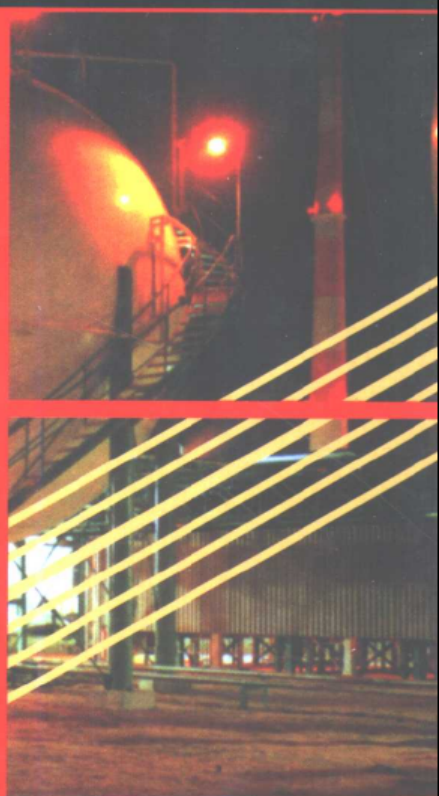




最新实用电工手册

邵海忠 主编



化学工业出版社



最新实用电工手册

邵海忠 主编

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

化学工业出版社
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

最新实用电工手册/邵海忠主编. —北京:化学工业出版社,2000.1(2001.5重印)
ISBN 7-5025-2598-X

I. 最… II. 邵… III. 电工-手册 IV. TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 34086 号

最新实用电工手册

邵海忠 主编

责任编辑:刘哲 陈逢阳

责任校对:陶燕华

封面设计:于兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 92½ 字数 3142 千字

2000 年 1 月第 1 版 2001 年 5 月北京第 2 次印刷

印 数:3501—5500

ISBN 7-5025-2598-X/TM·14

定 价:148.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

京朝工商广字第 0309 号

前 言

随着国民经济和现代科学技术的迅猛发展,我国电工设备的设计、制造、运行和控制技术发生了深刻的变革,一大批新原理、新材料、新结构、新工艺、高技术、高性能的产品得到了开发和应用,保证了我国电工行业发展的技术水平与现代科技和社会发展相适应。为了使广大从事电工设备研究和开发的科技工作者与行业管理者,以及广大电工设备的使用和维护者,能及时全面地了解 and 掌握电工领域的发展动态,更好地为本职工作服务,我们特组织有关专家和工程技术人员编写了这本《最新实用电工手册》。

目前,新的国家标准不断颁布,新的电工产品不断涌现,电器设备大量进入社会各个部门。在编写过程中,作者本着简明实用、内容新颖的原则,比较全面地介绍了国内电工行业各方面的情况,着重介绍电压等级在 35kV 及以下的常见电气设备。在表达方式上,尽可能利用表格、插图等形式,以便读者理解和查找。手册在编入较多技术资料及数据的同时,还加进了有关电工基础知识、电气设备工作原理、计算方法、产品试验、选用、使用和维护方面的知识。

参加手册编写的人员来自东南大学、南京动力高等专科学校、苏州电器科学研究所、无锡供电局、南京建筑工程学院、江苏省建筑设计研究院和 50 多个专业工厂在电工行业方面有着丰富经验的教授、专家、工程技术人员,本手册是集体智慧的结晶。

本手册在编写过程中,参考大量文献资料,在此恕不一一列出,对所有引用文献资料的作者表示衷心的感谢!

限于编者水平,手册中难免会有错误或不妥之处,在此统请读者斧正。

作者

1998 年 4 月

手 册 编 写 人 员

主 编：邵海忠

编 委：汤广怀 胡敏强 王永止 孙建民 杨爱蝶 邵海忠

编写人员：(以姓氏笔画为序)

万 选	万乔生	马新一	马康明	王小仿	王永止
王静华	王恩荣	王肇宽	王宏官	王 骅	王雅茹
王甫清	王成锦	尤士勤	尤嘉兰	尤雪男	韦恩润
韦红旗	尹锦泉	卞尚云	帅仁俊	冯忆文	冯尚坚
申绕林	白尔彬	林明耀	许国才	许炳炎	许秀芳
许公毅	闫中华	朱耀平	朱育民	孙建民	刘晓慧
杜炎森	杜 伟	张 洪	张 明	张芝熊	张初阳
张彦文	张尧鹏	张九根	张生林	张雪英	张 云
李治广	余九英	何秀明	何树年	何春荣	陆琴琴
陆海栓	邵海忠	陈 强	陈 勇	陈卫兴	陈炳南
吴进新	吴振尧	沈建新	沈煜坤	郑 健	杨学明
杨一民	杨爱蝶	金 侃	孟庆玲	周家华	周建平
周洪根	周功一	赵笑生	赵林明	赵维新	施敬民
洪文治	胡敏强	胡晓武	项培旭	俞 源	荣念孙
费 海	宣白云	姜 凌	侯鹏云	徐 兴	徐锦祥
徐翔	徐黎虹	徐梓华	顾纪章	聂永铭	高佩铿
钱恩生	秦申蓓	秦剑慧	黄学良	黄兴度	黄启华
蒋小波	蒋伟洪	蒋家凯	董伯明	黄 钊	游夏扬
虞国良	鲍煜昭	蔡达盛	蔡敬义	蔡金洪	臧 涛
潘若洪					

内 容 提 要

本手册凝聚了高等院校、科研院所、供电局及专业生产厂的近百名教授、专家和工程技术人员的心血。他们本着简明、实用、内容新颖的原则，突出新原理、新材料、新结构、新工艺以及产品的高技术和高性能。在表达方式上，尽可能采用表格的形式，便于读者查找。

本手册涵盖面很广，内容涉及电动机、变压器、高低压电器、可编程序控制器、传感器、电工仪表及设备、电气控制、安全用电与节能等，适合于化工、石油化工、炼油、建筑、冶金、轻工等工业部门的工程技术人员查阅和参考。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

目 录

第一篇 电路及磁路基础知识

第一章 电路基础知识	1	第五节 其他电路计算	17
第一节 电路元件及相关计算	1	第二章 磁场与磁路的基础知识	22
第二节 电路定律、定理	8	第一节 磁场基础知识	22
第三节 单相正弦交流电路	10	第二节 磁路基础知识	23
第四节 三相正弦电流电路	15	第三节 交流铁芯线圈	24

第二篇 电子基础知识

第一章 电子元器件	27	第五节 集成电压比较器	88
第一节 半导体器件型号的命名方法	27	第六节 集成稳压器	90
第二节 晶体二极管	30	第七节 其他集成放大器	99
第三节 晶体三极管	33	第八节 集成锁相环、压控振荡器和函数发生器	102
第四节 场效应晶体管	38	第九节 V/F、F/V 变换器	105
第五节 单结晶体管	43	第十节 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路	110
第六节 晶体发光二极管	46	第三章 电力电子技术基础	118
第七节 光电晶体管	49	第一节 晶闸管元件	118
第八节 光电耦合器	52	第二节 晶闸管派生元件	123
第九节 达林顿管	55	第三节 晶闸管的保护和串并联	130
第十节 电阻器和电位器	57	第四节 晶闸管触发电路	134
第十一节 电容器	59	第五节 电力晶体管 (GTR)	140
第十二节 电子技术常用继电器	62	第六节 电力场效应管 (MOSFET)	147
第二章 集成电路及其应用	67	第七节 绝缘门极晶体管 (IGBT)	151
第一节 半导体集成电路的种类	67	第八节 静电感应晶体管 (SIT)	160
第二节 通用数字集成电路索引	70	第九节 MOS 栅控晶闸管 (MCT)	162
第三节 常用数字集成电路简介	82		
第四节 集成运算放大器	85		

第三篇 可编程序控制器 (PLC) 技术

第一章 PLC 的基本组成及选用	167	第一节 三菱可编程序控制器	171
第一节 概述	167	第二节 和泉可编程序控制器	181
第二节 PLC 的基本组成	168	第三节 西门子可编程序控制器	186
第三节 PLC 的选用	169	第四节 欧姆龙可编程序控制器	192
第二章 常用 PLC 系列介绍	171		

第四篇 传感器简介

第一章 传感器的基本概念	199	第一节 电位器式传感器	201
第一节 传感器的组成及分类	199	第二节 电阻应变式传感器	201
第二节 传感器的名词术语	199	第三节 热电阻传感器	203
第二章 电阻式传感器	201	第三章 电容式传感器	206

第一节 工作原理及类型	206	第八章 热电式传感器	221
第二节 电容式传感器的特点及应用	206	第一节 热电偶	221
第四章 电感式传感器	208	第二节 热电偶实用测温线路	224
第一节 电感式传感器工作原理	208	第三节 热电偶的校验	225
第二节 差动变压器式传感器	209	第九章 压电式传感器	227
第五章 电涡流式传感器	210	第一节 压电效应及压电材料	227
第一节 工作原理	210	第二节 压电式传感器的应用	227
第二节 电涡流式传感器的应用	210	第十章 霍尔式传感器	229
第六章 磁电式传感器	211	第一节 霍尔效应与霍尔元件	229
第一节 工作原理	211	第二节 霍尔式传感器的应用	231
第二节 磁电式传感器的应用	211	第十一章 谐振式传感器	232
第七章 光电式传感器	212	第一节 振弦式传感器	232
第一节 光电元件	212	第二节 石英晶体谐振式传感器	233
第二节 光电式传感器的应用	218		

第五篇 电动机及控制

第一章 电动机的基础知识	235	第一节 直流电动机的用途和分类	308
第一节 电动机的基本工作原理	235	第二节 直流电动机的基本结构	308
第二节 电动机的用途和分类	235	第三节 直流电动机的工作特性	310
第三节 电动机的主要技术数据	237	第四节 直流电动机的起动、调速和制动	312
第四节 电动机性能分析中的常用计算公式	237	第五节 直流电动机的型号和分类	313
第五节 电动机常用的调速公式	241	第六节 直流电机的维护与常见故障	314
第二章 三相异步电动机	242	第七节 直流电机技术数据	317
第一节 三相异步电动机的运行原理及基本结构	242	第五章 交流调速电动机及调速器	322
第二节 三相异步电动机的分类及型号	243	第一节 变极调速三相异步电动机	322
第三节 三相异步电动机的起动及制动方法	245	第二节 电磁调速电动机	331
第四节 三相异步电动机的调速方式	247	第三节 电磁调速电动机控制器	340
第五节 三相异步电动机的技术数据	259	第四节 调速器	353
第六节 三相异步电动机的选用方法	278	第五节 YTP 系列变频调速异步电动机	358
第七节 三相异步电动机的常见故障和处理方法	280	第六节 JZS ₂ 系列三相交流换向器电动机	360
第八节 三相异步电动机常见控制电路	282	第六章 微电机和小功率电机	367
第三章 同步电动机	293	第一节 微电机和小功率电机的型号和分类	367
第一节 同步电动机的用途和类型	293	第二节 常用微电机电气原理图	368
第二节 同步电动机的基本结构	296	第三节 微型异步电动机（小功率电动机）	371
第三节 常用同步电动机的技术数据	297	第四节 微型同步电动机	379
第四节 同步电动机的起动方法	305	第五节 微型直流电动机	384
第五节 同步电动机的故障和处理方法	305	第六节 控制微电机	394
第四章 直流电动机	308	第七节 交直流两用电动机	418
		第八节 家用电器电动机	422

第六篇 变 压 器

第一章 变压器基础知识	431	第三节 变压器的主要技术参数	432
第一节 变压器基本工作原理	431	第四节 变压器参数的测试方法	436
第二节 变压器的种类和用途	431	第二章 电力变压器	438

第一节	电力变压器的分类和型号	438	第三节	控制变压器的绕制	470
第二节	电力变压器的结构	439	第四节	控制变压器的技术数据	473
第三节	电力变压器的运行	443	第五节	控制变压器的技术要求	488
第四节	电力变压器的试验标准	445	第五章 互感器		490
第五节	变压器的维护与故障检修	447	第一节	概述	490
第六节	电力变压器常用产品的技术数据	450	第二节	电压互感器	492
第三章 小功率电源变压器		456	第三节	电流互感器	496
第一节	概述	456	第六章 特种变压器		504
第二节	高频电源变压器的设计	458	第一节	自耦变压器	504
第三节	小功率电源变压器的绕制方法	461	第二节	电炉变压器	511
第四节	小功率电源变压器的常见故障及排除方法	464	第三节	整流变压器	526
第四章 控制变压器		466	第四节	脉冲变压器	534
第一节	型号含义和铭牌数据	466	第五节	磁性调压器	536
第二节	控制变压器的设计	466	第六节	交流稳压器	541

第七篇 高压电器

第一章 概述		564	第一节	型号含义与分类	605
第一节	高压电器的定义、分类和用途	564	第二节	结构及技术参数	605
第二节	高压电器的主要技术参数	564	第三节	安装与维护	610
第三节	操动机构	566	第九章 熔断器		611
第二章 油断路器		571	第一节	3~35kV 户内高压限流熔断器	611
第一节	结构及工作原理	571	第二节	10~35kV 户外交流高压跌落式熔断器	613
第二节	安装、运行及检修	573	第十章 避雷器		616
第三节	常用产品的主要技术参数	574	第一节	碳化硅普通阀式避雷器	616
第三章 真空断路器		576	第二节	交流无间隙 MOA	619
第一节	VSI 户内高压真空断路器	576	第三节	交流有串联间隙金属氧化物避雷器	623
第二节	ZN28-10 系列真空断路器	579	第四节	有机复合绝缘外套的 MOA	627
第三节	ZN48A-10 系列真空断路器	580	第五节	三相组合式 MOA	627
第四章 六氟化硫 (SF₆) 断路器		583	第六节	脱离装置	629
第一节	结构及工作原理	583	第七节	交流电力系统线路阻波器用 MOA	629
第二节	灭弧室结构	585	第八节	罐式无间隙 MOA	630
第三节	安装、运行及检修	586	第九节	直流有串联间隙 MOA	631
第四节	常用产品的主要技术参数	588	第十节	避雷器用放电计数器和避雷器监测器	631
第五章 隔离开关及接地开关		589	第十一章 电力电容器及其装置		633
第一节	隔离开关	589	第一节	概述	633
第二节	接地开关	592	第二节	并联电容器及其装置	636
第六章 有载分接开关		594	第三节	静止补偿器	640
第一节	有载分接开关的型号及种类	594	第四节	静止无功发生器	641
第二节	有载分接开关的附属装置	596	第五节	交流滤波电容器及交流滤波装置	642
第三节	常用产品技术参数	597	第六节	串联电容器及其装置	644
第四节	安装、运行和维修	598			
第七章 柱上断路器		601			
第一节	结构特点	601			
第二节	产品主要技术参数	603			
第三节	使用与维护	603			
第八章 负荷开关及负荷开关-熔断器组合电器					

第七节	其他电容器	645	第六节	KYN1-10 型户内金属铠装移开式高压开关柜	669
第十二章	电抗器	649	第七节	KYN1B-10 (VD4) 型户内金属铠装移开式高压开关柜	671
第一节	电抗器的分类及型号	649	第八节	KYN800-10 型铠装移开式金属封闭高压开关柜	674
第二节	电抗器的结构及安装方法	649	第九节	KYN□-10 型双层铠装式金属封闭真空开关柜	675
第三节	常用电抗器	651	第十节	GG1A-10 (F) 型高压开关柜	676
第十三章	3~35kV 交流金属封闭开关设备	658	第十一节	KYN19-10 (FC) 型铠装双层移开式金属封闭开关设备	676
第一节	概述	658	第十二节	空气绝缘和 SF ₆ 气体绝缘环网供电开关箱	677
第二节	JYN1-35 (Q) 手车式高压开关柜	652	第十三节	3~35kV 交流箱式变电站	682
第三节	JYN2-10 型交流金属封闭型移开式开关设备	654			
第四节	XGN2-10 型固定式高压开关箱	655			
第五节	GZS1 型户内金属铠装移开式高压开关柜	656			

第八篇 低压电器

第一章	概述	688	第三节	时间继电器	739
第二章	配电开关电器	694	第四节	信号继电器	741
第一节	断路器	694	第五节	LL-10 系列过流继电器	742
第二节	隔离器开关、隔离开关、熔断器组合电器	704	第八章	防爆电器	745
第三节	熔断器	707	第一节	概述	745
第三章	控制电器	711	第二节	防爆开关	747
第一节	接触器	711	第三节	防爆主令电器、信号灯及插销	749
第二节	起动器	715	第九章	低压成套开关设备和电控设备	751
第四章	控制电路电器	720	第一节	概述	751
第一节	控制继电器	720	第二节	GCL1、GCK1 型低压抽出式开关设备	753
第二节	主令电器	723	第三节	GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜	755
第三节	信号灯	726	第四节	GCS 型交流低压抽出式开关柜	756
第五章	终端电器	727	第五节	ID/IDS 全绝缘全封闭配电柜	758
第一节	模数化终端电器	727	第六节	MNS 型低压成套设备	759
第二节	终端组合电器	729	第七节	多米诺 (DOMINO) 组合式开关柜	760
第六章	辅助电器和其他低压器件	731	第八节	S 型 MCC (GCD24) 电动机控制中心	761
第一节	变阻器	731	第九节	JK 型交流低压电控设备	761
第二节	电磁铁	732	第十节	CUBIC-0.66kV 低压开关柜	763
第三节	接线端子	734			
第七章	保护继电器	736			
第一节	电流电压继电器	736			
第二节	DZ-200 系列中间继电器	737			

第九篇 家用电器

第一章	概述	765	第一节	电风扇	768
第一节	分类	765	第二节	空调器	772
第二节	家用电器的安全	765	第三章	清洁器具	776
第三节	家用电器的标志	767	第一节	洗衣机	776
第二章	清洁器具	768	第二节	吸尘器	779

第四章 制冷器具——电冰箱	782
第五章 音像器具	786
第一节 电视机	786
第二节 录像机	787
第三节 VCD	790
第四节 收录机	794
第六章 厨房器具	796

第一节 微波炉	796
第二节 电饭锅	797
第七章 其他	800
第一节 电熨斗	800
第二节 电吹风	802
第三节 电烙铁	803

第十篇 电工材料

第一章 导电材料	805
第一节 概述	805
第二节 裸电线	806
第三节 绕组线	818
第四节 电气装备用电线电缆	825
第五节 电力电缆	847
第六节 通信电缆	879
第二章 绝缘材料	886
第一节 概述	886
第二节 气体绝缘材料	888
第三节 电工用油漆、绝缘油和浇注胶	889
第四节 电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料	903
第五节 绝缘纸板及绝缘成型件	911
第六节 电工层压制品	912
第七节 电工用橡胶	915
第八节 电工用塑料	918
第九节 云母及云母制品	925
第十节 绝缘子	930
第三章 电阻合金及电热材料	944
第一节 电阻合金	944

第二节 电热材料	951
第四章 磁性材料	956
第一节 软磁材料	956
第二节 硬磁材料	961
第五章 焊接材料	963
第一节 电焊条	968
第二节 焊丝	970
第三节 焊剂与熔剂	973
第四节 钎料	975
第五节 焊粉	976
第六节 焊接用气体	976
第六章 其他电工材料	977
第一节 热电偶	977
第二节 热双金属片	980
第三节 熔丝	983
第四节 常用电刷	984
第五节 电线槽管	987
第六节 金属封闭母线槽	991
第七节 电缆桥架	995
第八节 电触头材料	997

第十一篇 供电与配电

第一章 35kV 变配电所	1000
第一节 电力系统简介	1000
第二节 负荷计算、分类及供电方案	1002
第三节 无限大电源系统短路电流计算	1006
第四节 变配电所一般要求	1007
第五节 电气主接线	1011
第六节 主设备选择原则	1014
第七节 继电保护及自动装置	1023
第八节 过电压保护	1035
第九节 二次回路	1042
第十节 无功补偿	1044
第十一节 电能计量装置	1045
第二章 配电系统	1047
第一节 配电方式	1047
第二节 低压配电线路敷设	1049

第三节 进户、计量装置	1054
第四节 电缆线路	1057
第三章 照明	1061
第一节 电光源与照明器	1061
第二节 照明质量	1085
第三节 照度计算	1093
第四节 照明的控制和支路的分路	1096
第四章 民用建筑供配电与建筑弱电设备	1098
第一节 多层住宅的供配电	1098
第二节 高层公共建筑供配电	1101
第三节 共用天线电视系统	1109
第四节 火灾报警设备	1117
第五节 住宅对讲防盗门系统	1129
第六节 闭路电视监控系统	1130

第十二篇 电工仪表及设备

第一章 常用电工仪表和测量常识	1136	第二节 弧焊变压器	1187
第一节 常用电工仪表常识	1136	第三节 直流弧焊发电机	1190
第二节 电量测试的方法	1140	第四节 弧焊整流器	1192
第三节 电量测量误差和消除方法	1141	第五节 逆变弧焊整流器	1198
第四节 测量数据的处理	1142	第六节 气体、焊剂保护弧焊机	1199
第二章 常用电工仪表	1143	第七节 电阻焊机	1207
第一节 电压表	1143	第八章 滑导电器	1213
第二节 电流表	1144	第一节 特点及分类	1213
第三节 功率表	1145	第二节 工作原理及产品结构	1214
第四节 兆欧表	1147	第三节 常用滑导电器产品的技术参数	1215
第五节 万用表	1148	第四节 滑导电器的选用和维护	1222
第六节 电桥	1149	第九章 电炉	1225
第七节 电位差计	1150	第一节 实验室电炉	1225
第八节 示波器	1151	第二节 RM ₃ 系列密封箱式电阻炉	1229
第九节 数字式仪表	1152	第三节 RX ₃ 箱式电阻炉	1230
第十节 电能表	1155	第四节 D 系列箱式回火炉	1231
第十一节 智能仪器	1155	第五节 RT ₂ 台车式电阻炉	1232
第十二节 UPS 电源	1156	第六节 DM 系列盐浴电阻炉	1232
第三章 常用电子元件参数测试仪器	1158	第七节 井式炉	1233
第一节 晶体管特性图示仪	1158	第八节 输送带式电阻炉	1235
第二节 品质因数测试仪	1159	第九节 感应电热设备	1236
第四章 其他仪表仪器	1160	第十节 电弧炼钢炉	1249
第一节 测速表	1160	第十一节 等离子热处理设备	1253
第二节 测功机	1161	第十二节 可控气氛装置	1254
第三节 转矩转速测试仪	1162	第十三节 粉末冶金烧结电炉	1256
第四节 接地电阻测试仪	1163	第十四节 电气测量与控制	1258
第五节 谐波测试仪	1164	第十章 电瓶叉车和搬运车	1261
第五章 常用电气测试设备	1165	第一节 电瓶叉车	1261
第一节 冲击电压发生器	1165	第二节 电瓶搬运车	1265
第二节 冲击电流发生器	1167	第十一章 蓄电池	1267
第三节 BPD 晶体管变频电源	1168	第一节 蓄电池的结构和工作原理	1267
第四节 高压试验变压器	1169	第二节 产品型号的含义	1268
第五节 直流高压发生器	1172	第三节 蓄电池的基本性能及技术参数	1271
第六节 YDX 谐振变压器	1172	第四节 蓄电池的使用和维护	1284
第六章 电动工具	1174	第五节 蓄电池充电设备	1289
第一节 概述	1174	第十二章 柴油发电机组	1293
第二节 电动工具的基本结构	1176	第一节 特点和结构	1293
第三节 常用电动工具简介	1177	第二节 柴油发电机组的型号规定和技术要求	1293
第四节 电动工具的安全使用及维修知识	1183	第三节 柴油发电机组的选择	1294
第七章 电焊机	1185	第四节 柴油发电机组的使用和维护	1295
第一节 概述	1185	第五节 柴油发电机组的故障和排除	1296

第十三篇 常用机械设备电气控制

第一章 车床电气控制	1298	第一节 控制电路	1298
-------------------------	------	-----------------------	------

第二节 电气修理	1298	第一节 概述	1350
第二章 磨床电气控制	1300	第二节 电梯电气系统	1352
第一节 M2110C 内圆磨床	1300	第三节 安全设施	1364
第二节 M11100A 宽砂轮无心磨床	1304	第四节 维修与保养	1365
第三节 3MZ203/CNC 自动轴承内圆磨床	1311	第五节 自动扶梯和自动人行道	1367
第四节 M7130 卧轴矩台平面磨床	1321	第十一章 锅炉电控装置	1373
第三章 卧式镗床电气控制	1323	第一节 型号	1373
第四章 铣床电气控制	1327	第二节 工业锅炉成套控制装置	1373
第五章 刨床	1330	第三节 中小型电站锅炉成套控制装置	1376
第六章 Z535 型钻床	1335	第十二章 泵、风机和压缩机的电气拖动	1379
第一节 机床电路工作原理	1335	第一节 泵、风机和压缩机的分类和性能	1379
第二节 使用与维护	1335	第二节 泵、风机和压缩机与电动机的匹配	1386
第七章 数控机床电气设备的修理	1337	第三节 泵、风机和压缩机的选择、安装、使用	1389
第一节 CK6163D 数控车床	1337	第十三章 联合收割机电控装置	1393
第二节 安装与调试	1338	第一节 太湖-1450 型联合收割机电气原理	1393
第三节 一般故障检测与排除方法	1339	第二节 常见故障及其处理方法	1395
第八章 15/3t 重级桥式起重机	1343	第十四章 农村排灌用水泵	1396
第九章 起重电磁铁	1347	第一节 常用水泵	1396
第一节 起重电磁铁电源	1347	第二节 容量确定方法	1397
第二节 起重电磁铁的控制电路	1347	第三节 常见故障原因及修理	1398
第三节 起重电磁铁的使用	1349		
第四节 起重电磁铁的自保磁系统	1349		
第十章 电梯电气控制	1350		

第十四篇 安全用电及节约用电

第一章 安全用电	1400	第二章 节约用电	1414
第一节 人体触电的危害	1400	第一节 减少线路损失	1414
第二节 防止人体触电的技术措施	1403	第二节 照明节电	1416
第三节 触电急救	1408	第三节 通用设备节电	1417
第四节 电气防火防爆	1412		
		附 录	
第一节 计量单位及其换算	1420	第五节 常用气象地理资料	1434
第二节 国内外标准代号	1423	第六节 电气技术中的图形符号	1442
第三节 优先数和模数	1424	第七节 电气技术中的文字符号	1458
第四节 常用物理化学资料	1425	第八节 基本电气额定值等级	1463

第一篇 电路及磁路基础知识

第一章 电路基础知识

第一节 电路元件及相关计算^①

一、电阻元件及相关计算

1. 电阻元件 R [单位: 欧姆 (Ω)]

(1) 一段导体的电阻

计算公式:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega)$$

式中 ρ ——导体材料的电阻率, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;

l ——导体的长度, m;

S ——导体的横截面积, mm^2 。

(2) 电导

$$G = \frac{1}{R} \quad (\text{S})$$

(3) 电阻上电压与电流 (图 1.1.1) 之间的关系 (欧姆定律)

$$u = Ri$$

$$i = \frac{u}{R} = Gu$$

式中 u ——加在电阻两端的电压, V;

i ——流过电阻的电流, A。

(4) 电阻上的瞬时功率

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = Gu^2(t) \quad (\text{W})$$

(5) 电阻上的有功功率

$$P = UI = RI^2 = GU^2 \quad (\text{W})$$

(6) 电阻上消耗的电能

$$W = Pt = UIt = RI^2t = GU^2t \quad (\text{J})$$

2. 电阻的串联电路与并联电路

以三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联和并联的电路为例进行讨论 (图 1.1.2 和图 1.1.3), 并列表对两种电路进行比较 (表 1.1.1)。

3. 由电阻构成的电桥电路 (图 1.1.4)

电桥平衡条件: $R_1R_4 = R_2R_3$

电桥平衡时: $U_{ab} = 0$

4. 由电阻构成的星形电路与三角形电路之间的等效变换 (图 1.1.5)



图 1.1.1 一段电阻电路

① 凡不加特别说明, 电路元件均指线性元件。

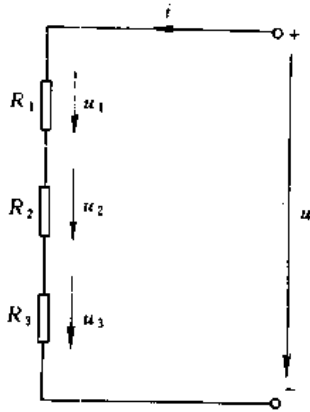


图 1.1.2 电阻串联电路

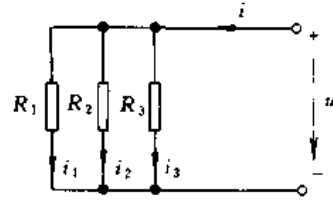


图 1.1.3 电阻并联电路

表 1.1.1 电阻串联电路与并联电路比较

项 目	电阻串联电路	电阻并联电路
电路图	图 1.1.2	图 1.1.3
电阻总值 R	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ 或 $G = G_1 + G_2 + G_3$ 或 $R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$ 若只有两个电阻并联, 则 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
总电压(电流)与分电压(电流)的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3 = (R_1 + R_2 + R_3)i$	$i = i_1 + i_2 + i_3 = (G_1 + G_2 + G_3)u$
各电阻上电压(电流)之比	$u_1 : u_2 : u_3 = R_1 : R_2 : R_3$	$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} = G_1 : G_2 : G_3$
总有功功率	$P = P_1 + P_2 + P_3$ $= U_1 i + U_2 i + U_3 i$ $= (R_1 + R_2 + R_3) i^2$	$P = P_1 + P_2 + P_3$ $= (i_1 + i_2 + i_3) U$ $= (G_1 + G_2 + G_3) U^2$

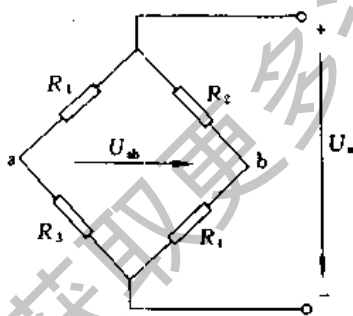
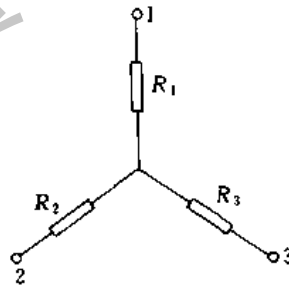
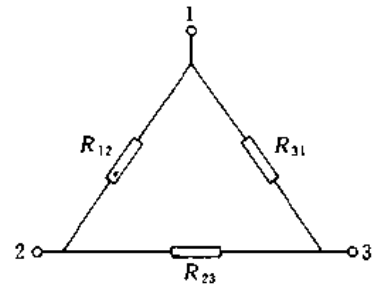


图 1.1.4 电桥电路



(a) 星形电路



(b) 三角形电路

图 1.1.5 星形电路与三角形电路

(1) 由星形变换为三角形

$$\begin{cases} R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} & (\Omega) \\ R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} & (\Omega) \\ R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2} & (\Omega) \end{cases}$$

若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$, 则 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta} = 3R_Y$ 。

(2) 由三角形变换为星形

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \\ R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \\ R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \end{cases}$$

若 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta}$, 则 $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{1}{3}R_{\Delta}$ 。

二、电容元件及相关计算

1. 电容元件 C [单位: 法拉 (F)]

(1) 平板电容器的电容值 C (图 1.1.6)

$$C = \frac{S}{\epsilon d} \quad (\text{F})$$

式中 S ——平板电容器一块极板的面积, m^2 ;

d ——两极板间的垂直距离, m ;

ϵ ——极板间介质的介电常数, F/m 。

(2) 电容器正极板上的电荷 q

$$q = CU \quad (\text{C})$$

式中 U ——加在电容器极板间的电压, V 。

图 1.1.6 平板电容器

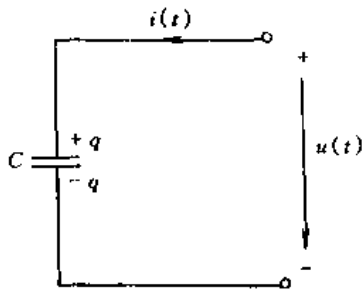


图 1.1.7 一段电容电路

(3) 电容电路 (图 1.1.7) 中的电流 $i(t)$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (\text{A})$$

$$i(t) = C \frac{du}{dt} \quad (\text{A})$$

(4) 电容元件上电压与电流的关系

$$u(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{C} i(\tau) d\tau = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad (\text{V})$$

(5) t 时刻电容中的电场能量 W

$$W_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (\text{J})$$

2. 电容串联电路与并联电路 (图 1.1.8 与图 1.1.9)

电容串联电路与并联电路的比较见表 1.1.2。

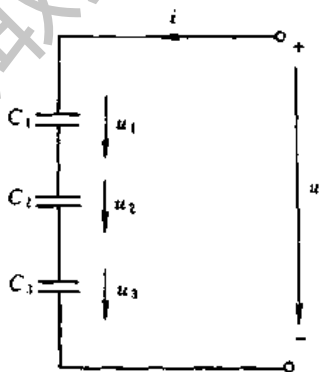


图 1.1.8 电容串联电路

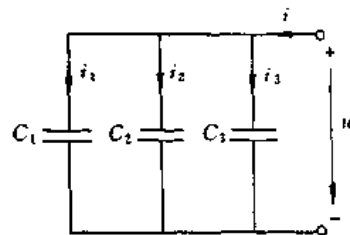


图 1.1.9 电容并联电路

表 1.1.2 电容串联电路与并联电路比较

项 目	电容串联电路	电容并联电路
电路图	图 1.1.8	图 1.1.9
电容总值 C	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$ $C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1}$	$C = C_1 + C_2 + C_3$
总电压(电流)与分电压(电流)的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3$	$i = i_1 + i_2 + i_3$ $= (C_1 + C_2 + C_3) \frac{du}{dt}$
各电容上电压(电流)之比	$u_1 : u_2 : u_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$	$i_1 : i_2 : i_3 = C_1 : C_2 : C_3$

三、电感元件及相关计算

1. 电感元件 L [单位: 亨利 (H)](1) 细长密绕螺线线圈的 (图 1.1.10) 电感值 L

$$L \approx \mu \frac{N^2 S}{l} \quad (\text{H})$$

式中 N ——线圈匝数; S ——螺线管横截面积, m^2 ; l ——螺线管管长, m ; μ ——螺线管内介质的导磁系数, H/m 。(2) t 时刻线圈中的磁通链 $\Psi(t)$

$$\Psi(t) = Li(t) \quad (\text{Wb})$$

式中 $i(t)$ —— t 时刻流过线圈的电流, A 。(3) 电感电路 (图 1.1.11) 中电感两端的电压 $u(t)$

$$u(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{V})$$

(4) 电感元件上电流与电压的关系

$$i(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{L} u(\tau) d\tau = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\tau) d\tau \quad (\text{A})$$

(5) 电感元件上的瞬时功率

$$p(t) = u(t)i(t) = Li(t) \frac{di}{dt} \quad (\text{W})$$

(6) t 时刻电感中的磁场能量 $W_L(t)$

$$W_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (\text{J})$$

2. 电感串联电路与并联电路 (图 1.1.12 与图 1.1.13)

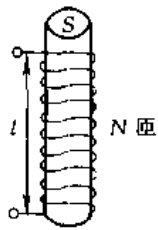


图 1.1.10 细长密绕螺线线圈

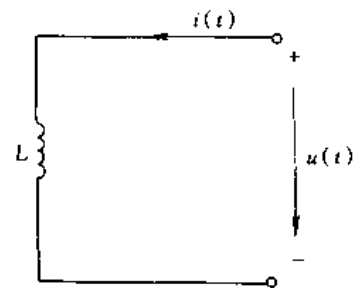


图 1.1.11 一段电感电路

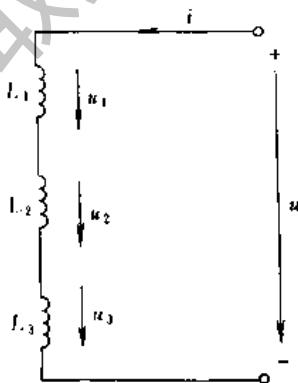


图 1.1.12 电感串联电路

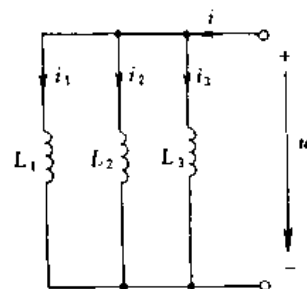


图 1.1.13 电感并联电路

两种电路的比较见表 1.1.3。

表 1.1.3 电感串联电路与并联电路比较

项 目	电感串联电路	电感并联电路
电路图	图 1.1.12	图 1.1.13
电感总值 L	$L = L_1 + L_2 + L_3$	$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$ $L = \frac{L_1 L_2 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_3 L_1}$
总电压 (电流) 与分电压 (电流) 的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3$ $= (L_1 + L_2 + L_3) \frac{di}{dt}$	$i = i_1 + i_2 + i_3$
各电感上电压 (电流) 之比	$u_1 : u_2 : u_3 = L_1 : L_2 : L_3$	$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{L_1} : \frac{1}{L_2} : \frac{1}{L_3}$

四、电压源与电流源元件及相关计算

1. 独立电压源与电流源

理想独立电压源、实际电压源如图 1.1.14 和图 1.1.15 所示, 理想独立电流源、实际电流源如图 1.1.16 和图 1.1.17 所示, 电压源串联电路和电流源并联电路分别如图 1.1.18 和图 1.1.19 所示。独立电压源与独立电流源的比较见表 1.1.4。

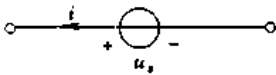


图 1.1.14 理想独立电压源

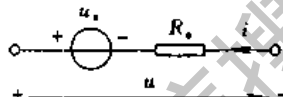


图 1.1.15 实际电压源

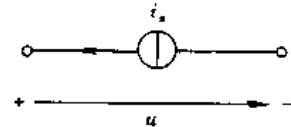


图 1.1.16 理想独立电流源

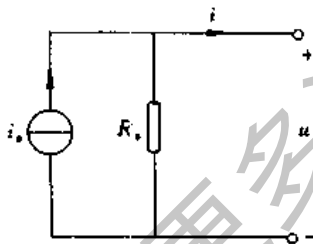


图 1.1.17 实际电流源

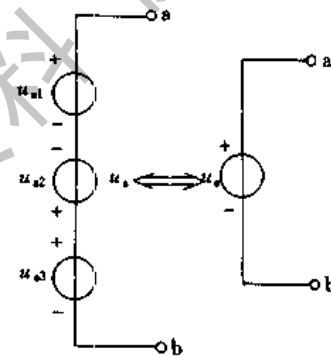


图 1.1.18 电压源串联电路

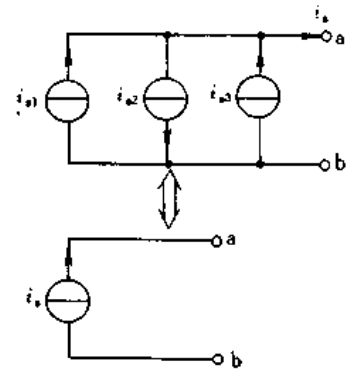


图 1.1.19 电流源并联电路

表 1.1.4 独立电压源与独立电流源比较

项 目	电 压 源	电 流 源
理想独立电源模型	图 1.1.14	图 1.1.16
电源特征	端电压 $u_{AB} = u_s$ (无论电压源的输出电流 i 值为多少)	端电流 $i = i_s$ (无论电流源两端电压 u 值为多少)
电源的工作状态	当 $P = u_s i > 0$ 时, 电压源提供功率; 当 $P = u_s i < 0$ 时, 电压源吸收 (消耗) 功率	当 $P = i_s u > 0$ 时, 电流源提供功率; 当 $P = i_s u < 0$ 时, 电流源吸收 (消耗) 功率
实际电源的等效电路	图 1.1.15	图 1.1.17

项 目	电 压 源	电 流 源
实际电源的外特性	输出电压 u_{AB} $u_{AB} = u_s - R_s i$	输出电流 i $i = i_s - \frac{u}{R_s}$
电源的串并联电路	电压源串联电路例见图 1.1.18	电流源并联电路例见图 1.1.19
等效电压(电流)源的电压(电流)值	$u_s = \sum_{i=1}^n u_{s_i}$ 例中: $u_s = u_{s1} - u_{s2} + u_{s3}$	$i_s = \sum_{j=1}^n i_{s_j}$ 例中: $i_s = i_{s1} - i_{s2} + i_{s3}$

2. 受控源

(1) 电压控制电压源 (英文缩略词 VCVS) (图 1.1.20)

图中 $\mu = \frac{u_2}{u_1}$ 称为电压放大系数。

(2) 电流控制电压源 (英文缩略词 CCVS) (图 1.1.21)

图中 $r = \frac{u_2}{i_1}$ 称为转移电阻。

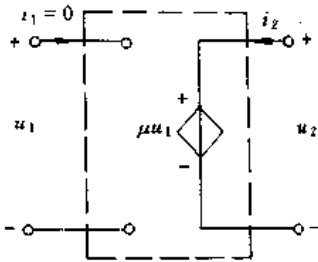


图 1.1.20 电压控制电压源 (VCVS)

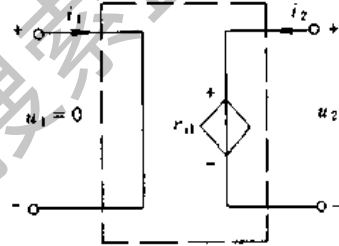


图 1.1.21 电流控制电压源 (CCVS)

(3) 电压控制电流源 (英文缩略词 VCCS) (图 1.1.22)

图中 $g = \frac{i_2}{u_1}$ 称为转移电导。

(4) 电流控制电流源 (英文缩略词 CCCS) (图 1.1.23)

图中 $\alpha = \frac{i_2}{i_1}$ 称为电流放大系数。

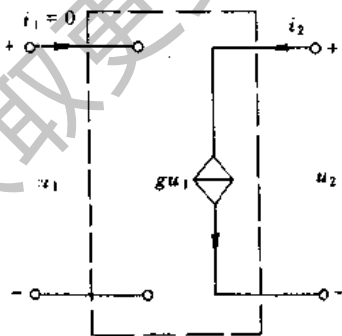


图 1.1.22 电压控制电流源 (VCCS)

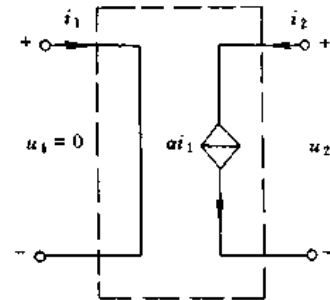


图 1.1.23 电流控制电流源 (CCCS)

五、互感元件及相关计算

1. 互感元件 M [单位: 亨利 (H)]

(1) 两个磁耦合线圈 (图 1.1.24) N_1 与 N_2 之间的互感 M

$$M = \frac{\Phi_{21}}{i_1} = \frac{\Phi_{12}}{i_2} \quad (\text{H})$$

(2) 两个磁耦合线圈的耦合系数 κ

$$\kappa = \sqrt{\frac{\Phi_{12} \cdot \Phi_{21}}{\Phi_{11} \cdot \Phi_{22}}} = \sqrt{\frac{M^2}{L_1 L_2}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \leq 1$$

(3) 互感电势

当第一个线圈中电流 i_1 变化时, 在第二个线圈中所感应的电动势 e_{M2} :

$$e_{M2} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (\text{V})$$

当第二个线圈中电流 i_2 变化时, 在第一个线圈中所感应的电动势 e_{M1} :

$$e_{M1} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (\text{V})$$

(4) 两个磁耦合线圈的同名端

① 同名端的含义 当同时穿过两个磁耦合线圈的磁通发生变化时, 在两线圈上产生感应电动势的同极性端称为两线圈的同名端。例如图 1.1.25 (a) 中的 a 端与 c 端, 图 1.1.25 (b) 中的 a 端与 d 端。可以在一对同名端上标以相同的标记“*”或“·”(显然剩下的未作标记的两个端子也互为同名端)。

② 用冲击法测定同名端 (可以不了解线圈的具体绕向或放置位置) 在 A 线圈上接电池, 在 B 线圈上接电流表 (图 1.1.26)。若当 A 线圈接通电源的一瞬间, 接在 B 线圈上的电流表指针正偏, 则 A 线圈接电池正极的一端与 B 线圈接电流表正端子的一端互为同名端。

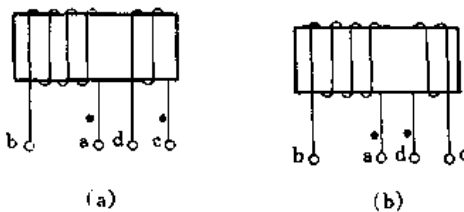


图 1.1.25 磁耦合线圈同名端



图 1.1.26 用冲击法测定同名端

2. 两耦合线圈的串联与并联

两耦合线圈的串联分为顺接串联和反接串联两种形式, 见图 1.1.27 和图 1.1.28; 两耦合线圈的并联分为同名端相接的并联和不同名端相接的并联, 见图 1.1.29 和图 1.1.30。耦合线圈串联与并联的比较表见表 1.1.5。

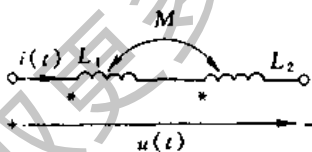


图 1.1.27 顺接串联

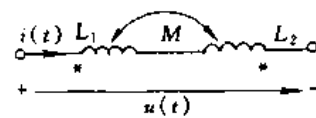


图 1.1.28 反接串联

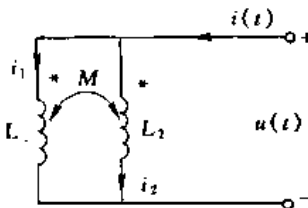


图 1.1.29 同名端相接并联

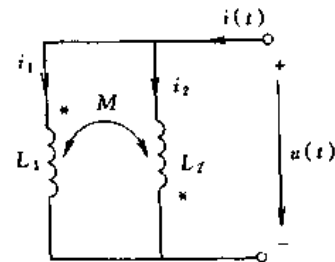


图 1.1.30 非同名端相接并联

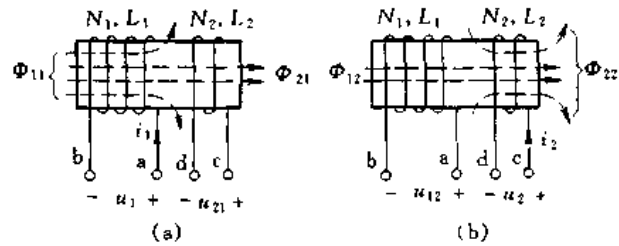


图 1.1.24 磁耦合线圈之间的互感

表 1.1.5 两耦合线圈的串联与并联比较

连接方式	电路图	等效电感值 L	电压与电流关系
顺接串联	图 1.1.27	$L = L_1 + L_2 + 2M$	$u(t) = (L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt}$
反接串联	图 1.1.28	$L = L_1 + L_2 - 2M$	$u(t) = (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}$
同名端相接的 并联	图 1.1.29	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$	$u(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$ $= L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$
非同名端相接的 并联	图 1.1.30	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$	$u(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$ $= L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$

3. 互感消去法

(1) 同名端相接的 T 形电路 同名端相接的 T 形电路及其去耦等效电路见图 1.1.31。

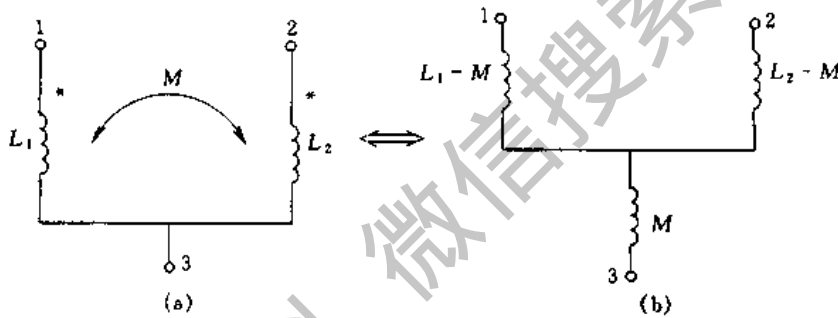


图 1.1.31 同名端相接的 T 形电路

(2) 非同名端相接的 T 形电路 非同名端相接的 T 形电路及其去耦等效电路见图 1.1.32。

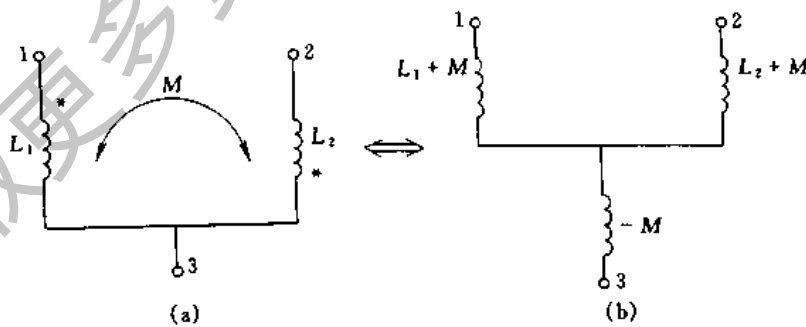


图 1.1.32 非同名端相接的 T 形电路

第二节 电路定律、定理

一、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含电流定律和电压定律，又称基尔霍夫第一定律和第二定律。如图 1.1.33 和图 1.1.34，两定律的说明列于表 1.1.6 之中。

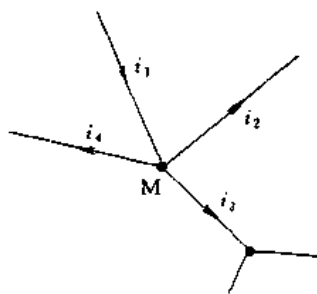


图 1.1.33 基尔霍夫第一定律

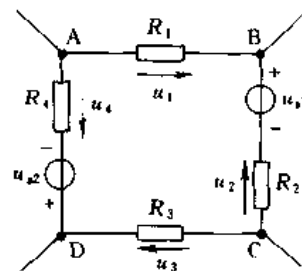


图 1.1.34 基尔霍夫第二定律

表 1.1.6 基尔霍夫电流定律与电压定律

项目	基尔霍夫电流定律	基尔霍夫电压定律
英文缩写词	KCL	KVL
定律内容	对于电路中任何一个节点, 在任一瞬时, 流出 (或流入) 此节点电流的代数和恒等于零	对于电路中任何一个回路, 在任一瞬时, 沿该回路电压降的代数和恒等于零
数学表达式	$\sum i(t) = 0$	$\sum u(t) = 0$
示例	对于图 1.1.33 所示电路中的节点 M, 有 $-i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$ 或 $i_2 + i_3 + i_4 = i_1$ 即从节点 M 流出的电流的总和等于同一瞬间流入该节点的总电流	对于图 1.1.34 所示电路中的回路 ABCDA, 有 $u_1 + u_4 - u_2 + u_3 + u_2 - u_4 = 0$

二、叠加定理

在线性电路中, 当有若干个独立电源作用时, 任一支路的电流或电压, 等于电路中各个独立电源单独作用时, 在该支路中所产生的电流或电压之代数和。

所谓某独立电源单独作用, 就是假设其余独立电源为零值。独立电压源 u_s 为零值, 相当于将其短路; 独立电流源 i_s 为零值, 相当于将其开路。

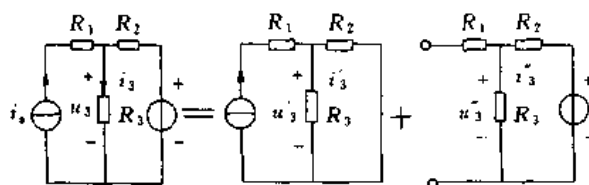


图 1.1.35 叠加定理

如图 1.1.35, R_3 支路的电流 $i_3 = i_3' + i_3''$, 电压 $u_3 = u_3' + u_3''$ 。

三、戴维南定理

任何一个线性有源二端网络都可以用一个电压源 u_s 和电阻 R_0 串联的电源来等效代替。其中, 电压源的电压 u_s 等于该网络的开路电压 u_0 , 串联电阻 R_0 等于该网络中所有独立电源为零值时对应的无源网络的等效电阻 (图 1.1.36)。

四、替代定理

网络中的任何一条支路, 如果已知它的支路电压或电流, 则可以拿掉这条支路, 用一个与原支路电压大小和方向相同的独立电压源或与原支路电流大小和方向相同的独立电流源来替代, 而不致影响

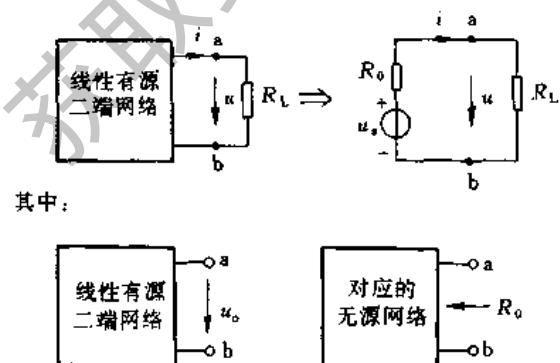


图 1.1.36 戴维南定理

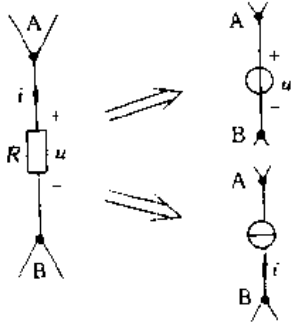


图 1.1.37 替代定理

整个网络中各支路的电压和电流 (图 1.1.37)。

五、互易定理

在无源线性网络中, 如果在某支路中接入一个独立电源 (激励), 将在另一支路产生一个电流或电压 (响应)。当激励和响应互换位置时, 相同的激励将产生相同的响应。例如, 在图 1.1.38 中, 若 $u_1 = u_2$, 则 $i_2 = i_1$; 在图 1.1.39 中, 若 $i_1 = i_2$, 则 $u_2 = u_1$ 。

六、功率守恒定理

在任意网络中, 在任何瞬时, 各支路吸收的功率的代数和恒等于零 (如果是发出功率, 则为负的吸收功率)。

数学表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k i_k = 0$$

式中 n 为支路数。

也可叙述为: 在任意网络中, 在任何瞬时, 各负载吸收的功率之和等于各电源发出的功率之和。

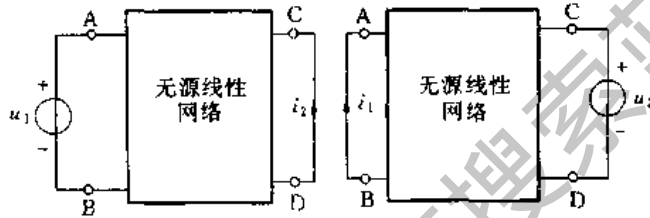


图 1.1.38 互易定理 (一)

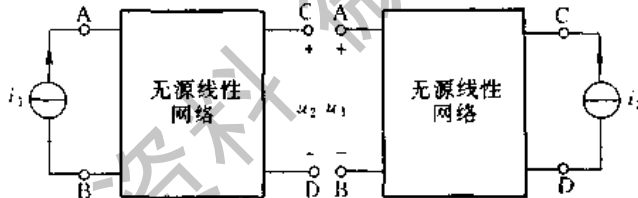


图 1.1.39 互易定理 (二)

第三节 单相正弦交流电路

一、正弦交流电的基本概念

1. 正弦交流电的三要素 (图 1.1.40)

(1) 振幅 (最大值)

正弦电流的最大值 I_m (A)

正弦电压的最大值 U_m (V)

(2) 频率或角频率

频率 f (Hz)

角频率 ω (rad/s)

相互关系: $\omega = 2\pi f$ $f = \frac{1}{T}$

式中 T 为周期 (s)。

(3) 相位或初相位

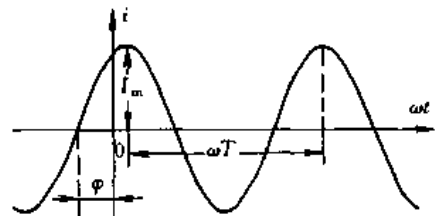


图 1.1.40 正弦交流电

相位 $\omega t + \varphi$ (rad)

初相位 φ (rad)

2. 正弦交流电的四种量值及相互关系 (以电流为例)

(1) 瞬时值 (A)

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (A)$$

i 值随时间按正弦函数规律作周期变化。

(2) 最大值 I_m (A)

I_m 是瞬时值 i 的最大值, 即 $|\sin(\omega t + \varphi_i)| = 1$ 的 i 值。

(3) 有效值 I (A)

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0.707 I_m \quad (A)$$

(4) 平均值 I_{av} (A)

$$I_{av} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0.637 I_m \quad (A)$$

3. 正弦交流电的四种表示形式 (以电流为例)

(1) 瞬时值表达式

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (A)$$

(2) 正弦曲线表示形式 (波形图表示形式) 见图 1.1.40。

(3) 旋转矢量表示形式 (图 1.1.41)

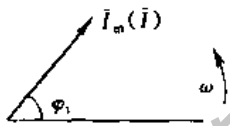


图 1.1.41 正弦交流电矢量表示形式

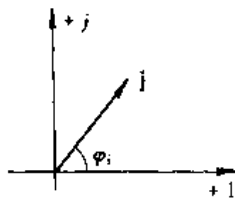


图 1.1.42 正弦交流电相量表示形式

最大值矢量: 矢量长度用 I_m 表示。

有效值矢量: 矢量长度用 I 表示。

分析只有一种角频率的正弦电路问题时, 旋转符号可省略。

(4) 符号表示形式 (相量表示形式)

最大值相量: $\dot{I}_m = I_m \angle \varphi_i \quad (A)$

有效值相量: $\dot{I} = I \angle \varphi_i \quad (A)$

相量在复平面上的几何表示称为相量图, 见图 1.1.42。

利用相量图分析电路时, 实数轴和虚数轴可不画出。

二、单一参数的正弦电流电路

单一参数的正弦电流电路包括: 单一电阻电路 (图 1.1.43), 单一电感电路 (图 1.1.44), 单一电容电路 (图 1.1.45)。这三种电路中的电流、电压、阻抗、功率及其相互关系的比较见表 1.1.7。

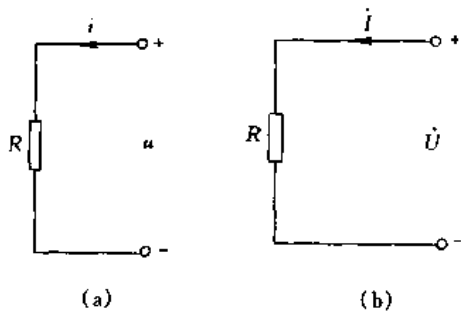


图 1.1.43 电阻正弦电流电路

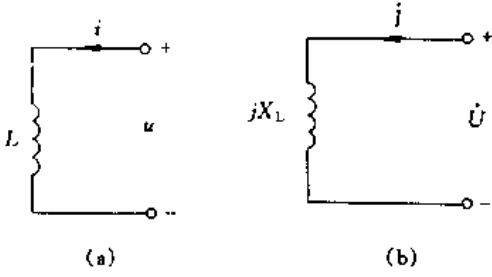


图 1.1.44 电感正弦电流电路

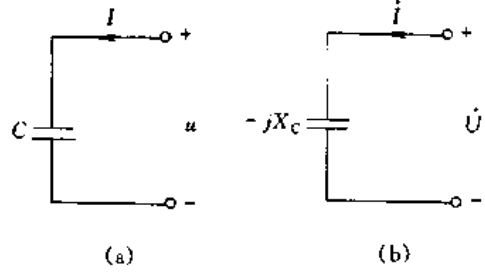


图 1.1.45 电容正弦电流电路

表 1.1.7 三种单一参数正弦电流电路比较

项 目	单一电阻电路	单一电感电路	单一电容电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.43	见图 1.1.44	见图 1.1.45
电阻或电抗 (Ω)	R	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
电压与电流量值关系	$U_R = RI$	$U_L = X_L I$	$U_C = X_C I$
电压与电流相位关系 (rad)	u_R 与 i 同相位相位差 $\varphi_u = 0$	u_L 超前于 i $\frac{\pi}{2}$ 相位差 $\varphi_u = \frac{\pi}{2}$	u_C 滞后于 i $\frac{\pi}{2}$ 相位差 $\varphi_u = -\frac{\pi}{2}$
电压与电流相量关系	$\dot{U}_R = R\dot{I}$	$\dot{U}_L = jX_L \dot{I}$	$\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}$
功率	有功功率 $P = U_R I$ $= RI^2$ (W)	无功功率 $Q_L = U_L I$ $= X_L I^2$ (var)	无功功率 $Q_C = U_C I$ $= X_C I^2$ (var)

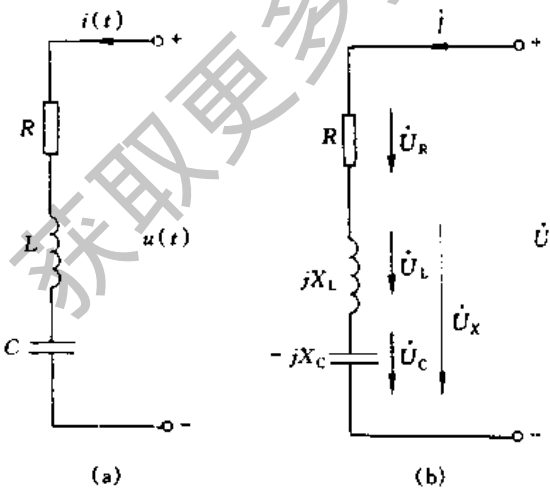


图 1.1.46 R 、 L 、 C 串联电路及其复数形式

谐振的比较见表 1.1.9。

三、电阻、电感、电容的串联与并联电路

R 、 L 、 C 串联电路及其复数形式见图 1.1.46。

R 、 L 、 C 并联电路及其复数形式见图 1.1.47。

R 、 L 、 C 串联电路中电压电流相量图、阻抗三角形、功率三角形见图 1.1.48。

R 、 L 、 C 并联电路中电流电压相量图、导纳三角形、功率三角形见图 1.1.49。

R 、 L 、 C 串联电路与 R 、 L 、 C 并联电路比较见表 1.1.8。

四、串联谐振与并联谐振电路

以 R 、 L 、 C 串联电路 (图 1.1.46) 和 R 、 L 、 C 并联电路 (图 1.1.47) 的谐振情况为例, 两种

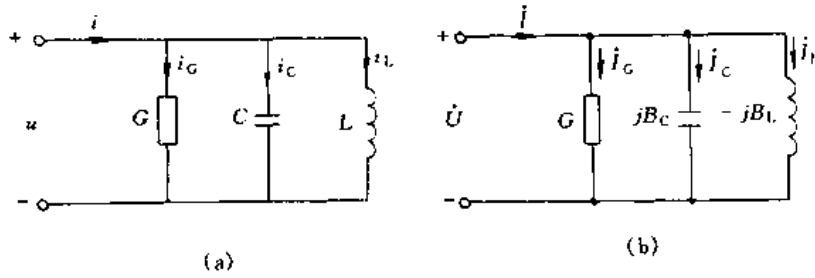


图 1.1.47 R、L、C 并联电路及其复数形式

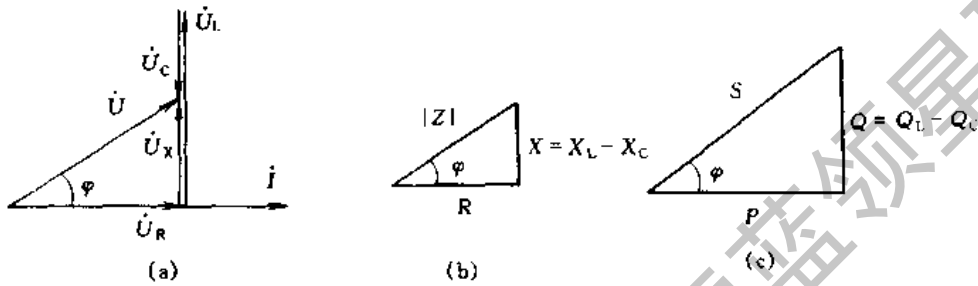


图 1.1.48 R、L、C 串联电路相量图

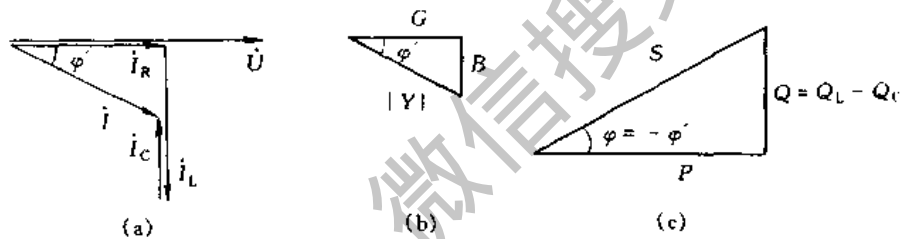


图 1.1.49 R、L、C 并联电路相量图

表 1.1.8 R、L、C 串联电路与 R、L、C 并联电路比较

项 目	R、L、C 串联电路	R、L、C 并联电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.46	见图 1.1.47
复阻抗与复导纳	复阻抗 $Z = R + jX_L - jX_C = R + jX$ $= Z \angle \varphi (\Omega)$ 其中 $X = X_L - X_C$	复导纳 $Y = G - j(B_L - B_C) = G - jB$ $= Y \angle \varphi' (S)$ 其中 $B = B_L - B_C$
阻抗与导纳的量值, 阻抗角与导纳角	$ Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$	$ Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$ $\varphi' = \arctg \frac{-B}{G} = \arctg \frac{-(B_L - B_C)}{G}$
阻抗与导纳三角形	见图 1.1.48 (b)	见图 1.1.49 (b)
总电压 (电流) 与分电压 (电流) 的关系	$u = u_R + u_L + u_C$ $U = U_R + U_L + U_C$	$i = i_R + i_L + i_C$ $I = I_R + I_L + I_C$
电压电流相量图	见图 1.1.48 (a)	见图 1.1.49 (a)

项 目	R、L、C 串联电路	R、L、C 并联电路
电压与电流的关系	$\dot{U} = Z\dot{I} = U\angle\varphi_u$ 其中: $U = Z I = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot I$ $\varphi_u = \varphi_i + \varphi$	$\dot{I} = Y\dot{U} = I\angle\varphi_i$ 其中: $I = Y U = \sqrt{G^2 + B^2} U$ $\varphi_i = \varphi_u + \varphi'$
电路的功率 (有功、无功和视在功率)	$P = U_R I = RI^2 = UI\cos\varphi$ $Q = Q_L - Q_C = (U_L - U_C)I = (X_L - X_C)I^2$ $= UI\sin\varphi$ $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2$	$P = UI_R = RI_R^2 = UI\cos\varphi'$ $Q = Q_L - Q_C = (I_L - I_C)U = (B_L - B_C)U^2$ $= UI\sin(-\varphi')$ $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Y U^2$
电路的功率因数	$\cos\varphi = \frac{R}{ Z } = \frac{P}{S}$	$\cos\varphi' = \frac{G}{ Y } = \frac{P}{S}$
功率三角形	见图 1.1.48 (c)	见图 1.1.49 (c)

表 1.1.9 R、L、C 串联谐振电路与 R、L、C 并联谐振电路比较

项 目	R、L、C 串联电路	R、L、C 并联电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.46	见图 1.1.47
电路呈感性的条件与主要特征	$X_L > X_C$ $\varphi = \text{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} > 0$ u 超前于 i	$B_L > B_C$ $\varphi' = \text{arctg} \frac{-(B_L - B_C)}{G} < 0$ i 滞后于 u
电路呈容性的条件与主要特征	$X_C > X_L$ $\varphi = \text{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} < 0$ u 滞后于 i	$B_C > B_L$ $\varphi' = \text{arctg} \frac{-(B_L - B_C)}{G} > 0$ i 超前于 u
电路呈谐振状态的条件	$X_L = X_C$ $X = X_L - X_C = 0$	$B_L = B_C$ $B = B_L - B_C = 0$
谐振频率	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
谐振时电路的特征	$U_L = U_C$ $\dot{U} = Z\dot{I} = R\dot{i} = \dot{U}_R$ $Z = R + j(X_L - X_C) = R$ $\dot{i} = \frac{\dot{U}}{R}$ (相对最大) $\varphi = \text{arctg} \frac{X_L - X_C}{R} = 0$ $\cos\varphi = 1$ $Q_L = Q_C, S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$	$I_L = I_C$ $\dot{i} = Y\dot{U} = G\dot{U} = \dot{I}_R$ (相对最小) $Y = G - j(B_L - B_C) = G$ $\varphi' = \text{arctg} \frac{-(B_L - B_C)}{G} = 0$ $\cos\varphi' = 1$ $Q_L = Q_C, S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$

五、电阻、电感串联再与电容并联的电路

1. 电路图及其复数形式 (见图 1.1.50)

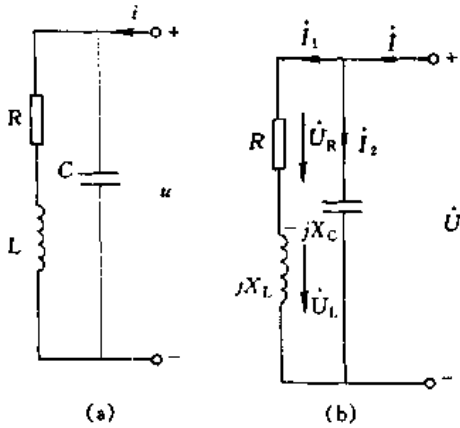


图 1.1.50 电阻、电感串联再与电容并联电路

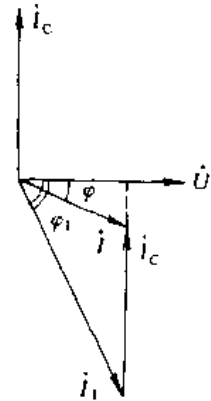


图 1.1.51 电路相量图

2. 电路的相量图 (见图 1.1.51)

3. 功率因数的提高

① 已知 R 、 L 串联支路的电流 I_1 及 $\cos\varphi_1$, 求并联电容 C 后, 整个电路的功率因数 $\cos\varphi$ 和总电流 I 。由图 1.1.51 可知:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{I_1 \sin\varphi_1 - I_C}{I_1 \cos\varphi_1} = \frac{I_1 \sin\varphi_1 - \omega CU}{I_1 \cos\varphi_1}$$

求出 φ , 即可求出 $\cos\varphi$ 。

$$I = \sqrt{(I_1 \sin\varphi_1 - \omega CU)^2 + (I_1 \cos\varphi_1)^2} \quad (\text{A})$$

只要并联电容值适当, 一般均可实现 $\cos\varphi > \cos\varphi_1$, 而 $I < I_1$ 。

② 已知 I_1 、 $\cos\varphi_1$ 及并联 C 后需得到的整个电路的功率因数 $\cos\varphi$, 求应并联的电容值 C 。仍由图 1.1.51 看出:

$$I_C = I_1 \cos\varphi_1 (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi) \quad (\text{A})$$

$$C = \frac{I_1 \cos\varphi_1}{\omega U} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi) \quad (\text{F})$$

式中 $\operatorname{tg}\varphi_1$ 、 $\operatorname{tg}\varphi$ 均可由 $\cos\varphi_1$ 、 $\cos\varphi$ 求得。

若已知的是 R 、 L 串联电路的有功功率 P , 则可由下式求出应并联电容器的容量 Q_C 和 C 值:

$$Q_C = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi) \quad (\text{var})$$

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2} \quad (\text{F})$$

第四节 三相正弦电流电路

一、对称三相正弦电压

1. 特征

三个正弦电压具有相同的频率, 相等的最大值, 而相位互差 $\frac{2}{3}\pi$ (rad)。

2. 表示形式 (见表 1.1.10)

3. 三个对称电压之和

$$u_A + u_B + u_C = 0$$

$$U_A + U_B + U_C = 0$$

二、对称三相正弦电流电路

设三相电源线电压是对称的, 三相负载阻抗大小相等, 性质相同。接成星形和三角形的电路见图 1.1.52 (a) 和 (b), 两种接法三相电路的比较见表 1.1.11。

表 1.1.10 对称三相正弦电压的表示形式 (单位: V)

瞬时值表达式	$u_A = U_m \sin \omega t, \quad u_B = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$ $u_C = U_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2}{3} \pi \right)$
波形图和相量图	
复数形式	$\dot{U}_A = U \angle 0, \quad \dot{U}_B = U \angle -\frac{2}{3} \pi, \quad \dot{U}_C = U \angle -\frac{4}{3} \pi = U \angle \frac{2}{3} \pi$

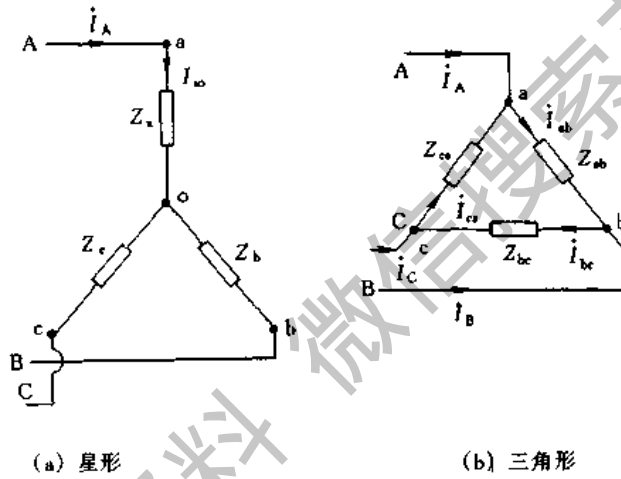


图 1.1.52 对称三相正弦交流电路

表 1.1.11 两种接法三相对称电路比较

项 目	三相负载星形接法	三相负载三角形接法
电路图	见图 1.1.52 (a)	见图 1.1.52 (b)
相电压与线电压的关系	$\dot{U}_{ao} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ$ $\dot{U}_{bo} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{BC} \angle -30^\circ$ $\dot{U}_{co} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{CA} \angle -30^\circ$ <p>负载相电压 \dot{U}_{ao}、\dot{U}_{bo}、\dot{U}_{co} 可简写为 \dot{U}_a、\dot{U}_b、\dot{U}_c</p>	负载相电压等于线电压
线电流与相电流的关系	线电流等于相电流	$\dot{I}_A = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ$ $\dot{I}_B = \sqrt{3} \dot{I}_{bc} \angle -30^\circ$ $\dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ$

续表

项 目	三相负载星形接法	三相负载三角形接法
相电流与相电压的关系	$\dot{i}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}$ $\dot{i}_b = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}$ $\dot{i}_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}$	$\dot{i}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{ab}}$ $\dot{i}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{bc}}$ $\dot{i}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{ca}}$
电路计算中, 三相对称性的利用	由于三相负载阻抗相等 ($Z_a = Z_b = Z_c$, $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$), 三相电源电压对称, 电路中三相负载相电压、三相负载电流、三相线电流都是对称的, 因此可化三相计算为一相计算, 然后利用对称关系直接写出另两相的结果。	

三、三相电路的功率

表 1.1.12 中的公式对三相负载的星形接法和三角形接法均适用。

表 1.1.12 三相电路功率的计算公式

项 目	三相功率的一般计算公式	对称三相电路功率计算公式
三相有功功率, W	$P = P_A + P_B + P_C$ $= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$	$P = 3 U_p I_p \cos \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$
三相无功功率, var	$Q = Q_A + Q_B + Q_C$ $= U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$	$Q = 3 U_p I_p \sin \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$
三相视在功率, VA	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = 3 U_p I_p$ $= \sqrt{3} U_l I_l$
说明	对于不对称三相电路, 一般不能用 $S_A + S_B + S_C$ 求取三相总视在功率 S	上面各式中 U_p 、 I_p 为相电压、相电流; U_l 、 I_l 为线电压、线电流; $\cos \varphi$ 为各相负载的功率因数, 即 φ 角为相电压与相电流的相位差角

第五节 其他电路计算

一、双口网络的计算

双口网络又称二端口网络, 属于四端网络, 见图 1.1.53。

双口网络端口间电压与电流的关系见表 1.1.13。

二、周期非正弦电流电路的计算

1. 几个典型的周期函数的傅里叶展开式 (见表 1.1.14)

2. 周期非正弦电流、电压的有效值、平均值及平均功率 (表

1.1.15)

3. 周期非正弦电流电路的计算步骤

以图 1.1.54 所示的周期非正弦电流电路为例, 列表说明其计算步骤 (表 1.1.16)。

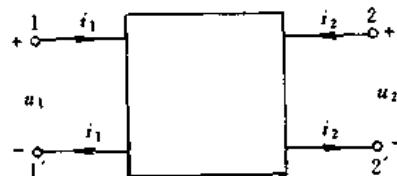


图 1.1.53 双口网络

表 1.1.13 双口网络端口间电压电流关系

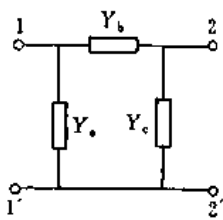
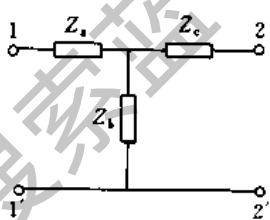
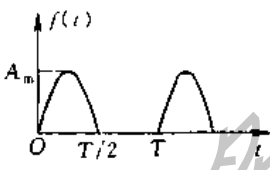
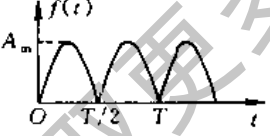
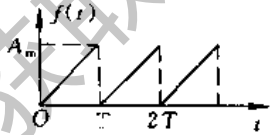
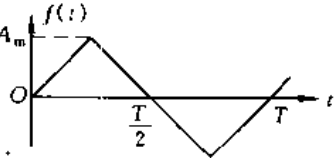
项 目	导纳 (Y) 参数形式	阻抗 (Z) 参数形式
参数方程	$I_1 = Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2$ $I_2 = Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2$	$U_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$ $U_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$
参数意义	$Y_{11} = \frac{I_1}{U_1} \Big _{U_2=0}$ $Y_{21} = \frac{I_2}{U_1} \Big _{U_2=0}$ $Y_{12} = \frac{I_1}{U_2} \Big _{U_1=0}$ $Y_{22} = \frac{I_2}{U_2} \Big _{U_1=0}$	$Z_{11} = \frac{U_1}{I_1} \Big _{I_2=0}$ $Z_{21} = \frac{U_2}{I_1} \Big _{I_2=0}$ $Z_{12} = \frac{U_1}{I_2} \Big _{I_1=0}$ $Z_{22} = \frac{U_2}{I_2} \Big _{I_1=0}$
等效电路 (对任何给定的线性无源双口网络均适用)	 $Y_a = Y_{11} + Y_{12}$ $Y_b = -Y_{12} = -Y_{21}$ $Y_c = Y_{21} + Y_{22}$	 $Z_a = Z_{11} - Z_{21}$ $Z_b = Z_{12} - Z_{21}$ $Z_c = Z_{22} - Z_{12}$

表 1.1.14 几个典型的周期函数的傅里叶展开式

$f(t)$ 的波形	$f(t)$ 的傅里叶展开式
	$f(t) = \frac{A_m}{\pi} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sin \omega t - \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t - \dots \right)$
	$f(t) = \frac{4}{\pi} A_m \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t - \dots \right)$
	$f(t) = A_m \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots \right) \right]$
	$f(t) = \frac{8}{\pi^2} A_m \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots \right)$

$f(t)$ 的波形	$f(t)$ 的傅里叶展开式
	$f(t) = \frac{4}{\pi} A_m \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \dots \right)$ $f(t) = \frac{4}{\pi} A_m \left(\sin \alpha \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3 \alpha \sin 3 \omega t + \frac{1}{25} \sin 5 \alpha \sin 5 \omega t + \dots \right)$

表 1.1.15 周期非正弦电流、电压的有效值、平均值及平均功率

周期非正弦电流、电压的傅里叶展开式	$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \quad (\text{A})$ $u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \quad (\text{V})$
电流、电压的有效值	$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (\text{A})$ $U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \quad (\text{V})$
电流、电压的平均值	$I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (\text{A})$ $U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (\text{V})$
平均功率	$P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ $= U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + \dots \quad (\text{W})$ <p>式中 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ 为各次谐波电压与同次谐波电流的相位差</p>

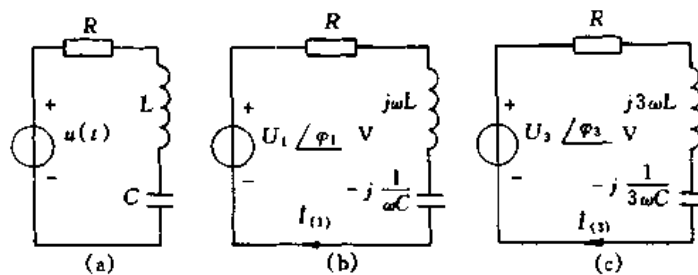


图 1.1.54 周期非正弦电流电路

表 1.1.16 周期非正弦电流电路计算示例

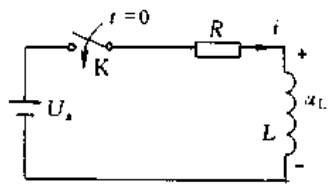
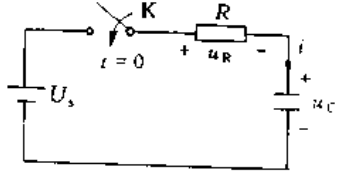
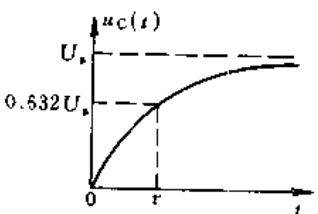
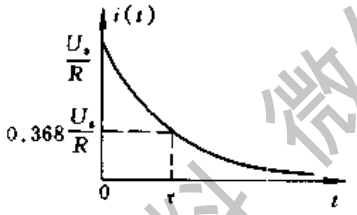
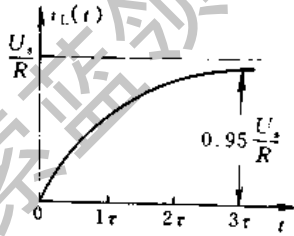
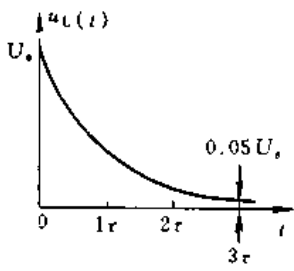
已知	电路中电源电压 $u(t) = U_0 + \sqrt{2}U_1\sin(\omega t + \varphi_1) + \sqrt{2}U_3\sin(3\omega t + \varphi_3)$ (V) R, L, C 值
求	电路中的电流 i 、有效值 I 及消耗的功率 P
计算顺序及内容	1 求电压的直流分量 U_0 单独作用时的 I_0, P_0 因电容相当于开路, 故 $I_0 = 0, P_0 = 0$
	2 求电压的基波分量单独作用时的 I_1, P_1 此时, $X_L = \omega L, X_C = \frac{1}{\omega C}, \dot{I}_1 = \frac{U_1 \angle \varphi_1}{R + jX_L - jX_C} = I_1 \angle \varphi_1 - \psi_1$ $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$
	3 求电压的三次谐波分量单独作用时的 I_3, P_3 此时, $X_L = 3\omega L, X_C = \frac{1}{3\omega C}, \dot{I}_3 = \frac{U_3 \angle \varphi_3}{R + jX_L - jX_C} = I_3 \angle \varphi_3 - \psi_3$ $P_3 = U_3 I_3 \cos \varphi_3$
	4 按叠加定理求 $i(t) = \sqrt{2}I_1\sin(\omega t + \varphi_1 - \psi_1) + \sqrt{2}I_3\sin(3\omega t + \varphi_3 - \psi_3)$
	5 求电流有效值 $I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2}$ ($I_0 = 0$)
	6 求消耗的功率 $P = P_1 + P_3$ ($P_0 = 0$)

三、电阻、电容电路和电阻、电感电路的过渡过程 (见表 1.1.17)

表 1.1.17 RC 电路和 RL 电路的过渡过程

(一)	放 电 过 程	
电路图		
电路响应 (可称零输入响应)	$u_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (V) $t \geq 0$ $i(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ (A) $t \geq 0$ 其中: $U_0 = u_C(0)$ (V) $\tau = RC$ (s) 称为 RC 电路的时间常数	$i_L(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (A) $t \geq 0$ $u_L(t) = -RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (V) $t \geq 0$ 其中: $I_0 = i_L(0)$ (A) $\tau = \frac{L}{R}$ (s) 称为 RL 电路的时间常数
变化曲线		

续表

(二)	充 电 过 程	
电路图		
电路响应 (可称零状态 响应)	$u_C(t) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (\text{V}) \quad t \geq 0$ $i(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{A}) \quad t \geq 0$ 其中: $\tau = RC \quad (\text{s})$	$i_L(t) = \frac{U_s}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (\text{A}) \quad t \geq 0$ $u_L(t) = U_s e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{V}) \quad t \geq 0$ 其中: $\tau = \frac{L}{R} \quad (\text{s})$
变化曲线	$u_C(t)$ 曲线  $i(t)$ 曲线 	$i_L(t)$ 曲线  $u_L(t)$ 曲线 

获取更多资料

第二章 磁场与磁路的基础知识

第一节 磁场基础知识

一、磁场的基本物理量

磁场的基本物理量主要有磁感应强度、磁通、磁场强度和磁导率等，它们的符号、意义、单位和相互关系见表 1.2.1。

表 1.2.1 磁场的基本物理量

名称	磁感应强度	磁 通	磁场强度	磁导率
表示符号	B	Φ	H	μ
意义	<p>是表示磁场某一点强弱和方向的量，方向同放于该点的小磁针 N 极指向，大小：</p> $B = \frac{\Delta F}{I\Delta l}$ <p>Δl——放于该点一小段导体的长度； I——导体电流； ΔF——导体所受电磁力（导体应与磁场方向垂直）</p>	<p>是磁场中某一个面上磁感应强度矢量的通量，若磁场均匀，且与面积垂直，则</p> $\Phi = BS$	<p>是反映磁场与其磁化电流之间依存关系的量。H 只与磁化电流的强度与方向有关，与介质的性质无关</p>	<p>是衡量物质磁性能的量。</p> $\mu = \frac{B}{H}$ <p>真空的磁导率： $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 物质的相对磁导率： $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$</p>
单位	特斯拉 (T) 高斯 (Gs) $1\text{T} = 10^4 \text{Gs}$	韦伯 (Wb) 麦克斯韦 (Mx) $1\text{Wb} = 10^8 \text{Mx}$	A/m	H/m
相互关系	$B = \Phi/S$ (因此 B 又可称为磁通密度), $B = \mu H$			

二、磁场的一些定律、定则 (表 1.2.2)

表 1.2.2 磁场的定律、定则

磁通连续性原理	$\oint B \cdot dS = 0$	磁场中任一闭合面的总磁通恒等于零
安培环路定律	$\oint \mu H \cdot dl = \sum I$	磁场强度矢量 H 沿任一闭合路径的线积分等于穿过此路径所围成的面的电流的代数和
右手螺旋定则	载流直导线周围磁场方向的判断	右手握住导线，大拇指指向电流方向，则弯曲的四指表示磁力线（磁场）的方向
	载流螺管线圈中磁场方向的判断	右手握住螺管线圈，弯曲的四指顺从电流的方向，则拇指指出了磁场的方向
电磁力的计算公式与左手定则	$F = BI$ (导体方向与磁场方向垂直)	F 为载流直导体（长度为 l ，电流为 I ）在磁感应强度为 B 的磁场中所受的作用力
	电磁力方向的判断——左手定则	平伸左手，大拇指与四指垂直，让磁力线穿过掌心，四指指向电流的方向，则大拇指指向电磁力的方向

续表

电磁感应定律	$u = \frac{d\Psi}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt}$ 式中 u ——回路或线圈中的感应电压。 若以感应电动势表示, 则: $e = - \frac{d\Psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt}$	当一个回路或线圈中的磁通发生变化时, 回路或线圈中将产生感应电压。感应电压的大小与磁链(磁通)的变化率成正比 感应电压 u 的方向: 当磁通量增加时, 即 $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ 时, u 与 Φ 在方向上符合右手螺旋定则
直导体切割磁力线产生感应电动势的计算公式与右手定则	$E = Blv$ (导体切割磁力线的方向与磁场垂直) 感应电动势方向的判断——右手定则	E 为运动直导体(长度为 l , 运动线速度为 v) 在磁感应强度为 B 的磁场中, 作切割磁力线运动时产生的感应电动势 平伸右手, 大拇指与四指垂直, 让磁力线穿过掌心, 若大拇指指向导体运动的方向, 则四指所指的方向为感应电动势的方向

第二节 磁路基础知识

一、磁路定律

磁路是磁力线集中通过的路径, 磁路一般由铁芯(有时含有气隙)和励磁线圈构成。磁路分为无分支磁路和有分支磁路。图 1.2.1 分别为无分支磁路、有分支磁路和有气隙磁路。

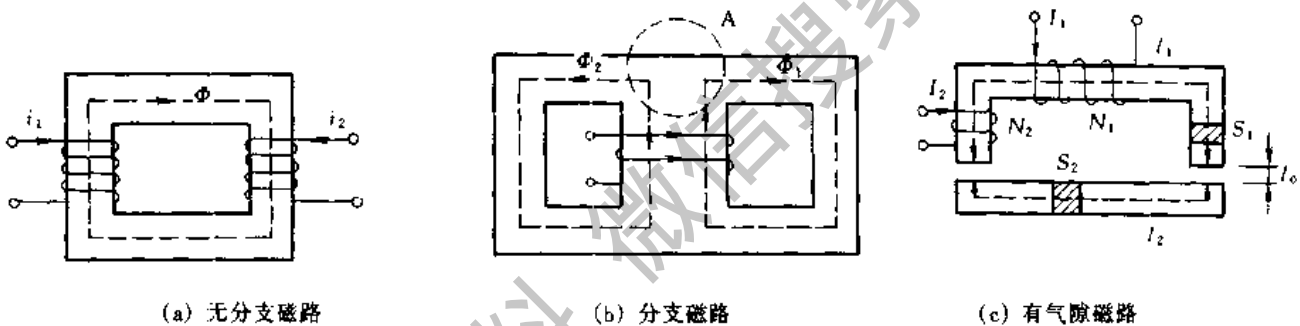


图 1.2.1 磁路形式

磁路定律包含磁路的基尔霍夫定律和磁路的欧姆定律, 它们在形式上与电路的有关定律相似, 见表 1.2.3。

表 1.2.3 磁路定律及与有关电路定律的比较

项 目	磁 路 定 律	电 路 定 律
基尔霍夫第一定律	$\sum \Phi = 0$ 汇集于分支磁路(图 1.2.1 (b)) 分支处的各部分磁通的代数和为零	$\sum i = 0$ 交汇在电路任一节点上的各支路电流的代数和为零
基尔霍夫第二定律	$\sum Hl = \sum NI$ 或 $\sum U_M = \sum F_M$ 式中: $U_M = Hl$ 称为磁压 $F_M = NI$ 称为磁势 在磁路的任一闭合路径上, 各段磁压的代数和等于各磁势的代数和。例如对图 1.2.1 (c) 磁路有 $H_1 l_1 + H_2 l_2 + 2H_0 l_0 = N_1 I_1 + N_2 I_2$	$\sum U = 0$ $\sum RI = \sum E$ 在电路的任一闭合路径上, 各段电压的代数和等于零, 或各电阻压降的代数和等于各电动势的代数和
欧姆定律	$\Phi = \frac{U_M}{R_M}$ 其中 R_M 为一段磁路的磁阻 $R_M = \frac{l}{\mu S}$	$I = \frac{U}{R}$ 其中 R 为一段导体的电阻 $R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{GS}$

二、简单磁路计算

磁路计算分为已知磁势求磁通和已知磁通求产生这些磁通应施加多大的磁势两类问题。由于磁路铁芯材料的磁导率不是常数，磁阻是非线性的，无法采用磁路的欧姆定律直接对以上两类问题进行计算，而必须借助于磁化曲线（ $B-H$ 曲线）。具体计算步骤见表 1.2.4。

表 1.2.4 磁路的计算步骤

步骤	已知磁势求磁通	已知磁通求磁势
1	(采用试探法计算) 先假定一个磁通值 Φ 。若磁路中含有气隙时，可认为气隙磁压近似等于全部磁势，计算出近似的磁通值： $\Phi_0 = \frac{NI}{R_{MO}} = NI \frac{\mu_0 S_0}{l_0}$ (S_0 、 l_0 分别为气隙段的磁路截面积和长度)	先将磁路按同材料、同截面分段，并求出各段的截面积 S 和长度 l ，再由磁通 Φ 求出各段的磁感应强度： $B_1 = \frac{\Phi}{S_1} \quad (\text{T})$ $B_2 = \frac{\Phi}{S_2} \quad (\text{T})$:
2	按右边“已知磁通求磁势”方法，取略小于 Φ_0 的值作为第一次磁通值 Φ_1 ，求出 $(NI)_1$	计算各段的 H ：铁磁材料查磁化曲线，空气隙直接利用公式 $H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4\pi \times 10^{-7}} = 8 \times 10^5 B_0 \quad (\text{A/m})$
3	将 $(NI)_1$ 与已知 NI 比较，修正假定磁通值，再重新计算 $(NI)_2$	计算 $\sum HI = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots$
4	直到求出的 $(NI)_n$ 与给定磁势相接近（在允许偏差范围内）时为止。可认定这一次的 Φ_n 值为所求磁通值	求出 $NI = \sum HI$

三、电磁铁吸力的计算

$$F = 4S_0 B_0^2 \times 10^5 \quad (\text{N})$$

或

$$F = \frac{4\Phi_0^2}{S_0} \times 10^5 \quad (\text{N})$$

式中 B_0 ——气隙中的磁感应强度，T；
 Φ_0 ——气隙中的磁通，Wb；
 S_0 ——气隙段磁路截面积， m^2 。

第三节 交流铁芯线圈

一、交流铁芯线圈端电压与磁通的关系

图 1.2.2 为一个交流铁芯线圈，忽略线圈电阻。磁通最大值：

$$\Phi_m = \frac{U_m}{N\omega} = \frac{\sqrt{2}U}{N2\pi f} \quad (\text{Wb})$$

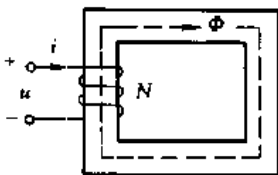


图 1.2.2 交流铁芯线圈

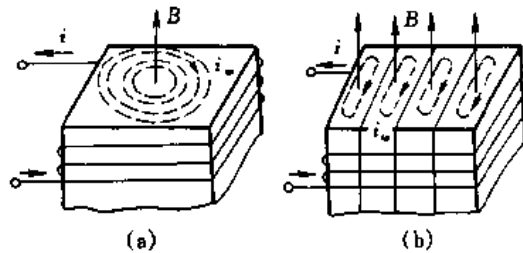


图 1.2.3 涡流损耗

线圈端电压:

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\pi f N \Phi_m = 4.44 f N \Phi_m \quad (\text{V})$$

上面公式表明交流铁芯线圈中的磁通最大值和端电压的有效值成正比,而与磁路的磁阻无关,交流铁芯线圈的这一特性可称为恒磁通特性。

二、铁芯损耗

铁芯在交变电流反复磁化过程中会发热,铁芯内部发热消耗的功率称为铁芯损耗,用 P_c 表示。铁芯损耗包括涡流损耗(图 1.2.3)和磁滞损耗。它们的产生原因、限制措施和经验计算公式见表 1.2.5。

表 1.2.5 涡流损耗和磁滞损耗

项 目	涡流损耗 P_e	磁滞损耗 P_h
产生原因	铁芯中的交变磁通在铁芯中产生的旋涡状的感应电流(涡流),在铁芯电阻上产生功率损耗	交变磁化过程中,磁畴翻转的不可逆性,造成磁滞现象,也造成翻转过程中的功率损耗
经验计算公式	$P_e = K_e f^2 B_m^2 V$ 式中 K_e ——与铁芯电导率和厚度有关的系数; V ——铁芯体积	$P_h = K_h f B_m^n V$ 式中 K_h 是与材料有关的系数。 B_m 的指数 n 与 B_m 的大小有关,一般取值 1.6~2
减小损耗的措施	采用电工钢片(硅钢片)增大了材料的电阻率,由于层叠片间相互绝缘,又减小了涡流流通的截面积,可减小涡流,减小涡流损耗	采用磁滞回线狭窄的软磁性材料作铁芯,如电工钢片就是这类材料

三、铁芯线圈中的电流波形

由于磁饱和的影响,当交流铁芯线圈上外施电压为正弦波时,磁通也是正弦波,但线圈中的电流却是带尖顶的非正弦波(图 1.2.4)。

再由于磁滞的存在, Φ - i 曲线是一个磁滞回线,使电流波形畸变更严重,而且经过零点的时刻超前于磁通(图 1.2.5)。

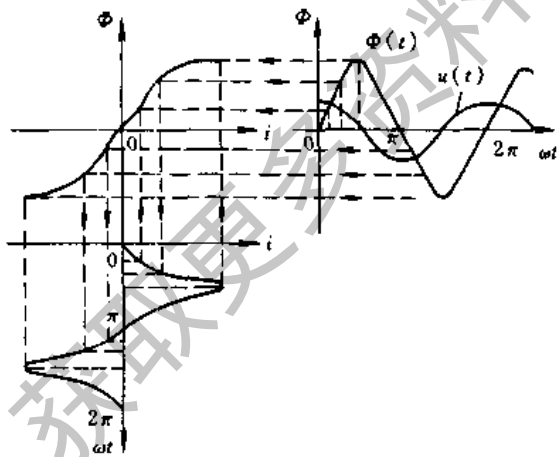


图 1.2.4 磁饱和对电流波形的影响

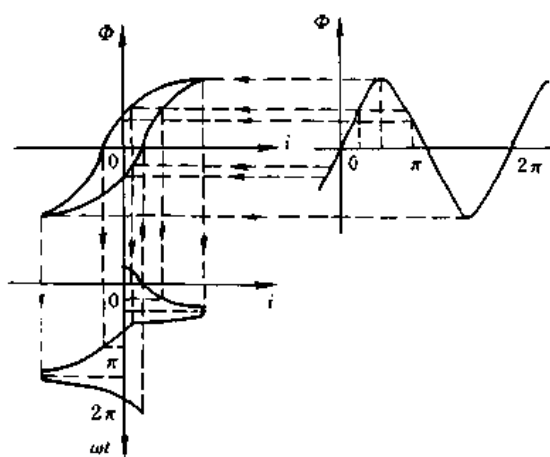


图 1.2.5 磁滞对电流波形的影响

四、交流与直流磁路的比较

以交流电磁铁和直流电磁铁为例进行交直流磁路的比较,见表 1.2.6。电磁铁结构的几种形式见图 1.2.6。交流电磁铁的短路环见图 1.2.7。

表 1.2.6 交流与直流电磁铁比较

项 目	交 流 电 磁 铁	直 流 电 磁 铁
铁芯结构	由电工钢片叠压成	由整块软钢制成
铁芯损耗	有铁芯损耗(磁滞损耗、涡流损耗)	无铁芯损耗
铁芯中磁通	Φ_m 主要取决于外施电压的有效值, 与磁路磁阻几乎无关(恒磁通特性)	Φ 的大小与励磁线圈的电流和磁路的磁阻有关(气隙大, 磁阻大, 磁通小)
电磁吸力	由于 Φ 是变化的, F 也在变化, 吸合后有振动噪音。可在铁芯上加短路环(图 1.2.7)减小振动	衔铁吸合后, Φ 一定, F 一定, 无振动噪音, 也无需装短路环。但吸合初期, 气隙较大, 吸力较小
励磁电流	在电压一定时, 电流有效值并不确定, 而是受磁阻大小的影响。气隙大时, 磁阻大, 铁芯线圈等效电抗小, 电流大, 吸合后, 气隙很小, 电流降为较小的正常值	仅取决于外加电压和线圈电阻, 不受磁路的影响

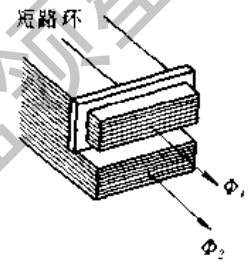
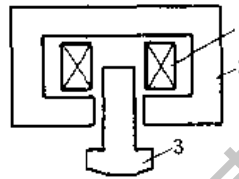
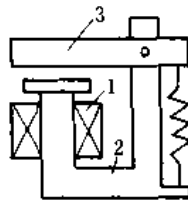
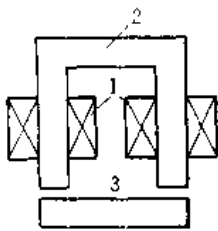


图 1.2.6 电磁铁的几种形式

1—线圈; 2—铁芯; 3—衔铁

图 1.2.7 交流电磁铁的

短路环

获取更多资料

微信搜索蓝星球

第二篇 电子基础知识

第一章 电子元器件

第一节 半导体器件型号的命名方法

一、国产半导体器件型号的命名方法

根据国家标准 GB 249—74 规定，国产半导体器件的型号由五部分组成，其符号及意义见表 2.1.1。

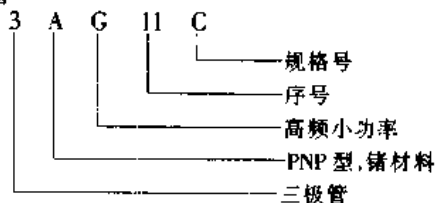
表 2.1.1 国产半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分			第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型			用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示区别代号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	
2	二极管	A	N型, 锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ($f_c < 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)	
3	三极管	B	P型, 锗材料	V	微波管	A	高频大功率管 ($f_c \geq 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)	
		C	N型, 硅材料	W	稳压管	T	半导体整流管 (可控整流器)	
		D	P型, 硅材料	C	参量管	Y	场效应器件	
		A	PNP型, 锗材料	Z	整流管	B	雪崩管	
		B	NPN型, 锗材料	L	整流堆	J	阶跃恢复管	
		C	PNP型, 硅材料	S	隧道管	CS	场效应器件	
		D	NPN型, 硅材料	N	阻尼管	BT	半导体特殊器件	
		E	化合物材料	U	光电管	FH	复合管	
				K	开关管	PIN	PIN型管	
				X	低频小功率管 ($f_c < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	JG	激光器件	
				G	高频小功率管 ($f_c \geq 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)			

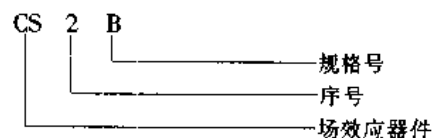
注：场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN管、激光器件的型号命名只有第三、第四和第五部分。

示例：

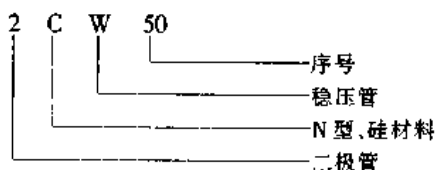
(1) 锗 PNP 型高频小功率三极管



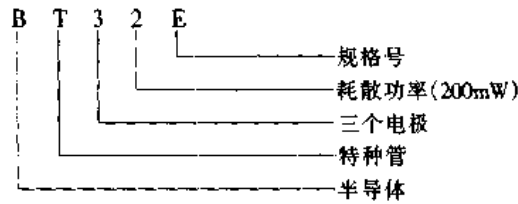
(2) 场效应器件



(3) N 型硅材料稳压二极管



(4) 单结晶体管



二、国外半导体器件型号的命名方法

1. 日本半导体器件型号命名法 (表 2.1.2)

表 2.1.2 日本半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
0	光电二极管或三极管及上述器件的组合管	S	表示半导体	A	PNP 高频三极管及快速开关管	多位数字	序号	A	同一种型号的改进型
1	二极管			B	PNP 低频及大功率三极管				
2	三极管或具有三个电极的其他器件			C	NPN 高频及快速开关三极管				
3	有四个有效电极的器件			D	NPN 低频大功率三极管				
⋮				F	P 控制极可控硅				
⋮				G	N 控制极可控硅				
⋮				H	N 基极单结晶体管				
⋮				J	P 沟道场效应管				
⋮				K	N 沟道场效应管				
n-1	有 n 个有效电极的器件			M	双向可控硅				

示例: 2SA495 为 PNP 高频三极管; 2SC388A 为 NPN 高频三极管改进型

注: $f_c > 5\text{MHz}$ 为高频管, $P_c > 1\text{W}$ 为大功率管。

2. 欧洲半导体器件型号命名法 (表 2.1.3)

表 2.1.3 欧洲半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分			
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
A	锗材料	A	检波二极管, 开关二极管, 混频二极管	M	封闭磁路的霍尔元件	三位数字	通用半导体器件的序号	A	同一型号半导体器件的分档标志
B	硅材料	B	变容二极管	P	光敏器件				
C	砷化镓	C	低频小功率三极管	Q	发光器件	一个字母二位数字	专用半导体器件的序号	B	
D	碲化银	D	低频大功率三极管	R	小功率可控硅				
R	复合材料	E	隧道二极管	S	小功率开关管				
		F	高频小功率三极管	T	大功率可控硅				
		G	复合器件及其他器件	U	大功率开关管				
		H	磁敏二极管	X	倍增二极管				
		K	开放磁路的霍尔元件	Y	整流二极管				
		L	高频大功率三极管	Z	稳压二极管				

示例: AAI18 为锗普通二极管; BF169A 为硅高频小功率三极管 169 器件的 A 档

注: 小功率指热阻 $R_T \geq 15^\circ\text{C/W}$, 大功率指热阻 $R_T < 15^\circ\text{C/W}$ 。

3. 美国半导体器件型号命名法 (表 2.1.4)

表 2.1.4 美国半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
JAN 或 J	军用品	1	二极管	N	半导体器件 (已注册登记)	多位数字	序号	A	同一型号器件的不同档别
		2	三极管						
		3	三个 PN 结器件						
		n	n 个 PN 结器件						
无	非军用品							B C D ⋮	

示例: 1N459 为二极管; 2N1531 为三极管; JAN2N3553 为军用品三极管

4. 前苏联半导体器件型号命名法 (表 2.1.5)

表 2.1.5 前苏联半导体器件型号命名法

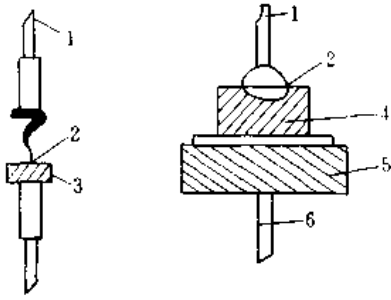
第一部分		第二部分		第三部分										第四部分	
器件使用材料		器件的类型		器件的基本参数分类										同类分档标志	
符号	意义	符号	意义	101 ~ 199	201 ~ 299	301 ~ 399	401 ~ 499	501 ~ 599	601 ~ 699	701 ~ 799	801 ~ 899	901 ~ 999	符号	意义	
字母 r 或 数字 1	锗或 硅的化 合物	T	三极管	三极管及 场效应管	中频 小功率	高频与特高 频小功率	低频 中功率	中频 中功率	高频与特高 频中功率	低频大 功率	中频大 功率	高频与特高 频大功率	A		
		II	场效应管	整流用 中功率											
		II	二极管	整流用 小功率	通用低频									B	开关用 $1 \geq \tau$
		II	整流器件	特高频 二极管	参量									B	
字母 K 或 数字 2	硅或 硅的化 合物	A	特高频 二极管	混频	检波			调制	阶跃	振荡			Г		
		B	变容二极管	整流柱 小功率	整流堆 小功率	整流堆 中功率							Г		
		И	隧道二极管 反向二极管	放大	振荡	开关	反向							И	
		И	可控硅	电调谐	阶跃										И
字母 A 或 数字 3	镓或 铟的化 合物	У	双向可控硅	通用 小功率	通用 中功率	可关断 小功率	可关断 中功率	双向 小功率	双向 中功率				E		
		Л	发光器件	可控硅	可见光 $B < 500$	可见光 $B > 500$								E	
		Г	噪声发生器	发光器件 $B: \text{cd/m}^2$	红外光	小功率 $V_2 < 10$	小功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	中功率 $V_2 < 10$	И	
		К	整流管	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	稳压管 $V_2: V$	И	

代表同
型号的不同
档别

示例: ГИ107Б 为锗三极管; ИТ806А 为锗三极管; 2С182И 为硅稳压管

第二节 晶体二极管

晶体二极管是由一个PN结加上正负电极引线和管壳做成的。二极管的种类很多，按照PN结构可分为点接触型和面接触型两种。见图2.1.1。



(a) 点接触型 (b) 面接触型
图 2.1.1 二极管内部结构
1—引线；2—P型区；3—N型薄片；
4—N型硅片；5—支架；6—引线

图2.1.1 (a) 是点接触型二极管的内部结构。由于PN结面积很小，允许通过的电流不大，一般在几十毫安以下，但它的极间电容很小，工作频率可达 $10^2 \sim 10^6$ MHz。这种类型二极管适用于小电流整流、检波、限幅和计算机里的开关电路等。

图2.1.1 (b) 是面接触型二极管的内部结构。由于PN结面积较大，允许通过的电流很大，从100mA到几百安培，但它的极间电容较大，工作频率较低，一般在100kHz以下。这种类型的二极管主要作功率整流。

一、晶体二极管的特性和简易测试

1. 二极管的特性

二极管的主要特性就是单向导电性。这可以用二极管两端的电压与通过管子的电流之间的关系曲线——伏安特性曲线来表示，见图2.1.2。由图可见，二极管的伏安特性可分为正向导通区 (I段)、反向截止区 (II段) 和反向击穿区 (III段)。在工作时只有当正向电压大于A点值后，才有较大的正向电流。A点的电压称为死区电压，一般硅管为0.5~0.7V，锗管为0.1~0.3V。当管子加反向电压时只有很小的反向饱和电流。反向电流越小，单向导电性能越好，一般硅管在几十微安以下，锗管可达几百微安。当反向电压增加到大于B点值时，反向电流会突然增加许多倍，很容易将PN结烧坏。B点的电压称为反向击穿电压。一般二极管是不能工作在这个区段的。

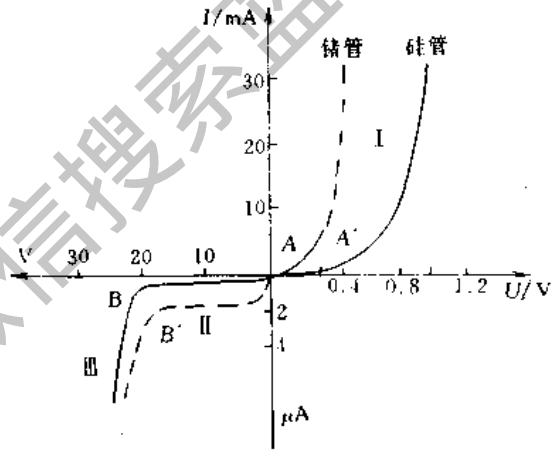


图 2.1.2 晶体二极管的伏安特性曲线

2. 二极管的简易测试

晶体二极管简易测试方法见表2.1.6。

表 2.1.6 晶体二极管简易测试方法

项 目	正 向 电 阻	反 向 电 阻
测试方法		
测试情况	硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点； 锗管：表针指示在右端靠近满度的地方（如上图所示）表明管子正向特性是好的。 如果表针在左端不动，则管子内部已经断路	硅管：表针在左端基本不动，极靠近 ∞ 位置； 锗管：表针从左端起一点，但不应超过满刻度的1/4（如上图所示），则表明反向特性是好的。 如果表针指在0位，则管子内部已短路
极性判别	万用表 \ominus 端（黑表笔）连接二极管的阳极， 因为 \ominus 端与万用表内电池正极相连	万用表 \ominus 端（黑表笔）连接二极管的阴极

二、晶体二极管的应用

1. 整流

整流是把交流电流变成单向脉动电流。图 2.1.3 是利用二极管单向导电性进行半波整流的例子。

2. 检波

检波是从高频调幅信号中提取低频调制信号。图 2.1.4 是具有这种功能的检波电路。

检波与整流在本质上是一样的，不同之处在于，整流一般是指低频大电流的情况，而检波则是对高频小电流而言。

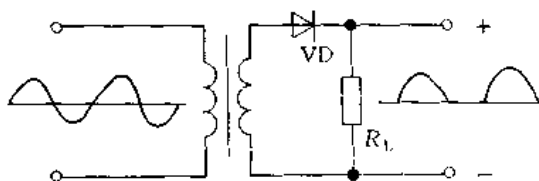


图 2.1.3 二极管整流原理

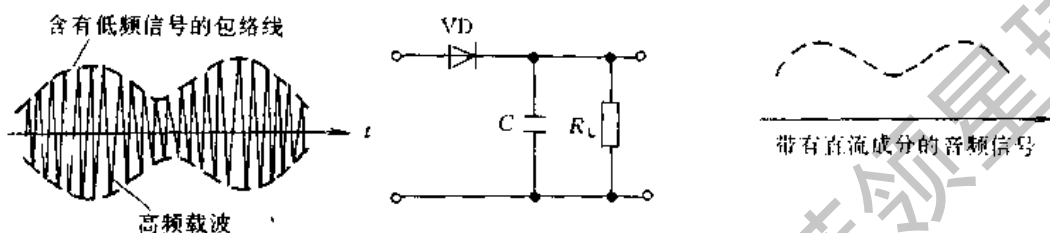


图 2.1.4 二极管检波原理

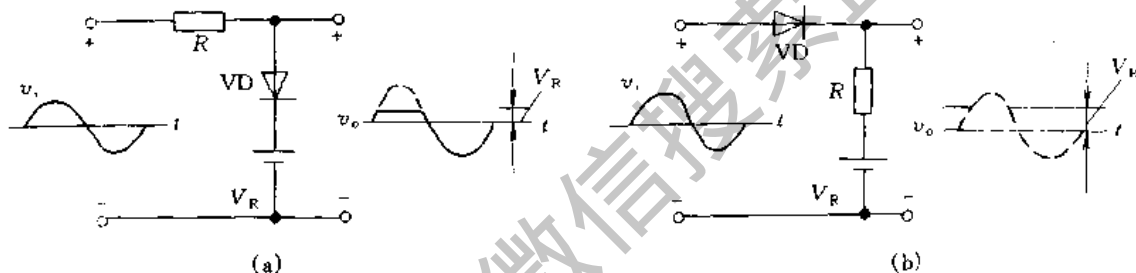


图 2.1.5 二极管限幅原理

3. 限幅

限幅就是只把输入波形的一部分传输到输出端，而对另一部分加以限制。在图 2.1.5 (a) 的限幅电路中，若忽略二极管的正向电压和反向电流，则当 $v_i < V_R$ 时，VD 断开， v_o 与 v_i 一致；当 $v_i \geq V_R$ 时，VD 导通， v_o 的幅度限制在 V_R 电平上，波形顶部被削去。在图 2.1.5 (b) 的电路中，情况相反， v_i 超过 V_R 的部分被保留，小于 V_R 的部分被削去。在有些场合，还常常用两个二极管组成双向限幅电路。

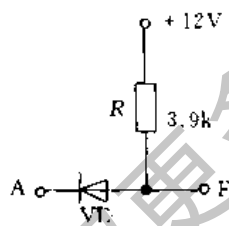


图 2.1.6 二极管钳位原理

4. 钳位

把电路中的某点电位钳制在固定的数值上，如图 2.1.6 所示。

5. 稳压

电流变化时电压基本不变。利用二极管反向击穿时电流剧增而电压比较固定的特点，并经过专门工艺处理，可以制成稳压二极管，其击穿电压比普通二极管低（约几伏至几十伏），因此允许通过较大的电流而不损坏，同时其反向特性也更陡。为与普通二极管相区别，稳压管采用图 2.1.7 (a) 所示的符号。图 2.1.7 (b) 是一个硅稳压管稳压电路。

6. 调谐

代替机械式的可变电容器，因为二极管存在着电容的效应。随着反向电压的变化，空间电荷区的宽度发生变化，二极管的电容量也随之变化。根据这个特点，可以制成变容二极管，在反向电压下工作，既不击穿，也不正向导电，在无线电接收设备中，用它达到自动调谐的目的。

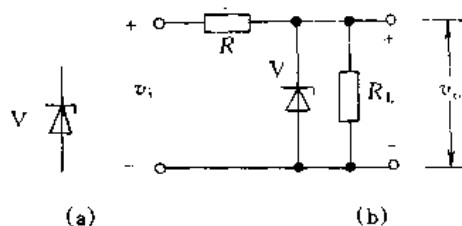


图 2.1.7 二极管稳压原理

此外，利用二极管的热敏特性，可以在电路实现温度补偿；利用二极管的光敏特性，可以制成光电二极管来实现光电转换；还可以用二极管实现隔离、保护、整形等各种功能。

三、晶体二极管的主要参数

(1) 反向峰值击穿电压 U_B 锗检波、开关管在给定的反向电流下的电压值；硅整流、开关管反向为硬特性时，其反向伏安特性曲线急剧弯曲点的电压值（峰值）。

(2) 反向工作电压 U_R 锗检波、硅开关二极管通过规定的反向电流（ I_R ）在极间产生的电压。硅整流管等于或小于 $2/3$ 的击穿电压 U_B 值。

(3) 正向电压降 U_F 通过规定的正向电流时在极间所产生的电压降。

(4) 正向直流电流 I_F 锗检波、开关管通过规定的正向电压（ U_F ）在极间通过的电流；硅整流管在规定的条件下，在正弦半波中允许连续通过的最大工作电流（平均值）；硅开关管在额定功率下允许通过的二极管的最大正向直流电流。

(5) 反向直流电流（反向漏电流） I_R 硅开关管两端加上反向工作电压 U_R 值时通过的电流；整流管正弦半波最高反向工作电压下的漏电流。

四、桥式整流器

全桥是一种整流组合件。把4只（或6只）整流二极管按全波桥式整流电路的连接方式封装在一起的组合件，称全桥，见图2.1.8。常见的QL型单相桥式整流组合管技术参数和SQL型三相桥式整流组合管技术参数见表2.1.7和表2.1.8。

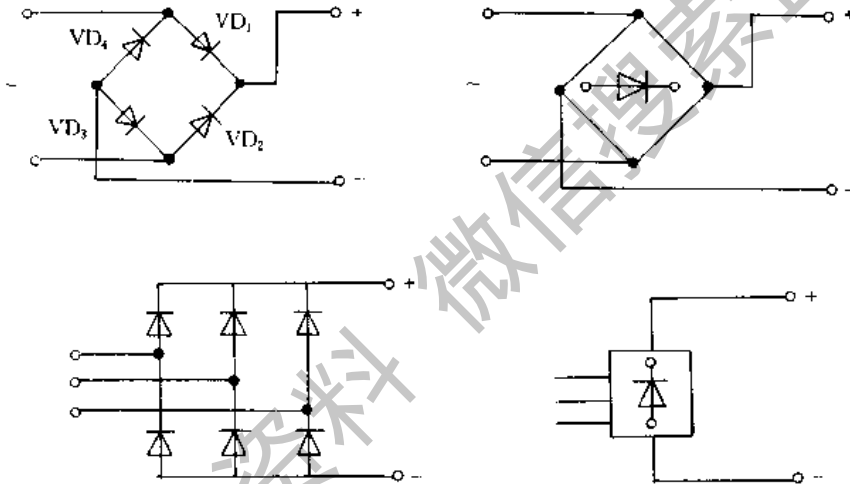


图 2.1.8 桥式整流器

表 2.1.7 QL 型单相桥式整流组合管技术参数

型号	技术参数	正向平均电流 /A	浪涌电流 /A	反向重复峰值电压 /V	反向平均电流 / μ A	正向平均压降 (对臂) /V	额定结温 / $^{\circ}$ C	冷却方式
QL5		0.5	5	50 ~ 600	≤ 200	1.2	-40 ~ +125	自冷
QL6		1	10	50 ~ 600				
QL7		2	20					
QL8		3	30					
QL9		5	55	50 ~ 1000	≤ 400	-40 ~ +125		
QL10		10	105					
QL11		15	160					
QL12		20	210					
QL13		25	260	50 ~ 1000	≤ 2000	-40 ~ +125	强迫风冷	
QL14		40	300					
QL16		60	540					
QL18		100	900		≤ 4000			

表 2.1.8 SQL 型三相桥式整流组合管技术参数

型号	技术参数	正向平均电流 /A	浪涌电流 /A	反向重复峰值电压 /V	反向平均电流 /μA	正向平均压降 (对臂) /V	额定结温 /°C	冷却方式		
SQL6		1	7	50 ~ 600	≤ 300	≈ 1.2	-40 ~ +125	自冷		
SQL7		2	15							
SQL8		3	20							
SQL9		5	35	≤ 400	50 ~ 1000				≤ 5000	强迫风冷 5m/s
SQL10		10	50							
SQL12		20	120							
SQL14		40	240							
SQL16		60	360							
SQL18		100	600							

第三节 晶体三极管

由两个 PN 结加上相应的电极引线就组成了晶体三极管，三个电极分别称为发射极 e、集电极 c 和基极 b。

晶体三极管有硅平面管和锗合金管两种，每种又有 NPN 型和 PNP 型两种结构形式。其结构和符号见表 2.1.9。

表 2.1.9 晶体三极管的结构和符号

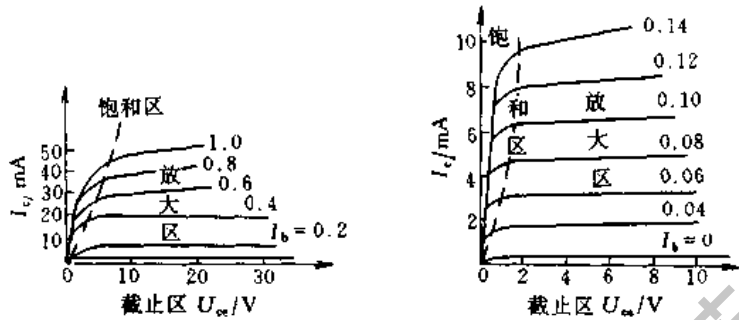
型 式	PNP 型	NPN 型
结构示意图	<p>高频锗合金管</p>	<p>高频硅平面管</p>
原理图		
符号		

一、晶体三极管的特性及工作状态

1. 特性

晶体管的伏安特性可以全面地反映各电极间的电压与电流的关系，常用的是共发射极输入、输出特性。

输入特性是指加在晶体管基极与发射极之间的电压 U_{be} 和它产生的基极电流 I_b 之间的函数关系。输出特性是指对应某确定的基极电流 I_b ，晶体管的集电极电流 I_c 与加在集电极-发射极间的电压 U_{ce} 之间的函数关系。在实际工作中输出特性更为有用，见图 2.1.9。



(a) 3DG4C (硅管) 输出特性

(b) 3AG25 (锗管) 输出特性

图 2.1.9 晶体三极管的输出特性

2. 工作状态

由输出特性可见，特性曲线分为三个区，分别对应三极管的三种工作状态，即截止状态、放大状态和饱和状态。这三种工作状态的特点及参数变化范围见表 2.1.10。

表 2.1.10 晶体三极管三种工作状态和数量关系

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
PNP 型	<p>约 $-0.3 \sim -0.2V$</p>	<p>约 $-0.2 \sim -0.3V$</p>	<p>小于 $0.3V$</p>
NPN 型	<p>约 $-0.3 \sim +0.5V$</p>	<p>约 $+0.5 \sim +0.7V$</p>	<p>大于 $+0.7V$</p>

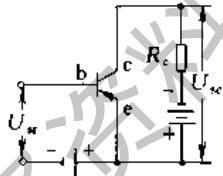
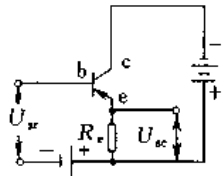
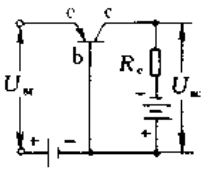
续表

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
参数范围	$I_b \leq 0$ (I_b 为负, 代表其实际方向, 和图中所示相反, 即与放大和饱和状态时的 I_b 方向相反)	$I_b > 0$, 其实际方向如图所示	$I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$
	锗管的 U_{be} 约为 +0.3 ~ -0.2V 硅管的 U_{be} 约为 -0.3 ~ +0.5V	锗管的 U_{be} 约为 -0.2 ~ -0.3V 硅管的 U_{be} 约为 +0.5 ~ +0.7V	锗管的 U_{be} 比 -0.3V 更负, 硅管的 U_{be} 大于 +0.7V
	硅管几微安以下 $I_c \leq I_{c0}$ 锗管 $\begin{cases} \text{几十微安} \\ \text{几百微安} \end{cases}$	$I_c = \beta I_b + I_{c0}$	$I_c \approx E_c / R_c$
	$U_{ce} \approx E_c$	$U_{ce} = E_c - I_c R_c$	$U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3V$ (管子饱和压降)
工作状态的特点	当 $I_b \leq 0$ 时, I_c 很小 (小于 I_{c0}), 三极管相当于开断, 电源电压 E_c 几乎全部加在管子两端	I_b 从 0 逐渐增大, I_c 也按一定比例增加, 微弱的 I_b 的变化能引起 I_c 较大幅度的变化, 管子起放大作用	I_c 不再随 I_b 的增加而增大, 管子两端压降很小, 电源电压 E_c 几乎全部加在负载电阻 R_c 上

3. 基本接法

根据输入信号和输出信号的公共点不同, 三极管有共发射极、共集电极和共基极三种接法。各种接法和性能比较见表 2.1.11。

表 2.1.11 晶体三极管三种电路接法和性能比较

电路名称	共发射极电路	共集电极电路 (射极输出电路)	共基极电路
电路原理图 (PNP 型)			
输出与输入电压的相位	反相	同相	同相
输入阻抗	较小 (约几百欧)	大 (约几百千欧)	小 (约几十欧)
输出阻抗	较大 (约几十千欧)	小 (约几十欧)	大 (约几百千欧)
电流放大倍数	大 (几十到 200 倍)	大 (几十到 200 倍)	< 1
电压放大倍数	大 (几百 ~ 千倍)	< 1	较大 (几百倍)
功率放大倍数	大 (几千倍)	小 (几十倍)	较大 (几百倍)
频率特性	较差	好	好
稳定性	差	较好	较好
失真情况	较大	较小	较小
对电源要求	采用偏置电路, 只需一个电源	采用偏置电路, 只需一个电源	需要两个独立电源
应用范围	放大、开关等电路	阻抗变换电路	高频放大、振荡

注: NPN 型三种接法的电源极性与 PNP 型相反。

二、晶体三极管的简易测试

三极管电极的判别方法见表 2.1.12。三极管性能的判别方法见表 2.1.13。

表 2.1.12 三极管电极的判别方法

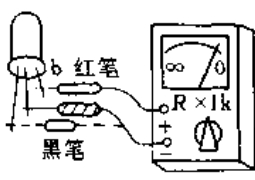
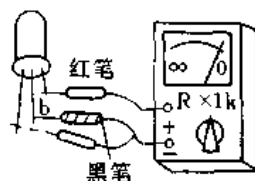
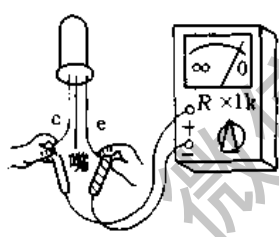
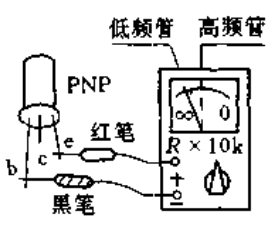
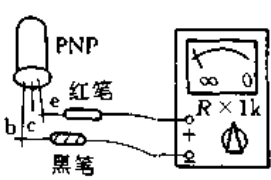
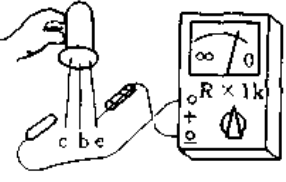
项 目	方 法	说 明
第一步 判别基极		<p>可把三极管看作两个二极管来分析。将万用表的 + 端 (红笔) 接某一管脚, 用一端 (黑笔) 分别接另外两管脚。这样可有 三组 (每组二次) 读数, 当其中一组二次测量的阻值均小时 (指针指在右端), 则 + 端所连接的管脚即为 PNP 型管子的基极。</p>
		<p>方法同上, 但以 - 端 (黑笔) 为准, 用 + 端 (红笔) 分别接另外两管脚, 当其中一组二次测量的阻值均小时, 则 - 端所连接的管脚为 NPN 型管子的基极。</p>
第二步判别集电极		<p>利用三极管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个表笔接到管子的另外两脚, 用嘴含住基极 (利用人体电阻实现偏置), 看准表针位置, 再将表笔对调, 重复上述测试, 比较两次指针位置。对于 PNP 型管子, 阻值小的一次, + 端所接的即为集电极; 对于 NPN 型管子, 阻值小的一次, - 端所接的即为集电极。</p>

表 2.1.13 三极管 (PNP) 性能的判别方法

项 目	方 法	说 明
穿透电流 I_{ce0}		<p>用 $R \times 1k$ (或 $R \times 100$) 档测集电极-发射极反向电阻, 指针越靠左端 (阻值越大), 说明 I_{ce0} 越小, 管子性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大; 高频管比低频管阻值大; 小功率管比大功率管阻值大。低频小功率管约在几千欧以上。</p>
电流放大系数 β		<p>在进行上述测试时, 如果用嘴含住基极 (或在基极-集电极间接入 $100k\Omega$ 电阻), 集电极-发射极的反向电阻便减小, 万用表指针将向右偏转, 偏转的角度越大, 说明 β 值越大。</p>

续表

项 目	方 法	说 明
稳定性		<p>在判别 I_{∞} 同时, 用手捏住管子, 受人体体温影响, 管子集电极-发射极反向电阻将有所减小。若指针变化不大, 则管子稳定性较好。若指针迅速向右端偏转, 则管子稳定性较差</p>

注: 测 NPN 管时将万用表的表笔对调即可。

用万用表判别三极管是 PNP 型还是 NPN 型时可参看表 2.1.12 中“第一步判断基极”一栏。

三、晶体三极管的应用

晶体三极管的应用很广泛, 它可以组成各种放大器、振荡器、开关电路和稳压电路等。不同的场合, 对晶体管的性能、工作状态的要求是不一样的, 所以要根据使用情况选择合适的晶体管。

① 工作处于放大状态的晶体管, 首先要考虑信号在放大过程中应尽量减少失真, 为此必须给晶体管设置合适的静态工作点。

② 用于高、中频放大、振荡用的晶体管, 主要考虑在工作到较高频率时, 仍有较高的功率增益, 或保持稳定的振荡, 应当选用特征频率 f_T 较高、极间电容较小的高频晶体管。

③ 用于前置级放大的晶体管, 主要应考虑功率放大倍数要大些, 充分发挥这一级晶体的最大效能, 以便减少放大器的级数, 因此应选用 β 数值较大些的管子为好。 β 值一般在 40~100。

④ 用于低频功率放大的晶体管, 主要应考虑在信号容许失真范围内和管子容许耗散功率的情况下, 尽量提高输出功率和放大器的效率。

功率放大级的效率与放大器的静态工作点所在的区域有关。根据静态工作点所在区域的不同, 可将放大器的工作状态分为甲、乙和甲乙等几类。甲类放大是指工作点在放大区内, 信号放大不产生大的失真, 集电极电流在信号整个周期都有。乙类放大是指在工作点的截止区, 输入信号只有半个周期得到放大, 另半个周期截止。甲乙类是指工作点虽在放大区, 但已靠近截止区了, 工作情况介于甲、乙类之间。常用的单管功率放大器属甲类, 推挽功率放大器属甲乙类。

⑤ 用于开关状态的晶体管, 主要应考虑提高开关速度和降低饱和压降。为此要选择 t_{on} (开启时间)、 t_{off} (关断时间) 和 U_{∞} (集-射极饱和压降) 都较小的管子, 如开关晶体三极管。

四、晶体三极管的主要参数

1. 直流参数

(1) 共发射极直流电流放大系数 h_{FE} 或 β 在没有交流信号输入时, 共发射极电路的输出直流电流 (集电极直流电流) 与输入直流电流 (基极直流电流) 的比值, 即:

$$h_{FE}(\beta) = I_c / I_b$$

(2) 集电极-基极反向截止电流 I_{cbo} 。发射极开路, 集电极-基极间的电压为规定值时的集电极电流。在室温下, 小功率锗管的 I_{cbo} 约为 $10\mu A$ 左右, 大功率锗管的 I_{cbo} 可达数毫安, 而硅管的 I_{cbo} 则是同功率锗管的 $1/100 \sim 1/1000$ 。

(3) 集电极-发射极反向截止电流 I_{ceo} 。基极开路, 集电极-发射极间的电压为规定值时的集电极电流。一个管子的 I_{ceo} 大约是它的 I_{cbo} 的 β 倍。 I_{ceo} 和 I_{cbo} 受温度影响极大, 是衡量管子热稳定性的重要参数, 其值越小, 性能越稳定。

2. 交流参数

(1) 共发射极交流电流放大系数 h_{fe} 或 β 在共发射极电路中, 输出电流 (集电极电流) 与输入电流 (基极电流) 的变化量之比, 即:

$$h_{fe}(\beta) = \Delta I_c / \Delta I_b$$

一般晶体管的 h_{fe} 大约在 10~200 之间, h_{fe} 太小, 电流放大作用差; h_{fe} 太大, 电流放大作用虽然大, 但性

能往往不稳定。

(2) 电流放大系数截止频率 f_{β} 、 f_{α} 。当电流放大系数（共发射极为 β ，共基极为 α ）下降到低频（100Hz）值的 0.707 时的频率称为 f_{β} 和 f_{α} ，它表示低频管的频率性能。通常低频管的 $f_{\alpha} < 3\text{MHz}$ ，高频管的 $f_{\alpha} > 3\text{MHz}$ ，而 $f_{\beta} \approx (1 - \alpha)f_{\alpha}$ 。

(3) 特征频率 f_T 当 β 下降到 1 时（即输出电流等于输入电流）的频率，它表示高频管的频率性能。同样的 β ，管子 f_T 越高，高频放大性能越好，高频管 f_T 一般大于 10MHz，有的可达几百兆赫。

3. 极限参数

(1) 集电极最大允许电流 I_{cm} 当晶体管参数变化不超过规定值时，集电极所允许承受的最大电流。一般 I_{cm} 是指 β 值下降到额定值的 2/3 或 1/2 时的 I_c 值。管子的实际工作电流 I_c 并不是绝对不能超过 I_{cm} ，但 $I_c > I_{cm}$ 后管子的放大倍数将显著下降。

(2) 集电极-发射极反向击穿电压 BU_{ceo} 基极开路时，集电极和发射极之间的最大允许电压。一般的 BU_{ceo} 值是在室温 25℃ 时测得的，当管子温升至最高允许值时，该电压将大约降低一半。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{cm} 晶体管工作时，保证参数变化在规定允许范围内的最大集电极耗散功率。管子实际耗散功率等于集电极直流电压和电流的乘积，即 $P_c = U_{CE} I_c$ 。使用时应使 $P_c < P_{cm}$ 。 P_{cm} 与散热条件有关，温度升高时 P_{cm} 将下降，加大散热面积可大大提高 P_{cm} 。

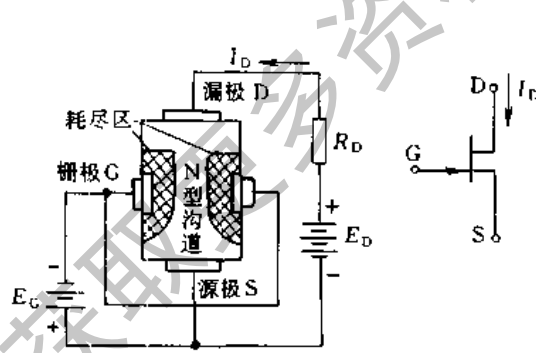
第四节 场效应晶体管

场效应晶体管是由一个反向偏置的 PN 结组成的半导体器件。它有三个极：栅极 G、漏极 D 和源极 S，分别与晶体管三极管的基极、集电极和发射极相对应。外形与三极管也很相似，但工作原理却有本质的不同，场效应管是电压控制元件，即在一定条件下它的漏极电流只取决于栅极电压。因此场效应管的输入电阻非常高，可达 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ ，这是一般晶体管所达不到的。另外它还具有噪音低、动态范围大和抗干扰强、抗辐射能力强等特点，是较理想的电压放大和开关器件。

一、场效应晶体管的结构和特性

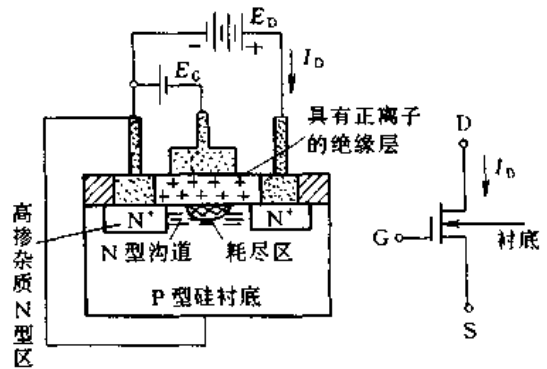
1. 结构

场效应管按结构形式，可分为结型场效应管和绝缘栅型场效应管，见图 2.1.10 和图 2.1.11。无论哪种结构场效应管都有 N 型和 P 型两种导电沟道，分别以耗尽型和增强型两种极性的方式工作。当栅压为零时有较大漏极电流的称为耗尽型；当栅压为零，漏极电流也为零，必须再加一定的栅压之后才有漏极电流的，称为增强型的工作方式。各种类型场效应管的结构、工作方式、符号及工作电压极性见表 2.1.14。



(a) 结构示意图 (b) 符号

图 2.1.10 结型 (N 沟道) 场效应管的结构及符号



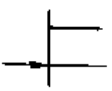
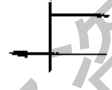
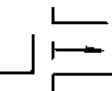
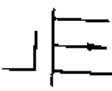
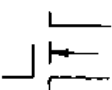
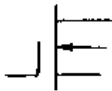
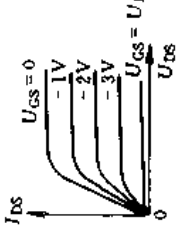
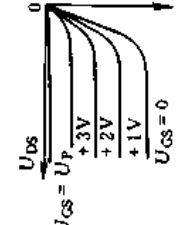
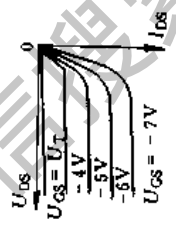
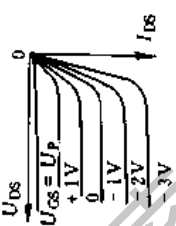
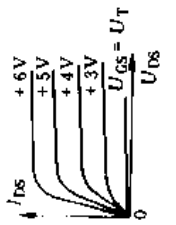
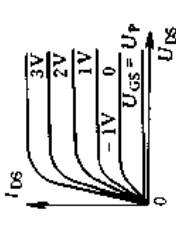
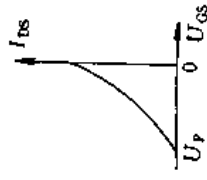
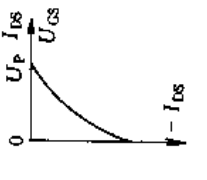
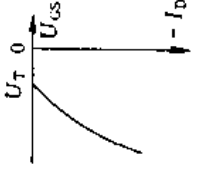
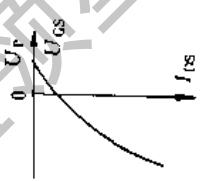
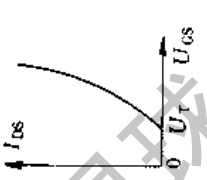
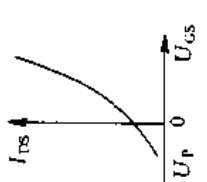
(a) 结构示意图 (b) 符号

图 2.1.11 绝缘栅型 (N 沟道耗尽型) 场效应管的结构及符号

2. 特性

场效应管的性能可以用特性曲线来表示。栅极电压 U_{GS} 与漏极电流 I_D (U_{DS} 一定时) 之间的关系曲线称为转移特性，它反映栅极电压对漏极电流的控制能力；漏极电压 U_{DS} 与漏极电流 I_D (U_{GS} 一定时) 的关系曲线称为漏极特性，它反映漏极的工作能力。下面以结型场效应管为例简要说明场效应管的特性曲线。

表 2.1.14 场效应管的结构分类和特性

结构类型	结 构 型		绝 缘 栅 型 (MOS型)			
	N 沟道	P 沟道	P 沟道		N 沟道	
工作方式	耗尽型	耗尽型	增强型	耗尽型	增强型	耗尽型
符号						
电压极性	U_{GS}	-	-	+、0 或 -	+	-、0 或 +
	U_{DS}	+	-	-	-	+
漏极特性						
转移特性						

① 结型场效应管的转移特性见图 2.1.12 (a)。当栅极电压 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流称为饱和漏电流，用 I_{DSS} 表示。 U_{GS} 变负时， I_D 逐渐减小，当 I_D 接近于零时的栅极电压称为夹断电压，用 U_P 表示。

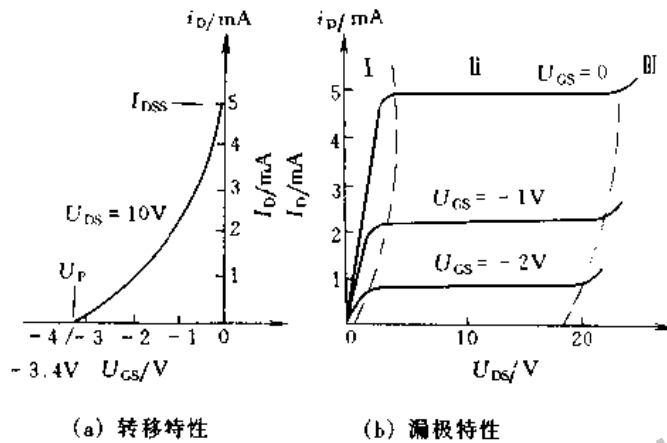


图 2.1.12 结型场效应管的特性曲线

② 结型场效应管的漏极特性见图 2.1.12 (b)。由图可见特性分成三个区域。

a. 可变电阻区 I。这个区域里 U_{DS} 比较小，沟道电阻随栅压 U_{GS} 而改变。

b. 饱和区 II。这个区域里，一定的栅极电压 U_{GS} 对应的漏极电流 I_D 达到了饱和值。对于不同的 U_{GS} ，漏极特性曲线近似平行，即 I_D 与 U_{GS} 成线性关系。场效应管的放大作用就工作在这个区域里。

c. 击穿区 III。如果 U_{DS} 继续增加，使 PN 结超过了它所能承受的电压极限而被击穿，使用时应当避免。

二、场效应晶体管的应用

1. 作交流放大器

图 2.1.13 是晶体管扩大机的输入级电路。

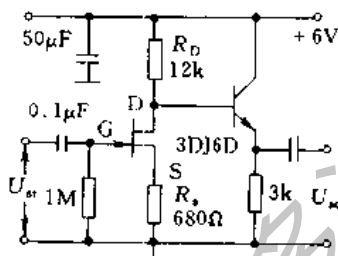


图 2.1.13 场效应管交流放大器

2. 作斩波开关和模拟开关

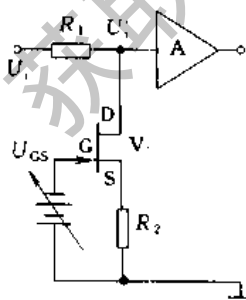


图 2.1.15 结型场效应管可变衰减器原理图

由于场效应管在导通时具有较小的压降和残余电流，可构成较理想的斩波开关电路。图 2.1.14 是两种典型的结型场效应管斩波器，这时管子工作在可变电阻区。

3. 作为压控电阻

由于场效应管是一种电压控制器件，利用这一特性可作压控电阻，用于电子衰减器等电路中。图 2.1.15 是一个电子衰减器的原理图，其衰减倍数为：

$$\frac{U'_i}{U_i} = \frac{R_2 + R_{DS}}{R_1 + R_2 + R_{DS}}$$

改变 U_{GS} 可控制 R_{DS} 大小，从而改变衰减倍数。当 U_{GS} 在 0 至 U_P 之间变化时， R_{DS} 可在几百欧以内至几兆欧之间变化，因而衰减的范围很宽。

4. 场效应管使用时注意事项

(a) 单管斩波器

(b) 双管斩波器

图 2.1.14 结型场效应管斩波器

① 当场效应管作放大器应用时，需要设置适当的偏置电压才能正常工作。通常是调整源极电阻 R_s 的值，使静态时的 U_{GS} 约为管子的夹断电压 U_P 的一半。

② 场效应管选用时，除注意各种实际工作值不应超过管子允许的参数值外，还应考虑使用管子的合理性。当输入信号较大时，应选择饱和漏电流 I_{DSS} 和夹断电压 U_P 较大的管子，充分利用其大的动态范围；当输入信号较小时，应选 I_{DSS} 和 U_P 较小的管子，以减小功耗。

③ 由于 MOS 管输入阻抗非常高，在栅极上感应出来的电荷很难泄放，电荷的累积使电压升高，易使管子尚未使用就已击穿。因此，MOS 管在使用时必须注意下列几点：

a. 保存时，应将三个电极短路，焊接时，应先焊源极，后焊栅极和漏极，焊完后才能将短路线去掉，最好利用电烙铁的余热焊接；

b. 测试安装时所用的仪器、电烙铁及线路装置必须接地，使用四引线的 MOS 管，其 S_1 端应接地。

④ 在要求输入阻抗较高的阻抗变换器等线路中，必须采取严格防潮措施和保持电极或线路板上的清洁，以免降低输入阻抗。

三、场效应晶体管的型号及主要参数

(1) 夹断电压 U_P 在规定的漏源电压 U_{DS} 下，使沟道夹断的栅源电压 U_{DS} 值或使漏源电流 I_{DS} 等于某一微小电流时的栅源电压 U_{GS} 。

(2) 饱和漏电流 I_{DSS} 在栅源极短路条件下，漏源间所加的电压大于 U_P 时的漏极电流。

(3) 击穿电压 BU_{DS} 漏源极间所能承受的最大电压。即漏极饱和电流开始上升，进入击穿区时的 U_{DS} 。

(4) 直流输入电阻 R_{GS} 在一定的栅源电压下，栅源 PN 结反向偏置时的直流电阻。结型管的 R_{GS} 约 $10^7 \sim 10^8 \Omega$ ，MOS 管的 R_{GS} 可达 $10^9 \Omega$ 以上。这一特性有时以流过栅极的电流 I_G 来表示。

(5) 低频跨导 g_m 在饱和区内 U_{DS} 为某一定值时，漏极电流的微变量 ΔI_{DS} 与引起这个变化的栅源电压微变量 ΔU_{GS} 之比，称为跨导。即 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$ 。它是衡量场效应管电压控制能力大小的重要参数。常以 U_{GS} 变化 1V 时， I_{DS} 相应变化多少微安或毫安来表示。

(6) 开启电压 U_T 当 U_{DS} 为一定值时，当 I_{DS} 随 U_{GS} 增加到 $1\mu A$ 时的 U_{GS} 值，称为 U_T 。N 沟道 MOS 管的 U_T 一般为 $+1 \sim +3V$ ；P 沟道的 U_T 一般为 $-2 \sim -5V$ 。

常用的场效应晶体管的型号及主要参数见表 2.1.15、表 2.1.16 和表 2.1.17。

表 2.1.15 常用结型场效应晶体管的型号及主要参数

参数名称 型号	用途	饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号		I_{DSS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu A/V)$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS} = 10V$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10V$ $I_{DS} = 50\mu A$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10V$	$U_{DS} = 10V$ $I_{DS} = 3mA$					
3DJ2D 3DJ2E 3DJ2F 3DJ2G 3DJ2H	高频、 线性放大 及斩波电 路	< 0.35 0.3 ~ 1.2 1 ~ 3.5 3 ~ 6.5 6 ~ 10	< 1 ~ 9V	$\geq 10^8$	> 2000	> 20	> 20	15	100	①
3DJ4D 3DJ4E 3DJ4F 3DJ4G 3DJ4H	高输入 阻抗、低 噪声放大 电路	< 0.35 0.3 ~ 1.2 1 ~ 3.5 3 ~ 6.5 6 ~ 10	< 1 ~ 9V	$\geq 10^9$	> 2000	> 20	> 20	15	100	
3DJ6D 3DJ6E 3DJ6F 3DJ6G 3DJ6H	低频的 低噪声线 性放大器 电路	< 0.35 0.3 ~ 1.2 1 ~ 3.5 3 ~ 6.5 6 ~ 10	< 1 ~ 9V	$\geq 10^8$	≥ 1000	≥ 20	≥ 20	15	100	

续表

型号	参数名称	用途	饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号			I_{DS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件			$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 50\mu\text{A}$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3DJ7D 3DJ7E 3DJ7F 3DJ7G 3DJ7H 3DJ7I 3DJ7J	低频噪声线性放大器		≤ 0.35 ≤ 1.2 1~3.5 3~11 10~18 17~25 24~35	$< 1-91$	$\geq 10^8$	≥ 3000	≥ 20	≥ 20	15	100	①
3DJ8F 3DJ8G 3DJ8H 3DJ8I 3DJ8J 3DJ8K	直流放大、阻抗变换及斩波器小电台中作高频、混频放大		1~3.5 3~11 10~18 17~25 24~35 34~70	$< 1-91$	$\geq 10^7$	> 6000	20	20	15	100	
3DJ9F 3DJ9G 3DJ9H 3DJ9I	直流放大、阻抗变换及斩波器小电台中作高频、混频放大		1~3.5 3~6.5 6~11 10~18	1~71	$\geq 10^7$	4000	20	20	15	100	

表 2.1.16 常用增强型 MOS 场效应晶体管型号及主要参数

型号	参数名称	用途	漏源电流	开启电压	导通电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号			I_{DS}/mA	U_T/V	$R_{ON}/\text{k}\Omega$	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件			$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = I_{DS0} + 1\mu\text{A}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3C01 3C01A 3C01B	高输入阻抗、直流放大器		≤ 1	1~21~1~81 1~21~1~41 1~41~1~81	≤ 6 ≤ 3 ≤ 6	> 500 ≥ 1000	≥ 15	20	15	100	②

表 2.1.17 常用耗尽型 MOS 场效应晶体管型号及主要参数

型号	参数名称	用途	饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号			I_{DS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件			$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 50\mu\text{A}$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3D01D 3D01E 3D01F 3D01G 3D01H	直流放大、阻抗变换及斩波器、小型电台中作中频放大器、振荡器		≤ 0.35 0.3~1.2 1~3.5 3~6.5 6~10	$\leq 1-91$	$\geq 10^9$	≥ 1000	20	40	15	100	②

续表

参数名称 型号	用途	饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号		I_{DSS}/mA	U_p/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{ISM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 50\mu\text{A}$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3D02D	高阻抗放大器、阻抗变换及可调电阻电路	< 0.35	$< -9 $	$\geq 10^8$	≥ 4000	12	20	25	100	②
3D02E		< 1.2		$\geq 10^9$						
3D02F		$1 \sim 3.5$								
3D02G		$3 \sim 11$								
3D02H		$10 \sim 25$								
3D04D	线性高频放大及混频放大	≤ 0.35	$< -9 $	$\geq 10^9$	> 2000	20	25	15	100	②
3D04E		$0.3 \sim 1.2$								
3D04F		$1 \sim 3.5$								
3D04G		$3 \sim 6.5$								
3D04H		$6 \sim 10.5$								
3D04I		$10 \sim 15$								

表 2.1.15、表 2.1.16 和表 2.1.17 中管脚图如下所示：



第五节 单结晶体管

单结晶体管是一种只有一个 PN 结和两个基极的半导体器件（又称双基极二极管），具有负阻特性，它稳定性好，峰值电流大，广泛应用于触发及振荡电路中。

一、单结晶体管的特性及电极判别

单结晶体管有三个电极：发射极 e、第一基极 b_1 和第二基极 b_2 （离 e 极较近）。其内部结构、符号及等效电路见图 2.1.16。

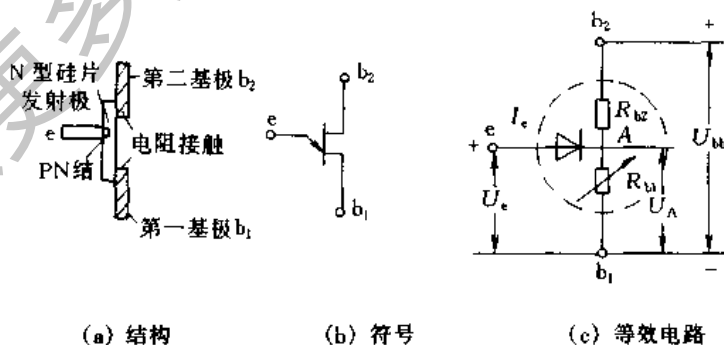


图 2.1.16 单结晶体管的结构、符号及等效电路

在两基极 b_2 、 b_1 间加上电压 U_{bb} 时，A 点电压为：

$$U_A = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} U_{bb} = \frac{R_{b1}}{R_{bb}} U_{bb} = \eta U_{bb}$$

式中 η 称为分压比，是单结晶体管内部结构所决定的常数，其值一般在 0.3~0.9 之间。

1. 特性

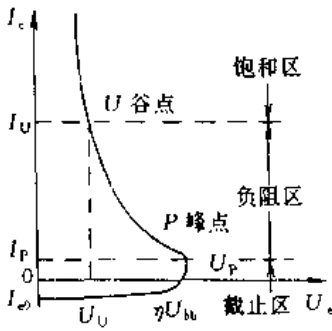


图 2.1.17 单结晶体管的伏安特性曲线

单结晶体管的伏安特性曲线见图 2.1.17。由图可见特性分三个区域，即截止区、负阻区和饱和区。

截止区： $U_c < \eta U_{bb}$ ，PN 结处于反向偏置，管子截止，发射极只有很小的漏电流。

负阻区： $U_c \geq \eta U_{bb} + U_D$ (U_D 为 PN 结正向压降，约 0.7V) 时，PN 结正向导通， I_c 显著增加， R_{b1} 阻值迅速减少， U_c 相应下降。这种电压随电流增加反而下降的特性称为负阻特性。管子由截止区进入负阻区的临界点称为峰点，与其对应的发射极电压和电流分别称为峰点电压 U_P 和峰点电流 I_P 。显然 $U_P \approx \eta U_{bb}$ 。

饱和区： U_c 降到某一点后，就不再随 I_c 的上升而下降了，以后特性进入饱和区。其时 U_c 达到了饱和值， I_c 虽然增加， U_c 变化不大。特性由负阻区进入饱和区的交界处称为谷点，与其对应的发射极电压和电流分别称为谷点电压 U_U 和谷点电流 I_U 。显然 U_U 是维持单结晶体管导通的最小发射极电压，只要 $U_c < U_U$ ，管子重新截止。

2. 电极判别

单结晶体管的三个电极，可用万用表的欧姆档进行判别。

(1) 确定发射极 e 因发射极 e 对基极 b_1 和 b_2 相当于二极管的正向接法，用万用表测 e 对 b_1 或 b_2 间的反向阻值相差是很大的，而 b_1 和 b_2 间相当于一个固定电阻，用万用表测得的正反向阻值应是一样的，利用上述原理可找到发射极 e。

(2) 确定基极 b_1 和 b_2 因 e 靠近 b_2 ，故测得的 e 对 b_2 间的正向阻值 R_{eb2} 比 e 对 b_1 间的正向阻值 R_{eb1} 要小，由此可区分基极 b_1 和 b_2 。

二、单结晶体管的应用

利用单结晶体管的负阻特性，可以组成多种振荡及定时脉冲电路。图 2.1.18 是最基本的单结晶体管的振荡电路，称为弛张振荡器。它是由一个单结晶体管和 RC 充放电电路等组成的。这种振荡器线路简单，频率调节范围大，受温度影响小，因此应用甚广。

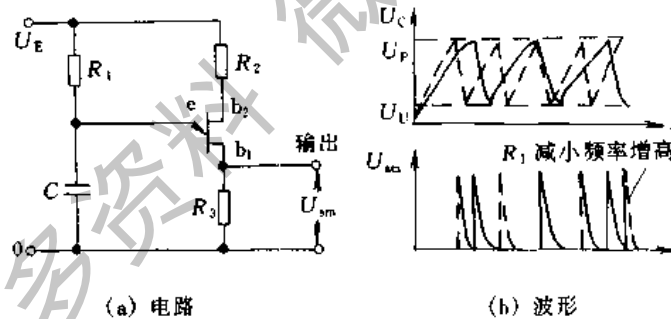


图 2.1.18 单结晶体管弛张振荡器

电路中各元件的作用及取值范围见表 2.1.18。

表 2.1.18 弛张振荡器各元件作用及取值范围

参数	取值范围	作用
R_1/Ω	$\frac{U_E - U_P}{I_P} > R_1 > \frac{U_E - U_U}{I_U}$ 10k Ω ~ 3M Ω	如过大，单结管达不到峰点电压；如过小，单结管电流大于谷点电流，不能截止，电路均不能振荡，无脉冲输出
R_2/Ω	200 ~ 600	用作温度补偿
R_3/Ω	50 ~ 1000	影响输出脉冲幅度和宽度
$C/\mu F$	0.047 ~ 0.5	影响振荡频率和输出脉冲宽度

振荡频率 f 可用下式近似计算：

$$f = 1/R_1 C \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)$$

式中 η 为分压比。

由式可见，改变 R_1 或 C 的值，即可改变输出频率， R_1 和 C 越小，振荡频率越高。

输出脉冲幅度 U_{sm} 约为：

$$U_{sm} = \eta U_E$$

式中 U_E 为电源电压。

下面介绍两个实际电路来说明单结晶体管在脉冲技术中的应用。

1. 晶闸管触发电路

见第二章“电子电力技术”部分。

2. 单结晶体管时间继电器

图 2.1.19 是单结晶体管组成的时间继电器。S 闭合后 (S 可以是电源开关或控制继电器的副触点)，稳压电路经电阻 R 对电容 C_1 充电，电容 C_1 上的电压从 0 按指数曲线上升，经一定延时后，单结晶体管导通，继电器 K_1 吸合。调节电位器 R_1 ，可使延迟时间在几秒到十几分钟内变化。

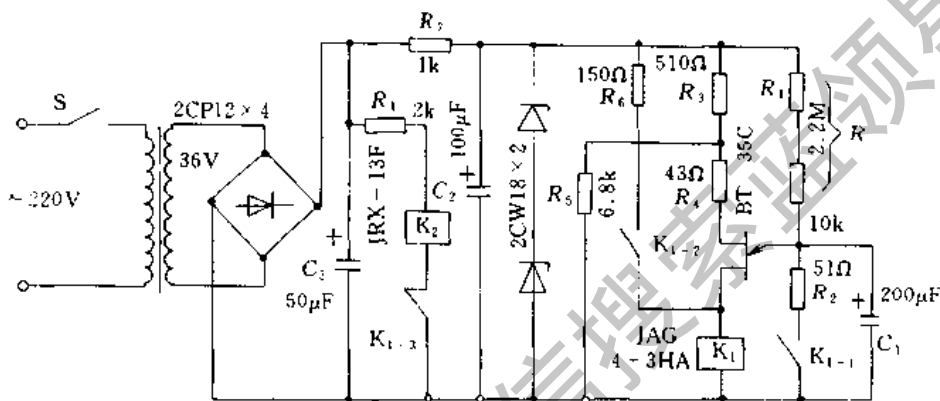


图 2.1.19 单结晶体管时间继电器

K_1 —内阻为 130Ω 的干簧继电器； K_2 —高灵敏继电器，它的触点控制外负载

三、常用单结晶体管的型号及主要参数

1. 单结晶体管主要参数说明

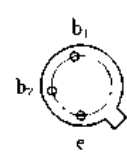
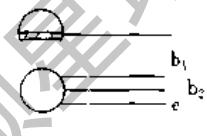
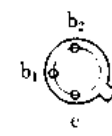
- (1) 基极间电阻 R_{bb} 发射极开路时，基极 b_1 、 b_2 之间的电阻。一般为 $2 \sim 10k\Omega$ ，其值随温度上升而增大。
- (2) 分压比 η 由管子内部结构决定的常数。一般为 $0.3 \sim 0.85$ 。
- (3) eb_1 间反向电压 U_{eb1} b_2 开路，在额定反向电流时，基极 b_1 与发射极 e 之间的反向耐压。
- (4) 反向电流 I_∞ b_1 开路，在额定反向电压 U_{eb2} 下， eb_2 间的反向电流。
- (5) 发射极饱和压降 $U_{e\infty}$ 在最大发射极电流下， eb_1 极间的压降。
- (6) 峰点电流 I_p 单结晶体管刚开始导通时，发射极电压为峰点电压时的发射极电流。

2. 常用的单结晶体管的型号及参数 (表 2.1.19)

表 2.1.19 常用单结晶体管型号及参数

型号	分压比 η	基极间电阻 $R_{bb}/k\Omega$	发射极与基极间反向		发射极饱和压降 U_e (饱和) /V	峰点电流 $I_p/\mu A$	基极 b_2 耗散		管脚
			电压 U_{eb1} /V	反向电流 $I_\infty/\mu A$			功率 P_{b2M} /mW		
5S1	0.2~0.95	2~12	40	8	5	12	450		
5S1A	0.3~0.55	3~6	60	1	5	12	450		
5S1B	0.3~0.55	5~8	60	1	5	12	450		
5S1C	0.45~0.75	3~6	60	1	5	12	450		
5S1D	0.45~0.75	5~8	60	1	5	12	450		
5S1E	0.65~0.85	3~6	60	1	5	12	450		
5S1F	0.65~0.85	5~8	60	1	5	12	450		

续表

型号	分压比 η	基极间电阻 $R_{bb}/k\Omega$	发射极与 基极间反向 电压 U_{ob1} /V	反向电流 $I_{oo}/\mu A$	发射极饱和 压降 U_e (饱和) /V	峰点电流 $I_P/\mu A$	基极 b_2 耗散 功率 P_{b2M} /mW	管脚
5S2	0.2~0.95	2~12	40	8	5	1	450	
5S2A	0.3~0.55	3~6	60	1	5	1	450	
5S2B	0.3~0.55	5~8	60	1	5	1	450	
5S2C	0.45~0.75	3~6	60	1	5	1	450	
5S2D	0.45~0.75	5~8	60	1	5	1	450	
5S2E	0.65~0.85	3~6	60	1	5	1	450	
5S2F	0.65~0.85	5~8	60	1	5	1	450	
BT31A	0.3~0.55	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31B	0.3~0.55	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31C	0.45~0.75	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31D	0.45~0.75	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31E	0.65~0.85	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31F	0.65~0.85	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32A	0.3~0.55	3~6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32B	0.3~0.55	5~10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32C	0.45~0.75	3~6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32E	0.45~0.75	5~10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32E	0.65~0.85	3~6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32C	0.65~0.85	5~10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT33A	0.3~0.55	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33B	0.3~0.55	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33C	0.45~0.75	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33D	0.45~0.75	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33E	0.65~0.85	3~6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33F	0.65~0.85	5~10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33A	0.3~0.4	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4	< 4	300	
BT33B	$> 0.4~0.5$	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4	< 4	300	
BT33C	$> 0.5~0.65$	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4.5	< 4	300	
BT33D	> 0.65	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4.5	< 4	300	
BT35A	0.3~0.4	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4	< 4	500	
BT35B	$> 0.4~0.5$	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4	< 4	500	
BT35C	$> 0.5~0.65$	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4.5	< 4	500	
BT35D	> 0.65	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4.5	< 4	500	

注: BT33 型单结晶体管有两种外形, 因而也有两种参数, 可根据外形确定属于哪一类。

第六节 晶体发光二极管

晶体发光二极管 (简称 LED) 是一种把电能变成光能的半导体器件。

一、发光二极管的种类和命名方法

1. 种类

发光二极管的种类很多, 按发光颜色来分, 有红色、橙色、黄色和绿色等, 还有人眼看不见的红外光; 按外形来分, 有圆形、方形、符号形及组合形等多种形状; 按功率大小来分, 有小功率管 (1~10mW)、中功率管 (10~100mW) 及大功率管 (100~500mW 以上)。

2. 命名方法

为了便于使用和生产, 可见发光二极管的型号统一规定如下:

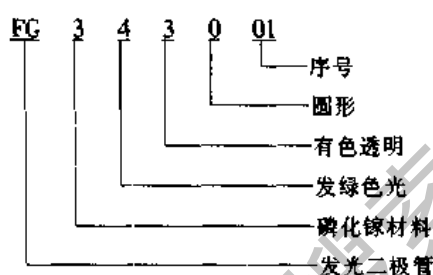
FG 1 2 3 4 5 6

各部分含义见表 2.1.20。

表 2.1.20 半导体发光二极管命名方法

文种	汉语拼音	阿 拉 伯 数 字				
全称	FG	①	②	③	④	⑤ ⑥
表示内容	器件型号	材 料	颜 色	封装形式	外 形	序 号
说明	“发光”两字汉语拼音的第一个字母	1: 磷砷化镓 (GaAsP) 2: 镓铝砷 (GaAsAl) 3: 磷化镓 (GaP)	1: 红色 2: 橙色 3: 黄色 4: 绿色 5: 蓝色 6: 变色	1: 无色透明 2: 无色散射 3: 有色透明 4: 有色散射	0: 圆形 1: 长方形 2: 符号形 3: 三角形 4: 方形 5: 组合形 6: 特殊形	

示例:



二、发光二极管的结构和特性

1. 结构

发光二极管大体采用两种结构:一种是将管芯烧结在金属底座或陶瓷底座上,用透明环氧树脂封装;另一种是将管芯烧结在金属引线上,用塑料全包封装。不论哪种结构,其管芯都是一个 PN 结。发光二极管的结构和符号见图 2.1.20。

2. 特性

发光二极管的特性较多,这里只简要介绍电气特性。

(1) 伏安特性 发光二极管的伏安特性曲线与普通小功率的二极管相比,除正向死区电压稍高一点(1~2V,材质不同,压降亦不同)外,在电气性能上完全相同,因此不再重述。

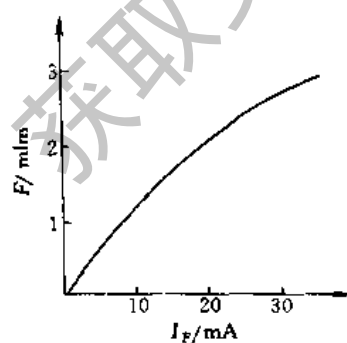


图 2.1.21 发光二极管
电流-亮度特性曲线

(2) 电流-亮度特性 发光二极管的电流-亮度特性曲线见图 2.1.21。由图可见,当工作电流约在 25mA 以内时,亮度大致随电流呈直线上升,工作电流超过 25mA 时,多数管子的亮度与电流就不成线性关系了,但不会趋于饱和。有的管子的亮度趋于饱和(如红色光 GaP 管)。

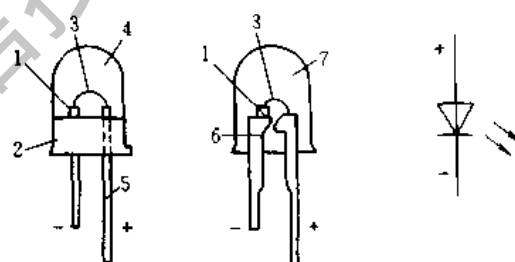
三、发光二极管的应用

1. 应用范围

发光二极管的应用主要在两个方面,一是作光电控制电路的电源,二是作显示器件。

有些发光二极管,如磷砷化镓管,是光控电路中较理想的控制光源,广泛应用于光电读出、光电计数、光电开关、光电检测及光电隔离等电路中。还有一种发光二极管,叫砷化镓管,发出的红外光人的眼睛看不见,具有很强的保密性,可用于防盗、报警及其他安全控制电路中。

2. 驱动方式



(a) 结构之一 (b) 结构之二 (c) 符号

图 2.1.20 发光二极管的结构和符号

1—管芯; 2—金属座; 3—金属线; 4—环氧树脂;
5—引线; 6—金属引线架; 7—塑料全封

发光二极管可以用直流、交流和脉冲等电源驱动，但本质上都是直流电源驱动。典型驱动线路见图 2.1.22。(a) 图为直流驱动线路，图中 R_c 为限流电阻，其阻值由下式估算：

$$R_c = \frac{E - U_F}{I_F}$$

式中 E ——电源电压；

U_F 、 I_F ——分别为发光二极管的正向压降、工作电流。

(b) 图为交流驱动线路，图中二极管 V_1 用来保护 V_2 管在交流负半周时不会被击穿。限流电阻 R_c 可按下列式估算：

$$R_c = \frac{U_m - (U_D + U_F)}{I_{Fm}}$$

式中 U_m ——交流电压峰值；

U_D ——二极管正向压降；

I_{Fm} ——发光二极管工作电流峰值；

U_F ——发光二极管的正向压降。

(c) 图为脉冲驱动线路，图中三极管 V_1 导通时驱动 V_2 管发光。限流电阻 R_c 可按下列式估算：

$$R_c = \frac{U_c - (U_B + U_F)}{I_{Fm}}$$

式中 U_c ——电源电压；

U_B ——三极管饱和导通管压降；

U_F 、 I_{Fm} ——同上式注。

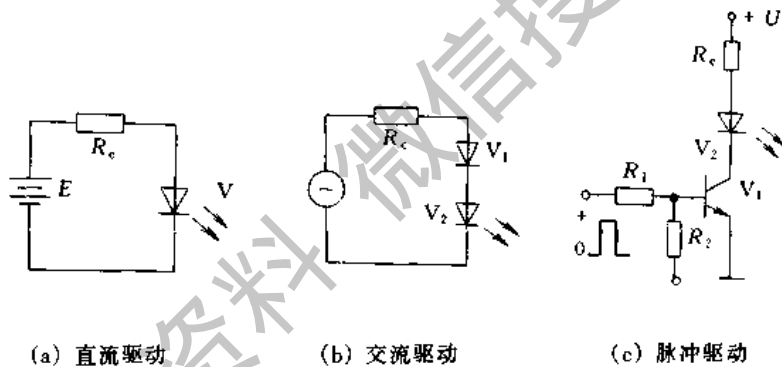


图 2.1.22 发光二极管驱动线路

3. 使用注意事项

① 使用前一定要分清管子的正负极。管脚引线较长的为正极，较短的为负极。有金属底座的管子，靠近锁口的管脚为正极。

管子的正负极也可用万用表的电阻档去判别。判别方法见表 2.1.12。但应注意，它的正向电阻值比普通二极管的阻值要稍大些。

② 发光二极管最大工作电流 I_{Fmax} 与环境温度关系极大，如磷化镓管，温度低于 25°C 时， I_{Fmax} 为 30mA ，当温度高于 80°C 时， I_{Fmax} 为 0。因此发光二极管不宜在环境温度较高的场合中使用。工作电流要根据环境温度合理选择，使管芯的温度低于允许值，这样可以大大延长管子的使用寿命。在室温下，一般取工作电流 $I_F \leq (\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}) I_{Fmax}$ 为宜。

③ 发光二极管的反向耐压较低，一般为 6V 左右。为了防止反向电压击穿，在实际电路中，一般与发光二极管并接一只反向二极管。

四、常用发光二极管的主要参数

发光二极管的主要参数包括电学和光学两类参数。

主要的电学参数如最大功耗 P_{max} 、最大工作电流 I_{Fmax} 、正向压降 U_F 及反向耐压 U_R 等，与普通二极管的参数意义相当，不再重述。

主要光学参数有发光波长 λ 、发光亮度 F 等。

第七节 光电晶体管

光电晶体管是将光信号转变成电信号的半导体器件，具有灵敏度高、响应速度快、体积小和寿命长等特点，广泛用于可见光、红外光的检测及光电转换等自动控制线路中。

光电晶体管的种类较多，仅光电二极管就有 PN 结型、PIN 型和雪崩型等三种类型。本节只介绍 PN 结型硅光电二极管和 NPN 型硅光电三极管的结构、性能参数及应用情况。

一、光电晶体管的结构和特性

1. 结构

硅光电二极管和硅光电三极管外形结构很相似，都是金属外壳，全密封，顶端有玻璃透镜窗口，两条引脚。但引脚名称不同，前者分别叫正极 P 和负极 N；后者分别叫收集极 c 和发射极 e。其内部结构和符号见图 2.1.23。

为了提高光电转换能力，它们的管芯都做了特殊处理，硅光电二极管的管芯 PN 结面积做得较大，而管芯的电极面积做得很小；硅光电三极管的管芯基区面积做得较大，而发射区面积做得较小等。这样做的目的是使管芯能接收更多的人射光，以便增大输出的光电流。

2. 特性

硅光电二极管的主要特性如下。

(1) 波长特性曲线 硅光电二极管对不同波长的光响应的灵敏度是不同的。由图 2.1.24 可见，它对入射光谱响应的范围是 $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ ，响应灵敏度最大的入射光的波长称为峰值波长，硅光电二极管的峰值波长为 $0.9 \mu\text{m}$ 左右。

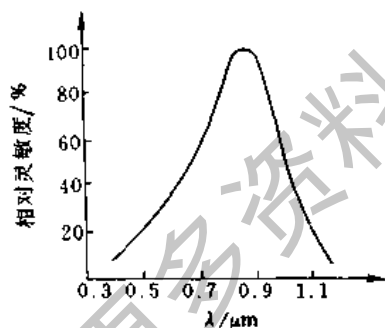


图 2.1.24 硅光电二极管的波长特性曲线

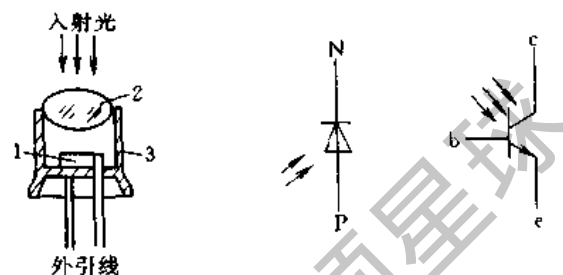


图 2.1.23 硅光电管的结构和符号

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

1—管芯；2—玻璃透镜；3—管帽

图 2.1.25 硅光电二极管输出特性曲线

(2) 输出特性曲线 硅光电二极管在一定反向工作电压下受到光照后即可产生光电流。由图 2.1.25 可见，光电流与外加电压关系不大，只随入射光的强度呈线性变化。

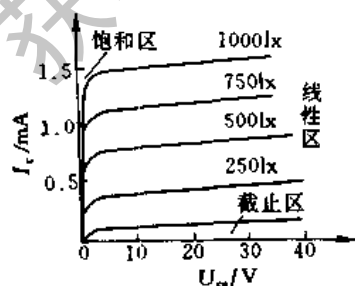


图 2.1.26 硅光电三极管的输出特性曲线

硅光电三极管主要特性如下。

(1) 波长特性曲线 硅光电三极管的波长特性曲线与硅光电二极管的相同，不再重述。

(2) 输出特性曲线 硅光电三极管的输出特性（见图 2.1.26）与普通三极管的输出特性相似，也可分成截止、线性和饱和三个区域。所不同的是前者每条输出特性对应于一定的光强度，而后者每条输出特性对应于一定的基极电流。

二、光电晶体管的应用

光电晶体管和光电三极管广泛应用于光信号的检测和光电信号

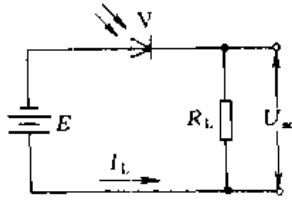


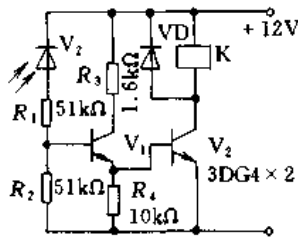
图 2.1.27 硅光电二极管基本应用线路

转换的线路中。对于灵敏度要求较高的光控线路应选用光电三极管；对于要求检测器的噪声低、随温度变化少的线路，应选用硅光电二极管。

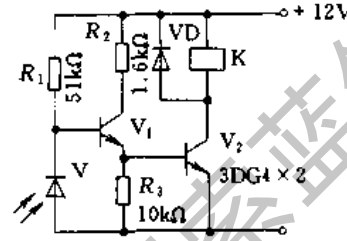
1. 硅光电二极管的应用

其线路见图 2.1.27。图中 E 为工作电压，光电二极管反接在电路中，它输出的电流随光照信号的强弱而变化，电流在负载电阻 R_L 上的电压降也就反映了光照信号的强度。硅光电二极管可以看作恒流源，要想提高输出电压的幅度，可以增大负载电阻 R_L ，但 R_L 的增大，会使 R_L 、 C_j 时间常数增大，使输出的频率特性变坏，所以 R_L 值的选择要兼顾输出幅度和频率特性两个方面。

图 2.1.28 是两个最简单的实用光控线路。(a) 图是亮通控制线路，光电二极管 VD 接在射极跟随器 V_1 的基极偏置电路中， V_2 是功放管，直接驱动小型继电器 K。无光照时 VD 管阻抗很高， V_1 无基极电流而截止。有光照时 VD 管有光电流输出， R_2 上压降增大，使 V_1 、 V_2 相继导通，继电器 K 得电动作。(b) 图是暗通控制线路，各元件的作用同上。



(a) 亮通控制线路



(b) 暗通控制线路

图 2.1.28 实用光控线路

2. 硅光电三极管的应用

其实际应用线路与硅光电二极管应用的线路相同，但它是正向接在电路中的，即它的发射极 e 接在光电二极管 N 极接点处，收集极 c 接在光电二极管 P 极接点处。还应注意，光电三极管的光电流比光电二极管要大，因此同一光控线路使用光电三极管时，工作电流要适当调整。

此外硅光电三极管还广泛用于光电耦合器中，可参阅本章第八节。

三、常用光电晶体管的型号和主要参数

1. 硅光电二极管主要参数

(1) 最高工作电压 U_{max} 硅光电二极管在无光照条件下，反向漏电流不超过一定值时所加的最大反向电压值。 U_{max} 值高的管子性能较稳定。

(2) 暗电流 I_D 硅光电二极管在无光照条件下，加一定反向工作电压时流过管子的反向漏电流。显然 I_D 越小越好。 I_D 小的管子性能稳定，噪声低，检测弱信号的能力强。但应注意， I_D 随环境温度变化很大，一般当环境温度升高 $30 \sim 40^\circ\text{C}$ 时， I_D 将增大 10 倍。

(3) 光电流 I_L 硅光电二极管受到一定光照时，在一定反向工作电压下产生的电流值。在小信号下， I_L 随入射光的强度呈线性变化。

(4) 结电容 C_j 硅光电二极管管芯 PN 结结间电容称 C_j ，它随偏压的增大而减小。使用时，在条件允许下尽量提高偏压，使 C_j 减小，有利于工作频率的提高。

2. 硅光电三极管主要参数

(1) 最高工作电压 $U_{(RM)ce}$ 硅光电三极管在无光照条件下， ec 极之间漏电流不超过一定值 ($I_{ce} = I_D$) 时，所加的工作电压值。

(2) 击穿电压 $U_{(BR)ce}$ 硅光电三极管在无光照条件下，漏电流不超过一定值 ($I_{ce} = 0.5\mu\text{A}$) 时， ec 极间所能加的最大电压值。此值大于最高工作电压。

(3) 暗电流 I_D 无光照条件下， ec 极间加一定工作电压 $U_{ce} = U_{(RM)ce}$ 时， ec 极间的漏电流。 I_D 一般小于 $0.3\mu\text{A}$ 。应注意， I_D 随环境温度变化较大。

(4) 光电流 I_L 硅光电三极管受到一定光照时，在一定正向工作电压下的 I_{ce} 值。

(5) 最大允许功耗 P_m 。在一定温度下 ($+25^\circ\text{C}$) 最大允许功耗 $P_m = U_{ce} \cdot I_{ce}$ 是一常数, 但超过 $+25^\circ\text{C}$ 后随着温度的升高, P_m 将线性下降。

3. 常用的硅光电二极管和硅光电三极管的型号及主要参数 (见表 2.1.21 和表 2.1.22)

表 2.1.21 常用硅光电二极管的型号和主要参数

型号	最高工作电压 U_{max}/V	暗电流 $I_D/\mu\text{A}$	光电流 I_L/mA	峰值波长 $\lambda_p/\mu\text{m}$	结电容 C_j/pF	外形图
测试条件	$I_R = I_D$ $H < 0.1 \mu\text{W}$ 1cm^2	$U = U_{max}$	$U = U_{max}$ $H = 1000 \text{lx}$		$U = U_{max}$ $f \leq 5 \text{MHz}$	
2CU1A 2CU1B 2CU1C 2CU1D 2CU1E	10 20 30 40 50	≤ 0.2	> 80	0.88	≤ 5	①
2CU2A 2CU2B 2CU2C 2CU2D 2CU2E	10 20 30 40 50	≤ 0.1	> 30	0.88	< 5	②
2CU5A 2CU5B 2CU5C	10 20 30	≤ 0.1	> 10	0.88	≤ 2	③

注: $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{cm}$ 。

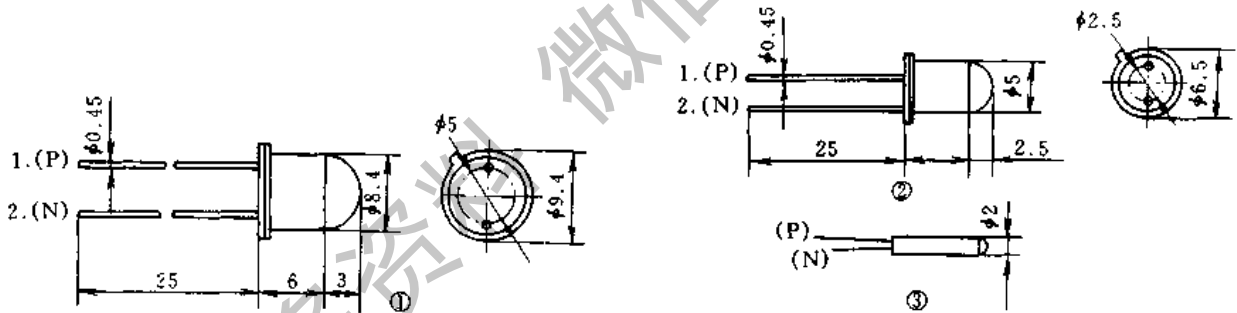
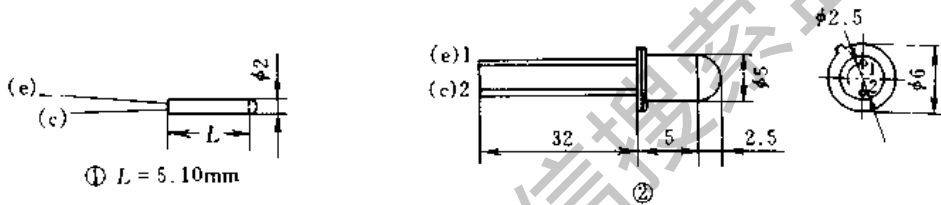


表 2.1.22 常用硅光电三极管的型号和主要参数

型号	击穿电压 $U_{(BR)ce}/V$	最高工作电压 $U_{(RM)ce}/V$	暗电流 $I_D/\mu\text{A}$	光电流 I_L/mA	峰值波长 $\lambda_p/\mu\text{m}$	最大功耗 P_m/mW	外形图
测试条件	$I_{ce} = 0.5 \mu\text{A}$	$I_{ce} = I_D$	$U = U_{(RM)ce}$	$U_{ce} = 10 \text{V}$ $H = 1000 \text{lx}$			
3DU51 3DU52 3DU53 3DU54 3DU55	≥ 15 ≥ 45 ≥ 75 ≥ 45 ≥ 45	≥ 10 ≥ 30 ≥ 50 ≥ 30 ≥ 30	≤ 0.2	≥ 0.5 ≥ 1.0 ≥ 2.0	0.88	30	①
3DU11 3DU12 3DU13 3DU14	≥ 15 ≥ 45 ≥ 75 ≥ 150	≥ 10 ≥ 30 ≥ 50 ≥ 100	≤ 0.3 ≤ 0.2	0.5 - 1	0.88	70 50 100 100	②

续表

型号	击穿电压 $U_{(BR)ce}/V$	最高工作电压 $U_{(RM)ce}/V$	暗电流 $I_D/\mu A$	光电流 I_L/mA	峰值波长 $\lambda_p/\mu m$	最大功耗 P_m/mW	外形图
测试条件	$I_{ce} = 0.5\mu A$	$I_{ce} = I_D$	$U = U_{(RM)ce}$	$U_{ce} = 10V$ $H = 1000lx$			
3DU21	≥ 15	≥ 10	≤ 0.3	1~2	0.88	30	②
3DU22	≥ 45	≥ 30				50	
3DU23	≥ 75	≥ 50				100	
3DU24	≥ 150	≥ 100				100	
3DU31	≥ 15	≥ 10	≤ 0.3	≥ 2		30	
3DU32	≥ 45	≥ 30				50	
3DU33	≥ 75	≥ 50				100	
3DU42							
3DU62	≥ 45		≤ 1.0				
3DU82							



第八节 光电耦合器

光电耦合器是一种光电结合的半导体器件，由发光器和受光器两部分组成，并封装在一个管壳内。它具有响应快、可靠性高、功耗与体积小、信噪比高和抗干扰性强的优点，广泛应用于电信号耦合、电平匹配和电位隔离等多种模拟和数字电路中。

一、光电耦合器的结构和特性

1. 结构

可以用作发光器的器件很多，最常用的是砷化镓红外发光二极管。受光器的种类也不少，较常用的是硅光敏器件（如光电二极管、三极管，光敏晶闸管和光敏集成电路等）。按所选择元件的种类和组合方式的不同，可以组成多种结构的光电耦合器。但应用较多的是发光二极管与光电二极管组合的光电耦合器（简称二极管-二极管光电耦合器）和发光二极管与光电三极管组合的光电耦合器（简称二极管-三极管光电耦合器）。它们的内部结构见图 2.1.29 (a) 和 (b)。封装形式有三种：双向平行式、直立式和双列直插式，见图 2.1.29 (c)、(d) 和 (e)，图形符号见图 2.1.29 (f) 和 (g)。

2. 特性

光电耦合器的特性主要有输入特性、输出特性和传输特性。现以二极管-三极管光电耦合器为例，说明这些特性的特点。

(1) 输入特性 光电耦合器的输入端是发光二极管，因此它的输入特性可用发光二极管的伏安特性来表示，见图 2.1.30 (a)。由图可见它与普通晶体二极管的伏安特性基本一样，但有两点不同：一是正向死区较大，可达 0.9~1.1V，外加电压大于这个数值时，二极管才能发光；二是反向击穿电压很小，只有 6V 左右，使用时要特别注意输入端的反向电压不能大于 6V。

(2) 输出特性 光电耦合器的输出端是光电三极管，因此光电三极管的伏安特性就是它的输出特性，见图 2.1.30 (b)。由图可知，它与普通晶体三极管的伏安特性曲线是相似的，不同之处在于它是以前述发光二极管注入的电流 I_F 为参变量。正常情况下，管子工作在线性区，这时在一定的 I_F 下，所对应的 I_{ce} 基本上与 U_{ce} 无关。

即特性曲线彼此是平行的。

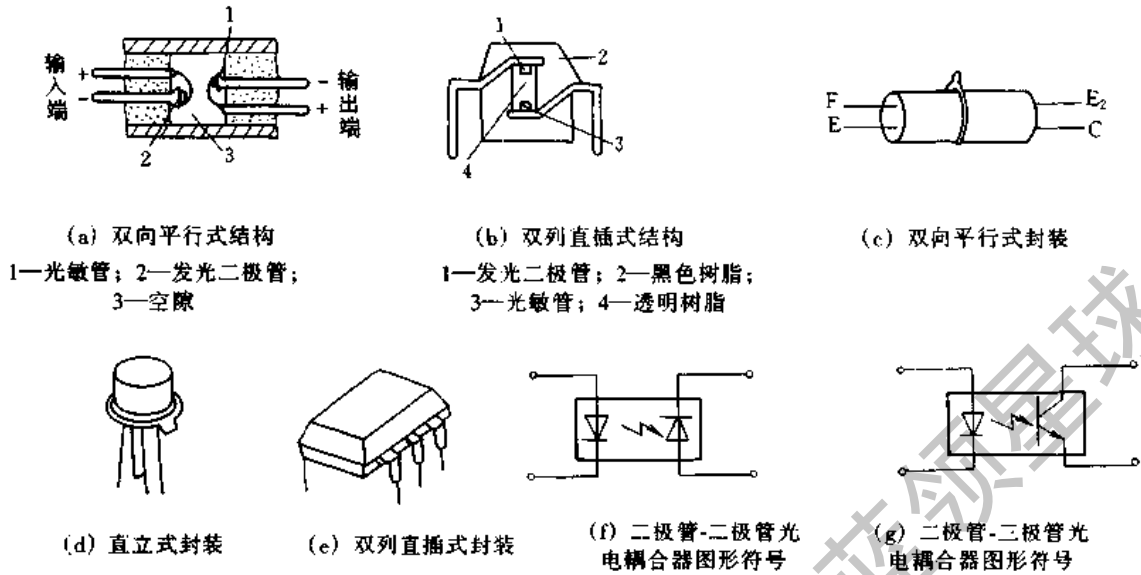


图 2.1.29 常用光电耦合器的结构、封装和图形符号

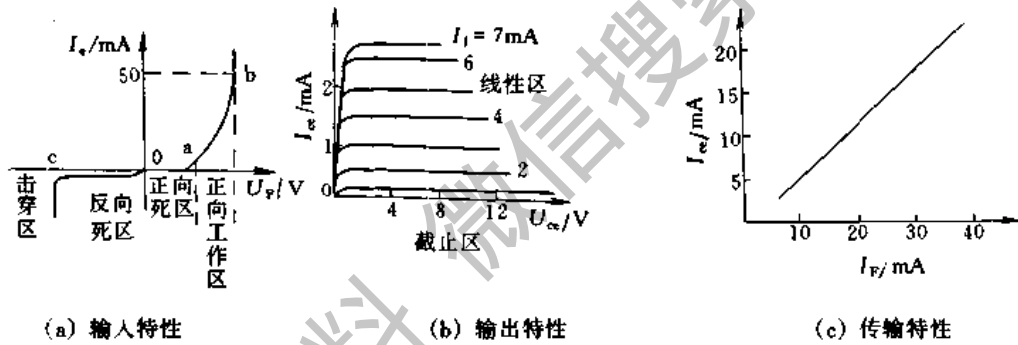


图 2.1.30 光电耦合器的特性曲线

(3) 传输特性 光电耦合器的传输特性是指输出电流与输入电流之间的关系，见图 2.1.30 (c)。在一定范围内，发光二极管发出的光能与输入电流 I_F 成正比，而光电三极管输出的电流 I_{oe} 与接收的光能成正比，因此输出电流 I_{oe} 与输入电流 I_F 之间基本呈线性关系。

二、光电耦合器的应用

光电耦合器是一种新型的半导体耦合器件，应用广泛，优点突出。如代替脉冲变压器耦合信号时，具有失真小、工作频率高的特点；代替继电器作开关元件使用时，具有响应快、无机械接点疲劳、可靠性高的特点；它还具有电平匹配、电位隔离等功能；在长线传输中用它作为终端设备可大大提高信噪比；用它来作为计算机系统接口部件，可大大提高系统的抗干扰性和可靠性。它还可应用于稳压电源、线性和逻辑电路中。

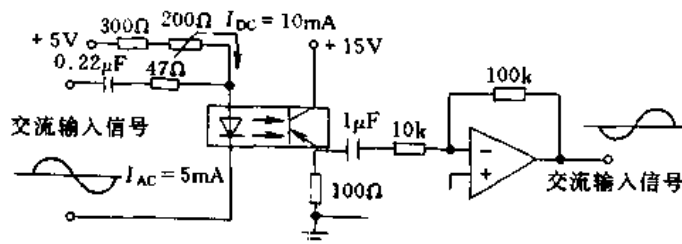
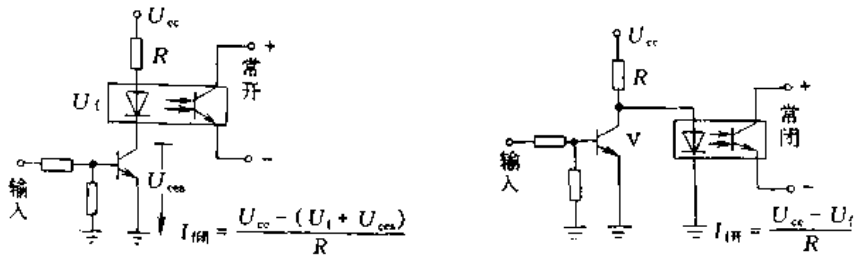


图 2.1.31 光电耦合器组成的线性电路

下面介绍光电耦合器几个实际应用电路。

1. 光电耦合器组成的线性电路

如图 2.1.31, 光电耦合器工作在线性区, 它不仅耦合交流信号, 还起到了对输入、输出回路的电位隔离和电平匹配的作用。



(a) 常开 (b) 常闭

图 2.1.32 光电耦合器组成的开关电路

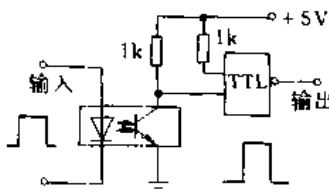


图 2.1.33 光电耦合器组成的施密特电路

2. 光电耦合器组成的开关电路

如图 2.1.32, 这种开关电路的特点是控制灵敏, 电路功耗小。有关动作电流的计算见图中公式。

3. 光电耦合器组成的施密特电路

如图 2.1.33, 这种电路实际上是光电耦合器的输出电路, 它可以直接驱动各种集成组件。但从波形整形的角度来说, 它比晶体管组成的施密特电路还要好, 所以这种电路也称施密特电路。

4. 计算机控制终端接口电路

如图 2.1.34, 电子计算机与终端设备之间的接口, 可由光电耦合器来承担, 它不仅有很好的抗干扰性, 还起到了电平匹配及电位隔离作用。

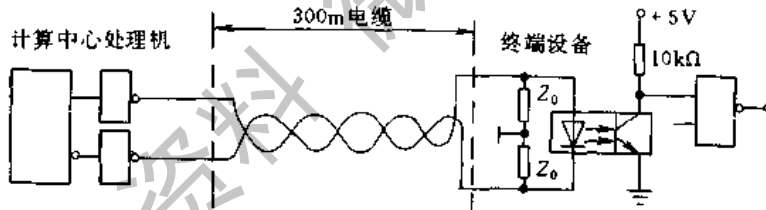


图 2.1.34 计算机控制终端接口电路

三、常用光电耦合器的型号及主要参数

光电耦合器的参数很多, 可分为三类, 即输入特性参数、输出特性参数和传输特性参数。其中前二类的参数与光电二极管、三极管的意义一样, 不再说明。现将传输特性中的有关参数说明如下。

(1) 电流传输比 CTR 在直流工作状态下, 光电耦合器输出电流 I_L 或 I_{oe} 与发光二极管注入电流 I_F 之比, 称为电流传输比 CTR。如果传输特性的线性度较好, 则电流传输比 CTR 可用下式求得:

$$CTR = \frac{I_L}{I_F} \times 100\% \text{ 或 } CTR = \frac{I_{oe}}{I_F} \times 100\%$$

CTR 值的大小反映光电耦合器电信号传输效率的高低, 在不加复合放大管时 CTR 总是小于 1 的。GD210 系列的 CTR 很低, 只有 3%, 而 GD310 系列的 CTR 较高, 可达 10% ~ 80% 以上。

(2) 隔离阻抗 R_g 是指光电耦合器输入端与输出端之间的绝缘电阻, 一般在 $10^9 \sim 10^{11} \Omega$ 之间。

(3) 极间耐压 U_g 是指光电耦合器输入端与输出端之间的绝缘电压, 一般都在 500V 以上。

(4) 极间电容 C_g 是指光电耦合器输入端与输出端之间的寄生电容, 一般为几个皮法。如 GD210 系列和 GD310 系列的 C_g 均小于 2pF。

需要指出的是, 光电耦合器的大多数参数受温度的影响较大, 在使用时要注意环境温度的变化。

表 2.1.23 给出了部分光电耦合器的外引线图。

表 2.1.23 部分光电耦合器外引线

名称	型号	外 引 线	名称	型号	外 引 线
三极管输出型光电耦合器	4N25 4N26 4N27		光耦合可控硅开关驱动器	MOC3020 ~ MOC3023	
可控硅输出型光耦合器			数字电路光耦合器		

第九节 达林顿管

一、达林顿管的结构和原理

达林顿管采用复合连接方式，将两只或更多只晶体管的集电极连在一起，而将第一只晶体管的发射极直接耦合到第二只晶体管的基极，依次级连而成，最后引出 E、B、C 三个电极。

图 2.1.35 是由两只 NPN 或 PNP 型晶体管构成的达林顿管的基本电路。设每只晶体管的电流放大系数分别为 h_{FE1} 、 h_{FE2} ，则总放大系数为：

$$h_{FE} \approx h_{FE1} \cdot h_{FE2}$$

因此，达林顿管具有很高的放大系数， h_{FE} 值可达几千倍，甚至几十万倍。不过，这类高放大倍数的管子只能在功率为 2W 以下才能正常使用，当功率增大时，管子因压降造成温度上升，前级晶体管的漏电流会被逐级放大，导致整体热稳定性差。所以，大功率达林顿管内部均设有均衡电阻，这样，除了大大提高热稳定性外，还能有效地提高末级功率管的 V_{CE} 耐压。典型电路如图 2.1.36 所示。大部分大功率达林顿管还在 C-E 极之间反向

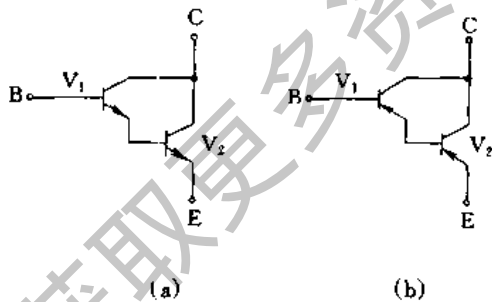


图 2.1.35 达林顿管的基本电路

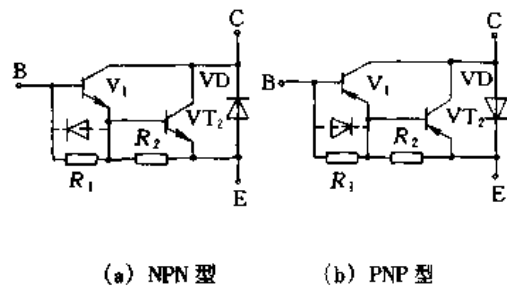


图 2.1.36 达林顿管的典型电路

并联一只阻尼二极管 VD (亦称续流二极管)。当负载 (例如继电器线圈) 突然断电时，可通过二极管将反向电动势泄放掉，防止内部晶体管被击穿。图 2.1.36 中 R_1 、 R_2 是泄放电阻，可以为漏电流提供泄放支路。通常取 R_1 为几千欧， R_2 为几十欧，二者相差两个数量级。

MPSA622 型管是低噪声 PNP 达林顿管，它的外形如图 2.1.37 (a) 所示，主要技术指标为 $h_{FE} = 5000 \sim 200000$ ，最大允许功耗 $P_{CM} = 600mW$ ，噪声系数小于 2dB。BD681 型中功率 NPN 达林顿管的特点是高 β 、低压降，外形见图 2.1.37 (b)。使用时不必加散热器。它的主要参

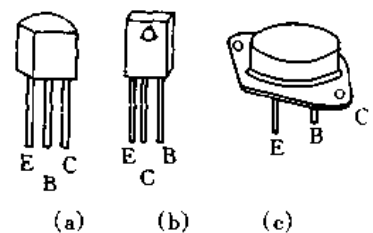


图 2.1.37 部分达林顿管的封装外形

数 $V_{CE0} = 100V$, $I_{CM} = 4A$, $P_{CM} = 40W$ 。

应注意的是, 达林顿管由于内部系多只管子及电阻组成, 用万用表测试时, BE 结的正反向阻值与普通三极管不同。对于高速达林顿管, 有些管子的前级 BE 结还并联一只输入阻尼二极管, 如图 2.1.36 中虚线所示, 这时测出的 BE 结正反向电阻阻值很接近, 容易误判断为坏管。

二、晶体管/达林顿晶体管阵列

部分晶体管/达林顿晶体管阵列的型号、外引线图及主要参数见表 2.1.24。

表 2.1.24 晶体管/达林顿晶体管阵列的型号、外引线图及主要参数

F 3045	BGF 3045	8ZL 3045	CA 3045
(通用晶体管阵列)			
		$f_T \geq 300MHz$, $V_{(BR)CBO} \geq 20V$ $V_{(BR)CEO} \geq 15V$, $V_{(BR)EBO} \geq 5V$ $I_{CEO} \leq 0.5\mu A$, $h_{FE} = 40 - 100$ $I_{CM} = 50mA$, $P_{CM} = 300mW$ 对 T_1 、 T_2 对管, $V_{IQ} \leq 5mV$, $I_{IQ} \leq 2\mu A$ $\frac{\Delta V_{IQ}}{\Delta T} = 1.1\mu V/^\circ C$	
F 3045、BGF 3045、8 ZL 3045 的外引线图 (对 BGF 3045, 13 脚接衬底)			
8ZL 3083		(通用大电流晶体管阵列)	
		$V_{(BR)CBO} \geq 20V$, $V_{(BR)CEO} \geq 15V$ $V_{(BR)EBO} \geq 5V$, $I_{CEO} \leq 10\mu A$ $h_{FE} = 40 - 75$, $P_{CM} = 500mW$ $I_{CM} = 100mA$; $P_{DM} = 750mW$ 对 T_1 、 T_2 , $V_{IQ} \leq 5mV$, $I_{IQ} \leq 2.5\mu A$	
8ZL 3083 外引线图			
5G 1413		(高压大电流达林顿晶体管阵列)	
5G 1413 外引线图		$\frac{1}{7}$ 5G 1413 电原理图	
$V_{OM} \geq 50V$, $I_{OM} = 250mA$, $I_{CEX} \leq 50\mu A$, $V_{em} \leq 1.5V$, $P_{CM} = 500mW$			
5G 1413S		(小功率达林顿晶体管阵列)	
5G 1413S 的外引线图、电原理图与 5G 1413。			
$V_{OM} \geq 25V$, $I_{OM} = 80mA$, $I_{CEX} \leq 50\mu A$, $V_{em} \leq 1.5V$, $P_{CM} = 500mW$			

第十节 电阻器和电位器

一、电阻器和电位器的型号命名方法

电阻器、电位器、电容器的命名由四部分组成，它们的型号及意义见表 2.1.25，用数字表示特征的意义，见表 2.1.26。

表 2.1.25 国产电阻器、电位器、电容器型号命名法

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征		第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义
R	电阻器	T	炭膜			用数字 1, 2, 3……表示 说明：对主称、材料、特征相同，仅尺寸、性能指标稍有差别，但不影响互换的产品，则标同一序号；若尺寸、性能指标的差别影响互换时，则要标不同序号加以区别
		P	硼炭膜			
		U	硅炭膜			
		H	合成膜			
		J	金属膜			
		Y	氧化膜			
		X	线绕			
		S	实心（包括有机和无机）			
		M	压敏			
		G	光敏			
R	电阻器	R	热敏	B	温度补偿用	
				C	温度测量用	
				G	功率测量用	
				P	旁热式	
				W	稳压用	
		Z	正温度系数			
W	电位器	H	合成炭膜			
		J	金属膜	W	微调	
		Y	氧化膜			
		X	线绕	W	微调	
		S	实芯（包括有机和无机）			
		D	导电塑料			
C	电容器	C	瓷介	T	铁电	
		Y	云母	W	微调	
		I	玻璃釉	W	微调	
		O	玻璃（膜）	W	微调	
		B	聚苯乙烯	J	金属化	
		F	聚四氟乙烯			
		L	涤纶	M	密封	
		S	聚碳酸酯	X	小型，微调	
		Q	漆膜	G	管形	
		Z	纸质	T	筒形	
		H	混合介质	L	立式矩形	
		D	（铝）电解	W	卧式矩形	
		A	钽	Y	圆形	
				N	铌	
		T	钛			
		M	压敏			

表 2.1.26 数字表示的特征意义

符 号 (数字)	特征 (型号的第三部分) 的意义					
	电阻器	电位器	瓷介电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
1	普通	普通	圆片	非密封	非密封	箔式
2	普通	普通	管形	非密封	非密封	箔式
3	超高频		叠片	密封	密封	烧结粉液体
4	高温		独石	密封	密封	烧结粉固体
5	高温		穿心		穿心	
6			支柱等			
7	精密	精密				无极性
8	高压	特殊函数	高压	高压	高压	
9	特殊	特殊函数			特殊	特殊

二、电阻器和电位器的主要特性参数

电阻器和电位器的主要特性参数有标称电阻值和容许偏差 (误差); 额定功率; 最高工作电压; 稳定性; 噪声电动势; 高频特性等。

1. 标称阻值和容许偏差

① 线绕和固定或非线绕电阻器的标称阻值, 应符合表 2.1.27 所列数值之一 (或表列数值再乘以 10^n , 其中 n 为正数)。

② 线绕电位器的标称阻值采取 E12、E6 两个系列, 容许偏差分为 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 四种, 后两种仅限必要时采用。

③ 非线绕电位器的标称阻值采取 E12、E6 两个系列, 容许偏差分为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 三种, $\pm 5\%$ 仅限必要时采用。

表 2.1.27 电阻器的标称值和容许偏差

系列	容许偏差	电 阻 值											
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
E24	$\pm 5\%$ (I级)	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E12	$\pm 10\%$ (II级)	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E6	$\pm 20\%$ (III级)	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						

注: 表中数字乘以 10^0 、 10^1 、 10^2 ……得出各种标称阻值。

④ 标称阻值及容许偏差的表示法如下。

a. 直标法。直接把标称阻值和容许偏差印在电阻上, 规定 Ω 表示欧, $k\Omega$ 表示千欧, $M\Omega$ 表示兆欧。容许偏差用百分数表示 (在有些旧产品中, 容许偏差用罗马数字表示, I 代表 $\pm 5\%$; II 代表 $\pm 10\%$; III 或不标出时表示 $\pm 20\%$)。如: $100\Omega \pm 5\%$ 表示 100 欧, 容许偏差 $\pm 5\%$; $50k\Omega II$ 表示 50 千欧, 容许偏差为 $\pm 10\%$; $2M\Omega$ 表示 2 兆欧, 容许偏差为 20%。

b. 文字符号法。将标称阻值和容许偏差用文字、数字符号或两者有规律的组合标志在电阻表面上。

c. 色标法。用色图和色点来表示电阻器的标称阻值及容许偏差, 各种颜色表示的数值应符合表 2.1.28 的规定。如在电阻体的一端标以彩色环, 电阻的色标是由左向右排列的。图 2.1.38 的电阻为 $27000\Omega \pm 5\%$ 。再如精密电阻器的色环标志用 5 个色环表示。第 1 至第 3 色环表示电阻的有效数字, 第 4 色环表示倍乘数, 第 5 色环表示容许偏差, 图 2.1.39 的电阻为 $17.5\Omega \pm 1\%$ 。

表 2.1.28 电阻器的色标

颜色	A	B	C	D	颜色	A	B	C	D
	第 1 位数	第 2 位数	倍乘数	容许偏差		第 1 位数	第 2 位数	倍乘数	容许偏差
黑	0	0	$\times 1$		紫	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
棕	1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$	灰	8	8	$\times 10^8$	
红	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$	白	9	9	$\times 10^9$	
橙	3	3	$\times 10^3$		金			$\times 0.1$	$\pm 5\%$
黄	4	4	$\times 10^4$		银			$\times 0.01$	$\pm 10\%$
绿	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$	无色				$\pm 20\%$
蓝	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.2\%$					

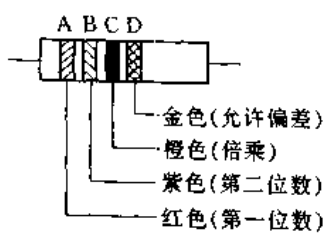
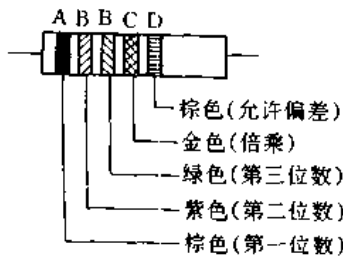
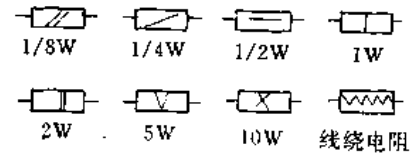
图 2.1.38 表示 $27000\Omega \pm 5\%$ 图 2.1.39 表示 $17.5\Omega \pm 1\%$ 

图 2.1.40 电阻功率的通用符号

2. 额定功率

电阻器的额定功率是指电阻器在大气压力为 $(99.99 \pm 4) \times 10^3 \text{ Pa}$ [$(750 \pm 30) \text{ mmHg}$] 和在规定的温度条件下, 长期连续负荷所容许消耗的最大功率。

电阻器和电位器的额定功率系列见表 2.1.29。

表 2.1.29 电阻器和电位器额定功率系列

种 类	额 定 功 率 系 列/W									
	线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	10
	16	25	40	50	75	100	150	250	500	
非线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10		
	25	50	100							
线绕电位器	0.25	0.5	1	1.6	2	3	5			
	10	16	25	40		63	100			
非线绕电位器	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2	3		

表示电阻功率的通用符号见图 2.1.40。

第十一节 电 容 器

一、电容器的型号命名方法

电容器的型号命名方法见第十节表 2.1.25。

二、电容器的主要特性参数

1. 标称容量及容许偏差

电容器本身标出的电容量叫做标称容量。通常, 电容器的实际容量与标称容量都有偏差, 这个偏差反映了电容器的精度。纸介电容器 (包括金属化纸介电容器)、铝电解电容器、瓷介电容器 (Ⅱ型) 的标称容量及容许偏差见表 2.1.30、表 2.1.31 和表 2.1.32。

表 2.1.30 纸介电容器 (包括金属化纸介电容器) 标称容量

工作电压	不大于 4.6kV			
	100 ~ 1000pF	0.01 ~ 0.1 μ F	0.1 ~ 1 μ F	1 ~ 10 μ F
容许偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$
标称容量	100	0.01	0.1	1
	120	0.015	0.15	2
	150	0.020	0.2	3
	180	0.022	0.22	4
	220	0.025	0.25	5
	270	0.030	0.33	6
	330	0.033	0.40	8
	390	0.039	0.47	10
	470	0.040	0.50	
	560	0.047		
	680	0.050		
	820	0.056		
			0.068	
		0.082		

表 2.1.31 铝电解电容器标称容量

容许偏差	专用电容器	-10% ~ +50% (工作电压 $\leq 500V$) -10% ~ +30% (工作电压 $> 50V$)
	一般电容器	-10% ~ +100% (工作电压 $\leq 50V$) -10% ~ +50% (工作电压 $> 50V$) -10% ~ +100% (工作电压 $> 50V$, 标称容量 $\leq 10\mu F$) -20% ~ +50% (工作电压可为各种值)
标称容量/ μF		1, 2, 2.5, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 100, 150, 200, 500, 1000, 2000, 5000

表 2.1.32 瓷介电容器 (II 型) 标称容量

容许偏差	$\pm 20\%$ -20% ~ $\pm 50\%$ -20% ~ +80%
标称容量	1, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

注：表中所列瓷介电容器 (II 型) 最小标称容量为 $10pF$ 。

2. 耐压强度

耐压强度共有三项指标。

(1) 额定直流工作电压 表示电容器长期安全工作的最高直流电压。

(2) 交流工作电压 表示电容器长期工作时所允许的交流电压有效值。一般电容器能承受的交流电压峰值为它的额定直流工作电压的 10% ~ 60%。频率越高，能承受的电压越低。

(3) 试验电压 指在较短时间内 (5s ~ 1min) 电容器能承受的最大直流电压。通常试验电压为额定直流工作电压的 (1.5 ~ 3) 倍。

3. 损耗、绝缘电阻和漏电流

电容器的损耗有两项：介质损耗和金属损耗。介质损耗包括极化损耗和漏电流损耗；金属损耗由极片电阻、引线电阻和极片与引线之间的接触电阻产生的损耗所组成。频率越高，它们的介质损耗越严重，通常以 $\lg \delta$ 表示， $\lg \delta$ 值越小，损耗就越小。在高频电路中，特别要注意选择 $\lg \delta$ 小的电容器。

绝缘电阻值等于加到电容器上的直流电压与漏电流之比。

一般电容器绝缘电阻的数量级在 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ ，绝缘电阻随温度的升高或电压的增大而减少。

电解电容器的漏电流随温度、电压的升高而增大。

4. 根据电路要求选择合适的型号

一般用于低频耦合、旁路等场合，电气特性要求较低时，可选择纸介电容器；在高频电路和高压电路中，应选用云母电容器和瓷介电容器；在电源滤波和去耦电路中，可选用电解电容器等。

根据安装要求选用合适的外形结构，如作为高频旁路用的电容器，常采用穿心式电容器，既方便安装又作接线柱使用。

5. 国外电容器的容量及误差表示法

国外电容器容量表示法可归纳为三种表示法。

(1) 直接表示法

① 标有单位的直接表示法。这种表示法通常用字母 m ($10^{-3}F$)、 μ ($10^{-6}F$)、n ($10^{-9}F$) 和 p ($10^{-12}F$) 来指示电容器的容量大小，如 4n7 表示 $4700pF$ ；另外有些是在数字面前冠以 R，则表示为零点几 μF 的电容，如 R33 则表示为 $0.33\mu F$ 的电容。图 2.1.41 所示电容器的容量都是采用标有单位的直接表示法来标志的。

② 不标单位的直接表示法。在这种表示法中，如果用一位到四位大于 1 的数，则容量单位为 pF 。若用零点儿或零点点几表示的，其单位一般是 μF 。如 2200 则表示该值为 $2200pF$ ；0.047 表示 $0.047\mu F$ 。图 2.1.42 所示电容器的容量都是采用不标单位的直接表示法来标志的。

(2) 数码表示法 电容器数码表示法，一般用三位数来表示容量的大小，其单位为 pF (皮法)，而前面的两位数表示容量值的有效数字，第三位数字表示有效数字后面要加多少个零 (即乘以 10^x ，x 为第三位数字)。如 223 为 $22 \times 10^3 (pF) = 22000pF = 0.022\mu F$ 。又如 339，第三位出现了“9”，则说明该电容的容量在 $1 \sim 9.9pF$

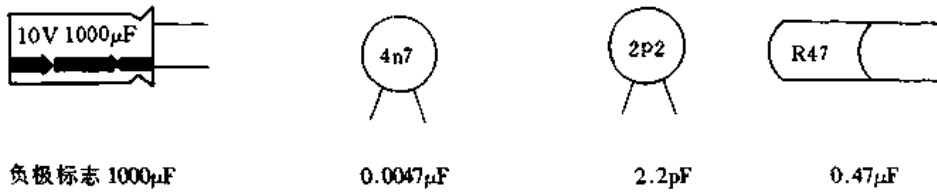


图 2.1.41 国外电容器容量直接表示法

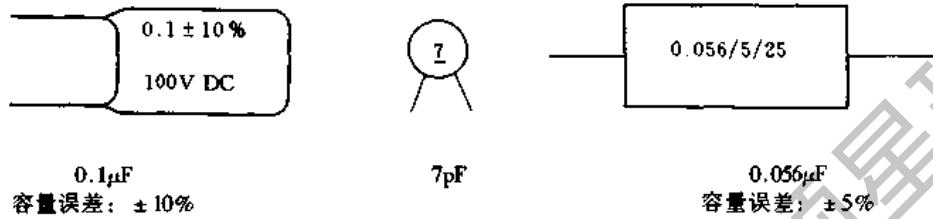


图 2.1.42 国外电容器容量不标单位的直接表示法

之间，这个9就是 10^{-1} 的意思。339则为 33×10^{-1} (pF) = 3.3pF。在国外电容器中，采用数码表示法是最为常见的。图 2.1.43 所示电容器的容量都是采用数码表示法。

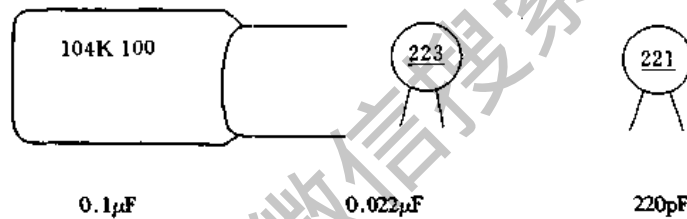


图 2.1.43 国外电容器容量数码表示法

(3) 色码表示法 色码表示法跟数码表示法相似。不同的是，它标的不是数字，而是用某种颜色代表某个数码。颜色黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰和白分别代表0、1、2、3、4、5、6、7、8和9。沿着引线方向，第一、二种颜色代表的数码表示容量的有效数字，第三种颜色代表的数码则表示有效数字的后面添加的“0”数，其单位也是 pF。如沿着引线方向，第一色环的颜色为棕，第二色环的颜色为黑，第三色环的颜色为黄，则其数码为 104，即 $0.1\mu\text{F}$ 。此外，有的电容器的色环较宽，其宽度为两个甚至三个色环的宽度，则这一色环表示两个或三个相同的数码。如第一宽色环为红色，第二色环（窄一些的）为橙色，则数码为 223，即容量为 $0.022\mu\text{F}$ 。图 2.1.44 表示二个电容的容量都是采用色码表示的。

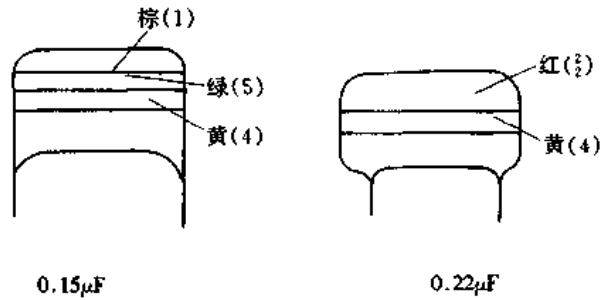


图 2.1.44 国外电容器容量色码表示法

(4) 国外电容器容量误差表示法 国外电容器容量误差有两种表示方法。一种是将某电容的绝对误差范围直接标出。如 (8.2 ± 0.4) pF，表示该电容的标称容量为 8.2pF，误差范围在 ± 0.4 pF 之间。另一种误差表示法则直接或用字母表示其百分比误差。目前大多数厂家生产的电容以字母表示误差的较多。字母表示的百分误差值详见表 2.1.33。

表 2.1.33 国外电容器容量误差表示法

字母	D	F	G	J	K	M	N	P	S	Z
误差/%	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30	+100 -0	+50 -20	+80 -20

第十二节 电子技术常用继电器

继电器是利用电磁原理工作的一种开关元件。它的品种规格繁多，按原理分有电磁式继电器、舌簧继电器、极化继电器、磁保持继电器等；按用途分有温度继电器、压力继电器、时间继电器等。

一、常用继电器型号命名方法

常用九种继电器的命名法见表 2.1.34。极化继电器的型号命名法见表 2.1.35。时间继电器和舌簧继电器的型号命名法见表 2.1.36。

表 2.1.34 直流电磁继电器等九种继电器的命名法

名称	基本型号					规格代号
	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分	第六部分
	主称	形状特征	短线	序号	防护特征	
直流电磁继电器：微功率	JW(继微)	W(微型)	—	序号	F(封闭式) M(密封式)	
小功率	JR(继弱)	C(超小型)	—	序号		
中功率	JZ(继中)	X(小型)	—	序号		
大功率	JQ(继强)		—	序号		
交流电磁继电器	JL(继流)		—	序号		
高频继电器	JP(继频)		—	序号		
磁电继电器	JC(继磁)		—	序号		
热继电器：温度继电器	JU(继温)		—	序号		
电热继电器	JE(继热)		—	序号		
谐振继电器	JN(继振)		—	序号		
振动继电器	JD(继动)		—	序号		
脉冲继电器	JM(继脉)		—	序号		
特种继电器	JT(继特)		—	序号		

注：交直流两用的电磁继电器归入直流电磁继电器类编制型号。

表 2.1.35 极化继电器的型号命名法

名称	基本型号				规格代号
	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
	主称	形状特征	短线	序号	
极化继电器	JH(继化)	W(微型)	—	序号	
二位置		C(超小型)	—	序号后加 E	
三位置		X(小型)	—	序号后加 S	
二位置偏右			—	序号后加 Y	
二位置偏左			—	序号后加 Z	

表 2.1.36 时间继电器和舌簧继电器的型号命名法

名称	基本型号				规格代号
	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
	主称	类别	短线	序号	
时间继电器	JS(继时)	J(机械装置) D(电动机式)	—	序号	
舌簧继电器	JA(继簧)	G(干式)	—	序号	
		S(水银湿式)	—	序号	
		T(铁氧体永磁式)	—	序号	

二、常用继电器的特性数据



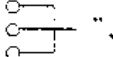
1. 主要参数说明

(1) 电源 交流，直流，交直流两用。

(2) 额定电压 (电流) 指继电器可靠工作的电压 (电流)。

(3) 吸合电压 (电流)。

(4) 释放电压 (电流)。

(5) 触点形式 H 表示常开触点 “”, D 表示常闭触点 “”, Z 表示转换触点 “”, 代号中的数字表示触点组数, 如 2H1D 表示两对常开触点, 一对常闭触点。

(6) 触点负荷 既要考虑流过触点的电流, 又要考虑断开时加于触点两端的电压。如 220V × 1A。

2. 常用继电器特性数据

小型灵敏继电器特性数据见表 2.1.37。JRX-11 型及 JRX-13F、JWX-1 型电磁继电器特性数据见表 2.1.38。JRX-4 型电磁继电器特性数据见表 2.1.39。常用继电器特性数据见表 2.1.40。小型通用电磁继电器特性数据见表 2.1.41。超小型电磁继电器特性数据见表 2.1.42。干簧继电器特性数据见表 2.1.43。

表 2.1.37 小型灵敏继电器特性数据

型号	规格代号	直流电阻 /($\Omega \pm 10\%$)	吸合电流 /mA	额定电压 直流/V	释放电流 /mA	消耗功率 /W	触点负荷	触点形式
JQX-4			≤ 20	12				2Z
JQX-4F	SRM4.500.092	110	≤ 10	6	≥ 8	≤ 0.5	220V × 3A (交流)	4H, 1Z2H
	SRM4.500.093	450	≤ 20	12				2Z
	SRM4.500.094	1800	≤ 10	24	≥ 2			(有罩)
	SRM4.500.095	7200	≤ 5	48	≥ 1			
JR-4 型	SRM4.500.000	1000	≤ 9	18	≥ 4.5	≤ 0.2	220V × 1A (交流)	1Z
	SRM4.500.001	1500	≤ 7.2	24	≥ 3.6			
	SRM4.500.002	2000	≤ 6	24	≥ 3			
12I 型	SRM4.500.003	3500	≤ 1.8	36	≥ 2.4			
	SRM4.500.004	5500	≤ 4	48	≥ 2			
	SRM4.500.005	8700	≤ 3	60	≥ 1.5			
	SRM4.500.006	3500	≤ 7.2	36	≥ 3.6			

表 2.1.38 电磁继电器特性数据

JRX-11 型电磁继电器										
规格代号	直流电阻 /($\Omega \pm 10\%$)	吸合电流 /mA	额定电压 /V	消耗功率 /W	触点负荷 (阻性)	触点形式 (H, D, Z)	外形尺寸 /mm			
SRM4.500.024	220	≤ 45	18	≤ 1.3	12V × 0.5A (直流)	2H1Z	43 × 22 × 40			
SRM4.500.025	1640	≤ 6	18			2H				
SRM4.500.026	960	≤ 9	18			1Z				
SRM4.500.027	145	≤ 45	12			2Z				
JRX-13F 型和 JWX-1 型电磁继电器										
型号	规格代号	直流电阻 /($\Omega \pm 10\%$)	吸合电流 /mA	额定电 压/V	线圈 圈数	释放电流 /mA	消耗功率 /W	触点负荷 (阻性)	触点 形式	外形尺寸 /mm
JRX-13F	SRM4.523.035	4600	≤ 6	48	17000		≤ 0.4	48V × 0.25A (直流)	2Z	35 × 20 × 26
	SRM4.523.036	700	≤ 13	18	6500					
	SRM4.523.037	300	≤ 20	12	4300					
	SRM4.523.038	1200	≤ 9.5	24	8500	3				
JWX-1	LDR4.523.051	4000	$3 \pm 10\%$		10000	$1.6 \pm 10\%$	≤ 0.2	5V × 0.7A (直流)	1Z	28 × 22 × 17
	LDR4.523.052	3000	$5 \pm 10\%$		8000	$3.5 \pm 10\%$				
	LDR4.523.053	1000	$8 \pm 10\%$		5200	$5.6 \pm 10\%$				

表 2.1.39 JRX-4 型电磁继电器特性数据

规格代号	直流电阻 ($\Omega \pm 10\%$)	电 参 数			触点负荷 (阻性)	触点形式 H 常开 D 常闭 Z 转换	消耗功率 /W
		吸合电流 /mA	释放电流 /mA	吸合电压 /V			
SRM4.523.000	525	≤ 26			28V × 1A (直流)	2H	≤ 1.2
SRM4.523.001	750			≤ 22			
SRM4.523.003	750	≤ 25	≥ 5				
SRM4.523.004	750	≤ 24					
SRM4.523.008	140			≤ 10			
SRM4.523.010	750	≤ 24			28V × 1A (直流)	1H1D	
SRM4.523.013	750	≤ 25	≥ 5				
SRM4.523.018	525			≤ 18			
SRM4.523.019	100	≤ 60					
SRM4.523.034	140			≤ 10			
SRM4.523.020	750	≤ 24			2D		
SRM4.523.022	525			≤ 18			

表 2.1.40 常用继电器特性数据

型号	名称	额定电压/V	吸合电压/V	释放电压/V	触点负荷	绕组电阻/ Ω	触点形式
JRW-1M	微型密封继电器	12 (直流)	9 (直流)	1 (直流)	24V × 0.5A (直流)	270	2 × 2
JRC-5M	超小型密封继电器	12 (直流)	≤ 9 (直流)	≥ 1 (直流)	270V × 1A (直流)	850 ± 15%	2 × 2
JRX-14	小型小功率继电器	27 1A ± 10%	≤ 18 (直流) ≥ 650 950mA		28V × 0.5A (直流)	320 ± 10%	1 × 2
JRX-23M	高灵敏密封继电器	27 (直流)	2.5mA (直流)	0.8mA (直流)	27V × 2A (直流)	8000 ± 10%	2 × 2
JP-4	高频直流电磁继电器	24 (直流)	10.5 (直流)	2.5 (直流)	30V × 6A (直流)	150 ± 10%	1 × 2
JN-1	谐振继电器	10 (交流)	5 (交流)		30V × 10mA	500 ± 15%	
JMC-1M	磁保持密封脉冲继电器	脉冲电压 27	1 脉冲宽度 20ms	转换电压 ≤ 20 转换时间 < 20ms	28V × 3A (直流)	2600 ± 10%	2 × 2
JT-5	高压继电器	27 (直流)	吸合时间 ≤ 25 ms	释放时间 ≤ 15 ms	断开触点间抗 电强度 20kV (直流)		

表 2.1.41 小型通用电磁继电器特性数据

类别		小型通用电磁继电器		
		JQ-3 型	JQX-10F 型	JTX 系列
使用条件	环境温度/°C	-50 ~ +50	-40 ~ +55	-50 ~ +50
	相对湿度	98% (40°C 时)	98% (40°C 时)	85% (25°C 时)
	大气压力 (× 133Pa)	750 ± 30	750 ± 30	680
电源		直 流 或 交 流		
额定电压/V		直流: 6, 12, 24, 48, 60, 110, 220 交流: 6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 127, 220, 380		
吸合电压		额定电压的 75% (直流), 85% (交流)		
消耗功率		≤ 3 W (直流) ≤ 5 VA (交流)	≤ 2 W ≤ 3.5 VA	≤ 1 W ≤ 2.5 VA

续表

类别	小型通用电磁继电器		
	JQ-3型	JQX-10F型	JTX系列
绝缘电阻/MΩ	1000	100	100
抗电强度(加电1min)/V	1000	1000	1500
触点形式	2Z或3Z	2Z	2Z或3Z
触点负荷(阻性)	220V×5A(交流) 220V×0.5A(直流)	127V×8A 28V×10A	220V×7.5A 220V×1A
寿命/万次	10	10	10
重量/g	≤100	≤95	≤103
外形尺寸/mm	38.5×38.5×70	35×35×68	34.5×34.5×67
引脚图			

表 2.1.42 超小型电磁继电器特性数据

名称	型号规格	线圈电阻 /(Ω±10%)	电 参 数			触点负荷	电路图
			额定电压 /V DC	吸合电压 /V DC	释放电压 /V DC		
超小型 小功率 电磁继电器	JRC-21F (HG4100)					24V DC 1A	
	003	25	3	2.25	0.3		
	006	100	6	4.5	0.6		
	009	220	9	6.75	0.9		
	012	400	12	9	1.2		
	024	1600	24	18	2.4		
	JRC-22F (HG 4102)					24V DC, 1A 110V AC, 0.5A 或 低电平 30mV DC10mA	
	002	5	1.5	1.05			
	003	20	3	2.1			
	005	56	5	3.5			
	006	80	6	4.2			
	009	180	9	6.3			
	012	320	12	8.4			
	024	1280	24	16.8			
超小型 中功率 电磁继电器	JZC-22FA (HG4123)					28V DC, 10A 220V AC, 3A	
	005	70	5	4	0.5		
	006	100	6	4.8	0.6		
	009	220	9	7.2	0.9		
	012	400	12	9.6	1.2		
	024	1600	24	19.2	2.4		
	JZC-21FB (HG4130)					28V DC 10A 220V AC 3A	
	003	25	3	2.25	0.36		
	005	70	5	3.75	0.6		
	006	100	6	4.5	0.72		
	009	225	9	6.75	1.03		
	012	400	12	9	1.44		
	024	1600	24	18	2.88		
	048	6400	48	36	5.76		

第二章 集成电路及其应用

第一节 半导体集成电路的种类

一、半导体集成电路的分类

按制造工艺的不同，集成电路分为半导体集成电路、薄膜集成电路、厚膜集成电路和混合集成电路等。其中发展最快、品种最多，产量最大、应用最广的是半导体集成电路。

半导体集成电路的分类方法基本上有三种，按功能、有源器件和集成度分，见表 2.2.1。

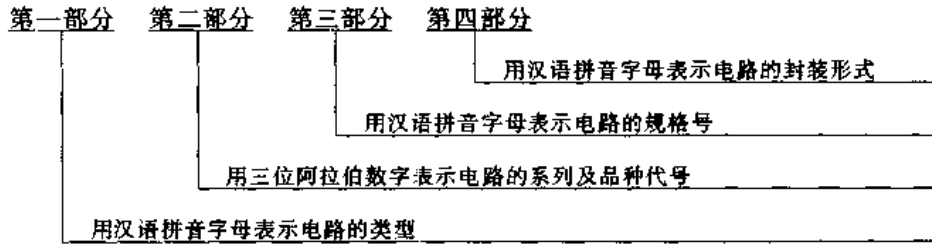
表 2.2.1 半导体集成电路分类

按功能分类	数字集成电路	门电路	“与”门、“或”门、“非”门、“与非”门、“或非”门、“与或非”门、“异或”门等
		触发器	R-S 触发器、J-K 触发器、D-触发器、锁存触发器等
		存储器	随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、移位寄存器等
		功能部件	译码器、数据选择器、磁心驱动器、半加器、全加器、奇偶校验器等
		微处理器	
	模拟集成电路	线性电路	直流运算放大器、通用运算放大器、音频放大器、宽频带放大器、高频放大器等
		非线性电路	电压比较器、直流稳压电源、读出放大器、模/数 (数/模) 变换器、模拟乘法器、可控硅触发器等
按有源器件分类	双极型	DTL: 二极管-晶体管逻辑电路 TTL: 晶体管-晶体管逻辑电路 HTL: 高抗干扰逻辑电路 ECL: 射极耦合逻辑电路 (又称 CML) FL: 集成注入逻辑电路 (又称合并晶体管逻辑电路 MTL)	
	MOS 型 (单极型)	PMOS: P 沟道增强型绝缘栅场效应管集成电路 NMOS: N 沟道增强型绝缘栅场效应管集成电路 CMOS: 互补对称型绝缘栅场效应管集成电路	
按集成度分类	小规模 (SSI)	1 ~ 10 个等效门/片, 10 ~ 100 个元件/片	
	中规模 (MSI)	10 ~ 100 个等效门/片, $10^2 \sim 10^3$ 个元件/片	
	大规模 (LSI)	大于 10^2 个等效门/片, 元件数在 10^3 个以上/片	
	超大规模 (VLSI)	元件数超过 10 万个以上 (ECL 超过 2 万以上) /片	

二、国产集成电路的型号命名方法

1. 半导体集成电路型号命名法

(1) 型号由四部分组成

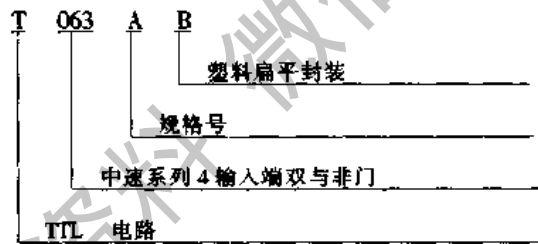


(2) 半导体集成电路型号标志符号 (见表 2.2.2)

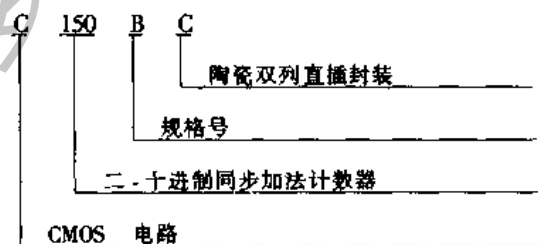
表 2.2.2 半导体集成电路型号标志符号

第1部分	电路类型	代号	T	H	E	I	P	N	C	F	W	D	J	
		意义	TTL	HTL	ECL	FL	PMOS	NMOS	CMOS	线性放大器	稳压器	电视、音响	接口电路	
第2部分	电路系列及品种序号	由3位数字表示 (001~999)												
第3部分	电路规格号	由字母表示电参数的分档 (A、B、C...)												
第4部分	电路封装	代号	A			B		C		D		Y		F
		意义	陶瓷扁平			塑料扁平		陶瓷双列		塑料双列		金属圆壳		F型

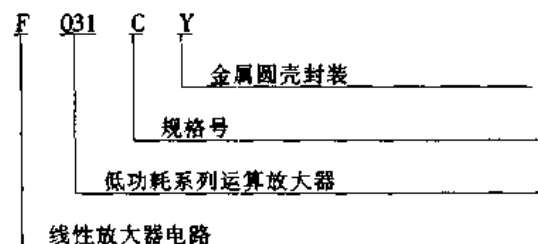
示例 1: TTL 中速 4 输入端双与非门



示例 2: CMOS 二-十进制同步加法计数器



示例 3: 低功耗运算放大器



2. 数字集成电路型号命名法 (见表 2.2.3)

表 2.2.3 数字集成电路型号命名法

型号组成部分	第一部分	第二部分	第三部分													
内容	用汉语拼音字母表示电路的类别	用汉语拼音字母表示电路的基本功能	用阿拉伯数字表示电路的逻辑功能													
符号及其意义	S 双极型数字电路 C 场效应数字电路	M 门电路 C 触发器 J 加法器 Z 存储器 I 寄存器 S 计数器 Y 译码器 L 逻辑电平转换电路 G 其他电路 ...		M	C	J	Z	I		S	Y	L	G	...		
								双极型	场效应							
			0	扩展器	RS								数码管			
			1	与	JK	半	半固定	串行输入- 串行输出	静态	二进位			T→E	指示灯 电路		
			2	非	T	全	固定	串行输入- 并行输出	动态	十进位			E→T	参考源 电路		
			3	与非	D	延迟 十进	随机	并行输入- 并行输出	不移位	十二 进位						
			4	或非	RSS			并行输入- 串行输出		十六 进位						
			5	与或非	双维组			通用		快速 进位						
			6	与或						环行 进位			六段			
			7	或						特殊 进位			七段			
8										八段						
9	其他															
型号组成部分	第四部分							第五部分	第六部分							
内容	用阿拉伯数字表示同一封装内同一逻辑功能电路的种类							用两位阿拉伯数字表示电路的品种序号	用汉语拼音字母表示电路的线路形式类型 (双极性) 或工艺结构 (场效应)							
符号及其意义		M	C	J	Z	I		S	Y	L	G	00~99 D DTL T TTL K TTL (抗饱和) E ECL H HTL N N型沟道 P P型沟道 H 互补型			
	0					双极型	场效应									
	1	单	单				100 位以上									
	2	双	双				2 位	24 位								
	3	三	三				3 位	32 位								
	4	四	四				4 位	48 位								
	5						5 位									
	6						6 位	64 位								
	7						7 位									
	8						8 位									
9						96 位										

举例说明。

SM3401T: S—双极型数字电路; 4—四个相同的门; M—门电路; 01—产品序号; 3—与非门; T—TTL 型电路。所以 SM3401T 是一个 TTL 型四与非门电路。

SC1202H 为 HTL 型双 JK 触发器。

3. 模拟集成电路型号命名法 (表 2.2.4)

表 2.2.4 模拟集成电路型号命名法

型号组成部分	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
内容	用汉语拼音字母表示电路的类别	用两个汉语拼音字母表示电路的基本功能	用两位阿拉伯数字表示同一功能电路的种类	用两位阿拉伯数字表示电路品种序号	用汉语拼音字母表示电路的工艺结构(场效应)
符 号 及 其 意 义	X 双极型线性电路 C 场效应线性电路	FS 视频放大器 FY 音频放大器 FZ 中频放大器 FG 高频放大器 FE 射频放大器 FC 差分放大器 FD 对数放大器 FM 脉冲放大器 FX 限幅放大器 FU 选频放大器 FL 调谐放大器 : BP 变频器 HP 混频器 ZJ 晶体振荡器 JB 检波器 WY 稳压器 TZ 调制器 JP 鉴频器 BJ 比较器 : :	00~99 (双极型) 0~9 (场效应)	00~99	N N型沟道 P P型沟道 H 互补型

第二节 通用数字集成电路索引

一、74 系列通用数字集成电路一览表

74 系列通用数字集成电路是国际上通用的标准电路, 一览表见表 2.2.5。

表 2.2.5 74 系列通用数字集成电路一览表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
与 非 门 及 反 相 器								
00	四 2 输入与非门	*	*	*	*	*	*	*
01	四 2 输入与非门(OC)	*				*	*	
03	四 2 输入与非门(OC)	*		*	*	*	*	
04	六反相器	*	*	*	*	*	*	*
05	六反相器(OC)	*	*		*	*	*	
10	三 3 输入与非门	*	*	*	*	*	*	*
12	三 3 输入与非门(OC)	*				*		
13	双 4 输入与非门(施密特触发)	*				*		
14	六反相器(施密特触发)	*				*	*	*
18	双 4 输入与非门(施密特触发)					*		
19	六反相器(施密特触发)					*		

续表

序号	名称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
与非门及反相器								
20	双4输入与非门	*	*	*	*	*	*	*
22	双4输入与非门(OC)	*	*		*	*	*	
24	四2输入与非门					*		
26	四2输入与非门(OC、高压输出)	*				*		
30	8输入与非门	*	*	*	*	*	*	*
133	13输入与非门				*	*	*	
134	12输入与非门(三态)				*	*		
或非门								
02	四2输入或非门	*		*	*	*	*	*
23	可扩展双4输入或非门(带选通端)	*						
25	双4输入或非门(带选通端)	*						
27	三3输入或非门	*				*	*	
36	四2输入或非门						*	
260	双5输入或非门				*	*		
与门								
08	四2输入与门	*			*	*	*	*
09	四2输入与门(OC)	*			*	*	*	
11	三3输入与门		*		*	*	*	
15	三3输入与门(OC)		*		*	*		
21	双4输入与门	*			*	*	*	
缓冲器、驱动器及总线收发器								
06	六反相缓冲器/驱动器(OC、高压输出)	*				*		
07	六缓冲器/驱动器(OC、高压输出)	*				*	*	
16	六反相缓冲器/驱动器(OC、高压输出)	*				*		
17	六缓冲器/驱动器(OC、高压输出)	*				*		
28	四2输入或非缓冲器	*				*		
33	四2输入或非缓冲器(OC)	*				*		
34	六缓冲器						*	
37	四2输入与非缓冲器	*			*	*		
38	四2输入与非缓冲器(OC)	*			*	*		
40	双4输入与非缓冲器	*	*		*	*		
125	四总线缓冲门(三态)	*				*	*	
126	四总线缓冲门(三态)	*				*	*	
128	双2输入或非门线驱动器(50Ω)	*						
140	双4输入与非门线驱动器(50Ω)		*		*	*		
226	4位并行锁存总线收发器				*			
240	八反相缓冲器/线驱动器/线接收器/(三态)				*	*	*	*
241	八缓冲器/线驱动器/线接收器(三态)				*	*	*	
242	四总线收发器(三态、反相)					*	*	
243	四总线收发器(三态、同相)					*	*	
244	八缓冲器/线驱动器/线接收器(三态)				*	*	*	*
245	八总线收发器(三态)					*	*	
340	八缓冲器/线驱动器				*			
341	八缓冲器/线驱动器				*			
344	八缓冲器/线驱动器				*			
365	六缓冲器/总线驱动器(三态、同相)	*				*	*	
366	六缓冲器/总线驱动器(三态、反相)	*				*	*	

续表

序号	名称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
缓冲器、驱动器及总线收发器								
367	六缓冲器/总线驱动器(三态、同相)	*				*	*	
368	六缓冲器/总线驱动器(三态、反相)	*				*	*	
425	四门总线缓冲器(三态)	*						
426	四门总线缓冲器(三态)	*						
428	8080A 用系统控制器和总线驱动器				*			
438	8080A 用系统控制器和总线驱动器				*			
440	四 3 向总线收发器(OC)					*		
441	四 3 向总线收发器(OC)					*		
442	四 3 向总线收发器(三态)					*		
443	四 3 向总线收发器(三态)					*		
444	四 3 向总线收发器(三态)					*		
448	四 3 向总线收发器(OC)					*		
465	八总线缓冲器(同相门控允许、三态)					*		
466	八总线缓冲器(反相门控允许、三态)					*		
467	八总线缓冲器(同相 4 线和 4 线允许、三态)					*		
468	八总线缓冲器(反相 4 线和 4 线允许、三态)					*		
540	八缓冲器/总线驱动器(三态、反相)					*	*	
541	八缓冲器/总线驱动器(三态、同相)					*	*	
620	八总线收发器(三态)					*	*	
621	八总线收发器(OC)					*	*	
622	八总线收发器(OC)					*	*	
623	八总线收发器(三态)					*	*	
638	八总线收发器(OC/三态、反相)					*	*	
639	八总线收发器(OC/三态、同相)					*	*	
640	八总线收发器(三态、反相)					*	*	
641	八总线收发器(OC、同相)					*	*	
642	八总线收发器(OC、反相)					*	*	
643	八总线收发器(三态、单反相)					*	*	
644	八总线收发器(OC、单反相)					*	*	
645	八总线收发器(三态、同相)					*	*	
646	八总线收发器(三态、同相)					*	*	
648	八总线收发器(三态、反相)					*	*	
795	八总线缓冲器(同相门控允许)					*	*	
796	八总线缓冲器(反相门控允许)					*	*	
797	八总线缓冲器(同相 4 线和 4 线允许)					*	*	
798	八总线缓冲器(反相 4 线和 4 线允许)					*	*	
827	十缓冲器(三态)				*			
或 门								
32	四 2 输入或门	*			*	*	*	*
与 或 非 门								
50	二 2 输入双与或非门	*	*					*
51	2 输入/3 输入双与或非门		*	*		*	*	
52	四组输入与或门(可扩展)		*					
53	四组输入与或非门(可扩展)	*						
54	四组输入与或非门			*		*		
55	二组 4 输入与或非门			*		*		
58	2 输入/3 输入双与或门						*	

续表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
与 或 非 门								
64	4/2/3/2 输入与或非门(图腾柱)				*			
65	4/2/3/2 输入与或非门(OC)				*			
扩 展 器								
60	双 4 输入扩展器	*	*					
61	三 3 输入扩展器		*					
62	四组输入与或扩展器		*					
触 发 器								
70	与输入 J-K 正沿触发器(带预置和清除端)	*						
71	与或输入 J-K 主从触发器(带预置端)		*					
71	与输入 R-S 主从触发器(带预置和清除端)			*				
72	与输入 J-K 主从触发器(带预置和清除端)	*	*	*				
73	双 J-K 触发器(带清除端)	*	*	*		*	*	*
74	双 D 型正沿触发器(带预置和清除端)	*	*	*	*	*	*	*
76	双 J-K 触发器(带预置和清除端)	*	*			*	*	*
78	双 J-K 负沿触发器(带预置、公共清除和公共时钟端)					*	*	
101	与或输入 J-K 负沿触发器(带预置端)		*					
102	与输入 J-K 负沿触发器(带预置和清除端)		*					
103	双 J-K 负沿触发器(带清除端)		*					
106	双 J-K 负沿触发器(带预置和清除端)		*					
107	双 J-K 触发器(带清除端)	*				*	*	*
108	双 J-K 负沿触发器(带预置、公共清除和公共时钟端)		*					
109	双 J-K 正沿触发器(带预置和清除端)	*				*	*	
110	与输入 J-K 主从触发器(带数据锁定)	*						
111	双 J-K 主从触发器(带数据锁定)	*						
112	双 J-K 负沿触发器(带预置和清除端)				*	*	*	
113	双 J-K 负沿触发器(带预置端)				*	*	*	
114	双 J-K 负沿触发器(带预置、公共清除和公共时钟端)				*	*	*	
121	单稳多谐振荡器	*		*				
122	可再触发单稳多谐振荡器	*		*		*		
123	双可再触发单稳多谐振荡器	*		*		*	*	
132	四 2 输入与非施密特触发器	*			*	*	*	
174	六 D 型触发器(带清除端)	*			*	*	*	*
175	四 D 型触发器(带清除端)	*			*	*	*	*
221	双单稳态多谐振荡器(有施密特触发器)	*			*	*	*	*
273	八 D 型触发器(带清除端)	*			*	*	*	
276	四 J-K 触发器							
364	八 D 触发器(三态)					*	*	
374	八 D 触发器(三态)				*	*	*	*
376	四 J-K 触发器	*						
377	八 D 触发器				*	*	*	
378	六 D 触发器				*	*	*	
379	四 D 触发器				*	*	*	
422	可再触发单稳态多谐振荡器(带清除)					*	*	
423	双可再触发单稳态多谐振荡器(带清除)					*	*	
534	八 D 触发器(三态、反相)				*	*	*	
564	八 D 触发器(三态、反相)					*	*	
574	八 D 触发器(三态)					*	*	

续表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
运 算 器								
80	门输入全加器	*						
82	2位二进制全加器	*						
83	4位二进制全加器(带超前进位)	*				*	*	*
85	4位幅度比较器	*			*	*	*	*
86	四2输入异或门					*	*	*
87	4位二进制原码/反码、0/1电路		*					
97	同步6位二进制系数乘法器	*						
135	四异或/异或非门				*			
136	四2输入异或门(OC)	*				*		
167	BCD同步系数乘法器	*						
180	9位奇偶数发生器/校验器	*					*	
181	算术逻辑单元/功能发生器	*			*	*	*	*
182	超前进位发生器	*			*	*	*	*
183	双进位保存全加器		*			*	*	*
261	2×4位并行二进制乘法器					*	*	*
266	四2输入异或非门(OC)					*	*	*
274	4×4位二进制乘法器(三态)				*			
275	7位片瓦拉斯树形乘法器(三态)				*	*	*	*
280	9位奇偶数产生器/校验器				*	*	*	*
281	4位并行二进制累加器				*	*	*	*
283	4位二进制全加器(带超前进位)	*			*	*	*	*
284	4×4位并行二进制乘法器(产生高位积)	*						
285	4×4位并行二进制乘法器(产生低位积)	*						
381	算术逻辑单元/功能发生器(8个功能)				*	*	*	*
382	算术逻辑单元/功能发生器(8个功能)					*	*	*
384	8位×1位 ² 的补码乘法器					*	*	*
385	四串行加法器/减法器					*	*	*
386	四2输入异或门					*	*	*
521	8位数比较器(等值检测器)					*	*	*
583	4位全加器(带超前进位)						*	*
681	4位并行二进制累加器					*		
686	8位量值比较器(图腾柱)					*		
687	8位量值比较器(OC)					*		
688	8位数比较器/等值检测器(图腾柱)					*	*	*
689	8位数比较器/等值检测器(OC)					*		
寄 存 器 及 移 位 寄 存 器								
75	4位双稳态D型锁存器	*		*		*	*	*
77	4位双稳态锁存器					*	*	*
91	8位移位寄存器	*		*		*	*	*
94	4位移位寄存器	*						
95	4位并行存取移位寄存器	*				*	*	*
96	5位移位寄存器	*		*		*	*	*
100	8位双稳锁存器	*						
116	双4位锁存器	*						
164	8位移位寄存器(串入并出)	*		*		*	*	*
165	8位移位寄存器(并入、互补串出)	*				*	*	*
166	8位移位寄存器(串、并入串出)	*				*	*	*
170	4×4寄存器阵(OC)	*				*		
172	16位多路寄存器阵(三态)	*						

续表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
寄 存 器 及 移 位 寄 存 器								
173	4位D型寄存器(三态)	*				*	*	*
178	4位并行存取移位寄存器	*						
179	4位并行存取移位寄存器	*						
194	4位双向通用移位寄存器	*			*	*	*	
195	4位并行存取移位寄存器	*			*	*	*	*
198	8位移位寄存器	*						
199	8位移位寄存器	*						
256	双4位可寻址锁存器					*		
259	8位可寻址锁存器	*				*	*	
278	4位级联优先寄存器(输出可控)	*						
279	四R-S锁存器	*				*	*	
295	4位双向通用移位寄存器(三态)							
299	8位通用移位/存贮寄存器				*	*	*	
322	带符号扩展的8位移位寄存器				*	*	*	
323	8位双向通用移位/存贮寄存器				*	*	*	
363	八D锁存器(三态)					*	*	
373	八D锁存器(三态)				*	*	*	*
375	4位双稳态D型锁存器					*	*	
395	4位可级联移位寄存器(三态)					*	*	
396	8位存贮寄存器					*	*	
412	多模式缓冲锁存器				*			
533	八D锁存器(三态、反相)				*	*	*	
563	八D锁存器(三态、反相)				*	*	*	
573	八D锁存器(三态)					*	*	
589	8位输入锁存串行输出移位寄存器(三态)						*	
595	8位输出锁存移位寄存器(三态串入并出)					*	*	
597	8位输入锁存移位寄存器(三态、并入串出)					*	*	
670	4×4寄存器阵(OC)					*	*	
673	16位串行输入/输出移位寄存器					*	*	
674	16位并入串出移位寄存器					*	*	
优 先 编 码 器								
147	10线十进制-4线BCD优先编码器	*				*	*	
148	8-3线优先编码器	*				*	*	
149	8-8线优先编码器						*	
348	8-3线优先编码器(三态)					*		
数 据 选 择 器								
150	16选1数据选择器(反相)	*					*	*
151	8选1数据选择器	*			*	*	*	*
152	8选1数据选择器	*				*	*	*
153	双4选1数据选择器	*		*	*	*	*	*
157	四2选1数据选择器(同相)	*		*	*	*	*	*
158	四2选1数据选择器(反相)				*	*	*	*
251	8选1数据选择器(三态)	*			*	*	*	*
253	双4选1数据选择器(三态)				*	*	*	*
257	四2选1数据选择器(三态、同相)				*	*	*	*
258	四2选1数据选择器(三态、反相)				*	*	*	*
298	4位2选1数据选择器(寄存器输出)	*				*	*	
351	双8选1数据选择器(三态)	*						

续表

序号	名称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
数 码 选 择 器								
352	双 4 选 1 数据选择器(反相)					*	*	
353	双 4 选 1 数据选择器(三态、反相)					*	*	
354	8 选 1 数据选择器(三态、带地址锁存)					*	*	
356	8 选 1 数据选择器(三态、带地址锁存)					*	*	
398	4 位 2 选 1 数据选择器(双端输出)				*	*		
399	4 位 2 选 1 数据选择器(单端输出)				*	*		
译 码 器								
42	BCD-十进制译码器	*		*		*	*	*
43	余 3 码-十进制译码器	*		*				
44	余 3 格雷码-十进制译码器	*		*				
45	BCD-十进制译码器/驱动器	*						
46	BCD-七段译码器/驱动器(OC,30V)	*		*				
47	BCD-七段译码器/驱动器(OC,15V)	*		*		*		
48	BCD-七段译码器/驱动器	*				*		*
49	BCD-七段译码器/驱动器	*				*		
131	3—8 线译码器(带地址锁存)						*	
137	3—8 线译码器(带地址锁存)				*	*	*	
138	3—8 线译码器/多路转换器				*	*	*	
139	双 2—4 线译码器/多路转换器				*	*	*	
141	BCD-十进制译码器/驱动器	*						
145	BCD-十进制译码器/驱动器(OC)	*				*	*	
154	4—16 线译码器/多路分配器			*		*	*	*
155	双 2—4 线译码器/多路分配器(图腾柱)	*				*	*	
156	双 2—4 线译码器/多路分配器(OC)	*				*	*	
159	4—16 线译码器/多路分配器(OC)	*				*	*	
237	3—8 线译码器(带地址锁存)						*	
238	3—8 线译码器/多路分配器						*	
239	双 2—4 线译码器/多路分配器						*	
246	BCD-七段译码器/驱动器(30V)	*				*		
247	BCD-七段译码器/驱动器(15V)	*				*		
248	BCD-七段译码器/驱动器	*				*		
249	BCD-七段译码器/驱动器(OC)	*				*		
347	BCD-七段译码器/驱动器	*				*		
445	BCD-十进制译码器/驱动器(OC)	*				*		
447	BCD-七段译码器/驱动器	*				*		
537	BCD-十进制译码器(三态)					*		
538	3—8 线多路分配器(三态)					*		
计 数 器								
68	双十进制计数器	*						
90	十进制计数器	*		*		*		*
92	十二分频计数器	*				*	*	
93	4 位二进制计数器	*		*		*	*	*
160	同步十进制计数器(直接清除)	*			*	*	*	*
161	同步 4 位二进制计数器(直接清除)	*			*	*	*	*
162	同步十进制计数器(同步清除)	*			*	*	*	*
163	同步 4 位二进制计数器(同步清除)	*			*	*	*	*
168	可预置十进制同步可逆计数器				*	*		
169	可预置二进制同步可逆计数器				*	*		

续表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
计 数 器								
176	可预置十进制计数器	*						
177	可预置二进制计数器	*						
190	可预置 BCD 十进制同步可逆计数器(带方式控制)	*				*	*	
191	可预置 4 位二进制同步可逆计数器(带方式控制)	*				*	*	
192	可预置 BCD 十进制同步可逆计数器(双时钟带清除)	*		*		*	*	*
193	可预置 4 位二进制同步可逆计数器(双时钟带清除)	*		*		*	*	*
196	可预置十进制计数器	*			*	*		
197	可预置二进制计数器	*			*	*		
290	十进制计数器	*				*		
293	4 位二进制计数器	*				*	*	
390	双 4 位十进制计数器	*				*	*	
393	双 4 位二进制计数器(异步清除)	*				*	*	
490	双 4 位十进制计数器	*				*	*	
568	可预置十进制同步可逆计数器(三态)					*	*	
569	可预置二进制同步可逆计数器(三态)					*	*	
668	十进制同步可逆计数器					*	*	
669	二进制同步可逆计数器					*	*	
690	可预置十进制同步计数器/寄存器(直接清除、三态)					*	*	
691	可预置二进制同步计数器/寄存器(直接清除、三态)					*	*	
692	可预置十进制同步计数器/寄存器(同步清除、三态)					*	*	
693	可预置二进制同步计数器/寄存器(同步清除、三态)					*	*	
696	十进制同步可逆计数器(三态、直接清除)					*	*	
697	二进制同步可逆计数器(三态、直接清除)					*	*	
698	十进制同步可逆计数器(三态、同步清除)					*	*	
699	二进制同步可逆计数器(三态、同步清除)					*	*	
锁 相 环 及 压 控 振 荡 器								
124	双压控振荡器				*	*		
297	数字式锁相环滤波器					*	*	
320	晶体控制振荡器					*		
321	晶体控制振荡器					*		
324	压控振荡器(双相输出、允许控制)					*		
325	双压控振荡器(双相输出)					*		
326	双压控振荡器(双相输出、允许控制)					*		
327	双压控振荡器(单相输出)					*		
362	四相时钟发生器/驱动器					*		
424	二相时钟发生器/驱动器					*		
624	压控振荡器(双相输出、允许控制)					*		
625	双压控振荡器(双相输出)					*		
626	双压控振荡器(双相输出、允许控制)					*		
627	双压控振荡器(单相输出)					*		
628	压控振荡器(双相输出、允许控制)					*		
629	双压控振荡器(单相输出、允许控制)					*		
其 他								
31	延时单元					*		
63	六电流读出接口门					*		
120	脉冲同步器/驱动器	*						
142	BCD 计数器 4 位锁存器/BCD 译码器/驱动器	*						
143	4 位计数器、锁存器、七段发光二极管/灯驱动器	*						
144	4 位计数器、锁存器、七段发光二极管/灯驱动器(OC)	*						
184	BCD-二进制转换器	*						
185	二进制-BCD 转换器	*						
265	四互补输出电路	*						

续表

序号	名 称	74	74H	74L	74S	74LS	74HC	74C
其 他								
292	可编程分频器/数字定时器(最大 2^{31})					*	*	
294	可编程分频器/数字定时器(最大 2^{15})					*	*	
942	300 波特调制解调器(双电源)						*	
943	300 波特调制解调器(单电源)						*	

二、4000 系列通用数字集成电路一览表

目前国际上 4000 系列通用数字电路,主要有 CD4000 系列和 MC14500 系列(即 4500 系列)。4000 系列通用数字集成电路一览表见表 2.2.6。

表 2.2.6 4000 系列通用数字集成电路一览表

序号	名 称	4000	74HC
与 非 门 及 反 相 器			
4007	双互补对加反相器	*	
4011	四 2 输入与非门	*	
4012	双 4 输入与非门	*	
4023	三 3 输入与非门	*	
4068	8 输入与非/与门	*	
4069	六反相器	*	
4093	四 2 输入与非施密特触发器	*	
40106	六施密特触发器(反相)	*	
4501	双 4 输入与非门、2 输入或/或非门	*	
4572	六门(四反相器/2 输入或非门/2 输入与非门)	*	
4584	六施密特触发器(反相)	*	
或 非 门、或 门、异 或 门			
4000	双 3 输入或非门加 1 输入反相器	*	
4001	四 2 输入或非门	*	
4002	双 4 输入或非门	*	*
4025	三 3 输入或非门	*	
4030	四异或门	*	
4070	四异或门	*	
4071	四 2 输入或门	*	
4072	双 4 输入或门	*	
4075	三 3 输入或门	*	
4077	四异或非门	*	
4078	8 输入或非/或门	*	
4085	双 2 路 2 输入与或非门	*	
4086	四 2 输入与或非门	*	
4506	双 2 输入可扩展或非门	*	
与 门、多 功 能 门			
4048	8 输入多功能门(三态、可扩展)	*	
4068	8 输入与非/与门	*	
4073	三 3 输入与门	*	
4081	四 2 输入与门	*	
4082	双 4 输入与门	*	
缓 冲 器、驱 动 器			
4009	六缓冲器/电平变换器(反相)	*	
4010	六缓冲器/电平变换器(同相)	*	

续表

序号	名 称	4000	74HC
缓 冲 器、 驱 动 器			
4041	四同相/反相缓冲器	*	
4049	六缓冲器/电平变换器(反相)	*	*
4050	六缓冲器/电平变换器(同相)	*	*
4054	四段液晶显示驱动器	*	
4055	BCD-七段译码器/液晶显示驱动器(有显示频率输出)	*	
4056	BCD-七段译码器/液晶显示驱动器(有锁存功能)	*	
40107	双2输入与非缓冲器/驱动器(三态)	*	
40109	四电平变换器	*	
40110	十进制可逆计数/锁存/七段译码/驱动器	*	
4502	六反相器/缓冲器(三态、带选通端)	*	
4503	六缓冲器(三态)	*	
4504	六电平变换器	*	
4511	BCD-锁存/七段译码/驱动器	*	
4513	BCD-锁存/七段译码/驱动器	*	
4543	BCD-锁存/七段译码/驱动器	*	*
4544	BCD-锁存/七段译码/驱动器	*	
4547	BCD-七段译码/大电流驱动器	*	
触 发 器			
4013	双D型触发器(带预置和清除端)	*	
4027	双J-K主从触发器(带置位和复位端)	*	
4047	无稳态/单稳态多谐振荡器	*	
4093	四2输入与非施密特触发器	*	
4095	3输入J-K触发器(带置位和复位端)	*	
4096	3输入J-K触发器(带置位和复位端)	*	
4098	双可再触发单稳态触发器(带清除端)	*	
40106	六施密特触发器(反相)	*	
40174	六D型触发器	*	
40175	四D型触发器	*	
4528	双可再触发单稳态触发器(带清除端)	*	
4538	双精密可再触发单稳态触发器(带清除端)	*	
4583	双施密特触发器	*	
4584	六施密特触发器(反相)	*	
运 算 器			
4008	4位二进制超前进位全加器	*	
4032	三串行加法器(同相)	*	
4038	三串行加法器(反相)	*	
4063	4位数值比较器	*	
4069	二进制系数乘法器	*	
40101	9位奇偶发生器/校验器	*	
40181	4位算术逻辑单元	*	
40182	超前进位发生器	*	
4530	双5输入过半数逻辑门	*	
4531	12位奇偶校验器	*	
4554	2×2位并行二进制乘法器	*	
4560	NBCD加法器	*	
4561	"9"求补器	*	
4581	4位运算逻辑单元	*	
4582	超前进位电路	*	
4585	4位数值比较器	*	

续表

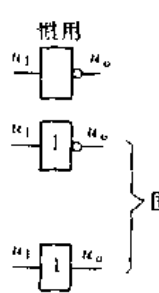
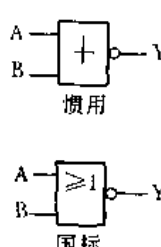
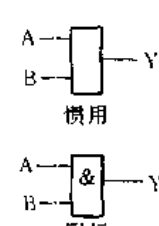
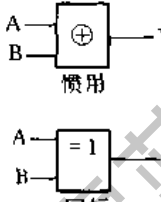
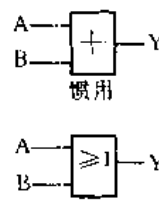
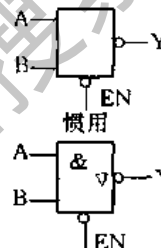
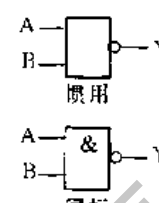
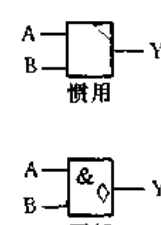
序号	名 称	4000	74HC
寄 存 器、锁 存 器			
4006	18位串入串出静态移位寄存器		
4014	8位串入/并出-串出移位寄存器	*	
4015	双4位串入-并出移位寄存器	*	*
4021	异步并入/同步串入-串出8位静态移位寄存器	*	
4031	64位静态移位寄存器	*	
4034	8位通用总线寄存器	*	
4035	4位移位寄存器(并入/串入-并出/串出)	*	
4042	四D型锁存器	*	
4043	四或非R-S锁存器(三态)	*	
4044	四与非R-S锁存器(三态)	*	
4076	四D型寄存器(三态)	*	
4094	8位移位存储总线寄存器	*	
4099	8位可寻址锁存器	*	
40100	32位静态双向移位寄存器	*	
40104	4位通用双向移位寄存器	*	
40105	16×4先入先出寄存器(三态)	*	
40108	4×4多路寄存器(三态)	*	
40194	4位双向通用移位寄存器	*	
40195	4位静态移位寄存器(并入/串入-并出/串出)	*	
4508	双4位锁存器	*	
4517	双64位静态移位寄存器	*	
4549	近似函数寄存器	*	
4557	1—64位可变长度移位寄存器	*	
4559	近似函数寄存器	*	
4562	128位静态移位寄存器	*	
4590	单4位锁存器	*	
4597	8位总线兼容锁存器(三态)	*	
4598	8位总线兼容锁存器(三态)	*	
4599	8位可寻址锁存器	*	
编 码 器、译 码 器			
4026	十进制计数/七段译码器	*	
4028	BCD-十进制译码器	*	
4033	十进制计数/七段译码器	*	
40147	10—4线BCD优先编码器	*	
4514	4位锁存/4—16线译码器(输出H)	*	
4515	4位锁存/4—16线译码器(输出L)	*	
4532	8位优先编码器	*	
4555	双二进制4选1译码器/分配器(输出H)	*	
4556	双二进制4选1译码器/分配器(输出L)	*	
4558	BCD-七段译码器		
数 据 选 择 器、模 拟 开 关			
4016	四双向模拟开关	*	*
4019	四2选1数据选择器	*	
4051	单8通道模拟开关	*	*
4052	双4通道模拟开关	*	*

续表

序号	名 称	4000	74HC
数 据 选 择 器、模 拟 开 关			
4053	三 2 通道模拟开关	*	*
4066	四双向模拟开关	*	
4067	单 16 通道模拟开关	*	
4097	双 8 通道模拟开关	*	
4512	8 选 1 数据选择器(三态)	*	
4519	四与/或选择器或四 2 选 1 选择器/四异或非门	*	
4529	双 4 通道/单 8 通道模拟数据开关	*	
4539	双 4 通道数据选择器	*	
4551	四 2 通道模拟开关	*	
计 数 器、分 频 器			
4017	十进制计数/分配器	*	*
4018	可预置 1/N 计数器	*	
4020	14 位二进制串行计数器	*	*
4022	八进制计数/分配器	*	
4024	7 位二进制串行计数器/分频器	*	*
4029	4 位可预置二进制/十进制可逆计数器	*	
4040	12 位二进制串行计数器/分频器	*	*
4045	21 位计数器	*	
4059	1/N 计数器	*	
4060	14 位二进制串行计数器/分频器	*	
40102	可预置 2 位十进制减法计数器	*	
40103	可预置 8 位二进制减法计数器	*	
40160	可预置十进制计数器(直接清除)	*	
40161	可预置 4 位二进制计数器(直接清除)	*	
40162	可预置十进制计数器(同步清除)	*	
40163	可预置 4 位二进制计数器(同步清除)	*	
40192	可预置十进制可逆计数器(双时钟)	*	
40193	可预置二进制可逆计数器(双时钟)	*	
4510	可预置 BCD 可逆计数器(单时钟)	*	
4516	可预置二进制可逆计数器(单时钟)	*	
4518	双 BCD 同步加计数器	*	*
4520	双 4 位二进制同步加计数器	*	
4521	24 级分频器	*	
4522	可预置十进制同步 1/N 减计数器	*	
4526	可预置 4 位二进制同步 1/N 减计数器	*	
4534	实时五、十进制计数器	*	
4553	三数字 BCD 计数器	*	
4568	相位比较器和可编程计数器	*	
4569	双可预置 BCD/二进制计数器	*	
锁 相 环、定 时 器			
4046	锁相环	*	*
4536	可编程定时器	*	
4541	可编程定时器	*	
4566	工业定时基准发生器	*	

第三节 常用数字集成电路简介

一、集成逻辑门电路

名称	符号及真值表	名称	符号及真值表																																				
非门	 $Y = \bar{A}$ <table border="1" data-bbox="542 448 686 582"> <tr><th>A</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	Y	0	1	1	0	或非门	 $Y = \overline{A+B}$ <table border="1" data-bbox="1181 403 1388 582"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0															
	A	Y																																					
0	1																																						
1	0																																						
A	B	Y																																					
0	0	1																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	0																																					
与门	 $Y = A \cdot B$ <table border="1" data-bbox="542 716 686 918"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	异或门	 $Y = A \oplus B$ <table border="1" data-bbox="1181 694 1388 873"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0						
	A	B	Y																																				
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	1	1																																					
A	B	Y																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	0																																					
或门	 $Y = A + B$ <table border="1" data-bbox="542 1008 686 1187"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	三态门	 <table border="1" data-bbox="1181 963 1388 1164"> <tr><th>EN</th><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td rowspan="4">1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>x</td><td>x</td><td>高阻</td></tr> </table>	EN	A	B	Y	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	x	x	高阻
	A	B	Y																																				
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
EN	A	B	Y																																				
1	0	0	1																																				
	0	1	1																																				
	1	0	1																																				
	1	1	0																																				
0	x	x	高阻																																				
与非门	 $Y = \overline{A \cdot B}$ <table border="1" data-bbox="542 1276 686 1456"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	OC门																						
	A	B	Y																																				
0	0	1																																					
0	1	1																																					
1	0	1																																					
1	1	0																																					

二、部分数字集成电路

名称	功能
集成模拟开关	模拟开关是用传输门(TG)来接通或断开模拟信号(也包括数字信号)的开关。它具有功耗低、速度快、体积小、无机械触点及使用寿命长等优点,因此在一定程度上可以用来代替继电器。它的缺点是导通电阻不够小(几十至几百欧),断开时仍有泄漏电流(约0.1μA),而且通过的电流不能过大(毫安级)
集成加法器	加法器的功能是执行二进制的加法,它是数字计算机中运算部分的主要单元,几种基本数字运算,如加、减、乘、除,都由它来完成。加法器有两种,其中只求和、进位而不考虑低位进位的称为半加器,它的求和真值表和异或门一致;另一种在求和时既考虑向高位的进位又考虑来自低位的进位,则称为全加器
集成编码器	编码就是将某一种信息用数码的形式来表示的方式。例如,十进制的9可用二进制1001表示,英文字母M可用国际标准化组织编制的二进制代码1101~1000来表示。实现上述编码功能的器件称为编码器。二进制编码器是最常用的编码器,它可用门电路组成

续表

名 称	功 能
集成译码器与数据分配器	<p>译码是编码的逆过程,即将输入的代码状态翻译成特定的信息。实现上述功能的逻辑电路称为译码器</p> <p>从功能分,译码器可归纳为两大类:</p> <p>① 变量和代码变换译码器,它的作用是将输入的若干个代码组合翻译成若干个输出端的状态。这种译码器也可用作数据的分配</p> <p>② 显示译码器,它的功能是将代码译成有关的数字、文字或图形。最常见的是将二进制代码译成十进制的数字,在数码管上显示出来</p>
集成数据选择器	<p>数据选择器又名多路转换器或多路开关,英文名字为 Multiplexor,简称为 MUX。其功能是从多个数据中选择所需要的一个数据。其作用与数据分配器恰好相反,也类似一个波段开关</p>
集成数值比较器	<p>数值比较器又名数码比较器、数字比较器。它的作用是比较两组二进制数码的大小或是否相等,经常用于计算机和控制系统中</p>
集成双稳态触发器	<p>双稳态触发器具有可以预先设置的两种稳定状态,即它的某一个输出端可以是高电平(正逻辑称之为1),也可以是低电平(正逻辑称之为0)。在无外界信号作用下,这个状态是稳定的,当外界信号到来之后,稳定状态将很快转化,即由0变为1,或由1变为0(这种现象称为触发),因此它具有记忆或存储信息的功能,是时序逻辑电路中的基本单元</p>
集成施密特触发器	<p>施密特触发器是依靠电平的高低来实现状态转换的触发器。当输入信号的电平高于某一阈值时,触发器的输出为某一个状态(0或1),当信号下降到另一个阈值时,触发器输出状态翻转为上述状态的“反”。基于这种功能,施密特触发器特别适用于将变化缓慢的波形变成前后沿很陡的波形,这种过程称为整形</p>
集成单稳态触发器	<p>单稳态触发器也有两个稳定状态,只是其中一个是暂时的,称为暂稳态。在无外界触发脉冲输入时,它处于一个稳态,可以持续任何长的时间。当有触发脉冲输入时,转换到另一个(暂)稳态,经过一定的时间(由外接元件参数确定)以后,又自动回至原来的稳态。这段时间称为暂稳态的持续时间、延迟时间或脉冲宽度</p>
集成寄存器和移位寄存器	<p>寄存器和移位寄存器都有接收、暂存和传送数据的功能,它们是数字系统中的一个重要部件。其不同之处在于后者还有移位的功能而前者则不具备</p>
集成计数器	<p>能起到记忆输入脉冲个数的单元称为计数器。它的用途广泛,除了上述功能外,还可以用于定时、分频、产生节拍脉冲及进行数字运算等,是数字系统中几乎不可缺少的一部分。它由触发器和门电路组成,有时还引入反馈</p>
集成存储器	<p>ROM 是英文 Read Only Memory 的缩写,通常译为只读存储器。它的功能是将二进制的数码按一定的要求存储起来,然后根据一定的规律选(读)出。数码一旦存(写)入,即不能更改,所以称为只读存储器。它所起的作用好比一张唱片,我们只能听到事先录制的节目,而每段节目可以按既定的顺序挑选</p> <p>EPROM 是 Erasable Programmable Read Only Memory 的缩写,通常译为可擦除可编程只读存储器、可擦除只读存储器或可改写只读存储器。它的功能是既可存入数码,又可根据需要将原来存入的数码擦除,重新存入新的数码。它所起的作用好比一盘录音或录像磁带</p> <p>EPROM 的优点是数据既可存入又可擦除,而且和 ROM 一样,不加电时数据仍可保存。缺点是擦除时间较长(约 15~20min),而且要有专用设备。最近问世的电可擦除只读存储器(EEPROM 或 E²PROM)在写时不需要升压,擦除所需的时间也很短(几十毫秒)</p> <p>RAM 是 Random Access Memory 的缩写,通常译为随机存取存储或读写存储器。它的功能是既能不破坏地读出所存的数码,又能随时写入新的数码。它有静态的和动态两种类型,前者的存储单元是以静态触发器为基础,后者是利用 MOS 管栅极的存储电荷效应组成的,工作时须不断补充泄漏的电荷</p>

三、专用集成电路 ASIC

ASIC (是 Application Specific Integrated Circuits 的缩写)既是大规模集成电路(通常将每个芯片内含有 100 个元件以下的集成电路称为小规模,100~1000 个元件的称为中规模,1000~10000 个元件的称为大规模,10000 个元件以上的称为超大规模),又能根据用户的需要实现指定的功能(通称为用户定制集成电路),因此颇受用

户欢迎。目前它在数字集成电路方面有三种类型，即：

- ① 门阵列 (Gated Array, 简称 GA);
- ② 标准单元 (Standard Cell, 简称 SC);
- ③ 可编程逻辑器件 (Programmable Logic Device, 简称 PLD)。

现分别简述如下。

1. 门阵列 GA

门阵列是由众多各自独立的门电路排列而成，其外围是缓冲电路，以便与外界联系，并可根据用户提出的要求进行布线和封装。

2. 标准单元 SC

标准单元的结构形式与 GA 基本相同，只是单元内部接线不是统一预制的，而是将事先设计好的各种成熟的、优化的、版图高度相同的单元电路存储在一个单元数据库中。

3. 可编程逻辑器件 PLD

它是一种由用户自己定义的、可编程的逻辑器件。目前的产品主要有以下四种：

- ① 可编程只读存储器 (Programmable Read Only Memory, 简称 PROM);
- ② 可编程逻辑阵列 (Programmable Logic Array, 简称 PLA);
- ③ 可编程阵列逻辑 (Programmable Array Logic, 简称 PAL);
- ④ 通用阵列逻辑 (Generic Array Logic, 简称 GAL)。

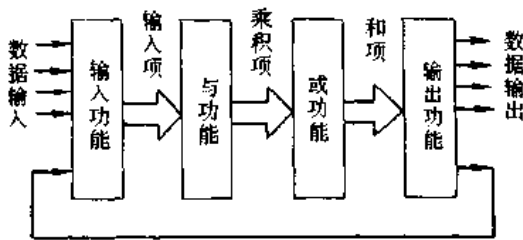


图 2.2.1 PLD 基本框图

它们都包含有一个与阵列和一个或阵列，可以实现与或逻辑（任意组合逻辑函数都可用与或形式表示），见图 2.2.1。它们的区别在于可编程的部分和输出形式的不同，见表 2.2.7。

表 2.2.7 四种 PLD 的比较

PLD 类型	阵 列		输 出
	与	或	
PROM	固定	可编程 (一次性)	三态, 开路集电极
PLA	可编程 (一次性)	可编程 (一次性)	三态, 开路集电极, 寄存器
PAL	可编程 (一次性)	固定	三态, I/O, 寄存器互补带反馈
GAL	可编程 (多次)	固定或可编程	输出逻辑宏单元, 组态由用户定义

四、集成定时器

定时器是一个能确定时间的单元，例如脉冲的重复时间、信号的延迟时间，因此，它可用于脉冲的产生和整形、波形的变换、延迟时间的确定及动作时间的控制等。

555 将模拟电路的运算放大器和数字电路的与非门（组成 RS 触发器）巧妙地集成在一块芯片上。由于双极型电路中包含有三个 $5k\Omega$ 的精密电阻，所以称之为 555。许多厂家生产的定时器，除前面的代号有所不同外，都标以 555 三个数字。556 则为一块集成块中有两个 555。CMOS 型为 CC7555 和 CC7556。

555 可接成双稳态施密特触发器，也可接成单稳态触发器，还可接成无稳态（多谐）振荡器，如图 2.2.2、图 2.2.3 和图 2.2.4。

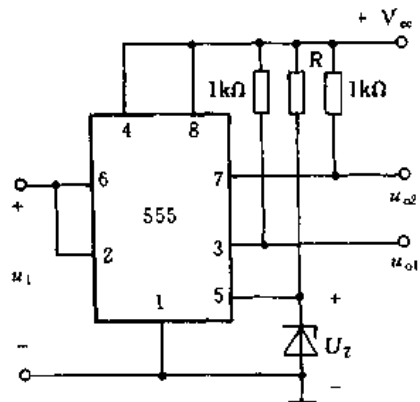


图 2.2.2 555 作为施密特触发器

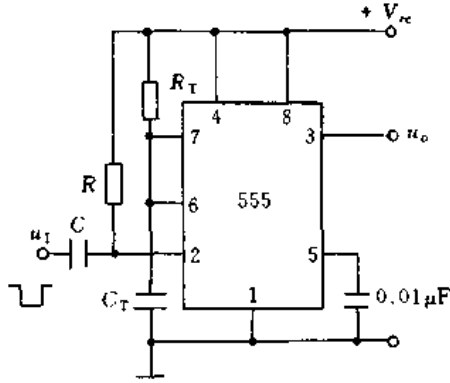


图 2.2.3 555 作为单稳态触发器

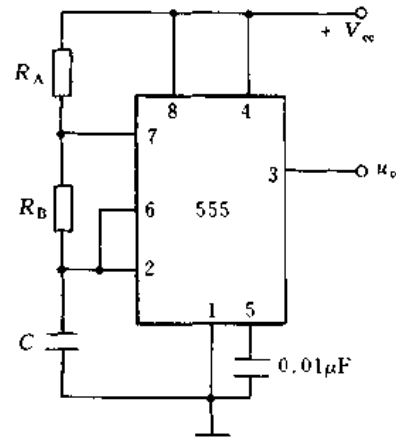


图 2.2.4 555 作为多谐振荡器

第四节 集成运算放大器

一、类型

运算放大器因用途不同有以下几种类型。

- (1) 通用型 其性能指标适合于一般性使用，产品量大面广，按产品问世先后及指标先进程度，又分 I、II 和 III 三种类型。I 型为早期制造的（如 CF702），III 型为第三代产品（如 CF741）。
- (2) 低功耗型 静态功耗在 1mW 左右。
- (3) 高精度型 失调电压温度系数在 1 μ V 左右。
- (4) 高速型 转换速率在 10V/ μ s 左右。
- (5) 高阻型 输入电阻在 10¹² Ω 左右。
- (6) 宽带型 带宽在 10MHz 左右。
- (7) 高压型 允许供电电压在 ± 30 V 左右。
- (8) 功率型 允许的供电电压较高（例如大于 15V），输出电流较大（例如大于 1A）。
- (9) 跨导型 输入量为电压，输出为电流。
- (10) 差动电流型 输入为差动电流，输出为电压。
- (11) 其他 如程控型、电压跟随型等。

二、常用国内外集成运算放大器型号对照

常用国内外集成运算放大器型号对照表见表 2.2.8。

表 2.2.8 常用国内外集成运算放大器型号对照表

名称	部标型号	国内旧型号	国外相应型号	备注
	F001	5G922、 7XC1、XT50、8FC1、 X50、4E314、FC31、 FC1、BG30		电性能与 F002 相同
通用 I 型	F002	4E315	702 CA: 3008、3015、3016、3030、3031、3032、3038 HA1301、LM702、M51702 MC: 1430、1431、1530、1531、1712 MIC712、PA7712、RC702、RM702 SA: 40、41、4041 SN: 52702、72702 TA7501 TAA: 241、242、243 TBA311 TL: 702、1702、2702 UC702、USB771239、 μ A702、 μ PC51	

续表

名称	部标型号	国内旧型号	国外相应型号	备注
通用Ⅱ型	F003	4E304、FC3、X51	μ A709、 μ PC55、LM709	电性能与 F005 相同
	F004	5G23	BE809	
	F005	XFC28FC2	709、800、801、809、811、819、2LD709、5B-7709/1-9 CA: 3022、3029、3037、3047 LM: 107、108、201、709 LTA709、M51709、MAA: 502、504、MB3602、MBA501 MC: 1433、1533、1537、1539、1709 MCC: 1709、MIC709、N5709 PA: 7709、7093、70933 RA: 909、2909、RC: 101、709、RM: 101、709、4131 SS709、SFC2709、SN: 52709、72709 T: 1709、2709、3709、4709、7709、8809 TA: 7050、7502M、251、TAA: 521、522、812、TL1709 TOA: 1709、1809、2709、2809、3709、4709、8709、7741 UC: 709、4101、UL709、ZLD709、 μ PC: 51、71	
	其他	4E320、X52、 8FC2、7XC2、 XFC3、SC006、 BG305、FC52、FC3		
高速型	F050	4E502、XFC-1	MA772	
	F051		μ A772	
	F052	X55、XFC76 XFC55	LI15、LM: 118、318、SFC2318、SG118、SG218、SG318、 μ PC159	
	F054	4E321、FC92 XFC7-2		
	F055	8FC6、5G27	HA17715、MC: 1420、1520、NE: 501、515、516 RN: 5511、7511、SE: 501、515、516、5511、7511 μ A715	
	其他	7XC9、XFC-76		
高阻抗型	F070	F3140B	801、JCL807、LH: 0022、0042、0052 LE: 156、157、2155、2255、2355 LM: 101、108、201、208、301 MC: 1439、1456、1539、1556 MLM: 301 RA: 2500、2602、2605、RC101、RM: 101、4131 SFC: 2101、2108、2308、SN: 52770、72770 TOA: 1741、2741、4707、8741、8809 UC: 4101、4250、4341 μ A: 155、156、735、740、777	
	F071		μ AF157	
	F072	BG313、BG3140、 F3140	CA3140	
	F073	5G28	TL081	
	其他	X56、BG313		
宽带型	F733	SG012、BG323、 XFC-79	μ A733	
	其他	BG302、FC9		

续表

名称	部标型号	国内旧型号	国外相应型号	备注
高压型	F1536	FC10	MCI536	
	其他	BG315、B001		
多重型	F124	DG124	LM124	
	F747	DG747、BG320	μ A747	
	其他	XFC80、5G353		
通用Ⅲ型	F006	4E322、BG308、 8FC4、FC4		电性能与 F007 相同
	F007	5G24、XFC5、 7XC3、NGO4、 DL741	741、747、1458、AD741 CA: 741、747、748、1558、3741、6741 HEPC6052、JCB8741、ID4741、L141 LH: 101、201、LM: 741、1558、1458 MB: 3603、3607、3608、3609 MC: 1458、1741、1747、1748、4741、MCB: 1741、3476 MCC: 1458、1558、1741、1748、MCH1439、MIC741 MS141、N5741、PA: 422、7741、PM: 741、747 RC: 741、747、748、4558、1741、RCL741 RM: 741、1558、1741、S5741 SFC: 2458、2741、2748 SG: 741、747、748、1217、1558、SL748 SN: 52558、52741、52747、52777、72558、72741、72747、72748 SSS: 741、748、1458 T: 1741、1747、2741、2747、7747、8747、8748 TA7504、TAA221、TBA: 221、222、TDA0748 TOA: 1741、1748、2741、2747、2748、3747、3748、4747、4748 μ A: 307、741、747、748、777、747、4741 μ PC: 151、251、741、1458、ZLD741	
	F008	8FC4、F-3		
	其他	SG101、XFC-77、 FC4		
低功耗型	F010	FC54、X54、 XFC4、XFC75、 8FC75		
	F011		μ PC153、 μ PC253	
	F013	KD203、FC6		
	其他	8FC7、7XC4		
高性能型	F012	5G26、BG308		
高精度型	F030	4E325、FC72、 XFC10		
	F031	XFC-10	AD508、LM: 108、290、308、PM725、SSS725、 μ A727	
	F032	BG312		
	F033	8FC5	μ A725、RC725、LM725	

