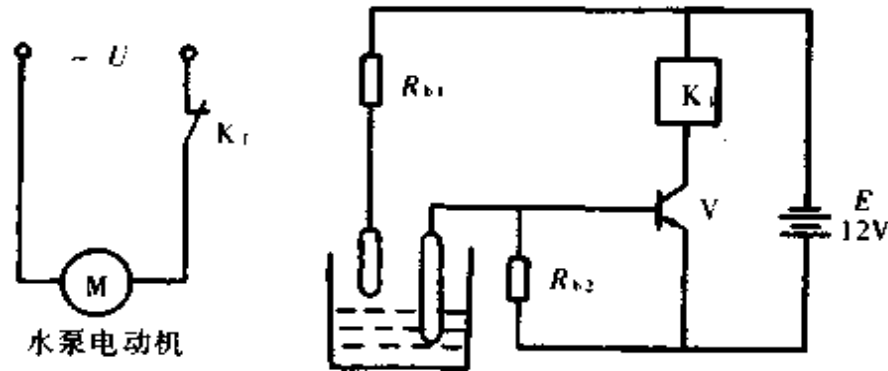


图 9.1.27 简单水位控制电路原理图

(2)光控电路:图 9.1.28 为简单光控电路原理图。当挡板( $B$ )移开时,光敏二极管受光导通,使晶体管饱和导通,继电器吸合。反之,挡板把光源挡往,光敏管和晶体管都关断,继电器释放,实现光控目的。此电路略加变形可作为光电计数器,只要将被计数物替代挡板即可。

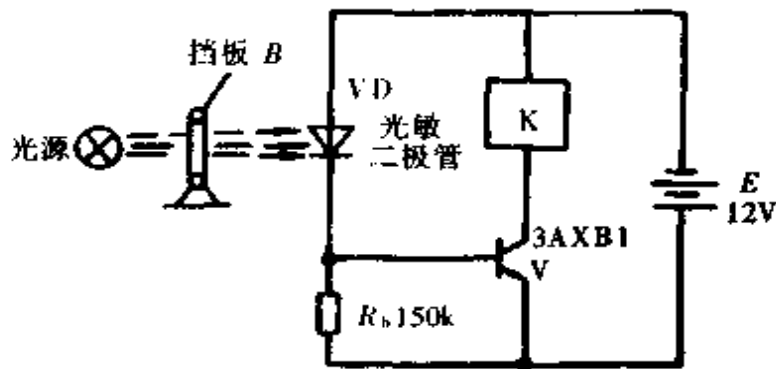


图 9.1.28 简单光控电路原理图

(3)延时控制电路:图 9.1.29 为简单延时控制电路原理图。当  $Q$  打开后,电源对电容  $C$  充电。充到一定值时,晶体管饱和导通,继电器吸合。从  $Q$  打开到继电器吸合的延时时间由电容  $C$  和  $R$  的数值决定。改变  $R$  值可整定延时时间。

3.3.2.2 数字逻辑电路 正负逻辑:在逻辑电路中,高低电平表示两种状态,用数字“0”和“1”表示。当“1”代表高电平,“0”代表低电平时的逻辑称为正逻辑;而

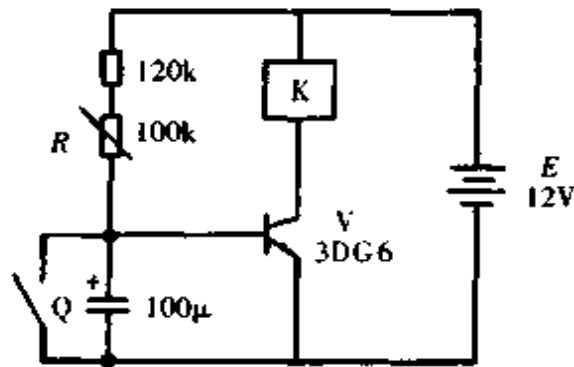


图 9.1.29 简单延时控制电路原理图

以“0”代表高电平，“1”代表低电平时的逻辑称负逻辑。

真值表：在逻辑电路中常用表格来表示输入与输出的关系。这种表格称真值表。它是分析数字逻辑电路的一种有效手段。

(1) 门电路：门电路是数字逻辑电路中的基本电路，包括与门、或门、非门及组合门。

① 与门电路：图 9.1.30 为正逻辑与门电路及其逻辑符号。图中 A、B、C 为输入端，P 为输出端。当输入均为高电平“1”时，P 才为高电平“1”。只要输入有一个低电平“0”，输出就为低电平。其真值表见表 9.1.21。数学表达式为： $P = A \cdot B \cdot C$ 。

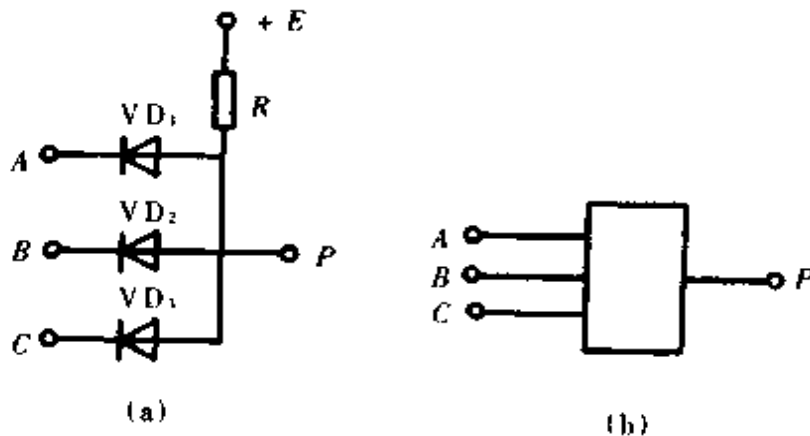


图 9.1.30 与门电路(正逻辑)及其逻辑符号

(a) 电路图 (b) 逻辑符号

表 9.1.21 与门真值表

A	B	C	P	A	B	C	P
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1

② 或门电路：图 9.1.31 为正逻辑或门电路及其逻辑符号。当输入 A、B、C 中一

个或一个以上为高电平“1”时,输出  $P$  就为高电平“1”。只有当输入全为低电平“0”时,输出  $P$  才为“0”。与门的真值表见表 9.1.22。其数学表达式为: $P = A + B + C$ 。

表 9.1.22 或门真值表

A	B	C	P	A	B	C	P
0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1

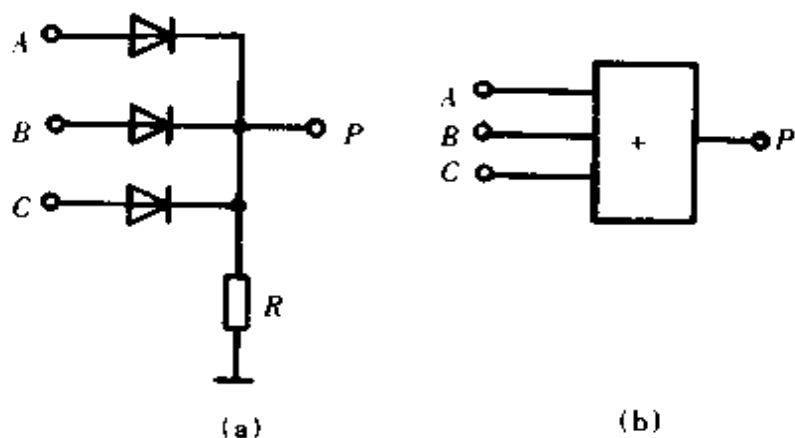


图 9.1.31 或门电路及其逻辑符号  
(a)电路图 (b)逻辑符号

注意:若用负逻辑,则图 9.1.30 是或门电路;而图 9.1.31 却为与门电路。

③非门电路:非门又称反相器。当输入为“1”时,输出就为“0”。反之则然。其逻辑含义是完成非逻辑运算。图 9.1.32 为基本非门电路及其逻辑符号。当输入为高电平“1”时,晶体管饱和导通,  $P$  为低电平“0”。反之,输入为低电平时,晶体管截止,  $P$  为高电平。真值表见表 9.1.23。其数学表达式为: $P = \bar{A}$ 。

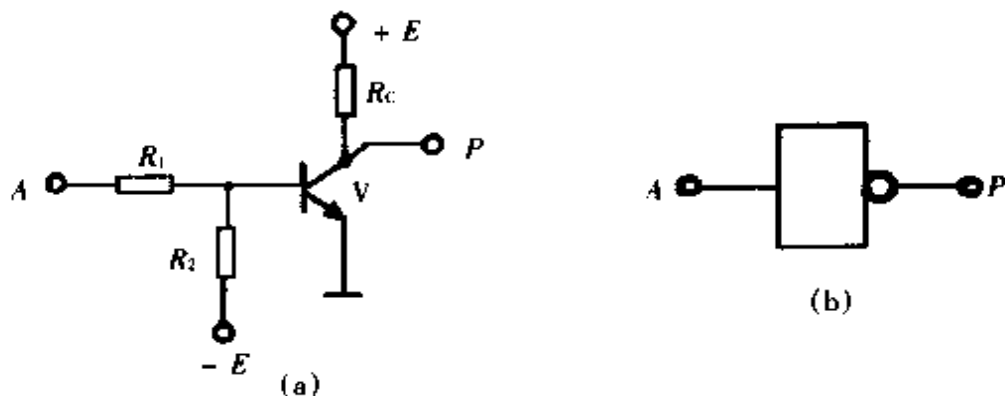


图 9.1.32 非门电路及其逻辑符号  
(a)电路图 (b)逻辑符号

表 9.1.23 非门真值表

A	P
0	1
1	0

在实际应用时,为提高非门的性能(工作频率、输出电平稳定等),在基本电路上作些改进。图 9.1.33 为几种改进型非门电路。

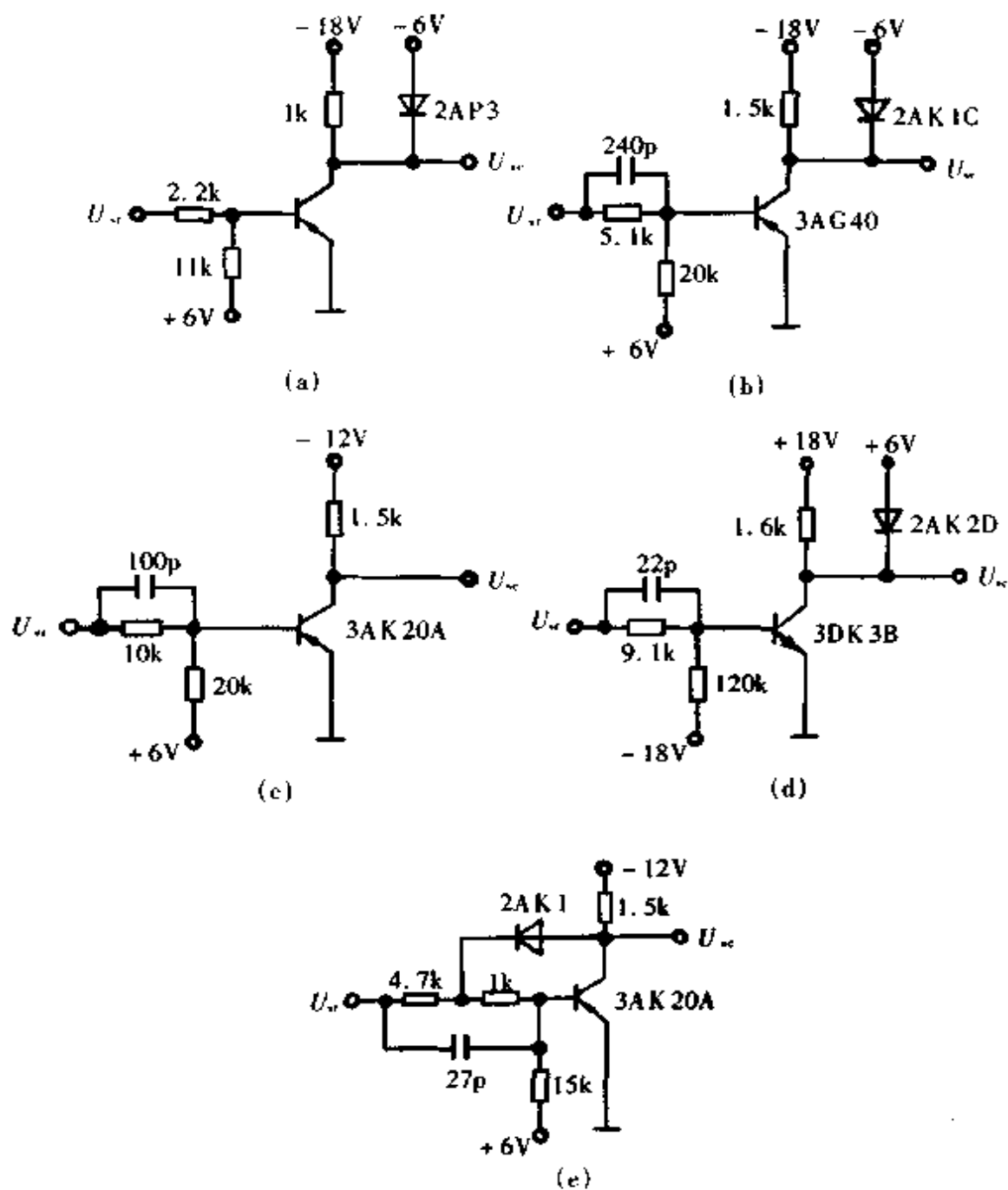


图 9.1.33 几种改进型非门电路

④组合门电路如下:

·与非门:它是与门与非门的结合,提高了与门电路的负载能力,图 9.1.34 为与非门电路及其逻辑符号。表 9.1.24 是其真值表。与非门的数学表达式为  $P = \overline{A \cdot B \cdot C}$ 。

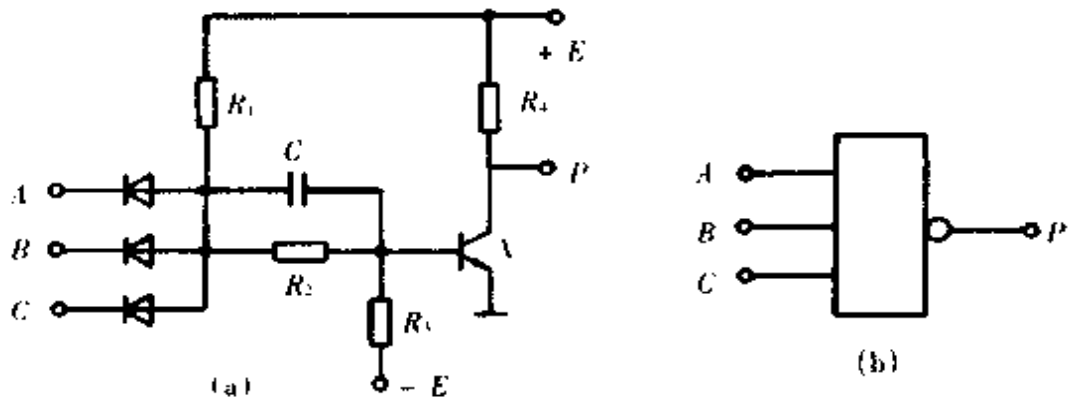


图 9.1.34 与非门电路图及其逻辑符号

(a)电路图 (b)逻辑符号

表 9.1.24 与非门真值表

A	B	C	P	A	B	C	P
0	0	0	1	1	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0

·或非门:它是或门和非门的结合。图 9.1.35 为或非门电路及其逻辑符号。表 9.1.25 为其真值表。数学表达式为  $P = \overline{A + B + C}$ 。

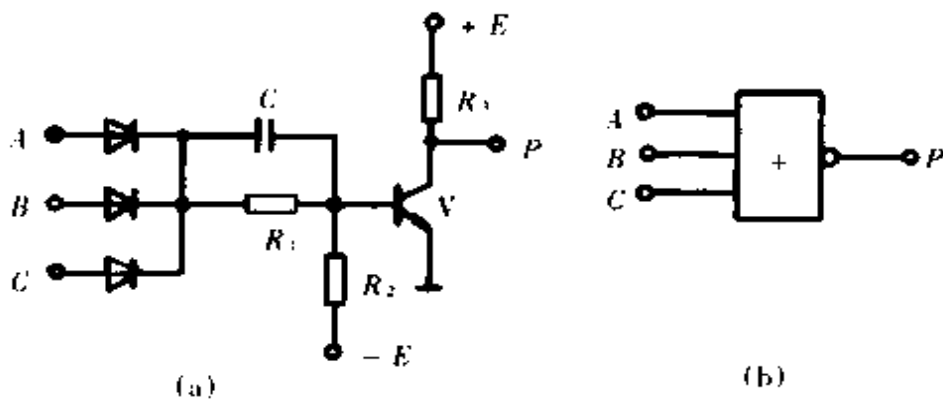


图 9.1.35 或非门电路图及其逻辑符号

(a)电路图 (b)逻辑符号



表 9.1.25 或非门真值表

A	B	C	P
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

·与或非门:图 9.1.36 为与或非门电路及其逻辑符号。图中 A、B 为一组与门输入, C、D 为另一组与门输入。两组与门的输出作为或门的输入。其真值表见表 9.1.26。数学表达式为  $P = \overline{A \cdot B + C \cdot D}$ 。

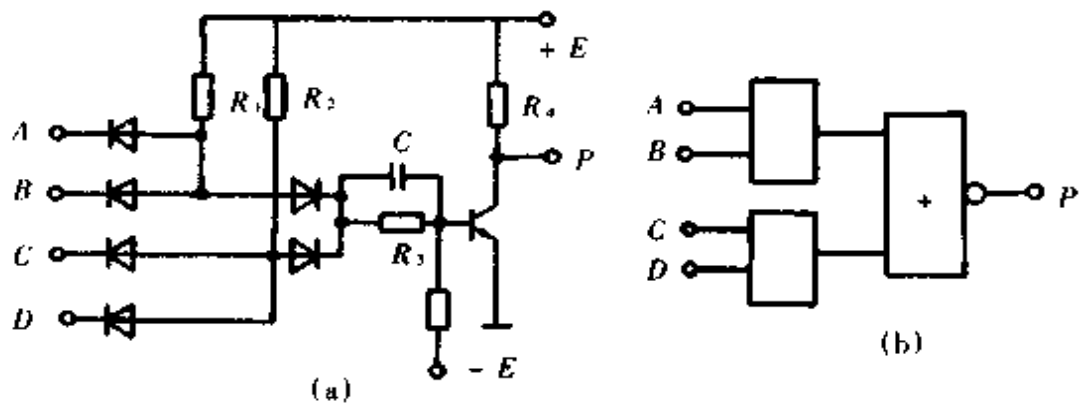


图 9.1.36 与或非门电路图及其逻辑符号  
(a)电路图 (b)逻辑符号

表 9.1.26 与或非门真值表

A	B	C	D	P	A	B	C	D	P
0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	0

·异或门:图 9.1.37 为异或门电路及其逻辑符号。它有两个输入端(A、B)。当这两输入相同时,输出 P 为“0”;两输入不同时,输出 P 为“1”。表 9.1.27 是其

真值表。数学表达式是  $P = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$  或  $P = (A + B) \cdot (\bar{A} + \bar{B})$ 。

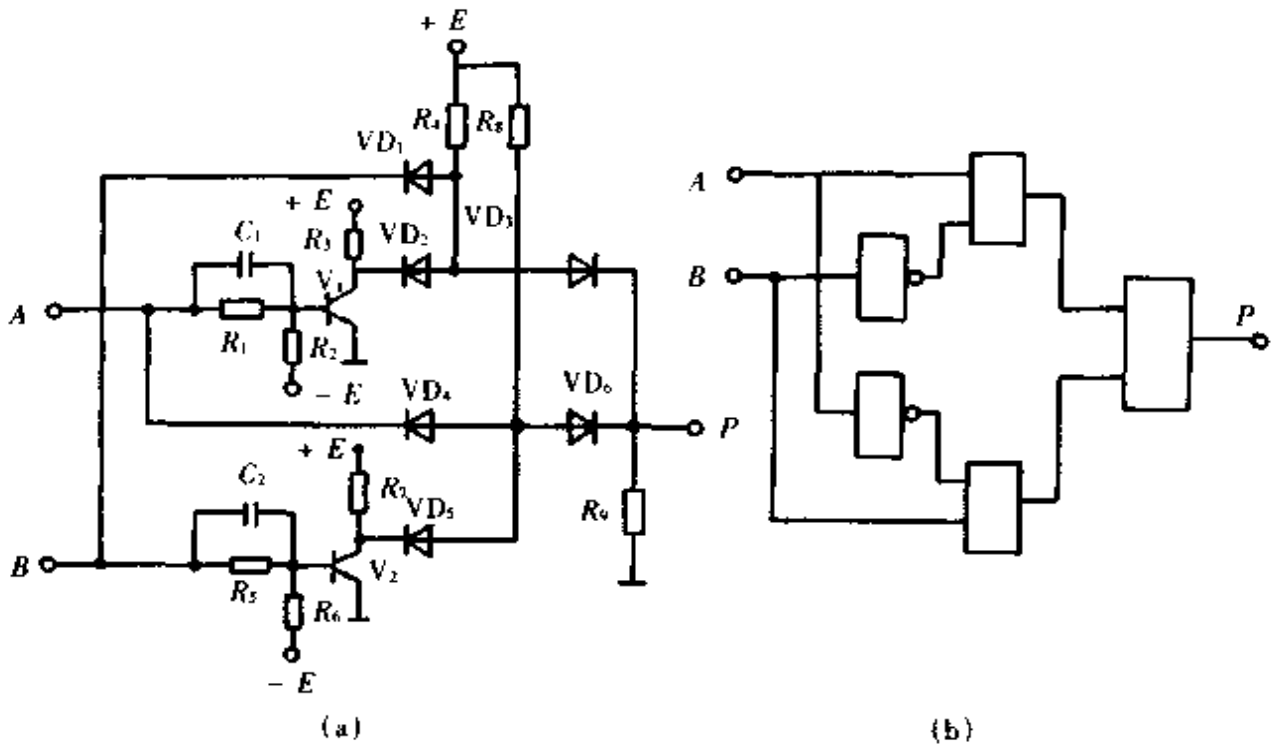


图 9.1.37 异或门电路及其逻辑符号

(a) 电路图 (b) 逻辑符号

表 9.1.27 异或门真值表

A	B	P
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(2) 触发电路: 触发电路是数字逻辑电路中基本组成部分之一。主要有双稳态触发器、单稳态触发器、多谐振荡器(无稳态)和斯密脱触发器等电路。

①双稳态触发器: 双稳态触发器常用于对二进制数的记忆和计数。图 9.1.38a 是最简单的双稳态电路, 它是由两只非门电路组成; 图 9.1.38b 为它的变形电路。其工作原理是: 接通电源后, 由于两只管子的导通程度的微小差异(这种差异总是存在的), 最终使一只晶体管饱和导通, 而另一只管子处于截止态。设开始通电时  $V_1$  略比  $V_2$  导通些,  $V_1$  的集电极电位  $U_{c1} \downarrow$ 。经  $R_{12}$  耦合到  $V_2$  的基极, 使  $U_{b2} \downarrow$ ,  $V_2$  就趋向截止。其集电极电位  $U_{c2} \uparrow$ 。经  $R_{21}$  耦合到  $V_1$  的基极,  $U_{b1} \uparrow$  使  $V_1$  更导通。如此循环, 最后  $V_1$  处于饱和态, 其集电极输出为低电平“0”; 而  $V_2$  为截止态, 集电极输出高电平“1”。只要没有触发电压输入, 这种状态将会一直维持下去。

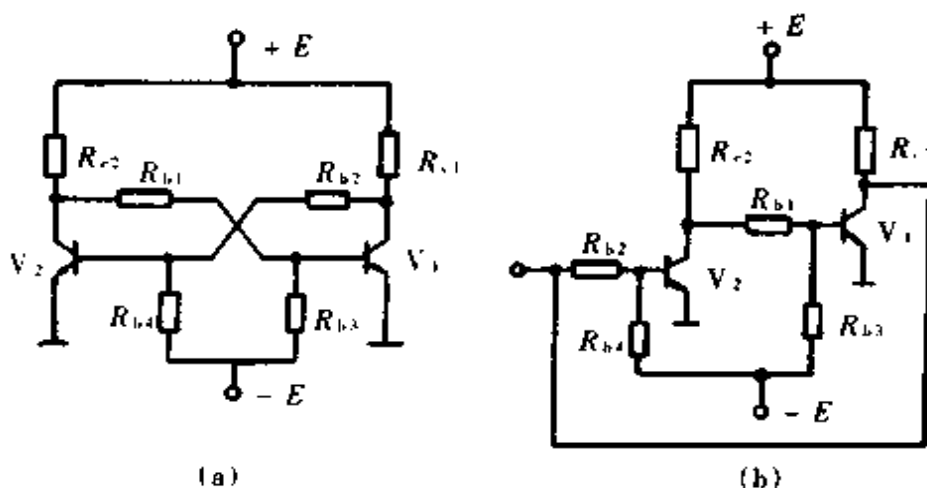


图 9.1.38 双稳态电路

当导通管  $V_1$  的基极加入负触发电平或脉冲时,  $V_1$  趋向截止, 而  $V_2$  趋向导通。重复上述的循环过程, 最后  $V_1$  成为截止态, 集电极输出高电平“1”; 而  $V_2$  进入饱和导通态, 其集电极输出低电平“0”。电路转入另一种稳定状态。双稳态触发器只有两个稳定态, 转变过程称为暂态。由一种稳态转入另一种稳态称翻转。

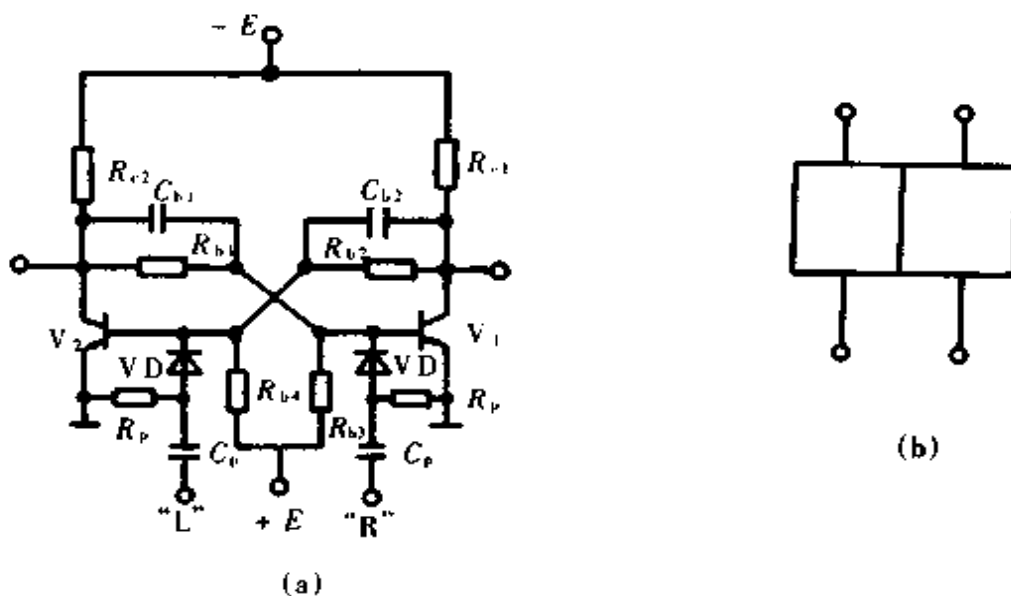


图 9.1.39 独立式触发的双稳态电路及其逻辑符号

(a) 双稳态电路图 (b) 逻辑符号

使双稳态电路翻转要输入触发信号。触发信号引入的方式通常有独立式和计数式两种。图 9.1.39 为独立式触发的双稳态电路及其逻辑符号图。图中  $C_p$  和  $R_p$  组成微分电路, 将输入电平变为尖脉冲。二极管  $VD$  只使正脉冲输入, 把负脉冲隔离掉。当“L”端输入正脉冲时  $V_2$  就截止, “R”端输入正脉冲时  $V_1$  截止。

图 9.1.40 为计数式触发的双稳态电路及其逻辑符号。它有两种类型电路。

左边电路是利用双稳态触发器原有状态的电位关系使输入触发脉冲只对导通管的基极起作用,使双稳态翻转。其中  $C_p$ 、 $R_p$  及  $VD$  的作用同上。右边电路是用  $C_p$ 、 $R_p$  和  $VD$  组成自控门,保证输入脉冲自动引入导通管的基极,使双稳态电路翻转,这种电路广泛用于计数器中。

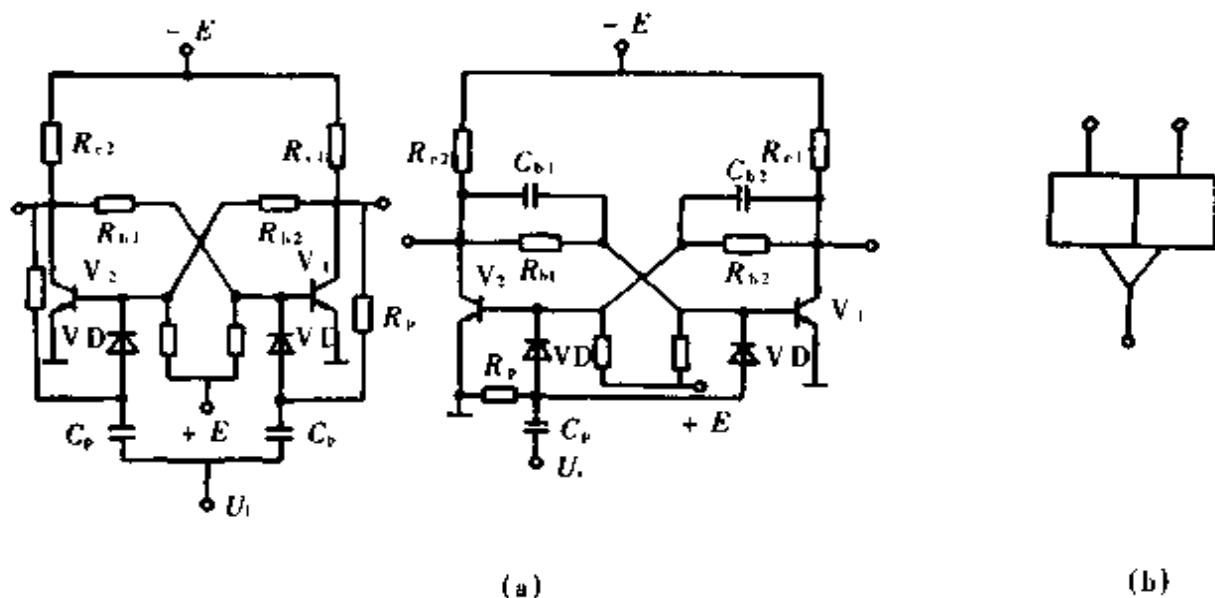


图 9.1.40 计数式触发的双稳态电路及其逻辑符号  
(a)双稳态电路图 (b)逻辑符号

双稳态触发器的应用甚广,常用作计数器和寄存器。图 9.1.41 为四位二进制计数器的逻辑符号图。当计数脉冲从  $U_i$  端输入时,双稳态相继翻转。其真值表见表 9.1.28。在计数脉冲输入前先加置零脉冲于置“0”端,使计数器清零。

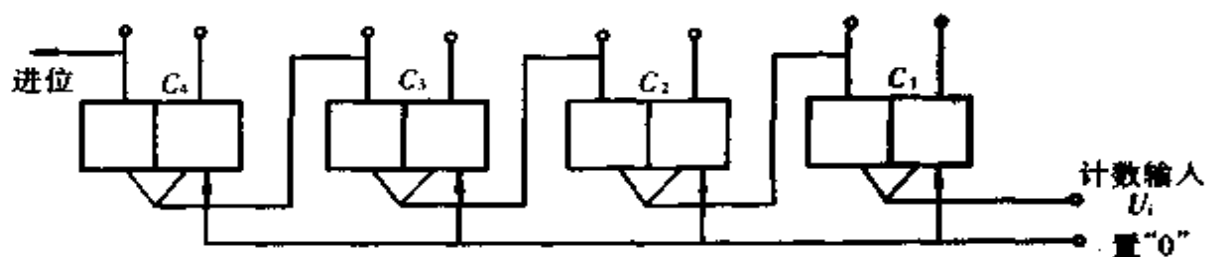


图 9.1.41 四位二进制计数器的逻辑符号图

表 9.1.28 四位二进制计数器真值表

计数输入	二进制数	计数输入	二进制数
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	10	1010
3	0011	11	1011
4	0100	12	1100
5	0101	13	1101
6	0110	14	1110
7	0111	15	1111

图 9.1.42 为二—十进制计数器。它由四只二进制计数器及反馈线组成。从上面四位二进制计数器真值表可知,四位二进制可表示 16 个数。要使它变成十进制数即表示 0~9 十个数字必须设法从 16 个数中减去 6 个数。图 9.1.42 中表示的只是其中一种方法。表 9.1.29 是其真值表。

表 9.1.29 二—十进制计数器真值表(8-4-2-1 码)

计数输入	二进制数	计数输入	二进制数
0	0000	5	0101
1	0001	6	0110
2	0010	7	0111
3	0011	8	1000
4	0100	9	1001

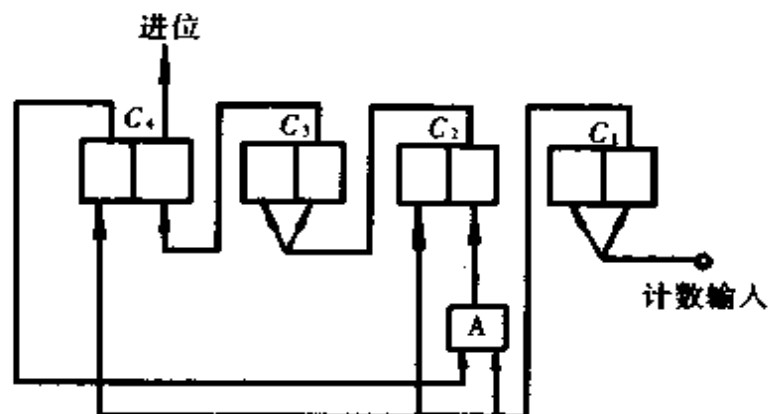


图 9.1.42 二—十进制计数器

图 9.1.43 至图 9.1.45 为三种分频电路,这也是双稳态触发器的一种应用。图 9.1.46 示出这三种分频器的输入信号与输出信号波形图。

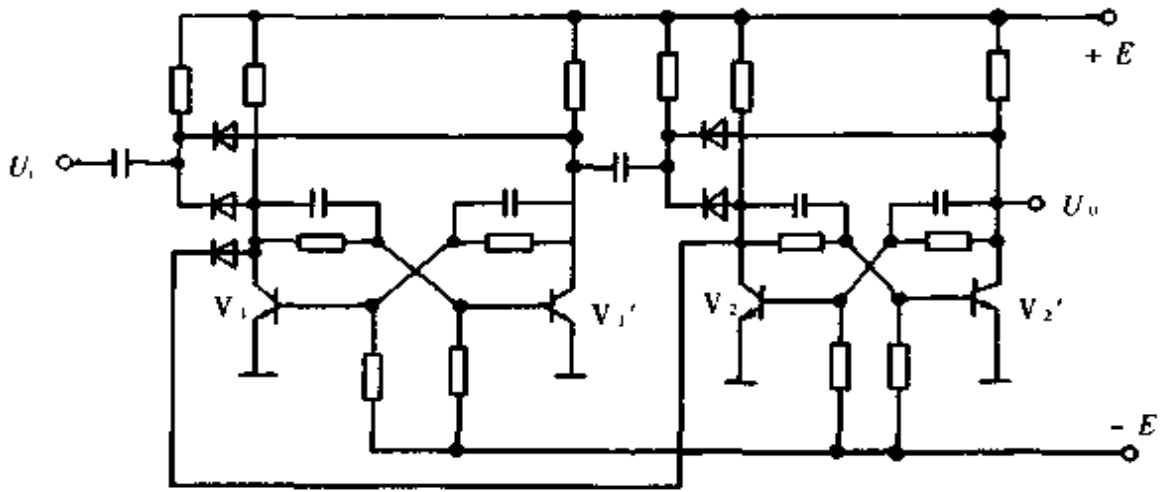


图 9.1.43 三分频电路

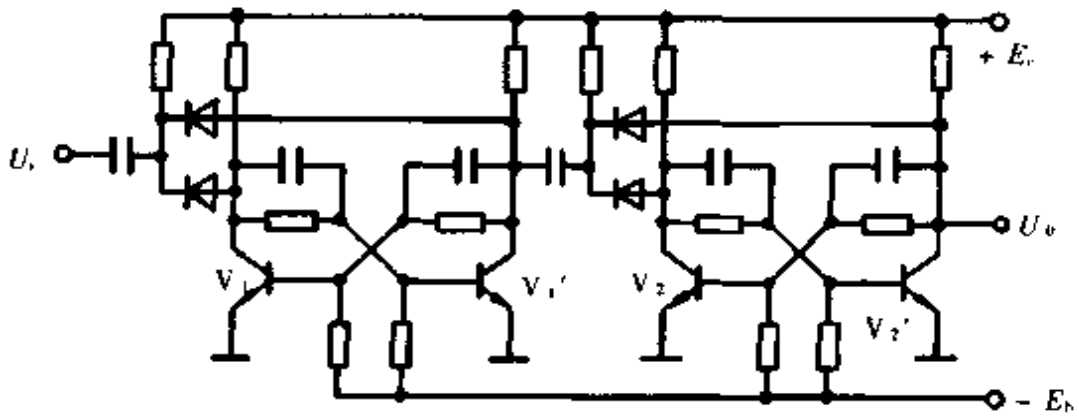


图 9.1.44 四分频电路

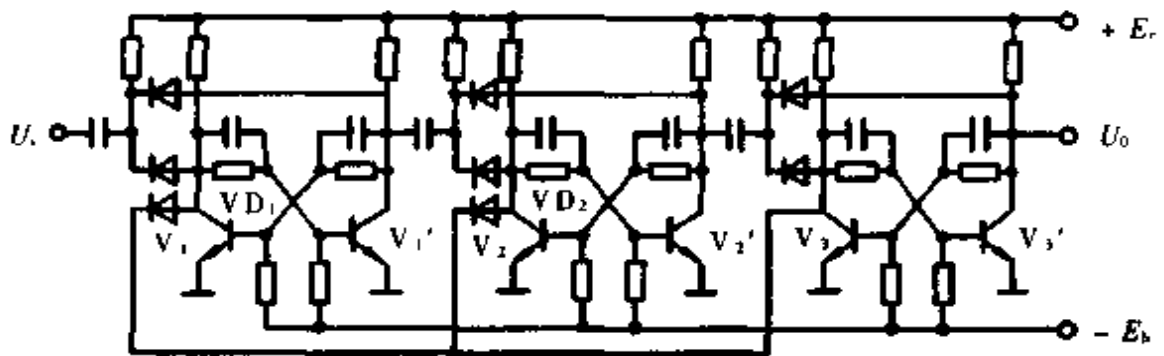


图 9.1.45 五分频电路

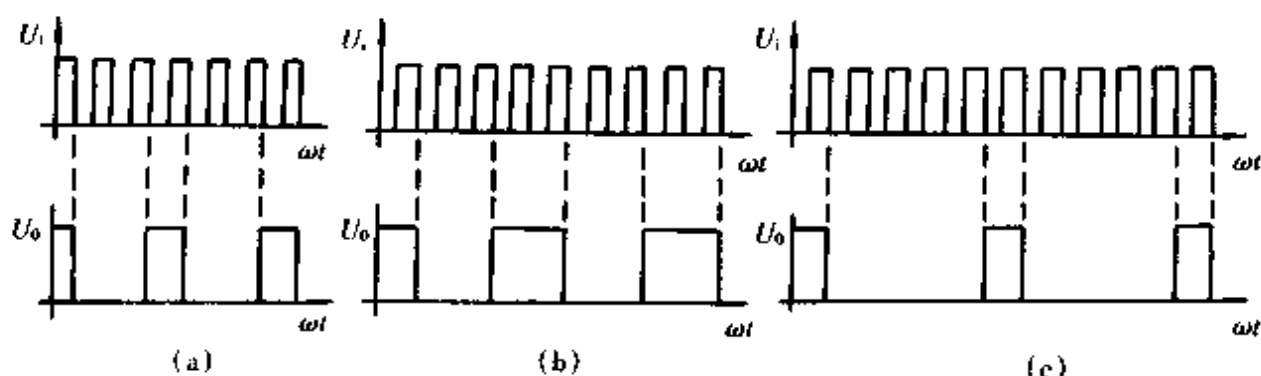


图 9.1.46 三种分频器的输入、输出信号波形图

(a)三分频 (b)四分频 (c)五分频

图 9.1.47 是用双稳触发器和门电路组成的三位并行寄存器。输入数码从  $U_{i1} \sim U_{i3}$  引入。在接收信号到来之前寄存器先清零。接收信号一到,三个与门打开把数字存入三只双稳态触发器中。如:输入数为  $U_{i1} = "1", U_{i2} = "0", U_{i3} = "1"$  即 101。接收信号一到,即“1”信号同时加到三只与门中。此时与门 1 和 3 的输出为“1”,与门 2 的输出是“0”。1 和 3 号双稳触发器变为“1”,而 2 号双稳触发器仍为“0”。这就把 101 数字存入到双稳触发器组成的寄存器中了。若要把寄存器中的数取出,只要在“送出”端加“1”信号即可。此时 4~6 与门打开把寄存器的数字送出。

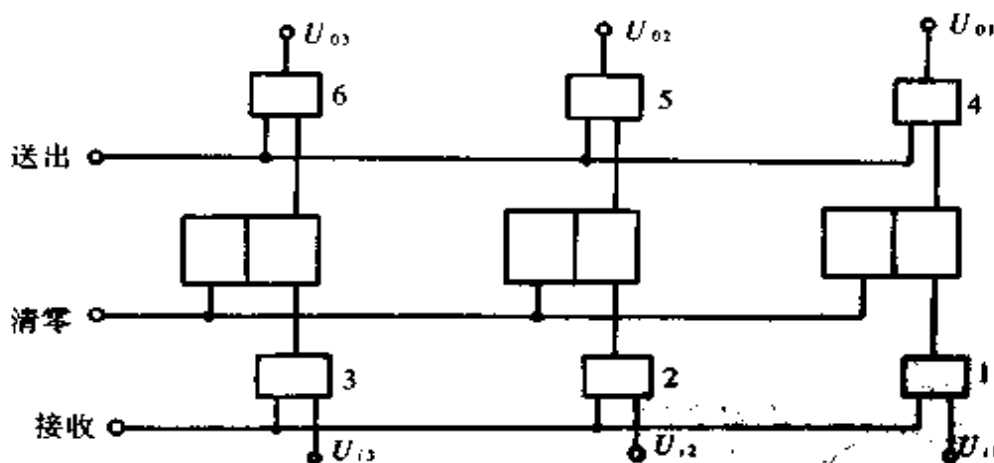


图 9.1.47 三位并行寄存器

②单稳态触发器:它只有一种稳定状态,另一个状态为暂稳态。图 9.1.48 为单稳态触发器电路及其逻辑符号。它与双稳态电路不同之处是其中一个耦合支路由电容  $C$  替代了电阻。它使  $V_2$  导通,  $V_1$  截止成为暂态。

通电后,设  $V_1$  比  $V_2$  导通些。由于互相耦合作用,最后使  $V_1$  处于饱和导通,而  $V_2$  为截止态。只要触发信号不来,这种状态将一直保持下去,为一种稳态。

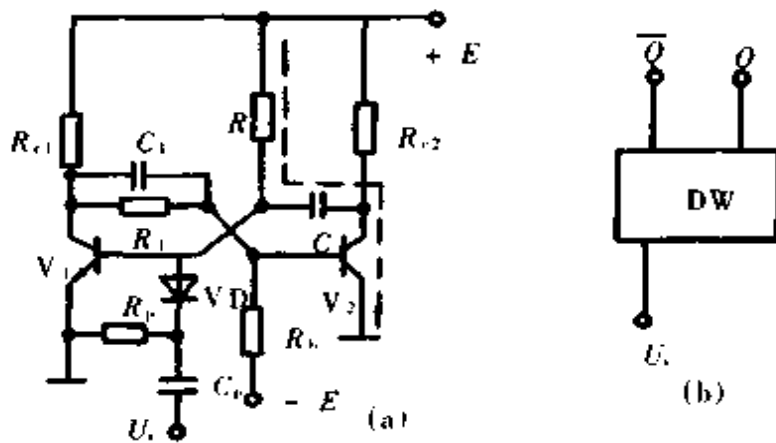


图 9.1.48 单稳态电路及其逻辑符号

(a)单稳态电路图 (b)逻辑符号

当负触发信号加入后,  $V_1$  趋向截止,  $U_{c1} \uparrow \rightarrow U_{b2} \uparrow \rightarrow U_{c2} \downarrow$ , 经电容  $C$  耦合  $U_{b1} \downarrow \rightarrow U_{c1} \uparrow \dots$  最后  $V_1$  处于截止而  $V_2$  进入饱和导通态。  $U_{c2}$  接近零电平。电源经  $R$  对  $C$  充电(见图中虚线), 使  $U_{b1} \uparrow \rightarrow U_{c1} \downarrow \rightarrow U_{b2} \downarrow \rightarrow U_{c2} \uparrow \rightarrow U_{b1} \uparrow \dots$  如此循环最终又是  $V_1$  导通,  $V_2$  截止。自动回到稳定态。该电路只有一种稳定态, 故称单稳态触发器。

触发脉冲的输入使之进入暂稳态, 暂稳态维持时间与  $R$  和  $C$  值有关, 常称此维持时间为单稳态的脉冲宽度, 用下式计算:

$$\tau = 0.69RC(s)$$

式中  $R$ ——电阻( $\Omega$ );

$C$ ——电容(F)。

图 9.1.49 为几种常见的单稳态触发器电路。

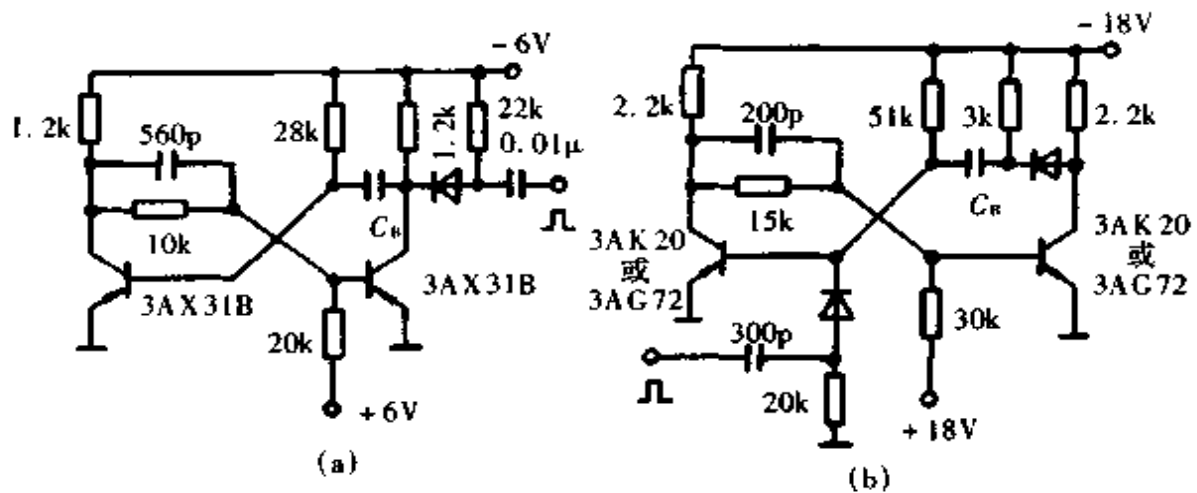


图 9.1.49 几种常见的单稳态电路(一)



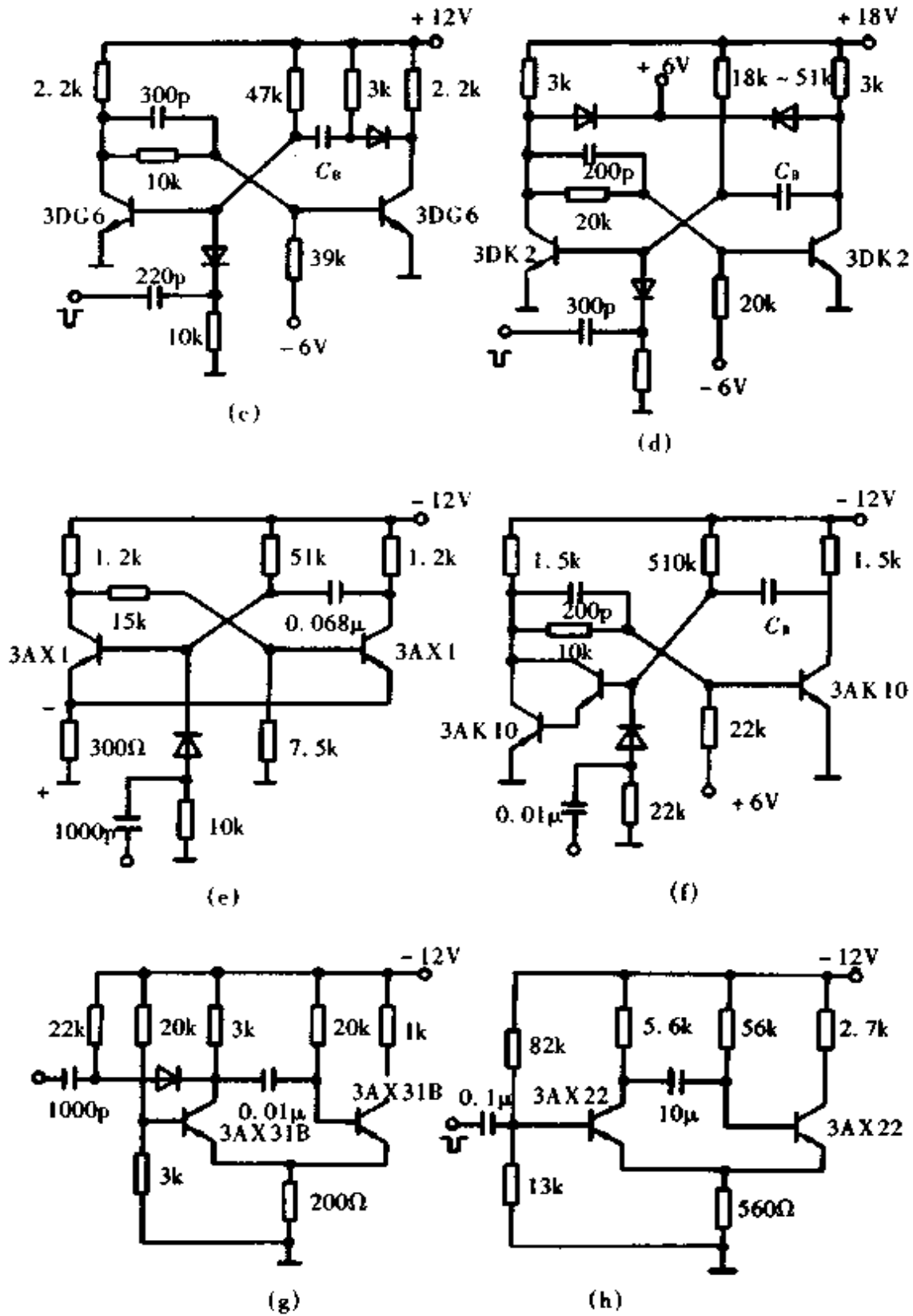


图 9.1.49 几种常见的单稳态电路(二)

单稳态触发器常用作整形和延时。图 9.1.50 为单稳态触发器作整形器的逻辑符号及其波形图。输入波形的幅度和宽度虽不一样,但经整形后的波形的幅度和宽度保持一致。

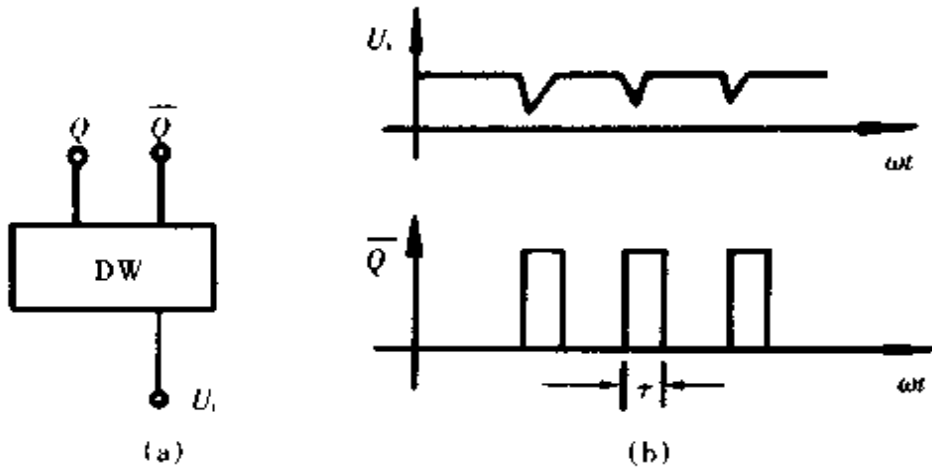


图 9.1.50 单稳态触发器作整形器的逻辑符号及其波形图  
(a)逻辑符号 (b)波形图

图 9.1.51 为单稳态触发器组成的延时电路的逻辑符号及其波形图。从图中可知,  $U_i$  的负沿延时了  $\tau_1$ , 它由  $DW_1$  的脉冲宽度(暂态维持时间)来决定。

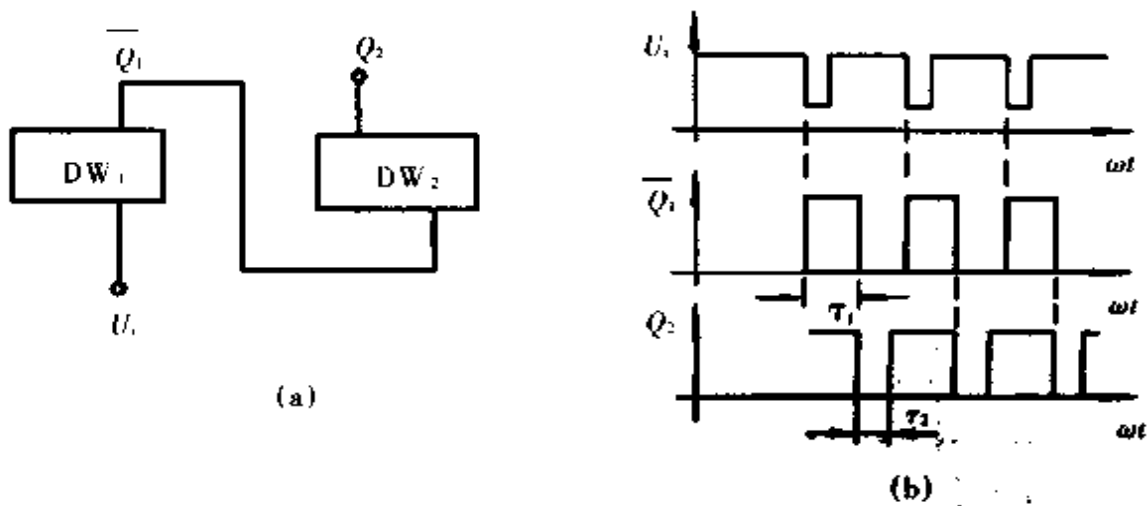


图 9.1.51 单稳态触发器组成的延时电路的逻辑符号及其波形图  
(a)逻辑符号 (b)波形图

单稳态触发器也可作分频器。图 9.1.52 为脉冲宽度可调的单稳电路,以及由这种单稳电路与门电路组成的分频器的逻辑符号图和工作波形图。它是利用单稳在暂态时通过门电路抑制输入脉冲原理工作的。

③多谐振荡器(无稳态触发器):若将单稳态电路中的另一路耦合电阻也改成

电容,则成为无稳态电路或称多谐振荡器(因为输出近似方波,它含有丰富的高次谐波)。图 9.1.53 为多谐振荡器电路及其逻辑符号与输出波形。其工作周期用下式计算:

$$T = \tau_1 + \tau_2 = 0.69(R_1 C_1 + R_2 C_2)$$

若  $R_1 = R_2 = R; C_1 = C_2 = C$ , 则:  $T = 1.38RC$

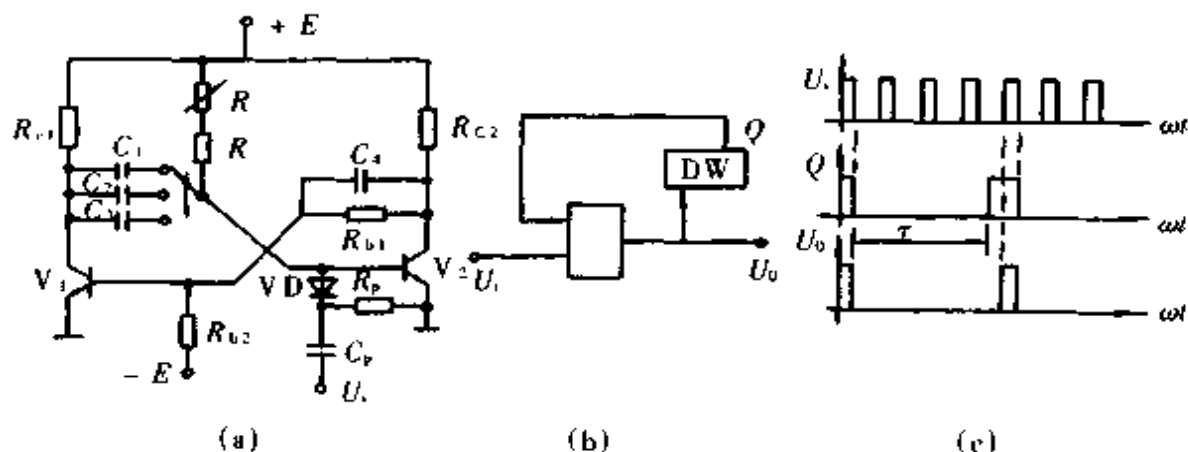


图 9.1.52 单稳态触发器组成的分频电路及其逻辑符号与波形图

(a)电路图 (b)逻辑符号 (c)波形图

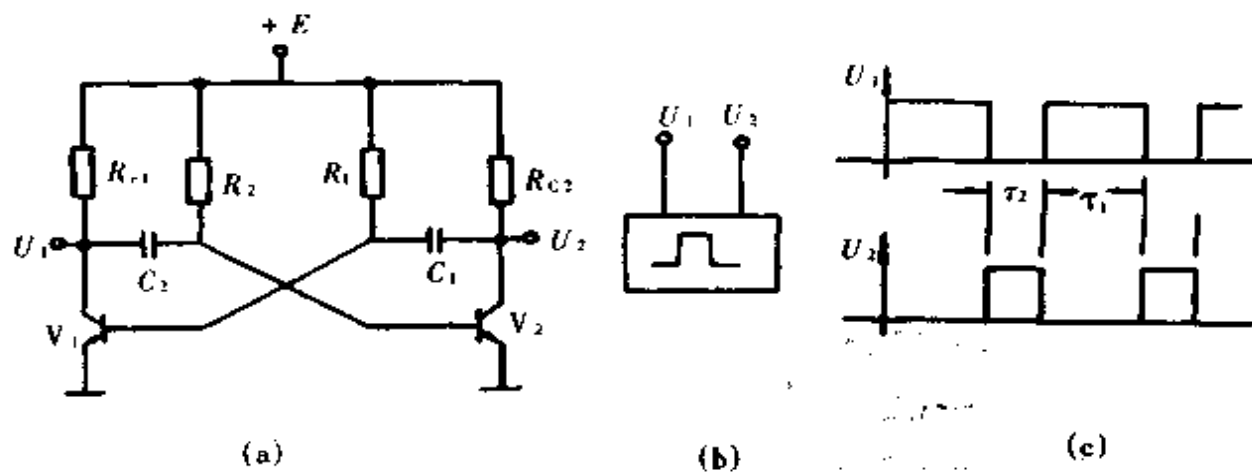


图 9.1.53 多谐振荡器电路及其逻辑符号与输出波形

(a)电路图 (b)逻辑符号 (c)输出波形

多谐振荡器常作脉冲信号源。图 9.1.54 为一只由多谐振荡器组成的方波信号发生器,其输出频率为 1Hz,幅值近 6V。接入二极管 VD 可改善输出脉冲的波形。

(3)译码器及显示器:在数字逻辑电路中常需要把二—十进制码变换成十进制数,并把它显示出来,这就需要译码器及显示电路。在有的场合,也用译码器把二进制码译成相应的控制电位去驱动被控部件。

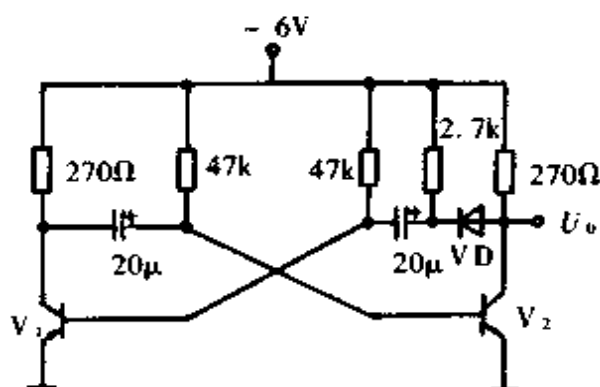


图 9.1.54 1 Hz 方波信号发生器

译码器常由二极管与门电路组成。图 9.1.55 为一种二极管矩阵译码器电路。译码器的输入是由三只双稳态触发器组成的寄存器。此寄存器可存放 0~7 八个数字。通过译码器每个数字均可在对应的输出端得到高电平信号。其对应关系见表 9.1.30。例：设寄存器中数为 011，此时触发器  $C_3$  置“0”， $C_2$  和  $C_1$  均为置“1”。 $C_3$  的左边输出为“1”， $C_1$  和  $C_2$  的右边输出为“1”。通过译码器只有 3 点输出为高电平“1”，其余输出皆为“0”。

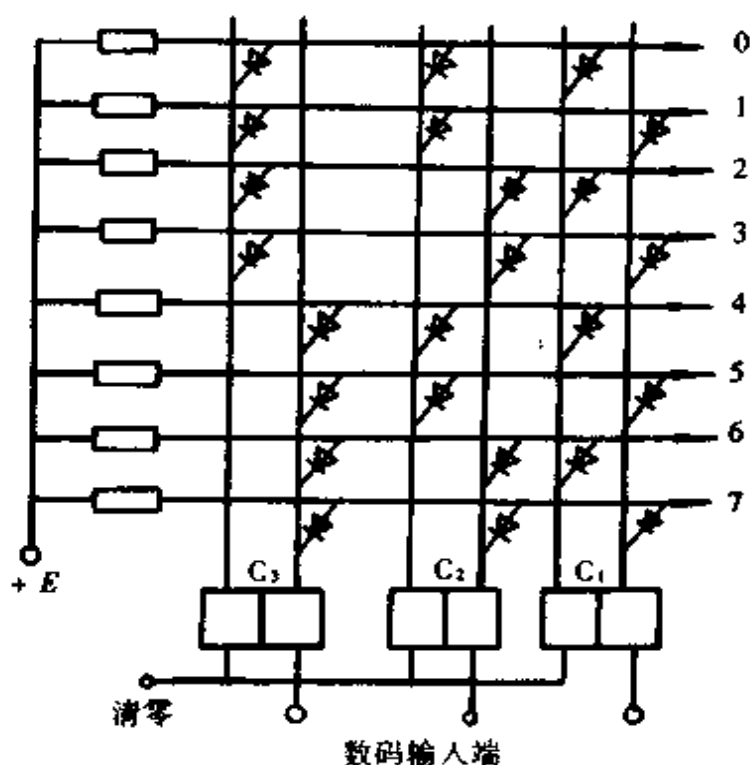


图 9.1.55 二极管矩阵译码器电路

表 9.1.30 译码器输入/输出对应表

二进制码	输出数
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

图 9.1.56 为一种十进制数译码器。译码器的输入是四只双稳态触发器的输出。例：若数字为零，则四只触发器均置零。A、B、C、D 均为低电平“0”，而  $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 、 $\bar{C}$ 、 $\bar{D}$  均为高电平“1”。通过译码器只有最上面那条横线输出为“1”，即译出十进制数的“0”。以此类推。

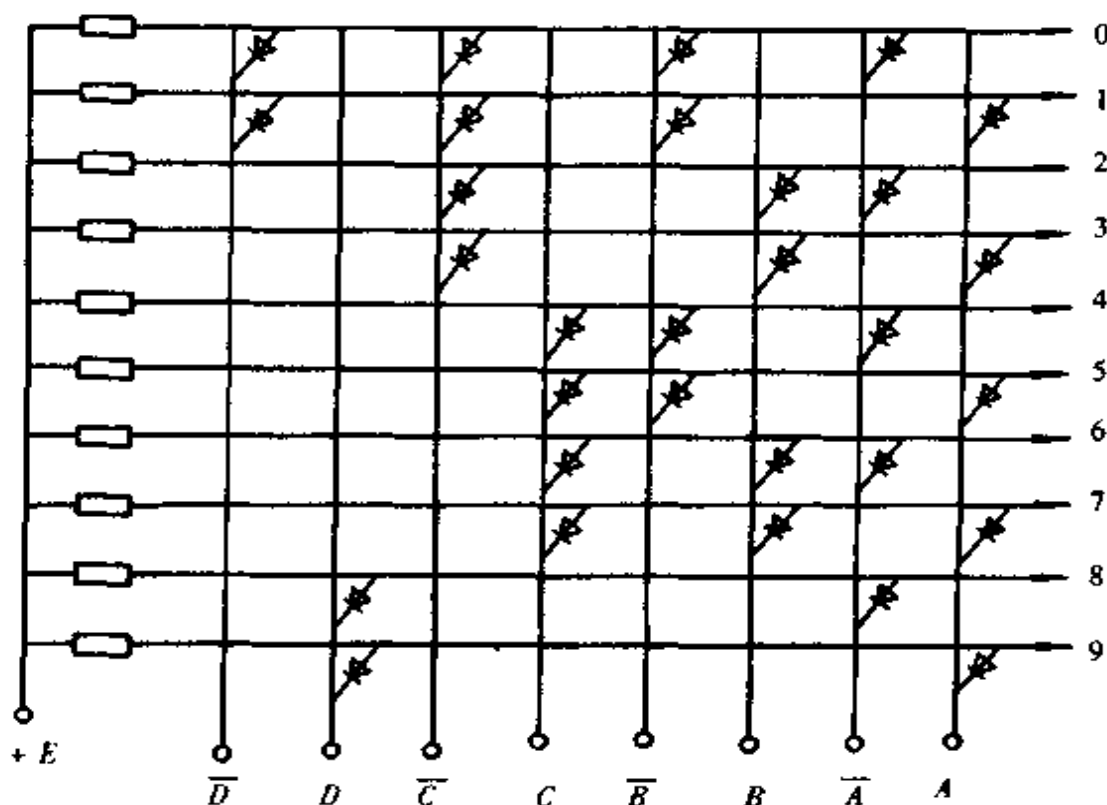


图 9.1.56 一种十进制数译码器电路

显示器：发光二极管是一种 LED 显示器，这里介绍另外两种常用的数字显示器：辉光数码管和荧光数码管。

辉光数码管:它的应用历史较久,其结构是在玻璃管内装有十个阴极和一个阳极,十个阴极分别组成0~9十个数字。当某阴极与阳极接通后,对应的数字就发光。常用晶体管作驱动器把阴极接通。图9.1.57为辉光数码管及其驱动电路图。驱动器的输入是译码器的输出。表9.1.31列出两种常用辉光数码管的主要技术参数及外形。

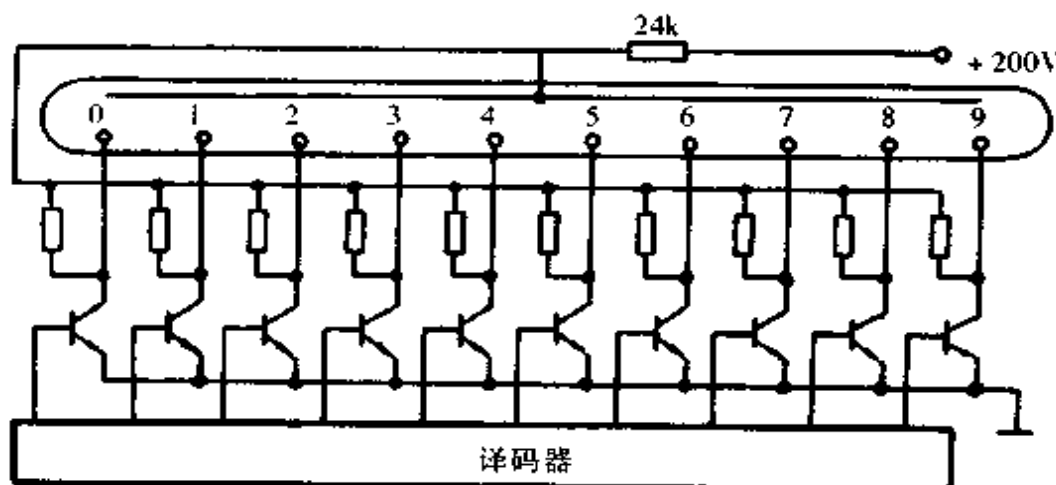
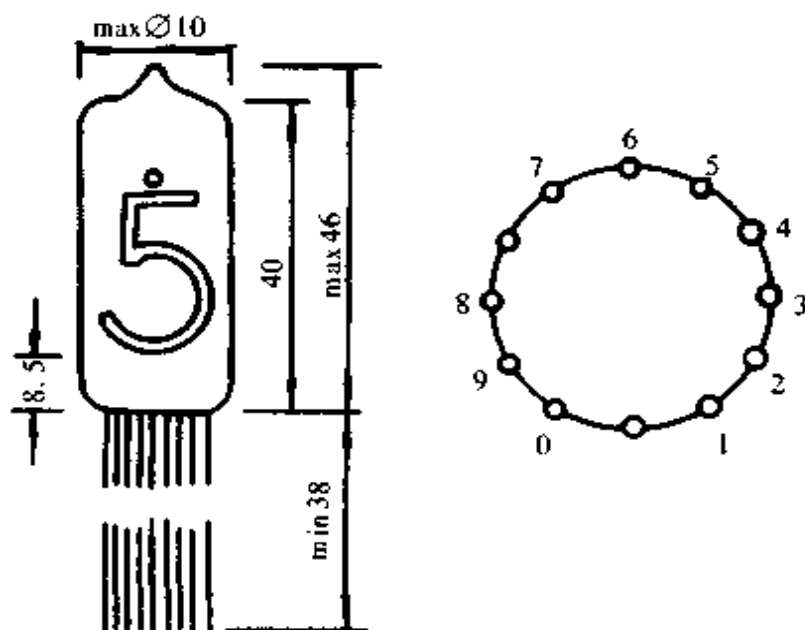


图 9.1.57 辉光数码管及其驱动电路

表 9.1.31 两种常用辉光数码管的主要技术参数及外形图

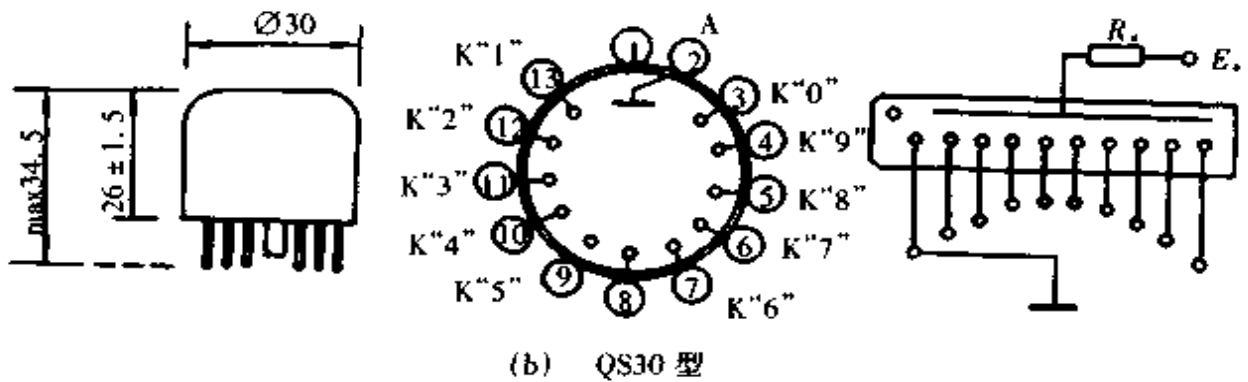
起辉电压 $u_2$ (V)	阴极工作电流 $I_K$ (mA)		工作电压 $E_a$ (V)	寿命 $T$ (h)	显示颜色
	数字 0~9	小数点			
150	3	0.8	170	1000	橙红色



(a) QS18-12型

续表

名称	最小值	中心值	最大值
阴极供给直流电压 $E_s$ (V)	120	150	220
起辉电压 $u_2$ (V)			110
熄灭电压 $u_3$ (V)	60		
阴极电流 $\left( \begin{matrix} E_s = 120V \\ R_s = 5.1k\Omega \end{matrix} \right) I_K$ (mA)	1.0	1.75	2.5
限流电阻 $R_s$ (k $\Omega$ )	5.1	20	56
显示高度 $H$ (mm)	15		
寿命 $T$ (h)	5000		



荧光数码管：荧光数码管的特点是起辉电压低，通常比辉光数码管的起辉电压低一个数量级。荧光数码管由八个片段的阳极、栅极和灯丝组成。八片阳极组成0~9十个数字，常称八段数字管。其阳极与组成的数字见图9.1.58。

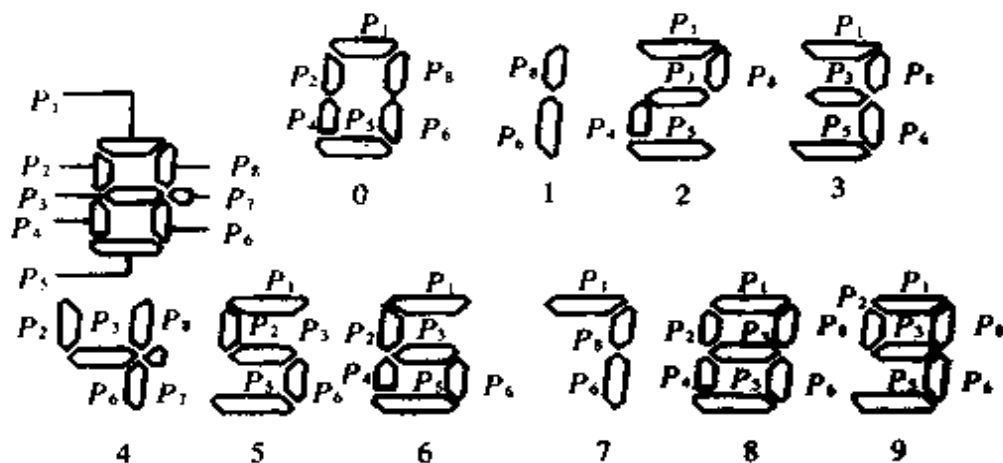


图 9.1.58 八段数码管的阳极与组成的数字

由译码器经驱动电路把对应的片段与 +20V 电源接通，当灯丝加热后，栅极接到 +20V 电源上时，对应的阳极片段发光，显示出数字。表 9.1.32 为对应于 0~9

十个数字的八段荧光管的显示状态表。表 9.1.32 列出了两种常用的荧光数码管的主要技术参数及管脚图。除一位荧光数码管外,还有二位、三位和四位管,为数字显示提供了灵活的选择。

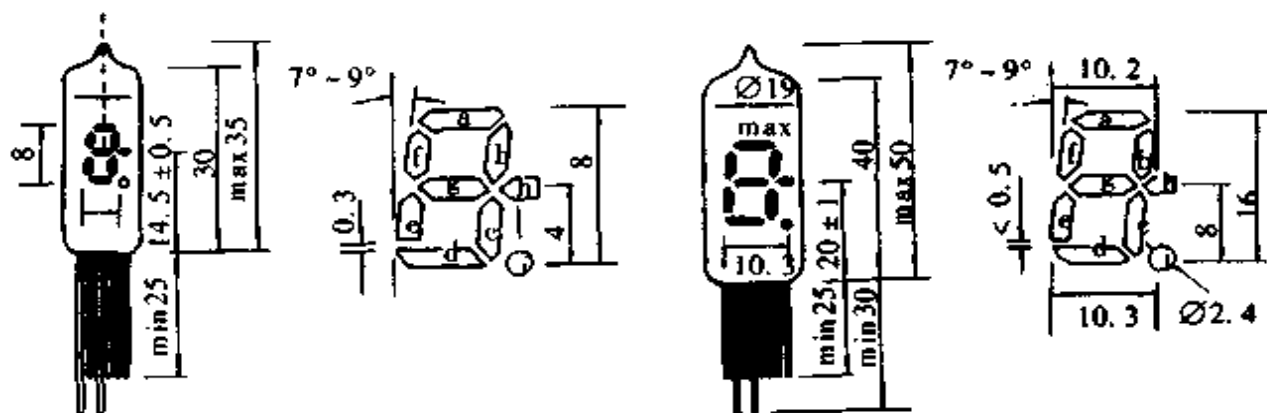
表 9.1.32 八段荧光管的显示状态表

数字	8421 码	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
0	0000	1	1	0	1	1	1	0	1
1	0001	0	0	0	0	0	1	0	1
2	0010	1	0	1	1	1	0	0	1
3	0011	1	0	1	0	1	1	0	1
4	0100	0	1	1	0	0	1	1	1
5	0101	1	1	1	0	1	1	0	0
6	0110	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0111	1	0	0	0	0	1	0	1
8	1000	1	1	1	1	1	1	0	1
9	1001	1	1	1	0	1	1	0	1

表 9.1.33 两种荧光数字管的主要技术参数及管脚图

(a)主要技术参数

型号	灯丝电流 $I_f$ (mA)	灯丝电压 $U_f$ (V)	栅极电流 $I_k$ (mA)	栅极电压 $U_k$ (V)	栅极截止电压 $U_{\rho}$ (V)	阳极电流 $I_a$ (mA)	阳极电压 $U_a$ (V)	亮度 $B$ (nt)	寿命 $T$ (h)	显示颜色
YS13-3	$\leq 50$	1.5	$\leq 2.5$	20	-4	2.5	20	270	2000	绿色
YS9-3	$\leq 3.5$	1.2	$\leq 2$	20	-4	2	20	270	2000	
YS18-3	$\leq 70$	1.5	$\leq 4$	20	-4	2	20	270	2000	

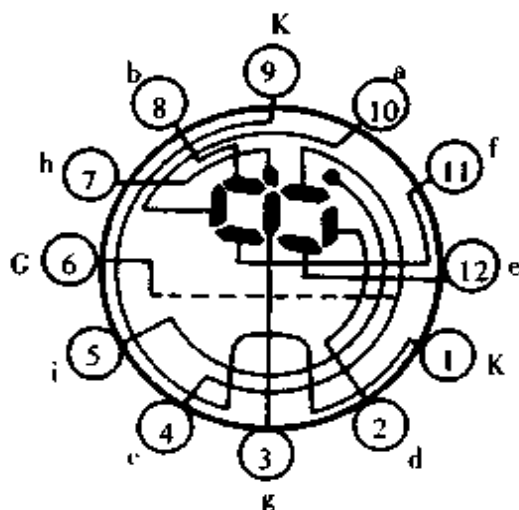




(b)管脚图

电极名称	阴极	阴极	栅极	阳极	阳极	阳极	阳极	阳极	阳极	阳极	阳极	阳极	
管脚	1	9	6	10	11	8	3	7	12	4	2	5	
符号	K	K	G	a	f	b	g	h	e	c	d	i	

管脚符号对照图



### 3.3.3 正弦波振荡电路

**3.3.3.1 振荡电路的结构** 正弦波振荡器又称自激正弦振荡器。通常它由三部分组成：放大器、具有选频功能的反馈网络和非线性元件。图 9.1.59 为其原理框图。在晶体管振荡电路中，放大器是由晶体管组成的各种放大器；反馈选频网络是由 LC 或 RC 等组成的回路；再利用晶体管放大倍数的非线性产生正弦波输出。

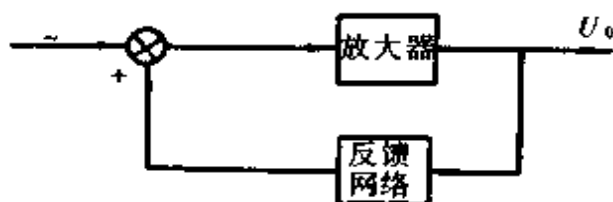


图 9.1.59 正弦波振荡电路的原理框图

**3.3.3.2 起振条件** 要使图 9.1.59 的振荡电路能起振，并持续稳定振荡下去，应满足两个基本条件：

(1) 反馈信号与输入信号相位一致。即正反馈。

(2) 反馈量要达到一定值，以维持稳定的振荡输出。图 9.1.60 为变压器耦合式正弦波振荡电路。它由晶体管放大器、LC 谐振回路等部件组成。其振荡频率

为  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。由  $L_1$  中感应电势作反馈信号(注意  $L_1$  的同名端,以保证为正反馈)。由于晶体管的  $\beta$  值在近饱和区和截止区的非线性,使振荡器能形成等幅的按正弦规律的振荡。

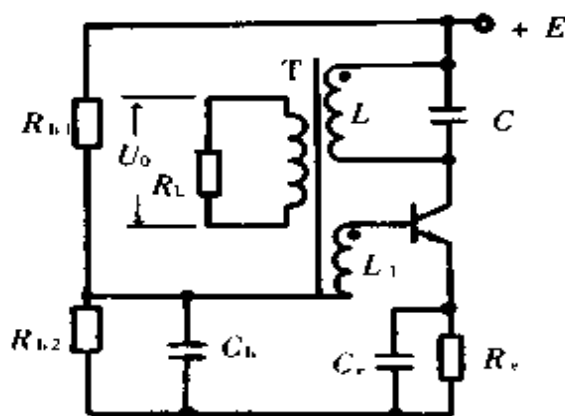


图 9.1.60 变压器耦合式正弦波振荡电路

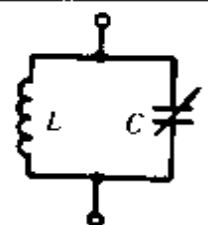
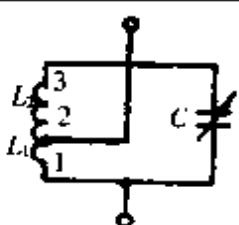
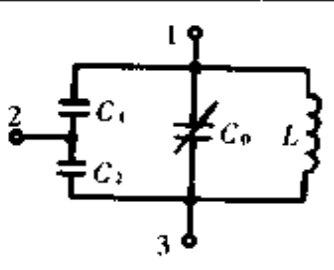
3.3.3.3 振荡电路类型 正弦波振荡电路按选频网络分,常用的有三类:LC 振荡器、RC 振荡器及石英晶体振荡器。

(1) LC 正弦振荡电路:它又可分变压器耦合式、电感三点式和电容三点式三种基本电路。它们的典型电路及其主要性能参数列于表 9.1.34。图 9.1.61 为几种实用的 LC 正弦振荡电路。

表 9.1.34 三种基本 LC 正弦振荡电路及其主要性能参数

名称	变压器耦合	电感三点式	电容三点式
电路形式			
振荡频率	$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$	$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$
起振条件	$\beta \geq \frac{CR_{Lm}}{M}$	$\beta \geq \frac{L_1 + M}{L_2 + M}$	$\beta \geq \frac{C_2}{C_1}$

续表

名称	变压器耦合	电感三点式	电容三点式
频率调节方法	 适用于较宽范围调频	 同左	 适用于固定频率或小范围调频
振荡波形	一般	高次谐波分量, 波形差	高次谐波分量小, 波形好
频率稳定度	一般	一般	较高
说明	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适应频率范围几千赫至几百兆赫</li> <li>2. 线圈比可较为自由的选取, 易于使变压器与晶体管之间阻抗匹配</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适应频率范围与变压器反馈式差不多</li> <li>2. 调节频率方便</li> <li>3. 电路容易起振</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用于较高的频率, 可做到 100MHz 以上</li> <li>2. 频率调节较为困难</li> <li>3. <math>C_0</math> 为 <math>C_1</math>、<math>C_2</math> 串联后的电容</li> </ol>

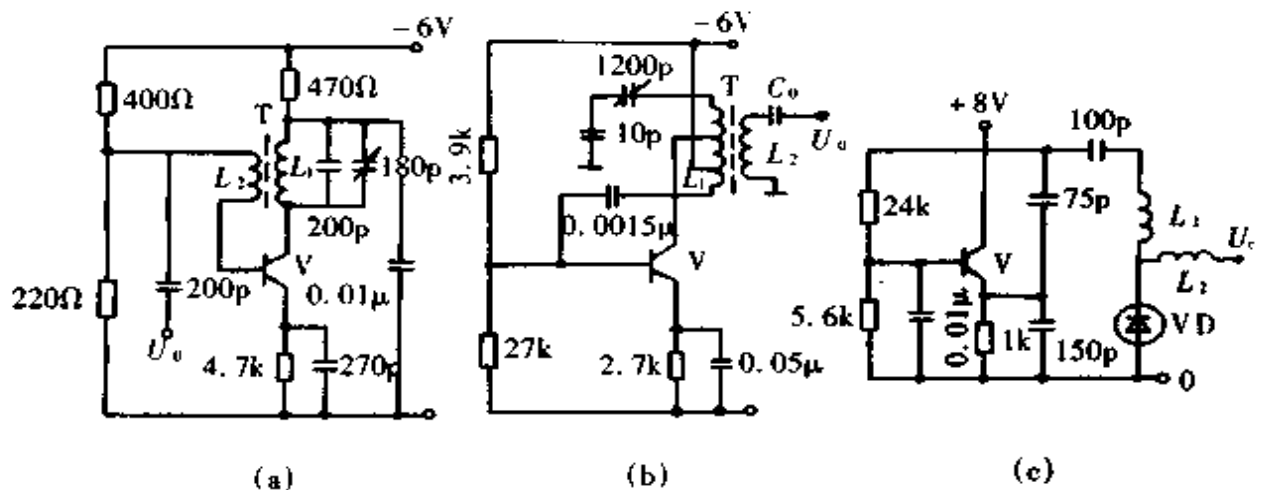


图 9.1.61 几种实用 LC 振荡电路

(2) RC 正弦振荡电路: 常用的 RC 正弦振荡电路有 RC 移相式和文字电桥式等。放大器的输出经 RC 移相或文字电桥移相和选频后反馈到输入端。满足振荡的两个条件就形成稳定而持续的振荡。图 9.1.62 为一典型的 RC 移相式振荡电路。三组 RC 移相电路使信号产生  $180^\circ$  相移。这种振荡电路的频率可由下式计算:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \text{ (Hz)} \text{ (当三组 } RC \text{ 值相等时)}$$

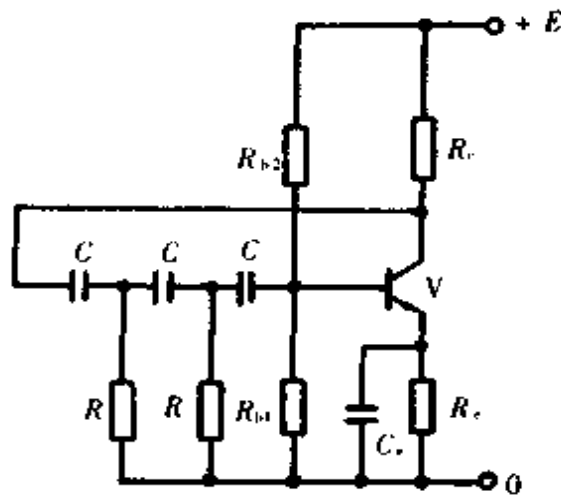


图 9.1.62 RC 移相式振荡电路

这种电路结构简单,但选频特性、稳定度及波形等较差。

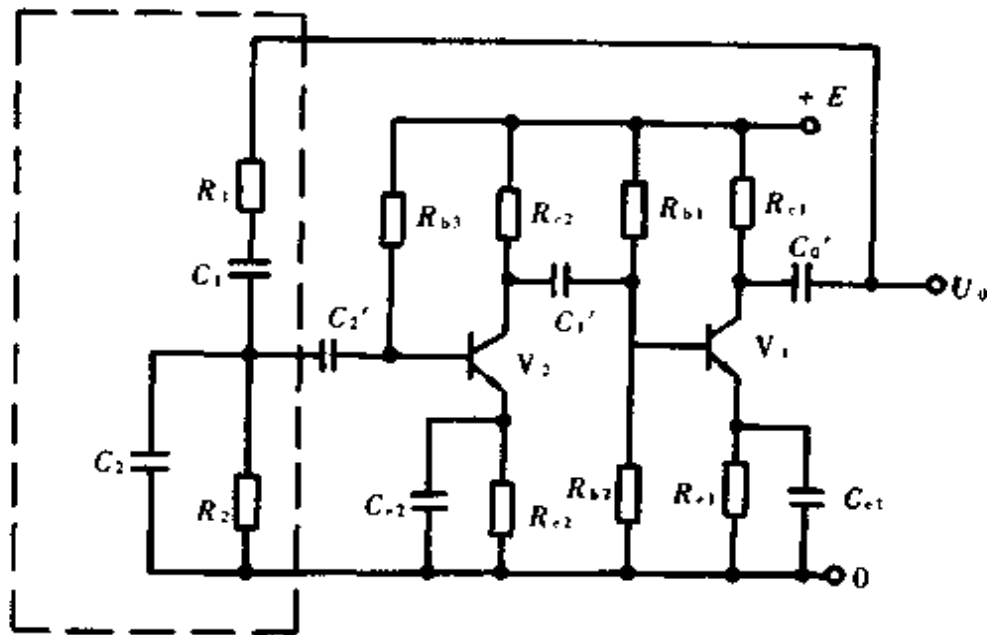


图 9.1.63 文字电桥式正弦波振荡电路

图 9.1.63 为文字电桥式正弦波振荡电路。图中左面虚线框内为两只 RC 组成的文字电桥,它作为选频和反馈网络。网络输出信号的相位与输入信号相位同相。放大器由二极反相放大器组成,与网络配合后满足振荡的要求。图中若  $C_1 = C_2 = C; R_1 = R_2 = R$ , 则其振荡频率为:

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

这种电路的选频特性和波形较好,输出幅度稳定,被广泛应用于各种测量仪器中。

(3)石英晶体振荡电路:石英晶体具有压电效应(在晶体上加电压后晶体会产生机械变形,而它的机械变形又可产生一定的电压)。用它取代  $LC$  谐振回路中的  $L$  或  $C$ ,与放大器组成正弦波振荡电路。图 9.1.64 为石英晶体的等效电路及符号。其中  $LC$  为电压谐振参数, $R$  为振动时损耗的等效电阻, $C_0$  为金属极板与晶体间的静电电容。

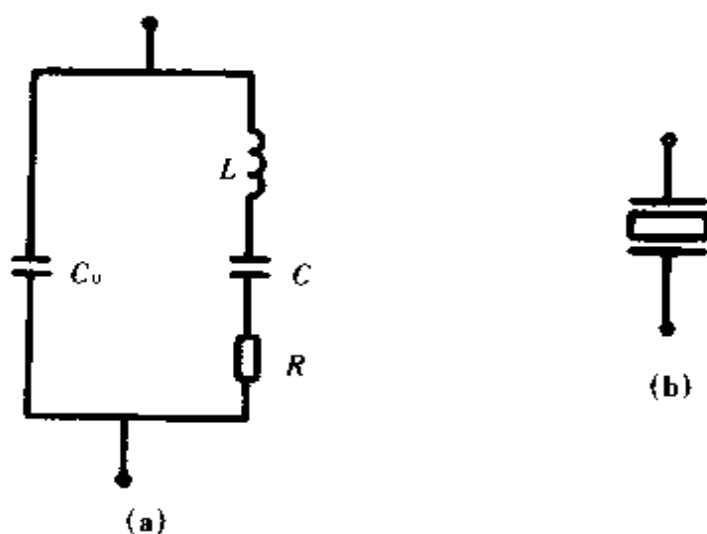


图 9.1.64 石英晶体的等效电路及符号  
(a)等效电路 (b)符号

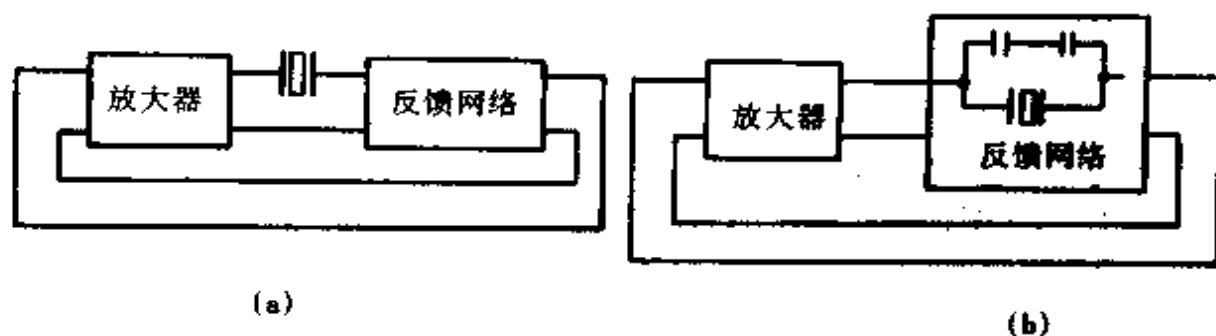


图 9.1.65 两种石英晶体振荡器的原理框图  
(a)串联型 (b)并联型

按石英晶体在振荡电路中的位置不同,又可分为串联型和并联型两种振荡器。串联型是将石英晶体置于放大器与反馈电路之间;并联型却把石英晶体作为反馈网络中的一个谐振元件。图 9.1.65 是这两种振荡器的原理框图。由于石英晶体稳定度高、频率范围也宽(1~100MHz),所以在要求较高的振荡器中应用很广。图 9.1.66 为几种常用的石英振荡电路。

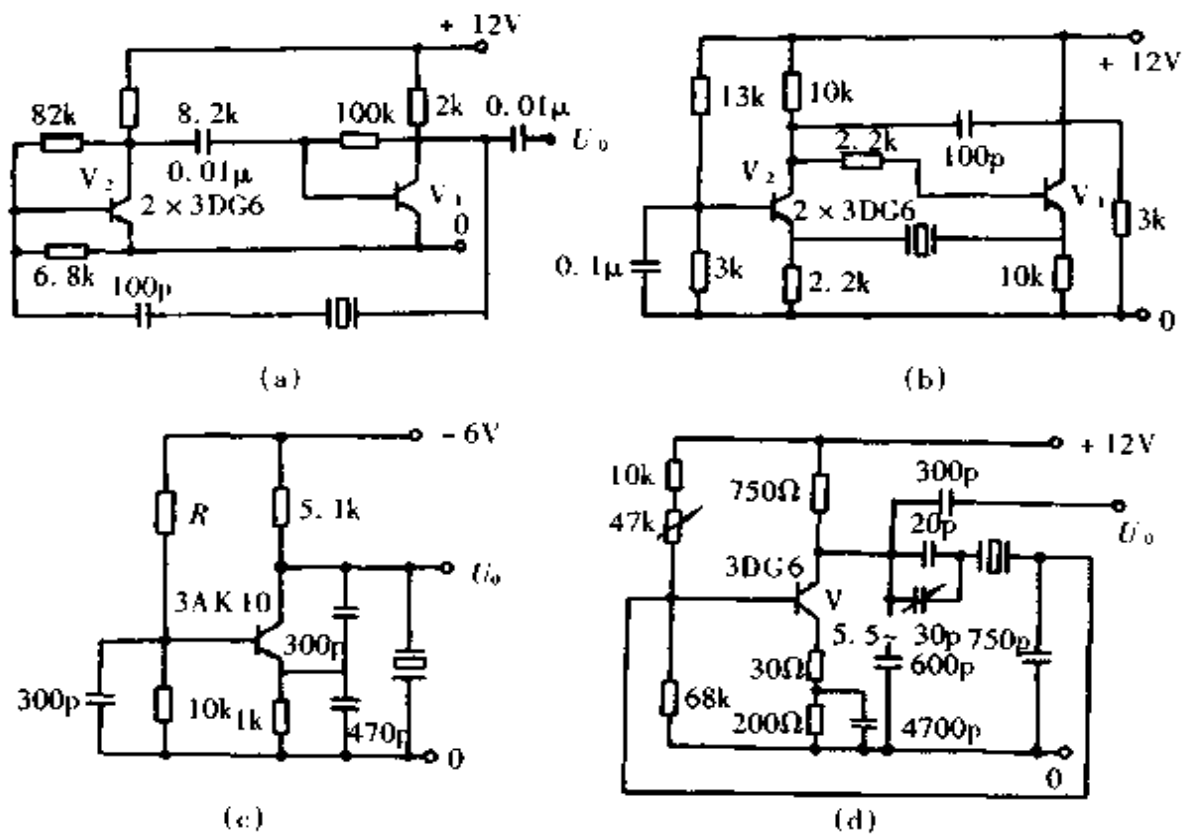


图 9.1.66 几种常用的石英振荡电路

3.3.3.4 频率稳定度 振荡电路最重要的技术性能指标之一是频率稳定度。它是指在规定时间间隔内,在一定的环境温度下,振荡器的振荡频率的相对变化值。即:

$$K = \frac{\Delta f}{f}$$

式中  $\Delta f$ ——频率变化绝对量;  
 $f$ ——实际振荡频率。

$K$  值越小,频率越稳定。石英振荡器的频率稳定度较高,可达  $10^{-11}$ 。

影响稳定度的主要因素是:①温度:温度的变化会引起电容、电感、电阻及晶体管等元件的参数变化,从而使频率产生漂移。②电源:直流稳压电源的电压波动会造成晶体管工作点的移动,影响频率的稳定。③负载:负载的变化会引起振荡电路中参数的改变,造成频率的偏移。

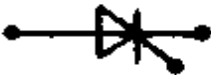





为了保证振荡器有一定的频率稳定度,在合理地选择振荡电路的同时,应综合考虑上述几个因素,并采取相应的对策。

## 第二章 晶闸管及其应用



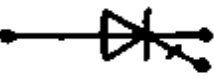





### 1 晶 闸 管

晶闸管是由 P-N-P-N 结组成的半导体开关的总称,其种类较多。从导通性能分有单向和双向;从引脚分有两端、三端和四端器件等。其中,尤以普通型晶闸管(SCR)为最典型,应用也最广,所以本手册将其作为主要介绍内容。表 9.2.1 为各种晶闸管的符号及伏安特性。

表 9.2.1 几种晶闸管的符号及伏安特性

晶闸管名称	符 号	伏安特性
反向阻断三端晶闸管 (SCR)		
光控反向阻断二端晶闸管 (LAS)		
光控反向阻断三端晶闸管 (LASCR)		

续表

晶闸管名称	符 号	伏安特性
双向三端晶闸管 (TRIAC)		
可关断三端晶闸管 (GTO)		
反向阻断四端晶闸管 (SCS)		
光控反向阻断四端晶闸管 (LASCS)		

### 1.1 晶闸管的工作原理

图 9.2.1 为晶闸管的结构原理图。它是由 P-N-P-N 结组成的 P-N-P 和 N-P-N 型晶体管紧耦合型半导体器件。其外层的 P 为阳极(a)、内层的 P 为控制极(g)、外层的 N 为阴极(c)。

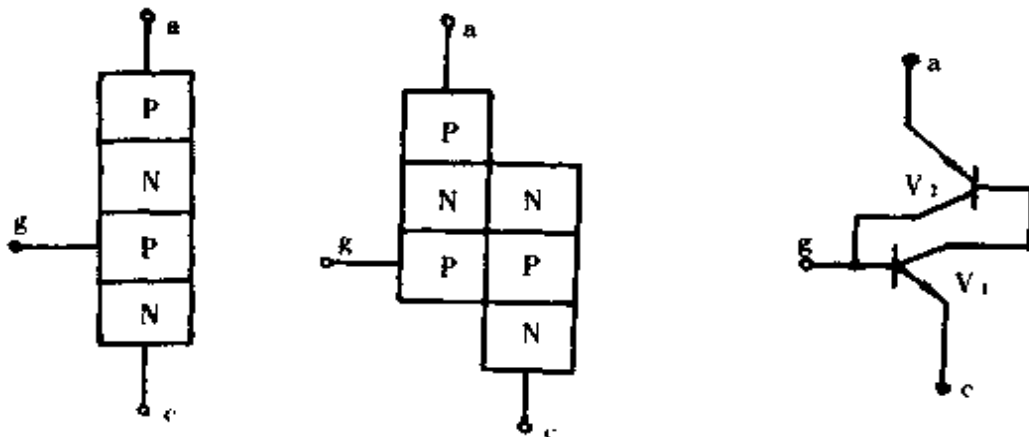


图 9.2.1 晶闸管的结构原理图



当正向电压(阳极为正,阴极为负)加在晶闸管上时,两晶体管均处于正向电压下的放大区。此时,若在控制极与阴极间再输入一正向控制信号(信号的正极加于控制极),就会产生如下的正反馈效应:控制信号产生  $V_1$  的基极电流,放大后形成较大的  $I_{C1}$ 。此  $I_{C1}$  正是  $V_2$  的基极电流  $I_{B2}$ ,由  $V_2$  放大得到更大的  $I_{C2}$ 。而  $I_{C2}$  又恰恰是  $V_1$  的基极电流  $I_{B1}$ ,再经  $V_1$  放大得到更大的  $I_{C1}$ 。如此反复循环,最终  $V_1$  和  $V_2$  全部进入饱和导通态,晶闸管便处于导通。若没有控制电压信号,虽有正向阳极电压,不能形成上述的正反馈,晶闸管仍处于关断状态。总之,要使晶闸管正常导通,必须同时具备正向阳极电压和正向控制电压两个条件。当反向阳极电压过高或正向阳极电压过高,电压上升太快时,晶闸管也会突然导通。这种情况为非正常运行,称为击穿,会造成晶闸管永久性损坏,必须避免。

晶闸管的阳极伏安特性:定量地分析阳极电压、电流及控制极电压、电流等参数对晶闸管通断的转化关系常用阳极伏安特性曲线。见图 9.2.2。图中横坐标是阳极电压,纵坐标为阳极电流。在第一象限:当无控制极电压时,特性曲线靠近横坐标,只有少量的正向漏电流。晶闸管处于正常关断状态。随着正向阳极电压上升,正向漏电流逐渐增大,特性曲线上翘。当正向阳极电压达到某值时,晶闸管突然转化为导通状态。此时的正向阳极电压值称为正向转折电压( $U_{DSM}$ )。晶闸管导通后,阳极电压变小,流过较大的负载电流。特性曲线陡直,靠近纵坐标。若此时再减小阳极电压或增加负载电阻,阳极电流就逐渐减小。当电流小于某定值时,晶闸管由导通转化为关断状态。这时的阳极电流称为维持电流( $I_H$ )。关断后阳极电流很小,阳极电压又增大,回到靠近横坐标的特性曲线。

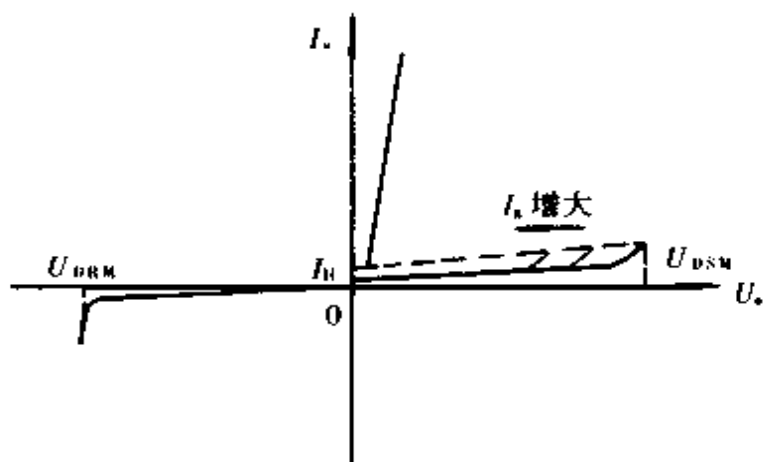


图 9.2.2 晶闸管的阳极伏安特性曲线

当输入控制电压时,由于控制电流( $I_g$ )的存在,使晶闸管能在较低的正向阳极电压下导通。也就是使转折电压降低了。控制电流越大,正向转折电压就越低,特性曲线也就越向左移。

第四象限表示在反向阳极电压时的伏安特性。此时反向电流很小,称反向漏电流。曲线平直靠近横坐标。若反向阳极电压达到某一值,反向漏电流会突然增加,特性曲线急剧下弯。此时晶闸管就被反向击穿。此点电压称为反向最高测试电压( $U_{IR}$ ),又称反向不重复峰值电压( $U_{IRM}$ )。

## 1.2 晶闸管的型号命名法

晶闸管的型号命名由六个部分组成。各部分的含义如下:

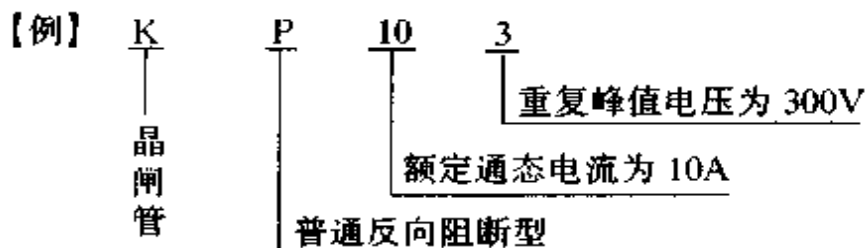
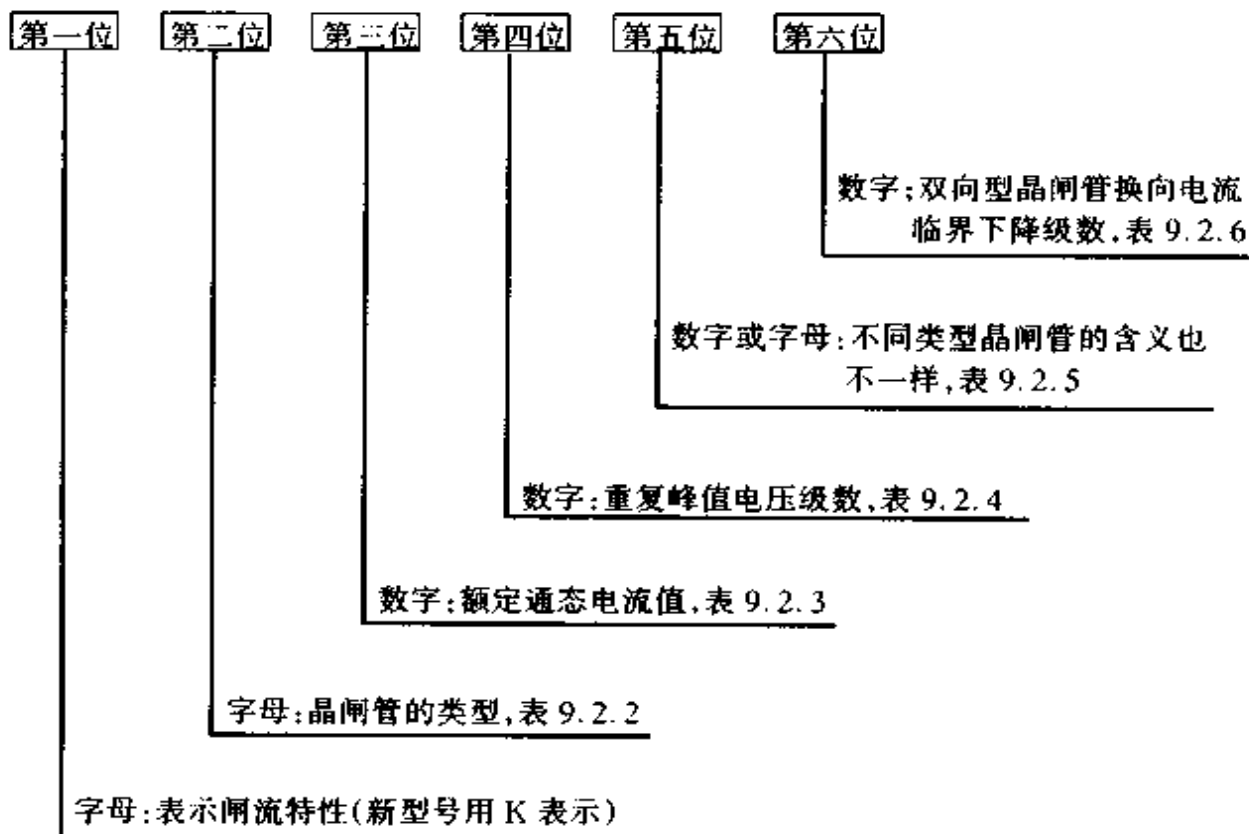


表 9.2.2 晶闸管型号命名的第二位字母及其含义

字母	P	K	S
类型	普通反向阻断	快速反向阻断	双向型

表 9.2.3 晶闸管型号命名的第三位数字及其含义

额定 通态电流(A)	1	5	10	50	100	200	300	400	500	1000
---------------	---	---	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	------

表 9.2.4 晶闸管型号命名的第四位数字及其含义

级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
$U_{\text{RPM}}(\text{V})$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000

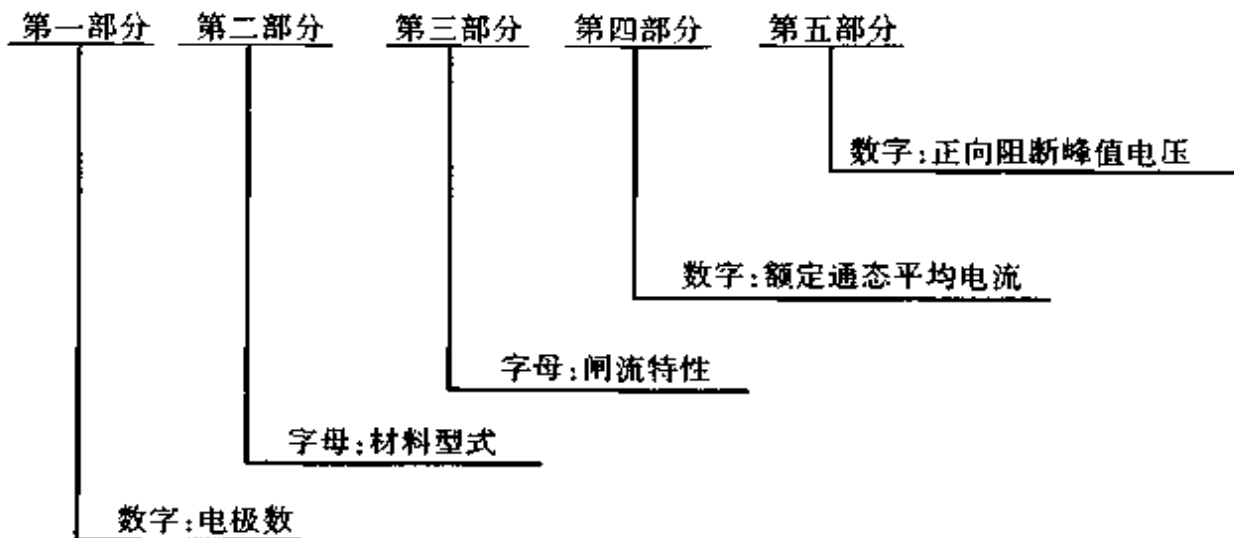
表 9.2.5 晶闸管型号命名的第五位数字(或字母)及其含义

KP	级别	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	通态平均电压(V)	$\leq 0.4$	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1	1~1.1	1.1~1.2
KK	级数	0.5	1	2	3	4	5	6		
	换向关断时间( $\mu\text{s}$ )	$\leq 5$	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60		
KS	断态电压临界 上升率级数	0.2		0.5		2		5		
	$dU/dt(\text{V}/\mu\text{s})$	20~50		50~2200		2200~2500		$\geq 2500$		

表 9.2.6 晶闸管型号命名的第六位数字及其含义

级数	0.2	0.5	1
$di/dt(\text{A}/\mu\text{s})$	0.2%~0.5%	0.5%~1%	$\geq 1\%$

附晶闸管旧的型号命名法如下:



【例】3CTS/200:三端晶闸管,额定通态平均电流为5A,正向阻断峰值电压200V。

### 1.3 主要技术参数

晶闸管的技术参数达40余种。不同类型管子有其特殊的参数要求。下面介

绍一些共同参数,便于在应用时合理选择晶闸管。

(1)通态平均电流( $I_T$ ):在环境温度为 $40^{\circ}\text{C}$ 及规定的冷却条件下,负载为电阻性的单相 $50\text{Hz}$ 电流中,允许通过的最大通态平均电流。

(2)断态不重复峰值电压( $U_{TSM}$ ):控制极断开时,伏安特性在正向阳极电压下急剧变化处的电压,又称正向转折电压( $I_g = 0$ 时)。

(3)断态重复电压( $U_{SSM}$ ):其值为断态不重复峰值电压的 $80\%$ 。

(4)反向不重复峰值电压( $U_{DRM}$ ):控制极断开时,在反向阳极电压下,伏安特性急剧变化处的电压,又称反向最高测试电压。

(5)反向重复峰值电压( $U_{RRM}$ ):其值为反向不重复峰值电压的 $80\%$ 。

(6)通态平均电压( $U_T$ ):在规定条件下,流过通态平均电流时的晶闸管的主电压(晶闸管上的压降)。

(7)反向不重复平均电流( $I_{RS}$ ):在额定结温和控制极断开时,对应于反向不重复电压下的平均漏电流。

(8)反向重复平均电流( $I_{RK}$ ):在额定结温和控制极断开时,对应于反向重复峰值电压下的平均漏电流。

(9)浪涌电流( $I_{TSM}$ ):在规定条件下,通过额定通态平均电流稳定后,加 $50\text{Hz}$ 正弦波半周期内元件能承受的最大过载电流。

(10)维持电流( $I_H$ ):在规定温度和控制极断开时,使元件处于通态所必须的最小电流。

(11)控制极触发电流( $I_{GT}$ ):在规定温度和规定的主电压条件下,使元件全导通所必须的最小控制极直流电流。

(12)控制极触发电压( $U_{GT}$ ):对应于 $I_{GT}$ 时的控制极直流电压。

(13)断态电压临界上升率( $du/dt$ ):在额定结温和控制极断开时,使元件从断态转入通态的最低电压上升率。

(14)通态电流临界上升率( $di/dt$ ):在规定条件下,元件能承受而不损坏的通态电流最大上升率。

(15)控制极平均功率( $P_G$ ):在规定条件下,控制极加上正向电压时所允许的最大平均功率。

(16)控制极控制开通时间( $t_{gk}$ ):在控制脉冲作用下,元件由断态转为通态时,在控制脉冲规定点起到主电压降低到规定值时所需要的时间。

(17)电路换向关断时间( $t_g$ ):在规定结温下,元件从通态电流降到零瞬间起到承受规定断态电压止所需的时间。

## 2 主回路

晶闸管常用于可控整流、交直流开关和逆变器。本节介绍各种应用中的主回路。

### 2.1 可控整流的主回路

可控整流又称可控调压。它是利用改变晶闸管在正半周内导通程度来调节直流输出电压的。图 9.2.3a 为单相桥式半控电路。其中  $R$  为负载。在交流电压正半周时,改变  $VT_1$  管的触发信号( $U_{g1}$ )的输入时间, $R$  上的电压就变化。在负半周时,改变  $VT_2$  的触发信号( $U_{g2}$ )加入时间, $R$  上的电压也改变。触发信号加入时间的相位从  $0 \sim 180^\circ$  间变化, $R$  上得到的电压可从最大到最小变化,即  $0.9u \rightarrow 0$ 。图 9.2.3b 为其波形图。触发信号( $U_g$ )加入的相位为  $\alpha$ , $\alpha$  的变化称为相移, $\alpha$  常称为移相角。

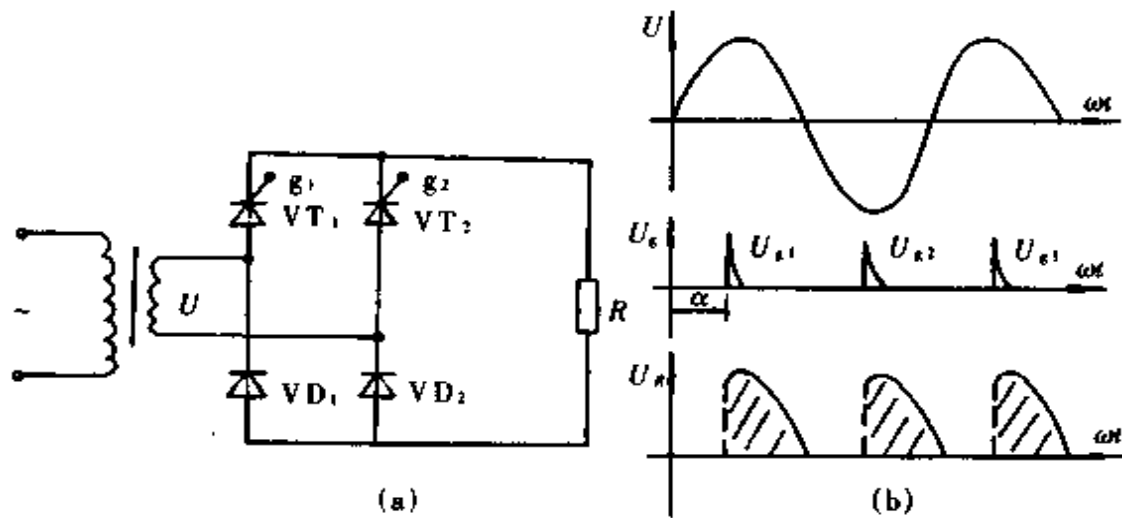


图 9.2.3 单相桥式半控电路

(a) 电路图 (b) 波形图

可控整流电路有单相半波、全波、桥式,三相半波、全波等电路;按晶闸管的数量和位置又可分半控、全控等电路。不同的负载(阻性或感性)主回路的形式也略有差别。表 9.2.7 列出各种可控整流电路的主回路及其主要技术参数。

在可控整流电路计算中的一个主要任务是计算晶闸管的两个参数:反向重复峰值电压和通态平均电流,以保证在实际应用时不致击穿和过流而损坏。

通常选择晶闸管的反向重复峰值电压为:

$$U_{RRM} \geq (1.5 \sim 2) U_m \text{ (V)}$$

式中  $U_m$ ——晶闸管实际承受的反向电压(V)。

$$U_m = K_1 \cdot U_2 \quad (\text{V})$$

式中  $K_1$ ——为峰值系数,与主回路形式有关,可从表 9.2.7 中查阅;

$U_2$ ——变压器次级电压有效值(V)。

晶闸管的通态平均电流为:

$$I_T > \frac{I}{1.57} \quad (\text{A})$$

式中  $I$ ——流过晶闸管的电流有效值(A);

1.57——正弦半波电流有效值与平均值之比。

$I$ 的大小与主回路形式、负载性质及晶闸管导通角的大小等因素有关。

## 2.2 开关电路的主回路

用晶闸管作交直流无触点开关的应用越来越广。在各种固态继电器、可编程程序控制器(PC)的开关量输入/输出回路中,都采用晶闸管的开关电路。表 9.2.8 中列出几种典型的晶闸管交直流开关电路的主回路。

## 2.3 逆变电路的主回路

把直流电变为不同频率的交流电的过程称为逆变。用晶闸管作无触点开关组成的逆变电路形式很多。有的逆变成单相交流电;也有的逆变为三相交流电。逆变后的频率种类多。图 9.2.4 是一只典型的单相并联逆变器原理图。图中  $R$  为负载电阻。当  $VT_1$  导通、 $VT_2$  关断时,电流流过变压器(T)初级线圈的上半部。经变压器耦合,负载  $R$  得到上负、下正的电压。而当  $VT_2$  导通、 $VT_1$  关断时,电流流过变压器的初级线圈的下半部分, $R$  得到上正、下负电压。轮流导通或关断两只晶闸管就能在变压器的次级获得交变电压。其频率随导通或关断周期的长短而改变。电容  $C$  可改善晶闸管换流条件,使输出波形更接近正弦波。

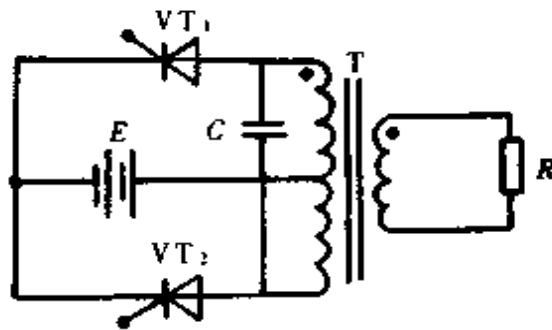


图 9.2.4 单相并联逆变器原理图

表 9.2.9 列出了几种逆变器的主回路及其主要技术参数。

表 9.2.7 各种可控整流电路的主回路及其主要技术参数

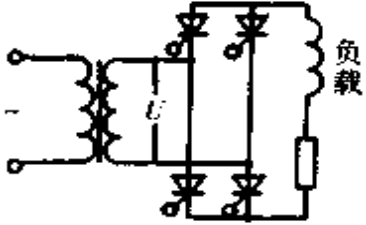
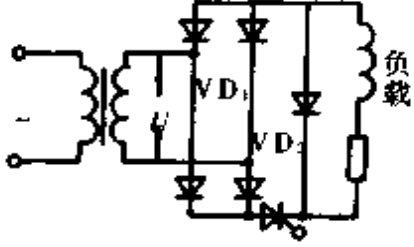


电 路 型 式		半波,电阻负载	半波,感性负载,有续流二极管
主电路接线图			
负载电压波形 (阴影部分)			
晶闸管电压峰值	正向	$1.41U$	$1.41U$
	反向	$1.41U$	$1.41U$
二极管反向电压峰值			$1.41U$
最大负载电压 ( $\alpha=0$ ) $U_{d0}$ 为平均值 $U_e$ 为有效值		$U_{d0}=0.45U$ $U_e=0.707U$	$U_{d0}=0.45U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d=0.5U_{d0}(1+\cos\alpha)$ $U_e=0.4U(\pi-\alpha$ $+1/2\sin 2\alpha)^{1/2}$	$U_d=0.5U_{d0}(1+\cos\alpha)$
移 相 范 围		$180^\circ$	$180^\circ$
晶闸管最大电流 和导通角 ( $I_{d0}$ 为最大负载 电流平均值)	平均值	$I_{d0}$	$0.5I_{d0}$ (大电感负载)
	导通角	$180^\circ$	$180^\circ$
二极管最大电流平均值			$0.54I_{d0}$
成为有源逆变器的可能性			无

续表

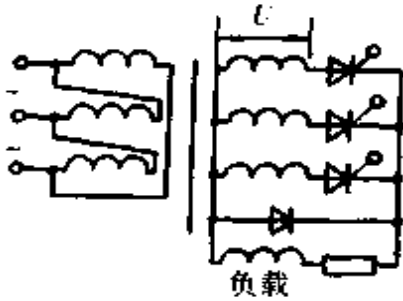
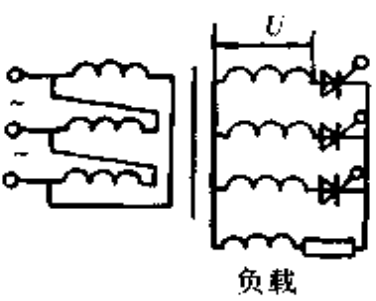
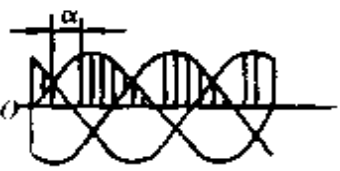

电 路 型 式		单相半控桥感性负载	单相半控桥感性负载
主电路接线图			
负载电压波形 (阴影部分)			
晶闸管电压峰值	正向	$1.41U$	$1.41U$
	反向	$1.41U$	$1.41U$
二极管反向电压峰值		$U_{D1} = U_{D2} = 1.41U$	$1.41U$
最大负载电压 ( $\alpha = 0$ ) $U_{d0}$ 为平均值 $U_0$ 为有效值		$U_{d0} = 0.9U$	$U_{d0} = 0.9U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d = 0.5U_{d0}(1 + \cos\alpha)$	$U_d = 0.5U_{d0}(1 + \cos\alpha)$
移 相 范 围		$180^\circ$	$180^\circ$
晶闸管最大电流 和导通角 ( $I_{d0}$ 为最大负载 电流平均值)	平均值	$0.5I_{d0}$	$0.5I_{d0}$
	导通角	$180^\circ$	$180^\circ$
二极管最大电流平均值		$I_{D1} = 0.5I_{d0}$ $I_{D2} = 0.26I_{d0}$	$0.5I_{d0}$
成为有源逆变器的可能性		无	无



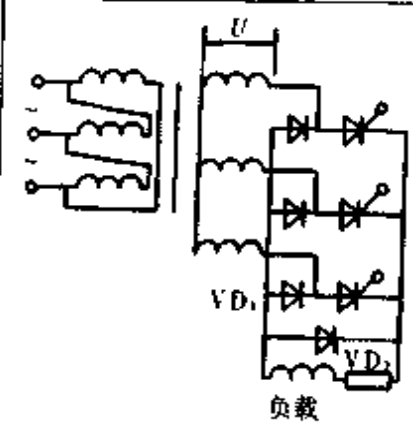
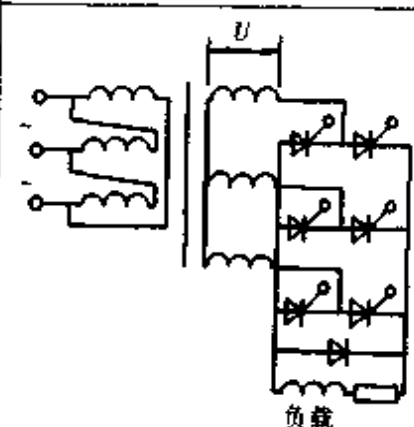
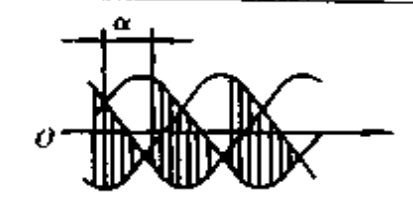
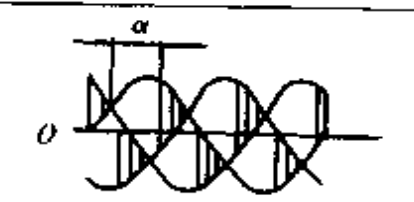
续表

电 路 型 式		单相全控桥感性负载	单相桥,可控硅在直流电路中,感性负载
主电路接线图			
负载电压波形 (阴影部分)			
晶闸管电压峰值	正向	$1.41U$	$1.41U$
	反向	$1.41U$	0
二极管反向电压峰值			$U_{D1} = U_{D2} = 1.41U$
最大负载电压 ( $\alpha = 0$ )		$U_{d0} = 0.9U$	$U_{d0} = 0.9U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d = U_{d0} \cos\alpha$ (令负载电流连续)	$U_d = 0.5U_{d0}(1 + \cos\alpha)$
移 相 范 围		$180^\circ$	$180^\circ$
晶闸管最大电流 和导通角	平均值	$0.5I_{d0}$	$I_{d0}$
	导通角	$180^\circ$	$360^\circ$
二极管最大电流平均值			$I_{d1} = 0.5I_{d0}$ $I_{d2} = 0.26I_{d0}$
成为有源逆变器的可能性		有	无

续表

电路型式		三相半波,感性负载 (有续流二极管)	三相半波,感性负载
主电路接线图			
负载电压波形 (阴影部分)			
晶闸管电压峰值	正向	$1.41U$ (可控硅断开时为 $2.45U$ )	$2.45U$
	反向	$2.45U$	$2.45U$
二极管反向电压峰值		$1.41U$	—
最大负载电压 ( $\alpha = 0$ )		$U_{d0} = 1.17U$	$U_{d0} = 1.17U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ ( $0 < \alpha < 30^\circ$ ) $U_d = 0.577U_{d0} [1 + \cos(\alpha + 30^\circ)]$ ( $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ )	$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ (令负载电流连续)
移相范围		$180^\circ$	$150^\circ$ ( $\alpha > 90^\circ$ 转入逆变)
晶闸管最大电流 和导通角	平均值	$0.33I_{d0}$	$0.33I_{d0}$
	导通角	$120^\circ$	$120^\circ$
二极管最大电流平均值		$0.16I_{d0}$	—
成为有源逆变器的可能性		无	有

续表

电 路 型 式		三相半控桥,电阻或电感负载 (有续流二极管)	三相全控桥,电阻或电感负载 (有续流二极管)
主电路接线图			
负载电压波形 (阴影部分)			
晶闸管电压峰值	正向	$2.45U$	$2.45U$
	反向	$2.45U$	$2.45U$
二极管反向电压峰值		$2.45U$	$2.45U$
最大负载电压 ( $\alpha = 0$ )		$U_{d0} = 2.34U$	$U_{d0} = 2.34U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d = 0.5U_{d0}(1 + \cos\alpha)$	$U_d = U_{d0}\cos\alpha (0 < \alpha < 60^\circ)$ $U_d = U_{d0}[1 + \cos(\alpha + 60^\circ)]$ ( $60^\circ < \alpha < 120^\circ$ )
移 相 范 围		$180^\circ$	$120^\circ$
晶闸管最大电流 和导通角	平均值	$0.33I_{d0}$	$0.33I_{d0}$
	导通角	$120^\circ$	$120^\circ$
二极管最大电流平均值		$I_{d1} = 0.33I_{d0}$ $I_{d2} = 0.14I_{d0}$	$0.056I_{d0}$
成为有源逆变器的可能性		无	无

续表

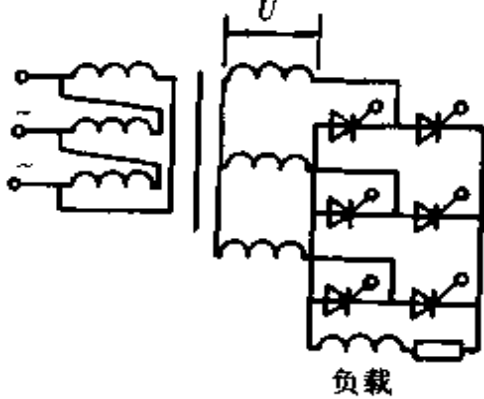
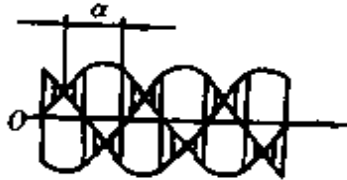
电 路 型 式		三相全控桥,感性负载
主电路接线图		
负载电压波形 (阴影部分)		
晶闸管电压峰值	正向	$2.45U$
	反向	$2.45U$
二极管反向电压峰值		
最大负载电压 ( $\alpha = 0$ )		$U_{d0} = 2.34U$
负载电压与控制角 $\alpha$ 的关系		$U_d = U_{d0} \cos \alpha$ (令负载电流连续)
移 相 范 围		$120^\circ$ ( $\alpha > 90^\circ$ 转入逆变)
晶闸管最大电流 和导通角	平均值	$0.33I_{d0}$
	导通角	$120^\circ$
二极管最大电流平均值		
成为有源逆变器的可能性		有

表 9.2.8 几种典型的晶闸管交直流开关电路的主回路

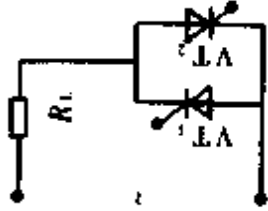
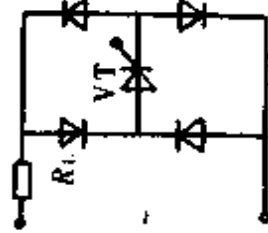
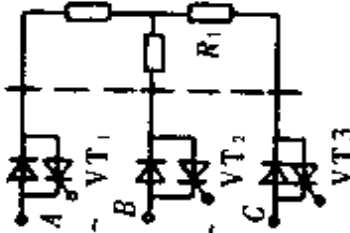
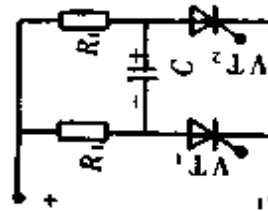
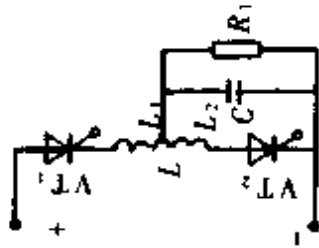
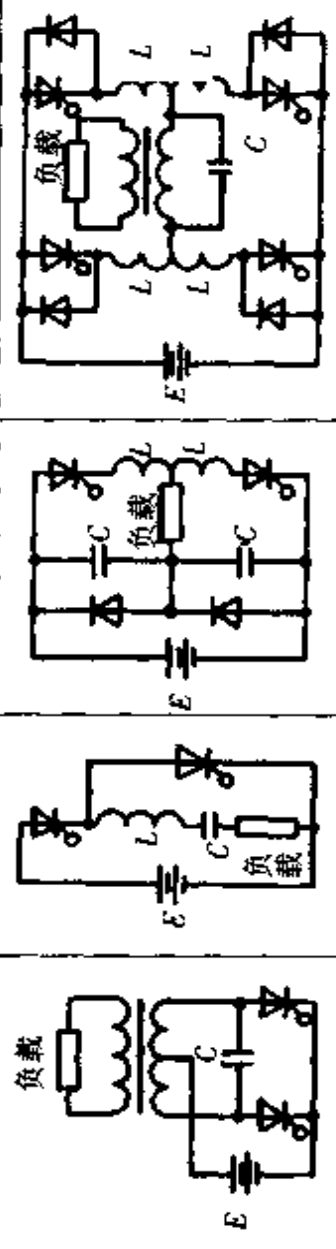
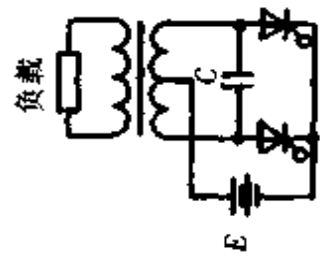
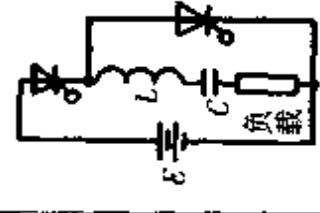
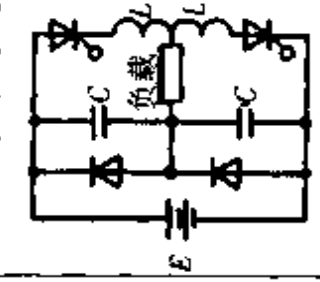
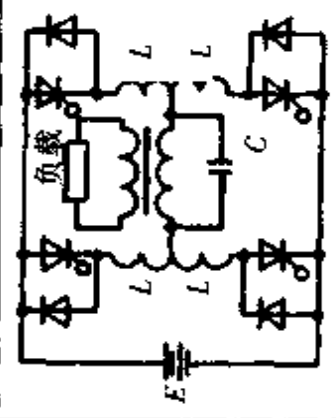
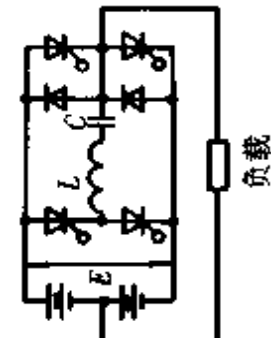