三、集成运算放大器选择指南

选择器件的一般原则是，在满足电气性能的前提下，选择价格低廉的集成运算放大器，即选择性能价格比高的器件。具体考虑如下。

① 如果没有特殊要求，选用通用型运算放大器。因为这类器件直流性能好，种类多，选择余地大，而且价格便宜。

② 如果系统使用中对能源有严格的限制，可选择低功耗集成运算放大器。例如遥感、遥测、某些生物功能器械或某些化工控制系统等应用场合。

③ 如果系统要求比较精密，漂移小，噪声低，则选择高精度、低漂移、低噪声集成运算放大器。

④ 如果系统要求运算放大器具有很高的输入阻抗，可选用高输入阻抗集成运算放大器。例如采样/保持电路、峰值检波器、优质的对数放大器、优质的积分器、高阻抗信号源电路、生物医电信号的放大及提取、测量放大器等。

⑤ 如果系统的工作频率很高，则要选择高速及宽带集成运算放大器。例如高速采样/保持电路、A/D和D/A转换电路、视频放大器、较高频率的振荡及其他波形产生器、锁相环电路等等。

⑥ 如果系统工作电压很高，而要求运算放大器的输出电压也很高，可选择高压运算放大器。

⑦ 其他运算放大器，如跨导运放、程控运放、电流型运放等，可根据实际需要选用。在增益控制、宽范围压控振荡、调制解调、模拟相乘器、伺服放大、驱动、高阻视频放大、DCDC变换器等电路中均可选用此类运算放大器。

MOS集成运算放大器不仅集成度较高，而且设计得当，可同时兼有高精度、高速、高输入阻抗的优点，是值得十分重视的一类新的运算放大器。

第五节 集成电压比较器

电压比较器的主要功能是能够识别加在比较器两个输入端上电压之差的相对极性。每当同相端电压和反相端电压的差值为正时，比较器将输出逻辑1电平，反之则输出逻辑0电平。即：

$$V_o = 1 \quad (V_+ - V_-) > 0$$

$$V_o = 0 \quad (V_+ - V_-) < 0$$

而当 $(V_+ - V_-) = 0$ 时，输出将改变逻辑状态。其输入、输出特性如图 2.2.5 所示。

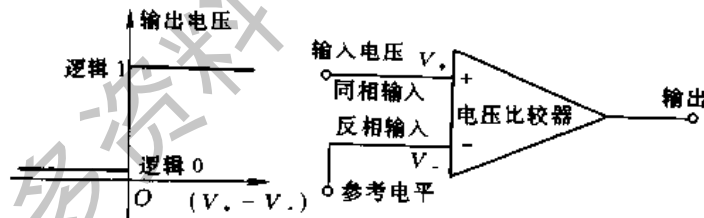


图 2.2.5 电压比较器传输特性

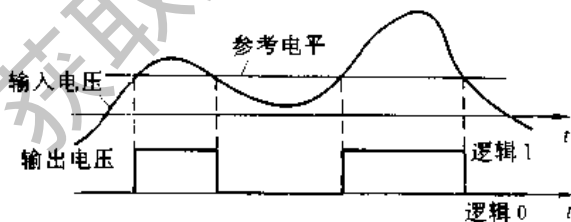


图 2.2.6 比较器作为电平检测

在实际应用中要根据系统的要求，选择性能价格比高的电压比较器。例如：要求精度高，则要选择增益大、失调小的电压比较器；要求速度快，则要选择高速电压比较器；若系统只有一种电源，则要选择单电源比较器；若系统需要多个电压比较器，则可选择多元电压比较器（双比较器、四比较器等等）。假如没有特殊的要求，则可选择最便宜的或手头有的电压比较器来使用。

电压比较器的一个重要应用是电平检测，如图 2.2.6 所示。

运算放大器也可以作比较器用，但是由于运放输入、输出设计成线性关系，因而速度很慢。而专用的比较器的速度要快得多，有些高速比较器的转换速度仅仅只有 3~5ns。而且专用集成比较器的输出电平，一般可以与 TTL 数字电路兼容，而运算放大器则不能。

表 2.2.9 给出集成电压比较器的型号。

表 2.2.9 集成电压比较器一览表

型号	特点	国外同型号	型号	特点	国外同型号
CJ111/211/311 F111/211/311 FX111/211/311	精密电压比较器	LM111 系列	CJ0734	精密电压比较器	
FX161/261/361 7F161/261/361 CJ161/261/361	高速互补输出电压比较器	LM161/261/361	CJ0514 BGJ514 FC82A	高速双电压比较器	
CJ0710/710A/710B FX710/710C	单电压比较器		CJ193/293/393/2903 FX193/293/393/2903	低功耗、低失调双电压比较器	LM193/293/393
SF710			CJ139/239/339/2901 FX139/239/339/3302 7F139/239/339/2901	低功耗、低失调四电压比较器	LM139/239/339/2901 LM3302
LFC5 J685 4E323	单电压比较器		5G14575	双运放双电压比较器 (CMOS)	MC14575
BG307J630	单电压比较器		5G14574	低功耗、高输入电阻 CMOS 四电压比较器	MC14574
BGJ510 CJ0510	高速单电压比较器	SN52510	CJ0811	高速双电压比较器	
8BJ1 XE3	高速单电压比较器		CJ711	高速双电压比较器	
CJ0306	高速单电压比较器		J119CJ0119	精密双电压比较器	

一、单电压比较器举例

CJ111 系列电路输入基极电流很低，电源电压范围宽，可使用 ±15V 双电源，也可在 5V 单电源下工作。CJ111 系列外引线图见图 2.2.7，典型接法图见图 2.2.8。

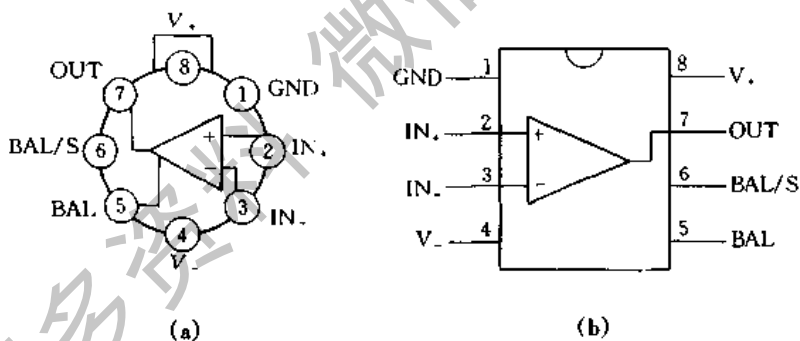


图 2.2.7 CJ111 系列外引线图

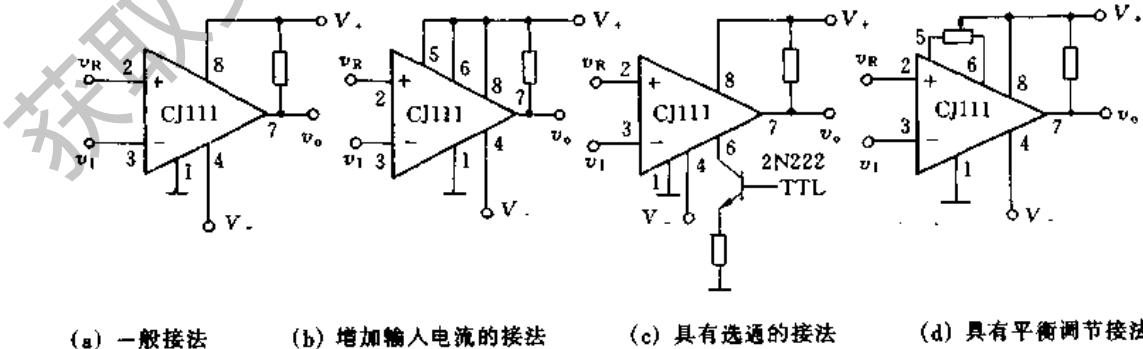


图 2.2.8 CJ111 系列典型接法图

二、多电压比较器举例

CJ193/CJ293/CJ393/CJ2903 电路由两个独立的精密电压比较器组成，可在单、双电源下工作。

CJ193 外引线图见图 2.2.9, CJ193 典型接法图见图 2.2.10。

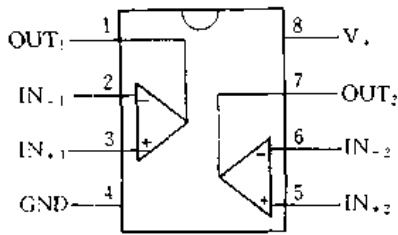


图 2.2.9 CJ193 外引线图

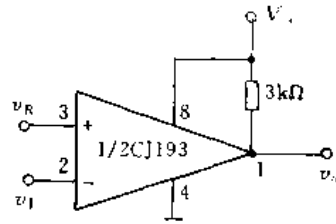
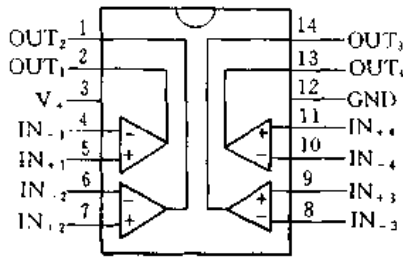


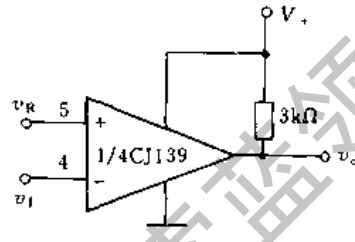
图 2.2.10 CJ193 典型接法图

139 系列电路由四个独立的精密电压比较器组成, 可在单、双电源下工作。CJ139 外引线图和典型接法图见图 2.2.11。



(a)

(a) 外引线图



(b)

(b) 典型接线图

图 2.2.11 CJ139 系列外引线图及典型接法图

第六节 集成稳压器

集成稳压器也称集成电压调节器, 它的功能是将非稳定直流电压变换成稳定的直流电压。集成稳压器按工作方式可分为串联型稳压器、并联型稳压器和开关型稳压器三种。

一、电源集成电路索引 (见表 2.2.10)

表 2.2.10 电源集成电路一览表

型号	名称	型号	名称
串联和并联调整管稳压器		AN6536	可调稳压器(负输出)
7800 系列	三端稳压器(正输出)	AN6540	上升时间可调四端稳压器(正输出)
78HGA	5A 可调稳压器(正输出)	AN6541	9V 三端稳压器
78L00AC 系列	三端稳压器(正输出)	AN7800R 系列	稳压器(正输出、附复位端)
78L00C 系列	三端稳压器(正输出)	AN78M00R 系列	稳压器(正输出、附复位端)
78M00 系列	三端稳压器(正输出)	AN79M52	三端稳压器(负输出)
78N00 系列	三端稳压器(正输出)	AN8000N 系列	三端稳压器(正输出)
78P12	12V、10A 稳压器	AN8050S	稳压器(多种输出)
78PGA	10A 可调稳压器(正输出)	AN8060	-4V 稳压器(附复位端)
7900 系列	三端稳压器(负输出)	CW117L	可调三端稳压器(正输出)
79HG	5A 可调稳压器(负输出)	CW117M	可调三端稳压器(正输出)
79L00AC 系列	三端稳压器(负输出)	CW200	可调五端稳压器(正输出)
79L00C 系列	三端稳压器(负输出)	CW217L	可调三端稳压器(正输出)
79N00 系列	三端稳压器(负输出)	CW217M	可调三端稳压器(正输出)
AN6530	可调稳压器(正输出)	CW317L	可调三端稳压器(正输出)
AN6531	可调稳压器(正输出)	CW317M	可调三端稳压器(正输出)
AN6535	可调稳压器(负输出)	CW79M00 系列	三端稳压器(负输出)

续表

型号	名称	型号	名称
串联和并联调整管稳压器		MAX672	基准电压电路
W4962	1.5A 开关稳压器	MAX673	基准电压电路
μ A78S40	开关稳压器控制电路	MC1403	基准电压电路(+2.5V)
μ PC1094	开关稳压器控制电路	MC1403A	基准电压电路(+2.5V)
μ PC1100	开关稳压器控制电路(双输出)	MC1404	基准电压电路
μ PC1150	开关稳压器控制电路(双输出)	MC1404A	基准电压电路
μ PC494C	开关稳压器控制电路	MC1503	基准电压电路(-2.5V)
基准电压源		MC1503A	基准电压电路(-2.5V)
AD580	基准电压电路(+2.5V)	MC1504	基准电压电路
AD581	基准电压电路(+10V)	REF-01	基准电压电路(-10V)
AD584	基准电压电路(多种输出)	REF-02	基准电压电路(-5V)
AD589	基准电压电路(+1.2V)	REF-05	基准电压电路(-5V)
IR9431	分路调整器	REF-10	基准电压电路(-10V)
LM103	基准电压二极管	μ PC1060	基准电压电路
LM113	基准电压电路(+1.22V)	电源监视、检测、保护电路	
LM129	基准电压电路(+6.9V)	AN6751	电流控制电路
LM136-2.5	基准电压电路(+2.5V)	AN8360NK	电池充电控制电路
LM136-5.0	基准电压电路(+5V)	LM1851	漏电截止器控制电路
LM168	基准电压电路	M5172L	零点起弧温度控制电路
LM169	基准电压电路(+10V)	M51920P	使用低电源电压的显示、报警驱动电路
LM185	基准电压电路	M5232L	电压检出用 LED 点灭报警电路
LM185-1.2	基准电压电路(+1.2V)	MB3771	电源电压监视电路(双通道)
LM185-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MB3773	电源电压监视电路
LM199	基准电压电路	MC33031T	串联开关瞬态保护电路
LM199A	基准电压电路	MC33064	低电压检测电路
LM199AH-20	高稳定基准电压电路(+6.95V)	MC3324	电源监视电路(双通道)
LM236-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MC3324A	电源监视电路(双通道)
LM236-5.0	基准电压电路(+5V)	MC3397T	串联开关瞬态值保护电路
LM268	基准电压电路	MC34061	过电压检测电路
LM285	基准电压电路	MC34061A	过电压检测电路
LM285-1.2	基准电压电路(+1.2V)	MC34062	过电压检测电路
LM285-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MC34064	低电压检测电路
LM299	基准电压电路	MC3423	过电压保护电路
LM299A	基准电压电路	MC3424	电源监视电路(双通道)
LM299AH-20	高稳定基准电压电路(+6.95V)	MC3424A	电源监视电路(双通道)
LM313	基准电压电路(+1.22V)	MC3425	电源监视电路
LM329	基准电压电路(+6.9V)	MC3425A	电源监视电路
LM336-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MC35062	过电压检测电路
LM336-5.0	基准电压电路(+5V)	MC3523	过电压保护电路
LM368	基准电压电路	MC3524	电源监视电路(双通道)
LM368-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MC3524A	电源监视电路(双通道)
LM369	基准电压电路(+10V)	MPC2011	过电压和过热保护电路
LM385	基准电压电路	MPC2012	过电压和过热保护电路
LM385-1.2	基准电压电路(+1.2V)	MPC2014	过电压和过热保护电路
LM385-2.5	基准电压电路(+2.5V)	MPC2015	过电压和过热保护电路
LM399	基准电压电路	TA7510S	漏电切断器控制用放大电路
LM3999	基准电压电路	TA8505	电源监视电路
LM399A	基准电压电路	TA8521S	铅电池用充电器电路
LM399AH-50	高稳定基准电压电路(+6.95V)	TA8523F	铅电池用充电器电路

型号	名称	型号	名称
电源监视、检测、保护电路		LMC7669	CMOS电压转换器
TL7705	电源电压监视电路	MAX630	CMOS升压直流-直流转换器
TL7759	电源电压监视电路	MAX631	CMOS升压直流-直流转换器
μ PC1702H	漏电切断器控制放大器	MAX632	CMOS升压直流-直流转换器
μ PC3423C	过压保护电路	MAX633	CMOS升压直流-直流转换器
W4800系列	低压差三端稳压器(正输出)	MAX635	CMOS升压直流-直流转换器(反相输出)
W4920	可调低压差稳压器(正输出)	MAX636	CMOS升压直流-直流转换器(反相输出)
W7663	CMOS低功耗稳压器	MAX637	CMOS升压直流-直流转换器(反相输出)
W7664	CMOS低功耗稳压器	MAX638	CMOS降压直流-直流转换器(5V输出)
W78H00系列	三端稳压器(正输出)	MAX641	CMOS升压直流-直流转换器
μ A723	可调稳压器(正输出)	MAX642	CMOS升压直流-直流转换器
μ A723C	可调稳压器(正输出)	MAX643	CMOS升压直流-直流转换器
μ A78G	可调稳压器	MB3769	开关稳压器控制电路
μ A78MG	可调稳压器	MB3775	开关稳压器控制电路(双输出)
μ A79G	可调稳压器	MB3776	开关稳压器控制电路
μ A79MG	可调稳压器	MB3778	开关稳压器控制电路(双输出)
μ PC14300系列	三端稳压器(正输出)	MC33063	直流-直流转换器控制电路
μ PC16300系列	三端稳压器(负输出)	MC33065	电流方式开关稳压器控制电路(双输出)
μ PC2250H系列	低压差稳压器(附复位端)	MC33129	电流方式开关稳压器控制电路
μ PC2260H	低压差5V稳压器(附复位端)	MC34060	开关稳压器控制电路
μ PC2400HF系列	低压差三端稳压器(正输出)	MC34063	直流-直流转换器控制电路
μ PC24M00HF系列	低压差三端稳压器(正输出)	MC34065	电流方式开关稳压器控制电路(双输出)
μ PC2600H系列	三端稳压器(正输出)	MC34129	电流方式开关稳压器控制电路
μ PC317H	可调三端稳压器(正输出)	MC3420	开关稳压器控制电路
开关稳压器		MC35060	开关稳压器控制电路
AN5900	开关稳压器控制电路	MC35063	直流-直流转换器控制电路
AN5902S	开关稳压器控制电路	MC3520	开关稳压器控制电路
AN5905	开关稳压器控制电路	NJM2048	开关稳压器控制电路(双输出)
AN5905S	开关稳压器控制电路	NJM2049	开关稳压器控制电路(双输出)
BA6121	开关稳压器控制电路	NJM2352	开关稳压器
BA6122A	开关稳压器控制电路(双输出)	NJM3524	开关稳压器控制电路
BA6122AF	开关稳压器控制电路(双输出)	SH1605A	5A超高效率开关稳压器
CW1524	开关稳压器控制电路	TL1451	开关稳压器控制电路(双输出)
CW2524	开关稳压器控制电路	TL1451A	开关稳压器控制电路(双输出)
CW3524	开关稳压器控制电路	TL494	开关稳压器控制电路
HA16654PS	开关稳压器控制电路	TL495	开关稳压器控制电路
HA16664AFP	开关稳压器控制电路	TL497A	开关稳压器控制电路
HA16664APS	开关稳压器控制电路	TL594	开关稳压器控制电路
HA16666FP	开关稳压器控制电路	UC1524	开关稳压器控制电路
HA16666P	开关稳压器控制电路	W1525A	开关稳压器控制电路
HA17524	开关稳压器控制电路	W1840	可调隔离开关稳压器控制电路
ICL7660	CMOS直流-直流转换器	W1842	单端隔离电流型开关稳压器
IR3M01	开关稳压器控制电路	W2018	开关稳压器控制电路
IR3M03A	直流-直流转换器	W2019	开关稳压器控制电路
IR9494	开关稳压器控制电路	W2525A	开关稳压器控制电路
LM1578	开关稳压器控制电路	W2840	可调隔离开关稳压器控制电路
LM2578	开关稳压器控制电路	W2842	单端隔离电流型开关稳压器
LM3578	开关稳压器控制电路	W296	4A开关稳压器
LMC7660	CMOS电压转换器	W3525A	开关稳压器控制电路
		W3840	可调隔离开关稳压器控制电路

续表

型号	名称	型号	名称
	开关稳压器		
W3842	单端隔离电流型开关稳压器	LM320L 系列	三端稳压器(负输出)
W494	开关稳压器控制电路	LM320ML 系列	三端稳压器(负输出)
W4960	2.5A 开关稳压器	LM323	5V 稳压器
HA1835P	稳压器(附复位功能)	LM325	跟踪稳压器
L78LR05	5V 稳压器(附复位端)	LM325A	跟踪稳压器
LA5659	稳压器(附辅助输出)	LM326	跟踪稳压器
LM104	可调稳压器(负输出)	LM330	低压差三端稳压器(正输出)
LM105	可调稳压器(正输出)	LM337	可调三端稳压器(负输出)
LM109	5V 稳压器	LM337HV	可调三端稳压器(负输出)
LM117	可调三端稳压器(正输出)	LM337L	可调稳压器(负输出)
LM117HV	可调三端稳压器(正输出)	LM338	可调三端稳压器(正输出)
LM120 系列	三端稳压器(负输出)	LM340 系列	三端稳压器(正输出)
LM123	5V 稳压器	LM340A 系列	三端稳压器(正输出)
LM125	跟踪稳压器	LM340LA 系列	三端稳压器(正输出)
LM126	跟踪稳压器	LM342 系列	三端稳压器(正输出)
LM137	可调三端稳压器(负输出)	LM345 系列	三端稳压器(负输出)
LM137HV	可调三端稳压器(负输出)	LM350	可调三端稳压器(正输出)
LM138	可调三端稳压器(正输出)	LM376	可调稳压器(正输出)
LM140 系列	三端稳压器(正输出)	LM396	可调三端稳压器(正输出)
LM140A 系列	三端稳压器(正输出)	LP2950	高精度低压差稳压器
LM140LA 系列	三端稳压器(正输出)	LP2951	高精度低压差稳压器
LM145 系列	三端稳压器(负输出)	M5230L	可调跟踪稳压器
LM150	可调三端稳压器(正输出)	M5231	可调稳压器(正输出)
LM196	可调三端稳压器(正输出)	M5231TL	可调稳压器(正输出)
LM204	可调稳压器(负输出)	M5235L	可调三端稳压器(驱动专用)
LM205	可调稳压器(正输出)	M5236	可调三端稳压器(驱动专用)
LM209	5V 稳压器	MAX663	CMOS 稳压器
LM217	可调三端稳压器(正输出)	MAX664	CMOS 稳压器
LM217HV	可调三端稳压器(正输出)	MAX666	CMOS 稳压器
LM223	5V 稳压器	MB3752	可调稳压器(正输出)
LM237	可调三端稳压器(负输出)	MB3756	多路输出稳压器
LM237HV	可调三端稳压器(负输出)	MC1466L	稳压或稳流器
LM238	可调三端稳压器(正输出)	MC1468	跟踪稳压器
LM250	可调三端稳压器(正输出)	MC147805	CMOS 低压差三端稳压器(正输出)
LM2925	低压差 5V 稳压器(附复位端)	MC1566L	稳压或稳流器
LM2930 系列	低压差三端稳压器(正输出)	MC1568	跟踪稳压器
LM2931	低压差稳压器(正输出)	MC33160	稳压器(附复位功能)
LM2935	低压差稳压器(正输出)	MC34160	稳压器(附复位功能)
LM2940 系列	低压差三端稳压器(正输出)	MC78T00 系列	三端稳压器(正输出)
LM2940CT 系列	低压差三端稳压器(正输出)	NJM2353	跟踪稳压器
LM2984C	低压差多路输出稳压器(附复位端)	SI-3000C 系列	稳压器(正输出)
LM304	可调稳压器(负输出)	TA7089P	可调稳压器(正输出)
LM305	可调稳压器(正输出)	TA7179P	跟踪稳压器
LM305A	可调稳压器(正输出)	TA78DL00P 系列	低压差三端稳压器(正输出)
LM309	5V 稳压器	TA78DS05P	低压差三端稳压器(正输出)
LM317	可调三端稳压器(正输出)	TA78DS10P	低压差三端稳压器(正输出)
LM317HV	可调三端稳压器(正输出)	TA78L000P 系列	三端稳压器(正输出)
LM317L	可调稳压器(正输出)	TA78L00F 系列	三端稳压器(正输出)
		TA7900S	5V 稳压器(附监视计时器)

型号	名称	型号	名称
开关稳压器		TL430	可调分流稳压器(正输出)
TA8000S	5V 稳压器(附监视计时器)	TL431	可调分流稳压器(正输出)
TA8001S	5V 稳压器(附复位计时器)	TL496	串联稳压器或开关稳压器
TA8002S	5V 稳压器(附复位计时器)	TL499A	可调串联稳压器或开关稳压器
TL317	可调稳压器(正输出)	W334	可调三端电流源

二、三端集成稳压器

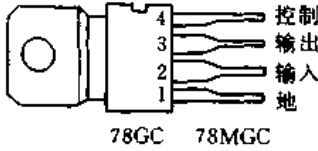
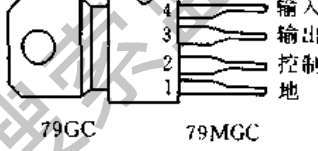

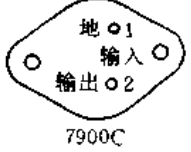
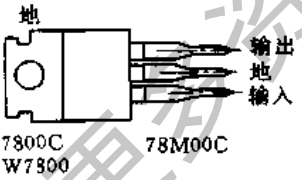
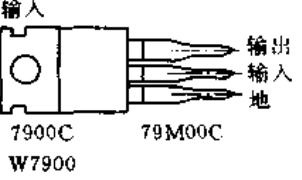

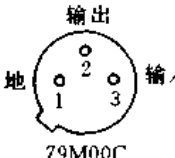


三端集成稳压器仅有输入端、输出端和公共端三个引脚。芯片内部设有过流保护、过热保护及调整管安全保护电路。它的外接元件少，使用方便，安全可靠，广泛用于各种电子设备，作电压稳定器。

按输出电压是否可调来分，三端集成稳压器分为固定电压稳压器和可调式稳压器两种。

1. 三端固定集成稳压器

三端固定集成稳压器引线排列(见表 2.2.11) 外部接线见图 2.2.12, 电性能参数见表 2.2.12。

表 2.2.11 7800C 及 7900C 系列集成稳压器外引线排列

 <p>78GC 78MGC</p>	 <p>79GC 79MGC</p>
 <p>7800C</p>	 <p>7900C</p>
 <p>7800C W7800 78M00C</p>	 <p>7900C W7900 79M00C</p>
 <p>78M00C</p>	 <p>79M00C</p>
 <p>78L00C</p>	 <p>79L00C</p>

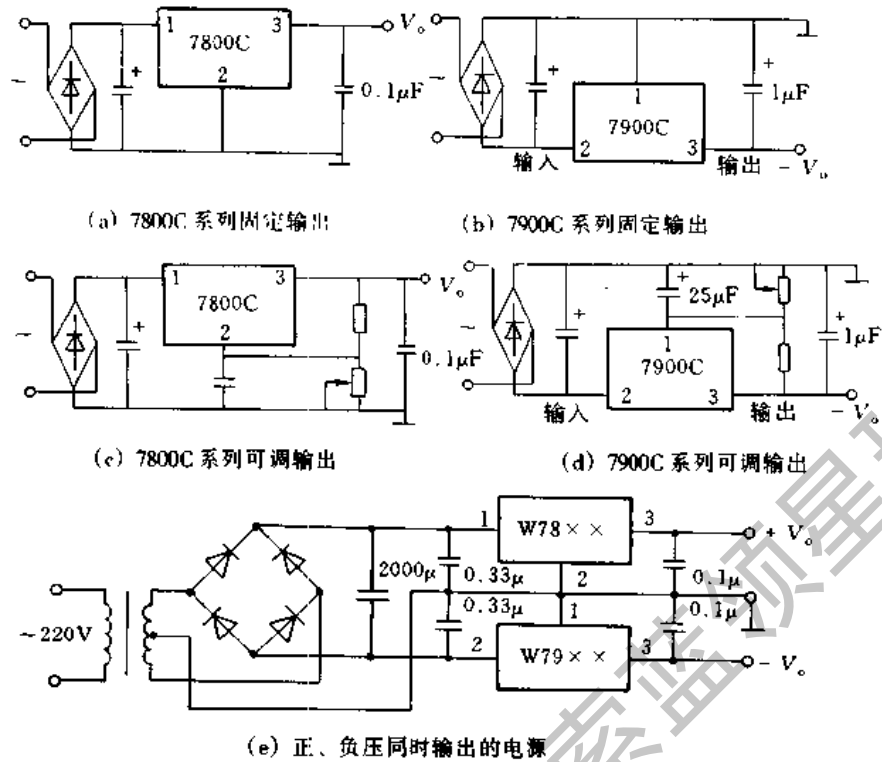


图 2.2.12 78、79 系列集成稳压器外部接线

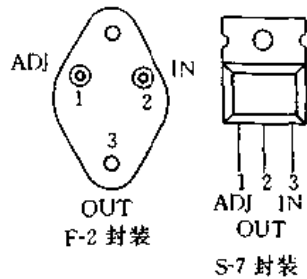
表 2.2.12 7800C 系列正集成稳压器 7900C 系列负集成稳压器电性能参数

型号	最大输出电流 /A	输出电压 /V	输入电压 /V	最小压差 /V	电压调整率 /mV	负载调整率 /mV	静态电流 /mA	输出噪声电压 / μ V	纹波抑制 /dB	输出阻抗 /m Ω
78GC	1	5~30		2.5	1%	1%	5	40	62	
78MGC	0.5									
7805C		5 \pm 0.2	10		100	100		40	62	17
7806C		6 \pm 0.3	12		120	120		45	59	17
7808C		8 \pm 0.4	14		160	160		52	56	
7812C	1.5	12 \pm 0.5	19	2	240	240	8	75	55	18
7815C		15 \pm 0.6	23		300	300		90	54	19
7818C		18 \pm 0.7	26		360	360		110	53	22
7824C		24 \pm 1	33		480	480		170	50	28
78M05C		5 \pm 0.2	10		100	100		40	62	
78M06C		6 \pm 0.3	12		100	120		45	59	
78M08C		8 \pm 0.4	14		100	160		52	56	
78M12C	0.5	12 \pm 0.5	19	2	100	240	8	75	55	
78M15C		15 \pm 0.6	23		100	300		90	54	
78M18C		18 \pm 0.7	26		100	360		110	53	
78M24C		24 \pm 1	33		100	480		170	50	
78L05AC		5 \pm 0.2	10		150	60		40	41	
78L09AC		9 \pm 0.4	15	1.7	200	90	5.5	70	37	
78L12AC	0.1	12 \pm 0.5	19		250	100		80	37	
78L15AC		15 \pm 0.6	23		300	150		90	34	
78HGASC	5	5~24			1%	50				
78PG	10	5~24			1%	1%				
78H05ASC	5	5 \pm 0.2			50	50				
78H12ASC		12 \pm 0.5			120	50				
78P05SC	10	5 \pm 0.2			75	50				
78P12		12 \pm 0.5			50	40				
79GC	1	-30~-2.2		2.3	1%	1%	1.5	80	50	
79MGC	0.5									
7905C		-5 \pm 0.2	-10		100	100		125		

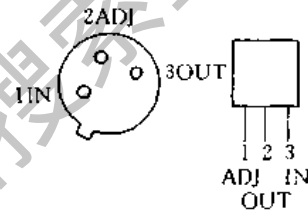
型号	最大输出电流 /A	输出电压 /V	输入电压 /V	最小压差 /V	电压调整率 /mV	负载调整率 /mV	静态电流 /mA	输出噪声电压 /μV	纹波抑制 /dB	输出阻抗 /mΩ
7908C	1.5	-8 ± 0.4	-14	2	160	160	8	200	54	
7912C		-12 ± 0.5	-19		240	240		300		
7915C		-15 ± 0.6	-23		300	300		375		
7918C		-18 ± 0.7	-27		360	360		450		
7924C		-24 ± 1	-33		480	480		600		
79M05A	0.5	-5 ± 0.2	-10	2	50	100	2	125	50	
79M08A		-8 ± 0.4	-14		80	160		200		
79M12A		-12 ± 0.5	-19		80	240		300		
79M15A		-15 ± 0.6	-23		80	240		375		
79HGSC		5	-2.4 ~ -2.2					1%		

2. 三端可调集成稳压器

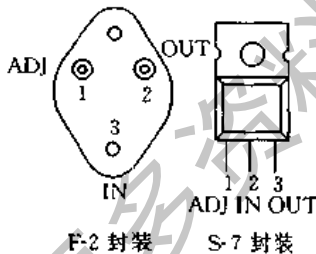
三端可调集成稳压器外引线排列见图 2.2.13, 典型接法见图 2.2.14 和图 2.2.15, 电性能参数见表 2.2.13 和表 2.2.14。



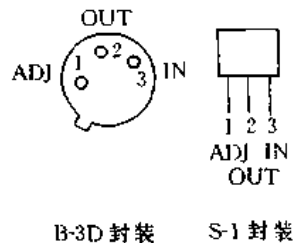
(a) W117/W217/W317 及 W117M/W217M/W317M 外引线图



(b) W117L/W217L/W317L 外引线图



(c) W137/W237/W337 与 W137M/W237M/W337M 外引线图



(d) W137L/W237L/W337L 外引线图

图 2.2.13 外引线图

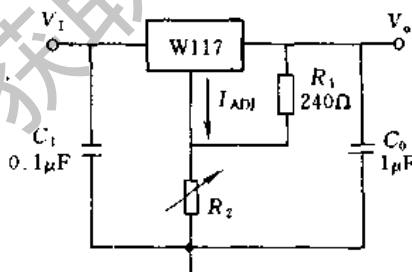


图 2.2.14 W117/W217/W317 的典型接法

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 1.25V + I_{ADJ} R_2$$

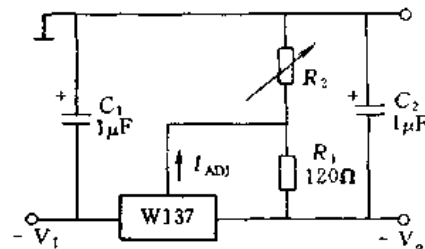


图 2.2.15 W137 系列典型接法

$$-V_o = -1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

表 2.2.13 W117/W217/W317 主要参数表

参数名称	符号	测试条件	W117/217			W317		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
电压调整率/(%/V)	S	$3V \leq V_1 - V_o \leq 40V$		0.02	0.05		0.02	0.07
电流调整率/%	S_I	$10mA \leq I_o \leq I_{max}$		0.3	1		0.3	1.5
调整端电流/ μA	I_{ADJ}			50	100		50	100
最小负载电流/mA	I_{min}	$V_1 - V_o = 40V$		3.5	5		3.5	10
纹波抑制比/dB	S_{sp}		66	80		66	80	
输出电压温漂/(%/°C)	S_T			0.7			0.7	
最大输出电流/A	I_{max}	$V_1 - V_o \leq 15V$	1.5			1.5		
		$V_1 - V_o \leq 40V$		0.4			0.4	

注： $V_1 - V_o$ 应满足于 $|V_1 - V_o| \leq P_{max}$ 。在加够散热片时，F-2封装的 $P_{max} \geq 15W$ ，S-7封装的 $P_{max} \geq 7.5W$ ，B-3D封装的 $P_{max} \geq 0.5W$ 。

表 2.2.14 W137/W237/W337 主要参数表

参数名称	符号	测试条件	W137/237			W337		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
电压调整率/(%/V)	S_V	$3V \leq V_1 - V_o \leq V$		0.02	0.05		0.02	0.07
电流调整率/%	S_T	$10mA \leq I_o \leq I_{max}$		0.3	1		0.3	1.5
调整端电流/ μA	I_{ADJ}			65	100		65	100
最小负载电流/mA	I_{min}	$ V_1 - V_o = 40V$		3.5	5		3.5	10
纹波抑制比/dB	S_{sp}	$V_o = -10V, C_{ADJ} \geq 10\mu F$		70			70	
输出电压温漂/(%/°C)	S_T			0.7			0.7	
最大输出电流/A	I_{max}	$ V_1 - V_o \leq 15V$	1.5	2.2		1.5	2.2	
		$ V_1 - V_o \leq 40V$	0.25	0.4		0.15	0.4	

注： $V_1 - V_o$ 应满足于 $|V_1 - V_o| \leq P_{max}$ 。在加够散热片时，对F-2封装， $P_{max} \geq 15W$ ，对S-7封装， $P_{max} \geq 7.5W$ ，对B-3D封装 $P_{max} \geq 0.5W$ 。

三、高精度电压基准

高精度电压基准具有输出电压精度高、温漂很小、输出噪声小、动态内阻小等优点，但输出电流也很小。它适用于通用电子设备，计算机的A/D、D/A转换器、精密稳压电源等设备，作电压基准。

精密电压基准5G1403外引线图及典型接法见图2.2.16及图2.2.17，主要参数见表2.2.15。

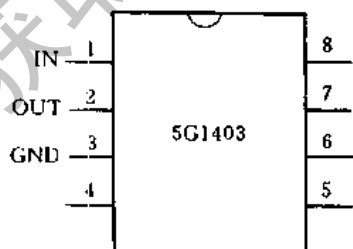


图 2.2.16 5G1403 外引线图

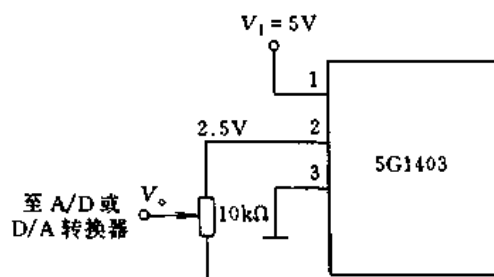


图 2.2.17 5G1403 典型接法

表 2.2.15 5G 1403 主要参数表

参数名称	符号	5G 1403			测试条件
		A	B	C	
输出电压/V	V_o	2.5 ± 0.025			$R_L = \infty$
输出电压温度系数/($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	$\frac{\Delta K_2}{V_o} / \Delta T$	≦ 60	≦ 40	≦ 25	0 ~ 70°C
输出电压变化/mV	ΔV_o	≦ 10	≦ 7	≦ 4.4	0 ~ 70°C
电压调整率/%	S_V	≦ 0.01			4.5V ≦ V_i ≦ 15V
电流调整率/Ω	$\Delta V_o / \Delta I_o$	≦ 1			$\Delta I_o = 10\text{mA}$
静态电流/A	I_D	≦ 1.5			$R_L = \infty$

四、集成脉宽调制器和集成开关稳压器

1. 集成可调脉宽型调制器 CW 1524/2524/3524

CW 1524/2524/3524 电原理图及外引线图见图 2.2.18 及图 2.2.19，典型应用见图 2.2.20，主要参数见表 2.2.16。

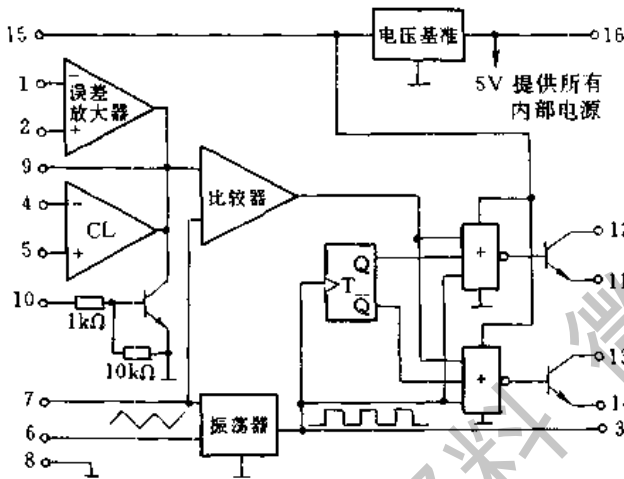


图 2.2.18 CW 1524/2524/3524 电原理图

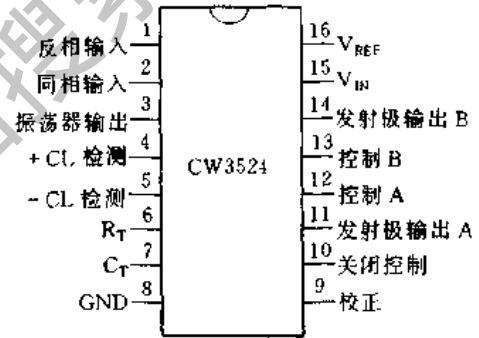


图 2.2.19 CW 1524/2524/3524 外引线图

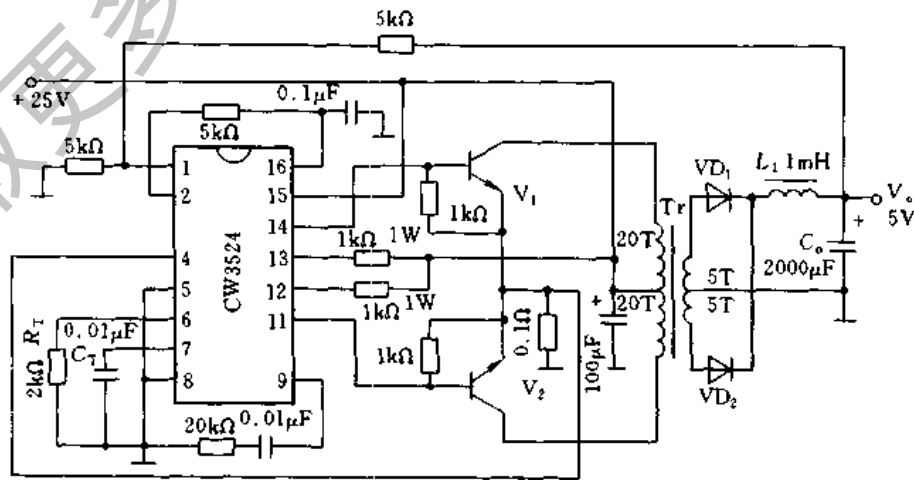


图 2.2.20 推挽式开关稳压电源

表 2.2.16 CW 1524/2524/3524 主要参数

参数名称	符号	测试条件	CW 1524/2524			CW 3524		
			最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值
电压基准部分								
输出电压/V	V_o		4.8	5.0	5.2	4.6	5.0	5.4
电压调整率/mV	S_v	$V_i = 8 \sim 40V$		10	20		10	30
电流调整率/mA	S_i	$I_L = 0 \sim 20mA$		20	50		20	50
纹波抑制比/dB	S_{CP}	$f = 100Hz, T_A = 25^\circ C$		66			66	
短路输出电流/mA		$V_{REF} = 0, T_A = 25^\circ C$		100			100	
频率稳定性/%				0.3	1		0.3	1
长期稳定性/(mV/kh)		$T_A = 25^\circ C$		20			20	

2. 开关式集成稳压器 W296

开关式集成稳压器典型接法见图 2.2.21。

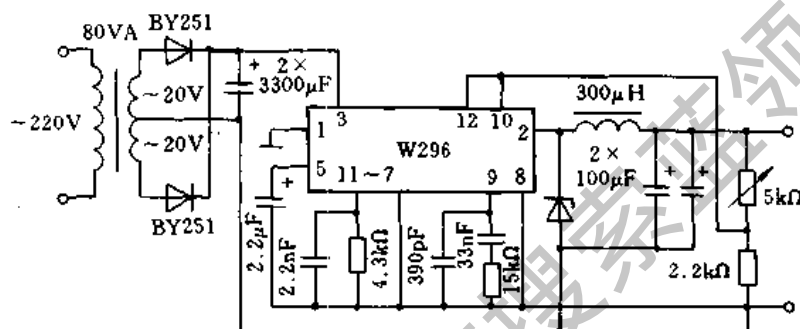


图 2.2.21 开关式集成稳压器典型接法

第七节 其他集成放大器

一、集成隔离放大器

1. GF 289 集成隔离放大器

它的特点是三端口隔离，即输入、输出、电源的三个“地”是互相隔离的，能抗高共模电压（达 1500V），具有高共模抑制比、高精度、低漂移等优良的性能。它广泛地应用于数据采集系统、巡回检测系统中，也广泛地用来给医疗仪器、计算机及其他电子设备提供隔离保护。国外同类产品为 AD 289。

GF 289 电原理图及外引线图见图 2.2.22 和图 2.2.23，典型接法，见图 2.2.24。

2. B-GF01 调制型隔离放大器

B-GF 01 电原理图见图 2.2.25、外引线图见图 2.2.26，典型接法见图 2.2.27。

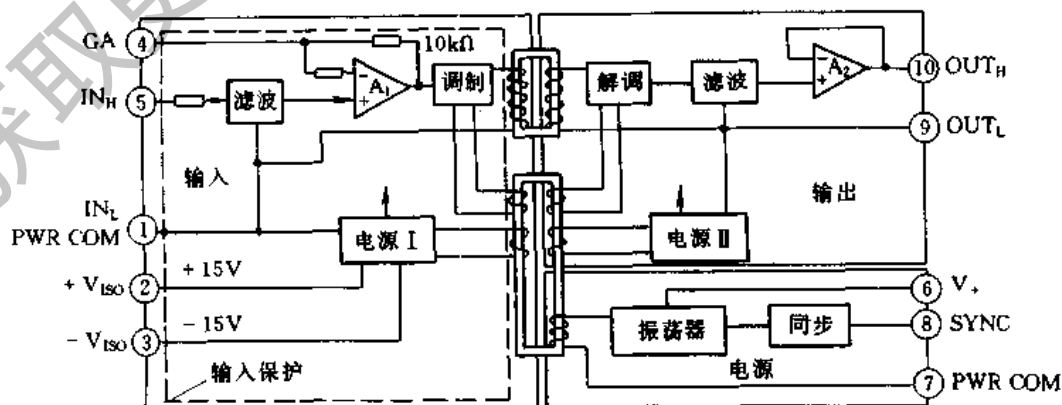


图 2.2.22 GF 289 电原理图

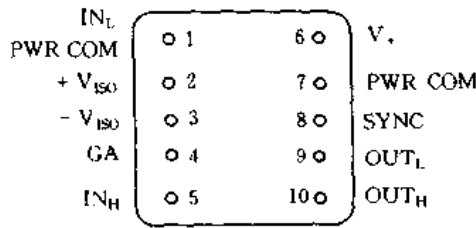


图 2.2.23 GF 289 外引线图

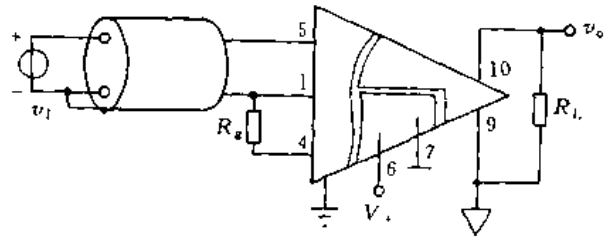


图 2.2.24 GF 289 典型接法

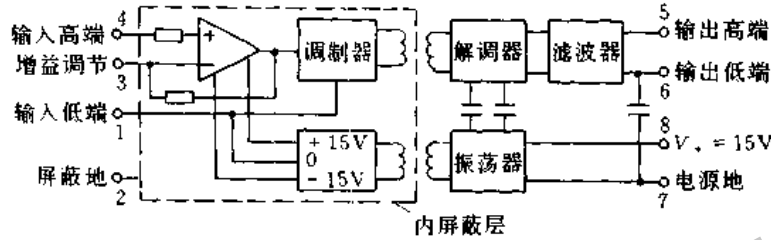


图 2.2.25 B-GF 01 电原理图

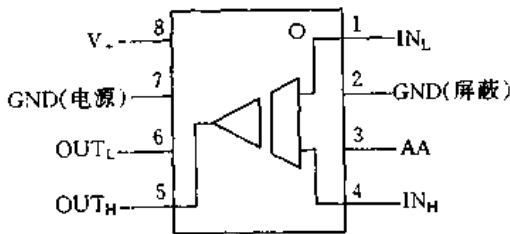


图 2.2.26 B-GF 01 外引线图

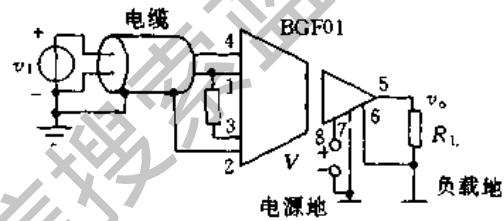


图 2.2.27 B-GF 01 典型接法

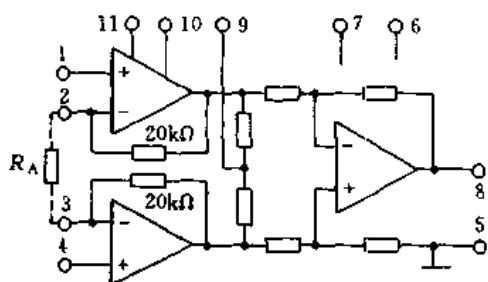
二、集成数据放大器

集成数据放大器 ZF 605 和 BG 004 的电原理图、外引线图、典型接法及主要参数见表 2.2.17。

表 2.2.17 集成数据放大器的型号、电原理图、外引线图、典型接法及主要参数

ZF605	AD605
<p>ZF605 电原理图</p>	$A_{VD} = 1 + \frac{36000}{R_A} = (1 \sim 1000)$ $V_{N0} = 0.2mV \text{ (当 } A_{VD} = 1000)$ $\frac{\Delta V_{N0}}{\Delta T} = 1\mu V/^\circ C \text{ (当 } A_{VD} = 1000)$ $I_{IB} = 30nA, I_{IO} \leq 10nA$ $K_{CMR} \geq 90dB \text{ (当 } A_{VD} = 100)$ $V_{OM} \geq \pm 10V, I_{OM} \geq \pm 2mA$ <p>增益精度 = 0.1%</p> $V_N = 1.5\mu V, R_I = 10^9\Omega$ $BW = 15kHz$ $V_+ = (+9 \sim +18) V$ $V_- = (-9 \sim -18) V$
<p>ZF605 外引线图</p>	<p>ZF605 典型接法</p>

ZF605		AD605
BG 004		

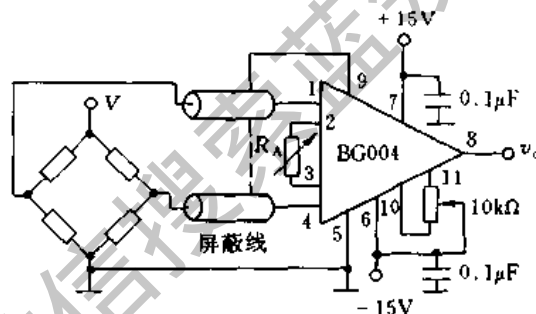


BG004电原理图

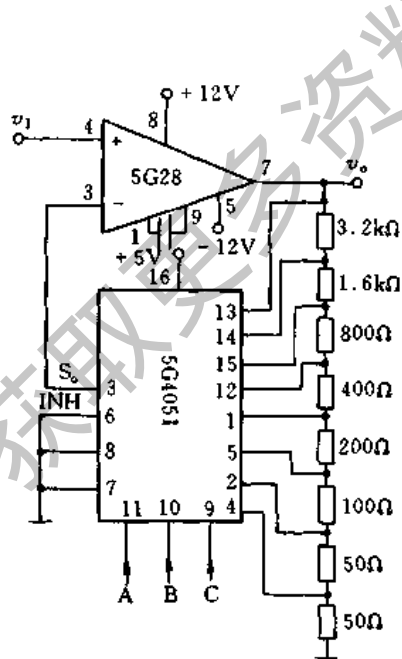
- $A_{VD} = 1 + \frac{40000}{R_A} = (1 \sim 1000)$
- $V_{IO} = 0.02 \sim 0.05mV$ (当 $A_{VD} = 100$)
- $\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = 0.5 \sim 2\mu V/^\circ C$
- $I_B = 25 \sim 100nA$
- $I_{IO} = 3 \sim 10nA$
- $K_{CMR} = 70 \sim 100dB$ (当 $A_{VD} = 100$)
- 增益非线性 = $(0.02 \sim 0.05)\%$
- $V_N = 1.5\mu V$
- $V_{OFF} = \pm 10V$
- $I_{OM} = 5mA$
- $R_1 = 300M\Omega$
- $V_+ = (6 \sim 18) V$
- $V_- = (-6 \sim -18) V$

12 0	IN- 01	标志
11 0	OA ₂	R _A 02
10 0	OA ₁	03
9 0	V _C	IN ₊ 04
8 0	OUT	GND 05
7 0	V ₋	V ₋ 06

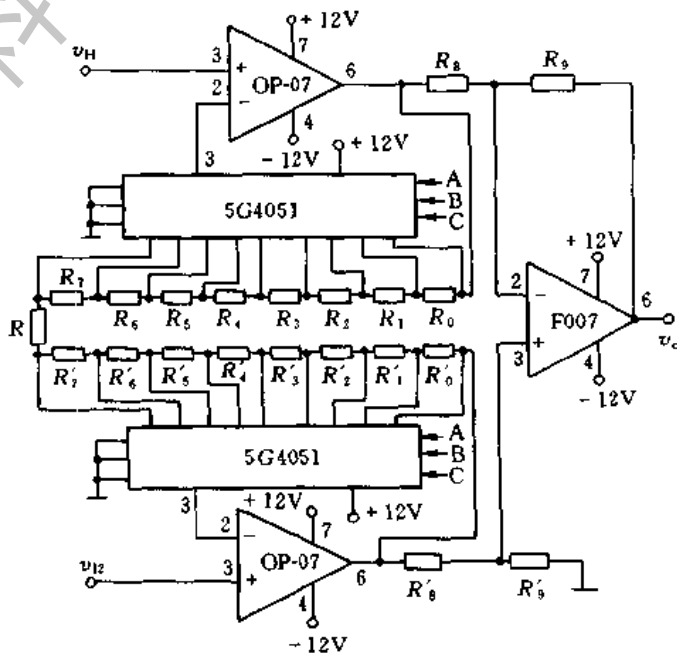
BG004 外引线图



BG004 典型接法



(a) 同相放大器



(b) 数据放大器

图 2.2.28 程控增益放大器

三、用模拟开关构成的程控增益放大器

在微处理器数据采集系统中，所遇到的模拟信号可能是宽范围的，例如毫伏级到伏级。为了充分发挥 A/D 转换器的精度，采用程控增益放大器是比较有效的方法。

图 2.2.28(a) 给出了一个利用单 8 通道模拟开关构成的同相程控放大器，图(b) 给出一个程控数据放大器电路。

图中 5G4051 相当于一个单刀八掷开关，当禁止输入端（6 脚）信号为低电平时，根据输入状态 A、B、C 的不同，每次接通一个通道。

对应 A、B、C 的一个状态，接通通道改变一个，从而使反馈电阻变化一次，对应的增益也将改变一个数值，而输入状态 A、B、C 的地址由计算机根据输入信号大小给出。图 2.2.28 (b) 所示电路接成差分输入的数据放大器形式，两个 5G4051 的状态同步改变。这两个放大器都采用同相输入方式，一方面为了增大输入电阻，另一方面使流过 5G4051 的电流极小，从而有利于减小模拟开关导通电阻所引入的误差。

第八节 集成锁相环、压控振荡器和函数发生器

锁相环广泛用于通信、导航、仪器仪表中作为调制、解调、滤波、分频、倍频、频率合成、跟踪及高稳定振荡源等。

鉴频/鉴相器、压控振荡器、锁相环路一览表见表 2.2.18。

表 2.2.18 鉴频/鉴相器、压控振荡器、锁相环路一览表

型号	特 点	国外型号
T4044 (ST002)	8MHz 数字式单片 TTL 鉴频鉴相器	MC4044
E12040	80MHz 数字式单片 ECL 鉴频鉴相器	MC12040
ER4807	与 E12040 配合使用的锁相环泵电路	
XD566	双极型单片三角波、方波压控振荡器	SL566 NE566
E1648	225MHz 单片 ECL 方波、正弦波压控振荡器	MC1648 SP1648
5G8038	双极型三角波、方波、正弦波、锯齿波发生器	ICL8038 XR8038
XR2209/2207	双极型三角波、方波、发生器、VCO	
BG330	单片三角波发生器	
L561 (KD801)	单片 30MHz 锁相环、内含模拟乘法器，可用于 AM 同步检波、FM 解调等	NE561 SE561
SL565 (BGJ565, X38)	低频通用单片锁相环、解调失真小；可用于 FM、SCA 检测、FSK 解调	LM565 NE565
CC4046	低功耗 CMOS 多功能单片数字锁相环，用于 FM 解调、频率合成、数据同步等	F4040 MC14046 SCL4046
L562 (KD802)	30MHz 通用型单片锁相环，VCO 与 PD 内部断开，用于 FM 解调、钟同步、频率合成等	NE562 SE562
L564	50MHz 单片锁相环，内含后检波处理电路，与 TTL、ECL 兼容，用于高速调制、解调等	NE564
NE567	单片锁相环与 TTL 兼容，用于侧音解码、AM 解调等	XR567 SE567
XR-215	35MHz 高频单片集成锁相环	
μ PC1477C	UHF 频段，卫星直播电视接收机解调	

一、单片鉴频/鉴相器

T4044 为 TTL 鉴频/鉴相器，由比相器、电荷泵和达林顿放大器三部分组成。可与 E1648 及锁相环系列的其他组件配合构成频率合成器，或作其他应用。

T4044 电原理图及外引线图见图 2.2.29 和图 2.2.30，典型接法图见图 2.2.31，主要参数见表 2.2.19。

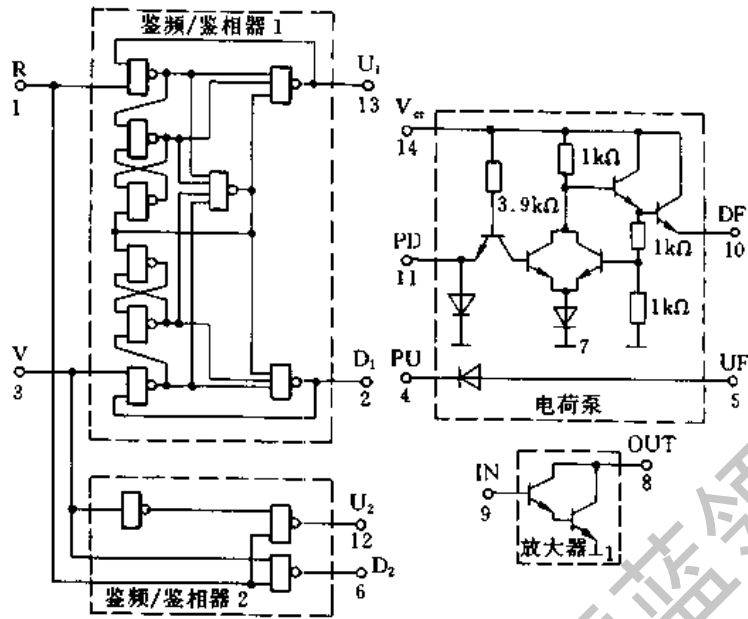


图 2.2.29 T4044 电原理图

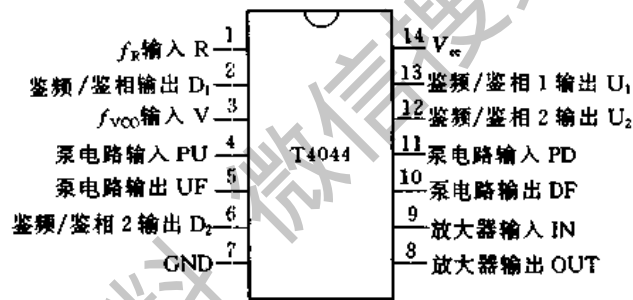


图 2.2.30 T4044 外引线图

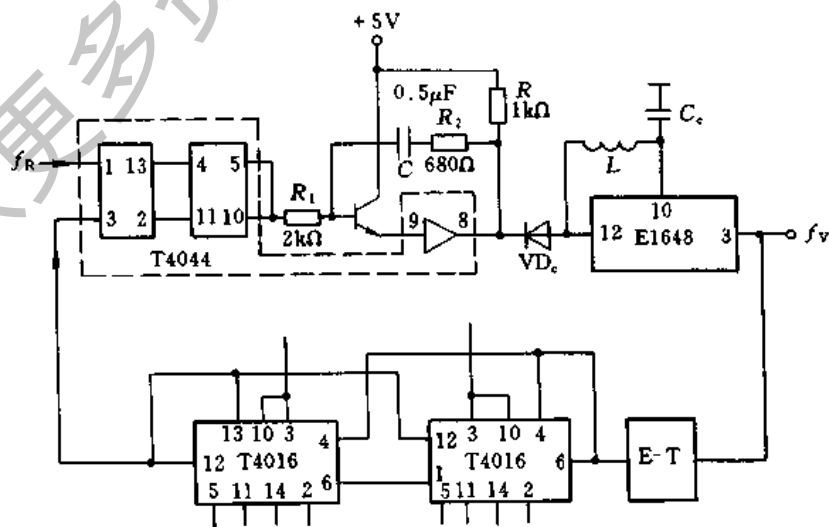


图 2.2.31 由 T4044 构成的频率合成器

表 2.2.19 T4044 主要参数

电源电压 /V	工作频率 /MHz	功耗 /mW	输出高电平 /V	输出低电平 /V	工作温度范围 /°C
+5	8	85	>2.5	<0.4	0~75

二、集成压控振荡器及函数发生器

5G8038 函数发生器采用肖特基势垒二极管等先进工艺，电源电压范围宽，稳定度高，精度高，能产生方波、三角波、脉冲，锯齿波、正弦波，可用于压控振荡。

5G8038 外引线见图 2.2.32，典型接法见图 2.2.33，主要参数见表 2.2.20。

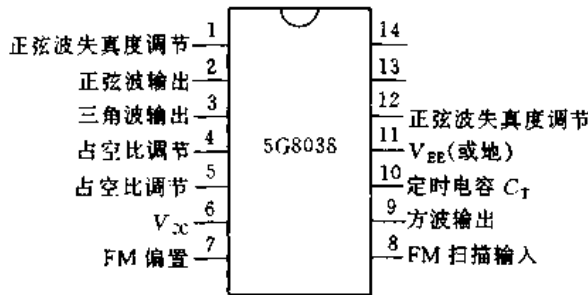


图 2.2.32 5G8038 外引线图

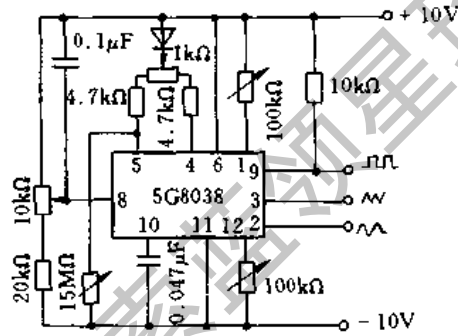


图 2.2.33 5G8038 构成的压控音频振荡器 (20Hz~20kHz)

表 2.2.20 5G8038 主要参数

电源电压范围 /V	工作频率范围 /Hz	温度频率稳定度 /($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	功耗 /mW	电源电压频率 稳定度/V	正弦波失真度
$\pm 10 \sim \pm 18$	0.001~300k	100	600	0.1%	0.5%~5%

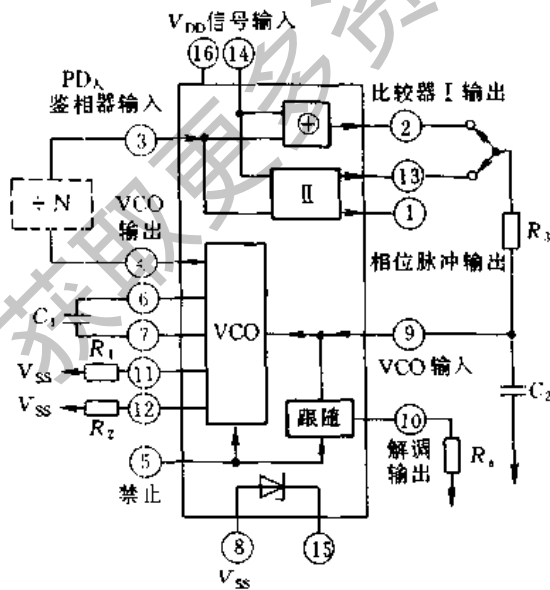


图 2.2.34 CC4046 电原理图

三、集成锁相环

CC4046 为 CMOS 单片集成锁相环。由线性压控振荡器、源相跟随器和两个不同的鉴相器组成，这两个鉴相器有两个公共的信号输入端和反馈信号输入端。为了适应不同的锁相要求，环路滤波器是通过外接部件来实现。为了实现多功能的要求，压控振荡器的输出端①与鉴相器 PD-I 和 PD-II 的公共反馈输入端③在集成电路内部预先没有连接，以便在④和③端之间插入分频器、触发器等部件，以实现频率的倍增或频率合成。CC4046 主要用于频率调制和解调、电压与频率的转换、频率位移键控解调 (FSK)、信号跟踪、时钟同步以及频率倍增及合成等方面。CMOS 锁相环的主要特点是电压范围宽、功耗低、输入阻抗高。CC4046 工作在中心频率 $f_0 = 10\text{kHz}$ 时，仅消耗 $600\mu\text{W}$ 的功率。

CC4046 电原理图及外引线图见图 2.2.34 和图 2.2.35，典型接法图见图 2.2.36。

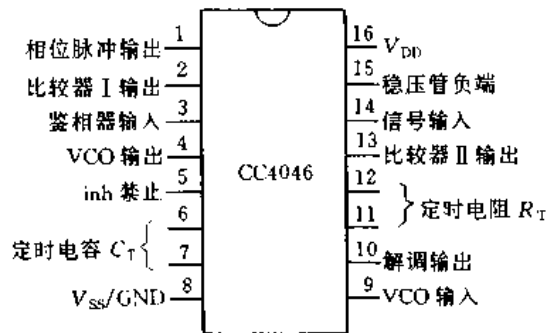


图 2.2.35 CC4046 外引线图

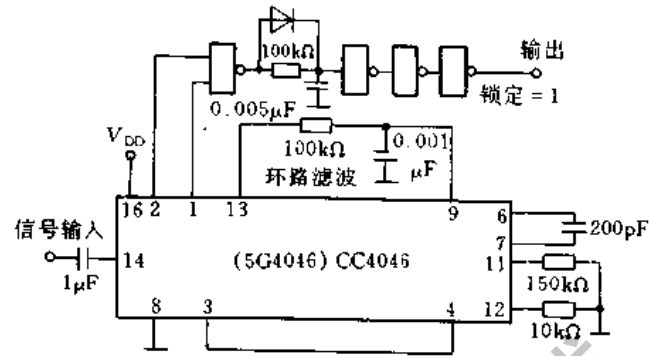


图 2.2.36 CC4046 构成的锁定指示器

第九节 V/F、F/V 变换器

集成电压-频率变换器 (V/F) 和频率-电压变换器 (F/V), 广泛用于自动控制、数字仪表和无线电设备中, 其功能类似于模数转换器 (A/D) 和数模转换器 (D/A), 也属于模数转换电路。由于 V/F 与 F/V 变换器不需要同步时钟, 因此, 成本比 A/D 和 D/A 转换器低得多, 与计算机连接时, 也显得特别简单。此外, 电压模拟量经 V/F 变换成频率信号后, 其抗干扰能力大为增强, 故非常适用于远距离传输, 在遥控系统以及噪声环境下, 更显示出它的使用必要性。

V/F、F/V 变换器一览表见表 2.2.21。

表 2.2.21 V/F、F/V 变换器一览表

型号	输入电压范围/V	输出频率范围/kHz	非线性误差 / ≤ % 满度	特点	国外同型号
5GVFC32	0~10	0~500	±0.05~±0.005	单片集成, V/F、F/V 兼容	AD650B VFC32
BG382	0.01~10	0.01Hz~10	±0.5	单片集成, V/F、F/V 兼容	RV4152 LM131/231/331
DL8103	0~10	0~10	±0.02	通用型模块式	
DL8104	0~10	0~100	±0.05	通用型模块式	
DL8105	0~10	0~10	±0.01~0.005	高精度型模块式	
DL8106	0~10	0~100	±0.02~0.005	高精度型模块式	
QD4721	0.01~10	0.01Hz~10	±0.05~±0.02	模块式	
QD4703	0~10	0~100	±0.05~±0.02	模块式	
QD456 ZF456	0~10	0~10	±0.01~±0.2	廉价型模块式	AD456
GD450 ZF450	0~10	0~10	±0.01~±0.002	高精度型模块式	AD450
QD452	0~10	1~100	±0.05~±0.02	廉价型模块式	AD452
QD458 ZF458	0~10	0~100	±0.01~±0.005	高精度型模块式	AD458
QD460 ZF460	0~10	0~1000	±0.05~±0.01	高频型模块式	QD460
QD8302	0~10	0~10	±0.02~±0.05	单电源型 5~24V	
QD8304	0~10	0~10	±0.05~±0.005	单电源型 5~24V	
HJ8301	0~10	0~100	±0.1~±0.005	单电源型 12~30V	
ZF2B20				高性能 4~20mA V/F	ADZB20

型号	输入电压范围/V	输出频率范围/kHz	非线性误差 / ≤ %满度	特点	国外同型号
ZF2B22				高性能隔离式 4 ~ 20mA V/F	AD2B20
AD537		0 ~ 100	±0.05	单片集成、多谐振荡器型 V/F、F/V 兼容	AD537
QD451 ZF451	0 ~ 10	0 ~ 10	±0.03 ~ ±0.008	模块式	AD451 4702 4714
QD453 ZF453	0 ~ 10	0 ~ 10	±0.03 ~ ±0.008	模块式	AD453 4708 ~ 03
LM2907 LM2917	0 ~ 10	0 ~ 10	0.3	单片集成 F/V	LM2907 LM2917

一、5GVFC32 V/F、(F/V) 变换器

5GVFC32 系仿美国 BB (BURR-BROWN) 公司 VFC32 的产品, 采用双极型工艺, 电路由输入放大器、电压比较器、单稳态触发器、电子开关、恒流源等部分组成, 输出能与 TTL、DTL 和 CMOS 电平匹配, 转换精度高, 价格低廉, 使用方便。

1. 电原理图及外引线图 (图 2.2.37 和图 2.2.38)

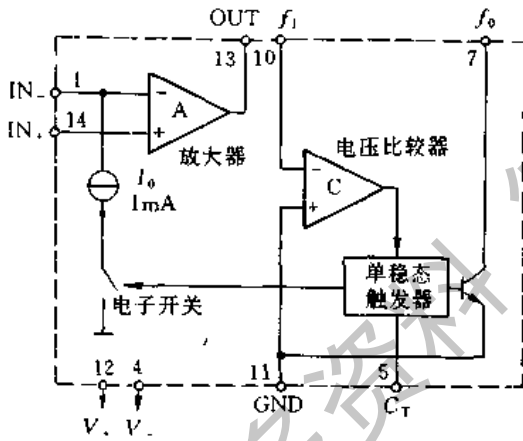


图 2.2.37 电原理图

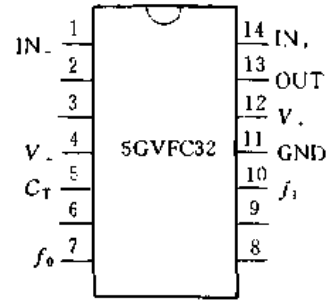


图 2.2.38 外引线图

2. 典型接法图

双极性输入 V/F 变换器见图 2.2.39。

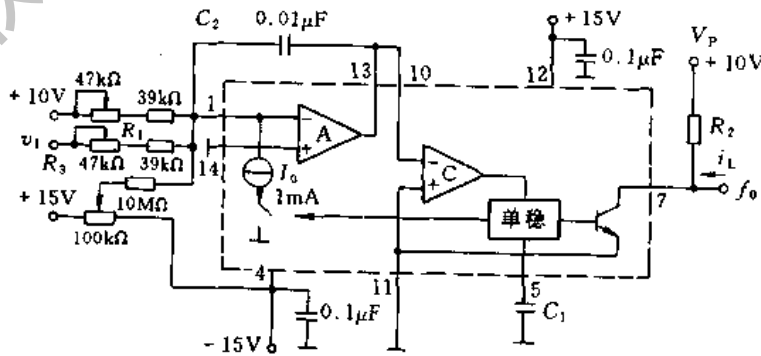


图 2.2.39 双极性输入 V/F 变换器

上述电路元件值选择原则如下:

- ① V_p 范围: 5 ~ 15V
- ② C_1 (pF) = $(33 \times 10^6 / f_{0max}) - 30$ (若 f_{0max} 超过 425kHz, 则 C_1 用 47pF)
- ③ C_2 (μ F) = $10^2 / f_{0max}$ (f_{0max} 超过 100kHz, C_2 用 0.001 μ F)
- ④ R_1 (k Ω) = $0.9 V_{1max} / 0.25$ (mA)
- ⑤ R_{2min} (Ω) = $V_p / [8$ (mA) - $I_L]$
- ⑥ R_3 (k Ω) $\geq 0.1 V_{1max} / 0.25$ (mA)

F/V 变换器见图 2.2.40。5GVFC32 的主要参数见表 2.2.22。

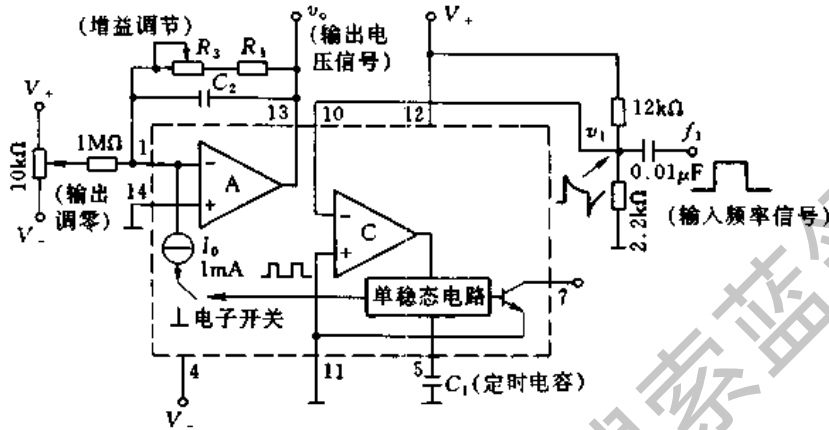


图 2.2.40 F/V 变换器

表 2.2.22 5GVFC32 主要参数 ($V_+ = 15V$, $V_- = -15V$, $T_A = 25^\circ C$)

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
精度:					
非线性误差/%FSR	E_{NL}	$0.01Hz \leq f_0 \leq 10kHz$ $0.1Hz \leq f_0 \leq 100kHz$ $0.5Hz \leq f_0 \leq 500kHz$		± 0.005 ± 0.025 ± 0.05	± 0.01 ± 0.05
标尺因子电压漂移/(%FSR)	$\Delta K/K$	$f_0 = 10kHz$			± 0.015
标尺因子温度漂移 ($\times 10^{-6}/^\circ C$)	$\Delta K/\Delta T$			± 75	
满度频率/kHz	F_S				500
建立时间/ μs	t_r	满度输入到规定的线性度		1	
V/F 变换:					
正输入电压范围/V			> 0		$+0.25mA \times R_1$
负输入电压范围/V			> 0		~ 10
输入电流范围/mA			> 0		$+0.25$
反相输入偏置电流/nA	I_{B-}			20	100
同相输入偏置电流/nA	I_{B+}			100	250
输入失调电压/mV	V_{IO}			1	4
输入阻抗/(k Ω /pF)	R_1/C_1		300/10	650/10	
脉冲宽度/s	τ	最好线性		$0.25/f_{max}$	
F/V 变换:					
比较器输入阻抗/(k Ω /pF)	R_1/C_1		50/10	150/10	
脉冲宽度/s	τ		0.1		$0.15/f_{max}$

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值
输出电阻/ Ω	R_o	闭环			1
负载电容/ μF	C_L	无振荡			100
工作温度/ $^{\circ}\text{C}$	T_A		-25		+85
电源电流/ mA	I_s			5.5	6.0
传递函数	V/F 变换 $f_o = V_i / 7.5 R_T C_T$				
	F/V 变换 $V_o = 7.5 R_T C_T f_i$				

二、AD537V/F 变换器

AD537 为单片集成 V/F 变换器。其特点是：具有多功能输入放大器；满度频率高于 100kHz；正负电压输入方式、负电流输入方式；高输入阻抗；非线性误差小于 $\pm 0.05\%$ ；温度系数小于 $\pm 50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；可作为 F/V 变换器应用；动态范围 100dB；具有 1.00V 电压基准输出；具有温度敏感输出端 (1mV/K)。

AD537 电原理图及外引线图见图 2.2.41 和图 2.2.42，典型接法见图 2.2.43，主要参数见表 2.2.23。

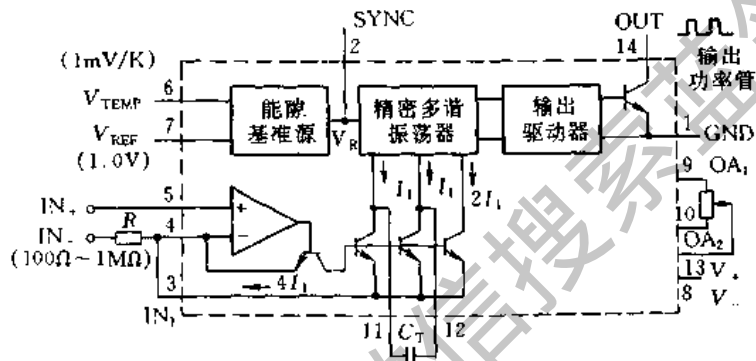


图 2.2.41 AD537 电原理图

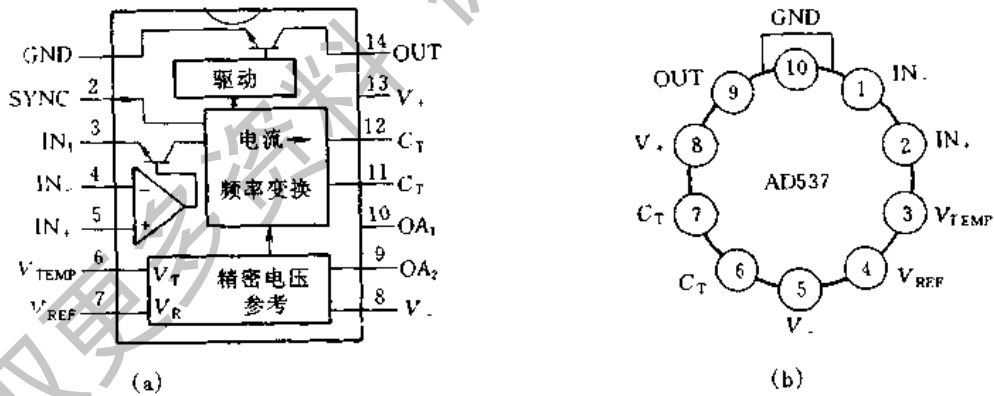
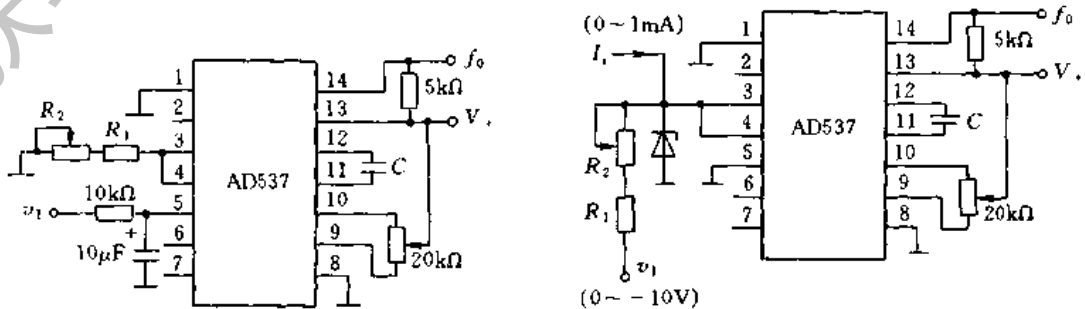
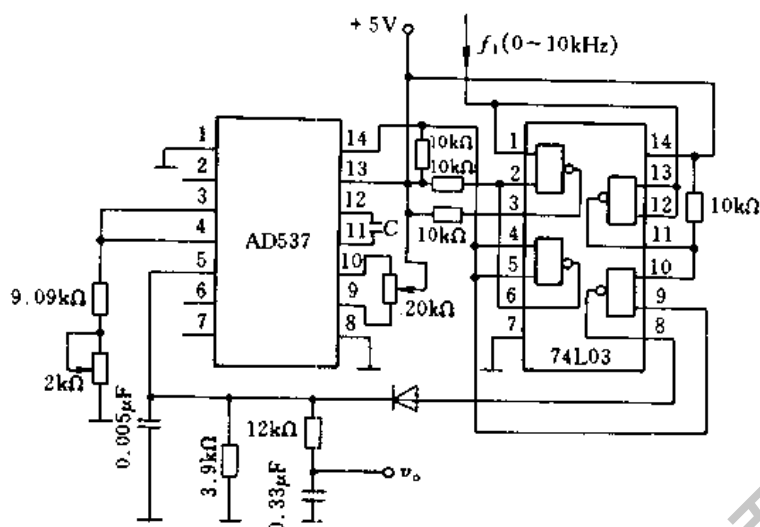


图 2.2.42 AD537 外引线图

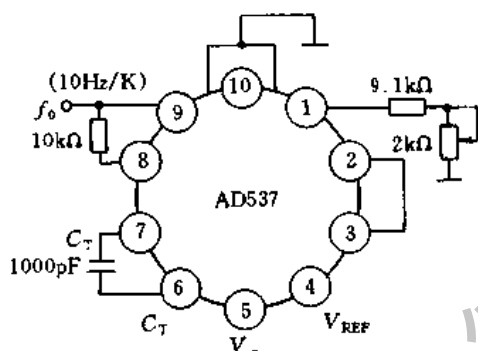


(a) 电压输入方式

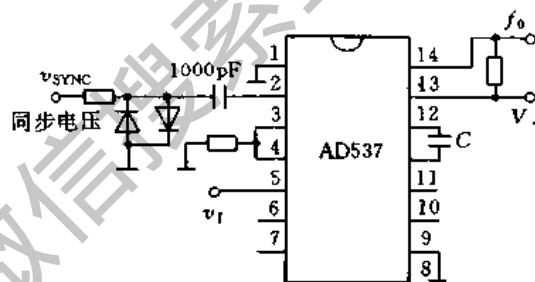
(b) 电流输入方式



(c) 10kHz/V 变换器



(d) 热力学温度-频率变换器



(e) 同步工作方式

图 2.2.43 AD537 典型接法图

表 2.2.23 AD537 主要参数

参数名称	符号	AD537JH	AD537K
L/F 变换器:			
频率范围/kHz	f_{FS}	0 ~ 150	0 ~ 150
非线性误差/%	E_{RL}		
$f_0 = 10\text{kHz}$		0.1	0.07
$f_0 = 100\text{kHz}$		0.15	0.1
标尺因子温度漂移/ $(\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$	$\Delta K/\Delta T$	± 50	± 30
输入放大器(V/F 变换):			
输入电压范围/V	V_{IN}		
单电源		$0 \sim (V_+ - 4)$	$0 \sim (V_+ - 4)$
双电源		$V_- \sim (V_+ - 4)$	$V_- \sim (V_+ - 4)$
输入偏置电流/nA	I_{IB}	100	100
输入电阻(同相端)/MΩ	R_i	250	250
输入失调电压/mV	V_{IB}	5	2
失调电压温度漂移/ $(\mu\text{V}/^\circ\text{C})$	$\Delta V_{IB}/\Delta T$	5	1
基准电压			
绝对值/V	V_{REF}	$(1 \pm 5)\%$	$(1 \pm 5)\%$
温度系数/ $(\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$		50	100

参数名称	符号	AD537JH	AD537K
绝对温度传感灵敏度/(mV/K)		1	1
25℃起始标准/mV		298 ± 5	298 ± 5
单电源电压范围/V		4.5 ~ 36	4.5 ~ 36
双电源电压范围/V		±5 ~ ±18	±5 ~ ±18
工作温度/℃	T_A	0 ~ 70 AD537S -55 ~ +125	0 ~ 70
传递函数	$f_0 = K\omega_1 \quad K = 1/16V_R C_1 R$ (标尺因子)		

第十节 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路

一、A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表

由于 A/D 和 D/A 转换器是连接数字计算机和一次仪表或终端执行机构的桥梁,因之又称其为接口电路。近些年来,随着接口系统的集成化,出现了许多高速、高精度的集成 A/D、D/A 转换器,其性能一般都超过由分立元件所构成的同类电路。

A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表见表 2.2.24。

表 2.2.24 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路一览表

型号	名称	型号	名称
MC10315L	7 位 A/D 转换器	ADC0808	8 位 A/D 转换器
MSA8041AS	4 位 A/D 转换器	ADC0811	8 位 A/D 转换器
MSA8043AS	4 位 A/D 转换器	ADC0816	8 位 A/D 转换器
MSM6219AS	6 位 A/D 转换器	ADC0820	与微处理器兼容的 8 位高速 A/D 转换器
PNA7509	7 位 A/D 转换器	ADC0829	8 位 A/D 转换器
SP9756-6	6 位 A/D 转换器	ADC0831	8 位 A/D 转换器
TDC1014J	6 位 A/D 转换器	ADC0832	8 位 A/D 转换器
TDC1021J	4 位 A/D 转换器	ADC0833	8 位 A/D 转换器
TDC1029	6 位 A/D 转换器	ADC0834	8 位 A/D 转换器
TDC1114N7C1	6 位 A/D 转换器	ADC0838	8 位 A/D 转换器
TDC1121N9C	4 位 A/D 转换器	ADC0844	8 位 A/D 转换器
ZN440	6 位 A/D 转换器	ADC300	8 位 A/D 转换器
μAB1005	4 位 A/D 转换器	ADC5101	8 位 A/D 转换器
	8 ~ 9 位 A/D 转换器	ADC815	超高速 8 位 A/D 转换器
AD570	8 位 A/D 转换器	ADC82	8 位 A/D 转换器
AD670	8 位 A/D 转换器	ADC830	8 位 A/D 转换器
AD673	8 位 A/D 转换器	ADC847	8 位 A/D 转换器
AD7574	8 位 A/D 转换器	ADC881	超线性 8 位 A/D 转换器
AD7575	8 位 A/D 转换器	Am6108	8 位 A/D 转换器
AD7576	8 位 A/D 转换器	Am6148	8 位 A/D 转换器
AD7581	8 位 A/D 转换器	BA9101	8 位 A/D 转换器
AD7824	8 位 A/D 转换器	CXA1016P	8 位 A/D 转换器
AD7828	8 位 A/D 转换器	CXA1056P	8 位 A/D 转换器
ADC-EH8B	快速 8 位 A/D 转换器	CXA1066K	8 位 A/D 转换器
ADC0800	8 位 A/D 转换器	CXA1096P	8 位 A/D 转换器
ADC0801	8 位 A/D 转换器	HA19209	8 位 A/D 转换器
ADC0802	8 位 A/D 转换器	HAS0802	8 位 A/D 转换器
ADC0803	8 位 A/D 转换器	IR3K03A	8 位 A/D 转换器
ADC0804	8 位 A/D 转换器	MB4052	8 位 A/D 转换器
ADC0805	8 位 A/D 转换器	MB4056	8 位 A/D 转换器

续表

型号	名称	型号	名称
8~9位 A/D 转换器		AD5200	12位逐次逼近高精度 A/D 转换器
MB40578	8位 A/D 转换器	AD5210	12位 A/D 转换器
MB4666	8位 A/D 转换器	AD5240	12位 A/D 转换器
MC10319	8位 A/D 转换器	AD572	12位逐次逼近 A/D 转换器
MN502	8位 A/D 转换器	AD574	12位 A/D 转换器
MN5100	8位 A/D 转换器	AD578	12位 A/D 转换器
MN5120	8位 A/D 转换器	AD7552	12位 A/D 转换器
MN5130	8位 A/D 转换器	AD7572	高速 12位 LC ² MOS A/D 转换器
MN5150	8位 A/D 转换器	AD7578	12位 CMOS 逐次逼近 A/D 转换器
MP7574	8位 A/D 转换器	AD7582	12位 A/D 转换器
MP7581	8位 A/D 转换器	ADC-EH12B1	12位 A/D 转换器
MP7683	8位 A/D 转换器	ADC-EHB2	12位 A/D 转换器
MP7684	8位 A/D 转换器	ADC-EH12B3	超高速 12位 A/D 转换器
NE5034	8位 A/D 转换器	ADC-EK	12位 A/D 转换器
SDA8010	8位 A/D 转换器	ADC-ET	12位 A/D 转换器
T3985	8位 A/D 转换器	ADC-HC12B	12位 A/D 转换器
TC35094P	8位 A/D 转换器	ADC-HS12B	12位 A/D 转换器
TC35095	8位 A/D 转换器	ADC-HX(HZ)	12位 A/D 转换器
TC5090AP	8位 A/D 转换器	ADC10HT	12位 A/D 转换器
TC5091AP	8位 A/D 转换器	ADC1210	12位 A/D 转换器
TDC1049	9位 A/D 转换器	ADC1225	12位 + SIGMA/D 转换器
TLC548	8位 A/D 转换器	ADC574A	与微处理器兼容的 12位 A/D 转换器
μPD7001C	8位 A/D 转换器	ADC600	超高速 12位 A/D 转换器
μPD7003C	高速 8位 A/D 转换器	ADC674A	与微处理器兼容的 12位 A/D 转换器
10~11位 A/D 转换器		ADC7109	能与微处理器接口的 12位 A/D 转换器
AD571	10位 A/D 转换器	ADC80-12	12位 A/D 转换器
AD573	10位 A/D 转换器	ADC803	12位 A/D 转换器
AD575	10位 A/D 转换器	ADC804	12位 A/D 转换器
AD579	10位 A/D 转换器	ADC810	12位高速 A/D 转换器
AD7571	10位 A/D 转换器	ADC817	超高速 12位 A/D 转换器
ADC-EH10B	10位 A/D 转换器	ADC85-12	12位 A/D 转换器
ADC1001	10位 A/D 转换器	ADC87	12位 A/D 转换器
ADC1005	10位 A/D 转换器	ICL7104-12	12位 A/D 转换器
ADC1021	10位 A/D 转换器	ICL7109	12位 A/D 转换器
ADC1025	10位 A/D 转换器	MP32	与微处理器接口的 12位数据采集系统
ADC80-10	10位 A/D 转换器	μPC650D	12位 A/D 转换器
ADC816	10位 A/D 转换器	13~14位 A/D 转换器	
ADC85-10	10位 A/D 转换器	AD7550	13位 A/D 转换器
ADC856	10位 A/D 转换器	ADC149	14位 A/D 转换器
ADC85C10	10位 A/D 转换器	ICL7104-14	14位 A/D 转换器
CX20220AI	10位 A/D 转换器	ICL7115	14位 A/D 转换器
MB4051	10位 A/D 转换器	MP7550	13位 A/D 转换器
MP7685	11位 A/D 转换器	TC5092AP	13位 A/D 转换器
ZN501	10位 A/D 转换器	16位 A/D 转换器	
μPD7002C	10位 A/D 转换器	AD376	16位 A/D 转换器
μPD7004C	10位 A/D 转换器	ADC71	高分辨率 16位 A/D 转换器
12位 A/D 转换器		ADC72	16位混合式 A/D 转换器
AD369	增益可编程 12位 A/D 转换器	ADC76	16位 A/D 转换器
AD375	与微处理器兼容的 12位 A/D 转换器	ICL7104-16	16位 A/D 转换器

型号	名称	型号	名称
16位 A/D 转换器		AD7524	8位 D/A 转换器
ICL8052A	16位 A/D 转换器	AD7526	8位 D/A 转换器
ICL8068A	16位 A/D 转换器	AD7528	8位 D/A 转换器
MN5284	16位 A/D 转换器	AD9700	8位视频 D/A 转换器
BCD 码输出 A/D 转换器		AD9703	8位 D/A 转换器
AD7555	5 $\frac{1}{2}$ 位二进制系统 A/D 转换器	AD9768	8位 D/A 转换器
ADD6501	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC-HF8	8位超高速 D/A 转换器
ICL7106	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC-IC8B	8位 D/A 转换器
LCL7107	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC-UP8B	8位 D/A 转换器
ICL7116	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC08	8位 D/A 转换器
ICL7117	3 $\frac{1}{2}$ 位 LED 用 A/D 转换器	DAC0801	8位 D/A 转换器
ICL7126	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC0802	8位 D/A 转换器
ICL7135	4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0803	8位 D/A 转换器
ICL7136	3 $\frac{1}{2}$ 位 LCD 用 A/D 转换器	DAC0804	8位 D/A 转换器
MC14433	3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0806	8位 D/A 转换器
μ PC646D	积分式 4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	DAC0830	8位 D/A 转换器
压频及频-压 A/D 转换器		DAC608	与微处理器兼容的 8 位 D/A 转换器
AD537	压-频 A/D 转换器	DAC752	8位乘法型 D/A 转换器
AD650	压-频及频-压 A/D 转换器	DAC82	8位 D/A 转换器
AD654	压-频 A/D 转换器	DAC8308	超高速 8 位复合视频 D/A 转换器
ADVF32	压-频 A/D 转换器	DAC8318	超高速 8 位复合视频 D/A 转换器
4~6 位 D/A 转换器		DAC90	8位 D/A 转换器
AD7110	6位 CMOS LOGDACTM 数字控制音频衰减 D/A 转换器	IR3K02	8位 D/A 转换器
AD7118	6位 CMOS 对数 D/A 转换器	MB40778	8位 D/A 转换器
AD9702	三通道 4 位 D/A 转换器	MC1408	8位 D/A 转换器
DAC706	6位 D/A 转换器	MP10	8位 D/A 转换器
MB40776	6位 D/A 转换器	MP11	8位 D/A 转换器
μ PC603	6位 D/A 转换器	SDA8005	8位 D/A 转换器
μ PD6325C	6位 D/A 转换器	μ PC624C	8位高速 D/A 转换器
8 位 D/A 转换器		μ PD6900C	8位 D/A 转换器
AD1408	8位乘法型 D/A 转换器	μ PD7011C	8位 D/A 转换器
AD558	8位 D/A 转换器	10 位 D/A 转换器	
AD7111	8位 CMOS 对数 D/A 转换器	AD561	10位 D/A 转换器
AD7224	8位 D/A 转换器	AD7520	10位 D/A 转换器
AD7225	四路 8 位 LC ² MOS D/A 转换器	AD7522	10位 D/A 转换器
AD7226	四路 8 位 LC ² MOS D/A 转换器	AD7527	10位 D/A 转换器
AD7501	8位多路 D/A 转换器	AD7530	10位乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7502	8位多路 D/A 转换器	AD7533	10位乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7503	8位多路 D/A 转换器	DAC-HA10	10位精密乘法型 CMOS D/A 转换器
AD7523	8位 D/A 转换器	DAC-HF10	10位超高速 D/A 转换器
		DAC-IC10B	10位 D/A 转换器
		DAC-UP10B	10位 D/A 转换器
		DAC100	10位单片 D/A 转换器
		DAC1000	10位 D/A 转换器
		DAC1006	10位 D/A 转换器
		DAC1020	二进制乘法型 10 位 D/A 转换器
		DAC610	与微处理器兼容的 10 位 D/A 转换器
		DAC7533	10位乘法型 D/A 转换器
		HDD1015	10位 D/A 转换器
		MB40748	10位 D/A 转换器

续表

型号	名称	型号	名称
10位 D/A 转换器		HDD1206	12位 D/A 转换器
MB40788	10位 D/A 转换器	MN3850	12位 D/A 转换器
μ PD610D	10位 + 符号位 D/A 转换器	μ PC648C	高速 12位 D/A 转换器
12位 D/A 转换器		14~16位 D/A 转换器	
AD3860	12位缓冲电压输出 D/A 转换器	AD1147	与微处理器兼容的 16位 D/A 转换器
AD394	与微处理器兼容的四路 12位 D/A 转换器	AD569	16位 D/A 转换器
AD562/BIN	12位 D/A 转换器	AD7534	14位 D/A 转换器
AD563/BIN	12位 D/A 转换器	AD7535	14位 D/A 转换器
AD565	12位 D/A 转换器	AD7536	与微处理器兼容的 14位 LC ² MOS D/A 转换器
AD565A	12位 D/A 转换器	AD7546	16位 D/A 转换器
AD566	12位 D/A 转换器	ADDAC71	16位 D/A 转换器
AD567	12位 D/A 转换器	DAC-HA14	14位精密乘法型 CMOS D/A 转换器
AD6012	12位 D/A 转换器	DAC-HP16B	16位 D/A 转换器
AD667	12位 D/A 转换器	DAC1600	16位 D/A 转换器
AD7240	12位 D/A 转换器	DAC700	16位 D/A 转换器
AD7245	12位 LC ² MOS D/A 转换器	DAC701	15位 D/A 转换器
AD7521	12位 D/A 转换器	DAC707	16位 D/A 转换器
AD7531	12位乘法型 CMOS D/A 转换器	DAC708	16位 D/A 转换器
AD7537	12位 D/A 转换器	DAC709	16位 D/A 转换器
AD7541	12位乘法型 CMOS D/A 转换器	DAC70BH	16位 D/A 转换器
AD7542	12位 D/A 转换器	DAC71	混合型 16位 D/A 转换器
AD7543	12位 D/A 转换器	DAC71-CCD	16位 D/A 转换器
AD7544	12位 D/A 转换器	DAC710	16位机器人用 D/A 转换器
AD7545	12位 D/A 转换器	DAC711	16位机器人用 D/A 转换器
AD7547	12位 D/A 转换器	ICL7134	14位 D/A 转换器
AD7548	12位 D/A 转换器	ICL7145	16位 D/A 转换器
AD7549	12位 D/A 转换器	PCM52JG-V	16位音频用 D/A 转换器
AD7845	12位乘法型 LC ² MOS D/A 转换器	PCM53-1	16位 D/A 转换器
DAC-DG12B	快速 12位去毛刺 D/A 转换器	PCM53KP-1	16位 D/A 转换器
DAC-HA12	12位精密乘法型 CMOS D/A 转换器	PCM53KP-V	16位 D/A 转换器
DAC-HF12	12位超高速 D/A 转换器	PCM54	16位音响用 D/A 转换器
DAC-HZ 系列	12位混合 D/A 转换器	BCD 码输入 D/A 转换器	
DAC10HZ	12位 D/A 转换器	AD711	2 $\frac{1}{2}$ 位 CMOS 0.1dB 步长衰减 D/A 转换器
DAC1200	12位 D/A 转换器	AD7525	3 $\frac{1}{2}$ 位 D/A 转换器
DAC1208	12位 D/A 转换器	取样保持电路与多路转换器	
DAC1220	二进制乘法型 12位 D/A 转换器	AD585	取样保持电路
DAC1230	12位 D/A 转换器	MPC4D	多路转换器
DAC1280	12位 D/A 转换器	MPC800	多路转换器
DAC1280-1	12位 D/A 转换器	MPC8C	多路转换器
DAC1285	12位 D/A 转换器	SHC298AM	取样保持电路
DAC312	12位 D/A 转换器	SHC5320	取样保持电路
DAC562	高性能 12位 D/A 转换器	SHC600BH	取样保持电路
DAC612	与微处理器兼容的 12位 D/A 转换器	SHC803	取样保持电路
DAC63	12位 D/A 转换器	SHC804	取样保持电路
DAC800(1)	12位 D/A 转换器	SHM20	取样保持电路
DAC800(V)	12位 D/A 转换器	SHM360	取样保持电路
DAC811	12位 D/A 转换器	SHM45	取样保持电路
DAC812	12位 D/A 转换器	SHM91	取样保持电路
DAC85	12位 D/A 转换器		
DAC850	12位 D/A 转换器		

二、逐次比较式 A/D 转换器

ADC0808/0809 是单片 CMOS 8 位、8 通道多路逐次逼近转换器，可与微处理机兼容。电原理图见图 2.2.44。

图 2.2.45 给出了 ADC0808/0809 外引线图。

1. 部分引脚功能

ADDA ~ ADDC 为输入地址选择。

ALE 为地址锁存允许输入。正跳变时，锁存输入地址信号，选通相应的模拟信号通路，以便进行 A/D 转换。

START 为启动信号。启动脉冲上升沿将所有内部寄存器清零，下降沿开始转换。

EOC 为转换结束，高电平有效。在 START 信号上升沿之后 0~8 个时钟周期内，EOC 变为低电平，当转换结束时，EOC 变为高电平。

OE 为输出允许，高电平有效，它为有效时，将输出寄存器中的数据放到数据总线上。

2. 典型接法图 (见图 2.2.46)

3. 主要参数 (见表 2.2.25)

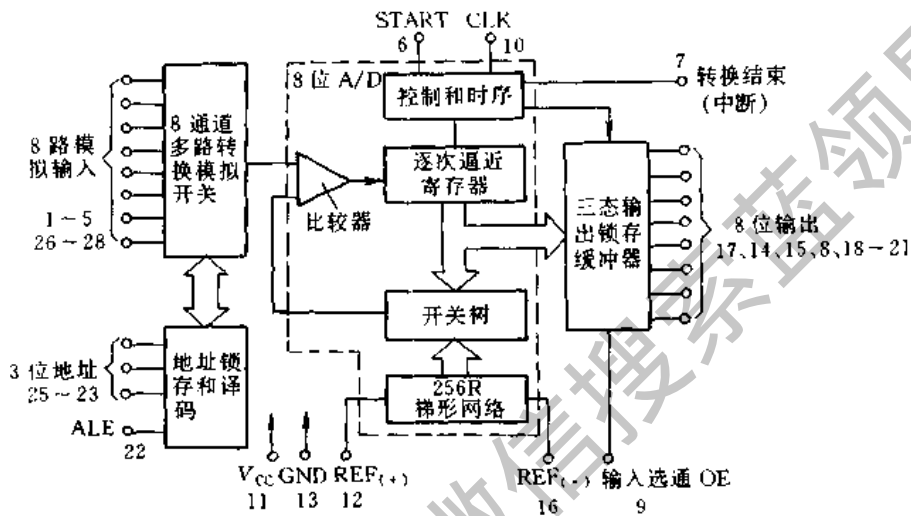


图 2.2.44 ADC0808/0809 电原理图

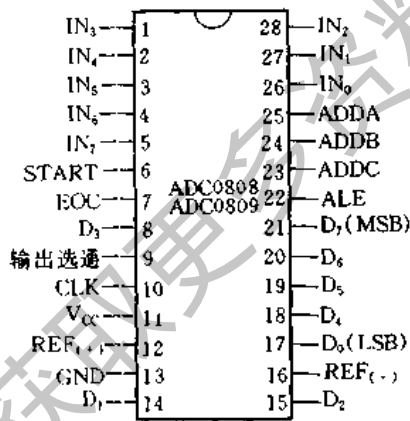


图 2.2.45 ADC0808/0809 外引线图

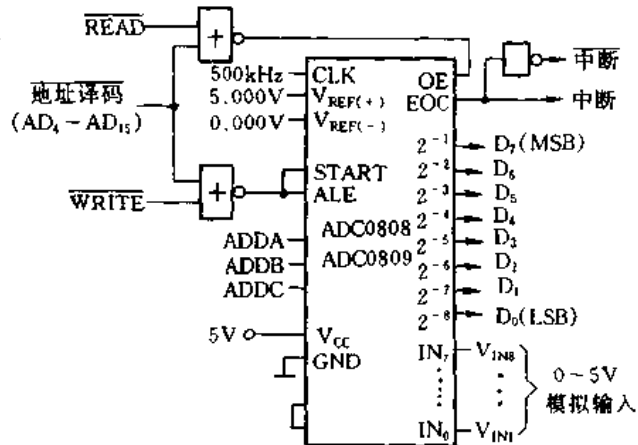


图 2.2.46 ADC0808/0809 典型接法图

表 2.2.25 ADC0808/0809 主要参数

电源电压 /V	分辨率 /bit	输入电压范围 /V	转换时间 /μs	功耗 /mW	误差 /LSB	工作温度 /℃
+5	8	+5	100	15	± 1/2 (0808) ± 1 (0809)	-40 ~ +85

三、双积分 A/D 转换器

5G14433 是单片 CMO 3 $\frac{1}{2}$ 位 LSI A/D 转换器。采用双积分原理实现转换，具有自动调零、自动极性转换、精度高、功耗低、使用方便、并能与微机或其他数字电路兼容的优点，广泛用于数字面板表、数字万用表、数字温度计、数字量具和遥控遥测系统。

1. 电原理图及外引线图 (见图 2.2.47 和图 2.2.48)

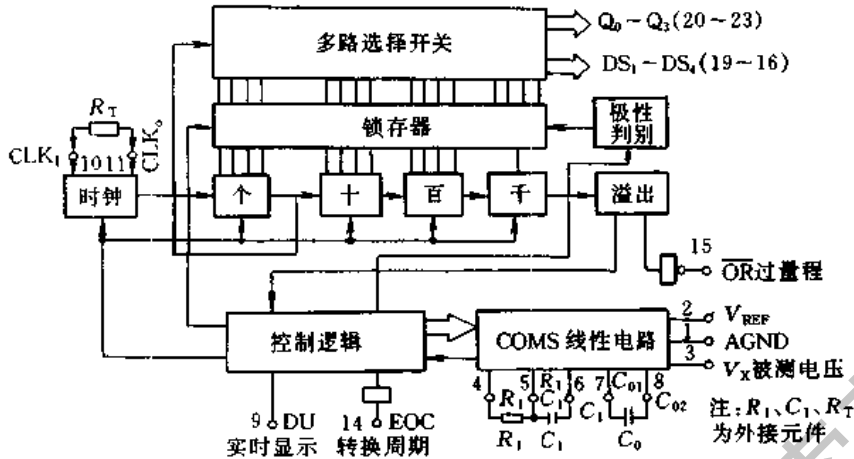


图 2.2.47 5G14433 电原理图

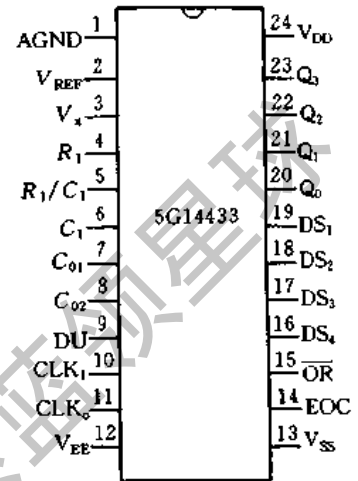


图 2.2.48 5G14433 外引线图

部分引脚功能如下:

R_1 、 C_1 、 R_1/C_1 为外接积分阻容元件端;

C_{01} 、 C_{02} 为外接失调补偿电容端;

DU 为更新显示控制输入端;

CLK_1 、 CLK_0 为时钟振荡器外接电阻端;

V_{EE} 为电源最负端, 要求 $V_{AGND} - V_{EE} \geq 2.8V$;

V_{SS} 为除 CLK_0 外, 所有输出端低电平基准, $V_{DD} - V_{SS} \geq 5V$;

EOC 为结束标志, 转换结束后 EOC 输出一个宽度为 $1/2$ 时钟周期的正脉冲;

\overline{OR} 过量程标志, 当 $|V_X| > |V_{REF}|$ 时, \overline{OR} 变为低电平;

$DS_4 \sim DS_1$ 为多路选通脉冲输出端, 依次为个、十、百、千位, 脉宽为 18 个时钟周期;

$Q_0 \sim Q_3$ 为数据输出端, $DS_2 \sim DS_4$ 选通脉冲期间, 输出 3 位十进制数, DS_1 期间输出, 或 1 及过量程、欠量程、极性标志信号。

最高位 (千位) 编码条件见表 2.2.26。

表 2.2.26 最高位编码条件

MSD 编码条件	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	BCD-7 段译码
+0	1	1	1	0	不显示
-0	1	0	1	0	
+0	1	1	1	1	
-0	1	0	1	1	
+1UR	0	1	0	0	4→1
-1UR	0	0	0	0	0→1
+1OR	0	1	1	1	7→1
-1OR	0	0	1	1	3→1

注: 表中 UR 为欠量程; OR 为过量程。

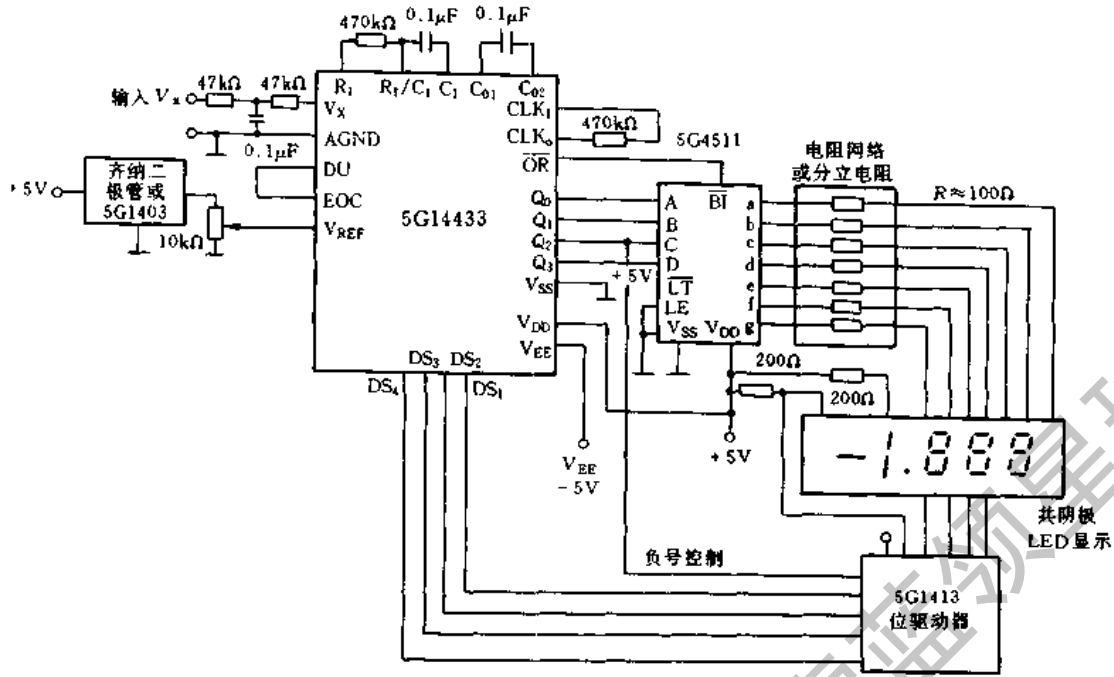


图 2.2.49 LED 数码管显示 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表

2. 典型接法 (见图 2.2.49)

四、DAC 0832 8 位 D/A 转换器

8 位 D/A 转换器可以直接与 Z80、8080、8085、8048、8051 等流行的微处理器直接接口。它主要由两个 8 位寄存器和一个 8 位 D/A 转换器组成。由于使用了两个寄存器 (输入寄存器和 DAC 寄存器), 所以可以进行两次缓冲操作, 使之操作灵活性大为增加。可使用双缓冲、单缓冲、直通输入三种操作方式。逻辑输入与 TTL 兼容。

DAC0832 外引线图见图 2.2.50, 典型接法见图 2.2.51, 主要参数见表 2.2.27。

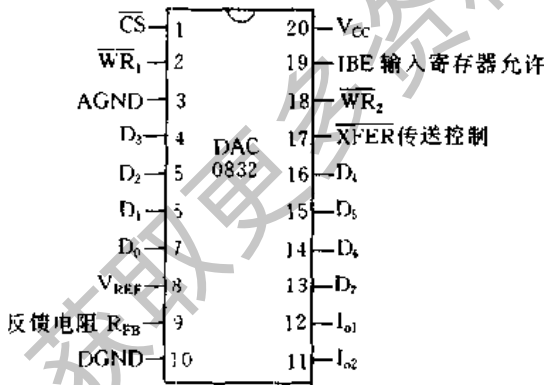


图 2.2.50 DAC0832 外引线图

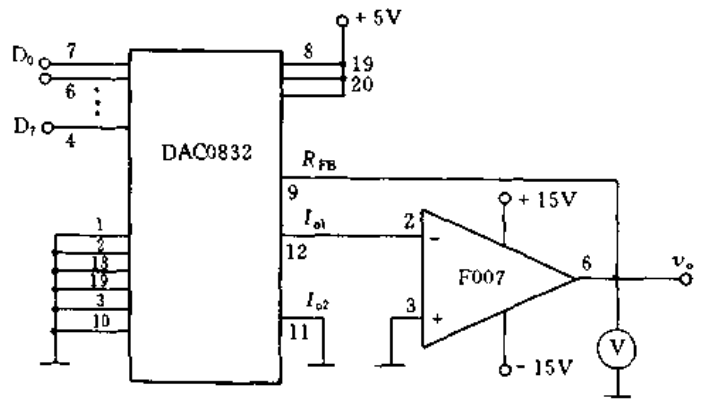


图 2.2.51 DAC0832 典型接法图

表 2.2.27 DAC 0832 主要参数

电源电压 /V	分辨率 /bit	建立时间 /μs	线性度	功耗 /mW	工作温度 /°C
+5 ~ +15	8	1	<0.2	200	0 ~ +70 -25 ~ +85

五、LF198/298/398 采样/保持电路

LF198/298/398 采用 BI-FET 工艺实现了超高直流精度、快速信号捕捉及低的下降速率。结型场效应器件具有比 MOS 器件低得多的噪声，并且不存在高温不稳定问题。整个设计保证了在保持状态下，即使输入信号等于电源电压，在输入和输出之间也不会出现馈通。LF198 与 298 的差异是前者工作温度范围从 $-55 \sim +155^{\circ}\text{C}$ ，而后者仅从 $-25 \sim +85^{\circ}\text{C}$ ，LF398 工作温度范围最小，仅从 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。另外，LF398 的输入偏置电流、增益误差都较 LF198/298 大，1kHz 馈通衰减比却比 LF198/298 小。

LF198/298/398 电原理图及外引线图见图 2.2.52 和图 2.2.53，典型接法见图 2.2.54。



图 2.2.53 LF198/298/398 外引线图

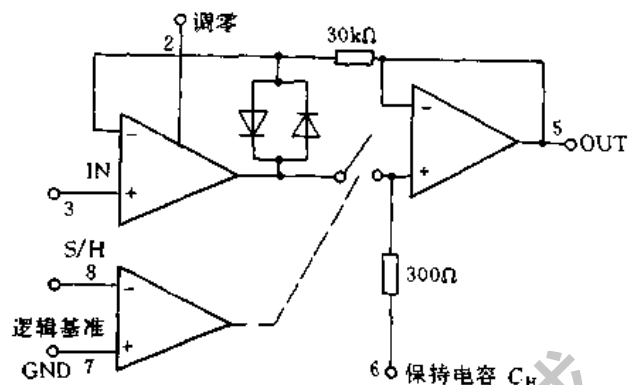


图 2.2.52 LF198/298/398 电原理图

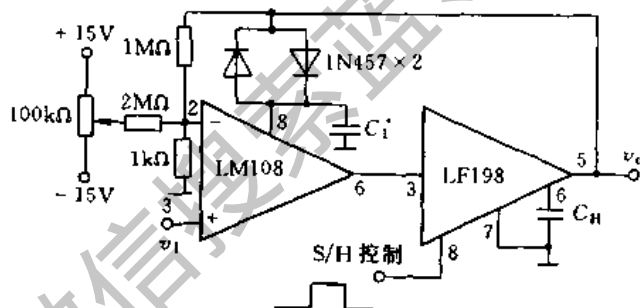


图 2.2.54 LF198 典型接法图

获取更多资料

第三章 电力电子技术基础

第一节 晶闸管元件

晶闸管元件是一种以硅单晶为基本材料的 $P_1N_1P_2N_2$ 四层三端器件。由于它的效率高、无噪音、耐冲击、好安装、尺寸小等优点，很快就成为变流技术领域中的主体，取代了落后的发电机组和水银整流器。以后又发展了许多派生器件，常见的有双向晶闸管、逆导晶闸管和可关断晶闸管等。由于它们的特性类似于真空闸流管，所以国际电工委员会把它们统称为晶体闸流管，简称晶闸管 T。又由于晶闸管最初应用于可控整流方面，所以又称为硅可控整流元件，简称为可控硅 SCR。

在性能上，晶闸管不仅具有单向导电性，而且其通断电压和导通电流还受控制极控制。

晶闸管能以毫安级电流控制大功率的机电设备，是弱电控制强电的桥梁。在电力牵引、电机励磁、电气传动、可控整流、无触点开关、交流调压、逆变和变频电源等方面得到广泛应用。

普通的晶闸管用于交流频率为 400Hz 以下的控制设备。如果超过此频率，因元件开关损耗显著增加，允许通过的平均电流相应降低。此时，标称电流应降级使用。

晶闸管的弱点：静态及动态的过载能力较差；容易受干扰而误导通。

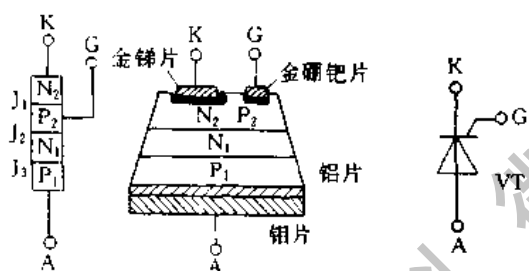


图 2.3.1 晶闸管的结构示意和符号图

一、晶闸管元件的结构和型号

1. 结构

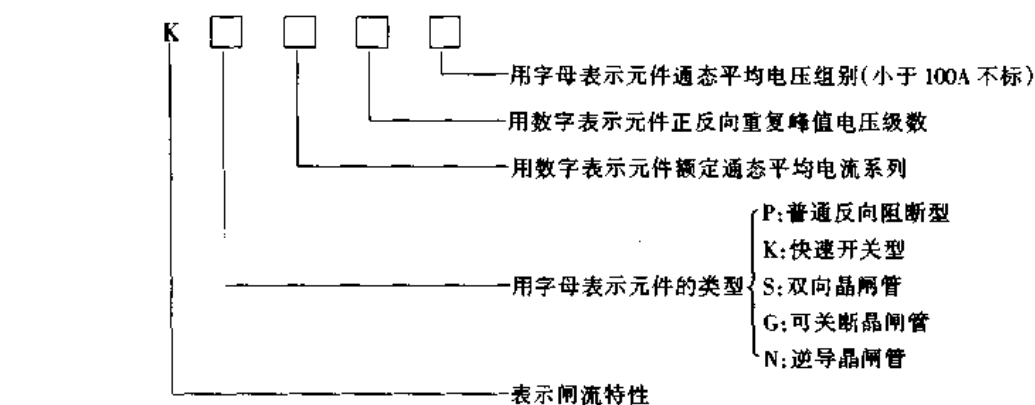
由于生产厂家不同，世界上各种晶闸管元件的外形多达数百种。但是，不管它们的外形如何，其管芯都是由 P 型硅和 N 型硅组成的四层 $P_1N_1P_2N_2$ 结构，见图 2.3.1。它有三个 PN 结 (J_1 、 J_2 、 J_3)，从 J_1 结的 P_1 层引出阳极 A，从 N_2 层引出阴极 K，从 P_2 层引出控制极 G，所以它是一种四层三端的半导体器件。

2. 型号

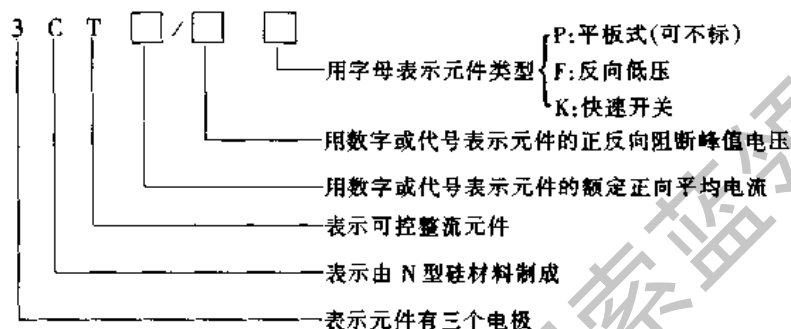
国产晶闸管的主要特性参数对照见表 2.3.1。新、旧型号的格式含义分别如下：

表 2.3.1 KP 型晶闸管新旧标准主要特性参数对照表

序号	参数	部颁新标准 (JB 1144—75)	部颁旧标准 (JB 1144—71)
		KP 型晶闸管整流元件	3CT 系列晶闸管整流元件
1	额定通态平均电流 ($I_{T(AV)}$)		额定正向平均电流 (I_F)
2	断态重复峰值电压 (U_{DRM})		正向阻断峰值电压 (U_{TR})
3	反向重复峰值电压 (U_{RRM})		反向峰值电压 (V_{RM})
4	断态重复平均电流 ($I_{DR(AV)}$)		正向平均漏电流 (I_{R1})
5	反向重复平均电流 ($I_{RR(AV)}$)		反向平均漏电流 (I_{R2})
6	通态平均电压 ($U_{T(AV)}$)		最大正向平均电压降 (V_f)
7	门极触发电流 (I_{GT})		控制极触发电流 (I_g)
8	门极触发电压 (U_{GT})		控制极触发电压 (V_g)
9	断态电压临界上升率 (du/dt)		极限正压上升率 (dv/dt)
10	维持电流 (I_H)		维持电流 (I_H)
11	额定结温 (T_{JM})		额定工作结温 (T_j)



新标准:



KP 型晶闸管的电流电压级别见表 2.3.2。示例如下。

表 2.3.2 KP 型晶闸管电流电压级别

额定通态平均电流 $I_{T(AV)}/A$	1, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000									
正反重复峰值电压 $U_{DRM}, U_{RRM}(\times 100)$ /V	1~10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30									
通态平均电压 $U_{T(AV)}/V$	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
	≤ 0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0~1.1	1.1~1.2	

① KP5-10 表示通态平均电流 5A, 正反向重复峰值电压 1000V 的普通反向阻断型晶闸管元件。

② KP500-12D 表示通态平均电流 500A, 正、反向重复峰值电压 1200V, 通态平均电压 0.7V 的普通反向阻断型晶闸管元件。

③ 3CT5/600 表示通态平均电流 5A, 正、反向重复峰值电压 600V 的旧型号普通晶闸管元件。

二、晶闸管元件的工作原理及基本特性

1. 晶闸管开关条件

由于晶闸管只有导通和关断两种工作状态, 所以它具有开关特性。这种特性需要一定的条件才能转化, 这些条件见表 2.3.3。

表 2.3.3 晶闸管导通和关断条件

状 态	条 件	说 明
从关断到导通	①阳极电位高于阴极电位 ②控制极有足够的正向电压和电流	两者缺一不可
维持导通	①阳极电位高于阴极电位 ②阳极电流大于维持电流	两者缺一不可
从导通到关断	①阳极电位低于阴极电位 ②阴极电流小于维持电流	任一条件即可

2. 基本伏安特性

晶闸管的基本伏安特性见图 2.3.2。

(1) 正向特性 晶闸管阳-阴极间加上正向电压, 控制极不加电压, J_1 、 J_2 结处于正向偏置, J_2 结反向偏

置，所以晶闸管只流过很小的正向漏电流 I_l ，即特性曲线的 A 段。此时晶闸管阳极-阴极间呈现很大的电阻，处于“正向阻断状态”。当正向电压上升到转折电压（又称正向不重复峰值电压） U_{BO} 时， J_2 结被击穿，漏电流突然增加，晶闸管由阻断状态突然转变为导通状态。在图 2.3.2 中由 A 段迅速跨过 B 段而转到 C 段。导通后的正向特性与二极管的特性相似，即通过晶闸管的电流较大而其本身的管压降很小，如图 2.3.2 中 C 段所示。

(2) 反向特性 晶闸管加反向电压时， J_1 、 J_3 结于反向偏置， J_2 结处于正偏置。晶闸管只流过很小的反向漏电流 I_T ，如图 2.3.2 中的 D 段。此段特性与一般二极管的反向特性相似，晶闸管处于反向阻断状态。当反向电压增加到反向转折电压 U_{BR} 时，反向电流急剧增加，使晶闸管反向导通，并造成永久性损坏。

必须指出，在很大的正向或反向电压作用下使晶闸管击穿导通，实际上是绝对不允许的。通常应使晶闸管在正向阻断状态下，将正向触发电压（电流）加到控制极而使其导通。由图 2.3.2 可见，触发电流越大，正向转换电压 U_{BO} 越小。

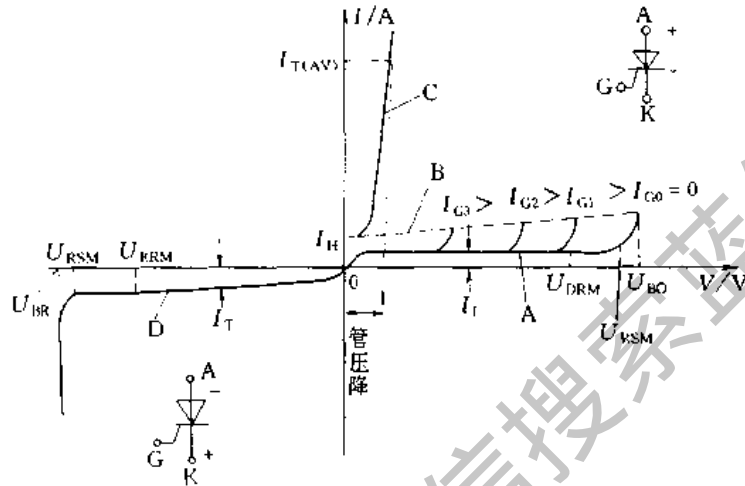


图 2.3.2 晶闸管基本伏安特性

由晶闸管的伏安特性可以看出，晶闸管在正向电压作用下，从阻断到导通的转化条件就是加入正向触发电压（电流）。

三、部分晶闸管元件的主要特性参数

KP 型普通晶闸管参数见表 2.3.4。部分塑封普通晶闸管参数见表 2.3.5。

表 2.3.4 部分普通晶闸管特性参数

参数	额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ /A	断态重复峰值电压 U_{DRM} 反向重复峰值电压 U_{RRM} /V	断态重复平均电流 $I_{DR(AV)}$ 反向重复平均电流 $I_{RR(AV)}$ /mA	通态平均电压 $U_{T(AV)}$ /V	维持电流 I_H /mA	门极触发电流 I_{GT} /mA	门极触发电压 U_{GT} /V	门极不触发电流 I_{CO} /mA	门极不触发电压 U_{CO} /V	门极正向峰值电流 I_{GM} /A	门极正向峰值电压 U_{GM} /V
系列											
KP1	1	100 ~ 3000	≤ 1	上限值由各制造厂根据合格的型式试验自行给出	实测值（由各制造厂给出）	3 ~ 30	≤ 2.5	≥ 0.4	≥ 0.3	—	10
KP5	5	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 70	≤ 3.5	≥ 0.4	≥ 0.3	—	10
KP10	10	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 100	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.25	—	10
KP20	20	100 ~ 3000	≤ 1			5 ~ 100	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.25	—	10
KP30	10	100 ~ 3000	≤ 2			8 ~ 150	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP50	50	100 ~ 3000	≤ 2			8 ~ 150	≤ 3.5	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP100	100	100 ~ 3000	≤ 4			10 ~ 250	≤ 4	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP200	200	100 ~ 3000	≤ 4			10 ~ 250	≤ 4	≥ 1	≥ 0.15	—	10
KP300	300	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP400	400	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP500	500	100 ~ 3000	≤ 8			20 ~ 300	≤ 5	≥ 1	≥ 0.15	4	10
KP600	600	100 ~ 3000	≤ 9			30 ~ 350	≤ 5	—	—	4	10
KP800	800	100 ~ 3000	≤ 9			30 ~ 350	≤ 5	—	—	4	10
KP1000	1000	100 ~ 3000	≤ 10			40 ~ 400	≤ 5	—	—	4	10

续表

参数 系列	门极 反向 峰值 电压 U_{GRM} /V	门极 平均 功率 P_{CAV} /W	门极 峰值 功率 P_{GM} /W	门极 控制 开通 时间 t_{tr} /μs	电路 换向 关断 时间 t_q /μs	断态 电流 临界 上升 率 du/dt /(V/μs)	通态 电流 临界 上升 率 di/dt /(A/μs)	浪涌 电流 I_{TSM} /A	额定 结温 T_{JM} /°C	外形尺寸(螺栓形) /mm					
										d	l	L	ϕ	阴极、门极 引线方法	
KP1	5	0.5	—	典型值 (由各制造 厂给出)	典型值 (由各制造 厂给出)	30	—	20	100	—	—	—	—	—	
KP5	5	0.5	—			30	—	90	100	M6	11 ^{-0.5}	—	—	—	硬引线
KP10	5	1	—			30	—	190	100	M10	13 ^{-0.5}	—	—	—	硬引线
KP20	5	1	—			30	—	380	100	M10	13 ^{-0.5}	≥130	6	—	硬或软引线
KP30	5	1	—			30	—	560	100	M12	15 ^{-0.5}	≥160	7	—	软引线
KP50	5	1	—			30	30	940	100	M20	20 ⁻¹	≥210	9	—	软引线
KP100	5	2	—			100	50	1880	115	M20	20 ⁻¹	≥210	9	—	软引线
KP200	5	2	—			100	80	3770	115	d : 螺栓尺寸 l : 螺栓长 L : 阴极引线到底座的长度 ϕ : 阴极引线孔直径尺寸					
KP300	5	4	15			100	80	5650	115						
KP400	5	4	15			100	80	7540	115						
KP500	5	4	15			100	80	9420	115						
KP600	5	4	15			100	100	11160	115						
KP800	5	4	15			100	100	14920	115						
KP1000	5	4	15			100	100	18600	115						

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $U_{RRM} = 80\% U_{RSM}$, $I_{DS(AV)} = I_{DR(AV)}$, $I_{RS(AV)} = I_{RR(AV)}$ 。

2. 平板形结构限于 200A 和 200A 以上各系列。

3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应当缩短。

表 2.3.5 部分塑封普通晶闸管特性参数

国外型号	极 限 值						性 能 参 数						可代用 型号	
	V_{RRM} /V	V_{DRM} /V	$I_{T(AV)}$ /A	I_{TSM} /A	P_{GM} /W	V_{FCM} /V	I_{FOM} /A	I_{RRM} /mA	I_{DRM} /mA	V_{TM} /V	V_{GT} /V	I_{GT} /mA		I_R /mA
SFOR1	100~400		0.1	4	0.1	5	0.125	0.1		2.5	0.8	0.2	3	3CT021
CW12	100~200		0.2	8	0.1	6	0.1	0.01		1.4	0.8	1	5	3CT031
M21C	200~400		0.2	8	0.1		0.1	0.05		1.6	0.8	1	3	
SFOR3	100~600		0.3	9	0.1	5	0.125	0.1		2	0.8	0.2	4	
CRO2AM	50~500		0.3	10	0.1	6	0.1	0.1		1.6	0.8	0.1	3	3CT041
CRO3AM	50~600		0.3	20	0.5	6	0.3	0.1		1.8	0.8	0.1	3	
2N6564	300		0.5	6	1	6	1	0.1		1.7	0.8	0.2	5	3CT051
2N6565	400													
MCR100	100~600		0.5	10	0.1	5	1	0.1		1.7	0.8	0.2	5	
CR2AM	50~600		2	20	0.5	6	0.3	0.1		1.8	0.8	0.1		3CT102
M23C	200~400		2	20	0.5		0.2	0.1		2.2	0.8	1	2	
SF2	100~600		2	20	0.1	5	0.1	0.2		2	0.8	0.2	3	
CSM2B	200~400		2	20	0.5	6	2	0.01		1.8	0.8	1	1.5	
SF3	100~600		3	60	5	5	3	0.5		1.6	1.5	40	60	
CSM3B	200~400		3	60	0.5	6	0.2	0.02		2	0.8	1	1.5	
CR3CM	50~600		3	90	0.5	6	0.3	1		1.6	0.2	0.2		
3R3EM	50~600		3	70	2	6	1	2		1.6	1.5	30	45	
SF5	100~600		5	80	5	5	2	2		1.6	1.5	40	60	
CSM5B	200~400		5	85	5	6	2	0.1		1.3	1.5	30	25	

四、晶闸管元件的使用测试

1. 万用表检查法

(1) 检查 A-K 之间、A-G 之间的正、反向电阻 用万用表 $\times 1k$ 或 $\times 10k$ 欧姆档进行测量，若正、反电阻相当大（通常有几百千欧），则说明 A-K 之间、A-G 之间正常；如果发现短路或电阻很小，则说明管子已经损坏。

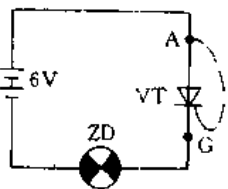


图 2.3.3 直流亮灯法

(2) 检查 G-K 之间的正、反向电阻 用万用表 $\times 1$ 或 $\times 10$ 欧姆档进行测量，如果正向电阻很小（几欧姆至几百欧姆），反向电阻较大（几千欧至几十千欧），则说明管子正常。否则，不正常。

2. 亮灯检查法

(1) 直流亮灯法 如图 2.3.3 所示，将 G 极碰触一下 A 极，随即放开，如果灯亮一下即行熄灭，则说明元件不正常。图中 ZD 为 6.3V 小电珠。

(2) 交流亮灯法 对于耐压大于 400V 的晶闸管元件；可用图 2.3.4 接线检查。当开关 K 合上，灯亮；K 断开，灯熄，说明元件完好。在 K 断开瞬间，由于交流电压自然过零致使晶闸管自行关断，所以灯熄。

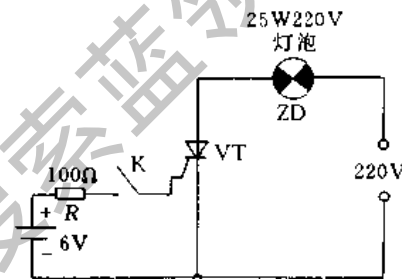


图 2.3.4 交流亮灯法

(3) 正、反向重复峰值电压的测试 当需要测试晶闸管的正、反向重复峰值电压时，可采用图 2.3.5 的测试线路。图中 u_{AB} 的电压波形如图 2.3.6 (a) 所示，该电压通过二极管 D_3 隔离、电容 C 滤波，使 u_{FB} 的电压波形如图 2.3.6 (b) 所示。一般电压表内阻较大，选取合适的电容 C，可使电表的读数反映出电压峰值。电压 u_{AB} 通过电阻分压，从 HB 取出，作为示波器横轴扫描电压。示波器的纵轴信号为从 1k 电阻上取得的反应电流大小的电压信号，所以从示波器上可以观察到晶闸管的伏安特性。当开关 K 置于“正”位置时，由于晶闸管阳极电压为正，在示波器上可以观察到正向伏安特性；当 K 置于“反”位置时，在示波器上可以观察到反向伏安特性。当正、反向伏安特性曲线急剧转弯时，所对应的电压读数分别为断态不重复峰值电压和反向不重复峰值电压。把它们的数字分别乘以 0.8，即得到断态重复峰值电压和反向重复峰值电压。如需读取断态重复平均电流及反向重复平均电流，只需调节调压器使用电压表读数对应于断态和反向重复峰值电压，按下按钮 AN，从毫安表即可以读取。

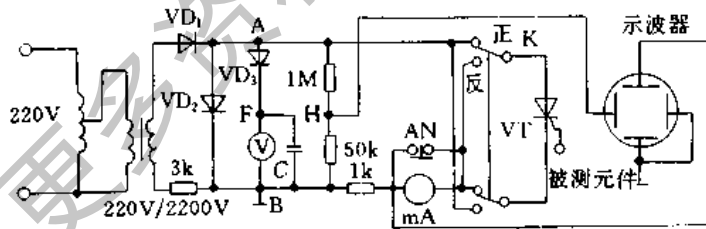


图 2.3.5 晶闸管正、反向重复峰值电压测试线路

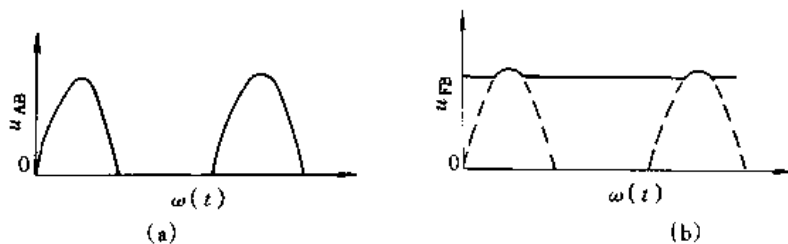


图 2.3.6 电压波形

(4) 门极触发电压和触发电流测试 测试电路见图 2.3.7。为了避免电表内阻的影响，特别设置了开关 K₁

和 K_2 。先将 K_1 断开, K_2 闭合, 调节 E_C 从零开始慢慢增加, 直到电压表 V_1 的读数突然下降 (灯 ZD 同时点亮) 为止。这种现象表示晶闸管已由阻断转向导通状态。然后将 K_1 闭合 (此时 K_2 仍闭合), 此时电压表 V_2 的读数即为触发电压 U_{GT} 。再就是将 K_1 、 K_2 同时断开, 此时, 电流表 mA 的读数即为触发电流 I_{GT} 。

由于额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 是通过对比结温的定量考核验证的, 作为用户可以不必测量。

五、使用晶闸管注意事项

1. 合理选择晶闸管元件参数

参数中最主要的是晶闸管的额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 和正、反向重复峰值电压 U_{DRM} 和 U_{RRM} 。通常, 这两个电压值是相等的, 就是产品中标明的额定电压。若这两个电压值不相等, 则以小值为准。晶闸管容量选择时要考虑 (1.5~2) 的安全系数。

如果回路中存在电抗元件时, 必须考虑电路突然接通或断开时, 电感元件的感应电动势和电容元件的充、放电电流对晶闸管的冲击。

2. 不允许过载

晶闸管元件可以控制很大的功率, 但它的过载能力较差。因此, 工作时必须保证元件不要过载, 实用时应采取过压保护和过流保护。

3. 限制电流上升率

晶闸管导通时, 必须限制元件的电流上升率。如果电流上升率很大, 则将因最初导通面积很小, 电流集中在该面积上, 容易引起局部损坏导电结, 导致元件烧毁。必要时, 可在晶闸管回路中串入饱和电抗器进行限流。

4. 散热必须良好

散热器是晶闸管元件不可分割的组成部分。元件和散热器的安装表面可以涂上适量的硅脂, 以降低接触热阻和防止电腐蚀, 保证接触良好。50A 以上的元件必须采用风冷, 风速不小于 5m/s。

5. 必须注意环境温度的影响

元件的额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$, 是指环境温度为 40℃ 时的数值。如果超过 40℃, $I_{T(AV)}$ 值要降级使用, KP20 额定电流与环境温度的关系见图 2.3.8。

6. 注意导通角对元件的影响

对于电阻性负载, 如果元件的导通角变小, 则元件输出的平均电流比全导通时要相应减小。

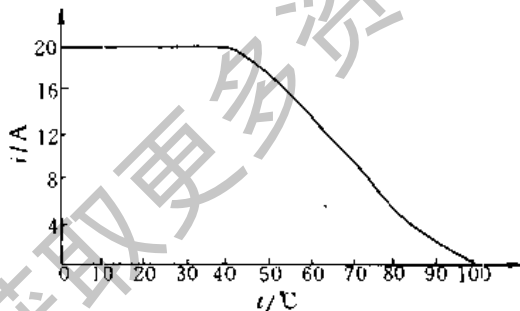


图 2.3.8 KP20 额定电流与环境温度关系

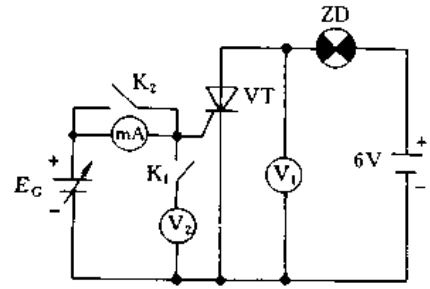


图 2.3.7 门极触发电压和触发电流测试电路

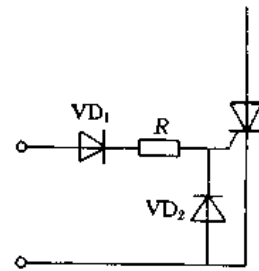


图 2.3.9 控制极接保护二极管

7. 防止控制极正向过载和反向击穿

控制极不能加过大的电压和电流。通常, 正向电压不超过 10V, 反向电压更小。为此, 要使用隔离二极管 D_1 和短路二极管 D_2 , 见图 2.3.9。

8. 严禁用兆欧表 (摇表) 检查晶闸管的绝缘情况

第二节 晶闸管派生元件

随着生产技术对晶闸管提出的新要求和制造工艺水平的提高, 现已制成了一些有特殊功能的晶闸管, 统称

为晶闸管派生元件，见表 2.3.6。

表 2.3.6 普通晶闸管及其派生元件

名称	特征	型号	符号	用途
普通晶闸管	反向阻断，门极信号开通	KP		整流器、逆变器、变频器
可关断晶闸管	门极正信号开通，负信号关断	KG		彩色电视机扫描电路，步进机电源，汽车点火系统，直流开关、单稳、双稳、多谐振荡器，环形计数器
双向晶闸管	双方向均可由门极信号开通	KS		电子开关、调光器、调温器、直流调速、变频逆变等
快速晶闸管	反向阻断，门极信号开通。关断时间短，开通速度快	KK		雷达调制器、超声波、电源、中频电源、直流电车调速等
逆导晶闸管	反向导通，门极信号开通	KN		地下铁道电动客车，无轨电车供电等
光控晶闸管	反向阻断，门极光信号或电信号开通			计算机穿孔卡片读出、符号识别、逻辑控制、相位控制、监控、高压直流电源、光电控制系统等

一、可关断晶闸管

可关断晶闸管是一种在门极上加正向脉冲电流就能导通，加负向脉冲电流就能关断的元件。它的基本结构和伏安特性与 KP 型晶闸管相似，但它的阴极是由多个小单元分离并联组成，在结构上保证了 GTO 导通时处于临近饱和状态，为用门极负信号关断阳极电流创造有利条件。但它很难用门极负信号使它关断。

关断原理：元件导通后，在门极加入足够大的负脉冲电流，阳极电流会全部被引到门极 G 流出（见图 2.3.10）， J_3 结反偏，整个晶闸管犹如一个基极电流消失后的饱和晶体管 $P_1N_1P_2$ ，它将迅速恢复到截止状态，元件即行关断。

可关断晶闸管是功率晶体管和普通晶闸管之间的一种很好的过渡元件。它与普通晶闸管相比，具有下列优点：

- ① 用门极负脉冲电流关断方式代替主电路换流，关断所需能量小。
- ② 只需提供足够幅度和宽度的门极关断信号，就能保证可靠地关断。
- ③ 有较高的开关速度，小容量可关断晶闸管的工作频率达 100kHz。

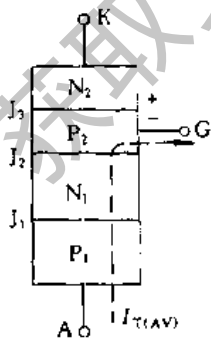


图 2.3.10 阳极电流被拉向门极

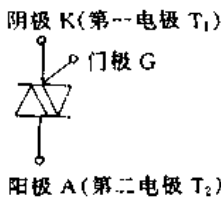
常见可关断晶闸管元件参数见表 2.3.7。

表 2.3.7 可关断晶闸管元件参数

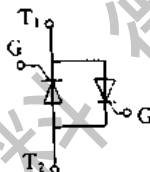
参 数	额定正向峰值电流	正向阻断峰值电压	反向峰值电压	正向峰值电压	反向平均漏电流	最大正向压降	控制极触发电压	控制极触发电流	维持电流	控制极可关断电压	控制极可关断电流	控制极最大正向电压	控制极反向击穿电压	开通时间	关断时间	电压上升率	工作频率	关断增益
系 列	/A	/V	/V	/mA	/mA	/V	/V	/mA	/mA	/V	/A	/V	/V	/μs	/μs	/(V/μs)	/kHz	
KG3	3	30 ~ 1400	30 ~ 1400	≤ 5	≤ 10	≤ 3	≤ 3.3	≤ 200	≤ 200	≤ 20	≤ 1.5	≤ 10	≤ 6 ~ 20	≥ 5	2 ~ 20	≥ 50	≤ 30	2 ~ 20
KG5	5										≤ 2.5							
KG8	8										≤ 4							
KG10	10										≤ 5							

二、双向晶闸管

双向晶闸管元件是 NPNPN 五层三端半导体器件。它相当于两只晶闸管反并联，而且只有一个控制极。双向晶闸管的符号和等效电路见图 2.3.11。其伏安特性见图 2.3.12。由图可见，第 I 和第 III 象限的特性以原点为对称。



(a) 符号



(b) 等效电路

图 2.3.11 双向晶闸管的符号和等效电路

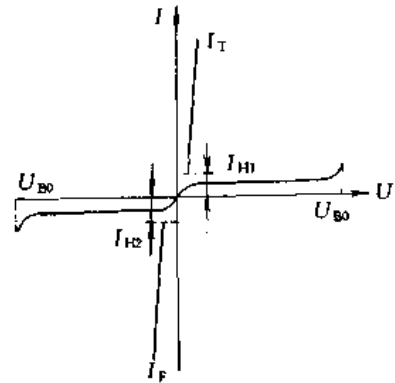
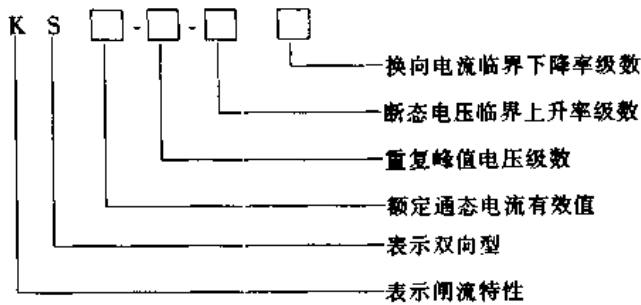


图 2.3.12 双向晶闸管的伏安特性

额定通态电流（有效值）在 1A 及 1A 以上的 KS 型双向晶闸管元件，其型号及含义如下：



型号命名中各“级数”及“系列”分档情况见表 2.3.8。

表 2.3.8 双向晶闸管型号命名中各“级数”及“系列”分档表

系列	KSI		KS10		KS20		KS50		KS100		KS200		KS400		KS500	
通态电流/A	1		10		20		50		100		200		400		500	
级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
断态重复峰值电压 U_{DRM}/V	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
级数							0.2		0.5		2		5			
断态电压临界上升率 $du/dt/(V/\mu s)$							≥ 20		≥ 50		≥ 200		≥ 500			
级数							0.2		0.5		1					
换向电流临界下降率 $di/dt/(A/\mu s)$							$\geq 0.2\% I_T$		$\geq 0.5\% I_T$		$\geq 1\% I_T$					

示例：KS500-10-21 表示额定通态电流 500A，断态重复峰值电压 1000V，断态电压临界上升率不小于 200V/ μs ，换向电流临界下降率不小于 5A/ μs 的双向晶闸管。

需要指出，双向晶闸管通常用在交流电路中，因而它的额定电流是指有效值，而普通晶闸管的额定电流指的是平均值。当用一个双向晶闸管来等效替代二个反向并联的普通晶闸管使用时，其电流应按下式进行折算：

$$I_{TS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_T = 2.22 I_T$$

或

$$I_T = 0.45 I_{TS}$$

式中 I_{TS} ——双向晶闸管额定电流，A；

I_T ——普通晶闸管额定电流，A；

I_m ——通过晶闸管电流的峰值，A。

双向晶闸管有四种触发方式，其触发信号的极性与主回路电位对应的关系如下：

触发方式	阳极 A 对阴极 K 电位	控制极 G 对阴极触发信号极性
I ₊	A 正，K 负	正信号
I ₋	A 正，K 负	负信号
III ₊	A 负，K 正	正信号
III ₋	A 负，K 正	负信号

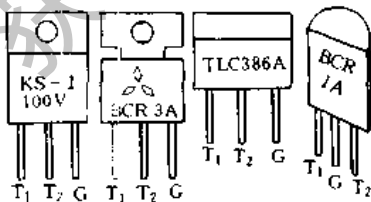


图 2.3.13 常见的几种双向晶闸管的外形及电极引脚排列

这四种触发方式的灵敏度和可靠性是不相同的，用负信号触发比较可靠，因此在实际应用中一般采用 I₋ 和 III₋ 两种触发方式。

双向晶闸管的规格、型号、外形，以及电极引脚排列，依生产厂家不同而有所不同，但其电极引脚多数是按 T₁、T₂、G 的顺序从左至右排列（观察时，电极引脚向下，面对标有字符的一面）的。目前最常见的几种双向晶闸管的外形及电极引脚排列如图 2.3.13 所示。部分塑封双向晶闸管特性参数见表 2.3.9。部分国产双向晶闸管特性参数见表 2.3.10。

表 2.3.9 部分塑封双向晶闸管特性参数

国外型号	极 限 值										性 能 参 数								可代用 型号
	V_{DRM}	$I_{T(RMS)}$	I_{TSM}	I^2t	P_{GM}	V_{GM}	I_{GM}	I_{DRM}	V_{TM}	V_{GT}				I_{GT}				I_H	
	/V	/A	/A	$/(A^2 \cdot s)$	/W	/V	/A	/mA	/V	I	II	III	IV	I	II	III	IV		
SMOR5	100~500	0.5	6	0.18	1	6	0.5	0.1	2	2.3	2.3	2.3	2.3	15	30	15	15	25	3CTS05
BCR1AM	200~600	1	10	0.4	1	6	1	1	1.6	2	2	2	2	5	10	5	5		3CTS1
ACO3	200~600	3	30	4	3		0.5	1	1.8	1.5	2	1.5	1.5	15	45	15	15	10	3CTS3
SM3	100~600	3	30	3.6	3	10	2	1	1.5	2		2	2	30		30	30	25	
FSM3B	200~400	3	30	3.6	1	6	1	0.01	1.85	2		2	2	30		30	40	20	
BCR3AM	200~600	3	30	3.7	3	6	0.5	1	1.5	1.5		1.5	1.5	30		30	30		
BCR6AM	200~600	6	60	15	5	10	2	2	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30		
FSM6B	200~400	6	74	12	5	10	2	0.1	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30	20	3CTS10
BTA06	200~700	6	85	36				0.5	1.5					25	25	25	50	25	
BTA08	200~700	8	85	36				0.5	1.6					25	25	25	50	25	
SM8	200~600	8	70	24	5	10	2	2	1.7	3		3	3	50		50	50	50	
ACO8	200~600	8	80	28	5		3	2	1.6	1.5	2	1.5	1.5	30	80	30	30	30	
AC10	200~600	10	80	28	5		3	2	1.4	1.5	2	1.5	1.5	30	80	30	30	30	
FSM10	400	10	95	23	5	10	2	0.1	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30	20	
BTA10	200~700	10	115	66				0.5	1.45					25	25	25	50	25	
BTA12	200~700	12	115	66				0.5	1.5					25	25	25	50	25	
BCR12AM	200~600	12	150	93.7	5	10	2	2	1.7	1.5		1.5	1.5	30		30	30		

表 2.3.10 部分国产双向晶闸管特性参数

参数	通态电流 (有效值)	断态重复 峰值电压	断态重复 峰值电流	通态平均 电压	维持 电流	门极触发 电流	门极触 发电压	门极不触 发电压	门极峰 值电流	门极峰 值电压		
	$I_{T(RMS)}$ /A	U_{DRM} /V	I_{DRM} /mA	$U_{T(AV)}$ /V	I_H /mA	I_{GT} /mA	U_{GT} /V	U_{GD} /V	I_{GM} /A	U_{GM} /V		
系列				上限值 由各制造 厂根据合 格的型式 试验自订 给出	实测值(由各制造厂给出)							
KS1	1	100~2000	<1					3~100	≤ 2	≥ 0.2	0.3	10
KS10	10	100~2000	<10					5~100	≤ 3	≥ 0.2	2	10
KS20	20	100~2000	<10					5~200	≤ 3	≥ 0.2	2	10
KS50	50	100~2000	<15					8~200	≤ 4	≥ 0.3	3	10
KS100	100	100~2000	<20					10~300	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS200	200	100~2000	<20					10~400	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS400	400	100~2000	<25					20~400	≤ 4	≥ 0.3	4	12
KS500	500	100~2000	<25					20~400	≤ 4	≥ 0.3	4	12
参数	门极平 均功率	门极峰 值功率	断态电 压临界 上升率	通态电 流临界 上升率	换向电流 临界下降率	浪涌 电流	额定 结温	外形尺寸(螺栓型)				
系列	$P_{G(RMS)}$ /W	P_{GM} /W	du/dt /(V/ μs)	di/dt /(A/ μs)	$(di/dt)_c$ /(A/ μs)	I_{TSM} /A	T_{JM} /°C	d	l	L	ϕ	阴极、门极 引线方式
KS1	0.3	3	≥ 20	—	$\geq 0.2\%$ $I_{T(RMS)}$	8.4	115	M5	11 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KS10	0.5	5	≥ 20	—		84	115	M10	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KS20	0.5	5	≥ 20	—		170	115	M10	13 ^{-0.5}	≥ 130	6	硬或软引线
KS50	3	15	≥ 20	10		420	115	M12	15 ^{-0.5}	≥ 160	7	软引线
KS100	3	15	≥ 50	10		840	115	M20	20 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KS200	3	16	≥ 50	15		1700	115	M20	20 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KS400	4	20	≥ 50	30		3400	115	—	—	—	—	—
KS500	4	20	≥ 50	30		4200	115	—	—	—	—	—

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $I_{DSM} = I_{DRM}$ 。

2. 平板形结构限于 200A 和 200A 以上各系列。

3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应适当缩短。

三、快速晶闸管

快速晶闸管是一个总称，它包括所有专为快速应用而设计的晶闸管，如可关断晶闸管、逆导型晶闸管等。这里的快速晶闸管，是指在结构上和伏安特性上，都与普通晶闸管基本相同的 KK 型快速晶闸管。只是由于采用特殊制作工艺，使其开通时间减小到小于 $8\mu s$ ，关断时间小于 $60\mu s$ 。工作频率可达几千赫。

电路换向关断时间不大于 $60ms$ ，并对门极控制开通时间等瞬态参数有特殊要求的 KK 型快速晶闸管元件，其型号格式含义如下：

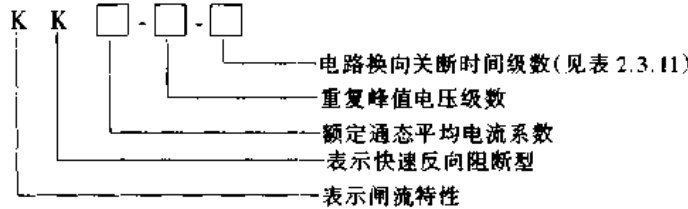


表 2.3.11 电路换向关断时间 (t_g) 分级

级数	0.5	1	2	3	4	5	6
$t_g/\mu s$	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 40	≤ 50	≤ 60

快速晶闸管的参数及外形尺寸见表 2.3.12。

表 2.3.12 快速晶闸管的参数及外形尺寸

参数	通态平均电流 $I_{T(AV)}$ /A	断态重复峰值电压 U_{DRM} 反向重复峰值电压 U_{RRM} /V	断态重复平均电流 $I_{DR(AV)}$ 反向重复平均电流 $I_{RR(AV)}$ /mA	通态平均电压 $U_{T(AV)}$ /V	维持电流 I_H /mA	门极触发电流 I_{GT} /mA	门极触发电压 U_{GT} /V	门极不触发电压 U_{GD} /V	门极正向峰值电流 I_{GM} /A	门极正向峰值电压 U_{GM} /V	门极反向峰值电压 U_{GRM} /V
KK1	1	100~3000	<1	合格型式试验自订给出	实测值(由各制造厂给出)	3~30	≤ 2.5	0.3	0.3	10	5
KK5	5	100~2000	<1			5~70	≤ 3.5	0.3	1	10	5
KK10	10	100~3000	<1			5~100	≤ 3.5	0.3	2	10	5
KK20	20	100~2000	<1			5~100	≤ 3.5	0.3	2	10	5
KK50	50	100~2000	<3			8~150	≤ 4	0.3	4	10	5
KK100	100	100~2000	<5			10~250	≤ 4	0.3	4	10	5
KK200	200	100~2000	<5			10~250	≤ 4	0.3	4	12	5
KK300	300	100~2000	<8			20~300	≤ 5	0.3	4	12	5
KK400	400	100~2000	<10			20~300	≤ 5	0.4	4	12	5
KK500	500	100~2000	<10			20~300	≤ 5	0.4	4	12	5

参数	门极平均功率 $P_{G(AV)}$ /W	门极峰值功率 P_{GM} /W	门极控制开通时间 t_s /μs	电路换向关断时间 t_g /μs	断态电压临界上升率 du/dt /(V/μs)	通态电流临界上升率 di/dt /(V/μs)	浪涌电流 I_{TSM} /A	额定结温 T_{JM} /°C	外形尺寸(螺栓型) /mm				
									d	l	L	φ	阴极、门极引线方式
KK1	0.1	0.5	≤ 3	≤ 5	≥ 100	—	20	风冷: 115 水冷: 100	M5	11 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK5	0.5	5	≤ 3	≤ 10	≥ 100	—	90		M6	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK10	0.5	5	≤ 4	≤ 10	≥ 100	≥ 50	190		M10	13 ^{-0.5}	—	—	硬引线
KK20	0.5	5	≤ 4	≤ 20	≥ 100	≥ 50	380		M10	13 ^{-0.5}	≥ 130	6	硬或软引线
KK50	0.5	5	≤ 5	≤ 20	≥ 100	≥ 50	940		M12	15 ^{-0.5}	≥ 160	7	软引线
KK100	3	16	≤ 6	≤ 30	≥ 100	≥ 100	1900		M20	20 ⁻¹	≥ 160	7	软引线
KK200	3	16	≤ 6	≤ 40	≥ 100	≥ 100	3800		M20	10 ⁻¹	≥ 210	9	软引线
KK300	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	5600		—	—	—	—	—
KK400	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	6300		—	—	—	—	—
KK500	4	20	≤ 8	≤ 60	≥ 100	≥ 100	7900		—	—	—	—	—

注: 1. $U_{DRM} = 80\% U_{DSM}$, $U_{RRM} = 80\% U_{RSM}$, $I_{DS(AV)} = I_{DR(AV)}$, $I_{DR(AV)} = I_{RR(AV)}$ 。
 2. 平板形结构限于 200A 和 200A 安以上各系列。
 3. 20A 元件采用硬引线时, 尺寸 L 应适当缩短。

四、逆导晶闸管

根据在逆变电路和斩波电路中晶闸管需反并联二极管的特殊要求,把晶闸管和反并联二极管制作在同一块硅片上,就构成了反向导通大电流的逆导晶闸管元件。其符号、等效电路和伏安特性如图2.3.14所示。

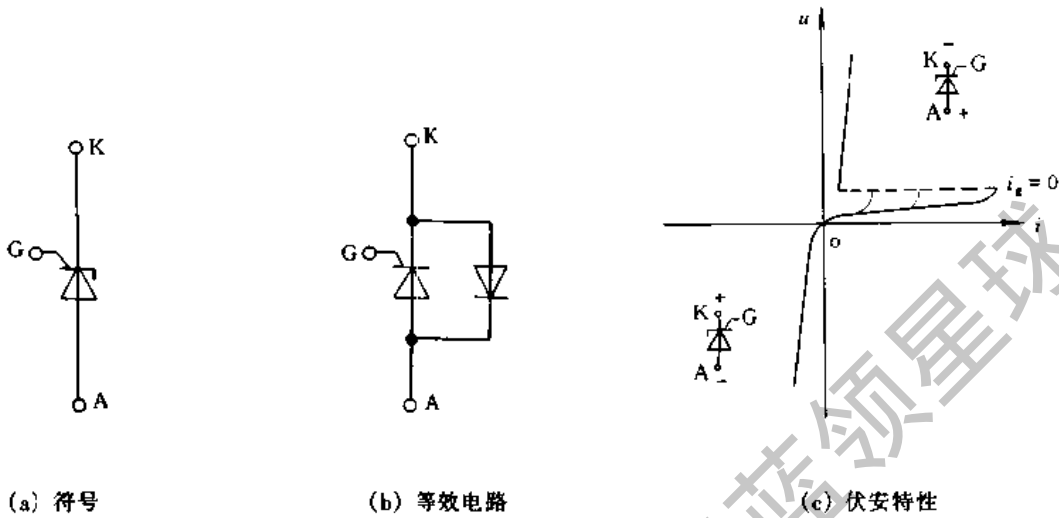


图 2.3.14 逆导晶闸管

从图 2.3.14 (c) 可见,其反向特性如同硅二极管正向特性,所以反向没有阻断能力而自然导通——逆导。它可以做到比普通晶闸管容量大、电压高、快速性好。

五、光控晶闸管

光控晶闸管也是一种 PNP 四层元件,利用光来激发使之导通。元件有两端和两端和三端之分。其基本结构、符号和伏安特性如图 2.3.15 所示。

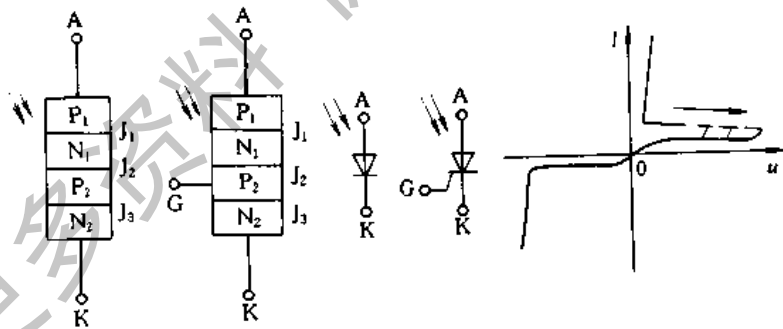


图 2.3.15 光控晶闸管的基本结构、符号和伏安特性

当 AK 加上小于转折电压的正向电压时,它处于正向阻断状态。当有光照射到硅片上,使硅片内 J_2 结附近激发产生电子-空穴对。当电子-空穴对的数目超过某一限度时,其中一部分复合掉,另一部分则形成电流,使通过 J_3 结的电流增加,导致元件由正向阻断状态转为正向导通状态——晶闸管导通。光照强度增大,伏安特性左移。

光控晶闸管对红外线的灵敏度较高,开通时间的长短与光的强度有关,一般为几个微秒。光源有钨丝灯泡、发光二极管(特别是砷化镓发光二极管使用较多,其发光波长为 $0.9\mu\text{m}$)。光的传输可以通过透镜、棱镜和光导纤维等。

近年来,将光源和光控晶闸管结合组成光电耦合器,广泛用作光开关。

三端元件的 G 极还可以用信号来触发使其导通。光控时,由于主电路与控制电路在电气上完全绝缘,所以在高压直流输电电路中,应用光控晶闸管使得触发电路与主电路的电气绝缘问题变得简单。

在晶闸管派生元件中，还有开关晶闸管、光控开关晶闸管、光控双向晶闸管、温控晶闸管、场控晶闸管等。

第三节 晶闸管的保护和串并联

一、晶闸管的保护

晶闸管是半导体器件，承受过电压、过电流的能力较低，为了使整流装置和元件可靠地长期运行，必须采取适当的保护措施。

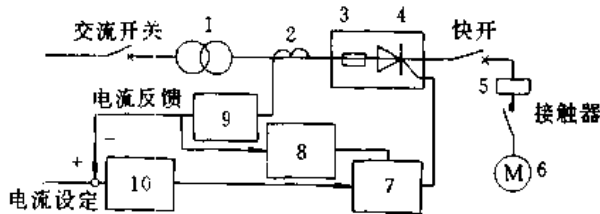


图 2.3.16 过电流保护系统原理图

- 1—整流变压器；2—交流互感器；3—快速熔断器；4—交流器；
5—过流继电器；6—电动机；7—触发器；8—电流闭锁；
9—电流检测；10—电流调节器

以上两种方法只适用于过载或短路电流不大的情况。

(3) 直流回路接入瞬时动作的过电流继电器 当电流超过整定值时瞬时动作，断开主回路，主要用来保护整流装置和电动机。

(4) 设置直流快速开关 多用在中大容量的整流装置中，当晶闸管误导通或逆变换相失败或直流侧短路，引起装置内部短路时，可在 10~20ms 内切断直流侧故障电流，保护硅元件和熔断器。

由于继电器和快速开关动作需要一定时间，用以上这两种方法来保护硅元件不是很有效的，但为了整个装置的安全仍有必要。

(5) 采用快速熔断器作短路保护 当装置出现短路电流时，快速熔断器能在 10ms 内切断故障支路，是保护晶闸管的有效方法。根据快速熔断器在整流电路中安装的位置（见图 2.3.17），选择快速熔断器熔体额定电流的方法将有所不同。

快速熔断器与晶闸管匹配时应注意以下问题。

① 线路工作电压大于快熔额定电压 U_{RD} 时，快熔熔断时的电弧维持时间将增长， I^2t 迅速增加，有可能大于晶闸管的 $(I^2t)_T$ ；因此工作电压大于 U_{RD} 时，相配快熔应相应减小。

② 大容量的晶闸管整流装置，因短路电流很大，所配快熔应小一些。对于无整流变压器，即使是中小容量的装置，因回路电抗较小，短路电流较大，所配快熔也应小一些。

③ 当晶闸管长期运行在深控状态时，允许通过晶闸管的正向平均电流要相应减小。为了充分发挥晶闸管的作用，所配快熔可适当大些。

(6) 设置交流开关作整流装置的最后保护 当整流装置出现短路电流时，交流开关可在 0.1~0.2s 内动作，切除交流电源，保护整个装置。

2. 过电压保护

晶闸管整流装置产生过电压的原因主要有操作过电压、换相过电压和事故过电压。对于不同原因的过电压可采用不同的保护方法。

(1) 操作过电压保护 可在整流变压器二次侧或直流输出端接入阻容保护或压敏电阻等保护，见图 2.3.18。有关参数的计算可查表 2.3.13 至表 2.3.15。

1. 过电流保护

晶闸管整流装置发生过电流的主要原因：过负载、直流输出短路或晶闸管本身短路。过电流保护系统见图 2.3.16。现以直流传动系统为例，说明各级过电流保护的方法。

(1) 控制回路设置电流截止环节 当整流电流达到某一值时，由于电流负反馈的作用，将电流截止在允许值之内。

(2) 控制回路设置电流闭锁环节 当整流电流超过允许值时，将触发脉冲迅速推到 β_{min} 位置或将脉冲封锁，使整流电流下降到零。

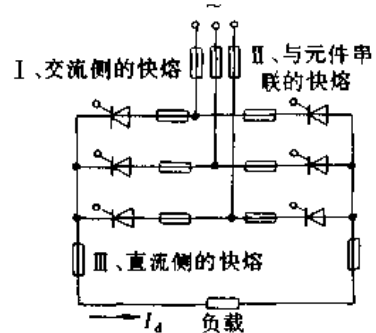


图 2.3.17 快速熔断器在整流电路中的位置

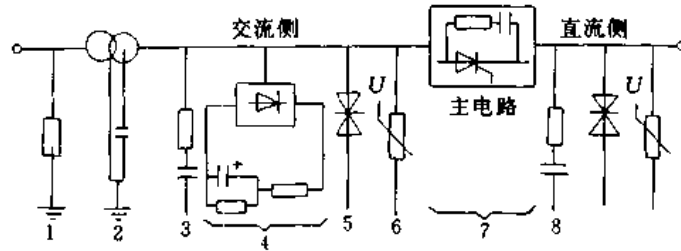


图 2.3.18 晶闸管装置可能采用的过电压保护

1—避雷器；2—接地电容；3—阻容吸收；4—整流式阻容；5—硒堆；
6—压敏电阻；7—晶闸管泄能；8—元件侧阻容

表 2.3.13 小容量整流器交流侧阻容保护参数估算公式

整流变压器容量	电容 $C_2/\mu\text{F}$	电阻 R_2/Ω	变压器连接形式	电容三角形连接时 K 值	电容星形连接时 K 值
单相 200VA 以下	$C_2 = 700 \frac{S_T}{U_{ARM}^2}$	$R_2 = \sqrt{\frac{U_2}{I_2 C_2 f}}$	Y, j 一次侧中点不接地	150	450
单相 200VA 以上	$C_2 = 400 \frac{S_T}{U_{ARM}^2}$		Y, d 一次侧中点不接地	300	900
三相 5000VA 以下	$C_2 = K \frac{S_T}{U_{ARM}^2}$		其他接法	900	2700

注： S_T —变压器等值容量，VA； U_{ARM} —臂的反向工作峰值电压，V； U_2 —整流输出电压，V； I_2 —整流输出电流，A； f —电源频率，Hz；K—系数，查本表右边的值。

表 2.3.14 大容量整流器交流侧阻容保护参数估算公式

电路连接形式	电容 $C_2/\mu\text{F}$	电阻 R_2/Ω	电容量 P_R/W	符号说明
单相桥式	$C_2 = 2.9 \times 10^4 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.3 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$	$P_R = (0.25 \zeta I_0)^2 R_2$	U_{U0}, U_{U0} —变压器二次侧相电压，V； I_0 —变压器二次侧电流，A； ζ —变压器励磁电流对额定电流的标么值，一般为 0.02 ~ 0.05
三相桥式	$C_2 = 10^4 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.3 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$		
三相带中线	$C_2 = 8000 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.36 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$		
双星形带平衡电抗器	$C_2 = 7000 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_2 = 0.42 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$		

注：本表公式是以 RC 作星形连接为依据，当 RC 作三角形连接时，电容 C_2 应取星形连接时计算值的 1/3，而电阻 R_2 取 3 倍。

表 2.3.15 直流侧阻容保护参数估算公式

电路连接形式	电容 $C_3/\mu\text{F}$	电阻 R_3/Ω	符号说明
单相桥	$C_3 = 12 \times 10^4 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_3 = 0.25 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$	符号意义同表 2.3.14
三相桥、三相带中线双星形带平衡电抗器	$C_3 = 7 \times 10^4 \frac{\zeta I_0}{f U_{U0}}$	$R_3 = 0.1 \frac{U_{U0}}{\zeta I_0}$	

表 2.3.16 换相过电压阻容保护参数估算公式

元件类型	计算公式	符号说明
硅整流管 普通型晶闸管	$C_4 = (2 \sim 4) I_{T(AU)} \times 10^{-2} (\mu F)$ 一般取 $R_4 = 10 \sim 30 (\Omega)$	$I_{T(AU)}$ ——晶闸管额定正向平均电流(或 $I_{F(AU)}$)

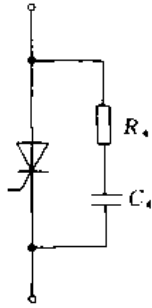


图 2.3.19 晶闸管换相过电压阻容保护电路

(2) 换相过电压保护 在晶闸管侧并联 RC 阻容电路, 见图 2.3.19, 不仅可以抑制换相过电压, 而且还有动态均压和抑制 du/dt 的作用, 因此是保护晶闸管不可少的方法之一。参数计算见表 2.3.16。

表 2.3.13 ~ 表 2.3.16 中的电阻元件的功率可按下式估算:

$$P_k > \frac{RU^2}{R^2 + X_C^2} \quad (W)$$

式中 U ——阻容保护电路两端的电压 (有效值), 若接在直流侧, 应为整流电压中交流分量的有效值, V ;

R ——阻容保护的电阻, Ω ;

X_C ——阻容保护的电容容抗 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$, Ω ;

f ——阻容保护两端电压的频率, Hz 。

(3) 事故过电压保护 可以用硒堆作电压保护元件。但近年来出现了一种新型的过电压保护元件——金属氧化物压敏电阻 (简称压敏电阻), 它抑制过电压能力强, 能承受大的浪涌电流冲击, 但在正常工作时只有很小的漏电流通过, 损耗很小, 体积也小, 可用在大、中、小容量的交流装置中, 能有效地抑制各种情况的过电压。

① 压敏电阻的特性 压敏电阻的伏安特性见图 2.3.20。由图可见它的特性类似两个反向对接的硒堆特性, 但比硒堆特性更陡直, 因此它比硒堆作过电压保护具有更多的优越性。

② 压敏电阻的主要参数

- a. 标称电压 U_{1mA} 漏电流为 $1mA$ 时元件两端的电压值。
- b. 通流容量 在规定的波形下允许通过的浪涌峰值电流。
- c. 残压比 放电电流达到允许值 I 时的电压 U_1 与 U_{1mA} 的比值。

③ 压敏电阻的选择 U_{1mA} 下限值决定于施加在压敏电阻两端工作电压的最高值。但要考虑下列因素影响: 电网电压的升高; 元件制造上的误差; 经浪涌电流冲击后 U_{1mA} 允许下降的范围。综合上面的因素后, 再稍留一定的电压裕度。 U_{1mA} 下限值可按下式选择:

$$U_{1mA} \geq 1.6 \sim 1.8 U_{DC}$$

$$U_{1mA} \geq 2.2 \sim 2.5 U_{AC}$$

式中 U_{DC} ——压敏电阻两端承受直流电压的最大值;

U_{AC} ——压敏电阻两端承受交流电压的有效值。

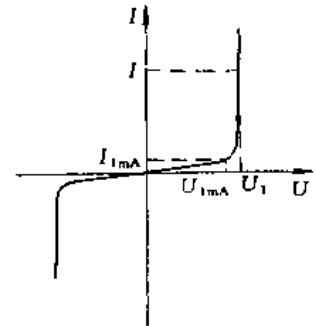


图 2.3.20 压敏电阻的伏安特性

U_{1mA} 上限值取决于被保护设备的耐压值, 应使压敏电阻在吸收过电压时, 残压 (即 U_{1mA} 上限值) 抑制在设备的耐压值以下。

④ 通流容量的选择 通流容量选择的原则是按实际产生的过电压能量来确定的, 但实际计算很困难, 一般按过电压类型去估算: 操作过电压保护可选 $3 \sim 5kA$, 大容量设备的保护应选 $10kA$; 抑制火花可选 $3kA$ 以下; 防雷保护可选 $10 \sim 20kA$ 。

⑤ 压敏电阻使用注意事项

a. 压敏电阻应安装在被保护设备的附近, 距被保护设备越近, 接线越短, 效果越好。

b. 压敏电阻平均功率较小 (仅数瓦), 若工作电压超过 U_{1mA} 值, 数秒之内就可能发热而损坏, 甚至会解体爆炸。为了安全可采取相应的保护措施, 如与压敏电阻串联熔断器 (熔体电流 $5 \sim 20A$)。但这要经常巡检, 检查熔断器是否损坏。

⑥ 压敏电阻部分型号及主要参数 见表 2.3.17。

表 2.3.17 压敏电阻部分型号及主要参数

型号规格	标称电压/V	容许偏差/%	通流容量/kA	残 压 比	
				$\frac{U_{100\Delta}}{U_{1mA}}$	$\frac{U_{3kA}}{U_{1mA}}$
MY31-33/0.5 MY31-33/1	33	± 10	0.5 1	≈ 3.5	
MY31-47/0.5 MY31-47/1	47	± 10	0.5 1	≈ 3.5	
MY31-68/1 MY31-68/3	68	± 10	1 3	≈ 3	≈ 3.5
MY31-100/1 MY31-100/3	100	± 10	1 3	≈ 2.2	≈ 3
MY31-150/1 MY31-150/3	150	± 10	1 3	≈ 2.2	≈ 3
MY31-220/1 MY31-220/3	220	± 5	1 3	≈ 2	≈ 2.5
MY31-300/1 MY31-300/3	300	± 5	1 3	≈ 2	≈ 2.5
MY31-470/1 MY31-470/3 MY31-470/5 MY31-470/10	470	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-560/1 MY31-560/3 MY31-560/5 MY31-560/10	560	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-680/1 MY31-680/3 MY31-680/5 MY31-680/10	680	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-750/1 MY31-750/3 MY31-750/5 MY31-750/10	750	± 5	1 3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-910/3 MY31-910/5 MY31-910/10	910	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1100/3 MY31-1100/5 MY31-1100/10	1100	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1300/3 MY31-1300/5 MY31-1300/10	1300	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2
MY31-1600/3 MY31-1600/5 MY31-1600/10	1600	± 5	3 5 10	≈ 1.8	≈ 2.2

二、晶闸管的串并联

在大容量的整流电路中，晶闸管往往要串、并联使用。由于晶闸管特性的差异，在串联使用时，有可能使某一元件承受较多的外加电压而击穿；在并联使用时，有可能使某一晶闸管先导通，结果流过全部桥臂电流而损坏。因此晶闸管在串、并联使用时，除尽量选用特性相近的同一规格晶闸管外，还要采取均压和均流措施。

1. 串联均压措施

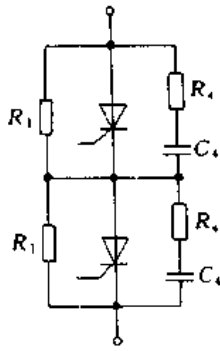


图 2.3.21 晶闸管串联均压措施

晶闸管串联均压措施见图 2.3.21。

参数可按下式估算：

$$\text{均压电阻 } R_1 = 0.2 \times \frac{U_{RRM}}{I_{RRM}} \quad (\Omega)$$

$$\text{均压电阻功率 } P_{R1} \geq 1.5 \times \frac{K_P (U_{RRM})^2}{R_1} \quad (\text{W})$$

式中 U_{RRM} ——晶闸管的反向重复峰值电压，V；

I_{RRM} ——反向重复峰值电流，mA；

K_P ——系数，单相 0.25；三相 0.4；直流 1。

阻容 R_4 、 C_4 的计算参看表 2.3.16。

2. 并联均流措施

可采用长线均流法、串联均流电抗器和串联平衡电抗器等方法。上述几种均流措施的比较和设计原则见表 2.3.18。

表 2.3.18 常用的均流措施的比较和设计原则

措施	优缺点	适用范围	设计原则
<p>长线均流法</p>	<p>①方法简单，不需附加器件。每条并联支路要一根长线，敷线较多</p> <p>②稳态均流效果好</p> <p>③同一臂并联支路的长线匀称排列旋转 3~4 圈，动态均流效果较好</p>	<p>适用于大、中容量的装置，特别适用于并联支路较多的场合，是一种简单、易行、应用广、效果好的均流方法</p>	<p>从整流变压器二次侧端子到整流装置的导线长度大于 30m 效果显著</p>
<p>串联均流电抗器</p>	<p>①电抗器体积、重量都较大，装置结构复杂</p> <p>②兼起抑制 di/dt 与 du/dt 作用</p> <p>③晶闸管不需特殊选配</p>	<p>适用于整流装置批量生产，晶闸管选配有困难场合，特别适用于 di/dt 很大，需要抑制的设备</p>	<p>对于三相电路，并联支路中各个均流电抗器的电感值 L_s 为：</p> $L_s = \frac{3.34 \Delta U_T (n_p - 1)}{I_{A(AU)}} \times 10^4 \quad (\text{mH})$
<p>串联平衡电抗器</p>	<p>①体积、重量都比均流电抗器小</p> <p>②支路数大于 2 时结构复杂</p> <p>③抑制 di/dt 作用比均流电抗器差</p>	<p>主要用于每臂并联支路数较少的设备</p>	<p>对于三相电路，平衡电抗器的铁芯截面 S 和绕组匝数 W 乘积由下式计算：</p> $WS \geq \frac{6.67 \Delta U_T}{\Delta B} \times 10^5$ <p>通常绕组匝数取 1~5 匝</p>

注： ΔU_T ——并联的各支路中晶闸管正向压降的差，V； n_p ——并联支路数； $I_{A(AU)}$ ——臂的平均电流，A； ΔB ——铁芯磁感应强度增量， $\Delta B = B_m - B_T$ ，一般热轧硅钢片取 0.6~0.7T。

第四节 晶闸管触发电路

一、晶闸管对触发电路的要求

晶闸管由阻断转化到导通，必须具备一定的条件，这就是除了在阳极与阴极之间加上正向电压外，还必须在控制极与阴极之间加上正向触发电压（电流）。提供正向触发电压（电流）的电路称为触发电路。根据晶闸

管的性能和主电路的实际需要，对触发电路的基本要求如下：

① 触发电路应供给足够的触发功率（电压和电流），一般触发电压为 4~10V，控制极的平均功率损耗要小于允许值（对于 5A 的晶闸管应小于 0.5W，10~50A 的小于 1W，100~200A 的小于 2W）；

② 为了使触发时间准确，要求触发脉冲上升前沿要陡，最好在 $10\mu\text{s}$ 以下；

③ 触发脉冲要有足够的宽度，因为晶闸管的开通时间为 $6\mu\text{s}$ 左右，故触发脉冲的宽度不能小于 $6\mu\text{s}$ ，最好是 20~50 μs ，对于电感性负载，脉冲宽度还应加大，否则脉冲消失时，主回路电流还上升不到掣住电流，元件就不能导通；

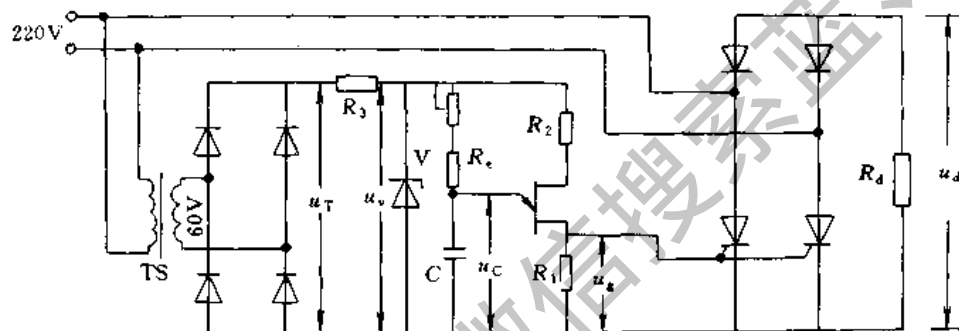
④ 不触发时，触发电路的输出电压应小于 0.15~0.2V，为了提高抗干扰能力，避免误触发，必要时可在控制极上加上 1~2V 的负电压；

⑤ 触发脉冲必须与主电路的交流电源同步，以保证主电路中的晶闸管在每个周期的导通角相等，而且要求触发脉冲发出的时刻能平稳地前后移动（即移相），同时还要求移相范围足够宽。

除了这些基本要求外，还要求触发电路工作可靠、简单、经济、体积小、重量轻等。

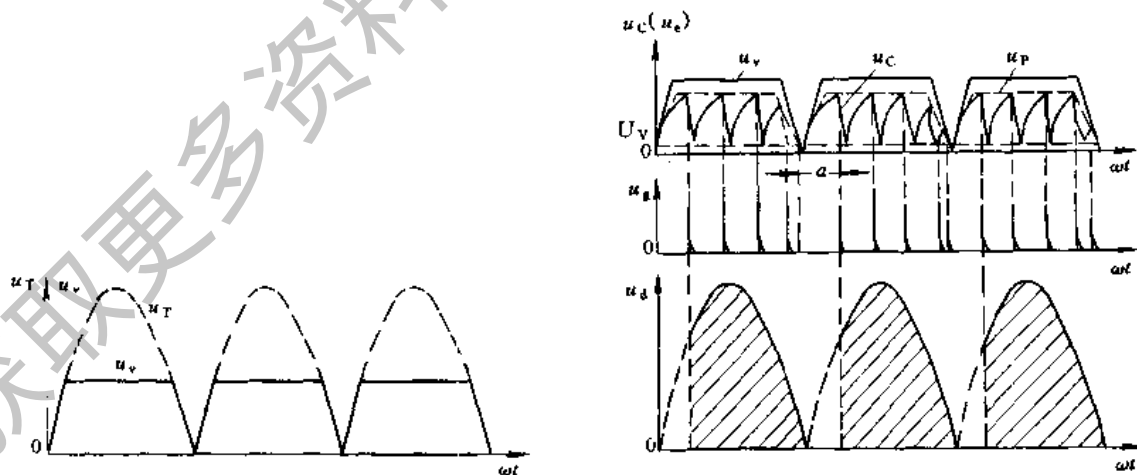
二、单晶体管同步触发电路

触发电路送出的触发脉冲必须与晶闸管阳极电压同步，保证在管子阳极电压每个正半周内以相同的控制角 α 时刻被触发，才能得到稳定的直流电压。图 2.3.22 为单相半控桥式单晶体管触发电路及其波形。



(a)

$$R_1 = 50\Omega, R_2 = 500\Omega, R_3 = 1\text{k}\Omega/5\text{W}, R_4 = 50\text{k}\Omega, V \text{ 为 } 2\text{CW}21\text{K}, C = 0.47\mu\text{F}$$



(b)

(c)

图 2.3.22 单相半控桥式单晶体管触发电路波形

三、锯齿波同步触发电路

锯齿波同步触发电路，目前在大中容量的交流装置中得到了广泛的应用。典型的常用锯齿波同步触发电路见图 2.3.23。

锯齿波移相原理和同步相原理分别见图 2.3.24 和图 2.3.25。锯齿波触发电路各点电压波形见图 2.3.26。

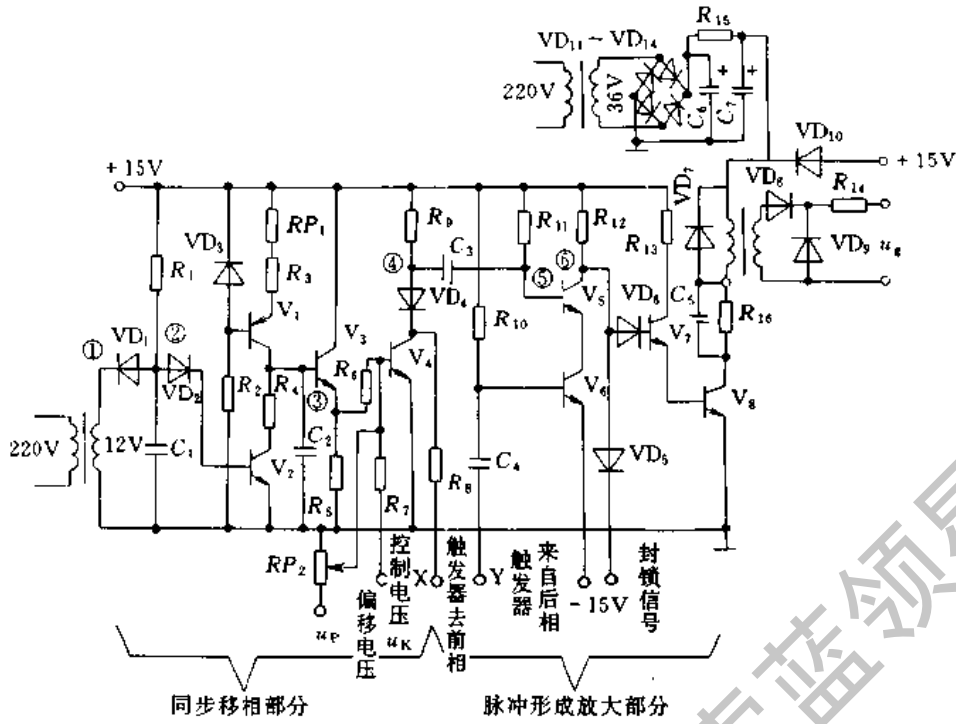


图 2.3.23 锯齿波同步触发电路

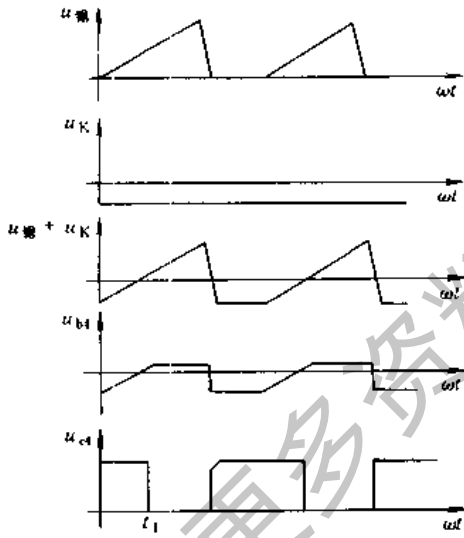


图 2.3.24 锯齿波移相原理

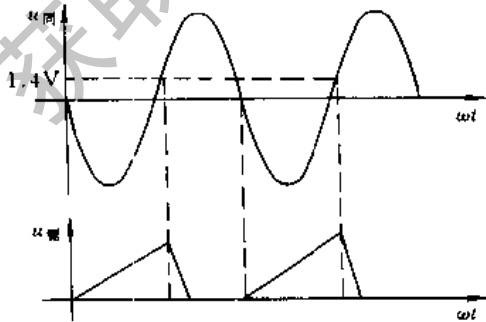


图 2.3.25 锯齿波同步相原理

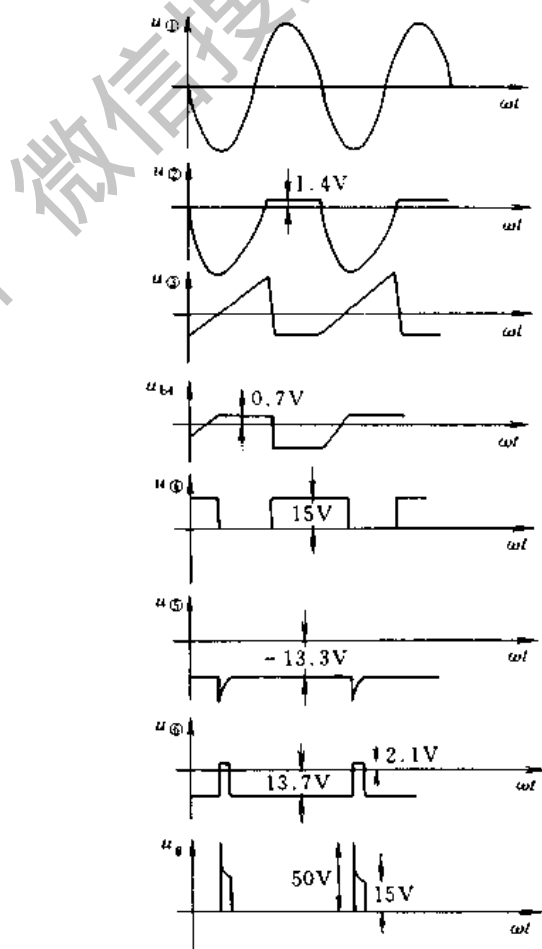


图 2.3.26 锯齿波触发电路各点电压波形

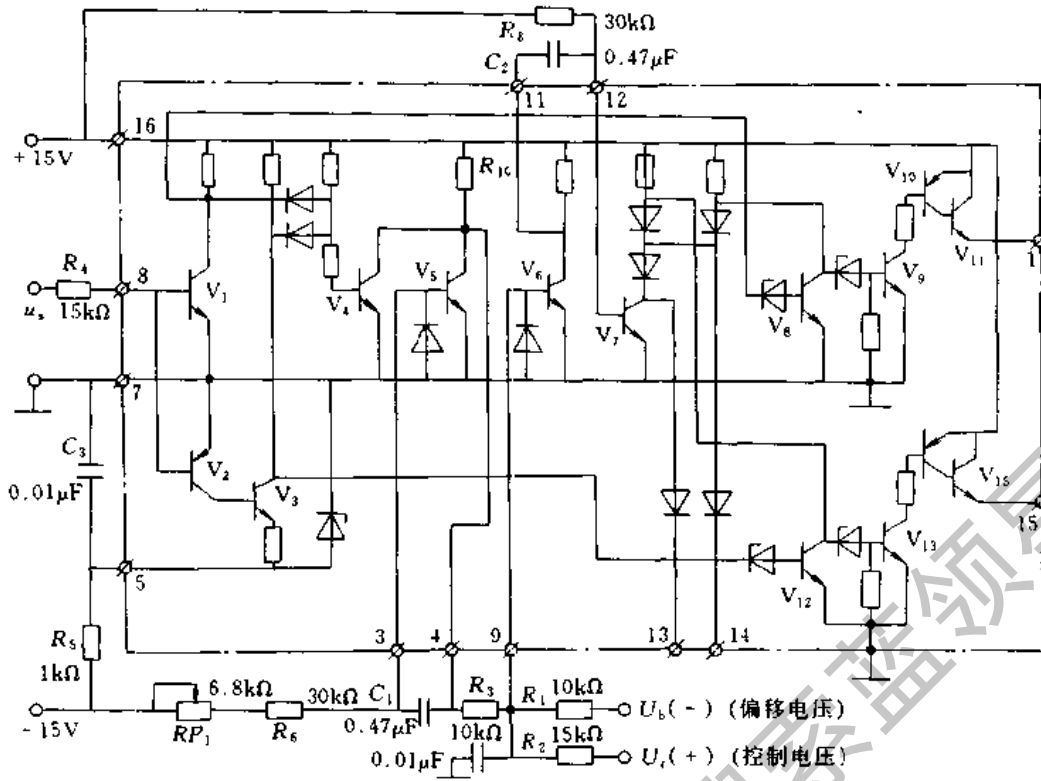


图 2.3.27 KC04 移相集成触发器原理图

四、集成触发电路

集成触发电路体积小，使用方便，电路的稳定性大幅度提高。

目前 KC (KJ) 系列已发展到 11 个品种，用于各种移相触发、过零触发、双脉冲形成，以及脉冲列调制等场合。

1. KC04 移相集成触发器

图 2.3.27 为触发器的内部原理图。KC04 引出脚各点波形如图 2.3.28 所示。

KC04 移相触发器主要用于单相或三相全控桥式装置。其主要技术数据如下：

- 电源电压 $\pm 15\text{VDC}$ 允许波动 $\pm 5\%$
- 电源电流 正电流 $\leq 15\text{mA}$ ，负电流 $\leq 8\text{mA}$
- 移相范围 $\geq 170^\circ$ (同步电压 30V ， R_4 $15\text{k}\Omega$)
- 脉冲宽度 $400\mu\text{s} \sim 2\text{ms}$
- 脉冲幅值 $\geq 13\text{V}$
- 最大输出能力 100mA
- 正负半周脉冲相位不平衡 $\leq \pm 3^\circ$
- 环境温度 $-10 \sim 70^\circ\text{C}$

KC09 是 KC04 的改进型，二者可互换使用。KC09 由于采用四极晶闸管作脉冲记忆，提高了抗干扰能力和触发脉冲的前沿陡度，脉冲调节范围增大。

2. KC41C 六路双脉冲形成器

KC41C 与三块 KC04 (KC09) 可组成三相全控桥双脉冲触发电路，其内部电路与外部接线如图 2.3.29 所示。其 1# ~ 6# 脚接三块 KC04 的 6 个脉冲输出 (A_1 、 $-C_1$ 、 B_1 、 $-A_1$ 、 C_1 、 $-B_1$)，每个脉冲由输入二极管送到本相与前相形成双脉冲，再由 6 个三极管放大，

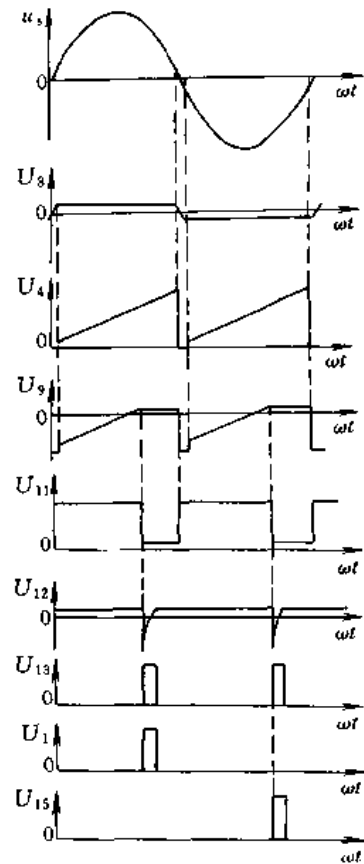


图 2.3.28 KC04 电路各点电压波形

从10*~15*脚输出，如外接3DK4或2DG27作功率放大器，可得到800mA的触发脉冲电流。本形成器还具有控制脉冲封锁功能，当7*脚接地或处于低电位时，开关管V₇截止，各路可正常输出脉冲。当7*脚接高电位或悬空时，V₇饱和导通，各路无脉冲输出。

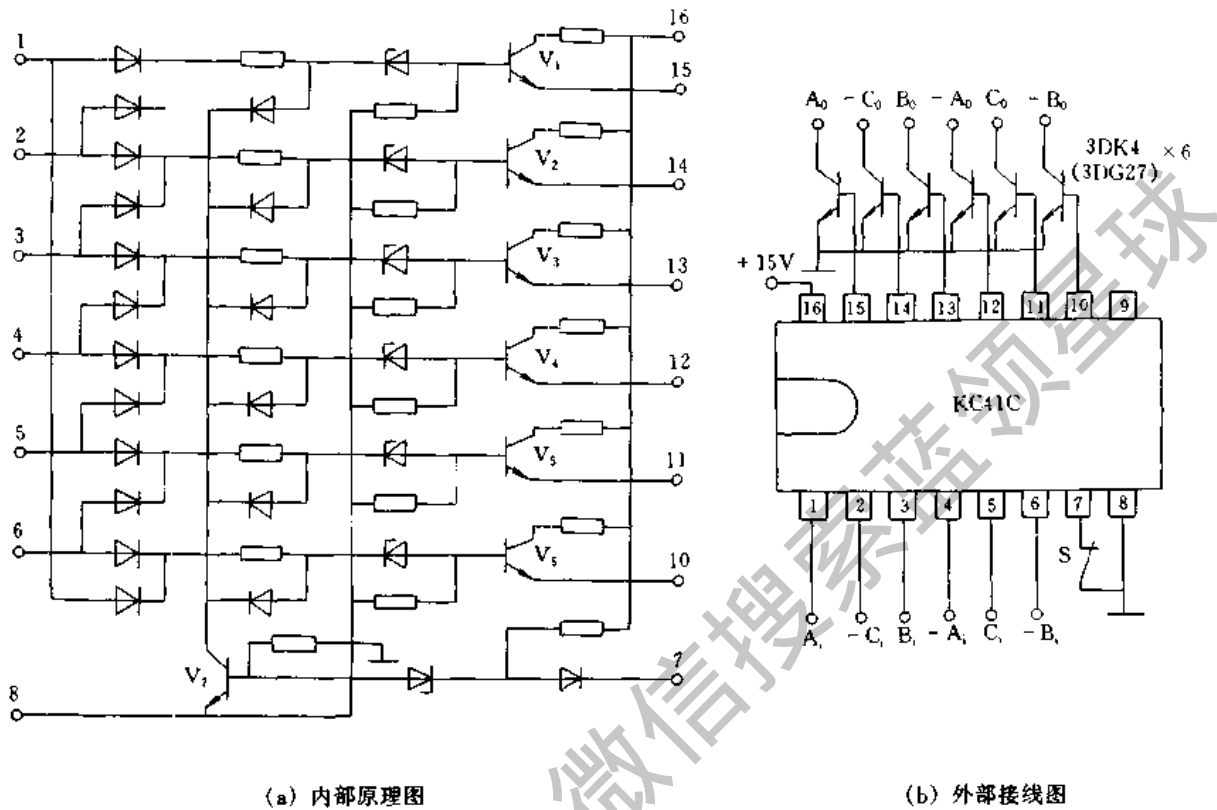


图 2.3.29 六路双脉冲形成器

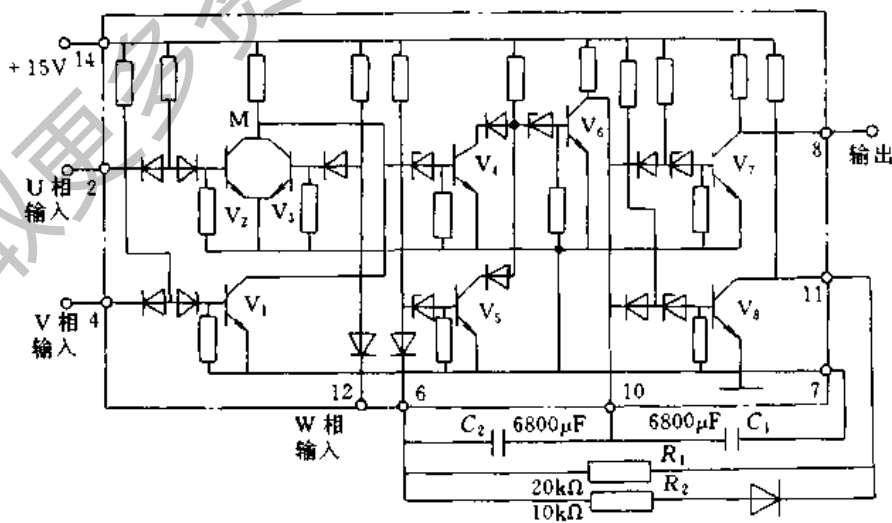


图 2.3.30 KC42 电气原理图

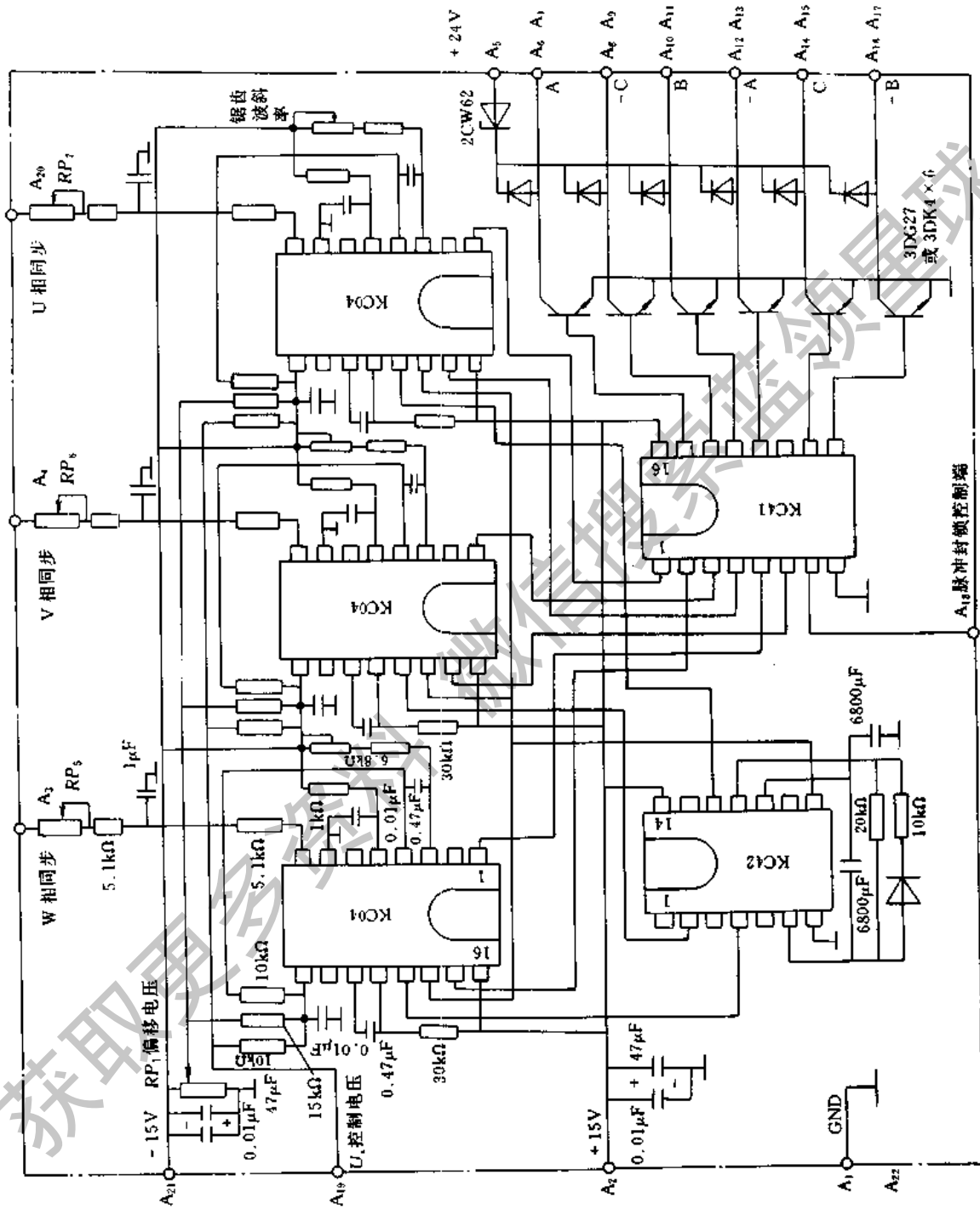


图 2.3.31 KCZ6 集成化六脉冲触发电件原理接线图

3. KC42 脉冲列调制形成器

在大功率晶闸管触发电路中，为了减小触发电源功率与脉冲变压器体积，提高脉冲前沿陡度，常采用脉冲列式触发器。KC42 为脉冲列调制电源，具有脉冲占空比可调性好、频率调节范围宽、触发脉冲上升沿可与调制信号同步等优点。KC42 也可作为可控的方波发生器用于其他场合，其电气原理如图 2.3.30 所示。

以三相全控桥式电路为例，来自三块 KC04 触发器 13# 脚的脉冲信号分别送入 KC42 的 2#、4#、12#。V₁、V₂、V₃ 构成“或非”电路，只要三个触发器中任意一个有输出，则 M 点为低电平，V₄ 管截止，使 V₅、V₆、V₈ 组成的环形振荡器起振；三个触发器都没有输出时，M 点高电平，V₄ 导通，环形振荡器停振。10# 脚电位及经 V₇ 整形放大由 8# 脚输出的波形如图 2.3.32 所示。

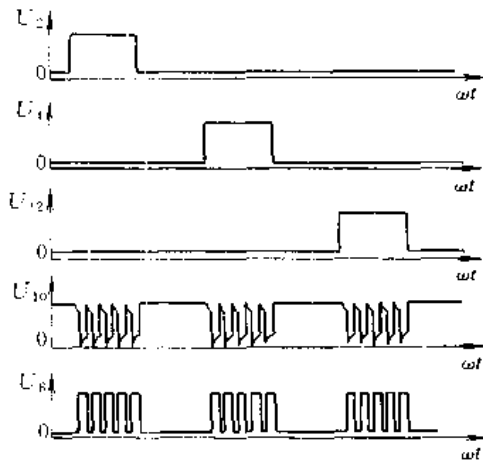


图 2.3.32 KC42 各点波形

4. KCZ6 集成化六脉冲触发组件

本组件是由三块 KC04、一块 KC41 与一块 KC42 组成，用于要求较高的三相桥式全控变流器的触发，输出脉冲能可靠驱动大功率晶闸管。组件线路见图 2.3.31。

本组件有以下功能和特点：

- ① 同步电压经 RC 滤波电路，不受电网电压波形畸变和换流缺口的干扰，且电位器 RP₅、RP₆、RP₇ 可微调各相同步电压的相位，保证六相脉冲间隔均匀；
- ② 同步电压值范围较宽且只需三相同步电压；
- ③ 输出是脉冲列式的双脉冲，脉冲变压器体积小，可采用型号为 GU30 的罐形锰锌铁氧体；
- ④ 能方便地与调节系统匹配，只需调节输入信号的上下限，即可调整整流与逆变角；
- ⑤ 具有脉冲输出控制端 (A₁₈)，用以控制脉冲的输出，并在正反组可逆系统中作逻辑切换控制；

⑥ 体积小，调整维修方便。线路稍加修改，可用于双向晶闸管或反并联晶闸管的三相交流调压电路。

第五节 电力晶体管 (GTR)

一、GTR 结构与原理

1. 单管 GTR

GTR 为电子和空穴两种载流子导电的双极型器件。电力双极晶体管与小信号晶体管不同，它主要工作在开关状态而不是放大状态。由于 GTR 的开关电流和功率损耗较大，出现了基区大注入效应、基区扩展效应和发射极电流集边效应。为了削弱上述三种效应的影响，必须在结构上采取多元胞集成的办法，一个 GTR 由许许多多多元胞并联而成。

2. 达林顿 GTR 与 GTR 模块

达林顿 GTR 已在本篇第一章第九节中介绍。达林顿 GTR 有以下特点：

- ① 共射极电流增益 β 值 (或 h_{FE} 值) 大，一般在 100 至 20000 之间；
- ② 由于输出极的管子永远不会处于饱和状态，所以达林顿 GTR 饱和压降 U_{ces} 较高；
- ③ 由于达林顿 GTR 的整个关断时间是由各级管子的关断时间组成，所以它的关断速度较慢。

目前广泛采用达林顿 GTR 模块，它将达林顿晶体管、各种二极管的芯片以及一些无源器件，集成在同一硅片上成为一个器件，从而实现了 GTR 的模块化。图 2.3.33 为两极达林顿 GTR 模块的一个等效电路示例。

二、GTR 基本参数

基本参数分额定值和特性值两种。

1. 单管 GTR

表 2.3.19 给出了单管 GTR 的系列产品型号及主要参数。单管 GTR 基本参数的额定值和特性值分别由表 2.3.20 和表 2.3.21 给出 (以 DT63 系列 GTR 为例)。

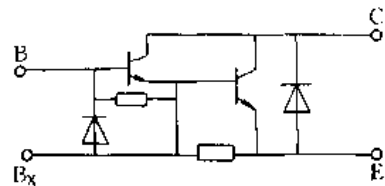


图 2.3.33 达林顿 GTR 模块的等效电路

表 2.3.19 单管 GTR 系列产品型号及主要参数

单管 GTR 产品系列	最大峰值 集电极电流 I_{CM}/A	集电极-发射极 电压 $T_C = 125^\circ C$ U_{CEX}/V	直流正向电流 增益 $T_C = 125^\circ C$ h_{FE}/\min	集电极-发射极 饱和电压 $T_C = 125^\circ C$ $U_{CE(SAT)}/V$	结-外壳/(或散热器)热阻 $R_{th(j-c)}/R_{th(j-hs)}/(^\circ C/W)$
TCD30/U	20	100	35	2.0	1.0/0.65
TC1	2	800	8	0.5	35
TC15	30	100	10	1.0	1.0
DT34	150	1050	8	0.6	0.05/0.02
DT46	200	1200	9	0.4	0.055/0.025
DT63	450	500	11	1.25	0.13/0.075
DT100	300	1200	5	1.0	0.085/0.05
DT500	800	1000	7	1.5	0.04
DT800	1200	400	7	1.0	0.04

表 2.3.20 DT63 系列 GTR 的额定值参数

参 数	符 号	DT63-500	DT63-400	DT63-300
集电极-发射极电压	U_{CEX}/V	500	400	300
发射极-基极电压	U_{EBO}/V	8	8	8
集电极连续电流	$I_{C(cons)}/A$	400	400	400
基极连续电流	$I_{B(cons)}/A$	70	70	70
集电极峰值电流	I_{CM}/A	450	450	450
功率损耗	P_{TOT}/kW	1.7	1.7	1.7
结壳热阻(双面冷却)	$R_{th(j-c)}/(^\circ C/W)$	0.05	0.05	0.05
散热器热阻(双面冷却)	$R_{th(j-hs)}/(^\circ C/W)$	0.02	0.02	0.02
最高结温	$T_{jm}/^\circ C$	150	150	150
工作和存储温度	$T_{stg}/^\circ C$	-55~150	-55~150	-55~150

注: U_{CEX} 的测试条件为 $U_{BE} = -1.5V$ 。

表 2.3.21 DT63 系列 GTR 的特性参数

项 目	符 号	测试条件	DT63-500	DT63-400	DT63-300	备注	
静态特性参数	集电极-发射极维持电压	$U_{CEX(max)}/V$	$I_C = 500mA$ $I_B = 0$	350	300	250	除特别说明外 $T_C = 125^\circ C$
	集电极-发射极维持电压	$U_{CER(max)}/V$	$I_C = 500mA$ $R_{BE} = 10\Omega$	400	350	300	
	发射极-基极电压	$U_{EBO(min)}/V$		8	8	8	
	集电极截止电流	$I_{CEX(max)}/mA$	在额定 U_{CEX} 时 $U_{BE} = -1.5V$	10	10	10	
	发射极截止电流	$I_{EBO(max)}/mA$	$U_{EB} = 8V$	100	100	100	
动态特性参数	集电极-发射极饱和电压(最大值)	$U_{CE(sat)}/V$	$I_C = 200A$ $I_B = (I_C/h_{FE})1.5A$	1.25	1.25	1.25	在脉冲条件下 $T_C = 125^\circ C$ 时测试
	发射极-基极饱和电压(最大值)	$U_{BE(sat)}/V$	$I_C = 200A$ $I_B = (I_C/h_{FE})1.5A$	1.75	1.75	1.75	
	直流电流增益	h_{FE}	$I_C = 200A$ $U_{CE} = 2V$	11	12	12	
开关特性参数	存储时间	$t_s(max)/\mu s$	$I_C = 200A$	3	3	3	钳位电感 负载时测试 $T_C = 125^\circ C$
	下降时间	$t_f(max)/\mu s$	$U_{CER} = U_{CER(max)}$ $I_B = (I_C/h_{FE})1.5A$	0.8	0.8	0.8	

2. 达林顿 GTR 模块

表 2.3.22 给出了国外部分 GTR 模块的型号和参数。

表 2.3.22 国外部分 GTR 模块的型号和参数

参 数	最大额定值						电 气 特 性				
	晶体管部分					二极管部分	晶体管部分			二极管部分	
	$V_{CEX(SUS)}$ /V	I_C /A	I_B /A	P_C /W	T_j /°C	$-I_C$ /V	h_{FE}	$V_{CE(sat)}$ /V	t_{on} /μs	t_{off} /μs	$-V_{CR0}$ /V
晶体管模块 (双臂分开中间抽头)											
QM30CY-H	600	30	1.8	250	150	30	75	2.0	1.5	14	1.85
QM50CY-H	600	50	3	310	150	50	75	2.0	1.5	15	1.75
QM75CY-H	600	75	4.5	350	150	75	75	2.0	2.5	15	1.85
QM100CY-H	600	100	6	620	150	100	75	2.0	2.0	15	1.75
QM150CY-H	600	150	9	690	150	150	75	2.0	2.5	15	1.85
晶体管模块 (双臂串接内部连接)											
QM15DX-H	600	15	0.9	100	150	15	50	2.0	1.5	11	1.5
QM20DX-H	600	20	1	160	150	20	75	2.0	1.5	14	1.5
QM30DY-H	600	30	1.8	250	150	30	75	2.0	1.5	15	1.85
QM30DY-HB	600	30	1.8	250	150	30	750	2.5	2.5	12	1.8
QM50DY-H	600	50	3	310	150	50	75	2.0	1.5	15	1.75
QM50DY-HB	600	50	3	310	150	50	750	2.5	2.0	11	1.8
QM75DY-H	600	75	4.5	350	150	75	75	2.0	2.5	15	1.85
QM75DY-HB	600	75	4.5	350	150	75	750	2.5	2.0	11	1.8
QM100DY-HK	600	100	6	620	150	100	75	2.0	2.0	15	1.75
QM100DY-HBK	600	100	6	620	150	100	750	2.5	2.5	12	1.8
QM150DY-HK	600	150	9	690	150	150	75	2.0	2.5	15	1.85
QM150DY-HBK	600	150	9	690	150	150	750	2.5	2.5	12	1.8
QM200DY-HK	600	200	12	1040	150	200	75	2.0	2.0	15	1.75
QM200DY-HB	600	200	12	1240	150	200	750	2.5	2.5	12	1.8
QM300DY-HB	600	300	18	1380	150	300	750	2.5	2.5	12	1.8
QM15DX-2H	1000	15	1	150	150	15	75	2.5	2.5	18	1.5
QM30DY-2H	1000	30	2	310	150	30	75	2.5	2.5	18	1.8
QM50DY-2H	1000	50	3	400	150	50	75	2.5	2.5	18	1.8
QM50DY-2HB	1000	50	3	400	150	50	750	4.0	2.5	18	1.8
QM75DY-2H	1000	75	4	500	150	75	75	2.5	2.5	18	1.8
QM75DY-2HB	1000	75	4	500	150	75	750	4.0	2.5	18	1.8
QM100DY-2HK	1000	100	5	800	150	100	75	2.5	3.0	18	1.8
QM100DY-2HBK	1000	100	5	800	150	100	750	4.0	2.5	18	1.8
QM150DY-2HK	1000	150	8	1000	150	150	75	2.5	3.0	18	1.8
QM150DY-2HBK	1000	150	8	1000	150	150	750	4.0	2.5	18	1.8
QM200DY-2H	1000	200	10	1560	150	200	75	2.5	3.0	18	1.8
QM200DY-2HB	1000	200	10	1560	150	200	750	4.0	2.5	18	1.8
QM300DY-2H	1000	300	16	1980	150	300	75	2.5	3.0	18	1.8
QM300DY-2HB	1000	300	16	1980	150	300	750	4.0	2.5	18	1.8
QM15DX-24	1200	15	1	150	150	15	75	3.0	2.5	18	1.5

续表

参 数	最大额定值					电 气 特 性					
	晶体管部分					二极管部分	晶体管部分			二极管部分	
	$V_{CEX(SDS)}$ /V	I_C /A	I_B /A	P_C /W	T_j /°C	$-I_C$ /V	h_{FE}	$V_{CE(sat)}$ /V	t_{on} /μs	t_{off} /μs	$-V_{CEO}$ /V
型号											
QM30DY-24	1200	30	2	310	150	30	75	3.0	2.5	18	1.8
QM50DY-24	1200	50	3	400	150	50	75	3.0	2.5	18	1.8
QM50DY-24B	1200	50	3	400	150	50	750	4.0	2.5	15	1.8
QM75DY-24	1200	75	4	500	150	75	75	3.0	2.5	18	1.8
QM75DY-24B	1200	75	4	500	150	75	750	4.0	2.5	18	1.8
QM100DY-24K	1200	100	5	800	150	100	75	3.0	3.0	18	1.8
QM100DY-24BK	1200	100	5	800	150	100	750	4.0	2.5	18	1.8
GM150DK-24K	1200	150	8	1000	150	150	75	3.0	3.0	18	1.8
QM150DY-24BK	1200	150	8	1000	150	150	750	4.0	2.5	18	1.8
QM200DY-24	1200	200	10	1560	150	200	75	3.0	3.0	18	1.8
QM200DY-24B	1200	200	10	1560	150	200	750	4.0	2.5	18	1.8
QM300DY-24	1200	300	16	1980	150	300	75	3.0	3.0	18	1.8
QM300DY-24B	1200	300	16	1980	150	300	750	4.0	2.5	18	1.8
QM40DY-3H	1400	40	4	400	150	40	100	3.0	3.0	23	1.8
QM80DY-3H	1400	80	8	800	150	80	100	3.0	3.0	23	1.8
QM150DY-3H	1400	150	16	1500	150	150	100	3.0	3.0	23	1.8

三、GTR 驱动电路

图 2.3.34 所示电路为专用 IC 构成的容量为 30 ~ 75A GTR 驱动电路。该驱动电路中元器件规格型号见表 2.3.23。

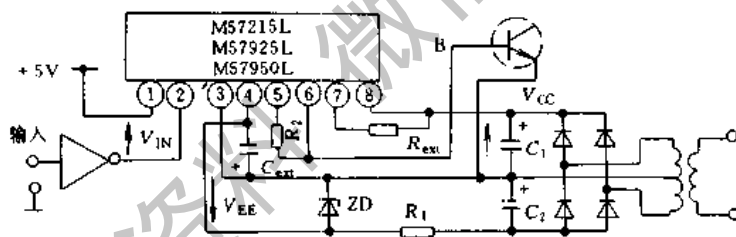


图 2.3.34 30~75A 晶体管驱动电路

表 2.3.23 图 2.3.34 中元器件规格型号表

型号	晶 体 管 型 号					
	QM30DY-H	QM30DY-HB	QM50DY-H	QM50DY-HB	QM75DY-H	QM75DY-HB
V_{CC}/V	10					
V_{EE}/V	-3					
V_{IN}/V	4~5					
R_{ext}/Ω	12	100	7.5	62	5.1	56
R_2/Ω	2.2		1.0		0.68	
R_1/Ω	150					
ZD	MZ303 (3V 稳压管)					
$C_{em}/\mu F$	33		47		68	
$C_1/\mu F$	3300	680	4700	1000	6800	1500
$C_2/\mu F$	330		470		680	
f/kHz	2					

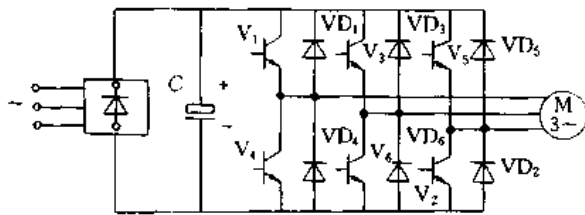


图 2.3.35 VVVF 逆变器的基本电路

(2) 开关浪涌电压产生的机理 在逆变电路中，有两种浪涌电压存在，其一为在续流二极管反向恢复时，其二为大功率晶体管关断时。

① 续流二极管反向恢复时的浪涌电压。图 2.3.36 所示为逆变器电路中负载电流的路径，用它来说明续流二极管反向恢复时产生浪涌电压的机理。

状态 1: V_1 和 V_6 处开通状态; V_3 与 V_4 为关断状态。负载电流通过 V_1 和 V_6 。

状态 2: V_6 关断，负载电流在 V_1 与 VD_3 内流动。

状态 3: V_6 再次开通，由 VD_3 — V_6 —直流电源的路径形成短路电路， VD_3 反向恢复。

状态 4: VD_3 的反向恢复电流达到最大值后，开始迅速减少。 VD_3 的反向恢复电流衰减时产生急剧的电流变化，由于主电路上电感的作用，感生浪涌电压。该浪涌电压加在 V_3 上，如图 2.3.37 所示。

② 功率晶体管关断时产生的浪涌电压。图 2.3.38 所示为功率晶体管关断时的工作波形。在 I_c 下降期间，由于集电极电流迅速变化和在电路中有电感作用，感生出浪涌电压。

功率晶体管关断过程中的工作轨迹如图 2.3.39

所示。为了缩短关断时间，加反向偏置基极电流。此时，关断时的动作轨迹不会超出 RBSOA 之外。吸收电路可使关断时的工作轨迹落在 RBSOA 以内。理想的吸收电路的工作轨迹如图中虚线所示，但实际电路中如实线那样，右肩突起。该突起部分接近 RBSOA。所以，吸收电路的设计关键是④部分的 V_{CEP} 和 V_{CESP} ，两者都不能超出 RBSOA。

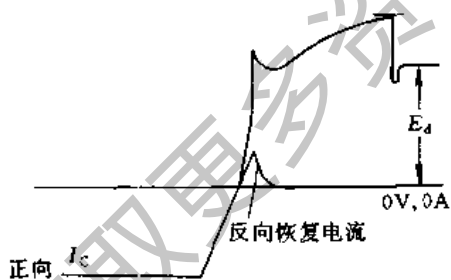


图 2.3.37 续流二极管反向恢复时的工作波形

而且频率越高，损耗越大。阻止放电型 RCD 电路没有这一缺陷，所以是使用最普遍的一种吸收电路。阻止放电型 RCD 电路不具有抑制 di/dt 的效应，在组合时，必须采用宽 RBSOA 的功率晶体管。

2. 过电流的产生与保护

(1) 过电流产生的原因 在 VVVF 逆变器中，电动机起动时的冲击电流和由于配线失误引起输出短路等，都可能使功率晶体管产生过电流。其中，电动机起动冲击电流为电流变化较慢的过电流，与普通晶闸管一样，可用 PI 调节器等限流电路进行保护。

表 2.3.25 给出了 VVVF 逆变器中短路发生过电流的各种原因。

四、GTR 保护

1. 过电压的产生与保护

(1) 过电压产生的原因 图 2.3.35 所示为 VVVF 逆变器的电路构成。在该电路中，交流输入电压上升和电动机制动时吸收再生能量，提高了中间直流电路 (U_c) 的电压，器件的开关动作产生浪涌电压，这三者是造成功率晶体管产生过电压的主要原因。

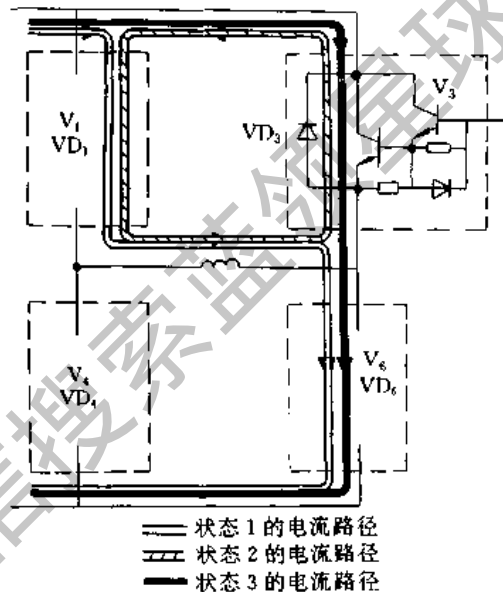


图 2.3.36 逆变器电路的工作状况

③ 吸收电路的种类。典型的吸收电路及其特性如表 2.3.24 所示。RC 吸收电路适用于小容量功率晶体管；充放电型 RCD 和阻止放电型 RCD 吸收电路，适用于大容量功率晶体管。由于充放电型 RCD 电路具有抑制关断时 di/dt 的效应，所以是具有狭窄 RBSOA 的功率晶体管的有效吸收电路。但它的缺点是，在吸收电容中储存的电荷放电时产生损耗，

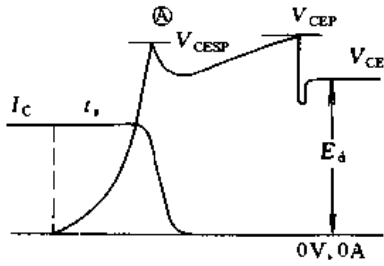


图 2.3.38 功率晶体管关断时的工作波形

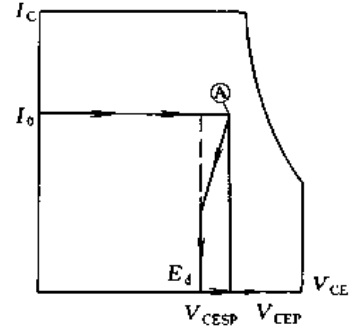


图 2.3.39 关断时的工作轨迹与RBSOA

表 2.3.24 典型的吸收电路及其特性

项目	RC 吸收电路	充放电型 RCD 吸收电路	阻止放电型 RCD 吸收电路
接线方式			
通断时的工作轨迹			
通断时工作波形			

注：-----理想的吸收电路；——实际的吸收电路。

表 2.3.25 过电流产生的原因

短路的路径	原因	短路的路径	原因
<p>桥臂短路</p>	晶体管或二极管损坏	<p>输出短路</p>	配线等工作人为出错及负载绝缘的损坏
<p>串联臂短路</p>	控制电路、驱动电路的故障，或由于干扰而引起的误动作	<p>对地短路</p>	

(2) 过电流的检测方法 过电流检测有电阻和电流互感器等方法。

① 电流检测与比较器组合。在小容量的装置中，电阻作为电流检测器；在中大容量的装置中，用交流互感器 ACCT 和直流互感器 DCCT 等来检测电流。

图 2.3.40 和表 2.3.26 给出了电流检测器的接入位置和检测内容。根据电流检测器接入位置不同，所得到的过电流种类是不同的。保护对象和范围完全由接入的位置来决定。图 2.3.41 给出 VVVF 逆变器的过电流保护的例子。在逆变器输出线上接电流检测器，可对输出短路和接地短路进行保护。

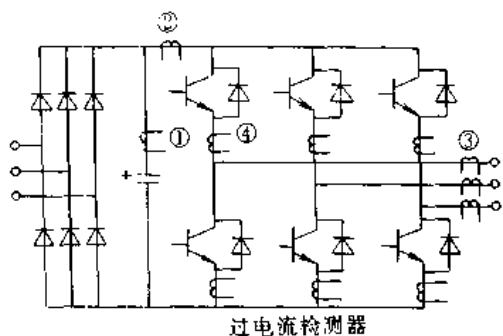


图 2.3.40 逆变器中电流检测器接入法

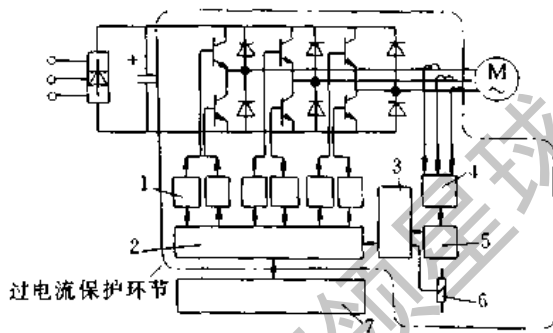


图 2.3.41 VVVF 逆变器过电流保护电路举例

1—驱动电路；2—脉冲分配管；3—比较器；4—整流波形合成；5—干扰滤波器；6—过电流设定；7—PWM 控制电路

表 2.3.26 电流检测器接入位置与检测的内容

检测器接入位置	特 点	检 测 内 容
与平滑电容器串联	① 可采用 ACCT ② 检测精度低	① 臂短路 ② 串桥臂短路
输入端接至逆变器	① 必须采用 DCCT ② 检测精度低	③ 输出短路 ④ 接地短路
接至逆变器的输出端	① 在高频输出的装置上可采用 ACCT ② 检测精度高	① 输出接地 ② 接地短路
与各功率晶体管串接	① 必须采用 DCCT ② 检测精度高	① 臂短路 ② 串桥臂短路 ③ 输出短路 ④ 接地短路

② 间接检测：在导通情况下，功率晶体管的集电极-发射极间的电压一般只在几伏以下。与此相反，在过电流状态下，功率晶体管不能维持饱和和工作状态，集电极-发射极间的电压急剧增加。尽管供给正常的基极电流，而集电极-发射极间的电压却非常高，因而可以判断流过的是过电流。

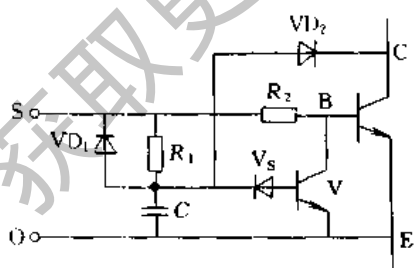


图 2.3.42 间接检测过电流方法

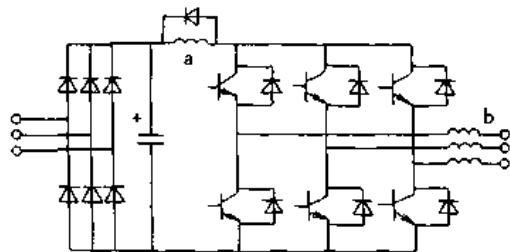


图 2.3.43 抑制过电流的扼流圈接入法

图 2.3.42 所示为应用该原理的过电流检测电路。由 R_1 和 C 组成的定时器起保护作用。这种方法具有快速保护的特点，但过电流的保护作用不经过控制电路时，必须有从各个过电流保护电路向控制电路进行信号反馈的环路。

③ 过电流峰值抑制法。功率晶体管的耐短路能力不足，需要抑制过电流的峰值，可在主电路内接入扼流

圈,如图 2.3.43 所示。

在逆变器输入侧插入扼流圈或电抗器 a。该方法对所有短路事故的过电流峰值都有抑制效果。如桥臂短路,串桥臂短路、输出短路、接地短路等。为了不使吸收电路的体积过大,必须把环流用的二极管并联在扼流圈或电抗器上。

在逆变器输出侧接入电抗器或扼流圈 b。该方法对桥臂短路、串桥臂短路无效果,但不需连接环流用二极管。由于电抗器的电压降,使得装置的输出容量降低,所以,不能接入太大的电抗器。

新开发的功率晶体管模块的短路能力都很大,可以不接入电抗器或扼流圈。

第六节 电力场效应管 (MOSFET)

一、MOSFET 结构与原理

功率 MOSFET 按结构可分为 V 形槽垂直导电型 (VVMOS)、横向导电双扩散型 (LDMOS) 和垂直导电双扩散型 (VDMOS) 等三种,其中以 VDMOS 场控晶体管最为普遍。按沟道导电类型又可分为 N 沟和 P 沟两种。由于电子迁移率高于空穴迁移率,一般多采用 N 沟器件。N 沟道型器件的外形、管脚及电符号见图 2.3.44。其中 D 表示漏极, S 表示源极, G 表示栅极或叫门极,箭头表示电子流动的方向。二极管称为漏源二极管,也叫反向二极管。该二极管具有快速恢复二极管的正反向特性,在变流电路中可起续流二极管的作用,它与 VDMOS 晶体管有相同的连续电流和脉冲电流额定值。

VDMOS 晶体管是多数载流子导电的器件,它靠沟道的开启和关闭控制漏源极间的电流。对 N 沟 VDMOS 晶体管来说,若漏极端接高电位,源极端接低电位,并在栅源极之间,施加一个适当极性和大小的电压时,可以控制沟道开启程度,进而控制漏极电流的大小。

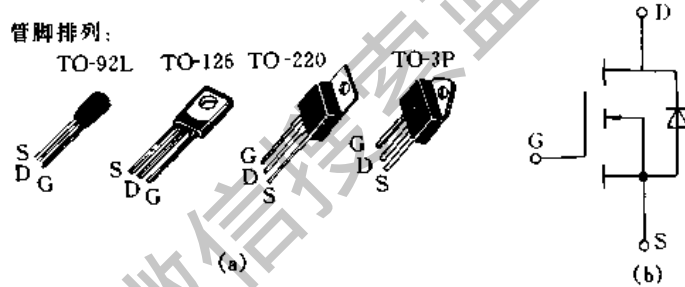


图 2.3.44 VDMOS 功率场效应晶体管外形、管脚及电符号图

二、MOSFET 基本参数

1. 静态参数

(1) 漏极电流 I_D 漏源两极之间的电流称为漏极电流,它表示 VDMOS 晶体管承受电流的能力。其测量条件规定为:栅源电压 U_{GS} 为 10V,漏源电压 U_{DS} 为某个适当数值,既要使漏极电流达到饱和,又要保证晶体管的功耗不致过大而烧毁。

(2) 漏源击穿电压 $U_{(BR)DSS}$ $U_{(BR)DSS}$ 表征漏源间所加电压的极限值,在参数表中, $U_{(BR)DSS}$ 规定为 U_{GS} 等于零时产生一个小漏极电流所需要最小漏源电压。

(3) 栅源击穿电压 $U_{GS(max)}$ $U_{GS(max)}$ 表征栅源间能承受的最高电压。主要由栅氧化层的质量和厚度来决定。

(4) 阈值电压 (开启电压) $U_{GS(th)}$ $U_{GS(th)}$ 是流过一定量的漏极电流时的最小栅源电压,通常规定它是漏极电流达 1mA 时所对应的栅源电压。

(5) 直流漏源导通电阻 $R_{DS(on)}$ $R_{DS(on)}$ 表征漏极电流从漏极流向源极所遇到的总电阻。

(6) 零栅压时的漏极电流 I_{DSS} I_{DSS} 表征 VDMOS 晶体管在关断状态时漏源间的泄漏电流。 I_{DSS} 过大说明该器件为软击穿特性。

2. 动态参数

(1) 正向跨导 g_{FS} g_{FS} 表征 VDMOS 晶体管的放大性能,定义为饱和的漏极电流的小变化量与相应的栅源电压的小变化量之比,用下式表示:

$$g_{FS} = \frac{\Delta I_{D(sat)}}{\Delta U_{GS}}$$

式中 $\Delta I_{D(sat)}$ 为饱和漏极电流的小变化量。

(2) 器件内部电容 内部电容是一个重要的动态参数,它直接影响器件的开关速度。VDMOS 晶体管的内部电容有两种类型:一是与 MOS 结构有关的 MOS 电容;二是与 PN 结有关的结电容。 C_{GS} 和 C_{GD} 分别表示与 MOS 结构有关的栅源电容和栅漏电容, C_{DS} 表示漏源之间的寄生电容,其中 C_{GS} 和 C_{GD} 不随电压和温度而变化。

对于共源线路, 器件电容的连接使输入和输出呈容性阻抗, 这些合成电容是:

$$\begin{aligned} \text{反馈电容} & C_{\text{rss}} = C_{\text{GD}} \\ \text{共源输入电容} & C_{\text{iss}} = C_{\text{GD}} + C_{\text{GS}} \\ \text{共源输出电容} & C_{\text{oss}} = C_{\text{GD}} + C_{\text{DS}} \end{aligned}$$

VDMOS 晶体管的开关速度受这些电容的充放电所必需的时间所限制。

(3) 开关时间 开关时间包括导通时间 t_{on} 和关断时间 t_{off} 。其中 t_{on} 又包含导通延迟时间 $t_{\text{d(on)}}$ 和上升时间 t_r , t_{off} 又包含关断延迟时间 $t_{\text{d(off)}}$ 和下降时间 t_f 。器件结温的变化不影响其开关时间, 因而开关损耗也不随结温而变化。

3. 主要参数

表 2.3.27 给出了国产 VDMOS 功率场效应晶体管主要参数。

表 2.3.27 国产 VDMOS 功率场效应晶体管主要参数

型号	V_{DSS} /V	I_{D} /A	$R_{\text{DS(on)}}$ / Ω	P_{D} /W	$V_{\text{GS(th)}}$ /V	g_{FS} /mhos	封装	对应型号
KWP3N35	350	3	3	75	2~4.5	1.5	TO-220	BUZ76A, 1RF711, 1RF723, MTP3N35, SDT76, SFN723, TX125
KWP3N40	400	3	3	75	2~4.5	1.5	TO-220	BUZ76A, 1RF710, 1RF722, 1RF723, MTP3N40, SDT76, SFN722, TX126
KWP4N40	400	4	1.8	75	2~4.5	2	TO-220	BUZ76, MTP4N40
KWP4N45	450	4	1.8	75	2~4.5	2	TO-220	BUZ41A, BUZ42, 1RF831, 1RF833, MTP4N45, SDT41A, SFN833, TX4N45P, TX137, VN4502D
KWP4N50	500	4	1.8	75	2~4.5	2	TO-220	BUZ41A, BUZ42, 1RF830, 1RF832, MTP4N50, SDT41A, SDT42, SFN832, TX4N50P, TX138, VN5002D
KWP5N35	350	5	1	75	2~4.5	2	TO-220	BUZ60B, 1RF731, 1RF733, MTP5N35, SDY60, SFN733, TX135, VN3501D
KWP8N35	350	8	0.55	125	2~4.5	3	TO-220	1RF743, MTP8N35
KWH8N35	350	8	0.55	150	2~4.5	3	TO-3P	BUZ351, D88FQ1, D88FQ2, 1RFF341, MTH8N35
KWP8N40	400	8	0.55	125	2~4.5	3	TO-220	1RF742, MTP8N40
KWH8N40	400	8	0.55	150	2~4.5	3	TO-3P	BUZ351, D88FQ2, 1RFF340, MTH8N40
KWP8N45	450	8	0.8	125	2~4.5	4	TO-220	MTP8N45, UFN841, YTF841
KWH8N45	450	8	0.8	150	2~4.5	4	TO-3P	MTH7N45
KWP8N50	500	8	0.8	125	2~4.5	4	TO-220	MTP8N50, UFN840, YTF840
KWH8N50	500	8	0.8	150	2~4.5	4	TO-3P	BUZ331, BUZ354, CHMO1C - 1M155 (A), MTH8N50
KWP10N05	50	10	0.28	75	2~4.5	2.5	TO-220	BUZ71A, D84CK1, 1RF521, 1RF210, MTP10N05, SDT10A,
KWP10N06	60	10	0.28	75	2~4.5	2.5	TO-220	BUZ72A, D84CK2, 1RF521, 1RF533, MTP10N06, TX131
KWP10N08	80	10	0.33	75	2~4.5	2.5	TO-220	D84CL1, 1RF510, MTP10N08, VN0801D
KWP10N10	100	10	0.33	75	2~4.5	2.5	TO-220	BUZ72A, D84CL2, 1RF510, 1RF520, 1RF533, MTP10N10, SDT20, SFN520, TX132

表 2.3.28 给出了国外厂家部分 MOSFET 模块的型号和参数。

表 2.3.28 国外厂家部分 MOSFET 模块的型号和参数

参数 型号	最大额定值					电气特性				
	MOSFET 部分				二极管部分	MOSFET 部分			二极管部分	
	V_{DS} /V	I_D /A	P_D /W	T_{ch} /°C	$-I_D$ /A	R_{DS} (ON)/ Ω	t_{on} /ns	t_{off} /ns	V_{SD} /V	t_r /ns
FM15BF-6	250.300	15	125	150	15	0.28	740	340	2.5	130
FM30TF-10S	500	30	310	150	30	0.2	1100	700	2.5	170
FM30DY-9, 10	450.500	30	250	150	30	0.3	170	150	2.5	120
FMS0DY-9, 10	450.500	50	310	150	50	0.2	200	175	2.5	120
FM50DY-10S	500	50	350	150	50	0.15	300	240	2.5	120
FM50DZ-9, 10	450.500	50	420	150	50	0.12	300	250	2.5	160
FM75HA-9, 10	450.500	75	500	150	75	0.11	420	300	2.5	160
FM100HY-9, 10	450.500	100	650	150	100	0.10	700	450	2.5	160

注：钳位二极管特性不适用于 MOSFET 寄生二极管。

三、MOSFET 驱动电路

采用晶体管作驱动元件，一般都采用脉冲变压器或光耦合器进行电隔离式传输信号，所以，信号电路与 VDMOS 的电源系统是两个完全无公共点的电源系统。这种驱动方式十分有用。图 2.3.45 为 VDMOS 的晶体管驱动电路。

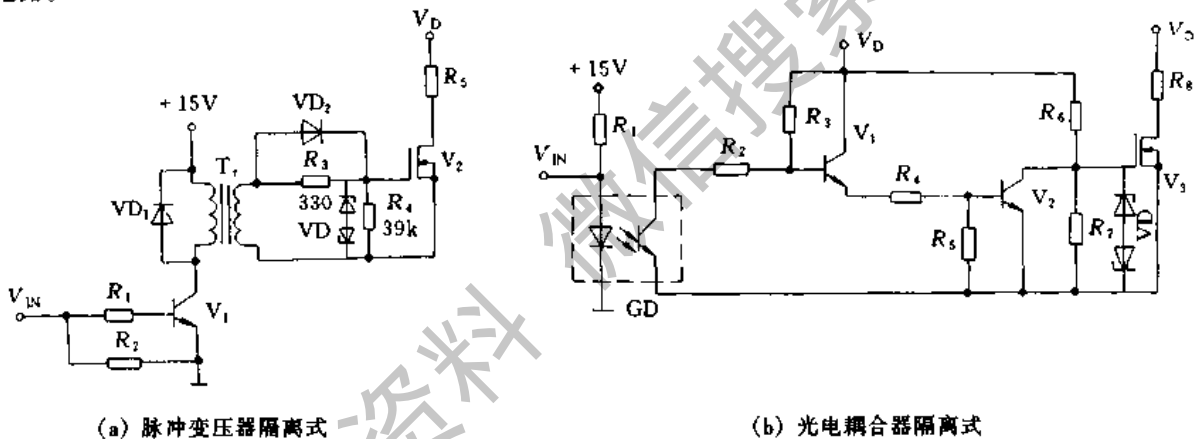


图 2.3.45 VDMOS 的晶体管驱动电路

图中 VDMOS 场效应晶体管栅极与源极间并接齐纳管的作用是：若场效应管漏极是电感性负载，则管子从导通突变到截止时，负载电感两端将产生感应电动势，使漏源电压波形出现高于电源电压的过电压尖峰，该尖峰电压会通过栅漏和栅源间电容分压出现在栅源之间，此值将超过栅源间绝缘层的耐压值（20V），而栅源间并接齐纳二极管一类的限压器件，以限制栅源电压低于 $\pm 20V$ 。

四、MOSFET 保护

1. 过电压保护

加在 MOSFET 上的浪涌电压有三种形式：

- ① 由于开关或其他 MOSFET 等外部原因引起的浪涌电压；
- ② MOSFET 本身在关断时发生的浪涌电压；
- ③ MOSFET 内部二极管通电后施加电压换向时，通过二极管的反向恢复特性所产生的浪涌电压。

情况①是由外部施加的过电压，需要将它抑制在额定的漏-源极间电压以下；情况②应把浪涌电压抑制在反偏置 SOA 内，尽管 MOSFET 的反偏置 SOA 很宽，最好还是把浪涌电压抑制在额定电压以下；情况③是抑制浪涌电压的峰值，使之接近于额定电压，与此同时，二极管部分的电流减少率或漏电压的上升率也应限制。下面说明采用的对策。

图 2.3.46 所示电路为过电压保护用的基本电路。图 (a) 是采用 RC 回路来吸收浪涌电压的回路。图 (b) 为在 RC 吸收回路上加一个二极管 VD，它把较大的浪涌电压抑制下来，为防止浪涌电压振荡，希望 VD 采用快速型的。图 (c) 是用雪崩二极管或齐纳二极管对浪涌电压进行钳位。图 (d)、(e) 为当浪涌电压一超过规定的值时，使 MOSFET 开通以保护它不受过电压击穿。图 (f)、(g) 用于逆变器中，将电容连接在正负母线间来吸收浪涌电压，特别是图 (g)，用它来吸收超过电源电压以上的浪涌电压很有效，吸收回路损耗小。图 (h) 相对于感性负载 L 连接钳位二极管 VD，是一种不产生来自负载浪涌电压的方案。图 (i) 所示是通过连接到栅极上的电阻 R_G 并选择栅极反向电压 V_{GS} 的最佳值来延缓关断时间，以抑制浪涌电压的方法。

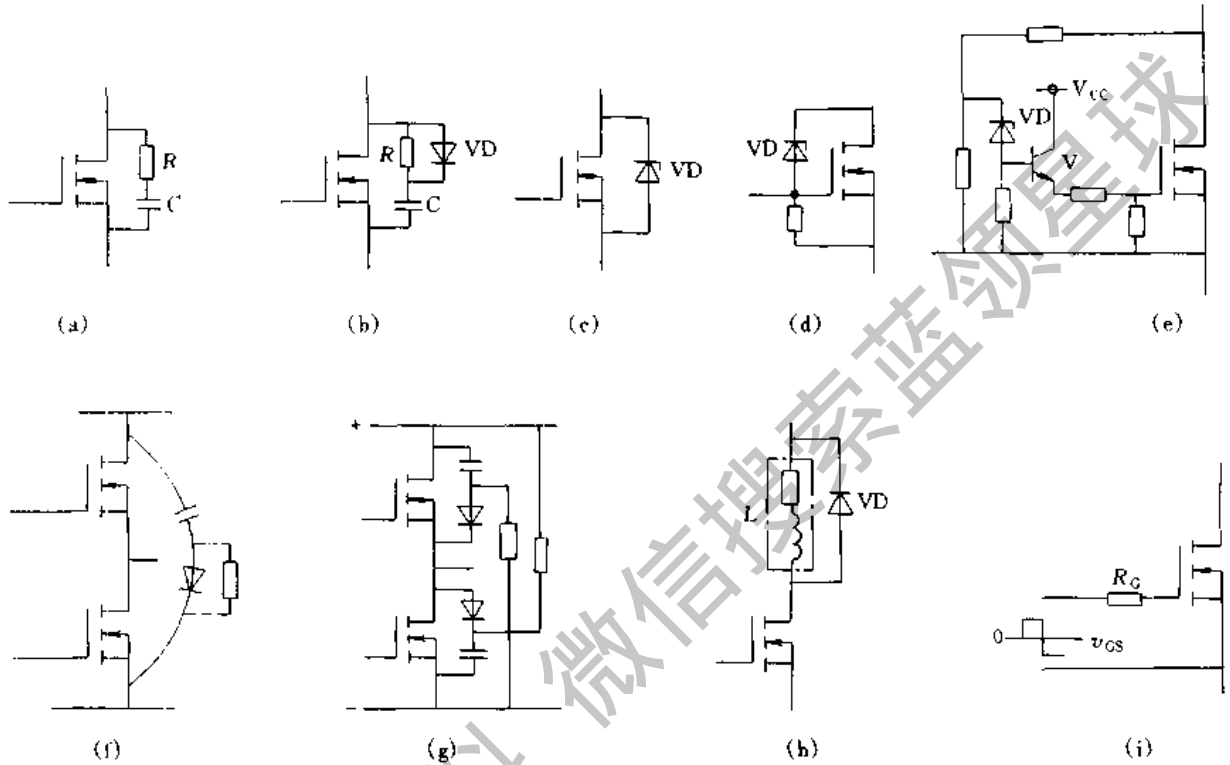


图 2.3.46 各种浪涌电压保护电路

无论采用哪种保护电路，过电压抑制回路的配线都应尽量短，并且应当贴近 MOSFET 的电极来布线。而且，主回路的配线也要尽可能短，并用粗线，有时用绞合扭线，或用平行的棒材配置，这样来减少电感是非常必要的。

2. 二极管换流时应注意的事项

在使用逆变器驱动电机时，在 MOSFET 内部的二极管流过电流后，立即有反向电压，即正电压施加于漏-源极之间。该换流条件 di/dt 、 du/dt 若苛刻的话，MOSFET 往往被损坏。为防止这种损坏，或采用图 (i) 所示那种方案，在栅极上串接一个电阻来延迟开通速度，用来抑制 di/dt 或 du/dt ；或者采用如图 (a) 或 (b) 那种吸收回路来抑制 du/dt 。

在换流条件苛刻的应用场合下，采用图 2.3.47 所示电路，与 MOSFET 串联一个二极管，防止电流逆向流过。特别是在高压大容量的应用中这种方法更有效。此外，作为防止逆向电流用的二极管，应使用肖特基势垒的快速二极管。

3. 过电流保护

MOSFET 的过电流损坏的原因有：

- ① 负载短路；
- ② 由于过载等异常过大电流流过。

器件耐短路破坏能力受电源电压、温度和栅极条件等影响。因此，在检测到短路电流到器件损坏的时间之前，是把栅电压变为零或负值来切断短路呢？还是采用光降低栅极正电压来限流，其后再切断电路呢？两种办法皆有效。

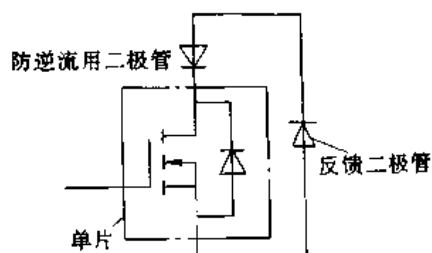


图 2.3.47 提高换流时的耐损坏能力

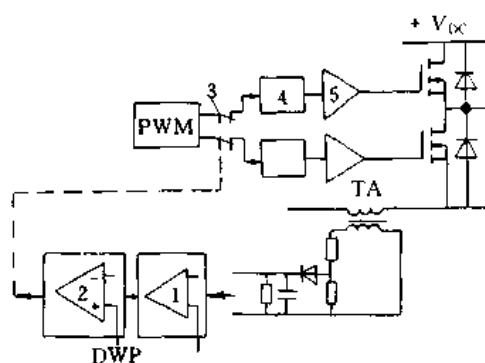


图 2.3.48 过电流保护电路

1—PWM 比较器；2—差动放大器；3—半导体开关；
4—光隔离；5—门极放大

对于②项的过载电流来说，要让加在 MOSFET 上的电压、电流时间不超出正向偏置的安全工作区 SOA，必须切断过电流。一般仅检测过电流，之后，采取诸如切断栅极信号、使栅极脉冲宽度变窄、让通过电流减少等措施。

图 2.3.48 给出了过电流保护的基本电路。通过电流互感器 TA 检测出的过流电流来关断 MOSFET 的栅极信号。

第七节 绝缘门极晶体管 (IGBT)

一、IGBT 结构与原理

IGBT 是在 VDMOS 晶体管的基础上发展起来的，两者结构十分类似。其不同之处是 IGBT 多一个 P⁺ 层发射极，并由此引出漏极，而门极和源极与 VDMOS 晶体管相类似。从等效电路来看，IGBT 相当于一个带有寄生晶闸管由 MOSFET 驱动的厚基区 GTR，正常工作时它的简化等效电路如图 2.3.49 所示。电阻 R_{Mm} 是厚基区内的调制电阻。由此可知，IGBT 是以 GTR 为主导元件，MOSFET 为驱动元件的达林顿电路结构，其中 GTR 为 PNP 晶体管，MOSFET 为 N 沟道场控晶体管。为此，这种结构称为 N-IGBT，即 N 沟 IGBT。

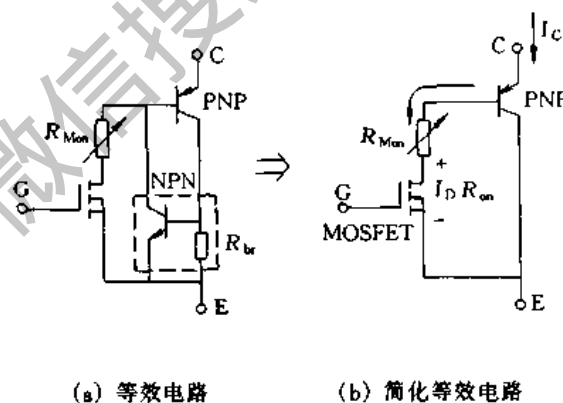


图 2.3.49 IGBT 的简化等效电路

IGBT 的图形符号有两种，如图 2.3.50 所示。其中图 2.3.50 (a) 为 N-IGBT 的图形符号，它与 MOSFET 的图形符号相似，不同之处是漏极增加一个向内的箭头，表示注入空穴。P-IGBT 的符号则把此箭头方向相反即可。有时也用图 (b) 作为 IGBT 的图形符号。在这里漏极和源极分别改称为集电极和发射极。

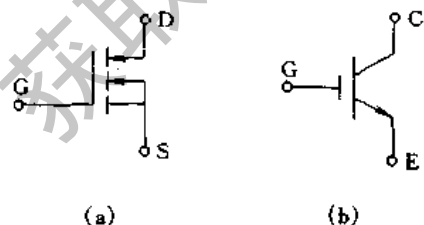


图 2.3.50 IGBT 的图形符号

IGBT 的开通和关断是由门极电压来控制的。门极电压加以正电压，MOSFET 内形成沟道并为 PNP 晶体管提供基极电流，使 IGBT 开通。IGBT 有电子和空穴两种载流子导电，所以它属双极型器件。在门极加以反向电压后，MOSFET 的沟道消除，PNP 晶体管的基本电流被切断，IGBT 即被关断。由此可知，IGBT 与 MOSFET 一样均为电压控制型器件。

二、IGBT 基本参数

由于 IGBT 是介于 GTR 和功率 MOSFET 之间的一种新型复合器件，它的基本参数与 GTR 和功率 MOSFET 各有异同，见表 2.3.29 和表 2.3.30。表 2.3.31 给出了国外厂家部分 IGBT 模块的型号和参数。

表 2.3.29 东芝 MG25N2S1 型 IGBT 的最大额定值 ($T_C = 25^\circ\text{C}$)

项 目	符号	额定值	项 目	符号	额定值	
集电极-发射极电压	U_{CES}/V	1000	结温	$T_V/^\circ\text{C}$	125	
门极-发射极电压	U_{GES}/V	± 20	储存温度	$T_{stg}/^\circ\text{C}$	-40 ~ 125	
集电极电流	DC	I_C/A	25	绝缘耐压	U_{ISOL}/V	2500 (AC, 1min)
	1ms	I_{CE}/A	50	紧固力矩(端子安装)/(10N·cm)	20/30	
集电极损耗	P_C/W	200				

表 2.3.30 东芝 MG25N2S1 型 IGBT 的电气特性参数 ($T_C = 25^\circ\text{C}$)

项 目	符 号	测 试 条 件	最小	标准	最大
门极漏电流	I_{CES}/nA	$U_{GE} = \pm 20\text{V}, U_{CE} = 0$	—	—	± 500
集电极漏电流	I_{CES}/mA	$U_{CE} = 1000\text{V}, U_{GE} = 0$	—	—	1
集电极-发射极电压	U_{CES}/V	$I_C = 10\text{mA}, U_{GE} = 0$	1000	—	—
门极-发射极电压	$U_{GE(\text{off})}/\text{V}$	$U_{GE} = 5\text{V}, I_C = 25\text{mA}$	3	—	6
集电极-发射极饱和压降	U_{CES}/V	$I_C = 25\text{A}, U_{GE} = 15\text{V}$	—	3	5
输入电容	C_{in}/pF	$U_{CE} = 10\text{V}, U_{GE} = 0, f = 1\text{MHz}$	—	3000	—
开关时间	上升时间	$t_r/\mu\text{s}$	$U_{GE} = \pm 15\text{V}$		
	开通时间	$t_{on}/\mu\text{s}$	$R_g = 51\Omega$		
	下降时间	$t_f/\mu\text{s}$	$U_{OC} = 600\text{V}$		
	关断时间	$t_{off}/\mu\text{s}$	负载电阻 24 Ω		
反向恢复时间	$t_{rr}/\mu\text{s}$	$I_F = 25\text{A}, U_{GE} = -10\text{V},$ $di/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	—	0.2	0.5
热阻	晶体管部分	$R_{th(j-c)}/(^\circ\text{C}/\text{W})$	—	—	0.625
	二极管部分	$R_{th(j-c)}/(^\circ\text{C}/\text{W})$	—	—	1

表 2.3.31 国外厂家部分 IGBT 模块的型号和参数

参 数	最大 额 定 值					电 气 特 性				
	IGBT 部分				二 极 管 部分	IGBT 部分				二 极 管 部分
	V_{CES} /V	I_C /A	P_C /W	T_j /°C	I_E /A	$V_{CE(\text{sat})}$ /V	t_{on} /μs	t_{off} /μs	V_{EC} /V	t_{rr} /ns
CM50E3Y-12E	600	50	250	150	50	3.5	0.45	0.75	2.5	200
CM75E3Y-12E	600	75	310	150	75	3.5	0.45	0.75	2.5	200
CM100E3Y-12E	600	100	400	150	100	3.5	0.45	0.75	2.5	200
CM150E3Y-12E	600	150	600	150	150	3.5	1.1	0.95	2.5	200
CM200E3Y-12E	600	200	780	150	200	3.5	1.1	1.05	2.5	200
CM300E3Y-12E	600	300	1100	150	300	3.5	1.1	1.15	2.5	200
CM50E3Y-24E	1200	50	400	150	50	4.0	0.3	0.6	2.5	300
CM75E3Y-24E	1200	75	600	150	75	4.0	0.7	0.9	2.5	300
CM100E3Y-24E	1200	100	780	150	100	4.0	0.7	0.9	2.5	300
CM150E3Y-24E	1200	150	1100	150	150	4.0	0.7	0.9	2.5	300
CM200E3Y-24E	1200	200	1500	150	200	4.0	0.95	0.9	2.5	300
CM300HA-12H	600	300	1100	150	300	2.8	0.95	0.65	2.8	110
CM400HA-12H	600	400	1500	150	400	2.8	0.95	0.65	2.8	110
CM600HA-12H	600	600	2100	150	600	2.8	—	—	2.8	110
CM200HA-24H	1200	200	1500	150	200	3.4	0.65	0.65	3.5	250
CM300HA-24H	1200	300	2100	150	300	3.4	0.75	0.7	3.5	250
CM400HA-24H	1200	400	2800	150	400	3.4	0.8	0.7	3.5	250

续表

参 数	最大 额 定 值					电 气 特 性				
	IGBT 部分				二 极 管 部 分	IGBT 部分				二 极 管 部 分
	V_{CES} /V	I_C /A	P_C /W	T_i /°C		I_E /A	$V_{CE(sat)}$ /V	t_{on} /μs	t_{off} /μs	
型 号										
CM600HA-24H	1200	600	4200	150	600	3.4	1.0	0.8	3.5	250
CM400HA-28H	1400	400	2800	150	400	4.0	—	—	3.7	300
CM600HA-28H	1400	600	4100	150	600	4.0	—	—	3.7	300
CM50DY-12H	600	50	250	150	50	2.8	0.5	0.5	2.8	110
CM75DY-12H	600	75	310	150	75	2.8	0.42	0.5	2.8	110
CM100DY-12H	600	100	400	150	100	2.8	0.42	0.5	2.8	110
CM150DY-12H	600	150	600	150	150	2.8	0.75	0.6	2.8	110
CM200DY-12H	600	200	780	150	200	2.8	0.75	0.6	2.8	110
CM300DY-12H	600	300	1100	150	200	2.8	0.95	0.65	2.8	110
CM400DY-12H	600	400	1500	150	400	2.8	0.95	0.65	2.8	110
CM50DY-24H	1200	50	400	150	50	3.4	0.28	0.5	3.5	250
CM75DY-24H	1200	75	600	150	75	3.4	0.5	0.65	3.5	250
CM100DY-24H	1200	100	780	150	100	3.4	0.6	0.65	3.5	250
CM150DY-24H	1200	150	1100	150	150	3.4	0.6	0.65	3.5	250
CM200DY-24H	1200	200	1500	150	200	3.4	0.65	0.7	3.5	250

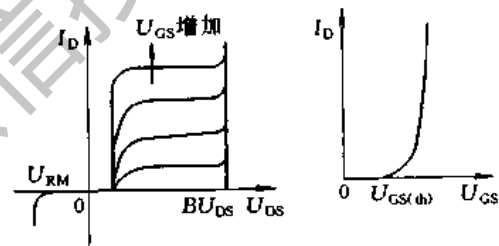
三、IGBT 基本特性

1. 输出特性与转移特性

(1) 输出特性 N-IGBT 的输出特性示于图 2.3.51 (a)。由图可知, IGBT 与 GTR 的输出特性基本相似, 不同之处是, 控制参数是门源电压 U_{GS} 而不是基极电流。输出特性分饱和区、放大区和击穿区。输出电流由门源电压控制, U_{GS} 越高输出电流 I_D 越大。IGBT 因结构不同, 有承受反压与不承受反压两种类型, 图 2.3.51 (a) 给出了承受反压的特性示意图。

与功率 MOSFET 相比, IGBT 的通态压降要小得多, 比如 1000V 的 IGBT 约有 2~3V 的通态压降。

(2) 转移特性 IGBT 的转移特性示于图 2.3.51 (b), 它与功率 MOSFET 的转移特性相同。在大部分漏极电流范围内, I_D 与 U_{GS} 呈线性关系, 只有当门源电压接近开启电压 $U_{GS(th)}$ 时才呈非线性关系, 此时漏极电流已相当小。当门源电压 U_{GS} 小于 $U_{GS(th)}$ 时, IGBT 处于关断状态。加在门源间的最高电压由流过漏极的最大电流所限定, 一般取 $U_{GS} = 10V$ 左右。



(a) 输出特性 (b) 转移特性

图 2.3.51 输出特性与转移特性

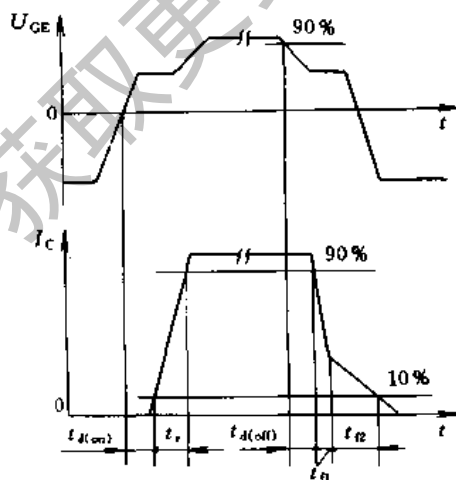


图 2.3.52 开关特性

2. 开关特性

IGBT 的开通与关断特性如图 2.3.52 所示。IGBT 的导通特性主要由 MOSFET 结构决定, 当门源电压上升至 MOSFET 的阈值电压时, MOSFET 迅速开通, 进而使 IGBT 中的 PNP 晶体管开通。其开通时间由开通延迟时间 $t_{d(on)}$ 和上升时间 t_r 组成, 开通速度与具有相同输入电容的功率 MOSFET 迅速开通, 进而使 IGBT 中的 PNP 晶体管开通。其开通时间由开通延迟时间 $t_{d(on)}$ 和上升时间 t_r 组成, 开通速度与具有相同输入电容的功率 MOSFET 相近。

IGBT的关断过程较复杂，其关断时间是指关断延迟时间 $t_{d(off)}$ 以及两段下降时间 t_{η} 和 t_{ρ} 。即下降时间 t_f ，包括 t_{η} 和 t_{ρ} 两部分。其中 t_{η} 为栅漏电容的放电时间，它与驱动电路中的串联电阻有关。 t_{ρ} 为 PNP 晶体管中少数载流子的复合时间，它与驱动电路的参数无关。

3. 擎住效应与安全区

(1) 擎住效应 擎住效应是 IGBT 的一种特殊性能，它影响器件的正常工作。图 2.3.49 为较为复杂的 IGBT 等效电路。由图可知，IGBT 内存在一个由 PNP 和 NPN 两个晶体管组成的寄生晶闸管结构和一个体电阻 R_{br} 。在导通状态时，若由于 IGBT 的漏极电流过大，会在电阻 R_{br} 上产生足以使 NPN 寄生晶体管开通，进而使寄生晶闸管导通的电压。寄生晶闸管一旦导通擎住，IGBT 即会失去控制，造成极大的漏极电流，这就是所谓的擎住效应。IGBT 所允许的最大漏极电流以及相应的最大栅源电压正是由此限定的。在 IGBT 进行关断时，若漏源极间承受很大的 du_{DS}/dt 应力，也会因为结电容产生的位移电流过大，致使 R_{br} 上出现足以产生擎住现象的电压，为此 IGBT 的使用中应限制关断时的 du_{DS}/dt 。

(2) 安全区 IGBT 也分正向偏置安全区 (FBSOA) 和反向偏置区 (RBSOA) 两种，具体如图 2.3.53 所示，其中图 (a) 为 FBSOA，图 (b) 为 RBSOA。

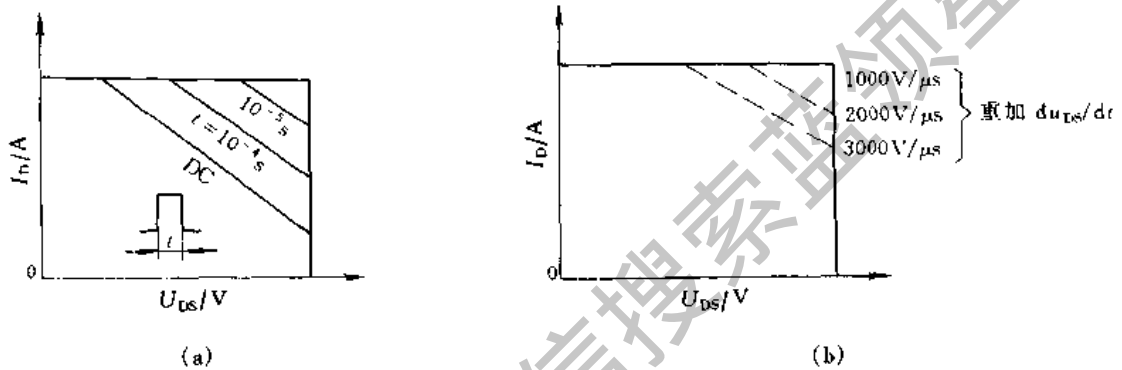


图 2.3.53 安全工作区

IGBT 的 FBSOA 与功率 MOSFET 相似，它与导通时间密切相关。IGBT 的 RBSOA 与关断时 IGBT 承受的重加 du_{DS}/dt 密切相关，这一特性又与晶闸管和 GTO 等器件相似。

表 2.3.32 IGBT 驱动电路的应用电压电流

IGBT	600V IGBT 驱动		1200V IGBT 驱动	
	150A	400A	75A	300A
标准型	EXB850	EXB851	EXB850	EXB851
高速型	EXB840	EXB841	EXB840	EXB841

四、IGBT 驱动电路

下面介绍目前应用很广的用于 IGBT 的混合 IC 驱动器。

1. IGBT 驱动电路的应用电压电流 (见表 2.3.32)
2. 混合 IC 驱动器 EXB 系列功能方框图 (见图 2.3.54)

表 2.3.33 为该系列管脚的表示法。

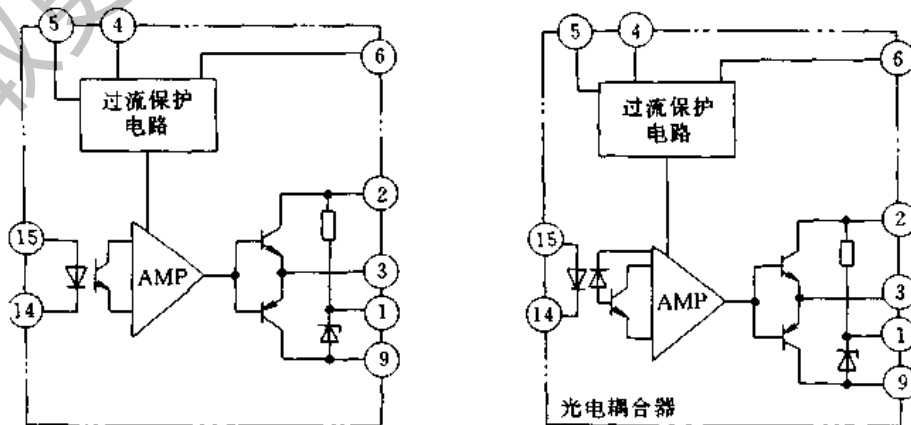


图 2.3.54 EXB 系列功能方框图

表 2.3.33 全部 EXB 系列管脚表示法

脚 码	说 明
①	连接用于反向偏置电源的滤波电容器
②	电源 (+20V)
③	驱动输出
④	用于连接外部电容器, 以防止过流保护电路误动作 (绝大部分场合不需要电容器)
⑤	过流保护输出
⑥	集电极电压监视
⑦ ⑧	不接
⑨	电源 (0V)
⑩ ⑪	不接
⑬ ⑭	驱动信号输入 (-)
	驱动信号输入 (+)

3. 参数

最大绝对额定值见表 2.3.34, 推荐的运行条件见表 2.3.35, 电气特性见表 2.3.36。

表 2.3.34 最大绝对额定值 ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

项 目	符 号	条 件	额 定 值	
			EXB850, EXB840 (中容量)	EXB851, EXB841 (大容量)
供电电压	V_{CC}/V		25	
光耦合器 输入电流	I_I/mA		10	
正向偏置 输出电流	I_{O1}/A	$PW = 2\mu\text{s}$, 占空比为 0.05 或更短	1.5	4.0
反向偏置 输出电流	I_{O2}/A	$PW = 2\mu\text{s}$, 占空比为 0.05 或更短	1.5	4.0
输入/输出 隔离电压	V_{ISO}/V	AC 50/60Hz, 1min	2500	
工作表面温度	$T_C/^\circ\text{C}$		-10 ~ +85	
存储温度	$T_{stg}/^\circ\text{C}$		-25 ~ +125	

表 2.3.35 推荐运行条件

项 目	符 号	推 荐 工 作 条 件			
		标 准 型		高 速 型	
		EXB850	EXB851	EXB840	EXB841
供电电压	V_{CC}/V	20 ± 1			
光耦合器输入电流	I_I/mA	5		10	

表 2.3.36 电气特性

项 目	符 号	条 件	额 定 参 数					
			EXB840, EXB841 (高速)			EXB850, EXB851 (中速)		
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
导通时间	$t_{on}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20\text{V}$, $I_F = 5\text{mA}$			1.5			2.0
关断时间	$t_{off}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20\text{V}$, $I_F = 5\text{mA}$			1.5			4.0
过流保护电压	V_{OCP}/V	$V_{CC} = 20\text{V}$, $I_F = 5\text{mA}$		7.5			7.5	
过流保护延迟	$t_{OCP}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20\text{V}$, $I_F = 5\text{mA}$			10			10
报警延迟	$t_{ALM}/\mu\text{s}$	$V_{CC} = 20\text{V}$, $I_F = 5\text{mA}$			1			1
反向偏置 电源电压	V_{RB}/V	$V_{CC} = 20\text{V}$		5			5	

4. EXB850 外接电路的接法 (见图 2.3.55)

表 2.3.37 为 EXB850 推荐的栅电阻 R_G 和电流 I_{CC} 损耗值。

控制电路印刷电路板

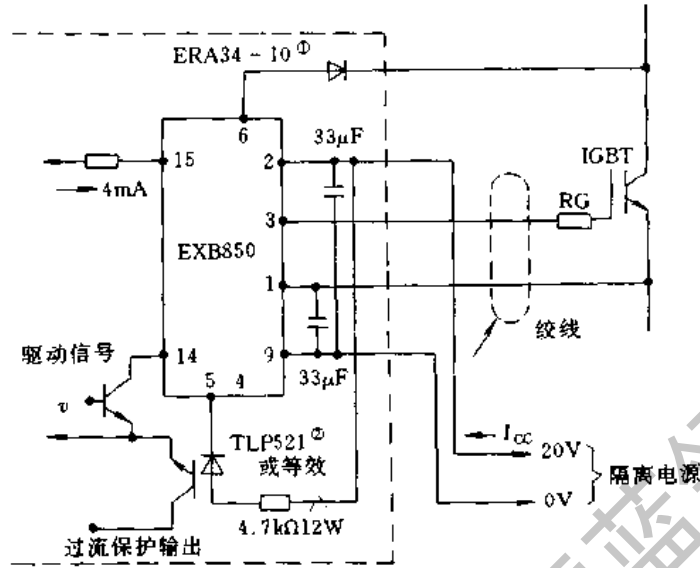


图 2.3.55 EXB850 外接电路的方法

① 快速恢复二极管; ② 光电耦合器

表 2.3.37 EXB850 推荐的栅电阻和电流损耗

IGBT 额定值	600V	10A	15A	30A	50A	75A	100A	150A	
	1200V	—	—	8A	15A	25A	—	50A	75A
R_G	250Ω		150Ω	82Ω	50Ω	33Ω	25Ω	15Ω	
I_{CC}	5kHz	24mA				24mA			26mA
	10kHz					25mA			29mA
	15kHz	25mA				27mA			32mA

五、IGBT 保护

1. 保护电路

IGBT 的保护电路与双极型晶体管或 MOSFET 的保护电路基本相同。IGBT 的安全工作区介于双极型晶体管与 MOSFET 之间。不过, 由于它比双极型晶体管的开关速度快, 所以, 浪涌电压也容易产生。因此, 在进行配、布线和配置元器件时, 必须很好地采取减少分布电感的措施。

IGBT 的保护项目如下:



- ③ 安全工作区 ———— 电压钳位
吸收电路
- ④ 过电压保护 ———— DC 母线过电压
- ⑤ 超温保护 ———— 散热器温升

在过电流保护当中，应注意采取防 IGBT 锁定的保护措施。锁定电流的值可以认为是由 PNP-NPN 构成的晶闸管中的最大可控电流。早期生产的 IGBT 产品，其锁定电流比较小，与 GTO 晶闸管一样，在器件回路中串联电感，或在电源回路中串联电感来限制电流上升率；也可在达到锁定电流前把电流值检测出来，通过门极电路把事故电流切断。但是，也有些产品把门极电压维持或限定在规定值之下，这样避免发生锁定现象。但如果门极电压超过规定范围，也能产生锁定现象。若门极电压降低，集电极-发射极间电压 $V_{CE(sat)}$ 增大，正常导通损耗增加。因此，希望门极驱动电源要稳定。

IGBT 用在逆变器情况下，它的短路 SOA 在高压范围内要比双极型晶体管的宽，但芯片面积却比双极型晶体管和 MOSFET 的小。因此，希望在 $10\mu s$ 左右快速检出过电流状态，然后迅速把它切断。

IGBT 与 MOSFET 同属电压驱动的器件，应当直接或间接地测试门极电压是否超过或不足的情况。一般情况下，给门极电源施加稳定化措施的同时，要设置投入电源时或瞬间停电时的互锁保护措施。

IGBT 的安全工作区比较宽，是一种容易使用的功率半导体器件。但由于开关速度快，容易产生浪涌电压，因此，设置吸收电路是其中一项关键。表 2.3.38 给出几种典型的吸收电路。这些吸收电路与双极型晶体管的或 MOSFET 的是相同的。选择哪种电路应考虑到 IGBT 的容量、布线分布电感、使用的电源电压高低、有无串并联器件、负载端短路的危险程度等因素。

表 2.3.38 吸收电路及其特性

项目	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
电路方式					
工作波形					
特征	① 吸收效果好 ② 吸收回路损耗大 ③ 需串接电感	① 易振荡 ② 最简单 ③ 吸收回路损耗小	① 有振荡抑制效果 ② 吸收回路损耗大	① 吸收回路损耗小 ② 适宜在大容量上使用	吸收效果好，但如增大效果，则吸收回路损耗大

在切断负载短路事故等大电流场合下，建议采用电路 (c)，通过二极管与电容的串联组成大的能量吸收回路，对于高速浪涌来说，直接将高频电容接在直流电源上。

在大容量的变换器内，由于布线分布电感增加，采用电路 (d) 比较有效。电路 (e) 也属于最基本的吸收电路，如果提高其效果，吸收回路损耗也变大。在实际应用时，最好的办法是通过实验来确定其参数。

2. IGBT 模块在逆变器中使用的保护技术

(1) 过电压保护

① 过电压发生的原因。IGBT 在 VVVF 逆变器中应用的例子如图 2.3.56 所示。IGBT 在关断过程中的工作波形如图 2.3.57 所示。

IGBT关断时，由于主回路电流急剧变化，在主回路的分布电感上出现高电压，即浪涌电压。

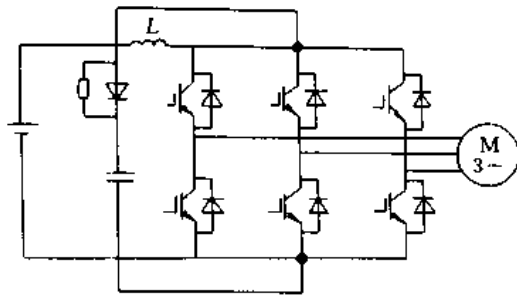


图 2.3.56 VVVF 逆变器中 IGBT 的应用
L—主回路配线电感

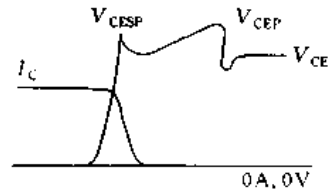


图 2.3.57 IGBT 在关断过程中的工作波形

② 吸收电路。图 2.3.58 所示为 IGBT 反向偏置下的安全工作区 RBSOA。由于上述开关浪涌电压的出现，关断时动作轨迹如超出 RBSOA，则会损坏器件。吸收电路的作用就是抑制开关的浪涌电压，使得它的工作轨迹落入 RBSOA 以内。

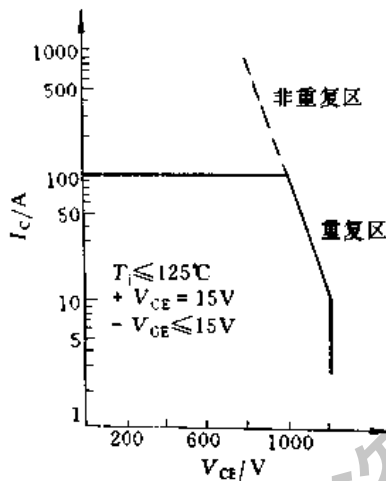


图 2.3.58 IGBT (2MB150-120) 的 RBSOA

③ 吸收电路的基本设计方法。最简单的 IGBT 吸收电路就是阻止放电型吸收电路。下面以它为例进行参数计算。

a. 吸收电容 C_s

$$C_s = \frac{I_0^2 L^2}{(V_{CEP} - E_d)^2}$$

式中 L ——主回路内的分布电感；

I_0 ——IGBT 关断时的集电极电流；

V_{CEP} ——吸收电路中电容上最终达到的电压值（容许的 V_{CEP} 根据电流不同有所不同）；

E_d ——直流电源电压。

b. 吸收电阻 R_s 。要求吸收电阻的功能是，IGBT 在进行下次关断动作之前，将吸收电容上面储存的电荷进行放电。下面以关断动作之前，把储存的 90% 电荷进行放电为条件来计算 R_s ：

$$R_s \leq \frac{1}{6C_s f}$$

式中 f 为开关频率。

但是，如果吸收电阻取得太小，则吸收电路的电流振荡，IGBT 开通时集电极电流尖头也增大。因此，在满足上式的范围内，把 R_s 值选得大些为好。

吸收电路中吸收电阻所产生的功耗与电阻值无关，可按下面的公式计算：

$$P_s = \frac{L_s I_0^2 f}{2}$$

式中 L_s ——吸收电路中分布电感。

c. RBSOA 的分析方法。IGBT 关断过程中的尖峰电压 V_{CEP} 可以用下面给的公式求出：

$$V_{CEP} = E_d + V_{FM} + L_s di/dt$$

式中 di/dt ——下降期间集电极电流变化率；

V_{FM} ——吸收电路中二极管的过渡正向压降（一般情况下，6000V 档时 $V_{FM} = 20 \sim 30V$ ，1200V 档时 $V_{FM} = 40 \sim 60V$ ）。

必须将 V_{CEP} 落在 RBSOA 内。为了有效地使用 IGBT，必须抑制 V_{CEP} 。这就需要选用过渡正向压降小而又快速的二极管。为了减小吸收电路的电感，必须充分注意配布线方式。

(2) 过电流保护

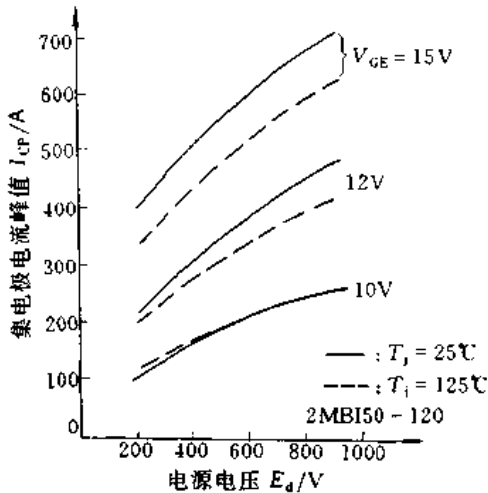


图 2.3.59 短路时的输出特性

① 过电流产生的原因。使用 VVVF 逆变器时，由于电动机在起动时的冲击电流，或控制电路、驱动电路等的误动作、误配线等引起桥臂短路、输出短路等事故，在 IGBT 中有过电流发生。

在逆变器中出现的短路现象可归纳为桥臂短路、串接短路、输出短路、对地短路。

下面以 2MBI50~120IGBT 为例，对各个短路耐量和保护方法进行分析。

② IGBT 的短路耐量。逆变器电路中，直流电源电压可以写作：

$$E_d = V_{ac} \times 1.1\sqrt{2} = 1.56V_{ac}$$

式中，电源波功率为 10%。

1200V 的 IGBT 适用于交流输入为 480V，直流电源电压为 747V 的场合。在这个电压下即使发生短路，器件也不应损坏。

a. 桥臂短路。图 2.3.59 所示为直流电源电压与短路电流的变化情况。当 $E_d = 750V$ 时，集电极电流尖峰值可达 600A，这是额定电流的 12 倍。

b. 串接短路。桥的上下臂两个管子发生短路，如图 2.3.60 所示，根据各个器件的输出特性 V_d 被分压为 V_{CE1} 和 V_{CE2} ，即使流过集电极电流，也比桥臂短路情况时低。

c. 输出短路。在发生输出短路时，根据输出线的长度与短路情况，短路电流路径上的分布电感是不同的。

因此，短路电流上升率 di/dt 不能恒定不变。图 2.3.61 所示为 IGBT 输出短路耐量与电感的关系曲线。可以认为，IGBT 耐量不受电感的影响。此外，用达到破坏的时间来比较，其耐量是桥臂短路时耐量的 4 倍。

d. 对地短路。出现对地短路时，在电动机上的反电动势 E_d 与直流电源电压 E_c 一起加到 IGBT 上，这是短路现象中最为严重的情况。

③ 保护电路举例。图 2.3.62 电路为图腾柱输出形式，在输出发生短路时将两个管同时关断。由于门极-发射极间接有比较大的电阻 R_{CE} ，从而使 IGBT 进行低速关断。

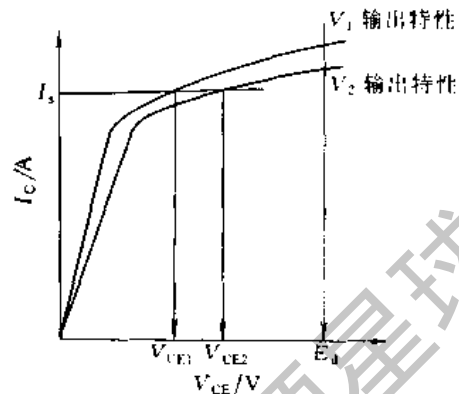


图 2.3.60 串接短路时 IGBT 的输出特性

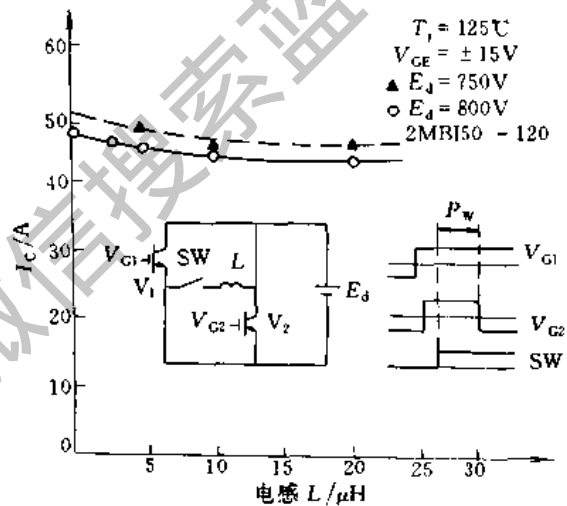


图 2.3.61 模拟输出短路时的短路耐量与电感的关系

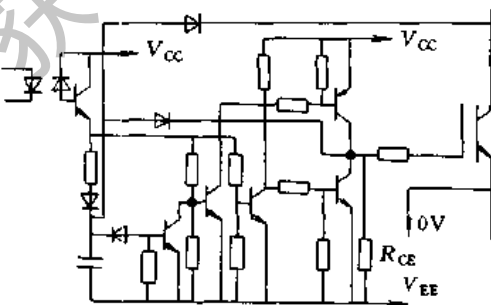


图 2.3.62 短路保护电路

(3) 具有过电流保护的混合 IC 驱动器 具有过电流保护的混合 IC 驱动器已在前面介绍过。

第八节 静电感应晶体管 (SIT)

较大功率的静电感应晶体管分为两类，一类是常开型器件，简称功率 SIT；另一类是常闭型器件，简称 BSIT (BI-Polar Static Induction Transistor)，也称双极型静电感应晶体管。

一、常开型静电感应晶体管

SIT 是一种只有非饱和输出特性的多子导电型器件，具有输出功率大、失真小、输入阻抗高、开关特性好、热稳定性好、抗辐射能力强等一系列优点。它易于实现多胞合成，因而适合制造高电压大电流器件，代替传统的真空三极管。

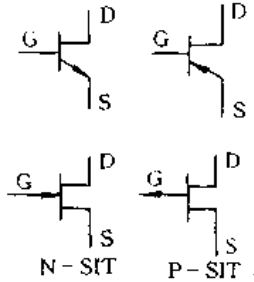


图 2.3.63 SIT 的图形符号

1. 结构与原理

SIT 的结构分为平面栅型、隐埋栅型和准平面栅型三大类。该器件在沟道内存在多数载流子的势垒，因而控制势垒的高低，即可控制从漏极到源极电流的大小。沟道势垒不但受门极电压的控制，而且也受漏源电压的控制。这种通过门极和漏极电压可以控制势垒高低的机理，与真空三极管中的静电感应现象十分类似，故得名静电感应晶体管。

SIT 按沟道的不同，又可分为 N 沟 SIT 和 P 沟 SIT，其图形符号如图 2.3.63 所示。图中箭头表示门源结为正偏时门极电流的方向。

2. 基本参数

表 2.3.39 和表 2.3.40 分别给出了 SIT 产品的基本电气参数和主要应用领域。

表 2.3.39 SIT 的基本电气参数

项 目	2SK180	2SK181	2SK182	2SK183
漏-栅间电压 U_{DGO}/V	600	800	600	800
栅-源间电压 U_{GSO}/V	80	80	80	80
漏-栅漏电流 $I_{DGO}/\mu A$	10	10	10	10
漏极电流 $I_{D(max)}/A$	20	20	60	60
容许功耗 $P_T (T_C = 25^\circ C) /W$	300	300	1000	1000
栅极电流 I_G/A	0.1	0.1	0.1	0.1
电压放大系数 μ	10	10	10	10
导通电阻 $r_{DS(on)}/\Omega$	1.5	3	1	2
导通时间 t_{on}/ns	200	200	200	200
结温 $T_j/^\circ C$	150	150	150	150

表 2.3.40 SIT 的主要型号及应用领域

外形	型号	功耗 /W	漏极电压 /V	漏极电流 /A	开关速度 /ns	主要用途
平面底座	2SK180	300	600	20	250	超声波设备、大功率开关电源
	2SK181	300	800	20	250	
	2SK182E	500	600	60	250	
	2SK183E	500	800	60	250	
	2SK181VE	500	1500	60	250	
扁平管壳	2SK182	1000	600	60	250	高频大功率振荡器感应加热等
	2SK183	1000	800	60	250	
	2SK183H	1000	1200	60	250	
	2SK183V	1000	1500	60	250	
	TS-300	3000	600	200	350	
	TS-300H	3000	1200	180	350	
高速型平面底座	THF-50	400	450	30	50	广播设备: MHz 带大功率振荡器
	THF-51	400	600	30	50	
	THF-52	400	800	30	50	
	THF-53	400	1000	30	50	
电路模块	TMI (D) -M	600 × 2	600	60	250	开关电源、小型转换器
	TMI (D) -N	500 × 2	800	60	250	
	TMI (D) -H	500 × 2	1200	60	250	

3. 基本特性

功率 SIT 的输出特性与真空三极管相似, 如图 2.3.64 (a) 所示。由图可知, 当门源电压 U_{GS} 为零时, SIT 处于导通状态; 当 U_{GS} 在负值方向上增加时, 以 U_{GS} 为参变量, 可以做出 $I_D \sim U_{DS}$ 特性曲线。

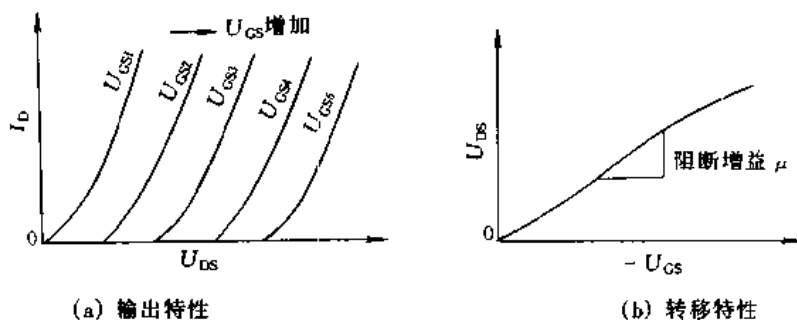


图 2.3.64 N 沟功率 SIT 的输出特性与转移特性

当漏源电压一定时, 对应于漏极电流近于零时的门极电压 U_{GS} , 称为 SIT 的夹断电压 U_p , 不同的漏极电压 U_{DS} , 对应着不同的夹断电压 U_p 。

当门极电压 U_{GS} 一定时, 随着漏极电压 U_{DS} 的增加, 漏极电流 I_D 线性地增加, 其大小由 SIT 的通态电阻决定。

图 2.3.64 (b) 所示为 SIT 的转移特性, 它表明 U_{DS} 与 U_{GS} 的关系。 $U_{DS} \sim U_{GS}$ 特性曲线的斜率定义为阻断增益 μ , 其值由下式表示:

$$\mu = \frac{\Delta U_{DS}}{\Delta U_{GS}}$$

由此式可知, 漏极电压的增量与门极电压增量之比, 即为阻断增益的真正含义。最大的漏极电压 U_{DSM} 与最大的门极电压 U_{DSM}/μ 相对应, 也即漏极电压的极限受 SIT 门极电压所限制。

二、常闭型静电感应晶体管

1. 结构与原理

BSIT 为全控型器材, 不论是隐埋栅结构, 还是表面栅结构, 均可以通过适当工艺制成 BSIT, 目前 BSIT 多采用平面栅结构。BSIT 的沟道比 SIT 更窄, 在零栅压偏置时, 栅区的多子已经耗尽, 因而虽然有漏源电压存在, BSIT 仍处于阻断状态。当栅源极加以正电流信号时, BSIT 即可开通, 此时由门极注入的载流子产生电导调制效应, 使其具有与双极型晶体管一样的性能。为此 BSIT 被称为双极型晶体管。BSIT 的源、栅和漏极, 相当于双极型晶体管的发射极、基极和集电极, 其使用方法两者很类似。

2. 特性与参数

由于 BSIT 的结构介于 SIT 与双极晶体管之间, 所以它具有低输入阻抗、负的电导温度系数 (大电流时) 和全控性能等三大特点, 是一种电流型大功率开关器件。BSIT 的电流放大系数很大, 而且随温度的变化很小, 因而具有良好的热稳定性。此外 BSIT 还具有很高的抗二次击穿能力和快速开关性能。典型 BSIT 的主要参数如表 2.3.41 所示。

BSIT 的输出特性如图 2.3.65 所示。由图可知, BSIT 的输出特性与双极晶体管和真空五极管很相似。

表 2.3.41 BSIT 的主要参数

漏极电压 /V	漏极电流 /A	功 耗 /W	开关速度 /ns
450	10	100	700
450	20	200	900

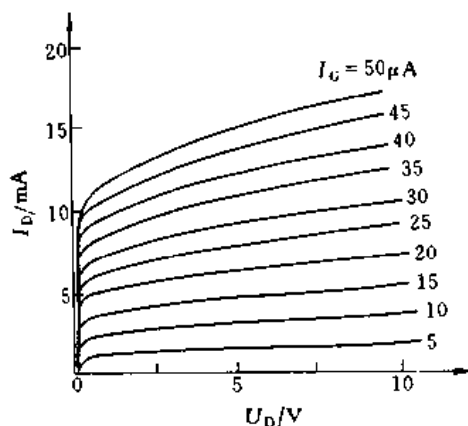


图 2.3.65 BSIT 的输出特性 (示例)

第九节 MOS 栅控晶闸管 (MCT)

一、MCT 工作原理

MCT 是在 SCR 结构中引进一对 MOSFET 管构成的，通过这一对 MOSFET 来控制 SCR 的导通和关断。使 MCT 导通的 MOSFET 称为 ON-FET，使 MCT 关断的 MOSFET 称为 OFF-FET。MCT 元胞有两种基本类型：一种为 N-MCT，另一种为 P-MCT。

现以 P-MCT 为例，说明 MCT 的工作原理。P-MCT 元胞结构表示在图 2.3.66。一个 MCT 内至少集成了约 10 万个元胞。其等效模型及符号示于图 2.3.67。

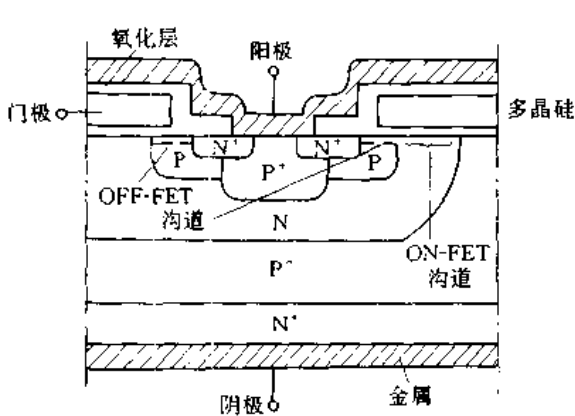


图 2.3.66 MCT 元胞结构 (P-MCT)

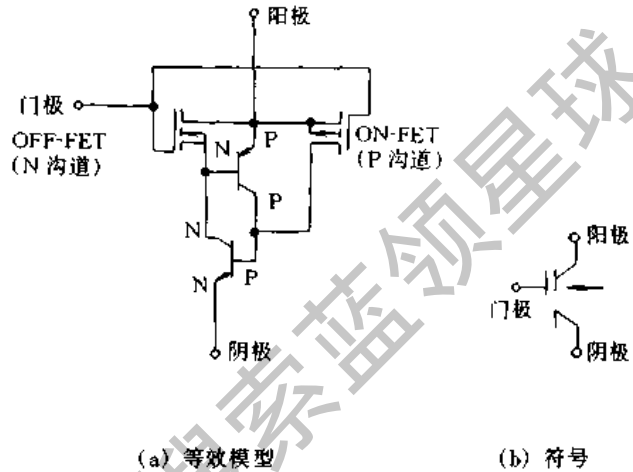


图 2.3.67 MCT 的等效模型及符号

当门极相对阳极加负脉冲信号时，靠近门极 SiO₂ 氧化层下面的 N 表面层反型成 P 型 (P 沟道)，于是小的阳极电流流入 P+ 层，经过 P 层和 P 沟道，流向 P-N+ 结，最后从 N+ 层流出，即 ON-FET 被接通 (OFF-FET 被关闭)。该电流恰好为 NP-N+ 晶体管提供了基极电流，使该晶体管的集电极电流增加。NP-N+ 的集电极正好又是 P+NP- 晶体管基极电流，从而引起晶闸管内部的正反馈机制，最后导致 MCT 导通。MCT 中晶闸管部分一旦导通，其通道电阻比原先激励通道的电阻小得多，因此，主电流由晶闸管部分承担，而原先的激励通道只维持很小的激励电流。

当门极相对于阳极加上正脉冲信号时，即启动 OFF-FET，使其转入通态，同时关闭 ON-FET，于是门极 SiO₂ 层下面的 P 表面层反型为 N 型，形成 N 沟道，则将 P+NP- 晶体管的基-射极 (PN) 短路，也就是说，这时 P+N 结非但不发射空穴，反而使 N 基区中储存的载流子被抽走，从而使 P+NP- 晶体管进入关断过程，最后导致晶闸管部分因不能维持导通条件 ($d_1 + d_2 \geq 1$) 而关断。

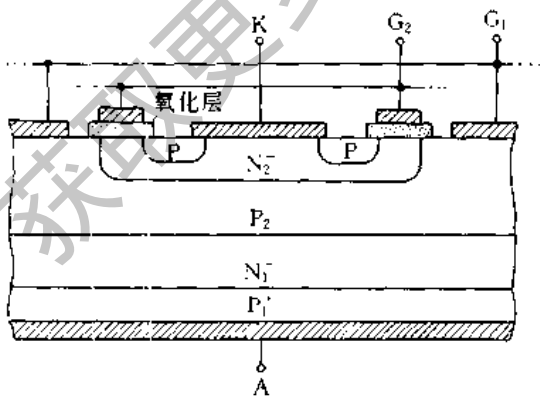


图 2.3.68 N-MCT 元胞结构

从上述分析可知，P-MCT 是通过激活 P 沟道来导通晶闸管，通过激活 N 沟道来关断晶闸管。当 P-MCT 各区的半导体材料，用相反导电类型材料代替它们时，则成为 N-MCT 结构，此时图 2.3.66 中上方的阳极变成阴极，而下方的阴极变成阳极。当门极相对阴极加正脉冲信号时，MCT 导通，反之则关断 MCT，其元胞结构示于图 2.3.68。

对于 P-MCT，一般 -5 ~ -15V 脉冲可使 MCT 导通，+10V 脉冲可使 MCT 关断。对于 N-MCT，一般 +15V 脉冲可使 MCT 导通，-10V 脉冲可使 MCT 关断。

MCT 的静态特性应与 SCR 一样，它是可以承受反向电压的。但它是一种新型的场控自关断器件，其驱动电路要比 GTO 的简单得多，具有广阔的发展前景。

二、MCT 特点

MCT 和 IGBT 一样, 兼有 MOS 器件和双极型器件的优点, 但其电压和电流容量可以做得比 IGBT 更大。现将其特点归纳如下:

- ① 通态压降小 (为 IGBT 的 1/3, 约 1.1V);
- ② 开关速度快, 开关损耗小, 工作频率可超过 20kHz;
- ③ 极高的 $\frac{di}{dt}$ (2000A/ μ s) 和 $\frac{du}{dt}$ (20000V/ μ s);
- ④ 工作温度高 (200℃以上);
- ⑤ 门极驱动电路更简单;
- ⑥ 器件的阻断电压高, 峰值电流大 (已研制出 300A/2000V, 1000A/1000V 器件)。

这种器件是 80 年代后期刚开发出来的, 其结构和工艺都还在不断完善过程中。尽管如此, 由于它的优越性能, 人们对它产生了极大的兴趣。现将 MCT 产品列于表 2.3.42 供参考。

表 2.3.42 GE 公司的 MCT 产品主要参数

参 数	TA9789A	TA9789B	TA9836A	TA9836B
击穿电压/V	500	1000	500	1000
无吸收回路的 SOA/V	300	600	300	600
峰值可控电流/A	50	50	100	100
峰值电流/A	500	500	1000	1000
芯片尺寸/mil ^①	170 × 227	170 × 227	260 × 390	260 × 390
U_{on}/V	1.1	1.1	1.1	1.1
输入电容/pF	7000	7000	14000	14000
$\frac{di}{dt} / (A \cdot \mu s^{-1})$	2000	2000	2000	2000
$\frac{du}{dt} / (V \cdot \mu s^{-1})$	20000	20000	20000	20000
导通时间/ns	200	200	200	200
储存时间/ns	500	500	500	500
关断时间/ns	2000	2000	2000	2000
门极-阳极电压/V				
最大值 U_{Cem}	20	20	20	20
导通 U_{Con}	-5 ~ -10	-5 ~ -15	-5 ~ -15	-5 ~ -15
关断 U_{Coff}	+10 ~ +15	+10 ~ +15	+10 ~ +15	+10 ~ +15
外壳	5 引线 TO-218			

① 1mil = 0.025mm。

三、门极驱动电路

控制 MCT 的电路应当满足以下几项要求:

- ① 门极驱动电压可达 $\pm 20V$;
- ② 门极电压信号的上升与下降时间应 $< 200ns$;
- ③ 峰值电流可达 2A;
- ④ 考虑散热措施时, 除了门极电流对频率的关系外, 还要附加直流损耗;
- ⑤ 信号的接口通常采用磁或光的隔离方法;
- ⑥ 电源隔离。

1. 采用双 FET 驱动器组成的门极驱动电路

采用双 FET 驱动器组成的门极驱动电路如图 2.3.69 所示, 其中内部主要元件有两个双 15~18V 标称的 FET 驱动 IC 芯片和两个分立 FET 功率器件。该驱动器电路产生 MCT 所需要的 +20V 门极关断信号。在电路的 2 号端子上输入信号, 经电平变换后, 去驱动上和下功率反相器, 它们依次又去驱动场效应晶体管 V_1 与 V_2 , 而这些晶体管的电压能力应超过 MCT 要求的 26V 范围。VD₁-R₃ 与 VD₂-R₄ 延迟组合元件, 是为防止流过 V_1 与 V_2 交迭的短路电流而设置的。电阻 R_{11} 用来缓冲门极电压, R_1 与 R_2 为分压电阻, 电容器 C_1 与 C_2 为母线滤波器。

并为 MCT 门极电容提供必要的峰值电流。

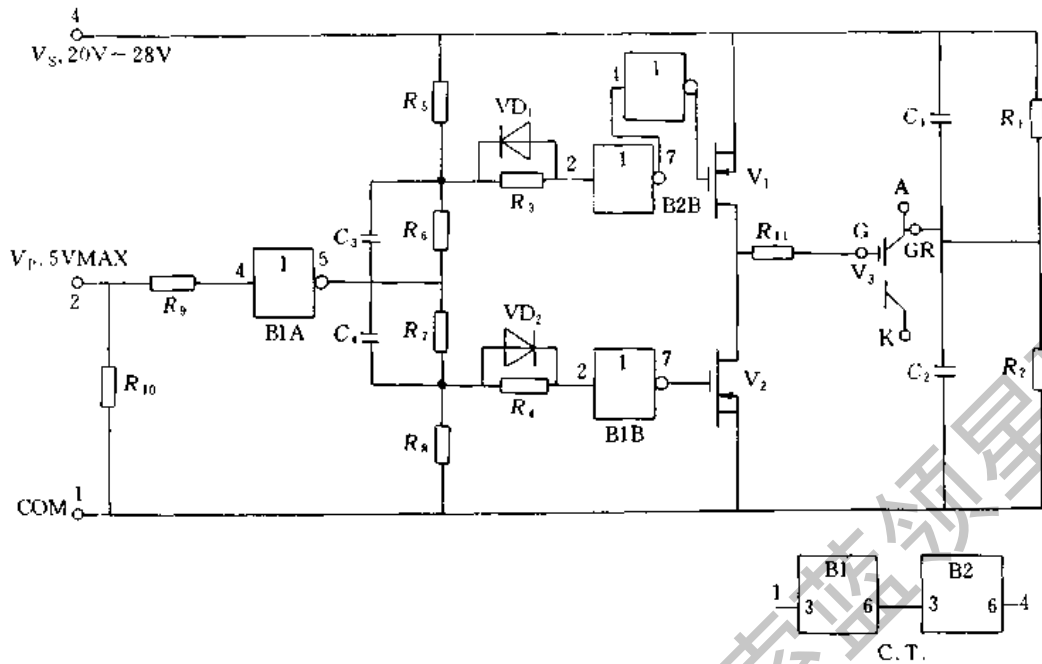


图 2.3.69 采用双 FET 驱动器组成的门极驱动电路

$$R_1 = 6.7k \quad R_2 = 3.3k \quad R_3 = 3k \quad R_4 = 3k \quad R_5 = 15k \quad R_6 = 15k$$

$$R_7 = 15k \quad R_8 = 15k \quad R_9 = 100 \quad R_{10} = 1000 \quad R_{11} = 0.15$$

$$C_1 = 10\mu F, 25V \quad C_2 = 10\mu F, 25V \quad C_3 = 100pF \quad C_4 = 100pF$$

$$B1: ICL7667 \quad B2: ICL7667$$

$$V_1: IRFD9113R \quad V_2: IRFD113R \quad V_3: MCT$$

该电路具有两个优点：其一，电路工作时能抗住母线电压波动的影响；其二，通过减少 V_1 与 V_2 的 $R_{DS(ON)}$ ，电路可驱动并联的 MCT。该电路的缺点是在驱动单个 MCT 时，显得相对复杂。

2. 采用功率驱动器 IC 的门极驱动电路

图 2.3.70 所示为一个门极驱动电路，它使用一个 35V 标称值的 FET 功率驱动器，产生 MCT 所需要的 +20V 门极电压信号。功率驱动器需要的 26V 电源电压，是通过变压器与整流二极管产生的。输入端与多种类型的光电接收器相容。电阻 R_3 对门极电压波形进行缓冲。电阻 R_1 与 R_2 为分压电阻，电容 C_1 与 C_2 用于滤波。该驱动电路具有内部热锁定功能，即当温度超过 +155°C 时，驱动器输出为低，这将使 MCT 导通。

该电路优点为电路简单，只需使用几个元件；输出电流较大。缺点主要是内部热锁定 (+155°C)，控制 MCT 导通。

3. MCT 专用驱动器 IC 芯片

MCT 驱动器 IC 芯片具有许多功能，其内部所包括的主要部分有功率电路、主要的 MCT 通/断通道和辅助比较器等，具体内容如图 2.3.71 所示。

IC 芯片由内部钳位在 12V 的负电源 (7~12V)，或者中间抽头电源 (-P→PA→+P)、或者由单端电源 (-P→+P) 来供电。当使用负电源时，内部电荷泵给 +P 端供电。-4.7V 的基准电源能灌入 30mA 的电流，并能直接给光电接收器或其他控制电路供电。该 IC 芯片不工作时，所消耗的电流小于 5mA。

所有进入到 IC 内部去的信号皆通过比较器，比较器仅需要几毫伏的输入信号。共模范围包括 PA 端与 -4.7V 的基准电压端，而后者允许几伏的噪声控制。主导通通道控制门极输出，它可驱动 4 个门极并联连接的 MCT 功率器件。导通通道包括最小导通时间和最小关断时间的功能，它们是可编程的，由用户采用外接电容的办法来完成。例如，这些功能可用来提供足够的吸收电路的复位时间。

该专用 IC 芯片包括一个欠电压禁止和一个闩锁。当设备或仪器需强制导通通道以使 MCT 关断时要闩住。

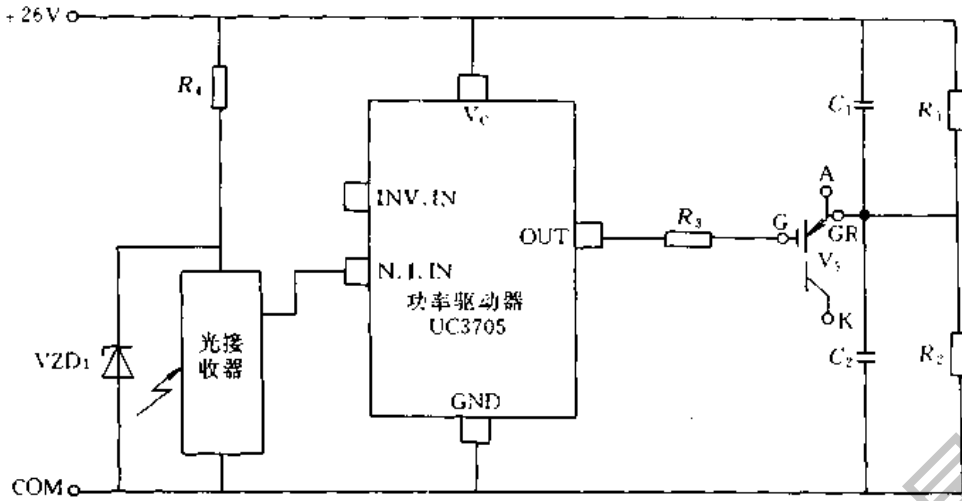


图 2.3.70 采用功率驱动器 IC 的门极驱动电路

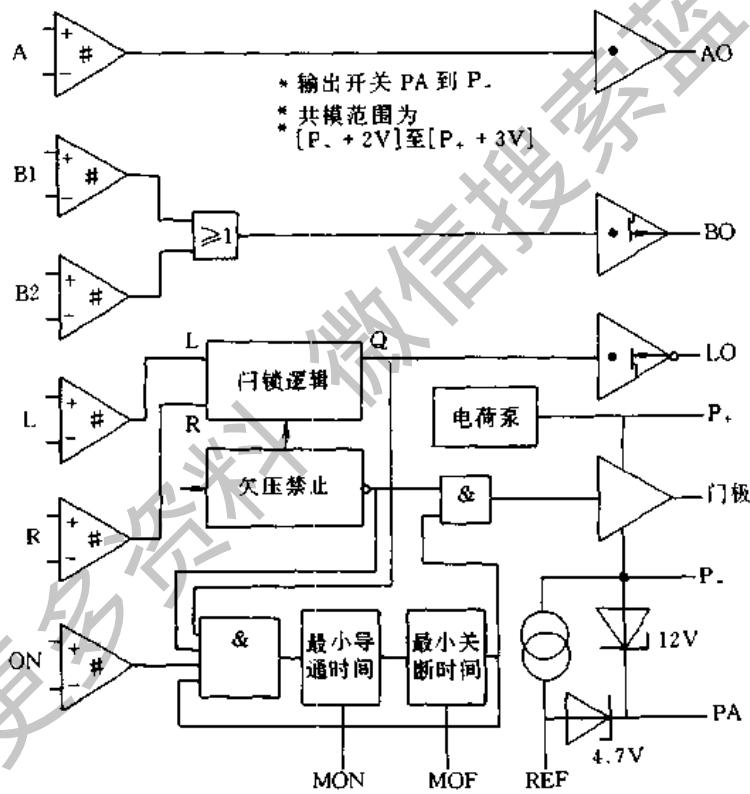


图 2.3.71 MCT 驱动器方块图

门极是由 L 比较器来设置的，复位是由 R 比较器进行。在设置门极情况下，LO 输出能灌入 20mA 的电流，可以用于 LED 的驱动。通过这些带比较的输入端，用户能实现过电流或过温封锁。

该芯片也包括两个自由的比较器通道，“A”通道具有图腾柱输出“AO”，它有驱动 20mA 的电流能力；“B”通道有两个比较器输入端，通过“线或”连在一起，其输出“BO”具有 20mA 的拉电流能力，可用来驱动 LED。这些自由通道可用检测、定时和逻辑运算等。

采用该芯片驱动 MCT 的参考电路，如图 2.3.72 所示。REF 端用于光电接收器供电，并为比较器的输入端提供基准电压。在该电路中 $R_1 R_2$ 与 $C_1 C_2$ 为确立加在 MCT 门极上的母线电压部分。IC 芯片由 R_3 提供电源，电阻 R_4 用于缓冲门极电压。

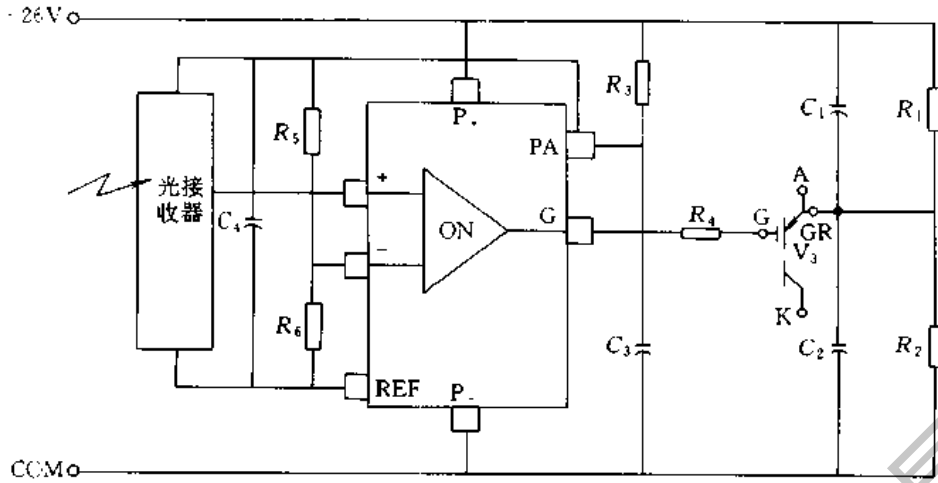


图 2.3.72 采用 HARRIS 专用 IC 组成的 MCT 门极驱动电路

采用这个芯片去驱动 MCT 时，门极上的电压 + 或 - 的幅度，可通过电源电压和 R_1 与 R_2 调节的希望的值。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第三篇 可编程序控制器 (PLC) 技术

第一章 PLC 的基本组成及选用

第一节 概 述

可编程序控制器 (Programmable Controller) 简称 PLC, 它是微型计算机技术为基础的新型工业控制装置, 不仅具有逻辑控制的功能, 而且还具备运算、数据传递和处理等功能。目前 PLC 已成为工业控制的标准设备, 是自动化的三大技术支柱 (PLC 技术、机器人、CAD/CAM) 之一, 其应用领域非常广泛, 表 3.1.1 中列出了部分工业应用领域, 表 3.1.2 中列出了部分典型 PLC 的应用。

表 3.1.1 典型应用 PLC 的工业

石化工业	能源工业	空间计划	包装工业	玻璃工业	天然气工业
航空工业	金属工业	石油工业	纸浆和造纸工业	煤炭工业	橡胶工业
娱乐产品工业	汽车制造业	机器工具制造业	木材制造业	运输业	食品饮料工业
罐头工业	塑料工业	材料处理工业			

表 3.1.2 典型 PLC 的应用

锯木厂控制	配料控制	容器灌注控制	地质钻探控制	批量处理过程控制
罐头封装控制	机械加工钻孔控制	热处理控制	传送装置控制	管线控制
计量控制	材料加工处理控制	团球产品压制控制	燃烧炉火嘴控制	矿藏生产处理控制
水处理控制	填料控制	夹板安装控制	废物加工处理控制	煤加工处理控制

PLC 一般按 I/O 点数和结构形式来分类。按点数可分类为小型、中型和大型; 按结构形式可分为整体式 (又称单元式或箱体式) 和模块式。表 3.1.3 列出了常见 PLC 的有关型号和性能。

表 3.1.3 常见 PLC 性能一览表

公 司	型 号	最大 开关量 I/O	最大 模拟量 I/O	扫描 速度 /(ms/K 步)	程序存 储容量 /B	数据存 储容量 /B	高级 语言	运动 控制	PID 功能
A-B	SLC-500	72	4	8	1K	4K		·	
	PLC-2/02	128	128	12.5	2K	2K	·	·	·
	PLC-3	8192	4096	2.5	2M	2M	·	·	·
	PLC-5/10	512	256	2	6K	6K	·	·	·
	PLC-5/40	2048	2048	0.5	48K	48K	·	·	·
	PLC-5/250	4096	4096	1	384K	384K	·	·	·
GE FANUC 通用电气	GE ONE/E	112	24	12	1.7K		·		
	GE-90 20/211	28		18	1K	256			
	GE-90 30/311	80	96	18	3K	512			·
	GE-90 30/331	512	192	0.4	8K	2K	·	·	·
	GE-90 70/771	2048	1024	0.4	256K	16K	·	·	·
	GE-90 70/781	12K	4K	0.4	256K	16K	·	·	·
MITSUBISHI 三菱	F1	120		12	1K	128		·	
	FX2	256		0.74	8K	3308		·	
	A1S	256		1	8K			·	
	A2C	512		1.25	8K			·	
	A3M	2048		0.2	30K		·	·	·
	A3A	2048		0.15	60K			·	·

续表

公 司	型 号	最大 开关量 I/O	最大 模拟量 I/O	扫描 速度 /(ms/K步)	程序存 储容量 /B	数据存 储容量 /B	高级 语言	运动 控制	PID 功能
MODICON	Micro 984	112	12	5	6K	2K	.	.	.
	984-130	256	64	5	4K	2K	.	.	.
	984-380	256	64	5	6K	2K	.	.	.
	984-480	1024	448	5	8K	2K	.	.	.
	984-680	1024	1920	3	16K	4K	.	.	.
	984 B	16384	4096	0.75	64K	12K	.	.	.
OMRON 欧姆龙	C20H	140	36	0.75	2.8K	2K	.	.	.
	C40H	160	36	0.75	2.8K	2K	.	.	.
	C200H	384	40	0.75	6.9K	2K	.	.	.
	C500	512	64	5	6.6K	512	.	.	.
	C1000H	1024	64	0.4	32K	4K	.	.	.
	C2000H	2048	64	0.4	32K	66K	.	.	.
SIEMENS 西门子	S5-90U	168		2		4K	.	.	.
	S5-95U	32	9	2		8K	.	.	.
	S5-100U	256	32	1.6	20K	20K	.	.	.
	S5-115U	2048	128	18	42K	42K	.	.	.
	S5-135U	2048	192	1.1	64K	64K	.	.	.
	S5-155U	10000	384	1.4	2M	2M	.	.	.
TE (TELEMECANIQUE)	TSX47-30	512	32	0.4	56K		.	.	.
	TSX47-40	1024	32	0.5	112K		.	.	.
	TSX67-40	2048	128	0.5	224K		.	.	.
	TSX87-40	2048	256	0.32	352K		.	.	.
	TSX107-40	2048	256	0.32	352K		.	.	.
TI 德州仪器	TI510	40		16.7	256		.	.	.
	TI330	168	24	8	3.7K		.	.	.
	TI435	640	40	0.49			.	.	.
	565	8192	8192	2.2	384K		.	.	.
WESTINGHOUSE 西屋	PC-1100	128	16	7	3.5K	1796	.	.	.
	PC-503	256	32	2	10K	2K	.	.	.
	PC-700	512	64	7	8K	1796	.	.	.
	HPPC-1700	8192	512	1	224K	32K	.	.	.

注：“.”表示具有相应功能。

PLC 研制技术的进一步发展趋势是：向高速度和大容量方向发展，向多种方向发展，向编程语言多样化发展，向智能模块发展，向加强联网和通讯等发展。

第二节 PLC 的基本组成

各种 PLC 的具体结构虽然不一样，但其基本组成原理都相同，如图 3.1.1 所示。

CPU 随机型不同而有所不同，一般有三种：通用微处理器（如 8086、80286、80386 等），单片机芯片（如 8031、8096 等），位片式微处理器（如 AMD-2900 等）。

PLC 的内存分 RAM 和 ROM 两种。RAM 用以存储用户程序，生成诸如用户存储区、定时器、计数器、输入输出继电器以及各种辅助继电器的用户使用环境。ROM 用以固化系统监控程序和用户程序。

I/O 单元应具有电压、电流的变换作用，以使外部的电压和电流信号变换成 PLC 能接受和识别的低电压信号。通常 PLC 的输入有三种类型：一种是直流 12~24V 输入，另一种是交流 100~120V 或 200~240V 输入，第三种是交直流 (AC/DC) 12~24V 输入。PLC 的输出也有三种形式：一种是继电器输出型；另一种是晶体管输出型，通过光耦使开关晶体管截止或饱和导通控制外电路；第三种是双向晶闸管输出型，采用的是光触发双向晶闸管。PLC 生产厂家一般提供多种电压等级、多种用途的 I/O 单元，从数据类型上分有开关量、模拟量和

数字量,从速度上分有低速型和高速型,从距离上分有本地 I/O 和远程 I/O。

PLC 的工作电源一般为单相交流电源,电源电压必须与额定电压相符(通常为 220V);也有用直流 24V 供电,一般允许其额定值在 $\pm 15\%$ 的范围内波动。此外,PLC 均设有一个稳压电源,用于对 CPU 和 I/O 单元供电。

PLC 的编程器主要由键盘、显示器、工作方式选择开关和外存储器接插口等部件组成。编程器分为简易型和智能型两类,前者常用于小型 PLC,后者多用于大、中型 PLC,且带 CRT。编程器还具有在线(联机)和旁线(脱机)两种编程方式。

PLC 的编程语言种类很多,一般可归纳为字符表达式方式(如语句表程序表达方式)和图符表达方式(如梯型图程序表达方式)两大类。典型的 PLC 编程语言如下。

- ① 梯形图:即继电器梯形图,它与电气控制原理图相似,具有形象、直观、实用等特点。目前大多数 PLC 都采用这种编程语言。
- ② 语句表:是一种与汇编语言类似的助记符编程方式。对于不同的 PLC,有不同的指令系统。
- ③ 逻辑符号图:是类似于“与”、“或”、“非”逻辑电路结构的编程方式,由国际电工委员会(IEC)颁布。
- ④ 高级编程语言:为现代 PLC 所使用,尤其是大型 PLC,它类似于 PASCAL 语言的专用语言,且具有自动编译的系统软件。

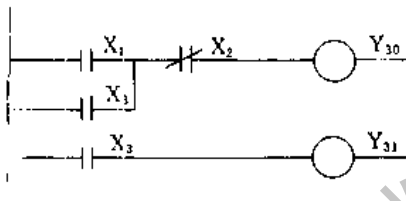


图 3.1.2 梯形图编程方式

电或常开触点闭合,或常闭触点断开。

② 梯形图中流过的电流不是物理电流,而是概念电流,是用户程序解算中满足输出执行条件的形象表示方式。

③ “概念”电流只能从左向右流动。

④ 梯形图中的继电器触点可在编制用户程序时无限引用,既可为常开又可为常闭。

⑤ 梯形图中用户解算的结果,马上就可为后面用户程序的解算利用。

⑥ 梯形图中输入触点和输出线圈不是物理、触点和线圈。用户程序的解算是依据于 PLC 内的输入和输出状态表的内容,而不是解算时形象开关的实际状态。

⑦ 输出线圈对应于输出状态表的相应位,该位的状态要通过 I/O 单元对应的输出晶体管开关或双向晶闸管开关,才能驱动现场负载。

⑧ PLC 的内部继电器线圈不能作输出控制用,它们只是一些逻辑控制中中间存储状态,所以 PLC 内部继电器亦称“软继电器”。

语句表虽不如梯形图直观,但具有键入方便等优点。

第三节 PLC 的选用

选用 PLC 必须考虑如下三方面因素。

① 与 PLC 处理机设定位置有关的 I/O 设备的位置确定。许多 PLC 均提供本地和远程 I/O 配置,本地 I/O 系

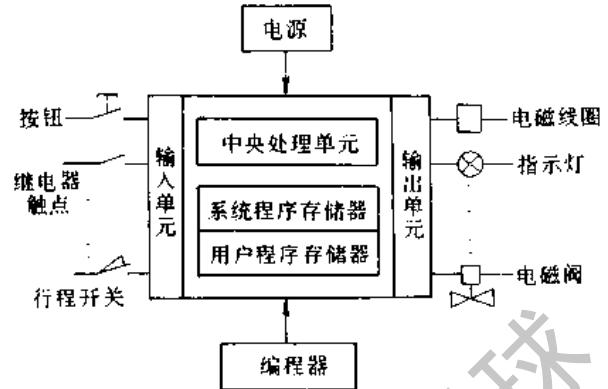


图 3.1.1 PLC 的结构框图

在上述几种语言中,梯形图和语句表是 PLC 中最常用的编程语言。

对于梯形图,每个梯形图网络由多个阶梯组成,每个阶梯可由多个支路组成(每个输出元件可构成一个阶梯),每个支路可容纳多个编程元件,一个阶梯最右边的元件必须是输出元件,图 3.1.2 示出了一种梯形图编程方式。使用梯形图编程,必须正确理解和掌握下列有关概念与编程要领。

① 梯形图格式中的继电器不是物理继电器,每个继电器和输入触点各为存储器中的一位,相应为“1”态,表示继电器线圈通电

统具有硬件集中的优点，如考虑到安装布线费用，则远程 I/O 系统优势突出。

② 在确定一个系统所有 I/O 规格要求时，所需每种类型接口模块的数量必须归类统计，以初步确定 PLC 的大体规模。

③ 安装系统的价格，I/O 现场设备的数量，控制系统逻辑程序所用的处理机内存容和处理机指令系统。

无论最终选中何种 PLC，它都必须具有处理系统 I/O 所需求的能力，最好要考虑比原计划量至少多 20% 的 I/O 余量。一般情况下，小型 PLC 可处理控制 128 ~ 256 个 I/O 点，中型 PLC 可处理 256 ~ 1024 个 I/O 离散点，大型 PLC 系统则能控制处理 1024 点以上的 I/O 设备。最近又推出了微型 PLC（小于 32 个 I/O 控制点）、微小型 PLC（32 ~ 128 个 I/O 控制点）和超大型 PLC（每个处理机具有 4000 个以上的 I/O 控制点）。

此外，为加强 PLC 控制系统整体操作功能，对 PLC 外围设备的选用也十分重要，如程序设计终端、打印机、用于文件汇编的数据终端、PLC 之间远程通信电话交换线路上的调制解调器、计算机和通讯网络接口等。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第二章 常用 PLC 系列介绍

第一节 三菱可编程序控制器

日本三菱公司的 PLC 主要有早期的 F、F₁、F₂、小型 PLC 系列，新近的 FX0、FX2、超小型 PLC 系列和 A 系列等。其系列产品的基本性能如表 3.2.1 所示。A 系列 PLC 主要有 A₁N、A₂N、A₃N、A₁S、A₂C、A₃M、A₂A、A₃A、A₃H 等品种，其中 A₃M、A₂A、A₃A 为超高速型，且 A₃M 可采用 BASIC 语言编程。这里仅对 FX2、FX0 作简要介绍。

表 3.2.1 三菱 PLC 基本性能一览表

系列	F ₁	FX0	FX2	A ₁ S	A ₂ C	A ₁ N	A ₂ N	A ₃ N	A ₃ M	A ₂ A	A ₃ A
项目											
最大 I/O 点	120	30	256	256	512	256	512	2048	2048	512	2048
基本/应用指令	20/87	20/35	20/85	26/131	22/131	22/232	22/236	22/241	22/132	22/239	
执行速度/(μ s/步)	12	1.6~3.6	0.74	1.0	1.25		1.0		0.2	0.2	0.15
程序容量/步	1K	800	2K	8K		6K	14K	60K	30K	14K	60K
数据寄存器	64	32	512	1024			1024		1024	8192	
文件寄存器	—	—	2K	4096			4K	8K	8K	8K	
定时/计数器	32/32	56/16	256/256	256/256			256/256		256/256	2048/1024	
中断源	—	4	8	32			32			32	
高速计数器	1ch 1kHz	4ch 5kHz	6ch 20kHz FX-1HC 50kHz	A1SD61 1ch 50kHz	AD61C 2ch 50kHz	AD61, 2ch, 50kHz			AD61, 2ch, 50kHz		
位置控制	F2-30GM 1ch	—	F2-30GM FX-1GM	—	—	AD71, AD72, 2ch			AD71, AD72, 2ch		
A/D 转换器	F2-6A-E 4ch	—	FX-4AD	A1S64AD 4ch	A68ADC 8ch	A68AD, 8ch, A616AD + A60MX(R)			A68AD, 8ch, A616AD + A60MX(R)		
D/A 转换器	F2-6A-E 2ch	—	FX-2DA	A1S62DA 2ch	A64DAIC 4ch	A62DA, 2ch, A616DAI, A616DAV			A62DA, 2ch, A616DAI, A616DAV		
温度输入	—	—	FX-2AD -PT 2ch	A1S62RD 3/RD4, 2ch	A64 DAIV 4ch	A616TD + A60MXT, A68RD3			A616TD + A60MXT A68RD3		
PID 控制	—	—	—	—	—	A81CPU 可控制 64ch			A81CPU 可控制 64ch		
显示设备	LED	LED	LED	CRT, LCD	—	LED, CRT, LCD			LED, CRT, LCD		
编程设备	手持编程器, 大型图形编程器, 个人计算机编程软件 MELSEC MEDOC										
网络	通信速度	1.5Mbps	1.5Mbps	1.5Mbps	1.25Mbps	1.25Mbps			1.25Mbps		
	最大站数	32	32	—	64 + 1 主站	64 + 1 主站			64 + 1 主站		
	站间距离	50m/ 100m	50m/ 100m	—	500m/km	500m/km			500m/km		

一、FX2 系列

FX2 系列 PLC 是整体式和模块式相结合的叠装式结构，有一个 16 位微处理器和一个专用逻辑处理器，执行速度为 0.74 μ s/步，是目前运行速度最快的小型 PLC 之一。FX2 系列 PLC 由基本单元、扩展单元、扩展模块及特殊功能单元（模块）构成，其配置规格如表 3.2.2~表 3.2.4 所示。

表 3.2.2 基本单元型号规格

型 号		输入点数 (24V DC)	输出点数	扩展模块 最大 I/O 点数
继电器输出	晶体管输出			
FX2-16MR	FX2-16MT	8	8	16
FX2-24MR	FX2-24MT	12	12	16
FX2-32MR	FX2-32MT	16	16	16
FX2-48MR	FX2-48MT	24	24	32
FX2-64MR	FX2-64MT	32	32	32
FX2-80MR	FX2-80MT	40	40	32
FX2-128MR	FX2-128MT	64	64	

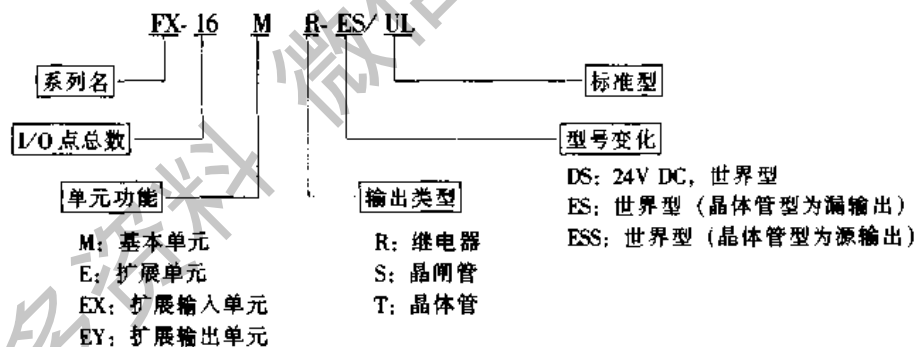
表 3.2.3 扩展单元型号规格

型 号	输入点数 (24V DC)	输出点数	扩展模块最大 I/O 点数
FX-32ER	16	16 (继电器)	16
FX-48ER	24	24 (继电器)	32
FX-48ET	24	24 (晶体管)	32

表 3.2.4 扩展模块型号规格

型 号	输入点数 (24V DC)	输出点数	型 号	输入点数 (24V DC)	输出点数
FX-8EX	8	—	FX-16EYR	—	16 (继电器)
FX-16EX	16	—	FX-16EYT	—	16 (晶体管)
FX-8EYR	—	8 (继电器)	FX-16EYS	—	16 (晶闸管)
FX-8EYT	—	8 (晶体管)	FX-8ER	4	4 (继电器)
FX-8EYS	—	8 (晶闸管)			

FX 系列 PLC 型号命名的格式为：



1. 技术指标

FX2 系列 PLC 的技术指标包括一般技术指标 (General Specification)、输入技术指标、输出技术指标、电源技术指标和功能技术指标 (Performance Specification), 分别如表 3.2.5 至表 3.2.9 所示。

表 3.2.5 一般技术指标

环境温度	0 ~ 55℃		
环境湿度	35% ~ 85%RH (不结露)		
抗振	JIS C0911 标准 10 ~ 55Hz 0.5mm (最大 2g) 3 轴方向各 2h		
抗冲击	JIS C0912 标准 10g 3 轴方向各 3 次		
抗噪声干扰	用噪声仿真器产生电压为 1000V _{pp} , 噪声脉冲宽度为 1μs, 频率为 30 ~ 100Hz 的噪声, 在此噪声干扰下 PC 工作正常		
耐压	1500V AC, 1min	各端子与接地端之间	
绝缘电压	5MQ 以上, 500V DC		
接地	第 3 种接地, 不能接地时, 亦可浮空		
使用环境	禁止腐蚀性气体, 严禁尘埃		

表 3.2.6 输入技术指标

输入电压	24V DC	输入电压	24V DC
输入电流	7mA	响应时间	10ms ^①
隔离	光电耦合		

① 输入端 X0 ~ X17 的响应时间可由程序调整为 0 ~ 60ms。

表 3.2.7 输出技术指标

项 目		继电器输出	SSR 输出	晶体管输出
外部电源		250V AC, 30V DC 以下	85 ~ 242V AC	5 ~ 30V DC
最大负载	电阻负载	2A/1 点	0.3A/1 点, 0.8A/4 点	0.5A/1 点, 0.8A/4 点
	感性负载	80V·A	15VA/100V AC, 30VA/240V AC	12W/24V DC
	灯负载	100W	30W	1.5W/24V DC
开路漏电流		—	1mA/100V AC, 2.4mA/240V AC	0.1mA/30V DC
最小负载		—	0.4VA/100V AC, 2.3VA/240V AC	—
响应时间	OFF→ON	约 10ms	1ms 以下	0.2ms 以下
	ON→OFF	约 10ms	最大 10ms	0.2ms 以下
隔离方式		继电器隔离	光电晶闸管隔离	光电耦合器隔离

表 3.2.8 电源技术指标

项 目	FX-16M	FX-24M	FX-32M FX-32E	FX-48M FX-48E	FX-64M	FX-80M
电源电压	100 ~ 240V $\begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$ AC, 50/60Hz (120/240V 电源系统)					
瞬间断电允许时间	对于 10ms 以下的瞬间断电控制动作不受影响					
电源熔丝	250V 2A, $\phi 5 \times 20$ mm			250V 5A, $\phi 5 \times 20$ mm		
电力消耗/VA	30	35	40	50	60	70
传感器无扩展模块	24V DC, 250mA 以下			24V DC, 400mA 以下		
电源有扩展模块	24V DC, 100mA 以下 (扩展 16 点时)			24V DC, 150mA (扩展 32 点时)		

表 3.2.9 FX2 功能技术指标

项 目	性 能 指 标	注 释
操作控制方式	反复扫描程序	由逻辑控制器 LSI 执行
I/O 刷新方式	批处理方式 (在 END 指令执行时成批刷新)	有直接 I/O 指令及输入滤波器时间常数调整指令
操作处理时间	基本指令: 0.74 μ s/步	功能指令: 几百 μ s/步
编程语言	继电器符号语言 (梯形图) + 步进指令	可用 SFC 方式编程
程序容量/存储器类型	2K 步 RAM (标准配置)	
	4K 步 EEPROM 卡盒 (选配) 8K 步 RAM, EEPROM EPROM 卡盒 (选配)	
指令数	基本指令 20 条, 步进指令 2 条, 应用指令 85 条	

项 目		性 能 指 标		注 释		
输入继电器	DC输入	24V DC, 7mA, 光电隔离		X0 - X177 (8进制)	I/O 点数 · 共 256点	
	—	—				
输出继电器	继电器	250V AC, 30V DC, 2A(电阻负载)		Y0 - Y177 (8进制)		
	双向晶闸管	242V AC, 0.3A/点, 0.8A/4点				
	晶体管	30V DC, 0.5A/点, 0.8A/4点				
辅助继电器	通用型			M0 - M499(500点)		范围可通过参数 设置来改变
	锁存型	电池后备		M500 - M1023(524点)		
	特殊型			M8000 - M8255(256点)		
状态	初始化用	用于初始状态		S0 - S9(10点)	可通过参数设 置改变其范围	
	通用			S10 - S499(490点)		
	锁存	电池后备		S500 - S899(400点)		
	报警	电池后备		S900 - S999(100点)		
定时器	100ms	0.1 - 3276.7s		T0 - T199(200点)		
	10ms	0.01 - 327.67s		T0 - T245(46点)		
	1ms(积算)	0.001 - 32.767s		T246 - T249(4点) T250 - T255(6点)		
	100ms(积算)	0.1 - 3276.7s				
计数器	加计数器	16位 1 - 32767	通用型	C00 - C99 (100点)	范围可通过参 数设置	
			电池后备	C100 - C199 (100点)		
	加/减计数器	32位 - 2147483648 ~ 2147483648	通用型	C200 - C219 (20点)	范围可通过参 数设置	
			电池后备	C220 - C234 (15点)		
高速计数器	32位加/减计数	电池后备	C235 - C255(6点), 单相计数			
寄存器	通用数据寄存器	16位 16位	一对处理 32bit	通用型	D0 - D199 (200点)	范围可通过参 数设置改变
				电池后备	D200 - D511 (312点)	
	特殊寄存器	16位	D8000 - D8255(256点)			
	变址寄存器	16位	V, Z(2点)			
文件寄存器	16位(存于程序中)	电池后备	D1000 - D2999, 最大2000点, 由参数设置			
指针	JUMP/CALL			P0 - P63(64点)		
	中断	用 X0 - X5 作中断输入, 定时器中断		I0□□ - I8□□(9点)		
嵌套标志	主控线路用		N0 - N7(8点)			
常数	十进制	16位: - 32768 - 32767		32位: - 2147483648 - 2147483647		
	十六进制	16位: 0 - FFFFH		32位: 0 - FFFFFFFFH		

2. 指令系统

FX2系列PLC指令系统包括:基本指令20条,步进指令2条和应用指令85条,分别如表3.2.10和表3.2.11所示。

表 3.2.10 FX2 基本指令、步进指令

类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μs		类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μs	
				ON	OFF					ON	OFF
触点指令	LD	X, Y, M, S, T, C, 特 M	1	0.74		输出指令	OUT	Y, M	1	0.74	
	LDI		1	0.74				S	2	50.0	48.1
	AND		1	0.74				特 M	2	38.1	38.8
	SNI		1	0.74				T-K, D	3	72.4 ²	52.6
	OR		1	0.74				C-K, D(16位)	3	67.9 ³	40.3
	ORI		1	0.74				C-K, D(32位)	5	82.3 ³	40.3
连接指令	AND	无	1	0.74			SET	Y, M	1	0.74	
	ORB		1	0.74				S	2	39.0 ²	25.5
	MPS		1	0.74				特 M	2	41.9	38.5
	MRD		1	0.74			RST	Y, M	1	0.74	
	MPP		1	0.74				S	2	40.5	25.5
其他指令	MC	N-Y, M	3	42.8	47.8		特 M	2	41.8	28.9	
	MCR	N(嵌套)	2	40.4		T, C	2	50.1	38.3		
	NOP	无	1	0.74		D, V, Z, 特 D	3	35.5	25.5		
	END	无	1	960		PLS	Y, M	2	41.9	41.5	
步进	STL	S	1	39.1 + 21.4n ^①		PLF	Y, M	2	42.7	40.6	
	RET	无	1	40.5		P	0-63	1	0.74		
					标号	I	0□□~8□□	1	0.74		

① “n”表示连续的 STL 指令的条数（并行/合流指令的条数）。

② 对于 STL 电路块，接通时需时 $45.2 + 14.2n$ ，关断时需 $25.5\mu\text{s}$ 。

③ 间接指定（T-D、C-D）所需时间要多 $7.6\mu\text{s}$ 。

计数以后（定时器或计数器）接通时间与断开时间一样。

表 3.2.11 FX2 应用指令

类型	FNC 编号	指令符号	内 容	执行时间/ μs		
				ON	OFF	
程序流向控制	00	CJ	条件转移	46.6	27.4	
	01	CALL	子程序调用	49.5	27.4	
	02	SRET	子程序返回	34.0		
	03	IRET	中断返回	36.7		
	04	EI	允许中断	62.6		
	05	DI	禁止中断	37.7		
	06	FEND	主程序结束	960		
	07	WDT	监视时钟	35.9	25.1	
	08	FOR	循环范围开始	39.9		
	09	NEXT	循环范围结束	29.1		
传送比较等	10	CMP	比较	(16)	161.8	33.3
				(32)	189.0	39.9
	11	ZCP	区间比较	(16)	186.9	33.3
				(32)	220.8	39.9
	12	MOV	传送 (S) → (D)	(16)	78.4	33.3
				(32)	98.4	39.3
	13	SMOV	BCD 码数位移位	302.9		33.3
	14	CML	取反传送 (S) → (D)	(16)	74.0	33.3
(32)				95.9	39.9	
15	BMOV	成批传送	180.5 + 17.1n		33.3	
16	FMOV	多点传送	107.6 + 5.3n		33.3	

续表

类型	FNC 编号	指令 符号	内 容	执行时间/ μs		
					ON	OFF
传送 比较等	17	XCH	变换传送(D) \rightarrow (D)	(16)	90.3	33.3
				(32)	113.8	39.8
	18	BCD	BIN \rightarrow BCD 变换传送	(16)	130.9	33.3
				(32)	342.0	39.9
	19	BIN	BCD \rightarrow BIN 变换传送	(16)	135.4	33.3
				(32)	314.3	39.9
四 则 逻辑 运算	20	ADD	BIN 加法 (S1) + (S2) \rightarrow (D)	(16)	115.5	33.3
				(32)	144.5	39.9
	21	SUB	BIN 减法 (S1) - (S2) \rightarrow (D)	(16)	116.6	33.3
				(32)	146.5	39.9
	22	MUL	BIN 乘法 (S1) \times (S2) \rightarrow (D)(D)	(16)	133.4	33.3
				(32)	185.0	39.9
	23	DIV	BIN 除法 (S1) \div (S2) \rightarrow (D) \cdots (D)	(16)	139.5	33.3
				(32)	804.8	39.9
	24	INC	BIN 增量 (D) + 1 \rightarrow (D)	(16)	55.3	33.3
				(32)	65.4	34.4
	25	DEC	BIN 减量 (D) - 1 \rightarrow (D)	(16)	55.4	33.3
				(32)	65.1	34.4
	26	WAND	逻辑与 (S1) \wedge (S2) \rightarrow (D)	(16)	108.0	33.3
				(32)	135.4	39.9
27	WOR	逻辑或 (S1) \vee (S2) \rightarrow (D)	(16)	107.9	33.3	
			(32)	135.5	39.9	
28	WXOR	异或 (S1) ∇ (S2) \rightarrow (D)	(16)	106.5	33.3	
			(32)	133.9	39.9	
29	NEG 取	取补 (\bar{D}) + 1 \rightarrow (D)	(16)	55.1	33.3	
			(32)	65.5	34.4	
循 环 移 位 与 移 位	30	ROR	右循环移位	(16)	$91.9 + 3.0n$	33.3
				(32)	$113.8 + 3.5n$	39.9
	31	ROL	左循环移位	(16)	$91.9 + 3.0n$	33.3
				(32)	$113.8 + 3.5n$	39.9
	32	RCR	带进位右循环移位	(16)	$99.0 + 1.4n$	33.3
				(32)	$120.8 + 1.8n$	39.9
	33	RCL	带进位左循环移位	(16)	$99.0 + 1.4n$	33.3
				(32)	$120.8 + 1.8n$	39.9
	34	SFTR	右移位		$n_2 = 4, 180.8 + 70.0n_1$	33.3
	35	SFTL	左移位		$n_2 = 4, 180.8 + 70.0n_1$	33.3
36	WSFR	右移字		$n_2 = 4, 218.6 + 18.0n_1$	33.3	
37	WSFL	左移字		$n_2 = 4, 218.6 + 18.0n_1$	33.3	
38	SFWR	先入先出 FIFO 写入		138.1	33.3	
39	SFRD	先入先出 FIFO 读出		$143.1 + 6.8n$	33.3	
数 据 处 理	40	ZRST	成批复位		$161.3 + K(D_2 - D_1), K = 3.2D,$ $K = 16.5, T.C.S, K = 13.5Y, M$	39.9
	41	DECO	译码		114.8	28.8
	42	ENCO	编码		125.6	28.8
	43	SUM	位检查“1”状态的总数	(16)	133.5	33.3
				(32)	196.6	39.9
44	BON	位 ON/OFF 判定	(16)	168.9	33.3	
			(32)	177.6	39.9	

续表

类型	FNC 编号	指令 符号	内 容	执行时间/ μs		
				ON	OFF	
数据处理	45	MEAN	平均值	133.4 + 12.2n		33.3
	46	ANS	信号报警器置位	192.6		165.6
	47	ANR	信号报警复位	86.5		25.5
高速处理	50	REF	输入输出刷新	145.3 + 3.6n		33.3
	51	REFF	调整输入滤波器的时间	56.0 + 4.9n		33.3
	52	MTR	短阵分时输入	87.3		39.3
	53	HSCS	比较置位 (高速计数器)	(32)	175.0	39.9
	54	HSCR	比较复位 (高速计数器)	(32)	175.0	39.9
	55	HSZ	区间比较 (高速计数器)	(32)	240.3	39.9
	56	SPD	脉冲速度检测	164.4		163.0
	57	PLSY	脉冲输出	(16)	154.5	173.6
				(32)	154.5	173.6
	58	PWM	脉宽调制	139.8		171.0
方便指令	60	IST	起始状态	272.9		33.3
	62	ABSD	绝对值式凸轮顺控	141.4 + 61.4n		33.3
	63	INCD	增量式凸轮顺控	208.8		39.9
	64	TTMR	具有示教功能的定时器	81.3		69.6
	65	STMR	特殊定时器	176.6		167.8
	66	ALT	交变输出	105.6		33.3
	67	RAMP	倾斜信号	181.8		134.5
	68	ROTC	回转台控制	232.5		209.1
外部 I/O 设备	70	TKY	十进制键入	(16)	245.7	33.3
				(32)	229.1	39.9
	71	HKY	十六进制键入	(16)	318.8	39.3
				(32)	338.0	45.5
	72	DSW	数字开关, 分时读出	n = 1, 205.8 n = 2, 208.1		39.9
	73	SEGD	七段译码	142.1		33.3
	74	SEGL	七段分时显示	一组: 209.7 二组: 246.9		33.3
	75	ARWS	方向开关控制	285.4		33.3
	76	ASC	ASCII 码交换	130.9		33.3
	77	PR	ASCII 码打印	打印中: 207.1 打印结束: 112.1		112.6
78	FROM	读特殊功能模块	(16)	170 + 406n	45.0	
			(32)	200 + 800n		
79	TO	写特殊功能模块	(16)	151 + 480n	45.0	
			(32)	200 + 936n		
FX 功能模块	81	PRUN	并行运行, FX2-40AP/AW	(16)	137.1 + 53.5n	33.3
				(32)	154.5 + 49.3n	33.3
	85	VRRD	FX-8AV 读出	308.1		33.3
86	VRSC	FX-8AV 刻度读出	319.1		33.3	
F2 外部单元	90	MNET	NET/MINI 网, F-16NP/NT	634.9		25.5
	91	ANRD	模拟量读出, F2-6A	1137		33.3
	92	ANWR	模拟量写入, F2-6A	1387		470.9
	93	RMST	RM 单元起动, F2-32RM	948.8		950.0
	94	RMWR	RM 单元写入, F2-32RM	(16)	2214	33.3
				(32)	4235	39.9
	95	RMRD	RM 单元读出, F2-32RM	(16)	1684	33.3
				(32)	3168	39.9
	96	RMMN	RM 单元监控, F2-32RM	1589		33.3
	97	BLK	GM 程序块指定, F2-30GM	672.4		669.3
98	MCDE	机器码读出, F2-30GM	740.3		33.3	

3. 特殊功能模块

FX2 系列 PLC 有各种特殊功能单元, 如表 3.2.12 所示, 以适应不同场合的需要。

表 3.2.12 FX2 的特殊功能模块

名称	型号	名称	型号
变量设置单元	FX-8AV	数据存取单元	FX-20DC
并联适配器	FX2-40AP (光纤)	智能终端接口	FX-232AW
	FX2-40AW (双绞线)	实时时钟卡	FX-RTC
M-NET/MINI 接口	FX-16NP (光纤)	存储卡	FX-RAM-8C
	FX-16NT (双绞线)	存储卡	FX-EEPROM-4C
模拟量输入模块	FX-4AD	接口模块	FX2-24EI
模拟量输出模块	FX-2DA	定位控制单元	F2-30GM
温度输入模块	FX-2AD-PT	凸轮控制单元	F2-32RM
高速计数模块	FX-1HC	M-NET/MINI 接口	F-16NP
定位控制单元	FX-1GM		F-16NT

二、FX0 系列

FX0 是三菱公司推出的结构紧凑、功能强的新型超小型 PLC, 属整体式结构, 设有扩展单元, 最大 I/O 点有 14、20、30 三种可供选择, 其型号规格如表 3.2.13 所示。

表 3.2.13 FX0 的型号规格

型号	输入点数	输出点数	电源电压	输入信号	输出类型
FX0-14MR-ES	8	6	100 ~ 240V AC	24V DC 源/漏型	继电器输出
FX0-20MR-ES	12	8			
FX0-30MR-ES	16	14			
FX0-14MT-DSS	8	6	24V DC		晶体管输出
FX0-20MT-DSS	12	8			
FX0-30MT-DSS	16	14			
FX0-14MR-DS	8	6	24V DC	继电器输出	
FX0-20MR-DS	12	8			
FX0-30MR-DS	16	14			

1. 技术指标

FX0 的一般技术指标和输入技术指标与 FX2 相同 (见表 3.2.5 和表 3.2.6), 其输出技术指标、电源技术指标和功能技术指标分别如表 3.2.14 至表 3.2.16 所示。

表 3.2.14 FX0 的输出技术指标

项目	继电器输出	晶体管输出	项目	继电器输出	晶体管输出
额定电流	2A/点, 8A/4点	0.5A/点, 0.8A/4点	开路漏电流	—	0.1mA 以下
负载电压	250V AC, 30V DC 以下	5 ~ 30V DC	响应时间	约 10ms	0.2ms
最大负载	80VA (感性负载) 100W (灯负载)	12W (感性负载) 1.5W (灯负载)	隔离方式	继电器隔离	光电耦合器隔离

表 3.2.15 FX0 电源技术指标

项目	FX0-14MR-ES	FX0-20MR-ES	FX0-30MR-ES	FX0-14MT-DSS	FX0-20MT-DSS	FX0-30MT-DSS
电源电压	100 ~ 240V +10% -15% AC, 50/60Hz 允许 10ms 以下的瞬间断电			24V DC +10% -15% 允许 10ms 以下的瞬间断电		
电力消耗	20V·A	25V·A	30V·A	10W	15W	20W
内装 24V DC	100mA			—	—	—



表 3.2.16 FX0 功能技术指标

项 目		性 能 指 标		注 释	
操作控制方式		反复扫描程序			
I/O 刷新方式		批处理方式(在 END 指令执行时成批刷新)		有直接 I/O 指令及输入滤波器时间常数调整指令	
操作处理时间		基本指令 1.6 ~ 3.6 μ s/步		应用指令几十 ~ 几百 μ s/步	
编程语言		继电器符号语言(梯形图) + 步进指令		可用 SFC 方式编程	
程序容量/存储器类型		800 步 EEPROM			
指令数		基本指令 20 条, 步进指令 2 条, 应用指令 35 条			
输入继电器	DC 输入	24V DC, 7mA, 光电隔离		X0 ~ X17 (8 进制)	I/O 点数一共 30 点
	—	—			
输出继电器	继电器	250V AC, 30V DC, 2A(电阻负载)		Y0 ~ Y15 (8 进制)	
	晶体管	30V DC, 0.5A/点, 0.8A/4 点			
辅助继电器	通用型			M0 ~ M495(496 点)	
	锁存型	EEPROM 后备		M496 ~ M511(16 点)	
	特殊型			M8000 ~ M8254(56 点)	
状态	初始化用	用于初始状态		S0 ~ S9(10 点)	
	通用			S10 ~ S63(54 点)	
定时器	100ms	0.1 ~ 3276.7s		T0 ~ T55(56 点)	
	10ms	0.01 ~ 327.67s		T32 ~ T55(24 点)当 M8028 为 ON	
	模拟量	0 ~ 25.5s		用 D8013(1 点)	
计数器	加计数器	16 位	通用型	C0 ~ C13(14 点)	
		1 ~ 32767		EEPROM 后备	C14 ~ C15(2 点)
	高速计数器	32 位加/减计数	某些是电池后备	C235 ~ C249(4 点)1 相计数 C251 ~ C254(1 点)2 相计数	
寄存器	通用数据寄存器	16 位	一对处理 32 位	通用型	D0 ~ D29(30 点)
		16 位		EEPROM 后备	D30 ~ D31(2 点)
	特殊寄存器	16 位	D8000 ~ D8069(27 点)		
	变址寄存器	16 位	V, Z(2 点)		
指针	JUMP			P0 ~ P63(64 点)	
	中断	用 X0 ~ X3 作中断输入		I0□□ ~ I3□□(4 点)	
嵌套标志		主控线路用		N0 ~ N7(8 点)	
常数	十进制	16 位: - 32768 ~ 32767	32 位: - 2147483648 ~ 2147483647		
	十六进制	16 位: 0 ~ FFFFH	32 位: 0 ~ FFFFFFFFH		

2. 指令系统

FX0 的基本指令和步进指令与 FX2 的指令符号、指令功能完全相同, 只是执行时间有差别, 如表 3.2.17 和表 3.2.10 所示。FX0 的应用指令只有 35 条, 在 FX2 中都有相对应的应用指令, 二者的功能号, 助记符、功能完全相同, 如表 3.2.18 和表 3.2.11 所示。

表 3.2.17 FX0 的基本指令和步进指令简表

类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μ s		类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μ s		
				ON	OFF					ON	OFF	
触点指令	LD	X, Y, M, S, T, C, 特 M	1	3.4	3.4	其他指令	MC	N, Y, M	3	17	18.2	
	LDI		1	3.4	3.4		MCR	N	2	6.0	6.0	
	AND		1	3.2	3.2		NOP	无	1	1.6	1.6	
	ANI		1	3.2	3.2		END		1	410	—	
	OR		1	3.2	3.2							
	ORI		1	3.2	3.2							
连接指令	ANB	无	1	2.2	2.2	标号	P	0 ~ 63	1	1.6	1.6	
	ORB		1	2.2	2.2		I	00[] ~ 30[]	1	1.6	1.6	
	MPS		1	2.0	2.0			 [] = 1				
	MRD		1	2.0	2.0			 [] = 0				
	MPP		1	2.0	2.0							

续表

类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μ s		类型	指令	操作元件	步数	执行时间/ μ s	
				ON	OFF					ON	OFF
输出指令	OUT	Y, M	1	3.2	3.2	输出指令	RST	特 M	2	7.4	2.4
		S	2	7.0	7.2			Y, M	1	3.4	1.8
		特 M	2	7.8	7.4			S	2	6.0	2.6
		T-K	3	21.8	19.4			特 M	2	7.4	2.4
		T-D	3	23.4	21.0			C, T	2	20.8	18.0
		C-K(16bit)	3	14.6	14.6			D, V, Z S, 特 D	3	10.0	2.8
		C-D(16bit)	3	16.2	16.2		PLS	Y, M	2	19.4	19.4
		C-K(32bit)	5	12.5	6.0		PLF	Y, M	2	19.4	19.4
	C-D(32bit)	5	13.9	6.0	步进指令	STL	S0~S63	1	4.2 + 8.0n		
	SET	Y, M	1	3.6	2.0	RET	无	1	8.0		
		S	2	6.8	2.6						

表 3.2.18 FX0 的应用指令简表

FNC 编号 指令符号	内 容	步数	执行时间 μ s		FNC 编号 指令符号	内 容	步数	执行时间 μ s			
			ON	OFF				ON	OFF		
00 CJ	条件转移	16	3	19.4	9.6	26 WAND	逻辑 AND	16	7	64.2	21.0
03 IRET	中断返回	1	1	11.2	11.2	32	13	73.0	29.4		
04 *EI	允许中断	1	1	6.4	6.4	27 WOR	逻辑 OR	16	7	64.2	21.0
05 *DI	禁止中断	1	1	6.4	6.4	32	13	73.0	29.4		
06 *FEND	主程序结束	1	1	410	410	28 WXOR	异或	16	7	64.2	21.0
07 *WDT	监视时钟	1	1	9.2	5.6	32	13	73.0	29.4		
08 *FOR	循环范围开始	16	3	29.0	29.0	34 SFTR	右移位	16	9	145.2 + 5.1n ₁	24.6
09 *NEXT	循环范围结束	1	1	12.4	12.4					n ₁ : 寄存器长度 n ₂ = 4(移位位数)	
10 CMP	比较	16	7	122.6	22.0	35 SFTL	左移位	16	9	150.6 + 5.1n ₁	24.2
11 ZCP	区间比较	16	9	140.0	25.0					n ₁ : 寄存器长度 n ₂ = 4(移位位数)	
12 MOV	传送	16	5	46.2	18.0	40 ZRST	成批复位	16	5	1 [†]	12.8
18 BCD	BIN→BCD 变换传送	16	5	63.6	18.0	41 DECO	译码	16	7	881.4	20.6
19 BIN	BCD→BIN 变换传送	16	5	64.4	18.0	42 ENCO	编码	16	7	618.3	20.6
20 ADD	BIN 加法	16	7	69.4	21.0	50 REF	I/O 刷新	16	5	53.6	12.8
21 SUB	BIN 减法	16	7	69.8	21.0	53 HSCS	高速计数器 置位	32	13	75.6	6.6
22 MUL	BIN 乘法	16	7	89.4	21.0	54 HSCR	高速计数器 复位	32	13	75.6	6.6
23 DIV	BIN 除法	16	7	119.2	21.0	57 PLSY	脉冲输出	16	7	189.4	10.0
24 INC	BIN 增量	16	3	28.4	14.6	32	13	189.4	10.0		
25 DEC	BIN 减量	16	3	28.4	14.6	16	7	42.5	7.8		
		32	5	33.6	17.0	60 IST	起始状态	16	7	766.0	322.4
						66 ALT	交变输出	16	3	61.0	9.8
						67 RAMP	倾斜信号	16	9	248.6	82.6

① n = 复位位数目
 $57.2 + 1.6n : D$
 $64.4 + 3.3n : C$
 $127.0 + 0.08n : M$

② FNC53 和 FNC54 指令同时起作用的总数目不得超过 4 个。
 注：“*”系指该指令为无触点的直接驱动指令。

第二节 和泉可编程控制器

日本和泉 (IDEC) 系列 PLC, 在我国使用的主要有 FA-2 (中型机)、FA-2J (小型机) 和 MICR-1 (超小型机) 三种, 其功能特性和参数如表 3.2.19 所示。其中, MICRO-1 为整体式超小型 PLC, 主机内带 EPROM, 用户程序容量为 600 步, 主机具有输入元件为晶体管的 8 个输入点, 以及输出元件为电磁继电器的 6 个输出点, 它在 PLC 与 PLC、PLC 与计算机通信网络方面的功能较为突出, 很适合于作纯开关量的单机机械装置自动化控制及形成工厂自动化的网络系统; FA-2 型 PLC 为薄形插件模块结构, 其最小系统可构成 16 点输入、16 点输出、不加扩展单元最多可构成 128 点输入、128 点输出、加上扩展单元可构成 256 点输入、256 点输出的最大系统。它在联网通信方面功能较强, 很适合于多机自动线的控制, 以及实现工厂自动化网络系统。这里, 仅对 FA-2J 进行简单介绍。

表 3.2.19 和泉 (IDEC) 系列 PLC 性能一览表

型 号	FA-2	MICRO-1	FA-2J	
工作方式	存储程序, 反复扫描程序, 集中输入输出	存储程序, 反复扫描程序, 集中输入输出	存储程序, 反复扫描程序, 集中输入输出	
编程语言	逻辑符号(助记符)	逻辑符号(助记符)	逻辑符号(助记符)	
存储器	存储器盒: E ² PROM(4K 步)、EPROM(4K 步)、CMOS-RAM(4K 步, 1K 步)	主机内固定安装 E ² PROM	存储器盒: E ² PROM(4K 步)、EPROM(4K 步)、CMOS-RAM(4K 步, 1K 步)	
用户程序容量	最大为 4K 步(4036 B)	600 步	964 步(用 1K 步存储器)。3300 步(用 4K 步存储器)	
指令数	基本指令 15 条, 运算指令 140 条	基本指令 15 条, 功能指令 2 条	基本指令 15 条, 运算指令 57 条	
指令执行时间	基本指令平均 6 μ s/指令	基本指令平均 8 μ s/指令	基本指令平均 6 μ s/指令	
输入	点数	最大为 128 点, 可扩展到 256 点	最大为 8 点, 可扩展到 16 点	最大为 128 点
	方式	晶体管	晶体管	晶体管
输出	点数	最大为 128 点, 可扩展到 256 点	最大为 6 点, 可扩展到 12 点	最大为 128 点
	方式	继电器、晶体管、双向晶闸管	继电器	继电器、晶体管、双向晶闸管
内部继电器	480 点(其中 240 点可停电保持)	160 点, 可停电保持	608 点(其中 240 点可停电保持)	
专用内部继电器	32 点, 可停电保持	96 点, 可停电保持	16 点	
移位寄存器	128 点(全部可停电保持)	128 点, 可停电保持	128 点	
数据寄存器	400 点, 全部停电保持		400 点	
0.1s 定时器	80 点, 减法计数(0~999.9s), 停电保持	80 点, 减法计数(0~999.9s)	80 点	
10ms 定时器	80 点, 减法计数(0~99.99s), 停电保持		80 点	
计数器	45 点, 加法计数(0~9999), 停电保持	45 点, 加法计数(0~9999) 停电保持	45 点	
可逆计数器	2 点, (0~9999), 停电保持	2 点, (0~9999), 停电保持	2 点	
单脉冲输出	96 点	96 点	96 点	
• 电源保护	内部继电器, 计数器, 可逆计数器移位寄存器, 数据寄存器	内部继电器, 计数器, 移位寄存器, 可逆计数器	内部继电器, 计数器, 可逆计数器移位寄存器, 数据寄存器	
特殊功能	模拟量控制, 高速计数与计算机 PC 链接	窄脉冲(0.5ms)检测, 与计算机 PC 链接	模拟量控制, 高速计数与计算机 PC 链接	

一、FA-2J 基本结构

FA-2J 为扁平形模块式小型 PLC, 一个完整的 FA-2J 系统必须包括: CPU 模块 (含存储盒)、输入模块、输

出模块和编程器几部分。FA-2J 具有较丰富的数据处理和逻辑运算功能, 以及 PLC 与 PLC、PLC 与计算机联网通信功能, 同时又具有模拟量控制、高速计数、高速定时等复杂和特殊的控制功能, 它最小可实现 8 点输入、8 点输出、最大可实现 128 点输入和 128 点输出。

二、FA-2J 型技术指标

1. CPU 模块

FA-2J 的 CPU 模块按所使用的电源不同分为 PF2J-CPUIE 和 PF2J-CPUIDCE 两种。前者使用电源电压为 100 ~ 240V AC, 工作电压范围为 85 ~ 264V AC。而后者使用电源电压为 24V DC, 工作电压范围为 19.2 ~ 28.8V DC。

CPU 模块是由一个中央处理机、一个内部稳压电源和一个可安装两个 I/O 模块的底板组成。

2. 基本输入模块

FA-2J 的基本输入模块接受开关量输入信号, 按输入电流的不同分为直流输入模块和交流输入模块两种, 它们的技术指标分别如表 3.2.20 和表 3.2.21 所示。

表 3.2.20 直流输入模块技术指标

名称	16 点直流输入模块			8 点直流输入模块	
	PFJ-161	PFJ-162A	PFJ-162	PFJ-N081	PFJ-N082
信号源类型	NPN 输出型		PNP 输出型	NPN 输出型	PNP 输出型
公共端极性	(+)		(-)	(+)	(-)
额定输入电压	24V DC	5V DC	24V DC	24V DC	
输入电压范围	10 ~ 30V	4 ~ 15V	10 ~ 30V	10 ~ 30V	
接通电压	≥ 10V	≥ 3V	≥ 10V	≥ 10V	
断开电压	≤ 3V	≤ 1.5V	≤ 3V	≤ 3V	
输入阻抗	2.3kΩ	750Ω	2.3kΩ	2.3kΩ	
每点输入电流	10mA/额定电压	5mA/额定电压	10mA/额定电压	10mA/额定电压	
最大内拉电流	40mA			20mA	
延迟时间	启动最大延时 7ms, 关断最大延时 11ms				

表 3.2.21 交流输入模块的型号和技术指标

名称	8 点 100V AC 输入模块		8 点 200V AC 输入模块	
	PFJ-N083 标准型	PFJ-N083A 快速型	PFJ-N084 标准型	PFJ-N084A 快速型
额定输入电压	100 ~ 120V AC	100V AC	200 ~ 240V AC	200V AC
输入电压范围	85 ~ 132V AC		170 ~ 264V AC	
输入阻抗	12kΩ		28kΩ	
接通电压	≥ 60V AC	≥ 70V AC	≥ 120V AC	≥ 130V AC
断开电压	≤ 30V AC	≤ 40V AC	≤ 60V AC	≤ 80V AC
接通延滞时间	≤ 65ms	≤ 22ms	≤ 65ms	≤ 22ms
断开延滞时间	≤ 80ms	≤ 30ms	≤ 80ms	≤ 30ms
每点输入电流	9mA/100V AC 时		8mA/200V AC 时	

3. 基本输出模块

PA-2J 的基本输出模块, 按输出元件的不同分为继电器输出模块、双向晶闸管输出模块和晶体管输出模块三种, 它们的技术指标分别如表 3.2.22 至表 3.2.24 所示。

表 3.2.22 继电器输出模块技术指标

型号	PFJ-T08
输出信号	电磁继电器; RSIS、独立触点
点数	8 点, 每点一个常开触点
负载电压	最大: 250V AC, 60V DC 最小: 5V DC/1MA
额定负载电流	阻性负载: 5A/110V AC, 2A/220V AC, 5A/24V DC 感性负载: 2A/110V AC, 1A/220V AC, 2A/24V DC
断开延时	≤ 5ms
接通延时	≤ 15ms
触点电阻	≤ 50mΩ
内拉电流	150mA

表 3.2.23 双向晶闸管输出模块技术指标

名称	8 点双向晶闸管输出模块
型号	PFJ-T083
输出	双向晶闸管阳极 (五过零触发功能)
点数	8 点, 每 4 点有一公共端
负载电压	80 ~ 264V AC
负载电流	≤ 1A/点 ≤ 2A/公共端
冲击电流	20A (峰值)
最小负载电流	20mA
导通延时	< 1ms
关断延时	$\frac{1}{2}$ 周期 + 1ms
触点压降	< 3V
内拉电流	< 130mA

表 3.2.24 晶体管输出模块型号及技术指标

名称	16点晶体管输出模块				8点晶体管输出模块 PNP型
	PNP型		NPN型		
型号	PFJ-T162	PFJ-T162A	PFJ-T162B	PFJ-T162C	PFJ-T082
额定负载电压	12~28V DC ±10%	5~12V DC ±10%	12~28V DC ±10%	12~28V DC ±10%	12~48V DC ±10%
最大负载电流	0.5A/点 2.5A/公共点	20mA/点	50mA/点 400mA/公共点	0.5A/点 4A/公共点	1A/点 4A/公共点
冲击电流	<8A	<50mA	<500mA	<7A	<5A
导通时间	<1ms				
关断时间	<1ms				
接通时负载电压	>1.5V	>0.3V		>1.5V	>1.5V
外拉电流	30mA/公共点	30mA/公共点 (12V DC) 13mA/ 公共点 (5V DC)	80mA/公共点	30mA/公共点	40mA/公共点
内拉电流	<40mA				<25mA

4. 特殊功能模块

FA-2J的特殊功能模块包括：由A/D转换器、光耦合器和DC/DC电源变换器几部分组成的模拟量输入模块；由D/A转换器、光耦合器和DC/DC电源变换器组成的模拟量输出模块；分单相型PFJ-NO17A和双相型PFJ-NO11B的高速计数器模块；与IBM兼容机链接接口模块。它们的技术指标分别如表3.2.25至表3.2.28所示。

表 3.2.25 模拟量输入模块技术指标

型号	PFJ-NO12 电压型	PFJ-NO13 电流型
输入信号范围	0~10V DC 电压	4~20mA DC 电流
输入通道数	1个通道 (自动占用8个输入端点号)	
外部电源	24V DC ±10%	
分辨率	8位 (10V/256 = 39.06V)	8位 (10mA/256 = 0.063mA)
输入阻抗	20kΩ	250kΩ
输入响应时间	2个PC扫描周期	
内拉电流	≤5mA	
外拉电流	≤60mA	

表 3.2.26 模拟量输出模块技术指标

型号	PFJ-T012 电压输出型	PFJ-T013 电流输出型
输出通道数	1个通道 (占用8个输出端点)	
输出信号范围	0~10V DC 电压	4~20mA DC 电流
最大输出	9.961V	19.94mA
分辨率	8位 (10V/255 = 39.06mV)	8位 (16mA/255 = 0.63mA)
输出阻抗	≥10kΩ	≤270Ω
输出响应时间	<1ms	
内拉电流	≤14.5mA	
外拉电流	对24V DC电源拉电流 ≤70mA	
外部电源	24V DC/拉电流 70mA	

表 3.2.27 高速计数器模块技术指标

型号	PFJ-NO11A 单相型	PFJ-NO11B 双相型	型号	PFJ-NO11A 单相型	PFJ-NO11B 双相型
最大计数频率	1kHz (每秒脉冲数)	10kHz	最大断开电压	3V DC	
计数范围	24位 (0~1677215)	22位 (0~4194303)	输入电流	12mA/点 (24V DC 时)	
占用输入点数	24个输入端点号		输入电阻	2kΩ	
输入信号	A 和 RST(复位)	A、B(互差90°)Z(原位)	等效输出响应时间	不大于2个PC扫描周期	
额定输入电压	24V DC		公共端极性	(+)	
输入电压范围	10~30V DC		内拉电流	10mA	
最小接通电压	8V DC		隔离方式	光电隔离	

表 3.2.28 计算机链接接口模块技术指标

型 号	PFA-1U51	型 号	PFA-1U51
传送系统	RS-232C 系统接口	数据格式	停止位: 1 位
通信系统	4 线半, 双工启动—停止传送		奇偶检验: 偶数
通信方式	1:1		数据位: 8 位
传送距离	CPU 与计算机间最大距离为 15m		码制: ASCII 码
数据格式	波特率: 9600bps	电源电压	200 ~ 240V AC + 10% ~ 15%
	启动位: 1 位		

三、FA-2J 的指令系统

FA-2J 有基本指令 15 条, 应用指令 (包括基本运算指令和高级运算指令) 57 条。基本指令列表于表 3.2.29 和表 3.2.30。

表 3.2.29 基本指令表

符号	名 称	功 能	符号	名 称	功 能
LOD	加载	存入中间结果后, 读出 I/O 状态	SFR	移位寄存器	移位寄存器
AND	与	“与”逻辑	END	结束	程序结束
OR	或	“或”逻辑	SET	设置	设置一个输出, 内部继电器或移位寄存器
OUT	输出	输出	RST	复位	复位一个输出, 内部继电器或移位寄存器
MCS	主控设置	主控启动	JMP	转移	转移一个指定程序区
MCR	主控复位	主控结束	JEND	转移结束	结束转移程序
SOT	单输出	前沿微分	NOT	非	“非”逻辑
TIM	定时器	定时	FUN	功能	设置功能和计算指令
CNT	计数器	计数			

表 3.2.30 基本运算指令表

指令类型	运算指令	功 能	操作数可指 定的目标	禁止设置 (错码 80)
	FUN 147 (a)			
	FUN 147 0	NOP 空操作		
二进制转换 BCD-BIN	FUN 147 1	将 DRO 的 BCD 码转换成二进制码, 结果送入 DRO		
BCD 转换 BIN-BCD	FUN 147 2	将 DRO 的二进制码转换成 BCD 码, 结果送 DRO		
4 位数字 比较	FUN 147 3	操作数 FUNo47 0000	当(DRO) > (操作数), IR710 转“1” 当(DRO) = (操作数), IR711 转“1” 当(DRO) < (操作数), IR712 转“1”	定时器, 计数器, 数据寄存器, 常数
加(+)	FUN 147 4	操作数 FUNo47 0000	(DRO) + (操作数) + (CY) → (DRO), (CY)	定时器, 计数器, 数据寄存器, 常数
减(-)	FUN 147 5	操作数 FUNo47 0000	(DRO) - (操作数) - (CY) → (DRO), (CY)	定时器, 计数器, 数据寄存器, 常数
乘(×)	FUN 147 6	操作数 FUNo47 0000	(DRO) × (操作数) → (DR1), (DRO) (高 4 位和低 4 位数)	定时器, 计数器, 数据寄存器, 常数
除(÷)	FUN 147 7	操作数 FUNo47 0000	(DRO) ÷ (操作数) → (余数), (商)	定时器, 计数器, 数据寄存器, 常数
数据寄存器的 数据移位	FUN 147 8	操作数 FUNo47 0000	(DRm) → (DRm + 1) → (DRn) (仅指指 定位)	数据寄存器 除左边 指定的以 外

续表

指令类型	运算指令 FUN 147 (a)	功 能	操作数可指 定的目标	禁止设置 (错码 80)
BCD 数字 左移	操作数 FUN 147 9 FUNo47 oooo	将(DR1)和(DR0)左移,由操作码指 定移动位数(低位补0)	数据寄存器,常数	
数据读出 (16位)	操作数 FUN 147 10 FUNo47 oooo	(DR0)←(操作数)	L/O 内部继电器, 定时器,计数器,数 据寄存器,常数	
数据读出 (8位)	操作数 FUN 147 11 FUNo47 oooo	(DR0)←(操作数)(8位)DR0的高8 位置成0	L/O,内部继电器	
数据读出 (间接)	操作数 FUN 147 12 FUNo47 oooo	(DR0)←(操作数)+(DR1)	定时器,计数器, 数据寄存器	除左边 指定的均 禁止
数据读出 (16位)	操作数 FUN 147 13 FUNo47 oooo	(DR1)←(操作数)	L/O,内部继电器, 定时器,计数器,数 据寄存器,常数	
数据读出 (8位)	操作数 FUN 147 14 FUNo47 oooo	(DR1)←(操作数)DR1的高8位置成 0	L/O,内部继电器	
数据加1	操作数 FUN 147 18 FUNo47 oooo	(操作数)←(操作数)+1	数据寄存器	除左边 的指定的 以外
数据减1	操作数 FUN 147 19 FUNo47 oooo	(操作数)←(操作数)-1	数据寄存器	除左边 的指定的 以外
数据存储 (16位)	操作数 FUN 147 20 FUNo47 oooo	(DR0)→(操作数)	输出,内部继电 器,定时器,计数器, 数据寄存器	常数
数据存储 (8位)	操作数 FUN 147 21 FUNo47 oooo	(DR0)→(操作数)(8位)	输出,内部继电器	常数
数据存储 (间接)	操作数 FUN 147 22 FUNo47 oooo	(DR0)→(操作数)+(DR1)	计数器,定时器, 数据寄存器	除左边 的指定的 以外
数据存储 (16位)	操作数 FUN 147 23 FUNo47 oooo	(DR1)→(操作数)	输出,内部继电 器,定时器,计数器, 数据寄存器	常数
数据存储 (8位)	操作数 FUN 147 24 FUNo47 oooo	(DR1)→(操作数)(8位)	输出,内部继电器	常数
数据显示 (动态)	操作数 FUN 147 25 FUNo47 oooo	将(DR0)转换成BCD,每次扫描后送 给显示输出	输出	除左边 的输出以 外

注: DR0 和 DR1 只用于运算指令,用户程序的数据存储不用它们。

四、编程器

和泉系列 PLC 的编程器有 PFA-1H401RE(1K 内存)、PFA-1H404RE(4K 内存)和 PF2-2H4RE(4K 内存)三种。其中 PF2-2H4RE 型编程器通用于 FA-2、FA-2J、FA-1、FA-1J 各种 PLC,配专用电缆也可用于 MICRO-1 型 PLC。

PF2-2H4RE 型编程器为小型便携式编程器,内含 CPU 和 4KRAM 存储器,液晶显示屏每次可显示 1 行 16 个字

符,其操作键共 12 个,与 14 种操作相对应。PF2-2H4RE 编程器外形及面板布置如图 3.2.1 所示,其操作键的功能如表 3.2.31 所示。

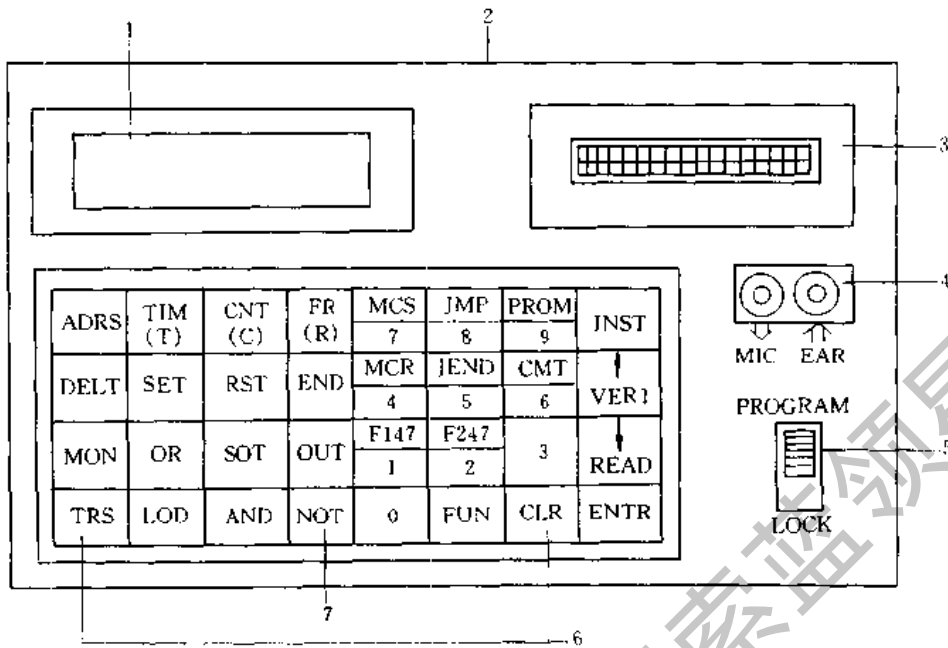


图 3.2.1 PF2-2H4RE 编程器板面布置图

1—程序显示屏;2—AC 电源适配器插孔;3—存储器插座;4—录音机插孔;
5—编程/锁定选择开关;6—功能键;7—指令和数字键

表 3.2.31 PF2-2H4RE 编程器操作键功能表

操作键	名称	功能
ADRS	地址	读出显示地址
DELT	删除	删除程序指令
MON	监视	监视 I/O, IR, CNT, TIM 或移位寄存器状态
TRS	传输	在编程器和 CPU RAM 或存储器盒之间传输或检验程序
INST	插入	插入指令
↑	上移	按上移顺序搜寻程序指令或改变地址、监视器内容、FUN 的显示
↓	下移	按下移顺序搜寻程序指令或改变地址、监视器内容、FUN 的显示
VERI	检验	检验存储器盒和编程器之间的程序指令
READ	读	显示编程器内的指令或 FUN(功能),或将存储器盒中的程序传入编程器
ENTR	送入	把显示屏上的指令写入编程器,或把编程器中的程序送入存储器盒或 CPU RAM
CLR	清除	擦除编程器 RAM 中的内容
PROM	写入器操作	把编程器的程序写入 EPROM 或 EPROM 存储器盒
CMT	录音机操作	与 READ 或 ENTR 配合,把磁带上的程序传入编程器,或把编程器上的程序转储到磁带上
FUN	功能操作	建立编程器编程条件,设定编程器及程序的诊错方式和错误处理方式,完成检验

第三节 西门子可编程序控制器

德国西门子公司 SIMATIC S5U 系列 PLC 较常用的机种型号及其主要技术指标特性如表 3.2.32 所示。

S5-90U 型 PLC 是最小配置为 10 点输入、6 点输出的经济型 PLC 系统;S5-95U 小型 PLC 因其具有数字量和模拟量输入输出模块,所以能完成较为复杂的控制任务;而 S5-115U 型中档 PLC 的配置和功能可随着解决每个特殊控制问题而增加,它有四种可供选择的 CPU 模块,使用 SETPS 编程语言编程。SETPS 编程语言的基本操作可用语句表(STL)、梯形图(LAD)、控制系统流程图(逻辑符号图 CFS)或顺序控制结构图形(GRAPH5)四种形式来表达,语

表 3.2.32 SIMATIC SS U 系列 PLC 技术特性—览表

SIMATIC SS-	90U		95U		101U		100U			115U				135U				155U	
	4	16	2	—	—	2	100	102	103	941	942	943	944	920	922	928	928B	946/947	
适配 CPU	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
程序、数据主存储容量/KB	4	16	2	—	—	2	4	20	18	42	48	96	128	64	64	64	64	896	256
数据存储器(磁泡)/KB	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CP580/CP521 BASIC/KB	30	30	—	—	—	30	30	30	40Mb	40Mb	40Mb	40Mb	40Mb	—	40Mb	40Mb	40Mb	40Mb	40Mb
IK 二进制语句扫描时间/ms	2-5	2-5	70	70	1.6	7	1.6	10	10	1.6	1.6	0.8	—	—	20	1.1	0.6	1.4	—
IK 典型程序平均执行时间/ms	5	5	75	75	10	15	10	10	10	10	5	1.5	—	—	20	7.5	0.9	1.75	—
中间标志位/可扩展标志位	1024	2048	512	1024	2048	1024	1024	2048	2048	2048	2048	2048	2048	—	2048	2048	2048/8192	2048/32768	—
计数器定时器	32/32	128/128	16/16	16/16	128/128	32/32	128/128	128/128	128/128	128/128	128/128	128/128	128/128	—	128/128	256/256	256/256	256/256	—
算术功能	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
数字量输入/输出	10/6 ^①	16/16 ^②	40/20	128	256	128	256	256	512	1024/1024	1024/1024	1024/1024	4096/4096	4096/4096	4096/4096	4096/4096	4096/4096	4096/4096	—
模拟量输入/输出	—	8/1	—	8	32	16	32	64/64	64/64	64/64	64/64	64/64	192/192	192/192	192/192	192/192	192/192	192/192	—
可否使用智能输入输出模块	·	·	—	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
有否操作员通信、过程显示系统	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
SINEC 局部网络	L1	L1, L2	L1	—	L1	L1	L1	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	L1, L2, HI, LI, L2, HI	—
点对点连接	·	·	—	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

① 另可扩展 6 个模块 (I/O 最多另加 48 点)。

② 另可扩展 32 个模块 (I/O 最多另加 256 点)。

句表十分接近于汇编语言,可以充分利用 CPU 的能力。这里仅重点介绍 S5-115UPLC。

一、S5-115UPLC 组成模块的技术指标

S5-115UPLC 系统由各种模块式部件组成,它们是电源模块、CPU 模块、数字量输入模块、模拟量输入模块、数字量输出模块、模拟量输出模块、数字量输入/输出模块、智能输入/输出模块、通信处理器模块、系统配置接口模块等。这些模块的型号和技术指标分别如表 3.2.33 至表 3.2.42 所示。

表 3.2.33 电源模块

型号 6ES5 951-	PS951 7LB14	PS951 7LD12	PS951 7NB13	PS951 7ND12	PS951 7ND31	PS951F 7ND21
应用范围	115U/H	115U/H	115U/H	115U/H	115U/H	115F
输入电压	230/115V AC	230/115V AC	24V DC	24V DC	24V DC	24V DC
输出电流/A	无风扇 有风扇	3 7	3 15	3 15	3 15	3 15
功耗/W	48	153	40	130	130	130
短路保护	电子式					

表 3.2.34 CPU 模块

型号 CPU-	941	942	942H	942F	943	944
应用范围	S5-115U	S5-115U	S5-115H	S5-115F	S5-115U	S5-115U
存储容量/KB	18	42	37	37	48	96
内存	2	10	10	5	48	96
RAM 子模块	16	32	32	32	—	—
EPROM 子模块	16	32	32	32	48	96
EEPROM 子模块	16	16	—	16	16	10
标志位/个 (记忆型)	2048 2048	2048 2048	2048 —	2048 —	2048 2048	2048 2048
记时器/个 (记忆型)	128 128	128 128	128 64	128 —	128 128	128 128
计数器/个 (记忆型)	128 128	128 128	128 128	128 —	128 128	128 128
输入/输出总和/点 数字量	512	1024/1024	1024/1024	1024/1008	1024/1024	1024/1024
模拟量	64/64	64/64	64/64	64/64	64/64	64/64
执行时间/ms 1024 条语句	1.6	1.6	1.6	1.6	0.8	0.8
典型用户程序 基本周期	10 —	10 —	15 40	15 60	5 —	1.5 —

表 3.2.35 数字量输入模块

型号	应用范围	输入点数	每组点数	输入电压/V	输入电流/mA	前连接器/点
420-7LA11	115U/H	32	—	24V DC	8.5	46
430-7LA12	115U/H/F	32	8	24V DC	8.5	46
431-7LA11	115U/H	16	4	24/48V AC/DC	8.5/10	24
432-7LA11	115U/H	16	4	48/60V AC/DC	9/10	24
434-4UA12	115U/H	32	32	5V(TTL)15V(CMOS)	0.1(TTL)0.3(CMOS)	42
434-7LA12	115U/H/F	8	1	24V DC	8.5	46
435-7LA11	115U/H	16	4	115V AC/DC	6(DC)10(AC)	24/46
435-7LB11	115U/H	16	2	115V AC/DC	6(DC)10(AC)	24/46
436-7LA11	115U/H	16	4	230V AC/DC	2.5(DC)15(AC)	24/46
436-7LB11	115U/H	16	2	230V AC/DC	2.5(DC)15(AC)	24/46
436-7LC11	115U/H/F	8	1	230V AC/DC	2.5(DC)15(AC)	24/46

表 3.2.36 模拟量输入模块

型 号	460-7LA12	465-7LA12	463-4UA12(50Hz) 463-4UB12(60Hz)	466-3LA11
应用范围 SS-	115U H/F	115U/H	115U/H/F	115U/H/F
电压/电流输入路数	8	16	4	16(单独),8(不同输入)
Pt100 输入路数	8	8	—	—
输入范围 (额定值)	(有量程卡) $\pm 12.5\text{mV}, \pm 50\text{mV}$ $\pm 500\text{mV}$ Pt100 $\pm 1\text{V}, \pm 5\text{V}, \pm 10\text{V}$ $\pm 20\text{mA}, +4 \sim 20\text{mA}$		(无量程卡) $\pm 12.5\text{mV}$ $0 \sim 12.5\text{mV}$ $0 \sim 1\text{V}$ $0 \sim 10\text{V}$ $0 \sim 20\text{mA}$ $4 \sim 20\text{mA}$	(无量程卡) $\pm 12.5\text{V}, \pm 2.5\text{V}$ $\pm 5\text{V}, \pm 10\text{V}$ $0 \sim 1.25\text{V}, 0 \sim 2.5\text{mV}$ $0 \sim 5\text{V}, 0 \sim 10\text{V}$ $1 \sim 5\text{V}, 0 \sim 20\text{mA}$ $4 \sim 20\text{mA}$
输入信号数字表示	12 位加符号位或 13 位二进制补码		11 位二进制补码	12 位加符号位 13 位二进制补码 或 12 位二进制码
编码时间 50Hz 60Hz	60ms 50ms		20ms 16 2/3ms	250 μs —
前连接器(点)	46		42	43

表 3.2.37 数字量输出模块

型 号	应用范围	输出点数	每组点数	供电电压	输出电流/A	短路保护	前连接器/点
441-7LA11	115U/H	32	—	24V DC	0.5	电子式	46
451-7LA11	115U/H/F	32	8	24V DC	0.5		46
453-7LA11	115U/F	16	8	24/48/60V DC	0.5		24/46
454-7LA11	115U/H/F	16	4	24V DC	2		24/46
454-7LB11	115U/H/F	8	1	24V DC	2	熔断器	24/46
455-7LA11	115U/H	16	2	48/115V AC	2		24/46
456-7LA11	115U/H	16	4	115/230V AC	1		24/46
456-7LB11	115U/H/F	8	1	115/230V AC	2		24/46
457-7LA11	115U/H	32	8	5/12/24V DC	0.1	无	46
458-7LA11	115U/H/F	16	1	24V DC	10W/0.5A ^①		46
458-7LB11	115U/H/F	8	1	24V DC	5A/250V AC ^① 1.5A/250V AC ^②		24/46
458-7LC11	115U/H/F	16	4	24V DC	5A/250V AC ^① 1.5A/250V AC ^②		24/46

① 表示电阻负载。

② 表示电感负载。

表 3.2.38 模拟量输出模块

型 号	470-7LA12	470-7LB12	470-7LC12
应用范围 SS	115U/H/F		
电压/电流输出路数	8		
输出范围(额定值)	$\pm 10\text{V}, 0 \sim 20\text{mA}$	$\pm 10\text{V}$	$+1 \sim 5\text{V}, 4 \sim 20\text{mA}$
输出信号数字表示	12 位二进制补码		
转换时间	1ms		
供电电压	24V DC(额定值)		
前连接器/点	46		

表 3.2.39 数字量输入/输出模块

型 号	482-7LAI1	482-7LF11	482-7LF21	482-7LF31
应用范围 S5-	115U/H/F	115U/H/F	115U/H/F	115U/H/F
输入点数	16	16	16	8
每组点数	8	8	8	—
输入电压/V DC	24	24	24	24
输入电流/mA	8.5	0.8	0.8	0.8
输出点数	16	16	16	8
每组点数	8	8	8	—
供电电压/V DC	24	24	24	24
输出电流/A	0.5	0.5	0.5	2.5
前连接器/点	46	46	46	46

表 3.2.40 智能输入/输出模块

名 称	型 号	电流消耗/A	需要风扇	名 称	型 号	电流消耗/A	需要风扇
计数和位置译码器	IP240	0.6	否	阀控制模块	IP245	0.2	是
数字位置译码器	IP241	1.0	是	定位模块 ^①	IP246	1.0	否
计数模块	IP242	0.9	否	定位模块 ^②	IP247	0.8	否
模拟量模块	IP243	0.6	否	闭环控制模块	IP252	2.3	否
温度控制模块	IP244	0.8	是	定位模块	WT625	1.6	是

① 用于伺服电动机。

② 用于步进电动机。

表 3.2.41 通信处理器

型 号	电流消耗/A	需要风扇	型 号	电流消耗/A	需要风扇
CP524	1.5	是	CP530	1.0	否
CP525	2.1	是	CP535	1.0	否
CP566	2.2	是			

表 3.2.42 接口模块技术指标

配置/传送方式	PC 型号 S5-	CC 连接的 IM	EU 连接的 IM			连接电缆
			ER 型号	EU 型号 ^①	IM 型号	
集中型 2.5m (非对称)	115U	IM305	ER701-0 ER701-1	—	IM305	0.5 ~ 1.5m
	115H/F	IM306	ER701-0 ER701-1		IM305	0.5 ~ 2.5m
分散型 200m (对称)	115U/H	IM301	ER701-2 ER701-3	—	IM310	1 ~ 200m
分散型 600m (对称)	115U/H/F	IM304	ER701-2	EU185U	IM314	1 ~ 600m
			ER701-3	EU186U	IM314	
			ER701-3H	—	IM314R	
分散型 3000m (串行)	115U/H	IM308	ER701-2	EU185U	IM318-3	对绞电缆
			ER701-3	EU186U	IM318-3	
			ET100U	—	IM318-8	
分散型 50 ~ 1500m (两接口模块间)	115U	IM307	ER701-2	—	IM317	光纤电缆
			ER701-3		IM307	
			ER701-3		IM307	

① 对 S5-135/155。

二、编程器 (PG)

S5 系列 PLC 可以使用小型手推式编程器 PG 605U 和 PG 615 进行程序的输入、测试和监控等。使用便携手提式屏幕编程器 PG635、PG730、PG750 和台式 PG770 等可进行在线或离线编程。这些编程器的性能如表 3.2.43 所示。

表 3.2.43 PG 编程器性能一览表

编程器 PG		605U	615	635	685	730	750	770	
应用范围 S5-		100U 101U 115U/F/H 110S	100U、110S 101U、130W 115U/F/H 135U、150A/K/S		100U 101U 115U/F/H 135U		155U/H 110S 130W 150A/K/S/U		
编程方式	多功能					·	·	·	
	在线	·	·	·	·	·	·	·	
	离线		×	·	·	·	·	·	
表示法	STL	·	·	·	·	·	·	·	
	CSF		·	·	·	·	·	·	
	LAD		·	·	·	·	·	·	
	GRAPH5(流程)			○	○	○	○	○	
程序输入	无条件操作数		·	·	·	·	·	·	
	符号操作数		·	·	·	·	·	·	
	有注释					·	·	·	
	初始化					·	·	·	
	立即操作数		·	·	·	·	·	·	
	插入、删除	·	·	·	·	·	·	·	
	比较	·	·	·	·	·	·	·	
	建立程序库存号			·	·	·	·	·	
	EPROM/EEPROM 子模块			on EPROM	·	·	·	·	·
	文件打印	STL	□	□	□	□	□	□	□
CSF				□	□	□	□	□	
LAD				□	□	□	□	□	
GRAPH5				□○	□○	□○	□○	□○	
指定目录			□	□	□	□	□	□	
相互参照表				□	□	□	□	□	
L/Q/F 参照表				□	□	□	□	□	
程序结构				□	□	□	□	□	
标题栏			□	□	□	□	□	□	
性能试验	信号状态扫描	·	·	·	·	·	·	·	
	强制 ON/OFF	·	·	·	·	·	·	·	
	查寻	·	·	·	·	·	·	·	
	GRAPH5 诊断			○	○	○	○	○	
附加程序设计方法	KOMDOK			□○	□○	□○	□○	□○	
	STL/分批编辑			○	○	○	○	○	
	PROOAVE					○	○	○	
	S5-C 编辑					○	○	○	
	柔性 OS 工具库					○	○	○	
	PG-NET/MS-NET			○/—	○/○	○/○	○/○	○/○	
	柔性 NET					·	·	·	
S5 工具库			○	○	○	○	○		
通信程序 (IP/CP)			○ COM535	○	○	○	○	○	
通信处理	SINEC H1			○	○	○	○	○	
	SINEC L2				○	○	○	○	
	ARCNET 界面			○	○	○	○	○	

续表

编程器 PG		605U	615	635	685	730	750	770
应用范围 SS-		100U 101U 115U/F/H 110S	100U、110S 101U、130W 115U/F/H 135U、150A/K/S		100U 101U 115U/F/H 135U		155U/H 110S 130W 150A/K/S/U	
使用个人计算机	AT 适用							
	实用设计方法				○	○	○	○
	附加监视器			○	○	○	○	○
	单色图示			○	○	○	○	○
	彩色图示					○	○	○
	外部驱动					○		
	EOP 驱动							
	SCSI							○
鼠标							○	

注：○表示可以；○表示可以但需另外软件或硬件；□表示需附加打印机；×表示需带 PG615 用电源及适配器。

第四节 欧姆龙可编程序控制器

日本欧姆龙(OMRON)公司 C 系列 PLC 机型众多,其小型 PLC 一般为整体式结构,大、中型 PLC 一般为模块式结构。除了表 3.2.44 中列出的一些机型外。目前又推出了一些 SYSMAC 系列新型产品,如超小型机 CPM1A 和 CQM1;大型机 CV 系列 CV500/CV1000/CV2000/CVM1;中型机 C200HS 和小型机 C60P、C60H、SP10/SP16/SP20。下面按超小型、小型、中型和大型四类机型分别作一简介。

表 3.2.44 欧姆龙 C 系列 PLC 性能指标

型号	C20	C20P	C28P	C40P	C60P	C20H	C28H	C40H	C120	C500	C200H	C1000H	C2000H
指标													
结构	整体式								模块式				
指令条数/条	27	37			130				68	145	174		
基本指令执行时间/ μ s	4~17.5				0.75~2.25			5~10	2.5~5	0.75~2.5	0.4~2.4		
编程方式	梯形图												
编程容量	1194 地址				2878 地址				2.2K 地址	6.6K 地址	7K 地址	32K 地址	
I/O 点数	16/12~80/60	12/8~64/56			12/8~96/64			256max	512max	384max	1024max	2048max	
T/C 定时/计数器/个	48	48 高速计数 1			512			128	512				
IR 内部继电器/个	136			3472				459	3536	2928	1904		
HR 保持继电器/个	160			1600				512	1600				
LR 链接继电器/个	无			1024				512	1024				
SR 特殊继电器/个	16			136			45	72	136				
TR 暂存继电器/个	8			8			8	无					
AR 辅助继电器/个	无			448				无	448				
DM 数据存储器/B	无	64			2000			512	1000	4096	6656		
输入量	开关量				开关量				开关量、模拟量				
输出方式	继电器 晶闸管 晶体管				继电器、晶闸管、晶体管				D/A				
工作电源	220V AC 或 24V DC				24V DC				220V AC				

一、超小型 PLC

欧姆龙 SYSMAC 系列超小型机有 CPM1A 和 CQM1 两种。其中, CPM1A 最适合在各种机器或控制柜上进行单机配套,其特点是:具备 10 点到 40 点的 CPU 单元与扩展 I/O 单元并用,可使 I/O 点数扩展到 100 点;编程环境与 CQM1 及 SYSMAC2 等上位机一致,依靠 SYSMAC 支持软件(中文版)进行编程,其操作环境也一致;可利用可编程终端进行编程,通过选择通信适配器可进行上位链接或 NT 链接,若与 PT 进行高速通信,就可利用

PT 直接从屏幕上对 CPM1A 编程,同时可靠性也得到了提高;袖珍型的机体汇集了各种功能,丰富的程序容量(用户存储器为 2048B,数据存储器为 1024B)及指令用语(基本指令 14 条,应用指令 77 条)使得复杂的控制也能轻松完成;可实现高速处理,高速处理 LD 命令仅需 $1.7\mu\text{s}$,MOV 命令仅需 $12.4\mu\text{s}$,即使程序容量增加也能进行高速扫描,而且由于具备了中断输入、脉冲锁存功能,对于不能扫描处理的高速脉冲也可相应地处理。

CQM1 适合小规模机器控制,其特点是:有众多型号 CPU 可供选择、丰富的特殊 I/O 单元、高速处理功能、内含 RS-232C 接口、方便地侧连接和组合、与 C 系列 PLC 兼容。有关技术指标如表 3.2.45 和表 3.2.46 所示。

表 3.2.45 一般规格

电源模组型式	CQM1-PA203 型	CQM1-PA206 型	CQM1-PD026 型
项目			
电源电压/周波数	100 ~ 240V AC 50/60Hz		24V DC
容许电压变动范围	85 ~ 264V AC		
消费电力	60VA 以下	120VA 以下	
电源输出容量	5V DC 3.6A	总共 30W 5V DC 6A 24V DC 0.5A	
绝缘阻抗	电源模组 AC 外部端子和 GR 端子间 20MΩ 以上 (在 DC500V Mega)		30W 5V DC: 6A
耐电压	电源模组 AC 外部端子和 GR 端子间 2300V AC 50/60Hz 1min, 漏电流 10mA 以下 电流模组 DC 外部端子和 GR 端子间 1000V AC 50/60Hz 1min, 漏电流 20mA 以下		
耐杂波	1500V P-P 脉波幅 100ns ~ 1s 的脉波 (根据杂波模拟器)		

表 3.2.46 性能规格

CPU 模组型式	CQM1-CPU11E/21E	CQM1-CPU41E/42E/43E/44E
项目		
输入/出点数	最大 128 点	最大 192 点
控制方式	储存程式方式	
输入/出控制方式	循环扫描方式/电晶体输出,中断处理	
程式语言	阶梯图方式	
指令长度	1 步骤/1 指令,1 ~ 4B/1 指令	
指令种类	118 种类(基本指令 14 种类,应用指令 104 种类)	
指令处理时间	基本指令 0.5 ~ 1.5μs(LD 指令:0.5μs, TIM 指令:1.5μs)应用指令数 10μs(MOV 指令:23.5μs)	
程式容量(内藏 RAM)	使用者程式记忆:3.2KB 资料记忆:1KB	使用者程式记忆:7.2KB 资料记忆:6KB
中断(interrupt)输入	4 点(IN0000 ~ 00003)	
停电保持功能	保持继电器(HR)、辅助继电器(AR)、计数(CNT)、资料记忆(DM)、计时(RTC)内容保持	
电池寿命	电池有效期间 5 年 没有通电时记忆时间因周围温度不同有差异 电池有异常时灯会亮,请在 1 周内更换(更换电池时间:5min 内)	
自己诊断功能	CPU 异常(WDT) 记忆复查、I/O BUS 检查、电池异常、上位 Link 异常、CPU BUS 异常	

二、小型 PLC

欧姆龙 C 系列小型 PLC 有 C20、C20P/C28P/C40P/C60P 和 C20H/C28H/C40H/C60H。其中, C20 可单独或作为集散系统部件来使用,其特点是:性能价格比高、RAM/ROM 兼容的 CPU。紧凑扁平设计、脱卸式端子块、与系列外设兼容。P 型机 C20P/C28P/C40P/C60P 能提供最灵活的 I/O 选择, I/O 容量为 20 ~ 120 点,其特点是:具位置控制功能,可在线调整定时器时间,能远程 I/O 控制,系统可扩展,与 C 系列外设兼容,可在线维护。H 型机 C20H/C28H/C40H/C60H 的特点是:内装 RS-232C 通讯接口,继承了 C200H 的强大功能,内含实时时钟,含有位置控制功能。

关于 H 型机的技术指标分别如表 3.2.47 和表 3.2.48 所示。

表 3.2.47 一般规格

项目	型号	C20H/C28H/C40H	C60H	项目	型号	C20H/C28H/C40H	C60H
电源电压		24V DC		抗干扰性		1000I _{DP} , 脉宽: 100ns ~ 1μs, 上升时间 1ns	
容许电压范围		20.4 ~ 26.4V DC		使用环境温度		0 ~ +55℃	
CPU装置耗电		20W 以下	25W 以下	使用环境湿度		35% ~ 85% RH(不结露)	
I/O装置耗电		20W 以下	25W 以下	保存环境温度		-20 ~ +65℃	
绝缘阻抗		20MΩ					

表 3.2.48 性能规格

项目	型号	C20P/C28P/C40P/C60P	项目	型号	C20P/C28P/C40P/C60P
控制方式		存储程序	Link 寄存器		1024 点
编程语言		梯形图方式	暂时记忆继电器		8 点 (TR0 ~ 7)
指令长度		每条指令一步, 每指令占 1 ~ 4B	数据存储器		2000 字 (DM0000 ~ DM0999 为读写, DM1000 ~ DM1999 为只读)
指令种类		142 种 (基本指令 12 种, 应用指令 130 种)	定时器/计数器		TIM、TIMH、CNT 合计 512 点
处理时间		0.75 ~ 2.25μs	高速计数器		1 点
程序容量		2878B	停电保持机能		保持继电器、辅助继电器、计数器、数据存储器内容
最大输入输出点数		240 点	电池寿命		25℃ 条件下为 5 年
内部辅助继电器		3472 点	自诊断机能		CPU 异常、I/O 异常、上位 LINK 错误、存储器异常、电池异常
特殊辅助继电器		136 点			
保持继电器		1600 点			

三、中型 PLC

欧姆龙 C 系列中型 PLC 有 C200HS、C200H。其中, C200HS 的特点是: 能实现高速处理, 与 C200H 模块共用, 具有高容量内存, 具更丰富的指令系统, CPU 含与上位机的通讯功能, 联网功能较强。有关技术指标如表 3.2.49 和表 3.2.50 所示。

表 3.2.49 通用规格

CPU 单元/I/O 电源单元型号	C200HS-CPU01/21/31	C200HS-CPU03/23/33	C200H-CPU21/22/31/PS21	C200H-CPU23/PS211
电源电压	100 ~ 120V AC/ 200 ~ 240V AC (可选择)50/60Hz	24V DC	100 ~ 120V AC/ 200 ~ 240V AC (可选择)50/60Hz	24V DC
允许电源电压变动范围	85 ~ 132V AC/ 170 ~ 264V AC	20.4 ~ 26.4V DC	85 ~ 132V AC/ 170 ~ 264V AC	20.4 ~ 26.4V DC
电力消耗	120VA 以下	40W 以下	120VA 以下	40W 以下
冲击电流	30A 以下			
电源输出容量	CPU 单元	C200HS-CPU01/21/31...5V DC 4.6A	C200H-CPU21...5V DC 4.6A(I/O 单元的实际供给容量 3.0A)	
		(I/O 单元的实际供给容量 3.9A)	C200H-CPU22...5V DC 2A(I/O 单元的实际供给容量 0.6A)	
		C200HS-CPU03/23/33...5V DC 3.0A	C200H-CPU23...5V DC 3A(I/O 单元的实际供给容量 0.6A)	
		(I/O 单元的实际供给容量 2.3A)	C200H-CPU31...5V DC 4.6A(I/O 单元的实际供给容量 3.0A)	
			C200H-CPU01/03...5V DC 3A(I/O 单元的实际供给容量 1.6A)	
			C200H-CPU02...5V DC 2A(I/O 单元的实际供给容量 0.6A)	
			C200H-CPU11...5V DC 3A(I/O 单元的实际供给容量 1.4A)	
I/O 扩展单元	C200H-PS221/211...5V DC 3.0A(I/O 单元的实际供给容量 2.7A)			

续表

CPU单元/I/O 电源单元型号 项目	C200HS- CPU01/21/31 C200H-PS221	C200HS- CPU03/23/33 C200H-PS211	C200H-CPU21/ 22/31/PS221 C200H-CPU01/02/11	C200H- CPU23/PS211 C200H-CPU03
24V DC 输出端子	24V DC +10% -20% 最大0.3A	无	24V DC +10% -20% 最大0.3A	无
抗干扰性	1,500V _{pp} , 脉宽:100ns~1μs, 上升时间:1ns 脉冲(仿真干扰)		1,000V _{pp} , 脉宽:100ns~1μs, 上升时间:1ns 脉冲(仿真干扰)	
耐振动	符合 JIS C091, 10~57Hz, 振幅 0.075mm 57~150Hz 加速 1G[9.8m/s ²] x, y, z 各方向 80min		10~35Hz 双振幅 1mm 2.5G[24.5m/s ²] x, y, z 各方向 2h DIN 导轨安装时, 16.7 双振幅 1mm 0.5G [4.9m/s ²] x, y, z 各方向 1h	
耐冲击	JIS C0912 标准, 15G[147m/s ²] x, y, z 各方向 3 次		10G[98m/s ²] x, y, z 各方向 3次	
使用周围温度	0~+55℃			
使用周围湿度	10%~90%RH(无结露)		35%~85%RH(无结露)	
使用周围气体环境	无腐蚀性气体			
保存周围温度	-20~+75℃(电池除外)		-20~+65℃	
接地	第3种接地			
构造	柜内装(IP30)			
质量	各设备共 6kg 以下			
外形尺寸	3槽用...260(W)×130(H)×118[143](D)mm 5槽用...330(W)×130(H)×118[143](D)mm 8槽用...435(W)×130(H)×118[143](D)mm 10槽用...505(W)×130(H)×118[143](D)mm		3槽用...260(W)×130(H)×118[143](D)mm 5槽用...330(W)×130(H)×118[143](D)mm 8槽用...435(W)×130(H)×118[143](D)mm 10槽用...505(W)×130(H)×118[143](D)mm	

表 3.2.50 性能规格

项目/机器名	C200HS	C200H
控制方式	存储程序方式	
输入输出控制方式	循环扫描方式和次处理方式可并用	
编程方式	梯形图	
命令语长	1步/1命令, 1~4B/1命令	
命令种类	基本命令 14, 应用命令 211种 CPU11/33 215种	145~172种(基本命令 12, 应用命令 133~160种)据 CPU 型号而不同
处理时间	基本命令 0.375~1.313μs, 应用命令数 10μs	基本命令 0.75~2.25μs, 应用命令 34~ 724μs
程序容量	最大 15.2KB	最大 6.974B(使用 8KB 容量存储器时)
	CPU 装置 I/O 扩展装置: 480 点(0000~02915)	
输入 输出 继电器	不使用右边单元 时, 可作普通的内部 继电器使用	多点输入/输出单元(2组): 320 点(03000~04915) 远程 I/O 子局装置上输入/输出单元: 800 点(05000~09915) 高功能 I/O 单元: 1600 点(10000~23115) 传送 I/O 单元: 512 点(20000~23115)
内部辅助继电器	最大 6688 点(03000~23515, 30000~51115)	最大 3296 点(03000~23515)
特殊辅助继电器	1016 点(23600~25507, 25600~19915)	312 点(23600~25507)
暂存继电器	8 点(TR0~7)	
保持继电器	1600 点(HR0000~9915)	
辅助记忆继电器	448 点(AR0000~2715)	
LINK 继电器	1024 点(LR0000~6315)	
计时器/计数器	512 点(TIM/CNT000~511)计时器 0~999.9s, 高速计时器 0~99.99s, 计数器 0~9999	

续表

项目/机器名		C200HS	C200H
数据存储器	可读/写	约 6KB	10000 字 (DM000 ~ 0999)
	只能读	0.5KB, 最大 3KB (DM7000 ~ 9999) 本 DM 区在 UM 上	1000 字 (DM0000 ~ 1999) 本 DM 区在存储器单元上
运行中输出信号		PLC 如果是在运行中, 内部继电器接点闭合最大通继能力: 250V AC/2A (电阻负荷) 250V AC/0.5A (感性负荷) 24V DC/2A	
停电保持功能		保持辅助继电器 (AR)、保持继电器 (HR)、计数器 (CNT)、数据存储器 (DM)、时钟、(RTC) 的内容	保持辅助继电器区 (AR)、保持继电器 (HR)、计数器 (CNT)、数据存储器 (DM) 的内容, 存储器保持时间据以下项目而有所不同
时钟功能		标准装备	CPU11/31 标准装备 CPU21/22/23 可配置附时钟功能的存储单元 CPU01/02/03 不能使用时钟功能
存储器后备时间		电池的寿命在 25℃ 时为 5 年, 环境温度高于上述值使用时, 寿命将缩短 电池异常显示 (ALARMLED) 闪烁后, 请在 1 周内更换电池, 电池更换请在 5min 以内完成	<ul style="list-style-type: none"> · RAM (电池后备) … 用户程序存储 (含时钟功能), CPU 单元内存储器 · EEP-ROM 单元 (附时钟功能) … 时钟功能 CPU 单元内存储器 · C200H-CPU31 … 用户程序存储器, CPU 单元内存储器 (含时钟功能)。电池的寿命在 25℃ 时为 5 年, 环境温度高于上述值使用时寿命将缩短。电池异常显示 (ALARMLED) 闪烁后, 请在 1 周内更换电池。电池更换请在 5min 内完成 <ul style="list-style-type: none"> · RAM 单元 (电容后备型) … 用户程序存储器, CPU 单元内存储器 · EP-ROM 单元 · EEP-ROM 单元 (无时钟功能) } 只是 CPU 单元内存储器 · PLC 电源 OFF 后保持 20 天 (环境温度 25℃)。环境温度如果高, 后备天数减少
自诊断功能		<ul style="list-style-type: none"> · CPU 异常 (警戒计时器) · 存储器异常 · I/O 总线异常 	<ul style="list-style-type: none"> · I/O 检查异常 · 电池异常 · 远程 I/O 异常 · 上位 LINK 异常 · 其他
程序检查功能		<ul style="list-style-type: none"> · 程序检查 (运行开始时进行常规检查) … 无 END 命令, 命令异常 · 可在其他的手持编程器及工厂智能终端 (FIT), 梯形图支持软件上进行程序检查, 可设置 3 段位检查。 	

四、大型 PLC

欧姆龙大型 PLC 有 C1000H/C2000H、CN500/CV1000/CV2000/CVM1。其中, C 系列 H 型机 C1000H/C2000H 具高速、高性能和高可靠性, 其特点是: 单机和双机系统 (C2000H); 双机运行时一个 CPU 激活, 另一个 CPU 热备份; 通过 FIT、LSS、SSS 和 GPC 可实现在线调整和监控; 安装带电插拔模块后, 可在线更换 I/O 单元 (C2000H); C500、C1000H、C2000H 间单元可互换。

CV 系列 PLC 适合大规模系统控制, 其特点是: 采用 SFC (顺序功能图) 语言, 结构化编程, 程序易读、易编、易调试; 高性能通讯网络, SYSMACNET, SYSMAC LINK 及 SYSMAC BUS/2; 使用 FINS (OMRON 通讯系统协议), 实现多层、远程编程及监控, 并行双 I/O 扩展系统, 长度可达 50m, 扩展单元地址可方便地设定; 高速; 大容量, 每千条指令扫描时间仅为 0.125 μ s, 数据区可达 256KB; 可通过 CV500-NET0.1 与 ETHERNET (以太网) 通讯。有关技术指标如表 3.2.51 至 3.2.53 所示。

表 3.2.51 CPU 单元规格

CPU 型号	CVM1-CPU01-EV1	CV500-CPU01-EV1	CVM1-CPU11-EV1	CV1000-CPU01-EV1	CV2000-CPU01-EV1
L/O 点	512		1024		2048
控制方法	存储程序				
L/O 控制方法	周期、程序、调度和过零刷新				
程序语言	梯形图	梯形图或 SFC + 梯形图	梯形图	梯形图或 SFC + 梯形图	
指令集	SFC 结构元素: 21 SFC 控制指令: 7 (总共 13 种变量)	SFC 结构元素: 21 SFC 控制指令: 7 (总共 13 种变量)	
	梯形图指令: 170 种指令 (基本 12 和特殊 158), 333 变量 (基本 32 条和特殊 301 条)				
执行时间	(基本指令) 0.15 ~ 0.45 μ s (特殊指令) 0.6 ~ 9.90 μ s		(基本指令) 0.125 ~ 0.375 μ s (特殊指令) 0.500 ~ 8.25 μ s		
内存容量	典型 30K 字 (16 位/字)			典型 62KB (16 位/B)	
SFC 步数	SFC 不支持	最大 512	SFC 不支持	最大 1024	
工作位	包扩 L/O 位共 40896 位 (字 0000 ~ 2555)				
暂时位	8 (TRO ~ TRT)				
CPU 总线链接位	4096 位 (字 C000 ~ G255)				
辅助位	8192 位 (字 A000 ~ A511)				
计时器	512 (T000 ~ T511)		1024 (T0000 ~ T1023)		
计数器	512 (C0000 ~ C0511)		1024 (C0000 ~ C1023)		
数据内存	8192B (D0000 ~ D8191)		24576B (D00000 ~ D24575)		
扩展数据内存					256KB
控制输入信号	STAR + 输入: 在 RUN 方式, 当输入是 ON, PC 运转, 当输入是 OFF 时, PC 保持。输入规格: 24 V DC, 10mA				
控制输出信号	RUN 输出: 在 PC 运转时, RUN 输出端是 ON (闭合) 最大开关容量: 250V AC/2A (电阻负载, $\cos\phi = 1$) 250V AC/0.5A (电感负载 $\cos\phi = 0.4$), 24V DC/2A				
自诊断	CPU 故障 (警戒计时器), L/O 核实错误, L/O 总线错误, 内存故障, 远程 L/O 错误, 电池错误, 链接错误或特殊 L/O 单元/CPU 总线单元错误				

表 3.2.52 SYSMAC NET 网络单元通讯规格

项 目	规 格	项 目	规 格
方法	N: N 令牌网	连接器	全部或半锁定型光缆连接器
代码	曼彻斯特码	网络服务功能	数据报文服务及数据连接
调制方式	基带调制	链路数据字	最大 3584B (L/O 区 + DM 区)
传输路径	环状	RAS 功能 (可靠性、有效性、安全性)	① 自动网络复位
波特率	2Mbps		② 节点旁路 (使用电源)
传输距离	两节点间: 800m, 若用倍增器两个点间可达 10km		③ 节点间测试
网络结点数	最大 127 个 (含网络服务器)		④ 看门狗计时器
传输线缆	2 芯光缆 (H-PCF)		⑤ 错误检测 (CRC-CCITT)
			⑥ 故障记录

表 3.2.53 SYSMAC LINK 网络单元通讯规格

项 目	规 格	
型号	CV500-SLK21 (电缆)	CV500-SLK11 (光缆)
方法	N: N 令牌总线	
传输路径	总线	菊花链
波特率	2Mbps	
传输距离	总计 1km	节点间 800m, 共计 10km

项 目	规 格	
传输线缆	同轴电缆 (SC-2V)	2 芯光缆 (H-PCF)
网络节点数	最大 62 个	
连接器	BNC 连接器	全部或半锁定型光缆连接器
网络服务	数据链路及信息服务	
数据字	最大 2966B (在 I/O 区 + DM 区)	
传息长度	最大 542 位 (不含报头)	
传送缓冲区容量	1 个信息	
接收缓冲区容量	2 个信息	
RAS 功能 (可靠性、有效性、安全性)	① 发放单元自动备份 ② 自诊断 (节点间测试) ③ 节点旁路 (光纤系统, 使用电源) ④ 看门狗计时器 ⑤ 错误检测 (CRC-CCITT) ⑥ 故障记录	

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第四篇 传感器简介

第一章 传感器的基本概念

传感器是感受被测量，按一定规律将其转换成相应的同种或另一种量输出的器件或装置。

在科学研究、工农业生产和日常生活中，人们得到的信息绝大多数是非电量信息，如机械量（位移、尺寸、力、振动、速度等）、热工量（温度、压力、流量、物位等）、成分量（化学成分、浓度等）和状态量（颜色、透明度、磨损量、裂纹等），通过传感器能将各种非电量变换成便于传输、转换、处理和定量运算的电信号。

第一节 传感器的组成及分类

一、传感器的组成

传感器一般是由敏感元件、转换元件和转换电路等三部分组成。如图 4.1.1 的框图所示。

敏感元件：直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的其他量的元件。被测非电量并非都能一次直接转换为电量，往往是将其预先转换为另一种易于转换成电量的非电量，然后再转换为电量。敏感元件又被称为预变换器。例如传感器中各种类型的弹性元件就是敏感元件。

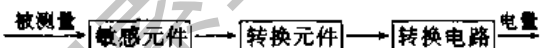


图 4.1.1 传感器组成框图

转换元件：将敏感元件输出的量转换为电参量（电压、电阻、电感、电容等）的元件。例如电阻应变片、霍尔元件等。

转换电路：一般是指将电参量转换成电量（电压、电流、频率等）的电路。转换电路起转换输出信号的作用，常见的有弱信号放大器、电桥、振荡器和阻抗变换器等，常与敏感元件、转换元件组装在一起。

以上划分在实际的传感器中并无严格的界限，最简单的传感器只由一个敏感元件（兼转换元件）组成，它将感受的被测量直接转换为电量输出，如热电偶传感器。有的传感器其敏感元件和转换元件合为一体，如电容式压力传感器。带转换电路的传感器，其转换电路可以与敏感元件、转换元件组装在一起，也可根据需要将其装在外部的电路箱中。

二、传感器的分类

传感器本身种类繁多，分类方法也很多，有的传感器可适用于不同参数的测量，而对于同一被测量又可用多种不同类型的传感器进行测量。常见的分类方法有表 4.1.1 所列几种。

表 4.1.1 传感器的分类

分类方法	传感器的种类	说明
按输入量分类	位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等	传感器以被测物理量命名
按工作原理分类	应变式、电容式、电感式、压电式、热电式等	传感器以工作原理命名
按物理现象分类	结构型传感器	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换
	物性型传感器	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换

第二节 传感器的名词术语

一、传感器的命名

传感器的命名一般按其工作原理和被测量种类综合考虑，称××式××传感器。

前面的××表示转换元件（将非电量转换为电参量）的名称，也是指工作原理的种类，如电阻式、霍尔式等。后面的××表示传感器的用途，即是指传感器感受的被测量的种类，如位移、压力等。常见的压电式压力传感器、电容式液位传感器等属于这类经典传感器的命名方法。

二、传感器的性能术语

传感器的质量优劣，一般通过若干个主要性能指标来表示。

1. 测量范围

测量范围是指测量上限和测量下限之间的区间。例如有一温度传感器的测量下限是 -50°C ，测量上限是 $+100^{\circ}\text{C}$ ，这个传感器的测量范围为 $-50\sim+100^{\circ}\text{C}$ 。

2. 量程

量程是指测量上限和下限的代数差。上例中传感器的量程为 $100 - (-50) = 150(^{\circ}\text{C})$ 。

3. 灵敏度

灵敏度是传感器输出量的变化值与相应的被测量的变化值之比。换言之，它是反映传感器对被测量变化的灵敏程度。

4. 精确度（简称精度）

精确度是指传感器的测量值与被测量（约定真值）的一致程度。

精确度常用精度等级表示，按国家统一规定，精度等级有0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5和5级。数字越小，表示该传感器的基本误差越小。

5. 非线性（线性度）

非线性是指校准曲线对理想拟合直线的接近程度。

6. 迟滞（变差、回差）

迟滞是传感器在正（输入量增加）、反（输入量减小）行程中，输入输出曲线的不重合度。一般它是由于传感器内某些元件因分子内摩擦、间隙及弹性性能等原因造成。

7. 重复性

重复性指传感器按同一方向多次重复输入同一输入量，对应的输出值间的相互一致程度。输出值彼此接近并趋于一致，重复性就好，相反其输出值分散性较大，重复性不好。

8. 稳定度

稳定度是指在规定的条件下，传感器在较长时间内性能保持不变的程度，常指非线性、迟滞和重复性等指标。

9. 漂移

漂移是指在规定的条件下，对应一定的输入，一定时间内输出量的变化量。

零点漂移：当输入量为零时，输出量的漂移。

满量程漂移：当输入量为满量程时，输出量的漂移。

零点温度漂移：在规定的温度范围内，输入量为零时，因温度变化引起的输出量的漂移。

10. 阈值和分辨力

阈值是指输入从零开始增加，能引起传感器输出的最小输入量。

分辨力是指输入从非零的任意值增加，可观察到输出量变化的最小输入增量。

分辨力与阈值的差异在于分辨力说明传感器可测出的最小输入增量，而阈值则说明了传感器可测出的最小输入量。一般来讲，阈值大的传感器，其迟滞必然大，但分辨力未必差。

11. 频率响应

频率响应是指保证传感器能够在规定的性能指标下工作的最高频率。传感器频率响应好，说明其能适应快速变化的被测量的测量。

12. 响应时间

响应时间是指输入量为一阶跃值时，传感器输出值有一个过渡过程，经过一定的时间输出值才稳定下来，这一时间称为响应时间。具有良好频率响应的传感器，其响应时间也短。

第二章 电阻式传感器

电阻式传感器是将被测量转换成电阻变化的一种传感器。

常见的电阻式传感器有三类，即电位器式传感器、电阻应变式传感器和热电阻传感器。

第一节 电位器式传感器

电位器式传感器有线绕式和非线绕式。它可用于测量线位移、角位移、压力和加速度等。

一、线绕式电位器

常见线绕式电位器的结构原理如图 4.2.1 所示。它们是由均匀线绕电阻及电刷两个基本部分组成。通过被测量改变电阻丝的长度，即移动电刷位置，就可实现位移与电阻间的线性转换。在电阻丝 a、b 两端加一稳定电压，则 c、b 端输出电压与电刷滑动位置成对应关系。

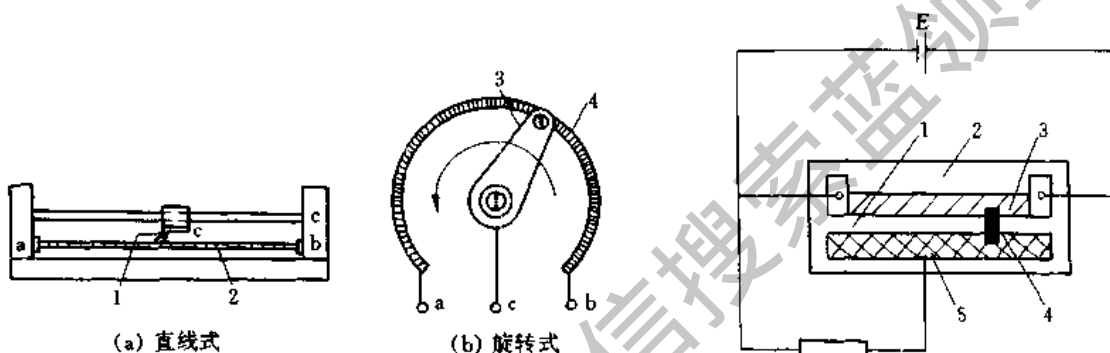


图 4.2.1 线绕式电位器

1、3—电刷；2—电阻丝；4—线绕电阻

图 4.2.2 光电电位器结构示意图

1—光电导层；2—基体；3—电阻带；4—窄光束；5—集电极

线绕式电位器有如下特点：①工艺结构比较简单，成本低；②稳定性好，线性好；③输出电压信号大，灵敏度高；④分辨力低，存在阶梯误差；⑤存在摩擦，寿命较短，电噪声大。

二、非线绕式电位器

常见的非线绕式电位器有金属膜、导电塑料、导电玻璃釉及光电电位器等。它们具有尺寸小、重量轻、耐磨性好、寿命长、分辨力较高等优点，但它们的缺点是温度稳定性、精确度较差。

光电电位器是以光束代替常规的电刷，是一种无接触式的非线绕式电位器。其结构如图 4.2.2 所示。它以氧化铝作基体，在其上有一条金属膜电阻带和一条高传导金属集电带，在电阻带与集电极间的窄间隙上沉积一层硫化镉或硒化镉光电导体。当窄光束在光电导层上照射时，使电阻带和集电极导通，在负载电阻上便有输出电压，输出电压大小取决于窄光束的位置。

第二节 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是以电阻应变片和弹性元件将应变或应力转换为电阻变化进行测量的传感器。它具有测量精度高、动态响应好等优点，广泛应用于应变、荷重、压力和加速度等机械量的测量中。

一、工作原理和结构形式

电阻应变片的工作原理是基于导体或半导体在承受机械变形时，其电阻值将相应地产生变化，即应变-电阻效应。在测试时，将应变片粘贴在被测试件（弹性材料）的表面，随着试件受力变形引起应变片电阻值的变化，通过测量应变片阻值的变化，即可得知被测机械量的大小。

对于金属丝（电阻丝）材料，其电阻 R 可用下式表示：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ ——电阻丝的电阻率, $\Omega \cdot m$;
 l ——电阻丝的长度, m ;
 S ——电阻丝的截面积, m^2 。

如果沿整条电阻丝长度作用均匀应力, 其几何尺寸和电阻率都将产生变化, 电阻的相对变化可表示为:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

电阻丝的应变灵敏度系数 (K) 为:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{\Delta \rho/\rho}{\epsilon}$$

式中 μ ——材料的泊松系数;
 ϵ ——应变 ($\Delta l/l$)。

对于半导体材料, 沿其晶轴方向施加应力 σ 时, 其电阻率产生相应的变化, 其变化率为:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \pi \sigma = \pi E \epsilon$$

式中 π ——半导体的压阻系数;
 E ——杨氏弹性模数。

半导体的应变灵敏度系数为:

$$K = (1 + 2\mu) + \pi E$$

对于半导体应变片来说, 由于应变引起能带结构发生变化, 电阻率本身的变化比因几何尺寸变化而引起的电阻变化要大得多, 半导体这种电阻率随压力变化的现象也称之为压阻效应。对于电阻丝, 主要依赖几何尺寸变化来产生应变效应, 而电阻率几乎没有变化。

常用的金属电阻应变片结构形式有丝式 (图 4.2.3) 和箔式 (图 4.2.4) 两种。图 4.2.4 为箔式应变片。

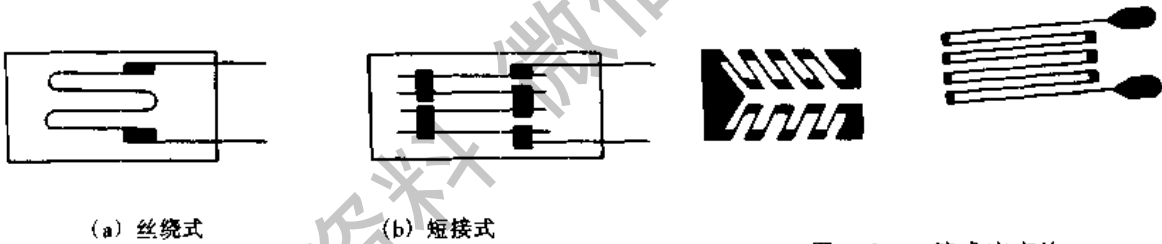


图 4.2.3 丝式应变片

图 4.2.4 箔式应变片

半导体应变片最简单的典型结构如图 4.2.5。与金属电阻应变片相比, 它的突出优点是灵敏度高, 动态性能好, 缺点是稳定性差, 非线性误差大。

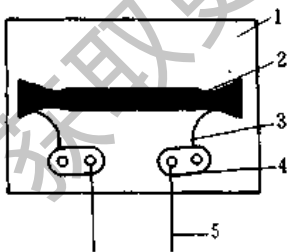


图 4.2.5 半导体应变片
 1—胶膜衬底; 2—P-Si; 3—内引线;
 4—焊接板; 5—外引线

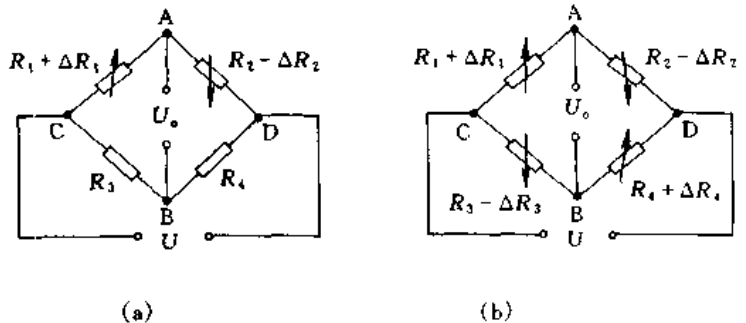
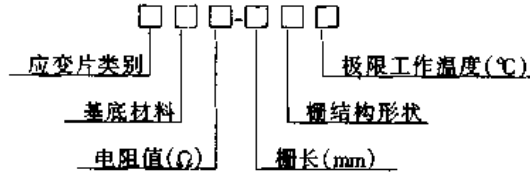


图 4.2.6 差动电桥电路

电阻应变片的电阻变化通常采用电桥电路转换为电压输出。考虑应变片的非线性及温度变化特性, 一般将电桥接成差动式, 即用相同温度系数的两片或四片应变片组成差动电桥电路 (图 4.2.6), 以有效地进行非线性误差及温度补偿。

二、应变片型号命名规则



应变片类别：S——丝式；B——箔式；D——短接式；T——特殊用途式；A——半导体式。

基底材料：A——聚酰亚胺；H——环氧树脂；E——缩醛类胶；F——酚醛树脂；J——聚酯类胶；Z——纸基；Q——纸浸胶；B——玻璃纤维布浸胶；P——金属薄片；Y——有机硅树脂；L——临时基底。

栅结构形状：AA——水平单轴，测可知主应变力方向的应变；AB——45°单轴，测剪切应变；BA——二轴90°，测已知主应变力方向的两垂直方向上的应变；等等。

极限工作温度：常温——-30 ~ +60℃（常省略）；中温——+60 ~ +350℃；高温——>350℃；低温——<-30℃。

例如，BJ 350-10BA150 型应变片表示箔式聚酯树脂基底，中温二轴应变片，栅长 10mm，电阻值 350Ω。

三、电阻应变式传感器的应用

电阻应变式传感器通常由弹性敏感元件和应变片两部分组成。弹性元件在被测量的作用下产生一个与被测量成正比的应变，应变片感受应变将其转换为电阻变化。

图 4.2.7 是应变式力传感器原理图。测力传感器的弹性元件可制成柱式 (a)、环式 (b)、板式 (c) 和梁式 (d) 等，适用于不同载荷量的测量，多个应变片粘贴在弹性体上，便于组成补偿式电桥电路。

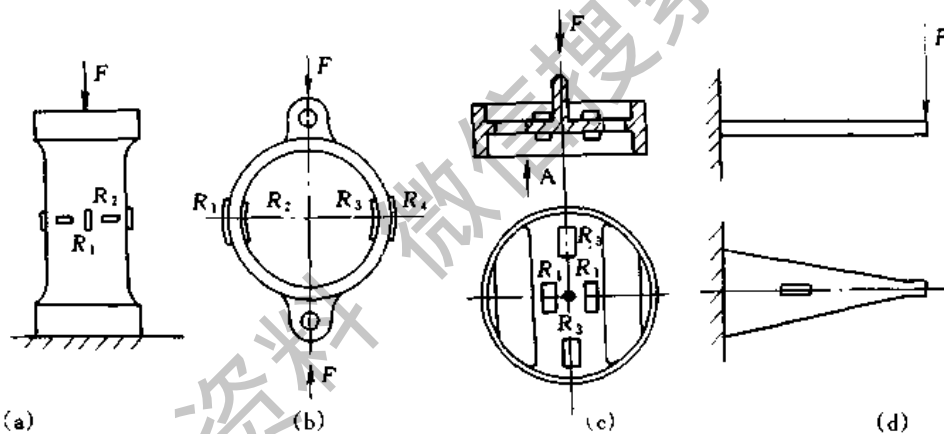


图 4.2.7 应变式力传感器原理图

第三节 热电阻传感器

热电阻传感器是利用导体或半导体电阻随温度变化的特性制成，主要用于温度的测量。按热电阻材料分有金属热电阻（热电阻）和半导体热电阻（热敏电阻）两种类型。

一、常用热电阻和基本技术特性

1. 热电阻

热电阻常用纯金属材料制成，应用最多的为铂和铜。

(1) 铂电阻 铂是一种贵金属，因为它具有稳定的物理化学性能、易提纯、工艺性好等一系列优点，被用作热电阻的材料。

在 0 ~ 630℃ 范围内，铂电阻与温度的关系可用下式表示：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

在 -190 ~ 0℃ 范围内用下式表示：

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^3 + Dt^4)$$

式中 R_t ——温度为 t 时的电阻值；

R_0 ——温度为 0℃ 时的电阻值；

A、B、C、D——常数，其中 $A = 3.968 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ ； $B = -5.87 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$ ； $C = 4.22 \times 10^{-10}/^{\circ}\text{C}^3$ ； $D = -4.22 \times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^4$ 。

根据上述关系，列出电阻 - 温度关系表格即铂电阻分度表，可供使用时查阅。目前国内工业用标准铂电阻有 100Ω 和 10Ω 两种，分度号分别用 Pt100 和 Pt10 表示。铂的纯度以 R_{100}/R_0 来表示， R_{100} 代表在 100℃ 时铂电阻的电阻值， R_0 代表在 0℃ 时铂电阻的电阻值。常用热电阻的基本技术特性见表 4.2.1。

表 4.2.1 热电阻的基本技术特性

热电阻名称	分度号	0℃阻值 R_0/Ω	温度测量范围/℃	R_0 允许误差/%	R_{100}/R_0 及允许误差
铂电阻 (WZP)	Pt10	10	0 ~ 650	±0.01	1.391 ± 0.001
	Pt100	100	-200 ~ 650	±0.1	1.391 ± 0.001
铜电阻 (WZC)	Cu50	50	-50 ~ 150	±0.1	1.425 ± 0.002
	Cu100	100	-50 ~ 150	±0.1	1.425 ± 0.002

(2) 铜电阻 铂的价格较贵，在一些测量精度要求不高且测温范围较小的场合，常采用铜电阻。在 -50 ~ 150℃ 温度范围内，铜的电阻与温度呈线性关系：

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

式中 α 为电阻温度系数 ($4.25 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$)。

铜电阻与温度的关系可制成铜电阻分度表，便于使用时直接查表。由于在高温状况下铜容易被氧化，因此它只能在低温及没有侵蚀性介质中工作，它的工作上限一般不超过 150℃。

一般工业用热电阻的结构如图 4.2.8 所示。

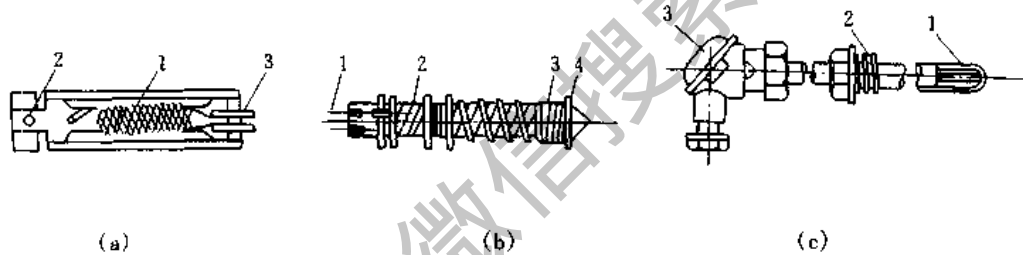


图 4.2.8 热电阻的结构示意图

- (a) 铂热电阻敏感元件： 1—铂热电阻丝；2—铜铆钉；3—银导线
- (b) 铜热电阻敏感元件： 1—铜导线；2—补偿绕组或引线；3—铜电阻丝；4—塑料骨架
- (c) 普通热电阻外形结构： 1—热敏电阻；2—固定螺丝；3—接线盒

2. 热敏电阻

热敏电阻通常采用金属氧化物材料，制成半导体热敏电阻。按其性能可分为三类：负温度系数 NTC 热敏电阻、正温度系数 PTC 热敏电阻和临界温度系数 CTR 热敏电阻。在实际应用中，因 PTC 和 CTR 热敏电阻在一定温度范围内，阻值将随温度而剧烈变化，常用作温度开关元件。在温度测量中，则主要采用 NTC 热敏电阻。

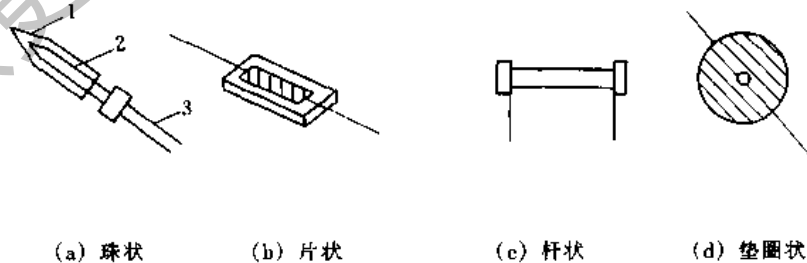


图 4.2.9 热敏电阻的不同形式

1—热敏电阻；2—玻璃壳；3—引线

热敏电阻的结构形式可根据使用的要求不同做成如图 4.2.9 所示的各种形状，然后用树脂或玻璃封装。

半导体热敏电阻灵敏度高，体积小，热惯性小，所以非常适用于快速测量、点温测量及表面温度测量，测温范围可达 -50 ~ 1000℃。此外，热敏电阻还具有结构简单、寿命长等优点。但热敏电阻存在着严重的非线性，因此为保证测量精度要求，在测量电路中需考虑非线性补偿。

二、热电阻的校验

校验热电阻的接线如图 4.2.10 所示。

校验时需准备下列设备和装置：标准玻璃温度计一套；加热恒温器一套（-50~650℃）；标准电阻（10 或 100Ω）一个；电位差计一台；毫安表一只；分压器和切换开关各一个。

校验步骤如下：

① 将热电阻置于恒温器内，使其达到被校验温度并保持恒温，然后调节分压器使毫安表指示约为 4mA（电流不可过大，否则会引起热电阻过热，影响测量精度）。

② 将切换开关投向标准电阻 R_0 端，读电位差计示值 u_s ；再立即将切换开关投向被校验热电阻 R_1 端，读出电位差计示值 u_1 。

③ 按 $R_1 = R_0 u_1 / u_s$ 公式计算 R_1 。在同一校准点反复测量数次，取平均值，查相应分度表核对，看其是否超差。

④ 再取几点测量（一般取量程的 10%、50% 和 90%），重复①、②、③步骤，则此热电阻校验完成。

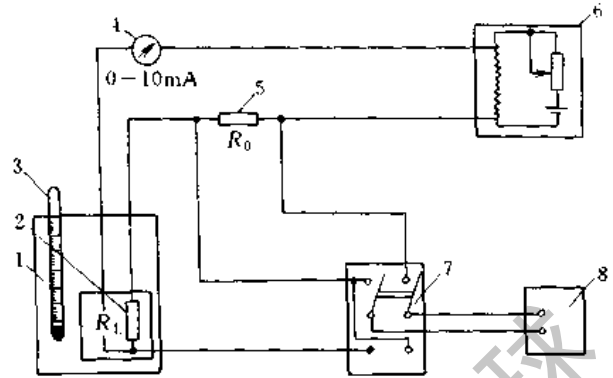


图 4.2.10 校验热电阻的接线

1—加热恒温器；2—被校验电阻体；3—标准温度计；4—毫安表；
5—标准电阻；6—分压器；7—双刀双掷切换开关；8—电位差计

获取更多资料

第三章 电容式传感器

电容式传感器是将被测量转换成电容变化的传感器，可用于位移、角度、振动、厚度、压力、物位等参数的测量。

第一节 工作原理及类型

电容式传感器实际上是一个具有可变参数的电容器，其基本工作原理可用平板电容器来说明。在不考虑边界效应时，其电容量为：

$$C = \frac{\epsilon S}{\delta} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{\delta}$$

式中 ϵ ——极板间介质的介电常数；

ϵ_r ——极板间介质的相对介电常数；

ϵ_0 ——真空介电常数， $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ ；

S ——极板间相对有效面积， m^2 ；

δ ——两极板间的距离， m 。

由上式可知，平板电容器的电容量的大小由 ϵ 、 S 、 δ 三个参数确定，在实际应用时，常保持三个参数中的两个不变，而通过被测量改变其中一个参数使电容量发生变化，这就是电容式传感器的工作原理。

根据改变电容量方法的不同，电容式传感器有三种类型：变间隙式（变 δ ）、变面积式（变 S ）和变介电常数式（变 ϵ ）。

常见电容式传感器的原理结构如图 4.3.1 所示。

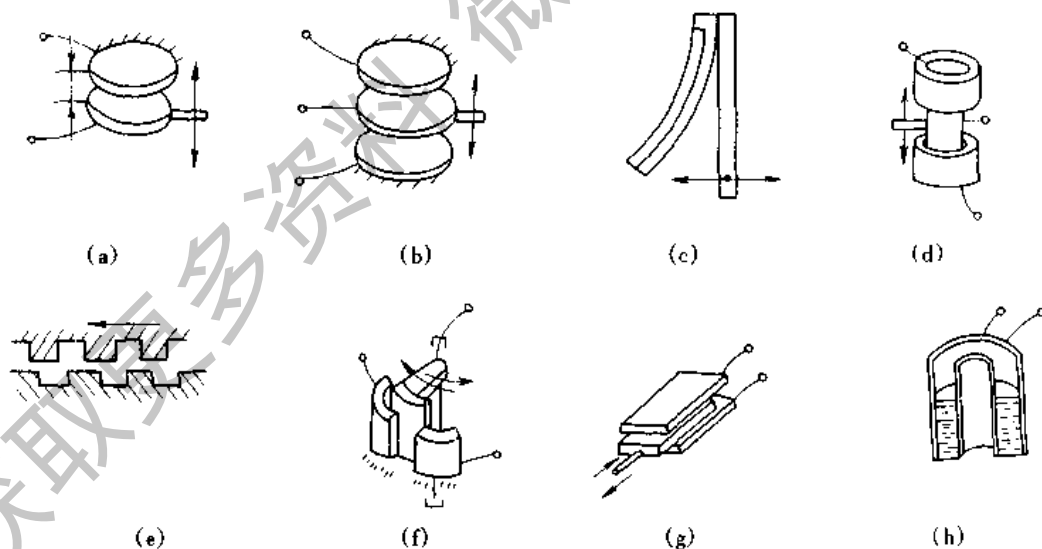


图 4.3.1 几种不同的电容式传感器的原理结构图

第二节 电容式传感器的特点及应用

电容式传感器的主要特点是：①所需的动作能量小而灵敏度高，特别适用于微输入测量；②测量精确度高，因内部几乎不存在摩擦，本身也不消耗能量，因而可减少误差影响；③动态响应特性好，具有较小的可动质量，因而有较高的固有频率；④结构简单，工作环境适应性强。多数采用玻璃、石英或陶瓷作绝缘支架，因而可在高温、低温或辐射等恶劣条件下工作。

图 4.3.2 是一种差动式电容压力传感器的结构原理图。该传感器的金属动膜片与两个镀金的玻璃圆片组成

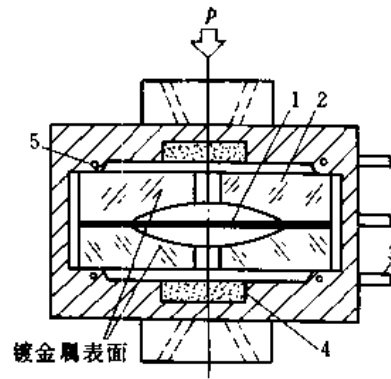


图 4.3.2 差动式电容压力传感器

1—膜片（动电极）；2—凹玻璃圆片（镀金定电极）；3—接线柱；
4—过滤器；5—保护环

差动电容。在压力作用下，膜片向下凹，从而使电容量发生变化。当过载时，膜片受到凹曲的玻璃表面保护而不致损坏。这种传感器有很高的分辨力，可以测量 $0 \sim 0.75\text{Pa}$ 的微小压力，响应时间为 100ms 。

获取更多资料 微信搜索 蓝星星球

第四章 电感式传感器

电感式传感器是将被测量转换成线圈的自感或互感变化的传感器。按电感变化的方式，可分为两大类，即自感式（常称电感式）和互感式（常称差动变压器）。电感式传感器可以测量位移、振动、压力、应变、流量等参数。其优点是结构简单，工作可靠，测量范围广，灵敏度高。缺点是频率响应较差。

第一节 电感式传感器工作原理

电感式传感器的工作原理是基于铁芯线圈的电感计算公式。铁芯线圈如图 4.4.1。

线圈电感为：

$$L = \frac{W^2 \cdot \mu_0 \cdot A_0}{2\delta}$$

式中 W ——线圈匝数；
 μ_0 ——空气隙的磁导率，H/m；
 A_0 ——空气隙的导磁横截面， m^2 ；
 δ ——气隙长度，m。

由上式可知， A_0 和 δ 是可变参数，如通过被测量改变 A_0 和 δ ，则可实现被测量与电感间的转换。

常见的电感式传感器可分为三种类型，如图 4.4.2 所示。(a) 为变间隙式 (δ 变)，(b) 为变截面式 (变 A_0)，(c) 为螺管式 (变 δ 和 A_0)。

上述电感式传感器在实际使用中，为减小外界干扰影响，如环境温度变化、外磁场干扰、电源电压和频率波动等，克服铁芯和衔铁之间存在的较大电磁吸力，提高灵敏度，常采用差动形式。如图 4.4.3 所示。

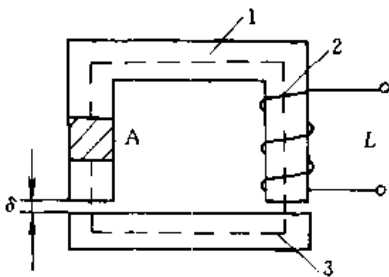
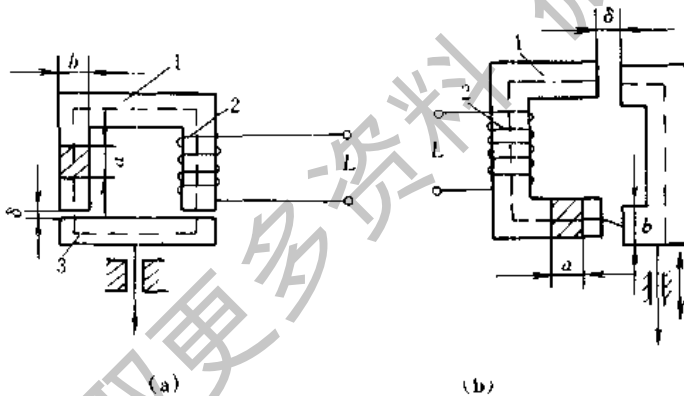


图 4.4.1 铁芯线圈

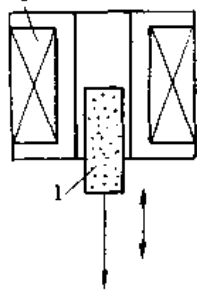
1—铁芯；2—线圈；3—衔铁

存在的较大电磁吸力，提高灵敏度，常采用差动形式。如图 4.4.3 所示。



(a)

(b)



(c)

图 4.4.2 电感式传感器

1—铁芯；2—线圈；3—衔铁

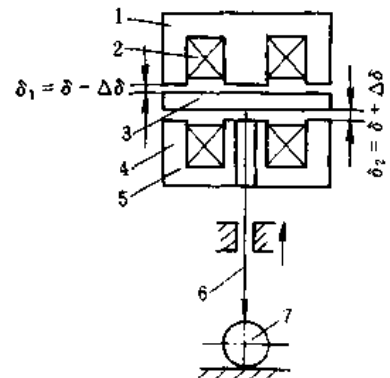


图 4.4.3 差动变间隙式电感传感器

1—上铁芯；2—上线圈；3—衔铁；4—下铁芯；

5—下线圈；6—测杆；7—工件

第二节 差动变压器式传感器

在差动电感式传感器的基础上增加一个初级线圈，即构成变压器式电感传感器，常简称差动变压器。如图 4.4.4 所示。

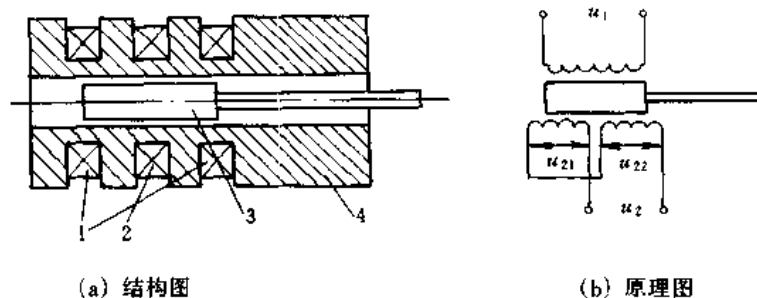


图 4.4.4 差动变压器

1—次级线圈；2—初级线圈；3—铁芯；4—绝缘框架

差动变压器主要由线框和铁芯组成。线框上绕有一初级线圈和两组次级线圈。在初级线圈加以适当频率的电压激励时，两个次级线圈中就会产生感应电势。当铁芯处于线圈中心位置时，两次级线圈感应电势大小相等，方向相反，输出为零。当铁芯偏离中心位置时，引起次级线圈的互感发生变化，两次级线圈感应电势大小不相等，有输出。差动变压器常用的测量范围为 $\pm 0.5 \sim \pm 75\text{mm}$ ，分辨力优于 $1\mu\text{m}$ ，其灵敏度比差动电感式高，可达 $50 \sim 1500 \text{mV}/(\text{mm}\cdot\text{V})$ 。

图 4.4.5 为带差动变压器的沉筒式液位计的原理示意图。沉筒 1 由浮力段和固定段两部分组成，为适应不同介质和量程，可调换浮力段来实现。由于液位的变化，沉筒所受浮力发生变化，通过测量弹簧 2 线性地转换为衔铁 4 的位移，衔铁位移由差动变压器转换为输出电压的变化。输出电压的大小就反映了液位的变化。

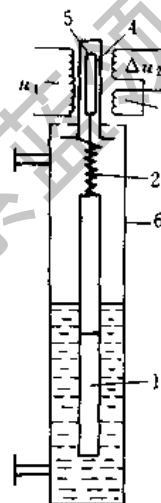


图 4.4.5 带差动变压器的沉筒式液位计示意图

1—沉筒；2—测量弹簧；3—线圈；4—衔铁；
5—密封隔离管；6—沉筒室壳体

第五章 电涡流式传感器

电涡流式传感器是利用电涡流效应将被测量转换为电参量变化的一种传感器。其显著的特点是可以实现非接触测量，同时还具有结构简单、频率响应宽、灵敏度高、测量线性范围大、体积较小等一些特点，它可以测量振动、位移、厚度、转速、温度、硬度等参数，还可进行无损探伤，是一种有发展前途的传感器。

第一节 工作原理

当金属导体中的磁通发生变化时，就会在导体中产生感应电流，此电流的流线在金属导体内是闭合的，称之为电涡流。

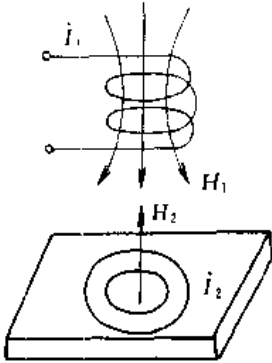


图 4.5.1 电涡流式传感器基本原理示意图

如图 4.5.1 所示，当交变电流输入传感器激磁线圈时，线圈便产生交变磁场，在磁场作用下，靠近线圈的金属板感应出与线圈轴线同心的涡流，而涡流又产生一个新磁场，与线圈产生的磁场方向相反，因而抵消部分原磁场，从而影响传感器线圈的电感量和阻抗，影响的大小显然与电涡流有关。涡流的大小与金属导体的电阻率、磁导率、厚度、线圈与金属导体的距离以及线圈激磁电流的角频率等参量有关。固定其中某些参数，就能按涡流大小测量出另外一些参数。

测量涡流大小变化，需要再进行一次变换，一般有三种方式。第一种是用交流电桥测定传感器等效阻抗的变化；第二种是利用谐振电路测量传感器等效电感量的变化；第三种是测定传感器等效品质因素 Q 值的变化。

第二节 电涡流式传感器的应用

电涡流式转速传感器原理框图如图 4.5.2 所示。在待测轴上开一键槽，靠近轴表面安装电涡流传感器，轴转动时便能检测出传感器与轴表面的间隙变化，从而得到跟转速成正比的脉冲频率信号，来自传感器的脉冲信号经放大和整形后，即由频率计指示频率值。若轴转到图中所示位置，间隙变化 Δd 引起传感器线圈的电感改变 ΔL ，振荡器的电压幅值和振荡频率同时改变。峰值包络检波器检测出电压幅值的改变值 ΔV ，然后通过跟随器和整形电路输出脉冲信号 f_n ， f_n 接至频率计即可指示出频率值，接至转速表即可指示转速。

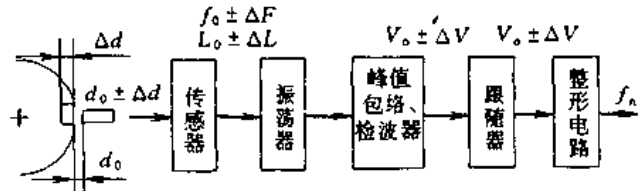


图 4.5.2 电涡流式转速传感器的原理方框图

第六章 磁电式传感器

磁电式传感器是利用电磁感应原理将非电量转换成感应电势输出的传感器。它的工作不需要电源，而是直接从被测物体吸收机械能量并转换成电信号输出，是一种能量变换型（发电型）传感器，也被称为感应式传感器、电动式传感器。磁电式传感器只能用于动态测量，通常用来测量物体的振动速度或转速。

第一节 工作原理

图 4.6.1 所示是磁电式传感器工作原理图。根据电磁感应定律，当穿过 N 匝线圈中的磁通量 Φ 发生变化时，在线圈引出线的两端将产生感应电势 u ，其值为：

$$u = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

在电磁感应中关键的变量是磁通量 Φ ，使 Φ 产生变化通常有两种方式：① 磁铁与线圈之间作相对运动，如图 4.6.1 (a)，称动圈式；② 磁路中磁阻的变化，如图 4.6.1 (b)，称变气隙式。

对于动圈式，当线圈 x 方向运动时，由于切割永久磁铁形成磁力线，线圈的两输出引线端就会有感应电势，其大小与线圈运动的速度成正比。

变气隙式的工作过程为：当动片沿 x 方向移动时，永久磁铁与动片间的初始间隙 δ_0 将发生变化，引起磁路的磁阻改变，穿过线圈的磁通就会发生变化，线圈的两端就会产生感应电势。当动片的振幅与初始间隙 δ_0 相比很小时，感应电势与动片运动的速度成正比。

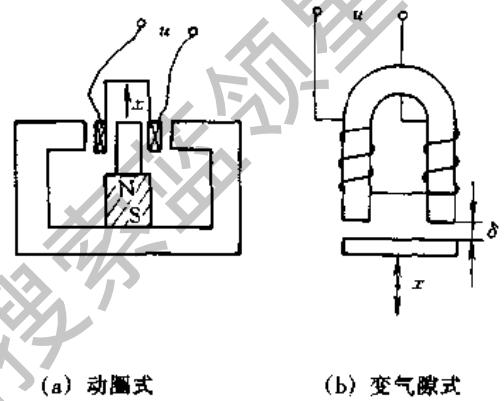


图 4.6.1 磁电式传感器的工作原理

第二节 磁电式传感器的应用

磁电式转速传感器的结构原理如图 4.6.2 所示。在永久磁铁组成的磁路中，若改变磁阻（如空气隙）的大小，则磁通量随之改变。为了使气隙变化，在待测轴上装一个由软磁材料做成的齿盘。当待测轴转动时，齿盘也跟随转动，齿盘中的齿和间隙交替通过永久磁铁的磁场，从而不断改变磁路的磁阻，使线圈中的磁通量发生突变，在线圈内产生一个脉动电势，其频率跟待测转轴的转速成正比。

磁电式转速传感器配上数字测速仪可直接读出转速和频率，检测范围为 $0 \sim 4000\text{r/min}$ 。这种传感器可检测导磁材料制成的齿轮、叶轮、带孔圆盘的转速。

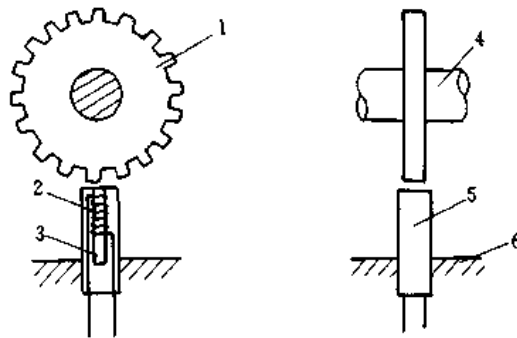


图 4.6.2 磁电式转速传感器的结构原理

1—磁盘；2—线圈；3—永久磁铁；4—输出轴；5—速度传感器；6—支架

第七章 光电式传感器

光电式传感器是一种将光信号转换成电信号的传感器，若用这种传感器测量其他非电量，只要将这些非电量的变化转换成光信号的变化即可。因此光电式传感器一般由光源、光学元件和光电元件三部分组成。在测量时，被测量使光源发射出的光通量发生变化，接收光通量的光电元件的输出电量也作相应的变化，输出电量的大小与被测量有关。

光电式传感器应用领域广泛，是一种常用的传感器，可以用来测量位移、距离、转速、温度、浓度、浊度等参数。随着科学技术的发展，新光源、新的光电器件不断出现，应用范围日趋扩大，如在自动化程度高的数控机床等机电设备中大量运用了光电传感器，它不但能测一维量，而且能测二维量，直接获得图像信息，是一种很有发展前途的传感器。

第一节 光电元件

光电元件在光电传感器中是用来把光量转换成电量的重要器件。常用的有光敏电阻、光电池、光敏晶体管、光电耦合器等。从70年代开始，相继出现了一些新型半导体光电器件，如电荷耦合摄像器件（CCD）、光电位置敏感器件（PSD）等。

一、光敏电阻

光敏电阻又称光导管，它是利用光电效应的原理而制成的。光敏电阻几乎都是用半导体材料制成。有些半导体〔如CdS（硫化镉）等〕在黑暗的环境下电阻值很高，但当它受到光照射时，光子能量将激发出半导体电子-空穴对，从而加强了半导体的导电性能，使其阻值降低，并且照射的光线愈强，阻值也变得愈低。如果把光敏电阻连接到电路中，如图4.7.1所示，用光照射就可以改变电路中电流的大小。没有光照射时的电流叫“暗电流”，相对应的阻值称“暗电阻”。当有光照射时，电流就会增加，所增加的电流称为“光电流”，这时呈现的阻值称“亮电阻”。我们希望暗电阻愈大愈好，而亮电阻越小越好，这样光电流才可能大，光敏电阻的灵敏度才高。表4.7.1列出了国产光敏电阻的主要参数。

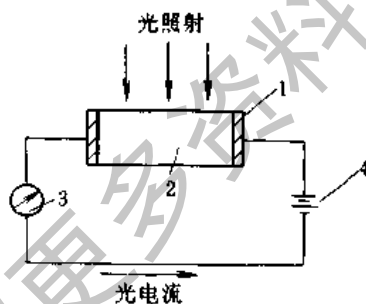


图 4.7.1 光电导电流测量电路

1—电极；2—光导晶体；
3—电流计；4—电源

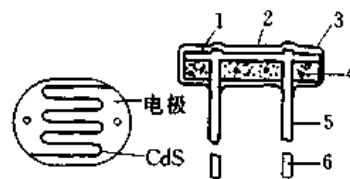


图 4.7.2 CdS 光敏元件的结构

1—树脂涂层；2—光敏层（CdS）；3—电极；
4—陶瓷基片；5—引线；6—树脂涂层式 CdS 光敏元件

表 4.7.1 国产 MG42 型密封硫化镉光敏电阻主要特性

型号	额定功率 /mW	亮阻 100Lx /kΩ	暗阻 (无光照) /MΩ	测试电压 /V	最高工作电压 /V	上升时间常数 /ms	电阻温度系数 /°C ⁻¹	响应峰值波长 /μm
MG42-5A	5	<2	>0.1	2	20	<50 ^①	< ±1 × 10 ⁻² 使用环境温度 为 -25 ~ +55°C	0.52 ~ 0.59
MG42-5B	5	<5	>0.5	2	20			
MG42-5D	5	<10	>1	5	20			
MG42-10A	10	<50	>10	10	50	<20 ^①		
MG42-10B	10	<100	>50	10	50			

① 此值与照度有关，照度愈强此值愈小。

光敏电阻的结构很简单,如图 4.7.2 所示。CdS 光敏电阻元件是利用光电效应的光传感器的典型元件,很早就商品化了。它是将 CdS 粉末烧结于陶瓷基片上,并于其上做成梳形电极,这样可增加电极和光敏面结合部分的长度,从而可得到大电流。光敏元件一般都怕潮湿,因此采用密封结构。一般可采用金属壳、塑料或防潮涂料等密封。

二、光敏晶体管 (见第二篇第七节)

三、光电池

光电池是一种直接将光能转换成电能的元件。光电池的结构原理见图 4.7.3 所示。它有一个大面积的 PN 结,当光照射到 PN 结上时,便在 PN 结两端产生电动势 (P 区是正电位, N 区是负电位),这叫做“光生伏打效应”。半导体内原子被光照射后激发而生成了电子-空穴对,它们在 PN 结电场的作用下,电子被推向 N 型区,而空穴被拉进 P 型区,这种推拉作用,使 P 型区带上了正电, N 型区带上了负电,两者之间产生电位差,当用一根导线将两块半导体连起来时,导线上就会有电流流过,电流的大小与光照量有关。

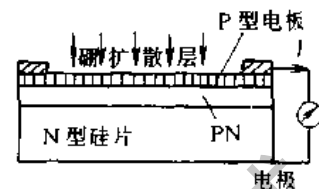


图 4.7.3 硅光电池结构示意图

光电池的种类很多,有硒光电池、硫化镉光电池、硫化镉光电池、硅光电池、砷化镓光电池等。其中应用最广的是硅光电池,它有性能稳定、光谱范围宽、频率特性好、转换效率高、能耐高温辐射等一系列优点。表 4.7.2 列出了硅光电池的特性参数。

表 4.7.2 2CR 硅光电池

型号	30℃入射光强 100mW/cm ²			面积/mm ²	型号	30℃入射光强 100mW/cm ²			面积/mm ²
	开路电压/mV	短路电流/mA	效率 η/%			开路电压/mV	短路电流/mA	效率 η/%	
2CR11	450~500	2~4	6~8	2.5×5	2CR41	450~500	18~30	6~8	10×10
2CR21	450~500	4~8	6~8	5×5	2CR44	580~600	18~30	12 以上	10×10
2CR31	450~500	9~15	6~8	5×10	2CR53	550~580	36~60	10~12	10×20

四、光电耦合器

光电耦合器是一种复合光敏器件,是由一发光元件和一光电元件同时封装在一个外壳内组合而成的转换元件,把加到发光元件的电信号作为输入信号。发光元件发出的光由光电元件接收,并转换成电信号输出。实际上光电耦合器是以光为媒介的电信号传输器件,器件的输入与输出之间是电绝缘的。

由于光电耦合器具有输入输出电隔离性质,多作为电信号传递器件和开关器件。作为开关器件时,与继电器相比,它速度快,无触点且耗能少;作为电信号传递器件时,与信号变压器相比,其传递信号可从直流到较高频率的交流信号,不受电磁干扰。详见第二篇第八节。

根据构造和用途分类,光电耦合器可分为两类。一类是光隔离器,以在电路之间传递信息为目的;另一类是光传感器,用以检测物体的位置有或无。

1. 光隔离器

光隔离器的结构有金属密封形和塑料密封形两种,见图 4.7.4 所示。

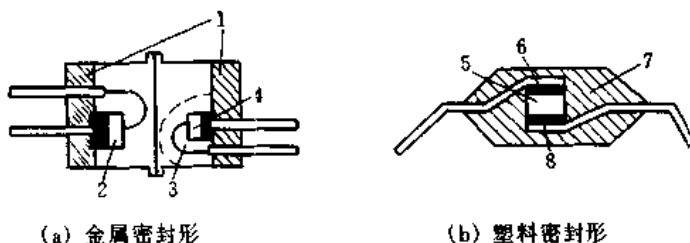


图 4.7.4 光电耦合器的结构

1—玻璃绝缘; 2—光敏三极管; 3—透明绝缘体; 4—砷化镓发光二极管;
5—透明树脂; 6—发光二极管; 7—黑包塑料; 8—光敏二极管

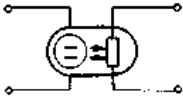
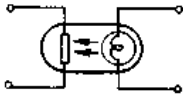
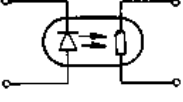
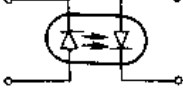
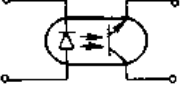



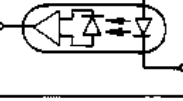
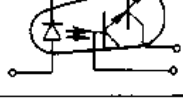

金属密封形是采用金属外壳和玻璃绝缘的结构,在其中心装片,采用环焊以保证发光元件与光敏元件对

准，以此来提高灵敏度。

塑料密封形是采用双直立插式用塑料封装的结构，每排三个引脚，便于在印刷电路板上安装。管心预先装在管脚上，中间采用具有集光作用的透明树脂固定，故它的灵敏度较高。

从使用的角度看，要求光隔离器信号传输的线性度好，效率高，绝缘性好，响应速度快，可靠性高，价格低。因此在选用时要特别注意恰当地选择发光元件和光敏元件的组合方式。光隔离器的组合方式及其特性列于表 4.7.3。

表 4.7.3 光隔离器的组合方式及其特性

种 类	组 合 方 式	电 流 传 输 比 / %	响 应 速 度	特 点
氖灯 + 光敏电阻			几毫秒 ~ 100ms	交直流两用，功耗大，灯寿命短
白炽灯 + 光敏电阻			几毫秒 ~ 100ms	响应慢，有前历现象
可见光 LED + 光敏电阻			几毫秒 ~ 100ms	交直流两用，响应慢，有前历现象
红外 LED + 硅光电二极管		0.2 ~ 0.3	几十毫秒 ~ 几千纳秒	响应快，线性度好，电流传输比小
红外 LED + 硅光电三极管		几 ~ 几百	1 ~ 10μs	响应快，暗电流小
红外 LED + 硅光电三极管		几 ~ 几百	1 ~ 10μs	响应更快，暗电流更小
LED + 结型 FET			十几微秒	具有双向特性，导通电阻与输入电流成正比
红外 LED + LASCR		0.1 ~ 1A 1.10 ~ 25mA		控制功率大，可直接控制交流
LED + 光集成电路		100 ~ 600	几十纳秒 ~ 千纳秒	响应快，电流传输比大
红外 LED + 复合式光电三极管		百 ~ 千	几十微秒 ~ 几百微秒	电流传输比大，饱和压降大，暗电流大
红外 LED + 复合式光电三极管		百 ~ 千	几十微秒 ~ 几百微秒	电流传输比大，饱和压降大，暗电流可小

2. 光传感器

根据结构的不同,光传感器可分为透过型和反射型两种,如图 4.7.5 所示。透过型传感器是将发光元件和光敏元件相对放置并保持相互之间的一定距离,发光元件发出的光束通过封装外壳的透射孔被光敏元件接收,当被检测物体进入两元件之间时,引起光量变化。反射型光传感器则是通过把发光元件和光敏元件按相同方向斜对组装而制成,可测量物体反射光量的变化。

光传感器可用在数字控制系统中组成光编码器;在自动售货机中检测硬币数目;在高速印刷机中作定时控制;在传真、复印机中检测纸张或图像对比度的调整。

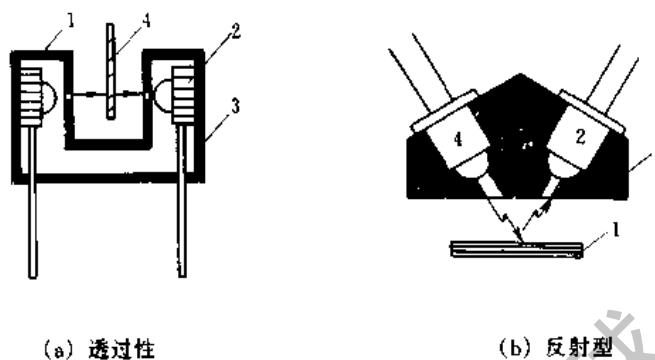


图 4.7.5 光传感器的结构

1—发光器件; 2—光敏器件; 3—基座; 4—被检测物体

五、电荷耦合摄像器件 (CCD)

电荷耦合摄像器件是一种大规模集成电路工艺制作的半导体光电元件,简称 CCD。它具有体积小、分辨率高、结构简单、低功耗、成本低等优点,取代早期笨重的电子管摄像器件,被广泛应用于工业检测、电视摄像、遥感及机器人等领域。

1. CCD 的结构及工作原理

电荷耦合器件 (CCD) 是在 MOS 电路基础上发展起来的,电荷的传输是由 MOS 元件来完成。图 4.7.6 是 MOS 结构原理图。

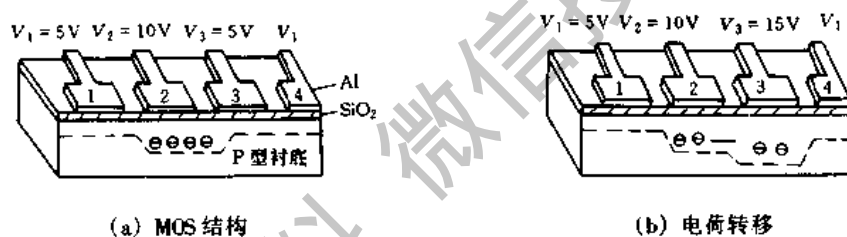


图 4.7.6 MOS 结构原理图

基本的 MOS 结构是金属电极-二氧化硅(绝缘体)-硅(衬底)结构。在 P 型硅单晶的衬底上生长一层很薄的 SiO_2 , 再在 SiO_2 上面淀积具有一定形状的金属 Al 电极。

在电极上施加一正电压时,它形成的电场穿过 SiO_2 薄层排斥 P 型硅中的多数载流子(空穴),于是在 SiO_2 下形成耗尽层。由于它的表面是正电势,就像“阱”一样收集电子,这部分称为“势阱”。如果有光线入射到半导体硅片上,在光子作用下,硅片上就产生了电子和空穴,光生电子被附近的势阱俘获,而空穴则被排斥出耗尽层。势阱内俘获的光生电子数量与入射到势阱附近的光强成正比,称这样一个 MOS 结构元为 MOS 光敏元(或象素)。通常在半导体硅片上制有几百或几千个相互独立的 MOS 光敏元,如果照射在这些光敏元上的是一幅明暗起伏的图像,那么,这些光敏元就感生出一幅光生电荷图像。

在电极上加控制电压可实现电荷的传输,见图 4.7.6(b)所示。电极 2 加偏压 10V,而其邻近的两个电极 1 和 3 加偏压 5V。所以在电极 2 下形成较宽的耗尽层,即在 SiO_2 与 Si 的界面上得到较深的势阱,电子将被储存在这个势阱内。当电极 3 所加偏压增至 15V 时,电极 3 下的势阱将比电极 2 下的势阱更深,于是电极 2 下储存的电荷将移向电极 3 下的势阱。势阱内储存的电荷像一个“包”似地转移,可将势阱储存的电荷称为“电荷包”。

由上所述可知,CCD 具有在势阱中存储信号电荷,并将其转移的能力。这种传输过程,实际上是电荷耦合的过程,称这类器件为“电荷耦合器件”,将担任电荷耦合传输的单元称为“读出移位寄存器”。

2. CCD 摄像器件

CCD 具有光电转换、信号存储以及信号传输(自扫描)的能力,常用的有线阵 CCD 和面阵 CCD 两种。

(1) 线阵 CCD 线阵 CCD 摄像器件只摄取一行图像信息,可用作传真、遥感、文字或图像信息的判别,工件尺寸的自动检测等方面。

图 4.7.7 所示为线阵 CCD 结构示意图。它由光敏区、转移区、移位寄存器、偏置电荷电路、输出栅等几部分组成。

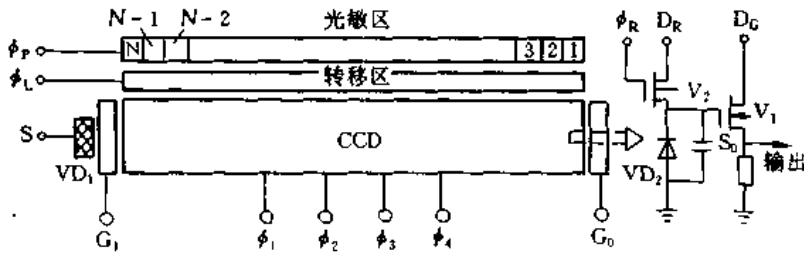


图 4.7.7 线阵 CCD 图像器件

(2) 面阵 CCD 面阵 CCD 器件的光敏单元呈二维矩阵排列，能将一幅图像信息同时摄取，因此它适用于一般电视摄像。由于传输方式的不同，面阵 CCD 器件有许多类型。常见的传输方式有行间传输和帧传输两种。

图 4.7.8 为面阵器件的示意图。图 4.7.8 (a) 为行间传输结构。图 4.7.10 (b) 为帧传输结构。

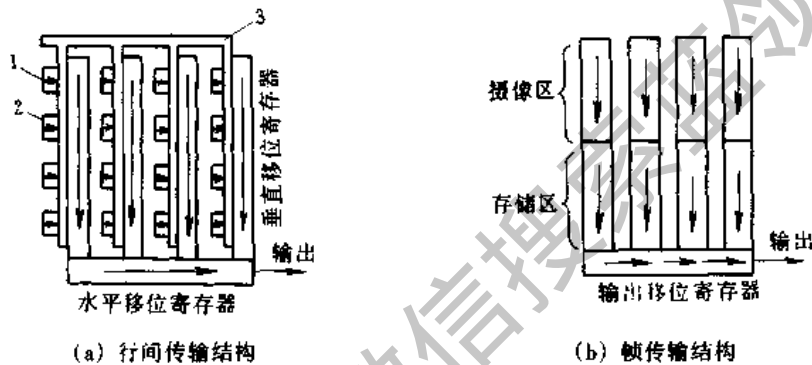


图 4.7.8 面阵 CCD 传输原理

1—光照；2—光敏面；3—转移栅

几种国外 CCD 器件的主要特性参数如表 4.7.4 所示。

表 4.7.4 国外几种常用 CCD 器件的主要特性参数

型 号	主 要 性 能
美国仙童公司 CCD133/143	CCD133 和 CCD143 分别为 1024 和 2048 单元线阵高速驱动，最高 20MHz；低暗电流；高灵敏度；蓝光响应强；动态范围大，其典型值为 2500:1
美国仙童公司 CCD222	488 × 380 面阵，光敏单元尺寸为 12μm × 18μm；相邻光敏单元中心距 30μm × 18μm；有效光敏区面积 8.8 × 11.4mm ² ；无拖影，无几何畸变；动态范围：典型值大于 100:1；最高视频速率 20MHz，帧速 90Hz；低照度，低等效噪声曝光量
日本 NEC 公司	象素 1920 × 1035，数据传输率 74.25Hz；每个象素面积小至 7.3 × 7.6μm ² ，图像的水平垂直分辨率为 1000 电视线，场频 60Hz
美国福特航空航天公司	象素 2048 × 2048 或 4096 × 4096；象素尺寸 7.5 × 7.5μm，暗电流 < 25pA/cm ² ，阵列均匀性高 (< 1%)，有源成像面积为 15.36 × 15.36mm ²
敏通公司 MTV3501	解析度：350TV 线，解像度 542 × 583，最低照度：3lx

六、光电位置敏感器件 (PSD)

半导体光电位置敏感器件是一种对其光敏面上入射光点位置敏感的半导体器件，即当光点出现在光敏面不同位置时，对应应有不同输出的电信号。它简称 PSD。

1. PSD 的工作原理

PSD 是基于半导体的横向光电效应工作的。如图 4.7.9 所示，当一个确定的人射光点照射在 PN 结时，除了产生结光生电动势外，在与结平行的方向上也将产生光生电动势。如在 PN 结表面的两平行边缘上淀积一对电极，就可在电极上得到一与光点位置相对应的光电流。

实用的 PSD 不是简单的 PN 结，而是做成 PIN 结构，其目的是提高光电转换效率、灵敏度和响应速度。如

图 4.7.10 所示。表面 P 层为光敏面，两边各有一信号输出电极，中间为 I 层，底层的公共电极是用来加反偏电压的。当入射光照射到光敏面某点（如 A 点），由于存在平行于结面的横向电场作用，使光生载流子形成向两端电极流动的电流 I_1 和 I_2 ，它们之和等于总电流 I_0 。如果 PSD 表面电阻层是均匀的，且其阻值 R_1 和 R_2 远大于负载电阻 R_L ，则 R_1 和 R_2 的值仅取决于光电的位置：

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{L-x}{L+x}$$

将 $I_0 = I_1 + I_2$ 与上式联合得：

$$I_1 = I_0 \frac{L-x}{2L}$$

$$I_2 = I_0 \frac{L+x}{2L}$$

由上两式分析可得，当入射光强不变时，单个电极的输出电流与入射光点位置 x 呈线性关系。如将电流值 I_2 和 I_1 进行相加和相减，然后再相除，可得到下面的式子：

$$P_x = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} = \frac{x}{L}$$

如用适当的信号处理线路测出 P_x ，可相应得到反映光点位移的 x 值。由上式可知， P_x 只与光点位置 x 有关，而和入射光强无关。

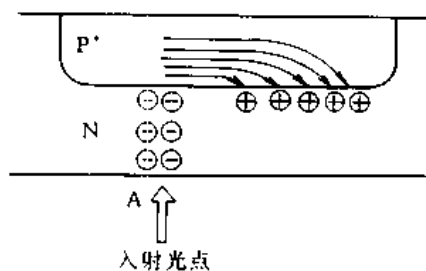


图 4.7.9 PSD 横向光电效应

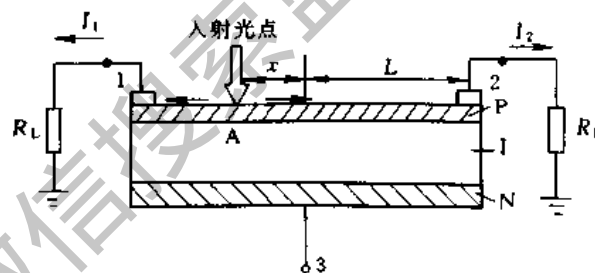


图 4.7.10 PSD 的结构

2. PSD 位置敏感器件

半导体光电位置敏感器件有一维 PSD 和二维 PSD 两大类，分别可确定光点的一维位置坐标和二维位置坐标。

(1) 一维 PSD 一维 PSD 用于测定光点在直线方向上的运动位置，图 4.7.11 (a) 是一种一维 PSD 外形图。它有一对信号电极、一个公共电极和一个光敏面，其中光敏面是细长的矩形。

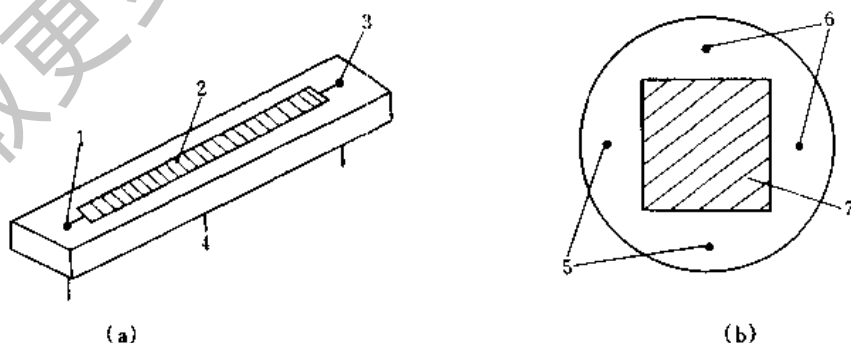


图 4.7.11 一维和二维 PSD 外形图

1, 3, 5, 6—信号电极；2, 7—感光面；4—公共端

(2) 二维 PSD 二维 PSD 用于测定光点在平面上的运动位置（二维坐标）。它与一维 PSD 相比，光敏面是方形的且共有两对互相垂直的信号电极。如图 4.7.11 (b) 所示。

表 4.7.5 列出了典型 PSD 产品的性能参数。

表 4.7.5 PSD 特性表

参 数	一维 PSD (S1545)	二维 PSD (S1300)	参 数	一维 PSD (S1545)	二维 PSD (S1300)
光谱响应范围/ μm	300 ~ 1100	300 ~ 1100	暗电流/ μA ($U_R = 5\text{V}$)	0.002	0.5
最敏感波长/ μm	900 ± 50	900 ± 50	结电容/pF ($U_R = 5\text{V}$)	30	300
最大反偏电压 U_R/V	20	20	响应速度/ μs ($U_R = 5\text{V}$)	20	10
位置检测误差	0.5%	$\pm 0.8\%, 1.5\%$	位置分辨率/ μm	0.3	6
位置检测范围/mm	± 4.5	$\pm 2.5, \pm 5$	最大光电流/ μA ($U_R = 10\text{V}, R_L = 1\text{k}\Omega$)	20	1000
电极间电阻/k Ω	200	10			

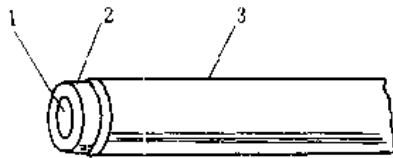


图 4.7.12 光纤的结构
1—纤芯；2—包层；3—护套

七、光导纤维

1. 光纤的结构

光纤结构非常简单，如图 4.7.12 所示。它由具有很小直径的分层玻璃或塑料圆柱体构成。中间是导光的圆柱体纤芯，其周围的套层称为包层。包层是由特性与纤芯略有不同的玻璃或塑料制成，外面常有塑料或橡胶制成的保护套。包层的折射率 n_2 略小于纤芯折射率 n_1 ，它们的相对折射率 $\Delta = 1 - n_2/n_1$ ，通常 Δ 为 0.005 ~ 0.14。这样的构造可以保证入射到光纤内的光波集中在纤芯内传输。

2. 光纤的导光原理

光纤工作的基础是光的全内反射。如图 4.7.13 所示，当光线入射一个端面并与轴线成 θ 角时，根据折射定律，在光纤内折射成 θ' ，然后以 φ 角入射至纤芯与包层的界面。当 $\varphi > \varphi_c$ 时 ($\varphi_c = \sin^{-1} n_2/n_1$ ，称纤芯与包层间的临界角)，光线在光纤的界面上产生全内反射，光线以同样的角度反复逐次反射，直至传播到另一端面。工作时若光纤弯曲，只要仍满足全反射定律，光线仍继续前进，可见光线“转弯”实际上是由很多光线的全反射所形成。由折射定律有：

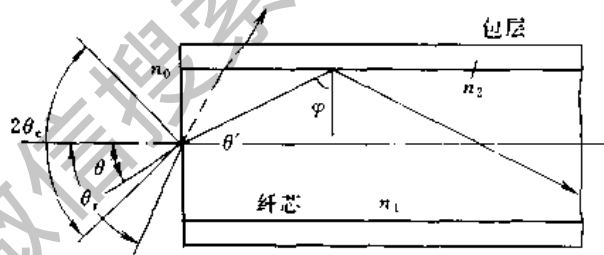


图 4.7.13 基本结构示意图

$$n_0 \sin \theta_c = n_1 \sin \theta'_c = n_1 \cos \varphi_c = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_c} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

式中 θ_c 是与 φ_c 相对应的端面入射角，称为光纤波导的孔径角。使用时应使人射光处于 $2\theta_c$ 的光锥角内，光纤才能理想地导光；入射角过大，如 $\theta_i > \theta_c$ ，则会产生漏光。

习惯上定义光纤波导的数值孔径为：

$$NA = n_0 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

数值孔径 NA 反映光纤波导的集光能力。若纤芯和包层的折射率差大，NA 值大，有利于提高光耦合效率。

第二节 光电式传感器的应用

一、测量转速

光电式转速传感器工作在脉冲状态下，它是将轴的转速变换成相应频率的脉冲，然后测出脉冲频率就测得了转速值。这种测速方法具有传感器结构简单、可靠、测量精度高等优点。

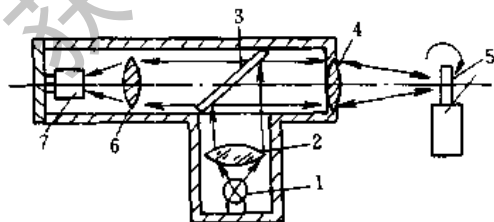


图 4.7.14 反射式光电传感器
1—光源；2—透镜；3—半透膜；4—透镜；
5—旋转体；6—透镜；7—光敏管

图 4.7.14 所示为反射式光电传感器的结构原理图。在旋转体的表面上设有反射记号，一般是粘贴上黑、白分明的条带。黑、白条带的宽度应大于投射光的宽度。由光源 1 发出的光线，经透镜 2 射到半透膜 3 上，一部分光线由半透膜反射经透镜 4 聚集到被测的旋转体 5 上。当旋转体转动时，投射到旋转体上的光点经过反射记号（白条带）处，反射率高，反射光经透镜 4、半透膜 3 和透镜 6 聚集投射到光敏三极管

上,使光敏元件感光,产生光电流;光投射至非反射记号(黑条带)处,反射率低,几乎没有反射光线,光敏三极管就不感光。这样光点每经过一个反射记号,光敏元件感光一次,发出一个电脉冲信号。对脉冲信号计数,就能测出轴的转速。在使用这种传感器测量时,必须要保证入射光的聚焦点正好在旋转体的记号上。这种形式的光电传感器由于反射光线的强度低,因此输出的脉冲信号要经过放大、整形,然后进行脉冲计数测量。

二、非接触尺寸测量

线阵 CCD 摄像技术在工业生产中应用越来越广泛,可用于各种机械产品尺寸测量、分类、产品表面质量评定、文字与图形识别等。下面介绍一种平行光成像尺寸测量仪系统。其系统示意图如图 4.7.15 所示。

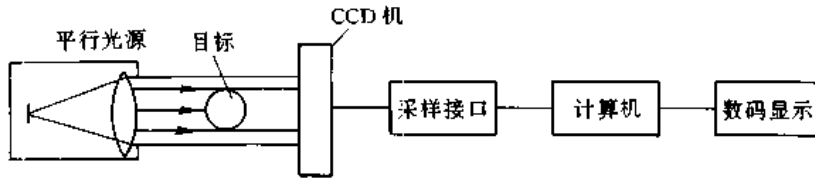


图 4.7.15 平行光成像测量系统

全套系统包括有平行光源、线阵 CCD 传感器、数据采集、计算、显示控制箱。该系统留有打印机接口,可以打印记录测量结果。当一束平行光透过待测物体投射到 CCD 传感器上时,由于待测物的存在,其所形成的阴影将同时投射到 CCD 传感器上,阴影的尺寸就代表了待测物体的尺寸,因此只要采集计数系统计算出阴影部分象素个数(即输出脉冲个数),其脉冲(象元)的个数与象素尺寸的乘积就代表了目标的尺寸。

不难看出,此种测试方法的精确度取决于平行光的准直程度和 CCD 象素尺寸的大小,对 5000 位 CCD 来说,其精度可达 $7\mu\text{m}$,而对 2048 位的 CCD 来说则为 $14\mu\text{m}$ 。平行光源的准直度要十分理想是有一定困难的,如一味追求会大大增加成本。实际使用中是通过计算机处理,对测量结果进行修正,使测量结果更接近于实际值。

该尺寸测量仪主要技术指标为:①测量范围 2~30mm;②采样速率 200~2000 次/s;③测量精度 $\pm 7\mu\text{m}$;④输出显示 6 位数码显示;⑤连续工作时间 $\geq 8\text{h}$;⑥使用温度 0~45℃;⑦使用寿命 $\geq 10000\text{h}$ (除光源外)。

三、光纤传感器

光纤传感器是利用被测量对光纤内传输的光进行调制,使传输光的某一特性如强度、相位、频率或偏振状态等发生改变,这种被调制的光信号经光电转换器变成电信号以后,可以用各种仪表测量其大小。在光纤传感器中光源、光的传输、光电转换和电信号处理是四个基本要素。

光纤传感器按照光纤的使用方式可分为功能性传感器和非功能性传感器。功能性传感器是利用光纤本身的特性随被测量而发生变化。而非功能性传感器是利用其他敏感元件来感受被测量的变化,光纤仅作为光的传输介质,有时也称为传光型传感器或混合型传感器。目前应用较多的是非功能性传感器。

光纤传感器有一系列传统传感器无可比拟的优点,如灵敏度高,响应速度快,抗电磁干扰,耐腐蚀,电绝缘性好,防燃防爆,可柔性挠屈,适于远距离传输,便于与计算机联接以及与光纤传输系统组成遥测网等,从原理上讲光纤传感器可以检测几乎各种物理量,如压力、温度、流量、速度、加速度、位移、转动、电压、电流、磁场、应变及化学量、生物量等。是一种应用很广泛的传感器。

图 4.7.16 所示为光纤温度传感器结构图。在光纤通路中,把敏感元件薄片(如半导体磷化镓 GaP)以“夹层”方式插入其中,并用不锈钢固定,使光纤与半导体成为一体,测温光纤涂有耐热性涂层。

光纤温度传感器是利用半导体敏感元件的透射光强度与温度之间的关系制成的。

以半导体 GaP 来说明传感器的工作机理。当相当于半导体禁带宽度(E_g)的光能($h\nu$)照射到半导体上时,半导体产生本征吸收,此时光波波长 $\lambda_0 = hc/E_g$, h 为普朗克常数, c 为光速。半导体对波长较 λ_0 短的光吸收急剧增加,直至最后光几乎不能透过半导体。与此相反,对波长较 λ_0 长的光,半导体几乎变成透明状态。半导体的禁带宽度 E_g 随温度而

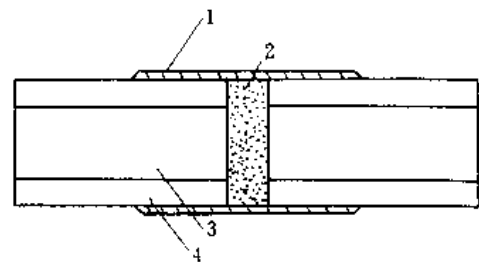


图 4.7.16 光纤温度传感器的构造
1—不锈钢管; 2—敏感元件; 3—纤芯; 4—包层

变，这是由晶格热膨胀和热振动等因素而引起的，因此可利用半导体透射光谱的变化制成光纤温度传感器。

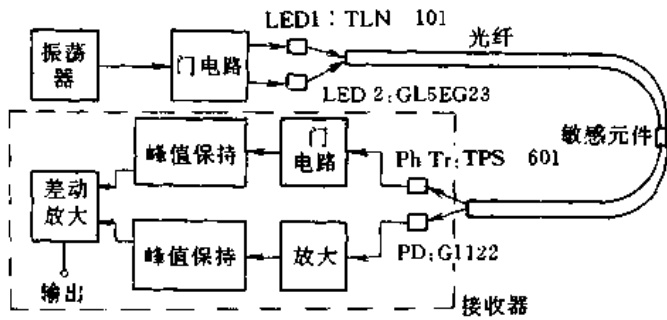


图 4.7.17 用二波长测量法的方框图

光纤温度传感器的测量电路原理框图如图 4.7.17 所示。此传感器配备了两种不同波长的光源，一个光源的波长比半导体本征吸收限波长长，它作为参比光源；另一个光源发射光谱的峰值在半导体本征吸收限波长附近，它作为测量光源，然后用两者透射光量之差测出温度。

振荡器是接成自激振荡状态的时基电路，振荡信号由门电路分成两路，交替点亮和熄灭 LED1（参比光源）与 LED2（测量光源）两个发光二极管，LED1 使用近红外发光二极管，而 LED2 使用高亮度绿色发光二极

管。在光纤和敏感元件 GaP 中传输的近红外光，全部由光电三极管 TPS601 接收，并作光电转换，从 LED2 发出的光在光纤中传输时被 GaP 吸收的程度与温度有关，由光电二极管 G1122 接收透射光。光电三极管的输出由电路进行变换，截掉可见光信号成分，再由峰值保持电路变成直流，输入差分放大器；另一方面，光电二极管对红外光不灵敏，只把可见光成分变成光电流并放大，再由峰值保持电路变成直流，输入差分放大器。差分放大器输出两者之差。

获取更多资料 微信搜索 蓝盾

第八章 热电式传感器

热电式传感器是一种直接将温度变化转换为电量变化的传感器。热电偶是利用物理学中的塞贝克效应制成的热电式温度传感器。它结构简单,仅由两根不同的导体材料焊接或绞接而成,精确度和灵敏度高、稳定性及复现性较好,可测量4-3070K的温度范围,因此热电偶传感器在工业生产及科学研究中被广泛应用于温度测量。

第一节 热电偶

一、热电偶的工作原理

1. 热电效应

将两种不同材料的导体A、B连接起来,组成一个闭合回路,如图4.8.1所示。当A、B相接的两个接点温度不同时,则在回路中产生一个电动势。这个现象称为塞尔效应式热电效应,这一电动势称为热电势。

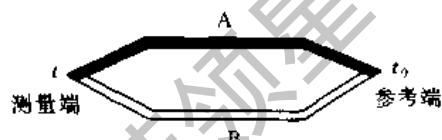


图 4.8.1 热电偶

将A、B两导体的组合称为热电偶;导体A和B称为热电极;两个接点中一端称为测量端,又称工作端或热端,如 t 端;另一端称为参考端,又称自由端或冷端,如 t_0 端。

热电偶的热电势由接触电势与温差电势两部分组成。接触电势是由于两种导体的自由电子密度不同而在接触处作扩散运动形成的电势,其大小取决于两种导体的性质和接触点的温度。温差电势是由于同一导体两端电子的动能不同而产生迁移运动形成的电势,其大小取决于导体的性质和两端的温差。

热电偶的热电势可用下式表示:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t) - E_{AB}(t_0) + E_B(t, t_0) - E_A(t, t_0)$$

式中 $E_{AB}(t), E_{AB}(t_0)$ ——接点温度为 t 和 t_0 时的接触电势;

$E_A(t, t_0), E_B(t, t_0)$ ——导体A和B的温差电势。

一般情况下,热电偶的接触电势远大于温差电势,在两个热电极中,电子密度大的导体A总是正极,而电子密度小的导体B总是负极。

对于确定的材料A和B,上式可简写成:

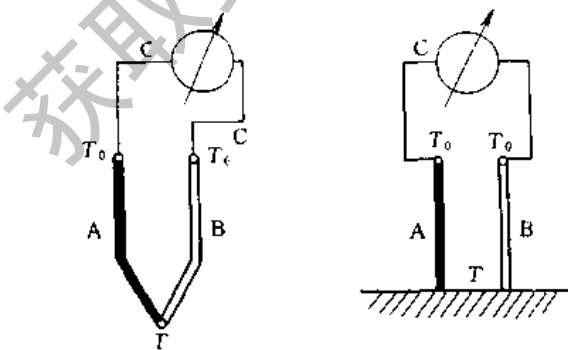
$$E_{AB}(t, t_0) = f(t) - f(t_0)$$

由上式可知,如果参考端温度 t_0 保持恒定,热电偶的热电势将是测量端温度 t 的单一函数。

2. 热电偶的基本定律

在实际温度测量中,热电偶可连接成不同的测量形式,主要是基于它的四个定律。

(1) 均质导体定律 由一种均质导体组成的闭合回路,不论其截面和长度如何,导体各处温度分布如何,均不产生热电势。



(a) 接入导体C的热电偶回路 (b) 测量金属壁面的温度

图 4.8.2 热电偶接入中间导体

(2) 中间导体定律 在热电偶回路中接入第三种材料的导体,只要其两端温度相同,它的引入不会影响热电偶回路的总热电势。

根据这个定律,热电偶回路可接入各种仪表、连接导线,也允许采用任意的焊接方法来焊制热电偶,还可以采用开路热电偶对液态金属和金属壁面进行温度测量。如图4.8.2所示。

(3) 中间温度定律 热电偶在两接点温度为 t 和 t_0 时的热电势,等于该热电偶在接点温度为 t, t_n 和 t_n, t_0 时的热电势代数和,即:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t_n) + E_{AB}(t_n, t_0)$$

各种热电偶的分度表是依据参考端温度为 0℃ 而制成的。在实际使用分度表时，可根据上式求出参考端为任意温度 t_0 时的热电偶热电势，即：

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, 0) - E_{AB}(t_0, 0)$$

(4) 标准电极定律 如果两种导体分别与第三种导体组成热电偶的热电势已知，则由这两种导体组合成热电偶的热电势就可知，即：

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AL}(t, t_0) - E_{BC}(t, t_0)$$

在热电偶的选配工作中，只要知道有关热电极与标准电极配对的热电势，就可用上式求出任何两种热电极配对成热电偶的热电势。实际运用中，一般用铂电极作为标准电极。

二、热电偶种类结构及选用

1. 热电偶种类

从理论上讲，任意两种不同性质的导体都可配置成热电偶，但实际并非如此。组成热电偶时还要从实用的角度考虑灵敏度、精确度、线性度、重现性、可靠性和稳定性（热电性能、物理、化学性能）等条件。

适用于制作热电偶的材料很多，常用的就有 40~50 种。我国根据国际电工委员会（IEC）制定的统一标准，定型生产标准化热电偶。常用标准化热电偶技术数据见表 4.8.1。

标准化热电偶有统一的分度表，可满足中、低、高温的测量要求，但在某些超高温、高真空和有核辐射等特殊场合中，不能满足特殊测温需要。有些非标准化热电偶常用于这些测温环境，它们一般尚无统一公认的分度表，如钨铼系热电偶，最高测温可达 3000℃；铱铑系热电偶，可用在真空中测 2000℃ 左右的温度；镍铬-金铁热电偶，可在 2~273K 温度范围内使用；铂铑₅-铂铑_{0.1}热电偶适合于测原子反应堆中的气气温度等。

表 4.8.1 标准化热电偶的技术数据

热电偶名称	分度号 ^①	代 号	热电极材料			电阻率 (20℃) /(Ω·mm ² /m)	
			极性	识 别	化 学 成 分		
铂铑 ₁₀ -铂	S (LB-3)	S (WRP)	正	较硬	90% Pt, 10% Rh	0.24	
			负	较软	100% Pt	0.16	
铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	B (LL-2)	B (WRR)	正	较硬	70% Pt, 30% Rh	0.245	
			负	稍软	94% Pt, 6% Rh	0.215	
镍铬-镍硅	K (EU-2)	K (WRN)	正	不亲磁	9%~10% Cr, 0.4% Si, 其余 Ni	0.68	
			负	稍亲磁	2.5%~3% Si, Cr≤0.6%, 其余 Ni	0.25~0.33	
镍铬-考铜	EA-2	WRK	正	色较暗	9%~10% Cr, 0.4% Si, 其余 Ni	0.68	
			负	银白色	56% Cu, 44% Ni	0.47	
铜-康铜	T (CK)	T (WRC)	正	红色	100% Cu	0.017	
			负	银白色	60% Cu, 40% Ni	0.49	
热电偶名称	分度号 ^①	代 号	E(100, 0) /mV	测温范围/℃		允许误差	
				长期 ^②	短期	温度/℃	允许误差/℃
铂铑 ₁₀ -铂	S (LB-3)	S (WRP)	0.645	0~1300	0~1600	≤600 >600	±1.5 (Ⅱ级) ±0.25% t
铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	B (LL-2)	B (WRR)	0.033	0~1600	0~1800	≤800 >800	±4 (Ⅲ级) ±0.5% t
镍铬-镍硅	K (EU-2)	K (WRN)	4.095	-200~1000	-200~1300	≤400 >400	±3.0 (Ⅲ级) ±0.75% t
镍铬-考铜	EA-2	WRK	6.95	-50~600	-50~800	≤300 >300	±3.0 ±1% t
铜-康铜	T (CK)	T (WRC)	4.28	-200~200	-200~400	(-200~-50) (-50~300)	(±1.5% t) (±0.75% t)

① S、B、K、T 为我国已实施的新的分度号，它们与国际电工委员会（IEC）的标准一致，而括号内为我国原来的分度号及代号。

② 长期或短期使用温度上限与热偶丝直径有关。

2. 热电偶的结构

(1) 普通型热电偶 常见的工业用热电偶结构如图 4.8.3 所示。它由四大部分组成,即热电极、绝缘套管、保护套管以及接线盒。这类热电偶常被用于测量气体、蒸气、液体等介质的温度。

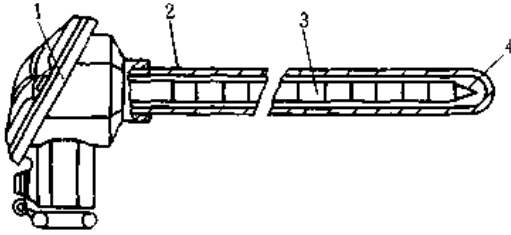


图 4.8.3 普通热电偶结构图
1—接线盒；2—保护管；3—绝缘套管；4—热电极



图 4.8.4 铠装热电偶

(2) 铠装热电偶 铠装热电偶是由热电极、绝缘材料和金属套管组合加工而成的组合体,其结构如图 4.8.4 所示。铠装热电偶在制作工艺上是拉制成型的,因此,它可以做得很长、很细。一般外径 0.25~12mm,长度依需要而定。它的特点是热惯性小,柔性好,耐高压,抗振性能好,适用于测量狭小、结构复杂的对象中的温度。

热电偶还可根据特殊测量需要做成其他的结构形状,如薄膜热电偶、表面热电偶、开路热电偶等。

3. 热电偶的选用

热电偶的正确选用主要应考虑其使用温度范围及使用环境,才能保证测温精度及寿命。表 4.8.2 列出了几种主要热电偶的使用特性。

表 4.8.2 热电偶使用特性

名称	测温范围/℃	使用气氛	特点
铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	0~1800	氧化、真空或中性	精确度高,稳定性及复现性好(中性气氛中欠稳定),高温下空气中不怕氧化。但易受金属及非金属蒸气(还原性气氛)等的污染变质,热电势小,线性差,价贵
铂铑 ₁₀ -铂	0~1600	氧化、真空或中性	精确度高,稳定性及复现性好(中性气氛中欠稳定),高温下空气中使用不怕氧化。但易受金属及非金属蒸气(还原性气氛)等的污染变质,高温下铑易升华,污染铂极,热电势较小,线性差,价贵
镍铬-镍硅 (镍铬-镍铝)	-200~1300	500℃以下各种气氛; 500℃以上用于氧化及 中性气氛	热电势大,线性好,耐腐蚀,价贱,热导率低。但高温下发脆,真铈中铬易挥发,含碳气氛中先渗碳,不完全氧化气氛中铂先氧化,对应力敏感等
镍铬-考铜	0~800	同镍铬-镍硅	热电势最大,线性好,价贱,测温范围小,其余同镍铬-镍硅
铜-康铜	-200~400	任何气氛	0~200℃范围内精确度最高,灵敏度大,稳定性好,价贱,任何气氛均可使用,低温测量常用之。但高温下发脆,铜具有高的热导率

工业用热电偶,当温度在 1000℃以下时,多用金属保护套管,在 1000℃以上时,多用陶瓷保护套管。保护套管选择除考虑使用温度因素外,还要考虑气密性、绝缘性、耐腐蚀性、导热性和使用环境等。

三、热电偶冷端温度补偿

由热电偶测温原理可知,为保持热电偶的热电势是被测温度的单值函数,必须使热电偶冷端温度保持恒定。另外,热电偶的标准分度是指冷端处于 0℃时的热电势值。为了使实际测温时与标准分度状态一致,要求冷端保持在 0℃,不然将会产生误差。

在工业上使用,很难保持冷端温度在 0℃,因此,通常的解决办法是进行冷端温度补偿。冷端温度补偿包含两方面内容:延伸热电偶的冷端,保持冷端温度稳定;冷端温度不为 0℃时的热电势校正(大多数与热电

偶配套使用的测温仪表内部已考虑这部分热电势校正)。

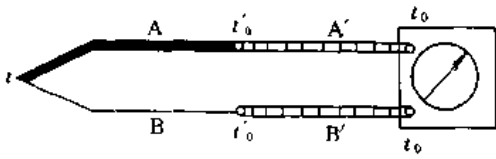


图 4.8.5 补偿导线在测温回路中的连接
A、B—热电偶电极；A'、B'—补偿导线；
 t_0' —热电偶原冷端温度； t_0 —新冷端温度

1. 补偿导线法

由于热电偶的工作端与冷端离得很近，冷端温度较高且波动较大，如用很长的热电偶，使冷端远离工作端且处于温度比较稳定的地方，显然是不经济的。因此，一般用廉价导线（称补偿导线）将热电偶冷端延伸出来（如图 4.8.5）并与测量电路相接。为使接上补偿导线后不影响热电偶热势与被测量温度的单值函数关系，要求补偿导线在一定温度范围内（0~100℃）必须与热电偶的热电极是有相同的热电性能。表 4.8.3 列出了几种常用补偿导线。

表 4.8.3 补偿导线合金丝和绝缘层颜色

补偿导线型号	配用热电偶的分度号	补偿导线合金丝		补偿导线颜色	
		正极	负极	正极	负极
SC	S (铂铑 ₁₀ -铂)	SPC (铜)	SNC (铜镍)	红	绿
KC	K (镍铬-镍硅)	KPC (铜)	KNC (铜镍)	红	蓝
KX	K (镍铬-镍硅)	KPX (镍铬)	KNX (镍硅)	红	黑
EX	E (镍铬-铜镍)	EPX (镍铬)	ENX (铜镍)	红	棕
JX	J (铁-铜镍)	JPX (铁)	JNX (铜镍)	红	紫
TX	T (铜-铜镍)	TPX (铜)	TNX (铜镍)	红	白

使用时切忌接错极性，必须注意电极的颜色。另外要注意热电偶和补偿导线的两个接点保持同样温度，两者配套使用。

2. 冰点槽法

将热电偶冷端置于 0℃ 的恒温器内，使实际工作与分度状态达到一致。直接测热电势查分度表即可得知被测温度。此法适用于实验室。

3. 计算修正法

当热电偶冷端不是 0℃ 而是恒定在某一常温 t_0 时，热电偶中测得的热电势值为 $E(t, t_0)$ ，根据中间温度定律，有：

$$E(t, 0) = E(t, t_0) + E(t_0, 0)$$

式中 $E(t_0, 0)$ 为冷端不为 0℃ 时的热电势校正值。根据上式计算出 $E(t, 0)$ 值，查分度表便可得被测温度 t 。

4. 补偿电桥法

用图 4.8.6 所示不平衡电桥产生的电势来补偿热电偶因冷端温度变化而引起的热电势变化值。 r_{Cu} 与热电偶冷端同处于 t_0 。常见补偿温度点有两种设计：20℃ 和 0℃，即电桥是在补偿温度点上平衡。

如配动圈表使用应考虑热电势校正，即将仪表的机械零点调到补偿温度点上。

在上述的四种温度补偿方法中，补偿导线是最基本的，它常被单独或与其他几种方法一起使用。在实际测温线路中，只要补偿导线冷端温度不为 0℃，就需要注意进行热电势校正。

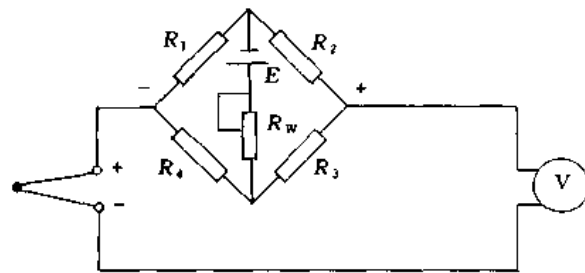


图 4.8.6 电桥补偿法原理图

第二节 热电偶实用测温线路

热电偶基本测温线路由热电偶、补偿导线、连接导线及测量仪表组成。实际测量中，测温对象往往是各种各样的，譬如需要测量某点温度，测两处温度差，多个测温点共用一台测量仪表等，应根据不同的要求选择准确、方便的测量线路。

一、单点温度测量线路

单点温度测量线路如图 4.8.7 所示，(a) 为与动圈表及冷端补偿电桥配套使用的线路，(b) 为与自动电子电位差计配套使用的线路。

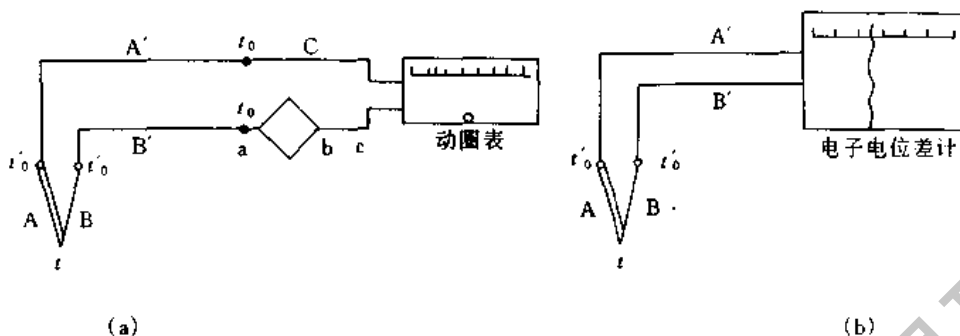


图 4.8.7 热电偶测温典型线路

二、多点温度测量线路

多个热电偶共用一台测量仪表，它们是通过专用的切换开关来进行多点测量的，如图 4.8.8 所示。

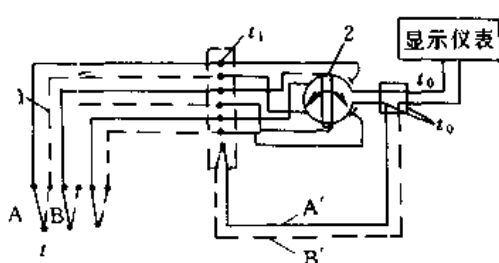


图 4.8.8 多点测温线路
1—补偿导线；2—转换开关

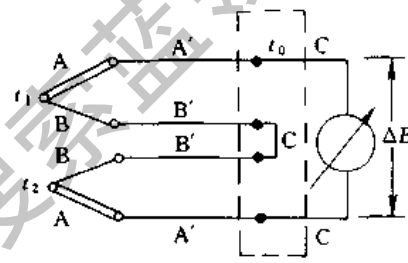


图 4.8.9 热电偶反向串联测温差

需要注意的是多点测温用热电偶必须同型号。

三、温差测量线路

温差测量线路如图 4.8.9 所示。它是将同型号的热电偶反向串联，要选用热电势与温度呈线性关系的热电偶，如镍铬-镍硅热电偶。

第三节 热电偶的校验

热电偶在经过一段时间使用后，热端受氧化、腐蚀介质作用 and 高温下热电极材料再结晶，使热电特性发生变化，从而使测量温差越来越大。为了使温度测量保证一定的精度，热电偶必须定期地进行校验。如其误差超过规定范围，需更换热电偶或将原热电偶热端去除一段，重新焊接处理。新焊制的热电偶，使用前必须重新进行校验。

检定温度在 300~1200℃ 的热电偶校验系统如图 4.8.10 所示。检验装置由管式炉、冰点槽、切换开关、电位差计、标准热电偶等组成。

表 4.8.4 常用热电偶校验温度点

分度号	热电偶材料	校验温度点/℃
S	铂铑 ₁₀ -铂	600、800、1000、1200
K	镍铬-镍硅	400、600、800、1000
E	镍铬-康铜	300、600、900

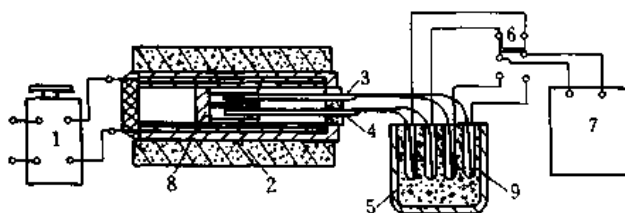


图 4.8.10 热电偶校验装置示意图

1—调压变压器；2—管式电炉；3—标准热电偶；4—被校热电偶；5—冰点槽；6—切换开关；7—直流电位差计；8—镍块；9—试管

校验时，把被校热电偶与标准铂铑₁₀-铂热电偶（标准热电偶的精度等级根据被校热电偶的精度等级要求选用）的热端放到恒温区中测其温度。根据国家规定的技术条件，各种热电偶必须考虑只有在表 4.8.4 规定的温度点进行校验。每一个校验点温度的读数不得少于 4 次，然后分别取标准热电偶和被校热电偶的热电势读数平均值，最后计算出被校热电偶在各温度点上的误差。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第九章 压电式传感器

压电式传感器是一种典型的有源（发电型）传感器。它是某些电介质受力后在其表面产生电荷的压电效应为转换原理的传感器。

压电式传感器具有频带宽、结构简单、灵敏度高、工作可靠等优点，适用于动态测量。被测量对象通常是力、振动、脉动压力、加速度等。

第一节 压电效应及压电材料

一、压电效应

某些电介质在受到一定方向外力作用时产生几何变形，其分子内部离子重新排列而极化，在它的某两个表面上便产生符号相反的电荷，当外力去除后，又恢复到不带电状态，上述现象称为压电效应。相反，如对电介质在极化方向上施加一交变电场，这些电介质将产生机械变形，这种现象称为逆压电效应（电致伸缩效应）。

二、压电材料

用于压电式传感器中的压电元件的材料一般有两类，一类是压电晶体，如石英晶体等，另一类是经过极化处理的压电陶瓷，如钛酸钡、锆钛酸铅等。表 4.9.1 列出了常用压电材料性能参数。

表 4.9.1 常用压电材料性能

性能 \ 压电材料	石英	钛酸钡	锆钛酸铅 PZT-4	锆钛酸铅 PZT-5	锆钛酸铅 PZT-8
压电常数	$d_{11} = 2.31$ $d_{14} = 0.73$	$d_{15} = 260$ $d_{31} = -78$ $d_{33} = 190$	$d_{15} \approx 410$ $d_{31} = -100$ $d_{33} = 200$	$d_{15} \approx 670$ $d_{31} = -185$ $d_{33} = 415$	$d_{15} = 410$ $d_{31} = -90$ $d_{33} = 200$
相对介电常数/ ϵ_r	4.5	1200	1050	2100	1000
居里点温度/ $^{\circ}\text{C}$	573	115	310	260	300
密度/ $(10^3\text{kg}/\text{m}^3)$	2.65	5.5	7.45	7.5	7.45
弹性模量/ $(10^9\text{N}/\text{m}^2)$	80	110	83.3	117	123
机械品质因素	$10^5 \sim 10^6$		≥ 500	80	≥ 800
最大完全应力/ $(10^6\text{N}/\text{m}^2)$	95 ~ 100	80	76	76	83
体积电阻率/ $(\Omega \cdot \text{m})$	$> 10^{12}$	$10^{10}(25^{\circ}\text{C})$	$> 10^{10}$	$10^{11}(25^{\circ}\text{C})$	
最高允许温度/ $^{\circ}\text{C}$	550	80	250	250	
最高允许温度/ $\%$	100	100	100	100	

第二节 压电式传感器的应用

一、压电式测力传感器

图 4.9.1 所示为压电式测力传感器的结构图，它可用于机床动态切削刀的测量。图中的压电元件由两个石英晶片并联组成；上盖为传力元件，其变形壁的厚度由测力范围决定；绝缘套用聚四氟乙烯材料做成，起绝缘和定位作用；石英晶片间用金属电极连接，插芯用聚四氟乙烯包裹，以便于插头绝缘，插芯与插头构成两个输出电极。传感器安装时，要保持干燥、清洁，要保证 $10^3\Omega$ 的高绝缘要求。此类传感器的性能指标为：①测力范围 0 ~ 5000N；②最小分辨率 0.001N；③绝缘电阻 $2 \times 10^4\Omega$ ；④固有频率 50 ~ 60kHz；⑤电荷灵敏度 3.3 ~ 4.0pC/N；⑥非线性温差 $< \pm 1\%$ ；⑦重复性温差 $< 1\%$ 。

二、压电式加速度传感器

图 4.9.2 所示为压电式加速度传感器的结构原理图。压电元件一般由两块压电片（石英晶片或压电陶瓷片）组成，两压电片并联，中间夹一金属薄片，一根引线焊接在金属薄片上，另一根直接与传感器基底相连。质量块放置在压电片的顶端，弹簧对压电元件施加预压缩载荷，减小非线性误差。测量时，将传感器基底与试件固定在一起，传感器向上运动，质量块产生的惯性力使压电元件的压应力增加；反之，当传感器向下运动

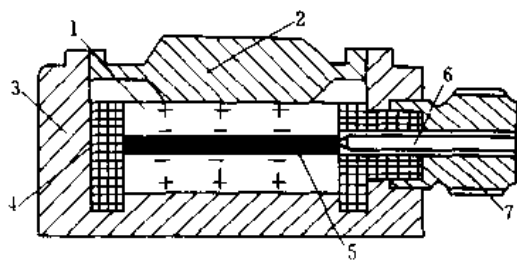


图 4.9.1 压电式测力传感器

1—石英晶片；2—上盖；3—基底；
4—绝缘套；5—电极；6—插芯；7—插头

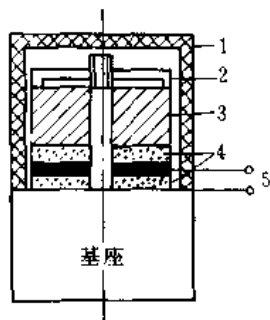


图 4.9.2 压电式加速度传感器结构原理图

1—壳体；2—弹簧；3—质量块；
4—压电片；5—引线

时，压电元件上的压应力减小，这样质量块就有一正比于加速度的交变力作用在压电元件上，在它的表面产生交变电荷（或电压），经专用放大器放大后输出变换电信号，即可测出试件的加速度。这类传感器的主要性能为：①最大可测加速度 5000m/s^2 ；②电荷灵敏度 $2 \sim 10\text{pC}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ ；③频率 10000Hz 。

获取更多资料 微信搜索蓝岛学术

第十章 霍尔式传感器

霍尔式传感器是应用霍尔效应原理将被测量转换成电量信号的一种传感器。

霍尔式传感器具有结构简单、体积小、频响宽、无触点、使用寿命长等特点，可用于位移、压力、振动、转速、磁场等参量的测量。

第一节 霍尔效应与霍尔元件

一、霍尔效应

如图 4.10.1 所示，一块半导体薄片置于磁感应强度为 B 的磁场（磁场方向垂直于薄片）中，当在其相对两侧面通以控制电流 I 时，运动电子由于受洛仑兹力 F_L 的作用而偏向一侧（图中虚线箭头方向），该侧形成电子的积累而带负电，相对一侧因电子减少而带正电，在两侧面间形成电场。该电场阻止电子继续向带负电侧面偏移。当电子受到的洛仑磁力 F_L 与电场力 F_E 相等时，电子的积累便达到动态平衡，这时两侧面间建立的电场称为霍尔电场 E_H ，相应的电势称为霍尔电势 U_H ，上述现象称为霍尔效应。

$$U_H = R_H IB / d = K_H IB$$

式中 R_H ——霍尔系数（取决于材料的物理性质）；

d ——薄片的厚度，m；

I ——电流，A；

B ——磁感应强度，Wb/m²；

K_H ——灵敏度系数， $K_H = R_H / d$ 。

当霍尔元件材料和几何尺寸确定后， U_H 的大小和方向将取决于 I 和 B 。

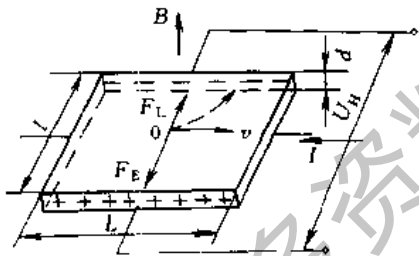


图 4.10.1 霍尔效应原理图

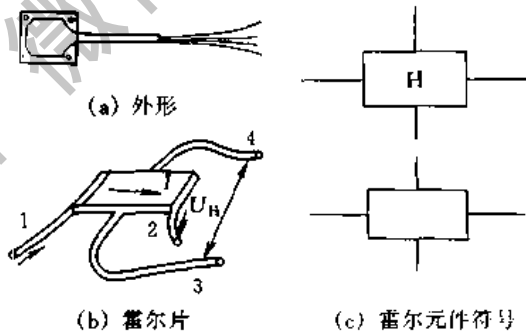
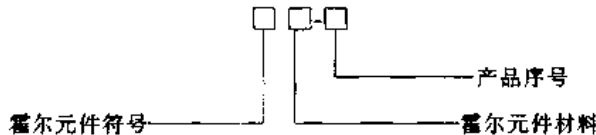


图 4.10.2 霍尔元件

二、霍尔元件

霍尔元件一般用硅、锗、砷化镓和铟化镓材料制成。其外形、结构和符合如图 4.10.2 所示。霍尔元件由霍尔片、四根引线 and 壳体组成。1, 2 为控制电流端引线，通常以红色导线标记；3, 4 为霍尔输出端，通常以绿色导线标记。霍尔片的封装常用非导磁金属、陶瓷或环氧树脂材料。

霍尔元件的型号命名法如下：



霍尔元件符号：H—霍尔片。

霍尔元件材料：Z—锗；G—硅；S—砷化镓；T—铟化镓。

产品序号：用阿拉伯数字表示。

表 4.10.1 列出了国产霍尔元件的参数。

表 4.10.1 霍尔元件的参数

参数名称	符号	单位	HZ-1 型	HZ-2 型	HZ-3 型	HZ-4 型	HT-1 型	HT-2 型	HS-1 型		
			材 料 (N 型)								
			Ge (111)	Ge (111)	Ge (111)	Ge (100)	InSb	InSb	InAs		
电阻率	ρ	$\Omega \cdot \text{cm}$	0.8~1.2	0.8~1.2	0.8~1.2	0.4~0.5	0.003~0.01	0.003~0.05	0.01		
几何尺寸	$\begin{matrix} L \times \\ l \times d \end{matrix}$	mm	$8 \times 4 \times 0.2$	$4 \times 2 \times 0.2$	$8 \times 4 \times 0.2$	$8 \times 4 \times 0.2$	$6 \times 3 \times 0.2$	$8 \times 4 \times 0.2$	$8 \times 4 \times 0.2$		
输入电阻	R_i	Ω	$110 \pm 20\%$	$110 \pm 20\%$	$110 \pm 20\%$	$45 \pm 20\%$	$0.8 \pm 20\%$	$0.8 \pm 20\%$	$1.2 \pm 20\%$		
输出电阻	R_o	Ω	$100 \pm 20\%$	$100 \pm 20\%$	$100 \pm 20\%$	$40 \pm 20\%$	$0.5 \pm 20\%$	$0.5 \pm 20\%$	$1 \pm 20\%$		
灵敏度	K_H	mV/mV	> 1.2	> 1.2	> 1.2	> 0.4	$0.18 \pm 20\%$	$0.18 \pm 20\%$	$0.1 \pm 20\%$		
		KGS									
不等位电阻	R_0	Ω	< 0.07	< 0.05	< 0.07	< 0.02	< 0.005	< 0.005	< 0.003		
寄生直流电势	U_{op}	μV	< 150	< 200	< 150	< 100					
额定控制电流	I_c	mA	20	15	25	50	250	300	200		
霍尔电势温度系数	α	$1/^\circ\text{C}$	0.04%	0.04%	0.04%	0.03%	-1.5%	-1.5%			
内阻温度系数	β	$1/^\circ\text{C}$	0.5%	0.5%	0.5%	0.3%	-0.5%	-0.5%			
热阻工作温度	R_Q	$^\circ\text{C/mW}$	0.4	0.25	0.2	0.1	0~40	0~40	-40~60		
	T	$^\circ\text{C}$	-40~45	-40~45	-40~45	-40~75					

三、霍尔元件的温度补偿

霍尔元件对温度比较敏感，它的内阻（输入、输出）及灵敏度系数都与温度变化有关。下面简单介绍三种温度补偿方案。

1. 采用恒流源及并联电阻补偿

图 4.10.3 是补偿电路图，采用恒流源和并联电阻可补偿输入内阻及灵敏度系数受温度变化的影响。并联电阻 R_P 选取合适的值可起到较好的补偿效果：

$$R_P = R_{i0} \beta / \alpha$$

式中 R_{i0} 为霍尔元件使用温度下的输入电阻； β 为内阻温度系数； α 为霍尔电势温度系数。

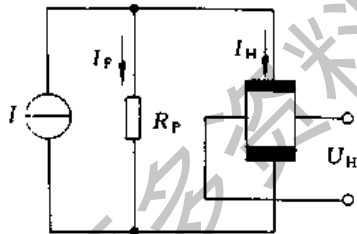


图 4.10.3 用恒流源、并联电阻的补偿电路

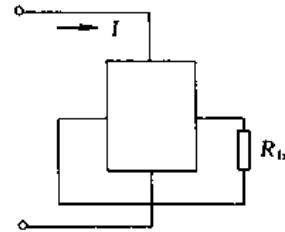
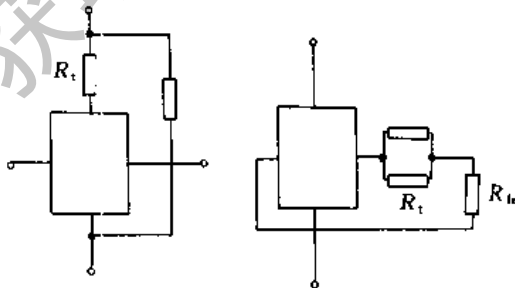


图 4.10.4 负载补偿原理图

2. 利用输出负载补偿



(a) 输入回路热敏电阻补偿 (b) 输出回路热敏电阻补偿

图 4.10.5 温度补偿电路

图 4.10.4 是输出负载补偿原理图。在输入端控制电流恒定及输入电阻变化可忽略的情况下，选择合适的负载 R_L ，可补偿输出电阻随温度变化时引起的负载上输出电压变化的影响：

$$R_L = R_{o0} \left(\frac{\beta}{\alpha} - 1 \right)$$

式中 R_{o0} 为霍尔元件使用温度下的输出电阻。

3. 采用热敏电阻补偿

图 4.10.5 所示为补偿电路图。霍尔元件材料为锑化铟，其霍尔输出随温度升高而下降，采用具有

负温度系数的热敏电阻并选择适当值，即可实现补偿。

第二节 霍尔式传感器的应用

图 4.10.6 所示是一霍尔式压力传感器结构示意图。这种传感器是把压力先转换成位移，再应用霍尔电势与位移关系测量压力。被测压力由弹簧管 1 的固定端引入，弹簧管自由端与霍尔片 3 连接，在霍尔片的上、下方垂直安放两对磁极，使霍尔片处于两对磁极形成的非均匀磁场中。霍尔片的四个端面引出四根导线，其中与磁钢 2 相平行的两根导线和稳压电源相连接，另两根导线用来输出信号。当被测压力引入后，弹簧管自由端产生位移，因而改变了霍尔片在非均匀磁场（线性梯度）中的位置，从而使得作用在霍尔片上的磁感应强度发生变化，有霍尔电势输出。输出电势大小即反映了被测压力的大小。此霍尔传感器的位移在 $\pm 1.5\text{mm}$ 范围内，输出约 20mV ，工作电流 10mA ，线性较好。

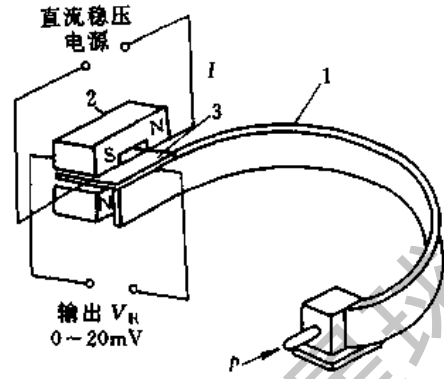


图 4.10.6 霍尔片式远传压力表结构示意图
1—弹簧管；2—磁钢；3—霍尔片

获取更多资料 微信搜索蓝领资料

第十一章 谐振式传感器

谐振式传感器是利用弹性体的谐振频率随所受力或压力等参数的变化而改变的特性进行工作的，常见的有振弦式、振筒式、谐振式、石英晶体等几种。这类传感器可以将被测量转换成电信号频率输出。它的特点是体积小，分辨力高，精度高，由于传感器输出信号为脉冲频率信号，因此便于数据传输、处理及存储。

第一节 振弦式传感器

振弦式传感器是以被拉紧的钢弦作为转换元件，弦的长度一定，它的振动频率即与拉紧力的大小有关。根据这一特性，它可应用于压力、力及变形等参量的测量。

一、工作原理

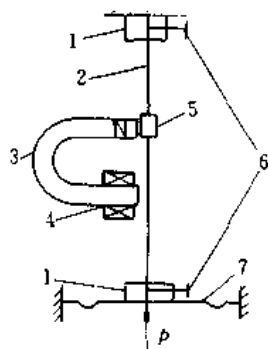


图 4.11.1 振弦式传感器结构原理图
1—夹块；2—振弦；3—永久磁铁；4—线圈；5—软铁块；6—螺钉；7—膜片

图 4.11.1 所示是振弦式传感器结构原理图。振弦的一端由夹块固定在支撑架上，另一端与传感器的敏感元件（弹性膜片）相连，固紧螺钉可调整弦的初始张力，弦的中间固定一软磁铁块，永久磁铁与线圈构成弦的激励器，同时 2 兼作振弦振动的拾振器。当线圈中有电流脉冲时，永久磁铁的磁性增强，软磁铁带动钢弦被磁铁吸住；当线圈中电流脉冲消失后，永久磁铁的磁性减弱，钢弦上即脱离磁铁而产生自由振动，这时软磁铁与永久磁铁间的磁阻发生变化，在兼作拾振器的线圈中将产生与弦的振动同频率的交变电势输出。当弦所受张力改变时，弦的振动频率也将随之改变，因此可通过测量输出信号的频率来确定力的大小。振弦的振动频率与弦的张力间关系可用下式表示：

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

式中 L ——弦的长度，m；
 T ——弦的张力，N；
 ρ ——弦的单位密度，kg/m。

以 $T = JS$ 和 $\rho = m/L$ 代入上式得：

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{JS}{m}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho'}}$$

式中 ρ' ——弦的体积密度 ($\rho' = m/s \cdot L$)，kg/m³；
 m ——弦的质量，kg；
 S ——弦的横截面积，m²；
 σ ——弦的应力，N/m²。

由上两式可知，根据弦的振动频率可以测量张力（或力）、应力（或压力）及相关的机械量。

二、激励方式

振弦振动的激励方式分两大类：间隙激励和连续激励。

1. 间隙激励

图 4.11.2 为间隙激励原理图。当张弛振荡器有激励脉冲输出时继电器吸合，于是磁铁线圈中有电流通过，

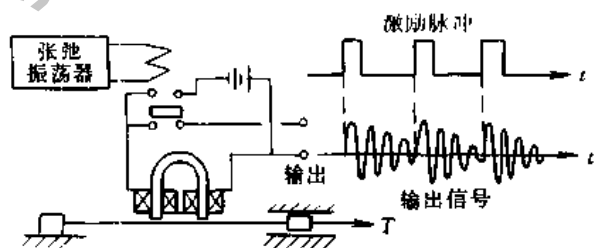


图 4.11.2 间隙激励原理图

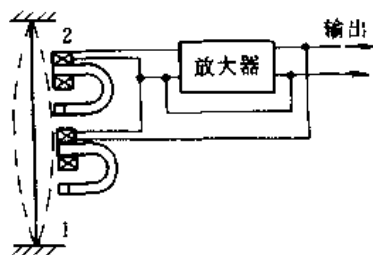


图 4.11.3 电磁激励原理图

磁铁吸住振弦；激励脉冲停止后继电器释放，磁铁松开振弦，从而振弦开始自由振动，振动的同时线圈中产生感应电势，经继电器接点输出。由于张弛振荡器是间隙工作的，保持振弦一直处于振动状态，在输出端就得到与振弦振动频率一致的交变感应电势信号。

2. 连续激励

图 4.11.3 为连结激励的电磁激励原理图。图中包括两个磁钢和两个线圈。线圈 1 激励振弦振动，线圈 2 拾振并产生感应电势。线圈 2 检测到的感应电势被送入放大器输入端，经放大后输出，同时也送至电磁线圈 1 继续激励振弦振动，形成正反馈。只要放大器输出电流能满足构成振荡器的振幅和相位条件，振弦将维持连续振动。

三、振弦式传感器应用

图 4.11.4 所示是一种差动式振弦压力传感器。在图中压力膜片的上下两侧安装了两根长度相等、相互垂直的振弦，构成两个振动系统，在电路中接成差动工作方式。在没有外力作用时，两根振弦所受的张力相同，受激励而振动时，它的振动频率相同，产生的差频信号频率为零。当受到外力 F 作用时，膜片被弯曲，上侧的弦 3 张力减小，振动频率降低，下侧的弦 4 张力增大，振动频率增高，混频器即输出一个频率等于它们振动频率之差的信号，这一输出信号的频率随着作用力的变化而变化。振弦接成差动形式可以改善线性，减小温度误差，提高测量灵敏度。

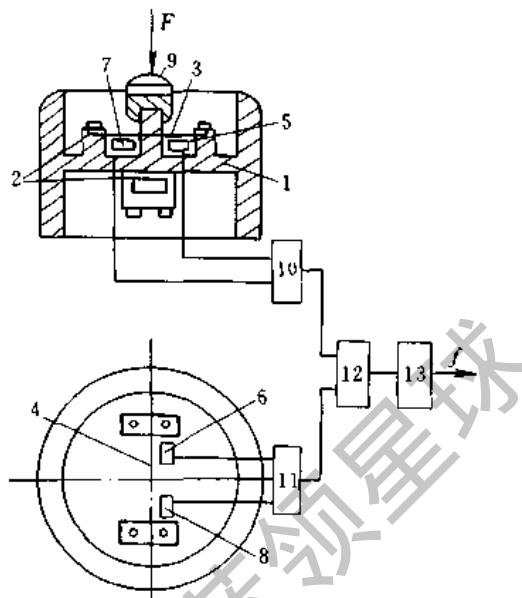


图 4.11.4 差动式振弦压力传感器
1—压力膜片；2—支座；3、4—振弦；5、6—拾振器；
7、8—激励器；9—柱体；10、11—放大/振荡电路；
12—混频器；13—滤波、整形电路

第二节 石英晶体谐振式传感器

石英晶体作为压电元件，在压电式传感器中是利用它的压电效应将被测量转换为电荷量的。石英晶体又是弹性体，根据它的谐振特性可以测量使其固有振动频率产生变化的参量。利用石英晶体制成的谐振式传感器，能将温度、压力等变换成频率信号。下面以温度测量为例，简述石英晶体谐振式传感器的工作原理。

石英温度传感器基本上都是采用称为 Y 切型高频石英谐振器制成。石英晶体的谐振频率与温度的关系可用下式表示：

$$\frac{f_t - f_{t_0}}{f_{t_0}} = A(t - t_0) + B(t - t_0)^2 + C(t - t_0)^3$$

式中 t_0 ——基准温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t ——工作温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

f_{t_0} ——基准温度时的谐振频率，Hz；

A, B, C ——温度系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}, ^{\circ}\text{C}^{-2}, ^{\circ}\text{C}^{-3}$ 。

从上式可知石英晶体的谐振频率 f_t 与温度间有确定的函数对应关系，谐振频率的大小反映了温度的变化。

石英温度传感器的结构见图 4.11.5 所示。传感器由 Y 切型的石英圆盘制成，在圆盘的中心部位，用真空沉积法敷镀金激励电极，谐振器用金属管壳密封，其中充入导热系数较大的气体（氮），热惰性较小。

图 4.11.6 为一种石英温度传感器方框图。电路中有两个振荡器，其中热敏振荡器的基本谐振频率（ t_0 温度下）为 28MHz，基准振荡器的振荡频率为 2.8MHz，它通过十倍频后得到一个 28MHz 的频率输出。计数器的输入信号是混频电路输出的差频信号，最终由计数器输出数字量。随着温度的增加或降低，差频信号也随之产生变化，数字输出量反映了温度的大小。

热敏振荡器的激励由电容三点振荡器电路实现，见图 4.11.7 石英温度传感器电路。

石英温度传感器测温范围一般为 $-80 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，最大测温误差不大于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

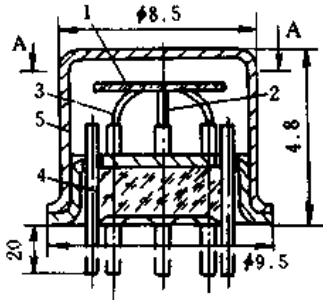


图 4.11.5 温度谐振传感器结构
1—压电晶体；2—激励电极；
3—导线；4—基座；5—金属外壳

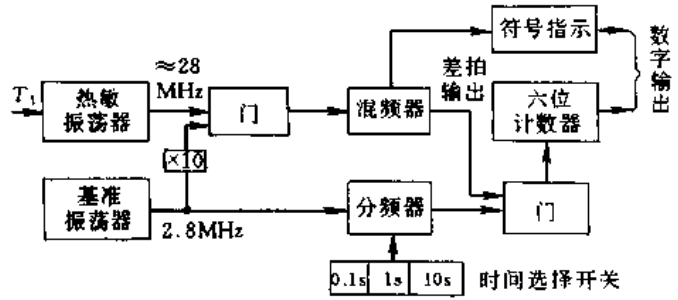


图 4.11.6 石英温度传感器方框图

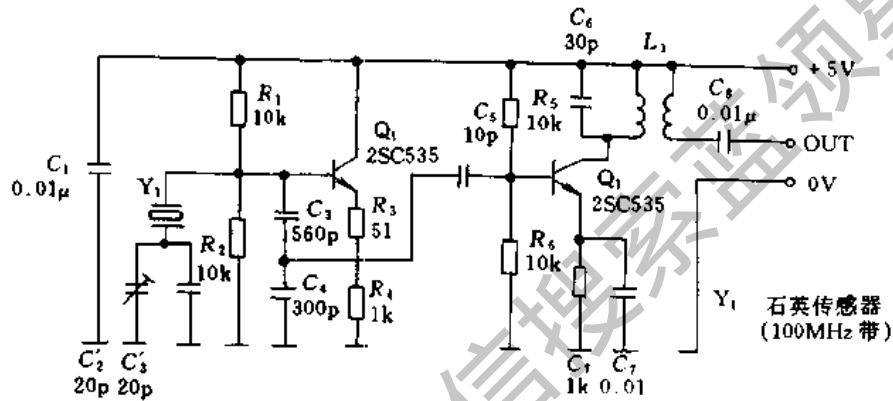


图 4.11.7 石英温度传感器电路

获取更多资料

第五篇 电动机及控制

第一章 电动机的基础知识

第一节 电动机的工作原理

电动机是通过电磁感应原理实现将电能转换为机械能的机械。电与磁是电机能够实现能量转换的两大要素。为实现能量的转换，在电动机中必须具有能相对运动的两大部件，即电动机的定子和转子。这两大部件，一个部件产生励磁磁场，另一个部件主要是流过工作电流。工作电流与励磁磁场相互作用便产生电磁力和电磁转矩。电磁转矩也可以看成是由励磁磁场与由工作电流产生的磁场之间相互作用而产生的（两个磁场必须在具有相同极数和相对静止的条件下，才能产生有效的单方向转矩）。产生励磁磁场的方式和工作电流的形式不同，便形成不同形式的电动机。

一、异步电动机的工作原理

异步电动机定子铁芯的槽中嵌放交流绕组（三相、二相或单相绕组），当交流电流（三相、二相或单相电流）流过定子绕组时，在气隙中产生旋转磁场，旋转磁场在定子、转子绕组中分别产生感应电势。转子感应电势在转子绕组的闭合回路中产生转子电流。转子电流与气隙基波磁场相互作用产生电磁转矩。这一电磁转矩拖动电动机的转子和机械负载旋转，输出机械功率。很显然转子导体中感应电势、电流和电磁转矩的大小与转子导体和气隙基波旋转磁场间的相对速度有关。当相对速度为零时（即转子转速等于同步转速），转子导体与气隙基波旋转磁场的转速，即小于同步转速。由于异步电动机的转速与同步速之间始终存在差异，故称为异步电动机。又因为转子电流和转子磁场是靠感应而产生的，故又称为感应电动机。但如果在转子回路中引入附加电势和电流，则转速可达同步速以上，如三相异步换向器式电动机。

二、同步电动机的工作原理

同步电动机一般做成磁极旋转式，转子绕组中通入直流电流形成转子磁场。定子绕组为交流绕组，当交流电流流过定子绕组时，在气隙中产生定子旋转磁场（又称电枢磁场）。这是两个独立的磁场，当转子磁场也以同步速与电枢磁场同向旋转，并有相对位移时，它们之间便会产生电磁力和相应的电磁转矩。电磁转矩的大小与两磁场间的相对位移有关，作为同步电动机运行时，是定子磁场在前、转子磁场在后，定子磁场拉着转子磁场同步旋转，其转速固定等于定子磁场的转速，即为同步速。

由于只有在转子同步旋转时，才产生电磁转矩，故同步电动机本身无起动转矩，通常采用异步起动法。对于小型同步电动机其转子也有采用永久磁铁做磁极或做成凸极反应式（磁阻式）转子。

三、直流电动机的工作原理

直流电动机一般为电枢旋转式，磁极安装在定子上，采用直流励磁。小型的直流电动机磁极也有采用永久磁铁的。电枢绕组嵌放在转子铁芯的槽中，借助换向器和电刷将输入电枢绕组中的直流电流转换为交流电流，使得处在N极面下的电枢导体中的电流始终为一个方向，而处在S极面下的电枢导体中的电流始终为另一个方向。电枢导体中的电流与气隙磁场作用，从而产生单方向的电磁转矩拖动转子和机械负载旋转，电动机输入电功率而输出机械功率，实现机电能量的转换。

第二节 电动机的用途和分类

一、异步电动机的用途和分类

1. 特点和用途

异步电动机有许多突出的优点，如结构简单。制造、使用和维护方便，运行可靠，效率较高，价格低廉等，这些优点使得异步电动机成为工农业及日常生活中应用最广泛的一种电动机。它广泛地用作各类机床、水

泵、风机、起重设备、加工设备、一般机械及家用电器的动力源。但它也存在一些缺点，如转速不易调节、起动性能较差，所以对起动和调速要求较高的场合，异步电动机不如直流电动机。另外异步电动机必须由电网供给激磁电流，增加了电力系统的无功负担，造成系统的功率因数下降，所以一些大型设备，如大型空压机、球磨机、大型化工机械等，为了改善功率因数常采用同步电动机。

2. 分类

异步电动机按所用电源的相数分为三相异步电动机和单相异步电动机。三相异步电动机根据不同的分类方式又分为不同的类别，其主要分类方式和类别见表 5.1.1。

表 5.1.1 三相异步电动机的分类

分类方式	转子绕组形式	防护形式	通风冷却方式	安装方式	工作定额
类别	笼型	开启式 防护式 封闭式 防爆式	自冷式 自扇冷式 他扇冷式 管道通风式	卧式	连续 断续 间歇
	绕线型			立式	

单相异步电动机主要是按起动方式分类，可分为：

- ① 电阻起动单相异步电动机；
- ② 电容起动单相异步电动机；
- ③ 电容运转单相异步电动机；
- ④ 电容起动运转单相异步电动机；
- ⑤ 罩极式单相异步电动机。

二、同步电动机的用途和分类

1. 特点和用途

同步电动机的特点如下。

- ① 同步电动机的转速与电源频率间存在着固定的关系，即：

$$\text{转速} \quad n = n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中 n_1 ——同步转速；

f ——电源频率；

p ——极对数。

当电源频率一定时，转速 n 一定，即等于同步转速。

② 调节同步电动机的转子激磁电流，可改变其输入电流的功率因数，从功率因数滞后到功率因数超前。因此接在电网上过激运行的同步电动机可改善电网的功率因数。

基于上述特点，同步电动机一般用于驱动不需要调速的大型机械设备，如大型空压机、球磨机、风机、水泵等。小功率同步电动机也常应用于控制领域。同步电动机若采用变频电源供电，也可以调速运行。

2. 分类

同步电动机按转子结构形式可分为：

- ① 凸极式——转子有显露的磁极，激磁绕组为集中绕组，用于 $p \geq 2$ 的同步电动机；
- ② 隐极式——转子为圆柱形，激磁绕组为分布绕组，用于 $p \leq 2$ 的同步电动机；
- ③ 反应式（磁阻式）——无激磁绕组，用于低转速的同步电动机和小功率同步电动机；
- ④ 永磁式——转子磁极用永磁体制作，用于小功率同步电动机。

三、直流电动机的用途和分类

1. 特点和用途

直流电动机具有良好的起动和调速性能且过载能力大等特点，适用于需要在宽广范围内平滑调速的场所，如电车、电力机车、轧钢机、起吊设备及有特殊运行要求的自动控制系统中。

2. 分类

直流电动机通常按励磁方式分类如下：

- ① 他励式——励磁绕组与电枢绕组无电的直接联系，励磁电流由另外的直流电源供电；
- ② 并励式——励磁绕组与电枢绕组并联连接；

- ③ 串励式——励磁绕组与电枢绕组串联连接；
- ④ 复励式——励磁绕组一部分与电枢绕组并联连接，另一部分与电枢绕组串联连接；
- ⑤ 永磁式——磁极用永磁体制作。

第三节 电动机的主要技术数据

一、异步电动机的主要技术数据

一般异步电动机的主要技术数据如下。

- (1) 额定电压 U_N 指电动机额定运行时，定子绕组的线端电压，用 V 或 kV 表示。
- (2) 额定电流 I_N 指电动机额定运行时，输入定子绕组的线电流，用 A 或 kA 表示。
- (3) 额定功率 P_N 指电动机额定运行时，转子转轴上输出的机械功率，用 W 或 kW 表示。
- (4) 额定转速 n_N 指电动机额定运行时，转子的旋转速度，用 r/min 表示。
- (5) 额定效率 η_N 指电动机额定运行时，输出功率与输入功率之比，用百分数表示。
- (6) 额定功率因数 $\cos\varphi_N$ 指电动机额定运行时，定子电路的功率因数。
- (7) 起动电流 I_{α} 指电动机在额定电压和额定频率下直接起动时的最大输入线电流，用额定电流 I_N 的倍数表示时，一般为 5~7 倍。
- (8) 起动转矩 T_{α} 指电动机在额定电压和额定频率下直接起动时的最低转矩，用额定转矩倍数表示时，一般为 0.7~2.2 倍。
- (9) 最大转矩 T_{\max} 指电动机在额定电压和额定频率下运行时，所能产生的最大转矩，用额定转矩的倍数表示（又称过载能力）时，一般为 1.6~2.5 倍，特殊设计的可达 3.0 倍。
- (10) 额定频率 f_N 制造厂规定的电动机正常运行时所接电网的频率。我国电网的频率为 50Hz。
- (11) 转子额定电势 E_{2N} 指绕线式异步电动机转子不转时，转子绕组开路电势，用 V 表示。
- (12) 转子额定电流 I_{2N} 指绕线式异步电动机额定运行时的转子电流，用 A 表示。

二、同步电动机的主要技术数据

同步电动机的主要技术数据的第 (1) ~ (10) 项同异步电动机的第 (1) ~ (10) 项。

- (11) 额定励磁电压 U_{fN} 指额定运行时，转子绕组端应加的电压值，用 V 表示。
- (12) 额定励磁电流 I_{fN} 指额定运行时，转子绕组输入的励磁电流，用 A 表示。
- (13) 牵入转矩 T_{pi} 同步电动机异步起动，转速接近同步速转入通入励磁电流时的转矩值，用额定转矩倍数表示时，一般为 0.8~1.8 倍。

三、直流电动机的主要技术数据

直流电动机的主要技术数据有：额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定功率 P_N 、额定转速 n_N 、额定效率 η_N 及额定励磁电流 I_{fN} 等。

第四节 电动机性能分析中的常用计算公式

一、异步电动机性能分析中的常用公式

1. 效率

$$(1) \text{ 输入功率} \quad P_1 = \sqrt{3} UI \cos\varphi \quad \text{W} \quad (5.1.1)$$

式中 U ——定子端输入线电压，V；

I ——定子端输入线电流，A；

$\cos\varphi$ ——定子电路功率因数。

$$(2) \text{ 效率} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1} \quad (5.1.2)$$

式中 P_2 ——输出功率，W 或 kW；

$\sum P$ ——电机内部的总损耗。

2. 电磁转矩和机械特性

异步电动机的机械特性指的是电磁转矩 T 和转差率 s （或转速 n ）之间的关系，即 $T = f(s)$ 或 $T = f(n)$ ，这可由下面的转矩公式中反映出来。

- (1) 用参数表示的电磁转矩计算公式

$$\text{电磁转矩} \quad T = \frac{m_1 P}{\omega_1} U_1^2 \frac{\frac{r'_2}{s}}{\left(r_1 + c_1 \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + c_1 x'_2)^2} \quad \text{N}\cdot\text{m} \quad (5.1.3)$$

式中 m_1 ——定子绕组相数；

p ——极对数；

U_1 ——定子每相电压值, V；

ω_1 ——定子电流的角频率；

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \text{转差率；}$$

n_1 ——同步转速；

n ——转子转速；

r_1 ——定子绕组每相电阻值, Ω ；

x_1 ——定子绕组每相漏电抗值, Ω ；

r'_2 ——归算至定子侧的转子绕组每相电阻值, Ω ；

x'_2 ——归算至定子侧的转子绕组每相漏电抗值, Ω ；

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} \quad \text{系数；}$$

x_m ——激磁电抗, Ω 。

在近似计算中,可略去 r_1 和近似认为 $c_1 = 1$ 。

(2) 电磁转矩的实用公式

$$T = T_{\max} \frac{2}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} \quad \text{N}\cdot\text{m} \quad (5.1.4)$$

式中 $T_{\max} = k_M \cdot T_N$ ——最大转矩, $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

k_M ——过载能力；

$$T_N = 9.55 \frac{P_N}{n_N} \quad \text{额定转矩, N}\cdot\text{m}；$$

s_k ——临界转差率；

$$s_k = s_N (k_M + \sqrt{k_M^2 - 1})$$

s_N ——额定转差率。

3. 起动电流

$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \quad \text{A} \quad (5.1.5)$$

或

式中 k_i ——起动电流倍数。

$$I_{st} = k_i \cdot I_N$$

二、同步电动机性能分析中常用公式

1. 凸极式同步电动机

(1) 有功功率功角特性和输出功率 功角特性是指功率和功率角的关系, 即 $P_2 = f(\delta)$, $P_M = f(\delta)$ 和 $Q = f(\delta)$ 。

略去定子绕组电阻时:

$$P_1 = P_M = \frac{m_1 E_0 U}{x_d} \sin \delta + \frac{m_1 U^2 (x_d - x_q)}{2 x_d x_q} \sin 2\delta \quad (5.1.6)$$

式中 P_1 ——输入功率；

P_M ——电磁功率；

m_1 ——定子相数；

E_0 ——空载电势(相值)；

U ——定子绕组端相电势；

x_d ——直轴同步电抗；

x_q ——交轴同步电抗；

δ ——功率角。

$$\text{输出功率} \quad P_2 = P_M - P_0 \quad (5.1.7)$$

式中 P_2 ——输出的机械功率；

P_0 ——电动机的空载损耗。

(2) 无功功率的功角特性 略去定子绕组电阻时

$$Q = \frac{m_1 E_0 U}{x_d} \cos \delta + \frac{m_1 U^2 (x_d - x_q)}{2x_d x_q} \cos 2\delta - \frac{m_1 (x_d + x_q)}{2x_d x_q} U^2 \quad (5.1.8)$$

式中 Q ——无功功率。

(3) 电磁转矩和输出转矩

电磁转矩

$$T = \frac{p}{\omega_1} P_M \quad (5.1.9)$$

式中 p ——极对数；

$\omega_1 = 2\pi f$ ——电流变化的角频率。

输出转矩

$$T_2 = \frac{p}{\omega_1} P_2 \quad (5.1.10)$$

式中 $P_2 = P_M - P_0$ ——输出功率；

P_0 ——空载损耗功率。

(4) 起动性能计算 起动性能的计算是代入不同的转差率 s 值,于下列公式中先求出定子电流 $I(s)$,再由定子电流计算异步转矩,从而得到转矩转差率曲线。

$$Z_d(s) = \frac{1}{\frac{1}{jx_{ad}} + \frac{1}{\frac{(K+1)R_f}{s} + jx_{of}} + \frac{1}{\frac{R_{Dd}}{s} + jx_{Dd}}} \quad (\text{标么值}) \quad (5.1.11)$$

$$Z_q(s) = \frac{1}{\frac{1}{jx_{aq}} + \frac{1}{\frac{R_{Dq}}{s} + jx_{Dq}}} \quad (\text{标么值}) \quad (5.1.12)$$

式中 x_{ad} ——直轴电枢反应电抗；

x_{aq} ——交轴电枢反应电抗；

x_{of} ——励磁绕组漏电抗；

x_{Dd} ——阻尼绕组直轴漏电抗；

x_{Dq} ——阻尼绕组交轴漏电抗；

R_f ——励磁绕组电阻；

R_{Dd} ——阻尼绕组直轴电阻；

R_{Dq} ——阻尼绕组交轴电阻；

s ——转差率；

K ——励磁回路串接起动电阻与励磁绕组电阻之比。

$$Z_m(s) = \frac{1}{2} [Z_c(s) + Z_q(s)] = R_{av}(s) + jx_{av}(s) \quad (5.1.13)$$

$$Z(s) = Z_1 + Z_m(s) = [R_1 + R_{av}(s)] + j[x_{ol} + x_{av}(s)] = R(s) + jx(s) \quad (5.1.14)$$

式中 R_1 ——定子绕组电阻；

x_{ol} ——定子绕组漏电抗。

$$|Z(s)| = \sqrt{R^2(s) + X^2(s)} \quad (5.1.15)$$

起动过程中的电流:

$$I(s) = \frac{1}{|Z(s)|} \text{ (标么值)} \quad (5.1.16)$$

起动过程中的转矩:

$$T(s) = I^2(s) R_{gv}(s) \frac{1}{\cos \varphi_N} \text{ (标么值)} \quad (5.1.17)$$

(5) 牵入同步条件 同步电动机在空载或轻载下起动, 当转速接近同步速时, 投入额定励磁电流便可顺利地牵入同步。在重载或负载的飞轮力矩 GD^2 很大时, 要使同步电动机顺利地牵入同步, 投励时的转差率 s_f 应满足:

$$s_f \leq s_{\max} \quad (5.1.18)$$

$$s_{\max} = \frac{77}{n_1} \sqrt{\frac{K_f K_M P_N}{\beta GD^2}} \quad (5.1.19)$$

且要求:

$$s_{\max} \geq s_0 \quad (5.1.20)$$

式中 s_0 ——异步起动过程中所能达到的最小转差率;

s_{\max} ——可能牵入同步的最大转差率;

n_1 ——同步转速, r/min;

GD^2 ——电动机转子和负载机械的总飞轮力矩, $N \cdot m^2$;

P_N ——额定功率, kW;

K_f ——投励时的励磁电流与额定励磁电流之比;

K_M ——静过载系数即最大电磁功率与额定电磁功率之比。

2. 隐极式同步电动机

隐极式同步电动机的 $x_{ad} = x_{aq} = x_a$, $x_d = x_q = x_c$ 。只要将此关系代入凸极式同步电动机的性能计算公式中, 便得到隐极式同步电动机的相应性能计算公式。不再赘述。

三、直流电动机性能分析中常用计算公式

1. 感应电势和电磁转矩

(1) 感应电势

$$E_a = C_e \Phi n \quad V \quad (5.1.21)$$

式中 Φ ——每极磁通, Wb;

n ——转速, r/min;

$C_e = \frac{pW}{60a}$ ——电势常数;

p ——极对数;

a ——并联支路双数;

W ——电枢总导体数。

(2) 电磁转矩

$$T = C_T \Phi I_a \quad N \cdot m \quad (5.1.22)$$

式中 I_a ——电枢电流, A;

$C_T = \frac{pW}{2\pi a}$ ——转矩常数。

2. 机械特性表达式

$$n = \frac{U - 2\Delta U}{C_e \Phi} - \frac{\sum r_a}{C_e C_T \Phi^2} T \quad r/min \quad (5.1.23)$$

式中 U ——电枢端电压, V;

$2\Delta U$ ——电刷接触电压降, V;

$\sum r_a$ ——电枢回路总电阻, Ω 。

第五节 电动机常用的调速公式

一、异步电动机的调速公式

异步电动机的转速公式为：

$$n = \frac{60f}{p}(1-s) \quad (5.1.24)$$

由转速公式可以看出，影响转速的量有电源频率 f 、极对数 p 和转差率 s 。因此，异步电动机的调速方法有以下几种：

- ① 改变供电电源的频率——变频调速；
- ② 改变电动机的极对数——变极调速；
- ③ 改变转差率，该方法又分为：
 - a. 改变外施电压——变压调速；
 - b. 在转子回路中引入外加电阻调速；
 - c. 在转子回路中引入附加电势调速——串级调速。

二、同步电动机的调速公式

同步电动机的转速公式为：

$$n = n_1 = \frac{60f}{p} \quad (5.1.25)$$

由于同步电动机转子极对数是固定的，故无法通过改变 p 来调速。同步电动机改变转速的唯一方法，就是改变供电电源的频率调速。

三、直流电动机的调速公式

直流电动机的转速公式为：

$$n = \frac{U - I_a(r_a + R_a) - 2\Delta U}{C_e \Phi} \quad (5.1.26)$$

式中 r_a ——电枢绕组电阻；

R_a ——电枢回路的附加电阻。

由式可见，直流电动机有以下三种调速方法：

- ① 调节励磁电流以改变每极磁通 Φ 调速；
- ② 调节外施电源电压 U 调速；
- ③ 电枢回路中引入可调电阻 R_a 调速。

第二章 三相异步电动机

第一节 三相异步电动机的运行原理及基本结构

三相异步电动机的定子槽内均匀对称地分布着 A、B、C 三相绕组，当通以三相正弦电流时在空间将会产生一个旋转磁场。其原理见图 5.2.1。以二极电机为代表，并分别以三线圈 A-X、B-Y、C-Z 分别代表三相均布绕组。三绕组内分别通以三相正弦电流： $i_A = I_m \cos \omega t$ ， $i_B = I_m \cos (\omega t - 120^\circ)$ ， $i_C = I_m \cos (\omega t - 240^\circ)$ ，约定当电流为正值时从线圈首端 (A、B、C) 流出 (用 \odot 表示)，从尾端 (X、Y、Z) 流入 (用 \otimes 表示)，反之当电流为负值时从首端 (A、B、C) 流入，从尾端 (X、Y、Z) 流出。当三相绕组通以三相正弦电流后，在空间将产生一个合成磁场，以 Φ 表示。考察 $\omega t = 0^\circ、120^\circ、240^\circ、360^\circ$ 时各个时刻的磁场方向，可以发现当电流变化一个周期时合成磁场 Φ 正巧旋转一周，这一旋转磁场将会在转子导体内感应出电流，定子、转子电流的相互作用产生电磁转矩，从而带动转子旋转。

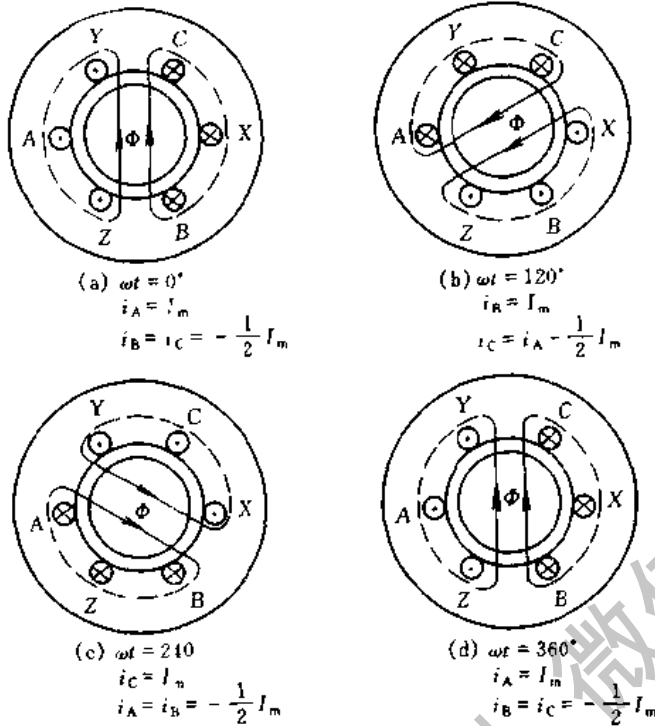


图 5.2.1 两极旋转磁场示意图

三相异步电动机的基本结构见图 5.2.2、图 5.2.3，其基本部件为机座、定子、转子、转轴、轴承、端盖、接线盒、外风扇、风罩。机座、端盖一般为铸件。定子由热轧或冷轧

三相异步电动机的基本结构见图 5.2.2、图 5.2.3，其基本部件为机座、定子、转子、转轴、轴承、端盖、接线盒、外风扇、风罩。机座、端盖一般为铸件。定子由热轧或冷轧

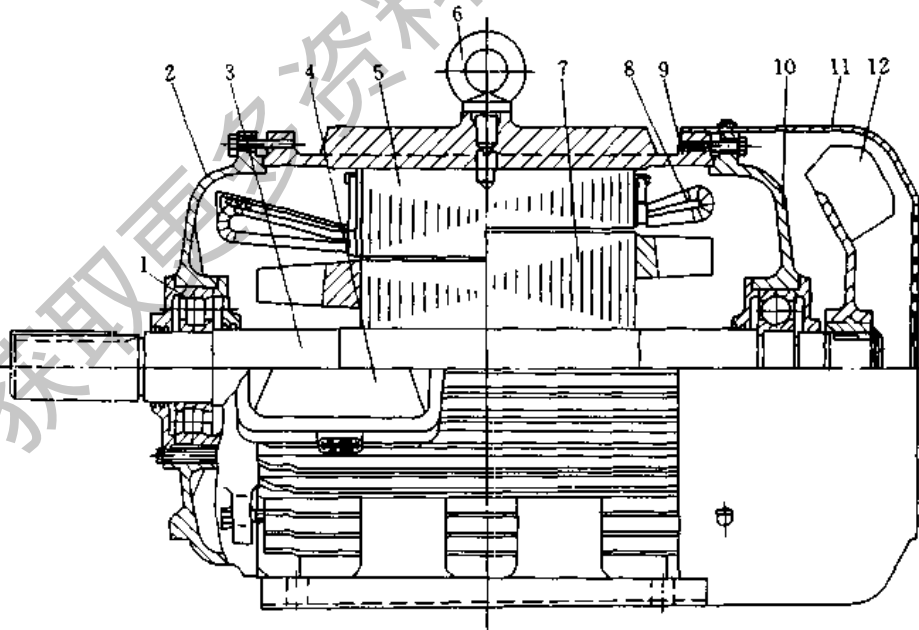


图 5.2.2 小型封闭自扇冷式笼型转子异步电机总装图

1—轴承；2—后端盖；3—转轴；4—出线盒；5—定子铁芯；6—吊攀；7—转子；8—定子绕组；9—机座；10—前端盖；11—风罩；12—风扇

矽钢片冲制叠压而成。机座与定子之间由紧定螺钉来固定，对于频繁正反转的电机则由键定位。定子槽内插入槽绝缘，然后再嵌入漆包线，并再进行绝缘漆浸渍处理。转子与轴之间用热套或轴滚花过盈配合，对于频繁正反转电机转子与轴之间有键定位。轴承一般用双面密封单列向心球轴承，对于中心高较大 ($H > 160\text{mm}$) 的电机，轴伸端轴承一般采用柱轴承。电机外侧带有冷却风扇，其材质一般为塑料，大容量电机则为铸件。对于绕线式电机转轴上还装有集电环，端盖侧面装炭刷盒组件，它们的功能是引出转子电流外接电阻以实现绕线转子的起动和调速。为了防止炭粉进入定子绕组，一般集电环与定、转子之间有挡尘板。对于开启式电机，一般机座端盖上有窗口，以利散热。而对于封闭式电机，则机座上有散热筋。

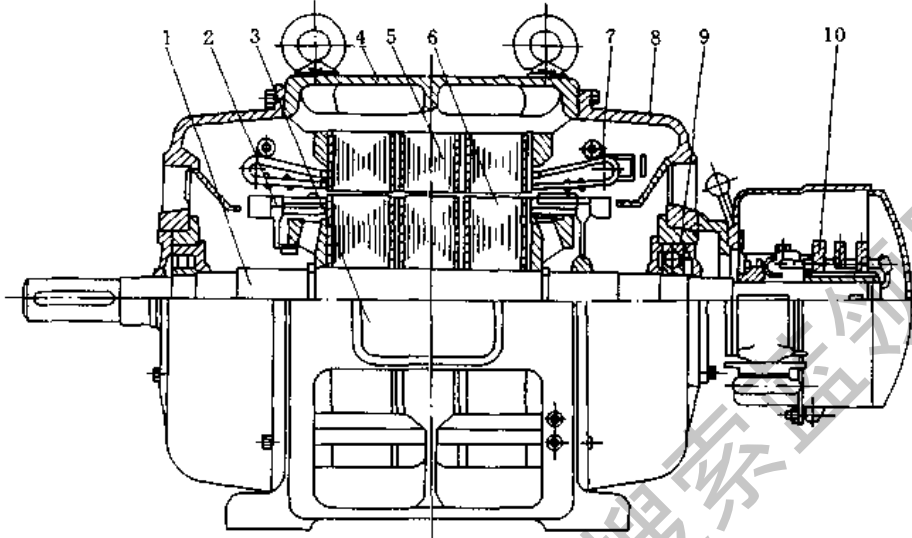


图 5.2.3 中型自扇冷防护式绕线转子异步电机总装图

1—转轴；2—转子绕组；3—出线盒；4—机座；5—定子铁芯；
6—转子铁芯；7—定子绕组；8—端盖；9—轴承；10—集电环

第二节 三相异步电动机的分类及型号

三相异步电动机是使用最广泛的电机，一般可按转子型式、防护等级、冷却方式、安装方式、工作制、绝缘等级和中心高等对其进行分类，详见表 5.2.1。

表 5.2.1 三相异步电动机分类

分类	转子型式	防护等级	冷却方式	安装方式	工作制	尺寸大小 中心高 H/mm 定子铁芯外径 D/mm	绝缘等级	使用环境
类别	笼式 绕线式	封闭式 (IP44 ~ IP65)	自冷式	B3	$S_1 \sim S_8$	$H > 630$ $D > 1000$ 大型	B	普通 干热、湿热 船用、化工 防爆 户外 高原
		开启式 (IP23)	自扇冷式	B5		$H: 350 \sim 630$ $D: 500 \sim 1000$ 中型	F	
			他扇冷式	B35		$H: 80 \sim 315$ $D: 120 \sim 500$ 小型	H	