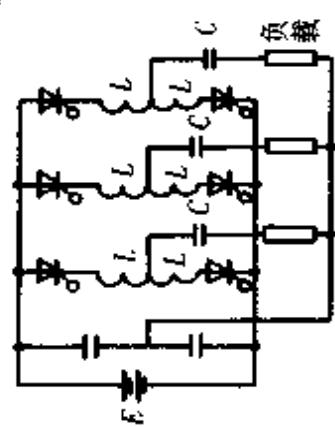
名称	单相交流开关 1.	单相交流开关 2	三相交流开关	直流开关 1	直流开关 2
电 路					
原 理 说 明	<p>交流电压正负半波时，<math>VT_1</math>、<math>VT_2</math> 轮流导通，负载 <math>R_L</math> 上得到交流电压。 <math>VT_1</math>、<math>VT_2</math> 关断时，<math>R_L</math> 上失电</p>	<p>在交流电压正负半波时，<math>VT</math> 触发导通，<math>R_L</math> 上得交流电。当 <math>VT</math> 关断时，<math>R_L</math> 上失电</p>	<p><math>VT_1 \sim VT_3</math> 触发导通时，<math>R_L</math> 得三相交流电。 <math>VT_1 \sim VT_3</math> 关断时，<math>R_L</math> 失电</p>	<p><math>VT_1</math> 导通，<math>R_L</math> 得到直流电，同时电源经 <math>R_L</math> 对 <math>C</math> 充电。当 <math>VT_2</math> 导通，<math>C</math> 上电压加到 <math>VT_1</math>，由于此阳极电压为反向电压，<math>VT_1</math> 关断，<math>R_L</math> 失电</p>	<p><math>VT_1</math> 导通，<math>R_L</math> 得到直流电，同时 <math>C</math> 上充电，<math>L_1</math> 上流过负载电流。当 <math>VT_2</math> 导通，<math>C</math> 上电压经 <math>L_2</math> 对 <math>VT_2</math> 放电，在 <math>L</math> 上感应电势，使 <math>VT_1</math> 阳极电压反向而截止，<math>R_L</math> 失电</p>

表 9.2.9 几种逆变器的主回路及其主要技术参数

电路型式	并联逆变器	串联逆变器	串联电感式串联逆变器	桥式并联逆变器
主回路接线图 				
可控硅上最大电压 <sup>①</sup>	2.0E	2.0E	E	E
最大负载电压	E <sup>②</sup>	E	E	E
晶闸管平均电流/电源电流	0.5	1	0.5	0.5
负载上直流分量	无	无	无	无
负载频率调节范围	宽	宽	宽	宽
输出电压波形	与负载有关	正弦波	方波	方波

续表

电路型式	中心抽头串联逆变器	三相串联逆变器	三相桥式串联逆变器
主回路接线图			
可控硅上最大电压 <sup>①</sup>	E	E	E
最大负载电压	0.5E	E <sup>②</sup>	E <sup>③</sup>
晶闸管平均电流/电源电流	0.5	0.33	0.33
负载上直流分量	无	无	无
负载频率调节范围	宽	宽	宽
输出电压波形	方波	方波	方波

注:① 忽略由于换流产生的电压尖峰。

② 采用 1:1:1 变压器。

③ 采用 1:1 变压器。

④ 线电压。

## 2.4 晶闸管的串并联应用

在单只晶闸管的电压和电流等级满足不了实际要求时,可采用串联或并联方法。此时应考虑同型号晶闸管性能的差异(元件的离散性),采取必要的保护措施,防止元件损坏。

### 2.4.1 串联与均压保护

在晶闸管反向重复峰值电压小于实际运行时所承受的反向电压时,可用串联方法。串联晶闸管的数量可由下式求出:

$$n = \frac{2U_f}{0.9U_{RRM}} = \frac{U_f}{0.45U_{RRM}}$$

式中  $n$ ——晶闸管只数;

$U_f$ ——实际承受的反向总电压(V);

$U_{RRM}$ ——反向重复峰值电压(V)。

在串联应用时,为使各晶闸管所承受的电压均等,而不致于击穿,常采用并联均压电阻方法。见图 9.2.5。

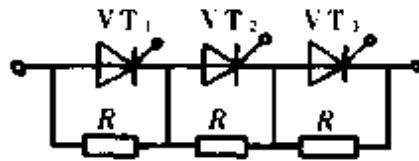


图 9.2.5 晶闸管的串联应用

图中均压电阻值可由下式求得:

$$R = \frac{U_{RRM}}{K \cdot I_{RK}} \text{ (k}\Omega\text{)}$$

式中  $I_{RK}$ ——晶闸管的反向重复平均电流(反向漏电流)(mA);

$K$ ——系数,取 2~5 之间值。

均压电阻的功率用下式求出:

$$P_R = K_1 \frac{(U_{RRM})^2}{R} \text{ (mW)}$$

式中  $K_1$ ——系数,单相电路取 0.25;三相电路取 0.4;直流电路取 1。

### 2.4.2 并联与均流保护

当晶闸管正向平均电流小于负载电流时,可将几只管子并联使用。由于元件正向压降的差异会造成流过每只管子上电流的差异,为使电流均匀分配在并联元件上,保证不过流运行,需采取均流保护措施。在小容量电路中可用串联均流电阻方法;在大容量电路中以采用均衡电抗器较适宜。图 9.2.6 为晶闸管并联应用电



路。并联数用下式求出：

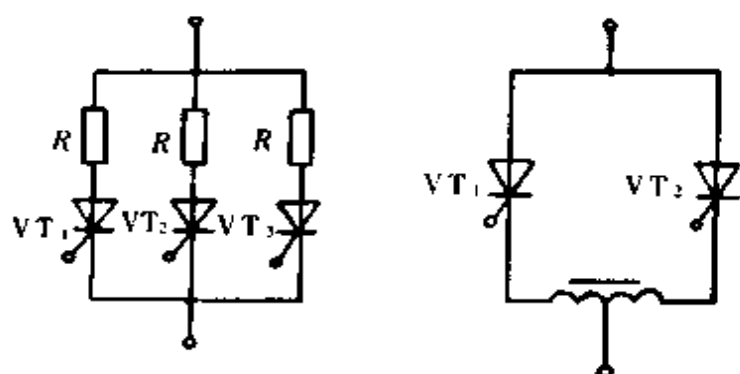


图 9.2.6 晶闸管的并联应用

$$I_G = 0.8 \cdot n \cdot I_T \text{ 或 } n = \frac{I_G}{1.26 I_T}$$

式中  $n$ ——并联数；

$I_G$ ——总的正向电流有效值(A)；

$I_T$ ——单只晶体管通态平均电流(A)。

均流电阻值用下式求得：

$$R = \frac{R'}{I_T} (\Omega)$$

式中  $R'$ ——取  $0.5 \sim 1\Omega$ 。

均衡电抗器的计算可查阅有关电抗器的设计资料。

## 2.5 晶闸管的保护

### 2.5.1 过流保护

由于晶闸管的热容量小，一旦过流，会使 P-N 结温迅速上升，严重的会造成永久性损坏，故必须采取保护措施。过流保护常用快速熔断器、过流继电器和快速开关，也可用电子限流装置。应用较多的是快速熔断器。图 9.2.7 为快速熔断器在电路中的几种接法。

快速熔断器的容量选择用下式计算：

$$I_{RD} = (1.25 \sim 1.5) I_T (\text{A})$$

式中  $I_{RD}$ ——快速熔断器的电流规格(A)；

$I_T$ ——被保护的晶闸管的通态平均电流(A)。

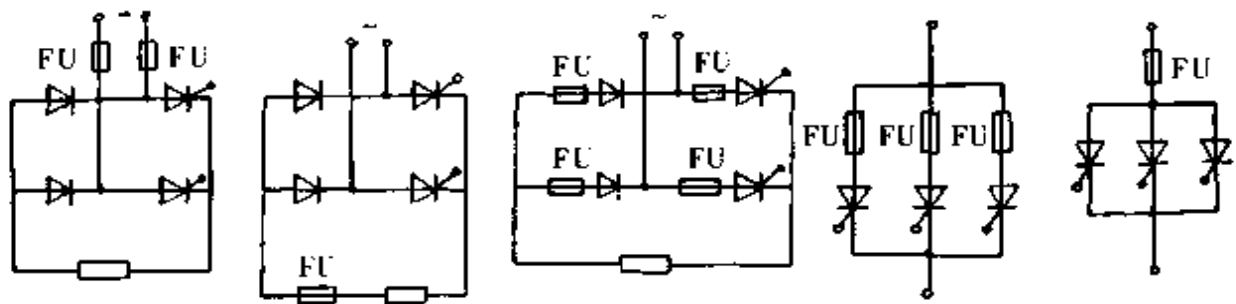


图 9.2.7 快速熔断器在电路中的几种接法

### 2.5.2 过压保护

由于感性负载电流的切断、电源电压的波动及各种浪涌电压的袭击,会使晶闸管承受较大的过电压,轻则造成误触发,重则引起元件的损坏。为此,应采取过压保护措施。最简便的方法是在晶闸管两端并联阻容吸收电路。也可把阻容电路加在输入电路中。图 9.2.8 为阻容吸收电路的具体连接法。

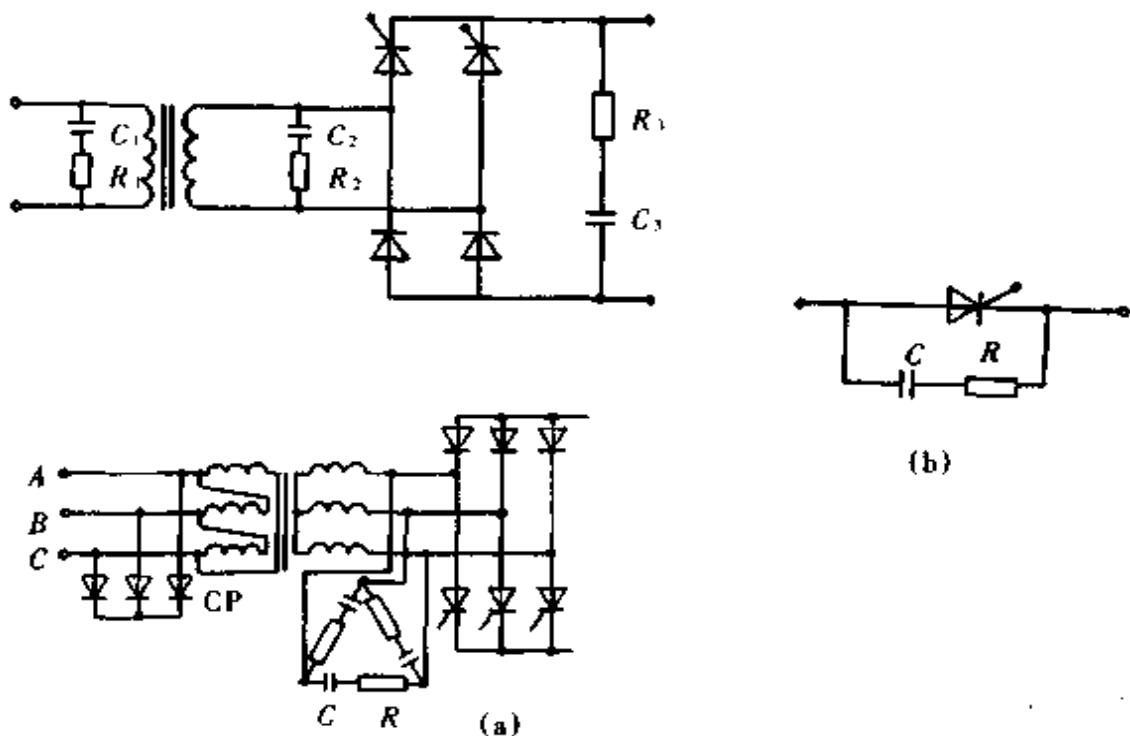


图 9.2.8 阻容吸收电路在过压保护中的连接

计算阻容吸收电路中电容和电阻的方法很多,下面介绍其中之一。

2.5.2.1 交流侧阻容吸收电路的参数计算 对于小容量的整流电路,按表 9.2.10 所列公式计算。

表 9.2.10 小容量整流电路中阻容吸收电路参数计算公式

接入位置	电路形式	电容值( $\mu\text{F}$ )	电阻值( $\Omega$ )
电源变压器 次级绕组	单相 200W 以下	$700 \cdot \frac{P_T}{(U_{RRM})^2}$	$100 \sqrt{\frac{U_Z}{I_Z C \sqrt{f}}}$
	单相 200W 以上	$400 \cdot \frac{P_T}{(U_{RRM})^2}$	
	三相 5kW 以下	$K \cdot \frac{P_T}{(U_{RRM})^2}$	

注： $P_T$ ——电源变压器容量(W)， $K$ ——系数，Y/Y 一次侧中点不接地取 150。Y/ $\Delta$  取 300， $U_Z$ 、 $I_Z$  分别为整流输出电压和电流。

对于较大容量或大容量整流电路，按表 9.2.11 所列公式计算。

表 9.2.11 较大容量或大容量整流电路中阻容吸收电路参数计算公式

电路形式	电源变压器二次侧		电源变压器一次侧	
	电容( $\mu\text{F}$ )	电阻( $\Omega$ )	电容( $\mu\text{F}$ )	电阻( $\Omega$ )
单相桥式	$29000 \left( \frac{I_{\alpha 2}}{f u_2} \right)$	$0.3 \frac{u_2}{I_{\alpha 2}}$	$29000 \frac{I_{\alpha 1}}{f u_1}$	$0.3 \frac{u_1}{I_{\alpha 1}}$
三相桥式	$10000 \left( \frac{I_{\alpha 2}}{f u_{2r}} \right)$	$0.3 \frac{u_{2r}}{I_{\alpha 2}}$	$10000 \frac{I_{\alpha 1}}{f u_{1r}}$	$0.3 \frac{u_{1r}}{I_{\alpha 1}}$
三相半波	$8000 \left( \frac{I_{\alpha 2}}{f u_{2r}} \right)$	$0.36 \frac{u_{2r}}{I_{\alpha 2}}$		
六相半波双反星形 带均衡电抗器	$7000 \left( \frac{I_{\alpha 2}}{f u_{2r}} \right)$	$0.42 \frac{u_{2r}}{I_{\alpha 2}}$		

表中： $I_{\alpha 1}$ 、 $I_{\alpha 2}$ ——分别为电源变压器一次侧空载电流和折算到二次侧的空载电流；

$u_{1r}$ 、 $u_{2r}$ ——三相变压器一、二次侧线电压； $u_1$ 、 $u_2$ ——单相变压器一、二次侧电压。

2.5.2.2 直流侧阻容吸收电路的参数计算 参数可按表 9.2.12 所列公式计算。

表 9.2.12 直流侧阻容吸收电路参数计算公式

接入位置	电路形式	电容( $\mu\text{F}$ )	电阻( $\Omega$ )
直流 输出 端	单相桥式	$12 \cdot \frac{I_{\alpha 2}}{f u_2} \times 10^4$	$0.25 \frac{u_2}{I_{\alpha 2}}$
	三相桥式	$12 \cdot \frac{I_{\alpha 2}}{f u_{2r}} \times 10^4$	$0.058 \frac{u_{2r}}{I_{\alpha 2}}$
	三相半波	$4 \cdot \frac{I_{\alpha 2}}{f u_{2r}} \times 10^4$	$0.173 \frac{u_{2r}}{I_{\alpha 2}}$

注：表中符号的含义同表 9.2.11。

2.5.2.3 与晶闸管并联的阻容吸收电路的参数 参数可参照表 9.2.13 选取。

表 9.2.13 与晶闸管并联的阻容电路参数推荐值

整流元件额定电流(A)	电容( $\mu\text{F}$ )	电阻( $\Omega$ )
20	0.1	100
50	0.2	40
100	0.25	20
200	0.5	10

过压保护的另一种方法是在被保护的电路或晶闸管两端并联软击穿元件。一旦过压,保护元件便击穿,从而限制了电压上升。在晶闸管早期应用电路中常用硒堆作软击穿元件。近些年来应用体积小、灵敏度高的压敏电阻。这种电阻在小于保护电压时,呈现高阻性;一旦超过保护电压,其阻值锐减,能限制过压值。图 9.2.9 为用两种软击穿元件的保护电路。表 9.2.14 为压敏电阻(VVJ 型)的主要技术参数。

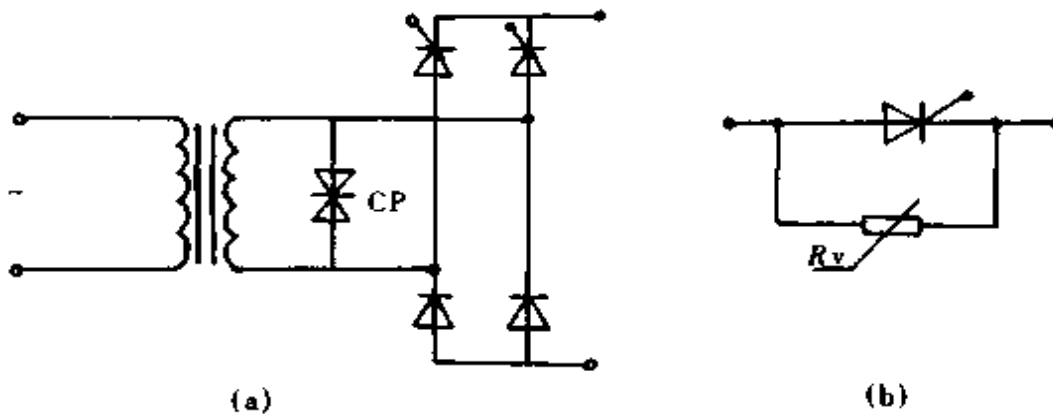


图 9.2.9 用硒堆和压敏电阻作过压保护的电路  
(a)用硒堆作过压保护 (b)用压敏电阻作过压保护

表 9.2.14 VVJ 型压敏电阻的主要技术参数

型号	使用回路电压 (有效值) (V)	元件标称电压 $U_{1\text{mA}}$ (V)	通流容量电流 10A/20 $\mu\text{s}$ (kA)	放电电流 100A 残压比 ( $U_{100\text{A}}/U_{1\text{mA}}$ )	放电电流 3000A 残压比 ( $U_{3\text{kA}}/U_{1\text{mA}}$ )
100V-0.5kA		100( $\pm 15\%$ )	0.5	2 以下	
100V-1kA		100( $\pm 15\%$ )	1	2 以下	
220V-0.5kA	110	220( $\pm 15\%$ )	0.5	1.9 以下	
220V-1kA	110	220( $\pm 15\%$ )	1	1.9 以下	
220V-1.5kA	110	220( $\pm 15\%$ )	1.5	1.9 以下	
220V-2kA	110	220( $\pm 15\%$ )	2	1.9 以下	
440V-1kA	220	440( $\pm 10\%$ )	1	1.8 以下	
440V-2kA	220	440( $\pm 10\%$ )	2	1.8 以下	

续表

型 号	使用回路电压 (有效值) (V)	元件标称电压 $U_{1mA}$ (V)	通流容量电流 10A/20 $\mu$ s (kA)	放电电流 100A 残压比 ( $U_{100A}/U_{1mA}$ )	放电电流 3000A 残压比 ( $U_{3kA}/U_{1mA}$ )
440V-3kA	220	440( $\pm 10\%$ )	3	1.8 以下	3 以下
440V-4kA	220	440( $\pm 10\%$ )	4	1.8 以下	
440V-5kA	220	440( $\pm 10\%$ )	5	1.8 以下	
760V-1kA	380	760( $\pm 10\%$ )	1	1.8 以下	3 以下
760V-2kA	380	760( $\pm 10\%$ )	2	1.8 以下	
760V-3kA	380	760( $\pm 10\%$ )	3	1.8 以下	
760V-4kA	380	760( $\pm 10\%$ )	4	1.8 以下	
760V-5kA	380	760( $\pm 10\%$ )	5	1.8 以下	
1000V-1kA		1000( $\pm 10\%$ )	1	1.8 以下	3 以下
1000V-2kA		1000( $\pm 10\%$ )	2	1.8 以下	
1000V-3kA		1000( $\pm 10\%$ )	3	1.8 以下	
1000V-4kA		1000( $\pm 10\%$ )	4	1.8 以下	
1000V-5kA		1000( $\pm 10\%$ )	5	1.8 以下	

### 3 触发电路

要使晶闸管正常可靠运行,除主回路加一定阳极电压外,还应有合适的控制电压(触发电压)。产生控制电压的电路叫做触发电路。触发电路的形式很多:有用电阻、电容、电感、氖泡、稳压管等元件组成的简单触发电路;也有用双基极管、晶体管等元件组成的各种触发电路。近些年来各类专用的集成触发器不断涌现,使晶闸管的应用更加便利。

触发电路的种类虽然很多,但对其性能的要求基本相同。它必须产生满足下列要求的触发电压:

- (1) 具有触发晶闸管的足够功率。即具有一定幅度、宽度、输出电流和前沿陡度的触发信号。
- (2) 能适应主回路的移相范围。
- (3) 与主回路的阳极电压相同步。

为此,触发电路常由同步电压发生器、移相电路和信号放大整形电路等部分组成。

#### 3.1 阻容移相桥触发电路

图 9.2.10 为阻容移相桥触发电路和由此电路触发的单相半波可控整流电路。这是一种用正弦电压触发的电路。当加在晶闸管控制极与阴极间的正弦触发电压

上升到晶闸管所需要的触发电平时,晶闸管就导通。利用由  $R - C$  组成的电桥在电阻值改变时产生触发电压的相移,达到改变输出电压的目的。图中  $R_1$  起限流作用,防止触发电流过大而损坏晶闸管。 $VD_1$  和  $VD_2$  可限制反向触发电压,避免控制极被反向击穿。

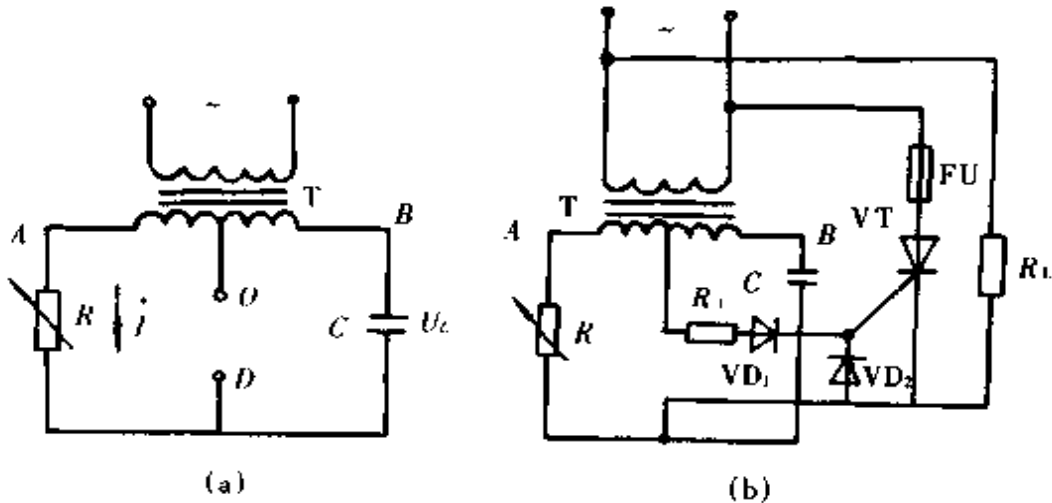


图 9.2.10 阻容移相桥触发电路及其应用

(a)移相桥电路 (b)实用电路

阻容移相桥移相原理:在图 9.2.10a 中,  $U_{(CD)} = U_C - U_{(BC)}$ 。

(1)当  $R$  值很小时:  $U_C = U_{(CA)}$

$$\therefore U_{(CD)} = U_C - U_{(BC)} = U_{(CA)} - U_{(BC)} = U_{(CA)}$$

此时,触发电压  $U_{(CD)}$  的相位与主回路的正向阳极电压相同。晶闸管导通角接近  $180^\circ$ ,主回路输出直流电压也最高。

(2)随着  $R$  值增加,  $U_C$  值下降,相位后移。

$$\therefore U_{(CD)} = U_C - U_{(BC)} \text{ 的相位也后移。}$$

(3) $R$  值越大,  $U_{(CD)}$  的相位越后移。

(4)当  $R$  值足够大时:  $U_C \approx 0$

$$\therefore U_{(CD)} = U_C - U_{(BC)} = -U_{(BC)}$$

此时,触发电压与  $U_{(BC)}$  反相。即触发电压与主回路正向阳极电压反相。晶闸管导通角为零。输出直流电压也为零。

上述过程可用相量图表示:图 9.2.11 为阻容移相桥各点电压相量图。

为使晶闸管可靠运行,阻容移相触发电路中各参数的选取应注意以下几点:

- (1)电路中变压器副边电压应大于被控晶闸管控制极触发电压的两倍。
- (2)流过移相桥阻容上的电流应大于被控晶闸管控制极的最大触发电流。
- (3)为保证电路有足够的相移,可调电阻值应为电容器容抗的几倍以上。可用

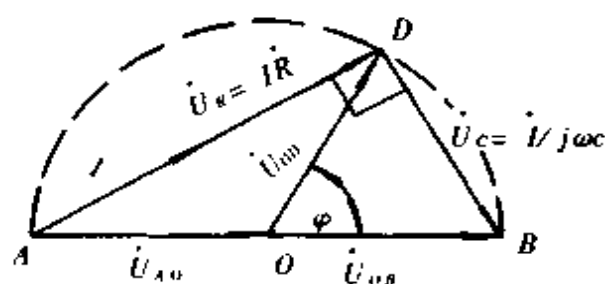


图 9.2.11 阻容移相桥各点电压相量图

下式确定：

$$C \geq \frac{3I_{OO}}{U_{OO}} \quad (\mu\text{F})$$

$$R > K_1 \frac{U_{OO}}{I_{OO}} \quad (\text{k}\Omega)$$

式中  $I_{OO}, U_{OO}$ ——移相桥输出电流(mA)和电压(V)；

$K_1$ ——系数,可按表 9.2.15 取值。

表 9.2.15  $K_1$  系数值

移相值	$90^\circ$	$90^\circ - 144^\circ$	$144^\circ - 164^\circ$	$>164^\circ$
$K_1$	1	2	3~7	$>7$

图 9.2.12 为用阻容移相桥触发的单相桥式半控整流电路。图中  $R_s$  是限流电阻,其值为  $(U_C - 20)/0.2$ 。

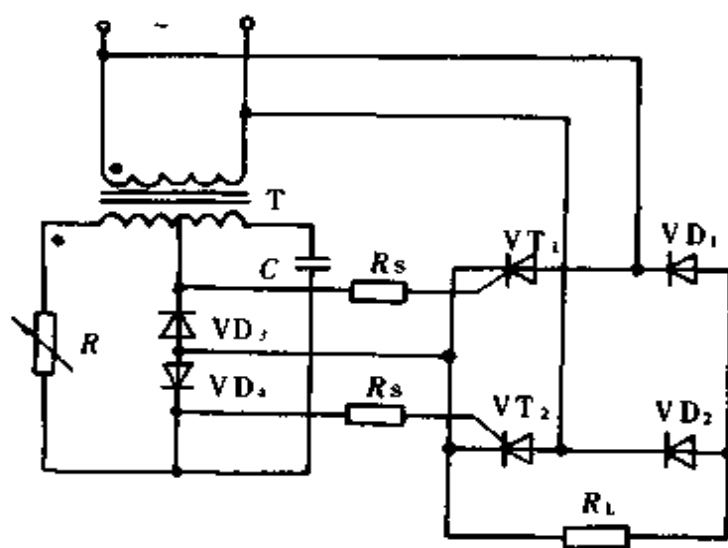


图 9.2.12 阻容移相桥触发的单相桥式半控整流电路

阻容移相桥触发电路简单,但由于触发信号为正弦波,其触发点不够准确,易受电网电压波动的影响,且其移相范围小于 $180^\circ$ ,故仅适用于要求不高的可控整流器中。

### 3.2 单结晶体管触发电路

#### 3.2.1 单结晶体管及其发射极特性

单结晶体管又称双基极管。它是一个P-N结组成的三端半导体器件。一端为发射极,另两端为基极。图9.2.13示出其结构原理、符号及其等效电路。图中e为发射极, $b_1$ 和 $b_2$ 分别表示第一基极和第二基极。

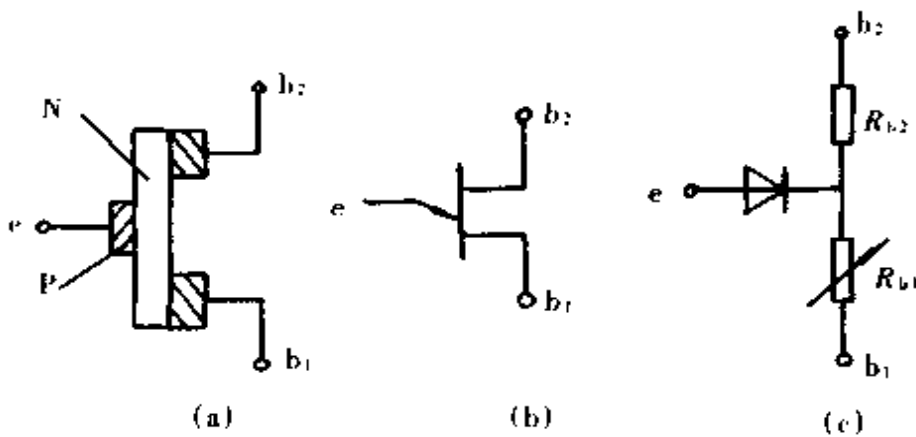


图9.2.13 单结晶体管结构、符号及其等效电路  
(a)结构原理 (b)符号 (c)等效电路

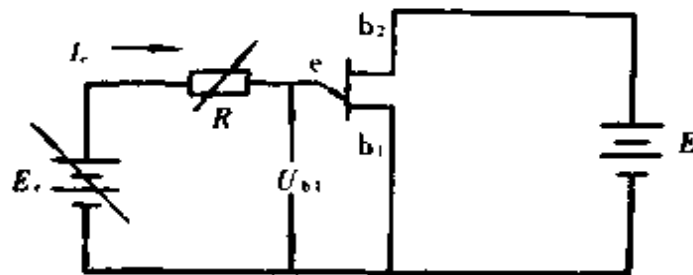


图9.2.14 单结晶体管特性测试电路

单结晶体管的特性可用图9.2.14电路测试。当 $b_1$ 与 $b_2$ 间加上正向电压 $E$ 后,两基极与发射极间产生分压。其分压比为 $\eta$ ,由下式计算:

$$\eta = \frac{U_{b1}}{E}$$

式中  $U_{b1}$  为发射极与 $b_1$ 间压降。

再在发射极与第一基极间加上电压 $E_e$ ,当 $E_e$ 小于 $U_{b1}$ 时,P-N结为反向电



压,呈现高阻态。一旦  $E_c$  值超过  $U_{on}$ , P-N 结开始正向偏置。当  $E_c$  大于  $U_{on} + U_z$  时,射极电流( $I_c$ )突然增加, $e-b_1$  间呈现负阻特性。此转折点称为峰点(P)。此时的电压和电流分别为峰点电压和峰点电流,用  $U_p$  和  $I_p$  表示。由于进入负阻特性区,电流迅速上升,而电阻剧烈下降,很快到达电阻最低点——谷点。谷点时的电流和电压分别用  $I_v$  和  $U_v$  表示。以后管子进入正常二极管工作区——饱和区。以峰点和谷点为界,可分为截止区、负阻区和饱和区。图 9.2.15 为单结晶体管的射极特性曲线。

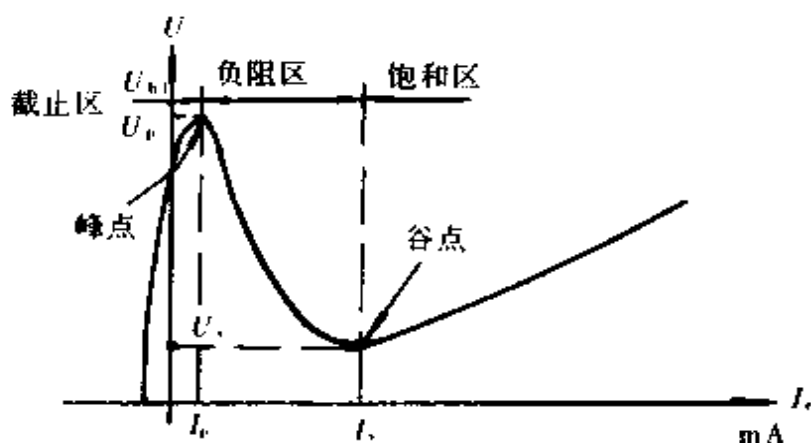


图 9.2.15 单结晶体管的射极特性曲线

### 3.2.2 单结晶体管组成的弛张振荡器

图 9.2.16a 为振荡器电路。它由电阻、电容与单结晶体管组成。通电后(Q 合

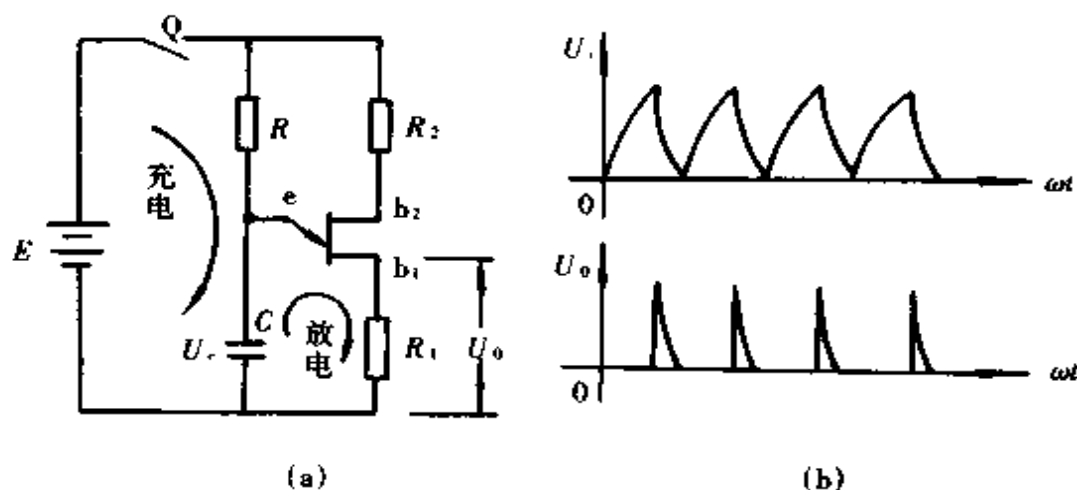


图 9.2.16 单结晶体管弛张振荡电路

(a) 电路图 (b) 波形图

上),电源经  $R$  对  $C$  充电,电容  $C$  上电压不断上升。当  $U_c$  大于峰点电压( $U_p$ )时,进入单结晶体管的负阻区。 $e-b_1$  间电阻突然减少。电容上电压通过  $e-b_1$  对  $R_1$

放电。\$R\_1\$ 上产生较大压降。放电后, \$U\_C\$ 小于 \$U\_p\$, \$e-b\_1\$ 又呈高阻态。\$R\_1\$ 上流过很小电流, 输出电压就很小(几乎为零)。接着电源又对 \$C\$ 充电……重复上述过程, 形成弛张振荡。在 \$R\_1\$ 上获得一系列输出脉冲。其输出波形见图 9.2.16b。

当改变 \$R\$ 值或 \$C\$ 值时, 充电时间常数发生变化, 弛张振荡器的振荡频率也随之而变。其振荡周期可用下式计算:

$$T = RC \ln \frac{1}{1-\eta}$$

通常用改变电阻(\$R\$)方法来达到改变频率目的。在晶闸管触发电路中常用此方法。图 9.2.16a 中 \$R\_1\$ 为输出电阻, 取几十欧至几百欧。\$R\_2\$ 作温度补偿电阻, 一般取 \$300 \sim 600\Omega\$。

### 3.2.3 几种常用的单结晶体管触发电路

单结晶体管组成的晶闸管触发电路较简单, 温度补偿性能好, 触发信号的前沿陡, 移相范围小于 \$180^\circ\$。因此应用较广。下面介绍几只典型电路。

3.2.3.1 用晶体管作放大器的单结晶体管触发电路 电路图见图 9.2.17。它由电源、晶体管放大器和单结晶体管振荡器等部分组成。电源部分包括全波整流桥和稳压二极管削波电路。整流桥使触发器的输出脉冲与主回路电压同步, 即每次移相角都以电源过零点作起始点。削波电路解决了移相范围与元件安全运行之间的矛盾: 为了增加移相范围, 要求整流电压高(上升沿可陡些); 但过高电压又会使晶体管等元件击穿, 用削波方法就能很好解决此矛盾, 其原理见图 9.2.18。

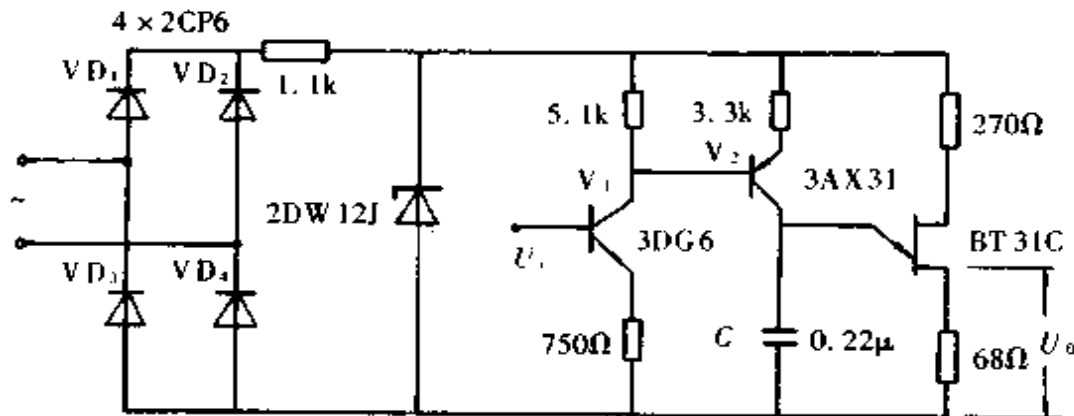


图 9.2.17 单结晶体管触发电路

晶体管放大器由 \$V\_1\$ 和 \$V\_2\$ 组成, 当 \$U\_C\$ 加上后, 经 \$V\_1\$ 组成的放大级后送到晶体管 \$V\_2\$ 的基极, \$V\_2\$ 的集电极电流就随 \$U\_C\$ 而变化, 即改变了对电容 \$C\$ 的充电电流。根据晶体管的放大原理, 可用很小的 \$U\_C\$ 对充电电流进行有效控制。或把 \$V\_2\$ 看成由 \$U\_C\$ 控制的高灵敏的可调电阻。单结晶体管振荡电路在该可调电阻与电容 \$C\$ 的作用下输出一系列脉冲。以最早出现的脉冲相位作为触发器的移相角。

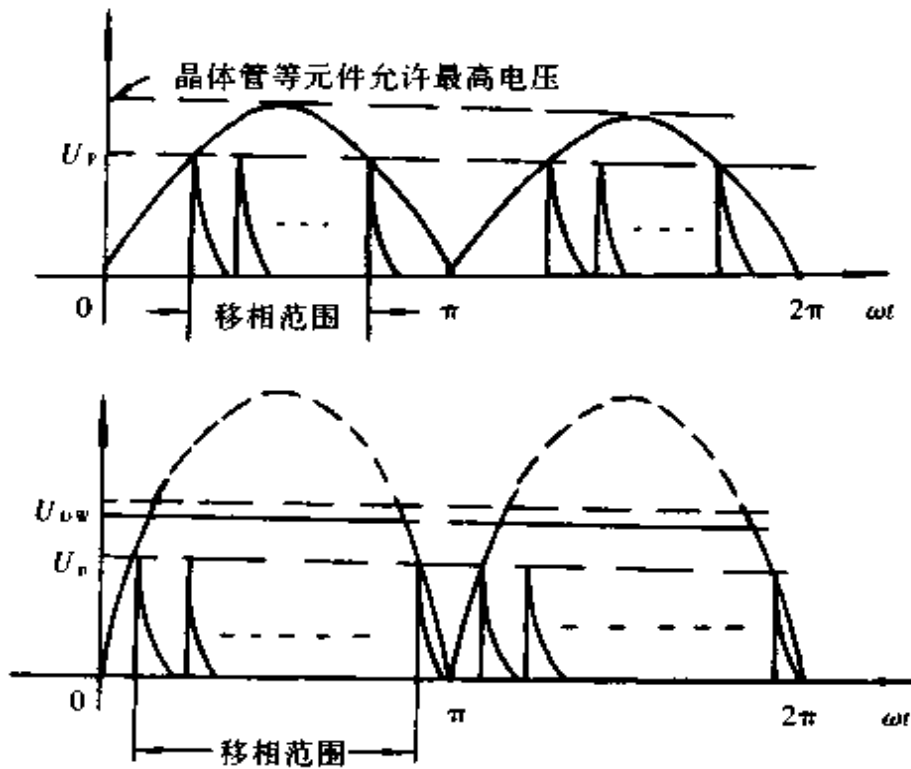


图 9.2.18 削波的原理

3.2.3.2 用变压器输出脉冲的单结晶体管触发电路 图 9.2.19 为其电路图。该电路的整流、削波及晶体管放大等部分与上述电路相同,只是脉冲的输出电路由变压器来取代电阻。这个电路的优点是通过变压器把控制电路与主回路隔离开来。在有些场合是相当有用的。

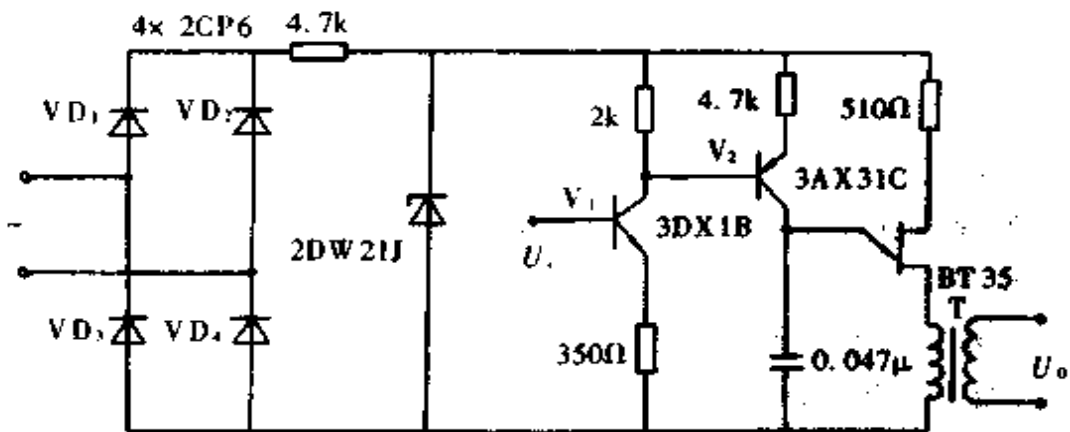


图 9.2.19 用变压器输出脉冲的单结晶体管触发电路

### 3.3 晶体管组成的触发电路

用晶体管组成的触发电路的形式很多。因晶体管间的耦合元件不同,有阻容耦合式和变压器耦合式;为增加输出信号的前沿陡度采用阻容耦合或变压器耦合的正反馈;为提高触发的可靠性用加尖脉冲同步电压式;就移相原理看又有电容充放电式和垂直调节式等。这里主要侧重移相原理,介绍几种晶体管组成的触发电路。

#### 3.3.1 电容充放电式晶体管触发电路

图 9.2.20 为一种电容充放电式晶体管触发电路。为使触发信号与主回路电

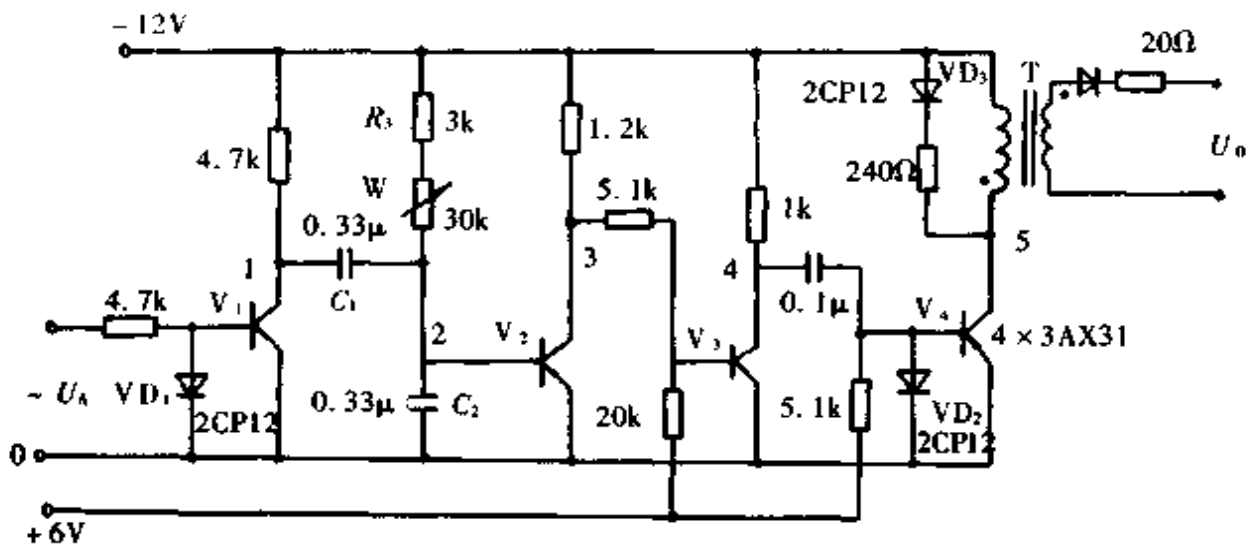


图 9.2.20 一种电容充放电式晶体管触发电路

压同步,在  $V_1$  的基极加入正弦同步电压( $U_A$ )。当  $U_A$  负半周时,  $V_1$  导通;正半周时,  $V_1$  截止。一旦截止,电源就经电阻( $R_3$ )和电位器( $W$ )对  $C_2$  充电。 $V_2$  的基极电位变负,直到  $V_2$  导通,经  $V_3$ 、 $V_4$  放大,在脉冲变压器( $T$ )副边输出触发信号。只要改变电阻  $R_3$  或电位器  $W$  的值,就改变了充电的时间常数,也就改变了输出触发信号的移相角。在同步信号负半周时,  $V_1$  导通,经电容  $C_1$  的耦合使  $V_2$  截止。正半周波又重复上述过程。图 9.2.21 为这种电路各点波形图。该电路的移相方法简单,移相范围小于  $180^\circ$ 。

#### 3.3.2 垂直控制式移相的晶体管触发电路

所谓垂直控制指移相是通过直流控制信号的上升或下降与同步信号的交点左右移动来实现的控制方式。图 9.2.22a 为直流控制信号与正弦信号叠加时交点移动的情况;图 9.2.22b 为与锯齿信号叠加时的情况。从图中看出,在同步信号不变时,只要改变控制电压(直流电平)就能达到移相目的。

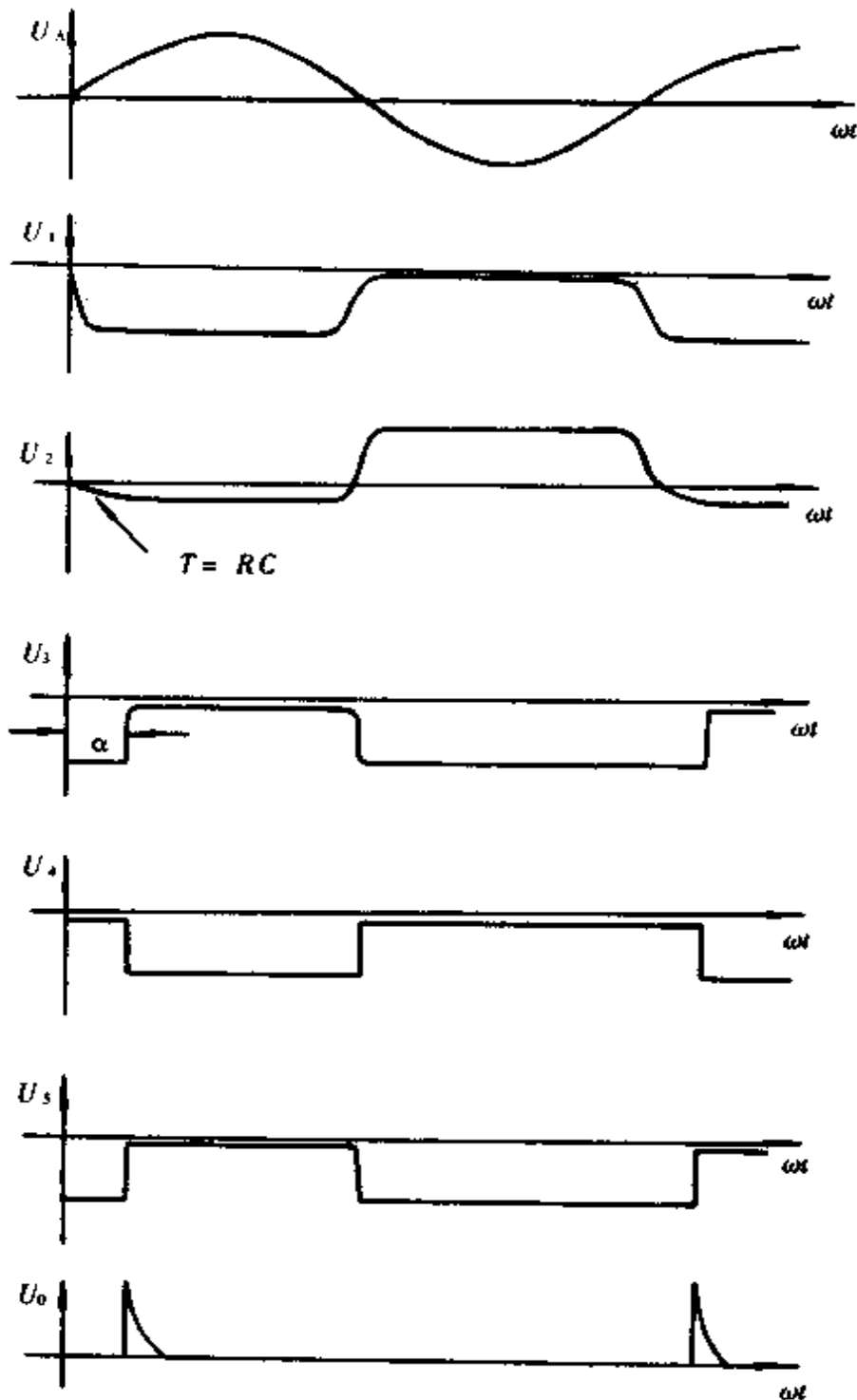


图 9.2.21 电容充放电式晶体管触发电路的各点波形图

3.3.2.1 正弦波同步信号的垂直控制触发电路 电路图见图 9.2.23。图中  $U_A$  是正弦波同步信号,  $U_c$  为直流控制电压。同步信号经  $R_4$ 、 $R_5$ 、 $R_w$ 、 $R_3$  分压后加在  $R_3$  上, 并与  $U_c$  叠加再去控制  $V_1$ 。当控制电压高于同步电压时,  $V_1$  导通;

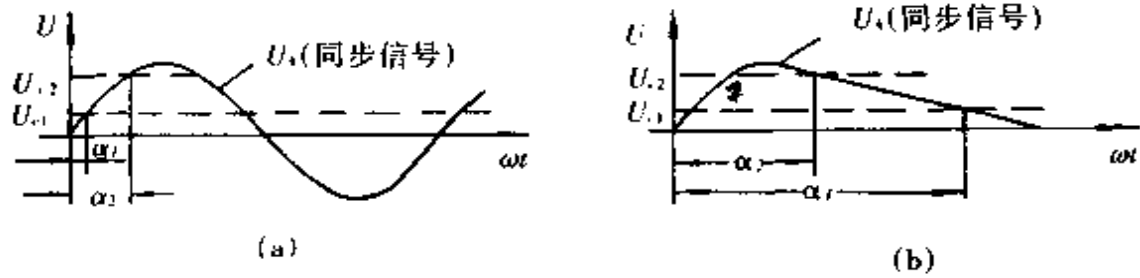


图 9.2.22 垂直控制原理图  
(a)与正弦信号叠加 (b)与锯齿信号叠加

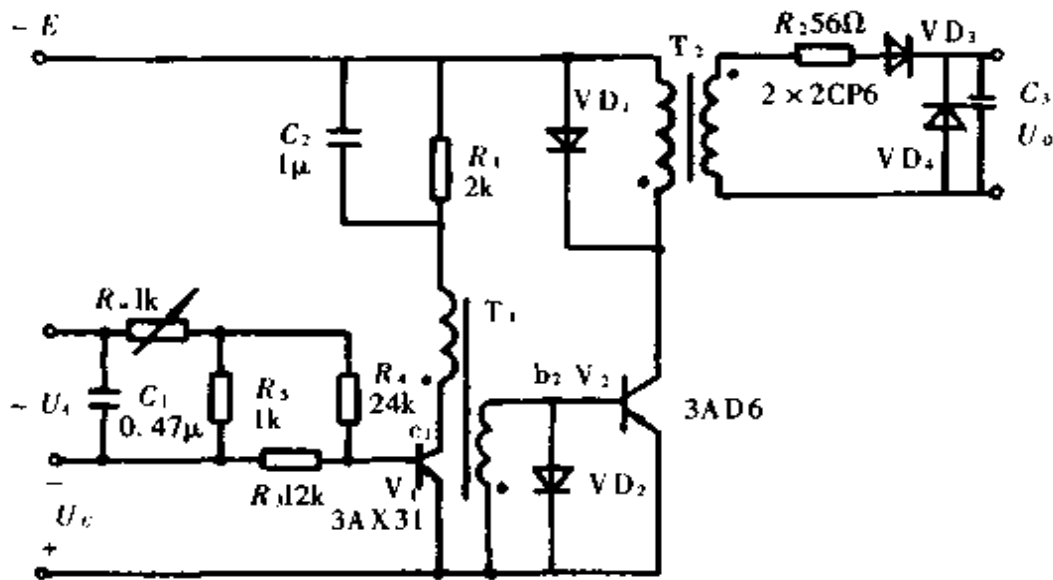


图 9.2.23 正弦波同步信号的触发电路

反之,  $V_1$  截止。经变压器( $T_1$ )耦合和  $V_2$  放大后,再由变压器( $T_2$ )的副边输出触发脉冲。图中  $C_2$  可使输出脉冲的前沿陡度增加。 $VD_2$  为防止  $V_2$  发射结反向击穿。 $VD_1$  为续流二极管。 $R_2$  起限制晶闸管控制极电流作用。 $VD_3$ 、 $VD_4$  保护控制极不受反向电压袭击。 $C_3$  起抗干扰作用,防止干扰信号引起误触发。图 9.2.24 是其各点波形图。该电路较简单,输出触发脉冲的功率大。移相范围小于  $180^\circ$ 。

3.3.2.2 同步信号为锯齿波的垂直控制触发电路 图 9.2.25 为其电路图。图中,输入的正弦电压经  $VD_1$  半波整流, $C_1$  和  $R_1$  的充放电后成为一个近似锯齿波的同步信号。再与控制电压  $U_c$  叠加后送到  $V_1$ 。当  $U_c > U_A$  时, $V_1$  导通而  $V_2$  截止。经  $C_2$  耦合使  $V_3$  导通。再由变压器( $T$ )的副边绕组( $W_2$ )输出触发脉冲。绕组( $W_1$ )为正反馈绕组,它使输出脉冲的前沿更陡。图 9.2.26 是该电路各点波形图。此电路较简单,输出触发脉冲前沿陡,输出功率大,移相平滑,移相范围大,

小于  $270^\circ$ , 应用较广。

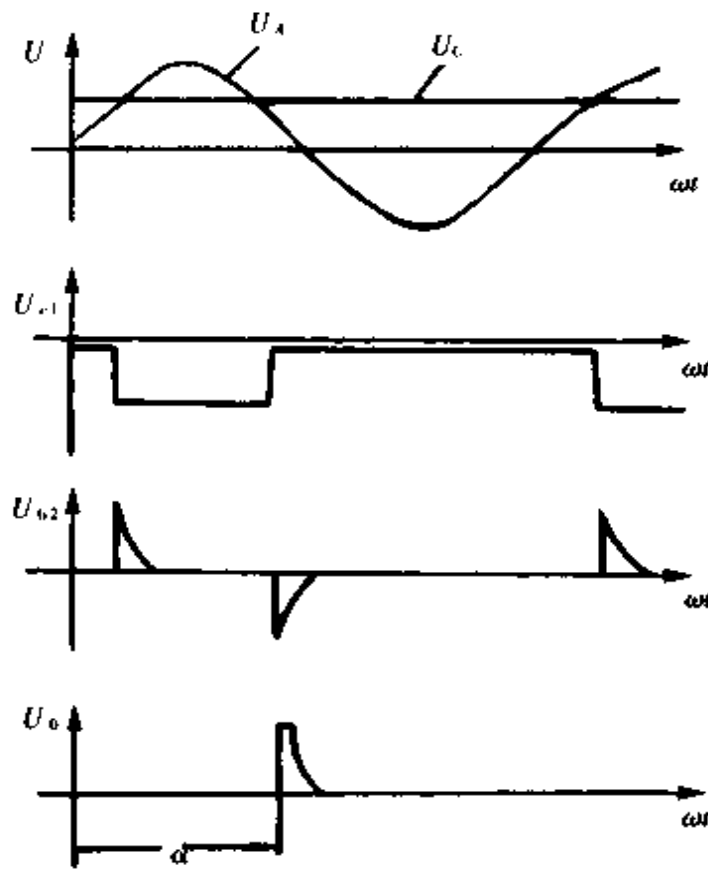


图 9.2.24 正弦波同步信号的触发电路的各点波形图

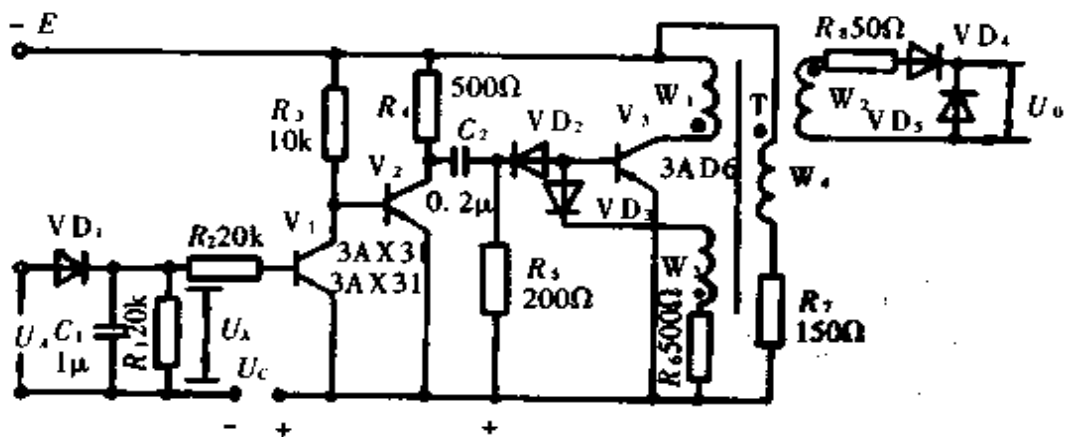


图 9.2.25 同步信号为锯齿波的触发电路

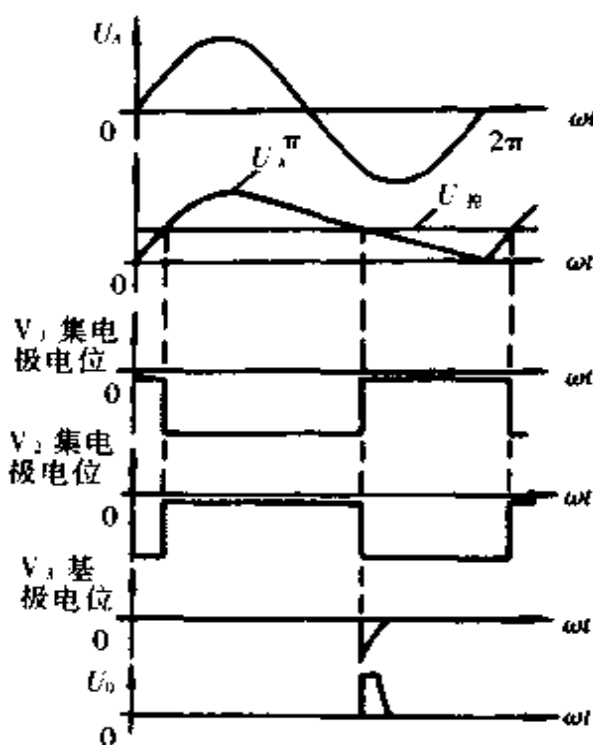


图 9.2.26 同步信号为锯齿波的触发电路的各点波形图

## 4 晶闸管的实用电路

### 4.1 可控整流电路

可控整流是为了得到连续可调的直流或交流电压。常用于电镀、温度控制、电动机调速等方面。

#### 4.1.1 自动恒温控制电路

图 9.2.27 是自动恒温控制电路。其主回路由两只晶闸管反并联和加热器(电热丝) $R_L$ 组成。在电热丝上得到交变的可调电压。用快速熔断器(FU)作短路保护。 $C_1$ 与 $R_1$ 串联成晶闸管的过压保护电路。

触发电路是单晶体管弛张振荡器。其中 $V_4$ 作可调电阻,它受 $V_1$ 和 $V_2$ 组成的差分放大器控制。差分放大器的控制电压是 $R_2 \sim R_5$ 组成的电桥输出信号。电桥的一臂( $R_3$ )为热敏电阻(铂电阻)。它反映被控温度值。当温度偏离设定值时,电桥的输出也随之改变。由经差分放大器放大后的信号去控制 $V_4$ ,从而改变了单晶体管触发器的输出脉冲的相位。通过主回路,改变加在电热丝上电压,使温度回到设定值。



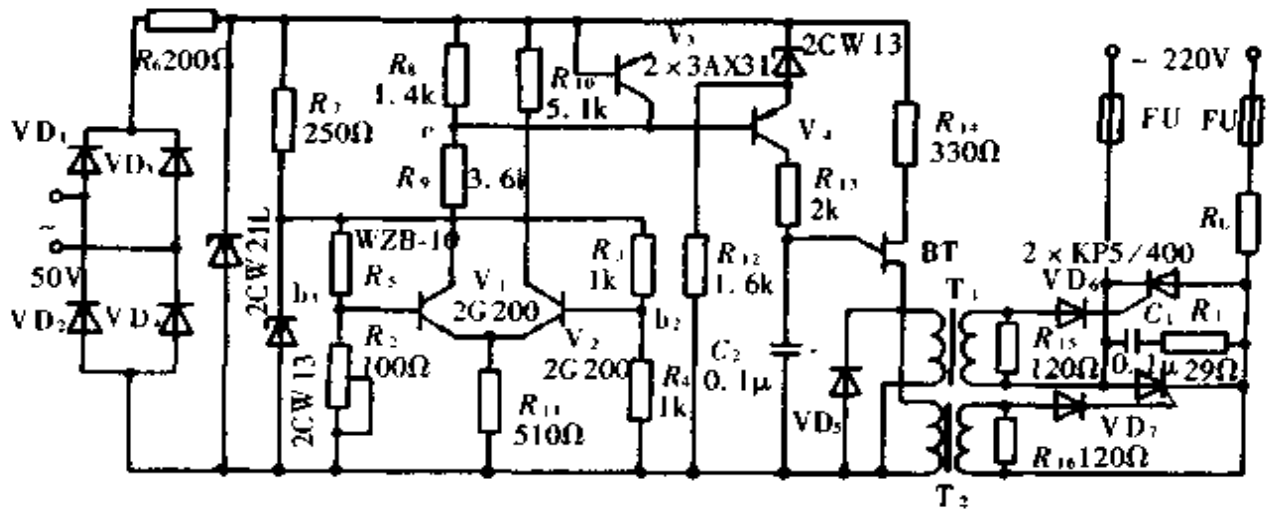


图 9.2.27 自动恒温控制电路

图中,  $R_2$  为温度调整电位器。  $V_3$  和  $V_4$  应是同型号晶体管, 起温度补偿作用。该电路温度设定(控制)范围从室温到  $300^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.1.2 简易交流调压电路

图 9.2.28 是一种应用较广的简易交流调压电路, 常用作台灯调光、风扇调速等。其主回路是由一只双向晶闸管(KS)和负载( $R_L$ )组成。触发电路是由  $R-C$  充放电电路和一只双向二极管(2CS)组成。  $C_1$  为晶闸管过压保护电容,  $C_3$  为控制极保护电容。  $L$  可抑制浪涌电流。该电路是利用  $R-C$  充放电的延时来改变晶闸管导通角的。充放电时间由电位器( $R_w$ )的数值来控制。当负载是灯泡时,  $R_w$  值取  $200\text{k}\Omega$ ; 负载为电扇时,  $R_w$  值取  $150\text{k}\Omega$ 。

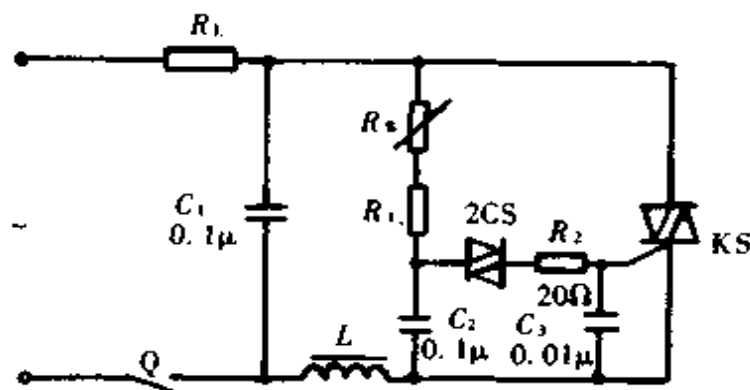


图 9.2.28 简易交流调压电路

#### 4.1.3 手动调压电镀电源

图 9.2.29 为一只手动调压电镀电源。电镀电源的特点是大电流、低电压, 所

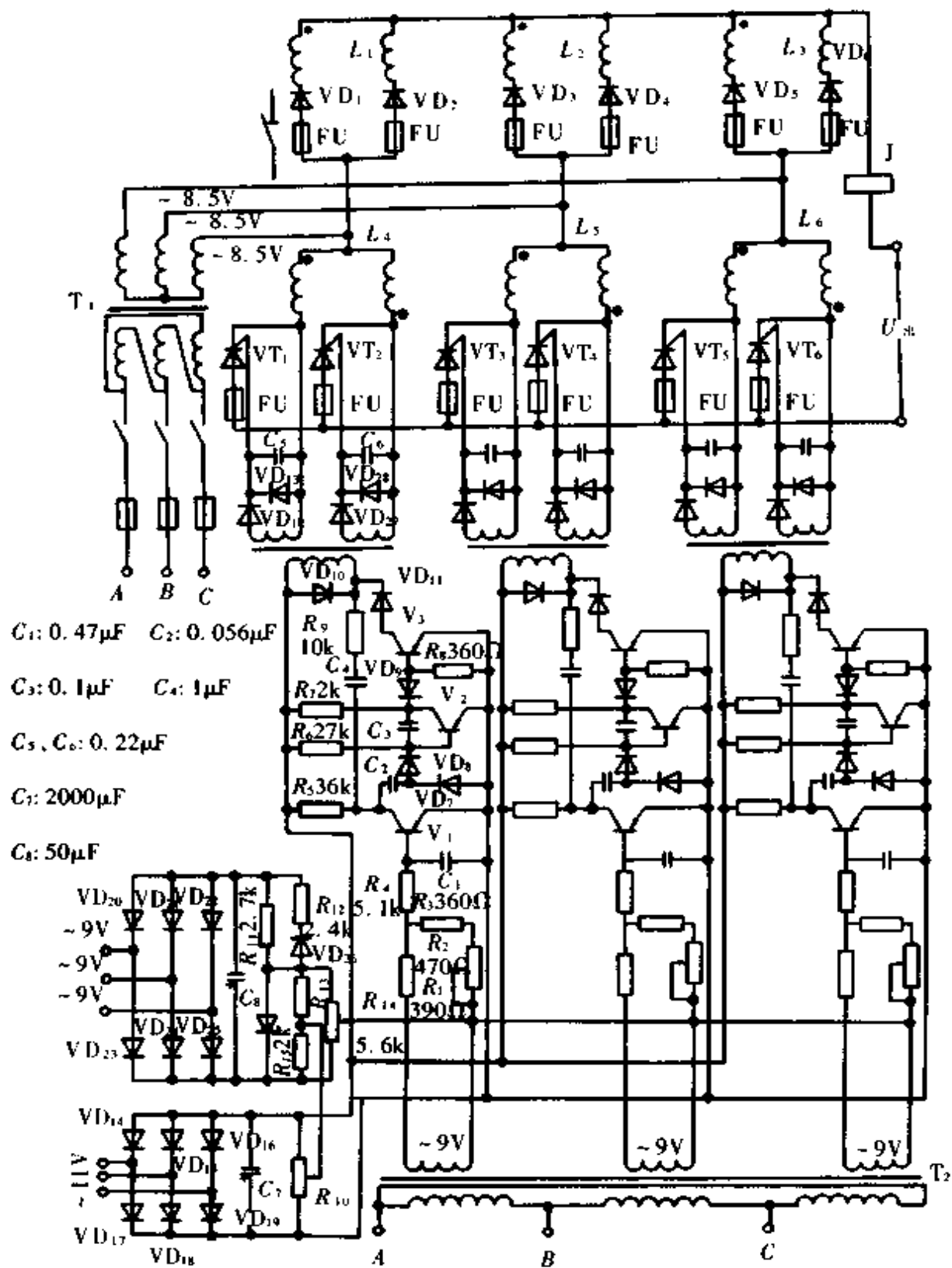


图 9.2.29 手动调压电镀电源

以主回路用三相桥式半控电路,桥臂均由两只并联二极管和两只并联晶闸管组成。采用均流电抗器使电流分配均匀。用快速熔断器作短路保护。由变压器( $T_1$ )作降压隔离变压器。继电器(J)用于过流保护。

触发器由三只相同的带阻容正反馈晶体管触发电路组成。同步信号由三相同步变压器( $T_2$ )提供。它们的相位差互为 $120^\circ$ 。给定电压(控制电压)从 $R_{14}$ 中点引出,由手动调节。它是垂直控制型。

在应用时应注意同步电压与主回路电压间的相位关系。若按图 9.2.30 所示接线,则 A 相晶闸管用 b 相作同步电压;B 相晶闸管用 c 相作同步电压;C 相晶闸管用 a 相作同步电压。

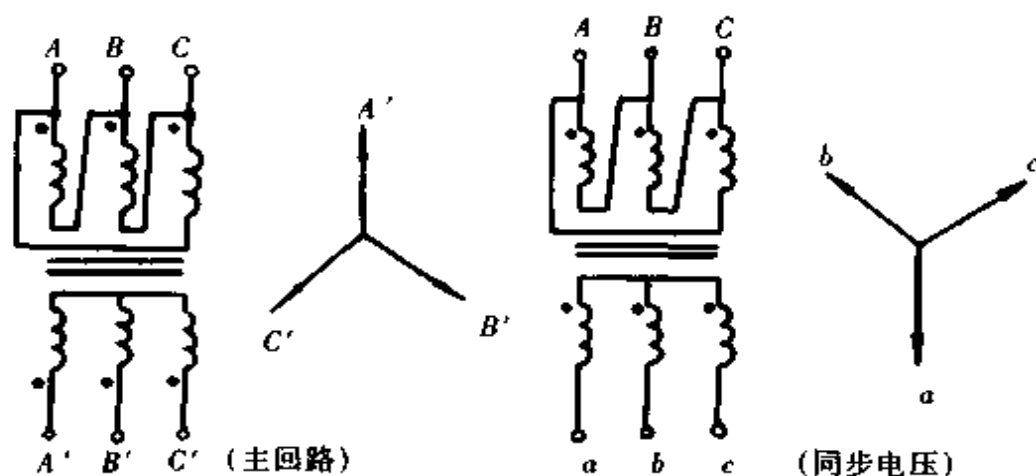


图 9.2.30 主回路电压与同步电压的相位关系

此电路较简单。额定电流达 750A,输出电压为 12V 左右,可用于电镀,以取代笨重的发电机组。

#### 4.1.4 直流电动机调速电路

见第八篇第三章(电气传动调速系统)。

#### 4.1.5 滑差电动机调速电路

见第八篇第四章(交流异步电动机调速系统)。

## 4.2 直流开关电路

### 4.2.1 时间继电器

图 9.2.31 是由晶闸管等元件组成的时间继电器。主回路是晶闸管和继电器 K。触发电路为典型的单结晶体管弛张振荡器。

当 Q 合上后,电源通过电阻  $R_1$ 、电位器  $R_w$  对电容  $C_2$  充电。一旦  $C_2$  上的电压超过单结晶体管的峰点电压, $R_3$  上便出现输出脉冲去触发晶闸管。继电器随着吸合,其常开触点( $K_2$ )自保,使继电器继续吸合。同时晶闸管因失去阳极电压而

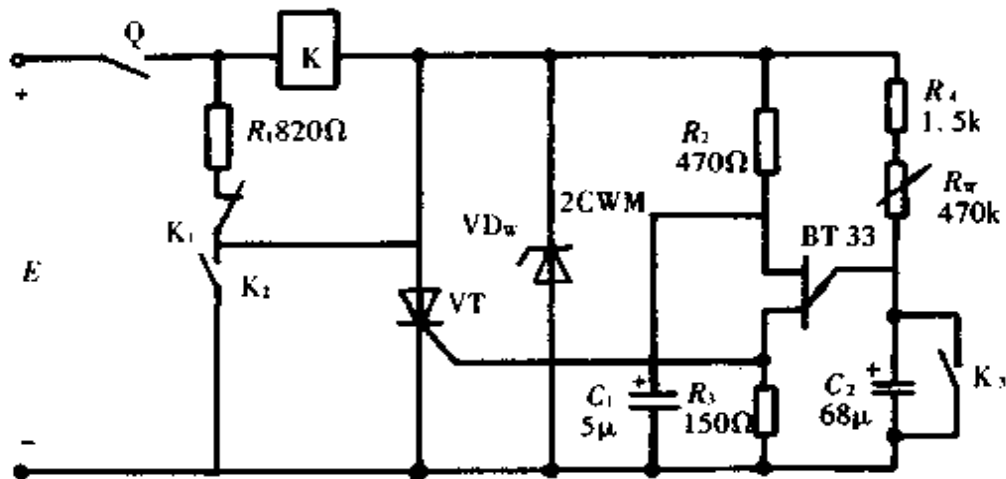


图 9.2.31 时间继电器电路

关断。继电器的另一副常开触点( $K_3$ )闭合,使电容  $C_2$  放电,为下次工作作好准备。只要打开  $Q$  后再合上,便可使该时间继电器再工作。

该时间继电器的延时时间由充电回路参数决定。即由  $R_4$ 、 $R_w$  和  $C_2$  值决定。当  $R_4$  为  $1.5k\Omega$ ,  $R_w$  为  $470k\Omega$ ,  $C_2$  为  $68\mu F$  时,延时可达  $60s$ 。

#### 4.2.2 宽度可调的脉冲电源

在电车、蓄电池车中常用直流脉冲电源。其调速由脉冲的宽度调节来实现。常称直流脉冲调宽调速。图 9.2.32 示出这种电路的主回路及其触发电路的原理框图。

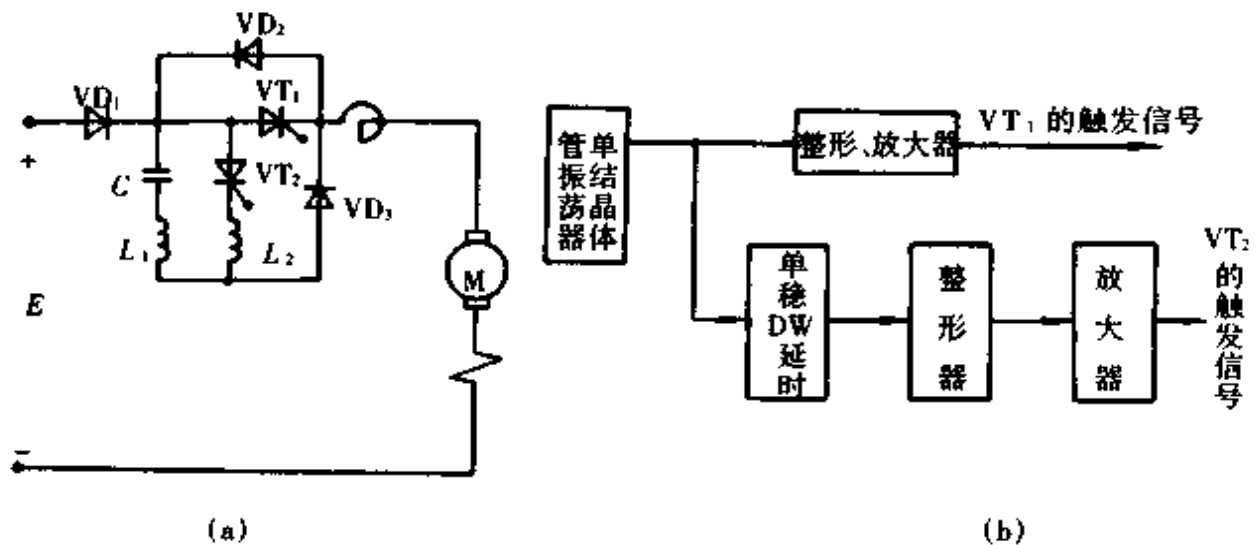


图 9.2.32 宽度可调的脉冲电源  
(a)主回路 (b)触发电路原理框图

主回路由主控晶闸管( $VT_1$ )和辅助晶闸管( $VT_2$ )及二极管等元件组成。当两只晶闸管都未导通时,电源经  $VD_1$ 、 $L_1$ 、 $VD_3$  和电动机对  $C$  充电,  $U_C = E$ 。当  $VT_1$  导通后,电动机得电而转动。 $VT_2$  在  $VT_1$  导通后延时  $T$  移导通。使  $C$  与  $L_1$ 、 $L_2$  形成振荡回路,并开始振荡,经  $VD_3$  使  $VT_1$  因加入反向阳极电压而关断。 $VT_2$  也同时关断。电源又对  $C$  充电……如此重复。只要改变  $VT_1$  与  $VT_2$  触发脉冲的间隔,就能改变加在电动机上的脉冲电压宽度。

从触发电路原理框图可看到,  $VT_1$  的触发脉冲与单晶体管振荡器输出同相位。而  $VT_2$  的触发信号经单稳电路(DW)延时。延时长短由 DW 的充电电阻调节。只要改变此电阻就能达到脉冲电压调宽的目的。

### 4.3 交流开关电路

#### 4.3.1 交流无触点开关电路

原理图见图 9.2.33。主回路由晶闸管、单相全波整流器和负载  $R_L$  组成。负载放在整流器的前面。触发电路是变压器耦合式晶体管振荡电路。其振荡频率为 2.2kHz。振荡器受负或门电路控制。该负或门的输入有三个。当其任一输入或一个输入以上为低电平时,振荡器就起振。振荡脉冲由变压器中  $W_2$  绕组输出去触发晶闸管,负载  $R_L$  就得到交流电。当或门的三个输入均为高电平时,振荡停止。晶闸管因无触发电压便在阳极电压过零点附近时自行关断,负载  $R_L$  失电。

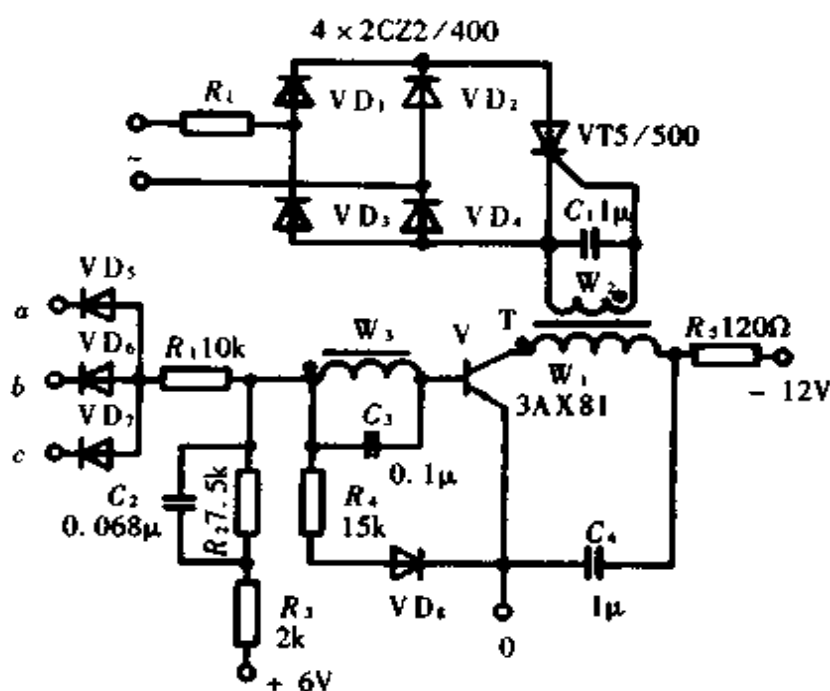


图 9.2.33 交流无触点开关电路原理图

图中  $R_3$ 、 $C_1$  组成退耦电路。

为使负载能得到完整的正弦电压,振荡频率应远高于阳极电压频率(50Hz),故取振荡频率为 2.2kHz。

该电路简单可靠,可推广应用。

#### 4.3.2 交流固态继电器

由于固态继电器有其特出的优点,故其应用愈来愈广。图 9.2.34 为一种由晶闸管组成的交流固态继电器电路。这是一只典型的晶闸管交流开关电路,由光控晶闸管、整流桥等元件组成。当控制电压( $U_c$ )加入时,形成恒流注入光控晶闸管的控制极,晶闸管被触发导通。负载  $R_L$  上获得交流电压。当  $U_c$  消失后,晶闸管便无触发电流,故在阳极电压过零点附近时自行关断。

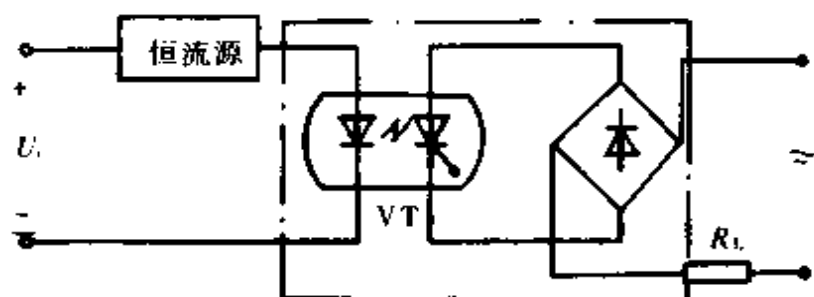


图 9.2.34 一种交流固态继电器电路

### 4.4 其他电路

#### 4.4.1 高幅值方波发生器

图 9.2.35 是一只由可关断晶闸管组成的方波发生器电路。主回路由可关断晶闸管(GTO)和负载输出电阻  $R_L$  组成。触发和关断电路包括电阻、电容及稳压二极管。通电后,电源经  $R_1$  对  $C_1$  充电。当  $C_1$  上的电压上升到一定值时,  $VD_{w1}$

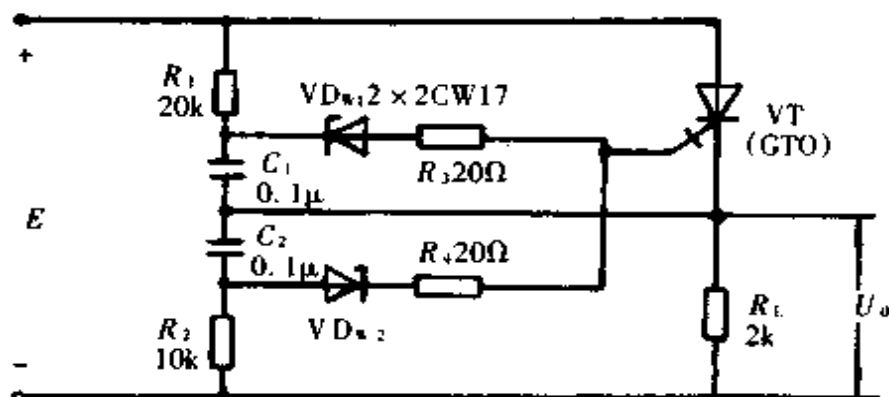


图 9.2.35 高幅值方波发生器电路

击穿,触发电压加到晶闸管的控制极,使晶闸管导通。导通后, $C_1$ 上的电压经 $R_1$ 和晶闸管放电,为下次触发作好准备。同时,电源经晶闸管、 $R_2$ 对 $C_2$ 充电。充到一定值时, $VD_{w2}$ 击穿,负极性电压经 $VD_{w2}$ 、 $R_3$ 加到晶闸管的控制极,使晶闸管关断。以后不断重复上述过程,在输出电阻 $R_L$ 上得到高幅值的方波信号。幅值与电源电压( $E$ )接近。

#### 4.4.2 蓄电池充电器

图 9.2.36 为一种用晶闸管控制的蓄电池充电器电路。其主回路由全波整流、晶闸管和电感 $L$ 组成。触发信号是 $VD_w$ 的稳压值与输出电压( $U_o$ )之差。充电开始时,由于蓄电池电压较低(低于 12V),故晶闸管的导通角较大,充电较快。随着充电时间的延长, $U_o$ 上升,晶闸管的导通角减小。当充到 12V 时,触发信号为零电平,充电自动结束。

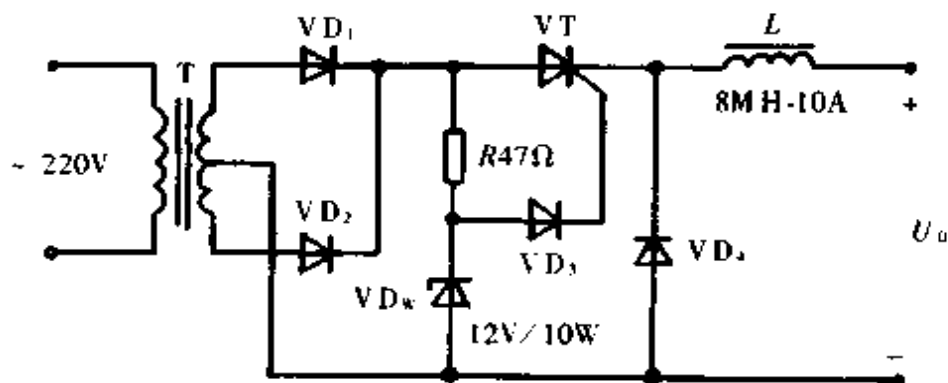


图 9.2.36 蓄电池充电器电路

该电路的特点是对不同电压的蓄电池充电,只要选择与该蓄电池电压相等的稳压二极管接在 $VD_w$ 位置即可。在应用时注意防止充电电流过大而损坏晶闸管和电感中的电流过大而饱和。电感的功能是防止在充电刚开始时因蓄电池电压太低而过流。

#### 4.4.3 智力竞赛抢答器

图 9.2.37 为一种用晶闸管作开关的智力竞赛抢答器电路。 $S_1 \sim S_n$ 为抢答者按键。原始状态(抢答前): $VT_1 \sim VT_n$ 均断开, $V_1$ 截止而 $V_2$ 饱和导通。 $S$ 点电位为 10V。抢答时,只要 $S_1 \sim S_n$ 任何键合上,对应的晶闸管就导通。一方面使对应的灯点亮;另一方面由于电流流经 $R_1$ 产生压降使 $V_1$ 由截止变为导通,而 $V_2$ 却转为截止。 $S$ 点电位从 10V 跃到 0V,由此电压跳变去控制扬声器。当 $S$ 点电位为 0V 时,其他抢答者即使再按键也不可能触发晶闸管,就作无效或竞争失败处理。下次抢答前必须由主持人按 $S_0$ 键,使抢答器恢复原状。

该抢答器扩充容易,只要加接晶闸管、二极管、按键和指示灯即可。

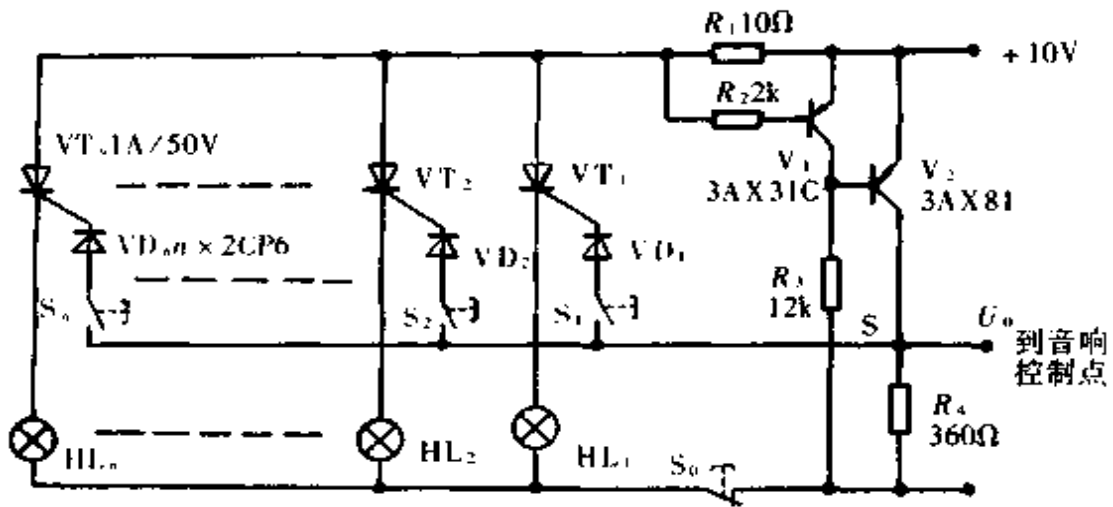


图 9.2.37 智力竞赛抢答器电路

#### 4.4.4 PLC(可编程控器)中交流输出接口电路

在 PLC 中常用晶闸管作无触点交流输出接口。其原理图见图 9.2.38。主路由一只双向晶闸管( $VT_2$ )、电感( $L$ )和负载( $R_L$ )等组成。触发电路是一只光控晶闸管( $VT_1$ )。当控制电流( $i_c$ )通过  $VT_1$  的控制发光管时,  $VT_1$  导通。触发电流经光控晶闸管流过  $VT_2$  的控制极,  $VT_2$  导通, 负载  $R_L$  上得电。在  $VT_1$  导通时, 指示灯 HL 点亮。当控制电流为零时,  $VT_1$  关断,  $VT_2$  也随之失去控制电流而断开(在阳极电压过零点附近时自行关断)。

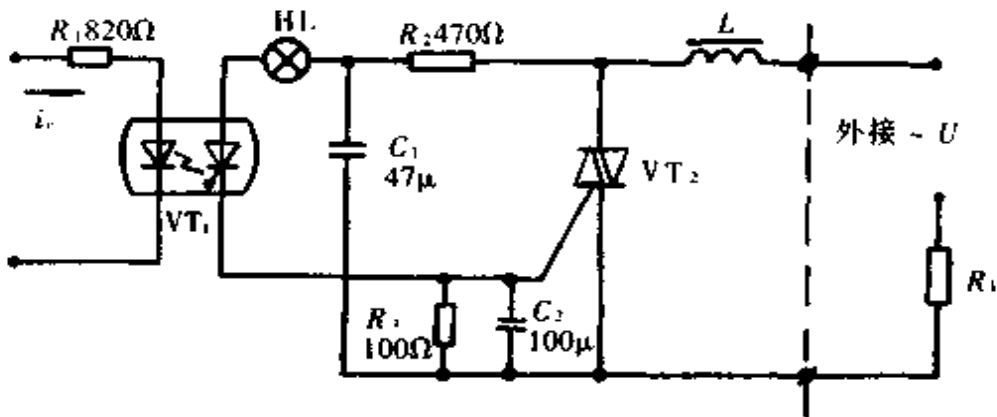


图 9.2.38 一种 PLC 中交流输出接口电路

此电路由于用光控晶闸管, 使 PLC 的控制器与外电路得以隔离, 故提高了装置的抗干扰能力。



## 第三章 半导体集成电路

### 1 半导体集成电路概述

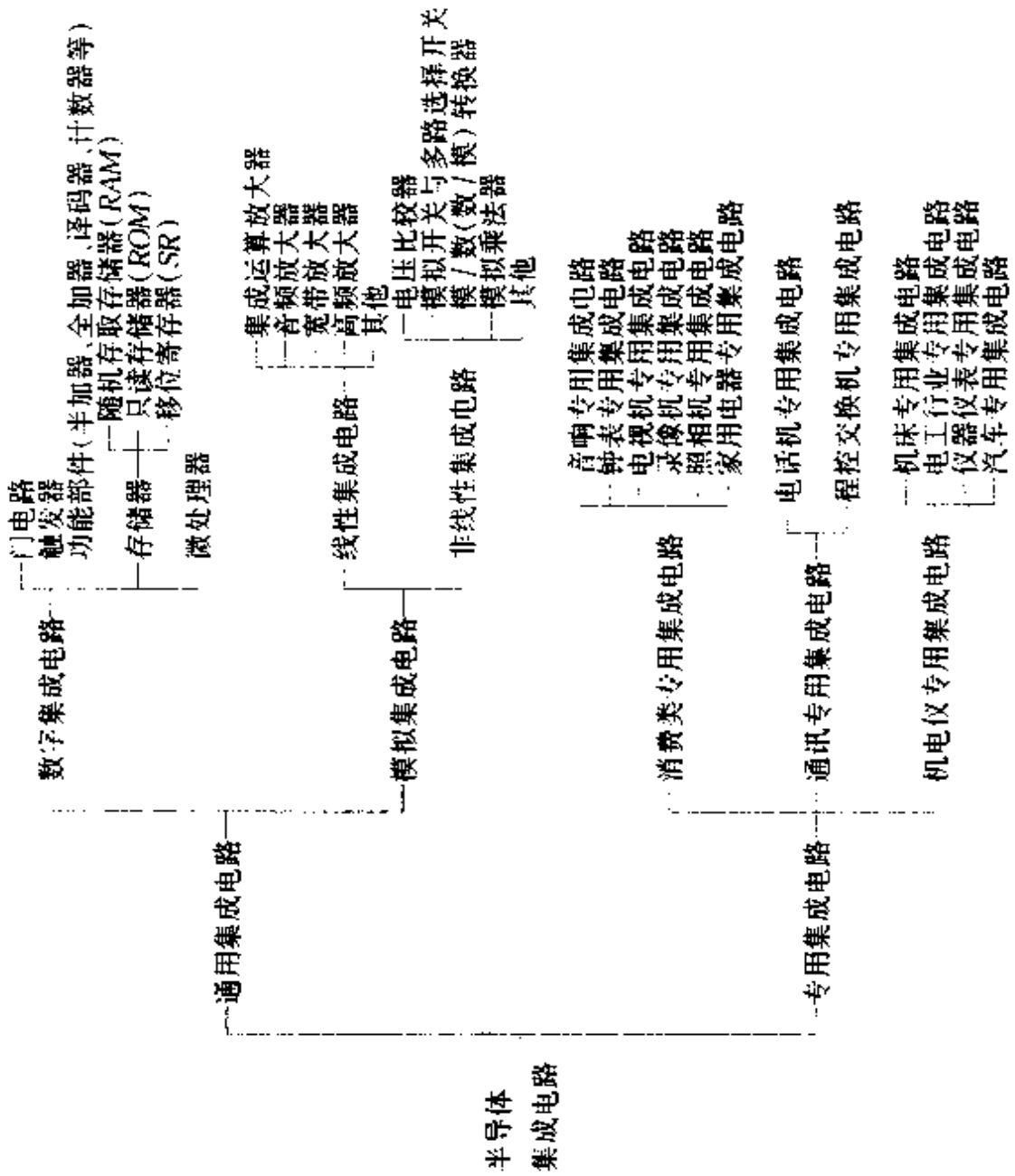
#### 1.1 半导体集成电路的特点

半导体集成电路是 60 年代初期发展起来的一种微电子器件。它是利用半导体工艺,把晶体管、二极管、电阻、电容等电路元件制作在几个平方毫米大小的基片上,并按一定功能连接成相应的电路。它可代替传统的分立元件电路。与分立元件电路相比,具有体积小、质量轻、功耗低、可靠性高、性能好、成本低等优点,因而发展非常迅速、应用日益广泛。

#### 1.2 半导体集成电路的分类

半导体集成电路的分类方法很多。按有源器件分类,可分为双极型、MOS 型;按集成度分类,可分为小规模集成电路(SSI,每芯片  $10 \sim 10^2$  个器件);中规模集成电路(MSI,每芯片  $10^2 \sim 10^3$  个器件或几十个门);大规模集成电路(LSI,每芯片  $10^3 \sim 10^5$  个器件或 100 个门以上);超大规模集成电路(VLSI,每芯片  $10^5 \sim 10^7$  个器件或 10000 个门以上);极大规模集成电路(ULSI,每芯片大于  $10^7$  个器件)。如综合考虑功能和使用,可分类如表 9.3.1。

表 9.3.1 半导体集成电路的分类



### 1.3 国产半导体集成电路型号的命名方法

国产半导体集成电路的型号由五个部分组成。其五个组成部分的符号及意义如下：

C	□	□□……	□	□
中国国 标产品	器件类型	用阿拉伯数 字和字母表 示器件系列 品种,其中 TTL分为 54/74×××	工作温度范围(℃)	封装
	T:TTL电路 H:HTL电路 E:ECL电路 C:CMOS电路 M:存储器 μ:微型电路 F:线性放大器 W:稳压器 D:音响、电视机电路 B:非线性电路 J:接口电路 AD:A/D转换器 DA:D/A转换器 SC:通讯专用电路 SW:钟表电路 SJ:机电仪电路 SF:复印机电路	C:0~70 G:-25~70 L:-25~85 E:-40~85 R:-55~85 M:-55~125		F:陶瓷扁平 B:塑料扁平 H:黑瓷扁平(陶瓷熔封扁平) D:陶瓷双列直插 J:陶瓷熔封双列直插 P:塑料双列直插 S:塑料单列直插 T:金属圆壳 K:金属菱形 C:陶瓷无引线片式载体封装 E:塑料片式载体封装 SOIC:小引线封装 PCC:塑料芯片载体封装 LCC:陶瓷芯片载体封装

### 1.4 半导体集成电路外形尺寸及外引线排列

#### 1.4.1 外形的类别

- (1)F型 陶瓷扁平封装 (国外为FP);
- (2)H型 陶瓷熔封扁平封装 (国外为CFP);
- (3)D型 陶瓷双列封装 (国外为DIP);
- (4)J型 陶瓷熔封双列封装 (国外为CDIP);
- (5)P型 塑料双列封装 (国外为PDIP);
- (6)T型 金属圆形封装;
- (7)O型 塑料双列弯引线封装 (国外为SOP);
- (8)E型 塑料片式载体封装 (国外为PLOC);

(9)C型 陶瓷无引线片式载体封装 (国外为CCC);

(10)N型 塑料四面引线扁平封装 (国外为PQFP);

(11)Q型 陶瓷四面引线扁平封装 (国外为QFP);

(12)G型 陶瓷针栅阵列封装 (国外为PGA)。

目前,比较常用的外形为F型、D型、P型、T型、O型、E型、N型、Q型、G型。

#### 1.4.2 引出端的识别

(1)F、N和Q型封装:由主视图方向观察,引出端识别标志处为1,按逆时针方向依次为2、3…

(2)D、P和O型封装:由俯视图方向观察,引出端识别标志处为1,按逆时针方向依次为2、3…

(3)T型封装:由仰视图方向观察,引出端识别标志为 $n$ ,按顺时针方向依次为1、2、3…

(4)G型封装:由仰视图方向观察,引出端识别标志处为 $A_1$ ,其他引出端的坐标编号由具体器件的详细规范决定。

(5)E型封装:由俯视图方向观察,引出端识别标志区一侧的引出端数为奇数时,中心线上的引出端为1,按逆时针方向依次为2、3…

由俯视图方向观察,引出端识别标志区一侧的引出端数为偶数时,中心线下方的第一个引出端为1,按逆时针方向依次为2、3…

#### 1.4.3 外形图

下面列举目前最常用的几种外形图。

##### 1.4.3.1 陶瓷扁平封装

(1)引线两面引出。见图9.3.1。

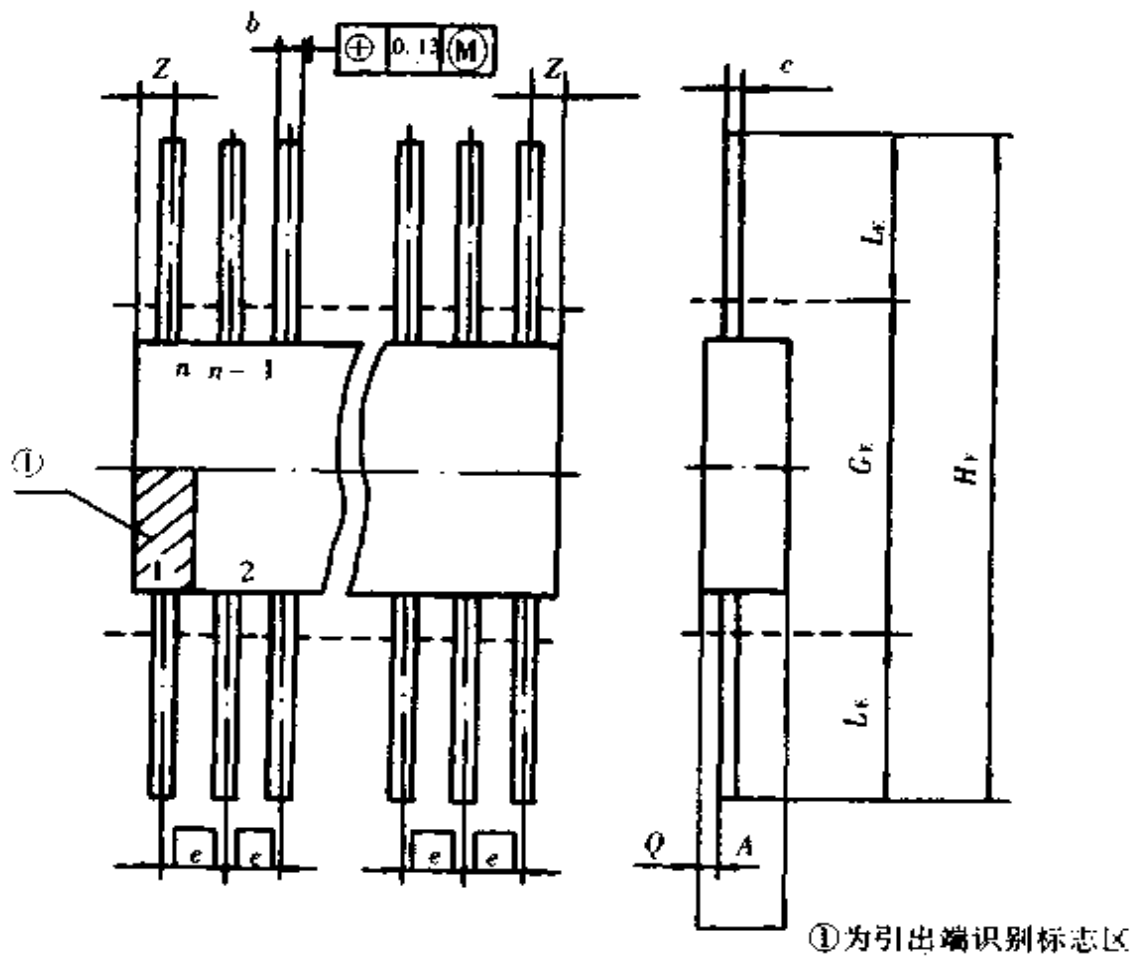


图 9.3.1 引线两面引出

尺寸符号	数值(mm)		
	最小	公称	最大
A	—	—	2.3
b	0.25	—	0.54
c	0.07	—	0.20
e	—	1.27	—
$G_E$	—	—	7.7
$H_E$	13.72	—	19.81
$L_E$	3	—	—
Q	0.13	—	0.90

注：在  $G_{TE}$  尺寸范围内引线不应弯曲、切断或利用。

外形代号	F14X <sub>1</sub>	F14X <sub>2</sub>	F16X <sub>2</sub>	F18X <sub>2</sub>	F24X <sub>1</sub>
"	14	14	16	18	24
Z(最大)(mm)	0.63	1.27	1.27	1.27	0.63

(2)引线四边布线,两面引出。见图 9.3.2。

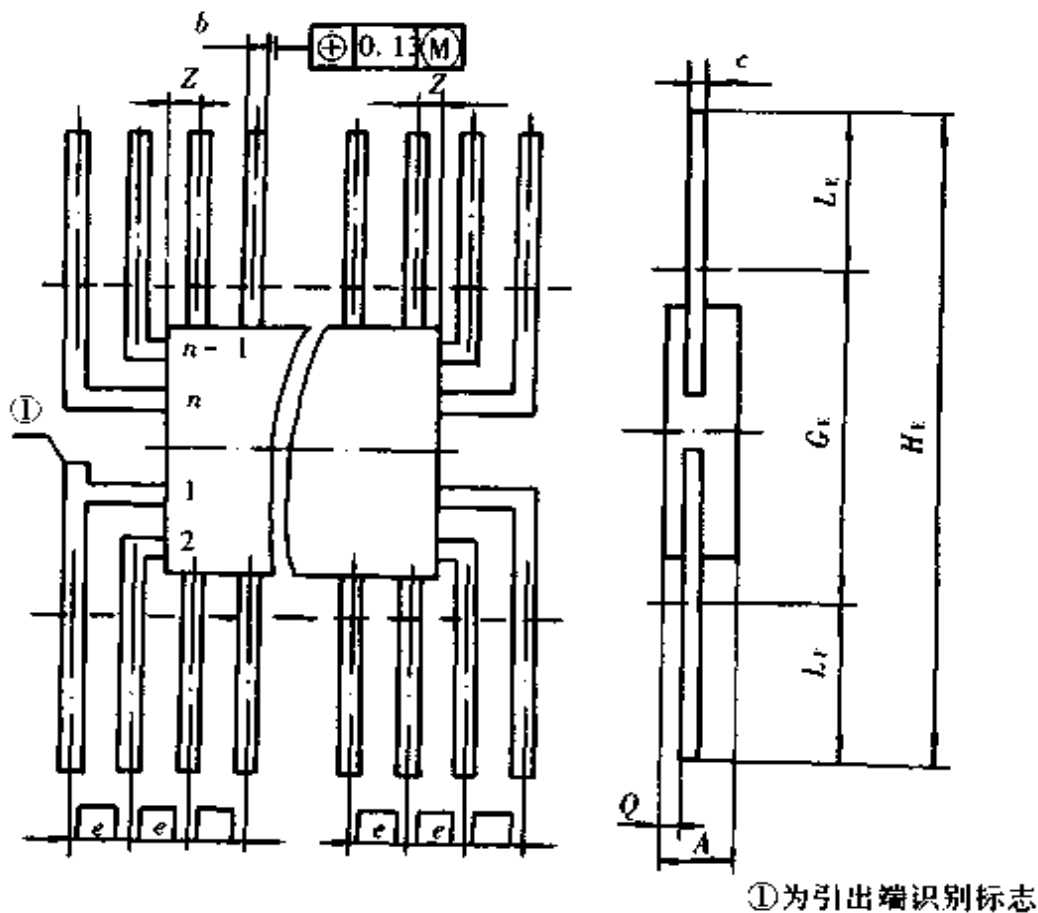


图 9.3.2 引线四边布线,两面引出

尺寸符号	数值(mm)		
	最小	公称	最大
A	—	—	2.3
b	0.25	—	0.54
c	0.07	—	0.20
e	—	1.27	—
G <sub>E</sub>	—	—	7.7
H <sub>E</sub>	13.72	—	19.81
L <sub>E</sub>	3	—	—
Q	0.13	—	0.90

注:在 G<sub>TE</sub> 尺寸范围内引线不应弯曲、切断或利用。

外形代号	F14Y <sub>1</sub>	F16Y <sub>1</sub>	F18Y <sub>1</sub>	F24Y <sub>1</sub>
$n$	14	16	18	24
$Z$ (最大)(mm)	0.63	0.63	0.63	0.63

## 1.4.3.2 陶瓷双列封装(D型) 见图 9.3.3。

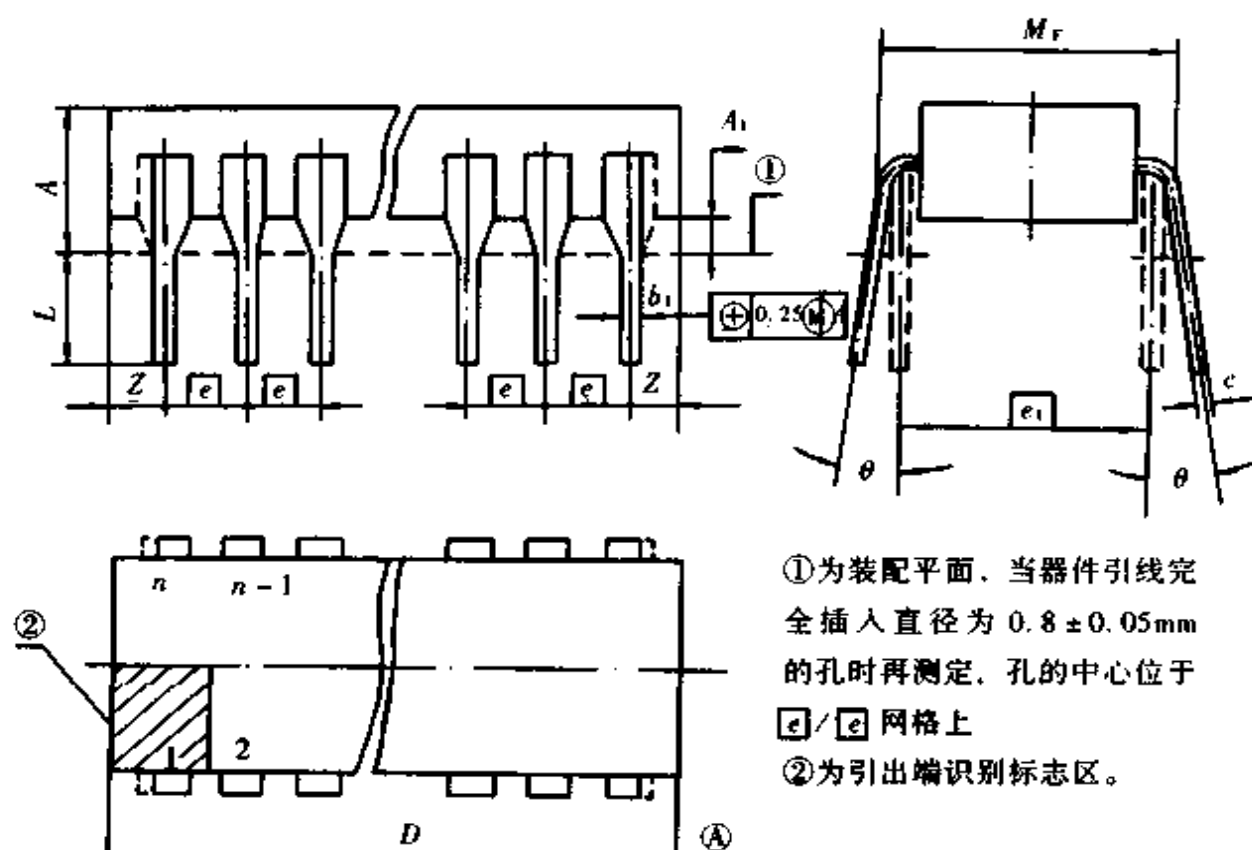


图 9.3.3 陶瓷双列封装(D型)

(1)跨度为 7.62mm 封装的尺寸:

尺寸符号	数值(mm)		
	最小	公称	最大
$A$	—	—	5.1
$A_1$	0.51	—	—
$b_1$	0.35	—	0.59
$c$	0.20	—	0.36
$e$	—	2.54	—
$e_1$	—	7.62	—
$L$	2.54	—	5.00

 注:  $L$  值应在下列数值中选取: 2.54~3.00; 2.9~3.4; 3.2~3.9; 4.5~5.0; 3.5~5.00。

外形代号	D <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	D <sub>14</sub> S <sub>2</sub>	D <sub>14</sub> S <sub>3</sub>	D <sub>16</sub> S <sub>2</sub>	DS <sub>16</sub> S <sub>3</sub>	D <sub>18</sub> S <sub>2</sub>	D <sub>18</sub> S <sub>3</sub>	D <sub>20</sub> S <sub>2</sub>	D <sub>20</sub> S <sub>3</sub>
<i>n</i>	8	14	14	16	16	18	18	20	20
<i>D</i> (最大)(mm)	10.16	17.78	20.32	20.32	22.86	22.86	25.40	25.40	27.94
<i>Z</i> (最大)(mm)	1.27	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54

(2)跨度为 10.16mm 封装的尺寸:

尺寸符号	数值(mm)		
	最小	公称	最大
<i>A</i>	—	—	5.1
<i>A</i> <sub>1</sub>	0.51	—	—
<i>b</i> <sub>1</sub>	0.35	—	0.59
<i>c</i>	0.20	—	0.36
<i>e</i>	—	2.54	—
<i>e</i> <sub>1</sub>	—	10.16	—
<i>L</i>	2.54	—	5.00

注:*L* 值应在下列数值中选取:2.54~3.00;2.9~3.4;3.2~3.9;4.5~5.0;3.5~5.0。

外形代号	D <sub>18</sub> M <sub>2</sub>	D <sub>18</sub> M <sub>3</sub>	D <sub>20</sub> M <sub>2</sub>	D <sub>20</sub> M <sub>3</sub>	D <sub>22</sub> M <sub>2</sub>	D <sub>22</sub> M <sub>3</sub>	D <sub>24</sub> M <sub>2</sub>	D <sub>28</sub> M <sub>2</sub>
<i>n</i>	18	18	20	20	22	22	24	28
<i>D</i> (最大)(mm)	22.86	25.40	25.40	27.94	27.94	30.48	30.48	35.56
<i>Z</i> (最大)(mm)	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	1.27

(3)跨度为 15.24mm 封装的尺寸:

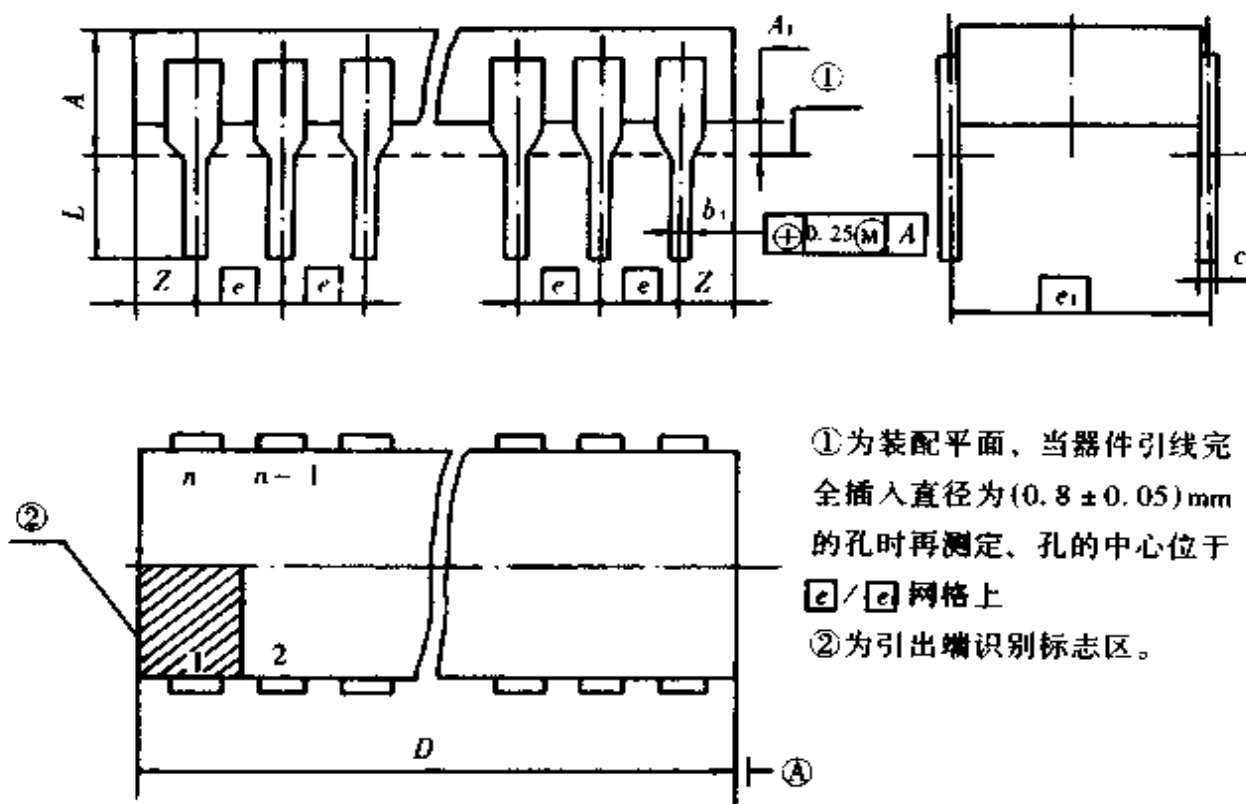
尺寸符号	数值(mm)		
	最小	公称	最大
<i>A</i>	—	—	5.1
<i>A</i> <sub>1</sub>	0.51	—	—
<i>b</i> <sub>1</sub>	0.35	—	0.59
<i>c</i>	0.20	—	0.36
<i>e</i>	—	2.54	—
<i>e</i> <sub>1</sub>	—	15.24	—
<i>L</i>	2.54	—	5.00

注:*L* 值应在下列数值中选取:2.54~3.00;2.9~3.4;3.2~3.9;4.5~5.0;3.5~5.0。



外形代号	D <sub>24</sub> L <sub>2</sub>	D <sub>24</sub> L <sub>3</sub>	D <sub>28</sub> L <sub>2</sub>	D <sub>28</sub> L <sub>3</sub>	D <sub>40</sub> L <sub>2</sub>	D <sub>40</sub> L <sub>3</sub>	D <sub>42</sub> L <sub>2</sub>	D <sub>42</sub> L <sub>3</sub>	D <sub>48</sub> L <sub>2</sub>	D <sub>48</sub> L <sub>3</sub>
<i>n</i>	24	24	28	28	40	40	42	42	48	48
<i>D</i> (最大)(mm)	30.48	33.02	35.56	38.10	50.80	53.34	53.34	55.88	60.96	63.50
<i>Z</i> (最大)(mm)	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54

1.4.3.3 塑料双列封装(P型) 见图 9.3.4。



①为装配平面，当器件引线完全插入直径为 $(0.8 \pm 0.05)$ mm的孔时再测定，孔的中心位于 $e/e$ 网格上  
②为引出端识别标志区。

图 9.3.4 塑料双列封装

## (1) 跨度为 7.62mm 封装的尺寸:

尺寸符号	数值(mm)			角度(°)
	最小	公称	最大	
A	—	—	5.1	—
A <sub>1</sub>	0.51	—	—	
b <sub>1</sub>	0.35	—	0.59	
c	0.20	—	0.36	
e	—	2.54	—	
e <sub>1</sub>	—	7.62	—	
L	2.54	—	5.00	
M <sub>E</sub>	—	—	8.5	
	—			0~15

注: L 值应在下列数值中选取: 2.54~3.00; 2.9~3.4; 3.2~3.9; 4.5~5.0; 3.5~5.0。

外形代号	P <sub>8</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>14</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>14</sub> S <sub>3</sub>	P <sub>16</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>16</sub> S <sub>3</sub>	P <sub>18</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>18</sub> S <sub>3</sub>	P <sub>20</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>20</sub> S <sub>3</sub>
n	8	14	14	16	16	18	18	20	20
D(最大)(mm)	10.16	17.78	20.32	20.32	22.86	22.86	25.40	25.40	27.94
Z(最大)(mm)	1.27	1.27	2.54	1.27	1.27	1.27	2.54	1.27	2.54

## (2) 跨度为 10.16mm 封装的尺寸:

尺寸符号	数值(mm)			角度(°)
	最小	公称	最大	
A	—	—	5.1	—
A <sub>1</sub>	0.51	—	—	
b <sub>1</sub>	0.35	—	0.59	
c	0.20	—	0.35	
e	—	2.54	—	
e <sub>1</sub>	—	10.16	—	
L	2.54	—	5.00	
M <sub>E</sub>	—	—	11.1	
Q	—			0~15

注: L 值应在下列数值中选取: 2.54~3.00; 2.9~3.4; 3.2~3.9; 4.5~5.0; 3.5~5.0。

外形代号	P <sub>18</sub> M <sub>2</sub>	P <sub>18</sub> M <sub>3</sub>	P <sub>20</sub> M <sub>2</sub>	P <sub>20</sub> M <sub>3</sub>	P <sub>22</sub> M <sub>2</sub>	P <sub>22</sub> M <sub>3</sub>	P <sub>24</sub> M <sub>2</sub>	P <sub>28</sub> M <sub>2</sub>
n	18	18	20	20	22	22	24	28
D(最大)(mm)	22.86	25.40	25.40	27.94	27.94	30.48	30.48	36.56
Z(最大)(mm)	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	1.27

(3)跨度为 15.24mm 封装的尺寸:

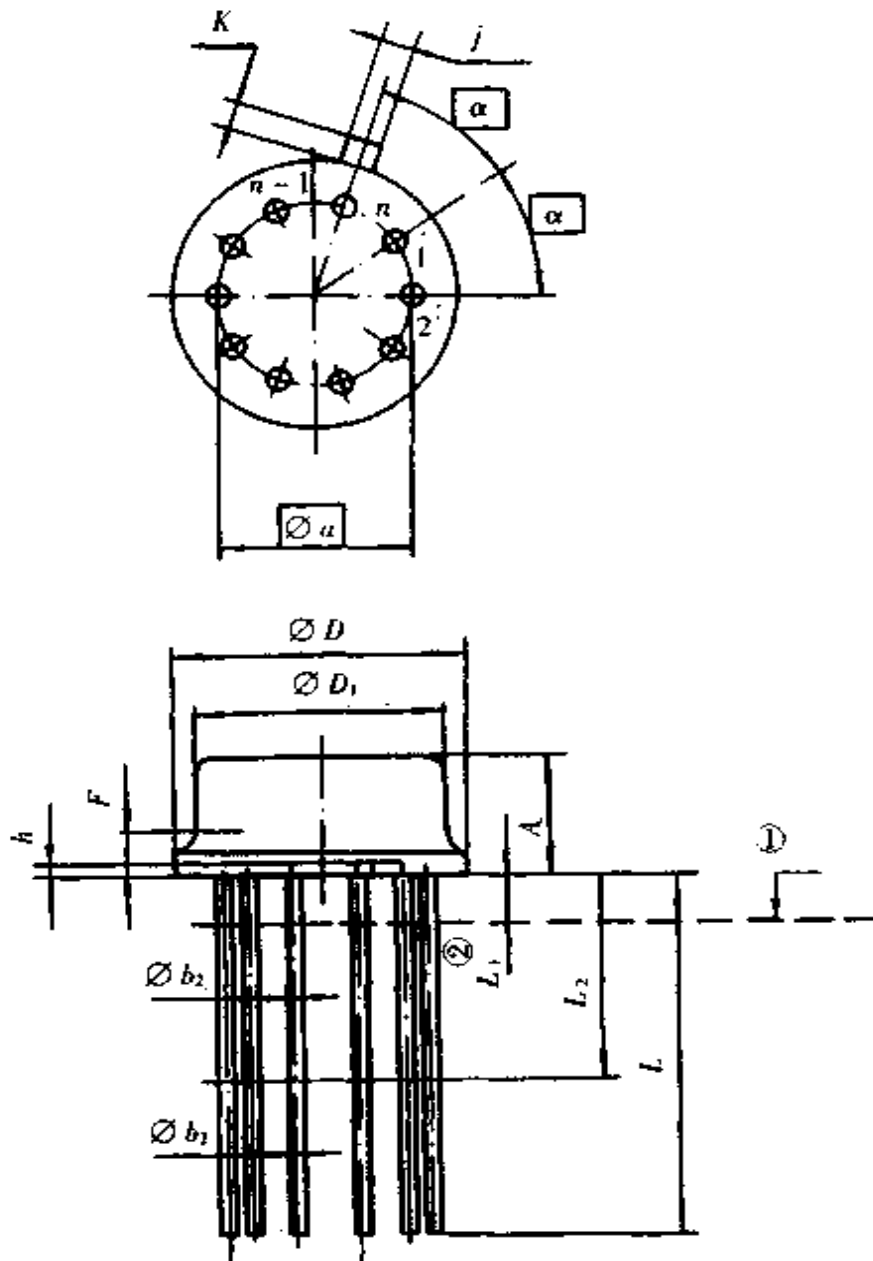
尺寸符号	数值(mm)			角度(°)
	最小	公称	最大	
A	—	—	5.1	
A <sub>1</sub>	0.51	—	—	
b <sub>1</sub>	0.35	—	0.59	
c	0.20	—	0.36	
e	—	2.54	—	
e <sub>1</sub>	—	15.24	—	
L	2.54	—	5.00	
M <sub>E</sub>	—	—	16.1	
Q	—			0~15

注:L 值应在下列数值中选取:2.54~3.00;2.9~3.4;3.2~3.9;4.5~5.0;3.5~5.0。

外形代号	P <sub>24</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>24</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>28</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>28</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>40</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>40</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>42</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>42</sub> L <sub>3</sub>	P <sub>48</sub> L <sub>2</sub>	P <sub>48</sub> L <sub>3</sub>
n	24	24	28	28	40	40	42	42	48	48
D(最大)(mm)	30.48	33.02	35.56	38.10	50.80	53.34	53.34	55.88	60.96	63.50
Z(最大)(mm)	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54	1.27	2.54

#### 1.4.3.4 金属圆形封装(T型)

(1)无支柱。见图 9.3.5。



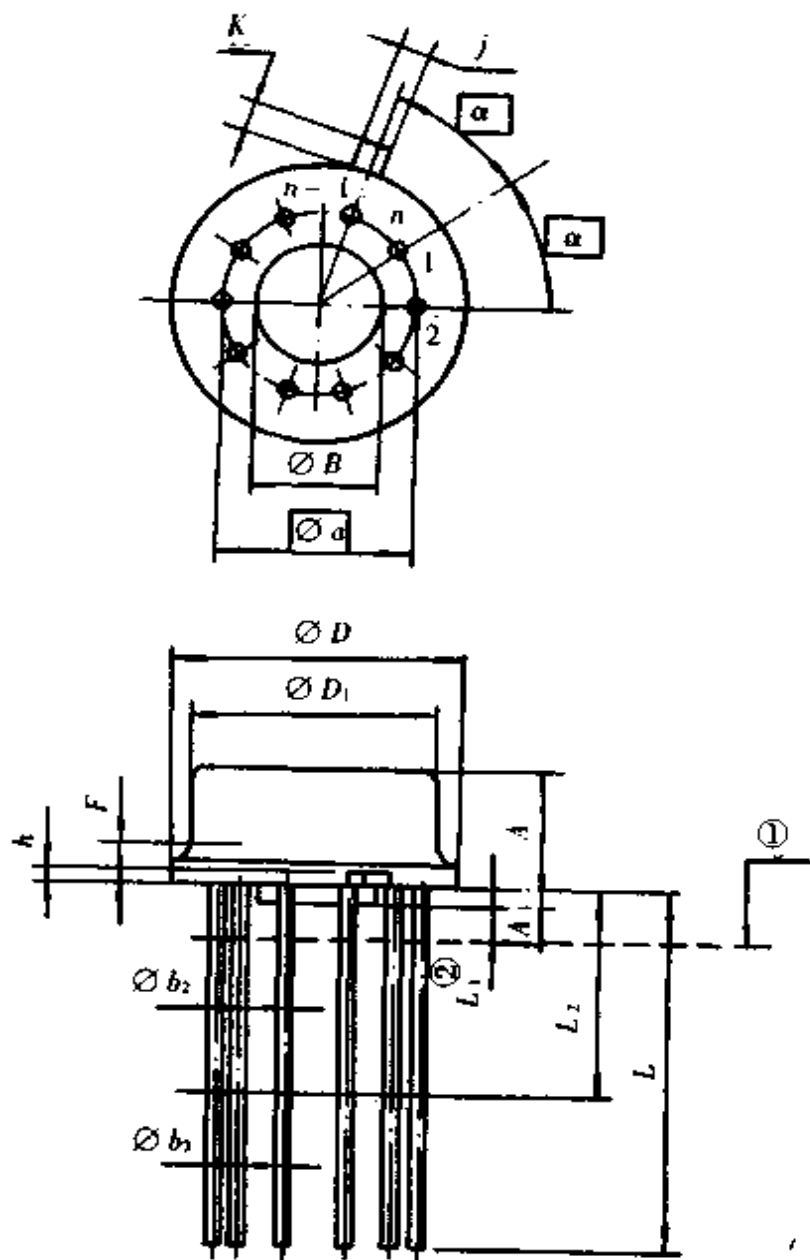
- ①为装配平面
- ②在该尺寸范围内引线不应弯曲、切断或利用。

尺寸符号	数值(mm)	
	最小	最大
A	4.20	4.69
$\varnothing b_2$	0.41	0.51
$\varnothing b_3$	—	0.53
$\varnothing D$	8.64	9.39
$\varnothing D_1$	8.01	8.50
F	—	2.03
h	0.13	1.00
j	0.71	0.86
K	0.74	1.14
L	12.7	—
$L_1$	—	1.27
$L_2$	6.35	—

外形代号	T08A4	T10A4	T12A4
n	8	10	12
$\varnothing a$ (公称) (mm)	5.08	5.84	5.84
a	45°	36°	30°

图 9.3.5 无支柱金属圆形封装

(2)有支柱。见图 9.3.6。



- ①为装配平面
- ②在该尺寸范围内引线不应弯曲、切断或利用

尺寸符号	数值(mm)	
	最小	最大
A	4.20	4.69
$A_1$	0.26	1.01
$\varnothing B$	3.56	4.06
$\varnothing b_2$	0.41	0.51
$\varnothing b_3$	—	0.53
$\varnothing D$	8.64	9.39
$\varnothing D_1$	8.01	8.50
F	—	2.03
h	0.13	1.00
j	0.71	0.86
K	0.74	1.14
L	12.7	—
$L_1$	—	1.27
$L_2$	6.35	—

外形代号	T0884	T1084	T1284
n	8	10	12
$\varnothing a$ (公称) (mm)	5.08	5.84	5.84
$\alpha$	45°	36°	30°

图 9.3.6 有支柱金属圆形封装

## 2 数字集成电路

数字集成电路是传输“0”与“1”两种状态信息,并作逻辑运算的电路。

数字集成电路中最基本的逻辑关系包括“与”、“或”、“非”三种和它们组合而成的“与非”、“或非”、“与或非”、“异或”等门电路。除了基本的逻辑门外,还有多功能逻辑电路,如 J-K 触发器、D 型触发器、R-S 触发器、半加器、全加器、计数器、寄

存器、译码器、存贮器和微处理器等。所谓双极型数字电路是指多数载流子与少数载流子同时导电的电路。其主要产品有 TTL、HTL、ECL 等。而 MOS 型数字电路是以 MOS 绝缘栅场效应晶体管为基本器件的数字电路,它只有一种载流子导电,主要产品有 P 沟道 MOS 电路(PMOS)、N 沟道 MOS 电路(NMOS)、互补 MOS 电路(CMOS)等。

数字集成电路的性能参数主要有:

(1)静态功耗。单位是毫瓦(mW)。

(2)平均传输延迟时间。电路输入信号变化到输出信号变化的时间间隔,称为传输延迟时间。在输出信号由高变低或由低变高的两种情况下的时间间隔平均值,称为平均传输延迟时间,单位是纳秒(ns)。

(3)噪声容限。在保证电路输出逻辑值("0"或"1")不变的前提下,电路输入端能承受对标准逻辑电平的最大偏离值,单位是伏(V)。

(4)扇出系数。通常是指一个门电路能够驱动同类门电路(负载)的最大数目。它反映了数字集成电路的负载能力。

(5)供电电压。单位是伏(V)。

## 2.1 双极型数字集成电路

### 2.1.1 TTL 集成电路的基本知识

TTL 集成电路是晶体管——晶体管逻辑集成电路的简称,是双极型数字集成电路中用量最多的品种。TTL 集成电路有标准 TTL 电路(STD TTL)、高速 TTL 电路(HTTL)、低功耗 TTL 电路(LTTL)、肖特基 TTL 电路(STTL)、低功耗肖特基 TTL 电路(LSTTL)、先进肖特基 TTL 电路(ASTTL)、先进低功耗肖特基 TTL 电路(ALSTTL)、先进肖特基 TTL 电路(FAST)等八个 TTL 集成电路系列。表 9.3.2 列出各类 TTL 集成电路性能比较。

目前,我国国家标准的 TTL 常用集成电路共有四个系列,即 CT54/74 标准系列、CT54H/74H 系列、CT54S/74S、CT54LS/74LS。用户可以根据要求,选取其中一种或多种电路混合使用,以达到系统的最佳设计。

表 9.3.2 各类 TTL 集成电路性能比较

参数	符号	标准 TTL	HTTL	LTTL	STTL	LS TTL	ASTTL	ALSTTL	FAST	单位
平均传输延迟时间	$t_{pd}$	10	6	33	3	9.5	1.5	4	2	ns/门
平均功耗	$\bar{P}_D$	10	22	1	19	2	8.0	1	4	mW/门
功耗速度乘积	$\bar{P}_D \times t_{pd}$	100	132	33	57	19	12	4	8	PJ
最高工作频率	$f_{max}$	35	50	3	125	45	200	80	130	MHz
高电平输入电流	$I_{IH}$	40 ( $U_I=2.7V$ )	50	20	50	20	50 ( $U_I=2.7V$ )	20	20	$\mu A$
低电平输入电流	$I_{IL}$	-1.6	-2	-0.18	-2	-0.36	-2	-0.2	-0.6	mA
高电平输出电流	$I_{OH}$	-400	-500	-200	-1000	-400	-1000	-400	-1000	$\mu A$
低电平输出电流	$I_{OL}$	16	20	3.6	20	8	20	8	20	mA
输出高电平	$U_{OH}$	2.4~3.4	2.4~3.4	2.4~3.4	2.7~3.4	2.7~3.4	2.7~3.4	2.7~3.4	2.7~3.4	V
输出低电平	$U_{OL}$	0.2~0.4	0.4	0.2~0.3	0.35~0.5	0.35~0.5	0.35~0.5	0.35~0.5	0.35~0.5	V
输入箝位电压	$U_{IK}$	1.5	1.5	-	1.2	1.5	1.2	1.5	1.2	V
输出短路电流	$I_{OS}$	-18~-55	-40~-100	-3~-15	-40~-100	-40	-40~-100	-40	-40~-100	mA

## 2.1.2 TTL 集成电路的主要性能参数

2.1.2.1 极限参数和推荐工作条件 为了保证电路工作可靠和延长电路的使用期限,各系列电路在工作时不允许超过表 9.3.3 规定的电路极限参数值,并确保各类电路在表 9.3.4 推荐的工作条件下工作。

表 9.3.3 TTL 极限参数表

参数名称	符号	最大极限值	单位
存储温度		-65 ~ +150	℃
结温	$T_j$	-55 ~ +125	℃
输入电压	$U_{in}$	多发射极输入电压: -0.5 ~ 5.5, CT54/74LS 肖特基二极管输入电压: -0.5 ~ +15	V
输入电流	$I_i$	-3.0 ~ +5.0	mA
电源电压	$U_{CC}$	7	V

表 9.3.4 TTL 的推荐工作条件

参数名称	符号	54 × × ×			74 × × ×			单位
		最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
电源电压	$U_{CC}$	4.5	5.0	5.5	4.75	5.0	5.25	V
环境温度	$T_A$	-55	25	+125	0	25	70	℃

2.1.2.2 直流参数(静态特性) 由于各系列电路的输入和输出结构互有差别,如有的是多发射极输入,有的是肖特基二极管输入;有的是图腾柱输出,有的则是达林顿输出,还有的是三态输出和集电极开路输出等,所以它们的直流参数值并不完全相同。但是对于同一系列相同结构的各种不同功能的电路,它们的直流参数基本上都是相同的。今以典型的与非门电路,且为目前常用的 CT54/74LS 系列为例,由表 9.3.5 列出它们的直流参数值。

表 9.3.5 CT54/74LS 系列直流参数

参 数	符号	规 范 值			单位	测试条件
		最小值	典型值	最大值		
输入高电平电压	$U_{IH}$	2.0			V	
输入低电平电压	54			0.7	V	
	74			0.8		
输入箝位电压	$U_{IK}$			-1.5	V	$I_{IK} = -18\text{mA}$
输出高电平电压	54	2.5			V	
	74	2.7				



续表

参 数	符 号	规 范 值			单 位	测 试 条 件
		最小值	典型值	最大值		
输出低电平电压	54	$U_{OL}$			0.4	V
	74				0.5	
输入高电平电流	$U_{IH} = 2.4V$	$I_{IH}$				$\mu A$
	$U_{IH} = 2.7V$				20	
最大输入电压时输入电流		$I_I$			0.1	mA
输入低电平电流	$U_{IL} = 0.4V$	$I_{IL}$				mA
	$U_{IL} = 0.5V$				-0.4	
输出高电平电流		$I_{OH}$			-400	$\mu A$
输出低电平电流	54	$I_{OL}$			4	mA
	74				8	
输出短路电流	54	$I_{OS}$	-20		-100	mA
	74		-20		-100	
输出高电平时电源电流		$I_{CCH}$			1.6	mA
输出低电平时电源电流		$I_{CCL}$			4.4	mA
电源电压	54	$U_{CC}$	4.5	5	5.5	V
	74		4.75	5	5.25	

2.1.2.3 交流参数(动态特性) 各系列电路主要是按典型电路的平均传输延迟时间和平均功耗来划分的(见表 9.3.6),因此具有同一功能的不同系列电路的交流参数值也是各不相同的。同时,不同系列电路的输入信号测试波形和输出负载也是不同的,但是测试原理和功能波形是相同的。

表 9.3.6 各系列平均传输延迟时间和功耗(典型门)

系 列	CT54/74	CT54H/74H	CT54S/74S	CT54LS/74LS
平均传输时间/每门, $t_{pd}(ns)$	10	6	3	9.5
平均功耗/每门, $P(mW)$	10	22	19	2
最高工作频率, $f_{max}(MHz)$	35	50	125	45

### 2.1.3 国内外常用 TTL 集成电路对照表

表 9.3.7 列出了国内外常用 TTL 集成电路对照表。

同类产品型号对照仅是指电路的功能、电性能相同,且外引线功能端排列一致的品种。在替换时请注意封装形式(扁平或双列直插),以及工作环境温度的差异。

表 9.3.7 国内外常用 TTL 集成电路对照表

中 国	(美国)德克萨斯仪器公司(TEXAS)	(美国)摩托罗拉公司(MOTOROLA)	(美国)西格尼蒂克公司(SIGNETICS)	(美国)国家半导体公司(NATIONAL)	(日本)日立公司(HITACHI)
2 输入端四与非门					
CT5400	SN5400		5400	DM5400	
CT7400	SN7400	MC7400	7400	DM7400	HD7400
CT54H00	SN54H00	MC3100		DM54H00	
CT74H00	SN74H00	MC3000		DM74H00	
CT54S00	SN54S00		54S00	DM54S00	
CT74S00	SN74S00		74S00	DM74S00	HD74S00
CT54LS00	SN54LS00	SN54LS00	54LS00	DM54LS00	
CT74LS00	SN74LS00	SN74LS00	74LS00	DM74LS00	HD74LS00
2 输入端四或非门					
CT5402	SN5402		5402	DM5402	
CT7402	SN7402	MC7402	7402	DM7402	HD7402
CT54S02	SN54S02		54S02	DM54S02	
CT74S02	SN74S02		74S02	DM74S02	HD74S02
CT54LS02	SN54LS02	SN54LS02	54LS02	DM54LS02	
CT74LS02	SN74LS02	SN74LS02	74LS02	DM74LS02	HD74LS02
六反相器					
CT5404	SN5404		5404	DM5404	
CT7404	SN7404	MC7404	7404	DM7404	HD7404
CT54H04	SN54H04			DM54H04	
CT74H04	SN74H04			DM74H04	

CT54S04	SN54S04		54S04	DM54S04	HD74S04
CT74S04	SN74S04		74S04	DM74S04	HD74S04
CT54LS04	SN54LS04	SN54LS04	54LS04	DM54LS04	
CT74LS04	SN74LS04	SN74LS04	74LS04	DM74LS04	HD74LS04
六反相缓冲器(OC)					
CT5406	SN5406		5406	DM5406	
CT7406	SN7406	MC7406	7406	DM7406	HD7406
六缓冲器(OC)					
CT5407	SN5407		5407	DM5407	
CT7407	SN7407	MC7407	7407	DM7407	HD7407
2输入端四与门					
CT5408	SN5408		5408	DM5408	
CT7408	SN7408	MC7408	7408	DM7408	HD7408
CT54S08	SN54S08		54S08	DM54S08	
CT74S08	SN74S08		74S08	DM74S08	
CT54LS08	SN54LS08	SN54LS08	54LS08	DM54LS08	
CT74LS08	SN74LS08	SN74LS08	74LS08	DM74LS08	HD74LS08
六反相施密特触发器					
CT5414	SN5414		5414	DM5414	
CT7414	SN7414	MC7414	7414	DM7414	HD7414
CT54LS14	SN54LS14	SN54LS14	54LS14	DM54LS14	

续表

中 国	(美国)德克萨斯仪器公司(TEXAS)	(美国)摩托罗拉公司(MOTOROLA)	(美国)西格尼蒂克公司(SIGNETICS)	(美国)国家半导体公司(NATIONAL)	(日本)日立公司(HITACHI)
CT74LS14	SN74LS14	SN74LS14	74LS14	DM74LS14	HD74LS14
2 输入端四或门					
CT5432	SN5432		5432	DM5432	
CT7432	SN7432		7432	DM7432	HD7432
CT54S32	SN54S32		54S32	DM54S32	
CT74S32	SN74S32		74S32	DM74S32	
CT54LS32	SN54LS32	SN54LS32	54LS32	DM54LS32	
CT74LS32	SN74LS32	SN74LS32	74LS32	DM74LS32	HD74LS32
双 D 触发器					
CT5474	SN5474		5474	DM5474	
CT7474	SN7474	MC7474	7474	DM7474	HD7474
CT54H74	SN54H74	MC3160		DM54H74	
CT74H74	SN74H74	MC3060		DM74H74	
CT54S74	SN54S74		54S74	DM54S74	
CT74S74	SN74S74		74S74	DM74S74	HD74S74
CT54LS74	SN54LS74	SN54LS74	54LS74	DM54LS74	
CT74LS74	SN74LS74	SN74LS74	74LS74	DM74LS74	HD74LS74
双 J-K 触发器(有预置和清除)					
CT54SI12	SN54SI12		54SI12	DM54SI12	
CT74SI12	SN74SI12		74SI12	DM74SI12	HD74SI12

CT54LS112	SN54LS112	SN54LS112	54LS112	DM54LS112	
CT74LS112	SN74LS112	SN74LS112	74LS112	DM74LS112	HD74LS112
可重触发单稳态触发器					
CT54122	SN54122				
CT74122	SN74122	MC74122			
CT54LS122	SN54LS122	SN54LS122		DM54LS122	
CT74LS122	SN74LS122	SN74LS122		DM74LS122	HD74LS122
双可重触发单稳态触发器					
CT54123	SN54123		54123	DM54123	
CT74123	SN74123	MC74123	74123	DM74123	HD74123
CT54LS123	SN54LS123	SN54LS123		DM54LS123	
CT74LS123	SN74LS123	SN74LS123		DM74LS123	HD74LS123
四总线缓冲器(三态输出)					
CT54125	SN54125		54125	DM54125	
CT74125	SN74125		74125	DM74125	HD74125
CT54LS125	SN54LS125A	SN54LS125A	54LS125	DM54LS125A	
CT74LS125	SN74LS125A	SN74LS125A	74LS125	DM74LS125A	

续表

中 国	(美国)德克萨斯仪器公司(TEXAS)	(美国)摩托罗拉公司(MOTOROLA)	(美国)西格尼蒂克公司(SIGNETICS)	(美国)国家半导体公司(NATIONAL)	(日本)日立公司(HITACHI)
四总线缓冲器(3态、EN高电平有效)					
CT54126	SN54126		54126		
CT74126	SN74126		74126		HD74126
CT54LS126	SN54LS126A	SN54LS126A	54LS126	DM54LS126	
CT74LS126	SN74LS126A	SN74LS126A	74LS126	DM74LS126	
四2输入与非门(有斯密特触发)					
CT54132	SN54132		54132	DM54132	
CT74132	SN74132	MC74132	74132	DM74132	HD74132
CT54S132	SN54S132				
CT74S132	SN74S132				
CT54LS132	SN54LS132	SN54LS132	54LS132	DM54LS132	
CT74LS132	SN74LS132	SN74LS132	74LS132	DM74LS132	HD74LS132
3线-8线译码器/多路分配器					
CT54S138	SN54S138		54S138	DM54S138	
CT74S138	SN74S138		74S138	DM74S138	HD74S138
CT54LS138	SN54LS138	SN54LS138	54LS138	DM54LS138	
CT74LS138	SN74LS138	SN74LS138	74LS138	DM74LS138	HD74LS138

双2线-4线译码器							
CT54SI39	SN54SI39			54SI39		DM54SI39	
CT74SI39	SN74SI39			74SI39		DM74SI39	HD74SI39
CT54LSI39	SN54LSI39		SN54LSI39	54LSI39		DM54LSI39	
CT74LSI39	SN74LSI39		SN74LSI39	74LSI39		DM74LSI39	HD74LSI39
8位移位寄存器(串行 输入,并行输出)							
CT54164	SN54164			54164		DM54164	
CT74164	SN74164			74164		DM74164	HD74164
六D触发器							
CT54174	SN54174			54174		DM54174	
CT74174	SN74174		MC74174	74174		DM74174	HD74174
CT54SI74	SN54SI74			54SI74		DM54SI74	
CT74SI74	SN74SI74			74SI74		DM74SI74	HD74SI74
CT54LSI74	SN54LSI74		SN54LSI74	54LSI74		DM54LSI74	
CT74LSI74	SN74LSI74		SN74LSI74	74LSI74		DM74LSI74	HD74LSI74
四D触发器(互补输 出公共清除)							
CT54175	SN54175			54175		DM54175	
CT74175	SN74175		MC74175	74175		DM74175	HD74175
CT54SI75	SN54SI75			54SI75		DM54SI75	

续表

中 国	(美国)德克萨斯仪器公司(TEXAS)	(美国)摩托罗拉公司(MOTOROLA)	(美国)西格尼蒂克公司(SIGNETICS)	(美国)国家半导体公司(NATIONAL)	(日本)日立公司(HITACHI)
CT74SI75	SN74SI75		74SI75	DM74SI75	HD74SI75
CT54LSI75	SN54LSI75	SN54LSI75	54LSI75	DM54LSI75	
CT74LSI75	SN74LSI75	SN74LSI75	74LSI75	DM74LSI75	HD74LSI75
十进制同步加/减计数器					
器					
CT54190	SN54190		54190	DM54190	
CT74190	SN74190	MC74190	74190	DM74190	HD74190
CT54LSI90	SN54LSI90	SN54LSI90	54LSI90	DM54LSI90	
CT74LSI90	SN74LSI90	SN74LSI90	74LSI90	DM74LSI90	HD74LSI90
可预置二—五—十进制计数器					
器					
CT54196	SN54196			DM54196	
CT74196	SN74196	MC74196		DM74196	HD74196
CT54SI96	SN54SI96			DM54SI96	
CT74SI96	SN74SI96			DM74SI96	
CT54LSI96	SN54LSI96	SN54LSI96		DM54LSI96	
CT74LSI96	SN74LSI96	SN74LSI96		DM74LSI96	HD74LSI96
双单稳态触发器(有施密特触发器)					
器					
CT54221	SN54221		54221		
CT74221	SN74221		74221		HD74221



CT54LS221	SN54LS221	SN54LS221	SN54LS221	SN54LS221	SN74LS221	DM54LS221	DM74LS221	HD74LS221
CT74LS221	SN74LS221	SN74LS221	SN74LS221	SN74LS221	SN74LS221	DM74LS221	DM74LS221	HD74LS221
八缓冲器(三态)								
CT54LS244	SN54LS244	SN54LS244	SN54LS244	SN54LS244	SN54LS244	DM54LS244	DM74LS244	HD74LS244
CT74LS244	SN74LS244	SN74LS244	SN74LS244	SN74LS244	SN74LS244	DM74LS244	DM74LS244	HD74LS244
八总线发送接收器(三态输出)								
CT54LS245	SN54LS245	SN54LS245	SN54LS245	SN54LS245	SN54LS245	DM54LS245	DM74LS245	HD74LS245
CT74LS245	SN74LS245	SN74LS245	SN74LS245	SN74LS245	SN74LS245	DM74LS245	DM74LS245	HD74LS245
4线-7段译码器/驱动器(BCD输入,OC,15V)								
CT54247	SN54247	SN54247	SN54247	SN54247	SN54247			
CT74247	SN74247	SN74247	SN74247	SN74247	SN74247			
CT54LS247	SN54LS247	SN54LS247	SN54LS247	SN54LS247	SN54LS247	DM54LS247	DM74LS247	HD74LS247
CT74LS247	SN74LS247	SN74LS247	SN74LS247	SN74LS247	SN74LS247	DM74LS247	DM74LS247	HD74LS247
八D触发器								
CT54LS273	SN54LS273	SN54LS273	SN54LS273	SN54LS273	SN54LS273	DM54LS273	DM74LS273	HD74LS273
CT74LS273	SN74LS273	SN74LS273	SN74LS273	SN74LS273	SN74LS273	DM74LS273	DM74LS273	HD74LS273

续表

中 国	(美国)德克萨斯仪器公司 (TEXAS)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)	(美国)西格尼蒂克公司 (SIGNETICS)	(美国)国家半导体公司 (NATIONAL)	(日本)日立公司 (HITACHI)
六总线驱动器 (三态, 两组控制)					
CT54367	SN54367		54367	DM54367	
CT74367	SN74367		74367	DM74367	
CT54LS367	SN54LS367	SN54LS367	54LS367A	DM54LS367A	
CT74LS367	SN74LS367	SN74LS367	74LS367A	DM74LS367A	HD74LS367A
八 D 锁存器 (三态)					
CT54S373	SN54S373		54S373	DM54S373	
CT74S373	SN74S373		74S373	DM74S373	
CT54LS373	SN54LS373	SN54LS373	54LS373	DM54LS373	
CT74LS373	SN74LS373	SN74LS373	74LS373	DM74LS373	HD74LS373
八 D 触发器 (三态)					
CT54S374	SN54S374		54S374	DM54S374	
CT74S374	SN74S374		74S374	DM74S374	
CT54LS374	SN54LS374	SN54LS374	54LS374	DM54LS374	
CT74LS374	SN74LS374	SN74LS374	74LS374	DM74LS374	HD74LS374

### 2.1.4 TTL 集成电路使用注意事项

(1) 电路在使用中,电参数应符合规范值,不得超过极限参数,否则将使电路损坏。

(2) 在使用 TTL 电路时,不能将电源  $U_{CC}$  和地线相互错接,否则将引起很大的电流而造成电路失效。

(3) 由于 TTL 电路对电源的纹波和稳定度有一定的要求,故必须加接旁路滤波电容。对于 CT54/74 系列的小规模集成电路可在印制电路板上相隔 5~10 块电路外接一个高频滤波电容器,此电容应尽可能连接在电路的电源外引线端附近。CT54/74 系列的中规模集成电路应相隔两块电路连接一个高频滤波电容器。SN54/74H 和 CT54/74S 系列的中小规模集成电路以及各系列的单稳态触发器、线驱动器和线接收器等,每块电路必须外接一个高频滤波电容器,其容量通常为  $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ 。低频滤波电容器应连接在印制电路板两边电源线入口处,通常用两个  $20\sim 50\mu\text{F}$  的钽电容或铝电解电容。

(4) TTL 电路的适用环境温度可分为 54 系列和 74 系列。54 系列工作温度范围为  $-55^{\circ}\text{C}\sim +125^{\circ}\text{C}$ ,74 系列工作温度范围为  $0^{\circ}\text{C}\sim +70^{\circ}\text{C}$ ,在此工作温度范围内,电路的功能和参数应完全符合产品规定的要求。

(5) 电路如用手工焊接时,不得使用大于 45W 的电烙铁。焊剂应选用中性焊剂。焊接后严禁将电路连同印制电路板放入有机溶液中浸泡清洗,只允许用少量酒精轻轻擦洗管脚上的焊剂。对暂时不使用的电路,应保存在温度  $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 80% 的通风容器中,且不应有腐蚀性气体进入,以免因保管不善而损坏电路。

(6) 电路的各输入端不能直接与高于  $+5.5\text{V}$  和低于  $-0.5\text{V}$  的低内阻电源连接。因为低内阻电源能提供较大电流,会由于过流而烧坏电路。

(7) 不允许将电路的输出端与低内阻电源直接连接,但可以通过电阻相连,以提高输出高电平。使用集电极开路输出电路时,必须通过合适的外接电阻。

(8) 具有图腾柱或达林顿输出结构的 TTL 电路不允许并联使用。只有三态或集电极开路输出结构的电路可以并联使用。

(9) 集电极开路输出门电路中输出管的击穿电压一般在 10V 以上,有的可达 20V。只要在输出管所允许的驱动能力和击穿电压范围内,可以任意选用工作电压值,用作电平转换接口,指示灯驱动等。

(10) 驱动 TTL 电路的输入信号必须具有较快的转换时间。当输入信号上升或下降时间大于  $1\mu\text{s}$  时,有可能在输出端出现信号振荡。这种振荡信号送入触发器或单稳态触发器中就可能引起逻辑错误。

(11) TTL 电路与 CMOS、分立晶体管在同一系统中使用时,由于电源及其他参数不同,不能直接连接,宜采用图 9.3.7 至图 9.3.10 所示的连接电路图。

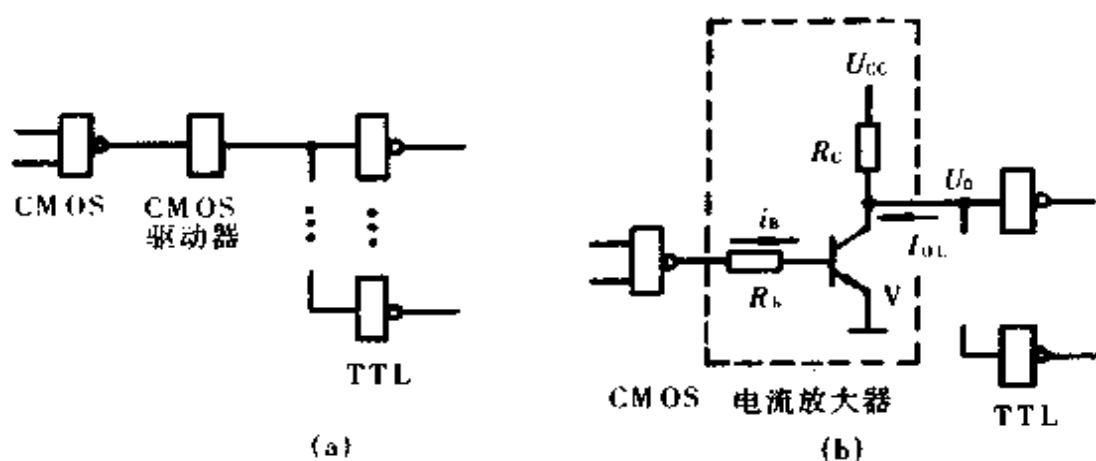
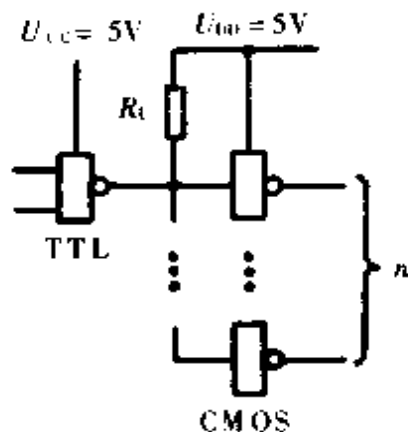


图 9.3.7 CMOS 电路驱动 TTL 电路的连接电路图  
(a)用 CMOS 驱动器 (b)用分立元件的电流放大器



$U_{ob} \approx U_{cc}$  时 TTL 到 CMOS 的接口

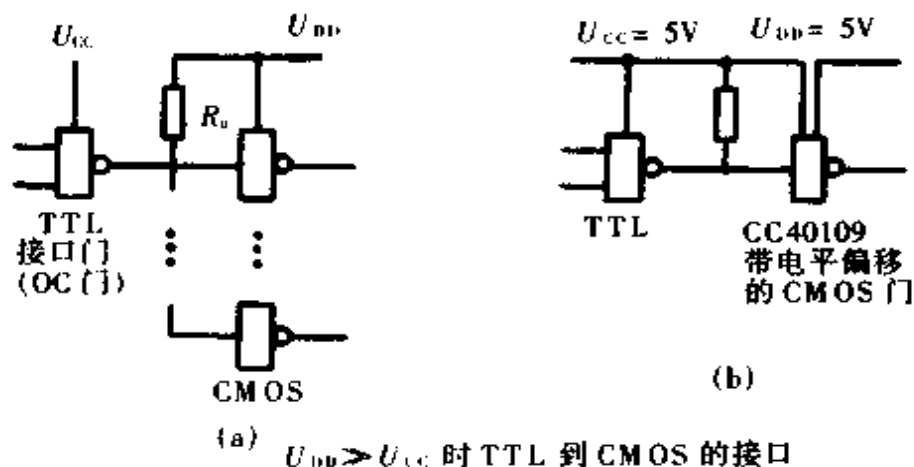


图 9.3.8 TTL 电路驱动 CMOS 电路的连接电路图  
(a)使用 OC 门 (b)使用带电平偏移的 CMOS 门

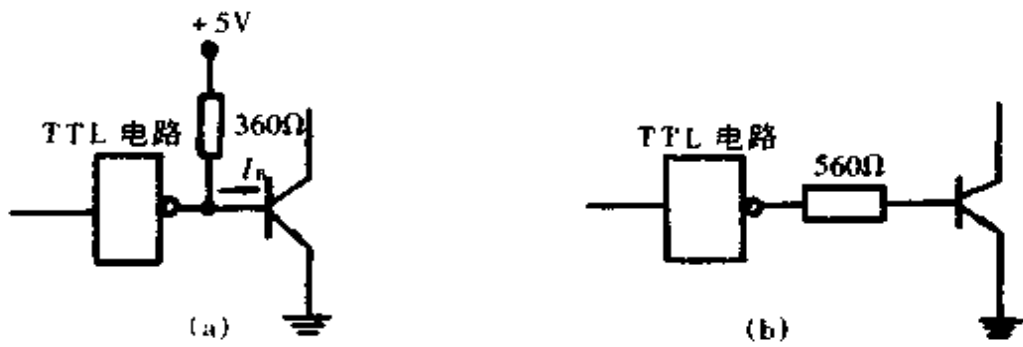


图 9.3.9 TTL 驱动晶体管电路的连接电路图  
(a)集电极开路驱动晶体管 (b)推拉输出驱动晶体管

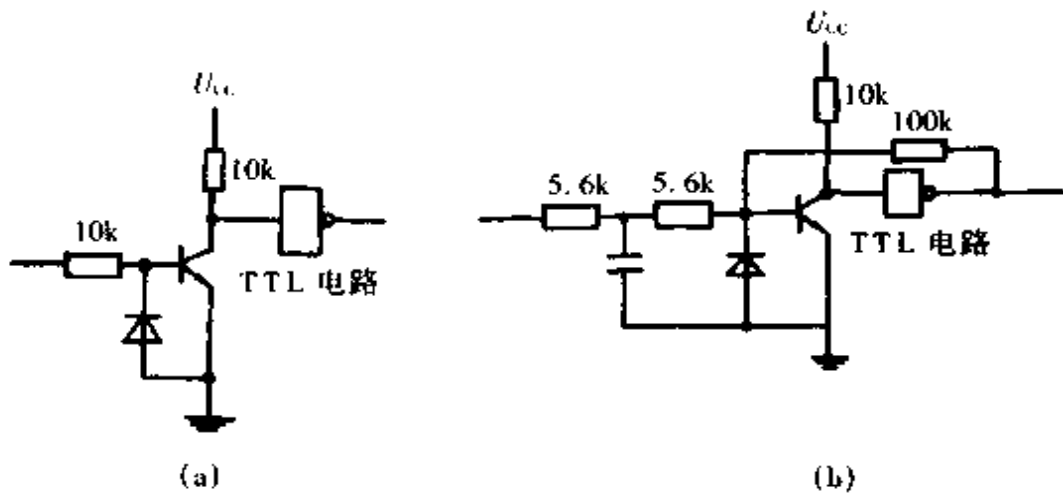


图 9.3.10 晶体管驱动 TTL 电路的连接电路图  
(a)直接连接图 (b)加有输入滤波网络和施密特电路的连接

## 2.2 CMOS 型数字集成电路

### 2.2.1 CMOS 集成电路的基本知识

CMOS 集成电路是互补对称金属氧化物半导体集成电路的简称。它由 N 沟道和 P 沟道两种不同类型的 MOS 场效应管构成。在稳定的逻辑状态下总是一个管子截止,而另一个管子导通。流经电源的电流仅是截止晶体管的沟道泄漏电流,因此静态功耗极小。与 NMOS 和 PMOS 相比,具有静态功耗小、速度较快和抗干扰能力强等特点。目前,CMOS 电路有 4000 系列、HC 高速 CMOS 系列、HCT 高速 CMOS 系列、AC 先进 CMOS 系列、ACT 先进 CMOS 系列(有的称为 FACT)。现常用的为 4000 系列和 HC 高速系列。

### 2.2.2 CMOS 集成电路的主要性能参数

CMOS 集成电路的主要性能参数包括极限参数、一般电性能参数和某些特殊电参数等。极限参数包括极限工作环境条件(例如最高工作温度)和极限电参数(例如额定功耗、最高供电电压等);一般电性能参数包括静态参数和动态参数;某些电路品种(例如 CMOS 双向开关、大电流驱动器等),除了具有一般的电性能参数外,还需要加一些特有的参数项目,才能全面反映它的性能。

2.2.2.1 极限参数 极限参数规定了在使用电路时不可超过的外界电应力条件和环境温度范围,在电路安装调试时应严格遵守。如果超过极限参数,即使瞬间超过,都会使电路失效或损坏。表 9.3.8 和表 9.3.9 分别为目前常用的 CC4000 系列及高速 CMOS(HC、HCT)的极限参数表。

表 9.3.8 CC4000 系列极限参数表

参 数 名 称	符号	极限值	单位
最大直流电源电压	$U_{DD(max)}$	+18	V
最小直流电源电压	$U_{DD(min)}$	-0.5	V
最大输入电压	$U_{I(max)}$	$U_{DD} + 0.5$	V
最小输入电压	$U_{I(min)}$	-0.5	V
最大直流输入电流	$I_{I(max)}$	$\pm 10$	mA
最大允许功耗 (1)陶瓷扁平封装(14、16 引线) ( $T_A = -55^\circ\text{C} \sim +100^\circ\text{C}$ )	$P_M$	200	mW
(2)陶瓷双列直插封装(14、16、24 引线) ( $T_A = -55^\circ\text{C} \sim +100^\circ\text{C}$ ) ( $T_A = +100^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ )		500 200	
(3)塑料双列直插封装(14、16、24 引线) ( $T_A = -55^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ ) ( $T_A = +60^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ )		500 200	
工作温度范围 (1)扁平陶瓷封装 (2)陶瓷双列直插、密封 (3)塑料双列直插封装	$T_A$	-55 ~ +100 -55 ~ +125 -40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
贮存温度范围	$T_S$	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

表 9.3.9 高速 CMOS(HC, HCT) 极限参数表

参数名称及符号	极限值	单位
电源电压( $U_{CC}$ )	-0.5~7	V
直流输入二极管电流( $I_{IK}$ )( $U_I < 0.5V$ 或 $U_I > U_{CC} + 0.5V$ )	$\pm 20$	mA
直流输出电流( $I_{OK}$ )( $U_O < -0.5V$ , 或 $U_O > U_{CC} + 0.5V$ )	$\pm 20$	
直流漏极电流(每个输出)( $I_O$ )( $-0.5V < U_O < U_{CC} + 0.5V$ )	$\pm 25$	
标准输出 总线驱动器输出	$\pm 35$	
直流电源( $U_{CC}$ )或地(GND)端电流(每端)( $I_{CC}$ )		mW
标准输出 总线驱动器输出	$\pm 50$ $\pm 70$	
允许功耗(全温)( $P_D$ )	300	
工作温度范围( $T_A$ ) J型封装 P型封装	-55~+125 -40~+85	℃
贮存温度( $T_S$ )	-65~+150	
引线焊接温度(10s 焊接)	300(J型) 265(P型)	

2.2.2.2 推荐工作条件 虽然在规定的极限参数值范围内电路能安全工作,但为了保证电路在系统工作中能够获得最好的可靠性和最佳的性能,CC4000 系列产品推荐供电电压范围为 3~18V。

高速 CMOS(HC, HCT)的推荐工作条件如表 9.3.10 所示。

表 9.3.10 高速 CMOS(HC, HCT)推荐工作条件

特 性		规 范		单位
		最小	最大	
电源电压范围 $U_{CC}$	54/74HC	2	6	V
	54/74HCT	4.5	5.5	
		0	$U_{CC}$	
直流输入电压 $U_I$		0	$U_{CC}$	
直流输出电压 $U_O$		0	$U_{CC}$	
工作温度 $T_A$	74 系列	-40	85	℃
	54 系列	-55	125	
输入脉冲 上升时间( $t_r$ ) 下降时间( $t_f$ )	$U_{CC} = 2V$	0	1000	ns
	$U_{CC} = 4.5V$	0	500	
	$U_{CC} = 6V$	0	400	

2.2.2.3 电特性参数 CMOS 电路的性能参数是对它本身特性的一种定量描述。这些参数应包括逻辑功能的正确与否,性能优劣及可靠性水平等。通常按这些性能参数的时间特性又分为静态参数和动态参数两种。静态参数指在电路处于稳定的逻辑状态下测得的参数;而动态参数则指逻辑状态转换过程与时间有关

的参数。表 9.3.11 列出了 CMOS 或非门 CC4001 的电特性参数。

表 9.3.11 CMOS 或非门 CC4001 电特性参数

参数名称	测试条件			规范值		单位	备注
	$U_O$ (V)	$U_I$ (V)	$U_{IO}$ (V)	最小	最大		
静态电流 $I_{DD}$		0/5	5		0.25	$\mu\text{A}$	门电路
		0/10	10		0.50		
		0/15	15		1.00		
输入电流 $I_I$		0/18	18		$\pm 0.1$	$\mu\text{A}$	门电路和触发器
输出低电平电流 $I_{OL}$	0.4	0/5	5	-0.51		mA	
	0.5	0/10	10	-1.3			
	1.5	0/15	15	-3.4			
输出高电平电流 $I_{OH}$	4.6	0/5	5	0.51		mA	
	9.5	0/10	10	1.3			
	13.5	0/15	15	3.4			
输出低电平电压 $U_{OL}$		0/5	5		0.05	V	
		0/10	10		0.05		
		0/15	15		0.05		
输出高电平电压 $U_{OH}$		0/5	5	4.95		V	
		0/10	10	9.95			
		0/15	15	14.95			
输入低电平电压 $U_{IL}$	4.5		5		1.5	V	
	9		10		3		
	13.5		15		4		
输入高电平电压 $U_{IH}$	0.5		5	3.5			
	1.0		10	7			
	1.5		15	11			
传输延迟时间 ( $t_{PHL}, t_{PLH}$ )			5		250	ns	
			10		120		
			15		90		
输入电容 $C_I$					7.5	pF	



高速 CMOS(54/74HC)静态参数见表 9.3.12。

表 9.3.12 高速 CMOS(54/74HC)静态参数

参 数 名 称	符 号	$U_{CC}$ (V)	测 试 条 件		规 范 值						单 位		
					54/74HC 25℃		74HC -40℃ ~ 85℃		54HC -55℃ ~ 125℃				
					最 小	最 大	最 小	最 大	最 小	最 大			
输入高电平 电压	$U_{IH}$	2.0 4.5 6.0			1.5 3.15 4.2		1.5 3.15 4.2		1.5 3.15 4.2				
输入低电平 电压	$U_{IL}$	2.0 4.5 6.0				0.3 0.9 1.2		0.3 0.9 1.2		0.3 0.9 1.2			
输出高电平 电压	$U_{OH}$	2.0 4.5 6.0 4.5 6.0	$U_I$	$I_O$			1.9 4.4 5.9 3.76 5.26		1.9 4.4 5.9 3.76 5.26		1.9 4.4 5.9 3.7 5.2	V	
				标准	总线	单位							
				$U_{IH}$	-20.0	-20.0							$\mu A$
				或	-20.0	-20.0							$\mu A$
				$U_{IL}$	-4.0	-6.0							mA
或	-5.2	-7.8	mA										
输入低电平 电压	$U_{OL}$		$U_I$	20.0	20.0	$\mu A$	0.1		0.1	0.1	0.1		
				$U_{IH}$	20.0	20.0			$\mu A$				
				或	20.0	20.0			$\mu A$				
				$U_{IL}$	4.0	6.0			mA				
				或	5.2	7.8			mA				
输入漏电流	$I_I$	6.0	$U_I = U_{CC}$ 或 GND			$\pm 0.1$		$\pm 1.0$		$\pm 1.0$			
模拟开关截止 态电流(每路)	$I_S(off)$	6.0	$U_I = U_{IH}$ 或 $U_{IL}$ $ U_S  = U_{CC}$ 或 $U_{CC} - U_{EE}$			$\pm 0.1$		$\pm 1.0$		$\pm 1.0$			
三态输出电流 (截止态)	$I_{OZ}$	6.0	$U_I = U_{IH}$ 或 $U_{IL}$ $U_O = U_{CC}$ 或 GND			$\pm 0.5$		$\pm 5.0$		$\pm 1.0$			
静态电 源电流	$I_{CC}$	6.0	$U_I = U_{CC}$ 或 GND			2.0		20.0		40.0			
		6.0	$I_O = 0$			4.0		40.0		80.0			
		6.0				8.0		80.0		160.0			

### 2.2.3 国内外常用 CMOS 集成电路对照表

国外 CMOS 集成电路主要生产公司产品型号与我国 CC4000 系列和高速 CMOS 系列产品型号的代号大致相同,只是各公司产品型号的前缀有所不同。国

外 CMOS 集成电路主要生产公司和产品型号前缀见表 9.3.13 所列。凡是品种代号后四位数字相同的产品,其逻辑功能和外引线功能端的排列就完全一致,可以直接互换。

表 9.3.13 国外 CMOS 电路主要生产公司产品型号前缀

国别	公 司 名 称	简 称	型号前缀
美国	美国无线电公司	RCA	CD
	摩托罗拉半导体公司	MOTA	MC
	国家半导体公司	NSC	CD
	仙童公司	FSC	F
	德克萨斯仪器公司	TI	TP
	固态科学公司	SSS	SCL
	哈里斯公司	HAS	HD
日本	东芝公司	TOSJ	TC
	日本电气公司	NEC	$\mu$ PD
	日立公司	HITJ	HD
荷兰	菲利浦公司	PHIN	HFE

国内外 4000 系列 CMOS 电路和高速 CMOS 系列的型号对照表分别如表 9.3.14 和表 9.3.15 所示。

表 9.3.14 4000 系列 CMOS 电路国内外型号对照表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
2 输入四或非门 CC4001	CD4001	MC4001
4 输入双或非门 CC4002	CD4002	MC4002
六同相缓冲器(双电源) CC4010	CD4010	MC4010
2 输入端四与非门 CC4011	CD4011	MC4011
4 输入端双与非门 CC4012	CD4012	MC4012
双 D 触发器 CC4013	CD4013	MC4013
8 位静态移位寄存器 CC4014	CD4014	MC4014

续表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
双 4 位静态移位寄存器(串入并出) CC4015	CD4015	MC4015
4 双向模拟开关 CC4016	CD4016	MC4016
十进制计数器分配器 CC4017	CD4017	MC4017
可预置 1/N 计数器 CC4018	CD4018	MC4018
4 与或选择器 CC4019	CD4019	MC4019
14 级二进制计数器 CC4020	CD4020	MC4020
8 位静态移位寄存器(异步并入) CC4021	CD4021	MC4021
8 进制计数/分配器 CC4022	CD4022	MC4022
3 输入端三与非门 CC4023	CD4023	MC4023
7 级二进制串行计数器 CC4024	CD4024	MC4024
3 输入端三或非门 CC4025	CD4025	MC4025
十进制计数/译码/驱动器 CC4026	CD4026	MC4026
双 J-K 主从触发器 CC4027	CD4027	MC4027
BCD 十进制译码器 CC4028	CD4028	MC4028
4 位可预置、可逆计数器 CC4029	CD4029	MC4029
四异或门 CC4030	CD4030	MC4030
十进制计数/译码/驱动器(7 段显示) CC4033	CD4033	MC4033
12 级二进制计数器(串行)		

续表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
CC4040 原码/补码缓冲器	CD4040	MC4040
CC4041 四 D 锁存器	CD4041	MC4041
CC4042 四 R-S 锁存器(或非三态)	CD4042	MC4042
CC4043 四 R-S 锁存器(与非三态)	CD4043	MC4043
CC4044 锁相环(有 VCO)	CD4044	MC4044
CC4046 非稳态/单稳态多谐振荡器	CD4046	MC4046
CC4047 六反相器	CD4047	MC4047
CC4049 六同相缓冲器	CD4049	MC4049
CC4050 8 选 1 模拟开关	CD4050	MC4050
CC4051 双 4 选 1 模拟开关	CD4051	MC4051
CC4052 三 2 选 1 模拟开关	CD4052	MC4052
CC4053 14 位同步二进制计数器和振荡器	CD4053	MC4053
CC4060 4 位数值比较器	CD4060	MC4060
CC4063 四双向开关	CD4063	MC4063
CC4066 16 选 1 模拟开关	CD4066	MC4066
CC4067 8 输入与非/与门	CD4067	MC4067
CC4068 六反相器	CD4068	MC4068
CC4069	CD4069	MC4069

续表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
四异或门 CC4070	CD4070	MC4070
2 输入端四或门 CC4071	CD4071	MC4071
4 输入端双或门 CC4072	CD4072	MC4072
3 输入端三与门 CC4073	CD4073	MC4073
3 输入端三或门 CC4075	CD4075	MC4075
四 D 寄存器(带三态输出) CC4076	CD4076	MC4076
四异或非门 CC4077	CD4077	MC4077
8 输入端或非门 CC4078	CD4078	MC4078
2 输入端四与门 CC4081	CD4081	MC4081
4 输入端双与门 CC4082	CD4082	MC4082
双 2-2 与或非门 CC4085	CD4085	MC4085
2 输入端四与非门(有施密特触发器) CC4093	CD4093	MC4093
双 8 选 1 模拟开关 CC4097	CD4097	MC4097
双单稳态触发器 CC4098	CD4098	MC4098
9 位奇偶校验器 CC40101	CD40101	MC40101
8 位可预置同步减法计数器(BCD) CC40102	CD40102	MC40102
8 位可预置同步减法计数器(二进制) CC40103	CD40103	MC40103
4 位双向移位寄存器(三态)		

续表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
CC40104 六反相器(有施密特触发器)	CD40104	MC40104
CC40106 四低到高电压电平转换器(三态)	CD40106	MC40106
CC40109 十进制加减计数/译码/锁存/驱动	CD40109	MC40109
CC40110 10线-4线优先编码器(BCD输出)	CD40110	MC40110
CC40147 六D触发器(上升沿)	CD40147	MC40147
CC40174 四D触发器	CD40174	MC40174
CC40175 BCD可预置、可逆计数器(双时钟)	CD40175	MC40175
CC40192 四位二进制可预置可逆计数器(双时钟)	CD40192	MC40192
CC40193 4位双向移位寄存器(并行存取)	CD40193	MC40193
CC40194	CD40194	MC40194

表 9.3.15 高速 CMOS 系列国内外型号对照表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
2输入端四与非门 CC74HC00	CD74HC00	MC74HC00
2输入端四或非门 CC74HC02	CD74HC02	MC74HC02
六反相器 CC74HC04	CD74HC04	MC74HC04
2输入端四与门 CC74HC08	CD74HC08	MC74HC08
六反相施密特触发器 CC74HC14	CD74HC14	MC74HC14
2输入端四或门 CC74HC32	CD74HC32	MC74HC32
双D触发器		

续表

中 国	(美国)美国无线电公司 (RCA)	(美国)摩托罗拉公司 (MOTOROLA)
CC74HC74 2 输入端四异或门	CD74HC74	MC74HC74
CC74HC86 4 位二进制计数器	CD74HC86	MC74HC86
CC74HC93 双单稳多谐振荡器	CD74HC93	MC74HC93
CC74HC123 四总线缓冲门(三态)	CD74HC123	MC74HC123
CC74HC125 3 线-8 线译码器	CD74HC125	MC74HC125
CC74HC136 可预置四位二进制计数器	CD74HC136	MC74HC136
CC74HC161 八位串入并出移位寄存器	CD74HC161	MC74HC161
CC74HC164 六 D 触发器	CD74HC164	MC74HC164
CC74HC174 四 D 触发器(带公共时钟和复位)	CD74HC174	MC74HC174
CC74HC175 八位三态反相缓冲驱动器	CD74HC175	MC74HC175
CC74HC240 八同相三态缓冲器线驱动器	CD74HC240	MC74HC240
CC74HC244 八 D 触发器	CD74HC244	MC74HC244
CC74HC273 八 D 触发器(三态同相)	CD74HC273	MC74HC273
CC74HC373 双十进制计数器	CD74HC373	MC74HC373
CC74HC390 双四位二进制计数器		MC74HC390
CC74HC393		MC74HC393

## 2.2.4 CMOS 集成电路使用注意事项

2.2.4.1 输入电路的静电保护 CMOS 电路虽然在输入端已经有保护环节,但由于保护二极管和限流电阻的几何尺寸有限,它们所能承受的静电电压和脉冲功率均有一定的限度。

CMOS 电路在储存、运输、组装和使用过程中,难免会接触到某些带静电高压的物体。例如工作人员的衣裤经过摩擦后产生的静电电压可高达数千伏,如果电容量又足够大,那么当这种静电电压加到 CMOS 电路的输入端上时足以将电路损坏。

为防止静电造成电路的损坏,应注意以下几点:

(1)在储存和运输 CMOS 电路时,不要用易于产生静电高压的化工材料和化纤织物包装,最好使用金属屏蔽层作包装材料。

(2)组装、调试时,烙铁、仪表、工作台面等应良好接地,操作人员的衣服、手套等应选用抗静电的材料制作。

2.2.4.2 过电流保护 由于输入保护电路中的箝位二极管电流容量有限,一般为 1mA,所以在可能出现较大输入电流的场合,必须采取有效保护措施:

(1)输入端接低内阻信号源时,应在输入端与信号源之间串入保护电阻,以保证保护电路二极管导通时电流不超过 1mA。

(2)输入端接长线时,应在门电路的输入端接入保护电阻  $R_p$ ,如图 9.3.11 所示。

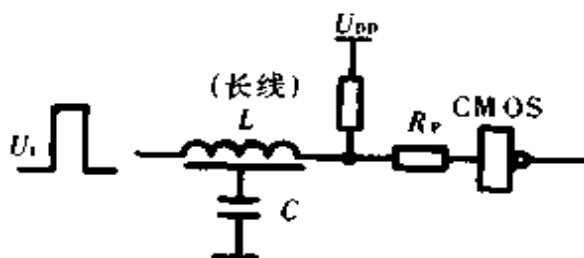


图 9.3.11 输入端接长线时的保护

因为长线上不可避免地存在分布电容和分布电感,所以当输入信号发生突变时,只要输入阻抗与长线的阻抗不匹配,那么在 CMOS 电路的输入端将有附加的正、负振荡脉冲。尤其当出现负脉冲时,极易损坏输入保护电路。因此,需加入  $R_p$  电阻限流。根据经验, $R_p$  的阻值可按  $R_p = U_{DD}/\text{mA}$  选取。输入长线加长后,要相应地增加  $R_p$  的阻值,一般输入线每加长 10m, $R_p$  增加 1k $\Omega$ 。

(3)输入端接大电容时,亦应在输入端与电容之间接入保护电阻,如图 9.3.12 所示。

因为在输入端接有大电容的情况下,若电源电压突然降低或关掉,电容上积存的电荷将通过保护二极管  $VD_1$  放电,形成较大的瞬态电流,所以需要  $R_p$  来限制其大小。 $R_p$  的阻值可按  $R_p = U_C/\text{mA}$  计算,其中  $U_C$  表示输入端外接电容上的电压。



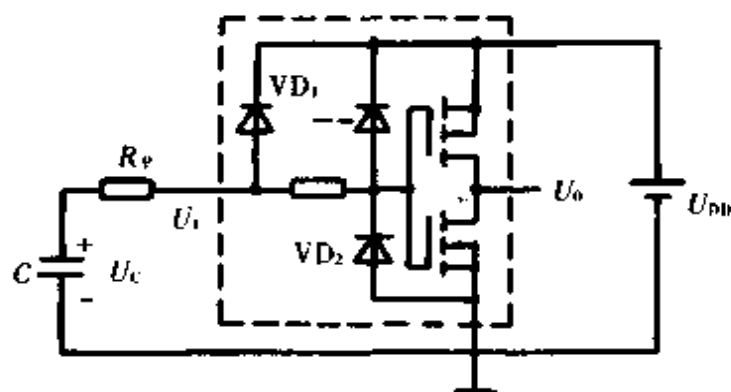


图 9.3.12 输入端接大电容时的保护

2.2.4.3 CMOS 电路锁定效应的防护 发生锁定效应以后往往会造成器件的永久失效,因而防护是十分重要的措施。

一般来说,为了防止发生锁定效应,在 CMOS 电路工作过程中始终应保证  $U_1$ 、 $U_O$ 、 $U_{DD}$  的数值符合如下规定:

$$-U_F < U_1 < U_{DD} + U_F$$

$$-U_F < U_O < U_{DD} + U_F$$

$$U_{DD} < U_{(DXXHR)} \text{ (即 } U_{DD} \text{ 端的击穿电压)}$$

式中  $U_F$ ——表示管子发射结的正向导通压降;

$U_1$ ——表示输入电压;

$U_O$ ——表示输出电压。

此外,还可采取以下的防护措施:

(1)在输入端和输出端设置箝位电路,以确保  $U_1$  和  $U_O$  不超过上述的规定范围。

(2)在电源输入端加去耦电路,防止  $U_{DD}$  端出现瞬态的高压。

(3)在  $U_{DD}$  引脚与外电源之间串入限流电阻。这样,即使发生锁定效应,也能将管子的电流限制在一定的范围内,不致将电路损坏。

(4)当系统由几个电源分别供电时,各电源的开、关顺序必须合理。启动时,应先接通 CMOS 电路的供电电源,然后再接入输入信号和负载电路;关机时,应先关掉输入信号和负载,再切断 CMOS 电路的电源。

为了使用的方便,人们在寻求从 CMOS 电路本身的设计和制造上克服锁定效应的方法。目前,生产的高速 CMOS 电路中,利用改进工艺和版图设计的手段,减小寄生三极管效应和  $R_w$ 、 $R_s$  的阻值( $R_w$ ——P 阱的电阻, $R_s$ ——衬底的电阻),已经能够基本上消除锁定效应的发生,因而使用时就无须附加保护电路了。

### 3 集成运算放大器

#### 3.1 集成运算放大器的基本知识

集成运算放大器是一种高增益的直流放大器,它一般采用双端输入、单端输出的形式,与外接电阻、电容适当组合成深度负反馈,就可以完成模拟信号的运算(加、减、乘、除、微分、积分等)和处理,也可加正反馈做成各种波形产生电路。运算放大器的增益很高,其增益从几千到数十万,输入阻抗也较高(约数十千欧到数兆欧),而输出阻抗却较小(约数百欧到数千欧)。

电源通常采用正负电源。集成运算放大器有“+”、“-”两个输入端和一个输出端。“+”端的电压与输出电压的相位相同,称为“同相输入端”;而“-”端的电压与输出电压的相位相反,称为“反相输入端”,如图 9.3.13 所示。

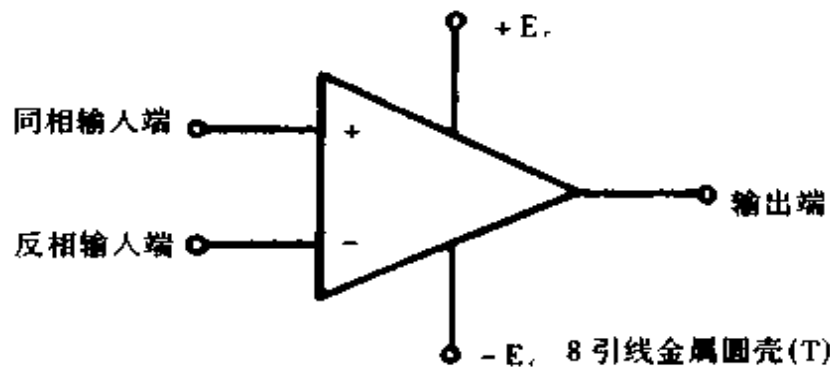


图 9.3.13 集成运算放大器

理想的运算放大器,当“+”端和“-”端同时接地时,输出电压  $U_o = 0$ ;输出电压只与两个输入端上的差值电压成正比,而对两个输入端上的共模电压具有较强的抑制作用。

集成运算放大器品种繁多,其分类见表 9.3.16 所列。

表 9.3.16 集成运算放大器分类

分 类	典 型 产 品
外补偿通用运算放大器	CF 101A/CF 201A/CF 301A CF 108/CF 208/CF 308 CF 702、CF 709

续表

分 类	典 型 产 品
内补偿通用运算放大器	CF 741、CF 747、CF 4558、CF 158/CF 258/CF 358、 CF 4741、CF 148/CF 248/CF 348、CF 4156、 CF 124/CF 224/CF 324
高精度运算放大器	CF 714、CF 725、CF 7600、CF 7601、CF 7650
高输入阻抗运算放大器	CF 155/CF 255/CF 355、CF 156/CF 256/CF 356、 CF 157/CF 257/CF 357、CF 351、CF 411/CF 411A、 CF 441/CF 441A、CF 3130/CF 3130A/CF 3130B、 CF 3140/CF 3140A/CF 3140B、CF 353、CF 412/CF 412A、 CF 442/CF 442A、CF 147/CF 347、CF 444/CF 444A
低功耗运算放大器	CF 253、CF 3078、CF 7611、CF 7612、CF 7613、CF 7614、 CF 7615、CF 7621、CF 7622、CF 7631、CF 7632、 CF 7641、CF 7642
高速运算放大器	CF 0024、CF 118/CF 218/CF 318、CF 715、CF 1439/CF 1539、CF 2500/CF 2505、CF 2520/CF 2525
高压运算放大器	CF 143/CF 343、CF 144/CF 344、CF 1436/CF 1536
程控运算放大器	CF 4250、CF 13080、CF 146/CF 246/CF 346、CF 14573
电流型运算放大器	CF 159/CF 359、CF 2900/CF 3900、CF 3401
跨导型运算放大器	CF 3080、CF 3094A/CF 3094B
宽带运算放大器	CF 1420/CF 1520、CF 2620/CF 2625
电压跟随器	CF 102/CF 202/CF 302、CF 110/CF 210/CF 310

## 3.2 集成运算放大器的主要性能参数

### 3.2.1 集成运算放大器的主要性能参数

3.2.1.1 输入失调电压  $U_{IO}(U_{OS})$  在集成运算放大器两输入端外加一直流补偿电压,使放大器输出端为零电位(或某一指定电位)。这一外加补偿电压,即为输入失调电压。

3.2.1.2 输入失调电流  $I_{IO}(I_{OS})$  为了使运算放大器输出为零电位(或某一指定电位),而在两个输入端注入的直流电流之差称为输入失调电流。

3.2.1.3 输入偏置电流  $I_{IB}$  运算放大器输出为零电位(或某一指定电位)时,流入放大器两输入端的电流的平均值即为输入偏置电流。

3.2.1.4 静态功耗  $P_C$  运算放大器在无外接负荷下,所需消耗的电源功率

即为静态功耗。

3.2.1.5 开环电压增益  $G_{\text{OL}}$  运算放大器开环时,输出电压与输入差模电压的增量之比即为开环电压增益。即

$$G_{\text{OL}} = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} \quad \text{或} \quad G_{\text{OL}} = 20 \lg \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} (\text{dB})$$

3.2.1.6 共模抑制比 CMRR 运算放大器的差模电压增益与共模电压增益之比即为共模抑制比。即

$$\text{CMRR} = \frac{A_{\text{vd}}}{A_{\text{vc}}} \quad \text{或} \quad \text{CMRR} = 20 \lg \frac{A_{\text{vd}}}{A_{\text{vc}}} (\text{dB})$$

3.2.1.7 开环带宽  $f_{\text{BW}}$  运算放大器开环时,其开环电压增益随信号频率升高而下降。当电压增益下降到直流增益的 0.707(-3dB)倍时的信号频率范围,即为放大器的开环带宽。

3.2.1.8 转换速率  $S_{\text{R}}$  运算放大器在大信号输入条件下,输出电压从负峰值到正峰值的最大变化速率称之为转换速率。

3.2.1.9 开环输入电阻  $R_{\text{ID}}$  运算放大器开环时,输入电压变化与引起的输入电流变化之比即为开环输入电阻。

3.2.1.10 开环输出电阻  $R_{\text{O}}$  运算放大器开环时,输出电压变化与引起的输出电流变化之比即为开环输出电阻。

3.2.1.11 输入失调电压温漂  $\frac{\partial U}{\partial T}$  运算放大器在规定的环境温度范围内,单位温度变化所引起的输入失调电压的变化量,即为输入失调电压温漂。

3.2.1.12 最大输出电压  $U_{\text{OM}}$  运算放大器在空载条件下,线性输出的最大峰-峰电压即为运算放大器的最大输出电压。

3.2.1.13 最大输入共模电压  $U_{\text{ICM}}$  运算放大器输入端加入共模电压,当此电压增加到使放大器共模抑制比(即在规定的共模电压下测得的 CMRR)下降 -6dB 时的共模电压值即为最大输入共模电压。

3.2.1.14 最大输入差模电压  $U_{\text{IDM}}$  运算放大器两输入端所能承受的最大差动电压即为输入差模电压。

3.2.1.15 最大输出电流  $I_{\text{OM}}$  运算放大器在额定输出电压下,能给出的最大输出电流即为最大输出电流。

和其他类型集成电路一样,集成运算放大器也有使用条件极限值和电特性参数。

### 3.2.2 常用集成运算放大器产品的参数

下面以几种常用集成运算放大器为例,列出其电特性参数和极限值以及引出端排列,见表 9.3.17 至表 9.3.23 和图 9.3.14 至图 9.3.20。

表 9.3.17 CF741 通用运算放大器电特性 ( $U_S = 15V$ )

参数	测试条件		CF741M			CF741C			单位
			最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IO}$	$R_S \leq 10k\Omega$	$T_A = 25^\circ C$		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
		$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		1.0	6.0			7.5	
输入失调电流 $I_{IO}$		$T_A = 25^\circ C$		20	200		20	200	nA
		$T_A = 125^\circ C$		7.0	200				
		$T_A = -55^\circ C$		85	500				
		$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$					7.0	300	
输入偏置电流 $I_{IB}$		$T_A = 25^\circ C$		80	500		80	500	nA
		$T_A = 125^\circ C$		30	500				
		$T_A = -55^\circ C$		300	1500				
		$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$					30	800	
输入电阻 $R_{iD}$		$T_A = 25^\circ C$	0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
失调电压调整范围 $U_{KOR}$		$T_A = 25^\circ C$		$\pm 15$			$\pm 15$		mV
输入电容 $C_i$		$T_A = 25^\circ C$		1.4			1.4		pF
共模输入电压范围 $U_{KCR}$		$T_A = 25^\circ C$	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
		$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$							
共模抑制比 $K_{CMR}$	$R_S \leq 10k\Omega$	$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	70	90		70	90		dB
电源电压抑制比 $K_{SVR}$	$R_S = 50\Omega$ $U_S = +10,$ $-20V$ $U_S = +20,$ $-10V$	$T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		30	150		30	150	$\mu V/V$
				30	150				
开环电压增益 $A_{VD}$	$R_L \leq 2k\Omega$ $U_O = \pm 10V$	$T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	50	200		20	200		V/mV
			25			15			
输出峰—峰电压	$R_L \geq 10k\Omega$	$T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 12$	$\pm 14$			$\pm 12$	$\pm 14$	V
	$R_L \geq 2k\Omega$	$T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 10$	$\pm 13$			$\pm 10$	$\pm 13$	
输出电阻 $R_{CS}$		$T_A = 25^\circ C$		75			75		$\Omega$
输出短路电流 $I_{CS}$		$T_A = 25^\circ C$		25			25		mA

续表

参数	测试条件		CF741M			CF741C			单位
			最小	典型	最大	最小	典型	最大	
电源电流 $I_s$		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 125^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$		1.7 1.5 2.0	2.8 2.5 3.3		1.7 1.7 2.8		mA
功耗 $P_D$		$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 125^\circ\text{C}$ $T_A = -55^\circ\text{C}$		50 45 60	85 75 100		50 50 85		mW
瞬态响 上升时间 $t_r$ 应( $A_V = 1$ ) 过冲 $K_{OV}$		$U_i = 20\text{mV}, R_L = 2\text{k}\Omega$ $C_L \leq 100\text{PF}, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.3 5.0			0.3 5.0		$\mu\text{s}$ %
转换速率 $S_K$		$R_L \geq 2\text{k}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$		0.5			0.5		V/ $\mu\text{s}$

CF741 通用运算放大器极限值:

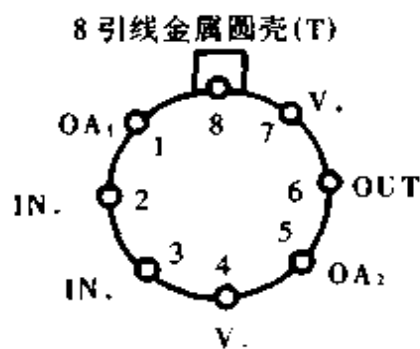
电源电压CF741M .....  $\pm 22\text{V}$ CF741C .....  $\pm 18\text{V}$ 差模输入电压 .....  $\pm 30\text{V}$ 共模输入电压 .....  $\pm 15\text{V}$ 工作温度范围CF741M .....  $-55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ CF741C .....  $0 \sim +70^\circ\text{C}$ 储存温度范围 .....  $-65^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ 

引出端符号说明:

IN<sub>+</sub> 同相输入IN<sub>-</sub> 反相输入OA<sub>1</sub>, OA<sub>2</sub> 调零

OUT 输出

V<sub>+</sub> 正电源V<sub>-</sub> 负电源



8 引线多层陶瓷双列直插 (D)

8 引线塑料双列直插 (P)

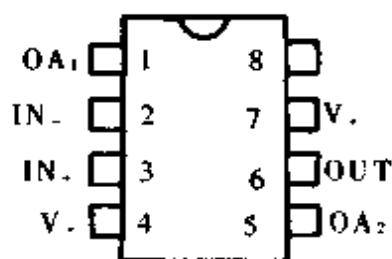


图 9.3.14 CF741 管脚排列

表 9.3.18 CF747 双通用运算放大器电特性 ( $U_S = \pm 15V$ )

参数	测试条件		CF747M			CF747C			单位
			最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IO}$	$R_S \leq 10k\Omega$	$T_A = 25^\circ C$	1.0	5.0		1.0	6.0	mV	
		$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	1.0	6.0		1.0	7.5		
输入失调电流 $I_{IO}$		$T_A = 25^\circ C$	20	200		20	200	nA	
		$T_A = 125^\circ C$	7.0	200					
		$T_A = -55^\circ C$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	85	500		7.0	300		
输入偏置电流 $I_{IS}$		$T_A = 25^\circ C$	80	500		80	500	nA	
		$T_A = 125^\circ C$	30	500					
		$T_A = -55^\circ C$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	300	1500		30	800		
输入电阻 $R_{IO}$		$T_A = 25^\circ C$	0.3	2.0		0.3	2.0	M $\Omega$	
输入电容 $C_i$		$T_A = 25^\circ C$		1.4			1.4	pF	
失调电压调整范围 $U_{RR}$		$T_A = 25^\circ C$		$\pm 15$			$\pm 15$	mV	

续表

参数	测试条件	CF747M			CF747C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
共模输入电压范围 $U_{KCR}$	$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 12$	$\pm 13$		$\pm 12$	$\pm 13$		V
共模抑制比 $K_{CMR}$	$R_S \leq 10k\Omega$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	70	90		70	90		dB
电源电压抑制比 $K_{SVR}$	$U_S = +10, -20V$ $U_S = +20, -10V$ $R_S = 50\Omega$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		30	150		30	150	$\mu V/V$
开环电压增益 $A_{VD}$	$R_L \geq 2k\Omega$ $U_O = \pm 10V$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	50	200		25	200		V/mV
输出峰—峰电压	$R_L \geq 10k\Omega$ $R_L \geq 2k\Omega$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V
输出电阻 $R_{CS}$	$T_A = 25^\circ C$		75			75		$\Omega$
输出短路电流 $I_{CS}$	$T_A = 25^\circ C$		25			25		mA
电源电流 $I_S$	$T_A = 25^\circ C$ $T_A = 125^\circ C$ $T_A = -55^\circ C$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$		3.4 3.0 4.0	5.6 5.0 6.6		3.9 4.0	5.6 6.6	mA
功耗 $P_D$	$T_A = 25^\circ C$ $T_A = 125^\circ C$ $T_A = -55^\circ C$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$		100 90 120	170 150 200		100 60	170 100	mW
瞬态响应 上升时间 $t_r$ ( $A_V = 1$ ) 过冲 $K_{OV}$	$U_I = 20mV,$ $R_L = 2k\Omega$ $C_L \leq 100pF$ $T_A = 25^\circ C$		0.3 5.0			0.3 5.0		$\mu s$ %
转换速率 $S_R$	$R_L \geq 2k\Omega$ $T_A = 25^\circ C$		0.5			0.5		V/ $\mu s$
通道分离度 CSR	$T_A = 25^\circ C$		120			120		dB

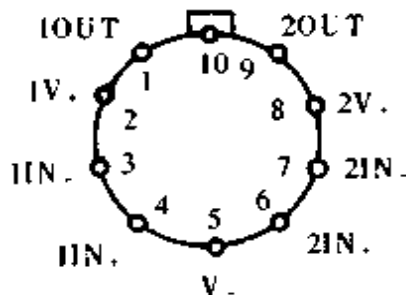
CF747 双通用运算放大器极限值:

电源电压(CF747M)	$\pm 22V$
CF747C	$\pm 18V$
差模输入电压	$\pm 30V$
共模输入电压	$\pm 15V$



OA 与 V <sub>+</sub> 间电压 .....	±0.5V
工作温度范围	
CF747M .....	-55℃ ~ +125℃
CF747C .....	0 ~ +70℃
储存温度范围 .....	-65℃ ~ +150℃

10 引线金属圆壳(T)



14 引线多层陶瓷双列直插(D)

14 引线塑料双列直插(P)

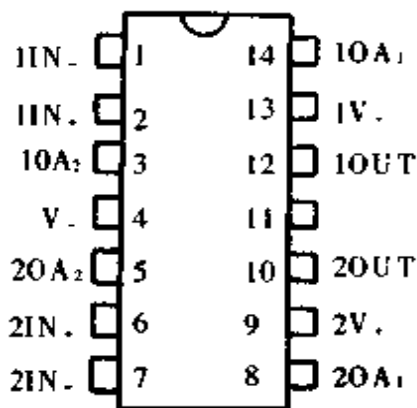


图 9.3.15 CF747 管脚排列

引出端符号说明:

1IN<sub>+</sub>, 2IN<sub>+</sub>

1IN<sub>-</sub>, 1IN<sub>-</sub>

10A<sub>1</sub>, 10A<sub>2</sub>, 20A<sub>1</sub>, 20A<sub>2</sub>

10OUT, 20OUT

1V<sub>+</sub>, 2V<sub>+</sub>

V

同相输入

反相输入

调零

输出

正电源

负电源

表 9.3.19 CF124/CF224/CF324 四通用单电源运算放大器

电特性	CF124M—~55℃	CF124M—[25℃
	$T_{Amin}$ : CF224L—~25℃	$T_{Amax}$ : CF224L—85℃
	CF324C—0℃	CF324C—70℃

$$U_S = \pm 5.0V$$

参数	测试条件	CF124M/CF224L			CF324C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IK}$	$V_+ = 5 \sim 30V$ $U_{O} \approx 1.4V$ $R_S = 0\Omega$ $U_{KR} = 0 \sim (V_+ - 1.5)V$		$\pm 2$	$\pm 5$ $\pm 7$		$\pm 2$	$\pm 7$ $\pm 9$	mV
输入失调电压温度系数 $\alpha_{VK}$	$R_S = 0$		7			7		$\mu V/^\circ C$
输入失调电流 $I_{IK}$			$\pm 3$	$\pm 30$ $\pm 100$		$\pm 5$	$\pm 50$ $\pm 150$	nA
输入失调电流温度系数 $\alpha_{IK}$			10			10		pA/°C
输入偏置电流 $I_{IS}$								nA
电源电流 $I_S$	$V_+ = \pm 30V$ $R_L = \infty$		1.5 0.7	3 1.2		1.5 0.7	3 1.2	mA
开环电压增益 $A_{VD}$	$V_+ = \pm 15V$ $R_L \geq 2k\Omega$	50 25	100		25 15	100		V/mV



CF124/CF224/CF324 四通用单电源运算放大器极限值:

电源电压 .....	32V 或 $\pm 16V$
差模输入电压 .....	32V
共模输入电压 .....	$-0.3V \sim +32V$
输入电流 ( $U_i < -0.3$ ) .....	50mA
工作温度范围	
CF124M .....	$-55^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$
CF224L .....	$-25^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$
CF324C .....	$0 \sim +70^{\circ}C$
储存温度范围 .....	$-65^{\circ}C \sim +150^{\circ}C$

14 引线多层陶瓷双列直插 (D)

14 引线塑料双列直插 (P)

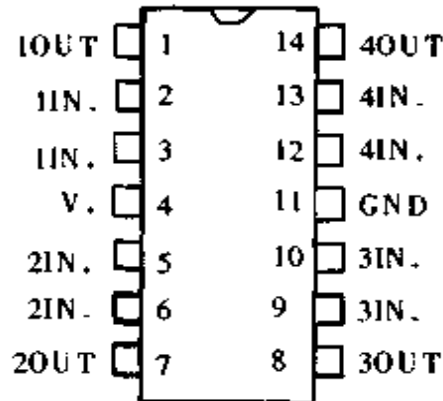


图 9.3.16 CF124/CF224/CF324 管脚排列

引出端符号说明:

GND	地
1IN+, 4IN+	同相输入
1IN-, 4IN-	反相输入
1OUT ~ 4OUT	输出
V+	正电源

表 9.3.20 CF714 高精度运算放大器电特性  
 (  $T_{Amin}$ : CF714M— -55℃  $T_{Amax}$ : CF714M— +125℃ )  
 (  $T_{Amin}$ : CF714C—0℃  $T_{Amax}$ : CF714C— +70℃ )  
 $U_S = \pm 15V$

参数	测试条件	CF714M			CF714C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IC}$	$R_S = 50\Omega$ , $U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		30 60	75 200		60 85	150 250	$\mu V$
输入失调电压温度系数 $\alpha_{V(I)}$	$R_S = 50\Omega$ 未调零 $U_{IC} = 0$ 已调零 $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		0.3 0.3	1.3 1.3		0.5 0.4	1.8 1.6	$\mu V/^\circ C$
输入失调电流时漂 $\Delta U_{IC}/\Delta t$	$R_S = 50\Omega$ $U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$		0.2	1		0.4	2	$\mu V/月$
输入失调电流 $I_{IC}$	$U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		0.4 1.2	2.8 5.6		0.8 1.6	6.0 8.0	nA
输入失调电流温度系数 $\alpha_{I(I)}$	$U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		8.0	50		12	50	pA/^\circ C
输入偏置电流 ( $I_{IS}$ )	$U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		$\pm 1.0$ $\pm 2.0$	$\pm 3.0$ $\pm 6.0$		$\pm 1.8$ $\pm 2.2$	$\pm 7.0$ $\pm 9.0$	nA
输入偏置电流温度系数 $\alpha_{I(S)}$	$U_{IC} = 0$ $T_A = 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$		13	50		18	50	pA/^\circ C
输入噪声电压 $U_{N(P-P)}$	0.1Hz ~10Hz $T_A = 25^\circ C$		0.35	0.6		0.38	0.65	$\mu V$

续表

参数	测试条件	CF714M			CF714C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入噪声电压密度 $U_N$	$f_o = 10\text{Hz}$		10.3	18		10.5	20	$\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
	$f_o = 100\text{Hz}$		10	13		10.2	13.5	
	$f_o = 1\text{kHz}$		9.6	11		9.8	11.5	
输入噪声电流 $I_{N(P-P)}$	$0.1\text{Hz}$		14	30		15	35	PA
	$\sim 10\text{Hz}$							
输入噪声电流密度 $I_N$	$f_o = 10\text{Hz}$		0.32	0.8		0.35	0.9	$\frac{\text{PA}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
	$f_o = 100\text{Hz}$		0.14	0.23		0.15	0.27	
	$f_o = 1\text{kHz}$		0.12	0.17		0.13	0.18	
差模输入电阻 $R_{ID}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	20	60		8	33		M $\Omega$
共模输入电阻 $R_{IC}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		200			120		G $\Omega$
共模输入电压范围 $U_{ICR}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 13$	$\pm 14$		$\pm 13$	$\pm 14$		V
	$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 13$	$\pm 13.5$		$\pm 13$	$\pm 13.5$		
共模抑制比 $K_{CMR}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	110	126		100	120		dB
	$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	106	123		97	120		
电源电压抑制比 $K_{SVR}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	100	110		90	104		dB
	$T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	94	106		86	100		

开环电压增益 $A_{VD}$	$R_L \geq 2k\Omega$ $U_O = \pm 10V$	$T_A \leq 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	200 150	500 400	120 100	400 400		V/mV
输出峰-峰电压 $U_{(FF)}$	$R_L \geq 500$ $U_O = \pm 0.5$ $U_S = \pm 3V$	$T_A = 25^\circ C$	150	500	100	400		V
转换速率 $S_R$	$R_L \geq 10k\Omega$ $R_L \geq 2k\Omega$ $R_L \geq 1k\Omega$ $R_L \geq 2k\Omega$	$T_A \leq 25^\circ C$ $T_{Amin} \leq T_A \leq T_{Amax}$	$\pm 12.5$ $\pm 12$ $\pm 10.5$ $\pm 12$	$\pm 13$ $\pm 12.8$ $\pm 12$ $\pm 12.6$	$\pm 12$ $\pm 11.5$ $\pm 11$	$\pm 13$ $\pm 12.8$ $\pm 12$ $\pm 12.6$		V/ $\mu s$
单位增益带宽 $B_{wO}$	$R_L \geq 2k\Omega$ $A_{VF} = 1$	$T_A = 25^\circ C$ $T_A = 25^\circ C$		0.17 0.6		0.17 0.6		MHz
输出电阻 $R_{OS}$	$U_O = 0V$ , $I_O = 0A$ 开环	$T_A = 25^\circ C$		60		60		$\Omega$
功耗 $P_D$	$U_O = 0V$ , $U_S = \pm 3V$ $U_O = 0V$	$T_A = 25^\circ C$		75 4	120 6	80 4	150 8	mW
失调调整范围 $U_{XR}$	$R_W = 20k\Omega$	$T_A = 25^\circ C$		$\pm 4$		$\pm 4$		mV

CF714 高精度运算放大器极限值:

电源电压 .....	$\pm 22\text{V}$
差模输入电压 .....	$\pm 30\text{V}$
共模输入电压 .....	$-V_S$
工作温度范围	
CF714M .....	$-55^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$
CF714EC/CF714C .....	$0 \sim 70^\circ\text{C}$
储存温度范围 .....	$-65^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$

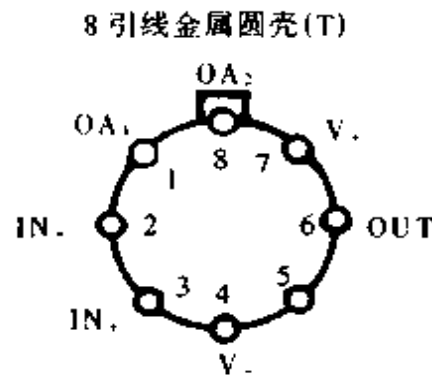


图 9.3.17 CF714 管脚排列

引出端符号说明:

IN <sub>+</sub>	同相输入
IN <sub>-</sub>	反相输入
OA <sub>1</sub> , OA <sub>2</sub>	调零
OUT	输出
V <sub>+</sub>	正电源
V <sub>-</sub>	负电源



表 9.3.21 CF3140/CF3140A/CF3140B 高输入阻抗 MOSFET 输入运算放大器特性 ( $U_S = \pm 15V$ )

参数	测试条件	CF3140B			CF3140			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IO}$	$T_A = 25^\circ C$ $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		0.8	2		5	15	mV
输入失调电压温度系数 $a_{VIO}$	$-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		1.3	3		10		$\mu V/^\circ C$
输入失调电流 $I_{IO}$	$T_A = 25^\circ C$		5			8		$\mu A$
输入偏置电流 ( $I_{IB}$ )	$T_A = 25^\circ C$ $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		0.5	10		0.5	30	PA
输入电阻 $R_{in}$	$T_A = 25^\circ C$		10	30		10	50	PA
输入电容 $C_i$	$T_A = 25^\circ C$		10	30		10	10	nA
输入失调电压调整电阻 $R_W$	$T_A = 25^\circ C$		1.5			1.5		T $\Omega$
			4			4		PF
			43			4.7		k $\Omega$
开环电压增益 $A_{VD}$	$U_O = 26V$ $R_L = 2k\Omega$ (+12V, -14V) $U_O = 26V$		50			20		
	$V_S = \pm 22V$ $R_L = 2k\Omega$ $V_O = +19V,$ $-21V$		20			100	100	V/mV

续表

参数	测试条件	CF3140B			CF3140			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输出峰-峰电压 $U_{OPP}$	$R_L = 2k\Omega$	+12	+13		+12	+13		V
	$U_S = \pm 22V$	-14	-14.4		-14	-14.4		
输出电阻 $R_O$	$T_A = 25^\circ C$		60			60		$\Omega$
输出电流 $I_{O+}$ $I_{O-}$	$T_A = 25^\circ C$		40			40		mA
			18			18		
共模输入电压范围 $U_{ICK}$	$T_A = 25^\circ C$	-15	-15.5	+12	-15	-15.5	+11	V
共模抑制比 $K_{CMR}$	$T_A = 25^\circ C$	86	94		70	90		dB
电源电压抑制比 $K_{SVR}$	$T_A = 25^\circ C$		32	100		100	150	$\mu V/V$
电源电流 $I_S$	$T_A = 25^\circ C$		4	6		4	6	mA
功耗 $P_O$	$T_A = 25^\circ C$		120	180		120	180	mW
转换速率 $S_R$	$T_A = 25^\circ C$		9			9		V/ $\mu s$
增益带宽积 $G \cdot BW$	$T_A = 25^\circ C$		4.5			4.5		MHz
瞬态响应上升时间 $t$ 过冲 $K_{OV}$	$R_L = 2k\Omega$		0.08			0.08		$\mu s$
	$C_L = 100pF$		10			10		

建立时间	1mV 10mV	$t$	$U_{opp} = 10V,$ $R_L = 2k\Omega$ $C_L = 100PF$ $A_V = 1$	$T_A = 25^\circ C$					4.5	$\mu s$
									1.4	
等效输入噪声电压	$U_N$		$R_S = 100\Omega$ $f = 1kHz$ $t = 10kHz$	$T_A = 25^\circ C$					40	$nV/\sqrt{Hz}$
									12	

CF3140/CF3140A/CF3140B 高输入阻抗 MOSFET 运算放大器极限值:

电源电压

CF3140/CF3140A ..... 36V

CF3140B ..... 44V

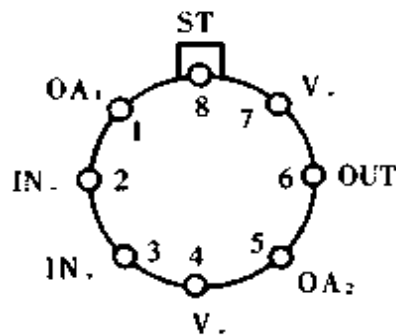
差模输入电压 .....  $\pm 8V$

共模输入电压 .....  $(V_+ + 8V) \sim (V_- - 0.5V)$

工作温度范围 .....  $-55^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$

储存温度范围 .....  $-65^{\circ}C \sim +150^{\circ}C$

8 引线金属圆壳(T)



8 引线多层陶瓷双列直插(D)

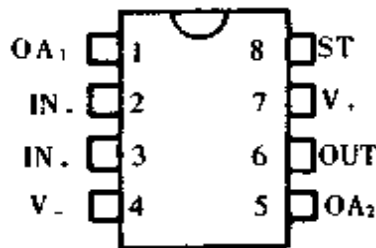


图 9.3.18 CF3140 管脚排列

引出端符号说明:

- |                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| IN <sub>+</sub>                   | 同相输入 |
| IN <sub>-</sub>                   | 反相输入 |
| OA <sub>1</sub> , OA <sub>2</sub> | 调零   |
| OUT                               | 输出   |
| ST                                | 送通   |
| V <sub>+</sub>                    | 正电源  |
| V <sub>-</sub>                    | 负电源  |

表 9.3.22 CF253 低功耗运算放大器电特性

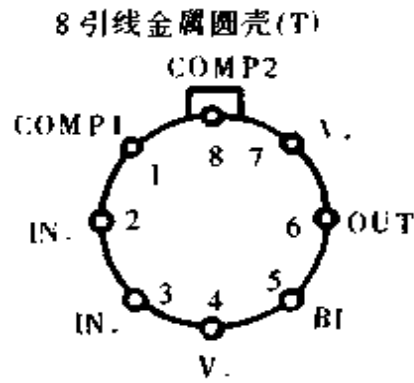
$$U_S = \pm 3 \sim \pm 15V \quad R_{BI} = 1M\Omega$$

$$T_A = 25^\circ C \quad C_C = 30pF$$

参 数	测试条件	规 范 值			单 位
		最小	典型	最大	
输入失调电压 $U_{IO}$	$R_S \leq 20k\Omega$		1.0	5.0	mV
输入失调电压温度系数 $\alpha V_{IO}$	$R_S \leq 20k\Omega$		3		$\mu V/^\circ C$
输入失调电流 $I_{IO}$			4	50	nA
输入偏置电流 $I_{IB}$			20	100	nA
输入电阻 $R_{ID}$		1	6		M $\Omega$
开环电压增益 $A_{VD}$		90	110		dB
电源电流 $I_S$	不含 $I_{BI}$		40	80	$\mu A$
输出峰—峰电压 $U_{OPP}$	$V_S = \pm 15V, R_L \geq 2k\Omega$ $V_S = \pm 3V, R_L \geq 2k\Omega$	$\pm 10$	$\pm 13.5$ $\pm 1.5$		V
共模抑制比 $K_{CMR}$		80	100		dB
电源电压抑制比 $K_{SVR}$			10	100	$\mu V/V$

CF253 低功耗运算放大器极限值:

- 电源电压 ..... 36 或  $\pm 18V$
- 允许功耗 ..... 500mW
- 差模输入电压 .....  $\pm 30V$
- 共模输入电压 .....  $\pm 15V$
- 工作温度范围 .....  $-20^\circ C \sim +80^\circ C$
- 贮存温度范围 .....  $-65^\circ C \sim +150^\circ C$



8 引线塑料双列直插 (P)

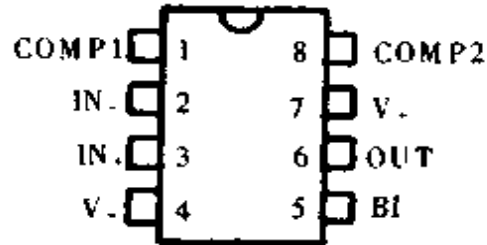


图 9.3.19 CF253 管脚排列

引出端符号说明:

BI	偏置
COMP1, COMP2	补偿
IN <sub>-</sub> , IN <sub>+</sub>	输入
OUT	输出
V <sub>+</sub>	正电源
V <sub>-</sub>	负电源

表 9.3.23 CF715 高速运算放大器特性  
 CF715M— -55℃ (CF715M— +125℃)  
 (T<sub>Amin</sub>: (CF715C—0℃) T<sub>Amax</sub>: (CF715C— +70℃))  
 U<sub>S</sub> = ±15V

参数	测试条件	CF715M			CF715C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输入失调电压 U <sub>IO</sub>	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ T <sub>A</sub> = 25℃ T <sub>Amin</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>Amax</sub>		2	5 7.5		2	7.5 10	mV
输入失调电流 I <sub>IO</sub>	T <sub>A</sub> = 25℃ T <sub>A</sub> = T <sub>Amax</sub> T <sub>A</sub> = T <sub>Amin</sub>		70	250 250 800		70	250 250 750	nA
输入偏置电流 (I <sub>IB</sub> )	T <sub>A</sub> = 25℃ T <sub>A</sub> = T <sub>Amax</sub> T <sub>A</sub> = T <sub>Amin</sub>		0.4	0.75 0.75 4		0.4	1.5 1.5 7.5	μA
输入电阻 R <sub>ID</sub>	T <sub>A</sub> = 25℃		1			1		MΩ
共模输入电压范围 U <sub>ICR</sub>	T <sub>A</sub> = 25℃	±10	±12		±10	±12		V
共模抑制比 K <sub>CMR</sub>	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ T <sub>A</sub> = 25℃ -55℃ ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125℃	74	92		74	92		db
电源电压抑制比 K <sub>SVR</sub>	R <sub>S</sub> ≤ 10kΩ T <sub>A</sub> = 25℃ -55℃ ≤ T <sub>A</sub> ≤ 125℃		45	300		45	400	μV/V
开环电压增益 A <sub>VO</sub>	R <sub>L</sub> ≥ 2kΩ U <sub>O</sub> = ±10V T <sub>Amin</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>Amax</sub>	15 10	30		10 8	30		V/mV

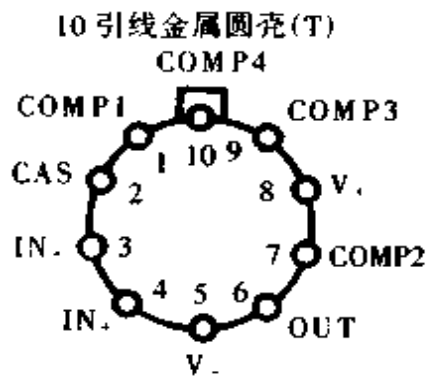
续表

参数	测试条件	CF715M			CF715C			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	
输出峰—峰电压 $U_{OPP}$	$R_L \geq 2k\Omega$ $T_{Amb} \leq T_A \leq T_{Max}$	$\pm 10$	$\pm 13$		$\pm 10$	$\pm 13$	V	
输出电阻 $R_{OS}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		75			75	$\Omega$	
电源电流 $I_s$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		5.5	7		5.5	10	mA
功耗 $P_O$	$T_A = 25^\circ\text{C}$		165	240		165	300	mW
建立时间 $t_{st}$	$A_{VF} = 1$ $U_{I1} = \pm 5V$ $T_A = 25^\circ\text{C}$		800			800	ns	
瞬态响应	$A_{VF} = 1$ , $U_{I1} = 400\text{mV}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$	上升时间 $t_r$	30	60		30	75	ns
		过冲 $K_{OV}$	25	40		25	50	%
转换速率 $S_R$	$A_{VF} = 100$		70			70	V/ $\mu\text{s}$	
	$A_{VF} = 10$		38			38		
	$A_{VF} = 1$ (同相输入)	15	18		10	18		
	$A_{VF} = 1$ (反相输入)		100			100		



CF715 高速运算放大器极限值:

电源电压 .....	$\pm 18V$
差模输入电压 .....	$\pm 15V$
共模输入电压 .....	$\pm 15V$
工作温度范围	
CF715M .....	$-55^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$
CF715C .....	$0 \sim +70^{\circ}C$
贮存温度范围 .....	$-65^{\circ}C \sim +150^{\circ}C$



14 引线多层陶瓷双列直插(D)  
14 引线塑料双列直插(P)

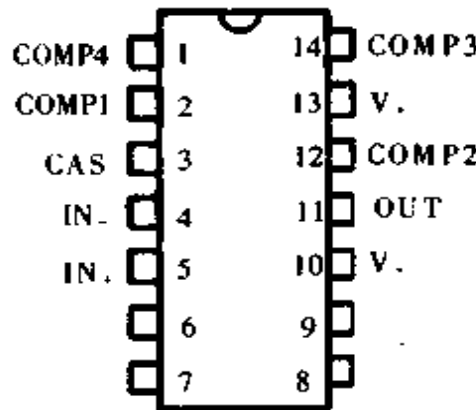


图 9.3.20 CF715 管脚排列

引出端符号说明:

CAS	共发共基
COMP1, COMP2, COMP3, COMP4	补偿
IN <sub>+</sub>	同相输入
IN <sub>-</sub>	反相输入
OUT	输出

V. 正电源

V. 负电源

## 3.3 国内外常用集成运算放大器对照表

表 9.3.24 国内外常用集成运算放大器的对照表

中 国	(美国)国家半导 体公司(NSC)	(美国)仙童公司 (FSC)	(日本)日本电气 公司(NEC)
通用运算放大器(内补偿) CF741	LM741	$\mu$ A741	$\mu$ PC741
双通用运算放大器(内补偿) CF747		$\mu$ A747	
高精度运算放大器 CF725	LM725	$\mu$ A725	$\mu$ PC154
低功耗运算放大器 CF253			$\mu$ PC253
通用运算放大器(外补偿) CF702		$\mu$ A702	
高阻运算放大器 CF157/357		$\mu$ A157	
高阻运算放大器 CF771(F351)		$\mu$ A771	
通用运算放大器(外补偿) CF101	LM101	$\mu$ A101	
电压跟随器 CF102	LM102	$\mu$ A102	
通用运算放大器(内补偿) CF107	LM107	$\mu$ A107	
电压跟随器 CF110	LM110	$\mu$ A110	
通用四运算放大器(内补偿) CF124/CF224/CF324	LM124/LM224/ LM324	$\mu$ A124/ $\mu$ A224/ $\mu$ A324	
高压运算放大器 CF143	LM143		
程控四运算放大器 CF146	LM146		
通用四运算放大器(内补偿) CF148	LM148	$\mu$ A148	
通用双运算放大器(内补偿) CF158	LM158		

续表

中 国	(美国)国家半导体公司(NSC)	(美国)仙童公司(FSC)	(日本)日本电气公司(NEC)
高速运算放大器 CF715		$\mu$ A715	
通用双运算放大器 CF747	LM747	$\mu$ A747	
高速运算放大器 CF772		$\mu$ A772	
跨导运算放大器 CF3080	LM3080		
程控运算放大器 CF4250	LM4250		

### 3.4 集成运算放大器使用注意事项

使用集成运算放大器时,应注意以下事项:接入电路前要对集成运算放大器的参数进行测试;接入电路后要调零,消除自激振荡;根据需要,对集成运算放大器采取一些保护和扩展应用的措施;在某些场合还需要考虑单电源供电等。

#### 3.4.1 安装

集成运算放大器一般安装在印刷电路板上,应注意以下几点:

- (1)应尽量远离可能引起正反馈的连线,不要平行走线;
- (2)输出线不要靠近输入线和输入部分;
- (3)尽量缩短输入端连线,太长时要加隔离屏蔽措施。

#### 3.4.2 参数测试

为了缩短调试周期和保证质量,在安装使用前,常对集成运算放大器进行测试和筛选。采用集成运算放大器专用仪器测试,能方便地测出各种参数是否符合规范值。如无专用测试仪器,用户可以自行搭测试线路进行测试。

#### 3.4.3 失调调整(调零)

集成运算放大器由于失调电压和失调电流的存在,当输入信号为零时,输出不为零。为补偿输入失调量造成的不良影响,使电路输入为零时,其输出也为零,常称这种失调的补偿调整为“调零”。集成运算放大器通常都明确规定调零端子和调零电位器的阻值,只要按照要求调零,一般都能满足要求。

调零电路需注意的是:

- (1)不要使调零电压  $U_T$  过分受电源波动、温度变化以及输入电流变化的影响;
- (2)不要对输入阻抗和 CMRR 的影响太大。

如调零电路仍满足不了零输入、零输出的要求,可采取以下措施:

(1)适当加大原规定的调零电位器阻值,使调零范围加大。但应注意,这样做会使温度指标变差,甚至会影响级间配合。

(2)辅助调零。图 9.3.21 是一种辅助调零电路,它利用正、负电源通过电位器  $R_p$  引入一个电压到集成运算放大器的同相输入端,调节电位器  $R_p$  可以补偿输入失调量对输出的影响。该调零措施的优点是:电路简单,适应性较广。缺点是:电源电压不稳定等因素,会使输出引进附加漂移。

如果利用正、负电源通过电位器引入一个电压到集成运算放大器的反相输入端,同样可以起到与图 9.3.21 一样的调零效果。

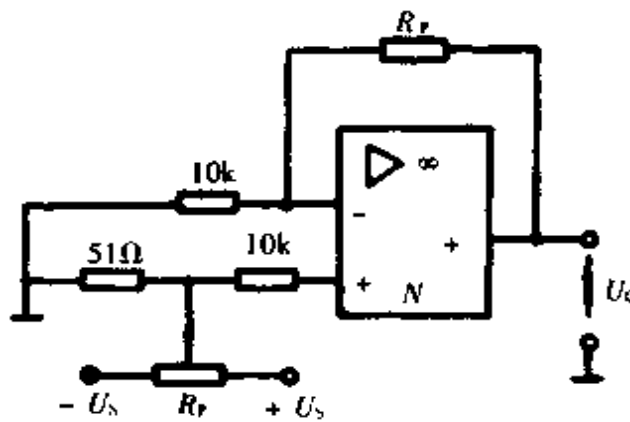


图 9.3.21 辅助调零电路

#### 3.4.4 保护

(1)输入保护——集成运算放大器用作电平比较器时,输入端可能出现很大差动电压。这时,可以采用两只硅二极管反向并联在两输入端之间,用以防止过电压损坏器件,如图 9.3.22 所示。

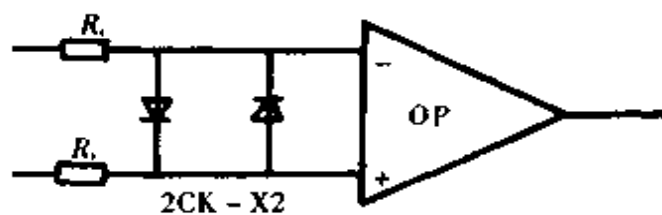


图 9.3.22 集成运算放大器输入保护

(2)输出保护——多数集成运算放大器内部都有输出限流保护,但不一定可靠。因此,在实际使用时要根据实际情况决定是否应加输出保护。对于可能出现大电流负载的情况,要在集成运算放大器输出端串联保护电阻  $R_p \approx 100\Omega \sim 4k\Omega$ ,如图 9.3.23 所示。

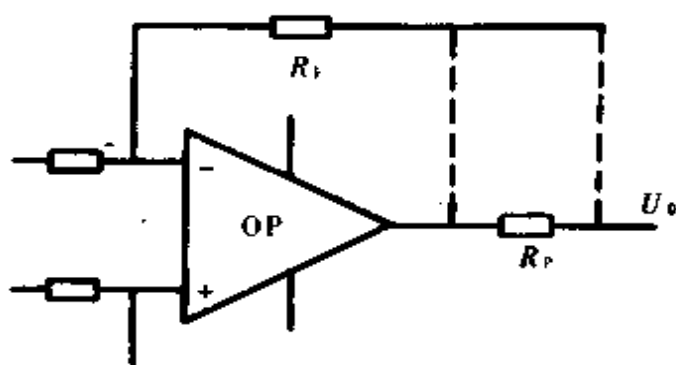


图 9.3.23 集成运算放大器输出保护

### 3.4.5 消除自激振荡

集成运算放大器是一种高增益的多级直接耦合放大电路,在使用当中引入较深的负反馈,往往容易引起自激振荡,使电路无法正常工作。为此,在使用中,要对电路进行适当的频率补偿和相位补偿,以消除自激,使电路在闭环时能够稳定工作。目前有一些集成运算放大器内含有消除自激用电容,称为内补偿型。如按要求使用,就不会出现自激现象。另外一些集成运算放大器是外补偿型,它需要外接消振用的电容或外接电阻,才能消除自激。

### 3.4.6 单电源应用

单电源应用与正、负双电源应用原则上是相同的。区别仅是“电位参考点”不同。双电源的参考电位取总电源电压中间值(多数是取中心值,即正、负电源电压相等),而单电源应用的参考点是集成运算放大器的负电源端( $V_-$  连到地作为 0V)。图 9.3.24 是一般单电源用法,输入端的偏置电压由两只  $2R_f$  电阻分压取得,这时对应的“零输入”和“零输出”,实际上对直流来说就等于电源电压中心值。

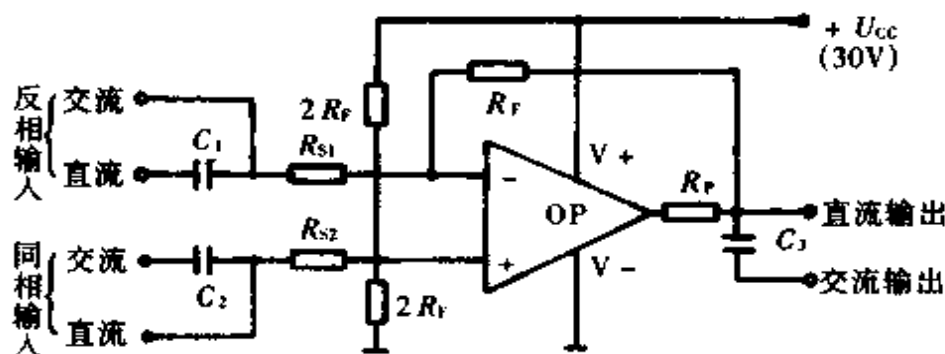


图 9.3.24 集成运算放大器单电源应用

单电源直流输出应用中,尤其要注意输入和输出的保护,防止对地(这里是  $V_-$  端)短路。

## 4 集成稳压器

### 4.1 集成稳压器的基本知识

集成稳压器是利用半导体工艺,把基准电压、取样电路、比较放大电路、调整管和保护电路等全部元件集中地制作在一块硅片上。它具有体积小、稳定性高、性能指标好等优点,特别适用于小型化设备与分散供电的场合。

集成稳压器的种类很多,按集成工艺可分为半导体单片式和混合式两种;按原理可分为串联调整式、并联调整式和开关调整式三种。目前主要采用串联调整式的集成稳压器,即串联调整式三端固定输出和三端可调输出的集成稳压器。应用最广泛的是 78XX 系列和 79XX 系列,前者输出电压为正,后者为负。XX 表示稳定输出的电压值,有 5、6、8、12、15、18 和 24V。输出电流为 1A。稳定系数为:  $S_V = 3 \times 10^{-3}$ ,  $R_O = 30\text{m}\Omega$ ,  $S_T = -1\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。电路内部有限流、过流保护和热保护环节。三端固定式输出电流也可扩大到 5A。

可调式集成稳压器有三端式和多端式,三端式的输出电压为 1.2~37V,连续可调。多端式可调稳压器需要外接元件较多,除调节输出电压的采样网络和某些电容外,还有过流保护的采样电阻。

集成稳压器常见分类方法及其特点见表 9.3.25。

表 9.3.25 集成稳压器常见分类方法及特点

工作方式	名称	型号	特点
串 联	三端固定正稳压器	CW7800 系列	三端固定输出集成稳压器是将所有的单元电路,都集成于一个芯片内,组成只有输入、输出和公共端三个引脚,它的外接元件少、使用方便、安全可靠
	三端固定负稳压器	CW7900 系列	
	三端可调正稳压器	CW117/217/317 CW150/250/350 CW138/238/338	三端固定输出集成稳压器实际的输出电压与设计值总存在着偏差,调整率也不很高,而三端可调式集成稳压器除了具备三端固定式稳压器的优点外,在电性能上又有了进一步的提高,特别是通过方便的调节,输出电压的精度更高,应用更为灵活,但价格贵些
	三端可调负稳压器	CW396/CW496 CW137/237/337	
联 式	多端正可调稳压器	CW3085 CW723/723C CW105/205/305 CW1569/1469	使用灵活,调节方便,可以通过外接取样电阻的选择,在较宽的输出电压范围内,可得到所需要的稳定的输出电压值
	多端负可调稳压器	CW1511 CW104/204/304 CW1463/1563	与正可调稳压器配对使用时,线路结构较简单,使用方便,性能也较好
	正负双路稳压器	CW1468/1568	具有正、负对称输出的功能,在配接外电路的条件下,输出电压能跟踪调节。当由于制造工艺不一致造成正、负输出电压有差异时,可以通过平衡调节端来校正。内电路含有正、负过流保护

续表

工作方式	名称	型号	特点
并联式	高精度基准电压源	能隙式 CW113/313 CW185/285/385 CW136/236/336	具有输出电压的精度高、温漂很小,输出噪声小,动态内阻小等优点,但输出电流也很小
		隐埋齐纳式 CW199/299/399	由于采用了恒温结构,因此温度系数可达到 $0.0001\%/^{\circ}\text{C}$ ,电路工作电流为 $500\mu\text{A}$ 至 $10\text{mA}$ ,稳定输出电压为 $6.9\text{V}$ , $1000\text{h}$ 漂移为 $20 \times 10^{-6}$
并联式	可调基准电源	CW431	具有低的消耗电流,仅为 $400\mu\text{A}$ ,良好温度稳定性,较大的输出电流( $100\text{mA}$ ),输出电压调节范围宽,可达 $2.5\sim 36\text{V}$
开关式	脉宽调制型集成开关电源控制器	CW1524/2524/3524	该电路最高工作频率为 $100\text{kHz}$ ,内部基准源为 $5\text{V}$ ,能够承受的负载能力为 $50\text{mA}$
	频率调制型集成开关电源控制器	CW497	该电路是一种导通时间固定而改变频率的单片式开关电源控制器。转换效率一般大于 $60\%$ ,其输出电流可达 $500\text{mA}$ ,电压调整率为 $0.2\%$ ,电流调整率为 $0.4\%$ ,电路中含有输入限流保护回路,与TTL相容的关闭控制端以及具有缓启动功能

## 4.2 集成稳压器的主要性能参数

### 4.2.1 集成稳压器的主要性能参数

主要性能参数有:

(1)最大输入电压  $U_{\text{imax}}$ :保证稳压器能够安全工作的最大输入电压值。

(2)最大输出电流  $I_{\text{omax}}$ :稳压器在安全工作的条件下能够提供的最大输出电流。

(3)最大耗散功率  $P_{\text{CM}}$ :这是指稳压器的允许功率耗损(发热)界限,基本由封装外壳所决定。输入功率  $P_{\text{IN}}$ 和输出功率  $P_{\text{O}}$ 之差,就是稳压器的实际功耗  $P_{\text{C}}$ 。使用时, $P_{\text{C}}$ 必须小于  $P_{\text{CM}}$ 。

(4)输出电压范围  $U_{\text{omin}} \sim U_{\text{omax}}$ :稳压器正常工作的输出电压最小值与最大值的范围。

(5)输出电压  $U_{\text{O}}$ :稳压器正常工作的输出电压。

(6)输入电压  $U_{\text{I}}$ :保证稳压器正常工作时的输入电压。

(7)最小输入电压  $U_{\text{imin}}$ :保证稳压器正常工作时最小输入电压值。

(8)电压调整率  $S_U$ :指输入电压变化时维持输出电压不变的能力。

(9)纹波抑制比  $S_{np}$ :指输入端引入交流纹波电压的抑制能力。

(10)电流调整率  $S_I$ :指负载变化时维持输出电压不变的能力。

(11)静态工作电流  $I_D$ :稳压器内 P 电路在一定的工作电压下具有一定的工作电流,即为静态工作电流。

(12)输出电压温漂  $S_T$ :用来表示工作温度变化时,输出电压的稳定性。

(13)输出噪声电压  $U_{x0}$ :指在规定的直流输入电压下,所测得的集成稳压器输出端的噪声电压均方根值。

#### 4.2.2 集成稳压器产品的参数

几种典型集成稳压器产品的主要参数如表 9.3.26 至表 9.3.29 所列。

其他集成稳压器产品的主要参数如下。

4.2.2.1 大电流输出可调正压集成稳压器 CW150/250/350 系列 输出电压可调范围 1.2~33V,输出电流可达 3A。

4.2.2.2 大电流输出可调正压集成稳压器 CW138/238/338 系列 输出电压可调范围 1.2~32V,输出电流可达 5A。

4.2.2.3 大电流输出可调正压集成稳压器 CW396/496 系列 CW396/496 输出电压可调范围 1.2~20V。

CW396-XX 为固定电压输出,输出电压有 5V、12V、15V;CW496-XX 为固定电压输出,输出电压有 5V、12V、15V、18V、24V。

CW396 输出电流可达 10A。

CW496 输出电流可达 5A。

#### 4.2.2.4 正负对称输出集成稳压器 CW1468/1568

输入电压  $U_I = \pm 30V$

额定输出电压  $U_O = \pm 15V$

输入、输出电压最小差值  $|U_I - U_O|_{\min} = 2V$

两路输出电压差  $\Delta U_O < 20mV$  [当  $U_I = \pm (18 \sim 30)V$ ]

$\Delta U_O < 30mV$  [当  $I_L = 0 \sim 50mA$ ]

环境温度  $-55^\circ C \sim +125^\circ C$  (CW1568)、 $-10^\circ C \sim +75^\circ C$  (CW1468)

#### 4.2.2.5 7V 标准源 CW199/299/399

输出电压  $U_O = 6.95V$

动态输出电阻  $R_O = 0.5\Omega$

输出电压温漂  $S_T = 2 \times 10^{-6}/^\circ C$

温度范围:  $T_A = -55^\circ C \sim +125^\circ C$  (CW199);  $T_A = -25^\circ C \sim +85^\circ C$  (CW299);

$T_A = 0 \sim 70^\circ C$  (CW399)



表 9.3.26 三端正固定集成稳压器 CW7800 系列主要参数表

参数名称	符号	单位	CW7805	CW7806	CW7808	CW7812	CW7815	CW7818	CW7824
输出电压	$U_o$	V	5(±5%)	6(±5%)	8(±5%)	12(±5%)	15(±5%)	18(±5%)	24(±5%)
输入电压	$U_i$	V	10	11	14	19	23	26	33
最大功耗	$P_{CW}$	W	15	15	15	15	15	15	15
最大输出电流	$I_{omax}$	A	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
电压调整率(最大值)	$S_V$	mV	50	60	80	120	150	180	240
电流调整率(最大值)	$S_I$	mV	80	100	120	140	160	200	240
纹波抑制比(典型值)	$S_R$	dB	68	65	62	61	60	58	56
静态工作电流	$I_D$	mA	6	6	6	6	6	6	6
输出电压温度(典型值)	$S_T$	mV/°C	0.6	0.7	1	1.5	1.8	2.5	3
输出噪声电压(典型值)	$U_{NO}$	μV	40	50	60	80	90	160	200
最小输入电压	$U_{limin}$	V	7.5	8.5	10.5	14.5	17.5	20.5	26.5
最大输入电压	$U_{limax}$	V	35	35	35	35	35	35	40



表 9.3.28 三端可调负压集成稳压器 CW137/237/337 系列主要参数表

参数名称	符号	单位	CW137/237			CW337		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
电压调整率	$S_U$	%/V		0.02	0.05		0.02	0.07
电流调整率	$S_I$	%		0.3	1.0		0.3	1.5
输出电压范围	$U_O$	V		-1.2 ~ -37			-1.2 ~ -37	
最大功耗	$P_{OM}$	W			20			20
最大输出电流	$I_{omax}$	A	1.5	2.2		1.5	2.2	
纹波抑制比	$S_R$	dB		70			70	
最小负载电流	$I_{omin}$	mA		3.5	5		3.5	10
输出电压温漂	$S_T$	%/°C		0.7			0.7	
调整端电流	$I_{ADJ}$	$\mu A$		65	100		65	100

表 9.3.29 三端可调正压集成稳压器 CW117/217/317 系列主要参数表

参数名称	符号	单位	CW117/217			CW317		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
电压调整率	$S_U$	%/V		0.02	0.05		0.02	0.07
电流调整率	$S_I$	%		0.3	1.0		0.3	1.5
最小负载电流	$I_{omin}$	mA		3.5	5		3.5	10
纹波抑制比	$S_R$	dB	66	80		66	80	
最大输出电流	$I_{omax}$	A			1.5			1.5
最大功耗	$P_{CW}$	W			20			20
输出电压范围	$U_O$	V		1.2 ~ 37			1.2 ~ 37	
输出电压温漂	$S_T$	%/°C		0.7			0.7	
调整端电流	$I_{ADJ}$	$\mu A$		50	100		50	100

### 4.3 国内外常用集成稳压器对照表

见表 9.3.30 所列。

表 9.3.30 国内外常用集成稳压器的对照表

产 品 名 称	中 国	外 国 <sup>①</sup>
多端正可调集成稳压器	CW3085 CW723/723C CW105/305 CW1569	CA3085 LM723/723C、 $\mu$ A723/ 723C LM105/305 MC1569
多端负可调集成稳压器	CW1511 CW104/304 CW1563	SG1511 LM104/304 MC1563
正、负对称输出集成稳压器	CW1568	MC1568
三端固定正输出集成稳压器	CW78L00 CW78M00 CW7800	LM78L00 LM78M00 LM7800、 $\mu$ A7800
三端固定负输出集成稳压器	CW79L00 CW79M00 CW7900	LM79L00 LM79M00 LM7900、 $\mu$ A7900
三端正可调集成稳压器	CW117/217/317	LM117/217/317
三端负可调集成稳压器	CW137/237/337	LM137/237/337
集成开关电源脉宽调制器	CW1524/2524/3524 CW3420/3520	LM1524/2524/3524 MC3420/3520
1.2V 标准基准源	CW113	LM113
1.2V 标准基准源	CW185	LM185
1.2V 标准基准源	CW589	AD589
2.5V 标准基准源	CW580	AD580
2.5V 标准基准源	CW136/236/336	LM136/236/336
2.5V 标准基准源	CW1403	MC1403
7V 标准基准源	CW129/329	LM129/329
7V 标准基准源	CW199/299/399	LM199/299/399
可编程序基准源	CW584	AD584

注:①外国型号:LM——美国国家半导体公司;AD——美国 AD 公司; $\mu$ A——美国仙童公司;MC——美国摩托罗拉半导体公司。

#### 4.4 集成稳压器使用注意事项

(1)在使用时,应从产品手册中查到有关型号的参数、性能指标及外形尺寸,再配上少量外接元件,就可以构成实用的稳压电源。

(2)若集成稳压器安装位置离开电源的滤波电容较远时,在输入端应接入旁路电容,CW7800 系列为  $0.33\mu\text{F}$ ,CW7900 系列为  $2.2\mu\text{F}$ 。在输入端所接的小电容是用来改善器件的瞬态响应的,不是作为负载的滤波电容。如负载电流脉动较大,应

在输出端或负载端加接大容量滤波电容。三端集成稳压器接入一些外接元件,可以得到可调输出电压和电流,也可以扩大输出。

(3)为了满足各种负载要求,应按要求设计并配置各种保护电路。在使用时要注意不超过极限参数。

(4)使用时,应注意功耗不得大于最大功耗  $P_{CM}$ 。若实际功耗  $\geq P_{CM}$ ,必须考虑附加适当的散热器。

图 9.3.25 至图 9.3.34 分别列出各系列集成稳压器的外引线图和典型接法,供使用时参考。

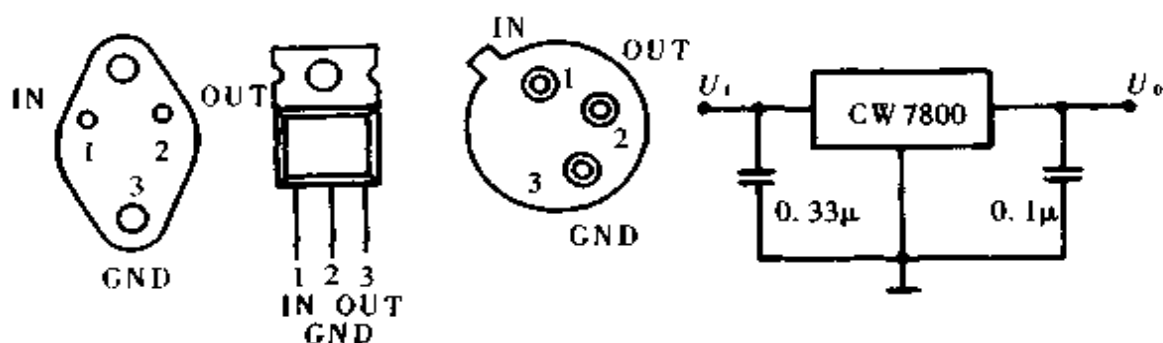


图 9.3.25 CW7800 系列外引线图和典型接法

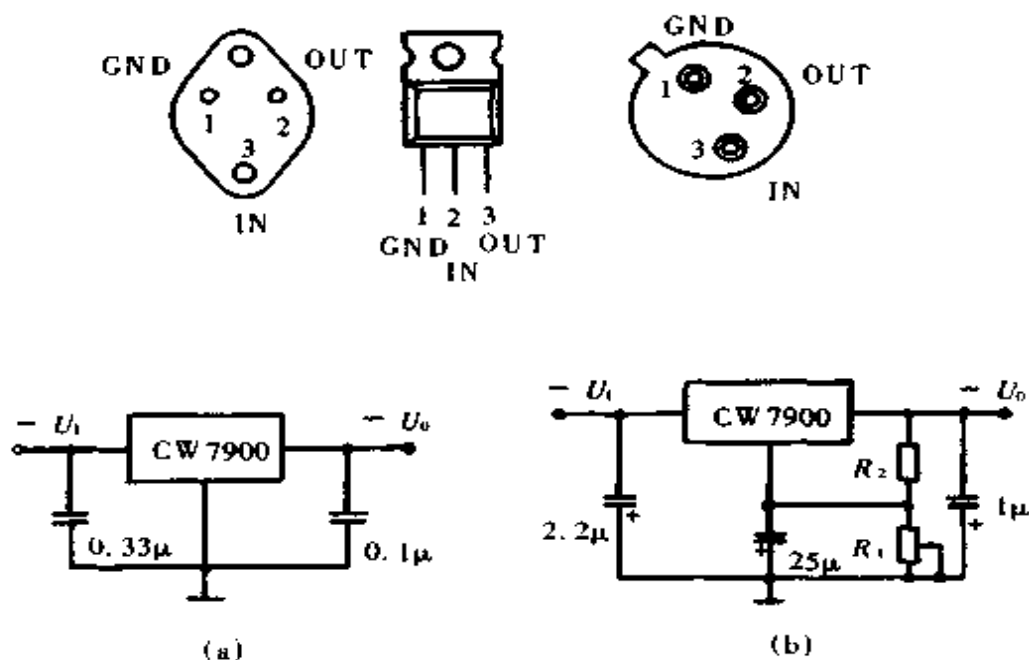


图 9.3.26 CW7900 系列外引线图和典型接法  
(a)固定输出稳压电路 (b)可变输出稳压电路

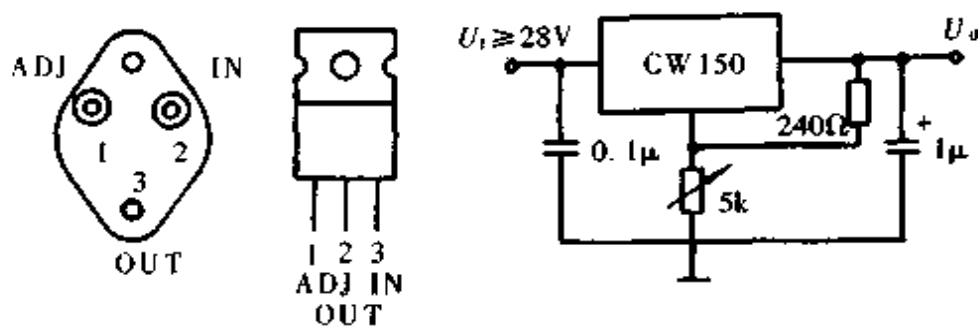


图 9.3.27 CW150/250/350 外引线图和典型接法

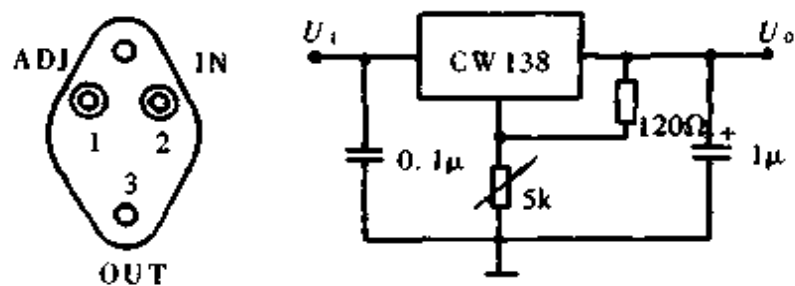


图 9.3.28 CW138/238/338 外引线图和典型接法

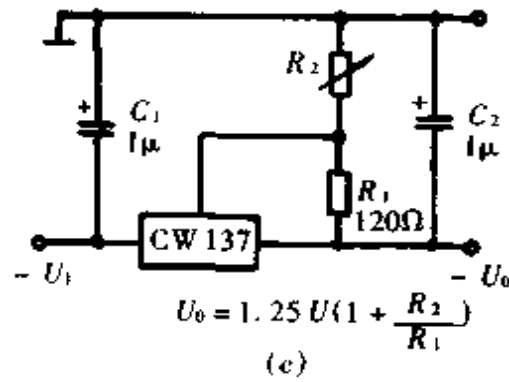
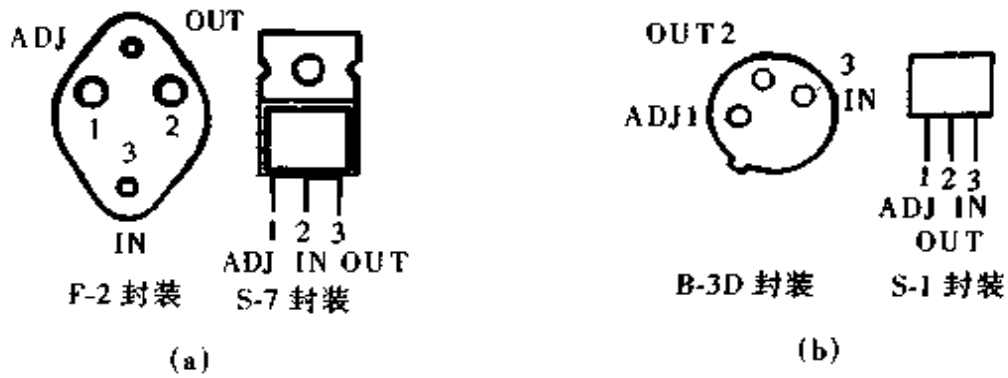
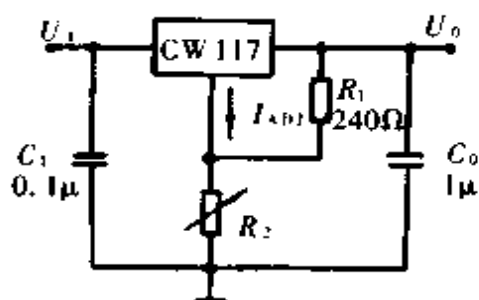
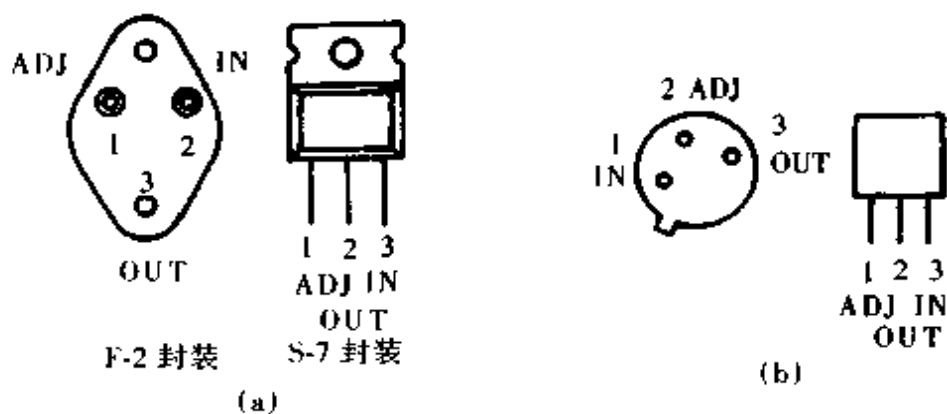


图 9.3.29 CW137/237/337 外引线图和典型接法  
 (a)CW137/237/337 与 CW137M/237M/337M 外引线图  
 (b)CW137L/237L/337L 外引线图 (c)典型接法



$$U_o = 1.25U(1 + \frac{R_2}{R_1}) + I_{adj}R_2$$

(c)

图 9.3.30 CW117/217/317 外引线图和典型接法  
 (a)CW117/217/317 及 CW117M/217M/317M 外引线图  
 (b)CW117L/217L/317L 外引线图 (c)典型接法

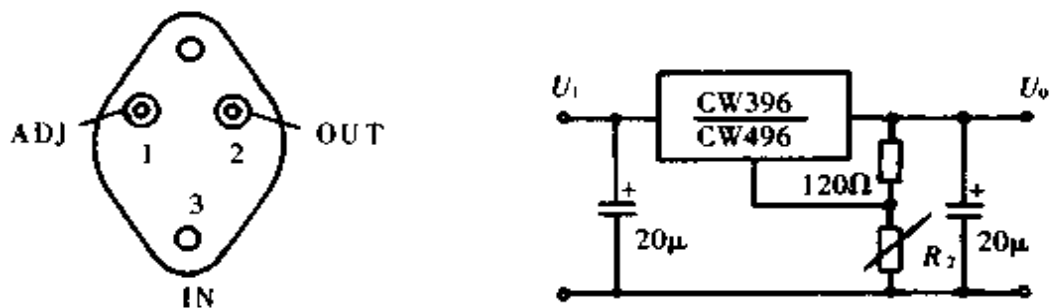


图 9.3.31 CW396/496 外引线图和典型接法



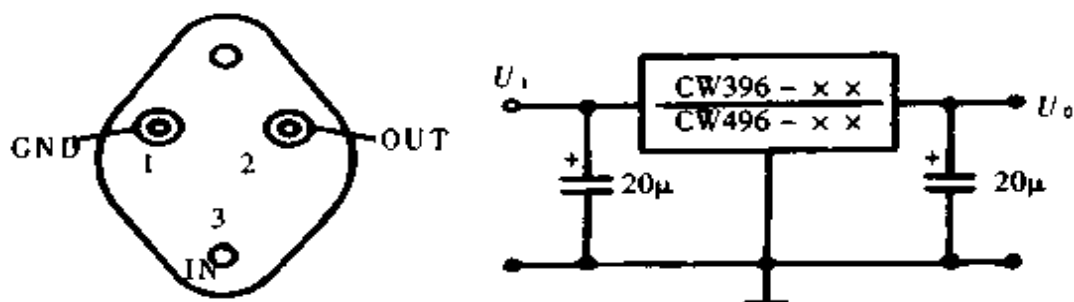


图 9.3.32 CW396-XX/496-XX 外引线图和典型接法

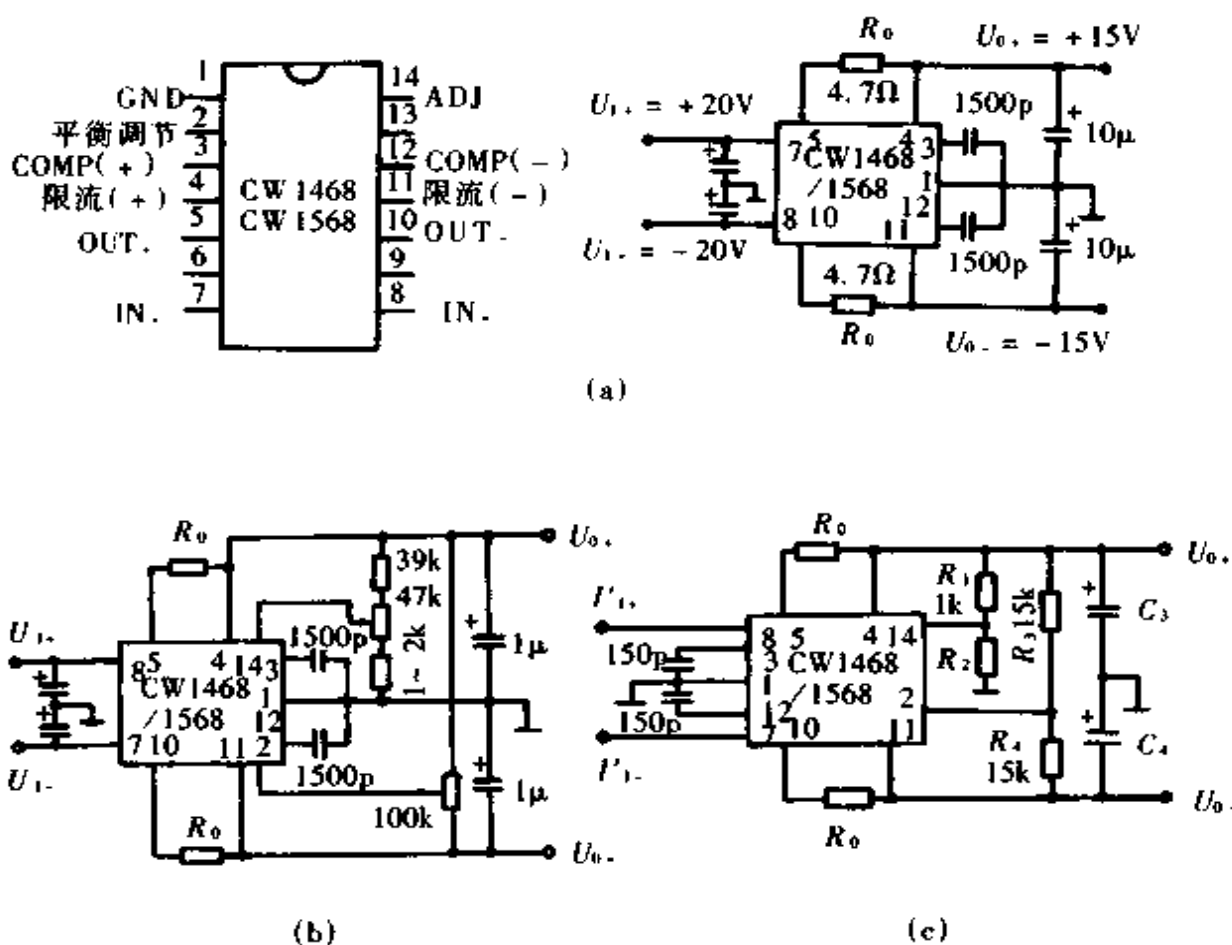


图 9.3.33 CW1468/CW1568 外引线图和典型接法  
 (a)  $\pm 15\text{V}$ 、 $50\text{mA}$  稳压电路 (b)  $\pm (14.5\sim 20)\text{V}$  稳压电路  
 (c)  $\pm (8\sim 14.5)\text{V}$  稳压电路

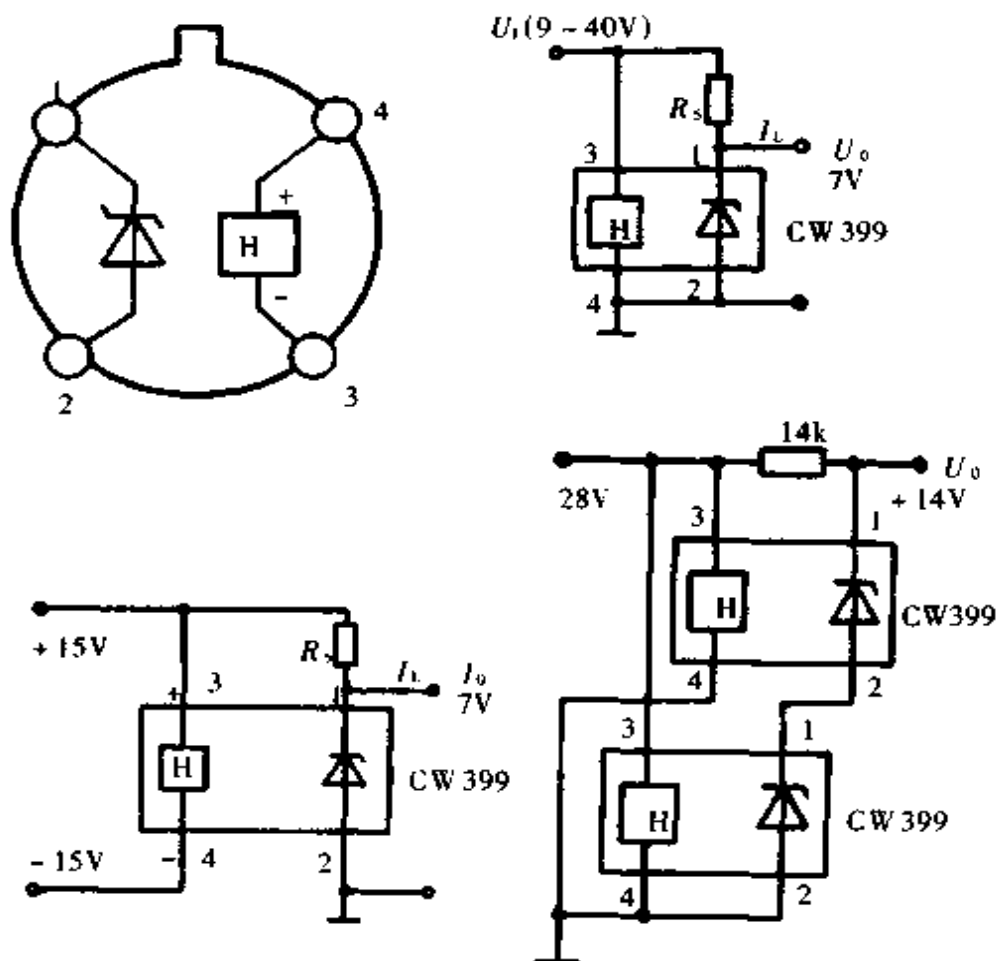


图 9.3.34 CW199/299/399 外引线图和典型接法

## 5 几种专用集成电路

### 5.1 漏电保护器专用集成电路

漏电保护器是一种防止人身受低压电网电击而伤亡和因漏电造成火灾事故的安全保护电器。

漏电保护器目前主要采用电流动作型,按其结构特征和使用方式可以分为断路器式、继电器式、保护插座等;以动作机构又可分为纯电磁式和电子式两种。

电子式漏电保护器采用专用集成电路替代部分传统的机械控制部件,从而在技术性能以及在体积、价格等方面都使漏电保护器发生巨大的变化。

### 5.1.1 漏电保护器专用集成电路的主要特点

- (1) 输入灵敏度高;
- (2) 输入电流灵敏度的温度特性好;
- (3) 外部元件数少;
- (4) 防浪涌、抗干扰能力强;
- (5) 功耗低;
- (6) 温度范围宽广 ( $T_A = -20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ )。

### 5.1.2 功能框图

目前,国内电子式漏电保护器常用的专用集成电路有 M54123L 和 DL02 型两种。高灵敏度漏电保护器一般采用 M54123L,中灵敏度与延时型漏电保护器宜用 DL02 型。

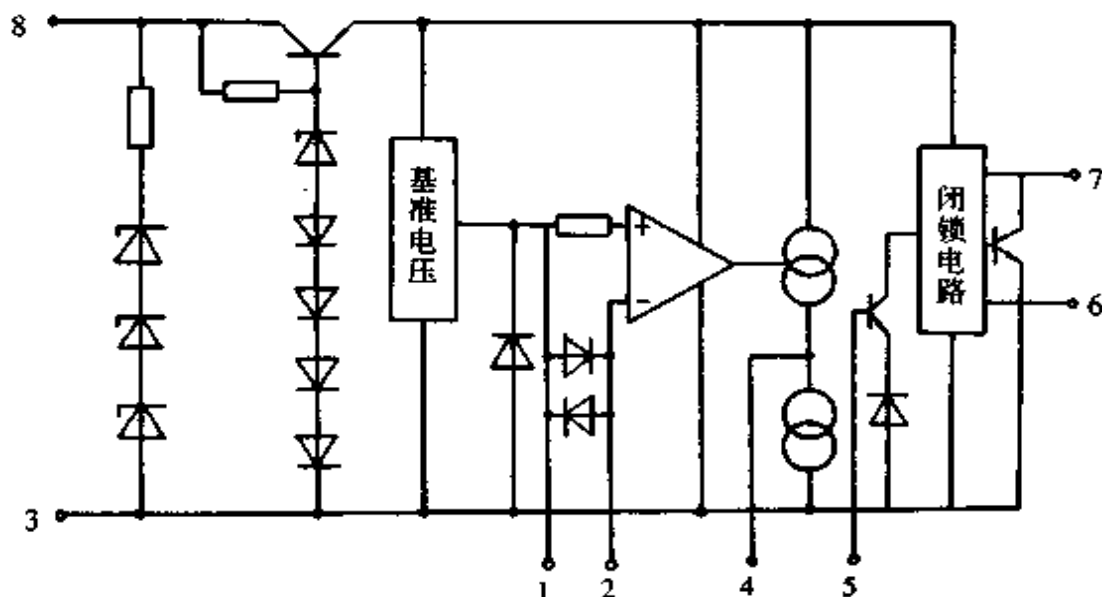


图 9.3.35 M54123L 型集成电路方框图

图 9.3.35 为 M54123L 型集成电路方框图。它是由差分放大器、基准电压、稳压电路、自锁电路等构成。当发生漏电时,漏电信号由零序电流互感器(ZCT)的副边输出,送入放大器的两个输入端,放大信号送入自锁电路,自锁电路一直维持低电位,只有在漏电信号超过规定值时,专用集成电路输出高电平,驱动晶闸管,使断路器动作。

图 9.3.36 为 DL02 型集成电路方框图。它也由差分放大、基准电源、稳压、电平判别、整形驱动五个部分组成。当发生漏电触电事故时,零序电流互感器(ZCT)副边就有感应电压输出。该电压与专用集成电路内部的电平比较电路进行比较。

当它大于基准电压时,信号经放大、电平判别与整形,输出高电平触发晶闸管,从而使断路器分断。

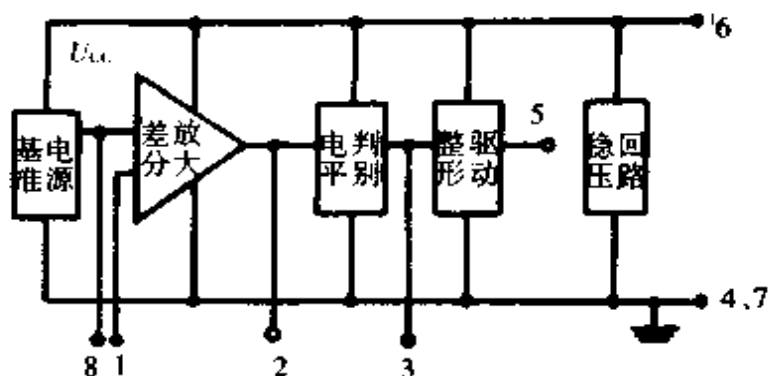


图 9.3.36 DL02 型集成电路方框图

### 5.1.3 主要技术参数

5.1.3.1 M54123L 型 极限参数和电特性分别列于表 9.3.31 和表 9.3.32, 外形图及管脚排列如图 9.3.37 所示。

表 9.3.31 M54123L 型集成电路极限参数

参 数 名 称	符号	规范值	单位
$U_R$ 端电流	$U_R - IN$	250	mA
	$U_R - GND$	30	
	$IN - U_R$	-250	
IN 端电流	$IN - U_R$	250	
	$IN - GND$	30	
	$U_R - IN$	-250	
电源电流	$I_{CC}$	8	
SC 端电流	$I_{SC}$	5	
功 耗	$P_d$	200	mW
工作温度	$T_{ow}$	-20 ~ +80	℃
存贮温度	$T_{sg}$	-55 ~ +125	

表 9.3.32 M54123L 型集成电路电特性 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

参数	符号	测试条件	规范值			单位
			最小	典型	最大	
电源电流	$I_{SI}$	$U_{CC} = 12\text{V}$ $U_R - U_I = 30\text{mV}$		400	530	$\mu\text{A}$
动作电压	$U_T$	$U_S = 16\text{V}$	4	6.1	9	mV
输出电流	$I_O$	$U_S = 16, U_{SC} = 1.4\text{V}$ $U_{OS} = 0.8\text{V}$	-100			$\mu\text{A}$
SC 开启电压	$U_{SC} \text{ "ON"}$	$U_S = 16\text{V}, U_{OS} \geq 8\text{V}$	0.7		1.4	V
输出低电平电流	$I_{OSL}$	$U_S = 12\text{V}, U_{OSL} = 0.2\text{V}$	200			$\mu\text{A}$
SC 输入电流	$I_{SC} \text{ "ON"}$	$U_S = 12\text{V}$			5	
输入箝位电压	$U_{IC}$	$U_S = 12\text{V}, I_{IC} = 20\text{mA}$	4.3		6.7	V
输入箝位电压变量	$U_{IX}$	$I_{IX} = 100\text{mA}$	0.4		2	
最大电源电压	$U_{sm}$	$I_{sm} = 7\text{mA}$	20		28	
动作时间	$T_{ON}$	$U_S = 16\text{V}, U_R - U_I = 0.3\text{V}$	2		4	ms

注： $U_R$ ——基准电压； $I_N$ ——输入；GND——接地； $O_D$ ——差分放大输出；SC——自锁电路输入； $N_R$ ——噪声吸收； $O_S$ ——输出； $U_S$ ——电源。

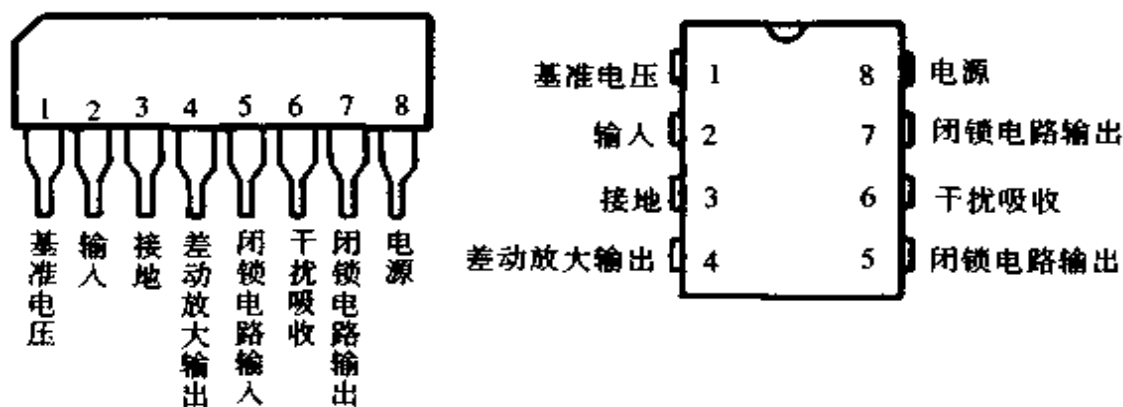


图 9.3.37 M54123L 型集成电路外形图及管脚排列

5.1.3.2 DL02 型 极限参数和电特性分别列于表 9.3.33 和表 9.3.34；外形图及管脚排列如图 9.3.38 所示。

表 9.3.33 DL02 型集成电路极限参数

参数名称	符号	规范值	单位
最大静态电压范围	$U_{sm}$	9.5	V
最大工作电流	$I_{CIm}$	20	mA
静态功耗	$P_D$	200	mW
工作温度范围	$T_{opr}$	0 ~ +70	℃
贮存温度	$T_{stg}$	-55 ~ +125	