注：B3——卧式，机座带底脚，端盖无凸缘；
B5——立式，机座不带底脚，端盖带凸缘；
B35——立卧式，机座带底脚，端盖带凸缘；
B——绕组允许温升 80K；
F——绕组允许温升 105K；
H——绕组允许温升 125K；
 S_1 ——连续运行；
 S_2 ——短时运行；
 S_3 ——断续周期（反复短时）运行；
 S_4 ——包括起动的断续周期运行；
 S_5 ——包括电气制动的断续周期运行；
 S_6 ——连续周期运行；
 S_7 ——包括有电气制动的连续周期运行；
 S_8 ——包括负载与转速相应变化的连续周期运行。

三相交流异步电动机型号及用途见表 5.2.2。

表 5.2.2 三相异步电动机型号及用途

名 称	型 号		结构特征及用途
	新	旧	
异步电动机	Y	J, JO, J ₂ , JO ₂ , JO ₂ , JK, JL, JS	有防护式及封闭式, 铸铁机座, 铸铝笼式转子。用于一般机器, 如风机、水泵、机床等
异步电动机	Y ₂		Y 系列电机的更新换代产品
绕线转子异步电动机	YR	JR JRO	防护式, 铸铁机座, 绕线型转子。用于电源容量无法满足笼式电机起动电流要求的场合, 以及起动转矩较高或要求调速的设备
高起动转矩异步电动机	YQ	JQ, JQO	结构同 Y 系列。用于起动负载或惯量较大的机械, 如压缩机、粉碎机
高滑率异步电动机	YH	JH, JHO	结构同 Y 系列。用于驱动惯量较大及冲击负载的机械, 如剪切机、绞车等
多速异步电动机	YD	JD, JDO	结构同 Y 系列, 有 2~4 种速度。用于机床、风机等
精密机床用异步电动机	YJ	JJO	结构同 Y 系列。用于振动小、噪声低的精密机床
旁磁式制动电机	YEP	JEP	定子同 Y 系列, 转子有旁磁路结构, 有制动功能。用于卷扬机、行车、电动阀等
制动异步电动机(带制动器)	YEJ	JZD	定子同 Y 系列, 转子非出轴端带有制动器。用于电动葫芦、卷扬机、行车、电动阀等
锥形转子异步电动机	YEZ	ZD, ZDY JZ	定、转子均采用锥形结构, 有制动功能。用于电动葫芦、行车等
电磁调速异步电动机	YCT	JZT	由 Y 系列电机与滑差电磁离合器组合而成。用于纺织、化工、造纸等要求调速的设备
整流子调速异步电动机	YHT	JZS	防护式, 铸铁机座, 转子带有换向器, 有手动及电动遥控调速两种型式, 用于纺织、造纸、化工等要求调速的设备
齿轮减速异步电动机	YCJ	JTC	由 Y 系列电机与减速器组成。用于要求低速大转矩的机械, 如运输机械、矿山机械、造纸机械等
摆线针轮减速异步电动机	YXJ	JXJ	由 Y 系列电机与摆线针轮减速器组成, 速比较 YCJ 大。用于要求低速、大转矩的机械, 如运输机械、矿山机械、造纸机械等
力矩异步电动机	YLJ	JLJ JN	笼式转子, 导条采用高电阻合金。用于纺织、造纸、电缆、橡胶、冶金等要求软特性及恒转矩的机械
起重冶金用异步电动机	YZ	JZ ₂	铸铁机座, 笼式转子, 导条采用高电阻合金。用于起重及冶金机械
起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR	JZR ₂	铸铁机座, 绕线转子。用于起重及冶金机械
起重冶金用绕线转子异步电动机	YZR ₂		YZR 的更新换代产品
电动阀门用异步电动机	YOF		起动转矩、最大转矩高, 为电动阀门专用电机
电动阀门用异步电动机	YOF ₂		YOF 的更新换代产品
隔爆型异步电动机	YB	JB	防爆型。用于有爆炸气体的场合
木工用异步电动机	YM		木工机械专用电机, 起动转矩、最大转矩较高
风机专用多速异步电机	YOT		结构同 YO, 不同速度下的功率比符合风机特性要求
化工防腐用异步电动机	Y-F	JO-F JO ₂ -F	结构同 Y 系列。用于化肥、氯碱等化工厂的腐蚀气体环境中
船用异步电动机	Y-H	JO ₂ -H	结构同 Y 系列。用于船舰上
浅水排灌异步电动机	YQB	JQB	由水泵、电机及整体密封盒组成。用于排灌、消防等场合
辊道用异步电动机	YG	JG ₂	铸铁机座, 冶金行业辊道专用电机。适宜于在变频器供电下工作
变频调速异步电动机	YSPA		适用于变频器供电下工作, H 在 160mm 以上带有独立供电风机
电梯用异步电动机	YTD	JTD	为双速电机。6 极用于升降, 24 极用于平层

第三节 三相异步电动机的起动及制动方法

一、三相异步电动机的起动方法

三相异步电动机的起动电流一般为其额定电流的6~7倍。当电动机容量较大，电网无法承受直接起动所带来的电流冲击时，常采用以下起动线路及装置。

1. 直接起动

见图5.2.4。一般适用于50kW以下的电机。

2. 利用变阻器、电抗器及自耦变压器起动

利用变阻器、电抗器起动其线路基本相同，见图5.2.5。接触器 KM_2 先闭合，经由 R 或 L 限制起动电流，待起动结束， KM_1 闭合，随即 KM_2 断开进入全电压运转。当然为了进一步减小起动电流冲击，也可以对变阻器、电抗器分级抽头，逐级切除。自耦变压器起动见图5.2.5(c)，先接通 KM_2 、 KM_3 ，经由自耦变压器降压起动，起动结束后 KM_2 、 KM_3 断开， KM_1 接通，电机转入全电压运转。三种起动方式的起动曲线见图(d)。图中曲线1为直接全电压起动曲线，曲线2为变阻器或电抗器起动，曲线3为自耦变压器起动。曲线2起动瞬间由于 R 或 L 的限流作用起动电流较小，起动转矩相对也较小。随着转速的上升，电流渐渐减小，因而 R 或 L 上的压降也随之减小，电机上所加电压开始上升，因而转矩上升较快，所以其最大扭矩比自耦变压器起动要高。结合曲线2、曲线3的优点，可以在起动开始时先接通 KM_2 、 KM_3 ，实现自耦变压器起动，此时起动转矩较大。而后断开 KM_3 过渡到 L 起动，以获得较高的最大扭矩。最后接通 KM_1 ，断开 KM_2 ，电机实现全电压运转。

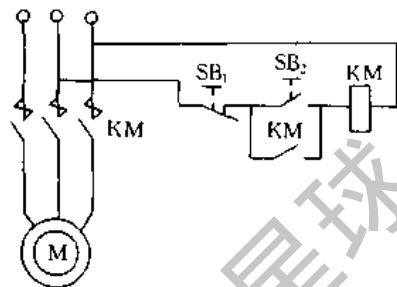


图 5.2.4 鼠笼异步电机直接起动线路

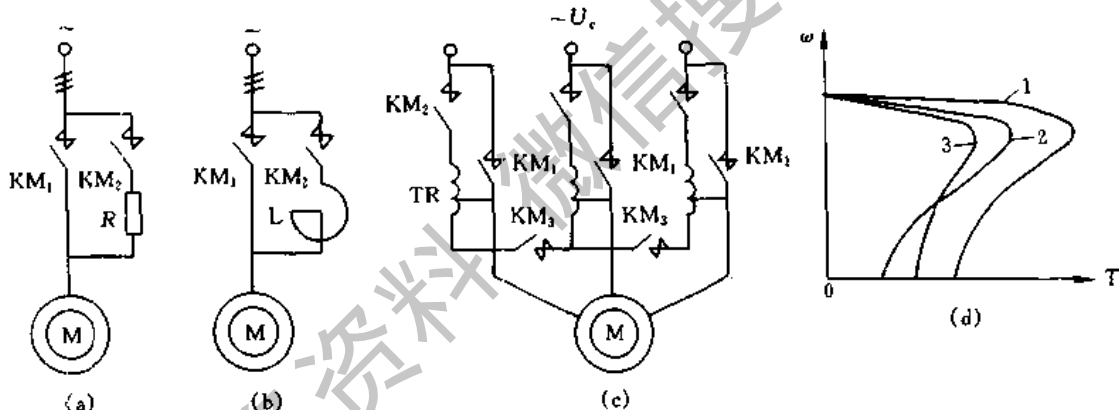


图 5.2.5 三相异步电机的变阻器、电抗器、自耦变压器起动

3. Y- Δ 起动

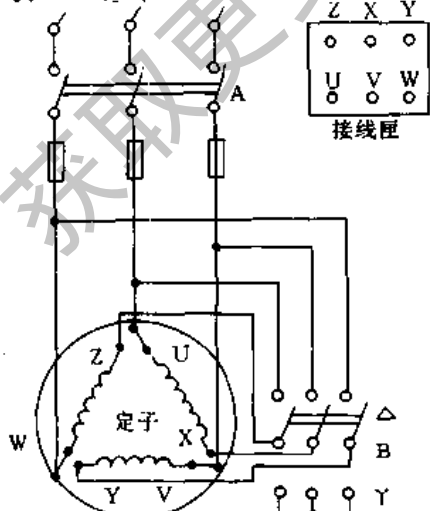


图 5.2.6 三相异步电机 Y- Δ 起动

这是最简单的起动方法，见图5.2.6。起动时开关 B 投向 Y ，实现 Y 接法 $1/3U$ 降压起动，而后开关 B 迅速投向 Δ ，过渡至 Δ 接法，以实现全电压运转。此方法仅适用于正常运转时 Δ 接法的电机。

4. 软起动器起动

上述几种起动方法均为有级起动，起动电流仍有冲击。对于较大容量电机可采用软起动器起动，见图5.2.7。软起动器实际上是由双向可控硅与控制线路组成的降压装置。通过电流检测，再经控制线路，调整触发角，慢慢提升电压，以实现按设定的电流值起动，起动结束，接触器 KM 闭合。

5. 绕线转子、电机转子串电阻起动

见图5.2.8，绕线转子通过集电环炭刷接上起动电阻。 KM_1 闭合后，逐级吸合 $KM_2 \sim KM_4$ ，以实现转子变阻起动。通过一定计算合理选择 R_1 、 R_2 、 R_3 ，可保证起动电流、起动转矩在一定范围内

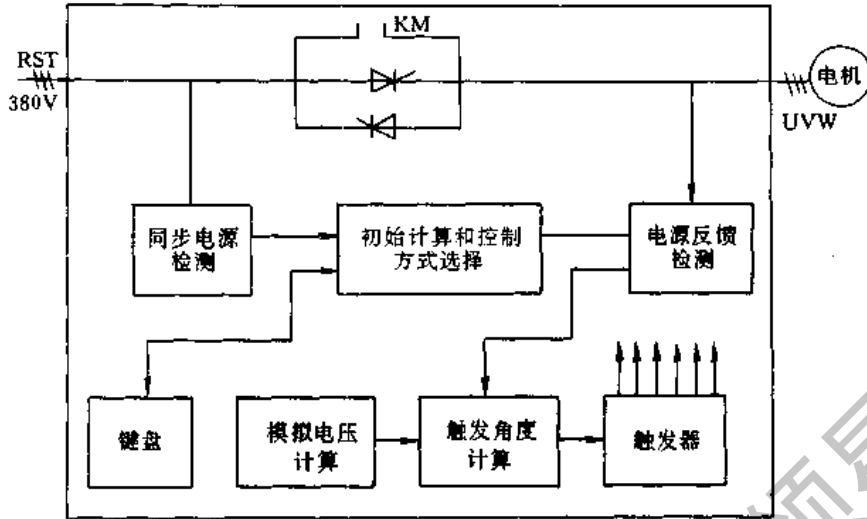


图 5.2.7 软起动器原理框图

变化。

6. 频敏变阻器起动

见图 5.2.9，对于绕线式电机，将绕线转子接上频敏变阻器，可获得较佳的起动性能。频敏变阻器是一个由厚钢板作铁芯的电抗器。起动瞬间转子频率较高，铁芯内有较大的涡流损耗，限制起动电流。随着转速上升，转子频率渐渐降低，铁芯涡流减少。最后切除频敏变阻器，集电环短接。

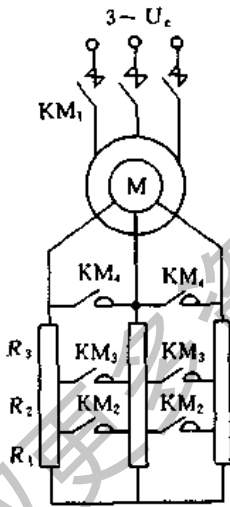


图 5.2.8 绕线转子、电机转子串电阻起动

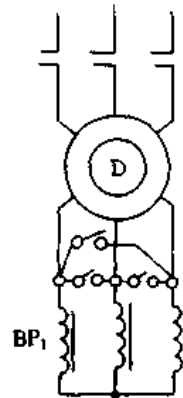


图 5.2.9 频敏变阻器起动

二、三相异步电动机的制动

1. 直流能耗制动

见图 5.2.10。接触器 KM_1 断开，经过继电器 KT ，接触器 KM_2 闭合，定子绕组通以直流电，于是在转子中感应出制动电流，实现能耗制动。制动电流可通过变压器 T 的变比及转子电阻 R_1 来调节。此线路亦适用于笼式电机。

2. 反接制动

见图 5.2.11。SR 为速度检测继电器，装于电动机轴端，其继电器的整定值为电机速度的 0.1~0.2。接触器 KM_1 断开后， KM_4 闭合，电机进入反接制动状态，当转速降到 0.1~0.2 额定转速时 SR 继电器断开， KM_4 断开，电机断电。

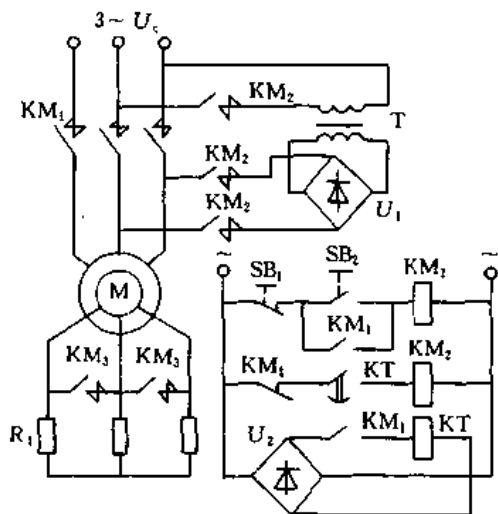


图 5.2.10 三相异步电动机的直流能耗制动

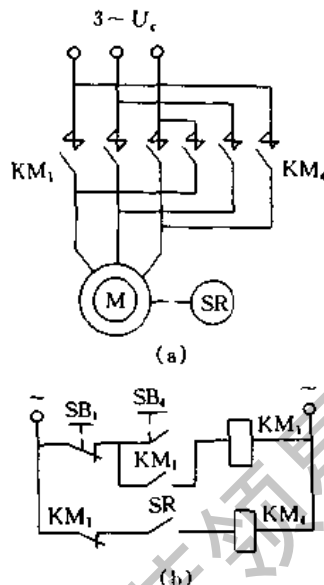


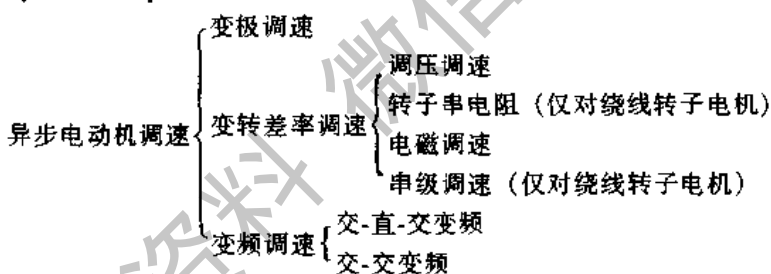
图 5.2.11 反接制动

第四节 三相异步电动机的调速方式

三相交流异步电动机的转速表达式为：

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

因此只要设法改变频率 f 、极对数 p 、转差率 s ，就能对交流电机实现调速控制。各种调速方式分列如下：



一、变极调速

通过改变定子绕组的极对数来改变电机转速。改变定子极对数一般有如下三种方法：

- (1) 单绕组 改变不同的接法来实现变极。
- (2) 多绕组 在定子槽内放两个独立的极对数不同的绕组。
- (3) 组合式 定子槽内有两套独立绕组，每套绕组又可以通过改变其接法来实现变极。

单绕组多速常用反向法来实现变极调速，其原理见图 5.2.12。该图以某一相绕组示意，通过该绕组接法改变，绕组中电流方向变化，从而由 2 极变为 4 极。其三相绕组的具体接法中较常用的接法有 2Y/Y、2Y/Δ、2Y/2Y，其中以 2Y/Δ 最为普遍，见图 5.2.13。需要注意的是单绕组变极调速其高速、低速时的功率和转矩是各不相同的，而且依接法的不同而有所变化。如高速 2Y 低速 Δ，则其功率比 $P_{低}/P_{高} = 0.866$ ，转矩比 $T_{低}/T_{高} = 1.732$ ；若高速为 2Y 低速为 Y，则 $P_{低}/P_{高} = 0.5$ ， $T_{低}/T_{高} = 1$ 。单绕组变极调速的控制线路见图 5.2.14。按动 1QA 按钮，接触器 2JC、ZJ 闭合，电机接线端 8D₁、8D₂、8D₃ 短接，4D₁、4D₂、4D₃ 接电源，电机 2Y 接法，4 极运行。若按动 2QA，则 1JC 闭合，8D₁、8D₂、8D₃ 接向电源，4D₁、4D₂、4D₃ 断开，电机 Δ 接法，8 极运行。此外还可用转换开关来实现对多速电

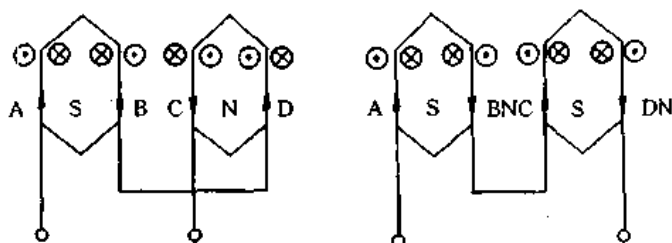


图 5.2.12 反向法变极原理图

机接线控制。

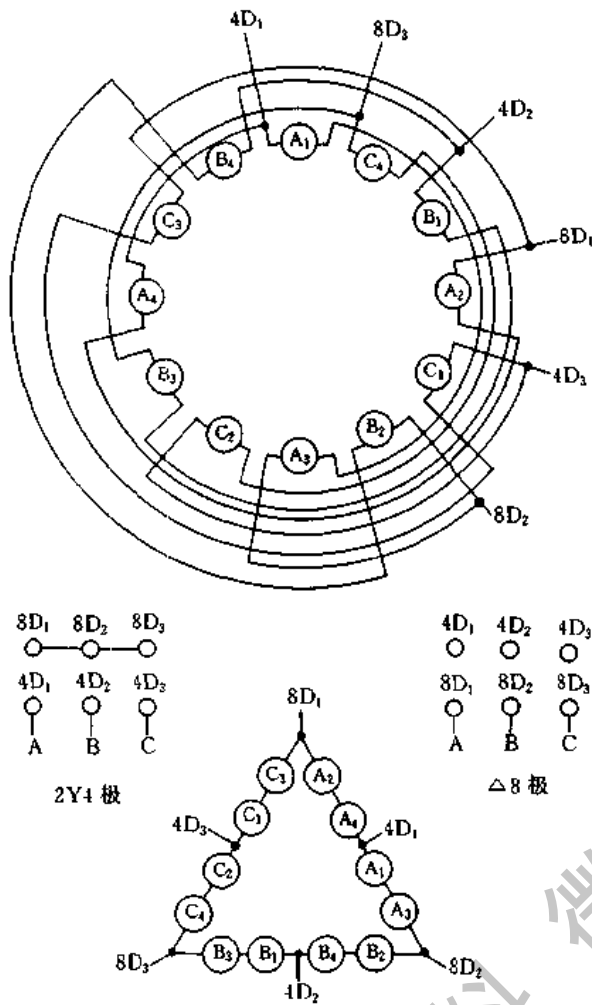


图 5.2.13 4/8 极 2Y/Δ 接线图

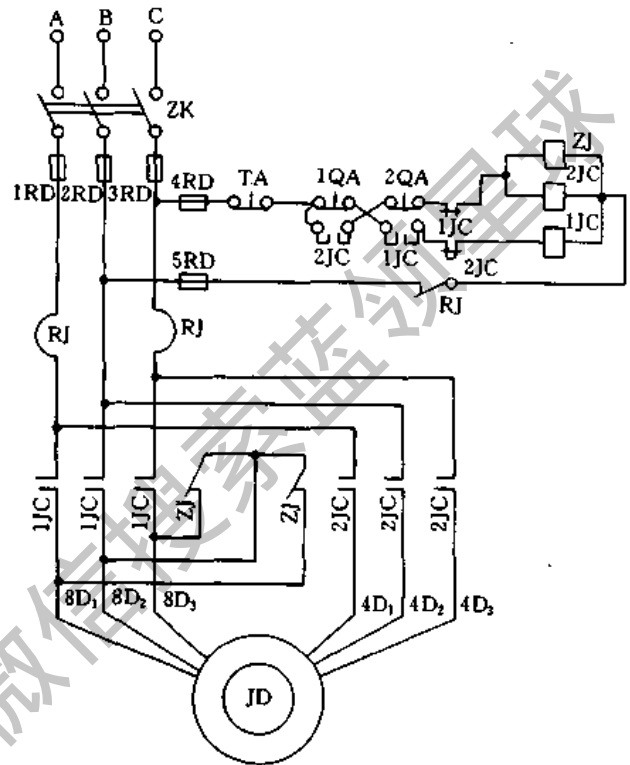


图 5.2.14 2Y/Δ 接法的接触器控制接线图

二、调压调速

调压调速是通过改变定子电压来调节速度。对于三相交流异步电动机，其机械特性表达式如下：

$$T = \frac{3pU_1^2 s r_2}{2\pi f_1 [(sr_1 + r_2)^2 + s^2(X_1 + X_2)]}$$

式中 r_1 、 r_2 、 X_1 、 X_2 ——定、转子阻抗；

s ——转差率；

p ——极对数。

转差率 s 较小，亦即转速较高时，上式中分子随 s 而成正比地增加，而分母中 sr_1 、 $s^2(X_1 + X_2)$ 相对于 r_2 较小，因而分母近乎不变，故转矩 T 随着转差率 s 的增加而线性增加，当 s 渐渐增大后 s 对分母的影响逐渐显著，因而转矩 T 的增长率开始下降，当 s 超过临界转差 s_k 后分母的增长速度超过分子，于是转矩 T 开始下降。其机械特性见图 5.2.15(a)，当 $s < s_k$ 时，电机可正常工作，特性较硬，转速变化不大，当 $s > s_k$ 时，无稳定运行点，电机无法正常工作。因此对于普通异步电机无法实现调压调速。当转子电阻 r_2 增大时，曲线 I 变成曲线 II，特性变软， s_k 增大，当 r_2 增加到一定程度时就变成图 (b)，此时若调节定子电压可得到不同的曲线。图示三条曲线即为不同电压时的机械特性。这样当负载转矩为 T_j 时，对于不同的电压就可得到不同的电机转速 n_A 、 n_B 、 n_C ，这就是调压调速的基本原理。其关键在于这种电机的转子电阻 r_2 要大，因此一般做成铸钢实心转子或采用电阻率较高的黄铜鼠笼条。其定子和一般异步电机无太大差别。显然对于绕线型异步电机，若串上转子电阻亦可实现调压调速。一般调压调速的调速比可达 1:10。

调压设备是调压调速系统中的重要组成部分，目前常用的调压设备有自耦变压器式调压器、感应式调压器

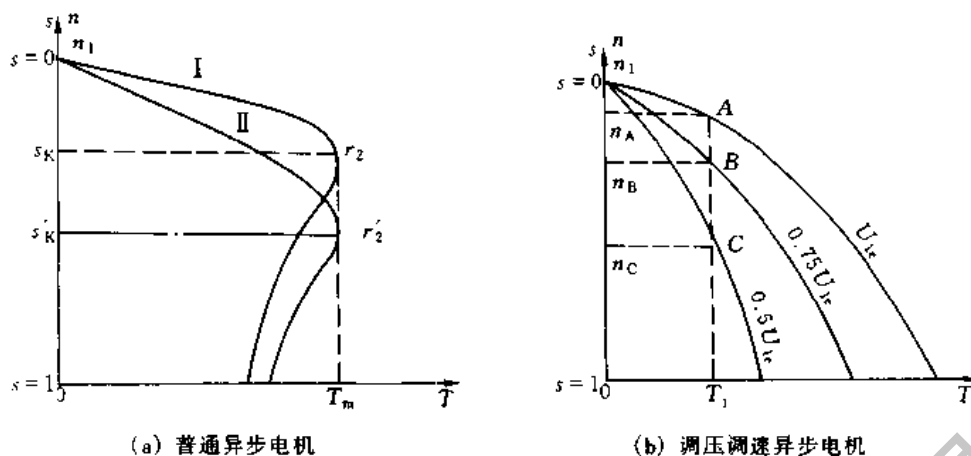
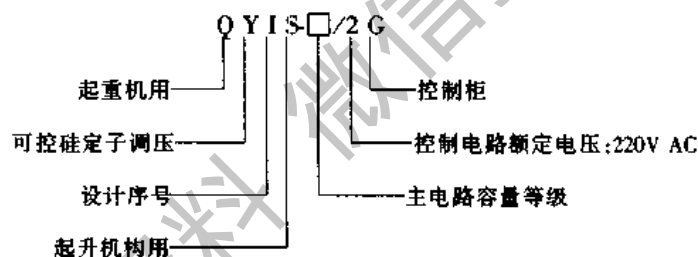


图 5.2.15 异步电机机械外特性

和晶闸管调压器。前两种电压波形好，功率因数高，但是设备笨重，且不易实现闭环调节，因而晶闸管调压调速系统使用愈来愈广泛。图 5.2.16 为典型的晶闸管调压器，主电路采用三只双向晶闸管，三相电源经由双向晶闸管接至电机。控制电路中 U_m 为电压给定信号， U_n 为电压反馈信号，经由运算放大器 AV 组成的调节器完成加法及调节运算后得控制电压 U_K ，同时控制三相的触发器 CFA、CFB、CFC，产生触发脉冲，经脉冲变压器 T_H 后去触发双向晶闸管。 T_S 为同步变压器，采用 $\Delta/Y-11$ 接法，以保证触发脉冲与主电路各相电压同步。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 与光电耦合器 GU、三极管、继电器等组成断相保护电路， $R_5 \sim R_8$ 、 $C_2 \sim C_4$ 、整流桥、LED 组成相序指示电路，当相序接错时 LED 亮。变压器 TV 若改为测速发电机则可组成速度闭环控制。

国内典型的调压调速装置是 QYIS-□/2G 系列交流起重机可控硅定子调压调速电控设备。其型号意义如下：



其技术参数见表 5.2.3。

表 5.2.3 QYIS 系列技术参数

型 号	交流输出			调速范围	可调速度	速度波动率	切换时间
	容量 /kW	额定电流 /A	额定电压 /V				
QYIS-63/2G	30	63	0~380	$D \geq 10$	$+50\% n_0 \sim -50\% n_0$	< 5%	$\leq 250\text{ms}$
QYIS-100/2G	52	100					
QYIS-160/2G	75	160					
QYIS-200/2G	96	200					
QYIS-250/2G	100	250					

三、电磁调速

电机部分见第五节。电磁调速电动机若要在负载变化时能稳速运行，就必须实现速度闭环控制，以保证在负载增加转速下降时能增加励磁电流，从而恢复至原转速。常用的控制器为 JDIA 型，其线路见图 5.2.17。 b_3 、 b_4 输入 49V，经二极管整流滤波在 W_1 得电压给定信号。而测速发电机的交流信号经整流滤波后得转速反馈信号，与给定信号相减后送三极管 BC_2 。 b_{10} 、 b_{11} 送 4.8V 经 BZ_1 半波整流电容充放电产生锯齿波，与经 BC_2 送来的移相控制信号相叠加后再经 BG_1 脉冲变压器产生移相触发脉冲，触发晶闸管 KZ 向励磁绕组送出励磁电流。JDIA 的稳速精度为 $\leq 1\%$ ，额定转速时转速变化率 $\leq 3\%$ ，可控制电磁调速电机功率为 0.55~90kW。

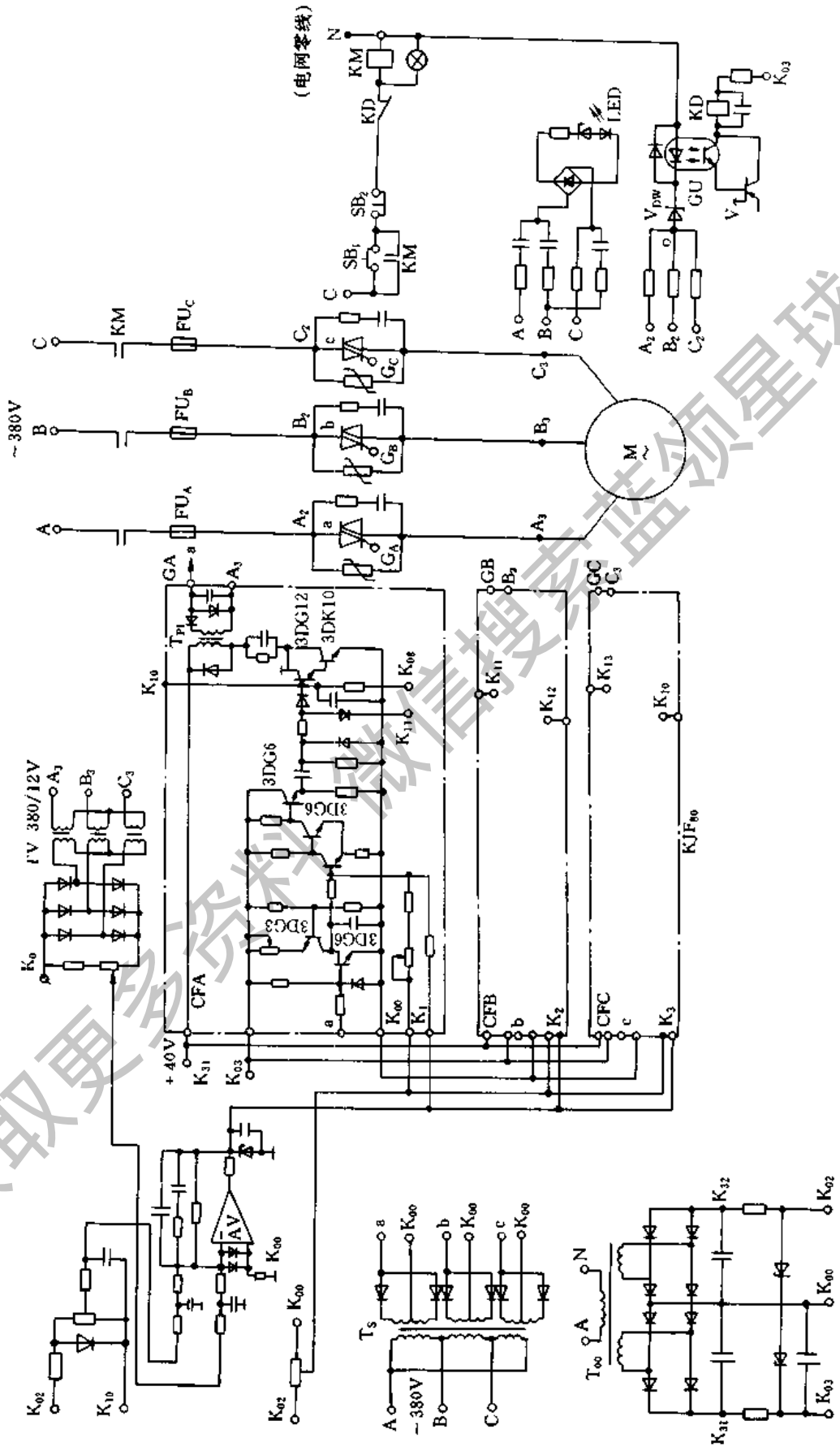


图 5.2.16 晶闸管调压器线路图

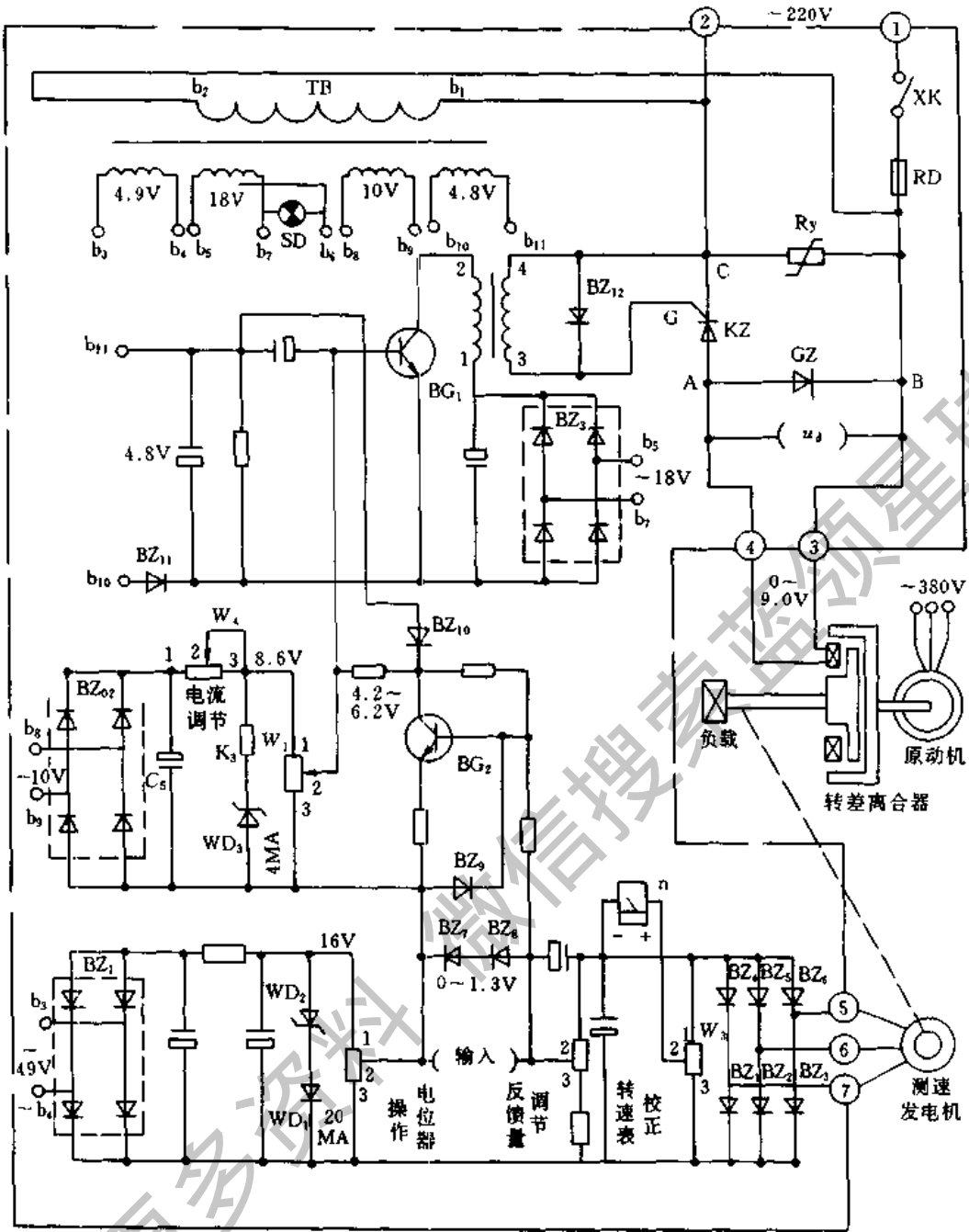


图 5.2.17 JDIA 型控制器电气原理图

四、转子串电阻调速

此方式仅适用于绕线式异步电机。异步电机的机械特性表达式为：

$$T = \frac{3PU_1^2 s r_2}{2\pi f_1 [(s r_1 + r_2)^2 + s^2 (X_1 + X_2)]}$$

当绕线转子通过集电环接入外接电阻 R_{α} 后，转子电阻成为 $r_2 + R_{\alpha}$ ，显然在相同的转差率 s 下转矩将下降，即机械特性变软，见图 5.2.18。当负载转矩为 T_2 时，对于不同的转子电阻可得到不同的转速。将上式化简即可得到较为实用的机械特性表达式：

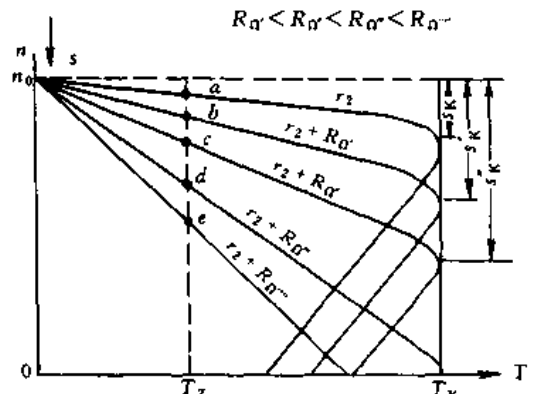


图 5.2.18 转子串接电阻时的机械特性

$$T = \frac{2T_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}$$

一般在产品目录中列出电机的最大转矩倍数 λ_m 及额定转差率 s_e ，于是额定转矩：

$$T_e = 9550 \frac{P_e}{n_e} \text{ N}\cdot\text{m}$$

最大转矩 $T_k = \lambda_m T_e$ ，临界转差率 $s_k = s_e (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1})$ ， s_k 、 T_k 求得即可画出自然机械特性。当转子串入电阻后则临界转差率变为：

$$s'_k = s_k \frac{r_2 + R_\Omega}{r_2}$$

据此再代入上式即可画出人为机械特性。转子绕组本身电阻 r_2 亦可由下式估算而得：

$$r_2 = \frac{S_e E_{2e}}{\sqrt{3} I_{2e}}$$

式中 E_{2e} ——堵转时转子额定线电压(Y接)；

I_{2e} ——转子额定电流。

若要计算绕线转子三级起动及调速的方案，可按下述步骤进行。

首先画出起动特性图，见图 5.2.19。图中 T_1 为最大起动转矩，一般取 $T_1 \leq 0.85 T_k$ 。 T_2 为切换转矩，取 $T_2 \approx (1.1 \sim 1.2) T_e$ 。按图即可求得各级电阻：

$$R_{\Omega 1} = \frac{bd}{kb} r_2, \quad R_{\Omega 2} = \frac{df}{kb} r_2, \quad R_{\Omega 3} = \frac{fh}{kb} r_2$$

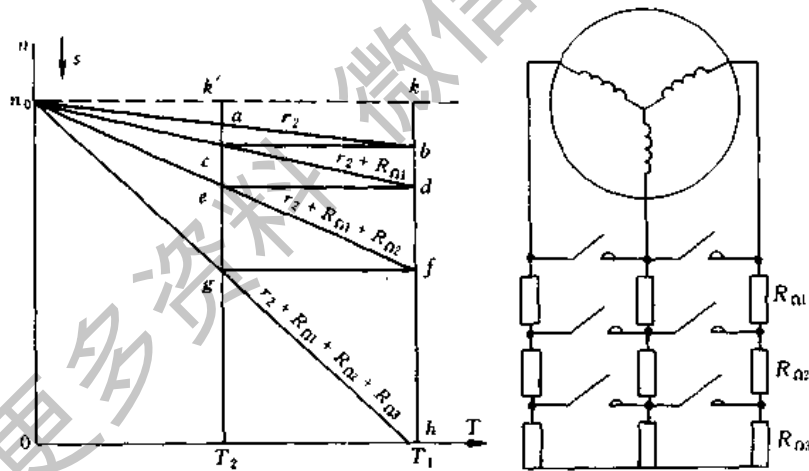


图 5.2.19 绕线电机转子串电阻的起动特性

转子串电阻调速普遍应用于起重机控制系统，图 5.2.20 为起重机主卷扬机构的由主令控制器控制的 PQR10 磁力控制屏操纵原理图。由触点开合表可知，当处于上升位第一档时， K_3 、 K_4 、 K_6 、 K_7 接通，接触器 M、ZC 和 1F 动作，制动器松闸，电机正向转动，转子外接电阻第一段切除。当控制器手柄逐位提升时 2F、1a、2a、3a、4a 逐个通电动作，外接电阻逐段切除，电机转速慢慢提升。当主令控制器处于下降位 C 档时，接触器 M 没有通电，电机仍在制动状态，到下降位第 1 档时， K_3 、 K_4 、 K_6 、 K_7 闭合，接触器 M 通电，制动器松闸，外接电阻一段被切除，电机通电正向运转，但由于重物的作用，电机的实际运行状况为慢速下降，处反接制动状态。下降位第 2 档接入全部外接电阻。下降位 3、4、5 档，正向接触器 ZC 断开，反向接触器 FC 闭合，电机反向运转。电机的实际运行状态将按重物的大小和下降速度的高低而定，低于同步速度则为牵引状态，高于同步速度则为再生发电制动状态。

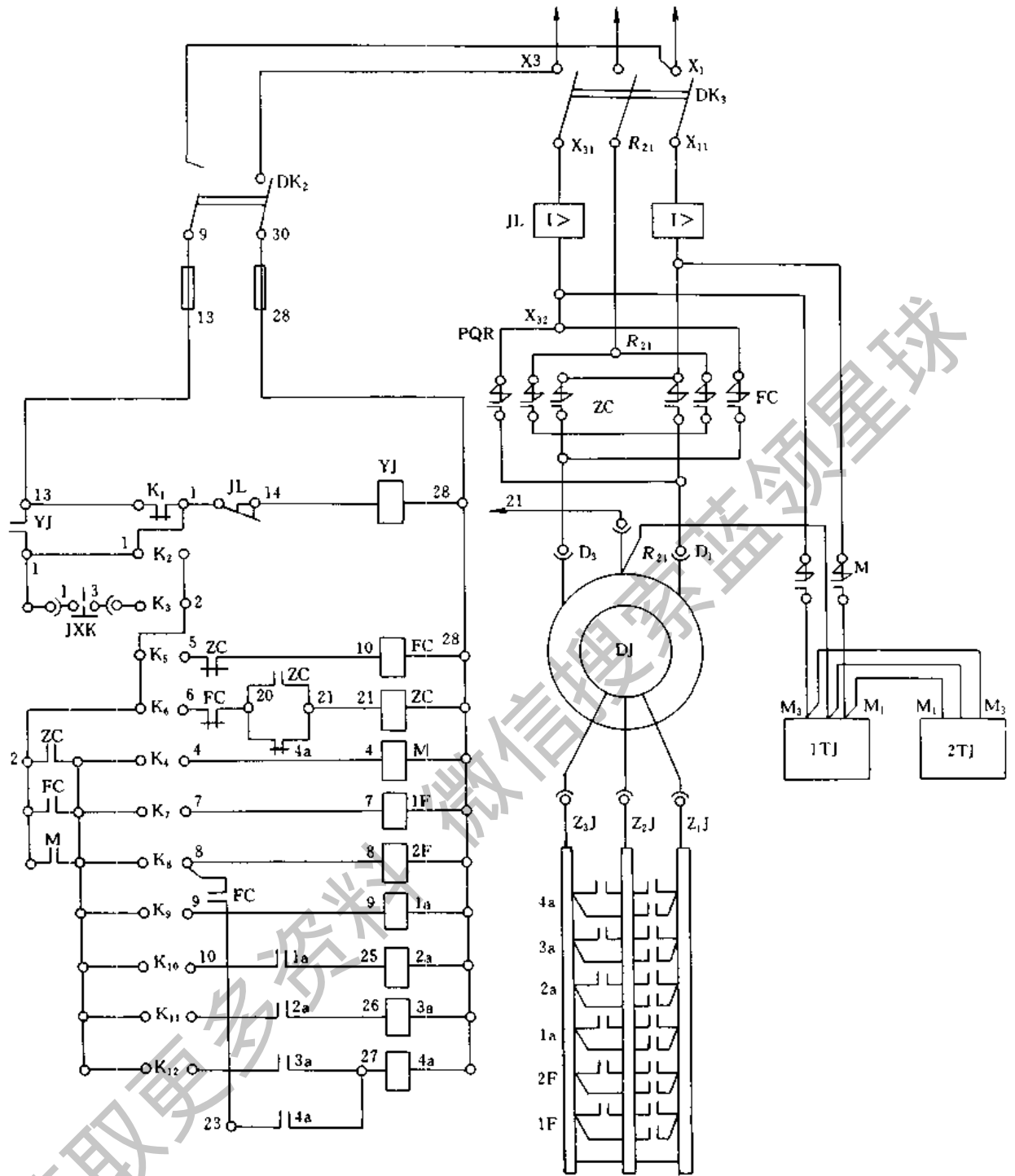
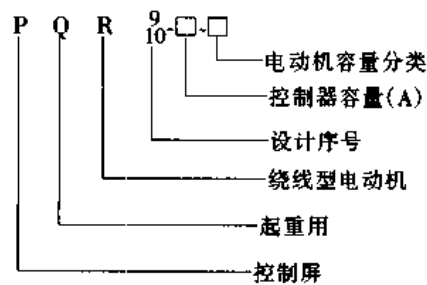


图 5.2.20 PQR10 磁力控制屏操纵原理图

PQR⁹₁₀ 系列起重机控制屏的型号意义如下：



其技术参数如表 5.2.4 所示。

表 5.2.4 PQR 系列控制系统性能数据

控制对象	型 号	被控电动机功率 /kW	电流继电器额定 电流/A	接触器额定电流/A	
				定 子	转 子
平移 机构 控制 屏	PQR9-150-I	11	30	150	60
	PQR9-150-H	16	40	150	60
	PQR9-150-G	22	60	150	60
	PQR9-250-F	30	75	250	60
	PQR9-250-E	40	100	250	100
	PQR9-250-D	50 ~ 65	150	250	100
	PQR9-250-C	80 ~ 100	200	250	150
升降 机构 控制 屏	PQR10-150-H	16	40	150	60
	PQR10-150-G	22	60	150	60
	PQR10-250-F	30	75	250	60
	PQR10-250-E	40	100	250	100
	PQR10-250-D	50 ~ 65	150	250	100
	PQR10-250-C	80 ~ 100	200	250	150
	PQR10-400-B	125	300	400	150
	PQR10-600-A	160	600	600	250

五、串级调速

此调速方式仅适用于绕线转子电机，其接线原理图见图 5.2.21。其原理为：转子回路中不串入附加电阻。

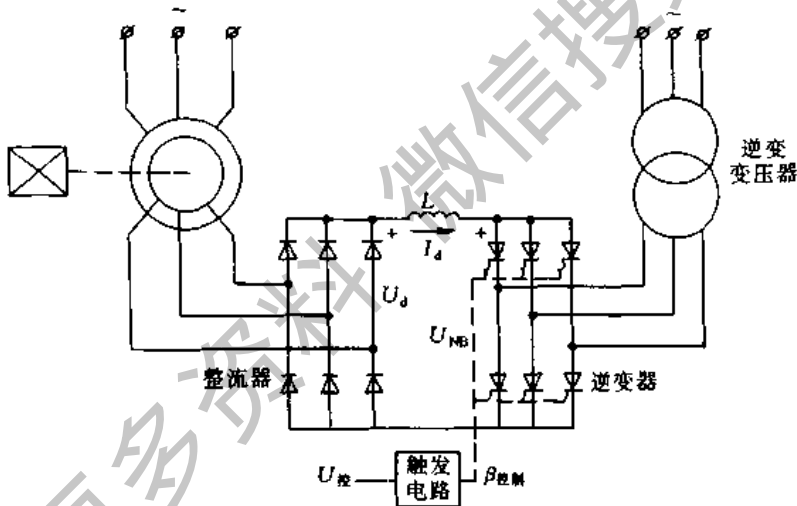


图 5.2.21 晶闸管串级调速系统

而是串入一附加电势 E_f ，异步电机的转子电流表达式为：

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 X_2^2}}$$

当引入附加电势 E_f 以后则变为：

$$I_2 = \frac{sE_2 - E_f}{\sqrt{r_2^2 + s^2 X_2^2}}$$

若转差率 s 未变，则 I_2 必然减小，转矩 T 随之下降，转速 n 跟着下降，于是 s 上升，分子 $sE_2 - E_f$ 增加，因而 I_2 增加，转矩 T 随之上升至原负载转矩 M_f ，于是电机在较低的转速下重新稳定运行。调节附加电势 E_f 就可获得不同的转速，这就是串级调速的基本原理。附加电势 E_f 的产生方法见图 5.2.21。异步电机转子电势经整流器整流成直流，由电感滤波再经晶闸管逆变成交流反馈至电网，当逆变器的开放角 β 变化时，直流电压 U_{NB} 随之变化，于是整流器输入端的电势（相当于上述附加电势 E_f ）也随之变化，从而实现调速。这样的交一直

一交系统既解决了 E_1 和转子电势的同步问题，又实现了将转差功率 sP 回馈至电网。图示的整流器由半导体组成，转差功率只能单向地由转子流向电网，该系统电机只能在同步速度以下作电动机运行或在高于同步速度时作再生发电运行，称作次同步串级调速系统。若将整流器由半导体改为晶闸管，则可实现能量的双向流动，因而电机可在更多的工况下运行，称作超同步串级调速系统。我国常用的串级调速装置性能数据见表 5.2.5。

表 5.2.5 晶闸管串级调速装置

适用电机		装置 直流电压 /V	装置 直流电流 /A	调速比	调速精度	主回路 接线	控制方式
型 号	容量 /kW						
JZR71-10	63	397	158.6	10:1	<1%	三相桥	开环
JRQ1512-10	480	300	520	1:1.3	<5%	三相桥	开环
JRQ158-6	550	362	630	1:1.4	$\pm 1.5\%$	双桥串接	速度、压力参量双闭环
JR1512-8	630	304	556	1:1.4	$\pm 3\%$	双桥串接	速度、压力参量双闭环
YR143/58-10	1250	580	665	1:1.43	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环
YR2500/2150-10	2500	482	1580	1:1.3	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环
JRZ800-16	800	621	900	1:1.3	<1%	双桥串接	电流、速度双闭环

六、变频调速

变频调速即是通过改变频率来调节交流电机的转速。这种调速技术从调速比、调速特性、效率、节能效果等方面来说都显著优于其他交流调速技术，同时变频调速适用于所有种类的交流电机，而且由于采用微机控制，故可实现各种控制要求，因而变频调速得到愈来愈广泛的应用。

对于异步电机：

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 K_{w1} W_1 \Phi$$

式中 K_{w1} ——定子绕组系数；

W_1 ——定子绕组匝数；

Φ ——磁通。

由上式知当电机在变频情况下运行时， U 和 f_1 如何协调变化是个极为重要的问题。一般说来，当频率 f_1 从 50Hz 向下调节时为了避免磁通过于饱和，应维持 $U/f_1 = \text{常数}$ ，此时根据转矩公式：

$$T = C_M \Phi I_2 \cos \varphi_2$$

式中 C_M ——转矩系数；

I_2 ——转子电流；

$\cos \varphi_2$ ——转子功率因数。

当 $U/f_1 = \text{常数}$ 时，转矩 T 维持不变，即所谓恒转矩调速。而当 f_1 从 50Hz 向上调节时，由于受电源电压的限制，电压无法向上调节，因此磁通 Φ 、转矩 T 将随着 f_1 的上升而下降，于是得到近似的恒功率调速。

变频调速分交-交变频及交-直-交变频两大类。交-交变频实际上其每相都是一个反并联的二组晶闸管整流装置，见图 5.2.22。正反两组整流装置按一定频率相互切换，轮流向负载供电，正组向负载输出正半周，反组

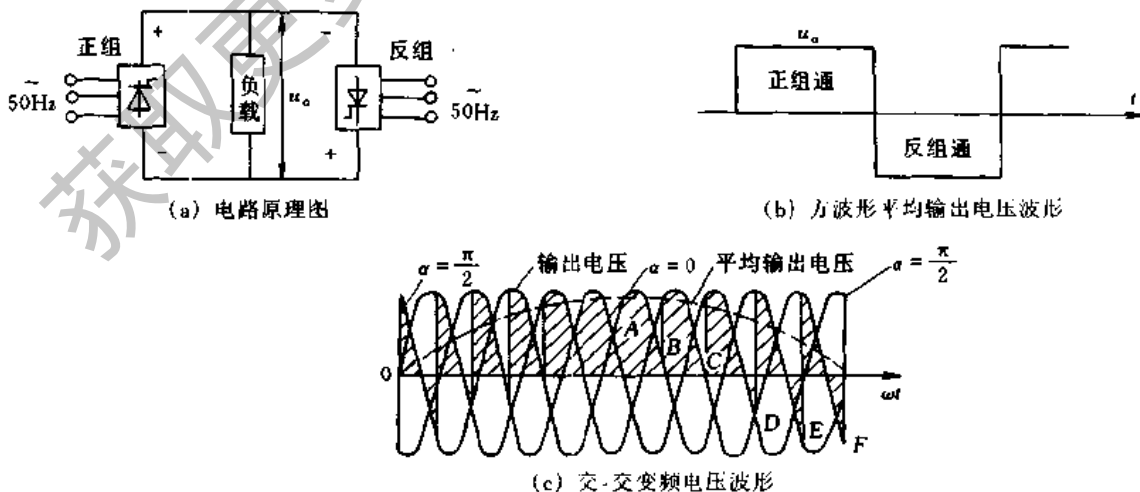


图 5.2.22 交-交变频

向负载输出负半周，因此正反两组切换的频率即为输出频率。当晶闸管的控制角 α 不变时输出的为交变矩形波，见图(b)。若在导通的半周内将 α 角由 $\pi/2 \rightarrow 0$ ，再由 $0 \rightarrow \pi/2$ ，则整流的平均输出电压呈正弦规律变化，如虚线所示，见图(c)。对于三相交-交变频，只需再增加两套单相交-交逆变装置，三套装置的相位差为 120° 。交-交变频需用的晶闸管元件数较多，达36个(若采用零式电路也需18个)，而且其输出频率最高也只有电网频率的 $1/2 \sim 1/3$ ，因此其使用范围较窄，一般只用于低速大容量调速系统，如轧钢机、水泥回转窑等。目前大量使用的是交-直-交变频器，其原理图见图5.2.23。其分类见表5.2.6。三相交流50Hz，380V电源经半导体全波整

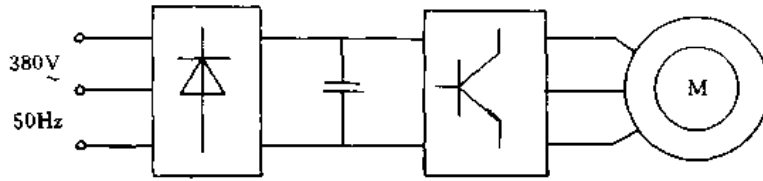


图 5.2.23 交-直-交变频器

表 5.2.6 交-直-交变频器的分类

按滤波方式分类	按相数分类	按逆变器件分类	按调制频率分类	按变频范围分类	按正弦波产生方法分	按 CPU 分类
① 电感滤波 (电流型) ② 电容滤波 (电压型)	单相-三相 三相-三相 单相-单相	① 晶闸管 ② 可关断晶闸管 GTO ③ 大功率晶体管 GTR ④ 绝缘栅极晶闸管 IGBT ⑤ 智能化功率模块 IPM	① 普通型调制频率低于3kHz ② 超静音型调制频率超过8kHz	① 低频 0.5 ~ 200Hz ② 中频 1000 ~ 2000Hz	① 模拟技术 PWM ② 数字技术 PWM ③ PWM 集成芯片 ④ 空间矢量控制 ⑤ 矢量控制 ⑥ 无传感器矢量控制	① 8 位 CPU ② 16 位 CPU ③ 32 位 CPU

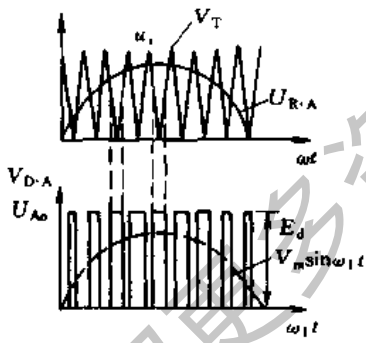


图 5.2.24 用三角形波调制得 PWM 波

流成直流，由电容器(或电感)滤波，然后通过功率晶体管 GTR(或 GTO、IGBT)组成的逆变器输出三相变频电压。输出电压的波形是通过正弦脉宽调制技术 PWM 来实现的，其原理见图 5.2.24。输出电压实际上是一系列等幅但其宽度按正弦变化的脉冲，而该脉冲序列波形则是通过将正弦波用等腰 Δ 波来加以调制而产生的，正弦波和 Δ 波的交点决定了每一个脉冲的宽度，脉冲的幅值即是直流电压，等幅脉宽调制电压序列经过电动机电感的滤波作用后，其电流即有较良好的正弦波形(虚线所示)。调制用的正弦波和 Δ 波可由模拟技术产生，如早期的模拟型变频器。而目前大量使用的是数字型变频器，其脉宽调制波直接由数字技术产生，可由软件或专用芯片来实现。另外，当频率变化时，电压的协调变化亦是调节脉冲宽度来实现的，整套装置均由微机控制。较完整的变频器原理线路图见图 5.2.25。

三相电源经快速熔断器 FU_1 至三相半导体整流。电阻 R_1 为电容器充电电阻。当接通电源，电容器充电完毕，继电器 Z 闭合。C 为大容量电介电容器，起滤波作用。 FU_2 为直流环节快速熔断器(和 FU_1 同起保护作用)。 R_2 和 V_1 组成制动回路(一般为选件)，当电机作再生发电能耗制动时，为发电机运行状态，因而直流电压升高，通过控制线路， V_1 开通，向电阻 R_2 放电，实现能耗制动。HCT 为电流采样元件，一般为霍尔元件(或电阻)。CPU 芯片由软件控制输出 PWM 信号送至基极驱动电路，按一定次序开通关闭各桥臂的 GTR 元件，形成三相正弦变频输出。过流信号、过压信号及 GTR 热继电器来的过热信号均送至保护电路，当出现上述故障时通过基极驱动线路关闭 GTR，起到保护作用。

一般变频器需由用户通过键盘或电位器设定的参数如下：①压频比 U/f ；②升速时间；③降速时间；④运行频率。对于重载起动的场合应设定较高的压频比和较长的升降速时间。运行频率指升速结束后的运行频率，有的变频器可作多段频率程序运行。

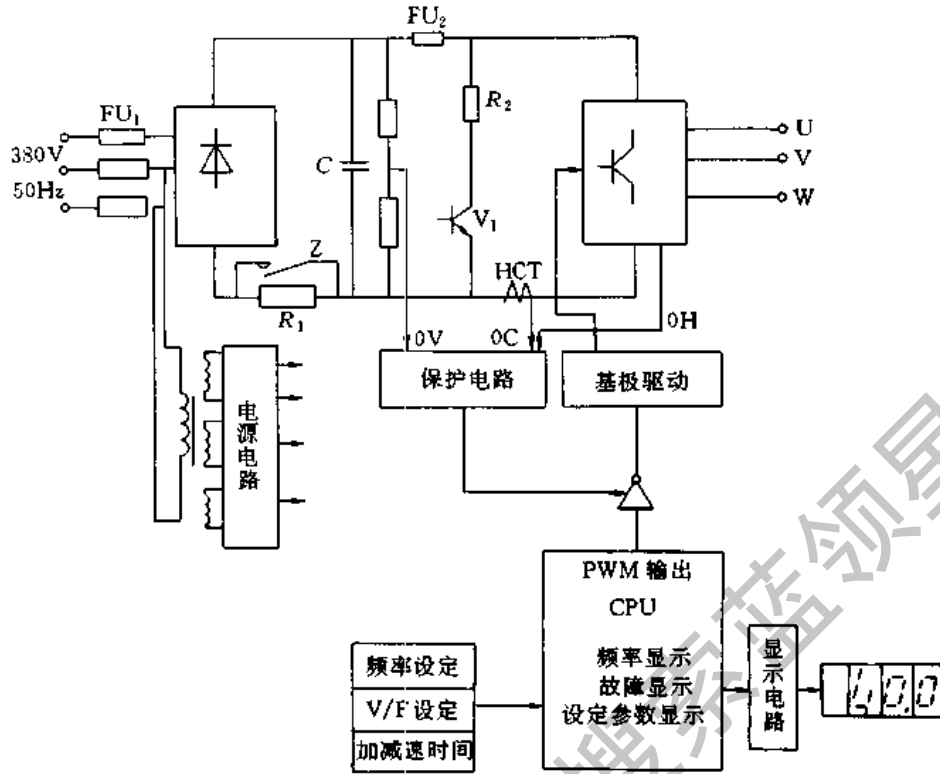


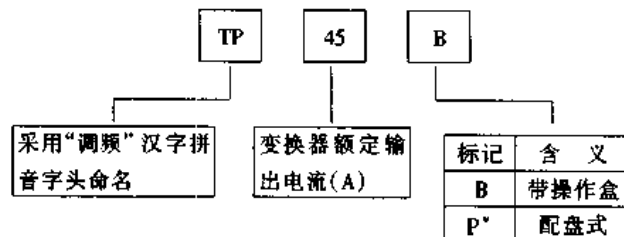
图 5.2.25 变频调速原理线路图

变频器对使用环境有一定要求，湿度应在 90% 以下，无凝露，温度 -10 ~ 40℃，振动小于 0.5G，无腐蚀性爆炸性气体。电网电压宜在 380V ± 10% 范围以内，否则经常有过、欠压保护动作。国内常用变频器的型号规格见表 5.2.7、表 5.2.8。

表 5.2.7 TP 系列变频调速器

规格构成							
型号	TP-8	TP-11	TP-15	TP-22	TP-30	TP-38	TP-45
额定输出电流/A	8	11	15	22	30	38	45
适用电机功率/kW	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22
型号	TP-55	TP-69	TP-83	TP-104	TP-138	TP-206	TP-275
额定输出电流/A	55	69	83	104	138	206	275
适用电机功率/kW	30	37	45	55	75	110	132

型号命名



技术参数及性能指标		
输入电源	相数	三相
	电压和频率	380V $\pm 10\%$ (50 ± 2) Hz
控制	控制方式	正弦波 PWM 控制
	输出电压	三相 380V (最高) (注: 输出电压正比于输入电压)
	输出频率	0.5~67Hz 0.5~80Hz 上至 1~160Hz 2~320Hz
	频率精度	最高频率的 $\pm 0.5\%$ (25 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)
	压频比	U/f 一定, 至 50Hz 或 60Hz, U 一定, 50Hz 或 60Hz 以上
	过载能力 (电流)	110% 连续, 150% 30s (TP-138、TP-206、TP-275 110% 连续) 130% 30s
	频率设定信号	0~12V DC, 4~20mA DC (可切换)
	变换效率	约 95%
周围环境	设置场所	室内 (注: 无腐蚀性气体, 无尘埃)
	周围温度	-10~40 $^{\circ}\text{C}$ (无盖时 -10~50 $^{\circ}\text{C}$)
	相对湿度	90% 以下, 无凝露
	振动	0.5G 以下 (10~50Hz) 0.1mm (pp) 以下 (50~100Hz)
结构形式		壁挂型带前盖 (TP-8~138) 放置型带前盖 (TP-206~275)

表 5.2.8 BPTS 变频器规格性能表

项 目	内 容															
	E.75	E1.5	E2.2	E4	E5.5	E7.5	E11	E15	E18.7	E22	E30	E37	E45	E55	E75	
型号 BPTS	E.75	E1.5	E2.2	E4	E5.5	E7.5	E11	E15	E18.7	E22	E30	E37	E45	E55	E75	
适配电机/kW	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5	11	15	18.7	22	30	37	45	55	75	
额定电流/A	2	4	6	8	11	16	22	30	38	45	60	74	90	110	150	
输入	电压	3 相 380V $\pm 10\%$														
	频率	50/60Hz														
输出	调制方式	正弦脉宽调制 PWM														
	电压	3 相 380V 最大														
	频率范围	0.6~100/125Hz														
	频率精度	$\pm 0.5\%$														
保护功能	过压, 欠压, 过流, 短路, 失速, 过热															
显示	四位 LED															
特殊功能	1. 频率跟随再生能耗制动, 可在惯量负载情况下迅速制动到零 2. 转速, 线速度, 记数等各种显示															
外部设定信号	0~5V, 4~20mA															
环境	湿度	90% 以下 (无水珠凝结现象)														
	温度	-10~40 $^{\circ}\text{C}$														
	振动	0.5G 以下														
安装方式	挂壁式															
冷却方式	自然冷却							强制风冷								

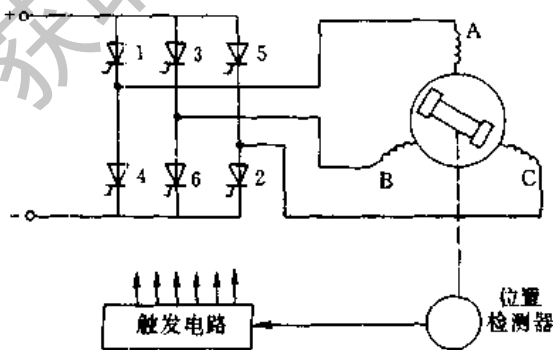


图 5.2.26 直流式无换向器电动机原理图

七、无换向器电动机

无换向器电动机原理图见图 5.2.26。该电机的结构类似于同步电机，三相定子绕组分别接于三相逆变器上，而各元件的导通次序则由装于转子轴上的位置检测器加以控制。当某二相绕组导电时，其二相合成磁场和转子磁场相互作用产生电磁转矩，使转子旋转，同时转子轴上的位置检测器测出转子磁场位置，再通过触发电路使下一相序的二相绕组触发电通，从而保证连续不断地旋转下去。无换向器电机按其逆变器种类有直流式和交

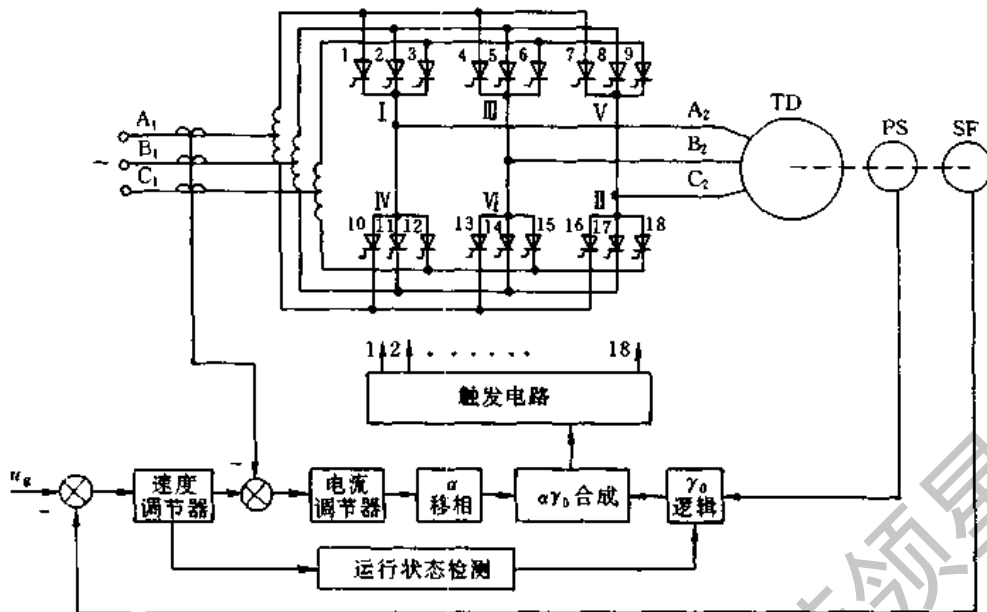


图 5.2.27 交流式无换向器电动机调速系统

流式无换向器电机之分。图 5.2.27 为交流式无换向器电机，18 个晶闸管分成六组、组成交-交变频器，由位置检测器来控制哪二相晶闸管通电，而每一组内究竟哪一个晶闸管导通则由电源端来判断。无换向器电机的结构见图 5.2.28，图示为爪极式，适用于中小容量，对于大 中容量则可采用无刷励磁式。

无换向器电机作用原理和直流电机完全相似，因此有较优异的调速性能，无换向器电机无火花，容量可做到几千千瓦，并可方便地实现四象限运转。我国的无换向器电机见表 5.2.9。

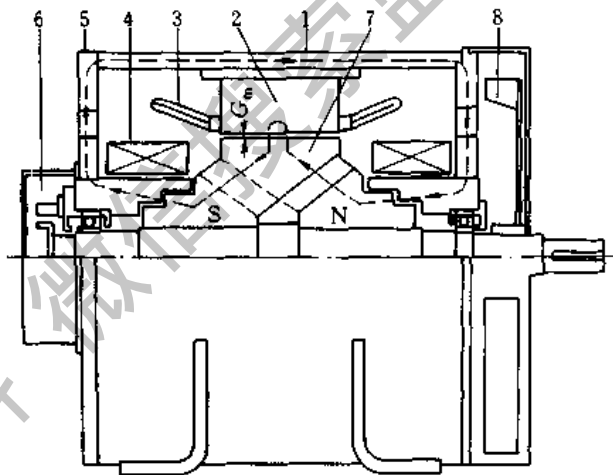


图 5.2.28 无换向器电动机的结构图

1—外壳；2—电机铁芯；3—电机线圈；4—励磁线圈；5—端盖；6—分配器；7—励磁铁芯；8—风扇

表 5.2.9 无换向器电机调速装置

电机容量 /kW	电机电压 /V	电机电流 /A	电机转速 / (r/min)	调速精度	过载能力	调速范围
60	360	140	1000	1%	1.3	1:10
280	730	383	1000	±0.1%	1.5	1:10

第五节 三相异步电动机的技术数据

1. Y 系列三相异步电动机

Y 系列电机是我国自行设计开发的用以取代 JO₂、JO₃ 的新系列电机。与 JO₂ 相比具有如下一些特点：

- ① 符合 IEC 标准，而输出功率与安装尺寸的对应关系则符合 DIN 标准；
- ② 起动转矩、最大转矩都比 JO₂ 有所提高，可避免大马拉小车现象；
- ③ 噪声、振动有考核指标，而且该指标已接近国际水平；
- ④ 效率提高。

其性能数据见表 5.2.10。

表 5.2.10 Y 系列三相异步电动机性能数据 (统一设计)

型号	额定数据								堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	
	功率 /kW	电压 /V	接法	转速 /(r/min)	电流 /A	效率 /%	功率因数 cosφ	温升/℃				
同步转速 3000r/min (2极)												
Y-801-2	0.75	380	Y	2825	1.9	73	0.84	80	7.0	2.2	2.2	
Y-802-2	1.1				2.6	76	0.86					
Y-90S-2	1.5			2840	3.4	79	0.85					
Y-90L-2	2.2				4.7	82	0.86					
Y-100L-2	3			2880	6.4	85.5	0.87					
Y-112M-2	4				8.2							
Y-132S1-2	5.5			2900	11.1	86.2	0.88					
Y-132S2-2	7.5				15							
Y-160M1-2	11			2930	21.8	87.2	0.88					
Y-160M2-2	15				29.4							
Y-160L-2	18.5			2940	35.5	89	0.89					
Y-180M-2	22				42.2							
Y-200L1-2	30			2950	56.9	90	0.89					
Y-200L2-2	37				70.4							
Y-225M-2	45		2970	83.9	91.4	0.89						
Y-250M-2	55			102.7								
Y-280S-2	75			140.1								
Y-280M-2	90			167								
Y-315S-2	110		2975	206.4	91	0.90						
Y-315M1-2	132			247.6								
Y-315M2-2	160			298.5								
Y-355M1-2	200			369								
Y-355M2-2	250		461.2									
同步转速 1500r/min (4极)												
Y-801-4	0.55		380	Y	1390	1.6	70.5	0.76	75	7.0	2.2	2.2
Y-802-4	0.75					2.1	72.1	0.78				
Y-90S-4	1.1				1400	2.7	79	0.79				
Y-90L-4	1.5					3.7	81	0.82				
Y-100L1-4	2.2	1420			5.0	82.5	0.81					
Y-100L2-4	3				6.8							
Y-112M-4	4	1440			8.8	84.5	0.82					
Y-132S-4	5.5				11.6							
Y-132M-4	7.5	1460			15.4	87	0.85					
Y-160M-4	11				22.6							
Y-160L-4	15	1470			30.3	88.5	0.86					
Y-180M-4	18.5				35.9							
Y-180L-4	22	1480			42.5	91.5	0.86					
Y-200L-4	30				56.8							
Y-225S-4	37	1480		69.8	91.8	0.88						
Y-225M-4	45			84.2								
Y-250M-4	55			102.5								
Y-280S-4	75			139.7								
Y-280M-4	90	164.3		93.5	0.89							
Y-315S-4	110	201.9										
Y-315M1-4	132	242.3										
Y-315M2-4	160	293.7										
Y-355M1-4	200	367.1		93	0.89							
Y-355M2-4	250	458.9										
Y-355M3-4	315	578.2										

续表

型号	额定数据							堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	
	功率 /kW	电压 /V	接法	转速 /(r/min)	电流 /A	效率 /%	功率因数 cosφ				温升/℃
同步转速 1000r/min (6极)											
Y-90S-6	0.75	380	△	910	2.3	72.5	0.70	6.0	2.0	75	
Y-90L-6	1.1				3.2	73.5	0.72				
Y-100L-6	1.5				940	4.0	77.5				0.74
Y-112M-6	2.2					5.6	80.5				
Y-132S-6	3			960	7.2	83	0.76				
Y-132M1-6	4				9.4	84	0.77				
Y-132M2-6	5.5			970	12.6	85.3	0.78				
Y-160M-6	7.5				17	86					
Y-160L-6	11				24.6	87					
Y-180L-6	15				31.5	89.5		0.81			
Y-200L1-6	18.5				37.7	89.8		0.83			
Y-200L2-6	22				44.6	90.2					
Y-225M-6	30				59.5	90.2		0.85			
Y-250M-6	37				72	90.8		0.86			
Y-280S-6	45			980	85.4	92	0.87				
Y-280M-6	55				104.9	91.6					
Y-315S-6	75				142.4	92					
Y-315M1-6	90				170.8	92					
Y-315M2-6	100				207.7	92.5					
Y-315M3-6	132				249.2	92.5					
Y-355M1-6	160	297	93		0.88						
Y-355M2-6	200	371.3									
Y-355M3-6	250	464.1									
同步转速 750r/min (8极)											
Y-132S-8	2.2	380	△	710	5.8	81	0.71	5.5	2.0	75	
Y-132M-8	3				7.7	82	0.72				
Y-160M1-8	4			720	8.9	84	0.73				
Y-160M2-8	5.5				13.3	85	0.74				
Y-160L-8	7.5				17.7	86	0.75				
Y-180L-8	11			730	25.1	86.5	0.77				
Y-200L-8	15				34.1	88	0.76				
Y-225S-8	18.5				41.3	89.5					
Y-225M-8	22				47.6	90	0.78				
Y-250M-8	30			740	63	90.5	0.80				
Y-280S-8	37				78.2	91	0.79				
Y-280M-8	45				93.2	91.7	0.80				
Y-315S-8	55				112.1	92	0.81				
Y-315M1-8	75				152.8						
Y-315M2-8	90				180.3	92.5	0.82				
Y-315M3-8	110				220.3						
Y-355M1-8	132				261.2						
Y-355M2-8	160			316.6	93	0.83					
Y-355M3-8	200			395.9							
同步转速 600r/min (10极)											
Y-315S-10	45	380	△	585	100.2	91	0.75	75	6.5	1.4	
Y-315M1-10	55				121.8	91.5					
Y-315M2-10	75				163.9		0.76				
Y-355M1-10	90				185.8						
Y-355M2-10	110				227	92	0.80				
Y-355M3-10	132				272.5						

2. Y2 系列三相异步电动机

Y2 系列电机是最近开发的 Y 系列电机的更新换代产品, 其特点如下:

- ① 功率范围比 Y 系列更宽;
- ② 防护等级提高为 IP54;
- ③ 绝缘等级提高为 F 级;
- ④ 机座散热筋为水平、垂直方式;
- ⑤ 轻载时效率较高, 另有 Y2-E 有较高的满载效率。

其技术数据见表 5.2.11。

表 5.2.11 Y2 系列三相异步电动机技术数据

机座号	同步转速/(r/min)				
	3000	1500	1000	750	600
功率/kW					
631	0.18	0.12	—	—	—
632	0.25	0.18	—	—	—
711	0.37	0.25	0.18	—	—
712	0.55	0.37	0.25	—	—
801	0.75	0.55	0.37	0.18	—
802	1.1	0.75	0.55	0.25	—
90S	1.5	1.1	0.75	0.37	—
90L	2.2	1.5	1.1	0.55	—
100L 1	3	2.2	1.5	0.75	—
100L 2		3		1.1	
112M	4	4	2.2	1.5	—
132S 1	5.5	5.5	3	2.2	—
132S 2	7.5				
132M 1	—	7.5	4	3	—
132M 2			5.5		
160M 1	11	11	7.5	4	—
160M 2	15			5.5	
160L	18.5	15	11	7.5	—
180M	22	18.5	—	—	—
180L	—	22	15	11	—
200L 1	30	30	18.5	15	—
200L 2	37		22		
225S	—	37	—	18.5	—
225M	45	45	30	22	—
250M	55	55	37	30	—
280S	75	75	45	37	—
280M	90	90	55	45	—
315S	110	110	75	55	45
315M	132	132	90	75	55
315L 1	160	160	110	90	75
315L 2	200	200	132	110	90
355M 1	250	250	160	132	110
355M 2			200	160	132
355L	315	315	250	200	160

注: S、M、L 后面的数字 1、2 分别代表同一机座号和转速下不同的功率。

续表

功率/kW	同步转速/(r/min)												
	3000	1500	1000	750	600	3000	1500	1000	750	600			
	效率 $\eta/\%$					功率因数 $\cos\varphi$							
0.12	—	57.0	—	—	—	—	0.72	—	—	—			
0.18	65.0	60.0	56.0	51.0		0.80	0.73	0.66	0.61				
0.25	68.0	65.0	59.0	54.0		0.81	0.74	0.68	0.61				
0.37	70.0	67.0	62.0	62.0		0.81	0.75	0.70	0.61				
0.55	73.0	71.0	65.0	63.0		0.82	0.75	0.72	0.61				
0.75	75.0	73.0	69.0	71.0		0.83	0.76	0.72	0.67				
1.1	77.0	75.0	72.0	73.0		0.84	0.77	0.73	0.69				
1.5	79.0	78.0	76.0	75.0		0.84	0.79	0.75	0.69				
2.2	81.0	80.0	79.0	78.0		0.85	0.81	0.76	0.71				
3	83.0	82.0	81.0	79.0		0.87	0.82	0.76	0.73				
4	85.0	84.0	82.0	81.0		0.88	0.82	0.76	0.73				
5.5	86.0	85.0	84.0	83.0		0.88	0.83	0.77	0.74				
7.5	87.0	87.0	86.0	85.5		0.88	0.84	0.77	0.75				
11	88.0	88.0	87.5	87.5		0.89	0.84	0.78	0.76				
15	89.0	89.0	89.0	88.0		0.89	0.85	0.81	0.76				
18.5	90.0	90.5	90.0	90.0		0.90	0.86	0.81	0.76				
22	90.0	91.0	90.0	90.5		0.90	0.86	0.83	0.78				
30	91.2	92.0	91.5	91.0		0.90	0.86	0.84	0.79				
37	92.0	92.5	92.0	91.5		0.90	0.87	0.86	0.79				
45	92.3	92.8	92.5	92.0		91.5	0.90	0.87	0.86		0.79	0.75	
55	92.5	93.0	92.8	92.8		92.0	0.90	0.87	0.86		0.81	0.75	
75	93.0	93.8	93.5	93.0		92.5	0.90	0.87	0.86		0.81	0.76	
90	93.8	94.2	93.8	93.8		93.0	0.91	0.87	0.86		0.82	0.77	
110	94.0	94.5	94.0	94.0		93.2	0.91	0.88	0.86		0.82	0.78	
132	94.5	94.8	94.2	93.7		93.5	0.91	0.88	0.87		0.82	0.78	
160	94.6	94.9	94.5	94.2		93.5	0.92	0.89	0.88		0.82	0.78	
200	94.8	95.0	94.7	94.5		—	0.92	0.89	0.88		0.83	—	
250	95.3	95.3	94.9	—			0.92	0.90	0.88		—		—
315	95.6	95.6	—	—			0.92	0.90	—		—		—

功率/kW	同步转速/(r/min)				
	3000	1500	1000	750	600
	堵转转矩/额定转矩				
0.12	—	2.1	1.9	1.8	—
0.18	2.2				
0.25					
0.37					
0.55					
0.75					
1.1					
1.5					
2.2					
3					
4					
5.5					
7.5					
11					
15					
18.5					
22					
30					
37					
45					
55					
75					
90					
110					
132					
160					
200					
250					
315					

续表

功率/kW	同步转速/(r/min)				
	3000	1500	1000	750	600
最小转矩/额定转矩					
0.12	—		—	—	
0.18					
0.25	1.6	1.7	1.5	1.3	
0.37					
0.55					
0.75					
1.1	1.5	1.6			
1.5					
2.2					
3	1.4	1.5	1.3	1.2	
4					
5.5					
7.5					
11	1.2	1.4			
15					
18.5					
22					
30	1.1	1.2	1.2	1.1	
37					
45					
55					
75	1.0	1.1	1.1	1.0	
90					
110					
132					
160	0.9	1.0	1.0	0.9	0.8
200					
250					
315					
315	0.8	0.9	0.9	—	—
315		0.8	—	—	—
功率/kW	同步转速/(r/min)				
	3000	1500	1000	750	600
最大转矩/额定转矩					
0.12	—		—	—	
0.18					
0.25	2.2	2.2	2.0	1.9	
0.37					
0.55					
0.75					
1.1	2.3	2.3	2.1	2.0	
1.5					
2.2					
3					
4					
5.5					
7.5					
11					
15					
18.5					
22					
30	2.0	2.0			
37					
45					
55					
75	2.0	2.0			2.0
90					
110					
132					
160	2.2	2.2			
200					
250					
315					
315			—	—	—

续表

功率/kW	同步转速/(r/min)				
	3000	1500	1000	750	600
	堵转电流/额定电流				
0.12	—	4.4	—	—	—
0.18	5.5		4.0	3.3	
0.25		6.1	5.2	4.7	
0.37					
0.55					
0.75	7.0	6.0	5.5	5.0	
1.1					
1.5					
2.2					
3	7.5	7.0	6.5	6.0	
4					
5.5					
7.5					
11					
15		7.2	7.0	6.6	
18.5					
22					
30					
37					
45	7.1	6.9	6.7	6.4	
55					
75					
90					
110					
132					
160	—	—	—		
200					
250					
315	—	—	—	—	

注：计算堵转电流对额定电流之比时，所采用的额定电流值应按额定功率、额定电压及效率和功率因数的保证值（不计及容差）求得。

3. YR 系列绕线转子三相异步电机

该系列电机为一般用途的绕线电机，转子接上起动电阻后比 Y 系列电机具有更高的起动转矩、较小的起动电流，并可调速（范围不大）。其防护等级有 IP23、IP44 两种，前者体积较小，重量较轻。YR (IP23) 的技术数据见表 5.2.12。

表 5.2.12 YR (IP23) 系列技术性能数据

型 号	功率 /kW	电压 /V	频率 /Hz	电流 /A	转速 /(r/min)	效率 /%	功率 因数	最大转矩 额定转矩	转 子		噪声 /dB	振动 /(mm/s)		
									电压 /V	电 流 /A				
4 极														
YR160M-4	7.5			16.1	1440	84	0.84	2.8	260	19	83	2.8		
YR160L-4	11			22.7	1440	86.5	0.85	2.8	275	26	83	2.8		
YR160L2-4	15			30.8	1440	87	0.85	2.8	260	37	85	2.8		
YR180M-4	18.5			36.7	1440	87	0.88	2.8	197	61	85	2.8		
YR180L-4	22			43.2	1441	88	0.88	3.0	232	61	85	2.8		
YR200M-4	30	380	50	58.2	1441	89	0.88	3.0	255	76	89	2.8		
YR200L-4	37			71.8	1441	89	0.88	3.0	316	74	89	2.8		
YR225M1-4	45			87.3	1442	89	0.88	2.5	240	120	92	2.8		
YR225M2-4	55			105.5	1448	90	0.88	2.5	288	121	92	2.8		
YR250S-4	75			141.5	1453	90.5	0.89	2.6	449	105	92	4.5		
YR250M-4	90			168.8	1456	91	0.89	2.6	524	107	92	4.5		
YR280S-4	110			205.2	1460	91.5	0.89	3.0	349	196	92	4.5		
YR280M-4	132			243.6	1460	92.5	0.89	3.0	419	194	92	4.5		
6 极														
YR160M-6	5.5					13.2	950	82.5	0.77	2.5	279	13	79	2.8
YR160L-6	7.5			17.5	952	83.5	0.78	2.5	260	19	80	2.8		
YR180M-6	11			25.4	952	84.5	0.78	2.8	146	50	80	2.8		
YR180L-6	15			33.7	953	85.5	0.79	2.8	187	53	83	2.8		
YR200M-6	18.5	380	50	40.1	954	86.5	0.81	2.8	187	65	83	2.8		
YR200L-6	22			46.6	954	87.5	0.82	2.8	224	63	83	2.8		
YR225M1-6	30			61.3	955	87.5	0.85	2.2	227	86	86	2.8		
YR225M2-6	37			74.3	964	89	0.85	2.2	287	82	86	2.8		
YR250S-6	45			90.4	966	89	0.85	2.2	307	93	89	4.5		
YR250M-6	55			108.6	967	89.5	0.86	2.2	359	97	89	4.5		
YR280S-6	75			143.1	970	90.5	0.88	2.5	392	121	92	4.5		
YR280M-6	90			168.8	972	91	0.89	2.5	481	118	92	4.5		
8 极														
YR160M-8	4					10.6	703	81	0.71	2.2	262	11	77	2.8
YR160L-8	5.5			14.4	706	81.5	0.71	2.2	243	15	77	2.8		
YR180M-8	7.5			19.0	706	82	0.73	2.2	105	49	80	2.8		
YR180L-8	11			27.6	708	83	0.73	2.2	140	53	80	2.8		
YR200M-8	15	380	50	36.7	708	85	0.73	2.2	153	64	83	2.8		
YR200L-8	18.5			44.8	710	86	0.73	2.2	187	64	83	2.8		
YR225M1-8	22			49.8	710	86	0.78	2.0	161	90	83	2.8		
YR225M2-8	30			66.3	717	87	0.79	2.0	200	97	86	2.8		
YR250S-8	37			81.3	715	87.5	0.79	2.0	218	110	86	4.5		
YR250M-8	45			97.8	719	88.5	0.79	2.0	264	109	88	4.5		
YR280S-8	55			114.5	720	89	0.82	2.2	279	125	88	4.5		
YR280M-8	75			154.4	725	90	0.82	2.2	359	131	91	4.5		

4. Y、YR 中型高压三相异步电动机

该系列电机统一设计于 80 年代,用以替代 JS、JR。符合 IEC 标准,具有高效、节能、噪声低、振动小、重量轻等优点,采用箱式结构,便于派生不同的防护等级,其基本防护等级为 IP23。额定电压为 3kV、6kV 两种。技术数据因生产厂不同而有较大直径及小直径两种方案。Y 为笼式, YR 为绕线式,两者的定子通用。适用于驱动风机、水泵等各种通用机械。技术数据见表 5.2.13。

表 5.2.13a Y 系列中型高压三相异步电动机技术数据(6kV、50Hz 大直径)

		满载时				满载时				满载时				满载时									
型号	额定功率/kW	定子电流/A	转速/(r/min)	效率/%	功率因数	型号	额定功率/kW	定子电流/A	转速/(r/min)	效率/%	功率因数	型号	额定功率/kW	定子电流/A	转速/(r/min)	效率/%	功率因数	型号	额定功率/kW	定子电流/A	转速/(r/min)	效率/%	功率因数
Y355-4	220	27	1480	93.3	0.85	Y400-8	220	29	740	92.9	0.78	Y450-10	220	30	592	92.1	0.77	Y500-8	500	63	741	94.2	0.81
	250	30		93.4	0.85		250	33		93.0	0.79		250	33		92.3	0.78		560	70		94.4	0.82
	280	34		93.5	0.86		280	37		93.2	0.79		280	37		92.5	0.78		630	78		94.5	0.8
	315	38		93.6	0.86		315	41		94.7	0.87		315	41		92.6	0.79		710	88		94.6	0.8
Y355-6	220	28	989	93.0	0.82	Y450-4	630	74	1483	94.9	0.87	Y450-12	220	32	495	91.4	0.73	Y500-10	400	52	593	93.3	0.8
	250	31		93.3	0.82		710	83		95.1	0.87		250	36		91.7	0.73		450	58		93.4	0.8
Y400-4	355	42	1480	93.8	0.86	Y450-6	800	93	988	95.2	0.87	Y500-4	1000	116	1487	95.3	0.87	Y500-12	500	64	494	93.6	0.8
	400	48		94.0	0.86		900	105		95.2	0.87		1120	128		95.4	0.88		560	72		93.7	0.8
	450	53		94.2	0.86		450	55		94.3	0.84		1250	143		95.5	0.88		630	81		93.8	0.8
	500	59		94.3	0.87		560	67		94.6	0.85		1400	160		95.6	0.88		280	39		92.7	0.7
Y400-6	560	66	990	94.5	0.87	Y450-8	600	72	740	94.7	0.85	Y500-6	710	85	990	95.0	0.85	Y500-12	280	44	494	92.8	0.7
	280	35		93.5	0.83		315	41		93.4	0.80		800	95		95.1	0.85		315	44		93.0	0.7
	315	39		93.7	0.83		355	46		93.5	0.80		900	107		95.2	0.85		400	55		93.3	0.7
	355	44		93.9	0.85		400	51		93.7	0.80		1000	119		95.3	0.85		450	62		93.4	0.7
400	49	94.0	0.83	450	57	93.8	0.81																

注:电动机接法 Y 接。

表 5.2.13b YR 系列中型高压绕线转子三相异步电动机技术数据 (6kV、50Hz、大直径)

型 号	额定功率 /kW	满 载 时				转 子				
		定子电流 /A	转速 /(r/min)	效率/%	功率 因数	槽数 Z_2	线规 /mm	半匝长 /mm	电压 /V	电流 /A
YR355-4	220	28		92.7	0.83			865	326	424
	250	31	1470	93	0.84	48	5×16	895	350	447
	280	34		93.1	0.84			925	364	484
YR400-4	315	38		93.1	0.85			898	385	508
	355	43		93.3	0.85			928	420	524
	400	48	1474	93.5	0.85	48	6.3×15	988	463	534
	450	54		93.7	0.85			1018	488	571
	550	60		93.9	0.85			1078	546	585
YR400-6	220	28		92.5	0.81			761	269	514
	250	31		93.7	0.82			821	295	532
	280	35	984	92.8	0.82	54	6.3×18	851	317	556
	315	40		93.0	0.82			881	343	575
	355	45		93.2	0.82			941	374	594
YR400-8	220	29		92.2	0.78			820	412	337
	250	33	735	92.3	0.78	84	3.55×22.4	850	433	367
	280	37		92.4	0.79			940	496	357
YR450-4	560	67		94.2	0.85			1049	53	652
	630	75		94.5	0.86			1079	580	670
	710	84	1480	94.6	0.86	48	6.3×18	1140	618	708
	800	94		94.6	0.82			1199	664	745
YR450-6	400	50		93.5	0.83			924	400	629
	450	55	985	93.6	0.84	54	6.3×18	954	439	640
	500	61		93.8	0.84			1014	488	638
	560	68		94.0	0.84			1074	548	632
YR450-8	315	41		92.6	0.80			865	506	391
	355	46	736	92.7	0.80	84	3.55×25	895	548	406
	400	52		93.0	0.80			955	599	419
	450	57		93.1	0.81			1015	659	428
YR450-10	220	30		91.3	0.77			826	312	448
	250	34		91.5	0.77			856	341	465
	280	38	587	91.8	0.78	60	5×18	916	375	473
	315	42		91.9	0.78			976	417	477
	355	48		92.1	0.78			1066	469	477
YR450-12	220	33	485	90.4	0.72	72	4.5×16	910	383	367
	250	37		90.5	0.72			950	418	382
YR500-4	900	105		94.6	0.87			1105	682	809
	1000	117	1483	94.9	0.87	48	6.3×23.6	1165	715	860
	1120	130		95.0	0.87			1225	798	861
	1250	145		95.1	0.87			1255	845	907
YR500-6	630	76		94.3	0.85			1007	551	707
	710	85	986	94.5	0.85	54	7.1×20	1067	587	748
	800	96		94.7	0.85			1097	630	787
	900	107		94.8	0.85			1157	679	823
YR500-8	500	64		93.5	0.81			942	763	408
	560	71	737	93.7	0.81	96	3.55×22.4	1002	848	410
	630	80		93.9	0.81			1032	888	442
	710	90		94.0	0.81			1122	1001	441

续表

型 号	额定功率 /kW	满 载 时				转 子				
		定子电流 /A	转速 /(r/min)	效率/%	功率 因数	槽数 Z_2	线规 /mm	半匝长 /mm	电压 /V	电流 /A
YR500-10	400	53		92.8	0.78	60	6×18	956	439	573
	450	60	589	93.1	0.78			1016	473	600
	500	65		93.3	0.79			1076	540	579
	560	73	590	93.5	0.79			1136	565	624
YR500-12	280	40		91.7	0.73	108	3.15×20	895	578	306
	315	45		92.0	0.74			925	630	315
	355	50	490	92.0	0.75			985	693	322
	400	56		92.3	0.75			1075	770	326
	450	62		92.5	0.75			1105	828	341

注：1. 本系列电动机的最大转矩与额定转矩之比为1.8倍。

2. 电动机均为Y接。

5. YD变极多速电机

该系列电机为Y系列电机的派生系列，用于取代JDO₂。比JDO₂效率、功率因数、起动性能都有所提高，噪声、振动则有所下降，同时体积缩小15%，重量减轻12%。双速为单绕组，三速、四速为双绕组。其技术性能数据见表5.2.14。

表 5.2.14 YD系列变极多速三相异步电动机技术数据

型 号	极数	额定 功率 /kW	接法	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
				转速 /(r/min)	电流 /A	效率 /%	功率 因数			
YD801-4/2	4	0.45	△	1420	1.4	66	0.74	6.5	1.5	1.8
	2	0.55	2Y	2860	1.5	65	0.85	7	1.7	
YD802-4/2	4	0.55	△	1420	1.7	68	0.74	6.5	1.6	1.8
	2	0.75	2Y	2860	2.0	66	0.85	7	1.8	
YD90S-4/2	4	0.85	△	1430	2.3	74	0.77	6.5	1.8	1.8
	2	1.1	2Y	2850	2.8	72	0.85	7	1.9	
YD90L-4/2	4	1.3	△	1430	3.3	76	0.78	6.5	1.8	1.8
	2	1.8	2Y	2850	4.3	74	0.85	7	2	
YD100L1-4/2	4	2.0	△	1430	4.8	78	0.81	6.5	1.7	1.8
	2	2.4	2Y	2850	5.6	76	0.86	7	1.9	
YD100L2-4/2	4	2.4	△	1430	5.6	79	0.83	6.5	1.6	1.8
	2	3.0	2Y	2850	6.7	77	0.89	7	1.7	
YD112M-4/2	4	3.3	△	1450	7.4	82	0.83	6.5	1.9	1.8
	2	4.0	2Y	2890	8.6	79	0.89	7	2	
YD132S-4/2	4	4.5	△	1450	9.8	83	0.84	6.5	1.7	1.8
	2	5.5	2Y	2860	11.9	79	0.89	7	1.8	
YD132M-4/2	4	6.5	△	1450	13.8	84	0.85	6.5	1.7	1.8
	2	8.0	2Y	2880	17.1	80	0.89	7	1.8	
YD160M-4/2	4	9	△	1460	18.5	87	0.85	6.5	1.6	1.8
	2	11	2Y	2920	22.9	82	0.89	7	1.8	
YD100L-4/2	4	11	△	1460	22.3	87	0.86	6.5	1.7	1.8
	2	14	2Y	2920	28.8	82	0.90	7	1.9	
YD180M-4/2	4	15	△	1470	29.4	89	0.87	6.5	1.8	1.8
	2	18.5	2Y	2940	36.7	85	0.90	7	1.9	
YD180L-4/2	4	18.5	△	1470	35.9	89	0.88	6.5	1.6	1.8
	2	22	2Y	2940	42.7	86	0.91	7	1.8	
YD90S-6/4	6	0.65	△	920	2.2	64	0.68	6	1.6	1.8
	4	0.85	2Y	1420	2.3	70	0.79	6.5	1.4	

续表

型 号	极数	额定功率 /kW	接法	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
				转速 /(r/min)	电流 /A	效率 /%	功率 因数			
YD90L-6/4	6	0.85	△	930	2.8	66	0.70	6	1.6	1.8
	4	1.1	2Y	1400	3.0	71	0.79	6.5	1.5	
YD100L1-6/4	6	1.3	△	940	3.8	74	0.70	6	1.7	1.8
	4	1.8	2Y	1440	4.4	77	0.80	6.5	1.4	
YD100L2-6/4	6	1.5	△	940	4.3	75	0.70	6	1.6	1.8
	4	2.2	2Y	1440	5.4	77	0.80	6.5	1.4	
YD112M-6/4	6	2.2	△	960	5.7	78	0.75	6	1.8	1.8
	4	2.8	2Y	1440	6.7	77	0.82	6.5	1.5	
YD132S-6/4	6	3.0	△	970	7.7	79	0.75	6	1.8	1.8
	4	4.0	2Y	1440	9.5	78	0.82	6.5	1.7	
YD132M-6/4	6	4.0	△	970	9.8	82	0.76	6	1.6	1.8
	4	5.5	2Y	1440	12.3	80	0.85	6.5	1.4	
YD160M-6/4	6	6.5	△	970	15.1	84	0.78	6	1.5	1.8
	4	8	2Y	1460	17.4	83	0.84	6.5	1.5	
YD160L-6/4	6	9	△	970	20.6	85	0.78	6	1.6	1.8
	4	11	2Y	1460	23.4	84	0.85	6.5	1.7	
YD180M-6/4	6	11	△	980	25.9	85	0.76	6	1.6	1.8
	4	14	2Y	1470	29.8	84	0.85	6.5	1.7	
YD180L-6/4	6	13	△	980	29.4	86	0.78	6	1.7	1.8
	4	16	2Y	1470	33.6	85	0.85	6.5	1.7	
YD90L-8/4	8	0.45	△	700	1.9	58	0.63	5.5	1.6	1.8
	4	0.75	2Y	1420	1.8	72	0.87	6.5	1.4	
YD100L-8/4	8	0.85	△	700	3.1	67	0.63	5.5	1.6	1.8
	4	1.5	2Y	1410	3.5	74	0.88	6.5	1.4	
YD112M-8/4	8	1.5	△	700	5.0	72	0.63	5.5	1.7	1.8
	4	2.4	2Y	1410	5.3	78	0.88	6.5	1.7	
YD132S-8/4	8	2.2	△	720	7.0	75	0.64	5.5	1.5	1.8
	4	3.3	2Y	1440	7.1	80	0.83	6.5	1.7	
YD132M-8/4	8	3.0	△	720	9.0	78	0.65	5.5	1.5	1.8
	4	4.5	2Y	1440	9.4	82	0.89	6.6	1.6	
YD160M-8/4	8	5.0	△	730	13.9	83	0.66	5.5	1.5	1.8
	4	7.5	2Y	1450	15.2	84	0.89	6.5	1.6	
YD160L-8/4	8	7	△	730	19	85	0.66	5.5	1.5	1.8
	4	11	2Y	1450	21.8	86	0.89	6.5	1.6	
YD180L-8/4	8	11	△	730	26.7	87	0.72	6	1.5	1.8
	4	17	2Y	1470	32.6	88	0.91	7	1.5	
YD90S-8/6	8	0.35	△	700	1.6	56	0.60	5	1.8	1.8
	6	0.45	2Y	930	1.4	70	0.72	6	2	
YD90L-8/6	8	0.45	△	700	1.9	59	0.60	5	1.7	1.8
	6	0.65	2Y	920	1.9	71	0.73	6	1.8	
YD100L-8/6	8	0.75	△	710	2.9	65	0.60	5	1.8	1.8
	6	1.1	2Y	950	3.1	75	0.73	6	1.9	
YD112M-8/6	8	1.3	△	710	4.5	72	0.61	5	1.7	1.8
	6	1.8	2Y	950	4.8	78	0.73	6	1.9	
YD132S-8/6	8	1.8	△	730	5.8	76	0.62	5	1.6	1.8
	6	2.4	2Y	970	6.2	80	0.73	6	1.9	
YD132M-8/6	8	2.6	△	730	8.2	78	0.62	5	1.9	1.8
	6	3.7	2Y	970	9.4	82	0.73	6	1.9	

续表

型 号	极数	额定功率/kW	接法	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
				转速 (r/min)	电流 /A	效率 /%	功率 因数			
YD160M-8/6	8	4.5	△	730	13.3	83	0.62	5	1.6	1.8
	6	6	2Y	980	14.7	85	0.73	6	1.9	
YD160L-8/6	8	6	△	730	17.5	84	0.62	5	1.6	1.8
	6	8	2Y	980	19.4	86	0.73	6	1.9	
YD180M-8/6	8	7.5	△	730	21.9	84	0.62	5	1.9	1.8
	6	10	2Y	980	24.2	86	0.73	6	1.9	
YD180L-8/6	8	9	△	730	24.7	85	0.65	5	1.8	1.8
	6	12	2Y	980	28.3	86	0.75	6	1.8	
YD160M-12/6	12	2.6	△	480	11.6	74	0.46	4	1.2	1.8
	6	5	2Y	970	11.9	84	0.76	6	1.4	
YD160L-12/6	12	3.7	△	480	16.1	76	0.46	4	1.2	1.8
	6	7	2Y	970	15.8	85	0.79	6	1.4	
YD180L-12/6	12	5.5	△	490	19.6	79	0.54	4	1.3	1.8
	6	10	2Y	980	20.5	86	0.86	6	1.3	
YD100L-6/4/2	6	0.75	Y	950	2.6	67	0.65	5.5	1.8	1.8
	4	1.3	△	1450	3.7	72	0.75	6	1.6	
	2	1.8	2Y	2900	4.5	71	0.85	7	1.6	
YD112M-6/4/2	6	1.1	Y	960	3.5	73	0.65	5.5	1.7	1.8
	4	2.0	△	1450	5.1	73	0.81	6	1.4	
	2	2.4	2Y	2920	5.8	74	0.85	7	1.6	
YD132S-6/4/2	6	1.8	Y	970	5.1	75	0.71	5.5	1.4	1.8
	4	2.6	△	1460	6.1	78	0.83	6	1.3	
	2	3.0	2Y	2910	7.4	71	0.87	7	1.7	
YD132M1-6/4/2	6	2.2	Y	970	6	77	0.72	5.5	1.3	1.8
	4	3.3	△	1460	7.5	80	0.84	6	1.3	
	2	4.0	2Y	2910	8.8	76	0.91	7	1.7	
YD132M2-6/4/2	6	2.6	Y	970	6.9	80	0.72	5.5	1.5	1.8
	4	4.0	△	1460	9	80	0.84	6	1.4	
	2	5.0	2Y	2910	10.8	77	0.91	7	1.7	
YD160M-6/4/2	6	3.7	Y	980	9.5	82	0.72	5.5	1.5	1.8
	4	5.0	△	1470	11.2	81	0.84	6	1.3	
	2	6.0	2Y	2930	13.2	76	0.91	7	1.4	
YD160L-6/4/2	6	4.5	Y	980	11.4	83	0.72	5.5	1.5	1.8
	4	7	△	1470	15.1	83	0.85	6	1.2	
	2	9	2Y	2930	18.8	79	0.92	7	1.3	
YD112M-8/4/2	8	0.65	Y	700	2.7	59	0.63	4.5	1.4	1.8
	4	2.0	△	1450	5.1	73	0.81	6	1.3	
	2	2.4	2Y	2920	5.8	74	0.85	7	1.2	
YD132S-8/4/2	8	1.0	Y	720	3.6	69	0.61	4.5	1.4	1.8
	4	2.0	△	1460	6.1	78	0.83	6	1.2	
	2	3.0	2Y	2910	7.1	74	0.87	7	1.4	
YD132M-8/4/2	8	1.3	Y	720	4.6	71	0.61	4.5	1.5	1.8
	4	3.7	△	1460	8.4	80	0.84	6	1.3	
	2	4.5	2Y	2910	10	75	0.91	7	1.4	
YD160M-8/4/2	8	2.2	Y	720	7.6	75	0.59	4.5	1.4	1.8
	4	5.0	△	1440	11.2	81	0.84	6	1.3	
	2	6.0	2Y	2910	13.2	76	0.91	7	1.4	

续表

型 号	极数	额定 功率 /kW	接法	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
				转速 /(r/min)	电流 /A	效率 /%	功率 因数			
YD160L-8/4/2	8	2.8	Y	720	9.2	77	0.60	4.5	1.3	1.8
	4	7.0	△	1440	15.1	83	0.85	6	1.2	
	2	9.0	2Y	2910	18.8	79	0.92	7	1.3	
YD112M-8/6/4	8	0.85	△	710	3.7	62	0.56	5.5	1.7	1.8
	6	1.0	Y	950	3.1	68	0.73	6.5	1.3	
	4	1.5	2Y	1440	3.5	75	0.86	7	1.5	
YD132S-8/6/4	8	1.1	△	730	4.1	68	0.60	5.5	1.4	1.8
	6	1.5	Y	970	4.2	74	0.73	6.5	1.3	
	4	1.8	2Y	1460	4.0	78	0.87	7	1.3	
YD132M1-8/6/4	8	1.5	△	730	5.2	71	0.62	5.5	1.3	1.8
	6	2.0	Y	970	5.4	77	0.73	6.5	1.5	
	4	2.2	2Y	1460	4.9	79	0.87	7	1.4	
YD132M2-8/6/4	8	1.8	△	730	6.1	72	0.62	5.5	1.5	1.8
	6	2.6	Y	970	6.8	78	0.74	6.5	1.7	
	4	3.0	2Y	1460	6.5	80	0.87	7	1.5	
YD160M-8/6/4	8	3.3	△	720	10.2	79	0.62	5.5	1.7	1.8
	6	4.0	Y	960	9.9	81	0.76	6.5	1.4	
	4	5.5	2Y	1440	11.6	83	0.87	7	1.5	
YD160L-8/6/4	8	4.5	△	720	13.8	80	0.62	5.5	1.6	1.8
	6	6.0	Y	960	14.5	83	0.76	6.5	1.6	
	4	7.5	2Y	1440	15.6	84	0.87	7	1.5	
YD180L-8/6/4	8	7	△	740	20.2	81	0.65	6.5	1.7	1.8
	6	9	Y	980	20.6	83	0.80	7	1.7	
	4	12	2Y	1470	24.1	84	0.90	7	1.5	
YD180L-12/8/6/4	12	3.3	△	480	13	72	0.55	5	1.6	1.8
	8	5.0	△	740	16	79	0.62	6	1.5	
	6	6.5	2Y	970	14	82	0.88	6	1.3	
	4	9.0	2Y	1470	19	83	0.89	7	1.3	

6. YZ、YZR 冶金起重电机

本系列为 JZ₂、JZR₂ 的更新换代产品, 用于起重机及冶金辅助设备的驱动, YZ 为笼式, YZR 为绕线式, 起重用防护等级为 IP44, 冶金用防护等级为 IP54。H112、H132 为封闭自冷式, H160 及以上为封闭自扇冷式, 基准工作制为 S3-40%。其技术性能见表 5.2.15、表 5.2.16。

表 5.2.15 YZ 系列三相异步电动机的主要技术性能数据

机 座 号	额定 功率 /kW	额定 电流 /A	额定 转速 /(r/min)	空载 电流 /A	最大 转矩 倍数	堵转 转矩 倍数	堵转 电流 倍数	效率 η /%	功率 因数	绝缘 等级	温升 限值 /K
1000r/min (同步转速)											
YZ 112M	1.5	4.25	920	2.6	2.7	2.44	4.47	69.5	0.77	F/H	95/100
132M ₁	2.2	5.90	935	3.2	2.9	3.1	5.16	74.5	0.75		
132M ₂	3.7	8.80	912	4.6	2.8	3.0	5.54	79.5	0.79		
160M ₁	5.5	12.5	933	6.5	2.7	2.5	4.90	80.6	0.83		
160M ₂	7.5	15.9	948	10	2.9	2.4	5.52	83	0.86		
160L	11	24.6	953	12	2.9	2.7	6.17	84	0.85		

续表

机座号	额定功率/kW	额定电流/A	额定转速/(r/min)	空载电流/A	最大转矩倍数	堵转转矩倍数	堵转电流倍数	效率 η /%	功率因数	绝缘等级	温升限值/K
750r/min (同步转速)											
YZ 160L	7.5	18	705	12	2.7	2.5	5.10	82.4	0.77	F/H	95/100
180L	11	25.8	694	13	2.5	2.6	4.90	80.9	0.81		
200L	15	33.1	710	17.5	2.8	2.7	6.10	86.2	0.80		
225M	22	45.8	712	24.7	2.9	2.9	6.20	87.5	0.83		
250M ₁	30	63.3	694	31.5	2.54	2.7	5.47	85.7	0.84		

表 5.2.16 YZR 系列三相异步电动机主要技术性能数据

机座号	额定功率/kW	定子电流/A	转子电流/A	额定转速/(r/min)	空载电流/A	效率 η /%	功率因数	最大转矩倍数	绝缘等级	温升限值/K		
1000r/min (同步转速)												
YZR 112M	1.5	4.6	12.5	866	3.37	62.9	0.79	2.2	F/H	95/100		
132M ₁	2.2	6.1	12.6	908	4.08	72.5	0.76	2.9				
132M ₂	3.7	9.2	14.5	908	5.58	77	0.80	3.5				
160M ₁	5.5	15	25.7	930	7.95	75.7	0.74	2.6				
160M ₂	7.5	18	26.5	940	11.2	79.4	0.80	2.8				
160L	11.0	24.9	27.6	945	13	83.7	0.82	2.5				
180L	15	33.8	46.5	962	18.8	85.7	0.81	3.2				
200L	22	49.7	72.6	960	28.8	86	0.78	3.3				
225M	30	62	74.4	962	29.9	88.3	0.83	3.3				
250M ₁	37	70.5	91.5	960	26.5	89.2	0.90	3.1				
250M ₂	45	84.5	95.0	965	28.2	90.6	0.89	3.5				
280S	55	101.5	119.8	969	34	91	0.90	3.0				
280M	75	143.3	129.1	968	52.6	90	0.88	3.3				
750r/min (同步转速)												
YZR 160L	7.5	19.1	23	705	12.7	79.8	0.75	2.7			F/H	95/100
180L	11	27	44	700	14.8	81	0.77	2.7				
200L	15	33.5	53.5	712	17.7	86.2	0.79	2.9				
225M	22	46.9	59.1	715	24.2	87.4	0.82	2.9				
250M ₁	30	63.4	68.8	720	31.4	87.8	0.82	2.6				
250M ₂	37	78	70	720	36.9	89	0.83	2.7				
280S	45	97.6	95.7	720	50.8	86	0.80	3.0				
280M	55	110.5	92.5	725	52.3	89.5	0.84	2.8				
315S	75	134	159	727	62	89.5	0.87	2.7				
315M	96	172	160.9	720	57.7	90.2	0.88	3.1				
600r/min (同步转速)												
YZR 280S	37	84.8	153.2	572	44.2	87	0.76	2.8	F/H	95/100		
280M	45	103.8	165	560	63.6	85.6	0.78	3.2				
315S	55	118.3	138.7	580	62.5	89.3	0.79	3.1				
315M	75	160	149.3	579	85.3	89.7	0.79	3.4				
355M	90	180	166.6	589	83	92.1	0.83	3.3				
355L ₁	110	217	172	582	90	92.2	0.84	3.1				
355L ₂	132	262	167.5	588	126	92.4	0.82	3.5				

7. YB 隔爆型三相异步电动机

本系列电机是 Y 系列电机的派生产品,也是 BJO₂ 的更新换代产品,适用于爆炸性气体混合物的场合,符

合 GB 1336—77 及 IEC 79-1 的规定。可分别按矿用 (KB)、工厂用 (B1, B2, B3, B4 级) 及不同引燃温度组 (a, b, c, d, e 组) 制造。电机主体的防护等级为 IP44 或 IP54。接线盒为 IP54。进线方式分橡胶套电缆和钢管布线两种。并有两种进线口：一个进线口的适用电机直接起动；二个进线口的适用于电机 Y-△ 起动。接线盒在电机顶部，可以左右进线。主要技术性能见表 5.2.17。

表 5.2.17 YB 隔爆型电机技术性能数据

功率 /kW	型 号	电流 (380V 时) /A	转速 /(r/min)	效率 /%	功率 因数 $\cos\phi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
同步转速 3000r/min (2 极) 50Hz								
0.75	YB801-2	1.8	2825	75	0.84	2.2	7.0	2.2
1.1	YB802-2	2.5	2825	77	0.86	2.2	7.0	2.2
1.5	YB90S-2	3.4	2840	78	0.85	2.2	7.0	2.2
2.2	YB90L-2	4.7	2840	82	0.86	2.2	7.0	2.2
3	YB100L-2	6.4	2880	82	0.87	2.2	7.0	2.2
4	YB112M-2	8.2	2890	85.5	0.87	2.2	7.0	2.2
5.5	YB132S1-2	11.1	2900	85.5	0.88	2.0	7.0	2.2
7.5	YB132S2-2	15.0	2900	86.2	0.88	2.0	7.0	2.2
11	YB160M1-2	21.8	2930	87.2	0.88	2.0	7.0	2.2
15	YB160M2-2	29.4	2930	88.2	0.88	2.0	7.0	2.2
18.5	YB160L-2	35.5	2930	89	0.89	2.0	7.0	2.2
22	YB180M-2	42.2	2940	89	0.89	2.0	7.0	2.2
30	YB200L1-2	56.9	2950	90	0.89	2.0	7.0	2.2
37	YB200L2-2	69.8	2950	90.5	0.89	2.0	7.0	2.2
45	YB225M-2	83.9	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2
55	YB250M-2	102.7	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2
75	YB280S-2	140.1	2970	91.5	0.89	2.0	7.0	2.2
90	YB280M-2	167	2970	92	0.89	2.0	7.0	2.2
同步转速 1500r/min (4 极) 50Hz								
0.55	YB801-4	1.5	1390	73	0.76	2.2	6.5	2.2
0.75	YB802-4	2.0	1390	74.5	0.76	2.2	6.5	2.2
1.1	YB90S-4	2.7	1400	78	0.78	2.2	6.5	2.2
1.5	YB90L-4	3.7	1400	79	0.79	2.2	6.5	2.2
2.2	YB100L ₁ -4	5.0	1420	81	0.82	2.2	7.0	2.2
3	YB100L ₂ -4	6.8	1420	82.5	0.81	2.2	7.0	2.2
4	YB112M-4	8.8	1440	84.5	0.82	2.2	7.0	2.2
5.5	YB132S-4	11.6	1440	85.5	0.84	2.2	7.0	2.2
7.5	YB132M-4	15.4	1440	87	0.85	2.2	7.0	2.2
11	YB160M-4	22.6	1460	88	0.84	2.2	7.0	2.2
15	YB16CL-4	30.3	1460	88.5	0.85	2.2	7.0	2.2
18.5	YB180M-4	35.9	1470	91	0.86	2.0	7.0	2.2
22	YB18CL-4	42.5	1470	91.5	0.86	2.0	7.0	2.2
30	YB200L-4	56.8	1470	92.2	0.87	2.0	7.0	2.2
37	YB225S-4	69.8	1480	91.8	0.87	1.9	7.0	2.2
45	YB225M-4	84.2	1480	92.3	0.88	1.9	7.0	2.2
55	YB250M-4	102.5	1480	92.6	0.88	2.0	7.0	2.2
75	YB280S-4	139.7	1480	92.7	0.88	1.9	7.0	2.2
90	YB280M-4	164.3	1480	93.6	0.89	1.9	7.0	2.2
同步转速 1000r/min (6 极) 50Hz								
0.75	YB90S-6	2.3	910	72.5	0.70	2.0	6.0	2.0
1.1	YB90L-6	3.2	910	73.5	0.72	2.0	6.0	2.0

续表

功率 /kW	型 号	电流 (380V时) /A	转速 /(r/min)	效率 /%	功率 因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
同步转速 1000r/min (6极) 50Hz								
1.5	YB100L-6	4.0	940	77.5	0.74	2.0	6.0	2.0
2.2	YB112M-6	5.6	940	80.5	0.74	2.0	6.0	2.0
3	YB132S-6	7.2	960	83	0.76	2.0	6.5	2.0
4	YB132M ₁ -6	9.4	960	84	0.77	2.0	6.5	2.0
5.5	YB132M ₂ -6	12.6	960	85.3	0.78	2.0	6.5	2.0
7.5	YB160M-6	17.0	970	86	0.78	2.0	6.5	2.0
11	YB160L-6	24.6	970	87	0.78	2.0	6.5	2.0
15	YB180L-6	31.6	970	89.5	0.81	1.8	6.5	2.0
18.5	YB200L ₁ -6	37.7	970	89.8	0.83	1.8	6.5	2.0
22	YB200L ₂ -6	44.6	970	90.2	0.83	1.8	6.5	2.0
30	YB225M-6	59.5	980	90.2	0.85	1.7	6.5	2.0
37	YB250M-6	72	980	90.8	0.86	1.8	6.5	2.0
45	YB280S-6	85.4	980	92	0.87	1.8	6.5	2.0
55	YB280M-6	104.9	980	92	0.87	1.8	6.5	2.0
同步转速 750r/min (8极) 50Hz								
2.2	YB132S-8	5.8	710	81	0.71	2.0	5.5	2.0
3	YB132M-8	7.7	710	82	0.72	2.0	5.5	2.0
4	YB160M ₁ -8	9.9	720	84	0.73	2.0	6.0	2.0
5.5	YB160M ₂ -8	13.3	720	85	0.74	2.0	6.0	2.0
7.5	YB160L-8	17.7	720	86	0.75	2.0	5.5	2.0
11	YB180L-8	25.1	730	86.5	0.77	1.7	6.0	2.0
15	YB200L-8	34.1	730	88	0.76	1.8	6.0	2.0
18.5	YB225S-8	41.3	730	89.5	0.76	1.7	6.0	2.0
22	YB225M-8	47.6	730	90	0.78	1.8	6.0	2.0
30	YB250M-8	63	730	90.5	0.80	1.8	6.0	2.0
37	YB280S-8	78.7	740	91	0.79	1.8	6.0	2.0
45	YB280M-8	93.2	740	91.7	0.80	1.8	6.0	2.0

8. YCT电磁调速电动机

是以Y系列电机作为驱动电机，与电磁转差离合器、测速发电机组成一个整体，配以控制器。用于调速驱动，调速比为1:10。其技术性能见表5.2.18。

表 5.2.18 YCT 系列 (联合设计) 电磁调速电动机的技术数据

型 号	额定 转矩 /(N·m)	调速 范围 /(r/min)	转速 变化率 (不大于)	励磁线圈 ^①			直流励磁		轴承号	拖动电机		
				导线直径 /mm	匝数	铜重 /kg	电压 /V	电流 /A		型 号	功率 /kW	
YCT112-4A 4B	3.60	1250~ 125	3%	—	—	—	—	—	205	Y801-4	0.55	
	4.91			φ0.57	1456	1.22	45.5	1.01	204	Y802-4	0.75	
YCT132-4A 4B	7.14			—	—	—	—	—	—	205	Y90S-4	1.1
	9.73			φ0.63	1296	1.5	48.4	1.32	306	Y90L-4	1.5	
YCT160-4A 4B	14.12			—	—	—	—	—	—	206	Y100L ₁ -4	2.2
	19.22			φ0.71	1350	2.32	53.8	1.51	307	Y100L ₂ -4	3	
YCT180-4A	25.20			φ0.71	1534	2.96	80	1.19	306 307	Y112M-4	4	
				—	—	—	—	—	—	—	—	—
YCT200-4A 4B	35.10			—	—	—	—	—	—	309	Y132S-4	5.5
	47.75			φ0.83	1400	3.85	72	1.63	308	Y132M-4	7.5	
YCT225-4A 4B	69.13			—	—	—	—	—	—	309	Y160M-4	11
	94.33			φ0.9	1355	5.49	80	1.91	310	Y160L-4	15	

续表

型号	额定转矩 (N·m)	调速范围 (r/min)	转速变化率 (不大于)	励磁线圈 ^①			直流励磁		轴承号	拖动电机		
				导线直径 (mm)	匝数	铜重 (kg)	电压 (V)	电流 (A)		型号	功率 (kW)	
YCT250-4A 4B	115.75	1320~ 132	3%	—	—	—	—	—	312	Y180M-4	18.5	
	137.29			φ1.02	1104	6.54	70	2.88	311	Y180L-4	22	
YCT280-4A	189.26			φ1.16	1326	9.41	80	2.46	312 313	Y200L-4	30	
YCT315-4A 4B	232.41			—	—	—	—	—	—	314	Y225S-4	37
	282.43			φ1.2	1100	10.4	73	3.39	313	Y225M-4	45	

① 凡是一个机座号内有二个规格的小功率励磁数据, 在联合设计时未曾计算, 各厂可能有出入, 但也可用同一励磁线圈, 仅电流略小。

9. YG 辊道用三相异步电动机

用于驱动冶金辊道, 是 JG₂ 的更新换代产品。与 JG₂ 相比具有以下优点。

① JG₂ 以一种系列来同时满足频繁正反转起、制动的工作用辊道及连续运转用的传输辊道。前者要求起动性能好, 后者则要求满载性能优良, 同一种电机实际上无法同时满足这两个互相矛盾的要求, 因此在这两种工况运转时性能均不太理想。YG 则分为 YG_a 用于工作辊道工作制为 S5-40%, YG_b 用于传输辊道工作制为 S1, 使两种电机在两种工况下分别发挥出优异的性能。

② 规格比 JG₂ 大大增加, 更便于用户选择。

③ 是十分理想的变频器供电专用电机。

该系列电机为封闭自冷式。符合 IEC 标准。防护等级为 IP54 (或更高), 绝缘等级为 F 或 H。其主要技术性能见表 5.2.19、表 5.2.20。

表 5.2.19 YG_a 辊道电机技术数据

机座号	极数	堵转转矩 (N·m)	堵转电流 (A)	动态常数 (kg·m ² /h)	机座号	极数	堵转转矩 (N·m)	堵转电流 (A)	动态常数 (kg·m ² /h)
112L1	4	22	13	90	160L1	10	140	31	1760
112L2	4	32	17	130	160L2	10	190	39	2120
112L1	6	20	8	205	180L1	10	230	45	2350
112L2	6	30	11	280	180L2	10	280	56	2690
132M1	6	48	18	300	200L1	10	380	73	3050
132M2	6	63	24	375	200L2	10	450	90	3530
160S1	6	90	27	490	225M1	10	600	122	3550
160S2	6	120	35	640	225M2	10	750	145	4050
160L1	6	160	47	930	112L1	12	13	3	660
160L2	6	200	64	1150	112L2	12	20	5	990
112L1	8	17	5.8	335	132M1	12	30	7.5	1050
112L2	8	28	9	470	132M2	12	42	11	1300
132M1	8	38	12	510	160S1	12	60	14	1550
132M2	8	53	17	640	160S2	12	90	19	1910
160S1	8	80	24	770	160L1	12	125	23	2400
160S2	8	110	32	950	160L2	12	170	32	2880
160L1	8	150	40	1160	180L1	12	220	37	3340
160L2	8	200	52	1380	180L2	12	280	47	3860
180L1	8	250	62	1540	200L1	12	380	60	4290
180L2	8	300	73	1760	200L2	12	450	72	5040
112L1	10	16	4.5	490	225M1	12	600	95	5050
112L2	10	25	7.5	660	225M2	12	750	125	5710
132M1	10	36	9	740	132M1	16	26	5.3	1910
132M2	10	48	12	930	132M2	16	36	7	2120
160S1	10	71	17	1150	160S1	16	48	9.5	2500
160S2	10	100	23	1380	160S2	16	71	13	3050

续表

机座号	极数	堵转转矩 / (N·m)	堵转电流 / A	动态常数 / (kg·m ² /h)	机座号	极数	堵转转矩 / (N·m)	堵转电流 / A	动态常数 / (kg·m ² /h)
160L1	16	100	18	3990	225M2	16	670	100	9460
160L2	16	125	21	4640	180L1	20	100	15	7850
180L1	16	160	26	5270	180L2	20	150	21	8750
180L2	16	210	32	6260	200L1	20	210	32	9750
200L1	16	300	48	7100	200L2	20	300	46	11150
200L2	16	400	60	8100	225M1	20	400	63	11760
225M1	16	530	80	8310	225M2	20	530	76	13300

注：S、M、L后面的数字1、2分别代表同一机座号的两种铁芯长度。

表 5.2.20 YGb 辊道电机技术数据

机座号	极数	功率/kW	堵转转矩 / (N·m)	机座号	极数	功率/kW	堵转转矩 / (N·m)
112L1	4	1.2	18	225M2	10	14	630
112L2	4	1.8	18	112L1	12	0.30	12
112L1	6	0.85	17	112L2	12	0.45	18
112L2	6	1.25	25	132M1	12	0.63	26
132M1	6	1.8	42	132M2	12	0.95	38
132M2	6	2.4	56	160S1	12	1.3	53
160S1	6	3.2	80	160S2	12	1.8	80
160S2	6	4.2	105	160L1	12	2.6	110
160L1	6	5.6	140	160L2	12	3.4	150
160L2	6	7.1	190	180L1	12	4.2	200
112L1	8	0.5	15	180L2	12	5.3	260
112L2	8	0.85	24	200L1	12	6.3	320
132M1	8	1.25	32	200L2	12	8.0	400
132M2	8	1.8	48	225M1	12	9.0	500
160S1	8	2.5	71	225M2	12	11	630
160S2	8	3.4	100	132M1	16	0.36	22
160L1	8	4.5	135	132M2	16	0.53	30
160L2	8	5.6	180	160S1	16	0.71	42
180L1	8	6.7	210	160S2	16	1.0	60
180L2	8	8.0	250	160L1	16	1.5	80
112L1	10	0.36	13	160L2	16	2.0	110
112L2	10	0.53	20	180L1	16	2.5	150
132M1	10	0.85	30	180L2	16	3.2	190
132M2	10	1.25	45	200L1	16	4.2	250
160S1	10	1.8	60	200L2	16	5.3	340
160S2	10	2.4	80	225M1	16	6.7	450
160L1	10	3.2	120	225M2	16	8.5	600
160L2	10	4.2	160	180L1	20	1.0	90
180L1	10	5.3	200	180L2	20	1.4	130
180L2	10	6.3	250	200L1	20	2.2	180
200L1	10	7.1	320	200L2	20	3.2	250
200L2	10	9	400	225M1	20	4.0	340
225M1	10	11	500	225M2	20	4.8	450

注：S、M、L后面的数字1、2分别代表同一机座号的两种铁芯长度。

10. YSPA 变频调速三相异步电动机

该系列适用于变频器供电下工作，5~50Hz为恒转矩运转，50~67Hz为恒功率运转。H80~H132为封闭自扇冷式，H160及以上带独立供电风机。其技术性能见表5.2.21。

表 5.2.21 YSPA 变频调速三相异步电动机技术数据

型 号	额定 功率 /kW	额定 输出 转矩 /(N·m)	堵转转矩 ^① /额定转矩	额定条件下空载时		转动 惯量 /(kg·m ²)	电机 重量 /kg	运 行 特 性	
				噪声声 功率级 /dB(A)	振动 速度 /(mm/s)				
802-4	0.55	3.8	1.25	66	2.8	0.0021	18		
90S-4	0.75	5.1				0.0021	22		
90L-4	1.1	7.5				77	0.0027		27
100L1-4	1.5	10					0.0054		34
100L2-4	2.2	14.7				0.0067	38		
112M-4	3.0	19.9				82	0.0095		43
132S-4	4.0	26.5	0.0214	68					
132M-4	5.5	36.5	86	0.0296	81				
160M1-4	7.5	49.1		0.0747	123				
160M2-4	11	71.5	87	0.0921	141				
160L-4	15	97.5		0.112	158				
180M-4	18.5	120.3	88	0.144	195				
180L-4	22	143		0.169	217				
200L-4	30	193.7	97	0.273	310				
225S-4	37	238.9		4.5	0.438	340			
225M-4	45	290.5	0.502		370				
250M-4	55	355.1	105	0.658	474				
280S-4	75	484.2		1.368	595				
280M-4	90	581	108	1.688	666				
315S-4	110	705.4		3.008	973				
315M-4	132	846.5	108	3.515	1053				
315L1-4	160	1026		4.022	1173				
315L2-4	200	1282.6		4.832	1273				

① 堵转转矩/额定转矩为 5Hz 时的最小值。

第六节 三相异步电动机的选用方法

只有正确合理地选用三相异步电动机才能满足运行使用要求,减少运行故障,延长使用寿命。一般可按下述步骤来选用。

1. 正确选择电机型号

按照使用类别,正确选择电机型号,如一般驱动选 Y,在可燃气体环境使用选 YB,驱动冶金辊道则选用 YG……。

2. 正确选择电机防护等级、绝缘等级等

摸清电机的使用环境,以正确地选择电机的防护等级、绝缘等级、冷却方式及其他特殊要求。

① 在室内使用而又无粉尘时可选 IP23。若有粉尘并有水滴淋蚀时可选 IP44、IP54。若粉尘特别严重,而且又有水淋冷却,如热轧辊道,则应选 IP65。若在户外使用,则应选户外型。若在湿热带使用,则应选湿热带电机。若在高原地区使用,由于空气稀薄,电机冷却困难,因此选用时应留有功率裕量。

② 在环境温度 < 40℃ 时一般可选用 B 级绝缘,环境温度在 50~70℃ 时宜选用 F、H 级绝缘。

3. 正确选择电机结构

根据工作机械结构,正确地选择电机的基本结构形式及安装方式。注意对于某些安装方式是有一定中心高限制的,如对于 B5 基本结构,若作垂直向上吊装方式即 V3,则 $H \leq 160\text{mm}$,若作水平安装即 B5 安装方式,则中心高 $H \leq 225\text{mm}$ 。

4. 确定电机极数

根据工作机械的转速及传动比确定电机的极数。对于有两种速度要求的，如机床有快进和快退则可选 YD。又如风机，为了满足不同风速下的节能要求可选用风机专用多速电机 YDT。

5. 确定选用笼式电机还是绕线式电机

根据电网容量、起动扭矩要求，是否有调速要求等，决定选用笼式还是绕线式电机。一般对电网容量较小，起动扭矩要求高、又需调速的，可选用绕线转子电机。

6. 选定电机功率

选定电机功率是选用电机中的一个重要环节，一般可用算法或类比法。

(1) 算法法 算法法是根据各工作机械的有关专业知识、设备技术参数算出所需功率，而后再选电机容量。

① 对于切削机床，其主传动所需功率 P_L 计算式为：

$$P_L = \frac{1}{\eta} A_S P_S v$$

式中 A_S ——切削面积；

P_S ——切削压力，一般可取工料强度的 3~5 倍；

v ——切削速度；

η ——效率。

② 对于起重提升机构：

$$P_{LH} = \frac{1}{\eta_H} F_H v_H$$

式中 F_H ——提升的负荷，包括净负荷加上吊钩等固定负荷，N；

v_H ——提升速度，m/s；

η_H ——提升机构总效率。

③ 对于泵：

$$P_L = \frac{1}{\eta} QP$$

$$P = H_N \rho g + \rho \frac{v^2}{2} + \lambda \rho \frac{v^2 L}{2d}$$

式中 Q ——输送流量，m³/s；

H_N ——额定输送高度，m；

ρ ——密度，kg/m³，对于水 $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；

λ ——管道阻力系数，同雷诺数和管道质量有关；

L 、 d ——管道长度和直径；

η ——泵效率，活塞泵 $\eta = 0.8 \sim 0.95$ ，回转泵 $\eta = 0.5 \sim 0.85$ 。

按公式算出所需功率后，加上一定的功率裕度，即可选定电机功率，以确保可靠运行。

(2) 类比法 按照同类工作机械的电机功率，再加以类比折算。此方法简单可靠。

有些机械在起动时有较大的静摩擦阻力，此时应进行起动力矩核算。有时工作机械对升速时间也有一定要求，在选定功率时应考虑到这一加速力矩，即动负载。

7. 选择工作制

在选用电机时还有一个需要考虑的是工作制。一般各型号电机都标明工作制，如 Y 系列为 S₁，YZR 为 S3-40%。若 Y 系列电机工作于 S₁ 连续工作制，但负载作周期性变化，此时需核算其等效扭矩。任选一负载周期，分别算出该周期各段时间内的负载扭矩，则其等效扭矩 T_e 为：

$$T_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \Delta T_i}{T}}$$

式中 M_i ——各时段转矩；

ΔT_i ——各时段时间；

T ——周期。

若电机额定转矩 $T_N > T_e$ ，则电机不会过热。

在上述的计算中，电机的额定转矩如在电机铭牌上未标出，则可按下式计算：

$$T_N = \frac{P_N \times 9566}{n_N}$$

式中 P_N ——电机额定功率，kW；

n_N ——电机额定转速，r/min；

T_N ——电机额定转矩，N·m。

如果工作于包括起动的周期工作制： $S_3 \sim S_8$ ，由于异步电机的起动电流为额定电流的6~7倍，因此必须考核等效电流 I_e 。步骤如下：

① 首先算出周期内各时段的负载转矩 M_i ；

② 根据异步电机输出转矩 $T \propto I$ 的原理，再依照电机的额定电流，算出各时段内的电流 I_i ；

③ 依照起动电流倍数 K （一般在电机样本中标出）算出起动电流 $I_s = KI_N$ ；

④ 画出一周期的电流曲线，见图 5.2.29。

等效电流按下式计算：

$$I_e = \sqrt{\frac{\frac{(I_s - I_1)^2 t_1}{2} + I_1^2 (t_1 + t_2) + I_2^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

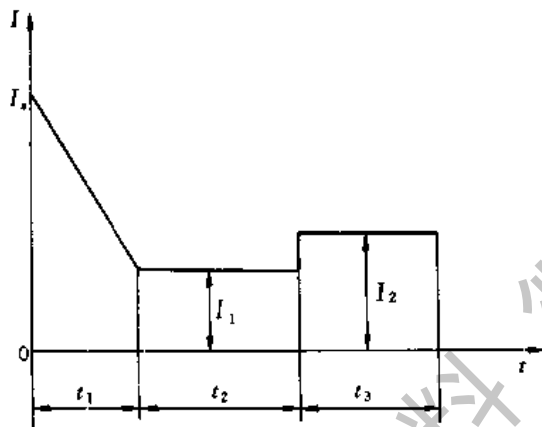


图 5.2.29 包括起动的周期工作电流曲线

若 $I_e > I_e$ ，则电机不会过热。

上述计算的依据是异步电机的发热，可近似地认为正比于电流平方。

8. 正确选用变频器供电电机

首先变频供电时电机性能有如下变化：

① 变频器供电时 50Hz 以下为恒转矩输出，50Hz 以上为恒功率输出；

② 由于有高次谐波的存在，机械特性将变软，而且

最大转矩约下降 25%；

③ 绕组温升将升高 5~10℃；

④ 低速时，对于封闭自扇冷式电机因冷却风量显著减少，因此电机温升将急剧上升。

因此在选用电机时应充分注意以下几点。

① 如果不是在低速情况下长期运转，完全可以选用 Y 系列电机。如果在低速时需长期运转，则需选用 YSPA 或 YGb。

② 由于变频器供电时最大转矩下降，过载能力降低，因此选用电机时需留有 10%~20% 的功率裕度。

③ 由于变频器供电时是恒转矩起动，虽然其起动转矩可通过调节变频器的压频比来加以提升，但毕竟提升幅度有限，因此对于起动时静摩擦负载特别大、负载转动惯量较大、起动时间要求很短的场合，电机和变频器均需适当加大容量。

④ 在需频繁起动制动的场合，特别适宜于采用变频器供电异步电动机驱动的变频系统。

第七节 三相异步电动机的常见故障和处理方法

表 5.2.22 列出了三相异步电动机常见的故障和产生原因及处理方法。

表 5.2.22 三相异步电动机常见故障及处理方法

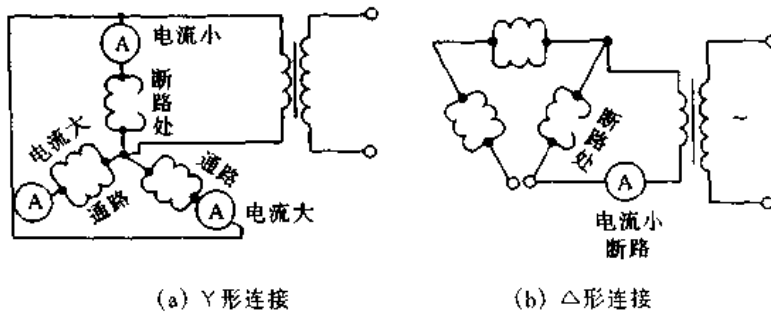
故障	产生原因	处理方法
不能顺利负载启动	单相运行	检查电流熔丝是否有烧断;接触器触头是否有烧断;接线柱接触是否良好;检查定子绕组各相是否有断线故障
	绕线型电机转子绕组及滑环、电刷有断路、接触不良、脱焊等现象	用兆欧表或万用表检查绕组是否有断路;电刷在刷盒内是否滑动自如;弹簧压力是否正常;电刷与滑环接触面是否良好;刷尾与炭刷铆接是否良好
	笼式转子断条或脱焊	将电机接至低电压,测量定子电流,如果转子有断条或脱焊,则随着转子位置的变化,定子电流有变化
	负载过大或电机容量过小	检查工作机械是否有卡刹现象,若工作机械正常,测量电机电流,若电流远远超过额定电流且三相不平衡,则可能电机容量太小
	起动控制线路有故障	仔细检查控制线路中各接触器继电器的动作
	过流继电器整定值太低	提高整定值
	电机与工作机械安装时同心度太差	重新检查安装
三相电流不平衡	三相电源电压不平衡	用电压表测量
	定子绕组有部分线圈短路	用匝间耐压仪检查或拆开检查
	定子绕组并头有错误	用电桥测量电阻,并拆开仔细检查
温升过高	电机过载	用钳表测电流,若确认为电机过载,则应更换较大容量电机
	电源电压过高或过低	用电压表测电源电压,若确认电压有问题,则应增添调压或稳压设备
	定转子相擦	拆检,注意机座、端盖止口是否有松动,轴承是否有损坏,轴承与转轴及轴承室的配合是否有松动,轴是否有弯曲
	定子绕组有短路或接地故障	用摇表、电桥仔细测量并检查,找到故障点后进行修复或更换绕组
	电机通风不好	检查风叶是否有损坏、松动,风路是否有堵塞
	单相运转	检查电源及电机绕组
	环境温度过高	改善环境通风
炭刷飞火滑环烧损	炭刷弹簧无弹力	更换弹簧
	电刷牌号不对	更换电刷
	电刷与滑环接触面太小	用砂布垫在电刷与集电环之间打磨电刷表面,保证接触面达 80%~90%
	滑环表面严重烧损	重车滑环表面
	电刷在刷盒内被卡住	用砂布打磨电刷侧面,保证电刷在刷盒内活动自如
电机有异常振动、噪音	安装不合要求	重新安装
	滚动轴承在轴上装配不良,配合过紧	更换轴承,重新装配
	轴承损坏	更换轴承
	单相运转	检查电源、定子绕组
	风叶、联轴器转动部件安装不良	重新安装
	转子动平衡不良	拆检电机、转子,重新校动平衡
轴承过热	轴承润滑脂太脏,有杂物;轴承润滑脂过多,或旧润滑脂排出困难	仔细清洗轴承,注入新的润滑脂
	电机安装不良,与设备严重不同心	重新检查、安装

拆检定子绕组时首先应仔细观察故障状况。如果全部绕组变黄发黑,一般是电机过载。如果是某一些槽绕组烧焦发黑,则可能是单相运转或绕组有某些支路断路、匝间短路,某一处地方严重烧焦发黑,则该处即是故障点所在。其故障种类不外乎是断路、接地、匝间短路。

1. 绕组断路故障的处理

一般断路处有烧焦、损伤痕迹。若目测检查不到,则可用兆欧表、万用表逐相测量。对 Δ 接法绕组,应将各相断开测量。对于容量较大的多根并绕或多支路并联的绕组,如果有一部分断路,则可用电桥测量电阻或用

三相电流平衡法。见图 5.2.30，绕组通入低压大电流，电流小的相即为断路相。对于断路故障一般可用导线连接焊牢，并包以绝缘带，刷绝缘漆。



(a) Y形连接 (b) Δ形连接
图 5.2.30 用电流平衡法检查多支路绕组断路

2. 绕组匝间短路故障的检测

首先应仔细观察，一般短路或短路的并联支路都会因长时间过流而严重烧焦发黑，很易看到。亦可用电桥来测电阻，亦可用三相电流平衡法，电流大的相即为短路相。如果有匝间短路仪，则检测最方便准确。该仪器将高压脉冲周期交替加于二相绕组，若电压波形不重合，则有匝间短路故障。而且由于电压较高，故障点常有火花，可依此来确定故障点。注意做此检测时最好将转子抽出，以免误判。对于短路故障，一般需要重新嵌线并绝缘浸渍处理。

3. 绕组头尾接反时的检修

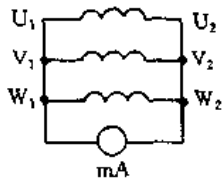


图 5.2.31 用万用表检测三相绕组头尾的正反

绕组头尾接反时三相电流不平衡，电机过热，不能顺利起动，并有噪音。此故障分两种情况。一种是个别线圈或极相组接反。此时应将低压直流电接入某相绕组，用指南针逐槽移动，若指南针在移过每一极相组时指向交替变化，则接线正确，反之则该极相组接反。若在同一极相组内指南针方向有交替变化，则有个别线圈嵌反。另一种是三相绕组头尾接反。此时可如图 5.2.31 所示，用万用表毫安档按图接线转动电机转子，如果万用表指针不动，则绕组头尾正确，反之绕组头尾接反。

4. 绕组接地或相间短路的检修

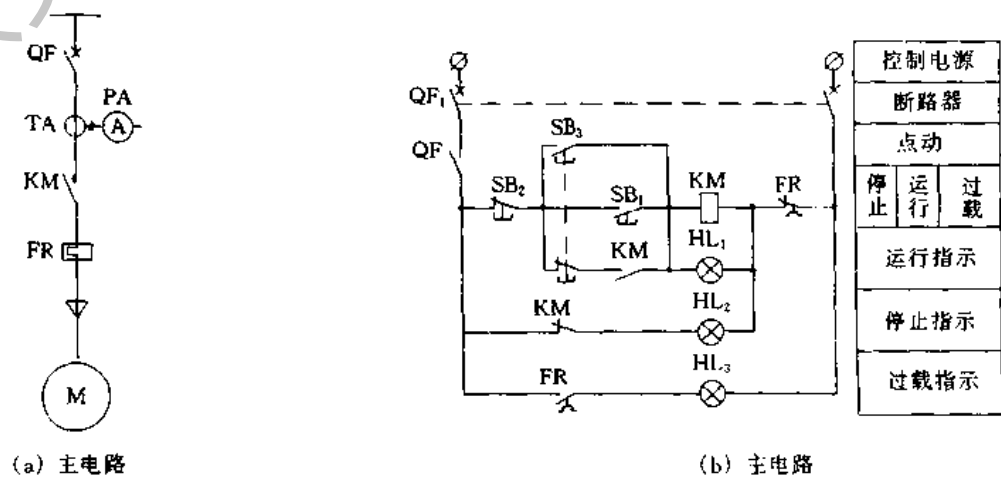
用耐压仪分别对电机绕组进行对地和相间耐压检测，很易判别此类故障。而且此时故障点往往有火花，很易发现，修理也较简单，只需包扎绝缘材料，涂刷绝缘漆，烘干即可。若已严重烧损，则需重新嵌线。

第八节 三相异步电动机常见控制电路

一、笼型转子电动机直接起动控制电路

1. 单向运转直接起动控制电路

图 5.2.32 为常见的单向运转直接起动电路的主电路和控制电路。图 (a) 为热继电器 (FR) 直接接入的主



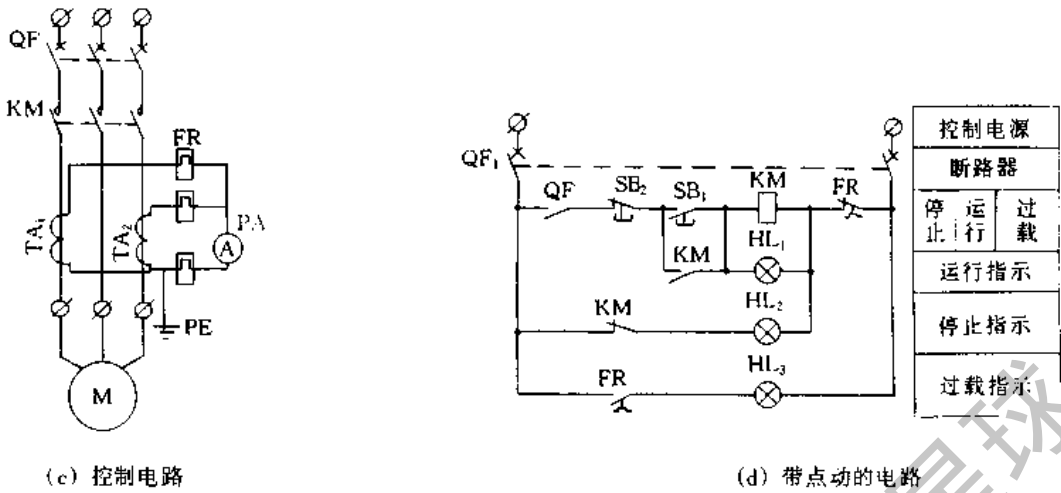


图 5.2.32 单向运转直接起动电路

电路单线图。图 (b) 是热继电器接在电流互感器 (TA₁, TA₂) 二次侧的主电路。图 (c) 为控制电路: KM 为运行接触器; SB₁ 为起动按钮; SB₂ 为停止按钮。图 (d) 为带点动的控制电路: SB₃ 为点动按钮。点动状态时, 正常运行时的 KM 自保回路被断开。

2. 带漏电保护的单向运转直接起动控制电路

图 5.2.33 为带漏电保护的两种电路。图 (a) 的漏电保护电器为漏电断路器 QF, 图 (b) 的漏电保护电器为漏电继电器 KAZ 和与之配套的零序电流互感器 TAZ。漏电保护和过载保护信号由中间继电器 K₁ 综合去控制接触器的分断。

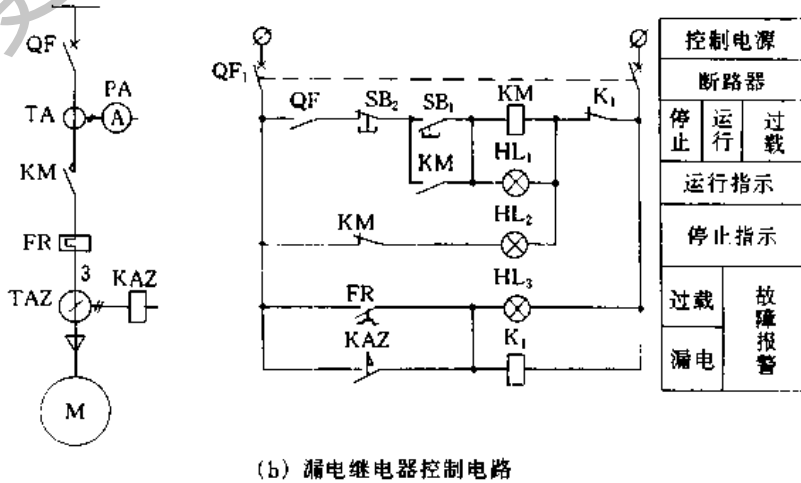
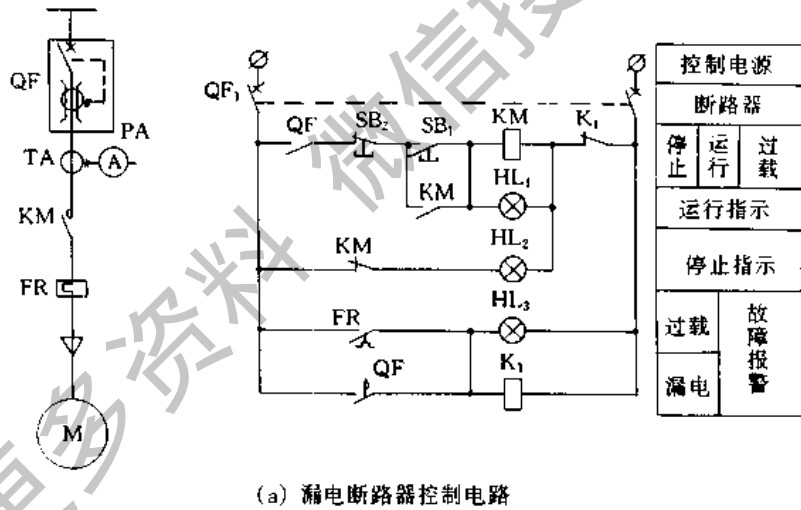


图 5.2.33 单向运转直接起动电路 (漏电保护)

3. 单向运转直接起动带能耗制动的控制电路

这种控制电路一般用于重负载情况下，需电动机停止运转时快速减速至停车的情况。

图 5.2.34 给出了带能耗制动的控制电路。图中 FU_1 、 FU_2 、 KM_2 和限流电阻 R 组成了能耗制动时的励磁回路。 KT 为通电延时的时间继电器， KM_2 吸合投励的同时， KT 开始工作，其延时时间即为能耗制动的时问，根据需要适当整定动作时间。 R 为可调电阻，以便调节励磁电流。

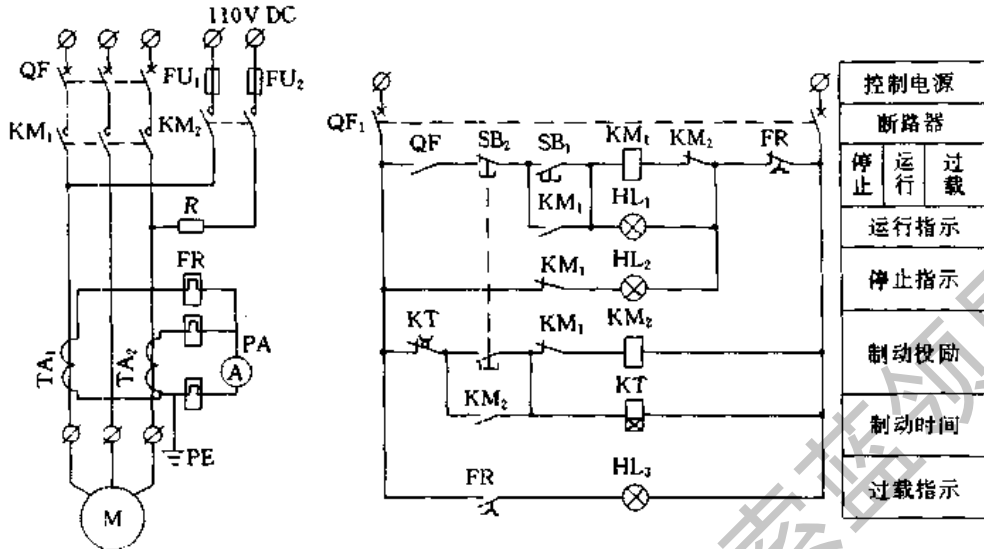


图 5.2.34 单向运转直接起动带能耗制动电路

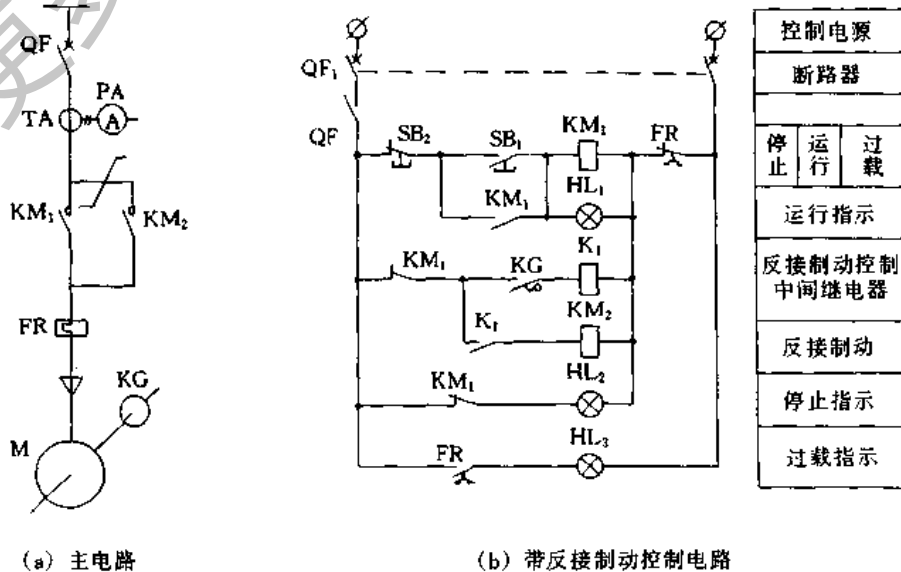
4. 单向运转直接起动带反接制动控制电路

图 5.2.35 为带反接制动的单向运转直接起动的控制电路。图中 KM_1 为运行接触器， KM_2 为反接制动接触器，它工作时提供给电动机的电源相序与运行时相反（相当于反向运转）。 KG 是电动机配置的机械式转速继电器，当电动机转速高于设定值时因离心力而动作，常开接点闭合；当电动机转速低于设定值时，继电器释放，常开接点分断。 KG 的常开接点闭合时， K_1 和 KM_2 才可能工作，投入反接制动；当转速降低 KG 常开接点断开时， KM_2 释放，反接制动被撤除，电动机变为自由停车。

5. 可逆运转直接起动控制电路

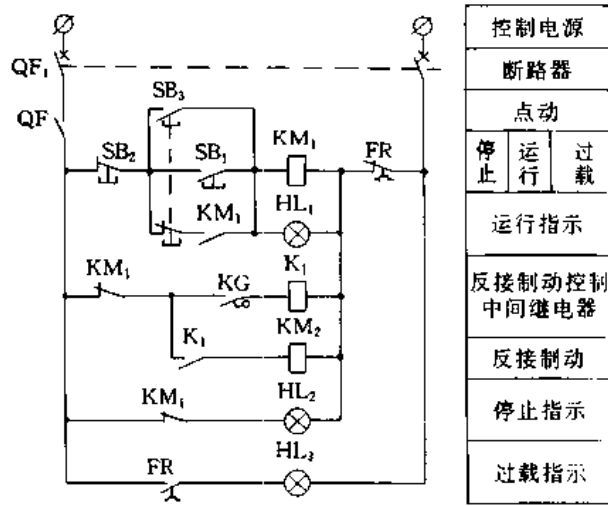
图 5.2.36 给出了几种不同运转控制方式的控制电路。图 (a) 为主电路单线图， KM_{11} 为正向运行接触器， KM_{12} 为反向运行接触器，其对电动机供电相序与 KM_{11} 相反。

(1) 一般常用的控制电路 图 5.2.36 (b) 给出了操作控制电路。图中 SB_{11} 为正向运转起动按钮， SB_{12} 为反



(a) 主电路

(b) 带反接制动控制电路

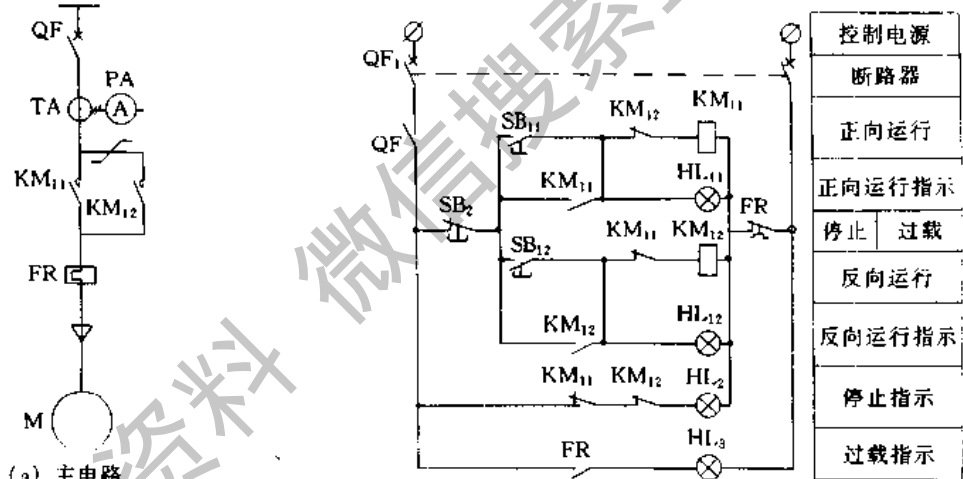


(c) 带点动的反接制动控制电路

图 5.2.35 单向运转直接起动带反接制动控制电路

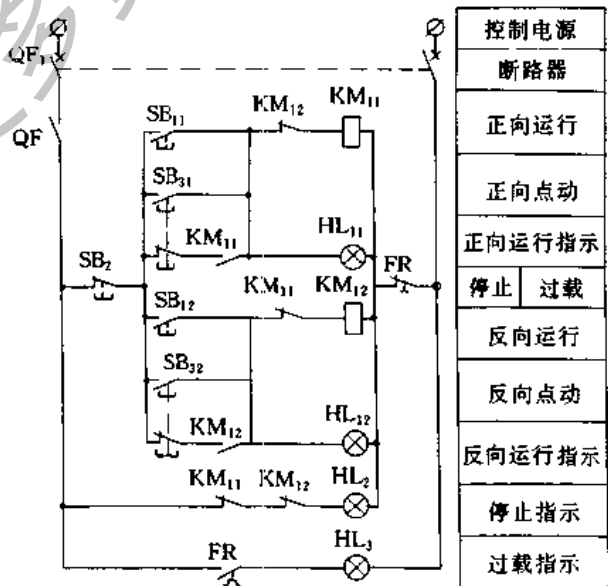
向运转起动按钮。在 KM_{11} 和 KM_{12} 的线圈回路中分别串入对方的常闭辅助触点，实现正、反转的电气联锁。

(2) 带点动的可逆运转控制电路 图 5.2.36 (c) 为带点动的可逆运转操作控制电路。图中 SB_{31} 为正方向点

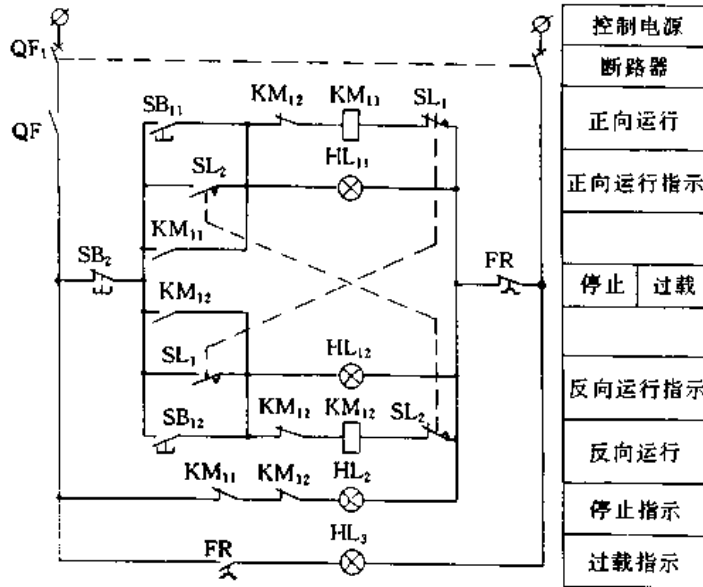


(a) 主电路

(b) 控制电路



(c) 带点动的控制电路



(d) 自动往返控制电路

图 5.2.36 可逆运转直接起动控制电路

动按钮，SB₃₂为反向点动按钮。点动状态时接触器正常运行的自保接点被断开。

(3) 自动往返控制电路 图 5.2.36 (d) 给出了自动往返控制电路。图中 SL₁ 为正向运转终点附近的行程开关，SL₂ 为反向运转终点附近的行程开关。在运行过程中，当正向运行快到终点时，行程开关动作断开 KM₁₁线圈回路，同时接通 KM₁₂线圈回路，KM₁₁释放，KM₁₂吸合，电动机先行反接制动直至停止运转，并继续反向运转（反向起动）升速直至反向正常运行，反之亦然，从而实现生产机械的自动往返运转。

6. 直接起动电路中接触器的选型

笼型转子电动机直接起动电路中接触器的选型见表 5.2.23。

表 5.2.23 笼型电动机直接起动电路的接触器选型表

电动机工作方式		接触器使用类别	接触器容量
单向运转	直接起动	AC-3	按电动机容量选用
	直接起动带点动		
	直接起动带反接制动	AC-4	
直接起动可逆运转			

在此需说明，如果电动机的负载是重载，接触器工作环境恶劣（工作环境温度高且散热不好），且频繁起动、制动，接触器的容量（控制功率）应加大一级或两级选用。

二、笼型转子电动机降压起动控制电路

1. 星形-三角形 (Y-Δ) 减压起动控制电路

图 5.2.37 为星形-三角形减压起动的电路图。图中 KM₁ 为运行主接触器，KM₃ 为星形起动接触器，KM₂ 为三角形运行接触器，KT 为切换时间继电器，其延时时间约为电动机实际起动时间。

星-三角减压起动方式在正常运行时，运行接触器 KM₁ 和 KM₂ 中所流过的电流仅为电动机额定电流的 0.577 倍。

2. 自耦变压器减压起动控制电路

图 5.2.38 给出了一种可自动切换或手动切换的自耦变压器减压起动控制电路。

图中 KM₁ 为运行接触器，KM₂ 和 KM₃ 为起动接触器，它们控制起动元件自耦变压器的投入和切除。KT₁ 是切换时间继电器（电流时间变换器）用于自动状态时的切换时间控制。KT₂ 是后备切换时间继电器，它的动作整定时间比电动机实际起动时间略长，在自耦变压器允许运行时间范围之内。SM 为手动-自动转换开关，SB₁ 是分断电源按钮，SB₂ 为电动机停止按钮，SB₃ 为起动按钮，SB₄ 是手动切换时的切换按钮。

3. 延边三角形减压起动控制电路

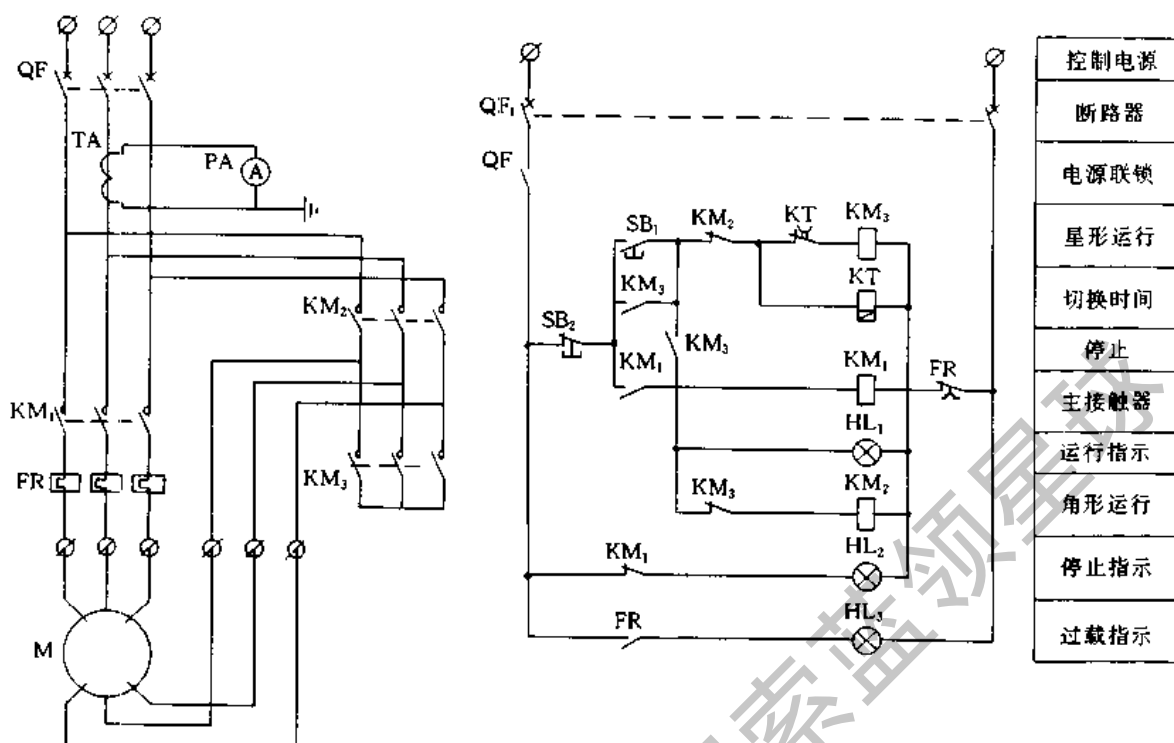


图 5.2.37 星形-三角形减压起动电路

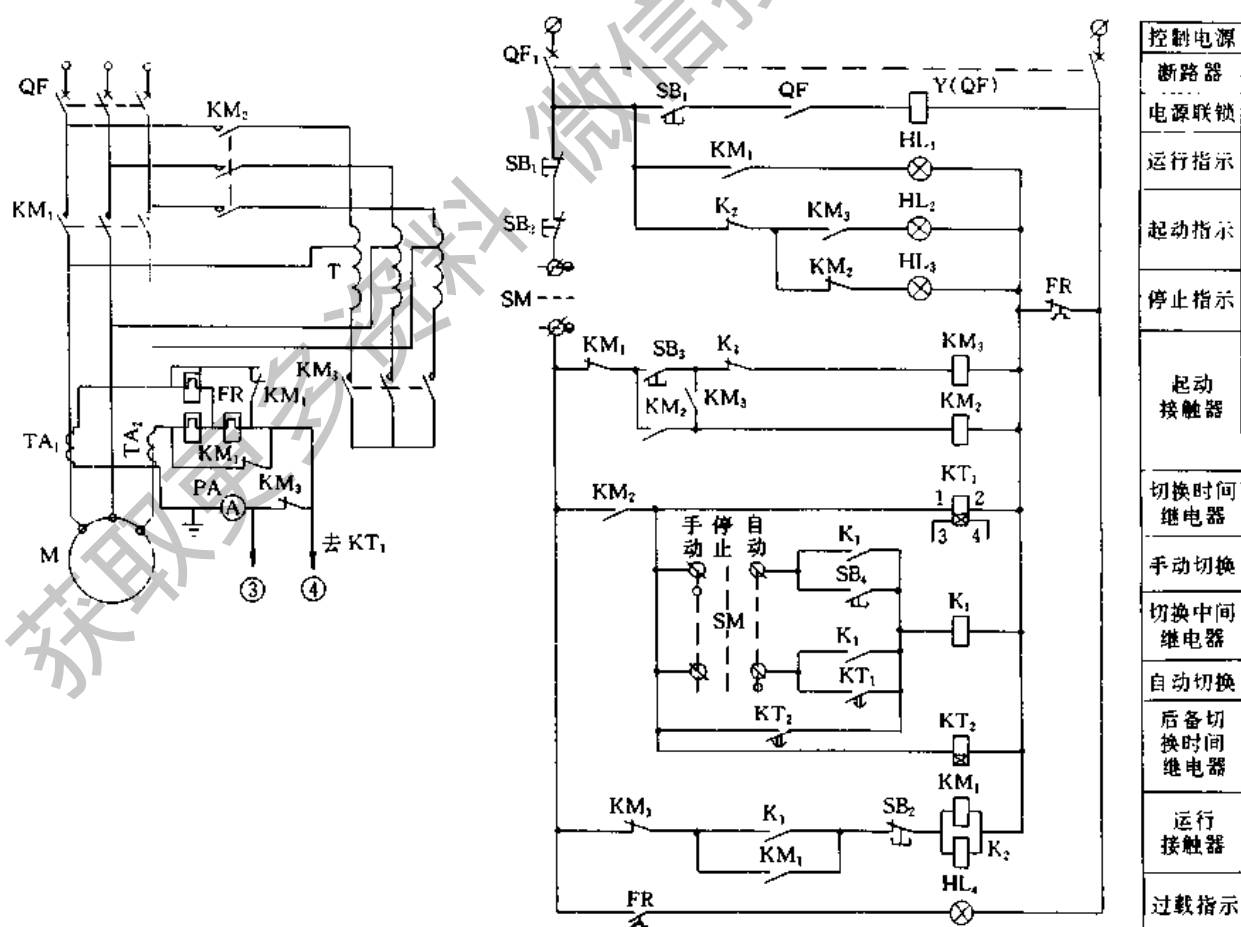


图 5.2.38 自耦变压器减压起动控制电路

延边三角形减压起动控制电路如图 5.2.39 所示

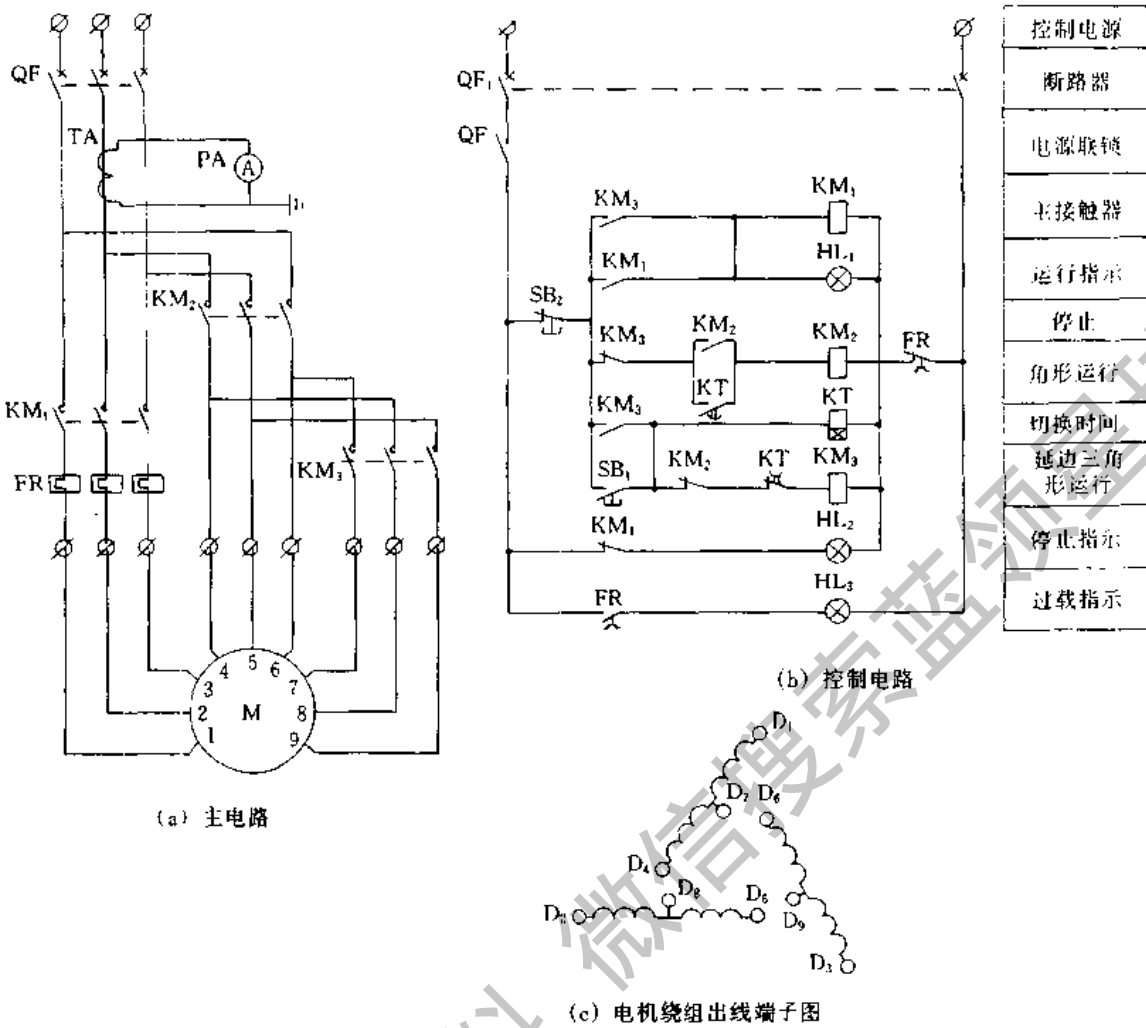


图 5.2.39 延边三角形减压起动电路

图中 (a) 为主电路, 图 (b) 是控制电路, 图 (c) 为电动机绕组及抽头的 9 个出线端子示意图。图中 KM_1 是运行主接触器, KM_3 是延边三角形起动接触器, KM_2 是三角形运行接触器, KT 是切换时间继电器。电动机起动时, KM_3 先将电动机定子绕组接成延边三角形, KM_1 再吸合使电动机起动。起动完毕后 KT 动作, KM_3 释放, 同时 KM_2 吸合使电动机定子绕组接成三角形正常运转。

笼型电动机减压起动电路接触器选型见表 5.2.24。

表 5.2.24 笼型电动机减压起动电路的接触器选型表

电动机起动方式	接触器使用类别	接触器容量		
		KM_1	KM_2	KM_3
星形-三角形减压起动	AC-3	按电动机容量的 0.577 倍选用		为电动机容量的
自耦变压器减压起动		按电动机容量选用		
延边三角形减压起动		按电动机容量的 0.577 倍选用		$1/3 \sim 1/2$

4. 减压起动电路中接触器的选型

如果电动机起动、制动频繁, 接触器工作环境恶劣, 接触器容量应再加大一级选用。

三、绕线式异步电动机控制电路

1. 频敏变阻器起动控制电路

(1) 单向轻载频敏变阻器起动电路 图 5.2.40 为单向轻载频敏变阻器起动电路。图中 KM_1 为运行接触器, KM_2 为转子短接接触器, KT 为切换时间继电器, K_1 是切换中间继电器, LF 为频敏变阻器。在 KM_1 的线圈回路中串有 KM_2 常闭辅助触点, 以保证只有在频敏变阻器已串入转子回路时才能起动电动机。正常运行时 KM_2 吸合, KM_1 线圈靠自保维持吸合状态。

(2) 轻载可逆运转频敏变阻器起动电路 图 5.2.41 为典型的电路。图中, KM_{11} 和 KM_{12} 分别为正、反向运行

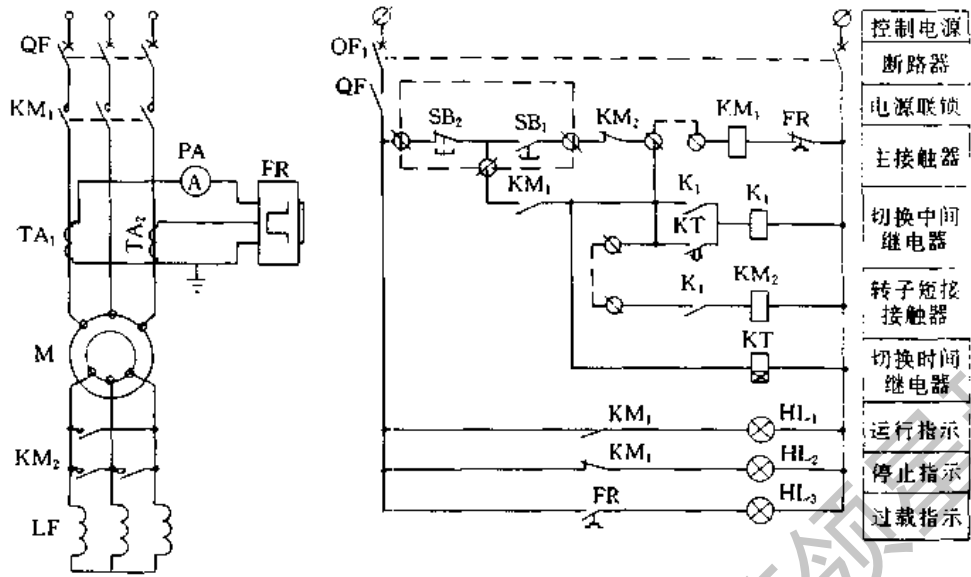


图 5.2.40 单向轻载频敏变阻器起动电路

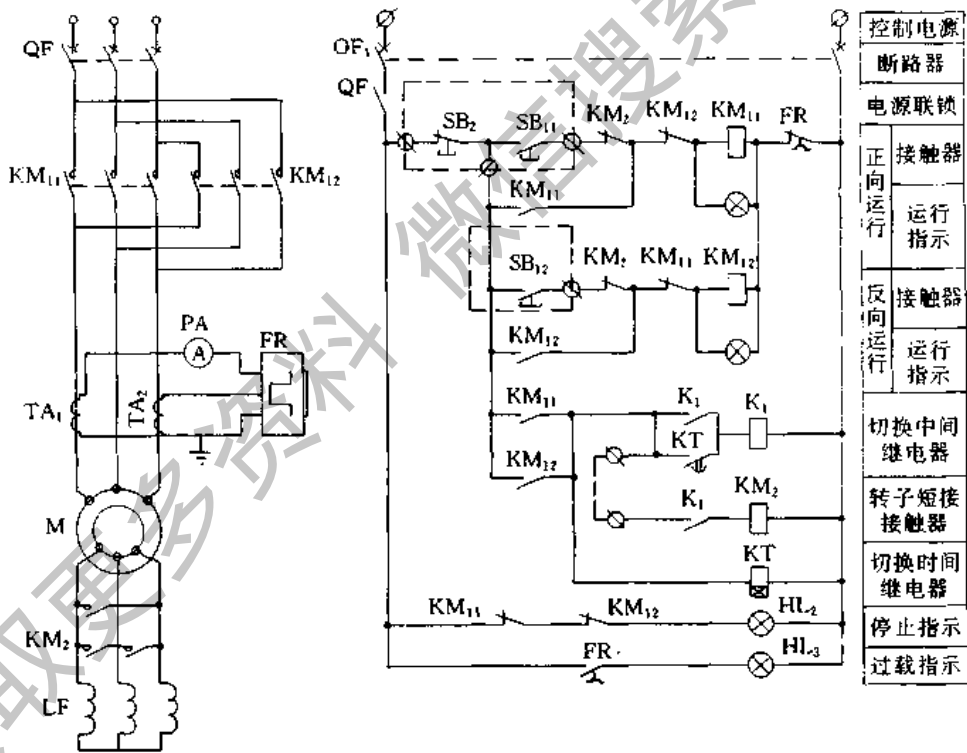


图 5.2.41 轻载可逆频敏变阻器起动电路

接触器， SB_{11} 和 SB_{12} 为正、反向起动按钮。 KM_2 是转子短接接触器。两个运行接触器（ KM_{11} 和 KM_{12} ）的线圈控制回路中，除了有 KM_2 常闭联锁接点外，还串有正、反向运转的电气联锁接点（ KM_{12} 和 KM_{11} 的常闭辅助触点）。

该控制电路不能自动实现正反向运转，必须在一个方向运转停止之后，二次起动才能实现反向运转。

(3) 单向重载频敏变阻器起动、能耗制动带机械制动控制电路 图 5.2.42 为典型的控制电路。图中 KM_1 为运行接触器， KM_2 为转子短接接触器。 QS 、 KM_3 和 R 组成了能耗制动的直流励磁回路，回路中的 KA 为励磁过流继电器。 YB 为抱闸电磁铁， KM_4 为机械制动（抱闸）接触器， KM_4 断电为抱闸状态。 KT_1 为电流-时间继电器，控制转子短接的时间。 KT_2 为制动时间继电器。

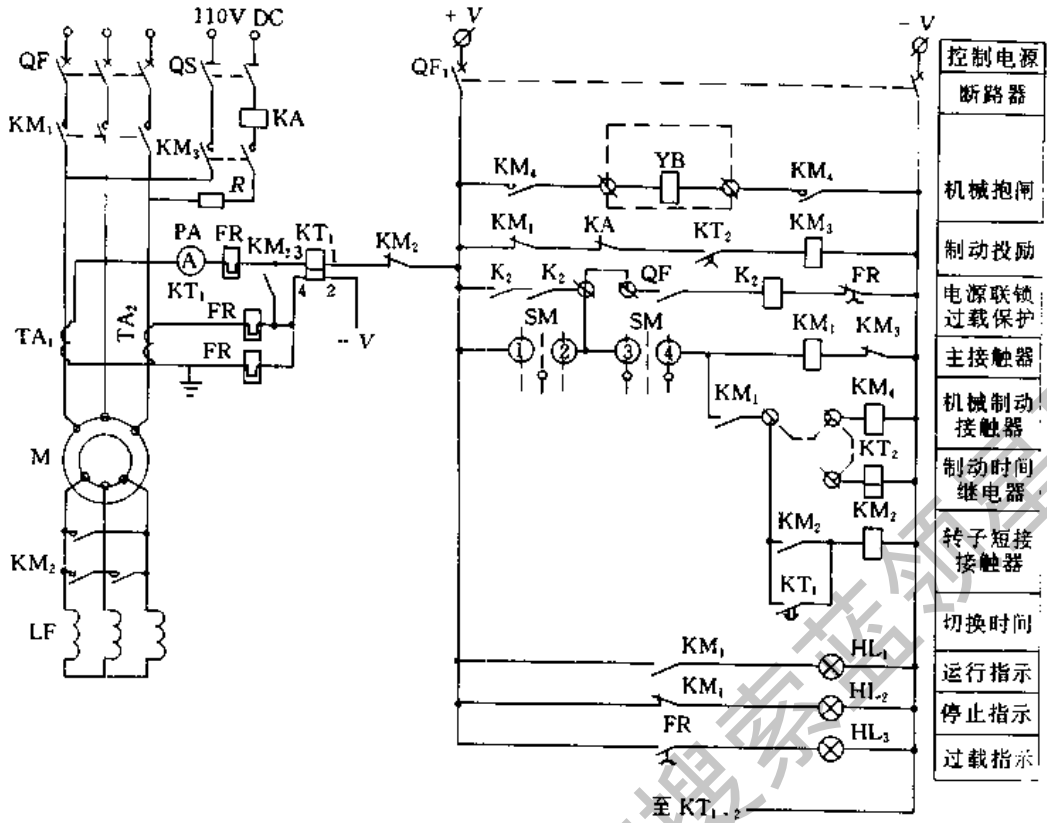


图 5.2.42 单向重载频敏变阻器起动，能耗制动带机械制动电路

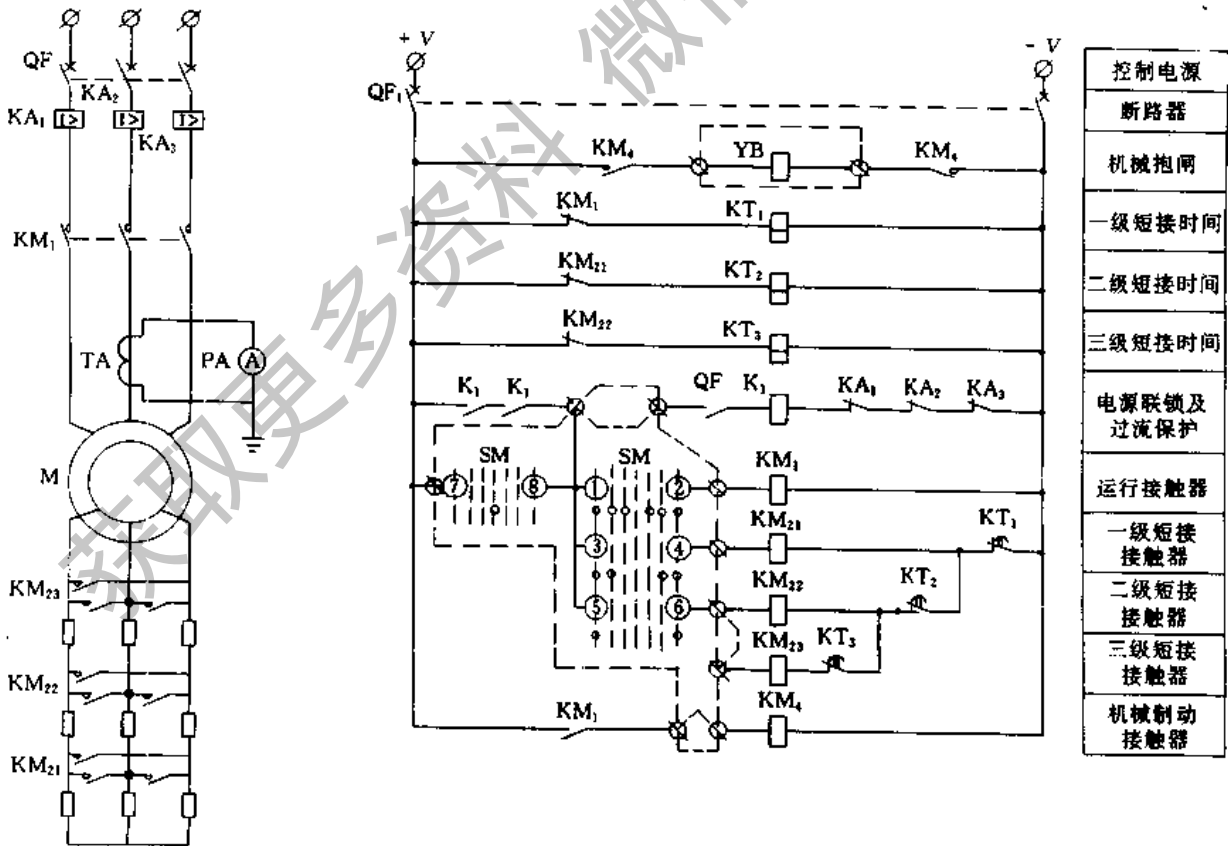


图 5.2.43 电阻分级（三级）重载起动带机械制动控制电路

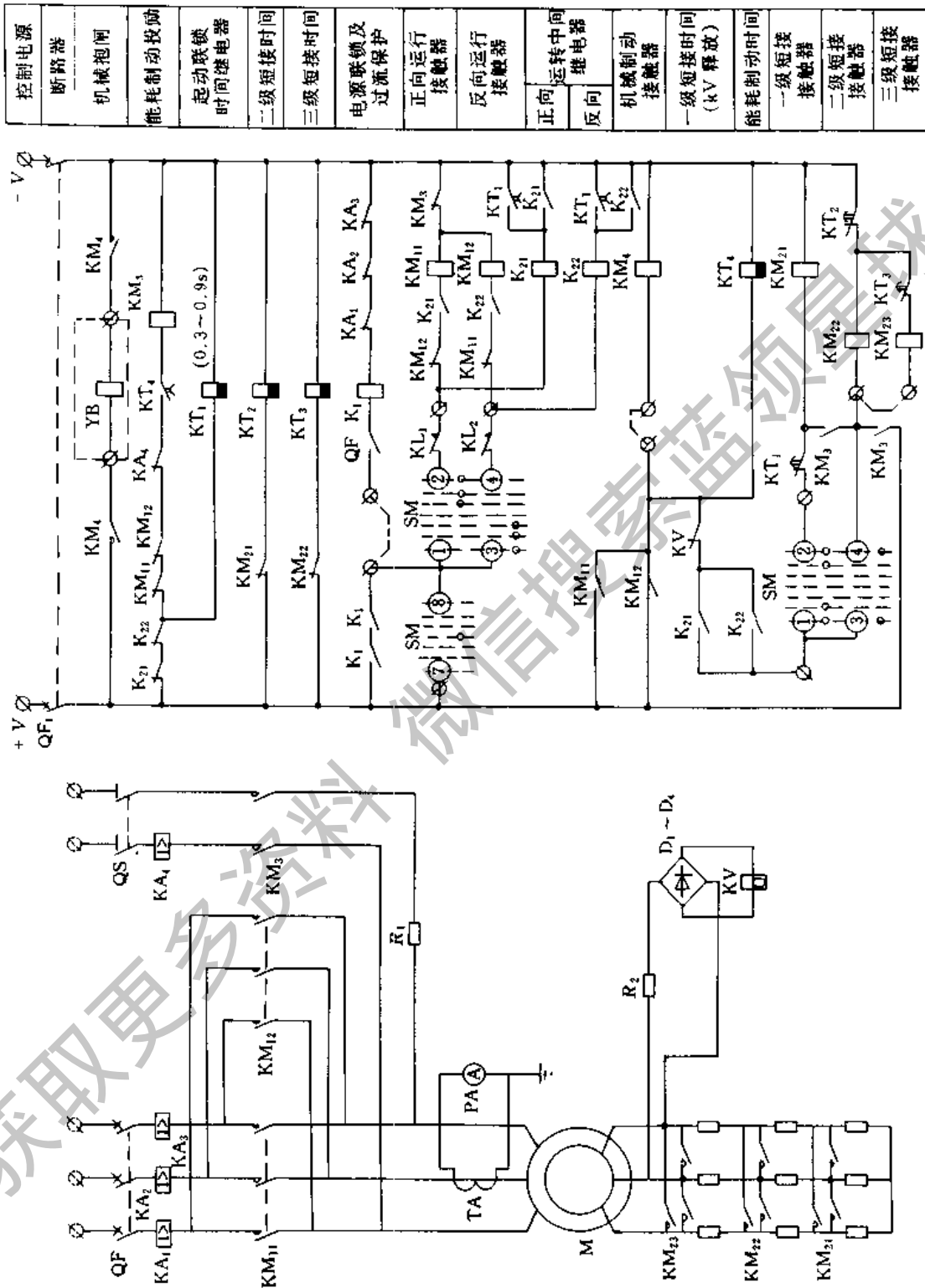


图 5.2.44 可逆转电阻分级 (三级) 重载启动带能耗制动、反接制动及机械制动控制电路

电动机的起动、停止由主合开关 SM 控制, K_2 为电源联锁继电器, 其作用是防止 SM 不在零位时操作电源和主电源造成误动作 (电动机误起动)。 KM_1 (运行接触器) 和 KM_3 (投励接触器) 之间有电气联锁, 以防止运行和能耗制动同时投入。

机械制动 (抱闸) 是在准确停车时使用, 当能耗制动使电动机已低速运转到达停车位置时, 使 KM_4 断电释放, 电磁铁 YB 断电, 以机械抱闸的方式使电机强行停止运转, 达到准确停车的目的。图 5.2.42 提供的是通用电路, KM_4 的线圈回路有一个引出外接端子, 其接线方式根据生产机械实际情况而定。

2. 电阻分级起动控制电路

(1) 电阻分级重载起动带机械制动控制电路 图 5.2.43 是一个三级电阻分级起动电路。图中 KM_1 为主接触器, KM_{21} 、 KM_{22} 和 KM_{23} 为电阻和转子短接接触器, KT_1 、 KT_2 和 KT_3 为短接时间继电器。 K_1 为电源联锁继电器, YB 为抱闸电磁铁, KM_4 为机械制动 (抱闸) 接触器, SM 为主合控制器。

该控制电路可实现三级调速, 第一级为转子回路串入三级电阻的低速运行, 第二级为转子绕组串入二级电阻的低速运行, 第三级为转子短接的高速运行。在高速运行时, 在起动过程中, 电动机转子回路按 KT_1 、 KT_2 和 KT_3 所整定的时间, 逐级切除电阻直至转子短接, 进入正常运行。

机械制动 (抱闸) 是在电动机断电后呈自由停车缓慢减速的情况下, 为使电机快速停止运转而采取的措施, 使电动机强行停止运转。 KM_4 线圈的接线方式根据生产机械需要而定, 且该电路不宜用于位势负载的生产机械。

(2) 可逆运转电阻分级起动、带能耗制动、反接制动和机械制动控制电路 典型电路如图 5.2.44 所示。图中, KM_{11} 和 KM_{12} 分别为正、反向运转接触器, KM_{21} 和 KM_{22} 、 KM_{23} 为电阻和转子短接接触器, KM_3 是能耗投励接触器, KM_4 是机械制动 (抱闸) 接触器。KV 是欠电压继电器, 当电机起动后升速到一定转速时, 转子电压降低, 使 KV 释放, KM_{21} 吸合, 切除第一级电阻。 KT_2 、 KT_3 为二级电阻和三级电阻短接时间继电器。 KT_4 是能耗制动时的制动时间继电器。SM 为主令控制器, K_{21} 和 K_{22} 为正、反转运转中间继电器, K_1 为电源联锁继电器, 防止起动瞬间因 $KM_{11(12)}$ 与 KV 的动作时间误差而使 KM_{21} 误动作。

该电路能耗制动和反接制动控制方式不同, 能耗制动时, SM 退回零位, $KM_{11(12)}$ 释放, KM_3 吸合投入励磁电流, 同时将 KM_{21} 、 KM_{22} 和 KM_{23} 线圈回路接到控制电源上, 并使 KM_{21} 立即吸合, 短接第一级电阻, 制动的能量消耗在二、三级电阻上, 然后逐级短接电阻, 使制动电流维持在一定范围内, 以使电机快速减速。反接制动时, SM 越过零位置于反方向的位置上, 原运行接触器释放, 另一方向运行的接触器吸合, 呈反方向运转的供电状态, 电动机实行反接制动。此时因定子绕组提供了一个反相序电源, 转子电压升高, KV 吸合, 转子回路中的绕组全部串入, 以限制反接制动时的转子电流。当电动机转速降低至使 KV 释放后, 才逐级切掉电阻以维持一定的制动转矩。

3. 绕线转子电动机控制用接触器的选型

绕线转子电动机控制用接触器选型见表 5.2.25。

表 5.2.25 绕线型电动机控制电路的接触器选型表

电动机负载性质	接触器 使用类别	接触器容量		
		KM_1, KM_2	KM_3	KM_4
轻载间断工作制	AC-2	按电动机容量选用	按励磁电流选	按实际电流选
重载间断工作制		按电动机容量选用		
重载间断工作制频繁起制动		按电动机容量加大一级选用		

第三章 同步电动机

第一节 同步电动机的用途和类型

同步电动机主要用于传动恒速运行的大型机械，如鼓风机、水泵、球磨机、压缩机及轧钢机等。近几年来，利用晶闸管变频装置，通常使用同步电动机作变频调速运行。

一、同步电动机的特点

① 同步电动机的功率因数可以是超前的。通过调节励磁电流在超前的功率因数下运行，有利于改善电网的功率因数。

② 同步电动机的运行稳定性高，当电网电压突然下降到额定值的 80% 时，其励磁系统一般都能自动调节实行强行励磁，保证电动机的运行稳定性。对功率因数超前运行下的同步电动机，其过载能力比相应的异步电动机要大。

③ 同步电动机运行效率高，尤其是低速同步电动机这一优点更加突出。

④ 同步电动机的转速为恒定值，不随负载的大小而改变。

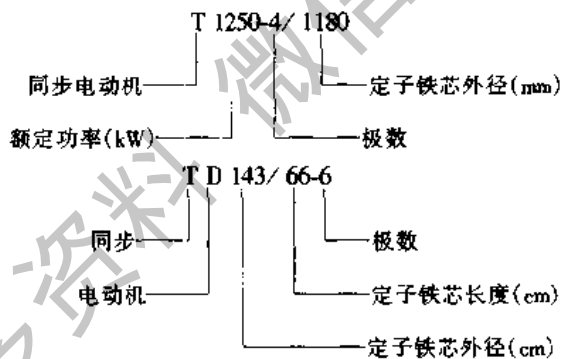
同步电动机的功率一般在 250kW 以上，额定电压为 3kV、6kV 或 10kV，转速范围从 100r/min 到 3000r/min，额定功率因数为 0.9（超前）。

二、同步电动机的类型

1. T、TD 系列同步电动机

该系列电动机主要用于驱动鼓风机、水泵、电动发电机组、变频机组及其他通用机械。

型号含义：

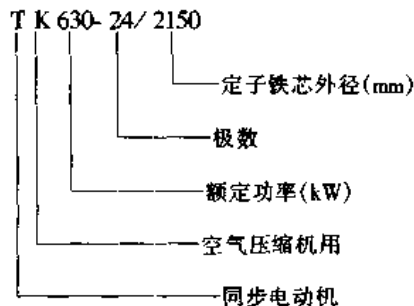


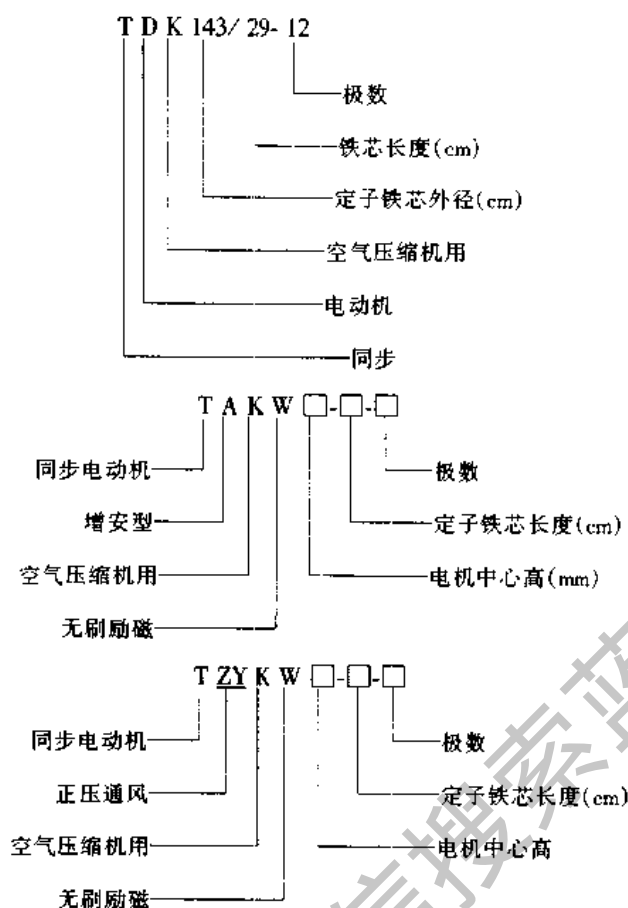
该系列电动机为卧式，一般为单轴伸，也可以制成双轴伸，通风方式有管道通风、半管道通风、密闭循环通风及开启式四种。一般为短轴式，也可制成定子可以移动的长轴式。旋转方向从集电环端看为逆时针方向，根据需要也可制成相反方向。该系列电动机容许全压起动。

2. TK、TDK 系列同步电动机

该系列电动机主要用于与活塞式压缩机配套，适用于制冷设备及化肥设备等。其中 TAKW、TZYKW、TZK 系列电动机用来传动氢压机，用在石化系统有爆炸危险的场所。

型号含义：





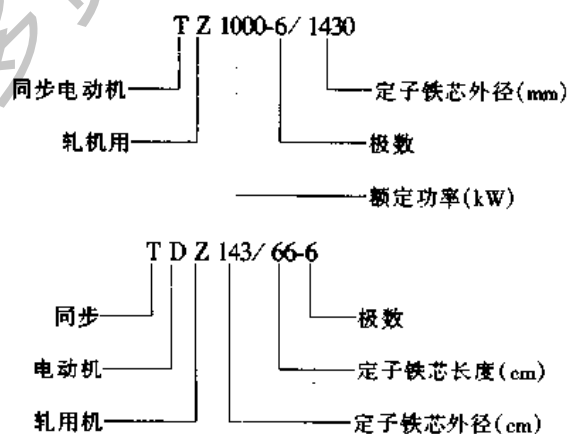
该系列电动机为卧式，一般为开启式，也可制成管道通风、防护式及防爆安全型。轴伸形式有单轴伸、双轴伸及无轴伸悬挂式。

TDK 系列电动机容许全压直接起动，如当地的电网容量较小，不容许大型电动机全压起动时，可以采取降压起动。

3. TZ、TDZ 系列同步电动机

该系列电动机主要用于驱动各种用途的轧钢设备，亦可在轧机设备中用来拖动直流发电机，组成变流机组。

型号含义：

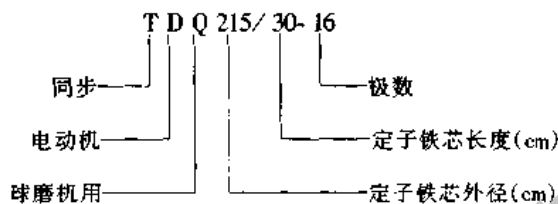
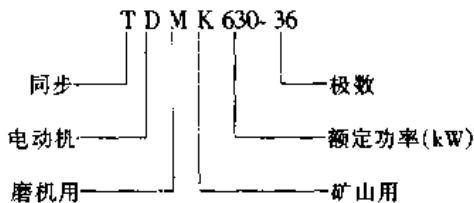
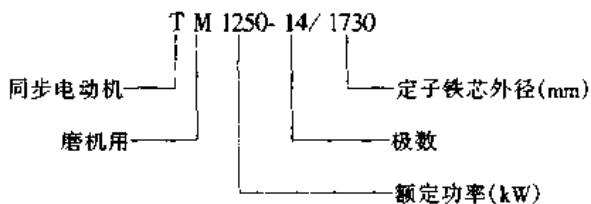


该系列电动机为卧式，为便于检修可制成长轴可移式，通风方式一般为管道通风，也可制成密闭式等其他形式。

4. TM、TDMK、TDQ 系列同步电动机

该系列电动机适用于传动矿山磨机，如球磨机、棒磨机、磨煤机和其他用途磨机。

型号含义:

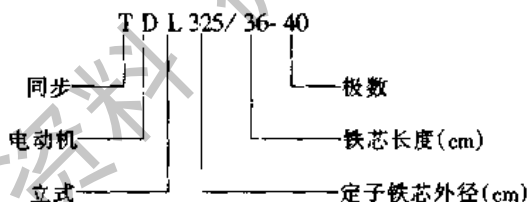
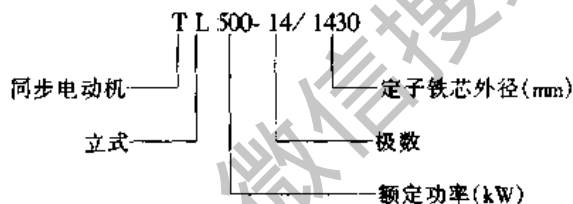


该系列电动机为卧式结构, 开启式自然通风, 单轴伸。

5. TL、TDL系列立式同步电动机

该系列电动机主要用于驱动立式轴流泵或离心式水泵。

型号含义:

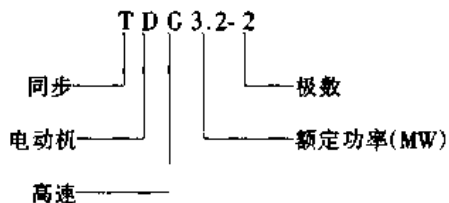
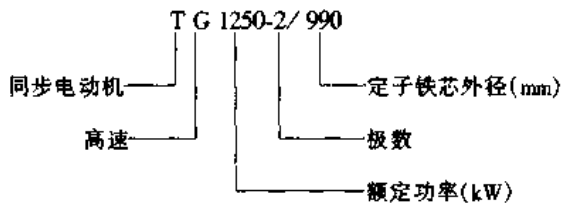


该系列电动机为悬挂式结构, 设有推力轴承, 可以承受水泵等的轴向推力和定子转子重量。通风方式为开启式、管道通风式及密闭循环强制通风三种。

6. TG、TDG系列高速同步电动机

该系列电动机可供化工、冶金、电力部门用于驱动压缩机、鼓风机、水泵及其他设备。

型号含义:



该系列电动机为卧式，隐极结构，采用管道通风。

第二节 同步电动机的基本结构

同步电动机有卧式和立式、凸极和隐极之分。通常，额定转速为 3000r/min 的两极同步电动机做成隐极式，它的结构与汽轮发电机相似。凸极同步电动机的结构与中小型水轮发电机的大同小异。大多数同步电动机都做成卧式的。

1. 卧式同步电动机

卧式同步电动机的常用结构见图 5.3.1 和图 5.3.2。

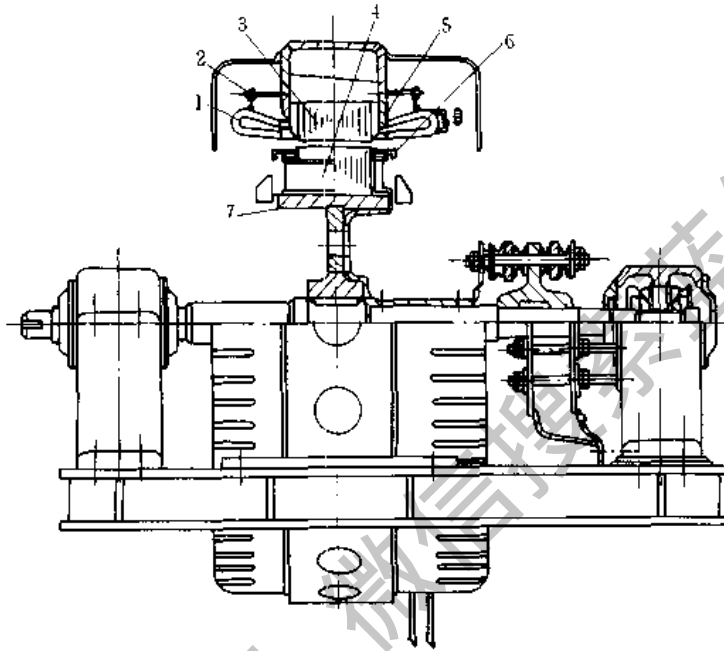


图 5.3.1 630kW 167.5r/min 传动矿山球磨机的同步电动机

1—定子绕组；2—端箍；3—定子铁芯；4—励磁绕组；

5—叠片磁极；6—阻尼绕组；7—磁轭

大型同步电动机的定子机座多用钢板焊成，定子铁芯由扇形冲片叠成。现有铁芯外径为 1180mm、1430mm、1730mm、2150mm、2600mm、3250mm、4250mm、4730mm、5350mm 及 5500mm 等。定子绕组一般是双层叠式，采用 B 级环氧粉云母带绝缘，其端部用端箍固定，以防止因起动时电磁力的作用而产生的有害变形。

同步电动机的磁极结构有叠片磁极和实心磁极两种。实心磁极可用于：

① 负载机械的 GD^2 很大，以致叠片磁极的阻尼绕组不能承受起动过程中的发热；

② 高速电动机中，在离心力以及各阻尼条中电流分布不均匀而引起的热应力作用下，阻尼绕组的机械强度不能满足要求。

同步电动机的励磁线圈大多采用裸铜线单排扁绕，并以 B 级或 F 级绝缘材料作为匝间和对地绝缘。为了提高冷却效果，可采用特殊结构（见图 5.3.3）。

同步电动机的转轴用 35# 或 45# 锻钢制成。常用的电刷牌号是 DS-4 电化石墨电刷。

同步电动机的阻尼绕组用黄铜、紫铜或铝青铜做阻尼条，用紫铜做阻尼环。在 1.2 倍额定转速下，转子圆周速度 $v < 60\text{m/s}$ 时用悬挂式， $v > 60\text{m/s}$ 时用止口式。对于实心磁极可采用紫铜制成整圆阻尼环，或采用紫铜或铝合金制成的连接片将相邻各磁极连接起来。

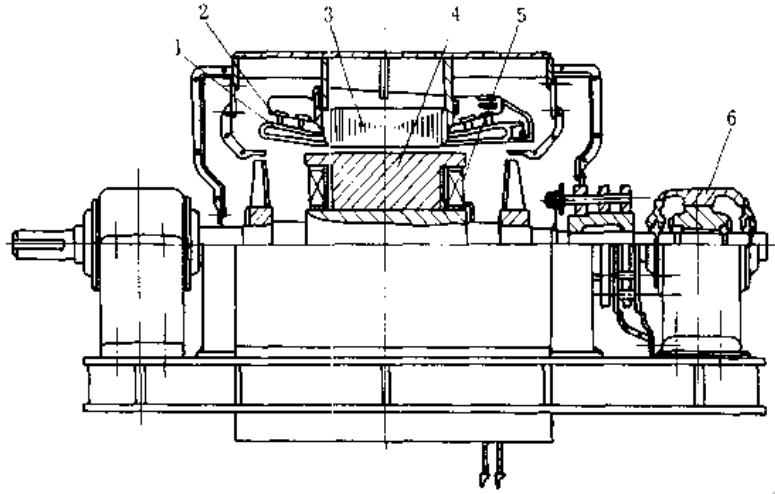


图 5.3.2 2000kW 1500r/min 传动烧结鼓风机的同步电动机
 1—定子绕组；2—端箍；3—定子铁芯；4—实心磁极；
 5—励磁绕组；6—球面轴承

结构形式				
特点	用矩形裸扁铜排绕成，绕组散热表面较小	用七边形裸扁铜排绕成，绕组散热表面为矩形的 1.8~2.0 倍	用等宽度或不等宽度的矩形裸扁铜排交错排列绕成。绕组散热表面较大	用矩形裸扁空心铜排绕成，内通冷却水，冷却效果显著提高

图 5.3.3 常用励磁绕组结构形式

同步电动机的通风冷却方式通常为空气冷却，其常用的通风冷却方式见图 5.3.4。

2. 立式同步电动机

立式同步电动机一般为一端轴伸，通常用法兰轴伸结构与水泵刚性联接。通风方式有开启式自冷却通风、半管道通风或封闭式自循环通风。此类电动机一般为悬挂式结构，根据产品结构的需要也可制成半盆式结构。在悬挂式结构中，上机架装有推力轴承和上导轴承，下机架仅装设下导轴承。推力轴承除承受电动机转子重量外，并能承受水泵工作时的轴向力。上、下机架、机座等构件均为钢板焊接结构。

立式同步电动机的励磁装置一般为静止可控硅励磁装置或静止硅整流励磁装置。对某些大功率的立式同步电动机，可根据需要装设定子测温元件及其他附属装置。

3. 防爆同步电动机

防爆同步电动机有防爆安全型及防爆通风充气型两种。因防爆同步电动机在运行过程中集电环上不可避免地要产生火花，所以对防爆安全型同步电动机要单独设置集电环护罩，罩内以正压通风。

第三节 常用同步电动机的技术数据

常用 T、TD 系列同步电动机的技术数据见表 5.3.1，常用 TK、TDK 系列同步电动机的技术数据见表 5.3.2。常用 TZ、TDZ 系列同步电动机的技术数据见表 5.3.3。常用 TM、TDMK、TDQ 系列同步电动机的技术数据见表 5.3.4。常用 TL、TDL 系列立式同步电动机技术数据见表 5.3.5。常用 TD、TDG 系列高速同步电动机技术数据见表 5.3.6。

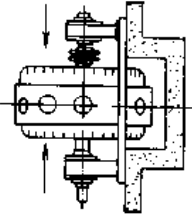
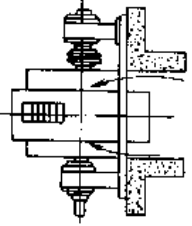
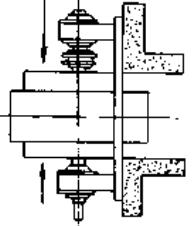
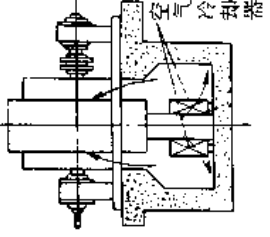
通风冷却方式	管道通风式			特点	适用情况
	进出风口均与管道连接	仅进风口与管道连接	仅出风口与管道连接		
自扇冷式(机壳为防护式或开启式)	 <p>室内吸气—室内排气</p>	 <p>室外吸气—室内排气</p>	 <p>室内吸气—室外排气</p>	结构简单, 检查维护方便	周围环境洁净的场所
闭路循环气体冷却	 <p>空气冷却器</p>			防尘效果好, 噪声低	大型电机或者多尘、环境温度较高的场所。要有充裕的冷却水。低速电机需配置通风机

图 5.3.4 同步电动机的通风冷却方式

表 5.3.1 常用 T、TD 系列同步电动机技术数据

型 号	额定功率/kW	功率因数	额定电压/kV	额定电流/A	效率/%	结构形式	起动	起动	牵入	失步	转动惯量/(10 ³ kg·m ²)	励磁装置		总重/t	备注
							电流	转矩	转矩	转矩		电压/V	电流/A		
额定转速 1500r/min															
T1600-4/1430	1600	0.9	6	180	94	箱式	7	1	0.7	1.5	0.182	29	434	17.5	
T2200-4/1430	2240	0.9	10	150	95	箱式	6.5	1	0.9	1.8	0.25	30	419	17	
T1250-4/1180	1250	0.9	6	140	95	管道	6.5	1	0.7	1.5	0.39	20.6	376	9.5	
T1600-4/1180	1600	0.9	6	179	95	管道	6.5	1	0.7	1.5	0.5	29.2	329	10.1	
T2000-4/1430	2000	0.9	6	225	95.2	管道	7	1	0.7	1.5	0.92	19.1	519	12.26	
T2500-4/1430	2500	0.9	6	281	95.2	管道	7	1	0.7	1.5	1.24	21.9	495	13.5	
T3200-4/1430	3200	0.9	6	356	95.4	管道	7.5	1	0.6	1.5	1.6	26.3	500	15.7	
T2800-4/1180	2800	0.9	6	309	96	密闭	6	1.5	1	1.6	0.17	43	394	11.6	
T1800-4/1180	1800	0.9	6	200	95.5	密闭	6.5	1.2	0.8	1.6	0.136	36	250	13.4	
T6000-4/1430	6000	0.9	6	658	97.1	密闭	6	1.4	0.9	1.6	0.415	70	435	18.3	
T7200-4/1430	7200	0.9	10	474	97.2	密闭	5.8	1.4	0.9	1.6	0.48	83	432	20.9	
T8000-4/1430	8000	0.9	10	526	97.2	密闭	5.2	1.3	0.8	1.5	0.48	87	469	21	
T3400-4/1430	3400	0.9	6	375	96.5	密闭	5.5	1.2	0.8	1.6	0.328	39	396	14.3	
额定转速 1000r/min															
T530-6/990	530	0.9	6	60.3	94.7	开启	4.6	1.5	1.1	1.9	0.59	31.2	259.4	3.8	
T4000-6/1730	4000	0.9	10	268	96.3	密封	6.5	1.2	1	1.8	6	85	447	24	
T1500-6/2150	15000	1	10	895	97.6	密封	7	1	0.8	1.5	15	83.5	438	59	
TD5600-6/1730	5600	0.9	10	370	96.8	密封	6.5	1	1	1.8	1.34	97	271	23.5	
TD118/3.6-6	800	0.9	6	90	94.5	开启	7	1	1	0.8	0.5	33.5	243	6.42	
TD118/49-6	1000	0.9	6	112	95	管道	7	1	1	1.8	1	37.5	290	8.15	
TD118/74-6	1600	0.9	6	178	96	管道	7.5	1.5	0.85	1.9	1.03	42.7	292	10.35	
TD143/51-6	2000	0.9	6	230	94	管道	6.3	0.8	0.9	1.8	1.6	75	300	13.3	
TD118/54-6	1250	0.9	6	140	94.5	管道	6.5	0.8	0.7	1.8	0.7	50	300	9.16	
TD2500-6/1430	2500	0.85	6	296.4	95.5	管道	7.5	1.6	1.6	2.2		52.2	323.6	14.56	
额定转速 750r/min															
T800-8/1180	800	0.9	6	90.5	95	开启	6	1	0.9	2	0.55	38.1	314	7.1	
TD143/36-8	1250	0.9	6	141	95.5	开启	6	1.1	0.9	1.8	1.7	46	349	9.73	
TD143/49-8	1600	0.9	6	179	92.8	管道	6	1	0.9	1.8	2	53.2	315	12.58	
TD143/59-8	2000	0.9	6	224	96.1	半管道	6	1	0.8	1.8	1.6	70.5	283	12	
TD173/59-8	2500	0.9	6	168	95.3	开启	7	1	1	2	4.8	89	308	17.06	
TD173/64-8	3200	0.9	6	356	96	管道	6.5	1	1	1.8	5.8	74.5	350	22.89	
TD215/120-8	8000	0.9	10.5	56.8	96.6	管道	7.5	1	1.3	2	21	94.5	440	50.6	
T8000-8/2150	8000	0.9	10.5	441.3	95	开启	7	0.85	1.2	2	3.355	81.1	602.1	44	
TD215/76-8	5000	0.9	10	332	96	密封	7	0.9		2.1		85.4	338	17.7	
额定转速 720r/min															
T600-10/1180	600	1	4.16	88.1	92.5	开启	6	0.9	0.7	1.8	0.5	75	200	4.82	60Hz
额定转速 600r/min															
TD118/44-10	680	0.9	6	77	93.5	开启	6.5	0.7	0.7	1.6	0.185	62	191	6.7	
TD143/66-10	1600	0.9	6	180	95	开启	7	1	1	1.8	0.558	66	284	10.4	
TD118/41-10	630	0.9	6	71.7	94.3	开启	6.5	1	0.8	1.8	0.65	60	300	6.5	
TD1000-10/1430	1000	0.9	6	127	93.5	管道	6.5	1	1	2.3	1.9	110	300	11.48	
T800-10/1430	800	0.9	6	91	94.2	卧式	4.8	1	0.9	2.1	1.85	67	225	9	
T1250-10/1430	1250	0.9	6	140.3	95.2	卧式	4.8	1.05	0.95	2.13	2.1	75	247.2	9.4	
TD173/66-10	2500	0.9	6	279	95	开启	6.5	0.9	1.2	2	5	82	297	18	

续表

型 号	额定 功率 /kW	功率 因数	额定 电压 /kV	额定 电流 /A	效率 /%	结构 形式	起动	起动	牵入	失步	转动 惯量 /(10 ³ kg· m ²)	励磁装置		总重 /t	备注
							电流 /A	转矩 /N·m	转矩 /N·m	转矩 /N·m		电压 /V	电流 /A		
额 定 转 速 600r/min															
TD4000-10/2150	4000	0.9	10	304	95	管道	6.5	1	1	2.8		170	600	30.4	
TD3200-10/2150	3200	0.8	10	213.8	95	管道	5.5	1	1	2		93.9	251.5	28.62	
额 定 转 速 500r/min															
T550-12/1430	550	0.9	6	62.6	93.1	卧式	5.2	1.1	1	2.3	1.5	30	240	8.2	
TD173/41-12	1250	0.9	6	141	94	开启	6	0.7	1	1.8	0.975	91	227	11.9	
TD800-12/1180	800	0.9	6	90	94.5	开启	5.5	0.45	1	1.6	0.265	60	187	8.21	
TD173/49-12	1600	0.8	6	203	95	管道	6.5	1	1	2.8	6.26	110	300	17.7	
TD215/49-12	2500	0.9	6	282	95	半管道	7	1	1	2	11.5	85.7	348.5	23.6	
TD215/60-12	3200	0.9	6	357	95	半管道	7	1.3	1	2		37.5	276.5	27	
TD260/66-12	5400	0.8	10	410	95	开启	7	1.5	0.9	3		154	390	40	
TD260/101-12	7000	0.8	10.5	496	96	开启	7	0.9	0.9	2.7		157	364	64	
TD143/39-12	800	0.9	6	90		开启	6	0.8	1	1.8	2	58	251	8.5	
TDF800-12/1430	600	0.9	6	69	92.5	防爆	6	0.9	0.7	1.8	1.05	75	200	7.7	
T630-12/1430	630	0.9	6	72.4	93	开启	6.5	0.8	0.7	1.8	0.71	75	300	6.76	
TD4000-12/2600	4000	0.9	10	269	95	密封	6.5	1	0.8	2.8	35	140	600	46	
TD5000-12/2600	5000	0.8	6	627	95	管道	6	1	0.8	2.8	42	140	600	56.9	
额 定 转 速 428r/min															
T530-14/1730	530	0.9	6	60.8	93	卧式	6.5	1.25	1.2	2.6	3	78	168	9	
T1630-14/1730	1600	0.9	6	180	95	卧式	5.3	1.1	0.9	1.8	3.8	125	187	13	
额 定 转 速 375r/min															
T1630-16/1730	630	0.9	6	72.4	93	卧式	4.95	1.15	0.87	2.5	4.3	96.2	172.2	8.5	
T2000-16/1730	2000	0.9	6	223.2	95.9	卧式	4.9	1	0.92	2	4.8	123	189	10	
T1250-16/2150	1250	0.9	6	141.2	94.5	卧式	6.5	1.3	1.25	2.5	9.3	98.6	197	10.5	
T2500-16/2150	2500	0.9	6	279.3	95.6	卧式	5.8	1.15	0.95	2	10.1	136	250	14	
TD5600-16/3250	5600	0.8	10	425	95	密封	6.5	1.1	1	2.8		170	600	79.1	
TAQW1600-16/2150	1600	0.9	6	181	94.9	开启	4.49	0.777			9.3			23.5	
TDF800-16/2150	800	0.9	6	91	93	防爆	6.5	1	1	2	7.5	170	300	20.1	
额 定 转 速 300r/min															
T800-20/2150	800		6	92		卧式	6.5	0.8		2				11	
T630-20/1730	630	0.9	6	72.5	93.6	卧式	5.3	1.2	0.75	2.63	4.1	72	154	10.2	
T1000-20/1730	1000	0.9	6	113.4	94	卧式	4	0.8	0.7	2.5	4.5	130	178	10.5	
T630-20/2150	630	0.9	6	72.3	93.4	卧式	5.89	1.277	1.14	2.53	8.4	65.3	195.5	12.5	
TAQW630-350-20	1000	0.9	6	30	90.13	开启	5.5	0.6	0.7	2	1.25	66	320	5	
T1800-20/2150	1800	0.9	0.6	201.8	95.4	卧式	5.4	0.97	1.1	2.2	9.5	118	214	13.6	
T2500-20/215	2500	0.9	0.6	278.7	96	卧式	4.5	0.95	0.8	2	10	147	228	14.5	
额 定 转 速 250r/min															
TD215/21-24	500	0.9	6	58	94.7	开启	6	1	0.8	2	4.5	74	183	10	
TD215/44-24	1250	0.9	6	143	94	管道	6	0.85	0.75	2		78	260	16.44	
T1000-24/1730	1000	0.9	6	113.5	94.1	卧式	5.5	1.05	1	3.1	5	150	145	11.6	
额 定 转 速 214r/min															
T630-28/1730	630	0.9	6	72.4	93.8	卧式	3.5	0.91	0.6	2.67	4	86	195	10.1	
T1000-28/1730	1000	0.9	6	114	93.8	卧式	3.6	0.76	0.6	2.8	4.1	121	195	10.5	
额 定 转 速 187.5r/min															
T800-32/2150	800	0.9	6	92.3	92.7	卧式	4.8	1.32	0.75	2.1	11.5	146	181.3	14.2	
T1250-32/2150	1250	0.9	6	142.1	94	卧式	4	1	0.6	2.8	12.5	172	190	14.6	

表 5.3.2 常用 TK、TDK 系列同步电动机技术数据

型 号	额定 功率 /kW	功率 因数	额定 电压 /kV	额定 电流 /A	效率 /%	结构 形式	起动	起动	牵入	失步	转动 惯量 /(10 ³ kg· m ²)	励磁装置		总重 /t	备注
							电流 /A	转矩 /N·m	转矩 /N·m	转矩 /N·m		电压 /V	电流 /A		
额 定 转 速 600r/min															
TK220-10/990	220	0.9	6/3	25.6 51.2	91	悬挂	6.5	0.9	0.8	1.8	0.06	50	200	2.19	
TK250-10/990	250	0.9	0.38	456.3	91	悬挂	6.5	0.9	0.7	1.8	0.055	50	200	2.21	
额 定 转 速 500r/min															
TK400-12/1180	400	0.9	6	46.7	91.5	单轴伸	6	1	0.5	1.8	0.5	75	200	4.5	
TK280-12/1180A	280	0.9	0.38	517	91.5	单轴轴	6	1	0.6	1.8	0.0875	75	200	4	
TK320-12/1180B	320	0.9	0.38	590	91.5	单轴伸	6	1	0.6	1.8	0.0875	75	200	4	
TK250-12/1180	250	0.9	6	29.2	90.5	单轴伸	6.5	1	0.6	1.8	0.0875	75	200	1	
TK550-12/1430	550	0.9	3	126.5	92.5	无轴	6	0.9	0.7	1.8	0.9	75	200	4.12	
TK450-12/1430	450	0.9	6	51.7	91.5	无轴	6	0.9	0.7	1.8	0.8	75	200	3.88	
TK630-12/1430	630	0.9	6	72.4	92.5	双轴伸	6	1	0.5	1.8	1.05	75	200	6.6	
TK450-12	155	0.9	0.38	281.4	91.5	双轴伸	6.5	0.7	0.8	1.8	0.1	29	110	1.937	
TK250-12/1180	250	0.9	0.38	464	91	双轴伸	6	1	0.5	1.8	0.35	75	200	4	
TK280-12/1180	280	0.9	6	32.7	90.5	管道	6	1	0.5	1.8	0.45	75	200	3.48	
额 定 转 速 428r/min															
TK550-14/1430	550	0.9	6	62.6	92	开启	6	0.8	0.7	1.8	1	75	200	4.5	
TK1000-14/2150	1000	0.9	6	113.7	93.5	开启	6.5	1	0.8	1.8	3	75	300	14.6	
TK1250-14/2150	1250	0.9	6	141.5	94	开启	6	1	0.8	1.8	3	75	300	15	
TK1000-14/1430	1000	0.9	6	113.1	94	管道	6	0.9	0.7	1.8	1.5	110	200	11	
TK630-14/1730	630	0.9	6	71.7	92	管道	6.5	0.9	0.8	1.8	2	75	200	11.1	
TK250-14/1180	250	0.9	0.38	46.2	91	悬挂	6	1	0.5	1.8		75	200	2.75	
TK250-14/1180	250	0.9	6	29.5	90.5	悬挂	6	0.9	0.8	1.8	0.125	75	200	3	
TK250-14/1180	250	0.9	3	59	90.5	悬挂	6	0.9	0.8	1.8	0.125	75	200	3	
TK320-14/1430	320	0.9	6	37.6	90.5	单轴伸	6.5	0.9	0.7	1.8	0.225	110	200	7.65	
TK550-14/1430A	550	0.9	6	62.6	92	单轴伸	6	0.8	0.7	1.8	1	75	200	6.825	
TK250-14/1430	250	0.9	10	17.6	90.5	开启	7	0.9	0.8	1.8	0.8	75	200	3.74	
TK250-14/1180	250	0.9	0.415	420	91	开启	6	1	0.5	1.8	0.5	75	200	2.75	
TK350-14/1180A	350	0.9	6	40.7	91	管道	6	1	0.5	1.8	0.5	75	200	3.8	
TDK113/20-14F	320	0.9	6	37.6	91	防爆	6	1	0.5	1.8	0.9	110	200	4.5	
TK800-14/1736	800	0.9	6	91	92	单轴伸	6.5	0.9	0.8	1.8	0.625	110	200	11.7	
额 定 转 速 375r/min															
TK320-16/1430	320	0.9	6	37.4	91	单轴伸	6.5	0.7	0.9	1.8	0.25	75	200	8.21	
TK1250-16/2150	1250	0.9	6	141.6	94.5	开启	6	1.1	0.9	1.8	5	75	300	15.18	
TK550-16/1730	550	0.9	6	62.9	92	开启	6.5	0.9	0.8	1.8	2.1	75	200	5.35	
TK1000-16/1730	1000	0.9	6	113.2	93	开启	6.5	0.9	0.7	1.8	3	110	200	13	
TK400-16/1430	400	0.9	6	46.2	92.5	管道	5.5	0.7	0.9	1.8	1.1	75	200	7.76	
TK630-16/1730	630	0.9	6	73	93.5	开启	6	1	0.7	1.8	5	75	300	7.1	
TK1000-16/1730	1000	0.9	6	114	93	管道	6	0.5	0.7	1.8	3	110	300	12.2	
TK2800-16/2150	2800	0.9	6	311.8	95	单轴伸	6.5	0.9	0.8	1.8	2	110	300	21.62	
TK250-16/1180	250	0.9	0.44	396	91	开启	6	0.7	0.6	1.8	0.5	75	200	2.81	
额 定 转 速 333r/min															
TK250-18/1430	250	0.9	6	29.25	91	开启	6.5	1	0.6	1.8	1	50	300	4.8	
TK550-18/1730	550	0.9	6	63.2	92	开启	6	0.8	0.7	2	4.7	75	300	10.55	
TAKW630-26-18	710	0.9	6	81.4	92.5	增安	6.5	0.8	0.7	1.8	11	84	178.6	18	

续表

型 号	额定功率/kW	功率因数	额定电压/kV	额定电流/A	效率/%	结构形式	起动电流	起动转矩	牵入转矩	失步转矩	转动惯量/(10 ³ kg·m ²)	励磁装置		总重/t	备注
							额定电流	额定转矩	额定转矩	额定转矩		电压/V	电流/A		
额定转速 333r/min															
TAKW630-26-18	800	0.9	6	91.3	92.5	增安	6	0.7	0.7	1.8	11	84	178.6	18	
TAKW630-21-18	550	0.9	6	63.4	92.7	增安	6.5	0.8	0.7	1.8	7.5	73.48	182.93	17	
TK800-18/1730	800	0.9	6	91.3	93.5	卧式	4.5	1.25	0.76	2.5	4	110	165	9	
TK1000-18/1730	1000	0.9	6	112.5	94.8	卧式	4.42	1.05	0.8	2.4	4.3	86	288.8	9.2	有悬
TK800-18/2150	800	0.9	6	91.5	92	管道	5	1	0.8	2	7.3	75	300	11	挂式
TK1800-18/2600	1800	0.9	6	205	94	防爆	6.5	1	0.8	1.8	5.02	108	233.5	19.5	
TK2500-18/2600	2500	0.9	6	282	95.5	防爆	6.5	1	0.8	1.8	7.1	113	221	19.6	
额定转速 300r/min															
TK630-20/1730	630	0.9	6	72	92	悬挂	6.5	0.7	0.8	1.8	0.875	110	200	7.05	
TK630-20/1730A	630	0.9	6	72	93	单轴伸	6.5	0.9	0.8	1.8	0.875	110	200	7.05	
TK1800-20/2150	1800	0.9	6	201.6	95	开启	6.5	0.8	0.7	1.8	2.5			14.05	
TK2500-20/2600	2500	0.9	6	276	94.5	开启	6.5	0.8	0.8	1.8	27.3			27.6	
TK3000-20/2600	3000	0.9	6	336	95.5	管道	6.5	1	0.9	1.8	31.5	150	400	28.95	
TAKW630-54-20	3080	0.9	6	343	94.5	管道	6	0.9	0.8	1.6	32	125.6	205	36.4	
TAKW630-56-20	3200	0.9	6	256	96	增安	7	0.8	0.7	1.6	21	125.6	205	38	
额定转速 273r/min															
TK150-22/1200	150	0.9	0.38	250	91	管道	5	0.9	0.6	1.7	0.15	75	130	3.6	
TK500-22/2150	500	0.9	6	58	91	开启	6	1	0.6	1.8	1.675	110	200	11.9	
额定转速 250r/min															
TK400-24/1730	400	0.9	6	47.3	90		6	1	0.7	2	11			11.9	
TK630-24/2150	630	0.9	6	73	92	开启	5.5	0.9	0.7	2	1.895	93.5	213	11.8	
TK2000-24/2600	2000	0.9	6	225	94.5	防爆	6.5	1.2	0.8	2	6.25	132	219	21.5	
TK4000-24/3250	4000	0.9	6	448	95	防爆	6.5	1	1	1.8	20	180	198	47	
额定转速 214r/min															
TK650-28/1730	650	0.9	6	75.6	93	开启	6	0.8	0.7	1.8		75	300	10.5	
额定转速 200r/min															
TK700-30/215	700	0.9	6	81.1	92	管道	6.5	1	0.75	2	7.5	75	300	14.1	
额定转速 167r/min															
TK630-36/2600	630	0.9	6	73	91	无轴	6	0.6	0.9	2.2	28	90	300	10.6	
额定转速 150r/min															
TK2400-40/4250	2400	0.9	6	241	95	防爆	6.5	1	0.8	1.6	50	75	179	41.5	

表 5.3.3 常用 TZ、TDZ 系列同步电动机技术数据

型 号	额定功率/kW	功率因数	额定电压/kV	额定电流/A	效率/%	结构形式	起动电流	起动转矩	牵入转矩	失步转矩	转动惯量/(10 ³ kg·m ²)	励磁装置		总重/t	备注
							额定电流	额定转矩	额定转矩	额定转矩		电压/V	电流/A		
额定转速 1000r/min															
TZ1000-6/1430	1000	0.8	6	129		管道	7	1	0.9	2.5		41	378	12	
TDZ173/44-6	1600	0.8	10	123	93	密封	6.5	0.9	1.1	2.5	3.3	68	349	21.5	
TZ2000-6/1430	2000	0.9	6	225	95		6.5	1.2	1	2.2		50	382	12	
TDZ140/93-6	2500	0.8	3	625	95		7.5	0.9	0.7	2	0.507	79	229	16.5	

续表

型号	额定功率/kW	功率因数	额定电压/kV	额定电流/A	效率/%	结构形式	起动电流	起动转矩	牵入转矩	失步转矩	转动惯量/(10 ³ kg·m ²)	励磁装置		总重/t	备注
							额定电流	额定转矩	额定转矩	额定转矩		电压/V	电流/A		
额定转速 750r/min															
TDZ143/36-8	1000	0.8	3	256.5	94		7	1	0.75	2.3	0.35	76.5	184	10.6	
额定转速 600r/min															
TDZ630-10/1180	630	0.9	6	71.5	94.5		6.09	1.24	1.238	2.5	0.62	75	300	7.98	
额定转速 500r/min															
TDZ143/35-12	500	0.8	6	65	92		6.5	0.9	0.9	2.5	0.325	84	153	9	
TZ4000-12/2130	4000	0.8	6	500		密闭	7	1	1	2.5	18	115	349	34	

表 5.3.4 常用 TM、TDMK、TDQ 系列同步电动机技术数据

型号	额定功率/kW	功率因数	额定电压/kV	额定电流/A	效率/%	结构形式	起动电流	起动转矩	牵入转矩	失步转矩	转动惯量/(10 ³ kg·m ²)	励磁装置		总重/t	备注
							额定电流	额定转矩	额定转矩	额定转矩		电压/V	电流/A		
额定转速 375r/min															
TM2000-16/2150	2000	0.9	6	226	93.5	开启	7	1.7	1	2	12.7	140	300	21.22	
TM2500-16/2150	2500	0.9	6	281	90	开启	7	1.7	1	2	14	170	300	22.3	
额定转速 250r/min															
TM600-24/2130	600	0.9	6	70	90	开启	7.5	1.75	1	2.3	2.12	89	167	12.8	
TM1250-24/1730	1250	0.9	6	141.9	94.3	卧式	5.3	1	1	2.9	5	250	174	11.7	
额定转速 185.5r/min															
TDMK250-32/2150	250	0.9	6	30	89.5	开启	7	1.7	1	2	1.5	62	184	10	
TDMK400-32/2150	400	0.9	6	47.7	90	开启	7	1.7	1	2		90	300	8.7	
TDMK800-32/2150	800	0.9	6	92.3	92.6	卧式	4.8	1.3	0.7	2.1	12.7	146	181.3	14.2	
TM1000-32/2150	1000	0.9	6	114.4	93.4	卧式	4.2	1.16	0.68	3.05	12.9	158	180	14.5	
TM1250-32/2150	1250	0.9	6	142.1	94	卧式	4	1	0.6	2.7	13	178	193	14.6	
额定转速 167r/min															
TDMK500-36	500	0.9	6	59	91	开启	7	1.7	1	2	3.5	90	181	13	
TDMK800-36	800	0.9	6	93.5	91.97	开启	7	1.7	1	2		107	219	14.8	
TDMK1000-36/2600	1000	0.9	6	115	92	开启	7	1.7	1	2				15.4	
额定转速 150r/min															
TDMK1250-40	1250	0.9	6	142.6	92.5	开启	7	1.7	1	2				27	
TDMK1600-40/3250	1600		6	184		开启	7	1.7	1	2				37	
额定转速 125r/min															
TDMK800-48	800	0.9	6	93.2	91	开启	7	1.7	1	2	36	115	300	21.5	
额定转速 100r/min															
TM2000-60/4250	2000		6	228.7		开启	7	1.7	1	2				42.2	

第四节 同步电动机的起动方法

一、异步起动法

同步电动机的起动必须从电网容量、电动机的特性以及负载机械特性三方面来选择。现代同步电动机多数在转子上装有类似于异步电机笼式绕组的起动绕组（即阻尼绕组）。此时可采用类似于起动笼型异步电动机的方法来起动同步电动机，这是同步电动机最常用的起动方法，即异步起动法。异步起动是在励磁回路串联约

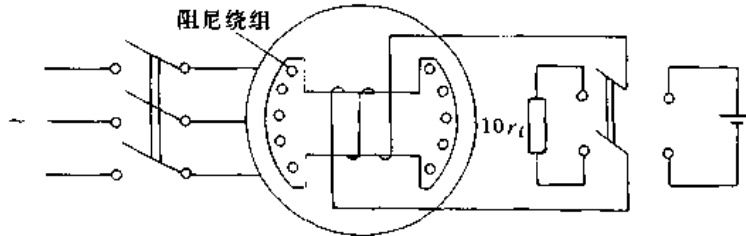


图 5.3.5 异步起动法原理线路图

为励磁绕组电阻值 10 倍的附加电阻而构成闭合电路后，把同步电动机的定子直接投入电网，使之按异步电动机起动，当转速达到亚同步转速（约 95% 同步转速）时，再切除附加电阻，同时通入适当的励磁电流，如图 5.3.5 所示。

同步电动机的异步起动在条件许可时，应优先考虑全压起动。当电网容量较小，不允许全压起动时，可采取降压起动，其方法与异步电动机的降压起动相同。

二、调频同步起动法

调频同步起动适用于大容量高速同步电动机，特别是当同步电动机的负载转矩和 GD^2 均很大时，更为适用。调频同步起动原理图如图 5.3.6 所示。这种起动方法的起动技术较复杂，需要一套电源机组或可控硅静止变频器和独立的励磁装置，该机组或变频器可用来依次起动数台相同规格的大型同步电动机。

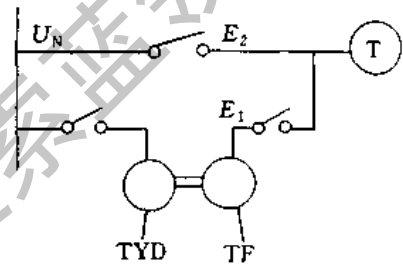


图 5.3.6 调频同步起动原理图
(采用同步异步电动机 TYDR
同步发电机 TF 机组)

第五节 同步电动机的故障和处理方法

同步电动机的故障和处理方法如表 5.3.7。

表 5.3.7 同步电动机的故障和处理方法

故障现象	故障原因	处理方法
不能起动	电网电压过低或熔断器内熔件烧断，断路器处于分开状态	检查电网电压和断路器的工作状况。采用降压起动时，若起动电压太低，应适当提高电源电压
	阻尼绕组断路或连接处接触不良（一般是因为阻尼环和阻尼条由于长期受热，使焊接部分松脱或阻尼环连接处的连接螺丝松动）	检查阻尼绕组的各连接点
	转子励磁绕组短路或励磁回路中加入的起动电阻太小	测量励磁绕组的直流电阻，并检查起动电阻的大小
	定子绕组或外部电路中有一相断路	用欧姆表检查定子绕组有无断路，再检查外部电路的接线是否完好
	轴承不清洁，油内有杂质，如砂子、水泥、金属粉末等	检查润滑油的纯度
	负载过大或负载机械锁住	断开负载，若电动机单独能起动，则检查负载的情况

故障现象	故障原因	处理方法
牵入同步困难	电压太低, 力矩不够, 特别是带负载起动的情况下牵入困难	应适当提高电压
	励磁回路接入的电阻太大或阻尼绕组产生脱焊、裂缝等现象, 使其电阻增大	检查接入的启动电阻的大小以及阻尼绕组的连接情况
	转子励磁绕组有部分匝间短路	可在励磁回路中通入额定励磁电流, 用直流电压表测量各励磁线圈的电压降是否相同
	没有励磁电压	检查励磁系统是否有故障
	负载太大	调整负载或进行强励
运行中振动过大或有异常声音	单相运行	停机再启动。如不能启动时, 则须检查电源或电动机是否一相开路
	电气上的不平衡	检查电源电压是否平衡, 是否单相连接
	负载不平衡或电动机本身不平衡 (如励磁绕组松动、位移)	断开负载, 如电动机振动值还较大, 则须检验转子的动平衡; 如电动机振动值不大时, 则检查负载机械的平衡情况
	励磁绕组有匝间短路或接线不正确	测量励磁绕组的直流电阻和极性
	气隙不均匀	调整定子或转子的安装位置
	安装不良, 如机组的中心线不在一直线上, 轴承有倾斜或联轴器装置不正确	检查机组的安装情况
	联轴器连接松动	拧紧连接螺栓
	轴瓦间隙太大 (轴瓦间隙一般不应超过允许值1倍)	调整轴瓦的间隙, 或更换新轴瓦
	底板固定不良或底板下基础不坚固或下沉	检查底板的固定情况及基础的自由振动频率
	基础的自由振动频率与电机的振动频率相近	检查两者的振动频率, 如相近, 应设法改变基础的自由振动频率
定子铁芯发出噪声	主要是铁芯齿端沿轴向朝外胀开, 这是由于铁芯两侧的压圈没有压紧或运行日久, 铁芯松动	重新拧紧铁芯的拉紧螺杆, 或者在每档铁芯的中间打入非磁性材料做的楔子, 并用环氧树脂粘牢, 使铁芯紧固
绕组和铁芯过热	负载过大	调整负载或降低励磁电流, 使功率因数接近于1.0, 保证定子电流不超过额定值
	电网电压太高	降低电压到额定值
	匝间或相间短路	检查绕组的直流电阻
	通风冷却不良	检查冷却系统及进、出口冷却空气的温度及风量是否符合要求, 应避免出风重新回到电机中去
轴承过热	油量不够或油温过高	在油环润滑的轴承中, 油应加到油位计上标准油位线处, 并应注意不应在运转时加油; 强油循环润滑的轴承应检查油路系统有无阻塞现象, 正常进油压力大致为50662Pa (0.5atm), 进油温度应低于40℃
	油质变坏	检查全部润滑系统是否清洁, 定期测试油的纯度, 至少每半年换油一次
	油环损坏或受磁性影响传动滞缓	检查油环是否良好以及润滑油的牌号是否符合要求, 对已经磁化的油环进行退磁, 并杜绝轴电流的产生
	轴瓦和轴颈表面不光	修整到规定的光洁度
	轴与轴瓦的间隙不对	调整轴瓦的间隙
	轴承压力太大	核算轴承的单位压力, 必要时做适当的调整
	轴承倾斜	检查轴承的安装情况
有轴电流	用500V摇表测量轴承 (带绝缘) 与底板之间的绝缘电阻, 其值应大于0.3MΩ。同时还应检查轴承上之油管或水管的绝缘	

续表

故障现象	故障原因	处理方法
轴承漏油	油量过多或油压过高	调整油量或油压
	密封不严	检查并改善轴承的密封情况
	压力加油轴承的出油管阻塞或出油管太细	检查出油管情况,必要时加粗出油管
绕组绝缘电阻太低	绝缘损坏或老化	局部或全部更换线圈
	环境过于潮湿	尽量保证周围环境的相对湿度不大于70%,且电动机投入运行前应烘干
	绕组绝缘表面不清洁	冷却空气必须清洁,不能含有损坏绝缘的酸、碱性气体。清扫绝缘上的脏物及灰尘
集电环出现环火和烧伤	集电环与电刷不清洁	应使两者保持清洁、干燥
	集电环表面粗糙	检查集电环表面,如有铁锈或灼痕时,可用00号玻璃砂纸研磨,并清理干净
	电刷压力太小或电刷在刷盒内挤得太紧而不能滑动	检查电刷的压力及固定情况并调整之
	电刷材质不适合	更换电刷
	被传动机械的振动太大	降低被传动机械的振动
空气冷却器冷却能力下降	冷却器水管堵塞	多系使用江河水所致。检查并控制进入冷却管的江河水中的悬浮物的含量,并且定期冲洗冷却器
	冷却器水管结垢	多系使用地下低温水所致。检查并控制冷却水的硬度
	冷却水管漏水,如绕簧式冷却管管壁薄(仅1mm厚),使用年久铜管因受腐蚀而漏水	通常情况下,可将漏水水管两端用木塞或橡皮塞封住,便可继续使用。当漏水水管数达15%左右时,则应更换冷却器

获取更多资料 微信: 516177777

第四章 直流电动机

第一节 直流电动机的用途和分类

直流电机是一种将直流电能和机械能相互转换的旋转电机。直流电机既可作电动机又可作发电机。

1. 应用

直流电动机具有很多优点：①调速特性好，平滑、方便、范围宽；②起动和制动转矩大，可频繁快速起动、制动和反转；③过载能力强，能承受频繁冲击负荷；④易于控制、调速系统简单、可靠。因此它广泛应用于对电动机的调速和起动性能要求较高的场合，如电力牵引、起重冶金设备、采掘设备、造纸和纺织机械等领域。

其缺点是带有换向器和电刷，使电机体积增大，成本增加，运行中增加了维护工作量，同时安装环境受到限制，不宜在易燃、易爆气体和尘埃较多的环境中使用。此外电机的极限容量受到换向条件的限制。

直流发电机是一种直流电源，可用于直流电动机的供电，同步电机的励磁，以及电解、电镀等电化工业领域。

近年来交流变频调速在特性上可与直流电动机媲美，在许多领域中有代替直流电动机的趋势。但是直流电动机由于价格低廉、性能优越、简单可靠等优点仍然具有很大的竞争力。

2. 分类

直流电动机的特性由励磁方式决定，按励磁方式的不同可分为他励（包括永磁）、并励、串励和复励四种。不同励磁方式的直流电动机的特点和用途见表 5.4.1（见 309 页）。

此外，还可按产品用途分类，详见本章第五节。

第二节 直流电动机的基本结构

直流电动机是由定子、电枢和其他零部件构成的，见图 5.4.1。

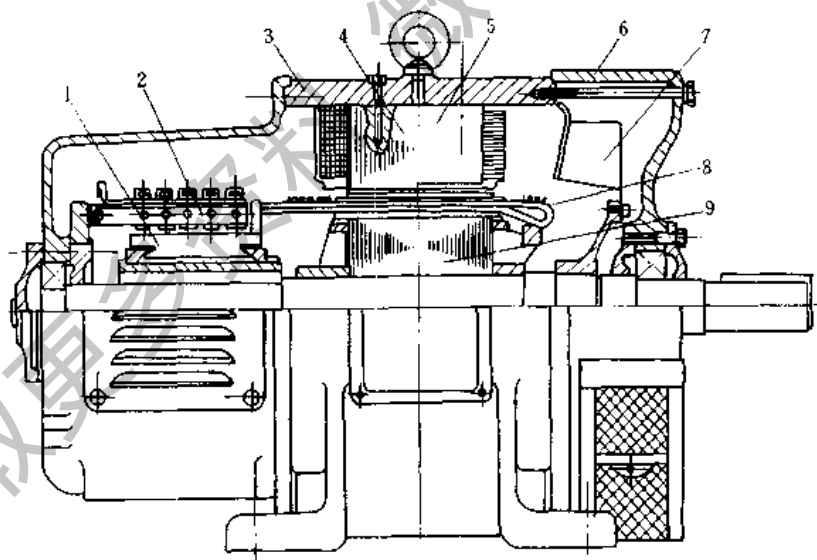


图 5.4.1 直流电机结构

1—换向器；2—电刷装置；3—机座；4—主磁极；5—换向极；6—端盖；7—风扇；8—电枢绕组；9—电枢铁芯

定子部分由机座、主极、换向极和补偿绕组等组成。

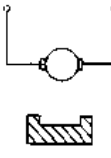
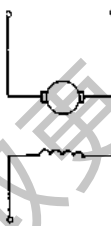
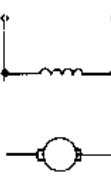
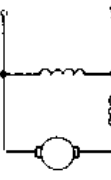
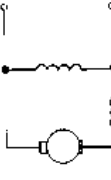
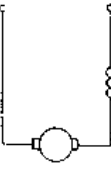
1. 主极

主极的作用是产生主磁场。主极由主极铁芯、主极绕组和它们之间的绝缘组成，见图 5.4.2。

(1) 主极铁芯 主极铁芯通常用 1~1.5mm 低碳钢板冲片叠压而成，并用铆杆铆成一体。铁芯包括极身和极靴两部分，极身部分安放线圈，极靴的形状决定了主磁通在空间的分布波形。

(2) 主极绕组 一般是用绝缘导线或用扁铜线在绕线机上绕制。主极绕组的绝缘结构见图 5.4.2。对于主

表 5.4.1 直流电动机的特性和用途

励磁方式	永磁	他励	并励	稳定并励	复励	串励
励磁特征图						
起动转矩	起动转矩约为额定转矩的 2 倍, 也可制成额定转矩的 4~5 倍	由于起动电流一般限制在额定电流的 2.5 倍以内, 起动转矩约为额定转矩的 2~2.5 倍	一般为额定转矩的 1.5 倍。带补偿绕组时, 可达额定转矩的 2.5~2.8 倍	一般为额定转矩的 1.5 倍。带补偿绕组时, 可达额定转矩的 2.5~2.8 倍	起动转矩较大, 约可达额定转矩的 4 倍, 由复励程度决定	起动转矩很大, 约可达额定转矩的 5 倍
短时过载转矩	一般为额定转矩的 1.5 倍, 也可制成额定转矩的 3.5~4 倍	一般为额定转矩的 1.5 倍。带补偿绕组时, 可达额定转矩的 2.5~2.8 倍	可达额定转矩的 4 倍左右	可达额定转矩的 4 倍左右	可达额定转矩的 4 倍左右	可达额定转矩的 4 倍左右
转速变化率	3%~15%	5%~20%			由复励程度来决定, 可达 25%~30%	转速变化率很大, 空载转速极高
调速范围	转速与电枢电压是线性关系, 有较好的调速特性, 调速范围较大	削弱磁场恒功率调速, 转速比可达 1:2 至 1:4, 特殊设计可达 1:8, 他励时, 可调节电枢电压, 恒转矩向下调速, 范围较宽广	削弱磁场调速, 可达额定转速的 2 倍	削弱磁场调速, 可达额定转速的 2 倍	削弱磁场调速, 可达额定转速的 2 倍	用外接电阻与串励绕组串联或并联; 或将串励绕组串联或并联连接来实现调速。调速范围较宽
用途	自动控制系统中作为执行元件及一般传动动力用, 如力矩电动机	用于起动转矩稍大的恒速负载和要求调速的传动系统, 如离心泵、风机、金属切削机床、纺织印染、造纸和印刷机械等	用于要求起动转矩较大, 转速变化不大的负载, 如拖动空气压缩机、冶金辅助传动机械等	用于要求起动转矩较大, 转速允许有较大变化的负载, 如蓄电池供电车、起货机、起锚机、电车、电力传动机车等	用于要求很大的起动转矩、转速允许有较大变化的负载, 如蓄电池供电车、起货机、起锚机、电车、电力传动机车等	用于要求很大的起动转矩、转速允许有较大变化的负载, 如蓄电池供电车、起货机、起锚机、电车、电力传动机车等

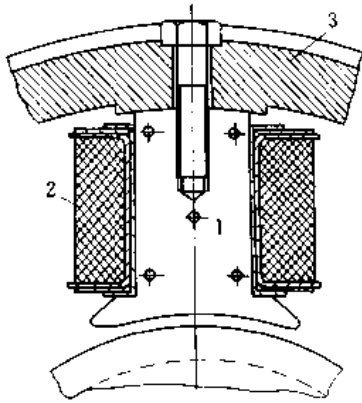


图 5.4.2 主磁极

1—主极铁芯；2—励磁绕组；3—机座

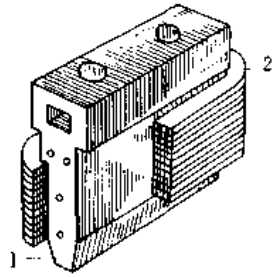


图 5.4.3 换向极

1—换向极铁芯；2—换向极绕组

极绕组，要求结构紧密，绝缘可靠，散热性好，并具有较高的机械强度。

2. 换向极

其作用是抵消几何中心处的电枢反应磁势，并产生换向磁场，以克服换向元件中的电抗电势，改善换向。换向极结构见图 5.4.3，它由换向极铁芯和换向极绕组组成。中小型直流电机的换向极铁芯通常用整体锻钢制成。但对于由晶闸管整流电源供电的电动机，为了减少换向极磁路的涡流和由此引起的对电机换向的影响，一般采用由电工钢片叠成的换向极结构。

换向极绕组一般都用扁铜线制成，线圈的匝间、对地及外包绝缘和主极绕组绝缘结构相同，它是和电枢绕组串联的，以产生和电枢电流成正比的换向磁通。换向极所产生的磁势应与电枢反应的磁势方向相反。对于直流发电机，换向极的极性应与顺电枢旋转方向的相邻主极极性相同；对于直流电动机，换向极的极性与顺电枢旋转方向的相邻主极极性相反，如图 5.4.4 所示。

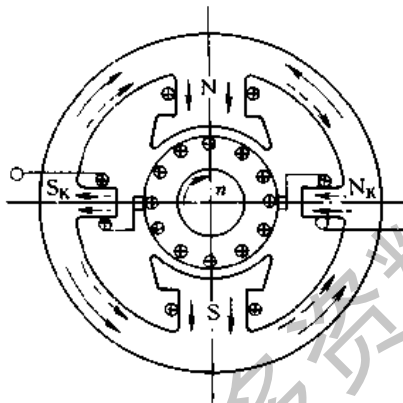


图 5.4.4 直流电动机换向极极性

N, S—主极； N_k, S_k —换向极

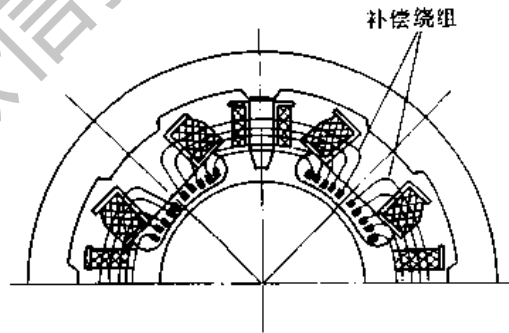


图 5.4.5 装在主极极靴上的补偿绕组

3. 补偿绕组

大中型直流电机当其换向困难时，有时装设补偿绕组。其作用为消除电枢反应所引起的气隙磁场畸变、从而防止相邻两换向片间的电压过高现象，防止换向器发生环火，提高电机运转的可靠性。补偿绕组通常由裸铜线弯制并绝缘后嵌在主极极靴的槽中。它和电枢串联，补偿绕组的连接如图 5.4.5 所示。

4. 机座

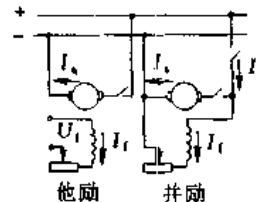
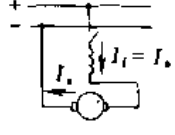
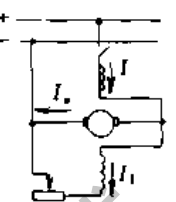
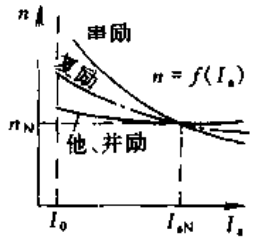
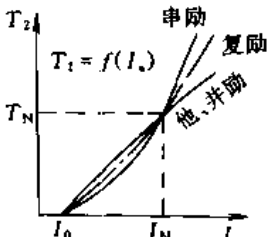
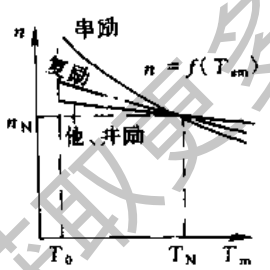
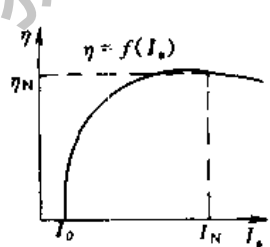
直流电机的机座是构成磁路和支撑主极、换向极及端盖的一个机械支撑部件。机座应有良好的导磁性能和足够的机械强度与刚度，通常用铸钢或用钢板焊成。对于晶闸管整流装置供电的电机，为了改善换向性能，一般采用叠片机座，由 1~1.5mm 钢板或 0.5mm 硅钢片冲制叠压而成。少数大型电机采用分半式机座，以便于运输和安装。分半式机座的分半面，通常在内圆的水平中分面上。上、下半机座，沿轴向用若干个螺栓紧固，接合面上还要用几个圆锥销定位，以防位移。

第三节 直流电动机的工作特性

直流电动机端电压保持恒定，他励、并励的励磁电流不变时，电动机转速 n 、电磁转矩 T_m 、效率 η 与输出功率 P_2 之

间的关系,表示直流电动机的工作特性。在实际运行中,电枢电流 I_a 可直接测量,并且 I_a 随 P_2 的增大而增大,两者几乎成正比,所以往往将工作特性表示为 $n, T_{em}, \eta = f(I_a)$ 。按励磁方式的不同,其工作特性如表 5.4.2 所示。

表 5.4.2 直流电动机的主要工作特性

特性名称	他励、并励	串励	复励
<p>特性类别</p>	 <p>他励 并励</p>	 <p>$I_f = I_a$</p>	
<p>转速特性</p>	 <p>$n = f(I_a)$</p>	<p>转速 $n = \frac{U - (I_a B_a + \Delta U_b)}{C_e \Phi}$。当 U 为常数, 电枢电流 I_a 变化时, 影响转速特性的因素是电枢回路电阻压降与气隙磁通的变化</p> <p>$I_f = \text{定值}$, 气隙磁通 Φ 只受电枢反应的影响。I_a 增大时, 电枢回路电阻压降使转速趋于下降, 电枢反应去磁效应使转速趋于上升, 因而转速变化较小, 故有硬转速特性。通常电枢回路电阻压降影响较大, 转速略为下倾。过载时, 电枢反应影响增大, 转速曲线上翘</p>	<p>$I_f = I_a$, 气隙磁通 Φ 主要取决于负载电流的大小, 转速随负载的增加而迅速下降, 具有软的转速特性。轻载时, 励磁电流很小, 转速很高。因此, 不容许空载运行</p> <p>通常采用积复励接法, 使运行稳定。并励绕组决定空载转速; 串励绕组使它的转速特性较软, 其转速特性介于并励与串励之间</p>
<p>转矩特性</p>	 <p>$T_2 = f(I_a)$</p>	<p>输出转矩 $T_2 = C_T \Phi I_a - T_0$。空载时, $I_a = I_0 = \frac{T_0}{C_T \Phi}$。负载时, T_2 随 I_a 的增加而增加, 并与 Φ 随 I_a 而变的情况有关</p> <p>$I_f = \text{定值}$, 轻载时, 转矩特性基本上是通过空载电流 I_0 点的直线; 过载时, 电枢反应的去磁作用增强, 特性偏离直线, 略为向下弯曲, 如左图</p>	<p>磁通随电流的增加而增大, 电枢电流较小而磁路未饱和时, 转矩按负载电流的平方关系增大; 电枢电流增大时, 由于磁路逐渐饱和, 加之电枢反应的影响, 转矩增大相对变慢</p> <p>转矩特性取决于并励安匝与串励安匝之比, 介于并励与串励电动机转矩特性之间</p>
<p>机械特性</p>	 <p>$n = f(T_{em})$</p>	<p>从转速-转矩公式 $n = \frac{U - \Delta U_b}{C_e \Phi} - \frac{B_a}{C_e C_T \Phi^2} T_{em}$ 可见, 机械特性具有与转速特性相似的形状。电枢回路串入外接电阻后, 其外特性将变软</p>	<p>效率 $\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_2 + \Sigma P}$。总损耗 ΣP 主要包括铜耗、铁耗和机械损耗等。空载时, $P_2 = 0$, 电枢电流为空载电流 I_0, 输入功率全部供给空载损耗, $\eta = 0$; 负载时, 当铜耗接近等于铁耗与机械损耗之和时, 效率最高。对于经常工作于轻载状态下的电动机, 一般应使铜耗大于铁耗与机械损耗之和; 经常过载的电动机则应尽量减小铜耗</p>
<p>效率特性</p>	 <p>$\eta = f(I_a)$</p>		

第四节 直流电动机的起动、调速和制动

一、直流电动机的起动

在直流电动机起动瞬间，电枢回路接至电网，电枢仍处于静止状态，此时反电势为零，电枢电流将迅速上升，对电机和电网引起冲击，电机换向恶化。所以必须限制起动电流，不宜过大，但又必须保证具有足够的转矩。对于他励、并励电动机，起动时应先励磁，使磁通 Φ 达到最大，然后施加电枢电压。

直流电动机的起动特性与励磁方式有关。他励、并励电动机的磁通 Φ 基本不变，串励电动机的磁通则随 I_a 增加而增加，故当起动电流倍数相同时，串励电动机可获得更大的起动转矩，即具有优良的起动性能。复励电动机的起动特性则介于并励电动机和串励电动机之间。

直流电动机有以下三种起动方法。

1. 直接起动

直接起动时，电动机的电枢电流 I_a 、电磁转矩 T_{em} 和转速 n 的变化情况如图 5.4.6 所示。最大冲击电流可达额定值的 15~20 倍，只适用于功率不大于 4kW、起动电流为额定电流的 6~8 倍的电动机。

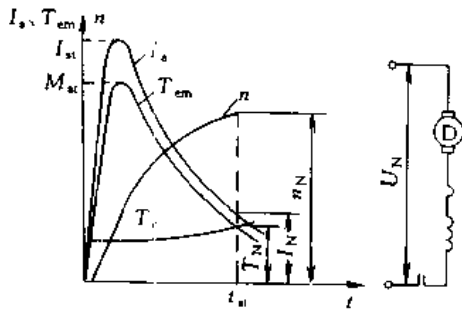


图 5.4.6 直接起动时 I_a 、 T_{em} 和 n 的变化

2. 电枢回路串电阻起动

起动时，电枢回路内串入起动电阻 R_{st} ，如图 5.4.7 所示。 R_{st} 为一可变电阻，在起动过程中可逐级短接。在 $t=0$ ，电枢回路投入电网时，串入全部电阻 R_{st} ，使起动电流 I_{a1} 不超过允许值：

$$I_{a1} = \frac{U}{R_a + R_{st}}$$

对应于 I_{a1} 的起动转矩为 T_{st1} ，之后转速上升，反电势增加，电流和转速下降，至 $t=t_1$ ，降到 I_{a2} 和 T_{st2} ，切除部分电阻，使电流和转矩回升到 I_{a1} 和 T_{st1} ，此后继续升速，至 $t=t_2$ 再切除部分电阻。如此进行直到 R_{st} 全部切除， $t=t_{st}$ 时机组达到稳定运行点。

这种起动方法广泛应用于各中小型直流电动机，缺点是起动过程中能量消耗较大。

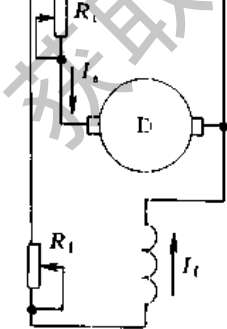


图 5.4.8 并励电动机调速原理图

3. 降压起动

用降低电压的方法来限制起动电流，使起动电流不超过允许值。电动机起动后，随转速上升相应提高电压，保证所需要的加速转矩，直至达到稳定运行点。用这种方法起动时，电动机需由专用电源设备供电，优点是起动过程中消耗能量少，起动平滑，用于要求经常起动的场合和大中型直流电动机。

二、直流电动机的调速

直流电动机可以在宽广范围内平滑地调速。当电枢回路串入调节电阻 R_1 时，

$$n = \frac{U - I(R_a + R_1) - \Delta U_b}{C_e \Phi}$$

从上式可看出，可采用调节励磁电流、电枢端电压和电枢回路电阻三种方法进行调速，图 5.4.8 为并励电动机调速电路原理图。

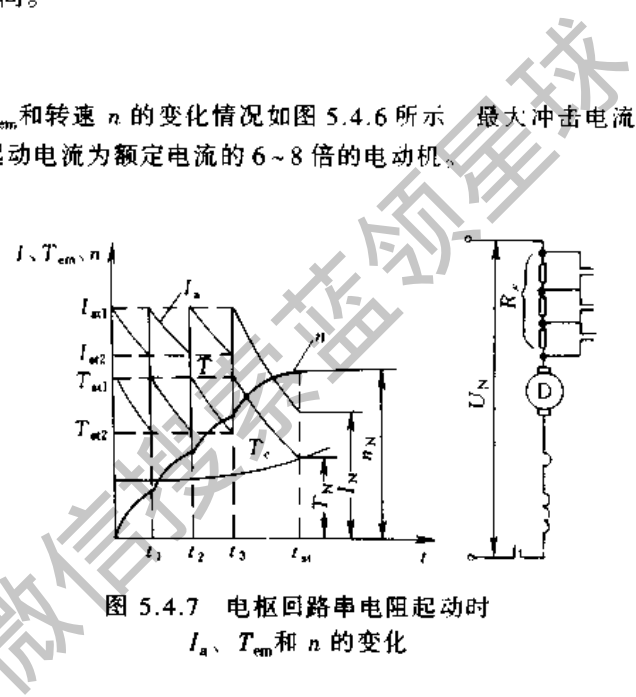


图 5.4.7 电枢回路串电阻起动时 I_a 、 T_{em} 和 n 的变化

1. 调节励磁电流

如图 5.4.8, 调节励磁回路中的电阻 R_f , 从而调节磁通 Φ , 以调节转速 n 。当电压 U 不变时, 转速 n 随励磁电流 I_f 的减小而升高。

当电压和电流保持额定值不变时, 输入和输出功率基本不变, n 与 Φ 成反比, 转矩 T 与 Φ 成正比。所以该方法适用于额定转速以上的恒功率调速。

当励磁电流 I_f 和磁通 Φ 减小, 电枢反应对主磁场影响愈大, 磁场畸变加剧, 加上转速升高, 换向愈加困难。所以最高转速受机械因素、换向和运行稳定性的限制。

2. 调节电枢回路电阻 R_a

当电压 U 恒定, 转速 n 随电枢回路电阻 R_a 的增加而降低, 电阻 R_a 愈大, 机械特性愈软。此方法功耗大, 效率低, 只适用于额定转速以下, 不需经常调速且机械特性要求较软的情况。

3. 调节电枢端电压

使电动机他励, 保持磁通不变, 转速 n 随电枢端电压 U 的减小而降低。电枢电流不变时转矩 T 保持不变。适用于额定转速以下的恒转矩调速。电动机需用专用电源设备如发电机组、可控硅电源供电, 也可采用可控硅斩波调压装置调节电压。

三、直流电动机的电磁制动

为使直流电动机迅速减速或停转, 通常采用使电磁转矩反向的方法来进行电磁制动。有能耗制动、反接制动和回馈制动三种。

1. 能耗制动

如图 5.4.9 所示, 保持励磁方向不变, 电枢回路从电源切断, 接入制动电阻 R_T , 电机作发电机运行, 向制动电阻供电, 此时电枢电流反向, 电磁转矩与电机转向相反, 形成制动转矩, 机组的惯性动能转化为制动电阻与机组本身的损耗, 机组减速。随转速降低, 制动效果变差, 当转速下降到一定程度后, 必须再加机械制动停车。

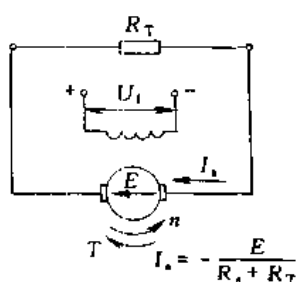


图 5.4.9 能耗制动原理图

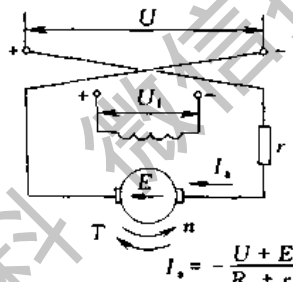


图 5.4.10 反接制动原理图

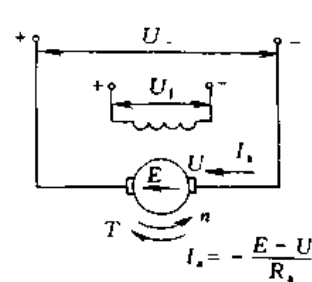


图 5.4.11 回馈制动原理图

2. 反接制动

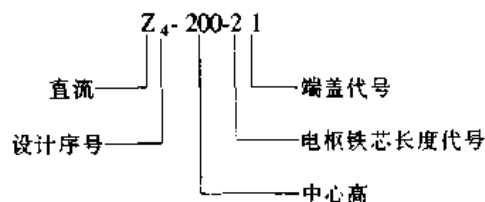
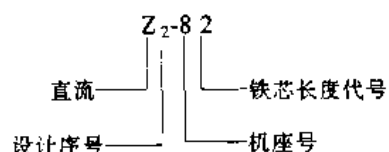
如图 5.4.10 所示, 制动时保持励磁不变, 电枢回路与电源经限流电阻 r 作反极性串接, 使电枢电流反向, 电磁转矩与转向相反, 产生制动转矩。机组迅速制动停转。当机组停转时, 应及时切断电源, 防止反向再启动。

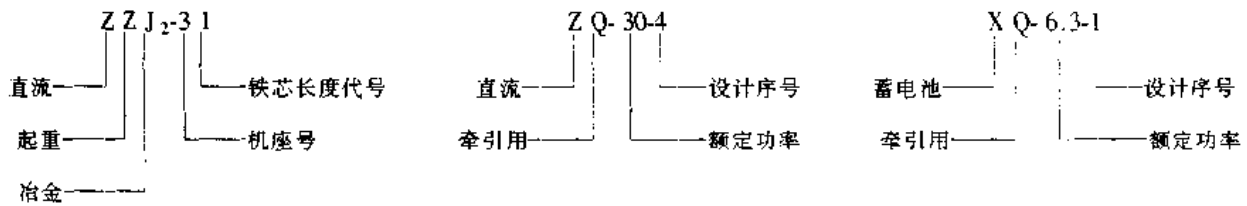
3. 回馈制动

回馈制动又叫再生制动, 使用于电力机车下坡等场合, 以限制转速过分升高。制动时, 保持励磁方向不变。当转速升高到一定程度时 $U < E$, 电枢电流反向流向电网, 电磁转矩与转向相反, 电机作发电机运行, 机车下坡的能量转化为电能回馈电网, 如图 5.4.11 所示。

第五节 直流电动机的型号和分类

直流电动机型号见下例:





设计序号——

直流电机及其派生、专用产品的型号和用途见表 5.4.3。

表 5.4.3 直流电机及其派生、专用产品的型号和用途

产品名称	主要用途	型号	原用型号
直流电动机	一般用途, 基本系列	Z	Z, ZD, ZJD
直流发电机	一般用途, 基本系列	ZF	Z, ZF, ZJF
广调速直流电动机	用于恒功率调速范围较大的传动机械	ZT	ZT
冶金起重直流电动机	冶金辅助传动机械等用	ZZJ	ZZ, ZZK, ZZY
直流牵引电动机	电力传动机车、工矿电机车和蓄电池供电车等用	ZQ	ZQ
船用直流电动机	船舶上各种辅助机械用	Z-H	Z ₂ C, ZH
船用直流发电机	作船舶上电源用	ZF-H	Z ₂ C, ZH
精密机床用直流电动机	磨床、坐标镗床等精密机床用	ZJ	ZJD
汽车起动机	汽车、拖拉机、内燃机等用	ST	ST
汽车发电机	汽车、拖拉机、内燃机等用	F	F
挖掘机用直流电动机	冶金矿山挖掘机用	ZKJ	ZZC
龙门刨床用直流电动机	龙门刨床用	ZU	ZBD
防爆安全型直流电动机	矿井和有易爆气体的场所用	ZA	Z
无槽直流电动机	快速动作伺服系统中用	ZW	ZWC
力矩直流电动机	用于位置或速度伺服系统中作为执行元件	ZLJ	
直流测功机	测定原动机效率和输出功率用	CZ	ZC

第六节 直流电机的维护与常见故障

一、直流电机的维护

1. 使用前的注意事项

在安装及使用前, 电机必须保存在干燥、清洁和通风的地方, 温度不低于 +5℃。防止潮湿空气和水分进入电机。使用前应检查电机内部接线、绝缘电阻、电刷位置、油路和通风系统等是否符合规定要求。

(1) 电机绕组出线端符号 直流电机绕组出线端符号意义见表 5.4.4。

表 5.4.4 直流电机绕组出线端符号

绕组名称	出线端符号					
	曾经采用		旧标准		新标准	
	始端	末端	始端	末端	始端	末端
电枢绕组	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂	A ₁	A ₂
换向绕组	H ₁	H ₂	H ₁	H ₂	B ₁	B ₂
串励绕组	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂
并励绕组	F ₁	F ₂	B ₁	B ₂	E ₁	E ₂
他励绕组	W ₁	W ₂	T ₁	T ₂	F ₁	F ₂
补偿绕组	B ₁	B ₂	BC ₁	BC ₂	C ₁	C ₂

(2) 电机绕组的绝缘电阻 检查电机绕组的绝缘电阻, 若低于表 5.4.5 要求, 应进行干燥处理。

表 5.4.5 电机绕组的绝缘电阻

电机电压/V	电枢绕组		并他励绕组冷态绝缘电阻 /MΩ
	冷态绝缘电阻 /MΩ	绝缘吸收比 $R_{60}/R_{15}^{\text{①}}$	
≤500	≥0.5	≥1.3	>1
>500	≥1	≥1.3	>1

① R_{15} 和 R_{60} 分别为用兆欧表测量电枢绕组对地的绝缘电阻, 历时 15s 和 60s 时所测得的绝缘电阻值。

(3) 外观检查 检查电枢旋转应灵活, 不应有摩擦及轴向窜动现象。刷盒应固定可靠, 不得松动。刷盒下平面与换向器工作表面距离应为 2~4mm。电刷在刷盒里应上下滑动自如, 电刷磨合面积应不小于 80%。换向器表面必须洁净, 若换向器表面及沟槽中有炭粉, 可用干净的软毛刷清除, 若表面有油污, 可用浸酒精的白布擦除。

2. 直流电机的维护

在电机使用过程中, 应按使用维护说明书要求进行检查维护, 保证电机正常运转。

① 必须经常保持电机内外部清洁干净, 防止油、水、灰尘等杂物进入内部。视察窗盖板应平整完好, 与机座互相吻合, 密封良好, 锁扣牢固。

② 检查电刷工作状态应良好, 刷辫与炭刷堵塞处不得松动, 电刷无烧焦、卡住、开裂等现象, 接触面积大于 80% 以上。磨损到规定限度时, 应及时更换。

③ 换向器是直流电机的关键部位, 应勤加维护。要经常检查换向器表面状况, 正常的换向器表面应该是呈现均匀的、有光泽的棕褐色薄膜。若换向器表面出现不均匀的磨损、局部发黑及严重的无光泽的发黑现象, 则属于不正常的现象, 应进行修理。换向器外圈不允许有凹片、凸片。换向器圆度公差见表 5.4.6。检查换向器片间云母下刻情况, 下刻深度要符合表 5.4.7 所示要求, 应无云母凸出及毛刺等情况。

表 5.4.6 换向器外圆圆度

换向器线速度 / (m/s)	冷态偏摆 /mm	热态偏摆 /mm
> 40	0.03	0.05
15 ~ 40	0.04	0.06
< 15	0.05	0.10

表 5.4.7 换向器云母下刻深度

换向器直径/mm	云母下刻深度/mm
50 以下	0.5
50 ~ 150	0.8
151 ~ 300	1.2
> 300	1.5

④ 检查换向器升高片焊接是否良好, 如果发现脱焊、甩锡等损伤, 则电枢要修理。

⑤ 检查电枢无绑扎带, 不得有松动、尾部散开或其他损伤。

⑥ 电源线绝缘保护应良好, 接线端紧固可靠, 接地线确保紧固良好。

⑦ 进入电机内部的冷却空气应清洁干燥, 定期检查绕组和换向器温升是否在允许范围内。

⑧ 电机运转时, 轴承应无特殊响声, 无发热和漏油情况, 定期更换润滑脂。更换油脂时, 先用汽油洗净轴承, 然后加入新的润滑脂, 滚动轴承润滑脂不宜超过轴承室容积的 70%。

二、常见故障及其原因

1. 直流电机换向故障

直流电机换向常见故障及其原因见表 5.4.8。

表 5.4.8 直流电机换向常见故障及其原因

故障症状	故障原因	故障症状	故障原因
全部铜片发黑	① 换向极极性不对 ② 换向极绕组短路或断路 ③ 电刷压力不对	火花大	② 换向器不干净 ③ 换向器不平滑或不圆 ④ 云母或换向片凸出 ⑤ 电刷接触不良 ⑥ 电刷压力太小 ⑦ 电刷牌号不对 ⑧ 电刷卡住不动 ⑨ 刷架松动或振动 ⑩ 各换向极下的间隙不当或不均匀
换向片按照一定顺序成组发黑	换向器与电枢线圈焊接不良		
换向片发黑, 但无一定规律	① 换向器表面不平、不圆 ② 电刷中心线位移	电刷和刷辫线发热	① 电刷火花大 ② 电刷与软导线之间接触不良或松动 ③ 软导线断面积太小
电刷磨损快, 变色, 破裂	① 电机振动 ② 电刷与刷盒间隙过大 ③ 刷盒与换向器间距离过大 ④ 换向器云母凸出 ⑤ 电刷不良, 牌号不对		
火花大	① 电机过负荷	电刷有杂音	换向器表面不平滑

2. 直流电机其他故障

直流电机其他故障及其原因见表 5.4.9。

表 5.4.9 直流电机其他故障及其原因

故障名称	故障原因	故障名称	故障原因
电机不能起动	① 线路断路 ② 负载过重 ③ 电源电压过低, 起动转矩太小 ④ 电刷接触不良或不在中心线上 ⑤ 复励电动机的励磁绕组极性接反 ⑥ 起动器接触不良	换向器外圆变形	① 片间绝缘、V形绝缘环收缩松动 ② 紧固螺帽等紧固件松动
		换向器片间短路	① 换向器3°面涂封不良, 进入金属异物、炭粉等 ② 片间云母损坏
		换向器接地	① V形绝缘环损坏 ② 炭粉积聚引起爬电
电机转速不正常	① 励磁线圈断路、短路, 接线错误 ② 电刷不在中心线上 ③ 起动器接触不良或电阻不适当 ④ 负载力矩过大	电机过热	① 负载过大 ② 电枢线圈短路 ③ 主极线圈短路 ④ 电枢铁芯片间绝缘损坏
		滚动轴承发热	① 轴承内油脂太多 ② 轴承与轴配合太松 ③ 滚珠磨损 ④ 润滑剂牌号不对 ⑤ 轴承缺油
绝缘电阻低	① 绝缘受潮 ② 绝缘被灰尘、油污和金属屑等污损 ③ 绝缘老化	机械振动	① 电枢不平衡 ② 基础不牢固 ③ 机组轴线定心不正确 ④ 轴瓦间隙太大
电枢绕组接地	① 电枢绕组槽部或端部绝缘损坏 ② 金属异物使线圈接地	滑动轴承发热	① 轴瓦研刮不好 ② 轴颈与轴瓦间隙太小 ③ 油环停滞, 压力润滑系统的油泵有故障, 油路不畅通 ④ 润滑油牌号不对, 油内含杂质和脏物
电枢绕组短路	① 匝间绝缘损坏 ② 换向片间或升高片间有铜屑、焊锡等金属物短接		
电枢绕组接触电阻大	电枢线圈和升高片焊接不良		
电枢绕组断路	电枢线圈和升高片开焊		

三、电枢绕组故障检查方法

1. 电枢绕组接地

(1) 测量换向片和轴间压降 见图 5.4.12。将低压直流电源接到相隔近一个极距的两换向片上, 用毫伏表测量换向片和轴间的压降, 接地点的压降值将为零或甚微。

(2) 测量换向片间压降 见图 5.4.13。将低压直流电源接到换向片和轴上, 用毫伏表测量相邻换向片间压降, 在邻近接地点的片间压降将方向相反, 但与电源相接的换向片除外。

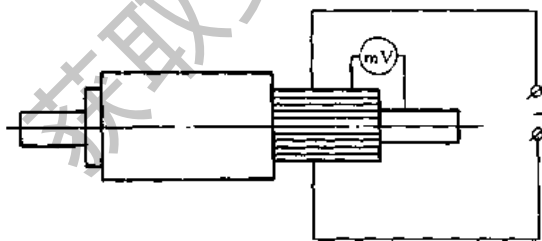


图 5.4.12 用测量换向片和轴间压降方法检查电枢绕组的接地点

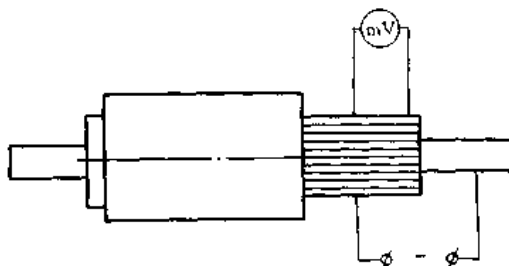


图 5.4.13 用测量换向片间压降方法检查电枢绕组的接地点

2. 电枢绕组短路、断路和开焊 (见图 5.4.14)。

在相隔近一个极距的两换向片上接入低压直流电源, 用直流毫伏表测量相邻两换向片间的压降, 正常情况

下，测得的电枢绕组各换向片间的压降一般应相等，其最大和最小值与平均值的偏差不大于±5%。当有匝间短路时，则压降值为零或甚微。若电枢线圈断路或焊接不良，则此相邻片间的压降显著增大。

但对于下述类型的电枢绕组，正常情况下片间压降不相等，但呈规律性变化。

① 小型直流电机中，分数匝的电枢线圈，相邻片间压降不等，但呈规律性变化。

② 带非全额均压线的波、叠绕组，正常情况下片间压降不等，但呈规律性变化。

③ 复叠单闭路电枢绕组，如在奇数和偶数的两换向片上接入低压直流电源，则相邻片间压降呈规律性变化。但在奇数的两换向片上接入低压直流电源，则片间压降的大小和方向无规律性地变化。