表 9.3.34 DL02 型集成电路电特性

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
静态电流	$I_S$			2.6	3.0	mA
静态电压	$U_S$		7.5	8	9	V
基准电压	$U_{R1}$		0.8	1.2	1.5	
	$U_{R2}$		1.3	1.6	2.3	
动作电压	$U_T$	$I_O = 0.5\text{mA}$	7	15	25	mV
输出高电平	$U_{OH}$	$I_O = 0$	3.5			V
输出低电平	$U_{OL}$	$I_O = 0$			0.3	
输出电流	$I_O$	$R_L = 1\text{k}\Omega$	0.5	0.8		mA

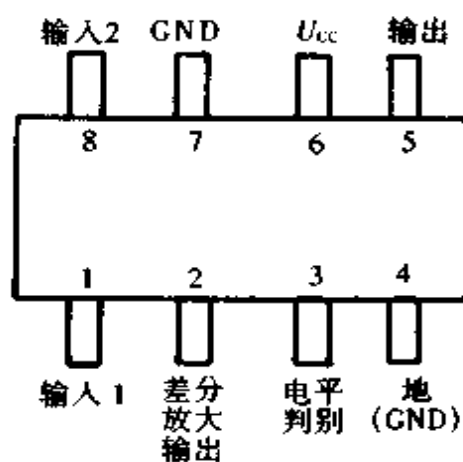


图 9.3.38 DL02 型集成电路外形图及管脚排列

5.1.4 国内外漏电保护器专用集成电路对照表见表 9.3.35

表 9.3.35 国内外漏电保护器专用集成电路对照表

中 国	(日本)三菱电机公司	(日本)富士电机公司
CD54123CS SF54123	M54123L	
DL02 DL01		F101

5.1.5 应用举例

(1)采用 M54123L(SF54123 或 CD54123CS)构成的单相快速型漏电断路器的电子线路图,见图 9.3.39。

(2)采用 DL02 构成的三相延时型漏电断路器的电子线路图见图 9.3.40。

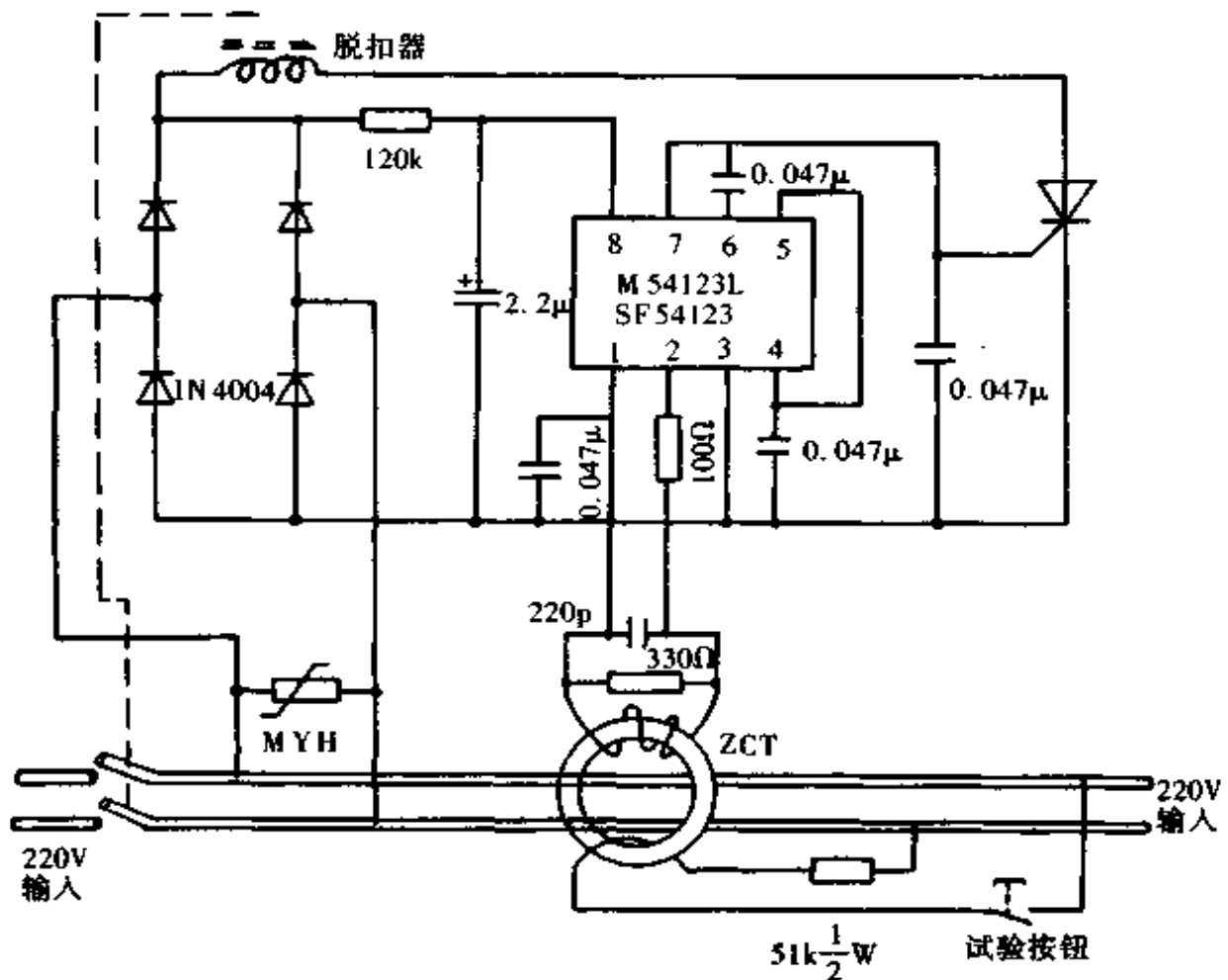


图 9.3.39 采用 M54123L 构成的单相快速型漏电断路器电子线路图

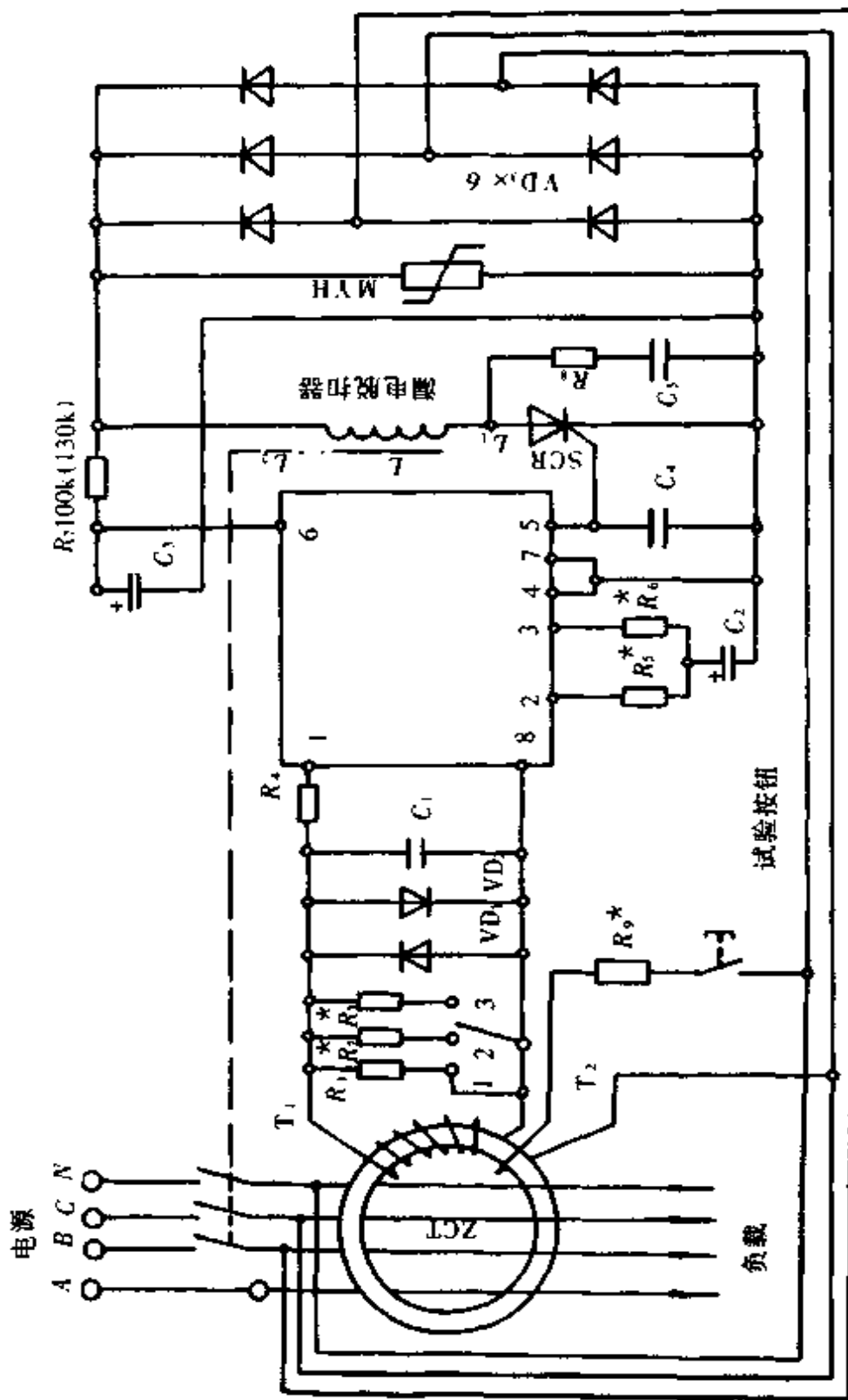


图 9.3.40 采用 DL02 构成的三相延时型漏电断路器电子线路图



## 5.2 晶闸管集成触发器

晶闸管触发器是晶闸管变流装置中的一个重要环节。它是主电路和调节回路的接口,将调节回路运算得出的控制电压转换为触发脉冲相位的变化(相位控制)或触发脉冲有无的变化(开关控制),以实现预定的控制目的。除了控制方式不同外,不同主电路接线形式、不同功率等级、不同控制精度等级的电路,对触发器的要求也不尽相同。另一方面,达到某一要求的电路又是多种多样的,除从最简单的阻容移相触发器到由晶体管组成的触发器以及集成电路化触发器外,已有更为复杂的采用数字式和锁相技术的触发器,甚至还有借助微处理器的触发器。由于专用集成电路的一系列优点,因此发展迅速,已逐步取代了各种分立元件的触发电路。

下面介绍几种国产 KC 型晶闸管集成触发器。

### 5.2.1 KC01 型集成触发器

KC01 型集成触发器主要在各种供电装置中用作晶闸管的单路脉冲移相触发。KC01 型集成触发器移相线性度好、温漂小,但在同步电压的一个周期内只能产生一个移相脉冲,因而主要用于单相、三相半控桥式整流电路。其主要技术参数如下:

- (1)电源电压:直流 +15V、-15V,允许波动  $\pm 5\%$  ( $\pm 10\%$  时功能正常);
- (2)电源电流:正电流  $\leq 15\text{mA}$ ,负电流  $\leq 10\text{mA}$ ;
- (3)同步电压:交流 10V(有效值);
- (4)移相范围:150°(同步电压 10V 时),  
210°(二相同步电压 10V 分别输入时);
- (5)锯齿波幅度:  $\geq 10\text{V}$ (幅度以锯齿波平顶为准);
- (6)输出脉冲:  
脉冲宽度:100 $\mu\text{s}$  - 3.3ms(改变脉宽电容达到);  
脉冲幅度:  $\geq 13\text{V}$ (输出接 1k $\Omega$  负载电阻);  
最大输出能力:15mA(吸收电流);  
输出管反压:  $BU_{\infty} \geq 18\text{V}$ (测试条件  $I_c = 100\mu\text{A}$ );
- (7)移相线性误差:  $\leq \pm 1\%$ ;
- (8)同步输入端允许最大同步电流:6mA(有效值);
- (9)同步输入端反压:  $\geq 15\text{V}$ 。

### 5.2.2 KC04 型集成触发器

KC04 型集成触发器与 KC01 型集成触发器相比,在电路结构上有了很大改进,功能有了较大提高。它主要在单相、三相全控桥式供电装置中,用作晶闸管的双路脉冲移相触发。KC04 型集成触发器具有两路相位差 180° 的移相脉冲,可以方便地构成全控桥式触发线路。该触发器具有输出负载能力大,移相性能好,正负

半周脉冲相位值均衡性好,移相范围宽,对同步电压要求小,有脉冲列调制输入端等功能与特点。其主要技术参数如下:

- (1)电源电压:直流 $+15\text{V}$ 、 $-15\text{V}$ ,允许波动 $\pm 5\%$ ( $\pm 10\%$ 时功能正常);
- (2)电源电流:正电流 $\leq 15\text{mA}$ ,负电流 $\leq 8\text{mA}$ ;
- (3)同步电压:任意值(一般交流 $30\text{V}$ );
- (4)同步输入端允许最大同步电流: $3\text{mA}$ (有效值);
- (5)移相范围: $\geq 170^\circ$ (同步电压 $30\text{V}$ ,同步输入电阻 $15\sim 30\text{k}\Omega$ );
- (6)锯齿波幅度: $\geq 10\text{V}$ (幅度以锯齿波平顶为准);
- (7)输出脉冲:①宽度: $400\mu\text{s}\sim 2\text{ms}$ (改变脉宽阻容元件达到);②幅度: $\geq 13\text{V}$ ;
- ③最大输出能力: $100\text{mA}$ (流出脉冲电流);④输出管反压: $BU_{\infty} \geq 18\text{V}$ (测试条件 $I_c = 100\mu\text{A}$ );
- (8)正负半周脉冲相位不均衡: $\leq \pm 3^\circ$ 。

### 5.2.3 KC09 型集成触发器

KC09 型集成触发器是 KC04 型的改进产品,其引出端与 KC04 型完全相同,可以互换使用。KC09 型内部增加了同步记忆环节,提高了抗干扰能力和输出脉冲的前沿陡度,脉冲的宽度也有较大的调节范围。该型触发器在单相、三相全控桥式供电装置中,用作晶闸管的双路脉冲移相触发。其主要技术参数如下:

- (1)电源电压:直流 $+15\text{V}$ 、 $-15\text{V}$ ,允许波动 $\pm 5\%$ ( $\pm 10\%$ 时功能正常);
- (2)电源电流:正电流 $\leq 15\text{mA}$ ,负电流 $\leq 8\text{mA}$ ;
- (3)同步电压:任意值(一般交流 $30\text{V}$ );
- (4)同步输入端允许最大同步电流: $3\text{mA}$ (有效值);
- (5)移相范围: $\geq 170^\circ$ (同步电压 $30\text{V}$ ,同步输入电阻 $30\text{k}\Omega$ );
- (6)锯齿波幅度: $\geq 10\text{V}$ (幅度以锯齿波平顶为准);
- (7)输出脉冲:①宽度: $100\mu\text{s}\sim 2\text{ms}$ (改变阻容元件达到);②幅度: $\geq 13\text{V}$ ;③最大输出能力: $100\text{mA}$ (流出脉冲电流);④输出管反压: $BU_{\infty} \geq 18\text{V}$ (测试条件 $I_c = 100\mu\text{A}$ )。
- (8)正负半周脉冲相位不均衡: $\leq \pm 3^\circ$ 。

### 5.2.4 KC08 型集成触发器

KC08 型集成触发器是晶闸管过零触发器。过零触发又称为开关式控制,它是在电源电压过零处触发晶闸管,克服了高次谐波造成的电源电压波形畸变以及产生射频无线电干扰,使输出仍为正弦波,通过改变输出波数来改变输出功率,从而解决了相位控制带来的缺点。KC08 型集成触发器可用于恒温箱的温度控制,单相或三相交流电机和电器的无触点开关、交流灯光闪烁器等,作为零触发用。触发器内部有自生直流稳压电源,可直接用于交流电网。其主要技术参数如下:

(1)电源电压:①自生直流电源电压: +12 ~ +14V;②外接直流电源电压: +12 ~ +16V;

(2)电源电流:  $\leq 12\text{mA}$ ;

(3)自生电压电源输入端最大峰值电流:  $8\text{mA}$ ;

(4)输出脉冲:①最大输出能力:  $30\text{mA}$ (脉冲宽度  $400\mu\text{s}$  以内),可扩展输出能力;②输出脉冲幅度:  $\geq 13\text{V}$ ;③输出管反压:  $BU_{\infty} \geq 18\text{V}$ (测试条件  $I_c = 100\mu\text{A}$ );

(5)输入控制电压:“1”电平或“0”电平。

### 5.2.5 KC 型晶闸管集成触发器应用举例

KC 型晶闸管集成触发器应用举例见图 9.3.41 至图 9.3.44 所示。

## 5.3 接近开关专用集成电路

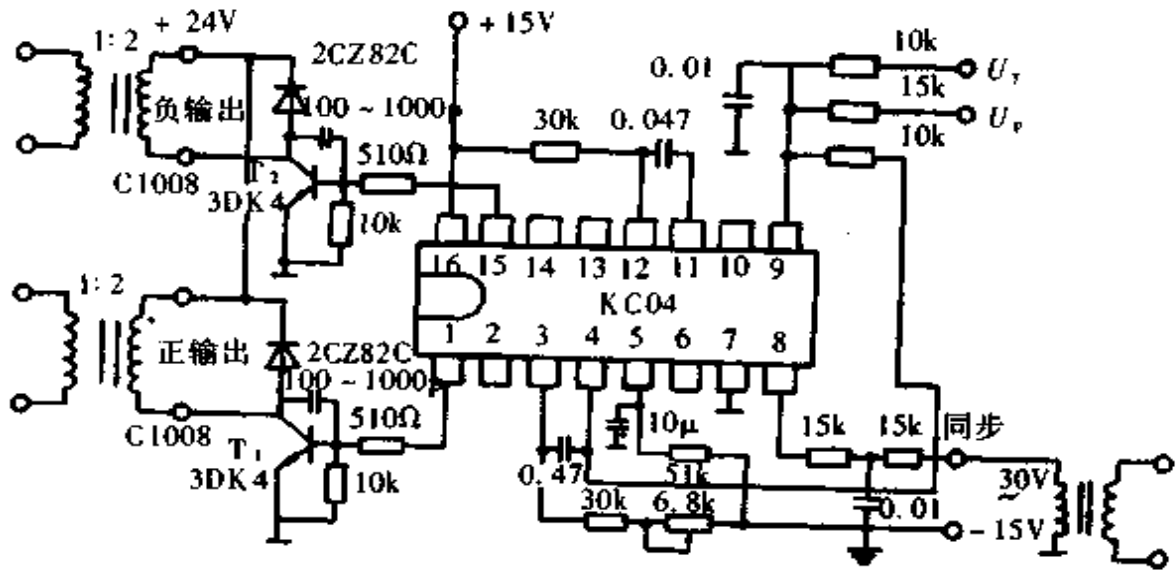
接近开关是一种无接触式物体检测开关。当物体接近开关的感应面达到动作距离时,不需机械接触及施加任何压力即可使开关动作,用于驱动交流或直流继电器,或给计算机装置提供控制指令。它广泛地应用于各种自动控制系统中,作为限位、计数、定位控制和自动保护环节。接近开关的使用寿命长、工作可靠、重复定位精度高、无机械磨损,无火花、无噪音、抗振能力强,其应用范围日益扩大,发展极其迅速。

随着微电子技术的发展,接近开关采用专用集成电路越来越多。下面介绍两种接近开关专用集成电路。

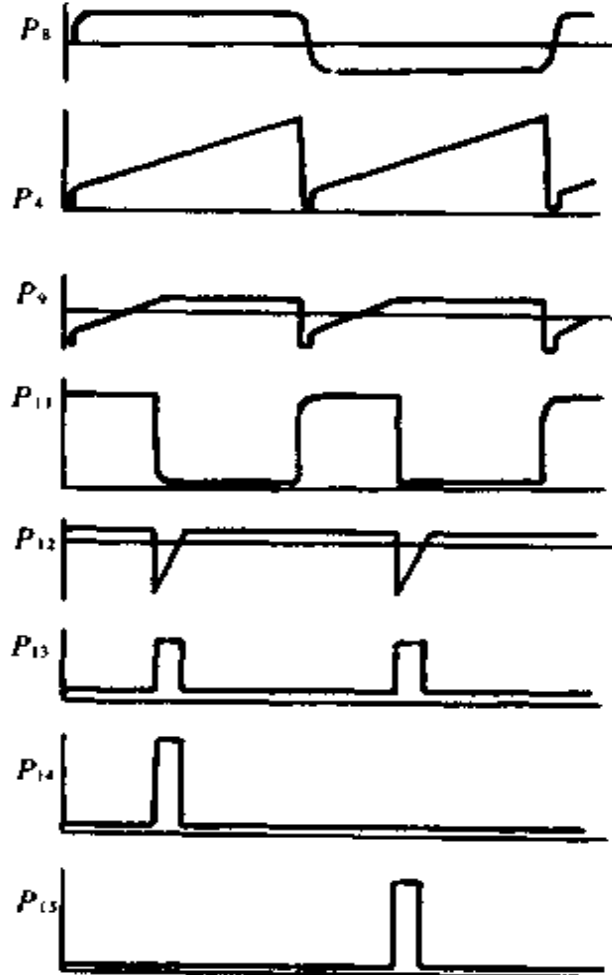
### 5.3.1 SC205(TCA205)型专用集成电路

该集成电路由振荡、整流、门限比较、滤波放大、滞后控制、分相输出、延时接通及内部稳压等电路组成。当专用集成电路接上外围元件,并装入外壳后,即能构成接近开关。该集成电路以电感线圈为感应头,当任何金属靠近感应头时,开关就能发出控制信号。由于该专用电路内部设置了检测距离及滞后距离调节回路,所以检测距离及滞后回环距离都能分别被调至所需的最佳位置。同时,专用集成电路内部还设置了性能优良的稳压环节,所以当使用电压从  $4.75 \sim 30\text{V}$  内变化时,都能稳定工作,并能保证高的定位精度和重复定位精度。SC205 型电路内部还设置了延时输出电路,有效地避免了在接通电源瞬间所产生的误动作。输出采用了集电极开路形式,最大输出电流可达  $50\text{mA}$ (实际上是灌入电流),并具有正反逻辑同时输出功能,因而能和各种数字电路输入电平相容,当和计算机或可编程程序控制器相配时,它也是理想的接口。





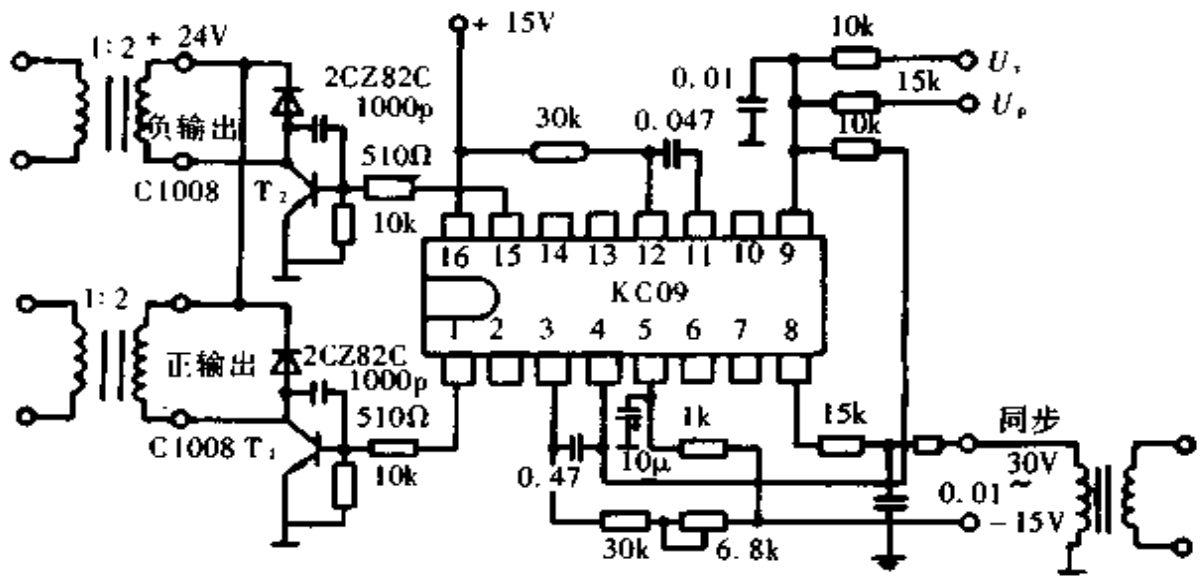
(a)



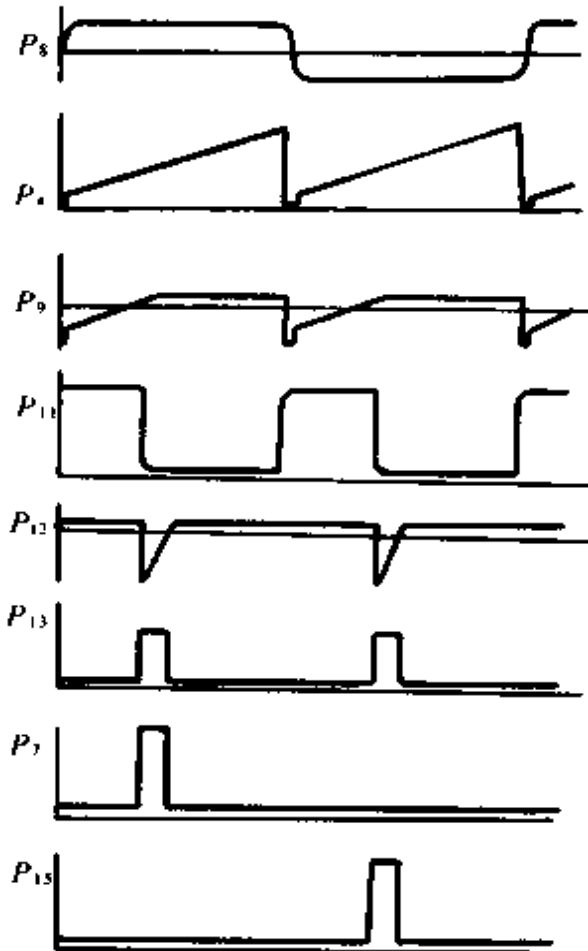
(b)

图 9.3.42 KC04 型电路应用及各点波形

(a) 电路应用实例 (b) 各点波形



(a)



(b)

图 9.3.43 KC09 型电路应用及各点波形

(a)应用电路 (b)各点波形

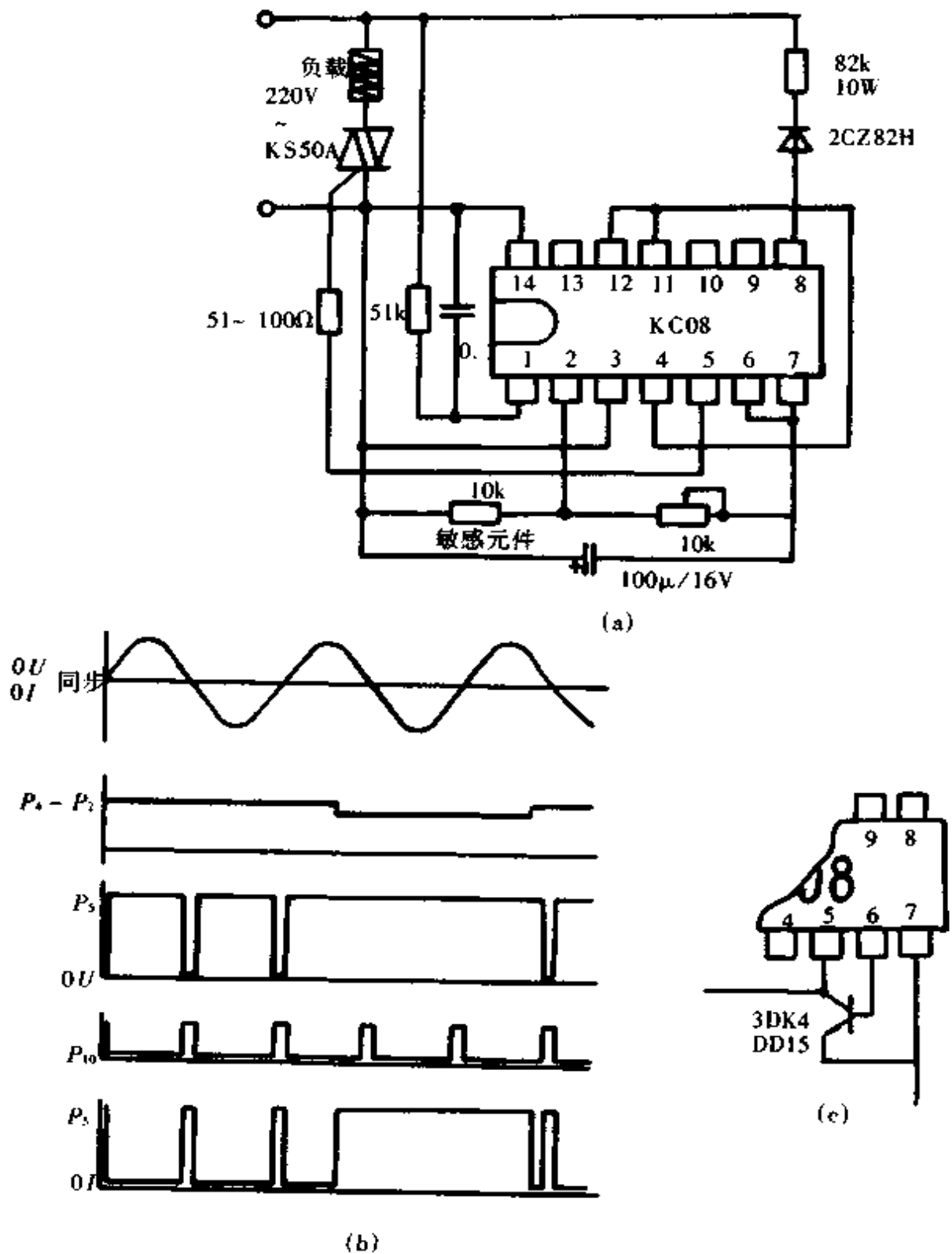


图 9.3.44 KC08 型电路应用及各点波形  
 (a)应用电路 (b)各点波形 (c)功率扩展接法

SC205(TCA205)型专用集成电路有 14 脚双列直插式封装和 8 脚扁平封装的 TCA205W<sub>I</sub>、TCA205W<sub>II</sub> 两种。外引线端可以直接外接动作距离调节电阻和滞后调节电阻,使用方便。其主要技术参数如表 9.3.36 至表 9.3.38 所列,其管脚排列如图 9.3.45 所示。

表 9.3.36 SC205(TCA205)型专用集成电路

参数名称	符 号	极限值	单 位
电源电压	$U_{CC}$	4.75 ~ 30	V
输出电压	$U_O$	$U_{CC}$	V
输出电流	$I_O$	50	mA
热 阻	$R_{th(amb)}$	120	k $\Omega$ /W
工作温度	$T_{amb}$	-40 ~ +85	℃
贮存温度	$T_S$	-55 ~ +125	℃

表 9.3.37 SC205(TCA205)型专用集成电路工作范围

参数名称	符 号	推 荐 值	单 位
电源电压	$U_{CC}$	5 ~ 24	V
环境温度	$T_a$	0 ~ 50	℃

表 9.3.38 SC205(TCA205)型专用集成电路电特性( $U_{CC} = 12V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ )

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电流	$I_{CC}$	$I_O = 0$		3	5	mA
饱和电压	$U_{sat}$	$I_O = 5mA$		0.8	1.0	V
饱和电压	$U_{sat}$	$I_O = 50mA$		1.25	1.5	V
输出漏电流	$I_{O(1)}$	$U_{CC} = 30V$			100	$\mu A$
距离可调电阻	$R_d$		3			k $\Omega$
滞后可调电阻	$R_h$		0			
振荡频率	$f_{osc}$		0.015		1.5	MHz
振荡频率不接电容器 TCA205W <sub>I</sub> 、TCA205W <sub>II</sub>	$f_{osc}$		1		1.5	MHz
接通延时(TCA205W <sub>II</sub> 除外)	$t$			200		ms/ $\mu F$
积分电容(端子 3; 只有 TCA205A 接)	$C_2$		0		10	nF



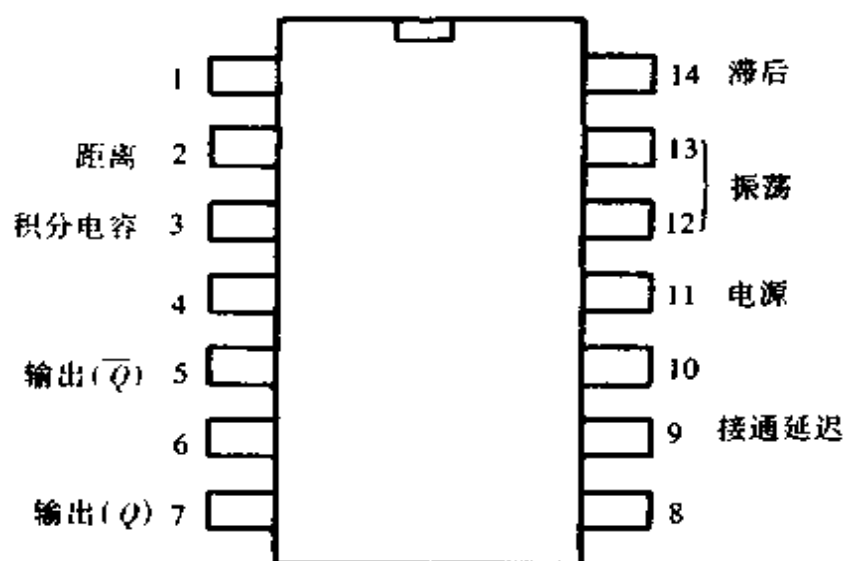


图 9.3.45 SC205(TCA205)型电路管脚排列

### 5.3.2 SC305(TCA305)型专用集成电路

SC305(TCA305)型电路的性能比 SC205(TCA305)型电路有了提高,其电源电流小,饱和压降低。封装形式有:14脚双列直插式塑料封装(PIP-14),型号为 SC305(TCA305A);14脚扁平封装(SO-14),型号为 TCA305G,此外还有 TCA305K 型微型封装。其主要技术参数如表 9.3.39 至表 9.3.41 所列,其管脚排列如图 9.3.46 所示。

表 9.3.39 SC305(TCA305)型专用集成电路极限参数

参数名称	符 号	极限值	单 位
电源电压	$U_{CC}$	30	V
输出电压	$U_O$	30	V
输出电流	$I_O$	25	mA
积分电容(外接)	$C_1$	10	$\mu F$

表 9.3.40 SC305(TCA305)型专用集成电路工作范围

参数名称	符 号	推 荐 值	单 位
电源电压	$U_{CC}$	5~30	V
振荡频率	$f_{osc}$	0.015~1.5	MHz
环境温度	$T_{amb}$	-25~+85	$^{\circ}C$

表 9.3.41 SC305(TCA305)型专用集成电路电特性 ( $U_{CC} = 12V, T_A = 25^{\circ}C$ )

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电流(开路时)	$I_{CC}$	各脚开路		0.6	1.0	mA
低电平电压(每个输出端)	$U_{OL}$	$I_{OL} = 5mA$ $I_{OL} = 16mA$		0.15	0.25 0.4	V
高电平时的反向电流(每个输出端)	$I_{OH}$	$U_{OH} = 30V$			10	$\mu A$
门限电压(3脚上)	$U_{S3}$			2.1		V
回差值(3脚上)			0.4	0.5	0.6	V
动作距离调节电阻	$R_d$	$R_b \rightarrow \infty$	1		50	k $\Omega$
回差调节电阻	$R_b$	$R_d \rightarrow \infty$	1		50	k $\Omega$
接通延时	$t_v$		200	300	400	ms/ $\mu F$
开关频率(无 $C_1$ 时)	$f_s$				5	kHz

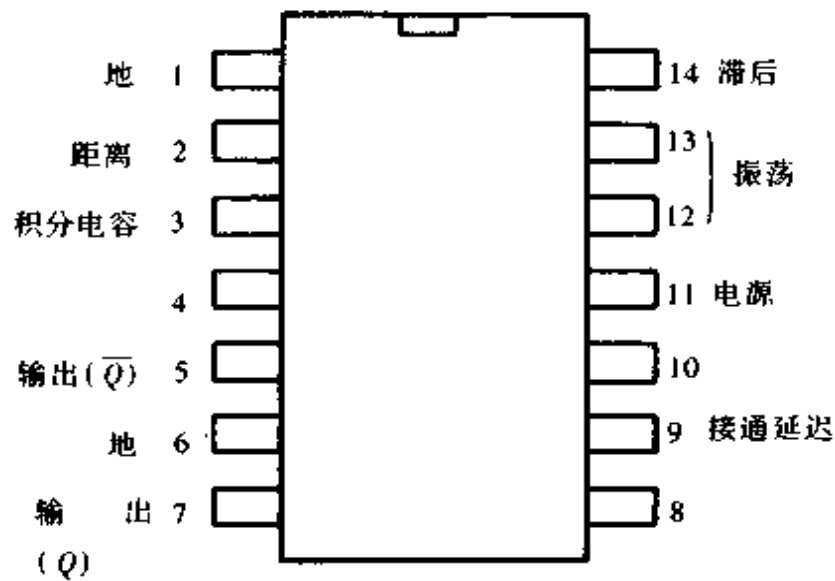


图 9.3.46 SC305(TCA305A)型电路管脚排列

### 5.3.3 国内外接近开关专用集成电路对照

国内外接近开关专用集成电路对照见表 9.3.42。

表 9.3.42 国内外接近开关专用集成电路对照表

中国	(德国)西门子公司	备 注
SC205	TCA205 TCA205W <sub>I</sub> TCA205W <sub>II</sub>	14脚双列直插式封装 8脚扁平封装 8脚扁平封装
SC305	TCA305 A	14脚双列直插式封装

### 5.3.4 SC205(TCA205)型专用集成电路应用举例

5.3.4.1 SC205(TCA205)型电路的外围电路 见图 9.3.47 和表 9.3.43。

表 9.3.43 外围电路元件选择参数(仅列出两个规格)

罐状铁心	∅14	∅18
线圈电感量 $L(\mu\text{H})$	100	220
线圈匝数	50	80
线圈线径(mm)	$7 \times 0.05$	$7 \times 0.05$
振荡电容 $C_1(\text{pF})$	2000	2000
振荡频率 $f(\text{Hz})$	400	200
距离电阻 $R_d(\text{k}\Omega)$	6.8	39
滞后电阻 $R_h(\Omega)$	560	560

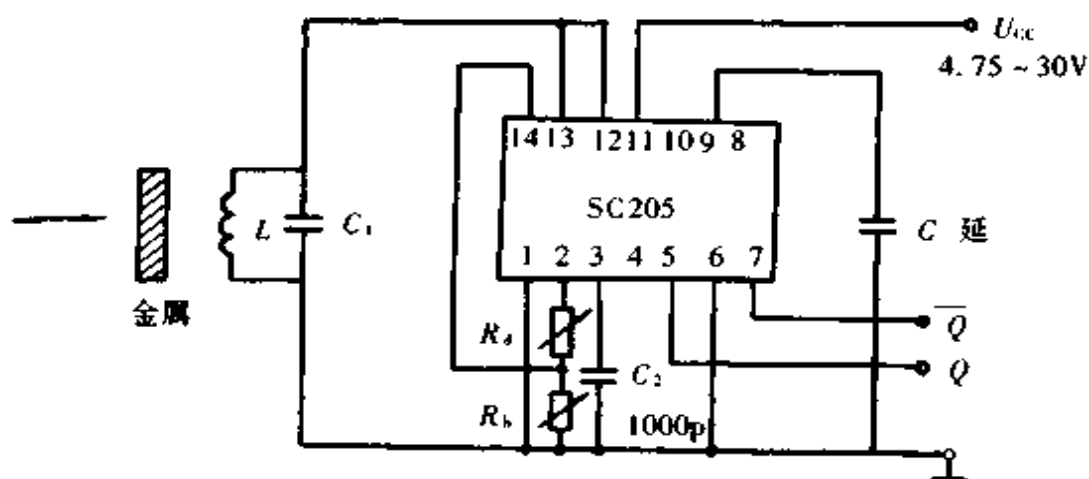


图 9.3.47 SC205 型电路的外围电路

5.3.4.2 典型应用举例 见图 9.3.48 至图 9.3.51 所示。

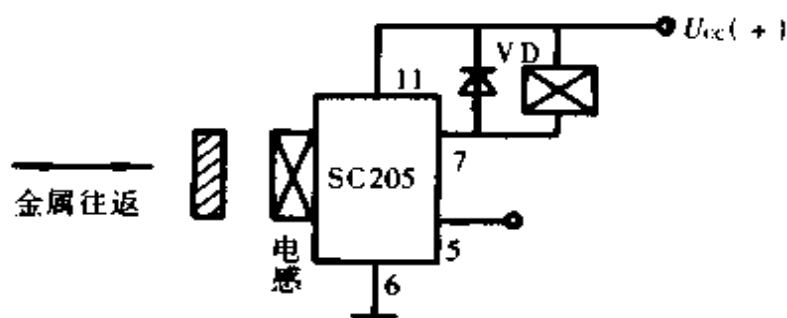


图 9.3.48 SC205 型电路驱动继电器

注： $U_c$  随继电器使用电压而定，VD 为保护二极管

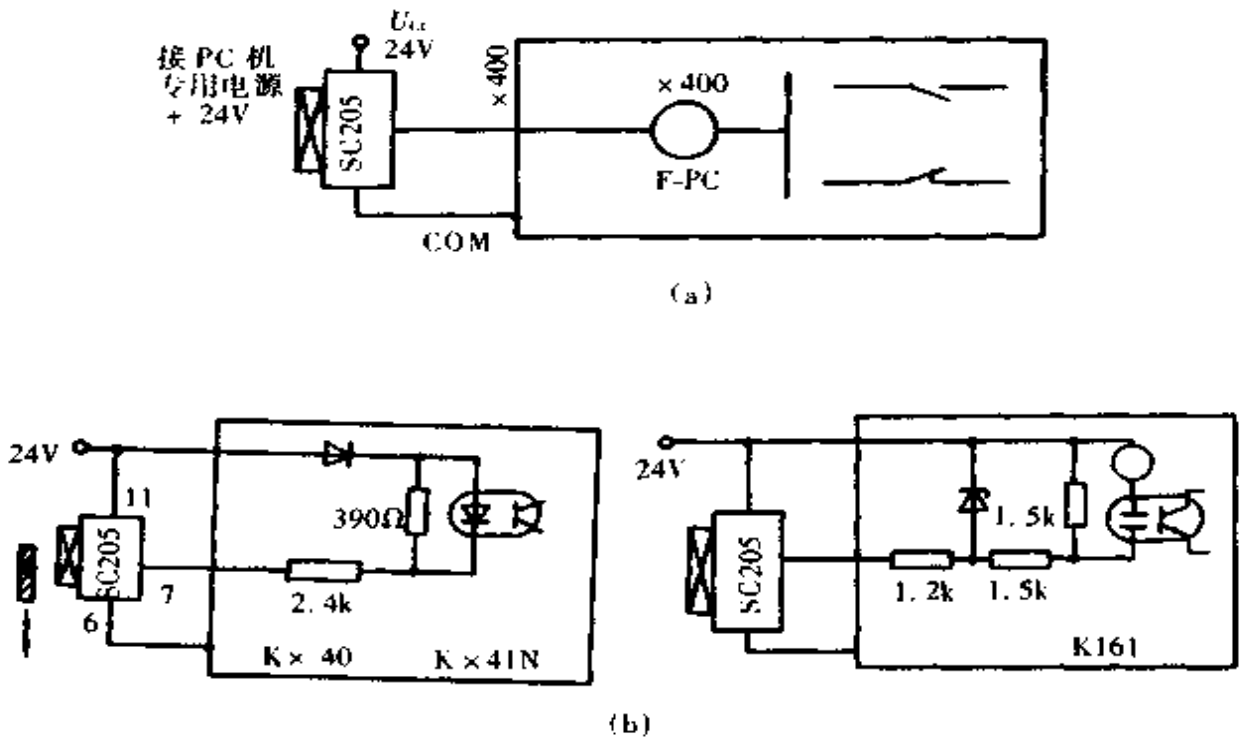


图 9.3.49 SC205 型电路与三菱 FK 系列 PC(可编程序控制器)接口

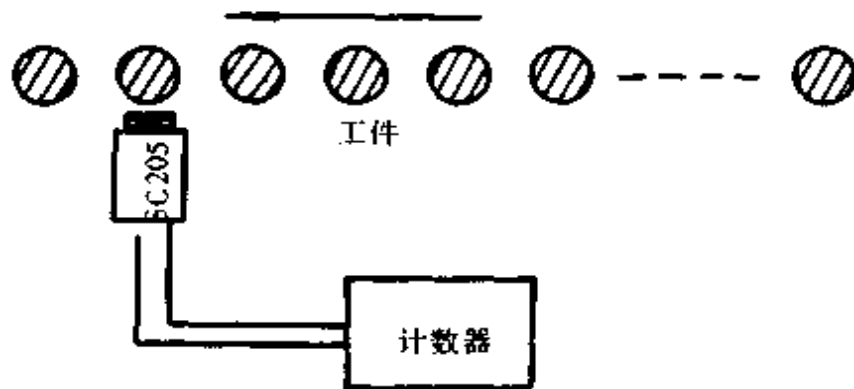


图 9.3.50 SC205 型电路用于计数

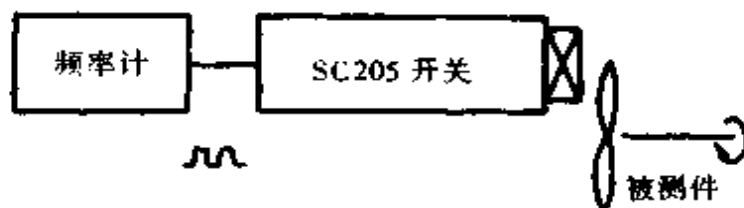


图 9.3.51 SC205 型电路用于测速

## 5.4 电动机保护器专用集成电路

三相异步电动机是量大面广的产品,可广泛地用于机床、水泵、鼓风机、起重卷扬设备、轻工机械、农副产品加工机械等。三相异步电动机在各种电动机中应用最广、需要量最大,电力传动机械中有 90% 左右由异步电动机驱动,其用电量约占全国电网总负荷的一半以上。

异步电动机(以下简称电动机)使用非常广泛,一旦发生故障将直接影响生产和人们的生活。电动机的故障主要有两类:一类是机械类故障,一类是电气类故障,此外还有通风散热不良等。电动机的电气故障通常以绕组绝缘过热而导致损坏者居多,绕组过热多由于过电流所造成。其原因有:过载、三相电压不平衡、断相、反相、短路、繁重工作制(点动、堵转)或通风堵塞等。因此,安装合适的电动机保护器是保证电动机正常运行和不受损坏的必要措施。

电动机保护器种类很多,目前用得最多、最普遍的是双金属片式热继电器、电动机保护用断路器、电子式保护继电器以及直接检测电动机绕组温升的温度继电器(PTC 热敏电阻式)等。电子式电动机保护继电器的特点是保护精度高,易于实现多功能化,动作特性调节方便、节能,因此用一台电子式电动机保护继电器可以满足各种不同保护的需要。下面介绍电动机保护器专用集成电路。

### 5.4.1 SJM 型专用集成电路

SJM 型专用集成电路由 SJM-01 和 SJM-02 两块电路组成,其原理框图分别如图 9.3.52 和图 9.3.53 所示。

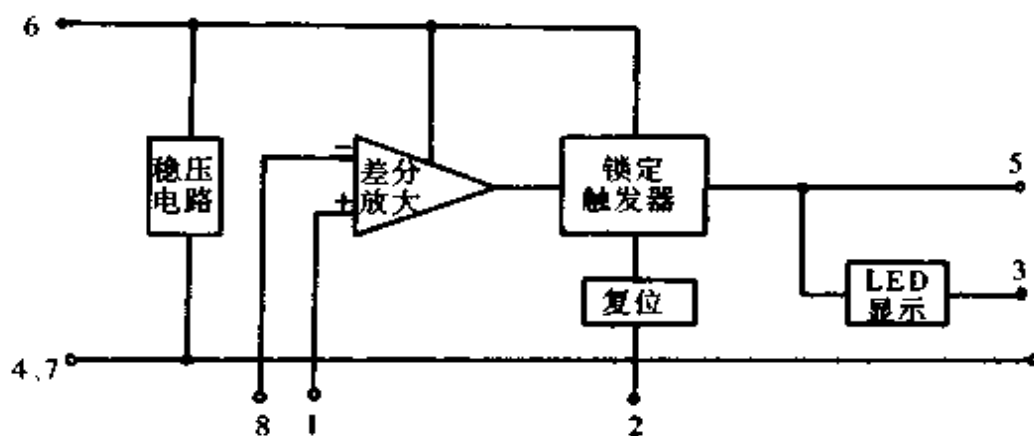


图 9.3.52 SJM-01 型电路原理框图

SJM-01 是由稳压电路、差分放大器、锁定触发器、复位电路、LED 显示电路等构成。差分放大器用来放大故障信号,故障信号可以是漏电、反相等。当输入到差分放大器的信号达到 10mV 以上,经放大后即能触发锁定触发器。锁定触发器接收到差分放大的输出信号时,立即触发翻转,并能保持锁定记忆状态,同时输出电

流去触发晶闸管或晶体管,从而切断主电源。锁定触发器一旦触发,即能保持稳定状态,不受输入信号影响,只有当故障排除或断电后才能恢复初始状态。利用复位电路也可使锁定触发器强制复位。LED显示电路的作用是显示故障类别。

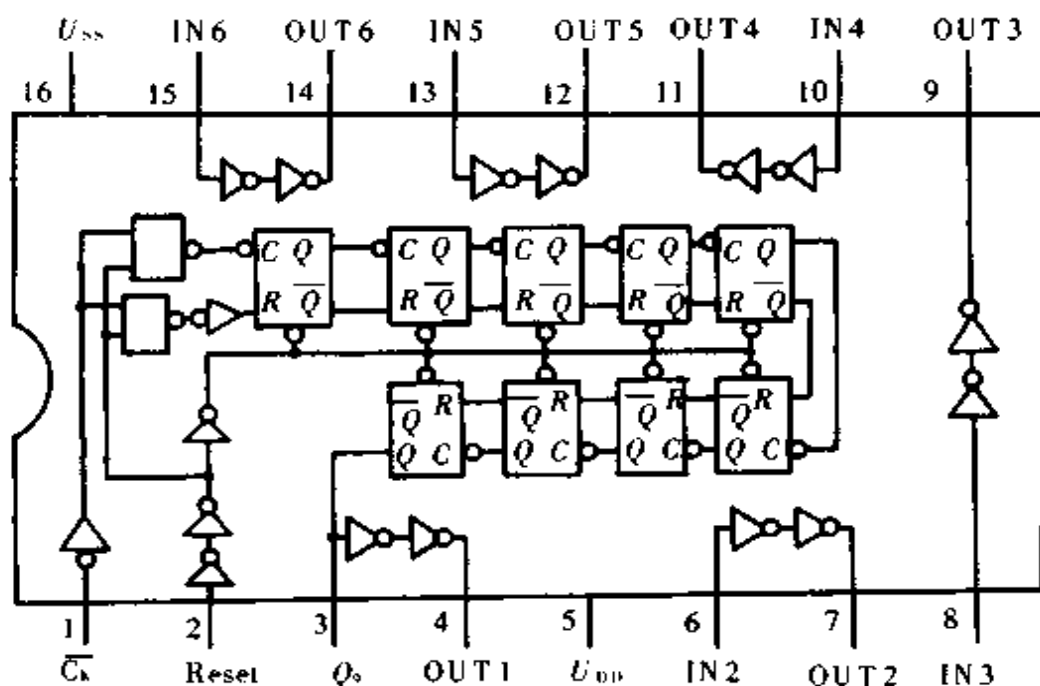


图 9.3.53 SJM-02 型电路原理框图

SJM-02 是由 9 级行波进位二进制计数器和两个六反相器构成。计数器电路由九个 T 型触发器组成,它每一级都具有缓冲输出,时钟输入端还有施密特整形电路,因此可以直接输入上升或下降时间缓慢的信号进行计数。当接收故障信号(断相)时,它会在 2.56s 内发出输出信号,触发晶闸管或晶体管,迅速切断主电路。电路在输入时钟下降沿计数,当复位端“R”为高电平时,整个计数器清零。电路中一个六反相器用作驱动 LED 发光二极管,以判别故障类别(过载、断相、短路)。当出现过载并达到一定门限电压时,经过一段延时,其延时时间将随输出电压的增大(即负载电流增大)而减小。过载倍数大,延时时间短;反之,过载倍数小,则延时长,符合反时限特性要求。这时过载信号驱动 SJM-02 内部六反相器,然后触发晶闸管或晶体管,使继电器动作,切断主电路,电动机得到了保护。短路保护和过载保护共用一个测量电路而用不同门限电压的鉴幅器进行鉴幅。短路保护不需要延时,可以直接触发晶闸管或晶体管,从而使主电路快速分断。

#### 5.4.2 SJM 型专用集成电路主要技术参数

5.4.2.1 SJM-01 型专用集成电路 见表 9.3.44 和表 9.3.45 所列。

表 9.3.44 SJM-01 型专用集成电路极限参数

参数名称	符 号	极限值	单 位
最大静态电压范围	$U_{SM}$	9.5	V
最大工作电流	$I_{COM}$	20	mA
静态功耗	$P_D$	200	mW
工作温度范围	$T_{opr}$	0~70	℃
贮存温度	$T_{stg}$	-55~+125	℃

注:除非另有规定,这些极限值在整个工作温度范围内适用。

表 9.3.45 SJM-01 型专用集成电路电特性

(除非另有规定,一般  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $U_{CC} = 12\text{V}$ ,  $R_S = 1.5\text{k}\Omega$ )

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
静态电流	$I_S$			2.6	3.0	mA
静态电压	$U_S$		7.5	8	9	V
基准电压	$U_{RI}$		0.8	1.2	1.5	V
	$U_{RH}$		1.3	1.6	2.3	
动作电压	$U_T$	$I_O = 0.5\text{mA}$	7	15	25	mV
输出高电平	$U_{OH}$	$I_O = 0$	3.5			V
输出低电平	$U_{OL}$	$I_O = 0$			0.3	V
输出电流	$I_O$	$R_L = 1\text{k}\Omega$	0.5	0.8		mA
LED 驱动电流	$I_{LED}$	$r_{sd} \leq 1\text{V}$	2			mA

5.4.2.2 SJM-02 型专用集成电路 见表 9.3.46 和表 9.3.47 所列。

表 9.3.46 SJM-02 型专用集成电路静态参数

参数名称	符号	测试条件			规范值				单位
		$U_{i1}$ (V)	$U_{iN}$ (V)	$U_{i10}$ (V)	-40	+85	+2s		
							最小值	最大值	
静态电流	$I_{i0}$ max	—	0.5	5	5	150	—	5	$\mu\text{A}$
		—	0.10	10	10	300	—	10	
		—	0.15	15	20	600	—	20	
		—	0.18	18	100	3000	—	100	
输出低电平电流	$I_{o1}$ min	0.4	0.5	5	0.61	0.42	0.51	—	$\text{mA}$
		0.5	0.10	10	1.50	1.1	1.3	—	
		1.5	0.15	15	4	2.8	3.4	—	
输出高电平电流	$I_{o1}$ min	4.6	0.5	5	-0.61	-0.42	-0.51	—	$\text{mA}$
		2.5	0.5	5	-1.8	-1.3	-1.6	—	
		9.5	0.10	10	-1.5	-1.1	-1.3	—	
		13.5	0.15	15	-4	-2.8	-3.4	—	
输出低电平电压	$U_{o1}$ max	—	0.5	5	0.05	—	0.05	$\text{V}$	
		—	0.10	10	0.05	—	0.05		
		—	0.15	15	0.05	—	0.05		
输出高电平电压	$U_{o1}$ min	—	0.5	5	4.95	4.95	—	$\text{V}$	
		—	0.10	10	9.95	9.95	—		
		—	0.15	15	14.95	14.95	—		
输入低电平电压	$U_{i1}$ max	0.5, 4.5	—	5	1.5	—	1.5	$\text{V}$	
		1.9	—	10	3	—	3		
		1.5, 13.5	—	15	4	—	4		
输入高电平电压	$U_{i1}$ min	0.5, 4.5	—	5	3.5	3.5	—	$\text{V}$	
		1.9	—	10	7	7	—		
		1.5, 13.5	—	15	11	11	—		
输入电流	$I_{iN}$	—	0.18	18	$\pm 0.1$	$\pm 1$	—	$\pm 0.1$	$\mu\text{A}$

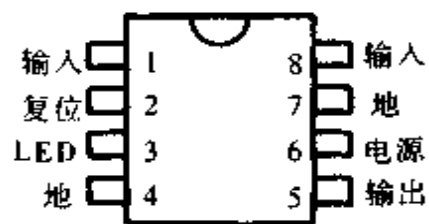


表 9.3.47 SJM-02 型专用集成电路动态参数  
 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $t_r, t_f = 20\text{ns}$ ,  $C_L = 50\text{pF}$ ,  $R_L = 200\text{k}\Omega$ )

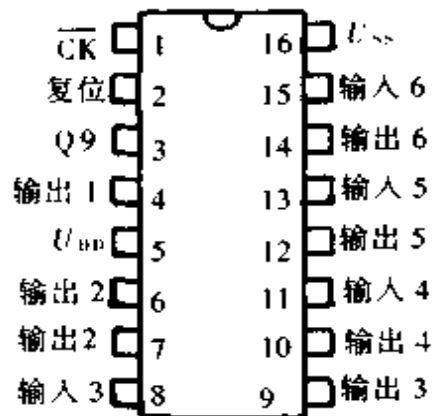
参数名称	符号	测试条件 $U_{DD}$	规 范 值		单位
			最小值	最大值	
传输延迟时间 $\phi$ 到 $Q_1$	$t_{PHL}$ $t_{PLH}$	5	—	360	ns
		10	—	160	
		15	—	130	
$Q_n$ 到 $Q_{n+1}$	$t_{PHL}$ $t_{PLH}$	5	—	200	
		10	—	80	
		15	—	60	
转换时间	$t_{PHL}$ $t_{PLH}$	5	—	200	
		10	—	100	
		15	—	80	
最小输入脉冲宽度	$t_w$	5	—	140	
		10	—	60	
		15	—	40	
输入脉冲上升或下降时间	$t_{\uparrow}$ $t_{\downarrow}$	5	无限制		
		10			
		15			
最高输入频率	$f_{\uparrow}$	5	3.5	—	MHz
		10	8	—	
		15	12	—	
输入电容	$C_{in}$	任一输入端	—	7.5	pF
传输延迟时间 $R$ 到 $Q_n$	$t_{PHL}$	5	—	280	ns
		10	—	120	
		15	—	100	
最小复位脉冲宽度	$t_w$	5	—	200	
		10	—	80	
		15	—	60	
复位脉冲撤清时间	$t_{REM}$	5	—	350	
		10	—	150	
		15	—	100	

### 5.4.3 SJM-01 型专用集成电路管脚排列

SJM-01 型专用集成电路管脚排列及其应用电路, 见图 9.3.54 和图 9.3.55 所示。



(a)



(b)

图 9.3.54 SJM-01 型电路管脚排列

(a)SJM-01 (b)SJM-02

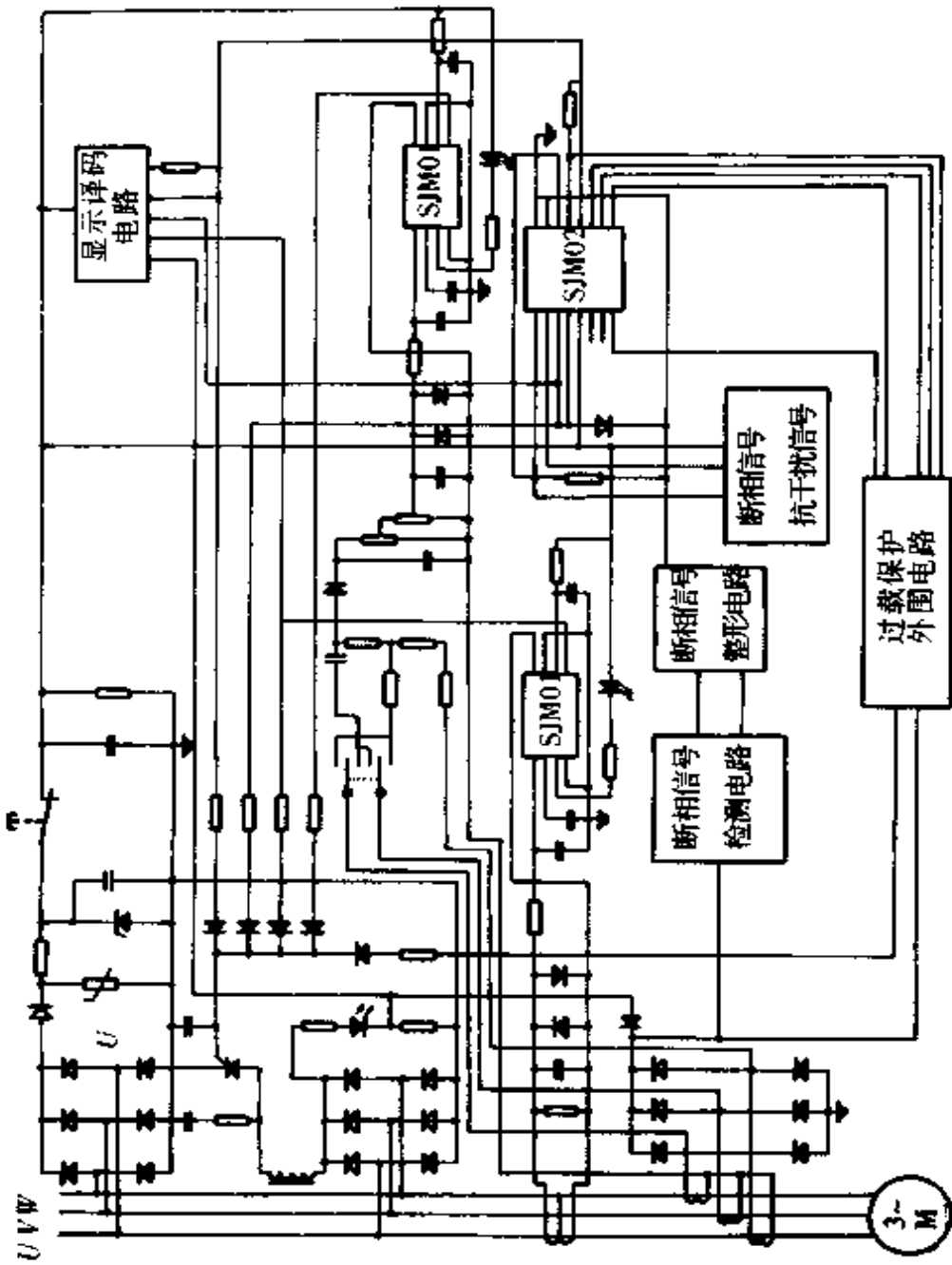


图 9.3.55 SJM 型专用集成电路应用线路图

## 5.4.4 SJM 型专用集成电路应用举例

见图 9.3.56。

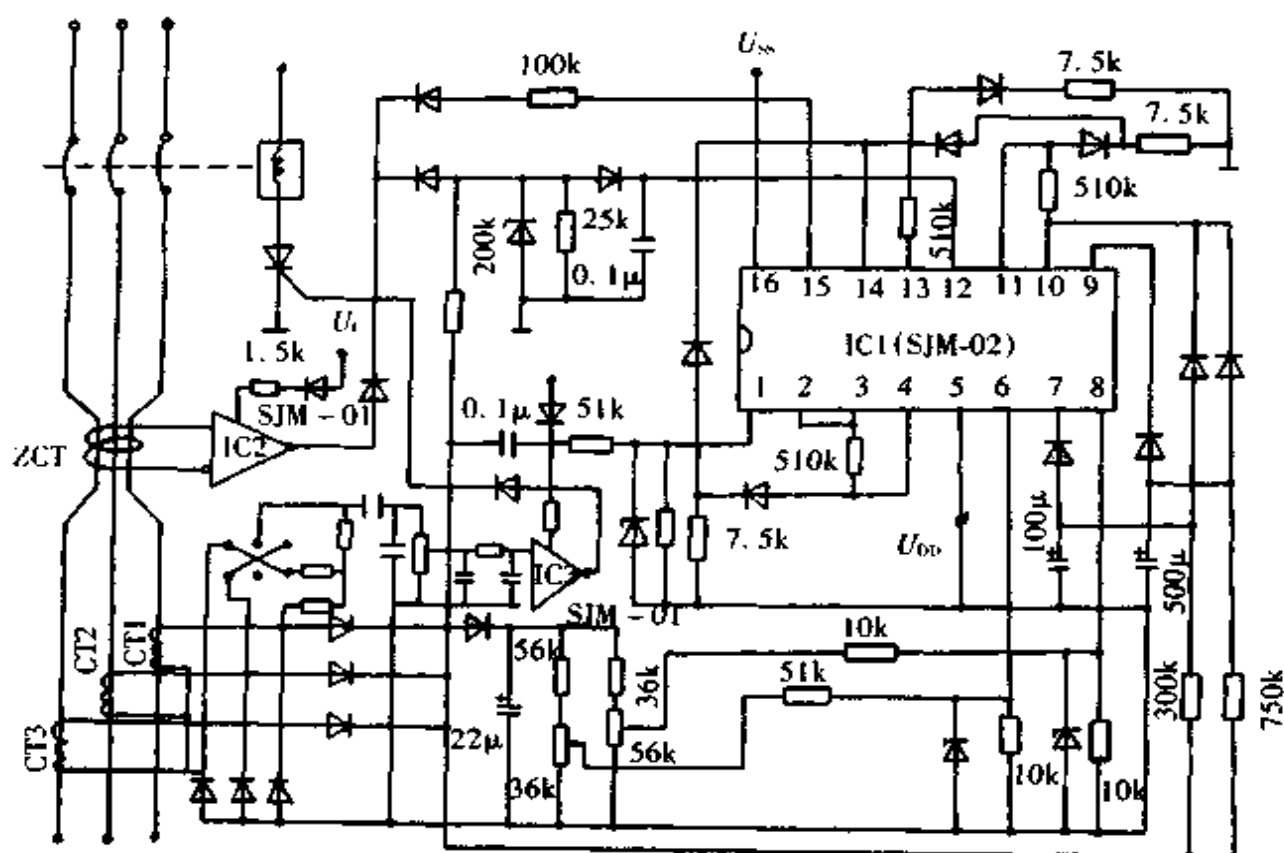


图 9.3.56 电动机保护专用集成电路应用线路图

## 5.5 步进电动机控制专用集成电路

步进电动机是一种能把电脉冲信号转换成与脉冲数成正比的角位移或直线位移的执行元件。其速度与脉冲频率成正比,可通过改变脉冲频率在宽广范围内调速。由于其输入为电脉冲,因而易于与电子计算机或其他数字元器件接口,适用于数字控制系统。它具有较好的开环稳定性、响应快、结构简单、寿命长等优点。

SG8713 型专用集成电路是专为用于步进电动机控制而设计的电路。它具有把基准时钟分配给 3 相或 4 相的功能,励磁方法有 1 相、2 相和 1~2 相三种,每种可通过几个控制端的输入码进行切换。本专用集成电路还具有双时钟输入和单时钟输入,其正转/反转和瞬间停转等功能,皆可通过微机进行数字控制,即编程的方法来实现,也可以用简单的硬件逻辑来控制。

## 5.5.1 结构框图

结构框图见图 9.3.57。

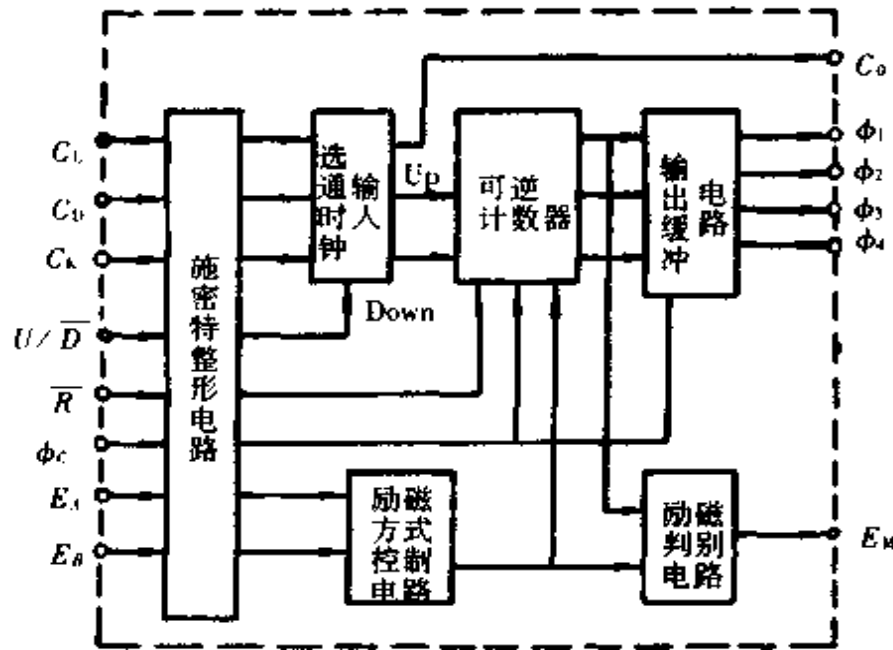


图 9.3.57 SG8713 型电路结构框图

5.5.2 真值表

真值表见表 9.3.48。

表 9.3.48 SG8713 型电路真值表

励磁方式	旋转方向	时钟方式	输入								输出 <sup>①</sup>			
			$\bar{R}$	$\phi_c$	$E_A$	$E_B$	$C_U$	$C_D$	$C_K$	$U/\bar{D}$	$C_O$	$E_M$	$\phi_1 \sim \phi_4$	
3 相	2 励磁	正转	2 输入 1 输入	H	L	L	L	L	L	L	X	H	图 9.3.58a	
		反转		H	L	L	L	L	L	L	X	L		图 9.3.58b
	1 励磁	正转	2 输入 1 输入	H	L	L	H	L	L	L	X	H	图 9.3.58c	
		反转						L	L	L	X	L		
		正转	2 输入 1 输入	H	L	H	L	L	L	L	X	H		图 9.3.58d
		反转						L	L	L	X	L		
	1~2 励磁	正转	2 输入 1 输入	H	L	H	H	L	L	L	X	H	图 9.3.58e	
		反转						L	L	L	X	L		

续表

励磁方式	旋转方向	时钟方式	输入								输出 <sup>①</sup>	
			$\bar{R}$	$\phi_c$	$E_A$	$E_B$	$C_U$	$C_D$	$C_K$	$U/\bar{D}$	$C_n, E_M, \phi_1 - \phi_4$	
4 相	2 励磁	正转	H	H	L	L	$\Pi$	L	L	X	图 9.3.58f	
		1 输入					L	L	$\Pi$	H		
	反转	2 输入	L	$\Pi$	L	X	图 9.3.58g					
		1 输入	L	L	$\Pi$	L						
	1 励磁	正转	H	H	L	H		$\Pi$	L	L	X	图 9.3.58h
		1 输入						L	L	$\Pi$	L	
		反转	2 输入	L	$\Pi$	L	X	图 9.3.58i				
			1 输入	L	L	$\Pi$	L					
	1-2 励磁	正转	H	H	H	H	$\Pi$		L	L	X	图 9.3.58j
		1 输入					L		L	$\Pi$	H	
反转	2 输入	L	$\Pi$	L	X	图 9.3.58j						
	1 输入	L	L	$\Pi$	L							

注：①各种励磁方式的输出( $C_n, E_M, \phi_1 - \phi_4$ )见图 9.3.58。

### 5.5.3 波形图

波形图见图 9.3.58。

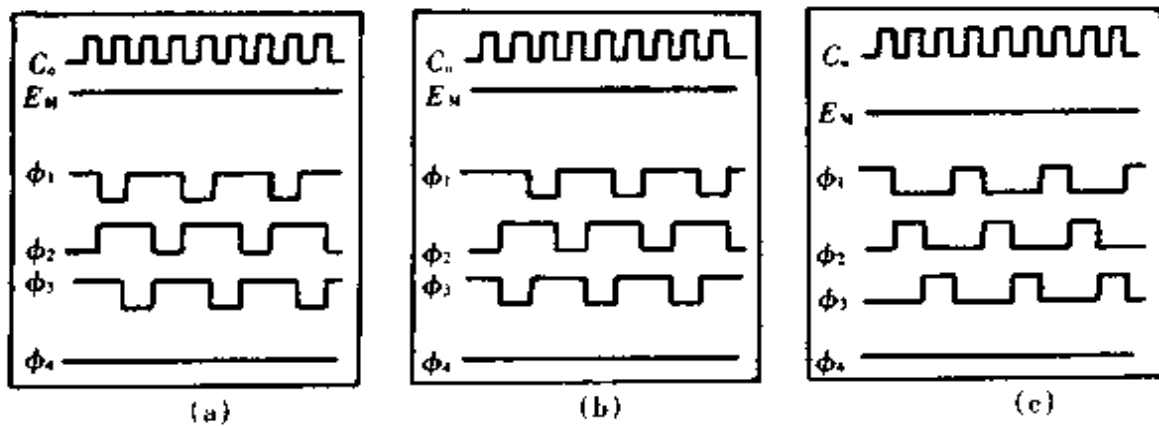


图 9.3.58 SG8713 型电路波形图(一)

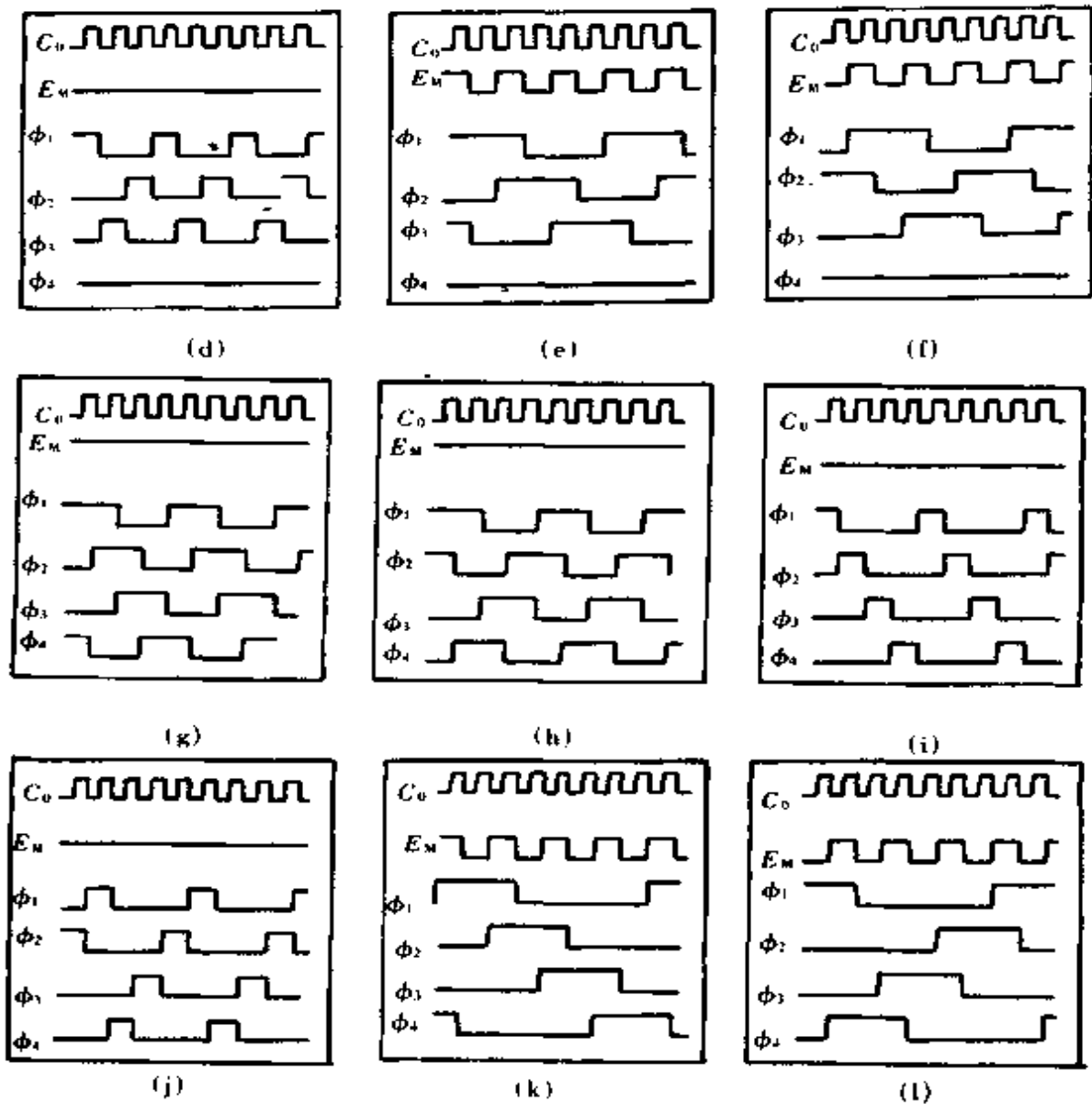


图 9.3.58 SG8713 型电路波形图(二)

### 5.5.4 管脚排列及各个端子功能说明

图 9.3.59 为管脚排列图,各管脚的功能如下:

1 脚: $C_U$  端——正转时钟输入端。当有脉冲输入时,那么在输出端  $\phi_1 \sim \phi_4$  将有正转脉冲序列输出。

2 脚: $C_D$  端——反转时钟输入端。当有脉冲输入时,在输出端  $\phi_1 \sim \phi_4$  将有反转脉冲序列输出。

3 脚: $C_K$  端——正/反转时钟输入端。本电路有两种时钟输入模式,第一种双时钟输入模式,就是将正、反转时钟分别输入到对应的  $C_U$  或者  $C_D$ ;第二种是单时钟输入模式,无论是正转时钟还是反转时钟都送到  $C_K$  输入端,而正/反转控制则

由 4 脚端子  $U/\bar{D}$  控制。

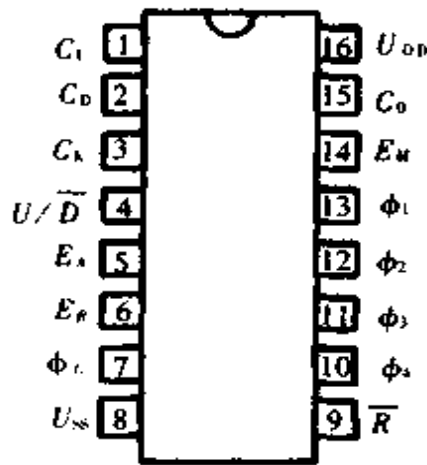


图 9.3.59 SG8713 型电路管脚排列

4 脚:  $U/\bar{D}$  端——正/反转控制端。当电路处在单时钟输入时, 该端为“1”电平, 那么输出端输出正转脉冲序列; 该端为“0”电平, 即输出端输出反转脉冲序列。

5 脚、6 脚:  $E_A$ 、 $E_B$  端——励磁切换控制。当  $E_A$ 、 $E_B$  为“0”电平时, 输出为 2 励磁方式; 当  $E_A$ 、 $E_B$  为两个不同电平时, 输出为 1 励磁方式; 当  $E_A$ 、 $E_B$  都为“1”电平时, 输出为 1~2 励磁方式。所谓“2 励磁”, 就是  $\phi_1 \sim \phi_4$  输出端子的输出脉冲序列在任何时刻有两个端子为高电平, 其余都是低电平。1 励磁就是  $\phi_1 \sim \phi_4$  的输出在任何时刻上有 1 个端子为高电平, 其余都是低电平。1~2 励磁类推为 1 个高电平到 2 个低电平再到 1 个高电平相互交叠。

7 脚:  $\phi_c$  端——3 相/4 相控制。该端为“0”电平时, 输出为 3 相输出; 当为“1”电平时, 输出为 4 相输出。

8 脚:  $U_{ss}$  端——接地。

9 脚:  $\bar{R}$  端——复位控制端。该复位并不是把所有的输出端都复成零电平, 而是把输出端复成与输入方式对应的状态。复位的详细状态见表 9.3.49。

10 脚~13 脚:  $\phi_4$  端~ $\phi_1$  端——3/4 相输出。该输出端的驱动能力  $\geq 20\text{mA}$ , 可直接驱动步进电动机。若驱动能力不够, 则可外接放大器再去驱动步进电动机。

14 脚:  $E_M$  端——励磁方式检测。当  $E_M$  为高电平时, 输出为 2 励磁方式;  $E_M$  为低电平时, 输出为 1 励磁方式;  $E_M$  为脉冲输出时, 输出为 1~2 励磁方式。

15 脚:  $C_0$  端——输入时钟检测。当有时钟脉冲输入时, 在  $C_0$  端可测到与输入时钟相同的脉冲, 此端可作为时钟检测。

16 脚:  $U_{DD}$ ——电源端。



表 9.3.49 SG8713 型电路复位状态

励磁方式		输 入								输 出					
		$\bar{R}$	$\phi_C$	$E_A$	$E_B$	$C_U$	$C_D$	$C_K$	$U/D$	$C_O$	$E_M$	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$
3 相	2 励磁	L	L	L	L	X	X	X	X	—	H	H	L	H	L
	1 励磁	L	L	L	H	X	X	X	X	—	L	H	L	L	L
		L	L	H	L	X	X	X	X	—	L	H	L	L	L
	1~2 励磁	L	L	H	H	X	X	X	X	—	H	H	L	H	L
4 相	2 励磁	L	H	L	L	X	X	X	X	—	H	H	L	L	H
	1 励磁	L	H	L	H	X	X	X	X	—	L	H	L	L	L
		L	H	H	L	X	X	X	X	—	L	H	L	L	L
	1~2 励磁	L	H	H	H	X	X	X	X	—	H	H	L	L	H

注: X、L、H 表示电平; —: 表示不定状态。

### 5.5.5 主要技术性能参数

主要技术性能参数见表 9.3.50 和表 9.3.51 所列。图 9.3.60 所示为其输出特性。

表 9.3.50 SG8713 型电路极限参数

参数名称	符号	规 范 值	单 位
电源电压	$U_{DD}$	-0.5 ~ +6	V
输入电压	$U_{IN}$	-0.5 ~ $U_{DD} + 0.5$	V
输出电流	$I_O$	35	mA
工作温度	$T_A$	-40 ~ +85	℃
贮存温度	$T_{stg}$	-60 ~ +150	
功 耗	$P_D$	280 ( $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ ) 160 ( $T_A = +60^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ )	mW

表 9.3.51 SG8713 型电路直流参数 ( $T_A = -40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ,  $U_B = 0\text{V}$ )

项 目	符号	测 试 条 件			规 范 值			单 位	
		$U_{DD}$	$U_{IH}$	$U_{IL}$	最小	典型	最大		
输入电压	$U_{IH}$	5V			3.5	—	—	V	
		15V			11.0	—	—		
	$U_{IL}$	5V			—	—	1.5	V	
		15V			—	—	4.0		
输出电压	$U_{OH}$	5V	5V	0V	$I_{OH} = 0\text{mA}$	4.9	—	V	
		15V	15V	0V	$I_{OH} = 0\text{mA}$	14.9	—		
	$U_{OL}$	5V	5V	0V	$I_{OL} = 0\text{mA}$	—	0.1		
		15V	15V	0V	$I_{OL} = 0\text{mA}$	—	0.1		
输出 电 流	$\phi_1 \sim \phi_4$	$I_{OH}$	5V	5V	0V	$U_O = 2\text{V}$	-20	—	mV
			15V	15V	0V	$U_O = 12\text{V}$	-20	—	
		$I_{OL}$	5V	5V	0V	$U_O = 3\text{V}$	20	—	
			15V	15V	0V	$U_O = 3\text{V}$	20	—	
	$C_O \sim E_M$	$I_{OH}$	5V	5V	0V	$V_O = 2.5\text{V}$	-0.8	—	
			15V	15V	0V	$U_O = 12.5\text{V}$	-1.6	—	
		$I_{OL}$	5V	5V	0V	$U_O = 0.4\text{V}$	1.8	—	
			15V	15V	0V	$U_O = 0.4\text{V}$	3.6	—	
输入电流	$I_I$	15V				10	—	$\mu\text{A}$	
电源电流 (静态)	$I_{DD}$	15V	15V	15V		1	—	mA	

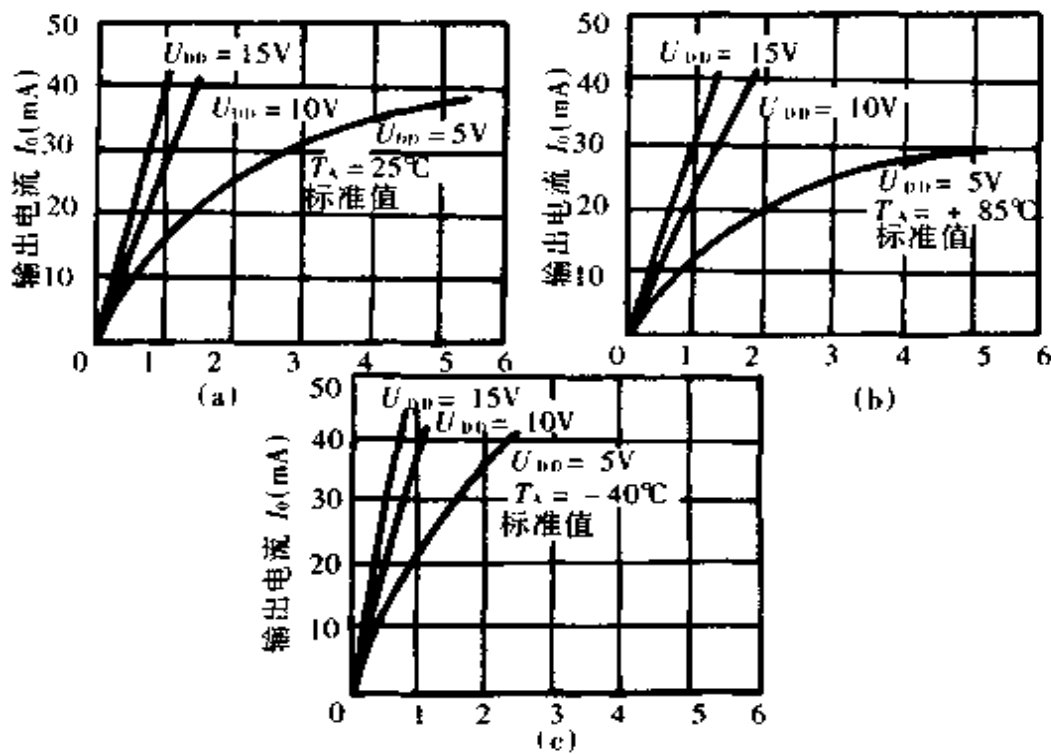


图 9.3.60 输出电流—输出电压曲线图

### 5.5.6 应用举例

应用举例如图 9.3.61 所示。

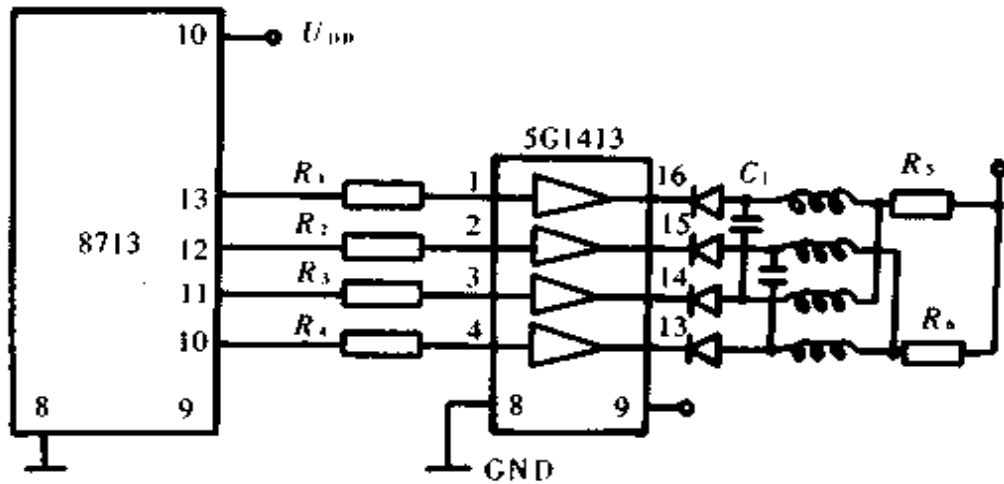


图 9.3.61 SG8713 型电路应用电路图

图中  $R_1 \sim R_4$  的选取为： $U_{DD} = 5V$  时， $R_{1-4} = 100\Omega/0.5W$ ； $U_{DD} = 10V$  时， $R_{1-4} = 300\Omega/1W$ ； $U_{DD} = 15V$  时， $R_{1-4} = 500\Omega/1W$ 。 $R_5$ 、 $R_6$  为限流电阻，视实际情况调整而定； $C_1$ 、 $C_2$  为相间电容。SG1413 为达林顿驱动电路，最大驱动电流可达 250mA。若还要提高步进电动机驱动能力，可以通过提高  $+V_2$  电压以满足使用要求。

## 第四章 可编程序控制器

可编程序控制器 (PROGRAMMABLE CONTROLLER) 简称 PC。早期的 PC 只有逻辑控制, 称作 PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)。近几年为了避免与个人计算机 (PC) 相混淆, 又采用其早期的名称。即用 PLC 统称可编程序控制器。

PLC 是一种以数字计算机为基础的通用型工业控制装置。它具有适用于各类控制所必需的高可靠性、配置扩充的灵活性和为工程技术人员所欢迎的简单易学、使用维修方便等特点。从 60 年代末第一台 PLC 诞生至今不过 20 多年, 其发展速度之快、品种之多、渗透领域之广, 实令人惊叹。这是因为一方面它受惠于先进的计算机技术, 特别是微型机和单片机技术; 另一方面是 PLC 的设计者们具有明智的与应用紧密结合的设计思想。目前, PLC 发展的势头有增无减。在我国, 现已进入 PLC 应用的黄金时期。

### 1 可编程序控制器的硬件

#### 1.1 硬件结构

可编程序控制器是一种通用型控制计算机, 它具有数字计算机的主要部件: 中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出 (I/O) 接口、编程器和电源等。图 9.4.1 是 PLC 的硬件结构框图。

#### 1.2 各部件的功能及特点

##### 1.2.1 中央处理器 (CPU)

它是 PLC 的核心部件。小型 PLC 的 CPU 是八位字长的微处理器; 中型以上 PLC 的 CPU 常有两个处理器: 字处理器和位处理器。字处理器是主处理器, 其主要功能是管理或协调 PLC 中的位处理器、输入/输出接口、编程器及内部控制器等环节, 并对这些环节进行诊断。它通常是八位或十六位单片机。位处理器又称从

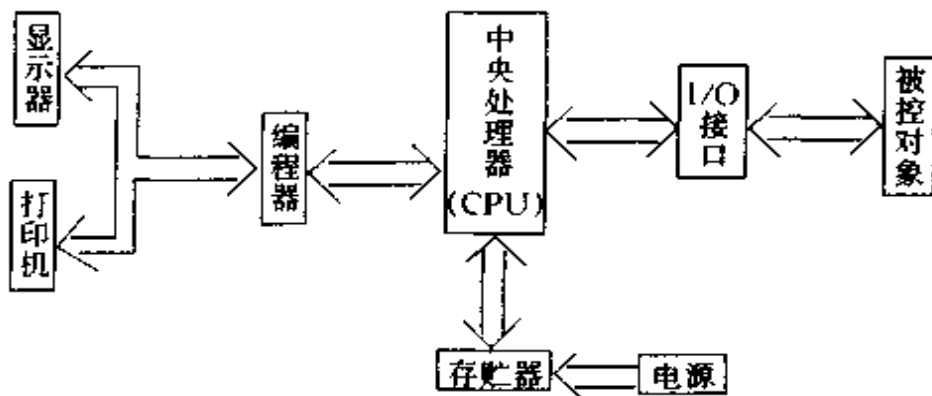


图 9.4.1 PLC 的硬件结构框图

处理器。它的主要功能有两个：一是快速处理位指令，以减轻主处理器的负担。二是把面向用户的语言（逻辑梯形图及控制流程图等）变换成机器码。位处理器通常是能高速完成布尔运算的专用芯片。

### 1.2.2 存贮器

PLC 中的存贮器包括存放系统软件（操作系统等）的 EPROM、系统软件运行所必须的 RAM 和存放用户应用程序的 EPROM 或 E<sup>2</sup>PROM 等。对于由单片机组成的字处理器，其本身就有一定量的随机存贮器和可扩充的存贮器。扩充存贮器是 PLC 中的主要存贮器。八位机的存贮器可扩充到 64K 字节(Byte)。

在 PLC 中，常把 CPU 和存贮器设计在一块模板上。此模板称为 CPU 模板。

### 1.2.3 输入/输出(I/O)接口

它是 PLC 与被控对象联系的部件。PLC 的主要特点之一是具有功能强的输入/输出接口。它包括开关量 I/O 口、脉冲量 I/O 口、模拟量 I/O 口、通讯口（串行口和并行口）及各种专用接口（位置、温度等闭环调节控制接口）等。

输入/输出接口通常做成各类模板。每种模板由一定数量输入/输出通道组成。如：有 8 路开关量或 16 路开关量通道组成的输入/输出模板；有 8 路双端输入或 16 路单端输入的模拟量输入模板等。用户可根据实际需要合理地选择和配置。这种能适应各种控制要求的高度灵活性是 PLC 输入/输出接口的一个特点。它的另一特点是各输入/输出通道采用隔离技术，使 PLC 与现场隔离，以提高其抗干扰能力。图 9.4.2 为 PLC 中常用的几种开关量输入/输出通道电路图。

图 9.4.3 为 PLC 常用的模拟量输入/输出通道电路图。

### 1.2.4 编程器

它是编程人员与 PLC 对话的工具。其主要功能是：

- (1) 编写、输入和调试用户的应用程序。
- (2) 对 PLC 的运行工况、状态等进行监视。
- (3) 与打印机及各类显示器接口，输出各种信息。

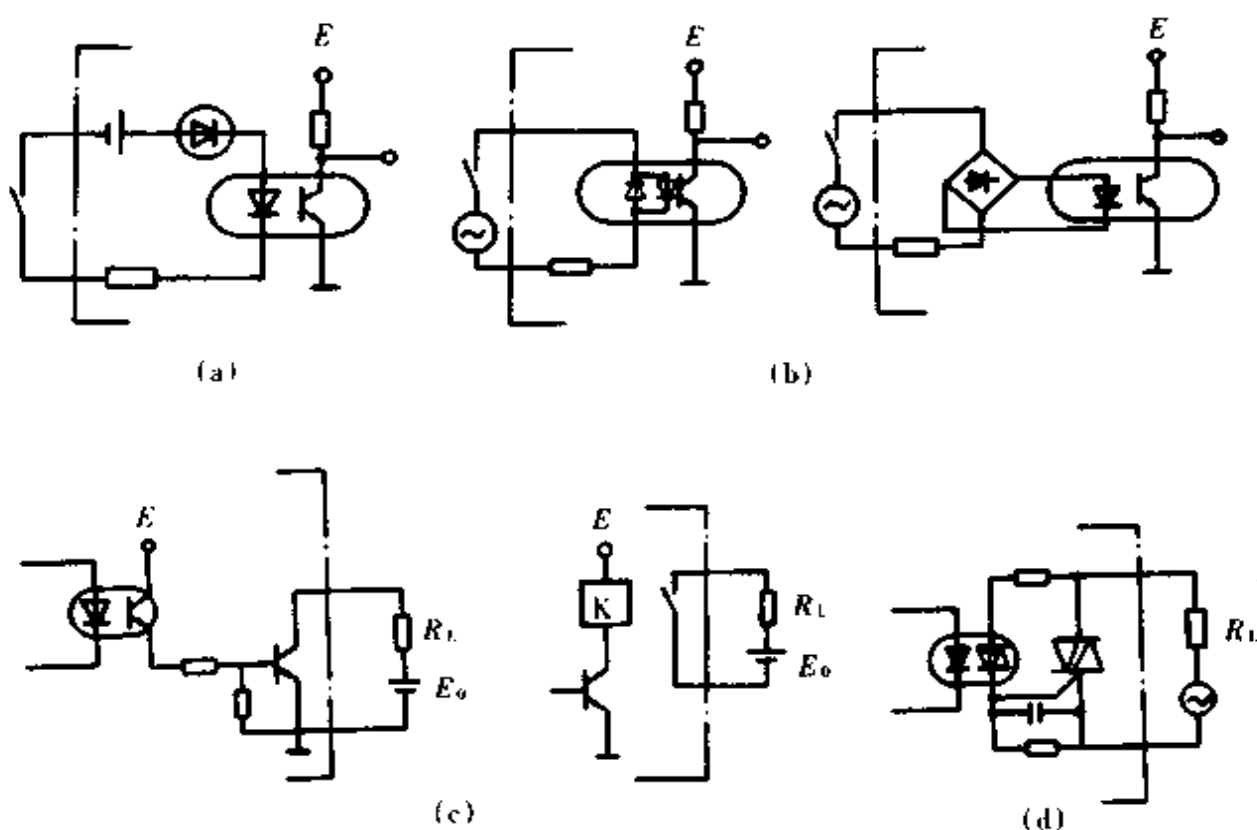


图 9.4.2 PLC 中常用的几种开关量 I/O 通道电路图

(a) 直流开关量输入 (b) 交流开关量输入

(c) 直流开关量输出(继电器输出交直流通用) (d) 交流开关量输出

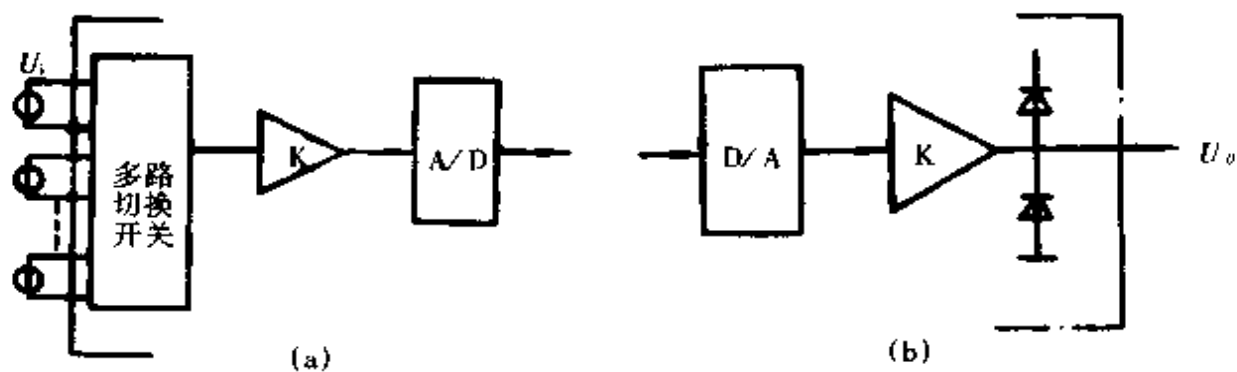


图 9.4.3 PLC 中常用的模拟量 I/O 通道电路图

(a) 模拟量输入 (b) 模拟量输出

编程器可分两大类:简易型编程器和通用型编程器(高级编程器)。简易型编程器由一组功能输入键和显示器等组成。显示器通常为发光二极管、液晶或荧光管等数码管。编程时遵照一定法则按功能键,显示器亮出对应的指令和参数。输入的程序、参数等信号经编程器送到中央处理器或寄存器。CPU 对输入的信号语句进行编译,并作语法及数字检查和校核,作出“正确被接受”和“错误被拒绝”的结论,并显示此结果。图 9.4.4 为两种不同型号 PLC 的简易型编程器的面板图。

简易型编程器具有简单、易学、便于携带的特点。但是,编译和校核等工作均由中央处理器完成,故加重了后者的负担,还增加了存贮器的容量。因此对功能键的数量和显示的内容要进行限制,但这又影响了它的应用。所以,简易型编程器只适宜在小规模的 PLC 控制系统中应用。

通用型编程器是应用计算机终端设备(CRT),用汇编语言和高级语言进行编程和修改程序等工作。通用型编程器除有一组功能齐全的键盘及显示屏幕外,还有独立的处理器、存贮器和通讯接口。从键盘输入的程序或命令等信息,先在编程器里预处理,再输到其存贮器或送往 PLC。操作人员从屏幕显示器上获得各种必要的参数、符号、状态信号、程序流程图、逻辑梯形图及程序文本等等,从而能全面掌握系统的运行过程。这类编程器的优点是高效,能较好地满足大中型控制系统的需要。但其价格昂贵,设备的投资大。目前各 PLC 制造厂都推出了与自己的 PLC 产品相适应的通用型编程器及软件。

另一种通用型编程器是借用个人计算机,即用个人计算机作编程器。这对于已有这类计算机的用户无疑是一种既节省开支又充分利用已有资源的好办法,受到用户的欢迎。为此,PLC 的生产厂提供了专用的软件。如美国的西屋公司用 IBM-PC 机为该公司的 NUMA-LOGIC 型 PLC-700 系列可编程序控制器作编程器。

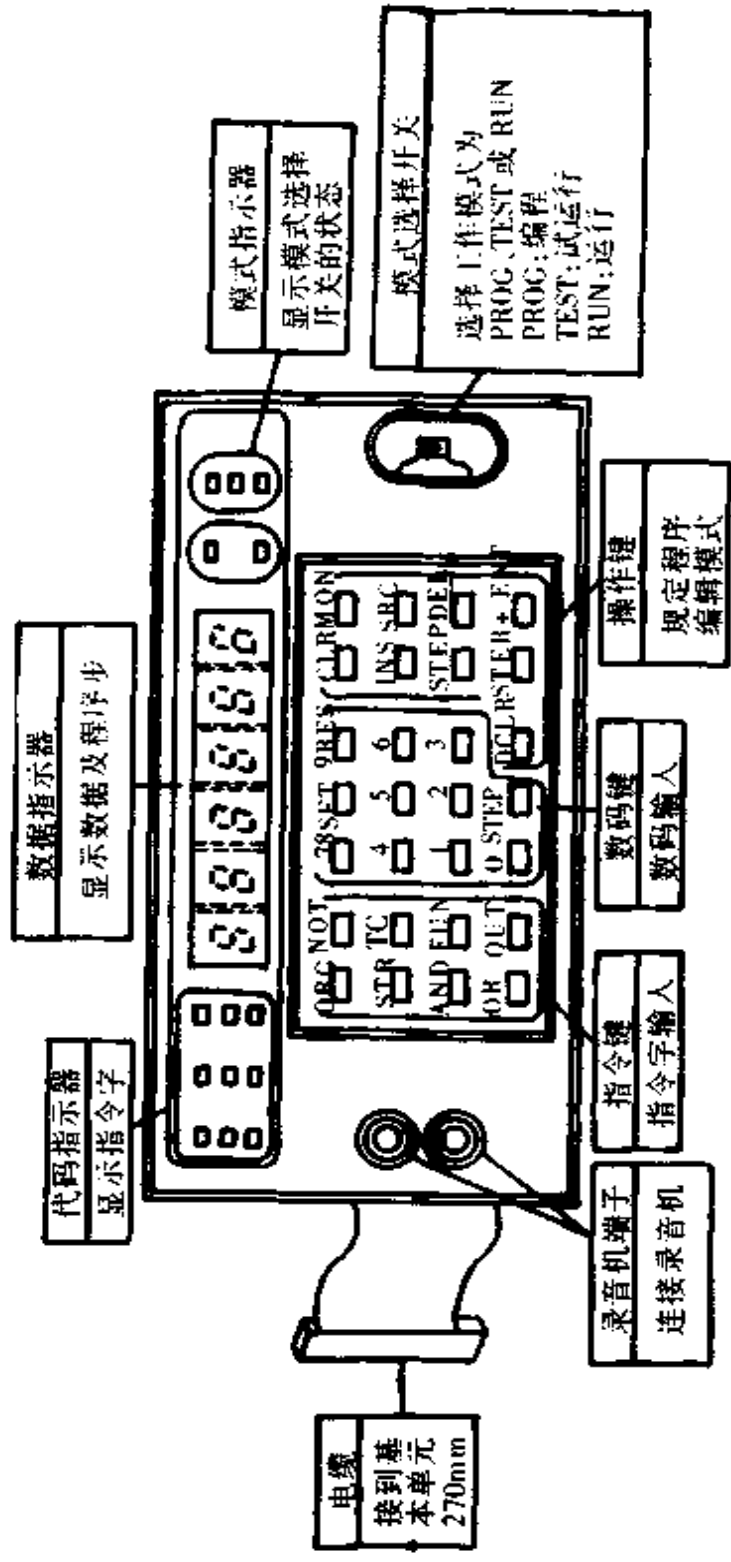
目前,国内大多是引进生产 PLC,也有一些自行设计的 PLC 产品,但功能和数量离国际水准尚有较大距离。表 9.4.1 列出国内引进生产或销售的部分 PLC 产品的主要技术指标。

表 9.4.1 国内引进生产或销售的部分 PLC 产品的主要技术指标

产品生产公司	PLC 型号	存储器容量(kW)	指令执行 时间 ms/k 句	开关量 I/O 点数	模拟量 I/O
美 国 GOULD	M84	0.5	$\leq 27$	64	有
	M584	16	$\leq 2$	2048	
	M884	3.5	$\leq 10$	256	
美 国 西屋	PC-1100	3.6	$\leq 20$	128	有
	PC-900	2	$\leq 20$	255	
	PC-700	8	$\leq 20$	512	
日 本 OMRON	C20H	2	$\leq 2.25$	20	无
	C28H	2	$\leq 2.25$	28	
	C40H	2	$\leq 2.25$	40	
日 本 三菱电机	F-20	0.32	$\leq 50$	40	无
	F-40	0.90	$\leq 40$	80	
	F-60	1	$\leq 12$	120	







(b)

图 9.4.4 简易型编程器面板图

续表

产品生产公司	PLC 型号	存储器容量(kW)	指令执行 时间 ms/k 句	开关量 I/O 点数	模拟量 I/O
日本 光洋	SR-10	2	$\leq 40$	96	无
	SR-20	4	$\leq 40$	112	有
	SR-21	10	$\leq 10$	168	有
美国 GE	SERIES-I	1.7	$< 20$	112	无
	SERIES-III	4	$< 7$	400	有
日本 日立	E 型	1.9	$\leq 5$	128	无
	EM 型	1.9	$\leq 5$	160	有
德国 西门子	S5-100	4	$\leq 70$	128	有
	S5-102	8	$\leq 7$	256	有
	S5-103	40	$\leq 1.6$	256	有

## 2 可编程序控制器的软件

### 2.1 可编程序控制器的工作过程

可编程序控制器是一种实时控制计算机。其工作过程实质上是循环的扫描过程。图 9.4.5 是由 PLC 的基本工作内容组成的循环扫描流程框图。它包括自诊断、与编程器进行信息交换、与位处理器进行信息交换(在双处理器中)、与通讯网络进行信息交换(在联网系统中)、用户程序的处理(按实时控制的策略对各种信息进行计算、判断等处理)、I/O 接口的服务(把用户程序的处理结果通过 I/O 接口实现对被控对象的控制)等。

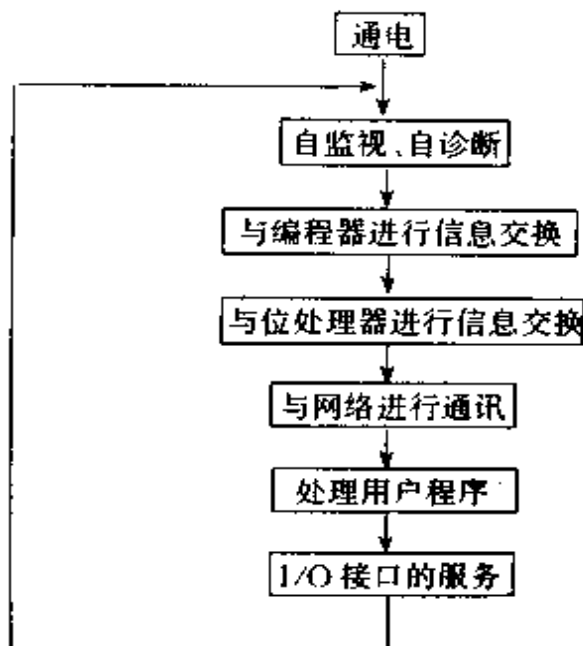


图 9.4.5 PLC 的循环扫描流程框图

PLC 扫描流程中每个环节均含有丰富的内容。自诊断包含对各主要硬件的功能或性能的诊断;与编程器间的信息交换包括编程时的程序写入、判断和修改,调试时的监视、改进和参数的变更;在网络通讯中的信息交换有 PLC 之间、PLC 与外部设备之间、PLC 与其他计算机之间的通讯。

PLC 所以能有序地循环扫描,并使各部分硬件周而复始有条不紊工作,靠的是软件的支持,是软件使 PLC 富有“活力”和“生机”去完成各种控制任务。

## 2.2 软件的组成

PLC 的软件分两大类:系统软件和应用软件。

### 2.2.1 系统软件

系统软件是使 PLC 有节奏地完成循环扫描过程中各环节内容的软件。它是软件的基础。由于 PLC 是实时处理系统,所以系统软件的基本部分是操作系统。它是统一管理 PLC 的各种资源,协调各部分之间的关系,使整个系统能最大限度发挥其效率,并为用户所应用的软件(程序)。

操作系统的主要功能:

- (1) CPU 中主、从处理器间的协调;
- (2) 存贮器的调度、分配、登记和管理;
- (3) I/O 接口的管理,使之能更好地与现场相联系;
- (4) 在各环节间进行信息交换过程中的通讯管理;
- (5) 控制过程中各程序的调用、实时中断的响应和处理;
- (6) 对用户程序的解释、处理和执行。

操作系统也是一种程序,它通常存放在 PLC 的 CPU 模板的存贮器内。这些存贮区用户是不允许介入的(用户不可访问区)。它包括操作系统的程序区和数据区。

系统软件是由 PLC 生产厂家完成,并驻留在规定的存贮区内,与硬件一起作为完整的 PLC 产品出售。对一般的用户不必顾及它,也不要求掌握它。但它确实存在着,只要 PLC 工作,它就勤奋地投入服务。

### 2.2.2 应用软件

它是为完成一个特定控制任务而编写的程序。通常由用户根据任务的内容,按照 PLC 生产厂所提供的语言和所规定的法则编写而成。

对于 PLC 的用户来说,编写、修改、调试和运行应用程序是最主要的工作之一。

## 2.3 应用程序的编写

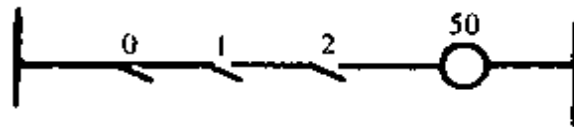
### 2.3.1 PLC 的语言

面向生产、面向用户是开发 PLC 的准则和 PLC 的优势所在,也是 PLC 能迅速

发展和推广的奥秘之处。PLC的设计者针对其广大的用户是从事控制工程的技术人员这一特点,把按逻辑梯形图进行编程的简易助记符作为第一语言。这种语言是由一组含义明确、功能强、简单、易学易记的指令组成。虽然各种 PLC 都有一套与之相适应的指令助记符,但这不会给用户带来太多的麻烦。

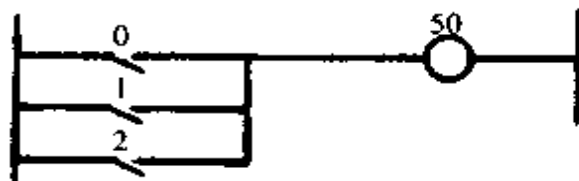
2.3.1.1 PLC 的指令 PLC 的指令包括以下几大类。

(1)逻辑运算类:进行基本逻辑运算(逻辑“与”、“或”、“非”、触发器等)和组合逻辑运算(“与”逻辑后再“或”逻辑或“或”逻辑后的“与”逻辑等)。图 9.4.6 表示两种不同逻辑的梯形图表示方法及其对应的指令(用 GE-I 型指令)。



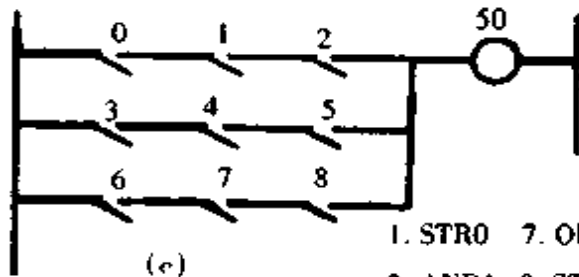
(a)

- 1. STRO
- 2. AND1
- 3. AND2
- 4. OUT50



(b)

- 1. STRO
- 2. OR1
- 3. OR2
- 4. OUT50



(c)

- 1. STRO
- 2. AND1
- 3. AND2
- 4. STR3
- 5. AND4
- 6. AND5
- 7. OR STR
- 8. STR6
- 9. AND7
- 10. AND8
- 11. OR STR
- 12. OUT 50

图 9.4.6 梯形图及对应指令实例

(a)“与”逻辑 (b)“或”逻辑 (c)先“与”后“或”逻辑

(2)数据传送类:完成各类数据的各种传送。有四位数、一个字节、成批数据的

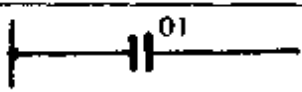
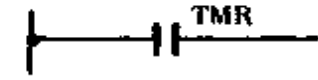
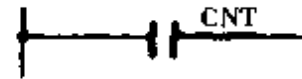
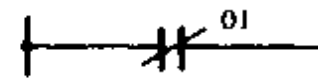


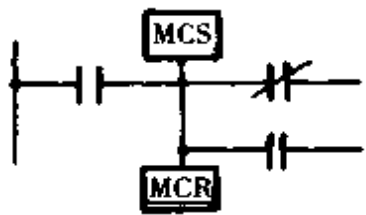
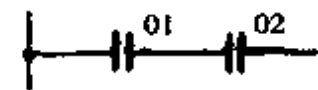
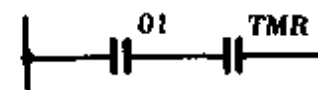
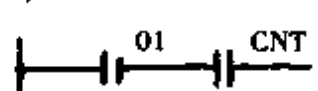
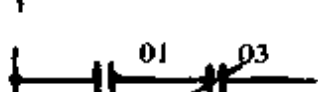

传送,也有左移右移的传送等。详见表 9.4.2 中的有关传送指令。

(3)数据运算类:完成不同精度要求的加、减、乘、除和比较(大于、小于或等于)等运算。详见表 9.4.2。

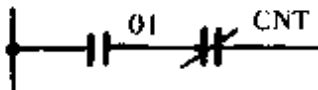
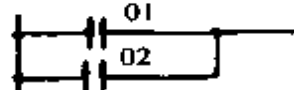
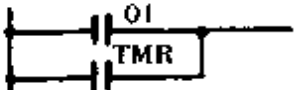
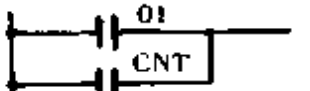
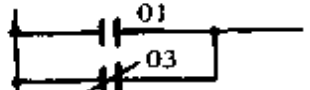
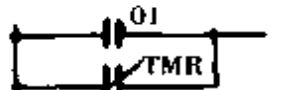
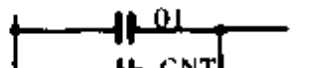


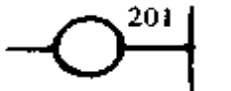
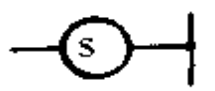
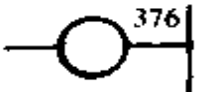


(4)控制类:用来控制程序执行的顺序。如:子程序的调用及返回、块转移等。

(5)其他类:包括各种代码的变换指令和一些特殊指令。如:二进制数变换成 BCD 码;故障诊断指令等。详见表 9.4.2。

表 9.4.2 GE-I 型和 SR-21 型 PLC 指令表

指令助记符	功能	梯形图中符号
STR	(START)开始新的一行,并表示一个常开接点	
STR TMR	(START TIMER)开始新一行,表示定时器常开接点	
STR CNT	(START COUNTER)开始新一行,表示计数器常开接点	
STR NOT	(START NOT)以常闭接点开始新一行	
STR NOT TMR	(START NOT TIMER)以定时器常闭接点开始新一行	
STR NOT CNT	(START NOT COUNTER)以计数器常闭接点开始新的一行	
MCS	支路开始	
MCR	支路结束	
AND	串联一个常开接点	
AND TMR	串联一个定时器的常开接点	
AND CNT	串联一个计数器的常开接点	
AND NOT	串联一个常闭接点	
AND NOT TMR	串联一个定时器的常闭接点	

续表

指令助记符	功能	梯形图中符号
AND NOT CNT	串联一个计数器的常闭接点	
OR	并联一个常开触点	
OR TMR	并联一个定时器的常开触点	
OR CNT	并联一个计数器常开触点	
OR NOT	并联一个常闭触点	
OR NOT TMR	并联一个定时器常闭接点	
OR NOT CNT	并联一个计数器的常闭接点	
AND STR	串联一个逻辑组	
OR STR	并联一个逻辑组	
OUT	一个逻辑行的输出,可以是内部或外部线圈	
SET	使设定线圈为接通状态	
SET OUT	在输出禁止线圈接通时,不受其影响	
RST	使 SET 设定线圈断电(复位)	
SET OUT RST	定义一个单脉冲线圈	

续表

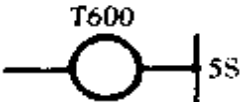

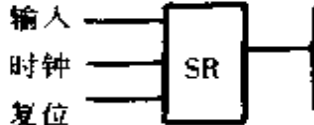
指令助记符	功能	梯形图中符号
TMR	定时器	
CNT	计数器	
SR	移位寄存器	

表 9.4.2 列出两种 PLC 的指令表。在逻辑类指令中还画出与之对应的梯形图中的表达方式。表 9.4.3 列出只适用于 SR-21 型 PLC 的指令表。

表 9.4.3 适用于 SR-21 型 PLC 指令表

指令	定义	占存储器字数	执行时间 ( $\mu\text{s}$ )	
			不动作	动作
D.STR (F50)	DATA STORE, 把一个二进制或 BCD 数值装入累加器, 该数值可以是一个四位常数或指定的两个字节号的内容	2	不动作	动作
			6.3	321.9 I/O, IR, SR 80.7 寄存器 14.3 常数
D.STR1 (F51)	DATA STORE1, 把一个指定字节号的内容装入累加器的低字节	2	6.3	140.9 I/O, IR, SR 63.8 寄存器
D.STR2 (F52)	DATA STORE2, 把一个指定字节号的内容高四位装入累加器的低四位	2	6.3	172.2 I/O, IR, SR 95.0 寄存器
D.STR3 (F53)	DATA STORE3, 把一个指定字节号的内容的低四位装入累加器的低四位	2	6.3	173.8 I/O, IR, SR 96.6 寄存器
D.STR5 (F55)	DATA STORE5, 把一个 16 点输入模块(高密度模块)的 8 个字节单元的内容(二进制或 BCD)装入累加器	2	6.3	325.0(16 点输入模块)
D.OUT (F60)	DATA OUT, 把累加器的内容(两字节)写入指定的两个字节号(输出, 内部继电器, 移位寄存器, 数据寄存器或 T/C 累积寄存器)	2	6.3	329.4 I/O, IR, SR 52.6 寄存器

续表

指令	定义	占存储器字数	执行时间 ( $\mu$ s)	
D.OUT1 (F61)	DATA OUT1,把累加器低字节的内容写入一个指定的字节号(输出,内部继电器,移位寄存器或数据寄存器)	2	6.3	160.1 I/O, IR, SR 39.1 寄存器
D.OUT2 (F62)	DATA OUT2,把累加器低四位的内容写入一个指定字节号(输出,内部继电器,移位寄存器或数据寄存器)的高四位	2	6.3	116.0 I/O, IR, SR 39.8 寄存器
D.OUT3 (F63)	DATA OUT3,把累加器低四位的内容写入一个指定字节号(输出,内部继电器,移位寄存器或数据寄存器)的低四位	2	6.3	108.1 I/O, IR, SR 55.0 寄存器
D.OUT5 (F65)	DATA OUT5,把累加器的内容(2字节)写入一指定给16点输出模块的2个字节号内	2	6.3	365.3(16点输入模块)
>=< (F70)	COMPARE,将累加器的内容与指定的两个字节(输入,IR,SR或DR)的内容或一个四位BCD常数进行比较,比较的结果是使相应的内部线圈接通 A>D 772通 注:A指累加器 A=D 777通 内容,D指另 A<D 774通 一指定数据	2	不动作	动 作
			6.3	354.0 I/O, IR, SR 112.8 寄存器 57.0 常数
+ (F71)	加(BCD),将累加器的内容与一个4位BCD常数或指定的两个字节号的内容(必须是BCD数)相加	2	6.3	698.0 I/O, SR, IR 456.8 寄存器 262.0 常数
- (F72)	减(BCD),将累加器的内容与一个四位BCD常数或指定的两个字节号的内容相减	2	6.3	557.0 I/O, IR, SR 315.8 寄存器 275.0 常数
× (F73)	乘(BCD),将累加器的内容与指定的两个字节号的内容或一个四位BCD常数相乘,乘积的低四位放入累加器,高四位存贮于辅助累加器576和577寄存器内	2	6.3	497~2851 (I/O, IR, SR) 290~2644(寄存器) 223~2576(常数)



续表

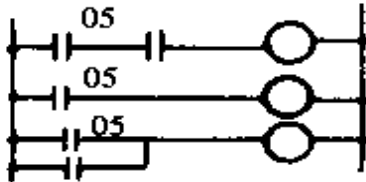
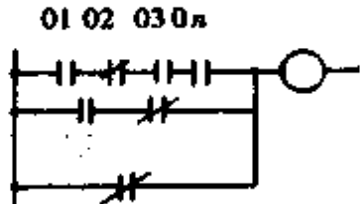
指 令	定 义	占存储 器字数	执 行 时 间 ( $\mu$ s)	
÷ (F74)	除(DIV),将累加器的内容除以指定的两个字节号的内容或一个四位(DIV)常数。商的整数部分存贮在累加器中,商的小数部分存贮于辅助累加器 576 和 577 寄存器中	2	6.3	1218~2851 (I/O,IR,SR) 642~2645(寄存器) 720~2577(常数)
D.AND (F75)	DATA AND(逻辑积),将累加器的内容与指定的两个字节的内容或一个四位 BCD 常数相应的每一位作逻辑“与”。结果存贮于累加器中	2	6.3	345.0 I/O,IR,SR 103.7 寄存器 55.6 常数
D.OR (F76)	DATA OR(逻辑和),将累加器的内容与指定的两个字节的内容或一个四位 BCD 常数相应的每一位作逻辑“或”。结果存贮于累加器中	2	6.3	345.0 I/O,IR,SR 103.7 寄存器 55.6 常数
SHIFT RIGHT (F80)	FUNCTION 80,右移 N 位。将累加器的内容向右移指定的位(1~15),左边空出的位填入“0”	2	不动作 6.3	动 作 216 + 13.4 × 位数
SHIFT LEFT (F81)	FUNCTION 81,左移 N 位。将累加器的内容向左移指定的位(1~15),右边空出的位填入零	2	6.3	220 + 13.4 × 位数
DECODE (F83)	FUNCTION 82,译码,将累加器的低四位内容译成一个 0~15 的十进制数,在累加器对应于该十进制数的位置填“1”	1	6.3	56.3
ENCODE (F83)	FUNCTION 83,编码,将累加器的一位编码成对应于其位数(0~15)的二进制码,并将二进制码存贮于累加器的低四位	1	6.3	282.0
INV (F84)	INVERT 取反,将累加器的 16 位内容逐位取反 即:1→0,0→1,例如 1101 1001 0110 0111 取反成: 0010 0110 1001 1000	1	6.3	30.3
BIN (F85)	BINARY,将累加器中的 BCD 数值转换成二进制码	1	6.3	412.2

续表

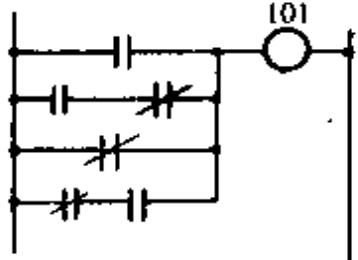
指令	定义	占存储器字数	执行时间 ( $\mu\text{s}$ )	
BCD (F86)	BINARY CODED DECIMAL, 将累加器中的二进制码转换成 BCD 数值	1	6.3	746.0
EXTERNAL FAULT DIAGNOSIS (F20)	FUNCTION 20, 外部故障诊断。可对外部设备不该发生的状态进行监控。如发生故障, 在编程器上显示一个设定的四位 BCD 数, 可以监控多个故障状态	1	6.3	355.2 I/O, IR, SR 114.0 寄存器 72.2 常数

2.3.1.2 编写程序的规则 PLC 生产厂在为用户提供完整的指令同时, 还附有详细的编程规则。它相当于应用指令编写程序的语法, 用户必须遵循这些规则进行编程。由于各 PLC 的生产厂不同, 指令也有区别, 所以编程规则略有出入。但为了让用户编程方便、易学, 各规则有很多相同之处。表 9.4.4 列出 GE- I 型 PLC 的主要编程规则。

表 9.4.4 GE- I 型 PLC 编程主要规则

编号	规则内容	梯形图
1	对梯形图编程应自左至右顺序进行, 按逻辑动作的先后从上往下逐行编写。不得跳跃和遗漏	
2	输入/输出单元、内部继电器接点、计数器/定时器等均可重复使用, 次数不受限制。接点的串并联数也不受限制。右图中 05 重复了三次	

续表

编号	规 则 内 容	梯 形 图
3	若多次使用同一输出线圈,该输出线圈只能使用一次,并让多次使用集中在一起。在梯形图中,输出线圈符号应放在一行的最右边,一端与右边母线相连。	
4	计数器有两个输入(计数端和复位端)。编程时应按具体要求决定此两个输入端信号出现的次序。否则会造成误动作;把复位和计数颠倒	

### 2.3.1.3 编程步骤

(1)画出流程图:按实际控制工艺过程画出流程图。图 9.4.7 为某自动加工线上一道钻孔工艺的流程图。它包括工件的夹紧、冷却液的注入、钻头快进、钻孔和快退等工序。流程图的每一步的右边用文字作说明,使每个工序动作更清晰。

(2)确定各线圈及 I/O 的定义号:所谓定义号是 PLC 生产厂所规定的各种线圈、寄存器、特殊功能单元及 I/O 单元等的地址号。表 9.4.5 为 GE-I 型 PLC 的定义号。从表中列出的各类单元中选出(确定)一部分作为程序中要用的元件。这些元件用其定义号来表示或命名。表 9.4.6 列出了图 9.4.7 流程图所需要元件的定义号。

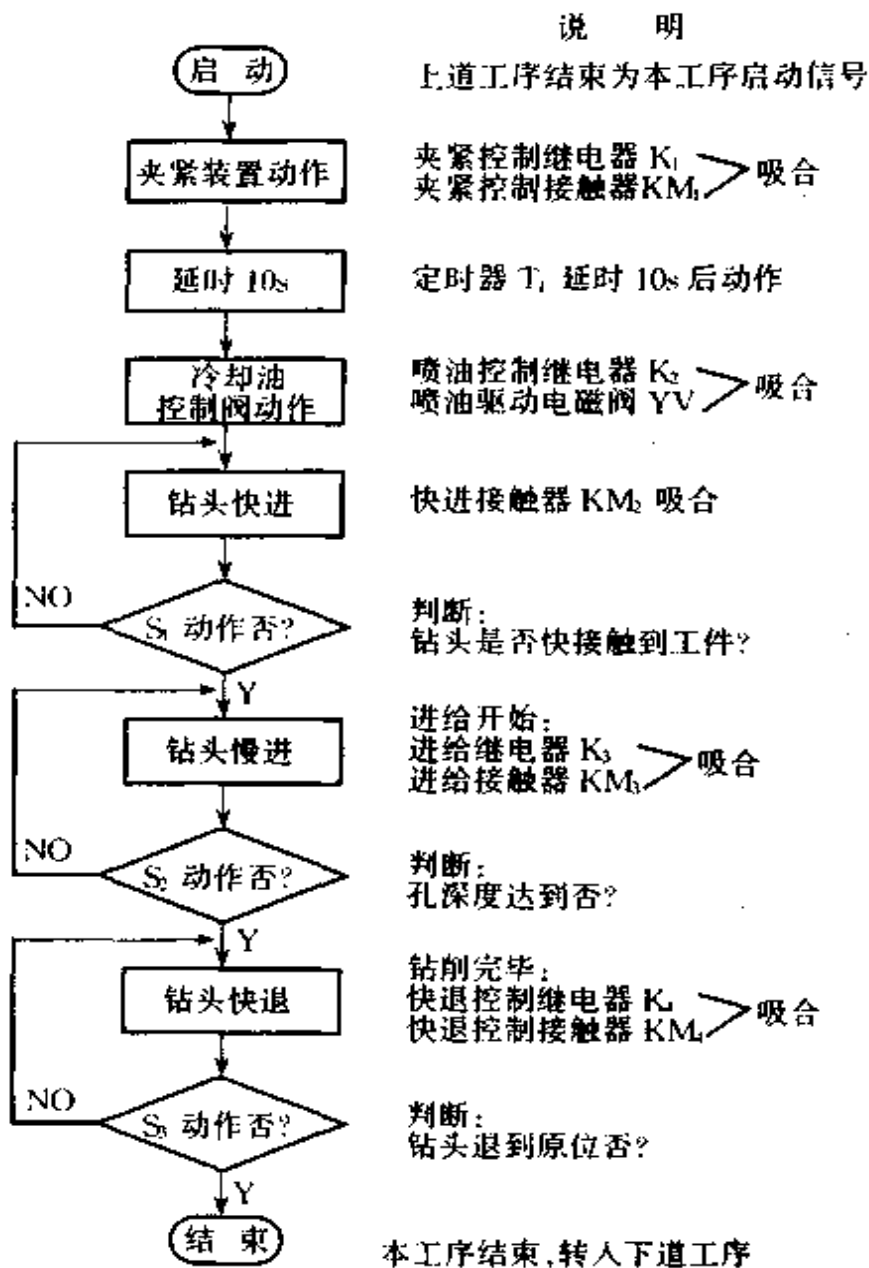


图 9.4.7 某钻孔工艺的流程图

表 9.4.5 GE-I 型 PLC 的定义号

名 称	定义号(八进制)	数 量	备 注
输入/输出单元	000—157	112	可按需要设定为输入或输出
内部线圈	160—337	112	无自保功能
内部线圈	340—373	28	有自保功能
特殊功能单元	374—377	4	有自保功能
移位寄存器	400—577	128	有自保功能
定时器/计数器	600—677	64	有自保功能

表 9.4.6 某钻孔工艺所需元件的定义号

序号	应 用	单元定义号	备 注
1	启动信号输入	01	启动按钮开关来
2	停止信号输入	02	停止按钮开关来
3	快进结束,进给开始信号输入	03	限位开关 $S_1$ 来
4	进给结束信号输入	04	限位开关 $S_2$ 来
5	钻头退到原位信号输入	05	限位开关 $S_3$ 来
6	工件夹紧动作中间继电器	301	内部线圈
7	喷冷却液动作中间继电器	302	
8	进给动作中间继电器	303	
9	快退动作中间继电器	304	
10	本钻孔工艺结束,下道工序开始	305	
11	工件夹紧执行信号输出	101	输出单元
12	喷冷却液信号输出	102	
13	快进信号输出	103	
14	进给信号输出	104	
15	快退信号输出	105	
16	定时器	601	定时器

(3)画出逻辑梯形图:根据工艺流程图,用已经确定的定义号画出逻辑梯形图。一个控制过程总有输入信号和输出信号。通常把输入信号画在梯形图的左边与输入单元相连;而输出信号通过输出单元去驱动外部执行器(电动机、电磁阀等),并把输出部分画在梯形图的右边。

梯形图的中间部分应按一定规则根据流程图画出。图 9.4.8 为上述钻孔过程的梯形图。其左边为外部输入信号,右边为输出部分。

对于继电控制装置的改造,可直接把原继电逻辑控制图改成 PLC 的逻辑梯形图。此时也必须先确定与原继电器对应的 PLC 单元的定义号。

(4)写出程序清单:用 PLC 指令根据梯形图按一定规则写出程序清单,即用指令的助记符来表达梯形图。表 9.4.7 为上述钻孔工艺的程序清单。

(5)程序的调试:把程序清单用编程器输入到 PLC。详细的输入步骤及方法可按编程说明书规定操作。保证程序的语法等方面正确。编程到此就告一段落。

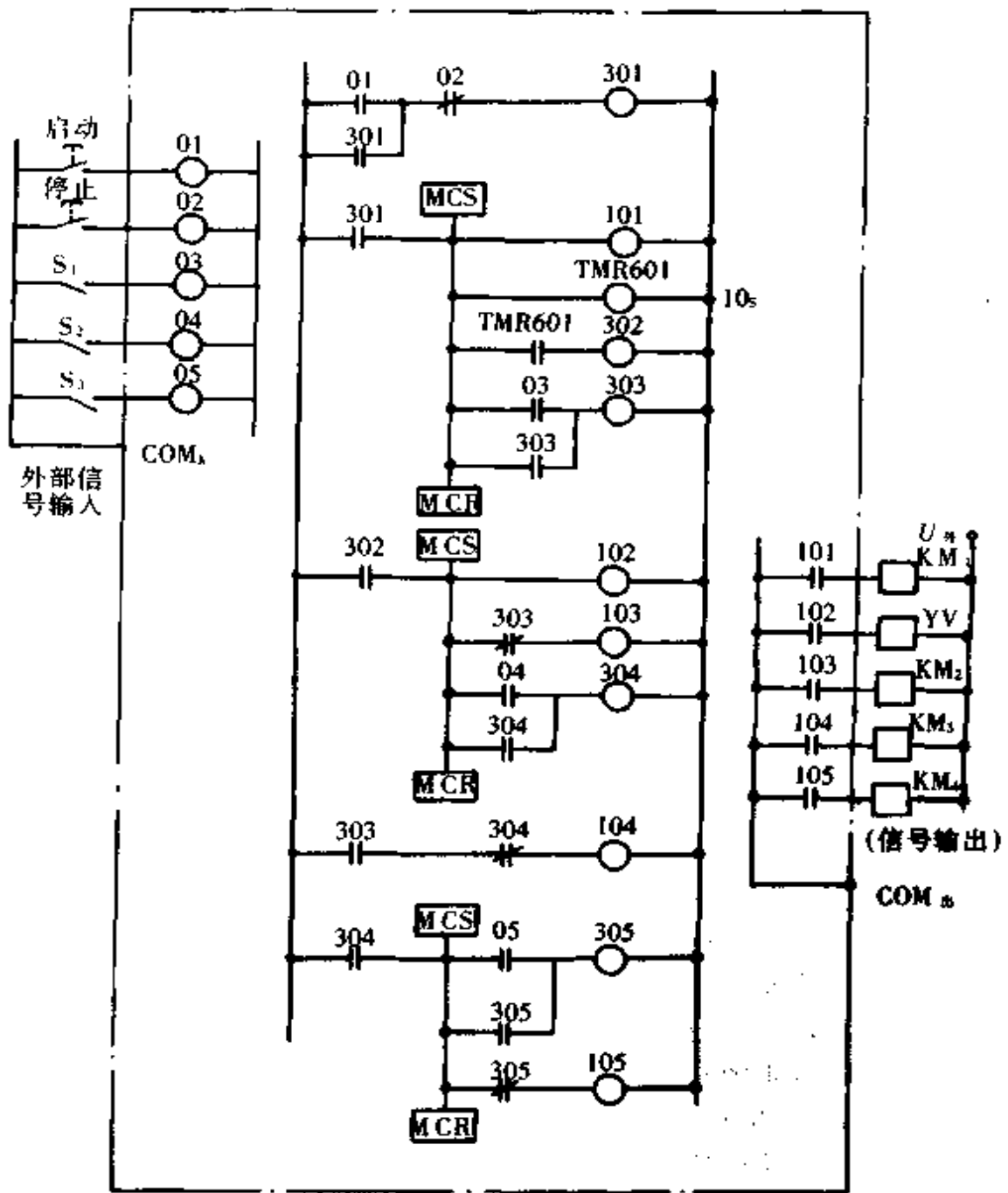


图 9.4.8 某钻孔工艺的梯形图

表 9.4.7 某钻孔工艺的程序清单

指令序号	指 令	备 注	指令序号	指 令	备 注
1	STR 01		18	STR NOT 303	
2	OR 301		19	OUT 103	
3	AND NOT 02		20	STR 04	
4	OUT 301		21	OR 304	
5	STR 301		22	OUT 304	
6	MCS	分支起	23	MCR	分支末
7	OUT 101		24	STR 303	
8	TMR 601		25	AND NOT 304	
	10	定时 10s	26	OUT 104	
9	STR 601		27	STR 304	
10	OUT 302		28	MCS	分支起
11	STR 03		29	STR 05	
12	OR 303		30	OR 305	
13	OUT 303		31	OUT 305	
14	MCR	分支末	32	STR NOT 305	
15	STR 302		33	OUT 105	
16	MCS	分支起	34	MCR	分支末
17	OUT 102		35	END	

## 2.3.1.4 编程实例

(1) 自动冲洗机顺序控制: 某种自动冲洗机用压缩空气冲洗污积物。其冲洗工序如下: 冲洗指令到,  $K_1$  闭合。冲洗枪的驱动电机正转,  $Z_1$  吸合, 冲洗枪向前推进。到达冲洗位置限位开关  $S_1$  闭合, 驱动电机停转,  $Z_1$  释放。同时, 进气阀门 YV 打开, 压缩空气从冲洗枪口喷出, 冲洗开始。通常冲洗时间用定时控制, 若设 10s, 定时到, YV 返回。驱动电机反转,  $Z_2$  吸合。冲洗枪退回, 到原位时限位开关  $S_0$  闭合。冲洗枪停止移动,  $Z_2$  释放。一个冲洗循环结束。

① 冲洗过程的流程图: 见图 9.4.9。

② 冲洗过程所需元件定义号(以 GE-I 为例): 详见表 9.4.8。

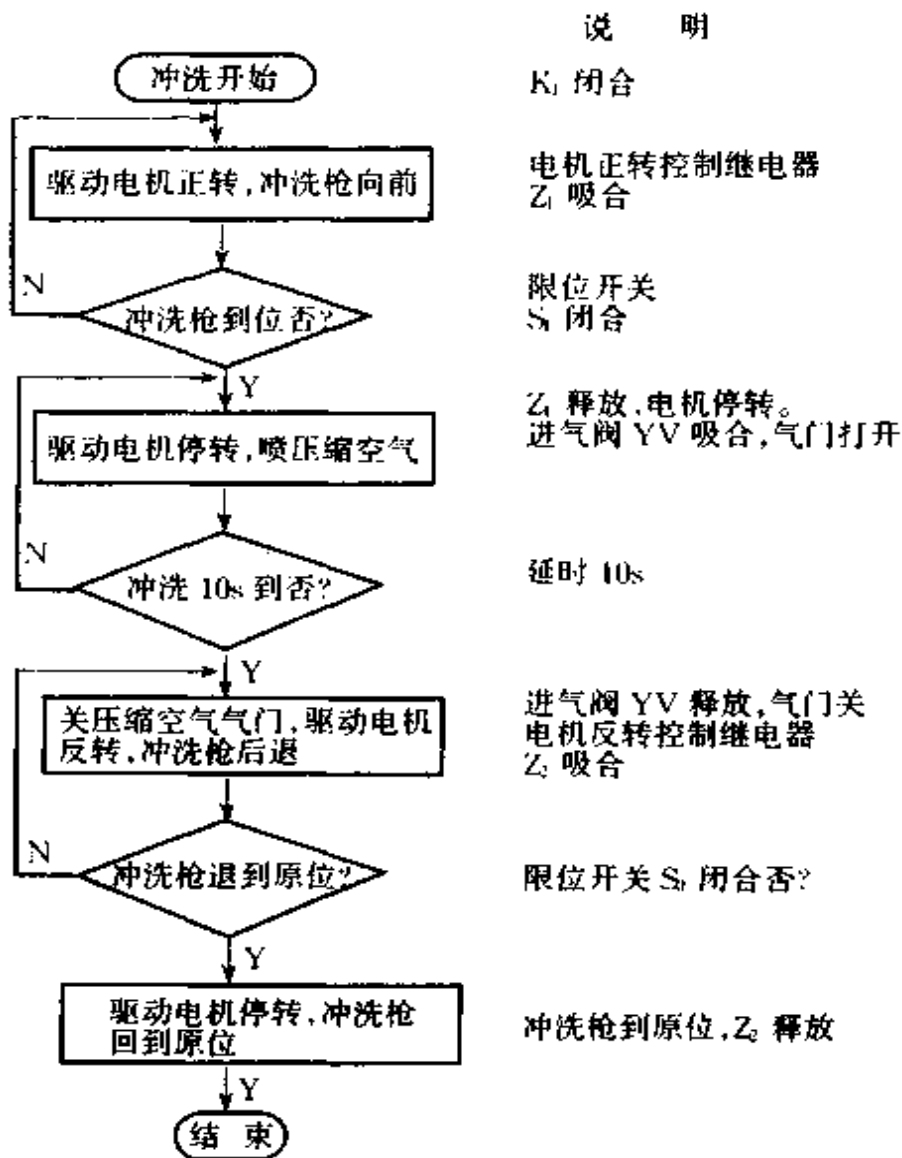


图 9.4.9 冲洗过程流程图

表 9.4.8 冲洗工艺所需元件的定义号

序号	用途	单元定义号	备注
1	冲洗指令信号输入	01	开关 $K_1$ 来
2	冲洗枪到位信号输入	02	限位开关 $S_1$ 来
3	冲洗枪回到原位信号输入	03	限位开关 $S_2$ 来
4	驱动电机正转中间继电器	301	内部线圈
5	压缩空气进气阀门中间继电器	302	内部线圈
6	驱动电机反转中间继电器	303	内部线圈
7	冲洗时间定时器	601	定时器
8	驱动电机正转信号输出	101	输出单元
9	冲洗动作信号输出	102	输出单元
10	驱动电机反转信号输出	103	输出单元

③冲洗过程的逻辑梯形图: 见图 9.4.10。



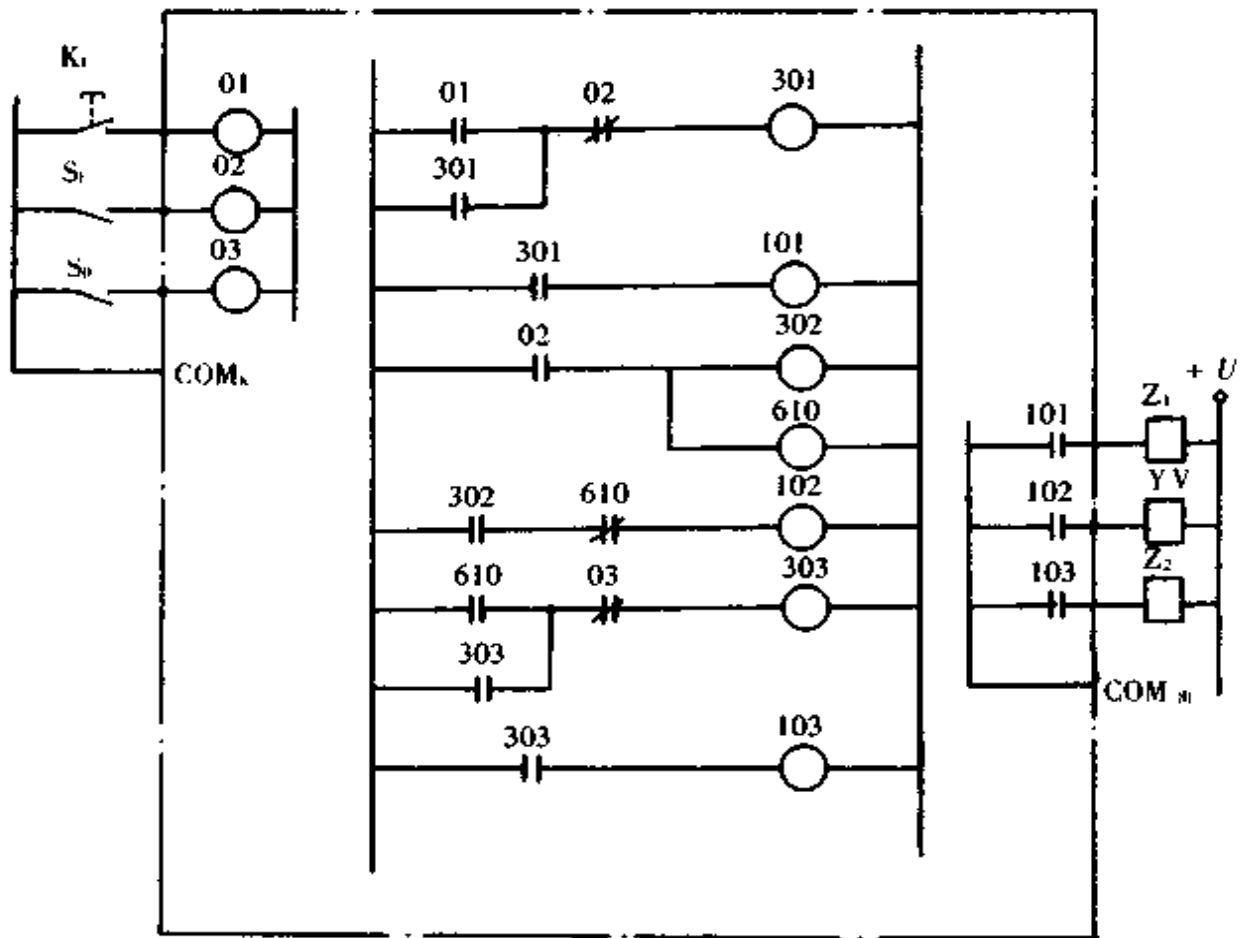


图 9.4.10 冲洗过程逻辑梯形图

④写出程序清单:见表 9.4.9。

表 9.4.9 冲洗过程的程序清单

序 号	指 令	备 注	序 号	指 令	备 注
1	STR 01		11	STR 302	
2	OR 301		12	AND NOT 610	
3	AND NOT 02		13	OUT 102	
4	OUT 301		14	STR 610	
5	STR 301		15	OR 303	
6	OUT 101		16	AND NOT 03	
7	STR 02		17	OUT 303	
8	OUT 302		18	STR 303	
9	TMR 610	定时器	19	OUT 103	
10	10	定时 10s	20	END	

(2)自动注塑机顺序控制:某自动注塑机压制塑料制品的工序如下:加工指令到,K<sub>1</sub> 闭合。合模驱动继电器 Z<sub>1</sub> 吸合,模子合上,限位开关 S<sub>1</sub> 闭合。加原料:倒塑料粒子入模子,送料阀门 YV 吸合。料满时,光电控制开关 Z<sub>2</sub> 动作,送料阀门 YV 释放。然后加温溶解塑料,Z<sub>3</sub> 吸合,电热丝通电。温度升到一定值时,温控继电器 Z<sub>4</sub> 动作,使 Z<sub>3</sub> 释放,电热丝失电。延时 40s,使塑料成型和模子冷却。开模,Z<sub>1</sub> 释放,取出塑料成品。

①注塑工艺流程图:见图 9.4.11。

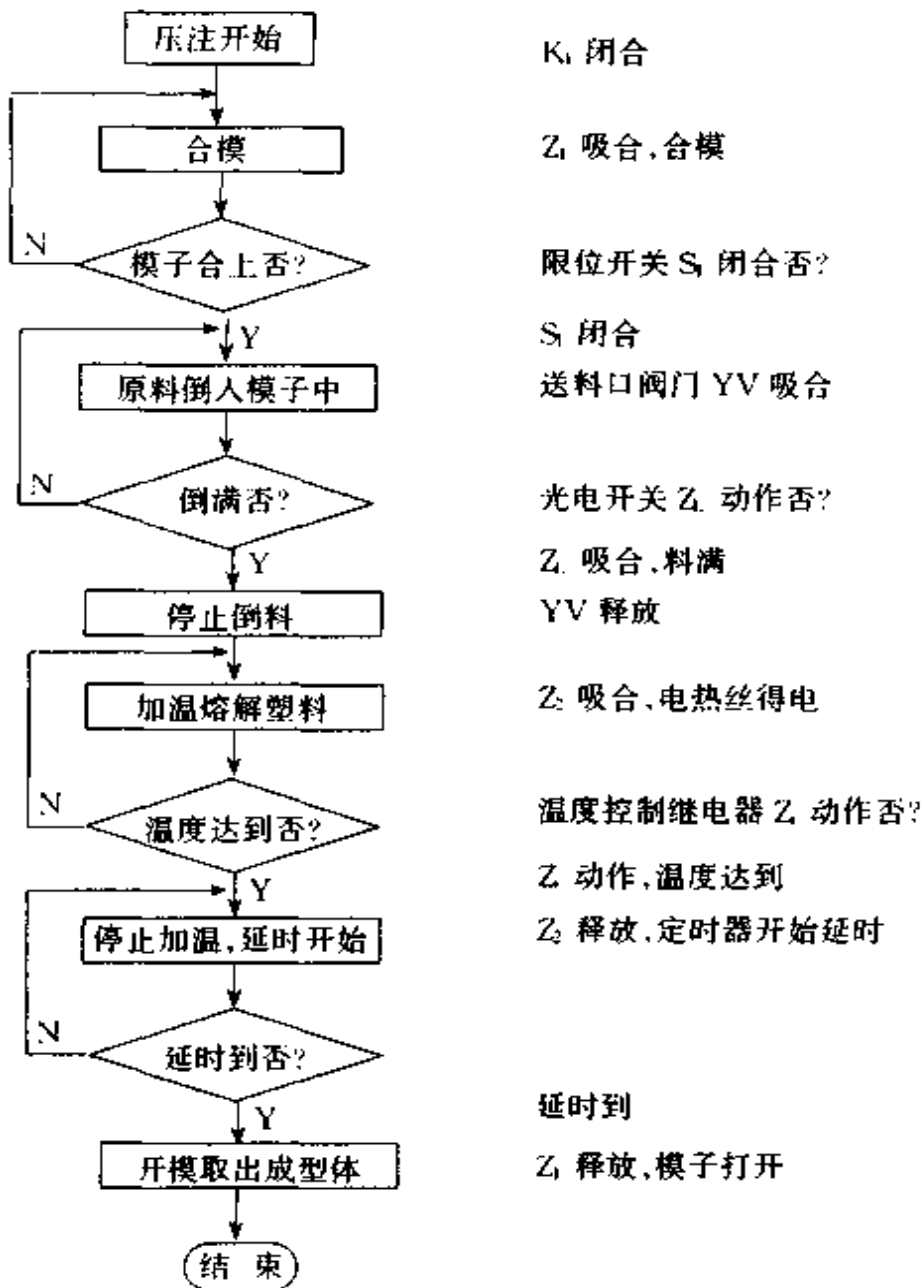


图 9.4.11 注塑工艺流程图

②注塑工艺所需元件定义号(以 GE-I 型为例):见表 9.4.10。

表 9.4.10 注塑工艺所需元件的定义号

序号	用途	单元定义号	备注
1	压注指令信号输入	01	K <sub>1</sub> 来
2	模子合上信号输入	02	限位开关 S <sub>1</sub> 来
3	料装满信号输入	03	光电开关 Z <sub>1</sub> 来
4	温度达到信号输入	04	温控继电器 Z <sub>1</sub> 来
5	合模动作中间继电器	301	内部线圈
6	送料阀门动作中间继电器	302	内部线圈
7	电热丝接通中间继电器	303	内部线圈
8	为控制定时器的中间继电器	304	内部线圈
9	塑料成型延时器	605	定时器
10	合模动作信号输出	101	输出单元
11	送料阀门吸合信号输出	102	输出单元
12	电热丝通电信号输出	103	输出单元

③注塑工艺的逻辑梯形图:见图 9.4.12。

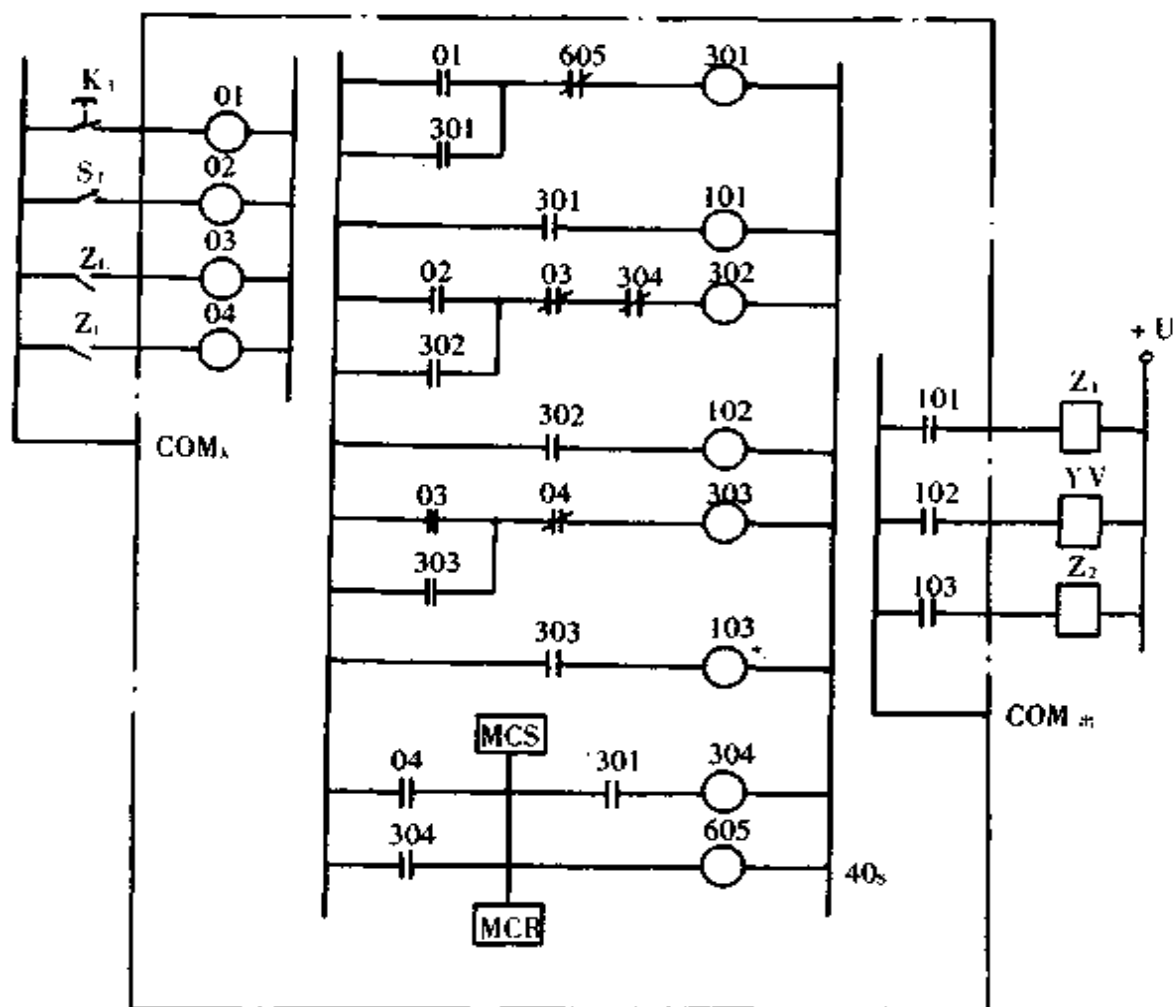


图 9.4.12 注塑工艺的逻辑梯形图

④写出注塑过程的程序清单:见表 9.4.11。

表 9.4.11 注塑过程的程序清单

序 号	指 令	备 注	序 号	指 令	备 注
1	STR 01		15	OR 303	
2	OR 301		16	AND NOT 04	
3	AND NOT 605		17	OUT 303	
4	OUT 301		18	STR 303	
5	STR 301		19	OUT 103	
6	OUT 101		20	STR 04	
7	STR 02		21	OR 304	
8	OR 302		22	MCS	分支始
9	AND NOT 03		23	STR 301	
10	AND NOT 304		24	OUT 304	
11	OUT 302		25	TRM 605	定时器
12	STR 302		26	40	定时 40s
13	OUT 102		27	MCR	分支末
14	STR 03		28	END	

### 3 可编程序控制器的应用

#### 3.1 PLC 机型的选择

在应用设计时首先遇到的问题是如何在众多的 PLC 中选择能适合实际需要的机型。这就要求设计者不仅要熟识被控对象,而且还得对各种 PLC 的性能有所了解。由于受到种种局限,对于初次应用 PLC 的设计者很难达到上述后一个要求。下面提供一些必须考虑的因素,供合理选择机型时作参考。

(1)选择能满足实际所需要的输入/输出接口的类型和通道数的机型。

(2)在控制系统中,若有特殊功能要求(如:长延时功能、高速计数功能和通讯功能等),应选择能实现这些功能的机型。

(3)应有足够的用户存贮区。特别是对过程控制较复杂的系统,应考虑有一定冗余度用户程序的存贮区。存贮区大小通常与 I/O 的类型和数量有直接关系。对于开关量 I/O,内存字数可考虑为开关量数乘以 10,即:内存字数 = 开关量数 × 10。

对于模拟量输入,内存字数=模拟量输入路数 $\times$ 120。对于模拟量输出,内存字数=模拟量输出路数 $\times$ 260。当然还要加上总程序所占的内存容量。

(4)在实时控制系统中,凡速度要求较严的应用场合,应选择运行速度较高的PLC。PLC的运行速度常以每秒钟能执行多少字的程序或以执行1000个字程序所占用的时间来表示。即ms/(千字)。

较慢的PLC的运行速度为每千字十几至几十毫秒;中等速度为几毫秒;快速的可达零点几毫秒。

(5)应为控制系统的扩充和改进在I/O通道数、存储器容量和运算速度等方面留有一定的余地。

## 3.2 程序的编写

通常在编写程序前,先对I/O通道、内部继电器、其他单元进行分配,并列出表格,然后按上节介绍的步骤进行编程。

## 3.3 离机调试

在与被控对象连接前,用各种信号作现场模拟的条件进行离机调试。离机调试的第一个目的是使整个系统满足静态要求,即工艺过程正确。若发现问题,通过编程器对程序进行修改,直到达到预定工艺控制要求为止。然后进行动态性能的调试和检验。让程序进行连续运行,这是离机调试的另一个目的。PLC的自诊断功能投入,对各部件诊断。若发现数值溢出、数字存取出错、各监视点电平偏离正确值过大等等,立即发出报警信号,并显示错误的代码。凡灾难性错误就自动停止运行;若属于程序中的问题(如:定时不够正确等),应再次修改。重复上述步骤,直到通过为止,并把通过的程序固化到EPROM中去。

## 3.4 现场在线调试

与现场的被控对象和各种信号相连,按实际要求对对象进行控制。此时通常对某些只能在现场整定的参数进行调整。再经过反复运行验证,直到完全满足要求,然后再进入长期投运的考核。

## 第五章 微型计算机

### 1 微型计算机的分类与组成

电子计算机是现代科学技术的结晶,随着计算机特别是微型计算机的发展与普及,不断深入到国民经济和日常生活的各个领域,将对人类社会产生巨大和深远的影响。

#### 1.1 电子计算机的特点

(1)高速度。由于计算机采用了高速电子器件,它的运算速度一般可达每秒百万次。高的可超过 100 亿次。

(2)高精度。计算机内采用二进制数字运算,基本数字设备简单,经过组合和扩充可以实现极高的精度。

(3)存贮量大。计算机中的存贮器具有记忆功能。存贮容量可以达到几千万字以上,对处理大量信息十分有利。

(4)程序自动运行。在计算机中放入不同的程序,就可使计算机自动执行不同的任务。也就是说计算机的能力可以不断得到发展,智能也越来越强。

#### 1.2 电子计算机的分类

根据计算机的字长、速度、精度、存贮容量、所配置的设备 and 系统的规模,一般可分为:巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机。

其中,微型机又可分为:

- (1)超级微型机——配套齐全、功能强大的微机系统;
- (2)个人机(PC)——普通的微机系统;
- (3)家庭机——家用的微机系统;
- (4)模板机——由多块模板组合而成,用于工程控制;
- (5)单板机——在一块印刷板上的微机;

(6)单片机——在一块芯片上集成的微机。

普通的微型机根据体积、功能又发展成台式、膝上式、笔记本式以及掌上式等多种。如根据用途分还有家庭用、文字处理用、通讯机、游戏机等等。

### 1.3 微型计算机的优点

微型计算机与一般电子计算机相比,具有体积小、功耗低、可靠性高、价格低、研制周期短、使用灵活方便的明显优点。当然,其功能较差,规模容量也较小。但近年来微机发展迅猛,一些超级微机已可与小型机并驾齐驱。由于它的灵活方便、价格低廉,更使微型计算机走出正规机房试验室,深入到社会、生活各个角落,使计算机应用起了革命性的变化。

### 1.4 微型计算机的组成

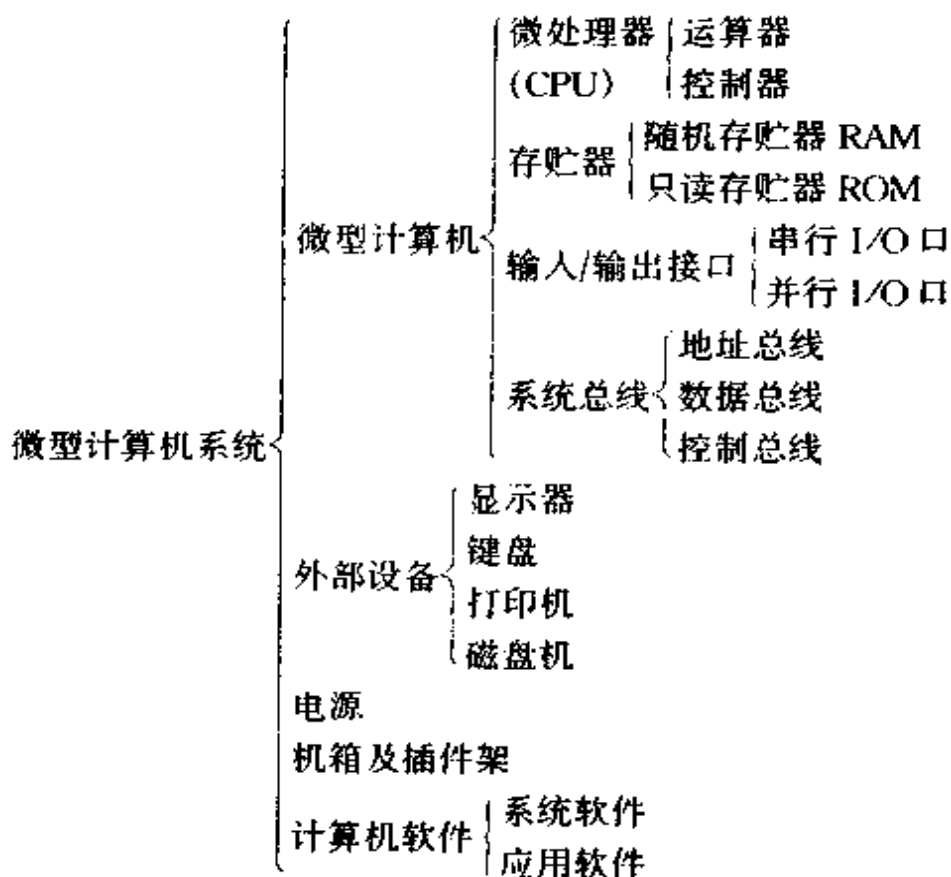
微型计算机是由微处理器(CPU)、存贮器和输入/输出接口等三个主要部分组成。

微处理器包括运算器和控制器两大部分,一般由一块大规模集成电路组成。主要指标为处理器字长和速度。通常为8位和16位字长,也有32位的。速度用主频表示:主频越高则速度越快,一般微机的主频可从几兆赫到几十兆赫。

存贮器可分为内存和外存。内存通常用集成电路组成,外存则多采用磁记录和光记录介质。存贮器的主要指标是容量(以字节为单位)。一般微机的内存从几百千字节到几十兆字节。外存可分为软盘、硬盘和光盘等,容量可以更大。

输入/输出接口是微机与外界联系的重要通路。它有串行、并行口等各类接口,分别可以连接键盘、显示器、打印机等各种外部设备。既可以连接输入各种信息,也可以输出控制实现各种功能。

微型计算机的组成如下:



## 2 微型计算机的外部设备

### 2.1 外部设备的功用

计算机的外部设备是指与计算机有关的并在计算机处理信息和数据前后对其进行加工的设备,简称外设。

计算机的外设可将各种信息、原始数据、程序和控制要求及操作命令等等送入计算机;或者输出计算机处理的结果和状态,以数据和其他各种信息形式表示出来。计算机系统的主机通过硬件及软件的方法对外设进行控制,使主机与外设能协调工作,有效地完成输入、输出任务。外设是计算机与外界以及人们联系的桥梁,是计算机系统不可缺少的组成部分。人们只有通过外设才能方便地操作计算机,才能有效地使用计算机。

### 2.2 外部设备的分类

外部设备的分类如下。

- (1)数据准备设备:用于数据的准备和录入。如:卡片穿孔机;纸带穿孔机。
- (2)输入设备:向计算机直接输入数据等信息。如:键盘;光笔;鼠标器;纸带、



卡片读入器;图文输入机、数字化仪;磁盘机(软、硬磁盘机)、磁带机;光盘机;模/数转换器等。

(3)输出设备:将计算机内的数据输出,可以表达成各种信息形式。如:显示器、显示屏;各种打印机;绘图仪;磁盘机、磁带机;光盘机;卡片、纸带穿孔机。

(4)外存设备:用来实现计算机与外部存贮介质之间的信息交换。如:磁盘机;磁带机;光盘机。

(5)通信设备:用来连接计算机与计算机或终端,并可实现其间的通信。如:调制解调器;通信控制器;网络服务器;程控自动交换机。

(6)专用设备:用于系统特定要求的设备。如:专用键盘、操作按键;各种状态输入;各种信息、控制输出;专用显示屏。

表 9.5.1 列出微机及其外部设备的传输、操作速度。

表 9.5.1 微机及其外部设备的传输、操作速度

设备种类		传输、操作速度(字符/秒)
外部设备	键盘	10
	CRT 显示器	1000
	针式打印机	132~264
	磁盘机	1000000 (1MB)
主机		1~25MB

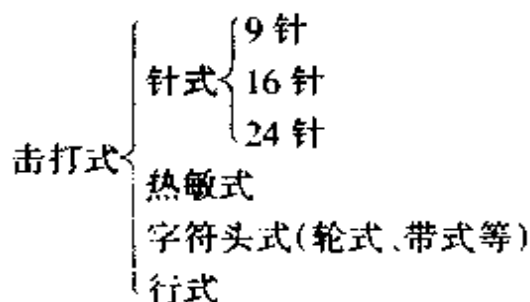
随着计算机技术的发展,相应地对计算机系统功能、外部设备的要求也越来越高。外部设备无论其种类、功能及技术指标都有很大的发展,计算机系统中所用外设的费用占总费用的份额已从早期的 20% 达到目前的 60% 左右。

## 2.3 打印机

### 2.3.1 打印机的种类

打印机是计算机系统中主要的输出设备之一。其功能为将主机输出的信息,包括数据、结果和程序,按要求打印在纸等介质上面。

打印机主要可分为击打式和非击打式两大类。具体如下:



非击打式  $\left\{ \begin{array}{l} \text{喷墨式} \\ \text{激光式} \end{array} \right.$

### 2.3.2 针式打印机

击打式中的针式打印机是通过驱动打印头的细针击打色带到纸面来完成打印任务的。其打印速度较快,每秒可达 132 个字符到 264 个字符。既可打印普通纸,还可打印蜡纸。除了常见的 9 针、16 针外,还有 24 针的,可用于打印汉字。针式打印机方便实用、价格低廉、使用可靠、维修方便。几乎绝大部分用户目前都配用它。打印机结构可分为打印头、字车、走纸机构和色带机构等几个部分。由链轮或摩擦传动来完成送纸。安在字车上的打印头可来回移动。打印头上密布细针,根据驱动命令打印出由点阵排列组成的字符,有的打印机还可实现双向来回打印,速度更快。

### 2.3.3 激光打印机

激光打印机与普通打印机相比,速度快、功能强、字体种类多、字形变换方便,能打印出高质量的字符,适合于图像处理,效果好、噪声也较低,受到越来越多的用户欢迎。它的主要构成部件为:充电器、硒鼓、多面转镜、光调制器、激光器、印刷控制器、缓冲存贮器、格式印刷器、热定影器等。其工作过程为:充电器使硒鼓表面携带电荷,由激光来对硒鼓表面曝光,然后将硒鼓表面的碳粉图像复写到打印纸上并高温固化。利用激光—静电原理完成字符的打印输出。

## 2.4 磁盘机

计算机的外存主要有磁盘、磁带和光盘等。外存容量的大小可根据系统规模和用户需要来安排确定。

### 2.4.1 软盘

软盘是由聚酯塑料膜片制成片基,再涂上磁性材料,并覆上保护层而成,盘片放入保护纸套内,使用时连纸套一起插入磁盘驱动器中。软盘上有小孔作查找索引之用,称为索引孔,可用来指示各磁道的起始位置。保护套上开有槽孔,磁头通过槽孔读取盘片上的信息。磁盘由外到内分成许多同心的磁道,又可分为若干扇区,作为存贮的基本存区。一般 5 吋的软盘可存放 640KB 的数据,高密度的盘可存放 1.2MB。另一种 3 吋的软盘可存放 1.44MB,相当于 30 万至 70 万个汉字的存贮量。

软盘使用时应注意读写槽口处不能触摸和受到污损,不应弯折,不应靠近磁场或接近其他磁性体,不得用尖细笔刻划盘片,避免过冷过热,保持干燥,防止灰尘等。

### 2.4.2 磁盘机

磁盘机又称磁盘驱动器,它是一种精密的机械电子设备。磁盘机由磁头、定位机构、加载机构、驱动机构以及检测控制和读/写电路等构成。磁盘机驱动磁盘迅速旋转,通过检索、定位,确定需读/写的信息位置,然后通过电—磁原理读/写出盘中的信息。具体的各部分机构动作配合和读写的完成则由计算机操作系统来控制实现。

### 2.4.3 硬盘

目前的微机系统大部分配置了硬盘,且普遍采用了浮动磁头技术(温彻斯特技术),故也常简称此种硬盘为温盘。其容量从几十兆字节到几百兆字节甚至更高,大大超过了软盘的容量。温盘在工作时,磁头悬浮在磁盘的表面上,从而避免了高速运转时磁头与盘片的损伤。另外温盘密封性能好,对环境要求较低。由于温盘的结构十分精密,使用时磁头盘片的间隙仅 $0.4\mu\text{m}$ 左右,每分钟转速可高达几千转,故工作时应避免振动和冲击。当然,其使用环境应注意防尘,保持洁净。

### 2.4.4 光盘

光盘是用聚碳酸酯塑料等作衬底材料,上面覆有记录层。记录层是由高反射物质——染色高聚合物或合金构成,再用透明塑料覆盖,用来保护记录体。由于光盘的数据是采用半导体激光束来读写的,与磁记录方式相比,具有分辨率高、可靠性好、容量大且稳定的特点,不会受光照、常温和电磁场的影响,近年来已为广大用户所瞩目,有很好的发展前途。5吋的光盘容量可达到500MB以上,3吋的也可达到600MB以上。

目前光盘主要有三类:

(1)只读型光盘(CD-ROM):它与激光唱片(CD)相仿。用户可读取盘上存贮的信息,但不能改写。

(2)一次写入盘(WORM):即用户可按自己的意愿以激光束烧灼形成的方法将信息写入盘中,以后即可长期保存,并供反复读取使用。

(3)可擦除光盘(MO):又称磁光盘。应用磁光原理可多次写和读,从而可望取代目前广泛使用的磁盘。

## 3 微型计算机的软件

计算机系统总是由两部分组成。其中一部分是组成计算机的各种物理设备,即计算机的硬件。另一部分是指能在硬件上操作和运行,以完成某项指定功能的程序,而这些程序的集合即为计算机的软件。

## 3.1 计算机软件的分类

计算机软件可分为系统软件和应用软件两大类。

### 3.1.1 系统软件

主要包括下列几种:

- (1)计算机的管理程序和操作系统;
- (2)各种计算机语言的翻译程序;
- (3)各种为计算机服务程序;
- (4)软件开发和支援程序;
- (5)汉字处理程序;
- (6)数据库管理系统;
- (7)网络服务与通讯控制程序,等等。

### 3.1.2 应用软件

主要包括下列几种:

- (1)程序库或数字库。如:通用的 I/O 服务程序,常规的数值计算程序等。
- (2)程序包或软件包。由用户或根据用户要求开发的、用于解决某种问题的一组程序。

### 3.1.3 各种专用软件

为解决某个特殊问题而编制。如电器设计程序、机械零件加工程序、商业管理程序、医疗诊断程序,等等。

## 3.2 操作系统

操作系统(OS)用来统一管理计算机资源、合理组织计算机的工作流程,协调系统各部分之间、系统与用户之间的关系。其主要功能为:处理机管理、存储管理、设备管理、信息管理,并提供用户接口。常见的 DOS 即磁盘操作系统,主要用于文件管理和设备管理,协调计算机与内存之间的信息传递。通过 DOS 命令的调用,可方便地建立、修改、删除、复制文件,也可运行和调试用户程序等。一般说来不同型号的计算机,其 DOS 也不相同;同型号的计算机,其 DOS 也因其需要和发展可以有不同的版本。可以说,由于应用了 DOS 这种软件,才使得人们可以方便自如地操作计算机。

近年来,以 WINDOW 系统为代表的图形操作系统发展很快,它通过计算机画面层层显示和鼠标的简单操作,使用直观方便。可免除冗繁、枯燥的规则和命令,使广大非专业用户倍感亲近。还易于多任务、多进程的操作,并可实现声、光等多媒体应用,便于联网通讯,在微机中得到广泛的应用。

### 3.3 计算机语言

如同人类之间靠语言来交流思想一样,人类要同计算机打交道也得要靠语言,这就是计算机语言,也称程序设计语言。语言可分为如下三类:

(1)直接与机器打交道,用计算机的机器指令来表达的机器语言。

(2)可采用能反映机器指令功能的,有助于人们记忆的,用符号来表达的汇编语言。

(3)独立于机器、不依赖于机器具体指令形式表达的高级语言。

人们可以用计算机语言来编写程序,告诉计算机要做的事,计算机就可以通过该语言的执行程序来完成人们所交代给它的任务。由于高级语言的词义和语法大多沿用国际上广泛使用的人类语言——英语,这就使得人们容易理解和接受这些高级计算机语言的涵义。常用的高级语言有简便易学的 BASIC 会话式语言,有广泛应用于设计和科学计算的 FORTRAN 语言,有用于商业管理的 COBOL 语言,还有用于开发和研究的 C 语言等等。

### 3.4 数据库

数据库可以把需要保存的大量数据集中存放在计算机系统中,形成一个通用的综合性数据集合。它们既具有独立性,又便于不同的用户共同享用。这样的数据集合便称之为数据库,简称 DB。而那些帮助人们使用、修改和管理这些数据的软件则称之为数据库管理系统,即 DBMS。人们借助于 DBMS,可以方便地编写有关数据库的应用程序,从而实现对数据的存贮管理和使用。即使那些不熟悉计算机原理的用户也能很容易地参加对数据的管理,并实现数据共享。在 IBM-PC 微机系统上配用的 FOXPRO,就是一个典型的系统,倍受广大用户的欢迎。

### 3.5 软件的选用

一般用户在购机后,除了购买配备好系统软件外,另外还可根据自己工作特点和需要再购置一些应用软件。购买时应考虑到软件的安装、使用和维护的方便。要特别注意:

(1)软件适用的机型以及对外设配置的要求。如:能否适合在自己的机器上运行,是否有足够的内存空间,操作系统的版本是否适合等等。也就是软件运行的环境条件应合适。

(2)软件的性能的要求。软件的性能应能符合实际需求,如使用操作方便,人机界面良好,阅读、纠错容易,运行故障率低。

(3)软件提供的资料应齐全、配套,诸如使用说明书、安装手册、软件功能框图、程序流程和清单等等,详尽的资料有利于软件的使用、维护和改进扩充。可以购

买受软件版权保护的资料,请销售厂商提供软件维护和备份服务。

(4)对软件的价格,应进行市场比较,防止假冒伪劣以及侵权行为。

## 4 微型计算机的机房与供电

对计算机系统而言,一个好的使用环境是系统能够正常运行的必要条件,它有利于提高工作效率,延长机器使用寿命。我们应按照有关国家标准的要求,结合系统的实际情况,把这个基础工作做好。

### 4.1 机房的选址

(1)应选择地质稳定、环境良好的场所,尽量避免地震等自然灾害的影响。

(2)远离危险、易燃、易爆物品,避免化学有害腐蚀性气体。

(3)远离强振动源与噪声源。

(4)远离高压线路、大型变电场所以及无线电发射台、雷达站、微波站等。

(5)选择空气洁净的场所。

### 4.2 机房的防护

(1)防火。要有各种防火措施和制度。灭火材料与器具应适用于精密电子设备的灭火,如 $\text{CO}_2$ 等灭火器。还应设置烟火报警装置等。

(2)防水。采取妥善的排水措施。防止设备和管道漏水。下班以后或临时断水都应及时关好水龙头。

(3)防震。设备的安装与放置,管道与走线均应注意防震要求。特别是精密电子设备如硬盘机等,更应避免震动。

(4)防电磁干扰。尽量远离电磁场干扰源,对系统中各种电子设备可能产生的电磁噪声也应采取抑制措施,如系统接地和设备屏蔽。对微机和其他设备的金属外壳可采取接地的办法。必要时对机房也要采取屏蔽措施。

(5)防静电。静电对计算机等电子设备危害很大,往往会造成器件(集成电路)损坏、数据丢失、设备受损等严重后果。机房内应注意避免使用化纤材料(包括工作服和地毯等),有条件的可以敷设抗静电地板,设备和工作台应良好接地,控制机房的湿度不能太低,操作人员应尽量不去触摸电子元器件,必要时应戴防静电手环,以去除人身上所带静电。

### 4.3 机房的环境

(1)温度。机房内的温度希望尽可能保持恒定。避免因器件过热而影响机器的稳定运行,避免设备特别是精密、运动部件的变形而导致损坏。一般应配置空调

设备,以调节室温。

(2)湿度。湿度过高易导致器件受潮锈蚀、接触不良,降低绝缘性能、缩短设备使用寿命;湿度过低则容易产生静电,对设备带来不利的影响。根据情况可采用去湿机或加湿机来控制湿度。

(3)洁净度。机房洁净度对计算机工作影响很大,机房内的空气应保持清新、洁净。应尽量减少灰尘、微粒,因灰尘的吸附会造成磁介质表面损伤和元器件的腐蚀,会增加触点的接触电阻。而且灰尘在吸附空气中有害气体的离子后也会对设备的使用和寿命产生不利影响。应重视机房的环境和工作人员的卫生清洁,保持机房内洁净,并配备除尘和空气过滤设备。

根据“计算站场地技术要求”的国家标准,表 9.5.2 列出具体指标。

表 9.5.2 计算站场地的技术要求

指 标 项 目	级 别	A 级		B 级	C 级
		夏季	冬季		
温度(℃)		23±2	20±2	15~30	10~35
相对湿度(%)		45~65		40~70	30~80
温度变化率 (℃/h)		<5 要不结露		<10 要不结露	<15 要不结露
洁净度	粒度(μm)	≥0.5		≥0.5	≥0.5
	粒数(粒/L)	≤3500		≤10000	≤18000

对于高、中档,大、中型计算机系统应按 A、B 级要求实行;对于普通、价廉的微机系统则希望不低于 C 级标准。

## 4.4 机房的接地

计算机系统是一套精密的电子设备,对接地要求较高。一般需设置专门的地线,使系统电源电压有一个稳定的零电位,以作为所有电压的参考电位。一方面系统中电源电压和信号遇到各种干扰时可以通过高频及低频的滤波电容将其滤除;另一方面遇有雷电、强干扰源时又可排除对计算机的影响,保护系统正常工作。

计算机系统的接地除了一般均已设有的避雷地以外,还有交流地、保护地、直流地三种。这三种接地极应与避雷地的接地极分开设置,相距应大于 25m,以防止避雷地对它们的影响。

### 4.4.1 交流地

是交流电网的接地系统。电源的零线一般有不平衡电流和单相负载的回路电流通过。遇到异常情况时会有接地电流通过。如果接地电阻很大,那么接地电流

与地线阻抗间的电位变化会影响计算机系统工作的稳定性,甚至发生错误。应将交流电源的零线(中线)连到机房外的交流地极上,接地电阻应小于  $4\Omega$ 。

#### 4.4.2 保护地

指各种设备的外壳接地。它一方面可屏蔽外界对计算机和设备的干扰,另一方面万一发生意外而有漏电时可对人员起安全防护作用。要求其接地电阻在  $4\Omega$  以下。

#### 4.4.3 直流地

直流地又称为逻辑地。它是直流电源的一个输出端。根据电源的极性分别选负极或正极来充任。由于计算机系统中多为电子设备,电路工作电平高低电位差值小。逻辑“0”与逻辑“1”两者电位相差仅  $2V$  左右,稍有波动便会导致系统不能稳定工作。这与强电系统有很大的差别,应特别重视。一般通过良好的接地网络将其连接,使其形成稳定的零电位,接地电阻应小于  $1\Omega$ 。

需要注意的是,有部分计算机或仪器、设备直接将外壳与机内直流地线相连,这样机器本身构成了独立的“浮空”直流系统。此时应将其作为直流地来处理。

在机房内各种地线应严格区分、相互绝缘。连接、引出线与接地极应选用导电性能良好的材料,并保持各连接点接触良好。尤其直流地应单独接在接地极上,避免受到其他干扰。安装与连接时应严格按照使用说明的要求进行。

### 4.5 机房的抗干扰

计算机系统通常主要靠廉价方便的交流市电来供电的,因此防止来自电网的各种干扰是保证计算机正常工作的重要环节。否则会影响系统的稳定运行,甚至破坏数据、毁坏设备,造成严重的后果。来自电网的干扰主要有以下表现:

(1)突然断电。会导致数据丢失、硬盘损伤、系统失常、中断工作。

(2)电压波动。由于用电负荷变化,昼夜影响,形成一段时间“欠压”或“过压”。电压波动会超过  $15\%$ ,持续时间可达数小时,器件容易受损,系统工作也将受到影响。

(3)浪涌下陷。由于大容量设备的通断、负载变化及配电线路的缺陷,会引起短时间内的电压大幅度波动,持续时间从几毫秒到几秒,波动幅度可达  $20\%$ ,甚至引起频率漂移。

(4)尖峰干扰。由于雷电、大容量开关的切换、电弧等往往会产生尖峰脉冲。虽然其宽度不大,在毫秒以内,但瞬间幅度可达几千伏,很容易损坏芯片器件。有时又会被机器错当成工作脉冲,引起系统误动作,危害很大。

(5)射频干扰。由于周围电子设备所产生的电磁噪声或外界干扰源的影响,也会影响系统的正常工作。

原来常规的电子稳压器(如 614 型),产品成熟、稳压精度较高,能较好地解决



电压波动问题。但其响应速度较慢、过压保护差,尚不能快速、有效地对付电网中的其他干扰。对计算机及精密的电子设备宜采用隔离变压器、不停电电源(UPS)和参数稳压器。效果较好的是在线式 UPS 和电源调节器(净化电源)。如果电压波动较大时,还可在其前级加调压器或稳压器。

## 4.6 不间断电源

不间断电源简称 UPS。在外界断电后可由它连续供电。它是抗电力干扰、对付市电断电的有效设备。常用于计算机等精密电气设备的供电保护。

UPS 主要由逆变器、转换开关、滤波稳压器、整流器、充电器、蓄电池等构成,具有效率高、体积小、可靠方便的特点。

UPS 除了功率大小、单相三相区别外,一般输出波有正弦波和方波两种。根据其工作方式不同,还可分为后备式和在线式两类。

后备式 UPS 在正常情况下由市电经稳压滤波后直接向负载供电,同时经整流器、充电器向蓄电池充电。当市电断电后通过转换开关迅速改换为由蓄电池提供直流电再经逆变器转为交流电后向负载供电,同时报警。其切换时间一般在 4ms 左右。由于它采用了抗干扰技术,故能有效地箝制高频信号、去除高压尖峰脉冲,使电源得以净化。

在线式 UPS 则设计成总是由逆变器输出。当市电正常时,交流电经整流器转逆变输出;断电时则改由蓄电池供电。这样在线式 UPS 可消除来自电网的电压波动和各种干扰,从而实现无干扰稳压供电,而且切换速度快,可在  $100\mu\text{s}$  以内完成,用户设备几乎毫无感觉。另外,输出正弦波的失真也小。

选用 UPS 时,应根据负载设备的要求和功率来决定 UPS 的种类和容量。一般可用后备式,对高档设备、要求高的场合应采用在线式。容量上应留有适当余地。再根据需保持供电的时间,如 10 分钟到数个小时,从中选定。有的系统内有多个计算机和设备,则选多个 UPS 比集中使用一个更有利些。

UPS 的安装、连接和使用应严格遵守使用说明的规定。断电后系统使用 UPS 供电的时间不要超出它的正常供电时间,以免损伤蓄电池组。下班或无人照管时应关掉 UPS 电源和输出开关。后备式 UPS 关机以后重新开机,其间隔时间应不小于 6s。

# 5 微型计算机的安装与使用

## 5.1 微机机型的选择

首先用户可根据自己的目标任务来确定机器的类型,如是大型复杂的项目、网

络系统或者高速、实时处理系统,还是小型的应用项目,或者是产品上、设备中的简单控制。如为前者,则应选用档次高的超级微机;如果为后者则一般可考虑单片机,它简单、可靠实用。对其余很大一部分的应用项目,采用通常的微机大多可以胜任。从众多的微机中选择适用的机型时,应考虑如下几点:

(1)机型的先进性。最好选国际、国内较为普遍的主流机型,如 IBM-PC 微机及其兼容机。

(2)性能价格比。在价格水平接近的情况下,尽可能选档次高、功能强的微机系统。

(3)兼容性。从硬件结构、软件支持和运行环境看,能与本系统、本行业或本单位的现有系统相兼容,能成为系列,并且便于已有软件的移植。

(4)可扩充性。系统在基本配置基础上有较强的软件、硬件扩展能力。

(5)可维护性。具有良好的售后服务和技术后盾。

(6)联网能力。最好能具备系统联网能力,便于系统发展提高。

## 5.2 微机系统的安装和使用要点

(1)在开箱时,应根据装箱清单和操作说明书,仔细核对所提供的各项设备及电缆、插头等附件是否错漏,并仔细阅读操作说明书。

(2)安装前,主机及外部设备等电源开关均应置于“关(OFF)”的状态。

(3)在拆装、连接各项设备的电缆及部件前,除非允许,均应事先断开电源。

(4)线缆插拔前,应检查核对其位置、方向是否正确。

(5)各种交流、直流电源在插上和接通之前,应仔细核对电源种类、电压等级、插头及插座的标准和型式等。对国产和进口的设备,由于各国和各厂商采用的标准不同,有的即使外形相同,但还需要核对其极性,火线、零线及地线的位置等,须正确无误后才能插上。

(6)对于系统中的各项设备,从开到关或从关到开,其间一般应间隔 10s 左右。

(7)开主机电源前,应将驱动器磁盘先行取出,以免损坏盘中信息。

(8)开机步骤一般应先外设后主机,关机时则相反。

## 5.3 微机的安装和连接步骤

(1)连接主机与键盘;

(2)连接主机与显示器;

(3)连接主机与打印机;

(4)连接主机与其他外部设备;

(5)连接各项设备的电源线,有的主机上有交流电源分插座,可供其他外设如显示器所用;

(6)检查各项设备的选择开关、工作状态设置是否正确,以及在包装、运输过程中临时插在设备上的垫片、辅助插件等是否已去除;

(7)接通 UPS 电源,检查状态应正常;

(8)对外设(如打印机)进行开机自检;

(9)所有上述各项均正确无误时,可将主机开关置于“开(ON)”位置,即开机,此时应该有系统自检操作和提示信息,表明系统是否正常;

(10)非专业人员首次操作计算机前须经专门培训。

## 5.4 微机的使用与管理

对微型计算机的操作、使用以及管理、维护应由专业人员负责。通过调查了解,微机在使用过程中,除了个别设备和机件的质量存在问题外,很大一部分的故障与损坏(据统计占 70%以上),是由于用户管理不善、维护不力、使用不当而引起的。如电网的干扰,接地系统和抗干扰措施不严格、不规范;机房环境太差,受潮、污尘、腐蚀严重;电源错接、插件错插及其他的人为损伤;以及使用不当导致打印机、驱动器、电机、电源、盘片等设备和部件的损坏,因此需要大力提高操作人员的业务素质、加强机房管理,落实有关制度。具体措施有:

(1)定期检查机房的各种环境条件,注意防火、防水、防潮、防静电、防污染。

(2)定期检查接地系统、供电系统和机房的设备。

(3)对微机设备定期进行保养和维修。

(4)遵守机房制度,保持机房的清洁,禁止无关人员出入,更不允许随意拨弄设备。

(5)加强操作管理,重要设备由专人操作、专人维护。

(6)加强信息管理,采取严格保密措施。及时做好备份,防止数据、报表、资料的丢失或泄密。设置系统操作口令和密码,对数据和磁盘进行加密处理等。特别要防止来历不明的软件、盘片进入本系统,以免受病毒感染。

## 5.5 微机病毒的预防

计算机病毒是危害计算机系统正常工作的特殊程序,它像生物病毒一样,可以生存、繁殖和传播。它会导致计算机系统瘫痪和损害,具有极大的破坏性,给用户带来巨大的损失。其特点如下:

(1)灵活。病毒程序有的小巧灵活,往往只有几千字节,可以直接或间接运行。

(2)再生力强。病毒能自我复制,并扩散到未被感染的系统中去。

(3)隐蔽。病毒依附于内存或磁盘中,发作之前往往难以发现和查找。

(4)潜伏性。有的病毒侵入计算机后,会长期潜伏,甚至长达好几个月。一旦时机到来,便会猖狂作孽。

(5)破坏性。病毒的滋生和发作会严重破坏系统,如侵占系统资源、破坏数据、干扰系统正常运行,直至使系统瘫痪为止。

对计算机病毒的预防,建议可采取以下措施:

(1)严禁使用来历不明的软盘和软件,重要的计算机系统应该做到专人专管专用。

(2)尽量用硬盘来启动系统,若需用软盘启动时应将硬盘屏蔽。

(3)不要向系统盘写数据,不需写入数据的盘片应贴上写保护标志。

(4)重要的信息应及时做好备份。

(5)用户应尽量使用分级目录,对公用软件的使用应特别谨慎。

(6)定期用抗病毒软件进行消毒或者安装防病毒卡。

## 第六章 计算机网络

因特网从 1969 年最初的 ARPANET 计算机网络开始,经过几十年的发展,如今像一个巨大的蜘蛛网覆盖了整个地球,使得地球发展得像个“地球村”,使得 21 世纪的人类社会变成“信息化”社会。

### 1 计算机网络的基本知识

#### 1.1 网络概念

计算机网络就是利用通讯设备和线路将地理位置不同、功能独立的各个计算机系统互联起来,以功能完善的网络软件实现网络中资源共享和信息传递的系统。计算机互相连接起来形成的网络称计算机网络。

##### 1.1.1 局域网

一般分布在有限的地理范围,在几千米至几十千米之间,通过电缆直接相连。

##### 1.1.2 区域网

比局域网要大一些,通常覆盖一个地区或一个城市,在几十千米至上百千米之间,由不同的局域网互相连接所形成。

##### 1.1.3 广域网

通常是多个局域网和区域网的集合,在更大范围内展开。

##### 1.1.4 因特网(Internet)

最大的广域网,覆盖整个地球。

#### 1.2 网络硬件构成

网络硬件是指单机连入网络以及网络与网络连接时通常必须使用的设备。这些设备包括:服务器、客户机、工作站、中继器、集线器、收发器、调制解调器、网卡、网桥、路由器以及网关等,见图 9.6.1。

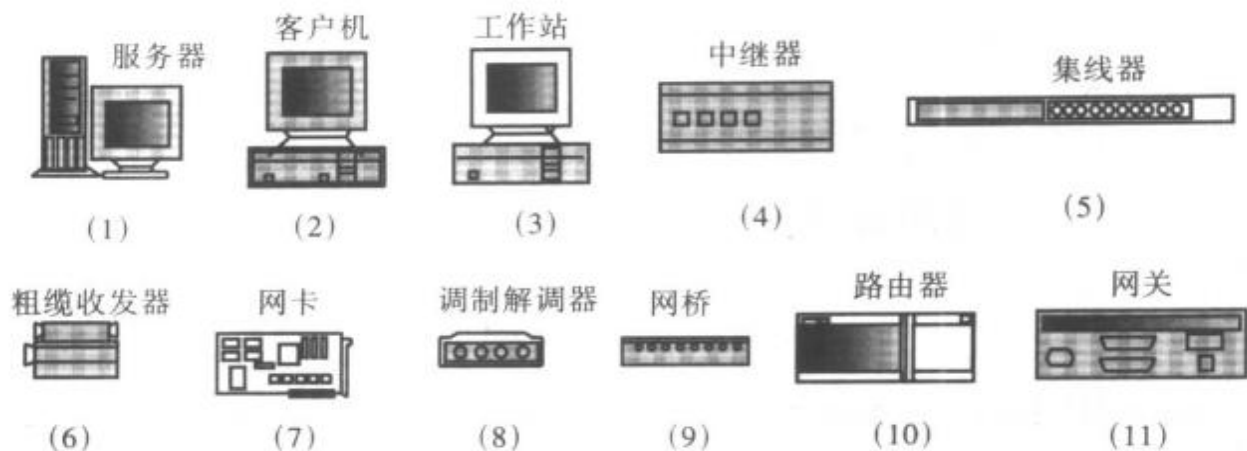


图 9.6.1 常用网络设备

### 1.2.1 服务器(Server)

服务器就是在网络中能够为其他节点提供服务的计算机,根据服务的作用,又分为文件服务器、打印服务器和通信服务器:

### 1.2.2 客户机(Client)

任意一台连接在网络中的个人计算机,它能够请求和获得服务器的服务,并可获取网络的各种资源。

### 1.2.3 工作站

兼具客户机和服务器的功能,既能作为独立的个人计算机为用户服务,同时也可以作为服务器为其他客户提供服务。

### 1.2.4 中继器(Repeater)

中继器的作用是接收、复制和增强信号使信号传输更远,从物理上连接两个或多个网段,用于延伸局域网的物理作用范围。比如可以用几个中继器将粗缆局域网扩展到 2.5 千米,或将细缆局域网延伸到 1 千米。

### 1.2.5 集线器(Hub)

集线器是特殊的中继器,可以用来将若干台计算机通过双绞线连到集线器,从而构成一个局域网,也可以通过级联的方式展宽局域网的物理作用范围。

### 1.2.6 收发器(Transiver)

收发器有多种类型,用来将计算机连接到不同的传输介质上。常用的有粗缆收发器、细缆收发器、双绞线收发器、光纤收发器。

### 1.2.7 网卡

网卡是网络接口卡,是最基本的网络设备之一,作为网络工作站与服务器之间

或不同工作站之间信息交换的接口。一块网卡可能会有三种接口,即 AUI(粗缆)、BNC(细缆)和 RJ-45(双绞线)。应根据网络所用传输介质来决定用哪一种接口,现在的网卡一般都有 RJ-45 口和 BNC 口。

### 1.2.8 调制解调器(Modem)

调制解调器是一种特殊的信号转换设备,它将计算机发出的数字信号转换成可以在电话线上传送的模拟信号(音频信号),从电话线的这一端传送到那一端。远端的调制解调器再把模拟信号还原成数字信号,送到网络上,从而使用户可以通过电话线使用网络。随着计算机进入普通百姓的家庭,通过调制解调器上网并接入 Internet 就变得越来越普及,越来越流行了。

### 1.2.9 网桥(Bridge)

网桥用于连接两个或几个局域网,局域网之间的通信经网桥传送;局域网内部的通信被网桥隔离,以减少网络交通阻塞。网桥有内桥、外桥之分,是一种用于延伸局域网的物理设备。

### 1.2.10 路由器(Router)

路由器是一种通信设备,它能在不同路径的复杂网络中自动进行线路选择,在网络的节点之间对通信信息进行存储转发,具有网络管理功能。

### 1.2.11 网关(Gateway)

网关又称信关,是在不同网络之间实现协议转换并进行路由选择的专用网络通信设备。

## 2 登录因特网的方法与步骤

### 2.1 若干概念

#### 2.1.1 协议

协议就是网际间的语言,网络中的各个节点以及网络与网络之间遵照协议中规定的规范进行通信。TCP/IP 就是用来将计算机和通信设备组织成网络的一大类协议的统称。IP 和 TCP 是其中两个重要的协议,IP 负责将数据从一处传到另一处,而 TCP 保证传输的正确性。

#### 2.1.2 网络地址

因特网中计算机的地址编号就称做网络地址或 IP 地址。

IP 地址占用四个字节(32 位),用四组十进制数字表示,每组数字取值范围为 0~255。一组数字与另一组数字之间用圆点(.)作为分隔符。

一般将 IP 地址按节点计算机所在网络规模的大小分为 A、B、C 三类:A 类地

址分配给规模特别大的网络使用。A类网络用第一组数字表示网络本身的地址,后三组数字作为连接网络上主机的地址。B类地址分配给一般的大型网络。B类网络用第一、二组数字表示网络的地址,后面两组数字代表网络上的主机地址。C类地址分配给小型网络,如一般的局域网和校园网。C类网络用前三组数字表示网络的地址,最后一组数字作为网络上的主机地址。

还有两类比较特殊的地址:D类地址称为广播地址,供特殊协议向选定的节点发送信息时用。E类地址保留给将来使用。A、B、C、D、E五大类地址所能表示的范围是:

A类:0.0.0.0~126.255.255.255

B类:128.0.0.0~191.255.255.255

C类:192.0.0.0~223.255.255.255

D类:224.0.0.0~239.255.255.255

E类:240.0.0.0~247.255.255.255

### 2.1.3 域名系统

Internet建立了域名管理系统DNS(Domain Name System)。DNS用分层的命名方法,对网络上的每台计算机赋予直观惟一的标识名,其结构如下:

计算机名.组织机构名.网络名.最高层域名

最高层域名又称为顶级域名。顶级域名代表建立网络的部门、机构或网络所隶属的国家、地区,大体可分为两类,一类是组织性顶级域名,一般采用由三个字母组成的缩写来表明各机构类型,参见表9.6.1;另一类是地理性顶级域名,以两个字母的缩写代表其所处的国家,参见表9.6.2。

表 9.6.1 组织性顶级域名

最高层域名	机构类型	最高层域名	机构类型
.COM	商业系统	store	提供购买商品的业务部门
.EDU	教育系统	web	主要活动与 WWW 有关的实体
.GOV	政府机关	arts	以文化活动为主的实体
.MIL	军队系统	rec	以消遣性娱乐活动为主的实体
.NET	网络管理部门	inf	提供信息服务的实体
.ORG	非盈利性组织	nom	有针对性的人员或个人的命令
firm	商业或公司		

表 9.6.2 地理性顶级域名

域名缩写	国家
.AU	澳大利亚
.CN	中国
.FR	法国
.DE	德国
.IT	意大利
.JP	日本
.UK	英国



“网络名”部分在域名结构中处于第二级,我国的二级域名分为“类别域名”和“行政区域域名”两类。类别域名见表 9.6.3;行政区域域名适用于中国的各省、自治区、直辖市,见表 9.6.4。

表 9.6.3 中国类别名表

类别域名	适用范围
.AC	科研机械
.COM	工、商、金融等企业
.EDU	教育机构
.GOV	政府部门
.NET	互联网络、接入网络的信息中心和运行中心
.ORG	各种非盈利性组织

表 9.6.4 中国行政区域域名表

序号	行政区域名	含义	序号	行政区域名	含义	序号	行政区域名	含义
1	BJ	北京市	13	FJ	福建省	25	GS	甘肃省
2	SH	上海市	14	JX	江西省	26	QH	青海省
3	TJ	天津市	15	SD	山东省	27	NM	内蒙古自治区
4	CQ	重庆市	16	HA	河南省	28	GX	广西壮族自治区
5	HE	河北省	17	HB	湖北省	29	XZ	西藏自治区
6	SX	山西省	18	HN	湖南省	30	NX	宁夏回族自治区
7	LN	辽宁省	19	GD	广东省	31	XJ	新疆维吾尔自治区
8	JL	吉林省	20	HI	海南省	32	TW	台湾
9	HL	黑龙江省	21	SC	四川省	33	HK	香港
10	JS	江苏省	22	GZ	贵州省	34	MO	澳门
11	ZJ	浙江省	23	YN	云南省			
12	AH	安徽省	24	SN	陕西省			

组织机构名和计算机名一般由网络用户自定。

凡是能使用 Internet 域名地址的地方,都可以使用 IP 地址。例如:www.in.ah.cn 和 203.207.152.200 二者是等价的。

## 2.2 入网方法

### 2.2.1 入网

2.2.1.1 单位入网 一个计算机系统或一个网络系统同 Internet 连接,成为

它的一个节点,步骤如下:

(1)申请 IP 网络地址。在国内可向中国互联网络信息中心 CNNIC 申请。

(2)申请注册域名。首先要给本单位的网络确定一个适宜的域名,向负责管理中国域名的最高机构中国互联网络信息中心(CNNIC)提出域名注册申请。我国的最高层域名是 cn,第二级域名随部门或领域而确定。政府部门确定为 gov,中国经济信息网它的域名为 www.cei.gov.cn。

当本单位的域名注册申请获得批准并定义了网上有关计算机的名字后,在事先选定的一台主机上用软件建立域名与 IP 地址对应表,即域名信息数据库,再加以与本网络相关的信息,构成本地的域名系统服务器(DNS)。

(3)确定进入 Internet 的入口点。加入 Internet,在线路连接上通常使用专用线路,通过路由器或网关与 Internet 的任何一个路由器或网关联通。

(4)安装本地路由器或网关。在本地局域网上设立路由器,并安装软件。

(5)运行 TCP/IP 网络软件。在本地计算机上配置并使用 TCP/IP 协议。

(6)建立通信线路。为连入我国的四大网络,通常可以使用邮电部门提供的数字数据通信网 DDN 和分组交换网,也可以使用卫星信道或光纤等其他专用线路。

**2.2.1.2 个人入网** 个人或单用户要接入 Internet 网络,通常要具备以下三项条件:

(1)拥有一台 486 以上的 PC 机,可以运行 Windows 或 Windows 95 及以上;

(2)有一个内置的或外置的调制解调器(MODEM),速度在 33.6K 以上最好;

(3)有一根电话线。

然后选择一家 Internet 服务商(ISP),申请建立个人帐户,安装并运行拨号入网软件,就可以通过电话线进入 Internet。

## 2.2.2 入网方式

**2.2.2.1 通过邮局连入 Internet** CHINANET 是邮电部门经营管理的中国公用 Internet,是中国的 Internet 骨干网。通过 CHINANET 的灵活接入方式和遍布全国各城市的接入点,可以方便地接入国际 Internet,享用 Internet 上的丰富资源和各种服务。

**2.2.2.2 通过 Internet 服务商(ISP)连入 Internet** 一个计算机系统或一个局域网,通过“路由器(网关)-通信线路-路由器(网关)”与 Internet 连接后,就能获得 Internet 的所有服务,包括利用计算机系统资源、信息查询、网络通信以及建立信息库等在内的服务。大多数用户都是以电话拨号方式而获得服务的。

**2.2.2.3 通过局域网连接** 接入一个因特网相连的局域网,即可登录因特网。

**2.2.2.4 通过电话线连接** 通过电话线连接 Internet 有两种方式,即仿真终端方式和 PPP/SLIP 方式。PPP 称作点对点协议,SLIP 称作串行线路连接协议。

## 2.3 网络安全防护

### 2.3.1 口令

口令(Password)是一种最容易实现的用户识别技术,在计算机系统内广泛使用。在口令识别机制中,计算机系统给每个用户分配一个用户标识(用户名)和一个口令。用户标识惟一确定一名用户,是公开的;而口令用于验证用户,是保密的。用户在设计自己的口令时,遵循以下一些基本规则:

- (1)不使用注册名及其变形(如反转、双写、大写等)。
- (2)不使用自己及配偶、孩子的姓名及其变形。
- (3)不使用容易想到的有关自己的信息,如电话号码、生日、银行帐号等等。
- (4)使用的口令最好是字母、数字、符号的混合。
- (5)口令不少于6个字符。
- (6)使用容易记忆但不容易写的口令。
- (7)使用大小写字母混合的口令。
- (8)使用的口令应该不看键盘就能快速输入,并且不要告诉任何人。

### 2.3.2 访问权限控制

访问控制技术是在保护资源安全的前提下实现资源共享,系统规定主体(如用户)对客体(如文件、数据库、设备)的访问权限(如可读、可写)。在文件系统、数据库系统、设备管理、WWW等之中,都使用了访问控制技术。每个用户只能在自己的权限范围内使用网络资源。

常见的有以下8项权限,见表9.6.5。

表 9.6.5 用户使用权限类型表

序号	类型	意 义
1	新建权限	允许建立新的子目录和新文件
2	读权限	允许打开文件进行阅读,对可执行文件允许运行
3	写权限	允许打开文件进行修改
4	系统管理员权限	对相应目录和其中的文件可以进行所有操作
5	存取控制权限	允许修改目录的代管者和权限继承屏蔽。“权限继承”是指用户对某个目录的代管权限对该目录的所有子目录和文件同样有效,如要改变,就需要修改其“权限继承屏蔽”
6	删除权限	允许删除其子目录和文件
7	修改属性权限	允许修改其子目录和文件的属性。目录和文件本身的属性对所有用户都有效,即属性安全性
8	文件搜索权限	允许查看目录内容。如果没有这项权限,连目录中有哪些文件都看不到

### 2.3.3 防火墙

防火墙是指一种将内部网和公众可访问网例如 Internet 分开的方法。建立防火墙的目的在于:确保内部网络能与外部通信,同时又减少来自外界的危害。实际上,防火墙可以放在任何两个网络之间。

防火墙可以对任何企图从外部进入内部网络的行为进行密码核对和其他认证,将一切未经授权的人挡在外面,并且“护送”合法用户到达允许他们到达的内部网地点。

防火墙包括两大类:网络级防火墙,应用级防火墙。

网络级防火墙检查 IP 数据包信息,决定 IP 数据包是否通过。系统内设置有访问控制表,系统根据控制表的过滤规则,检查数据流中的每个数据包的 IP 地址、端口号,来决定是否应该通过。

网络级防火墙简洁,速度快,费用低,并且对用户透明。但是,它对网络的保护很有限,因为它只检查地址和端口,对网络更高协议层的信息无理解能力。

应用级防火墙能够理解应用层上的协议,能做复杂一些的访问控制。针对每一种应用协议,都使用代理服务来理解协议,并做安全检查。其效率不如网络级防火墙。

### 2.3.4 加密保密方法

加密,将正文变成字母、数字和符号的大杂烩,要把加密的数据还原是很困难的,除非事先知道加密方法。

## 2.4 因特网的主要资源

世界任何地方的任意一个 Internet 用户都可以从 Internet 中获得任何方面的信息,如自然、社会、政治、历史、科技、教育、卫生、娱乐、政府决策、金融、商业和天气预报等等。

### 2.4.1 因特网的主要信息资源

表 9.6.6 简要地概括了 Internet 信息资源的主要内容。

表 9.6.6 Internet 主要信息资源

英语	汉语	英语	汉语
Aerospace	航天	Internet	全球网互联
Agriculture	农业与农艺	Intrigue	阴谋诡计
Applied Science	应用科学	Language	语言
Archaeology	考古学	Law	法律
Art	艺术	Libraries	图书馆
Astronomy	天文学	Literature	文学
Automobiles	汽车	Magazines	杂志与期刊

续表

英语	汉语	英语	汉语
Aviation	航空	Mathematics	数学
BBS	布告栏系统	Medicine	医药学
Biology	生物学	Military	军事
Bizarre	奇观	Movies	电影
Books	书籍	MUDs	多用户空间
Business	商业	Music	音乐
Calculators	计算装置	News	新闻
Chemistry	化学	Oceanography	海洋学
Children	儿童	Operating Systems	操作系统
Communication	通信	Organizations	组织机构
Computer	计算机	Pets	宠物
Consumer	消费者	Physics	物理学
Criminal Justice	刑法	Physiology	生理学
Earth Science	地球科学	Pictures	图片
Ecology	生态学	Politics	政治学
Economics	经济学	Programming	程序设计
Education	教育	Publication	出版
Environment	环境	Religion	宗教
Finance	金融	Science	科学
Food and Drink	饮食	Sex	性
Fun	娱乐	Sociology	社会学
Games	游戏	Software	软件
Geoculture	地球文件	Space	宇宙空间
Geography	地理学	Sports and Athletics	体育运动
Geology	地质学	Technology	工艺与技术
Government	政府	Telephone	电话
Health	卫生与健康	Television	电视
History	历史	Travel	旅行
Hobbies	兴趣与爱好	Trivia	琐事
Humanity	人类学	Unix	Unix 计算机
Humor	幽默	Usenet	新闻论坛
Information Science	信息科学	Weather and Climat	气象与气候
Intellectual Property	知识产权		

#### 2.4.2 因特网的主要服务资源

表 9.6.7 罗列了一些主要的 Internet 服务资源。

表 9.6.7 Internet 主要服务资源

英文名称	汉语名称	内容描述
Telnet	远程登录	连接并使用远程主机
Email	电子邮件	发送和接收邮件
Mailing List	邮递表	多用户邮件分发
Finger	查询	查询显示用户或主机信息
Anonymous FTP	匿名 FTP	接入公共数据文档
Archie	文档服务器	搜索匿名 FTP 文档
Gopher	地鼠	菜单驱动信息检索系统
WAIS	广域信息服务器	数据库信息检索系统
WWW	世域网	超级文本信息访问系统
Usenet	新闻论坛	巨大的专题讨论系统
Talk	对话	与一个人的实时交互式通信
IRC	交谈	与一组人的实时交互式通信
White Pages	电子白皮书	电子化的电话号码簿
BBS	布告栏系统	信息共享系统
Electronic Magazine	电子杂志	电子出版物
MUD	多用户空间	虚拟真实系统
EDI	电子数据交换	无纸贸易
IPhone	网际电话	网际电话
WebTV	网络电视	网络电视

### 3 网络综合布线系统

#### 3.1 网络中常用的传输线缆和接头

##### 3.1.1 双绞线

双绞线由两根有绝缘护套的铜制电缆组成,这两根电缆按一定的密度绞扭成一对线,通过这种方式可以抵消各自产生的电磁辐射和干扰。

一般将双绞线封装在护套内,根据封装形式的不同,可将双绞线分为屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线。

**3.1.1.1 非屏蔽双绞线** 由一对或数对甚至几十对双绞线加一个护套组成,一般在其中旋转一根强度较高的细线以增加整体的强度。优点:易安装,节省空间,可支持高速数据传输。缺点:传输距离较短,两个节点之间的距离限制在百米以内。

**3.1.1.2 屏蔽双绞线** 内部与非屏蔽双绞线一样是由铜制电缆绞扭而成,但

外层多了一层铝箔作为屏蔽层。优点:支持更高的数据传输率,数据传输质量较好,适合于一些特殊地方的布线。缺点:安装比非屏蔽双绞线要难,价格也贵一些。

### 3.1.2 同轴电缆

同轴电缆一般由四层组成,其中心是一根导线,导线外面是一层绝缘层,绝缘层的外面是一层绝缘金属,最外层是一层绝缘材料,常见的同轴电缆有细缆和粗缆。

3.1.2.1 细缆 细缆的直径较小,采用BNC接头和T型连接器。优点:连接简单,造价低。缺点:传输距离较短,两个节点之间的距离限制在百米以内,接头多时容易接触不良,同时在接地不好的情况下,易烧坏设备。

3.1.2.2 粗缆 粗缆的直径较大,采用收发器和收发器电缆。优点:连接距离长,可靠性好。缺点:安装难度大,总体造价高。

另外,无论粗缆还是细缆都有一个共同的缺点,这是由于两者都用于总线型拓扑结构,因此当任意接头或收发器发生故障时,便会影响整个网络。

### 3.1.3 光纤

光纤即光导纤维,是一种能够传输光信号的介质,它细而柔软,可用玻璃和塑料制造。光导纤维的横截面为圆形,由纤芯和包层两部分组成,其中纤芯为光的通路,而包层则起到将光线反射到纤芯的作用。在最外面还有一层保护层,用来防止光纤由于外界的因素而损坏。光纤只能单向传输,因此光纤一般成对出现,通常我们根据光纤传输模式的不同将光纤分为单模光纤和多模光纤两种。

3.1.3.1 单模光纤 在给定的工作波长上只能以单一模式传输的光纤称为单模光纤,单模光纤的纤芯直径很小,传输频带宽,传输容量大,最大无中继传输长度为60km。

3.1.3.2 多模光纤 多模光纤可以同时提供多条光纤通路,但相对容量较小,其最大无中继传输长度为2km。

### 3.1.4 网络连接

在网络中还有很多用来将传输介质和网络设备连接起来的接头和转接件,统称为网络连接设备。

3.1.4.1 T型连接器 在细缆组网中用来将两段细缆连接起来的接头,因形状像T字母而得名。

3.1.4.2 RJ-45非屏蔽双绞线连接器 是一种八芯插头,可以连接4对8芯双绞线,没有屏蔽装置。

3.1.4.3 MIC一种用于FDDI网络中的光纤连接器 连接器具有两种形式,位于节点一方的连接器是插座,在FDDI标准中称为端口;位于光纤一侧的连接器就是所说的插头,MIC是一种固定的双口连接方法的连接装置。

3.1.4.4 ST连接器 一种用于单根光纤的连接装置,常见的是卡口式ST连

接器,采用弹性装置加锁扣耦合的连接方法。

## 3.2 网络综合布线系统的定义和分类

### 3.2.1 网络综合布线系统(PDS)

PDS是一种集成化通用传输系统,利用双绞线或光缆来传输信息,它是智能化建筑中必备的基础设施。

### 3.2.2 智能大厦

智能建筑是将结构、系统、服务、运营及其相互联系,全面综合,达到最佳组合,获得高效率、高功能与高舒适性的大楼,从而为用户提供一个高效和具有经济效益的工作环境。智能化建筑通常具备四大主要特征:楼宇自动化(BA)、通信自动化(CA)、办公自动化(OA)、布线综合化。图 9.6.2 是智能大厦实例图。

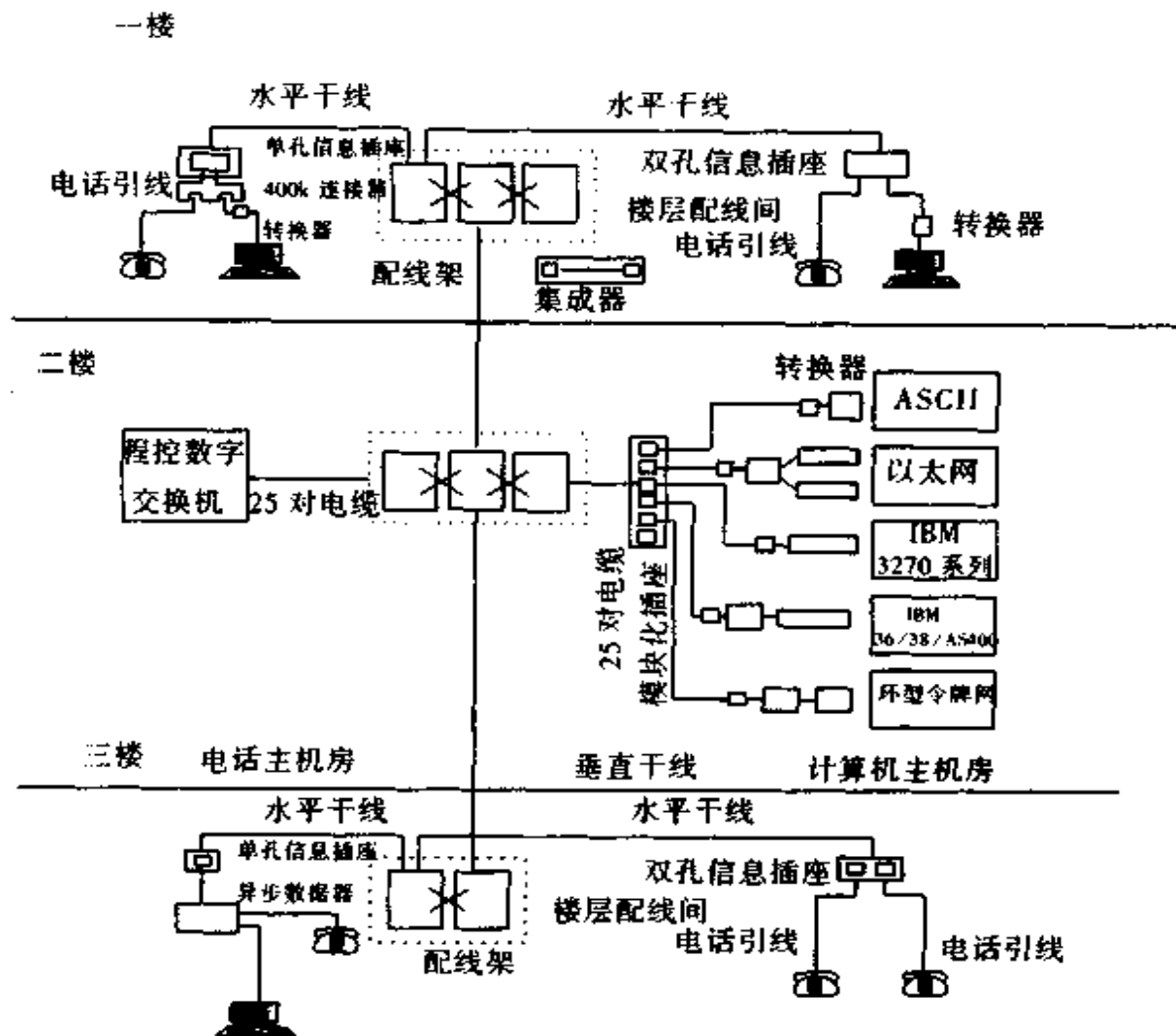


图 9.6.2 智能大厦综合布线系统实例图



### 3.2.3 综合布线系统分类

一般将综合布线系统划分为6个子系统:①工作区(终端)子系统;②水平布线子系统;③垂直干线子系统;④设备间子系统;⑤管理子系统;⑥建筑群子系统。

## 3.3 综合布线系统的结构和特点

### 3.3.1 综合布线系统的结构

综合布线系统采用模块化设计和分层星型拓扑结构,可分为6个独立的子系统。

**3.3.1.1 工作区(终端)子系统** 工作区布线子系统由设备到信息插座的连线和信息插座组成,连线包括装配软线、连接器和连接所需的扩展软线,信息插座有墙上、地上、桌上、软基型多种,常见的标准有RJ-45/RJ-11的单、双、多孔等各种类型。

**3.3.1.2 水平布线子系统** 水平布线子系统将电缆从楼层配线架连接到各用户工作区上的信息插座上,一般处在同一楼层。

**3.3.1.3 垂直干线子系统** 垂直干线子系统指各楼层配线架与主配线架间的线缆组成。

**3.3.1.4 管理子系统** 管理子系统由楼层配线架组成,主要功能是将垂直于干线与各楼层水平布线子系统相连接。布线系统的优势和灵活性主要体现在管理子系统上,只要简单地跳一下线就可以完成任何一个结构化布线系统的信息插座与任何一类智能系统的连接,极大地方便了线路重新布局和网络终端的调整。

**3.3.1.5 设备间子系统** 设备间子系统由主配线架和各公共设备组成。它的主要功能是将各种公共设备(如计算机主体、数字程控交换机、各种控制系统、网络互联设备等)与主配线架连接起来。

**3.3.1.6 建筑群室连接子系统** 建筑群室连接子系统用来将不同建筑物中的主配线架连接起来。

### 3.3.2 综合布线系统的特点

(1)PDS是一套标准的配线系统,综合了所有的语音、图像与监控等设备,并将多种设备终端插头插入标准的信息插座内。如计算机、电话机、传真机等都可使用相同标准的信息插座。

(2)PDS对不同厂家的语音、数据设备均可兼容,并使用相同的电缆与配线架、相同的插头和信息模块,这就使PDS具有更好的兼容性。

(3)PDS采用模块化设计,布线系统中所有的插接件都是标准件,易于扩充和重新配置。

(4)PDS能将当前和未来的语音、数据、网路、互联设备以及监控设备很方便地扩充进去,是真正面向未来的技术。

## 3.4 水平布线系统

### 3.4.1 内容与要求

3.4.1.1 内容 水平布线子系统是综合布线系统的一部分,它由每层配线间至信息插座的配线电缆和工作区用的信息插座组成,水平子系统电缆沿大楼的地板和顶棚布线。

#### 3.4.1.2 设计要求

- (1)根据用户工程提出近期和远期的终设备要求;
- (2)每层需要安装的信息插座数量及其位置;
- (3)终端将来可能产生移动、修改和重新安排的详细情况;
- (4)一次性建设和分期建设的方案比较。

3.4.1.3 水平布线子系统的距离 工作区与管理子系统最大的水平距离为90m,电缆长度为配线间或配线间内互联设备端口到工作区信息插座的距离。另外,从插座到终端允许再有3m距离。

3.4.1.4 水平布线线缆类型 100 $\Omega$ 非屏蔽双绞线(UTP)电缆;100 $\Omega$ 屏蔽双绞线(STP)电缆;50 $\Omega$ 同轴电缆;62.5/125 $\mu\text{m}$ 光纤电缆。

### 3.4.2 水平布线子系统布线方案

#### 3.4.2.1 种类

(1)直接埋管线槽方式。直接埋管布线方式是由一系列密封在现浇混凝土里的金属布线管道或金属馈线走线槽组成,这些金属管道或金属线槽从配线间向信息插座的位置辐射。

(2)先走线槽再分管方式。线槽先经天花板或吊顶将电缆引向所要布线的区域,到各房间后,经分支线槽到各个信息端口。

(3)地面线槽方式。地面线槽方式就是弱电井出来的线走地面线槽到地面出线盒,或由分线盒出来的支管到墙上的信息端口。

#### 3.4.2.2 水平子系统设计步骤

(1)确定路由。根据建筑物结构、用途,确定水平子系统设计方案,既可以采用从天花板(吊顶)走线,也可以采用地板下管道布线方法。

(2)确定信息插座的数量和类型。根据工作区面积和用户需要来确定插座的数量,一般对于基本型每9m<sup>2</sup>一个I/O信息插座;对于增强型和综合型系统每9m<sup>2</sup>内两个I/O信息插座,一个用于语音,一个用于数据。根据不同的需要,信息插座可采用嵌入式或表面安装两种方式。

(3)确定电缆类型。电缆类型的选型是由布线环境决定的,根据需要双绞线可选用UTP、STP两种型号,还可以选用阻燃和非阻燃分类的实芯和非实芯电缆。

(4)确定电缆长度。确认离配线间最远的I/O(L)、离配线间最近的I/O(S)、

每层楼的信息插座数为  $N$ , 则每个楼层的用线量  $C = [0.55(L + S) + 6] \times N(m)$ , 其中考虑了端接容差  $6m$ 。

## 3.5 垂直布线系统

### 3.5.1 内容与要求

垂直干线子系统由设备间子系统、管理子系统和水平子系统的引入口设备之间的相互连接电缆组成, 在确定干线子系统所需要的电缆总对数之前, 必须确定电缆中信息共享原则, 对于基本型每个工作区可选定 2 对, 对于增强型和综合型每个工作区可选定 3 对或 4 对双绞线。布线走向应选择干线电缆最短、最安全和最经济的路由。

### 3.5.2 系统结构

**3.5.2.1 星型拓扑结构** 星型拓扑结构由一个中心主节(主配线架)向外辐射延伸到各从节点(楼层配线架)组成。一般在主节点配置一台主交换机, 而在每个楼层配线间配置交换机或集线器, 最后通过双绞线连接用户区的工作站。优点: 维护管理容易, 通过中心节点便可以集中管理所有节点; 通过对楼层配线间的跳线进行调整, 便可以实现重新配置, 操作灵活, 适应性强; 由于各节点都直接连接到楼层配线间, 因此故障容易检测和隔离。缺点: 安装工作量大, 这是因为星型结构增加了布线量; 对中心节点的依赖性过高, 一旦中心节点崩溃, 整个系统便会瘫痪。

随着帧中继与信元交换技术的发展, 综合布线系统主要采用星型拓扑结构。

**3.5.2.2 总线型拓扑结构** 总线型拓扑结构采用公共主干线作为传输介质, 所有的分配线架都通过相应分配线间的设备硬件接口直接连接到主干线上。优点: 电缆长度短, 布线容易, 便于维护; 结构简单, 可靠性较好; 易于扩充。缺点: 故障诊断困难, 因为故障可能出在系统的任意节点上; 故障隔离困难, 一旦某一节点发生故障, 便会影响整个网络; 如果总线需要扩充有源设备, 就必须重新配置, 包括增加电缆长度, 调整终端; 楼层配线间的设备必须是智能的, 因而增加了软硬件费用。

**3.5.2.3 环形拓扑结构** 各个节点通过各分配线间的有源设备相接形成环形通信回路, 各节点之间无主从关系。优点: 所需电缆长度短; 最适用于光纤组网, 这是因为光纤的延迟小, 点到点的传输技术比较成熟。缺点: 任意节点发生故障便会引发全系统故障; 如果出现故障, 需要对每个节点进行检测; 系统扩充比较困难, 删减也比较困难; 拓扑结构影响访问协议, 当环上的每个节点接到信息后, 要负责将它发送到环上, 这意味着要同时考虑访问控制协议。

**3.5.2.4 树型拓扑结构** 树型拓扑结构实际是星形结构的发展和扩充, 也是一种分层结构。具有主节点和各从节点, 它适用于分级控制系统, 也是集中式控制的一种, 各节点按层次进行连接处于最高层次的节点, 其可靠性要求也高。优点:

易于扩充;故障隔离比较容易实现。缺点:对根的依赖性太大。

### 3.5.3 系统设计步骤

- (1)确定干线子系统规模;
- (2)确定每层楼的干线;
- (3)确定整座楼的干线;
- (4)确定楼层配线间至设备间的垂直干线电缆路由;
- (5)确定单层平面至设备间的水平主干线电缆路由。

### 3.5.4 接合方法

**3.5.4.1 点对点端接方法** 点对点端接是最简单、最直接的接合方法。首先要选择一根含有足够数量双绞线电缆或光纤,其容量足以支持一个楼层的全部信息插座需要,而且这个楼层只需设一个配线间(即一个配线间或一个二级交接间兼负这两者的功能)。然后从设备间引出这根电缆,经过干线通道,端接于该楼层的一个指定配线间里的连接用硬件,这根电缆到此为止,不再往别处延伸。

**3.5.4.2 分支接合方法** 分支接合就是干线中的一根很大的主馈电缆具有足以支持若干个配线间或若干楼层的通信需要,经过交接盒后分出若干根较小电缆,它们分别延伸到每个配线间或每个楼层,并端接于目的地的连接硬件。这种连接方法分为两大类,即单楼层和多楼层。当各楼层的配线间只用作通往二级交接间的电缆的过往点时,采用单层接合方法。多楼层拼接方法通常用于支持五个楼层的信息需要(以每五层为一组),一般是一根主电缆向上延伸到中点(第三层),然后在该层的配线间里装上一个交接盒,然后用它把主电缆与粗细合适的各根小电缆分别连接在一起,这些小电缆分别通向上两层楼和下两层楼。

**3.5.4.3 端接与边接电缆方法** 端接与边接电缆是特殊情况下使用的技术,一种情况是用户希望一个楼层的所有水平端接都集中在该楼层的配线间,以便能更为方便地管理线路;另一种可能情况是二级交接间太小,无法容纳传输所需的全部电子设备,这时,可以在配线间里安装所需的全部 110 型硬件,建立白场—灰场接口,并用粗细合适的电缆横向连往该楼层的各个二级交接间。

## 3.6 设备间子系统

### 3.6.1 内容与要求

**3.6.1.1 内容** 设备间是在每一幢大楼的适当地方安装进出线设备和主配线架,并进行布线系统管理和维护的场所。设备间子系统应由综合布线系统的建筑物进线设备,如语音、数据、图像等各种设备及其保安配线设备和主配线架等组成。设备间的位置和大小应根据进出线设备的数量、规模、最佳管理等,进行综合考虑,择优选取。设备间的主要设备,如电话主机即数字程控交换机,数据处理机即计算机主机,可放在一起,也可分别设置。

## 3.6.1.2 要求

(1)设备间的位置。应尽可能建在建筑物平面及其综合布线系统干线综合体的中坚位置;应尽量靠近服务电梯,以便装运笨重设备;应尽量避免设在建筑物的高层或地下室,以及用水设备的下层;应尽量远离强震动源和强噪声源;应尽量避免强电磁场的干扰源;应尽量远离有害气体源以及存放腐蚀、易燃、易爆炸物。

(2)设备间的使用面积。设备间使用面积可按照下述两种方法之一确定。

第一种方法:

$$S = (5 \sim 7) \Sigma S_0$$

式中: $S$  是设备间的使用面积, $\Sigma S_0$  是指设备间内所有设备占地面积的总和。

第二种方法:

$$S = KA$$

式中: $S$  是设备间的使用面积, $A$  是设备间所有设备的总台数, $K$  是一个介于 4.5~5.5 之间的系数。

(3)建筑结构。设备间的净高依设备使用面积大小而定,一般为 2.5~3.2m;门的大小至少为高 2.0m,宽 0.9m。楼板荷重依设备而定,一般分为两级,要求高的每平方米 500kg,低的 300kg。

(4)设备间的环境条件:

①湿、温度,要求可参见表 9.5.2。

②尘埃,见表 9.6.8。

表 9.6.8 设备间尘埃要求

指 标 \ 级 别	A 级	B 级
项 目		
粒度( $\mu\text{m}$ )	>0.5	>0.5
个数(粒/ $\text{dm}^3$ )	<10000	<18000

注:A级相当于 30 万粒/ $\text{ft}^3$ ,B级相当于 50 万粒/ $\text{ft}^3$ 。

③照明。设备间内在距地面 0.8m 处,照度不应低于 200lx,还应该备有事故照明,在同样位置,照度不低于 5lx。

④噪音。设备间的噪音应小于 70dB。

⑤电磁场干扰。设备间无线电干扰场强,在频率为 0.15~1000MHz 范围内不大于 120dB,设备间内磁场干扰场强不大于 800A/m。

⑥供电。设备间应该提供 50kHz,380V/220V,三相五线制或三相四线制/单相三线制的供电电源,依据设备的性能允许以上参数的变动范围。

(5)安全分类。设备间的安全分为 A 类、B 类、C 类三个类别,略。

## 3.7 管理子系统

### 3.7.1 设计要求

管理子系统设置在配线设备的房间内,管理子系统由配线(包括中间交接间、二级交接间)的配线硬件、输入/输出(I/O)设备等组成,每个配线间及设备间都有管理子系统,管理子系统提供了与其他子系统连接的手段,使整个综合布线系统及其连接的设备、器件构成一个有机的整体,调整管理子系统的交接使得有可能安排或重新确定线路路由,因而传输线路能够延伸到建筑物内部各个工作区,通过管理子系统真正实现了综合布线系统的灵活性。常见的管理子系统应用有三种:水平/主干连接,主干布线系统的相互连接,如楼设备。

### 3.7.2 设计步骤

- (1)确定规模;
- (2)确定主布线场;
- (3)确定设备间管理子系统;
- (4)实现对交接场所的管理。

## 3.8 建筑群子系统

### 3.8.1 设计要求

一个企业或某政府机关可能分散在几幢相邻建筑物或不相邻建筑物内办公,但彼此间有联系的语言、数据、图像和监控等系统可用传输介质和各种支持设备(硬件)连接在一起。其连接各建筑物之间的传输馈线,组成建筑群子系统。建筑群之间还可采用无线通信方式,如微波等。在楼与楼之间敷设电缆时,可采用架空电缆、直埋电缆或地下管道穿电缆等三种方式。

### 3.8.2 设计步骤

- (1)了解敷设现场;
- (2)确定电缆系统的一般参数;
- (3)确定建筑物的电缆入口;
- (4)确定明显障碍物的位置;
- (5)确定主电缆路由和另选电缆路由;
- (6)选择所需电缆类型和线规;
- (7)确定每种方案所需的劳务费;
- (8)确定每种方案所需的材料成本;
- (9)选择最经济、最实用的设计方案。

## 3.9 接地装置的装设

### 3.9.1 一般要求

交流工作接地、安全保护接地、直流工作接地、防雷接地四种接地宜共用一组接地装置,其接地电阻按其中最小值确定;若防雷接地单独设置接地装置时,其余三种接地宜共用一组接地装置,其接地电阻不应大于其中最小值,且要求防雷装置与其他接地体之间保持足够的安全距离,保证综合布线系统及其连接的设备安全。共用接地装置的接地电阻应按最小值的一种要求,并按现行国家标准《建筑防雷设计规范》的要求采取相应措施。

当工程能满足防雷接地装置的接地体与其他接地之间安全距离的要求时,可单独设置防雷接地装置。

对直流工作接地有特殊要求需单独设置接地装置的有源设备,其接地电阻及与其他接地装置的接地体之间的距离,应按有源设备及有关规范的要求确定。

高层建筑物的每个配线间,以及在低矮而又宽阔建筑物的每个二级交接间都应设置接地装置。在建筑物入口处的接地装置上用直径 5mm 多股铜芯线把入口电缆的屏蔽层与保护器地片焊接在一起。在配线间必须把电缆的屏蔽层连至合格的配线架(柜)接地端。屏蔽层在配线间接地时,在导体进入或离开屏蔽的电缆之处,采用直径为 4mm 的多股铜芯线把电缆的屏蔽层焊接到合格的配线间接地端。各配线间或二级交接间的接地线分别焊接到接地母线上。各配线间至接地母线的连接导线应采用多股编织的铜芯线,且应尽量缩短连接距离。对于面积较大的配线间、设备间,放置的有源设备又比较多,还应采取格栅等措施,尽量使各接地点处于同一等电位上。高层建筑物的接地线尽可能位于建筑物的中心部分。

接地装置的接地电阻值不宜大于  $1\Omega$ 。当综合布线系统连接的有源设备或邻近有强电磁场干扰,对接地电阻提出更高要求时,应取其中的最小值作为设计依据。

接地距离在 30.5m 以内(距合适的接地点),接地导线用直径 4mm 的外包绝缘套的多股铜芯线。

若接地距离超过 30.5m 时,接地线的直径参考表 9.6.9。

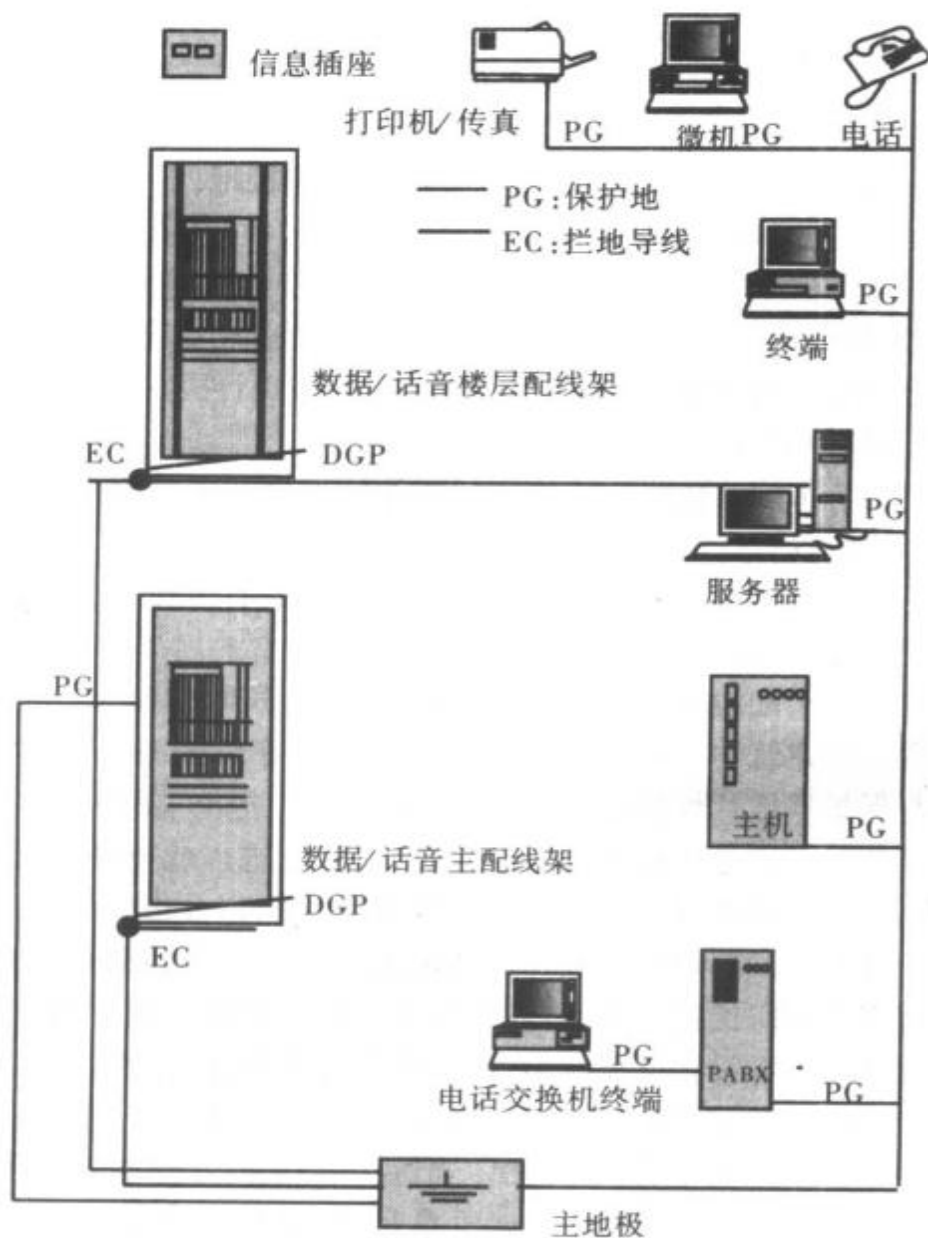


图 9.6.3 屏蔽系统与有源设备互联间接地关系

表 9.6.9 接地线的直径

距离(m)	导线直径(mm)
30.5	4.12
30.6~48.8	5.19
48.9~76.2	~6.54
76.3~106.7	7.35
106.8~122	8.25
122.1~152.4	9.27



在设计和装设接地装置时,应首先充分利用自然接地体,以节约投资,节约金属材料。如果实地测量所利用的自然接地体电阻已能满足要求时,一般就不必再装人工接地装置,否则应装设人工接地装置作为补充。

电气设备的人工接地装置的布置,应使接地装置附近的电位分布尽可能地均匀,尽量降低接触电压和跨步电压,以保证人身安全。

如接触电压和跨步电压超过规定值时,应采取措施,以保证人身安全。

### 3.9.2 自然接地体的利用

可以作为自然接地体的有:建(构)筑物的钢结构和钢筋、行车的钢轨以及敷设于地下而数量不少于两根的电缆金属外皮等。

利用自然接地体时,一定要保证良好的电气连接。在建筑物钢结构的接合处,除已焊接外,凡用螺栓连接或其他连接的,都要采用跨接焊接。跨接线一般采用扁钢:作为接地干线的,其截面不得小于  $100\text{mm}^2$ ;作为接地支线的,其截面不得小于  $48\text{mm}^2$ 。对于暗敷管道和作为接零线的明敷管道,其接合处的跨接线,可采用直径不小于  $6\text{mm}$  的圆钢。利用电缆的金属外皮作为接地体时,接地线线箍的内部须烫上约  $0.5\text{mm}$  厚的锡层。电缆钢铠与接地线线箍相接触的部分,必须刮拭干净,以保证接触良好。

### 3.9.3 人工接地体的装设

人工接地体有垂直埋设的接地体和水平埋设的接地体两种基本结构型式,如图 9.6.4 所示。

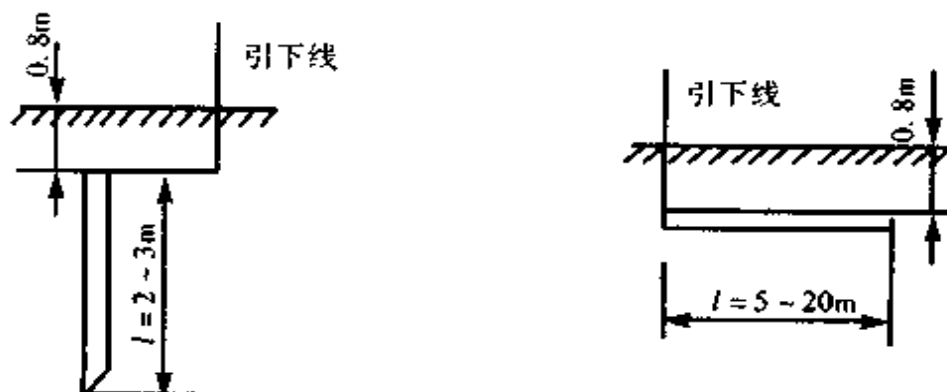


图 9.6.4 人工接地体

最常用的垂直接地体为直径  $50\text{mm}$ 、长度为  $2.5\text{m}$  的钢管。如果采用直径小于  $50\text{mm}$  的钢管,则由于钢管的机械强度较小,易弯曲,不适于采用机械方法打入土中;如果采用直径大于  $50\text{mm}$  的钢管,例如由  $50\text{mm}$  增大到  $125\text{mm}$  时,则流散电阻仅减少  $15\%$ ,而钢材又耗费很多,经济上很不合算。如果钢管长度小于  $2.5\text{m}$  时,流散电阻增加很多;如果钢管长度大于  $2.5\text{m}$  时,流散电阻又减少得并不显著。由此可见,采用上述直径为  $50\text{mm}$ 、长度为  $2.5\text{m}$  的钢管是最为经济合理的。但是为

了减少外界温度变化对流散电阻的影响,埋入地下的接地体上部一般要离开地面 0.8m 左右。

按 SDJ8《电力设备接地设计技术规程》规定,钢接地体和接地线的最小规格如表 9.6.10 所列。

表 9.6.10 钢接地体和接地线的最小规格

材 料	名称及单位	地 上		地下
		户内	户外	
圆钢	直径,mm	5	6	8
扁钢	截面,mm <sup>2</sup>	24	48	48
	厚度,mm	3	4	4
角钢	厚度,mm	2	2.5	4
钢管	管壁厚度,mm	2.5	2.5	3.5

## 4 网络常见故障及排除

网络运行过程中可能会出现各种各样的问题导致网络无法正常工作,表 9.6.11 介绍网络中常见的故障与排除办法。

表 9.6.11 网络常见故障及排除

网络常见故障	原因分析与排除
网卡或集线器的灯不亮	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 双绞线缆与接口没有正常接触</li> <li>2. 检查 RJ-45 接头是否松动</li> <li>3. 检查 BNC 接头</li> <li>4. 检查细缆中间是否存在短路</li> <li>5. 集线器是否掉电</li> <li>6. 检查线缆接头的连接,顺序是否接错;是否可以清晰地看到双绞线铜芯</li> </ol>
网卡的信号灯不亮或不闪烁	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接线错误</li> <li>2. 细缆二端终端电阻是否为 50Ω</li> <li>3. 网卡设置存在问题,检查网卡是否正常驱动;网卡 I/O 地址、IRQ 是否与其他硬件发生了冲突</li> </ol>
两个级连集线器之间不能正常通信	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 级连连接错误造成</li> <li>2. 只用一根符合 T568B 标准双绞线进行连接</li> </ol>

续表

网络常见故障	原因分析与排除
网络通讯不正常	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 集线器的级连数太多</li> <li>2. 两个节点间的距离超过 100m</li> <li>3. 双绞线与动力线和其他干扰源靠得太近</li> <li>4. 有上述网卡或集线器的灯不亮、网卡的信号灯不亮或不闪烁等原因,按上述原因分析与排除故障</li> </ol>
集线器的冲突灯闪烁、网络时通时断	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 集线器的细缆口是否烧坏</li> <li>2. 粗缆的终端电阻是否为 50<math>\Omega</math></li> <li>3. 检查收发器电缆的接头是否存在问题</li> </ol>
光纤断裂 光纤过分弯曲(超过 90°) 光纤接口不吻合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接续光纤断裂头</li> <li>2. 吻合接续光纤</li> </ol>
光纤长期暴露在 $\alpha$ 或 $\gamma$ 射线下	移走 $\alpha$ 、 $\gamma$ 射线源
光纤接口磨光不精确	重新磨光接口、接续光纤
风扇停转	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 灰尘和碎屑堆积</li> <li>2. 断路</li> </ol>
接触不良	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 元器件与插槽之间电气连接松紧变化大</li> <li>2. 环境温度变化大</li> <li>3. 不要将设备放置于阳光直接照射处</li> </ol>
瞬变	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 对计算机系统采用单独供电方式,不要在供电电路上增加额外电气设备,例如电炉、烤箱、空调器等</li> <li>2. 不要将计算机系统的三孔插座插入两孔插座而使地悬空,保证系统良好接地</li> </ol>
电磁干扰	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不要在荧光灯附近布设网络电缆,固镇流器会产生噪声干扰</li> <li>2. 若系统离无线电发射台、电站等干扰源较近,需要在墙门窗及地板上安装屏蔽</li> </ol>
串扰	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 合理配置系统电缆的物理距离</li> <li>2. 使用双绞线作数据电缆时,应选合适档次的电缆,可采用屏蔽电缆或光纤电缆</li> </ol>
电压下陷	使用 UPS 使电压保持稳定
不平场	软盘或硬盘不要放在振铃的电话机和立体声扬声器边上,因话筒周围的磁场会干扰系统
静电	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不要触摸系统内元件或电路的导电部分</li> <li>2. 在贮运芯片等元件时,要将其放在静电屏蔽带中</li> <li>3. 不要将元件放在金属等导体上</li> <li>4. 保持空气湿度恒定,因干燥会致静电</li> </ol>
空气开关跳闸	瞬时电冲击,此时将系统逐一断开,再重新依序连接好,再合空气开关

续表

网络常见故障	原因分析与排除
网络不通	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采取换插拔件检查</li> <li>2. 用端接器把网线分成若干段检查</li> </ol>
子网上的宿主机不能通讯	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本地主机接口卡故障</li> <li>2. 网络连线故障</li> <li>3. 客户机缺乏 TCP/IP 协议支持</li> <li>4. 局域网上的网络 ID 不能匹配,在同一子网的 TCP/IP 宿主机,只有当它们的网络 ID 都相同时,才能互相通讯,另外在同一子网内的任意两台宿主机的 IP 不能重复,否则也无法正常通讯。</li> <li>5. 无效的子网掩码使 TCP/IP 宿主机无法确定是在局域网还是在远程网上,从而导致不必要的广播,发生广播风暴,广播风暴会降低性能且可能导致宿主机挂起。</li> </ol>

## 第七章 常用电子元器件技术数据

### 1 二极管

#### 1.1 整流二极管

整流二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.1 至表 9.7.3,表中“外形图”栏因排版关系仅给出图号,具体图形见本章“13 元器件外形图”一节,本章其余各表亦同。

表 9.7.1 整流二极管主要型号参数及外形

型号	$U$ (V)	$I$ (A)	$U$ (V)	$I$ ( $\mu$ A)	$I$ (A)	$T$ ( $^{\circ}$ C)	外形图	备 注
2CZ31	50~800	1	0.8	5	20	150	1-1 (EM)	通信设备及仪表用 电源
2CZ32	25~800	1.5		3	30			
	50~1000							
2CZ33	50~600	1.2	0.93	10	80	130	1-2 (EL)	电视、收录机电源 彩电、仪器开关电源
2CZ37	600							
2CZ53	25~400	0.3	1	5	6	150	1-3 (ED)	通信设备仪器仪表 及家用电器用稳压 电源
	25~800							
2CZ54	25~800	0.5	10	10	20	1-4 (EE)		
2CZ55	50~700							
	25~800							
	25~1000							
	25~1400							

续表

型号	$U$ (V)	$I$ (A)	$U$ (V)	$I$ ( $\mu$ A)	$I$ (A)	$T$ ( $^{\circ}$ C)	外形图	备 注
2CZ56	100 ~ 2000	3	0.8	20	65	140	1-5 (EF)	
2CZ57	25 ~ 1000	5			105			
	25 ~ 2000							
2CZ58	100 ~ 2000	10		30	210		1-6 (EG)	
2CZ59	25 ~ 1000	20		40	420			
	25 ~ 1400							
	100 ~ 2000							
2CZ60	50 ~ 1400	50		50	900		1-7	
2CZ82	25 ~ 800	0.1	1		2	130	1-8 (EA)	
2CZ84	25 ~ 800	0.5	0.8	5	15			
	100 ~ 1000							
2CZ85	100 ~ 600	1				1.2	3	
	25 ~ 1000							
2CZ86	100 ~ 600	2						
2CZ87	100 ~ 600	3						
2DZ12	50 ~ 1400	0.1	1	5	2	150	1-3 (ED)	通信设备仪器仪表 及稳压电源
2DZ13		0.3			6			
2DZ14		0.5			10			
2DZ15		1	20					
2DZ16		3	0.8	20	65	140	1-5 (EF)	
2DZ17		5			105			
ZP100	100 ~ 1400	100	0.7	6mA	2200	140	1-7	用于各种电子仪器 设备中作整流
ZP200		200		8mA	4080			
ZP300		300	0.8	10mA	5650			

表 9.7.2 整流二极管主要型号、参数及外形

型号	最高反向工作电压 (峰值) $U_R$ (V)	额定整流电流 (平均值) $I_0$ (A)	正向压降 (单管) (平均值) $U_F$ (V)	反向漏电流 (单管) (平均值) $I_R$ ( $\mu$ A)	不重复正向浪涌电流 $I_{FSM}$ (A)	额定结温 $T_{JM}$ ( $^{\circ}$ C)	外形图	备 注
1CQ6	37.5 ~ 600	2	2	8			1-11	各种无线电电子 仪器设备中整流
1CQ7		5		10			1-12	
QL51	25 ~ 1000	1	1.2	10		130	1-13	
QL52	25 ~ 1000	0.05	1	10	20	130	1-14	
QL53		0.1						
QL54		0.2						
QL55		0.5						
QL56		0.1					1-15	
QL57		0.2						
QL58		0.3						
QL59		0.5					1-16	
QL60		1						
QL61		2					15	
QL62		2	1	10	50	130	1-17	

表 9.7.3 整流二极管主要型号参数及外形

型号	反向峰值电压 $U_{RM}$ (V)	正向电流 $I_0$ (A)	浪涌电流 $I_{FSM}$ (A)	正向压降 MAX $U_F$ (V)	反向漏电流 MAX $I_R$ ( $\mu$ A)	外形图	备 注
1D100H	5k	0.55	45	8.5	10	1-18	日电
1D100NS	5k	0.55		12	10		
1D150H	7.5k	0.5	45	12	10		
1D150NS	7.5k	0.5		18	10		
1D200M	9k	0.5	45	12			
1D200MA	10k	0.6		16	10	1-19	
1D300MA	15k	0.5		18			

续表

型号	反向峰值电压 $U_{RM}$ (V)	正向电流 $I_0$ (A)	浪涌电流 $I_{FSM}$ (A)	正向压降 MAX $U_F$ (V)	反向漏电流 MAX $I_{RI}$ ( $\mu$ A)	外形图	备注
1D40M	2k	0.75	45	3.5	10	1-18	日电
1D60M	3k	0.7	45	4.5	10		
1D80M	4k	0.6	45	6.5	10		
1D80MS	4k	0.6		10	10		
1N44A1	13k	0.67	60	31		1-20	
1N52A1	15k	0.67	60	31			
1N61A1	30k	0.67	60	31			
1S110	500	0.4	25	1.2		1-21	
1S19	100	1	30	1.1	10		

## 1.2 检波二极管

检波二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.4 及表 9.7.5。

表 9.7.4 检波二极管主要型号参数及外形图

型号	正向电流 $I_F$ (mA)	反向工作电压 $U_R$ (V)	反向峰值击穿电压 $U_B$ (V)	反向直流电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	最大整流电流 $I_{CM}$ (mA)	截止频率 $f$ (MHz)	外形图	备注	
2AP1	$\geq 2.5$	$\geq 10$	$\geq 40$	$\leq 200$	$\geq 16$	150	1-8 玻璃封装 (EA)		
2AP2		$\geq 25$	$\geq 45$		$\geq 25$				
2AP3	$\geq 7.5$	$\geq 50$	$\geq 75$		$\geq 16$				
2AP4	$\geq 5$	$\geq 75$	$\geq 110$		$\geq 12$				
2AP5	$\geq 2.5$	$\geq 100$	$\geq 150$		$\geq 35$				
2AP6	$\geq 1$	$\geq 10$	$\geq 20$		$\leq 100$				$\geq 35$
2AP7	$\geq 5$								
2AP8A	$\geq 4$								
2AP8B	$\geq 6$								



续表

型号	正向 电流 $I_F$ (mA)	反向工 作电压 $U_R$ (V)	反向峰 值击穿 电压 $U_B$ (V)	反向直 流电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	最大整 流电流 $I_{OM}$ (mA)	截止 频率 $f$ (MHz)	外形图	备 注		
2AP9	$\geq 8$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\leq 200$	$\geq 5$	100	1-8 玻璃 封装 (EA)			
2AP10	$\geq 8$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\leq 40$						
2AP11	$\geq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$	$\leq 200$	$\geq 25$	40				
2AP12	$\geq 90$				$\geq 40$					
2AP13	$\geq 10$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\leq 200$	$\geq 20$					
2AP14	$\geq 30$				$\geq 30$					
2AP15	$\geq 60$				$\geq 30$					
2AP16	$\geq 30$	$\geq 50$	$\geq 50$	$\leq 200$	$\geq 20$					
2AP17	$\geq 10$	$\geq 100$	$\geq 100$		$\geq 15$					
2AP18-1	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 50$	$\leq 100$	$\geq 100$	40				
2AP18-2	$\geq 150$	$\geq 75$	$\geq 75$		$\geq 120$					
2AP18-3	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 100$		$\geq 150$					
2AP21	$\geq 50$	$\geq 7$	$\geq 10$	$\leq 200$	$\geq 50$	150				
2AP30C	$\geq 2$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\leq 50$	$\geq 5$	400				
2AP30D				$\leq 30$						
2AP30E			$\geq 35$	$\leq 11$						
2AP31A			$\geq 25$	$\leq 30$						
2AP31B			$\geq 35$	$\leq 30$						
2AP34A	$\geq 5$	$\geq 60$	$\geq 75$	$\leq 20$	$\geq 50$					
2AP60	$\geq 4$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 75$						
2AP90	$\geq 2$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\leq 100$						
2AP110	$\geq 3$	$\geq 40$	$\geq 50$	$\leq 40$						
2AP188	$\geq 5$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 33$						
2AP261	$\geq 0$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 70$						

表 9.7.5 检波二极管主要型号、参数及外形

型号	电流灵敏度 MIN $S_I$ (A/W)	电压驻波比 $S_V$	视频阻抗 $Z_{VP}$ (k $\Omega$ )	优值 MIN $Q$	反向电流 $I_{RM}$ ( $\mu$ A)	测试波长 $\lambda$ (cm)	承受脉冲功率 $P_{MS}$ (mW)	外形图	备注
2DV8A	0.4				150	3.2	100	1-23	亚光电子厂
2DV8C	4	2.5	1	50	50	3.2	100		
2DV8CP	4	2.5	1	50	20	3.2	500		
2DV15	0.8		1.5			9.8	50	1-24	
2DV16	1.2		10			9.8	50		
2DV17	0.4		15			3.2	50		
2DV18	0.8		10			3.2	50		
2DV19	1.1	3	15	15		3.2	50		
2DV20	1.5	2.5	10			9.8	50		
2DV21	4	2.5	1		50	9.8	50	1-23	
2DV21A	0.6				150	9.8	100		
2DV27A	0.2		3~25			2.0	60	1-25	
2DV27B	0.5		3~25			2.0	60		
2DV28A	0.1		3~25			0.8	25		
2DV28B	0.4		3~25			0.8	25		

### 1.3 稳压二极管

稳压二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.6 和 9.7.7。

表 9.7.6 稳压二极管主要型号参数及外形

型号	最大耗散功率 $P_{ZM}$ (W)	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	额定电压 $U_N$ (V)	反向漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	正向压降 $U_F$ (V)	电压温度系数 $C_{TV}$ ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	外形图	备注
2CW50	0.25	83	1~2.8	$\leq 10$	$\leq 1$	$\geq -9$	1-3 或 1-8 (ED) 或 (EA)	
2CW51		71	2.5~3.5	$\leq 5$				
2CW52		55	3.2~4.5	$\leq 2$		$\geq -8$		
2CW53		41	4~5.8	$\leq 1$		-6~4		

续表

型号	最大耗散功率 $P_{ZM}$ (W)	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	额定电压 $U_N$ (V)	反向漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	正向压降 $U_F$ (V)	电压温度系数 $C_{TV}$ ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	外形图	备注
2CW54	0.25	38	5.5~6.5	0.5	$\leq 1$	-3~5	1-3 或 1-8 (ED) 或 (EA)	
2CW55		33	6.2~7.5			$\leq 6$		
2CW56		27	7~8.8			$\leq 7$		
2CW57		26	8.5~9.5			$\leq 8$		
2CW58		23	9.2~10.5			$\leq 9$		
2CW59		20	10~11.8			$\leq 9$		
2CW60		19	11.5~12.5			$\leq 9.5$		
2CW61		16	12.2~14			$\leq 9.5$		
2CW62		14	13.5~17			$\leq 9.5$		
2CW63		13	16~19			$\leq 9.5$		
2CW64		11	18~21	$\leq 9.5$				
2CW65		10	20~24	$\leq 0.5$				
2CW66		9	23~26	$\leq 0.5$				
2CW67		9	25~28	$\leq 0.5$				
2CW68		8	27~30	$\leq 0.5$				
2CW69		7	28~33	$\leq 10$				
2CW70			32~36	$\leq 10$				
2CW71		6	35~40	$\leq 10$				
2CW72		29	7~8.8	$\leq 0.1$	$\leq 1$	$\leq 7$		
2CW73		25	8.5~9.5			$\leq 8$		
2CW74	23	9.2~10.5	$\leq 8$					
2CW75	21	10~11.8	$\leq 9$					
2CW76	20	11.5~12.5	$\leq 9$					

续表

型号	最大耗散功率 $P_{ZM}$ (W)	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	额定电压 $U_N$ (V)	反向漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	正向压降 $U_F$ (V)	电压温度系数 $C_{TV}$ ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	外形图	备注
2CW77	0.25	18	12.2~14	$\leq 0.1$		$\leq 9.5$		
2CW78		14	13.5~17					
2CW100	1	330	1~2.8	$\leq 10$	$\leq 1$	$\geq -9$	1-3 或 1-8 (ED) 或 (EA)	
2CW101		280	2.5~3.5			$\geq -8$		
2CW102		220	3.2~4.5	$\leq 5$		-6~4		
2CW103		165	4~5.8	$\leq 1$		-3~5		
2CW104		150	5.5~6.5	$\leq 0.5$		$\leq 6$		
2CW105		130	6.2~7.5			$\leq 7$		
2CW106		110	7~8.8			$\leq 8$		
2CW107		100	8.5~9.5			$\leq 9$		
2CW108		95	9.2~10.5			$\leq 10$		
2CW109		83	10~11.8			$\leq 11$		
2CW110		76	11.5~12.5			$\leq 12$		
2CW111		66	12.2~14					
2CW112		58	13.5~17					
2CW113		52	16~19					
2CW114		47	18~21					
2CW115		41	20~24					
2CW116		38	23~26					
2CW117		35	25~28					
2CW118		33	27~30					
2CW119		30	29~33					
2CW120	27	32~36						
2CW121	25	35~40						

续表

型号	最大耗散功率 $P_{ZM}$ (W)	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	额定电压 $U_N$ (V)	反向漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	正向压降 $U_F$ (V)	电压温度系数 $C_{TV}$ ( $10^{-4}/^{\circ}C$ )	外形图	备注
2CW130	3	660	3~4.5	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq -8$	1-4 (EE)	
2CW131		500	40~5.8			-6~4		
2CW132		460	5.5~6.5			-3~5		
2CW133		400	6.2~7.5			$\leq 6$		
2CW134		330	7.0~8.8			$\leq 7$		
2CW135		310	8.5~9.5			$\leq 8$		
2CW136		280	9.2~10.5			$\leq 9$		
2CW137		250	10~11.8			$\leq 10$		
2CW138		230	11.5~12.5			$\leq 11$		
2CW139		200	12.2~14			$\leq 12$		
2CW140		170	13.5~17					
2CW141		150	16~19					
2CW142		140	18~21					
2CW143		120	20~24					
2CW144		110	23~26					
2CW145		105	25~28					
2CW146		100	27~30					
2CW147		90	29~33					
2CW148		80	32~36					
2CW149	75	35~40						
2DW50	1	22	38~45			$\leq 12$	1-3 (ED)	
2DW51		18	42~55					
2DW52		15	52~65					
2DW53		13	62~75					
2DW54		11	70~85					
2DW55		10	80~95					
2DW56		9	90~110					
2DW57		8	100~120					
2DW58	7	110~130						

续表

型号	最大耗散功率 $P_{ZM}$ (W)	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	额定电压 $U_N$ (V)	反向漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	正向压降 $U_F$ (V)	电压温度系数 $C_{TV}$ ( $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ )	外形图	备注
2DW59	1	6	120~145	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 12$	1-3 (ED)	
2DW60			135~155					
2DW61			145~165					
2DW62		5	155~175					
2DW63			165~190					
2DW64			180~200					
2DW80	3	65	38~45					
2DW81		50	42~55					
2DW82		45	52~65					
2DW83		40	62~75					
2DW84		35	70~85					
2DW85		30	80~95					
2DW86		25	90~110					
2DW87			100~120					
2DW88		20	110~130					
2DW89			120~145					
2DW90		19	135~155					
2DW91		18	145~165					
2DW92		17	155~175					
2DW93		15	165~190					
2DW94	14	180~200						

表 9.7.7 稳压二极管主要型号参数及外形

型号	最大工作电流 $I_{ZM}$ (mA)	稳定电压 $U_Z$ (V)	外形
2DW $\phi$ 6	31	5.5~6.6	1-26 (B-4)
2DW $\phi$ 7	27	6.4~7.6	
2DW $\phi$ 8	24	7.4~8.6	
2DW $\phi$ 9	21	8.4~9.6	
2DW $\phi$ 10	18	9.4~11.3	
2DW $\phi$ 12	15	10.9~13.1	
2DW $\phi$ 14	13	12.9~15	

## 1.4 开关二极管

开关二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.8。

表 9.7.8 开关二极管主要型号参数及外形

型号	反向击穿电压 $U_R$ (V)	最高反向工作电压 $U_{RM}$ (V)	最大正向电流 $I_{OM}$ (mA)	额定正向电流 $I_F$ (mA)	正向压降 $U_F$ (V)	反向恢复时间 $t_r$ (ns)	额定功率 $P_M$ (mW)	外形图	备注
2AK1	30	10	$\geq 150$	—	$\leq 1$	$\leq 200$	—	1-8 (EA)	
2AK2	40	20							
2AK3	50	30	$\geq 200$	—	$\leq 0.9$	—			
2AK5	60	40							
2AK6	70	50							
2AK7	50	30	—	$\geq 10$	$\leq 1$	$\leq 150$			
2AK9	60	40							
2AK10	70	50	$\geq 250$	—	$\leq 0.7$	50			
2AK11	50	30							
2AK13	60	40							
2AK14	70	50							
2AK15	40	12	—	$\geq 3$	$\leq 1$	30~80			
2AK16				$\geq 10$					
2AK17				$\geq 10$			$\leq 120$		

续表

型号	反向击穿电压 $U_R$ (V)	最高反向工作电压 $U_{RM}$ (V)	最大正向电流 $I_{CM}$ (mA)	额定正向电流 $I_F$ (mA)	正向压降 $U_F$ (V)	反向恢复时间 $t_{rr}$ (ns)	额定功率 $P_M$ (mW)	外形图	备注		
2AK18	50	30	$\geq 250$	—	$\leq 0.65$	$\leq 100$	50	EA			
2AK19	60	40									
2AK20	70	50									
2CK70A-E	$A \geq 30$ $B \geq 45$ $C \geq 60$ $D \geq 75$ $E \geq 90$	$A \geq 20$ $B \geq 30$ $C \geq 40$ $D \geq 50$ $E \geq 60$	$\geq 10$	$\geq 10$	$\leq 0.8$	$\leq 3$	30	1-27 (ET)			
2CK71A-E			—	$\geq 20$		$\leq 4$					
2CK72A-E			—	$\geq 30$		$\leq 5$					
2CK73A-E					$\geq 50$	$\geq 50$	$\leq 1$				50
2CK74A-D					$\geq 100$	$\geq 100$				100	
2CK75A-D					$\geq 150$	$\geq 150$				150	
2CK76A-D					$\geq 200$	$\geq 200$				200	
2CK77A-D					$\geq 300$	$\geq 260$				$\leq 10$	250
2CK78A-D					$\geq 400$	$\geq 270$					
2CK79A-D					$\geq 500$	$\geq 280$					
2CK80A-D					$\geq 600$	$\geq 300$					
2CK81A-D					$\geq 700$	$\geq 320$					
2CK82A-F	$A \geq 15$ $B \geq 30$ $C \geq 45$	$A \geq 10$ $B \geq 20$ $C \geq 30$	$\geq 30$	$\geq 10$	$\leq 5$	10		1-8 或 1-27 (EA) 或(ET)			
2CK83A-F	$D \geq 60$ $E \geq 75$	$D \geq 40$ $E \geq 50$									
2CK84A-F	$A \geq 45$ $B \geq 90$	$A \geq 30$ $B \geq 60$	—	$\geq 50$	$\leq 150$	90	1-8 (EA)				
2CK85A-D	$C \geq 135$ $D \geq 180$	$C \geq 90$ $D \geq 120$		$\geq 100$					$\leq 50$	100	
2CK86	$E \geq 225$ $F \geq 240$	$E \geq 150$ $F \geq 180$		$\geq 10$	$\leq 5$	50	1-8或 1-27 (EA) 或(ET)				

## 1.5 发光二极管

发光二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.9 至表 9.7.14。



表 9.7.9 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大功耗 $P_M$ (mW)	最大正向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向电压 $U_R$ (V)	反向电流 $I_R$ ( $\mu A$ )	峰值波长 $\lambda_P$ (nm)	外形图	备 注
2EF1A	150	70	20	50	660	$\varnothing 4.4$	绍兴电子管厂
2EF1B	150	70	20	50	660	$\varnothing 4.4$	潮州市无线电厂
2EF1C	150	70	20	50	660	$\varnothing 4.4$	镇江半导体厂
2EF1R	100	35	5		660		长春半导体厂
2EF1Y	100	35	5		585		威海无线电二厂
2EF2A	150	70		50	660	1-28	上海电器电子元件厂
2EF2B	150	70		50	660		
2EF2C	150	70		50	660		北京光电器件厂
2EF3R	100	35	5		660		杭州仪表元件厂
2EF3Y	100	35	5		585	1-29	佛山光电器件厂
2EF21	150	75		50	540	1-28	南通光电器件厂
2EF23	50	20		50	700		苏州半导体总厂
2EF24	90	40		50	700	1-30	安庆无线电二厂
2EF25	90	40		50	700		七四六厂
2EF31A	60	30		100	660	1-31	上海半导体器件六厂
2EF31B	60	30		100	660		
2EF31C	60	30		100	660		如皋县无线电元件厂
2EF31D	60	30		100	660		
2EF31E	60	30		100	660		
2EF31F	60	30		100	660	1-31	
2EF31G	60	20		100	660		
2EF33	50	20			630		
2EF34	90	40			630		
2EF35	90	40			630		
2EF43	50	20			585		
2EF44	90	40			585		
2EF45	90	40			585		
2EF50	60	30		100	565	1-30	
2EF53	50	20	5		565		
2EF54	90	40	5		565		
2EF55	90	40	5		565		

续表

型号	最大 功耗 $P_M$ (mW)	最大正 向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向 电压 $U_R$ (V)	反向 电流 $I_R$ ( $\mu A$ )	峰值 波长 $\lambda_P$ (nm)	外形图	备 注
2EF101A	100	50	5		660	1-32	
2EF101B	100	50	5		660		
2EF101C	100	50	5		660		
2EF102A	100	50	5		660		
2EF102B	100	50	5		660		
2EF102C	100	50	5		660		
2EF103A	100	50	5		660	1-33	
2EF103B	100	50	5		660		
2EF103C	100	50	5		660		
2EF104A	100	50	5		660	1-34	
2EF104B	100	50	5		660		
2EF104C	100	50	5		660		
2EF201	100	40	5		700	1-29	
2EF201A	100	50			560	1-32	
2EF201B	100	50			560		
2EF202	50	50			700	1-35	
2EF202A	100	50	5		560	1-32	
2EF202B	100	50	5		560		
2EF203A	100	50	5		560	1-33	
2EF203B	100	50	5		560		
2EF204	90	40			565		
2EF204A	100	50	5		560	1-34	
2EF204B	100	50	5		560		
2EF205	50	20	5	50	700	925	
2EF206	90	40	5	50	565	931	
2EF207	90	40	5	50	565	931	
2EF209	90	40	5	50	565	932	

表 9.7.10 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大功耗 $P_M$ (mW)	最大正向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向电压 $U_R$ (V)	反向电流 $I_R$ ( $\mu A$ )	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备 注
BMG010-0-2	250	100	5	30	630	1-38	苏州半导体总厂 杭州仪表元件厂
BMG010-YG-2	250	100	5	30	565		
BMG010-PG-2	250	100	5	30	555		
BMG010-Y-2	250	100	5	30	585		
BMG126-G	单 70	单 25	5	50	565	1-39	(双列)
BMG126-R	单 70	单 25	5	50	700		(双列)
BMG126-Y	单 70	单 25	5	50	585		(双列)
BMG126-O	单 70	单 25	5	50	670		(双列)
BMG2012-G	单 63	单 25	5	50	700	1-40 (A)	(双列)
BMG2012-0	单 63	单 25	5	50	565		(双列)
BMG2012-R	单 63	单 25	5	50	585		(双列)
BMG2012-Y	单 63	单 25	5	50	630		(双列)
BMG1512-G	单 63	单 25	5	50	565	1-40 (B)	(双列)
BMG1512-O	单 63	单 25	5	50	630		(双列)
BMG1512-OG	单 63	单 25	5	50	630		(共阴)
	单 63	单 25	5	50	565		(双列)
BMG1512-OY	单 63	单 25	5	50	630		(共阴)
	单 63	单 25	5	50	585		(双列)
BMG1512-R	单 63	单 25	5	50	700		(双列)
BMG1512-RG	单 63	单 25	5	50	700		(共阴)
	单 63	单 25	5	50	565		(双列)
BMG1512-Y	单 63	单 25	5	50	585		(共阴)
BMG1512-RY	单 63	单 25	5	50	700	(共阴)	

表 9.7.11 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大 功耗 $P_M$ (mW)	最大正 向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向 电压 $U_R$ (V)	反向 电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	峰值 波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备 注
FG314303	50	20		50	700	1-41	杭州仪表元件厂
FG314604	50	20		50	700	1-42	
FG314605	100	40		50	700	1-43	
FG324303	50	20		100	610	1-41	
FG324604	50	20		100	610	1-42	
FG324605	100	40		100	610	1-43	
FG334303	50	20		100	585	1-41	
FG334604	50	20		100	585	1-42	
FG334605	100	40		100	585	1-43	
FG344303	50	20		50	565	1-41	
FG344604	50	20		50	565	1-42	
FG344605	100	40		50	565	1-43	
FG362008	50	20		100	630	1-44	
FG362009	50	20		100	630		
FG362106	50	20		100	630		