④ 复叠双闭路电枢绕组，正常情况下相邻片间压降为零。在检查绕组故障时，应隔片测量片间压降（如1—3，2—4，3—5，4—6……）。

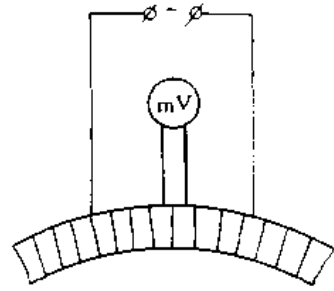


图 5.4.14 用测量换向片间压降方法检查电枢绕组的短路、断路和开焊

第七节 直流电机技术数据

Z2 系列直流电机技术数据见表 5.4.10。Z4 系列小型直流电机技术数据见表 5.4.11。

表 5.4.10 Z2 系列直流电机技术数据

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	最大励磁功率 /W	转动惯量 /(kg·m ²)	型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	最大励磁功率 /W	转动惯量 /(kg·m ²)				
Z2-11	0.8	110	9.82	3000	并	52	0.003	Z2-22	0.6	110	7.69	1000	并	64	0.0138				
		220	4.85			52				220	3.88			70					
	0.4	110	5.47	1500	并	39			1.7	115	14.8	2850	复	58					
		220	2.72			43				230	7.39			62					
Z2-12	1.1	110	13	3000	并	63	0.0038	Z2-22	0.8	115	6.95	1450	复	46	0.0138				
		220	6.41			62				230	3.48			49					
	0.6	110	7.74	1500	并	60			1.5	110/	11.1/	2850	并	60					
		220	3.84			62				160	9.38			60					
Z2-21	1.5	110	17.5	3000	并	61	0.0113	Z2-31	0.8	110/	5.92/	1450	并	60	0.0213				
		220	8.64			62				160	5.56/			60					
	0.8	110	9.96	1500	并	65			0.8	110/	5.92/	1450	并	60					
		220	4.94			68				160	5			52					
	0.4	110	5.59	1000	并	60			0.8	220/	2.96/	1450	他	49					
		220	2.755			67				320	2.5			52					
	Z2-21	1.1	115	9.57	2850	复			45	0.0113	Z2-31	3	110	33.2		3000	并	80	0.0213
			230	4.78					50				220	16.52				83	
		1.1	110/	8.15/	2850	并			47			1.5	110	17.6		1500	并	103	
			160	6.87					50				220	8.68				94	
0.6	110/	4.44/	1450	并	63	0.8	110	10	1000	并	88								
	160	3.75			63		220	4.95			88								
Z2-22	2.2	110	24.5	3000	并	77	0.138	Z2-31	0.6	110	7.9	750	并	90	0.0213				
		220	12.2			77				220	3.9			85					
	1.1	110	13.15	1500	并	88			2.4	115	20.85	2850	复	83					
		220	6.53			101				230	10.42			77					
1.1	115	9.56	1450	复	63	1.1	115	9.56	1450	复	63								
	230	4.78			71		230	4.78			71								
2.2	110/	16.3/	2850	并	120	2.2	110/	16.3/	2850	并	120								
	160	13.8			160		13.8	120											

续表

型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	最大励磁功率 /W	转动惯量 /(kg·m ²)	型号	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	励磁方式	最大励磁功率 /W	转动惯量 /(kg·m ²)
Z2-31	2.2	220/320	8.15/6.8	2850	并	121	0.0213	Z2-41	2.4	230	10.45	1450	他	115	0.0375
	1.1	110/160	8.15/6.88	1450	并	115		7.5	110	81.6	3000	并	120	0.045	
		220/320	4.075/3.44			137		4	110	44.8			170		
	1.1	230	4.78	1450	他	71		2.2	110	25.8	1000	并	172	0.0875	
						220	12.73	160							
Z2-32	4	110	43.8	3000	并	98	0.0263	Z2-42	1.5	110	18.8	750	并	174	0.045
		220	21.65			94				220	9.28			180	
	2.2	110	25	1500	并	131			6	115	52.2	2850	复	147	0.0875
		220	12.35			105				230	26.1			135	
	1.1	110	13.33	1000	并	83			3.2	115	27.8	1450	复	131	0.045
		220	6.58			100				230	13.9			128	
	0.8	110	10	750	并	83			5.5	110/160	40.75/34.4	2850	并	260	0.0875
		220	4.95			81				220/320	20.35/17.2			245	
	3.2	115	27.8	2850	复	125			3	110/160	22.2/18.8	1450	并	294	0.045
		230	13.9			120				220/320	11.1/9.38			300	
	1.7	115	14	1450	复	94			3.2	230	13.9	1450	他	128	0.0875
		230	7.4			82				220	53.5			222	
	3	110/160	22.2/18.8	2850	并	130			10	220	53.5	3000	并	222	0.0875
		220/320	11.1/9.38			141				5.5	110			61	
1.5	110/160	11.1/9.38	1450	并	153	5.5	220	30.3	1500	并	165	0.0875			
	220/320	5.55/4.69			157	3	110	34.5			1000		125		
1.7	230	7.4	1450	他	82	3	220	17.2	1000	并	165	0.0875			
Z2-41	5.5	110	61	3000	并	97	0.0375	Z2-51	2.2	110	26.15		750	并	148
		220	30.3			108			2.2	220	13	750	162		
	3	110	34.3	1500	并	116			8.5	115	74	2850	复	163	0.0875
		220	17			134			8.5	230	37			2850	
	1.5	110	18.05	1000	并	123			4.2	115	36.5	1450	复	156	0.0875
		220	8.9			130			4.2	230	18.25			1450	
	1.1	110	14.8	750	并	121			7.5	110/160	55.6/46.9	2850	并	286	0.0875
		220	6.99			122			7.5	220/320	27.8/23.4			2850	
	4.2	115	36.5	2850	复	140			4	110/160	29.6/25	1450	并	300	0.0875
		230	18.25			118				4	220/320			14.8/12.5	
	2.4	115	20.9	1450	复	115			4.2	230	18.25	1450	他	157	0.0875
		230	10.45			115				13	220			68.7	
	4	110/160	29.6/25	2850	并	202			7.5	110	82.2	1500	并	242	0.1
		220/320	14.8/12.5			185				7.5	220			40.8	
2.2	110/160	16.3/13.8	1450	并	216	4	110	45.2	1000	并	230	0.1			
	220/320	8.15/6.88			204		4	220			22.3		1000	230	
						Z2-52	3	110	35.2	750	并	172	0.1		

续表

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)	型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)
Z2-52	3	220	17.5	750	并	176	0.1	Z2-71	30	220	155	3000	并	410	0.25
	11	230	47.8	2850	复	196			17	110	180.6	1500	并	400	
	6	115	52.2	1450	复	172			17	220	90	1500	并	430	
		230	26.1			197			10	110	111.5	1000	并	300	
	10	110/160	74/62.5	2850	并	250			10	220	54.8	1000	并	370	
		220/320	37/31.25			341			7.5	110	85.2	750	并	310	
	5.5	110/160	40.7/34.4	1450	并	331			7.5	220	42.1	750	并	350	
		220/320	20.4/17.18			374			14	115	121.7	1450	复	380	
	6	230	26.1	1450	他	197			14	230	61	1450	复	360	
	Z2-61	17	220	88.9	3000	并			247	0.14	Z2-72	13	110/160	96.4/81.3	
10		110	108.2	1500	160		13	220/320	48.1/40.6			1450	并	680	
10		220	53.8	1500	并	260	14	115	121.7			他	380		
5.5		110	61.3	1000		190	14	230	61				1450	他	360
5.5		220	30.3	1000	并	283	40	220	205.6			3000	并	500	
4		110	46.6	750		176	22	110	232.6			1500	并	370	
4		220	23	750	并	190	22	220	115.4			1500	并	370	
14		230	61	2850		复	272	13	110			142.3	1000	并	430
8.5		115	74	1450	复	222	13	220	70.7			1000	并	420	
		230	37			174	10	110	112.1			750		并	340
13		220/320	48.1/40.7	2850	并	394	10	220	55.8			750	并	440	
7.5		110/160	55.6/46.9	1450		346	19	115	165.1			1450	复	500	
7.5		220/320	27.8/23.4	1450	并	363	19	230	82.55			1450	复	500	
8.5		230	37	1450		他	174	17	110/160				126/106	1450	并
Z2-62	22	220	113.7	3000	并	232	0.163	Z2-81	17	220/320	63/53.2	1450	并		720
	13	110	140	1500		146			17	110	185			1000	并
	13	220	68.7	1500	并	264			13	110	145	750	并		460
	7.5	110	82.6	1000		325			13	220	72.1		750	并	480
	7.5	220	41.3	1000	并	193			26	115	226	1450	复	530	
	5.5	110	62.9	750		197			26	230	113			1450	复
	5.5	220	31.25	750	并	293			14	115	121.8	960	复	550	
	19	230	82.6	2850		241			14	230	60.9			960	复
	11	115	95.6	1450	复	198			1450	110/160	163/137.5	1450	并	720	
		230	47.8	1450		220								22	220/320
	17	220/320	63/53.2	2850	并	494			1450	110/160	163/137.5	1450	并	720	
	10	110/160	74/62.5	1450		446								26	115
	10	220/320	37/31.2	1450	并	423			1450	230	113	1450	他	540	
	11	230	47.8	1450		他				220	14	230	60.9	960	他

续表

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)	型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)		
Z2-82	40	220	208	1500	并	770	0.8	Z2-92	55	220/320	203.5/172	1450	并	700	1.75		
	22	110	238	1000		460			他	67	230	291	1450	700			
	22	220	118.2	1000	500	他				35	115	304	960	570			
	17	110	187.2	750	500				他	35	230	152	960	650			
	17	220	93.2	750	560	并				100	220	511	1500	1070			
	35	115	304	1450	520				并	55	220	285.5	1000	670			
	35	230	152	1450	590	并		40		110	425	750	820				
	19	115	165	960	600			并	40	220	212	960	900				
	19	230	82.5	960	580	并			30	110	324.4	600	640				
	30	110/160	222/187.5	1450	490			复	30	220	161.5	960	810				
	30	220/320	111/93.75	1450	490	复			90	230	391	1450	690				
	35	115	304		520			复	48	115	418	960	740				
	35	230	152	1450	590	复			48	230	209	960	800				
	19	115	165	960	600			他	75	220/320	278/234.5	1450	790				
19	230	82.5	960	580	他	90	230		391	1450	690						
Z2-91	55	220	284	1500		并	770	1.48	Z2-101	48	115	418	960	他	740	2.58	
	30	110	319	1000	570		他			48	230	209	960	800			
	30	220	158.5	1000	540	他				75	220/320	278/234.5	1450	790			
	22	110	239.5	750	580		他			90	230	391	1450	690			
	22	220	119	750	590	他				48	115	418	960	740			
	17	110	193	600	560		他			48	230	209	960	800			
	17	220	95.5	600	570	他			75	220/320	278/234.5	1450	790				
	48	115	418	1450	670		他		90	230	391	1450	690				
	48	230	209	1450	650	他			48	115	418	960	740				
	26	115	226	960	650		他		48	230	209	960	800				
	26	230	113	960	620	他			75	220/320	278/234.5	1450	790				
	40	110/160	296/250	1450	520		他		90	230	391	1450	690				
	40	220/320	148/125	1450	520	他			48	115	418	960	740				
	48	115	418		670		他		48	230	209	960	800				
48	230	209	1450	650	他	75		220/320	278/234.5	1450	790						
26	115	226	960	650		他	90	230	391	1450	690						
26	230	113	960	620	他		48	115	418	960	740						
Z2-92	75	220	385	1500		并	870	1.75	Z2-102	125	220	635	1500	并	940	3	
	40	110	423	1000	650		并			75	220	385	1000	820			
	40	220	210	1000	620	并				55	220	289	750	920			
	30	110	323	750	620		并			40	110	431	600	930			
	30	220	160	750	770	并				40	220	214	600	1020			
	22	110	242.5	600	610		并			115	230	500	1450	1200			
	22	220	119.7	600	650	并			67	115	582	960	970				
	67	230	291	1450	700		并		67	230	291	960	1000				
	35	115	304	960	570	并			100	220/320	370.5/312.5	1450	900				
	35	230	152	960	650		并		115	230	500	1450	1200				
	55	110/160	407/344	1450	700	并			67	115	582	960	970				
	Z2-111	160	220	810	1500		并		1300	1.75	Z2-111	160	220	810	1500	并	1300
		100	220	511	1000	1150			并			100	220	511	1000	1150	
		75	220	387	750	1000	并					75	220	387	750	1000	
55		220	289	600	980	并		55	220			289	600	980			
145		220	631	1450	1300		并	145	220			631	1450	1300			
90		230	391	960	990	并		90	230			391	960	990			
125		220/320	463/391	1450	960		并	125	220/320		463/391	1450	960				
155		440	392	1500		并		155	440		392	1500					
100		440	256	1000			并	100	440		256	1000					
145		460	315.5	1450		他		145	460		315.5	1450					
145		230	631	1450	1300		他	145	230		631	1450	1300				
90		230	391	960		他		90	230		391	960					
145		460	315.5	1450			他	145	460		315.5	1450					
Z2-112		200	220	1010	1500	并		1620	5.75		Z2-112	200	220	1010	1500	并	1620
	125	220	635	1000	1380												

续表

型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)	型号	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁方式	最大励磁功率/W	转动惯量/(kg·m ²)
ZZ-112	180	230	783	1450	复	1500	5.75	ZZ-112	175	460	380.5	1450	复		5.75
	115	230	500	960		1500			115	460	250	960	复		
	160	220/320	593/500	1450	并	1240			180	230	783	1450	他	1500	
	195	440	490	1500					115	230	500	960	他	1500	
	125	440	316	1000	并				175	460	380.5	1450			
									115	460	250	960	他		

表 5.4.11 Z4 系列小型直流电机技术数据

型号	额定功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	励磁		电枢回路电阻 Ω(20℃)	电枢电感/mH	磁场电感/H	效率/%	转动惯量/(kg·m ²)	重量/kg
					V	W						
Z4-100-1	2.2	440	7	1500/3000	180	315	10.0	90	18	70.6	0.044	60
-112-21	3	440	9.5	1500/3000	180	320	6.4	64	35	72.9	0.076	64
-112-22	4	440	11.5	1500/3000	180	350	4.7	45	45	76	0.093	82
-112-41	5.5	440	15.5	1500/3000	180	500	1.0	10	7	83.4	0.128	84
-112-42	7.5	440	21	1500/3000	180	570	2.2	25	8	78.7	0.156	92
-132-1	11	440	30	1500/3000	180	650	1.37	20	10	80.8	0.32	123
-132-2	15	440	39.5	1500/3000	180	730	0.85	15	11	83.3	0.4	142
-132-3	18.5	440	48	1500/3000	180	800	0.59	10.5	8	84.7	0.48	162
-160-11	22	440	58.1	1500/3000	180	780	0.5999	10.4	7.7	83.59	0.64	202
4160-21	18.5	440	50.3	1000/2000	180	830	0.8695	17.7	8	79.57	0.76	224
-160-31	22	440	58.7	1000/2000	180	930	0.6759	15.2	8.2	82.4	0.88	250
-180-11	37	440	95	1500/3000	180	1050	0.2634	4.9	7.67	86.51	1.52	280
-180-21	45	440	115	1500/2800	180	1200	0.217	4.7	6.3	86.97	1.72	310
-180-31	37	440	97.5	1000/2000	180	1430	0.346	6.8	6.34	83.58	1.92	340
-180-41	55	440	140	1500/3000	180	1670	0.142	2.7	6.01	87.06	2.2	370
-200-11	45	440	117	1000/2000	180	1100	0.2672	7.9	7.07	85.463	3.68	445
-200-21	75	440	188	1500/3000	180	1200	0.094	2.6	9.84	89.6	4.2	490
-200-31	55	440	140	1000/2000	180	1300	0.1731	4.5	8.7	87.09	4.8	540
-225-11	110	440	275	1500/3000	180	2080	0.065	1.9	6.15	89.44	5	650
-225-21	55	440	147	600/1200	180	2320	0.2622	8.9	5.66	82.39	5.6	700
-225-31	90	440	227	1000/2000	180	2520	0.096	3.2	5.27	88	6.2	786
-250-11	110	440	280	1000/2000	180	2420	0.0866	2.3	5.7	88.09	8.8	850
-250-21	90	440	227	750/2250	180	2680	0.1287	3.6	5.63	86.27	10	930
-250-31	132	440	334	1000/2000	180	2820	0.0698	2.1	8.86	88.34	11.2	1030
-250-42	160	440	401	1000/2000	180	2980	0.0484	1.4	6.93	89.42	12.8	1140
-280-11	250	440	615	1500/1800	180	3000	0.0214	0.65	6.26	91.61	16.4	1180
-280-21	200	440	498	1000/2000	180	3300	0.0375	1.2	5.87	90.13	18.4	1300
-280-31	220	440	551	1000/2000	180	3600	0.0308	1.0	5.54	90.63	21.2	1450
-280-42	250	440	616	1000/1800	180	4000	0.0249	0.9	5.21	91.05	24	1600
-315-11	160	440	409	600/1900	180	3850	0.0692	0.96	7.53	87.44	21.2	1770
-315-21	185	440	466	600/1600	180	4200	0.0518	0.83	5.13	88.47	24	1980
-315-31	132	440	343	400/1200	180	4650	0.0981	1.5	6.37	85.25	27.2	2170
-315-41	185	440	468	500/1500	180	5200	0.055	0.9	7.58	88.34	30.8	2400
-355-11	200	440	507	500/1500	180	4400	0.05361	1.1	18.6	88.89	42	2770
-355-22	250	440	626	500/1600	180	4800	0.03733	0.91	8.84	89.46	46	3050
-335-32	450	440	1098	750/1500	180	5200	0.01330	0.28	4.62	92.06	52	3370
-355-42	400	440	982	600/1600	180	5700	0.01712	0.37	4.35	91.21	60	3720

第五章 交流调速电动机及调速器

随着经济的发展、自动化程度的不断提高,调速技术得到愈来愈广泛的应用。需要调速的生产机械,其中一部分是为了满足生产工艺、提高产品质量的需要的,如轧钢、拉丝、印染、大惯量机械的起动等;另一类则是在满足生产需求的同时为节约能源而设置的,通风机因风量过大、供水系统因管网压力过高,改阀门调节为拖动电动机的转速调节等就属这类调节方式。

在众多的调速产品中,由于设计不同,其机械特性也不尽相同,使用范围亦有所区别。在产品的选用过程中应根据不同的负载特性和调速范围,尽量做到负载机械与动力机械的性能匹配,使系统运行在理想的工作状态,达到经济运行的目的。

第一节 变极调速三相异步电动机

变极调速三相异步电动机是改变其定子绕组的接法,从而改变电动机定子旋转磁场的极对数,以改变电动机的转速。

变极多速电动机具有一套或两套独立绕组,通过不同的改接方式,使电动机具有两种或两种以上的转速。它广泛适用于金属切削机床以及其他各工业部门,驱动具有两种或多种转速的负载机械运行。

变极多速电动机不同的变极比具有不同的机械特性,它可以是恒功率调速、恒转矩调速或变转矩调速。因此在选用变极多速电动机时应注意输出特性与负载特性的匹配,以达到安全、经济运行的效果。

一、变极调速的原理及方法

三相异步电动机的同步转速 $n_0 = 60f/p$, 改变电动机磁极对数 p , 就可以改变其同步转速 n_0 , 从而实现电动机在某一负载下的运行转速发生变化。

三相变极多速电动机是通过改变定子三相绕组的连接方式,来改变旋转磁场极对数 p 的。现以单套定子绕组取其一相以 4 极变 2 极为例,简要说明变极调速的原理。

在一套绕组中,将部分定子绕组反接,以改变其电流方向来改变极对数,如图 5.5.1 所示。图 5.5.1 (a) 为两个线圈按首尾顺序正向串联,设电流方向如图示,根据右手螺旋定则 $1U_1-1U_2$ 、 $2U_1-2U_2$ 分别产生 N 极, $1U_2-2U_1$ 、 $2U_2-1U_1$ 分别产生 S 极,由此可以得到 4 极 ($2p = 4$) 的磁极分布,设得到的同步转速为 n_0 ; 图 5.5.1 (b) 中将线圈 2 首尾交换与线圈 1 串联,图 5.5.1 (c) 中将线圈 2 首尾交换后与线圈 1 并联,同理可以分析得出,这两种方法得到的是二极 ($2p = 2$) 的磁极分布,在这种情况下同步转速为 $2n_0$ 。

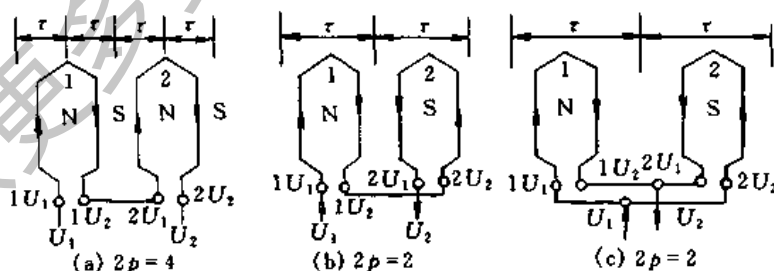


图 5.5.1 改变定子绕组极对数的方法
(a) 顺序串联; (b) 反序串联; (c) 反序并联

由此可见,只要改变定子绕组的接线方法,就可以成倍地改变磁极对数 p , 电动机的同步转速也作相应的改变。利用类似的方法可制成三速、四速等多速电动机。对笼式转子异步电动机才能采用改变定子绕组接法,实现电动机的变极调速。对绕线转子异步电动机,必须定、转子同时换接才能实现变极调速,因此一般不采用这种调速方法。

必须指出,由于对称三相转子绕组之间的电角度为 120° , 例如当 $p = 1$ 时, U 、 V 、 W 三相绕相在圆周分布

的电角度分别为 0° 、 120° 、 240° ，当变换成极对数 $p=2$ 时，上述三相绕组 U、V、W 在空间分布的电角度依次为 0° 、 $2 \times 120^\circ$ 、 $2 \times 240^\circ$ ，即为 0° 、 240° 、 120° ($480^\circ - 360^\circ$)，这就是说在变极后 V、W 的相序被调换了，如果电源相序不变，则电动机便反转了，因此在对电动机进行变极调速时应同时调换电源相序，才能保证电动机变极后的旋转方向不变。

变极电动机绕组的改接方法有两种，即反接法和换向法。反接法是指在不改变定子绕组相属的情况下，仅在各相内部改变一部分绕组连接方向。换向法是将部分绕组反接的同时，适当改变某些绕组的相属达到变极的目的，并使各极对数都有较高的绕组分布系数。

图 5.5.2 表示变极电动机常用的两种三相绕组改接方法，(a) 图是一个星形改接成两个并联的星形；(b) 图是一个三角形改为两个星形的连接。

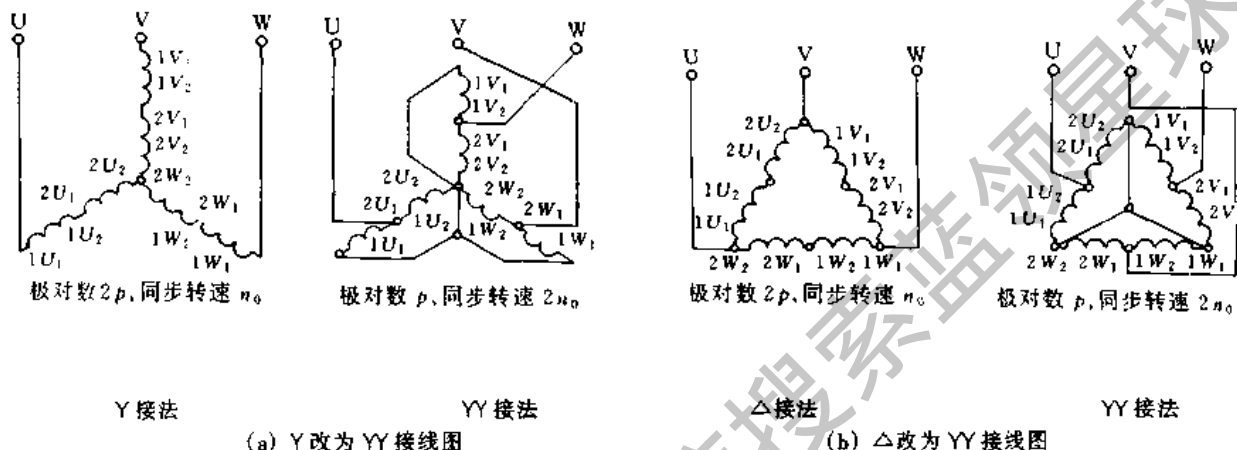


图 5.5.2 变极电机常用定子绕组改接方法

按图 5.5.2 两种方法改接后电动机的机械特性如图 5.5.3 所示。

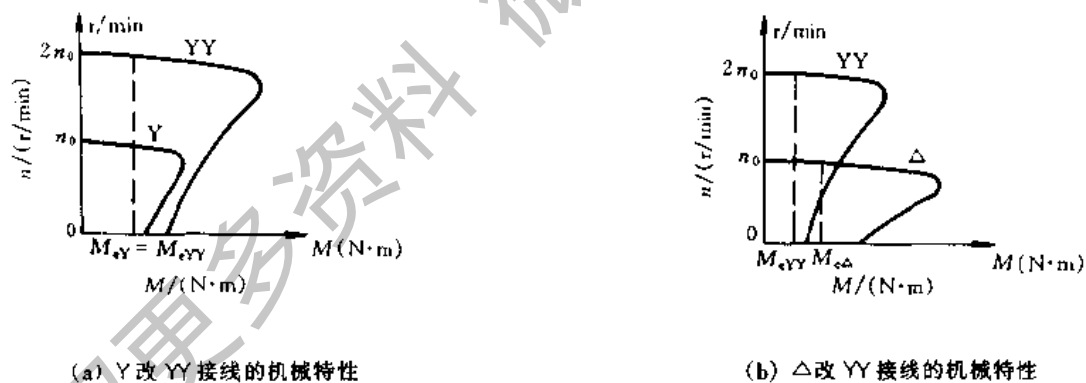


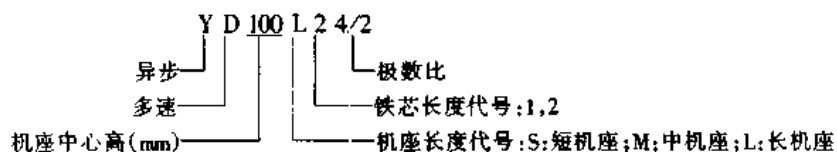
图 5.5.3 Y 改 YY、Δ 改 YY 接法的机械特性曲线

还应指出，由于具有两套独立绕组的多速电动机，当接成 Y 接法的一套绕组通电运转时，接成 Δ 接法的另一套绕组在闭合回路中便产生环流。为避免环流出现，这套 Δ 接法的绕组应变换成开口的三角接法。

二、YD 系列变极多速三相异步电动机

YD 系列 (IP44) 变极多速三相异步电动机是 Y 系列三相异步电动机的派生系列。产品标准为 JB/T 7127—93 《YD 系列 (IP44) 变极多速三相异步电动机技术条件》。

1. 型号说明



2. 多速电动机的接线

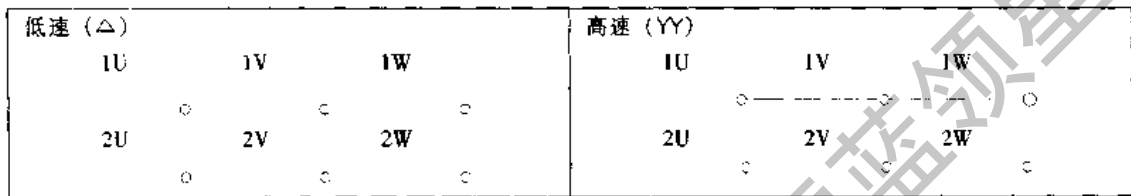
① 各种速比下变极电动机的绕组接法和出线端子数目见表 5.5.1。

表 5.5.1 YD 系列变极多速电动机绕组连接方式

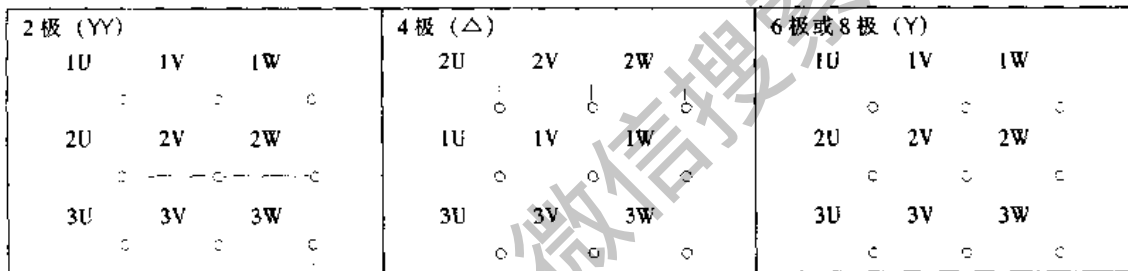
速比	同步转速/(r/min)				
	1500/3000	1000/1500	750/1500	750/1000	500/1000
接法	△/YY				
出线端数	6				
速比	同步转速/(r/min)				
	1000/1500/3000	750/1500/3000	750/1000/1500	500/750/1000/1500	
接法	Y/△/YY		△/Y/YY	△/△/YY/YY	
出线端数	9			12	

注：对 250 及以上机座采用双套绕组的电动机，三速时允许采用 10 个出线端，四速时允许采用 14 个出线端。

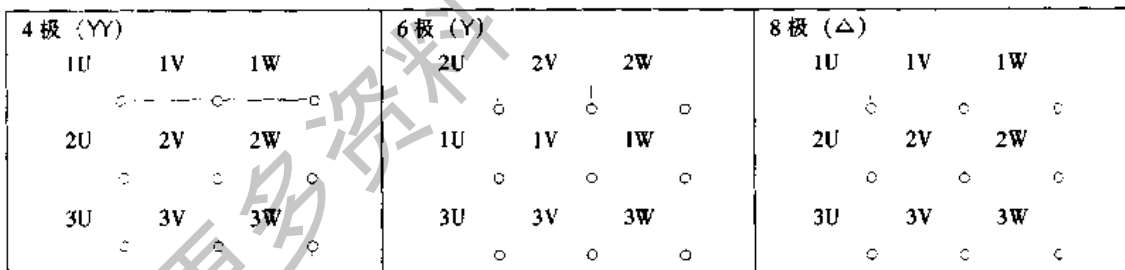
② YD 系列变极多速三相异步电动机引出线端子接线图见图 5.5.4。



(a) 双速电机



(b) 三速电机



(c) 四速电机

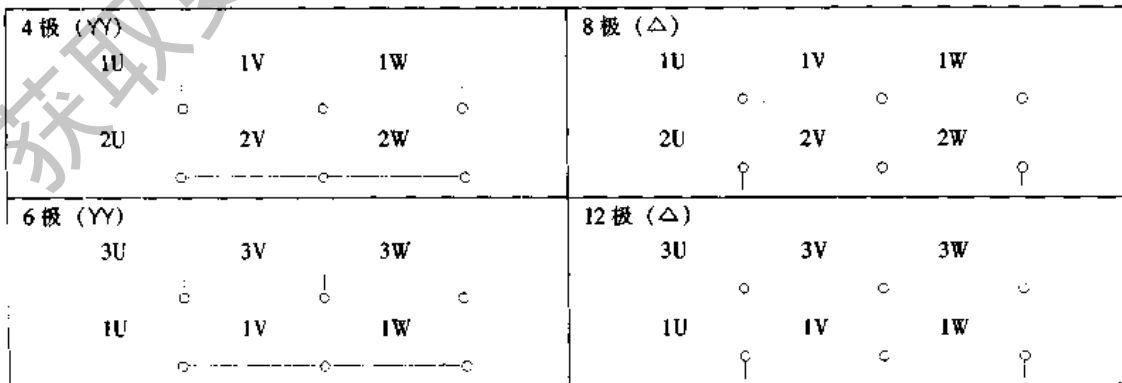


图 5.5.4 YD 系列变极多速三相异步电动机引接线图

3. 主要技术参数

① YD 系列变极多速三相异步电动机各机座号不同极数时同步转速与输出功率对应关系见表 5.5.2。

表 5.5.2 YD 系列变极电动机转速与功率对应关系表

机座号	同步转速/(r/min)								
	1500/3000	1000/1500	750/1500	750/1000	500/1000	1000/1500/ 3000	750/1500/ 3000	750/1000/ 1500	500/750/1000/ 1500
	功率/kW								
180 ₂	0.45/0.55								
	0.55/0.75								
90S	0.85/1.1	0.65/0.85		0.35/0.45					
90L	1.3/1.8	0.85/1.1	0.45/0.75	0.45/0.65					
100L ₂	2/2.4	1.3/1.8	0.85/1.5	0.75/1.1		0.75/1.3/1.8			
	2.4/3	1.5/2.2							
112M	3.3/4	2.2/2.8	1.5/2.4	1.3/1.8		1.1/2/2.4	0.65/2/2.4	0.85/1/1.5	
132S	4.5/5.5	3/4	2.2/3.3	1.8/2.4		1.8/2.6/3	1/2.6/3	1.1/1.5/1.8	
132M ₂	6.5/8	4/5.5	3/4.5	2.6/3.7		2.2/3.3/4	1.3/3.7/4.5	1.5/2/2.2	
						2.6/4/5		1.8/2.6/3	
160M	9/11	6.5/8	5/7.5	4.5/6	2.6/5	3.7/5/6	2.2/5/6	3.3/4/5.5	
160L	11/14	9/11	7/11	6/8	3.7/7	4.5/7/9	2.8/7/9	4.5/6/7.5	
180M	15/18.5	11/14		7.5/10					
180L	18.5/22	13/16	11/17	9/12	5.5/10			7/9/12	3.3/5/6.5/9
200L ₂	26/30	18.5/22	14/22	12/17	7.5/13			10/13/17	4.5/7/8/11
			17/26	15/20	9/15	5.5/8/10/13			
225S	32/37	22/28						14/18.6/24	
225M	37/45	26/32	24/34		12/20			17/22/28	7/11/13/20
250M	45/52	32/42	30/42		15/24			24/26/34	9/14/16/26
280S	60/72	42/55	40/55		20/30			30/34/42	11/18.5/ 20/34
280M	72/82	55/67	47/67		24/37			34/37/50	13/22/24/40

注：S、M、L 后面的数字 1、2 分别代表同一机座号和速比下不同的功率。

② 表 5.5.3 ~ 表 5.5.7 分别为 4/2 极、6/4 极、8/4 极、8/6 极、12/6 极变极双速异步电动机技术参数。

表 5.5.3 YD 系列 4/2 极变极异步电动机技术参数

型号	极数	功率/kW	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量/kg
YD801-4/2	4	0.45	380	1.4	1420	6.5	1.5	1.8	17
	2	0.55		1.5	2860	7	1.7		
YD802-4/2	4	0.55	380	1.7	1420	6.5	1.6	1.8	18
	2	0.75		2.0	2860	7	1.8		
YD90S-4/2	4	0.85	380	2.3	1430	6.5	1.8	1.8	22
	2	1.1		2.8	2850	7	1.9		
YD90L-4/2	4	1.3	380	3.3	1430	6.5	1.8	1.8	27
	2	1.8		4.3	2850	7	2		
YD100L1-4/2	4	2	380	4.8	1430	6.5	1.7	1.8	34
	2	2.4		5.6	2850	7	1.9		
YD106L2-4/2	4	2.4	380	5.6	1430	6.5	1.6	1.8	38
	2	3		6.7	2850	7	1.7		
YD112M-4/2	4	3.3	380	7.4	1450	6.5	1.9	1.8	43
	2	4		8.6	2890	7	2		
YD132S-4/2	4	4.5	380	9.8	1450	6.5	1.7	1.8	68
	2	5.5		11.9	2860	7	1.8		

续表

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电 流 /A	转 速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD132M-4/2	4	6.5	380	13.8	1450	6.5	1.7	1.8	81
	2	8		17.1	2880	7	1.8		
YD160M-4/2	4	9	380	18.5	1460	6.5	1.6	1.8	123
	2	11		22.9	2920	7	1.8		
YD160L-4/2	4	11	380	22.3	1460	6.5	1.7	1.8	144
	2	14		28.8	2920	7	1.9		
YD180M-4/2	4	15	380	29.4	1470	6.5	1.8	1.8	182
	2	18.5		36.7	2940	7	1.9		
YD180L-4/2	4	18.5	380	35.9	1470	6.5	1.6	1.8	190
	2	22		42.7	2940	7	1.8		
YD200L-4/2	4	26	380	49.9	1470	6.5	1.4	1.8	270
	2	30		58.3	2950	7	1.6		
YD225S-4/2	4	32	380	60.7	1480	6.5	1.4	1.8	318
	2	37		71.1	2960	7	1.6		
YD225M-4/2	4	37	380	69.4	1480	6.5	1.6	1.8	354
	2	45		86.4	2960	7	1.6		
YD250M-4/2	4	45	380	84.4	1480	6.5	1.6	1.8	427
	2	52		98.7	2960	7	1.6		
YD280S-4/2	4	60	380	111.3	1490	6.5	1.4	1.8	597
	2	72		135.1	2970	7	1.5		
YD280M-4/2	4	72	380	133.6	1480	6.5	1.4	1.8	667
	2	82		152.2	2970	7	1.5		

表 5.5.4 YD 系列 6/4 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电 流 /A	转 速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD90S-6/4	6	0.65	380	2.2	920	6	1.6	1.8	23
	4	0.85		2.3	1420	6.5	1.4		
YD90L-6/4	6	0.85	380	2.8	930	6	1.6	1.8	25
	4	1.1		3	1400	6.5	1.5		
YD100L-6/4	6	1.3	380	3.8	940	6	1.7	1.8	34
	4	1.8		4.4	1440	6.5	1.4		
YD100L2-6/4	6	1.5	380	4.3	940	6	1.6	1.8	38
	4	2.2		5.4	1440	6.5	1.4		
YD112M-6/4	6	2.2	380	5.7	960	6	1.8	1.8	49
	4	2.8		6.7	1440	6.5	1.5		
YD132S-6/4	6	3	380	7.7	970	6	1.8	1.8	65
	4	4		9.5	1440	6.5	1.7		
YD132M-6/4	6	4	380	9.8	970	6	1.6	1.8	84
	4	5.5		12.3	1440	6.5	1.4		
YD160M-6/4	6	6.5	380	15.1	970	6	1.5	1.8	119
	4	8		17.6	1460	6.5	1.5		
YD160L-6/4	6	9	380	20.6	970	6	1.6	1.8	147
	4	11		23.7	1460	6.5	1.7		
YD180M-6/4	6	11	380	25.9	980	6	1.6	1.8	192
	4	14		29.8	1470	6.5	1.7		

续表

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD180L-6/4	6	13	380	29.4	980	6	1.7	1.8	224
	4	16		33.6	1470	6.5	1.7		
YD200L-6/4	6	18.5	380	41.4	980	6.5	1.6	1.8	250
	4	22		44.9	1460	7	1.5		
YD225S-6/4	6	22	380	44.2	980	6.5	1.8	1.8	330
	4	28		56.5	1470	7	1.8		
YD225M-6/4	6	26	380	52.2	980	6.5	1.5	1.8	344
	4	32		64.6	1470	7	1.3		
YD250M-6/4	6	32	380	62.1	980	6.5	1.5	1.8	479
	4	42		81	1480	7	1.3		
YD280S-6/4	6	42	380	81.5	980	6.5	1.5	1.8	614
	4	55		106.7	1480	7	1.3		
YD280M-6/4	6	55	380	106.7	990	6.5	1.6	1.8	710
	4	67		131.5	1480	7	1.3		

表 5.5.5 YD 系列 8/4 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD90L-8/4	8	0.45	380	1.9	700	5.5	1.6	1.8	25
	4	0.75		1.82	1420	6.5	1.4		
YD100L-8/4	8	0.85	380	3.1	700	5.5	1.6	1.8	38
	4	1.5		3.5	1410	6.5	1.4		
YD112M-8/4	8	1.5	380	5.0	700	5.5	1.7	1.8	49
	4	2.4		5.3	1410	6.5	1.7		
YD132S-8/4	8	2.2	380	7.0	720	5.5	1.5	1.8	63
	4	3.3		7.1	1440	6.5	1.7		
YD132M-8/4	8	3	380	9.0	720	5.5	1.5	1.8	80
	4	4.5		9.4	1440	6.5	1.6		
YD160M-8/4	8	5	380	13.9	730	5.5	1.5	1.8	119
	4	7.5		15.1	1450	6.5	1.6		
YD160L-8/4	8	7	380	19	730	5.5	1.5	1.8	147
	4	11		21.8	1450	6.5	1.6		
YD180L-8/4	8	11	380	26.7	730	5.5	1.5	1.8	254
	4	17		32.3	1470	6.5	1.5		
YD200L1-8/4	8	14	380	33.0	740	5.5	1.8	1.8	270
	4	22		41.3	1470	6.5	1.7		
YD200L-8/4	8	17	380	40.1	740	5.5	1.5	1.8	301
	4	26		48.8	1470	6.5	1.7		
YD225M-8/4	8	24	380	53.2	740	5.5	1.5	1.8	340
	4	34		66.7	1470	6.5	1.5		
YD250M-8/4	8	30	380	64.9	740	5.5	1.6	1.8	479
	4	42		78.8	1480	6.5	1.7		
YD280S-8/4	8	40	380	83.5	740	5.5	1.6	1.8	585
	4	55		102	1480	6.5	1.7		
YD280M-8/4	8	47	380	96.9	740	5.5	1.6	1.8	730
	4	67		122.9	1480	6.5	1.7		

表 5.5.6 YD 系列 8/6 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD90S-8/6	8	0.35	380	1.6	700	5	1.8	1.8	23
	6	0.45		1.4	930	6	2		
YD90L-8/6	8	0.45	380	1.9	700	5	1.7	1.8	25
	6	0.65		1.9	920	6	1.8		
YD100L-8/6	8	0.75	380	2.9	710	5	1.8	1.8	38
	6	1.1		3.1	950	6	1.9		
YD112M-8/6	8	1.3	380	4.5	710	5	1.7	1.8	51
	6	1.8		4.8	950	6	1.9		
YD132S-8/6	8	1.8	380	5.8	730	5	1.6	1.8	63
	6	2.4		6.2	970	6	1.9		
YD132M-8/6	8	2.6	380	8.2	730	5	1.9	1.8	84
	6	3.7		9.4	970	6	1.9		
YD160M-8/6	8	4.5	380	13.3	730	5	1.6	1.8	119
	6	6		14.7	980	6	1.9		
YD160L1-8/6	8	6	380	17.5	730	5	1.6	1.8	147
	6	8		19.4	980	6	1.9		
YD180M-8/6	8	7.5	380	21.9	730	5	1.9	1.8	195
	6	10		24.2	980	6	1.9		
YD180L-8/6	8	9	380	24.8	730	5	1.8	1.8	224
	6	12		28.3	980	6	1.8		
YD200L1-8/6	8	12	380	32.6	730	5	1.8	1.8	250
	6	17		39.1	980	6	2		
YD200L2-8/6	8	15	380	40.3	730	5	1.8	1.8	301
	6	20		45.4	980	6	2		

表 5.5.7 YD 系列 12/6 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD160M-12/6	12	2.6	380	11.6	480	4	1.2	1.8	119
	6	5		11.9	970	6	1.4		
YD160L-12/6	12	3.7	380	16.1	480	4	1.2	1.8	147
	6	7		15.8	970	6	1.4		
YD180L-12/6	12	5.5	380	19.6	490	4	1.3	1.8	224
	6	10		20.5	980	6	1.3		
YD200L1-12/6	12	7.5	380	24.5	490	4	1.5	1.8	270
	6	13		26.4	970	6	1.5		
YD200L2-12/6	12	9	380	28.9	490	4	1.5	1.8	301
	6	15		30.1	980	6	1.5		
YD225M-12/6	12	12	380	35.2	490	4	1.5	1.8	292
	6	20		39.7	980	6	1.5		
YD250M-12/6	12	15	380	42.1	490	4	1.5	1.8	408
	6	24		47.1	990	6	1.5		
YD280S-12/6	12	20	380	54.8	490	4	1.5	1.8	536
	6	30		58.9	990	6	1.5		
YD280M-12/6	12	24	380	63.7	490	4	1.5	1.8	585
	6	37		72.6	990	6	1.5		

③ 表 5.5.8 ~ 表 5.5.10 分别为 6/4/2 极、8/4/2 极、8/6/4 极变极三速异步电动机技术参数。

表 5.5.8 YD 系列 6/4/2 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD100L-6/4/2	6	0.75	380	2.6	950	5.5	1.8	1.8	38
	4	1.3		3.7	1450	6	1.6		
	2	1.8		4.5	2900	7	1.6		
YD112M-6/4/2	6	1.1	380	3.5	960	5.5	1.7	1.8	43
	4	2		5.1	1450	6	1.4		
	2	2.4		5.8	2920	7	1.6		
YD132S-6/4/2	6	1.8	380	5.1	970	5.5	1.4	1.8	68
	4	2.6		6.1	1460	6	1.3		
	2	3		7.4	2910	7	1.7		
YD132M1-6/4/2	6	2.2	380	6	970	5.5	1.3	1.8	78
	4	3.3		7.5	1460	6	1.3		
	2	4		8.8	2910	7	1.7		
YD132M2-6/4/2	6	2.6	380	6.9	970	5.5	1.5	1.8	84
	4	4		9	1460	6	1.4		
	2	5		10.8	2910	7	1.7		
YD160M-6/4/2	6	3.7	380	9.5	980	5.5	1.5	1.8	124
	4	5		11.2	1470	6	1.3		
	2	6		13.2	2930	7	1.4		
YD160L-6/4/2	6	4.5	380	11.4	980	5.5	1.5	1.8	145
	4	7		15.1	1470	6	1.2		
	2	9		18.8	2930	7	1.3		

表 5.5.9 YD 系列 8/4/2 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD112M-8/4/2	8	0.65	380	2.7	700	4.5	1.4	1.8	45
	4	2		5.1	1450	6	1.3		
	2	2.4		5.8	2920	7	1.2		
YD132S-8/4/2	8	1	380	3.6	720	4.5	1.4	1.8	68
	4	2.6		6.1	1460	6	1.2		
	2	3		7.1	2910	7	1.4		
YD132M-8/4/2	8	1.3	380	4.6	720	4.5	1.5	1.8	81
	4	3.7		8.4	1460	6	1.3		
	2	4.5		10	2910	7	1.4		
YD160M-8/4/2	8	2.2	380	7.6	720	4.5	1.4	1.8	124
	4	5		11.2	1440	6	1.3		
	2	6		13.2	2910	7	1.4		
YD160L-8/4/2	8	2.8	380	9.2	720	4.5	1.3	1.8	145
	4	7		15.1	1440	6	1.2		
	2	9		18.8	2910	7	1.3		

表 5.5.10 YD 系列 8/6/4 极变极异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD112M-8/6/4	8	0.85	380	3.7	710	5.5	1.7	1.8	45
	6	1.0		3.1	960	6.5	1.3		
	4	1.5		3.5	1440	7	1.5		
YD132S-8/6/4	8	1.1	380	4.1	730	5.5	1.4	1.8	65
	6	1.5		4.2	970	6.5	1.3		
	4	1.8		4.0	1460	7	1.3		
YD132M1-8/6/4	8	1.5	380	5.2	730	5.5	1.3	1.8	78
	6	2		5.4	970	6.5	1.5		
	4	2.2		4.9	1460	7	1.4		
YD132M2-8/6/4	8	1.8	380	6.1	730	5.5	1.5	1.8	84
	6	2.6		6.8	970	6.5	1.5		
	4	3		6.5	1460	7	1.5		
YD160M-8/6/4	8	3.3	380	10	730	5.5	1.7	1.8	120
	6	4		9.9	970	6.5	1.4		
	4	5.5		11.6	1460	7	1.5		
YD160L-8/6/4	8	4.5	380	13.8	730	5.5	1.6	1.8	147
	6	6		14.5	970	6.5	1.6		
	4	7.5		15.6	1460	7	1.5		
YD180L-8/6/4	8	7	380	20.2	740	6.5	1.6	1.8	205
	6	9		20.6	980	7	1.5		
	4	12		24.1	1470	7	1.4		
YD200L-8/6/4	8	10	380	24.8	740	6.5	1.6	1.8	301
	6	13		28.4	980	7	1.5		
	4	17		33.4	1470	7	1.4		
YD225S-8/6/4	8	14	380	34.8	740	6.5	1.6	1.8	330
	6	18.5		39.9	990	7	1.6		
	4	24		46.6	1480	7	1.4		
YD225M-8/6/4	8	17	380	42.4	740	6.5	1.6	1.8	360
	6	22		45.2	980	7	1.6		
	4	28		54.3	1480	7	1.4		
YD250M-8/6/4	8	24	380	55.2	740	6.5	1.5	1.8	490
	6	26		52.8	990	7	1.6		
	4	34		63.8	1480	7	1.4		
YD280S-8/6/4	8	30	380	68.3	740	6.5	1.5	1.8	667
	6	34		67.5	990	7	1.6		
	4	42		77.9	1480	7	1.4		
YD280M-8/6/4	8	34	380	77.4	740	6.5	1.4	1.8	740
	6	37		73.4	990	7	1.5		
	4	50		92.8	1480	7	1.4		

④ YD 系列 12/8/6/4 极变极四速异步电动机技术参数见表 5.5.11。

表 5.5.11 YD 系列 12/8/6/4 极变极四速异步电动机技术参数

型 号	极数	功率 /kW	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	质量 /kg
YD180L-12/8/6/4	12	3.3	380	13	480	5	1.6	1.8	210
	8	5		16	740	6	1.5		
	6	6.5		14	970	6	1.3		
	4	9		19	1470	7	1.3		
YD200L1-12/8/6/4	12	4.5	380	17	490	5	1.3	1.8	285
	8	7		20	740	6	1.3		
	6	8		17	980	6	1.3		
	4	11		23	1480	7	1.3		
YD200L2-12/8/6/4	12	5.5	380	20	490	5	1.3	1.8	301
	8	8		22	740	6	1.3		
	6	10		21	980	6	1.3		
	4	13		27	1480	7	1.3		
YD225M-12/8/6/4	12	7	380	21	490	5	1.6	1.8	340
	8	11		27	740	6	1.6		
	6	13		26	980	6	1.5		
	4	20		39	1480	7	1.3		
YD250M-12/8/6/4	12	9	380	26	490	5	1.6	1.8	479
	8	14		34	740	6	1.6		
	6	16		33	990	6	1.5		
	4	26		49	1480	7	1.3		
YD280S-12/8/6/4	12	11	380	32	490	5	1.6	1.8	650
	8	18.5		43	740	6	1.6		
	6	20		41	990	6	1.5		
	4	34		65	1490	7	1.3		
YD280M-12/8/6/4	12	13	380	37	490	5	1.7	1.8	730
	8	22		51	740	6	1.7		
	6	24		49	990	6	1.6		
	4	40		75	1490	7	1.5		

第二节 电磁调速电动机

电磁调速电动机是一种控制简单的交流调速电动机，由笼式异步电动机、涡流离合器（又称电磁转差离合器）和测速发电机组成。配以专用调速控制器，组成一套具有测速负反馈系统的交流调速控制装置，能在比较广泛的范围内进行平滑无级调速。

调速控制器具有多种规格型号，且功能各异，有通用型、智能型、高精度、多台同操、张力控制、延时控制等。调速电机接上不同的控制器则具有不同的功能，可满足钢铁、电站、电缆、化工、石油、建材、纺织、轻工、机械等不同工业部门的恒转矩或递减转矩负载机械作手动、自动调速运行。

一、结构原理

1. 结构简述

电磁调速电动机的基本结构如图 5.5.5 所示。

图中导磁体、磁极、磁轭、电枢均由低碳钢铸成，是磁路的组成部分。机座用灰铸铁铸成，是支撑拖动电动机与导磁体组件的结构件。励磁绕组由高强度聚酯

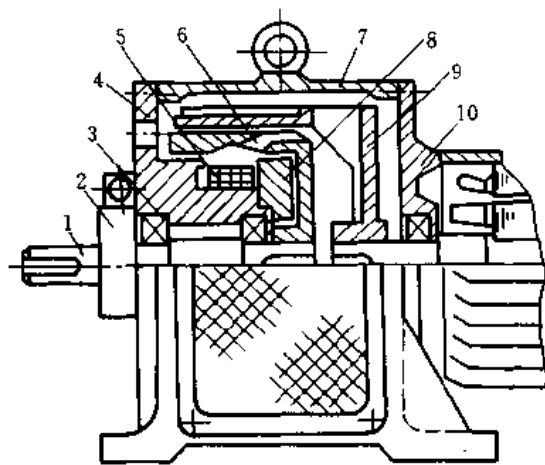


图 5.5.5 电磁调速电动机结构简图
1—轴；2—测速发电机；3—轴承；4—导磁体；
5—励磁绕组；6—磁极；7—机座；8—磁轭；
9—电枢；10—拖动电动机

漆包线绕成。

2. 基本原理

电磁调速电动机的调速功能是由涡流离合器来完成的，它的基本原理是基于电磁感应原理。圆筒形电枢套在拖动电机的输出轴上，在离合器工作时，与拖动电机转子以相同的转速旋转，它是电磁功率的输入元件，当励磁绕组通入直流电后，在导体—磁轭—齿极—电枢中形成一闭合磁路，由于磁极是一爪形轮结构，因此在工作气隙中便产生一交变磁场，旋转电枢因切割磁力线而产生感应电动势，从而在电枢中产生感应电流即涡流。涡流所受的磁场力产生切向转矩，这一转矩即为拖动电机的负载转矩，其反力矩作用在磁极上，使磁极与电枢作同方向旋转，电动机的能量就这样通过电枢与磁极间的电磁联系传递到被驱动的工作机械中来，平滑地调节离合器的励磁电流，就可以调节磁极的旋转速度。

二、机械特性

1. 自然机械特性

电磁离合器具有软的自然特性，在一定励磁电流 I 下，随着负载转矩的增加输出转速急剧下降。改变励磁电流 I 的大小，可以得到不同的转矩-转速特性曲线，如图 5.5.6 所示，这一特性亦称开环特性。

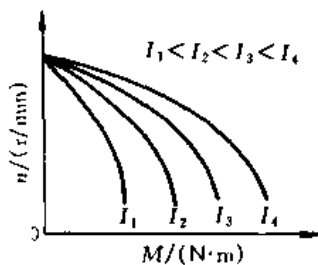


图 5.5.6 涡流离合器的自然特性

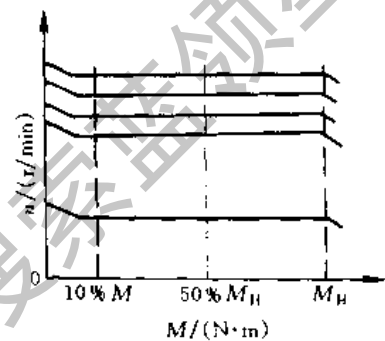
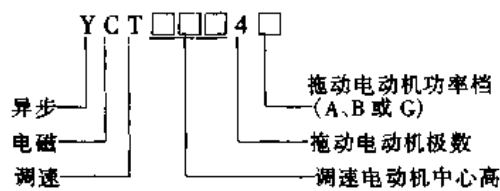


图 5.5.7 调速电动机的人工机械特性

2. 人工机械特性

在图 5.5.6 所示的自然机械特性下，电磁调速电动机不能拖动工作机械在某一转速下稳定地工作。因此在控制系统中采用转速负反馈。当负载转矩增加时，电磁离合器的输出转速下降，装在输出轴上的测速发电机提供给控制器的转速信号，通过控制器的转速负反馈系统来增加励磁电流，使降低的转速用增加励磁电流而增大的转速来补偿，反之亦然。这样，调速电动机在闭环控制的作用下达达到稳定转速的目的。在不同的励磁电流下可得到一组转矩-转速特性曲线，称为人工机械特性曲线，如图 5.5.7 所示。由于人工机械特性曲线是在闭环控制下取得，故亦称闭环特性曲线。

三、型号说明



字母代号	产品名称	字母代号	产品名称	字母代号	产品名称
YCTD	低电阻端环	YCTJ	带减速机低速	YSCT	低噪音水冷
YCTL	立式安装	YFCT	风机专用	YDCT	变极调速
YCTG	感应子式	YMCT	带摩擦制动器	YCT-F	防腐电磁调速

四、主要产品介绍

1. YCT 系列电磁调速电动机

YCT 系列电磁调速电动机是电磁调速电动机的基本系列，其功率等级和安装尺寸符合 IEC（国际电工委员会）标准。与其配套的调速控制装置也是全国联合设计产品，故便于选型及互换。YCT 系列电磁调速电动机与

被其取代的 JZT₁ 系列电机相比, 上限转速与额定转矩均有不同程度的提高, 整机效率提高 3%~8% 左右, 增加了振动、噪声限值等内容, 克服了旧系列产品性能数据, 安装尺寸不统一的缺陷, 是性能良好的恒转矩负载特性交流无级调速电动机。

YCT 系列电磁调速电动机性能参数如下:

- ① 安装型式为 IMB3 (见国家标准 GB 997);
- ② 外壳防护等级为 IP21 (见国标 GB 4942.1);
- ③ 冷却方式为 IC01 (见国标 GB 1993);
- ④ 调速电机的定额是以连续工作制 (S_1) 为基准的连续定额;
- ⑤ 电源额定频率为 50Hz, 额定电压为 380V, 控制器为 220V;
- ⑥ 拖动电动机为安装尺寸有特殊要求的 B5、Y 系列三相异步电动机, 各项电气性能应符合 ZBK 22007 的规定;
- ⑦ 与调速电机配套的测速发电机容量 2VA, 输出电压在 1000r/min 时不低于 20V, 不高于 35V;
- ⑧ 当转速为 1200r/min 时输出频率为 160Hz;
- ⑨ 绝缘等级为离合器 B 级 (或 F 级), 测速发电机 B 级;
- ⑩ 使用环境条件为海拔高度不超过 1000m, 环境空气温度不超过 40℃, 不低于 -15℃, 当环境空气温度为 25℃ 时相对湿度不超过 90%, 少尘, 无铁磁性物质尘埃, 无腐蚀金属、破坏绝缘和爆炸性气体混合物。

YCT 系列电磁调速电动机主要技术参数见表 5.5.12。

表 5.5.12 YCT 系列调速电机技术参数

型 号	标称功率 /kW	输出转矩 /(N·m)	额定转矩下的调速范围 /(r/min)	重 量 /kg	转速变化率 /%
YCT112-4A	0.55	3.60	1230 ~ 125	54	2.5 (或 1)
YCT112-4B	0.75	4.90		55	
YCT132-4A	1.1	7.13		81	
YCT132-4B	1.5	9.72		85	
YCT160-4A	2.2	14.1	1250 ~ 125	122	
YCT160-4B	3	19.2		125	
YCT180-4A	4	25.2		160	
YCT200-4A	5.5	35.1		218	
YCT200-4B	7.5	47.7		231	
YCT225-4A	11	69.1		344	
YCT225-4B	15	64.3	367		
YCT250-4A	18.5	116	1320 ~ 132	478	
YCT250-4B	22	137		502	
YCT280-4A	30	189		630	
YCT315-4A	37	232		830	
YCT315-4B	45	282	858		
YCT355-4A	55	344	1340 ~ 440	1440	
YCT355-4B	75	469		1570	
YCT355-4C	90	564	1340 ~ 600	1640	

2. YCTD 系列低电阻端环电磁调速电动机

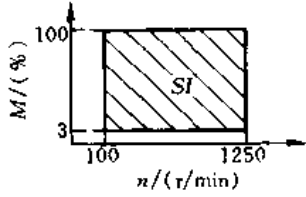
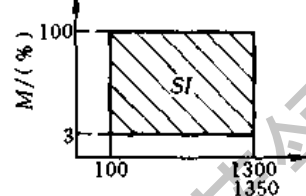
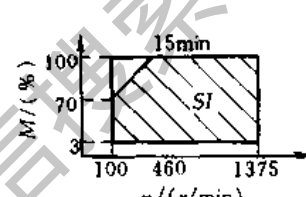
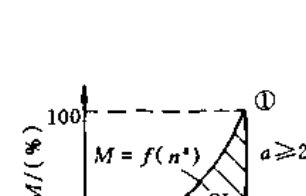
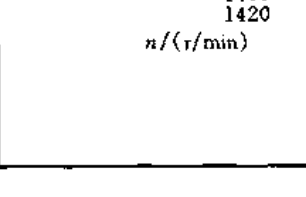
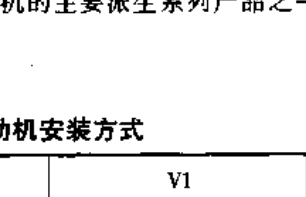

YCTD 系列低电阻端环电磁调速电动机是高效率的电磁调速电机系列, 采用了低电阻率材料作电枢端环, 提高了整机的运行效率。与 YCT 系列调速电机相比, 同功率电机降低 1~2 个中心高, 上限转速提高 20~80r/min, 效率提高 3%~8%, 而且体积小, 质量轻。

标称功率 37~132kW 的 YCTD 系列调速电机只能驱动风机、泵类负载, 不能用于驱动恒转矩特性的负载机械, 必要时减小调速范围。

YCTD 系列电磁调速电动机产品标准编号为 JB/T 6540—92。YCTD 系列调速电机试验方法、检验规则与 YCT 系列调速电机相同, 参数与相同标称功率的 YCT 系列电机相等。

YCTD 系列电磁调速电动机主要技术参见表 5.5.13。

表 5.5.13 YCTD 系列电磁调速电动机主要技术参数

型号	标称功率 /kW	输出转矩 /(N·m)	调速范围 /(r/min)	工作制	转速变化率/%							
YCTD90-4A	0.25	1.55	1200 ~ 120		配用不同型号 的控制, 可达到 三种不同的转速 变化率							
YCTD90-4B	0.37	2.3										
YCTD100-4A	0.55	3.0	1250 ~ 100									
YCTD100-4B	0.75	4.9										
YCTD112-4A	1.1	7.13										
YCTD112-4B	1.5	9.72	1300 ~ 100									
YCTD132-4A	2.2	14.1										
YCTD132-4B	3	19.2										
YCTD132-4C	4	25.2	1350 ~ 100			<table border="1"> <tr> <td>I</td> <td>II</td> <td>III</td> </tr> <tr> <td>1%</td> <td>2%</td> <td>2.5%</td> </tr> </table>	I	II	III	1%	2%	2.5%
I	II	III										
1%	2%	2.5%										
YCTD160-4A	5.5	35.1										
YCTD160-4B	7.5	47.7										
YCTD180-4A	11	69.1	1375 ~ 100									
YCTD180-4B	15	94.3										
YCTD200-4A	18.5	116										
YCTD200-4B	22	137	1400 ~ 250									
YCTD225-4A	30	189										
YCTD250-4A	37	232										
YCTD250-4B	45	282	1420 ~ 250									
YCTD280-4A	55	344										
YCTD315-4A	75	469										
YCTD315-4B	90	564	1420 ~ 250									
YCTD355-4A	110	688										
YCTD355-4B	132	821										
YCTD400-4A	160	1002	1420 ~ 250									
YCTD400-4B	185	1158										
YCTD400-4C	200	1252										
YCTD400-4D	220	1378										

① 驱动离心风机、水泵等负载机械的输出特性。

3. YCTL 立式系列电磁调速电动机

YCTL 系列立式电磁调速电动机是 YCT 系列电磁调速电动机的主要派生系列产品之一, 技术参数与 YCT 系列相同, 两者的区别仅为安装方式不同而已。

YCTL 系列电磁调速电动机的安装方式见表 5.5.14。

表 5.5.14 立式调速电动机安装方式

安装形式	B5	V1	V3
中心高/mm	112 ~ 200	112 ~ 355	112 ~ 160

4. YCTG 系列感应子电磁调速电动机

YCTG 系列感应子电磁调速电动机是在 JZT_V 系列电磁调速电动机的基础上派生的, 外形及安装尺寸相同, 性能有所提高, 为早年使用 JZT 及 JZT_V 系列调速电机的用户配套使用和维护修理提供了方便。

YCTG 系列电磁调速电动机主要技术参数见表 5.5.15。

表 5.5.15 YCTG 系列调速电机主要技术参数

型 号	标称功率/kW	额定转矩/(N·m)	调速范围/(r/min)	转速变化率/%	质量/kg
YCTG 112-4A	0.55	3.60	1250 ~ 125	≤2.5	65
YCTG 112-4B	0.75	4.90			70
YCTG 132-4A	1.1	7.13			90
YCTG 132-4B	1.5	9.72			100
YCTG 160-4A	2.2	14.1			140
YCTG 160-4B	3	19.2			150
YCTG 180-4A	4	25.2			205
YCTG 180-4B	5.5	35.1			215

5. YCTJ 系列低速电磁调速电动机

YCTJ 系列低速调速电动机具有调速与减速的双重功能, 能在极低的转速范围内作无级调速运转。由于减速机在减速过程中将额定转矩放大了与减速比相同的倍数, 低速调速电动机具有输出转速低、输出转矩大、调速精度高的特点。

低速调速电动机是电磁调电动机与摆线针轮减速机的组合运用, 结构紧凑, 使用方便。

YCTJ 系列低速调速电动机主要技术参数见表 5.5.16。

表 5.5.16 YCTJ 系列低速调速电机技术参数

型 号	调速范围 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	标称功率 /kW	型 号	调速范围 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	标称功率 /kW
YCTJ112-0.55-11	11 ~ 113	36	0.55	YCTJ160-2.2-11	11 ~ 113	140	2.2
YCTJ112-0.55-17	7.3 ~ 73	55		YCTJ160-2.2-17	7.3 ~ 73	216	
YCTJ112-0.55-23	5.4 ~ 54	75		YCTJ160-2.2-23	5.4 ~ 54	292	
YCTJ112-0.55-29	4.3 ~ 43	94		YCTJ160-2.2-29	4.3 ~ 43	386	3
YCTJ112-0.55-35	3.6 ~ 36	113		YCTJ160-3-11	11 ~ 113	190	
YCTJ112-0.55-43	2.9 ~ 29	139		YCTJ160-3-17	7.3 ~ 73	294	
YCTJ112-0.55-59	2.1 ~ 21	191		YCTJ160-3-23	5.4 ~ 54	397	
YCTJ112-0.75-11	11 ~ 113	48	0.75	YCTJ200-2.2-35	3.6 ~ 36	444	2.2
YCTJ112-0.75-17	7.3 ~ 73	75		YCTJ200-2.2-43	2.9 ~ 29	545	
YCTJ112-0.75-23	5.4 ~ 54	101		YCTJ200-2.2-59	2.1 ~ 21	748	
YCTJ112-0.75-29	4.3 ~ 43	128		YCTJ200-3-29	4.3 ~ 43	501	3
YCTJ112-0.75-35	3.6 ~ 36	154		YCTJ200-3-35	3.6 ~ 36	604	
YCTJ112-0.75-43	2.9 ~ 29	190		YCTJ200-3-43	2.9 ~ 29	743	
YCTJ112-0.75-59	2.1 ~ 21	260		YCTJ200-3-59	2.1 ~ 21	1019	
YCTJ132-1.1-11	11 ~ 113	71	1.1	YCTJ200-4-11	11 ~ 113	249	4
YCTJ132-1.1-17	7.3 ~ 73	109		YCTJ200-4-17	7.3 ~ 73	386	
YCTJ132-1.1-23	5.4 ~ 54	148		YCTJ200-4-23	5.4 ~ 54	521	
YCTJ132-1.1-29	4.3 ~ 43	186		YCTJ200-4-29	4.3 ~ 43	657	
YCTJ132-1.5-11	11 ~ 113	96	1.5	YCTJ200-4-35	3.6 ~ 36	793	5.5
YCTJ132-1.5-17	7.3 ~ 73	149		YCTJ200-4-43	2.9 ~ 29	975	
YCTJ132-1.5-23	5.4 ~ 54	201	1.1	YCTJ200-5.5-11	11 ~ 113	347	5.5
YCTJ160-1.1-35	3.6 ~ 36	225		YCTJ200-5.5-17	7.3 ~ 73	537	
YCTJ160-1.1-43	2.9 ~ 29	276		YCTJ200-5.5-23	5.4 ~ 54	727	
YCTJ160-1.1-59	2.1 ~ 21	378	1.5	YCTJ200-5.5-29	4.3 ~ 43	916	7.5
YCTJ160-1.5-29	4.3 ~ 43	254		YCTJ200-7.5-11	11 ~ 113	472	
YCTJ160-1.5-35	3.6 ~ 36	306		YCTJ200-7.5-17	7.3 ~ 73	729	
YCTJ160-1.5-43	2.9 ~ 29	376		YCTJ200-7.5-23	5.4 ~ 54	987	

续表

型 号	调速范围 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	标称功率 /kW	型 号	调速范围 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	标称功率 /kW
YCTJ250-5.5-35	3.6~36	1105	5.5	YCTJ250-11-11	11~113	684	11
YCTJ250-5.5-43	2.9~29	1358		YCTJ250-11-17	7.3~73	1057	
YCTJ250-5.5-59	2.1~21	1863		YCTJ250-11-23	5.4~54	1430	
YCTJ250-7.5-29	4.3~43	1245	YCTJ250-11-29	4.3~43	1803		
YCTJ250-7.5-35	3.6~36	1502	7.5	YCTJ250-15-11	11~113	934	15
YCTJ250-7.5-43	2.9~29	1846		YCTJ250-15-17	7.3~73	1443	

6. YFCT 系列风机专用电磁调速电动机

YFCT 系列电磁调速电动机是根据风机、泵类产品特点设计的高效调速节能产品，是在 YCTD 系列调速电机的基础上派生的。根据风机、泵类产品功率大、转速范围广的特点在原 YCTD 系列电机的基础上进行扩充、延伸，在 4 极电机的基础上扩展到 2 极、6 极、8 极，功率范围扩大到数百千瓦。

该系列调速电机执行地区标准，产品检测可参照 YCT 系列调速电机。使用环境、工作方式、防护等级、冷却方式、绝缘等级均与 YCT 系列调速电动机相同。

YFCT 系列调速电动机（调速器）主要技术参数见表 5.5.17。

表 5.5.17 YFCT 系列风机、泵高效电磁调速电动机技术参数

型 号	2 极			4 极			6 极			8 极			转速 变化率 不大于 /%		
	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)			
YFCT100	0.75	2.4	2650	0.55	3.5	1250			800						
-B	1.1	3.5		0.75	4.9										
YFCT112	1.5	4.8	2700	1.1	7.1	1300	0.75	7.5	850						
-B	2.2	7.0		1.5	9.7		1.1	11.0							
YFCT132-B	3	9.5	2750	2.2	14.1	1350	1.5	14.5	900						
-C	4	12.5		3	19.2		2.2	21.3							
YFCT160-B	5.5	17.2		5.5	35.5		3	28.4		2.2	28.1				
-C	7.5	23.5		7.5	47.2		4	37.8		3	38.3		620		
YFCT180-B	11	34.1	2750	11	68.6	1400	7.5	72.2	950						
-C	15	46.5		15	94.1		11	103		4	50.4			5.5	69.3
YFCT200	18.5	57.4		18.5	114					7.5	94.6				7.5
-B	22	67.9		22	136		15	140		11	136		2.5		
YFCT225	30	92.4	2800	30	186	1400	18.5	173	1000						
-B	37	114					22	206		5	186				
YFCT250	45	137.6		37	231		30	278		18.5	230		650		
YFCT280-A	35	168.2		45	279					22	273				
YFCT315	75	229.3	2800	55	338	1400	37	350	1050						
-B	90	275.3		75	460		45	425		30	377			37	463
YFCT335				90	552		55	520		45	558				
-B				110	689		75	702		55	689		690		
YFCT400-B				132	821		90	842							
-C				160	955		110	1030		75	939				
YFCT450-A				250	1565		132	1236		90	1127				
							(160)	(1498)		110	1377				
										(132)	(1653)				

续表

型 号	2 极			4 极			6 极			8 极			转速 变化率 不大于 /%
	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	标称 功率 /kW	额定 转矩 /(N·m)	最高 转速 /(r/min)	
YFCT500				280	1754		220	2062					2.5
-B				315	1973								
-A				355	2223		250	2343		(160)	(2004)		
YFCT560-B				400	2505		280	2621		(1907)	(2380)		
-C				450	2818					200	2756		
-A				500	3131	1420	315	2949	900	250	3131		
YFCT630-B				560	3507		355	3324		285	3507		
-C				630	3937		400	3745		315	3945	690	
-A							450	4221		355	4446		
YFCT710							500	4691		400	5010		
-B							560	5253		450	5636		
-C							630	5910		500	6234		
-D													

7. YMCT 系列带摩擦制动器电磁调速电动机

YMCT 系列带摩擦制动器电磁调速电动机是在 YCT 系列调速电动机的基础上加装摩擦制动器后形成的系列产品。YMCT 系列调速电机除具有 YCT 系列调速电机的功能外，还具有制动功能，用于要求快速停机、准确定位的场所，作恒转矩或递减转矩负载机械的无级调速之用。

摩擦制动器的电源电压为直流 24V，由控制器提供，配用控制器型号为 JDZ-40 型。当离合器绕组通电，调速电机工作时，制动器不工作；当离合器绕组断电时，制动器绕组同时通电，立即制动停机。这一过程是由控制器自动完成的。

YMCT 系列调速电机与 YCT 相比只增加了制动力矩与制动时间，详见表 5.5.18。

表 5.5.18 YMCT 系列带摩擦制动器电磁调速电动机技术参数

型 号	标称功率 /kW	输出转矩 /(N·m)	额定转矩下 的调速范围 /(r/min)	额定制动 力矩 /(N·m)	额定最高转速 下许用 GD^2 /(N·m ²)	制动时间 ^① /s	转速变化率 /%
YMCT 112-4B	0.75	4.9	1250 ~ 125	24.5	5	< 5	≤ 2.5
YMCT 132-4A	1.1	7.13		24.5			
YMCT 132-4B	1.5	9.72		24.5			
YMCT 160-4A	2.2	14.1		49.0	10		
YMCT 160-4B	3.0	19.2		49.0			
YMCT 180-4A	4.0	25.2		49.0	13		
YMCT 200-4A	5.5	35.1		98.1	20		
YMCT 200-4B	7.5	47.7		98.1			
YMCT 225-4A	11	69.1		157	33		
YMCT 225-4B	15	94.3		157			
YMCT 250-4A	18.5	116	1320 ~ 132	245	35		
YMCT 250-4B	22	137		245			

① 制动时间与负载机械的惯性矩 GD^2 及使用时的转速等因素有关。出厂试验时，由空载额定最高速制动至停机，历时 1 ~ 2s。

8. YSCT 系列低噪音水冷电磁调速电动机

YSCT 系列低噪音水冷电磁调速电动机的冷却介质为工业用水或普通自来水，而不是空气，因而离合器无散热风扇，有效地降低了产品噪音指标。离合器机座为封闭式，提高了防护等级，特别适合在粉尘较多的场所使用。

配用控制器为 TKS-40（或 90）型，设有断水保护系统，使用安全、可靠。

YSCT 系列调速电机的主要技术参数见表 5.5.19。

表 5.5.19 YSCT 系列调速电动机主要技术参数

型 号	标称功率 /kW	额定力矩 /(N·m)	调速范围 /(r/min)	转速变化率 /%	噪声 /dB(A)	冷却水量 /(L/min)	质 量 /kg
YSCT 225-4A	11	69.1	1250 ~ 125	≤ 2.5	< 81	12	390
YSCT 225-4B	15	94.3			< 85	12	410
YSCT 250-4A	18.5	116	1320 ~ 132		< 85	15	538
YSCT 250-4B	22	137			< 85	15	560
YSCT 280-4A	30	189			< 89	20	795
YSCT 315-4A	37	232			< 89	25	900
YSCT 315-4B	45	282	< 92		28	970	
YSCT 355-4A	55	344	1340 ~ 260		< 92	38	1655
YSCT 355-4B	75	469			< 96	48	1815
YSCT 355-4C	90	564			< 96	56	915

9. YDCT 系列变极电磁调速电动机

YDCT 系列电磁调速电动机的拖动电机为 YD 系列变极多速电动机，而不是单一同步转速的 Y 系列异步电动机，这是 YDCT 系列调速电动机与 YCT 系列调速电动机的唯一区别。

YDCT 系列调速电动机不但具有平滑无级调速功能，同时其输入转速根据输出转速的不同而有级地改变。当输出转速较低时，与 YDCT 调速电机配套使用的变极调速控制器可自动变换拖动电动机运行的极数，使离合器的输入转速降低，输入功率相应减小，提高离合器低速运行时的效率。

变极电磁调速电动机根据配用变极电动机的规格不同，具有多种型号系列，这里仅介绍 YDCT 系列 4/6 极电磁调速电动机，主要技术参数见表 5.5.20。

表 5.5.20 YDCT 系列 4/6 极电磁调速电机技术参数

型 号	标称功率 /kW	输出转矩 /(N·m)	调速范围 /(r/min)	转速变化率 δ /%	质量 /kg
YDCT 132-4/6A	0.85/0.65	5.43	1250 ~ 700 ~ 100	< 2.5	83
YDCT 132-4/6B	1.1/0.85	7.13			85
YDCT 160-4/6A	1.8/1.3	11.35			120
YDCT 160-4/6B	2.2/1.5	13.87			123
YDCT 160-4/6C	2.8/2.2	17.65			125
YDCT 180-4/6A	4/3	25.2			160
YDCT 200-4/6A	5.5/4	35.04			231
YDCT 200-4/6B	8/6.5	50.26			233
YDCT 225-4/6A	11/9	69.1			348
YDCT 225-4/6B	14/11	87.36			370
YDCT 225-4/6C	16/13	99.84	415		
YDCT 250-4/6A	22/18.5	138.22	1320 ~ 700 ~ 100	507	
YDCT 280-4/6A	28/22	174.72		630	
YDCT 280-4/6B	32/26	199.68		700	
YDCT 315-4/6A	42/32	263.02	1320 ~ 700 ~ 280	858	
YDCT 355-4/6A	55/42	344.43		1440	
YDCT 355-4/6B	72/55	450.89		1600	

10. YCT-F 系列防腐电磁调速电动机

YCT-F 系列防腐电磁调速电动机是 YCT 系列电磁调速电动机的派生系列产品，结构原理、性能参数、使用维护等与 YCT 系列调速电机相同。本系列调速电机除具有一般空冷 YCT 系列调速电机的优点外，还能使用于腐蚀性较强的场合。防腐型电磁调速电动机的使用环境见表 5.5.21。

五、安装、使用与维护

1. 标称功率

调速电机的标称功率是指所配用的拖动电机的功率，不反映调速电机的实际功率。在选用调速电机时应按

表 5.5.21 防腐调速电机使用环境条件

严酷程度分级		中等腐蚀	强腐蚀	
防护类型		F1	F2	
环境参数				
环境温度/℃	最高	+40	+40	
	最低	—	—	
空气相对湿度(25℃)/%		90	95	
最大降雨强度(10min)		50mm	—	
太阳最大辐射强度/(J/cm ² ·min)		5.85	—	
砂尘		有	—	
冰霜雪露		凝露		
化学气体 浓度 (mg/m ³)	平均值 ^①	氯气 Cl ₂	0.3	0.6
		氯化氢 HCl	1.0	3.0
		二氧化硫 SO ₂	5.0	13.0
		氮的氧化物 NO _x ^②	3.0	10.0
		硫化氢 H ₂ S	3.0	14.0
		氟化氢及氢氟酸盐 HF	0.05	0.1
		氨气 NH ₃	10.0	35.0
雾		硫酸、盐酸、硝酸 (H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃)	有时存在	经常存在
		氢氧化钠 NaOH	有时存在	经常存在
液 体		硫酸、盐酸、硝酸 (H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃)	偶而滴落	有时滴落
		氢氧化钠 NaOH	偶而滴落	有时滴落
		食盐水、氨水 (NaCl, NH ₄ OH)	有时滴落	经常滴落
腐蚀性粉尘		少量	有	

① 平均值为长期数值的平均。

② 相当于二氧化氮的数值。

技术参数表中输出转矩一栏选用。离合器的输出功率与输出转矩的关系可按下式换算：

$$P_2 = \frac{M_2 n_2}{9550}$$

式中 P_2 ——离合器输出功率, kW;

M_2 ——离合器输出转矩, N·m;

n_2 ——离合器输出转速, r/min。

2. 安装使用前的检查

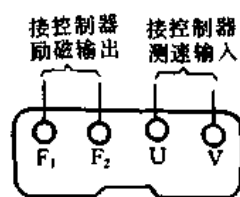
- ① 调速电机安装前应对照产品使用维护说明书, 检查铭牌数据与订货规格是否一致。
- ② 检查运输过程中有无损坏, 紧固件有无松动。
- ③ 检查各接线板接线是否正确, 电接触是否良好。
- ④ 用 500V 兆欧表检查异步电动机、调速发电机定子绕组、电磁离合器励磁绕组的绝缘电阻均不低于 0.25 兆欧。检查中如发现差错或不良, 应予更换或排除, 否则不应投入运行。

3. 联轴器或皮带轮的安裝

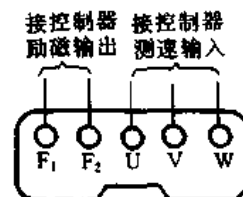
安装联轴器或皮带轮时, 应避免用锤猛击, 以免损坏轴承或轴承盖。如两者配合较紧, 应将联轴器或皮带轮适当加温后套入。拆卸时应采用拆卸器, 同时注意保护轴中心孔。

4. 接线

调速电机的接线应根据各接线板的端子标记连接, 接法如图 5.5.8 所示。同时接好相应的接地线, 接好后



(a) 单相调速发电机用



(b) 三相调速发电机用

图 5.5.8 离合器接线图

经复查无误方可通电。

5. 调速电动机的起动与运行

① 调速电机投入运行前应进行转速校核。用机械转速表或数字转速表检查离合器的输出转速与控制器显示转速是否一致，如不符应调节控制器面板上的反馈电位器。控制器出厂时已经校核过，因负载参数的变化转速的显示稍有不同，对转速显示要求不很严格的场合，这项工作可不进行。

② 电磁调速器宜在先起动拖动电动机的情况下再通电，这样使拖动电机处于空载起动状态，缩短拖动电机所承受的电流冲击时间。这种起动方式特别适宜起动静态惯量大的负载，可以减小拖动电机的装机容量。

③ 在某种情况下，要求调速电机直接起动到某一转速下运行。此时可以先将主令电位器固定在对应于该转速的位置上，待拖动电机起动后，接通控制器电源，转速会自行上升，此时转速会出现上冲，再逐渐下降到所要求的转速，这种现象称为超调现象。这种起动方式起动力矩大，使拖动电机短时超载，对电机有一定的电流冲击。

④ 断续工作方式运行时，可不切断拖动电机电源，用调速器励磁电流的通、断来实现。这样运行方便，可延长电机寿命。

⑤ 频繁起动、停转方式运行时，升速时控制器对离合器的励磁绕组强励，而降速时不再供电，仅根据拖动系统的时间常数自行减速。降速的时间如不合适，可另加制动装置或选用带制动器的调速电机。

⑥ 离合器的反向运转只能通过电动机的反转来获得。频繁正反转对离合器来说是可行的，但对拖动电机是不允许的，加之系统响应时间常数的制约，一般难以实现。

⑦ 电机停机，特别是长时间低速运行后的停机，必须先切断控制器电源后 2~3min，再切断拖动电机电源，以利散热。拖动电机不工作，控制器不能长时间对离合器绕组通电，否则可能损坏励磁绕组。

⑧ 调速电动机应定期检修，按期大修。检修时对照产品说明书介绍的结构，从机座两端卸掉紧固螺栓，分别拆出拖动电机装配和导磁体组件，进行清理除垢。大修时还应清洗轴承并更换润滑油，调速电机用耐高温的锂基脂为轴承润滑剂。中心高为 225mm 以上规格的调速电动机，离合器前后轴承和拖动电机轴伸端轴承分别设有加油杯，以便定期为轴承添加润滑脂。轴承如有损坏应予更换。

⑨ 调速电动机常见故障及排除方法见表 5.5.22。

表 5.5.22 电磁调速电动机常见故障的判断与排除方法

故障现象	可能的原因	排除方法
离合器不工作	励磁绕组不通，控制器损坏	检查励磁绕组是否断线、接错，修理、更换控制器
加载后转速降低太多，转速不稳	调速发电机断线与反馈量太小，励磁绕组损坏	检查调速发电机接线，调节反馈电位器，测励磁绕组直流电阻
轴承响声异常、温升过高	轴承润滑脂过少、变质，轴承损坏	清洗轴承，更换润滑脂或更换轴承
响声异常或抖动	安装调整不当，轴承损坏造成电枢与磁极相擦	重新调整，更换轴承，排除机械相擦
不能调速	空载失控为剩磁过大，调速发电机转子失磁，控制器损坏，励磁绕组损坏	加载后即消除。转子重新充磁或更换。修理控制器，更换励磁绕组
熔断器或可控硅熔断	励磁绕组短路或损坏，绕组接地、接线错误	检查励磁绕组直流电阻、绝缘电阻是否正常，检查接线

第三节 电磁调速电动机控制器

电磁调速电动机的调速功能是借助于调速控制器实现的。调速控制器的规格品种较多，调速电动机配以不同类型的控制器，即可得到不同的调速功能。

JD1 系列电磁调速电动机控制器是调速控制器的基本系列，多为单台控制。该系列控制器包括 JD1A、JD1B、JD1C 三种型号，它们的工作原理基本相同。JD1A、JD1B 控制器的速度指令信号由控制器面板上的主令电位器供给，而 JD1C 则来自外部装置，如自动仪表或遥控电动操作器等。

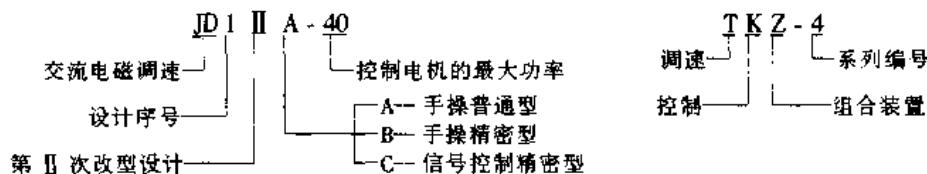
TKZ 系列电磁调速电动机调速控制组合装置包括 TKZ-1、TKZ-2、TKZ-3、TKZ-4 等四个系列。TKZ-1 系列为墙挂式结构，控制装置由 ZC-1 型操作器、DK-1 型控制器及 TC-1 型同操器组成。控制器不带操作元件。ZC-1 型操作器是专门与 DK-1 型控制器、TC-1 型同操器配套的操作部分，控制信号可以由手动供给或由外接的 0~10mA（或 0~15V）自动信号控制，以控制一台或多台调速电动机工作。

TKZ-2 系列调速控制组合装置是 TKZ-1 系列的改型设计，两者性能相近，不同的是 DK-2 型控制器带有操作

元件, 可手控或自控单台电磁调速电动机独立运行, 与 TC-2 型同操器组合可实现多台调速电机的同速运行或比例运行。TKZ-2 系列组合装置为嵌入式结构, 与自控系统组合运用, 外表协调美观。

TKZ-4 系列调速控制组合装置包括 DXK-4 型多信号控制器、LT-4 型力矩调节器、HT-4A 缓冲调节器。与 TC-2 型同操器组合, 除具有 TKZ-2 系列的功能外, 还可实现卷绕与缓冲功能。DXK-4B 型控制器转速为数字显示, 并转换成 4~20mA 的信号输出, 以供 DDZ-III 型仪表或计算机控制系统采用。

一、型号



二、工作原理

1. JD1 II A 型控制器的基本原理

JD1 II A 型控制器基本原理框图见图 5.5.9。

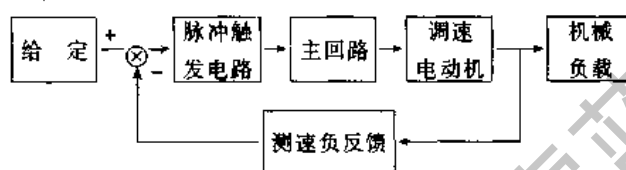


图 5.5.9 JD1 II A 型控制器原理框图

JD1 系列电磁调速电动机控制器的电气原理如图 5.5.10。

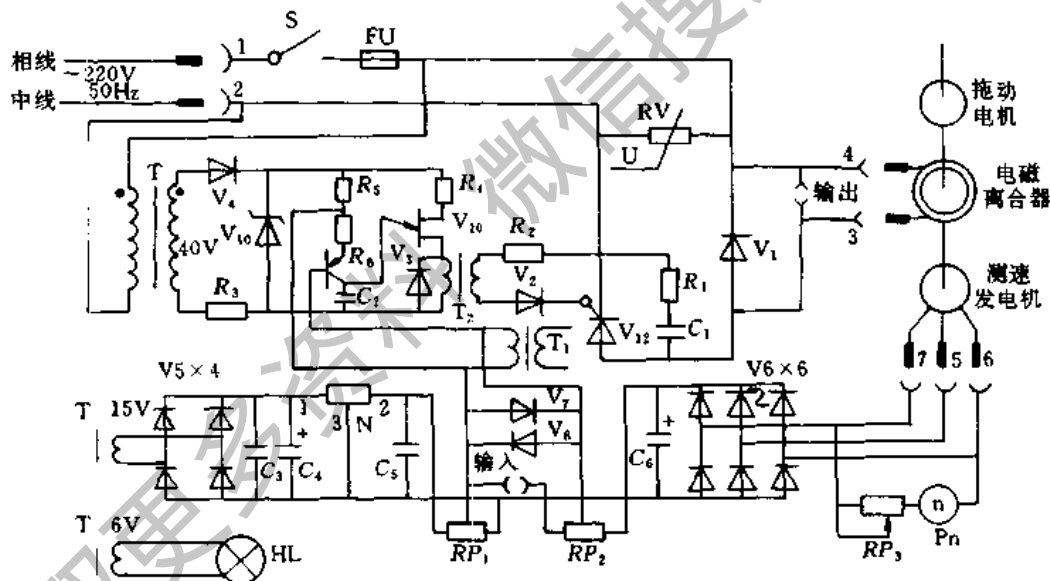


图 5.5.10 JD1 II A 型控制器电气原理图

主回路: 采用可控硅半波整流电路。由于励磁绕组是一个电感性负载, 为了让电流连续, 因此在励磁绕组前并联一个续流二极管。

主回路的保护装置: 用熔断器进行短路保护, 用压敏电阻进行交流侧浪涌电压保护, 用阻容吸收回路进行元件侧电压保护。

给定电路: 15V 交流电压由变压器副边经二极管桥式整流、电容滤波后, 经稳压块加到给定电位器两端。

测速负反馈电路: 测速发电机三相 (或单相) 电压经二极管桥式整流后, 由电容滤波加到反馈电位器两端, 此直流电压随调速电机的转速变化而线性变化。

触发电路: 采用单结晶体管触发电路, 比较简单, 可靠性高, 调整容易, 温度补偿性较好, 受温度影响小, 移相范围能达到 160° 左右。

电源变压器副边 40V 交流电压经二极管整流、电阻和稳压管削波后, 供给晶体管和单晶体管。

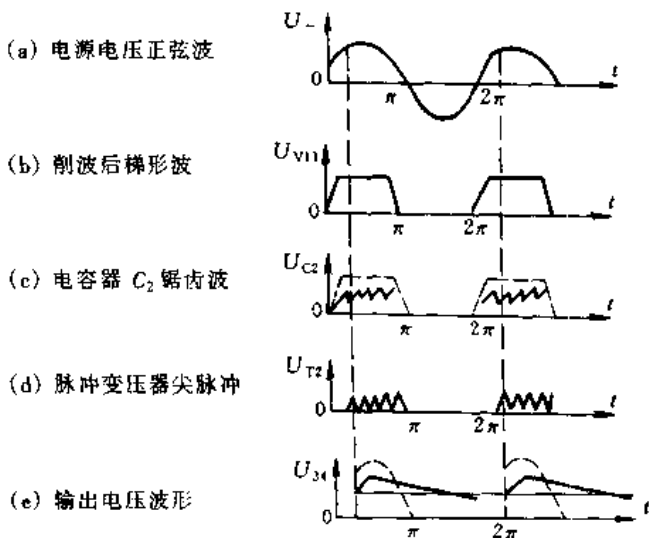


图 5.5.11 JD1 II A 控制器各点波形图

由给定电压和测速负反馈电压进行比较后，它的综合信号便作为控制信号加至晶体管的基极和发射极（晶体管相当于可变电阻），以改变晶体管的电阻。内阻的改变导致电流大小的改变，也就改变了电容的充放电时间，使单结晶体管产生的触发脉冲能进行自动移相，从而改变可控硅的导通角，实现控制电机转速的目的。波形见图 5.5.11。

JD1 II B 型控制器电气原理图见图 5.5.12。

JD1 II B 型控制器由单相半波可控整流电路、集成脉冲移相触发器、有 PID 特性的速度调节及转速反馈电路和电源等组成。

主回路为单相半波可控整流电路，因为负载为电感性，所以并接续流二极管 V_1 。为了防止过

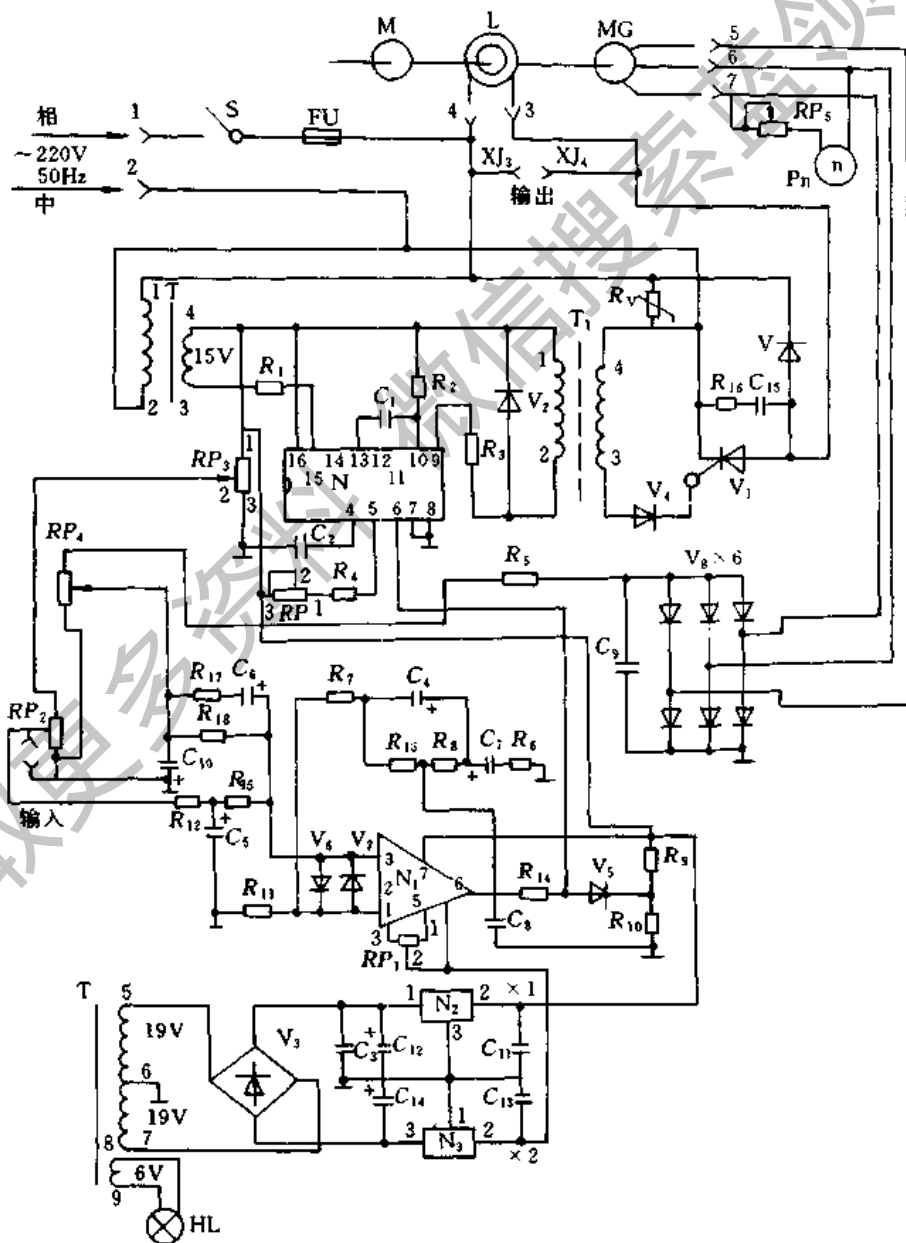


图 5.5.12 JD1 II B 型控制器电气原理图

电压，线路上并联压敏电阻 R_V 吸收浪涌电压。

集成脉冲移相触发器内部由同步电压、锯齿波形成电路、差动放大器、RC 微分脉冲移相形成电路及功率放大电路组成，移相范围可达 170° ，脉冲宽度 $\geq 100\mu s$ ，幅值 $\leq 13V$ 。各点波形如图 5.5.13 所示。

速度调节电路由运算放大器组成，带有动态校正 PID 环节，由 R_{12} 、 R_{13} 、 R_{18} 、 R_7 、 R_8 、 R_6 、 C_4 、 C_7 等组成，利用比例微分环节的超前作用，进一步消除大惯性时间常数， V_5 、 R_9 、 R_{10} 限幅电路用以防止与锯齿波失交。

转速负反馈信号由三相全波整流电路产生，经 RP_4 调节反馈量， C_{10} 可以提高波动时反馈量，使转速稳定。

调节给定电位器 RP_2 使输入信号 $0 \sim 10V$ 变化，实现控制电机转速的目的。

JD1 II C 型控制器电气原理图见图 5.5.14。

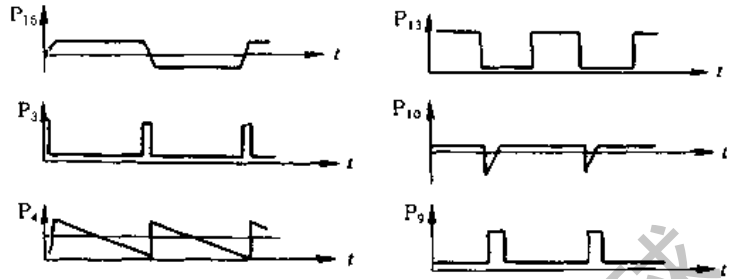


图 5.5.13 波形图

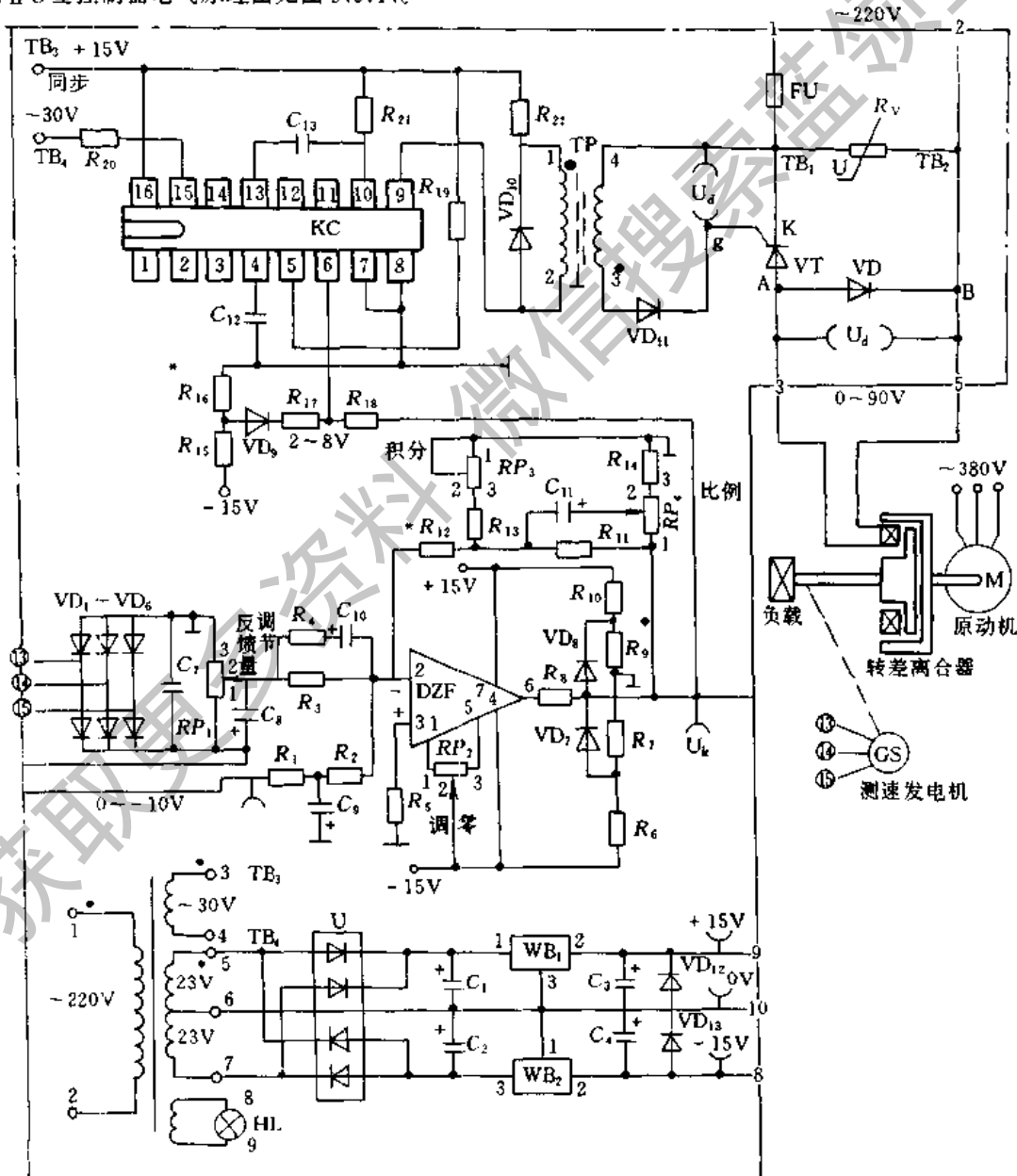


图 5.5.14 JD1 II C 型控制装置电气原理图

JD1 II 系列控制器基本技术参数见表 5.5.23。

表 5.5.23 JD1 系列电磁调速电机控制器基本技术参数

型 号	A JD1 II B-11 C	A JD1 II B-40 C	A JD1 II B-90 C
电源电压	交流 220V ± 10%，频率 50 ~ 60Hz		
额定输出	直流 90V、3.15A	直流 90V、5A	直流 90V、6.3A
最大输出			直流 90V、8A ^①
可控制电动机功率	0.55 ~ 11kW	15 ~ 40kW	55 ~ 90kW
调速发电机	三相或单相、输出电压 ≥ 2V/(100r/min)、频率 160Hz/(1200r/min)		
调速范围/(r/min)	配 YCT 系列、YCTD 系列调速电机，调速范围见电机铭牌		
转速变化率/(%)	A ≤ 2.5 B、C ≤ 1		
稳速精度	A ≤ 1 B、C ≤ 0.5		
速度指令信号 (JD1C 型)	0 ~ 10V		
输入阻抗 (JD1C 型)	20kΩ		

① 输出电流 8 ~ 10A 时，工作时间不大于 30min；10 ~ 12A 时，工作时间不大于 2min。

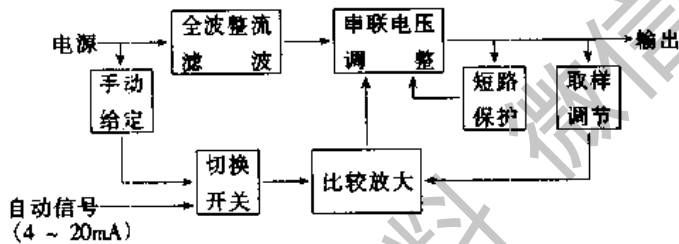


图 5.5.15 TC-2C 同操器原理框图

2. TKZ-2 系列调速控制组合装置

TC-2C 型同操器的原理框图见图 5.5.15。TC-2A、TC-2B 型原理大致相同，这里不予详细介绍。

从原理框图可知，TC-2C 型同操器的电路实际上也是一个输出电压可调的串联型稳压电路，它包含整流滤波、电压调整、取样、比较放大、短路保护以及上下

辅助电源等环节组成。

图 5.5.16 是 TC-2C 型同操器端子板标号接线图。图 5.5.17 是 TC-2C 同操与 DK-2、DXK-4 型控制器组合运用，实现多台运行的系统接线图。

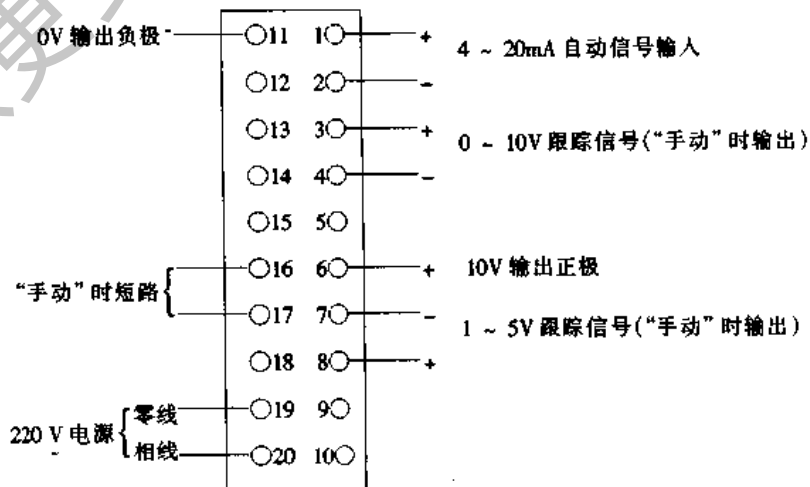


图 5.5.16 TC-2C 型同操器端子板

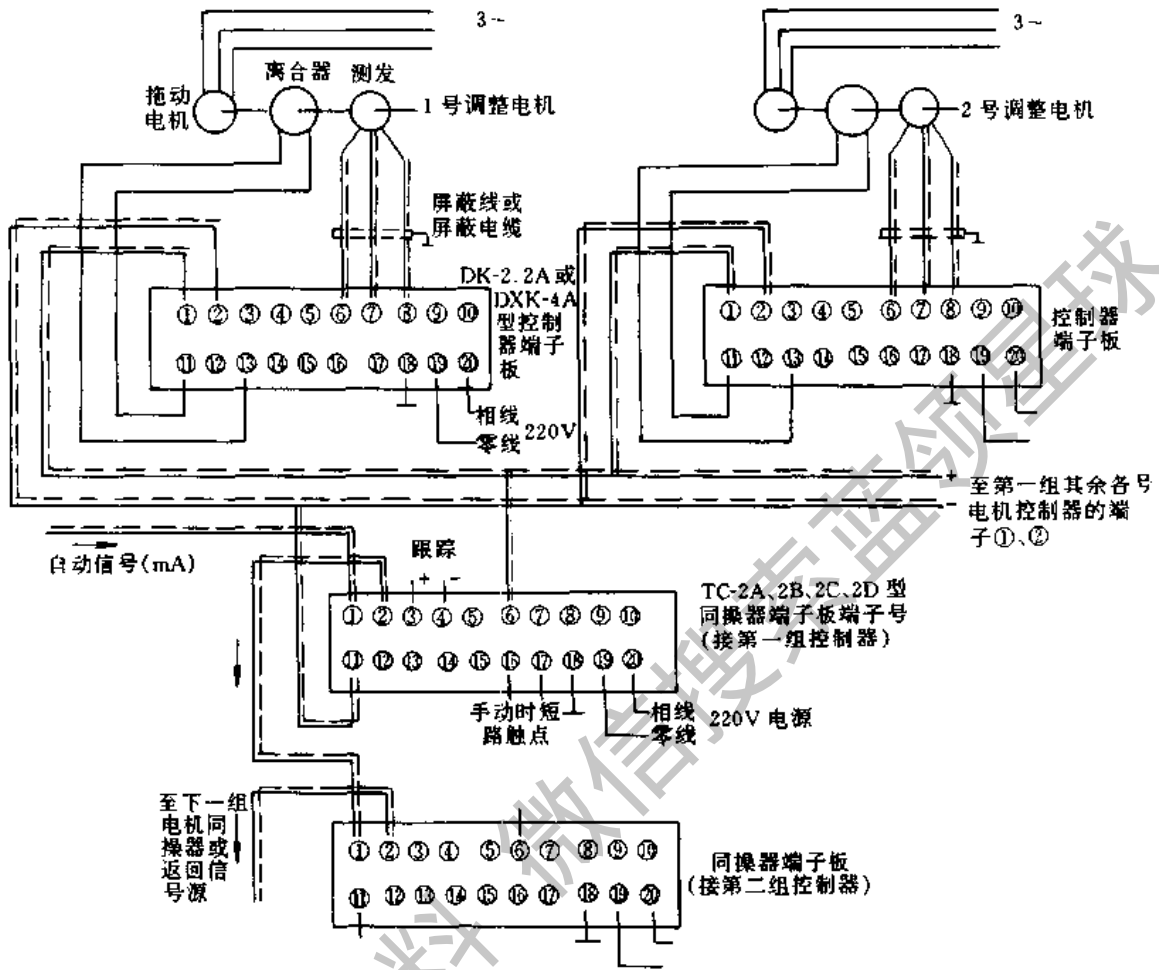


图 5.5.17 多调速电机分组同速运行时系统接线图

图 5.5.18 为 DK-2B 控制器原理框图。图 5.5.19 为电气原理图。

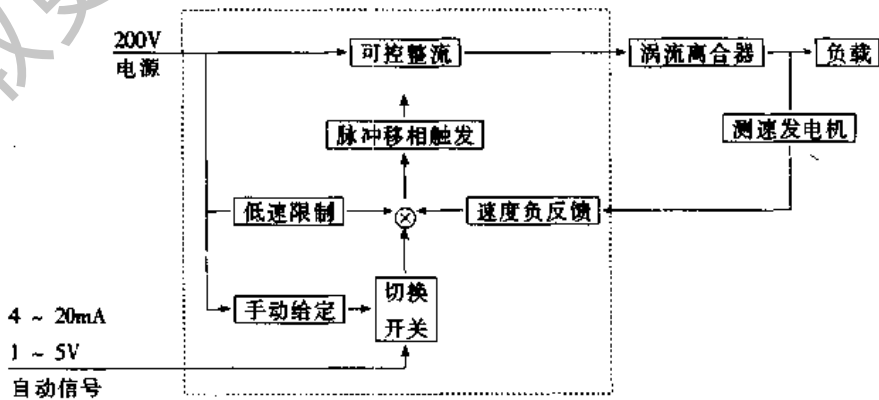


图 5.5.18 DK-2B 控制器原理框图

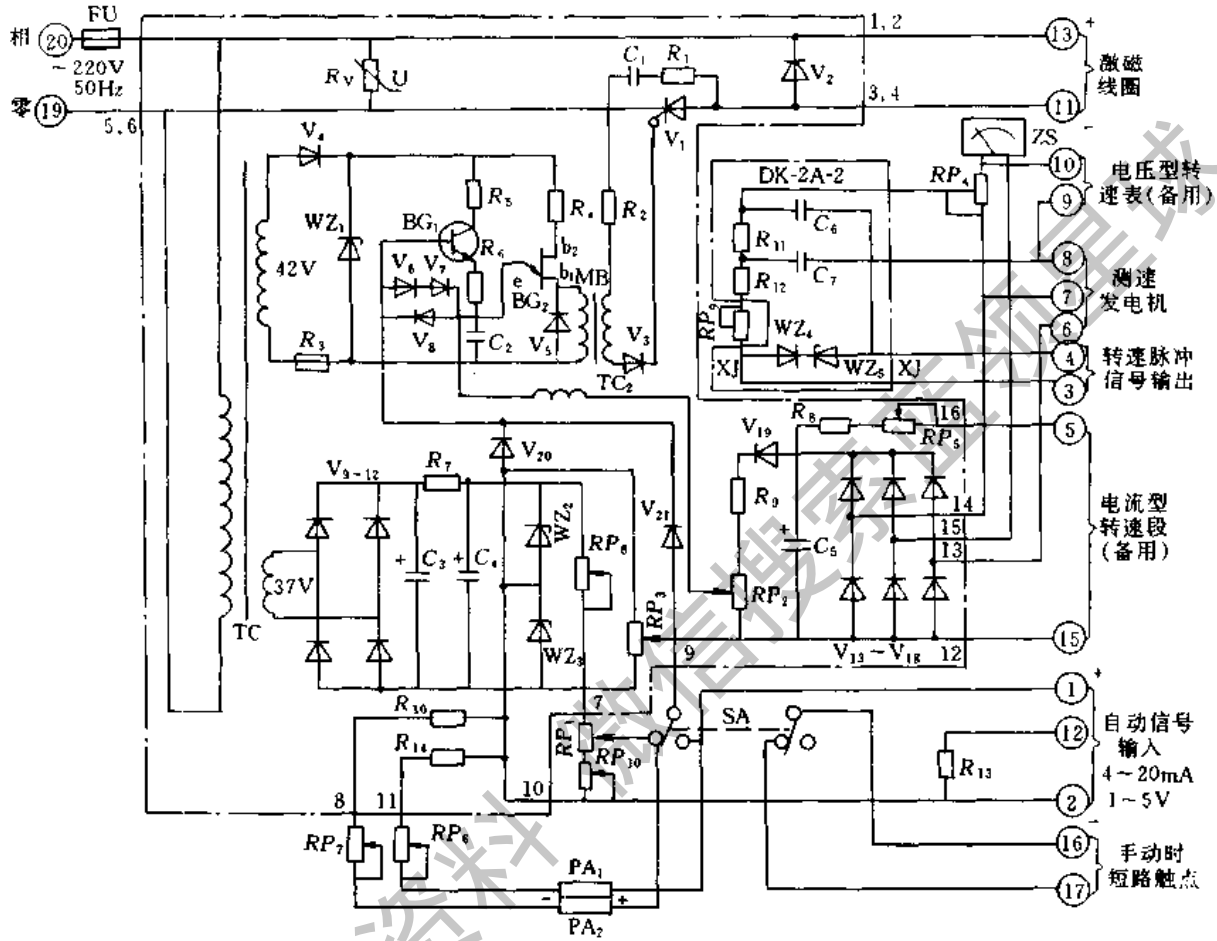


图 5.5.19 DK-2B 型控制器电气原理图
 ①、②、③……⑯为机箱背后接线端子编号
 一—内 1、2、3……16 为印刷电路板插脚编号

从原理框图和电气原理图可知，DK-2B 型控制器的电路是由半波可控整流电路、脉冲移相触发电路、手动给定信号电路和速度负反馈电路等环节组成。

控制器的主回路是半波可控整流电路， V_2 为续流二极管。

给定信号电路是由 $V_9 \sim V_{12}$ 组成的整流桥， C_3 、 C_4 、 R_7 组成的 π 式滤波器和稳压管 WZ_2 、 WZ_3 几部分组成。由主令电位器 RP_1 和低速限制电位器 RP_3 的中心抽头取出电压作为给定信号与低速限制信号。

速度负反馈电路是由 $V_{13} \sim V_{18}$ 、 C_5 及反馈电位器 RP_2 等组成。由 RP_2 取出的反馈信号与给定信号（或自动信号）进行反向叠加。

给定信号（或自动信号）、低速限制信号和速度负反馈信号叠加后形成的综合信号（或称控制信号），经 $V_6 \sim V_8$ 限幅后加到脉冲触发电路的三极管 BG_1 的基极上。

控制器的脉冲触发电路采用了由单结晶体管组成的弛张振荡器。这种触发电路比较简单，可靠性高，温度补偿性较好，元件也容易补充，而脉冲移相范围也能达到 160° 左右。

同操器与控制器的技术参数分别见表 5.5.24 及表 5.5.25。

表 5.5.24 TC-2 型同操器技术参数

型号	TC-2A	TC-2B	TC-2C	TC-2D
电源	交流 220V $\begin{smallmatrix} +5\% \\ -10\% \end{smallmatrix}$, 50Hz			
输出电压	直流 0~10V, 电压变化率 $< \pm 2\%$			
最大输出电流	直流 80mA			
控制信号	直流 0~10mA 或 0~5V		直流 4~20mA 或 1~5V	
配套控制器	DK-2、DK-2A、DK-2B、DK-2C、DK-2D、KXX-4			

表 5.5.25 DK-2 型控制器技术参数

型号	DK-2	DK-2A	DK-2B	DK-2C	DK-2D
电源	交流 220V $\begin{smallmatrix} +5\% \\ -10\% \end{smallmatrix}$, 50Hz				
额定输出	直流 90V, 5A				
控制电机功率	0.55~37kW				45~90kW
测速发电机	单相或三相, 输出电压 2V/(100r/min), 输出频率: 160Hz/(1200r/min)				
转速变化率	$\leq 2.5\%$				
控制信号	直流 0~10V (或 0~10mA); 直流 1~5V (或 4~20mA)				
调速范围	100~1420r/min (调速电机额定转速)				
配套情况	单独使用或与 TC-2 系列同操器配套				

3. TKZ-4 系列调速控制装置

图 5.5.20 为 DXK-4B 型控制器原理框图, 图 5.5.21 为电气原理图, 图 5.5.22 为集成触发器各点波形图。

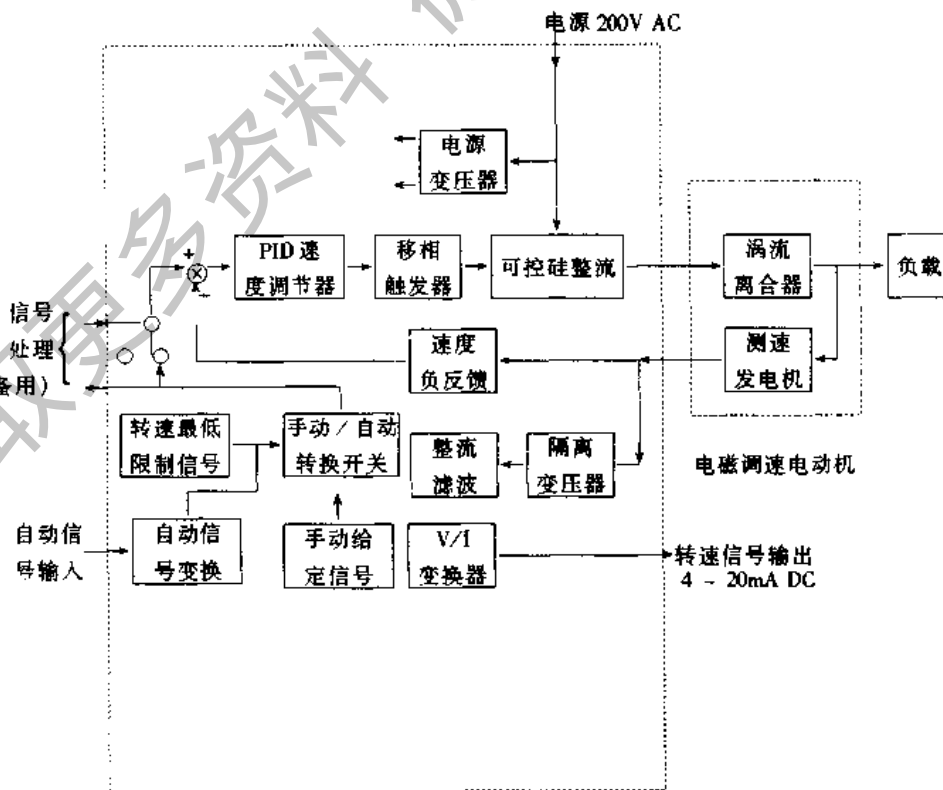


图 5.5.20 DXK-4B 型控制器原理框图

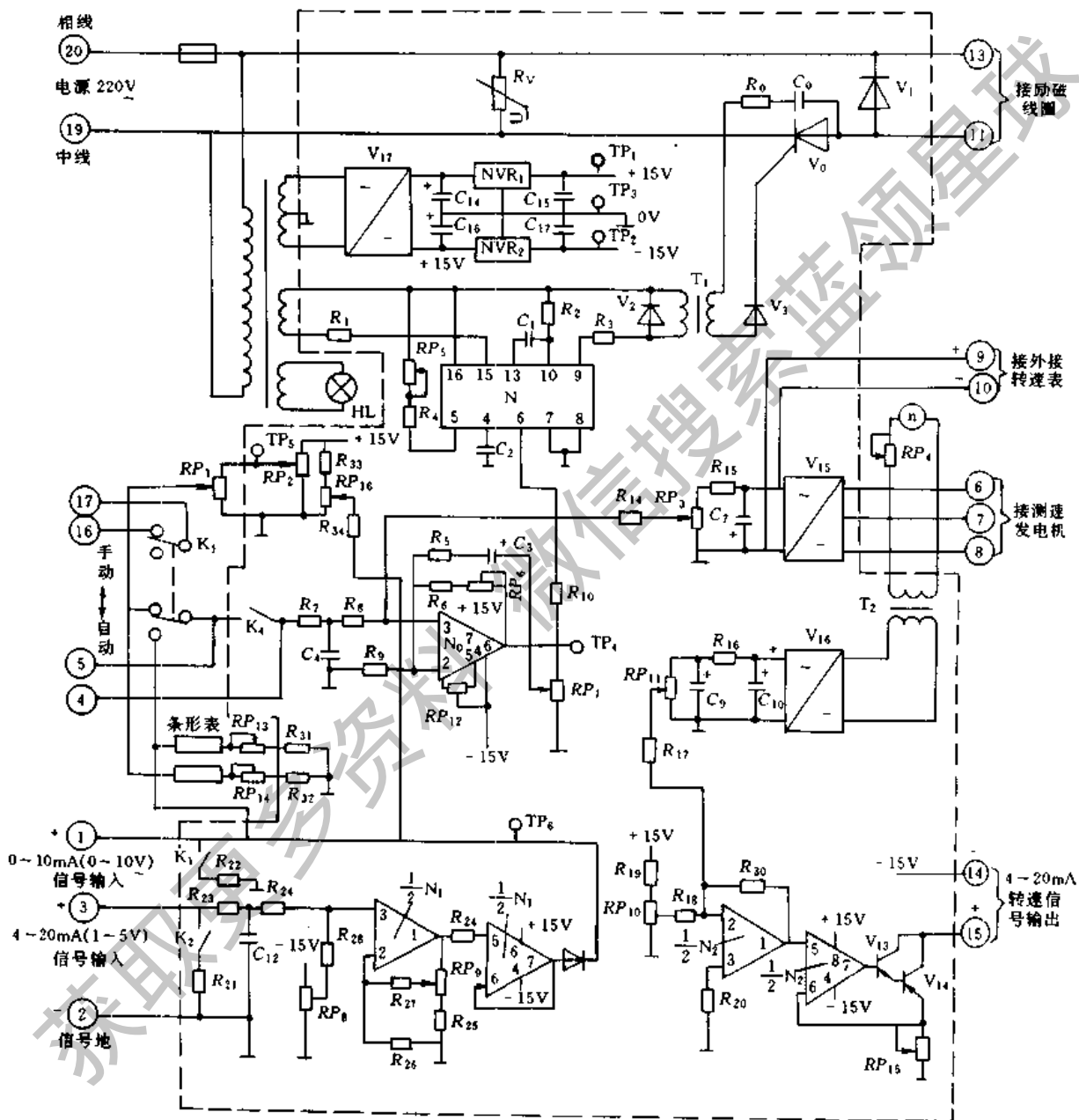


图 5.5.21 DXK-4B 型多信号控制器电气原理图

图中①②……⑯为控制器接线端子编号；虚线内元器件皆在印制电路板上；

TP₁ ~ TP₆ 为测试针

DXK-4型多信号控制器由单相半波可控整流电路、集成脉冲触发器、具有PID特性的速度调节器、测速负反馈电路、 $\pm 15V$ 稳压电源、输入信号转换电路和转速信号转换电路(将 $0\sim 1500r/min$ 转换为 $4\sim 20mA$ DC)等组成。由方框图可知,控制器的给定信号可以手动输入(调节主令电位器),也可接受自动信号输入,由手动/自动转换开关选择。在自动状态时最低转速限制可以调节。信号大小由面板上条形表指示或数字显示。将自动输入信号变换和放大,是由一只双运放组成的增益可调放大电路来完成,它将 $0\sim 10mA$ 或 $4\sim 20mA$ 、 $1\sim 5V$ 的输入信号转换成 $0\sim 10V$ 的控制信号。控制信号与速度负反馈信号比较后,其差值输入到PID速度调节器。调节器的输出送入移相触发器后,与锯齿波叠加产生随着差值电压改变而移相的触发脉冲。用此移相触发脉冲触发可控硅,控制可控硅的开放角,使调速电动机的励磁电流得到控制,从而实现电机无级调速的目的。调速电机输出的转速信号,经隔离变压器、整流、滤波后,由双运放组成的V/I转换电路转换,变成 $4\sim 20mA$ 直流信号输出。

DXK-4型多信号控制器、LT-4A型力矩调节器、HT-4A型缓冲调节器技术参数分别见表5.5.26至表5.5.28。

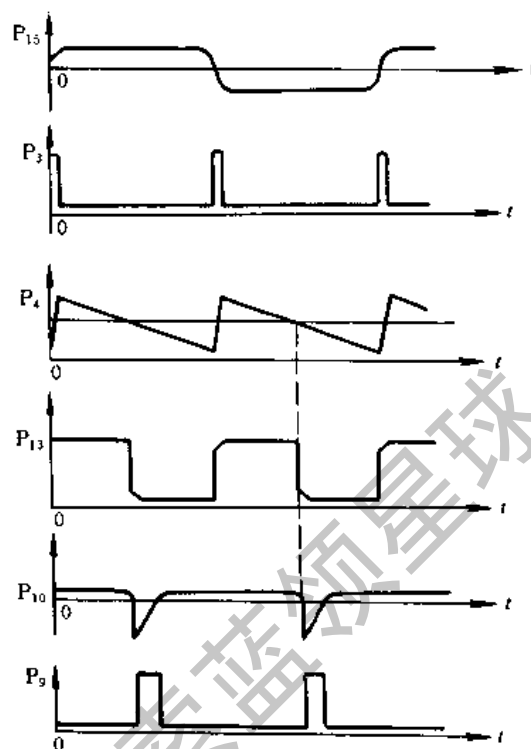


图 5.5.22 N集成触发器各点波形
 P_3 、 P_4 ……为管脚编号

表 5.5.26 DXK-4型控制器技术参数

型号	DXK-4A	DXK-4B
电源电压	交流 $220V \pm 10\%$ 频率 $50Hz$	
最大输出定额	直流 $80V$ 、 $5A$	
可控制调速电机功率	$0.55\sim 40kW$	
测速发电机	三相或单相,输出电压 $> 2V/(100r/min)$, 频率 $160Hz/(1200r/min)$	
转速变化率	$\leq 1\%$	
稳速精度	$\leq 0.5\%$	
转速指示	指针式仪表	数字式或 DDZ-III 仪表、计算机
控制信号	$0\sim 10V$ 或 $1\sim 5V$ (输入阻抗 $20k\Omega$) $0\sim 10mA$ (输入阻抗 $1k\Omega$) $4\sim 20mA$ (输入阻抗 250Ω)	
转速信号输出 ^①	对应 $0\sim 1450r/min$ (最高转速 输出) $4\sim 20mA$ (负载阻抗 $\leq 650\Omega$)	
低速限制范围	$0\sim 600r/min$	

① 转速信号可调成 $0\sim 10mA$, 最高转速参照电机铭牌。

表 5.5.27 LT-4A型力矩调节器技术参数

型号	LT-4A
电源	$220V$ AC $\pm 10\%$, $50Hz$
输入控制信号	$0\sim 10V$ DC
通过励磁电流	$0\sim 4A$ DC
输出信号	$0\sim 10V$ DC (供 DXK-4A 控制器)
安装基础允许振动	频率 $10\sim 150Hz$ 时, 其最大振动加速度不超过 $5m/s^2$

表 5.5.28 HT-4A 型缓冲调节器技术参数

电源电压	220V AC ± 10%, 50Hz
输入信号	0 ~ 10V DC
输出信号	0 ~ 10V DC
缓冲时间	信号由零变到最大的过渡时间: 5 ~ 40s (可调)
安装基础允许振动	频率 10 ~ 150Hz 时, 其最大允许加速度不超过 5m/s ²

4. TKZ-4 系列调速控制装置的组合应用

DXK-4 型多信号控制器与 TC-2 型同操器组合控制多台调速电机同步或异步运行接线见图 5.5.17。

DXK-4 型多信号控制器与 LT-4A 型力矩调节器组合控制调速电动机的接线如图 5.5.23。

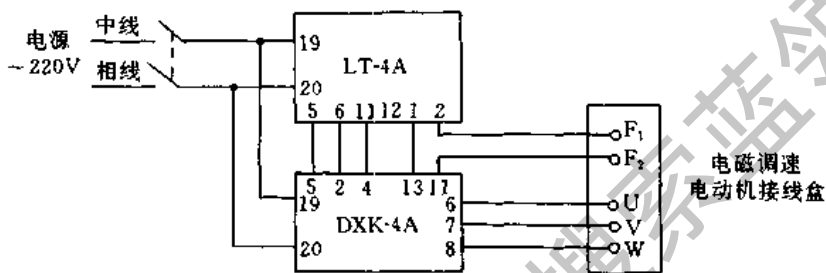


图 5.5.23 LT-4A 型力矩调节器与 DXK-4A 型控制器及电动组合接线图

DXK-4 型多信号控制器与 HT-4A 型缓冲调节器组合控制调速电动机的接线如图 5.5.24。

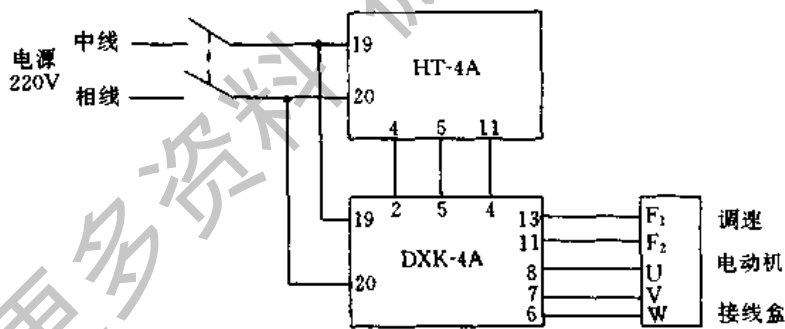
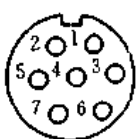


图 5.5.24 HT-4A 型缓冲调节器与 DXK-4A 型控制器及调速电动机组合接线图

三、安装调试

1. JD1A 控制的安装调试

① 控制器的结构为塑料密封结构, 防护等级 IP5X。可用面板嵌入式或壁挂式安装, 底部进线。引出线插头接线见图 5.5.25。



插脚号码	1 2	3 4	5 6 7
对应的连线名称	相线 中线 ~ 220V	离合器励磁绕组	测速发电机

图 5.5.25 JD1 系列电磁调速电动机控制器 P 型插头引线编号图

② 安装使用前用 500V 兆欧表检查控制器绝缘电阻，其阻值不应低于 $1M\Omega$ ，如达不到要求应进行干燥处理，干燥温度不应超过 45°C ，以防损坏元件。

③ 在拖动电机未起动的情况下，不应单独操作控制器。

④ 先起动电动机，再接通控制器电源，电源指示灯亮。旋动调速旋钮，此时转速表读数逐渐上升，在调速范围内指示某稳定转速值。再用转速检测仪表检查涡流离合器的实际输出转速与控制器面板上转速表显示读数是否一致。如有不符应调整校表电位器 RP_3 。

⑤ 顺时针方向转动给定电位器 RP_1 至最大，调节反馈电位器 RP_2 ，使转速表显示转速与被控电磁调速电机铭牌所标定的上限转速一致。经复核后即可投入运行。

2. DK-2B 控制器的调整及试运行

控制器出厂时均已进行调试，使用时只要按要求接好端子接线即可。操作步骤如下。

① 接线前检查电路板和元件有无松脱现象，检查熔丝规格是否为 3A。检查转速表、信号指示条形表等指针是否对零，然后按端子罩盖上的接线图接上电磁调速电动机和电源线，见图 5.5.26。

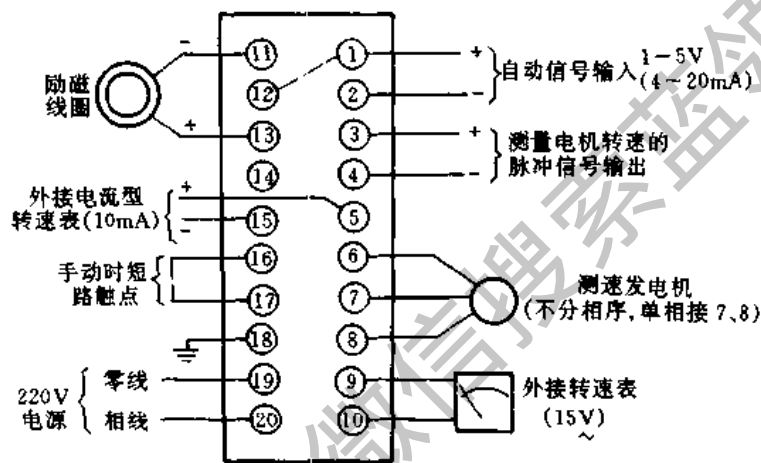


图 5.5.26 DK-2B 型控制器端子图

② 控制器先放在“自动”位置，接通拖动电机电源，检查电机旋转方向是否与被拖动物机械所要求的方向一致。

③ 将自动信号 4~20mA（或 1~5V）接到控制器的 1, 2 端子上（当输入自动信号为 4~20mA 时，需将⑫与⑪短接）。接通控制器电源。从 4mA 起逐步增大自动信号，此时调速电动机应转动并升速。当输入自动信号为最大 20mA（或 5V）时，条形表 PA_1 应指到满度，否则调整 RP_6 使表针指到满度，然后将 RP_6 锁紧。当自动信号为 20mA 时，调整反馈电位器 RP_2 ，使电机转速对应最大额定转速，并将 RP_2 锁紧。再调整校表电位器 RP_4 ，使面板上转速表读数和电机实际转速一致，将 RP_4 锁紧。若使用数字频率仪时，将仪器输入端接到机架上转速测试孔 XJ、XJ' 上，测出的频率值乘以 7.5 便是电机的转速 (r/min) (XJ、XJ' 插孔输出的是小于 5V 的矩形波信号)。

④ 将主令电位器 RP_1 右旋到最大， RP_3 旋到零（反时针方向到底），然后将切换开关放到“手动”位置，调整 RP_8 使电机转速对应于最大额定转速，同时调整 RP_7 使 PA_2 达到满度。然后将 RP_1 旋到最小，调整 RP_{10} ，使 PA_2 刻度对应于自动信号为最小时 PA_1 的刻度指数。

⑤ 当手动信号从最大到零变化时，电机转速应能随之相应减到零。

⑥ 如需要低速限制，则将 RP_1 旋到零位，调整 RP_3 则可得到 0~600r/min 的低速限制转速。每次调过 RP_3 后，应再将 RP_1 旋到最大，重新微调 RP_2 ，整定最高转速值。反复调整好后将电位器锁紧。

3. DXK-4B 控制器的调整及试运行

① 接线前，先检查控制器经过运输后面板上仪表、元件有无损坏处，仪表指针是否对零，内部线路和元件有无松脱现象。然后按端子罩盖上的接线图接上电磁调速电动机和电源线。

② 先接通调速电路上异步电机电源，看异步机旋转方向是否与负载机械所要求的一致。不一致时可调换

异步机二根电源线的位置。

③ 接通控制器电源。将面板上的“手动-自动”开关放在“手动”位置。校核转速为零时⑮⑭端子输出的电流是否为 4mA。如不是，可调电位器 RP_{10} 。端子接线图见图 5.5.27。

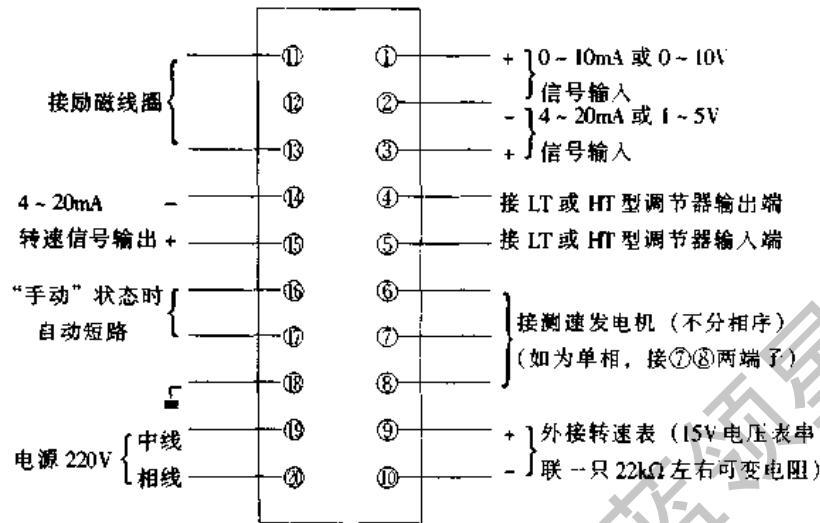


图 5.5.27 DXK-4B 控制器端子接线图

- 注：1. 接入 4~20mA 自动信号时，需将机内印刷电路板上开关 S 的第 2 刀置“ON”；
接入 0~10mA 自动信号时，需将机内印刷电路板上开关 S 的第 1 刀置“ON”。
2. ④、⑤端子是在与 LT 型或 HT 型调节器组合时使用。
3. ⑬、⑭端子供用户在需要时使用。

④ 将 RP_1 右旋到底（信号最大），调节速度反馈电位器 RP_3 ，使调速电机转速为额定最高速，然后将 RP_3 锁紧。

⑤ 校核电机在最高转速时，⑮、⑭端子输出的电流是否为 20mA，如不是，可调电位器 RP_{11} 。再试验当转速下降时是否该电流跟着下降，如不是，可调整电位器 RP_{15} 。

⑥ 使用自动信号控制的接线方法：4~20mA（或 1~5V）的信号接至③、②端子，为电流信号时，同时将机内印制电路板上的开关 K 第 2 刀置“ON”；0~10mA（或 0~10V）的信号接至①、②端子，为电压信号时，同时将机内印制电路板上开关 K 的第 1 刀置“ON”。控制器面板上“手动-自动”开关放到“自动”。

⑦ 需要在自动信号控制时有最低转速限制的用户，继续作以下调试：起动电机，先将自动信号调到最小（或不送入），调节电路板上的低速限制电位器 RP_{16} ，使电机转速升到所限制的最低转速（0~600r/min 之间）。

⑧ 将自动信号调到最大，此时电机转速将上升，如超过额定最高速，可调节速度反馈电位器 RP_3 ，使转速回到额定值，然后再将自动信号调到最小，如果这时最低转速比刚整定时下降很多，再调 RP_{16} 使它回到所限制的低速。这样反复调整 RP_{16} 和 RP_3 两三次。可得到满意的最低转速和最高转速。最后，将反馈电位器 RP_3 锁紧。

⑨ 加入一定的自动信号，检查手动-自动切换是否正常。

⑩ 控制器出厂时是按照它单独与电机连接使用状态设定的，电路板上的开关 K 的第 4 刀放在“ON”的位置。若将控制器与 LT-4A 型调节器组合使用，则需将它放到“断”的位置。

四、维护修理

这里仅介绍 JDI 系列控制器的使用及维护方法。

① 使用环境清洁，防止油污、水分及潮湿空气进入内部。如发现印刷电路板插脚沾污，需及时用酒精擦洗，以防接触不良，影响使用。

② 如存放时间较长或在检修后，应检测控制器的绝缘电阻，其值不得低于 $1M\Omega$ 。

③ 电磁调速电机控制器出现故障后，调速电机即不能正常工作，用户应送专业维修单位或找有专业维修常识的人员修理。故障判断及检修方法见表 5.5.29。

表 5.5.29 常见故障的判断与检修方法

故障现象	可能原因	检修方法
接通电源后指示灯不亮	组合插头或印刷电路板插座接触不良， 电源未接通 指示灯损坏或未拧紧 熔断器熔丝烧断 电源开关接触不良	检查插头或插脚焊接情况，并用酒精擦洗 检查指示灯，用电压表交流档测量应为6V左右 检查插头接线是否正确，有无短路；压敏电阻是否击穿， V_1 、 V_2 是否击穿 检查电源开关
接通电源，拖动电机运转后，调节给定电位器 RP_1 旋钮时，电磁离合器不工作，转速表无指示	RP_1 电位器断路 稳压块 N 损坏 二极管 V_1 、 V_2 损坏 单结晶体管 V_{10} 和三极管 V_9 损坏 脉冲变压器 T_2 断线 续流二极管 V_1 损坏 二极管 V_2 不通	检查变压器各次级线圈电压 测量 RP_1 上的给定电压是否在 12V 左右 测量稳压管 V_{11} 两端电压是否 8~10V 上述情况均正常，用示波器观察脉冲变压器 T_2 的波形（应为可移动脉冲波）
电机运转后电磁离合器工作时转速一直上升， RP_1 电位器失去作用。转速指示不正常	电位器 RP_2 损坏 插脚接触不良 二极管 V_6 在运行时烧坏，不通	更换电位器 RP_2 用酒精清洗插脚 更换二极管
转速表指示与实际转速值不一致，无法调节	由于测速发电机退磁 测速发电机有一相短路或断线 转速表里整流管损坏	调节 RP_3 电位器不能解决问题时，测速发电机转子需重新充磁 测量测速发电机三相电压是否对称 检查转速表，接上交流 15V 应指示满刻度

第四节 调速器

调速产品种类繁多，由于结构原理各不相同，产品性能各异，对负载特性的要求也不尽相同。

本节除介绍电磁调速电动机的派生产品电磁调速器外，重点介绍近年来最新发展起来的一种新型调速装置——液体粘性调速器。

一、CT 系列电磁调速器

CT 系列电磁调速器系电磁调速电动机的派生系列产品之一。两者的区别仅在于电磁调速器不带电动机，而用支撑件与输入轴取代调速电机中的原动机，它适用于不用三相异步电动机驱动的动力机械。同时大功率的调速电机不可能设计成整体结构，只能制成调速器，再与不同规格的电动机由联轴器相联，组成调速电动机。

电磁调速器除作调速器、离合器使用外，还有多种用途。

(1) 作测功机用 将电磁调速器的输出轴接测力仪器，输入轴接被测机械，可以方便地测出被测机械的输出力矩，从而计算出被测机械的输出功率。

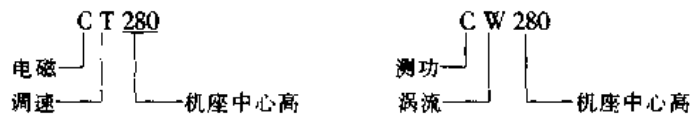
电磁调速器稍作改进，可设计出测功机系列产品。CW（涡流测功）系列涡流测功机，只有输入轴，没有输出轴，将与输出轴连接的磁极固定，被测机械与测功机之间加接转矩转速测试仪，这样可以方便地测出被测机械的输出转矩及转速。产品体积小，适用美观，最大测试转矩达 $7000\text{N}\cdot\text{m}$ ，输入转速 $3000\sim 500\text{r}/\text{min}$ 。

(2) 作制动器用 CW 系列涡流测功机与被动机械相连，当工作机械运行时，制动器不工作，停机时测功机的励磁绕组通入直流电，制动器产生的制动力矩能使工作机械迅速停机，准确定位，而且制动平稳。制动过程由电磁转矩完成，两者无机械连接，故无机械损耗及摩擦噪声。

(3) 作限矩器用 将电磁调速器接在动力机械与工作机械之间，根据传递力矩的大小测定所需的励磁电压。电压值稳定不变，负载转矩突变时，输入轴与输出轴之间转差发生变化，有效地保护负载机械或动力机械

不受损坏。

1. 型号含义



2. 技术参数

CT 系列电磁调速器的技术参数见表 5.5.30。

表 5.5.30 CT 系列电磁调速器技术参数

型号	当输入转速接近 2 极同步转速时		当输入转速接近 4 极同步转速时		当输入转速接近 6 极同步转速时		当输入转速接近 8 极同步转速时		额定传递 转矩 (N·m)	转速 变化率 /%
	调速范围 (r/min)	高速传递 功率/kW	调速范围 (r/min)	高速传递 功率/kW	调速范围 (r/min)	高速传递 功率/kW	调速范围 (r/min)	高速传递 功率/kW		
CT112	2600 ~ 260	1.33	1250 ~ 125	0.64	800 ~ 100	0.41	580 ~ 80	0.30	4.9	< 2.5
CT132		2.64		1.27		0.81		0.59	9.72	
CT160		5.22		2.51		1.61		1.17	19.2	
CT180		7.12		3.3		2.1		1.53	25.2	
CT200	2700 ~ 270	13.48		6.21		4		2.9	47.7	
CT225		26.65		12.34		7.9		5.7	94.3	
CT250	2750 ~ 275	39.43	1320 ~ 132	18.93	850 ~ 100	12.2	660 ~ 80	9.46	137	
CT280		54.4		26.11		16.8		13.05	189	
CT315		81.2		38.96		25.1		19.48	282	
CT355	2800 ~ 800	165.3	1320 ~ 440	77.92	880 ~ 290	51.9	660 ~ 220	38.96	564	

二、NT 系列液体粘性调速器

液体粘性调速器是一种新型的液体传动调速装置，又称调速离合器，日本、美国称为奥美伽离合器 (Omega clutch)，简称液粘调速器。

液体粘性调速器是中大功率风机、水泵调速节能的方案之一，节电效果显著，平均节电率约 25% 左右。

液粘调速器国外从 60 年代开始研制，70 年代开始用于工业运行。目前，单台容量已达 15000kW，最高转速达 3600r/min。该产品主要有美国费城公司的 H 系列、双盘公司的 HY 系列；日本丸红株式会社的 MC 系列。国内 70 年代开始研究，80 年代中期开始有产品投入运行。目前，单台容量已达 3200kW，最高转速为 3000r/min。

1. 基本原理与结构

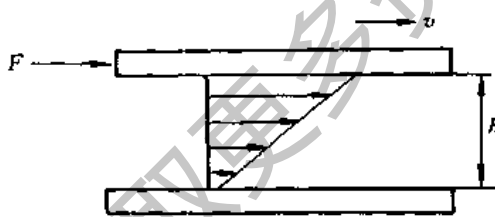


图 5.5.28 作相对运动的两平板

液粘调速器是依靠液体的粘性和油膜的剪切作用传递力矩的，根据流体力学的牛顿内摩擦定律（如图 5.5.28）：

$$\tau = \mu \frac{dv}{dh}$$

式中 τ ——两平板上单位面积传递的力；

μ ——液体的粘性系数；

dv ——两平板的相对运动速度；

dh ——两平板间距即油膜厚度。

传递力 τ 的大小与液体的粘性成正比，与相对运动的速度成正比，而与油膜的厚度成反比，当 τ 保持不变时， $dv \propto dh$ ，即速度随油膜厚度的变化而变化，这就是液体粘性调速器能调速的基本原理。

液体粘性调速器由主机、油系统和控制器组成，通过速度负反馈实现闭环控制，进行手控、自控或远程控制。各部件作用如下。

(1) 主机 调速器是以粘性液体为工作介质，依靠主、被动摩擦片间液体的粘性剪切力来传递扭矩的。

主机结构如图 5.5.29。主动轴通过花键与主动摩擦片连接，支撑在两端轴承上；被动轴与被动平衡组件配合，通过花键与被动摩擦片连接，主、被动摩擦片成对放置，借助被动平衡组件中油缸油压的变化来改变摩擦片之间的间隙，从而改变被动轴的转速。摩擦片间的工作油来自润滑油系统，工作油通过主机排入油箱。

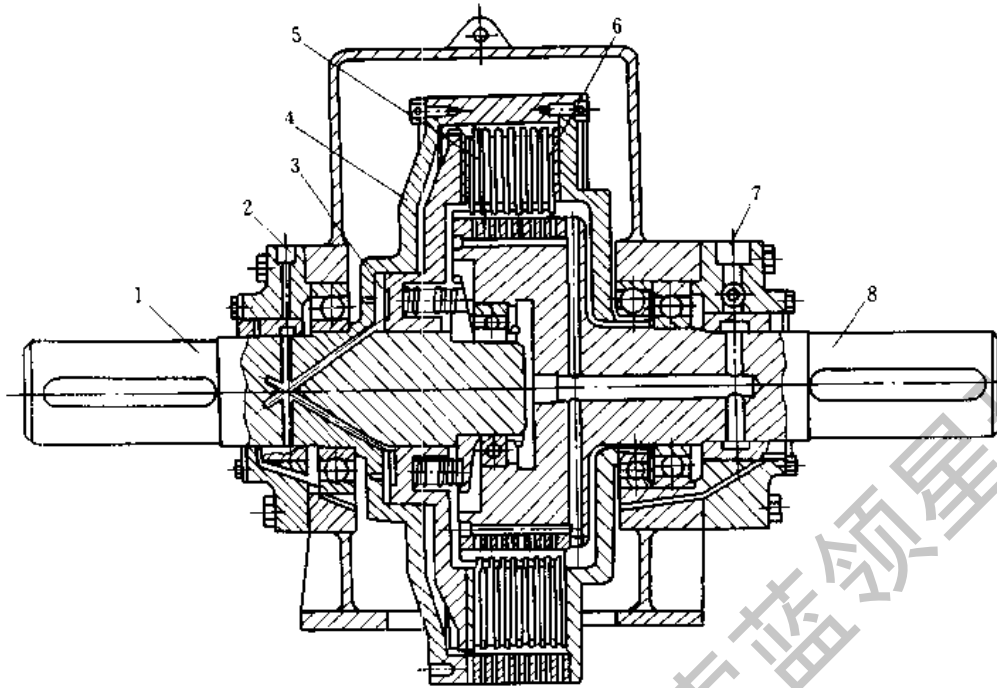


图 5.5.29 液粘调速器主机结构示意图

1—被动轴；2—压力油进口；3—油缸；4—被动平衡组件；5—被动摩擦片；
6—主动摩擦片；7—润滑油进口；8—主动轴

(2) 油系统 油系统分为两部分：压力油系统和润滑油系统，系统原理图见图 5.5.30。

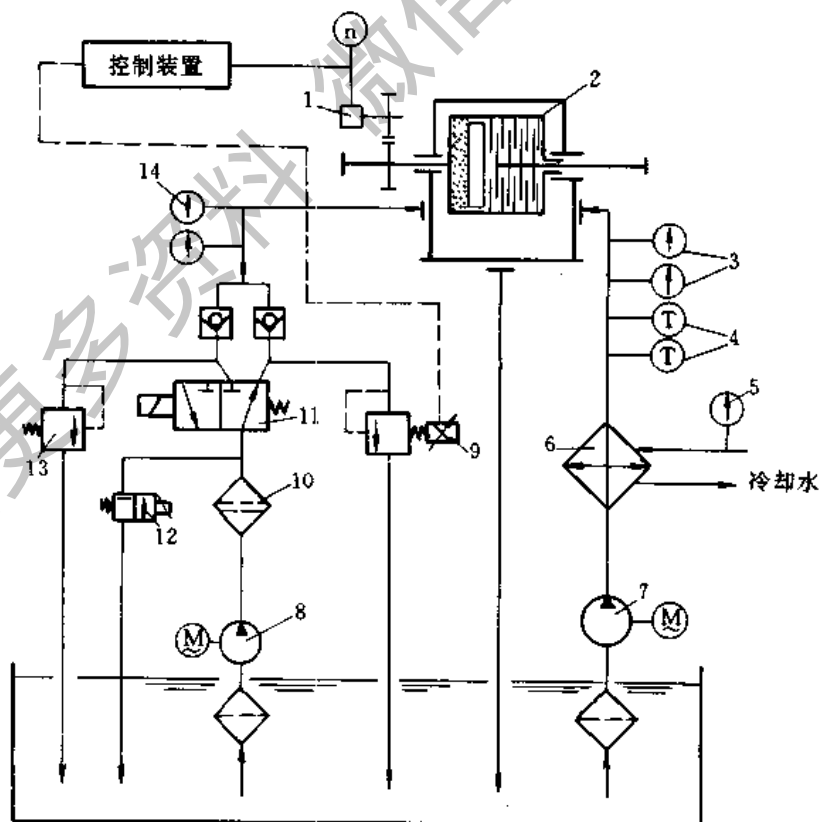


图 5.5.30 NT系列液粘调速器油系统简图

1—测速装置；2—液粘调速器；3—压力传感器；4—温度传感器；5—流量控制器；6—冷却器；7—润滑油泵；
8—控制油泵；9—电液比例溢流阀；10—精油滤；11—换向阀；12—电磁阀；13—溢流阀；14—压力传感器

压力油系统由油滤器、齿轮泵（或螺杆泵）、精油滤器和电液比例阀组成，为油缸提供稳定的油压。润滑油系统由油滤器、润滑油泵、冷却器（热交换器）和溢流阀组成，为主、被动摩擦片及轴承提供润滑和工作油。冷却器则根据电机功率和实际工况来选配，冷却介质为水。油系统使用6[#]、8[#]液力传动油或22[#]透平油。

(3) 控制器 调速器主机被动轴转速由磁电转速传感器接收并输出脉冲电信号送入控制器，经过与指令信号对比，发出增、减速信号到电液比例阀，将电信号转换为压力信号，从而调节油缸的油压，使摩擦片之间的距离发生变化而进行调速。系统原理框图见图 5.5.31。

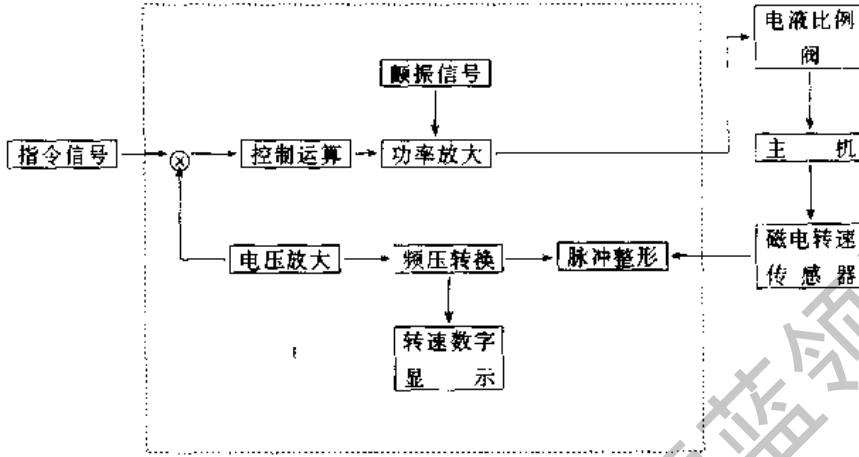
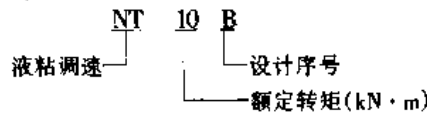


图 5.5.31 控制系统方框图

2. 主要特点

- ① 输出转速可按不同的工况要求，自动或手动控制调速器进行无级调速，平滑地调节流体的流量和压力。
- ② 可以实现无滑差的同步运行，即传动比 $i = 1$ ，使风机、水泵能在额定工况下运行，无滑差和流量损失，调速范围可在 30% ~ 100% 输入转速下进行，因此对需要在调速与额定转速两种工况下运行的风机、水泵，和液粘调速器配套使用，能获得最佳节电效果。这是一般调速方案很难达到的。
- ③ 可以空载起动，大大降低起动电流。对起动惯量较大的负载，能降低起动电流对电网的冲击，还可减小装机容量。当负载机械临时停机时，原电机不必停车，而在空载下运行，以避免大功率电机的频繁起动。
- ④ 与液力耦合器、电磁调速器相比体积小，轴向尺寸短，安装调试方便。
- ⑤ 全封闭结构，密封性能好，适用于多粉尘场合，便于派生为防爆、防腐等类产品。
- ⑥ 调节灵敏，反应速度快，调速精度高，容易实现远距离联动及自动控制。
- ⑦ 价格便宜，用于风机、水泵的调速节能，一般在一年左右即能收回投资成本。

3. 型号说明



4. 主要技术参数

NT 系列液体粘性调速器主要技术参数见表 5.5.31。

表 5.5.31 液粘调速器性能参数

型号	输入转速 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	功率范围 /kW	调速范围 /%	调速精度 /(r/min)	冷却水量 /(L/min)
NT-2B	700 ~ 1500	2000	100 ~ 300	30 ~ 100	± 10	50
NT-4B	700 ~ 1500	4000	300 ~ 600	30 ~ 100	± 10	100
NT-6B	700 ~ 1500	6000	360 ~ 900	30 ~ 100	± 10	135
NT-8B	600 ~ 1500	8000	450 ~ 1200	30 ~ 100	± 10	200
NT-10B	600 ~ 1500	10000	600 ~ 1500	30 ~ 100	± 10	200 ~ 250
NT-12B	600 ~ 1500	12000	720 ~ 1800	30 ~ 100	± 10	200 ~ 300
NT-14B	600 ~ 1500	14000	840 ~ 2100	30 ~ 100	± 10	250 ~ 350
NT-16B	600 ~ 1500	16000	960 ~ 2400	30 ~ 100	± 10	300 ~ 400
NT-18B	600 ~ 1500	18000	1080 ~ 2700	30 ~ 100	± 10	350 ~ 450

另有几点说明如下。

- ① 压力油系统油压：0.2~2MPa。
- ② 润滑油系统油压：0.06~0.5MPa。
- ③ 使用油温：<50℃；最高油温：<75℃。
- ④ 功率范围以拖动电机的同步转速计算。

⑤ 冷却水为自来水时用板式散热器；若用工业用水或其他水源时配用管式散热器。散热器的规格可根据运行工况由制造厂选配或推荐。

- ⑥ 控制电流：0~0.8A。

5. 产品试验

(1) 机械检查

- ① 外观检查：油漆应干燥完整，无污损、漆瘤等现象；铭牌内容与产品相符，整机无缺损。
- ② 外形尺寸：安装尺寸及公差应符合要求。

(2) 静态试验 液粘调速器静止时，借助控制装置，使控制油压由低到高，观察控制电流与控制电压的变化规律应呈线性关系，最高控制油压达1.5MPa时，控制电流应 $\leq 0.7A$ 。

(3) 空载跑合试验 在额定输入转速下，控制压力由低到高再由高到低反复两次，测量并记录油温、流量、压力、振动等参数，观察密封等有无异常。

(4) 调速试验 将液粘调速器与拖动电动机、测功机、换热器相连接，并接入转矩转速测量仪等测试仪器，即可进行负载试验。加载大小根据试验条件决定：额定功率不大于1000kW时，可进行满负荷试验或部分负荷试验，但至少不得低于额定功率的20%；额定功率大于1000kW时，可进行部分负荷试验，但不得小于200kW。

调速试验应以转速为依据，各转速比 i 的负荷为 i^2 乘以额定转矩，借助调速器的控制装置调节控制油压，按 i 等于1, 0.95, 0.9, 0.8, ……0.5，每档运转5min，测出其调速范围、转速波动率、调速精度、控制油压和润滑油压等。控制电流应小于0.8A，控制油压小于2MPa。进入调速器的油温应小于50℃，调速器不得有渗漏现象。

(5) 工业试验 在使用现场进行连接500h的工业试运行，检查各项性能是否正常。

6. 使用维护

(1) 安装校正 液粘调速器与拖动电动机、负载机械之间宜用弹性柱销联轴器连接，把负载机械安装在正确位置，以其轴线为基准校正调速器，再以调速器主动轴线找正电动机，调速器轴、电动机轴和负载机械轴之间的径向跳动应 $\leq 0.1mm$ ，联轴器端面最大跳动量应 $\leq 0.15mm$ ，调速器轴线应稍低（ $\leq 0.1mm$ ）。

换热器的进出口油管应低于油箱油标高度，油管安装前应先清除管内杂质，再用水反复冲洗，最后用煤油冲一遍晾干。

(2) 操作程序 起动时必须先起动润滑油泵和压力油泵后，才能起动主电动机；停机时应先关闭主电动机，待停机后再关闭两油泵电机。

(3) 换热器冷却水量 换热器冷却水量的大小视换热器出油温度而定，以油温 $\leq 45^\circ C$ 为宜，油温过高应增大冷却水量。

(4) 维护与保养 调速器第一次使用，运行约500h后，应检查一次油质、清洗滤油器。平时每工作日进行一次一级保养；每3个月进行一次二级保养，每年进行一次三级保养（可结合负载机械和电动机检修时进行）。维修保养项目见表5.5.32。

表 5.5.32 液粘调速器维修保养项目

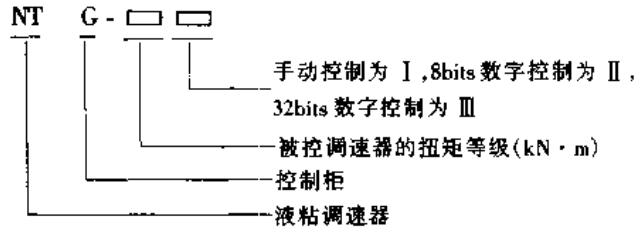
维 修 保 养 项 目	维 修 保 养 项 目			维 修 保 养 项 目	维 修 保 养 项 目		
	一 级	二 级	三 级		一 级	二 级	三 级
检查油面高度	✓			检查被动轴压力油进油孔两侧密封环			✓
检查仪表指示值	✓			清洗电液比例溢流阀			✓
检查有无异常振动，噪声及渗漏	✓			检查油泵			✓
擦拭外部	✓			检查轴承			✓
检查地脚螺栓有否松动		✓		检查安装精度			✓
检查油质		✓		检查回油通道是否堵塞			✓
清洗精滤油器芯			✓	清洗粗滤油器芯			✓
检查主被动轴端油封			✓				

7. NTG 系列液粘调速控制装置

NTG 系列液粘调速控制装置与 NT 系列液粘调速器配套使用, 组成调速系统, 实现对大中型风机、水泵的调速节能控制运行。

该控制装置包括带速度负反馈的调速控制器及调速器上油泵的控制、油温油压的监测保护等装置。

(1) 型号



(2) 主要规格和技术参数见表 5.5.33。

表 5.5.33 NTG 调速控制装置主要规格和技术参数

型号	容量	输出信号	输入信号	电源	转速变化率	备注
NTG2 ~ 6 I	8kVA	0 ~ 800mA DC	转速信号	三相 四线 380V ±10%	750r/min	模拟量, 手动控制柜
NTG8 ~ 16 I	15kVA	高压电机开停信号	各种报警信号开关量		≤2.5%	
NTG18 ~ I	20kVA	各种声光报警信号			1000r/min	
NTG2 ~ 6 II	8kVA	0 ~ 800mA DC	转速信号	三相 四线 380V ±10%	≤2%	PLC 控制柜
NTG8 ~ 16 II	15kVA	高压电机开停信号	各种报警开关量或模拟量信号		1500r/min	
NTG8 ~ II	20kVA	各种声光报警信号	4 ~ 20mA, 1 ~ 5V, 0 ~ 10V, ±10V		≤1.5%	
NTG2 ~ 6 III	8kVA	4 ~ 20mA, 1 ~ 5V 转速信号	自动控制信号、被控量信号 (如压力、流量、位置、温度等)	三相 四线 380V ±10%	3000r/min	32bits 数字 控制柜
NTG8 ~ 16 III	15kVA	油温、油压超限信号油泵开 停信号			≤1%	
NTG18 ~ III	20kVA					

(3) 主要功能

- ① 在调速范围内可以实现平稳的无级调速, 最高转速可以拖动电机同步。
- ② 接受调速器的转速反馈信号, 保证调速器的调速精度和转速变化率。
- ③ 该控制装置可手动控制, 操作方便, 仅需旋转操作电位器旋钮即可达到转速调节, 从而实现流量、压力等参数的改变, 也可以接受压力、流量、位置、温度等自动信号实现自动控制。
- ④ 保护功能齐全, 具有电、机械、液压等故障的报警、识别功能, 使调速系统更加可靠。

第五节 YTP 系列变频调速异步电动机

变频调速装置由变频调速器和变频调速电动机组成。下面介绍 YTP 系列三相变频调速异步电动机。

变频调速是通过改变电动机定子绕组的供电频率来实现调速的, 这种调速方法没有转差损耗, 属高效节能调速。YTP 系列调速电动机吸取了国外先进产品的优点, 采用计算机优化设计技术, 各项性能均达到或超过了国家标准, 可与国内外各类变频器配套组成调速范围宽、振动小、噪音低、运行平稳的恒功率或恒转矩调速系统。

YTP 系列变频调速电动机的功率、中心高与 Y 系列 (IP44) 三相异步电动机对应, 两者安装尺寸相同, 标准化程度高, 互换性强。

一、基本原理与特性

异步电动机的同步转速 n_0 与电源频率 f_1 成正比, 即:

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (\text{r/min})$$

式中 f_1 为定子供电电源频率 (Hz)。因此, 只要改变电源频率 f_1 就可实现变 n_0 调速。

当电源频率 f_1 由额定值 (通常为 50Hz) 下降时, 若外施电压不变, 随着 f_1 的下降电动机定子磁通便上升, 造成定子铁芯磁密的过饱和, 以致使励磁电流迅速增加, 定子线圈温度升高。因此在频率 f_1 下降时, 外施电压必须同时降低, 以保持主磁通不变, 此时电动机的输出转矩也不变, 这就是变频调速异步电动机的恒转矩调速。

当电源频率由额定值上升时, 随着频率的升高, 若外施电压不变, 主磁通将成比例下降, 电动机的输出转

矩也随之下降。此时若设法保持输出转矩恒定，则会因频率升高使电动机的输出功率迅速增加而造成危害。因此在电源频率由额定值上升时，变频调速异步电动机按恒功率输出特性设计，这种特性完全能满足负载机械的需要。

必须指出的是，变频调速异步电动机的这种负载特性是借助于变频调速器来实现的。用变频器控制普通三相异步电动机同样可以实现小调速比调速，但在运行过程中随着实际转速与设计转速的偏离，电动机的性能参数随之恶化，这种变化低速时尤甚，可能使电动机不能正常工作。因此，在选用变频调速装置时最好选用变频调速异步电动机与变频器配套使用。

与变频调速电机配套使用的变频器输出特性见图 5.5.32。该电压-频率 ($U-f$) 曲线即为配套电机的输入 $U-f$ 曲线。系统运行时选择合理的 $U-f$ 特性，可取得良好的运行效果。在图 5.5.32 的输入特性下，YTP 调速电动机的转矩-频率 ($M-f$) 特性见图 5.5.33。

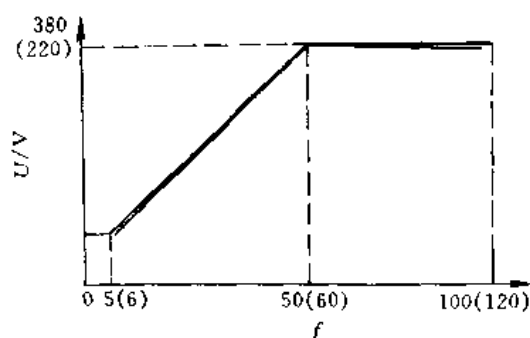


图 5.5.32 变频器 $U-f$ 特性

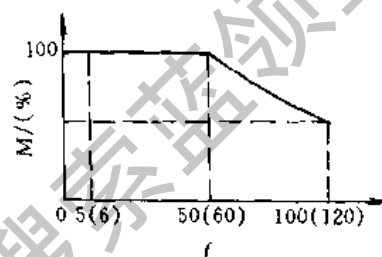


图 5.5.33 变频电机 $M-f$ 特性

二、型号说明



三、使用条件

- ① 安装地点的海拔高度不超过 1000m。
- ② 环境空气最高温度随季节变化，但不超过 $+40^{\circ}\text{C}$ ，最低温度为 -15°C 。
- ③ 相对湿度不超过 90% ($+25^{\circ}\text{C}$)。

四、技术参数

1. YTP 系列变频调速电动机的主要技术参数 (见表 5.5.34)
2. YTP 系列变频调速电动机基本参数
 - ① 电动机的防护等级为 IP44 或 IP23。
 - ② 电动机的冷却方式为 IC0141。
 - ③ 电动机的结构及安装形式为 IMB3、IMB35 (机座号 80~280) 和 IMB5 (机座号 80~225)。
 - ④ 电动机标称功率 3kW 及以下为 Y 接，其他功率为 Δ 接。
 - ⑤ 额定电压 380V，额定频率 50Hz。
 - ⑥ 调频范围及特性：
 - 5~50Hz (电网标准频率为 60Hz 时为 5~60Hz)；
 - 恒转矩调速；
 - >50Hz (或 60Hz)~100Hz (或 120Hz) 恒功率调速。
 - ⑦ 起动转矩 >1.2 倍额定转矩。
 - ⑧ 绝缘等级：B 级或 F 级。

表 5.5.34 YTP 系列变频调速电动机主要技术参数

标称功率 /kW	4 极			6 极			8 极		
	机座号	额定转矩 /(N·m)	电流 /A	机座号	额定转矩 /(N·m)	电流 /A	机座号	额定转矩 /(N·m)	电流 /A
0.75	802	4.7	2.3	905	7.0	2.5			
1.1	90S	7.0	3.0	90L	10.5	3.5			
1.5	90L	9.5	4.1	100L	14.0	4.4			
2.2	100L1	14.0	5.5	112M	21.0	6.1	132S	28.0	6.4
3	100L2	19.0	7.5	132S	28.5	7.9	132M	38.0	8.5
4	112M	25.0	9.6	132M1	37.5	10.3	160M1	50.0	10.9
5.5	112M	35.0	12.7	132M2	52.5	13.8	160M2	70.0	14.6
7.5	132M	47.5	17.0	160M	71.0	18.7	160L	95.0	19.5
11	160M	70.0	24.8	160L	105.0	27.0	180L	140.0	26.4
15	160L	95.0	33.0	180L	142.5	34.6	200L	190.0	35.8
18.5	180M	117.5	37.7	200L1	176.0	39.6	225S	235.0	43.4
22	180L	140.0	44.5	200L2	210.0	46.8	225M	280.0	50.0
30	200L	190.0	59.6	225M	285.5	62.5	250M	381.0	66.0
37	225S	235.0	73.2	250M	352.5	75.6	280S	470.0	82.7
45	225M	286.0	88.4	280S	429.0	89.6	280M	572.0	97.8
55	250M	350.0	107.6	280M	525.0	110.0			
75	280S	477.0	146.6						
90	280M	572.5	172.5						

第六节 JZS₂ 系列三相交流换向器电动机

三相交流换向器电动机又称三相交流整流子电动机。换向器电动机是一种具有恒转矩负载特性、能无级调速的三相交流异步电动机。由于换向器电动机具有调速范围广、起动性能好、功率因数高等优点，在印刷、印染、塑料、拉丝、水泥、橡胶等工业部门及其他需要调速的场合得到比较广泛的应用。

JZS₂ 系列三相交流换向器电动机为转子馈电式结构。该电机实质上与转子带有附加绕组的异步电动机相类似，相当于一台反装式绕线转子异步电动机和一台换向器变频机的组合。电动机的接线原理示意图见图 5.5.34。

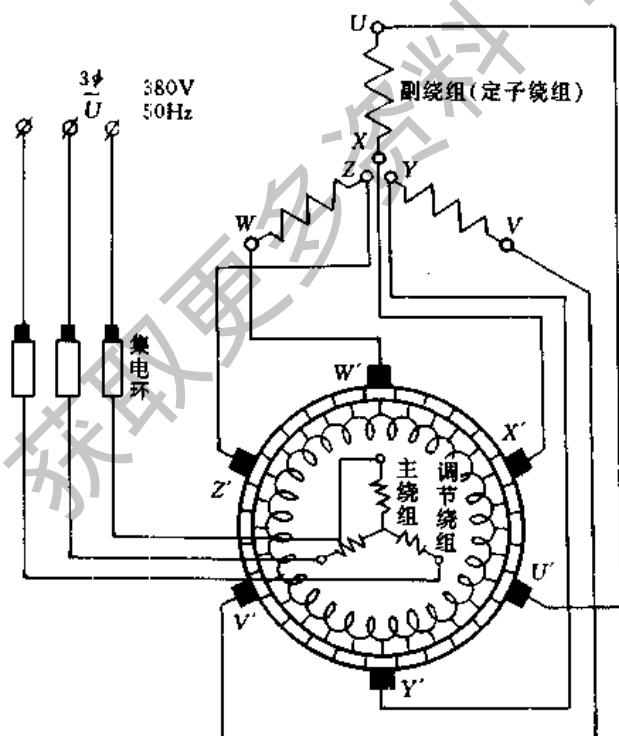


图 5.5.34 换向器电动机接线原理

类似，相当于一台反装式绕线转子异步电动机和一台换向器变频机的组合。电动机的接线原理示意图见图 5.5.34。

JZS₂ 系列三相换向器电动机特点如下。

① JZS₂ 系列三相换向器电动机的起动性能好。电动机在额定电压、额定频率下起动时，调速范围为 3:1 的电动机在额定最低速的电刷位置下，起动转矩一般为 1.3~1.5 倍额定转矩左右，通常大于 1.4 倍额定转矩，而起动电流小于 3 倍的最大额定电流值。在整个起动过程中一般都不出现最小起动转矩。

② JZS₂ 系列换向器电动机的调速范围广，通常调速比有 3:1、6:1、10:1，甚至大于 20:1，换向器电动机还可以运行在同步转速以上，空载最高转速可提高到接近于两倍的同步转速，而最低转速则可降低到零。

③ JZS₂ 系列换向器电动机能在恒转矩负载特性下平滑无级调速。其机械特性硬度介于直流电动机和异步电动机之间，自空载至额定负载范围内的转速变化率，在额定最高速的电刷位置下，约为同步转速的 5%~10%，在额定最低转速的

电刷位置下，约为8%~12%。换向器电动机的转矩-转速特性曲线与异步电动机相似，唯有在额定最低转速的电刷位置下，因次级回路内具有较大的电阻值，最大转矩常发生在起动位置以下。

④ JZ₂系列换向器电动机具有高的功率因数。当电动机运行在同步转速以下时，可以用移刷机械上齿数不同的两个调速齿轮，使电动机在调节转速的同时，也使两块磁盘逆着电动机旋转方向移过一个角度，使电刷电压 E_K 在向量上比 E_2 落后一个相应的角度，使电动机在低速运行时的功率因数得以补偿。在具有低功率因数补偿机构的换向器电动机上，额定最低速下的负载功率因数可达0.6以上。当换向器电动机运行转速大于同步转速时，由于电机的转差为负值，因此转子的总阻抗将有所降低，使负载功率因数相应提高，在不经补偿的情况下，负载功率因数可达0.98~1.0。

⑤ 换向器电动机具有较高的运行效率，特别是低速下的效率较高，这是很多调速机械难以达到的。

因为换向器电动机必须自转子侧馈电，所以这种电机只能设计成运行在线路电压低于500V的交流电网上。由于换向器电动机的结构相对比较复杂，维修不很方便，这是换向器电动机的主要缺点。

一、基本原理与结构

换向器电动机转子槽内嵌有两套绕组。一套为主绕组，嵌在槽的底部，可接成星形或三角形，通过集电环与电网相连，也有与调节绕组接成串联的。另一套为调节绕组，嵌在主绕组的上部，每个绕组的端头都接到换向器上，对于容量较大的电动机，槽子顶部还嵌有放电绕组，与调节绕组并接在换向片上，构成调节绕组在换向时的放电回路，改善换向器电动机的换向功能。如图5.5.35所示。电动机的定子槽内嵌有一套副绕组，即定子绕组。每相定子绕组的首末两端和换向器的两组电刷引出线连接。换向器和直流电动机相似，采用弓形结构。

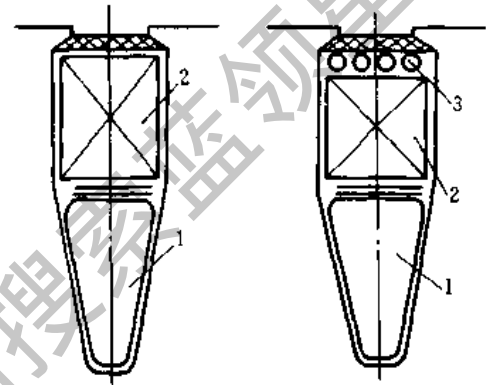


图 5.5.35 转子绕组分布示意图
1—主绕组；2—调节绕组；3—放电绕组

当转子主绕组通入三相交流电压时，产生了一个旋转磁场 Φ_m ，该旋转磁场的磁力线和转子调节绕组、定子副绕组相互切割，因而在转子调节绕组和定子副绕组中分别感应产生电动势 E_K 和 E_2 。又由于定子副绕组与转子调节绕组通过换向器相互短接，所以在定子绕组中产生电流 I_2 ，定子绕组电流 I_2 与旋转场 Φ_m 相互作用产生电磁转矩，使电动机转子旋转。

换向器电动机的调速为恒转矩调速。不同的电刷位置与转速变化趋势的示意图见图5.5.36。

电刷位置	同相电刷处在同--换向片上	E_K 和 E_2 方向相反	E_K 和 E_2 方向相同		
	$\alpha = 0$ $E_K = 0$	α 为正值 E_K 为正值	α 为很小的负值 E_K 为很小的负值	α 为稍大的负值 E_K 为负值	α 为负值 $E_K > sE_2$
运行状况	运行在比同步速度稍低的转速上 $s > 0$ $n < n_s$	运行在同步速度以下 $s > 0$ $n < n_s$	运行在同步以下，但速度稍高于 $E_K = 0$ $s > 0$ $n \leq n_s$	运行在同步速度 $s = 0$ $n = n_s$	运行在同步速度以上 $s < 0$ $n > n_s$

图 5.5.36 电刷位置和转速变化的示意图

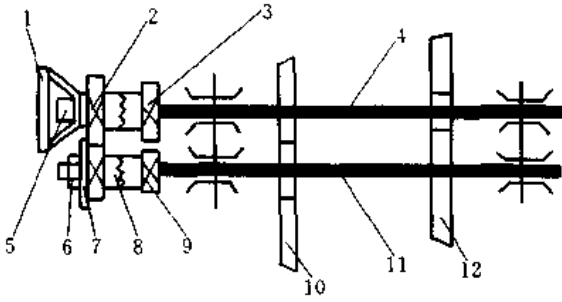


图 5.5.37 换向器电动机移刷机构示意图

- 1—手轮；2—差动齿轮 C；3—传动齿轮 A；4—手轮轴；
- 5—调节螺栓；6—紧固螺母；7—挡圈；8—差动齿轮 D；
- 9—传动齿轮 B；10—转盘；11—转动轴；12—转盘

调节换向器电动机的转速和功率因数是由移刷机构完成的。移刷机构的结构示意图见图 5.5.37。该机构主要由一个手轮和两个可以作相对运动的电刷转盘，以及一套联动齿轮和两个差动齿轮所组成。两个差动齿轮的齿数比一般有 19:17、23:21、25:23、31:29 等几种。换向器上两套电刷分别装两个电刷转盘上，转动手轮即可改变同相电刷间的夹角，增加或减少定子副绕组的附加电势 E_x ，从而达到调节转速的目的。通过调节两个差动齿轮，用以调节附加电势的相位，从而提高电动机在低速运转时的功率因数。

JZS₂ 系列换向器电动机在最高容量大于 5kW 时，装有专门的冷却风机，以增加通风效果，保证电机在低速下运行的温升值不超过标准要求，以利安全运行。

当备有鼓风机换向器电动机改用管道通风时，所需风量、风压可参考表 5.5.35 所示。

表 5.5.35 相当于各种鼓风机的风量风压

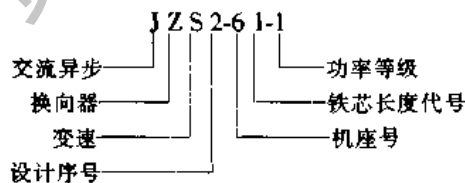
原用鼓风机的规格	所需风量/(m ³ /s)	所需风压/kPa	原用鼓风机的规格	所需风量/(m ³ /s)	所需风压/kPa
0.18kW 2级	0.1	0.44	0.55kW 2级	0.5	0.40
0.37kW 2级	0.2	0.48	1.1kW 2级	1.0	0.40

如果需要远距离控制，在手轮部分加装遥控装置，产品型号为 JZSK。凡带遥控装置的换向器电动机，在切断电源后，调节机构会自动退回最低速度位置。但应指出 9 号机座以上的换向器电机在拖动转动惯量较大的机械设备时，这个自动退回到最低速度位置的辅助触点应予拆除，以防电机因惯性引起自激发电而损坏初级绕组。在遥控装置前侧手轮上备有超载保护装置，以防止行程开关失灵而损坏机件。

JZS₂ 系列换向器电动机的使用环境为：

- ① 安装地点的海拔高度不超 1000m，超过 1000m 时应选用大一个容量等级的电机；
- ② 环境空气最高温度为 40℃，最低温度普通电机为 +5℃，湿热带电机为 0℃；
- ③ 当环境空气温度为 +25℃ 时，普通电机空气相对湿度为 85%，湿热带电机为 95%；
- ④ 电源为 380V，50Hz。

二、型号说明



三、主要技术参数

JZS₂ 系列换向器电动机部分产品的主要技术参数见表 5.5.36。

四、使用与维修

1. 使用前的检查

- ① 检查所用电源电压、频率是否与电动机铭牌相符。
- ② 检查各零部件装配是否完整、准确、良好；紧固件有无松动；机体内有无异物、灰垢。如有不良应予排除或清理。
- ③ 检查各引接线的接触是否良好；检查集电环、换向器的接触是否良好，压力是否适当。
- ④ 检查各绕组绝缘是否良好。用 500V 兆欧表测量绝缘电阻不小于 0.5MΩ。
- ⑤ 检查各接地保护是否良好。

表 5.5.36 JZS₂ 换向器电动机技术参数

机座号	额定功率 /kW	额定调速范围		启动电流 最大/额定电流	启动转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩		满载时			质量 /kg	附注	
		速比	速度			低速时	低速时	低速时	效率 η /%	功率因数			
													高速时
JZS ₂ -51-1	3/1	1:3	1410~470	3	1.5	1.5	1.5	2.2	7.2~5.6	70~55	0.92~0.50	230	不附鼓风机
JZS ₂ -51-2	4/0	>1:3	2650~0	1.5	—	—	—	2.2	9.9~—	65~—	0.94~—	275	附 0.18kW 风机
JZS ₂ -52-1	5/1.67		2200~500	3	1.5	1.5	1.5	2.2	11.1~8	74~60	0.92~0.53	260	不附鼓风机
JZS ₂ -52-2	7/1.7		1410~470	3	1.5	1.5	1.5	2.2	16~9.4	70~50	0.95~0.55	300	附 0.18kW 风机
JZS ₂ -52-3	7.5/0		2650~0	1.5	—	—	—	2.2	17.1~—	70~—	0.95~—	300	附 0.18kW 风机
JZS ₂ -61-1	10/3.3			3	1.5	1.5	1.5	2.2	20.9~15.2	77~62	0.94~0.52	350	
JZS ₂ -61-2	12/3		2300~500	3	1.5	1.5	1.5	2.2	27~18.4	75~45	0.90~0.55	380	附 0.18kW 鼓风机
JZS ₂ -61-3	15/5		2400~400	3	1.5	1.5	1.5	2.2	31~23.1	77~63	0.95~0.52	400	
JZS ₂ -62-1	24/4			3	1.5	1.5	1.5	2.2	49~33.4	78~52	0.95~0.35	450	
JZS ₂ -71-1	17/0		1800~0	1.5	—	—	—	2.2	35~—	78~—	0.95~—	450	附 0.18kW 鼓风机
JZS ₂ -71-2	22/7.3			3	1.5	1.5	1.5	2.2	41~29.7	84~70	0.97~0.53	500	
JZS ₂ -8-1	30/10		1410~470	3	1.5	1.5	1.5	2.2	56~41.5	83/70	0.97~0.52	750	
JZS ₂ -8-2	40/4		1600~160	3	1.5	1.5	1.5	2.2	79~36	80~42	0.96~0.40	840	附 0.37kW 鼓风机
JZS ₂ -8-3	40/13.3		1410~470	3	1.5	1.5	1.5	2.2	74~52	85~72	0.97~0.54	840	
JZS ₂ -9-1	55/18.3		1050~350	3	1.3	1.3	1.3	2.0	108~65	80~65	0.96~0.66	1120	
JZS ₂ -9-2	60/6		1200~120	3	1.3	1.3	1.3	2.0	119~56	78~36	0.98~0.45	1300	附 1.1kW 鼓风机
JZS ₂ -9-3	75/25		1050~350	3	1.3	1.3	1.3	2.0	142~82	81~70	0.96~0.66	1300	
JZS ₂ -10-1	100/33.3		1050~350	3	1.3	1.3	1.3	2.0	194~111	81~65	0.96~0.70	1650	
JZS ₂ -10-2	100/16.7		1200~200	3	1.3	1.3	1.3	2.0	196~92	79~50	0.98~0.55	1700	
JZS ₂ -10-3	125/41.7			3	1.3	1.3	1.3	2.0	240~126	81~70	0.97~0.72	1700	附 1.1kW 鼓风机
JZS ₂ -11-1	160/53.3		1050~350	3	1.1	1.1	1.1	1.4	288~156	85~75	0.99~0.69	2000	

2. 运行须知

(1) 电动机的起动 所有的换向器电动机均可以直接起动。在最低速度的电刷位置下起动, 不仅起动电流小, 起动转矩大, 而且换向器火花也最小, 所以电动机起动时, 尽可能在最低转速位置下进行。

(2) 转速调节 没有遥控装置的换向器电动机起动后, 若需改变速度, 可将手轮按指示牌标注的方向慢慢转动, 从最低转速调节到最高转速的时间不少于 $15s$ 。调节速度过快, 可能灼伤换向器。装有遥控装置的换向器电动机如欲遥控调速, 需先将调节螺栓向内旋紧, 使差动齿轮 C 和传动齿轮 A 啮合。参见图 5.5.36。再根据要求按遥控装置的“加速”或“减速”按钮, 即可获得所需的转速。在需要手动调速时, 需将调节螺栓旋松, 使差动齿轮 C 与传动齿轮 A 脱开, 然后按照“慢”或“快”的方向转动手轮进行调速。

(3) 停机 在切断手动操作的换向器电动机电源后, 应将手轮转回到最低速度位置上, 以便下一次起动。在切断有遥控装置的换向器电动机电源后, 遥控电动机便将电刷盘自动回复到最低速度位置上, 不再需要自动复位。

对 9 号机座以上的电动机, 应取消减速回路内的常闭辅助触点 C。等电机惯动转速低于同步转速后, 才能按“减速”按钮或转动手轮使电刷转盘回到最低转速位置。

(4) 旋转方向的改变 对 8 号机座以下没有功率因数补偿机构的 JZS₂ 换向器电动机, 只要调换任意两根电源线, 就能改变电机的旋转方向。在备有功率因数补偿机构的 JZS₂ 换向器电动机, 只能在指定的方向下长期运转, 切勿任意改变旋转方向, 否则会使电机过热, 换向变坏, 效率和功率因数下降, 如果需要长时间反转, 应按下述步骤进行调整和试验。

① 空载时使电动机按指定方向低速旋转, 然后缓慢转动手轮, 在各转速下, 用钳形电流表测量出一组初级和次级绕组电流, 然后在坐标纸上绘制出如图 5.5.38 所示换向器电动机电流-转速关系曲线。

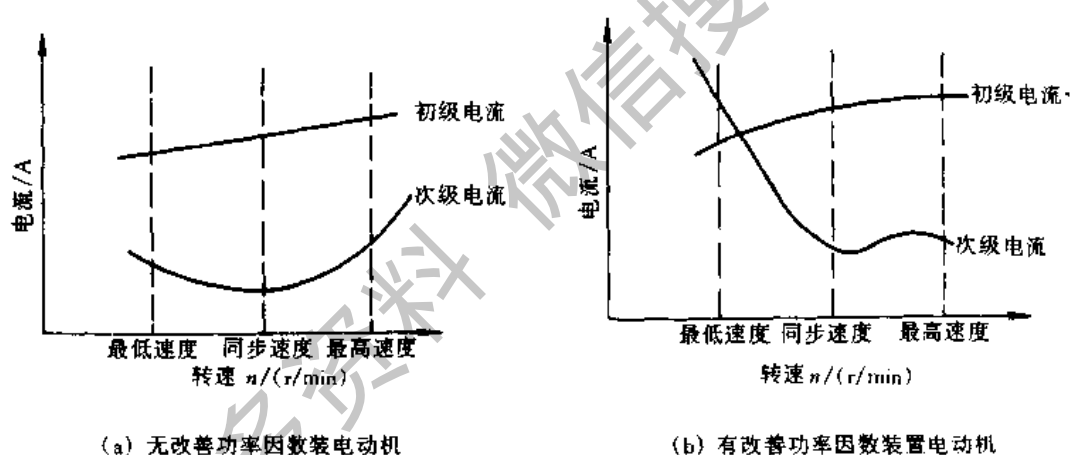


图 5.5.38 换向器电动机空载电流-转速关系典型曲线

② 在最高速度位置下, 用油漆或粉笔在两块电刷转盘上做好电刷转盘对端盖相对位置的记号, 并拆下装在电刷转盘上的两块限位铁。

③ 除去封印铅丝, 拆下装在传动轴上的紧固螺母和挡圈以及装在手轮轴上的调节螺栓 (见图 5.5.37, 然后拉出手轮, 拉出装在手轮轴和传动轴上的两个差动齿轮 C 和 D, 并相互调换装好 (即原先装大齿轮的, 现在改装小齿轮)。接着再依次装好手轮, 调节螺栓、挡圈和紧固螺母。在换装差动齿轮时, 原来装在手轮轴上差动齿轮 C 内的垫圈和弹簧, 必须仍旧装在手轮轴上。当传动轴上差动齿轮 D 未推进、紧固螺母未旋紧前, 可先缓缓转动手轮, 根据事先做好的标志, 将两块电刷转盘的相对位置, 仍旧调整到原先做好记号的位置上, 随后推进差动齿轮 D, 并旋紧紧固螺母。

④ 调换电动机的任意两根电源进线, 在最低速度或同步速度电刷位置下直接起动电动机。

⑤ 从低速开始, 缓缓调节电动机的转速, 并核对在各个速度下的初级和次级电流值, 看它是否和原来的电流-转速曲线相吻合; 如果反向后的电流值和原来的曲线相差过多时, 可将装在传动轴上的紧固螺母旋松, 拉出差动齿轮 D 并转动手轮 (这时, 只有一块电刷转盘移动), 使一块电刷转盘向“快”或向“慢”方向移过一个或二个耦合齿距 (一般是向“快”方向移动), 然后再推进差动齿轮 D, 旋紧紧固螺母, 重作试验。如此

反复多次，直到电流-转速曲线和原来接近相似为止。

⑥ 根据调节后的电刷转盘位置，重新安装电刷转盘上的限位铁，并调整装在行程开关盒内的凸轮位置，使行程开关在需要的最高和最低速度位置下动作。

3. 维护要点

① 电动机在使用过程中，应经常注意清洁。防止受潮和杂物进入，每月至少清理一次。

② 每星期检查一次换向器及集电环上电刷压力，压力过大或过小均须调整，换向器上电刷压力一般为 0.03MPa，而集电环上的压力均为 0.02MPa。如果电刷有磨损过多、破损、辫子脱落等缺陷，须用同牌号的电刷予以调换。调换新电刷后，应调整其压力，并空载运行 1~2h，以便使电刷和换向器间有 2/3 以上的接触面积。电刷与刷握间的配合，以能使电刷上下活动为限。JZS₂ 系列换向器电动机所用电刷牌号及技术参数见表 5.5.37。

表 5.5.37 JZS₂ 换向器电动机用电刷牌号及技术参数表

应用部位	电刷牌号	电阻系数 /($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	硬 度	一对电刷 的接触电 压降/V	摩擦系数 不大于	50 小时磨 损(mm) 不大于 /mm	工 作 条 件		
			压入法 /(kg/mm^2)				额定电流 密度 /(A/mm^2)	容许圆周 速度 /(m/s)	压 力 /MPa
换向器上	D376 或 D376n	50~75	20~40	2.3~3.5	0.25	0.15	16	50	0.02~0.04
集电环上	J164	0.05~0.15	6~18	0.1~0.3	0.20	0.7	20	20	0.018~0.023

③ 换向器表面应保持清洁、光滑，防止与油类接触。换向器表面颜色有时变成紫色或褐色，不妨碍电机的正常运行，不要用砂纸去磨换向器，以免破坏有利换向器运行的氧化膜。

如果换向器表面粗糙或有灼伤痕迹时，可用 00 号或 0 号砂纸在空载时将其磨去。如果表面凹凸程度较大，云母高出换向片或换向片高低不平有“跳排”现象时，应先检查产生故障的原因，如调节绕组脱焊、换向片飞出等，待修复后，再在车床上粗车，然后用钢锯将云母片割低 1~2mm，再用刮刀将换向片两侧分别倒成 0.5mm 的 45°角，再在车床上精车换向器并用砂纸磨光，使表面粗糙度 R_a 值尽可能不超过 $1.6\mu\text{m}$ ，然后再清除换向两侧的云母屑。

每次车削换向器前后，均需将换向器顶端螺母旋紧（塑料换向器除外）。

④ 集电环的表面也应保持清洁、光滑，整修方法与换向器大体相似。

⑤ 换向器电动机每隔半年或一年大修一次，除修复、更换换向器外，还应旋紧电刷支杆与电刷盘以及电刷及杆与刷握间的螺栓，以免运转时引起刷握跳动。刷握下端与换向器表面距离一般为 2~3mm 左右。距离过大容易产生火花，换向器磨损过多或经车削后，这个距离应及时调整。

⑥ 轴承润滑脂每隔半年检查一次。如油色正常、油脂未硬化或变质时添加些新油脂即可。如油脂已变质或硬化应予更换。润滑脂采用“3 号锂基脂”，使用量不应超过轴承室空间的 2/3。

⑦ 电动机运转时，应经常检查并记录仪表读数、故障处理及检修情况，建立运行档案供维修时参考。

换向器电动机铭牌标定的初级电流为额定最高容量和最低容量时的两个额定值，变化范围较大，而次级电流在整个调速范围内几乎不变。所以判断电动机在某一转速下是否超载，绝不能用初级电流（电网电流）来衡量，只能根据次级电流来判断电动机是否超载。但是电动机运行在同步转速附近时，由于电流频率很低，用钳形电流表测量时，测得的数值是不准确的。

⑧ 换向器电动机在检修前应对空载电流与转速的关系作一次校验，绘制电流-转速曲线，检修后重新绘制，并与检修前绘制的曲线相比较，如差距较大应重新调整。

⑨ 当带有遥控装置的电动机按下“加速”或“减速”遥控电钮，遥控电动机旋转而不能调速时，应先用手动调速方式检查调速机构本身有无异常。如果转动手轮时，电机能正常调速，可用套筒扳手将位于手轮上部、遥控装置顶部的螺母适当扳紧，并以遥控装置能拖动调速机构为限。遥控装置及过载打滑装置结构示意图见图 5.5.39。

⑩ 当安装地点的环境空气温度超过 +40℃ 或低于 +5℃ 时，应采取降温与防寒措施，以保证电动机正常运行。

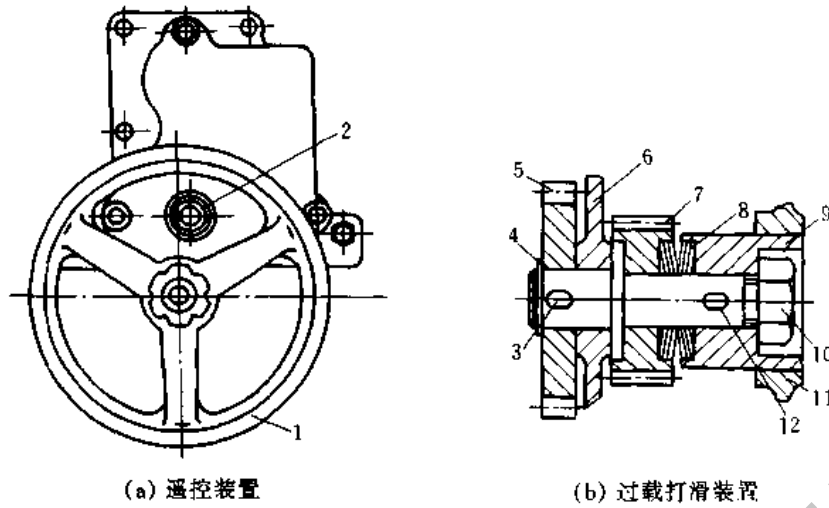


图 5.5.39 遥控装置及过载打滑装置结构示意图

1—手轮；2、10—过载打滑螺母；3—键；4—弹性挡圈；5—齿轮；6—遥控机壳；7—斜齿轮；
8—盘形弹簧；9—轴套；11—遥控机壳盖；12—轴

当环境温度不超过 +40℃，海拔不超过 1000m 时，各考核部位的允许温升见表 5.5.38。

表 5.5.38 换向器电动机各考核部位温升限值

电机部分	温升限度/℃			
	E 级		B 级	
	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
绕组	65	75	70	80
换向器及集电环	70	—	80	—
滚动轴承	55	—	55	—

获取更多资料

第六章 微电机和小功率电机

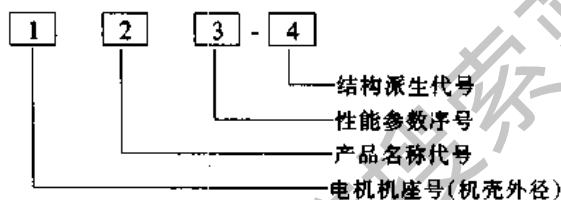
微电机通常是指功率在 750W 以下或有特殊功用、特殊性能及适应特殊工作条件的一类电机。微电机种类繁多，从价格不足 1 元的玩具电机到价格昂贵的通讯卫星用的无刷电机，品种多达数千种。若按功能来分，大致有三大类，即控制用、驱动用和电源用微电机。从应用市场来看，目前大致存在五个主要应用市场：家用电器、工业自动化机械、办公自动化设备（含计算机外设）、视听设备、军用自动化设备。

小功率电机是指功率在 750W 以下，电机轴中心高不高于 90mm 的电机。这种电机与一般旋转电机设有根本的不同，主要作直接驱动负载的元件，如小功率单相、三相异步电动机、同步电动机、直流电动机等等。这类电机广泛地应用于各种机械设备上作驱动用。

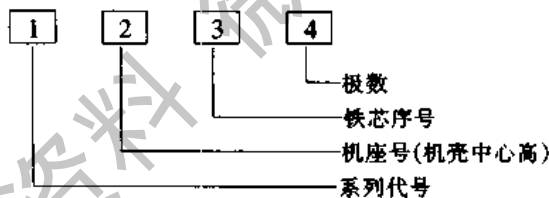
第一节 微电机和小功率电机的型号和分类

一、型号

1. 微电机型号表示方法



2. 小功率电机型号表示方法



二、分类

1. 微电机的分类

微电机分控制微电机和驱动微电机两大类。

(1) 控制微电机的分类 分信号测量元件电机和功率放大元件电机。

信号测量元件电机分：(a) 自整角机；(b) 旋转变压器；(c) 感应移相器；(d) 测速发电机。

功率放大元件电机分：(a) 力矩电动机；(b) 步进电动机；(c) 伺服电动机；(d) 电机扩大机。

(2) 驱动微电机的分类 分微型同步电动机、微型直流电动机和罩极电动机。

微型同步电动机分：(a) 永磁同步电动机；(b) 磁滞同步电动机；(c) 低速同步电动机；(d) 单相电容分相同步电动机；(e) 反应式同步电动机。

微型直流电动机分：(a) 永磁直流电动机；(b) 印刷绕组直流电动机；(c) 线绕盘式直流电动机；(d) 无刷直流电动机；(e) 直流调速电动机；(f) 直流稳速电动机。

(3) 罩极电动机

2. 小功率电机分类

小功率电机分为小功率三相异步电动机、小功率单相异步电动机和小功率磁阻式同步电动机（反应式同步电动机）。

第二节 常用微电机电气原理图

1. 自整角机 (见图 5.6.1)

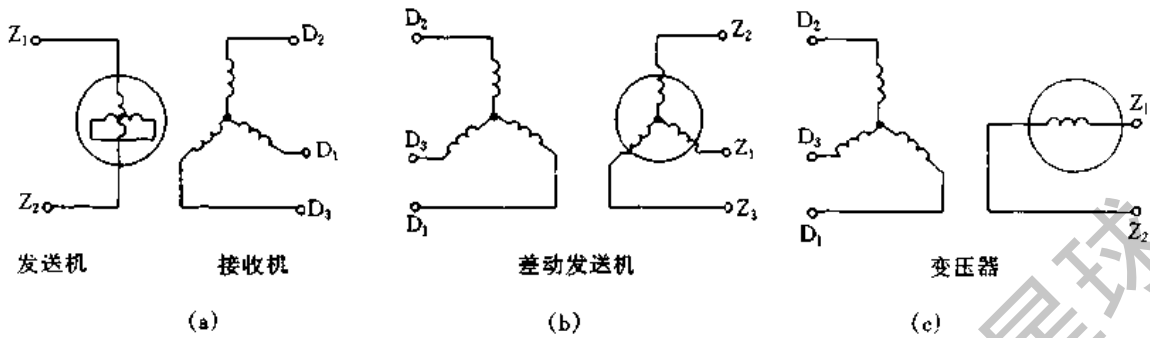


图 5.6.1 自整角机

2. 旋转变压器

XZ 正余弦旋转变压器见图 5.6.2, XX 四绕组线性旋转变压器见图 5.6.3, XDX 单绕组线性旋转变压器见图 5.6.4。

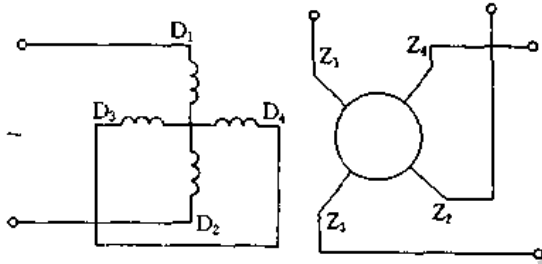


图 5.6.2 XZ 正余弦旋转变压器

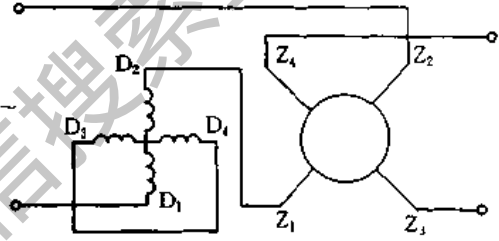


图 5.6.3 XX 四绕组线性旋转变压器

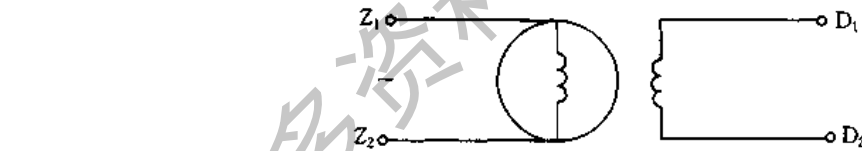


图 5.6.4 XDX 单绕组线性旋转变压器

3. 感应移相器 (见图 5.6.5)

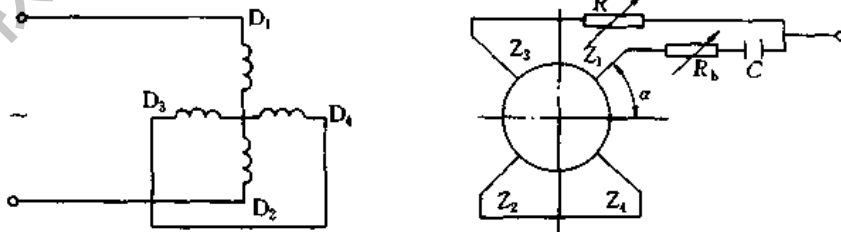


图 5.6.5 感应移相器

4. 测速发电机

空心杯转子异步测速发电机见图 5.6.6, 直流测速发电机见图 5.6.7, 交流测速发电机见图 5.6.8。

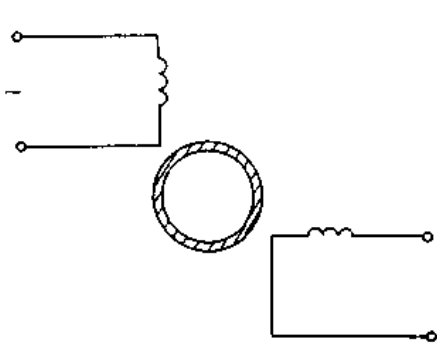


图 5.6.6 空心杯转子异步测速发电机

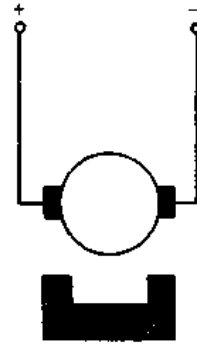


图 5.6.7 直流测速发电机

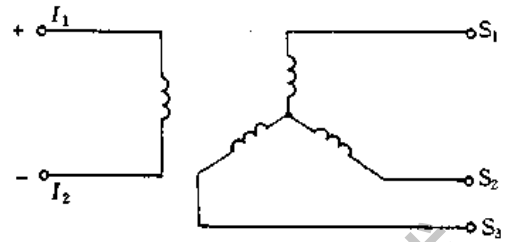
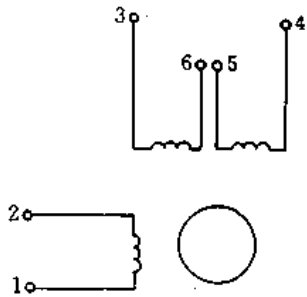


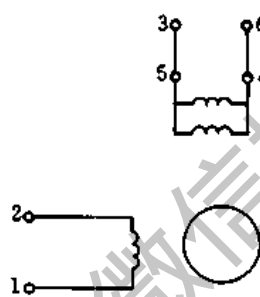
图 5.6.8 交流测速发电机

5. 伺服电动机

SL型笼式转子两相伺服电动机见图 5.6.9。直流伺服电动机见图 5.6.10。



(a) 串联



(b) 并联

图 5.6.9 SL型笼式转子两相伺服电动机

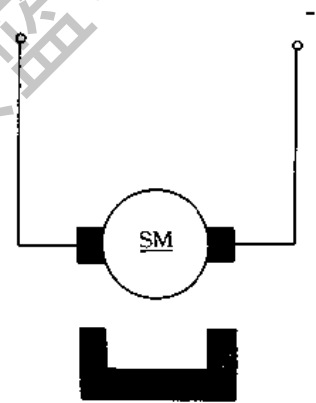


图 5.6.10 直流伺服电动机

6. 力矩电动机

交流力矩电动机见图 5.6.11，直流力矩电动机见图 5.6.12。

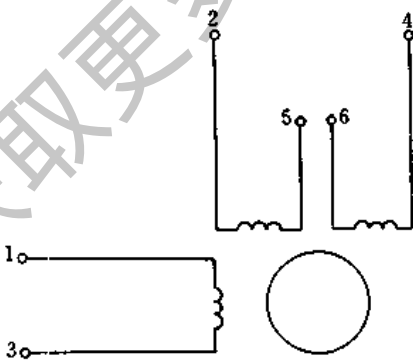


图 5.6.11 交流力矩电动机

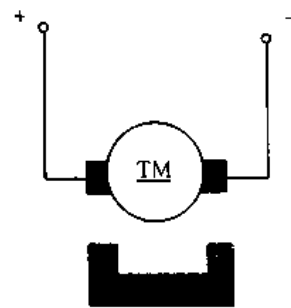


图 5.6.12 直流力矩电动机

7. 步进电动机

反应式步进电动机见图 5.6.13，混合式步进电动机见图 5.6.14。

8. 三相异步电动机 (见图 5.6.15)

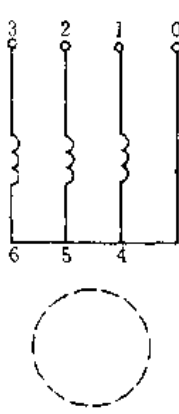


图 5.6.13 反应式步进电动机

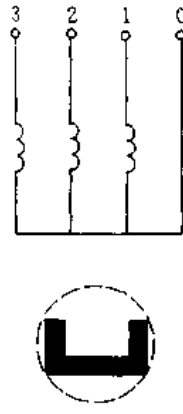


图 5.6.14 混合式步进电动机

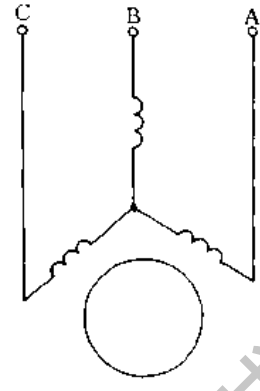


图 5.6.15 三相异步电动机

9. 单相异步电动机

单相分相起动异步电动机见图 5.6.16, 单相电容起动异步电动机见图 5.6.17, 单相电容运转异步电动机见图 5.6.18, 单相罩极电动机见图 5.6.19。

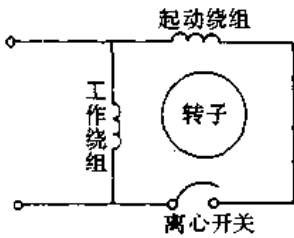


图 5.6.16 单相分相起动异步电动机

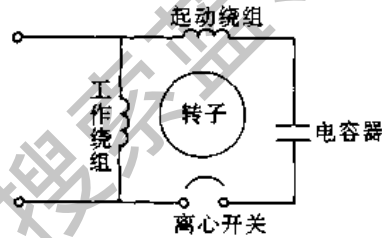


图 5.6.17 单相电容起动异步电动机

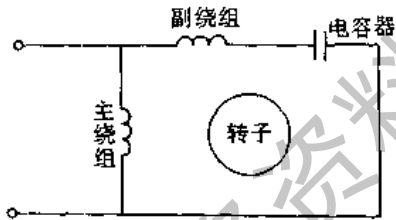


图 5.6.18 单相电容运转异步电动机

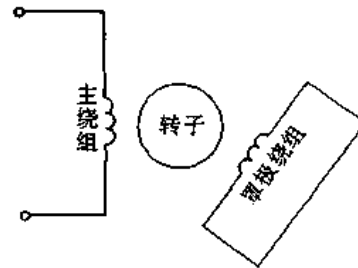


图 5.6.19 单相罩极电动机

10. 同步电动机

三相磁阻式同步电动机见图 5.6.20。单相磁阻式同步电动机见图 5.6.21。三相磁滞同步电动机见图

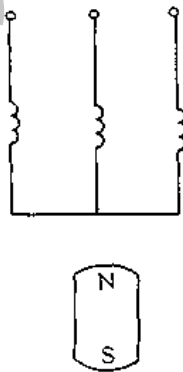


图 5.6.20 三相磁阻式同步电动机

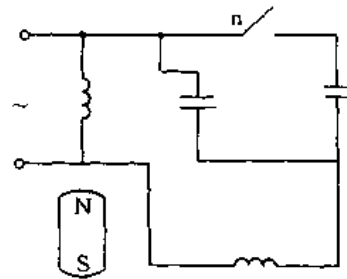


图 5.6.21 单相磁阻式同步电动机

5.6.22. 单相磁滞同步电动机见图 5.6.23。三相异步起动永磁同步电动机见图 5.6.24。单相异步起动永磁同步电动机见图 5.6.25。单相爪极式永磁同步电动机见图 5.6.26。

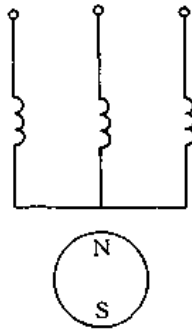


图 5.6.22 三相磁滞同步电动机

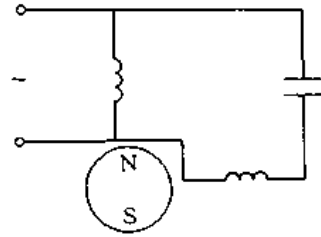


图 5.6.23 单相磁滞同步电动机

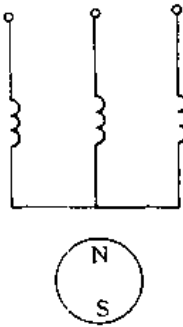


图 5.6.24 三相异步起动
永磁同步电动机

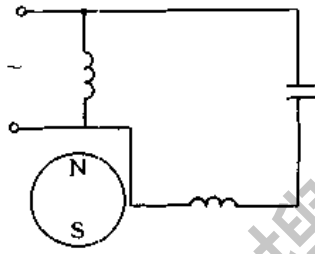


图 5.6.25 单相异步起动
永磁同步电动机

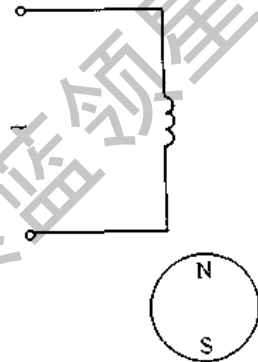


图 5.6.26 单相爪极式
永磁同步电动机

第三节 微型异步电动机（小功率电动机）

一、三相、单相异步电动机

这类电机与一般旋转电机没有根本的不同，主要作直接驱动负载的元件。三相微型异步电动机的结构及工作原理与中小型电机相同，而单相微型异步电动机常用的结构有三种，即单相电阻起动、单相电容起动和单相电容运转三种形式。

微型三相、单相异步电动机座号有 45、50、56、63、71、80、90 七种，常用的基本系列为 YS、YU、YC、YY 四种。电机均为全封闭结构，外壳防护等级为 IP44，E 级绝缘，接线盒在电动机顶部，便于从四个方向接线。电动机安装方式有下列四种基本形式：

- (1) B3 型 机座有底脚，端盖上无凸缘；
- (2) B34 型 机座有底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；
- (3) B14 型 机座无底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；
- (4) B5 型 机座无底脚，端盖上有大凸缘，轴伸在凸缘端。

1. 结构原理

YS 系列三相异步电动机的结构与小型封闭式三相异步电动机相似，它需用三相电流，比单相异步电动机有较高的力能指标，相同体积时有较大的出力，适用于各种机械作传动力。

YU 系列单相电阻起动异步电动机的结构为定子有两个空间位置互差 90° 电角的工作绕组和起动绕组。电阻值较大的起动绕组经起动开关与工作绕组并接于电源上，转子为笼式。电动机除起动绕组不接电容器外，其余和单相电容起动电动机相似。当转速达额定值 80% 左右时，离心开关使起动绕组与电源切断。该系列电机具有中等起动转矩和过载能力，适用于小型车床、鼓风机、医疗器械等。

YC 系列单相电容起动异步电动机的定子同单相电阻起动异步电动机，但起动绕组与一个容量较大的电容器串接后，经离心开关与工作绕组并接于电源。起动绕组中电流移相较大，离心开关使起动绕组与电源切断，

正常运转时只有工作绕组工作,改变起动绕组与工作绕组的两端,可使转向改变。这类电机起动转矩较大,适用于要求满载起动的机械,如空气压缩机、冰箱、木工机械等。

YY系列单相电容运转异步电动机的定子有两个绕组(主绕组和副绕组),它们的空间位置互差 90° 电角。副绕组串接一个电容器后与主绕组并接于电源,电容器将副绕组电流移相,使电动机近似为两相电动机状态工作。换接任一相的绕相在电源上的接线,可使转向改变。这类电机起动转矩较低,但功率因数较高,运转匀称,适用于风扇、电子仪器仪表、医疗器械等。该系列电机不宜空载使用。

2. 常用产品技术参数

常用产品的技术参数见表5.6.1~表5.6.7。

表 5.6.1 YS 系列三相异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
YS-4512	16	0.09	380	50	2800	46	0.57	2.2	6	2.4
YS-4522	25	0.12			2800	52	0.60			
YS-4514	10	0.12			1400	28	0.45			
YS-4524	16	0.17			1400	32	0.49			
YS-5012	40	0.18	380	50	2800	55	0.65	2.2	6	2.4
YS-5022	60	0.24			2800	60	0.66			
YS-5014	25	0.22			1400	42	0.53			
YS-5024	40	0.26			1400	50	0.54			
YS-5612	90	0.32	380	50	2800	62	0.68	2.2	6	2.4
YS-5622	120	0.37			2800	67	0.71			
YS-5614	60	0.33			1400	56	0.58			
YS-5624	90	0.39			1400	58	0.61			
YS-6312	180	0.52	380	50	2800	69	0.75	2.2	6	2.4
YS-6322	250	0.69			2800	72	0.78			
YS-6314	120	0.47			1400	60	0.63			
YS-6324	180	0.65			1400	64	0.66			
YS-7112	370	0.97	380	50	2800	73.5	0.80	2.2	6	2.4
YS-7122	550	1.38			2800	75.5	0.82			
YS-7114	250	0.83			1400	67	0.68			
YS-7124	370	1.16			1400	69.5	0.72			
YS-8012	750	1.83	380	50	2800	76.5	0.85	2.2	6	2.4
YS-8014	550	1.61			1400	73.5	0.73			
YS-8024	750	2.08			1400	75.5	0.75			

表 5.6.2 YU 系列单相电阻起动异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 /A	最大转矩 额定转矩
YU-6312	90	1.09	220	50	2800	56	0.67	1.5	12	1.8
YU-6322	120	1.36			2800	58	0.69	1.4	14	
YU-6314	60	1.23			1400	39	0.57	1.7	9	
YU-6324	90	1.64			1400	43	0.58	1.5	12	
YU-7112	180	1.89	220	50	2800	60	0.72	1.3	17	1.8
YU-7122	250	2.40			2800	64	0.74	1.1	22	
YU-7114	120	1.88			1400	50	0.58	1.5	14	
YU-7124	180	2.49			1400	53	0.62	1.4	17	
YU-8012	370	3.36	220	50	2800	65	0.77	1.1	30	1.8
YU-8014	250	3.11			1400	58	0.63	1.2	22	
YU-8024	370	4.24			1400	62	0.64	1.2	30	

表 5.6.3 YC 系列单相电容起动异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 /A	最大转矩 额定转矩
YC-7112	180	1.89	220	50	2800	60	0.72	3.0	12	1.8
YC-7122	250	2.40			2800	64	0.74		15	
YC-7114	120	1.88			1400	50	0.58		9	
YC-7124	180	2.49			1400	53	0.62		12	
YC-8012	370	3.46	220	50	2800	65	0.77	2.8	21	1.8
YC-8022	550	4.65			2800	68	0.79	2.8	29	
YC-8014	250	3.11			1400	58	0.63	2.8	15	
YC-8024	370	4.24			1400	62	0.64	2.5	21	
YC-90S2	750	5.94	220	50	2800	70	0.82	2.5	37	1.8
YC-90S4	550	5.57			1400	65	0.69		29	
YC-90L2	1100	8.28			2800	72	0.84		60	
YC-90L4	750	6.77			1400	69	0.73		37	

表 5.6.4 YY 系列单相电容运转异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 /A	最大转矩 额定转矩
YY-4512	10	0.20	220	50	2800	28	0.08	0.60	0.8	1.8
YY-4522	16	0.26			2800	35		1.0		
YY-4514	6	0.20			1400	17		0.5		
YY-4524	10	0.24			1400	24		0.8		
YY-5012	25	0.33	220	50	2800	40	0.85	0.60	1.5	1.8
YY-5022	40	0.48			2800	42	0.90	2.0		
YY-5014	16	0.28			1400	33	0.82	1.0		
YY-5024	25	0.36			1400	38	0.82	1.5		
YY-5612	60	0.57	220	50	2800	53	0.90	0.50	2.5	1.8
YY-5622	90	0.71			2800	56	0.90	3.2		
YY-5614	40	0.49			1400	45	0.82	2.0		
YY-5624	60	0.64			1400	50	0.85	2.5		
YY-6312	120	0.91	220	50	2800	63	0.95	0.35	5.0	1.8
YY-6322	180	1.29			2800	67	0.95		7.0	
YY-6314	90	0.94			1400	51	0.85		3.2	
YY-6324	120	1.17			1400	55	0.85		5.0	
YY-7112	250	1.73	220	50	2800	69	0.95	0.35	10	1.8
YY-7114	180	1.58			1400	59	0.88		7.0	
YY-7124	250	2.04			1400	62	0.90		10	

YS、YU、YY 系列小功率异步电动机（延伸规格）如下。

表 5.6.5 YS 系列三相异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
YS-5034	60	0.32	380	50	1400	50	0.56	2.2	6	2.4
YS-5032	90	0.38			2800	61	0.59			
YS-5634	120	0.47	380	50	1400	62	0.63	2.2	6	2.4
YS-5632	180	0.55			2800	69	0.72			
YS-6334	250	0.83	380	50	1400	67	0.68	2.2	6	2.4
YS-6332	370	0.96			2800	73	0.80			

续表

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	最大转矩 额定转矩
YS-7134	550	1.56	380	50	1400	73.5	0.73	2.2	6	2.4
YS-7132	750	1.75			2800	76.5	0.85			
YS-8022	1100	2.55	380	50	2800	77	0.85	2.2	7	2.2
YS-8034	1100	2.78			1400	78	0.77			
YS-8032	1500	3.44			2800	78	0.85			
YS-90S4	1100	2.52	380	50	1400	78	0.85	2.2	7	2.2
YS-90S2	1500	3.44			2800	78	0.85			
YS-90L4	1500	3.70			1400	78	0.79			
YS-90L2	2200	4.74			2800	82	0.86			

表 5.6.6 YU 系列单相电阻起动异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	最大转矩 额定转矩
YU-8022	550	4.65	220	50	2800	68	0.79	1.0	38	1.8
YU-90S4	550	5.57	220	50	1400	65	0.69	1.1	3.8	1.8
YU-90S2	750	5.94			2800	70	0.82	1.0	50	
YU-90L4	750	6.77			1400	69	0.73	1.1	50	

表 5.6.7 YY 系列单相电容运转异步电动机

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	
YY-5034	40	0.55	220	50	1400	40	0.82	0.5	2	
YY-5032	60	0.57			2800	53	0.9		2.5	
YY-5634	90	0.98	220	50	1400	49	0.85	0.35	3.2	
YY-5632	120	1.0			2800	61	0.9		5	
YY-6334	180	1.58	220	50	1400	59	0.88	0.35	7	
YY-6332	250	2.04			2800	62	0.9		10	
YY-7122	370	2.97	220	50	2800	63	0.9	0.35	10	
YY-7134	370	2.97			1400	63			0.9	10
YY-7132	550	4.27			2800	65			0.9	12
YY-8014	370	2.97	220	50	1400	63	0.9	0.35	10	
YY-8012	550	4.27			2800	65			0.9	12
YY-8024	550	4.27			1400	65			0.9	12
YY-8022	750	5.66			2800	67			0.9	18
YY-8034	750	5.66			1400	67			0.9	18
YY-8032	1100	8.05			2800	69			0.9	22

3. GAO、GBO、GCO、GDO 系列钢板结构小功率异步电动机

钢板壳异步电动机广泛应用于小型机械、仪器、医疗器械、家用电器及轻工产品等方面，其优点是工艺简单、先进，电动机原材料成本低廉，为目前国际上电机行业的发展方向。

GAO 为三相异步电动机，GBO 为单相电阻起动异步电动机，GCO 为单相电容起动异步电动机，GDO 为单相电容运转异步电动机，GAK、GBK、GCC、KDK 为防滴式。安装方式分为：

B3 型——机座有底脚，端盖上无凸缘；

B34 型——机座有底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；

B14 型——机座无底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端。

GAO、GBO、GCO、GDO 系列异步电动机技术参数见表 5.6.8。

表 5.6.8 GAO、GBO、GCO、GDO 系列异步电动机技术参数

型号	功率 /W	极数	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 /A	最大转矩 额定转矩
GA063	180	2	380	50	2800	69	0.75	2.2	6	2.4
GAK63										
GA063	250	2	380	50	2800	72	0.78	2.2	6	2.4
GAK63										
GA063	120	4	380	50	1400	60	0.63	2.2	6	2.4
GAK63										
GA063	180	4	380	50	1400	64	0.66	2.2	6	2.4
GAK63										
GA071	370	2	380	50	2800	73.5	0.8	2.2	6	2.4
GAK71										
GA071	550	2	380	50	2800	75.5	0.82	2.2	6	2.4
GAK71										
GA071	250	4	380	50	1400	67	0.68	2.2	6	2.4
GAK71										
GA071	370	4	380	50	1400	69.5	0.72	2.2	6	2.4
GAK71										
GA080	550	2	380	50	2800	75.5	0.82	2.2	6	2.4
GAK80										
GA080	750	2	380	50	2800	76.5	0.85	2.2	6	2.4
GAK80										
GA080	550	4	380	50	1400	73.5	0.73	2.2	6	2.4
GAK80										
GA080	750	4	380	50	1400	75.5	0.75	2.2	6	2.4
GAK80										
GB080	250	2	220	50	2800	64	0.74	1.1	22	1.8
GBK80										
GB080	370	2	220	50	2800	65	0.77	1.1	30	1.8
GBK80										
GB080	250	4	220	50	1400	58	0.63	1.2	22	1.8
GBK80										
GB080	370	4	220	50	1400	62	0.64	1.2	30	1.8
GBK80										
GB071	180	2	220	50	2800	60	0.72	1.3	20	1.8
GBK71										
GB071	250	2	220	50	2800	64	0.74	1.1	22	1.8
GBK71										
GB071	120	4	220	50	1400	50	0.58	1.5	14	1.8
GBK71										
GB071	180	4	220	50	1400	53	0.62	1.4	20	1.8
GBK71										
GB063	90	2	220	50	2800	56	0.67	1.5	12	1.8
GBK63										
GB063	120	2	220	50	2800	58	0.69	1.4	14	1.8
GBK63										
GB063	60	4	220	50	1400	39	0.57	1.7	9	1.8
GBK63										
GB063	90	4	220	50	1400	43	0.58	1.5	12	1.8
GBK63										

续表

型号	功率 /W	极数	电压 /V	频率 /Hz	转 速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	起动转矩 额定转矩	起动电流 /A	最大转矩 额定转矩
GC080	250	2	220	50	2800	64	0.74	3.0	15	1.8
GCK80										
GC080	370	2	220	50	2800	65	0.77	2.8	21	1.8
GCK80										
GC080	250	4	220	50	1400	58	0.63	2.8	15	1.8
GCK80										
GC080	370	4	220	50	1400	62	0.64	2.5	21	1.8
GCK80										
GC071	180	2	220	50	2800	60	0.72	3.0	12	1.8
GCK71										
GC071	250	2	220	50	2800	64	0.74	3.0	15	1.8
GCK71										
GC071	180	4	220	50	1400	55	0.62	3.0	13	1.8
GCK71										
GC071	250	4	220	50	1400	58	0.63	2.8	15	1.8
GCK71										
GDO63	120	2	220	50	2800	63	0.95	0.35	5.0	1.8
GDK63										
GDO63	180	2	220	50	2800	67	0.95	0.35	7.0	1.8
GDK63										
GDO63	90	4	220	50	1400	51	0.85	0.35	3.2	1.8
GDK63										
GDO63	120	4	220	50	1400	55	0.85	0.35	5.0	1.8
GDK63										
GDO71	250	2	220	50	2800	69	0.95	0.35	10	1.8
GDK71										
GDO71	180	4	220	50	1400	59	0.88	0.35	7	1.8
GDK71										
GDO71	250	4	220	50	1400	62	0.9	0.35	10	1.8
GDK71										

二、罩极电动机

罩极电动机具有结构简单、起动运行可靠、噪声小、不受无线电干扰等优点，但起动转矩、功率因数和效率均较低。该电机广泛应用于家用电器、自动化控制设备、仪器仪表，诸如换气扇、轴流风扇及电动工具、办公自动化设备等类产品上。

1. 结构原理

罩极电动机的结构有凸极定子和集中形式的主绕组。此外在定子极靴表面的一角套上罩极绕组的短路铜环，当主绕组接通后，罩极绕组感应一个滞后主绕组的电流，起了移相作用，形成旋转磁场，使电机运转。

2. 常见罩极电机技术参数

常见罩极电机技术参数见表 5.6.9~表 5.6.15。

表 5.6.9 YJF 系列罩极异步电动机

型 号	效率 /%	输出功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)
YJF-0.4	5	0.4	220/110	50/60	3000/3600
YJF-0.6	7	0.6			
YJF-1.0	8	1.0			
YJF-1.6	10	1.6			
YJF-2.5	12	2.5			
YJF-4	14	4			
YJF-6	16	6			
YJF-8	17	8			
YJF-10	18	10			

表 5.6.10 YJ 系列罩极式单相异步电动机

型 号	电压 /V	频率 Hz	电流 /A	空载转速 /(r/min)	额定功率 /W	额定转矩 /(mN·m)	噪声小于 /dB
DJ1	220	50	<0.3	2700±50	4	12	35
DJ2	220/115		<0.2	2700	1	7.5	35
20YJ	220		<0.15	2700	0.8	2	30
24YJ ^①	220		<0.3	>2700	1	4	30
24YJ-1	100		<0.18	>2700	1	4	30
24YJ-2	100		<0.36	>2700	2	10	30
24YJ-3	220		<0.3	>2700	1	4	30
24YJ-4	110		0.14	2700	1	4	30
27YJ	220		0.3	2800	1.7	10	35
30YJ	220		0.4	2600	5	20	35
35YJ	220		<0.45	2700	5	30	40
31YJ-B ^②	158		<1.2	2800	1.5	100	40

① 复印机专用电机,用于驱动风机。

② 变压输出 25.5V、14.5V。

表 5.6.11 YJ61 型罩极异步电动机

型 号	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	功率 /W	效率/%	功率因数 $\cos\varphi$	速 比
YJ61-1.5	220	50	2340	1.5	9.5	0.50	163:1
YJ61-4				4	16.6	0.52	—
YJ61-8				8	19.5	0.51	135:1

表 5.6.12 YJ2-25A 型罩极异步电动机

型 号	功率 /W	频率 /Hz	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 /(mN·m)	最大转矩 /(mN·m)
YJ2-25A	25	60	115	2	3100	23	0.5	39.2	107.8

表 5.6.13 SP-13 型罩极异步电动机

型 号	电压 /V	频率 /Hz	输入功率 /W	转矩 /(mN·m)	转速 /(r/min)
SP-13	220	50	15	7.84	>2250
SP-20			23	9.8	>2350

表 5.6.14 Z0
YJ01 型罩极式单相异步电动机

型 号	输入功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	电流 /A	转速 /(r/min)	工作制
Z0-01	25	220	50	0.16	2300	连续
Z0-02 ^A B	40	220 110	50	0.28 0.56	1300	
YJ01	12.5	115	60	1.3	3600	连续

表 5.6.15 70YJ 型单相罩极电动机

型 号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	输出功率 /W	转速 /(r/min)	起动转矩 /(mN·m)	效率 /%	功率因数 cosφ	重量 /kg
70YJ01	220	50	1.6	2600	10.8	10	0.47	0.6
70YJ02	220		2.5	2500	10.8	10	0.5	0.6
70YJ03	110		4	2600	16.7	12	0.53	0.9
70YJ04	220		4	2500	16.7	12	0.53	0.9
70YJ05	110		1.6	2600	10.8	8	0.47	0.5
70YJ06	220		1.6	2600	10.8	8	0.47	0.5
70YJ07	110		1	2400	5.9	6	0.44	0.4
70YJ08	220		1	2400	5.8	6	0.44	0.4
70YJ09	110		6	2400	16.7	14	0.56	0.9
70YJ10	220		6	2400	16.7	14	0.56	0.9

三、使用和维护

使用微型异步电动机时应注意：全封闭自冷式电动机工作时发出的热量需靠机壳外表面传导散热，因此电机应安装在金属板上，而不应安装在木板、橡皮或塑料板等不易导热的材料上。

YU、YC 系列电动机因装有离心开关装置，必须在触点闭合后才能变换转向，因此只能在停机或低速的状态下改变接线，才能变换电机转向。由于起动电容器及离心开关性能的限制，该系列电动机不允许作频繁起动用。

当 YY 系列单相电容运转异步电动机负载过轻时，电容器的电压会较原设计值激增，副绕组中电流可能反而增加，以致发热烧毁，因此该电动机不宜长期轻载使用。

60Hz 电动机若使用在 50Hz 的电源上，电流将显著增大，绕组甚至发热烧毁。

微型异步电动机常见故障及原因见表 5.6.16。

表 5.6.16 微型异步电动机常见故障及原因

故障现象	故障原因（具体内容见注解）				
	YC	YU	YY	罩极式	YS
空载能起动，但起动迟缓，转向不定	①②③④⑤	①②③⑤	①②④⑦⑩	①②⑦⑩⑪	①②⑨
起动后剧烈升温，甚至烧毁线圈	⑥⑧	⑥⑧	④⑧	⑧	⑧
起动后运行时很快发热	⑧	⑧	④⑧	⑧	⑧
不起动，帮助起动后转向不定，且电动机很快过热	③④⑤⑧	③⑤⑧	④⑧⑨		⑧⑨
输入功率特大，电动机过热	⑦⑧⑩⑪	⑦⑧⑩⑪	⑦⑧⑩⑪	⑦⑧⑩⑪	
通电后电机不动，熔丝熔断	⑧⑫	⑧⑫	⑧⑫	⑧⑫	

①接线断路。②绕组断路。③离心开关底板上触点未接触使起动绕组不通。④电容器坏。⑤起动绕组断路。⑥离心开关不断开，触点长时接触。⑦电动机过载。⑧绕组短路或碰地。⑨一相或二相绕组短路。⑩轴承轧住。⑪固定部分和旋转部分相擦等。⑫电动机引出线碰地。

第四节 微型同步电动机

同步电动机的转速 n 与电网频率 f 之间具有固定关系:

$$n = 60f/p \quad (p \text{ 为极对数})$$

当电网频率 f 一定时, 电动机则以恒定的同步转速 n 运转, 因此同步电动机适用于各种要求严格保持同步或恒速的机构, 如自动和遥控装置、同步联络系统及热工仪表、自动记录仪器中, 作为驱动元件。

一、低速同步电动机

永磁低速同步电动机是一种无减速齿轮, 依靠电机本身的电磁减速直接得到低转速的同步电动机。该类电动机具有下列特点:

① 具有低速大转矩的功率输出, 且无需齿轮减速机构, 避免了齿轮元件产生的噪音、震动、上反转向间隙和传递误差, 提高系统精度, 简化系统机构;

② 电动机运行平稳, 能正反转运行, 工作可靠;

③ 能快速起动, 瞬时停转, 能长期堵转, 断电时有较大的自锁转矩。

TDY 系列低速同步电动机为单相交流电源阻容分相运行电动机, 凡需要低速恒速直接传动的场合, 均可采用低速同步电动机。该电动机适用于传动装置电动执行机构、计测装置、机床自动化、仪表、雷达天线、宇宙航行等。常用产品技术参数见表 5.6.17 和表 5.6.18。

表 5.6.17 TDY 系列电机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	最大输入电流 ≤ A	最大输入功率 ≤ W	最大同步转矩 /(mN·m)
55TDY4	220	50	60	0.075	16	360
70TDY4	220	50	60	0.12	25	850
90TDY4	220	50	60	0.35	70	2400
110TDY4	220	50	60	0.60	110	4000
130TDY4	220	50	60	0.70	140	6400

表 5.6.18 TYD 系列电机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	最大输入电流 ≤ A	最大输入功率 ≤ W	最大同步转矩 /(mN·m)
55TYD	A 相 24 B 相 42	50	375	0.15 0.07	3 3	—
55TYD02	220	50	60	0.15	—	392
55TYD11	220	50	60	0.07	14	255
70TYD11	220	50	60	0.10	18	588
90TYD01	220	50	60	0.25	—	882
90TYD02	220	50	60	0.30	—	—
90TYD11	220	50	60	0.20	40	1372
110TYD11	220	50	60	0.50	80	2940
110TYD12	220	50	60	0.60	106	3920
130TYD01	220	50	60	0.75	—	3920
130TYD02	220	50	60	1.0	—	6370
130TYD11	220	50	60	0.70	120	4410
130TYD12	220	50	60	1.0	180	6566
150TYD11	220	50	60	1.2	200	7840
150TYD12	220	50	60	1.4	250	9800
200TYD11	220	50	60	1.6	300	11760
200TYD12	220	50	60	2.4	450	18620
200TYD01	220	50	60	1.4	—	—

二、磁滞同步电动机

磁滞同步电动机的转子有效层用磁滞材料组成, 这种电动机靠磁滞材料的磁滞效应而得到转矩, 凡需要恒定转速的场合都可以采用它, 以保证在电源电压或轴上负载发生波动时, 仍能维持其转速不变。磁滞同步电动机是在较高的频率下工作, 其效率较高, 且单位质量的输出较大, 转子的极数依赖于定子的极数自动形成, 因此磁滞同步电动机都设计为在较高电源频率下工作, 可以改变定子绕组的极数或供电电源频率, 从而实现有级或无级调速。

磁滞同步电动机常见产品技术参数见表 5.6.19 和表 5.6.20。

表 5.6.19 TZ 系列电动机技术参数

新型号	老型号	额定电压 /V	相数	频率 /Hz	同步转速 / (r/min)	参考电流 /A	参考输入功率 /W	起动转矩 / (mN·m)	额定同步转矩 / (mN·m)	输出功率 /W
12TZ421	12TZ4B	20	2	400	24000	0.1	1.2×2	0.108	0.108	0.27
20TZ421	20TZ4B	36	2	400	24000	0.11	2.2×2	0.392	0.392	0.98
20TZ411	20TZ4C		1			0.15	4	0.294	0.294	0.73
28TZ431	28TZ4A	36	3	400	24000	0.4	10	11.76	11.76	3
28TZ421	28TZ4B	36	2	400	24000	0.4	5×2	11.76	11.76	3
28TZ411	28TZ4C	36	1	400	24000	0.45	8	0.941	0.941	2.4
28TZ422	28TZ4F	36	2	400	12000	0.4	4×2	1.568	1.568	2
28TZ412	28TZ4G	36	1	400	12000	0.3	9	1.274	1.274	1.6
28TZ414	28TZ4K	36	1	400	8000	0.3	9	1.372	1.372	1.2
28TZ414A	28TZ4K1	115	1	400	8000	0.1	9	1.372	1.372	1.2
28TZ511	28TZ5C	12	1	50	3000	0.5	4	1.274	1.274	0.4
28TZ511A	28TZ5C1	10	1	50	3000	0.5	4	0.627	0.627	0.2
36TZ412	36TZ4G	115	1	400	12000	0.16	14	2.352	2.352	3
36TZ414	36TZ4K	115	1	400	8000	0.18	15	3.038	3.038	2.5
36TZ414A	36TZ4K4	115	1	400	8000	0.38	17.5	4.214	4.214	3.5
36TZ531	36TZ5A	110	3	50	3000	0.1	12	4.802	4.802	1.5
36TZ521	36TZ5B	110	2	50	3000	0.1	6×2	4.802	4.802	1.5
36TZ511	36TZ5C	110	1	50	3000	0.13	12	4.802	4.802	1.5
36TZ532	36TZ5E	110	3	50	1500	0.1	10	4.41	4.41	0.7
36TZ512	36TZ5G	110	1	50	1500	0.1	10	2.548	2.548	0.4
45TZ412	45TZ4G	115	1	400	12000	0.35	22	6.37	6.37	8
45TZ531	45TZ5A	220	3	50	3000	0.1	20	15.974	15.974	5
45TZ521	45TZ5B	220	2	50	3000	0.1	10×2	14.41	14.41	4.5
45TZ511	45TZ5C	220	1	50	3000	0.1	20	12.74	12.74	4
45TZ532	45TZ5E	110	3	50	1500	0.18	20	15.974	15.974	2.5
45TZ512	45TZ5G	110	1	50	1500	0.18	20	12.74	12.74	2
55TZ531	55TZ5A	220	3		3000	0.21	35	38.22	38.22	12
55TZ521	55TZ5B	220	2		3000	0.21	17×2	31.85	31.85	10
55TZ511	55TZ5C	220	1		3000	0.2	32	31.85	31.85	10
55TZ511A	55TZ5C—1	100	1		3000	0.44	32	22.34	22.34	7
55TZ511B	55TZ5C—2	220	1	50	3000	0.2	32	31.85	31.85	10
55TZ51½	55TZ5D	220	1		3000/1500	0.15	30	15.974	15.974	5/2.5
55TZ532	55TZ5E	220	3		1500	0.19	30	38.22	38.22	6
55TZ522	55TZ5F	220	2		1500	0.19	15×2	31.85	31.85	5
55TZ512	55TZ5G	220	1		1500	0.15	28	31.85	31.85	5

续表

新型号	老型号	额定电压 /V	相数	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	参考电流 /A	参考输入功率 /W	起动转矩 /($mN\cdot m$)	额定同步转矩 /($mN\cdot m$)	输出功率 /W
70TZ531	70TZ5A	220	3	50	3000	0.44	65	82.81	82.81	26
70TZ521	70TZ5B		2		3000	0.44	32×2	63.7	63.7	20
70TZ511	70TZ5C		1		3000	0.45	55	63.7	63.7	20
70TZ51½	70TZ5D		1		3000/1500	0.3	45	31.85	31.85	10/5
70TZ532	70TZ5E		3		1500	0.4	60	82.81	82.81	13
70TZ512	70TZ5G		1		1500	0.3	45	63.7	63.7	10
90TZ531	90TZ5A	220	3	50	3000	0.8	120	192.08	192.08	60
90TZ511	90TZ5C		1		3000	0.7	100	144.06	144.06	45
90TZ51½	90TZ5D		1		3000/1500	0.6	80	76.73	76.73	24/12
90TZ532	90TZ5E		3		1500	0.8	110	255.78	255.78	40
90TZ531	90TZ5G		1		1500	0.75	85	192.08	192.08	30
90TZ51¾	90TZ5H		1		1500/750	0.45	80	96.04	96.04	15/7.5
110TZ531	110TZ5A	220	3	50	3000	1.75	220	384.16	384.16	120
110TZ511	110TZ5C		1		3000	1.5	—	287.14	287.14	90
110TZ51½	110TZ5D		1		3000/1500	1.0	—	147	147	46/23
110TZ532	110TZ5E		3		1500	1.3	—	519.4	519.4	80
110TZ512	110TZ5G		1		1500	1.0	—	384.16	384.16	60
110TZ51¾	110TZ5H		1		1500/750	1.0	—	192.08	192.08	30/15

表 5.6.20 TZW 系列外转子磁滞同步电动机技术参数

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	输出功率 /W	同步转速 /(r/min)	堵转转矩 /($mN\cdot m$)	输入功率 /W	额定电流 /A	噪音 /dB	电容 / μF
TZW41-4	220	50	4	1500	31	35	0.2	50	3
TZW41-4/8	220	50	3/1.5	1500/750	20	30	0.2	50	2
TZW51-4	220	50	2.5	1500	31	30	0.15	50	2
TZW51-2/4	220	50	5/2.5	3000/1500	21.5	35	0.3	50	3
TZW653-4/8	220	50	7/3.5	1500/750	88/108	40/45	0.25/0.3	50	3/3.5
TZW654-2	220	50	15	3000	117	70	0.5	50	6
TZW654-4/8	220	50	10/5	1500/750	117/147	50/60	0.3/0.35	50	4/5
TZW754-4/8	220	50	18/9	1500/750	147/176	70/80	0.7	50	

三、微型永磁同步电动机

永磁同步电动机的磁场系统由一个或多个永磁材料组成, 根据起动方式的不同可分为异步起动(笼型转子)和自起动(爪极式)两大类。异步起动永磁同步电动机与异步电动机相比, 没有转差损耗; 与换向器电动机相比, 没有炭刷与换向器; 与磁阻同步电动机相比, 它的效率和功率因数较高, 电流损耗小。因此异步起动永磁同步电动机广泛应用在要求恒速或高效率的驱动装置。

爪极式自起动永磁同步电动机通常转速为 500r/min、375r/min、250r/min, 大部分电动机本身带减速齿轮, 则输出轴的转速较低。产品分为有定向装置和无定向装置两大类, 前者用于记录仪表, 后者用于家用电器及一些定时机构中。

永磁同步电动机常用产品的技术参数见表 5.6.21 ~ 表 5.6.24。

表 5.6.21 45TRY 型永磁电容分相同步电动机技术参数

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	额定电流 /mA	额定输入功率 /W	同步转速 /(r/min)	牵入转矩 /(mN·m)	最大同步转矩 /(mN·m)	极数	每相线圈电阻 /Ω	温升 /℃	工作电容 /μF
45TRY01-C	220	50	16	2.5	250	2.94	4.9	24	3520	45	C1:0.22 C2:0.47
45TRY01-J1					6	78.4					
45TRY01-J2					5	98					
45TRY01-J3					1	147					
45TRY01-J4					1/2						
45TRY01-J5					1/4						
45TRY01-J6					1/20						
45TRY01-J7					1/30						
45TRY01-J8					1/120						
45TRY01-J9					1/2880						
45TRY02-C	36	50	50	2.5	250	2.94	4.9	24	660	45	2
45TRY02-J1					6	78.4					
45TRY02-J2					5	98					
45TRY02-J3					1	147					
45TRY02-J4	36	50	50	2.5	1/2	147	—	24	660	45	2
45TRY02-J5					1/4						
45TRY02-J6					1/20						
45TRY02-J7					1/30						
45TRY02-J8					1/120						
45TRY02-J9					1/2880						

表 5.6.22 55、56TRY 型永磁式电容分相同步电动机技术参数

型号	电压 /V	频率 /Hz	电流 /mA	同步转速 /(r/min)	最大同步转矩 /(mN·m)	牵入同步转矩 /(mN·m)	分相电容 /(μF/V)
55TRYA	220	50	35	250	58	32	0.22/400
55TRYC	110		85	250	53.5	29	1/250
55TRYE	36		150	250	49	26	1/63
55TRYA-J1	220		35	12	500	346	0.22/400
56TRYA	220		35	250	58	32	0.22/400
56TRYC	110		85		53.5	29	1/250
56TRY	36	150	49		26	1/63	

表 5.6.23 TYC 系列爪极永磁同步电动机技术参数

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	额定电流 /mA	额定转矩 /(mN·m)	输出轴转速 /(r/min)
TYC-60	220	50	24	1.96	60
TYC-12				9.8	12
TYC-2				68.6	2
TYC-1/2				98	1/2
TYC-1/10				98	1/10
TYC-1/60				98	1/60
TYC-1/300				196	1/300
TYC-1/1440				196	1/1440

表 5.6.24 45TYZ 爪极永磁同步电动机技术参数

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	额定电流 /mA	额定输入功率 /W	同步转速 /(r/min)	牵入转矩 /(mN·m)	最大同步转矩/(mN·m)	极数	线圈电阻 /Ω	温升 /℃
45TYZ-C	220	50	17	3	500	2.94	3.92	12	7000	45
45TYZ-J1					12	78.4	147			
45TYZ-J2					10	98				
45TYZ-J3					2					
45TYZ-J4					1					
45TYZ-J5					1/2					
45TYZ-J6					1/10					
45TYZ-J7					1/15					
45TYZ-J8					1/60					
45TYZ-J9					1/1440					
45TYZ02-C	24	50	150	3	500	2.94	3.92	12	—	45
45TYZ02-J1					12	78.4	147			
45TYZ02-J2					10	98				
45TYZ02-J3					2					
45TYZ02-J4					1					
45TYZ02-J5					1/2					
45TYZ02-J6					1/10					
45TYZ02-J7					1/15					
45TYZ02-J8					1/60					
45TYZ02-J9					1/1440					

注：该电动机可使用频率为 60Hz 的电源，这时的转速为 50Hz 时的 1.2 倍。

四、微型磁阻同步电动机

磁阻同步电动机也叫反应式同步电动机，国产三相及单相磁阻同步电动机的功率为 60~550W，电机安装方式、外形及安装尺寸、电压等级均与同机座号的一般用途微型异步电动机相同，但是磁阻同步电动机的功率比同机座号的异步电动机功率低一个功率等级。

1. TC 系列磁阻式三相小功率同步电动机

本系列电动机为三相鼠笼转子磁阻式同步电动机，广泛应用于电影、复印、印刷、自动控制系统等恒速传动装置上作为驱动元件。技术参数见表 5.6.25。

表 5.6.25 TC 系列电机技术参数

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 额定电流	牵入转矩 额定转矩	牵出转矩 额定转矩
TC-6314	90	0.73	380	50	1500	44.5	0.42	2.5	6	1.2	1.6
TC-6324	120	0.86				49.5	0.43				
TC-7114	180	1.15	380	50	1500	54	0.45	2.5	6	1.2	1.6
TC-7124	250	1.42				58	0.46				
TC-8014	370	1.72	380	50	1500	68	0.48	2.5	6	1.2	1.6
TC-8024	550	2.32				72	0.5				

安装方式有下列三种基本形式：

B3 型——机座有底脚，端盖上无凸缘；

B34 型——机座有底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；

B14 型——机座无底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端。

2. TX 型单相电容运转磁阻同步电动机

TX 型单相电容运转磁阻同步电动机技术参数见表 5.6.26。

表 5.6.26 TX 系列电机技术参数

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	额定转矩 /(mN·m)	最大同步 转矩 /(mN·m)	起动转矩 /(mN·m)	转速 /(r/min)	输入功率 /W	输出功率 /W	额定电流 /A	电容 /μF
TX-061	220	50	27.4	78.4	29.4	3000	55	8.6	0.3	1
	127								0.44	4
TX-062	220	50	78.4	147	88.2	3000	75	24.6	0.52	2

3. TUC 系列磁阻式小功率单相电容起动同步电动机

本系列电动机为单相电容起动鼠笼转子磁阻式同步电动机，广泛应用于电影、复印、自动控制系统等恒速传动装置上作为驱动元件，技术参数见表 5.6.27。

表 5.6.27 TUC 系列电机技术参数

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	牵入转矩 额定转矩	牵出转矩 额定转矩
TUC-7114	90	0.88	220	50	1500	37	0.42	3	12	1.2	1.4
TUC-7124	120	1.1				40	0.44		15		
TUC-8014	180	1.24	220	50	1500	48	0.46	3	17	1.2	1.4
TUC-8024	250	1.55				50	0.48		23		

安装方式有下列三种基本形式：

B3 型——机座有底脚，端盖上无凸缘；

B34 型——机座有底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；

B14 型——机座无底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端。

4. TUL 系列单相双值电容同步电动机

本系列电动机为单相双值电容磁阻式同步电动机，适用于起动转矩要求不太大而运行性能较好的场合。技术参数见表 5.6.28。

表 5.6.28 TUL 系列电机技术参数

型号	功率 /W	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	堵转转矩 额定转矩	堵转电流 /A	牵入转矩 额定转矩	牵出转矩 额定转矩
TUL-6314	60	0.89	220	50	1500	40	0.77	1.2	5	1.4	1.2
TUL-6324	90	1.17				45	0.78		7		
TUL-7114	120	1.44	220	50	1500	48	0.79	1.2	9	1.4	1.2
TUL-7124	180	1.03				53	0.80		13		

安装方式有下列三种基本形式：

B3 型——机座有底脚，端盖上无凸缘；

B34 型——机座有底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端；

B14 型——机座无底脚，端盖上有小凸缘，轴伸在凸缘端。

第五节 微型直流电动机

微型直流电动机按电源和励磁方式不同，可分为直流并励电动机、直流串励电动机、永磁直流电动机以及交直流两用电动机等。其中微型直流电动机可均匀调速，能工作在高速、低速或需要调速的场合，例如医疗器械、小型车床、电子仪器、计算机、电动工具及家用电器等。

一、永磁直流电动机

常规结构的永磁直流电动机使用最广泛。该电动机除采用磁钢激磁外，在结构上与电磁式直流电动机没有大的区别。按永磁材料的不同，有采用铝镍钴的 M 系列和 ZYW 系列，以及采用铁氧体的 ZYT 和 ZYR 系列，其中以 ZYT 系列应用最广泛。

1. ZYT 系列铁氧体永磁直流电动机

该系列电动机采用铁氧体永磁磁极，磁稳定性好，拆装后不退磁，电动机的效率高，温升高，换向火花小，价格低廉（仅为铝镍钴永磁直流电动机的 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ ）。但铁氧体的温度系数大，当温度升高时电机电流即增大，故通常最高温度不宜超过120℃。该系列直流电动机用于家用电器、汽车电器、医疗器械和工农业生产的小型器械驱动。

ZYT系列铁氧体永磁直流电动机机座号用机壳外径表示，电动机的额定输出用额定转矩表示，改变电动机出线端的电源极性，电机反转。其技术参数见表5.6.29。

表 5.6.29 ZYT 系列电机技术参数

型 号	额定电压 /V	空载转速 /(r/min)	额 定 运 行				输出功率 /W
			转速 /(r/min)	转矩 /(mN·m)	电流 /A	效率 /%	
20ZYT02	3	5300	3000	1.2	0.45	28	0.3
20ZYT04	3	8000	5000	1.2	0.70	30	0.5
20ZYT06	3	11500	8000	1.2	1.05	32	0.8
20ZYT08	3	1600	12000	1.2	1.48	34	1.3
20ZYT10	6	5300	3000	1.2	0.21	30	0.3
20ZYT12	6	8000	5000	1.2	0.33	32	0.5
20ZYT14	6	11500	8000	1.2	0.49	34	0.8
20ZYT16	6	16000	12000	1.2	0.70	36	1.3
24ZYT02	3	5300	3000	2.5	0.87	30	0.7
24ZYT04	3	8000	5000	2.5	1.36	32	1.1
24ZYT06	3	11500	8000	2.5	2.05	34	1.8
24ZYT08	3	16000	12000	2.5	2.91	36	2.7
24ZYT10	6	5300	3000	2.5	0.41	32	0.7
24ZYT12	6	8000	5000	2.5	0.64	34	1.1
24ZYT14	6	11500	8000	2.5	0.97	36	1.8
24ZYT16	6	16000	12000	2.5	1.38	38	2.7
24ZYT18	12	5300	3000	2.5	0.19	34	0.7
24ZYT20	12	8000	5000	2.5	0.30	36	1.1
24ZYT22	12	11500	8000	2.5	0.46	38	1.8
24ZYT24	12	16000	12000	2.5	0.65	40	2.7
28ZYT01	6	5000	3000	4.0	0.52	40	1.0
28ZYT02	6	5000	3000	8.0	1.00	42	2.1
28ZYT03	6	7500	5000	2.5	0.83	42	1.8
28ZYT04	6	7500	5000	2.5	1.59	44	3.6
28ZYT05	6	11000	8000	2.5	1.27	44	2.8
28ZYT06	6	11000	8000	2.5	2.43	46	5.7
28ZYT07	12	5000	3000	2.5	0.25	42	1.0
28ZYT08	12	5000	3000	2.5	0.48	44	2.1
28ZYT09	12	7500	5000	4.0	0.36	48	1.8
28ZYT10	12	7500	5000	8.0	0.70	50	3.6
28ZYT11	12	11000	8000	4.0	0.56	50	2.8
28ZYT12	12	11000	8000	8.0	1.07	52	5.7
28ZYT13	12	15500	12000	4.0	0.81	52	4.3
28ZYT14	12	15500	12000	8.0	1.55	54	8.6
28ZYT15	24	5000	3000	4.0	0.12	44	1.0
28ZYT16	24	5000	3000	8.0	0.23	46	2.1
28ZYT17	24	7500	5000	4.0	0.18	48	1.8
28ZYT18	24	7500	5000	8.0	0.35	50	3.6
28ZYT19	24	11000	8000	4.0	0.28	50	2.8

续表

型 号	额定电压 /V	空载转速 /(r/min)	额 定 运 行				输出功率 /W
			转速 /(r/min)	转矩 /(mN·m)	电流 /A	效率 /%	
28ZYT20	24	11000	8000	8.0	0.54	52	5.7
28ZYT21	24	15500	12000	4.0	0.40	52	4.3
28ZYT22	24	15500	12000	8.0	0.78	54	8.6
36ZYT01	12	4500	3000	12.0	0.63	50	3.2
36ZYT02	12	4500	3000	20	1.01	52	5.3
36ZYT03	12	7000	5000	12	0.90	58	5.3
36ZYT04	12	7000	5000	20	1.45	60	8.9
36ZYT05	12	10500	8000	12	1.40	60	8.5
36ZYT06	12	10500	8000	20	2.25	62	14.2
36ZYT07	24	4500	3000	12	0.30	52	3.2
36ZYT08	24	4500	3000	20	0.48	54	5.3
36ZYT09	24	7000	5000	12	0.44	60	5.3
36ZYT10	24	7000	5000	20	0.70	62	8.9
36ZYT11	24	10500	8000	12	0.68	62	8.5
36ZYT12	24	10500	8000	20	1.09	64	14.2
45ZYT01	12	4300	3000	25	1.26	52	6.7
45ZYT02	12	4300	3000	40	1.94	54	10.7
45ZYT03	12	6800	5000	25	1.82	60	11.0
45ZYT04	12	6800	5000	40	2.82	62	17.8
45ZYT05	12	10300	8000	25	2.82	62	17.8
45ZYT06	12	10300	8000	40	4.36	64	28.5
45ZYT07	24	4300	3000	25	0.63	52	6.7
45ZYT08	24	4300	3000	40	0.93	54	10.7
45ZYT09	24	6800	5000	25	0.71	60	11.0
45ZYT10	24	6800	5000	40	1.41	62	17.8
45ZYT11	24	10300	8000	25	1.41	62	17.8
45ZYT12	24	10300	8000	40	2.18	64	28.5
55ZYT01	12	4300	3000	50	2.52	52	13.4
55ZYT02	12	4300	3000	80	3.88	54	21.4
55ZYT03	12	6800	5000	50	3.52	62	22.3
55ZYT04	12	6800	5000	80	5.45	64	35.6
55ZYT05	12	10300	8000	50	5.45	64	35.6
55ZYT07	24	4300	8000	50	1.26	52	13.4
55ZYT08	24	4300	3000	80	1.94	54	21.4
55ZYT09	24	6800	5000	50	1.76	62	22.3
55ZYT10	24	6800	5000	80	2.73	64	35.6
55ZYT11	24	10300	8000	50	2.73	64	35.6
55ZYT12	24	10300	8000	80	4.23	66	17
70ZYT01	12	4000	3000	120	5.61	56	32
70ZYT02	12	4000	3000	200	9.03	58	53.4
70ZYT03	12	6500	5000	120	8.73	60	53.4
70ZYT05	24	4000	3000	120	2.71	58	32
70ZYT06	24	4000	3000	200	4.36	60	53.4
70ZYT07	24	6500	5000	120	4.22	62	53.4
70ZYT08	24	6500	5000	200	6.32	64	89
70ZYT09	24	10000	8000	120	6.54	64	85.5

续表

型 号	额定电压 /V	空载转速 /(r/min)	额 定 运 行				输出功率 /W
			转速 /(r/min)	转矩 /(mN·m)	电流 /A	效率 /%	
90ZYT01	110	1900	1500	250	0.59	60	35.3
90ZYT02	110	1900	1500	400	0.92	62	56.5
90ZYT03	110	3700	3000	250	1.05	68	70.2
90ZYT04	110	3700	3000	400	1.63	70	113
90ZYT05	220	1900	1500	250	0.29	62	35.3
90ZYT06	220	1900	1500	400	0.45	64	56.5
90ZYT07	220	3700	3000	250	0.51	70	70.7
90ZYT08	220	3700	3000	400	0.79	72	113
110ZYT01	110	1900	1500	500	1.08	66	70.7
110ZYT02	110	1900	1500	800	1.68	68	113
110ZYT03	110	3700	3000	500	1.98	72	141
110ZYT04	110	3700	3000	800	3.09	74	226
110ZYT05	220	18500	1500	500	0.52	68	70.7
110ZYT06	220	18500	1500	800	0.82	70	113
110ZYT07	220	3650	3000	500	0.96	74	141
110ZYT08	220	3650	3000	800	1.50	76	226

2. 齿轮减速永磁直流电动机

齿轮减速永磁直流电动机是由ZY型永磁直流电动机带上齿轮减速器组成。直流电动机带上减速器后达到低速运转的性能,电机结构紧凑,广泛应用于低速大力矩驱动系统中,例如驱动雷达天线等。

常见的齿轮减速永磁直流电动机为ZY-J型,技术参数见表5.6.30。

表 5.6.30 ZY-J型电机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	齿轮轴端输出			电动机转速 /(r/min)
			减速比	额定转速 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	
60ZY001-J ₁	24	0.75	1:18	83	1	1500
80ZY002	24	2.2	30	70	3.748	2100
90ZY001-J ₁	115	1.2	16:79	120	5.98	200
90ZY002-J ₂	115	1.2	16:79	120	5.98	200 带光栅传感器

3. 永磁式直流稳速电动机

永磁直流稳速电动机是带有稳速装置的直流电动机,电动机内附加一套稳速机构(离心开关式或电子式),广泛应用于记时机构、磁带记录仪、录音机等。技术参数见表5.6.31~表5.6.34。

表 5.6.31 永磁直流稳速电动机技术参数(一)

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	稳速误差 /%
20ZWL51	4.5	0.105	2000	40×10^{-2}	4
20ZWL52	4.5	0.12	2400	40×10^{-2}	4
24DW003	8	0.12	3750	8	—
45DW003	28_{-1}^{+3}	3	16000		2
28SYWT	27	0.35	9000 ± 200	2.156	
30SYWT	26	0.85	9000 ± 180	6.86	

表 5.6.32 永磁直流稳速电动机技术参数(二)

型 号	额定电压 /V	有效功率 /W	电 流 不大于 /A	转 速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	重 量 /kg
S220	110	3.6	0.28	3500 ± 18	9.8	1.25
S240	22	18.5	2.5	4500 ± 22	39.2	1.4
S260	43.5	—	1.5	3170 ± 5	24.5	1.4
S320	110	18.5	0.5	4500 ± 22	39.2	2.1
S340	22	16.5	2.1	4000 ± 20	39.2	2.1
S360	110	23	0.6	4500 ± 22	49	2.3
S360N	110	23	0.6	4500 ± 22	49	2.3
S370	22	28	3	4500 ± 22	58.8	2.3
S370S	26	28	3	4500 ± 90	58.8	2.3
S560	42~53	26	1.5~1.1	2600 ± 13	95.55	5
	56~71	30	1.2~0.9	3000 ± 15		
S570	110	77	1.2	3000 ± 15	245	6.7

表 5.6.33 永磁直流稳速电动机技术参数(三)

型 号	额定电压 /V	电压许可 变动范围 /%	额定转速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	输出功率 /W	额定电流 /A	稳速精度 /%
20ZYW1	9	±10%	3000	0.69	0.21	0.15	±1
20ZYW2	6	±10%	2200	0.34	0.80	0.12	±1
20ZYW3	9	±10%	4500	0.78	0.37	0.18	±1
20ZYW5	9	±10%	3700	0.78	0.30	0.18	±1
20ZYW9	24	±10%	6000	0.98	0.62	0.12	±1
30ZYW2	12	±10%	3000	3.72	1.17	0.42	±1
30ZYW3	24	±10%	3000	7.35	2.30	0.33	±1
30ZYW4	24	±10%	3000	3.72	1.17	0.25	±1
30ZYW8	24	±10%	4500	3.72	1.75	0.30	±1
40ZYW1	24	±10%	3000	29.4	9.2	0.95	±1
40ZYW2	24	±10%	3000	14.7	4.6	0.58	±1
40ZYW3	24	±10%	4500	29.4	13.8	1.40	±1
40ZYW4	24	±10%	4500	14.7	6.9	0.80	±1
40ZYW5	24	±10%	6000	29.4	18.9	1.40	±1
40ZYW6	24	±10%	6000	14.7	9.2	1.05	±1
40ZYW10	12	±10%	4500	13.7	6.4	1.80	±1

表 5.6.34 永磁直流稳速电动机技术参数(录音机用)

型 号	工作 电压 /V	工作电压 范围 /V	额定负 载范围 /(mN·m)	使用负载 范围 /(mN·m)	转 速 /(r/min)	额定 电流 /mA	起动转矩 /(mN·m)	起动 循环 /次	噪声 /dB
BFG6R0.5	6	4.2~7.2	0.88	0.69~1.08	2400	<155	4.2V时: 4.41	50000	<35
BFG9R0.5	9	6.3~10.5	0.88	0.69~1.08	2400	<120	6.3V时: 4.91	50000	<35
BFG2R0.5	12	8.4~16	0.88	0.69~1.08	2400	<90	8.4V时: 5.87	50000	<35

4. 永磁直流无刷电动机

无刷直流电动机是随着电子技术的发展而出现的一种新型直流电动机。由于它是以电子换向装置代替传统的机械换向装置(电刷和换向器)的直流电动机,其特性与普通小功率直流电动机相类似,但是在性能上保持了普通直流电动机的优点而克服了其缺点。它具有调速范围宽,起动迅速,机械特性和调节特性线性度好,寿命长,维护方便,可靠性高,噪音较低,无换向火花和无线电干扰等特点。

无刷直流电动机由三个基本部分组成,即电动机本体、转子位置传感器和电子换向电路。

无刷直流电动机在近代技术中,如宇宙航空技术、声响装置以及其他许多场合中应用逐渐增多。该类电动机可作为一般直流电动机使用,配以专门控制线路时,还能作直流稳速电动机、直流伺服电动机等使用。技术参数见表 5.6.35 和表 5.6.36。

表 5.6.35 ZW 永磁直流无刷电动机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	额定转矩 /(mN·m)	额定转速 /(r/min)	换向方式	旋转方向	备 注
20ZWH-01	20	0.065	0.49×10^{-3}	1500	四相非桥式	逆顺时针	霍尔传感器
36ZW-1	24	0.80	9.8×10^{-3}	9000	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
36ZW-2A	24	0.65	19.6×10^{-3}	2500	三相Y桥式	逆时针	电磁式传感器
45ZW-1A	24	0.90	24.5×10^{-3}	4500	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
45ZW-1B	24	0.60	34.3×10^{-3}	2000	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
45ZW-1C	24	0.90	34.3×10^{-3}	3000	三相非桥式	逆顺时针	电磁式传感器
45ZW-1D	24	0.90	34.3×10^{-3}	3000	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
45ZW-2	24	0.90	19.6×10^{-3}	4500	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
55ZW-1	15	6.5	9.8×10^{-3}	4500	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
55ZW-1B	15	7.0	0.167×10^{-3}	2500	三相非桥式	逆顺时针	电磁式传感器
55ZW-2A	24	4.6	78.4×10^{-3}	800	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
55ZW-3A	12	2.0	58.8×10^{-3}	2000	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
70ZW-1	24	0.52	49×10^{-3}	1200	三相△桥式	逆时针	电磁式传感器
70ZW-2	12	2.5	52.9×10^{-3}	1700	三相非桥式	逆时针	电磁式传感器
70ZW-3A	24	0.8	0.147×10^{-3}	500	三相Y桥式	逆时针	电磁式传感器
90ZW-01	24	4.6	0.392×10^{-3}	1500	三相Y桥式	逆时针	电磁式传感器
90ZW-2A	27	5.0	0.392×10^{-3}	2000	三相Y桥式	逆时针	电磁式传感器
130ZW-1	12	3.0	58.8×10^{-3}	2000	单相推挽非桥式	逆顺时针	光电式传感器 外转子

表 5.6.36 DWS
ZWW 永磁直流无刷电动机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	输出功率 /W	额定转矩 /(mN·m)	备 注
28ZW002	24~28	≤ 0.48	稳定转速 9600	3~5	3~5	双向可控
32DWS004	27	0.6	稳定转速 6000	—	10	双向可控
64ZWS001	24	< 0.4	稳定转速 5568 稳定精度 1.7×10^{-5}	—	5	外转子结构,采用锁相技术达到高 稳速精度,在激光打印机、照排机等 精密驱动中带动六面式八面激光 棱镜
70SW001	28	1.8	4500	35	80	带有测速光栅 ($N=1000$ 条),可进行转速控制
90ZW002	5~30	最大 < 6	1000、2000、 3000、4000、 5000、6000、 7000、8000 稳定精度 $10^{-4} \sim 10^{-5}$	最大 80	100	单方向运行,可作为高精度稳速驱 动源,应用于测试仪上
90ZW007	0~30	≤ 3.5	200~4000 (电压提高后在 100~7000范围内 稳速精度可达 10^{-5})	—	100	可正反转运行,带光电式数字测速 装置(24周/转)。选用石英晶振作比 较频率信号后,稳速精度可达 10^{-5} , 并能用于数字式伺服系统中,亦可作 基准转速校正仪用

二、印制电路电动机

印制绕组直流电动机外形多为“饼式”，其电枢呈圆盘状。印制或冲制的径向波绕组或波叠复合绕组，粘结在圆盘形绝缘薄板上。一般电枢绕组兼作换向器使用，定子为轴向永磁激磁式。由于该电机结构上的特点，其电枢惯量很小、时间常数一般为十数毫秒。该电机低速运转平稳，具有良好的调速特性，换向性能好、火花小，结构简单，生产效率高。该电机广泛应用于磁带记录仪、电动机器人、数控机床、录像机、汽车及电动自行车。

1. 结构原理

印制绕组电动机定子磁场由永久磁钢提供，转子为印制绕组，一般呈薄片圆盘形（也有呈圆筒形的），用银石墨电刷，换向器端涂一层耐磨材料，电刷直接安在电枢中心部位的导体上进行换向，其电枢电感很小，大致在 $10 \sim 100 \mu\text{H}$ ，机电时间常数为 $10 \sim 15 \text{ms}$ 。现在印制绕组工艺正由印制向冲制过渡，绕组层数逐渐由2层发展到4层、6层、多层，极数多为6、8及10个极等等，便于大批生产。

2. 常见产品技术参数（见表5.6.37）

表 5.6.37 SN型印制绕组直流电动机技术参数

型 号	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	功率 /W	减速比
110SN-02	18	2.8	4000	25	—
110SN-03CJ	26	6	4000	100	35:1
145SN-01CJ	42	6.6	3000	200	50:1
154SN-01CJ	18.3	5.5	130	50	25:1
160SN-01	42	8.6	2500	200	—
245SN-01	80	18	3000	1000	—
154SN-J01	24	5	130	65	1:25
154SN-J02	32	5.5	130	100	1:25
154SN-J03	18.3	5.5	130	55	1:25
154SN-J04	21	5.2	120	100	1:25
154SN-J05	21	5.2	60	100	1:50
154SN-J06	21	5.2	30	100	1:100
154SN-J07	26	8	72	200	1:50
154SN01	24	4.5	3000	75	—
154SN02	30	4.5	3000	100	—
154SN03	18	4.5	3000	50	—
154SN04	33	6.4	3000	150	—
278SN01	172	14.9	3000	2200	—
330SN01	136	37	3000	4500	—
330SN02	272	32	3000	9000	—
320SN-9000	272	37	3000	9000	—
320SN-4500	150	33.6	3000	4500	—
320SN-3000	140	25	3000	3000	—
320SN-2200	172	15	3000	2200	—
245SN-1500	172	10.4	3000	1500	—
245SN-1000	85	14.5	3100	1000	—
230SN-1000A	90	13.8	3000	1000	—
230SN-1000B	160	7.5	3000	1000	—
210SN-750	110	8.3	3000	750	—
200SN-500	82	7.5	3000	500	—
138SN-200	42	6.4	3000	200	—
138SN-100	26	5.7	3600	100	—
132SN-75	24	5	3600	75	—
110SN-150	30	8.2	3000	150	—
110SN-100	24	6.4	3600	100	—
110SN-75	24	5.9	3600	75	—
110SN-50	24	4.3	3600	50	—
100SN30	12	5.2	3600	30	—
100SN20	12	3.6	3400	20	—

三、线绕盘式电枢直流电动机

线绕盘式电枢直流电动机是一种新颖并且与一般直流电动机结构迥然不同的永磁式直流电动机，它具有轴向气隙磁场和线绕布线的圆盘电枢。由于其电枢无铁芯，重量轻，转动惯量小，损耗小，具有过载能力大、快速响应、良好的换向性能、良好的调速特性、效率高、寿命长、较大的功率-重量比、结构简单和生产效率高等一系列优点，不仅广泛应用于自动控制系统作伺服或驱动元件，也广泛地应用于农业机械或各种家用电器中，如机器人、数控机床、复印机、汽车、电动自行车、农用割草机、剪枝机、家用擦尘机、洗刷机等。常见产品技术参数见表 5.6.38。

表 5.6.38 线绕盘式电枢直流电动机技术参数

型 号	功率 /W	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)	型 号	功率 /W	电压 /V	电流 /A	转速 /(r/min)
100SXP-01	13	24	0.95	1600	184SXP-01	750	80	12	3000
100SXP-02	25	12	0.33	2350	192SXP-01	545	78	8.5	3200
100SXP-03	40	12	5.8	2330	250SXP-01	1500	160	11	3000
160SXP-01	200	42	11	5000	360SXP-01	4500	215	23	1800
160SXP-03	400	48	11	5000	360SXP-02	4500	165	32	1800

1. 线绕盘式电枢直流电动机机组

线绕盘式电枢直流电动机具有转动惯量小、时间常数小、换向性能好、效率高、寿命长等一系列优点，因此它与制动器、测速机、编码器等组成伺服-测速机组，广泛地应用于机器人、数控机床、复印机等系统或设备中，成为现代工业中的良好伺服-测速元件。常见产品技术参数见表 5.6.39。

表 5.6.39 线绕盘式电枢直流电动机机组技术参数

型 号	输出功率 /W	额定电压 /V	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	制 动 器			编码器输 出脉冲 /(P/r)	测速机输出 斜率 /(V/kV/min)
					电压 /V	电流 /A	力矩 /(N·m)		
100SXP-CM01	3	24	0.95	1600				50	≥ 1.13
184SXP-MZ01	750	80	12	3000	24	1.52 ± 15%	4.9	1000	
192SXP-MZ01	545	78	8.5	3200	24	1.52 ± 15%	4.9	500	
250SXP-MZ01	1500	160	11	3000	24	1.52 ± 15%	11.8	500	
360SXP-MZ01	4500	215	23	1800	24	1.82 ± 15%	44.1	1000	7
360SXP-MZ02	4500	160	32	1800	24	1.82 ± 15%	44.1	1000	7

2. 84SG/ZYT100 型线绕盘式电枢直流伺服电动机

该电动机由永磁直流伺服电动机和变磁阻式速度传感器组成。传感器与转子同轴，输出信号率与电机转轴速度成正比，广泛应用于复印机扫描系统作驱动用及其他需要速度反馈的自控系统中。技术参数见表 5.6.40。

表 5.6.40 84SG/ZYT100 型线绕盘式电枢直流伺服电机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	额定功率 /W	额定转速 /(r/min)	传感器输出电压 /V
84SG	24	0.9 ± 0.15	10.7	370 ± 15%	> 1.2
ZYT100	24	0.9 ± 0.15	13	1600 ± 13%	> 1.2

四、直流调速电动机

在指定负载下转速可以调节到规定范围内的直流电动机叫直流调速电动机。

1. DD 型直流调速电动机技术参数 (见表 5.6.41)

表 5.6.41 DD 型直流调速电动机技术参数

型 号	额定电压 /V	额定电流 /A	额定转速 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	调速范围
55DD001	15	2	4300 (24 格)	0.018	8 ~ 10

2. 宽调速直流伺服电动机

该电动机具有体积小、重量轻、承受过载能力强、调速范围宽、起动转矩大、机械特性硬等特点,在机床进给伺服系统和其他数控装置伺服系统中作执行元件,亦可作驱动元件,广泛应用于数控机床和各种仪器设备上。常见产品技术参数见表 5.6.42 和表 5.6.43。

表 5.6.42 120SYK 宽调速永磁直流伺服电动机技术参数

型号	电压 /V	额定功率 /W	频率 /Hz	额定转速 /(r/min)	额定电流 /A	最高空载转速 /(r/min)	最大电流 /A	调速范围 /(r/min)	过载倍数 /倍
120SYK-1	96	400	50	1300	7.2	2000	36	0.07~1400	5
120SYK-2	151	800	50	1300	9	2000	45	0.07~1400	5

表 5.6.43 130SZK 型直流宽调速伺服电动机技术参数

型号	电压 /V	电流 /A	输出功率 /W	最高转速 /(r/min)	连续堵转转矩 /(N·m)	机械时间常数 /ms	电气时间常数 /ms
130SZK01	50	12	400	2000	2.45	50	10
130SZK02	100	12	800	2000	4.9	50	10

3. 宽调速永磁直流伺服机组

(1) 宽调速永磁直流伺服-脉冲编码器机组 具有低速、出力大、转矩波动小、过载能力强、线性度高、热容量大及能承受长时间重过载等许多优点。尤其是它的调速范围宽、低速出力大的特点,特别适合数控机床的丝杠驱动,可以做到电机与丝杠直接相连,简化了传动链,提高了传动效率和精度。此外,此类电机也适合于纺织机械、印刷机械、机器人、包装机械、冲压机械、雷达跟踪等自动控制系统作可靠的、高精度的执行元件。产品技术参数见表 5.6.44。

表 5.6.44 宽调速永磁直流伺服-脉冲编码器机组技术数据

型号	最大电压 /V	最高工作 转速 /(r/min)	额定电流/A	额定转矩 /(N·m)	额定功率 /W	过载倍数 /倍	编码器输出 脉冲 /(P/r)
130S-BMZK01	55	2000	12	2.75	400	5	2000
130S-BMZK02	110	2000	12	5.5	800	5	2000
160S-BMZK01	100	1500	21	11.8	1100	5	2000

(2) 宽调速永磁直流伺服-测速机组 该机组是由一台永磁直流伺服电动机和一台永磁直流测速发电机组而成,还可同轴配装光电编码器。该机组在自动控制系统中作为执行元件。这类电机具有调速范围宽、过载能力强、反应速度快、特性线性度好、起动转矩大、体积小、重量轻等特点,能满足低速跟踪高速调转的要求,能在额定负载及变载变速情况下连续工作。产品技术参数见表 5.6.45。

表 5.6.45 宽调速永磁直流伺服-测速机组技术参数

型号	额定电压 /V	额定电流 /A	输出功率 /W	额定转速 /(r/min)	额定转矩 /(N·m)	测速机输出斜率 /(V/(kr·min ⁻¹))
70S-CZK01	27	4	50	2000	0.245	6
110S-CZK01	47	4.3	166	1500	1.06	7
130S-CZK01	90	8.5	600	3000	1.96	6
130S-CZK02	140	≤5	500	1500		6
130S-CZK03	90	15	1000	3000	3.4	6
130SZK-CZ01	90	9	600	3000	2	6
160S-CZK01	110	10	800	3000	2.548	6
160SK-C01	110	24 ^①	1200	3000 ^②	7.5 ^②	6
160SY-CMZK01	110	8.7	800	3000		600P/r
180S-CZK01	90	45 ^①	1800	1500 ^③	23 ^②	6

① 连续堵转电流。

② 连续堵转转矩。

③ 空载转速。

五、微型直流电动机的使用和维护

1. 直流电动机电刷火花等级的鉴别

电机在运行时，在电刷和换向器间往往有火花发生。火花对电机的运行是有危害的，若超过一定限度，可能使电机不能继续运行，因此火花在一定限度以内并不影响电机的连续正常工作，可以允许它存在。电机的电刷和换向器之间的火花可以根据表 5.6.46 鉴别，并以此确定电机能否继续工作及运行状态是否良好。

表 5.6.46 电刷下火花的等级

火花等级	电刷下的火花程度	换向器及电刷的状态	允许的运行方式
1	无火花	换向器上没有黑痕，电刷上也没有灼痕	可以连续长期运行
1 $\frac{1}{4}$	电刷边缘仅小部分有微弱点状火花，或有非放电性的红色小火花		
1 $\frac{1}{2}$	电刷下面大部分有轻微火花	换向器上有黑痕，但不发展，用汽油擦其表面即能除去，同时在电刷上有轻微灼痕	仅在短时过载或短时冲击负载时允许出现
2	电刷边缘全部或大部分有较强烈的火花	换向器上出现黑痕，用汽油不能擦除，同时电刷上有灼痕。如短时出现这一级火花，换向器上不出灼痕，电刷不至于被烧焦或损坏	
3	电刷的整个边缘有强烈的火花（即环火），同时有大火花飞出	换向器上的黑痕相当严重，用汽油不能擦除，同时电刷上有灼痕。如在这一火花等级下短时运行，则换向器上将出现灼痕，同时电刷将被烧焦或损坏	仅在直接启动或逆转的瞬间允许存在，但不得损坏换向器或电刷

2. 直流电动机常见故障及处理方法（见表 5.6.47）。

表 5.6.47 直流电动机常见故障及处理

故障现象	故障原因	排除措施
电刷冒火花换向器和电刷剧烈发热	<p>电刷不在中心线上</p> <p>换向器表面不平，换向器片之间云母片突起</p> <p>电刷的牌号或尺寸不适合</p> <p>电刷架上各电刷臂之间的距离不相等，或同一电刷臂上的各刷握不在一直线上</p> <p>电刷的压力不紧或太松</p> <p>电刷和换向器的接触面没有磨好，或接触面上有油污</p> <p>电刷质量不好</p> <p>主磁极与换向极的顺序不正确</p> <p>电枢线圈有短路或接地故障，电枢线圈与换向器脱焊</p> <p>电机过载</p> <p>换向极绕组短路</p> <p>检修时将换向极绕组接反</p> <p>电机底脚松动发生振动</p> <p>电刷分布不等分</p> <p>转子平衡未校好</p>	<p>用感应法调整电刷位置</p> <p>修理换向器</p> <p>换电刷的更换办法处理</p> <p>调整各电刷臂或各刷握的位置</p> <p>调整各电刷的压力，力求一致。一般电机应按 15~25MPa 来选择</p> <p>磨光电刷与换向器的接触面，若有油污，应先清洗</p> <p>换质量合格的电刷</p> <p>用指南针检查各磁极极性</p> <p>在电枢线圈中通以直流电，测量各相邻两换向片间的直流电压，来检查是否有短路，开路。用兆欧表检查是否接地，然后根据故障情况修理</p> <p>应降低负载或换一台容量较大的电动机</p> <p>检查换向极绕组，修理绝缘损坏处</p> <p>用指南针试验换向极极性并纠正（换向极与主极极性关系顺电机旋转方向 $n-S-s-N$，其中大写字母为主极性，小写字母为换向极极性）</p> <p>固定安装螺钉</p> <p>校正电刷等分</p> <p>重校转子动平衡</p>

故障现象	故障原因	排除措施
电动机不能起动或转速不正常	电刷不在正常位置 电枢的电源电压低于额定电压 电动机轴上的负载过大 电枢线圈或各连接中有短路或接地等 复励电动机串励线圈接反 换向极线圈接反 励磁线圈断路、短路, 接线错误 起动器接触不良, 电阻不适当	按所刻记号调整刷杆座位置 提高电源电压到额定值 减少电动机的负载 检查电枢线圈和各连接线, 排除故障 可将串励线圈两端钮互相更换, 或按该电机接线图正确接线 可将换向极线圈的端钮互相更换, 或按电机接线图接线 纠正接线错误, 消除短路 更换适当起动器
电动机过热	负载过大 电枢线圈短路 主极线圈短路 电枢铁芯绝缘损坏 冷却空气量不足, 环境湿度高, 电动机内部不洁净	减小和限制负载 纠正错误的电枢线圈与升高片的连接, 清除换向片间或升高片间的障阻物, 更换损坏的匝间绝缘 查出短路点, 增强绝缘 局部或全部进行绝缘处理 清理电动机内部, 增大风量, 改善周围冷却条件
电枢绕组短路	电枢线圈接线错误 换向片间或升高片间有焊锡等金属物短接 匝间绝缘损坏	纠正接线错误 清除金属短路物 局部或全部进行绝缘处理
电枢绕组冒烟	电动机长期过载 换向片或电枢有短路故障 电动机电压过低 电动机直接起动或反向运转过于频繁 定子和转子铁芯相摩擦	立即减轻电动机负载, 或换一台容量大的电动机 用毫伏表检查电枢发热情况是否短路, 是否有金属屑落入换向器或电枢线圈。若有则立即排除 检查线路, 并排除线路短路 恢复电压至正常值 改用适当的起动器, 避免频繁地反复运转 检查电机气隙是否均匀, 轴承是否磨损

第六节 控制微电机

一、自整角机

自整角机是一种传递无机械连接的转角与转角相应电信号的系统中具有三相绕组的交流控制电机。其输出电信号是转子转角的函数或转子转角是输入电信号的函数, 在系统中通常是两个或两个以上组合使用, 其任务是将转轴上的转角变换为电、气信号或把电、气信号变换为转轴的转角, 实现角度的远距离传输、变换和接收。它广泛应用在同步传动、随动系统和计算机解答装置中, 借发送机和接收机之间无机械连接传递角位移的方式, 达到自动指示角度、位置、距离和指令等目的。

1. 分类

自整角机按其工作原理可分为力矩式自整角机和控制式自整角机两大类。

(1) 力矩式自整角机 绕组阻抗低, 转子一般都做成凸极的, 气隙小。它用于产生与失调角相应的转矩, 以实现无机械连接的转角传递的自整角系统中。按其用途又可分为以下四种。

① 力矩式自整角发送机: 一般与力矩式自整角接收机一起工作 (有时在发送机与接收机之间接入一台力矩式自整角差动发送机, 有时在两台发送机之间接入一台力矩式自整角差动接收机), 是一种将输入的转子转角变换成电信号输出的自整角机。