表 9.7.12 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大 功耗 $P_M$ (mW)	最大正 向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向 电压 $U_R$ (V)	反向 电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	峰值 波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备 注
BT362057RG	90	40		50	700	1-45	苏州半导体总厂
	90	40		50	565		
BT362057RY	90	40		50	700		
	90	40		50	585		
BT362057YG	90	40		50	585		
BT3621526RG	90	40		50	700	1-46	
	90	40		50	565		
BT3621526RY	90	40		50	700		
	90	40		50	585		
BT3621526YG	90	40		50	585		
	90	40		50	585		

续表

型号	最大功耗 $P_M$ (mW)	最大正向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向电压 $U_R$ (V)	反向电流 $I_R$ ( $\mu A$ )	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备注
BT-605	70	25		50	700	1-44	苏州半导体总厂
	70	25		50	565		
BT-616	70	25		50	700	1-47	

表 9.7.13 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大功耗 $P_M$ (mW)	最大正向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向电压 $U_R$ (V)	反向电流 $I_R$ ( $\mu A$ )	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备注
2GLA	50	30	6	100	910~940	1-48	南通光电器件厂
2GLB	50	30	6	100	910~940		
5GLA	100	70	6	100	910~940	1-49	
5GLB	100	70	6	100	910~940		
BT401A	100	70	5	100	940	1-50	苏州半导体总厂
BT401B	100	70	5	100	940		
BT401C	100	70	5	100	940		
BT402-1	30	30	5	100	940	1-51	
BT402-2	30	30	5	100	940		
BT7094	150	10	5	50	945	1-52	佛山光电器件厂 上海电器电子元件厂
F70A	200				1200~1300		
F70B	200				1200~1300		
F70C	200				1200~1300		
F71	1500	1000	4		1200~1300	1-53	
GF211-1	300	150	4		880	1-54	

表 9.7.14 发光二极管主要型号参数及外形

型号	最大 功耗 $P_M$ (mW)	最大正 向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向 电压 $U_R$ (V)	正向 压降 $U_F$ (V)	发光 波长 $\lambda$ (nm)	外形图	备 注
FG114001	60	30	$\geq 5$	$\leq 2$	650	1-55	磷砷化镓 (GaAsP) 红色
FG114002	100	50				①	
FG114003	250	120				②	
FG114004	60	30				③	
FG114006						④	
FG114007						⑤	
FG114101						⑥	
FG114602			⑦				
FG114501			⑧				
			⑨				
FG314001	60	30	$\geq 5$	$\leq 2.5$	700	1-55	磷化镓 (GaP) 红色
FG314002	250	120				①	
FG314003						②	
FG314004	60	30				③	
FG314006						④	
FG314007						⑤	
FG314101						⑥	
FG314602			⑦				
FG314501			⑧				
			⑨				
FG344001	60	30	$\geq 5$	$\leq 2.5$	565	1-55	磷化镓 (GaP) 绿色
FG344002	75	35				①	
FG344003	250	120				②	
FG344004	60					③	
FG344006						④	
FG344007						⑤	
FG344101						⑥	
FG344602			⑦				
FG344501			⑧				
			⑨				

续表

型号	最大功耗 $P_M$ (mW)	最大正向电流 $I_{FM}$ (mA)	反向电压 $U_R$ (V)	正向压降 $U_F$ (V)	发光波长 $\lambda$ (nm)	外形图	备注
FG334001 FG334002	60	30	$\geq 5$	$\leq 2.5$	585	1-55 ① ②	磷化镓 (GaP) 黄色
FG334003	250	120				③	
FG334004 FG334006 FG334007	60	30				④ ⑤ ⑥	
FG334101						⑦	
FG334602						⑧	
FG334501						⑨	

## 2 三极管

### 2.1 结型三极管(晶体管)

结型三极管主要型号参数及外形图见表 9.7.15 至表 9.7.29。

表 9.7.15 结型三极管主要参数及外形

型号	极限参数		直流参数				交流参数		外形图			
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CH}$ (V)	$U_{(BR)CL}$ (V)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$H_{FE}$ (kHz)	$f_{nd}$	$h_{fe}$				
3AX51	A	100	30	12	$\leq 500$	40~150	$\geq 500$	25~80	2-1 (C)			
	B											
	C											
	D											
3AX52	A	150	30	12	$\leq 550$	30~200				$\geq 500$	25~80	2-1 (C)
	B											
	C											
	D											
3AX53	A	200	30	12	$\leq 800$	30~200	$\geq 500$	40~180	2-2 (B)			
	B											
	C											

续表

型号		极限参数		直流参数				交流参数		外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CH}$ (V)	$U_{(BR)EH}$ (V)	$I_{(BO)}$ ( $\mu$ A)	$H_{FE}$ (kHz)	$f_{nd}$	$h_{fe}$		
3AX54	A	200	160	65	35				25~120	2-2 (B)	
	B				45						
	C				60						
	D				70						
3AX55	A	500	500	50	20	$\leq 1200$	30~150	$\geq 200$	40~180	2-3 (D)	
	B				30						
	C				45						
3AX31	M	125	125	15	6	$\leq 10$	80~400	$\geq 200$	40~180	2-1 (C)	
	A			20	12	$\leq 800$					
	B			30	18	$\leq 600$					
	C			40	21	$\leq 400$					
	D			20	12	$\leq 600$					
	E										
	F						30				
3AX81	A	200	200	20	10	$\leq 1000$	10~270	$\geq 200$	40~270	2-2 (B)	
	B			30	15	$\leq 700$					
3AX61		500	500				$\geq 20$	$\geq 200$	40~270	2-3 (D)	
3AX62	$\geq 30$						$\leq 100$				$\geq 50$
3AX63	$\geq 20$										
3AX71	A	125	125		$\geq 12$	$\leq 20$	30~200	$\geq 200$	30~150	2-1 (C)	
	B				$\geq 18$	$\leq 10$					
	C				$\geq 25$	$\leq 6$					
	D	100	30	$\geq 12$	$\leq 12$						
	E										
2Z800	A	500	500		$\geq 18$	$\leq 80$	40~150	$\geq 200$		2-1 (C)	
	B				$\geq 25$	$\leq 60$					
	C				$\geq 30$	$\leq 40$					
	D				$\geq 45$						



表 9.7.16 结型三极管主要型号参数及外形

型号		主要参数						外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$h_{fe}$ 或 $h_{fb}$	$f_T$ (MHz)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )		$BU_{CEO}$ (V)
3AG1	B	50	10	20~200	$\geq 25$			$\geq 10$	2-2 (B-2)
	C				$\geq 40$				
D				$\geq 50$					
E				30~200	$\geq 65$				
3AG6	C			30~250	$\geq 40$	$\leq 10$			
	D				$\geq 65$				
E				$\geq 100$					
3AG7		60	10	20~250	$\geq 10$	$\leq 10$		$\geq 10$	2-2 (B-2)
3AG8					$\geq 20$				
3AG9				30~250	$\geq 20$	$\leq 5$	$\leq 100$		
3AG10					$\geq 30$				
3AG11		30	10	$\geq 0.95$		$\leq 10$		$\geq 10$	2-2 (B-2)
3AG12				0.95~0.98		$\leq 5$			
3AG13				$\geq 0.97$					
3AG14									
3AG21		50	10	20~250	$\geq 10$	$\leq 10$		$\geq 10$	2-2 (B-2)
3AG22					$\geq 30$		$\leq 200$		
3AG23				30~250	$\leq 5$				
3AG24					$\geq 50$				
3AG25				$\geq 20$	$\geq 40$	$\leq 10$		$\geq 10$	2-2 (B-1)
3AG26				$\geq 30$	$\geq 60$	$\leq 5$			
3AG27					$\geq 80$				
3AG28					$\geq 120$				
3AG41		60	30		$\geq 30$	$\leq 10$		$\geq 10$	2-1 (C)
3AG42					$\geq 50$				
2AG43				$\geq 24$	$\geq 100$	$\leq 3$			
3AG44					$\geq 200$				
3AG45				20	$\geq 300$	$\leq 2$			

续表

型号		主要参数						外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$h_{fe}$ 或 $h_{fb}$	$f_T$ (MHz)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )		$BU_{CEO}$ (V)
3AG53	A	50	10	30~200	$\geq 30$	$\leq 5$	$\leq 200$	15	2-2 (B)
	B				$\geq 50$			25	
	C				$\geq 100$				
	D				$\geq 200$				
	E				$\geq 300$				
3AG54	A	100	30	30~200	$\geq 30$	$\leq 5$	$\leq 300$	25	2-2 (B)
	B				$\geq 50$				
	C				$\geq 100$				
	D				$\geq 200$				
	E				$\geq 300$				
3AG55	A	150	50	30~200	$\geq 100$	$\leq 8$	$\leq 500$	25	2-2 (B)
	B				$\geq 200$				
	C				$\geq 300$				
3AG56	A	50	10	40~270	$\geq 25$	$\leq 7$	$\leq 200$	10	2-2 (B)
	B			10~180	$\geq 50$				
	C				$\geq 65$				
	D				$\geq 80$				
	E <sub>1</sub>				$\geq 100$				
	E <sub>2</sub>				$\geq 120$				
F									
3AG71 3AG72		50	10	$\geq 30$	$\geq 3^{\text{①}}$ $\geq 7^{\text{②}}$	$\leq 10$	$\leq 600$	$\geq 10$	2-2 (B-2)

续表

型号		主要参数						外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$h_{fe}$ 或 $h_{fb}$	$f_T$ (MHz)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )		$BU_{(CEO)}$ (V)
3AG80	A	50	10	20~150	$\geq 300$	$\leq 5$	15	$\leq 50$	2-2 (B)
	B				$\geq 400$				
	C				$\geq 600$				
	E								
3AG87	A	300	50		$\geq 300$	20	20		
	B				$\geq 500$				
	C				$\geq 700$				
	D								
3AG95	A	150	30		$\geq 500$	$\leq 3$	20		
	B				$\geq 700$				
	C				$\geq 1000$				

注:①指  $f_{a.}$

表 9.7.17 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数		直流参数				交流参数		开关参数		外形图
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)	$t_{on}$ (ns)	$t_{off}$ (ns)	
3AK1	50	50	30	20	5	200	30~150	8			2-2 (B)
3AK7	50	35	30	20	2.5	50	30~150	50			
3AK10	50	60	30	15	10	200	30~150	200			
3AK20	50	20	20	12	8	100	30~150	80			
3AK20	A	50	20	25	12	5	100	30~150	100		
	B	50	20	25	12	5	50	30~150	150		
	C	50	20	25	12	5	50	30~150	150		
	D	50	20	30	15	3	50	30~150	150		
3AK21	100	30	20	12	3	100	25~150	100			

续表

型号		极限参数		直流参数				交流参数		开关参数		外形图		
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CE0}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CE0}$ ( $\mu$ A)	$I_{CE0}$ ( $\mu$ A)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)	$t_{on}$ (ns)	$t_{off}$ (ns)			
3AK801	A	50	20	$\geq 30$	$\geq 12$	$\leq 3$	$\leq 50$	30~150	$\geq 100$	$\leq 60$	$\leq 180$			
	B				$\geq 15$				$\leq 3$	$\leq 50$	$\geq 150$		$\leq 50$	$\leq 160$
	C				$\geq 15$				$\leq 3$	$\leq 50$	$\geq 200$			$\leq 140$
	D				$\geq 15$				$\leq 3$	$\leq 50$	$\geq 150$			$\leq 120$
3AK802	A	50	35	$\geq 30$	$\geq 15$	$\leq 12$	$\leq 80$	30~200	$\geq 50$	$\leq 100$	$\leq 1200$	2-2 (B)		
	B				$\geq 20$		$\leq 12$		$\leq 80$	$\geq 50$	$\leq 100$		$\leq 1000$	
	C				$\geq 20$		$\leq 12$		$\leq 15$	$\geq 100$	$\leq 80$		$\leq 800$	
	D				$\geq 15$		$\leq 12$		$\leq 15$	$\geq 150$	$\leq 80$		$\leq 700$	
	E				$\geq 15$		$\leq 12$		$\leq 15$	$\geq 200$	$\leq 60$		$\leq 700$	
3AK803	A		30	$\geq 30$	$\geq 12$	$\leq 3$	$\leq 100$	30~150	$\geq 100$	$\leq 60$	$\leq 180$			
	B				$\geq 15$		$\leq 3$		$\leq 100$	$\geq 150$			$\leq 160$	
	C				$\geq 15$		$\leq 3$		$\leq 50$	$\geq 200$	$\leq 50$		$\leq 140$	
	D				$\geq 15$		$\leq 3$		$\leq 50$	$\geq 150$			$\leq 120$	
3AK804	A	100	60	$\geq 30$	$\geq 12$	$\leq 2.5$	$\leq 80$	30~200	$\geq 50$	$\leq 100$	$\leq 1200$	2-1 (C)		
	B	$\geq 15$			$\leq 2.5$		$\leq 80$		$\geq 50$	$\leq 100$	$\leq 1000$			
	C	$\geq 20$			$\leq 2.5$		$\leq 50$		$\geq 100$	$\leq 80$	$\leq 800$			
	D	$\geq 15$			$\leq 2.5$		$\leq 50$		$\geq 150$	$\leq 80$	$\leq 700$			
	E	$\geq 15$			$\leq 2.5$		$\leq 50$		$\geq 200$	$\leq 60$	$\leq 700$			
3AK805	A	300	150	40	$\geq 20$	$\leq 5$	$\leq 200$		$\geq 40$	$\leq 120$	$\leq 1600$	2-2 (B)		
	B				$\geq 18$		$\leq 5$		$\leq 150$	$\geq 80$	$\leq 80$		$\leq 1400$	
	C				$\geq 16$		$\leq 5$		$\leq 100$	$\geq 120$	$\leq 80$		$\leq 1200$	
3AK806	A	1000	700	70	$\geq 30$	$\leq 70$	$\leq 600$	15~110	$\geq 50$	$\leq 150$	$\leq 500$	2-4 (F)		
	B				$\geq 30$		$\leq 70$		$\leq 600$	$\geq 80$	$\leq 100$		$\leq 300$	
	C				$\geq 45$		$\leq 70$		$\leq 600$	$\geq 80$	$\leq 100$		$\leq 200$	
	D				$\geq 25$		$\leq 70$		$\leq 600$	$\geq 100$	$\leq 80$		$\leq 150$	

表 9.7.18 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数			直流参数						交流参数 $f_{h\beta}$ (MHz)	外形图		
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ ( $^{\circ}C/W$ )	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CBO}$ (mA)	$I_{CEO}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$				
3AD1	10	2	3.5	45	24	0.3	5	0.35	20~		2-4 (F)		
3AD2				40	18				40~				
3AD3		3		50	18				2.5			0.8	20~140
3AD6													
3AD6A													
3AD18	50	15	1	80	40	1	12	0.9	20~		2-6		
				50	20								
				80	60								
				120									
3AD30	10	3	3.5	50	18	0.3	2.5	0.6	20~140		2-4 (F-1)		
				60	24			0.8					
				30	20								
3AD50		3		50	18			$\leq 0.6$			2-4 (F)		
				60	24			$\leq 0.8$					
				70	30								
3AD51	10	2	3.5	50	18	$\leq 0.3$	$\leq 2.5$	$\leq 0.35$	20~140		$\geq 4$		
				60	24								
				70	30								
3AD52				50	18			$\leq 0.5$			2-4 (F)		
				60	24								
				70	30								
3AD53	20	6	1.75	50	18	$\leq 0.5$	$\leq 12$	$\leq 1$			$\geq 2$		
				60	24		$\leq 10$						
				70	30								

续表

型号	极限参数			直流参数						交流参数	外形图	
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ ( $^{\circ}C/W$ )	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CEO}$ (mA)	$I_{CHO}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$	$f_{hc}$ (MHz)		
3AD54	A	20	5	1.75	50	18	$\leq 0.4$	$\leq 8$	$\leq 0.35$	20~140	$\geq 3$	2-5
	B				60	24		$\leq 6$	$\leq 0.5$			
	C				70	30						
3AD55	A	30	5	1.75	50	18	$\leq 0.4$	$\leq 8$	$\leq 0.35$	24~140	$\geq 3$	2-4 (F)
	B				60	24		$\leq 6$	$\leq 0.5$			
	C				70	30						
3AD56	A	50	15	0.7	60	30	$\leq 0.8$		$\leq 0.7$	24~140	$\geq 3$	2-6
	B				80	45		$\leq 0.7$				
	C				100	60			$\leq 1$			

表 9.7.19 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数			直流参数				交流参数		外形图
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (mA)	$T_{JM}$ ( $^{\circ}C$ )	$U_{CHO}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CHO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)	$h_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3AA1	3	400	85	60	30	100	5	$\geq 30$	50	2-4 (F-1)
3AA2				70	35		2	60		
3AA3				65	40		50	1.5	80	
3AA4	70			1	50					
3AA5				2	100					
3AA7				2	140					
3AA8	1	500	85	75	35	100	3	$\geq 30$	120	
3AA9				60	30		2	80		
3AA10				75	35					
3AA12				60	30			$\geq 20$	50	

表 9.7.20 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数		直 流 参 数						外形图
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$I_{EBO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)	$h_{FE}$	
CX201	100	200	20~40	500				40~400	2-7
CX203	200	500		5000					
CX211		30		50					
3CX211	300	50	12	0.05	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 0.5$	55~400	2-8
200 3CX 201 A 202		$\geq 12$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$					
200 3CX 201 B 202		$\geq 18$							
3CX203	500	500	20~40	5				40~400	2-9
3CX204	700	700	15~40					55~400	

表 9.7.21 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数		交 直 流 参 数							外形图
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BO)}$ (V)	$U_{(EO)}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3CG100	100	30	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.3$	$\geq 25$	$\geq 100$	2-2 (B)
			$\geq 25$							
			$\geq 45$							
3CG101	100	30	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.8$	$\geq 25$	$\geq 100$	2-2 (B)
			$\geq 30$							
			$\geq 45$							
3CG102	150	20	$\geq 12$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.6$	$\geq 25$	$\geq 700$	2-2 (B)
			$\geq 15$						$\geq 800$	
			$\geq 15$						$\geq 1000$	
3CG103	150	20	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 700$	2-2 (B)
			$\geq 15$						$\geq 1000$	
			$\geq 15$						$\geq 1200$	

续表

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图																																			
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(IK)}$ (V)	$U_{ESB}$ (V)	$I_{CK}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)																																		
3CG110	A	300	50	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 100$	2-2 (B)																																		
	B			$\geq 30$																																									
	C			$\geq 45$																																									
3CG111	A	300	50	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 200$	2-2 (B)																																		
	B			$\geq 30$																																									
	C			$\geq 45$																																									
3CG112	A			300								50	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 100$	2-2 (B)																									
	B												$\geq 30$																																
	C												$\geq 45$																																
3CG113	A			300								50	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 700$	2-2 (B)																									
	B												$\geq 900$																																
3CG114	A												40								40	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.3$	$\leq 25$	$\geq 700$	2-2 (B)																
	B																					$\geq 900$																							
3CG120	A												500								100	$\geq 15$								$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 200$	2-2 (B)									
	B																					$\geq 30$																							
	C	$\geq 45$																																											
3CG121	A	500	100		$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 200$											2-2 (B)																							
	B				$\geq 30$																																								
	C				$\geq 45$																																								
3CG122	A				500																																100	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 200$	2-2 (B)
	B																																					$\geq 25$							
	C			$\geq 45$																																									
	D			$\geq 15$																																									
	E			$\geq 25$																																									
	F			$\geq 45$																																									
3CG130	A			700								300	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.6$	$\geq 25$	$\geq 80$	2-2 (B)																									
	B												$\geq 30$																																
	C												$\geq 45$																																



续表

型号		极限参数		直流参数						外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{EBO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3CG131	A	700	300	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.6$	$\geq 25$	$\geq 80$	2-2 (B)
	B			$\geq 30$							
	C			$\geq 45$							
3CG132	A	120	20	$\geq 15$	$\leq 0.5$	$\geq 1000$	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 700$		
	B			$\geq 15$						$\geq 900$	
3CG140	A	100	20	$\geq 12$	$\leq 0.5$	$\geq 1000$	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 1000$		
	B			$\geq 12$						$\geq 1000$	
3CG170	A~C	500	50		$\leq 0.5$	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 100$	$\geq 100$		
	D~E			185~230						$\geq 50$	
3CG180	A~D	700	100		$\leq 0.8$	$\geq 15$	$\geq 150$	$\geq 150$	$\geq 150$		
	E~H									$\geq 150$	

表 9.7.22 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交直流参数					外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{EBO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$h_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3CK1	A	100	30	25	20	0.5	1	$\geq 20$	150	2-2 (B-1)
	B									
	C									
	D			35	30					
	E									
	F									
3CK2	A	300	50	20	15	0.1	0.1	$\geq 25$		
	B							$\geq 20$		
	C							$\geq 40$		
	D							$\geq 25$		
	E							$\geq 40$		
	F							$\geq 20$		

续表

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$h_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3CK3	A	300	100	15	15	0.1	0.1	$\geq 25$	150	2-2 (B-1)
	B									
	C									
3CK7	A	300	50	25	15	0.1	0.1	40~80	150	2-2 (B-1)
	B									
	C							80~120		
	D							20~40		
	E							40~80		
	F							80~120		

表 9.7.23 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图			
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)		
3CA1	A~F	1	0.1	$A \geq 30$		5~10	0.05~0.1	$\leq 1$	$\geq 20$	60	2-2 (B)		
3CA2	A~F	2	0.25			10~50				50			
3CA3	A~E	5	0.5			$B \geq 50$	50~100			0.2~0.5	2-4 (F)		
3CA4	A~E	7.5	1			$C \geq 80$	0.5~1000			1~1.5	$\leq 2$	30	
3CA5	A~E	15	1.5			$D \geq 100$				1~2			
3CA6	A~F	20	2			$E \geq 130$	500			1.5~3	$\leq 1$		
3CA7		30	2.5			$F \geq 150$	3000			5	$\geq 10$		2-10 (G)
3CA8	A~D	40	3			$G \geq 200$	2000						
3CA9		50	4				5000			2	10		
3CA10	A~G	25	10				1000			2500	$\leq 2$		

表 9.7.24 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数		交 直 流 参 数						外形图
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$h_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3CK10A~E	1	1	20~70	1	100	100	$\geq 25$	50	2-4 或 2-10 (F) 或 (G)
3CK5A~E	5	1.5	15~50	0.8	100	500			
3CK01		1	40~160				$\geq 10$	5	
3CK02	10	2	30~100	30~100		1000	$\geq 15$	4	
3CK03	20	3						4	
3CK05	50	5						3	
3CK010	75	10						3	
3CK015	100	15			2000				
3CK109	150	20					$\geq 20$		

表 9.7.25 结型三极管主要型号参数及外形

型号	极限参数		直 流 参 数						交流参数	外形图					
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{BR(BO)}$ (V)	$U_{BR(BE)}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$U_{CE(s)}$ (V)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)						
3DG100	A	100	20	$\geq 30$	$\geq 20$			$\leq 1$	$\geq 30$	$\geq 150$					
	B			$\geq 40$	$\geq 30$					$\geq 300$					
	C			$\geq 30$	$\geq 20$					$\geq 300$					
	D			$\geq 40$	$\geq 30$					$\geq 300$					
3DG101	A			$\geq 20$	$\geq 15$					$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.35$	$\geq 30$	$\geq 150$	2-2 (B)
	B			$\geq 30$	$\geq 20$					$\geq 300$					
	C	$\geq 40$	$\geq 30$												
	D	$\geq 20$	$\geq 15$												
	E	$\geq 30$	$\geq 20$												
	F	$\geq 40$	$\geq 30$												

续表

型号		极限参数		直流参数				交流参数	外形图																			
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CE}$ (V)	$U_{(BR)EC}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CE(sat)}$ (V)		$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)																	
3DG102	A	100	20	$\geq 30$	$\geq 20$						2-2 (B)																	
	B			$\geq 40$	$\geq 30$							$\geq 150$																
	C			$\geq 30$	$\geq 20$							$\geq 300$																
	D			$\geq 40$	$\geq 30$																							
3DG103	A											$\geq 30$	$\geq 20$															
	B											$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 500$											
	C											$\geq 30$	$\geq 20$				$\geq 700$											
	D											$\geq 40$	$\geq 30$															
3DG 101 111	A	300	50	$\geq 20$	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.35$	$\geq 30$																				
	B			$\geq 40$	$\geq 30$							$\geq 150$																
	C			$\geq 60$	$\geq 45$																							
	D			$\geq 20$	$\geq 15$																							
	E			$\geq 40$	$\geq 30$							$\geq 300$																
	F			$\geq 60$	$\geq 45$																							
3DG112	A											$\geq 30$	$\geq 20$				$\geq 500$											
	B											$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 700$											
	C											$\geq 30$	$\geq 20$															
	D											$\geq 40$	$\geq 30$															
3DG 120 121	A			700								$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.1$														
	B											$\geq 60$	$\geq 45$							$\geq 150$								
	C	$\geq 40$	$\geq 30$			$\geq 300$																						
	D	$\geq 60$	$\geq 45$																									
3DG122	A	500				$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.2$	$\leq 0.5$	$\geq 20$																		
	B					$\geq 60$	$\geq 45$													$\geq 500$								
	C					$\geq 40$	$\geq 30$													$\geq 700$								
	D					$\geq 60$	$\geq 45$																					
3DG123	A					50														$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.5$	$\leq 0.35$					
	B																			$\geq 40$	$\geq 30$							$\geq 1000$
	C																			$\geq 30$	$\geq 20$							$\geq 1500$

续表

型号		极限参数		直流参数					交流参数	外形图							
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CEO}$ (V)	$U_{(BR)CEB}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CE(SM)}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)						
3DG130	A	700	500	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 0.6$	$\geq 500$	2-2 (B)							
	B			$\geq 60$	$\geq 45$												
	C			$\geq 40$	$\geq 30$												
	D			$\geq 60$	$\geq 45$												
3DG131	A		100		$\geq 30$	$\geq 20$			$\leq 0.35$		$\geq 1000$						
	B				$\geq 40$	$\geq 30$											
	C				$\geq 50$	$\geq 40$											
3DG132	A		200	200		$\geq 25$			$\leq 0.5$								
	B											$\geq 35$					
3DG140	A		15				$\leq 0.1$		$\geq 20$		$\geq 400$						
	B											$\geq 400$					
	C																
3DG141	A															$\geq 600$	
	B																
	C																
3DG142	A												$\leq 0.1$			$\geq 800$	
	B																
	C																
3DG143	A	100									$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$			$\geq 4000$	
	B																
	C																
3DG144	A															$\geq 2500$	
	B																
	C																
3DG145	A								$\geq 10$							$\geq 2000$	
	B																
	C																
3DG146	A																
	B																
	C																

续表

型号		极限参数		直流参数					交流参数	外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CE}$ (V)	$U_{(BR)CE0}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{(CE)S0}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3DG148	A	100	15	$\geq 16$	$\geq 10$	0.1			$\geq 10$	$\geq 5000$	2-11
	B										
	C										
3DG149	A	20		$\geq 12$					$\geq 10$	$\geq 7000$	2-12
	B										
3DG152	A			$\geq 30$	$\geq 15$	0.1			$\geq 15$	$\geq 1200$	2-2 (B)
	B										
	C										
3DG153	A	200	30					$\leq 0.25$		$\geq 5000$	
	B										
	C										
	D										
3DG154	A								$\geq 10$	$\geq 6000$	2-12
	B										
	C										
3DG155	A	700	50	$\geq 20$	$\geq 10$				$\geq 10$	$\geq 5500$	
	B										
	C										
3DG156	A	150							$\geq 10$	$\geq 700$	2-2 (B)
	B										
	C										
	D										
3DG162	A	300	20	$\geq 60$	$\geq 60$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 50$	2-2 (B-1)
	B			$\geq 100$	$\geq 100$						
	C			$\geq 140$	$\geq 140$						
	D			$\geq 180$	$\geq 180$						
	E			$\geq 220$	$\geq 220$						
	F			$\geq 60$	$\geq 60$						
	G			$\geq 100$	$\geq 100$						

续表

型号		极限参数		直流参数					交流参数	外形图	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CE}$ (V)	$U_{(BR)CE}$ (V)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$U_{(CE)S}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3DG162	H	300	20	$\geq 140$	$\geq 140$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 100$	2-2 (B-1)
	I			$\geq 180$	$\geq 180$						
	J			$\geq 220$	$\geq 220$						
3DG170	A	500	50	$\geq 60$	$\geq 60$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 100$	2-2 (B-4)
	B			$\geq 100$	$\geq 100$						
	C			$\geq 140$	$\geq 140$						
	D			$\geq 180$	$\geq 180$						
	E			$\geq 220$	$\geq 220$						
	F			$\geq 60$	$\geq 60$						
	G			$\geq 100$	$\geq 100$						
	H			$\geq 140$	$\geq 140$						
	I			$\geq 180$	$\geq 180$						
	J			$\geq 220$	$\geq 220$						
3DG180	A	700	100	$\geq 60$	$\geq 60$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 0.8$	$\geq 20$	$\geq 50$	2-2 (B-4)
	B			$\geq 100$	$\geq 100$						
	C			$\geq 140$	$\geq 140$						
	D			$\geq 180$	$\geq 180$						
	E			$\geq 220$	$\geq 220$						
	F			$\geq 260$	$\geq 260$						
	G			$\geq 300$	$\geq 300$						
	H			$\geq 60$	$\geq 60$						
	I			$\geq 100$	$\geq 100$						
	J			$\geq 140$	$\geq 140$						
	K			$\geq 180$	$\geq 180$						
	L			$\geq 220$	$\geq 220$						
	M			$\geq 260$	$\geq 260$						
	N			$\geq 300$	$\geq 300$						
									$\geq 100$		

续表

型号		极限参数		直流参数				交流参数	外形图		
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{(BR)CE}$ (V)	$U_{(BR)EC}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{(CE)sw}$ (V)		$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)
3DG182	A	700	300	$\geq 60$	$\geq 60$	$\leq 1$	$\leq 2$	$\leq 1$	$\leq 10$	$\geq 50$	2-2 (B-4)
	B			$\geq 100$	$\geq 100$						
	C			$\geq 140$	$\geq 140$						
	D			$\geq 180$	$\geq 180$						
	E			$\geq 220$	$\geq 220$						
	F			$\geq 60$	$\geq 60$						
	G			$\geq 100$	$\geq 100$						
	H			$\geq 140$	$\geq 140$						
	I			$\geq 180$	$\geq 180$						
	J			$\geq 220$	$\geq 220$						
200 3DG 201 202	A	100	20	—	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\leq 0.9$	25~ 270	$\geq 100$	2-2 或 2-13 (B)
	B				$\geq 25$	$\leq 0.05$					
	C				$\geq 20$	$\leq 0.1$					
3DG201	A	10		$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\leq 1$		$\geq 500$	2-14	
	B			$\geq 25$	$\leq 0.1$						

表 9.7.26 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交 直 流 参 数					外形图		
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CBO}$ (V)	$U_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)		$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)
3DK100	A	100	30	$\geq 20$	$\geq 15$						2-2 (B)
	B			$\geq 15$	$\geq 10$						
	C			$\geq 30$	$\geq 20$						
3DK101	A	200	40	$\geq 30$	$\geq 25$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	0.3	25~180	$\geq 300$	2-2 (B)
	B			$\geq 20$	$\geq 15$						
	C			$\geq 30$	$\geq 25$						
3DK102	A	300	50	$\geq 20$	$\geq 15$						
	B			$\geq 30$	$\geq 25$						
	C			$\geq 20$	$\geq 15$						
	D			$\geq 30$	$\geq 25$						



续表

型号		极限参数		交 直 流 参 数							外形图
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu A$ )	$I_{CEO}$ ( $\mu A$ )	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3DK103	A	300	50	$\geq 20$	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	0.3	25~180	$\geq 200$	2-2 (B)
	B			$\geq 40$	$\geq 30$						
	C			$\geq 60$	$\geq 45$						
3DK104	A	700	400	$\geq 75$	$\geq 60$	$\leq 1$					
	B			$\geq 100$	$\geq 80$						
	C			$\geq 75$	$\geq 60$						
	D			$\geq 100$	$\geq 80$						
3DK105	A	700	500	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	0.5	25~180	150	2-2 (B)
	B			$\geq 60$	$\geq 45$						
	C			$\geq 40$	$\geq 30$						
	D			$\geq 60$	$\geq 45$						
3DK106	A	700	600	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	0.5	25~180	150	2-2 (B)
	B			$\geq 60$	$\geq 45$						
	C			$\geq 40$	$\geq 30$						
	D			$\geq 60$	$\geq 45$						
3DK107	A	700	800	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	0.5	25~180	150	2-2 (B)
	B			$\geq 60$	$\geq 45$						
	C			$\geq 40$	$\geq 30$						
	D			$\geq 60$	$\geq 45$						

表 9.7.27 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交 直 流 参 数							外形图
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CE0}$ (V)	$I_{CBO}$ (mA)	$I_{CEO}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)	
3DD100	A~E	20	1.5	$A \geq 150$	$A \geq 100$	1	2	$\leq 1$	20~200	3	2-4 (F)
3DD101	A~E			$B \geq 200$	$B \geq 150$			$\leq 1.5$			
3DD102	A~E		5	$C \geq 250$	$C \geq 200$	0.1	0.5	$\leq 4$	20		
3DD103	A~E			$D \geq 300$	$D \geq 250$						
3DD104	A~E	50	3	$E \geq 350$	$E \geq 300$	0.1	1	$\leq 4$	20	1	2-4 (F)
3DD103	A~E			$A \geq 300$	$A \geq 200$						
3DD104	A~E			$B \geq 600$	$B \geq 300$						
3DD104	A~E			$C \geq 800$	$C \geq 400$						
3DD104	A~E			$D \geq 1200$	$D \geq 600$						
3DD104	A~E			$E \geq 1600$	$E \geq 800$						

续表

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图	
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{(BO)}$ (V)	$U_{(CEO)}$ (V)	$I_{(BO)}$ (mA)	$I_{(CEO)}$ (mA)	$U_{(CES)}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3DD151	A~G	5	1	$A \geq 80$	$A \geq 50$	—	0.5	5	15~270	1	2-4 (F)
3DD152	A~G			$B \geq 150$	$B \geq 80$						
3DD153	A~G	10	1.5	$C \geq 200$	$C \geq 150$						
3DD154	A~G			$D \geq 250$	$D \geq 200$						
3DD155	A~G	20	2	$E \geq 350$	$E \geq 250$						
3DD156	A~G			$F \geq 450$	$F \geq 300$						
3DD157	A~G	30	3	$G \geq 600$	$G \geq 400$						
3DD158	A~G										
3DD159	A~G	50	5	$A \geq 80$	$A \geq 50$	—	1	1.2	15~270	1	2-4 (F)
3DD160	A~G			$B \geq 150$	$B \geq 80$						
3DD161	A~G	75	7.5	$C \geq 200$	$C \geq 150$						
3DD162	A~G			$D \geq 250$	$D \geq 200$						
3DD163	A~G	100	10	$E \geq 350$	$E \geq 250$						
3DD164	A~G			$F \geq 450$	$F \geq 300$						
3DD165	A~G	100	10	$G \geq 600$	$G \geq 400$						2
3DD166	A~G										
3DD200		30	3	250	100	0.5	—	—	30~120	—	2-4 (F)
3DD201		50	8	320	150	0.3			2		
3DD202				1500	800		7~30				
3DD203		10	1	$\geq 100$	$\geq 60$	—	—	50~200	—		
3DD204		30	3			$\leq 0.5$	—				
3DD205		15	1.5	$A \geq 200$ $B \geq 300$	$A \geq 100$ $B \geq 150$	0.1	$\leq 1$	40~200	$\geq 30$	$\geq 30$	
3DD206		25		$\geq 800$	$\geq 400$	—		—			
3DD207		30	3	—	30	—	0.1	$\leq 1.5$	40~250	—	
3DD208		50		300	200	2		30~250			

表 9.7.28 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图	
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{(BO)}$ (V)	$U_{(CEO)}$ (V)	$I_{(BO)}$ (mA)	$I_{(CEO)}$ (mA)	$U_{(CES)}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)
3DA1	A	7.5	1	40	30	—	$\leq 1$	$\leq 1$	$\geq 10$	$\geq 50$	2-4 (F)
	B			50	45		$\leq 0.5$		$\geq 70$		
	C			70	60		$\geq 15$		$\geq 100$		
3DA2	A	5	0.75	40	30	—	$\leq 0.2$	$\leq 1.5$	$\geq 25$	$\geq 150$	2-10 (G1-2)
	B			70	60		$\geq 15$		$\geq 80$		
3DA3	A	20	2.5	60	50	—	$\leq 1$	$\leq 2.5$	$\geq 10$	$\geq 70$	2-10 (G1-2)
	B			80	70		$\leq 0.5$		$\leq 1.5$	$\geq 15$	
3DA4	A	20	2.5	40	30	0.5	$\leq 1.5$	$\leq 2$	$\geq 10$	$\geq 30$	2-10 (G1-2)
	B			60	50		$\geq 15$		$\geq 70$		
	C			80	70		$\geq 15$		$\geq 70$		
3DA5	A	40	5	60	50	—	$\leq 2$	$\leq 2$	$\geq 10$	$\geq 60$	2-10 (G1-2)
	B			80	70		$\leq 1$		$\geq 15$	$\geq 80$	
3DA100	A	7.5	1	50	45	3	$\leq 3$	$\leq 1.5$	$\geq 12$	$\geq 180$	2-4 (F)
	B			60	55		$\geq 10$		$\geq 220$		
3DA101	A	7.5	1	40	30	—	$\leq 1$	$\leq 1$	$\geq 10$	$\geq 50$	2-10 (G1-2)
	B			55	45		$\leq 0.5$		$\geq 70$		
	C			70	60		$\leq 0.2$		$\geq 15$	$\geq 100$	
3DA102	A	7.5	1	40	30	—	$\leq 0.5$	$\leq 1.5$	$\geq 10$	$\geq 150$	2-10 (G1-2)
	B			70	50		$\geq 15$		$\geq 150$		
3DA103		3	0.3	50	40	—	$\geq 0.1$	$\leq 1$	$\geq 20$	$\geq 200$	2-10 (G1-2)
3DA104	A	7.5	1	40	35	—	$\geq 1$	$\leq 1.5$	$\geq 10$	$\geq 400$	2-10 (G1-2)
	B			55	45		$\geq 1$		$\leq 1.5$	$\geq 10$	
3DA107	A	15	1.5	40	30	—	$\geq 3$	$\leq 2$	$\geq 10$	$\geq 400$	2-10 (G1-2)
	B			60	40		$\geq 3$		$\leq 2$	$\geq 10$	

续表

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图		
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{(BO)}$ (V)	$U_{(CEO)}$ (V)	$I_{(BO)}$ (mA)	$I_{(CEO)}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)	
3DA 150 151	A	1	0.1	—	$\geq 100$	$2\mu$	$\leq 10$	$\leq 1$	$\geq 30$	$\geq 50$	2-2 (B)	
	B				$\geq 150$							
	C				$\geq 200$							
	D				$\geq 250$							
3DA152	A	3	0.3	—	$\geq 30$	—	$\leq 0.2$	$\leq 1$	30~ 250	$\geq 10$	2-15	
	B				$\geq 100$							
	C				$\geq 150$							
	D				$\geq 200$							
	E				$\geq 250$							
	F				$\geq 30$					0.1		$\geq 50$
	G				$\geq 100$							
	H				$\geq 150$							
	I				$\geq 200$							
	J				$\geq 250$							

表 9.7.29 结型三极管主要型号参数及外形

型号		极限参数		交 直 流 参 数						外形图		
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{(BO)}$ (V)	$U_{(CEO)}$ (V)	$I_{(BO)}$ (A)	$I_{(CEO)}$ (A)	$U_{CES}$ (V)	$H_{FE}$		$f_T$ (MHz)	
3DK29	A~D	1	0.5	25~40	15~30	$1\mu$	$2\mu$	0.5	25~180	400	2-10 (G) 或 2-4 (F)	
3DK03	A~F	30	3	30~160	30~14	—	—	0.4	$\geq 15$	$\geq 15$		
3DK12	A~F	50	5					40~160				40~140
3DK08	A~F	60	7.5	40~160	40~160				0.8	$\geq 10$		
3DK32	A~F	75	10						300~900	200 $\mu$		
3DK33	A~G	100	20	150~500	100~400			1m				2
3DKG10	A~G	150	10					30~250	—	3m		1
3DK200	A~G	200	20	—	—					—		—
3DK301	A~G	300	50	—	—			—	—	—		—

## 2.2 达林顿管

达林顿管主要型号参数及外形图见表 9.7.30。

表 9.7.30 达林顿管主要型号参数及外形

型号	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$BU_{CEO}$ (V)	$BU_{CEO}$ (V)	$BU_{EBO}$ (V)	$I_{CEO}$ (mA)	$U_{CES}$ (V)	$h_{FE}$	外形图
YZ21	20	5	$\geq 25$	$\geq 25$	$\geq 3$	2	$\leq 2$	$\geq 500$	2-4 (F-2)
			$\geq 50$	$\geq 50$					
			$\geq 80$	$\geq 80$					
			$\geq 110$	$\geq 110$					
			$\geq 150$	$\geq 150$					
			$\geq 200$	$\geq 200$					
YZ23	30	10	$\geq 25$	$\geq 25$	$\geq 3$	3	$\leq 2$	$\geq 500$	2-4 (F-2)
			$\geq 50$	$\geq 50$					
			$\geq 80$	$\geq 80$					
			$\geq 110$	$\geq 110$					
			$\geq 150$	$\geq 150$					
			$\geq 200$	$\geq 200$					
YZ31	20	5	$\geq 25$	$\geq 25$	$\geq 3$	1.5	$\leq 2.5$	$\geq 500$	2-4 (F-2)
			$\geq 50$	$\geq 50$					
			$\geq 80$	$\geq 80$					
			$\geq 110$	$\geq 110$					
			$\geq 150$	$\geq 150$					
			$\geq 200$	$\geq 200$					
YZ33	50	10	$\geq 25$	$\geq 25$	$\geq 3$	2	$\leq 2.5$	$\geq 500$	2-4 (F-2)
			$\geq 50$	$\geq 50$					
			$\geq 80$	$\geq 80$					
			$\geq 110$	$\geq 110$					
			$\geq 150$	$\geq 150$					
			$\geq 200$	$\geq 200$					

## 2.3 场效应管

场效应管主要型号参数及外形图见表 9.7.31。

表 9.7.31 场效应管主要型号参数及外形

型号	饱和漏源电流 $I_{DS(Sat)}$ (mA)	夹断电压 $U_{GS(off)}$ (V)	栅源绝缘电阻 $r_{GS}$ ( $\Omega$ )	正向跨导 $g_m$ ( $\mu\Omega$ )	最高振荡频率 $f_M$ (MHz)	最大漏源电压 $BU_{DS}$ (V)	最大栅源电压 $BU_{GS}$ (V)	最大耗散功率 $P_{DM}$ (mW)	最大漏源电流 $I_{ISM}$ (mA)	外形图	
3DJ2	D	<0.35	$\geq 10^2$	>2000	$\geq 300$	>20	>20	100	15	2-16	
	E	0.3~1.2									< -4
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10									< -9
3DJ4	D	<0.35	$\geq 10^8$	>1000	$\geq 30$	>20	>20	100	15	2-16	
	E	0.3~1.2									< -3
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10									< -6
3DJ6	D	<0.35	$\geq 10^8$	>3000	$\geq 90$	>20	>20	100	15	2-16	
	E	0.3~1.2									< -4
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10									< -9
3DJ7	D	<0.35	$\geq 10^8$	>3000	$\geq 90$	>20	>20	100	15	2-16	
	E	0.3~1.2									< -4
	F	1~3.5									
	G	3~11									
	H	10~18									
	I	17~25									< -9
J	24~35										

续表

型号	饱和漏源电流 $I_{16V,50V}$ (mA)	夹断电压 $U_{(I_{DS}=0)}$ (V)	栅源绝缘电阻 $r_{GS}$ ( $\Omega$ )	正向跨导 $g_m$ ( $\mu\Omega$ )	最高振荡频率 $f_M$ (MHz)	最大漏源电压 $BU_{DS}$ (V)	最大栅源电压 $BU_{GS}$ (V)	最大耗散功率 $P_{LM}$ (mW)	最大漏源电流 $I_{ISM}$ (mA)	外形图	
3DJ8	F	1~3.5	$< -9 $	$\geq 10^7$	$>6000$	$\geq 90$	$>20$	$>20$	100	15	2-16
	G	3~11									
	H	10~18									
	I	17~25									
	J	24~35									
	K	35~70									
3DJ9	F	1~3.5	$< -7 $	$\geq 10^7$	$\geq 4000$	$>800$	$>20$	$>20$	15	2-16	
	G	3~6.5									
	H	6~11									
	I	10~18									
3CJ1	D	$<0.35$	$< -4 $		$>300$			25	100	2-16	
	E	0.3~1.2			$>500$						
	F	1~3.5			$>1000$						
	G	3~6.5			$>1500$						
	H	10~20			$>2000$						
3DO1	D	$\leq 0.35$	$< -9 $	$\geq 10^8$	$\geq 1000$	$\geq 90$	$>20$	$>40$	15	2-17	
	E	0.3~1.2									
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10									
	I	10~15									
3DO4	D	$\leq 0.35$	$< -9 $	$\geq 10^8$	$\geq 2000$	$\geq 300$	$>25$	100	15	2-17	
	E	0.3~1.2									
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10.5									

## 3 双基极管

双基极管主要型号参数及外形图见表 9.7.32。

表 9.7.32 双基极管主要型号参数及外形

型号		分压比 $\eta$	基极间 电阻 $R_{B1}$ (k $\Omega$ )	E-B <sub>1</sub> 间反向 电流 $I_{EB10}$ ( $\mu$ A)	饱和 压降 $U_{ES}$ (V)	峰点 电流 $I_P$ ( $\mu$ A)	谷点 电流 $I_V$ (mA)	谷点 电压 $U_V$ (V)	耗散 功率 $P_{B2M}$ (mW)	外形图
BT31	A	0.3~0.55	3~6	$\leq 1$	$\leq 4$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	$\leq 3.5$	100	2-18
	B		5~12							
	C	0.45~0.75	3~6							
	D		5~12							
	E	0.65~0.90	3~6							
	F		5~12							
BT32	A	0.3~0.55	3~6							
	B		5~12							
	C	0.45~0.75	3~6							
	D		5~12							
	E	0.65~0.90	3~6							
	F		5~12							
BT33	A	0.3~0.55	3~6							
	B		5~12							
	C	0.45~0.75	3~6							
	D		5~12							
	E	0.65~0.90	3~6							
	F		5~12							
BT35	A	0.3~0.90	2~5							
	B	0.4~0.90	2~5							
	C	0.3~0.90	4.5~12							
	D		3~6							
				$\leq 2$						



续表

型号	分压比 $\eta$	基极间电阻 $R_{BB}$ (k $\Omega$ )	E-B <sub>1</sub> 间反向电流 $I_{EB_1}$ ( $\mu$ A)	饱和压降 $U_{ES}$ (V)	峰点电流 $I_P$ ( $\mu$ A)	谷点电流 $I_V$ (mA)	谷点电压 $U_V$ (V)	耗散功率 $P_{K_2M}$ (mW)	外形图	
BT37	A	0.3~0.55	3~6	$\leq 1$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\leq 5$	$\leq 4$	700	2-19
	B		5~12							
	C	0.45~0.75	3~6							
	D		5~12							
	E	0.65~0.90	3~6							
	F		5~12							

## 4 光电耦合管

### 4.1 光电耦合器

光电耦合器主要型号参数及外形图见表 9.7.33。

表 9.7.33 光电耦合器主要型号参数及外形

型号	输入特性			输出特性			传输特性			外形图	
	最大工作电流 $I_{Fmax}$ (mA)	正向压降 $U_f$ (V)	反向耐压 $U_R$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu$ A)	光电流 $I_L$ ( $\mu$ A)	最高工作电压 $U_L$ (V)	传输比 CTR (%)	隔离阻抗 $R_g$ ( $\Omega$ )	极间耐压 $U_g$ (V)		
GD-10	50	1.3	5	0.1			30			3-1	
GD101										10	3-2
GD102							30				
GD103							60				
GD181				5						20	
GD182							40				
GD183							60				
GD184							60				
GD185							80				

续表

型号	输入特性			输出特性			传输特性			外形图
	最大工作电流 $I_{Fmax}$ (mA)	正向压降 $U_f$ (V)	反向耐压 $U_R$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu A$ )	光电流 $I_L$ ( $\mu A$ )	最高工作电压 $U_L$ (V)	传输比 CTR (%)	隔离阻抗 $R_K$ ( $\Omega$ )	极间耐压 $U_K$ (V)	
GD211A			5		25~50	30	0.25~0.5	$10^{11}$	500	3-3
GD211					50~75		0.5~0.75			
GD212					75~100		0.75~1.0			
GD213					100~150		1.0~2.0			
GD214					150~200		1.5~2.0			
GD215					200~300		2.0~3.0			
GD301	A	50	1.3	0.1						3-3
	B									
	C									
	D									
	E									
GD302	A									
	B									
	C									
	D									
	E									
GD303	A	50	1.3	0.1			10~30			
	B						30~60			
	C						60~100			
	D						100~150			
	E						150			
GD311	50	$\leq 1.3$	$> 5$	$\leq 0.1$	1~2	25	10~20	$10^{11}$	500	3-3
GD312					2~4		20~40			
GD313					4~6		40~60			
GD314					6~8		60~80			
GD315					8~10		80~100			
GD316					10~12		100~120			
GD317					12~15		120~150			
GD318					15以上		150以上			

续表

型号	输入特性			输出特性			传输特性			外形图
	最大工作电流 $I_{Fmax}$ (mA)	正向压降 $U_f$ (V)	反向耐压 $U_R$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu A$ )	光电流 $I_L$ ( $\mu A$ )	最高工作电压 $U_L$ (V)	传输比 CTR (%)	隔离阻抗 $R_x$ ( $\Omega$ )	极间耐压 $U_R$ (V)	
GD321	50	$\leq 1.3$	$> 5$	$\leq 0.1$	1~2	25	10~20	$10^{11}$	500	3-3
GD322					2~4		20~40			
GD323					4~6		40~60			
GD324					6~8		60~80			
GD325					8~10		80~100			
GD326					10~12		100~120			
GD327					12~15		120~150			
GD328					15以上		150以上			
GD331	A	B	C	0.1	20~40	100~300	300~400	>400	3-4	
					40~60	100~300	300~400	>400		
					40~60	100~300	300~400	>400		
GD332	A	B	C	1	40~60	100~300	300~400	>400	3-4	
					40~60	100~300	300~400	>400		
					40~60	100~300	300~400	>400		
GD333	50	1.3	5	0.1	40	40	40	$10^{11}$	500	3-4
GD334					60	60	60			
GD335					80	80	80			
GD336					100	100	100			
GD337					120	120	120			
GD338					150	150	150			

### 4.2 集成高速光耦合器

集成高速光耦合器主要型号参数及外形图见表 9.7.34。

表 9.7.34 集成高速光耦合器主要型号参数及外形

型号	输入 电流 $I_m$ (mA)	工作 电压 $U_{CC}$ (V)	输出高 电压 $U_{OH}$ (V)	输出低 电压 $U_{OL}$ (V)	选通端 电流		传输延 迟时间		电源 电流 $I_{CC}$ (mA)	外形图	备注	
					$I_{ECO}$ (mA)	$I_{ED}$ (mA)	$t_{PHL}$ ( $\mu$ s)	$t_{PLL}$ ( $\mu$ s)				
GO710	A	15						5	5	7	3-5	苏州半 导体器 件总厂
	B							1.5	1.5			
	C							0.8	0.8			
GO711	A	1.5		0.6		-1		5	5	7	3-5	苏州半 导体器 件总厂
	B							1.5	1.5			
	C							0.8	0.8			
GO712	A	15	2.4					5	5	7	3-5	苏州半 导体器 件总厂
	B							1.5	1.5			
	C							0.8	0.8			
GO713	A	3						10	10	7	3-5	苏州半 导体器 件总厂
	B							5	5			
	C							3	3			

### 4.3 高压光耦合器

高压光耦合器主要型号参数及外形图见表 9.7.35。

表 9.7.35 高压光耦合器主要型号参数及外形

型号	电源 电压 $U_{CC}$ (V)	静态 电流 $I_{CC}$ (mA)	输入 电压 $U_{ip-p}$ (V)	输出 电压 $U_{op-p}$ (V)	输入 阻抗 $Z_i$ ( $\Omega$ )	输出 阻抗 $Z_o$ ( $\Omega$ )	重复 频率 $f$ (Hz)	外形图	备注
GGO101	15	20	1	1	75	50~20k	1016	3-6	苏州 半导体 总厂
GGO102	15	60	0.1~1.2	0.1~1.2	75	带宽 100k			

### 4.4 光电阻耦合器

光电阻耦合器主要型号参数见表 9.7.36。

表 9.7.36 光电阻耦合器主要型号参数

型号		耦 合		输入端 LED 特性			电气特性			备注
		$W_v$ (V)	$t_r$ (ms)	$P_m$ (mW)	$U_F$ (V)	$I_{FM}$ (mA)	$U_{ISO}$ (V)	$R_{on}$ (kΩ)	$R_{off}$ (MΩ)	
GRC-1	A	1000	6	125	2.5	30	200	5~10	1	哈尔滨特种元件厂
	B						300	2~5		
	C						500	1~2		

## 5 光敏器件

### 5.1 光敏二极管

#### 5.1.1 普通型光敏二极管

普通型光敏二极管主要型号参数及外形图见表 9.7.37。

表 9.7.37 普通型光敏二极管主要型号参数及外形

型号		响应度 $R_e$ (A/W)	反向电压 $U_{RM}$ (V)	暗电流 $I_D$ (μA)	光电流 $I_L$ (μA)	上升时间 $t_r$ (ns)	下降时间 $t_f$ (ns)	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	光谱范围 $\lambda_L \sim \lambda_B$ (μm)	外形图
2AU1	A	0.5	50	10	30			1500		3-7
	B				40					
	C				50					
	D				60					
2CU1	A	0.5	10	0.2	80	100		1500		3-8
	B		20							
	C		30							
	D		40							
	E		50							
			30		15					

续表

型号		响应度 $R_c$ (A/W)	反向电压 $U_{RM}$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu$ A)	光电流 $I_L$ ( $\mu$ A)	上升时间 $t_r$ (ns)	下降时间 $t_f$ (ns)	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	光谱范围 $\lambda_L \sim \lambda_B$ ( $\mu$ m)	外形图																					
2CU2	A	0.5	10	0.1	30	100				3-9																					
	B		20																												
	C		30																												
	D		40																												
2CU3		0.5	12	0.1	5						100		1465	400~1100	3-9																
	A		10																												
	B		20																												
	C		30																												
2CU5		0.5	12	0.1	5											100				3-7											
	A		10																												
	B		20																												
	C		30																												
2CU11	A	0.5	15	0.1	1	2		900		3-12																					
	B			0.01																											
	C			0.001																											
2CU21	A	0.5	15	0.1	1						2				3-12																
	B			0.01																											
	C			0.001																											
2CU79		0.6	30	0.01	20											2		850		3-13											
	A			0.001																											
B	0.0001																														
2CU80				0.6	30																0.01	3.5	2		850		3-13				
	A					0.001																									
	B					0.0001																									
2CU90						0.6	30			2												1550						800~1700			
2CU101	A							15	0.01		5	2																			3-10
	B																														
	C																														
	D	0.02																													

续表

型号	响应度 $R_e$ (A/W)	反向电压 $U_{RM}$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu$ A)	光电流 $I_L$ ( $\mu$ A)	上升时间 $t_r$ (ns)	下降时间 $t_f$ (ns)	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	光谱范围 $\lambda_L \sim \lambda_U$ ( $\mu$ m)	外形图
2CU201		0.35	50	0.01	3.5	10	2		3-10
	A			0.005					
	B			0.01					
	C			0.02					
	D			0.04					
2CU301	A	20	0.1	10			900	500-1100	
	B			20					
2CU4401	1	15		0.2	100				3-4
	2			0.5					
	3			2					
	4			5					
2CU4402	1	50		5	300				
	2			10					
	3			20					
	4			40					
2DU1	A	0.4	50	0.1	100		900	400-1100	3-11
	B								
2DU2	A			0.3					
	B								
2DU3	A			1					
	B								

### 5.1.2 近红外光敏管

近红外光敏管主要型号及参数见表 9.7.38。

表 9.7.38 近红外光敏管主要型号及参数

型号	有效感光面积 $A$ ( $\text{mm}^2$ )	使用环境温度 $T_0$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	短路电流 $I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ )	开路电压 $U_{oc}$ (V)	$E_v$ ( $L_x$ )	暗电流 $I_D$ ( $\mu\text{A}$ )	反向电压 $U_k$ (V)	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	元件尺寸 (mm)
PD-500U	10.8		65						3×5
PD-520U	20		120			0.01	0.5		5×5
PD-550U	6.2		37						2×5
SPD-102	44		238						φ7.5
SPI-110			1737						
SPI-111	314		1600						φ20
SPI-331	9	-10~70	48	0.35	1000			850	3×3
SPI-500	13.5		75						3×4.5
SPD-511T	20.3		112						4.5×4.5
SPD-530	100		553						10×10
SPD-540			1105						
SPD-541	200		995						10×20
SPD-550	10		58						2×5
SPD-570	40		221						4×10

## 5.2 光敏三极管

光敏三极管主要型号参数及外形图见表 9.7.39。



表 9.7.39 光敏三极管主要型号参数及外形

型号		最高电压 $U_{CE}$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu A$ )	光电流 $I_L$ (mA)	响应时间 $t_r$ ( $\mu s$ )	峰值波长 $\lambda_r$ (nm)	光谱范围 $\lambda_L - \lambda_D$ (nm)	最大功耗 $P_M$ (mW)	外形图
3DU0	A	30	0.2	0.5~1	3	880	500~1000	100	3-14
	B			1~2					
	C			2~3					
	D			>3					
3DU1	A	10	0.3	0.6	10	500~1000	30	3-7	
3DU2	A			0.5~1			850		45
	A <sub>1</sub>			1~3					
	A <sub>2</sub>			>3					
3DU2	B	30	0.2	2	3	100	65	∅5	
	B <sub>1</sub>			3					
	3DU3	B <sub>2</sub>	50	0.1	0.3	100	60		30
		C			2				
		C <sub>1</sub>			3				
3DU4	C <sub>2</sub>	10	0.3	1~2	10	880	45	3-15	
	C <sub>3</sub>			4					
	A			10					2
B	30	45							
C	50		60						

续表

型号	最高电压 $U_{CE}$ (V)	暗电流 $I_D$ ( $\mu$ A)	光电流 $I_L$ (mA)	响应时间 $t_r$ ( $\mu$ s)	峰值波长 $\lambda_r$ (nm)	光谱范围 $\lambda_L \sim \lambda_D$ (nm)	最大功耗 $P_M$ (mW)	外形图							
3DU5	A	10	0.5	0.8~1		900	30	3-16							
	A	30	0.2	0.5	3	880	100								
	B		0.3	1~1.5	10	900	45								
	B		1	3	880	10									
	C		0.2	1.5~2	900	60	500~1000								
	D		2												
3DU10	10		1	0.5	10	880		500~1000	100	3-14					
3DU11															
3DU12	30	0.3	920												
3DU13	50														
3DU14	100	0.2	880				200								
3DU14															
3DU21	20	0.3	1	900	400~1100	150	852C								
3DU22	45														
3DU23	70	0.1						200	350~1050	3-17(B)					
3DU24	130														
3DU31	15	0.3									2	850	350~1050	200	3-17(A)
3DU32	45														
3DU33	70	0.1													
3DU34	45	1	4	30	3-7										
3DU51	20	0.3	0.3			900	400~1100	150	3-14						
3DU51A	30														
3DU51B	50														
3DU51C	70									0.2	1	850	350~1050	30	3-7
3DU52	45														
3DU53	70			0.3											
3DU54	45	1													

### 5.3 光敏复合晶体管

光敏复合晶体管主要型号参数见表 9.7.40。

表 9.7.40 光敏复合晶体管主要型号参数

型号	光电流 $I_L$ (mA)	暗电流 $I_D$ ( $\mu$ A)	集电极 击穿 电压 $BU_{(CE)}$ (V)	发射极 击穿 电压 $BU_{(EC)}$ (V)	饱和 压降 $U_{(CES)}$ (V)	角度 响应 $Q_{TYP}$ 度	上升 时间 $t_r$ ( $\mu$ s)	下降 时间 $t_f$ ( $\mu$ s)	备 注						
OP300	0.8	1	15	5	1.1	12	40	40							
OP301		0.25													
OP302	1.8														
OP303	3.6	1													
OP304	7.6														
OP305	14	0.1													
OP530	0.5									0.1	30	1.0	40	60	
OP530W															
OP531															15
OP538F															
OP560		0.5	0.1	30	1.1	25									
OP830	15	1	15	1.2	10	40									
OP830W	4				33										

## 6 压敏电阻

### 6.1 碳化硅压敏电阻

碳化硅压敏电阻主要型号参数及外形图见表 9.7.41。

表 9.7.41 碳化硅压敏电阻主要型号参数及外形

型号	标称电压 $U_n$ (V)	额定电流 $I_m$ (mA)	功率 $P_m$ (W)	非线性系数 $\beta$	电压温度系数 $\alpha$ (%/°C)	固有电容 $C$ (pF)	外形图	备注
MY10-5	4~6		0.3	2.3				南京无线电十一厂 795厂 潮州无线电元件一厂 青岛电子元件三厂
MY10-8	7~9							
MY11-5	5	10		2~5	-0.3		3-18	
MY11-7	7							
MY11-9	9							
MY11-11	11							
MY11-13	13							
MY11-18	18							
MY11-22	22							
MY11-330	330							
MY11-950	950	2	2					
MY11-1200	1200	40						
RM1-3-22	22	22	3	2.5	-0.25	100	3-19	
RM1-3-27	27	27						
RM1-3-33	33	33						
RM1-3-39	39	39						
RM1-3-47	47	47						
RM1-3-56	56	56						
RM1-3-68	68	68						
RM1-3-82	82	82						
RM2-1-330	330	1	1	3.6	-2.5	10	3-20	
RM2-1-470	470	10						
RM2-1-680	680							
RM2-1-820	820							
RM2-1-910	910							
RM2-1-950	950	2						
RM2-1-1000	1000	10						
RM2-1-1200	1200							

## 6.2 氧化锌压敏电阻

氧化锌压敏电阻主要型号参数及外形图见表 9.7.42。

表 9.7.42 氧化锌压敏电阻主要型号参数及外形

型号	标称电压 $U_0$ (V)	误差 (±%)	通流容量 (kA)	残压比	漏电流	电压温度系数 $\alpha$ (%/°C)	外形图	备注
				$\frac{U_{1mA}}{U_{0.1mA}}$	$I_L$ ( $\mu$ A)			
MY21-22	22	20	1:2	1.15	30		3-18	795 厂
MY21-27	27							南京无线电十一厂
MY21-33	33							泌阳压敏避雷器厂
MY21-39	39							
MY21-47	47							济南无线电二厂
MY21-56	56							北京无线电元件六厂
MY21-68	68			兴化无线电元件厂				
MY21-82	82			798 厂				
MY21-100	100			泰州无线电元件二厂				
MY21-120	120			武汉压敏电阻厂				
MY21-150	150			上海无线电一厂				
MY21-180	180							
MY21-220	220							
MY21-270	270							
MY21-330	330							
MY21-390	390							
MY21-470	470							
MY21-560	560							
MY21-680	680							
MY21-820	820							
MY21-1000	1000							

## 6.3 超低压压敏电阻

超低压压敏电阻主要型号参数及外形图见表 9.7.43。

表 9.7.43 超低压压敏电阻主要型号参数及外形

型号	标称电压 $U_{1mA}$ (V)	耐浪涌 能量 (mJ)	允许 偏差 (%)	电压比 $\frac{U_{1mA}}{U_{0.1mA}}$	电压温 度系数 $\alpha$ (%/°C)	漏电流 $I_L$ ( $\mu A$ )	外形图	备注
MYHI-2.2/16	2.2	16	$\pm 20$	1.4	0.1	70	3~18	株州通信元件厂
MYHI-3.3/16	3.3							
MYHI-4.7/16	4.7							
MYHI-6.8/16	6.8							
MYHI-8.2/16	8.2							
MYHI-12/16	12		$\pm 10$	1.3		50		
MYHI-15/16	15							
MYHI-18/16	18							
MYHI-22/16	22							
MYHI-27/16	27							
MYHI-2.2/87	2.2	87	$\pm 20$	1.4	0.1	70		
MYHI-3.3/87	3.3							
MYHI-4.7/87	4.7							
MYHI-6.8/87	6.8							
MYHI-8.2/87	8.2							
MYHI-12/87	12		$\pm 10$	1.3		50		
MYHI-15/87	15							
MYHI-18/87	18							
MYHI-22/87	22							
MYHI-27/87	27							

## 6.4 高压压敏电阻

高压压敏电阻主要型号参数及外形图见表 9.7.44。

表 9.7.44 高压压敏电阻主要型号参数及外形

型号	标称电压 $U_{1mA}$ (kV)	误差 ( $\pm$ %)	通流容量 (kA)	残压比		漏电流 $I_L$ ( $\mu$ A)	电压温度系数 $\alpha$ (%/°C)	外形图	备注
				$U_{1mA}/U_{0.1mA}$	$U_{100A}/U_{1mA}$				
MYG-4	4	5	5;10		1.68	10	-0.05	3-18	795 厂
MYG-5	5								799 厂
MYG-6	6								
MYG-7	7								
MYG-8	8								
MYG-9	9								
MYG-10	10								
MYG-12	12								
MYG-15	15								
MYG-18	18								
MYG-20	20								
MYG-22	22								
MYG-24	24								
MYG-27	27								
MYG-30	30								

## 6.5 元件保护压敏电阻

元件保护压敏电阻主要型号参数及外形图见表 9.7.45。

表 9.7.45 元件保护压敏电阻主要型号参数及外形

型号	标称电压 $U_{1mA}$ (V)	误差 (±%)	通流容量 (kA)	残压比			漏电流 $I_L$ ( $\mu A$ )	电压温 度系数 $\alpha$ (%/°C)	外形图	备注
				$U_{100A}/$ $U_{1mA}$ (A)	$U_{100A}/$ $U_{1mA}$ (B)	$U_{3kA}/$ $U_{1mA}$				
MYS330/3	330	5	3	1.4	1.7	2.2	20	0.1	武汉压敏 电阻厂	
MYS330/5			5							
MYS360/3	360		3							
MYS360/5			5							
MYS360/10			10							
MYS390/3	390		3							
MYS390/5			5							
MYS390/10			10							
MYS430/3	430		3							
MYS430/5			5							
MYS430/10			10							
MYS470/3	470		3							
MYS470/5		5								
MYS470/10		10								
MYS470/20		20								
MYS510/	510	3								
		5								
		10								
		20								
MYS560/	560	3								
		5								
		10								
		20								



续表

型号	标称电压 $U_{1mA}$ (V)	误差 (±%)	通流容量 (kA)	残压比			漏电流 $I_L$ ( $\mu A$ )	电压温度系数 $\alpha$ (%/°C)	外形图	备注					
				$U_{100A}$ / $U_{1mA}$ (A)	$U_{100A}$ / $U_{1mA}$ (B)	$U_{MA}$ / $U_{1mA}$									
MYS620/	3	620	3	1.4	1.7	2.2	20	0.1	Ø43						
	5		5						Ø54						
	10		10						Ø80						
	20		20												
MYS680/	3	680	3											Ø43	
	5		5						Ø54						
	10		10						Ø80						
	20		20												
MYS750/	3	750	3											Ø43	
	5		5						Ø54						
	10		10						Ø80						
	20		20												
MYS820/	3	820	3											Ø43	
	5		5						Ø54						
	10		10						Ø80						
	20		20												
MYS910/	3	910	3					Ø43							
	5		5	Ø54											
	10		10	Ø80											
	20		20												
MYS1000/	3	1000	3					Ø43							
	5		5	Ø54											
	10		10	Ø80											
	20		20												
MYS1100/	3	1100	3					Ø43							
	5		5	Ø54											
	10		10	Ø80											
	20		20												

续表

型号	标称电压 $U_{1mA}$ (V)	误差 ( $\pm$ %)	通流容量 (kA)	残压比			漏电流 $I_L$ ( $\mu$ A)	电压温度系数 $\alpha$ (%/ $^{\circ}$ C)	外形图	备注
				$U_{100A}/U_{1mA}$ (A)	$U_{100A}/U_{1mA}$ (B)	$U_{5kV}/U_{1mA}$				
MYS1200/	3	5	3	1.4	1.7	2.2	20	0.1		
	5		5							
	10		10							
	20		20							

## 7 普通型晶闸管

### 7.1 普通型晶闸管

普通型晶闸管主要型号参数见表 9.7.46。

表 9.7.46 普通型晶闸管主要型号参数

型号	通态平均电流 $I_T$ (AV) (A)	通态峰值电压 $U_{TM}$ (V)	维持电流 $I_H$ (mA)	门极触发电流 $I_{GT}$ (mA)	门极触发电压 $U_{GT}$ (V)	门极分触发电压 $U_{GD}$ (V)	门极正向峰值电压 $U_{FGM}$ (V)	门极正向峰值电流 $I_{FGM}$ (A)	工作温度 $T_j$ ( $^{\circ}$ C)		
KP1	1	$\leq 2.0$	$\leq 10$	$\leq 20$	$\leq 2.5$	$\geq 0.2$	6	—	-40 ~ +100		
KP3	3	$\leq 2.2$	$\leq 30$	$\leq 60$	$\leq 3$		10			—	-40 ~ +100
KP5	5		$\leq 60$								
KP10	10		$\leq 100$	$\leq 100$							
KP20	20	$\leq 150$	$\leq 150$								
KP30	30	$\leq 2.4$	$\leq 200$	$\leq 250$	$\leq 3.5$			1	-40 ~ +125		
KP50	50	$\leq 2.6$	$\leq 300$	$\leq 350$			$\leq 4$	2			
KP100	100							16		3	
KP200	200										4
KP300	300										
KP400	400				16	4					
KP500	500										
KP600	600										
KP800	800										
KP1000	1000				$\leq 500$	$\leq 450$					

续表

型号	断态、反向 重复峰 值电压 $U_{TIRM}, U_{TRRM}$ (V)	断态、反向 重复峰 值电流 $I_{TIRM}, I_{TRRM}$ (mA)	$I^2t$		通态电 流临界 上升率 $di/dt$ (A/ $\mu$ s)	断态电 压临界 上升率 $du/dt$ (V/ $\mu$ s)
			低	高		
			$I^2t$ (A <sup>2</sup> ·s)			
KP1	50 ~ 1600	$\leq 3$	0.85	1.8	—	25 ~ 800
KP3	100 ~ 2000	$\leq 8$	7.2	15		
KP5			20	40		
KP10		$\leq 10$	85	180		
KP20	280		720			
KP30	100 ~ 2400	$\leq 20$	720	1600	25 ~ 50	50 ~ 1000
KP50			2000	5000		
KP100	100 ~ 3000	$\leq 40$	$8.5 \times 10^3$	$18 \times 10^3$	25 ~ 100	100 ~ 1000
KP200			$31 \times 10^3$	$72 \times 10^3$	50 ~ 200	
KP300		$\leq 50$	$0.7 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5$	50 ~ 300	
KP400			$1.3 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$		
KP500		$\leq 60$	$2.1 \times 10^5$	$4.4 \times 10^5$	50 ~ 300	
KP600			$2.9 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$		
KP800		$\leq 80$	$5.0 \times 10^5$	$11 \times 10^5$	50 ~ 300	
KP1000		$\leq 120$	$8.5 \times 10^5$	$18 \times 10^5$		

## 7.2 双向晶闸管

双向晶闸管主要型号参数及外形图见表 9.7.47。

表 9.7.47 双向晶闸管主要型号参数及外形

型号	额定 电流 $I_T$ (A)	重复 峰值 电压 $U_{T(RM)}$ (V)	重复 平均 电流 $I_{T(RM)}$ (mA)	通态 平均电压 $U_T$ (V)		触发 电流 $I_{GT}$ (mA)	触发 电压 $U_{GT}$ (V)	关断 电压 $U_{GD}$ (V)	控制 极峰值 功率 $P_{GM}$ (W)	外形图
KS05-1	0.5	100	1	2.5	0.5	2~50	2.5	0.2	1	2-15
KS05-2		200								
KS05-3		300								
KS05-4		400								
KS05-5		500								
KS05-6		600								
KS05-7		700								
KS05-8		800								
KS1-1	1	100		2.5	0.5	3~100	2		3	2-4 (F-1)
KS1-2		200								
KS1-3		300								
KS1-4		400								
KS1-5		500								
KS1-6		600								
KS1-7		700								
KS1-8		800								
KS3A2J		100~ 1000		1.2						2-4

续表

型号	额定电流 $I_T$ (A)	重复 峰值 电压 $U_{TREM}$ (V)	重复 平均 电流 $I_{TREM}$ (mA)	通态 平均电压 $U_T$ (V)		触发 电流 $I_{GT}$ (mA)	触发 电压 $U_{GT}$ (V)	关断 电压 $U_{GD}$ (V)	控制 极峰值 功率 $P_{GM}$ (W)	外形图
KS3-1	3	100	5	2.5	0.5	5~100	3	0.2	5	2-20 (G)
KS3-2										
KS3-3										
KS3-4										
KS3-5										
KS3-6										
KS3-7										
KS3-8										
KS3-9										
KS3-10										
KS3-12										
KS3-14										
KS3-15										
KS5A~		5								
KS5-1	100									
KS5-2	200									
KS5-3	300									
KS5-4	400									
KS5-5	500									
KS5-6	600									
KS5-7	700									
KS5-8	800									
KS5-9	900									
KS5-10	1000									
KS5-12	1200									
KS5-14	1400									
KS5-16	1600									

续表

型号	额定电流 $I_T$ (A)	重复 峰值 电压 $U_{DRM}$ (V)	重复 平均 电流 $I_{DRM}$ (mA)	通态 平均电压 $U_T$ (V)		触发电流 $I_{GT}$ (mA)	触发电压 $U_{GT}$ (V)	关断 电压 $U_{GD}$ (V)	控制 极峰值 功率 $P_{GM}$ (W)	外形图								
KS20	20	100 ~ 1500	10	2.5	0.5	5 ~ 200	3	0.2	5	3-22								
KS20-1		100																
KS20-2		200																
KS20-3		300																
KS20-4		400																
KS20-5		500																
KS20-6		600																
KS20-7		700																
KS20-8		800																
KS20-9		900																
KS20-10		1000																
KS20-12		1200																
KS20-14		1400																
KS20-16		1600																
														5 ~ 100				

### 7.3 可关断晶闸管

可关断晶闸管主要型号参数及外形图见表 9.6.48。

表 9.7.48 可关断晶闸管主要型号参数及外形

型号	额定 电流 $I_T$ (A)	重复 峰值 电压 $U_{DRM}$ (V)	重复 平均 电流 $I_{DR}$ (mA)	通态 平均 电压 $U_T$ (V)	控制极		换向 关断 时间 $t_q$ ( $\mu$ s)	关断 增益 $B_{off}$	外形图
					触发电流 $I_{GT}$ (mA)	开通 时间 $t_{on}$ ( $\mu$ s)			
KG20-2	20	200	3	2	200 ~ 1000	5	6	3	3-23
KG20-3		300							
KG20-4		400							
KG20-5		500							
KG20-6		600							

续表

型号	额定 电流 $I_T$ (A)	重复 峰值 电压 $U_{DRM}$ (V)	重复 平均 电流 $I_{DR}$ (mA)	通态 平均 电压 $U_T$ (V)	控制极		换向 关断 时间 $t_q$ ( $\mu$ s)	关断 增益 $B_{off}$	外形图
					触发电流 $I_{GT}$ (mA)	开通 时间 $t_{on}$ ( $\mu$ s)			
KG20-7	20	700	3	2	200~1000	5	6	3	3-23
KG20-8		800							
KG20-9		900							
KG20-10		1000							
KG20-12		1200							
KG30-1	30	100	3	2	200~1000	5	6	3	3-23
KG30-2		200							
KG30-3		300							
KG30-4		400							
KG30-5		500							
KG30-6		600							
KG30-7		700							
KG30-8		800							
KG30-9		900							
KG30-10		1000							
KG40-2	40	200	3	2	1000	5	6	3	3-23
KG40-3		300							
KG40-4		400							
KG40-5		500							
KG40-6		600							
KG40-8		800							
KG40-9		900							
KG40-10		1000							
KG50	50	200~1000							

## 7.4 光晶闸管

光晶闸管主要型号参数及外形图见表 9.7.49。

表 9.7.49 光晶闸管主要型号参数及外形

型号	最高工作电压 $U_M$ (V)	最大工作电流 $I_M$ (mA)	导通压降 $U_F$ (V)	漏电流 $I_R$ ( $\mu$ A)	导通光照度 $E_c$ (Lux)	光谱范围 $\lambda_1 \sim \lambda_R$ (nm)	峰值波长 $\lambda_p$ (nm)	外形图	备注
2CTU-20	20	20	2.5	500	1000	400~1100	850	3-24	南通光电 器件厂
A									
B									
2CTU-50	50	50						3-14	
A									
B									
2CTU-100	100	100	A						
B									
C									
3CTU-100	100	100	A						
B									
C									

## 8 固态继电器

### 8.1 直流固态继电器

直流固态继电器主要型号参数见表 9.7.50。

表 9.7.50 直流固态继电器主要型号参数

型号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	输出电压降 (V)	输入电流 (mA)	接通电压 (V)	关断电压 (V)	输入电压 (V)	反向输入电压 (V)	备注
JGX-1FA	1	50; 110; 220	1.5	5	3	0.8	3~32	35	北京市半导 体器件十一 厂
2FA	2								
3FA	3								
5FA	5								
10FA	10								
50FA	3	40	—	15	4	1	4~7		
51FA	5								
52FA	10								
53FA	25								
6M	5								
J83-03-2	0.3	31	—	18	3	0.9	3~6	—	



## 8.2 交流固态继电器

交流固态继电器主要型号参数见表 9.7.51。

表 9.7.51 交流固态继电器主要型号及参数

型号	额定 电流 (A)	额定 电压 (V)	输出 电压降 (V)	输入 电流 (mA)	输入 电压 (V)	接通 电压 (V)	关断 电压 (V)	反向 输入 电压 (V)	备注					
JGX-	1F	1	250	1.5	15	3.2~32	3.2	1.8	北京市半 导体器件 十一厂					
	2F	2	250;400							32				
	3F	3												
	4F	4												
	5F	5												
	10F	10~40	250								3.2;4	1.5	35	
	11F	15									15	1		15
	55F	10									18	3.8~32		
	56F	3×1	220								—	60	7	4

## 9 三端稳压电源

### 9.1 固定集成稳压电源

#### 9.1.1 三端正固定集成稳压电源

三端正固定集成稳压电源主要型号、参数及外形图见表 9.7.52。

表 9.7.52 三端正固定集成稳压电源主要型号参数及外形

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大 功耗 $P_{CW}$ (W)	最大 输出 电流 $I_{omax}$ (A)	最低 压差 ( $U_o - U_{iml}$ ) (V)	电压 调整率 $S_V$ (V)	电流 调整率 $S_I$ (V)	最大 输入 电压 $U_{max}$ (V)	纹波 抑制比 $S_R$ (dB)	使用 环境 温度 $T_A$ ( $^{\circ}C$ )	外形图	
W7805C	$5 \pm 0.25$	20	1.5	3	$\leq 0.03$	$\leq 0.07$	35	$\geq 62$	0-70	2-4	
W7805B											(F-2)
W7805		15				$\leq 0.05$	$\leq 0.10$	30		$\geq 56$	
W78M05		7.5		2.5							2-9
W7805P		10	1	3	$\leq 0.08$	$\leq 0.15$	25	$\geq 50$			
W78205		0.5	0.1	2	$\leq 0.05$	$\leq 0.06$	30	$\geq 56$			2-8
W78205H		2									2-8
W7806C	$6 \pm 0.3$	20	1.5	3	$\leq 0.03$	$\leq 0.08$	35	$\geq 62$	0-70	2-4	
W7806B											
W7806		15				$\leq 0.06$	$\leq 0.12$	30		$\geq 56$	
W7806P		10	1		$\leq 0.09$	$\leq 0.15$	25	$\geq 50$		2-9	
W78M06		7.5	0.5	2.5	$\leq 0.06$	$\leq 0.12$	30	$\geq 56$			
W7808C	$8 \pm 0.4$	20	1.5	3	$\leq 0.04$	$\leq 0.10$	35	$\geq 60$	0-70	2-4	
W7808B											
W7808		15				$\leq 0.08$	$\leq 0.16$	30		$\geq 54$	
W7808P		1	1		$\leq 0.12$	35		$\geq 48$		2-9	
W78M08		0.5	0.5	2.5							
W78L08	$8 \pm 0.8$	0.1	0.1	2	$\leq 0.08$	$\leq 0.08$	30	$\geq 54$	0-70	2-8	
W78L08H											

续表

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大 功耗 $P_{CW}$ (W)	最大 输出 电流 $I_{omax}$ (A)	最低 压差 ( $U_o - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	电压 调整率 $S_V$ (V)	电流 调整率 $S_I$ (V)	最大 输入 电压 $U_{imax}$ (V)	纹波 抑制比 $S_R$ (dB)	使用 环境 温度 $T_A$ ( $^{\circ}C$ )	外形图	
W7812C	12 $\pm$ 0.6	20	1.5	3	$\leq 0.06$	$\leq 0.12$	40	$\geq 54$	0-70	2-4 (F-2)	
W7812B					$\leq 0.12$	$\leq 0.24$	35	$\geq 50$			
W7812		15	1		$\leq 0.24$		30	$\geq 44$			
W7812P		10	0.5		2.5		35				
W78M12		7.5	0.1		2	$\leq 0.12$	$\leq 0.12$	20		$\geq 50$	
W78L12	12 $\pm$ 1.2	2				30		2-8			
W78L12H		0.5									
W7815C	15 $\pm$ 0.75	20	1.5	3	$\leq 0.08$	$\leq 0.15$	40	$\geq 54$		0-70	2-4 (F-2)
W7815B					$\leq 0.15$	$\leq 0.30$	35	$\geq 48$			
W7815		15	1		$\leq 0.30$		30	$\geq 42$			
W7815P		10	0.5		2.5		$\leq 0.15$	35	$\geq 48$		
W78M15		7.5	0.1		2	$\leq 0.15$					
W7818C	18 $\pm$ 0.9	20	1.5	3	$\leq 0.09$	$\leq 0.18$	40	$\geq 52$	0-70		2-4 (F-2)
W7818B					$\leq 0.18$	$\leq 0.36$		$\geq 46$			
W7818		15	1		$\leq 0.36$		35	$\geq 40$			
W7818P		10	0.5		2.5		$\leq 0.18$				$\geq 46$
W78M18		7.5	0.1		2	$\leq 0.18$					
W7824C	24 $\pm$ 1.2	20	1.5	3	$\leq 0.12$	$\leq 0.24$	45	$\geq 50$		0-70	2-4 (F-2)
W7824B					$\leq 0.24$	$\leq 0.48$	40	$\geq 44$			
W7824		15	1		$\leq 0.48$		35	$\geq 38$			
W7824P		10	0.5		2.5		$\leq 0.24$	40			$\geq 44$
W78M24		7.5	0.1		2	$\leq 0.24$					
W396-5	5 $\pm$ 0.25	75	10	3	$\leq 0.1$	$\leq 0.2$	25	$\geq 60$	0-70		2-4 (F-2)
W396-12	12 $\pm$ 0.6				$\leq 0.12$		32				
W396-15	15 $\pm$ 0.75				$\leq 0.15$		35				
W496-5	5 $\pm$ 0.25	50	5		$\leq 0.1$	$\leq 0.24$	30	$\geq 55$			
W496-12	12 $\pm$ 0.6				$\leq 0.12$		32				
W496-15	15 $\pm$ 0.75				$\leq 0.15$		35				
W496-18	18 $\pm$ 0.9				$\leq 0.18$		38				
W496-24	24 $\pm$ 1.2				$\leq 0.24$		44				



9.1.2 三端负固定集成稳压电源

三端负固定集成稳压电源主要型号参数及外形图见表 9.7.53。

表 9.7.53 三端负固定集成稳压电源主要型号参数及外形

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大 功耗 $P_{CW}$ (W)	最大 输出 电流 $I_{omax}$ (A)	最低 压差 ( $U_i - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	最大 输入 电压 $U_{imax}$ (V)	电压 调整率 $S_V$ (V)	电流 调整率 $S_I$ (V)	纹波 抑制比 $S_R$ (dB)	使用 环境 温度 $T_A$ ( $^{\circ}C$ )	外形图
W7905C	$-5 \pm 0.25$	20	1.5	3	-35	$\leq 0.02$	$\leq 0.07$	$\geq 54$	0~70	2-4 (F-2)
W7905B						-30	$\leq 0.04$	$\leq 0.10$		
W7905		15								
W7905P		10	1		-25	$\leq 0.08$	$\leq 0.15$	$\geq 42$		2-9
W79M05		7.5	0.5	2.5			$\leq 0.10$			
W79L05		0.5	0.1	2	-30	$\leq 0.04$	$\leq 0.05$	$\geq 48$		2-8
W79L05H		2								
W7906C	$-6 \pm 0.3$	20	1.5	3	-35	$\leq 0.02$	$\leq 0.07$	$\geq 54$	0~70	2-4 (F-2)
W7906B						-30	$\leq 0.05$	$\leq 0.12$		
W7906		15								
W7906P		10	1		-25	$\leq 0.10$	$\leq 0.15$	$\geq 42$		2-9
W79M06		7.5	0.5	2.5	-30	$\leq 0.05$		$\geq 48$		
W7908C		$-8 \pm 0.4$	20	1.5	3	-35	$\leq 0.03$	$\leq 0.09$		$\geq 54$
W7908B						-30	$\leq 0.06$		$\geq 48$	
W7908	15							$\leq 0.16$		
W7908P	10		1		-25	$\leq 0.01$		$\geq 42$	2-9	
W79M08	7.5		0.5	2.5	-30	$\leq 0.06$		$\geq 48$		
W7912C	$-12 \pm 0.6$	20	1.5	3	-40	$\leq 0.04$	$\leq 0.12$	$\geq 54$	0~70	2-4 (F-2)
W7912B						-35		$\leq 0.08$		
W7912		15								
W7912P		10	1		-30	$\leq 0.16$	$\leq 0.24$	$\geq 42$		2-9
W79M12		7.5	0.5	2.5	-35	$\leq 0.08$		$\geq 48$		

续表

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大功耗 $P_{CW}$ (W)	最大输出电流 $I_{o,max}$ (A)	最低压差 ( $U_i - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	最大输入电压 $U_{i,max}$ (V)	电压调整率 $S_V$ (V)	电流调整率 $S_I$ (V)	纹波抑制比 $S_R$ (dB)	使用环境温度 $T_A$ (°C)	外形图
W7915C	$-15 \pm 0.75$	20	1.5	3	-40	$\leq 0.05$	$\leq 0.15$	$\geq 54$	0-70	2-4
W7915B										
W7915		15			-35	$\leq 0.10$	$\leq 0.30$	$\geq 42$		2-9
W7915P		10	1		-30	$\leq 0.20$				
W79M15			7.5	0.5	2.5	-35	$\leq 0.10$			$\geq 48$
W7918C	$-18 \pm 0.9$	20	1.5	3	-40	$\leq 0.60$	$\leq 0.18$	$\geq 54$	0-70	2-4
W7918B										
W7918		15			-35	$\leq 0.12$	$\leq 0.36$	$\geq 42$		2-9
W7918P		10	1			$\leq 0.24$				
W79M18			7.5	0.5	2.5		$\leq 0.12$			$\geq 48$
W7924C	$24 \pm 1.2$	10	1.5	3	-45	$\leq 0.08$	$\leq 0.24$	$\geq 54$	0-70	2-4
W7924B										
W7924		15			-40	$\leq 0.16$	$\leq 0.48$	$\geq 42$		2-9
W7924P		10	1		-35	$\leq 0.32$				
W79M24			7.5	0.5	2.5	-40	$\leq 0.16$			$\geq 48$

## 9.2 可调集成稳压电源

### 9.2.1 三端正可调集成稳压电源

三端正可调集成稳压电源主要型号参数及外形图见表 9.7.54。

表 9.7.54 三端正可调集成稳压电源主要型号参数及外形

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大功耗 $P_{CW}$ (W)	最大输出电流 $I_{o,max}$ (A)	最低压差 ( $U_i - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	最大输入电压 $U_{i,max}$ (V)	电压调整率 $S_V$ (V)	电流调整率 $S_I$ (%)	纹波抑制比 $S_R$ (dB)	工作结温 $T_j$ (°C)	外形图		
W117	1.2-37	20	1.5	3	40	$\leq 0.05$	$\leq 0.5$	$\geq 66$	-55-150	2-4		
W217							$\leq 0.7$				(F-2)	
W317C							$\leq 1.0$					
W317B							$\leq 0.1$	$\leq 2$			$\geq 60$	0-125
W317T												

续表

型号	输出电压 $U_o$ (V)	最大功耗 $P_{CW}$ (W)	最大输出 电流 $I_{max}$ (A)	最低 压差 ( $U_i - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	最大 输入 电压 $U_{max}$ (V)	电压 调整率 $S_V$ (V)	电流 调整率 $S_I$ (%)	纹波 抑制比 $S_R$ (dB)	工作 结温 $T_j$ (°C)	外形图				
W117H	1.2 ~ 37	2	0.5	3	40	0.05	$\leq 0.5$	$\geq 66$	-55 ~ 150	2-9				
W217H							$\leq 0.7$		-25 ~ 150					
W317H							$\leq 1.0$		0 ~ 125					
W117LH			0.1				$\leq 0.5$		-55 ~ 150					
W217LH							$\leq 0.7$		-25 ~ 150					
W317LH							$\leq 1.0$		0 ~ 125					
W317L	0.6				$\leq 0.1$	$\leq 2$	$\geq 60$	0 ~ 125	2-8					
W396	1.2 ~ 20	75	10		26									
W496	1.2 ~ 30	50	5											
W150	1.2 ~ 33		3		36						-55 ~ 150	2-4 (F-2)		
W250											-25 ~ 150			
W350											0 ~ 125			
W138	1.2 ~ 32		5											-55 ~ 150
W238														-25 ~ 150
W338														0 ~ 125

### 9.2.2 三端负可调集成稳压电源

三端负可调集成稳压电源主要型号参数及外形图见表 9.7.55。

表 9.7.55 三端负可调集成稳压电源主要型号参数及外形

型号	输出 电压 $U_o$ (V)	最大 功耗 $P_{CW}$ (W)	最大 输出 电流 $I_{max}$ (A)	最低 压差 ( $U_i - U_o$ ) <sub>min</sub> (V)	最大 输入 电压 $U_{max}$ (V)	电压 调整率 $S_V$ (V)	电流 调整率 $S_I$ (%)	纹波 抑制比 $S_R$ (dB)	工作 结温 $T_j$ (°C)	外形图			
W137	1.2 ~ 37	20	1.5	3	40	$\leq 0.05$	$\leq 1$	$\geq 60$	-55 ~ 150	2-4 (F-2)			
W237							$\leq 1.2$		-25 ~ 150				
337C							$\leq 1.5$						
W337B									0 ~ 125				
W337F		15				$\leq 0.10$	$\leq 2$	$\geq 54$			2-9		
W137H		2	0.5						$\leq 0.15$		$\leq 1$	$\geq 60$	-55 ~ 150
W237H											$\leq 1.2$		-25 ~ 150
W337H											$\leq 1.5$		0 ~ 125

## 10 其他电力电子器件

## 10.1 双极型功率晶体管模块

双极型功率晶体管模块主要型号及参数见表 9.7.56。

表 9.7.56 双极型功率晶体管模块主要型号及参数

型号	极限参数		主要参数						备注		
	$P_c$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CBO}$ (V)	$h_{FE}$	$U_{CES}$ (V)	$t_f$ ( $\mu$ s)	$I_{CBO}$ (mA)			
ZD30H1T	300	30	300	500	50	1		0.5	浙江大学 半导体材 料研究所		
ZD50H1T	500	50									
ZD75H1T	700	75									
ZD100H1T	1000	100						1			
ZD30U1T	300	30	1000	1600	10	2		0.5			
ZD50U1T	500	50									
ZD20U1D	250	20			50		2	2		1	1
ZD30U1D	300	30									
ZD40U1D	400	40									
ZD75U1D	700	75									
ZD100U1D	1000	100									
ZD30U2D	300	30									
ZD50U2D	500	50			300,450		400,600	100	2	3	(日)三社
QCA30B		30									
QCA50B		50									
QCA75A		75									
QCA100A		100									
QCA150A		150									
QCA200A		200									
QCB30A		30	2	1							
QCB50A		50									



续表

型号	极限参数		主要参数						备注				
	$P_c$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{(V)}$ (V)	$U_{(V)}$ (V)	$h_{FE}$	$U_{(V)}$ (V)	$t_c$ ( $\mu$ s)	$I_{(mA)}$ (mA)					
QCB75A	—	75	300, 450	400, 600	100	2	3	3	(日)三社				
QBB100A		100											
QBB150A		150											
SQD200A		200											
SQD300A		300											
QCA50AA		50	—	1000		2.5							
QCA75AA		75											
QCA100AA		100											
QCA150AA		150											
SQD300AA		200											
QF15AA		15	300, 450	400, 600		35	2	2		1	(日)富士通		
QF20AA	20												
QF30AA	30												
QF50AA	50												
SQD35	35	700	1400, 1600	1.5	5								
SQD65	65	300	750	200	2		1.5						
SQD70	70	350	900	150			1.45						
ET188	600	200	300	400	—		3	—	(日)富士通				
ET127	960		100	450								600	100
2SC2770													8
ETN01-055	1500		200	550								70	2
ETN31-055						3							
ETM36-030	1000		300	320		400				150	1.2		
ETN36-030	1500												
ET1257	200		200	1000		1000				4	—		
ETG81-050			30	450		600				100	3		
EVG31-050											4		
ETK81-050			300								50		
EVK31-050													

续表

型号	极限参数		主要参数						备注	
	$P_C$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CBO}$ (V)	$h_{FE}$	$U_{CES}$ (V)	$t_i$ ( $\mu s$ )	$I_{CBO}$ (mA)		
ETK85-050	350	75	450	600	70	—	2.5	—	(日) 富士通	
EVK71-050					100					
2DI755-050A					70					
EVK75-050					100					
ETL81-050	600	100			3					
EVL31-050	500				4					
EVM81-050A	600	150			70		2.5			
ETN85-050	1200	300			100		4			
2DI30D-050A	250	30								
2DI50D-050A	310	50								
2DI75D-050A	350	75								
2DI100D-050	620	100								
2DI50D-050	690	150								
EVK71-055	350	75	550	70		—		3		
EVL31-055	500	100								
EVL32-055		120								
ETN81-055	1000	200								
IDI240A-055		240								
IDI480A-055		2000			480					
2DI50D-055A	300	50			1000		1000			100
2DI75D-055A	350	75								
EV1274	200	20								
EV1277	300	30								
EV1234	500	50	2							
EV1255	800	100								
2DI30D-100	300	30								
2DI50D-100	400	50								
2DI75D-100	500	75	3							
2DI100D-100	800	100								

续表

型号	极限参数		主要参数						备注									
	$P_C$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$U_{CEO}$ (V)	$U_{CBO}$ (V)	$h_{FE}$	$U_{CES}$ (V)	$t_f$ ( $\mu s$ )	$I_{COO}$ (mA)										
2DI150D-100	1000	150	1000	1000	100	—	—	—	(日) 富士通									
2DI200D-100	1200	200																
2DI300D-100	2000	300																
2DI400D-100	2400	400																
2DI30A-120	300	30	1200	1200	70					—	—	—						
2DI50A-120	400	50																
2DI75A-120	500	75																
2DI100A-120	800	100																
2DI150A-120	1000	150																
2DI200A-120	1600	200																
2DI300A-120	2000	300																
1SH10A-100	160	10											1000	1000	10	—	—	
ET1275	120	15	20	2														
1SH10A-100	300	50	4	—														
1SH100A-100	600	100	—	—														
EVF31H-035	80	20	350	500	50	—	1.0	—										
EVF31H-050	100	15	450	600	100	—	2.5	—										
EV33T-040	80		400	450		2												
EVF317-050A	100		—	—		2.5												
6DI30A-050	150		30	450		—	—	4										
6DI50A-050	230	50	550	600		70	—	—	—									
6DI50A-055																		
6DI10A-050	80	10	450	600		100				—	—	—						
6DI15A-050		15											2					
6DI20B-050	100	20	450	600		100							—	—	—			
6DI20C-050																1		
6DI30B-050	150	30	1200	1200		70										—	—	—
6DI15A-120		15																

## 10.2 功率绝缘栅晶体管模块

功率绝缘栅晶体管模块主要型号、参数见表 9.7.57。

表 9.7.57 功率绝缘栅晶体管模块主要型号及参数

型 号	GT15 H101	GT25 H101	GT50 H101	MG15 H1BSI	MG25 H1BSI	MG50 H1BSI	MG75 H1BSI	MG100 H1BSI	
主要 参数	$I_C$ (A)	15	25	50	15	25	50	75	100
	$U_{CEX}$ (V)	500	500	400	500	500	500	500	
型 号	GT8 N101	GT15 N101	MG15N 1BSI	MG25N 1BSI	MG50N 1BSI	MG75N 1BSI	MG300	MG400	
主要 参数	$I_C$ (A)	8	15	15	25	50	75	300	400
	$U_{CEX}$ (V)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	500	500
型 号	MG200 N1USI	MG300 N1USI	MG200 Q1USI	MG300 Q1USI	MG400 Q1USI	MG25H 2YSI	MG50H 2YSI	MG75H 2YSI	
主要 参数	$I_C$ (A)	200	300	200	300	400	25	50	75
	$U_{CEX}$ (V)	1000	1000	1200	1200	1200	500	500	500
型 号	MG100 H2YSI	MG150 H2YSI	MG200 H2YSI	MG15N 2YSI	MG25N 2YSI	MG50N 2YSI	MG75N 2YSI	MG100N 2YSI	
主要 参数	$I_C$ (A)	100	150	200	15	25	50	75	100
	$U_{CEX}$ (V)	500	500	500	1000	1000	1000	1000	1000
型 号	MG150 N2YSI	MG25Q 2YSI	MG50Q 2YSI	MG75Q 2YSI	MG100 Q2YSI	MG150 Q2YSI	MG200 Q2YSI	MQ25S 2YSI	
主要 参数	$I_C$ (A)	150	25	50	75	100	150	200	25
	$U_{CEX}$ (V)	1000	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1400
型 号	MG25N 1JSI	MG50H 1ZSI	MG25N 1ZSI	MG15H 6ESI	MG8N 6ESI	MG15N 6ESI			
主要 参数	$I_C$ (A)	25	50	25	15	8	15		
	$U_{CEX}$ (V)	1000	500	1000	500	1000	1000		

注:以上功率绝缘栅晶体管模块均为日本东芝公司产品。

## 10.3 功率 MOS 场效应晶体管模块

功率 MOS 场效应晶体管模块主要型号及参数见表 9.7.58。

表 9.7.58 功率 MOS 场效应晶体管模块主要型号及参数

型 号	MG15G 1AMI	MG30D 1ZMI	MG30E 1ZMI	MG50D 2YMI	MG30G 2YMI	MG50G 2YMI	MG30D 2DMI	MG50D 2DMI	
主要 参数	$I_c$ (A)	15	30	30	50	30	50	30	50
	$U_{DS}$ (V)	450	250	250	250	450	450	250	250
型 号	MG30G 2DMI	MG50G 2DMI	MG15C 4HMI	MG15D 4HMI	MG8G 4GMI	MG15G 4GMI	MG10H 4GMI	MG8D 6EMI	
主要 参数	$I_c$ (A)	30	50	15	15	8	15	10	8
	$U_{DS}$ (V)	450	450	150	250	450	450	500	250
型 号	MG15D 6EMI	MG15D 4GMI	MG8G6 EMI	MG15G 6EMI	MG10H 6EMI	MP6702	MP6101	MP6704	
主要 参数	$I_c$ (A)	15	15	8	15	10	15	10	10
	$U_{DS}$ (V)	250	250	450	450	500	250	250	500

注:以上功率 MOS 场效应晶体管模块均为日本东芝公司产品。

## 10.4 二极管模块

### 10.4.1 绝缘型单桥二极管模块

绝缘型单桥二极管模块主要型号及参数见表 9.7.59。

表 9.7.59 绝缘型单桥二极管模块主要型号及参数

型号	最高反 向电压 $U_{RRM}$ (V)	正向电流 $I_F$ (AV)		浪涌电流 $I_{FSM}$ (60Hz) (A)	正向 压降 $U_{FM}$ (25℃) (V)	反向 漏电流 $I_{RRM}$ (mA)	结温 $T_j$ (℃)	热阻 $R_{thj}$ (℃/W)	备注
		(A)	(℃)						
DD25F	200~1600	25	96	580	1.4	10	125	0.78	(H) 三社
DD40F		40		1300					
DD55F		55	89	1750					
DD70F		70	94	1950					
DD90F		90	93	2300	1.45	20			
DD110F		110	88	2550					
DD130F		130	90	4400	1.4	50			
DD160F		160	87	5500					
DD30GB	400,800	30	118	600	1.4	10	0.8		
DD30HB	1200,1600		115		1.5				

续表

型号	最高反向电压 $U_{RRM}$ (V)	正向电流 $I_F$ (AV)		浪涌电流 $I_{FSM}$ (60Hz) (A)	正向压降 $U_{FM}$ (25℃) (V)	反向漏电流 $I_{RRM}$ (mA)	结温 $T_i$ (℃)	热阻 $R_{thc}$ (℃/W)	备注
		(A)	(℃)						
DD60GB	400,800	60	114	1200	1.25	20	125	0.5	(日) 三社
DD60HB	1200,1600		111		1.35				
DD100GB	400,800	100	155	2000	1.25	—	0.3		
DD100HB	1200,1600				1.35				
KD25F	200~1600	25	96	580	1.55	10	0.78		
KD40F		40		1300			1.4	0.55	
KD55F		55	89	1750	15	0.5			
KD70F		70	94	1950		20	0.33		
KD90F		90	93	2300	50		0.27		
KD110F		110	88	2550		1.45	0.25		
KD130F		130	90	4400	1.4	0.2			
KD160F		160	87	5500	1.42	0.18			
KD30GB		400,800	30	118	600	1.4	10	0.8	
KD30HB	1200,1600	115		1.5					
KD60GB	400,800	60	114	1200	1.25	20	0.5		
KD60HB	1200,1600		111		1.35				
KD100GB	400,800	100	115	2000	1.25	30	0.3		
KD100HB	1200,1600		111		1.35				

## 10.4.2 绝缘型三相半桥二极管模块

绝缘型三相半桥二极管模块主要型号及参数见表 9.7.60。

表 9.7.60 绝缘型三相半桥二极管模块主要型号及参数

型号	最高反向电压 $U_{RRM}$ (V)	正向电流 $I_F$ (AC)		浪涌电流 $I_{FSM}$ (60Hz) (A)	正向压降 $U_{FM}$ (25℃) (V)	反向漏电流 $I_{RRM}$ (mA)	结温 $T_j$ (℃)	热阻 $R_{thjc}$ (℃/W)	备注
		(A)	(℃)						
DWF40A	200~400	40	122	800	1.15	8	150	0.6	(日) 三社
DWF50A		50		1000		10		0.5	
DWF70A		70	119	1400		12		0.4	
DWF100A		100	2000	15		0.25			
DWR40A		40	122	800		8		0.6	
DWR50A		50	1000	10		0.5			
DWR70A		70	119	1400		12		0.4	
DWR100A		100	122	2000		15		0.25	

## 10.4.3 绝缘型三相全桥二极管模块

绝缘型三相全桥二极管模块主要型号及参数见表 9.7.61。

表 9.7.61 绝缘型三相全桥二极管模块主要型号及参数

型号	最高反向电压 $U_{RRM}$ (V)	正向电流 $I_D$		浪涌电流 $I_{FSM}$ (60Hz) (A)	正向压降 $U_{FM}$ (25℃) (V)	反向漏电流 $I_{RRM}$ (mA)	结温 $T_j$ (℃)	热阻 $R_{thjc}$ (℃/W)	备注
		(A)	(℃)						
DF20AA	1200~1600	20	119	240	1.25	3	150	0.6	(日) 三社
DF20BA	400~800		123	350		1.5			
DF20CA	800~1600		97	600		4			
DF20DB	400~800		350	1.5					
DF30AA	1200~1600	30	117	300	1.3	3	150	0.42	
DF30BA	400~800		122	450		1.5			
DF30CA	800~1600		83	850		4			
DF30DB	400~800		400	1.5					
DF40AA	1200~1600	40	117	700	1.3	4	150	0.32	
DF40BA	400~800		119			1.2			
DF60AA	1200~1600	60	112	1000	1.3	6	150	0.24	
DF60BA	400~800		115						

## 11 电 阻

电阻主要型号及参数见表 9.7.62 至表 9.7.64。

表 9.7.62 电阻主要型号及参数

参 数 型 号	名称 符号 单位	功率 $P$ W	标称阻 值范围 $\Omega$	最大工作电压		温度系数 $\alpha$ %/°C	
				直流、交 流有效值	脉 冲		
				V			
碳 膜	RTX-0.05	0.05	5.1~510k	100	-	0.12	
	RTX-0.125	0.125	5.1~2M	150	-	0.12	
	RT-0.25	0.25	10~5.1M	350	750	0.06~0.12	
	RT-0.5	0.5	10~10M	500	1000	0.06~0.12	
	RT-1	1	27~10M	700	1500	0.06~0.12	
	RT-2	2	27~10M	1000	2000	0.06~0.12	
	RT-5	5	47~10M	1500	5000	0.06~0.12	
	RT-10	10	47~10M	3000	10000	0.06~0.12	
	金属膜	RJX-0.25	0.25	100~1M	250	500	0.06~0.1
		RJ-0.125	0.125	30~510k	200	350	0.06~0.1
RJ-0.25		0.25	30~1M	250	500	0.06~0.1	
RJ-0.5		0.5	30~5.1M	350	700	0.06~0.1	
RJ-1		1	30~10M	500	1000	0.06~0.1	
RJ-2		2	30~10M	700	1200	0.06~0.1	
RJ-3		3	10k~10M	1000	1500	0.06~0.1	
RJ-5		5	10k~20M	1500	3000	0.06~0.1	
RJ-10		10	10k~30M	2000	4000	0.06~0.1	
氧化膜		RY-0.125	0.125	1~1k	180	350	0.12~0.7
	RY-0.25	0.25	1~51k	250	500	0.12~0.7	
	RY-0.5	0.5	1~200k	350	750	0.12~0.7	
	RY-1	1	1~200k	500	1000	0.12~0.7	
	RY-2	2	1~200k	750	1200	0.12~0.7	
	RY-3	3	1~9.1k	1000	1500	0.12~0.7	
	RY-5	5	1~9.1k	1500	3000	0.12~0.7	
	RY-10	10	1~9.1k	2000	4000	0.12~0.7	
	金属膜	RJ90-0.25	0.25	0.47~5.1k			0.06~0.1
		RJ90-0.5	0.5	0.22~5.1k			0.06~0.1
RJ90-1		1	0.22~5.1k			0.06~0.1	
RJ90-2		2	0.22~2.2k			0.06~0.1	
RJ90-3		3	0.33~1.5k			0.06~0.1	



表 9.7.63 电阻主要型号及参数

参 数 型 号	名称	功率	标称阻 值范围	最大工作电压		温度系数
				直流、交 流有效值	脉 冲	
				符 号	单 位	
		$P$	$\Omega$	$V$		$\alpha$
		W				%/ $^{\circ}C$
被漆轴向	RX18-10	10	4			$\pm 0.05$
	RX21-2	2	0.15 ~ 5.1k			0.026
	RX21-4	4	0.15 ~ 10k			0.026
	RX21-8	8	0.15 ~ 33k			0.026
	RX21-12	12	0.15 ~ 33k			0.026
被漆插入式	RX25-3	3	0.22 ~ 680			0.026
	RX25-5	5	0.51 ~ 1k			0.026
	RX25-6	6	0.51 ~ 1k			0.026
	RX25-7	7	0.51 ~ 2.7k			0.026
	RX25-8	8	0.51 ~ 2.7k			0.026
轴向瓷壳	RX27-1-7	7	0.39 ~ 1.5k			0.025
	RX27-1-10	10	0.39 ~ 2.2			0.025
	RX27-1-15	15	0.51 ~ 2.7			0.025
	RX27-1-20	20	0.51 ~ 3.6			0.025
立式瓷壳	RX27-1V-7	7	0.39 ~ 1.5k			0.025
	RX27-1V-10	10	0.39 ~ 2.2k			0.025
	RX27-1V-15	15	0.51 ~ 2.7k			0.025
	RX27-1V-20	20	0.51 ~ 3.6k			0.025

表 9.7.64 电阻主要型号及参数

参 数 型 号	名称	功率	标称阻 值范围	最大工 作电压		温 度 系 数	外形尺寸 mm
				直 流、 交 流 有 效 值	脉 冲		
				符 号	单 位		
		$P$	$R$			$\Delta\alpha$	
		W	$\Omega$	$V$		%/ $^{\circ}C$	
短插入式	RX273A-3	3	0.20 ~ 390			0.025	-
	RX27-3A-5	5	0.22 ~ 820			0.025	9.5×9.5×27, h14.5
	RX27-3A-7	7	0.39 ~ 1.5k			0.025	9.5×9.5×35, h14.5
	RX27-3A-10	10	0.39 ~ 2.2k			0.025	9.5×9.5×48, h14.5
	RX27-3A-15	15	0.51 ~ 2.7k			0.025	12.5×12.5×48, h20
	RX27-3A-20	20	0.51 ~ 3.6k			0.025	12.5×12.5×63.5, h20
长插入式	RX27-3B-3	3	0.20 ~ 390			0.025	9×9×24, h14.5
	RX27-3B-5	5	0.22 ~ 820			0.025	9.5×9.5×27, h14.5

续表

参 数 型 号	名称	功率	标称阻 值范围	最大工 作电压		温度 系数	外形尺寸 mm
				直流、 交流有 效值	脉冲		
				符 号	$P$		
单 位	W	$\Omega$	V	%/°C			
	RX27-3B-7	7	0.39~1.5k			0.025	9.5×9.5×35, h14.5
	RX27-3B-10	10	0.39~2.2k			0.025	9.5×9.5×48, h14.5
	RX27-3B-15	15	0.51~2.7k			0.025	12.5×12.5×48, h20
	RX27-3B-20	20	0.51~3.6k			0.025	12.5×12.5×63.5, h20
卧式瓷壳	RX27-4-10	10	0.39~1.5k			0.025	9.5×9.5×48, h6
	RX27-4-15	15	0.51~2.4k			0.025	12.5×12.5×48, h7.5
	RX27-4-20	20	0.51~2.4k			0.025	12.5×12.5×63.5, h7.5
	RX27-4-25	25	0.62~3k			0.025	16×16×63.5, h12
	RX27-4-30	30	0.62~3k			0.025	19×19×75, h10
	RX27-4-40	40	0.62~3k			0.025	19×19×90, h10
带支架 瓷壳	RX27-4H-10	10	0.39~1.5k			0.025	9.5×9.5×48
	RX27-4H-15	15	0.51~2.4k			0.025	12.5×12.5×48
	RX27-4H-20	20	0.51~2.4k			0.025	12.5×12.5×63.5
	RX27-4H-25	25	0.62~3k			0.025	16×16×63.5
	RX27-4H-30	30	0.62~3k			0.025	16×16×75
	RX27-4H-40	40	0.62~3.6k			0.025	19×19×90
直立瓷壳	RX-27- $\frac{5}{6}$ -2	2	0.15~100			0.025	11×7×20.5
	RX-27- $\frac{5}{6}$ -3	3	0.15~100			0.025	12×8×25
	RX-27- $\frac{5}{6}$ -5	5	0.15~390			0.025	13×9×25.5
直立不 倒被漆	RX29-1	1	0.15~1k			0.025	∅6×13
	RX29-2	2	0.15~2.7k			0.025	∅9×18
	RX29-3	3	0.15~4.3k			0.025	∅9×25
	RX29-6	6	0.15~6.8k			0.025	∅10×31
	RX29-8	8	0.15~10k			0.025	∅10×43
玻璃钢 外壳	RX70-0.25	0.25	1~500k			0.001~ 0.005	∅8×15.5
	RX70-0.5	0.5	1~1M			0.001~ 0.005	∅12×21
	RX70-0.75	0.75	1~2M			0.001~ 0.005	∅12×27
	RX70-1	1	1~4M			0.001~ 0.005	∅15×27.5
	RX70-2	2	1~5M			0.001~ 0.005	∅18×38

续表

参 数 型 号	名称	功率	标称阻 值范围	最大工 作电压		温度 系数	外形尺寸 mm
				直流、 交流有 效值	脉 冲		
				符 号	$P$		
单 位	W	$\Omega$	V	% / $^{\circ}\text{C}$			
	RX70-3	3	1~10M			0.001~ 0.005	$\varnothing 24 \times 56$
铝外壳	RX71-0.25	0.25	1~100k			0.002~ 0.015	$\varnothing 5 \times 12$
	RX71-0.5	0.5	1~300k			0.002~ 0.015	$\varnothing 7.5 \times 15$
	RX71-1	1	1~1M			0.002~ 0.015	$\varnothing 10 \times 23$
小体积	RX75-2-0.125	0.125	10~82k			0.001~ 0.005	$\varnothing 3.5 \times 7 \times 7$
	RX75-2-0.25	0.25	10~200k			0.001~ 0.005	$5 \times 7.5 \times 12$
	RX75-3-0.125	0.125	5~50k			0.001~ 0.005	$\varnothing 3.2 \times 10$
玻璃钢壳	RX78-1	1	1M~10M			0.002~ 0.005	$\varnothing 11.5 \times 23$
	RX78-2	2	1M~20M			0.002~ 0.005	$\varnothing 11.5 \times 39$
高功率 被漆	RXG1-300	300	5.1~68k				$\varnothing 50 \times 305$
	RXG1-400	400	7.5~100k				$\varnothing 50 \times 405$
	RXG1-550	550	10~100k				$\varnothing 50 \times 605$
被釉	RXY-7.5	7.5	5.1~2.7k				
	RXY-15	15	5.1~4.7k				
	RXY-20	20	5.1~4.7k				
	RXY-25	25	5.1~5k				
	RXY-50	50	1~15k				
	RXY-75	75	1~30k				
	RXY-150	150	1~47k				
耐潮	RXYC-2.5~100	2.5~ 100	5.1~56k				
轴向	RXY-D-2~12	2~12	0.51~10k				
酚醛涂料	RXQ-2~25	2~25	3.3~10k				
氧化膜	RX-10~450	10~ 450	1k~14k				
硅涂覆	RE-1/8	0.1	5~1M			0.0005~ 0.005	$\varnothing 1.5 \times 3.8$

续表

参 数 型 号	名称 符号 单位	功率 $P$ W	标称阻 值范围 $R$ $\Omega$	最大工 作电压		温度 系数 $\Delta\alpha$ %/°C	外形尺寸 mm
				直流、 交流有 效值	脉冲		
				V	V		
模压	RE-1/6	0.15	5~3M			0.005	$\varnothing 1.8 \times 6.2$
	RE-1/4	0.25	5~4.99M			0.005	$\varnothing 2.1 \times 9.1$
	RE-1/2	0.5	5~10M			0.005	$\varnothing 4 \times 13.1$
	RE-3/4	0.75	5~15M			0.005	$\varnothing 5 \times 15.5$
模压	RN50	0.05	10~100k			0.0025~ 0.005	$\varnothing 1.6 \times 3.9$
	RN55	0.1	49.9~100k			0.005	$\varnothing 2.3 \times 6.8$
	RN60	0.125	49.9~499k			0.005	$\varnothing 3.2 \times 10$
	RN65	0.25	49.9~1M			0.005	$\varnothing 5.2 \times 14.8$
	RN70	0.5	24.9~1M			0.005	$\varnothing 6.5 \times 18.3$
模压	EE1/20	0.05	1~1M			0.0005~ 0.005	$\varnothing 1.6 \times 3.9$
	EE1/10	0.1	1~3M			0.005	$\varnothing 2.3 \times 6.8$
	EE1/8	0.125	1~4.99M			0.005	$\varnothing 3.2 \times 10$
	EE1/4	0.25	1~10M			0.005	$\varnothing 5.2 \times 14.6$
	EE1/2	0.5	1~15M			0.005	$\varnothing 6.5 \times 18.3$
涂覆	KC-200-01	1	0.1~8.2k			-	$\varnothing 4.5 \times 16$
	KC-202-02	2	0.1~18k			-	$\varnothing 4.5 \times 24$
	KC-204-04	4	0.11~24k			-	$\varnothing 4.5 \times 32$
陶瓷壳	KH206	4	0.1~8.2k			0.005	7×8×20
	KH208	5	0.15~13k			0.005	7×8×25
	KH210	7	0.33~30k			0.005	7×8×38
	KH212	7	0.15~13k			0.005	9×10×25
	KH214	9	0.33~30k			0.005	9×10×38
	KH216	11	0.51~43k			0.005	9×10×50
	KH218	17	0.91~72k			0.005	9×10×75
轴向熔断	KT206-4	2.5	0.1~8.2k			0.005	7×8×20
	KT208-4	3	0.15~13k			0.005	7×8×25
	KT210-4	4.5	0.33~30k			0.005	7×8×38
	KT212-4	3.5	0.15~13k			0.005	9×10×25
	KT214-4	5	0.33~30k			0.005	9×10×38
	KT216-4	7	0.51~43k			0.005	9×10×50
	KT218-4	11	0.91~72k			0.005	9×10×75

续表

参 数 型 号	名称	功率	标称阻 值范围	最大工 作电压		温度 系数	外形尺寸 mm
				直流、 交流有效值	脉冲		
				符号	单位		
		$P$	$R$			$\Delta\alpha$	
		W	$\Omega$	V		%/°C	
直立熔断	KF206-7	2.5	0.1~8.2k			0.005	7×8×20
	KF208-7	3	0.15~13k			0.005	7×8×25
	KF210-7	4.5	0.33~30k			0.005	7×8×38
	KF212-7	3.5	0.15~13k			0.005	9×10×25
	KF214-7	5	0.33~30k			0.005	9×10×38
	KF216-7	7	0.51~43k			0.005	9×10×50
	KF218-7	11	0.91~72k			0.005	9×10×75
插入涂覆	KP290-0/1	2	0.2~6.8k			0.005	∅5×18.2
	KP292-0/1	4	0.3~10k			0.005	∅5×23.3
	KP294-0/1	5	0.47~18k			0.005	∅5×33.4
	KP296-0/1	6	0.68~24k			0.005	∅5×43.5
	KP298	8	0.91~33k			0.005	∅5×53.7
陶瓷直立	KV206-3	4	0.1~8.2k			0.005	7×8×20
	KV208-3	5	0.15~13k			0.005	7×8×25
	KV210-3	7	0.33~30k			0.005	7×8×38
	KV212-3	7	0.15~13k	-		0.005	9×10×25
	KV214-3	9	0.33~30k			0.005	9×10×38
	KV216-3	11	0.51~43k			0.005	9×10×50
	KV218-3	17	0.91~72k			0.0015	9×10×75
超精密 模 压	UAR1/10	0.1	500~1M			0.0015	∅2.3×6.8
	UAR1/8	0.125	500~1M			0.0015	∅3.3×10
	UAR1/4	0.25	500~1M			0.0015	∅5.2×14.8
熔断电阻	RJ90-A0.5	0.5	1~5.1k	300		0.05~0.1	∅2.8×7.5
	RJ90-A1	1	1~5.1k	300		0.05~0.1	∅3.1×8.4
	RJ90-A2	2	1~5.1k	300		0.05~0.1	∅4.4×10.8
	RJ90-A3	3	1~5.1k	400		0.05~0.1	∅6.7×13.8
	RJ90-B0.5	0.5	1~5.1k	300		0.05~0.1	∅5.6×13
	RJ90-B1	1	1~5.1k	300		0.05~0.1	∅5.5×13
	RJ90-B2	2	1~5.1k	400		0.05~0.1	6.4×18
	RJ90-B3	3	1~5.1k	400		0.05~0.1	10×24

## 12 电 容

常用电容型号及参数见表 9.7.65。

表 9.7.65 常用电容型号及参数

参 数 型 号	名 称	直 流 耐 压	标称容值范围	绝 缘 电 阻	损 耗 角 正切值	温 度 系 数
	符 号		C	$R_i$		$\Delta\alpha$
	单 位	V	pF	M $\Omega$		%/°C
圆片瓷介 CC1-1~6		160~500	1~300	10000	0.0015~ 0.0012	0.012~0.13
管型瓷介 CC2-1~7		160~500	1~1000	10000	0.0015~ 0.0012	0.012~0.13
叠片瓷介 CC3-1~2		100~160	33~1800	10000	0.0015	0.012~0.13
穿心瓷介 CC5-1~3		160~500	8.2~390	10000	0.0015	0.012~0.13
支柱瓷介 CC6-1~4		500	3.3~350	10000	0.0015	0.012~0.13
超高频瓷介 CC10-1~4		500	1~27	10000	0.0012	0.012~0.13
圆片瓷介 CC12-1~5		63	1~560	10000	0.0012	0.012~0.13
高压瓷介 CC18-1~5		2000~6300	1~270	10000	0.0012	0.075
低频瓷介 CT1-1~5		63~250	330~47000	1000	0.04	
管形低频 CT2		150	470~33000	1000	0.04	
叠片低频 CT3		100	15000~33000	1000	0.04	
独石低频 CT4D-1~8		40~63	4700~470000	1000~5000	0.025	
穿心低频 CT5-1~3		160~500	1000~10000	1000	0.04	
支柱低频 CT6-1~4		250	470~4700	1000	0.04	
高频瓷介 CT12-1~5		63	1000~100000	1000~3000	0.04	
高压低频 CT81-1~6		500~6300	300~10000	1000	0.04	
鼓形高压低频 CT86-1~5		5000~30000	470~6800	1000	0.04	
压塑云母 CY-0~10		100~7000	10~51000			
包封云母 CY2-1~3		100	10~10000			
微带云母 CY21-1~3		63~100	1~1000			
独石云母 CY22-1~10		100~3000	1~120000			
高温云母 CY23-1~10		100~3000	1~120000			
独石云母 CY11-1~5		100~1500	9500~178000	-	-	
高精度 CY7-1~2		100~500	100~110000			
高压大功 率云母 CY9-1~3		10k~100k	620~47000			
压塑云母 CY12-1~4		100~500	10~24000			
注塑云母 CY13-1~4		100~1000	5100~470000			
纸介 CZ11~13		160~400	510~0.1 $\mu$	2000	0.015	
密封油浸纸介 CZ31-1~2		400	1000~0.047 $\mu$	5000	0.01	
CZ40~41		250~1600	0.01 $\mu$ ~10 $\mu$	2000	0.01	
金属化纸介 CJ10~11		160~400	0.01 $\mu$ ~1 $\mu$	300	0.015	
CZ11		160	0.01 $\mu$ ~0.47 $\mu$	3000	0.015	

续表

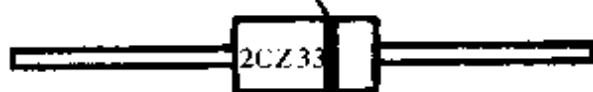
参 数 型 号	名 称	直 流 耐 压	标称容值范围	绝 缘 电 阻	损 耗 角 正切值	温 度 系 数
	符 号		C	$R_1$		$\Delta\alpha$
	单 位	V	pF	M $\Omega$		%/°C
CZJ8		63	$0.01\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$	100	0.015	
大容量金 属化纸介	CZJ10-1~2	63	$2\mu\text{F} \sim 100\mu\text{F}$	100	0.015	-
聚苯乙烯	CB1~2	250~500	47~10000	10000	0.15	-200
	CB10	100~1600	3~470000	20000	-	-200
	CB11	100~1600	47~470000	20000	0.015	-200
	CB11	100~1600	10~160000	20000	0.001	-200
低压涤纶	CLX	63	$0.001\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$	10000	0.01	
	CL10-1~2	63	$0.001\mu\text{F} \sim 0.1\mu\text{F}$	10000	0.01	
铅金属化	CL20-1~2	160	$0.1\mu\text{F} \sim 4\mu\text{F}$	5000	0.01	
	CL30	160~400	$0.1\mu\text{F} \sim 4\mu\text{F}$	5000	0.01	
高压混合介质	CH82	2000~20000	$0.047\mu\text{F} \sim 10\mu\text{F}$	2000	0.01	
电解电容	CD	6~450	$10\mu\text{F} \sim 10000\mu\text{F}$		0.1~0.2	
无极性铝电解	CD2	10~50	$30\mu\text{F} \sim 1000\mu\text{F}$		0.2	
铝 电 解	CD8	10~63	$50\mu\text{F} \sim 10000\mu\text{F}$		0.15	
	CD10	16~160	$1\mu\text{F} \sim 470\mu\text{F}$		0.2	
	CD11	4~63	$1\mu\text{F} \sim 1000\mu\text{F}$		0.2	
耐热密封电解	CD21A	6~450	$10\mu\text{F} \sim 200\mu\text{F}$		0.2	-
低压大容量	CDDX-1	6.3~50	$200\mu\text{F} \sim 10000\mu\text{F}$		0.2~0.5	
组 合 式	CDZ	25~450	$10\mu\text{F} \sim 2000\mu\text{F}$		0.1~0.2	
钽 电 解	CA	6.3~100	$0.1\mu\text{F} \sim 470\mu\text{F}$	-	0.08~0.15	
钽固体电解	CA8	6.3~63	$0.22\mu\text{F} \sim 100\mu\text{F}$		0.1~0.15	
钽液体电解	CA30	6.3~125	$3.3\mu\text{F} \sim 1000\mu\text{F}$		0.2~0.3	
穿心钽电解	CA49	35	$6.8\mu\text{F}$		0.06	
无极性钽电解	CAJ	6.3~40	$0.1\mu\text{F} \sim 68\mu\text{F}$		0.08	
微型钽电解	CAP	6.3~63	$0.22\mu\text{F} \sim 100\mu\text{F}$		0.08	
铌	CN	6.3~25	$2.2\mu\text{F} \sim 330\mu\text{F}$		-	
微调瓷介	CCW1-1~2u	500	2~100	1000	0.002	-0.025 ~0.085
	CCW3-1~4	500	3~47	10000	0.002	0.012~0.025
微调线绕瓷介	CCW7	250	2~20	1000	0.002	0.075
微调固体介质	CWG-X-3	250	1~3	1000	-	
	CWG-2-1	150	3~18	100	0.002	-
	CWG-4-9	250	3~9	100	0.002	

### 13 元器件外形图

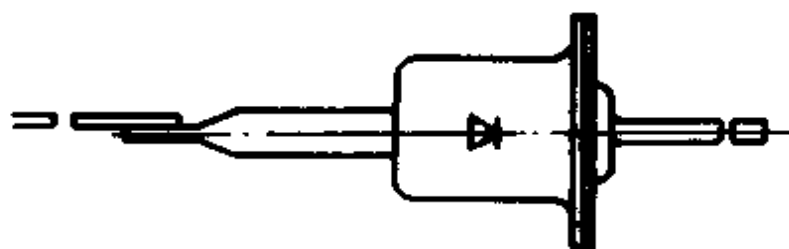


1-1(EM)

色环(负极)



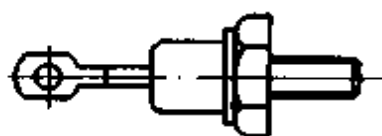
1-2(EL)



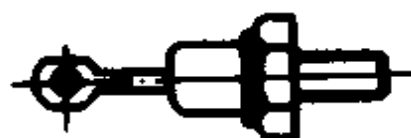
1-3(ED)



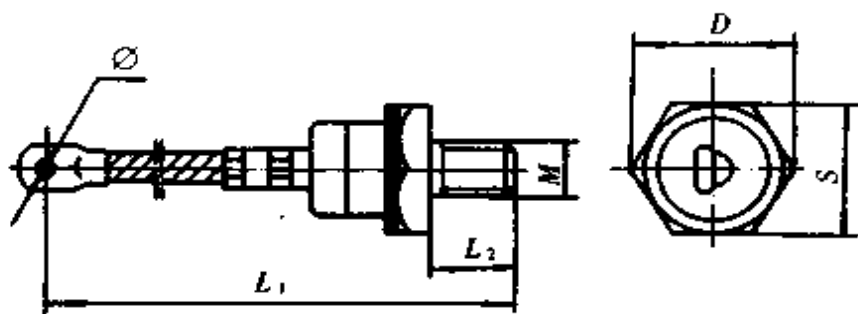
1-4(EE)



1-5(EF)



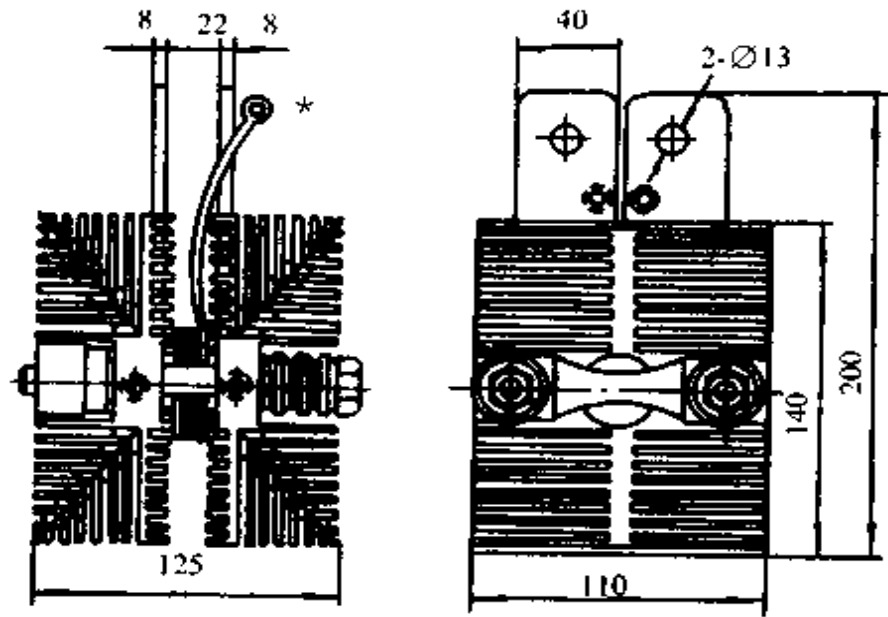
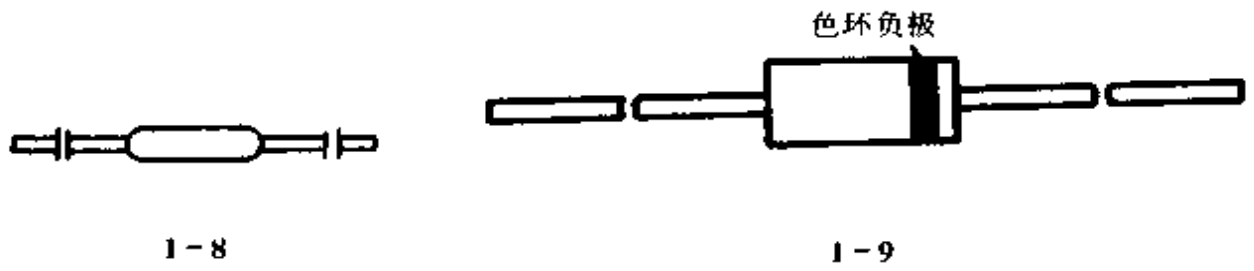
1-6(EG)



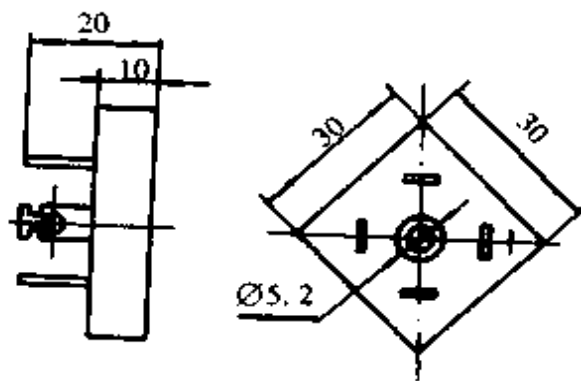
1-7

	M	∅	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	S	D
2CZ60	12	7	162	12	24	27.7
ZP100	16	9	210	16	30	34.6
ZP200	20	9	255	20	36	40

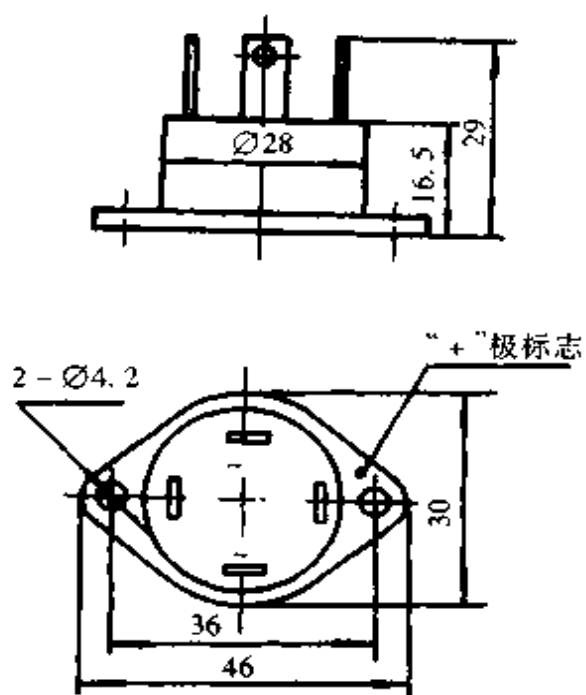




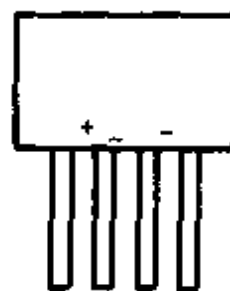
1-10



1-11

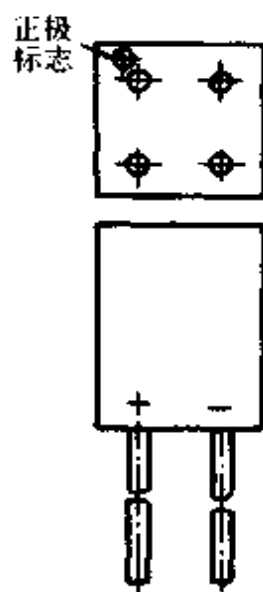


1-12

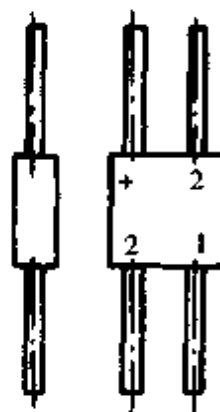


色点表示正极相电压

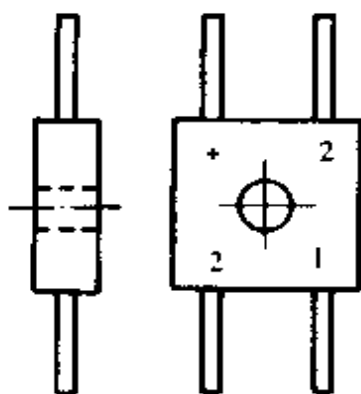
1-13



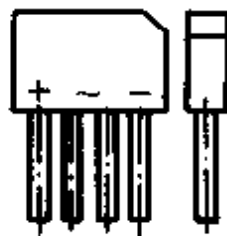
1-14



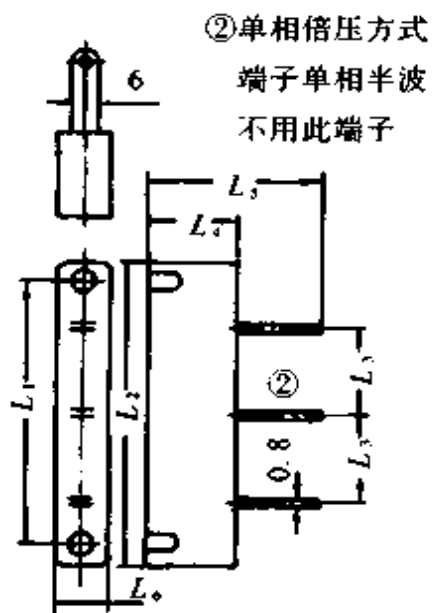
1-15



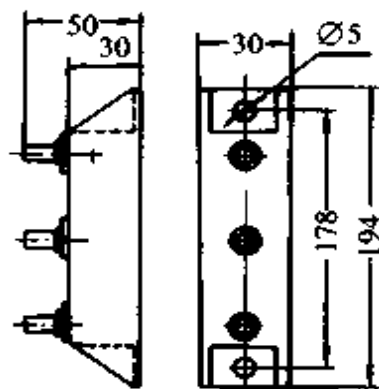
1-16



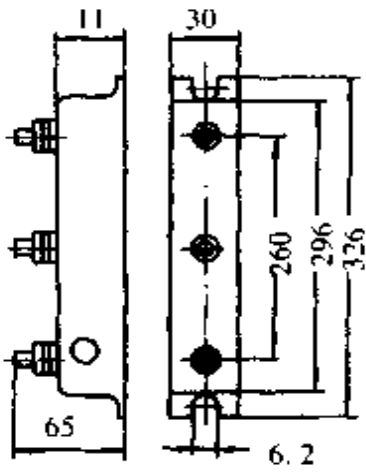
1-17



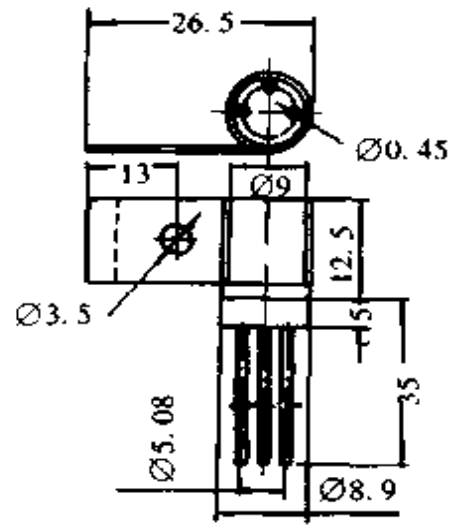
1-18



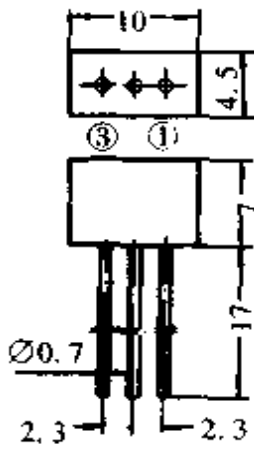
1-19



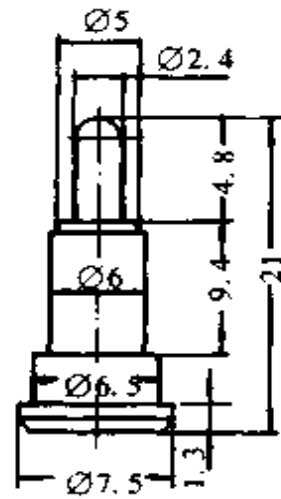
1-20



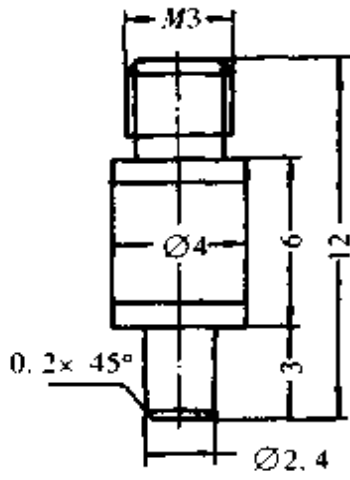
1-21



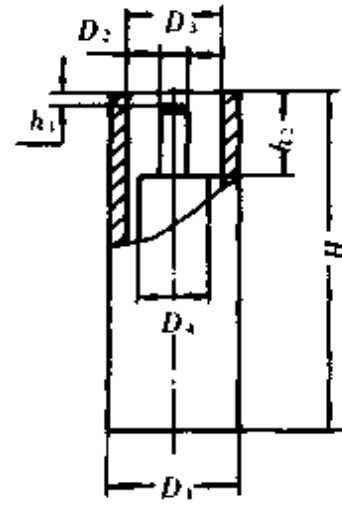
1-22



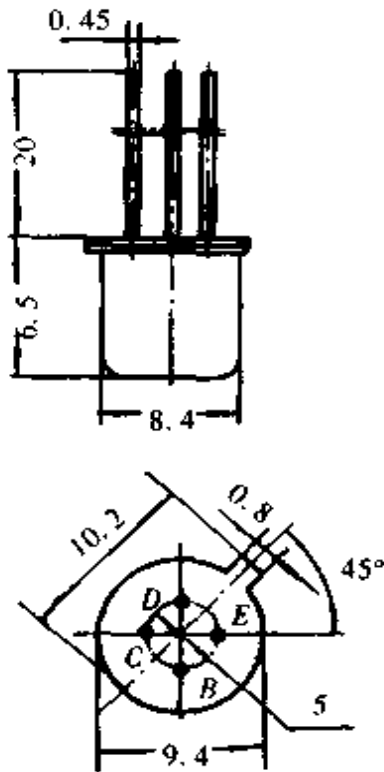
1-23



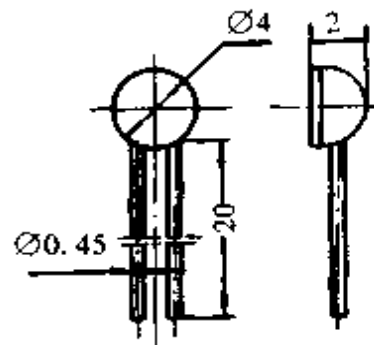
1-24



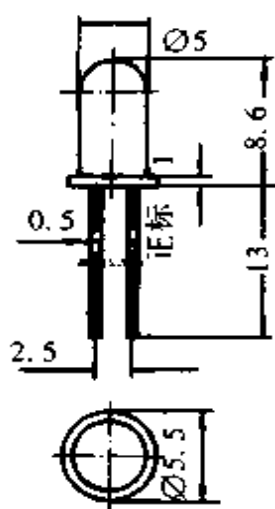
1-25



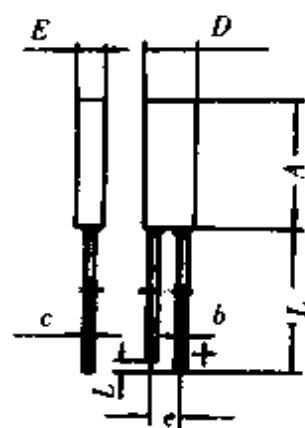
1-26



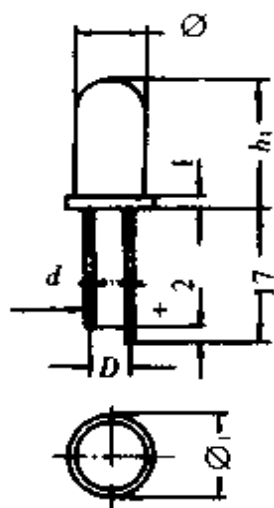
1-27(ET)



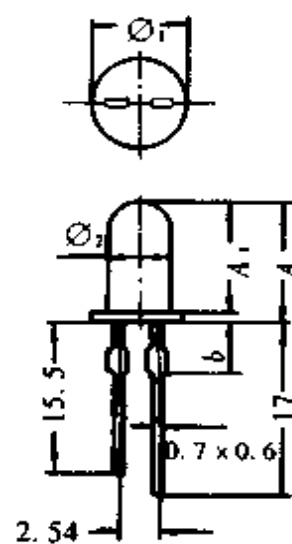
1-28



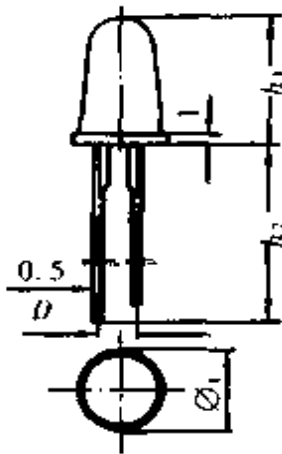
1-29



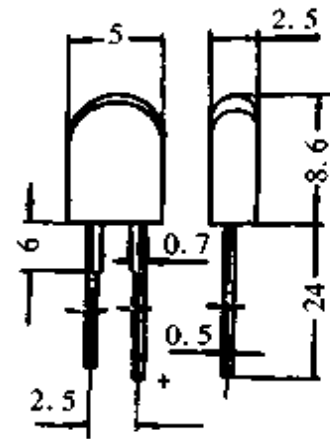
1-30



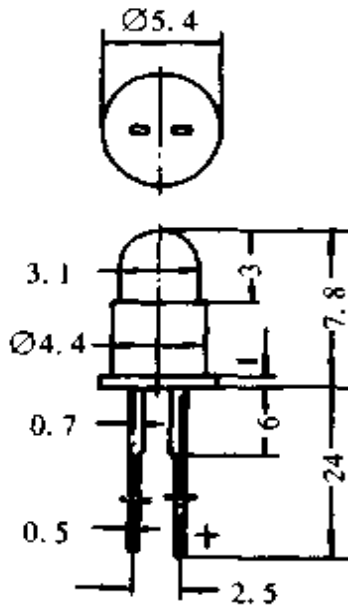
1-31



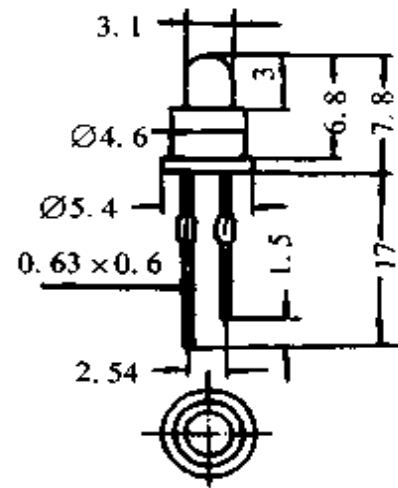
1-32



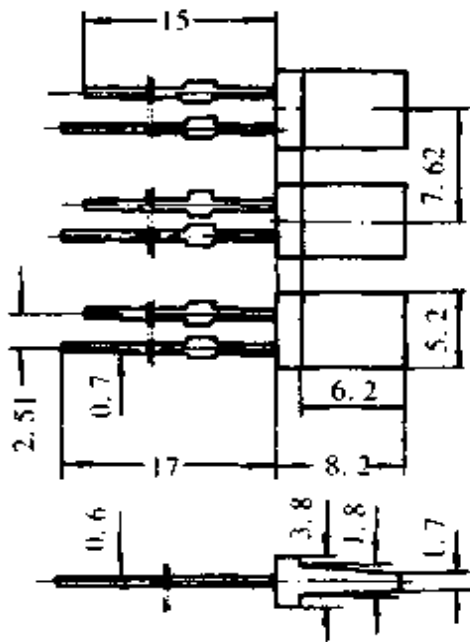
1-33



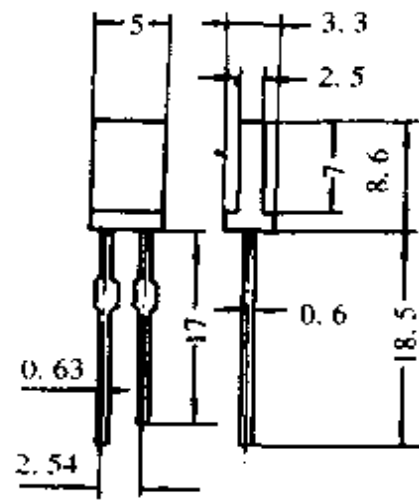
1-34



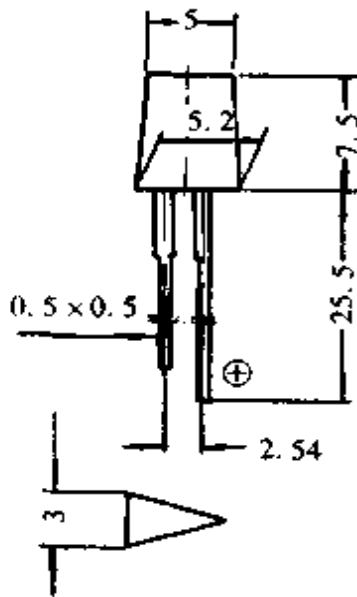
1-35



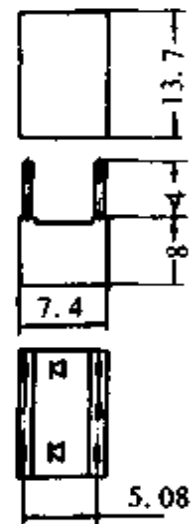
1-36



1-37

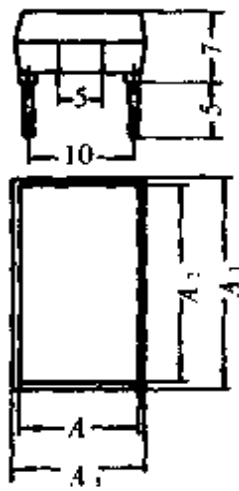


1-38

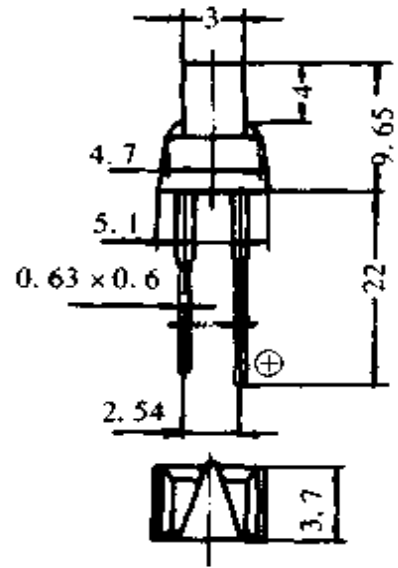


1-39

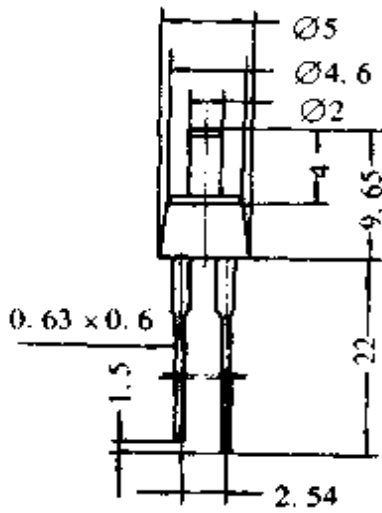




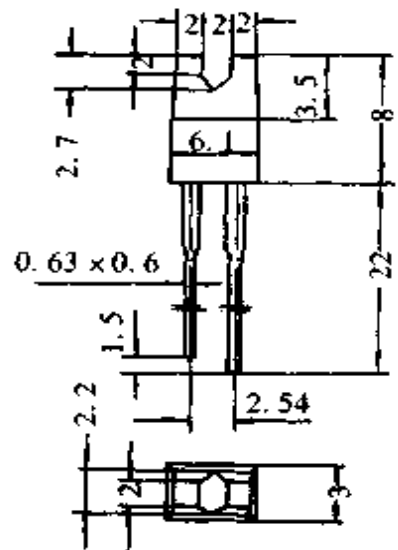
1-40



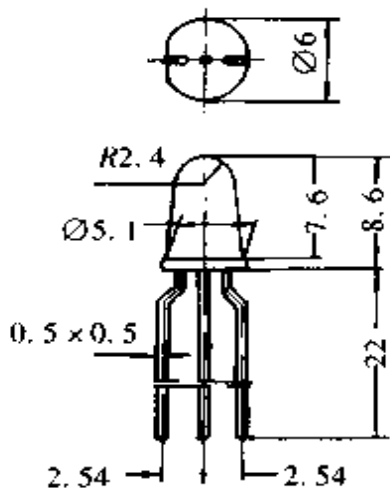
1-41



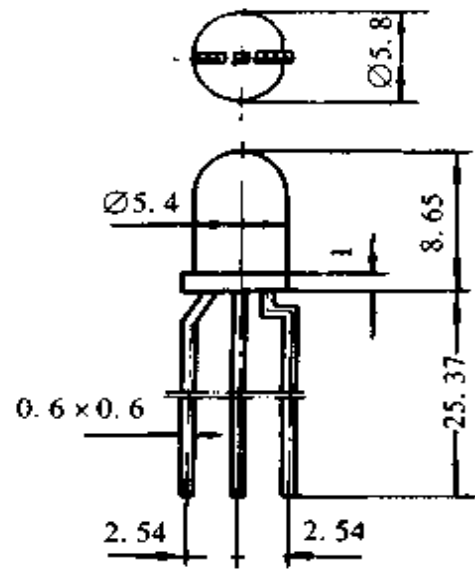
1-42



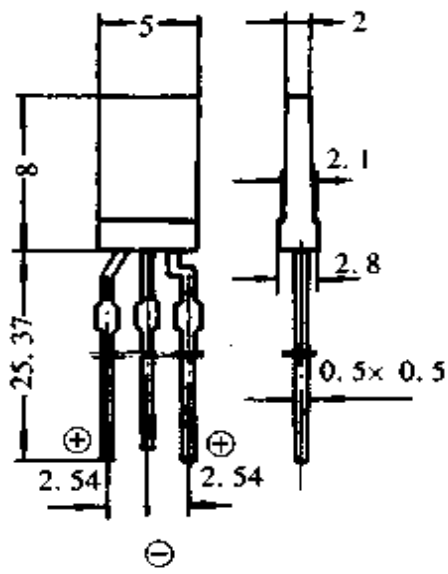
1-43



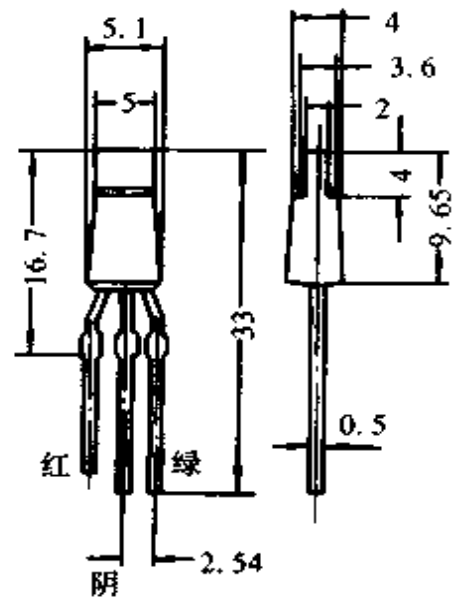
1-44



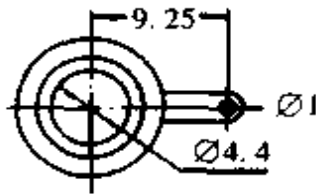
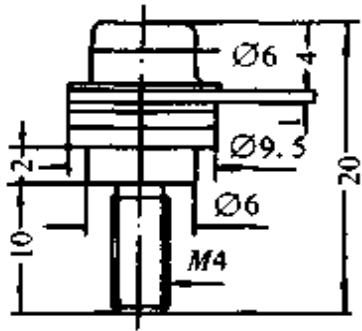
1-45



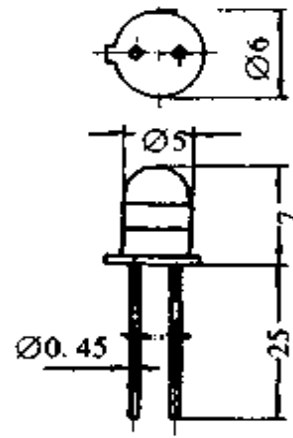
1-46



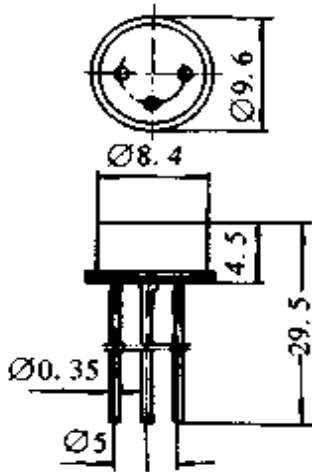
1-47



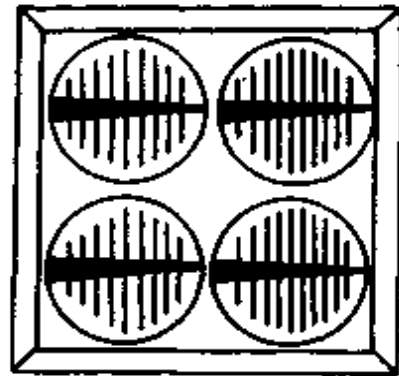
1-48



1-49

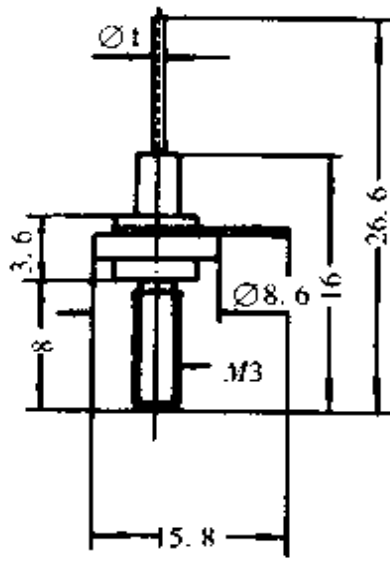


1-50

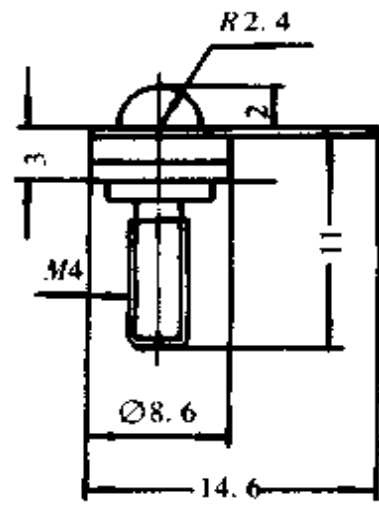


ID 150 × 150

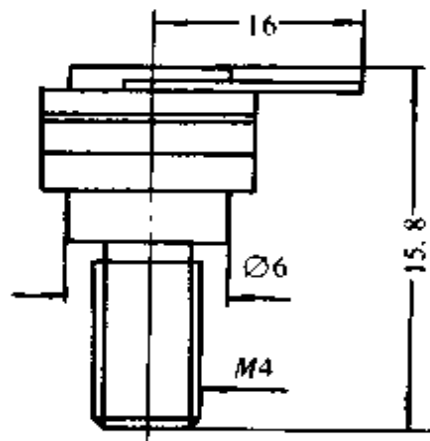
1-51



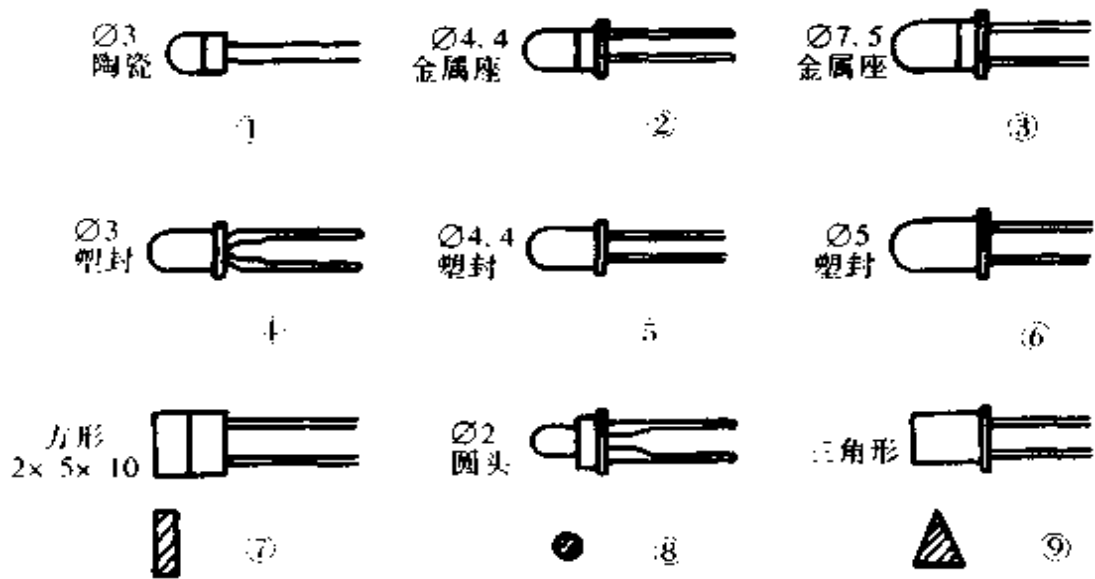
1-52



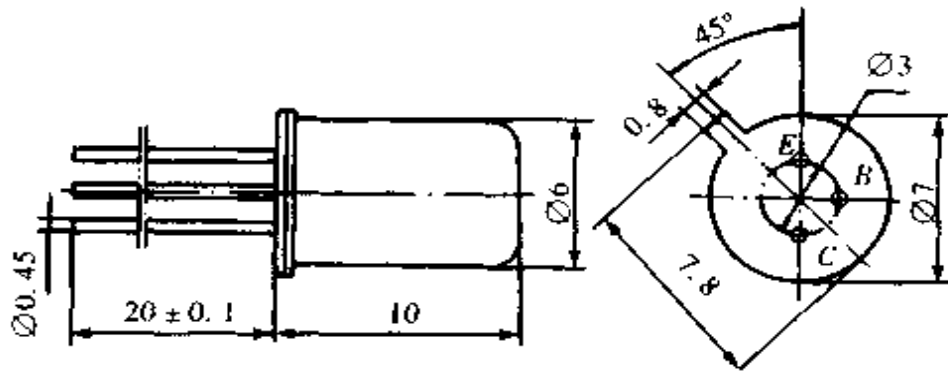
1-53



1-54

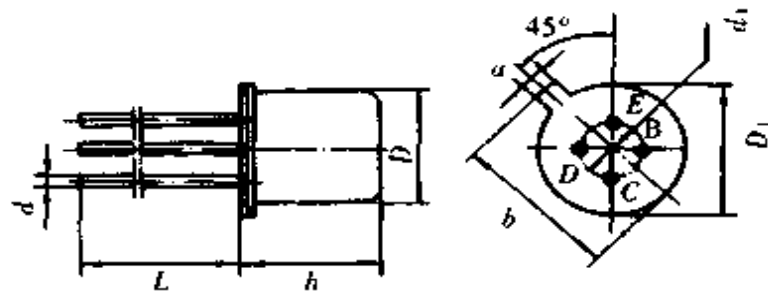


1-55

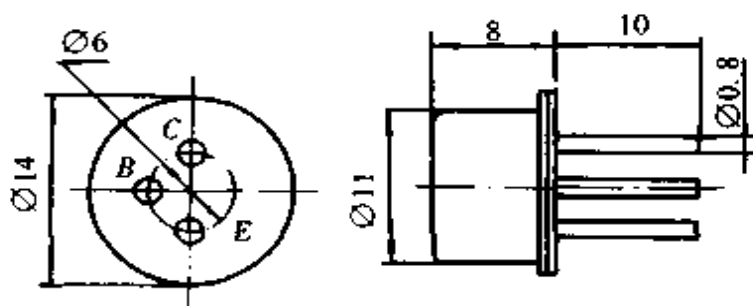


2-1(C型)

名称	尺寸 (mm)							
	$D_1$	$D$	$d_1$	$d$	$h$	$L$	$a$	$b$
B1	5.8	4.8	2.5	0.45	5.5	15 ± 1	0.8	6.6
B2	5.8	4.8	2.5	0.45	7.0	15 ± 1	0.8	6.6
B3	9.4	8.4	5.0	0.45	8.0	20 ± 1	0.8	10.2
B4	9.4	8.4	5.0	0.45	6.5	20 ± 1	0.8	10.2
B5	9.4	8.4	5.0	0.45	3.5	15 ± 1	0.8	10.2
B6	5.8	4.8	2.5	0.45	2.2	15 ± 1	0.8	6.6

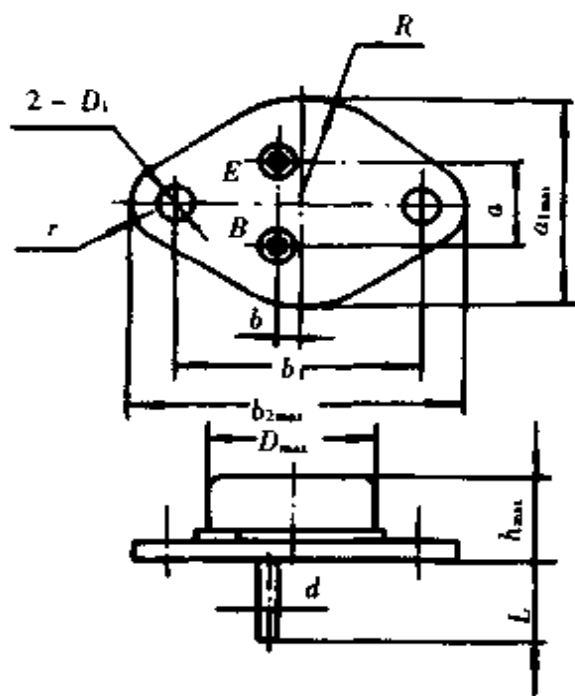


2-2(B1-B6)

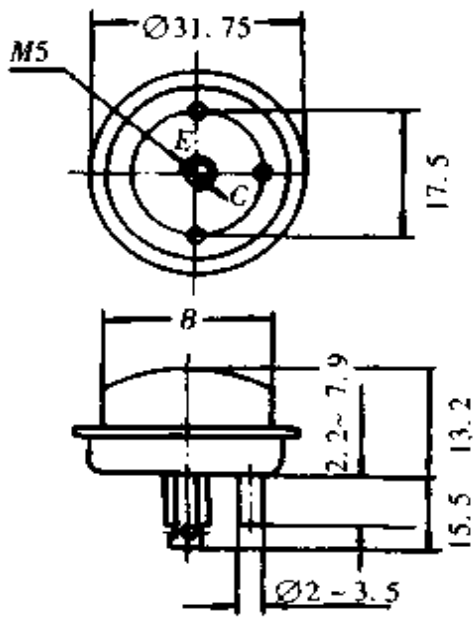


2-3(D)

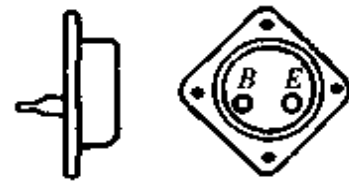
名称	尺寸 (mm)											
	$D_{max}$	$h_{max}$	$d$	$D_1$	$L$	$R$	$r$	$a$	$a_{1max}$	$b$	$b_1$	$b_{2max}$
F1	15	8.5	1	4.2	10	10	4	$6 \pm 0.2$	20	$1.6 \pm 0.2$	$23 \pm 0.2$	31
F2	20	9.5	1	4.2	10	13.5	5	$11 \pm 0.2$	27	$2.0 \pm 0.2$	$30 \pm 0.2$	40
F4	30	15	2	5.2	16	18	5	$19 \pm 0.2$	36	$3.5 \pm 0.2$	$43 \pm 0.3$	53



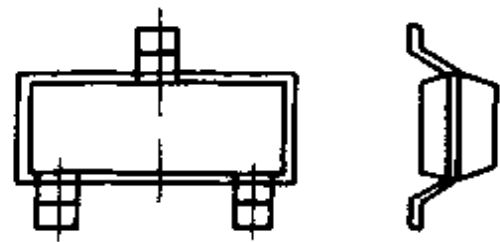
2-4(F1~F4)



2-5



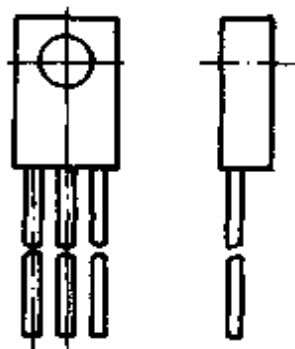
2-6



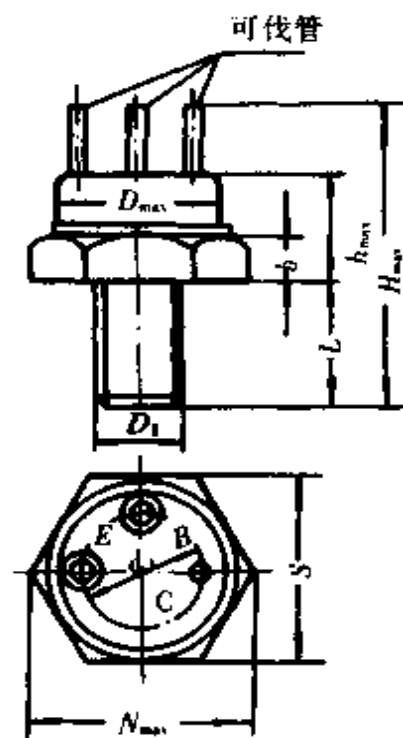
2-7



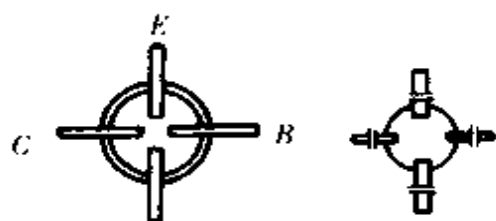
2-8



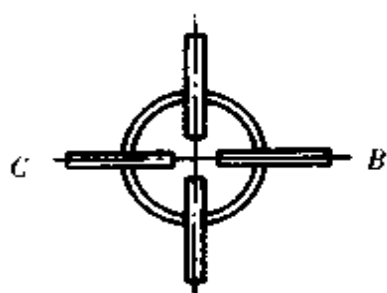
2-9



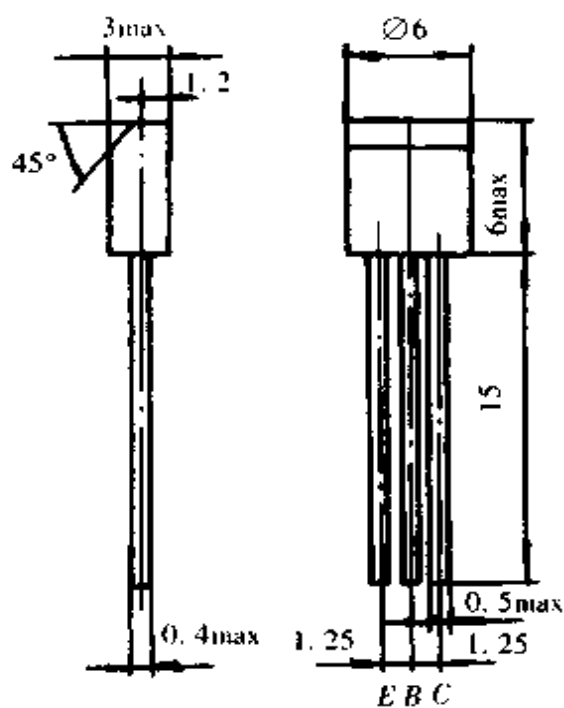
2-10(G)



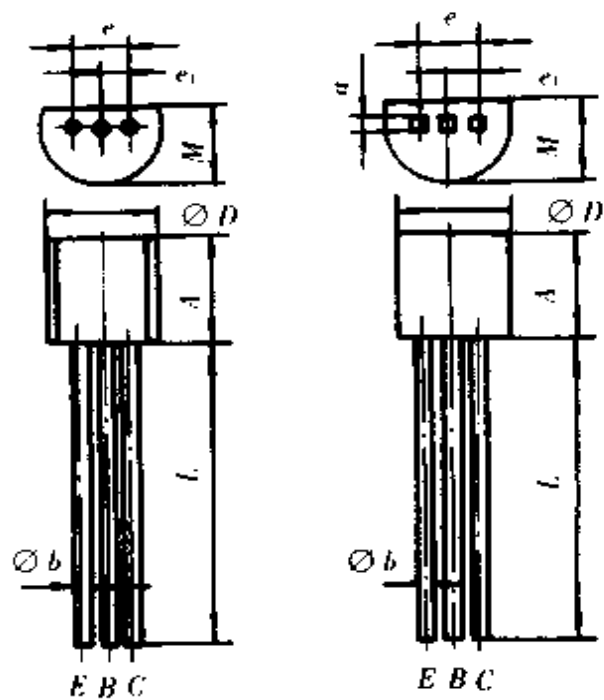
2-11



2-12



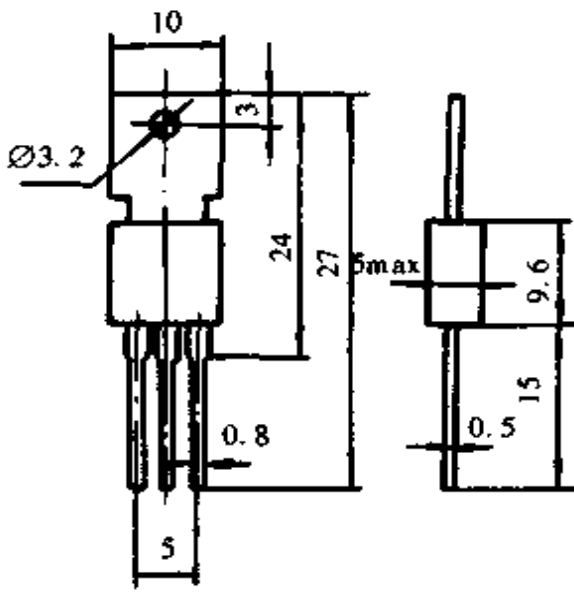
2-13



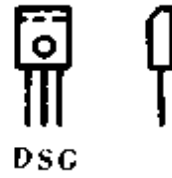
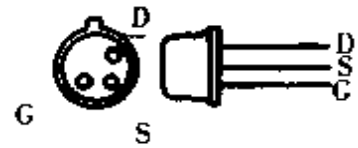
2-14

名称	$A_{max}$	$\varnothing D_{max}$	$M_{max}$	$e$	$e_1$	$L$	$a_{max}$	$b_{max}$	$\varnothing b_{max}$
SIA	5.0	5.0	4.0	2.5	1.25	15			0.5
SIB	5.0	5.0	4.0	2.5	1.25	15			





2-15



D S G

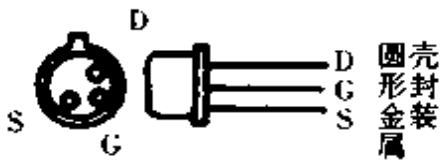
2-16



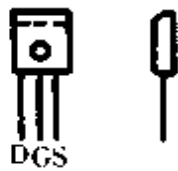
2-18



2-19

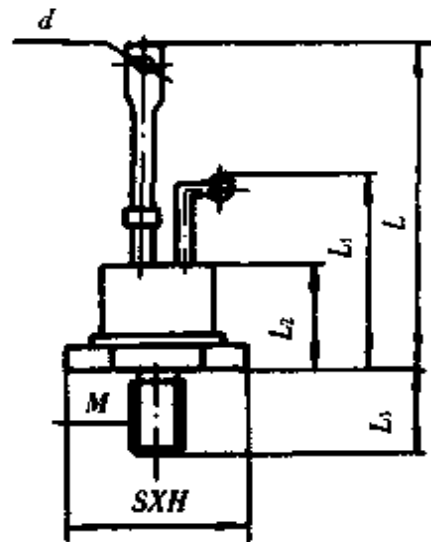


圓壳封装  
金属材料

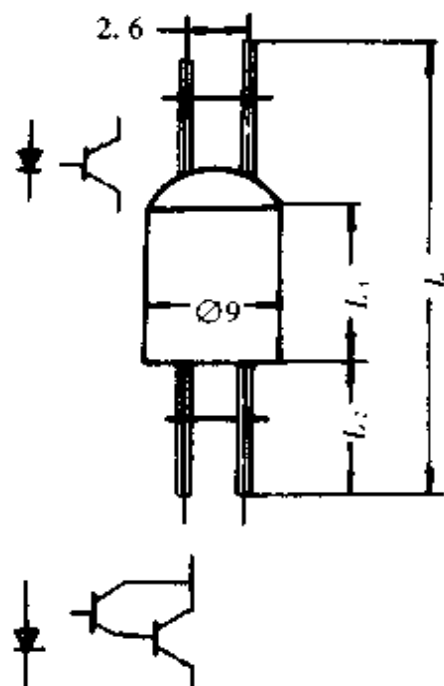


扁平封装  
塑料壳

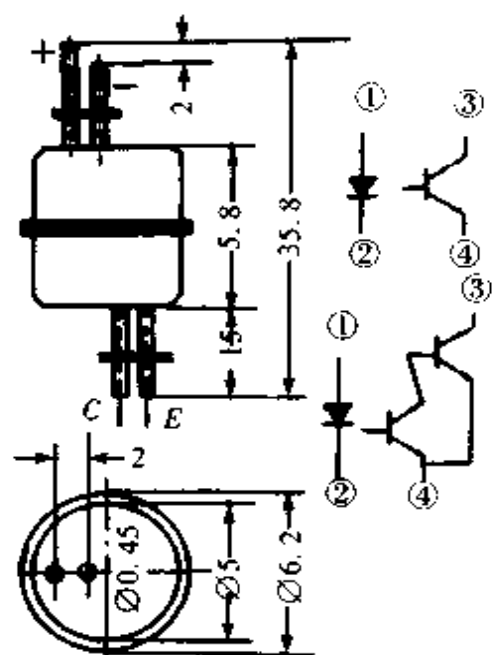
2-17



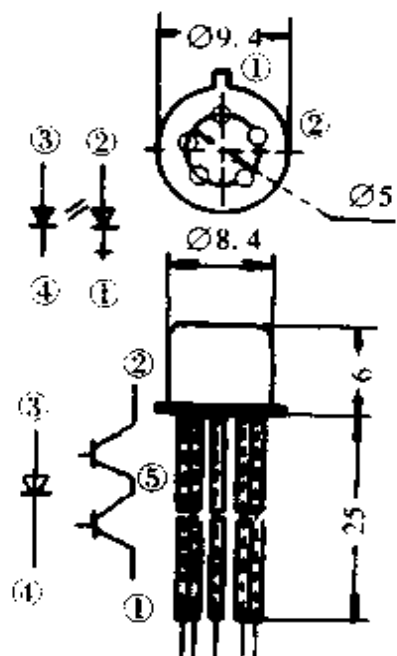
2-20



3-1

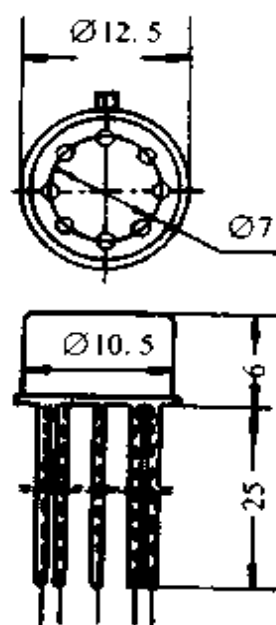


3-2

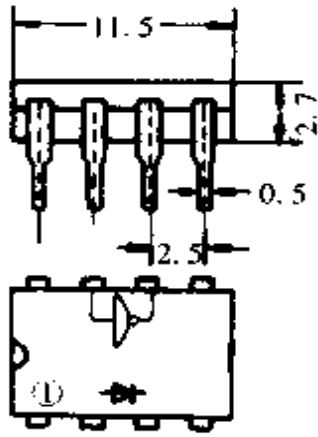


硅片至管子窗口  $\leq 2\text{mm}$

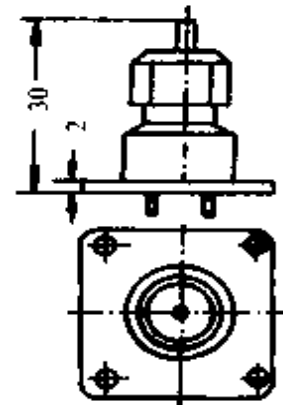
3-3



3-4

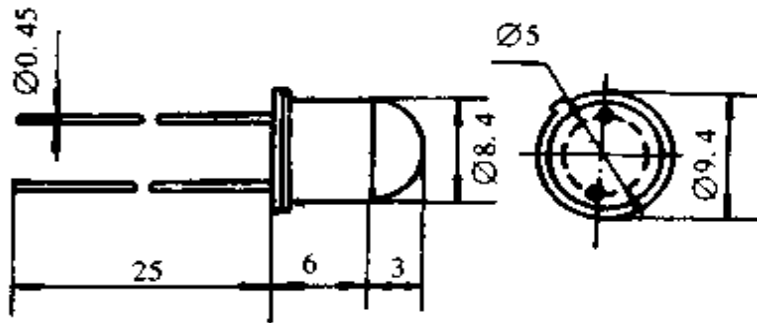


3-5

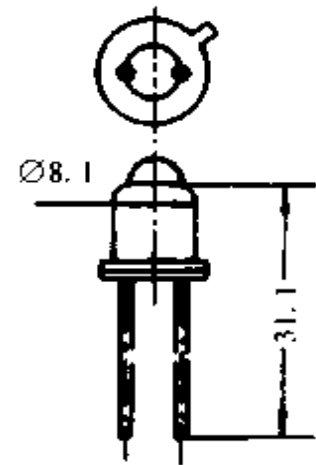


发射头与接收头同尺寸  
发射头  $\nabla$  接收头  $\oplus$

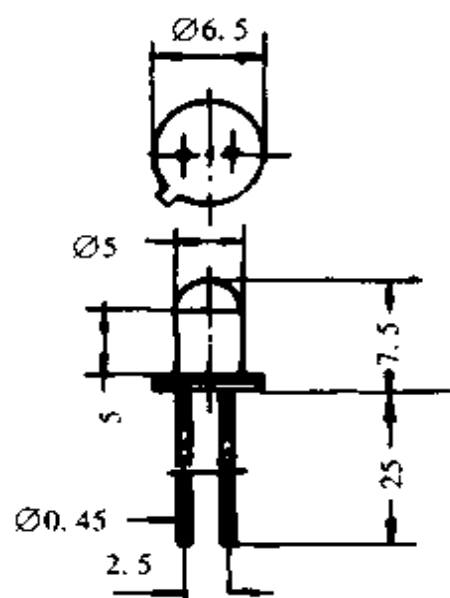
3-6



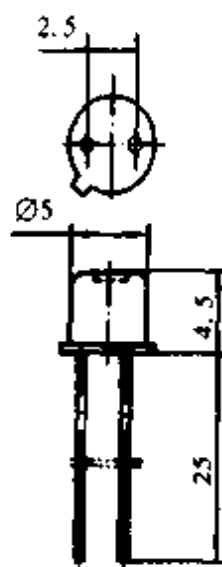
3-7



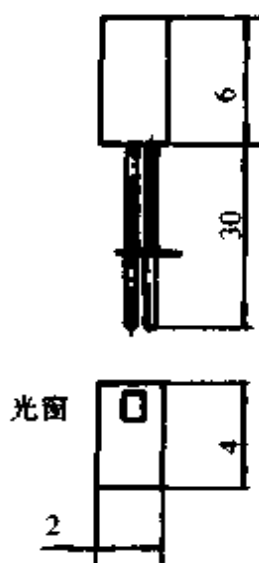
3-8



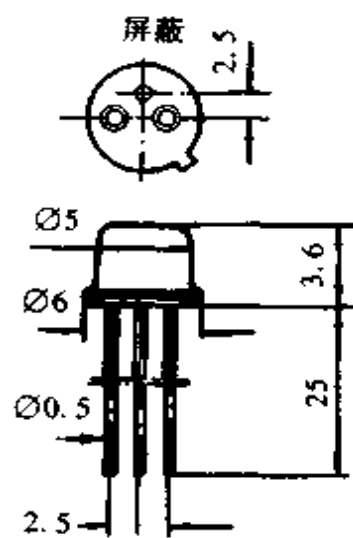
3-9



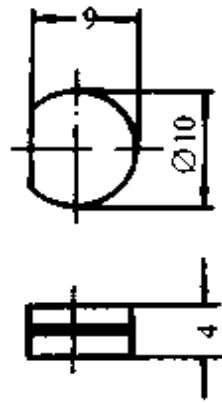
3-10



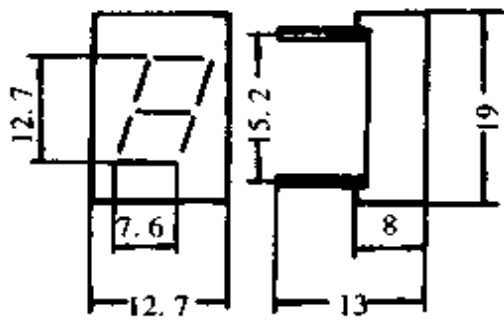
3-11



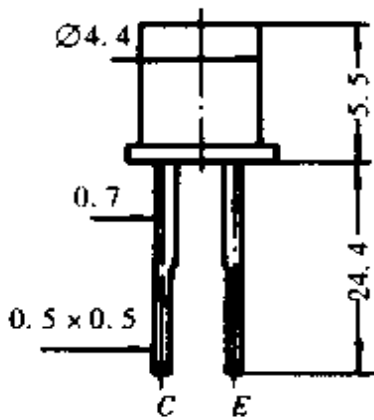
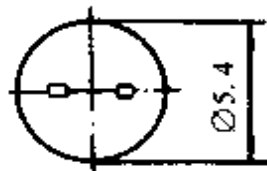
3-12



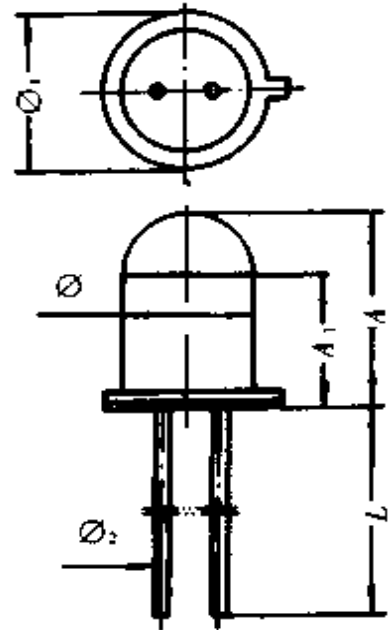
3-13



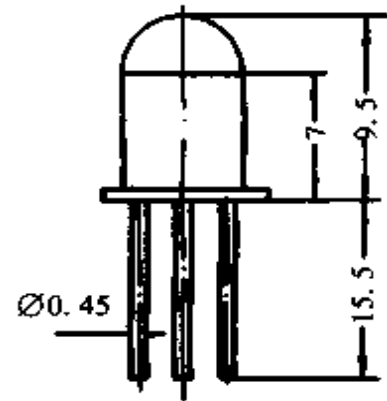
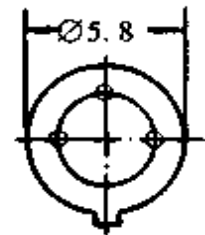
3-15



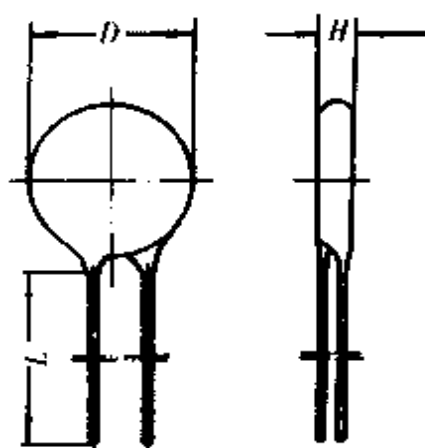
3-16



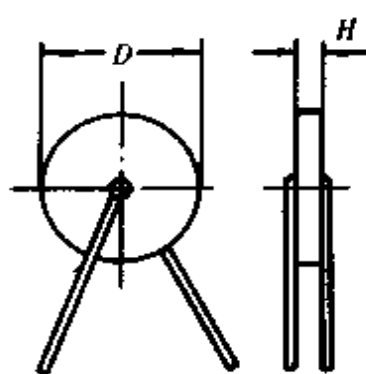
3-14



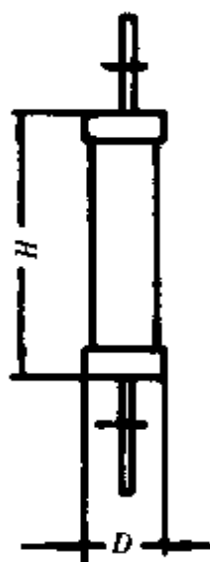
3-17



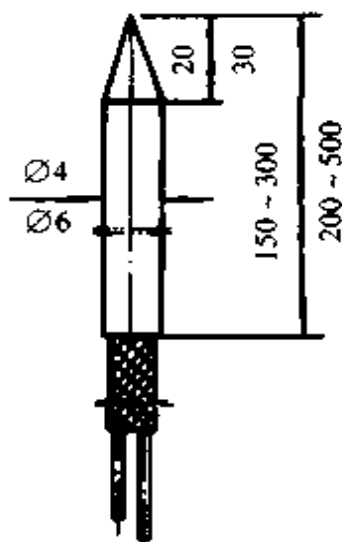
3-18



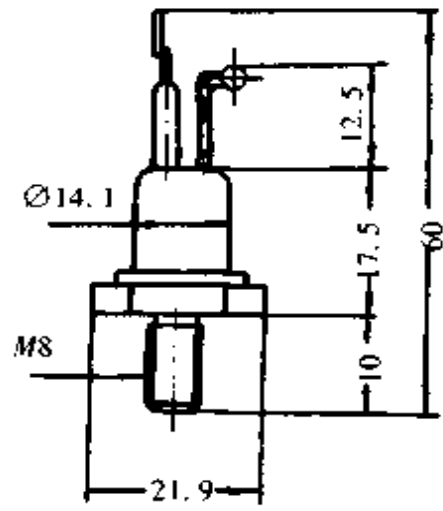
3-19



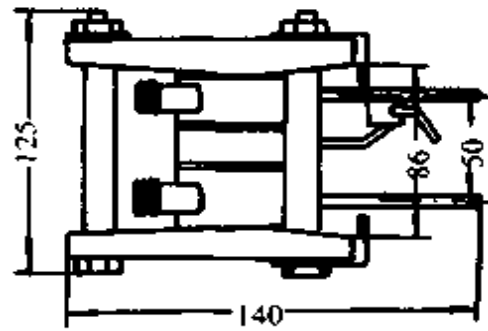
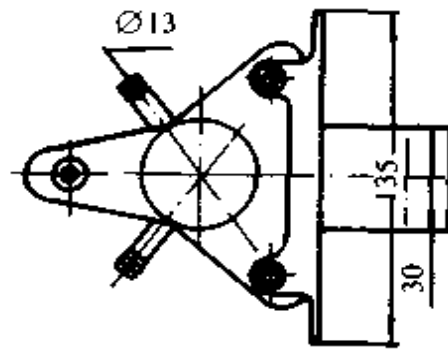
3-20



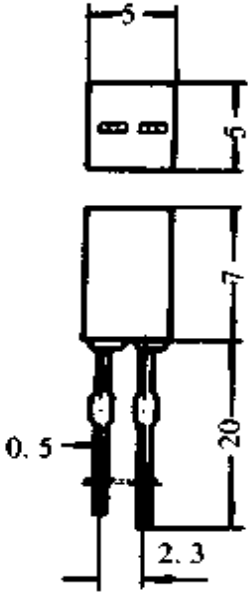
3-21



3-22



3-23



3-24



## 第十篇

# 安全用电和节电技术

本篇主编 赵文瑜  
编写人 王利民  
林寄阳  
周萃初  
周欣



# 第一章 安全用电

## 1 概 述

### 1.1 安全用电工作的准则和目标

所谓安全用电,是指电气工作人员及其他用电人员,在既定的环境条件下,采取必要的措施和手段,在保证人身及设备安全的前提下,正确使用电力。

在安全用电工作中,提倡的安全口号是让每个电气工作人员,都能工作于无事故的工作场所。安全用电的准则是:

- (1)每个电工都应具有安全用电的责任。
- (2)所有的电气事故或其他事故都是可以避免的。
- (3)安全用电是社会主义现代化建设中不可缺少的部分。
- (4)所有暴露的或事故隐患问题都是可以加以控制的。

安全用电工作的目标是:

电工的工作要实现一不伤害自己,二不伤害他人,三不被他人伤害的安全目标。

### 1.2 安全用电工作的基础和意识

(1)安全工作的基础。每个电工必须学会、具备和应用安全技能:能识别各种危险的迹象;能消除无论出现在何处的实际危险;能控制无法消除的危险;能防止一旦失去控制的危险造成人员的伤害;能减少万一发生的事故所造成的严重后果。

(2)安全工作的意识。安全工作的意识就是泛指一个人在劳动生产过程中所反映出来的安全心理行为。安全心理行为包括:①在生产过程中的心理过程和生产过程中的情绪、情感。②个体素质与职业安全的关系。③安全行为与安全心理的关系。研究安全心理行为是要掌握人的一般心理活动规律,揭示出人在生产劳动过程中不安全的或不健康的心理行为,从而达到控制和预防电气事故发生的目的。

## 2 电气工作的安全技术

### 2.1 防雷

由于被保护对象和各种雷电危害方式的不同,对于直击雷、雷电感应、雷电侵入波均应采取相应的、适当的安全措施。

#### 2.1.1 直击雷防护措施

被保护对象,如建筑物和构筑物,有第一类、第二类、第三类及其他特殊和重要的场所之分。第一类属民用建筑物,应采取防直击雷的措施;第二类属民用建筑物和构筑物的易受雷击部位,也应采取防直击雷的措施。

除上述几种类型的建筑物和构筑物外,还有其他易受雷击的建筑物和构筑物,如有爆炸或火灾危险的露天设备(如贮油罐和贮气罐等)及高压架空电力线路,发电厂和发电站的户外式电气设备,尤其应该采取防直击雷措施。

直击雷的防护措施有装设避雷针、避雷线、避雷网、避雷带等方法。一般情况下,其接地电阻不超过 $10\Omega$ 。同时要注意严禁在装有避雷针、避雷线等的构筑物上架设其他电气线路,如照明电源线,广播或通讯线路等。

为了防止防雷装置对带电体的反击而造成的火灾和爆炸事故,必须保证防雷装置的接闪器、引下线、接地装置与邻近导体之间具有足够的安全距离,或者加装避雷器和保护间隙。其次,降低接地电阻也有利于防雷的反击事故。

#### 2.1.2 雷电感应防护措施

雷电感应,在建筑物和构筑物中,应考虑由于反击引起的爆炸和火灾事故。为了防止静电感应所产生的高电压的危害,一般应将建筑物内的金属设备、金属管道、结构钢筋等进行接地。同时,对于金属屋顶,应将屋顶妥善接地;对于非金属屋顶,应在屋面上加装金属网络,并进行接地。

#### 2.1.3 雷电侵入波防护措施

雷电侵入波的危害,在低压系统中造成的事故约占70%以上。在防护措施中一般有下列几种。

**2.1.3.1 变配电装置的防护** 高压35kV、低压0.4kV的配电变压器,在高压侧和低压侧均应装设阀型避雷器,对于多雷地区的3~10kV配电变压器,低压侧也应装设一组低压阀型避雷器或击穿保险器。10kV以上的油断路器也应采用阀型避雷器或保护间隙作为对雷电侵入波的防护。多雷地区或易受雷击的地段,直接与架空线连接的电度表也应采取对雷电侵入波的防护措施。

**2.1.3.2 建筑物和构筑物的防护** 雷电侵入波会沿着低压线路传向用户并进入室内,造成大面积的雷害事故。对于建筑物和构筑物或者架空金属管道,雷电

波同样可能引起火灾或爆炸,甚至伤及人身。因此,必须采取必要的相应的防护措施。如条件许可,一般都采用直接埋地电缆供电。低压架空线路接户线绝缘子铁脚均应接地,冲击接地电阻不宜超过  $30\Omega$ 。

#### 2.1.4 人身防雷措施

当雷击造成的雷云对人体放电,使雷电流流入地下时所产生的对地电压以及二次放电,都有可能对人身造成雷击危害。因此,我们应当注意人身防雷的安全措施。

(1)雷击时,应尽量减少在户外或野外逗留,如有条件,应进入有防雷措施的建筑物。在野外或户外最好穿上塑料等不浸水的雨衣,或依靠有防雷屏蔽的街道进行躲避。如在高大的树木下躲避,要注意距离树木  $8\text{m}$  以上。

(2)雷击时,应尽量离开小山、小丘或凸起的小道,还应该尽量离开海滨、河边、湖滨、池旁、铁丝网、金属晒衣绳、旗杆、烟囱、宝塔等地方。尽量避开没有防雷保护措施或设施的地方。

(3)雷击时,在户内应离开照明线、动力线、电话线、广播线和电视机电源线、引入的天线,以防止经由这些线路或导体对人体的雷电侵入波的伤害。据有关资料表明,在户内,雷电对人体的伤害一般都在相距以上这些设施  $1\text{m}$  以内的场合,如相距  $1.5\text{m}$  以上,迄今尚未发现有死亡事故的发生。

(4)雷击时,应关闭门窗,防止球形雷进入室内造成危害。

#### 2.1.5 防雷装置的安全检查

(1)防雷装置的安全检查应从两个方面进行:一是从外观方面进行检查;二是从测量方面进行检查。一般规定  $10\text{kV}$  以下的防雷装置每三年检查一次。避雷器应在每年雷雨季节前检查一次。而且,在每次雷雨后要加强对防雷装置的巡视检查。

(2)外观检查包括检查接闪器、引下线等各部分的连接是否牢固可靠以及腐蚀和锈蚀程度。如锈蚀或腐蚀严重,应及时进行更换。对于阀型避雷器,应检查其瓷套有无裂纹、破损,表面是否清洁等。

(3)测量检查主要是对接地电阻的测量和对泄流电流工频交流放电电压的测试。

## 2.2 特低电压限值和电流对人体的影响

### 2.2.1 特低电压限值和电压

安全电压是指当人体持续接触带电体时,不会造成致死或致残危害的电压。这是从人身安全的意义来讲的,在理论上要确定一个安全电压的数值范围,必须根据人体在不同的接触状态下,由人体自身的电阻值和环境状态以及使用方式、与带电体的接触面积等诸多因素来决定,它并不是一个恒定的数值。但都必须具备三个基本条件:①电压值要很低;②要由特定的电源供电(双线圈隔离变压器);③工

作在安全低电压的电路必须与其他任何无关的电气系统(包括大地)实行电气上的隔离。

目前各国规定的安全电压有些不同。如西欧以及其他多数国家都采用交流 50V 作为安全电压,但也有规定采用 65V 和 120V 的。

我国曾于 1983 年颁布了国家标准(GB3805 - 83),对安全电压数值的上限作出过规定(交流有效值 50V)。为了适应我国科学技术的发展,国家技术监督局在 1993 年 7 月 31 日又颁布了《特低电压(ELV)限值》GB/T3805 - 93 国家标准,并于 1994 年 2 月 1 日实施。

2.2.1.1 人体电阻 人体电阻是由两部分组成:一是体内电阻;二是皮肤电阻。体内电阻一般可以认为是恒定的,其数值为 500 $\Omega$  左右,并与接触电压无关;而皮肤电阻则随着皮肤表面的干燥或潮湿状态而变化,且也随着接触电压的大小而变化,如电压升高,人体电阻则随之下降。接触电压与人体电阻变化关系及接触电压和通过人体电流的关系如图 10.1.1、图 10.1.2 所示。

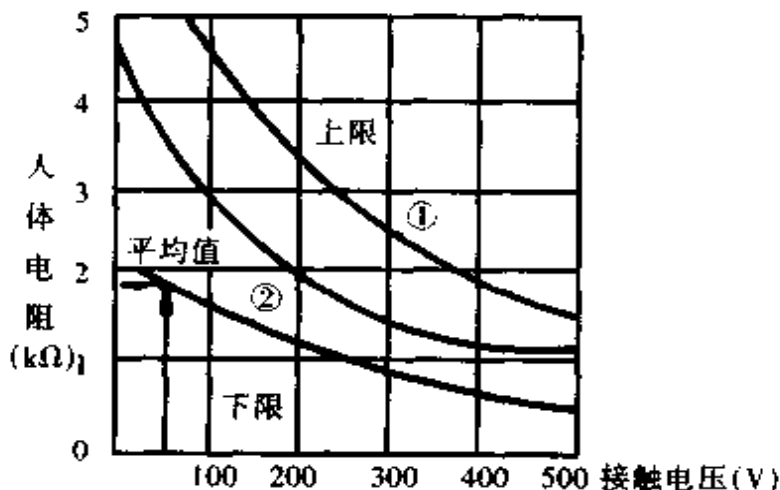


图 10.1.1 接触电压与人体电阻的关系曲线

①干燥皮肤 ②潮湿皮肤

### 2.2.1.2 《特低电压(ELV)限值》GB/T3805 - 93

(1)国家标准对特低电压限值的特定含义作了明确的规定:特低电压限值是指在最不利的情况下(所有预计到应考虑的因素)允许存在于两个可同时触及的可导电部分间的最高电压。可以认为在(GB/T3805 - 93)标准规定的限值范围内的电压,在相应条件下对人是不会有危险的。

(2)国家标准所规定的各种特低电压的限值,主要用以指导正确选择和应用与电击防护有关的电压限值。我们在选用电气设施和电气设备所涉及的特低电压的标称值或额定值时,其值应小于标准所规定的相应的限值,并需留有余量,此余量应足以保证在各种状态和各种外界因素的影响下,电气设施或电气设备中的任何

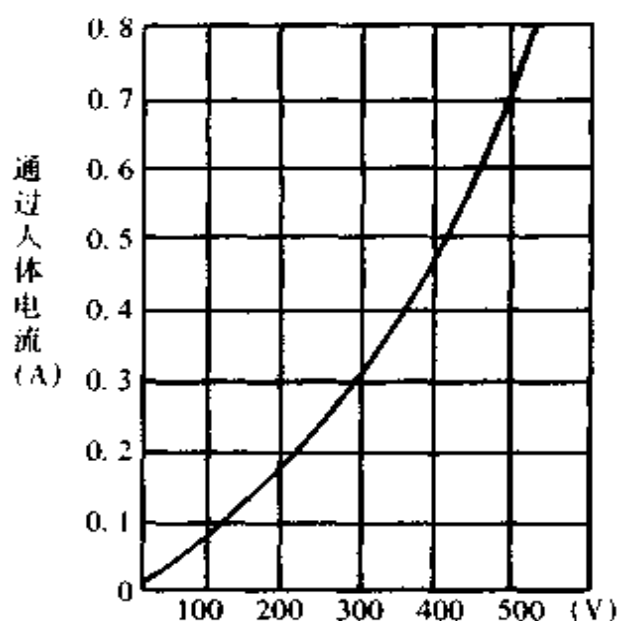


图 10.1.2 接触电压和通过人体电流的关系

两个可被人体同时触及的可导电部分之间可能存在的电压,不会超过相应的电压限值。

(3)国家标准列出了在正常状态和故障状态下,与环境状况有关的稳态直流电压和频率范围为 15~100Hz 稳态交流电压的限值。如表 10.1.1。

表 10.1.1 15~100Hz 交流和直流(无纹波)的稳态电压限值

环境状况	电压限值 (V)					
	正常状态下(无故障)		故障状态下			
			单故障 <sup>①</sup>		两个故障 <sup>②</sup>	
	交流	直流	交流	直流	交流	直流
1	0	0	0	0	16	35
2	16	35	33	70 <sup>③</sup>	(不用)	
3	33 <sup>④</sup>	70 <sup>⑤</sup>	55 <sup>①</sup>	140 <sup>⑥</sup>	(不用)	
4	特殊应用 <sup>⑦</sup>					

注:①“单故障”是指能影响两个可同时触及的可导电部分电压的单一故障。

②“两个故障”是指能影响两个可同时触及的可导电部分间电压的同时存在的两个故障;若其中任何一个故障单独出现,即已影响到可同时触及的可导电部分的电压时,则应先按“单故障”评价。

③对于接触面积小于 1cm<sup>2</sup> 的非可握紧部件,限值允许增大至 66V。

④对于接触面积小于 1cm<sup>2</sup> 的非可握紧部件,限值允许增大至 80V。

- ⑤在电池充电时,限值允许增大到 75V;
- ⑥在电池充电时,限值允许增大到 150V;
- ⑦限值由有关的专业标准化技术委员会规定。

(4)特低电压限值标准的制定考虑的是如下各种环境状况:

- ①环境状况 1:皮肤阻抗和对地电阻均忽略不计(例如人体浸没于水中);
- ②环境状况 2:皮肤阻抗和对地电阻降低(例如潮湿的环境);
- ③环境状况 3:皮肤阻抗和对地电阻均不降低(例如干燥的环境);
- ④环境状况 4:特殊状况(例如电焊、电镀)、特殊状况的影响由各有关专业标准化技术委员会负责定义。

(5)特低电压标准中所提到的单故障发生后的电压限值与故障的持续时间有关:

- ①持续时间在 10s 及以上时,适用表 10.1.1 中的规定值;
- ②持续时间在 10s 及以下的数据尚待研究;
- ③持续时间在 10ms - 10s 之间的电压限值、单脉冲的电压限值以及频率高于 100Hz 的电压限值和带电电容器上的电压限值都可查阅国标 GB/T3805 - 93 中的相应的曲线。

(6)常用的交流特低电压额定值的等级(有效值)有以下五个等级:42V、36V、24V、12V、6V,我们在选用时应注意如下原则:

- ①选用时,应按表 10.1.1 中的规定并需留有余量(凡不属于表中规定范围的,可查标准中的曲线)。
- ②在潮湿的环境下,正常状态时,交流应选用 12V。
- ③在干燥的环境下,正常状态时,交流应选用 23V;单故障状态时,交流可选用 36V 或 42V。

(7)影响特低电压的限值与以下因素有关:

- ①人体阻抗:包括接触电压、皮肤潮湿程度、电流通路、接触面积、接触压力、流过人体的电流的波形和频率。
- ②可触及部分:包括接触面积(指尖、手指、手)、被握紧的可能性、可触及部位的位置;有意识触及/无意识触及。
- ③电气系统:包括交流/直流、波形、频率、单脉冲、参考接地/悬浮接地、与其他系统的隔离情况、电源阻抗、断路装置、标称值/最大值、容差。
- ④外部影响:包括湿度、温度、灰尘、导电率、第二次反应、直接接触/间接接触、衣着。
- ⑤人的能力:包括专业人员、经过培训的人、普通人、儿童、残疾人。
- ⑥界限:以生理效应划分的界限包括感知、反应、疼痛、灼伤、摆脱、麻痹、心脏纤维颤动;以电气参数划分的界限包括电压(交流/直流,方均根值;峰值;波形)、电



流(交流/直流,方均根值)、电能、电荷、频率。

## 2.2.2 电流对人体的影响和安全电流

### 2.2.2.1 通过人体的电流及其反应

(1)感知电流:使人感觉到有电流通过的最小电流称感知电流,人体对此有刺痛感。国外有人曾对 167 名男子进行手握铜导线,并通以交流电,测其最小感知电流的试验。试验结果表明,平均最小感知电流为 1.086mA,个别人仅 0.5mA;对 115 名男子作直流通电试验,平均最小感知电流为 2.5mA,个别人仅 2mA。

(2)摆脱电流:人体能按自身的意识摆脱的最大电流,称为摆脱电流。随着电流的增大,人逐渐感到难以忍受,但尚能有意识控制自己,这一界限很重要,因为安全电流就是根据这一点来确定的。国外有人对 134 名成年男子和 28 名成年女子进行手对手之间的通以工频交流电的摆脱电流测定,试验结果表明,摆脱电流的平均数值,男子为 16mA 左右,女子为 10.6mA。按国际电工委员会(IEC)规定,不论男女,均采用 10mA 作为摆脱电流。

(3)心室颤动电流:当通过心脏的工频交流电流增加到一定的限值时,心脏的正常跳动收缩受到干扰,出现心室颤动,使心脏的正常功能受到破坏,不能继续向人体各部分输送血液,几秒钟后就会引起死亡。这种足以引起心室颤动的电流,称为心室颤动电流。心室颤动电流是随环境和因人而异的,很难测试。一般只能用动物通电进行试验和对触电事故的实际案例来推算。

2.2.2.2 电流通过人体三种不同途径的测试数据 如表 10.1.2 至 10.1.4 所列。

表 10.1.2 交流电流通路 手—躯干—手 mA

感 应 度	被试者比率		
	5%	50%	95%
手表面有感应	0.7	1.2	1.7
手表面似乎有麻痹似的连续针刺感	1.0	2.0	3.0
手关节有连续针刺感	1.5	2.5	3.5
手有轻度颤动,关节有压迫感	2.0	3.2	4.4
前肢部有受手拷压迫似的轻度痉挛	2.5	4.0	5.5
上肢部有轻度痉挛	3.2	5.2	7.2
手硬直痉挛,但能伸开已感觉有轻度疼痛	4.2	6.2	8.2
上肢部、手有剧烈痉挛、失去感觉、手表面有连续针刺感	4.3	6.6	8.9
手的肌肉直到肩部全面痉挛,还能摆脱	7.0	11.0	15.0

表 10.1.3 交流电流通路 单手—躯干—两脚

mA

感 应 度	被试者比率		
	5%	50%	95%
手表面有感应	0.9	2.2	3.5
手表面有麻痹似的连续针刺感	1.8	3.4	5.0
关节有轻度压迫感,有强度的连续针刺感	2.9	4.8	6.7
前肢部有压迫感	4.0	6.0	8.0
脚底下开始有连续针刺感,前肢部压迫感	5.3	7.6	10.0
手关节有轻度痉挛,手动有困难	5.5	8.5	11.5
上肢部有连续针刺感,腕部特别是手的关节有强度痉挛	6.5	9.5	12.5
手到肩部有强烈针刺感,前肢到脚硬直,仍能摆脱	7.5	11.0	14.5
手指关节、踝骨、脚跟有压迫感,手的大拇指完全痉挛	8.8	12.3	15.8
只有尽最大努力才能摆脱	10.0	14.0	18.0

表 10.1.4 直流电流通路 手—躯干—手

mA

感 应 度	被试者比率		
	5%	50%	95%
手表面及指尖端稍有连续针刺感	6	7	8
手表面发热,有剧烈的连续针刺感,手关节轻度压迫感	10	12	15
手关节及手表面有针刺似的强烈压迫感	18	21	25
前肢部有连续的针刺感,手关节有压痛,手有刺痛强烈的灼热感	25	27	30
手关节强度压痛,直到肩部有连续针刺感	30	32	35
手关节有剧烈的压痛,手似针刺般疼痛	30	35	40

在表 10.1.2 中,试验是通以交流工频电流有效值(mA)时,人所能感知到的感应度,通过的途径是手—躯干—手。以第一行为例,5%的被试者对于 0.7mA 的电流就有感觉;但对电流为其 2.5 倍的 1.7mA,却有 5%的被试者竟没有感觉。

在表 10.1.3 中,试验也是通以交流工频电流有效值(mA)为依据的,但由于其电流通路是单手—躯干—两脚,所以得出的各种电流值要比表 10.1.2 的数值大。

这是由于电流通过双脚,电流密度比手小,所以脚的感应度要低些。

表 10.1.4 则是通以直流电测试手—躯干—手途径的感应度。从表 10.1.5 中可以看出,频率对感知度的影响是很明显的。

**2.2.2.3 电流对人体的综合影响** 电流对人体的综合影响见表 10.1.5。电流通过人体后,使肌肉收缩产生运动,造成机械性损伤。电流产生的生物化学效应将引起人体一系列的病理反应和变化,从而使人体遭受严重的伤害。其中尤为严重的是当电流流经心脏时,微小的电流即可引起心室纤维性颤动,导致人死亡。电击对人体的伤害程度与电流的种类(直流、交流)、大小、途径、接触部位、通电的持续时间长短以及人体健康状况、精神状态等因素都有关系。

表 10.1.5 触电电流和人体的生理反应

50 周/秒 交流有效值 (mA)	通电时间	人体的生理反应
0~0.5	连续也无危险	未感到电流
0.5~5	连续也无危险	开始感到有电流,但未到痉挛极限,可以摆脱,触电后,能自动地摆脱,但手指手腕已有痛感
5~30	以数分钟为极限	难以或不能摆脱的电流范围,呼吸困难,血压升高但仍属可忍耐的限度
30~50	由数秒到数分	心脏跳动不规则,昏迷,血压升高,引起强烈痉挛,长时间将要引起心室颤动
50~80	低于 0.75s	虽受强烈冲击,但未发生心室颤动
	低于 0.75s	发生心室颤动、昏迷,接触部位留有电流通过痕迹
80~100	延续 3s	心室颤动,心脏麻痹昏迷
300 及以上	作用 0.1s 以上	心脏麻痹,机体组织遭到电流的热破坏,有烧伤死亡的可能

**2.2.2.4 安全电流** 事实上,造成触电死亡的直接原因并不是电压,而是电流,因此,我们在规定和制定安全保护措施时,还必须考虑电流。

人们习惯于用“安全电流”这个概念来确定电流对人的伤害。要简明地给出一个电流数值来划定安全与不安全的界限,这是很困难的。

当一电流通过人体时,究竟会有危险还是无危险,除了这一电流的强度大小因素外,还与其他诸多因素有关,其中最重要的因素是通电时间的长短,其他还与电流通过人体时的路径,电流的种类,人体体质、年龄、性别,人体接触导体的面积、紧密程度、接触面的湿度等等因素有关,因此很难简单地定出一个针对人体安全的“安全电流”标准值。

我国目前还没有安全电流的标准,为了便于设计保护装置和制定安全规程,规

范,现在国内外一般都从两个方面来考虑“安全电流”:一种是无保护状态下的人身安全电流,一种是有保护状态下的安全电流。

(1)无保护状态下的安全电流,是以通电时间为无限长作为考虑基础,宜以人体的(摆脱电流)值作为安全电流。目前根据国际电工委员会(IEC)标准中的提议,不论男女老少均采用10mA为摆脱电流。

(2)有保护状态下的安全电流,应与保护装置切断电源的时间一起考虑。一般情况下,电击电流强度与通电时间的交点不应超越图10.1.3中的区域③。

在我国,国家标准中对漏电流保护器的动作电流和动作时间的要求,基本上就是按照上述原则而确定的。国家标准对漏电流保护器在安全使用中,要求它在通过额定动作电流时,动作时间为不大于0.2s;在通过250mA电流时,动作时间应不大于0.04s,我们可以从图10.1.3中查到,动作电流和动作时间这两个数值的交点都没有超越区域③,所以没有生命危险。

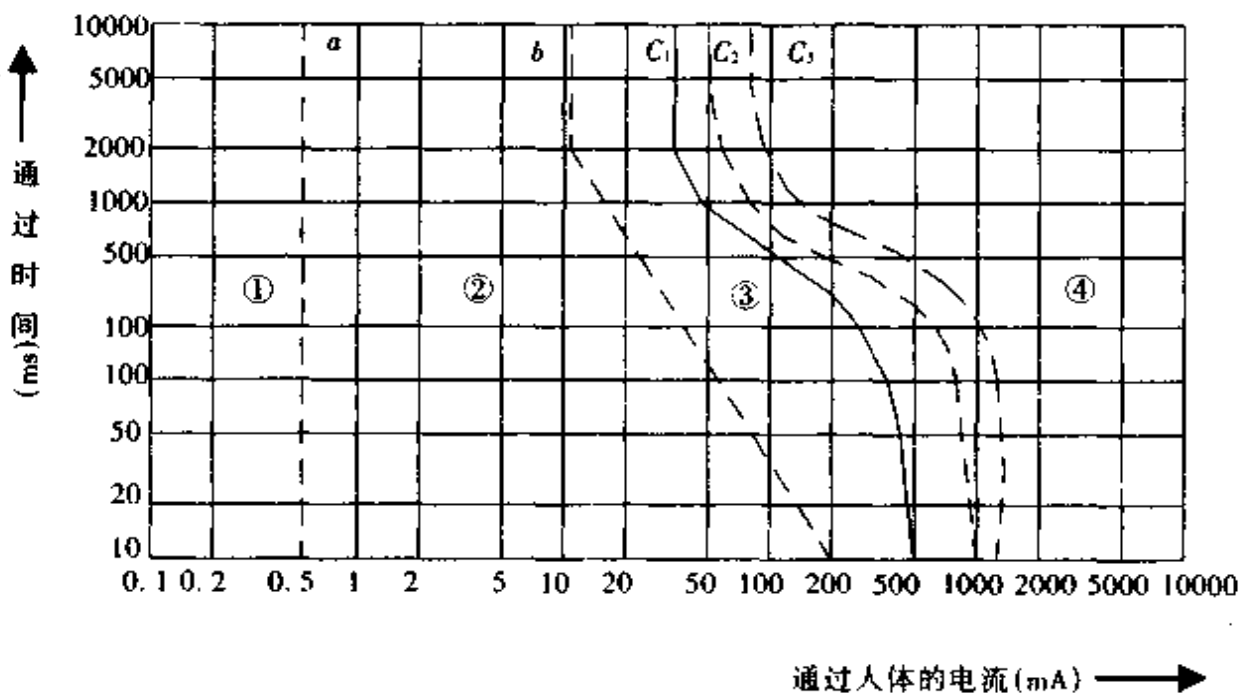


图 10.1.3 交流电流(15~100Hz)通过人体时的电流-时间-效应区域划分

## 2.3 紧急救护法

### 2.3.1 通则

(1)紧急救护的基本原则是在现场采取积极措施抢救伤员生命,减轻伤情,减少痛苦,并根据伤情需要,迅速联系医疗部门救治。急救的成功条件是动作快,操作正确。任何拖延和操作错误都会导致伤员伤情加重或死亡。

(2)要认真观察伤员全身情况,防止伤情恶化。发现呼吸、心跳停止时,应立即在现场就地抢救,用心脏复苏法支持呼吸和循环,对脑、心重要脏器供氧。应当记住只有在心脏停止跳动后分秒必争地迅速抢救,救活的可能性才较大。

(3)现场工作人员都应定期进行培训,学会紧急救护法。会正确解脱电源、会心肺复苏法、会止血、会包扎、会转移搬运伤员、会处理急救外伤或中毒等。

(4)生产现场和经常有人工作的场所应配备急救箱,存放急救用品,并应指定专人经常检查、补充或更换。

### 2.3.2 触电急救

2.3.2.1 触电急救 触电急救,必须分秒必争,立即就地迅速用心肺复苏法进行抢救,并坚持不断地进行。同时要及早与医疗部门联系,争取医务人员快速接替救治。在医务人员未接替救治前,不应放弃现场抢救,更不能只根据没有呼吸或脉搏而擅自判定伤员死亡,放弃抢救。只有医生有权做伤员死亡的诊断。

#### 2.3.2.2 脱离电源

(1)触电急救,首先要使触电者迅速脱离电源,越快越好。因为电流作用的时间越长,伤害就越重。

(2)脱离电源就是要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、刀闸或其他断路设备断开;或设法将触电者与带电设备脱离。在脱离电源的过程中,救护人员既要救人,也要注意保护自己。

(3)在触电者未脱离电源前,救护人员不准直接用手触及伤员,因为有触电的危险。

(4)如触电者处于高处,解脱电源后会自高处坠落,因此,要采取预防措施。

(5)触电者若触及的是低压带电设备,救护人员应设法迅速切断电源,如拉开电源开关或刀闸,拔下电源插头等;或使用绝缘工具,如干燥的木棒、木板、绳索等不导电的东西,解脱触电者;也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服,将其拖开,切记要避免碰到金属物体和触电者的裸露身躯;也可戴绝缘手套或将手用干燥衣物等包起绝缘后解脱触电者;救护人员也可站在绝缘垫上或干木板上,绝缘自己后进行救护。为使触电者与导电体解脱,最好用一只手进行。如果电流通过触电者入地,并且触电者紧握电线,可设法用干木板塞到身下,使其与地隔离;也可用干木把斧子或有绝缘柄的钳子等将电线剪断,剪断电线要一根一根地分相剪断,并尽可能站在绝缘物上或干木板上。

(6)触电者若触及的是高压带电设备,救护人员应迅速切断电源,或用适合该电压等级的绝缘工具(戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒)解脱触电者。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离。

(7)如果触电发生在架空线杆塔上,如系低压带电线路,若有可能立即切断线路电源的,应迅速切断电源,或者由救护人员迅速登杆,束好自己的安全皮带后,用

带绝缘胶柄的钢丝钳、干燥的不导电物体或绝缘物体将触电者拉离电源；如系高压带电线路，又不可能迅速切断电源开关的，可采用抛挂足够截面的、适当长度的金属短路线方法，使电源开关跳闸。抛挂前，将短路线一端固定在铁塔或接地引线上，另一端系重物。但抛掷短路线时，应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全。不论是哪级电压线路上的触电，救护人员在使触电者脱离电源时要注意防止发生高处坠落的可能和再次触及其他带电线路的可能。

(8)如果触电者触及断落在地上的带电高压导线，且尚未确认线路无电时，救护人员在未做好安全措施（如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃地接近触电者）前，不能接近断线点8~10m范围内，以防止跨步电压伤人。触电者脱离带电导线后，亦应迅速带至8~10m以外，立即开始触电急救。只有在确认线路已经无电时，才可在触电者离开触电导线后，立即就地地进行急救。

(9)救护触电伤员切除电源时，有时会同时使照明失电，因此应考虑事故照明、应急灯等临时照明。新的照明要符合使用场所防火、防爆的要求，但不能因此延误切除电源和进行急救。

### 2.3.2.3 伤员脱离电源后的处理

(1)触电伤员如神志清醒，应使其就地平躺，严密观察，暂时不要站立或走动。

(2)触电伤员如神志不清，应使其就地仰面躺平，且确保气道通畅，并用5s时间，呼叫伤员或轻拍其肩部，以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员。

(3)需要抢救的伤员，应立即就地坚持正确抢救，并设法联系医疗部门接替救治。



图 10.1.4 看、听、试

### 2.3.2.4 呼吸、心跳情况的判定

(1)触电伤员意识丧失，应在10s内，用看、听、试的方法（见图10.1.4），判定伤员呼吸心跳情况。看——看伤员的胸部、腹部有无起伏动作；听——用耳贴近伤员的口鼻处，听有无呼气声音；试——试测口鼻有无呼气的 airflow。再用两手指轻试一侧（左或右）喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动。

(2)若看、听、试结果,既无呼吸又无颈动脉搏动,可判定呼吸、心跳停止。

2.3.2.5 心肺复苏法 触电伤员呼吸和心跳均停止时,应立即按心肺复苏法支持生命的三项基本措施:通畅气道;口对口(鼻)人工呼吸;胸外按压(人工循环),正确进行就地抢救。

(1)通畅气道。①触电伤员呼吸停止,重要的是始终确保气道通畅。如发现伤员口内有异物,可将其身体及头部同时侧转,迅速用一个手指或用两手指交叉从口角处插入,取出异物。操作中要注意防止将异物推到咽喉深部。②通畅气道可采用仰头抬颌法(见图 10.1.5)。用一只手放在触电者前额,另一只手的手指将其下颌骨向上抬起,两手协同将头部推向后仰,舌根随之抬起,气道即可通畅。判断气道是否通畅可参见图 10.1.6 所示,严禁用枕头或其他物品垫在伤员头下,因为头部抬高前倾会更加重气道阻塞,且使胸外按压时流向胸部的血流减少,甚至消失。



图 10.1.5 仰头抬颌法

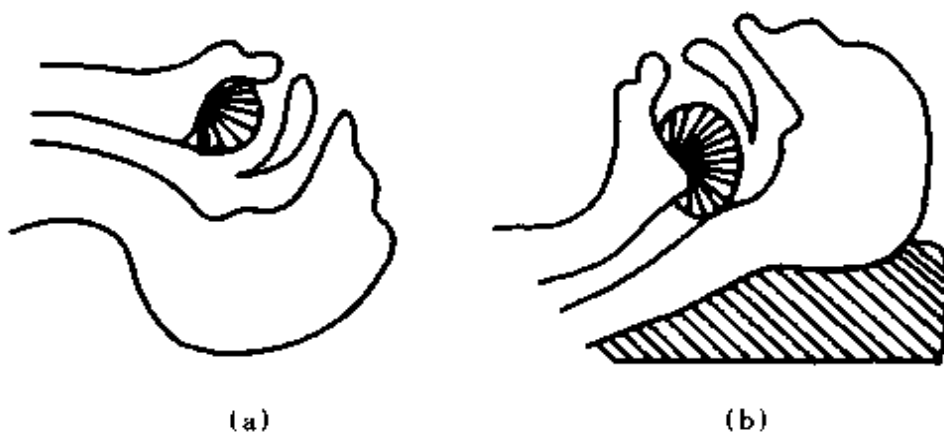


图 10.1.6 气道状况判断  
(a)气道状况 (b)气道塞阻

(2)口对口(鼻)人工呼吸(见图 10.1.7)。①在保持伤员气道通畅的同时,救护人员用放在伤员额上的手指捏住伤员鼻翼,救护人员深吸气后,与伤员口对口紧合,在不漏气的情况下,先连续大口吹气两次,每次 1~1.5s。如两次吹气后试测颈动脉仍无搏动,即可判断心脏已经停止跳动,应立即进行胸外按压。②除开始时大口吹气两次外,正常口对口(鼻)呼吸的吹气量不需过大,以免引起胃膨胀。吹气和放松时要注意伤员胸部应有起伏的呼吸动作。吹气时如有较大阻力,可能是头部后仰不够,应及时纠正。③触电伤员如牙关紧闭,可采用口对鼻人工呼吸。口对鼻人工呼吸吹气时,要将伤员嘴唇紧闭,防止漏气。

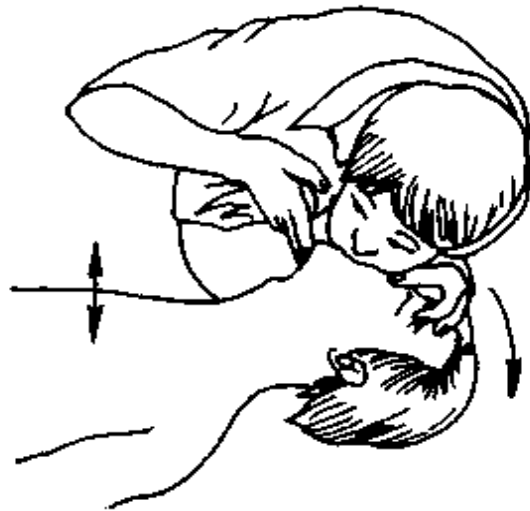


图 10.1.7 口对口人工呼吸

(3)胸外按压。正确的按压位置是保证胸外按压效果的重要前提。确定正确按压位置的步骤如下:①右手的食指和中指沿触电伤员的右侧肋弓下缘向上,找到肋骨和胸骨接合处的中点。②两手指并齐,中指放在切迹中点(剑突底部),食指平放在胸骨下部。③另一只手的掌根紧挨食指上缘,置于胸骨上,即为正确按压位置(见图 10.1.8)。

正确的按压姿势是达到胸外按压效果的基本保证。正确的按压姿势如下:①使触电伤员仰面躺在平硬的地方,救护人员立或跪在伤员一侧肩旁,救护人员的两肩位于伤员胸骨正上方,两臂伸直,肘关节固定不屈,两手掌根相叠,手指翘起,不接触伤员胸壁。②以髋关节为支点,利用上身的重力,垂直将正常成人胸骨压陷 3~5cm(儿童和瘦弱者酌减)。③压至要求程度后,立即全部放松,但放松时救护人员的掌根不得离开胸壁(见图 10.1.9)。

按压必须有效。有效的标志是按压过程中可以触及颈动脉有搏动。操作频率如下:①胸外按压要以均匀速度进行,每分钟 80 次左右,每次按压和放松的时间相等。②胸外按压与口对口(鼻)人工呼吸同时进行,其节奏为:单人抢救时,每按压 15 次后吹气 2 次(15:2),反复进行;双人抢救时,每按压 5 次后由另一人吹气 1 次



(5:1),反复进行。

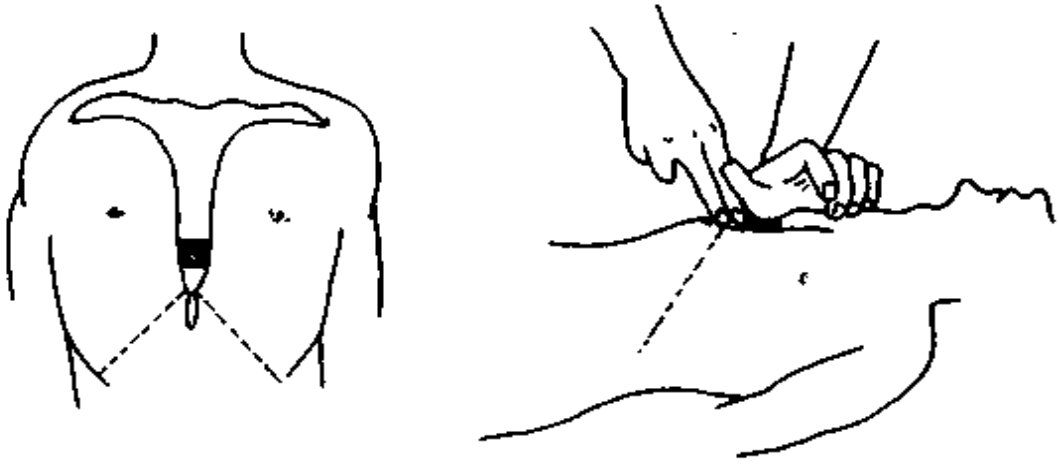


图 10.1.8 正确的按压位置

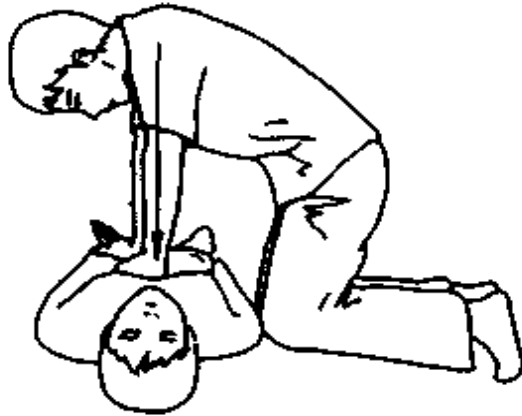


图 10.1.9 按压姿势与用力方法

#### 2.3.2.6 抢救过程中的再判定

(1)按压吹气 1min 后(相当于单人抢救时做了 4 个 15:2 压吹循环),应用看、听、试方法在 5~7s 时间内完成对伤员呼吸和心跳是否恢复的再判定。

(2)若判定颈动脉已有搏动但无呼吸,则暂停胸外按压,而继续进行 2 次口对口人工呼吸,接着每 5s 吹气一次(即每分钟 12 次)。如脉搏和呼吸均未恢复,则继续坚持心肺复苏法抢救。

(3)在抢救过程中,要每隔数分钟再判定一次,每次判定时间均不得超过 5~7s。在医务人员未接替抢救前,现场抢救人员不得放弃现场抢救。

#### 2.3.2.7 抢救过程中伤员的移动与转院(见图 10.1.10)

(1)心肺复苏应在现场就地坚持进行,不要为方便而随意移动伤员。如确需要移动时,抢救中断时间不应超过 30s。

(2)移动伤员或将伤员送医院时,应使伤员平躺在担架上,并在其背部垫以平硬阔木板。移动或送医院过程中应继续抢救,心跳呼吸停止者要继续心肺复苏法

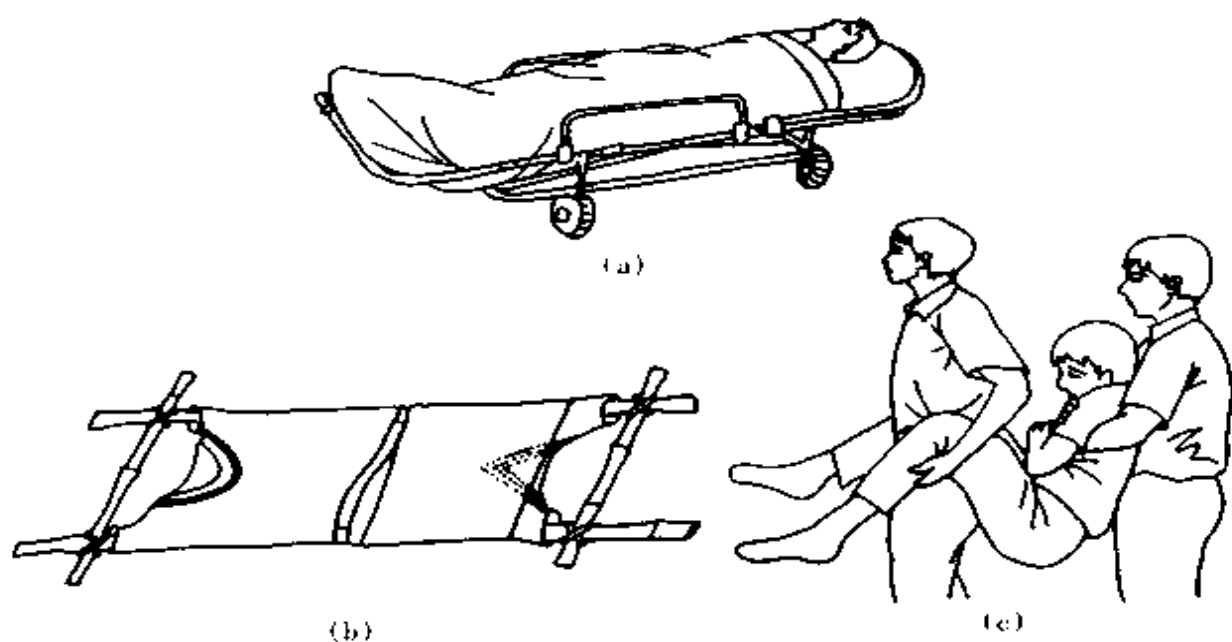


图 10.1.10 伤员的移动

(a) 正常担架 (b) 临时担架及木板 (c) 错误搬运

抢救。在医务人员未接替救治前不能中止。

(3)应创造条件,用塑料袋装入砸碎冰屑作成帽状包绕在伤员头部,露出眼睛,使脑部温度降低,争取心肺脑完全复苏。

2.3.2.8 伤员好转后的处理 如伤员的心跳和呼吸抢救后均已恢复,可暂停心肺复苏法操作。但心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停,应严密监护,不能麻痹,要随时准备再次抢救。

初期恢复后,神志不清或精神恍惚、躁动,应设法使伤员安静。

2.3.2.9 杆上或高处触电急救 发现杆上或高处有人触电,应争取时间及早在杆上或高处开始进行抢救。救护人员登高时应随身携带必要的工具和绝缘工具以及牢固的绳索等,并紧急呼救。救护人员应在确认触电者已与电源隔离,且在救护人员本身所处环境的安全距离内无危险电源时,方能接触伤员进行抢救,并应注意防止发生高空坠落的可能性。

触电伤员脱离电源后,救护人员应将伤员扶卧在自己的安全带上(或在适当地方)躺平,并注意保持伤员气道通畅。同时要迅速按上面介绍的方法判定反应、呼吸和循环情况。如伤员呼吸停止,立即口对口(鼻)吹气2次,再测试颈动脉,如有搏动,则每秒钟继续吹气一次;如颈动脉无搏动时,可用空心拳头叩击心前区2次,促使心脏复跳。

高处发生触电,为使抢救更为有效,应在合适的时间,及早设法将伤员送至地面。在完成上述措施后,应立即用绳索迅速将伤员送至地面,或采取可能的迅速有效措施送至平台上。在将伤员由高处送至地面前,应再口对口(鼻)吹气4次。触

电伤员送至地面后,应立即继续按心肺复苏法坚持抢救。

2.3.2.10 现场触电抢救 现场触电抢救,对采用肾上腺素等药物应持慎重态度。如没有必要的诊断设备条件和足够的把握,不得乱用。在医院内抢救触电者时,由医务人员经医疗仪器设备诊断,根据诊断结果决定是否采用。

## 3 用电设备的安全保护

### 3.1 漏电保护装置

#### 3.1.1 漏电保护器的工作原理

当线路、用电设备、人或牲畜等被保护对象,一旦发生触电、漏电或其他故障时,由漏电或触电引起的接地故障所产生的接地电流,通过大地返回变压器的中性点。经漏电保护器中的检测机构 and 放大机构的检测、放大,如果接地电流超过预定值时,通过判断机构的漏电脱扣器来驱动主回路中的执行机构,从而在规定时间内迅速切断电源,达到防止漏电或触电的目的。

#### 3.1.2 漏电保护器的选用

漏电保护器应根据不同线路、接地、供电方式、负载性质以及使用环境等各种因素来选用。

(1)用于低压电网的漏电保护器,主要以确保人身触电时的安全为考虑依据。在选择漏电保护器时,应考虑保护目的、负载类型、接地状况以及线路和设备的电压、电流等因素。一般应以实现间接接触防护(接地保护)为主,并在躲过线路正常漏电流前提下尽量选用额定漏电动作电流较小的漏电保护器,以兼顾人身和设备的安全要求。

(2)对于电动机负载和实验分电盘、插座与家用分支线路等(包括移动用电设备和用在金属构筑物场所),以及临时用电设备或者因潮湿容易引起误动作现象与电气绝缘材料老化的负载线路,一般应设置额定漏电流不超过 30mA、动作时间不大于 0.2s 的高灵敏快速型漏电保护器。

(3)装设在工厂动力盘干线上的漏电保护器,应选择与负载设备接地并用的中灵敏快速型产品。

(4)以防止烧坏设备或因漏电引起火灾为保护目的时,应选用中灵敏延时型漏电保护器。

(5)装设于工厂、大楼之类的电灯、插座线路以及类似于暖房的使用线路等的漏电保护器,在选用额定漏电动作电流时要注意其负载设备的数量和容量增加的可能性,线路长度以及大量采用荧光灯、放电管等而使大地充电电流增加等因素。安装在这些线路里的漏电保护器其额定漏电动作电流要从电流值增加这一点作充

分考虑。

(6)不论是电灯、插座线路还是动力线路,装设漏电保护器均宜采用分级保护,考虑干线与分支线路之间要有一定的选择性。在干线上的额定漏电动作电流,与分支线路的额定漏电不动作电流总和之比值应选定在 2.5 以上。同时,要注意装设在分支线路里的漏电保护器,对其接地电流的协调性,以避免引起不必要的误动作。为此,在干线里宜采用中灵敏延时型漏电保护器。

(7)在计算机电源线路中,为了避免干扰信号的侵入,在其入口处往往设置电容器,因而会引起漏电流增加的可能。此时,应全面考虑干线保护范围内的负载设备,若分支线路多,则负载电流就大,受到静电电容等影响也大,漏电流也就增加,从而容易发生误动作。在这种情况下,计算机电源侧不宜装设漏电断路器,而应使用漏电继电器。

(8)在石油化工厂等采用不接地系统的场合,根据工厂电气设备防爆要求,应装设高灵敏的接地自动切断装置或接地自动报警装置。

(9)使用室内型还是室外型产品,应根据环境状况、安装现场、工作需要等情况来确定。对于多尘埃的地方,必须选用防尘型漏电保护器。

(10)对于有腐蚀性的特殊环境,必须选用防蚀型漏电保护器;对于易燃易爆场所,必须选用防爆型漏电保护器。

(11)对于电气冷藏库、化工生产成形机、医院手术室等一些特殊照明场所,以及连续生产的冶金行业和生物育苗养殖场等不能停电的工矿企业和监视点,宜安装漏电报警器。

(12)对于易被雨淋场所,一般除了安装防溅型漏电保护器之外,还应采用分别接地措施,以确保安全。

### 3.1.3 漏电保护器的安装与使用

漏电保护器的灵敏度和投运率的高低除了要正确地选型外,还应注意掌握正确地安装使用和重视维护保养。

3.1.3.1 安装前的检查 阅读说明书,了解漏电保护器的铭牌、性能参数和正确的接线方式。检查漏电保护器的极数、额定电压、额定电流、额定漏电动作电流和分段时间等参数是否与所选定的一致;使漏电保护器在空载情况下接入电源,然后按动试验按钮,检查能否正确动作。

#### 3.1.3.2 安装前注意事项

(1)对电源系统的要求:①电压动作型漏电保护器必须用于电源变压器中性线不接地系统;②电流动作型漏电保护器使用于电源变压器中性线接地的供电系统,并且两相邻分支线路应有各自的专用中性线。

(2)对安装场所的要求:为了避免阳光的影响使壳体内温度上升,需将漏电保护器安装在不受阳光直射或阴凉的地方。

(3)对进出接线的要求:对标有电源侧和负载侧的漏电保护器,安装接线必须加以区别。漏电保护器电源侧与负载侧的接法如图 10.1.11 所示。漏电保护器的进出线连接不仅要正确,还要注意其端子导线必须牢固连接,以防引起发热。

(4)对安装方向要求:漏电保护器的安装位置和方向,一般采用竖向或横向安装在与地面相对垂直的平面上。其安装方向详见图 10.1.12 所示。

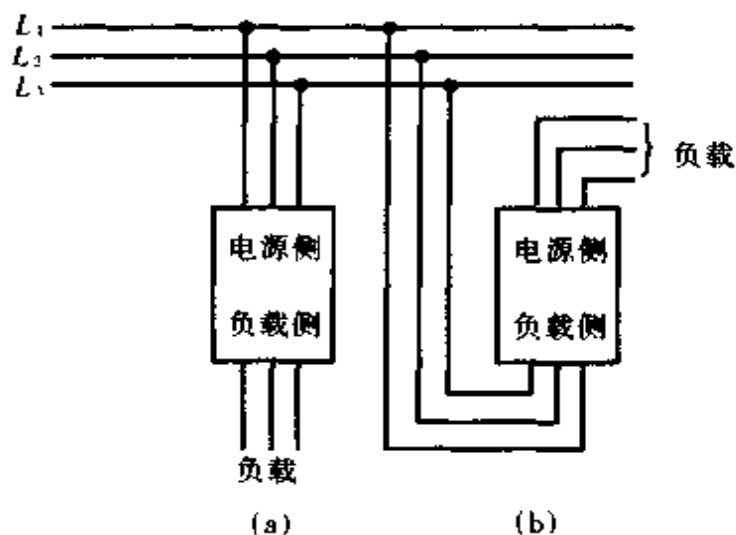


图 10.1.11 漏电保护器电源侧与负载侧的接法  
(a) 正确 (b) 错误

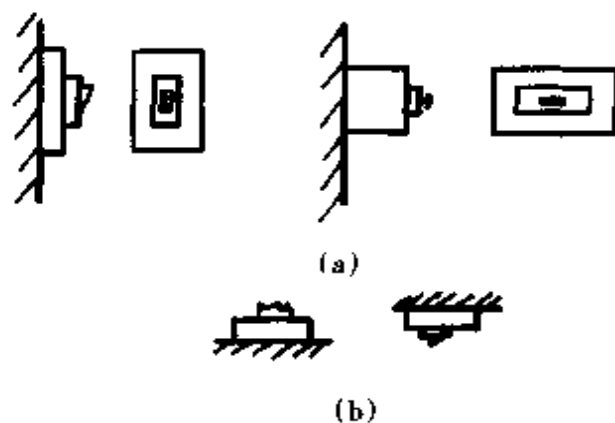


图 10.1.12 漏电保护器安装方向  
(a) 正确 (b) 错误

### 3.1.3.3 投入运行前的检查

(1)分明手柄和按钮的标志。有漏电、触电指示的,如需要复位的必须先经复位后才能使漏电保护器重新投入运行。

(2)检查接线正确与否。漏电保护器负载侧所接的负载,不得与未经该漏电保护器的任何相、中性线有电气连接。通俗地说,用电设备不得借用中性线或公共零线。

(3)利用试验按钮,验证漏电保护器能否正确动作。

**3.1.3.4 巡视检查** 漏电保护器在使用中需要进行巡视,其巡视的内容主要是对其外观的检查。

**3.1.3.5 停电检查** 若短时间停电,则进行外观检查,使其动作正常;若长时间停电,还要对异常部分进行修理以及按标准进行内部检查。

**3.1.3.6 故障的排除与处理** 在使用中,如出现异常情况,应及时查明原因,弄清究竟是由线路还是漏电保护器内部元件故障所引起的。如涉及漏电保护器本身的滑扣、拒扣、触头不紧、不能合闸或合闸紧、不动作、自动作、过温动作、动作点过低或过高、手柄靠偏、跳扣与按钮复位差或不复位等情况,要弄清属于产品质量问题还是与使用不当等其他因素有关。一般检查顺序是:电源电压是否偏移;接线端子与导线连接是否牢固可靠;在负载侧的用电设备或线路是否有接地故障;漏电保护器自身是否正常。

经检查后,分析产生异常情况的原因,如发现漏电保护器本身有问题,应及时换新。对换下来的漏电保护器应经过严格的检查、维修和复查。不能修复的应当报废。严禁使用修复后未经复查的漏电保护器。复查应按规定的检验标准进行,复查合格后才可使用。

**3.1.3.7 误动作的原因** 用电装置原来采用保护接零而出现了“重复接地”;与漏电保护器的零线合用,或与该漏电保护器以外的电气回路互相借用零线;低压线路原来安装不合理;三相四线负载使用三相三线的漏电保护器;漏电保护器的接线不当等。

#### 3.1.3.8 防止误动作的措施

(1)在三相四线制电路中,可在单相照明和三相动力的负载侧各自安装漏电保护器,使之分别供电,以防止误动。

(2)对于在室外施工时,多路负载共用一台漏电保护器而引起频繁动作的情况,应将分支线路采用分路单独供电方式连接漏电保护器。

(3)用电设备离开装有漏电保护器的配电箱较远时,往往采用电源接线箱解决设备用电。这种接线箱,因是单相与三相兼用的,所以用于三相负载设备没有问题。但用于单相负载设备时,只要一通电,就会引起漏电保护器动作。其防止方法是:将单相插座里的中性线与接地线分开,或将单相、三相分开采用各自的移动配电箱。

(4)装有漏电保护器与不允许装漏电保护器的用电设备不得共用一组接地装置。

(5)对于接零系统的单位,若使用单相或三相四线的漏电保护器时,其重复接地只能接在漏电保护器的电源侧,而不允许接在负载侧。详见接线图 10.1.13 所示。

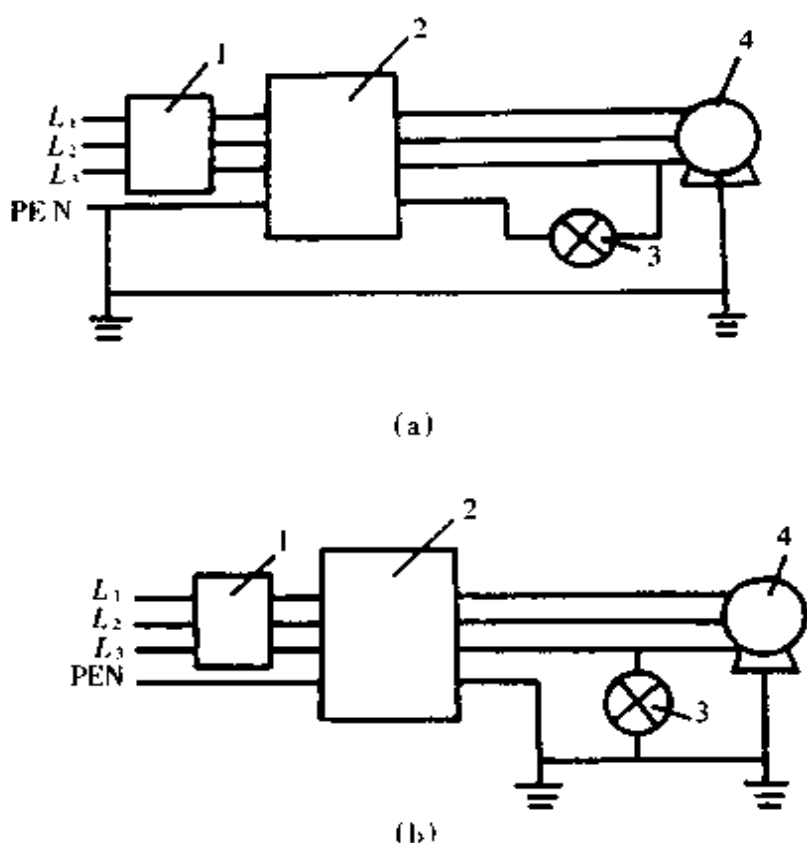


图 10.1.13 重复接地的接法

(a)错误 正确(b)

1—低压断路器 2—漏电保护器 3—信号灯 4—电动机(负载)

(6)漏电保护器负载侧使用的中性线应通过其内部的零序电流互感器,不得将其跨接或并联跨接至负载侧。同时要注意,电路的中性线必须从漏电保护器的负载侧对大地绝缘。见图 10.1.14 所示。

(7)为了防止电磁感应干扰造成漏电保护器误动作,应尽可能缩短线路长度,最好采用屏蔽方法,将导线穿管敷设。

(8)为了防止雷电感应的过电压和操作过电压等引起的误动作,可采用延时型或冲击波电压不动作型漏电保护器。

(9)当水银灯和荧光灯的数量过多时,由于镇流器产生的高电势所产生的对地电容充电电流会引起误动作,此时应适当缩减灯具的数量与长度,同时在一次、二次侧采用绝缘措施,并不得使用自耦式镇流器。

(10)因电动机起动电流和漏电保护断路器瞬时脱扣装置的不协调而引起误动

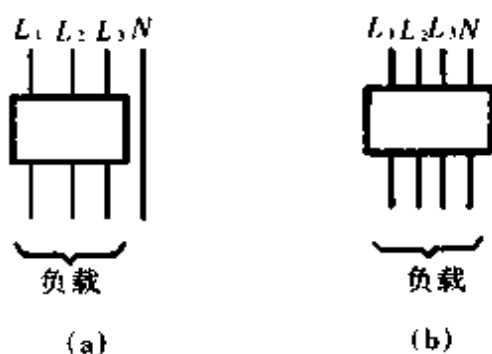


图 10.1.14 漏电保护器电源中性接法

(a)错误 (b)正确

作,应采用适合电动机特性的过电流漏电保护器。

(11)由电焊机冲击电流引起的误动作,与电焊机的容量电流调整分接头的位置、电源的相位及回路阻抗等因素有关系。因此,漏电保护器能承受过渡冲击电流以及电压波动,并带有过电流瞬时脱扣元件的动作特性要大于电焊机过渡冲击电流的性能。

(12)漏电保护器的零序电流互感器中出现不平衡电流时会引起误动作,预防措施是采用高磁导率铁心材料以及进行磁性屏蔽等。

## 3.2 保护接地和接零装置

当电气设备绝缘损坏或被击穿而出现对地故障时,电气设备不带电的金属外壳会出现危险的的对地电压,人体一旦触及,就有可能发生触电危险。

保护接地和接零装置就是防止人体接触意外带电外壳引起触电事故的基本有效的安全措施。工厂内如果采用了保护接地(接零)装置,就会降低外壳对地电压或产生对地短路电流,使电源开关断开或使熔断器快速熔断,从而切断电源,防止触电事故的发生。

### 3.2.1 保护接地和接零的基本概念和工作原理

#### 3.2.1.1 保护接地

(1)基本概念:将在故障情况下可能出现危险的的对地电压的用电设备的不带电金属外壳及其附件(如支架和框架等)与大地做紧密地连接,这种装置称保护接地装置。如果电气设备的外壳不接地,那么当电气设备一相带电体的绝缘损坏并碰壳时,其外壳就会存在相对地的电压,人体一旦误碰或接触到带相电压的外壳,电源→用电设备→人体→电源,就会形成电流回路,造成触电事故,见图 10.1.15。

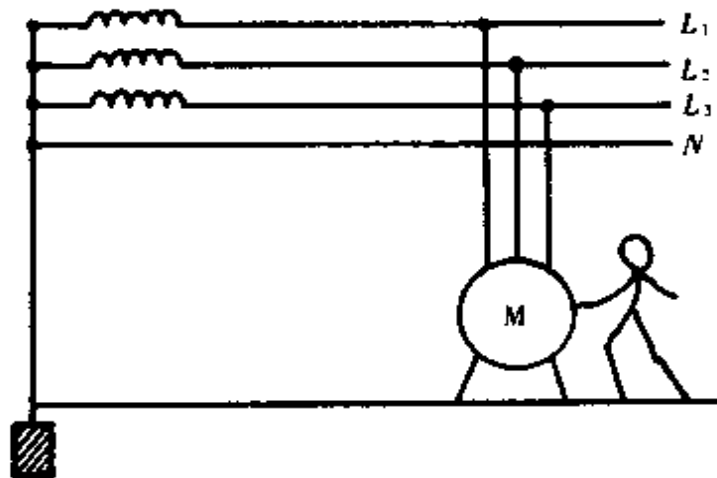


图 10.1.15 电气设备金属外壳不接地

(2)工作原理:如果用电设备采用了保护接地装置,那么,当电气设备一相带电



体的绝缘损坏并碰壳时,其接地短路电流就较大。根据欧姆定律可求得:

$$I_{j\text{d}} = \frac{U_{\text{r}}}{R_{\text{jd}} + R_{\text{n}}} = \frac{220\text{V}}{4\Omega + 4\Omega} = 27.5\text{A}$$

式中  $I_{\text{jd}}$ ——接地短路电流(A);

$U_{\text{r}}$ ——相对地电压(V);

$R_{\text{jd}}$ ——用电设备外壳保护接地电阻( $\Omega$ );

$R_{\text{n}}$ ——变压器中性点工作接地电阻( $\Omega$ )。

在接地短路电流的作用下,27.5A的接地短路电流能使一定容量的熔断器或自动空气断路器断开,从而达到切断电源、确保人身安全的目的。

(3)可靠性:保护接地装置是否能可靠而迅速地工作,将直接影响到人身安全与用电设备的保护。因此,为了保证保护接地装置工作的可靠性,接地短路电流应不小于熔断器额定电流的2.5倍或自动空气断路器整定电流的1.25倍。如果电气设备容量较大,熔断器额定电流大于 $\frac{27.5\text{A}}{2.5} = 11\text{A}$ 时,熔断器将不熔断;或当自动空气断路器的额定电流大于 $\frac{27.5\text{A}}{1.25} = 22\text{A}$ 时,自动空气断路器将不动作。此时,

在该用电设备的外壳上将会长期存在着对地电压  $U_{\text{jd}} = I_{\text{jd}} \cdot R_{\text{jd}} = \frac{220\text{V}}{4\Omega + 4\Omega} \times 4\Omega =$

100V。当人体碰到该设备时就可能有电流  $I_{\text{jd}} = \frac{100\text{V}}{800\Omega} \approx 0.138\text{A}$  通过人体。人体

在出汗时的电阻一般按600~800 $\Omega$ 计算,这个0.138A的电流对人体是非常危险的。为了安全,保护接地装置的工作必须可靠,为此,要求保护接地电阻越小越好。一般减小接地电阻的方法是尽量利用自来水管等自然接地体,采用多点接地、网状接地等措施。

### 3.2.1.2 保护接零

(1)基本概念:将在故障情况下可能出现危险的带电体对地碰壳短路的用电设备的外壳及其附件与三相四线制系统的中性线直接连接,这种装置称为保护接零装置。

(2)工作原理:当用电设备有一相带电体发生绝缘损坏并碰壳时,这时能产生较大的单相(相线与中线直接短路)短路电流,这个短路电流要比单相接地短路电流27.5A大得多,它能使熔断器迅速熔断或使自动空气断路器自动跳开,从而切断用电设备的电源,保护人身及设备的安全。

3.2.1.3 接地和接零装置的优缺点 一般来说,两种保护装置都有一定的工作可靠性。只要接地保护装置的供电线路中所放的熔断器的额定电流值在11A及以下,或自动空气断路器跳闸的整定电流值在22A及以下,接地保护装置就能起保护作用。所产生的27.5A接地短路电流就能使11A及以下的熔断器熔断或

整定值在 22A 及以下的自动空气断路器脱扣跳闸。所以,它的保护范围较小,工作的可靠性有一定的限制。

而保护接零装置产生的相中短路电流则要大多得多,远远大于 27.5A,保护的范  
围要比保护接地大得多,其工作可靠性所受到的限制必然要小得多。

### 3.2.2 保护接地和接零装置的安全规定及要求

3.2.2.1 正确选用 凡由低压公用电网和农村集体电网供电的低压用户的  
电气装置必须采用保护接地装置;凡由高压电网或终端降压变压器独立供电的高  
压用户的电气装置应采用保护接零装置(另外可按地区或地方电力法规正确选用  
保护装置)。

下列电气设备必须采用保护接地或保护接零装置:

(1)电机、变压器、断路器、按钮以及手提电钻等携带式和移动式的电气设备的  
金属外壳或底座。

(2)电气设备的传动装置。

(3)互感器的二次绕组。

(4)配电屏或控制屏的金属构架。

(5)室内外配电装置的金属构架,钢筋混凝土构架及屏护金属网或金属遮栏。

(6)电力电缆的金属外皮,接头处的金属外壳及穿线钢管等。

(7)电力线路的金属杆塔。

(8)控制开关、电容器等金属外壳。

下列电气设备或其他设备可以不接地或不接零:

(1)对于与已接地的机床等设备有可靠接触的电动机及其他电器;

(2)不导电环境中的电气设备,人体不可能同时触及设备外壳和接地物件;

(3)对于只有工作人员在检查维护时才可能接触到的电气设备;

(4)使用特低电压的电气设备的金属外壳。

#### 3.2.2.2 连接可靠

(1)采用保护接零装置时,凡变压器中性点接地系统中的工作接地必须有可靠  
的连接。其接地电阻和接地装置须符合安全技术要求。否则,当工作接地断开而  
三相负荷又不平衡或一相接地时,零线上将带有危险的对地电压,使所有保护接零  
的电气设备外壳都带电,增加触电危险。

(2)保护接零必须具有可靠的短路保护或过电流保护装置(如熔断器或自动空  
气断路器)相配合。各种保护装置必须按照安全要求选择和整定,以提高保护接零  
的可靠性。保护装置动作后,必须查清故障原因,特别应注意检查接零及其连接处  
在故障短路时是否受到损坏。

(3)为了防止零干线断线而失去保护接零作用,按照要求,中性点直接接地的  
低压电网中,在架空线路的干线和分支线的终端及沿线每千米处,零线都应重复接

地。每一重复接地装置的接地电阻不应大于  $10\Omega$ ；工作接地电阻允许为  $10\Omega$  的场合，每一重复接地电阻可不大于  $30\Omega$ ，但重复接地不得少于三处。

(4) 必须加强对零线的监视，及时排除断线故障的隐患。重复接地虽然可以提高接地保护的可靠性水平，但不能从根本上消除零线断线的触电危险。这是因为当重复接地电阻较大和离故障点较远，或者故障短路电流较小，保护装置不能动作而使故障长期存在时，触电危险还是很大的。尤其是手持式或移动式的电气设备的接零保护，不可能采用重复接地，如一旦发生零线断线故障，触电危险将更加严重。

(5) 除单相回路的工作零线外，三相四线制线路的零干线不允许加装开关或熔断器，以免造成零干线断线。

(6) 所有用电设备的保护接零不得串联，应当分别直接接至电源零干线。由于接线错误而造成的触电伤亡事故的例子很多，但作为一名电工人员，切不可疏忽大意。

图 10.1.16 和图 10.1.17 分别表示一些错误接线和正确接线的实例。

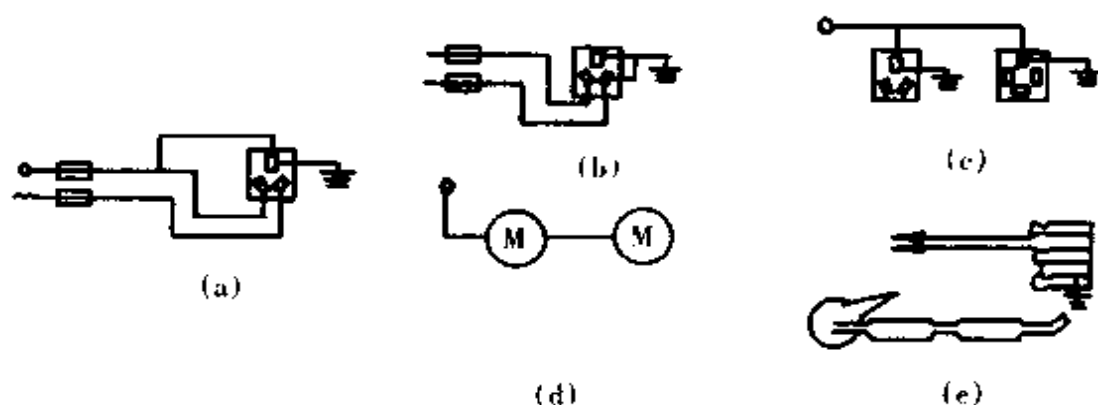


图 10.1.16 保护接零线的错误接线实例

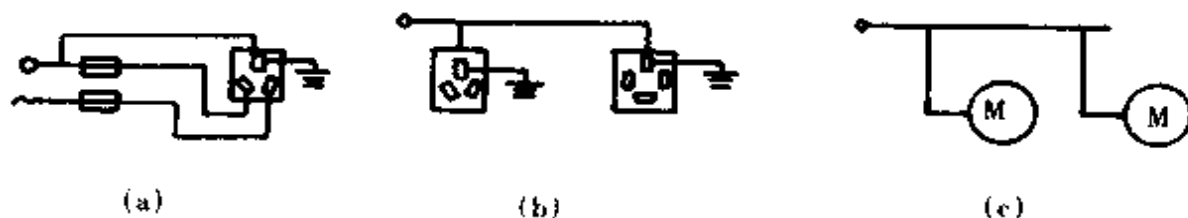


图 10.1.17 保护接零线的正确连接

(7) 有接地要求的单相电气设备，不得使用两孔插座。三孔插座不得用于三相设备。没有条件正确采用保护接零的场合，宁可不要保护接零，以免造成电气事故。使用三眼单相插座时，接线必须正确，应将插座上接电源中性线的孔和接地的孔用两根导线分别接到零线上。不准将插座上接电源中性线的孔和接地线的孔串

联。避免当接零线松落时,使设备外壳带电。

(8)按低压用电安全规程规定,在同一系统中,不得将一部分设备接零,而另一部分设备接地,如图 10.1.18 所示。同一建筑物内应当采用同一类型保护装置,避免接地设备绝缘损坏、发生碰壳故障时,零线电位升高而发生事故。

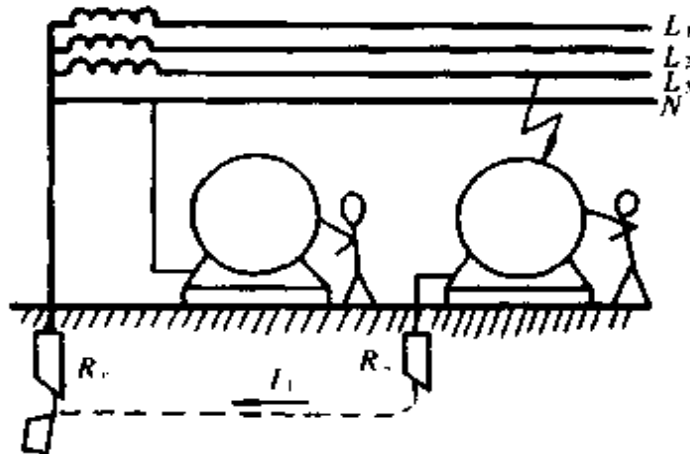


图 10.1.18 部分设备接零、部分设备接地的危险

**3.2.2.3 安装牢固** 保护接零装置应安装牢固,有足够的机械强度,防止断线。零线截面不得小于相线截面的  $1/2$ 。零线和保护接零线还应具有足够的机械强度,采用铜芯线截面积不得小于  $1.5\text{mm}^2$ ,采用铝芯线不得小于  $2.5\text{mm}^2$ ;裸线明敷时,还应分别加大到  $4\text{mm}^2$  和  $6\text{mm}^2$ 。零线和保护接零线的连接必须牢固可靠,保证接触良好。接零线不宜使用铝芯线。接零线应经常检查,如发现破损、断线、松动、脱落等隐患,应及时排除。

**3.2.2.4 电路连续** 保护接地和保护接零装置安装后,要用摇表做连续性试验。

**3.2.2.5 识别明显** 零线与相线应有明显区别。有条件的,架空线上零线的绝缘瓷瓶可采用棕色,工作零线用淡蓝色,保护零线用绿黄双色,以便识别和防止引起接线错误。

## 4 电气工作的安全用具

电气工作人员使用的安全用具的好坏是关系到作业人员是否能达到安全工作的首要问题。电工安全用具既是做好电工工作的重要工具,又是防止触电、坠落、电弧灼伤等事故发生的重要用具。其中包括防解触电的绝缘安全用具;检验电气设备和线路是否带电的验电器;检修工作中的临时接地线,遮栏、标示牌;防坠落的登高作业安全用具和防灼伤的护目镜等电工用具。

## 4.1 电工安全用具的分类

电工安全用具通常分为两大类:即基本安全用具和辅助安全用具。

(1)基本安全用具,指绝缘强度能够长时间承受电气设备的工作电压,并可用来直接操作带电设备的用具。

(2)辅助安全用具,指绝缘强度不能承受电气设备的工作电压,不足保证安全而仅起辅助作用的电工工具。

### 4.1.1 高压基本安全用具

(1)高压绝缘棒:主要用来操作隔离开关,操作跌落式熔断器,安装和拆除携带型临时接地线等。用绝缘棒进行带电操作时,应戴绝缘手套。

(2)高压验电笔:它是检验电气设备和线路是否带电的专用工具。根据所测的电压,高压验电笔分6~10kV、35kV以上及110~220kV、330~500kV等几种。老式的高压验电笔是用氖泡亮否来表示是否带电的。由于光线和天气的影响,容易引起误解而出事故。现在国内已采用感应风车和感应电笛的高压新型验电笔。一旦验出有电,感应风车就转起来或电笛响起报警声。目前市场上还出现手表式和矿灯式验电器,戴在手上和帽子上,当人走近带电体,手表上和帽子上的验电器就响了,提醒人们注意这里有电,请勿靠近。

(3)绝缘夹钳(又称绝缘夹):主要用来拆除和安装管型熔断器以及类似的电气操作。使用绝缘夹钳时,应戴护目镜和绝缘手套,并站在绝缘垫或绝缘站台上。

### 4.1.2 高压辅助安全用具

(1)绝缘长手套和短手套:它是用特种橡胶制成,其长度至少要超过手腕10cm。必须注意,不能用医疗或其他用途的手套来替代。

(2)橡胶绝缘靴:主要用来作为防止跨步电压触电的安全用具,它与绝缘手套用同一类材料制成。应经过耐压试验,绝不能用普通雨靴来替代。

(3)绝缘垫和绝缘站台:主要与大地作隔离绝缘用。绝缘垫的厚度应不小于5mm,表面尺寸不应小于0.8m×0.8m,且要有防滑条纹。绝缘站台有用橡胶制作的,也有用木条、木板制作的。不论用何种材料,台面与地面之间应用绝缘子绝缘。绝缘子高度不得低于10cm,其表面尺寸不应小于0.8m×0.8m。为了便于搬移,最大的尺寸不宜大于1.5m×1m。

### 4.1.3 低压基本安全用具

(1)有绝缘手柄的手动工具,如螺丝刀、钳子、电工刀、剥线钳等。

(2)低压验电笔:低压验电笔是检验电气设备和线路是否带电的专用工具,它是电工必备的安全用具。验电笔的式样很多,一般作为基本工具的附件较多,如装在螺丝刀的手柄上,还有一种可以直接测出电压值的验电笔,使用起来很方便。使用验电笔时,应注意以下几点:①必须正确执握,方法如图10.1.19所示。②被测

电压必须与验电笔的电压等级相符合,以避免因阻抗不匹配,在使用时造成触电事故。③严禁手指碰及金属的工作触头,以免引起触电伤害。④验电笔使用时,首先应在有电的带电体上检验其是否失灵。经确认验电笔处于良好的状态后才能进行正式的验电工作。

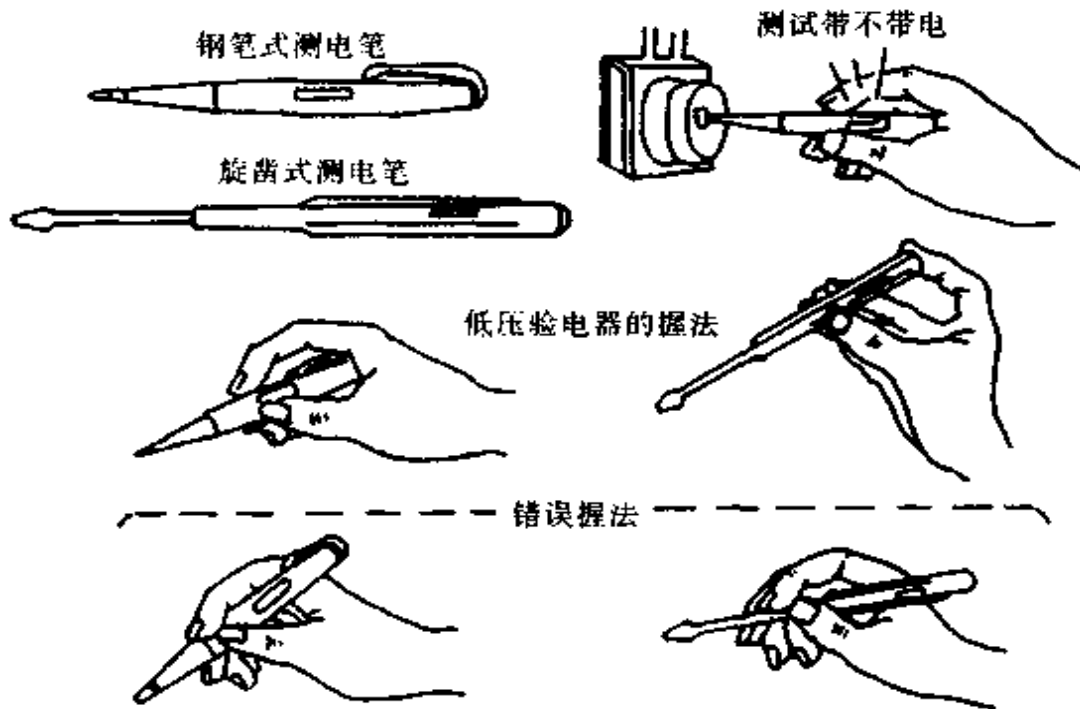


图 10.1.19 低压验电器的正确执握方法

(3) 低压绝缘手套、绝缘靴和绝缘垫等。

#### 4.1.4 防护安全用具

防护安全用具是应用在施工、检验、测试等工作中的能直接保护人身安全的专用工具。主要有临时接地线、遮栏、标示牌、护目镜等。

(1) 临时接地线。一般装设在被检修设备两端的线路上,以防止突然来电引起触电事故。必须注意,在设备检修完毕后,必须在送电前及时拆除。否则会造成带接地线合闸送电的重大事故。

(2) 遮栏。主要用来防止电气作业人员在工作时无意触碰或过分接近带电体,非作业人员接近或误碰带电体而发生触电事故。遮栏高度不得低于 1.7m,下部边沿离地面以不超过 10cm 为宜。它一般用干燥的木材或其他绝缘材料制成。有的场所可用简易的红白带来代替遮栏的作用。

(3) 标示牌。它是用来警告电气作业人员和非电气作业人员在工作时不得接近带电设备,指示正确的工作地点和提醒电气作业人员进行带电工作时应采取的

安全措施,以及禁止向正在进行检修工作的设备或线路上误送电。标示牌的式样见表 10.1.6 所列。

表 10.1.6 标示牌式样

序号	名称	悬挂处所	式 样		
			尺寸 (mm)	颜色	字 样
1	禁止合闸,有人工作!	施工设备的开关和刀闸操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
2	禁止合闸,线路有人工作!	线路开关和刀闸操作把手上	200×100 和 80×50	红底	白字
3	在此工作!	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底,中有直径 210mm 白圆圈	黑字,写于白圆圈中
4	止步,高压危险!	施工地点临近带电设备的遮栏上;室外工作地点的围栏上;禁止通行的过道上;高压试验地点;室外构架上;工作地点临近带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字,有红色箭头
5	从此上下!	工作人员上下的铁架、梯子上	250×250	绿底,中有直径 210mm 白圆圈	黑字,写于白圆圈中
6	禁止攀登,高压危险!	工作人员上下的铁架、临近可能上下的铁架上,运行中变压器的梯子上	250×200	白底红边	黑字

(4)护目镜。主要用来防止电弧或弧光对眼睛的伤害。当电气作业人员在拆装管状熔断器、更换熔体、电弧焊接、电缆施工中使用喷灯时,均应戴上护目镜。护目眼镜的玻璃应由耐热的有色材料制成。