② 力矩式自整角接收机: 与力矩式自整角发送机一起工作 (有时还加入一台力矩式自整角差动发送机), 是一种将接收自整角发送机的电信号变换成转子转角输出的力矩式自整角机。

③ 力矩式自整角差动发送机: 串接于力矩式自整角发送机与接收机之间, 将发送机的转子转角及其自身

转子转角的代数和变换成电信号输出的自整角机。

④ 力矩式自整角差动接收机：串接于两个力矩式自整角发送机之间，转子转角输出为两个发送机转子转角代数和的力矩式自整角机。

(2) 控制式自整角机 与力矩式自整角机不同，它的绕组阻抗较高，转子一般做成隐极，气隙大，用于产生与失调角相应的电信号的自整角机系统中。按其用途可以分为以下三种。

① 控制式自整角发送机：与控制式自整角变压器一起工作（有时再接入一台控制式自整角差动发动机），是一种将输入的转子转角变换成电信号输出的自整角机。

② 控制式自整角差动发送机：串接于控制式自整角发送机和自整角变压器之间，将发送机的转子转角及其自身转子转角的代数和变换成电信号输出的自整角机。

③ 控制式自整角变压器：与控制式自整角发送机一起工作（有时再加入一台控制式自整角差动发动机），接收自整角发送机的电信号变换成与失调角相应的电信号输出的控制式自整角机。

2. 自整角机产品代号（见表 5.6.48）

表 5.6.48 自整角机产品代号

新代号	老代号	含 义	新代号	老代号	含 义
ZKF	KF、ZK	控制式自整角发送机	ZLJ	LJ、ZJ	力矩式自整角接收机
ZKC	KCF、ZD	控制式差动自整角发送机	ZCJ	CJ	力矩式差动自整角接收机
ZKB	KB、ZB	控制式自整角变压器	ZKL	LK	控制力矩式自整角机
ZLF	LF、ZF	力矩式自整角发送机	ZJZ		直流自整角机
ZCF	LCF、ZC	力矩式差动自整角发送机			

3. 自整角机工作指标（见表 5.6.49）

表 5.6.49 自整角机工作指标

分类	名 称	含 义	数值范围	对系统的影响
力矩式自整角系统	零位误差 $\Delta\theta_0$	力矩式自整角发送机的转子励磁后，从基准电气零位开始每转过 60° 时，在理论上定子绕组中有一线间电势为零的位置，称作理论电气零位。由于设计及工艺因素影响，实际的电气零位与理论电气零位是有差异的，此差值即为零位误差，以角、分表示	$3' \sim 10'$	在简单的力矩式自整角系统中，系统的精度取决于自整角机的精度，故 $\Delta\theta_0$ 及 $\Delta\theta_n$ 直接影响系统精度
	静态误差 $\Delta\theta_n$	力矩式自整角系统中静达协调时，接收机与发送机转子转角之差，以角度表示。	$0.2^\circ \sim 1^\circ$	
	比整步转矩 T_0 / $\times 10^{-3} \text{N}\cdot\text{cm}$	接收机与发送机在协调位置附近单位失调角所产生的整步转矩	$0.3 \sim 80$	提高比整步转矩，直接提高系统灵敏度
	阻尼时间 t_n	接收机自失调位置稳定到协调位置所需的时间	失调角为 $179^\circ \pm 2^\circ$ 时间不大于 3min	影响系统的稳定性
控制式自整角系统	电气误差 $\Delta\theta_e$	控制式自整角机的转子转角与感应电势在理论上的数值关系，由于设计、工艺等因素影响与实际存在差异，此差值即为电气误差，以角、分表示	$3' \sim 10'$	电气误差大，使系统的精度下降
	零位电压 V_0 /mV	控制式自整角机处于零位时的输出电压。零位电压的频率与输入电压相同，但时间相位相差 90° 的基波分量和频率为输入电压奇数倍的谐波分量组成	$30 \sim 180$	使伺服系统的放大器饱和
	比电压 u_0 /(V/度)	自整角变压器在协调位置附近，单位失调角的输出电压	$0.3 \sim 1$	比电压增大，可提高系统的灵敏度
	输出相位移 φ	控制式自整角机输出电压的基波分量对励磁电压的基波分量的时间相位差，以角度表示	$2^\circ \sim 20^\circ$	

4. 技术参数

(1) 新系列自整角机技术参数 (见表 5.6.50)

表 5.6.50 新系列自整角机技术参数

种类	型号	频率 /Hz	励磁电压 /V	最大输出电压 /V	比整步转矩 不小于 /[mN·m/(°)]
控制式 自整角 发送机	20ZKF01	400	36	16	
	24ZKF01	400	26	12	
	28ZKF01	400	115	90	
	28ZKF02	400	36	16	
	36ZKF01	400	115	90	
	36ZKF51	50	36	16	
	45ZKF01	400	115	90	
	45ZKF51	50	110	90	
控制式 差动 自整角 发送机	20ZKC01	400	16	16	
	24ZKC01	400	12	12	
	28ZKC01	400	90	90	
	28ZKC02	400	16	16	
	36ZKC01	400	90	90	
	45ZKC01	400	90	90	
	45ZKC51	50	90	90	
自 整 角 变 压 器	28ZKB01	400	90	58	
	28ZKB02	400	90	58	
	28ZKB03	400	16	32	
	28ZKB04	400	16	32	
	36ZKB01	400	90	58	
	36ZKB02	400	90	58	
	36ZKB03	400	90	58	
	36ZKB51	50	16	32	
	45ZKB02	400	90	58	
	45ZKB03	400	90	58	
	45ZKB04	400	90	58	
45ZKB05	400	90	58		
力 矩 式 自 整 角 发 送 机	36ZLF01	400	115	16	0.25
	36ZLF02	400	115	90	0.25
	45ZLF01	400	115	90	0.8
	45ZLF51	50	110	90	0.3
	45ZLF52	50	220	90	0.3
	55ZLF01	400	115	90	2.0
	55ZLF51	50	110	90	1.1
	55ZLF52	50	220	90	1.1
	70ZLF01	400	115	90	5
	70ZLF51	50	110	90	3
	70ZLF52	50	220	90	3
	90ZLF01	400	115	90	8
	90ZLF51	50	110	90	8
90ZLF52	50	220	90	8	
力 矩 式 差 动 自 整 角 发 送 机	36ZCF01	400	90	90	0.15
	45ZCF01	400	90	90	4
	55ZCF51	50	90	90	3
	70ZCF51	50	90	90	1.8
	90ZCF51	50	90	90	4

续表

种类	型号	频率 /Hz	励磁电压 /V	最大输出电压 /V	比整步转矩 不小于 /[mN·m/(°)]
力矩式自整角接收机	36ZLJ01	400	115	90	0.25
	36ZLJ02	400	115	90	0.28
	45ZLJ01	400	115	90	0.8
	45ZLJ51	50	110	90	0.3
	45ZLJ52	50	220	90	0.3
	55ZLJ01	400	115	90	2
	55ZLJ51	50	110	90	1.1
	55ZLJ52	50	220	90	1.1
	70ZLJ01	400	115	90	5
	70ZLJ51	50	110	90	3
	90ZLJ01	400	115	90	8
	90ZLJ51	50	110	90	8
	90ZLJ52	50	220	90	8

(2) ZKL系列自整角机(组合式)技术参数(见表5.6.51)

表 5.6.51 ZKL系列自整角机(组合式)技术参数

型号	工作方式	励磁电压 /V	频率 /Hz	空载功率 /W	最大输出电压 /V	比整步转矩 不小于 /[mN·m/(°)]	阻尼时间 /s	零位电压 /mV
36ZKL01	力矩式发送机	115	400	5	90	0.196	3	150
	力矩式接收机	115	400	5	90	0.196	3	
	控制式变压器	—	—	3	58			
45ZKL01	力矩式发送机	115	400	3	90	0.245	3	150
	力矩式接收机	115	400	3	90	0.245	3	
	控制式变压器	—	—	4	58			
55ZKL05	力矩式发送机	115	50	3	90	0.245	3	150
	力矩式接收机	115	50	3	90	0.245	3	
	控制式变压器	—	—		58			

(3) BD、BS型无接触式自整角机技术参数(见表5.6.52)

表 5.6.52 BD、BS型无接触式自整角机技术参数

型号	励磁电压 /V	频率 /Hz	励磁电流 /A	消耗功率 /W	次级电压 /V	最大整步力矩		比整步力矩		阻尼时间 /s	质量 /kg
						/[gf·cm/(°)]	/[mN·cm/(°)]	/[gf·cm/(°)]	/[mN·cm/(°)]		
BD-404A	110	50	0.4	11	49	—	—	—	—	—	1.25
BD-404B	110	50	0.4	11	150	—	—	—	—	—	1.25
BS-404A	110	50	0.4	11	49	240	28.5	4.5	0.441	2	1.30
BS-404B	110	50	0.4	11	150	210	20.6	4.0	0.392	2	1.30
BS-405	110	50	0.09	2	35	—	—	—	—	—	1.25
BD-404P	110	400	0.9	23	100	—	—	—	—	—	1.20
	110	50	0.7	19	100	—	—	—	—	—	1.20
BS-404P	110	400	0.9	23	100	450	44.1	6.5	0.637	3	1.25
	110	50	0.7	19	100	300	29.4	4.0	0.392	3	2.25

续表

型号	励磁电压 /V	频率 /Hz	励磁电流 /A	消耗功率 /W	次级电压 /V	最大整步力矩		比整步力矩		阻尼时间 /s	质量 /kg
						/[gf·cm/(°)]	/[mN·cm/(°)]	/[gf·cm/(°)]	/[mN·cm/(°)]		
BD-500	127	50	0.5	20	55	—	—	—	—	—	2.20
BS-500	127	50	0.5	20	55	800	78.4	12	1.18	3	2.30
DBS-500	127	50	0.5	20	55	800	78.4	12	1.18	3	4.40
BD-501A	110	50	1.2	25	55	—	—	—	—	—	3.85
BD-501B	110	50	1.2	25	150	—	—	—	—	—	3.85
BS-501A	110	50	1.2	25	55	1800	176	32	3.14	3	4.10
BS-501B	110	50	1.2	25	150	1800	176	32	3.14	3	4.10
BD-404A-2	220	50	0.2	11	40	—	—	—	—	—	1.25
BD-404B-2	220	50	0.2	11	150	—	—	—	—	—	1.25
BS-404A-2	220	50	0.2	11	49	240	23.5	4.5	0.441	2	1.30
BS-404B-2	220	50	0.2	11	150	210	20.6	4.0	0.392	2	1.30
BD-500-1	110	50	0.55	20	55	—	—	—	1.18	—	2.20
BS-500-1	110	50	0.55	20	55	800	78.4	12	1.18	3	2.30
DBS-500-1	110	50	0.55	20	55	800	78.4	12	1.18	3	4.40
BD-500-2	220	50	0.25	20	55	—	—	—	—	—	2.20
BS-500-2	220	50	0.25	20	55	800	78.4	12	1.18	3	2.30
DBS-500-2	220	50	0.25	20	55	800	78.4	12	1.18	3	4.40
BD-404A6	110	60	0.35	11	49	—	—	—	—	—	1.25
BS-404A6	110	60	0.35	11	49	—	—	4	0.392	2	1.30

注：BD为无接触式自整角发送机。BS为无接触式自整角接收机。DBS为无接触式自整角双接收机。BS-405为无接触式自整角变压器。

5. 自整角机的使用和维护

(1) 自整角机选用注意事项

① 控制式和力矩式自整角机的比较见表 5.6.53。

表 5.6.53 控制式和力矩式自整角机的比较

类别	负载能力	精度	系统结构	系统造价	适用范围
控制式自整角机	仅输出信号，负载能力取决于系统中的伺服电动机及放大器的功率	较高	较复杂，需要用伺服电动机、放大器、减速齿轮等		精度较高或负载较大的伺服系统
力矩式自整角机	接收机的负载能力受到精度及比整步转矩的限制，仅能带动指针、刻度盘等轻负载	较低	较简单，不需要用其他辅助件	较低	精度较低的指示系统

② 选用的自整角机其励磁电压、频率应该与应用场合的电源相当。若电源可任意选择，则应优先选用体积小、性能较好、电压较高、频率 400Hz 的自整角机。

③ 相互连接使用的自整角机，对接绕组的频率与额定电压必须相同。

④ 在电源容量较充裕的情况下，应尽量选用输入阻抗较低的发送机，以获得较大的负载能力。

⑤ 为了减轻发送机的负载，应选用输入阻抗较高的自整角变压器和差动发送机。

(2) 使用注意事项

- ① 进行发送机和接收机的零位调整时,要先转动发送机转子,使其刻度盘上读数为零,然后固定发送机转子,再转动接收机定子,使接收机刻度盘的读数为零时,固定接收机定子。
- ② 发送机和接收机不能互换使用。
- ③ 自整角机常见故障及原因见表 5.6.54。

表 5.6.54 自整角机常见故障及原因

故障现象	故障原因
误差增大	励磁绕组开路或短路;输出绕组开路或短路;电刷滑环接触不良;接收机负载过大;接收机并联台数过多
温升过高或噪音大	励磁绕组或输出绕组短路;接收机负载过大
发送机与接收机转向相反	接线错误
比整步转矩下降或为 0	励磁绕组或输出绕组开路;电刷滑环接触不良;接收机并联台数过多
比电压下降或为 0	励磁绕组开路或短路;输出绕组开路或短路;电刷滑环接触不良;自整角变压器并联台数过多

二、旋转变压器

旋转变压器是一种输出电压随转子转角变化的信号元件。当励磁绕组以一定频率的交流电压励磁时,输出绕组的电压幅值与转子转角成线性关系。它主要用于坐标变换、三角运算和角度数据传输,也可作为两相移相器和用在角度-数字转换装置中。

旋转变压器的结构与线绕式异步电动机相似,一般制成两极隐极式,定、转子铁芯的槽中各嵌放一对相同的而互相垂直的绕组,转子绕组通过四个滑环和电刷引出到接线板。

1. 旋转变压器的分类

按照有无滑环,分接触式和无接触式两种;按照极对数分,有单对极和多对极两种;另外在高精度双通道系统中,还比较多地采用电气变速的双通道旋转变压器,以取代机械变速;按照使用的场合来分,则有用于解算系统和同步随动系统两种。

(1) 在解算系统中使用的旋转变压器 按其基本类型大致可以分为以下四种。

① 正余弦旋转变压器:当原方以额定频率、电压激磁,副方输出电压分别与转子转角成正弦和余弦关系的一种旋转变压器。

② 线性旋转变压器:在工作转角范围内,输出电压与转子转角成线性函数关系的一种旋转变压器。输出电压与转子转角成线性函数关系,可采用对正余弦旋转变压器的定、转子绕组不同的联结方法来达到,或用一种单绕组线性变压器,亦称为线性感应电位计来实现。

③ 比例式旋转变压器:在系统中作为调整比例元件用的,带有调整和锁紧转子位置的旋转变压器。

④ 特殊函数旋转变压器:在一定转角范围内,输出电压的幅值与转子转角位置的变化呈某一给定的函数关系,如正割函数、倒数函数、弹道函数、圆函数以及对数函数等的一种旋转变压器,它的作用原理和结构与正、余弦旋转变压器类似。

(2) 在同步随动系统中使用的旋转变压器 有①旋变发送机;②旋变差动发动机;③旋变变压器。

这三类旋转变压器与自整角机的传输方式实际上没有多少区别,只不过采用四线制,可以使系统的精度得到提高。

此外尚有一些其他用途的旋转变压器,如高频旋转变压器、锯齿波旋转变压器等。

2. 旋转变压器的结构原理

旋转变压器的结构与线绕式异步电动机相似,其定、转子上分别布置有两个互相垂直的绕组,转子绕组由电刷和滑环引出。

旋转变压器的工作原理与普通变压器相似,其励磁绕组和输出绕组分别嵌在定子和转子上,输出电压大小就是随着转子位置的变化而改变的。

3. 旋转变压器的特点(见表 5.6.55)

表 5.6.55 旋转变压器的特点

类型	输出特性	结构特点	使用环境条件
XZ 正余弦旋转变压器	输出电压与转子转角成正弦或余弦函数关系	定转子均为隐极式, 定转子槽内都放两组相同并正交的绕组。定子绕组引线直接引出, 转子绕组通过四对滑环和电刷引出。封闭式结构。28 机座号以上为齿轮轴伸, 其余为光轴伸	① 海拔不超过 4km ② 温度 -40 ~ +60℃ ③ 在 20℃ 时相对湿度为 (95 ± 3)% ④ 任意安装位置
XB 旋转变压器	输出电压与转子转角成比例	结构同 XZ 型, 轴伸端装有大小两齿轮, 以微调转子角位移, 调好后靠锁定螺钉锁定转子位置	
XX 线性旋转变压器	输出电压与转子转角成线性函数关系	结构同 XZ 型, 仅输出电压特性和电气接线方法不同	
DXF 多极旋转发送机 DXB 多极旋转变压器	输出电压为两个周期的与转子转角成正弦或余弦的函数关系	具有 2 极或 n 对极两套绕组, 2 极的做粗机, n 极的做精机。有扁平盘式和滑环两种, 其结构都是在定子槽内放置两相同并相互正交的高精度正弦绕组直接引出, 转子槽内放置单相绕组, 通过滑环和电刷引出。扁平盘式的为封闭式, 铝机壳一端出轴。环形的转子支架直接安装在系统的主轴上	

4. 常见产品技术参数

(1) XZ 型正余弦旋转变压器 (见表 5.6.56)

表 5.6.56 XZ 型正余弦旋转变压器的技术参数

型号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	开路输入阻抗 /Ω	变比	开路输出阻抗 /Ω	短路输出阻抗 /Ω	输出电压相 位移 /(°)
12XZ01	20	400	600	0.56			
12XZ02	20	400	1000	1			
20XZ01	26	400	600	0.56	240	200	20
20XZ02	26	400	600	1	700	600	20
20XZ03	26	400	1000	0.56	380	350	22
20XZ04	26	400	1000	0.56	1200	1100	22
20XZ05	26	400	2000	1	700	600	22
20XZ06	26	400	2000	0.56	2500	2300	22
28XZ01	36	400	400	1	130	60	12
28XZ02	36	400	600	0.56	200	80	12
28XZ03	36	400	600	1	620	270	12
28XZ04	36	400	1000	0.56	330	150	12
28XZ05	36	400	1000	1	1100	560	12
28XZ06	36	400	2000	1	650	350	15
28XZ07	36	400	2000	0.56	2100	1000	15
28XZ08	36	400	3000	0.56	1000	500	15
28XZ09	36	400	3000	1	3100	1500	15
28XZ10	36	400	4000	1	4200	2000	15
36XZ01	36	400	4000	0.56	130	35	7
36XZ02	36	400	6000	1	200	50	7
36XZ03	36	400	6000	0.56	600	160	7
36XZ04	60	400	6000	1	600	160	7
36XZ05	60	400	1000	0.56	320	100	7
36XZ06	60	400	1000	1	1050	320	7
36XZ07	60	400	2000	0.56	640	170	7
36XZ08	60	400	2000	1	2100	700	7

续表

型号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	开路输入阻抗 /Ω	变 比	开路输出阻抗 /Ω	短路输出阻抗 /Ω	输出电压相 位移 /(°)
36XZ09	60	400	3000	0.56	970	250	7
36XZ10	60	400	3000	1	3000	900	7
36XZ11	60	400	4000	0.56	1300	400	7
36XZ12	60	400	4000	1	4000	1500	7
36XZ13	60	400	6000	0.56	2000	600	7
36XZ14	60	400	6000	1	6000	1900	7
45XZ01	115	400	4000	0.56	130	25	5
45XZ02	115	400	600	0.56	200	35	5
45XZ03	115	400	600	1	600	120	5
45XZ04	115	400	1000	0.56	320	70	5
45XZ05	115	400	1000	1	1000	200	5
45XZ06	115	400	2000	0.56	640	130	5
45XZ07	115	400	3000	0.56	950	200	5
45XZ08	115	400	4000	0.56	1300	280	5
45XZ09	115	400	4000	1	4000	900	5
45XZ10	115	400	6000	1	6000	1500	5
45XZ11	115	400	10000	0.56	3200	650	5
55XZ01	115	400	200	0.56	65	7	2.5
55XZ02	115	400	200	1	200	20	2.5
55XZ03	115	400	400	0.56	130	13	2.5
55XZ04	115	400	400	1	400	40	2.5
55XZ05	115	400	1000	0.56	310	30	2.5
55XZ06	115	400	1000	1	1000	1000	2.5
70XZ01	36	50	200	0.56	65	25	14
70XZ02	36	50	600	0.56	190	85	14
70XZ03	36	50	1000	0.56	310	140	14
70XZ04	36	50	1000	1	1000	450	14
70XZ05	36	50	2000	1	2000	900	14
70XZ06	110	50	600	0.56	190	90	14
70XZ07	110	50	1000	0.56	310	140	14
70XZ08	110	50	1000	1	1000	450	14
70XZ09	110	50	2000	1	2000	900	14
70XZ10	220	50	3000	0.56	950	420	14
70XZ11	220	50	6000	1	6000	2700	14

(2) XX 型线性旋转变压器 (见表 5.6.57)

表 5.6.57 XX 型线性旋转变压器技术参数

型 号	额定电压 /V	额定频率 /Hz	开路输入 阻抗 /Ω	变 比	开路输出 阻抗 /Ω	短路输出 阻抗 /Ω	输出电压 相位移 /(°)
20XX01	36	400	60	0.55-6	200	80	12
20XX02	36	400	1000	0.55-6	330	150	12
36XX01	36	400	400	0.55-6	130	35	7
36XX02	36	400	600	0.55-6	190	50	7
36XX03	60	400	600	0.55-6	190	50	7
36XX04	60	400	1000	0.55-6	320	100	7
36XX05	60	400	4000	0.55-6	1300	400	7
45XX01	115	400	600	0.55-6	200	35	5
45XX02	115	400	1000	0.55-6	320	70	5
45XX03	115	400	2000	0.55-6	640	130	5
45XX04	115	400	4000	0.55-6	1300	280	5
55XX01	115	400	400	0.55-6	130	13	2.5
55XX02	115	400	600	0.55-6	190	20	2.5
55XX03	115	400	1000	0.55-6	310	30	2.5

5. 旋转变压器的使用和维护

旋转变压器主要用于自动控制中测量发送轴和接收轴之间的差角，为了保证它有良好的特性，使用中必须注意以下几点。

- ① 原边只有一相绕组励磁时，另一相绕组应连接一个与电源内阻抗相同的阻抗或直接短接。
- ② 原边二相绕组同时励磁时，两个输出绕组的负载阻抗应尽可能相等。
- ③ 使用中必须准确调整零位，以免引起旋转变压器性能变差。

三、感应移相器

感应移相器是一种输出电压的幅值恒定，而相位与转子转角成线性函数关系的交流控制电机。感应移相器广泛应用在无线电导航系统中作测距元件和定位元件，在自动控制系统中作移相元件。

1. 分类

感应移相器按使用的电源分有单相感应移相器、二相感应移相器、三相感应移相器三种。按有无滑环分有接触式感应移相器和无接触式感应移相器。按极对数分有单对极和多对极两种。

2. 常用产品技术参数（见表 5.6.58 和表 5.6.59）

表 5.6.58 YG 系列感应移相器技术参数

型 号	额定电压 /V	频 率 /Hz	输出电压 /V	输入阻抗 /Ω	输出阻抗 不大于 /Ω	相位误差 /(°)
2YG81A	10	80.9	3	2500	2000	±10, ±20, ±30
20YG75A	10	75	4	2000	6000	±10, ±20, ±30
20YG150	5	150	2	2000	4000	±10, ±20, ±30
20YG150A	5	150	2	2000	4000	±10, ±20, ±30
20YG300A	5	300	2	3000	4000	±30
20YG75B	10	75	3	3000	4000	±30
20YG40B	10	40	3	3000	4000	±30
20YG20B	10	20	3	3000	4000	±30
20YG81C	10	80.9	3	2300	4000	±30
28YG04A	15	0.4	6	1000	30000	±10, ±20, ±30
28YG1A	15	1	6	1000	15000	±10, ±20, ±30
28YG2A	15	2	6	1000	10000	±10, ±20, ±30
28YG4A	15	4	6	10000	5000	±10, ±20, ±30
28YG2A ~ 5	15	2	6	1000	5000	±2, ±4, ±6
28YG20A	10	20	4	2000	6000	±10, ±20, ±30
28YG75A	10	75	4	1000	3000	±10, ±20, ±30
28YG150	12	150	12	2000	2000	±30
28YG75B	10	75	3	3000	3000	±30
28YG40B	10	40	3	3000	4000	±30
28YG20B	10	20	3	3000	4000	±30
28YG4C	10	4	3	2000	4000	±30
28YG2	12	2	12	2000	—	±30
28YG2C	10	2	3	2000	4000	±30
28YG1C	10	1	3	2000	—	±30
28YG04	15	0.4	6	1000	—	±30
36YG1F	15	0.135	6	500	40000	±10, ±20, ±30
36YG04E	15	0.4	6	1000	15000	±10, ±20, ±30
36YG1D	10	1	6	1000	1000	±10, ±20, ±30
36YG2C	10	2	6	1000	1000	±10, ±20, ±30

表 5.6.59 YS 系列双通道感应移相器技术参数

项 目	110YS01		110YS03		110YS04		110YS07	
	粗	精	粗	精	粗	精	粗	精
极对数	1	32	1	32	1	32	1	36
激磁电压/V	15	15	15	15	15	15	10	10
开路消耗功率/W	<0.1	<1	<0.2	<0.3	<0.1	<0.3	<0.1	<0.3
频率/Hz	400	400	1000	1000	2000	2000	1000	1000
最大输出电压 ^① /V	5	5	5	5	5	5	3	3
开路输入阻抗/ Ω	980	150	600	190	2650	154	1770	200
开路输出阻抗/ Ω	250	340	140	330	630	310	444	400
相位误差	15', 30'	30', 45"	15', 30'	30', 45"	30'	30', 45"	30'	30', 45"
重量/kg	2		2		2		11	

① 表示接阻容回路后的值。

四、测速发电机

测速发电机是一种速度检测元件，它能将机械转速转换为电信号，其输出电势与转速成线性关系。这类电机在自动控制系统中作测量或自动调节电动机转速之用；在随动系统中用于产生电压，以提高追随的稳定性和精确度；在计算解算中作为微分和积分之用，也可供加速和延迟信号之用；此外，它可测量各种机械在有限范围内的摆动或非常缓慢的转速，以及有限范围内往复直线运动的速度，并可代替测速计作速度的直接测量。

1. 分类

测速发电机有交流测速发电机和直流测速发电机两大类。

(1) 交流测速发电机 交流测速发电机是一种输出交流电信号的测速发电机，它可以分为同步测速发电机和异步测速发电机。

① 同步测速发电机：其输出电压的幅值和频率均与转速成正比，在自动控制系统中仅作直接测量转速之用。

② 异步测速发电机：其输出电压的频率与激磁电压频率一致，幅值与转速成正比。按转子结构又可以分为笼式转子异步测速发电机和空心杯转子异步测速发电机。笼式转子异步测速发电机一般仅用在精度要求不高的场合作反馈阻尼元件。空心杯转子异步测速发电机，转子是空心杯式，是目前应用比较广泛的一种交流测速发电机。它具有结构简单，尺寸小，重量轻，惯性小，能快速动作；输出电压的频率不随转速的变化而改变；输出线性度好，精度高；运行可靠，无无线电干扰等特点。

该系列测速发电机在反馈测速系统中作为阻尼元件，达到使系统稳定运行的目的；在计算解答装置中作为微积分元件。用作阻尼元件时，要求输出斜率高，对于线性度、剩余电压的要求较为次要。用作计算元件时，要求线性度好，温度误差小，剩余电压小，输出斜率不是主要指标。

(2) 直流测速发电机 它是一种输出直流电信号的测速发电机，按其激磁方式可分为永磁式和电磁式两种。

① 永磁式直流测速发电机：是由永磁体建立激磁磁场的，不需要外加激磁电源，温度变化的影响小，结构简单。

② 电磁式直流测速发电机：是由外电源建立激励磁场，所以磁极绕组电源电压的波动对输出电压的大小有很大影响。由于永磁式较电磁式为优，故在测速发电机中，绝大部分是采用永磁式结构的。

直流测速发电机还可以分为速度电机和低速电机两大类。

① 速度电机：速度在每分钟几千转以上，甚至更高些。

② 低速电机：速度在每分钟几百转以下，甚至更低。这种电机由于和系统直接耦合，省去了笨重的齿轮传动装置，提高了系统的精度等优点，近年来得到了广泛的应用。

直流测速发电机总的说来，具有输出斜率高，线性误差小，零转速时无剩余电压，不存在相位误差和适应各种性能的负载等特点，故较交流测速发电机为优；而其缺点是结构复杂，电刷与换向器间存在滑动接触，以及对无线电干扰等。

2. 常用产品技术参数

(1) CK 系列空心杯转子异步测速发电机技术参数（见表 5.6.60）

表 5.6.60 CK 系列空心杯转子异步测速发电机技术参数

型 号	额定励磁 电压 /V	额定励磁 频率 /Hz	剩余电压及 波动范围 < mV	输出斜率 /(V/kr·min ⁻¹)	输出相 位移 /(°)	空载励磁 电流 < mA	空载励磁 功率 < W	短路输出 阻抗 < Ω	同相线性 误差 < %
20CK01	26	400	15~25	0.2	0~30	110	2.2	1200	0.5
20CK02	36	400	20~30	0.32	0~10	90	2.2	2500	0.25
28CK01	36	400	15~25	0.5	0~5	220	4.5	1000	0.07
28CK02	36	400	30~40	0.7	0~30	220	4.5	1000	0.5
28CK03	115	400	35~50	1	0~10	70	4.5	5000	0.1
28CK04	115	400	20~30	1.6	0~5	70	4.5	6000	0.07
28CK05	115	400	50~70	2	0~30	70	4.5	5000	0.5
36CK01	36	400	20~30	0.7	0~10	240	5	1000	0.1
36CK02	36	400	35~50	1	0~30	240	5	1000	0.5
36CK03	115	400	45~60	1.6	0~10	80	5	5000	0.1
36CK04	115	400	25~35	2.5	0~5	80	5	6000	0.07
36CK05	115	400	60~80	3	0~30	80	5	5000	0.5
45CK01	36	400	25~40	1	0~10	260	6	1000	0.1
45CK02	36	400	45~60	1.6	0~30	260	6	1000	0.5
45CK03	115	400	45~65	2.5	0~10	90	6	6000	0.1
45CK04	115	400	30~40	3	0~5	90	6	7000	0.07
45CK05	115	400	65~90	4	0~30	90	6	6000	0.5
55CK01	115	400	75~100	5	0~10	120	8	7000	0.1
55CK02	115	400	95~120	7	0~30	120	8	7000	0.5
28CK51	110	50	15~25	0.5		100	3		2
36CK51	36	50	20~35	1		200	5		1
36CK52	110	50	25~40	2		70	5		1
45CK51	110	50	20~35	2		80	6	3000	0.5
45CK52	110	50	30~45	3		80	6	2000	1
45CK53	110	50	40~55	4		80	6	3000	1
55CK51	110	50	45~60	5		100	7	4000	1

(2) CY 系列永磁式测速发电机技术参数 (见表 5.6.61)

表 5.6.61 CY 系列永磁式测速发电机技术参数

型 号	输出斜率 /(V/kr·min ⁻¹)	纹波系数 /%	最大线性工作转速 /(r/min)	线性误差 /%	电枢电阻 ±12.5%/Ω
20CY02	3	1	0~3500	1.2~3	120
28CY01	7	3 (在 100r/min) 下	0~12000	0.1	580
36CY01	10	1	0~6000	0.5~0.1	160
45CY02	15	3	0~3600	0.1	50
45CY03	15	3	0~3600	0.1	50
45CY04	15	3	0~3600	0.1	50
75CY01	120	≤1	0~2500	≠1	190
90CY01	110	1	额定转速: 1000	≠1	负载电阻: 525
90CY02	110	1	额定转速: 2000	≠1	负载电阻: 525
90CY03	120	1	额定转速: 2000	≠1	负载电阻: 1333
96CY01	60	5	0~4000	0.5	150
110CY01	110	1	额定转速: 1000	≠1	负载电阻: 525
110CY02	110	1	额定转速: 1000	≠1	负载电阻: 525

(3) CYD 系列永磁式低速直流测速发电机技术参数 (见表 5.6.62)

表 5.6.62 CYD 系列永磁式低速直流测速发电机技术参数

型 号	输出斜率 /(V/k _r ·min ⁻¹)	纹波系数 /%	最大线性工作转速 /(r/min)	输出斜率不对称度 /%	电枢电阻 ±12.5%/Ω
70CYD01	0.25	<5	150	—	1200
133CYD01	1.57	≤2	30	≤1	2500
140CYD01	1.047	4	50	<1	2000
160CYD01	2.6	1	55	1	1150
160CYD02	0.9	1	20	1	280
160CYD04	3	1.5	50	1	1500
170CYD02	2	1.5	50	1	2100
170CYD03	≥0.6	<1.5	160	1	500
170CYD04	>3	<1.5	30	1	2300
220CYD01	8	0.5	19	0.5	4200
70CYD-0.25	0.25	1	1600	1	
70CYD-0.5	0.5	1	800	1	
70CYD-1	1	1	400	1	
130CYD-2.7	2.7	1	300	1	
130CYD-6	6	1	100	1	
130CYD11	11	1	30	1	
130CYD-27	≥0.283	1	100	1	负载电阻 12000
130CYD-60	≥0.623	1	100	1	负载电阻 50000
160CYD-10	10	1	60	1	
160CYD-20	20	1	30	1	
160CYD-30	30	1	20	1	
250CYD-10	10	1	75	1	
250CYD-50	50	1	15	1	
300CYD-100	100	1	8	1	

(4) ZCF 系列直流测速发电机技术参数 (见表 5.6.63)

表 5.6.63 ZCF 系列直流测速发电机技术参数

型 号	激磁电压 /V	激磁电流 /A	电枢电压 /V	转 速 /(r/min)	负载电阻 /Ω	输出电压不对 称度 (不大于) /%	输出电压 线性误差 /%
ZCF-121	—	0.09	50±2.5	3000	2000	1	±1
ZCF-121A	—	0.09	50±2.5	3000	2000	1	±1
ZCF-221	—	0.3	51±2.5	2400	2000	1	±1
ZCF-221A	—	0.3	51±2.5	2400	2000	1	±1
ZCF-221AD	—	0.3	≥16	2400	2000	1	±1
ZCF-221C	—	0.3	51±2.5	2400	2000	1	±1
ZCF-222	—	0.06	74±3.7	3500	2500	2	±3
ZCF-321	110	—	100 ⁺¹⁰ ₋₅	1500	1000	3	±3
ZCF-361	—	0.3	106±5	1100	10000	1	±1
ZCF-361C	—	0.3	174±8.7	1100	9000	1	±1
ZCF-361D	—	0.3	—	1100	3000	1	±1

3. 测速发电机的使用和维护

(1) 选用 选用交流测速发电机时,应根据系统的频率、电压、工作转速范围和具体用途来选择其规格。在作解算元件时,应考虑精度要求高,输出电压稳定性要好。作一般检测或阻尼元件时,应主要考虑输出斜率。

选用直流测速发电机时,应根据它在系统中的功用来进行。当用它作解算元件或恒速控制时,应着重考虑

其线性度和纹波电压。作阻尼元件用时,应着重考虑其输出功率。

(2) 使用注意事项

① 交流测速发电机使用注意事项:

a. 测速电机和伺服电机间的耦合齿轮间隙应尽量小,必要时选用交流伺服测速机组;
b. 应考虑交流测速发电机的输出阻抗较大,负载阻抗在 $1\text{k}\Omega$ 以上,发电机和负载连接后,应校正系统的参数;

c. 由于交流测速发电机的输入阻抗较小,应该尽量选用内阻较小的励磁电源;

d. 应考虑电源电压波动、频率波动和温度变化对交流测速发电机性能的影响。

② 直流测速发电机使用注意事项:

a. 发电机的转速不应超过产品的最大线性工作转速,负载电阻不应小于规定的负载电阻,以保证一定的线性误差要求;

b. 在发电机的励磁回路中,串接一个比励磁绕组电阻大几倍、温度系数小的电阻,可以减少温度变化所引起的输出电压变化误差。

五、伺服电动机

伺服电动机是一种转子的机械运动受输入信号控制作快速反应的控制电动机。这类电动机具有良好的可控性,接到信号时能迅速起动,失去信号时能迅速自行制动,无自转现象,电机运行平稳,转速随转矩的增加而均匀下降。广泛应用于各种自动控制系统、随动系统、计算机外部设备、音响设备、办公设备和仪器仪表、摄影机和录像机等。

1. 分类

伺服电动机分直流伺服电动机和交流伺服电动机两大类。

(1) 直流伺服电动机 直流伺服电动机是一种用于直流电信号控制的伺服电动机,其结构形式和作用原理与普通直流电动机相同。按激磁方式有以下两类:

① 由外电源建立激磁磁场的电磁式直流伺服电动机;

② 由永磁体建立激磁磁场的永磁直流伺服电动机。

永磁式直流伺服电动机由于它具有体积小、重量轻、损耗小、效率高、结构简单、无激磁绕组等特点,故较电磁式为优,因而得到广泛应用。对速度控制要求高的系统,为了降低电动机惯量,减少起动时间常数,提高快速性,还采用了几种高性能直流伺服电动机。

a. 电枢采用印刷绕组的直流伺服电动机;

b. 电枢绕组安置在无槽铁芯上的无槽直流伺服电动机;

c. 电枢绕组制成空心杯式的空心杯电枢直流伺服电动机。

此外在宇宙航行、空间技术等一些特殊机构中,为了消除有刷直流电动机由于整流子和碳刷所带来的诸如寿命、噪音、火花干扰等问题,采用了一种没有电刷的无刷直流伺服电动机。

(2) 交流伺服电动机 交流伺服电动机是一种用交流电信号控制的伺服电动机,定子上有二相绕组,故叫两相伺服电动机。按其结构形式大致可分为以下三种:

① 转子为笼式的笼式转子两相伺服电动机;

② 转子为空心杯式的空心杯转子两相伺服电动机;

③ 转子为线绕式的线绕转子两相伺服电动机。

目前应用较多的是空心杯转子两相伺服电动机和笼式转子两相伺服电动机。而笼式转子两相伺服电动机又比空心杯转子两相伺服电动机应用更多一些。

空心杯转子有非磁性和磁性的两种,非磁性的空心杯转子具有较大的等效气隙,激磁电流较大,功率因数低,效率差;但却具有高灵敏、平滑运行、噪声小等优点,磁性的空心杯则由于起动转矩低,发热厉害,以及对气隙不均匀非常敏感等缺点,在控制系统中应用不多。

笼式转子激磁电流较小,体积较小,机械上牢固,特别对于高温、震动和冲击等恶劣条件下可靠性好,但起动电压略大。

(3) 直流伺服电动机 直流伺服电动机与交流伺服电动机相比较,优缺点如下。

① 直流伺服电动机的优点:

a. 没有交流电动机的滑差损耗,所以相同机座号的出力大,效率高;

- b. 机械特性的线性度比较好;
- c. 在直流系统中使用方便;
- d. 某些结构形式在无信号时不要求功率输入;
- e. 系统的稳定技术比较简单。

② 缺点

- a. 接触式直流电动机换向是对无线电的干扰源;
- b. 电刷和换向器的接触增加了摩擦力矩, 但电机体积变大, 并需经常维护;
- c. 放大器漂移;
- d. 有铁芯和绕组的电枢, 其惯性大;
- e. 在交流系统中使用不便;
- f. 磁场强度高, 齿槽效应显著;
- g. 电动机的寿命受到电刷的限制。

2. 常用产品技术参数

(1) SL系列两相交流伺服电动机的技术参数(见表 5.6.64)

表 5.6.64 SL 系列两相交流伺服电动机技术参数

型 号	极数	频率 /Hz	电 压 /V		堵转转矩 /(mN·m)	堵转电流 < A		每相输入功率 < W	额定输出 功率 /W	空载 转速 /(r/min)	机电时 间常数 /ms
			励磁	控制		励磁	控制				
12SL01	4	400	26	26	0.6	0.11	0.11	2.0	0.16	9000	20
12SL02	6	400	26	26	1.47	0.15	0.15	2.5	0.25	6000	15
20SL02	6	400	36	36	1.47	0.11	0.11	2.5	0.25	6000	15
20SL03	6	400	36	26	1.47	0.11	0.15	2.5	0.25	6000	15
20SL04	4	400	26	26	1.2	0.15	0.15	2.5	0.32	9000	20
20SL05	4	400	36	36	1.2	0.11	0.11	2.5	0.32	9000	20
20SL06	4	400	36	26	1.2	0.11	0.15	2.5	0.32	9000	20
28SL01	6	400	36	36	4.9	0.33	0.33	6.5	1.0	6000	20
28SL02	6	400	115	115	4.9	0.10	0.10	6.5	1.0	6000	20
28SL03	6	400	115	36	4.9	0.10	0.33	6.5	1.0	6000	20
28SL04	6	400	115	26	4.9	0.10	0.46	6.5	1.0	4800	20
36SL01	8	400	36	36	9.8	0.55	0.55	8.5	1.6	4800	20
36SL02	8	400	115	115	9.8	0.17	0.17	8.5	1.6	4800	20
36SL03	8	400	115	36	9.8	0.17	0.55	8.5	1.6	4800	20
36SL04	6	400	36	36	6.9	0.48	0.48	8.5	2.0	9000	35
36SL05	6	400	115	115	6.9	0.15	0.15	8.5	2.0	9000	35
36SL06	6	400	115	26	6.9	0.15	0.48	8.5	2.0	9000	35
45SL01	8	400	36	36	16.7	0.90	0.90	14	2.5	4800	20
45SL02	8	400	115	115	16.7	0.28	0.28	14	2.5	4800	20
45SL03	8	400	115	36	16.7	0.28	0.90	14	2.5	4800	20
45SL04	4	400	36	36	1.5	1.0	1.0	18	4	9000	30
45SL05	4	400	115	115	1.5	0.32	0.32	18	4	9000	30
45SL06	4	400	115	36	1.5	0.32	1.0	18	4	9000	30
55SL01	8	400	115	115	41	0.6	0.6	25	6.3	4800	25
55SL02	8	400	115	36	41	0.6	1.9	25	6.3	4800	25
55SL03	4	400	115	115	32	0.57	0.57	32	10	9000	50
55SL04	4	400	115	36	32	0.57	1.8	32	10	9000	50
70SL01	8	400	115	115	98	1.1	1.1	55	16	4800	25
70SL02	4	400	115	115	64	1.1	1.1	55	20	9000	55
20SL51	2	50	20	20	1.5	0.18	0.18	2.5	0.1	2500	15
28SL51	2	50	36	36	3.1	0.09	0.09	2.5	0.25	2500	15
28SL52	2	50	36	36	4.9	0.13	0.13	3.6	0.4	2500	15

续表

型号	极数	频率 /Hz	电 压		堵转转矩 大于 /(mN·m)	堵转电流 < A		每相输 入功率 < W	额定输 出功率 /W	空载 转速 /(r/min)	机电时 间常数 /ms
			/V			< A					
			励磁	控制	励磁	控制					
36SL51	2	50	36	36	9.8	0.21	0.21	5.5	0.8	2700	15
36SL52	2	50	110	110	9.8	0.07	0.07	5.5	0.8	2700	15
36SL53	2	50	110	36	9.8	0.07	0.21	5.5	0.8	2700	15
45SL51	4	50	36	36	26.5	0.3	0.3	7	1	1200	15
45SL52	4	50	110	110	26.5	0.1	0.1	7	1	1200	15
45SL53	4	50	110	36	26.5	0.1	0.3	7	1	1200	15
45SL54	2	50	36	36	18.6	0.33	0.33	8	1.6	2700	30
45SL55	2	50	110	110	18.6	0.11	0.11	8	1.6	2700	30
45SL56	2	50	110	36	18.6	0.11	0.33	8	1.6	2700	30
45SL57	2	50	36	36	29.4	0.5	0.5	12	2.5	2700	30
45SL58	2	50	110	110	29.4	0.17	0.17	12	2.5	2700	30
45SL59	2	50	110	36	29.4	0.17	0.5	12	2.5	2700	30
55SL51	4	50	110	110	67	0.26	0.26	8	2.5	1200	15
55SL52	4	50	220	220	67	0.13	0.13	8	2.5	1200	15
55SL53	4	50	220	110	67	0.13	0.26	8	2.5	1200	15
55SL54	2	50	110	110	38	0.13	0.18	12	3.2	2700	20
55SL55	2	50	220	220	38	0.09	0.09	12	3.2	2700	20
55SL56	2	50	220	110	38	0.09	0.18	12	3.2	2700	20
55SL57	2	50	110	110	75	0.32	0.32	22	6.3	2700	20
55SL58	2	50	220	220	75	0.16	0.16	22	6.3	2700	20
55SL59	2	50	220	110	75	0.16	0.32	22	6.3	2700	20
70SL51	4	50	110	110	167	0.68	0.68	40	6.3	1200	15
70SL52	4	50	220	220	167	0.34	0.34	40	6.3	1200	15
70SL53	4	50	220	110	167	0.34	0.68	40	6.3	1200	15
70SL54	2	50	110	110	118	0.48	0.48	12	10	2700	20
70SL55	2	50	220	220	118	0.24	0.24	12	10	2700	20
70SL56	2	50	220	110	118	0.24	0.48	12	10	2700	20
90SL51	4	50	110	110	392	0.14	0.14	80	16	1200	20
90SL52	4	50	220	220	392	0.7	0.7	80	16	1200	20
90SL53	4	50	220	110	392	0.7	0.14	80	16	1200	20
90SL54	4	50	110	110	294	1.1	1.1	70	25	2700	30
90SL55	4	50	220	220	294	0.55	0.55	70	25	2700	30
90SL56	4	50	220	110	294	0.55	1.1	70	25	2700	30

(2) SK 系列交流伺服电动机技术参数 (见表 5.6.65)

表 5.6.65 SK 系列交流伺服电动机技术参数

型 号	额定频率 /Hz	额定激磁 电压 /V	额定控制 电压 /V	最大输出 功率 /W	空载转速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	重量 /g
SD1.6	50	110	110	10	1.6	490	600
SD02					2	490	
SD2.5					2.5	490	
SD4.5					4.5	490	
SD09					9	490	
SD15					15	392	
SD30					30	196	
SD45					45	147	
SD60					60	98	
SD75	75	78.4					

续表

型 号	额定频率 /Hz	额定激磁 电压 /V	额定控制 电压 /V	最大输出 功率 /W	空载转速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	重量 /g
SD1.6E	50	36	36	10	1.6	490	600
SD02E					2	490	
SD2.5E					2.5	490	
SD4.5E					4.5	490	
SD09E					9	490	
SD15E					15	392	
SD30E					30	196	
SD45E					45	147	
SD60E					60	98	
SD75E					75	78.4	

(3) SA 系列交流伺服电动机技术参数 (见表 5.6.66)

表 5.6.66 SA 系列交流伺服电动机技术参数

型 号	额定激磁 电压 /V	额定频率 /Hz	额定控制 电压 /V	空载激磁电流 不大于 /A	空载控制电流 不大于 /A	堵转转矩 不小于 /(N·m)	空载转速 /(r/min)	重量 /g
SA15	110	50	15	0.055	0.25	0.294	15	600
SA20						0.294	20	
SA30						0.196	30	
SA60						0.098	60	

(4) SZ 系列直流伺服电动机 (见表 5.6.67)

表 5.6.67 SZ 系列直流伺服电动机技术参数

规格序号中：“01~49”表示短铁芯产品；“51~99”表示长铁芯产品；“101~149”表示特长铁芯产品。

激磁方式：“C”为串激式；“F”为复激式；不注明者为他激（并激）式。

型 号	转矩 /(mN·m)	转速 /(r/min)	功率 /W	电压/V		电流/A 不大于		重量 /kg
				电枢	激磁	电枢	激磁	
36SZ01	16.66	3000	5	24		0.55	0.32	0.29
36SZ02	16.66	3000	5	27		0.47	0.3	
36SZ03	16.66	3000	5	48		0.27	0.18	
36SZ04	14.21	6000	9	24		0.85	0.32	
36SZ05	14.21	6000	9	27		0.74	0.3	
36SZ06	14.21	6000	9	48		0.4	0.18	
36SZ07	14.21	6000	9	110		0.17	0.085	
36SZ08	13.72	4500% ± 10%	6.5	48	24	0.3	0.32	
36SZ51	23.52	3000	7	24		0.7	0.32	
36SZ52	23.52	3000	7	27		0.61	0.3	
36SZ53	23.52	3000	7	48		0.33	0.18	
36SZ54	20.09	6000	12	24		1.15	0.32	0.32
36SZ55	20.09	6000	12	27		1	0.3	
36SZ56	20.09	6000	12	48		0.55	0.18	
36SZ57	20.09	6000	12	110		0.22	0.1	
36SZ58c	14.7	7000	11	27		1.6		

续表

型 号	转矩 /(mN·m)	转速 /(r/min)	功率 /W	电压/V		电流/A 不大于		重量 /kg
				电枢	激磁	电枢	激磁	
45SZ01	33.32	3000	10	24		1.1	0.33	0.45
45SZ02	33.32	3000	10	27		1	0.3	
45SZ03	33.32	3000	10	48		0.52	0.17	
45SZ04	33.32	3000	10	110		0.22	0.082	
45SZ05	28.42	6000	18	24		1.6	0.33	
45SZ06	28.42	6000	18	27		1.4	0.3	
45SZ07	28.42	6000	18	48		0.8	0.17	
45SZ08	28.42	6000	18	110		0.34	0.082	
45SZ09c	21.56	≥6000	—	6		5.5		
45SZ51	46.06	3000	14	24		1.3	0.45	0.53
45SZ52	46.06	3000	14	27		1.2	0.42	
45SZ53	46.06	3000	14	48		0.65	0.22	
45SZ54	46.06	3000	14	110		0.27	0.12	
45SZ55	39.2	6000	25	24		2	0.45	
45SZ56	39.2	6000	25	27		1.8	0.42	
45SZ57	39.2	6000	25	48		1	0.22	
45SZ58	39.2	6000	25	110		0.42	0.12	
45SZ60	42.14	4200 ± 10%	18.5	48	24	0.82	0.45	
45SZ61c	22.54	3000 ± 500	7	110		0.23	—	
55SZ01	64.68	3000	20	24		1.55	0.43	
55SZ02	64.68	3000	20	27		1.37	0.42	
55SZ03	64.68	3000	20	48		0.79	0.22	
55SZ04	64.68	3000	20	110		0.34	0.09	
55SZ05	54.88	6000	35	24		2.7	0.43	
55SZ06	54.88	6000	35	27		2.3	0.42	
55SZ07	54.88	6000	35	48		1.34	0.22	
55SZ08	54.88	6000	35	110		0.54	0.09	
55SZ09	42.14	8000 ~ 10000	40	110		0.66	0.09	
55SZ51	91.14	3000	29	24		2.25	0.49	0.9
55SZ52	91.14	3000	29	27		2	0.44	
55SZ53	91.14	3000	29	48		1.15	0.24	
55SZ54	91.14	3000	29	110		0.46	0.097	
55SZ55	78.4	6000	50	24		3.45	0.49	
55SZ56	78.4	6000	50	27		3.1	0.44	
55SZ57	78.4	6000	50	48		1.74	0.24	
55SZ58	78.4	6000	50	110		0.74	0.097	
55SZ60	65.66	4200	29	48	24	1.25	0.49	
55SZ10/H4	54.88	6000	35	27		2.3	0.42	
55SZ11c/H5	21.56	4500	10	12		2.5	—	
55SZ51/H2	91.14	3000	29	24		2.25	0.49	
55SZ56/H1	78.4	6000	50	27		3.1	0.44	
55SZ59/H3	78.4	6000	50	27		3.1	0.44	
55SZ61c/H1	149.94	3500 ± 750	55	110		1.2		
55SZ62c	64.68	3000 ± 500	20	48		1.1		
55SZ63c	64.68	3000 ± 500	20	110		0.52		
55SZ64c	64.68	3000 ± 500	20	24		2.2		

续表

型 号	转矩 /(mN·m)	转 速 /(r/min)	功率 /W	电压/V		电流/A 不大于		重量 /kg
				电枢	激磁	电枢	激磁	
70SZ01	127.4	3000	40	24		3	0.5	1.5
70SZ02	127.4	3000	40	27		2.6	0.44	
70SZ03	127.4	3000	40	48		1.6	0.25	
70SZ04	127.4	3000	40	110		0.6	0.11	
70SZ05	107.8	6000	68	24		4.8	0.5	
70SZ06	107.8	6000	68	27		4.4	0.44	
70SZ06/H1	107.8	6000	68	27		4.4	0.44	
70SZ07	107.8	6000	68	48		2.4	0.25	
70SZ08	107.8	6000	68	110		1	0.11	
70SZ09F	107.8	1800	20	220		0.23		
70SZ51	176.4	3000	55	24		4	0.57	1.7
70SZ52	176.4	3000	55	27		3.5	0.5	
70SZ53	176.4	3000	55	48		1.9	0.31	
70SZ54	176.4	3000	55	110		0.8	0.13	
70SZ55	147	6000	92	24		6	0.57	
70SZ56	147	6000	92	27		5.4	0.5	
70SZ57	147	6000	92	48		3	0.31	
70SZ58	147	6000	92	110		1.2	0.13	
70SZ59	93.1	8000 ~ 10000	88	110		1.32	0.13	
70SZ61/H3	176.4	3000	55	27		3.5	0.43	
70SZ62/H2	397.88	6000	250	28		20		
70SZ63/H3	147	6000	92	24		6	0.57	
70SZ64	127.4	3000	40	160	175	0.46	0.074	
70SZ65/H5	176.4	4500	83	36		3.5	0.32	
70SZ101	166.6	7500 ~ 9500	148	110		1.95	0.12	
70SZ101/H4	166.6	7500 ~ 9000	148	110		1.95	0.12	
70SZ103	294	2750	85	48	24	3	0.7	
70SZ104/H1	392	10000	410	27		30		
70SZ105/H2	539	6000	338	28		22		
90SZ01	323.4	1500	50	110		0.66	0.2	2.8
90SZ02	323.4	1500	50	220		0.33	0.11	
90SZ02M	323.4	1500	50	220		0.33	0.11	
90SZ03	294	3000	92	110		1.2	0.2	
90SZ04	294	3000	92	220		0.6	0.11	
90SZ05	294	3000	92	24		6.1	0.8	
90SZ10	294	3000	92	180	200	0.7	0.12	
90SZ51	509.6	1500	80	110		1.1	0.23	
90SZ52	509.6	1500	80	220		0.55	0.13	
90SZ53	480.2	3000	150	110		-2	0.23	
90SZ54	480.2	3000	150	220		1	0.13	
90SZ55	509.6	1500	80	24		5	1	
90SZ57	318.5	15000	500	220		3.7	0.13	
90SZ60	823.2	1500	130	60		4		
90SZ61/H1	294	3000	92	48		2.9	0.48	
110SZ01	784	1500	123	110		1.8	0.27	5.8
110SZ02	784	1500	123	220		0.9	0.13	
110SZ03	637	3000	200	110		2.8	0.27	
110SZ04	637	3000	200	220		1.4	0.13	

续表

型 号	转矩 /(mN·m)	转速 /(r/min)	功率 /W	电压/V		电流/A 不大于		重量 /kg
				电枢	激磁	电枢	激磁	
110SZ07	477.26	10000 ± 750	500	110		7.2	0.42	5.8
110SZ10/H5	686	500	36	12		7.5	—	5.8
110SZ12	637	3000	200	160	190	2	0.15	
110SZ51	1176	1500	185	110		2.5	0.32	7.6
110SZ51/H7	1176	1500	185	110		2.5	—	
110SZ52	1176	1500	185	220		1.25	0.16	
110SZ52/H8	1176	1500	185	220		1.25	0.16	
110SZ53	980	3000	308	110		4	0.32	
110SZ53/H1	980	3000	308	110		4	0.32	
110SZ53/H4	980	3000	308	110		4	0.32	
110SZ53/H6	980	3000	308	110		4	0.32	
110SZ54	980	3000	308	220		2	0.16	
110SZ54M	980	3000	308	220		2	0.16	
110SZ55	980	3000	308	24		20	1.3	
110SZ56	1176	1000	123	110		1.7	0.32	
110SZ56/H3	1176	1000	123	110		1.7	0.32	
110SZ57	823.2	1450	125	54	54	3.24	0.54	
		2000 ⁺¹⁰⁰ -200	172	54	—	4.5	—	
110SZ59	1274	3000	400	96		6.1		
110SZ59/H2	1274	3000	400	96		6.1		
110SZ60	955.5	3000	300	110		4		
110SZ61	842.8	1700	150	12		19	2	
110SZ61T	1146.6	750	90	110		1.3		
130SZ01	2254	1500	355	110		4.4	0.28	11.8
130SZ02	2254	1500	355	220		2.2	0.18	11.8
130SZ03	1911	3000	600	110		7.6	0.28	11.8
130SZ03M	1911	3000	600	110		7.6	0.28	11.8
130SZ04	1911	3000	600	220		3.8	0.18	11.8
130SZ04M	1911	3000	600	220		3.8	0.18	11.8
130SZ06	2254	750	177	110		2.3	0.28	11.8
130SZ02/H6	2254	1500	355	220		2.2	0.18	11.8
130SZ02/H7	2254	1500	355	220		2.2	0.18	11.8
130SZ03M/H5	1911	3000	600	110		7.6	0.28	11.8
130SZ03/H1	1911	3000	600	110		7.6	0.28	11.8
130SZ03F/H1	1274	3000	400	110		5.4		14.5
130SZ07M/H1	1592.5	1500	250	220		1.6	0.18	14.5
130SZ08M/H1	1592.5	1500	250	180		1.8	0.3	14.5
130SZ09/H3	1911	2000	400	24		24		11.8
130SZ11	2254	15000	350	180	200	3	0.17	11.8
130SZ12	1911	3000 ± 20%	600	180	200	5	0.17	12.6
130SZ13c	1900.2	2500 ^{+20%} -10%	500	160		5	5	—
130SZ61T	2254	750	177	110		2.3	0.28	—
130SZ62JZ	1195.6	8000	1000	170		8	0.35	—
160SZ01	3841.6	1500	615	220		—	—	—

3. 伺服电机的使用和维护

(1) 交流伺服电动机移相方法

① 利用三相电源中一相电源电压通过放大器加到两相交流伺服电动机的控制绕组上，线电压加在励磁绕组上。

② 无中性点的三相电源，利用中点抽头的电抗线圈造成人为中点，得到相位差 90° 的两相电压，或直接用三相电源的两相供电。

③ 在励磁相串联或并联电容的移相。

(2) 使用注意事项

① 交流伺服电动机使用注意事项：

a. 50Hz 工频的多为 2 或 4 极的高速电机，400Hz 中频的多为 4、6、8 极的中速电机，更多极数的慢速电机是不经济的；

b. 输入阻抗随转速上升而变大，功率因数则变小，额定电压越低，功率越大的伺服电机输入阻抗越小；

c. 使用电源频率升高，使机械特性的线性度变坏，甚至产生单相供电自转现象，电源电压的下降，会使堵转转矩和输出功率明显下降，加速时间增长。

② 直流伺服电动机使用注意事项：

a. 电枢控制的直流伺服电动机使用时，应先接通励磁电压，再加电枢电压，运行中应尽量避免励磁绕组断电，以免引起电枢电流过大和电机超速。

b. 整流线路可用三相全波桥式可控硅整流电源，其他的整流线路应加装适当的滤波装置，否则，只能将直流伺服电动机降低容量使用。

六、力矩电动机

力矩电动机是一种可以连续工作在堵转状态，能直接驱动负载以输出转矩为主要特征的低速伺服电动机。在系统中，力矩电动机与伺服电动机相比，具有高精度、高耦合刚度、大的转矩与惯性矩之比、快速反应、高线性度、高精度低速运行、共振频率高、结构简化、体积小、重量轻、维护简单等许多优点。因此，力矩电机已广泛应用于尺寸、重量有一定限制，以及又要求高精度、高转矩的低速或位置伺服系统中，如各种雷达天线的驱动、陀螺框架的驱动等高精度传动系统中，以及一般仪器仪表驱动装置上。

1. 分类

力矩电动机有交流力矩电动机和直流力矩电动机两类。

(1) 交流力矩电动机 交流力矩电动机是一种用交流电信号控制的力矩电动机，有同步型和异步型两种。按其转子结构则有笼式转子和空心非磁性（或铁磁性）杯形之分。由于笼式转子能提供较大的堵转转矩，以及易于设计成分装式的结构，便于系统使用时安装，故多被采用。

(2) 直流力矩电动机 直流力矩电动机是一种用直流电信号控制的力矩电动机。按激磁方式分有电磁式和永磁式，按有无电刷分有有刷和无刷两种。

力矩电动机有一种为了提高系统的精度和稳定性，不经齿轮减速，直接驱动负载的低速伺服电动机。它的结构和原理与普通伺服电动机基本相同，为了输出转矩和降低转速，通常采用直径/长度 > 1 的大内孔的盘式结构。根据使用安装的方便，其外形可设计成分装式和组装式两种。

直流力矩电动机与交流力矩电动机相比，直流力矩电动机具有力能指标高、控制线路简单等优点，故通常被系统优先选用。但由于有刷的直流力矩电动机具有电刷和换向器，结构复杂、寿命较短，尤其是换向这个弱点，致使其不能用于有爆炸危险、空气污染较重和高真空等恶劣的环境中。对此，交流力矩电动机或无刷直流力矩电动机就显示出其优点了。

2. 常用力矩电动机技术参数。

(1) LL 系列笼式转子交流力矩电动机（见表 5.6.68）

(2) LW 系列无刷直流力矩电动机技术数据（见表 5.6.69）

(3) LY 系列永磁式直流力矩电动机技术数据（见表 5.6.70）

3. 力矩电动机的使用和维护

(1) 交流力矩电动机的使用

① 卷绕。交流力矩电动机主要用于卷绕。当产品卷绕在辊筒上，辊筒直径随着卷绕物加厚而逐步增大时，要求张力与线速度的变化保持在允许的范围之内。在生产多品种规格时，由于产品直径、厚度等的变化，所要

表 5.6.68 LL 系列笼式转子交流力矩电动机技术数据

型 号	电 压		堵转电流		频率	空载转速	堵转转矩	堵转输入功率	输出	起动	额定
	/V		/A								
	激磁	控制	激磁	控制							
155LL001	115	57.5	0.82	1.64	400	700	3700	42			
322LL001	150	150	4	4	400	190	150000	350	87.3	3	8.33
400LL001	150	150	4	4	200	170	1.3×10^5				
520LL001	220	220	5	5	50	46	10×10^5	46		6	

表 5.6.69 LW 系列无刷直流力矩电动机技术数据

型 号	电压	电流	额定功率	空载转速	额定转矩	堵转转矩
	/V	/A	/W	/(r/min)	/(N·m)	/(N·m)
90LW001	27	—	—	360	1.96(连续)	2.94(峰值)
90LW002	27	1.8(峰值)	—	600	—	0.39(峰值)
110LW003	—	6	340	398(额定)	3.14	8.08
110LW004	—	6	340	398(额定)	3.14	8.08
110LW005	60	—	—	390	—	3.92(峰值)
110LW006	60	—	—	390	—	3.92(峰值)
160LW001	24	—	—	150	—	0.39~0.78

表 5.6.70 LY 系列永磁直流力矩电动机技术数据

型 号	峰 值 堵 转				最大空载	连 续 堵 转			
	转矩	电流	电压 20℃	功率 20℃		转矩	电流	电压 20℃	功率 20℃
	不小于	/A	(±15%)	(±15%)	转速	不小于	/A	(±15%)	(±15%)
	/(mN·m)		/V	/W	/(r/min)	/(mN·m)		/V	/W
36LY51	49.05	2.7	12	32.4	5800	14.72	0.81	3.6	2.9
36LY52	49.05	1.2	27	32.4	5800	14.72	0.36	8.1	2.9
36LY53	98.1	3.2	12	38.4	3500	29.43	0.96	3.6	3.46
36LY54	98.1	1.6	27	43	3500	26.43	0.48	8.1	3.9
45LY51	63.31	2.9	12	35	4200	24.53	1.16	4.8	5.57
45LY52	63.31	1.3	27	35	4200	24.53	0.52	10.8	5.62
45LY53	122.63	3.3	12	40	2700	49.05	1.32	4.8	6.34
45LY54	122.63	1.6	27	43	2700	49.05	0.64	10.8	6.9
55LY51	122.63	3.1	12	37	2400	63.77	1.61	6.24	10
55LY52	122.63	1.37	27	37	2400	63.77	0.71	14	10
55LY53	245.25	3.8	12	45.4	1500	127.53	1.98	6.25	12.4
55LY54	245.25	1.68	27	45.4	1500	127.53	0.87	14	12.4
70LY51	313.92	1.79	27	48.3	1400	171.68	0.96	14.5	13.9
70LY52	313.92	1.14	48	54.7	1400	171.68	0.61	25.8	15.7
70LY53	637.65	2.26	27	61	900	343.35	1.22	14.5	17.7
70LY54	637.65	1.26	48	60.5	900	343.35	0.68	25.8	17.5
90LY51	686.7	2.3	27	62	750	392.4	1.31	15.4	20.6
90LY52	686.7	1.3	48	62	750	392.4	0.75	27.4	20.6
90LY53	1373.4	2.7	27	73	450	484.8	1.54	15.4	23.7
90LY54	1373.4	1.5	48	73	450	484.8	0.86	27.4	23.7
110LY51	1226.3	2.8	27	75.6	600	735.75	1.68	16.2	27.2
110LY52	1226.3	1.69	48	81	600	735.75	1.01	28.8	29.1
110LY53	2452.5	3.08	27	83	400	1471.5	1.85	16.2	30
110LY54	2452.5	1.93	48	92.6	400	1471.5	1.16	28.8	33.4
130LY51	1716.8	4.16	27	112	600	833.85	2	13	26
130LY52	1716.8	2.58	48	123	600	833.85	1.25	23.3	29
130LY53	1716.8	2.08	60	125	600	833.85	1	29	29

续表

型 号	峰 值 堵 转				最大空载 转速 (不大于) /(r/min)	连 续 堵 转			
	转矩 不小于 /(mN·m)	电流 /A	电压 20℃ (±15%) /V	功率 20℃ (±15%) /W		转矩 不小于 /(mN·m)	电流 /A	电压 20℃ (±15%) /V	功率 20℃ (±15%) /W
130LY54	3.43	5.48	27	147	400	1.67	2.65	13	34.5
130LY55	3.43	3.13	48	150	400	1.67	1.52	23.3	35.5
130LY56	3.43	2.58	60	154	400	1.67	1.25	29	36
160LY51	4.91	3.8	27	102	160	3.43	2.66	18.9	50.3
160LY52	4.91	2.1	48	100	160	3.43	1.47	33.6	49.4
160LY53	4.91	1.7	60	102	160	3.43	1.19	42	50
160LY54	7.36	4.3	27	115	130	5.15	3	18.9	56.7
160LY55	7.36	2.5	48	120	130	5.15	1.75	33.6	58.8
160LY56	7.36	1.9	60	114	130	5.15	1.33	42	55.9
200LY51	7.85	4.41	27	119	135	5.40	3	18.6	55.8
200LY52	7.85	2.62	48	126	135	5.40	1.8	33	59.4
200LY53	7.85	2.16	60	130	135	5.40	1.48	41.3	61
200LY54	11.77	5.25	27	142	115	8.34	3.7	19.1	70.6
200LY55	11.77	2.98	48	143	115	8.34	2.1	34	71.4
200LY56	11.77	2.62	60	157	115	8.34	1.85	42.5	78.6
250LY51	12.75	4.42	27	119	105	8.34	2.9	17.6	50.8
250LY52	12.75	2.8	48	135	105	8.34	1.84	31.4	57.8
250LY53	12.75	2.1	60	126	105	8.34	1.37	39	53.4
250LY54	19.62	7.15	27	193	80	12.75	4.65	17.6	81.8
250LY55	19.62	4.04	48	194	80	12.75	2.63	31.4	82.5
250LY56	19.62	3.2	60	192	80	12.75	2.1	39	82
320LY51	19.62	2.42	60	145	70	14.72	1.81	45	81.5
320LY52	19.62	1.41	110	155	70	14.72	1.06	82.5	87.5
320LY53	29.43	3.2	60	192	55	22.07	2.4	45	108
320LY54	29.43	1.55	110	170	55	22.07	1.16	82.5	95.7
320LY55	39.24	3.81	60	228	50	29.43	2.85	45	128
320LY56	39.24	1.98	110	218	50	29.43	1.485	82.5	123
160LY03	4.91	1.95	60	—	220	3.43	1.35	约 42	—
200LY03	7.85	2	60	—	140	6.38	1.5	约 48	—
250LY03	12.75	2.8	60	—	110	9.81	2.15	约 46	—
320LY03	19.62	2.1	110	—	55	29.43	1.55	约 82	—

求的张力和转速也不同,这时可通过改变电动机的输入电压来满足不同张力的要求。

② 开卷。开卷亦称松卷、放线等,用于将已成卷的产品松开,进行再加工の場合。开卷时,要求电动机的转向与产品的传递方向相反,从而产生一个制动力矩,使开卷的产品始终保持张紧状态。张力的大小可通过调节电压来控制。

③ 堵转。在某些特殊场合中,有时要求电动机在一段时间内保持一静止的力矩,如电缆收卷起始阶级需保持张紧。由于力矩电动机的阻抗较大,其堵转电流较小,同时采用了强迫通风,所以能满足短时或较长时间堵转要求。

④ 调速交流力矩电动机的机械特性很软,当负载增加时,电动机的转速降低,输出力矩增加,所以电动机的转速将随电压变化而变化。因此在负载恒定的装置上,只要通过调压装置改变电动机的输入电压,就能获得任一的转速。但力矩电动机低速运行时效率较低,不利于长期低速运行。

⑤ 交流力矩电动机还可根据其多种特点灵活应用。如本身具有直流串激电机特性,可部分代替直流电机使用。又如根据其转子具有高电阻特性、堵转转矩大的特点,可应用在启闭闸门以及阻力矩大的拖动系统中。也可利用其堵转、反转的特性,使用于频繁正反转的装置或其他类似动作的各种机械上。

(2) 交流力矩电动机的控制 在同一台机械中,由于所卷绕或传递的材料成分和规格不同,需要的转矩和转速也不同。因此要求交流力矩电动机在某一转速下转矩大小能调节,或要求在一定范围内变速。这些要求可

以用调压器调节力矩电动机输入电压来实现。

(3) 直流力矩电动机的使用和维护

- ① 稳定温升时允许最大堵转转矩一定要大于连续堵转转矩。
- ② 定子中的转子取出后，定子要用磁短路环磁，以免引起磁钢退磁。
- ③ 力矩电动机作测速发电机使用时，要注意电刷和换向器间的接触电阻的变化而引起输出电压的波动。
- ④ 在短时间内电流允许大于连续堵转电流，但不允许超过峰值电流，以避免磁钢去磁，使转矩下降。如果磁钢去磁，需重新充磁后电机才能正常使用。

七、步进电动机

步进电动机是一种电磁式增加运动执行元件，它能将输入的脉冲信号转换成机械角度或直线位移。因输入是脉冲信号，运动是断续的，故又称为脉冲电动机。其机械角位移与脉冲数量严格成正比，改变脉冲频率可实现调速。它定位精度高，同步运行特性好，调速范围宽，能快速起动、反转和制动，并在一相绕组长期通电状态下具有自锁能力。输出转角定位精度无累积误差。电动机转速在负载能力范围内不因电压、负载、环境条件的波动而变化。

目前步进电动机已广泛应用于开环数控系统，不需要反馈装置，结构简单、可靠、寿命长。它适用于计数指示装置、阀门控制、数控机床及其他数控系统。

1. 分类

步进电动机种类繁多。有反应式步进电动机，也有大步距角的永磁式步进电动机和小步距角的混合式（永磁感应子式）步进电动机；有电磁式步进电动机，也有压电式步进电动机；有滚切步进电动机，也有机械谐波式步进电动机；有旋转式步进电动机，也有直线步进电动机，以及印刷绕组步进电动机等等。但通常使用较广泛的则有反应式步进电动机、永磁式步进电动机和混合式步进电动机三种。

(1) 反应式步进电动机 这是一种定、转子磁路均由软磁材料制成，只有控制绕组，基于磁导变化产生反应转矩的步进电动机。它的结构按绕组的排布可分径向分相和轴向分相；而轴向分相亦有两种类型，即磁通路径仍为径向（和径向分相结构的磁路相同）或磁通路径为轴向；按铁芯分段则有单段式和多段式。

反应式步进电动机的步距角与转子的齿数和相数（或拍数）成反比，转子齿越多，相数越多，则步距角越小，因此根据所需要的步距角的大小，反应式步进电动机有两相、三相、四相、五相和六相等。

(2) 永磁式步进电动机 这是一种由永磁体建立激磁磁场的步进电动机。这种步进电动机的缺点是步距角大，起动频率较低。其优点是控制功率小，在断电情况下有定位转矩。

(3) 混合式（永磁感应子式）步进电动机 它的结构与反应式步进电动机相同，而转子采用环形磁钢和两段铁芯组成。这种步进电动机和反应式步进电动机一样，可以做成小步距角和较高的起动频率，同时又具有永磁式步进电动机控制功率小的优点，但其缺点是工艺性和结构比反应式步进电动机复杂。

2. 常用产品技术参数

(1) BF 系列反应式步进电动机技术参数（见表 5.6.71）

表 5.6.71 BF 系列反应式步进电动机技术参数

型 号	相 数	步距度 /(°)	额定电压 /V	静态电流 /A	最大转矩 $\times 10^{-1}$ /(N·m)	空载起动 频率 /PPS	外径 \times 长度 /mm
28BF01	3	3	27	0.8	0.25	1800	$\phi 28 \times 30$
36BF01	3	1.5	27	1.5	0.8	3000	$\phi 36 \times 45$
36BF02	3	3	27	0.5	0.4	1800	$\phi 36 \times 45$
45BF01	3	1.5	27	0.35	0.6	1200	$\phi 45 \times 60$
45BF02	3	1.5	27	2	1	2400	$\phi 45 \times 60$
45BF03	3	1.5	27	2.5	2	3000	$\phi 45 \times 60$
45BF04	3	1.875	27	2.5	2	2400	$\phi 45 \times 60$
55BF01	3	1.5	27	3	7	1800	$\phi 55 \times 80$
55BF02	3	1.5	60	4	3.5	3600	$\phi 55 \times 80$
55BF03	3	3	27	3	1.4	1200	$\phi 55 \times 65$
55BF04	3	3	27	3	2.8	1500	$\phi 55 \times 80$
55BF05	3	7.5	27	2.5	2.5	750	$\phi 55 \times 65$

续表

型 号	相 数	步距度 /(°)	额定电压 /V	静态电流 /A	最大转矩 $\times 10^{-1}$ /(N·m)	空载起动 频率 /PPS	外径 \times 长度 /mm
55BF06	3	7.5	27	2.5	3.5	750	$\phi 55 \times 80$
55BF07	4	0.9	27	2.5	7	2400	$\phi 55 \times 80$
70BF01	3	1.5	27	3	4	1800	$\phi 70 \times 80$
70BF02	3	1.5	27	3	7	1500	$\phi 70 \times 80$
70BF03	3	1.5	60/12	5	5	2000	$\phi 70 \times 80$
70BF04	3	1.5	60/12	5	8	1500	$\phi 70 \times 100$
70BF05	4	0.9	27	3	10	2000	$\phi 70 \times 80$
70BF06	5	0.75	27	4	4	3600	$\phi 70 \times 80$
70BF07	5	1.5	27	3	6	3000	$\phi 70 \times 80$
70BF08	5	1.5	60/12	3.5	3	3000	$\phi 70 \times 80$
70BF09	5	2.25	60/12	3.5	3	1500	$\phi 70 \times 80$
70BF10	6	0.75	60/12	4.5	6	3600	$\phi 70 \times 100$
90BF01	3	1.5	60/12	5	15	1000	$\phi 90 \times 100$
90BF02	3	1.5	60	5	20	1500	$\phi 90 \times 125$
90BF03	4	0.9	60/12	7	2.5	1500	$\phi 90 \times 125$
90BF04	4	0.9	80	7	40	2000	$\phi 90 \times 150$
90BF05	4	1.125	60/12	4	10	1000	$\phi 90 \times 150$
90BF06	5	0.36	27	3	20	2400	$\phi 90 \times 100$
90BF07	5	0.75	60	6	20	4000	$\phi 90 \times 125$
90BF08	5	0.75	80	7	40	3600	$\phi 90 \times 150$
90BF09	5	1	27	3	10	2000	$\phi 90 \times 100$
90BF10	5	1	27	3	15	1800	$\phi 90 \times 125$
90BF11	5	1	60/12	5	10	2000	$\phi 90 \times 100$
110BF01	3	0.75	80	6	78.4	1500	$\phi 110 \times 192$
110BF02	3	0.75	48	7	98	1000	$\phi 110 \times 222$
110BF03	4	0.36	60/12	2.5	19.6	1000	$\phi 110 \times 163$
110BF04	3	1.5/0.75	80/12	6	98	1500	$\phi 110 \times 206$
110BF05	4	1.8/0.9	24	4	44	1000 - 1200	$\phi 110 \times 129$
130BF01	5	1.5/0.75	110/12	10	127.4	2000	$\phi 130 \times 179.5$
130BF02	3	1.5/3	27	5	(额定)98	400	$\phi 130 \times 151$
130BF03	3	1.5/3	60	7	(额定)98	700	$\phi 130 \times 151$
130BF04	6	0.75/1.5	110	5	(额定)98	1600	$\phi 130 \times 209$
130BF05	6	0.75/1.5	110	7	(额定)98	2000	$\phi 130 \times 209$
150BF01	5	0.75	80/12	13	156.8	2000	$\phi 150 \times 227$
160BF01	5	1.5/0.75	80/12	13	196	1800	$\phi 160 \times 241.5$
160BF02	5	1.5/0.75	80/12	13	156.8	1800	$\phi 160 \times 222.5$
160BF03	5	1.5/0.75	80/12	13	161.7	2000	$\phi 160 \times 222.5$
160BF04	5	1.5/0.75	80/12	13	205.8	2000	$\phi 160 \times 247.5$

(2) BYC 系列混合式步进电动机技术参数 (见表 5.6.72)

表 5.6.72 BYC 系列混合式步进电动机技术参数

型 号	相 数	电 流 /A	静转矩 /(N·m)	步距角/(°)	步距精度 /%	最高起动频率 /PPS	最高运行频率 /PPS
55BYC4	4	1.2	≥ 0.36	1.8	5	≥ 400	≥ 2500
55BYC-0.9/1.8	4	1	0.343	0.9/1.8		1000	2500
90BYC-0.9/1.8	4	6	0.98	0.9/1.8		1000	2500
107BYC4-01	4	1.2	≥ 4	0.9	5	≥ 800	≥ 8000
110BYC5-01	5	3	12	0.36	5		≥ 60000
110BYC5-02	5	3	9	0.36	5		≥ 60000
110BYC5-04	5	4	≥ 12	0.36		≥ 3000	≥ 60000
110BYC5-05	5	4	≥ 8	0.36		≥ 3000	≥ 60000

(3) BY 系列永磁式步进电动机技术参数 (见表 5.6.73)

表 5.6.73 BY 系列永磁式步进电动机技术参数

型号	相数	步距角	电压 /V	静态相 电流 /mA	激磁 方式	分配 方式	最大静态 转矩 /(mN·m)	空载起 动频率 /Hz	负载起动频率 /(Hz/g·cm)	重量 /kg
36BY01	4	7.5°	12	80	自激	2—2	7.84	340	156/20	0.085
43BY10B		15°					12.74	250	50/20、25/100、10/150	
43BY10B-J3		0.75°					147	230	600/20、340/100、130/150	0.1
43BY10B-J5	4	0.3°	12	0.17	自激	2—2	147	230	1500/20、700/100、200/150	1.8
43BY10B-J8		0.15°					147	220	1500/20、1400/100、500/150	1.8
43BY10B-J10		0.10°					147	220	1500/20、1500/100、800/150	1.8
45BY02A			24	80			15.68	260	20/40、100/25、200/16	0.15
45BY02B			12	130			15.68	260	20/40、100/25、200/16	0.15
45BY03A-J1	4	7.5°	24	80	自激	2—2	—	240	20/800、100/400、200/200	0.3
45BY03B-J1			12	130			—	240	20/800、100/400、200/200	0.3
45BY03-J2			12	130			—	240	20/1500、100/1000、200/500	0.3
55BY01	4	7.5°	14	600	强激	2—2	63.7	240	20/300、100/160、200/50	0.35

3. 步进电动机的使用和维护

(1) 步进电动机的选用

- ① 根据需要的脉冲当量和可能的传动比决定步进电动机的步距角。
- ② 根据负载阻力或阻力矩、传动比和传动效率，推算出步进电动机的负载力矩，并按 0.3~0.5 倍负载力矩选择步进电动机的最大静转矩。

③ 按负载需要的速度及步距角选择运行频率。

④ 由负载和传动装置的传动惯量，推算出步进电动机轴上的转动惯量。

(2) 使用注意事项

- ① 大转动惯量的负载，起动和停止频率应选择低些。起动时应低频起动再升至工作频率，停止时应先降低频率再停止。
- ② 尽量使负载匀称，避免负载突变引起动态误差。
- ③ 强迫风冷的步进电动机，工作中冷却装置应正常运行。
- ④ 步进电动机失步按下列程序检查：负载—电源—指令—驱动电源输出一波形。不宜随意更换元件及元件规格。
- ⑤ 使用不同的电源会对步进电动机性能指标有不同的影响。

第七节 交直流两用电动机

交直流两用电动机是应用最广泛、产量最多的一种微电机。这种电机能在交流或直流两种电源下使用，在交流供电或直流供电时电动机具有相同的运行特性，并能大范围地调节速度。这类电机广泛地应用于家用电器，如吸尘器、电吹风、搅拌机、电动缝纫机等场合，也可用于电钻、冲击钻、电刨、电锤、电锯、电扳手等各种电动工具中，还可以制成通用电机型式，作驱动及伺服电机使用，广泛应用于家庭、宾馆、车间、工地、牧场和林区等。

1. 结构特点

这类电机的结构和工作原理和一般串激电动机基本相同，主要特征如下。

- ① 在相同的直流或交流电压条件下，电动机在额定负载时的转速值相同。
- ② 机械特性软，起动转矩大，过载能力强，且能大范围地调节速度，电机的起动转矩高达额定转矩的 4~6 倍，所以既能适用于电动工具，不易被卡死、制动，有大的过载能力，也适宜作重负载起动的伺服电机。
- ③ 体积小，重量轻，转速高，这种电机转速不受电源频率的限制，电机转速越高，电机中铁磁材料的用量越少。
- ④ 在交流或直流供电时，电动机励磁绕组的匝数是不一样的。为了使电动机在交流或直流供电时转速一

致, SU 型电动机励磁绕组有两组, 内层为交直流公用励磁绕组, 外层为直流励磁时增加的绕组。

2. 常见交直流两用电动机技术参数

(1) SU 型交直流两用电动机技术参数 (见表 5.6.74)

表 5.6.74 SU 型交直流两用电动机技术参数

型号	使用电源			输出功率		额定转矩		额定转速 /(r/min)	轴伸数	重量 /kg
	交流		直流电压 /V	/W		/($\mu\cdot\text{m}$)				
	电压 /V	频率 /Hz		交流	直流	交流	直流			
SU-1	110	50	110	80	100	0.3038	0.3822	2500	1	4.5
SU-1C									2	
SU-2	220	50	220						1	
SU-2C									2	

(2) UQ 型交直流两用电动机技术参数 (见表 5.6.75)

表 5.6.75 UQ 型交直流两用电动机技术参数

型号	使用电源			起动转矩 不小于 /(N·m)	运行方式 (瞬时) 小于 /s	旋转方向 (面对出轴)	重量 /kg
	交流		直流电压 /V				
	电压 /V	频率 /Hz					
UQ10A-1	220	50	220	0.98	3	逆时针 顺时针	1.5
UQ10A-2							
UQ10B-1	220	50	220	0.49	3	逆时针 顺时针	1.5
UQ10B-2							
UQ30	220	50	220	2.94	3	顺时针	3.0
UQ30H ^①	380		—				

① 仅用于交流。

(3) 交直流通用串激可逆电动机技术参数 (见表 5.7.76)

表 5.7.76 交直流通用串激可逆电动机技术参数

型号	电流种类	电压 /V	频率 /Hz	有效功率 /W	电流 不大于 /A	转速 /(r/min)	额定转矩 /(mN·m)	重量 /kg
S368	交流 直流	220	50 —	250	2.5	12000 ± 10%	199	2
S368BW	交流 直流	220	50 —	250	2.5	12000 ± 10%	199	2

(4) 交直流通用串激不可逆电动机技术参数 (见表 5.6.77)

表 5.6.77 交直流通用串激不可逆电动机技术参数

型号	电流种类	电压 /V	频率 /Hz	有效功率 /W	电流 不大于 /A	转速 /(r/min)	旋转方向	额定转矩 /(mN·m)	重量 /kg	备注
S328	交流 直流	12	50 —	25	7 5	4500 ± 70	—	53.12	2.0	
S368W	交流 直流	110	50 —	200	4 2.9	12000 ± 10%	逆时针	177.38	2.3	短时: 3min
S368BW	交流 直流	220	50 —	200	2.6 1.7	12000 ± 10%	逆时针	177.38	2.3	短时: 3min
S368KF	交流 直流	110	50 —	369	9.8 8	≥ 6000	顺时针	588	2.3	短时: 5s

续表

型号	电流种类	电压/V	频率/Hz	有效功率/W	电流不大于/A	转速/(r/min)	旋转方向	额定转矩/(mN·m)	重量/kg	备注
S368KJ	交流 直流	110	50 —	369	9.8 8	≥6000	逆时针	588	2.3	短时: 5s
S368BKF	交流 直流	220	50 —	369	5.8 5	≥6000	顺时针	588	2.3	短时: 5s
S568BKJ	交流 直流	220	50 —	369	5.8 5	≥6000	逆时针	588	2.3	短时: 5s
S528	交流 直流	90 80	50 —	30	1.25 0.85	3000~3800 3000~3400	顺时针	95.55	3.3	
S568BWJ	交流 直流	220	50 —	1100	8 6.5	10000~13000	顺时针	882	4.5	短时: 5s

(5) U型单相串激电动机技术参数(见表 5.6.78)

表 5.6.78 U型单相串激电动机技术参数

型号	电压/V	频率/Hz	额定功率/W	额定转速/(r/min)	起动转矩/额定转矩	重量/kg
U8/40-220	220	50	8	4000	1.4	0.8
U15/40-220			15			
U25/40-220	220	50	25	4000	—	1.3
U30/40-220			30			
U40/80-220			40			
U40/40-220			40			
U60/40-220	220	50	60	4000	1.6	2.4
U90/40-220			90			
U120/40-220			120			
U180/40-220	220	50	180	4000	1.7	4.0
U250/80-220			250			
U250/40-220			250			
U400/40-220			400			
U400/80-220	220	50	400	4000	1.7	6.0
U400/80-220			400			
U650/40-220			650			

(6) U型单相串激电动机特殊派生规格技术参数(见表 5.6.79)

表 5.6.79 U型单相串激电动机特殊派生规格技术参数

型号	电压/V	频率/Hz	额定功率/W	额定转速/(r/min)	起动转矩/额定转矩	工作方式	旋转方向(面对出轴)	重量/kg
U15/40-220D	220	50	15	4000	1.4	30分钟	逆	1.3
U25/40-12	12	50	25	4000	1.4	连续	逆	1.3
U25/40-220L	220	50	25	4000	1.4	连续	逆	1.1
U40/80-32D	32	—	40	8000	1.7	2分钟	可逆转	1.3
U40/36-24D	24	50	40	3600	1.6	5分钟	可逆转	2.1
U40/36-110D	110		40	3600	1.6	5分钟	可逆转	2.1
U80/50-110D	110		80	5000	1.7	5分钟	可逆转	2.7
U80/50-220D	220		80	5000	1.7	5分钟	可逆转	2.7
U180/80-220	220	50	180	8000	2.0	连续	逆	4.5

(7) G系列
GF45型 微型单相交流串激整流子电动机技术参数(见表 5.6.80 和表 5.6.81)
G 为开启式, GF 为防护式。

表 5.6.80 G 系列(开启式)单相串激电动机技术数据

型号	电压 /V	频率 /Hz	电流 /A	功率 /W	额定转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 cos φ	起动转矩 额定转矩	起动电流 额定电流
G4514	220	50	0.45	40	4000	50	0.81	1.7	2.5
G4524			0.64	60	4000	53	0.80	1.7	2.5
G4534			0.91	90	4000	56	0.80	1.7	2.5
G4516			0.59	60	6000	54	0.86	2.5	3.5
G4526			0.85	90	6000	56	0.86	2.5	3.5
G4536			1.08	120	6000	60	0.84	2.5	3.5
G4518			0.82	90	8000	57	0.88	4.0	4.5
G4528			1.03	120	8000	60	0.88	4.0	4.5
G4538			1.50	180	8000	62	0.88	4.0	4.5
G45112			0.99	120	12000	60	0.92	6.0	6.0
G45212			1.43	180	12000	62	0.92	6.0	6.0
G45312			1.93	250	12000	64	0.92	6.0	6.0
G5614			220	50	1.16	120	4000	59	0.80
G5624	1.70	180			4000	61	0.79	2.0	2.5
G5634	2.31	250			4000	63	0.78	2.0	2.5
G5616	1.60	180			6000	61	0.84	3.0	3.5
G5626	2.15	250			6000	63	0.84	3.0	3.5
G5636	3.08	370			6000	65	0.84	3.0	3.5
G5618	2.02	250			8000	64	0.88	5.0	4.5
G5628	2.90	370			8000	66	0.88	5.0	4.5
G5638	4.18	550			8000	68	0.88	5.0	4.5
G7114	220	50			3.32	370	4000	65	0.78
G7124			4.92	550	4000	66	0.77	2.0	2.5
G7134			6.69	750	4000	67	0.76	2.0	2.5
G7116			4.44	550	6000	67	0.84	3.5	3.5
G7126			5.97	750	6000	68	0.84	3.5	3.5

表 5.6.81 GF45 型(防护式)单相串激电动机技术数据

型号	电压 /V	频率 /Hz	额定功率 /W	额定转速 /(r/min)	额定电流 (参考值) /A	效率 /%	功率因数 cos φ	起动电流 额定电流	起动转矩 额定转矩
GF 4514	220	50	15	4000	0.22	38	0.83	2.5	1.5
GF 4524			25	4000	0.32	44	0.81	2.5	1.5
GF 4534			40	4000	0.45	50	0.81	2.5	1.7
GF 4516			25	6000	0.29	45	0.86	3.5	1.8
GF 4526			40	6000	0.42	51	0.86	3.5	1.8
GF 4536			60	6000	0.59	54	0.86	3.5	2.5
GF 4518			40	8000	0.41	52	0.88	4.5	3.0
GF 4528			60	8000	0.57	55	0.88	4.5	3.0
GF 4538			90	8000	0.82	57	0.88	4.5	4.0
GF 45112			60	12000	0.53	56	0.92	6.0	4.5
GF 45212			90	12000	0.77	58	0.92	6.0	4.5
GF 45312			120	12000	0.99	60	0.92	6.0	6.0

第八节 家用电器电动机

一、洗衣机电动机

洗衣机用电动机是作为驱动洗衣机的波轮、滚筒、脱水筒以及排水泵的动力机械,大多使用单相电容运转异步电动机。其结构一般为开启式、自冷或自扇冷。国外除使用单相电容运转异步电动机外,也有使用单相串激电动机或永磁直流电动机。

1. 洗衣机用电动机功率选配

洗涤干衣量/kg	1.5~2	2~2.5	3~3.5	4~5
配用电动机/W	90、120	120	180	250
配用电容器/ μF	6、8、9	8、10	10、12	16

2. 洗衣机电动机的技术参数 (见表 5.6.82 至表 5.6.85)

表 5.6.82 $\text{SD}^{\text{L}}/\text{S}$ 洗衣机电动机技术参数

型号	输出功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	额定转速 /(r/min)	堵转电流 /A	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	效率 /%	功率因数 $\cos\varphi$	电容 / μF	噪声 不大于 /dB
XDL-90	90	220	50	1370	2.0	0.95	1.7	49	0.95	8	62
XDS-90											
XDL-120	120				2.5	0.90		52			
XDS-120											
XDL-180	180				4.0	0.8		56			
XDS-180											
XDL-250	250				5.5	0.7		59			
XDS-250											
XDS-120A	120	2.5	0.9	52	10						

表 5.6.83 XD 系列洗衣机电机技术参数

型号	功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	电流 /A	转速 /(r/min)	起动电流 /A	起动转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩	电容量 / μF
XD-90	90	220	50	0.92	1370	2	0.9	1.8	8
XD-120	120			1.12		2.5	0.9	1.8	10
XD-180	180			1.57		4.0	0.6	1.6	12
XD-250	250			2.06		5.5	0.6	1.6	16

表 5.6.84 XDT-30 洗衣机脱水用电动机技术参数

型号	输出功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	堵转 电流 /A	堵转 转矩 /(N·m)	最大 转矩 /(N·m)	最小 转矩 /(N·m)	效率 /%	功率 因数 $\cos\varphi$	额定 转速 /(r/min)	电容器 / μF	噪声 不大于 /dB
XDT-30	30	220	50	1.2	—	—	—	32	0.9	1370	3	60
XDT-30A	30	220	50	1.5	0.36	0.49	0.28	25	0.9	1370	3	55
XDT-30B				1.2	0.45		30	60				
XDT-40	40	220	50	1.35	0.41	0.53		30	0.92	1370		60
XDT-45	45	220	50	1.4	0.43	0.56		33	0.92	1370		60
XDT-60	60	220	50	1.5	0.52	0.68		41	0.92	1370		60

注: XDT-30A 为含油轴承。

表 5.6.85 RXB、RXG 型洗衣机脱水机电动机技术参数

型 号	功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	同步转速 /(r/min)	起动电流 /A	起动转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
RXB90	90	220	50	1500	2.0	0.95	1.7
RXB100	100				2.4	1.1	1.8
RXB120	120				2.5	0.9	1.7
RXG25	25				1.2	2.0	2.8
RXG60	60				1.8	1.1	1.8

二、空调器用电动机

空调器用的电动机主要有压缩机用电动机和风扇用电动机。

1. 全封闭压缩机用电动机

由于空调器大多采用单相 220V 电源, 也有用三相 380V 的, 故其压缩机则相应地使用单相异步电动机或三相异步电动机。由于工作环境特殊, 因而对电机的结构及制造工艺相应有所特殊要求: ①耐侵蚀性好, 能耐制冷剂 and 润滑油; ②耐热性好, 如旋转式压缩机要采用耐热 140℃ 的 F 级绝缘; ③耐振动和冲击性能好; ④起动转矩大, 起动性能好; ⑤效率高, 功率因数大, 一般要求效率达 80%, 功率因数达 98%; ⑥对电源波动的适应性好。

2. 空调器风扇电动机

空调器风扇电动机可与各类窗式空调器、立柜式空调器、分体式空调器及风机盘管式空调器配套。可用作制冷、采暖、通风等电扇类负载的驱动电动机。

空调器风扇电动机的结构特点如下。

- ① 电动机为全封闭结构, 双轴伸, 卧式安装。
- ② 机壳采用优质钢板圈制而成, 端盖采用优质钢板冲制而成, 具有较高的强度。
- ③ 电动机采用低噪声滚动轴承。
- ④ 电动机不带防震底架的, 两端均有橡胶减震圈; 电动机带防震底架的, 安装部位也装有橡胶减震圈。
- ⑤ 电动机采用 B 级绝缘。

3. 常用空调器电动机技术参数

(1) KBD 型空调器压缩泵电动机 它分嵌线定子和无轴转子两部分, 适用于窗式空调器压缩机, 技术参数见表 5.6.86。

表 5.6.86 KBD 型空调器压缩泵电动机技术参数

型 号	功率 /W	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	起动转矩 不小于 /(N·m)	起动电流 /A	最大转矩 不小于 /(N·m)	相应空调器的 制冷量 /(kcal ^① /h)	电容器 /μF
KBD-1	750	220	50	2800	68	0.735	31	5.488	2000	12.5
KBD-2	1100	220		2800	70	0.98	36	6.076	3000	20
KBD-3	550	220		2800	68	0.637	28	4.214	1200	12.5
KBD-4	1500	220		2800	70	1.078	51	7.644	4000	25
KBD-5	280	220		2800	52	0.686	14	1.47	—	—
KBD-11	750	380		1400	83	9.80	12	13.72	2000	—
KBD-12	1100	380		1400	76.5	17.64	18	19.60	3000	—
KBD-15	2200	380		2800	83	22.05	38	22.05	6000	—

① 1cal = 4.18J。

(2) 制冷压缩泵用电动机

① AYR 型制冷机用耐氟单相电容运转异步电动机是为空调器配套的专用单相电容运转异步电动机, 具有较高的起动转矩和较大的过载能力, 并能保证在制冷剂 (R12、R22、R502) 和冷冻机油的混合液中长期运行, 技术参数见表 5.6.87。

② YYR 型制冷压缩机电动机为全封闭结构, 可在制冷剂 R22 与冷冻机油混合液中长期运行, 技术参数见

表 5.6.88。

表 5.6.87 AYR 型制冷压缩泵用电动机技术参数

型号	电压 /V	频率 /Hz	功率 /W	转速 /(r/min)	效率 /%	起动电流 /A	起动转矩 /(N·m)	最大转矩 /(N·m)	相应制冷 机制冷量 /(kcal ¹ /h)	电容 /μF
AYR-11-2	220	50	1100	2800	74	40	1.666	8.82	3000	35
AYR-11-2B	220	50	1100	2850	74	40	1.475	8.11	3000	35
AYR-750-2	220	50	750	2850	72	25	1.006	5.03	2000	25
AYR-550-2	220	50	550	2850	71	20	0.738	3.688	1200	20

① 1cal = 4.18J。

表 5.6.88 YZR 型制冷压缩机电动机技术参数

型号	输出功率 /W	效率 /%	起动转矩 /(N·m)	功率因数 (cosφ)	起动电流 /A	绝缘等级	运转电容器电路 C	配套压缩 机形式	公共端温 度保护器
YYR400-2	400	81.3	0.53	0.97	12	B	23μF/420V AC	旋转式	无
YYR600-2	563	82	0.67	0.97	18	B	23μF/420V AC	旋转式	无
YYR950-R	961	81.5	1.28	0.97	30	B	29μF/420V AC	旋转式	有

(3) KFD 型和 YFK 型电动机技术参数 (见表 5.6.89 和表 5.6.90)

表 5.6.89 KFD 型空调器风扇电动机技术参数

型号	输出 功率 /W	额定 电压 /V	频 率 /Hz	转 速/(r/min)			运 转 电 容 /μF	效 率 /%	起 动 转 矩 /(N·m)	振 动 /(mm/s)	噪 声 不大于 /dB	相应空调 器制冷量 /(kcal ¹ /h)
				高	中	低						
KFD-1	50	220	50	920	860	800	3	40	0.343	1.8	44	2000
KFD-2A KFD-2B KFD-2C	50	220	50	920	860	—	3	40	0.343	1.8	44	2000
KFD-3 KFD-3C	30	220	50	920	860	—	2.5	30	0.2058	1.8	44	2000
KFD-4 KFD-4A	100	220	50	920	860	—	4	48	0.5096	1.8	44	3000
KFD-5 KFD-5Y KFD-5B KFD-5C	120	220	50	920 920 1350 1350	860 860 1100 1100	—	6 6 5 5	49 49 52 52	0.6076 0.6076 0.4116 0.4116	1.8 1.8 1.8 —	44	4000 4000 4000 —
KFD-6 KFD-6A KFD-6B KFD-6C	35	220	50	1350	1100	960 — 960	2.5	40	0.1568	1.8	44	3000
KFD-16 KFD-14A KFD-14B	35 120 120	— — 380	— — 50	1350 900 1350	— — 920	— — —	— — —	48 38 48	1.127 2.205 1.568/ 1.666	— — 1.8	— — 44	— — 3000
KFD-14C KFD-14D	120 120	— —	— —	900 900	— —	— —	— —	38 38	2.156 2.156	— —	— —	— —

① 1cal = 4.18J。

表 5.6.90 YFK-20 型空调风扇电动机技术参数

型号	速 别	额定电压 /V	频 率 /Hz	电 流 /A	输入功率 /W	输出功率 /W	转 速 /(r/min)	起 动 转 矩 /(mN·m)	噪 声 /dB
YFK-20	高	220	50	0.35	60	20	1250	—	50
	中			—	—	14	—	—	
	低			—	—	8	—	34.3	—

4. 空调器用电机的故障原因及检修方法

(1) 压缩机电动机不运转的原因及检查方法

压缩机电动机不运转的原因及检查方法 (见表 5.6.91)

表 5.6.91 压缩机电动机不运转原因及检查方法

原 因	检查部位和检查方法
电压过低	运转开关接通后, 测定电源电压 (起动时电压不得低于 15%)
运转开关不良	检查运转开关的 0~4 点间应导通
温控不良	将温度器旋转到最大数值的标记号, 接点导通; 再逐渐朝最小标记号退回, 接点能断开时为正常
起动继电器不良	采用直流继电器时检查整流器
	整流器短路烧毁, 测定整流器输入和输出电压值
	继电器线圈断线
触点不良	测定线圈的直流电阻值
起动电容器不良	用起子压触点时能导通; 触点被烧蚀或弹簧失去弹力
运转电容器不良	检查是否短路、断路或容量减小
过负载继电器不良	检查是否短路、断路或容量减小
高压开关不良	测定 1~2、2~3 间端子是否导通
压缩机中电动机线圈短路或断路	测定端子间导通
	测定线间直流电阻和绝缘电阻值

(2) 风扇电动机不运转原因及检查方法

风扇电动机不运转的原因及检查方法 (见表 5.6.92)

表 5.6.92 风扇电动机不运转的原因及检查方法

原 因	检查部位和检查方法
转换开关故障	运转开关的机械结构不良或不能转动。用直流电阻表测量转换开关 0~1、0~2、0~3、0~4 的端子间导通
电扇电动机的线圈短路	测电扇电动机的引线间导通
电容器不良	选开关使电容器接入回路, 用手拨动风叶后电动机能旋转 (电容器接入后不运转时) 为电容器不良
风扇叶不平衡	用手拨动风扇叶轮, 检查动平衡
轴承内缺润滑油	拨动风叶后即将开关接通, 从声音上判断: 缺油时声音较大, 严重缺油时引起轴套磨损, 有异音
电动机线圈烧毁或短路	电流过大, 引线发热

三、吸尘器用电动机

吸尘器的驱动电动机是单相串励整流子电动机, 其转速极高, 一般在 12000~25000r/min 范围内。电动机连续使用时间不超过 2 小时。

1. 常用吸尘器电机的技术参数 (见表 5.6.93)

表 5.6.93 常用吸尘器电机的技术参数

型 号	电 压 /V	频 率 /Hz	电 流 /A	转 速 /(r/min)	功 率 /W	转 矩 /(mN·m)
S368	220	50	2.5	1200 ± 10%	250	199.04
S368W	110	50	3.2	1200 ± 10%	200	177.38
S368BW	220	50	2	1200 ± 10%	200	177.38
S368B	200~230	50		1200 ± 10%	320~420	
S528	55	50	1.7	2900~3800	25	79.38
S528B	220	50	8	1200	1100	882
370/120	220	50	功率因数 0.94	1200	370	起动转矩倍数 0.55
370/160	220	50	功率因数 0.95	1600	370	起动转矩倍数 0.65
520/160	220	50	功率因数 0.95	1600	520	起动转矩倍数 7
750/160	220	50	功率因数 0.96	1600	750	起动转矩倍数 7.5
1000/160	220	50	功率因数 0.95	1600	1000	起动转矩倍数 7.5

2. 吸尘器电动机常见故障及检修 (见表 5.6.94)

表 5.6.94 吸尘器电动机常见故障及检修

故障现象	故障原因及检修
电机通电不转	① 检查开关的接触是否良好 ② 检查电源插头接触是否良好, 有无松动和电源线断裂等 ③ 用万用表接于两刷间, 如电阻指示为 ∞ , 则表示电枢绕组断线, 或电刷与换向器接触不良、断路。如发现电枢绕组开路, 将电枢绕组取下进一步检查 ④ 将万用表检查磁场线圈, 如电阻为零表示绕组接地, 如电阻 ∞ , 则绕组开路 ⑤ 如表现电刷磨损过度, 与换向器不相接触时, 应更换同号电刷
电机转子转不动	用手转动电枢, 如不能转动, 则有以下情况发生: ① 转轴弯曲损坏, 定子与电枢相擦; ② 轴承损坏; ③ 风叶卡住; ④ 定子与电枢间有异物
电动机温升过高	过滤袋堵塞, 吸入风量不足, 以致电动机通风不足, 不易冷却
不吸尘 (电机能运转, 但吸尘力不足, 甚至不吸尘)	① 电动机转速过低, 应检查电枢或磁场绕组, 有部分短路时, 致使电源电压过低。用功率表测输入功率, 用转速表测转速, 如功率及转速均过低, 则表示电枢或磁场绕组有开路或短路, 应更换绕组 ② 气路堵塞。将过滤袋中灰尘及吸管吸嘴中异物清除 ③ 连接处密合不严, 上下桶体未盖好, 吸管有破裂或与桶体未接合好, 以致桶内真空度不高, 不能吸尘
轴承磨损或损坏	电枢与定子相摩擦, 由于轴承损坏所致。将轴承取出后用手将轴承外圈向轴向或径向挪动, 发现有松弛感觉, 说明轴承磨损, 应调换新轴承
电动机转动不灵活	风叶弯曲或损坏以致失去平衡, 应重新校正或调换风叶

四、电吹风用电动机

常用的电吹风电动机为交流感应式、交流串励式或直流永磁式三种。

1. 常用电吹风电动机的技术参数 (见表 5.6.95)

2. 电吹风电动机常见故障及维修 (见表 5.6.96)

表 5.6.95 常用电吹风电动机技术参数

电吹风	电压、频率	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz	220V, 50Hz
	规格/W	550	450	450	450	550
电流/A	2.3	1.9	2.1	2.1	2.3	
电动机	型式	638 型 2 极罩极式电动机	642 型 2 极罩极电动机	636 型交流串励电动机	604 型交流串励电动机	728 型直流串励电动机
	输入功率/W	24	25	29	28	6
	电流/A	0.26	0.16	0.15	0.15	0.3
	转速/(r/min)	2500	2500	3500	3500	5000
	轴承	5804 球形铜基 含油轴承	5804 球形铜基 含油轴承	5804 球形铜基 含油轴承	5804 球形铜基 含油轴承	5804 球形铜基 含油轴承
	轴伸/mm	$\phi 4 \times 20$	$\phi 4 \times 20$	$\phi 4 \times 14$	$\phi 4 \times 14$	$\phi 2.5 \times 10$
	气隙/mm	0.3	0.3	0.3	0.3	0.35
	绝缘等级	A	E	E	E	E

五、电冰箱压缩机用电动机

1. 冰箱压缩机组电动机的种类

用于拖动冰箱压缩机的电动机为单相异步电动机, 其结构是由定子、定子绕组以及铸铝转子组成, 并与压缩机部分部件组装在同一机壳内。常采用以下三种类型的单相异步电动机。

(1) 电阻起动型 因结构简单, 大部分电冰箱 (输出功率 150W 以下) 的压缩机均采用此型式。

(2) 电容起动型 由于起动绕组上串联大容量电容器 (45 ~ 100 μ F, 视不同功率配用不同大小电容), 使分相相位角差增大, 起动转矩提高, 因而起动性能好, 适用较大功率 (150W 以上) 的电动机。

(3) 电容起动、电容运转型 这类电动机定子上有两相运行绕组, 其中一相当起动时与大容量电容器串联呈电容起动型。当运转时起动继电器作用使大容量电容器断开, 只剩下小容量 (2 ~ 4 μ F) 电容器与之串联并参

表 5.6.96 电吹风电动机常见故障及维修

型式	故障情况	产生原因	维修方法
交流串励式	无冷热风	按钮开关弹簧片不灵或烧蚀	用镊子调整弹簧片弹压力的位置,并用少量酒精、汽油或丙酮等清洗触点,如弹簧片烧蚀过量,则需更换
	有冷风而无热风	热元件开关弹簧片组接触不良,或发热,线断路	用上述方法处理弹簧片组或更换发热丝,检查发热支架上的接触铜套是否接触不良
	发热元件正常,但无冷热风	电枢不转,炭刷接触不良,换向器沾满炭粉拉弧,电容短路	检查串励回路有无断路或短路,炭刷是否严重磨损。如炭刷太短应更换。用金相砂纸轻轻打磨换向器,使其保持光亮,或用酒精、汽油清洗抹净。更换电容器
	发热元件正常,但吹风量不足,电枢转速不正常	电枢绕组短路或部分断路 含油轴承磨损或失油	测量电枢各绕组电阻值是否相等,如果小则属于短路,如过大则为断路。需更换电枢 如铁芯和轴承有明显空隙,应更换同类型轴承,并注入适量优质机油
交流感应式	无冷热风	与串励式相同	维修方法与串励式基本相同
		电动机卡住	重新装配电动机,并调整紧固螺钉,确保电动机定子内孔与转子间的气隙均匀
		含油轴承磨损或失油	用手轻摇轴心和轴承,如有明显的响声和空隙,应更换同类型轴承,并注入适量优质机油
		罩板线圈接口松脱	用电烙铁把接口重新焊牢
		转子短路环与导条铆接不牢固	用冲头把铆钉加固
永磁式	无冷热风	开关弹簧片接触不良或烧蚀	与串励式电吹风方法相同
		过载弹簧片失灵	维修多次仍失灵者,可将其直接短路或拆除,或重新装配新弹簧片
	发热元件正常,但没有热风	整流元件断路	用欧姆表测量整流元件的正反向电阻是否正常(如果是全波整流元件,应将元件拆开分别测量)。若是元件损坏,可用2个二极管更换,但要选用体积较小的,并注意其极性,以防反接
		绕组转子损坏	用6V直流电源或用4节干电池接在电动机引线两端(注意极性不要接错),测试电动机是否工作。如电动机能转动,但转速不正常,可能是磁场失磁;如果电动机完全不转,证明线圈、转子有断路,应拆下重绕
		永磁磁钢失磁	更换磁钢或重新冲磁

与运行。此型式不仅能使起动性能变好,而且提高了电动机的效率,节省了电能,但成本增大,也带来电容器故障多,故一般的电冰箱上少用。

2. 冰箱压缩机用电动机的特点

电冰箱压缩机用电动机由嵌线定子和无轴转子两个部件组成。电动机定子铁芯经氧化处理,有良好的防锈、防腐和绝缘性能,电动机的电磁线、槽绝缘,引出线等绝缘均采用优质耐氟绝缘材料。

3. 常用制冷压缩机电动机技术参数

JIB系列全封闭制冷压缩机输出功率有75-180W多种规格,分别适用于家用电冰箱旋转式和往复式压缩机,可在制冷剂R12与冷冻机油混合液中长期运行。其技术参数见表5.6.97。

表 5.6.97 常用制冷压缩机电动机技术数据

型号	输出功率 /W	效率 /%	起动 转矩 /(N·m)	功率 因数 cosφ	起动 电流 /A	绝缘 等级	运转电容器电路 C	PCT 电路	配套压缩 机形式	公共端 温度保 护器
JIB 78-2	78	75	0.45	0.89	8.5	E	4μF/350V AC	有	往复式	有
JIB 90Z 222	93	61	0.45	0.62	11	E	无	有	往复式	有
JIB 100-2	100	67	0.21	0.88	5	B	3μF/380V/ AC	有	旋转式	有
JIB 100-2G	100	72	0.21	0.88	5	B	3μF/380V AC	有	旋转式	有
JIB 100-2A	100	67	0.5	0.65	10	E	无	有	往复式	有
JIB 120-2	120	70	0.24	0.88	5	E	4μF/350V AC	有	旋转式	有

六、电锤、冲击钻用电动机（电动工具用电动机）

1. S型单相交流串激整流子电动机

该型电动机是S系列直流伺服电动机的派生产品，具有S系列直流伺服电动机的结构、适用50Hz单相电源供电。广泛适用于强力电钻、研磨抛光、冲击锤钻、裁剪切断、挤榨粉碎等电动工具和家用电器作小功率驱动，也可在自动控制系统中作执行元件。

其技术参数见表5.6.98。

表 5.6.98 S型单相交流串激整流子电动机技术参数

型 号	电 压 50Hz /V	功 率 /W	电 流 /A	转 速 /(r/min)	允许正反 转速差 /(r/min)	转 矩 /(mN·m)	备 注	
S222	110	10	0.35	4000~5200	300	23.52		
S262	110	14	0.45	4000~5200	300	34.3		
S262A	110	14	0.45	4000~5200	300	34.3		
S262B	220	10	0.23	3000~4800	300	31.85		
S262BQ	220	—	3	—	—	490		开关合闸用
S322A	110	22	0.6	3600~4700	300	58.8	燃烧器用	
S322	110	22	0.6	3600~4700	300	58.8		
S322B	220	22	0.35	3600~4700	300	58.8		
S328	12	25	7	4500±700	—	53.12		
S372	55	25	1.7	2900~3800	—	79.38		
S368	220	250	2.5	12000±10%	—	199.04		
S368W	110	200	3.2	12000±10%	—	177.38		
S368BW	220	200	2	12000±10%	—	177.38		
S368B	200~230	320~420	—	12000±10%	—	—		时短工作1小时
S528	55	25	1.7	2900~3800	—	79.38		
S568B	220	1100	8	12000	—	882		

2. 双重绝缘单相交流串激电动机

该系列电动机系双重绝缘单相交流串激电动机，是为16~26mm电锤击钻主机配套的专用电机。为方便用户，亦可供电动机定子和电枢装配两大部件。电动机具有良好的双重绝缘结构，采用220V工频电源供电，安全可靠，是双重绝缘单相交流串激电锤击钻理想的驱动元件。

其技术参数见表5.6.99。

表 5.6.99 双重绝缘单相交流串激电动机技术参数

型 号	额定电压 /V	频率 /Hz	输出功率 /W	转 速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 cosφ	起动转矩 额定转矩
180/80	220	50	180	8000	0.50	0.90	4.0
180/120				12000	0.51	0.91	4.5
180/160				16000	0.53	0.93	5
250/80	220	50	250	8000	0.51	0.92	4.5
250/120				12000	0.53	0.93	5
250/160				16000	0.54	0.94	5.5
370/80	220	50	370	8000	0.53	0.93	6
370/120				12000	0.54	0.94	5.5
370/160				16000	0.55	0.95	6.5
520/120	220	50	520	12000	0.55	0.95	6.5
520/160				16000			7
750/120	220	50	750	12000	0.55	0.95	7
750/160				16000			0.56
1000/160	220	50	1000	16000	0.56	0.95	—
2200/200	220	50	2200	20000	0.56	0.97	—

七、排气风扇用电动机

1. VF 系列轴流式排气风扇

本排气风扇适用于仓库、商场、试验室、地下室等类似场所作排气通风之用，技术参数见表 5.6.100。

表 5.6.100 VF 系列轴流式排气风扇技术参数

型号	电压 /V	频率 /Hz	输入功率 /W	电流 /A	转速 /(r/min)	风量 /(m ³ /min)	噪音 /dB	扇叶直径 /mm
VF-10	220	50	40	0.28	1300	12.5	50	φ241
VF-10B	110/220		40	0.56/0.28	1300	12.5	50	
VF-10C	220		110	0.5	2800	—	—	
VF-10D	220		40	0.28	1300	12.5	50	
VF-12	220	50	80	0.45	1350	31	58	φ306
VF-12B			50	0.3	960	21	54	
VF-15	220	50	180	0.85	1350	60	62	φ381
VF-15B	380			0.3				
VF-18	220	50	380	1.9	1400	108	75	φ458
VF-18B	380			0.7				
VF-24	380	50	730	1.5	1400	150	90	φ600

2. FTA 型轴流式三相交流排气扇

该排气扇由三相异步电动机驱动轴流风叶转动达到排气通风目的，用作室内及设备通风冷却之用，技术参数见表 5.6.101。

表 5.6.101 FTA 型轴流式三相交流排气扇技术参数

型号	最大输入功率 /W	风量 /(m ³ /min)	电压 /V	电流 /A	频率 /Hz	风叶直径 /mm	重量 /kg
FTA-500	300	100	380	0.51	50	φ500	8.5

3. FA 型轴流式单相交流排气扇

该排气扇由单相电容运转异步电动机驱动轴流式风叶转动达到排气通风之目的，用作室内及设备通风冷却之用，技术参数见表 5.6.102。

表 5.6.102 FA 型轴流式单相交流排气扇技术参数

型号	最大输入功率 /W	风量 /(m ³ /min)	电压 /V	电流 /A	频率 /Hz	电容量 /μF	风叶直径 /mm	重量 /kg
FA-300	50	≥17	220	0.22	50	1	φ300	3.6
FA-400	150	≥48		0.60		4	φ400	6.6

4. SH-25 型换气扇

该换气扇是一种净化室内空气，消除污染的排气风扇，亦可作通风散热用。可用于厨房、居室、卫生间、办公室、餐厅、教室、浴室等处，技术参数见表 5.6.103。

表 5.6.103 SH-25 型换气扇技术参数

型号	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	扇叶直径 /mm	功率 /W
SH-25	220	50	1300	φ250	10

5. PF-40/1 型轴流式交流排气风扇

技术参数见表 5.6.104。

表 5.6.104 PF-40/1 型轴流式交流排气风扇技术数据

型号	额定电压 /V	频率 /Hz	输入功率 /W	转速 /(r/min)	风量 /(m ³ /min)	噪音 /dB	功率因数 cosφ	扇叶直径 /mm
PF-40/1	220	50	270	1350	65	75	0.85	φ400

6. GYSF 系列钢板壳三相异步风机专用电动机

GYSF 系列钢板壳三相异步风机专用电机为 T35 系列轴流式通风机专用配套电机，技术参数见表 5.6.105。

表 5.6.105 GYSF 系列钢板壳三相异步风机专用电动机技术参数

型号	功率 /W	极数	电流 /A	电压 /V	频率 /Hz	转速 /(r/min)	效率 /%	功率因数 cosφ	堵转转矩 额定转矩
GYSF 50	40	2	0.17	380	50	2800	55	0.65	2.2
GYSF 50	25	4	0.17			1400	42	0.53	
GYSF 50	60	2	0.23	2800	60	0.66			
GYSF 50	40	4	0.23	1400	50	0.54			
GYSF 56	90	2	0.32	380	50	2800	62	0.68	2.2
GYSF 56	60	4	0.28			1400	56	0.58	
GYSF 56	120	2	0.38			2800	67	0.71	
GYSF 56	90	4	0.39			1400	58	0.61	
GYSF 63	180	2	0.53			2800	69	0.75	
GYSF 63	120	4	0.48			1400	60	0.63	
GYSF 63	250	2	0.67			2800	72	0.78	
GYSF 63	180	4	0.65			1400	64	0.66	
GYSF 71	370	2	0.95			2800	73.5	0.8	
GYSF 71	250	4	0.83			1400	67	0.68	
GYSF 71	550	2	1.35			2800	75.5	0.82	
GYSF 71	370	4	1.12			1400	69.5	0.72	
GYSF 80	750	2	1.74			2800	76.5	0.85	
GYSF 80	550	4	1.55			1400	73.5	0.73	
GYSF 80	1100	2	2.53			2800	77	0.86	
GYSF 80	750	4	2.01			1400	75.5	0.75	

第六篇 变 压 器

第一章 变压器基础知识

第一节 变压器基本工作原理

变压器是利用电磁感应原理，通过磁场这个能量传递媒质，将一种电压和电流下的电能转换为同一频率下另一种电压和电流下电能的静止感应电器。它的结构是由两个（或两个以上）互相绝缘的线圈共同绕制在磁场可以闭合的铁芯磁路上。变压器不仅对电力系统中的经济传输、灵活分配和安全使用有重要的意义，而且对电器设备中的电能控制、测试、改善和调节也具有重要的作用。

变压器的工作原理如 6.1.1 图示。图中有两个线圈，分别是 AX 和 ax。如将 AX 线圈接到电网上，则 AX 线圈称为原边线圈（或称为初级线圈），ax 线圈称为副边线圈（或称为次级线圈）。当原边线圈中施加了电网电压 u_1 后，原边线圈中就有电流流过，这电流将在磁路铁芯中建立起一个磁场，其中绝大部分磁场 Φ 将与副边线圈耦合，在副边线圈中感应电势 e_2 ，从而使原边的电压 u_1 变为副边的电压 u_2 ，达到了改变电压的目的。

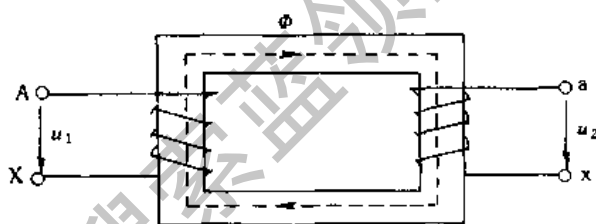


图 6.1.1 变压器工作原理图

如果变压器在电能传递过程中能量的损失忽略不计，则原边线圈中的电功率将全部传递到副边线圈中，因而原副边线圈中电压和电流都将不同，从而达到了改变电压和电流的目的。事实上，变压器在电能传递过程中总会有一定的能量损失，但其工作原理不变。

磁通和线圈中感应电势之间的关系为：

$$E_1 = \sqrt{2}\pi f w_1 \Phi = 4.44 f w_1 \Phi$$

$$E_2 = \sqrt{2}\pi f w_2 \Phi = 4.44 f w_2 \Phi$$

在上面两式中， w_1 和 w_2 分别为原边线圈和副边线圈的匝数， f 为电源工作频率。此时，原边感应电势和副边感应电势之比为 k ：

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 f w_1 \Phi}{4.44 f w_2 \Phi} = \frac{w_1}{w_2}$$

上式表明，变压器原边和副边感应电势之比为原、副边线圈的匝数之比。匝数多的一边，其电压也高。

第二节 变压器的种类和用途

变压器的种类很多，按其用途来分主要有电力变压器、电源变压器、控制变压器、互感器和各类特种变压器。它们的用途如表 6.1.1 所示。

表 6.1.1 变压器的用途

种 类	用 途
电力变压器	用于发电厂机组的升压，两个电网间的联络，变电站的降压，工厂配电
电源变压器	用于机电设备中的供电，在音频电路中变换电压、电流和阻抗以便使传输信号在电路中实现最佳耦合，将电路中的脉冲信号进行变换
控制变压器	用于局部照明电路、电器设备中的控制电路，以及信号灯与指示灯的电路中
互感器	用于测量电路中的电压和电流的线性变换
自耦变压器	用于电动机的起动等场合

种类	用途
电炉变压器	用于电炉的供电电源中，二次侧为低压大电流
中频变压器	用于将中频发生器（如晶闸管中频电源、中频发电机或电子管振荡器等）的电源电压变换成淬火感应线圈或其他装置所需的电压
矿用变压器	用于矿井电钻和照明的电源设备中，要求有较高的防爆性
整流变压器	用于整流设备中，将交流电压变换成一定大小和相数的电压后再进行整流
试验变压器	主要用于工频、冲击和直流耐压试验的电源中，利用其二次侧所感应的工频高电压
电抗器	主要用于电路中限流、稳流、无功补偿、滤波、移相等电路中

变压器还可以按其他方式进行分类。如按绕组的相数分类（单相、三相）；按冷却方式分类（油浸自冷、干式空气自冷、干式浇注自冷、油浸风冷、油浸水冷、强迫油循环风冷、强迫油循环水冷）；按绕组数分类（双绕组、三绕组、双分裂绕组）；按绕组导线材质分类（铜、铝）；按调压方式分类（无励磁调压、有载调压）等。

第三节 变压器的主要技术参数

变压器的技术参数是描述变压器性能的技术依据，一般在铭牌上都有标明。主要技术参数如下。

1. 额定容量 S_N

额定容量是指变压器在规定的使用条件下所能传递能量的指标，它的单位是 kVA。

变压器的额定容量与变压器绕组额定容量是有区别的。双绕组变压器的额定容量与绕组的额定容量是一致的，而多绕组变压器的额定容量是指最大绕组的额定容量，对于三相变压器是指三相容量的总和。

2. 额定电压 (kV)、额定电压组合和额定电压比

额定电压是指变压器在空载运行时额定分接头上的电压值。当变压器原边线圈在额定分接头上并且副边线圈空载时，原边电压为额定电压 U_{1N} ，副边电压也为额定电压 U_{2N} 。如不作特殊说明，额定电压都是指线电压。

对于电力变压器而言，由于它是连接在我国电力输电线路中的，因此变压器的额定电压必须与线路的电压等级一致。它一般为下列几种 (kV)：

$$0.38, 3, 6, 10, 15, 35, 63, 110, 220, 330, 500$$

额定电压组合是指在多绕组变压器中，当某一绕组施加额定电压时，变压器的其他绕组都同时产生额定电压，这种额定电压的组合是有一定规律的，必须按标准实行。

额定电压比是指变压器的高压绕组与低压绕组或中压绕组额定电压之比，它一定是大于 1 的数。

3. 相数和额定频率

变压器一般分单相和三相，有些特殊变压器超过三相。中小型电力变压器一般均制成三相，大型和特大型电力变压器一般制成三个容量一致的单相变压器后组装成三相变压器，以满足运输的要求。

按传统习惯，变压器按其容量大小来区分其所属类型：

小型变压器	$\leq 1600\text{kVA}$
中型变压器	$\leq 630 \sim 6300\text{kVA}$
大型变压器	$\leq 8000 \sim 63000\text{kVA}$
特大变压器	$> 63000\text{kVA}$

变压器的频率是指变压器在工作时电压或电流的变换频率。对于电力变压器，我国目前主要是 50Hz，但部分出口产品为 60Hz。对于特殊变压器和电源变压器，它们的工作频率有的达几十千赫。

4. 额定电流

变压器的额定电流是指以额定容量除以各绕组额定电压所得到的线电流值，单位为 A 或 kA。对于单相变压器，其计算式为：

$$\text{原方额定电流} \quad I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}$$

$$\text{副方额定电流} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

对于三相变压器：

原方额定电流

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}$$

副方额定电流

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$$

额定电流是规定在额定运行条件下绕组允许发热所通过的线电流值。

5. 绕组接法

变压器绕组的接法包括两个方面的问题：一个是连接组，一个是组别。因而，绕组连接方法可写为：

绕组接法 = 连接组 + 组别

变压器按高压、中压和低压绕组连接的顺序组合起来就是绕组的连接相。变压器的连接有三种方法，见表 6.1.2。

表 6.1.2 变压器的连接

变压器的连接方法	表示符号	变压器的连接方法	表示符号
高压绕组星形接法	Y	中低压绕组星形接法，并有中性点引出	yn
高压绕组星形接法，并有中性点引出	YN	高压绕组三角形接法	D
中低压绕组星形接法	y	中低压绕组三角形接法，并有中性点引出	d

变压器的绕组按规定连接成星形和三角形后，不同侧间对应绕组间的线电压之间存在着相位差。这种相位差用时钟法来表示，从而出现了组别之分。如：相位差为 0° ，则用 0 点表示；相位差为 30° ，则用 1 点表示；相位差为 60° ，则用 2 点表示；依次类推，每隔 30° 加一个钟点，表示一个类别。有关例子见图 6.1.2 至图 6.1.5 所示。

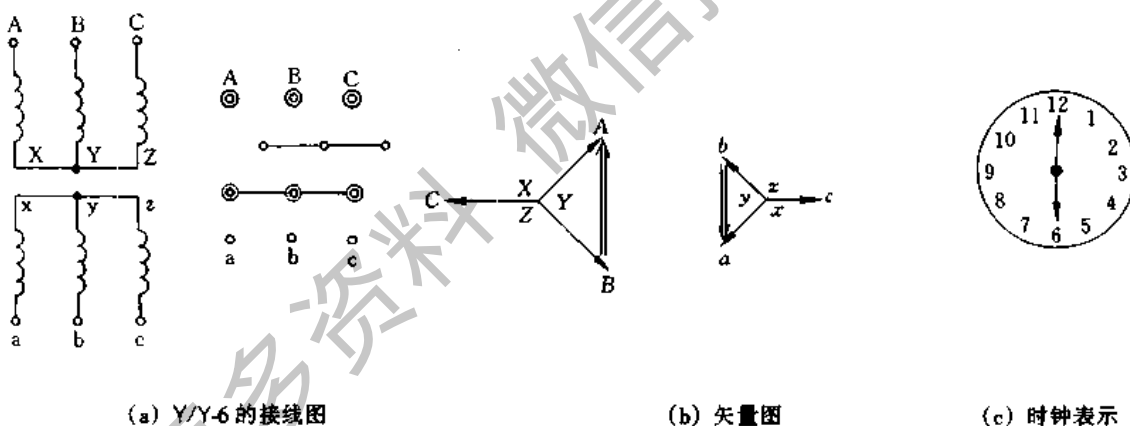


图 6.1.2 Y/Y-6 连接的变压器

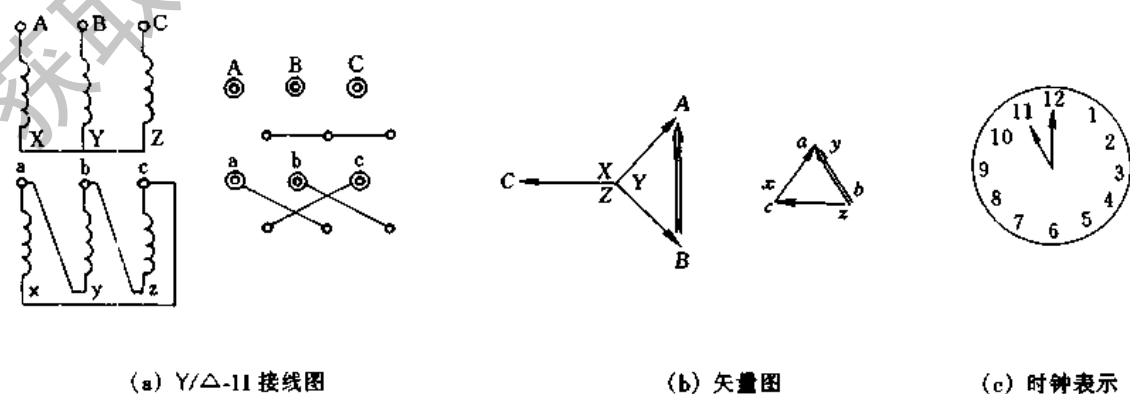


图 6.1.3 Y/Δ-11 连接的变压器

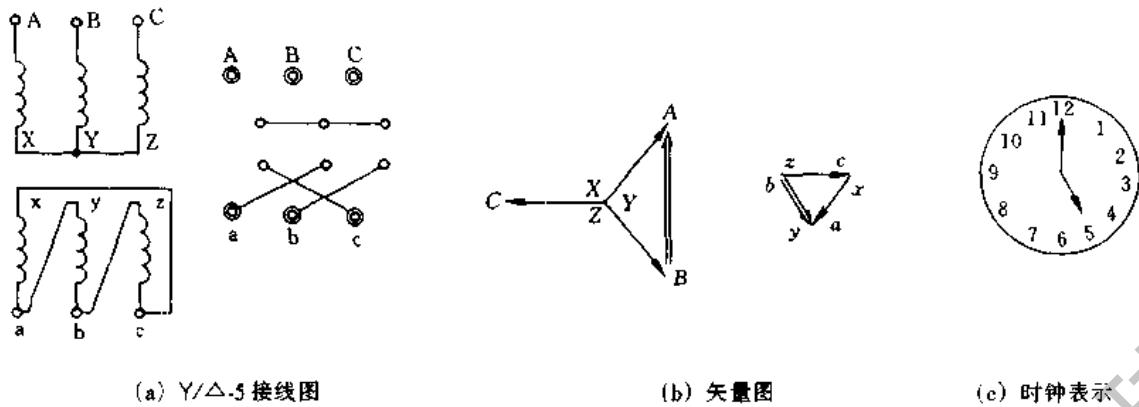


图 6.1.4 Y/Δ-5 连接的变压器

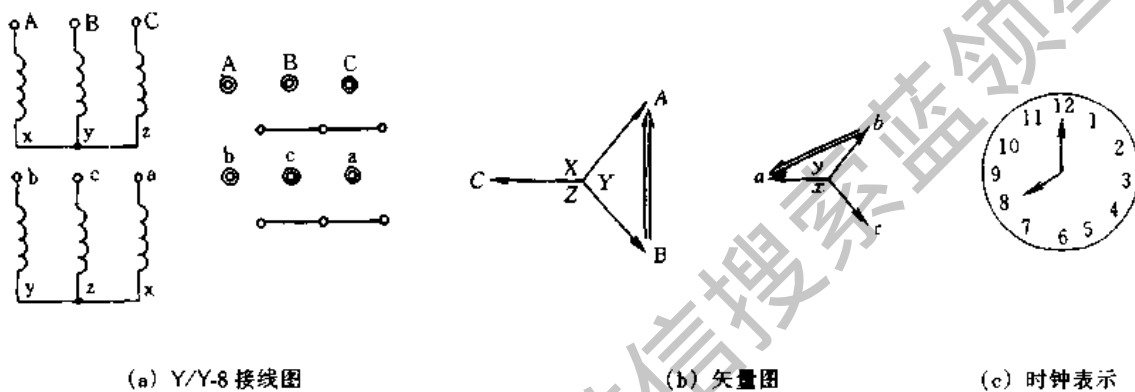


图 6.1.5 Y/Y-8 连接的变压器

y, yn0 表示高低压绕组均为星形接法，低压侧有中线引出，类别为 0 点。

y, d1 表示高压绕组是星形连接，低压侧为三角形连接，类别为 1 点。

6. 阻抗电压 u_k (%)

变压器的阻抗电压是指当该变压器的副边人为地短路，原边施加一个降低了的电压，调节这个电压直至原副边的电流都达到额定值时的电压。这个电压实际上是在变压器内部所引起的电压降数值，其主要是漏电抗压降。这个数值与额定电压相比后用百分数表示，即为该台双绕组变压器的阻抗电压百分数。

当负载的功率因数 $\cos\varphi$ 一定时，变压器的电压调整率 $\Delta u\%$ 基本上与阻抗电压 $u_k\%$ 成正比，变压器的短路无功损耗与 $u_k\%$ 的无功分量成正比。由此， $u_k\%$ 越小越好。但变压器短路的稳态电流增长倍数与 $u_k\%$ 成反比，从变压器的动稳定和热稳定角度来考虑，则 $u_k\%$ 越大越好。根据我国机电保护装置的动作时间和断路器开断动作时间，以及输配电线路上继电器保护装置的设计，国家标准 GB 6451.1~5—86 规定了不同容量变压器的阻抗电压值：一般中小型电力变压器的阻抗电压为 4%~10.5%，大型变压器为 12.5%~17.5%。

7. 空载电流 I_0

当变压器副边开路，原边施加额定频率、额定电压时，原边线圈中通过的电流称为空载电流。空载电流一般以额定电流的百分数表示，变压器容量越大其值越小。

空载电流包含两个分量：有功分量和无功分量。有功分量大小反映了变压器空载运行时原边线圈中电流在线圈和磁路铁芯中所产生损耗的大小，无功分量反映了变压器在空载时建立铁芯中磁场所需的励磁电流。从变压器安全和经济运行的角度考虑，变压器空载电流 I_0 越小越好。

8. 变压器的损耗、温升和效率

变压器是一种静止的电能变换装置，在能量转换过程中必须会产生铜耗和铁耗，从而使得原边的输入功率大于副边的输出功率。输出功率和输入功率之比称为效率。

变压器效率的数学描述为：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

式中, P_1 和 P_2 分别为输入和输出功率。变压器的输入功率可以写为:

$$P_1 = P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}$$

式中, P_{Cu} 和 P_{Fe} 为变压器的总铜耗和总铁耗。铜耗包括原边绕组和副边绕组的电阻损耗, 铁耗是在磁路中由交变磁场引起的磁滞和涡流损耗。由电机理论分析:

$$\text{原边铜耗为: } P_{Cu1} = I_1^2 r_1$$

$$\text{副边铜耗为: } P_{Cu2} = I_2^2 r_2$$

$$\text{磁路铁耗为: } P_{Fe} = I_m^2 r_m$$

上式中, I_1 、 I_2 、 I_m 分别为原边、副边绕组的电流值和原边绕组中激磁电流的值; r_1 、 r_2 、 r_m 分别为原边、副边绕组在 75° 时的电阻值以及等效的激磁电阻。由上面的分析, 变压器的总损耗可以写为:

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_{Fe} \\ &= I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + I_m^2 r_m \\ &= \beta^2 P_{kN} + P_0 \end{aligned}$$

上式中, $\beta = \frac{I_2}{I_{2N}}$ 称为负载系数; $P_{kN} = I_{2N}^2 r_k \approx I_{2N}^2 (r_1 + r_2)$ 是短路电流为额定电流时的短路损耗; $P_0 = I_m^2 (r_1 + r_m)$ 是空载电压为额定电压时的空载损耗。由于变压器的输出功率可以近似写为:

$$P_2 = U_{2N} I_2 \cos \theta_2 = \beta S_N \cos \theta_2$$

因而变压器的效率为:

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos \theta_2}{\beta S_N \cos \theta_2 + \beta^2 P_{kN} + P_0}$$

由上式可以看出, 变压器的效率与负载大小和性质有关。在保持功率因数不变的情况下, 变压器的最大效率发生在:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_{kN}}}$$

一般电力变压器的 $\frac{P_0}{P_{kN}}$ 在 0.25 ~ 0.35 之间, 因而最大效率一般在负载为 50% ~ 60% 之间。上述分析是对单相变压器而言的, 对于三相变压器, 应考虑三相的共同作用, 将计算表达式乘以 3 倍。

变压器温升是指变压器指定部位的温度与周围环境或冷却介质之间的温度差值, 它的高低与变压器的损耗有着直接的关系, 损耗越大, 温升越高。变压器的温升对其绝缘性能有很大的影响, 温度越高, 绝缘越易老化和发生高电压击穿, 因此应尽量避免变压器在超过运行条件规定的温升条件下运行。

非晶态合金变压器是一种新型的变压器节能产品, 它利用高导磁、低损耗的非晶态金属作为变压器铁芯, 可以大大提高变压器单位体积的容量, 降低变压器铁芯的损耗达 85%。

非晶态合金变压器与普通硅钢片变压器相比, 它的损耗如表 6.1.3 所示。

表 6.1.3 变压器损耗比较

变压器等级	铁芯损耗/W		损耗减少/%
	DQ147 硅钢片	非晶态合金	
50kVA, 三相	170	35	> 80
160kVA, 三相	400	75	
315kVA, 三相	670	115	

9. 变压器的电压调整率和调压方式

由于变压器内部漏阻抗的存在, 使得变压器在接到负载上后, 副边的电压难以保持额定电压 U_{2N} 。它的变化程度反映了变压器带负载的能力和供电电压的稳定性。

变压器带负载时, 副边电压的变化程度通常用电压调整率的概念来描述。电压调整率即为当原边线圈接到额定电压和额定频率的电网上时, 空载时副边电压 U_{2N} 与在给定负载功率因数下副边有额定电流时的副边电压 U_2 的算术差, 用副边额定电压的百分数表示, 即可写为:

$$\Delta u = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}}$$

电压调整率随负载性质的不同而变化，电压有可能变大，也可能变小。

- ① 电阻性负载时，功率因数等于1，电压的下降量不大。
- ② 电阻电感性负载时，电压下降量随功率因数的减小而变大。
- ③ 电阻电容性负载时，电压上升量随功率因数的减小而变大。

由于变压器的副边电压随负载而变化，因而为了保证供电质量，必须进行必要的电压调整。通常的方法是在变压器的原边线圈侧装有分接开关，用它来调节原边线圈的匝数达到改变副边电压的目的。变压器电压调节有两种方式：无载调压和有载调压。无载调压只能在断电的情况下进行，有载调压可以在负载情况下进行。

10. 变压器参数的标么值

在变压器的工程计算中，各种物理量如电压、电流、阻抗、功率等往往不用它们的实际值进行计算，而把这些物理量表示成与某一选定的同单位的基值之比的形式，此值称为标么值。在变压器中，各量的标么值为：

原边电压标么值	$U_1^* = \frac{U_1}{U_{1N}}$
副边电压标么值	$U_2^* = \frac{U_2}{U_{2N}}$
原边电流标么值	$I_1^* = \frac{I_1}{I_{1N}}$
副边电流标么值	$I_2^* = \frac{I_2}{I_{2N}}$
功率标么值	$S^* = \frac{S}{S_N}$
原边阻抗标么值	$Z_1^* = \frac{I_{1N} Z_1}{U_{1N}}$
副边阻抗标么值	$Z_2^* = \frac{I_{2N} Z_2}{U_{2N}}$

采用标么值后，变压器尽管容量变化很大，但标么值的变化范围不大，易于进行性能比较。此外，阻抗电压标么值就等于短路阻抗标么值，易于计算。必须指出：上述标么值计算中， S_N 、 U_{1N} 、 I_{2N} 分别指每相的额定容量、额定相电压和相电流。如果是三相变压器，应该根据变压器的连接方式，求出额定相电压和相电流后再进行标么值的计算。

第四节 变压器参数的测试方法

这里主要介绍变压器的漏抗和激磁电抗。它们的测定方法是通过空载试验和短路试验来获得。单相变压器空载试验接线如图 6.1.6 所示，短路试验如图 6.1.7 所示。

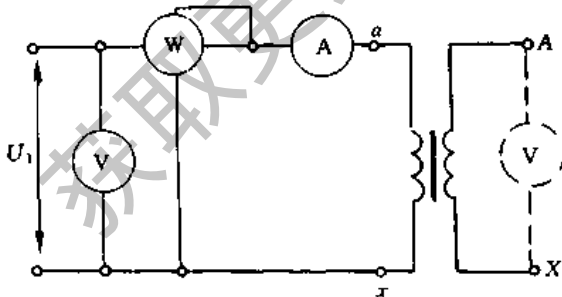


图 6.1.6 变压器空载试验接线图

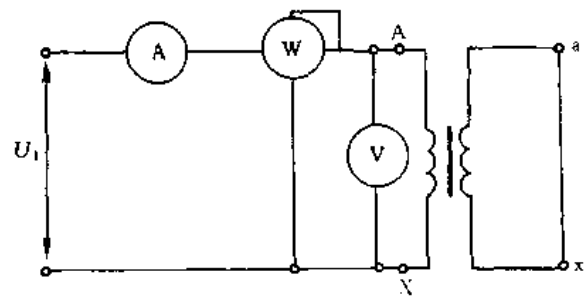


图 6.1.7 变压器短路试验接线图

在变压器空载试验中，将施加于变压器的电压 U_1 调到额定电压，根据空载试验所测得的电流 I_0 和功率损耗 P_0 ，可以近似地算出变压器的激磁电抗：

$$Z_m = \frac{U_1}{I_0}$$

$$r_m = \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}$$

在变压器短路试验中，调节变压器的施加电压 U_1 ，使短路电流在额定电流值附近，通过所测得的施加电压 U_1 和短路电流 I_k 、功率损耗 P_k ，即可以求得短路参数：

$$Z_k = \frac{U_1}{I_k}$$

$$r_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$$

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第二章 电力变压器

变压器按其用途可分为电力变压器和特种变压器。电力变压器又可分为油浸式和干式两种。油浸式变压器常作升压、降压、联络和配电之用；干式变压器由于其自身特点，主要用于有防火、防爆要求的负荷中心，如机场、码头、医院、城市高层建筑、商务中心等。

第一节 电力变压器的分类和型号

电力变压器按其特征有以下几种分类方法。

- ① 按铁芯形式分：心式，壳式。
- ② 按绕组耦合方式分：普通型，自耦型。
- ③ 按冷却方式分：油浸自冷，干式空气自冷，干式浇注绝缘，油浸风冷，油浸水冷。
- ④ 按相数分：单相，三相。
- ⑤ 按导线材料分：铜线，铝线。
- ⑥ 按绕组数量分：双绕组，三绕组。
- ⑦ 按用途分：升压，降压，配电，联络。
- ⑧ 按调压方式分：有载调压，无励磁调压。

电力变压器的分类方法比较多，但大都无法表示出变压器的全部特征。图 6.2.1 及表 6.2.1 是目前比较完整的表示方法。

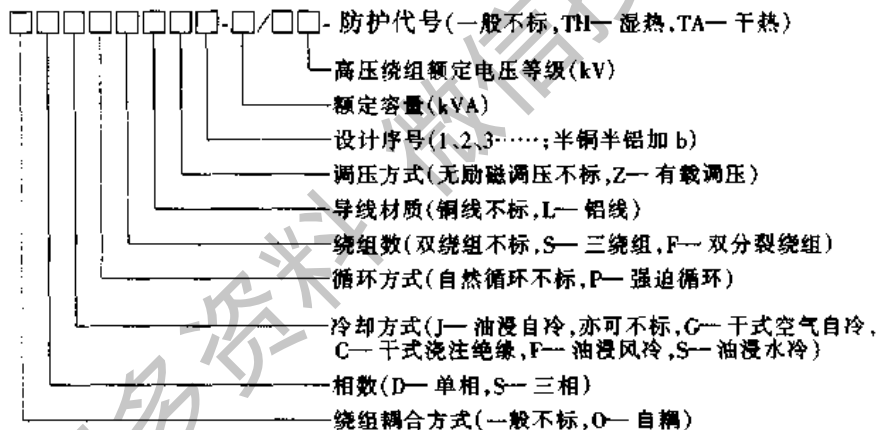


图 6.2.1 电力变压器产品型号的表示方法

表 6.2.1 电力变压器的分类及其代表符号

分类	类别	代表符号	分类	类别	代表符号
绕组耦合方式	自耦	O	冷却方式	强迫油循环风冷	FP
相数	单相	D		强迫油循环水冷	SP
	三相	S	绕组数	双绕组	—
冷却方式	油浸自冷	—(或 J)		三绕组	S
	干式空气自冷	G	绕组导线材质	铜	—
	干式浇注绝缘	C		铝	L
	油浸风冷	F	调压方式	无励磁调压	—
	油浸水冷	S		有载调压	Z

变压器的技术数据一般都标在铭牌上，按国家标准，铭牌上除了标有变压器的名称、型号、产品代号、标准代号、生产厂商、出厂序号、生产日期外，还应该带有如下技术数据：

- | | |
|----------------------|--------------|
| ① 额定电压、额定电压组合和额定电压比； | ⑧ 绝缘水平； |
| ② 额定容量； | ⑨ 短路电流； |
| ③ 额定电流； | ⑩ 阻抗电压和负载损耗； |
| ④ 相数和额定频率； | ⑪ 重量和尺寸； |
| ⑤ 绕组连接组标号； | ⑫ 温升和冷却方式； |
| ⑥ 分接范围； | ⑬ 效率； |
| ⑦ 空载电流、空载损耗及空载合闸电流； | ⑭ 性能参数的允许偏差。 |

例：OSFPS2-25000/110 表示自耦三相风冷强迫油循环三绕组铜线有载调压变压器，额定容量为 25000kVA，高压额定电压为 110kV。

第二节 电力变压器的结构

一、油浸式电力变压器的结构

油浸式电力变压器由铁芯、线圈、绝缘、油箱及附件五个部分组成。

1. 铁芯

铁芯是变压器的基本部件，由磁导体和夹紧装置组成，如图

6.2.2 所示。

(1) 铁芯材料

① 冷轧晶粒取向电工硅钢片。铁芯材料现大部分采用冷轧电工硅钢片，可有效降低空载损耗。

电工硅钢片的厚度一般在 0.23 ~ 0.35mm 之间。太厚涡流损耗大，太薄叠制困难，叠片系数小。

电工硅钢片一般以卷料方式出厂，卷料内径为 510mm，宽度有 750mm, 790mm, 840mm, 914mm 几种规格。

冷轧电工硅钢片具有双面耐热绝缘层，表面电阻 $> 70\Omega \cdot \text{cm}^2$ ，能耐受变压器油的浸蚀及经受高温退火。

② 激光照射冷轧取向电工钢片。这种材料是目前最好的冷轧取向电工钢片，其空载损耗可比常规的冷轧晶粒取向硅钢片低 20% 左右。

③ 非晶合金材料。

这种材料为铁硼系非金属合金材料，用于变压器产品时，损耗可降低 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 。在电工产品中有着广泛的应用前景。

(2) 铁芯的叠积 由于铁芯是由很薄的硅钢片构成的，因而具有一定的叠积形式。铁芯的叠积形式首先要保证不减弱电工硅钢片的磁性，其次要注意在机械结构上对形成整体铁芯有利。

常用的铁芯叠积图如图 6.2.3 和图 6.2.4。

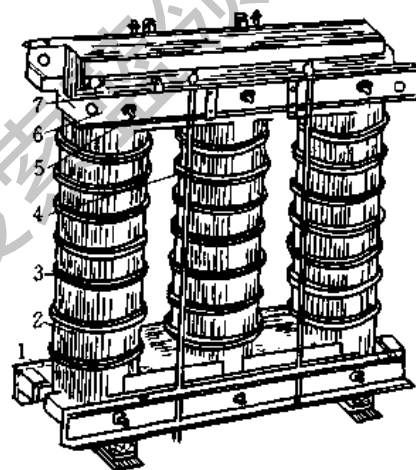
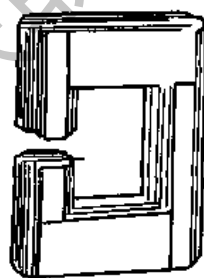


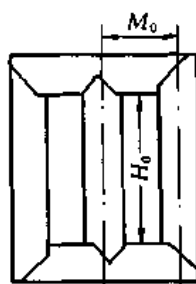
图 6.2.2 三相三柱心式变压器的铁芯
1—下夹件；2—铁芯柱；3—铁心柱绑扎；
4—拉螺杆；5—铁轭螺栓；6—上夹件；
7—接地片



(a) 柱式铁芯

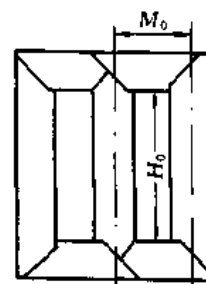
(b) 卷铁芯

图 6.2.3 单相变压器铁芯



(a)

(a) 不断轭全斜接缝



(b)

(b) 断轭全斜接缝

图 6.2.4 全斜连接缝结构

为了减少空载损耗和降低空载电流,现在设计制造的电力变压器大多采用全斜接缝不冲孔结构。

(3) 铁芯的夹紧 变压器的铁芯在完成叠积后,应通过各种夹紧装置,使其固定成为一个坚固的整体。

铁芯的夹紧装置通常由上下夹件、垫脚、拉板、铁轭拉带、旁螺杆等构成;或由上下夹件、垫脚、拉螺杆、穿心螺杆构成。

夹紧装置应形成框架式结构,只有夹紧装置承受夹紧力,并在起吊器身时承受其重量。夹紧结构应主要承受拉伸、弯曲应力,尽量避免承受剪切应力。夹紧力应尽量均匀,减少铁芯变形,降低励磁噪声。

2. 线圈

线圈是变压器的心脏部分,采用铜(铝)扁线绕制而成。现在的变压器产品均采用电解铜或无氧铜,其纯度超过98%。

(1) 圆筒式线圈 这种线圈结构简单,便于绕制,层间油隙散热效率高,但机械性能差,一般用于小容量变压器。

圆筒式线圈按其结构可分为单层、双层及多层式。

当线圈的电压高达35kV时,应在线圈的头部增设静电屏以改善端部电场的分布。

考虑到多层式圆筒线圈的散热,一般应在由内向外总层数的1/3处增加一个轴向油道。

(2) 连接式线圈 线圈由单根或多根纸包扁线并联绕成,其特点是机械强度高,散热性好,使用范围广。

(3) 螺旋式线圈 螺旋式线圈是由多根扁导线并联绕制而成,绕制的方式与多根并绕圆筒式相似。这种线圈具有机械性能好,散热面积大,工艺性能佳的特点,被普遍用于低电压大电流线圈。

螺旋式线圈又可分为单螺旋、双螺旋、回螺旋等几种。为了降低线圈中并联导线的环流,线圈需要进行换位。单螺旋式线圈在总匝数的1/2处进行标准换位,在总匝数的1/4和3/4再进行一次分组换位。

当并联导线根数是4根时,上述换位是完全的;当并联导线数等于8时,在总匝数的1/2处进行两分组换位,在1/4和3/4进行四组标准换位(即4242换位),这种换位也是完全的。

双螺旋或回螺旋线圈是在两个螺旋间均匀分布进行交叉换位,换位次数等于并联导体数或它的两倍。若不符合上述情况,各并联支路间将出现环流,引起环流损耗。

(4) 纠结式线圈 纠结式线圈有良好的抗冲击性能,被普遍采用于高电压、大容量的变压器中。线圈的纠结方式分为普通纠结和插花纠结等。

该型线圈有较好的纵向电容,可以有效地改善沿线圈的起始电压梯度分布。

(5) 内屏蔽式线圈 内屏蔽式线圈又称插入电容式线圈。由于纠结式线圈绕制复杂,当导线并联数大于3根时,可采用内屏蔽式线圈。这种线圈是在连续式线圈的进线端部分线段或在整个线圈的线匝绕制的同时插入一独立的屏蔽线匝。其端头包好,绝缘断开并使其悬空。

(6) 内藏式防雷变压器线圈 将高、低压无间隙氧化锌避雷器加装在配电变压器内,从根本上解决了Y,yno接线变压器防雷击损坏问题,从而降低了变压器雷击损坏率,减少运行维修工作量。如图6.2.5所示。

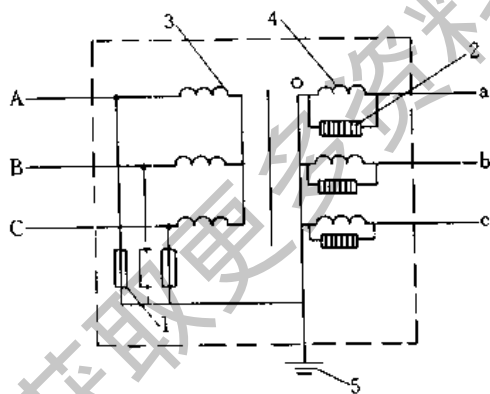


图 6.2.5 内藏式防雷变压器原理图

1—高压侧氧化锌避雷器; 2—低压侧氧化锌避雷器; 3—高压线圈; 4—低压线圈; 5—接地端

(2) 绝缘材料 变压器的绝缘材料主要有各种绝缘纸、绝缘纸筒、纸板、电工层压木、高档木材、绝缘油及绝缘瓷套等。

4. 变压器油箱及外部附属物

油箱及其附属物构成了变压器的外部结构。油箱由钢质材料制成,其附属设备主要有套管、分接开关、储油柜(油枕)、油位计、吸湿器、压力释放阀、气体继电器、温度计、冷却装置、净油器、蝶阀、油样活门、闸

3. 绝缘

变压器是一种高压电气产品,绝缘性能的好坏直接影响到变压器产品的质量。变压器的线圈、引线、铁芯、分接开关等部件,无一不涉及绝缘问题。

(1) 绝缘的分类

变压器的试验电压就是它的绝缘水平。

变压器的绝缘分类如图6.2.6所示。

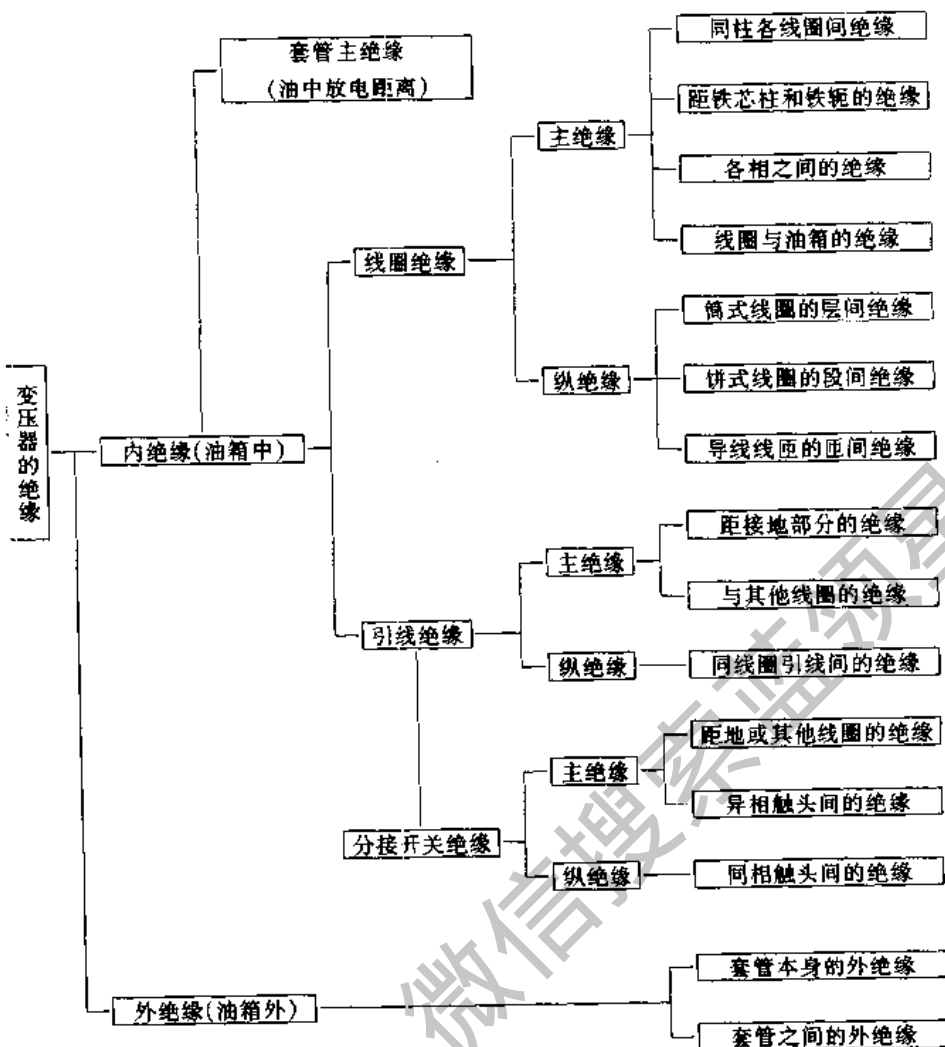


图 6.2.6 油浸式变压器的绝缘分类

阀、小车等。

二、干式电力变压器的结构

干式电力变压器是指铁芯和线圈不浸在任何绝缘液体中，直接敞开于空气中，以空气为冷却介质的变压器。主要用于防火要求较高的场合，如机场、码头、商业区的负荷中心、高层建筑、发电厂等。

与油浸式电力变压器相比，干式变压器的最大特点是没有油箱及油箱上繁杂的外部装置，不用冷却液（油）。

干式变压器由铁芯和线圈及风冷、温控和保护外壳构成。

干式变压器外形如图 6.2.7。

1. 干式变压器的绝缘类型

(1) 空气绝缘 与油浸式变压器相比，空气绝缘干式变压器绝缘强度和散热性较差。其绝缘材料一般采用 E 级或 B 级绝缘。

(2) 环氧树脂浇注式 采用 F 级绝缘环氧树脂将高压线圈、低压线圈分别浇注成一个整体。具有机械性能高、电气性能好、散热性能好的特点。

(3) 环氧树脂绕包式 绕组用 F 级绝缘环氧树脂及玻璃纤维，对变压器线圈分别绕包后固化制成。

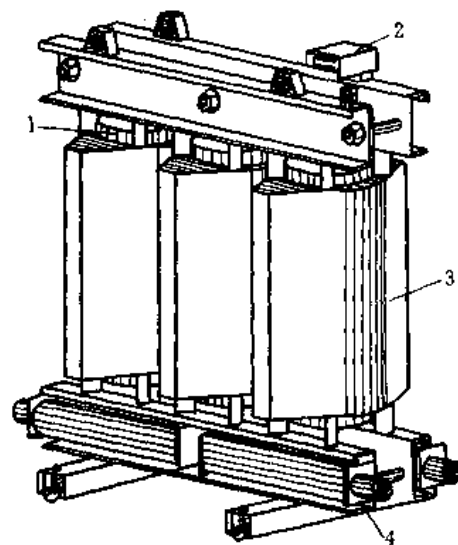


图 6.2.7 干式变压器外形图
1—铁芯；2—温控器；3—线圈；4—冷却风机

2. 干式变压器的温升限值 (表 6.2.2)

表 6.2.2 干式变压器的温升限值

变压器的部位		温升限值/°C	测量方法
绕组	A级绝缘	60	电阻法
	E级绝缘	75	
	B级绝缘	80	
	F级绝缘	100	
	H级绝缘	125	
	C级绝缘	150	
铁芯和结构零件表面		不得超过接触绝缘材料的最大允许温升	热偶计法

3. 干式变压器的结构

(1) 线圈 干式变压器的线圈大部分采用层式或多层式。其导线上的绕包绝缘根据变压器产品绝缘等级不同而分别采用普通电缆纸、玻璃纤维、绝缘漆、NOMEX 纸 (H 级绝缘)。

环氧浇注/绕包干式变压器则在此基础上,以玻璃纤维带加固后,浇注/绕包环氧树脂,并固化成型。

已有不少厂家开始采用箔式线圈,该线圈由铜/铝箔与 F 级绝缘材料卷绕而成,之后加热固化成型。箔式线圈具有机械性能高、匝间电容大、抗突发短路能力强、散热性能好的特点。在中小型变压器中,正得到愈来愈广泛的应用。

(2) 铁芯 干式变压器的铁芯与油浸式变压器的铁芯相同。

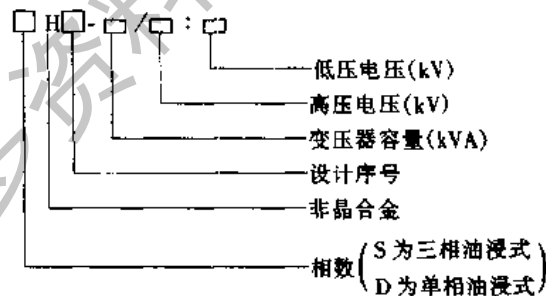
(3) 金属防护外壳 干式变压器在使用的时候一般配有相应的保护外壳,可防止人和物的意外碰撞,给变压器提供安全屏障。根据防护等级要求,分为 IP20、IP23 外壳。IP23 外壳由于防护等级要求高、密封性强、对变压器的散热有一定影响。

(4) 温控系统 干式变压器的温控系统可分别对三相线圈的温度进行监控,并具有开启风机、关闭风机、超温报警、过载跳闸等自动功能。

(5) 风冷系统 当线圈温度达到一定数值 (该数值可由用户自行设定) 时,风机在温控系统控制下自动开启,冷却线圈、器身,使变压器可在较高的环境温度下运行,并能承受一定的过负荷。

三、非晶合金电力变压器的结构

1. 型号含义



非晶合金变压器是新型的节能配电变压器。非晶合金是一种先进的磁性物质。使用非晶合金作配电变压器的铁芯与目前广泛使用的硅钢片铁芯相比,可以降低 75% 左右的空载损耗,对电力变压器配电系统的节能降耗具有重大意义。

2. 结构特征

铁芯采用非晶合金带卷制而成,非晶合金带厚为 $20 \sim 30\mu\text{m}$,填充系数为 0.8 左右,电阻率是硅钢片的 3~6 倍,非晶合金材料的涡流损耗很小,单位损耗仅为硅钢片的 20%~30%,非晶合金的硬度为硅钢片的 5 倍。非晶合金变压器有采用三相五柱壳式结构的,也有采用三柱三框卷绕心式结构的,多数采用三相五柱壳式结构,该结构采用四个相同截面的卷铁芯,并将单个卷铁芯设计成顶端可打开,装入线圈后再关闭,从而提高生产效率和减少接缝损耗。由于铁芯为三相五柱壳式结构,使零序磁通有流通通道,使杂散损耗降低。另外非晶合金铁芯不能受力,否则将使损耗增加,故在设计及装配时,应夹紧线圈,铁芯挂在线圈上。高低压线圈采用矩形形式,层间绝缘采用双面点胶纸。高低压线圈同绕,绕制结束后夹紧定形,加热烘焙,保持矩形线圈

尺寸。

3. 结构设计

以三相五柱壳式非晶合金变压器为例。

(1) 非晶合金铁芯芯柱面积选择

$$S = \left(\frac{K \sqrt[4]{P/3}}{2} \right)^2 \pi$$

式中 S ——芯柱面积, mm^2 ;
 P ——变压器的额定容量, kVA ;
 K ——取 61~66。

边柱面积、上下铁轭面积都各为 $S/2$ 。

(2) 铁芯磁密计算

铁芯计算磁密的选取应不高于 1.3T。叠片系数为 0.82。铁芯的其余设计与三相五柱式硅钢片铁芯设计相同。

(3) 线圈计算

由于采用矩形铁芯, 线圈也为矩形, 故线圈的电抗计算不能用现在的圆形绕组的公式, 要作变换, 如图 6.2.8 所示。

(4) 漏磁等效面积 (D) 计算

$$\sum D = \frac{a_1}{3}(R_F + R_1) + a_{12}(R_F + R_{12}) + \frac{a_2}{3}(R_F + R_2)$$

式中 $R_F = \frac{A+B}{\pi}$

(5) 电抗电压降 (U_x) 计算

$$U_x(\%) = \frac{4.96fIW \sum D \rho K_s}{e_1 H_k \times 10^6}$$

式中 f ——频率;
 IW ——每相安匝数;
 e_1 ——每相电势, V/匝 ;
 H_k ——高低压线圈平均电抗高, cm ;
 ρ ——洛氏系数, $\rho \approx 1 - \frac{\lambda}{\pi H_k}$;
 λ ——漏磁宽度, cm 。

其他如温升、损耗、阻抗等计算同常规电力变压器。

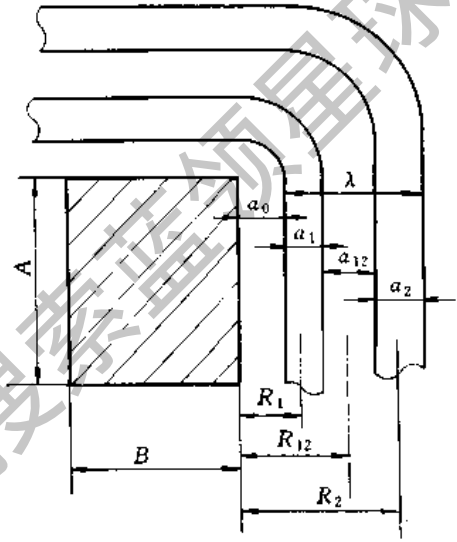


图 6.2.8 线圈电抗计算示意图

a_1 、 a_2 —低、高压线圈幅向尺寸, cm ;
 a_0 、 a_{12} —油道尺寸, cm ;
 R_1 、 R_2 —铁芯到线圈的平均长度, cm ;
 R_{12} —铁芯到油道的平均长度, cm ;
 A 、 B —铁芯的长、宽, cm

第三节 电力变压器的运行

变压器由于是一种大型工业用电气产品, 在其使用年限内, 几乎始终处于不间断的工作状态。

一、变压器的过载运行

变压器产品的设计使用寿命是 20 年, 其实际使用寿命取决于绝缘的老化程度。而绝缘的老化又主要取决于运行温度 (即热老化)。

油浸式变压器在额定负载下, 绕组平均温升为 65°C , 最热点温升为 78°C 。当平均环境温度为 20°C 时, 变压器内部的最热点温度为 98°C , 在上述情况下运行, 变压器可以达到预期寿命。

在变压器的使用期内, 若平均环境温度低于 20°C , 则其寿命相应延长; 若平均温度高于 20°C , 则寿命相应缩短。A 级绝缘变压器当运行平均温度每增加 6°C , 寿命减少一半 (6 度法则)。

变压器过载运行的时间由绕组的最热点温度决定。

如果组件情况允许, 中小型变压器可以承受偶发性的、不超过 1.5 倍额定电流的过载。

在任意负载下变压器的过热点计算公式为:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_w \left(\frac{1+d\beta^2}{1+d} \right)^2 + (\theta_\alpha - \Delta\theta_w) \beta^{2\gamma}$$

式中 β ——负载系数；

d ——一般假设为 5；

θ_{cr} ——额定最热点温升，取 78℃；

$\Delta\theta_{br}$ ——额定油顶层温升， $\Delta\theta_{br}$ 假设为 55℃（自然循环）和 40℃（强迫循环）；

x ——假设为 0.9（自然循环），1.0（强迫循环）；

y ——假设为 0.8（自然循环），0.9（强迫循环）。

当最热点温度 $\theta_{max} = \Delta\theta_c + 20^\circ\text{C}$ 时，每天允许的运行时间如表 6.2.3。

表 6.2.3 允许运行时间

$\theta_{max}/^\circ\text{C}$	98	104	110	116	122	128	131.5
T_1/h	24	12	6	3	1.5	0.75	0.5

当切除全部冷却系统时，在不同的环境温度下，允许带额定负载运行时间 T_2 如表 6.2.4 所示。

表 6.2.4 允许带额定负载运行时间

风冷式	环境温度/ $^\circ\text{C}$	-15	-10	0	10	20	30	40
	T_2/h	60	40	16	10	5	3	1/6
强油循环风冷式和水冷式		容量为 125MVA 及以下， $t_2 = 20\text{min}$ 容量为 125MVA 以上， $t_2 = 10\text{min}$						

事故过负载的允许运行时间 T_3 如表 6.2.5。

表 6.2.5 事故过负载允许运行时间

油浸式	过负载/ $\%$	30	45	60	75	100
	T_3/min	120	80	45	20	10
干式	过负载/ $\%$	20	30	40	50	60
	T_3/min	60	45	32	18	5

二、变压器的并联运行

几台变压器的一、二次绕组端子各自分别并联在一起的运行方式称为并联运行。

变压器的并联运行必须满足下列条件。

(1) 联结组别相同 当联结组别不相同，各变压器二次侧电压的相位就不同，由此将在并联的变压器上产生循环电流。

(2) 额定电压比相同 当并联运行的各变压器额定电压比不同时，二次侧电压将会由电位差引起循环电流。

如果额定电压比相同，电压比在正常的误差 ($\pm 1\%$) 内，由此引起的循环电流比较小，对正常运行无大影响。

(3) 额定阻抗电压相同 由于并联运行的变压器各自所承受的负荷与阻抗电压成反比，因此，相同的阻抗电压可以使并联运行的各变压器负荷率均衡。

三、变压器的试运行

变压器的试运行分两步进行，即空载试运行和负载试运行。

1. 空载试运行

在合闸前应首先检查变压器各部位的接线是否正常，是否有完善的保护措施。

有条件的，在试运行前应进行工频耐压试验，试验电压按有关规定，为出厂试验的 85%。

运行最好从零开始升压，也可以进行全电流冲击合闸。在操作时，分接开关应使用在正常的分接位置上。大型变压器冲击合闸时，应注意如下事项。

① 合闸前启动冷却器，排净变压器体内气泡；合闸后将其关闭，检查变压器各部位声音是否正常。

② 电源侧的三相开关不同步时间不应超过 10ms；非合闸部分应进行避雷保护；中性点可靠接地；过电流保护时限调整为零；气体继电器的信号回路应临时转到分闸回路上。

③ 在 5 次冲击合闸过程中，第一次合闸后，持续的时间应大于 10min；每次冲击合闸的时间间隔应大于 15min；同时应注意，在此操作过程中，变压器的励磁涌流不应引起保护装置的动作。

操作过程结束后，将各部分的接线复原，最后将所有放气塞打开排气。

如果变压器带有冷却装置，要检测空载情况下的温升。在不起动冷却器的情况下，变压器空载运行 12~24h，记录下周围的环境温度和变压器顶层油温，若油温上升到 75℃，可启动部分冷却器，直到油温稳定。

2. 带负荷试运行

变压器在空载试运行 48h 后若无异常，即可转入带负荷运行。负荷应按额定负荷的 25%、50%、75%、100% 逐级递增。与此同时，相应地将冷却器逐步投入运行。在带负荷运行满 24h（额定负荷 2h）后，若变压器各部分均正常，则试运行结束。

第四节 电力变压器的试验标准

目前，我国最新的变压器标准是 GB 1094—85，技术参数摘要如下。

1. 额定性能数据允许偏差（表 6.2.6）

表 6.2.6 额定性能数据允许偏差

项目	允许偏差	适用范围	项目	允许偏差	适用范围
空载损耗	+15%	所有变压器	电压比	±10%	两者取较小值 (额定分接)
负载损耗	+15%	所有变压器		±0.5% 阻抗电压	
总损耗	+10%	所有变压器	绕组电阻 不平衡率	线 2%	1600kVA 及以下
空载电流	+30%	所有变压器		相 4%	
阻抗电压	±10%	所有变压器		相(无中点引出时为线)2%	其他所有变压器

2. 外施耐压试验（表 6.2.7）

表 6.2.7 外施耐压试验标准

额定电压	开关形式		试验电压/kV			
	相数	绕组连接部位	定触头间	动触头对定触头间	相间	对地间
10kV	三相	中性点调压	5	5	5	35
35kV	三相	中性点调压	30	30	85	85
		中部调压	30	30	85	85
60kV	三相	中部调压	55	55	—	—
		中性点调压	30	30	50	140
110kV ^①	单相	中部调压	55	55	—	—
110kV	单相	中部调压	85	85	—	—
220kV	单相	中部调压	125	125	—	—

① 用于纠结式绕组的 DWJ 新型无励磁分接开关。

3. 变压器绝缘特性标准（表 6.2.8）

如果测量温度在 10~40℃ 之间，可按表 6.2.9 的因数换算到 20℃ 的 $\tan\delta$ 数值进行比较。

表 6.2.8 绝缘特性试验标准

工作电压	油电气强度/kV	吸收比 R_{60}/R_{15}	$\tan\delta$ (20℃)
35kV 及以下	> 30	> 1.3	< 2%
60kV 及以上	> 40	≥ 1.5	< 1.5%

表 6.2.9 $\text{tg}\delta$ 的温度换算因数

测量温度/°C	10	15	20	25	30	35	40
因数	0.75	0.85	1	1.15	1.3	1.5	1.7

4. 绝缘套管和绝缘子 1min 外施耐压试验标准 (表 6.2.10)

表 6.2.10 绝缘套管和绝缘子外施耐压试验标准

额定电压/kV	3	6	10	15	35	60	110	154	220	330
试验电压/kV	25	32	42	57	100	165	265	340	490	570

5. 油浸式变压器各部位的温升 (表 6.2.11)

表 6.2.11 油浸变压器的温升限值

变 压 器 部 位		温升限值/°C	测量方法
绕 组	自然油循环 强迫油循环	65	电阻法
	油导向强迫油循环	70	
铁芯表面 与变压器油接触 (非导电部分) 的结构件表面		75 80	热偶计
油 顶 层		55	温度计法

6. 干式变压器各部分温升 (表 6.2.2)

7. 热带型变压器温升标准 (表 6.2.12)

表 6.2.12 热带型油浸变压器温升标准

变压器部位	油 (顶层)		绕 组		铁芯表面	
	湿热带	干热带	湿热带	干热带	湿热带	干热带
允许温升/°C	50	45	60	55	75	70

8. 正常绝缘电力变压器 1min 外施耐压试验标准 (表 6.2.13)

表 6.2.13 正常绝缘电力变压器外施耐压试验标准

额定电压/kV	0.5	3	6	10	15	35	60	110	110	154	154	220	330
试验电压/kV	5	18	25	35	45	85	140	200	230	275	320	400	510

9. 降低绝缘的电力变压器外施耐压试验标准 (表 6.2.14)

表 6.2.14 降低绝缘的电力变压器外施耐压试验标准

额定电压/kV	0.5	3	6	10	15
试验电压/kV	3	10	16	24	37

10. 正常绝缘变压器冲击试验电压标准 (表 6.2.15)

表 6.2.15 正常绝缘变压器冲击试验电压标准

额定电压 (kV, 有效值)	变压器内绝缘冲击试验电压 (kV, 最大值)				
	线端绝缘冲击试验 (变压器不励磁)		中性点端绝缘冲击试验		
	全波	截波	中性点全绝缘		中性点降低绝缘 全波和截波
全波			截波		
3	43.5	50	42	50	—
6	60	70	57	70	—
10	80	90	75	90	—
15	108	120	100	120	—
35	200	225	180, 140 ^①	225	—
60	330	390	300, 235 ^①	390	—
110	480	550	—	—	180
154	660	760	—	—	285
220	945	1090	—	—	400

① 表示三相入波的试验电压。

注: 对中性点端绝缘进行冲击试验时, 如中性点引出, 就直接对中性点加压 (直接入波); 如中性点没引出, 则在三个线端上同时施加全波电压 (三相入波)。不论直接入波还是三相入波, 试验电压是一样的, 只有 35kV 和 60kV 两个电压等级的变压器例外。

第五节 变压器的维护与故障检修

一、维护

变压器在长期运行过程中, 由于其内部结构的老化, 需要定期进行检查。

一般在确认变压器无大的问题时, 通常只进行现场巡查。常规巡查的主要项目如下。

- ① 变压器的各部位声音是否正常。
- ② 变压器的油温是否正常。
- ③ 变压器的外观是否清洁, 有无漏油现象。
- ④ 油的温度变化是否在正常的范围之内。
- ⑤ 变压器的套管有无裂缝, 是否清洁, 有无放电现象。
- ⑥ 压力释放阀是否正常。
- ⑦ 冷却系统接线是否正常。工作时, 各部位声音是否正常。
- ⑧ 吸湿器中硅胶应不吸湿饱和, 其油位液面显示应正常。
- ⑨ 开关动作有无异常。
- ⑩ 气体继电器中是否注满油。
- ⑪ 引线连接不松、不紧, 接触电阻正常, 表面示温蜡无熔化现象。
- ⑫ 变压器的负载是否在工作允许范围之内。

当变压器的负载有较大变化或天气恶劣时, 还应进行如下巡查。

- ① 雷雨天气时, 套管是否有放电闪络现象, 避雷器有无动作。
- ② 下雪天时, 应检查引线的接头部位, 及时清理积雪。
- ③ 大雨、大雾天时, 套管有无放电闪络现象, 应重点观察瓷质部分。
- ④ 出现过负载时, 应监测温度、油位的变化, 观察冷却器工作是否正常。
- ⑤ 短路后, 应检查各有关部位是否正常。

二、变压器的常见故障及处理方法

1. 线圈故障

线圈故障是变压器最常见的内部故障, 主要现象如下。

(1) 匝间短路 测量线圈的直流电阻, 比较所测数值是否与标准值一致。若不一致, 则进一步进行吊芯检查。将铁芯吊出后, 进行空载试验, 试验电压不能太高, 如果线圈内部已短路, 短路处会出现冒烟现象。对此, 可设法进行修理或更换。

(2) 线圈断路故障 测量线圈直流电阻, 与标准值比较, 初步判断是短路还是断路。之后吊芯检查, 寻找

断点，消除故障。

(3) 相间短路 一般是由于相间绝缘老化所致。应吊芯检查引线之间、相间隔板之间有无异物，绝缘油理化性能如何，相间是否有放电痕迹。

(4) 线圈接地 该故障主要是由于绝缘老化、开裂、绝缘油受损，器身中有异物，以及过电压、过电流引起器身变形所致。检查时，可先测量线圈的对地电阻，之后吊芯检查。

2. 铁芯故障

铁芯故障常见的有夹件松动、接地片松动、铁芯多点接地、硅钢片间绝缘损坏、铁芯螺栓绝缘破坏等。铁芯上的故障必须吊芯检查，之后通过目测及测量各部位的相互电阻予以确认，进行检修。

三、变压器的不吊芯检修项目

变压器的小修项目，大部分集中在变压器的外部和附件上，工作难度并不大，检修时不用吊芯。不吊芯检修项目如下。

- ① 变压器箱体是否清洁，焊接处有无渗漏油。
- ② 绝缘瓷套表面有无裂缝，有无放电痕迹。
- ③ 检查冷却装置是否正常，清洁表面污秽。
- ④ 检查导电铜排的连接是否恰当，螺钉是否松动。
- ⑤ 压力释放阀状态是否正常，或防爆管是否完好。
- ⑥ 变压器的外壳接地点连接是否可靠。
- ⑦ 测量高压对地、高压对低压及低压对地之间的绝缘电阻是否正常。
- ⑧ 储油柜的油位液面指示是否正常。
- ⑨ 吸湿器中的硅胶是否已吸湿饱和。
- ⑩ 检查变压器各部位温度是否正常。
- ⑪ 校对油位指示器。
- ⑫ 变压器外表面的螺丝、螺钉是否需要加油防锈。
- ⑬ 气体继电器是否有渗漏油现象。各接头之间的绝缘是否良好。
- ⑭ 消防设备是否完好。

四、吊芯检修项目

变压器在长年工作中，每隔一段时间需要进行一次比较彻底的检修，该类检修也称为吊芯大修。

此外，当变压器运行中出现可疑问题，以及新产品安装前均应进行吊芯检查。

变压器的吊芯，是将变压器按安装程序反方向解体，对解体的各部位进行检查、测量及试验，寻找其中的疑点，并清洁器身，待排除故障后，再重新安装。

吊芯检查的项目及顺序如下。

- ① 排尽器身内的变压器油。
- ② 卸去变压器的套管、冷却等外部设备。
- ③ 吊出器身，检查线圈及铁芯有无异常。
- ④ 检查开关的分接头切换装置。
- ⑤ 检修油箱、油枕、气体继电器、压力释放阀、套管、互感器等设备。
- ⑥ 检修冷却系统。
- ⑦ 内部除污，清洁异物。
- ⑧ 清洁外表面。
- ⑨ 重新安装。
- ⑩ 注油或滤油。

五、气相色谱分析

变压器长期工作中，其油、纸组合绝缘会分解和裂化，产生如 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 CO 、 CO_2 、 O_2 和 N_2 等气体，溶解在变压器油中。因此，通过对溶解在油中的气体进行色谱分析，可以检测出变压器内部是否有异常情况发生。

气相色谱分析的具体步骤如下。

(1) 取油样 变压器下部有专门的油样活门，一般性的监测，可定期由此获取油样；当发生故障时，应在规定的时间内，待油中的气体充分扩散后采集油样。

(2) 从油中分离出气体 从油中脱出溶解气体的方法很多，大部分都是在真空条件下进行，常用的方法有饱和食盐水法、橡胶薄膜法、振荡脱气法和载气洗脱法等。

(3) 气体分析 目前，国内广泛应用的色谱仪有国产 102G-D 型、SP-2307 型分析仪、美国的 3700 型等。采用上述仪器均可准确测量出油中气体的含量。

(4) 对油中的含气量进行判断，发现故障 表 6.2.16 为油中溶气分析的判断标准。

表 6.2.16 油中溶气分析的判断标准 (一)

检测到的气体	变压器的运行状态
N_2 和 5% 左右的 O_2	变压器运行正常
N_2 和超过 5% 的 O_2	应检查变压器的密封性
N_2 、 CO 、 CO_2	变压器过载或运行时产生的热量使某些纤维素损坏，应检查运行条件
N_2 和 H_2	电晕放电，水发生电解
N_2 、 H_2 、 CO 、 CO_2	包括纤维素在内的电晕放电或变压器的严重过载
N_2 、 H_2 、 CH_4 ，并有少量的 C_2H_6 和 C_2H_4	打火花或其他产生油损坏的小故障
N_2 、 H_2 、 CH_4 ，并有 CO 、 CO_2 和少量其他碳氢化合物，通常没有 C_2H_2	在有纤维素存在情况下打火花或其他小的故障
N_2 、大量的 H_2 和包括 C_2H_2 在内的碳氢化合物	高能电弧引起油的迅速变质
N_2 、大量的 H_2 和 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_2	油的高温电弧仅局限在一个有限的区域。往往可能是连接不良或匝间短路
N_2 、大量的 H_2 和 C_2H_6 、 CH_4 、 C_2H_2 、 CO 、 CO_2	油的高温电弧，仅局限在一个有限的区域，但已损坏了纤维素

通过对油中的 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 等在故障时特有的气体含量的分析，可以得出表 6.2.17 的结论。

表 6.2.17 油中溶气的判断标准 (二)

气体	正常值	非正常值	判断	气体	正常值	非正常值	判断
H_2	< 150ppm	> 1000ppm	电弧 电晕	CO	< 500ppm	> 1000ppm	严重过热
CH_4	< 25ppm	> 80ppm	打火	CO_2	< 10000ppm	> 15000ppm	严重过热
C_2H_6	< 10ppm	> 35ppm	局部过热	O_2	0.03%	> 0.5%	有可燃物
C_2H_4	< 20ppm	> 100ppm	严重过热	可燃气体总量	0 ~ 500ppm	1000ppm	分解显著
C_2H_2	< 15ppm	> 70ppm	电弧				

注：1ppm = 10^{-6} 。

通过对油中所含气体量的比值进行分析比较，也可以发现变压器内部的一些情况。罗格斯 (Rogers) 法则即是通过 CH_4/H_2 、 C_2H_6/CH_4 、 C_2H_4/C_2H_6 和 C_2H_2/C_2H_4 四个比值来进行判断的，见表 6.2.18。

表 6.2.18 罗格斯法判断标准

$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	初步判断	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	初步判断
> 0.1	< 1.0	< 1.0	< 0.5	正常	≥ 1.0	< 1.0	< 1.0	< 0.5	轻微过热——最高达 150℃
< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 0.5	局部放电——电晕	< 3.0	< 1.0	< 1.0	< 0.5	
≤ 0.1	< 1.0	< 1.0	< 0.5	局部放电——带放电痕迹的电晕	≥ 3.0	≥ 1.0	< 1.0	< 0.5	过热 150 ~ 200℃
≤ 0.1	< 1.0	< 1.0	≥ 0.5 或 ≥ 3.0		< 3.0	< 3.0	< 1.0	< 0.5	
> 0.1	< 1.0	≥ 3.0	≥ 3.0	连续放电	> 0.1	≥ 1.0	< 1.0	< 0.5	过热 200 ~ 300℃
< 1.0	< 1.0	≥ 3.0	≥ 3.0	电弧——能量一直保持下去	< 1.0	< 1.0	≥ 1.0	< 0.5	整个导线过热
> 0.1	< 1.0	≥ 1.0 或 ≥ 3.0	≥ 0.5 或 ≥ 3.0		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 0.5	
> 0.1	< 1.0	< 1.0	≥ 0.5	电弧——能量不一一直保持下去	≥ 1.0	< 1.0	≥ 1.0	< 0.5	铁芯和油箱中有环流
< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 3.0		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 0.5	
> 0.1	< 1.0	< 1.0	≥ 0.5	电弧——能量不一一直保持下去	≥ 1.0	< 1.0	≥ 3.0	< 0.5	铁芯和油箱中有环流；接头过热
< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 3.0		< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 0.5	

第六节 电力变压器常用产品的技术数据

一、常用三相油浸电力变压器的技术数据 (表 6.2.19 和表 6.2.20)

表 6.2.19 10kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据

额定容量 范围和 调压方式	额定 容量 /kVA	电 压 组 合			联结组 标号	空载损耗 /kW	负载损耗 /kW	空载电流 /%	阻抗 电压 /%	备 注		
		高压 /kV	高压分 接范围	低压 /kV								
30 ~ 1600 kVA 无励 磁调压配 电变压器	30				Y, yn0	0.15	0.8	2.8		表中斜线上方数值为 Y, yn0 联结组变压器用, 下方数值为 Y, zn11 联结组变压器用 高压分接范围可供 $\pm 2 \times 2.5\%$		
	50					0.19/0.19	1.15/1.25	2.6/2.8				
	63					0.22/0.225	1.40/1.50	2.5/2.7				
	80					0.27/0.275	1.65/1.80	2.4/2.6				
	100					0.32/0.325	2.00/2.15	2.3/2.5				
	125				Y, yn0 或	0.37/0.38	2.45/2.50	2.2/2.4	4			
	160	6;	$\pm 5\%$	0.4		0.46/0.47	2.85/3.10	2.1/2.3				
	200	6.3;				0.54/0.55	3.40/3.60	2.1/2.3				
	250	10;				0.64/0.66	4.00/4.30	2.0/2.2				
	315	10.5;				Y, zn11	0.76/0.78	4.80/5.20	2.0/2.2			
	400	11					0.92/0.94	5.80/6.20	1.9/2.0			
	500						1.08/1.10	6.90/7.40	1.9/2.0			
	630							1.30	8.10		1.8	
	800						Y, yn0	1.54	9.90		1.5	4.5
1000							1.80	11.60	1.2			
1250							2.20	13.80	1.2			
1600							2.65	16.50	1.1			
630 ~ 6300 kVA 无励 磁调压变 压器	630	6;			$\pm 5\%$	3.15; 6.3	Y, d11	1.30	8.1	1.8	4.5	高压分接范围可供 $\pm 2 \times 2.5\%$
	800	6.3;						1.54	9.9	1.5	5.5	
	1000	10;						1.80	11.6	1.2		
	1250	10.5;	2.20	13.8				1.2				
	1600	11	2.65	16.5				1.1				
	2000		3.10	19.8				1.0				
	2500		3.65	23.0				1.0				
	3150		4.40	27.0				0.9				
	4000	10;	5.30	32.0				0.8				
	5000	10.5;	6.40	36.7				0.8				
6300	11	7.50	41.0	0.7								
200 ~ 1600 kVA 有载 调压变 压器	200		$\pm 4 \times 2.5\%$	0.4	Y, yn0	0.54	3.4	2.1	4	高压绕组可供 10.5 和 11kV		
	250					0.64	4.0	2.0				
	315					0.76	4.8	2.0				
	400					0.92	5.8	1.9				
	500					1.08	6.9	1.9				
	630	6;				1.40	8.5	1.8	4.5			
	800	6.3;				1.66	10.4	1.8				
	1000	10				1.93	12.18	1.7				
	1250					2.35	14.49	1.6				
1600		3.00	17.3	1.5								

表 6.2.20 35kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据

额定容量 范围和 调压方式	额定 容量 /kVA	电压组合			联结组 标号	空载损耗 /kW	负载损耗 /kW	空载电流 /%	阻抗 电压 /%	备 注			
		高压 /kV	高压分 接范围	低压 /kV									
50 ~ 1600 kVA 无励 磁调压配 电变压器	50	35	± 5%	0.4	Y, yn0	0.265	1.35	2.8	6.5				
	100					0.37	2.25	2.6					
	125					0.42	2.65	2.5					
	160					0.47	3.15	2.4					
	200					0.55	3.70	2.2					
	250					0.64	4.40	2.0					
	315					0.76	5.30	2.0					
	400					0.92	6.40	1.9					
	500					1.08	7.70	1.9					
	630					1.30	9.20	1.8					
	800					1.54	11.00	1.5					
	1000					1.80	13.50	1.4					
	1250					2.20	16.30	1.2					
1600	2.65	19.50	1.1										
800 ~ 31500 kVA 无励 磁调压变 压器	800	35	± 5%	3.15; 6.3; 10.5	Y, d11	1.54	11.0	1.5	6.5	高压分接 范围可供 ± 2 × 2.5%, +1 × 2.5%, -3 +3 × 2.5% -1 在 - 7.5% 分接时额定 容量应降低 2.5%			
	1000					1.80	13.5	1.4					
	1250					2.20	16.3	1.3					
	1600					2.65	19.5	1.2					
	2000					3.40	19.8	1.1					
	2500	4.00	23.0	1.1									
	3150	35 或 38.5	± 2 × 2.5%	3.15; 3.3; 6.3; 6.6; 10.5; 11	YN, d11	4.75	27.0	1.0	7				
	4000					5.65	32.0	1.0	7				
	5000					6.75	36.7	0.9	7				
	6300					8.20	41.0	0.9	7.5				
	8000					11.5	45.0	0.8	7.5				
	10000					13.6	53.0	0.8	7.5				
	12500					16.0	63.0	0.7	8				
	16000					19.0	77.0	0.7	8				
	20000					22.5	93.0	0.7	8				
25000	26.6					110.0	0.6	8					
31500	31.6	132.0	0.6	8									
2000 ~ 12500 kVA 有载调 压变压器	2000	35	± 3 × 2.5%	6.3; 10.5	Y, d11	3.6	20.80	1.4	6.5	应保证在 - 7.5% 分接 额定容量时 变压器的温 升			
	2500					4.25	24.15	1.4					
	3150	35 或 38.5							5.05		28.90	1.3	7
	4000								6.05		34.10	1.3	7
	5000			7.25	40.00				1.2		7		
	6300			8.80	43.00				1.2		7.5		
	8000			12.30	47.50				1.1		7.5		
	10000			14.50	56.20				1.1		7.5		
12500	17.10	66.50	1.0	8									

续表

型号	额定容量 /kVA	额定电压		损耗/W		阻抗 电压 /%	空载 电流 /%	联结组	质量/kg		
		高压 /kV	低压 /V	空载	负载				器身	油箱及 附件	总重
DG ₁ -5/0.38	5		2.7-10.8	60	200	3.5	8				70
-10/0.38	10		4-16	80	305		8				85
-20/0.38	20		6-24	145	535		5				135
-30/0.38	30		7-28	180	720						175
-40/0.38	40		8-32	220	915		4				200
-50/0.38	50		9-36	250	1030						220
-63/0.38	63		10-40	300	1290						270
-80/0.38	80		11-44	355	1600		3				310
-100/0.38	100		12-48	430	1830						435
-125/0.38	125		14-56	540	2240						545
-160/0.38	160		16-64	670	2430		3				710
-200/0.38	200		20-80	810	2750						770
-250/0.38	250		21-84	940	3280						960
-315/0.38	315		24-96	1080	4030						1115
SG-5/0.4	5	0.66/0.4	23-117	75	200		4				15
-10/0.4	10	0.38/0.4	36-40	170	300	3.5	15	D, y11			80
-12/0.38	12	0.38	24-33	133	374	4		Y, y0			170
-15/0.4	15	0.38/0.4	40-230	190	470	6.5	10	Y, yn0			150
-20/0.65	20	0.65	375	250		6.5					210
-25/0.38	25	0.38	220	250	600	3.2	10	D, y11			180
-30/0.38	30	0.38	72-380	240	750	3.7	10	D, y11; Dd12			180
-30/0.38	30	0.38	485	240	640	3.61		D, y11			180
-50/0.38	50	0.38	91-108	450	1110	3.4	10	Y, y0; Y, y110			300
-60/0.38	60	0.38	150	550	1110	3	9	Y, y0			370
-75/0.4	75	0.4	200	600	1600	10	9	D, yn11			420

四、三相环氧树脂浇注干式变压器技术数据 (表 6.2.23)

表 6.2.23 三相环氧树脂浇注干式变压器技术数据

型号	空载损耗 /W	负载损耗 /W(120℃)	空载电流 /%	阻抗电压 /%	重量 /kg	噪声 /dB
SC-30/10	215	750	2	4	450	46
SC-50/10	310	1050	2	4	500	46
SC-80/10	420	1460	1.8	4	650	47
SC-100/10	450	1670	1.8	4	850	47
SC-125/10	530	1950	1.8	4	1050	49
SC-160/10	610	2250	1.8	4	1150	49
SC-200/10	700	2670	1.8	4	1200	49
SC-250/10	810	2920	1.5	4	1300	50
SC-315/10	990	3670	1.5	4	1750	50
SC-400/10	1100	4220	1.5	4	2100	52
SC-500/10	1305	5160	1.5	4	2300	52
SC-630/10	1510	6220	1.5	4	2680	53
SC-630/10	1460	6310	1	6	2780	53
SC-800/10	1710	7360	1	6	2900	54
SC-1000/10	1990	8600	1	6	3300	55
SC-1250/10	2350	10260	1	6	3750	56
SC-1600/10	2750	12420	1	6	4500	56
SC-2000/10	3735	15300	1	6	5300	57
SC-2500/10	4500	18180	1	6	6000	58

五、三相非晶合金电力变压器技术数据 (表 6.2.24 和表 6.2.25)

表 6.2.24 三相油浸式非晶合金变压器技术参数

产品型号	容量 /kVA	额定电压/kV		联结相 标号	损耗/W		空载电流 /%	阻抗电压 /%
		高压	低压		空载	负载		
SH ₁₁ -100/10	100	10	0.4	D, yn11	72	1500	0.55	4
SH ₁₁ -125/10	125	10	0.4	D, yn11	88	1750	0.45	4
SH ₁₁ -160/10	160	10	0.4	D, yn11	105	2100	0.45	4
SH ₁₁ -200/10	200	10	0.4	D, yn11	125	2500	0.45	4
SH ₁₁ -250/10	250	10	0.4	D, yn11	148	2950	0.4	4
SH ₁₁ -315/10	315	10	0.4	D, yn11	175	3500	0.4	4
SH ₁₁ -400/10	400	10	0.4	D, yn11	210	4200	0.4	4
SH ₁₁ -500/10	500	10	0.4	D, yn11	250	5000	0.4	4

表 6.2.25 三相非晶合金变压器技术参数

额定容量 /kVA	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流 /%	阻抗电压 /%
	高压 /kV	高压分接 范围/%	低压/kV					
30	6; 6.3; 6.6; 10; 10.5 11	±5; ±2×2.5	0.4	O, yn11	33	600	1.2	4
50					43	870	1.0	
63					50	1040	0.9	
80					60	1250	0.8	
100					75	1500	0.7	
125					85	1800	0.6	
160					100	2200	0.5	
200					120	2600	4.5	
250					140	3050		
315					170	3650		
400					200	4300	4.5	
500					240	5100		
630	320	6200						
800	380	7500	4.5					
1000	450	10300						
1250	530	12000						
1600	630	14500						
2000	750	17400						
2500	900	20200						

六、内藏式防雷电力变压器技术数据(表 6.2.26)

表 6.2.26 内藏式防雷电力变压器技术数据

额定容量 /kVA	电 压 组 合			联结组标号	空载损耗 /kW	负载损耗 /kW	空载电流 /%	阻抗电压 /%
	高压 /kV	高压分 接范围	低压 /kV					
100	6; 6.3; 10; 10.5; 11	±5%	0.4	Y,yn0	0.32/0.325	2.00/2.15	2.3/2.5	4
125				Y,yn0	0.37/0.38	2.45/2.50	2.2/2.4	
160				Y,zn11	0.46/0.47	2.85/3.10	2.1/2.3	
200				Y,zn11	0.54/0.55	3.40/3.6	2.1/2.3	
250				Y,zn11	0.64/0.66	4.00/4.3	2.0/2.2	
315				Y,zn11	0.76/0.78	4.80/5.20	2.0/2.2	
400				Y,zn11	0.92/0.94	5.80/6.20	1.9/2.0	
500				Y,zn11	1.08/1.10	6.90/7.40	1.9/2.0	

注:表中斜线上方的数值为 Y,yn0 联结的自保防雷式配电变压器的性能参数,斜线下方的数值为 Y,zn11 联结组变压器的性能参数。

七、三相全密封变压器技术数据(表 6.2.27)

表 6.2.27 三相全密封变压器技术数据

产品型号	容量 /kVA	额定电压/kV		联结组 标号	损耗/W		空载电流 /%	阻抗电压 /%
		高压	低压		空载	负载		
SM ₃ -50/10	50	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	170	870	2.2	4
SM ₃ -63/10	63	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	200	1040	2.2	4
SM ₃ -80/10	80	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	250	1250	2.0	4
SM ₃ -100/10	100	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	290	1500	2.0	4
SM ₃ -125/10	125	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	350	1750	1.8	4
SM ₃ -160/10	160	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	420	2100	1.7	4
SM ₃ -200/10	200	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	500	2500	1.7	4
SM ₃ -250/10	250	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	590	2950	1.5	4
SM ₃ -315/10	315	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	700	3500	1.5	4
SM ₃ -400/10	400	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	840	4200	1.4	4
SM ₃ -500/10	500	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	1000	5000	1.4	4
SM ₃ -630/10	630	6;6.3;10	0.4	Y,yn0	1230	6000	1.2	4.5

第三章 小功率电源变压器

第一节 概 述

小功率电源变压器，按工作频率不同可分为工频（50~60Hz）电源变压器、中频（400Hz 或 1000Hz）电源变压器和 高频（10~20kHz）电源变压器。

工频电源变压器的设计方法与控制用变压器相同。

中频电源变压器的设计方法与工频电源变压器基本相同，只是由于工作频率上升，某些结构参数须作相应调整。举例如下：

① 为减小涡流损耗，要采用 0.2mm 厚的冷轧硅钢片，而不能再使用 0.35mm 或 0.5mm 的硅钢片。

② 铁芯的磁通密度取值要低于工频时的值。工作频率提高，硅钢片的铁耗增大。在磁化曲线上，对应于同一磁场强度 H ，磁通密度 B_m 要低些。例如，使用 D310 型硅钢片，当 $H = 5A/cm$ 时，50Hz 的电源变压器，可取 $B_m = 1.5T$ ，而 400Hz 的变压器，只能取 $B_m = 1.2T$ 。

③ 变压器工作在正弦波形时，其设计方法与工频电源变压器基本相同，只要选用薄型硅钢片， B_m 值取低一些即可。变压器工作在方波（或矩形波）电压时，则按脉冲功率变压器设计。

高频电源变压器，多用于开关稳压电源的变换器中，它与工频和中频电源变压器相比有如下特点。

① 不能使用普通的硅钢片。一般采用铁氧体磁芯，它的电阻率高，涡流损耗小，这是它的优点。但其磁通密度低，且易受温度影响，这在设计时要加以考虑。

② 考虑绕组导线的集肤效应。当绕组中通过高频电流时，导线中心部分的电流密度减小，从而减小了导线的有效面积，引起发热，这时应适当加大导线截面。较好的办法是使用多股高频铜导线或薄铜箔绕制。在选择磁芯窗口时应考虑这些因素。

③ 要考虑变压器的温升。高频电源变压器的工作温度不能超过 70℃，否则铁氧体的电磁性能将急剧下降。

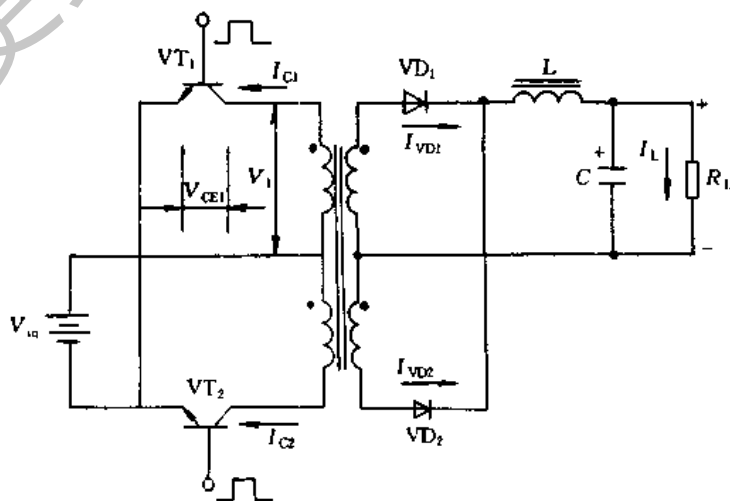
④ 要考虑变压器的初级电感量。因为高频电源变压器的绕组匝数较少，激磁电流可能较大。为了减小激磁电流，要求初级电感量足够大。

高频电源变压器按其工作方式来分，可分为两类。

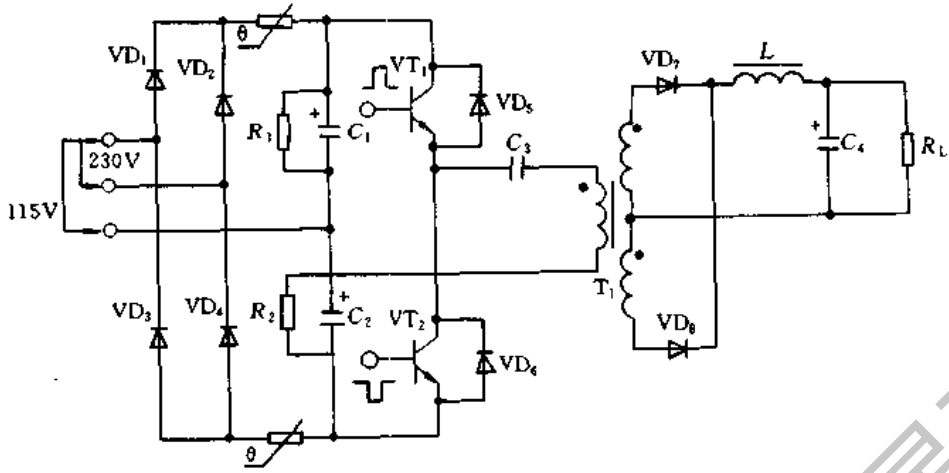
(1) 对称式 包括推挽式、半桥式和全桥式等电路结构。基本电路如图 6.3.1 所示。

上述三种电路是正负对称工作的，变压器磁芯的磁通密度可以从 $-B_m$ 到 $+B_m$ 变化（由第三象限到第一象限），磁通密度的最大变化量为 $\Delta B = 2B_m$ ，见图 6.3.2。

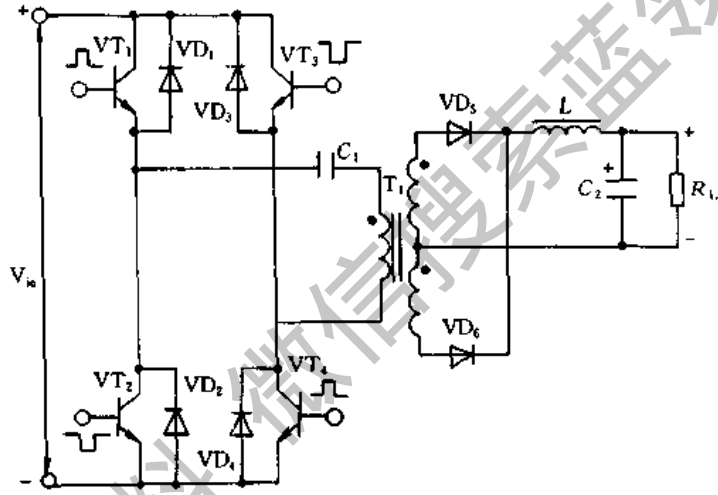
(2) 单端式 包括单端正激式和单端反激式两种，如图 6.3.3 所示。



(a) 推挽式变换器电路



(b) 半桥式变换器电路



(c) 全桥式变换器电路

图 6.3.1 对称式基本电路形式

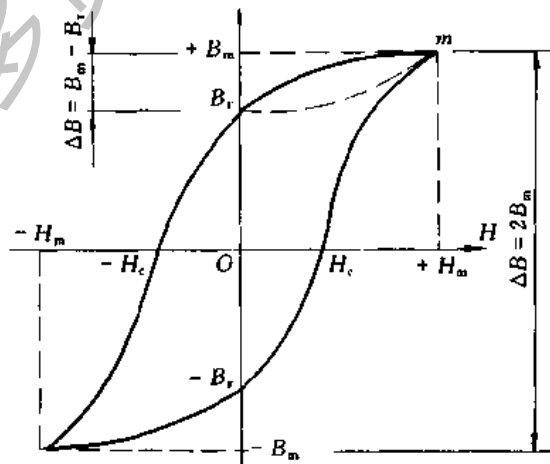
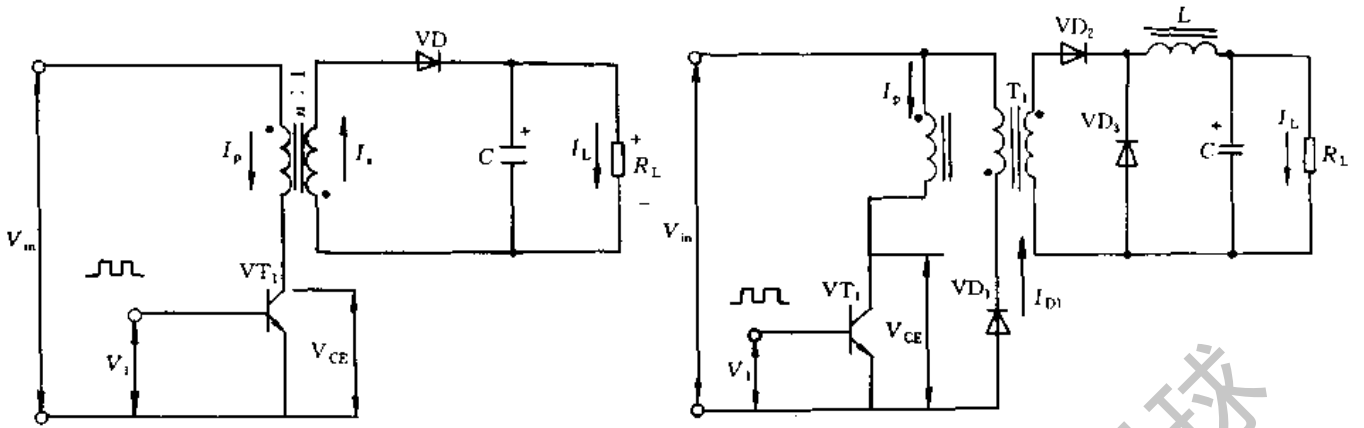


图 6.3.2 ΔB 的变化范围

这两种电路所用的变压器的磁通密度只在第一象限，只能从剩磁 B_t 到 B_m 之间变化，即 $\Delta B = B_m - B_t$ ，变化量较小，如图 6.3.2 回线中虚线所示。



(a) 单端反激式变换器电路

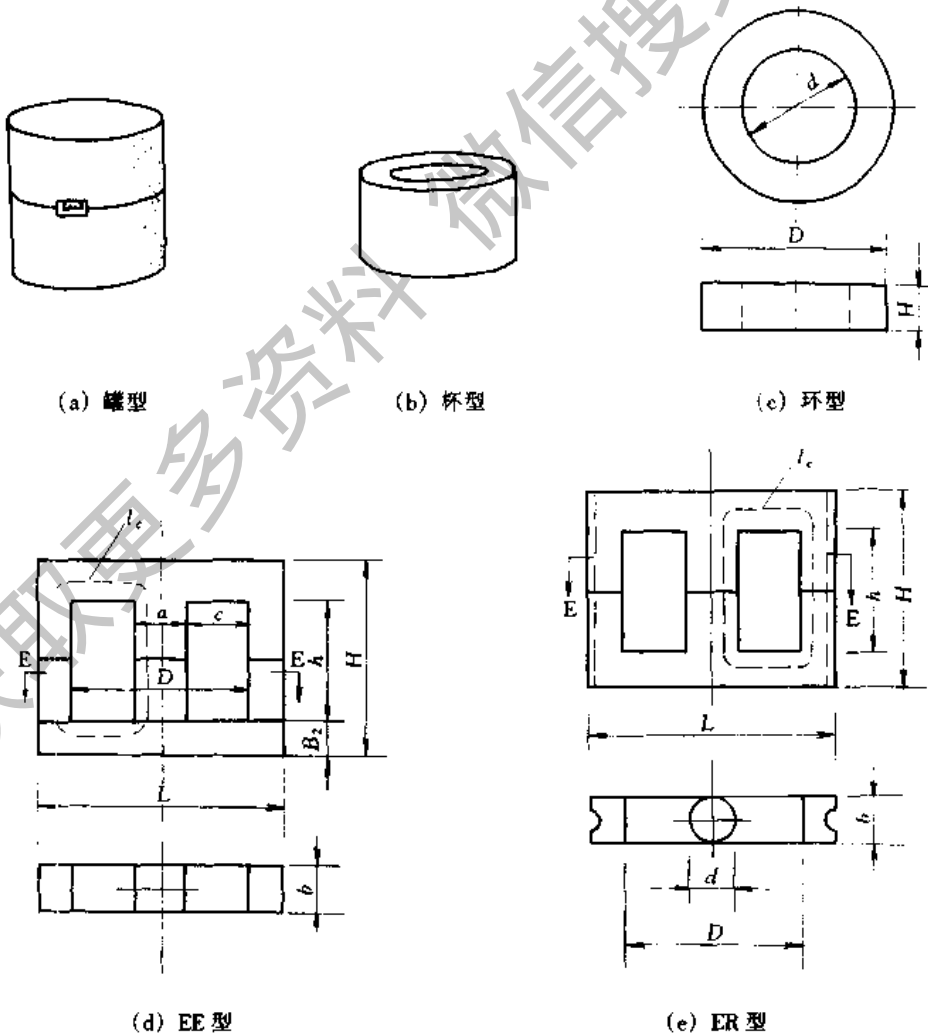
(b) 单端正激式变换器电路

图 6.3.3 单端式基本电路形式

第二节 高频电源变压器的设计

一、对称式电源变压器的设计

对应于图 6.3.1 各电路中的变压器称为对称式变压器，可按下列步骤进行设计。
铁氧体磁芯的外形见图 6.3.4，各种不同规格的铁氧体见表 6.3.1~表 6.3.4。



(d) EE 型

(e) ER 型

图 6.3.4 铁氧体磁芯的外形

表 6.3.1 锰锌铁氧体参数表

型号	初始磁导率 μ_i /($\times 10^{-4}$ H/m)	电阻率 ρ /($\Omega \cdot \text{cm}$)	温度范围 /°C	温度系数 T_k / $\times 10^{-6}$	饱和磁密 B_s / $\times 10^{-4}$ T	剩磁感应 R_r / $\times 10^{-4}$ T	矫顽磁力 H_c /(A/m)	居里点 T_c /°C	适用频率 f /MHz
MXO-1000	10~12	100	0~+85	5000	3000	1300	17.6	100	1
MXO-2000	18.75~31.25	100	0~+85	3000	4000	1400	24	120	0.5
MXD-2000	18.75~37.5	100	-55~+85	2000	4500	1500	16	180	0.5

表 6.3.2 OD 型环型铁氧体磁芯规格

型号	尺寸/mm			设计参数		
	D (外径)	d (内径)	H (高)	l_c /cm	S_c /cm ²	V_c /cm ³
$\phi 5 \times 2.5 \times 1.5$	5	2.5	1.5	1.18	0.019	0.022
$\phi 7 \times 4 \times 2$	7	4	2	1.73	0.03	0.052
$\phi 10 \times 6 \times 5$	10	6	5	2.51	0.1	0.251
$\phi 13 \times 7 \times 5$	13	7	5	3.14	0.15	0.471
$\phi 18 \times 8 \times 5$	18	8	5	4.08	0.25	1.02
$\phi 22 \times 11 \times 5$	22	11	5	5.18	0.275	1.42
$\phi 31 \times 18 \times 7$	31	18	7	7.7	0.455	3.5
$\phi 37 \times 23 \times 7$	37	23	7	9.42	0.49	4.62
$\phi 45 \times 26 \times 8$	45	26	8	11.15	0.76	8.47

表 6.3.3 EE 型铁氧体磁芯规格

型号	尺寸/mm								S_c /cm ²
	a	D	L	h	H	b	c	l_c	
E-3	3	8	12	4	8	3	2.5	22.2	0.09
E-4	4	10	16	5	11	4	3	26.4	0.16
E-5	5	13	20	6.5	13.5	5	4	35.3	0.23
E-6	6	16	24	8	16	6	5	44.3	0.36
E-7	7	18	30	9	21	7	5.5	44.8	0.49
E-12	12	28	43	14	28.5	12	8	90.9	1.44
E-17	17	37	55	18.5	36.5	17	10	119	2.89
E-20	20	43	65	23.5	41.5	20	11.5	146	4.0
E-28	28	55	85	29	59	28	13.5	187	7.84
E-36	36	72	110	37	75	36	18	241	13.0

表 6.3.4 ER 型铁氧体磁芯规格

项 目		单位	EC35/17/10	EC41/19/12	EC52/24/14	EC70/34/17
磁心尺寸	L	mm	35.3	41.6	53.5	71.7
	D	mm	22.2	26.3	32.1	43.3
	d	mm	9.8	11.9	13.75	16.8
	$H/2$	mm	17.3	19.5	24.2	34.5
	$h/2$	mm	11.9	13.5	15.5	22.3
	b	mm	9.8	11.9	13.75	16.8
总体积 V_c		mm ³	7780	12600	24300	55600
中心柱面积 S_c		mm ²	71.0	106.0	141.0	211.0
磁路长度 l_c		mm	77.4	89.3	105	144

1. 确定磁芯的截面积 S_c 和窗口面积 S_0

$$S_c S_0 = \frac{P_T \times 10^4}{2f B_m j k_0 \eta_N} \quad \text{cm}^4 \quad (6.3.1)$$

式中, f 为变压器工作频率 (Hz); B_m 为最大磁通密度 (T); j 为绕组导线电流密度 (A/cm²); k_0 为窗口填

充系数（或称绕组占空系数），是针对各绕组中圆形导线间有空隙、层间与绕组间垫有绝缘材料、线包与铁芯间有骨架等情况而考虑的，一般取 $k_0 = 0.3 \sim 0.5$ ； P_T 为变压器的标称功率：

$$P_T = \frac{P_s}{\eta} - \Delta P$$

η 为开关稳压器的效率， P_s 为变压器输出功率（W）， ΔP 为晶体管在开关工作状态下的损耗（W）， η_N 为变压器的效率，对数百瓦的变压器， $\eta_N = 0.8 \sim 0.9$ 。

2. 求变压器次级脉冲电压的幅值

$$U_{2P} = \frac{U_{om} + U_D + U_L}{0.8} \quad (6.3.2)$$

式中， U_{om} 是经过高频整流后输出的直流电压幅值（V）； U_D 是高频整流管的正向压降（V）； U_L 是滤波电感的直流压降（V）；0.8 是考虑稳压电源在输入电压最低而输出满载时，变压器输出电压的脉冲宽度为半周期的 80%。

3. 求初、次级绕组匝数比 N_1/N_2

推挽式和全桥式：

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{imin}}{U_{2P}} \quad (6.3.3)$$

式中， U_{imin} 是变换器输入直流电压的最低值。

半桥式：

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{imin}}{2U_{2P}} \quad (6.3.4)$$

4. 确定初、次级匝数

初级绕组匝数 N_1 ，应考虑直流输入电压的最高值情况。对推挽式和全桥式：

$$N_1 = \frac{U_{imax}}{4f B_m S_c} \quad (6.3.5)$$

半桥式：

$$N_1 = \frac{U_{imax}}{8f B_m S_c} \quad (6.3.6)$$

上面两式中的 U_{imax} 是输入直流电压的最高值。

5. 选择绕组导线截面积

变压器在高频工作时的集肤效应使导线有效面积减小，这时用铜线的穿透深度 Δ 来选择，见表 6.3.5。

表 6.3.5 穿透深度与频率的关系

f/kHz	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Δ/mm	0.66	0.54	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30

Δ 值的意义是，由于集肤效应，高频电流沿导线表面能够到达的径向深度，由此算出的横截面即导线有效截面积。选择导线时应小于此截面积。

导线有效截面积为：

$$S_l = \frac{I}{j} \quad (6.3.7)$$

式中， I 是绕组电流（A）。由 S_l 选择多股导线或铜箔的规格。

6. 检验窗口面积

以 S'_i 表示窗口计算面积，则：

$$S'_i = \sum_i N_i S_{li} \quad (6.3.8)$$

设 S_0 为所选用磁芯的实际窗口面积，则填充系数

$$K_0 = \frac{S'_i}{S_0} \quad (6.3.9)$$

当选择多股铜导线时， K_0 的值应小一些（如 0.2）。当选用铜箔时， K_0 可取大一些（如 0.4~0.5）。

7. 检验初级电感

按下式计算：

$$L_1 = \frac{1.26\mu_r N_1^2 S_c}{l_c} \quad (6.3.10)$$

式中， μ_r 是相对磁导率，铁氧体磁芯取 $\mu_r = 1500 \sim 2500$ ， l_c 是平均磁路长度 (cm)。

励磁电流

$$I_\mu = \frac{U_{\min} t_{\text{onmax}}}{L_1} \quad (6.3.11)$$

应小于初级电流的 10% ~ 15%。式中 t_{onmax} 是最大导通时间。

二、单端式电源变压器的设计

单端式电源变压器只利用磁芯磁特性的第一象限，工作在不对称状态，磁通密度变化量 $\Delta B = B_m - B_r$ ，因此须从初级绕组电感量 L_1 开始计算。选择磁芯时 B_m 要高，而 B_r 要低，以获得较大的 ΔB ，同时希望磁芯有较好的温度特性与频率特性。

单端式电路有反激式和正激式两种，下面分别说明这两种变压器的设计方法。

1. 单端反激式变压器的设计

(1) 选择磁芯 根据给定的输出功率 P_2 ，预选某种尺寸的磁芯，并按式 (6.3.12) 计算初级绕组电感：

$$L_1 = \frac{U_{\min}^2 \delta^2 T}{2P_1} \quad (6.3.12)$$

式中， δ 为功率晶体管占空比， T 为变压器工作周期， P_1 为变换器输入功率：

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

(2) 确定初级绕组匝数 N_1

$$N_1 = \frac{I_{P1} L_1}{S_c (B_m - B_r)} \times 10^8 \quad (6.3.13)$$

其中 I_{P1} 为晶体管导通结束时初级绕组的电流：

$$I_{P1} = \frac{U_{\min} T_{\text{on}}}{L_1} \quad (6.3.14)$$

式中 T_{on} 为晶体管导通时间 (s)。

(3) 检验磁场强度 H 是否小于磁芯的最大不饱和磁场强度 H_{max} (A/m)

$$H = 100 \frac{N_1 I_{P1}}{l_c} \leq H_{\text{max}} \quad (6.3.15)$$

(4) 次级绕组匝数 N_2 次级绕组电感为：

$$L_2 = \frac{2P_1}{\Delta I_s^2 f} \quad (6.3.16)$$

上式中，对于输出电流为三角形波的单端反激式电路：

$$\Delta I_s = 4I_2 \quad (6.3.17)$$

次级绕组匝数为：

$$N_2 = \frac{N_1}{\sqrt{\frac{L_1}{L_2}}} \quad (6.3.18)$$

2. 单端正激式变压器的设计

正激式电路的变压器和普通脉冲变压器相似，可用下述公式计算：

$$N_1 = \frac{U_{\min} T \delta \times 10^8}{S_c (B_m - B_r)} \quad (6.3.19)$$

第三节 小功率电源变压器的绕制方法

一、制作骨架

骨架作为绕制线圈过程中的依托，又是线圈与铁芯之间的绝缘物。

变压器骨架有圆形和方形两种。图 6.3.5 (a) 为圆形骨架，多用于罐型或 ER 型中心柱为圆形的铁氧体磁芯。这种骨架多为制成品，可以买到。图 6.3.5 (b) 是方形骨架，可以用厚绝缘纸或纤维板（或胶木板）制成

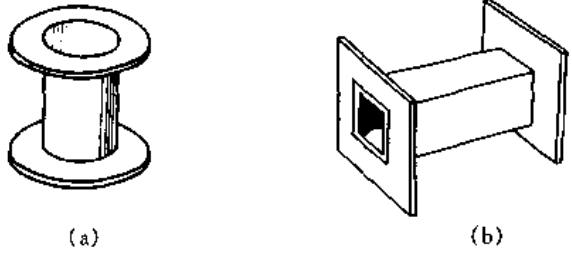


图 6.3.5 变压器骨架形状

制成后的横截面积比铁芯的实际截面积大一些，以骨架刚好能套上铁芯为宜。

骨架纸筒的各部分尺寸按下式确定（单位：

mm）：

$$\left. \begin{aligned} T &= h \\ x &= a + b_0 + 0.2 \\ y &= b + b_0 + 0.2 \\ z &= a \end{aligned} \right\} \quad (6.3.20)$$

式中， h 为铁芯窗口高度， a 为铁芯中心柱宽度， b 为铁芯中心柱厚度， b_0 为骨架材料厚度。

将划好槽线的纸板沿槽线折成方形，用胶水将重合面粘牢，成为图 6.3.6 (b) 的形状。

两侧的挡板制作可参考图 6.3.7 (a)。挡板中间的方孔 $a' = a + 2b_0$ ， $b' = b + 2b_0$ ，外缘尺寸 $A = a + 2c$ ， $B = b + 2c$ 。在图中的虚线处划槽，而交叉的实线处划穿，折起四个三角形，将方筒套入并粘牢，如图 6.3.7 (b) 所示的样子，骨架就做好了。在方筒上卷两层绝缘纸就可以绕线了。

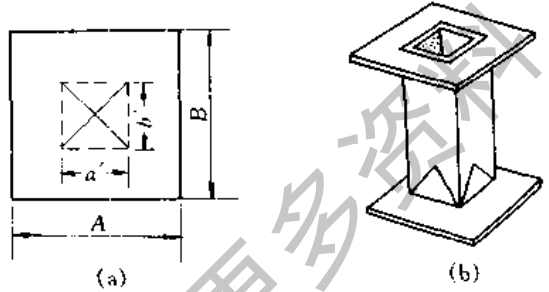


图 6.3.7 挡板的制作方法

图中 a 是铁芯中心柱宽度， b 是铁芯叠厚， L_1 和 h 分别是铁芯窗口宽度和高度，图中数字的单位是 mm。图 (c) 中的斜孔用于引出线，也便于浸漆时绝缘漆由此斜孔渗入绕组内部。两边的小圆孔用于打铆钉，焊接引出线的端子。在做完三种部件，并在挡板铆上铜铆钉后即可装配。先将图 (b) 中两块长板放入图 (c) 挡板，再将图 (a) 短板装入，骨架方孔以木心刚好能塞入为佳。底筒的四条外棱用砂布倒角成圆弧，骨架上两个棱角也需倒角。最后在底筒外用胶纸带均匀地包上两层。

二、制作木心

木心的作用是将骨架固定在绕线机上绕线，其形状见图 6.3.9。图中边 a 、 b 应比铁芯截面尺寸相应稍大一点， h 应比铁芯窗口高度稍小一点（便于两端加挡板），内径 d 应略大于绕线机轴的外径，且孔要打正，以免绕线时晃动。

三、绕制线圈

在绕制线包前应准备好按设计选定的漆包线和绝缘材料。线包的绕制顺序如下：架好漆包线轴→固定骨

制作骨架的方法有三种：塑压法（上述圆形骨架）、粘接法和拼装法。粘接法适于用绝缘纸制作骨架的情况，而拼装法适合于用纤维板制作骨架的情况。

1. 用绝缘纸制作骨架

用 0.5~1mm 厚的硬纸板，制作一个方形筒和两个挡板（也可不用挡板，绕线时留出适当的端空，以避免与铁芯接触）。

先将硬纸板裁成一个长方形，如图 6.3.6 所示。图 (a) 中虚线用刀片划一条深度为纸板厚度 1/3 左右的槽，以使折弯后的棱角线条整齐。设计尺寸的原则是：骨架

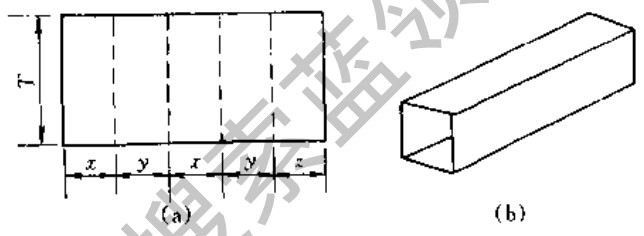


图 6.3.6 纸筒骨架的制作方法

2. 用纤维板制作骨架

用 1~1.5mm 厚（以 W 表示）纤维板制作的骨架，如图 6.3.8 所示。

该骨架由三种部件（每种两块）装配而成。图 (a) 是铁芯内侧（叠厚面）的挡板，图 (b) 是铁芯外侧（与中心柱宽度对应面）的挡板，图 (c) 是挡板。

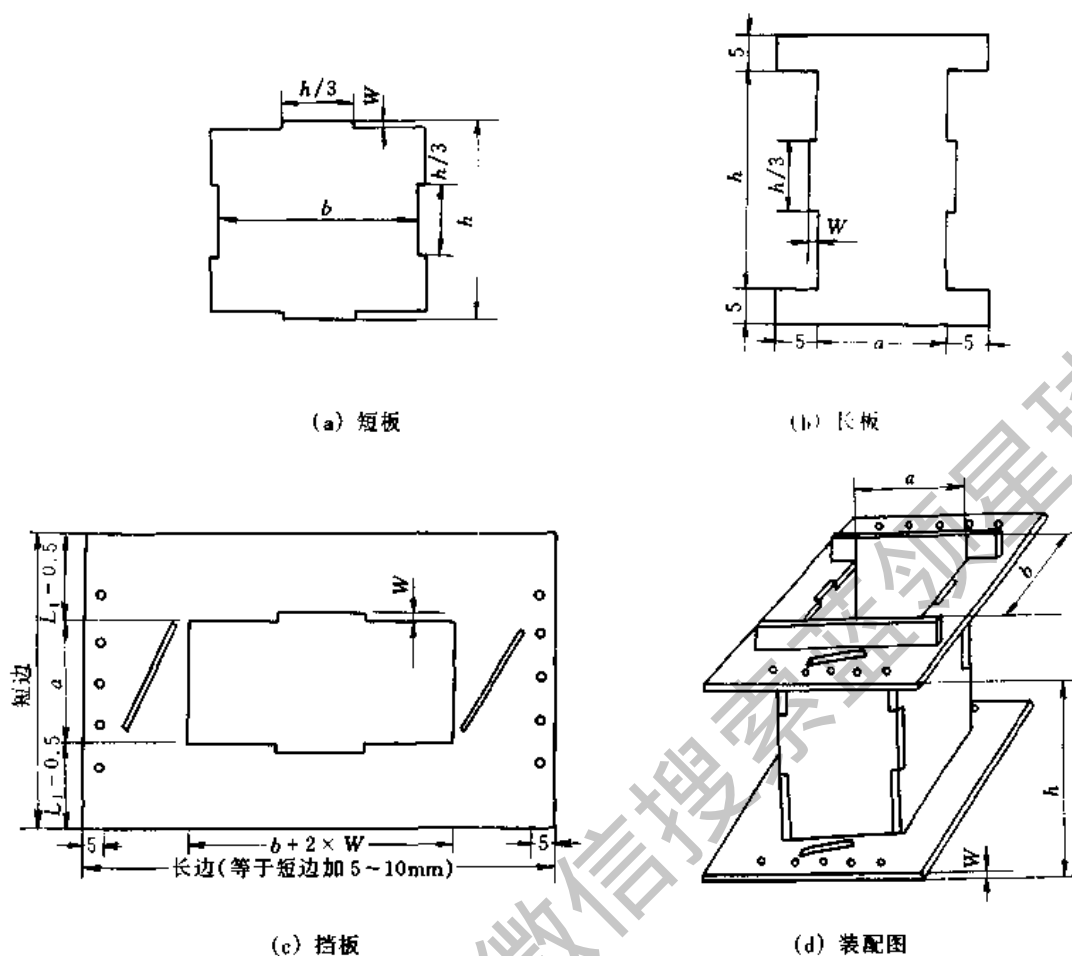


图 6.3.8 用纤维板做骨架图

架在绕线机上并将计数器调零→在骨架上加 1~2 层绝缘纸后用黄蜡绸引出初级绕组的内出线→绕完一层后垫层间绝缘纸→绕完第二层再垫层间绝缘纸,直至初级绕组绕完,用黄蜡绸引出初级绕组外出线→垫绕组间绝缘(初级与次级绕组间的绝缘层)→按照初级绕组绕法绕完次级绕组(引出两根出线)→包扎线包外绝缘层→将各引出线头焊于接线片上→检测线包→线包浸渍。

线包绕好后应该是“紧”、“密”、“平”。

1. 绕线方法

绕线前,将绕线机固定牢。绕线机的轴杆要平直,木心与轴杆同心,并夹紧牢固。骨架与木心要贴紧,以保证机轴旋转时不产生晃动。

绕线开始后,在绕每层线圈开头的几匝时,速度放慢一些,压住层间绝缘的衬纸,不发生偏斜和滑落。右手摇动绕线机,左手拉紧漆包线,把导线稍微向绕线前进的相反方向偏斜 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$,见图 6.3.10。这样,导线各匝之间排列整齐。左手要随着圈数的增加轻轻向前移动,拉力大小随导线粗细而变化。

绕线过程中如果产生叠线现象,应退回重绕。

绕线时,应当用软布或软纸夹住漆包线,以免漆包线沾附手上的开渍,日后破坏导线的绝缘层。

2. 引出线

每个绕组均有两个头需引到线包外边。引出线的方式视线圈导线粗细而定,线径大于 0.3mm 时,可用导线本身作引出线。小于 0.3mm 时,因机械强度不够,容易断线,须焊接一段多股软线引出。起头的引出线用一段黄蜡绸折成套形,将引出线穿过,绕几圈导线后将绸套压住,再将绸套抽紧即可。见图 6.3.11 (a)。

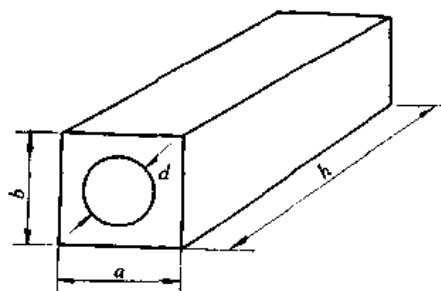


图 6.3.9 木心形状

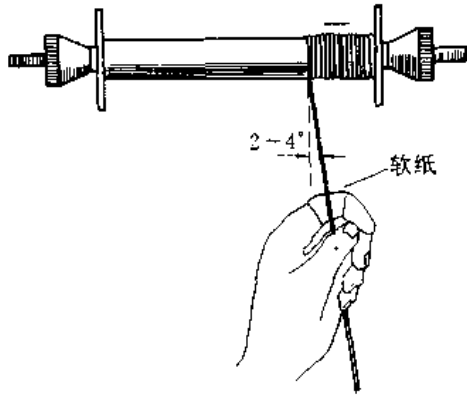


图 6.3.10 绕线方法

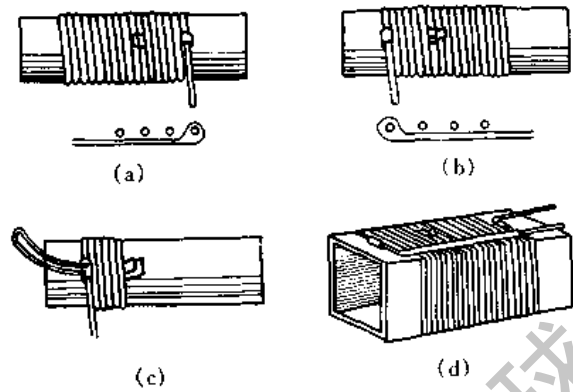


图 6.3.11 引出线的固定

图6.3.11(b)是绕线结束时的情形。当一个线圈快绕完时，在引线处理一个绸布条，用导线压上，最后一圈的导线从套中穿过，抽紧绸套。图(c)是抽头的情形。

若一个绕组的最后一圈不在预定引出线的一侧，可将引出线折向另一侧，用绝缘纸包好，再引出来，如图6.3.11(d)所示。

四、绝缘的处理

为了防潮和增加绝缘强度，绕组绕好后，一般应作绝缘处理。

在实验室条件下可采用“浸泡法”处理。将绕好的线包放入烘箱中预烘，加温到 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ， $3\sim 5\text{h}$ 取出后立即放入绝缘漆中，将线包淹没（悬吊在漆中）。约 1h 后，将线包取出，悬空吊着，将附在表面及空隙中多余的漆滴出来，经 $2\sim 3\text{h}$ 基本滴净后放入烘箱中烘干。烘干时先用 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的低温烘 $4\sim 6\text{h}$ ，再高温（ $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ ）烘 8h 左右。

烘干过程中，要监视温度变化，并不断调整线圈的位置，以确保均匀烘烤。

浸渍的漆有酚醛绝缘清漆或硝基绝缘清漆。对于要求较高的线包，可在浸漆后再浇灌环氧树脂进行密封，或用环氧树脂涂刷线包的两侧端封处，以提高防潮性能。

第四节 小功率电源变压器的常见故障及排除方法

一、变压器常见故障

1. 短路

包括线包内部匝间短路和层间短路，这时空载电流增大或通电不久即发热。用万用表测量各次级绕组的电压，若均高于正常值，说明初级绕组有短路；若某一个次级绕组的空载电压比额定值明显降低，说明该绕组发生短路；若各次级绕组的空载电压基本正常，则说明静电屏蔽层有短路。

也可以用欧姆表测量各绕组直流电阻的方法来粗略判断发生短路的部位。发生短路故障绕组的电阻值低于正常值，但轻微短路却不易发现。

2. 断路

用欧姆表对有故障的绕组测量一下即可判断。

通过测量电压也可判断是否断路，若初级绕组两个端子上有电压，而各次级绕组均无电压，说明初级绕组发生断路。若只有某一次级绕组没有电压，其他绕组均有电压，说明无电压的绕组可能断路。

断线常发生在引线根部、引出线与绕组间焊点等地方。

3. 绝缘不良

由于制作时浸烘处理得不好，工作一段时间后因潮气侵入或原有潮气没有排除，层间绝缘纸破损或绝缘材料质量差等，均可造成各绕组间绝缘不良。若骨架或外层绝缘纸损坏，可造成绕组与铁芯间绝缘不良。这时可用兆欧表或万用表的高阻挡测量各绕组间、绕组与铁芯间的绝缘电阻，若低于 $10\text{M}\Omega$ ，则绝缘不良。若绝缘电阻只有几百欧姆甚至更小，则表明已有短路现象发生。

二、从故障现象判断故障种类

1. 铁芯带电

人体接触铁芯有发麻感觉，用电笔测试时氖灯发光，这时用万用表的交流电压档测试铁芯与电源零线间有电压，说明由分布电容的耦合引起。这时可将电源线反接，或将铁芯机壳接地即可消除。必要时检查一下静电屏蔽层的接地是否良好。

若由于绝缘不良造成漏电，多因绝缘材料损坏或绕组受潮引起，可以先预烘一次，再用兆欧表测试，若恢复了绝缘性能，立即浸漆并烘干。若仍未恢复绝缘性能，表明铁芯与初级绕组相碰，这时需拆下铁芯修理骨架或外层绝缘，或重新绕制绕组。

2. 变压器通电后有嗡嗡声

采用铁氧体铁芯的变压器发出嗡嗡声是由于绕组没有绕紧而引起，可以先烘烤一下，再作一次浸烘处理，即可将空隙填满并粘牢。

3. 线包击穿打火

通电后发现线包局部打火，多因高压与低压绕组间绝缘不良而造成电击穿，这时可将变压器烘烤后，在打火处涂上绝缘漆。若仍不能消除，需拆下铁芯，改绕线包。

若线包内部有击穿打火声，可将变压器烘烤后再作一次浸烘处理。若仍不行，也得改绕线包。

对于绝缘不良需对整个变压器作再次烘烤时，可以把变压器放在烘箱中，在 100~120℃ 的温度下烘 12~24h，再进行一次浸烘处理，绝缘性能将明显提高。

4. 变压器发热

变压器通电后，温度迅速上升，甚至有焦糊味。去掉负载，发热仍然严重。若用交流电流表测量空载电流明显增大，说明线包内有短路现象发生。按前述方法处理。

5. 无电压输出

若初级绕组接至电源，而次级各绕组均无电压，说明初级绕组的引线或绕组内部有断线，若只有一个次级绕组无电压，则说明该绕组断线。

获取更多资料 微信搜索 蓝球

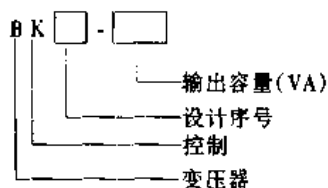
第四章 控制变压器

控制变压器是一种小型的干式变压器，作为局部照明用电源、信号灯或指示灯电源、在电器设备中作为控制电路的电源。

第一节 型号含义和铭牌数据

常用的控制变压器有 BK 系列、BK₁ 系列和 BKC 系列产品，该系列产品适用于交流 50 ~ 60Hz，电压为 500V 以下的交流电路中。

控制变压器的型号含义如下：



控制变压器的额定容量等级一般分为 25、100、150、200、250、300、400、500、1000、1500、2000、2500、3000VA。

控制变压器的额定初级电压分为 380V、220V、380/220V。

控制变压器的额定次级电压分为 6.3、12、18、24、36、63、110、127V。

控制变压器的额定容量、初级电压和次级电压可以根据用户的特殊要求，由生产厂特制。

控制变压器外表附有铭牌和出线标记，或附有接线示意图。铭牌上的数据表示控制变压器在额定工作状态下的性能指标，一般常用的有以下数据。

(1) 额定容量 (VA) 表示在额定使用条件下变压器的输出能力，以视在功率伏安数表示。控制变压器如果初级绕组只有一种电压，则该初级绕组能够承担全部的额定容量。如果初级绕组有抽头，则二种电压分别承担的容量为其电压之比。如初级 380V 的绕组上有一个 220V 的抽头，则 220V 档电压分担的容量为 $\frac{220}{380} \approx 60\%$ ，380V 档电压才能承担全部的额定容量。

(2) 额定初级电压 (V) 表示在额定使用条件下变压器初级的输入电压值。

(3) 额定次级电压 (V) 表示在额定使用条件下变压器次级的输出电压值。次级有多组电压输出时，应注意绕组的接线方式。

(4) 额定输出电流 (A) 表示在额定使用条件下变压器次级绕组的电流值。额定输出电流一般应注意以下三种情况。

① 变压器次级仅有一组输出电压，则该组次级绕组能够承担变压器额定容量时的电流值。

② 变压器次级有一组串联输出电压，则额定输出电流以最高输出电压能够承担变压器额定容量时的电流值来给定。如次级有一组输出电压为 0—6.3V—12V—36V，额定输出电流以 0—36V 输出电压能够承担变压器额定容量时的电流值来给定。

③ 变压器次级有多组独立的输出电压，则应分别给定每组独立输出电压绕组的额定输出电流值。

(5) 温升 (K) 变压器指定部位的温度和变压器周围环境气温之差，一般指变压器的绕组和铁芯的温升。

第二节 控制变压器的设计

控制变压器的设计与电源变压器、灯丝变压器等小型单相变压器一样，常用的有公式计算法和图表计算法两种。

一、公式计算法

控制变压器的计算，主要是算出变压器的输出总视在功率 $P_{\text{出}}$ 、输入视在功率 $P_{\text{初}}$ 和输入绕组电流 $I_{\text{初}}$ 、铁芯的截面积 S 和选用的硅钢片尺寸、输出各个绕组的匝数 N 、输出各绕组所用漆包线的直径，最后核算铁

钢片窗口面积是否能够容纳整个线包绕组。

以图 6.4.1 为例, 具体计算步骤如下。

1. 求输出总视在功率 $P_{\text{出}}$

$$P_{\text{出}} = U_2 I_2 + U_3 I_3 + U_4 I_4 \quad (\text{VA})$$

式中, U_2 、 U_3 、 U_4 为输出各绕组电压的有效值 (V); I_2 、 I_3 、 I_4 为输出各绕组电流的有效值 (A)。

2. 求输入视在功率 $P_{\text{初}}$ 和输入电流 $I_{\text{初}}$

变压器在工作时, 由于绕组漆包线发热损耗和铁芯发热损耗, 效率不可能为百分之百。因此输入视在功率 $P_{\text{初}}$ 和输出视在功率 $P_{\text{出}}$ 的关系如下:

$$P_{\text{初}} = \frac{P_{\text{出}}}{\eta} \quad (\text{VA})$$

式中 η 为变压器的效率。

变压器效率 η 总是小于 1。变压器的效率与变压器的容量有关, 可参考表 6.4.1 中的经验数据

表 6.4.1 变压器效率与容量的经验数据

容量/VA	< 20	20 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 200	> 200
效率/%	70 ~ 80	80 ~ 85	85 ~ 90	90 ~ 95	> 95

变压器的输入电流 $I_{\text{初}}$:

$$I_{\text{初}} = K_1 \frac{P_{\text{初}}}{U_1}$$

式中 U_1 为变压器输入电压的有效值 (V), 一般就是变压器接入电网的电压。 K_1 为经验系数, 由变压器的空载电流大小决定。变压器容量越小, K 值越大。一般在 1.1~1.2 之间选择。

3. 变压器铁芯截面积 S 的计算

$$S = K_2 \sqrt{P_{\text{出}}} \quad (\text{cm}^2)$$

式中, K_2 为经验系数, K_2 的大小与硅钢片的材质有关, 硅钢片材质越好, K_2 值越小, 可在 1.0~1.5 之间选择。

由于硅钢片表面的绝缘层和硅钢片叠片之间的空隙, 实际铁芯截面积 S' 应略大于计算值 S :

$$S' = \frac{K_2 \sqrt{P_{\text{出}}}}{K_3} = \frac{S}{K_3} \quad (\text{cm}^2)$$

式中, K_3 为硅钢片的叠片系数。对于平整、无毛刺的硅钢片来讲, 一般 0.35mm 厚热轧硅钢片的 $K_3 \approx 0.89$, 冷轧硅钢片的 $K_3 \approx 0.92$ 。对于 0.5mm 厚热轧硅钢片的 $K_3 \approx 0.94$, 冷轧硅钢片的 $K_3 \approx 0.96$ 。

图 6.4.2 为小型变压器硅钢片尺寸, 其中各尺寸之间关系大致如下:

$$c = 0.5a, \quad h = 1.5a$$

$$A = 3a, \quad H = 2.5a$$

图 6.4.2 小型变压器硅钢片尺寸

表 6.4.2 为目前通用的小型硅钢片规格。

表 6.4.2 小型变压器通用硅钢片尺寸/mm

a	c	h	A	H	a	c	h	A	H
13	7.5	22	40	34	32	16	48	96	80
16	9	24	50	40	38	19.0	57	114	95
19	10.5	30	60	50	44	22	66	132	110
22	11	33	66	55	50	25	75	150	125
25	12.5	37.5	75	62.5	56	28	84	168	140
28	14	42	84	70	64	32	96	192	160

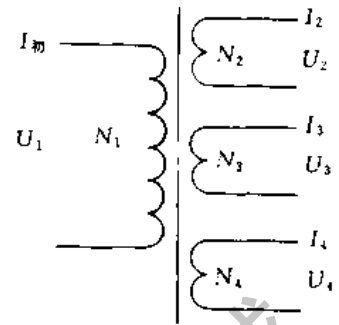
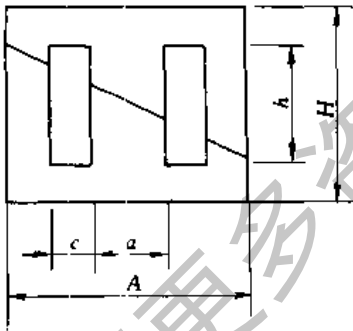


图 6.4.1 变压器计算原理图



根据计算出的铁芯截面积 S' ，可以求出选用硅钢片的规格。

铁芯叠厚 b 的计算如下：

$$b = \frac{S' \times 100}{a} \quad (\text{mm})$$

铁芯厚度 b 与硅钢片舌宽 a 之比应在 1~2 之间，否则应重新选取硅钢片的规格。

4. 计算每个绕组的匝数

绕组感应电动势有效值可由下式表示：

$$E = 4.44fNB_mS \times 10^{-8} \quad (\text{V})$$

$$N_0 = \frac{N}{E} = \frac{10^8}{4.44fB_mS} \quad (\text{匝/V})$$

式中 f 为电源频率 (Hz)。由于工频交流电源的 $f = 50\text{Hz}$ ，于是上式可简化为：

$$N_0 = \frac{45}{B_mS} \quad (\text{匝/V})$$

式中 B_m 为铁芯的磁通密度，单位为 T (特斯拉)。不同的硅钢片， B_m 值也不同，通常：

冷轧硅钢片 D310 B_m 可取 1.2~1.4T；

热轧硅钢片 D41、D42 B_m 取 1~1.2T；

D43 B_m 取 1.1~1.2T；

一般电机用热轧硅钢片 D21、D22 B_m 取 0.5~0.7T。

算出 N_0 后，根据每组绕组的工作电压就可由下式求出每组绕组的匝数：

$$\text{初级绕组匝数} \quad N_1 = U_1 N_0$$

$$\text{次级绕组匝数} \quad N_2 = U_2 N_0 \quad (1.03 \sim 1.05)$$

$$N_3 = U_3 N_0 \quad (1.03 \sim 1.05)$$

$$N_4 = U_4 N_0 \quad (1.03 \sim 1.05)$$

式中 1.03~1.05 是次级绕组漆包线铜阻产生电压降而增加匝数的系数。

5. 计算各绕组导线直径

导线直径可用下列公式计算：

$$I = \frac{\pi}{4} d^2 j = S j \quad (\text{A})$$

式中 S ——导线截面积； mm^2 ；

d ——导线直径， mm ；

j ——电流密度， A/mm^2 。

则

$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi j}} = 1.13 \sqrt{\frac{I}{j}} \quad (\text{mm})$$

上式中电流密度一般选用 $j = 2 \sim 3\text{A}/\text{mm}^2$ ，变压器短时工作可以取 $j = 4 \sim 5\text{A}/\text{mm}^2$

$$j \text{ 取 } 2.5\text{A}/\text{mm}^2 \text{ 时} \quad d = 0.715 \sqrt{I}$$

$$j \text{ 取 } 3\text{A}/\text{mm}^2 \text{ 时} \quad d = 0.654 \sqrt{I}$$

6. 核算铁芯窗口面积

变压器的漆包线绕在线圈骨架上，每层线圈之间一般均有绝缘层。骨架厚度、线圈厚度和绝缘层厚度的总和应小于选用的铁芯窗口宽度，否则绕组放不进硅钢片的窗口。

铁芯硅钢片选定后，可根据表 6.4.2 找出窗口高度 h 。线圈骨架的长度略小于 h 。由于线圈骨架的两端共有 8% 不能绕线，因此线圈骨架的有效长度为：

$$h' = 0.92(h - 2) \quad (\text{mm})$$

计算各个绕组每层可绕匝数 N_n ：

$$N_n = \frac{0.92 \times (h - 2)}{K_4 d_n'} \quad (\text{匝})$$

式中 K_4 为排线系数。按漆包线直径粗细，一般选择 1.05~1.15 之间。 d_n' 为漆包线连同绝缘层的有效直径。

每组绕组需绕的层数，可用下式求出：

$$D = \frac{N}{N_n} \text{ (层)}$$

式中 N 为各绕组匝数。

初级绕组的总厚度为：

$$H_1 = D(a + d_1) + r_1$$

式中 a 为层间绝缘厚度。漆包线直径在 0.2mm 以下, 采用一层厚度为 0.02~0.04mm 的电容器纸; 漆包线直径在 0.2~1.8mm 之间, 采用 0.05~0.08mm 的电话纸; 大于 2.0mm 以上的粗漆包线可用厚度为 0.12mm 的电缆纸。

r_1 为绕组间绝缘层厚度。初次级绕组之间绝缘层可用 2~3 层电缆纸, 若再加上二层聚酯薄膜, 效果更好一些。

同样可计算出次级绕组 N_2 、 N_3 、 N_4 的厚度 H_2 、 H_3 和 H_4 。

所有绕组的总厚度为：

$$H = (H_0 + H_1 + H_2 + H_3 + H_4)(1.1 \sim 1.2) \text{ (mm)}$$

式中 H_0 为线圈骨架的厚度 (mm), 1.1~1.2 为叠绕系数。

如果 $H < c$ (窗宽) 时, 即设计的方案是可行的, 可进行线圈的绕制。否则要重选硅钢片规格, 按原法计算和核算直到合适为止。

二、图表计算法

图表计算法是一种常用的简便方法, 通过查表和简单的计算即可得到变压器的绕制数据。图表计算法对于 50Hz、1kVA 容量以下的小型变压器比较适用。

在图 6.4.3 中, P_s 表示变压器的容量 (VA), S 表示铁芯截面积 (cm^2), W (匝)/ U (V) 表示每伏匝数

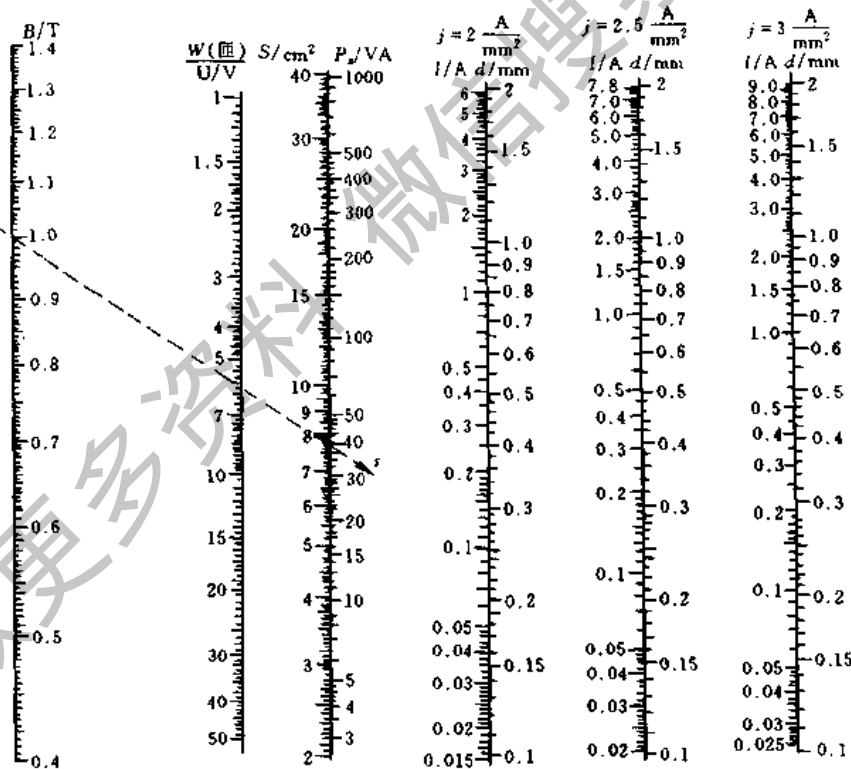


图 6.4.3 1kVA 以下小型变压器图表计算法

(匝/V), B 表示可供选择的硅钢片磁通密度 (T)。这四根标尺中, 变压器的容量 (VA) 和铁芯截面积 (cm^2) 在同一根直线上, 知道变压器的容量 (VA) 即可找到相应的铁芯截面积的大小。将所确定的铁芯截面积 S 点和选择硅钢片磁通密度的 B 点连成一根直线, 该直线与 W/U 标尺的交点, 就是该变压器每伏所需绕制的匝数。

图 6.4.3 右侧的三根标尺线分别表示在 $j = 2\text{A}/\text{mm}^2$ 、 $j = 2.5\text{A}/\text{mm}^2$ 、 $j = 3\text{A}/\text{mm}^2$ 三种不同电流密度下所需漆包线直径的大小。

【例】已知BK变压器的初级电压 $U_1 = 220\text{V}$ ，次级电压 $U_2 = 36\text{V}$ ，初级电流 $I_1 = 0.182\text{A}$ ，次级电流 $I_2 = 1.11\text{A}$ ，变压器的容量 $P_s = 40\text{VA}$ ，硅钢片的磁通密度选择 $B = 1\text{T}$ ，试用图表计算法设计变压器的数据。

解：漆包线的电流密度取 $j = 3\text{A}/\text{mm}^2$ ，从图 6.4.3 中可查得：

初级绕组漆包线直径为： $d_1 = 0.27\text{mm}$

次级绕组漆包线直径为： $d_2 = 0.69\text{mm}$

铁芯截面积： $S = 7.8\text{cm}^2$

可选用舌宽 $a = 28$ 的硅钢片，则变压器叠厚 b 为：

$$b = \frac{S \times 100}{a} = \frac{7.8 \times 100}{28} \approx 28\text{mm}$$

每伏匝数 N_0 为： $W/U = 5.9$ 匝/V

则初级绕组 N_1 匝数： $N_1 = N_0 U_1 = 5.9 \times 220 = 1298$ (匝)

次级绕组 N_2 的匝数： $N_2 = 1.05 N_0 U_2 = 1.05 \times 5.9 \times 36 = 223$ (匝)

第三节 控制变压器的绕制

控制变压器的绕制可分为以下几个步骤。

一、绕线前的准备工作

1. 导线和绝缘材料的准备

根据计算结果准备相应规格的各种漆包线。漆包线使用前应检查其质量，漆包线表面不能有划伤或擦损的地方，否则会造成匝间或层间短路，使变压器空载电流增大，温升增高，甚至烧毁变压器。

根据漆包线直径的大小选择合适的层间绝缘纸，一般漆包线直径越细，选择的层间绝缘纸应越薄。初、次级绕组之间和绕组与绕组之间可采用聚酯薄膜、黄蜡绸和电缆纸。整个线包最外层可采用青壳纸绝缘。

2. 绝缘材料的裁剪

根据硅钢片窗口的高度，将各种绝缘材料裁剪成一定宽度的长条。由于线圈骨架有两种，绝缘材料裁剪的宽度也有所不同。

(1) 无边框的纸质线圈骨架 用于漆包线层间绝缘的绝缘纸宽度应大于线圈骨架宽度 $8 \sim 15\text{mm}$ ，这样可以在线圈骨架最边缘部位绕制第一圈时用绝缘纸把漆包线包裹起来。用于初次级绕组之间、绕组与绕组之间和线包外包层的各种绝缘材料，应裁剪成线圈骨架一样宽度的长度。另外还需准备一些 $15 \sim 25\text{mm}$ 宽的纸条，在线圈绕到线圈骨架每层最后一圈时，将漆包线用纸条包裹起来。

(2) 有边框的线圈骨架 可将各种绝缘材料裁剪成与线圈骨架内宽度（即扣除两侧边框厚度的内尺寸）一样宽度的长条。

3. 制作木心

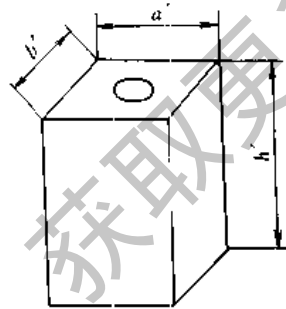


图 6.4.4 绕线用木心

木心的作用是用来套在绕线机转轴上，再将线圈骨架套在木心上，将线圈骨架支撑起来进行绕线。木心的大小与选择硅钢片的规格有关。木心的外形如图 6.4.4 所示。木心的宽度 a' 应比硅钢片的舌宽 a 大 0.5mm ，以便容易插入硅钢片。木心的厚度 b' 应比变压器叠厚大 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，这样可以确保硅钢片插入线包后的叠厚要求。木心的高度 h' 应比线圈骨架的高度小 0.5mm ，这样在绕线时可用两块夹板将无边框骨架夹住，方便绕线。木心的中心要打一个比绕线机轴稍大一点的圆孔（一般直径为 10mm ）。孔一定要打正、打直，以免绕线时发生晃动，漆包线不易排齐。

4. 制作线圈骨架

线圈骨架是线圈绕制的基础，同时起到对硅钢片的绝缘作用，因此要求既要具有一定的机械强度，还应具有一定的绝缘强度。线圈骨架有以下二种结构，

制作的方法也不同。

(1) 无边框的线圈骨架 这种线圈骨架材料采用 $1 \sim 2\text{mm}$ 厚的弹性纸，常用在 1kVA 以下的变压器。具体制作如图 6.4.5 所示。骨架的长度 h' 应比硅钢片窗高 h 短 $1.5 \sim 2.5\text{mm}$ （视变压器大小而定），弹性纸的长度 L 为：

$$L = a' + (b' + t) + (b' + 2t) + 2(a' + t) = 2b' + 3a' + 5t$$

式中 t 为弹性纸的厚度。

按照图6.4.5(b)中虚线用裁纸刀划出深沟，以便弯折。按虚线折起来，第⑤面与第①面用胶水粘合，如图6.4.5(a)所示。

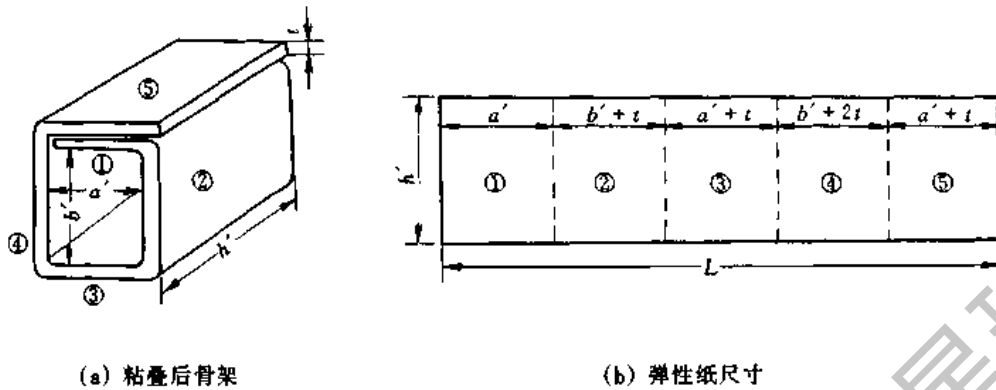


图 6.4.5 无边框线圈骨架

(2) 有边框的线圈骨架 这种线圈骨架材料采用1.5~2.5mm的玻璃纤板做成，常用在1kVA以上或要求绝缘性能较高的变压器。具体制作见图6.4.6所示，图(a)为上下盖板，共两块。根据变压器出线要求，在上下盖板的相应位置打上穿线孔。上下盖板和纵板中 a' 的尺寸为：

$$a' = a + 0.5 + 2t(\text{mm})$$

式中 a 为硅钢片舌宽， t 为玻纤板厚度。

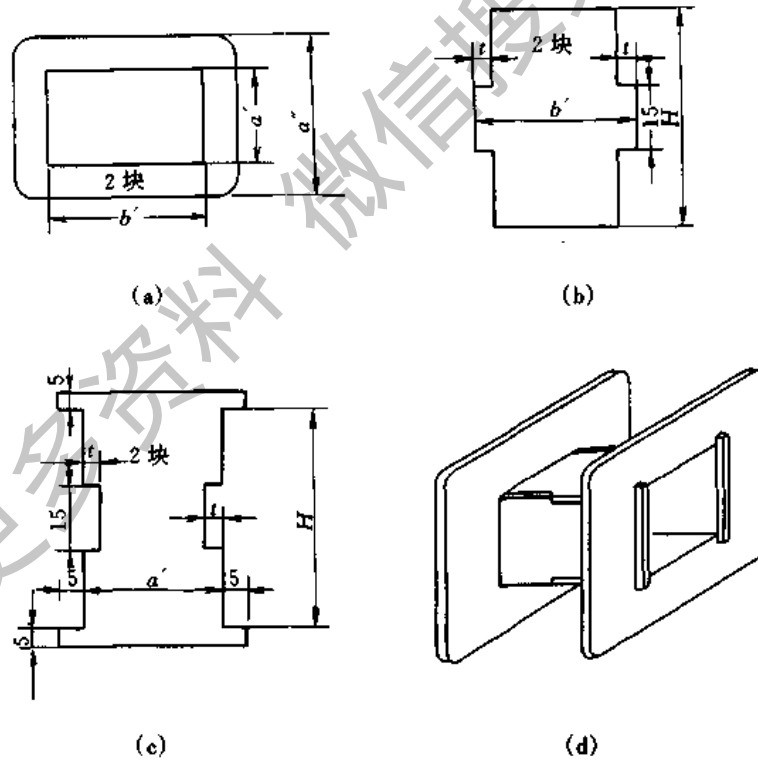


图 6.4.6 有边框线圈骨架

b' 尺寸为：

$$b' = b + 0.5 + 2t(\text{mm})$$

式中 b 为硅钢片叠厚， t 为玻纤板厚度。

a' 尺寸为：

$$a' = a + 2c - 1.5(\text{mm})$$

式中 a 为硅钢片舌宽， c 为硅钢片窗口宽度。

图(b)为骨架的横板，共两块。横板的高度 H 尺寸为：

$$H = h - 1(\text{mm})$$

式中 h 为硅钢片窗口高度。

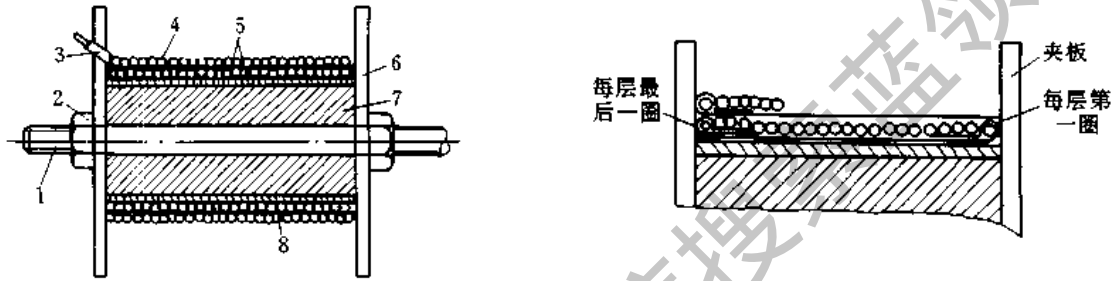
图 (c) 为骨架的纵板, 共两块。图 (d) 为骨架的装配图。

二、线圈的绕制

由于线圈骨架分为无边框骨架和有边框骨架两种, 因此绕线方法略有不同。

1. 无边框线圈骨架的绕制

如图 6.4.7 (a) 所示, 将木心连同无边框的骨架一起装在绕线机轴上, 两端用夹板夹住, 再用螺母夹紧。在骨架外面包两层 0.05mm 厚的电话纸和两层 0.05mm 厚的聚酯薄膜。在骨架的最边缘绕线圈的第一圈时, 将绝缘纸把漆包线包裹起来, 第二圈起将绝缘纸压牢, 如图 6.4.7 (b) 所示。第一圈的引出线头需用电缆纸衬垫, 压在第一层导线下面。当绕到每层最后一圈时, 用 15~25mm 纸带把最后一圈漆包线包裹起来, 然后翻上一层再绕。第二层的第一圈再将绝缘纸把第一圈漆包线包裹起来, 如此一层一层叠绕下去。这样的绕制方法目的是当线包全部叠绕结束, 将两边的夹板拆除后, 线圈边缘的漆包纸不会滑出。绕制时导线要求绕得紧密而且整齐, 不允许有叠绕现象。绕组线尾的处理如图 6.4.7 (c) 所示, 当绕组绕到最后 5~10 圈时 (视漆包线粗细而定), 将一段折回的黄蜡布压在最后几圈下, 最后将线尾穿过黄蜡布的圈内, 再将黄蜡布的尾部抽紧, 这样绕组的线尾就紧固在线包上。



(a) 无边框骨架在绕线机上绕制
1—机轴; 2—螺母; 3—套管; 4—导线;
5—层间绝缘; 6—夹板; 7—木心; 8—绕组骨架

(b) 绝缘纸带的衬垫方法

(c) 绕组线尾的紧固

1—黄蜡布; 2—绕组线尾; 3—夹板

图 6.4.7 无边框骨架线圈的绕制

绕组漆包线的线径小于 0.2mm 时, 线头和线尾应采用多股软线焊接后引出, 以防线头拉断。引出线的焊接不宜用焊油。用漆包线直接引出时, 应外套相应直径的绝缘套管。绕组中间一般不允许有接头。

绕组与绕组之间的绝缘应考虑到耐压强度, 一般初、次级之间或高、低压绕组之间应加强绝缘处理, 一般宜采用包裹二层电话纸和二层聚酯薄膜。

2. 有边框线圈骨架的绕制

由于线圈骨架两边有边框, 叠绕线圈边缘的漆包线不会滑出, 因此绕制较为方便, 只要绕满一层漆包线后垫一圈绝缘纸再绕即可。应特别注意的是每层两边边缘的漆包线必须绕满、绕紧, 不能留出空余地方, 否则, 漆包线一层一层叠绕上去后, 很可能发生上层边缘的漆包线嵌入下面几层线圈中去, 甚至出现次级绕组的漆包线嵌入初级绕组中去, 这样会产生初、次级绕组或层间绕组短路的严重后果。

绕组线尾的处理、引出线的处理、绕线的要求、绕组间和初、次级间的绝缘处理都与无边框骨架线圈绕制相同。

三、线圈的检查

线圈绕制结束后应在线包外表包裹二层 0.08~0.12mm 厚的电缆纸和二层 0.05~0.08mm 厚的聚酯薄膜，经过以下各项的检查才能进行插片和装配。

① 用线圈测试仪测量各个绕组的匝数是否符合设计要求。在业余条件下可通过测量各个绕组的直流电阻，然后与计算出的各绕组直流电阻相比较，一般误差应不超过 10%。

② 用 500V 或 1000V 的兆欧表测量各绕组间的绝缘电阻，一般应为 100M Ω 以上为正常。若绝缘电阻小于 100M Ω ，则说明线包内部受潮，应进行干燥处理；绝缘电阻小于 5M Ω ，绕组间可能存在漏电现象；绝缘电阻近似为零，说明绕组间存在短路。对于绕组间出现漏电和短路现象，必须将线包拆除后重新绕制。

四、变压器的插片

通过检查后的线包就可以将硅钢片插入。对于无边框骨架的线包，应在线包的两侧各衬垫二条 0.5~1.0mm 厚弹性纸剪成的夹条，目的是加强硅钢片窗口与线圈两侧边缘漆包线之间的绝缘强度。夹条的长度为变压器叠厚的 1.2 倍，宽度正好与硅钢片窗口宽度 c 相同。插片时应将硅钢片二片二片地交叉对插，插满线包后应进行紧片，即用薄的旋凿撬开二片一组的硅钢片夹缝，再插入二片硅钢片。这样二片二片地紧片，直至硅钢片插紧为止。

插片时候应注意不能插伤骨架和线包，特别是线包体积比较饱满的时候，更应注意。

五、变压器的组装

铁芯插完后，可将变压器放在平整的铁板上，用木锤将变压器硅钢片的四周平整一下，然后用螺钉或双头螺杆把铁脚将硅钢片夹紧，铁脚应安装平稳。绕组的引出线接至相应的螺钉或焊片上。

六、变压器性能的初步测试

在变压器插片组装结束后还需做以下几项测试合格后才能进行浸漆处理。

- ① 初、次级绕组之间，初级和次级绕组分别对硅钢片之间进行绝缘电阻和绝缘耐压试验。
- ② 空载电压的测试。
- ③ 空载激磁电流的测试。

具体的技术要求和技术数据见第四节和第五节详细说明。

七、变压器的浸漆处理

变压器进行浸漆处理的目的是为了提高变压器的绝缘强度，增强抗潮性能。常用以下处理方法。

- (1) 加热除潮 将变压器放入烘箱内，烘箱温度控制在 80~85 $^{\circ}\text{C}$ ，时间保持 3h。
- (2) 浸绝缘漆 将加热除潮后的变压器浸入 H30-2 (3440) 环氧绝缘清漆中，时间保持 1h。
- (3) 滴漆 将变压器提出漆面，滴漆 1h，让变压器多余的绝缘漆滴尽。
- (4) 加热烘干 滴漆后的变压器应放入烘箱烘干处理。可先用 80~85 $^{\circ}\text{C}$ 的温度预烘 4h，再用 110~115 $^{\circ}\text{C}$ 的温度烘干 8h。对于 1kVA 以上容量的变压器，烘干时间应延长至 12~16h。

如果没有绝缘漆，在业余条件下也可采用浸蜡处理。将变压器预烘除潮后立即放入熔化的白蜡中，待变压器中的气泡排尽后取出自然干燥凝固即可。

第四节 控制变压器的技术数据

BK 系列和 BK1 系列单相控制变压器的技术数据分别见表 6.4.3 和表 6.4.4 所示。BK、BKC 系列控制变压器部分绕组的数据见表 6.4.5。

表 6.4.3 BK 系列单相控制变压器的技术数据

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
25		380/220-127-110- 36-24-12-6.3	380	2265	0.18	
			220	1368	0.21	
			127	789	0.27	
			110	688	0.29	
			36	224	0.51	
			24	150	0.62	
			12	75	0.90	
			6.3	39	1.2	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
25	230/220-127-110-36-24-12-6.3		230	1375	0.23	
			220	1368	0.21	
			127	789	0.27	
	230/220-127-110-36-24-12-6.3		110	688	0.29	
			36	224	0.51	
			24	150	0.62	
			12	75	0.9	
			6.3	39	1.2	
	220/220-127-110-36-24-12-6.3		220	1315	0.21	
			220	1368	0.21	
			127	789	0.27	
			110	688	0.29	
36			224	0.51		
24			150	0.62		
6.3			39	1.2		
110/220-127-110-36-24-12-6.3		110	657	0.29		
		220	1368	0.21		
		127	789	0.27		
		110	688	0.29		
		36	224	0.51		
		24	150	0.62		
		6.3	39	1.2		
50	127/36		127	472	0.51	0.18
			36	147	0.90	0.15
	220/12		220	818	0.35	0.16
			12	49	1.00×2	0.17
	380/36-6.3		380	1410	0.29	0.18
			36~6.3	147	0.90	0.15
	380/24		380	1410	0.29	0.18
			24	98	1.20	0.17
	380/12		380	1410	0.29	0.18
			12	49	1.00×2	0.17
	220/36		220	818	0.35	0.16
			36	147	0.90	0.15
	380/127		380	1410	0.29	0.18
			127	480	0.47	0.15
	127/6.3		127	472	0.51	0.18
6.3			25	1.40×2	0.12	
220/6.3		220	818	0.35	0.16	
		6.3	25	1.40×2	0.12	
380/127-36		380	1410	0.29	0.28	
		127~36	496	0.47		
220/12-6.3		220	818	0.35	0.16	
		12~6.3	49	1.00×2	0.17	
220/127-12		220	818	0.35	0.23	
		127~12	496	0.47		

续表

名称 总容量/VA	规格	电压/V	总匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
50	440/36	440	1630	0.27	0.20
		36	147	0.90	0.15
	220/24	220	818	0.35	0.16
		24	98	1.20	0.17
	380/32-28	380	1410	0.29	0.18
		32 ~ 28	125	1.00	0.16
	380/54	380	1410	0.29	0.18
		54	210	0.72	0.15
	110/6.3	110	408	0.51	0.16
		6.3	25	1.40 × 2	0.12
	420/36	420	1562	0.27	0.20
		36	147	0.90	0.15
	127/80-70-65-60	127	472	0.72	0.40
		80			
		70			
65					
60					
380/127-6.3	380	1410	0.29	0.18	
	127 ~ 6.3	480	0.47	0.15	
380/12-6.3	380	1410	0.29	0.18	
	12 ~ 6.3	49	1.00 × 2	0.17	
400/36	400	1486	0.27	0.20	
	36	147	0.90	0.15	
250-220/7	250 ~ 220	930	0.35	0.21	
	7	27	1.40 × 2	0.13	
100	380/36-6.3	380	1010	0.41	0.29
		36 ~ 6.3	103	1.20	0.25
	380/220-36	380	1010	0.41	0.29
		220	615	0.35	0.18
	380/127-12	36	103	0.90	0.15
		380	1010	0.41	0.29
	500/127	127	344	0.47	0.12
		12	35	1.40	0.12
	380/24	500	1330	0.35	0.28
		127	344	0.62	0.22
	220/127	380	1010	0.41	0.29
		24	69	1.62	0.28
	380/36-12	220	584	0.51	0.25
		127	344	0.62	0.22
	220/36	380	1010	0.41	0.23
36 ~ 12		103	1.20	0.25	
380/12	220	584	0.51	0.25	
	36	103	1.20	0.25	
220/12	380	1010	0.41	0.29	
	12	35	1.62 × 2	0.28	
380/127-36	220	584	0.51	0.25	
	12	35	1.62 × 2	0.28	
380/127-36	380	1010	0.41	0.29	
	127	344	0.47	0.12	
	36	103	0.90	0.15	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
100		380/127-6.3	380	1010	0.41	0.29
			127 ~ 6.3	344	0.62	0.22
		420/127	420	1117	0.41	0.32
			127	344	0.62	0.22
		420/127-36	420	1117	0.41	0.32
			127	344	0.47	0.12
			36	103	0.90	0.15
		380/110-36	380	1010	0.41	0.29
			110	304	0.51	0.18
			36	103	0.90	0.15
		220/24	220	584	0.51	0.25
			24	69	1.62	0.28
		380/30	380	1010	0.41	0.29
			30	84	1.20	0.24
		380/36-36	380	1010	0.41	0.29
			36	100	0.80	0.16
			36	103	0.80	0.13
		220/36-36	220	584	0.51	0.25
			36	100	0.80	0.16
			36	103	0.80	0.13
		220/6.3	220	584	0.51	0.25
			6.3	18	2.02 × 2	0.25
		110/220	110	293	0.72	0.25
			220	615	0.51	0.25
		500-380/127-110	500 ~ 380	1330	0.41	0.38
			127 ~ 110	344	0.72	0.22
		380/36-24	380	1010	0.41	0.29
			36 ~ 24	103	1.62	0.25
		380/36-12	380	1010	0.41	0.29
			36	103	0.90	0.16
12	35		1.40	0.12		
380/12-6.3	380	1010	0.41	0.29		
	12 ~ 6.3	35	1.62 × 2	0.28		
220/36-6.3	220	584	0.51	0.25		
	36 ~ 6.3	103	1.20	0.25		
220/36-12	220	584	0.51	0.25		
	36	103	0.90	0.16		
	12	35	1.40	0.12		
380/50-36	380	1010	0.41	0.29		
	50 ~ 36	140	1.20	0.34		
380/36-34	380	1010	0.41	0.29		
	36 ~ 34	103	1.20	0.23		
380/18-12	380	1010	0.41	0.29		
	18 ~ 12	52	1.62 × 2	0.40		
127/12	127	338	0.72	0.29		
	12	35	1.62 × 2	0.28		
440/127-12	440	980	0.35	0.28		
	127	295	0.47	0.15		
	12	29	1.40	0.49		

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
100	380/127-6.3-36		380	1010	0.41	0.29
			127 ~ 6.3	344	0.47	0.12
			36	103	0.90	0.15
	420/127-6.3-36		420	1117	0.41	0.32
			127 ~ 6.3	344	0.47	0.12
			36	103	0.90	0.15
	380/220		380	1010	0.41	0.29
			220	615	0.51	0.25
	220/127-12		220	584	0.51	
			127	344	0.47	
		12	35	1.40		
380-220/36		380 - 220	1010	0.41		
		36	103	1.20		
150	380/36		380	802	0.51	0.38
			36	80	1.2 × 2	0.45
	380/220-110		380	802	0.51	0.38
			220 ~ 110	240	0.62	0.45
	380/127-6.3		380	802	0.51	0.38
			127 ~ 6.3	274	0.80	0.40
	380/127-12-6		380	802	0.51	0.38
			127-12-6	274	0.80	0.40
	220/36		220	465	0.72	0.40
			36	80	1.20 × 2	0.45
	380/127-6.3-36		380	802	0.51	0.38
			127 ~ 6.3	274	0.62	0.30
			36	80	0.90	0.15
	220/12		220	465	0.72	0.40
			12	27	1.81 × 2	0.35
	380/220-36		380	802	0.51	0.38
			220	480	0.51	0.30
			36	80	0.90	0.15
	380/36-12		380	802	0.51	0.38
			36 ~ 12	79	1.20 × 2	0.46
380/127-6.3-12		380	802	0.51	0.38	
		127 ~ 6.3	274	0.62	0.30	
		12	27	1.40	0.15	
220/380		220	465	0.72	0.40	
		380	830	0.51	0.40	
380/140-120-110		380	802	0.51	0.38	
		140-120-110	310	0.90	0.38	
380/110-100-90		380	802	0.51	0.38	
		110-100-90	244	1.00	0.38	
420/36		420	888	0.51	0.40	
		36	80	1.20 × 2	0.45	
420/220		420	888	0.51	0.40	
		220	480	0.62	0.45	
380/12		380	802	0.51	0.38	
		12	27	1.81 × 2	0.35	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
150		220/6.3	220	465	0.72	0.40
			6.3	16	2×0.5	0.35
		380/240-220-200	380	802	0.51	0.38
			240-220-200	310	0.90	0.52
		230-220/220-110	230-220	485	0.72	0.43
			220-110	240	0.62	0.40
		220-110/440-220	220-110	232	0.72	0.40
			440-220	480	0.41	0.40
		420/127-36	420	888	0.51	0.40
			127	274	0.62	0.30
			36	80	0.90	0.15
		380-220/36-6.3	380-220	802	0.72	0.69
			36-6.3	80	1.20×2	0.45
		380/54-48-36	380	802	0.51	0.38
			54-48-36	118	1.20×2	0.68
380-220/127-36	380-220	802	0.51	0.69		
	127	274	0.62	0.30		
	36	80	0.90	0.15		
127/36	127	268	0.80	0.40		
	36	80	1.20×2	0.45		
220/36-24	220	465	0.72	0.40		
	36-24	80	1.40×2	0.62		
220/127-24	220	465	0.72	0.40		
	127	274	0.62	0.30		
	24	53	1.00	0.15		
300		380/127-36	380	760	0.72	0.78
			127	258	1.00	0.70
			36	78	0.90	0.16
		380/127-32	380	760	0.72	0.78
			127	258	1.00	0.70
			32	70	0.90	0.15
		380/127-24	380	760	0.72	0.78
			127	258	1.00	0.70
			24	53	1.00	0.12
		380/127-6.3	380	760	0.72	0.78
			127-6.3	258	1.20	0.75
		380/36-6.3	380	760	0.72	0.78
			36-6.3	78	1.62×2	0.76
		380/12	380	760	0.72	0.78
			12	26	1.81×4	0.78
380/24	380	760	0.72	0.78		
	24	50	1.81×2	0.78		
220/12	220	440	0.90	0.78		
	12	26	1.81×4	0.78		
220/127	220	440	0.90	0.78		
	127	258	1.20	0.75		
220/36	220	440	0.90	0.78		
	36	78	1.62×2	0.76		

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
300	380-220/36		380 ~ 220	760	0.90	1.20
			36	78	1.62 × 2	0.76
	380/127-6.3-36		380	760	0.72	0.78
			127 ~ 6.3	258	1.00	0.70
			36	78	0.90	0.16
	380/127-110		380	760	0.72	0.78
			127 ~ 110	258	1.20	0.75
	380-220/12		380 ~ 220	760	0.90	1.2
			12	26	1.81 × 4	0.78
	220/24		220	440	0.90	0.78
			24	50	1.81 × 2	0.78
	420/220		420	840	0.72	0.86
			220	454	0.90	0.75
	380/220		380	760	0.72	0.78
			220	454	0.90	0.75
	220/110		220	440	0.90	0.78
			110	232	1.20	0.74
	220/150		220	440	0.90	0.78
			150	314	1.00	0.78
	220/127-36		220	440	0.90	0.8
127			260	1.00	0.73	
36			78	0.90	0.73	
220/127-24		220	440	0.90	0.8	
		127	260	1.00	0.73	
		24	53	1.00	0.65	
380/127-6.3-36		380	524	0.80	1.06	
		127 ~ 6.3	177	1.20	0.90	
		36	54	0.90	0.16	
220/36		220	304	1.20	1.06	
		36	54	1.81 × 2	1.0	
380/127		380	524	0.80	1.06	
		127	177	1.40	1.1	
380/36-6.3		380	524	0.80	1.06	
		36 ~ 6.3	54	1.81 × 2	1.0	
380/127-12		380	524	0.80	1.06	
		127	177	1.20	0.90	
		12	18	1.40	0.12	
380/12		380	524	0.80	1.06	
		12	17	2 × 3.15 扁线	1.0	
380/127-24		380	524	0.80	1.06	
		127	177	1.20	0.90	
		24	36	1.00	0.12	
380/144		380	524	0.80	1.06	
		144	205	1.40	1.3	
380/220-6.3-36		380	524	0.80	1.06	
		220 ~ 6.3	313	1.00	1.1	
		36	54	0.90	0.16	
380/127-6.3		380	524	0.8	1.06	
		127 ~ 6.3	177	1.40	1.1	