## 4.2 电工安全用具的作用

电气作业人员在从事带电作业以及对电气设备进行安全巡视和检修试验时,都离不开安全用具。电工作业的实践告诉我们,在电气工作或非电气工作中,人体应尽可能不要带电或不要靠近带电设备,因此,电气作业人员就要借助安全用具来实现此目的。其次在操作高低压开关或其他带有传动装置的电气设备时,电气作业人员需要防止接触电压和跨步电压的伤害,就更需要使用基本的和辅助的安全用具。因此,电工安全用具是电气作业人员必不可少的工具,应当引起足够的重视。

## 4.3 电工安全用具的使用和维护

### 4.3.1 电工安全用具的正确使用

(1)使用前,必须进行外观检查,检查的项目如下:①安全用具是否符合规程的要求,是否正常、清洁、完整,有污垢的要擦净,若有被电击穿的痕迹,则不准使用。②对于橡胶制品的用具,如绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫,不允许有外伤、裂纹、气泡、毛刺、划痕等。发现有问题的安全用具,应立即禁用并及时更换。③安全用具在使用前要核对电压等级,是否和需要相符合。特别是基本安全用具(如绝缘棒、验电笔)必须正确无误。

(2)使用中的要求:①无特殊防护装置的绝缘棒,不允许下雨或下雪时在室外使用。②潮湿天气的室外操作,不允许用无特殊防护的绝缘夹。③橡胶绝缘手套内应衬一副纱手套。④使用绝缘台时,须放置在坚硬的地面上。⑤使用高压验电笔时,应戴好绝缘手套,逐渐接近有电设备,各项要分别进行。⑥使用低压验电笔时,先验证是良好的,方能去验电。

### 4.3.2 安全用具的维护和保管

(1)绝缘棒应垂直存放,架在支架上或吊挂在室内,不要接触墙壁。

(2)橡胶制品的用具,如手套、靴、鞋等,应倒置在指形支架上或存放在柜内,其上不得堆压任何物件。

(3)橡胶制品的用具不能与油类相接触,存放处的环境温度不能过热或过冷,否则容易发生变形和老化,使绝缘性能下降。

(4)绝缘台的绝缘子应保持无裂纹或破损,木质绝缘台要保持干燥清洁。

(5)验电笔用后存放在匣内,置于干燥处,避免积灰和受潮。

(6)存放安全用具的地点,应有明显的标志,要做到“对号入座”,取用方便。

(7)安全用具严禁移作他用。

(8)安全用具应由专人保管,并定期检查是否齐全和完好。

(9)定期对安全用具进行电气测试。

## 4.4 电工安全用具的定期检验

安全用具应作定期检测试验,如耐压试验和泄漏电流试验等。登高安全用具还应作拉力试验。一般电工安全用具只作耐压试验。高压安全用具还应作泄漏电流试验,有条件时最好也做介质损耗测定试验。介质损耗是判断绝缘性能较为灵敏的一种方法,特别是对判断受潮、老化等分布性绝缘缺陷,较其他方法为佳。

常用电工安全用具试验周期及标准,见表 10.1.7 所列。



表 10.1.7 常用电工安全用具试验周期及标准

名称	电压等级 (kV)	周期	交流耐压 (kV)	耐压时间 (min)	泄漏电流 (mA)
绝缘棒	6~10	1年	44	5	
	35~154		四倍相电压		
	220		三倍相电压		
绝缘夹钳	35及以下	1年	三倍线电压	5	
	110		260		
	220		400		
绝缘手套	高压	6个月	8	1	$\leq 9$
	低压		2.5		$\leq 2.5$
绝缘靴	高压	6个月	15	1	$\leq 7.5$
绝缘鞋	低压	6个月	3.5	1	$\leq 2$
绝缘挡板	6~10	1年	30	5	
	35		80		
绝缘罩	35	1年	80	5	
绝缘垫	1以上	2年	15	以2~3cm/s 的速度拉过	$\leq 15$
	1及以下		5		$\leq 5$
绝缘站台	各种电压	3年	40	2	$\leq 5$
验电笔	6~10	6个月	40	5	
	20~35		105		
钳表 绝缘部分 铁心部分	10及以下	1年	40	1	
			20		

## 5 电气装置的防火和防爆

在火灾和爆炸事故中,由电气起火引起的案例占了很大的比例。电气起火的主要原因是由于电气设备的缺陷,安装不当,设计和施工不符合安全标准以及在运行中电气装置由电流(过电流或短路电流)产生的热量、电火花和电弧等所引起的。电气火灾和爆炸事故的发生除了造成人身伤亡和设备毁坏外,还可能造成大规模或长时间的停电,严重影响生产和人民生活。因此,做好电气防火防爆工作,防止

事故的发生极为重要。

## 5.1 电气线路的起火原因和防火措施

### 5.1.1 电气线路的起火原因

电气线路架设不正确或在使用时违反安全规程而形成线路短路,导线过负荷和局部因接触电阻过大而产生大量的热量,都会引起线路的火灾危险。

### 5.1.2 电气线路的防火措施

#### 5.1.2.1 防止短路和过负荷引起火灾的措施

(1)认真检查线路的安装是否符合电气装置规程。例如:导线之间的距离,前后支持物的距离,受损绝缘的修理等均应符合安全设计规程。

(2)定期测试线路的绝缘性能,如发现线路相间或相对地的绝缘电阻小于规定值,必须找出绝缘破损的地方,并及时加以修理。对于过分陈旧老化和破损的导线应进行更换。

(3)导线与熔断器的选择应相互配合,严禁任意调大熔体截面或用其他金属导线随意替代。

(4)严禁乱拉、乱接临时线路。临时线路应有专人负责,定期检查,按期拆除。

(5)加强对户内外配电线路的定期巡视检查,杜绝过载或短路的隐患。

#### 5.1.2.2 防止线路接触电阻过大而起火的措施

(1)连接导线时,应将线芯擦干净,并按正确方法连接,接头要紧密牢靠,间隙越小越好。有条件的可以用沾(镪)锡的方法进行焊接或者用金属管压接,对于铝线连接,最好采取熔接,并要在导线的接头表面涂上中性凡士林,与空气隔离,防止氧化。

(2)导线接到开关、熔断器、电动机和其他电气设备时,导线端必须焊上特制的接头(又称接线鼻子)。单股导线或截面较小(如 $2.5\text{mm}^2$ 以下)的多股导线可不用接头,而将已削去绝缘层的线头弯成小圆环,套在接线端子上,加垫圈后再用螺帽旋紧。必要时要加用弹簧垫圈等防震措施。

(3)定期进行户内外明线的巡视检查,如发现接头有松动或发热现象,应及时处理。

## 5.2 电气设备的起火原因和防火措施

### 5.2.1 电气设备的起火原因

(1)电动机起火原因:①由于一相断线,其余二相电流升高 $\sqrt{3}$ 倍,使电动机过负荷,引起线圈升温,绝缘损坏,造成起火。②定子线圈发生匝间短路,使线圈局部过热,绝缘破坏,可能引起对外壳放电而引起电弧和火花,造成起火。③由于机械原

因,转子被卡,不能转动,使电动机形成短路,而导致火灾。④接线端子处接头松动,接触电阻过大引起发热,产生高温或火花而造成起火。

(2)油浸变压器起火原因:①线圈短路,绝缘油分解,产生可燃性气体,遇到火花就会发生燃烧和爆炸。②局部连接处接触电阻过大,造成局部升温,使变压器油燃烧而起火。③铁心由于间隙大,引起涡流而使铁心发热升温,造成绝缘油燃烧。④变压器油受潮变脏,劣化变质,油的绝缘性能降低,可能引起闪络,发生电弧,使油燃烧。⑤外部线路短路,高低压熔断器选择配合不当,故障时不能熔断,而引起内部起火。

(3)油断路器起火原因:①油断路器的遮断容量不够,发生短路电流时,电弧不能及时熄灭而引起燃烧和爆炸。②油面过低或过高,分断电弧时产生的气体,会引起油断路器的燃烧和爆炸。③套管有污垢或潮湿,引起相间或相对地击穿,发生闪络而造成油断路器燃烧和爆炸。

(4)电力电容器起火原因:①由于元件极间或对外壳绝缘击穿,在电弧和高温的作用下,产生大量气体,使其压力急剧上升,最后使电容器外壳胀破,爆炸起火。②电容器室温度过高(一般不允许超过 $40^{\circ}\text{C}$ ),通风散热不良,又不及时采取安全措施,会使电容器膨胀爆炸起火。

### 5.2.2 电气设备的防火措施

(1)电动机防火措施:①安装在潮湿、多尘场所的电动机,应选用封闭式的电动机;在干燥、清洁的场所,可选用防护型电动机;在易燃易爆的场所应采用防爆型电动机。②电动机不允许安装在可燃的基础上或结构内。电动机与可燃物应保持一定的安全距离。③电动机应安装短路、过载、过电流、断相等保护装置。④电动机的机械转动部分应保持润滑和良好状态。

(2)油浸变压器防火措施:①变压器上层油温达到或超过 $85^{\circ}\text{C}$ 时,应立即减轻负荷。若温度继续上升,则表明内部有故障,应断开电源,进行检查。②应装设继电器保护装置。③变压器室应符合防火要求。装在室外的变压器其油量超过 $600\text{kg}$ 以上时,应有卵石层作为贮油池。④两台变压器之间应有防火隔墙,不能连通。⑤加强运行管理和检修测试工作。

(3)油断路器防火措施:①选用遮断容量与电力系统短路容量相适应的油断路器。②加强油断路器的运行管理和检修工作,定期做好预防性试验。发现油质老化、污秽或绝缘强度不够时,应及时滤油或调换。③油断路器因短路故障在断开多次后,应提前检修。④在有条件情况下,少油断路器可以用真空断路器代替。这样既可以减少维护的工作量,又可以防止漏油和因油燃烧而起火。

(4)电力电容器防火措施:①装设防止电容器内部故障的保护装置,如采用有熔丝保护的高低压电容器。②应对电容器室(或柜)定期清扫、巡视检查,尤其是电压、电流和环境温度不得超过制造厂和安全规程规定的范围,发现元件有故障应及

时更换或处理。③电容器室应符合防火要求,并备有防火设施。

(5)低压配电柜防火措施:①配电柜应固定安装在干燥清洁的地方,便于操作和确保安全。②配电柜上的电气设备应根据电压等级、负荷容量、用电场所和防火要求等进行设计或选定。③配电柜中的配线,应采用绝缘导线和合适的截面。④配电柜的金属支架和电气设备的金属外壳,必须进行保护接地或接零。

(6)照明和加热设备防火措施:①照明装置和加热设备的安装,必须符合低压安全规程要求。②导线的安全载流量与熔断器的额定电流应相配合。③根据环境的特点,应安装适合的灯具和开关。如仓库里不能装高温灯具,易燃易爆的场所应装防爆灯具和开关。④加热设备应按规定使用,要有专人负责保管,不能擅自使用大功率的电加热设备,否则会超出导线的安全载流量。

## 5.3 电气灭火

### 5.3.1 断电灭火方法

电气设备或线路一旦发生火灾,首先应想到的是迅速切断电源。切断电源后再进行灭火,现场危险性小。断电灭火时应注意以下几点:

(1)切断电源的位置要选择适当,防止切断电源后影响灭火扑救工作。

(2)剪断电源导线的位置应选择在电源方向且有支持物的附近,以防止导线剪断后跌落在救火场所,造成短路或使救火人员引发跨步电压触电。

(3)剪断电源的导线时,相线(火线)和中线(地线)应选择不同的部位处分别剪断,以防止剪断导线时,两线相碰而发生短路。

(4)拉闸刀开关应用绝缘操作棒或戴绝缘手套。

(5)若燃烧场地及火势对附近运行中的电气设备有严重威胁时,亦应迅速拉开相应的断路器和隔离开关。

### 5.3.2 带电灭火方法

带电灭火必须在特别危急的情况下进行。如等待切断电源后再进行扑救,事故可能迅速扩大,会严重影响到生产和人身安全。进行带电灭火,必须在保证灭火人员安全的情况下进行。带电灭火时应注意下列几点:

(1)带电灭火要使用不导电的,如二氧化碳、1211、干粉等灭火剂进行灭火。严禁使用导电的灭火剂(如喷射水流、泡沫灭火器等)。

(2)必须注意周围环境,防止身体、手、足或者使用的消防器材等过于接近带电体而造成触电事故。

(3)带电灭火时,应戴绝缘手套和穿绝缘鞋(靴),防止跨步电压触电。

(4)对有油的电气设备,如变压器、油断路器的燃烧,也可用干燥的黄沙盖住火焰,使火熄灭。

### 5.3.3 发电机和电动机起火的扑灭方法

为了防止发电机和电动机的轴和轴承灭火后变形,在灭火时,可用喷雾水流扑救,也可用二氧化碳、1211 灭火器扑救。但必须注意,绝对不能用黄沙扑救,以免灭火后发电机或电动机损坏严重,不能修复。

### 5.3.4 变电所的灭火

变电所一旦发生火灾,值班人员一方面应按规定切断起火区域及邻近受威胁的电气设备的电源,迅速遏制火势。如值班人员发觉无法自行扑救时,应立即联系消防队,不能拖延时间。消防人员到达现场后,值班人员应向消防队负责人介绍周围的环境情况,明确交待带电设备的位置,并按消防队负责人的要求,做好安全措施。并坚持在现场进行严密监护,及时提醒或阻止消防人员的不正确行动。

## 5.4 电气防爆

### 5.4.1 爆炸危险场所的分类和分级

爆炸危险场所可按爆炸性物质的物态分为两类:气体爆炸危险场所和粉尘爆炸危险场所。爆炸危险场所的分级,原则是按爆炸性物质出现的频度、持续时间和危险程度划分。

(1)气体爆炸危险场所分为三个等级:①0 级区域:在正常情况下,爆炸性气体混合物连续地、短时间频繁地出现或长时间存在的场所。②1 级区域:在正常情况下,爆炸性气体混合物有可能出现的场所。③2 级区域:在正常情况下,爆炸性气体混合物不能出现,仅在不正常情况下偶尔短时间出现的场所。

(2)粉尘爆炸危险场所分为两个等级:①10 级区域:在正常情况下,爆炸性粉尘或可燃纤维与空气的混合物可能连续地、短时间频繁地出现或长时间存在的场所。②11 级区域:在正常情况下,爆炸性粉尘或可燃纤维与空气的混合物不能出现,仅在不正常情况下偶尔短时间出现的场所。

### 5.4.2 爆炸危险场所用防爆电气设备的一般规定

爆炸危险场所使用的防爆电气设备,在运行过程中必须具有不引燃周围爆炸性混合物的性能。

(1)防爆型电气设备可制成隔爆型、增安型、本质安全型、正压型、充油型、充砂型、无火花型、防爆特殊型和粉尘防爆型等类型。

(2)各种防爆型的电气设备,应设置标明防爆检验合格证号和防爆类型、等级的铭牌,并有防爆检验标志和防爆型、等级的永久性标志。

(3)防爆电气设备的表面温度的规定有 I 类、II 类、III 类设备之不同要求。

### 5.4.3 爆炸危险场所的电气线路的一般规定

(1)电气线路应敷设在爆炸危险性较小的区域或距离释放源较远的位置。应

避开易受机械损伤、震动、腐蚀、粉尘积聚以及有危险的场所。

(2) 爆炸危险场所的配线方式应按表 10.1.8 的规定。

表 10.1.8 爆炸危险场所的配线方式

配线方式	爆 炸 危 险 区					
	0	I	2	10	11	
本质安全型电气设备的配线工程	○	○	○	○	○	
低压镀锌钢管配线工程	×	○	○	×	○	
电缆工程	低压电缆	×	○	○	×	○
	高压电缆	×	△	○	×	△

注:○表示适用;△表示尽量避免;×表示不适用;( )不推荐使用。

(3) 爆炸危险场所使用的低压电缆和绝缘导线,其额定电压应不低于线路的额定电压,且不得低于 500V。零线的额定电压与相线相同,并应处在同一护套或钢管内。

(4) 有剧烈震动的地方的用电设备线路,应采用铜芯绝缘软线或铜芯多股电缆。

(5) 固定敷设的低压电缆或绝缘导线,其铜芯和铝芯的最小允许截面应符合表 10.1.9 的规定。

表 10.1.9 铜铝线芯最小允许截面表

爆炸危险区域	线 芯 最 小 截 面 (mm <sup>2</sup> )						
	铜				铝		
	电 力	控 制	照 明	通 讯	电 力	控 制	照 明
1	2.5	1.5	1.5	0.28	×	×	×
2	1.5	1.5	1.5	0.19	4.0	×	2.5
11	2.5	1.5	1.5	0.28	×	×	×

(6) 爆炸危险场所电气线路的连接应符合下列要求:①电气线路中一般不应有中间接头。在特殊情况下,必须在相应的防爆接线盒内连接或分路。②电气线路中使用的连接件,如接线盒、隔离密封盒等应按类按级选配。③多股导线连接的接头宜采用压接方法。接线端子宜采用铜铝过渡接头。

(7) 电气线路应根据需要设置相应的保护装置,以便在发生过载、短路、漏电、接地、断线等情况下能自动报警或切断电源。

(8) 爆炸危险场所不准明敷绝缘导线,必须采用钢管配线工程。

#### 5.4.4 防爆电气设备运行与维护的一般规定

(1) 防爆电气设备应由经过培训,考核合格的人员进行操作、使用和维护保养。

(2)电气设备上的保护、闭锁、监视、指示装置等,不得任意拆除,应保持其完整性、灵敏度和可靠性。

(3)新设备在安装前宜解体检查,符合规定要求后方可投入运行。

(4)防爆电气设备的运行、维修、检查,应按日常、专业、安全三种方式进行。检查项目应按规定进行。

#### 5.4.5 防爆电气设备检修的一般规定

(1)防爆电气设备的检修应由指定的专业单位负责检修。

(2)防爆电气设备的大、中修后,由检修人员填定检修记录,并须经防爆专业质量检验人员进行检验,签发合格证后方可交付使用。

(3)在有爆炸危险场所中禁止带电检修电气设备和线路,禁止约时停、送电。并应在断电处挂上“有人工作,禁止合闸”的警告牌。

(4)在有爆炸危险场所需动明火检修电气设备和线路时,必须办理动明火的审批手续,做好必要的安全措施。

## 6 电气工作的安全措施和管理制度

为了确保用电安全,我们首先必须从思想上充分认识到电气工作安全的重要性。它既是人命关天的大事,又是保证安全生产的重要环节。我们要在技术上、组织上采用切实的措施,在制度上要加强管理,确保电气作业人员的人身安全和生产设备的使用安全。

根据有关电业安全工作规程的规定,电气工作人员必须具备下列条件:

(1)经医师鉴定,应无妨碍工作的病症。体格检查应每两年进行一次。

(2)具备必要的电气知识。按其职务和工作性质的需要,熟悉电气安全工作规程,并经考试合格,持证上岗。

(3)学会触电急救法。

### 6.1 保证安全的组织措施

在电气设备上工作,保证安全的组织措施为:①工作票制度;②工作许可制度;③工作监护制度;④工作间断、转移和终结制度。

#### 6.1.1 工作票制度

电气作业人员的工作票是表明准许在高压或较危险的电气设备和线路上进行工作、检修的书面命令。

在停电检修或带电作业时,为了保证工作顺利和安全地进行,均应建立工作票制度。工作票的内容和项目,可以按不同的检修工作任务、设备条件、管理机构,制定适合本行业的工作票格式。工作票的主要内容和项目如下:

(1)停电检修工作票内容:工作地点和工作内容;工作开始时间和预定结束时间;停电范围和必须断开的开关名称和编号;必须采取的安全措施;工作负责人和工作人员姓名、工作票签发人的签名;变电所值班人员按工作票要求停电后的签名;工作全部结束后,工作负责人签注“可以送电”,然后交变配电室值班人员;变电所值班人员送电后,签注“已送电”。

(2)带电工作的工作票内容:工作地点和工作内容;工作开始时间和预定结束时间;必须采取的安全措施;工作负责人、监护人和工作人员的姓名、工作票签发人的签名。

(3)签发工作票的要求:①工作票签发人,应由熟悉情况和有经验的领导担任,并应对工作人员的安全负责。②工作票中须注明应拉开的开关和闸刀编号、名称,应装设临时接地线的部位以及应采取的安全措施。③工作负责人应在工作票上填明工作内容、工作时间,并且必须始终在工作现场负责。④工作许可人应按工作票停电,并做好安全措施。工作许可人应向工作负责人交待并检查停电范围,作好安全措施,指明带电部分,移交工作现场,双方签名后,方可工作。⑤工作完毕后,工作人员应清扫现场、清点工具,工作负责人应清查人数,带领全部工作人员撤出现场。双方签名后,将工作票交工作许可人。⑥送电前,值班人员需仔细检查现场后,才能送电。

### 6.1.2 工作许可制度

履行工作许可手续的目的,是为了在完成好安全措施以后,进一步加强工作责任感。因此,必须在完成各项安全措施以后再履行工作许可手续。

(1)工作许可人(值班员)在完成施工现场的安全措施后,还应做到以下几点:会同工作负责人到现场再次检查所做的安全工作,以手触试,证明检修设备确无电压;对工作负责人指明带电设备的位置和注意事项;和工作负责人在工作票上分别签名。完成上述许可手续后,方可开始工作。

(2)工作负责人、工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施,值班人员不得变更有关检修设备的运行接线方式。工作中如有特殊情况需要变更时,应事先取得对方的同意。

### 6.1.3 工作监护制度

执行工作监护制度的目的是使工作人员在工作过程中始终得到监护人的指导和监督,及时纠正一切不安全的动作和其他错误做法,特别是在靠近带电部位及工作转移时更为重要。因此:

(1)在完成工作许可手续后,工作负责人(监护人)应向工作班人员交待安全措施和注意事项,必须始终在工作现场认真做好监护工作。

(2)为了防止人身触电,在自始至终的整个工作过程中,工作负责人(监护人)均应负责监护工作。当进行的工作较为复杂、安全条件较差时,还应增设专人监



护。专职监护人不得兼作其他工作。

(3)工作期间,工作负责人若因故必须离开工作地点时,应指定能胜任的人员临时代替,并详细交待现场工作情况,同时通知工作班人员。若工作负责人需要长时间离开现场,应由原工作票签发人指派新的工作负责人,两工作负责人应做好必要的交接。

#### 6.1.4 工作间断、转移和终结制度

其内容应包括:

(1)工作间断时,所有安全措施应保持原状。当天的工作间断之后又继续工作时,无须再经许可;而对隔天之间的工作间断,应交回工作票,次日复工前,还应重新得到值班员的许可。

(2)在未办理工作票终结手续以前,值班员不准在施工设备上进行操作和合闸送电。

(3)在同一电气连接部分用同一张工作票依次在几个工作地点转移工作时,全部安全措施应由值班员在开工前一次做完,不需要再办理转移手续。但工作负责人在每转移一个工作地点时,必须向工作人员交待带电范围、安全措施和注意事项。

(4)全部工作完毕后,工作班应清扫并整理现场。工作负责人应先进行周密的检查,待全体工作人员撤离工作地点后,再向值班人员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在的问题等。并与值班人员共同检查设备状况、有无遗留物件、是否清洁等,然后在工作票上填明工作终结时间。经双方签名后,工作票方告终结。

(5)只有在同一停电系统的所有工作票结束,拆除所有接地线,临时遮栏和标示牌,恢复常设遮栏,并得到值班调度员或值班负责人的许可命令后,方可合闸送电。

(6)已结束的工作票应加盖“已执行”印章后妥善保存三个月,以便于检查和进行交流。

## 6.2 保证安全的技术措施

在全部停电或部分停电的电气设备上工作必须有下列措施:①停电;②验电;③装设接地线;④悬挂标示牌和装设遮栏。

上述措施由值班人员执行。对于无值班人员的电气设备由断开电源人执行,并应有监护人在场。

### 6.2.1 停电

(1)工作地点必须停电的设备如下:①检修的设备;②与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于表 10.1.11 规定的设备;③在 44kV 以下的设备上进行工作,上述安全距离虽大于表 10.1.11 规定,但小于表 10.1.10 规定,同时又无

安全遮栏措施的设备;④带电部分在工作人员后面或两侧无可靠安全措施的设备。

表 10.1.10 设备不停电时的安全距离

电 压 等 级 (kV)	安 全 距 离 (m)
10 及以下(13.8)	0.70
20 ~ 35	1.00
44	1.20
60 ~ 110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00
500	5.00

表 10.1.11 工作人员正常活动范围与带电设备的安全距离

电 压 等 级 (kV)	安 全 距 离 (m)
10 及以下(13.8)	0.35
20 ~ 35	0.60
44	0.90
60 ~ 110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00
500	5.00

(2)将检修设备停电,必须把各方面的电源完全断开(任何运行中的星形接线设备的中性点,必须视为带电设备)。禁止在只经开关断开电源的设备上工作。必须拉开刀闸,使各方面至少有一个明显的断开点。与停电设备有关的变压器和电压互感器,必须从高、低压两侧断开,防止向停电检修设备倒送电。

(3)断开开关和刀闸的操作电源。刀闸操作把手必须锁住。

### 6.2.2 验电

(1)验电时,必须用电压等级合适而且合格的验电器,在检修设备进出线两侧各相分别验电。验电前,应先在有电的设备上进行试验,确证验电器完好时,才能进行验电工作。如果在木杆、木梯或木构架上验电,不加接地线便不能指示者,可在验电器上加接接地线,但必须经值班负责人许可。

(2)高压验电必须戴绝缘手套。验电时应使用相应电压等级的专用验电器。330kV 及以上的电气设备,在没有相应电压等级的专用验电器的情况下,可使用绝

缘棒代替验电器,根据绝缘棒端有无火花和放电劈啪声来判断有无电压。

(3)表示设备断开和允许进入间隔的信号、经常接入的电压表等,不得作为设备有无电压的根据。但如果指示有电,则禁止在该设备上工作。

### 6.2.3 装设接地线

(1)当验明设备确已无电压后,应立即将检修设备接地并三相短路。这是保护工作人员、防止突然来电的可靠安全措施,同时设备断开部分的余电荷,亦可因接地而放尽。

(2)对于可能送电至停电设备的各方面及停电设备可能产生感应电压的都要装设接地线,所装接地线与带电部分应符合安全距离的规定。

(3)检修母线时,应根据母线的长短和有无感应电压等实际情况确定接地线数量。检修 10m 以上的母线应装设两组接地线。

(4)检修部分若分为几个在电气上不连接的部分,则各段应分别验电后,进行接地。

(5)所有配电装置的适当地点,均应装设有接地网的接头。接地电阻必须符合合格。

(6)装设接地线必须由两人进行。

(7)装设接地线必须先接接地端,后接导体端,必须接触良好。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套。

(8)接地线应用多股软裸铜线,其截面应符合短路电流的要求,但不得小于  $25\text{mm}^2$ 。

(9)每组接地线均应编号,并存放在固定地点。装、拆接地线应做好记录,交接班时应交接清楚。

### 6.2.4 悬挂标示牌和装设遮栏

(1)在一经合上即可送电到工作地点的开关和刀闸的操作把手上,均应悬挂“禁止合,有人工作”的示牌。如果线路上有人工作,应在线路开关和刀闸操作把手上悬挂“禁止合,线路有人工作”的标示牌,标示牌的悬挂和拆除,应按供电部分的调度员或电气设备主管的工作命令执行。标示牌式样见表 10.1.6。

(2)部分停电的工作,安全距离小于表 10.1.10 规定距离以内的未停电设备,应装设临时遮栏。临时遮栏与带电部分的距离,不得小于表 10.1.10 规定数值。临时遮栏应装设牢固,并悬挂标示牌。

(3)在工作地点悬挂“在此工作”的标示牌,或在工作地点的四周用红白带做好围栏。

(4)严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线或标示牌。

## 6.3 变配电所的运行管理制度

### 6.3.1 值班制度

工厂企业变配电所(站),应有专人管理。变压器容量在 560kW 以上的变电所,应有专人值班。如无人值班,则应有专人定时巡视,并做好记录。值班人员应明确肩负重任,树立起高度责任感,自觉遵守值班制度和运行纪律。

(1)值班人员要按上级批准的值班方式和时间进行值班,不得私自调班或连值两班。

(2)要服从上一级值班人员的调度操作命令(除突然发生严重威胁设备和人员安全的情况外),要听从指挥。

(3)在值班时间内,要坚守岗位,不应迟到早退,不得擅自离职守。因故需要离开,必须经站长或单位领导批准,同时应有代班人员。

(4)在值班时间内,不许会客。如遇特殊情况,须经领导批准或同意,才可到休息室会客。非本站值班人员不得擅自进入控制室及高压室。

(5)在值班时间内,值班长不能离站到食堂就餐,应由值班人员代买饭菜带回。有条件的单位应由食堂人员送饭菜到变电站,在指定地点就餐。

(6)变电站内的电话是重要的生产工具,不准在电话里聊天。

(7)值班时间内,值班员应衣着整齐,不准穿拖鞋,巡视和操作时不准穿短袖衣、短裤、裙子,应穿绝缘鞋。

(8)在值班岗位上,要认真做好值班工作,严格执行有关规程制度,做到严肃认真,一丝不苟。要经常分析仪表变化,准时抄表,对不正常设备要加强监视。

(9)各项记录要按规定记入相应的记录簿内,要做到字迹清楚、正确、详细。不准马马虎虎、字迹模糊、含意不清,甚至乱涂乱画。

(10)要认真执行“两票制度”(两票是指工作票、操作票),细心操作,坚决克服不按规程操作的坏习惯。

(11)要按规定认真巡视、检查设备,不要走马观花,漏查项目。

(12)发生异常和差错情况,要如实反映,从中吸取教训,不得弄虚作假,隐瞒真相。

(13)值班人员在接班前和值班时间内严禁饮酒。

(14)做好清洁工作,保持现场整洁,不应在运行设备附近烤晒衣服等。

### 6.3.2 交接班制度

交接班工作必须严肃、认真地进行。交班人员要为接班人员创造有利的工作条件,并应树立一班工作好、班班工作好的工作责任感。

(1)值班人员应根据批准的值班表按时进行交接班,未经站长同意不得私自调班。

(2)如已到交接班时间而接班人员未到,交班人员应立即向站长或上级报告,并留在班上继续工作,直到接班人员来,不得擅自离职。个别因特殊情况迟到的接班人员,同样应履行接班手续。

(3)在交接班期间,应尽量避免倒闸操作和许可工作。

(4)在交接班过程中发生事故应停止交接班,应有交班人员负责处理。同时可要求接班人员协助处理,事故处理告一段落后继续交接。

(5)在交接巡视检查中发现的设备缺陷及异常情况,由接班人员填写缺陷记录。

(6)在下列情况下,不得进行交接:在倒闸操作及许可工作未告一段落;在事故处理未告一段落;发现接班人员喝酒或精神不正常时;交接人员未正式办理交班手续,接班人就擅自离开工作岗位的情况下。

(7)交接班前,交班负责人应开好交班碰头会,整理好应交内容,接班人员应提前到站做好接班前的一切准备工作。

(8)交接班内容:设备运行方式,设备变更和异常情况以及事故处理经过;设备检修、扩建和改进工作进展情况及结果;许可的工作票、接地线的使用组数及位置;巡视发现的缺陷及处理情况;继电保护、自动装置的运行及动作情况;上级指示及站长布置的工作;工具、器具、仪表、备品备件、钥匙等使用和变动情况;安全情况;本班自行完成的维护工作;当班未完成,要求下班完成的事项;新收到的图纸资料;各种记录簿等。

(9)接班人员根据交接内容会同交班人员逐项进行检查。

(10)交接班检查后,交接双方仍应集中在控制室。由交班人员向接班负责人汇报,接班负责人认为无差错,在运行工作日志上依次签名,再由交班人员签名。到此,交接班手续正式结束。

(11)接班负责人接班后应召开碰头会,布置本班工作重点,操作分工,应该做的维护工作等。

### 6.3.3 设备巡视检查制度

为了确保变电站设备的安全运行,必须经常掌握变电站设备的运行情况,尤其要及时发现和消除设备的缺陷和预防电气事故的发生。因此,每一个值班人员必须严格按照规定和要求,认真做好设备的巡视检查工作。

#### 6.3.3.1 变电站设备巡视检查工作 应遵守以下规定:

(1)经常性定期巡视检查按规程的规定进行,特殊巡视检查根据站长的布置。

(2)担任正式操作的值班人员可单独巡视检查高压配电装置,新进人员不可单独进行巡视检查。

(3)巡视检查高压设备时,还应遵照电业安全工作规程中关于“高压设备的巡视”规定的条例办理。

(4)值班人员进行巡视检查,应携带手电筒和记录本,按规定路线进行巡视检查,防止漏查设备。

(5)值班人员在巡视检查中发现的设备缺陷和异常运行情况,应详细记录在值班记录簿和缺陷记录簿上,对紧急缺陷及严重异常情况应立即汇报站长和上级,站长应进行复查。

(6)巡视检查中遇到严重威胁人身和设备安全的情况,应按事故处理的有关规定处理,并向上级汇报。

#### 6.3.3.2 巡视检查周期

(1)每次交接班检查。

(2)每班班中检查。

(3)站长、技术人员每周监督性巡视检查一次。

(4)每周关灯夜巡一次。

(5)季节性特巡。

#### 6.3.3.3 巡视检查的基本方法

(1)设备巡视检查要认真仔细,集中思想,运用“五官”进行,勤看、细听和闻嗅以及对外壳不带电部分用手摸,并分析设备运行是否正常。

(2)采用先进技术,目前用红外线测温仪进行定期测试,将测试报告的结果进行分析。

(3)利用天下毛毛雨和冬天下雪时机检查户外设备是不是有闪络现象。

(4)利用日光检查户外瓷瓶是否有裂纹。

(5)高温高峰时重点检查设备是否发热(示温片是否熔化)。

(6)雨后检查户外瓷瓶水波纹。

(7)设备经过操作后进行重点检查,特别是油断路器跳闸后的检查。

(8)气候突然变热或变冷时,检查注油设备(油温及油位情况)。

(9)根据历次的设备事故情况,进行重点检查。

(10)新设备投入运行,增加一次巡视。

各种设备的巡视内容,详见表 10.1.12 所列。

表 10.1.12 各种设备的巡视内容

① 主变压器:

序号	巡视项目及要求	每班巡视	检修工作后	特定时间
1	油温是否正常,一般最高不超过 85℃	✓		
2	油位高低是否符合标准线,油位是否正常,示温管是否完好	✓		

续表

序号	巡视项目及要求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
3	外壳是否渗油,应保持整洁	✓		
4	各接点示温片是否熔化,接点是否变色	✓		高温高峰时
5	套管和支持绝缘子是否清洁,有无裂纹及放电声	✓		
6	变压器是否有不正常响声或放电声	✓		
7	散热器风扇是否有不正常响声及停转	✓		
8	风扇运转是否正常,是否有异响	✓		
9	防爆管玻璃是否碎裂,玻璃里是否有油	✓		
10	瓦斯继电器里是否有气体,玻璃是否完好	✓	✓	动作后
11	橡胶囊运行是否正常,胶囊中应与大气畅通	✓		
12	呼吸器干燥剂是否变色	✓	✓	每周一次
13	外壳接地是否良好,接地线是否完整未断股		✓	每周一次

## ② 油断路器:

序号	巡视项目及要求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	油位高低是否符合标准,油色是否正常,示油玻璃是否完好	✓		
2	气压(液压)是否符合,是否频频起动	✓		
3	各接点示温片是否熔化,接头是否变色	✓		高温、高峰时
4	机械指示与实际位置是否相符	✓	✓	
5	套管和支持绝缘子是否清洁,有无裂纹及放电声	✓		
6	外壳整洁有否渗油现象	✓		
7	油断路器框架接地是否良好、完整	✓	✓	每周一次
8	操作机构位置是否正常(弹簧储能情况……)	✓		
9	环境温度低时,加热器工作情况	✓		
10	拉杆瓷瓶是否正常	✓		跳闸后

## ③ 隔离开关、母线及小母线:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	接点示温片是否熔化、接点是否变色	√		
2	套管和支持绝缘子是否清洁、有无裂纹及放电声	√		
3	隔离三相接触是否良好	√	√	
4	传动机构接地是否良好、完整		√	每周一次

## ④ 电 缆:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	其他时间
1	电缆终端头是否有油剂渗出	√		
2	接点示温片是否熔化、接头是否变色	√		
3	套管和支持绝缘子是否清洁、有无裂纹及放电声	√	√	
4	外壳接地是否良好、完整			每周一次

## ⑤ 电压互感器、电流互感器:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	油位高低是否符合标准、油色是否正常,示油管是否完好	√		
2	外壳是否渗油,应保持整洁	√		
3	接点示温片是否熔化、接点是否变色	√		
4	套管和支持绝缘子是否清洁、无裂纹及放电声	√		
5	是否有不正常的响声	√	√	
6	外壳接地是否良好、完整		√	每周一次



## ⑥ 站用变压器:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	其他时间
1	参照主变压器检查项目			
2	低压配电盘指示是否正常	√		
3	低压总开关(熔丝)是否良好	√		

## ⑦ 电 容 器:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	三相电流是否平衡			抄表时
2	三相放电指示灯是否良好	√		
3	电容器外壳是否鼓肚及严重渗油			停电时(单 台保护可进 入不需停 电)
4	电容器保护熔断器是否良好			
5	电容器外壳 60℃ 示温片是否熔化			
6	外壳接地是否良好、完整(不接地除外)			
7	室内温度是否超过 40℃			

注:如有鼓肚和严重渗漏油现象应退出运行,熔丝熔断后需查明原因及做证明性试验后方可投入。

## ⑧ 避雷器、避雷针:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	套管及支持绝缘子是否清洁,有无裂纹及放电声	√		夜巡
2	雷电流计数器动作情况	√		雷击后
3	接地是否良好,有无腐蚀现象			每周一次
4	磁钢棒磁性校验		√	雷击后
5	杆根是否腐烂(指木杆)			每周一次
6	水泥杆有无剥落现象			每周一次

## ⑨ 配电盘:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	各表指示是否正确,有无过负荷,过温,电压是否符合曲线运行	✓		每次抄表
2	监视灯指示是否良好	✓		
3	光示牌(灯)是否良好	✓		
4	继电器盖子及封印是否完整良好	✓		
5	信号继电器是否掉牌			动作后
6	信号灯示警铃是否良好	✓		
7	继电器运行是否有异常现象	✓		

## ⑩ 蓄电池(酸性蓄电池):

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	室内温度符合标准,通风和照明是否正常	✓		
2	玻璃盖和玻璃缸(外壳)是否完整良好,防酸、隔爆帽应该完整,拧紧无裂纹	✓		
3	电解液有无漏出缸外,如有应揩净	✓		
4	电解液液面高度是否正常,必要时补充合格的蒸馏水	✓		
5	蓄电池接口是否良好,有无腐蚀,有无凡士林油	✓		
6	测量代表日蓄电池电压、密度、温度	✓		
7	测量总电压			每天
8	测量全部蓄电池电压、密度及典型蓄电池温度(浮充机停用 10~15min)			每测量循环结束

## (碱性蓄电池)

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	测量绝缘电阻	✓		
2	检查接点是否腐蚀	✓		
3	测量每只蓄电池电压(不低于 1.2V)及总电压	✓		
4	蓄电池每只间连接板是否良好	✓		

## ⑪ 直流设备:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	电设备运转是否良好	✓		
2	浮充电流是否适宜	✓		
3	测量直流绝缘	✓		
4	硅整流器运行是否良好	✓		
5	试验电容储能电容器的容量			每周一次

## ⑫ 房屋结构及围墙:

序号	巡视项目及要 求	每班 巡视	检修 工作后	特定时间
1	房屋及地基有无裂纹、走动及下沉现象,避雷针及其他构架是否良好			每月月底
2	下水道是否清洁及畅通			每周一次
3	大门及护网是否完好			每周一次
4	室内门窗是否完好,是否损坏或漏水	✓		
5	百页窗及通风窗有无进水及水渍现象,雪是否飘入	✓		
6	电缆盖板是否齐全完好	✓		
7	屋顶是否完好,阴沟有无堵塞现象			每月一次
8	围墙是否无裂纹,走道是否畅通			每周一次
9	环境是否清洁,变电站围墙外是否堆积草等易吹到有电设备上物品			每周一次

除了上述表中规定的内容外,还应对消防器材、安全用具、工具等进行巡视检查。具体要求是:

- (1)对上述用具、工具在交接班时进行检查。
- (2)定期做试验,并做好记录。
- (3)对定期做试验工具和用具要有明显标志。
- (4)应根据清册对备品及仪表每日清点一次。

#### 6.3.4 设备缺陷管理制度

为了保证电气设备经常处于良好的技术状态,及时发现设备缺陷,认真分析缺陷产生的原因,积极摸索设备的运行规律,努力做到防患于未然,妥善安排好设备检修、校验和测试工作,全面掌握设备的健康状况,是确保工厂企业电气设备安全运行的重要环节。

**6.3.4.1 设备缺陷** 设备缺陷是指已投入运行或备用的各个电压等级的电气设备,有威胁安全的异常现象需要进行处理者。其范围包括:变配电一次回路设备(如变压器、电动机、断路器、闸刀、母线、电力电缆、互感器、避雷器等);变配电二次回路设备(如仪表、继电保护和自动装置、控制电缆、信号系统、蓄电池及其他直流系统等);接地装置、通讯设备及与供电有关的其他辅助设备;配电装置构架及房屋建筑。

**6.3.4.2 缺陷分类** 缺陷分类应按其对供电安全的威胁程度,分为紧急、重要和一般三类,由设备主人根据下列原则自行划分,站长应经常复查审定。

(1)紧急缺陷:性质严重,情况危急,必须立即处理,否则将发生人身伤亡、设备损坏或停电事故。

(2)重要缺陷:性质重要,情况严重,虽尚可继续运行,不致立即发生事故,但已影响设备的出力,不能满足系统正常运行之需要,或短期内将会发生事故,威胁安全运行。

(3)一般缺陷:性质一般,情况轻微,对安全运行影响不大,可列入计划,进行处理。

**6.3.4.3 发现缺陷后的汇报** 值班人员发现紧急缺陷后,应立即通知站长并向上级汇报。发现重要缺陷后应向站长汇报,对于严重影响设备出力,不能满足当时系统正常运行需要之重要缺陷,也应向上级汇报。一般缺陷,应按月向机动科汇报,对无法自行处理的应提出要求,请安排在计划检修中处理。对所发现的一切缺陷,值班人员应在交接班时,作好交接处理。

#### 6.3.4.4 缺陷的处理

(1)紧急缺陷,从发现后 24h 内进行处理。如无法停电处理的,应采取紧急措施(转荷或限荷等)。

(2)重要缺陷,应尽可能及时处理。如不能立即处理的,应安排在最近期内计

划处理,但不应超过一周。

(3)一般缺陷,不论其是否影响安全,均应积极处理。如有困难者可列入计划处理。

(4)紧急和重要缺陷在未处理好前,应加强监视,采取有效措施,防止发展成为事故。

**6.3.4.5 缺陷的登记与统计** 值班人员应备有缺陷记录簿,应设有缺陷指示图或表,明显表示设备存在缺陷之情况。记录簿、揭示图应指定专人负责,及时修改,保持其正确性。任何缺陷都应记入缺陷记录簿。对于在操作、检修、试验等工作中发现的缺陷而未处理的均应登记,对当时已处理的,如有重要参考价值的也要作好记录。缺陷记录的主要内容应包括:设备名称、缺陷主要内容、缺陷分类、发现者姓名和日期、处理意见、处理结果、处理者姓名和日期。

### 6.3.5 变电所的操作制度

**6.3.5.1 倒闸操作的一般规定** 倒闸操作是一项复杂的工作,同时也是值班人员的一件重要工作,为了不使操作中发生错误,值班人员必须充分了解当时有关电气设备相互之间的连接、当时的运行情况以及保护装置的整定值等,执行倒闸操作的值班人员必须集中注意力,严格遵守电气设备倒闸操作的规定。

(1)电力系统是一个整体,局部设备状态的改变必然会影响到系统中的其他部分,因此各种倒闸必须相互配合。值班人员进行倒闸操作,必须按照运行领导人员的命令或得到其同意后进行。只有在紧急情况下(如发生火灾、自然灾害、人身事故等)或事故处理时,才允许不经运行领导人员的同意,先行操作,但事后仍应设法尽快将操作经过报告给运行领导人员。

(2)倒闸操作工作只允许由变电所值班人员进行。工厂、企业配电站的现场运行规程中,必须明确规定哪些设备的倒闸可以由哪一级运行领导人员的命名或得到其同意后进行。在现场规程中,除了应规定正常情况下的操作顺序外,还应规定事故时和失去通讯联系时的操作规定。

(3)为了避免误操作,一切倒闸操作不得在交接班时进行,并应尽可能在负荷最小时进行。除了紧急和事故情况,不得在高峰时进行。

(4)每一个工厂企业变配电所都应有与本变电所实际情况相符的主结线模拟屏。在模拟屏上,除了应表示所用闸刀、断路器的合、分位置外,还应表示出临时接地线的安装地点及接地编号。值班人员在值班时间内进行的一切结线改变以及安装和拆除临时接地线等,必须于操作完后立即在模拟屏上标明。

(5)发布倒闸操作命令,必须事先根据模拟屏检查各项操作是否正确,操作顺序是否正确。严禁凭想象、凭记忆发布操作命令。进行倒闸操作必须按照规定格式填倒闸操作票(格式见表 10.1.13)。填写操作票的目的是使操作人员事先想好操作的内容和操作的步骤,使在执行操作任务时不致将操作顺序颠倒或漏掉某一

项操作内容。根据误操作的事故分析,大部分误操作事故(如带负荷拉刀闸,未拆接地线合闸等),都是由于操作人员未使用倒闸操作票或用得不正确(如未考虑操作的顺序,已执行的操作未做好记号或操作漏项等)所造成的。也有一部分操作事故是由于操作票填得不正确(如操作顺序不正确或漏操作项目)所造成的。

#### 6.3.5.2 变配电所内的倒闸操作主要范围

- (1)开关、闸刀及熔丝的合上或拉开。
- (2)交直流操作回路的合上或拉开。
- (3)继电保护、自动装置的用上或停用。
- (4)临时接地线的拆除或挂上(包括验电、放电)。
- (5)有载调压变压器分接头的调整。
- (6)核相、核相序及用兆欧表测绝缘。
- (7)保安锁的挂上或取下。

6.3.5.3 倒闸操作的步骤 在正常情况下,操作人员进行操作时必须严格遵守下列步骤:

- (1)填写操作工作票;
- (2)审票和核对操作设备的实际状态;
- (3)开始操作前应先在模拟屏上进行核对性的模拟操作预演;
- (4)检查、带好安全工具和用具;
- (5)进入操作现场(倒闸操作必须二人进行,一人操作,一人监护);
- (6)核对操作设备所在的仓位和铭牌;
- (7)按操作工作票上的顺序,监护人发令,操作人进行正式操作;
- (8)进行操作结束后的复查;
- (9)操作完毕,整理资料归档;
- (10)整理操作工具和器具。



## 第二章 节电技术

### 1 提高供电设备的利用率

#### 1.1 概述

电网中电力变压器和输配电线路等供电设备(或装置)的利用率高低,非常密切地关系到电网电力供应的经济效益,特别要引起人们重视的是怎样充分提高配电变压器(简称配变)和配电线路的利用率。因为这些供电设备或装置的很大一部分,是由用户直接使用和管理的。所以,充分提高这些供电设备(或装置)的利用率,不但能使整个电网设备(包括上述供电设备)达到投资少和效益高的经济效果,而且能明显地改善电能质量。功率因数( $\cos\varphi$ )是体现供电设备利用率高低的主要指标,而决定电网功率因数高低的主要因素,却是用户的负载性质及用电状况。例如一台  $100\text{kV}\cdot\text{A}$  配变,若只向平均功率因数为 0.7 的电感性负载供电,则仅可提供  $70\text{kW}$  有功功率;如果向功率因数近似 1 的电阻性负载供电,那么就能提供将近  $100\text{kW}$  的有功功率。由此可知,用户负载的功率因数越高,则供电设备的利用率也就越高。

在现代电网中,电感性负载几乎已达 70%。绝大部分电感性负载,如电动机和变压器等,其功率因数的高低却与其输出功率的大小有关。通常在满载条件下运行时,它的功率因数往往较高;在空载条件下运行时就显得很低。也就是说,这类负载的输出功率越低(荷载越轻),其功率因数就越低,即供电设备的利用率也就越低。

常用负载的一般功率因数如表 10.2.1 所列。

常见工厂的一般功率因数如表 10.2.2 所列。

常见生产车间的一般功率因数如表 10.2.3 所列。

提高功率因数的方法主要有以下两种:

(1)减少无功功率的占用量;减少负载所需的由电源提供的无功功率,就等于



提高了电网的功率因数。这方面的技术措施较多,后面将分别介绍。

(2)人工补偿功率因数:在规定的用电量(负荷量)范围内,凡负载的功率因数低于电网规定的功率因数时,用户就需进行人工补偿。例如,电网规定的功率因数为0.9,而负载原有的平均功率因数为0.75,则就需用人工补偿方法去提高到0.9。人工补偿的手段通常都采用安装一定容量的电力电容器。

表 10.2.1 常用负载的一般功率因数

性质	分类	功率因数	名称
电阻性负载	照明	$\cos\varphi \approx 1$	白炽灯、碘钨灯、溴钨灯等
	电热		生活电炉、电熨斗、电烙铁、电饭煲、电热毯、电烘箱、电热取暖器、电烫发器等
电感性负载	照明	0.4 0.5 <sup>①</sup>	高压钠灯 荧光灯(俗称日光灯)
		0.6 0.9	高压汞灯、钠铊铟灯、镝灯等 管形氙灯
	电力	0.10	高频感应电炉(不带功率因数补偿装置)
		0.20	小容量试验变压器(试验设备用)
		0.35	电焊变压器(手动焊接)、低频感应电炉(不带功率因数补偿装置)
		0.40	电焊变压器(自动焊接)
		0.50	起重机(工厂企业用)、金属冷加工机床(单独传动)
		0.60	热加工机床、压床、锤床、剪床、锻工机械、点焊机、直流电焊发电机组等
		0.70	带电动发电机组试验台、对焊用电焊机等
		0.75	连续运输机械、搅拌机、多头焊接用直流发电机组焊机
0.80	泵、压缩机、鼓风机、排风机、破碎机、筛选机、碾砂机、电动发电机等		
0.80~0.85	通风机、磨碎机		
0.82~0.90	水银整流机组(在变压器一次侧)		

注:①指各种规格的平均值。

表 10.2.2 常见工厂的一般功率因数

工厂类别	功率因数
重型机床制造厂	0.71
锅炉制造厂	0.73~0.75
电器开关制造厂	0.75
铸管、石油机械制造厂	$\cos\varphi = 0.78$
中型造船厂	0.78~0.80
仪表仪器制造厂	0.80~0.82
柴油机制造厂	0.74~0.84

表 10.2.3 常见生产车间的一般功率因数

车 间 类 别	功 率 因 数
焊接车间	0.45~0.50
金工车间、锻压车间(不包括高压水泵)等	0.55~0.65
木工车间	0.60
工具车间、检修车间、落料车间、煤气站、废钢	0.65
铁处理车间、铸钢车间(不包括电炉)等	$\cos\varphi =$
热处理车间	0.65~0.70
铸铁车间	0.70
冷冻站、压缩空气站等	0.75
锅炉房、水泵站、充电站等	0.80
电镀车间	0.85

## 1.2 功率因数的补偿

功率因数补偿用的电力电容器能起到移相作用,故又叫移相电容器,或称作电力补偿电容器。这种电容器一般分为单相式和三相式两种,大多数都采用油浸纸质绝缘结构,由薄钢板制成的箱体加以密封。单相式的箱壳顶端置有两只出线端套管;三相式的置有三只出线端套管,内部通常都以三角形( $\Delta$ )联接方法并接了另三个端头,故连接三相电源时十分方便。常用的电压等级分有 10.5kV、6.3kV 和 0.4kV 三种,以分别适用于高低压配电线路的 10kV、6kV 和 0.38kV 的各级配电电压。但用得最多最普遍的却是 0.4kV 的一种。高低压电力电容器的主要参数如表 10.2.4 所列。外形尺寸和质量如表 10.2.5 所列。

### 1.2.1 补偿容量的确定

当用户的电感性总的有功负荷量( $P$ )、补偿前功率因数( $\cos\varphi_1$ )和需要提高到(即补偿后)的功率因数( $\cos\varphi_2$ )都已确定时,则补偿容量( $C$ )可由下式求出:

$$C = KP \quad (\text{kvar})$$

式中  $K$ ——补偿系数(即由  $\cos\varphi_1$  提高到  $\cos\varphi_2$  的每千瓦电感性有功负载所需补偿的容量),可查表 10.2.6 得到;

$P$ ——电感性负载功率(kW)。

表 10.2.4 高低压电力电容器的主要参数

型 号	额定电压 (kV)	额定频率 (Hz)	容 量		使用前耐压试验电压值(kV)	
			额定容量 (kvar)	标称容量 ( $\mu$ F)	极间	极与外壳间
BW0.4-10-1	0.4	50	10	199	0.731	2.55
BW0.4-12-1			12	239		
BW0.4-14-1			14	279		
BW0.4-10-3			10	199		
BW0.4-12-3			12	239		
BW0.4-14-3			14	279		
BW6.3-10-1	6.3	50	10	0.803	11.5	21.3
BW6.3-12-1			12	0.964		
BW6.3-17-1			17	1.36		
BWF6.3-25-1			25	2.01		
BGF6.3-50-1			50	4.01		
BWF6.3-100-1			100	8.02		
BGF6.3-200-1	200	16.1				
BW10.5-10-1	10.5	50	10	0.29	22.6	29.8
BW10.5-12-1			12	0.347		
BW10.5-17-1			17	0.493		
BWF10.5-25-1			25	0.722		
BGF10.5-50-1			50	1.44		
BWF10.5-100-1			100	2.86		
BGF10.5-200-1	200	5.78				

注：型号最后一位数表示相数，1为单相，3为三相；型号末尾附有“TH”的，表示可用于热带地区的产品。

表 10.2.5 常用高、低压电力电容器的外形尺寸和质量

型 号	外形尺寸(mm)				质 量 (kg)
	总 高	箱 体(容器)			
		高	宽	长	
BW0.4-10-1	419	340	110	440	23
BW0.4-12-1	411	340	110	440	24
BW0.4-14-1	431	360	110	440	24
BW0.4-10-3	407	340	110	440	23
BW0.4-12-3	411	340	110	440	24
BW0.4-14-3	431	360	110	440	24
BW6.3-10-1	497	360	110	440	24
BW6.3-12-1	497	360	110	440	24
BW6.3-17-1	497	360	110	440	25
BWF6.3-25-1	497	360	110	440	25
BGF6.3-50-1	497	360	110	440	25
BWF6.3-100-1	844	660	140	650	78
BGF6.3-200-1	844	660	140	650	78
BW10.5-10-1	534	360	110	440	25
BW10.5-12-1	534	360	110	440	25
BW10.5-17-1	534	360	110	440	25
BWF10.5-25-1	534	360	110	440	25
BGF10.5-50-1	534	360	110	440	25
BWF10.5-100-1	864	660	140	650	80
BGF10.5-200-1	864	660	140	650	80

表 10.2.6 补偿系数 K 值

单位: kvar

$\cos\phi_2$ K $\cos\phi_1$	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.40	1.542	1.569	1.596	1.621	1.647	1.673	1.699	1.727	1.753	1.789	1.807	1.837	1.866	1.899	1.929	1.965	2.003	2.040	2.090	2.152	2.293
0.41	1.473	1.500	1.527	1.552	1.578	1.604	1.630	1.658	1.684	1.711	1.738	1.768	1.797	1.830	1.860	1.896	1.934	1.975	2.021	2.083	2.224
0.42	1.412	1.439	1.466	1.491	1.517	1.543	1.569	1.597	1.623	1.650	1.677	1.707	1.736	1.769	1.799	1.835	1.873	1.914	1.960	2.022	2.163
0.43	1.352	1.379	1.406	1.431	1.457	1.485	1.509	1.537	1.563	1.590	1.617	1.647	1.676	1.709	1.739	1.775	1.813	1.854	1.900	1.962	2.103
0.44	1.288	1.315	1.342	1.367	1.393	1.412	1.445	1.473	1.499	1.526	1.553	1.583	1.612	1.645	1.675	1.711	1.749	1.790	1.836	1.898	2.039
0.45	1.234	1.261	1.288	1.313	1.339	1.365	1.391	1.419	1.445	1.472	1.499	1.529	1.558	1.591	1.621	1.657	1.695	1.736	1.782	1.844	1.985
0.46	1.180	1.207	1.234	1.259	1.285	1.311	1.337	1.365	1.391	1.418	1.445	1.475	1.504	1.537	1.567	1.603	1.641	1.682	1.728	1.790	1.931
0.47	1.125	1.152	1.179	1.204	1.230	1.256	1.282	1.310	1.336	1.363	1.390	1.420	1.459	1.492	1.522	1.558	1.596	1.637	1.683	1.745	1.876
0.48	1.076	1.103	1.130	1.155	1.181	1.207	1.233	1.261	1.287	1.314	1.341	1.371	1.400	1.433	1.463	1.499	1.537	1.578	1.624	1.686	1.827
0.49	1.036	1.063	1.090	1.115	1.141	1.167	1.193	1.221	1.247	1.274	1.301	1.331	1.360	1.393	1.423	1.459	1.497	1.538	1.584	1.646	1.787
0.50	0.981	1.008	1.035	1.060	1.086	1.112	1.138	1.166	1.192	1.219	1.246	1.276	1.305	1.338	1.368	1.404	1.442	1.483	1.529	1.591	1.732
0.51	0.939	0.966	0.993	1.018	1.044	1.070	1.106	1.134	1.160	1.187	1.214	1.244	1.273	1.306	1.336	1.372	1.410	1.451	1.497	1.559	1.690
0.52	0.890	0.917	0.944	0.969	0.995	1.021	1.047	1.075	1.101	1.128	1.155	1.185	1.214	1.247	1.277	1.313	1.351	1.392	1.438	1.500	1.641
0.53	0.849	0.876	0.903	0.928	0.954	0.980	1.006	1.034	1.060	1.087	1.114	1.144	1.173	1.206	1.236	1.272	1.310	1.351	1.397	1.459	1.590
0.54	0.808	0.835	0.862	0.887	0.913	0.929	0.965	0.993	1.019	1.046	1.073	1.103	1.132	1.165	1.195	1.231	1.269	1.310	1.356	1.418	1.559
0.55	0.766	0.793	0.800	0.845	0.871	0.897	0.923	0.951	0.977	1.004	1.031	1.061	1.090	1.123	1.153	1.189	1.227	1.268	1.314	1.376	1.517
0.56	0.728	0.755	0.782	0.807	0.833	0.859	0.885	0.913	0.939	0.966	0.993	1.023	1.052	1.085	1.115	1.151	1.189	1.230	1.276	1.338	1.494
0.57	0.691	0.718	0.745	0.770	0.796	0.822	0.848	0.876	0.902	0.929	0.956	0.986	1.015	1.048	1.078	1.114	1.152	1.193	1.239	1.301	1.442
0.58	0.655	0.682	0.709	0.734	0.760	0.786	0.812	0.840	0.866	0.893	0.920	0.950	0.979	1.012	1.042	1.078	1.116	1.157	1.203	1.265	1.406
0.59	0.618	0.645	0.672	0.697	0.723	0.749	0.775	0.803	0.829	0.856	0.883	0.913	0.942	0.975	1.005	1.041	1.079	1.120	1.166	1.228	1.369

续表

cosφ <sub>2</sub> K cosφ <sub>1</sub>	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
	0.60	0.583	0.610	0.637	0.662	0.688	0.714	0.740	0.768	0.794	0.821	0.848	0.878	0.907	0.940	1.970	1.006	1.044	1.085	1.131	1.189
0.61	0.549	0.576	0.603	0.628	0.654	0.680	0.706	0.734	0.760	0.787	0.814	0.844	0.873	0.916	0.936	0.972	1.010	1.051	1.097	1.159	1.300
0.62	0.515	0.542	0.569	0.594	0.620	0.646	0.672	0.700	0.726	0.753	0.780	0.810	0.839	0.872	0.902	0.938	0.976	1.017	1.063	1.125	1.266
0.63	0.481	0.508	0.535	0.560	0.586	0.612	0.638	0.666	0.692	0.719	0.740	0.776	0.805	0.838	0.868	0.904	0.942	1.983	1.029	1.091	1.232
0.64	0.450	0.477	0.504	0.529	0.555	0.581	0.607	0.635	0.661	0.688	0.715	0.745	0.774	0.807	0.837	0.873	0.911	0.952	0.998	1.060	1.201
0.65	0.417	0.444	0.471	0.496	0.522	0.548	0.574	0.602	0.628	0.655	0.682	0.712	0.741	0.774	0.804	0.840	0.878	0.919	0.965	1.027	1.168
0.66	0.388	0.415	0.442	0.467	0.493	0.519	0.545	0.573	0.599	0.626	0.653	0.683	0.712	0.745	0.775	0.811	0.849	0.890	0.936	0.998	1.139
0.67	0.357	0.384	0.411	0.436	0.462	0.488	0.514	0.542	0.568	0.595	0.622	0.652	0.681	0.714	0.744	0.780	0.818	0.859	0.905	0.967	1.108
0.68	0.327	0.354	0.381	0.406	0.432	0.458	0.484	0.512	0.538	0.565	0.592	0.622	0.651	0.684	0.714	0.750	0.788	0.829	0.875	0.937	1.078
0.69	0.297	0.324	0.351	0.376	0.402	0.428	0.454	0.482	0.508	0.535	0.562	0.592	0.621	0.654	0.684	0.720	0.758	0.799	0.845	0.907	1.048
0.70	0.270	0.297	0.324	0.349	0.375	0.401	0.427	0.455	0.481	0.508	0.535	0.565	0.594	0.627	0.657	0.693	0.731	0.772	0.818	0.880	1.021
0.71	0.241	0.268	0.295	0.320	0.346	0.372	0.398	0.426	0.452	0.479	0.506	0.536	0.564	0.598	0.628	0.664	0.702	0.743	0.789	0.851	0.992
0.72	0.212	0.239	0.266	0.291	0.317	0.343	0.369	0.397	0.423	0.450	0.477	0.507	0.536	0.569	0.599	0.625	0.673	0.714	0.760	0.822	0.963
0.73	0.185	0.212	0.239	0.264	0.290	0.316	0.342	0.370	0.396	0.423	0.450	0.480	0.509	0.542	0.572	0.608	0.646	0.687	0.733	0.795	0.936
0.74	0.157	0.184	0.211	0.236	0.262	0.288	0.314	0.342	0.368	0.395	0.422	0.452	0.481	0.514	0.544	0.580	0.618	0.659	0.705	0.767	0.908
0.75	0.131	0.158	0.185	0.210	0.236	0.262	0.288	0.316	0.342	0.369	0.396	0.426	0.455	0.488	0.518	0.554	0.592	0.633	0.679	0.741	0.882
0.76	0.103	0.130	0.157	0.182	0.208	0.234	0.260	0.288	0.314	0.341	0.368	0.398	0.427	0.460	0.490	0.526	0.564	0.605	0.651	0.713	0.854
0.77	0.078	0.105	0.132	0.157	0.183	0.209	0.235	0.263	0.289	0.316	0.343	0.373	0.402	0.435	0.465	0.501	0.539	0.580	0.626	0.680	0.829
0.78	0.052	0.079	0.106	0.131	0.157	0.183	0.209	0.237	0.263	0.290	0.317	0.347	0.376	0.409	0.439	0.475	0.513	0.554	0.600	0.662	0.803
0.79	0.024	0.051	0.078	0.105	0.129	0.155	0.181	0.209	0.235	0.262	0.289	0.319	0.348	0.381	0.411	0.447	0.485	0.526	0.572	0.634	0.775

### 1.2.2 补偿方式

分集中补偿和分散补偿两种。

(1)集中补偿:补偿装置(电力电容器组)设在总配电装置或分路配电装置上进行补偿的,叫做集中补偿,前者适用于较小容量的用户,后者适用于较大容量的用户。凡负载功率不大而数量又较多的用电场所,宜尽量采用集中补偿。因集中补偿既经济又便于安装和维护保养,也能较准确地确定总的补偿电容量。

(2)分散补偿:又叫做个别补偿,是补偿装置分别设在每个负载的控制装置上的一种补偿方式,通常适用于较大功率的负载。凡对电动机进行个别补偿时,宜以电动机的空载电流来确定补偿电容量。若按空载电流补偿到  $\cos\varphi \approx 1.0$  的,可由下式求出补偿电容量(C):

$$C \leq \sqrt{3} U I_0$$

式中  $U$ ——电动机的额定三相线电压;

$I_0$ ——电动机的空载三相线电流。

也可查表 10.2.7 得到所需的补偿电容量。

表 10.2.7 电动机个别补偿的最大补偿电容量

kvar

电动机容量(kW)	电动机转速(r/min)					
	3000 (2极)	1500 (4极)	1000 (6极)	750 (8极)	600 (10极)	500 (12极)
7.5	2.5	3.0	3.5	4.5	5.0	7.0
10	3.5	3.0	4.5	6.5	7.5	9.0
13	5.0	4.0	6.0	7.5	8.5	11.5
17	6.0	5.0	6.5	8.5	10.0	14.5
22	7.0	7.0	8.5	10.5	12.5	15.5
30	8.5	8.5	10.5	12.5	15.0	18.5
35	11.0	11.0	12.5	15.0	18.0	23.0
45	13.0	13.0	15.0	18.0	22.0	26.0
55	17.0	17.0	18.0	22.0	27.5	33.5
75	21.5	22.0	25.0	29.0	33.0	38.0
90	25.0	26.0	29.0	33.0	40.0	45.0
110	32.5	32.5	33.0	36.0	45.0	52.5
150	40.0	40.0	42.5	45.0	55.0	65.0

## 1.3 电力电容器组的安装与维护

### 1.3.1 安装

电力电容器大多由多只同型号电容器联并成组后使用,故称作电力电容器组,简称电容器组。安装方式分有柜装式和架装式两种。柜装式属成套电器,有成品供应;架装式由用户自行组装,但有一定的技术要求。具体见第三篇第一章的 2.6 (电容总安装)。

### 1.3.2 投入运行前的注意事项

电力电容器组投入运行前应注意的主要项目有:

(1)耐压试验:新的或较长期停用的电力电容器,在投入运行前应作耐压试验,合格的才可投入使用。试验电压标准见表 10.2.4。

(2)试运行:新装的电力电容器组在正式投入运行前,宜作一次较短时间(约 1 小时)的试运行,以观察运行是否正常。凡出现电容器温度升得过高或个别电容器有漏油、爬电等现象,以及补偿后出现电压较大幅度地超过额定值等,均属于不正常状态,应停止运行并予以排除。

(3)防止产生自激:凡直接与感应电动机连接(个别补偿)的电容器,往往会因电动机控制开关分断而产生自激。这时电容器所承受的电压很可能会升高到超过所能承受的程度,为此,要求在选配电容量时,务必使电容电流小于电动机的磁化电流(约为 90% 为宜)。

### 1.3.3 维护保养

电力电容器组必须进行合理的维护保养,才能确保安全运行。主要的维护保养项目有:

(1)应进行运行监视:电力电容器组投入运行后应有专人负责进行监视,并需按时进行运行情况的记录。同时,必须及时按负载容量的变化而增减补偿电容器的电容量,或及时进行解列或投入,以免出现较长时间的过补偿或欠补偿。

(2)应定期进行保养:电力电容器组应定期进行清除积尘;定期加固各种连接螺钉;及时查出病电容(如爬电、漏电、漏油或凸肚等),并及时使之退出运行。此外,若环境温度超过 40℃ 时,应及时采取人工降温。如果降温无效时,应及时使电力电容器组退出运行。

(3)定期检查保护装置:电力电容器组的控制和保护装置,应至少每月检查一次,以便及时发现不正常的状况。如果出现熔体烧毁或断路器自动跳闸,必须查明原因,并应及时排除。

### 1.3.4 电力电容器的常见故障和排除方法

电力电容器的常见故障和排除方法参见表 10.2.8。



表 10.2.8 电力电容器的常见故障和排除方法

故障现象	排 除 方 法
爬 电	通常由套管及箱盖表面积灰过多所引起,用清洁、干燥纱团(俗称回丝)或布块擦净即可
渗 油	渗油或漏油往往在电容器温升较高时出现(初次出现),应及时修复。修理方法:渗漏处擦去油迹,铲除漆层,并擦亮;接着用电烙铁进行锡焊修补。注意:若在套管焊缝处进行修补时,应避免过热,以防套管上银层脱落
凸 肚	通常因绝缘老化所引起,一般无法自行修复
开 路	通常由内部引出线断裂所引起。可先排去箱内绝缘油,再拆开箱盖;找出断端进行焊接;然后充入新油并需经过干燥处理
套管破碎	要更换套管。若油已变质,必须更换,并应经过干燥处理
油面下降	应添加经过净化处理过的、性能经过试验合格的电容器专用绝缘油(电容器油);如果油面已低于电容元件的,加油后尚需经过真空干燥处理

## 2 降低配电变压器自耗的技术措施

配电变电是电网的最后一次变电,所以配电变压器(简称配变)应用之广、数量之多是可想而知的。为此,降低配变的自身消耗,提高配变的效率是一个不可忽视的节电项目。

### 2.1 以经济运行原则来选用配电变压器容量

变压器的效率与它的运行状况密切相关。如果能以变压器的经济运行原则来选用配电变压器的容量,就可以获得较理想的节电效果。

#### 2.1.1 变压器的运行特性

变压器的运行分有空载运行和负载运行两种。其中负载运行又存在轻载、满载和过载三种运行状况,而且还存在不同程度的轻载(或过载)。变压器在不同运行状况下就有着不同的运行特性。就效率而言,变压器在满载运行时,它的效率较为理想。但一台变压器投入运行后,是不可能总是处于满载状态的,事实是各种运行状况都在交替出现。

变压器效率与负载率、负载的功率因数、变压器的空载损耗和变压器的短路损耗有着密切关系,其中既跟外界负载性质、负载量大小有关(前两个因素),又跟变

压器自身性能参数有关(后两个因素)。以同一容量的变压器而言,若它的空载损耗和短路损耗较小,则它的效率就较高;通常变压器容量越大,其效率就越高;铜质线圈的比铝质线圈的效率要高。

### 2.1.2 变压器经济运行原则

要提高变压器运行效率,就需根据变压器运行特性来综合考虑以下一些主要内容:

- (1)提高负载的功率因数。
- (2)合理选用变压器容量,应使变压器在运行时的负载率尽可能接近最佳负载率。
- (3)选用损耗较低的新系列变压器,如新的 S9 系列。
- (4)对一个用户来说,尽可能减少变电的次数。
- (5)在多台变压器并联运行时,要力求达到最低的损耗。

上述五点,是要使变压器达到经济运行的目的所必须遵循的原则。

### 2.1.3 按经济运行原则来选择变压器的容量

选择的方法和步骤是:

(1)计算负荷量及功率因数,在低损耗系列的变压器中选择多种容量(即不同规格)的变压器,以供作待选变压器(其额定容量应大于负荷的最大视在功率)。

(2)计算出各种容量变压器与负荷( $S_2$ )对应的负载率( $\beta$ 值)。

(3)根据上述  $\beta$  值以及各种容量变压器的空载损耗( $P_0$ )和短路损耗( $P_k$ )计算出每台变压器运行时的损耗与效率(一般情况下宜选用效率较高的)。

(4)具体确定变压器的容量时,既要考虑变压器的损耗,又需考虑适当提高变压器的容量利用率。在一般情况下,负载率宜在 70%~80% 范围内选取。如果选用的变压器负载率低于 40% 的,应根据变压器的投资和 10 年运行费用的总值进行比较,以费用最低的一台变压器的容量作为入选的变压器。

## 2.2 调整运行负荷,采取合理的运行方式

电网在一天 24h 的运行过程中,它的负荷不可能是处于稳定不变状态的,必定有高低起伏。在正常情况下,每天起伏时间和高低幅度是有一定规律的,即所谓的负荷高峰和负荷低谷。如果这些“峰”与“谷”以曲线的波形来显示,那么波形越平坦就意味着电网电能被利用得越充分、越合理。为了尽可能减少变压器的自耗,也可通过调整负荷和改善变压器的运行方式来达到目的。

### 2.2.1 调整运行负荷

采取这一措施的目的,在于使变压器处于尽可能接近最佳负载率的状况下运行,以求变压器得到最高的利用率。通常采取的措施有:

(1)如果一个单位(或部门)只装有一台配电变压器的,应避免大功率负载的用电时间,避免集中在同一时间用电,不让负荷曲线形成过高的“峰颠”和过低的“谷底”;同时结合精确选用变压器容量,即可获得较好效果。

(2)如果装有多台变压器进行并联运行的单位,应按各台变压器的负载率及时调整负荷,需把负荷较大部分的负载及时切换到负载率较小的变压器上,以求使各台变压器尽量都处于接近最佳负载率的运行状态。当整个负荷处于“低谷”时,则解列一台或几台变压器,使其余变压器仍可处于接近最佳负载率的运行状态。

### 2.2.2 采取合理的运行方式

凡置有多台变压器并联运行的单位,尤需注意的有:

(1)合理投入变压器的运行台数,应按总负荷大小来合理安排投入运行的变压器台数,以求达到最小的变压器自身损耗。

(2)配电变压器低压侧输出电网,宜尽可能形成环形网路,以便能随负荷变化而采取及时切换,或决定投入运行的变压器台数,且又不影响各环节的所需电力供应。

## 3 降低配电线路损耗的技术措施

电能在线路上的传送过程中,存在着电能损耗,这种损耗叫作线路损耗,简称线损。线损既可以用功率损耗来衡量,又可以用电压损耗(跌落)来衡量。在一般用电环境中,大多数都用电压损耗来衡量。在高压配电线路上,规定线损的电压值应不超过额定值的5%。如10kV配电线路的末端电压应不低于9.5kV;在低压配电线路上,规定线损的电压值一般不可超过额定值的4%;如380V配电线路末端电压不可低于365V。

降低线损是一项不容忽视的节电项目。如果线路设计不合理,负荷密度安排不妥和线路上的无功份量过高等,都会出现较高的线损。在一般用电单位,通常可采取以下一些措施来降低线损。

### 3.1 合理安排线路负荷

根据线损的基本计算公式 $\Delta P = 3I^2 R$ 可知,要降低线损,除了降低线路导线的电阻( $R$ )值外,更重要的是在输送同样功率电能时,要尽量减小电流值。为此,合理安排线路负荷是基本而有效的一项降低线损措施。这项措施通常应从以下两方面着手。

#### 3.1.1 按经济电流密度调整每条线路的负荷

为了提高线路运行的经济效益,故需采用导线的经济截面积的原则。经济截面积是按年运行总费用最小这一指标来选取的。导线载流的经济电流密度就是对

应于经济截面积的电流密度。经济电流密度与导线材料及线路最大利用时间有关。如表 10.2.9 所列。

表 10.2.9 经济电流密度值

经济电流密度 (A/mm <sup>2</sup> ) 导线材料 (或品种)	年最大利用时间(h)		
	<3000	3000~5000	>5000
裸铜线或铜母线	3.0	2.25	1.75
裸铝线或铝母线	1.65	1.15	0.90
铜芯电缆	2.5	2.25	2.0
铝芯电缆	1.95	1.73	1.54

按经济电流密度来选择线路导线的截面时,可用下式进行计算。

$$S = \frac{I_G}{J}$$

式中  $S$ ——导线截面积(mm<sup>2</sup>);  
 $I_G$ ——最大负荷电流(A);  
 $J$ ——经济电流密度(A/mm<sup>2</sup>)。

### 3.1.2 提高线路负荷率通常采取的方法

(1)合理分布线路的负载。既要考虑到负载的功率分布的平衡,尤其是单相负载在三个相位上需平均分配,使之平衡;又要考虑到负载的使用时间分布状况的均匀性。总之,要两个因素综合起来去分布线路上的负载,方能提高线路的负荷率。

(2)调整线路负荷,尤其是日夜负荷不均匀的用电单位,宜适当调整主要负载的用电时间,予以错开使用,使线路的导线载流量在一天中尽量多的时间内处于均匀状态。在多条线路并列传送电能的,也需随负荷的增减而进行及时切换。

## 3.2 提高线路的功率因数

一条线路输送一定的有功功率时,线路上的无功电流越大,则线损也就越高。因损耗功率与功率因数的平方成反比,如下式所表示:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2$$

式中  $\Delta P_1$ 、 $\Delta P_2$ ——相对于  $\cos \varphi_1$  和  $\cos \varphi_2$  下的损耗功率(W)。

一条线路的功率因数若从  $\cos \varphi_1$  提高到  $\cos \varphi_2$ ,其线损降低的百分率( $\Delta P\%$ )可由下式算出:

$$\Delta P\% = \left[ 1 - \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \right] \times 100\%$$

也可在表 10.2.10 中查得。

表 10.2.10 提高线路功率因数与线损降低的百分数

$\cos\varphi$ 由右列值 提高到 0.95	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
功率损耗减少(%)	60	53	46	38	29	20	10

提高线路功率因数,通常也采用电力电容器进行补偿。

### 3.3 加强维修,提高线路质量

如果线路因绝缘结构破损或老化而存在漏电、爬电和闪络等放电现象,或者存在连接点接触电阻增大以及线路走向存在不必要的迂回等现象,都会较严重地增加线损。所以加强维修是降低线损的一个不可忽视的环节,具体要注意的有以下两个方面。

#### 3.3.1 加强线路绝缘结构的维修

要定期测量线路的绝缘电阻,凡出现绝缘电阻值低于规定标准时,必须进行检查,并及时排除故障或故障苗子。线路绝缘结构较易受损的部位(如裸导线的支持瓷瓶和处于高温、腐蚀或潮湿环境的绝缘导线等)应作为重点维修对象。

#### 3.3.2 重视线路维修工艺的规范化

许多线路因在敷设施工时采用了不正规的加工工艺,如连接点连接加工不紧密或未具有足够的接触面积,或铜铝导线连接没有采用正确的铜铝过渡等,使连接点存在较大的接触电阻,甚至载流后形成导线的热点。又如导线在线路终始端瓷瓶上缠绕一两圈后直接通向负载,使每只瓷瓶上缠绕的导线形成螺旋管状电磁线圈,从而浪费了大量电能。

不管线路原有的加工工艺正确与否,在维修时应一律采用正规的、规范化的操作工艺。

值得引起注意的是,加强线路维修不但是降低线损的一项重要措施,而且也是一个保障安全供电的可靠手段。

## 4 电动机的节电措施

现代各行各业生产机械设备所需的动力,大多由电动机来提供。在工厂企业中,电动机的用电量约达总用电量的 60%。因此,重视电动机的节电具有很大的实际意义。

电动机的类型和品种繁多,但在生产和生活等领域中实际运行的大多数是异步电动机,达总数的 90% 以上。因此,下面着重介绍异步电动机的节电措施。

## 4.1 合理选用电动机的品种和容量

要选用好电动机的品种和容量,达到电动机节电的目的,需先了解一些与电动机节电有关的基本技术指标。

### 4.1.1 电动机性能方面的主要技术指标

与电动机节电有关的主要技术指标有以下两个:

(1)电动机的效率( $\eta$ )可由下式表达:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \times 100\%$$

式中  $P_2$ ——电动机轴端输出的机械功率(kW);

$P_1$ ——电动机输入的电功率(kW);

$\Delta P$ ——电动机的各种损耗(kW)。

由上式可知,当电动机空载时,由于  $P_2 = 0$ ,故效率  $\eta$  也等于零。当  $P_2 > 0$  时,效率  $\eta$  也随之产生,且随  $P_2$  的增加而上升。决定一台电动机的实际效率的因素很多,除设计(型号)、材料和制造工艺等以外,尚与使用有密切关系。如果电动机的负载较轻(即  $P_2$  较小),则效率是不理想的。就电动机本身构造上的差异而言,容量大的比容量小的效率高;磁极极对数多的比少的效率高;三相的比单相的效率高;异步电动机鼠笼式的比绕线式的效率高。

(2)电动机的功率因数( $\cos\varphi$ )。因电动机是感性负载,需要电源提供无功电流来建立磁场。占用无功电流的多少,不但影响着电动机自身的性能优劣,且对电源质量存在着直接的影响。电动机的功率因数如同它的效率一样,除由它的内在因素决定外,也与使用有着密切关系。当电动机空载时,由于  $P_2 = 0$ ,故定子绕组中的电流基本上是用来励磁的,所以功率因数极低,甚至只有 0.1~0.2;当轴端负荷的出现,因转子有功份量的存在而定子有功电流也随之出现,且随轴端负荷的增加而增加,电动机的功率因数也就相应提高,直至达到额定输出功率( $P_2 = \text{额定值}$ )时为最理想的程度。

综上所述可以理解:电动机的效率和功率因数两者有着密切关联。在使用时,电动机处于满载时两者都达到最理想的程度;反之,效率和功率因数也就跟着双双下降。也就是说,效率高时功率因数高;低时也低。

### 4.1.2 电动机选用要点

4.1.2.1 合理选用电动机容量 按上节所述,如电动机容量与生产机械设备所需提供的机械功率相匹配,使电动机能处于长期满负荷运行状态则最为理想。

注:电动机的损耗有转、定子的铁心损耗(铁损),转、定子绕组的铜损,机械摩擦及杂散损耗等。

但事实上并不会处处达到这样理想的完美阶段,诸如电动机起动力矩和意外的负荷过载运行等因素的存在,就要求电动机容量留有适当的余量,以保证生产机械设备进行安全可靠的运行。

电动机容量的选择,通常也以负载率作为一项考核指标。如果一台电动机的负载率低于48%时,应需进行考虑给予更换。但换上的电动机所节省的有功功率,一般不宜小于0.5kW。

**4.1.2.2 合理选用电动机类型** 选用原则是尽可能选择效率高的产品,尽量选用高效节能型的品种。如可用鼠笼式的就不用绕线式的,可用三相的就不用单相的,有Y系列的就不用JD系列的,等等。

**4.1.2.3 合理选用电动机的极数** 电动机的极数决定了它的转速。常用的极数分有2极、4极、6极和8极等多种。以50Hz交流电源来说,它们的同步转速分别为3000r/min、1500r/min、1000r/min和750r/min。电动机的转速必须尽量与机械设备所需转速相匹配。尽量避免采用机械传动变速方式来达到所需转速,因这些机械变速方式的效率都很低,都要求电动机增加容量来满足它们的能耗。

## 4.2 采用电动机降压或调速运行

由于电动机容量的选用,实际上很难能达到较准确的程度。所以投入运行的电动机,它们的负载率多数都较难达到最佳状态。如果采用电动机的降压或调压运行,就能较理想地使电动机的负载率获得具有实效的提高。

### 4.2.1 电动机的降压运行

电动机轴端输出的机械力矩是与输入的电源电压平方成正比的。同时,电动机的铁损又与电源电压平方成正比。可是,任何一台机械设备在起动阶段,几乎都要求电动机提供较大的起动力矩,且异步电动机自身在起动阶段所能输出的力矩本来就是较小的。为了满足机械设备的需要,在选用时不得不考虑以适当增加电动机的容量来达到较大的起动力矩。这就是多数电动机在运行时较难处于较高负载率的主要原因之一。为此,设法在电动机进入正常运行阶段后来降低输入的电源电压,使电动机的负载率得到有效的提高,从而能有效地达到电动机节电的目的。

常用的降低电源电压的方法有:

(1)降低输入电动机的电源电压。通常可采用晶闸管调压装置进行降压,且具有无级调压功能,可随电动机的实际负荷大小而取得适当的降压程度。这种降压方法既有效又方便,但装置的费用较昂贵,维修也较复杂。

(2)改换电动机绕组的联接方式。普遍采用的方法是利用三相电动机三个绕组的两种不同联接,即 $\Delta$ 接与Y接的变换,以取得除以 $\sqrt{3}$ 的电压。众所周知,一台三相异步电动机若 $\Delta$ 接时的工作电压为380V,当改换成Y接时其所需工作电压

即为  $660\text{V}$  ( $380 \times \sqrt{3} \approx 660$ )。这时如对该台电动机仍输入  $380\text{V}$  的电源电压,而对电动机本身而言(Y 接时)都降低至  $1/\sqrt{3}$  的电压,所以也就起到了节电作用。这种方法虽然简便,只要用一台  $\Delta/\text{Y}$  联接的转换开关(市场上有多种成品供应),就可实现电动机的降压运行,但降压程度没有选择余地,所降电压在许多场合往往无法适用。

#### 4.2.2 电动机的调速运行

许多机械设备由于其工作特性决定它不可能处于恒速的条件下进行运转。例如大型镗床的切削给进机构,要求最快时为  $1000\text{r}/\text{min}$  的转速,最慢仅需要  $10\text{r}/\text{min}$  转速。这样对电动机来说,它的负载率必然是十分不稳定的,变化幅度也是很大的。同时,这种大幅度范围内的转速调节,传统的方法通常都是采用齿轮调速机构来实现的。可是齿轮调速机构不但自身的效率很低,能耗很大,而且必然会导致电动机的负载率置于不够理想的位置上,形成电动机效率难以提高的问题。这个难题随着晶闸管无级调速装置的诞生和发展获得了解决。其实,这种晶闸管装置也是通过调压来实现调速的,故也就能实现节电目的。

### 4.3 提高检修质量

加强维护保养和提高检修质量也是实现电动机节电的另一条重要途径,应引起有关人员的充分重视。

#### 4.3.1 加强维护保养

加强维护保养,应着重注意的有以下几个方面:

(1)要及时驱潮,提高电动机的绝缘能力。应定期测量电动机的绝缘电阻,遇到绝缘电阻值低于规定标准的,或出现明显的吸收比反常的,应及时采取驱潮和加强绝缘措施,以免电动机长期处于较大漏电电流的状况下继续运转。因电动机外壳都需要进行保护接地,漏电电流直通大地且往往不易被人们发觉,造成了电能的大量浪费。

(2)要勤于除尘去垢。电动机内部和接线盒内若积满了尘垢,既会降低绝缘能力,又要增加转动部分的摩擦损耗。

(3)要定期清洗轴承,调换润滑脂。轴承部位的润滑脂老化或干涸,不但会严重损坏轴承,又要大量增加摩擦损耗,会明显降低电动机效率。每当电动机累计运转了  $2000 \sim 3000\text{h}$  (或每隔一年),需清洗轴承,加上新的润滑脂,而且所加的润滑脂应经过调制,以提高润滑性能。润滑脂的调制方法是:在  $70\% \sim 80\%$  的润滑脂中,用不断搅拌的方法渐渐加入  $20\% \sim 30\%$  的润滑油,直到两者混和成一体为止。

(4)要组装得正确灵活。每当电动机经过解体保养后(如内部除尘或清洗轴承),就需进行前后端盖的组装。组装时既不可使各种零部件错位,又必须掌握正



确的操作方法,否则就无法保证转子处于最灵活状态。转子灵活性不佳,就要增加摩擦损耗。

### 4.3.2 提高检修质量

电动机的主要大修内容是重绕绕组。这项大修的每道工序的操作工艺正确与否,或操作技能的高低,将直接关系到检修后的电动机性能。检修质量高的,不但能保证检修后电动机的性能不变,而且还能通过检修提高性能,排除原有缺陷。检修时要着重注意的有以下几个方面。

(1)不可火烧旧绕组。许多电工为了贪图方便,不采用正确的操作方法去拆除转定子上的旧绕组,而用火焚烧。当烧毁槽绝缘后就可省力地抽出槽中残存的导线。殊不知这样一烧,转、定子铁心的每片硅钢片表面的绝缘膜也被烧毁,使铁心成为整体的硅钢块,失去原有的磁通量大和涡流小等优良特性。修复后就必然会出现铁损增大、功率下降和温升提高等严重质量问题。

(2)努力降低铜损。铜损是电动机所有损耗中占最大比例的损耗。应该趁重绕绕组时设法尽量去降低修复后的铜耗,至少不可因重绕而增加铜耗。努力的目标是尽可能去扩大一些线径(不牺牲匝数为原则),以减小导线电阻来降低铜耗;或以先进的正弦型绕组去取代落后的叠绕式绕组,以缩短绕组的导线长度。扩大线径后必然会涉及线槽能否容纳的问题,但可采用薄型且耐热性能较好的绝缘材料作为槽绝缘;也可采用薄型且强度高的材料作为槽楔,两者都能增加线槽对导线的容纳量。

(3)应尽量降低通风和摩擦损耗。除了在组装时应装得正确灵活外,尚需趁大修之机检查轴承完好程度和内外风叶是否受损。在组装时,仅以手动盘转感觉来判断灵活程度往往是较不可靠的,如果轴承内外圈存在过松,或轴承钢珠(或滚柱)磨损过多,或风叶已受到较严重损坏,则靠手动盘转的灵活感觉是较难发觉的。只有具体检查这些零部件时才可发觉。若不排除这些故障,就会因动平衡性能不佳和风阻及摩擦增加而降低电动机的效率。

## 4.4 电动机的其他节电措施

电动机的另一节电措施,叫做电动机的磁性槽泥应用技术。大家知道,电动机转、定子铁心为了安排绕组的需要,必须开有线槽,而每条线槽必然存有槽口。当电动机通电运行时,这些槽口表面就会在气隙磁场中出现齿谐波磁通,从而产生了脉振损耗和表面损耗。如果设法采用磁性材料制成磁性楔槽去替代传统的绝缘槽楔,或采用磁性槽泥去填平槽口,就会改变转、定子表面凹凸不平的原有槽齿状态,使气隙磁阻趋于较理想的均匀状态,从而大幅度降低脉振损耗和表面损耗。但这种节电的技术改造,仅适用于大中型电动机,小于5kW的电动机因槽口宽度较小,槽口原有凹度不深和槽泥封填牢度不够等原因而意义不大。但对大中型电动机,

却具有较大的节电价值,尤其是交流高压大中型电动机,其经济效益更大。通过磁性槽楔的改造,可降低空载损耗的30%,可降低空载电流的10%~15%,可提高效率0.5%~1%。而且这项节电的技术改造具有成本低和方法简单等特点,易于推广应用。据统计,目前国内已有600多万千瓦电动机进行了这项技术改造,每年可节约1亿千瓦时电能。但在采用这项节电技术时,需注意的问题主要有以下两个方面。

#### 4.4.1 认真选用优质磁性封填材料

为了改造操作的方便,节约改造成本,目前多数采用磁性槽泥进行槽口凹缝的封填技术,较少采用更换槽楔的方法。但市场上供应的磁性槽泥已出现劣质品,不符合该项产品的《暂行规定》条例的技术要求,于是出现了封填不久就掉落磁性槽泥的严重现象,造成改造失败,使热心应用这项技术者失望。因此,认真选用符合《暂行规定》要求的磁性槽泥,是改造成功的先决条件。

#### 4.4.2 重视改造的工艺技术

在具体改造操作过程中,应特别引起重视的有以下两点:

(1)注意绕组绝缘。不可因操作不慎或方法不对而破坏绕组的绝缘质量,尤其是两槽口端的槽绝缘,更需特别注意,切不可因填封不慎而有所损伤。除了操作需谨慎正确外,还必须加强检测,凡发现绝缘性能有所下降的,必须进行仔细检查,排除原因后才可投入运行。尤其是高压电动机,更不容疏忽。

(2)注意通风效果。电动机运行时,转、定子铁心需通风散热。转子铁心两端的内风叶所鼓的风,需借助槽口凹缝进行轴向流通,以带走热量。因此,在磁泥填封槽口凹缝时,不应完全填平,随电动机功率大小应留有0.5~1mm的空隙,以便让风流顺利通过,不致造成散热困难而提高铁心温度。同时,若填封得过满,尚会出现因磁泥受热膨胀而凸出转、定子表面的现象,因此,留有上述要求范围内的空隙是十分必要的。

## 5 电热设备的节电措施

由电能转换的热能,虽然既方便又卫生,但从经济角度着眼,却并不可取,因能源利用率较低,与煤气比较,通常只有1/3左右。因此,为了实现宏观的节能效果,凡可以不用电加热而又能满足加热要求的,应尽可能采用其他的加热技术,这也是最直接的节电措施。凡必须采用电加热的,则尤需重视开发和实施节电技术,积极采取节电措施。电热设备是耗电量较大的电气设备,尤其是工业电炉。

### 5.1 减少炉体热损耗

电炉的炉体热损耗,包括炉衬的蓄热损耗和炉壁的散热损耗。其中蓄热损耗

较小,散热损耗较大。采用传统的重质粘土砖和硅藻土砖组合而成的炉衬,炉体热损耗十分巨大,一般要占 20%~30%,是电炉最大的一项热损耗。因此降低炉体热损耗是一项不容忽视的节电措施。如果采用多孔轻质耐火砖去取代重质粘土砖作为炉衬,就可降低 25% 热损耗电能;若采用硅酸铝纤维来改造炉衬,能降低更多热损耗电能,一般可达 56% 左右。因此采用上述新型炉衬材料是大中型电炉的一项重要节电措施。

尤其是硅酸铝纤维这一耐火隔热材料,具有质量轻、热导率低、热容量小、化学和高温稳定性好,以及抗机械震动性强等优点,应积极推广采用,以求取得较大的节电效果。这种材料的选用和应用方法扼要介绍于下。

### 5.1.1 常用耐火纤维品种和主要技术参数

见表 10.2.11。

表 10.2.11 常用耐火纤维品种和主要技术参数

品 种	主 要 技 术 参 数				
	使用温度(℃)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	熔点(℃)	纤维直径(μm)	收缩率(%)
硅酸铝纤维	950~1000	0.36	1770	0.5~2.8	2(1000℃ 24h)
含铬硅酸铝纤维	1200	0.19~2	—	2~6	2.75(1250℃ 6h)
高铝(多晶莫来石)纤维	1300	0.11	—	<10	<0.86(1500℃ 6h)

### 5.1.2 常用耐火纤维的应用方法

通常有以下三种应用方法。

(1)内贴法:就是在炉墙内壁表面贴上一层厚 40mm 的毯状耐火纤维。一般采用这种方法的节电效果最佳。由于可充分利用耐火纤维的优良特性,使它把炉内发热体与炉墙直接隔离起来,有效地减少热量向炉体传导。

(2)夹层法:就是在炉墙的两层耐火砖之间,衬夹一层厚 200mm 的耐火纤维制品,以减少热量向炉墙外侧继续传导。

(3)外包法:就是在炉墙与炉壳(通常由钢板制成)之间包裹一层耐火纤维。

上述三种方法应按电炉的具体结构而选用。因在实际操作时要视耐火砖与纤维的固定、纤维的自身接缝和纤维的排列等条件而定。

## 5.2 提高电热元件的效率

热的传递(即热交换)方式分有传导、对流和辐射三种。低温电热设备的常规热元件通常都是电阻材料制成,加热主要依靠热对流方式。由于这种常规热元件的热辐射性能很差,因此,加热时间长,电能消耗量大,热能得不到充分利用。随着

红外技术的发展,近年来由电阻热元件制成的各种电热设备,已普遍应用了远红外加热器或远红外涂料,使电阻热元件的热辐射性能获得显著提高。凡是采用远红外加热技术的低温电热设备,节电效果十分明显,一般能达到30%左右。为了充分利用远红外技术,提高电阻热元件的效率,应了解以下几个方面内容。

### 5.2.1 远红外加热技术

远红外是远红外线的简称。红外线是太阳光谱(红、橙、黄、绿、青、蓝、紫)中红光外端的一种不可见光(人眼所不能看到的),它和可见光、紫外线及无线电波等一样,都是电磁波,区别仅在于波长的不同。红外线波长在 $0.76\sim 1000\mu\text{m}$ 之间,一般把 $4\mu\text{m}$ 以上的长波红外线叫做远红外线。

如果某种热源能以远红外波段进行辐射,而被加热的对象又属于有机的或含水的物品,便能取得十分良好的加热效果,使这些物品能达到快速和均匀的加热。这是因为这些物品的基本质点固有的运动频率与远红外线波段内的频率比较匹配,当它们吸收远红外辐射能时会产生激励的分子共振现象,也就是能使物体的内能转换为热能,所以体现了远红外加热的优越效果。

### 5.2.2 远红外加热技术的应用

远红外加热的适用范围十分广泛,当前已有30多个行业普遍应用。如油漆干燥、食品烤烘、蔬菜脱水、塑料熔融、粮食干燥、焊接工件预热以及医疗部门的理疗等等。但在应用远红外加热技术时,尚需注意的问题有:

(1)采用远红外加热技术前,应首先了解被加热物品吸收远红外线的特点,然后设法调节好热源(红外线发射源)的远红外线波段,以促使更有效地去激励被加热物体的分子共振。

(2)要尽量利用集光反射技术,使热源辐射的远红外线集中且均匀地投射到被加热的物品上,以达到充分利用热源的目的。

(3)要适当控制热源与被加热物品之间的距离。因加热效果与两者之间的距离的平方成反比关系,故在不会灼伤被加热物品的前提下,两者距离应尽可能近些。同时热源表面温度尽可能提得高些,因为红外线强度与绝对温度的4次方成正比,故这样更能提高加热效果。

(4)加热设备和其中热源的结构都应设计得合理,排泄废气的系统要完整可靠。

以上各点注意事项如果有所疏忽,将会影响远红外加热的效果,应给以足够重视。

## 5.3 电热设备的其他节电措施

电热设备的其他节电措施很多,通过加热工艺方式的改革或改进,通常能获得较好的节电效果。举例如下:

(1)铸件和锻件加工后的余热热量很大,温度也很高。利用这些工件的余热尚可进行热处理加工,或进行其他的加热加工。

(2)在许多工件的热处理加工时,凡只需局部热处理的,可改工件整体加热为局部加热,这样就能节省大量热能,达到节电目的。

(3)在热处理技术领域中,经常需要应用渗氮和渗碳技术,如果以离子氮化来代替普通气体氮化,就可缩短几倍的加热时间;如果把渗碳温度从 $900^{\circ}\text{C} \sim 930^{\circ}\text{C}$ 提高到 $980^{\circ}\text{C} \sim 1010^{\circ}\text{C}$ ,可缩短加工时间的 $40\% \sim 50\%$ 。缩短加热时间是一项有效的节电措施,值得推广。

## 6 照明的节电措施

我国照明用电量约占总发电量的 $12\%$ ,而室内照明占整个照明的 $80\%$ ,故照明节电具有重要意义。

照明节电的前提是满足照明质量,不降低照度,保证生活需要和产品质量、安全生产,不能造成人身事故或设备事故。

照明节电要对各种电光源、灯具以及照明方式进行比较,不仅要考虑初次投资,同时要考虑年度的总照明费用,包括设备折旧费、管理费和电费等。

### 6.1 提高照明效率的方法

提高照明效率就可达到照明节电的目的,但提高照明效率的方法很多,应予综合考虑,结合应用,方能取得最佳效果。以下介绍几种主要的提高照明效率的方法。

#### 6.1.1 合理选择照明方式

在一般环境中,往往需要综合应用一般照明、辅助照明和局部照明这些照明方式。

如果一个环境只选用一般照明,必然要使照度提高到满足各个部位活动的需要程度,而许多环境中的每个部位所需照度也不是一致的。这样必然会使某些部位的照度过高而造成浪费。

如果只选用局部照明,虽可按不同部位来选取合适的照度,但会造成整个环境的明暗反差太强。一个环境中若失去必需的最低照明均匀度,不但会令人有不舒适感,而且还会损害视力和影响活动效率,甚至会使心理活动紊乱而影响身心健康。

因此,在综合应用两种或两种以上的照明方式时,合理选用照明均匀度有助于达到节电的目的。

### 6.1.2 合理选用灯种

不同灯种有其不同的特性,充分利用它们各自的优点,尤其是光效这一直接涉及节电的指标,要应作为主要的考虑因素。当然,并不是所有场合都可选用高光效灯种的。如要求具有较高显色性能(例如具有较高辨色要求的摄影或摄像、鉴赏彩色图片或工艺品,以及要求具有舒适豪华的照明环境等)的场合,是不允许取用显色指数较低的灯种的;又如用来作为照明旋转物体的灯种,是不允许采用具有明显频闪效应的灯种的,否则会出现旋转物体停转或转得慢的假象,而只能普遍采用频闪效应较不明显的白炽灯。

但是,在一般环境中,凡没有特殊照明质量要求的场所,都应尽量取用光效较高的灯种。如码头、候车室或候船室、马路、公园、广场、一般的车间(一般照明)和仓库等场所,通常没有较高的辨色要求,现已普遍选用高光效低显色指数的灯种(如高压钠灯或高压汞灯等)。但在一些建筑工地、市政建设工地(建路、造桥等)及农村的田间作业等临时性照明,尚大量采用着光效较低的碘钨灯或白炽灯,宜改用光效较高的气体放电光源,如镝灯或钠铊铟灯。这样能达到较理想的节电效果。

### 6.1.3 合理选择灯具

原则上是要求选用光线损失较小的灯具,但尚需考虑满足照明的环境要求,也要满足光的分布和限制眩光等的要求。光损较小的灯具效率较高,具有节电效果。

所谓灯具的效率,是指灯具(即照明器)对光学系统利用率高低的一项技术指标。光源发出的光辐射到灯具上之后,通过灯具的吸收和透射,必然会损失一定的光通量,所以灯具的效率必然是小于1的,如下式所示:

$$\text{灯具效率} = \frac{\text{照明系统的光通量}}{\text{光源的光通量}} \times 100$$

不同灯具的效率是有高低的,如照明条件允许的话,应尽量选用直射型或半直射型灯具;同时尚需选用反射性能较佳的品种(即灯具的吸收损耗较小的品种)。

### 6.1.4 合理选择照度

表 10.2.12 至 10.2.15 列出各种场合的照度参考值。根据《工业企业照明设计标准》的规定,在进行照度计算时,以上各表中的最低照度值,应乘以表 10.2.15 所列的照度补偿系数值  $K$ 。

表 10.2.12 通用生产车间和工作场所工作面上的照度参考值

序号	车间和工作场所名称	视觉 工作 分类 等级	最低照度 lx			序号	车间和工作场所名称	视觉 工作 分类 等级	最低照度 lx		
			混合 照明	混合 照明 中 照	单独 使用 一般 照明				混合 照明	混合 照明 中 照	单独 使用 一般 照明
1	金属机械加工车间					14	电修车间				
	一般	II乙	500	30	-		一般	IV甲	300	30	-
	精密	I乙	1000	75	-		精密	III甲	500	50	-
2	机电装配车间					15	理化实验室、计量室	III乙	-	-	100
	大件装配	II乙	500	50	-						
	精密小件装配	I乙	1000	75	-						
3	机电设备试车					16	动力站房		-	-	-
	地面	VI	-	-	30		压缩机房	VI	-	-	30
试车台	II乙	500	50	-	泵房		VI	-	-	20	
4	焊接车间						风机房	VI	-	-	20
	弧焊	V	-	-	50		锅炉房	VI	-	-	20
	接触焊	V	-	-	50		乙炔发生器房	VI	-	-	20
	一般划线	IV乙	-	-	75		充气灌瓶间	VI	-	-	20
	精密划线	II甲	750	50	-		设备操作层	VI	-	-	20
5	钣金车间	V	-	-	50		设备维护层	VI	-	-	10
6	冲压剪切车间	IV乙	300	30	-		维护通道	-	-	-	5
7	锻工车间	V	-	-	30	燃料准备间	VII	-	-	10	
8	热处理车间	VI	-	-	30	灰渣清理间	VII	-	-	10	
9	铸工车间					17	降压站、配变电所				
	熔化、浇铸	V	-	-	30		变压器室	VI	-	-	20
	型砂处理、清理	VI	-	-	20		高、低压配电室	VI	-	-	30
造型	VI	-	-	50	一般控制室		IV乙	-	-	75	
10	木工车间						主控制室	II乙	-	-	150
	机床区	III乙	300	30	-	18	热工仪表控制室	III乙	-	-	100
	锯木区	V	-	-	50		19	电话站			
木模区	IV甲	-300	-30	-	人工交换台、转接台	V		-	-	50	
11	表面处理车间					蓄电池室		VII	-	-	20
	电镀槽区	V	-	-	5	配线架、自动机房	V	-	-	50	
	酸洗间	VI	-	-	30	20	广播站(室)	IV乙	-	-	75
	抛光间	III甲	500	30	-		21	仓库			
电源(整流器)室	VI	-	-	30	大件贮存	IV		-	-	5	
					中小件贮存	VII		-	-	10	
12	喷漆车间	V	-	-	50		精细件贮存	VI	-	-	20
	13	喷砂车间	VI	-	-	30	22	工具库	VI	-	-
23								乙炔瓶库、氧气瓶库、电石库	VII	-	-
	24	汽车库					汽车库				
停车间		VII	-	-	10	充电室	VI	-	-	20	
检修间		VI	-	-	30						

注:1. 当采用气体放电灯作为一般照明时,在经常有人工作的生产车间,其照度值不宜低于 30lx。

2. 冲压剪切车间和造型工部的照度为已提高了一级的照度。

表 10.2.13 办公室、公共用房、生活用房的照度参考值

房间名称	单独使用一般照明的最低照度(lx)	规定照度的平面
设计室	100	
阅览室	75	距地面 0.8m
办公室、会议室、资料室、医务室	50	距地面 0.8m
托儿所、幼儿园	30	距地面 0.8m
		距地面
		0.4~0.5
车间休息室、单身宿舍、食堂	30	距地面 0.8
更衣室、浴室、厕所	10	地面
通道、楼梯间	5	地面

表 10.2.14 厂区露天工作场所和交通运输线的照度参考值

工作种类和地点	最低照度 lx	规定照度的平面
露天工作		
视觉工作要求较高的工作	20	工作面
用眼检查质量的金属焊接	10	工作面
用仪器检查质量的金属焊接	5	工作面
间断观察的仪表	5	工作面
装卸工作	3	地面
露天堆场	0.2	地面
道路		
主要道路(主干道)	0.5	地面
一般道路(次干道)	0.2	地面
站台		
视觉工作要求较高的站台	3	地面
一般站台	0.5	地面
码头	3	地面



表 10.2.15 照度补偿系数 K

序号	环境污染特征	生产车间和工作场所举例	照度补偿系数 K		照明器 擦洗次数 (次/月)
			白炽灯、荧光灯、荧光高压汞灯	卤钨灯	
1	清洁	仪器、仪表的装配车间, 电子元件的装配车间, 实验室, 办公室, 设计室	1.3	1.2	1
2	一般	机械加工车间, 机械装配车间, 织布车间	1.4	1.3	1
3	污染严重	锻工车间, 铸工车间, 碳化车间, 水泥厂球磨车间	1.5	1.4	2
4	室外		1.4	1.3	1

## 6.2 照明的其他节电措施

(1) 在必须采用白炽灯而又要经常调节照度的环境, 应装设晶闸管调压装置, 以能随需及时调节灯光, 能有效地起到节电作用。

(2) 在不违反安全规程和眩光的限制范围的前提下, 让灯位(光源)适当接近被照面一些。因为被照面的照度与光源之间的距离成平方反比关系; 同时, 被照面的中心工作区尽可能对直灯光, 以减小光线的入射角度。

(3) 在有条件采用日光照明的场所, 应尽量利用天然照明来代替电气照明。如果建筑结构允许的话, 可增加窗户或扩大原有窗户的窗口面积, 以求增加采光量。

(4) 加强维护工作。很好的照明设备, 如不定时清扫灯具和适时更换灯泡, 一两年后照度就会减少一半。因此, 必须加强日常的维护工作。一般, 定期维护的周期应不超过 12 个月。表 10.2.16 和表 10.2.17 分别列出灯具的维护和更换的适当时间。

表 10.2.16 灯具的维护

清扫周期为一年,灯具更换时间  
 { 高压钠灯 10000h 低压钠灯 7000h  
 汞 灯 10000h 荧光灯 8000h  
 金属卤化物灯 7000h 白炽灯 1000h

户 内

电光源种类 维护的状态	高压钠灯		汞 灯		金属卤化物灯		荧 光 灯		低 压 钠 灯		白 炽 灯							
	灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类							
	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通						
I <sub>1</sub> 全开启式	0.86	0.83	0.79	0.81	0.78	0.74	0.72	0.69	0.66	0.74	0.70	0.62	-	-	0.91	0.88	0.84	
I <sub>2</sub> 下面开启式	0.79	0.75	0.66	0.74	0.70	0.62	0.66	0.62	0.55	0.74	0.70	0.62	-	-	0.84	0.79	0.70	
I <sub>3</sub> 简易密闭式(下面有罩)	0.75	0.70	0.66	0.70	0.66	0.62	0.62	0.58	0.55	0.70	0.66	0.62	-	-	0.79	0.74	0.70	
I <sub>4</sub> 全密闭式(严密封闭)	0.83	0.79	0.75	0.78	0.74	0.70	0.69	0.66	0.62	0.78	0.74	0.70	0.79	0.75	0.71	0.88	0.84	0.79

户 外

电光源种类 维护的状态	高压钠灯		汞 灯		金属卤化物灯		荧 光 灯		低 压 钠 灯		白 炽 灯							
	灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类		灯具的种类							
	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通	良好	普通						
O <sub>1</sub> 全开启式	0.86	0.83	0.79	0.81	0.78	0.74	0.72	0.69	0.66	0.81	0.78	0.74	-	-	0.91	0.88	0.84	
O <sub>2</sub> 下面开启式	0.83	0.75	0.66	0.74	0.70	0.62	0.66	0.62	0.55	0.74	0.70	0.62	-	-	0.84	0.79	0.70	
O <sub>3</sub> 简易密闭式(下面有罩)	0.79	0.70	0.70	0.74	0.70	0.66	0.66	0.62	0.58	0.70	0.66	0.62	-	-	0.79	0.74	0.70	
O <sub>4</sub> 全密闭式(严密封闭)	0.83	0.79	0.75	0.78	0.74	0.70	0.69	0.66	0.62	0.78	0.74	0.70	0.79	0.75	0.71	0.88	0.84	0.79
隧道等特殊特别差的场合	0.66~0.53		0.62~0.49		-		0.62~0.49		-		-		0.62~0.50		-		-	

注:表内数字为光通量的标准值(原光通量为1)。

表 10.2.17 更换灯的适当时间

荧 光 灯

h

场 所 更 换 办 法	更换灯的一般情况		包括设备折旧费的情况	
	个别性成批更换	全部更换	个别性成批更换	全部更换
工 厂	4000 左右	5200	3000	3000

注:使用 40W 的白色荧光灯,每天用 8h,全年使用时间为 2400h 的情况。

汞 灯

单位:h

安 装 场 所	更 换 方 法	使用灯具的 型号	每年使用 时间	经济的更换时间	
				普通情况	包括折旧费时
高天棚工厂 (大型)	全 部	荧光汞灯 HF1000	6000 (20/日)	7000 (约 1.2 年)	6000 (约 1 年)
高天棚工厂 (小型)	全 部	荧光汞灯 HF400	3300 (11/日)	5500 (约 1.7 年)	4500 (约 1.4 年)

注:1. 个别性的成批更换是指在不到全部更换的期限之前,更换个别损坏的电光源,而到更换期时全部更换。

2. 全部更换是指不管灯的好坏,定期将全部电光源一齐更换的方式。

## 7 其他用电设备的节电措施

工矿企业和农业等生产行业所用的电力设备品种很多,但许多现用的电力设备不是存在着效率低,就是存在着利用率不高的浪费电能问题。因此用电设备的节电大有潜力可挖。以下着重介绍几种应用较广、耗电量较大的用电设备的节电措施,以供参考应用。

### 7.1 弧焊机的节电方法

用电量,负载率低是弧焊机耗电的基本特征。尤其是解决负载率低这一问题,是实现弧焊机节电的主要途径。现在普遍推广的措施是采用空载自动分闸的控制装置,从而完全解决了负载率低的问题,达到了节电的目的。下面介绍两种最常用的弧焊机的自动控制装置电路图,以供参考。

#### 7.1.1 交流弧焊机自动控制装置电路图

这里以较常用的 BX-28 型交流弧焊机为例,参考电路图如图 10.2.1 所示。

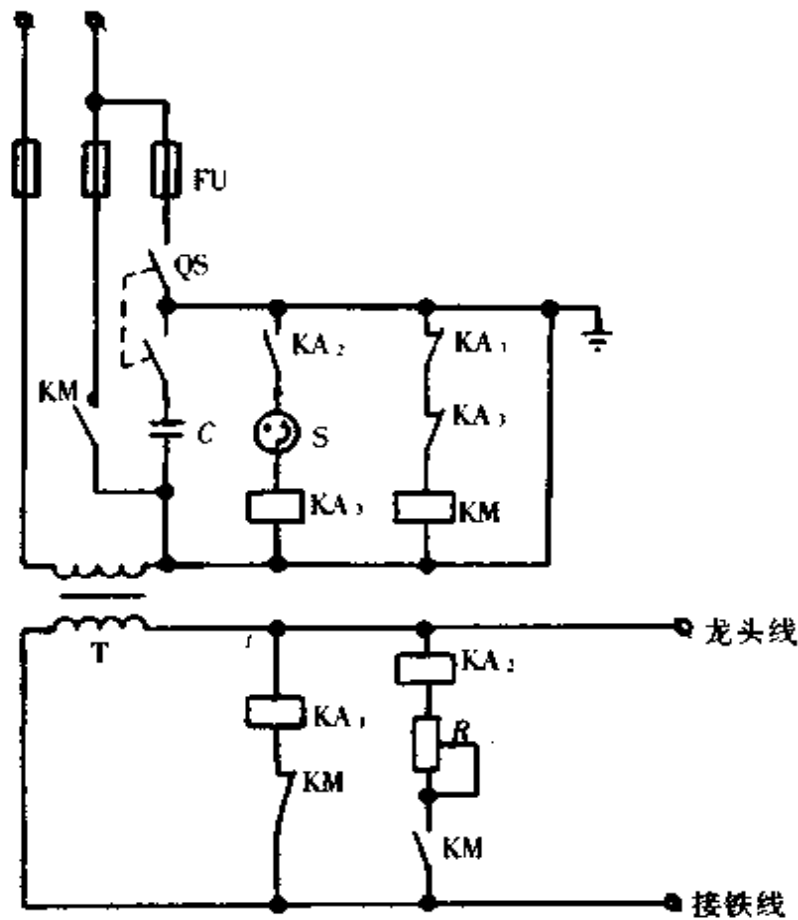


图 10.2.1 BX-28 型交流弧焊机自动控制装置电路图

FU—熔断器 QS—双极刀开关 KA<sub>1</sub>—522 型 6V 交流继电器  
 KA<sub>2</sub>—522 型 36V 交流继电器 KA<sub>3</sub>—522 型 220V 交流继电器  
 KM—220V、20A 交流接触器 S—40W 荧光灯起辉器  
 R—560Ω、3W 可变电阻(电位器) C—2μF、400V 交流电容器  
 T—BX 型 28kW 交流弧焊机

动作原理简介:QS 合闸通电,因 T 一次侧串有 C,使一次侧电压降低而使二次侧感应出 6V 左右电压(可通过变换 C 的容量而调节电压),使 KA<sub>1</sub> 动作(因 KA<sub>1</sub> 比 KM 灵敏)而分断 KA<sub>1</sub> 动分触点,使 T 进入待焊状态。焊接时因 T 二次侧两端电压下降,KA<sub>1</sub> 释放,动分触点恢复闭合,使 KM 通电,KM 动合触点闭合,KM 动分触点分断。由于焊接时 T 二次侧的电压降至 30V 左右,故 KA<sub>2</sub> 仍不动作,得以维持焊接状态。当焊条脱离焊件而熄弧时,T 二次侧电压升高至 65V 左右,使 KA<sub>2</sub> 动作,经 S 延时使 KA<sub>3</sub> 动作,从而 KM 因断电而释放,T 一次侧随之断电,实现了停焊(即停机),有效地缩短了弧焊机的空载时间。

### 7.1.2 硅整流直流弧焊机自动控制装置电路图

这种直流焊机现被推广应用,因它的技术较先进、效率较高,且能自行改装,但

仍需解决负载率较低这个问题。下面介绍在交流焊机上进行改装的硅整流直流焊机的自动控制装置,它的参考电路图如图 10.2.2 所示。

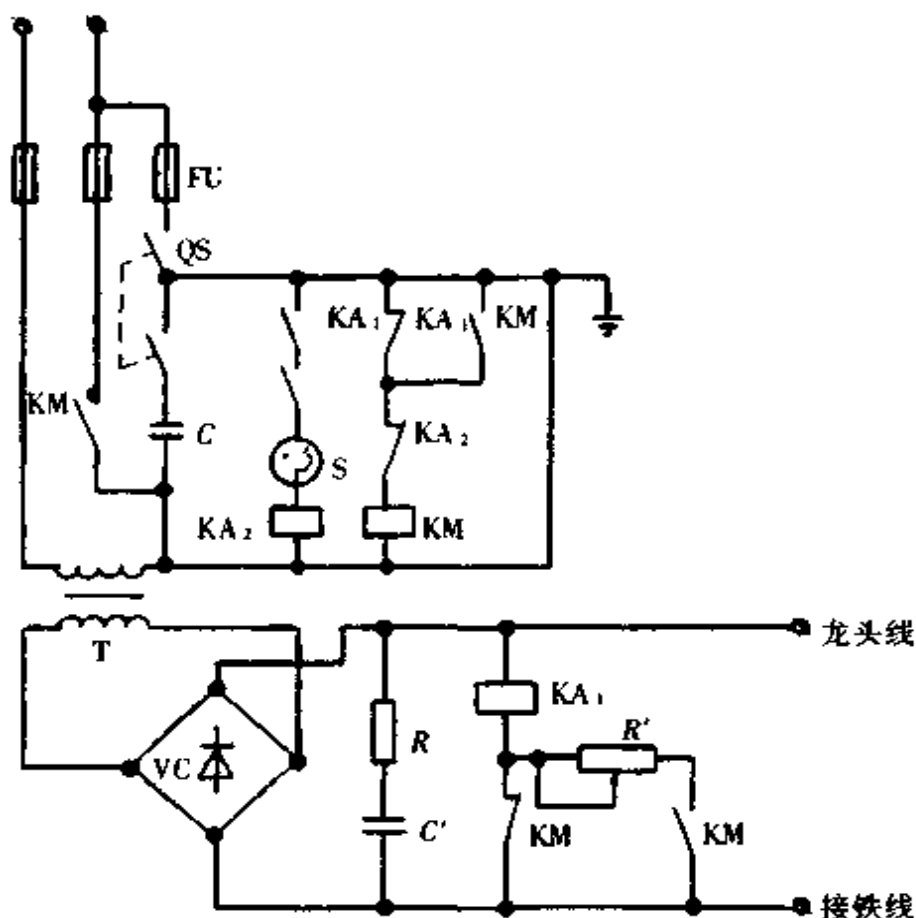


图 10.2.2 硅整流直流弧焊机自动控制装置电路图

FU—熔断器 QS—双极刀开关 KA<sub>1</sub>—DZb44 型 36V 直流电压继电器  
 KA<sub>2</sub>—522 型 220V 交流继电器 KM—220V、40A 交流接触器  
 S—40~100W 荧光灯起辉器 R—470Ω、3W 可变电阻(电阻器)  
 R'—≤40Ω C—4μF、400V 交流电容器 C'—0.5μF、200V 电容器  
 VC—2CZ 型 200A、200V×4 硅二极管 T—28kW 交流弧焊机

它的动作原理与图 10.2.1 类似。

## 7.2 鼓风机的节电方法

鼓风机或通风机简称风机,通常都由电动机驱动。据不完全统计,全国风机总使用量达 700 多万台,总功率超过 3000 万千瓦,占全国总发电量中的很大比例。但风机的效率却普遍很低,经现场测试表明,效率最低的仅 20% 左右,因此提高风机效率是实现节电的主要目标。提高风机效率的主要方法有以下几种。

### 7.2.1 更换低效风机

随着技术的进步,设计、工艺和原材料等方面都有了很大的改革,风机效率有

了大幅度的提高。如 4-72 型通风机的效率已达到 90% 以上。近年来我国先后公布了多批推荐使用的节能型风机,相应淘汰了一批低效风机。工矿企业应根据本企业实际情况,结合设备大修和改造,有计划地进行更新,以高效风机去更换低效风机,是实现节电的主要途径。例如,用 9-19 系列高压离心通风机去代替 8-18 系列,能提高效率 19%,全压效率能提高到 84%。又如,用 FZ-40-11 系列纺织用轴流风机去代替 YZ-50 系列,能使运行效率提高到 80% 以上。

### 7.2.2 改造低效风机

许多低效风机效率偏低的关键问题往往是鼓风叶轮的设计和材质不够先进。只要更换上较先进的叶轮,而无须更换风机外壳和电动机等主要部件,就可大大提高风机效率。例如,旧式的 Y-12 型轴流式风机的平板型叶片,若以由玻璃钢或铝合金制成的扭曲型叶片去替换,则效率可提高 40% 以上。这种方法不但效果显著,而且既节省费用又简易方便。

此外,如果条件许可,改革风机其他部位的结构,也可取得较理想的效果。例如,在改造进气室方面,若采用流线型集流器来代替一般的圆柱型集流器,往往能提高效率 8% 左右。又如,若采用对数螺旋形外壳,控制蜗壳舌部与叶轮之间的间隙,保持适当的扩散角等措施;以及在轴流风机上加装集流圈、整流罩和集流罩之类,也能取得较好效果,一般可提高效率 8% ~ 10%。

### 7.2.3 加强技术管理和加强维修质量

加强技术管理和维修质量两方面的工作,不但能获得较好的节电效果,而且能维护风机的完好和延长使用寿命。要着重注意的有以下一些内容。

(1) 加强技术管理方面应做到合理配气、合理用气,避免过压过量供气而造成放空之类的不必要浪费;装置压力流量表计,为定期检测风机效率创造条件,以便做到风机运行的单耗考核;制定确实可行的检修制度,实行定期维修,保持风机处于最佳运行状态。

(2) 加强维修力量、提高维修质量是保障风机长期处于最佳运行状态的先决条件。要维护通风管道光洁畅通,降低风阻;要定期清洗轴承,勤于更换或添加润滑油,使转动处于高度灵活状态;要定期检查,及时更换已磨损的叶轮,保持良好密封性能,及时调整各部分间隙,以减少各种泄漏损失,等等。

## 7.3 水泵的节电方法

据统计,全国投入运行的水泵超过 3000 万台,总容量达 8000kW 左右。但现用的水泵效率也较低。经现场测试,水泵的使用效率普遍低于最高效率的 10% ~ 20%,浪费电能甚是严重,因此,水泵节电的主要途径,如同风机一样,应着重于提高效率,且主要方法也基本相同,现扼要介绍于下。

(1) 更换低效水泵。若以 DG270-140C 型锅炉给水泵去代替 DG500-140 型水

泵,能提高效率6%,单台就能达到年节电105kW·h;若以D12-25型多级泵去代替2GC型水泵,能使效率从40%提高到53%,等等。因此,也应有计划地去更新一些旧式低效水泵,能实现较佳的节电目的。

(2)改造低效水泵。例如,发现单级水泵的扬程过高时,可车削一些叶轮,使叶轮处于与实际需要匹配的高效区域内运转,达到节电效果。又如,当前用于锅炉供水的GC型多级泵,由于往往存在压力过高现象,因此可从中抽去一或两级,以提高运行效率,减少不必要的浪费。抽级时应注意的是:凡抽去一级的,可抽中间的任意一级;抽去两级的,拆去中间的二、四级或三、五级均可。

(3)加强管理和维修质量,内容和要求与风机类似。

## 7.4 空气压缩机的节电方法

在工矿企业中,大量使用的是活塞型空压机。这种空压机的一个主要特性是:单位功率随着吸入空气的温度下降和压缩压力的降低而减少。因此,可采取以下一些节电措施。

### 7.4.1 合理选型,使用效率高的空压机

自1982年起,国家就推荐使用效率较高的(即比功率较低的)空压机,去替代低效的或类型已被淘汰的空压机,以达到节电的目的。例如,以3L-10/8系列产品去代替1-10/7型空压机,每台一年可节电1.16~1.35万kW·h;用4L-20/8系列产品去代替1-20/8系列空压机,每台一年可节约1.5~1.8万kW·h;用2V系列产品去代替B-0.2/8系列空压机,每台一年可节约0.3万kW·h左右,等等。

同时,选型时必须按生产工艺对压力和流量的实际需要,来选用高效的空压机。如果需有两种或两种以上压力供气的,宜采用不同压力等级的空压机进行分别供气。若在日运行时间内,具有很大流量差异的,宜备一台小容量空压机,以便在小容量时进行供气。

### 7.4.2 降低吸入空气的温度,提高空压机的冷却效果

根据计算,吸气温度降低5℃,而排气量就可增加1.8%左右,在相同质量和流量的情况下,可降低耗电量约4%。因此,置放空压机的位置宜选择妥当,应具有良好的通风条件,且应是环境温度较低的场所。

同时,应对空压机的中间冷却器进行有效的冷却,有效地去降低进入高压气罐的气体温度,并应采用高效的冷却塔,以能有效地降低冷却水温,等等。

### 7.4.3 加强管理,提高维修质量

空压机的使用,也必须加强日常管理以及不断提高维修质量,方能提高使用效率和延长使用寿命。

在加强管理和提高维修质量这两个方面,主要内容也类似风机。但压缩机的用电单耗考核更需强调,应按实际需要的压力和流量来制定适当的压力控制值;要

做到既能满足生产的实际需要,又不出现压力过高,要确实按需制定经济运行方式。对用气部门应实行用气考核,避免空压机放空运行或过量运行。

此外,为了避免空压机频繁起动和运行,宜设置足够大的贮气罐,以减弱空压机(活塞型)排气时的周期性脉动气流。另外,空压机宜安装自动停机启动的控制装置,以免出现过压运转。

## 7.5 机床的节电方法

在金属切削加工过程中,由于工件的拆装、工具的更换或精度的测量等辅助操作,几乎造成驱动电动机有 50% 的空载运行时间。根据测定计算,通常所用的电动机在起动时所需的耗电量不会超过其空载运行 15~20s 所消耗的电量。所以,凡操作辅助工作的时间超过 15~20s 时,就应停车,以有利于节约用电。但金属切削机床的种类繁多,所用电动机台数多寡不一,故这里仅介绍两种使用较广泛的、辅助操作时间往往又较长的机床的自动控制装置,以供参考。

### 7.5.1 齿轮车床的空载自动停车装置

齿轮车床的空载自动停车装置参考电路图如图 10.2.3 所示。

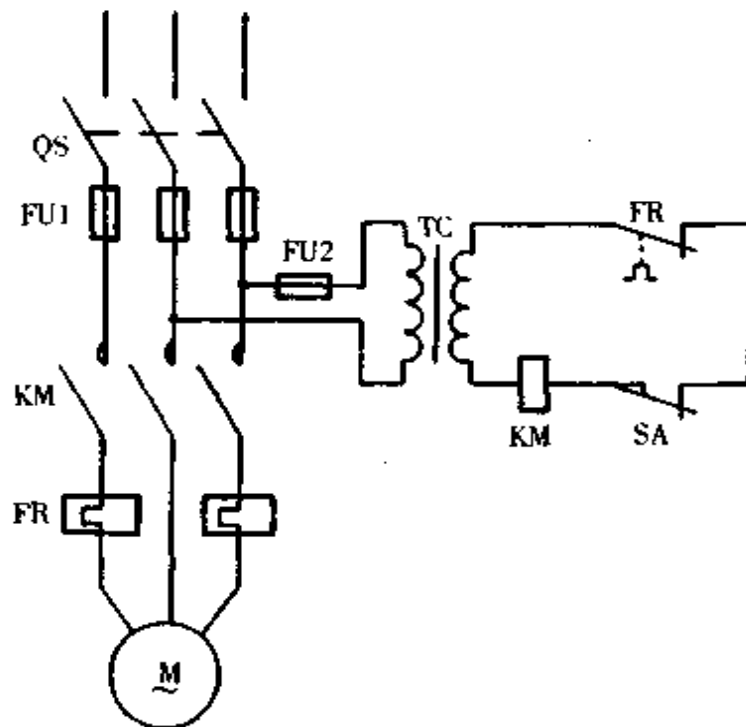


图 10.2.3 齿轮车床的空载自动停车装置电路图

QS—控制开关 FU1—主回路熔断器  
TC—控制电路电源的变压器 FR—热继电器  
KM—交流接触器 SA—限位开关  
FU2—控制回路熔断器 M—机床驱动电动机



动作原理简介:SA 限位开关装于车床离合器处,当离合器置于停止位(车床车头停转)时,SA 随之分断,KM 因断电释放,M 停转(即停止空载运转)。当离合器置于工作位时,SA 也随之合上,KM 立即通电,M 启动运转。这样就可避免电动机处于长期空载运转状况,有效地提高了电动机的利用率。

### 7.5.2 砂轮机半自动停车装置

在金属切削加工的车间或其他金属加工行业中,砂轮机是必备辅助机床,故应用极广,数量也较多。但它的电动率空载时间往往也很长。故提高它的负载率也甚有必要。砂轮机半自动控制装置的参考电路图如图 10.2.4 所示。

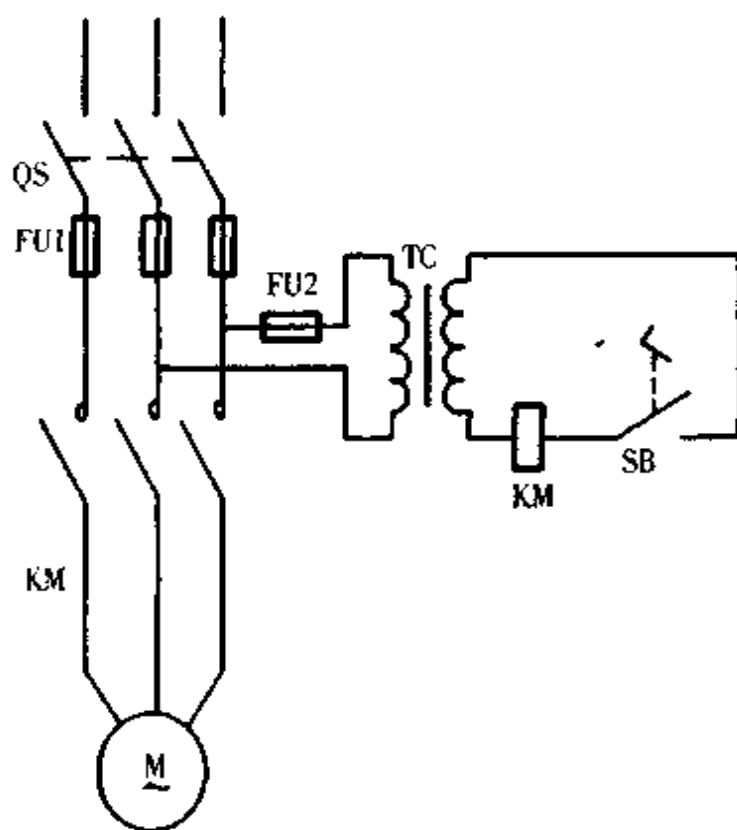


图 10.2.4 砂轮机半自动(脚踏)控制装置电路图

QS—电源控制开关 FU1—主回路熔断器;

TC—控制电路电源变压器 KM—交流接触器

SB—脚踏按钮开关 M—砂轮拖动电动机

FU2—控制回路熔断器

动作原理简介:当需磨削时,操作者踏上 SB,KM 就因通电而合上,M 就启动运转。磨削完毕,操作者的脚一离开 SB,KM 就因断电而释放,M 随之停转。

## 参考文献

- [1]《机械工程手册、电机工程手册》编辑委员会. 电机工程手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1982(1984)
- [2]《机械工程手册、电机工程手册》编辑委员会. 机械工程手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1982
- [3]《机械工程手册、电机工程手册》编辑委员会. 电气工程师手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1987
- [4]《新编实用电子电工手册》编写组. 新编实用电子电工手册. 第1版. 北京:科学普及出版社,1991
- [5]《电工手册》编写组. 电工手册. 第2版. 上海:上海科学技术出版社,1990
- [6]《实用电工手册》编写组. 实用电工手册. 第1版. 南昌:江西人民出版社,1983
- [7]《变压器手册》编写组. 电力变压器手册. 第1版. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1990
- [8]吴开明编. 城乡建设电气设计施工手册. 第1版. 成都:四川科学技术出版社,1987
- [9]第一机械工业部统编. 内外线电工工艺学. 第1版. 北京:科学普及出版社,1984
- [10]吕光大主编. 建筑电气安装工程图集. 第1版. 北京:水利电力出版社,1987
- [11]《建筑电气设计手册》编写组. 建筑电气设计手册. 第1版. 北京:中国建筑工业出版社,1991
- [12]《建筑电气设备手册》编写组. 建筑电气设备手册. 第1版. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- [13]上海市电子电气技术协会主编. 中小微型电机修理手册. 第1版. 上海:上海科学技术出版社,1990
- [14]何友观主编. 现代中小型同步电动机励磁系统的分析与设计. 第1版. 北京:机械工业出版社,1988
- [15]赵家礼主编. 电动机修理手册. 第2版. 北京:机械工业出版社,1988
- [16]尤启淮主编. 小功率电动机应用技术手册. 第1版. 北京:机械工业出版社,1990
- [17]许上明主编. 小功率异步电动机修理. 第1版. 上海:上海科学技术出版社,1991
- [18]郑宜庭等编著. 弧焊电源. 第2版. 北京:机械工业出版社,1988
- [19]何方殿编著. 弧焊整流电源及控制. 第1版. 北京:机械工业出版社,1983
- [20]虞国平主编. 家用电器大全. 第1版. 北京:轻工业出版社,1986
- [21]马奇等编著. 现代家电大世界. 第1版. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1991
- [22]机械工业部仪表工业局统编. 常用电工材料. 第1版. 北京:机械工业出版社,1986
- [23]《常用电子测量仪器使用手册》编写组. 常用电子测量仪器使用手册. 第1版. 上海:上海科技大学出版社,1983

- [24]陈传硕等编著. 数字测量仪表. 第1版. 北京:中国计量出版社,1991
- [25]沙占友等编著. 数字万用表的原理、使用与维修. 第1版. 北京:电子工业出版社,1988
- [26]中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会编著. 风机、水泵交流调速节能技术. 第1版. 北京:机械工业出版社,1990
- [27]陈汝全主编. 电子技术常用器件应用手册. 第1版. 北京:北京理工大学出版社,1991
- [28]张志远等编著. 电子器件与电路. 第1版. 北京:人民邮电出版社,1981
- [29]《电子工程手册》编委会,《集成电路手册》编委会. 中外集成电路速查手册——TTL、CMOS电路. 第1版. 北京:电子工业出版社,1991
- [30]崔忠勤等编. 标准集成电路数据手册——运算放大器. 第1版. 北京:电子工业出版社,1990
- [31]《实用电子电路手册——模拟电路分册》编写组. 实用电子电路手册——模拟电路分册. 第1版. 北京:高等教育出版社,1991
- [32]船舶工业总公司七一三所编. 常用电子电器元件手册. 第1版. 北京:中国标准出版社,1986
- [33]王复中等编. 电子元器件应用手册. 第1版. 杭州:浙江科学技术出版社,1990
- [34]江苏省电力工业局等编. 电工安全技术考核培训教材. 第1版. 北京:水利电力出版社,1988
- [35]上海市劳动保护宣传中心. 电工作业安全. 第1版. 1992
- [36]上海市计划用电办公室. 上海市节约用电培训讲义. 第1版. 1991





**李正吾** 上海自动化车库研究所所长，CES 理事兼机电一体化研究会副会长，中国重机协会立体停车设备管理委员会委员。曾任中国电工技术学会副秘书长，美国 IEEE 北京分部执行委员，中国科学院科学出版基金第一届专家委员会成员，《Electricity》副主席，中国《少年电世界》杂志社第一任社长。出版专著 2 部、编著手册 4 部，发表论文 74 篇。获国家级、部级科技进步奖 1~3 等奖共 6 项，国家专利 5 项。负责承担国家级重点计划项目 5 项。

**赵文瑜** 教授级高工，上海自动化车库研究所资深研究员，长期从事工业企业电力与自动化设计、电器试验站设计与制造、电器发展信息研究以及电工产品安全认证工作。发表数十篇论文、研究报告与译著。



ISBN 7-5337-1956-5



9 787533 719562 >

ISBN 7-5337-1956-5/TM · 13

定价：98.00 元（上、下册）