400

获取更多资料

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	总匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
400		220/127-36	220	304	1.20	1.06
			127	177	1.20	0.9
			36	54	0.90	0.16
500	380/127-6.3		380	432	0.90	1.2
			127 ~ 6.3	146	1.62	1.3
	380/36-6.3		380	432	0.90	1.2
			36 ~ 6.3	43	1.40 × 4	1.2
	380/127-36		380	432	0.90	1.2
			127	146	1.40	1.0
			36	43	0.90	0.16
	220/127-6.3		220	252	1.20	1.2
			127 ~ 6.3	146	1.62	1.3
	380/110		380	432	0.90	1.2
			110	130	1.62	1.2
	380/127-6.3-36		380	432	0.90	1.2
			127 ~ 6.3	146	1.40	1.0
			36	43	0.90	0.16
	220/12		220	252	1.20	1.2
			12	15	1.0 × 2	1.0
	220/127-36		220	252	1.20	1.2
			127	146	1.40	1.0
			36	43	0.90	0.16
	380-220/36		380-220	432	1.20	2.0
			36	43	2.02 × 2	1.0
380/12		380	432	0.90	1.2	
		12	15	1.0 × 2	1.0	
380/220		380	432	0.90	1.2	
		220	264	1.00	1.0	
220/220		220	252	1.20	1.2	
		220	264	1.00	1.0	
380-220/127-36		380-220	432	1.20	2.0	
		127	146	1.40	1.0	
		36	43	0.90	0.16	
220/36		220	252	1.20	1.2	
		36	43	2.02 × 2	1.0	
220/110		220	252	1.20	1.2	
		110	130	1.62	1.2	
220/36-24		220	252	1.20	1.2	
		36 ~ 24	43	1.62 × 4	1.5	
380/85-75-65		380	432	0.90	1.2	
		85-75-65	99	2.02	1.2	
380/127-12		380	432	0.90	0.85	
		127	146	1.40	1.00	
		12	15	1.60		
1000	380/127		380	284	1.20	1.8
			127	97	1.40 × 2	2.0
	380/220-36		380	284	1.20	1.38
			220	170	1.62	1.25
			36	28	0.90	

续表

名称 总容量/VA	规格	电压/V	总匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
1000	220/36	220	165	1.81	1.23
		36	28	2.02 × 4	1.48
	380/36-6.3	380	284	1.20	1.38
		36 ~ 6.3	28	2.02 × 4	2.4
	380/127-6.3-36	380	284	1.20	1.8
		127 ~ 6.3	97	1.40 × 2	2.0
		36	28	0.90	0.10
	380/127-50-60	380	284	1.20	1.8
		127	97	0.80	2.0
		50 ~ 60	46	2.02 × 2	1.2
	220/24	220	165	1.81	1.75
		24	20	10mm ² 扁线	2.40
	220/127	220	165	1.81	1.75
		127	97	1.40 × 2	2.0
	380/260-240-220	380	284	1.20	1.8
		260-240-220	203	1.62	2.4
	380/280-260-240	380	284	1.20	1.8
		280-260-240	215	1.40	2.4
	220/320	220	184	1.81	2.0
		320	275	1.40	2.75
380/60-6.3	380	316	1.20	2.1	
	60 ~ 6.3	52	2 × 5 扁线	3.2	
380-220/36	380 ~ 220	316	1.20	2.5	
	36	36	1.81 × 4	2.4	
220/110	220	165	1.81	1.75	
	110	87	1.62 × 2	1.75	
220/127-6.3-36	220	165	1.81	1.75	
	127 ~ 6.3	97	1.4 × 2	0.9	
	36	29	0.9	0.16	
380/220	380	284	1.20	1.8	
	220	168	1.62	2.00	
380/220-12	380	284	1.20	1.8	
	220	168	1.62	2.00	
	12	10	1.40	0.15	
1500	440/220-127-36	440	260	1.4	
		220	137	1.95	
		127	79	1.88 × 2	
		36	22	1.88 × 6	
	380/220-127-36	380	232	1.68	
		220	137	1.95	
		127	79	1.88 × 2	
		36	22	1.88 × 4	
	220/220-127-36	220	134	1.95	
		220	137	1.95	
		127	79	1.88 × 2	
		36	22	1.88 × 6	

表 6.4.4 BKI 系列单相控制变压器的技术数据

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
25	220/36		220	25	1460	0.25	0.092
			36		263	0.55	0.087
	220/18		220	25	1460	0.25	0.092
			18		128	0.77	0.0815
	220/6.3		220	25	1460	0.25	0.092
			6.3		44	1.35	0.0845
380/36		380	25	2470	0.19	0.094	
		36		263	0.55	0.084	
380/18		380	25	2470	0.19	0.094	
		18		128	0.77	0.077	
380/6.3		380	25	2470	0.19	0.094	
		6.3		44	1.35	0.095	
50	380-220/36-6.3		380	45	1580	0.25	0.0542
			220		912	0.33	0.109
			36		161	0.72	0.118
			6.3		26	0.59	0.0123
	220/36-6.3		220	45	912	0.33	0.109
			36		161	0.72	0.115
			6.3		26	0.59	0.0123
	380/36-6.3		380	5	1580	0.25	0.15
			36		161	0.72	0.114
			6.3		26	0.59	0.0121
	380-220/127		380	50	1580	0.25	0.0542
			220		912	0.33	0.109
			127		568	0.41	0.138
	220/127		220	50	912	0.33	0.109
			127		568	0.41	0.135
	380/127		380	50	1580	0.25	0.15
			127		568	0.41	0.133
	220/110		220	50	912	0.33	0.109
110			487		0.44	0.137	
220/60		220	50	912	0.33	0.109	
		60		265	0.59	0.131	
220/18		220	50	912	0.33	0.109	
		18		80	1.08	0.131	
380/110		380	50	1580	0.25	0.15	
		110		487	0.44	0.134	
380/60		380	50	1580	0.25	0.15	
		60		265	0.59	0.126	
380/18		380	50	1580	0.25	0.15	
		18		265	1.08	0.126	
100	380-220/127/36-6.3		380	50	1185	0.35	0.093
			220		687	0.49	0.216
			127		418	0.41	0.114
			36		119	0.72	0.107
	220/127/36-6.3		220	50	687	0.49	0.216
			127		418	0.41	0.113
		36	5	119	0.72	0.107	
		6.3		19	0.59	0.0124	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
100	380/127/36-6.3	380	1185		0.35	0.196	
		127	50	418	0.41	0.11	
		36	45	119	0.72	0.105	
		6.3	5	19	0.59	0.011	
	380-220/36-6.3	380	1185		0.35	0.093	
		220	687		0.49	0.216	
		36	90	119	1.04	0.209	
		6.3	10	19	0.83	0.021	
	220/36-6.3	220	687		0.49	0.216	
		36	90	119	1.04	0.208	
		6.3	10	19	0.83	0.021	
	380/36-6.3	380	1186		0.35	0.196	
		36	90	119	1.04	0.204	
		6.3	10	19	0.83	0.020	
	380-220/127	380	1185		0.35	0.093	
		220	687		0.49	0.216	
		127	100	418	0.59	0.238	
	220/127	220	687		0.49	0.216	
		127	100	418	0.59	0.238	
	380/127	380	1185		0.35	0.196	
127		100	418	0.59	0.234		
220/110	220	687		0.49	0.216		
	110	100	363	0.62	0.23		
220/60	220	687		0.49	0.216		
	60	100	198	0.86	0.237		
220/18	220	687		0.49	0.216		
	18	100	60	1.56	0.234		
380/260	380	1185		0.35	0.196		
	260	100	859	0.41	0.245		
380/220	380	1185		0.35	0.196		
	220	100	726	0.47	0.234		
380/110	380	1185		0.35	0.196		
	110	100	363	0.62	0.224		
380/60	380	1185		0.35	0.196		
	60	100	198	0.86	0.23		
380/18	380	1185		0.35	0.196		
	18	100	60	1.56	0.23		
150	380-220/127/36-6.3	380	820		0.44	0.116	
		220	474		0.59	0.242	
		127	100	285	0.62	0.20	
		36	45	81	0.77	0.096	
		6.3	5	13	0.62	0.010	
	220/127/36-6.3	220	474		0.59	0.242	
		127	100	285	0.62	0.198	
		36	45	81	0.77	0.096	
		6.3	5	13	0.62	0.0097	
	380/127/36-6.3	380	820		0.44	0.244	
		127	100	285	0.62	0.197	
		36	45	81	0.77	0.093	
		6.3	5	13	0.62	0.0095	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
150		380-220/127	380	150	820	0.44	0.116
			220		474	0.59	0.242
			127		285	0.74	0.294
		220/127	220	150	474	0.59	0.242
			127		285	0.74	0.292
		380/127	380	150	820	0.44	0.244
			127		285	0.74	0.278
		220/110	220	150	474	0.59	0.242
			110		247	0.80	0.298
		220/60	220	150	474	0.59	0.242
			60		135	1.08	0.292
		220/18	220	150	474	0.59	0.242
			18		40	2.02	0.296
		380/260	380	150	820	0.44	0.268
260	583		0.53		0.272		
380/220	380	150	820	0.44	0.268		
	220		494	0.57	0.280		
380/110	380	150	820	0.44	0.268		
	110		247	0.80	0.272		
380/60	380	150	820	0.44	0.268		
	60		150	1.08	0.262		
380/18	380	150	820	0.44	0.268		
	18		40	2.02	0.272		
300		380-220/127/36-6.3	380	250	635	0.69	0.251
			220		365	0.93	0.527
			127		220	1.04	0.546
			36		63	0.80	0.096
		220/127/36-6.3	6.3	5	10	0.62	0.0093
			220	250	366	0.93	0.527
			127		220	1.04	0.542
			36		63	0.80	0.096
		6.3	10		0.62	0.0093	
		380/127/36-6.3	380	250	635	0.69	0.532
			127		220	1.04	0.525
			36		63	0.80	0.103
			6.3		10	0.62	0.0091
		380-220/127/36-6.3	380	200	635	0.69	0.251
			220		366	0.93	0.527
			127		220	0.93	0.425
			36		63	1.12	0.192
		220/127/36-6.3	6.3	10	10	0.93	0.021
220	200		366	0.93	0.527		
127			220	0.93	0.422		
36			63	1.12	0.191		
6.3		10	0.90	0.020			
380/127/36-6.3	380	200	635	0.69	0.533		
	127		220	0.93	0.40		
	36		63	1.12	0.182		
	6.3		10	0.90	0.020		

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg
300	380-220/127		380		635	0.69	0.251
			220		366	0.93	0.527
			127	300	220	1.12	0.642
	220/127		220		366	0.93	0.527
			127	300	220	1.12	0.63
	380/127		380		635	0.69	0.532
			127	300	220	1.12	0.64
300	220/110		220		366	0.93	0.527
			110	300	132	1.20	0.61
	380/260		380		635	0.69	0.533
			260	300	453	0.80	0.642
	380/220		380		635	0.69	0.532
			220	300	383	0.86	0.626
	380/110		380		635	0.69	0.532
		110	300	192	1.20	0.61	
500	380-220/127/36-6.3		380		435	0.90	0.336
			220		251	1.20	0.758
			127	450	151	1.40	0.742
			36	45	43	0.80	0.0768
			6.3	5	7	0.62	0.0075
	220/127/36-6.3		220		251	1.20	0.758
			127	450	151	1.40	0.74
			36	45	43	0.80	0.0757
			6.3	5	7	0.62	0.0075
	380/127/36-6.3		380		435	0.90	0.735
			127	450	151	1.40	0.733
			36	45	43	0.80	0.0752
			6.3	5	7	0.62	0.00745
	380-220/127/36-6.3		380		435	0.9	0.336
			220		251	1.2	0.757
		127	400	151	1.35	0.692	
		36	90	43	1.2	0.17	
		6.3	10	7	0.9	0.0155	
220/127/36-6.3		220		251	1.2	0.758	
		127	400	151	1.35	0.683	
		36	90	43	1.2	0.168	
		6.3	10	7	0.9	0.0153	
380/127/36-6.3		380		435	0.9	0.736	
		127	400	151	1.35	0.668	
		36	90	43	1.2	0.168	
		6.3	10	7	0.9	0.0152	
380-220/127		380		435	0.9	0.336	
		220		251	1.2	0.758	
		127	500	151	1.5	0.852	
220/127		220		251	1.2	0.752	
		127	500	151	1.5	0.847	
380/127		380		435	0.9	0.736	
		127	500	151	1.5	0.844	

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg			
500	220/110		220	500	251	1.2	0.758			
			110		130	1.56	0.54			
	380/260		380	500	435	0.9	0.736			
			260		308	1.04	0.84			
	380/110		380	500	435	0.9	0.736			
			110		130	1.56	0.525			
700	380-220/127/36-6.3		380	650	422	1.12	0.548			
			220		244	1.5	1.141			
			127		145	1.74	1.21			
			36		41	0.8	0.0795			
			6.3		7	0.8	0.0137			
	220/127/36-6.3			220	650	244	1.5	1.141		
				127		145	1.74	1.20		
				36		41	0.8	0.0785		
				6.3		7	0.8	0.0135		
	380/127/36-6.3			380	650	422	1.12	1.16		
				127		145	1.74	1.19		
				36		41	0.8	0.0775		
				6.3		7	0.8	0.0133		
	380-220/127/36-6.3			380	600	422	1.12	0.548		
				220		244	1.5	1.141		
				127		145	1.68	1.11		
				36		90	1.2	0.18		
				6.3		10	0.9	0.017		
	220/127/36-6.3			220	600	244	1.5	1.141		
				127		145	1.68	1.10		
				36		90	1.2	0.188		
				6.3		10	0.9	0.0169		
380/127/36-6.3			380	600	422	1.12	1.16			
			127		145	1.68	1.08			
			36		90	1.2	0.177			
			6.3		10	0.9	0.0168			
380-220/127			380	700	422	1.12	0.548			
			220		244	1.5	1.141			
			127		145	1.74	1.21			
220/127			220	700	244	1.5	1.141			
			127		145	1.74	1.23			
380/127			380	700	422	1.12	1.16			
			127		145	1.74	1.19			
1000	380-220/127/36-6.3		380	950	305	1.35	0.615			
			220		177	1.74	1.22			
			127		104	1.56×2	1.54			
			36		30	0.8	0.068			
			6.3		5	0.8	0.0116			
	220/127/36-6.3			220	950	177	1.74	1.22		
				127		104	1.56×2	1.578		
				36		30	0.8	0.059		
				6.3		5	0.8	0.011		

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配 /VA	匝数	导线直径 /mm	导线质量 /kg	
1000	380/127/36-6.3		380	950	305	1.35	1.33	
			127		104	1.56 × 2	1.52	
			36		30	0.8	0.062	
			6.3		5	0.8	0.0123	
	380-220/127/36-6.3			380	900	305	1.35	0.615
				220		177	1.74	1.22
				127		104	2.1	1.45
				36		30	1.2	0.151
	220/127/36-6.3			6.3	10	5	1.2	0.028
				220	900	177	1.74	1.22
				127		104	2.1	1.39
				36		30	1.2	0.15
	6.3	10	5	1.2		0.035		
	380/127/36-6.3			380	900	305	1.35	1.33
127				104		2.1	1.32	
36				30		1.2	0.154	
6.3				10		5	1.2	0.0396
380-220/127			380	1000	305	1.35	0.615	
			220		177	1.74	1.22	
			127		104	1.56 × 2	1.60	
220/127			220	1000	177	1.74	1.22	
			127		104	1.56 × 2	1.578	
380/127			380	1000	305	1.35	1.33	
			127		104	1.56 × 2	1.52	
1500	380-220/127/36-6.3			1400	232	1.68	0.832	
					134	1.62 × 2	1.992	
					79	1.95 × 2	2.04	
					22	1.2	0.115	
	220/127/36-6.3			6.3	10	4	0.9	0.0105
				220	1400	134	1.62 × 2	1.992
				127		79	1.95 × 2	2.04
				36		22	1.2	0.104
	6.3	10	4	0.9		0.0105		
	380/127/36-6.3			380	1400	232	1.68	1.81
				127		79	1.95 × 2	2.05
				36		22	1.2	0.104
				6.3		10	4	0.9
	380-220/127/36-6.3			380	1350	232	1.68	0.832
				220		134	1.62 × 2	1.992
				127		79	1.95 × 2	2.04
				36		22	1.2	0.115
	220/127/36-6.3			6.3	15	4	0.9	0.0105
220				1350	134	1.62 × 2	1.992	
127					79	1.95 × 2	2.04	
36					22	1.2	0.104	
6.3	15	4	0.9		0.0105			
380/127/36-6.3			380	1350	232	1.68	1.81	
			127		79	1.95 × 2	2.05	
			36		22	1.2	0.104	
			6.3		15	4	0.9	0.0105

续表

总容量/VA	名称	规格	电压/V	容量分配/VA	匝数	导线直径/mm	导线质量/kg
1500	220/127		220	1500	134	1.62 × 2	1.992
			127		79	1.95 × 2	2.04
	380/127		380	1500	232	1.68	1.81
			127		79	1.95 × 2	2.05

表 6.4.5 BK、BKC 系列控制变压器部分绕组的数据

型号	铁芯磁通密度/T	一次侧绕组				二次侧绕组匝数						每伏匝数/(匝·V)		电流密度/(A·mm ²)	
		匝数		线径/mm		6V	12V	24V	36V	127V	220V	初级	次级	初级	次级
		220V	380V	220V	380V										
BK-25	1.2850	1315	2265	0.23	0.18	38	75	150	224	789	1368	5.96	6.23	2.7	2.9
BK-50	1.2800	818	1410	0.35	0.29	24	48	95	143	500	869	3.71	3.95	2.3	2.5
BK-100	1.1700	584	1010	0.51	0.41	17	35	69	103	355	615	2.66	2.80		
BK-150	1.1600	465	802	0.72	0.51	14	27	53	80	274	480	2.11	2.22	2.1	2.4
BK-300	0.9200	440	760	0.90	0.72	13	25	50	75	258	454	2.00	2.08		
BK-400	1.1200	304	524	1.12	0.80	9	18	36	54	177	312	1.38	1.42	2	2.3
BK-500	1.0250	252	432	1.20	0.90	7	15	29	43	146	262	1.14	1.19		
BK-1000	1.0500	165	285	1.62	1.20	5	10	19	28	98	169	0.749	0.770	1.9	2.0
BK-1500	1.1600	134	232	1.95	1.68	—	—	15	22	79	137	0.609	0.622		
BK-2000	1.0300	100	173	2.24	1.90	—	—	11	17	59	102	0.455	0.465	2.7	3
BKC-25	1.4500	1694	2926	0.23	0.17	50	98	198	296	1044	1810	7.70	8.22		
BKC-50	1.3700	1180	2052	0.33	0.25	35	69	138	207	728	1263	5.38	5.74	2.7	3
BKC-100	1.3950	858	1482	0.47	0.35	25	50	100	150	526	915	3.90	4.16		
BKC-150	1.4550	800	1380	0.56	0.47	23	46	92	140	480	840	3.64	3.82	2.5	2.8
BKC-250	1.4300	712	1230	0.80	0.60	20	41	82	123	432	750	3.24	3.41		

第五节 控制变压器的技术要求

一、控制变压器的正常使用条件

- ① 周围环境温度：-30 ~ +40℃。
- ② 周围空气最大相对湿度不大于 90%（温度为 +25℃ 时）。
- ③ 海拔不超过 1000m。
- ④ 无蒸气、化学性沉积、灰尘、污垢及酸碱盐雾等腐蚀性的环境中。
- ⑤ 室内使用。

二、控制变压器的技术要求

1. 安全要求

(1) 绝缘电阻

- ① 控制变压器的冷态绝缘电阻应不低于 10MΩ。
- ② 控制变压器在热态和潮态情况下的绝缘电阻应不低于 2MΩ。

(2) 绝缘强度 控制变压器的电气绝缘强度应能承受交流 50Hz、2000V 正弦交流电压的耐压试验，历时 1min 不发生击穿或闪络现象。

(3) 泄漏电流 控制变压器的泄漏电流不得超过 3mA。

(4) 温升 控制变压器的线圈、铁芯处的温升值不得超过表 6.4.6 所示数据。

表 6.4.6 控制变压器的温升

部位	极限温升 (E 级绝缘)	测量法
线圈	75K	电阻法
铁芯	55K	半导体点温计法

(5) 接地 控制变压器应有供接地用的专用端子，并标有接地符号⊥。

2. 性能要求

(1) 额定容量 控制变压器的额定容量 P 按下式计算：

$$P = U_2 I_2$$

式中 U_2 ——输出电压，V；

I_2 ——额定输出电流，A。

(2) 额定损耗 控制变压器的额定损耗应符合表 6.4.7 规定。

表 6.4.7 控制变压器的额定损耗

数据 项目 型号规格	空载电流/A		空载损耗 /W	数据 项目 型号规格	空载电流/A		空载损耗 /W
	输入电压 220V	输入电压 380V			输入电压 220V	输入电压 380V	
BK-50	<0.11	<0.07	<7.5	BK-400	<0.30	<0.18	<26
BK-100	<0.17	<0.10	<11	BK-500	<0.35	<0.20	<27.5
BK-150	<0.20	<0.12	<15	BK-1000	<0.60	<0.35	<38
BK-200	<0.24	<0.14	<18	BK-1500	<0.70	<0.41	<45
BK-250	<0.25	<0.15	<20	BK-2000	<1.00	<0.59	<56
BK-300	<0.26	<0.16	<22.5	BK-3000	<1.40	<0.90	<75

(3) 效率 控制变压器的效率应符合表 6.4.8 规定。

表 6.4.8 控制变压器的效率

型号规格	效率/%	型号规格	效率/%	型号规格	效率/%
BK-50	≥80	BK-250	≥88	BK-1000	≥93
BK-100	≥83	BK-300	≥89	BK-1500	≥94
BK-150	≥84.7	BK-400	≥89	BK-2000	≥95
BK-200	≥86.4	BK-500	≥90	BK-3000	≥95.3

获取更多资料

第五章 互感器

第一节 概 述

一、互感器的种类

互感器是特种变压器，它借助于电磁感应，以相同的频率，在两个或更多的绕组之间变换交流电压和电流的静止电器。它有两类：电压互感器和电流互感器。

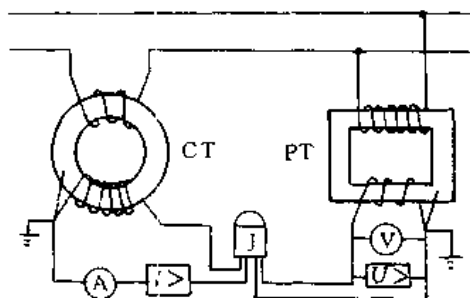


图 6.5.1 互感器在电力系统中的接线原理图
CT—电流互感器；PT—电压互感器

电压互感器一次绕组跨接在电网的线间或线与地间，线路电压就是互感器的一次电压。二次绕组接有电压表或功率表、电度表等的电压线圈以及继电器或自动装置上，用以测量电压。电流互感器的一次绕组串接在线路中，二次绕组接有电流表或有关仪表、继电器或自动装置的电流线圈上，用以测量线路中的电流。

互感器在电力系统中的接线原理图见图 6.5.1。

二、互感器的作用

(1) 测量和保护 与测量仪表配合，对线路中的电压、电流、电能进行测量；与继电器保护装置配合，对电力系统和设备进行过电压、过电流和接地故障保护。

(2) 隔离高压 互感器的一、二次绕组设计有足够的绝缘层，二次绕组的电压较低，可以保证二次系统设备和操作人员的安全。

(3) 有利于电气仪表和继电器标准化 电压互感器的二次绕组额定电压为 100V、 $100/\sqrt{3}$ V、 $100/3$ V，电流互感器二次绕组额定电流为 5A、1A，均为统一标准值，以利于仪表和继电保护装置的标准化。

三、互感器的技术要求

1. 绝缘要求

主要参数是额定电压、最高工作电压、额定雷电冲击耐受电压、额定短时工频耐受电压，见表 6.5.1。目前，用电部门要求生产厂家仍按 GB 311—64 标准考核，见表 6.5.2。局部放电见表 6.5.3。介质损耗率见表 6.5.4。变压器油主要技术性能见表 6.5.5。

表 6.5.1 3~110kV 输变电设备的基准绝缘水平

额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) /kV	额定短时工频耐受电压 /kV	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) /kV	额定短时工频耐受电压 /kV
3	3.5	40	18	20	23.0	125	50
6	6.9	60	23	35	40.5	185	80
10	11.5	75	30	63	69.0	325	140
15	17.5	105	40	110	126.0	450	185

表 6.5.2 3~110kV 输变电设备的基准绝缘水平

额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) /kV	额定短时工频耐受电压 /kV	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定雷电冲击耐受电压 (峰值) /kV	额定短时工频耐受电压 /kV
3	3.5	42	24	20	23.0	120	65
6	6.9	57	32	35	40.5	180	95
10	11.5	75	42	63	69.0	300	140
15	17.5	100	55	110	126.0	425	200

表 6.5.3 局部放电水平 (摘 GB 5583—85)

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

表 6.5.4 35~110kV 互感器介质损耗率 $\tan\delta$ (摘 JB/T 56149—94)

电压等级/kV	35	60~110
$\tan\delta/\%$ (20℃)	≤ 2	≤ 0.8

表 6.5.5 35~110kV 互感器用变压器油主要技术性能 (摘 JB/T 56149—94)

项 目	6~35kV	60~110kV	项 目	6~35kV	60~110kV
击穿电压/kV	≥ 40	≥ 45	含水量/ $\times 10^{-6}$	—	≤ 20
介质损耗率 $\tan\delta$ (90℃)	≤ 0.005	≤ 0.005	溶解气体分析	—	按 GB 7252 进行

2. 准确度要求

互感器准确度的参数是准确级次。电能测量的准确度要求最高, 继电保护的准确度要求较低。GB 1207—86《电压互感器》规定了各准确级次的误差限值, 见表 6.5.6 和表 6.5.7。GB 1208—87《电流互感器》规定了各准确级的误差限值见表 6.5.8~表 6.5.10。

表 6.5.6 测量用电压互感器的误差限值

准确级	电压误差 / $\pm\%$	相 位 差	
		/ \pm (')	/ \pm crad
0.1	0.1	5	0.15
0.2	0.2	10	0.3
0.5	0.5	20	0.6
1	1.0	40	1.2
3	3.0	不规定	不规定

注: 当具有多个分开的二次绕组时, 由于它们之间有相互影响, 每个二次绕组应在规定的负荷范围内符合规定的准确级, 而其他二次绕组应带有其额定负荷的 25%~100% 间的任一值。为验证是否符合此要求, 可以只在极限值下试验。如果某一绕组只有偶然的短时负荷, 则其对另一绕组的影响可以忽略。

表 6.5.7 保护用电压互感器的误差限值

准确级	电压误差 / $\pm\%$	相 位 差	
		/ \pm (')	/ \pm crad
3P	3.0	120	3.5
6P	6.0	240	7.0

注: 1. 当具有剩余电压绕组时, 二次绕组应在剩余电压绕组带有 25%~100% 额定负荷下满足规定的保护准确级。

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

3. 为验证是否符合上述要求, 可以只在极限值下进行试验。

表 6.5.8 测量用电流互感器的误差限值

准确级	电流误差/ $\pm\%$ (在下列额定电流百分数时)				相位差 (在下列额定电流百分数时)							
					/ \pm (')				/ \pm crad			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5	0.45	0.24	0.15	0.15
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9
1	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60	5.4	2.7	1.8	1.8
准 确 级				电流误差/ $\pm\%$ (在下列额定电流百分数时)								
				50				120				
3				3				3				
5				5				5				

表 6.5.9 特殊使用要求的电流互感器的误差限值

准确级	电流误差/± % (在下列额定电流百分数时)					相位差 (在下列额定电流百分数时)									
						/± (')					/± crad				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3	0.3
0.5S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9	0.9

注: 本表仅适用于额定二次电流为 5A 的电流互感器。

表 6.5.10 保护用电流互感器的误差限值

准确级	电流误差/± % (在额定一次电流时)	相位差 (在额定一次电流时)		复合误差/% (在额定准确限值一次电流时)
		/± (')	/± crad	
5P	1	60	1.8	5
10P	3	—	—	10

注: 对于一次为单匝而额定一次电流为 150A 及以下的电流互感器 (例如套管式电流互感器), 其额定一次电流时的误差限值, 由制造厂与用户协商确定。

3. 温升要求

互感器在运行时都会发热。由于互感器绕组的温度升高, 可能使各绝缘材料的物理、化学性能起变化, 机械性能和电气性能下降, 导致运行事故。表 6.5.11 规定了互感器的温升限值。

表 6.5.11 温升限值

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

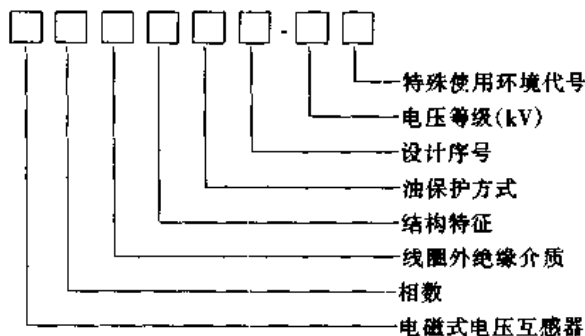
4. 自然环境的要求

主要参数是海拔高度、环境温度、湿度、污秽等。

第二节 电压互感器

一、电压互感器型号含义

电压互感器型号组成方法如下 (按 JB/T 3837—1996 标准):



说明如下。

相数：D—“单”相，S—“三”相。

线圈外绝缘介质：变压器油不标准；G—空气（“干”式）；Z—浇“注”成型固体；Q—“气”体。

结构特征：X—带剩余（零序）绕组；B—三相带“补”偿绕组式；W—“五”柱三绕组；C—“串”级式带剩余（零序）绕组；F—有测量和保护“分”开的二次绕组。

油保护方式：带金属膨胀器不标注；N—不带金属膨胀器。

设计序号：1、2、3……表示第一次、第二次……改型设计。

电压等级：以产品额定电压的 kV 数表示。

特殊使用环境代号：GY—高原地区用；W—污秽地区用；TA—干热带地区用；TH—湿热带地区用。

举例如下。

JDZF7-10GY 表示第 7 次改型设计、计量绕组与监测绕组分开、浇注绝缘、高原用单相电压互感器，额定电压为 10kV。

JDXN6-35 表示第 6 次改型设计，不带金属膨胀器，带剩余绕组、单相油浸绝缘互感器，额定电压为 35kV。

二、电压互感器工作原理

在图 6.5.2 中，当一次电压 \dot{U}_1 加在一次绕组上，就有一次电流 I_1 流经一次绕组，电流与一次绕组匝数 N_1 的乘积 $I_1 N_1$ 称为一次磁势。一次磁势分为两部分，一部分用来励磁，使铁芯产生磁通 Φ_0 ，另一部分用来平衡二次磁势。二次磁势是二次电流 I_2 与二次匝数 N_2 的乘积。电压互感器的磁势平衡方程为：

$$I_1 N_1 = I_0 N_1 + (-I_2 N_2)$$

或者写成：

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = I_0 N_1$$

式中 I_1 、 I_2 、 I_0 为分别用复数表示的一次、二次和励磁电流； N_1 、 N_2 为分别为一次、二次绕组匝数。

图 6.5.3 和图 6.5.4 为电压互感器的等值电路图和相量图。由于 $I_0(r_1 + jx_1)$ 和 $I_2[(r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)]$ 的影响，一次电压相量 \dot{U}_1 与折算到一次侧的二次电压相量 \dot{U}'_2 数值不相等，相位也有差异，这就引起了误差。误差是个复数，通常用电压误差和相位差来表示。

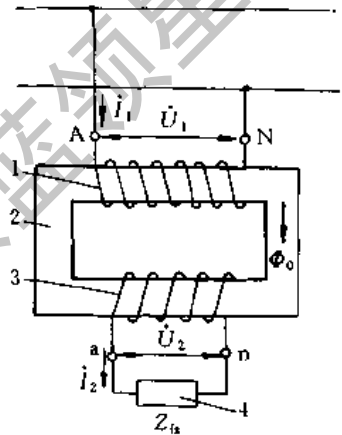


图 6.5.2 电压互感器工作原理图
1—一次绕组；2—铁芯；
3—二次绕组；4—二次负荷

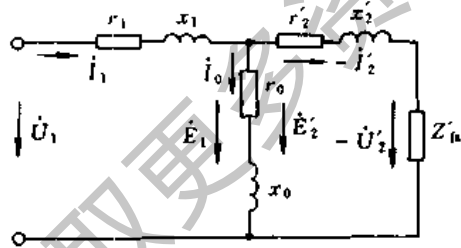


图 6.5.3 电压互感器等值电路图

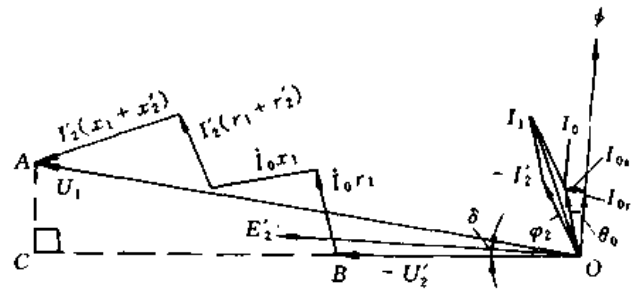


图 6.5.4 电压互感器的相量图

电压误差 f 为：

$$f = \frac{K_n U_2 - U_1}{U_1} \times 100\%$$

式中 K_n 为额定电压比； U_1 、 U_2 为实际一次、二次电压 (V)。当 $K_n U_2 > U_1$ 时， f 为正值；反之， f 为负值。

相角差 δ 是实际一次电压矢量与反转 180° 后的二次电压矢量间的夹角，以分表示。当后者超前于前者时， δ 为正值；反之， δ 为负值。

由于电压互感器的短路阻抗很小，故可将其误差分为空载误差和负荷误差两部分，前者与互感器的空载电流和一次绕组阻抗有关，且与一次电压呈非线性关系；而后者则于互感器的负荷和短路阻抗有关，且与负荷呈

线性关系。

三、电压互感器选用原则

① 根据使用地区的条件和电网接地方式，确定选用产品的结构形式。选择单相三绕组的需三台联用。如有特殊使用条件的应注明。

② 电压互感器一次绕组是并联在电网上的，故其一次电压必须与使用电网上的电压相匹配，并符合 GB 156—93《标准电压》。

③ 供三相系统相间连接的单相电压互感器，额定二次电压为 100V，接在相与地的单相电压互感器额定二次电压为 $100/\sqrt{3}$ V。用于中性点有效接地系统的（接地互感器）剩余电压绕组额定电压为 100V，用于中性点非有效接地系统的（接地互感器）剩余电压绕组额定电压为 $100/3$ V。

④ 电能计量用电压互感器一般选用 0.2 级和 0.5 级。一般测量可选用 0.5 ~ 3 级。保护和控制装置用电压互感器选用 3P 和 6P 级（3P 和 6P 为保护用电压互感器的准确级，“3”和“6”是该准确级在 5% 额定电压与额定电压因素相对应的电压范围内的最大允许电压误差的百分数，P 表示保护。）

⑤ 由于电压互感器的准确级与二次绕组输出有关，只有在二次负荷不超过额定输出时才符合规定的准确级。根据产品技术要求，可以在不同的二次负荷下符合相对应的各准确级次。

四、电压互感器使用与维护

1. 外观检查

安装前，首先对产品进行外观检查，不得有下列缺陷：

- ① 铭牌所列规格与要求不符；
- ② 瓷件或浇注件破损、开裂；
- ③ 油箱焊缝处或密封垫处渗、漏油；
- ④ 油位低于正常油位线。

2. 测绝缘电阻

测量各绕组间及对地的绝缘电阻，在温度为 $+15 \sim +35$ ℃ 时，用 2500V 兆欧表测量。

- ① 一次绕组对二次绕组及地的绝缘电阻不得低于出厂值的 70%。
- ② 二次绕组间及对地的绝缘电阻不得低于 10MΩ。

3. 接地

电压互感器的二次、剩余电压绕组的一端必须接地，以免在线路发生故障时，二次和剩余电压绕组上感应出高电压，危及仪表和人身安全。一般是以中性点接地，若无中性点则一般是采用 b 相接地。

4. 不能短路

电压互感器二次绕组不能短路。因为电压互感器的负荷是阻抗很大的电压线圈，短路后二次回路阻抗仅仅是二次绕组的阻抗，二次电流增大，电压互感器就有烧坏的危险。

5. 测量空载电流和空载损耗

测量值与制造厂出厂值的差不得大于 30%。

6. 定期检查变压器油

如发现油内有水分、沉淀物时，应及时处理。发现油位降低，应及时注入同型号的、技术性能合格的变压器油。

7. 检查瓷件或浇注件

应经常检查产品瓷件或浇注件有无开裂、破损，声音和气体有无异常，一经发现应立即处理。

五、电压互感器型号及主要技术参数

电压互感器型号及主要技术参数见表 6.5.12（括号内为旧型号）。

表 6.5.12 电压互感器型号及主要技术参数

产品型号	额定电压/V			额定负荷/VA			剩余绕组 准确级/ 负荷	极限 输出 /VA	总质量 /kg
	一次 绕组	二次 绕组	剩余 绕组	0.5	1	3			
JDG-0.5	220	100	—	—	—	—	—	200	8
JDG1-0.5	380	100	—	15 ~ 25	25 ~ 40	50 ~ 100	—	120	4
JDG4-0.5	500	100	—	—	—	—	—	100	4

续表

产品型号	额定电压/V			额定负荷/VA			剩余绕组 准确级/ 负荷	极限 输出 VA	总质量 /kg
	一次 绕组	二次 绕组	剩余 绕组	0.5	1	3			
JDG-0.38	380	100	—	15	25	60	—	100	4.6
JDZ-6	1000	100	—	30	50	100	—	200	17
	3000	100	—	30	50	100	—	200	
	6000	100	—	50	80	200	—	300	
JDZ-10	10000	100	—	80	150	300	—	500	25
	11000		—	80	150	300	—	500	
JDZ-15	13800	100	—	80	150	300	—	500	27
	15000		—	80	150	300	—	500	
JDZX-6 (JDZJ-6 JDZB-6)	$1000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	30	50	120	3P/100	200	17
	$3000/\sqrt{3}$								
	$6000/\sqrt{3}$								
JDZX-10 (JDZJ-10 JDZB-10)	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	40	60	150	3P/100	300	25
	$11000/\sqrt{3}$								
JDZX-15 (JDZJ-15 JDZB-15)	$13800/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	40	60	150	3P/100	300	27
	$15000/\sqrt{3}$								
JDZ1-6	$6000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	—	50	80	200	—	400	17
JDZ2-6	6000	100	—	50	80	200	—	400	17
JDZ1-10	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	—	50	80	200	—	400	21
JDZ2-10	10000	100	—	50	80	200	—	400	18
JDZX6-3	$3000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	25	40	100	6P/40	200	20
JDZX6-6	$6000/\sqrt{3}$			50	80	200		400	23
JDZX6-10	$10000/\sqrt{3}$			—	—	—		—	400
JSZX-10 (JSZJ-10)	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	50	80	200	—	400	27
JDZFT-10GYW1	10000	100 (计)	100 (监)	(0.2) 25	(0.5) 25	—	—	150	—
JDZXF7-10GYW1	$10000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	(0.2) 20	(0.5) 30	3P/30	6P/50	400	—
JD-6 (JDJ-6)	3000	100	—	30	50	120	—	240	20
	600			50	80	200	—	400	20
JD-10 (JDJ-10)	10000			80	150	320	—	640	25
JSW-6 (JSJW-6)	3000	100	$100/3$	50	80	200	3P/50	400	110
	6000			80	150	320	3P/80	640	115
JSW-10 (JSJW-10)	10000			120	200	480	3P/120	960	190
JSWX-10 (JWSJ-10)	10000	100	$100/3$	50	80	100	—	960	—
JS-6 (JSJB-6)	6000	100	—	75	120	300	—	400	—

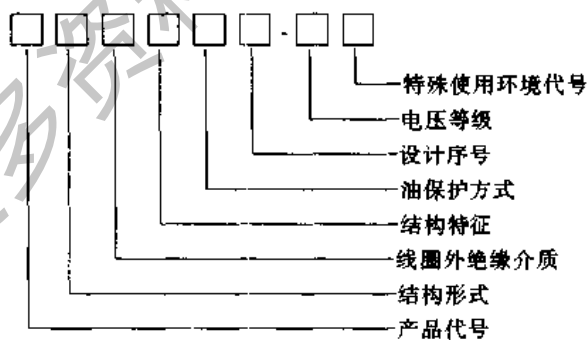
续表

产品型号	额定电压/V			额定负荷/VA			剩余绕组	极限输出/VA	总质量/kg
	一次绕组	二次绕组	剩余绕组	0.2/0.5	1	3	准确级/负荷		
JDN-35 (JDJ1-35)	35000	100	—	75/150	250	500	—	1000	120
JDN2-35 (JDJ2-35)	35000	100	—	75/150	250	500	—	1000	106
JDN6-35W1 (JD6-35W1)	35000	100	—	75/150	250	500	—	1000	143
JDN6-35W2 (JD6-35W2)									146
JD6-35	35000	100	—	75/150	250	500	—	1000	140
JDXN-35 (JDJ1-35)	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	/150	250	500	6P/100	1000	115
JDXN2-35W1 (JDJ2-35W1)	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	/150	250	500	6P/100	1000	98
JDXN6-35W1 (JD6-35W1)	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	/150	250	500	6P/100	1000	126
JDXN6-35W2 (JD6-35W2)									127
JDXF7-35GYW1	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	30/75	注: 保护绕组 3P150VA				177
JDZ-35	35000	100	—	45/100	200		—	500	40
JDZ8-35	35000	100	—	60		1000	—	1800	
JDZX8-35 (JDZJ8-35)	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	$100/3$	30/90		500	6P/40	600	62

第三节 电流互感器

一、电流互感器型号

电流互感器型号的表示方法如下(按 JB/T 3837—1996 标准):



说明如下。

产品代号: L—电“流”互感器。

结构形式: R—套管式(装“α”式); Z—支“柱”式; Q—线“圈”式; F—贯穿式(“复”匝); D—贯穿式(“单”匝); M—“母”线式; K—“开”合式; V—倒立式; A—链式。

线圈外绝缘介质: 变压器油不标注; G—空气(“干”式); Q—“气”体; C—“瓷”; Z—浇“注”成型固体; K—绝缘“壳”。

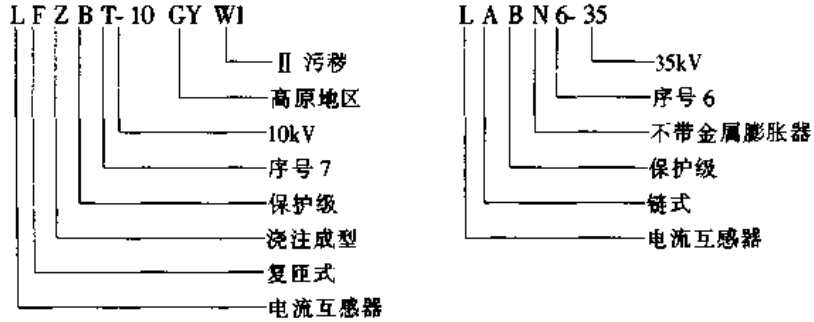
结构特征: B—“保”护级; BT—带有“保”护级(暂“态”误差)。

油保护方式: 带金属膨胀器不标; N—不带金属膨胀器。

特殊使用环境代号: GY—高原地区用; W—污秽地区用; TA—干热带地区用; TH—湿热带地区用。

注: 当对正常产品采用大容量或加强绝缘时, 应在产品型号字母后加“J”表示。

示例如下：



二、电流互感器工作原理

在图 6.5.5 中，当电流 I_1 流过互感器的一次绕组时，建立一次磁势， I_1 与一次匝数 N_1 的乘积就是一次磁势，也称一次安匝。一次磁势分两部分，其中一小部分用来励磁，使铁芯中产生磁通，另外一大部分用来平衡二次磁势。二次磁势也称二次安匝，是二次电流 I_2 与二次绕组匝数 N_2 的乘积。用以励磁的叫做励磁安匝，是励磁电流 I_0 与一次匝数 N_1 的乘积。用以平衡二次磁势这一部分一次磁势，其大小与二次磁势相等但方向相反。电流互感器的磁势平衡方程式如下：

$$I_1 N_1 = I_0 N_1 + (-I_2 N_2)$$

或者写成：

$$I_1 N_1 + I_2 N_2 = I_0 N_1$$

式中 I_1 、 I_2 、 I_0 分别为一、二次电流和励磁电流， N_1 、 N_2 为一、二次匝数。

如果忽略了很小的励磁安匝，并且只考虑一、二次电流大小之间的关系，则可得出：

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

电流互感器的等值电路和矢量图如图 6.5.6 和图 6.5.7。由于 I_0 的影响，实际的一次电流与折算到一次侧的二次电流在数值上和相位上都不相同，存在电流误差和相位误差。

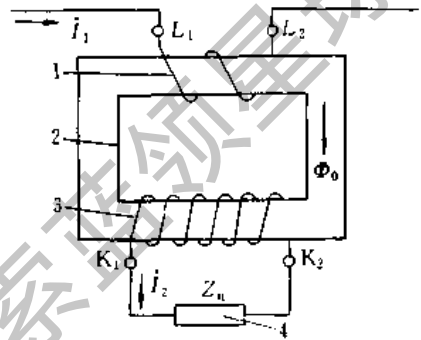


图 6.5.5 电流互感器工作原理简图

- 1—一次绕组；2—铁芯；
- 3—二次绕组；4—二次负荷

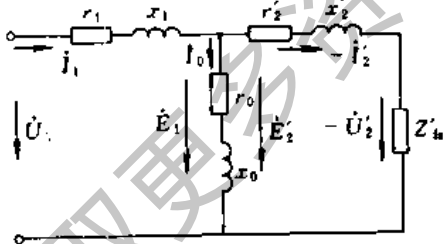


图 6.5.6 电流互感器的等值电路

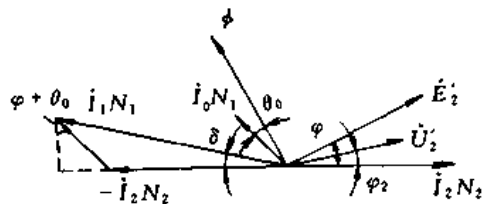


图 6.5.7 电流互感器的矢量图

三、电流互感器选用原则

- ① 互感器选用的额定电压必须和电力线路是同一电压等级，对 3~6kV 的线路，可选用 10kV 的产品。
- ② 互感器选用的额定一次电流必须等于或大于线路长期通过的电流。一般选用额定一次电流为线路最大实际电流的 1.3~1.4 倍。
- ③ 额定二次电流已标准化，为 5A 或 1A，可根据控制线路的需要选择。
- ④ 互感器选用的实际二次负荷应在额定负荷范围内，超出该范围，误差可能增大，不能保证准确级。
- ⑤ 准确级选择：电能计量一般选用 0.2 级或 0.5 级，测量一般选用 0.5 级或 3~5 级。准确级高，额定负荷小，安匝数小的（母线式、单匝式额定一次电流小的）准确级较低。
- ⑥ 保护用互感器一般选用 10P 级，由于 5P 级铁芯截面大，制造难度增加，成本高。

准确限值系数一般选用 15、20、30。

⑦ 短时热电流（热稳定电流） I_{th} （有效值）应大于或等于系统热稳定短路电流 I_k 、动稳定电流 I_{dyn} （峰值）应大于或等于系统短路电流最大值 I_{max} 。同时要考虑时间和热效应相匹配。

⑧ 互感器使用条件超过一般条件，则应选用特殊使用环境的产品，如高原、防污、防腐和温热等要求。

⑨ 二次绕组数量的选择。10~35kV 电流互感器一般有两个二次绕组，一个为测量级，另一个为保护级。

四、电流互感器安装、使用、维护

① 产品安装前，用干燥清洁的抹布擦去表面的灰尘、污物、进行外观检查，不得有下列缺陷：

- 铭牌所列规格与要求不符；
- 瓷件或浇注体破损、开裂现象；
- 油箱焊缝或密封垫渗油、漏油；
- 紧固件松动、短缺。

② 油浸产品必须直立安装，用地脚螺栓将产品固定。

③ 起吊油浸产品时，应用油箱上的四个吊钩，不得用瓷瓶或顶部的储油柜起吊产品，防止不必要的损失。

④ 底座上有连接螺栓，应可靠接地。

⑤ 运行中不使用的二次绕组应可靠短接。

⑥ 测量各绕组的绝缘电阻，在温度为 +15~+35℃ 时，用 2500V 兆欧表测量。

- 一次绕组对二次绕组及地的绝缘电阻不得低于出厂值的 70%。
- 二次绕组间及对地的绝缘电阻不得低于 10MΩ。

⑦ 15kV 及以下油浸产品使用时，需将注油塞中的橡胶圈和螺栓取下，保证呼吸孔正常工作。

⑧ 互感器在运行中，二次回路不得开路，否则产生高电压，破坏绝缘，影响测量精度，危及人身安全。

⑨ 互感器经试验投入运行前，应进行退磁。当线路发生短路及其他能使产品铁芯产生剩磁的情况，以及每次定期检查后，都应进行退磁。

⑩ 产品定期检查内部绝缘情况，若证明内部受潮，则应退出运行，按制造厂工艺规程进行处理，合格后方可投入使用。

⑪ 产品应经常保持清洁，并定期将产品与线路隔离，擦去瓷套、浇注体表面上的灰尘、烟尘及其他杂物。

⑫ 应经常检查产品瓷件和浇注体有无开裂、破损，声音及气味有无异常，一经发现应立即处理。

⑬ 检查油面是否低于正常油位线。当油位低于正常油位线时，则应添加性能符合要求的同型号的变压器油。

⑭ 35kV 以上油浸产品系全密封结构，在一般情况下不得轻易破坏产品的密封状态，如果取油样，则应按规定及时加油。

⑮ 产品表面凡是保护层为漆层的，每年应重新油漆一次。

五、电流互感器型号及主要技术参数

电流互感器型号及主要技术参数见表 6.5.13（括号内型号是旧型号）。

表 6.5.13 35kV 及以下电流互感器型号及主要技术参数

产品型号	额定电压 /kV	额定电流比	额定二次负荷		FS/ALF	短时热电流 /kA	动稳定电流 /kA	总质量 /kg
			级次组合	VA				
LMC-0.5 (LM-0.5)	0.5	5~600/5 800~5000/5	0.5	10	—	—	—	0.8~2.4 2~4.5
			1	20				
LMK-0.5	0.5	5~400/5 40~800/5	0.2	5	—	—	—	1 1
			0.5	5				
LMKB-0.5	0.5	5~800/5	10P	25	—	—	—	1~1.2
LMZ-0.5	0.5	5~3000/5	0.2	5	—	—	—	0.8~1.3 0.8~2.6
			0.5	5~10				
LMZJ-0.5	0.5	5~800/5 1000~5000/5	0.5	10	—	—	—	1.2~1.4 2.4~4.2
			1	15				
			0.5	20				
			1	30				

续表

产品型号	额定电压 /kV	额定电流比	额定二次负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg	
			级次 组合	VA					
LMZB1-0.5	0.5	5~800/5	0.5 10P	10 25		— —	— —	1.6	
LQK6-0.5	0.5	5~600/5	0.5 I	5 7.5	<10/	0.25~30	0.6~72		
LQKB6-0.5	0.5	5~200/5	10P	15	/>10	0.25~10	0.6~24		
LMZB6-0.5	0.5	5~800/5	10P	25	/>10	—	—	1.6	
LMKB6-0.5	0.5		10P	25	/>10	—	—		
LMZJ6-0.5	0.5	5~800/5	0.5 I	10 15	<10/ <10/	— —	— —	1.2~1.4	
LMKJ6-0.5	0.5	5~800/5	0.5 I	10 15	<10/ <10/	— —	— —	1~1.2	
LQC-0.5	0.5	5~800/5	0.5 I	10 15		0.05~40	0.35~80	0.8~2.4	
LMG2-0.5 (LYM-0.5)	0.5	7500~2000/5	0.5	20				10	
		3000~5000/5	0.5	20				14	
		7500~10000/5	3	20				35	
		15000~25000/5	3	50				55	
产品型号	额定电压 /kV	额定 电流比	级次 组合	额定负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg
				级次	VA				
LMZ-10	10	300~1000/5	0.5/3	0.5 3	5~10 5~10	/10	—	—	7~8
LMZ1-10	10	2000~5000/5	0.5/0.5	0.5	40~50	—	—	—	27
LMZB-10 (LMZ-10)	10	300~1000/5	0.5/10P	0.5 10P	5~10 10~15	/10	—	—	7~8
LMZB-10 (LMZ1-10)	10	2000~5000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	40~50 50~60	/15	—	—	27
LMZB-10 (LMZD-10)	10	1200~5000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	30~50 40~50	15	—	—	20~35
LMZB-10	10	150~1250/5	0.5/10P	0.5 10P	10~15 15~30	10/10	—	—	15
LMZB-10 (LMZD ₁ -10)	10	2000~5000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	40~50 50~60	/15	—	—	
LMZB-10 (LMZD2-10)	10	1200~5000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	30~50 40~50	/15	—	—	
LMZB-10 (LAJ ₁ -10)	10	1000~6000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	30~50 40	/15	—	—	15~25
LMZB6-10	10	1000~6000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	50~60 50~60	/15	—	—	28
LMZB7-10GYW ₁	10	1500~5000/5	0.2/10P	0.2 10P	50~60 50~60	≦10/ ≧15	—	—	
LMZB8-10 (三级次)	10	1500~5000/5	0.2/10P /10P	0.2 10P	50~60 50~60	≦10/ ≧15	—	—	48
LMZB-10 (LMZ2-10)	10	2000~5000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	40~50 50~60	15	—	—	16~22
LMZBJ-10 (LMZJ-10)	10	1500~3000/5	0.5/10P	0.5 10P	40~60 60~80		—	—	26

续表

产品型号	额定电压 /kV	额定 电流比	级次 组合	额定负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg
				级次	VA				
LFZ-10	10	5~400/5	0.5/3 1/3	0.5 1, 3	10 15	/15	80~120 (倍)	160~210 (倍)	14~18
LFZ1-10	10	5~300/5	0.5/3	0.5 3	10 15	/12	80~90 (倍)	140~160 (倍)	15
LFZ2-10	10	5~400/5	0.5/3	0.5 3	10 15	/10	80~120 (倍)	160~210 (倍)	18
LFZ-10 (LA-10)	10	5~200/5	0.5/3 1/3	0.5, 1 3	10 15	/10	90 (倍)	160 (倍)	12
LFZB-10 (LAJ1-10)	10	20~300/5	0.5/10P 1/10P	0.5, 1 10P	25 15	/15	100 (倍)	180 (倍)	18
LFZB-10 (LFZ-10)	10	5~400/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	80~120 (倍)	160~210 (倍)	14~18
LFZB-10 (LFZ1-10)	10	5~300/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/12	80~90 (倍)	140~160 (倍)	15
LFZB-10 (LFZD-10)	10	5~400/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	20 30	/15	80~120 (倍)	160~210 (倍)	28~34
LFZB-10 (LFZD2-10)	10	75~400/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	20 30	/15	120~80 (倍)	210~160 (倍)	28~34
LFZB6-10	10	5~300/5	0.5/0.5 0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	24.5	44	26
LFZB6-10 (LFZJB6-10)	10	100~300/5	0.5/0.5 0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	24.5	44	26
LFZB7-10GYW1	10	5~300/5	0.2/10P	0.2 10P	10 15	≤10/ ≥15	0.83~31.5	1.6~79	
LFZBJ-10 (LFZJ1-10)	10	20~200/5	0.5/10P	0.5 10P	20 30	/≥12	90 (倍)	160 (倍)	15
LFKJ-10	10	5~400/5	0.5/3	0.5 3					10
LDZ-10	10	400~1500/5	0.5/0.5 0.5/3	0.5 3	10 15		24~50	60~120	17~22
LDZ1-10	10	400~1000/5	0.5/3 1/3	0.5 1, 3	10 15	/15	20~50	36~90	
LDZ-10 (LA-10)	10	300~1000/5	0.5/3	0.5 3	10 15	/10			7~18
LDZ-10 (LMJ-10)	10	600~1500/5	0.5/3 1/3	0.5, 1 3	10 15				
LDZ2-10	10	400~1000/5	0.5/3	0.5 3	10 15	/10	20~50		
LDZB-10 (LDZ-10)	10	400~1500/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	24~50	60~120	17~22
LDZB-10 (LDZJ1-10)	10	600~1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	10 15	/15	24~75	54~135	
LDZB-10 (LDZJ2-10)	10	400~1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	20 40	/15	20~75	36~135	17
LDZB-10 (LAJ1-10)	10	400~800/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	10 15	/15	30~40	54~72	18~35
LDZB-10	10	400~1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	20~30 30~40	/15	43 (倍)	110 (倍)	23~27

续表

产品型号	额定电压 /kV	额定 电流比	级次 组合	额定负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg
				级次	VA				
LDZB7-10GYW ₁	10	400 ~ 1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	20 ~ 30 30 ~ 40	10/15		31.5 ~ 40	79 ~ 100
LDZBJ8-10 三级次	10	600 ~ 2000/5	0.2/10P /10P	0.2 10P	20 40	10/15	32 ~ 40	80 ~ 100	
LDZB-10 (LMJC-10)	10	400 ~ 800/5	1/10P 0.5/10P	1, 0.5 10P	10 15 15	/15	65 (倍)	100 (倍)	
LDK-10	10	600 ~ 1000/5	0.5/3	0.5 3					10
LDKB-10 (LDK-10)	10	600 ~ 1000/5	0.5/10P	0.5/ 10P					10
LZZ-10 (LFS-10)	10	5 ~ 1500/5	0.5/3 1/3	0.5, 1 3	10 15	/12	80 ~ 30 (倍)	200 ~ 50 (倍)	12 ~ 20
LZZ-10 (LZJC-10)	10	5 ~ 1500/5	0.5/3 1/3	0.5 1, 3	15	/15	75 ~ 30 (倍)	150 ~ 60 (倍)	14 13 ~ 14
LZZ7-10GYW ₁	10	20 ~ 1000/5	0.2/0.5	0.2 0.5	10 15	≤10/—	5 ~ 40	8 ~ 100	
LZZJ-10	10	5 ~ 1000/5	0.2/0.2 0.5/0.5	0.2 0.5	10 10	/—	5 ~ 40 (2 ~ 45)	12 ~ 100	
LZZJ6-10	10	5 ~ 1200/5	0.5/3	0.5 3	10 15	/15			15 ~ 17
LZZB-10	10	5 ~ 3150/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/10			30
LZZB-10 (LZJD-10)	10	5 ~ 1500/5	0.5/10P	0.5 10P	15 30	/9	75 ~ 30 (倍)	150 ~ 60 (倍)	14
LZZB-10 (LZX-10)	10	5 ~ 1000/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	90 ~ 50 (倍)	225 ~ 90 (倍)	16
LZZB-10 (LFSB-10)	10	5 ~ 1000/5	0.5/10P 1/10P	0.5, 1 10P	10 50	/10	80 ~ 30 (倍)	200 ~ 50 (倍)	14
LZZB6-10	10	20 ~ 300/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/10	3 ~ 24.5	7.6 ~ 44	
LZZB7-10GYW ₁	10	5 ~ 2000/5	0.2/10P	0.2 10P	10 15	≤10/ ≥15	0.63 ~ 40	1.8 ~ 100	
LZZBJ-10	10	5 ~ 3150/5	0.5/10P	0.5 10P	15 ~ 30 20 ~ 40	/10 ~ 15	45 ~ 80	100 ~ 130	25
LZZBJ-10 (LQZQ-10)	10	2 × 50 ~ 2 × 600/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	5 ~ 40 7.5 ~ 30		24 ~ 48	96 ~ 140	16
LZZBJ-10 (LFSQ-10)	10	5 ~ 1500/5	0.5/10P 1/10P	0.5, 1 10P	10 ~ 40 15 ~ 40	/15	2 ~ 63	5 ~ 130	24
LZZBJ6-10 (LZZQB6-10)	10	100 ~ 1500/5	0.5/10P	0.5 10P	15 ~ 30 20 ~ 40	/10 ~ 15	44.5	80	
LZZBJ6-10 (LZZJB6-10)	10	100 ~ 1500/5	0.5/10P	0.5 10P	10 15	/15	15 ~ 41	38 ~ 74	
LZZBJ9-10	10	5 ~ 3000/5	0.2/0.2 10P/10P	0.2 10P	10 15	/15	2 ~ 80	5 ~ 130	20
LQZ-10 (LQJ-10)	10	5 ~ 400/5	0.2/3 0.5/3	0.2, 0.5 3	10 15	10	75 ~ 90 (倍)	135 ~ 160 (倍)	15 ~ 18
LQZ-10 (LQJ-10)	10	5 ~ 800/5	0.5/3 1/3	0.5, 1 3	10 15	10 ~ 15	60 ~ 90 (倍)	160 ~ 225 (倍)	14 ~ 15

续表

产品型号	额定电压 /kV	额定 电流比	级次 组合	额定负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg
				级次	VA				
LQ-10 (LJW1-10)	10	20-400/5	0.2, 0.5 0.5/3	0.2, 0.5 3	15 20	15	70~60 (倍)	175~150 (倍)	
LQZB-10 (LQJC-10)	10	5~400/5	0.5/10P 1/10P	0.5, 1 10P	10 15~30	10~15	75~90 (倍)	135~160 (倍)	15
LQB-10 (LJW1-10)	10	20~400/5	10P 0.2/10P	0.2 10P	15 20	15	70~60 (倍)	175~150 (倍)	
LQKBJ-10 (LQKJ-10)	10	5~400/5	0.5/10P	0.5 10P					10
LQKBJ-10 (LQKJ-10)	10	600~1000/5	0.5/10P	0.5 10P					10
LDZBJ-15 (LDZJ-15)	15	600~1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	30 40	/15	65~36 (倍)	100~65 (倍)	22
LFZB-15 (LFZD-15)	15	200/5	0.5/10P	0.5 10P	20 30		80 (倍)	140 (倍)	29.5
LMZ-15	15	600/5	0.5/3	0.5 3	75 50				74.3
LMZB-15	15	3000/2	10P/10P	10P	50				29
LMZB6-15	15	4000/1	5P	5P	50	20			160
LMZ-15	15	8000/1	TPY/TPY	TPY	10				750
LMZB-20	20	15000/5	0.2/10P	0.2 10P	50 50				155
LMZB1-20	20	15000/5	0.2/0.5 /10P	0.2, 0.5 10P	75 50				240
LMZB2-20	20	600~6000/5	0.5/10P	0.5 10P	50 60				150
LMZB-20 (LMZD-20)	20	6000~12000/5	0.5/0.5 10P/10P	0.5 10P	30 50	/18			160
LMZB2-20 (LMZD2-20)	20	5000~8000/5	0.5/10P	0.5 10P	40 40				160
LMZB2-20 (LMZD2-20)	20	800~12000/5	0.5/0.5 10P/10P	0.5 10P	50~60 50~60	/18			
LZZBJ-20 (LFZJD-20)	20	200~1000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	15 25	/15	44	120	40
LMZ-20	20	15000/1	TPY/TPY	TPY	15				870
LVB-20	20	8000~12000/1	TPY/TPY 0.5/10P	TPY 0.5 10P	20~80 10 10	≤10	120 (35)	300	1000
LA-35 (W) [LCW-35 (W)]	35	15~1000/5	0.5/0.5 0.5/3	0.5 3	40~50 40~50	/20	1~40	2.5~102	250~265
LA-35 (W) [LCW-35 (W)]	35	2×20~ 2×300/5	0.5/0.5 0.5/3	0.5 3	40 40	/20	1~40	2.5~102	270~285
LAB-35 (W) [LCW-35 (W)]	35	15~1000/5	0.2/10P 0.5/10P	0.2 0.5, 10P	20 40	/15	1~40	2.5~102	176~190
LAB-35 (W) [LCWD-35 (W)]	35	15~1500/5	0.5/10P	0.5 10P	40 40	/20	1~40	2.5~102	250~265
LABN-35 (LCWD-35)	35	15~1000/5	0.5/10P	0.5 10P	30 20	/35	65 (倍)	100 (倍)	250

续表

产品型号	额定电压 /kV	额定 电流比	级次 组合	额定负荷		FS/ALF	短时热 电流 /kA	动稳定 电流 /kA	总质量 /kg
				级次	VA				
LAN-35 (LCW-35)	35	15 ~ 1000/5	0.5/3	0.5 3	50 50		65 (倍)	100 (倍)	250
LAN-35 (LCW1-35)	35	15 ~ 1500/5	0.2/0.5	0.2 0.5	30 50		75 (倍)	150 (倍)	120
LAN-35 (LB6-35)	35	5 ~ 2000/5	0.2/0.5	0.2 0.5	30 40		100 (倍)	250 (倍)	160 ~ 190
LBN1-35 (LCWD1-35)	35	15 ~ 1500/5	0.2/10P 0.5/10P	0.2 0.5, 10P	30 50	≦ 10/ ≧ 15	75 (倍)	150 (倍)	120
LBN6-35 (LB6-35)	35	5 ~ 2000/5	0.2/10P1 /10P2 0.5/10P1 /10P2	0.2, 0.5 10P1 10P2	30 ~ 40 30 40	/20 20	0.5 ~ 40	1.28 ~ 102	160 ~ 205
LANJ-35 (W) [LCWQ-35 (W)]	35	15 ~ 600/5	0.5/1 0.5/3	0.5, 1 3	40 40	/20	1 ~ 40	2.5 ~ 102	250 ~ 265
LQZ-35 (LCZ-35)	35	20 ~ 1500/5	0.5/0.5	0.5	50	10/	65 (倍)	130 (倍)	50
LZZ-35	35	20 ~ 1000/5	0.5/0.5	0.5	50				50
LQZB-35 (LCZ-35)	35	20 ~ 1500/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	50 50	≦ 10/10	65 (倍)	130 (倍)	50
LDZB-35	35	400 ~ 2000/5	0.5/10P 10P/10P	0.5 10P	10 ~ 20 15 ~ 60	≦ 10/20	56 ~ 150	140 ~ 375	82
LZZ7-35GYW ₁	35	50 ~ 1000/5	0.2/0.5	0.2 0.5	10 20	≦ 10/	8 ~ 40	20 ~ 100	
LZZB7-35GYW ₁	35	15 ~ 2000/5	0.2/10P 0.5/10P	0.2, 0.5 10P	50 50	≦ 10/ ≧ 15	3 ~ 40	7.5 ~ 100	
LRGB-35	35	100 ~ 2000/5	0.2/10P/ 10P	0.2 10P	10 ~ 50 10 ~ 50		—	—	~ 20

获取更多资料

第六章 特种变压器

第一节 自耦变压器

一、自耦变压器的结构与工作原理

1. 结构特点

自耦变压器是一种特殊用途的变压器，图 6.6.1 是其绕组连接图。低压侧与绕组 ax 相连，高压侧除接到 ax 外，还串联了绕组 Aa。从绕组的作用来看，绕组 ax 供高低压两侧共用，称做公共绕组。绕组 Aa 则与公共绕组串联后供高压侧使用，称做串联绕组。

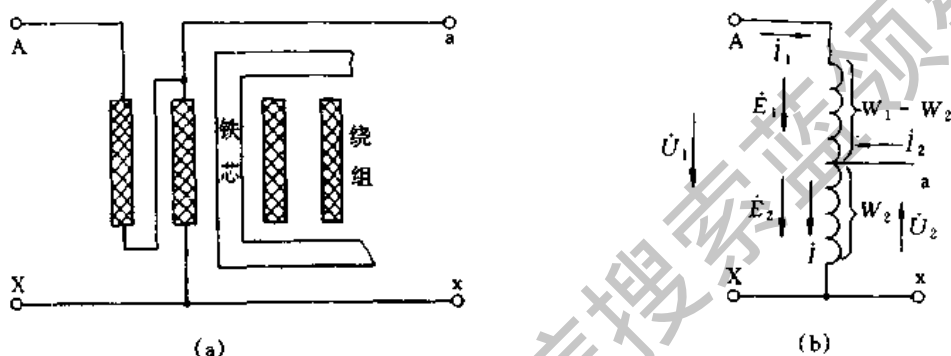


图 6.6.1 自耦变压器

普通双绕组变压器原、副绕组之间仅有磁的耦合，并无电的联系，而自耦变压器由于绕组是相联的，因此可以看作仅有一个绕组，或者是原绕组的一部分兼作副绕组用（降压），或者是副绕组的一部分兼作原绕组用（升压）。因此自耦变压器原、副绕组之间不仅有磁的耦合，而且还有电的联系。

2. 工作原理

由图 6.6.1 (b) 可以看出，自耦变压器实质上就是利用一个绕组抽头的办法来实现改变电压的一种变压器。其工作原理与普通变压器相同。

如果自耦变压器的额定电压为 U_1 、 U_2 ，额定电流为 I_1 、 I_2 ，匝数为 W_1 、 W_2 ，则额定容量为：

$$S = U_1 I_1 = U_2 I_2$$

如果忽略漏抗压降，变压器与普通双绕组变压器一样，即：

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

3. 容量关系

自耦变压器的通过容量（即额定容量）是：

$$S = U_1 I_1 = U_2 I_2 = U_2 (I + I_1) = U_2 I + U_2 I_1$$

式中 I 为流过公共绕组电流的有效值。

上式说明自耦变压器的通过容量由两部分组成：一部分是通过绕组公共部分的电磁感应作用，由原边传递到副边的电磁容量 $U_2 I$ ；另一部分是通过绕组串联部分的电流 I_1 直接传导到负载的传导容量 $U_2 I_1$ 。传导容量的传递不需要增加绕组容量，也就是说自耦变压器负载可以直接向电源吸取部分功率，这种情况是普通双绕组变压器所没有的，这是自耦变压器的特点。

自耦变压器与同容量的变压器相比，具有下列优点。

- ① 自耦变压器所用材料（硅钢片、导线、绝缘材料等）较少，故制造成本低，而且外形体积小，质量轻。
- ② 自耦变压器的损耗低，效率高。
- ③ 自耦变压器的阻抗电压比较低，故电压变化率较低。

④ 采用相同牌号的硅钢片和相同的磁密时，自耦变压器的励磁电流较小。

上述这些优点在原、副绕组电压差越小时越明显，当自耦变压器的变比 k 较大时，其经济效果就不显著。通常选择变比 $k < 3$ 。

自耦变压器的缺点如下。

① 由于自耦变压器的原、副边存在着电的联系直接传递了一部分功率，使一侧发生故障时必然导致另一侧的工作也遭到破坏，因此内部绝缘和过电压保护都需加强。

② 自耦变压器由于阻抗电压低，因此短路电流和短路机械力必然增大，必须采取限制短路电流的措施。

自耦变压器除电力系统用作电力变压器外，主要用于调压和作为辅助设备用于起动异步电机。它既可做成单相，也可做成三相。其中三相降压自耦变压器常用在三相交流电动机的起动装置上。

二、自耦变压器的计算

计算自耦变压器主要技术参数时，通常给定线电压 U_1 、 U_2 以及通过容量（额定容量） S_e ，自耦变压器的几何尺寸由计算容量（电磁容量） S_j 确定。

计算容量 S_j 和通过容量 S_e 两者的关系为：

$$S_j = KS_e$$

当用作降压自耦变压器时：

$$K = \frac{U_1 - U_2}{U_1}$$

当用作升压自耦变压器时：

$$K = \frac{U_2 - U_1}{U_2}$$

所以，一台自耦变压器的计算可归结为这样一台普通变压器的计算，其容量等于自耦变压器的计算容量，其电流和电压等于自耦变压器串联和公共线圈的相应值。

例如计算一台 1kVA 自耦变压器的基本参数。已知一次侧进线电压 $U_1 = 110V$ ，二次侧出线电压 $U_2 = 220V$ 。其原理如图 6.6.2 所示。

① 变压器的计算容量为：

$$\begin{aligned} S_j &= KS_e = \frac{U_2 - U_1}{U_2} S_e \\ &= \frac{220 - 110}{220} \times 1000 \\ &= 500 \text{ (VA)} \end{aligned}$$

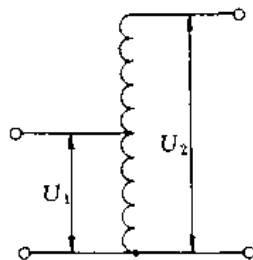


图 6.6.2 计算图例

② 求铁芯截面积。利用图 6.6.3，在 S 、 P_0 尺上的 500VA 查出对应的铁芯截面积 S 为 28cm^2 。

③ 求每伏匝数。取 $B = 10T$ 时，对图 6.6.3B 尺和 P_0 尺连直线，相交于 N_0 ， $N_0 = 1.65$ 。

④ 一、二次匝数为：

$$N_1 = 110 \times 1.65 \approx 182$$

$$N_2 = 220 \times 1.65 \approx 364$$

⑤ 计算各部分的电流 I_1 、 I_2 、 I ：

$$I_1 = \frac{S_e}{U_1} = \frac{1000}{110} = 9.10 \text{ (A)}$$

$$I_2 = \frac{S_e}{U_2} = \frac{1000}{220} = 4.55 \text{ (A)}$$

$$I = I_1 - I_2 = 9.10 - 4.55 = 4.55 \text{ (A)}$$

⑥ 计算导线截面。取 $j = 3A/\text{mm}^2$ ，因 $I = I_2$ ，所以

$$S_1 = S_2 = \frac{I}{j} = \frac{4.55}{3} \approx 1.52 \text{ (mm}^2\text{)}$$

查图 6.6.3 得出 $d = 1.40\text{mm}$ 。

其他方面的计算可参照普通变压器的计算。

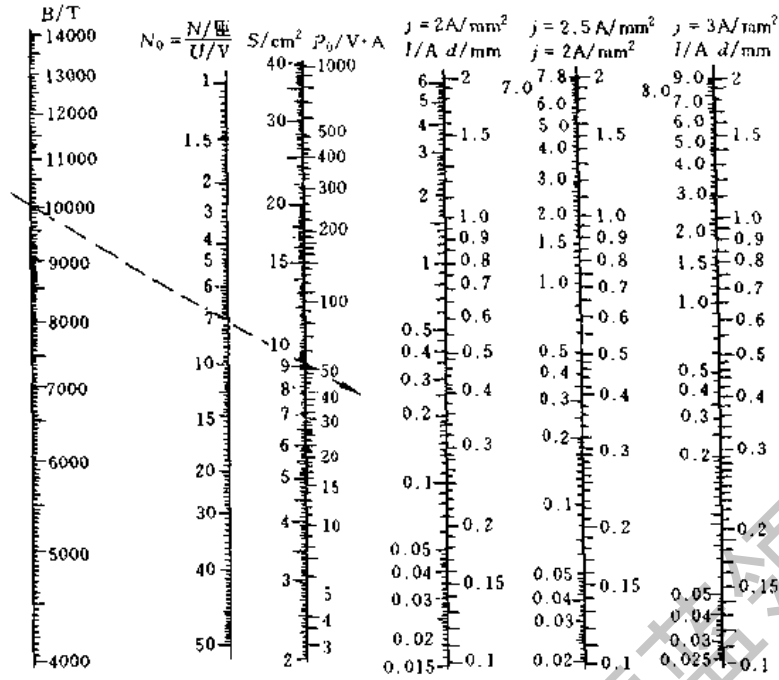


图 6.6.3 1000VA 以下小型变压器的计算图

三、接触调压器

1. 接触调压器的结构和用途

接触调压器是一种二次输出电压可连续细调并可带负荷调压的自耦变压器,其容量通常为 0.1 ~ 100kVA,电压 500V 以下。由于其波形不失真、效率高、体积小、质量轻及调压特性好等特点,因此广泛应用于化工、冶金、仪器仪表、机电制造、轻工等工业部门及科研、家用电器等,以达到控温、调速、调光及功率控制等目的。

接触调压器可分单相和三相两种,图 6.6.4 和图 6.6.5 分别是它们的电路图。

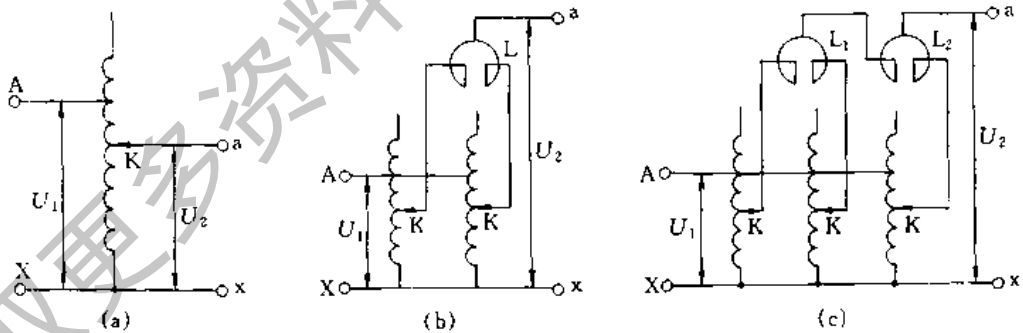


图 6.6.4 单相接触调压器电路图

U_1 —输入电压; U_2 —输出电压; K—电刷; L, L_1 , L_2 —电抗器

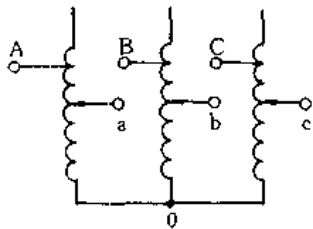


图 6.6.5 三相接触调压器电路图

以图 6.6.4 (a) 为例,当电刷 K 的位置改变时,二次输出电压 U_2 也随之变化,当 $U_2 = \frac{1}{2} U_1$ 时,接触调压器负载损耗最大,此时串联线圈和公共线圈的电流均为 $\frac{1}{2} I_2$ (I_2 为二次额定电流),此电流称平均电流 I_p 。因此在计算线圈温升及损耗时,均以平均电流 $I_p = \frac{1}{2} I_2$ 为基础。

图 6.6.6 是环形接触调压器的调压特性。其空载调压特性是线性

的(图中实线),而负载调压特性因受线圈阻抗压降的影响,略有畸变(图中虚线)。

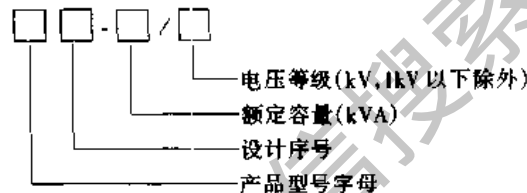
容量在30kVA以下的接触调压器,通常为环型结构,而30kVA以上的则大多采用柱式结构。环型接触调压器的铁芯用硅钢片卷制成环型结构,而柱式接触调压器的铁芯结构与普通电力变压器基本相似。

接触调压器的线圈通常为单层,导线均匀地绕在环形铁芯的四周,凭借主轴与刷架的作用,使电刷沿线圈磨面来回滑动(或滚动),以此来改变电刷的接触位置,从而改变输出电压,它既可升压又可降压。与电刷接触的线圈磨面应光滑平整,磨压宽度约为导线直径的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。

接触调压器一般制成干式自冷式,大容量或特殊环境用的接触调压器亦可制成油浸自冷式。额定容量在10kVA及以下,输出电流在40A及以下的单相接触调压器,均制成单元环型结构(目前生产的最大单相接触调压器,其容量为10kVA),几个单元环形可绕轴组装成较大容量的单相或三相接触调压器,但组成单相时,必须加装平衡电抗器。

2. 接触调压器的产品型号、规格及性能

接触调压器产品型号组成形式如下(JB 3837—85):



额定容量后面的字母(A、B、C等),表示改型序号。

其中产品型号:T—调压器;TE—电动调压器;D—单相;S—三相;G—干式;C—接触式(环型);Z—接触式(柱型)。

接触调压器的冷却方式标志按ZBK 42001—87第3.1条的规定。

接触调压器 $T_{S}^{D}GC2$ 系列和 $T_{S}^{D}GC2$ 系列产品的规格及性能见表6.6.1。额定数据的偏差要求见表6.6.2。

表 6.6.1 调压器的基本规格及性能数据

额定容量 /kVA	相数	额定输入 电压 /V	输出电 压范围 /V	额定输出 电流 /A	损耗/W				空载电流/A		损耗 变动量 /W	最大电 压降/V $\cos\varphi_2 = 1$
					空载		负载(75℃)		I	II		
					I	II	I	II				
0.2	1	220	0~250	0.8	3.5	6.5	6.5	7.5	0.1	0.18	1.4	5
0.5				2	6	13	17	20	0.2	0.36	2.4	
1				4	10	18	25	28	0.25	0.55	4	
2				8	15	25	42	42	0.3	0.65	6	
3				12	18	28	55	80	0.4	0.85	7.2	
4				16	20	33	65	100	0.5	0.90	7.5	
5				20	22.5	40	75	130	0.6	1.00	8	
7				28	26	50	95	175	0.7	1.30	9	
10				40	33	80	140	260	1.0	2.0	12	
15				60	53	120	230	390	1.5	3.0	18	
20				80	67	150	300	525	2.0	3.9	24	
30				120	101	240	460	780	3.0	6.0	36	

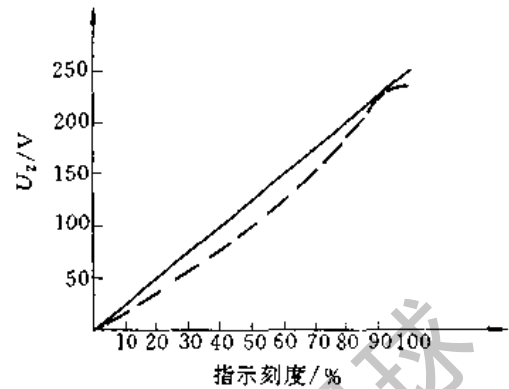


图 6.6.6 调压特性曲线

续表

额定容量 /kVA	相数	额定输入电压 /V	输出电压范围 /V	额定输出电流 /A	损耗/W				空载电流/A		损耗 变动量 /W	最大电 压降/V $\cos\varphi_2 = 1$
					空载		负载 (75°C)		I	II		
					I	II	I	II				
3	3	380	0~430	4	30	54	75	84	0.25	0.55	12	9
6				8	45	75	126	126	0.3	0.65	18	
9				12	54	84	165	240	0.4	0.85	21.6	
12				16	60	99	195	300	0.5	0.90	22.5	
15				20	67.5	120	225	390	0.6	1.00	24	
20				27	78	150	260	525	0.7	1.30	27	
30				40	99	240	420	780	1.0	2.0	30	

注：组 II 中的数据只限于经济型过渡产品，以“J”（位于下角）表示。

表 6.6.2 调压器额定数据的偏差范围

项 目	偏差/%	项 目	偏差/%
空载损耗	+15	总损耗	+10
损耗变动量	+15	空载电流	+30
负载损耗	+15	最大电压降	+20

3. 接触调压器的计算及常用规格技术参数

这里介绍干式自冷环形接触调压器的铁芯和线圈计算。

设接触调压器的额定容量为 S_e (kVA)，一次额定电压为 U_{1e} (V)，二次最大电压为 U_{2e} (V)。

(1) 每相容量计算

每相容量 $S_m = S_e / m$ (kVA)

式中 m 为相数，单相 $m = 1$ ；三相 $m = 3$ 。

(2) 相电压计算

一次相电压 $U_1 = U_{1e} / k$ (V)

二次相电压 $U_2 = U_{2e} / k$ (V)

式中 k 为系数，单相 $k = 1$ ；三相 $k = \sqrt{3}$ 。

(3) 相电流计算

单元一次相电流 $I_1 = \frac{S_e 10^3}{U_1 z_p}$ (A)

单元二次相电流 $I_2 = \frac{S_e 10^3}{U_2 z_p}$ (A)

单元平均电流 $I_p = I_2 / 2$ (A)

式中 z_p 为组装成调压器的线圈数。

(4) 导线直径的确定

导线直径 $d = \left(\frac{4I_p}{\pi J'} \right)^{1/2} / k_t$ ，取标准值 (mm)

式中 J' ——电流密度， A/mm^2 ，可以参照表 6.6.3 选取；

k_t ——导线拉伸系数，见表 6.6.4。

表 6.6.3 平均电流密度初选值 (J')

单元容量/kVA	0.2~0.5	1~3	4~5	7~10
$J'/(A/mm^2)$	7.5~6.5	6~5	4~3.5	3~2.5

表 6.6.4 拉伸系数 k_t

单元容量/kVA	0.2	0.5	1	2	3	4~5	7~10
k_t	0.98	0.975	0.97	0.965	0.96	0.955	0.95

(5) 每匝电压的初选

每匝电压的初选值 e_1' 可以参照表 6.6.5。

表 6.6.5 每匝电压初选值 (e_1')

单元容量/kVA	0.2	0.5	1	2~4	5~7	10
$e_1'/(V/匝)$	0.3~0.4	0.45~0.55	0.6~0.7	0.8~0.9	0.95~1.05	1.1~1.2

(6) 线圈实绕匝数的确定

线圈实绕匝数

$$W = 1.01 U_2 / e_1' (\text{匝}), \text{取整数}$$

(7) 铁芯外径的确定

铁芯外径

$$D_y = \frac{360 W d' k_l}{(360 - \theta) \pi k_m} + 2b_d (\text{mm}), \text{取整数}$$

式中 d' ——绝缘导线直径, mm;

θ ——线圈空角, 通常 $\theta = 25^\circ$;

k_m ——导线排密系数, 见表 6.6.6;

b_d ——线圈磨面径向尺寸, mm, 它由电刷尺寸决定。若侧磨面, 则 $b_d = 0$ 。

表 6.6.6 导线排密系数 k_m

单元容量/kVA	0.2	0.5	1	2	3~5	7~10
k_m	0.94	0.945	0.95	0.955	0.96	0.97

(8) 铁芯内径的确定

铁芯内径

$$D_n = \frac{D_y - 2b_d}{k_z} + 2 \left(\delta_n + \frac{1}{2} d' k_l \right) (\text{mm}), \text{取整数}$$

式中 k_z ——铁芯内圆处导线重叠系数, 单元 5kVA 及以下 $k_z = 1.8 \sim 1.9$; 单元 7~10kVA $k_z = 1.65 \sim 1.75$;

δ_n ——内径绝缘厚度, mm。

(9) 铁芯厚度

铁芯厚度

$$b = \frac{D_y - D_n}{2} (\text{mm})$$

(10) 铁芯净截面初算

铁芯净截面

$$S_c' = \frac{e_1' \times 10^4}{4.44 f B'} (\text{cm}^2)$$

式中 e_1' ——每匝电压, V/匝, 见表 6.6.7;

f ——额定频率, Hz;

B' ——铁芯磁通密度, T, 通常热轧值 $B' = 1.1 \sim 1.3\text{T}$, 冷轧值 $B' = 1.6 \sim 1.6500\text{T}$ 。

表 6.6.7 T_SGC2J 系列接触调压器技术参数

型号	容量/kVA	线圈 组数	铁芯尺寸/mm			线圈数据		质量/kg
			外径	内径	高	线径/mm	匝数/匝	
TDGC2J-0.2	0.2	1	87	46	58	0.29	710	2.5
TDGC2J-0.25	0.25	1	87	46	58	0.33	650	2.5
TDGC2J-0.5	0.5	1	108	53	62	0.41	550	4
TDGC2J-1	1	1	140	70	67	0.74	425	7.5
TDGC2J-2	2	1	140	62	76	1.12	262	9
TDGC2J-3	3	1	207	138	67	1.4	345	17
TDGC2J-5	5	1	226	138	86	2.1	286	29
TDGC2J-7	7	1	226	138	76	2.44	250	27
TDGC2J-10	10	2	226	138	86	2.1	286	57
TDGC2J-15	15	3	226	138	86	2.1	286	84
TDGC2J-20	20	3	226	138	76	2.44	250	76
TDGC2J-30	30	4	226	138	86	2.1	286	102
TSGC2J-3	3	3	140	62	65	0.8	362	30
TSGC2J-6	6	3	140	62	76	1.2	262	33

续表

型 号	容量 /kVA	线圈 组装数	铁芯尺寸/mm			线圈数据		质量 /kg
			外径	内径	高	线径/mm	匝数/匝	
TSGC2J-15	15	3	226	138	86	2.1	286	80
TSGC2J-20	20	3	226	138	76	2.44	250	76
TSGC2J-30	30	6	226	138	86	2.1	286	172
TDGC2J-50	5	1	218	114	67	2.1	256	24
TDGC2J-100	10	2	218	114	67	2.1	256	49
TDGC2J-150	15	3	218	114	67	2.1	256	68
TSGC2J-150	15	3	218	114	67	2.1	256	66

(11) 铁芯高度的确定

$$\text{铁芯高度} \quad h = \frac{S_c \times 10^2}{f_d b} \quad (\text{mm})$$

式中 f_d 为选片系数，环形冷轧片的铁芯，一般 $f_d = 0.95$ 。

表 6.6.7 和表 6.6.8 分别列出了 T_S^DGC2J 和 T_S^DGC2 系列环形接触调压器常用规格的技术参数。

表 6.6.8 T_S^DGC2 系列接触调压器技术参数

型 号	容量 /kVA	线圈 组装数	铁芯尺寸/mm			线圈数据		质量 /kg
			外径	内径	高	线径/mm	匝数/匝	
TDGC2-0.2	0.2	1	90	44	45	0.28	697	2.4
TDGC2-0.5	0.5	1	100	48	53	0.42	525	3.5
TDGC2-1	1	1	140	62	45	0.67	416	6
TDGC2-2	2	1	140	62	65	1.0	284	8
TDGC2-3	3	1	176	78	53	1.4	279	11
TDGC2-5	5	1	198	98	60	2.0	241	18.5
TDGC2-7	7	1	260	144	53	2.65	247	24
TDGC2-10	10	2	198	98	60	2.0	241	38
TDGC2-15	15	3	198	98	60	2.0	241	64
TDGC2-20	20	2	260	144	60	3.15	210	57
TDGC2-30	30	3	260	144	60	3.15	210	86
TSGC2-3	3	3	140	62	45	0.67	416	18.5
TSGC2-6	6	3	140	62	65	1.0	284	25
TSGC2-9	9	3	176	78	53	1.4	279	33.5
TSGC2-15	15	3	198	98	60	2.0	241	60
TSGC2-20	20	3	260	144	53	2.65	247	74
TSGC2-30	30	3	260	144	60	3.15	210	83

4. 接触调压器的选用与使用维护

(1) 选用

① 如果负载设备对电压波形要求较高，则应优先选用接触调压器。

② 选购前，应弄清接触调压器的主要技术规格，包括额定容量、相数、频率、额定输入电压（线电压）、输出电压（线电压）可调范围（上限值和下限值）、额定输出电流、冷却方式和使用条件等。

③ 接触调压器是不能以恒功率输出的。一般产品铭牌或说明书上所标的额定容量，实指它的最大输出容量。若输出电流保持额定值不变，则只有当输出电压调到最大时，接触调压器才有满功率输出。所标的输出电流是指最大允许值，在整个调压范围内，其负载电流不能大于这个值。但是，额定电流值是指接触调压器连续长期运行时所允许的值，而接触调压器具有短时过载能力，在这种条件下，输出电流允许超过额定值。

④ 由于每台接触调压器的负载特性略有差异（相同规格），因此多台接触调压器不能并联使用，否则会损坏接触调压器。

⑤ 为压缩费用，应优选工厂标准规格的接触调压器。要根据负载电流和电压调节范围来选用，选择额定容量要大于所需容量，额定输出电流要大于负载所需最大电流，调压范围接近并满足负载要求。

⑥ 除接触自动调压器外，一般接触调压器不能当作稳压器使用，因它没有稳压功能。

(2) 使用与维护

① 详细阅读使用说明书，检查选用产品是否满足要求。

② 注意接触调压器安装使用的环境条件：

环境温度不高于 40℃；

相对湿度不大于 85%，海拔高度不超过 1000m；

不含腐蚀性气体、蒸汽、导电尘埃及其他易燃易爆物质；

无严重的颠簸和振动；

户内使用。

③ 使用前必须查明电网电压与输入端一致。输入端与输出端切忌接反。

④ 由于变压器空载合闸时，瞬间冲击电流较大，所以调压器前端所接的空气开关或断路器应选用适当，其脱扣电流必须大于调压器的额定输出电流。

⑤ 接触调压器应接上保护性地线。

⑥ 使用通电前，调压器手轮上的指针应在零位，缓慢转动手轮，调节到所需电压。

⑦ 接触调压器应保持清洁、防潮、使用时应通风。

⑧ 为确保接触调压器的正常使用，应定期对旋转部分及接触表面进行检查维修。如发现电刷磨损过多、缺损及元件损坏，应调换同种规格的电刷和元件，修复后方可使用。如发现线圈表面烧有黑色斑点，可用棉纱沾酒精（90%）擦拭，直至表面斑点除去为止。此项工作应在不通电时进行。

⑨ 接触调压器使用完毕，应将手轮转动到零位后切断电源。

四、接触自动调压器

接触自动调压器又称接触自动稳压器，是一种匝比自动可调的自耦变压器，当输入电压变化时，接触自动调压器借助于控制电路、电机主轴和刷架的作用沿线圈的磨光表面滑动时，就可改变匝比，从而使输出电压稳定在额定值内。

该种交流稳压电源具有波形不失真、体积小、质量轻、效率高、使用方便可靠、能长期运行等特点，可广泛应用于仪器仪表、机电制造、科学实验、公用设施、家用电器中。

其产品主要有单相 TNDGC 系列和三相 TNSGC 系列，其中 TN 代表自动调压器。一般环形接触自动调压器的规格有单相 0.2~30kVA，三相 3~30kVA，不规格的一般做成柱形。

接触自动调压器在整个输入电压变化范围内并不是以恒功率输出的，当电压偏低时，应当降容使用，否则易损坏。

选购接触自动调压器必须查明本地区的电压变化范围，确定所选额定容量。所选容量的计算方法是，电感性负载按其容量的 2.5~3 倍计算，其他负载按 1.5~2 倍计算，所选容量应大于计算容量的总和。

使用时应注意按产品铭牌要求和说明书规定操作进行，应定期检修保养。

第二节 电炉变压器

一、电炉变压器规格及主要参数

电炉变压器是供给电炉电源的变压器，它是将较高的网络电压（6~35kV，有时甚至达到 110kV）降低到电炉所需要的电压（一般为几千伏到几百伏）。由于二次电压较低，二次电流就会很大，可达几千安，甚至几万安，这就是电炉变压器的特殊性。

由于电炉的种类很多，所以电炉变压器的种类也很多，按其用途可分为：供三相电弧炼钢炉用的三相电弧炉变压器；供矿热还原炉用的三相矿热变压器；供有色金属冶炼单相电弧炉用的单相电弧炉变压器；供电渣炉用的单相电渣炉变压器；供工频感应炉用的工频感应炉变压器；供盐浴炉用的盐浴炉变压器等等。

1. 三相电弧炉变压器的技术参数

电弧炉变压器的调压方式分有载调压和无励磁调压两种。有载调压的电弧炉变压器不带串联电抗器，无励磁调压的电弧炉变压器的结构形式分为带串联电抗器和不带串联电抗器的两种，这两种结构能在最高二次电压下改变阻抗，前者靠串联电抗器的投入和切除来改变阻抗，而后者则靠改变电弧炉变压器自身高压绕组的联结方式来改变阻抗。表 6.6.9 为带串联电抗器的无励磁调压电弧炉变压器的规格参数；表 6.6.10 为不带串联电抗器的无励磁调压电弧炉变压器的规格参数，表 6.6.11 为有载调压电弧炉变压器的规格参数，表 6.6.12 和表 6.6.13 分别为带和不带串联电抗器的列励磁调压电弧炉变压器参数，表 6.6.14 和表 6.6.15 分别为 35kV 和

110kV 有载调压电弧炉变压器参数, 表 6.6.16 为串联电抗器的总损耗数据。

表 6.6.9 带串联电抗器的无励磁调压电弧炉变压器的规格参数

额定容量 /kVA	一次电压 /kV	二次电压 /V	额定二次电流 /A	调压方式	联结组 标号	阻抗电压 /%	串联电抗器	
							额定容量/kvar	电抗压降/%
630	6 6.3 10 10.5 11	200 170 116 98	1819	无 励 磁 调 压	D-Yd0-11	8~9	120	19
800			2309				150	
1000			2887				190	
1250		210 180 121 104	3437				200	16
1600			4399				260	
2000			5499				320	
2500		220 190 127 110	6561				280	11.2
3150			8267				350	
4000			9623				340	
5000		240 210 139 121	12028				430	8.5
6300			13990				360	
8000			17765				460	

注: 1. 额定容量是指在最高二次电压下的容量, 在其他二次电压下, 其容量随二次电压成比例地降低 (恒电流输出)。

2. 阻抗电压是指在最高二次电压下的数值。

3. 冷却方式可为油浸自冷或强油冷却。

4. 串联电抗器可为内附或外附。

5. 联结组标号亦允许采用 D-Yd2-1。

表 6.6.10 不带串联电抗器的无励磁调压电弧炉变压器的规格参数

额定容量 /kVA	一次电压/kV	二次电压/V	额定二次电流/A	调压方式	联结组标号	阻抗电压/%	
						大阻抗	小阻抗
630	6 6.3 10 10.5 11	200 170 116 98	1819	无励磁调压	D-Yd0-11	24~26	10~11
800			2309				
1000			2887				
1250		210 180 121 104	3437			22~24	9~10
1600			4399				
2000			5499				
2500		220 190 127 110	6561			21~23	8~9
3150			8267			19~21	7~8

注: 1. 额定容量是指在最高二次电压下的容量, 在其他二次电压下, 其容量随二次电压成比例地降低 (恒电流输出)。

2. 阻抗电压是指在最高二次电压下的数值。

3. 冷却方式可为油浸自冷或强油冷却。

4. 联结组标号亦允许采用 D-Yd2-1。

表 6.6.11 有载调压电弧炉变压器的规格参数

额定容量 /kVA	一次电压 /kV	二次电压/V		二次级 电压 /V	额定二 次电流 /A	调压 级数	调压 方式	各相间 允许最 大级差	联结组 标号	阻抗电压 /%	冷却 方式
		恒功率	恒电流								
10000	35 38.5	280~240	240~100	10	24056	19 前 5 级 恒功 率输 出、 后 14 级恒 电流 输出	分相 有载 调压	3 级	Dd0 Yd11 YNd11	7~8	强油 冷却
12500		314~270	270~116	11	26729						
16000		353~305	305~137	12	30287						
20000	35 38.5 110 121	392~340	340~158	13	33962						
25000		436~380	380~184	14	37984						
31500		489~425	425~201	16	42792						
40000		547~475	475~223	18	48619						
50000		610~530	530~250	20	54467						
63000		673~585	585~277	22	62176						
80000		760~560	660~310	25	69982						
								Dd0 YNd11 Yd11 (35kV 级) YNd11 110kV 级	6~7 (35kV 级) 7.5~8.5 110kV 级		

- 注：1. 额定容量是指在恒功率输出下的容量，在恒电流输出下其容量随二次电压成比例地降低。
2. 阻抗电压是指在最高二次电压的数值。
3. 额定二次电流是指在恒功率输出时最低二次电压下的数值。
4. 调压方式亦允许采用三相同时调压。
5. 对应于联结组标号 Dd0、Yd11、YNd11 亦允许采用 Dd2、Yd1、YNd1。

表 6.6.12 带串联电抗器的列励磁调压电弧炉变压器的性能参数

一次电压/kV	6, 6.3, 10, 10.5, 11											
额定容量/kVA	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
空载损耗/kW	2.4	2.7	3.1	3.6	4.1	4.6	5.2	6.0	7.6	9.4	11.8	15.0
负载损耗/kW	8.6	11.0	14.0	17.5	22.0	27.0	32.0	39.0	46.0	54.0	63.0	74.0
空载电流/%	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8

- 注：1. 表中所列数据均指在最高二次电压下的数值。
2. 表中损耗值不包括串联电抗器的损耗。

表 6.6.13 不带串联电抗器的列励磁调压电弧炉变压器的性能参数

一次电压/kV	6, 6.3, 10, 10.5, 11								
额定容量/kVA	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
空载损耗/kW	2.2	2.7	3.1	3.7	4.6	5.6	6.7	8.0	
负载损耗/kW	11.0	13.5	16.0	18.5	24.0	28.0	34.5	41.5	
空载电流/%	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	

- 注：表中所列数据均指在最高二次电压下大阻抗时的数值。

表 6.6.14 35kV 级有载调压电弧炉变压器的性能参数

一次电压/kV	6, 6.3, 10, 10.5, 11									
额定容量/kVA	10000	12500	16000	20000	25000	31500	40000	50000	63000	80000
空载损耗/kW	20	23	28	32	39	45	52	61	68	80
负载损耗/kW	130	150	180	210	240	290	350	410	480	580
空载电流/%	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6

- 注：表中所列的空载损耗和空载电流是指在最高二次电压下的数值，负载损耗是指在恒功率输出时最低二次电压下的数值。

表 6.6.15 110kV 级有载调压电弧炉变压器的性能参数

一次电压/kV	110, 121						
	额定容量/kVA	20000	25000	31500	40000	50000	63000
空载损耗/kW	34	42	47	54	63	71	85
负载损耗/kW	220	250	300	360	420	490	590
空载电流/%	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6

注:表中所示的空载损耗和空载电流是指在最高二次电压下的数值,负载损耗是指在恒功率输出时最低二次电压下的数值。

表 6.6.16 串联电抗器的总损耗数据

额定容量/kvar	120	150	190	200	260	280	320	340	350	360	430	460
总损耗/kW	2.3	2.5	3.0	3.1	3.8	4.2	4.9	5.0	5.1	5.2	6.2	6.7

2. 三相矿热炉变压器的技术参数

矿热炉要求变压器的二次电压有很多等级,这是由于电极埋入炉料中,被炉料包围,因此,电流不仅通过电弧,而且主要的是通过炉料的电阻使炉料加热。根据炉料的成分和电极埋的深度,炉中电阻是经常改变的,为了达到需要的电流值,常常采用调节二次电压来保证。矿热炉变压器种类很多,目前大部分尚无专业标准,仅靠制造厂和用户协商确定。表 6.6.17 和表 6.6.18 为电石炉变压器的规格参数,表 6.6.19 和表 6.6.20 分别为无励磁和有载调压黄磷炉变压器性能参数。

表 6.6.17 电石炉变压器的规格参数

变压器额定容量/kVA	1000	2000	3150	5000	8000	12500	16000	20000	25000	31500	40000	50000
一次电压/kV	6, 10			10 35	35, 63			35, 63, 110				
二次电压/V	73 69 65 61 57	83 79 75 71 67	98 94 90 86 82	110 105 100 95 90	128 123 118 113 108	160 1 100 等 差	170 1 105 等 差	180 1 110 等 差	190 1 110 等 差	205 1 125 等 差	225 1 145 等 差	240 1 160 等 差
额定级电压/V	65	75	90	100	118	145	154	162.5	174.5	189.5	209.5	224.5
二次电压级数	5				17			27				
变压器全容量时二次电压级数	前 3 级				前 5 级			前 6 级				
调压方式	无励磁				有载							
二次电压最高时阻抗电压/%	5~7(10kV 及以下); 6~8(35kV); 7~9(63kV 及以上)											
冷却方式	ONAN			OFAF 或 OFWF								
联结组标号	Yd11				Dd0 及 Yd11(35kV)			Dd0 或 Dyn11(63kV 以上)				

注:1. 变压器容量为 25000kVA 及以上时,可以制成三台单相变压器,组成三相组,其单相变压器的额定容量为 8333、10500、13333、16666kVA。

2. 当变压器联结组标号为 Dd0 及 Yd11 时,二次电压数据为一次 D 接时的数据。

3. 额定级电压指电炉变压器全容量时的二次最低电压。

4. 对于额定容量为 12500 及 16000kVA 的电炉变压器,根据需要并经订货单位与制造厂协商可以供给七级无励磁调压的变压器。

5. 对于分相调压的电炉变压器,应限制绕组内的环流不超过额定电流的 20%。

表 6.6.18 电石炉变压器的性能参数

额定容量/kVA	1000	2000	3150	5000		8000		12500	
电压/kV	6, 10			10	35	35	63	35	63
空载损耗/W	3270	5500	7800	10200	10600	13300	14000	18100	23100
负载损耗/W	21400	36000	51200	71400	75000	112000	118000	171000	219000
空载电流/%	3							2.5	
额定容量/kVA	16000			20000			25000		
电压/kV	35	63	35	63	110	35	63	110	
空载损耗/W	21700	21100	25500	33200	33200	30000	39000	39000	
负载损耗/W	206000	263000	245000	319000	319000	290000	377000	377000	
空载电流/%	2.5			2					
额定容量/kVA	31500			40000			50000		
电压/kV	35	63	110	35	63	110	35	63	110
空载损耗/W	35200	45700	45700	42500	55300	55300	56500	65700	65700
负载损耗/W	347000	450000	450000	400000	520000	520000	450000	585000	585000
空载电流/%	2								
额定容量/kVA	10500			13335			16666		
电压/kV	35	63	110	35	63	110	35	63	110
空载损耗/W	12600	16300	16300	14700	19100	19100	17300	22500	22500
负载损耗/W	113200	147000	147000	137000	178000	178000	156000	203000	203000
空载电流/%	2								

注:空载损耗为电炉变压器二次电压最高时的数值,负载损耗为额定级电压时的数值。

表 6.6.19 2000~8000kVA 无励磁调压电石炉变压器性能参数

额定容量/kVA	一次电压/kV	二次电压/V	额定二次电压/V	联结组标号	冷却方式	空载损耗/kW	负载损耗/kW	空载电流/%	阻抗电压/%
2000	6	180 155 130 167.5 142.5	155	Yd11 或 Dd0	ONAN 或 OFTW	4.8	29	3	6-8
2500		215 185 130 200 168	185			5.7	34		
3150		230 200 130 215 180	200		6.8	41			
4000	6	245 218 196 140 231 206 178	218		OFTW	8.2/9.4	51/58	2.8	
5000		10	260 232 199 140 245 220 182			232	或	9.8/11.5	
6300	35		270 236 207 140 252 220 185		235	OFAF	12/13.5	70/80	
8000		300 255 222 140 276 237 196	255		14.5/16		84/95	2.2	

注:1. 表中所列的空载损耗、空载电流和阻抗电压均为最高二次电压下数值,负载损耗为额定二次电压下的数值。

2. 调压级数:额定容量 2000~3150kVA 的为 5 级(前 3 级恒容量输出,后 3 级恒电流输出);额定容量 4000~8000 kVA 的为 7 级(前 3 级恒容量输出,后 5 级恒电流输出)。

3. 表中斜线上方数值为 6.10kV 级变压器的损耗,斜线下方的数值为 35kV 级变压器的损耗。

表 6.6.20 6300~80000kVA 有载调压黄磷炉变压器性能参数

额定容量 /kVA	一次电压 /kV	二次电压 /V	额定二次电压 /V	联结组标号	冷却方式	空载损耗 /kW	负载损耗 /kW	空载电流 /%	阻抗电压 /%
6300	35	275~140	275	Yd11	OFWF	17	100	20	6~8/7~9
8000		302~140	302			19	115		
10000		320~140	320			22	135		
12500		338~140	338			25	153		
16000		374~140	374			30	182		
20000	35	401~140	401	Yd11/YNd11	或	34/36	215/225	1.8	
25000		428~140	428		OFAF	40/42	252/265	1.6	
31500	110	465~140	465	Yd11/YNd11	OFAF	48/50	300/315	1.4	
40000		501~150	501			56/60	360/375	1.2	
50000		540~150	540			66/70	426/440	1.0	
63000	110	592~150	592	Yd11/YNd11	OFAF	82	520	0.8	
80000		644~150	644			98	620	0.6	

注:1. 表中所列数值为最高二次电压下的数值。

2. 表中斜线上方的数值为 35kV 级变压器的损耗,斜线下方的数值为 110kV 级变压器的损耗。

3. 调压级数:额定容量 6300~25000kVA 的为 19 级(恒电流输出);额定容量 31500~80000kVA 的为 19 级(恒电流输出)。

3. 单相电弧炉变压器的技术参数

表 6.6.21(a)和表 6.6.21(b)分别为无电抗器和有电抗器的单相电弧炉变压器的技术参数。

表 6.6.21(a) 无电抗器的单相电弧炉变压器技术参数

变压器容量 /kVA	一次电压 /kV	二次电压/V	阻抗电压 /%	联结相标号	负载时间 /min	间隙时间 /min
125	6,10	100	23	li0	40	15
175	6,10	100	23	li0	50	15
250	6,10	100	23	li0	60	20
400	6,10	100	20	li0	75	25

表 6.6.21(b) 带电抗器的单相电弧炉变压器技术参数

变压器容量/kVA	一次电压/kV	二次电压/V	二次最大电流/A	变压器阻抗/%	电抗器阻抗/%
140	3,6,10	80,90,100	1750	4~5	20,25,30,35
250	3,6,10	90,100,115	2780	4~5	15,20,25,30
400	3,6,10	100,115,130	4000	5~6	10,15,20,25
600	3,6,10	115,130,145	5200	5~6	5,10,15,20
900	3,6,10	130,145,160	6900	5~6	0.5,10,15

4. 电渣炉变压器的技术参数

电渣炉变压器已有专业标准,但目前 12500kVA 及以下电渣炉变压器多采用无励磁调压变压器,而很少采用标准规定的饱和电抗器调压方法。技术参数见表 6.6.22。

5. 工频感应炉变压器的技术参数

三相工频感应炉变压器技术参数见表 6.6.23。

表 6.6.22 电渣炉变压器技术参数

额定容量/kVA	200	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	5000	8000	
一次电压等级/kV	0.38 6.10	6.10					6.10, 35				35		
二次电压范围/V	30~60	35~70	35~70	40~80	40~80	45~90	45~90	50~100	55~110	60~120	65~130	70~140	
调压方式	无励磁调压					有载调压(采用饱和电抗器或有载分接开关)					有载调压(采用有载分接开关)		
调压级数	5~7					19~27							
外附饱和电抗器容量/kvar	—				1060	1330	1720	2130	2690	3290	—		
直流控制电流/A	—				40	60			80			—	

注: 1. 表中所列额定容量为最高二次电压(即第一分接)下的数值, 在其他情况下, 变压器容量随二次电压成比例地降低。

2. 调压级数是指采用分接开关调压的级数, 当采用分接开关调压时, 二次电压范围内的各级电压差值可相等, 亦可不等。

3. 根据用户要求, 可以供给双极串联电渣炉用变压器。二次侧设中点抽头, 其引出线允许通过电流不小于额定电流的15%, 此时, 二次侧可以恒功率输出, 其恒功率输出范围由用户与制造厂协商确定。

4. 其他有载调压方式(如采用可控硅等)由用户与制造厂协商确定。

表 6.6.23 三相工频感应炉变压器的技术参数

额定容量/kVA	一次电压/kV	二次电压/V	调压级数	调压方式	联结组别	冷却方式
630	10	450~175	2×9	无励磁调压	D-Yyn1-0	ONAN
1250	10	535~240	2×9	无励磁调压	D-Yyn1-0	ONAN
2000	10	750~250	2×9	无励磁调压	D-Yyn1-0	ONAN
3150	10	1000~300	2×9	有载调压	D-Yd0-11	OFWF
6300	35	3000~1200	2×13	有载调压	D-Yd0-11	OFWF

6. 盐浴炉变压器的技术参数

盐浴炉变压器的容量不大, 通常为25~150kVA, 一次电压为380V, 二次电压通常为6~18V, 调压级数为6级, 用以调节炉内温度。小容量的制成单相的, 较大容量的制成三相的。技术参数见表6.6.24和表6.6.25。

表 6.6.24 盐浴炉变压器技术参数

型号	额定容量/kVA	相数	一次电压/V	二次电压/V	级圈联结组标号
ZUDG-25	25	1	380	10~35	10
ZLSG-35	35	3	380	10~35	Y-Dy0-1
ZUDG-50	50	1	380	10~35	10
ZLSG-50	50	3	380	10~35	Y-Dy0-1
ZUSG-75	75	3	380	10~35	Y-Dy0-1
ZUSG-100	100	3	380	10~35	Y-Dy0-1
ZUSG-150	150	3	380	10~35	Y-Dy0-1
ZUSG-200	200	3	380	10~35	Y-Dy0-1

表 6.6.25 盐浴炉变压器技术参数

型号	额定容量/kVA	损耗/W				阻抗电压 不大于/%	空载电流/%	
		空载		短路			I	II
		I	II	I	II			
ZUDG-25	25	140	170	820	900	8	4	5
ZUSG-35	35	240	350	1100	1200	6	6	7
ZUDG-50	50	250	300	1450	1700	12	5	5
ZUSG-50	50	280	—	1550	—	7	5	—
ZUSG-75	75	350	500	2000	2650	12	4	5
ZUSG-100	100	450	600	2600	3600	12	4	4.5
ZUSG-150	150	650	800	3500	4700	13	5	5
ZUSG-200	200	850	1000	4500	5500	13	5	6

注: 表中组 I 为采用冷轧硅钢板数据, 组 II 为采用热轧硅钢板数据。

二、主要部件结构特征

电炉变压器是变压器产品中的一种，其大部分结构与电力变压器相似。下面只将与电力变压器不同的部分加以介绍。

1. 共轭式铁芯

带有串联电抗器的电炉变压器，当电抗器装在变压器油箱内时，可以将电抗器铁芯与变压器铁芯制成统一的整体。这两个铁芯有一个共有铁轭。这种铁芯称为共轭式铁芯。采用共轭式铁芯可以降低器身高度，节省材料。

电抗器铁芯可以布置在变压器铁芯的上部，亦可以布置在下部。布置在下部时，可以利用变压器器身来压紧电抗器铁芯，但调节电抗器铁芯气隙时不太方便。

2. 交叠式绕组

交叠式绕组按其制造工艺的不同，可分为两种形式。一种是直绕式，即将高低压绕组直接绕在硬纸筒上。这种形式工艺简单，绕组整形方便。另一种是套装式，即将高低压线段分别绕制，然后套入硬纸筒上，进行整形、加压和浸漆。

3. 同心式绕组

(1) 调压绕组 电炉变压器的调压绕组有四种形式，即连续式、纠结式、螺旋式和层式。连续式和纠结式常见于交错结构，螺旋式和层式常见于同心式结构。

(2) 低压绕组 在交错式绕组的电炉变压器中，低压绕组为单螺旋式；而在同心式绕组的电炉变压器中，低压绕组通常为双饼式、“8”字式和板式。

① 双饼式低压绕组：由于电炉变压器低压电压很低，相应匝数亦不多，所以每两个线饼为一个绕组单元。根据电流大小，可以选择若干个这种的单元。由于每个单元都是由两个线饼组成的，所以称为双饼式。

② “8”字形低压绕组：在采用串变调压的电炉变压器中，其主变低压绕组与串并低压绕组常常做成一个整体。由于从绕组顶部看很像阿拉伯数字“8”，所以称为“8”字形低压绕组。每个8字形双饼为一个单元，每相就是由若干个这样的双饼单元并联而成的。

③ 板式低压绕组：低压绕组每饼为1~2匝时，绕制十分不便，此时可考虑采用板式绕组。板式绕组采用铜板弯制而成。

4. 低压引结结构

低压大电流引线一般采用裸铜排或裸铝排。为了降低由于引线的漏磁场所起的附加损耗和电抗，布置低压引线铜排时必须遵循以下原则。

① 铜排应以窄面对着箱壁，且铜排间相互距离不要太大，通常仅为10mm。考虑到焊接工艺要求，铜排间距离为50~60mm。

② 铜排至绕组、铜排至箱壁的距离不应小于铜排宽度，有时考虑焊接工艺的需要，尺寸可能更大些。

③ 相邻铜排的电流应相互补偿，即铜排按电流方向交错排列。

④ 电炉变压器的低压出线铜排几乎皆接成开口三角形，以提高电流补偿效果，减少引线电抗。

⑤ 低压引线设计应尽量减少长度，且使各相引线长度、每相各路引线长度尽量相等。

⑥ 为了减少集肤效应，铜排边比越大越好，一般边双 ≥ 10 ，太大的电流宜用铜管引出。

5. 绝缘结构

这里主要介绍交叠式排列的主绝缘结构及尺寸，见图6.6.7和表6.6.26。图示为套装式绕法。对于直绕法高、低压绕组纸圈只伸到绕组内径为止。

纵绝缘电压为10kV及以下的连续式或双饼式绕组，匝间绝缘用0.45mm；电压为35kV的，

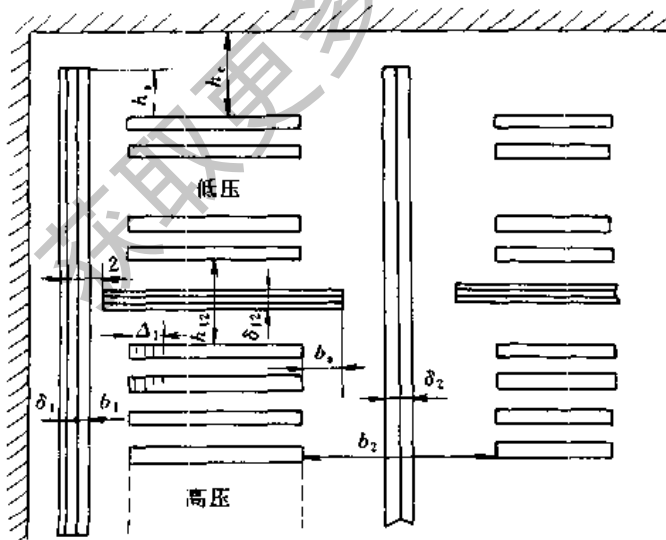


图 6.6.7 交叠式排列主绝缘结构

则用 0.95mm；电压为 1kV 及以下的螺旋式绕组通常用裸导线绕制。

从冲击强度考虑，10kV 的饼间油道最小宽度可用 4.5mm，35kV 可用 12mm。从散热考虑，油道宽度不小于表 6.6.27 的数值。

表 6.6.26 交叠式主绝缘尺寸

高压绕组 电压等级 /kV	工频试验 电压 /kV	绕组绕法	至铁柱绝缘尺寸 /mm		线圈间绝缘尺寸/mm				相间绝缘尺寸 /mm		至铁轭（或压板） 距离/mm	
			δ_1	b_1	h_{12}	δ_{12}	Δ_1	b_s	b_2	δ_2	h_c	h_s
≤ 1	5	直绕式	5	10	10	0	0	0	20	0	25 ^①	15 ^①
10	35	直绕式	5	10	25	4	14	10	25	0	35	25
		套装式	5	15	20	3	0	10	35	0		
35	85	套装式	5~8	34	42	6	0	30	70	3	70	55

① 亦适用套装式。

表 6.6.27 交叠式排列饼间油道宽度/mm

线饼辐 向厚度	饼间油 道宽度	线饼辐 向厚度	饼间油 道宽度	线饼辐 向厚度	饼间油 道宽度	线饼辐 向厚度	饼间油 道宽度
≤ 40	4.5	121~160	10	61~80	6	201~220	14
41~60	5	161~200	12	81~120	8		

三、调压方式

电炉变压器的二次（低压）电压，有时需要较多的电压等级。由于低压绕组电压低，电流大，匝数少，如果从低压绕组上抽头调压，往往是非常困难的。为此，通过改变高压绕组匝数来完成二次电压的调节，以及通过高压绕组星形-三角形变换来改变二次电压。

调压方式一般可分为无激磁调压、有载调压以及无级连续调压三大类。

1. 无激磁调压方式

无激磁调压是在变压器没有激磁（切断电源电压）的情况下进行的调压方式，这种调压方式具有结构简单、制造方便、有效材料消耗量较小、质量轻、外形小等特点。

无激磁调压分为无激磁中部调压方式（见图 6.6.8）和无激磁端部调压方式。

无激磁端部调压分带电抗器和不带电抗器两种见图 6.6.9 和图 6.6.10。

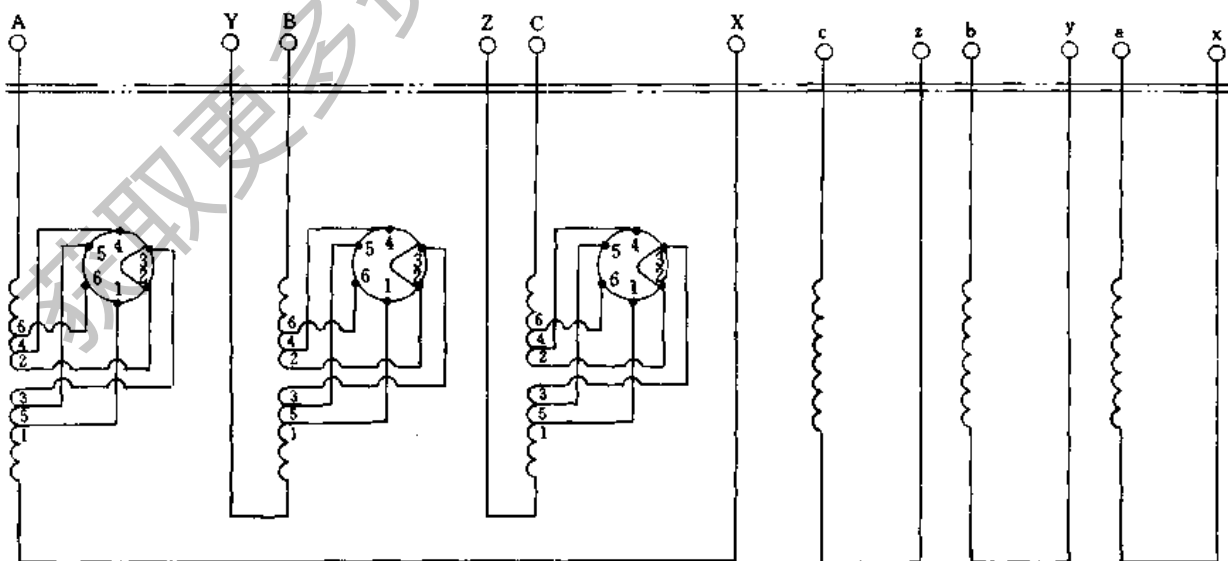


图 6.6.8 无激磁中部调压接线图

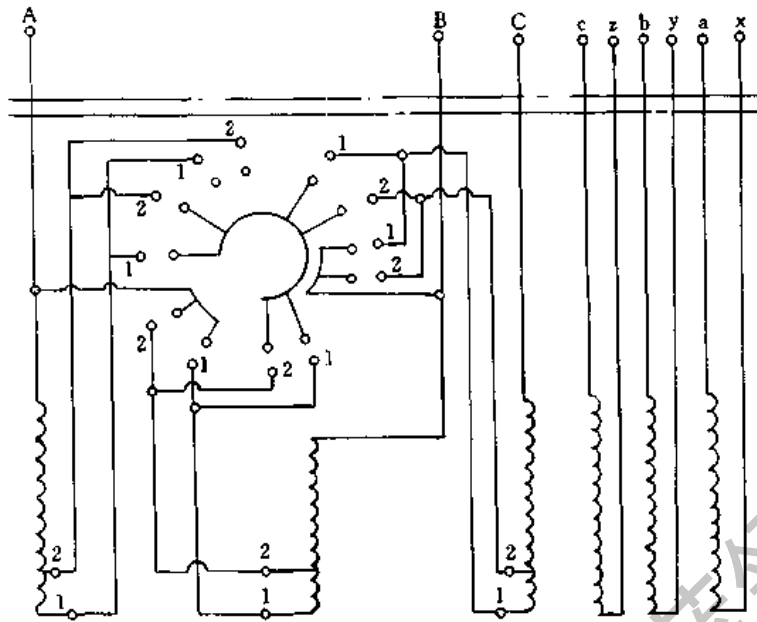


图 6.6.9 不带电抗器无激磁端调压方式接线图

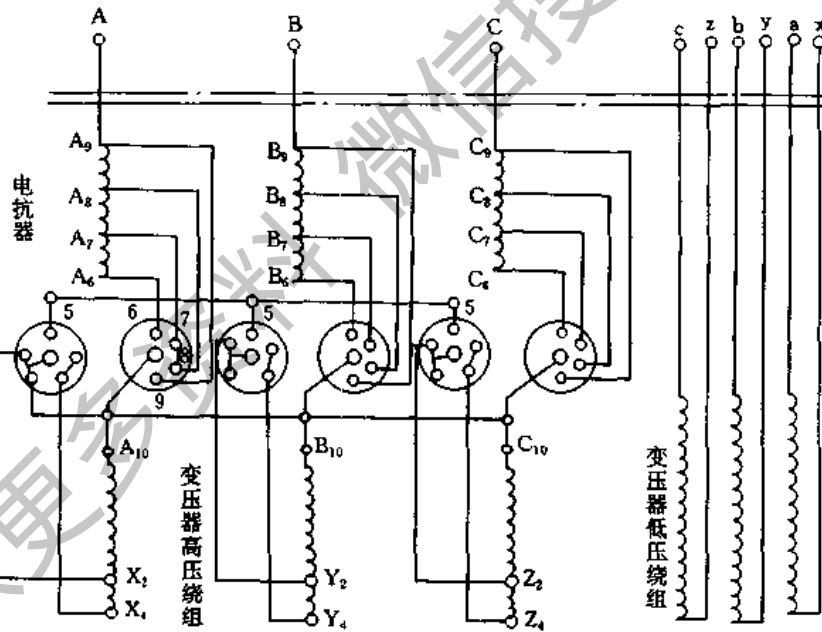


图 6.6.10 带电抗器无激磁端调压方式接线图

2. 有载调压方式

有载调压方式是变压器在带负载情况下进行调压的方式。这样，在冶炼时一方面可以缩短熔炼时间，增大电炉的产量；另一方面，可以减少电源的波动。下面介绍几种常见的有载调压方式。

(1) 带调压绕组调压方式 当变压器的容量在 10000kVA 以下，一次高压在 35kV 及以下，而二次（低压）的电压调压范围不超过 2 倍时，常采用带有载调压绕组的有载调压方式。

由于调压绕组和基本绕组连接方法不同，有下列三种情况。

① 调压绕组直接串联的有载调压方式见图 6.6.11。

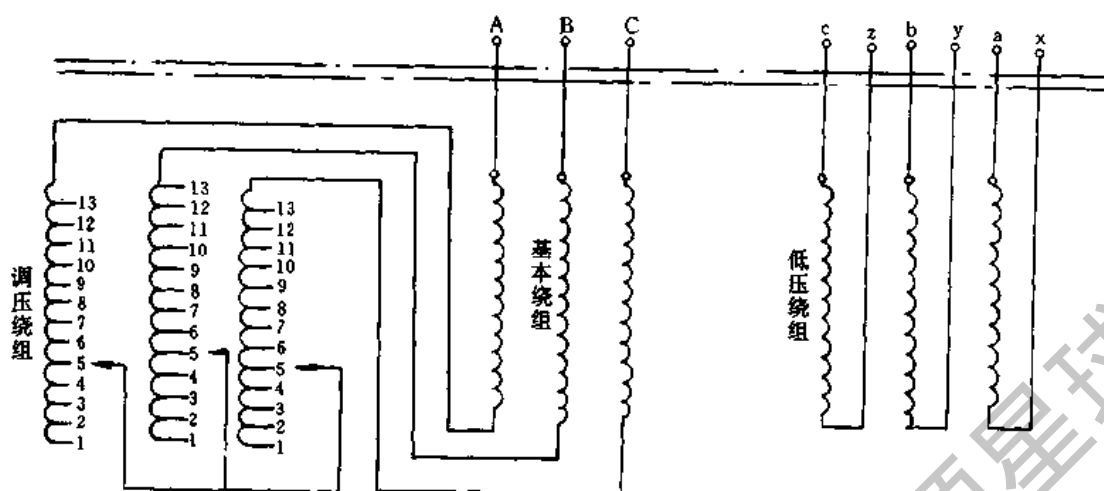


图 6.6.11 调压绕组直接串联的有载调压方式

② 带粗、细调压绕组的有载调压方式，见图 6.6.12。

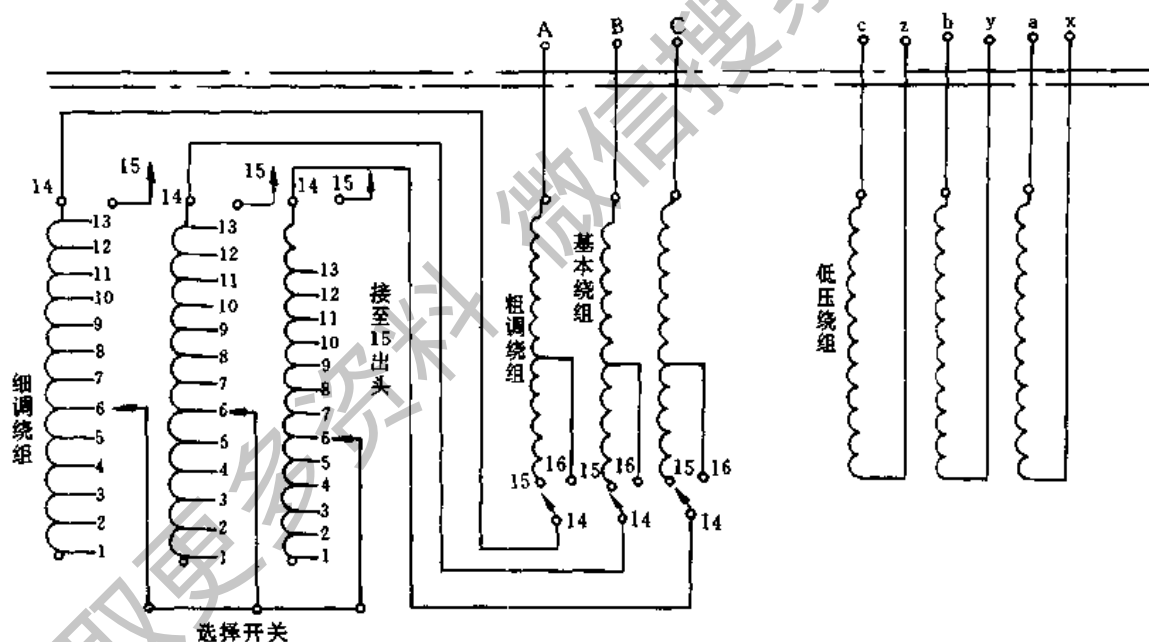


图 6.6.12 带粗、细调压绕组的有载调压方式

③ 调压绕组正、反串联的有载调压方式，见图 6.6.13。

(2) 带自耦调压变压器的有载调压方式 当变压器要求电压调节范围很广，如从零值调到额定电压值，而且调压级数也较多时，只在变压器上抽分接头调压或加调压绕组调压是非常困难的。这时采用在变压器前加一台自耦调压器的有载调压方式，见图 6.6.14。

这种接线方式，主变压器的高压绕组电压是由自耦调压器供给的，由于自耦调压器输出电压的变化而使主变压器绕组电压随之变化，从而得到主变压器低压电压的变化。这是定电流、变容量的调压方式，即电流不变，而容量随着电压的降低而正比地降低。

(3) 带辅助变压器的有载调压方式 变压器电压调节范围很广的另一种调压方式为带辅助变压器的有载调压方式。这种调压方式，是由一台主变压器及一台辅助变压器组成，两台器身同装在一个油箱中。当主变调压

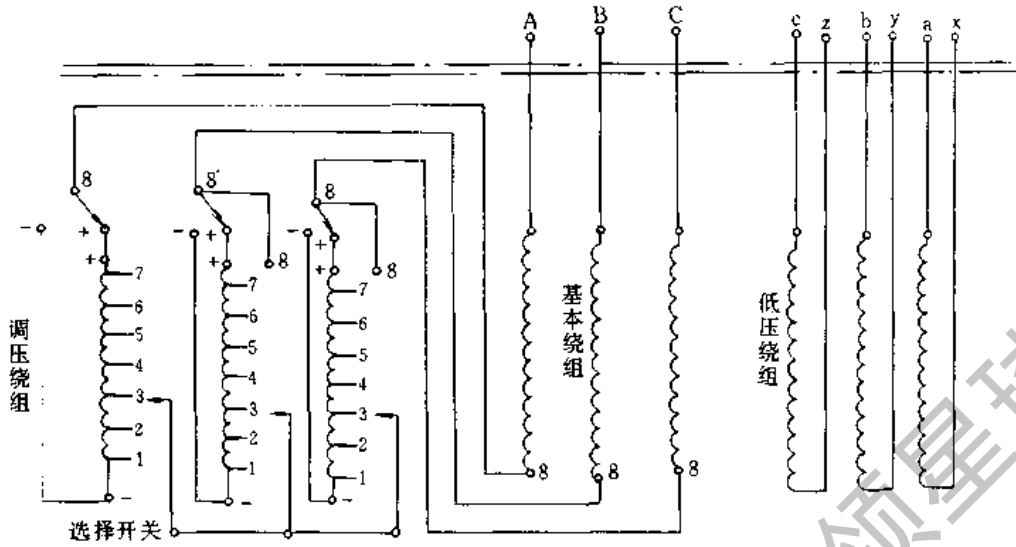


图 6.6.13 调压绕组正、反串联的有载调压方式

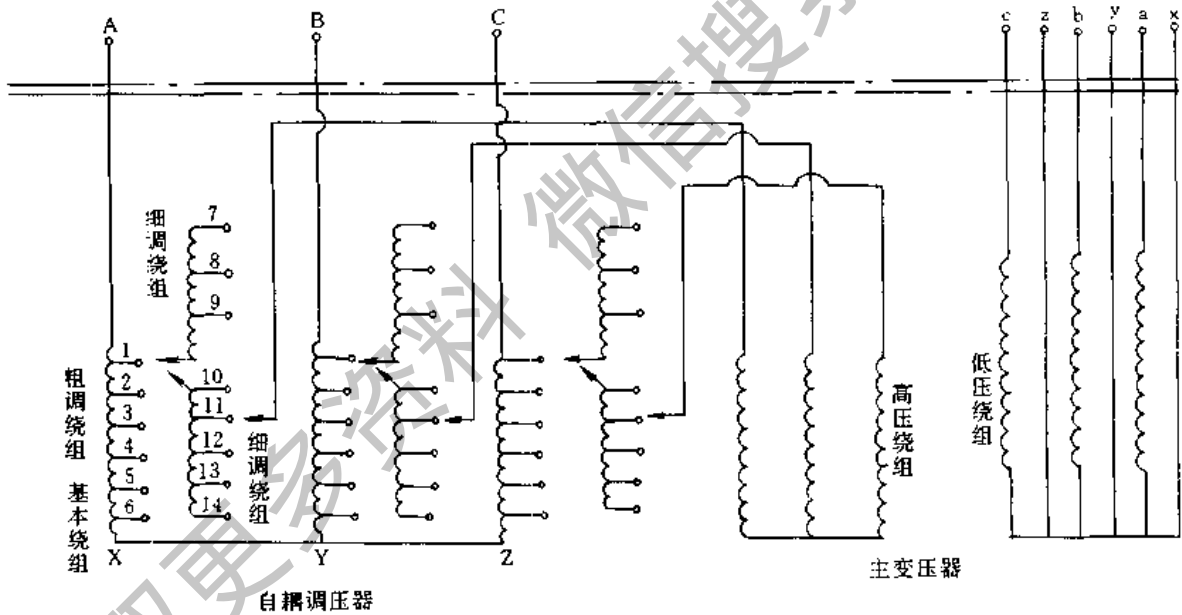


图 6.6.14 带自耦变压器的有载调压方式

绕组的有载开关分接位置改变时，其电压随之改变，则辅变的高压绕组电压发生变化，且可正、可负，从而使辅变低压绕组的电压发生相应变化，也可正、可负。这样可以得到较大的范围的调节，且为等差级数的电压调压。接线图见图 6.6.15。

3. 无级连续调压方式

无激磁调压及有载调压方式均为有级调压，即电压只能一级一级地调。下面介绍几种带负载、均匀连续的无级调压方式。

(1) 移圈调压器调压方式 移圈调压器是利用一个短路绕组沿着铁芯高度方向移动，来改变调压器的磁通分布，从而可在带负载情况下，得到准确、均匀、平滑的电压调节。

(2) 感应调压器调压方式 单相感应调压器是利用单相电机的转子相对于定子磁场偏转角度的不同，而得到不同的感应电势。三相感应调压器是利用三相感应电机的转子相对定子的旋转磁场偏移相位的不同，而使这

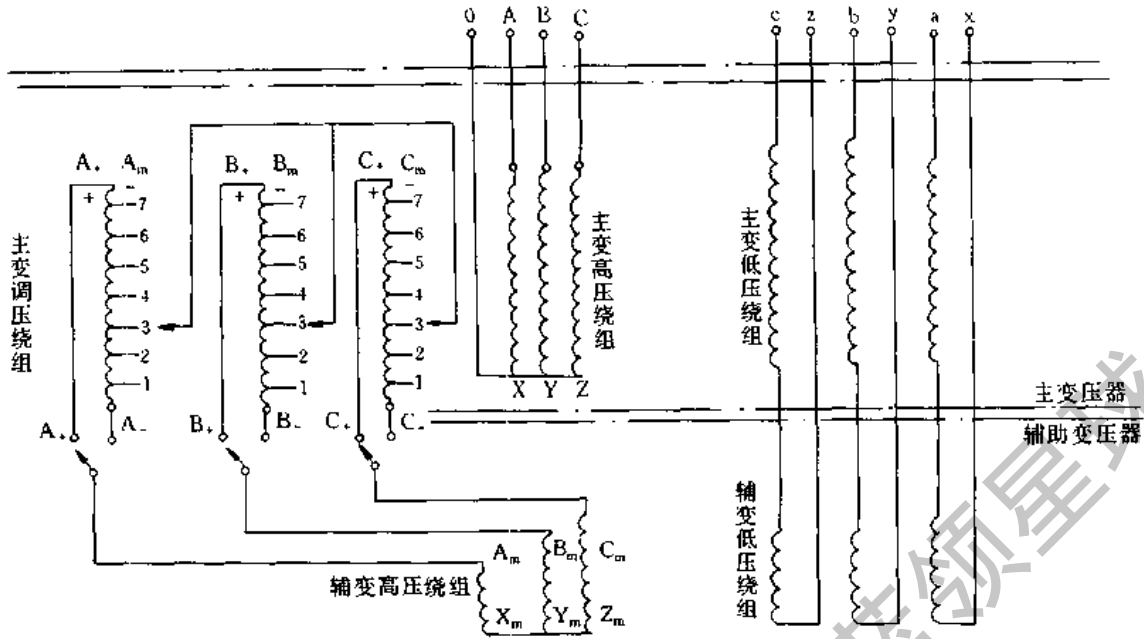


图 6.6.15 带辅助变压器的有载调压方式

些绕组感应电势不同。

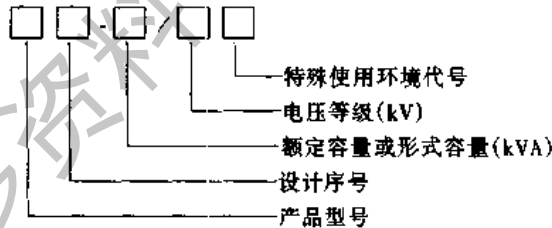
(3) 饱和电抗器调压方式 饱和电抗器可以看作一个可变电抗。它的交流工作绕组与负载或变压器的一次侧串联,而直流控制绕组接到直流控制电路。常作小容量产品或小范围的调压,有时用它作为有载调压的细调部分。

(4) 磁性调压器调压方式 磁性调压器是一种饱和电抗器和变压器在磁路上和电路上连接在一起的组合体。它具有与饱和电抗器一样的特点,目前国内生产的最大容量也只有几百千伏安。

四、技术条件

1. 型号

电炉变压器型号组成如下:



电炉变压器产品型号字母排列顺序及含义见表 6.6.28。

表 6.6.28 电炉变压器产品型号字母排列顺序及含义

分 类	含 义	代表的字母	分 类	含 义	代表的字母	
用途	电“弧”炉用	H	绕组外绝缘 介质	“成”形固体 包“绕”式	浇注式	C
	黄“磷”炉用	HL			包“绕”式	CR
	“铁”合金炉用	HT	冷却装置种 类	自然循环冷却装置 “风”冷却装置 “水”冷却装置	—	—
	电石炉用	HC			—	P
工频“感”应炉用	HG	油循环方式	自然循环 强“迫”油循环	—	—	
盐浴炉用	HU			—	P	
电“渣”炉用	HZ	结构特征	油箱内附有串联电“抗”器 或补偿回路限流电“抗”器采 用改变漏磁阻结构	—	K	
直流电弧炉用	HY			—	—	
绕组耦合方 式	独立 自“耦”	— O	调压方式	无励磁调压 有“载”调压	—	—
相数	“单”相 “三”相	O S			—	Z
绕组外绝缘 介质	变压器油 空气(“干”式)	— G	绕组导线材 质	铜 “铝”	— L	

2. 使用条件

电炉变压器的正常使用条件如下：

- ① 户内装置；
- ② 安装地点海拔不超过 1000m；
- ③ 周围介质温度为最高气温 +40℃，最高日平均气温 +30℃，最高年平均气温 +20℃，最低气温 -5℃；
- ④ 油水冷却器入口处冷却水最高温度 +30℃；
- ⑤ 电源电压的波形近似于正弦波；
- ⑥ 多相变压器的电源电压应近似对称。

在特殊使用条件下，设计时，要针对特殊要求采取技术措施。例如当海拔超过 1000m 时，应考虑每超过 100m，其外绝缘的空气间隙加大 1%，并根据国家标准的规定，修改温升限值。

3. 额定性能允许偏差

电炉变压器额定数据的允许偏差应不超过表 6.6.29 规定。

表 6.6.29 性能数据偏差

项目	空载损耗	负载损耗	总损耗	空载电流	阻抗电压	电压比	
						主分接	其他分接
允许偏差/%	+15	+15	+10	+30	±15	±1	±2

4. 其他要求

(1) 过载能力 电弧炉变压器允许在熔化期过载 20%，矿热炉变压器允许长期过载 10%，其他电炉变压器的过载能力由用户与制造厂协商决定。

(2) 动热稳定性 电弧炉变压器应能承受 3 倍额定电流、历时 6s 的工作短路电流的作用而无损伤。

所有电炉变压器应能承受 10 倍额定电流、历时 2s 的外部短路的作用无损伤。

(3) 绝缘水平 电弧炉变压器绕组绝缘应能承受冶炼过程中经常出现的操作过电压的作用而无损伤，但操作过电压应控制在 3 倍定额电压以下。

(4) 结构要求 电炉变压器的套管应选用防污型或加强型。10kV 套管宜选用导杆式，而不用穿缆式。

所有电炉变压器应装有小车，以便于牵引，滚轮应能 90° 旋转。

电炉变压器的储油柜油位计、信号温度计、铭牌、各种说明牌以及分接开关的操作机构等均不得布置在二次侧。

五、电容补偿

随着工业的发展，电炉的容量越来越大，电弧炉作为电网的集中负荷，将会给电网带来如下问题。

① 电弧炉在熔化期常常出现电极短路、空载等瞬变状态，电流极不稳定。这样极不稳定的电弧电流导致了电压的波动，电压的相对波动值可以下式近似计算：

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{Q}{S_K}$$

式中 ΔU ——电压变化量，V；

U ——电网电压，V；

Q ——电炉的无功功率，kvar；

S_K ——系统的短路容量，kVA。

电极短路造成母线电压下降，使炉子吸取功率减少。电极电流突然中断，易使绕组产生内部过电压，可能会对变压器、开关等电气元件的绝缘产生不利影响。

② 为了保证电弧的稳定燃烧，提高炉衬寿命，常需要电弧炉以较低的功率因数工作，使炉子占有很大的无功功率。同时电炉容量越大，短网电抗的相对值也越大，其功率因数越低。这些因素都会导致增大电源容量，给系统带来更大的电压波动。

③ 由于电弧炉是非线性负载，因而它还产生谐波，污染电网。

为了稳定母线电压，减少网路损耗和谐波，提高网路的功率因数，一般均采用电容补偿。电容补偿对变压器绕组连接方式、主要参数及运行特性影响很大，在电炉变压器设计之前必须对电炉的电容补偿方式了解清楚，对其影响采取相应措施。

电容补偿的种类如下。

(1) 横向电容补偿 横向电容补偿的接线原理如图 6.6.16 所示。图 6.6.16 (a) 中，电容器组是并联在电

炉变压器高压侧，电容器既不影响炉子回路的参数和特性，也不影响炉子作业。图 6.6.16 (b) 和图 6.6.16 (c) 中，是在单独设置的电容补偿绕组或串变调压绕组中接入电容器，它们与前者不同的是补偿后能减少一次侧的电流值，但是不能提高电炉熔池内的有功功率和补偿电容器组的容量。

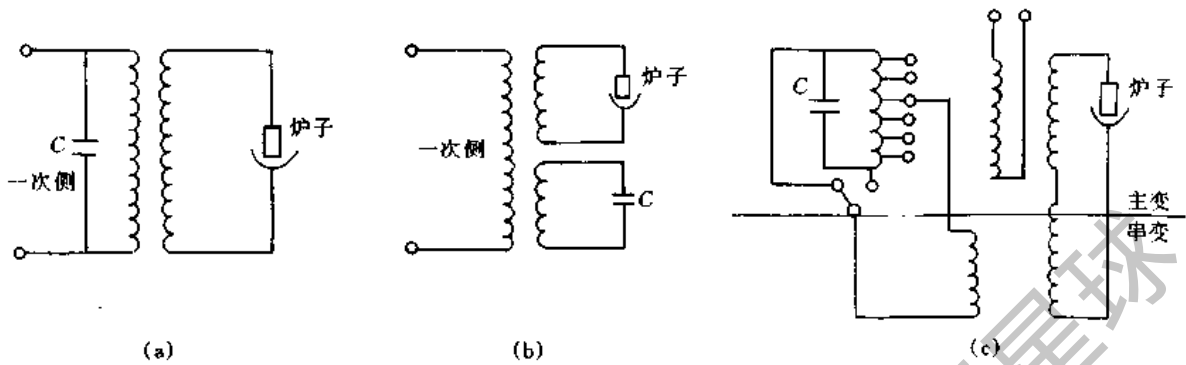


图 6.6.16 横向电容补偿接线原理图

这是一种最简单、最经济的方法。但它存在两个问题。其一是为了使电容器在电炉不工作时不向电网馈入无功，电容器必须随电炉一起接通或断开，因而造成严重的开关问题。其二是固定电容器的无功补偿只是一个工作过程的平均补偿，不能补偿母线的电压降，也不能减少由负载剧烈变动引起的网路电压波动。

(2) 纵向电容补偿 纵向电容补偿的接线原理如图 6.6.17 所示。在图 6.6.17 (a) 中，电容器通过升压变压器接到炉子网路中，而升压变压器的一次绕组则串入炉子短网中，此升压变压器一般称为补偿变压器，此时炉子参数不变，但短网中流过的电流性质发生了改变。

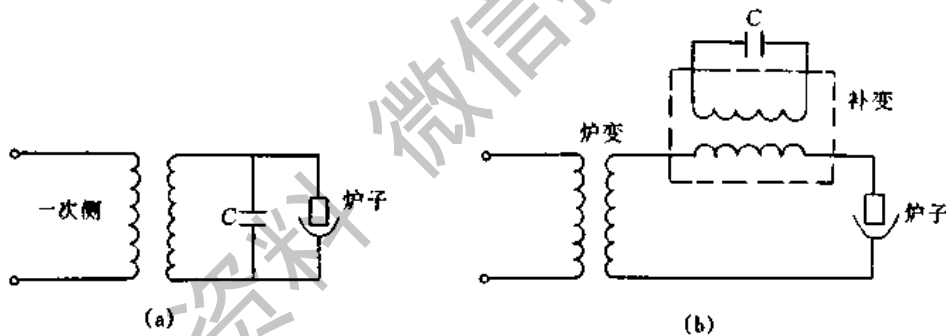


图 6.6.17 纵向电容补偿接线原理

由于电容器发生的无功功率与电极电流有关，使得它能紧紧跟踪负载的无功功率波动，能够做到即时补偿，进而避免了工作母线的电压波动。与横向补偿相比，它可以在变压器二次电压较低的情况下，向熔池输入同样的有功功率。如果保持变压器一、二次绕组为额定电流，则炉子所吸取的视在功率将大于变压器额定容量，这将有效地提高炉子的劳动生产率。

补偿变压器均为有载调压，其调压级数一般在 15~19 级左右，以便在电炉变压器各输出电压下维持电容器端电压变化不大，这就可以选用标准电压的电容器及其他电气元件。

这种线路的优点是可以提高加到负载上的电压和在负载改变时实现自动补偿。但由于必须要有补偿变压器，所以回路感抗和电气损耗增加。另外，一般补变与炉变间采取固定连接，其结果是补变的主保护只能通过炉变保护实现，这对炉变压保护有一定影响。

图 6.6.17 (b) 是低压直接补偿方式，其特点同上。由于炉变二次电压很低，在补偿要求相同时，要采用大量的非标准电容器，一次投资太大，随着二次电压下降，容性无功将随 $(U_2/U_{2m})^2$ 大幅度下降，电容的有效利用率是极低的。同时这种补偿的连接线路太长，使感抗和电气损失增加更多。

(3) 串联电容补偿 图 6.6.18 是在变压器三次侧回路串入电容器组的例子，这属于另一种纵向电容补偿装置。虽然电容器不能改变炉子大电流回路的特性，但可减少变压器一次绕组从电网吸取的无功功率。并由于可在负载改变时实行自动补偿，减少了母线电压波动，从而提高变压器输出电压，增大熔池有功功率。这种补

偿方法具有比上述纵向电容补偿电气损耗小、投资低等优点，但由于这种补偿是通过三次绕组实现的，而电流回路的参数没有改变，所以炉子的视在功率与一次绕组输入的视在功率相同。也就是说，在同样输出电流的情况下，炉子所吸取的视在功率将比上述纵向电容补偿低。

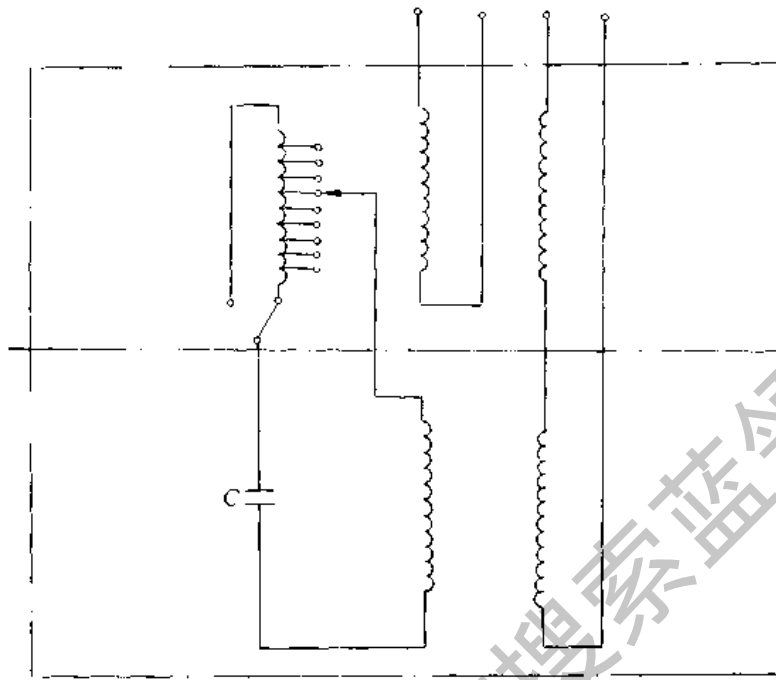


图 6.6.18 串联电容补偿接线原理

第三节 整流变压器

为了得到直流电源，除了使用直流发电机外，目前广泛采用各种整流装置。作为整流装置电源用的变流变压器就称为整流变压器。

变流器是使电力系统的一个或多个特性（如电压、电流、波形、相数和频率等）发生变化的各种设备和装置的泛称，主要包括整流器、逆变器、变频器（不包括变压器）。作为变流器电源用的变压器，称为变流变压器。作为整流装置电源用的变流变压器称为整流变压器。直接或间接与交流电网连接的绕组称为网侧绕组。直接或间接与变流装置连接的绕组称为阀侧绕组。

整流变压器广泛应用于各行各业。

1. 电化学工业

电化学电解用整流变压器主要用于电解有色金属化合物以制取铝、镁、铜及其他金属；电解食盐以制取氯气；电解水以制取氢、氧等等。这是应用最为广泛的一种整流变压器，它具有阀侧电压低、电流大、负载连续、调压范围大且次数频繁等特点。

2. 牵引用直流电源

(1) 矿山或城市电力机车直流电网用整流变压器 这类变压器从结构上看与电力变压器基本相同，只是由于其阀侧接架空线，短路机会较多，同时由于机车经常起动，造成电源装置处于短时过载状态。因此，这种类型的变压器通常具有绕组电流密度小、阻抗电压较大的特点。

(2) 电气化铁路电力机车用整流变压器 这类变压器一般为单相变压器，具有体积小、二次绕组有两个以上的特点。由于机车调速的需要，还要求这类变压器具有灵敏的调压性能。

3. 传动用直流电源

这类整流变压器主要用于电力传动中的直流电机供电，其阀侧要求有两个绕组，分别供正、反向传动或正向传动、反向制动。

4. 直流输电用直流电源

这类整流变压器的电压一般在 110kV 以上，容量一般在数万千伏安。

5. 电镀或电加工用直流电源

这类整流变压器一般具有二次侧低电压、电流大的特点。

6. 励磁用直流电源

这类整流变压器主要用作同步电机的励磁电源，在设计时应注意到短时过载的现象。

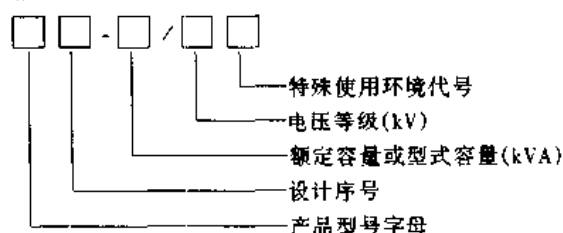
7. 充电用直流电源

主要用于蓄电池的充电。

8. 静电除尘用直流电源

这类变压器一般具有电压高、电流小的特点，结构上与高压试验变压器相类似。

整流变压器产品的型号组成如下：



其中，产品型号字母的排列顺序及其含义见表 6.6.30。

表 6.6.30 整流变压器产品型号字母的排列顺序及其含义

分类	含 义	代表字母	分类	含 义	代表字母	
用途	—“般”工业用(“整”流变压器)	ZB	绕组外绝缘 介质	“成”形固体	浇注式	C
	“充”电用	ZC			包“绕”式	CR
	“电”镀用	ZD	冷却装置种 类	自然循环冷却装置 “风”冷却装置 “水”冷却装置	—	—
	电影“放”映用	ZF			“风”冷却装置	F
	电“化”学电解用	ZH			“水”冷却装置	S
	异步电机串“激”调速用	ZJ	油循环方式	自然循环	—	
	电磁“控”制保护用	ZK		强“迫”油循环	P	
	“励”磁用	ZL	绕组数	双绕组 “三”绕组	—	—
	变频“调”速用	ZT			—	—
	变“频”电源用	ZP	调压方式	无励磁调压或不调压 由网侧绕组有“载”调压 由内附自耦“调”压变压器 器或串联“调”压变压器(有 载调压)	—	—
“牵”引用	ZQ	Z			Z	
传动用	ZS	T			T	
“蓄”电池充电用	ZX	—			—	
“直”流输电用	ZZ	—	—	—		
网侧相数	“单”相	D	线圈导线材 质	铜 铜“箔” “铝” “铝”“箔”	—	—
	“三”相	S			B	B
绕组外绝缘 介质	变压器油 空气(“干”式)	—	内附附属装 置	电“抗”器	L	L
		G			LB	LB
					K	K

一、单相半波整流电路工作原理

基本的整流电路主要有单相半波整流电路、单相全波整流电路、单相桥式整流电路、三相半波整流电路、三相桥式整流电路、三相双反星形带平衡电抗器整流电路等，这里主要介绍单相半波整流电路。

单相半波整流电路的电路图见图 6.6.19。它是最简单的整流电路，由整流变压器 B、整流元件 D 及负载电阻 R_L 组成。

当变压器一次侧(网侧)施加一个正弦波电压(U_1)时，二次侧(网侧)也感应出一个正弦波电压(U_2)。由于整流元件 D 的单向导电性，只有在二次电压为正半周时，整流元件在正向电压下才能导通，即在整流元件及负载 R_L 上有电流(I_d)流过，而当二次电压处于负半周时，整流元件不导通，此时负载两端电压为零($U_d=0$)，流过的电流为零($I_d=0$)，其波形见图 6.6.20。

由于整流二极管的正向导通压降很小，可以忽略不计，因此，可以认为 U_d 的正半周波形与 U_2 的正半周波形是相同的。所以，负载两端直流电压的平均值为：

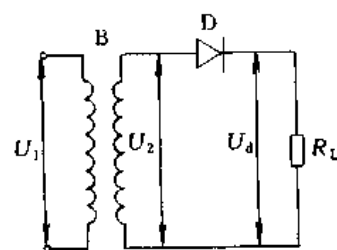


图 6.6.19 单相半波整流电路

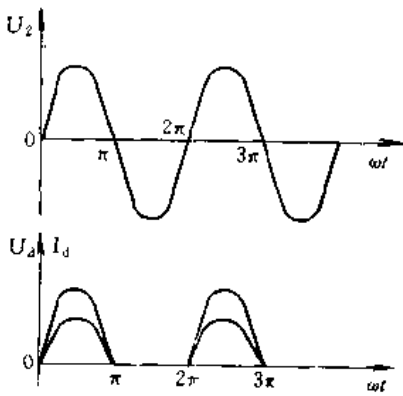


图 6.6.20 单相半波整流电路电压与电流的波形

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2$$

由此可以得出直流电流平均值:

$$I_d = \frac{U_d}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

在单相半波整流电路中, 二极管不导通时承受的最高反向电压就是变压器二次侧交流电压的最大值, U_{2m} 即反峰电压为:

$$U_{Pm} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 = \pi U_d = 3.14 U_d$$

单相半波整流电路所用整流元件最少, 结构简单, 但其变压器利用系数低, 且整流电压脉动较大。另外, 在变压器二次线圈中含有直流成分, 使变压器直流激磁, 容易使铁芯饱和。

二、整流变压器移相原理

整流电路的脉波数最大只能达到 6。在实际工程应用中, 一般采用移相的方法提高脉波数, 从而提高整流设备的功率因数, 减小网

侧谐波电流。移相的方法一般有以下三种。

1. 星-角绕组移相

所谓星-角绕组移相, 就是利用星形连接和角形连接之间存在 30° 相位差的原理来实现移相的目的。这种移相方式又分为两种。

(1) 二次侧移相 这种移相方式是将一次侧连接成一个 Y 或 D 的三相绕组, 而二次绕组分别联成 y 和 d 的两个三相绕组, 这样这两个二次绕组同名端的线电压之间存在 30° 的相位差, 从而可以使整流电路的脉波数提高一倍, 可达 12 脉波。

这种移相方式比较简单, 它只需一台整流变压器就可实现, 因而成本低。但从理论上来说, 要使星-角绕组之间不存在电压差, 必须保证其匝数之比为 $1:\sqrt{3}$, 事实上这是做不到的。特别是当容量较大、二次电压较低时, 二次绕组的匝数很少, 要使其匝数比接近 $1:\sqrt{3}$ 是根本不可能的, 只有在容量较小、二次电压较高时, 星-角绕组的匝数比才可能接近 $1:\sqrt{3}$ 。

由于星-角绕组之间电压差的存在, 必然在两组整流器之间产生环流。要解决这一问题有两种方法, 一种是利用晶闸管或自饱和电抗器的相控调压方法来调整两组整流器的输出电压, 从而消除环流; 另一种方法是在输出电压较高的母线上套装铁芯以增加母线电抗器, 使两组整流器之间的电流分配平衡, 从而消除环流。但这两种方法都会降低整流设备的功率因数。

(2) 一次侧移相 这种移相方法是将一次绕组分别连接成星或角, 而二次绕组接法相同, 这就需要两台整流变压器并联工作, 这两台整流变压器因一次绕组同名端线电压相位差 30° , 因而其二次输出同名端线电压的相位差也是 30° , 从而实现了移相的目的。

因为这种方法是 will 一次绕组分别连接成星-角, 而一次绕组匝数较多, 故很容易控制其匝数比接近 $1:\sqrt{3}$, 所以这种移相方法克服了二次绕组移相整流器之间易产生环流的缺点。

2. 移相绕组移相

星-角绕组移相法, 脉波数只能达到 12, 而对于脉波数要求更高的大功率整流设备来说不能满足要求, 这时可采用另一种移相法——移相绕组移相。

移相绕组移相法, 是在整流变压器的一次侧设置一个移相绕组以达到移相的目的。根据实际需要脉波数的不同, 其所需并联工作的整流变压器的台数及其移相角也不尽相同。以单台整流变压器 6 脉波为例, 机组脉波数 P 与并联工作的整流变压器移相角 α 的组合关系见表 6.6.31。

表 6.6.31 脉波数与各台整流变压器移相角的组合关系

脉波数 P	并联台数	各台整流变一次绕组移相角 α
18	3	$+20^\circ, 0^\circ, -20^\circ$
24	4	$+22.5^\circ, +7.5^\circ, -7.5^\circ, -22.5^\circ$
30	5	$+24^\circ, +12^\circ, 0^\circ, -12^\circ, -24^\circ$
36	6	$+25^\circ, +15^\circ, +5^\circ, -5^\circ, -15^\circ, -25^\circ$

3. 自耦变压器移相

移相绕组移相法,各并联工作的整流变压器的结构并不完全相同,阻抗等参数也不可能完全相等,因此它们之间必然存在环流。为了克服以上缺点,可采用自耦变压器移相法来实现移相的目的。

自耦变压器移相法是用完全独立的自耦移相变压器给整流变压器供电,各并联的整流变压器结构基本相同,从而也就消除了它们之间的环流。采用自耦变压器移相法移相,与各台整流变压器配合的自耦移相变压器的移相角度,与表 6.6.31 完全相同。

三、调压问题

整流变压器通常为有载调压,其有载调压电路一般有以下 12 种。

1. 一次侧抽头正反励磁单铁芯整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(a)]是将调压变压器和整流变压器放在同一个器身上。它具有结构简单、成本低等优点。但因在不同分接运行时,其匝电压不等,故很难实现等级差调压,一般做成等匝数调压。这种调压方式适用于调压范围不大的中小型整流变压器。

2. 一次侧抽头反向励磁单铁芯整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(b)]与方式 1 比较,其计算容量小且绝缘强度得到改善。但其电压级差比方式 1 要大,所以它适用于用户对分接电压要求不很严格的中小型整流变压器。

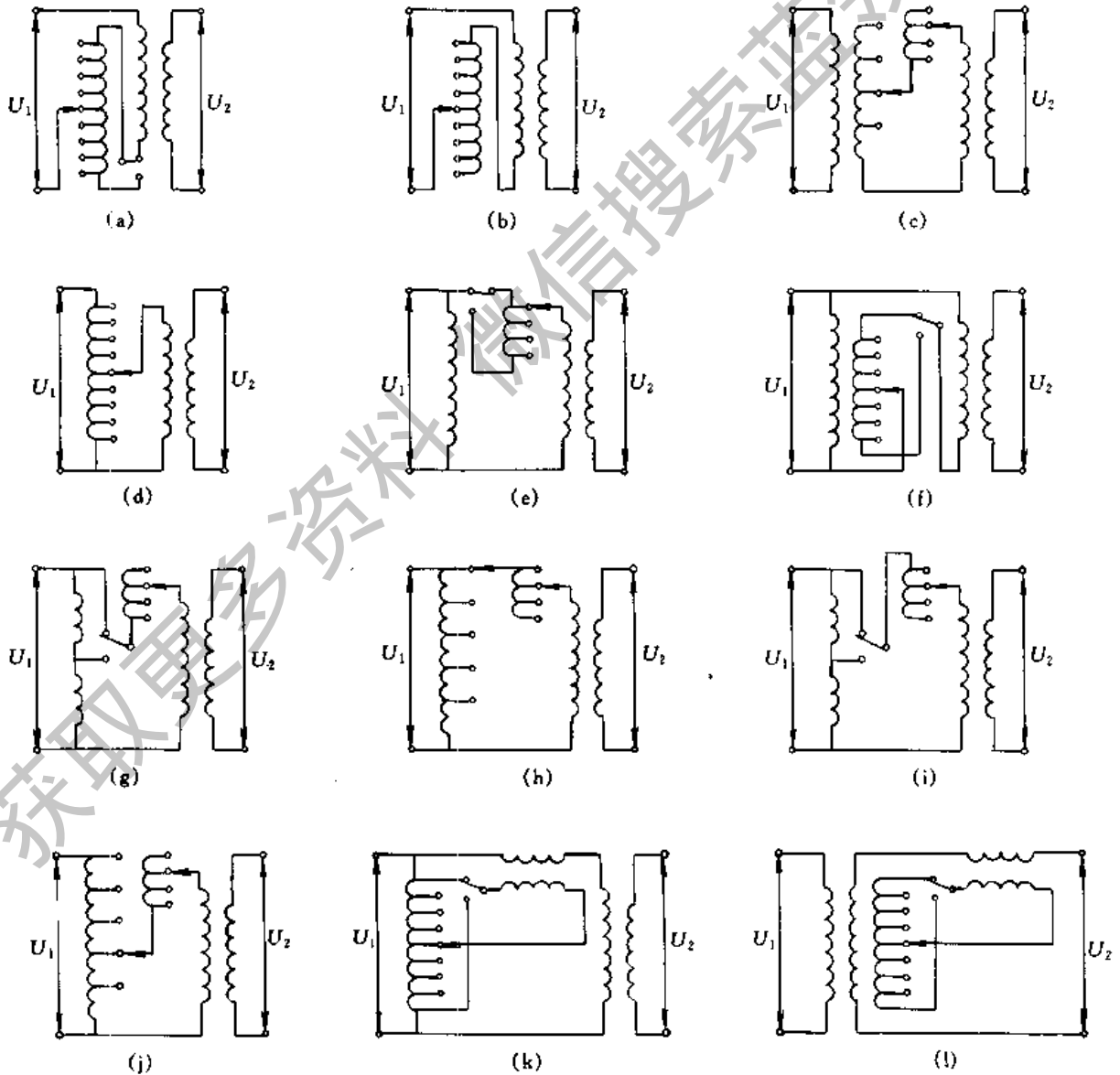


图 6.6.21 整流变压器有载调压电路图

3. 普通调压变压器向整流变压器供电的组合方式

这种调压方式[图 6.6.21(c)]是由普通调压变压器和整流变压器组合而成,它主要应用于大容量(20MVA及以上)高电压(110~220kV)的整流机组中,主要优点是整流变压器结构简化。但在中小型整流变压器中使用这种调压方式却极不经济。

4. 简单自耦调压整流变压器

这是一种最简单的自耦调压方式[图 6.6.21(d)]。其优点是理论上计算容量小,制造简单;缺点是受有载分接开关的限制,不能应用于较高电压系统之中,而且它纯属降压自耦,因此调压级数较少,级差较大。主要适用于 35kV 及以下、调压范围较小的中小型整流机组。

5. 正反接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(e)]与方式(4)相比,可以升压和降压,调压级数增多,级差减小,因此适用于 35kV 及以下、调压范围较大的中型整流机组中。

6. 改进型正反接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(f)]与方式(5)基本相似,不同之处在于将调压绕组串接于高压绕组的中性点上,因而其更适用于 110kV 及以下、调压范围较大的大中型整流机组中。通常说的主调合一整流变压器指的就是这种形式。

7. 粗细调正接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(g)]与方式(4)类似,其优点是增加了调压级数,从而缩小电压级差。它适用于 35kV 及以下的中小型整流机组。

8. 多组粗细调反接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(h)]与方式(7)基本相同,区别在于增加了粗调级数,从而使调压总级数大大增加,但却增加了制造的复杂性。它适用于 35kV 及以下、调压范围大且要求连续可调的大中型整流机组。

9. 粗细调反接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(i)]与方式(7)的唯一区别是调压绕组反向串接于基本绕组之上。在电源电压为 35kV 且为三角形连接时,常用这种降压自耦有载调压方式。

10. 多组粗细调正接自耦调压整流变压器

这种调压方式[图 6.6.21(j)]与方式(8)的区别是调压绕组正接于基本绕组之上,当电源电压较低、调压电流过大时,常采用这种方式升压,以降低有载开关级电流、减小导线截面;而当电源电压较高时,则宜采用方式(8)调压。

11. 自耦调压和串联变压器组合供电的调压整流变压器

这种调压方式的独特之处是有载开关电流由串联变压器一次绕组的容量和电压所决定,[图 6.6.21(k)]因此有载开关选择比较灵活。从理论上来说,它可用于容量较大、电压较高的整流机组,但其总的计算容量大,设备多而复杂,因此,一般适用于电压较低、调压范围较大的中小型整流机组中。

12. 串变调压整流变压器

这种调压方式就是常说的“8”字绕组调压或主变第三绕组调压,[图 6.6.21(l)]其优点在于调压回路紧凑,有载开关选择灵活;缺点是制造困难。它可应用于超高压系统中的大中型整流机组。

四、平衡电抗器

在大功率整流设备中,通常采用增加整流相数来提高功率因数及利用率,而增加整流相数的方法之一就是在整流变压器的二次侧采用两组电压相位不同的整流电路的并联工作来实现。由于二次电压相位不同,为了使其能够并联工作,必须在两组之间加入平衡电抗器。平衡电抗器的作用在于平衡非同期换相组之间的瞬变电位差,使输出的直流电压瞬时值取两组瞬时值的平均值。

1. 工作原理

图 6.6.22 为双反星形带平衡电抗器整流电路原理图。其工作原理是:假定在某瞬时,整流器 a_1 的阳极具有最高正电位而导通,电流由变压器 a_1 相线圈经整流器 a_1 流

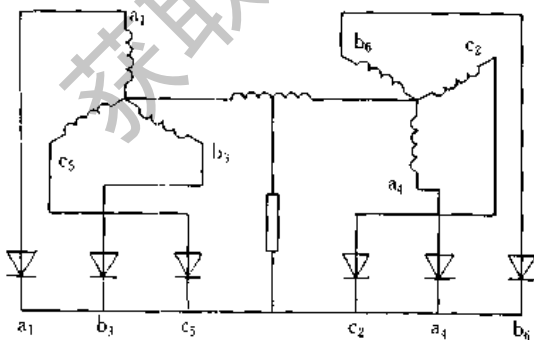


图 6.6.22 双反星形带平衡电抗器半波整流电路图

向负载,再经平衡电抗器左半部线圈回到 a_1 相线圈。由于平衡电抗器左半部线圈中有电流流过,在铁芯中产生磁通,此磁通在平衡电抗器两个支路中分别感应出电势 e_{k1} 和 e_{k2} ,且 e_{k1} 与 e_{k2} 方向相同。其中电势 e_{k1} 力图使 a_1 电位下降,而 e_{k2} 却使 c_2 电位升高,从而使 c_2 与 a_1 达到等电位,而使整流器 a_1 和 c_2 同时并联工作。如果两个星形电路中的阻抗相等,则负载电流 I_d 将平均分配,各占一半即为 $I_d/2$ 。其余同理可得。

2. 结构特征

(1) 铁芯 平衡电抗器铁芯一般为单相双柱式,无气隙,结构与电力变压器单相铁芯基本相似。

(2) 线圈 平衡电抗器的线圈,根据电流大小可选用圆筒式、双饼式,也可采用铜(铝)排贯通式结构。

3. 型号及其含义

平衡电抗器的型号编制方法可参考变压器型号的编制方法,即采用“基本型号-容量(kVA)/电压(kV)”的方法来编制,基本型号中的字母意义见表 6.6.32。

表 6.6.32 平衡电抗器基本型号中字母的意义

分 类	类 别	符 号	分 类	类 别	符 号
用途	平衡电抗器	ZK	冷却方式	自冷	—
相数	单相	D		风冷	F
绕组外绝缘介质	变压器油	—		强油风冷	FP
	空气	G	强油水冷	SP	
	固体	C	绕组导体材质	铜材	—
				铝材	L

4. 设计要点

平衡电抗器的两支路绕组,对交流来说可理解为正中间带抽头的普通绕组,而对直流来说,可理解为两支并联的绕组,每支路中流过的电流为额定直流电流 I_d 的一半,因其交流激磁电流很小,可忽略不计,故导线截面可按 $I_d/2$ 来确定。

平衡电抗器的铁芯计算是按其工作基频来考虑的(双反星形电路为 $3f$,星角桥式电路为 $6f$)。因为平衡电抗器的端电压波形并不是正弦波,所以铁芯中总磁链的变化是用平衡电抗器所吸收的伏秒积分来确定的,即根据伏秒积分来确定 $W\Phi$ 值,在确定绕组总匝数 W 后,就可确定 Φ ,而 $\Phi = BA_1$,在选定 B 后就得出铁芯柱截面 A_1 ,从而可得出铁芯直径 D 。

五、使用与维护

整流变压器的使用维护,应注意以下几点。

1. 变压器内部绝缘的保护

① 防止水分及空气进入变压器。变压器在存放时必须密封良好,变压器到现场后应及时把油加满。有条件时,应在一个月内安装好储油柜,油位加至油位指示 4 与 5 之间。

② 附件安装时,应注意密封良好。本体和散热器及其他部件连接时应注意连接处密封良好,密封垫应可靠地嵌在密封沟槽内,对性能不明的胶垫材料应取样作耐油试验,每次对变压器进行检修及安装完毕都应进行 0.05MPa 正压的密封试验。

③ 对变压器进行少量添加油时,应先将油枕中积水放尽,不应从变压器下部注油,以防止将空气或将箱底水分、杂质等带入线圈中。

④ 收到轻瓦斯信号时应及时收集气体,并取油样作色谱分析,查明原因。如因空气漏入,使轻瓦斯继电器频繁动作时,也要及时排除故障,否则造成变压器内部绝缘降低。如因放电性故障造成,应将变压器停运,抓紧进行处理。

⑤ 变压器在吊罩时,应防止绝缘受到损伤,特别要注意内部绝缘距离较为紧凑的部分,勿使钟罩碰伤引线和支架。在安装高压套管时应注意勿使引线扭转,不要过分用力吊拉引线,使引线根部和线圈绝缘受伤。检查时不仅严禁踩在引线的根部,而且禁止脏手触摸引线的表面。

2. 防止异物进入变压器内部

① 防止吊芯时异物进入变压器。变压器在进行吊芯检查时,严禁任何异物进入变压器,不准任何人穿鞋进入变压器。清除内部可能残存的一切杂物,尽可能用循环热油冲洗铁芯和线圈。

② 防止安装时异物进入变压器。安装前应将油管路、散热器和升高座的内部清理干净并用油冲洗。经过清洗的油应作耐压试验,合格后方可安装。

3. 采取油样的要求

(1) 人员的要求 采取油样工作必须由受过专门训练的有这方面经验的专业人员进行。

(2) 油样瓶的要求 油样瓶为 500~1000ml 具有磨口塞的玻璃瓶, 事先经过洗净和烘干 (用蒸馏水洗净), 油样瓶应贴标签, 注明产品型号、采样日期、采样人姓名、气候和温度等情况。

(3) 采样方法 变压器采样时应从下部阀门处采样。采样前油门要先用干净抹布擦净, 再放油冲洗干净, 并放油冲洗油样瓶至少两遍, 然后将油注入样瓶中 (中间不得使用胶管、滤纸和其他容器、工具等过渡), 必须将样瓶注满, 不得留有空间, 然后再用瓶塞盖紧, 清扫干净后贴上标签。

取样时, 样瓶与被采油样设备的油温相差不应大于 3~5℃, 特别是冬天要预先把变压器内的热油注入油样瓶内使之温热, 然后把油倒出, 并立即采油样装满样瓶。从户外拿进户内的盛满油的油样瓶, 应当塞紧并保持 3~4 小时, 直到其温度与室温相等之后, 方可打开瓶塞。

(4) 油样的数量 简化试验: 采油样 1.5~2kg; 耐压试验: 采油样 0.5~1kg; 色谱分析: 采油样 200~300ml (应取满瓶)。

六、常用产品技术参数

常用电化学用硅整流变压器的技术参数见表 6.6.33。

表 6.6.33 电化学用硅整流变压器技术参数

型式容量 /kVA	网侧额定 表观容量 /kVA	网 侧				阻抗电压 /%	配套整流器	
		额定表观容量 /kVA	额定电压 /V	额定电流 /A	绕组 组数		额定直流 电压/V	额定直流 电流/A
50	44	44	39	653	1	5~8	36	800
80	68	68	60					
100	78	78	69					
125	103	103	91					
63	55	55	39	816	1	5~8	36	1000
100	85	85	60					
125	98	98	69					
160	120	120	91					
100	88	88	39	1306	1	5~8	36	1600
160	136	136	60					
200	156	156	69					
250	206	206	91					
315	251	251	111	2570	1	5~8	125	3150
200	174	174	39					
315	267	267	60					
400	307	307	69					
500	405	405	91					
630	494	494	111					
800	614	614	138					
1000	757	757	170					
1250	926	926	208					
1600	1157	1157	260					
2000	1460	1460	323					
2500	1812	1812	407					
3150	2301	2301	517	5141	1	8~12	630	6300
2500	1852	1852	208			5~8	250	
3150	2351	2351	264			8~12	316	
4000	2965	2965	333				400	
5000	3678	3678	413				500	
6300	4604	4604	515				630	
8000	5832	5832	655				800	
10000	7257	7257	815				1000	

续表

型式容量 /kVA	网侧额定 表观容量 /kVA	侧				阻抗电压 /%	配套整流器	
		额定表观容量 /kVA	额定电压 /V	额定电流 /A	绕组 组数		额定直流 电压/V	额定直流 电流/A
5000	3745	3745	212	10200	1	8~12	250	12500
					2			
6300	4664	4664	264		1			
					2			
8000	5883	5883	333		1			
					2			
10000	7296	7296	413	1	8~12	500	12500	
				2				
12500	9098	9098	515	1				
				2				
16000	11518	11518	652	1				
				2				
20000	14328	14328	811	1	8~12	800	12500	
				2				
6300	4794	4794	212	1				
				2				
8000	5970	5970	264	1				
				2				
10000	7530	7530	333	1	8~12	400	16000	
				2				
12500	9204	9204	411	1				
				2				
16000	11646	11646	515	1				
				2				
20000	14744	14744	652	1	8~12	800	16000	
				2				
25000	18340	18340	811	1				
	18724	18724	828	2				
10000	7491	7491	212	2				
	7738	7738	219	4				
12500	9257	9257	262	2	8~12	250	25000	
	9575	9575	271	4				
16000	11731	11731	332	2				
	12120	12120	343	4				
20000	14522	14522	411	2				
	15017	15017	425	4				
25000	18586	18586	526	2	8~12	500	25000	
	18798	18798	532	4				
31500	23532	23532	560	2				
	23780	23780	673	4				
40000	29256	29256	828	2				
	29610	29610	838	4				
12500	9394	9394	211	2	8~12	250	31500	
	9705	9705	218	4				
16000	11664	11664	262	2				
	12065	12065	271	4				
20000	14781	14781	332	2				
	15271	15271	343	4				

续表

型式容量 /kVA	网侧额定 表观容量 /kVA	侧				阻抗电压 /%	配套整流器			
		额定表观容量 /kVA	额定电压 /V	额定电流 /A	绕组 组数		额定直流 电压/V	额定直流 电流/A		
25000	18699	18699	420	25704	2	12~16	500	31500		
	18921	18921	425		4	16~18				
31500	23418	23418	526		2	12~16	630			
	23685	23685	532		4	16~18				
40000	29651	29651	666		2	12~16	800			
	29962	29962	673		4	16~18				
50000	36863	36863	828		2	12~16	1000			
	37308	37308	838		4	16~18				
20000	14911	14911	211		40800	2	8~12		250	50000
	15408	15408	218			4	16~18			
25000	18939	18939	268			2	12~16		315	
	19151	19151	271			4	16~18			
31500	23956	23956	339			2	12~16		400	
	24239	24239	343			4	16~18			
40000	29680	29680	420	2		12~16	500			
	30034	30034	425	4		16~18				
50000	37171	37171	526	2		12~16	630			
	37595	37595	532	4		16~18				
63000	47065	47065	666	2		12~16	800			
	47559	47559	673	4		16~18				
80000	58513	58513	828	2		12~16	1000			
	59220	59220	838	4		16~18				

第四节 脉冲变压器

脉冲变压器是用来传输脉冲的特殊变压器，它的主要功能有：

- ① 可以改变变压比，用于调整脉冲信号的幅值；
- ② 可以改变线圈的匝数比，实现输入、输出之间的阻抗匹配；
- ③ 用于隔离变压器各线圈之间的直流电位；
- ④ 可以改变脉冲的极性，实现正、负脉冲的变换；
- ⑤ 通过采用若干个次级回路，可以得到几个不同幅值的脉冲；
- ⑥ 可以作为功率合成及其变换元件。

脉冲变压器主要应用于无线电通讯、电子设备、可控硅触发电路等方面。

脉冲变压器中的磁感应变化速率有一定的要求，为了输出一个良好的脉冲波形，其中的磁感应速率可以达到 10^7T/s 。在脉冲变压器的设计中，应尽量缩小铁芯尺寸，减小线圈的匝数。这就是脉冲变压器的体积明显比普通变压器小的原因。另一方面，脉冲变压器中这么高的磁感应变化速率，必须重视铁芯中所感应出的涡电流问题，故设计中铁芯应选用高导磁率的材料。实践中，应根据脉冲变压器使用情况的不同有所不同。通常在低频场合中使用的脉冲变压器，铁芯材料应选用热轧或冷轧硅钢片；在高频场合中使用的脉冲变压器，则应选用坡莫合金或锰锌铁氧体磁芯。其中前者的磁通密度可以选得更高些，绕组匝数也可少一些。

根据实际应用中所需脉冲宽度的不同，可以有窄脉冲的脉冲变压器和宽脉冲的脉冲变压器。

一、窄脉冲的脉冲变压器的选用

对于脉冲较窄（脉冲宽度大致在 $50 \sim 100 \mu\text{s}$ ）的脉冲变压器的选用，可以不必通过计算，直接参考下列原则选用。

① 对脉冲的前沿不要求十分陡时，铁芯材料可以选用热轧或冷轧硅钢片。

② 选用硅钢片，一般可采用截面积大于 0.5cm^2 的大型半导体收音机用输出变压器铁芯。若采用冷轧硅钢片制成的环形铁芯，可选用内径 $1.8 \sim 2 \text{cm}$ ，外径约 3cm ，高约 1cm 的环形铁芯。

③ 铁芯磁路较长时，初级线圈的匝数可以多些；磁路较短时，匝数可以少些。一般铁芯磁路长度为 6~8cm 时，选用热轧硅钢片的铁芯，则匝数为 250~350 匝；选用冷轧硅钢片的环形铁芯，则匝数为 200~300 匝；选用磁密较高的铁氧体磁环，则匝数为 50~60 匝。

④ 次级线圈的匝数一般与初级线圈的匝数相同。

二、宽脉冲的脉冲变压器的选用

许多场合需要应用宽脉冲信号，比如晶体管或可控硅组成的触发电路中的触发信号。这类脉冲变压器的选用过程如下。

1. 给出有关已知的量

- ① 输出脉冲的空载幅值 $U(V)$ 。
- ② 输出脉冲的宽度 $T(\mu s)$ 。
- ③ 变压器初级线圈供电电压 $E(V)$ 。
- ④ 负载电阻 $R(\Omega)$ 。

2. 选择铁芯材料

根据脉冲电压的宽度和幅值要求，选用适当的铁芯材料。再根据所选的材料，查出或测量出该铁芯材料的磁化曲线。图 6.6.23 是铁芯材料的磁化曲线示意图。图中 B_S 为铁芯的饱和磁密； H_S 为对应于 B_S 的磁场强度； B_r 为最大磁滞回线的剩磁磁密； H_C 为矫顽力。

3. 确定初级线圈匝数 W_1 和铁芯截面 S

根据脉冲宽度，初步确定初级线圈的匝数。当脉冲宽度在 $100\mu s$ 左右时，可选 $W_1 = 200$ 匝。铁芯的截面积 S 可由下式决定：

$$S = \frac{100\Delta\Psi}{\Delta B W_1}$$

式中 $\Delta\Psi$ 为变压器的初级线圈磁链的最大变化值 ($V\cdot\mu s$)，该值与初级脉冲幅度、宽度及形状有关。如图 6.6.24 所示。(a) 中 $\Delta\Psi$ 为 $U_{im}T$ ；(b) 中 $\Delta\Psi = U_{im}\tau$ ；(c) 中 $\Delta\Psi = U_{im}\tau(1 - e^{-\frac{T}{\tau}})$ 。 ΔB 为变压器铁芯磁密度变化 (T)。对于单向脉冲， $\Delta B = B_M - B_r$ ， B_M 为铁芯的最大工作磁密；有去磁绕组时， $\Delta B = 2B_M$ 。在脉冲宽度大时，一般采用去磁绕组。

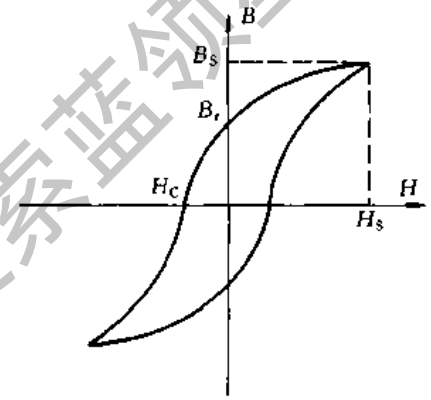


图 6.6.23 磁化曲线

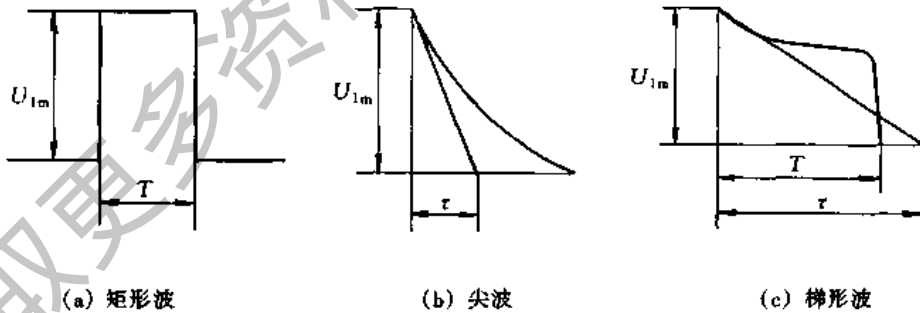


图 6.6.24 脉冲波形

假若由上面所得出的截面积 S 过大，则可增加 W_1 ，使 S 不超过 $3cm^2$ 。

4. 初选铁芯尺寸，确定磁路长度

铁芯的结构如图 6.6.25 所示。

5. 计算激磁电流 I_M ，并结合晶体管的负载能力校核 W_1

选定铁芯尺寸和磁路长度后，激磁电流可由下式决定：

$$I_M = \frac{H_M L}{W_1}$$

式中 H_M 为对应于 B_M 的最大工作磁场强度。

晶体管除了供给负载电流 i_1 外，还需供给 I_M 。其中 i_1 的计算式为：

$$i_1 = i_2 \frac{W_2}{W_1} = K_U \frac{U_2 U_2}{R U_{1m}} = K_U \frac{U_2^2}{R U_{1m}}$$

式中 K_U 为考虑电压损失的系数，一般取 1.2 左右； R 为负载电阻 (Ω)。

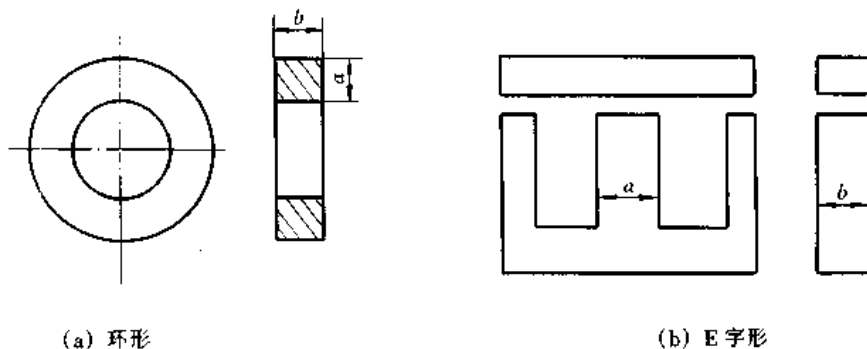


图 6.6.25 脉冲变压器铁芯

假若晶体管的负载能力足够提供负载电流 i_1 和激磁电流 I_M ，则可以认为所选的 W_1 是合适的。否则，应采取下列措施之一：加大 W_1 ，以降低 I_M ；或者选择功率较大的管子，以提高负载能力；或者选择 H_M 较小的铁芯材料。以上过程有时需要反复修改，直到获得较为满意的结果为止。

6. 计算次级线圈的匝数 W_2

$$W_2 = K_U \frac{W_1 U_2}{U_{1m}}$$

实际应用中，为了加强初、次级线圈之间的耦合作用，减少漏感，可以采取将初、次级线圈拆成若干个单元交替安放的结构。

7. 去磁线圈匝数 W_0 的确定

当脉冲宽度较大时（如 $T \geq 3300 \mu s$ ），则变压器应有去磁线圈。为了减小去磁线圈回路的分路作用对输出脉冲的影响，去磁线圈匝数 W_0 应满足：

$$W_0 < 0.33 \sqrt{\frac{R_0}{R}} W_2$$

式中 R_0 为去磁回路的限流电阻，其值由下式决定：

$$R_0 = \frac{1}{9} R \left(\frac{W_2 U_{1m}^2 360^\circ}{W_1 U_2^2 \theta} \right)^2$$

式中 θ 为以角度形式表示的脉冲宽度。

第五节 磁性调压器

磁性调压器又名可控变压器，无触点，可以带负载进行平滑无级调压。电压调节是由直流激磁来控制的，可以开环手控，也可以按不同控制信号实现闭环自动控制，它是自动控制中一种新的执行元件，适用于各种工业电炉，作为配套之调压电源。由于具有闭环自控的特点，因此可以实现自动控温、程序控温，也可以利用微处理机实现多功能控制。可用于盐浴炉、真空电炉、电渣重熔、裂解炉以及电镀、调速等，也可用来作为稳压、稳流装置。

一、基本原理

1. 结构特征

(1) 铁芯 磁性调压器的铁芯结构是四柱式的（如图 6.6.26 所示），四柱截面积相同，居中的窗口比两侧窗口低，居中的铁轭比两侧的宽一倍，因此可以认为是由内外两个“口”字形铁芯套在一起的，其中一个为变压器铁芯，另一个则是电抗器铁芯。

(2) 绕组 磁性调压器的绕组共有四组，即变压器一次绕组和二次绕组 (W_{B1} , W_{B2})、电抗器交流工作绕组和直流控制绕组 (W_C , W_K)。目前常采用的布置方法是，将 W_{B1} 、 W_{B2} 放在两个内柱，将 W_C 、 W_K 放在外柱，即以内框作变压器，外框作电抗器，这样有利于变压器二次引线结构的布置与减小 W_C 的漏感，使有效电抗变化倍数增大，从而扩大调压范围。

(3) 绕组连接 磁性调压器各绕组的极性与接法必须符合以下原则。

① 变压器两柱上绕组 W_{B1} 、 W_{B2} 无论绕向是否一致，皆只能串联，不能并联，因为其铁芯柱中的磁通量是不等的。

② 电抗器两柱上的工作绕组 W_C 一般采用相同绕向，可接成并联，也可接成串联，其极性以在两柱中同时产生同方向的交变磁通为原则，绕组并联可使直流控制绕组中的交流感应电势相等并相互抵消，从而在控制出线端上的基波及谐波电压基本为零。

③ 为了抵消交流感应电势，两直流控制绕组 W_K 只能串联不能并联，其绕向不受限制。

图 6.6.27 和图 6.6.28 是典型的单相磁性调压器的绕组连接图与磁通分布图。

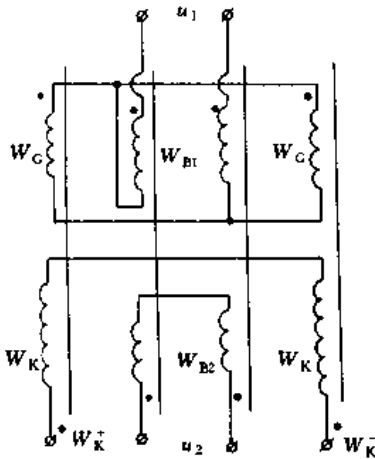


图 6.6.27 磁性调压器绕组连接

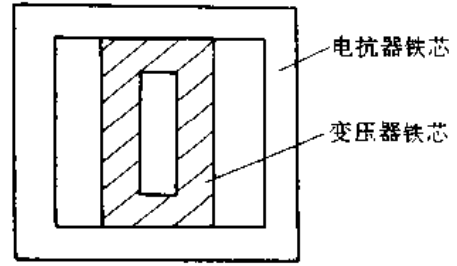


图 6.6.26 磁性调压器铁芯结构

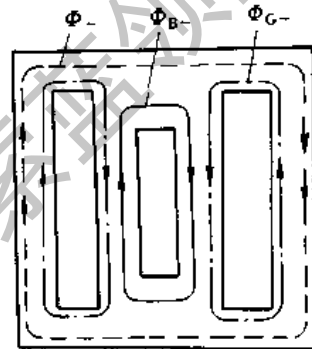


图 6.6.28 磁性调压器磁通分布

2. 工作原理

当在磁性调压器的一次侧接上交流电压 u_1 、二次侧接上额定负载电阻 R_N 时，若此时 $I_K = 0$ ，电抗器铁芯不受直流磁化，交流有效导磁率为最大。此时，反映在电抗器绕组 W_C 上的阻抗比变压器一次绕组 W_{B1} 上的阻抗大得多，因此电源电压 U_1 基本分配在电抗器绕组 W_C 上，而变压器一次侧电压 U_{B1} 却很小，这时可以得到负载电压的下限值 U_{2min} ；随着直流控制电流 I_K 的逐渐增大，电抗器铁芯受到不同程度的直流磁化，交流有效导磁率逐渐减小，电抗器的阻抗也随之变小，这样就改变了电源电压 U_1 在电抗器绕组 W_C 和变压器一次绕组 W_{B1} 上的分配，从而达到了调节二次输出电压的目的。

3. 特性曲线

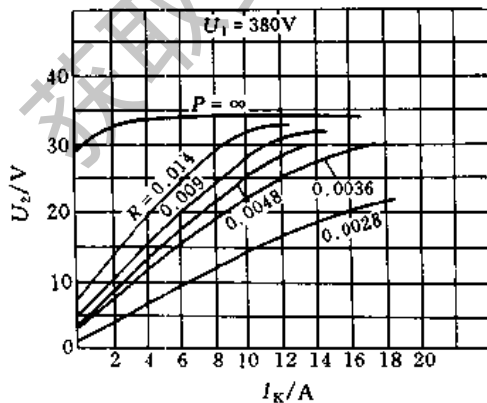


图 6.6.29 磁性调压器调压特性

图 6.6.29 是一个典型的磁性调压器的调压控制特性，是从 TDH-200kVA/5~30V 磁性调压器实测而得。由此图可归纳以下两个特征。

① 磁性调压器是一个高内阻元件，一接上负载输出电压就下跌，并随负载电阻的减小而继续下跌，直至短路状态 ($U_2 = 0$)，但二次电流的上升也是有限的。图 6.6.30 即为磁性调压器的短路特性，该调压器的额定输出电流 $I_2 = 6670A$ ，额定的直流控制电流 $I_K = 20A$ DC。由图可以看出此时的短路电流仅为额定二次电流的 1.38 倍，如果再增加一个反馈电路后，短路电流可限制到更低的范围。这一特性是其他任何电器元件所不能达到的。

② 上述特性可表达为 $U_2 = f(I_2, I_K)$ 的曲线族，如图 6.6.31 所示，它是磁性调压器的负载外特性。从图 6.6.31 中

可看出,此负载外特性是一组可控的下坠外特性,下坠的陡度取决于饱和电抗器的特性;同时也取决于产品的设计工艺和磁性材料。显然,磁性调压器是一个理想的恒流源设备。

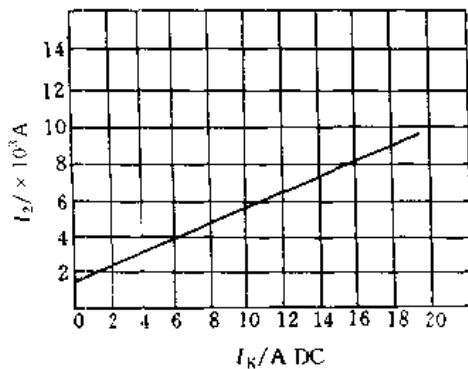


图 6.6.30 磁性调压器短路特性

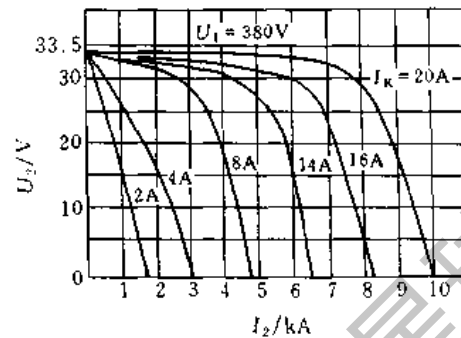
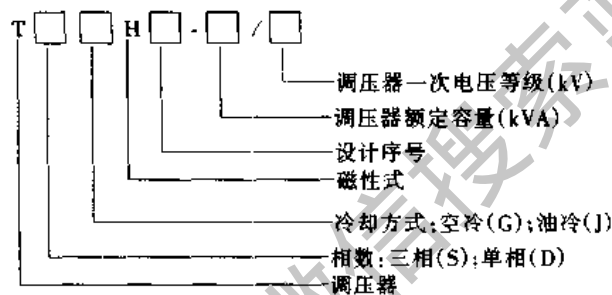


图 6.6.31 磁性调压器负载外特性

二、型号含义和主要技术参数

1. 产品型号含义



举例如下。

磁性调压器、单相、油浸自冷、额定容量 200kVA、一次电压等级 10kVA:

TDH - 200kVA/10kV

磁性调压器、三相、空气自冷、额定容量 100kVA、一次电压等级 0.5kV:

TSGH - 100kVA/0.5kV

2. 主要技术性能参数

单相磁性调压器的常用规格及主要技术性能参数见表 6.6.34。

表 6.6.34 单相磁性调压器性能参数

额定容量 /kVA	相数	频率 /Hz	额定输入 电压 /V	输出电压 范围 /V	额定输出电流 /A	损耗/kW		空载电流 /%	直流控制 功率 /kW	直流控制 电流 /A
						空载	负载			
5	1	50	380	5~35 10~20	143, 71.5	0.05	0.4	2.8	0.105	2
10					286, 143	0.06	0.8	2.8	0.22	2
16					457, 228.5	0.075	1.14	2.7	0.34	2
20					572, 286	0.09	1.36	2.5	0.38	5
30					857, 428.5	0.15	1.85	2.5	0.53	10
40					1143, 572	0.17	2.5	2.5	0.65	10
50					1428.5, 714.5	0.19	3.0	2.5	0.72	10
63					1800, 900	0.22	3.6	2.5	0.92	10
80					2286, 1143	0.27	4.2	2.5	1.10	15
100					2857, 1428.5	0.32	5.0	2.5	1.32	20
125					3571.5, 1786	0.37	5.5	2.0	1.65	20
160					4572, 2286	0.46	7.5	2.0	1.68	20

续表

额定容量 /kVA	相数	频率 /Hz	额定输入 电压 /V	输出电压 范围 /V	额定输出电流 /A	损耗/kW		空载电流 /%	直流控制 功率 /kW	直流控制 电流 /A
						空载	负载			
200	1	50	380	5~35	5714, 2857	0.54	10.0	2.0	2.03	20
250					7143, 3571.5	0.64	11.5	2.0	2.69	20
315					9000, 4500	0.76	12.5	1.8	3.05	40
400	1	50	10000	20~140 40~280	2857, 1428.5	0.92	12.7	1.8	3.18	40
500					3571.5, 1786	1.08	15.2	1.6	3.84	40
630					4500, 2250	1.30	17.7	1.6	3.64	40
800					5714, 2857	1.54	22.0	1.6	4.5	40
1000					7143, 3571.5	1.80	26	1.6	5.0	40

三、设计与计算

1. 设计构思

磁性调压器设计的基本原则是在满足性能要求的前提下求得最低成本。其成本主要取决于有效材料的消耗。而性能指标则主要反映为调压倍数 K_{V2} ($K_{V2} = U_{B2max}/U_{B2min}$) 及调压器输出电压的下限值 U_{B2min} 。

2. 计算方法与程序

(1) 选定磁性调压器的工作参数

- ① 电抗器上限工作电压 U_{Gmax} ;
- ② 变压器一次最大电压 U_{B1max} ;
- ③ 电抗器电压变化倍数 K_V ;
- ④ 调压器调压倍数 K_{V2} 。

如果负载电阻不变, 则电流变化倍数 K_I 即为磁性调压器的调压倍数 K_{V2} 。

当选用 DQ151-0.35 冷轧硅钢片制成如图 6.6.26 那样的铁芯结构, K_V 的可靠选用值可取为 10。以此为基础, 并忽略变压器绕组漏抗及所有交流绕组的电阻, 列表 6.6.35, 以便选定 U_{Gmax} 及 U_{B1max} 的值。

表 6.6.35 磁性调压器的工作参数

K_V	U_1	U_{Gmax}	U_{Gmin}	U_{B1max}	U_{B1min}	K_{V2}
10	1	0.995	0.0995	0.995	0.0995	10.00
		0.99	0.099	0.995	0.144	7.06
		0.98	0.098	0.995	0.197	5.05
		0.97	0.097	0.995	0.239	4.16
		0.96	0.096	0.995	0.274	3.63
		0.94	0.094	0.996	0.315	2.89
		0.92	0.092	0.996	0.392	2.51
		0.90	0.090	0.997	0.439	2.27

(2) 确定铁芯几何尺寸

$$D_z = K_D \sqrt[3]{\frac{S_n \times 10^3}{B_{Gmax} \times H_{Gmax}}}$$

式中 S_n ——调压器额定容量, kVA;

$K_D \approx 28 \sim 35$, 对应电抗器铁芯窗口尺寸比;

B_{Gmax}, H_{Gmax} ——设计中所选用的电抗器最大磁通密度及最大磁场强度, 对应冷轧硅钢片, 可取 $B_{Gmax} = 1.7 \sim 1.78T$,
 $H_{Gmax} = 50 \sim 75AT/cm$ 。

H, b, t, d 所代表的尺寸见图 6.6.32, H/b 比值对整个计算的影响较大, 选定后不宜改动, 而 t/d 比值可以最后进行修正。

(3) 确定变压器一次、二次绕组匝数 W_{B1}, W_{B2}

当 U_{B1max} 及 DZ 确定后, 可按一般变压器计算经验决定 B_{cmx} 值, 然后再确定 W_{B1} 及 W_{B2} , 由于磁性调压器 U_2 较低, 所以在设计过程

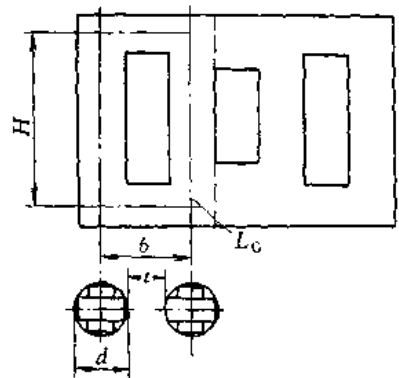


图 6.6.32 磁性调压器铁芯尺寸

中往往可先确定 W_{B2} 的匝数再确定 W_{B1} 。

(4) 确定电抗器交流工作绕组匝数 W_G

$$W_G = H_{Gmax} \times L_G / I_G$$

式中 L_G ——电抗器铁芯磁路长度, cm;

$$L_G = 2(1+m)(1+n)d$$

$$m = H/b = 3 \sim 3.5; n = t/d = 0.5 \sim 0.7$$

I_G ——每柱电抗器铁芯交流工作电流, A。

(5) 确定电抗器直流控制安匝 I_K 、 W_K

在图 6.6.34 中可以看出在磁性调压器中, 等效的每个铁芯上直流磁路比交流磁路短, 所以直流控制安匝可相应减少, 一般可取:

$$I_K W_K = 0.8 I_G W_G$$

于是当给定直流控制电流 I_K 后, 就很容易求得直流控制绕组匝数 W_K 。

(6) 调压倍数验算

磁性调压器的调压倍数验算应分成空载调压和满载调压两个状态分别进行:

空载调压验算:

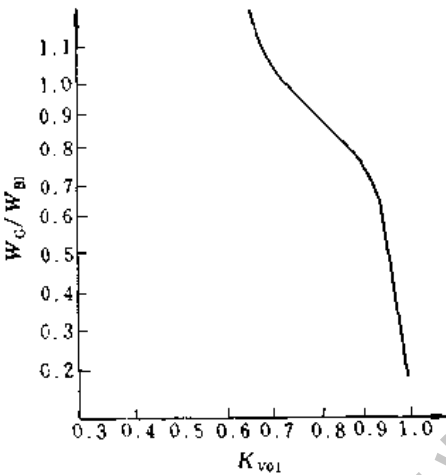


图 6.6.33 空载调压倍数

$$U_{20max} = U_{B1max} W_{B2} / W_{B1}$$

$$U_{20min} = K_{VO1} U_1 W_{B2} / W_{B1}$$

式中 U_{20max} , U_{20min} ——调压器空载输出电压上限值和下限值;

K_{VO1} ——空载调压倍数系数, 可查图 6.6.33 曲线。

$$U_{20max} = U_{B1max} W_{B2} / W_{B1}$$

$$U_{20min} = K_{VO1} \times U_1 W_{B2} / W_{B1}$$

满载调压验算: 满载调压验算按图 6.6.34 所求的简化等值电路进行。图中忽略了变压器铁芯励磁分路, 并把变压器一次绕组电阻及电抗器绕组电阻都归算到二次侧, 以 R_{B2} 表示。 X_{B2} 则为归算到二次侧的变压器绕组的漏抗及二次引线电抗, 从等值电路得出简化的算式如下:

$$I_2 = \frac{U_{20max}}{(R_N + R_{B2}) + j(X_{B2} + X_{G2})}$$

按上式求得最大输出电流 I_{2max} 后满载输出最大电压即满载调压上限值, 可用下式求得:

$$U_{2max} = I_{2max} \times R_N$$

式中 R_N 为额定负载电阻 (Ω)。

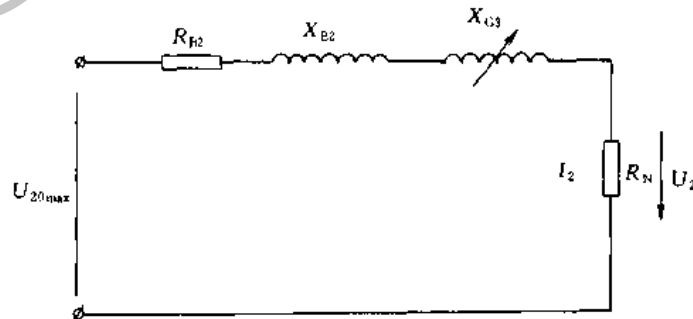


图 6.6.34 磁性调压器简化等值电路

求满载调压下限值时, 因 $I_K = 0$, 所以只要计算出变压器空载电流, 按选定的 U_{Gmax} 值得电抗器铁芯的励磁伏安 VA, 然后按以下方法求得满载调压下限值:

$$I_{Gmin} = VA / U_{Gmax}$$

$$I_{2min} = I_{Gmin} W_{B1} / W_{B2}$$

$$U_{2min} = I_{2min} / R_N$$

四、使用与维护

- ① 磁性调压器所规定的调压范围是针对额定负载电阻而言。若实际使用时的负载电阻不等于额定值，则调压范围也会随之相应改变，特别明显的将出现在调压的下限范围。因此，磁性调压器不适宜进行空载调压。
- ② 磁性调压器中含有饱和电抗器，由于电抗器绕组的限流作用，因此可获得较好的下坠外特性。但输出电压波形有所畸变，其畸变程度和输出功率的大小有关。
- ③ 磁性调压器在投入运行前，必须用兆欧表测量各绕组之间以及对地的绝缘电阻，其值应不低于 200MΩ，如不满足则应进行烘燥处理。
- ④ 磁性调压器的直流激磁只能使用在规定范围内，不应超载运行，使用的直流源必须通过隔离变压器。

第六节 交流稳压器

应用交流稳压器，能够使用电设备在电网电压波动的一定范围内仍能正常工作。

一、交流稳压器的主要类型、特点和原理

1. 铁磁谐振型交流稳压器

这类交流稳压器是利用铁磁谐振原理，即利用饱和扼流圈与相应的电容器组合成谐振电路后具有的恒压伏安特性而制成的一种交流稳压电源。

(1) 磁饱和交流稳压器 磁饱和交流稳压器是铁磁谐振型交流稳压器的早期产品。这种稳压器的结构简单，制造方便，输入电压变化范围宽，工作可靠，但波形失真较大，稳定性能不高，可用于要求不高的场合使用。

图 6.6.35 是磁饱和稳压器最常用的一种结构。这种结构的磁饱和稳压器中，初级绕组绕在铁芯截面较大的芯柱上，因此初级铁芯处于非饱和状态。次级绕组绕在铁芯截面较小的芯柱上，次级绕组与电容器 C 组成谐振回路，次级铁芯处于饱和状态。补偿绕组所在的磁分路中，由于有空气隙存在，补偿铁芯也处于非饱和状态。当输入电压 V_1 变化 ΔV_1 时，由于初级铁芯和补偿铁芯都是处于非饱和状态，因此补偿绕组上的电压变量正比于输入电压 ΔV_1 。在次级回路中，由于次级铁芯处于饱和状态，虽然输入电压 ΔV_1 变化，但次级绕组的 ΔV_{κ} 变化很微小，同时次级绕组与补偿绕组是反向串联，从而使 ΔV_2 进一步减小，因此输出电压 V_2 处于稳定状态。

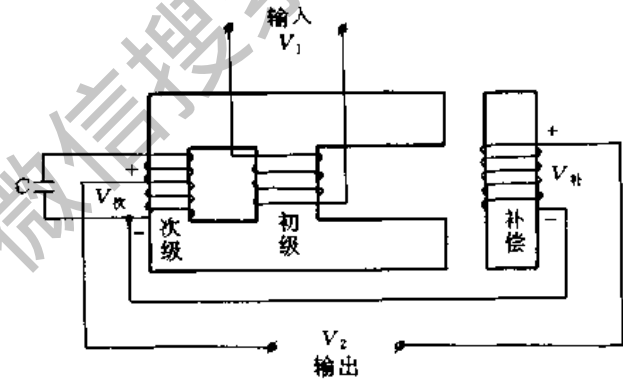


图 6.6.35 磁饱和稳压器结构图

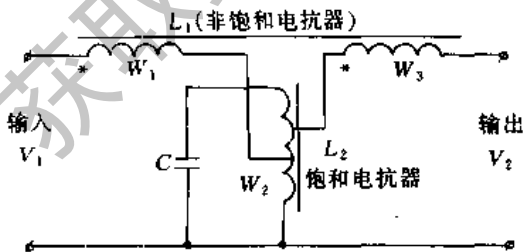


图 6.6.36 W1 系列磁饱和稳压器原理图

图 6.6.36 所示为国产 W1 系列磁饱和稳压器的原理图。图中初级绕组 W_1 绕在非饱和电抗器 L_1 铁芯上，它和绕在饱和电抗器 L_2 上的次级绕组 W_2 串接，采用自耦变压器形式的电路连接。 W_3 绕在非饱和电抗器 L_1 上。其工作原理与图 6.6.39 相同。

表 6.6.36 为国产 W1 系列磁饱和稳压器的技术数据。

国产磁饱和稳压器的型号表示如下：

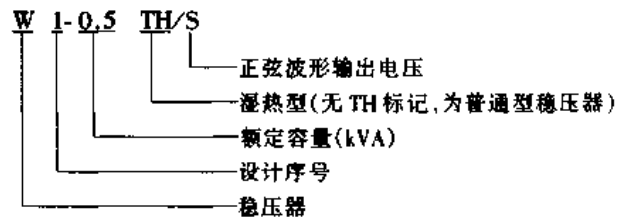


图 6.6.36 所示为国产 W1 系列磁饱和稳压器的原理图。

图中初级绕组 W_1 绕在非饱和电抗器 L_1 铁芯上，它和绕在饱和电抗器 L_2 上的次级绕组 W_2 串接，采用自耦变压器形式的电路连接。

W_3 绕在非饱和电抗器 L_1 上。其工作原理与图 6.6.39 相同。

表 6.6.36 国产 W1 系列磁饱和稳压器技术数据

型号	额定容量 /VA	输入电压/V	网路电压稳压范围 /V	纯电阻负载时输出电压/V	额定负载电流/A	纯电阻负载不变时被稳定电压的允许偏差值
W1-0.05TH/S	50	50Hz 220V	165~250	220/110±3%	0.23/0.46	±1%
W1-0.1TH/S	100	50Hz 220V	165~250	220/110±3%	0.46/0.92	±1%
W1-0.25TH/S	250	50Hz 220V	165~250	220/110±3%	1.14/2.28	±1%
W1-0.5TH/S	500	50Hz 220V	165~250	220/110±3%	2.3/4.6	±1%
W1-1TH/S	1000	50Hz 220V	165~250	220/110±3%	4.6/9.2	±1%
W1-2.5TH/S	2500	50Hz 220V	165~250	220±3%	11.4	±1%

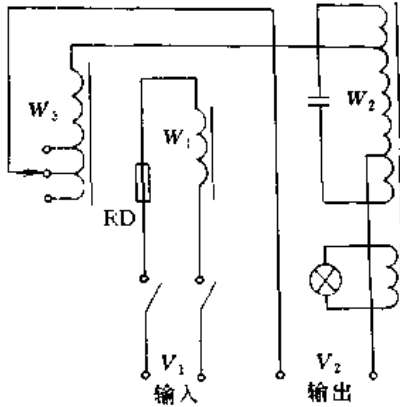


图 6.6.37 国产磁饱和稳压器电原理图

图 6.6.37 是另一种常见的国产磁饱和稳压器的电原理图。 W_1 为输入绕组， W_2 为谐振绕组， W_3 为补偿绕组。该磁饱和稳压器输出容量为 50~10kVA，主要技术数据见表 6.6.37。

磁饱和稳压器的主要技术指标如下：

- 输入电压范围 $220V^{+15\%}_{-20\%}$ 即 176~253V；
- 启稳电压小于 160V；
- 输出电压稳定度 $\pm 1\%$ ；
- 负载调整率 $\pm 3\%$ ；
- 线圈温升不大于 65°C ；
- 输出电压波形失真不大于 10%。

磁饱和和交流稳压器由于结构简单，零部件较少，所以维修率很低，维修也很方便。主要故障和维修方法如下。

表 6.6.37 磁饱和稳压器的技术数据

序号	输出功率/VA	工作电流/A	外形尺寸/mm			质量/kg
			长	高	宽	
1	50	0.22	315	230	205	10
2	100	0.45	415	310	295	13
3	200	0.9	415	310	295	21
4	300	1.3	495	410	335	30
5	500	2.2	495	410	335	30
6	1000	4.5	600	645	430	50
7	2000	9.0	580	795	460	107
8	3000	13.5	670	1050	640	210
9	5000	22	820	1250	640	300
10	10000	45	920	1350	790	400

① 无输出电压。这种故障一般都是稳压器内部存在开路现象。应检查保险丝有否熔断，机内连线和线圈绕组有否断线，插头插座接触是否良好，输出端有否短路等。

② 输出电压低于 220V。应检查并联连接的谐振电容器中，是否有个别开路而造成整个谐振电容量不足。还应检查饱和电抗器线圈间是否有短路。

③ 输出电压高于 220V。这种现象比较少见，主要是由于谐振电容量过大，或饱和电抗器线圈匝数太多引起的。调整时可适当减少饱和电抗线圈的匝数或减少谐振电容量试之。有补偿线圈的稳压器还可适当增加补偿线圈的匝数。

④ 输出电压不稳定。这种现象一般是由于谐振电容器质量低劣产生的，如电容器内部打火，接触不良等。另外，稳压器输出超载也会出现输出电压不稳定的现象。

(2) 稳压变压器 稳压变压器，亦称恒压变压器，简称 CVT，是属于电磁谐振式稳压器范畴的另一种交流稳压电源。它与磁饱和稳压器的区别在于磁路结构形式的不同。稳压变压器在同一铁芯上同时实现稳压和变压双重功能。它与普通变压器相比，兼有稳压功能；它与一般磁饱和稳压器相比，又具有变压作用。由于没有电子控制部分，因此结构简单，工作稳定可靠。稳压变压器具有抑制负载过载和短路的能力，对供电电源中的干扰脉冲有较强的衰减作用。性能优良的稳压变压器还具有电压波形的整形作用，不管输入电压波形怎样差，甚至方波电压输入，其输出仍为正弦波。稳压变压器的缺点是功率体积比、功率质量比较差，电源频率变化将影响其输出电压值。

① C形铁芯结构的稳压变压器。这种稳压变压器是在C形铁芯的窗口中塞入一组用同样材料组成的磁分路铁芯，磁分路铁芯的截面积应比主铁芯截面积略小，它们之间的比约为(0.6~0.8):1，磁分路铁芯与主铁芯内壁保持0.1~0.2mm的间隙，整个铁芯被磁分路铁芯分隔成两个窗口，输入绕组置于一个窗口，分为两个绕组套装在铁芯的两边柱上，并设有抽头，以便调整输入电压的范围。输出绕组占另一个窗口，它包括谐振绕组和输出绕组，谐振绕组还需与外接电容器连接。如图6.6.38所示。为了提高稳压器的稳压精度，有时还在输入绕组所在的铁芯上加绕一个补偿绕组，并将它与输出绕组反极性连接。补偿绕组的工作原理同磁饱和稳压器的补偿绕组一样。

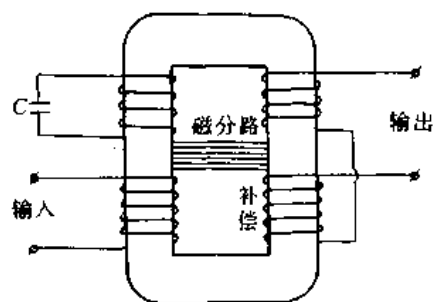


图 6.6.38 C形铁芯结构的稳压变压器

国产 WCD 系列稳压变压器采用 C形铁芯结构。其输出容量及参数见表 6.6.38 所示。

表 6.6.38 WCD 稳压变压器输出容量及参数表

稳压变压器型号	输出功率 P_0/VA	输入电流 I_1/mA	电流密度 $j/(\text{A}/\text{mm}^2)$	次级每伏匝数 $T_{V_2}/(\text{匝}/\text{V})$	谐振电容 $C/\mu\text{F}$	谐振电压 V_C/V
WCD10 × 20 × 12 × 45	5	28.4	1.5	12.5	0.1	400
	6	34.1	1.7	12.5	0.1	400
	7	39.8	2	12.4	0.1	450
	8	45.5	2.3	12.3	0.1	500
WCD10 × 25 × 14 × 50	8	45.5	1.5	10	0.1	500
	10	56.8	1.9	9.9	0.1	500
	12.5	71	2.3	9.8	0.22	400
WCD12.5 × 25 × 16 × 55	12	68	1.4	8.1	0.22	400
	14	79.5	1.7	8	0.22	450
	16	91	1.9	8	0.22	450
	18	102	2.1	7.9	0.22	500
	20	114	2.3	7.9	0.22	500
WCD12.5 × 32 × 18 × 60	20	114	1.4	6.3	0.22	500
	25	142	1.7	6.3	0.47	400
	30	171	2	6.2	0.47	450
	33	188	2.2	6.2	0.47	450
WCD16 × 32 × 20 × 65	30	171	1.2	4.9	0.47	450
	35	199	1.4	4.9	0.47	500
	40	228	1.6	4.9	0.47	500
	45	256	1.7	4.9	0.47	500
	50	285	1.9	4.8	1	400
	55	302	2	4.8	1	400
WCD16 × 40 × 22 × 70	50	285	1.2	3.95	1	400
	60	342	1.5	3.95	1	400
	70	398	1.7	3.85	1	450
	80	455	1.9	3.85	1	450
WCD20 × 40 × 24 × 80	80	455	1.3	3.1	1	500
	90	512	1.5	3.1	1	500
	100	570	1.7	3.1	1	500
	110	625	1.8	3.05	1.22	500
	120	682	2	3.05	1.22	500
WCD20 × 50 × 26 × 90	120	682	1.3	2.5	1.22	500
	140	795	1.5	2.5	1.47	500
	160	910	1.7	2.5	1.47	500
	180	1025	1.9	2.45	2	500

WCD 系列稳压变压器所用绝缘材料见表 6.6.39 所示。

表 6.6.39 WCD 系列稳压变压器绝缘材料

材料名称	规格/mm	用途	层数	工作电压/V	适应导线 d/mm
聚酯薄膜	0.02	层间绝缘	1	< 200	< 0.2
聚酯薄膜	0.03	层间绝缘	1	< 300	< 0.31
聚酯薄膜	0.04	层间绝缘	1	< 400	< 0.44
聚酯薄膜	0.05	层间绝缘与级间绝缘	1	< 500	< 0.49
聚酯薄膜	0.08	层间绝缘与级间绝缘	1	< 500	< 0.62
聚酯薄膜	0.11	层间绝缘与级间绝缘	1	< 500	< 0.72
电容器纸	0.12	层间绝缘	1	< 50	< 0.12
电缆纸	0.08	引头及接线纸板衬垫	—	—	—
电缆纸	0.12	引头及接线纸板衬垫	—	—	—
有机硅玻璃丝带	0.1	外层级间绝缘	1	—	—
有机硅玻璃丝带	0.15	外层级间绝缘	1	—	—
青壳纸	0.2	绝缘芯及接线纸板	—	—	—
青壳纸	0.5	绝缘芯及接线纸板	—	—	—

② 双 C 形铁芯结构的稳压变压器。C 形铁芯结构的稳压变压器在工作时，整个次级磁路都处于饱和状态，因此发热严重。为了弥补 C 形铁芯结构的不足，引入了双 C 形铁芯的结构，如图 6.6.39 所示。这种变压器的铁芯由带有间隙的 C 形铁芯 A 和无间隙的 C 形铁芯 B 组合而成。其中铁芯 A 是有空气隙的不饱和磁路，它只与输入（初级）线圈耦合。铁芯 B 上有输入线圈、谐振线圈和输出线圈。铁芯 A 和 B 没有任何磁路上的联系。

输入线圈 W_1 同芯绕在铁芯 A 和 B 上，由于铁芯 A 加了空气隙，所以它的磁阻远大于铁芯 B 的磁阻。在稳压变压器工作时，铁芯 A 处于非饱和状态，而铁芯 B 处于饱和状态工作。带间隙铁芯 A 成为输入绕组的磁分路，而对于输出绕组来讲，由于磁通有磁阻小得多的闭合磁路 B 可循，因此磁分路对它基本不起分路作用。输出绕组绕在饱和铁芯 B 上，它输出电压的稳定特性较好。

表 6.6.40 为双 C 形铁芯结构小功率稳压变压器的设计数据。

表 6.6.40 双 C 形铁芯稳压变压器铁芯及电路参数

容量 /VA	铁芯规格/mm	XCD 铁芯 气隙 /mm	谐振电容		线圈/匝				
			/μF	/V	$W_{1,2}$	$W_{1,1}$	$W_{2,2}$	$W_{2,1}$	$W_{2,3}$
40	CD12.5 × 2.5 × 60 XCD12.5 × 25 × 60	0.7	4	220	200	1300	130	1700	0
200	CD20 × 40 × 80 XCD20 × 40 × 80	0.7	20	220	100	500	45	650	0
500	CD25 × 50 × 100 XCD25 × 50 × 100	0.7 ~ 0.75	10	450	35	320	26	420	400

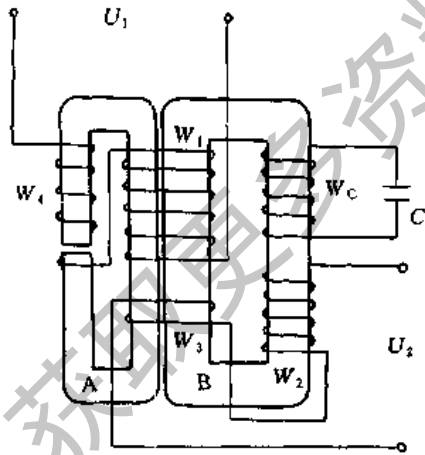


图 6.6.39 双 C 形铁芯结构的稳压变压器

W_1 —初级绕组； W_2 —输出绕组； W_3 —输出电压补偿绕组； W_4 —输入电压补偿绕组； W_C —谐振绕组；C—谐振电容器

③ 叠片式稳压变压器。C 形和双 C 形铁芯结构的稳压变压器，输出容量一般都在 1kVA 以下。为了扩大输出容量，从改进设计、结构和工艺三方面着手，采用叠片方式，出现了叠片式稳压变压器（有些生产厂家称为磁共振交流稳压器），输出容量可以达到 10kVA。这种叠片式稳压变压器采用冲片硅钢片，一体化结构，工艺

简单, 无需调整, 产品的一致性良好, 目前市场已有系列化产品。

这种稳压变压器采用外铁型双磁分路结构的冲片组成, 冲片形状如图 6.6.40 所示。该冲片的形状决定了整机良好的技术指标。

冲片两个边柱宽度之和是中心柱宽度的 1.45 倍。这样的尺寸比, 在稳压变压器工作时, 由于铁磁谐振而使次级侧铁芯饱和磁路中只有中心柱部分饱和, 而两个边柱由于宽度大于中心柱, 因此并不饱和。对于中心柱来讲, 铁芯饱和段仅限于次级谐振回路部分, 约为整个中心柱的 3/4, 这对降低整个铁芯发热程度, 减小铁损, 扩大输出容量极为有利。

冲片第一磁分路的宽度是中心柱宽度的 1/2, 与中心柱空气隙很小。第一磁分路的作用是将初级绕组与次级绕组所在的磁路分开, 使这两部分绕组铁芯的磁通不相同。当次级绕组的铁芯由于铁磁谐振处在饱和状态时, 初级绕组的铁芯仍处在非饱和状态。同时, 当稳压变压器输出过载或者短路时起到限流作用。

冲片第二磁分路的宽度是中心柱宽度的 1/3, 与中心柱无空气隙。第二磁分路空气隙是第一磁分路空气隙的 5~6 倍。第二磁分路将谐振线圈和波形补偿线圈隔开。第二磁分路和波形补偿线圈对输出电压的波形起到补偿作用, 确保输出电压的总谐波失真 $\leq 5\%$, 为正弦波输出。

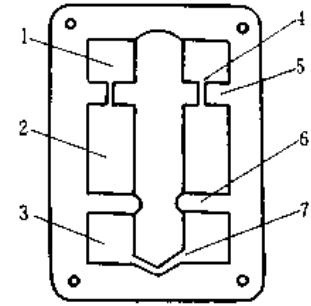


图 6.6.40 叠片式稳压变压器的冲片形状

1, 2, 3—窗口 I、II、III;

4—第一磁分路空气隙; 5—第一磁分路;

6—第二磁分路; 7—第二磁分路空气隙

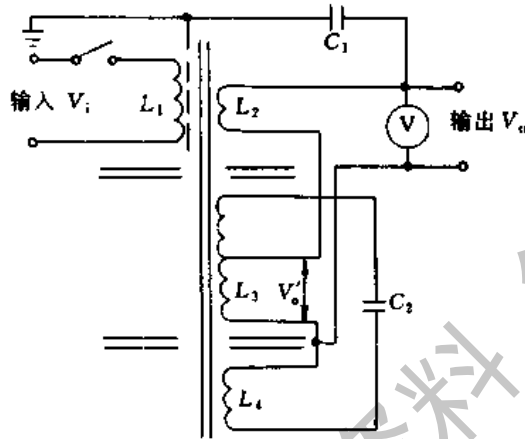


图 6.6.41 叠片式稳压变压器电原理图

由于采用了冲片铁芯, 简化了加工工艺。每片铁芯的磁分路宽度和空气隙由模具决定, 尺寸相同, 确保了整机技术指标的一致性, 简化了产品的调整工艺, 这对大批量生产极为有利。采用冲片后整个稳压变压器为一个整体, 因此噪声问题比较容易解决。

L_2 反串于输出回路中, 当输入电压变化时, L_2 将感应出相应的电压。由于该感应电压反串于输出回路中, 只要合理选择 L_1 和 L_2 的匝比关系, 就可以起到抵消磁化曲线饱和段不是水平线而引起的输出电压变化, 如图 6.6.42 所示, 提高稳压变压器的稳压精度和负载调整率。

L_3 为谐振绕组, 绕组中的一部分即为输出绕组。 L_4 为波形补偿绕组。 L_3 和 L_4 反向串接后再接至谐振电容 C_2 上。由于 L_4 和 L_3 是反向串接, 因此高次谐波的磁通在谐振绕组 L_3 和波形补偿绕组 L_4 中极性相反, 只要合理选择 L_4 的匝数, 就可以将大部分的高次谐波磁通相互抵消, 使输出电压波形得到很大的改善。在工厂生产时, 波形补偿绕组 L_4 应有 2~3 个抽头, 以合理调节补偿量, 使输出电压波形失真小于 5%。

CVT 磁共振交流稳压器的主要技术指标如下。

a. 输入电压范围和稳压精度:

输入电压变化 $\pm 10\%$ 时, 稳压精度 $\pm 0.5\%$;

输入电压变化 $\pm 20\%$ 时, 稳压精度 $\pm 1.5\%$;

输入电压变化 $\pm 30\%$ 时, 稳压精度 $\pm 3\%$ 。

b. 负载调整率: $\pm 2\%$ (空载 \rightarrow 满载)。

图 6.6.41 为叠片式稳压变压器的电原理图。铁芯窗口 I 安排输入 (初级) 绕组 L_1 和 L_2 , 窗口 II 安排谐振绕组 L_3 , 窗口 III 安排波形补偿绕组 L_4 。 C_2 为谐振电容器。当初级接上电源后, 次级由于谐振线圈 L_3 和谐振电容 C_2 的谐振作用, 使次级铁芯中的磁路处于饱和状态, 从而使输出电压基本上不受输入电压波动的影响。 L_1 为输入绕组, L_2 为输出电压补偿线圈, 两者之间放置一屏蔽隔离层。由于铁磁材料磁化曲线的饱和段都不是理想的水平线, 当次级铁芯处于磁化曲线的饱和段时, 其输出电压还是会随输入电压的变化而略有变化。

V_0 和 V_0' 是输出电压, V_H 和 V_L 是输入电压。图中显示, 当输入电压 V_H 和 V_L 变化时, 输出电压 V_0 和 V_0' 保持相对恒定, 说明 L_2 绕组起到了稳压作用。

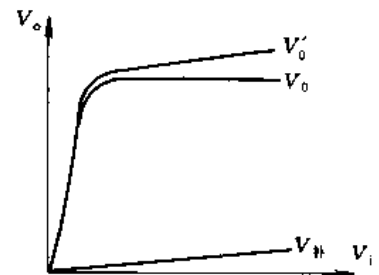


图 6.6.42 L_2 绕组的作用

- c. 输出电压总波形失真: $\leq 5\%$ 。
- d. 效率: 0.3kVA、0.5kVA 80%;
1kVA 85%;
2kVA、3kVA 90%;
5kVA 94%。
- e. 应变时间: 10~20ms。
- f. 具有过功率、短路自动保护功能。
- g. 抗干扰性能: 常模噪声抑制 $\geq 50\text{dB}$ (10kHz~2MHz)。
- CVT 磁共振交流稳压器的数据规格见表 6.6.41。

表 6.6.41 CVT 磁共振交流稳压器数据规格

型 号	CVT-0.3	CVT-0.5	CVT-1	CVT-2	CVT-3	CVT-5
输出电压/V	220	220	220	220	220	220
负载电流/A	1.1	1.8	3.6	7.3	10.9	18.2
输出容量/VA	300	500	1000	2000	3000	5000
谐振电容/ μF	10	16	28	48	68	120
谐振电压/V	670	670	670	670	670	650

稳压变压器的故障和维修方法同磁饱和和交流稳压器。

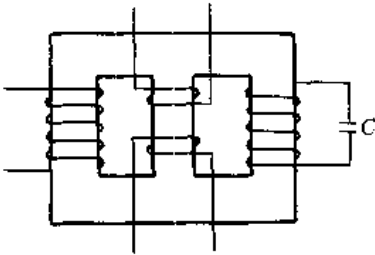


图 6.6.43 参数稳压器铁芯示意图

(3) 参数稳压器 参数稳压器是近阶段发展起来的一种交流稳压电源。参数稳压器的工作原理也是利用铁磁谐振的原理，因此与以铁磁谐振原理为基础的稳压变压器有许多共同点，例如稳压范围宽、抗干扰能力强，可靠性高，不管输入电压什么波形，输出电压总是正弦波等。目前市场上系列化参数稳压器的铁芯示意图如图 6.6.43 所示，具体的电原理图如图 6.6.44 所示。在同一个铁芯硅片上芯柱尺寸不同，形成芯柱截面积不同。输入绕组 W_b 绕在一个芯柱上，反馈绕组 W_d 和 W_c 绕在另一个芯柱上，谐振绕组 W_c 绕在第三个芯柱上，它的初级磁通没有交链到次级绕组，而次级绕组的磁通也没有交链到初级绕组，初次级之间的磁通耦合几乎为零。这一点与叠片式稳压变压器相似。

为了获得良好的输出电压波形，由 L_1 和 C_1 、 L_2 和 C_2 组成三次、五次谐波吸收回路。每个绕组与铁芯之间均采用屏蔽隔离，因此具有良好的抗干扰特性。

由于同属铁磁谐振的工作原理，参数稳压器的工作原理不再赘述。

参数稳压器的主要技术指标如下。

- a. 输入电压范围: 150~260V。
- b. 源电压效应: 输入 187~250V 时 $\leq 1\%$;
输入 176~260V 时 $\leq 1.5\%$;
输入 165~260V 时 $\leq 2\%$;
输入 150~260V 时 $\leq 3\%$ 。
- c. 负载效应(空载 \rightleftharpoons 满载):
输入 187~250V 时 $\leq 2\%$;
输入 176~260V 时 $\leq 2.5\%$;
输入 165~260V 时 $\leq 3\%$;
输入 150~260V 时 $\leq 4\%$ 。
- d. 功率因数: $\cos\varphi \geq 0.95$ 。
- e. 应变时间: 10~40ms。
- f. 效率: 200VA 以下 $\geq 72\%$;
300~500VA $\geq 77\%$;

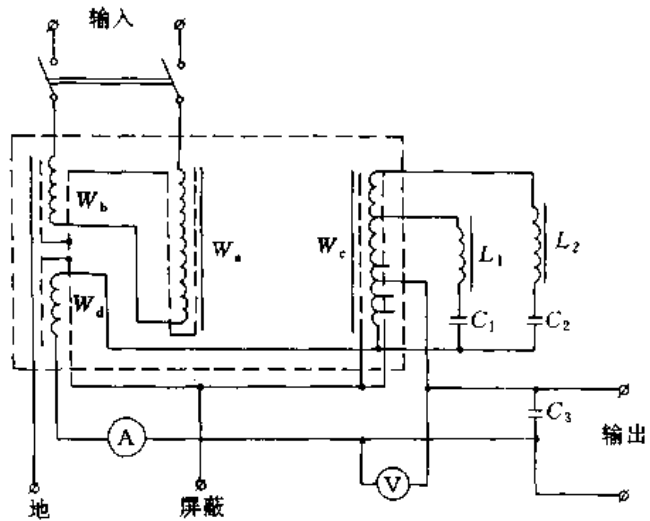


图 6.6.44 参数稳压器电原理图

- 1kVA $\geq 80\%$;
2kVA 以上 $\geq 85\%$ 。

g. 相对谐波含量: $\leq 3.5\%$ 。

h. 具有过功率、短路自动保护功能。

i. 抗干扰性能

尖峰抑制: 常模输入 2kV 尖峰信号, 输出 $\leq 40V_P$;

常模噪声抑制: $\geq 25dB$ (10kHz ~ 2MHz)。

参数稳压器设有输入、输出、屏蔽和铁芯接地接线端子, 用户使用时可根据实际情况选用以下三种接线方式。

① 图 6.6.45 为参数稳压器一般规范接法。

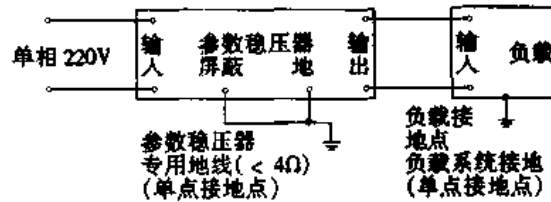


图 6.6.45 参数稳压器规范接法

② 图 6.6.46 为机房有负载地线时参数稳压器的接法。

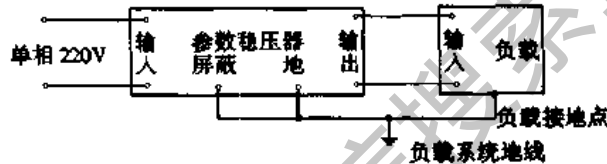


图 6.6.46 机房有负载地线时接法

③ 图 6.6.47 为机房无负载地线, 只有参数稳压器专用地线时的接法。

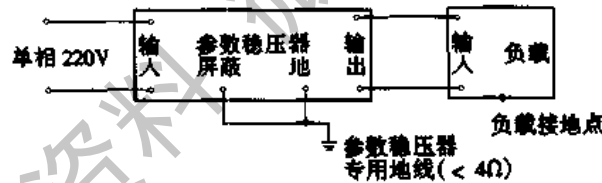


图 6.6.47 机房只有参数稳压器专用地线时的接法

2. 磁放大器调整式电子交流稳压器

磁放大器调整式电子交流稳压器是我国 60~80 年代使用非常普遍的一种交流稳压电源, 主要型号有 614 系列、WY 系列、JW 系列和 JA 系列。这类稳压器的产品设计较为成熟, 产品种类和规格比较齐全, 从最早电子管控制电路发展到晶体管控制电路, 后来又引入集成电路-晶体管混合控制电路。由于磁放大器式电子交流稳压器的控制电路是带有反馈控制的闭环系统, 所以稳压精度较高。这类稳压器的使用面直至目前仍很广泛。

(1) 交流稳压器中磁放大器的原理和结构 电子交流稳压器的稳压作用是依靠磁放大器的自动调整来实现的。磁放大器也是一种放大器, 它和其他放大器一样, 可以用小功率的输入变化信号去控制大功率的输出量变化。

如果不作其他改变, 只是在带铁芯的电抗线圈上, 除原来的交流绕组 N_L 外, 再另外加上第二个直流绕组 N_D , 并在直流绕组 N_D 中通过不同的直流控制电流 I_D , 如图 6.6.48 所示。由实验可知, 带铁芯的电抗线圈 N_L 的电感和它的交流感抗受到直流控制电流 I_D 大小的影响。当 I_D 增大时, 电抗线圈 N_L 的感抗变小, 因而交流回路中的电流 I_L 变大, 电抗线圈 N_L 上的压降 U_{N_L} 减小, 负载 R_L 上的压降 U_{R_L} 增大; 相反, 当 I_D 减小时, 电抗线圈 N_L 的感抗增大, 从而使交流回路中的电流 I_L 减小, 电抗线圈 N_L 上的压降 U_{N_L} 增大, 负载 R_L 上的压降 U_{R_L} 减小。如果 I_D 为零, 电抗线圈 N_L 的感抗为最大值, 交流回路中的电流 I_L 为最小值, 这就相当于没有直流绕组 N_D 的带铁芯电抗线圈了。这种带直流绕组, 用小电流 I_D 的变化去控制交流回路 I_L 大电流变化的可控饱和电抗器, 就是磁放大器最基本的工作原理。

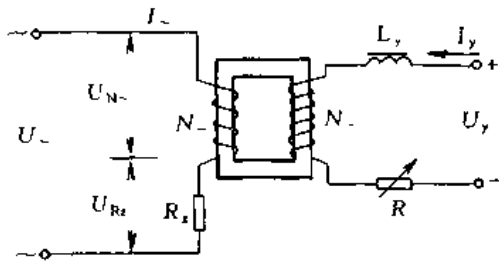


图 6.6.48 可控饱和电抗器

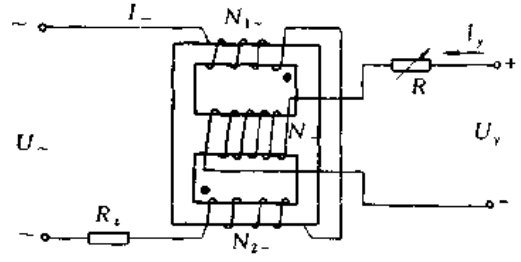


图 6.6.49 稳压器所用磁放大器的基本形式

目前电子交流稳压器中采用的磁放大器，均属于一般较简单的磁放大器，如图 6.6.49 所示。其中，交流绕组分成匝数相等的两个绕组 N_{1-} 和 N_{2-} ，分别绕在日字形铁芯的两个边柱上，两者同相串联（如图中的同名端所示），而直流绕组 N_c 则绕在中心柱上。由于两个相等匝数的交流绕组同相串联，中心柱里的交流磁通相互抵消，所以直流绕组 N_c 中感应的交流电势为零。

稳压器用磁放大器的铁芯结构与绕组布置常采用下列三种方法。

第一种为单 E 形铁芯结构，两组交流绕组分别绕在两个边柱上，直流控制绕组绕在中心柱上，如图 6.6.50 所示。这种结构从制造工艺上来讲，是比较方便的，而且散热条件较好。这种结构的缺点是铁芯材料没有充分利用，因为交流磁通和直流磁通互相作用只在铁芯的边柱发生。

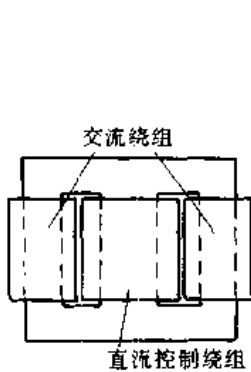


图 6.6.50 单 E 形铁芯三柱式磁放大器结构图

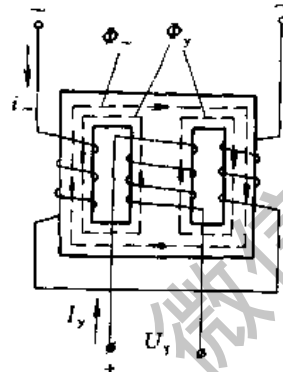


图 6.6.51 II 形铁芯磁放大器结构图

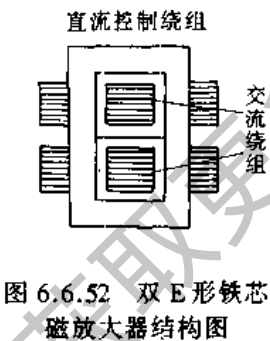
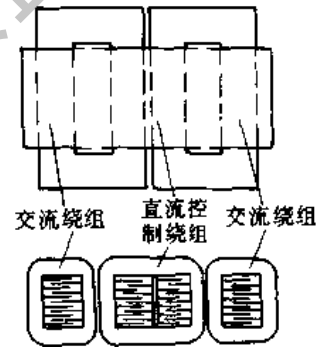


图 6.6.52 双 E 形铁芯磁放大器结构图

功率较大的磁放大器，由于铁芯体积较大，采用 E 形冲片比较困难，因此常采用 II 形冲片来组合成单 E 形铁芯结构，如图 6.6.51 所示。

第二种为双 E 形铁芯结构，如图 6.6.52 所示。两个交流绕组分别绕在两组 E 形铁芯的中心柱上，而将直流控制绕组绕在两个交流绕组的外面。这种结构方式克服了第一种单 E 形铁芯磁放大器的缺点，铁芯材料得到充分的利用。这种结构磁放大器的缺点是两组交流绕组很难做到平衡，因为两组 E 形铁芯插片的松紧程度很难做到完全一致，因此直流控制绕组中感应出来的交变电势较大。另外，直流绕组的电阻比同样匝数的单 E 形铁芯的直流绕组电阻大得多，这样在相同的直流控制电压时，双 E 形铁芯磁放大器的直流控制电流较小，因此铁芯的磁化程度亦较小。

第三种为双 II 形铁芯结构，如图 6.6.53 所示。它共有四个交流绕组和二个直流控制绕组，在每个铁芯柱上各绕一个交流绕组，而将直流控制绕组绕在二个交流绕组的外面。这种结构形式漏磁小，而且兼顾上述二种结构的优、缺点，缺点是生产工艺比以上二种结构都复杂。

(2) 磁放大器式电子交流稳压器直流控制回路的工作原理

磁放大器式电子交流稳压器的型号规格较多，但不论是电子管控制、晶体管控制，还是集成电路-晶体管混合控制电路，它们的控制原理都一样，如图 6.6.54 的框图所示。它主要由三部分组成。第一部分为取样电

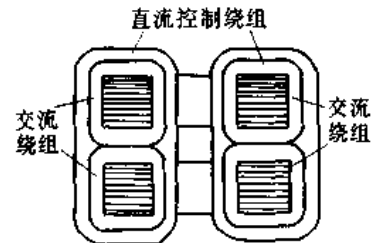


图 6.6.53 双 II 形铁芯磁放大器结构图

路，它的作用是将稳压器输出电压 U_0 中微量变化的信号电压 ΔU_0 截取出来。在 614 系列中采用特殊的 2D2P 钨丝二极管作为取样元件，在 JA 系列中采用低压电灯作为取样元件，在 JW 系列中采用集成电路中的差分电路取样。第二部分为直流放大电路，它的作用是将取样电路取得的信号进行放大。直流放大有的采用电子管放大电路，也有的采用晶体管放大电路。第三部分为功率放大电路，它的作用是将放大后的电压信号转变为电流，即磁放大器直流绕组中的直流控制电流，调节磁放大器的交流感抗。由于磁放大器的功率不同，其直流控制电流也不同，所以功率放大电路应满足磁放大器直流控制电流的要求。在 614 系列和 WY 系列中采用数只功率电子管并联运行，在 JW 系列中采用复合管形式的大功率三极管。

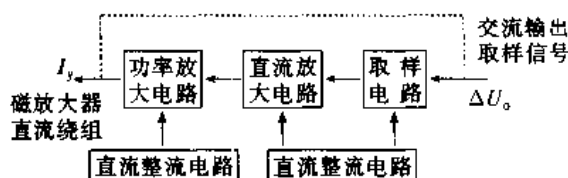


图 6.6.54 直流控制回路方框图

磁放大器式电子交流稳压器直流控制回路的作用是将输出电压中微小变化的电压信号放大为电流信号，作为磁放大器的直流控制电流。

(3) 磁放大器式电子交流稳压器交流调整回路的工作原理 图 6.6.55 是磁放大器式电子交流稳压器交流调整回路原理图。图中 T_1 为自耦变压器， T_2 为磁放大器。 r_1 、 L_1 、 E_1 分别为自耦变压器次级绕组的内阻、电感和电压降； r_2 、 L_2 、 E_2 分别为自耦变压器初级绕组的内阻、电感和电压降； r_3 、 L_3 、 E_3 分别为磁放大器交流绕组的内阻、电感和电压降。 R_L 为稳压器输出端的负载电阻。从图中可以看出，稳压器的交流调整回路，实际上就是磁放大器和自耦变压器串联之后，跨接在输入电压 E_1 和输出电压 E_0 之间。

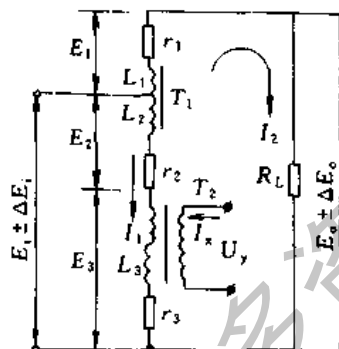


图 6.6.55 稳压器交流调整回路原理图

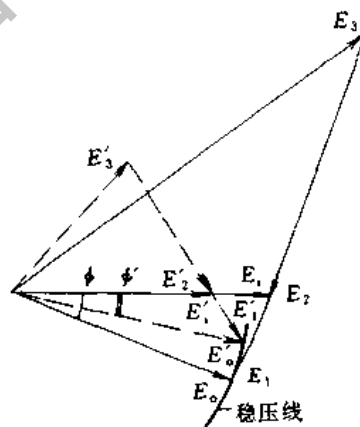


图 6.6.56 稳压器在输入电压上限和下限情况下，交流调整回路向量图（满载时）

在输入电压上限和下限情况下，交流调整回路各端电压的向量关系如图 6.6.56 所示。图中实线部分表示输入电压在允许的最高值（上限）时的向量图，虚线部分表示输入电压在允许的最低值（下限）时的向量图。从向量图中可以看到，当输入电压发生 $\pm \Delta E_1$ 变化时， E_1 、 E_2 、 E_3 都发生了相应的变化：当输入电压 E_1 有 $+\Delta E_1$ 变化时，其 E_1 和 E_0 之间的夹角 ϕ 变大， E_1 、 E_2 、 E_3 向量幅值增大，当达到稳压器输入电压的上限时， E_1 和 E_0 之间的夹角 ϕ 最大， E_1 、 E_2 、 E_3 向量的幅值为最大值。同样，当输入电压 E_1 有 $-\Delta E_1$ 变化时，其 E_1 和 E_0 之间的夹角 ϕ 变小， E_1' 、 E_2' 、 E_3' 的幅值减小，当达到稳压器输入电压的下限时， E_1' 和 E_0 之间的夹角 ϕ' 最小， E_1' 、 E_2' 、 E_3' 的幅值为最小值。

从图 6.6.56 所示的向量图可以看到，稳压器要保持输出电压 E_0 不变，必须使 E_0 在一个半径为额定电压（220V）的圆弧轨迹上运动。这条圆弧轨迹就是所谓的稳压线。稳压器的这条输出稳压线的获得，是由 E_1 、

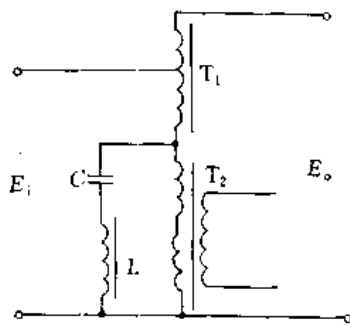


图 6.6.57 交流调整回路中 LC 滤波器

E_2 、 E_3 这三个电压的向量关系所确定的。所以稳压器的整个交流回路的调整过程，实质上就是一个调整 E_1 、 E_2 、 E_3 这三个向量之间幅值和相位角的过程。

在交流调整回路中，磁放大器交流绕组两端还并接上 LC 串联谐振式滤波器，如图 6.6.57 所示。由于磁放大器交流线圈中的交流电流含有奇次谐波，其中主要是三次谐波的影响最大。LC 串联电路组成的谐振器，其谐振频率设计在 150Hz 附近，由于它对谐波电流有很小的阻抗，因此能够将磁放大器交流线圈中的三次谐波电流吸收，滤去稳压器输出电压中的三次谐波，使波形失真情况得到很大的改善。

(4) 磁放大器式电子交流稳压器主要技术指标和规格 表 6.6.42 为电子管控制的 614 系列和 WY 系列电子交流稳压器主要技术指标表；表 6.6.43 为晶体管控制的 JA 系列和 JW 系列电子交流稳压器主要技术指标表。

表 6.6.42 614 系列和 WY 系列电子交流稳压器主要技术指标

型号	容量/VA	输入电压范围/V	源效应/%	负载效应/%	波形失真/%	响应时间/s
614-A	1000	198~242	±0.2	±0.5	5	0.2
614-2KVA	2000	198~242	±0.2	±0.5	5	0.2
614-B	3000	198~242	±0.2	±0.5	5	0.5
614-C	5000	198~242	±0.2	±0.5	5	0.5
614-F	10000	198~242	±0.2	±0.5	5	0.5
WY-1000	1000	195~242	±0.5	±1	5	0.5
WY-2000	2000	195~242	±0.5	±1	5	0.5

表 6.6.43 JW 系列和 JA 系列电子交流稳压器主要技术指标

型号	容量/VA	输入电压范围/V	源效应/%	负载效应/%	波形失真/%	响应时间/s
JW-831	1000	185~245	±1	±2	5	0.2
JW-832	2000	185~245	±1	±2	5	0.2
JW-833	3000	185~245	±1	±2	5	0.5
JW-835	5000	185~245	±1	±2	5	0.5
JW-8310	10000	185~245	±1	±2	5	0.5
JW-8315	15000	185~245	±1	±2	5	0.5
JA-1	1000	190~245	±0.5	±1	5	0.5
JA-2	2000	190~245	±0.5	±1	5	0.5

(5) 磁放大器式电子交流稳压器的故障与维修 电子交流稳压器是一种比较复杂的电源装置，在使用过程中经常产生各种故障，特别是我国早期 614 系列电子管控制的磁放大器式电子交流稳压器，目前使用量仍较多，使用范围仍较广，故障率较高。本节以 614 系列电子交流稳压器为例，分析故障原因和维修方法，其他系列电子交流稳压器的维修可参照进行。

电子交流稳压器绝大多数的故障发生在直流控制部分（包括电源变压器），因此测量直流控制部分各级直流电压的大小，是寻找故障的一种有效办法。如果被测的那一级工作电压正常，通常就可以认为该级工作情况基本上是正常的。如果测得的电压数值不正常，就可以初步判断发生故障的大致范围，再结合对电子管、电阻、电容器和接线等检查，便可以正确找出故障的所在处。

① “静态”电压检查法。所谓“静态”电压检查法，就是指稳压器在输入、输出电压固定不变的情况下，测量稳压器各点直流电压的方法。图 6.6.58 中所示各点电压是 614-C₃ 型 5kVA 电子交流稳压器在输入电压 220V，输出电压 220V 时测得的。其他 614 系列电子交流稳压器测得的电压值可能有偏差，但可将图中所示的电压值作参考。

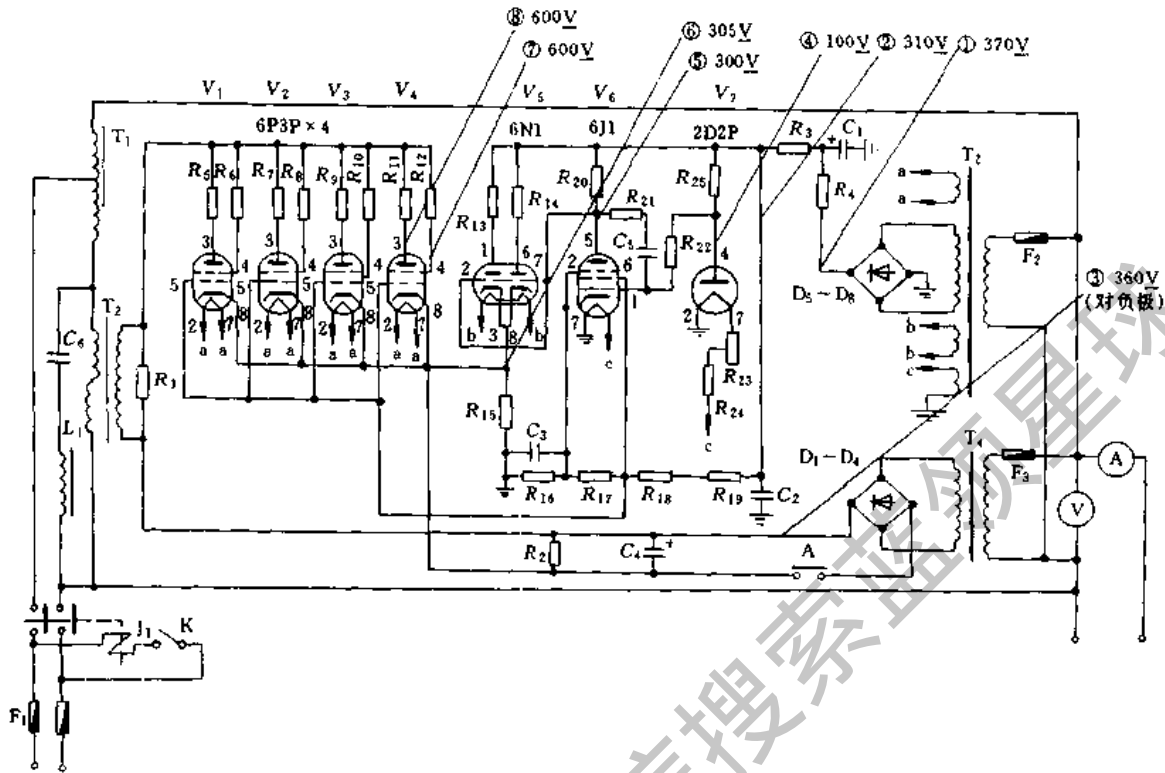


图 6.6.58 614-C₃ 稳压器各点“静态”电压值

“静态”电压检查法的检查顺序，可按图 6.6.58 中所示的序号逐点测量。

② “动态”电压检查法。所谓“动态”电压检查法，就是指稳压器在输入电压固定不变的情况下，来回旋转稳压器面板上的“电压调节”电位器（即图 6.6.59 中的 R_{23} ），模拟输出电压作高低变化时，稳压器内各点直流电压跟随变化的范围。为了防止稳压器输出电压长期超过 250V，在作“动态”电压检查前，必须先将功率放大管（四只 6P3P 电子管）全部拔去，使稳压器输出电压降到 200V 以下。图 6.6.59 中所示各点电压仍以 614-C₃ 型 5kVA 电子交流稳压器，在输入电压 220V，输出电压 180V（拔去 $V_1 \sim V_4$ 四只 6P3P 电子管后的输出电压）时，来回旋转 R_{23} 电位器，各点电压的变化范围。其他 614 系列电子交流稳压器的“动态”电压值可依图中所示电压值作参考。

“动态”电压检查法的检查顺序，可按图 6.6.59 中所示的序号逐点进行。图中 $V_1 \sim V_4$ 所示电压变化范围是在没有 6P3P 电子管的情况下，在其电子管管脚上测得的。

③ 常见故障现象及其分析

a. 稳压器输出电压超过 250V，调节“电压调节”电位器不起作用。

这种故障主要有二类原因。一类是磁放大器的直流控制回路失控，直流控制电流很大，磁放大器处于深度饱和状态。另一类是交流回路发生故障。

· 供给 2D2P、6J1 和 6N1 的直流电路发生故障，常见是无直流高压。应检查电源变压器 T_3 、整流二极管 $D_5 \sim D_8$ 、滤波电解电容器 C_1 和 C_2 、电阻 R_3 和 R_4 的工作情况。

- 取样管 2D2P 电子管灯丝不亮。
- 阴极输出管 6N1 损坏。
- 四只并联的 6P3P 功率管中有某一只损坏。
- 磁放大器的两只交流绕组内有短路现象。
- 滤波电容器 C_6 短路。

b. 稳压器输出电压低于 200V，调节“电压调节”电位器不起作用。

这种故障与输出电压超过 250V 的现象相反，也有二类原因。一类是磁放大器的直流控制回路失控，直流

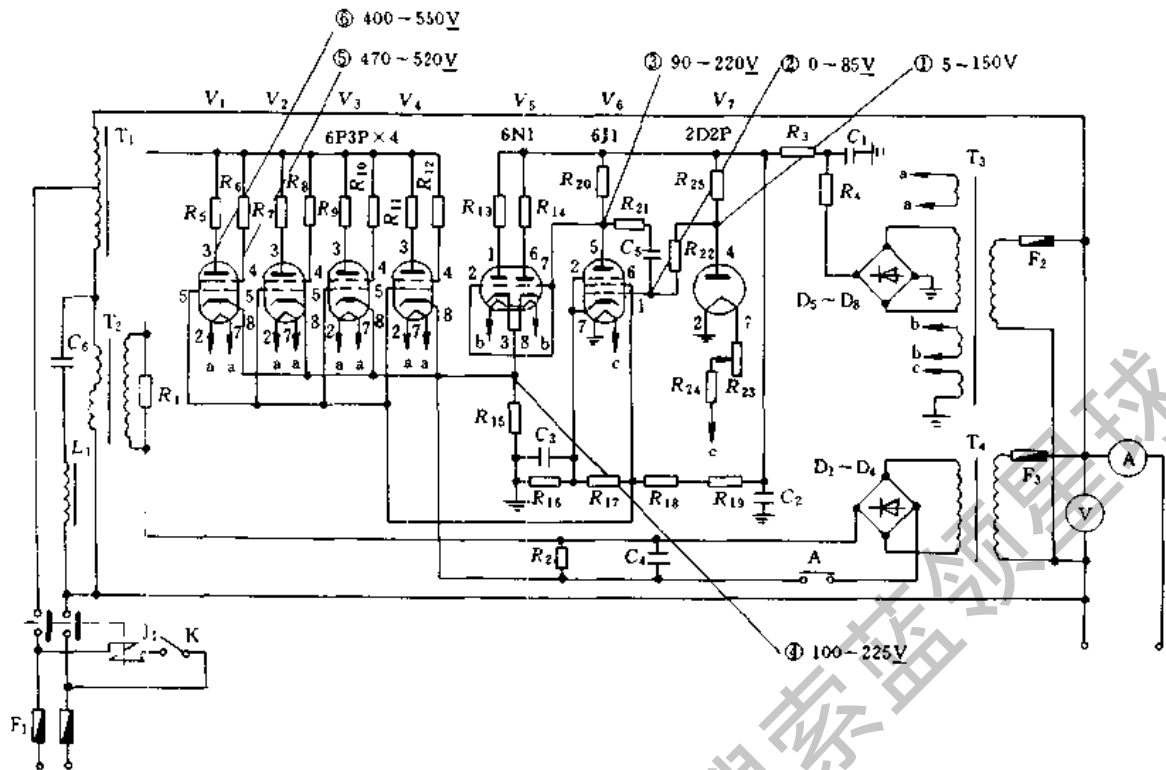


图 6.6.59 614-C₁ 稳压器各点“动态”电压值

控制电流很小，甚至为零，磁放大器交流线圈的电感量为最大。另一类是交流回路发生故障。

·供给功率管 6P3P 工作的直流高压电路发生故障，常见是无直流高压。应检查电源变压器 T₄、整流二极管 D₁~D₄、滤波电解电容器 C₄ 的工作情况。

·磁放大器直流绕组内部断线。

·电压放大管 6J1 损坏。

·装有高压延时电路的稳压器，高压延时继电器未吸合，或吸合后触点（如图 6.6.60 中“A”）接触不良。

·磁放大器交流绕组断线。

c. 稳压器输出电压波形失真严重。

·滤波电容器 C₆ 容量变小。若 C₆ 由数只电容器并联而成，则有可能是个别电容器内部断路。

·滤波扼流圈 L₁ 断线，滤波回路失去作用。

d. 稳压器加全负载后输出电压下降。

这种故障为稳压器输出功率减小，应首先检查负载是否超载，输入电压是否在稳压器正常工作范围内。在确定与负载和电网无关的情况下再检查稳压器的故障。

·在四只并联运行的功率管 6P3P 中有一只或多只不起作用，使磁放大器的直流控制电流达不到设计值。

·供给功率管 6P3P 工作的直流高压偏低。常见为整流管 D₁~D₄ 中有个别损坏，电源变压器 T₄ 损坏，滤波电解电容器 C₄ 容量不足。

·双三极管 6N1 一半损坏。

图 6.6.60 为 614-C₃ 型 5kVA 电子交流稳压器的主要元、部件损坏时发生故障的现象。对于该系列其他不同输出功率的稳压器或其他系列磁放大器式电子交流稳压器，都可作参考。

3. 自动调压式交流稳压器

自动调压式交流稳压器，又称自动调压器和伺服式交流稳压器。它具有体积小、重量轻、自耗小、结构简单、成本低、输出电压不失真、对负载性质无特殊要求等一系列优点，但也有稳压精度不高、应变时间长、易产生接触不良等缺点。

自动调压式交流稳压器适用于对电压精度和应变时间要求不高的仪器设备上，如为空调器、洗衣机、电冰

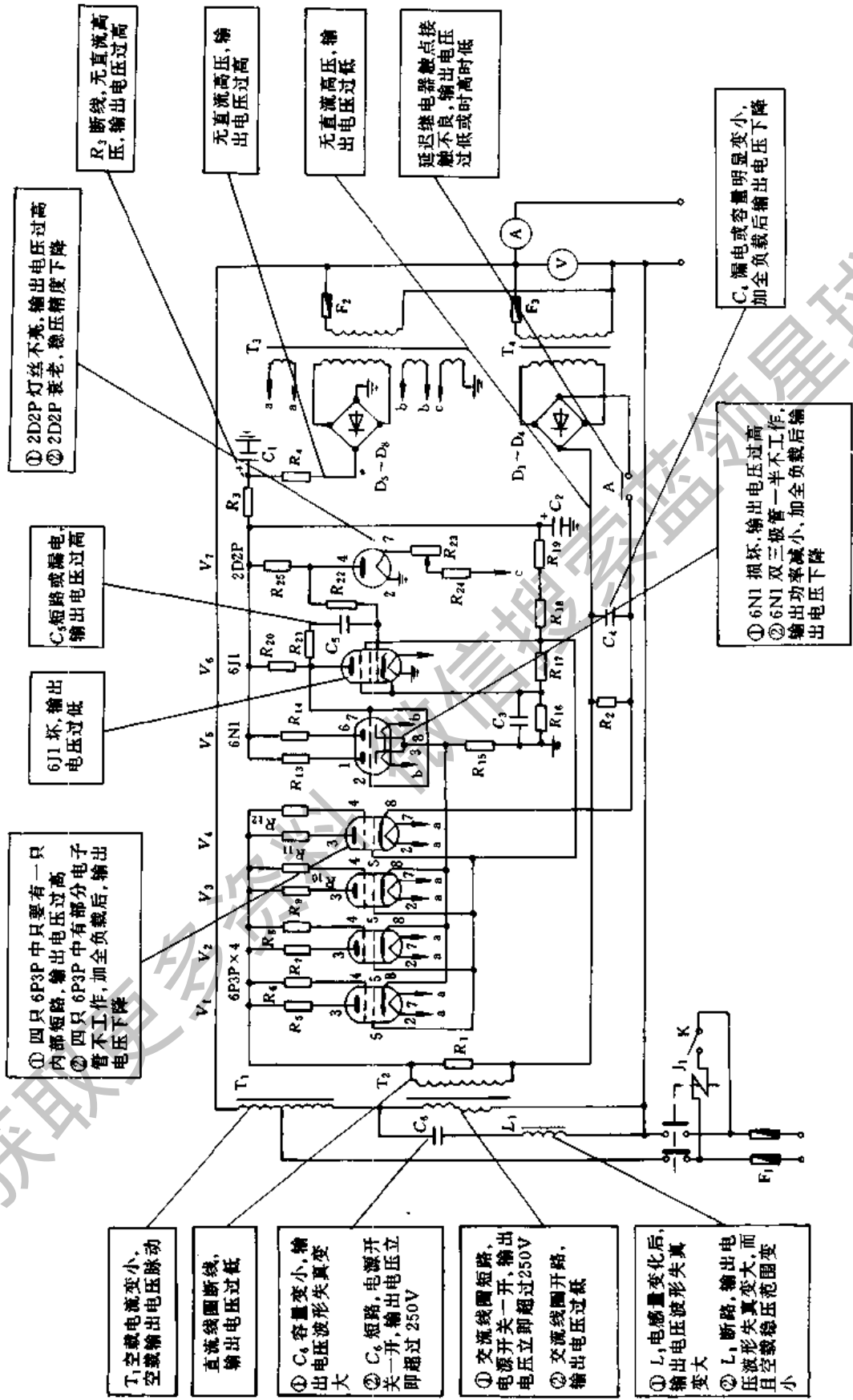


图 6.6.60 614-G₃ 稳压单元、部件故障图

箱、电视机和其他家用电器供电。

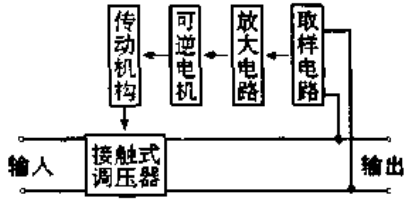


图 6.6.61 自动调压式交流稳压器方框图

(1) 自动调压式交流稳压器的原理 自动调压式交流稳压器的具体线路比较多，但工作原理都是一样的。图 6.6.61 为此类稳压电源的方框图。从方框图中可以看到，输入电压接在接触式调压器的输入端，调压器的输出端就作为稳压器的输出端。取样电路接在稳压器的输出端，当由于输入电压变化或因负载改变引起输出电压偏离额定值（如额定输出电压为 220V）时，取样电路的输入电压发生相应的变化。取样电路将截取到的信号，经放大电路的放大，驱动可逆电动机作正向或反向的转动，通过一整套传动机构的减速，带动接触式调压器的滑动触头，将输出电压调向额定值。当输出电压达到额定值后，取样信号消失，可逆电机停止转动。通过以上一系列自动调整过程，交流调压器的输出电压可以保持稳定不动。

自动调压式交流稳压器内部都装有保险丝，当负载短路或超载时，保险丝熔断，以保护稳压器和负载的安全。在交流调压器线圈的上、下极限端都装有限位器，当输入电压超过稳压器所规定的稳压范围（如输入电压超过 250V 或低于 160V）时，可以自动切断可逆电机的电源，同时跳亮过压或欠压指示灯，以达到安全运行的目的。

自动调压式交流稳压器内部都装有保险丝，当负载短路或超载时，保险丝熔断，以保护稳压器和负载的安全。在交流调压器线圈的上、下极限端都装有限位器，当输入电压超过稳压器所规定的稳压范围（如输入电压超过 250V 或低于 160V）时，可以自动切断可逆电机的电源，同时跳亮过压或欠压指示灯，以达到安全运行的目的。

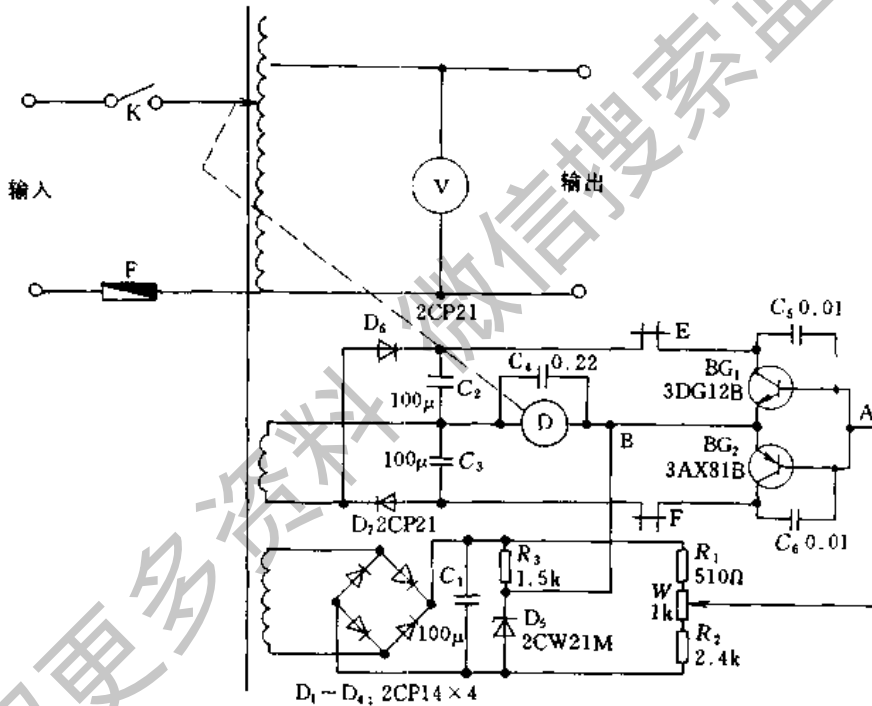


图 6.6.62 自动调压式交流稳压电源线路图

图 6.6.62 是采用比较式取样电路的自动调压式交流稳压电源的一个实例。由图可以看到，当电位器 W 调到 A 点对 B 零电位时，NPN 型三极管 (BG_1) 和 PNP 型三极管 (BG_2) 都不导通，直流电机 D 停止转动。当稳压电源输出电压偏高时，直流信号电压也增大。由于 A 对 B 点电位为正值，将使 NPN 型三极管导通，这样直流电机 D 正向转动，带动传动机构将调压变压器的滑动炭刷向上滑动，使稳压器输出电压下降，回到额定范围内。如果稳压电源输出电压偏低，直流信号电压也降低。由于 A 点对 B 点的电位为负值，将使 PNP 型三极管导通，这样直流电机 D 由于电流方向相反而反向转动，带动传动机构将调压变压器的滑动炭刷向下滑动，使稳压器输出电压上升，又回到额定范围内。

不管出现上述两种情况的哪种形式，只有当稳压电源的输出电压下降或上升到 A 点对 B 点的电位接近于零，即两只三极管都不导通时，直流电机 D 才停止转动。这样稳压器的输出电压已被调回到原来的额定电压值 (220V) 附近，即起到了稳定输出电压的作用。

常闭触点 E、F 为稳压电源输入电压上下限的限位装置。在输入电压超过该稳压电源所规定的电压范围时，就能自动切断可逆电动机的电源。

(2) 自动调压式交流稳压器的故障和维修 自动调压式交流稳压电源由于结构简单，因此发生故障后一般比较容易维修。故障的部位除发生在电子线路部分外，还应注意传动机构、可逆电机和接触式调压器这些主要部件的工作情况。

传动机构一般都采用齿轮作减速传动。常见的故障是齿轮卡死和打滑空转。齿轮卡死后可逆电机有烧毁的可能。齿轮卡死一般是由于齿轮间隙过紧、齿轮之间存在纤维线或头发丝等异物、调压器的滑动臂阻力增大等原因造成。齿轮打滑一般是由于齿轮间隙过大、齿轮磨损或调压器滑动臂与转轴之间的紧固螺钉松动，使传动转轴发生空转等原因造成。

可逆电机常出现的故障是内部接触不良。由于电机转子上的绕组通过换向器和电刷的接触与外电路相接，电机转动时，换向器和电刷产生火花，工作时间一长，很可能产生接触不良。遇到这种故障，只要小心拆开电机，用汽油棉花擦净换向器和电刷上的黑痕即可。如果换向器上有明显火花灼痕不能擦去，可用 00 号砂皮细细擦磨，将换向器表面清除干净并将铜屑擦掉。电机经以上修理后一般仍能继续使用。

接触式调压器常出现的故障是炭刷与绕组接触不良。由于炭刷与绕组表面经常接触滑动，接触不良就产生火花，火花产生的灼痕又进一步造成接触不良，如此恶性循环将产生严重的接触不良，使稳压器输出电压跳动，甚至时有时无。维修时可用汽油棉花擦净绕组表面供炭刷滑动的裸露部分，如火花灼痕不能消除，可用 00 号砂皮细细擦磨。调压器经以上修理一般均能继续使用。

自动调压式交流稳压器（参见图 6.6.62）的常见故障有以下几种。

① 输出电压不稳。

输出电压不稳，是自动调压式交流稳压器最常见的故障，原因有：

- a. 调压器炭刷与线圈接触不良；
- b. 传动机构中齿轮卡死不转或打滑空转；
- c. 可逆电机内部接触不良，不能运转；
- d. 供电机运转的直流电源产生故障，常见是无直流电压或直流电压很低；
- e. 并联在电机两端的电容器 C_4 短路；
- f. 三极管 BC_1 和 BC_2 损坏，应注意的是当其中一只管子击穿短路后，另一只管子一旦导通，因电源短路立时会烧毁，因此两只管子往往同时损坏。

② 一开机，调压器就向上限方向调到底。

造成这种故障的原因是三极管 3DG12 一开机就呈导通状态，电机带动传动机构将滑动臂向上限方向调到底，直到 E 点限位接点断开，电机才断电停电。

a. 稳压管 2CW21M 击穿，B 点电位为零，A 点电位始终大于 B 点电位，因此三极管 3DG12 一直处于导通状态。

b. 三极管 3DG12 集电极和发射极短路。

③ 一开机，调压器就向下限方向调到底。

这种故障原因和上述故障原因相同，主要是三极管 3AX81 一开机就呈导通状态。

a. 稳压管 2CW21M 开路，B 点电位始终大于 A 点电位，三极管 3AX81 一直处于导通状态。

b. 三极管 3AX81 集电极和发射极击穿短路。

④ 输入电压只有下降时电机才会转动。

a. 3DG12 烧毁，呈开始状态。当输入电压上升时，该管不起作用。

b. D_6 整流管开路，无直流电压输出。

c. 接点 E 接触不良。

⑤ 输入电压只有上升时电机才会转动。

a. 3AX81 烧毁，呈开路状态。

b. D_7 整流管开路，无直流电压输出。

c. 接点 F 接触不良。

4. 变压器抽头式交流稳压器

根据电网电压的不同，改变变压器的抽头位置，使输出电压保持在一定的范围之内，这是变压器抽头式交

流稳压器的基本工作原理。为了节约成本，减轻质量，变压器一般都采用自耦式变压器。控制电路早期采用晶体管分立元件，后来改进为集成电路和微处理器电路。根据电网电压的不同，控制电路按一定的数字编码方式，驱动继电器或双向可控硅达到改变变压器抽头的目的，所以这类电源也称为数控式交流稳压器。

同自动调压式交流稳压器一样，变压器抽头式交流稳压器一般应用于对电压精度要求不高的场合。这类交流稳压器常在家庭中使用。

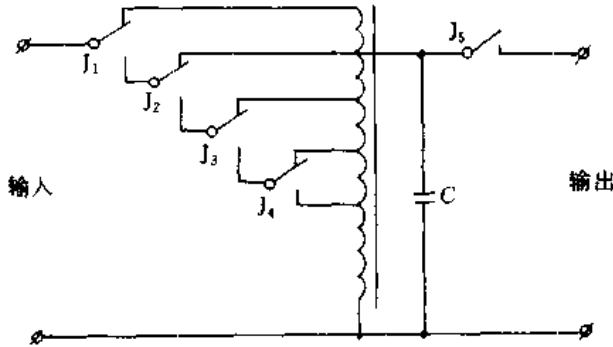


图 6.6.63 变压器抽头式交流稳压器主回路 (-)

6.6.63 所示变压器抽头式交流稳压器的主回路工作原理。

表 6.6.44 继电器工作条件

序号	吸合条件
J ₁	输入电压 ≤ 240V
J ₂	输入电压 ≤ 200V
J ₃	输入电压 ≤ 170V
J ₄	输入电压 ≤ 145V

(1) 变压器抽头式交流稳压器主回路的工作原理 变压器抽头式交流稳压器的主回路常采用大电流继电器作为交流开关，图 6.6.63 是常见的一种主回路形式。J₁、J₂、J₃、J₄ 作为交流开关，分别接通自耦变压器的不同抽头。J₅ 是延时继电器，开机后延时 3~5min 动作。J₅ 的作用是当电网瞬间断电后马上再来电时，延时 3~5min 才有输出电压，这样可以保护家用冰箱、家用空调器的压缩机不致烧毁。

图 6.6.63 中 J₁~J₄ 四只继电器的工作条件见表 6.6.44。表 6.6.45 是在不同输入电压范围时继电器的工作状态。由表 6.6.44 和表 6.6.45 不难分析图

表 6.6.45 输入电压与继电器工作状态

输入电压范围/V	继电器工作状态
125~145	J ₁ 、J ₂ 、J ₃ 、J ₄ 吸合
140~170	J ₁ 、J ₂ 、J ₃ 吸合
170~200	J ₁ 、J ₂ 吸合
200~240	J ₁ 吸合
240~280	J ₁ 、J ₂ 、J ₃ 、J ₄ 全部释放

图 6.6.64 是另一种常见的变压器抽头式交流稳压器的主回路。继电器 J₁、J₂、J₃、J₄ 作为交流开关，分别接通自耦变压器的不同抽头。J₅ 是延时继电器，作用同图 6.6.63 中的 J₅ 延时继电器。J₀ 为节能继电器，当电网电压在 200~240V 范围内时，稳压器输入和输出直通，这时 J₀ 继电器释放，自耦变压器从主回路中脱离，这样可以避免自耦变压器空载损耗。由于一般地区的电网电压均在 200~240V 的范围内，低于 200V 或高于 240V 时，稳压器才进入工作状态，因此在电网正常范围 (220V ± 10%) 内，稳压器处于节能状态，自耦几乎为零，这对节约用电是非常需要的，因此受到家庭用户的欢迎。

图 6.6.64 中 J₀~J₄ 五只继电器的工作条件见表 6.6.46、表 6.6.47 是在不同输入电压范围内五只继电器的工作状态。由表 6.6.46 和表 6.6.47 可分析图 6.6.64 所示变压器的抽头式交流稳压器主回路的工作原理。

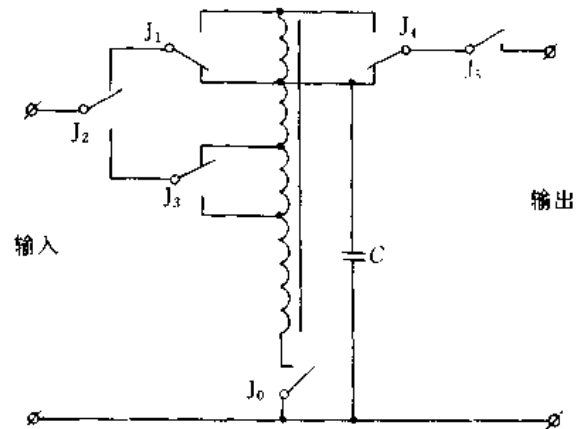


图 6.6.64 变压器抽头式交流稳压器主回路 (二)

(2) 变压器抽头式交流稳压器控制回路的工作原理 根据不同的输入电压范围，决定不同继电器的工作状态，这是变压器抽头式交流稳压器控制回路的工作目的。实现这一目标最常用的方法是采用集成电路比较器电路，如图 6.6.65 所示。V_{in} 取自稳压器输入电压，分别接入比较器 I₁~I₄ 的输入端。一串打“*”的分压电阻确保继电器 J₁~J₄ 的工作条件。图中四只 1M 电阻为反馈电阻，作用是使不同的继电器动作时有一个“回差”电压，这个“回差”电压一般取 4~5V 左右，即继电器吸合电压为交流电压 U (V)，释放电压为 U + 5 (V)，使继电器避免出现似吸非吸的不稳定状态。反馈电阻值越小，“回差”电压越大。3kVA 以下容量的稳压器 J₁~J₄ 一般采用 T90 型 (4500 型) 继电器，4~7.5kVA 容量的稳压器则采用触点电流为 40A 的大功率继电器。

表 6.6.46 继电器工作条件

序号	吸合条件
J ₁	输入电压 ≥ 240V
J ₂	输入电压 ≤ 200V
J ₃	输入电压 ≤ 170V
J ₄	输入电压 ≤ 145V
J ₀	输入电压 ≥ 240V ≤ 200V

表 6.6.47 输入电压与继电器工作状态

输入电压范围/V	继电器工作状态
125 ~ 145	J ₂ 、J ₃ 、J ₄ 吸合 J ₀ 吸合
140 ~ 170	J ₂ 、J ₃ 吸合 J ₀ 吸合
170 ~ 200	J ₂ 吸合 J ₀ 吸合
200 ~ 240	J ₁ 、J ₂ 、J ₃ 、J ₄ 全部释放 J ₀ 释放
240 ~ 280	J ₁ 吸合 J ₀ 吸合

控制回路还有过压保护电路和欠压保护电路。当稳压器输出电压超过 245V 或低于 185V 时，断开延时继电器 J₅（图中未画出）的触点，使输出电压为零，保护稳压器的负载免受损坏。过压和欠压保护也是采用比较器电路。

(3) 变压器抽头式交流稳压器的性能指标

- a. 输入电压范围：125 ~ 280V。
- b. 输出电压范围：220V ± 10%。
- c. 延时时间：3 ~ 5min。
- d. 过压保护点：247V ± 3V。
- e. 欠压保护点：185V ± 3V。
- f. 输出容量：一般有 1kVA、2kVA、3kVA、4kVA、5kVA 和 7.5kVA 六种。

(4) 变压器抽头式交流稳压器的故障与维修 这类稳压器常见的故障是某一只继电器不动作，表现在某一输入电压范围内，输出电压超出 220V ± 10% 的范围。维修时可以用调压变压器改变输入电压，根据表 6.6.44 或表 6.6.46 所示，当输入电压到达某只继电器应该动作的电压时，该继电器不动作，就应该检查该继电器及其相关的控制电路。继电器最常见的故障是触点“烧死”，即两个触点由于严重的电火花而粘连在一起。维修时可将该继电器从线路板上拆下来，将两个粘连的触点断开，并用 00 号细砂皮小心地将两个触点表面电火花烧蚀的地方磨光，注意应不损伤触点的簧片。经修复的继电器一般仍能使用。与继电器相关的控制电路检查也是较简便的，可先检查相关的比较器，根据比较器“+、-”输入端的电位，判定输出端的电位，再检查相应的驱动三极管，一般不难将故障的原因找到并排除。

5. 补偿式大功率电力稳压器

目前国内 20kVA 以上大功率交流稳压器均采用补偿式电力稳压器。这种稳压器除了具有容量大的特点外，还有稳压范围较宽、效率高、无波形畸变、可与任何性质负载（阻性、感性、容性）使用、质量轻、体积小等优点，因此应用面越来越广泛。

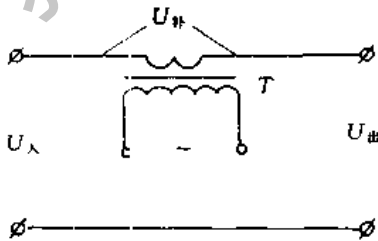


图 6.6.66 补偿式交流稳压器工作原理图

(1) 补偿式大功率电力稳压器主回路的工作原理 图 6.6.66 所示的电路是补偿式交流稳压器最基本的工作原理。图中 U_A 为交流输入电压，U_出 为交流输出电压，U_补 为交流补偿电压，T 为补偿变压器。当 U_补 与 U_A 同相位时，则输出电压 U_出 为：

$$U_{出} = U_A + U_{补}$$

根据这一原理，当输入电压 U_A 低于额定值（如额定值为 220V）时，U_出 与 U_A 的差值只要有等值的 U_补 来同相补偿，则可保持输出电

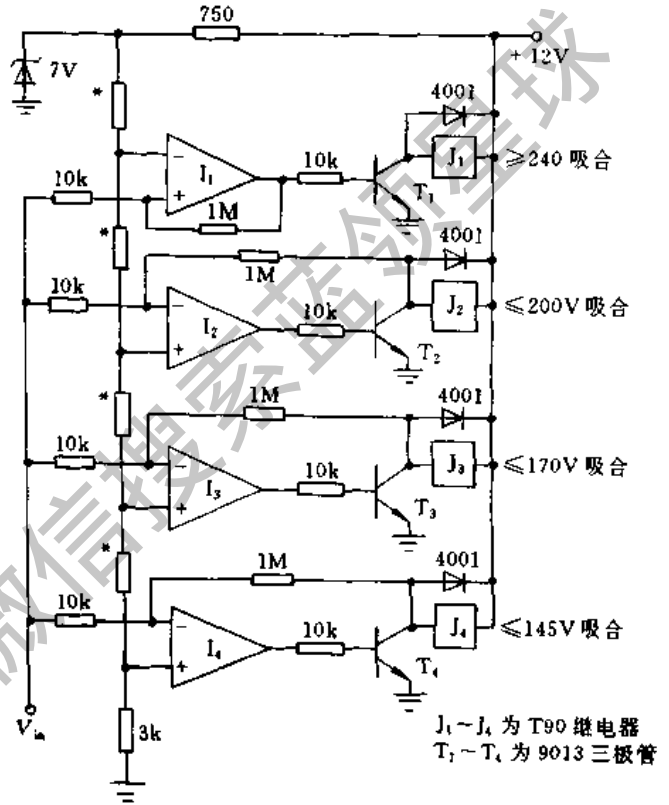


图 6.6.65 变压器抽头式交流稳压器控制回路

压 $U_{出}$ 不变。

同样当 $U_{补}$ 与 $U_{入}$ 反相位时, 输出电压 $U_{出}$ 为:

$$U_{出} = U_{入} - U_{补}$$

同样原理, 当输入电压 $U_{入}$ 高于额定值时, $U_{入}$ 与 $U_{出}$ 的差值只要有等值的 $U_{补}$ 来反相补偿, 即可以保持 $U_{出}$ 不变。

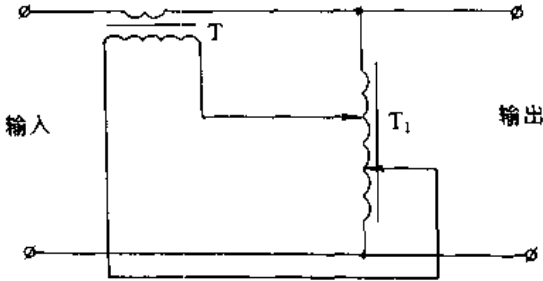


图 6.6.67 单相补偿式交流稳压器主回路图

图 6.6.67 是单相补偿式交流稳压器主回路图。图中 T 为补偿变压器, T_1 为自耦式调节变压器。 T_1 自耦式调节变压器上有二个滑动炭刷, 电压取样电路根据输入电压的大小, 通过控制电路驱动伺服电机, 由传动机构带动二个滑动炭刷运动, 在 T_1 自耦式调节变压器上取得不同的补偿电压 $U_{补}$ 和电压相位。当二个滑动炭刷运动到电压补偿值加上输入电压值等于额定电压 (或设定电压) 时, 伺服电机才停止运转, 保持输出电压稳定。图 6.6.68 是单相补偿式交流稳压器炭刷触点位置图。从图中可以看到, 当输出电压低于额定电压时, 炭刷触点 A 向上运动, 炭刷触点 B 向下运动, 补偿变压器 T 得到正补偿, 输出电压将增大, 待输出电压 $U_{出}$ 达到额定值

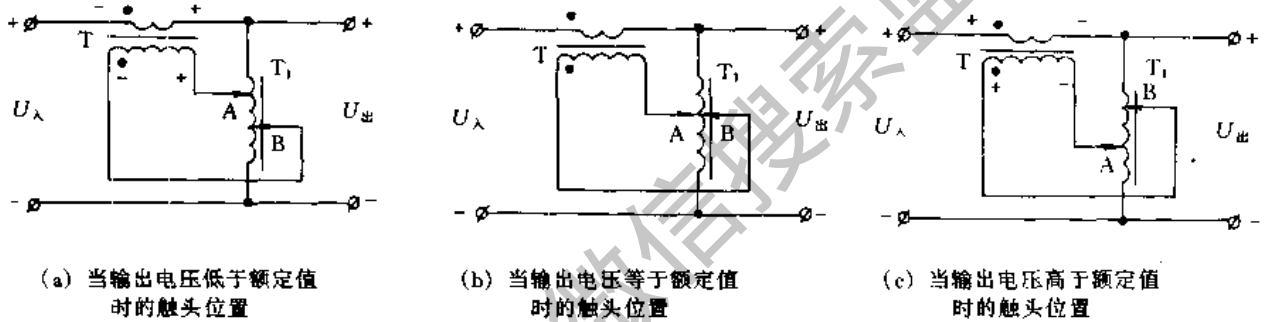


图 6.6.68 单相补偿式交流稳压器触点位置图

时, 伺服电机停转, 炭刷触点 A 和 B 停止运动, 输出电压稳定在额定值。当输出电压等于额定电压时, 炭刷触点 A 和 B 在同一位置, 补偿变压器 T 为零补偿, 同时由炭刷触点 A 和 B 将补偿变压器 T 初级短接, 次级的交流感抗为零, 因此输出电压 $U_{出}$ 等于输入电压 $U_{入}$ 。当输出电压高于额定电压时, 炭刷触点 A 向下运动, 炭刷触点 B 向上运动, 补偿变压器 T 得到负补偿, 输出电压将减小, 待输出电压 $U_{出}$ 达到额定值时, 伺服电机停转, 输出电压稳定在额定值。

图 6.6.69 是三相补偿式交流稳压器主回路图。A、B、C 表示三相电源的输入相线, A'、B'、C' 表示三相电源的输出相线, N 为零线。从图中可以看出, 三相补偿式交流稳压器内部是由三只单相补偿式交流稳压器组成。

由于补偿式交流稳压器主回路的工作原理是输入电压叠加补偿电压, 因此并不会引起输出电压波形的畸变, 所以这种交流稳压器的输出电压波形是良好的, 不会产生附加失真。

(2) 补偿式大功率电力稳压器控制回路的工作原理 图 6.6.70 是补偿式大功率电力稳压器控制回路框图。取样电压经比较器比较后, 再经延时电路的延时, 最后进入执行机构。执行机构是由一只可逆伺服电机, 经减速后带动链条传动机构, 再带动自耦式调节变压器上滑动炭刷 A 和 B。

控制回路还装有过压保护电路和故障自停电路。当检测到的电压高于设定值时, 自耦式调节变压器上滑动炭刷 A 和

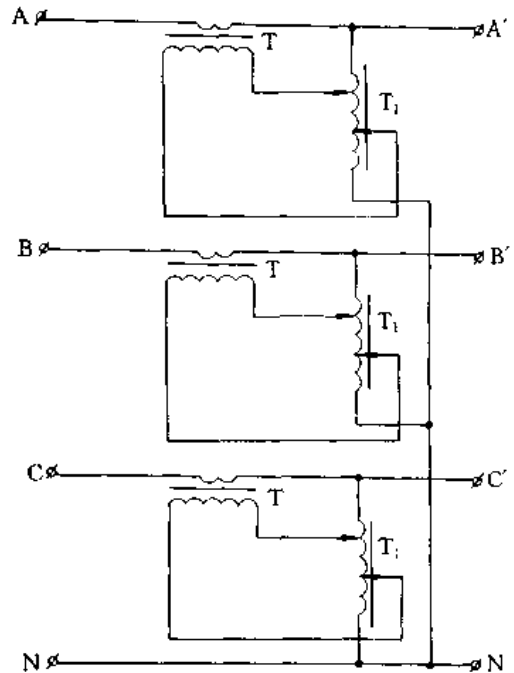


图 6.6.69 三相补偿式交流稳压器主回路图

B 应进行调整滑动, 如果由于伺服电机、传动机构等发生故障, 电压不能调整时, 则延时 6s 后自动停机。当输入电压高于稳压器输入电压范围 20% (456V) 时, 由于超出调整系统范围, 这时即过压, 待延时 6s 后自动停机。

三相补偿式大功率电力稳压器的控制回路还装有断相保护电路。

(3) 补偿式大功率电力稳压器品种规格和主要技术指标

- a. 输入三相电压: $380V \pm 20\%$ 。
- b. 输出电压调节范围: $\pm 10V$ 。
- c. 稳压精度: 1% ~ 5% 可调。
- d. 响应时间: 相对输入线电压变动 20V 时 $< 0.8s$ 。
- e. 不产生附加波形失真。
- f. 输出和输入电压相位不产生相移。
- g. 效率: $> 98\%$ 。
- h. 具有过压保护、断相保护及故障自动停机装置。
- i. 系列规格见表 6.6.48。

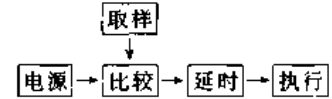


图 6.6.70 控制回路框图

表 6.6.48 SJW-B 型三相补偿式大功率电力稳压器系列规格表

容量/kVA	15	20	30	50	100	150	180	200	225
重量/kg	200	220	260	300	400	550	590	620	650
容量/kVA	300	320	400	450	500	600	800	1000	
重量/kg	750	780	1000	1200	620×3	800×3	950×3	1100×3	

注: 容量 500、600、800、1000kVA 为三柜。

6. 正弦能量分配型交流稳压器

正弦能量分配型交流稳压器是 80 年代后期在市场上出现的一种新型交流稳压电源。其工作原理既不同于磁放大器式电子交流稳压器, 又不同于一般补偿式稳压器, 采用了一种电源调节的新技术, 因此当时称为交流电源调节器。该交流稳压器利用半导体功率器件 (一般均采用双向可控硅器件) 调节回路电流, 改变电感线圈的电感量, 对正弦能量的储存或释放进行分配, 所以称之为正弦能量分配型交流稳压器。

这种交流稳压器以正弦能量分配器为核心, 既具有高效率连续调节的稳压功能, 又具有很宽频带的抗干扰能力。由于主回路中无饱和工作的电抗器和滑动炭刷的调压器, 因此波形失真小, 稳压精度高, 应变时间快, 效率高, 可靠性又好, 因此许多厂家将此类稳压器称为净化型交流稳压器。

(1) 正弦能量分配型交流稳压器主回路工作原理 正弦能量分配型交流稳压器的主回路见图 6.6.71。L₁ 为一自耦变压器形式的电感线圈, L₁ 的铁芯带有气隙, 是一个线性电感。L₂ 也是一个线性电感, 它与双向可控硅 T 串联, 通过控制双向可控硅 T 的导通电流大小, 使 L₂ 成为一个可变的线性电感。电感 L₂ 与双向可控硅串联后又与 C₁ 组成一个并联谐振回路, 其等效可变阻抗为 x。

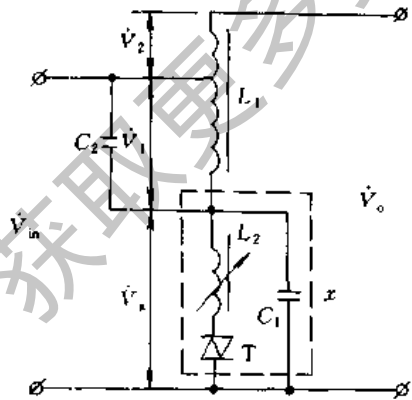


图 6.6.71 主回路原理图

由主回路可知:

$$\begin{aligned} V_{in} &= V_1 + V_x \\ V_o &= V_{in} + V_2 \end{aligned}$$

要使输出电压 V_o 保持稳定不变, 必须使 L₁ 次级电压 V_2 的相位可改变 180°。当输入电压 V_{in} 低于输出电压 V_o 时, 使 L₁ 次级电压 V_2 与输入电压 V_{in} 顺向串联, 输出电压 V_o 高于 V_{in} , 即实现了升压。当输入电压 V_{in} 高于输出电压 V_o 时, 使 L₁ 次级电压 V_2 的相位反转, 与输入电压 V_{in} 反向串联, 使输出电压 V_o 低于 V_{in} , 即实现了降压。

L₁ 次级电压 V_2 相位的改变, 主要是由双向可控硅 T 的导通电流来决定的。

a. 升压情况。当可控硅的导通角较大时, 电感 L₂ 中的电流较大, 它与 C₁ 组成的并联谐振回路, 其等效可变阻抗 x 呈现感性, 如图 6.6.72 中 (a) 所示。该等效电感 L_x 与 L₁ 初级回路等效电感串联, 此时, L₁ 初级电压 V₁ 的极性与输入电压 V_{in} 的相位相同, L₁ 次级电压 V₂ 与输入电压 V_{in} 顺向串联, 见图 6.6.73 中 (a) 所示,

使稳压器的输出电压 \dot{V}_o 高于输入电压 \dot{V}_m ，实现了升压。

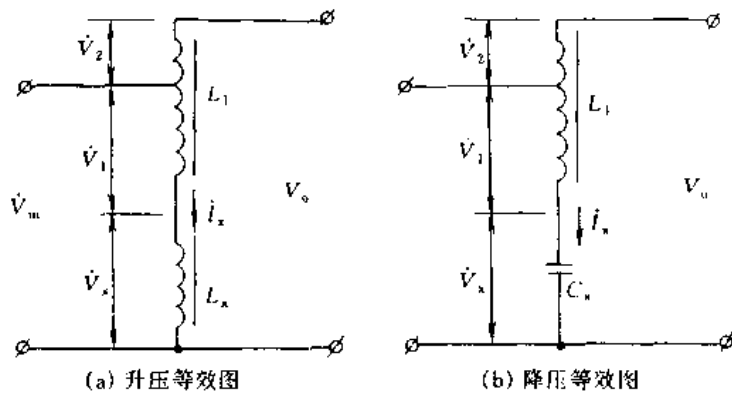


图 6.6.72 主回路的等效图

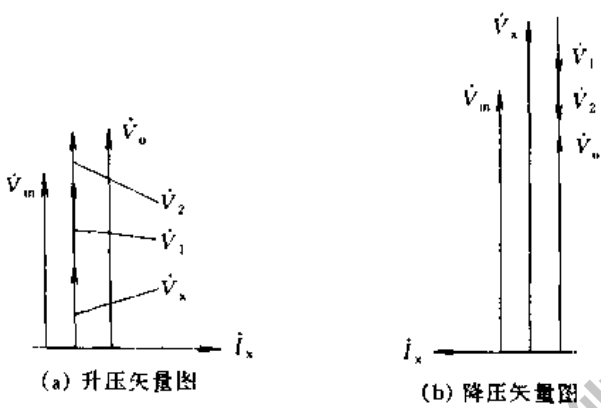


图 6.6.73 主回路矢量图

b. 降压情况。当可控硅的导通角趋向于零时，电感 L_2 中的电流也趋向于零。此时电感 L_2 中的电流远远小于电容 C_1 中的电流，其等效可变阻抗 x 呈现容性，如图 6.6.72 中 (b) 所示。该等效电容 C_x 与 L_1 初级回路等效电感串联， L_1 初级电压 V_1 的极性与输入电压 V_m 的相位相反， L_1 次级电压 V_2 与输入电压 V_m 反向串联，见图 6.6.73 中 (b) 所示，使稳压器的输出电压 V_o 低于输入电压 V_m ，实现了降压。

c. 无升降压情况。无升降压情况事实上仅存在于一个点上，即输入电压 V_m 等于输出电压 V_o 时。例如当输入电压 V_m 等于 220V 时，可控硅的导通角使 V_x 也正好等于 220V，对于 L_1 初级绕组来讲电压降为零，因此可以认为 L_1 次级绕组电压也为零，此时输出电压 V_o 等于输入电压 V_m 。

(2) 正弦能量分配型交流稳压器控制电路工作原理 从以上主回路的工作原理可以知道，正弦能量分配型交流稳压器控制电路的目的是根据输出电压的大小控制可控硅的导通状态。为了提高稳压精度，常采用有反馈控制的闭环系统。图 6.6.74 是目前常用的一种控制电路。10V 交流取样电压来自稳压器输出端的电源变压器次

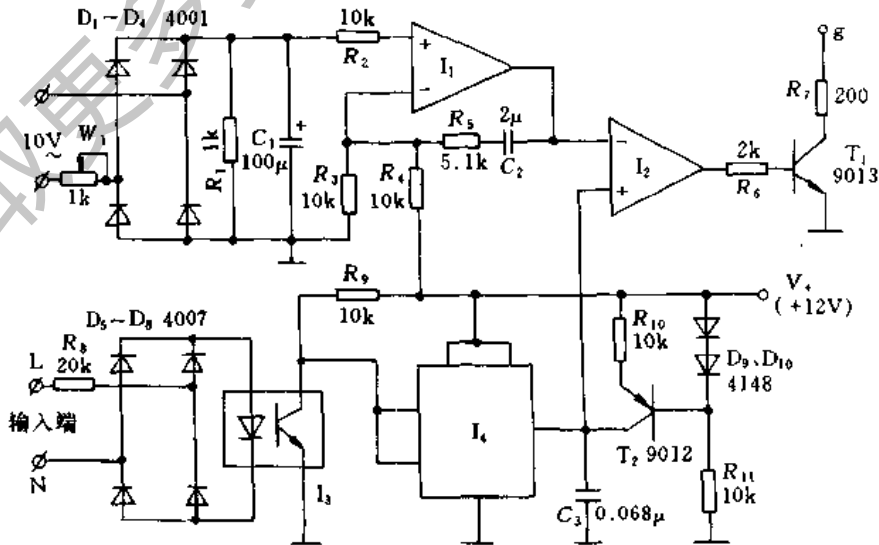


图 6.6.74 控制电路图

级绕组。 W_1 $1k\Omega$ 电位器调节取样电压,即可调整稳压器输出电压的大小。 $10V$ 交流取样电压由 $D_1 \sim D_4$ 整流后,经 C_1 滤波,取样信号进入运放比较器 I_1 的“+”输入端, I_1 的“-”输入端为 $6V$ 基准电压。 I_1 的输出端经 C_2 $2\mu F$ 电容和 R_5 $5.1k\Omega$ 电阻组成的反馈电路,输出一个与输入电压变化成正比关系的直流电压。

可控硅触发脉冲的过零同步信号来自稳压器的输入端(有的稳压器取自 V_x 两端,见图 6.6.71),经 $D_5 \sim D_8$ 整流后,进入光耦隔离电路 I_3 。由 I_4 555 电路和 T_2 三极管组成一个锯齿波发生器,该锯齿波与电网电压的过零信号同步。运放比较器 I_2 将来自 I_1 的直流电压和来自 I_4 的锯齿波电压合成后, I_2 输出为连续的脉宽调制电压,该电压经 T_1 三极管放大后控制双向可控硅 T 的控制极 g 。

双向可控硅导通状态由控制极 g 的触发脉宽来控制,而触发脉宽的大小由稳压器输出电压的高低来决定:当稳压器输出电压高于 $220V$ 额定值时,比较器 I_1 输出直流电压上升,比较器 I_2 输出脉宽变窄,双向可控硅导通变小, L_2 电感线圈中的电流变小,稳压器的输出电压将下降,直至输出电压稳定到 $220V$ 额定值时,整个自动调整过程才停止,稳压器的输出电压保持稳定状态。反之,当稳压器输出电压低于 $220V$ 额定值时,稳压器内部的控制电路发生与上述相反的控制过程,同样使稳压器输出电压保持稳定状态。

(3) 正弦能量分配型交流稳压器主要技术指标

- a. 输入电压范围: $185 \sim 250V$ 。
- b. 容量: $1kVA$ 、 $2kVA$ 、 $3kVA$ 、 $5kVA$ 、 $10kVA$ 。
- c. 源电压效应: $\pm 0.5\%$ 。
- d. 负载效应: $\pm 1\%$ 。
- e. 应变时间: $20 \sim 40ms$ 。
- f. 效率: $\geq 90\%$ 。
- g. 波形失真: $\leq 5\%$ 。
- h. 尖峰抑制: $4kV$ 常模,输出小于 $44V$ (相线对零线)。

正弦能量分配型交流稳压器的故障与维修 正弦能量分配型交流稳压器由于控制线路较为简单,故障率较低,一般常见故障有以下三种。

① 稳压器输出电压超过 $250V$,调节“电压调节”电位器不起作用,一般故障原因有:

- a. 双向可控硅击穿短路;
- b. 电源变压器损坏,无 $10V$ 的交流取样电压;
- c. 输出电压调节电位器断路;
- d. T_1 三极管击穿短路(见图 6.6.74);
- e. I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 集成电路损坏(见图 6.6.74);
- f. 与双向可控硅与 L_2 并联的 C_1 电容器击穿短路(见图 6.6.71)。

② 稳压器输出电压低于 $200V$,调节“电压调节”电位器不起作用。

这种故障与输出电压超过 $250V$ 的现象相反,一般故障有:

- a. 双向可控硅击穿开路;
- b. 电源变压器损坏,无控制电路的工作电压,一般为直流 $12V$ 或直流 $5V$ 电压;
- c. 控制电路工作的直流 $12V$ (或直流 $5V$) 稳压集成电路损坏,或整流二极管损坏,滤波电容短路等;
- d. 三极管 T_1 击穿开路(见图 6.6.74);
- e. I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 集成电路损坏(见图 6.6.74)。

③ 稳压器输出电压脉动。

如果稳压器一直工作正常,突然出现输出电压脉动现象,故障可能有:

- a. 与双向可控硅与 L_2 并联的 C_1 电容器容量明显变小(见图 6.6.71);
- b. 来自输入端同步电压的 $D_5 \sim D_8$ 整流二极管损坏(见图 6.6.74);
- c. 光耦隔离集成电路 I_3 和 555 集成电路 I_4 损坏(见图 6.6.74);
- d. 取样电压的滤波电容器 C_1 容量明显减小(见图 6.6.74)。

应该注意的是,稳压器输出电压脉动与负载有密切关系,如果负载为容量较大的开关电源、采用相移的可控硅负载或采用高频脉宽调制的负载,很容易产生输出电压脉动现象,这也是正弦能量分配型交流稳压器的一个不足之处。检查的方法很简单,只要将稳压器的输出负载改接电阻性负载,若稳压器输出电压正常,一般可断定为负载影响。

另外,由于正弦能量分配型交流稳压器的输入源电流谐波含量比其他交流稳压器大(这也是一个不足之处),在同一根相线上接上多台正弦能量分配型交流稳压器,往往会产生输入的相互干扰,使稳压器输出电压产生脉动现象。解决的办法可将多台稳压器分接在三根相线上,一方面解决三相供电平衡问题,另一方面也可解决输出电压脉动现象。

二、常用交流稳压电源的选用

用户在选用交流稳压电源时,首先应选择交流稳压电源的类型。选择何种类型的交流稳压电源时,可以从性能和价格两方面来考虑,应了解稳压器所接负载的性质、容量的大小,和当地电网的条件等基本情况。表 6.6.49 列出了常用交流稳压电源的主要性能特点和相应的缺点。

表 6.6.49 常用交流稳压电源性能对比表

类型	适用电网	主要性能特点	相应缺点	容量范围	主要负载对象
铁磁谐振型交流稳压电源	饱和和交流稳压器	① 结构简单,可靠性高 ② 输入电压范围较宽,可达 $220V \pm 15\%$ ~ $\pm 20\%$ ③ 输出电压精度一般为 $\pm 2\% \sim \pm 5\%$ ④ 维修方便 ⑤ 具有一般的抗干扰能力	① 供电电网频率对输出电压影响较大 ② 输出电压失真较大,可达 10% 以上 ③ 感性、容性负载适应性差 ④ 功率重量比、功率体积比高 ⑤ 变压器温升较高 ⑥ 噪声较大	100VA ~ 5kVA	电压失真要求不高的一般性电器设备或仪器
	稳压变压器 参数稳压器	① 结构简单,可靠性高 ② 输入电压范围可达 $\pm 20\%$,轻载时输入电压范围更宽 ③ 具有电压精度补偿功能的稳压器,输出电压精度可达 $\pm 1.5\%$ ④ 具有波形补偿功能的稳压器,输出电压波形失真 $\leq 5\%$,甚至方波输入,输出也为正弦波 ⑤ 应变时间较快,一般为 10 ~ 40ms ⑥ 输入、输出电压隔离 ⑦ 抗干扰能力良好 ⑧ 输入电压和输出电压可根据用户需要制造,具有变压器的功能 ⑨ 具有过功率、短路自动保护功能 ⑩ 能长期可靠运行	① 价格相应较高 ② 功率重量比、功率体积比较高 ③ 供电电网频率对输出电压影响较大 ④ 感性、容性负载适应性差 ⑤ 变压器温升较高 ⑥ 5kVA 以上稳压器噪声较大	单相 100VA ~ 15kVA 三相 300VA ~ 45kVA	① 对可靠性要求特别高的负载 ② 对抗干扰性能有很高要求的负载 ③ 对输入电压要求较宽的负载
磁放大器式大整式稳压器	单相或三相	① 源电压效应、负载效应精度高 ② 输出电压波形失真 $\leq 5\%$ ③ 供电电网频率对输出电压影响较小	① 感性、容性负载适应性差 ② 应变时间较长,可达 0.5s ③ 电子管控制的电子交流稳压器可靠性较差	单相: 0.5 ~ 15kVA 三相: 1.5 ~ 30kVA	① 稳压精度要求高的仪器设备 ② 一般性电器设备
自调式动式交流稳压器	单相或三相	① 输入电压范围为 $\pm 15\%$ ~ $\pm 25\%$ ② 感性、容性负载均能适应 ③ 输入电压和输出电压相位不产生相移 ④ 输出电压波形不产生附加失真	① 应变时间长 ② 滑动炭刷在调整时有电火花产生 ③ 滑动炭刷接触的线圈表面易产生接触不良故障 ④ 传动齿轮易磨损	单相: 0.5 ~ 10kVA 三相: 1.5 ~ 15kVA	① 常作为家用稳压电源,对家用电器设备进行稳压 ② 工业上要求不高的一般性电器设备
变抽式压头交流稳压器	单相或三相	① 输入电压范围可达 $\pm 20\%$ ~ $\pm 35\%$ ② 感性、容性负载均能适应 ③ 输入电压和输出电压相位不产生相移 ④ 输出电压波形不产生附加失真	① 应变时间长 ② 继电器触点跳动时有电火花产生 ③ 继电器触点在超载时很容易损坏 ④ 输出电压精度差,一般为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ ⑤ 输出电压在工作时会产生突变现象	单相: 0.2 ~ 10kVA 三相: 3 ~ 15kVA	① 单相主要作为家用稳压电源、空调稳压电源 ② 三相主要为三相空调稳压器

续表

类型	适用电网	主要性能特点	相应缺点	容量范围	主要负载对象
补偿式大功率电力稳压器	单相或三相	① 容量大,体积小,重量轻 ② 输入电压范围可达 $\pm 20\%$ ③ 感性、容性负载均能适应 ④ 输出电压波形不产生附加失真 ⑤ 输入电压和输出电压相位不产生相移	① 应变时间长 ② 滑动炭刷在调整时有电火花产生 ③ 滑动炭刷接触的线圈表面易产生接触不良故障 ④ 传动机构应定期加油和保养	单相: 7.5~20kVA 三相: 30~3000kVA	① 区域性(如整个车间、整条生产线)使用 ② 三相大功率设备
正弦能量分配型交流稳压器	单相或三相	① 输入电压范围 $\pm 15\%$ ② 源电压效应、负载效应精度较高 ③ 具有抗干扰作用,特别是对尖峰干扰有强力的衰减作用 ④ 输出电压失真 $\leq 5\%$ ⑤ 重量轻,体积小 ⑥ 应变时间较快,一般为20~60ms ⑦ 综合性能价格比较好	① 输入源电流失真较大 ② 对开关电源负载易产生输出电压脉动现象	单相: 0.5~20kVA 三相: 3~30kVA	① 对抗干扰性能有较高要求的负载 ② 对稳压精度要求较高的仪器设备 ③ 一般性电器设备

交流稳压器的类型确定以后,接下来就应该合理选择适当的规格品种,即选择交流稳压器的容量。在选择稳压器容量时应注意以下几点。

① 根据负载的容量,应适当留有余量。如果稳压器的容量选得太小,容易产生超载现象,稳压器的使用寿命和性能指标将会受到影响。反之,如果稳压器的容量选得太大,除了稳压器自身设备费用浪费外,还会因稳压器的自耗增大(一般稳压器输出容量越大,自耗越大)而浪费电能。

② 如果用户要求稳压器的输入电压范围较宽,如输入电压下限要求达到160V以下,除了选择输入电压范围宽的稳压器类型外,还可以选择较大容量的稳压器来达到这一目的。如参数稳压器和稳压变压器这一类稳压电源,当负载为稳压器输出容量50%时,输入电压下限可以达到150V以下。

③ 有些类型的交流稳压器是不适宜带感性或容性负载的,但由于某些性能指标必须选用这种类型交流稳压器时,必须增大稳压器的容量选择。即采用大容量的稳压器带小容量的感性或容性负载。使用时还可以并联电阻性负载,以提高负载总的功率因数。

④ 有些类型的交流稳压器是可以带感性或容量负载的,但应考虑到稳压器开机或工作时,感性或容量负载会产生很大的冲击电流,同时还应考虑到带滑动炭刷或继电器触点转接的稳压器在工作时会产生较大的电火花,因此在选用稳压器容量时也必须留有一定的余量。

⑤ 交流稳压器的输出一般都不允许并联使用,这是因为稳压器的内阻不同,并联使用时,稳压器承担的负载不会平衡,很快会烧毁稳压器。有的交流稳压器工作时,输入电压与输出电压间的相位角也不完全相同,一旦并联使用,稳压器内部会产生短路电流,而很快损坏稳压器。

但稳压变压器由于自身的特点可以并联运行,并联运行的稳压变压器必须型号规格相同,输出电压基本一致,并联的数量不能超过3台。

⑥ 有些用户用一台大功率稳压器带许多负载一起使用,这在一般要求不高的场合是完全可行的。但对于抗干扰要求较高的仪器设备,如计算机、带微处理器的高档仪器设备,最好采用一台抗干扰型稳压器带一台负载的使用方法。这是因为一台稳压器带多台负载使用时,虽然输入电网的干扰可以隔离和衰减,但对于输出端多台负载之间的互相干扰是不能隔离的。特别是大容量感性负载的开关会产生尖峰干扰脉冲,对并联在同一台稳压器输出端的小容量负载极易造成损害。

第七篇 高压电器

第一章 概 述

第一节 高压电器的定义、分类和用途

一、定义

高压电器是指额定工作电压在 3000V^① 以上的电器，一般都在电力线路上运行，为远距离传输电能及近距离配电而工作。高压电器对于电力系统的稳定可靠和连续运行起着十分重要的作用。

二、分类

以高压电器的作用原理、工作特点可分为以下几类。

(1) 高压断路器 在电力系统正常运行和故障状态下，能分合各种性能的电流，特别是能通过继电保护或智能化元件的信号，迅速有效地排除电力系统中的短路等故障。

(2) 隔离开关 为保证线路检修、电气设备和人身安全，建立可见的绝缘隔离，通过隔离开关进行线路切换，增加线路网络的灵活性。

(3) 负荷开关 用来切断或接通线路上的额定负载电流，并可建立可见的绝缘隔离。此外，利用负荷开关与熔断器的组合，可组成组合电器，完成切断短路电流的任务。

(4) 熔断器 根据熔断器熔管内的熔丝因高温发热而被熔断的原理，切断电力线路的过载和短路电流。

(5) 避雷器 为了使电力线路及其在线路上运行的电气设备的绝缘不受损害，限制线路上的过电压，通过避雷器将线路上的过电压旁路引入大地，使电力线路与电器设备避免遭到过电压的侵袭和破坏。

(6) 电压互感器、电流互感器 通过电磁耦合原理变换电路中的电压与电流值，用其二次信号供给测量仪表或继电器，使其与高压侧隔离，并使变换后的仪表与继电器的参数规格标准化。

(7) 限流电抗器 在输电线路中串联限流电抗器后，可以防止线路上短路故障的扩大，在短路故障发生的瞬间，限制短路电流。此外，在一定程度上保护非故障段的线路和电器，并可继续用电。

(8) 高压并联电容器 在电力系统中，为了降低感性负载带来的线路损耗和电能传输损失，必须用并联电容器对电网的无功功率进行补偿，以提高电网的功率因数和保证电网的质量。

(9) 组合电器和成套电器 组合电器是将两种或两种以上的高压电器，按电力系统主接线组成一个整体，而各电器仍保持原规定性能的装置。

成套电器，按规范和标准系列要求装配成一个整体，使其各项电器在不改变原有规定性能的基础上，还可完成许多成套和系统性能的装置。

(10) 其他高压电器 如重合器、分断器、柱上开关、铁道专用高压电器等。

三、用途

高压电器是在高压线路中用来实现关合、开断、保护、控制、调节和量测作用的电器设备。

第二节 高压电器的主要技术参数

1. 额定电压 U_n/kV (有效值)

额定电压指的是采用的标称电压。对于三极电器是指其极间电压。见表 7.1.1。

表 7.1.1 高压电器的额定电压和最高工作电压

额定电压/kV	3	6	10	15	20	35	63	110	154	220	330	500
最高工作电压/kV	3.5	6.9	11.5	17.5	23	40.5	69	126	177	252	363	550

① 也有资料说明，以 1000V 为界与低压进行区分。

2. 最高工作电压 U_m/kV (有效值)

电网在运行中,可容许有一定的波动范围,因此,我国国家标准中规定了电网上能长期工作的最高工作电压。见表 7.1.1。

3. 额定电流 I_n/A (有效值)

额定电流是高压电器在额定电压、额定频率下能长期工作的电流,是高压电器金属导电部分和绝缘部分的温升不超过允许温升的最大标称电流。

对常用的开关按国家标准,其额定电流有下列几种(A): 200, 400, 630, (800), 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 6300, 8000, 10000 等。

对高压电流互感器,其额定一次电流(A)有: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 7500, 10000 等。

4. 额定绝缘水平 (kV)

表征产品绝缘耐受能力的一组电压值,对于 330kV 及以上产品,为额定操作和雷电冲击耐受电压;对于 330kV 以下产品,为额定雷电冲击和短时工频耐受电压。见表 7.1.2 至表 7.1.4。

表 7.1.2 330~500kV 输变电设备操作冲击耐受电压

额定电压 ^① (有效值)	最高电压 (有效值)	内、外绝缘(干试与湿试) 耐受电压(峰值)		额定电压 ^① (有效值)	最高电压 (有效值)	内、外绝缘(干试与湿试) 耐受电压(峰值)	
		母线支柱绝缘子	其他设备			母线支柱绝缘子	其他设备
/kV		/kV		/kV		/kV	
330	363	850	850	500	550	1175	1050
		950	950			1240	1175

① 对每一额定电压,有两种操作冲击耐受电压可供选择。

表 7.1.3 3~500kV 输变电设备的雷电冲击耐受电压

额定电压 (有效值)	最高电压 (有效值)	标准雷电冲击全波(内、外绝缘)		标准雷电冲击截波
		电压互感器 耐受电压(峰值)	高压电器、母线支持绝缘子、 穿墙套管耐受电压(峰值)	电流和电压互感器的内绝缘 耐受电压(峰值)
/kV		/kV		
3	3.5	40	40	45
6	6.9	60	60	65
10	11.5	75	75	85
15	17.5	105	105	115
20	23.0	125	125	140
35	40.5	185/200*	185	220
63	69.0	325	325	360
110	126.0	450/480*	450	530
220	252.0	850	850	935
		950	950	1050
		1175	1050	1175
330	363.0	1300	1175	1300
		1550	1425	1550
		1675	1675	1675

注:带“*”的数值用于其内绝缘。

表 7.1.4 3~500kV 输变电设备的 1min 工频耐受电压 (有效值) /kV

额定电压	最高电压	高压电器、电压互感器和穿墙套管	母线支柱绝缘子	
		内外绝缘 (干试与湿试)	湿试	干式
3	3.5	18	18	25
6	6.9	23	23	32
10	11.5	30	30	42
15	17.5	40	40	57
20	23.0	50	50	68
35	40.5	80	80	100
63	69.0	140	140	165
110	126.0	185/200*	200	265
220	252.0	360	360	450
		395	395	495
330	363.0	460	—	—
		510	—	—
		630	—	—
550	550.0	680	—	—
		740	—	—
		—	—	—

注: 1. 对额定电压等于和大于 220kV 的高压电器, 有两种或三种耐受电压可供选择。

2. 带 “*” 的数值仅用于电磁式电压互感器的内绝缘。

5. 额定短路开断电流 I_{rb}/kA

在规定条件下, 开关能开断的最大短路电流有效值。

6. 额定短路关合电流 I_{nk}/kA

在规定条件下, 开关能顺利关合的最大短路电流峰值。

7. 额定短时耐受电流 I_{th}/kA

额定短时耐受电流也称热稳定电流, 是在规定的使用和性能条件下, 在确定的时间内, 高压电器的闭合回路能承受的电流值。

有时因试验条件限制或其他原因, 对通电时间可进行有效换算:

$$I_{th1}^2 t_1 = I_{th2}^2 t_2$$

式中 I_{th1} , t_1 ——换算前测定的参数;

I_{th2} , t_2 ——换算后的电路参数。

8. 额定峰值耐受电流 I_{dyn}/kA

高压电器在闭合位置能承载的峰值电流。

9. 额定短时耐受时间 t/s

高压电器在闭合位置能通过额定短时耐受电流的时间。

第三节 操动机构

操动机构是高压开关设备不可缺少的重要组成部分, 其作用是使开关设备准确地合闸、分闸。其中以断路器用操动机构的技术要求最高, 它不仅要保证断路器准确无误地开断和关合短路电流, 而且要可靠地保持在分闸或合闸的位置上, 还要完成快速自动重合闸操作, 具备防跳跃、自动复位和闭锁功能。断路器操动机构的特点是操作功率大, 结构复杂, 传动速度快, 动作过程快。而隔离开关要求与线路可靠接通或安全隔离, 隔离开关的导电回路及运动部分不能承受较大的冲击力。因此, 隔离开关操动机构的特点是结构简单, 没有脱扣等环节, 操动功率小, 动作平稳, 运动速度慢, 动作过程时间较长 (几秒至十几秒)。

一、操动机构类型、原理及特点 (见表 7.1.5)

表 7.1.5 高压开关操动机构类型

类别	操动原理	特点	适用范围
手动	人力直接驱动开关合闸, 人力或储能弹簧分闸	简单, 价廉, 无需附属设备。操作性能与操作者的技巧、情绪及体力有关。不能遥控合闸及自动重合闸	配负荷开关及隔离开关, 不能用于断路器的操作
手力储能	人力使弹簧储能, 待弹簧过中后使开关合闸 (无合闸保持装置), 弹簧分闸	简单, 价廉, 但比手动操动机构要复杂一些。操作性能与操作者的技巧、情绪及体力无关。不能遥控合闸及自动重合闸	配中压小容量断路器及负荷开关
电动机	电动机经减速装置带动开关合闸与分闸	交流电源操作, 动作平稳, 速度慢, 但要求电源有一定容量, 并供电可靠	配隔离开关
电磁	直流电源储能, 电磁铁驱动操作杆合闸, 弹簧分闸	可遥控及自动重合闸, 制造和运行经验丰富, 需要大功率直流电源, 增大操作功困难	在有大型直流电源的电站, 供 110kV 及以下断路器用
重锤	重锤自由落下时推动触头合闸	简单, 合闸力矩特性好, 能遥控和自动重合闸, 操作功小, 耗材料多, 尺寸较大	供小容量中压断路器用
弹簧	利用弹簧储能, 驱动触头合闸与分闸	交直流电都可用, 能遥控和快速自动重合闸, 结构紧凑, 但制造要求较高, 增大操作功困难	广泛用于断路器和负荷开关
气动	压缩空气推动活塞, 使开关合闸和分闸 (或储能)	控制方便, 操作功大, 快速, 可遥控和自动重合闸, 可连续多次操作, 但需要压缩空气装置, 噪声大	配各种开关设备
液压	气体储能, 通过液体介质推动活塞使开关合闸与分闸	操作功大, 快速, 平稳, 可遥控和自动重合闸, 结构较复杂, 制造难度较大	配高压和超高压大容量断路器

二、操动机构型号编制方法

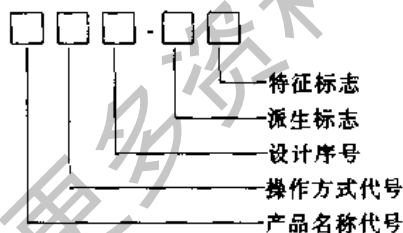
1. 编制原则

① 产品型号中表征产品名称、操作方式等的字母, 按 GB/T 2900.20 确定, 用能够反映上述各项特点的汉字的汉语拼音首位大写字母表示。

② 产品型号中的设计序号, 按产品型号证书发放的先后顺序用阿拉伯数字表示。

③ 派生产品, 加派生标志, 用特定的符号表示。

2. 产品型号组成



产品名称代号: C—“操”动机构。

操作方式代号: S—人“手”力; D—“电”磁式; T—“弹”簧式; Y—“液”压式; J—电动机式; Q—“气”动式; Z—“重”锤式。

设计序号: 通常用 1、2、3……表示。

派生标志: X—“箱”式户外用。

特征标志: G—“改”进型。

举例:

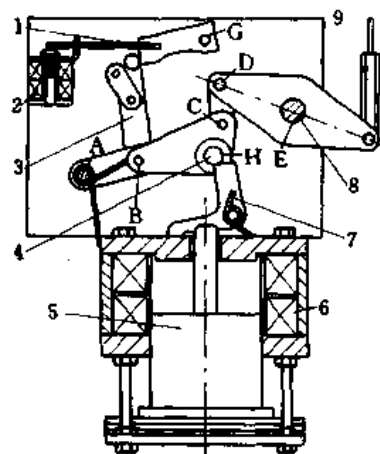
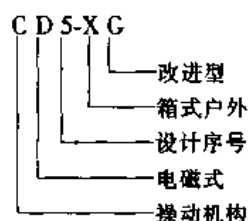


图 7.1.1 直流电磁操动机构原理

1—脱扣板; 2—脱扣器; 3—自由脱扣机构; 4—滚轮; 5—合闸铁芯; 6—合闸线圈; 7—支架; 8—主轴; 9—油断路器

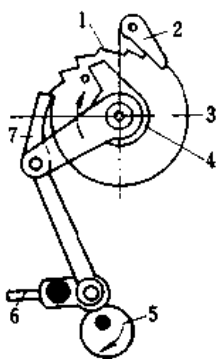
三、操动机构结构原理

1. 直流电磁操动机构

配油断路器的操动机构原理见图 7.1.1。支架支持着滚轮轴，开关处于合闸位置。图中 B 点受脱扣板、连杆和弹簧的制约。合闸时，脱扣器推动脱扣板向上运动，B 点变为活动点。在分闸弹簧力作用下，滚轮脱离支架，D 点跟着逆时针方向转动，带动触头分闸。合闸时，合闸电磁铁铁芯向上运动，推动滚轮上升，带动 D 点作顺时针方向转动，使断路器合闸。

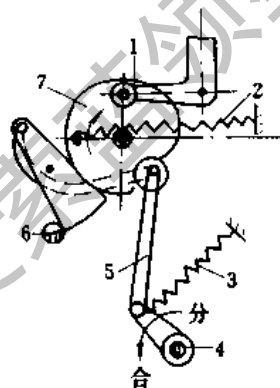
2. 弹簧操动机构

中压系列少油、SF6 和真空断路器广泛采用的 CT8、CT10 型弹簧操动机构原理见图 7.1.2。它可以用电机储能，也可以由手动储能。电机储能时，利用电机上的偏心轮使储能轴和与其联结的凸轮作顺时针方向转动，直至合闸弹簧过中和凸轮上的滚子被圆弧面锁住为止。合闸操作是通过解裂滚子-圆柱面扣接，使储能轴在合闸弹簧力作用下作顺时针方向转动，并通过凸轮四连杆使输出轴作逆时针方向转动，带动断路器合闸。分闸操作是通过解裂半轴扣接，使四连杆的一个临时支点解脱。在分闸弹簧力作用下使输出轴作顺时针方向转动，实现断路器分闸。



(a) 储能机构原理

- 1—棘轮；2—保持棘轮；3—储能轴；4—驱动板；
- 5—电机偏心轮；6—储能手柄；7—驱动棘爪



(b) 分合闸操作原理

- 1—滚子-圆柱扣接；2—合闸弹簧；3—分闸弹簧；
- 4—轴出轴；5—四连杆；6—半轴扣接；7—凸轮

图 7.1.2 弹簧操动机构动作原理示意图

3. 液压操动机构

图 7.1.3 为电动机-液压操动机构原理图。电动机驱动油泵产生的高压油（一般为 2~3MPa）直接推动工作活塞。操作力较小，速度较低，适于隔离开关、接地开关配备。

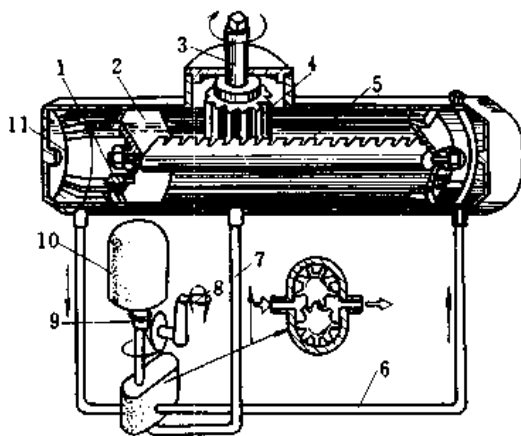


图 7.1.3 电动机-液压操动机构原理图

- 1—逆止阀；2—活塞；3—主轴；4—齿轮；5—齿条；6—主油管；7—泄油回管；8—摇手把；
- 9—伞齿轮；10—电动机；11—油缸

四、操动机构型号及主要技术参数 (见表 7.1.6)

表 7.1.6 操动机构型号及主要技术数据表

名称	型号	主要技术数据	所配产品型号	重量/kg
手动操作机构	CS1-XG	瞬时过电流脱扣器脱扣电流 5~15A, 失压脱扣电压 110、127、220、380、500V	GW5-35GK 等	27
	CS2		FN3-10 等	
	CS3			
	CS4	额定脱扣电压: 直流 24、48、110、220V; 交流 110、127、220V	FN2-10 等	6.8
	CS4-T			7.8
	CS6-2	两种安装方式: 前联接, 后联接	用于操作户内高压隔离开关	5
	CS6-1T			
	CS6-1G			
	CS8-1		GW1-6、10	5
	CS8-2D	两个手柄: 主闸刀, 接地闸刀	GW2-35D	
	CS8-2		GW2-35	
	CS8-5		GW5-35GD	
	CS8-6D	主轴转动 90°, 辅助开关有 4、8 级	GW4-35ID	16
	CS9-G	主轴转动 90°, 辅助开关有 4、8 级		
	CS11-G	主轴转动 90°, 辅助开关有 4、8 级	GW4-35 等	
	CS14G	主轴转动 180°, 辅助开关有 4、8 级	GW4 型隔离开关	10
CS15	脱扣电流 5~15A, 失压脱扣电压 110、220、380V	SN10 系列少油开关		
CS17	主轴转角为 90°	GW5 系列隔离开关		
CS17-II				
CS17G	机构输出转角为 180°, 分为竖直操作和水平操作	GW5 系列		
电动操作机构	CJ2-XG	电动机电压: ~380V, 额定功率 750W; 控制回路电压 ~380V 或 ~220V, 电流 ≤1A	GW5、GW6、GW13 系列隔离开关	
	CJ5	电动机电压: ~380V, 额定功率 550W; 控制回路电压 ~380V 或 ~220V, 电流 ≤1A	GW4、GW5 系列隔离开关	
	CJ6	电动机电压: ~380V, 额定功率 550W; 控制回路电压 ~380V, 电流 ≤1A	GW4、GW5 系列隔离开关	
	CJ9-X	电动机电压: ≈220V, 额定功率 240W 或 360W; 控制回路电压 ≈220V, 电流 0.2A	GW4、GW5 系列隔离开关	
电磁操作机构	CD2-40	直流操作额定电压: 合闸 24、48、110、220V; 分闸 110、220V	SN10-10、LN1-35 等	120
	CD2-40G	直流操作额定电压: 合闸 110、220V; 分闸 24、48、110、220V	ZN-35 等	45
	CD3-XG	合闸线圈: 直流电压 110/220V, 电流 340/170A。分闸线圈: 电压 110/220V、24/48V; 电流 5/2.5A、24/12A	SW2-35 等	330
	CD8-370	合闸线圈: 电压 110/220V, 电流 157/78.5A。分闸线圈: 电压 110/220V, 电流 5/2.5A	SN4 系列	
	CD10 I	合闸线圈: 电压 110/220V, 电流 196/98A。分闸线圈: 电压 110/220V、24/48V, 电流 5/2.5A、37/18.5A	SN10 系列	57
	CD10 II			62
	CD10 III			75
CD14	合闸线圈: 电压 110/220V, 电流 242/121A。分闸线圈: 电压 110/220V、24/48V, 电流 3.2/1.6A、16/8A	SN10-10 等		

续表

名称	型号	主要技术数据	所配产品型号	重量/kg
弹 簧 操 作 机 构	CT2-XG	电动机电压: 直流 110、220V; 交流 220/380V。合闸电压: 直流 24/48V、110/220V; 交流 110、220、380V。脱扣电压: 直流 24/48V、110/220V, 交流 110、127、220、380V	SW2-35	330
	CT7	电动机电压: 交直流 220V。合闸电压: 直流 24/48V、110/220V; 交流 110/220V。脱扣电压: 直流 24/48V、110/220V; 交流 110/220V	SN10-10	60
	CT8	电动机电压: ≈ 110 、 ≈ 220 、 ~ 380 V。合闸电压: ~ 110 、 ~ 220 、 ~ 380 、 -48 、 -110 、 -220 V。脱扣电压: ~ 110 、 ~ 220 、 ~ 380 V	SN10-10	42
	CT10	电动机电压: ≈ 110 、 ≈ 220 、 ≈ 380 V。合闸电压: ~ 110 、 ~ 220 、 ~ 380 、 -48 、 -110 、 -220 V。脱扣电压: ~ 110 、 ~ 220 、 ~ 380 V	SN10-35	

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

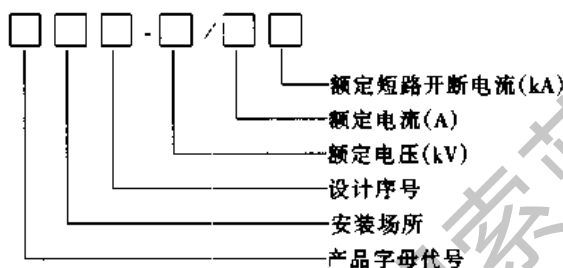
第二章 油断路器

油断路器是用变压器油来熄灭电弧和作为触头间的绝缘介质的断路器。按照绝缘结构的不同，油断路器可分为多油断路器和少油断路器。

多油断路器由于用油多，钢材消耗大，体积笨重，维修复杂，性能落后，存在爆炸和火灾的危险，目前国内已停止发展多油断路器。

少油断路器由于结构简单、制造方便、材料消耗少、性能稳定、运行可靠、耐气候性强、维修简单、价格低廉等优点，在高压开关设备中仍占有一定的地位。随着 SF₆ 断路器、封闭式组合电器和真空断路器的问世，少油断路器的产量正在逐年减少。

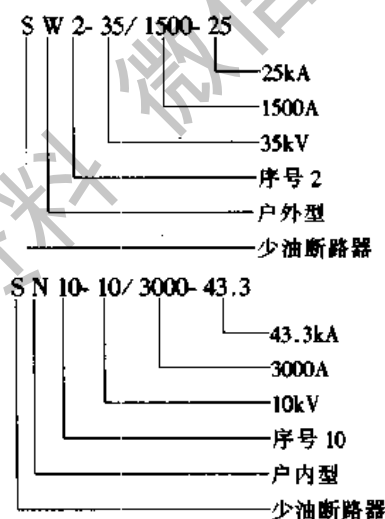
断路器型号如下：



产品字母代号：S—“少”油断路器，D—“多”油断路器。

安装场所：N—户“内”型，W—户“外”型。

举例：



第一节 结构及工作原理

少油断路器主要由基座、绝缘子、传动系统、触头系统、灭弧系统、缓冲器及油面指示器等部分组成。图 7.2.1、图 7.2.2 分别为 SW2-35、SN10-10 型少油断路器结构示意图。

图 7.2.1 所示为断路器合闸位置，电流经由基座 4 上的上接线端 1 通过静触头 3、从动触头 6、中间触头 7 及下接线端 21 流出。当操动机构 12 分闸时，在断路器分闸弹簧的作用下，拐臂 15 作顺时针方向回转，使牵引杆 9 向下运动，断路器分闸。

少油断路器灭弧室是开关的心脏，它的结构形式较多，有纵吹、横吹、纵横吹、环吹和机械油吹等。为了提高开断性能，做到开断空载长线不重燃，一般都需要有较高的分闸速度，还要视不同情况，在触头上或在导电杆下部装压油活塞。

1. 纵吹灭弧室原理

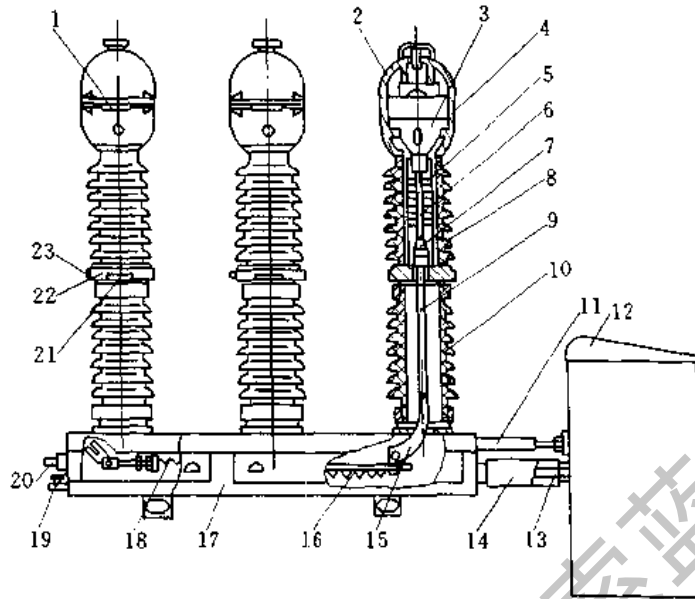


图 7.2.1 SW2-35N/1600-25 断路器结构示意图

- 1—上接线端；2—帽子；3—静触头；4—基座；5—灭弧室；6—从动触头；7—中间触头；
 8—上套管；9—牵引杆；10—下套管；11—撑紧螺栓；12—操动机构；13—水平拉杆；
 14—罩壳；15—拐臂；16—分闸弹簧；17—基座；18—刚分弹簧；19—大放油阀；
 20—缓冲器；21—下接线端；22—中间法兰；23—小放油阀

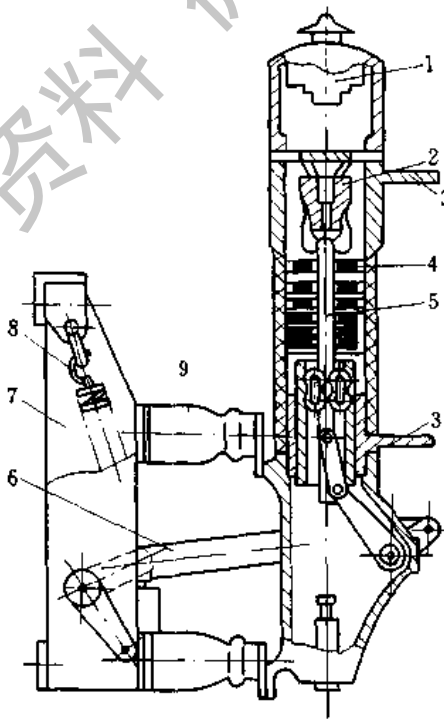


图 7.2.2 SN10-10 型少油断路器结构示意图

- 1—油气分离器；2—静触头；3—接线端子；4—灭弧室；5—导电杆；6—绝缘拉杆；
 7—支架；8—分闸弹簧；9—支持瓷瓶

图 7.2.3 为 35kV 少油断路器的纵吹灭弧室。灭弧室由六块灭弧片组成，灭弧片采用了性能优良的耐弧材料制成，各灭弧片之间隔开一定距离形成油囊。灭弧室上部为静触头 1，动触头 5（导电杆）向下运动，触头分开后产生电弧，电弧使油蒸发和分解出大量气体。随着动触头向下运动，高压气体通过灭弧片中间的圆孔向上对电弧进行纵吹。当动、静触头拉开的距离足够大时，电弧距离被拉长并被放油、气混合气体冷却，从而熄灭电弧。

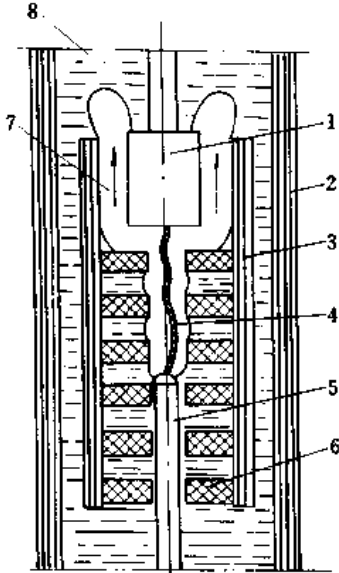
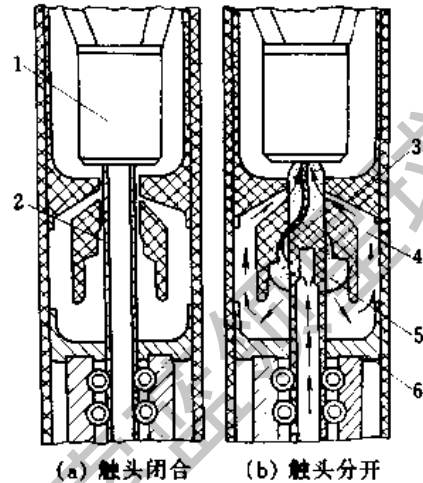


图 7.2.3 纵吹灭弧室

1—静触头；2—外绝缘筒；3—内绝缘筒；4—电弧；
5—导电杆；6—灭弧片；7—气流方向；8—变压器油



(a) 触头闭合 (b) 触头分开

▨ 绝缘材料

图 7.2.4 环吹灭弧室

1—静触头；2—管状动触头；3—绝缘端头；
4—环形喷口；5—高压气泡；6—中间隔板

2. 环吹灭弧室原理

图 7.2.4 为 10kV 少油断路器的环吹灭弧室，上部为静触头 1，动触头 2 为管状，侧面有小孔。与一般断路器不同，动触头端部是绝缘材料制成的。分闸时，动触头向下运动，动、静触头间产生电弧。动触头顶部的绝缘部分把环形喷口的中间圆孔堵住。电弧蒸发和油的热分解产生的气体压力推动变压器油按照图 7.2.4(b) 的方向迅速向环形喷口运动，吹拂和冷却电弧使电弧熄灭。

环吹灭弧室优点如下。

① 开断大电流时，电弧能量较小，使触头烧损、喷油、喷气现象大大减轻。与横吹灭弧相比较在横吹灭弧室中，由于开断大电流时气吹效果很强，电弧在气吹作用下拉得很长，电弧电压很高，电弧能量很大，喷油、喷气现象十分严重，且易使触头烧损。

② 开断小电流的性能较好，不存在临界开断电流。在 10kV 少油断路器中燃弧时间不超过 20ms，利用这种压油作用来改善小电流的灭弧性能。

第二节 安装、运行及检修

一、安装

① 断路器的安装基础必须满足产品使用说明书提出的承受操作负荷的要求，整个基础不但要有一定的强度，还要有一定的刚度，否则在断路器操作时会产生很大的震动，不但影响产品性能，还将缩短使用寿命。

② 断路器安装时，要严格按产品使用说明书规定的程序进行。尤其在吊装中，要做到谨慎操作，小心轻放，防止瓷件、灭弧室等重要部件的碰撞，避免不必要的损失。

③ 断路器和操动机构安装结束后，需按要求对速度、时间、周期性进行调试，做到机械传动系统安装正确、动作灵活，行程和超程稳定。

二、运行

① 断路器运行时，应经常巡视检查。检查内容有：油面是否正确；有无渗、漏油；分、合闸指针的指示

位置；瓷套是否完整无损；有无冒气、发热，声音异常及不应有的放电现象。发现问题需及时处理，防止事故发生。

② 断路器在开断短路电流后，油色会变黑，但不一定影响继续运行，可根据产品规定的累计开断电流次数或完成规定的操作循环后再检修。

③ 定期抽取油样，进行耐压试验，若低于规定值时，应及时更换。尤其应注意的是，如有渗水、积水等现象应及时处理。

④ 使用在户内的或我国中部、南部地区的户外断路器可用 DB-25 变压器油。在我国北方，没有加热的油断路器应使用 DB-45 变压器油。

三、检修

各类产品须严格按产品使用说明书的要求进行检修。此外尚有如下须注意的事项。

① 拆卸零、部件需做好记录，如先拆什么，后拆什么，各零、部件相互位置及尺寸，灭弧室中的各灭弧片的排列次序等，为装配做好准备。

② 装配灭弧室时，要注意清洁，各零件需认真干燥处理，不应使绝缘件受潮和断口内留存金属屑等杂物。

③ 对零件的表面应认真保护，在检修中不得损伤，尤其对密封面要清洗干净，仔细检查有无损伤、锈蚀。装配中不得损伤密封圈，若密封圈已膨胀变形，应更换新密封圈。若原来涂有密封胶，检修装配时也应涂上。

④ 检修装配结束后，应按产品规定的要求，调整各部分的配合尺寸，保证与装配前保持一致。

第三节 常用产品的主要技术参数

常用油断路器主要技术参数见表 7.2.1。

表 7.2.1 油断路器型号及主要技术参数

产品型号	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定电流 /A	开断电流 /kA	操动机构型号	总重/kg
SW2-35	35	40.5	1000	16.5	CD3-XG 电磁 机构或 CT2-XG	1200
SW2-35 II C			1500	25		1350
SW2-35 II W			1600			1200
SW2-35 II CW			2000			1350
SW3-35	35	40.5	1000	16.5	CY5	760
SW3-35A			1200	21		800
SW3-35B						800
SW4-35IAW	35	40.5	1250	16	CD15-1	1050
SW4-35IBW						
SW4-35ICW						
SN10-35 I	35	40.5	1000	16	CT10	620
SN10-35 II			1250	20		650
SN4-20G	20	23	6000 8000 12000	58	CD8-370 或 CQ5-250	3200
SN4-10G	10	11.5	5000 6000	58	CD8-370 或 CQ5-250	2900
SN10-10 I	10	11.5	630	16	CD10 I、II、III 或 CT7、CT8 I、II	240
SN10-10 II			1000	31.5		260
SN10-10 III			1250	40		330
			2000			380
			3000			400
SN10-10G	10	11.5	630 1000 1000	16 16 31.5	CD10 I、II、III 或 CT8 I、II	200
DW1-35G	35	40.5	600	6.6	CD2-40XG CD10-1, CT8-1	1025

续表

产品型号	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定电流 /A	开断电流 /kA	操动机构型号	总重/kg
DW2-35	35	40.5	630	16	CD3-X	2600
DW2-35G			1000		CD3-X, CD11-XG	
DW6-35	35	40.5	400	6.6	CD10	1060
DW8-35 I	35	40.5	1000	16.5	CD11-X I	1470
DW8-35 II			1600	31.5	CD11-XG	1920
DW12-35	35	40.5	600 1000 1600	20	CD14-IV CD16-X	1300
DW13-35	35	40.5	1250	20	CD11-X II	1350
DW13-35I			1600	31.5		
DW16-35	35	40.5	1000	20	CD11-XG	1680
DW17-35	35	40.5	630 1250 1500	20	CD11-XG CT□-X	1370
DNI-10G	10	11.5	400	5.8	CD14	147
			600		CD2-40, CD14	
			800		CD14	
DW7-10 II	10	11.5	30~400	1.73	钩棒或绳索	126
DW7-10 III			50~400	2.9		
DW7-10 I			30~400	1.73		
DW10-10	10	11.5	50~400	3.15	钩棒或绳索	96
DW10-10 II			50~400			

获取更多资料 微信: 13926469019

第三章 真空断路器

第一节 VS1 户内高压真空断路器

VS1 户内高压真空断路器是三相交流 50Hz, 额定电压为 10kV 的户内装置, 可供工矿企业、发电厂及变电站作电气设施的控制和保护之用, 并适用于频繁操作的场所。

一、结构特点

VS1 户内高压真空断路器配用中间封接式陶瓷真空灭弧室, 采用铜铬触头材料, 杯状纵磁场触头结构, 其触头的电磨损速率小, 电寿命长, 触头的耐压水平高, 介质绝缘强度稳定, 弧后恢复迅速, 截流水平低, 开断能力强。

VS1 真空断路器总体结构采用操动机构和灭弧室前后布置的形式, 主导电回路部分为三相落地式结构。真空灭弧室纵向安装在一个管状的绝缘筒内, 绝缘筒由环氧树脂采用 APG 工艺浇注而成, 因而它特别抗爬电。这种结构设计, 大大减少了粉尘在灭弧室表面聚积, 不仅可以防止真空灭弧室受到外部因素的损坏, 而且可以确保即使在湿热及严重污秽环境下, 也可对电压效应呈现出高阻态。

操动机构是弹簧储能式, 具有手动储能和电动储能功能。操动机构置于灭弧室前的机箱内, 机箱被四块中间隔板分成五个装配空间, 其间分别装有操动机构的储能部分、传动部分、脱扣部分和缓冲部分。VS1 真空断路器将灭弧室与操动机构前后布置成统一整体, 即采用整体型布局。这种结构设计, 可使操作机构的操作性能与灭弧室开合所需性能更为吻合, 减少不必要的中间传动环节, 降低了能耗和噪声, 使 VS1 断路器的操作性能更为可靠。VS1 断路器既可装入手车式开关柜中, 也可装入固定式开关柜。

该断路器具有寿命长, 维护简单, 无污染, 无爆炸危险, 噪音低等优点, 并且适应于频繁操作等比较苛刻的工作场合。

二、工作原理(见图 7.3.1 至图 7.3.3)

1. 灭弧原理

断路器配用真空灭弧室, 具有极高的真空度。当动、静触头在操动机构作用下带电分闸时, 在触头间将会产生真空电弧。同时, 由于触头的特殊结构, 在触头间隙中也会产生适当的纵磁场, 促使真空电弧由聚集型转变为扩散型, 使电弧均匀地分布在触头表面燃烧, 并维持低的电弧电压。在电流自然过零时, 残留的离子、电子和金属蒸汽在几分之一毫秒的时间内就可复合或凝聚在触头表面和屏蔽罩上, 灭弧室断口的介质绝缘强度很快被恢复, 从而电弧被熄灭, 达到分断的目的。

2. 动作原理

(1) 储能动作 储能电机 34 输出扭矩通过单向轴承 32 经链传动。带动挡销 19 运动, 推动储能轴 17 旋转, 驱动储能轴上的挂簧拐臂转动, 从而拉长合闸弹簧 16, 达到储能目的。当合闸弹簧储能完成后, 能量由储能保持掣子 25 保持住。与此同时, 拨板 18 带动储能微动开关动作, 切

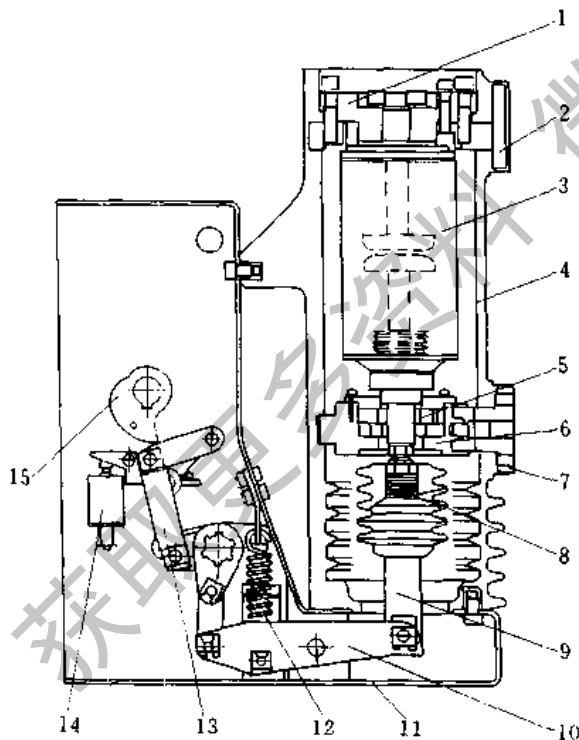


图 7.3.1 VS1 高压真空断路器结构图 (一)

- 1—上支架; 2—上出线座; 3—真空灭弧室;
- 4—绝缘筒; 5—导电叶片; 6—下支架;
- 7—下出线座; 8—螺簧; 9—绝缘拉杆;
- 10, 13—四连杆机构; 11—断路器壳体;
- 12—分闸弹簧; 14—分闸电磁铁;
- 15—合闸凸轮

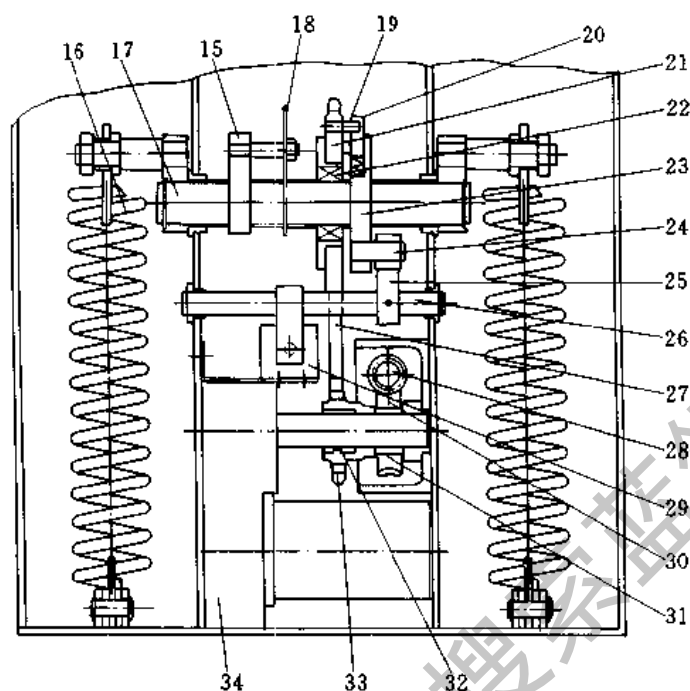


图 7.3.2 VS1 高压真空断路器结构图 (二)

16—合闸弹簧；17—储能轴；18—拨板；19、24—挡销；20—滑块；21、33—链轮；
22—单列向心球轴承；23—轮；25—掣子；26—合闸轴；27—链条；28—蜗杆；
29—合闸电磁铁；30—蜗轮；31、32—单向轴承；34—储能电机

断储能电机的电源，完成整个储能动作。

(2) 合闸动作 机构储能后，若接到合闸信号，合闸电磁铁 29 的动铁芯将被吸合向前运动，通过合闸轴 26 带动储能保持掣子 25 转动，从而解除了储能保持掣子对储能轴 17 的约束，合闸弹簧 16 的能量释放，使合闸凸轮 15 作顺时针方向转动，通过二级四连杆传动机构 13、10 及绝缘拉杆 9 带动真空灭弧室的动导电杆向上运动，完成合闸动作。

(3) 分闸动作 合闸动作完成后，一旦接到分闸信号，分闸半轴 35 在脱扣力的作用下顺时针转动，半轴对分闸脱扣部分 36 的约束解除，分闸脱扣部分在断路器的触头压力弹簧和分闸弹簧的作用下，作顺时针方向转动，真空灭弧室 3 的动导电杆在两级四连杆机构及绝缘拉杆 9 的带动下向下运动，从而完成分闸动作。

三、产品型号含义

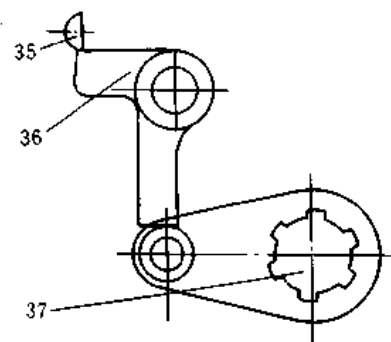
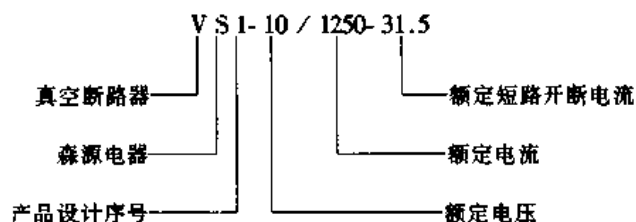


图 7.3.3 VS1 高压真空断路器结构图 (三)

35—分闸半轴；36—分闸脱扣部分；
37—主轴

四、常用技术参数

1. 国产断路器主要参数 (见表 7.3.1)

表 7.3.1 国产断路器主要参数

名 称	单位	数 据			
		VS1	ZN12	ZN20	ZN28
额定电压	kV	10	10	10	10
最高电压	kV	12	11.5	11.5	11.5
额定绝缘水平	1min, 工频耐压	相间与相对地 42 断口间 48	相间与相对地 42	相间与相对地 42	相间与相对地 42
	额定雷电冲击耐压	相间与相对地 75 断口间 84	相间与相对地 75	相间与相对地 75	相间与相对地 75
额定电流	A	1250	1250	1250	1250
额定短路开断电流	kA	31.5	31.5	20	31.5
额定短路关合电流 (峰值)	kA	80	80	80	80
额定动稳定电流 (峰值)	kA	80	80	80	80
额定热稳定电流 (有效值)	kA	31.5	31.5	20	31.5
额定短路电流开断次数	次	50	50	30	50
额定热稳定时间	s	4	3	4	4
额定操作顺序		分—0.3s—合分—180s—合分			
机械寿命	次	20000	10000	10000	10000
额定单个电容器组开断电流	A	630			
额定背对背电容器组开断电流	A	400			

2. 国产断路器机械特性参数 (见表 7.3.2)

表 7.3.2 国产断路器机械特性参数

名 称	单位	数 据			
		VS1	ZN10	ZN12	ZN28
触头开距	mm	11 ± 1	11 ± 1	11 ± 1	11 ± 1
接触行程	mm	4 ± 0.5	8 ± 2	3 ₀ ¹	4 ± 1
三相分闸同期性	ms	≦ 2	≦ 2	≦ 2	≦ 2
合闸触头弹跳时间	ms	≦ 2	≦ 2	≦ 5	≦ 2
相间中心距	N	210 ± 0.5	210 ± 1.5	195	230
合闸触头接触压力	N	3200 ± 100		≧ 1000	3350 ± 320
平均分闸速度	m/s	0.9 ~ 1.2	1.0 ~ 1.4	0.8 ~ 1.5	1.1 ± 0.2
平均合闸速度	m/s	0.6 ~ 0.8	0.6 ~ 1.1	0.6 ~ 1.2	0.6 ± 0.2
分闸时间	最高	ms	≦ 50		≦ 60
	额定	ms	≦ 50		≦ 60
	最低	ms	≦ 80		≦ 80
合闸时间	ms	≦ 100	≦ 75	≦ 65	≦ 100
动、静触头面积允许磨损厚度	mm	3		3	3

3. 储能电机

采用永磁式单相直流电动机, 其技术数据见表 7.3.3。

表 7.3.3 永磁式单相直流电动机技术数据

型 号	额定电压/V	额定输入功率/W	正常工作电压范围/V	额定电压下储能时间/s
ZYJ55-I	DC110 DC220	50	85% ~ 110% 额定电压	≦ 10

五、选用、使用与维护

1. 选用

选用时要注意下列情况：

- ① 断路器型号、名称及订货数量；
- ② 断路器额定电压、额定电流及额定短路开断电流；
- ③ 额定操作电压；
- ④ 备品、备件的名称及数量。

2. 使用

断路器开箱后，应检查固定真空灭弧室的绝缘筒有无破裂；产品铭牌、合格证是否与订货单相符，装箱单是否与实物相符，完好无误后再清理表面灰尘污垢，用工频耐压法检查真空灭弧室的真空度（开关分闸，在断口施加工频电压 42kV 1min）。

断路器投入运行前，应仔细核对各操作元件的额定电压（或电流），与实际情况是否相符。并用机构所具有的储能、合闸方式进行试操作，以检查各项指标是否正确。

3. 维护

① 断路器在使用过程中，应定期用工频耐压法检查真空灭弧室的真空度。具体方法是将断路器分闸，在灭弧室断口间施加 42kV 工频电压，维持 1min，灭弧室内不应有持续放电，如发现灭弧室内有持续放电，则真空灭弧室已失败，该断路器将不能再投入使用。

- ② 正常运行的断路器应定期维护，清除绝缘表面灰尘，所有摩擦部位应定期注润滑油。
- ③ 安装和使用时严禁用坚硬的物体撞击真空灭弧室外壳。
- ④ 用户不应随便更换使用与原型号规格不一致的电器元件。

第二节 ZN28-10 系列真空断路器

ZN28-10 系列户内真空断路器为交流三相 50Hz，额定电压 10kV 的户内装置，主要应用于固定式开关柜及手车式开关柜内，可作为变电站、发电厂及各工矿企业、建筑住宅等各类用户的线路或电气设备的保护和控制元件，可适用于频繁操作的场所。

一、结构及特性参数

1. ZN28-10 系列真空断路器特性参数（以 1250A 为例）（见表 7.3.4）

表 7.3.4 ZN28-10 系列真空断路器特性参数

名 称	单 位	数 据	名 称	单 位	数 据
额定电压/最高电压	kV	10/11.5	额定短路开断电流开断次数	次	30 (50)
额定电流	A	1250	开关特性试验操作顺序	分—0.3s 合分—180s 分—合分	
额定短路开断电流（有效值）	kA	20	燃弧时间	μs	20
额定短路关合电流（峰值）	kA	50	额定工频 1min 耐受电压	kV	42
额定峰值耐受电流（峰值）	kA	50	雷电冲击耐受电压	kV	75
额定短时耐受电流（峰值）	kA	31.5	机械寿命	次	10000
额定短路持续时间	s	4			

ZN28-10 系列真空断路器结构示意图见图 7.3.4。

2. 结构

该断路器采用中封式纵磁场真空灭弧室，动、静触头在另配操动机构的作用下，带电分闸时，触头间隙将燃烧真空电弧并在电流过零时灭弧。触头的结构设计和制作成燃弧期间形成一个纵向磁场，通过电动原理及磁场作用，使电弧均匀分布在触头表面，维持低电弧电压，使真空灭弧室具有较高的弧后绝缘介质强度的恢复速度和小电弧能量，并具有小的电腐蚀速率，因而使断路器的短路电流开断能力和电寿命得到提高和保证。

二、安装与调试

断路器测试及机械特性要求，应满足表 7.3.5 所示的要求。

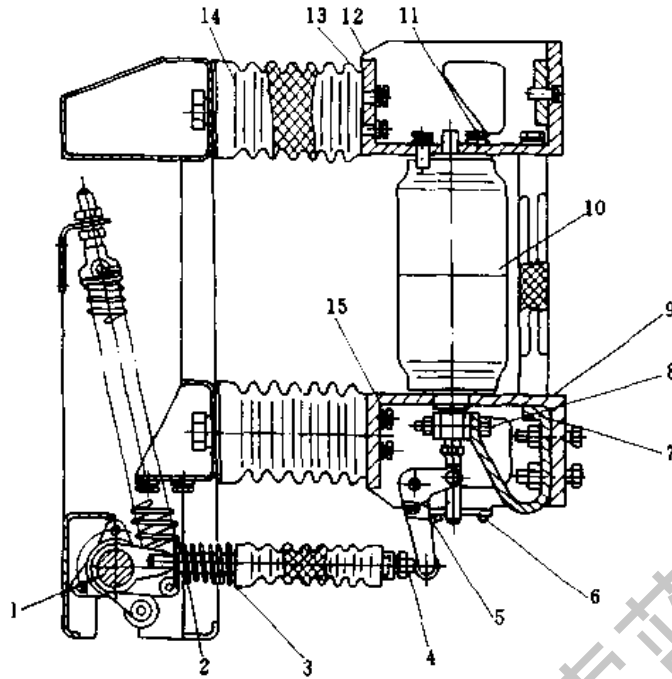


图 7.3.4 ZN28-10 系列真空断路器结构示意图

1—开距调整片；2—触头压力弹簧；3—弹簧座；4—行程调整螺栓；5—拐臂；6—导向板；
7—螺钉；8—导电夹紧固螺栓；9—下支座；10—真空灭弧室；11—灭弧室紧固螺栓；
12—上支座；13—绝缘子紧固件；14—绝缘子；15—螺栓

表 7.3.5 断路器机械特性要求

名称	单位	数据	名称	单位	数据
触头开距	mm	11 ± 1	相距	mm	$250 \pm 2 (230 \pm 2)^{\text{①}}$
接触行程	mm	4 ± 1	平均分闸速度	m/s	1.1 ± 0.2
三相合闸同期性	ms	≤ 2	平均合闸速度	m/s	0.6 ± 0.2
合闸触头弹跳时间	ms	≤ 2	动、静触头允许磨损厚度	mm	3
缓冲器行程	mm	10^0			

① () 内数值为手车式断路器所取的相距值。

三、维护运行注意事项

- ① 经常检查断路器所配操动机构的分、合闸功能，使之符合特性要求。
- ② 定期用工频耐压法检查灭弧室的真空度。具体方法是在动、静触头正常、分闸开距达 11mm 时，在灭弧室二端施加 42kV 工频电压，延时 1min，灭弧室内不应有持续放电现象出现。如发现异常放电现象，应及时更换真空灭弧室。
- ③ 定期清除断路器部件及绝缘表面的灰尘，所有摩擦部分应定期滴入润滑油。
- ④ 每操作达 2000 次后及时检查各机械传动部件有无松动，并调整紧固。
- ⑤ 真空灭弧室是断路器的关键部件，严禁使真空灭弧室受坚硬物外力撞击，安装定位前后，灭弧室不应受到超过 1000N 的纵向应力，以免损坏。

第三节 ZN48A-10 系列真空断路器

ZN48A-10 系列真空断路器，是新型的弹簧操作机构真空断路器，该机构可用交直流电源电动操作，也可手动操作。

一、结构特点

图 7.3.5 为真空断路器结构示意图。

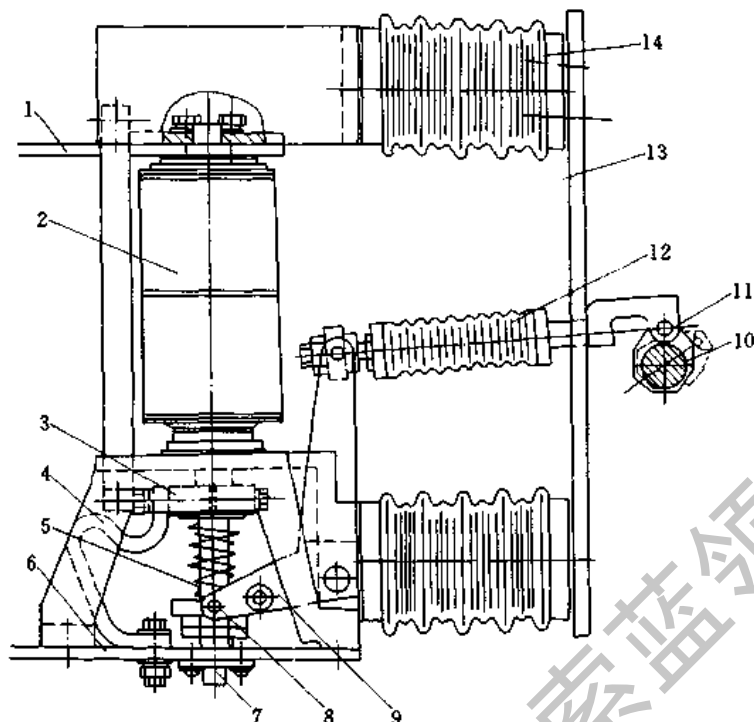


图 7.3.5 断路器结构示意图

1—上出线端；2—真空灭弧室；3—导电夹；4—软连接；5—触头弹簧；6—下出线端；
7—导向杆；8—轴销；9、11—拐臂；10—主轴；12—拉杆；13—底板；14—绝缘子

① 操作机构平面布置，便于日常检修及维护，能适应各种柜体安装，可以装在手车上直接推入 KYN、JYN 手车柜中，也可装在 XGN、GG-1A 固定柜中。

② 弹簧操作机构的分、合闸弹簧均采用单根压簧方式，合闸弹簧储能由 220V 交直流两用电动机经棘轮减速后，由棘爪推动一凸轮来完成，其电源开关也由凸轮来操纵，启停十分可靠。操作连杆系统设计为平面复合式五连杆结构。合闸时，该连杆系统因临时固定轴起作用而以回连杆方式传递合闸能量。分闸时，破坏该临时固定点，连杆系统成为不稳定的五连杆结构，因此具有自由脱扣功能，若各部分参数配合合理，合闸时无弹跳。

③ 分闸弹簧下部装有空气缓冲装置时，该装置刚分时气压很小，且缓冲杆与主轴连在一起，断路器触头在开断时既快又平稳。

二、主要技术参数（见表 7.3.6）

表 7.3.6 ZN48A-10 真空断路器主要技术参数

参数名称	单位	型 号			
		I	II	III	IV
额定电压	kV	10	10	10	10
最高工作电压	kV	11.5	11.5	11.5	11.5
额定电流	A	630	1600	2000	2000
		1250	1250	1600	2500
额定短路开断电流	kA	20	25	31.5	40
动稳定电流（峰值）	kA	50	63	80	100
4s 热稳定电流	kA	20	25	31.5	40
额定短路关合电流（峰值）	kA	50	63	80	100
额定短路电流开断次数	次		50		30

续表

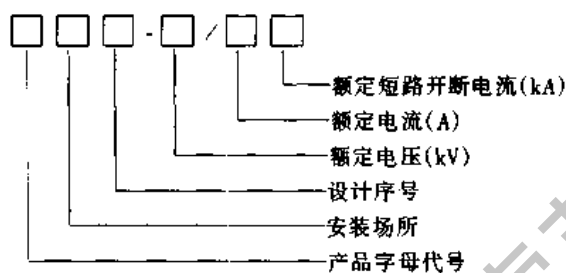
参数名称	单位	型 号			
		I	II	III	IV
额定操作顺序		分 0.3s—合分—180s—合分			
额定雷电冲击耐受电压 (全波)	kV	85			
额定短时工频耐受电压	kV	48kV/min			
合闸时间	ms	≤60			
固有分闸时间	ms	≤60			
额定短路持续时间	s	4			
机械寿命	次	10000			
额定电流开断次数	次	10000			
储能电动机功率	W	200			
储能电机额定电压	V	≤110、220			
储能时间	s	≤10			
合闸线圈额定电压	V	交流 (110V) 220, 直流 110 220			
分闸线圈额定电压	V	交流 (110V) 220, 直流 110 220			
分合闸线圈额定电流	A	(110V) 5A; (220V) 2.5A			
动、静触头允许磨损厚度	mm	≤3			

获取更多资料 微信搜索 索星球

第四章 六氟化硫 (SF₆) 断路器

高压 SF₆ 断路器是采用高绝缘性能的六氟化硫 (SF₆) 气体作绝缘和灭弧介质的新型气吹断路器。此断路器按结构分为瓷柱式 (P-GCB) 和罐式 (T-GCB) 两种, 按安装位置分为户内和户外两种。SF₆ 断路器具有工作电流大、开断能力强、绝缘水平高、噪声低、体积小、重量轻、适于频繁操作、无火灾爆炸危险和检修周期长等优点。

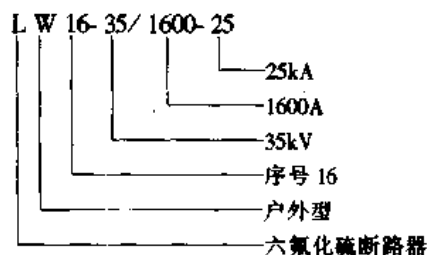
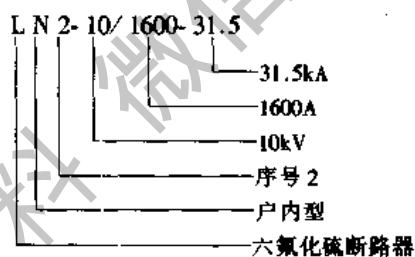
其型号表示如下:



产品字母代号: L—六氟化“硫”断路器。

安装场所: N—户“内”型; W—户“外”型。

举例:



第一节 结构及工作原理

户内 SF₆ 断路器主要结构见图 7.4.1, 主要由环形电极、动、静触头、分闸弹簧、操作杆、吹弧线圈、绝缘筒和基座等组成, 它适用于组装在高压开关柜内, 在中压领域广泛使用。

图 7.4.2 为户外 LW16-35 型 SF₆ 断路器, 是瓷瓶支柱式结构。三极固定于一个公共底架上, 三极的 SF₆ 气体由气管 16 相通, 每极底箱上有一转轴 18 伸出, 与拐臂 17、连杆 7 相连, 通过四连杆与操动机构联结, 分闸弹簧 14 连于转轴 18 的拐臂 17 上。

断路器每极由底箱、上下瓷套构成。上瓷套内设有灭弧室, 承受断口电压, 下瓷套承受对地电压, 内绝缘介质为 SF₆ 气体。

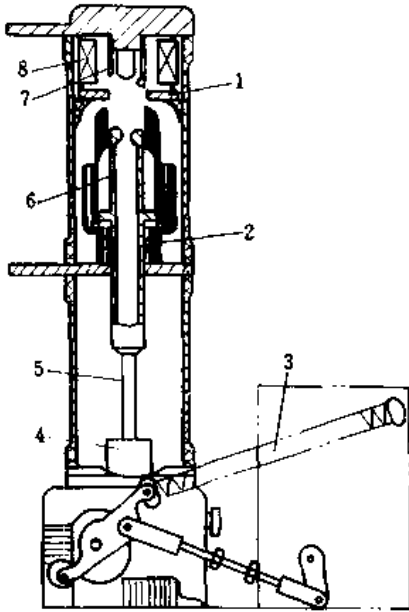


图 7.4.1 10kV SF₆ 断路器

- 1—环形电极；2—中间触头；3—分闸弹簧；
- 4—吸附剂；5—绝缘操作杆；6—动触头；
- 7—静触头；8—吹弧线圈

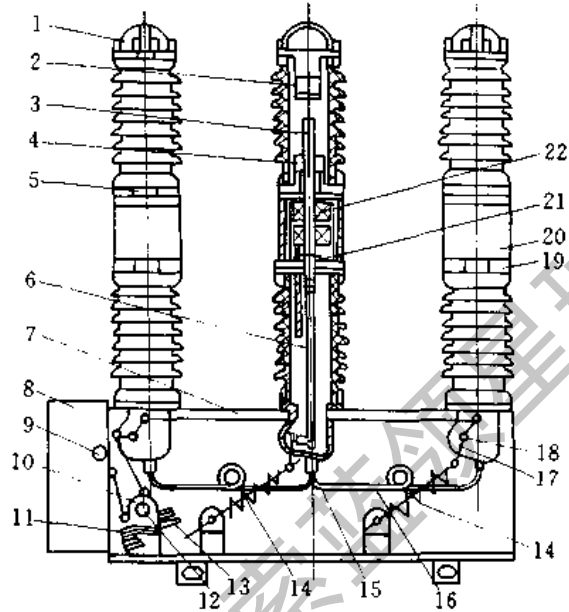


图 7.4.2 LW16-35 型 SF₆ 断路器

- 1—上接线座；2—静触头；3—导电杆；4—导向件；5—上法兰；
- 6—绝缘拉杆；7—连杆；8—弹簧机构；9—机构输出轴；10—拐臂；
- 11—分闸缓冲器；12—过渡轴；13—合闸缓冲器；14—分闸弹簧；
- 15—内拐臂；16—气管；17—外拐臂；18—转轴；19—下接线座；
- 20—中间箱；21—中间触指；22—电流互感器

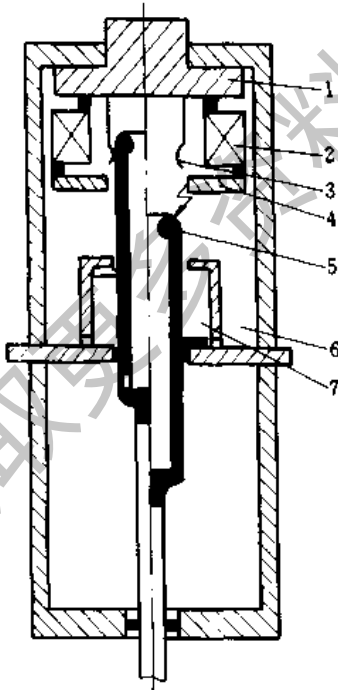


图 7.4.3 自能旋弧式灭弧室结构——左侧

触头闭合，右侧触头分断出现电弧

- 1—静触头；2—线圈；3—触指；4—环形电极；5—动触头
- (喷嘴)；6—预压室；7—辅助气压室

分闸时，机构脱扣后，在分闸弹簧作用下，三极转轴作顺时针转动。通过内拐臂 15 和绝缘拉杆 6 使导电杆 3 向下运动，直到拐臂 10 撞上分闸缓冲器 11 为止。合闸时，在操动机构操作下，使过渡轴作顺时针转动，带动三极转轴作逆时针转动，导电杆向上运动，直到拐臂 10 撞上合闸缓冲器 13 为止。

自能旋弧式灭弧室典型结构如图 7.4.3 所示，灭弧室分隔成两部分：预压室和排气室。分闸时，动触头从闭合位置（图中左侧所示位置），即直接与静触头接触的位置开始分离，随即电弧转移到环形电极上，旋弧线圈便串联进电路产生磁场，线圈产生的磁场与电弧电流的正交分量形成电动力 $I \times B$ ，这个力使弧柱环绕纵轴旋转运动，均匀加热预压室中的 SF₆ 气体，气体压力升高，通过动触头内腔与下面的排气室连通，形成喷口气吹。在电流过零时，自然熄弧。为加强气吹，还设置了一个辅助压气活塞来改善小电流的灭弧性能。因此，无论开断大电流或小电流，开断感性小电流或容性小电流，均具有良好的性能。且由于电弧不断地旋转，使触头和灭弧室的烧损均匀、轻微。

第二节 灭弧室结构

根据灭弧原理,可分为双压式、压气式(又称单压式)、旋弧式、热膨胀式等形式的断路器。双压式的结构复杂,辅助设备多,随着压气式的发展,双压式已渐为单压式所代替。

一、压气式断路器

压气式断路器只有一个压力不高的气体系统,通常在中压领域(300~500kPa),在开断过程中,利用触头及活塞的运动产生压气作用,在弧触头喷口间产生气流吹弧,当分断结束,压气作用也即停止。

1. 工作原理

压气式断路器灭弧室的分断过程可分为两个阶段。

(1) 预压缩阶段 图 7.4.4 为压气式灭弧室开断过程的原理图。起始位置(a)时,电流从上接线座 1 经过静主触头 3、导电杆 4、滑动触头 5 流到下接线座 6。当断路器接到分闸指令后,动触头 3 首先分开,当 7、8 弧触头还没有打开时,基本上没有气体向外排出,活塞 9 与汽缸 10 之间的气体被压缩后,压力提高,为预压缩阶段。

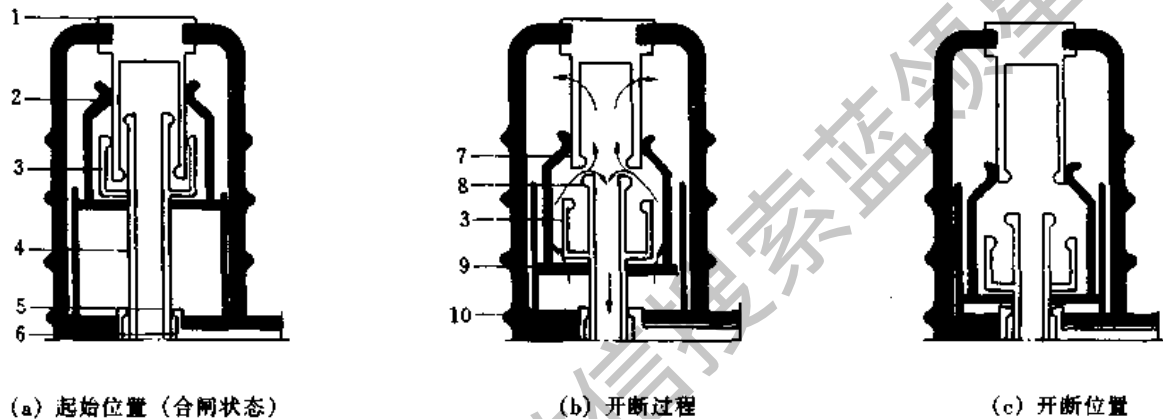


图 7.4.4 压气式灭弧室的开断过程

1—上接线座; 2—静主触头; 3—主动触头; 4—导电杆; 5—滑动触头;
6—下接线座; 7—静弧触头; 8—动弧触头; 9—动活塞; 10—汽缸

(2) 吹弧阶段 预压缩阶段结束后,此时 7、8 间产生电弧,喷口被打开,压气室内的气体经两个相反方向吹弧,直到电弧吹灭。分开后的触头间隙内充满了 SF_6 气体,为重新合闸做好准备。

2. 特点

压气式断路器的结构简单,制造容易,但在开断过程中,要使气体压缩,操动机构提供的能量必须很大,且分闸操动力大,分、合过程负担很不匀,但介质恢复很快,电寿命高。

二、热膨胀式断路器

热膨胀式断路器是靠自身电弧能量加热气体而产生压差吹拂电弧,开断电流愈大,压力升高愈大,吹弧效

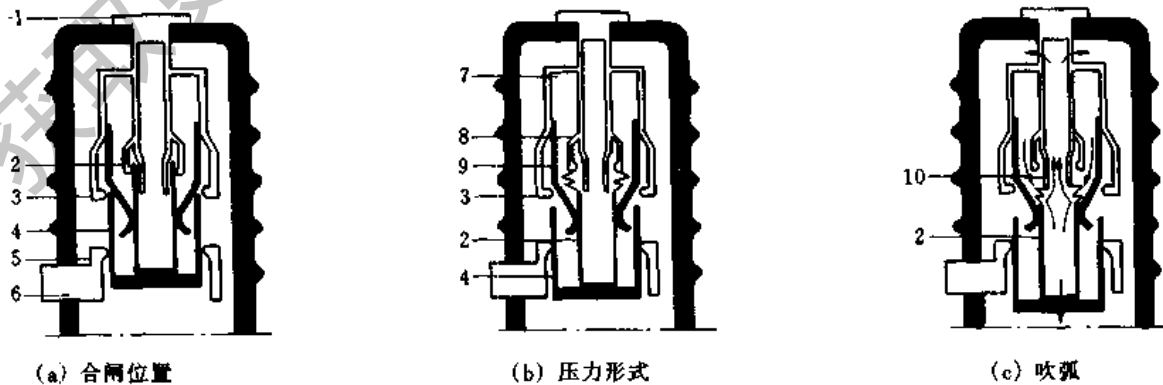


图 7.4.5 热膨胀式灭弧室的开断过程

1—上接线头; 2—动弧触头; 3—上主触头; 4—动主触头; 5—下主触头;
6—下接线头; 7— SF_6 气体; 8、10—静弧触头; 9—喷口

果愈好, 电弧熄灭也容易。它代表着 110~220kV 断路器的发展方向。

1. 工作原理

图 7.4.5 为热膨胀式灭弧室开断过程的原理图。

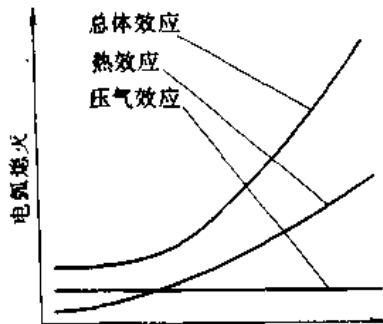


图 7.4.6 热膨胀加压气的电弧熄灭

(1) 起始位置 通过触头 3、5 和 4, 电流在上、下接线头 1 和 6 之间流动。

(2) 压力的形式 触头 3 和 4 互相分离, 电弧在静、动弧触头 8 和 2 之间发生, 电弧释放的能量将 SF_6 气体压缩在由 SF_6 气体形成的空间内。

(3) 吹弧阶段 开断动作继续在进行, 电弧将转到动、静弧触头 2 与 10 之间。被释放的气体将电弧吹向两个相反方向, 最终达到电弧熄灭。

2. 特点

- ① 介质恢复速度比压气式差。
- ② 触头烧损较大, 电寿命较低。
- ③ 机构操作功可减少, 机械寿命可提高。

④ 开断大电流的性能较好。

这种灭弧室在小电流的情况下, 电弧能量太低不足以产生足够的压力。基于这个原因, 在小电流的情况下(如切空载长线), 可借助传统的压气效应来进行灭弧, 即热膨胀加压气, 如图 7.4.6 所示。

第三节 安装、运行及检修

一、安装

户外 SF_6 断路器的安装基础, 必须按照产品使用说明书提出的承受操作负荷的要求, 基础不但要有一定的强度, 还要有一定的刚度。

断路器安装时, 要按产品使用说明书规定的程序进行。尤其在产品吊装中, 要做到谨慎操作, 小心轻放, 防止瓷件、灭弧室等重要部件的碰撞, 防止不必要的损失。

断路器出厂时均充有 0.03~0.05MPa 的 SF_6 气体, 用户投运前, 需充入符合 ZBK 43001—88《高压六氟化硫断路器通用技术条件》要求的 SF_6 气体至额定气压 0.6MPa (20℃)。充气前应先检查所有密封件法兰的螺栓有无松动, 瓷件有无裂纹, 气体连通管及压力表、密度控制器的安装是否完好。

断路器安装结束后, 外表面应清理干净, 保证接地良好, 母线连接可靠紧固, 检查所有机械传动紧固件是否旋紧。

二、使用与维修

由于 SF_6 气体具有优良的绝缘和灭弧性能, 所以断路器在正常使用期间, 基本上不需维修。但需注意下列几点。

① 断路器在运行中, 应定期观察记录 SF_6 气体压力, 当发出补气信号时, 应及时补气至环境温度下的额定压力。

② 严防水分进入 SF_6 气体中。水分来自下列途径: 在 SF_6 气体生产和断路器装配时带入; 绝缘材料的缓慢蒸发; 外界水分通过密封圈侵入。为了控制水分含量, 应装设吸附剂。

③ 防止 SF_6 气体液化。应保证 SF_6 断路器在最低环境温度(由技术条件规定)时, SF_6 气体不液化。对于工作气压较高的断路器, 必须装设加热装置。

④ 由于 SF_6 气体在电弧的高温作用下会分解出一些有毒的低氟化物, 如 SOF_2 、 SF_4 、 SOF_4 和 SO_2F_2 等。检修断路器时, 应按如下程序: a. 在打开断路器前, 先回收气体并抽真空; b. 对断路器内部彻底通风; c. 维修人员应戴防毒面具和橡皮手套等; d. 将金属氟化物粉末集中起来, 装入塑料袋并深埋。

三、 SF_6 气体的应用与要求

SF_6 在标准条件下无色、无味、无毒性, 不会燃烧, 化学性能稳定, 不与其他材料产生化学反应。 SF_6 气体既不燃烧, 又不助燃, 且有良好的绝缘性能, 是一种很理想的灭弧和绝缘介质。

SF_6 分子量较大, 在标准大气压下, 温度 273K 时, 密度为 $6.52\text{kg}/\text{m}^3$, 约为空气质量的 5 倍, 分子量为

146.05, 其中含硫 21.95%, 含氟 78.05%。同样体积和压力的 SF₆ 比空气重得多, 所以纯 SF₆ 气体本身虽无毒, 但有窒息作用。SF₆ 气体本身是不导电的绝缘介质, 它的一个重要特点是电场均匀性对击穿电压的影响远比大气压下的空气大, 与高气压下空气的击穿特性相近。用于断路器中的 SF₆ 气体应保证其纯度, 严格控制水分和杂质含量。我国标准 GB 12022 规定纯度为 ≥99.8%。

1. SF₆ 气体纯度

用于 SF₆ 断路器中的 SF₆ 气体必须满足 GB 12022 标准要求, 见表 7.4.1。

表 7.4.1 SF₆ 气体标准

指标名称	指标	指标名称	指标
六氟化硫 (SF ₆) 的质量分数/%	≥ 99.8	酸度 (以 HF 计) / × 10 ⁻⁶	≤ 0.3
空气的质量分数/%	≤ 0.05	可水解氟化物 (以 HF 计) / × 10 ⁻⁶	≤ 1
四氟化碳 (CF ₄) 的质量分数/%	≤ 0.05	矿物油 / × 10 ⁻⁶	≤ 10
水分 (H ₂ O) / × 10 ⁻⁶	≤ 8	毒性	生物试验无毒

纯净的 SF₆ 气体是无毒的。检验方法是用 79% SF₆ 与 21% O₂ 混合, 即相当于以 SF₆ 取代空气中的 N₂, 作动物试验暴露 24h 后应无中毒症状。

2. 水分控制方法

(1) 水分的危害 水分造成的危害有两个方面:

- ① 水分引起化学腐蚀作用;
- ② 水分对绝缘有危害。

(2) 水分的控制 SF₆ 断路器中的水分含量控制方法有四个方面。

- ① 严格控制使用的 SF₆ 气体含水量。
- ② 防止水分漏进断路器。
- ③ 断路器内部装配的零件在总装前一般应进行干燥处理, 以控制零件的水分。
- ④ 在断路器内部放置吸附剂, 如 Al₂O₃ 或分子筛等。这些吸附剂不仅能用来吸收水分, 而且还可以用来吸收电弧分解的低氟化物。

国家标准 GB 7674 规定断路器投运前含水量应 ≤ 150 × 10⁻⁶ (V/V)。

3. 电弧分解物的处理

SF₆ 气体在电弧作用下产生的气态分解物可用吸附剂来吸收, 实践表明, 只要在灭弧室中放置适当的吸附剂, 开断后有毒气体可大大减少。

(1) 吸附剂的性能 用于 SF₆ 断路器的吸附剂有活性炭、活性氧化铝 (Al₂O₃) 和分子筛。这些吸附剂都是多孔性物质, 具有强吸附能力, 当吸附气体接近饱和时应进行更换。表 7.4.2 是活性炭与活性氧化铝吸附剂能力比较结果。

表 7.4.2 活性炭与活性氧化铝比较 (在标准状态下)

物质	每克 Al ₂ O ₃ 吸附的体积/cm ³	每克活性炭吸附的体积/cm ³	物质	每克 Al ₂ O ₃ 吸附的体积/cm ³	每克活性炭吸附的体积/cm ³
SOF ₂	32	52	SO ₂	38	40
SO ₂ F ₂	12	35	SF ₆	0	68
SF ₄	35	48	CF ₄	0	0
SOF ₄	20	48			

(2) 吸附剂装入量 吸附剂装入量应是吸附剂分解物和吸附水分需要量的总和。活性氧化铝的加入量一般可取为 SF₆ 气体质量的 10%。

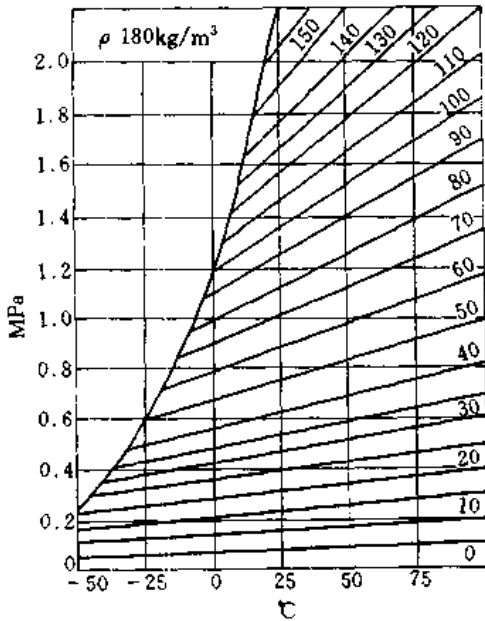
(3) 吸附装置的安装方式

① 静吸附式: 指依靠气体自身的扩散对流而产生吸附, 装设在断路器体内的过滤器就是静过滤作用, 一般可安装在顶部、底部或任何部位。

② 动吸附式: 把装有吸附剂的过滤器装在气体流动通道中, 气体强制流动通过时产生吸附作用。

4. 防止液化

SF₆ 气体容易液化。其临界压力、临界温度都很高 (3.75MPa, 45.6℃)。SF₆ 气体压力与温度的关系见图

图 7.4.7 SF₆ 气体压力与温度的关系曲线

7.4.7。因此, SF₆ 不能在过低温度和过高压力下使用。若按液化温度不高于 -20℃ 考虑, 相应于 20℃ 时的工作压力应不高于 0.8MPa, 一般压气式 SF₆ 断路器的工作压力大致是这样选择的。

5. 检漏方法

SF₆ 断路器一般规定年漏气量应小于 1%。气密性不好, 达不到年漏气量小于 1% 的要求, 则补气周期缩短。对于漏气, 一是通过断路器本身的压力开关、密度继电器进行远方监控; 二是对断路器用专用检漏仪器检测漏点; 三是抽真空检漏。这些检漏方式比较直观, 但是定性的。定量的检测方法一般有以下几种。

(1) 压力降法 通过对设备/隔室在一定时间间隔内测定的压力降, 计算试品年漏气率。

(2) 扣罩法 将试品置于封闭的塑料或金属罩内, 经过一定时间后 (由技术条件规定), 用检漏仪的探头来测定罩内 SF₆ 气体的浓度, 并通过计算确定试品年漏气率。

(3) 挂瓶法 用软管连接试品检漏孔和挂瓶, 经过一定时间后, 测定瓶内 SF₆ 气体的浓度, 并通过计算确定试品年漏气率。

(4) 局部包扎法 试品的局部用塑料薄膜包扎, 经过一定时间后, 测定瓶内 SF₆ 气体的浓度, 并通过计算确定试品年漏气率。

第四节 常用产品的主要技术参数

SF₆ 断路器型号及主要参数见表 7.4.3。

表 7.4.3 SF₆ 断路器型号及主要技术参数

产品型号	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定电流 /A	开断电流 /kA	操动机构型号	总重/kg
LW7-35G	35	40.5	1600	25 31.5	CT14	1400
LW8-35	35	40.5	1600	25	CT14	1400
LW16-35	35	40.5	1600	25	CT10	560
LN□-35	35	40.5	1600	31.5	CT□	450
LN-35	35	40.5	1250	25		200
LN2-35 I	35	40.5	1250	16	CD10IV, CT12 II	130
LN2-35 II					CD10IV, CT12	135
LN2-35					CD10IV, CT14, CT12 II	135
LN2-10	10	12	1250 1600 3150	25~40	CT12 I, II	110
LN-10	10	12	1250	16		145
LN-10 (HB-10)	10	12	800~2500	25 31.5		
LW3-10 I	10	12	400	6.3	手力操动机构	133
LW3-10 II					电动机操动机构	146
LW3-10	10	12	400~630	6.3~12.5	弹簧机构	
LN4-10	10	12	3150	50		
LN4-35	35	40.5	1600	31.5	CT16	460
FP1225D	12		1250	25	BLRM	215
FP1225G	12		2500	25	BLRM	235
FP1240D	12		1250	40	BLRM	235
FP4025D	40.5		1250	25	BLRM	215
FP4025G	40.5		2500	25	BLRM	235

第五章 隔离开关及接地开关

第一节 隔离开关

高压隔离开关主要用来隔离电路。它没有专门的灭弧装置，但在分闸状态下有明显可见的断口，在合闸状态下，导电系统中可以通过正常的工作电流和故障下的短路电流。

一、隔离开关的主要用途

1. 检修与分断隔离线路

利用隔离开关断口闸的可靠绝缘，使需要检修和分断的线路与带电部分隔离。为确保检修工作的安全，隔离开关断口闸的绝缘均高于对地绝缘。隔离开关还可带有接地装置，当隔离开关打开时，接地装置便可可靠地接地。

2. 倒换母线

根据运行需要换接线路，在断口两端接近等电位的条件下，可带负荷进行分、合闸操作，变换母线接线方式。

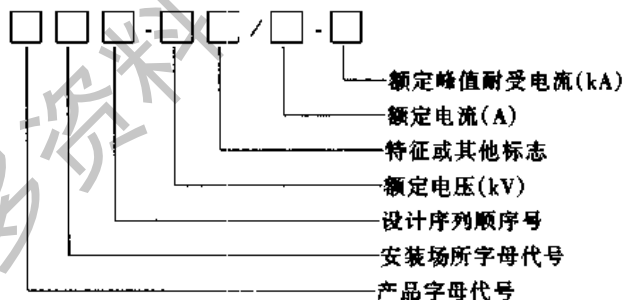
3. 分、合空载电路

分合一定长度的母线、电缆、绝缘套管和架空线路的电容电流，以及分合小容量的变压器的空载电流。

二、隔离开关主要分类

- ① 按安装地点的不同，分为户内隔离开关和户外隔离开关两类。
- ② 按断口两侧装设接地刀数量的不同，分为不接地（无接地刀）、单接地（一侧有接地刀）、双接地（两侧有接地刀）三类。
- ③ 按用途的不同，分为一般输配电用、发电机引出线用、变压器中性点接地用和块分用四类。
- ④ 按触头运动方式不同，分为水平回转式、垂直回转式、伸缩式（折架式）和直线移动式（插拔式）四类。

三、产品型号含义



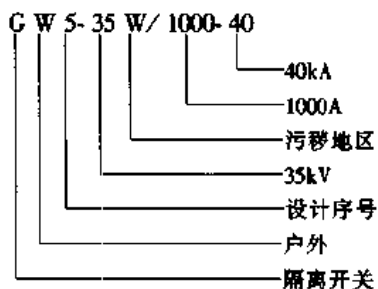
产品字母代号：“G”——“隔”离开关。

安装场所字母代号：N——户“内”，W——户“外”。

设计序列顺序号：通常用1、2、3……表示。

特征或其他标志：D——带接“地”开关，G——“改”进型，TH——湿热带，W——“污”秽地区。

举例：



四、结构及工作原理

1. 户内隔离开关

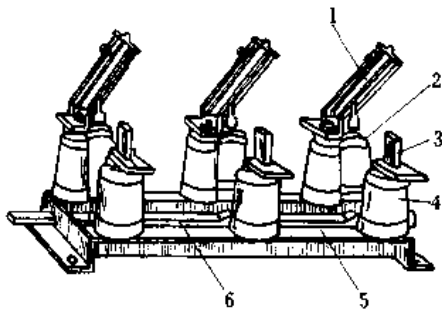


图 7.5.1 10kV 户内隔离开关
1—导电闸刀；2—操作瓷瓶；3—静触头；
4—支持瓷瓶；5—瓶座；6—转轴

一般配电用户内隔离开关的额定电压不高，均在 35kV 以下，多采用三相共座式结构，见图 7.5.1。每相导电部分由触座、闸刀和静触头等组成，并安装在支持瓷瓶的上端，通过支持瓷瓶固定在底座上。三相平行安装，每相闸刀由拉杆瓷瓶（或绝缘子）、拉杆绝缘子与安装在底座上的转轴相连，主轴通过手柄与手动操动机构（CS2、CS6 等）相连，从而通过操动机构控制开关的分合。在额定电流不大时，可借助一般触头弹簧施加接触压力。额定电流较大时，则需要采用磁锁装置等专门措施，增加接触的可靠性。为减轻产品重量，缩小尺寸，提高性能，可采用轻质、高强度注塑或压铸成型的绝缘支柱。

大容量发电机母线用的户内隔离开关，额定电压虽只有 10~20kV，但通过的电流能力很大，其额定电流从数千安至数万安。导电部分呈圆筒形，采用水平直线移动式触头结构，配用电动机操作机构，三相联动操作。使用时两端八角形接线端子通过伸缩节与封闭母线相连。

2. 户外隔离开关

35kV 及以下户外高压隔离开关主要结构形式见图 7.5.2。

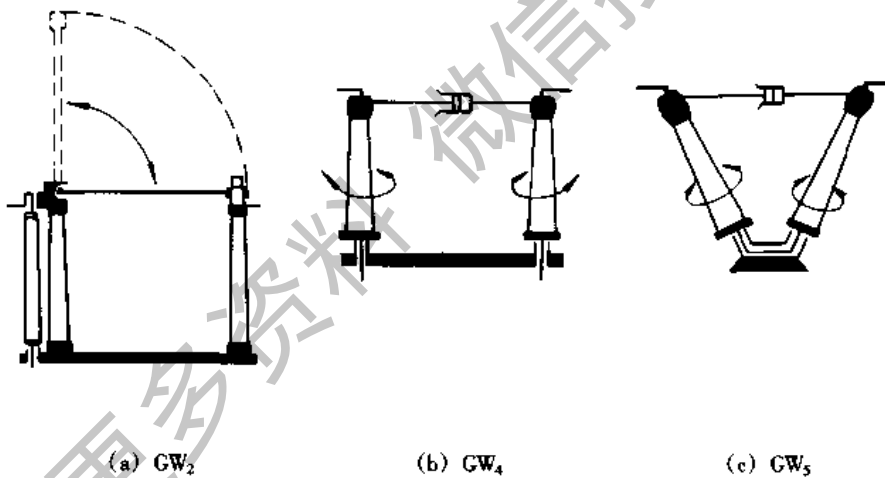


图 7.5.2 户外隔离开关结构

户外高压隔离开关中，除了中性点隔离开关和铁道用隔离开关外，一般均由三个单极组成，每个单极主要由底座、支柱绝缘子及导电部分等组成。单极间用连杆连接，配用操动机构（人力）进行分、合操作。

由于户外隔离开关工作环境较为恶劣，在结构上要考虑的问题比户内的多，如使用在冰雪地区的隔离开关，需装设破冰机构；为防止触头表面沉积污垢和消除氧化物的影响，触头分、合时应具有自清除功能；为克服风力和其他外力的作用，保证接触良好，触头应有自调节的能力；为改善切断小电流性能，防止烧伤接触面，应采取引弧棒或灭弧角等措施。

五、安装、运行及检修

① 隔离开关的安装方式应符合产品使用说明书的有关规定。有些隔离开关需要侧装、倒装或不同角度的倾斜安装，但要注意瓷件的伞裙（户外式）不得积水，各处受力不显著恶化，所有连杆不影响导电部分对地绝缘。

② 所有传动杆件，在安装调整时必须注意相对位置的正确性，使连接后的相对角度、尺寸等符合产品规

定的要求,以达到合闸、分闸过程中各相同步和终点位置正确。

③ 隔离开关动作应灵活,不允许有卡阻现象。凡配用人力操动机构时,一般体力的操作人员均能独立进行分、合闸操作。

④ 在接线端接上引线后,要认真检查,将触头的接触点调整在允许接触范围的中部位置,否则,该处的温升超标,影响安全运行。

⑤ 隔离开关三相联动的合闸不同期性,应按照产品使用说明书规定的要求,进行调整。

⑥ 隔离开关在投入运行前,需全面检查各部位尺寸,触头接触情况,各紧固件连接是否可靠,将操作机构操作数次,检查分、合是否灵活,有无卡阻现象,检查确认无误后方可投入运行。

⑦ 隔离开关需投入或切出运行,必须在线路负载切除后(即断路器分闸后)方可进行分、合操作。

⑧ 隔离开关须经常维护,定期检修,一般每年不少于1次。在线路发生短路后,也应进行检查和修理。检修项目如下:

- a. 清除尘垢,特别是接触处和绝缘支柱表面;
- b. 修整导电接触面,并涂以工业凡士林;
- c. 更换已损坏的零部件;
- d. 检查开关分、合闸是否准确到位,主闸刀和接地闸刀之间的机械连锁是否正确、可靠;
- e. 检查操动机构的各运动部件动作是否正常;
- f. 隔离开关凡油漆的零部件,每年涂漆一次。

六、常用隔离开关型号及主要技术数据

常用隔离开关型号及主要技术数据见表 7.5.1。

表 7.5.1 常用高压隔离开关型号及主要技术数据表

产品型号	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定电流 /A	短时耐受电流 /(kA/s)	操动机构型号	总重/kg
GW4-35	35	40.5	630~1250	31.5/4	CS11 或 CS8-6D	170
GW5-35	35	40.5	630~1600	31.5/4	CS17 或 CS17G	125
GW8-35	35	40.5	400	4.2/10	CS8-5	75
GW12-35	35	40.5	4000	50/3	CJ2-XG 或 CS9-G	35
GN2-35	35	40.5	400~1000	14~27.5/5	CS6-2	110
GN2-27.5	27.5	31.5	1000	63/1	CS6-2	100
GN2-20	20	23	400	10/1	CS6-2	71
GN14-20	20	23	5000~13000	74~80/10	CJ2-X 或 CS9	150
GN23-20	20	23	2500~8000	50~120/3	CJ2-II	100~200
GW9-15	15	17.5	200~600	5~20/5	钩棒操作	15
GW4-10	10	11.5	400~1250	12.5~25/2	CS11	20
GW9-10	10	11.5	200~630	3.15~25/2	钩棒操作	13
GN2-10	10	11.5	2000~3000	51~70/5	CS6-2	85~160
GN10-10T	10	11.5	3000~4000	70~80/5	CJ	60
GN19-10	10	11.5	400~1250	12.5~40/4	CS6-1T	80~100
GN24-10D	10	11.5	400~1250	12.5~40/4		
GN30-10D	10	11.5	400~3150	12.5~31.5/4		

第二节 接地开关

接地开关通常是与隔离开关配合使用。接地开关是三相交流50Hz接地装置，供高压线路在检修电气设备时，为保证人身安全而进行接地之用。

接地开关型号如下：

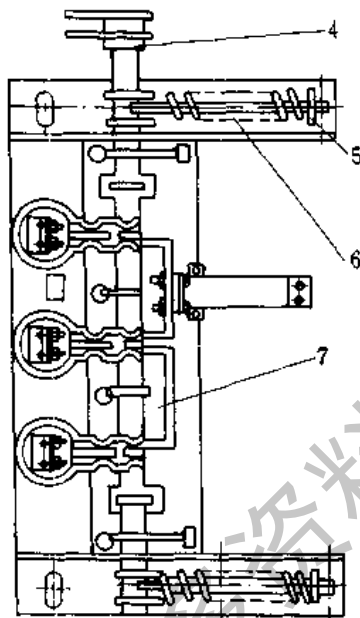
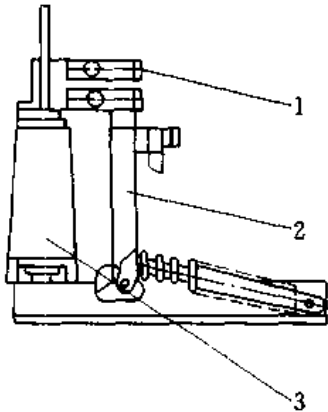
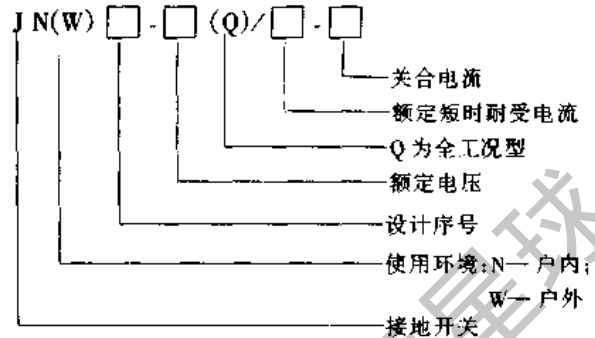


图 7.5.3 JN□-35 户内高压接地开关结构示意图

1—触指；2—触刀；3—支柱绝缘子；4—拐臂；
5—压缩弹簧；6—底架；7—转轴

一、结构

接地开关的结构一般由三个独立的单极组成一台三极电器，但也有与隔离开关本体结构组合在一起，成为一台三项共底架的组合式电器。图 7.5.3 为 JN□-35 户内高压接地开关，它是金属铠装手车式或其他金属封闭式开关设备中的主要元件。开关由底座、支柱绝缘子、触头、合闸弹簧、主轴、接地触刀、电压显示装置和连接三相接地触刀的短路排等组成。

底架是由角钢焊成的框架，三只装有 T 形触头及电压显示装置的绝缘子装在底架的横梁上，在可供接线的 T 形触头上还装有指形触头，该触头制成“C”形，使它有可靠的导向性，以确保触刀能顺利进入静触头。底架两端的中部有供装配主轴转动的圆孔，接地触刀安装在主轴上，垂直于主轴的两端，有两根压力弹簧并由小臂连接于主轴和底架之间，分、合闸时，只要操作手柄转动与主轴相连的传动轴，弹簧过中后，靠弹簧力加速合闸。合闸后，主轴与操作轴的连接拐臂成死点。所以关合短路电流，动、热稳定电流试验时，触刀不会打开。

二、常用产品技术参数 (表 7.5.2)

三、安装与维护

1. 安装与调试

表 7.5.2 常用接地开关技术参数

参数项目	单位	参数		参数项目	单位	参数	
		JN2-10	JN□-35			JN2-10	JN□-35
额定电压	kV	10	35	三相分、合闸不同期性	mm	<3	<3
额定动稳定电流	kA	80	63	各相刚合位置偏斜	mm	<2	<2
额定热稳定电流	kA	31.5	25	弹簧正压力	N	441 ± 39	430 ± 43
额定短路关合电流	kA	80	63	手动操作力距	N·m	<300	<200
工频耐压	kV	42	95	各相导电回路电阻	μΩ	<60	<60
冲击耐受电压	kV	75	185	相同中心距偏差	mm	<3	<3

- ① 将接地开关用螺栓紧固在所要固定的基座上，不得松动。
- ② 调整每个单相的触头接触情况，要保证有 2/3 的视在接触面。
- ③ 调整三相触头的合闸情况，三相刚合位置不同期性不大于 3mm，各项刚合位置偏斜不大于 2mm。
- ④ 调整弹簧压力在技术要求范围内。
- ⑤ 调整手动操作力矩在技术要求范围内。
- ⑥ 用手力分、合闸 5 次，动作应正常。
- ⑦ 传感器在安装前应进行工频耐压和局部放电试验。
- ⑧ 传感器的安装面应平整、紧固。电压指示器应安装在便于观察的面板上。

2. 维护

- ① 接地开关应定期检修，每年 1~2 次，如遇严重短路故障，应立即进行检修。
- ② 在检修中应清除导电部分表面尘埃，将接线端子与母线连接平面及触头表面清理干净，涂上工业凡士林。
- ③ 用酒精或汽油清洗转动处，并涂上工业凡士林，使转动灵活。
- ④ 检查各紧固螺栓有无松动，如有松动及时紧固。
- ⑤ 带电显示装置如长期不用，应存放在没有化学腐蚀介质的干燥场所内。
- ⑥ 按机械特性项目逐项检查有无超差，如有应及时调整。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第六章 有载分接开关

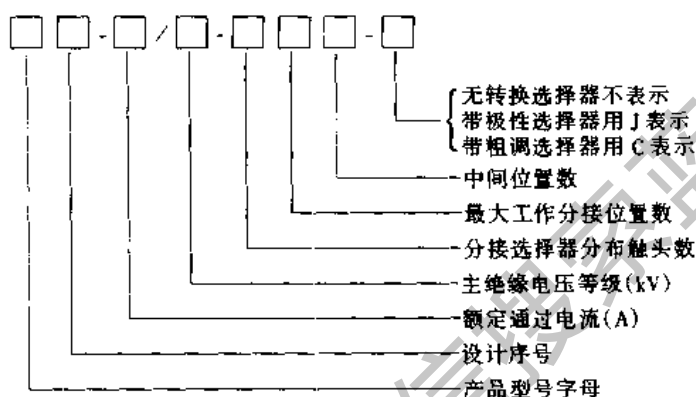
有载分接开关 (OLTC) 为有载调压变压器的重要组件, 可使变压器在带负载 (或励磁) 状态下, 变换变压器的分接头, 从而达到改变变压器电压比的目的。使用有载分接开关的变压器主要有电力变压器、电炉变压器和整流变压器等。有载分接开关还可用在电抗器 (如消弧线圈等) 及静止无功补偿装置 (SVC) 中。

有载分接开关一般由有载分接开关本体及其附属装置组成。

第一节 有载分接开关的型号及种类

一、有载分接开关的型号

有载分接开关产品型号如下:



有载分接开关产品型号含义见表 7.6.1。

表 7.6.1 有载分接开关产品型号含义

分 类	含 义	代表的字母	分 类	含 义	代表的字母
结构形式	“组”合式	圆筒型	调压部位	中性点调压	—
		“箱”型		ZX	中部、线“端”调压
绝缘介质	“复”合式	F	安装方式	装在吊器身的箱盖上	—
		油绝缘		—	装在“不”吊器身的箱盖上
	“空”气绝缘	K		装在“器”身的支架上	Q
切换电流方式	无消弧室	—	相数	一相	I
	真空“触”点切换	C		二相	II
	可控“硅”切换	G		三相	III

二、有载分接开关的种类

根据有载分接开关的工作原理, 可分为电阻式有载分接开关、电阻式选择开关和电抗式有载分接开关。目前国内使用的有载分接开关主要是前两种, 前者一般称为组合式开关, 后者一般称为复合式开关。两者的主要区别为: 组合式开关的一次分接变换是由分接选择器先进行分接选择, 然后再由切换开关完成分接变换; 而复合式开关的分接选择和变换是一次性同时完成的。其中电阻式选择开关又分为非整体结构的选择开关和整体结构的选择开关两种。组合式开关的过渡电路分双电阻过渡和四电阻过渡, 复合式开关分单电阻过渡和双电阻过渡。按有载分接开关所处绝缘介质分, 则有油浸式有载分接开关和空气绝缘有载分接开关两类。油浸式有载分接开关为配合变压器油箱结构, 又分成钟罩式 (或不连箱盖结构) 和箱顶式 (或连箱盖结构) 两种。空气绝缘的有载分接开关按其灭弧方式又分真空型有载分接开关 (用真空开关管灭弧) 和空气型有载分接开关 (用空气作灭弧介质)。而真空型有载分接开关又有做成箱柜式结构和条形结构的。按照有载分接开关与变压器调压绕组的连接方式, 有载分接开关又可分为中性点接法 (Y 接)、端部接法和中部跨接接法三类。还可根据需要增设转换选择器 (粗级选择器或极性选择器) 来扩大调压范围。

三、有载分接开关的工作原理

有载分接开关工作的基本原理是当开关作一次分接变换时，将过渡阻抗接入变压器的相邻两分接之间，保持变压器线圈中的电流在分接变换过程中不中断，限制在过渡阻抗跨接时所出现的循环电流。

1. 电阻式有载分接开关的驱动过程

电阻式有载分接开关一般用电动操作机构来驱动。操作时，用升（或降）压按钮启动电动操作机构中的电动机，电动机经减速机构减速后，带动开关中的弹簧储能机构及分接选择机构等装置。开关的一次分接变换由储能机构快速释放所储能量来完成。下面以整体结构的复合式开关为例，说明其动作过程（图 7.6.1）。

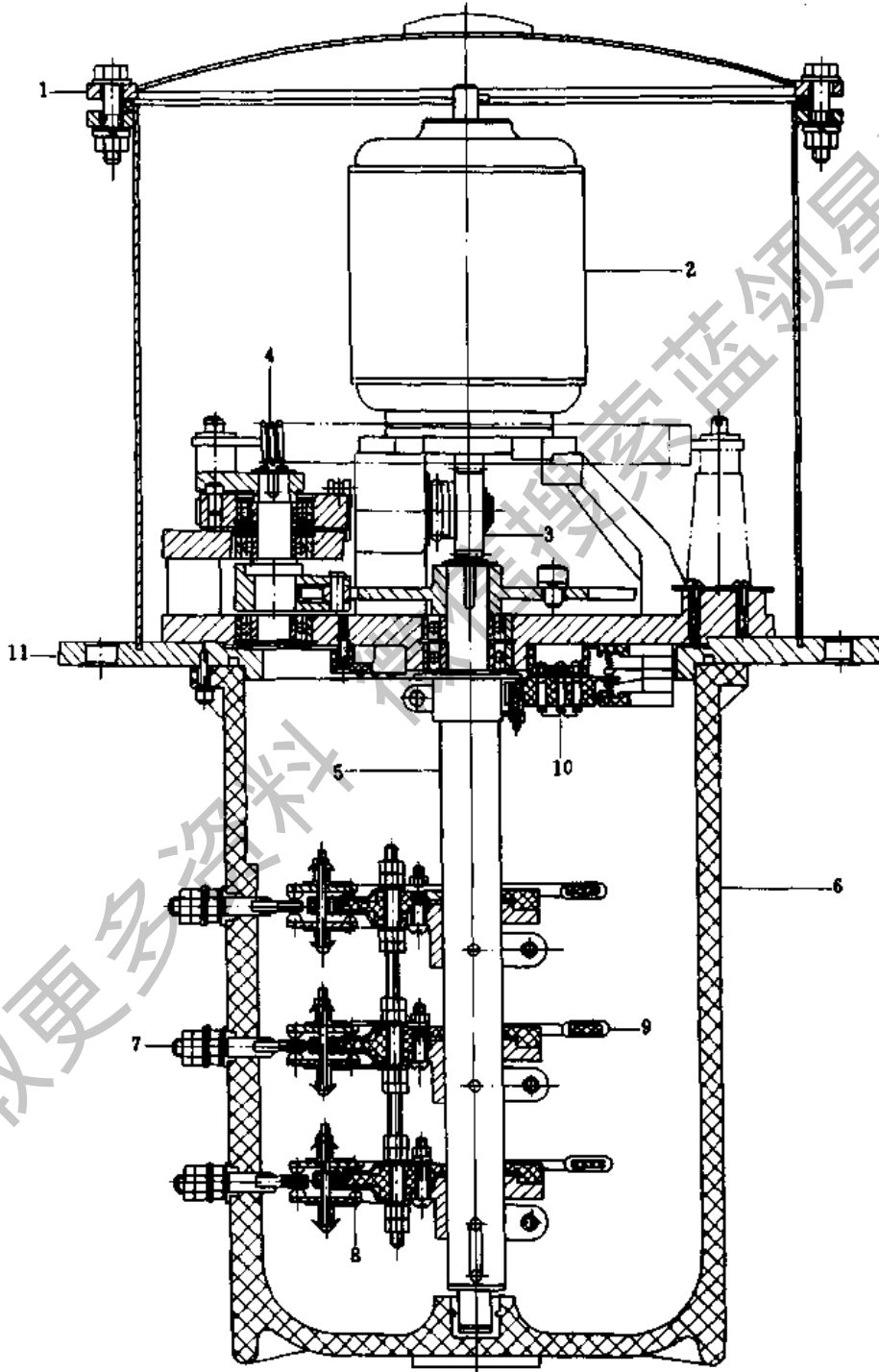


图 7.6.1 整体结构复合式有载分接开关的内部结构

1—顶盖；2—电动机；3—减速机构；4—弹簧储能快速切换机构；5—主轴；6—油室；7—静触头和接线端子；8—动触头组；9—过渡电阻器；10—分接位置指示装置；11—安装法兰

电动机 2 经减速机构 3 减速后, 使弹簧储能快速切换机构 4 中的主拉簧储能, 主拉簧过死点后快速释放所储能量, 使主轴 5 转动, 作切换动作。主轴上装有动触头组 8 和过渡电阻器 9, 动触头组每次动作转过一个分接位置, 即从一个分接转换到下一个分接上。

2. 电阻式有载分接开关的分接变换过程

目前国内生产的有载分接开关的过渡阻抗以电阻式为主。下面以单电阻过渡的复合式开关为例介绍一次分接变换过程, 见图 7.6.2。

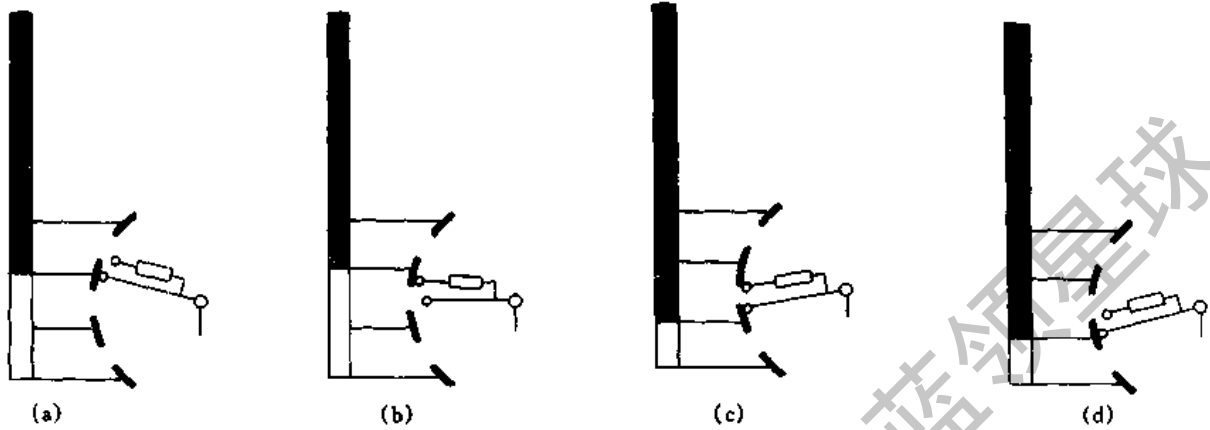


图 7.6.2 单电阻过渡复合式开关的一次分接变换过程

- ① 变压器绕组内电流由某一分接的静触头经主动触头流通, 见图 (a)。
- ② 切换开始, 主、副动触头同时接触某一分接静触头。
- ③ 主动触头与某一分接静触头脱开, 电流经副动触头和过渡电阻流通, 见图 (b)。
- ④ 主动触头与下一分接接通, 电流由下一分接的静触头经主动触头流通, 此时, 过渡电阻中出现循环电流, 见图 (c)。
- ⑤ 副动触头与某一分接静触头脱开, 变压器绕组内的电流已转换到下一分接头上, 切换过程结束, 见图 (d)。

第二节 有载分接开关的附属装置

有载分接开关类产品除了有载分接开关本体外, 还包括各种附属装置。有载分接开关的附属装置主要有电动操作机构、有载分接开关控制器、保护继电器、分接位置显示器、自动电压调整器、并联控制器、滤油器等。不同种类的有载分接开关与附属装置的配置关系有所不同。

1. 电动操作机构

电动操作机构箱安装在变压器油箱壁外, 用垂直轴、圆锥齿轮盒、水平轴与有载分接开关相连接。电动操作机构箱内装有电动机和减速机构, 通过输出轴将转动转矩传送到有载分接开关内的切换机构上。电动机的正、反转对应应有载分接开关的升、降压操作。电动操作机构箱内还装有控制电器、保护电器和分接位置指示装置等部件。电动操作机构箱门上装有升、降压按钮和紧急停止按钮。

2. 有载分接开关控制器

对于整体结构的选择开关 (即复合式有载分接开关), 其电动操作机构中的电动机、减速机构和分接位置指示装置装在开关内, 控制部分另外单独组成有载分接开关控制器。该控制器一般均装在控制室内, 通过连接电缆与有载分接开关相接。开关的切换动作由操作该控制器面板上的按钮来完成。有的有载分接开关控制器内还配备有自动控制部分, 可对有载调压电力变压器作自动控制, 使该变压器输出电压稳定在被整定的范围内。有载分接开关控制器一般都带有分接位置显示装置。

3. 保护继电器 (或气体继电器)

保护继电器装在油浸式有载分接开关油室引出的连接弯管与开关的小油枕之间。保护继电器在有载分接开关发生故障时, 开关内绝缘油被气化, 根据析出气体量的多少, 继电器发出故障报警信号或跳闸指令, 可保护有载分接开关和防止故障范围的扩大。

保护继电器一般又被称为气体继电器。

4. 分接位置显示器

分接位置显示器一般装在控制室内，通过连接电缆接到电动操作机构箱内的分接位置指示装置上，可在控制室内了解有载分接开关所处的档位。

5. 自动电压调整器

对采用配电动操作机构箱开关的有载调压变压器，如需自动稳定其输出电压，可使用自动电压调整器。自动电压调整器也可与不带自动的有载分接开关控制器配合使用。

6. 并联控制器

当两台或两台以上的有载调压变压器并联运行时，为使各变压器上有载分接开关所处分接的位置保持一致，则应采用并联控制器。

7. 滤油器

油浸式有载分接开关在运行过程中，因电弧作用，开关内的绝缘油会遭到污染。安装滤油器后，可对开关内的污油进行过滤，使开关内始终保持清洁。

滤油器一般由滤油器本体和滤油器控制装置组成。

用户应根据所用有载分接开关的实际运行情况决定是否安装该装置。

8. 真空开关管故障报警器

真空有载分接开关中的真空开关管在切换过程中如不能正常分断电弧而引起分接间短路时，真空开关管故障报警器能切断该变压器的电源并发出报警信号。

9. 圆锥齿轮盒、垂直轴、水平轴和联轴器

除整体结构的选择开关和箱柜式真空有载分接开关外，一般的有载分接开关与电动操作机构之间经水平轴、圆锥齿轮盒、垂直轴，用联轴器相连接。电动操作机构通过这几个部件将转动转矩传递到有载分接开关内部，驱动有载分接开关作切换动作。不同型号的有载分接开关所配的圆锥齿轮盒的转速比不一定相同。

10. 连接电缆

整体结构的选择开关（即复合式有载分接开关）与有载分接开关控制器之间、电动操作机构与分接位置显示器之间、电动操作机构与自动电压调整器之间、有载分接开关控制器或电动操作机构与变电站综合自动化装置的远程终端设备（RTU）之间，一般均采用电缆连接。该电缆一般由生产厂作为附件提供。

除此之外，有载分接开关的附属装置还有电位电阻、电位开关、分流电抗器等等。

第三节 常用产品技术参数

一、有载分接开关

有载分接开关的常用产品技术参数见表 7.6.2。

表 7.6.2 常用有载分接开关的技术参数

开关类型	型号	相数	开关接法	最大额定通过电流/A	最大额定级电压/V	额定开断容量/kVA	分接位置数		额定电压/kV	开关结构	备注
							带转换选择器	不带转换选择器			
油浸式有载分接开关	SYXZZ-10/100-9	3	Y接	100	300		—	9	10	整体结构 复合式开关	
	SYJZZ-10/100-7	3	中部跨接				—	7			
	SYTZZ-10/100-9	3	端部接				—	9			
	DYJZZ-10/100-7	1	中部跨接				—	7			
	DYTZZ-10/100-9	1	端部接				—	9			
	SYJZZ-35/200-7	3	中部跨接				200	600			
SYXZZ-35/200-8	3	Y接	—	8							
SYTZZ-35/200-8	3	端部接	—	8							

续表

开关类型	型号	相数	开关接法	最大额定通过电流/A	最大额定级电压/V	额定开断容量/kVA	分接位置数		额定电压/kV	开关结构	备注
							带转换选择器	不带转换选择器			
油浸式开关	F1 FY30	3或1	Y或端部接	200	10分接: 1500 12分接: 1400 14分接: 1000	10分接: 300 12分接: 280 14分接: 200	19, 23, 27	10, 12, 14	35, 60	非整体结构 复合式开关	
				350	10分接: 525 12分接: 420 14分接: 350						
				500	10分接: 400 12分接: 325 14分接: 一						
		1	端部接	700	10分接: 660 12分接: 520 14分接: 450						
	SYXZ-35/200	3	Y接	200	1800		15, 27	7, 13	35, 60	组合式开关	110kV型仅适用于采用分级绝缘的变压器
	SYXZ-35/400	3	Y接	400	1800		15, 27	7	110		
	C型	3	端部接	200	1000		27	13	10, 35		
	D型	3	Y接	400	2000		27	14	10, 35		
	SYTZ-15/600	3	端部接	600	500		48		15		
	ZY1A CI	3或1	Y接	端部接	500	3000	1000	19, 23, 27, 31, 35	10, 12, 14, 16, 18	35, 60, 110, 220	
800					1600						
1200					2500						
空气绝缘型开关	APK-120/10	3	Y接	120	1000			9, 11	10	真空开关管灭弧	
	ZKD III-120/10	3	端部接	120	500			9			
	APK3△-120-10	3	端部接	120	500			9			
	MFK III 120/10	3	端部接	120	300			9	10	整体结构 复合式开关	空气灭弧

二、有载分接开关的附属装置

有载分接开关的附属装置型号见表 7.6.3。

表 7.6.3 有载分接开关附属装置的型号

附属装置名称	型号	备注
电动操作机构	CDF1 DCJ30	配 F1 型或 FY30 型有载分接开关
	DCJ10 DQB1	配 ZY1A 型或 CI 型有载分接开关
有载分接开关控制器	JKY-4 KYT-2 KYT-3	配整体结构的复合式开关
保护继电器	QJ3-25 QJ6-25	
分接位置显示器	CY20 WKX-1	
自动电压调整器	ZDT-1 ZDT10 KZT-4	配电动操作机构或无自动的有载分接开关控制器
并联控制器	YKB2	
滤油器	YL70/1.1	
真空开关管故障报警器	SPJ-10	

第四节 安装、运行和维修

一、安装

有载分接开关类产品应按照产品安装说明书中的要求安装、干燥、注油、试验和运输，在此过程中应注意

以下几个问题。

- ① 油浸式有载分接开关适用于油浸式变压器，空气绝缘型有载分接开关适用于干式变压器。
- ② 有载分接开关与变压器分接引线连接时，应不使开关引出端子承受较大的拉力。
- ③ 油浸式有载分接开关在干燥后，未注入变压器油之前，禁止对开关作任何操作。
- ④ 油浸式有载分接开关和变压器在注油过程中，应排尽开关内部和外部的空气。
- ⑤ 对非整体结构的有载分接开关，在开关和电动操作机构对接调试过程中，应采用手摇操作。对接正确无误后，方可采用电动操作。
- ⑥ 有载分接开关装在变压器上后的试验可参照 JB/T 501—91 进行。另外还应注意：
 - a. 油浸式有载分接开关干燥过程中，触头表面可能产生的氧化层导致动静触头间接触电阻增大，因此，在测试前，需对有载分接开关操作若干个循环，每个分接位置都应走到。
 - b. 对有转换选择器的有载分接开关，为防止接线错误，在测量变压器线圈直流电阻和或变比试验时，从最小分接位置测到最大分接位置后，再从最大分接位置到最小分接位置作复测，并比较测得值。
- ⑦ 对高度较高的有载分接开关，为防止运输过程中损坏开关，应在开关底部增设绝缘支撑。
- ⑧ 安装有载分接开关时应核对所装开关的参数是否与变压器相配，不允许将参数不一致的有载分接开关和变压器配接。

二、运行和维修

有载分接开关类产品的运行和维修中需注意以下问题。

- ① 有载分接开关在投运前需进行现场验收，现场验收包括安装验收和投运验收。验收过程中需对有载分接开关作一些规定的检查和试验。
- ② 有载分接开关的气体继电器的跳闸触点必须接跳闸回路，以便在开关发生严重故障的情况下，立即切断该有载调压变压器的电源，防止故障进一步扩大。
- ③ 有载分接开关投运后，应按有关规定对有载分接开关作升、降压操作。每操作一次应只变换一个分接。操作过程中如发现连续动作（滑档），则必须立即切断电动操作机构或有载分接开关控制器的电源（或按紧急停止按钮），使开关停止切换。
- ④ 油浸式有载分接开关在每次切换操作结束后，会有少量绝缘油分解的气体析出。如发现开关内气体析出量异常或开关在非操作情况下也有气体析出，则应将开关退出运行检查。如有载分接开关内油温升高到不正常的程度，也必须使开关退出运行，检查其原因。
- ⑤ 有载分接开关在操作过程中，如出现其他不正常现象时，应停止对开关的操作，并进行检查。
- ⑥ 对油浸式有载分接开关应定期检查开关内的绝缘油，如绝缘油击穿电压下降到规定值以下，应将油过滤或更换新油。
- ⑦ 有载分接开关的常见故障的检查和维修见表 7.6.4。

表 7.6.4 有载分接开关常见故障的检查和维修

故障现象	故障原因	检查和处理方法
分接开关储油柜油位异常升高或降低	分接开关油室渗漏	寻找渗漏点，更换渗漏处密封
变压器本体内绝缘油色谱分析异常		
变压器绕组测量直流电阻时阻值不稳定	分接开关内触头接触不良	检查动静触头，清除其表面氧化膜
变压器绕组的直流电阻值在分接变化时无规律	切换开关和选择器对接有误或分接引线与开关间连接错误	将切换开关与选择器正确对接，检查分接引线
弧触头烧蚀异常	过渡电阻开路或不匹配	接入或更换过渡电阻
分接开关切换不到位	切换机构故障或储能弹簧松弛	检查切换机构转动是否灵活，是否有异物落入，如弹簧松弛则更换弹簧
分接开关连动	电动操作机构中接触器剩磁或与顺序开关配合不当	更换交流接触器，调整顺序开关
电动操作机构中的电动机保护开关跳闸	三相电源相序错	重接三相电源
	凸轮开关组安装移位	调整凸轮开关组位置
电动操作机构仅能向一个方向操作	电气限位开关未复位	修复电气限位开关

续表

故障现象	故障原因	检查和处理方法
电动操作机构两个方向都不能操作	无操作电源或缺相	检查三相电源
	手摇闭锁触点未复位	修复手摇闭锁开关
整体结构复合式开关操作方向不能控制	电动机电容器回路不通	检查电容器及其回路
分接位置显示器无指示	分接位置指示装置内接触不良或回路不通	检查分接位置指示装置及回路
电动操作机构转动不灵活	电动操作机构箱内零件生锈	零件除锈加油, 有防潮加热电阻的应接通
有载分接开关控制器不动作或无指示	电源线未接通或熔丝烧毁	检查电源线, 更换熔丝管
分接位置显示器无指示		

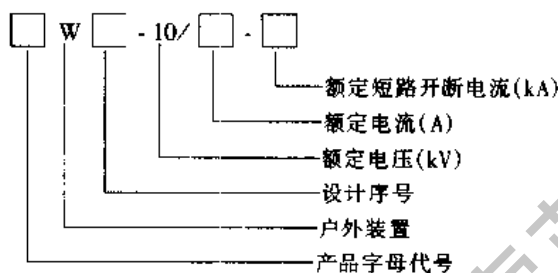
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第七章 柱上断路器

10kV 户外高压断路器是三相交流 50Hz 户外高压开关设备，断路器与操动机构装配成一个不可分割的整体，一般安装于户外高压架空配电线路的柱上使用，作为城市或农村 10kV 电网分、合负荷电流、过载电流及短路保护之用，广泛用于城市和农村 10kV 电网中。

目前国内使用的产品有柱上油真空断路器和六氟化硫断路器，近年来又开发了采用空气绝缘方式替代变压器油绝缘的无油柱上真空断路器 ZW□-10。

产品型号及含义如下：



产品字母代号：D—“多”油；Z—“真”空；L—六氟化“硫”。

第一节 结构特点

一、DW10-10 型多油断路器

DW10-10 型多油断路器（图 7.7.1）为三相共箱式，每相有一个简单的开断器，油作为灭弧和导电部分对地绝缘用，套管上出线，在靠边的两相（A、C 相）装有一次串联自动过载脱扣器和延时装置，操作机构装在

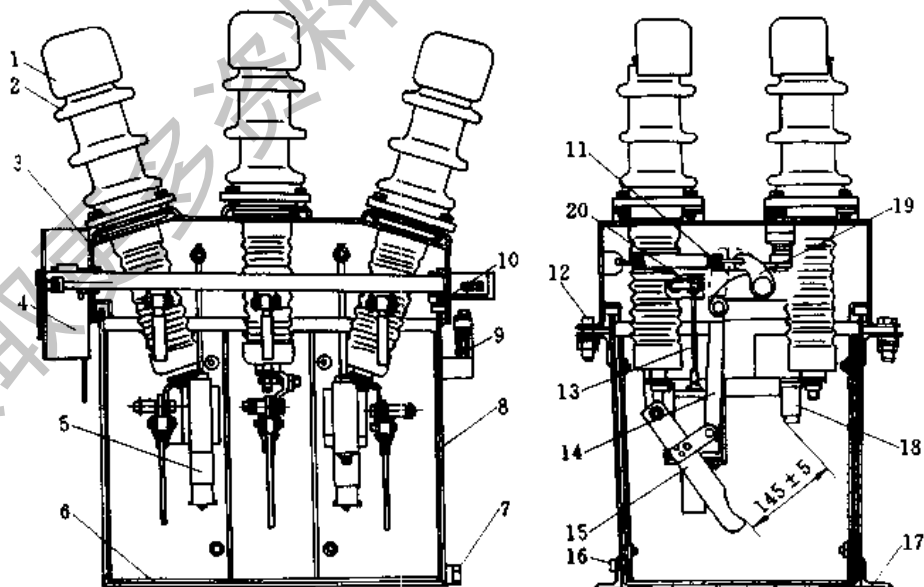


图 7.7.1 DW10-10 系列多油柱上断路器

- 1—绝缘罩；2—瓷套管；3—箱盖；4—操动机构；5—脱扣器；6—隔弧衬垫；7—放油螺栓；
8—油箱；9—油标；10—排气阀；11—分闸弹簧；12—螺栓；13—绝缘推杆；14—绝缘拉杆；
15—闸刀；16—接地螺栓；17—安装角铁；18—静触头；19—传动大轴；20—脱扣小轴

箱盖的前端，与断路器本体联成一体。主要组成部分有箱盖、油箱、瓷套管、导电杆、触头系统、操动机构及脱扣器等。

二、ZW-10 型柱上真空断路器

该产品整体结构为三相共箱式。断路器本体部分由导电回路、绝缘系统、密封件及壳体组成，操动机构装于本体侧面。导电回路由进出线导电杆，动、静端支座，导电夹与真空灭弧室连接构成。外部绝缘主要是通过高压瓷套实现的。内部绝缘有采用变压器油和空气绝缘加绝缘材料（SMC）的复合绝缘方式两种。

1. ZW1-10 型柱上真空断路器（变压器油绝缘）

ZW1-10 型柱上真空断路器的内部绝缘是通过箱内注入变压器油来实现的。其操动机构为手动储能、电动分合。断路器本体结构见图 7.7.2。

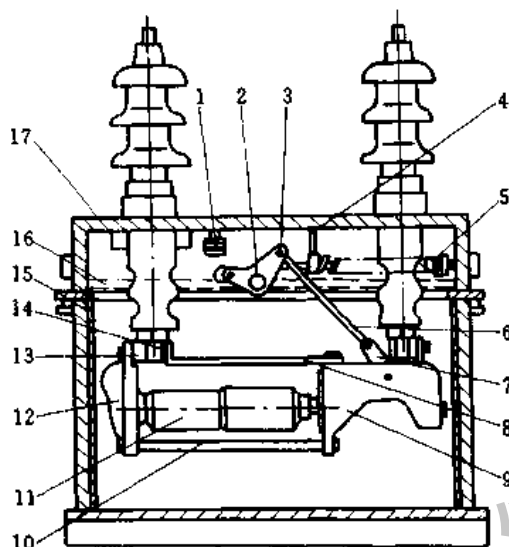


图 7.7.2 柱上真空断路器（变压器油绝缘）
本体内部结构

1—分闸缓冲；2—三相主轴；3、7—拐臂；4—支撑件；
5—分闸弹簧；6—绝缘操作杆；8—绝缘板；9—动端
支座；10—绝缘杆；11—真空灭弧室；12—静端
支座；13—导电夹；14—夹板；15—绝缘纸板；
16—变压器油；17—电流互感器

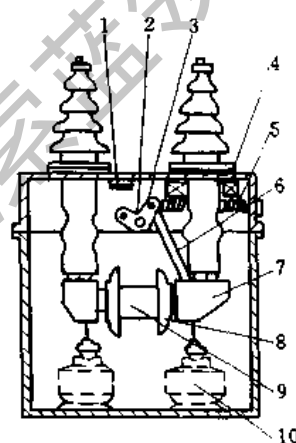


图 7.7.3 柱上真空断路器
（空气绝缘型）内部结构图

1—分闸缓冲；2—三相主轴；3—拐臂；4—电流
互感器；5—分闸弹簧；6—绝缘操作杆；
7—动端支座；8—撑爬器；9—真空
灭弧室；10—电压互感器

2. ZW□-10 型柱上真空断路器（空气绝缘型）

该产品采用空气式绝缘，本体内部导电部分还采用 SMC 片状绝缘树脂材料进行绝缘防护，从而免去了大量维护工作。同时可根据用户要求，在断路器本体内安装电压互感器。操动机构实现了电动储能，电动合分，可进行远距离操作控制。在保护控制方面，采用了 SKH-10/D 型数字式综合保护控制装置，保护功能齐全（三段式电流保护、反时限过流、限时速断、速断保护等），户外使用具有整定简单、准确、易于配合等优点。其结构见图 7.7.3。

3. 柱上真空断路器的特点

柱上真空断路器结构简单，体积小，重量轻，寿命长，维修量小，尤其无油化真空断路器无油渗漏的情况发生，避免了环境污染。

三、LW3-10 型 SF₆ 断路器

该产品采用旋弧式原理。它具有结构简单、操作能量小、机械寿命长等特点。断路器内部充 0.25MPa 六氟化硫气体，A、C 相装有电流互感器，供过电流保护用。LW3-10 I 配手动储能机构。LW3-10 II 配电动储能机构。

第二节 产品主要技术参数

产品主要技术参数见表 7.7.1。

表 7.7.1 产品主要技术参数

型号	DW4-10	DW10-10	DW15-10	ZW1-10	ZW□-10	LW3-10 I、II
额定电压/kV	12	12	12	12	12	12
额定电流/A	50、100 200、400	50、100 200、400	50、100 200、400	50、100 200、400 630	50、100 200、400 630	400 630
额定短路开断电流/kA	2.9	3.15	2.9	6.3 12.5	6.3 12.5	6.3 8 12.5
4s 耐受电流/kA	2.9	3.15	2.9	6.3 12.5	6.3 12.5	6.3 8 12.5
额定短路关合电流/kA	7.4	8	7.4	16 31.5	16 31.5	16 20 31.5
峰值耐受电流/kA	7.4	8	7.4	16 31.5	16 31.5	16 20 31.5
1min 工频耐受电压/kV	42	42	42	42	42	42
雷电冲击耐压/kV	75	75	75	75	75	75

第三节 使用与维护

一、安装

选用开关必须与使用场所的额定电压和额定电流相符。

在安装前对开关（断路器）进行绝缘电阻测量，交流耐压试验，测量每相导电回路电阻，检查操动机构的动作情况以及保护装置的状况，合格后才能安装。断路器可单杆安装（图 7.7.4），也可以双杆安装（图 7.7.5）。隔离开关最好装在相邻杆上，避雷器装在本杆上。断路器标有“电源”字样端接高压进线，另一端接出线。

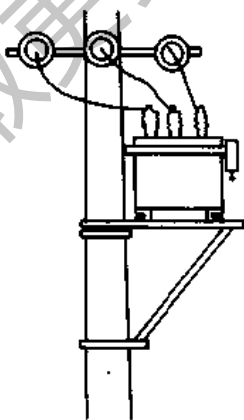


图 7.7.4 单杆安装图

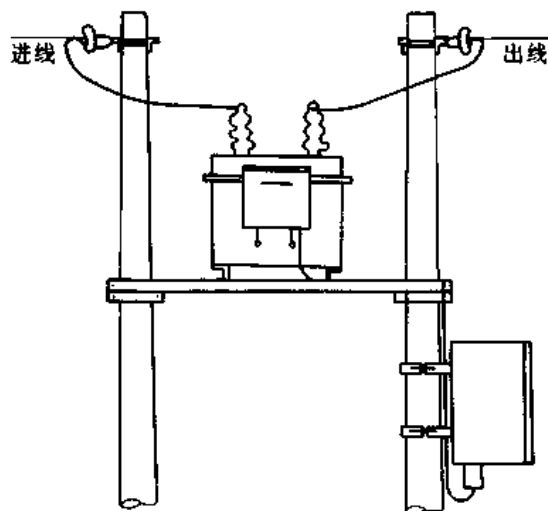


图 7.7.5 双杆安装图

ZW□-10 型真空断路器安装接线时,开关部分和保护控制箱间的连线一定要使用随机提供的导线和航空密封接插件。应在详细阅读并理解了 SKH-10/D 型保护控制装置的使用说明书后,再进行接线。

二、使用与维护

① 对于油断路器,注入油箱内的绝缘油必须符合 GB 2536—81《变压器油》标准,油面应保证在上、下油面线之间。

② 对于 SF₆ 气体断路器,要检查其气体压力是否符合要求,以免由于气体泄漏带来不必要危害。

③ 断路器正常运行以后,根据不同开关,每隔 1~5 年进行一次小修,主要检查机构运动部件的磨损情况,并在活动部位注入一些润滑油,减少相互之间摩擦。

④ 断路器的所有紧固件应无松动,尤其导电部分要连接可靠。

⑤ 油断路器对于箱体内变压器油要进行取样化验,当油耐压值低于 11.5kV 时要进行更换。

⑥ 小修完毕后,对断路器要进行绝缘电阻测量、交流耐压试验、每相导电回路的测量,合格后才能再投入使用。

⑦ 保护装置每年检查一次。

⑧ 断路器进行大修后,必须达到生产厂家的技术规定才能投入运行。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

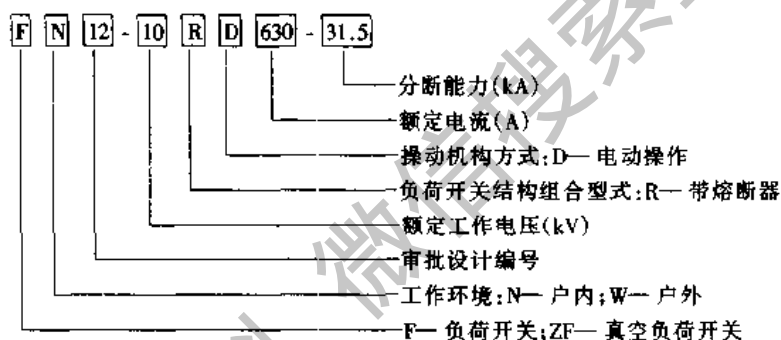
第八章 负荷开关及负荷开关-熔断器组合电器

高压负荷开关主要用于3~63kV高压配电线路中，作为接通及开断一次回路的负荷电流之用。它具有下列特点。

- ① 可直接带负荷进行操作，操作功较小，并可进行远距离控制跳闸和近距离手工合闸，安全可靠。
- ② 带有三工位结构，开关可具有合、开断、接地三个功能位置，以便于线路正常运行，及在故障情况下安全检修。
- ③ 与高压熔断器配合组成负荷开关-熔断器组合电器，可执行短路保护及过流保护的功能，其动作时间大大低于断路器加继电保护的传统保护动作时间，可缩短一次故障回路的延时时间，特别对变压器回路及终端回路、线路、电动机等短路故障，其快速保护作用更加明显。
- ④ 与其他保护类型的方式相比较，投资少，占地面积小，可节省资金和费用。
- ⑤ 可设计成无油化开关系统，在防爆、防火等方面有优越的运行条件。

第一节 型号含义与分类

一、型号表示方法



二、分类

按灭弧方式分类如下。

- (1) 产气式负荷开关 其结构特征表现为负荷开关在分断负荷电流的过程中，能通过快速分、合闸，使产气管通过电弧发热产生，SF₆压缩气体，将电弧迅速熄灭。
- (2) 压气式负荷开关 其结构特征是，开关在分、合闸的过程中，通过气缸、喷口与弧触头之间的相对运动，产生较强的压缩空气，可将电弧迅速熄灭。
- (3) 真空负荷开关 该产品的结构特点是既具有接通和分断负荷电流的功能，在分闸后又有可见的隔离口，分、合负荷电流的作用依靠真空灭弧室来执行，隔离功能依靠联动机构装置来完成。

按电压等级分类，可分为：10kV，(20kV)，35kV，63kV等四类，110kV正在蕴酿研制阶段。

第二节 结构及技术参数

一、产气式负荷开关

1. 结构图(图7.8.1)

2. 主要技术参数

- (1) 负荷开关额定参数(表7.8.1)
- (2) 接地开关额定参数(表7.8.2)

3. 结构特点

产气式交流高压负荷开关系由模块式组织结构，包括主开关基本单元、储能机构、接地开关、联锁装置、熔断器、电动跳闸装置等。

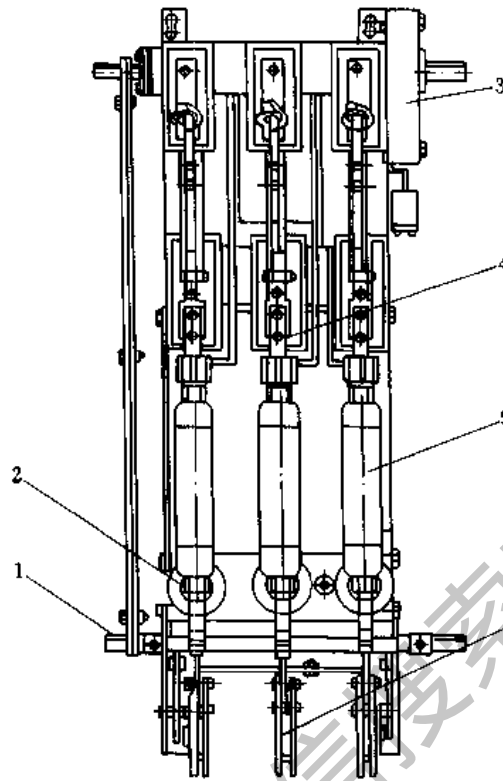


图 7.8.1 FN12-10R/630-A 型负荷开关结构示意图

1—联锁联动装置；2—跳闸机构；3—储能机构；4—主开关基本单元；5—熔断器；6—接地开关

表 7.8.1 产气式负荷开关额定参数

名称	单位	参 数		名称	单位	参 数	
额定电压	kV	10	24	工频耐压 1min 对地, 相间	kV	42	55
额定频率	Hz	50	50	隔离断口间	kV	48	70
额定电流	A	630	1250	冲击耐受电压对地, 相间	kV	75	125
额定短路关合电流(峰值)	kA	50	50	隔离断口间	kV	85	145
额定动稳定电流(峰值)	kA	50	50	额定有功负载开断电流	A	630(1250)	630(1250)
额定热稳定电流(有效值)	kA	20(2s)	20(2s)	相间距离	mm	170	235

表 7.8.2 接地开关额定参数

名称	单位	参 数		名称	单位	参 数	
额定电压	kV	10	24	工频耐压	kV	42	42
额定动稳定电流	kA	40	40	冲击耐受电压	kV	75	75
额定热稳定电流	kA	16 (2s)	16 (2s)	相间距离	mm	170	235
额定短路关合电流	kA	42	42				

其特点是结构紧凑, 体积小, 功能全, 重量轻, 分合速度快, 燃弧时间短, 灭弧性能好, 操作方便、可靠, 价格便宜, 易维修。

4. 灭弧方式

产气式负荷开关利用产气式灭弧原理，即当分闸时，主回路已切除，副回路尚未断开，在断开副回路的瞬间，产生压缩气体，将电弧迅速熄灭。在设计开断容量范围内，灭弧性能较稳定。

5. 操作方式

其开关操作通过伞型内齿轮与储能机构外齿轮相啮合，通过连杆与开关面板上的万轴联结，右侧或左侧进行操作，操作力约 300N。

二、压气式负荷开关

1. 结构图 (图 7.8.2)

2. 结构特点

- ① 采用上、下直动式动、静触头型式。
- ② 灭弧方式采用自动压气式、熄灭电弧。
- ③ 操作机构采用弹簧过中扣接式结构。
- ④ 可加入电动遥控脱扣装置进行远方电动脱扣。
- ⑤ 与限流式高压熔断器组合，可具备开断短路电流及实行过负荷保护。

⑥ 带撞击脱扣装置，并可配装接地开关，实现接通电源、隔离、接地三工位的要求。

3. 主要技术参数 (表 7.8.3)

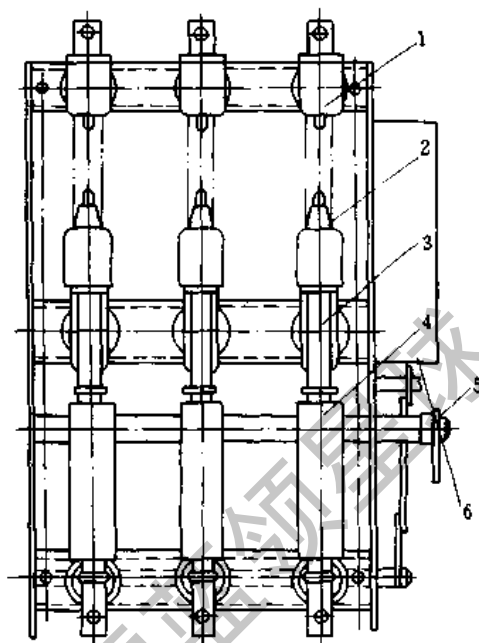


图 7.8.2 FN9-10R 型 10kV 压气式负荷开关结构示意图

1—静弧触头；2—喷嘴；3—导电杆；
4—熔断器；5、6—弹簧操作机构

表 7.8.3 压气式负荷开关主要技术参数

名称		单位	参数		
额定电压		kV	3	6	10
最高工作电压			3.5	6.9	11.5
额定频率		Hz	50		
额定电流		A	10 ~ 630		
最高开断转移电流			800 ~ 1250		
额定峰值耐受电流		kA	40 (50)		
额定短时耐受电流			16 (20)		
额定短时关合电流 (峰值)			40 (50)		
额定短时开断电流 (有效值)			31.5		
额定绝缘水平	工频耐压 (对地、相间/断口)	kV	42/48 1min		
	冲击耐压 (对地、相间/断口)		75/85		
接地回路	额定短时耐受电流	kA	16 (20)		
	额定峰值耐受电流		40 (50)		
开断电流	额定有功负载	A	630		
	额定电缆充电		10		
配变压器开断容量		kVA	1000 (1250)		
操作方式			S (手动) D (电动)		
防护等级 (配柜)			IP20X		

4. 主要机械特性要求

相间中心距	210mm	单相导电回路电阻	$\leq 80\mu\Omega$
导电杆行程	$(240 \pm 3)\text{mm}$	刚合速度	$(3 \pm 0.3)\text{m/s}$
分闸位置、动、静触头开距	$> 160\text{mm}$	刚分速度	$(2.8 \pm 0.2)\text{m/s}$
动触头超程	$(75 \pm 3)\text{mm}$	机构合闸功	近似 100J
三相分、合闸同期性	$\leq 3\text{ms}$	机构储能力矩	$< 100\text{N}\cdot\text{m}$

5. 选配限流熔断器型号及相关参数

(1) 主要规格

SDL·J型：额定工作电压 12kV，熔断器额定电流 40A，熔体额定电流可以从 0.3、10、16、20、25、31.5、40A 型中选用。

SFL·J型：额定工作电压 12kV，熔断器额定电流 100A，熔体电流可以从 50、63、71、80、100A 中选用。

SKJ·J型：额定工作电压 12kV，熔断器额定电流 1250A、1500A 等。

(2) 撞击器 按德国 DIN 标准生产，配用熔断器长度为 292mm，熔断器直径 $D = 51\text{mm}$ 。撞击器尺寸 $KF = 76\text{mm}$ 。

(3) 根据变压器的容量选择熔断器型号、电流（表 7.8.4）

表 7.8.4 熔断器型号、电流

变压器容量/kVA	10kVA (12) 等级的变压器保护		变压器容量/kVA	10kVA (12) 等级的变压器保护	
	熔断器型号	额定电流/A		熔断器型号	额定电流/A
100	12kV SDL·J	16	400	12kV SDL·J	40
125	12kV SDL·J	16	500	12kV SFL·J	50
160	12kV SDL·J	16	630	12kV SFL·J	63
200	12kV SDL·J	20	750/800	12kV SFL·J	80
250	12kV SDL·J	25	1000	12kV SFL·J	80
300/315	12kV SDL·J	31.5	1250	12kV SFL·J	100

(4) 负荷开关与熔断器配合的组合电器 组合电器可扩大短路额定值及分断容量，安装有撞击器，可通过熔断器单相（第一相）的动作，起动负荷开关其他两相自动跳开，因此在故障负荷电流小于熔断器允许开断电流时，正常操作。目前在中、小容量 10kV 配电回路中，常用负荷开关与熔断器组合，作为对 10kV 变压器线路或终端变压器的过载短路保护。

三、真空负荷开关

1. 结构图

真空负荷开关正视、侧视图见图 7.8.3。

2. 结构特点

(1) 结构 参见结构图 7.8.3，主要由隔离开关 6、真空开关 7、操动机构 8、储能分、合闸系统组成，如组成组合电器并带接地开关，还包含熔断器 9、分励脱扣器 10、接地开关 11 等零部件。

(2) 联锁

① 隔离开关与真空开关通过联杆实行联锁、联动，即应满足如下要求：合闸过程隔离开关先合，真空开关后合；分闸过程真空开关先分，隔离开关后分。

② 真空负荷开关与接地开关之间的联锁通过圆盘来实现，应满足如下要求：真空负荷开关合闸时，接地开关不允许合闸；接地开关处于合闸时，负荷开关不允许合闸。

(3) 操作

① 合闸操作：接地开关 11 处于分闸状态，顺时针摇动操作杆 3，联动隔离开关 6 缓缓合上，此时合闸弹簧开始储能，当隔离开关完全合上后，合闸弹簧释放，真空开关 7 合闸（并有明显合闸音响），此时分闸弹簧已储能。

② 分闸操作：在负荷开关处于合闸状态下，逆时针摇动负荷开关操作杆 3，分闸弹簧释放，真空开关 7 分闸（可听到明显响声），继续摇动手柄，在真空开关分闸后联动隔离开关 6 缓缓打开。

③ 电动操作：为实现远距离控制、简化操作过程，达到电动分、合闸的目的。

3. 真空负荷开关的特点

(1) 优点

- ① 真空触头开距小，动作迅速。
- ② 燃弧时间短，触头损耗度轻，技术指标高。
- ③ 防火、防爆，属无油化开关。
- ④ 体积小，重量轻。
- ⑤ 维修少，工作稳定可靠。

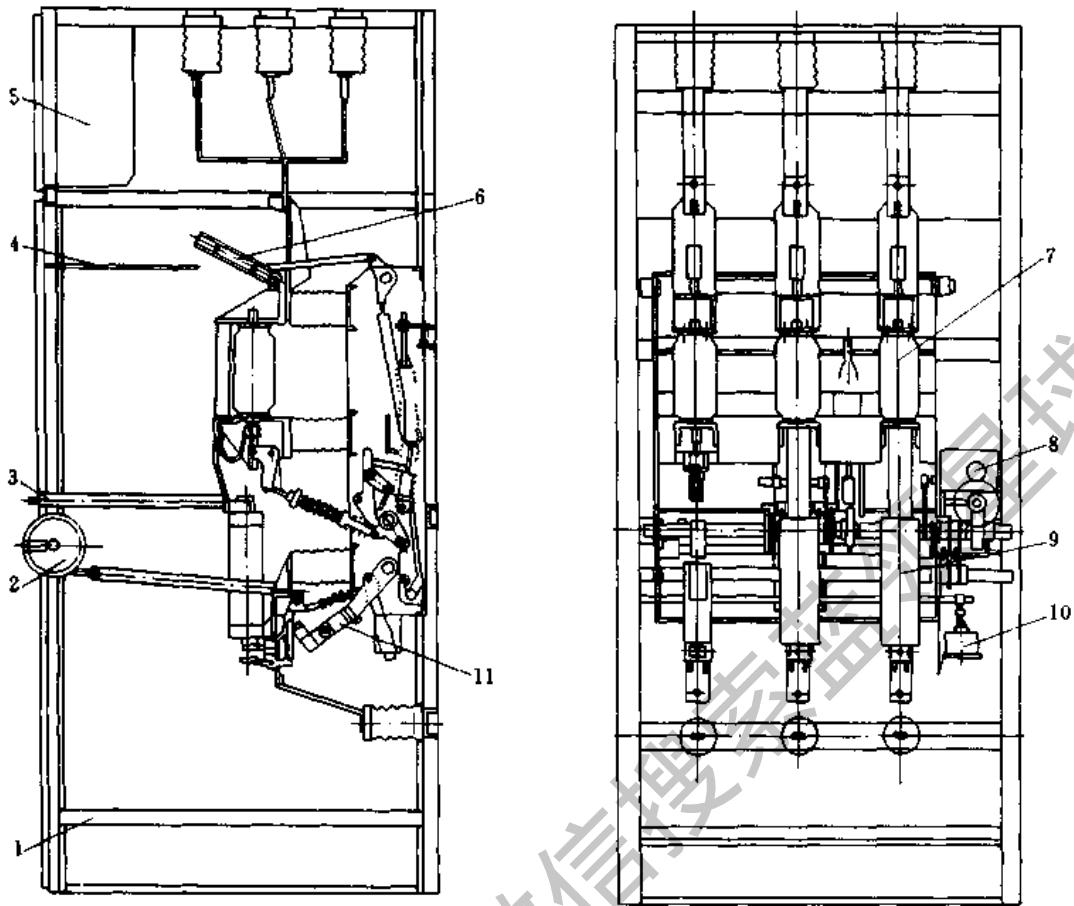


图 7.8.3 真空负荷开关装入柜内的结构示意图

1—环网柜柜体；2—接地开关操作盘；3—负荷开关操作杆；4—绝缘隔板；5—低压箱；6—隔离开关；
7—真空开关；8—操动机构；9—熔断器；10—分励脱扣器；11—接地开关

⑥ 可频繁操作，特别适于开断容量负出。

(2) 缺点

① 为实现可见断口，制造成本高。

② 在分断小电感电流时，易产生操作过电压，增加了保证绝缘及安全运行的难度。

4. 主要技术参数 (表 7.8.5)

表 7.8.5 真空负荷开关主要技术参数

名 称	单 位	参 数	备 注
额定电压	kV	12	
额定电流	A	400, 630	
额定频率	Hz	50	
额定绝缘水平 I_{min} 二频耐压 (真空断口闸、相间、相对地/隔离断口)	kV	42/48	
雷电冲击耐压 (真空断口、相间、相对地/隔离断口)		75/85	
额定开断转移电流 (有效值)	A	3150	
额定关合电流 (峰值)	kA	80	
额定短路开断电流 (有效值)	kA	31.5	配熔断器

第三节 安装与维护

① 可挂墙式安装，也可安装于框架及开关柜内，但一般应离地 1.1~1.3mm 以上。操作手柄中心位置应在水平线上 1.1~1.3mm 左右为好。

② 安装完毕后其垂直度偏差应控制在 5° 以内。

③ 负荷开关分闸位置动、静触头绝缘距离应 $\geq 160\text{mm}$ 。

④ 检查测定开关的刚分、刚合速度应满足出厂说明书中规定范围的要求。

⑤ 全部调整完毕后，应模拟操作分、合各 5 次，无卡阻现象，触头及喷口到导电杆等主要部件应擦净除尘，涂少许中性凡士林或高压导电膏。

⑥ 调整安装好的负荷开关，在检修或送电前，应预先断开送电回路，全面检查。有接地装置者，可将接地装置挂好，保证安全检修。

⑦ 对负荷开关连续分断额定负荷电流次数，已达到或超过规定次数时，应停电检查。负荷开关的触头及喷口等部件损坏严重，应及时更换。

⑧ 对已维修好的负荷开关在规定的程序下进行试分、试合各 3 次至 5 次，确认无误后，方可按操作程序合闸送电。

⑨ 对负荷开关（或组合电器）应按期返修，一般一年进行一次。若开关已承受了 100 次以上开断负荷电流或关合二次短路电流后，也应立即进行大修。

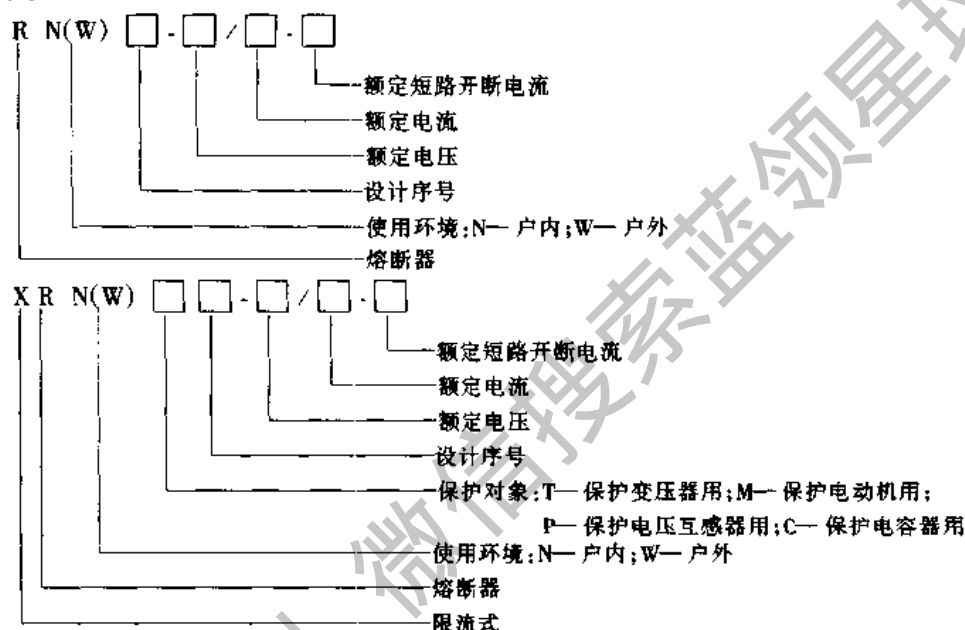
获取更多资料 微信搜索 蓝球

第九章 熔断器

第一节 3~35kV 户内高压限流熔断器

户内高压限流熔断器是较简单和较早采用的一种保护电器，主要用于电压3~35kV，三相交流50Hz电力系统中，用以保护电气设备免受严重过负荷和短路电流的损害。限流熔断器具有较大的分断能力。它既可以单独使用，也可与负荷开关、真空接触器配合使用。

其产品型号如下：



户内高压限流熔断器按使用环境可分为户内和户外两种；按其保护对象可分为变压器保护用、电动机保护用、电压互感器保护用、电容器保护用、保护对象不指定等五种；按保护特性可分为一般保护用、后备保护用、全范围保护用三种。

一、结构

户内高压熔断器按照其安装方式分为插入式熔断器和母线式熔断器两种。

插入式高压限流熔断器的结构由熔断器底座、支柱绝缘子、插座、熔断件等组成，根据额定电流的大小，熔断件可由单管、双管、四管并联使用。

母线式高压限流熔断器的结构是接线端子直接固定在熔断器的两端，根据额定电流的大小，熔断件有单管、双管、三管并联使用。

这两种形式的熔断器的熔断件的结构基本相同。

1. RN1 户内高压限流熔断器

RN1 户内高压限流熔断器作为变压器及其他电气设备的过载及短路保护。其结构形式为插入式，具有便于更换的优点，结构如图 7.9.1 所示。

熔断件是由熔体绕在六角瓷管的圆周上，再把熔断件装在瓷管中，并在瓷管内充满石英砂，作为灭弧介质。两端装上接触端盖，用水泥密封沾牢。

2. XRNM□-3,6 电动机保护用高压限流熔断器

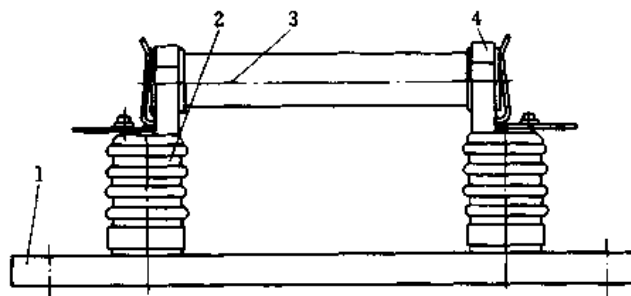


图 7.9.1 RN1 户内高压熔断器结构示意图

1—底座；2—支柱绝缘；3—瓷管；4—插座

该熔断器是作为高压电动机及其他电力设备过载或短路等的保护元件，适用于户内交流 50Hz 额定电压 3kV 或 6kV。还可与其他保持电器（如开关、真空接触器等）配合使用。该熔断器为母线式的安装方式，具有安装体积小、接触可靠等特点，其内部结构如图 7.9.2 所示。

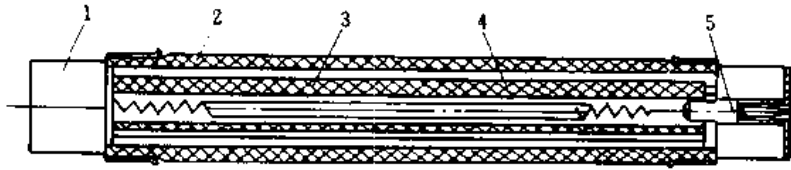


图 7.9.2 熔断器结构示意图

1—触头；2—熔管；3—熔体；4—石英砂；5—撞击器

熔管采用高强度的电瓷材料制成，具有高抗张能力，而且耐热性能好，外形美观。熔体为高纯度的纯银制成，熔体绕在瓷质的七星支柱圆周上，两端焊在连结件上。把熔体装入瓷管内，在瓷管与熔体之间填满石英砂，作为灭弧介质。

对于熔断器额定电流比较小的，熔体可做成丝状的，而对于熔断器额定电流较大的，熔体可做成带状的，并且沿着带状的相等距离冲有不同形状的槽口，如图 7.9.3 所示，槽口的形状及距离与熔断器的性能有着密切的关系。为了降低熔体的熔化温度，广泛地采用了“M”效应，即在熔体的某一点焊上低熔点的金属小球，它能改善过载分断的性能，有利于降低熔断器在正常工作下的温度和耗损。如图 7.9.4 所示。



图 7.9.3 不同槽口的熔体

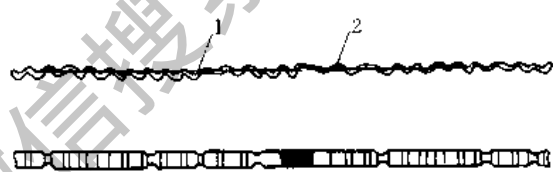


图 7.9.4 波浪形熔体

1—熔体；2—M 效应点

撞击器是用撞针来跳开有关开关设备，并作为熔断器动作的标志。撞击器采用爆炸储能装置，其中与熔体并联的康铜丝及钨丝能在电弧刚开始的千分之几秒时间内，首先熔化并立即引爆火药装置使撞针动作，并以足够的能量给出信号或使其他电器动作，或提供联锁，从而隔离电器。

二、常用产品技术参数

1. RN1 系列户内交流高压限流熔断器技术参数（表 7.9.1）

表 7.9.1 RN1 系列主要技术参数

型 号	额定电压 /kV	最高工作电压 /kV	额定电流 /A	熔管额定电流/A	额定开断容量 (三相) /MVA	备注
RN1-3/25	3	3.5	25	2、3、5、7.5、10、15、20、25	200	单管
RN1-3/100			100	30、40、50、75、100		双管
RN1-3/200			200	150、200		
RN1-6/25	6	6.9	25	2、3、5、7.5、10、15、20、25	200	单管
RN1-6/75			75	30、40、50、75		双管
RN1-6/200			200	100、200		
RN1-10/25	10	11.5	25	2、3、5、7.5、10、15、20、25	200	单管
RN1-10/50			50	30、40、50		双管
RN1-10/150			150	75、100、150		
RN1-35/10	35	40.5	10	2、3、5、7.5、10		单管
RN1-35/40			40	15、20、30、40		双管

2. RN2 系列户内交流高压限流熔断器技术参数 (表 7.9.2)

表 7.9.2 RN2 系列主要技术参数

型 号	额定电压/kV	最高工作电压/kV	额定电流/A	额定开断容量(三相)/MVA
RN2-10	3	3.5	0.5	500
	6	6.9		1000
	10	11.5		1000
RN2-20	20	23		1000
RN2-35	35	40.5		1000

3. XRNM□-3,6 系列户内交流高压限流熔断器技术参数 (表 7.9.3)

表 7.9.3 XRNM□-3,6 系列主要技术参数

产品型号	额定电压/kV	最高工作电压/kV	额定电流/A	额定开断电流/kA	熔断件额定电流/A	备注(原型号)
XRNMI	3	3.6	125	50	50、63、80、100、125	WDF·O
			200		125、160、200	WFF·O
			400		250、315、355、400	WKF·O
	6	7.2	160	40	25、31.5、40、50、63、80、100、125、160	WFN·O
224			200、224		WKN·O	

三、熔断器的选用、使用和更换

1. 选用

高压限流熔断器必须要有可靠性和灵敏性,这就要求熔断器的允许工作电压大于或等于回路的实际工作电压,或熔断器的额定电压等于回路的工作电压(即电网的额定电压),以保证熔断器长期工作时绝缘完好,熔断器熔管的额定电流应大于或等于熔体的额定电流,熔断器的最大开断电流应不大于被保护电路的最小短路电流。当故障发生后,上、下级熔断器之间、熔断器与其他保护电器之间应有很好的配合,既可快速、可靠地动作,又可缩小停电范围,有选择地切除故障。

2. 使用与更换

熔断器在安装前应储藏在干燥和合适的场所。安装时,必须经过外观检查,检查外壳和其他零件是否有损伤以及测量电阻值等。熔断器应按制造厂提供的说明书安装,对有撞针的熔断器应按熔断器上标明的撞针方向安装,并调整好与开关联动的杠杆距离,紧固其所有的连接件,以防在正常运行时过热。对三相布置的熔断器,相间的距离不应小于制造厂家的规定。

对于三相安装的熔断器,即使有一只熔断器动作,其余两只都得更换,即使还没有损坏,但也到了容易损坏的程度。

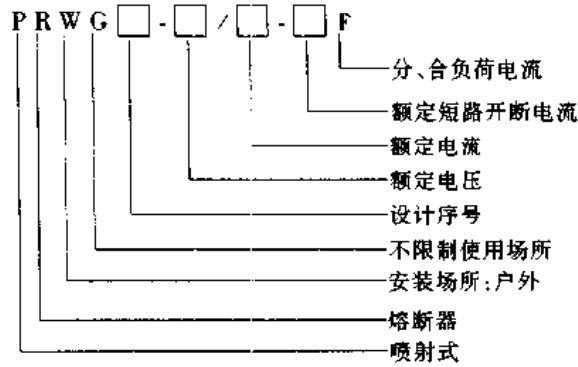
在更换动作过的熔断器时,为了安全起见,至少应等待 10min 后再更换。在熔断器动作后,发现熔管内有烟雾泄出或有噪声现象时,应隔离电路与电源后才能更换。

第二节 10~35kV 户外交流高压跌落式熔断器

户外交流高压跌落式熔断器是户外单相高压电器设备,属于喷射式熔断器的一种类型。它主要用于额定电压 10~35kV 三相交流 50Hz 电力系统中,作为配电线路或配电变压器的过载和短路保护。

其产品型号如下。





一、结构

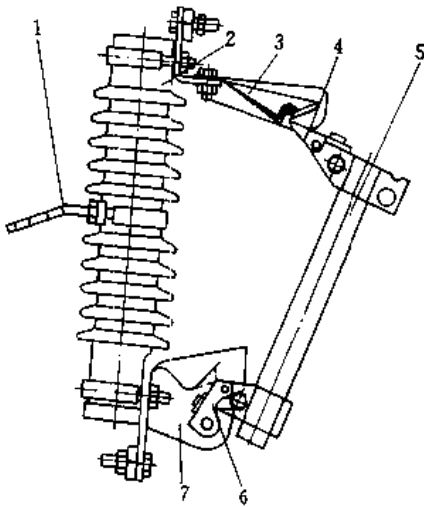


图 7.9.5 RW7-10 型结构示意图

- 1—安装板；2—绝缘支架；3—上静触头；
4—上动触头；5—熔断管；6—下动触头；7—下静触头

跌落式熔断器由最基本的构件组成，包括熔断器底座、底座上下触头、载熔体上下触头、载熔件、熔断件等。各种型号的跌落式熔断器的功能基本是相同的，只是组成熔断器的零部件外形有所不同。

如图 7.9.5 所示的 RW7-10 熔断器由绝缘支架、熔断管两部分组成，静触头安装在绝缘支架两端，动触头安装在熔断器两端，安装熔丝的同时能使熔管上的动触头和活动的机构锁紧，合闸时在上触头弹压的压和下使之可靠接触。当熔丝熔断时，在电弧的作用下熔管内析出大量气体和电流过零时产生强烈的去游离作用将电弧熄灭，使触头的活动机能释放，在弹片的推动和熔断自重的作用下迅速跌落，形成明显的隔离断口。

该熔断器瓷件与静触座支架采用机械卡装，与水泥胶装比较，具有机械强度高，不会发生瓷件胶装外断裂事故。熔断器的熔丝管采用钢纸管环氧玻璃钢复合管制成，在制造时直接将环氧玻璃布卷绕在钢纸管上，故有较高的机械强度，并具有较高的开断容量和多次开断能力。

二、常用产品技术参数

RW7-10 户外交流高压跌落式熔断器技术参数见表 7.9.4，RW10-10F 户外交流高压跌落式熔断器技术参数见表 7.9.5。

表 7.9.4 RW7-10 熔断器技术参数

额定电压/kV	额定电流/A	额定开断容量/MVA	
		上 限	下 限
10	50	50	10
		75	15
	100	75	15
		100	20
	200	150	30
		200	40

表 7.9.5 RW10-10F 熔断器技术参数

额定电压/kV	最高工作电压/kV	额定电流/A	额定开断容量/MVA		分合负荷电流值/A
			上 限	下 限	
10	11.5	50	200	40	50
		100	200	40	100
		200	200	40	200

三、安装与维护

- ① 选择熔断器必须使安装地点的额定电压和短路容量在熔断器的额定电压和断流容量范围之内。
- ② 熔断器的额定电流一般是高于安装地点的正常工作电流。
- ③ 安装前要进行仔细检查，将熔断器各部分擦拭干净，检查各部分螺帽、螺钉是否旋紧，各转动部分是否灵活，先合闸几次，查看是否有足够的接触压力，否则应予以调整。
- ④ 安装熔丝时，应使熔件处于熔管的中部，应拉紧熔丝，否则会减小触头的接触压力，而直接影响熔断器的载流能力，甚至会使熔丝管在运行中无故跌落。
- ⑤ 熔断器安装时，应使熔丝管与地面垂直方向成 30° 夹角，并且熔断器离地高度低于 4m。
- ⑥ 熔断器的电接触部分，在开断短路电流后如出现熔疤应该锉平，其接触部分应不小于视在接触的三分之二。
- ⑦ 熔断器必须在线路与电源切断，即不带电的情况下方可进行检修。
- ⑧ 暂不使用的熔断器，应存放在干燥、通风的仓库内妥善保管，其周围不得有腐蚀气体和易爆的物质。

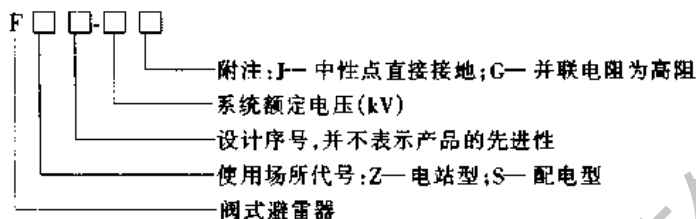
获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第十章 避雷器

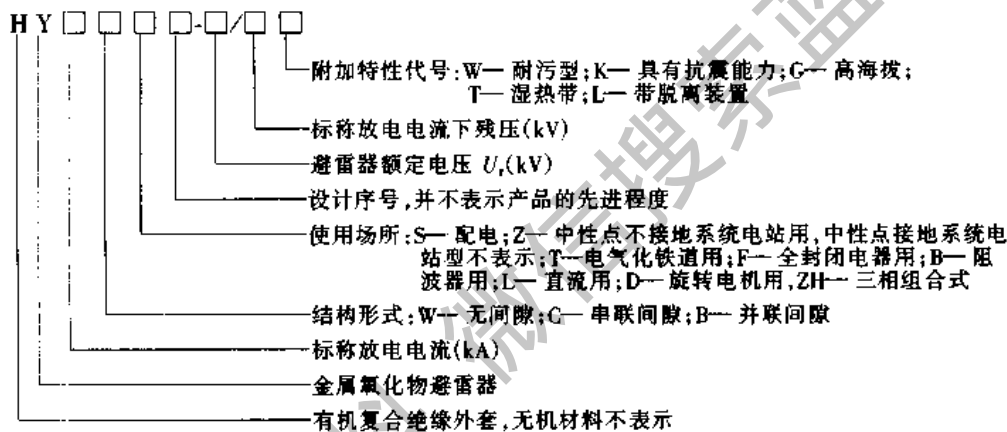
避雷器是一种过电压限制器，它通常接于高压导线和地面之间^①，与保护设备并联，并且过电压值达到规定的动作电压时，避雷器立即动作，释放过电压电荷，限制过电压幅值，保护设备绝缘免遭过电压损害。在过电压作用后能迅速恢复系统原状，使电网能正常供电。

避雷器有碳化硅阀式避雷器和金属氧化物避雷器，其型号如下。

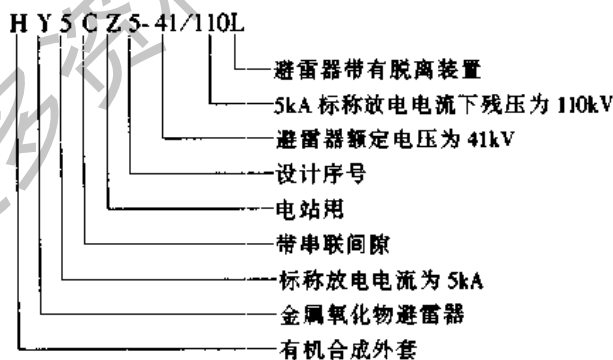
1. 碳化硅阀式避雷器



2. 金属氧化物避雷器 (MOA)



MOA 型号举例说明



第一节 碳化硅普通阀式避雷器 (GB 7327)

一、普通阀式避雷器的内部结构

避雷器内部主要由放电间隙与碳化硅阀片串联而成，置于密封的瓷套内。阀片为用碳化硅制作的非线性电阻；放电间隙由黄铜板冲压成圆环状，中间夹云母片组成。每对间隙放电根据云母片的厚薄一般为 1.5 ~ 3kV。根据避雷器工频放电的需要由若干间隙组成。

① 有的避雷器接于相同或并联于设备两端。

电站型避雷器放电间隙并联由高温烧成的碳化硅非线性并联电阻组成，以改善间隙的电位分布，降低避雷器的冲击系数。

二、阀式避雷器动作原理

阀式避雷器的保护作用主要靠放电间隙，碳化硅阀片相互配合完成的。平时避雷器在系统电压下处于绝缘状态。当系统雷电过电压达到间隙的放电电压时，间隙放电，雷电流通过阀片流入大地，释放雷电过电压电荷。雷电过电压过去后，阀片电阻恢复高阻，使工频续流受到限制。在工频续流第一次过零瞬间，间隙将工频续流切断，恢复到正常运行状态。

三、阀式避雷器的基本电气性能

阀式避雷器的基本电气性能由灭弧能力、保护性能和通流能力三个方面组成，见图 7.10.1。

阀式避雷器的基本电气性能见表 7.10.1 和表 7.10.2。

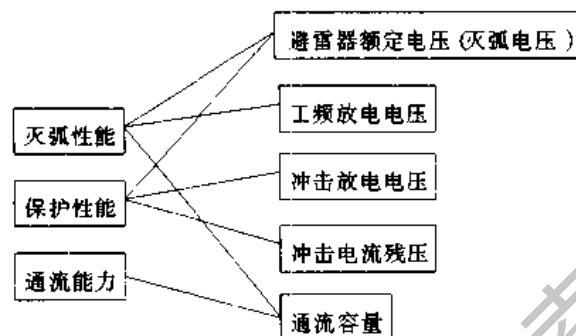


图 7.10.1 基本电气性能

表 7.10.1 阀式避雷器主要电气性能 (一)

产 品 型 号	FS-0.38	FS2-3	FS2-6
系统额定电压(有效值)/kV	0.38	3	6
避雷器额定电压(有效值)/kV	0.50	3.8	7.6
波前冲击放电的波前陡度/(kV/ μ s)	10	32	63
工频放电电压(有效值)/kV	1.10~1.60	9.0~11.0	16.0~19.0
1.2/50 μ s 冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	3.00	21.0	35.0
波前冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	3.90	26.3	43.8
标称电流下残压(波形 8/20 μ s, 5kA 下)(峰值)/kV 不大于	3.0	17.0	30.0
产品质量/kg	0.5	4.0	5.0
产 品 型 号	FS2-10	FS3-10	FS4-10
系统额定电压(有效值)/kV		10	
避雷器额定电压(有效值)/kV		12.7	
波前冲击放电的波前陡度/(kV/ μ s)		106	
工频放电电压(有效值)/kV		26.0~31.0	
1.2/50 μ s 冲击放电电压(峰值)/kV 不大于		50.0	
波前冲击放电电压(峰值)/kV 不大于		62.5	
标称电流下残压(波形 8/20 μ s, 5kA 下)(峰值)/kV 不大于		50.0	
产品质量/kg	7.27	6.25	5.56

表 7.10.2 阀式避雷器主要电气性能 (二)

产 品 型 号	FZ-3	FZ-6	FZ-10G ^①	FZ-15	FZ-20	FZ-30
系统额定电压(有效值)/kV	3	6	10	15	20	30
避雷器额定电压(有效值)/kV	3.8	7.6	12.7	20.5	25	25
波前冲击放电的波前陡度/(kV/ μ s)	32	63	106	175	208	208
工频放电电压(有效值)/kV	9.0~11.0	16.0~19.0	26.0~31.0	41~49	51~61	56~67
1.2/50 μ s 冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	20.0	30.0	45.0	73	85	110

续表

产 品 型 号	FZ-3	FZ-6	FZ-10G ^①	FZ-15	FZ-20	FZ-30
波前冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	25.0	37.5	56.3	91	106	138
标称电流下残压(波形 8/20 μ s, 5kA 下)(峰值)/kV 不大于	13.5	27.0	45.0	67.0	81.5	81.5
基本元件的电导电流	直流试验电压/kV	4	6	10 \times 2	16	20
	电导电流/ μ A	400~600				
产品质量/kg	38	41	47	55	61	75
产 品 型 号	FZ-35	FZ-110J	FZ-220J			
系统额定电压(有效值)/kV	35	110	220			
避雷器额定电压(有效值)/kV	41	100	200			
波前冲击放电的波前陡度/(kV/ μ s)	343	813	1200			
工频放电电压(有效值)/kV	82~98	224~268	448~536			
1.2/50 μ s 冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	134	326	620			
波前冲击放电电压(峰值)/kV 不大于	168	408	775			
标称电流下残压(波形 8/20 μ s, 5kA 下)(峰值)/kV 不大于	134	326	652			
基本元件的电导电流	直流试验电压/kV	16(15kV 元件)	24(30kV 元件)	24(30kV 元件)		
	电导电流/ μ A	400~600				
产品质量/kg	100	225	736			

① 该型产品带有高阻分路电阻, 为高阻型避雷器 (不带 G 为普通型)。

四、避雷器的机械性能

1. 避雷器的机械强度

试验的目的在于考验避雷器耐受风力、导线拉力等机械负荷的能力。

2. 避雷器的密封

避雷器元件置于瓷套内必须密封, 以防止潮气侵入。密封试验是为了测定避雷器的密封性能, 以保证避雷器在运行中的电气性能, 不因密封不良而损坏。

五、普通阀式避雷器交接试验注意事项

阀式避雷器在新安装前或使用了一段时间后需进行检测, 以证明其是否完好。

其试验项目见表 7.10.3。

表 7.10.3 阀式避雷器的试验项目

试 验 名 称	低 压	配 电	电 站	备 注
工频放电电压	③	③	③	③干燥状态下进行
1.2/50 μ s 冲击放电电压	②	②	②	
冲击放电伏秒特性	①	①	①	③仅对阀片进行
波前冲击放电电压	①	①	①	
标称电流下残压	③	③	③	
阀片方波与冲击通流试验	②	②	②	
大电流冲击耐受	不需要	①	①	
动作负载	①	①	①	
电导电流或泄漏电流	③	③	③	
密封	③	③	③	
机械强度	不需要	①	①	
外绝缘	①	①	①	

① 为型式试验项目。② 为抽查试验项目。③ 为例行试验项目。

1. 密封试验

在现场受试验条件限制时, 可直接将避雷器放置在水中浸泡 1~2 天, 捞出后晾干, 再进行下述电气性能试验, 如合格则认为避雷器密封完好。

2. 工频放电电压

① 带并联电阻的电站型阀式避雷器要求快速升压, 在电压超过灭弧电压后升到试品放电电压的时间, 不超过 0.2s, 以免非线性并联电阻过热而损坏。常采用冲击励磁发电机调压。不带并联电阻的低压及配电避雷器

对升压速度无特殊要求，但应注意调压时速度应均匀。

② 试验回路保护电阻应使短路电流值限制在 0.2 - 0.7A 以下，回路中电流继电器应保证在放电 0.5s 时间内把电流切断，以免烧伤间隙。

③ 工频电流的波形应为近似正弦波，其峰值与有效值之比应等于 $\sqrt{2} \pm 0.07$ 。

电源容量应满足变压器短路电流不低于 1A（有效值），电压有效值取所量的峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

3. 电导电流或泄漏电流试验

有并联电阻的电站型避雷器进行电导电流试验。在规定的直流电压下，电流为 400 - 600 μ A。若电流过小，则可能是并联电阻断裂或已老化；若电流过大，则可能并联电阻短路或受潮。

4. 绝缘电阻测量

受现场条件限制，有时不能进行工频和直流电压试验，可以采用兆欧表进行绝缘电阻试验。对绝缘电阻值不作规定，但避雷器的绝缘电阻应与前一次或同一型式的避雷器的测量数据进行比较，其结果应相近。对有并联电阻的 FZ 电站型避雷器，主要检查非线性电阻的通断和接触情况。兆欧表可采用 2500V 的量程。

绝缘电阻测量应注意：

① 周围环境的空气和试品表面应干燥、清洁；

② 测绝缘电阻重要的是比较，可以判断避雷器质量不好，但不能证明其是好的。

六、阀式避雷器的运输及安装

① 阀式避雷器（包含 MOA）在运输与放置时应正直放置。

② 将避雷器内部空气置换以干燥的高纯氮气，是改善避雷器基本特性长期稳定的有效措施。充氮后避雷器内外气压平衡，充氮后间隙放电特性无明显变化。

③ 不同制造厂生产的 FZ 电站型系列元件，因内部结构可能不一致，一般不宜混用。

④ 配电型避雷器配用安装卡子直接固定在电杆的横担上。电站型避雷器附有底座一只，用于安装动作计数器。

避雷器上端接高压导线，下端接地，电站型避雷器可通过放电计数器接地，不用放电计数器则可将绝缘底座短接。

⑤ 每隔 1 - 2 年对运行中的避雷器涂漆部分应重新刷漆以防生锈。

第二节 交流无间隙 MOA (GB 11032)

一、无间隙 MOA 的主要电气性能（见表 7.10.4 至表 7.10.10）

表 7.10.4 无间隙电站型和配电型避雷器电气特性

产品型号	系统额定电压 (有效值) /kV	避雷器额定电压 (有效值) /kV	避雷器持续运行电压 (有效值) /kV	陡波冲击电流下残压 (峰值) /kV 不大于	雷电冲击电流下残压 (峰值) /kV 不大于	操作冲击电流下残压 (峰值) /kV 不大于	直流 1mA 参考电压 /kV 不小于	产品质量 /kg	安装方式
Y5W5-96/250	110	96	73	279	250	212	136	160	自立式
Y10W5-96/250	110	96	73	279	250	212	136	160	自立式
Y5W5-100/260	110	100	73	291	260	221	145	160	自立式
Y10W5-100/260	110	100	73	291	260	221	145	160	自立式
Y5W5-102/281	110	102	73	296	265	225	145	160	自立式
Y10W5-102/281	110	102	73	296	265	225	145	160	自立式
Y5W5-108/281	110	108	73	314	281	239	153	160	自立式
Y10W5-108/281	110	108	73	314	281	239	153	160	自立式
Y10W5-192/500	220	192	146	558	500	424	271	327	(双节)
Y10W5-200/520	220	200	146	582	520	442	290	327	(双节)
Y10W5-204/530	220	204	146	592	530	450	296	327	(双节)
Y10W5-216/562	220	216	146	628	562	478	305	327	(双节)

表 7.10.5 无间隙变压器中性点保护用避雷器电气特性

产品型号	变压器 额定电压 (有效值) /kV	避雷器 额定电压 (有效值) /kV	雷电冲击 电流下残压 (峰值) /kV 不大于	操作冲击 电流下残压 (峰值) /kV 不大于	直流 1mA 参考电压 /kV 不小于	2ms 方波 通流容量 20 次 /A	产品质量 /kg	安装方式
Y5W5-60/144	110	60	144	137	86	400	67	自立式
Y1W5-73/200	110	73	200	165	103	400	72	自立式
Y1W5-108/260	500	108	260	243	152	600	160	自立式
Y1W5-144/320	220	144	320	304	190	600	244	自立式
Y1W5-216/440	210	216	440	399	250	600	327	自立式

表 7.10.6 无间隙并联补偿电容器组保护用避雷器电气特性

产品型号	系 统 额 定 电 压 (有效值) /kV	避 雷 器 额 定 电 压 (有效值) /kV	避 雷 器 持 续 运 行 电 压 (有效值) /kV	雷 电 冲 击 电 流 下 残 压 (峰值) /kV 不大于	操 作 冲 击 电 流 下 残 压 (峰值) /kV 不大于	直 流 1mA 参 考 电 压/kV 不 小 于	2ms 方 波 通 流 容 量 20 次 /A	电 容 器 组 参 考 容 量 /kV AR	产 品 质 量 /kg	安 装 方 式
新型号 (Y5WR5-17/45)	10	17	8.6	45	35	23	400 (600)	2000~ 8000	4.25	悬挂式
原型号 (Y5WR5-12.7/45)		12.7								
新型号 (Y5WR5-51/134)	35	51	30.5	134	105	70	400 (600)	8000	65	自立式
原型号 (Y5WR5-42/134)		42								
Y5WR5-84/224	63	84	52	224	176	117				自立式

表 7.10.7 无间隙发电机、电动机保护用避雷器电气特性

产品型号	电机额定 电压 (有效值) /kV	避雷器额 定电压 (有效值) /kV	避雷器持 续运行 电压 (有效值) /kV	陡波冲击 电流下 残压 (峰值) /kV 不大于	雷电冲击 电流下 残压 (峰值) /kV 不大于	操作冲击 电流下 残压 (峰值) /kV 不大于	直流 1mA 参考电压 /kV 不小于	产品质量 /kg	安装方式
Y2.5W5-4/9.5	3.15	4	2	10.9	9.5	7.6	5.6		悬挂式
Y2.5W5-8/19	6.3	8	4	21.9	19	15	11.3	3.35	悬挂式
Y1W5-3/6	3.15	3			6		3.4		悬挂式
Y1W5-5/12	6.3	5			12		6.9		悬挂式
Y1W5-8/19	10.5	8			19		11.3	3.35	悬挂式
Y2.5W5-13/31	10.5	13	6.6	35.7	31	25	18.9	3.9	悬挂式
Y2.5W5-17/40	13.8	17	9	46	40	32	24.8		悬挂式
Y2.5W5-19/45	15.75	19	10	51.8	45	36	28.2		悬挂式

表 7.10.8 无间隙电气化铁道用避雷器电气特性

产品型号	系 统 额 定 电 压 (有效值) /kV	避 雷 器 额 定 电 压 (有效值) /kV	避 雷 器 持 续 运 行 电 压 (有效值) /kV	陡 波 冲 击 电 流 下 残 压 (峰值) /kV 不大于	雷 电 冲 击 电 流 下 残 压 (峰值) /kV 不大于	操 作 冲 击 电 流 下 残 压 (峰值) /kV 不大于	直 流 1mA 参 考 电 压/kV 不 小 于	2ms 方 波 通 流 容 量 20 次 /A	产 品 质 量 /kg	安 装 方 式
Y5WTS-42/120	27.5	42	31.5	138	120	98	65	400	65	自立式
Y10WTS-42/120	27.5	42	31.5	138	120	98	65	400	65	自立式
Y5WTS-84/240	55	84	63	276	240	196	130	400	118	自立式
Y10WTS-84/240	55	84	63	276	240	196	130	400	118	自立式

表 7.10.9 出口用避雷器主要电气特性

避雷器 额定电压 (有效值)	避雷器持续运行电压 (有效值)	标称放电电流 10kA 等级				标称放电电流 5kA 等级			
		陡波冲击 电流下残压 (峰值)	雷电冲击 电流下残压 (峰值)	操作冲击 电流下残压 (峰值)	直流参考 电压	陡波冲击 电流下残压 (峰值)	雷电冲击 电流下残压 (峰值)	操作冲击 电流下残压 (峰值)	直流参考 电压
		kV			kV	kV	kV		
			≤		≥		≤		≥
6	5.1	26.5	23	19.5	11	24.5	21.5	18.5	11
7.5	6	31.5	27.5	23.5	13	29	25.5	21.5	13
9	7.65	39.5	34.5	29	16.5	37	32	27	16.5
10	8	45	39	33	18.5	41.5	36	30.5	18.5
12	10.2	53	46	39	22	49.5	43	36.5	22
15	12.7	66	57.5	49	27.5	61.5	53.5	45.5	27.5
18	15.3	79	69	58.5	33	74	64.5	55	33
21	17	90	78	66	37	83	72	61	37
24	19.5	102	89	75.6	42.5	95.5	83	70.5	42.5
27	22	116	101	86	48	107.5	95.6	79.5	48
30	24.4	127.5	111	94	53	118.5	103	87.5	53
33	26.7	140	122	104	58	130	113	96	58
36	29	152	132	112	62	141.5	123	104.5	62
39	31.5	165.5	144	122	68.5	154	134	114	68.5
42	36.5	192	167	142	79.5	178	155	132	79.5

表 7.10.10 无间隙电站型和配电网型避雷器电气特性

产品型号	系统 额定 电压 (有效值) /kV	避雷器 额定 电压 (有效值) /kV	避雷器 持续运 行电压 (有效值) /kV	陡波冲 击电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	雷电冲 击电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	操作冲 击电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	直流 1mA 参考电 压/kV 不小于	产品质量 /kg	安装 方式
新型号 Y5WZ5-10/27L	6	10	5.2	31	27	23	14.4	4.8	悬挂式
原型号 (Y5WZ5-7.6/27L)		7.6							
新型号 Y5WZ5-17/45L	10	17	8.6	51.8	45	38.3	25	5.9	悬挂式
原型号 (Y5WZ5-12.7/27L)		12.7							
新型号 Y5WSS-10/30L	6	10	5.2	34.5	30	25.5	15	3.3	悬挂式
原型号 (Y5WSS-7.6/30L)		7.6							
新型号 Y5WSS-17/50L	10	17	8.6	57.5	50	42.5	25	3.9	悬挂式
原型号 (Y5WSS-12.7/50L)		12.7							
新型号 Y5WZ4-51/134L	35	51	40.5	154	134	114	73	65	悬挂式 自立式
原型号 (Y5WZ4-42/134L)		42							
新型号 Y10WZ5-51/134	35	51	40.5	154	134	114	73	65	自立式
原型号 (Y10WZ5-42/134)		42							

二、无间隙 MOA 使用选择的一般程序

- ① 按使用地区的气象条件、海拔、污秽、地震等条件确定 MOA 的环境条件；按系统标称电压、最高电压、额定频率、中性点接地方式、短路电流数值及接地故障、持续时间等条件确定避雷器使用的系统条件。
- ② 按被保护对象选择 MOA 的类型。
- ③ 按长期作用在 MOA 上的最高电压确定 MOA 的雷电冲击绝缘水平 U_c 。
- ④ 估算安装地点的暂态过电压的幅值和持续时间，选择 MOA 的额定电压 U_r ，并以工频电压耐受时间特性进行校核。
- ⑤ 根据安装环境及雷电活动情况估计通过 MOA 的雷电电流，选择 MOA 标称放电电流。
- ⑥ 根据系统情况，估算通过 MOA 操作冲击电流和能量，选择 MOA 的线路放电耐受试验等级和方波电流值。
- ⑦ 根据绝缘配合要求选择 MOA 保护水平。
- ⑧ 根据 MOA 安装处最大故障电流，选择 MOA 压力释放等级。
- ⑨ 根据 MOA 安装地点的污秽情况选择 MOA 瓷套爬电比距。
- ⑩ 根据 MOA 安装地点引线拉力、风速、地震等条件选择 MOA 机械强度。
- ⑪ 当 MOA 不能满足绝缘保护要求时，可采取适当降低避雷器额定电压 U_r 或避雷器标称放电电流等级，或提高被保护设备绝缘水平等措施予以改进。

三、无间隙 MOA 投入运行注意事项

1. 外观检查

检查 MOA 所带附件是否齐全，产品铭牌与厂家订购的要求是否一致，外观是否有损坏等。

2. 密封试验

将 MOA 表面擦干净，在干燥的环境下测 MOA 的绝缘电阻、直流参考电压和 0.75 倍直流参考电压下的漏电流。通常 MOA 的漏电流 $\leq 50\mu\text{A}$ 。

将 MOA 泡在水中 1~2 天后捞出待表面干燥。

重复上述试验，若绝缘电阻没有变化，直流参考电压和 0.75 直流参考电压下泄漏电流值合格，则 MOA 可以投入运行。

3. 接地

MOA 的接线应尽可能短，接地电阻应符合有关标准规定。配电变压器高低压侧、MOA 的接地端、低压侧中性点（中性点不接地时则中性点避雷器的接地端）以及变压器铁壳应连接在一起后再经引下线接地，防止雷电流通过接地体时，地电位升高而引起铁壳对低压侧逆闪络。

四、特殊用途的 MOA

1. 并联补偿电容器用 MOA

并联补偿电容器用 MOA 主要功能用以限制断路器重燃过电压。并联补偿电容器运行中投切频繁，其真空断路器尚不能完全消除重燃，并在重燃中出现很高的过电压，常引起电容器、电压互感器、阀式避雷器、电抗器的击穿或闪络。

并联补偿用 MOA 可按电站型 MOA 选取，其操作冲击保护水平可小于电容器绝缘水平除以 1.15 选取。

并联补偿用 MOA 方波通流能力选取见表 7.10.11。

表 7.10.11 并联补偿用 MOA 方波通流能力

电容器组容量/kvar	系统标称电压/kV	2ms 方波通流能力/A
2500	3	300
45000	6	300
7500	10	400
20000	35	500
40000	66	600

若并联补偿电容器容量较大，没有足够通流能力的 MOA，可采用两组 MOA 并联安装措施。

2. 电动机用 MOA

电动机用 MOA 主要用于限制频繁投切电动机投切时的操作过电压, 这种过电压幅值较高, 但能量不大, 只有几十安电流, MOA 选 2ms 方波 200A 足够。MOA 的额定电压可按 1.15 倍电动机额定电压选取。这里没有考虑电动机单相接地, 故障较长时间运行的条件。

3. 发电机用 MOA

主要用于限制与架空线路直接连接发电机的雷电过电压。由于发电机绝缘的雷电冲击强度比较弱, 且冲击系数接近于 1, 目前发电机避雷器仍不能完全满足绝缘配合要求, 应采用进线 (电源) 电容器、避雷器等综合保护措施。

4. 电机中性点用 MOA

直接与架空线路连接的旋转电机 (发电机同步调相机, 变频机和电动机), 如中性点能够引出并未直接接地, 应在中性点接 MOA。MOA 的额定电压不低于电机最高相电压 (相当于单相接地时中性点的电压升高)。由于综合保护方式的作用, 通常进入电机中性点的雷电流幅值和陡度较小, 故标称电流采用 1kA。

5. 变压器中性点用 MOA

中性点有效接地系统中分级绝缘的变压器, 当中性点未直接接地时, 应在中性点装 MOA。MOA 的额定电压应不低于变压器最高相电压, 但也存在一些特殊情况。

① 110kV 变压器其中性点标准雷电冲击绝缘水平为 185kV 时, MOA 额定电压 U_r 取 60kV。

② 500kV 变压器中性点通常为死接地或经小阻抗接地, 后者的标准雷电冲击绝缘水平为 325kV, MOA 额定电压 U_r 取 100kV。

③ 中性点非直接接地中变压器的中性点一般不需要装 MOA, 但多雷地区的单进线变电所有时也要在变压器中性点装 MOA, 其额定电压按最高电压的 80% 选取。

④ 中性点直接有消弧线圈的变压器, 如有单进线运行的可能, 有时也要在变压器中性点与消弧线圈并联装 MOA, 其额定电压按系统最高电压 80% 选取。

6. 电气化铁道用 MOA

27.5~55kV 铁道电力牵引网与一般电力系统不同, 它不是三相系统, 因此避雷器的 U_c 和 U_r 选择原则与一般避雷器不同。

第三节 交流有串联间隙金属氧化物避雷器 (以下简称有间隙 MOA)

一、有间隙 MOA 的间隙形式

1. 绝缘间隙

绝缘间隙有以下两种形式。

① 有类似阀式避雷器平板间隙。因 MOA 阀片非线性好, 动作无续流, 间隙不再承担灭弧任务, 故体积有所减小。

② 用高介陶瓷环组成的单个长间隙, 结构简单, 性能同上。

绝缘间隙与 MOA 阀片串联组成的有间隙 MOA 基本保护性能基本与碳化硅阀式避雷器相同, 但标称电流下残压有所下降, 体积有所减小。

2. 带并联电阻的单个长间隙

带并联电阻的单个长间隙有两种形式。

① 氧化锌或碳化硅为主体材料的非线性电阻环形成的单个长间隙, 电阻为负温度系数。阻值随负载的增大和持续时间呈下降状, 阻值及电阻功率无法准确地控制, 老化性能不好。电阻环本身无防护措施, 一旦沿面闪络, 则造成间隙不可恢复的短路, 从而失去作用。

② 由贱金属电阻浆料涂敷在 95% 钢玉瓷环的外表面, 经高温烧成后, 两端平面被银作电极, 圆环内表面有照射电极, 既可作为电阻的过载防护又可起到照射作用, 降低间隙的放电分散性。

这种电阻温度系数和非线性系数很小, 故阻值不会随负载持续时间增大而下降。阻值和额定功率确定后, 耐受额定功率下的加速老化试验和短时间耐受 1.5 倍额定功率后电阻值变化不大于 5%。

用绝缘间隙和带并联电阻间隙组成的有间隙 MOA, 从产品的保护性能上即可区别。带绝缘间隙 MOA 通常冲击放电电压比冲击电流残压高, 基本上与同电压等级碳化硅阀式避雷器相同, 而避雷器的保护水平是由冲击放电电压和冲击电流残压这两者之间的高者决定的。

带并联电阻间隙的 MOA 通常冲击放电电压比冲击电流残压低,基本上略高于或等于工频放电电压,故避雷器保护水平比无间隙、带绝缘间隙 MOA 都要优越。

二、带绝缘间隙 MOA (ZBK 49005—90) 主要电气性能参数

带绝缘间隙 MOA 主要电气性能参数见表 7.10.12。

表 7.10.12 有串联间隙避雷器的电气特性

系统额定电压 (有效值) /kV	避雷器 额定电压 (有效值) /kV	波前冲击 放电的波 前陡度 /(kV/ μ s)	电站避雷器				配电避雷器			
			工频放电 电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称放电 电流 5kA 下残压 (波形 8/20) (峰值) /kV 不大于	工频放电 电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称放电 电流 5kA 下残压 (波形 8/20) (峰值) /kV 不大于
3	3.8	32	9	20	25	12	9	21	26.3	15
6	7.6	63	16	30	37.5	24	16	35	43.8	27
10	12.7	106	26	45	56.5	41	26	50	62.5	45
35	42	343	80	134	168	124				

三、带并联电阻间隙 MOA 主要电气性能参数

带并联电阻间隙 MOA 主要电气性能参数见表 7.10.13 至表 7.10.17。

表 7.10.13 有串联间隙电站型和配电站型避雷器主要电气特性

产品型号	系统标称电压 (有效值) /kV	避雷器 额定 电压 (有效值) /kV	波前冲 击放电 的电压 陡度 /(kV/ μ s)	工频放 电电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放 电电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲 击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	标称电 流下残压 8/20 μ s 5kA (峰值) /kV 不大于	陡波电 流下残压 1/5 μ s 5kA (峰值) /kV 不大于	重量 /kg	安装 方式	用途	
Y5CS4-7.6/27	6	7.6	63	16	25	31	27	31	2.78		用于配 变架空线 开关柜等 保护	
Y5CS4-12.7/44	10	12.7	106	26	36	50.6	44	50.6	3.53			
Y5CZ5-7.6/24	6	7.6	63	16	22	27.6	24	27.6	2.78	悬挂式	用于电 站、输变 电线路、 开关柜、 电缆头、 并联补偿 电容器等 保护	
Y5CZ5-12.7/41	10	12.7	106	26	33	47	41	47	3.53			
Y5CZA-7.6/27	6	7.6	63	16	22	27.6	24	27.6	4.40			
Y5CZA-12.7/41	10	12.7	106	26	33	47	41	47	5.64			
Y5CZA-41/110	35	41	343	80	95	124	110	124	35.90			自立式
Y5CZA-42/117	35	42	343	80	95	134	117	134	35.90			
Y5CZ5-41/110	35	41	343	80	95	124	110	124	17.10	悬挂式		
Y5CZ5-42/117	35	42	343	80	95	134	117	134	17.10			
Y5CZA-100/260	110	100	813	195	236	299	260	299		自立式	用于电 站输变电 线路保护	
Y5CZA-100/290	110	100	813	195	236	334	290	334				

表 7.10.14 有串联间隙电气化铁道用避雷器电气特性

产品型号	系统标称电压 (有效值) /kV	避雷器额定电压 (有效值) /kV	波前冲击放电的波前陡度 /(kV/ μ s)	工频放电电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称电流下残压 8/20 μ s 5kA (峰值) /kV 不大于	陡波电流下残压 1/5 μ s 5kA (峰值) /kV 不大于	重量 /kg	安装方式	用途
Y5CT5-42/117	27.5	42	343	72	95	134	117	134	17	悬挂式	用于保护电气化铁道的输变电设备
Y5CT4-42/117	27.5	42	343	72	95	134	117	134	35	自立式	
Y5CT4-84/234	55	84	700	140	190	268	234	268	70	自立式	

表 7.10.15 有串联间隙变压器中性点保护用避雷器电气特性

产品型号	变压器额定电压 (有效值) /kV	避雷器额定电压 (有效值) /kV	工频放电电压 (有效值) /kV 不小于	8/20 μ s 冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	工频耐受电压 (有效值) /kV 不小于 2h	用途
Y1C4-60/134	110	60	95	134	100	60	用于半绝缘变压器中性点保护
Y1C4-73/175	110	73	95	175	120	73	用于全绝缘变压器中性点保护

表 7.10.16 有串联间隙保护旋转电机用避雷器电气特性

产品型号	电机标称电压 (有效值) /kV	避雷器额定电压 (有效值) /kV	工频放电电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	冲击放电电压预放电时间 10 μ s (峰值) /kV 不大于	标称电流下残压 8/20 μ s 25kA (峰值) /kV 不大于	陡波电流下残压 1/5 μ s 2.5kA (峰值) /kV 不大于	重量 /kg	安装方式	用途
Y2.5CD1-7.6/19	6.3	7.6	15	19	19	19	21.9	5.3	悬挂式	保护发电机电动机及其他弱绝缘的高压电器
Y2.5CD1-12.7/31	10.5	12.7	25	31	31	31	35.7	8.17		
Y2.5CD2-7.6/19	6.3	7.6	15	19	19	19	21.9	4.40		
Y2.5CD2-12.7/31	10.5	12.7	25	31	31	31	35.7	5.64		
Y2.5CD2-16.7/40	13.8	16.7	33	40	40	40	46	9.30		
Y2.5CD2-19/45	15.75	19	37	45	45	45	51.76	9.30		

表 7.10.17 有串联间隙出口用 10kA 轻负载和 5kA 型避雷器电气特性

避雷器 额定电压 (有效值) /kV	波前冲击 放电的波 前陡度 /(kV/ μ s)	10kA 轻负载型避雷器					5kA A 型避雷器				
		工频放电 电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	标称电流 下残压 8/20 μ s 10kA (峰值) /kV 不大于	陡波冲击 电流 下残压 1/5 μ s 10kA (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	工频放电 电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μ s 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	8/20 μ s 5kA 标称电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	1/5 μ s 5kA 陡波冲击 电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于
6	50	12	19	22.6	26	26	12	19	22	26	26
7.5	62	15	21	26.5	30	30	15	21	26	30	30
9	75	16	24	32	37	37	16	24	31	35.5	35.5
10.5	87	22	31	37	42.5	42.5	22	31	35	40.5	40.5
12	100	23	33	43	49.5	49.5	23	33	41	47.5	47.5
15	125	26	36	51	58.5	58.5	26	36	48	55.5	55.5
18	150	33	48	60	70	70	33	48	57	66	66
21	175	36	50	79	81	81	36	50	66	76	76
24	200	40	66	80	92	92	40	66	76	88	88
27	225	45	72	90	104	104	45	72	80	98	98
30	250	48	75	100	115	115	48	75	95	110	110
33	275	57	94	109	126	126	57	94	104	120	120
36	300	60	98	118	137	137	60	98	114	131	131
39	325	67	105	130	150	150	67	105	123	141	141
42	350	72	110	140	161	161	72	110	132	152	152
51	425	105	118	168	193	193					
84	700	140	200	266	306	306					
102	830	195	236	322	370	370					
198	1200	380	476	624	717	717					

并联电阻间隙的技术要求如下。

(1) 规格 并联电阻目前分为两种规格 A 和 B。各种规格的 MOA 通过 A、B、A+A、A+B、B+B……的组合与阀片组叠加而成。例如 6kV MOA 用 A，10kV MOA 用 B，35kV 采用 B+B+B。

(2) 阻值 并联电阻阻值采用直流 1mA 下电压 (kV) 除以 1mA 电流 (mA)，得阻值 (M Ω)。

(3) 功率 通过额定功率下加速老化试验，确定并联电阻的功率，即在 115 $^{\circ}$ C 额定功率下 1000h 后阻值变化不大于 5%。

(4) 耐温度冲击性能 在 -55~125 $^{\circ}$ C 三次循环后阻值变化不大于 5%。

(5) 耐电压强度 并联电阻上耐受 400V/mm 的工频电压 (有效值)。

四、特殊用途的 MOA

1. 旋转电机用 MOA

是 FCD 型磁吹产品的保护旋转电机避雷器的换代产品。由于电机的绝缘水平低，限于制造水平，无间隙保护旋转电机用 MOA 为了满足保护水平，基本上不考虑系统单相接地电压升高时 MOA 的耐受能力。而有间隙 MOA 则可长期承受线电压，解决了无间隙 MOA 的不足，实际保护水平比无间隙 MOA 更低。

2. 保护中性点用 MOA

保护中性点用 MOA 工频电压升高时自身的可靠性与保护性能 (绝缘配合) 之间的矛盾一直很突出。因单相接地时悬浮的中性点电压即上升，通常升到系统无间隙 MOA 的额定电压 U_r ，持续时间一长，无间隙 MOA 受不了而爆炸。而提高额定电压 U_r 则 MOA 的保护水平上升，满足不了绝缘配合。有并联电阻间隙 MOA 可长期承受线电压，而保护水平可比无间隙 MOA 进一步下降。此种 MOA 用于 110kV MOA 中性点保护已经过时间和系统故障的考验。

3. 电气化铁道用 MOA

铁道牵引电网谐波成分大，电压波动大，受绝缘配合的限制，避雷器的额定电压 U_r 又不可选得很高，故

对无间隙电气化铁道 MOA 运行条件非常苛刻，而选用带并联电阻 MOA 则克服了上述困难。

第四节 有机复合绝缘外套的 MOA

有机复合绝缘外套的 MOA，其电气性能基本同前所述。只是涉及到有机复合绝缘的一些特殊情况。

瓷外套悬挂式安装结构的 MOA，通常防爆问题一直没有得以解决，在 MOA 出现故障时，瓷套会产生粉碎性爆炸。而有机复合绝缘外套则成功解决了防爆问题。另外有机复合绝缘 MOA 体积小，重量轻，安装方便。

1. 机械性能

(1) MOA 拉伸负荷 MOA 允许悬挂安装时应进行拉伸负荷试验。型式试验时应耐受 MOA 自重的 15 倍，拉伸负荷 1min；抽查试验时应耐受 50%，额定负荷拉伸 10s 而不损坏。

(2) 抗弯负荷 MOA 在抗弯负荷下耐受 10s 而不损坏。

额定电压 42kV 以下 MOA 应耐受 250N 额定抗弯负荷。

额定电压 42kV 以上应耐受水平拉力和风压力之和的 2.5 倍。

2. 有机复合绝缘外套外观要求

有机复合外套表面单个缺陷（如缺胶、杂质、凸起等）不应超过 5mm^2 ，深度不大于 1mm，凸起表面合缝应清理平整，凸起高度不超过 0.8mm，粘接缝凸起高度不得超过 1.2mm，总缺陷面积不应超过有机复合外套总表面积的 0.2%。

3. 有机复合绝缘外套 MOA 复合性能试验

(1) 热机试验 热机试验时 MOA 应耐受 $(-35 \pm 5)^\circ\text{C}$ 至 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的冷热循环至少 4 次，每次循环的间隙为 24h。试验时施加在 MOA 的负荷为额定负荷的 50%，并每隔一定的时间改变方向。试验完毕，卸去负荷，并检测 MOA 顶端垂直偏移量。

(2) 42h 盐水煮试验 MOA 应耐受含 0.1% 的 NaCl 的沸水煮 42h，煮过后放入环境温度的水中 24h，捞出水后，再在环境温度下放置 24h，待表面干燥。

上述两项试验完成后，MOA 的有机复合绝缘外套不得开裂和脱落。试验前后直流参考电压变化不大于 5%，0.75 直流参考电压下漏电流变化不大于 $20\mu\text{A}$ ，局放变化量不大于 10PC，局放值不大于 50PC。这两项试验主要考核 MOA 在运行时受力后，密封和本体受力后形变的情况。

4. 有机复合外套起痕和电蚀要求

MOA 的有机复合外套应耐受 1000h 外套起痕和电蚀试验。试验后不发生漏电起痕，电蚀不得腐蚀到内部零件。

试验是在盐雾条件下对 MOA 加 U_c ，持续时间为 1000h。试验过程中，如每只试品不超过 3 次过电流中断，不产生起痕，伞裙没有击穿，试验前后 MOA 直流参考电压变化不超过 5%，0.75 直流参考电压下漏电流不大于 $50\mu\text{A}$ ，局放变化量不大于 10PC，局部放电值不大于 50PC，则认为通过试验。

5. 有机复合绝缘 MOA 的结构及特点

有机复合绝缘外套一般采用甲基乙烯基硅橡胶或与三元乙丙橡胶的混合物为主材料，配以硫化剂、补强剂、结构控制剂、填充剂、着色剂，经硫化而成，符合 MOA 要求。

在成型工艺上通常分为两种。一种硫化成型外套，然后将 MOA 内部零部件组装成一个圆柱，塞入外套，中间缝隙灌注绝缘胶，固化后成为整体。另一种是将 MOA 内部零配件组装成一个圆柱体，放入硫化机内整体模压成型。

无论何种工艺，关键是解决外套与 MOA 本体之间的界面问题，即外套与 MOA 本体粘结成一体，过渡层不发生剥离、分层。

有机复合绝缘外套 MOA 成型工艺中另一个关键就是 MOA 内部气腔不能为负压，一旦形成负压，则 MOA 自身的绝缘性能受影响。

第五节 三相组合式 MOA

电力系统由于开断容性或感性负载、三相非同期合闸等原因会引起各种过电压，这种过电压有相与地之间的，有相间的，或兼而有之。对于相与地之间的过电压，通常采用常规的避雷器接在相与地之间加以保护。但这样做对相间过电压并不起作用。而相间过电压会造成在避雷器完好的情况下仍造成设备绝缘的损坏，特别是对于高压电动机、发电机一类弱绝缘电器，一些使用时间较长、绝缘性能有所下降的高压电器，其问题尤为

突出。

作为相间过电压保护，普通形式的 MOA 不能胜任。

三相组合式 MOA 由四个性能完全相同的可以互换的避雷器元件组成。四个元件高压端分别接 A、B、C、地 (D)，元件下部用导线连接在一起，可以在限制相对地过电压的同时，限制相间过电压，并使两者具有相同的保护水平。

三相组合式 MOA (简称组合式 MOA) 是一种新型产品，因组合式 MOA 两两元件即组成一只常规形式的 MOA，故在原 MOA 型号上加缀号“ZH”表示三相组合式 MOA。

因线电压比相电压高出 $\sqrt{3}$ 倍，而 MOA 的保护特性必须与普通 MOA 相同，故无间隙 MOA 较难胜任，而带绝缘间隙 MOA 又保护不了操作过电压，通常采用带并联电阻间隙 MOA。

进行产品工频放电电压和直流泄漏电流试验时，应两两元件进行。例将 A 元件接地，分别测 B、C、D 元件，均应符合组合式 MOA 的电气特性。在两个元件上加幅值为系统标称电压的直流电压，其泄漏电流不大于 $50\mu\text{A}$ 。

安装时，避雷器上部分接 A、B、C 三相，另一只接地 (可以根据需要任意选定)。避雷器下部用软铜编织带连接在一起，导线应保持一定的垂度 (不能用硬线连接以免妨碍脱离装置的脱落)。

三相组合式 MOA 主要电气特性见表 7.10.18 至表 7.10.20。

表 7.10.18 三相组合式电站型和配电型避雷器主要电气特性

产品型号	系统标称电压 (有效值) /kV	避雷器 额定电压 (有效值) /kV	波前冲击 放电的电 压陡度 /(kV/ μs)	工频放电 电压 (有效值) /kV	1.2/50 μs 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	陡波电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	操作电流 下残压 (峰值) /kV 不大于
Y5CS4-7.6/30ZH	6	7.6	63	16	22	34.5	30	34.5	25.5
Y5CS4-12.7/50ZH	10	12.7	106	26	33	57.5	50	57.5	42.5
Y5CZ5-7.6/27ZH	6	7.6	63	16	22	31	27	31	23
Y5CZ5-12.7/45ZH	10	12.7	106	26	33	52	45	52	38
Y5CZ5-42/134ZH	35	42	343	80	95	154	134	154	114

表 7.10.19 三相组合式保护旋转电机用避雷器电气特性

产品型号	电机标称 电压 (有效值) /kV	避雷器 额定电压 (有效值) /kV	1.2/50 μs 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	冲击放电 电压预放 电时间 (峰值) /10 μs (不大于)	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	陡波电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	操作电流 下残压 (峰值) /kV 不大于
Y2.5CD2-7.6/19ZH	6.3	7.6	15	19	19	19	21.9	16
Y2.5CD2-12.7/31ZH	10.5	12.7	25	31	31	31	35.7	26.5
Y2.5CD2-16.7/40ZH	13.8	16.7	33	40	40	40	46	34
Y2.5CD2-19/45ZH	15.75	19	37	45	45	45	51.76	38

表 7.10.20 并联补偿电容器组保护用避雷器电气特性

产品型号	系统标称 电压 (有效值) /kV	避雷器 额定电压 (有效值) /kV	波前冲击 放电的电 压陡度 /(kV/ μs)	工频放电 电压 (有效值) /kV 不小于	1.2/50 μs 冲击放电 电压 (峰值) /kV 不大于	波前冲击 放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	陡波电流 下残压 (峰值) /kV 不大于	操作电流 下残压 (峰值) /kV 不大于
Y5CR4-7.6/27ZH	6	7.6	63	16	25	31	27	31	30
Y5CR4-12.7/45ZH	10	12.7	106	26	36	50.6	45	50.6	38
Y5CR5-42/134ZH	35	42	343	80	95	27.6	134	27.6	114

第六节 脱离装置

一、用途与分类

1. 用途

脱离装置与避雷器串联在一起（通常串联在避雷器的底部），在避雷器出故障时，使避雷器的引线系统与系统断开，以排除系统持续故障，并给事故避雷器可见标志。

国外对于 U_1 为 42kV 及以下的避雷器通常必须采用脱离装置，以提高电网运行的可靠性，减少事故停电的概率。通常避雷器装上后不再检修，只有当脱离装置动作后，才在适当的时机停电，加以更换。

2. 分类

① 在结构上与避雷器相分离的称为附件式脱离器；与避雷器联为整体的称为带脱离装置的避雷器。

② 按动作原理分有热爆式和热熔式两种。

热爆式脱离装置，其内部采用炸药或雷管作动力，用避雷器的故障电弧电流来加热动作。

热熔式脱离装置，其内部采用低熔点合金与避雷器本体钎焊在一起，当避雷器故障引起避雷器温升至使低熔点合金熔化，脱离装置的加速弹簧将脱离装置弹出，达到脱离的目的。

二、热爆式脱离装置

从安秒动作特性看，热爆式脱离装置赖以动作的是避雷器故障电弧电流（即避雷器已完全贯通），虽然动作迟钝一些，但一旦动作迅速可靠。由于碳化硅阀式避雷器的损坏是一个突发过程，故热爆式脱离装置的动作特性是与之相适应的。但这种结构形式用于 MOA 尚有一定的问题。

(1) 有热积累效应 当多次连续重复的较大幅值的电流流过时，有可能使热爆管上的热量积累到一定程度而随之动作。当多重雷击时，阀式避雷器流过多次续流时有可能发生这种情况。

(2) 结构复杂 当脱离装置与避雷器本体分别密封时，脱离装置密封结构的损坏即导致脱离装置失效。同时热爆式结构给工厂带来了保管、运输、储存等问题。与避雷器本体分离的附件式脱离装置，在运输、储存等方面一定程度上改善了上述不足。

热爆式脱离装置不适合中性点非有效接地系统。

三、热熔式脱离装置

热熔式脱离装置结构简单，不怕受潮，价格低廉，成本仅为热爆式脱离装置的 1/8。它的工作原理为与避雷器相串联的某一部件用低熔点合金钎焊起来，当避雷器出现故障时，引起温升，使低熔点合金熔化，该连接部件动作，使避雷器与系统脱离。

传统的阀式避雷器加有隔离间隙。平时间隙不动作时，没有电流流过避雷器，当间隙正常击穿时，有工频续流，一旦间隙失效，避雷器的崩溃是瞬间的，其过程与 MOA 相比是一个跃变过程。而热熔式脱离装置动作需要时间，两者显然在时间上配合不起来，所以碳化硅阀式避雷器大多不采用热熔式脱离装置。

而无间隙（或有并联电阻间隙）MOA 的失效损坏是一个蜕变过程，MOA 的崩溃过程显然比阀式避雷器在时间上要长一些，在 MOA 蜕变（还没有完全损坏）时，流过 MOA 的电流增大（数十至数百毫安时），MOA 即不能保持热平衡而引起温升，脱离装置即动作，故热熔式脱离装置的动作特性与 MOA 的破坏特性是相吻合的。

热熔式脱离装置必须在动作时有明显开断的标志，以表示避雷器已损坏。

第七节 交流电力系统线路阻波器用 MOA (以下简称阻波器用 MOA) (JB/T 5894—91)

一、阻波器用 MOA 的特点

阻波器 MOA 应具有较小的本体电容，以阻塞载波信号通过 MOA 接地，另外因 MOA 安装在强磁场中，MOA 应采用非磁性材料作为零部件，否则会因涡流而导致 MOA 过热而失效。

二、阻波器用 MOA 额定电压 U_R 的选择

$$U_R \geq 1.2U$$

式中 U ——阻波器两端之间额定短时电流压降，以 kV（有效值）计：

$$U = 2\pi f_p L_R I_{km} \times 10^3$$

1.2——综合修正系数，考虑了额定电感值的制造误差和测量误差、工频电感大于额定电感及短时电流

中非同期分量等因素；

f_{ps} ——额定工业频率，Hz；

L_R ——阻波器主线圈额定电感，mH；

I_{kn} ——阻波器主线圈额定短时电流，kA。

三、阻波器用 MOA 的电气特性

阻波器用 MOA 的电气特性见表 7.10.21。

表 7.10.21 阻波器避雷器电气特性

避雷器额定电压 U_R (有效值) /kV	工频放电电压 (有效值) /kV		1.2/50 μ s 冲击放电电压 (峰值) /kV	波前冲击放电电压 (峰值) /kV	标称电流下残压 (8/20 μ s) (峰值) /kV		
	不小于	不大于	不大于	不大于	5kA	10kA	20kA
0.6	0.7	1.0	1.6	2.0	1.8	—	—
1.0	1.2	1.7	2.8	3.4	3.0	—	—
1.5	1.8	2.5	4.1	5.0	4.5	—	—
1.9	2.3	3.2	5.1	6.3	5.7	5.7	6.3
2.4	2.9	4.0	6.5	8.0	7.2	7.2	7.9
3.0	3.6	5.0	8.1	10.0	9.0	9.0	9.9
3.8	4.6	6.4	10.2	12.5	11.4	11.4	12.5
4.8	5.8	8.1	12.4	15.2	14.4	14.4	15.8
6.1	7.3	10.3	15.7	19.3	18.3	18.3	20.1
7.6	9.1	12.8	19.6	24.1	22.9	22.9	25.2
9.5	11.4	16.0	24.5	30.1	28.6	28.6	31.5
12	14.4	17.3	26.5	32.6	36.1	36.1	39.7
15	18.0	21.6	33.0	40.6	45.2	45.2	49.7
19	22.8	27.4	42.0	51.7	57.2	57.2	62.9
24	28.8	34.6	53.0	65.2	72.2	72.2	79.4
30	36.0	43.2	66.1	81.3	90.3	90.3	99.3
38	45.6	54.7	83.7	103.0	114.4	114.4	125.8
48	57.6	69.1	105.7	130.0	144.5	144.5	159.0

第八节 罐式无间隙 MOA

全封闭组合电器 (GIS) 性能稳定、安全、可靠，检修时间长，占地面积小。110~500kV GIS 用罐式 MOA 是全封闭组合电器的重要配合产品。

在组合形式上分为三相共罐式和一相一罐式。

出线形式分为顶出线和侧出线两种。

罐式 MOA 电气特性见表 7.10.22。

表 7.10.22 110~500kV GIS 用罐式避雷器

产品型号	总高/mm	罐体外径/mm	重量/kg	出线方式
Y1WF5-100/250	1385	φ618	640	顶出线
Y1WF5-100/250	1830	φ618	770	侧出线
Y1WF5-200/500	1690	φ718	750	顶出线
Y1WF5-200/500	1800	φ718	895	侧出线
Y1WF5-444/1105	2660	φ1100	2200	顶出线

续表

产品型号	系统电压 /kV	避雷器 额定电压 /kV	持续运行 电压 /kV	标称放电 电流 /kV	8/20 μ s 10kA 最大雷电 电流残压 /kV	2 μ s 方波 通流能力 /A	内绝缘耐受电压	
							工频 /kV	雷电冲击 /kV
Y10WF5-100/250	110	100	73	10	250	600	230	550
Y10WF5-200/250	220	200	146	10	500	800	460	1050
Y10WF5-300/746	330	300	210	10	746	1000	510	1175
Y10WF5-444/1105	500	444	318	10	1105	1500	710	1675

其特点如下。

- ① 产品性能稳定, 不受 SF₆ 气体压力影响。
- ② 采用均压屏蔽罩改善电位分布。
- ③ 罐内注入一定压力的 SF₆ 气体 (绝缘强度比空气高 3.7 倍), 故大大缩小了相同及相对地距离, 使产品布置空间减小。

第九节 直流有串联间隙 MOA (ZBK 49004—89)

直流有串联间隙 MOA 用于 0.6~1.65kV 直流供电系统, 保护直流牵引电极或直流设备免受电压损坏。

无间隙 MOA 用于直流系统有它的特殊性, 特别是金属氧化物阀片在直流下的老化特性与交流下有明显的不同, 运行条件要苛刻得多, 需要调整配方和工艺, 以适应直流下运行情况。故一般直流 MOA 均采用带串联间隙 (绝缘间隙) 以改善阀片的老化性能。

直流有串联间隙 MOA 主要电气特性见表 7.10.23。

表 7.10.23 直流有间隙避雷器的电气性能

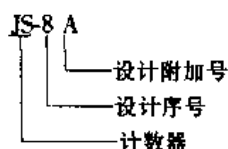
直流系统额定电压 /kV	避雷器额定电压 /kV	直流放电电压 /kV 不小于	标准雷电冲击放电电压 (峰值) /kV 不大于	标称放电电流下残压 (峰值) /kV 不大于
0.6	0.8	1.45	2.15	2.15
0.825	1.1	2.00	2.90	2.90
1.5	2.0	3.60	4.90	4.90
1.65	2.2	4.00	5.40	5.40

第十节 避雷器用放电计数器和避雷器监测器 (JB 2440—91)

避雷器用放电计数器用于碳化硅阀式避雷器和 MOA 显示避雷器的运作次数。避雷器监测器除有放电计数器的功能外, 还配有电流表 (mA), 用于监视无间隙 MOA 的持续运行电流是否异常。

一、避雷器用放电计数器

1. 型号说明



2. 技术要求

- ① 计数器应指示清晰, 利于观察。
- ② 当避雷器标称放电电流流过计数器时, 其两端残压不大于 3kV (峰值)。当用户有更低的残压要求时, 可根据用户要求制造。
- ③ 计数器的下限动作电流 (8/20 μ s): 用于碳化硅阀式避雷器为 100A, 用于 MOA 为 50A, 上限动作电流为所配用避雷器的标称放电电流。

- ④ 计数器耐受 2ms 方波 8/20 μ s 冲击电流及 4/10 μ s 冲击大电流要求与所配用避雷器的要求相一致。
- ⑤ 计数器的干、湿工频耐受电压应不低于 4kV (有效值)。
- ⑥ 计数器应有可靠的密封。
- ⑦ 外露金属件及内部黑色金属件均应有防腐蚀措施。

二、避雷器监测器

避雷器监测器是新近随无间隙 MOA 发展而发展起来的一种装置,目前尚无国家或行业标准,除了动作记数外,避雷器的持续运行电流(泄漏电流)由磁电式指针仪表显示出来,其量程一般为 0~10mA,无间隙 MOA 正常运行时也不过数十或数百 μ A,监测器仪表指针仅略有偏转。当无间隙 MOA 蜕变时,电流增大时,巡视人员发现可及时将故障 MOA 退出,以免造成更大的危害。

三、安装方式

放电计数器(监测器)通常并联在避雷器绝缘底座上,与避雷器串联即上端接避雷器下部,避雷器通过计数器下端接地。

四、简易测试

在放电计数器投入运行前或运行了 1~2 年后在现场可进行简易测试,以判断其是否运行正常:

- ① 用万用表在放电计数器两端测其直流电阻,不应出现短路现象;
- ② 用兆欧表对一个 10 μ F 电容器充电(兆欧表 500V,如计数器不动作可选择 1000V 或 2500V 兆欧表)。对电容器充电后,将电容器对计数器两端放电,计数器应可靠动作,否则计数器可能有故障。

五、放电计数器(监测器)技术参数(见表 7.10.24)。

表 7.10.24 放电计数器(监测器)技术参数

产 品 型 号	JS-5Y	JS-8	JS-8A
标称放电电流下残压(峰值)/kV 不大于	3	3(1.5)	3(1.5)
上限动作电流(8/20 μ s)/kA	5	5	10
下限动作电流(8/20 μ s)/A	100	50	50
2000 μ s 方波电流/kA	250	400	600 ^①
冲击大电流(峰值)/kA	40	40	65
工频干、湿耐压(有效值)/kV	4	4	4

① 数值根据用户需要取 600~1000A。

第十一章 电力电容器及其装置

第一节 概 述

电力电容器是一种用于强电系统的电容器，其种类很多，在电力系统、高电压试验、激光技术、高能物理、工业生产和日常生活中都有着广泛的应用。

一、分类和用途（见表 7.11.1）

表 7.11.1 电力电容器的分类和用途

系列代号	名 称	主要技术参数	标 准 号	主 要 用 途
B	高压并联电容器	额定电压：1.05 ~ 22kV 额定容量：33 ~ 500kvar	GB 3983.2—89 IEC 871—1	并联于工频电力系统中，用以补偿感性无功功率、改善功率因数，降低线路损耗，调整电压，提高系统电力设备的输电能力
	低压并联电容器	额定电压：0.23 ~ 1.00kV 额定容量：5 ~ 50kvar	GB 3983.1—89	
	自愈式低压并联电容器	额定电压：0.23 ~ 1.00kV 额定容量：1 ~ 100kvar	GB 12747—91 IEC 831—1	
	集合式并联电容器	额定电压：3.15 ~ 38.5kV 额定容量：1000 ~ 10000kvar	JB 7112—93	
C	串联电容器	额定电压：0.6 ~ 3.0kV 额定容量：20 ~ 100kvar 箱式达 2500kvar	GB 6115—85	串联于工频电力系统中，用来补偿输电线路的感抗，减少输电线路电压的降落，增大线路传输容量，提高系统的稳定性
A	高压交流滤波电容器	额定电压：4.2 ~ 42kV 额定容量：30 ~ 300kvar 箱式达 30Mvar	ZBK 48004—90 IEC 871—1	与其他器件组成交流滤波器，在工频电力系统中滤除高次谐波，提高功率因数
R	电热电容器	额定电压：0.375 ~ 3.000kV 额定容量：90 ~ 3200kvar	GB 3984—83	提高 40 ~ 24000Hz 感应加热设备的功率因数或改善回路特性
O	耦合电容器	额定电压： $10/\sqrt{3} \sim 500/\sqrt{3}$ kV 额定电容：3500 ~ 20000pF	GB 4705—84 IEC 358	在工频高压输电线路中作载波通信的耦合器件，也可用作测量、控制、保护及抽能装置的部件
M	脉冲电容器	额定电压：1.0 ~ 100kV 额定电容：0.002 ~ 400 μ F	GB 4704—84	脉冲电容器主要用来产生冲击高压或冲击大电流，组成振荡回路，作冲击分压器等 直流电容器用来产生直流高压，作整流滤波
D	直流电容器			
J	断路器电容器	额定电压：20 ~ 180kV 额定电容：1000 ~ 3900pF	GB 4784—84	并联在高压断路器的断口上，用来改善电压分布
E	交流电动机电容器	额定电压：100 ~ 660V 额定电容：1.0 ~ 10.0 μ F	GB 3667—83 IEC 252	用来帮助单相异步电动机起动或增大转矩，使三相异步电动机单相运行
Y	压缩气体标准电容器	额定电压：50 ~ 1200kV 额定电容：200 ~ 1000pF		作工频高压测量的参照标准器件，也可作分压器件

二、电容器介质

在电容器极板之间起储能和绝缘作用的材料称为介质，其性能直接影响电容器的电容大小、耐电强度高和寿命长短等重要性能指标。介质材料按其物理状态分，可分为三类：固体介质、液体介质、气体介质。目前常用的介质见表 7.11.2。

表 7.11.2 常用介质

种类	材料名称
固体介质	双轴定向拉伸聚丙烯薄膜；聚酯薄膜；电容器纸；电缆纸
液体介质	烷基苯；蓖麻油；苯甲基硅油；二芳基乙烷 (PXE)；异丙基联苯 (IPB, MIPB)；苜基甲苯 (MBT/DBT)
气体介质	六氟化硫；氮气；二氧化碳；空气

上列介质在电力电容器中常组合使用，称为组合介质，如液体浸渍纸，浸渍薄膜，浸渍纸与薄膜的复合介质，六氟化硫与油混合等。适当的组合能使介质互为补充、相得益彰，获得优良的电气性能。

三、常用电容器的典型结构

1. 并联电容器

(1) 高压并联电容器的结构 (见图 7.11.1)

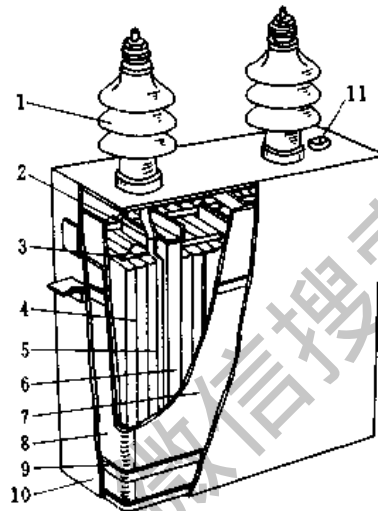
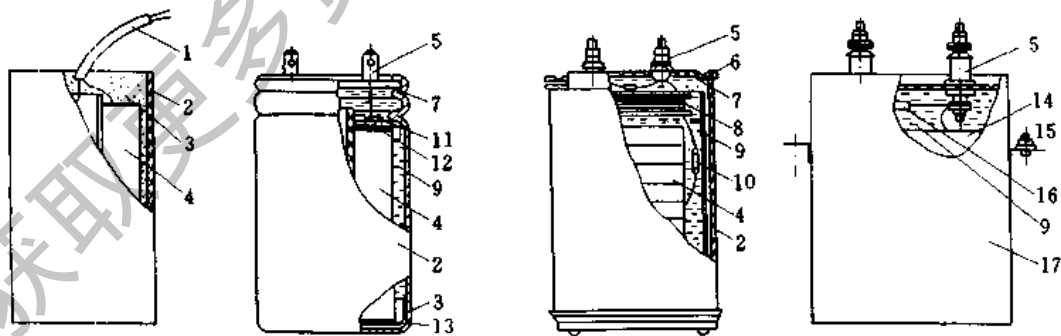


图 7.11.1 高压并联电容器结构

1—出线套管；2—出线连接片；3—连接片；4—元件；5—出线连接片固定板；
6—组间绝缘；7—包封件；8—夹板；9—紧箍；10—外壳；11—封口盖

(2) 自愈式低压并联电容器的结构 (见图 7.11.2)



(a) 干式塑壳结构

(b) 油浸铝壳结构

(c) 油浸方形塑壳结构

(d) 油浸方形金属壳结构

图 7.11.2 自愈式低压并联电容器结构

1—引出线；2—塑料壳；3—灌封料；4—元件；5—端子；6—密封件；7—盖；
8—电感线圈；9—浸渍剂；10—温度断路器；11—连接线；12—上衬；13—下衬；
14—芯子；15—接地端子；16—放电电阻；17—金属方形外壳

(3) 集合式高压并联电容器的结构 (见图 7.11.3)

2. 串联电容器 (见图 7.11.4)

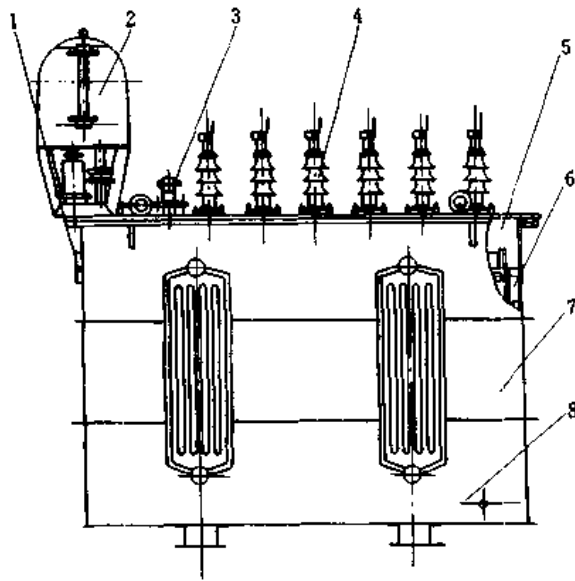


图 7.11.3 集合式高压并联电容器结构
1—铭牌；2—油枕；3—压力释放阀；4—高压套管组件；
5—绝缘油；6—芯体；7—箱体；8—接地螺栓

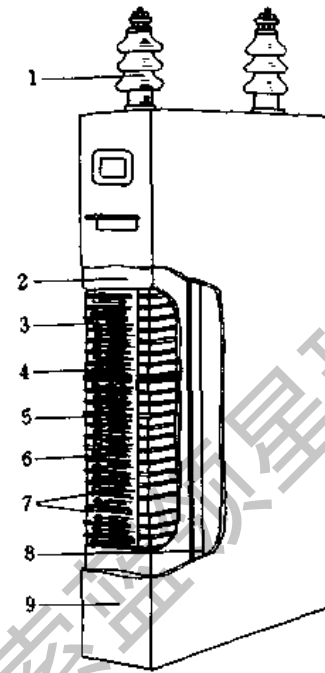


图 7.11.4 串联电容器结构
1—出线套管；2—包封件；3—元件；
4—熔丝；5—连接片；6—引线片；
7—衬垫；8—紧箍；9—外壳

3. 中频电热电容器 (见图 7.11.5)

4. 耦合电容器 (见图 7.11.6)

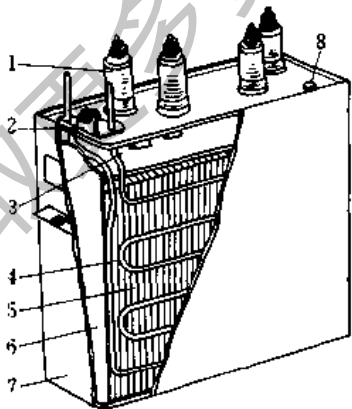


图 7.11.5 中频电热电容器结构
1—出线套管；2—接地片；3—出线连接片；
4—冷却水管；5—元件；6—包封件；
7—外壳；8—封口盖

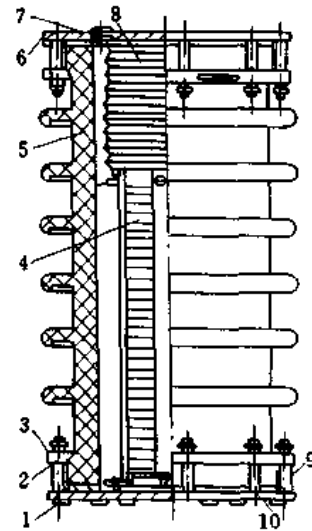


图 7.11.6 耦合电容器结构
1—耐油橡皮垫；2—止推半环；3—垫圈；4—
电容器芯子；5—瓷外壳；6—上盖；7—添
油螺栓；8—扩张器；9—螺栓；10—下盖

5. 电容式电压互感器 (见图 7.11.7)

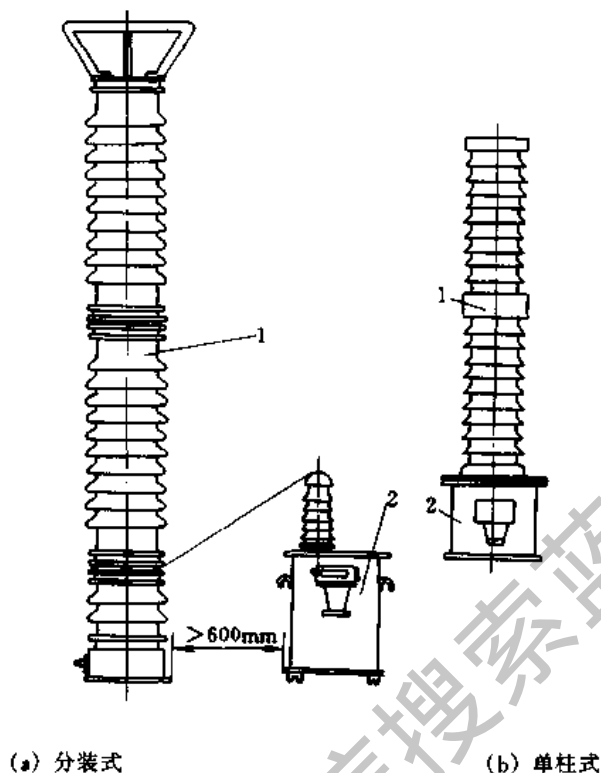


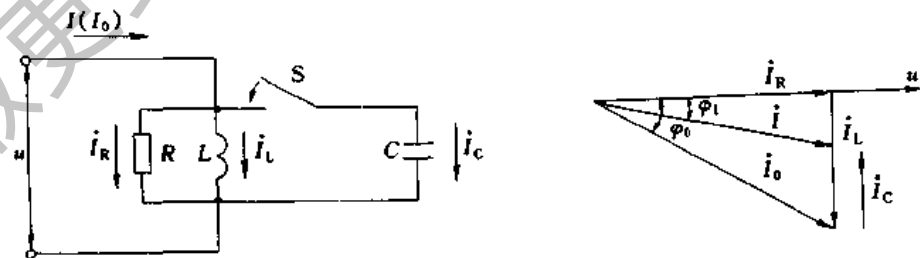
图 7.11.7 电容式电压互感器结构

1—电容分压器；2—电磁单元

第二节 并联电容器及其装置

一、作用原理

图 7.11.8 为并联电容器装置作用原理图。电力负荷通常由电阻和电感两部分构成。闭合开关 S，在负载端并联电容器，由于容性电流 i_C 相位超前电压 90° ，可抵消一部分相位滞后于电压 90° 的感性电流 i_L ，使线路总电流从 I_0 减少到 I ，相角由 φ_0 减小到 φ_1 ，从而使功率因数 $\cos\varphi_0$ 提高到 $\cos\varphi_1$ ，线路损耗和电压降落随之减小，设备的有效容量和输电能力相应增大。



(a) 电原理图

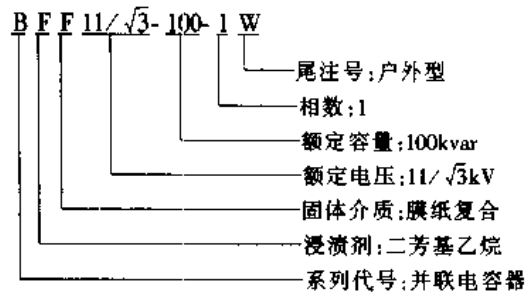
(b) 相量图

图 7.11.8 并联电容器装置作用原理图

二、并联电容器及其装置的型号规格

1. 并联电容器型号标注方法

(1) 高压并联电容器

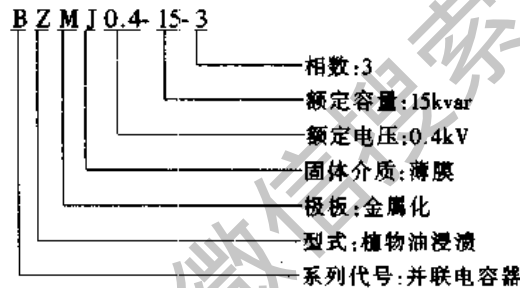


型号中各代号的含义如表 7.11.3。

表 7.11.3 型号中各代号的含义

次序	第一字母	第二字母					第三字母			最后一个字母				
代号含义	系列	浸渍剂					介质			尾注号				
字母	B	W	G	F	B	A	不标	F	M	不标	W	G	TH	H
字母含义	并联电容器	烷基苯	苯甲基硅油	二芳基乙烷	异丙基联苯	苯基甲苯	纸	膜纸复合	全膜	户内型	户外型	高原型	湿热带型	污秽型

(2) 自愈式低压并联电容器



若第二个字母为 G, 则表示干式。

(3) 集合式并联电容器

BFMH38.5/√3-5000-3W

第四个字母 H 表示集合式, 其余字母及数字含义如表 7.11.3 所述。

2. 常用并联电容器的型号规格 (见表 7.11.4)

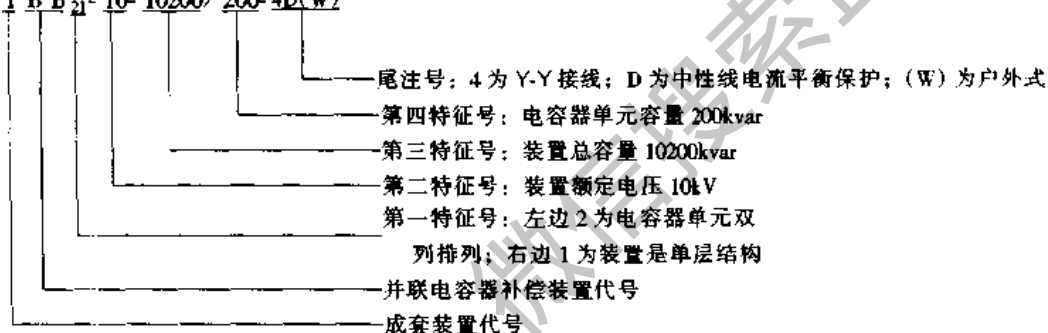
表 7.11.4 常用并联电容器的型号规格

类别	型号规格	额定电压 /kV	额定容量 /kvar	额定电容 /μF	相数
高压电容器	BWF 6.6/√3-50-1	6.6/√3	50	10.96	1
	BWF 11/√3-100-1W	11/√3	100	7.89	1
	BWF 11-50-1	11	50	1.32	1
	BWF 12-100-1W	12	100	2.21	1
	BFF 6.6/√3-100-1	6.6/√3	100	21.12	1
	BFF 11/√3-200-1W	11/√3	200	15.78	1
	BFF 11/√3-334-1W	11/√3	334	8.79	1
	BFF 19-334-1W	19	334	2.94	1
	BFF 11-200-1W	11	200	5.26	1
	BFF 11-200-3W	11	200	5.26	3
	BFM 11/√3-200-1W	11/√3	200	15.78	1
	BFM 11/√3-334-1W	11/√3	334	8.79	1
	BFM 11-200-1W	11	200	5.26	1
	BFM 19-334-1W	19	334	2.94	1
	BAM 11/√3-200-1W	11/√3	200	15.78	1
	BAM 11-200-1W	11	200	5.26	1
	BAM 19-334-1W	19	334	2.94	1

续表

类别	型号规格	额定电压 /kV	额定容量 /kvar	额定电容 /μF	相数
自愈式低压电容器	BZMJ 0.4-5-3	0.4	5	99.5	3
	BZMJ 0.4-15-3	0.4	15	299	3
	BZMJ 0.4-50-3	0.4	50	995	3
	BZMJ 0.525-25-3	0.525	25	289	3
	BZMJ 0.69-20-3	0.69	20	134	3
	BGMJ 0.4-5-3	0.4	5	99.5	3
	BGMJ 0.4-15-3	0.4	15	299	3
	BGMJ 0.4-20-3	0.4	20	398	3
	BGMJ 0.69-15-3	0.69	15	100	3
集合式电容器	BFFH 6.6/√3-3600-3W	6.6/√3	3600	789	3
	BFFH 11/√3-1200-1W	11/√3	1200	94.7	1
	BFFH 11/√3-1200-1W	11/√3	1667	131.6	1
	BFFH 11/√3-1200-1W	11/√3	5000	395	3
	BFFH 11/√3-1200-1W	11/√3	4800	379	3
	BAMH 38.5/√3-1200-1W	11/√3	5000	32.2	1
	BFFH 2×12-3334-1W	2×12	3334	18.4	1

3. 并联电容器装置型号标注方法

T B B₂₁-10-10200/200-4D(W)

三、并联电容器装置容量的选择

用并联电容器装置补偿无功功率时所需的容量可按下列式计算：

$$Q_C = P \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1} \right)$$

式中 $\cos \varphi_1$ ——补偿前功率因数； $\cos \varphi_2$ ——补偿后功率因数；

P——负荷功率，kW；

 Q_C ——所需电容器装置的容量，kvar。

也可直接查表 7.11.5 得出。

表 7.11.5 并联电容器无功补偿速查表

补偿前 $\cos \varphi_1$	为得到所需 $\cos \varphi_2$ 每千瓦负荷所需电容器补偿无功功率/kvar												
	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.30	2.16	2.30	2.42	2.48	2.53	2.59	2.65	0.70	2.76	2.82	2.89	2.98	3.18
0.35	1.66	1.80	1.93	1.98	2.03	2.08	2.14	2.19	2.25	2.31	2.38	2.47	2.68
0.40	1.27	1.41	1.54	1.60	1.65	1.70	1.76	1.81	1.87	1.93	2.00	2.09	2.29
0.45	0.97	1.11	1.24	1.29	1.34	1.40	1.45	1.50	1.56	1.62	1.69	1.78	1.99
0.57	0.71	0.85	0.93	1.04	1.09	1.14	1.20	1.25	1.31	1.37	1.44	1.53	1.73
0.52	0.62	0.76	0.89	0.95	1.00	1.03	1.11	1.16	1.22	1.28	1.35	1.44	1.64
0.54	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.97	1.02	1.08	1.14	1.20	1.27	1.36	1.56
0.56	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.89	0.94	1.00	1.05	1.12	1.19	1.28	1.48

续表

补偿前 $\cos\varphi_1$	为得到所需 $\cos\varphi_2$ 每千瓦负荷所需电容器补偿无功功率/kvar												
	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.58	0.39	0.52	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.92	0.98	1.04	1.11	1.20	1.41
0.60	0.31	0.45	0.58	0.64	0.69	0.74	0.80	0.85	0.91	0.97	1.04	1.13	1.33
0.62	0.25	0.39	0.52	0.57	0.62	0.67	0.73	0.78	0.84	0.90	0.97	1.06	1.27
0.64	0.18	0.32	0.45	0.51	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.84	0.91	1.00	1.20
0.66	0.12	0.26	0.39	0.45	0.49	0.55	0.60	0.66	0.71	0.78	0.85	0.94	1.14
0.68	0.06	0.20	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.72	0.79	0.88	1.08
0.70		0.14	0.27	0.33	0.38	0.43	0.49	0.54	0.60	0.66	0.73	0.82	1.02
0.72		0.08	0.22	0.27	0.32	0.37	0.43	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.97
0.74		0.03	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.43	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
0.76			0.11	0.16	0.21	0.26	0.32	0.37	0.43	0.50	0.56	0.65	0.86
0.78			0.05	0.11	0.16	0.21	0.27	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
0.80				0.05	0.10	0.16	0.21	0.27	0.33	0.39	0.46	0.55	0.75
0.82					0.05	0.10	0.16	0.22	0.27	0.33	0.40	0.49	0.70
0.84						0.05	0.11	0.16	0.22	0.28	0.35	0.44	0.65
0.86							0.06	0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
0.88								0.06	0.11	0.17	0.25	0.33	0.54
0.90									0.06	0.12	0.19	0.28	0.48
0.92										0.06	0.13	0.22	0.43
0.94											0.07	0.16	0.36

例如某工厂用电负荷 P 为 500kW, 原来的功率因数 $\cos\varphi_1$ 为 0.7, 如需提高到 $\cos\varphi_2 = 0.9$, 按上式计算或查表后可得所需安装的电容器装置的容量 $Q_C \approx 270\text{kvar}$ 。

四、并联电容器装置的组成和接线

高压并联电容器装置通常由并联电容器组、串联电抗器、放电线圈、熔断器、避雷器、断路器、继电保护和控制屏等部分组成。电容器组的接线方式采用单星形或双星形。在中性点非直接接地的电网中, 星形接线电容器组的中性点不应接地。电容器组的每相或每个桥臂由多台电容器串联组合时, 应采用先并联后串联的接线方式。单星形接线原理如图 7.11.9。

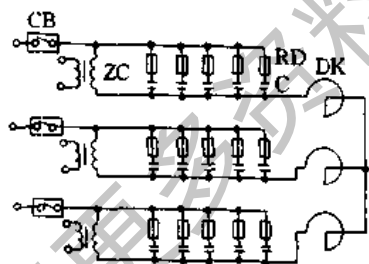


图 7.11.9 并联电容器装置单星形接线原理图

CB—断路器; ZC—放电线圈; RD—熔断器;
C—电容器组; DK—串联电抗器

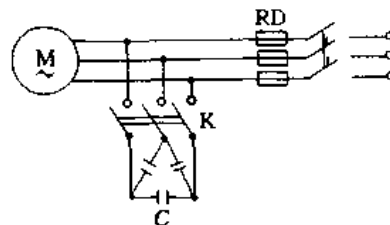


图 7.11.10 低压就地补偿装置接线原理图

RD—熔断器; K—开关;
C—电容器; M—电动机

低压电容器或电容器组, 可采用三角形接线或中性点不接地的星形接线方式, 有的电容器内部已接成三角形。它们经常分散装在负载附近, 称为就地补偿装置, 其主要接线原理如图 7.11.10。

五、串联电抗器的作用和选择

在输配电系统中存在着许多谐波源, 如大功率晶闸管整流、调节装置、电弧炉、磁饱和变压器及电抗器等, 若直接投入并联电容器组, 由于回路参数的改变往往会导致系统谐波分量的放大, 为此, 在高压并联电容器装置中通常接入串联电抗器, 其容量 Q_L 按表 7.11.6 选取。

表 7.11.6 串联电抗器容量选取

谐波次数 n	3	5	7	9
$Q_L/Q_C/\%$	12~13	6	3	2

注: Q_C 为电容器组的容量。

串联电抗器还能有效地抑制电容器组投入电网时所产生的涌流。若系统中谐波分量很小时，可只接入 $Q_L \leq 0.01 Q_C$ 的串联电抗器来抑制合闸涌流。此外，接入串联电抗器对防止和抑制开断电容器组时发生的开关重燃过电压也有好处。

现在有的低压并联电容器装置中也接入了防止合闸涌流的串联电抗器。

六、放电器件及其选择

从安全和限制过电压的要求出发，并联电容器或并联电容器装置应装设放电器件。如果电容器内部装有放电电阻，则该电阻应能使电容器从电源脱开后，其两端子间的剩余电压在 10min 内自 $\sqrt{2}U_n$ （电容器的额定电压）降至 75V 以下。如果电容器组装设放电线圈，其放电性能应使电容器组上的剩余电压在 5s 内降至 50V 以下。放电线圈若带有二次绕组，则可以用于继电保护和测量。放电线圈的主要性能指标见表 7.11.7。

表 7.11.7 放电线圈主要性能参数

型号规格	额定一次电压 /kV	额定二次电压 /V	额定二次负荷 /VA	绝缘等级/kV	额定放电容量 /kvar
FD ₂ -1.7/6.6/ $\sqrt{3}$	6.6/ $\sqrt{3}$	100	100	6	1700
FD ₂ -2.5/11/ $\sqrt{3}$	11/ $\sqrt{3}$	100	100	10	2500
FD ₂ -3.4×2/11/ $\sqrt{3}$	11/ $\sqrt{3}$	100×2	100×2	10	3400×2
FD ₂ -5×2/38.5/ $\sqrt{3}$	38.5/ $\sqrt{3}$	100×2	100×2	35	5000×2

七、开关选择

高压并联电容器装置的投切目前大多采用断路器。当开断电容器组回路时，断路器触头间的绝缘恢复强度必须高于其恢复电压，不然就会发生重燃，使电容器遭受高倍数的过电压。

断路器应按下列条件选取：关合时，触头弹跳时间应不大于 2ms，并不应有过长的预击穿；开断时不应重击穿。应能承受关合涌流，以及工频短路电流和电容器高频涌流的联合作用。每天投切超过三次的断路器，应具备频繁操作的性能。

投切低压电容器装置的开关，也应符合上述基本要求。

目前 10kV 系统已广泛采用有较好开断性能的真空气断路器，35kV 系统则采用 SF₆ 断路器为宜。

八、保护及控制

对电容器装置的保护一般分三种。一种是防止系统异常而损坏电容器装置，其中包括母线过电压、装置过负荷、母线失压等带时限动作的继电保护装置。第二种是防止操作过电压，如开关重燃危害电容器装置，现通常采用无间隙金属氧化物避雷器。第三种是检出电容器装置本身的故障，防止故障扩大，其中包括内外熔丝保护、差压、不平衡电流、零序电压、过流等继电保护。电容器保护使用的熔断器，宜采用喷逐式熔断器。

可根据网路电压、功率因数、无功功率和规定的时间进行自动投切或手控投切。在一些重要的场合，现已采用计算机控制的自动投切装置和静止无功补偿器等动态补偿装置。

九、维护

并联电容器装置应定期进行停电维护检修，包括对电容器及其附属设备进行清扫，对外壳除锈涂漆，检查渗漏油，观察有无膨胀现象，熔断器有无动作等，并进行必要的处理。电容器中的液体介质不允许抽取检验。油浸铁芯式串联电抗器和放电线圈可按变压器同样的方法进行维护和检查，并注意油质的检查。断路器和开关应注意检查触头的损伤，检验有无关合弹跳现象，机械操作机械是否完好和动作灵活，有油的也应检查油质。

第三节 静止补偿器 (SVC)

一、用途

静止补偿器也称静止型动态无功补偿装置，简称静补。静补是并联电容器补偿装置（或交流滤波装置，简称 FC）和容量无级连续可调的感性无功设备联合组成的一种装置。它可以进相、滞相运行，向电力网提供可快速连续调节的容性或感性无功，由于它是静止型的，所以噪声小，能耗低，安装维护方便。它调节速度快，功能较多，运行可靠，节能经济，因此在许多场合已替代运行维护较复杂的同步调相机。缺点是电力系统发生故障，电压下降时，其输出也按电压平方比下降。目前已逐步应用于电力、冶金、化工、电气铁道等行业的关键部位，如在电力工业中用以提高系统稳定性，限制动态过程的电压升高和操作过电压；在直流输

电系统中用来作无功功率调节；在冶金工业中用来抑制轧机、电弧炉等冲击负荷引起的电压闪变，改善其功率因数等。

二、工作原理

静止补偿器的基本形式通常有以下几种。

1. 自饱和电抗器型 (SR)

利用饱和电抗器自身的饱和伏安特性，并经适当的电容器校正，来自动调整无功补偿功率。

2. 可控饱和电抗器型 (CSR)

用改变饱和电抗器控制绕组中的直流电流来改变电抗器的感抗，以调节无功补偿功率。

3. 晶闸管投切电容器型 (TSC)

用反向并联的晶闸管与电容器组及限流电抗器串联，来投切电容器组，以调节无功补偿功率，能将电容器组快速连续投切，而对电网无冲击，适于频繁调节。

4. 晶闸管相控电抗器型 (TCR)

用反向并联的晶闸管与电抗器串联来调节无功补偿功率。

5. 晶闸管相控高阻抗变压器型 (TCT)

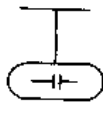
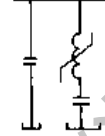

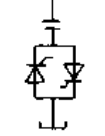
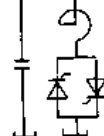
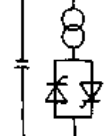
用反向并联的晶闸管与高阻抗变压器串联来调节无功补偿功率。

在实际应用中，上列基本形式的装置可组合搭配，以适应各种要求。其基本组合模式有 TCR + FC、SR + FC 及 TCR + TSC 等。

三、技术性能

各种基本静止补偿器与同步调相机主要技术性能的比较如表 7.11.8 所示。

表 7.11.8 各种静止补偿器与同步调相机性能比较

名称	同步调相机	自饱和电抗器	可控饱和电抗器	晶闸管阀投切电容器	晶闸管阀相控电抗器	晶闸管阀相控高阻抗变压器
结构						
响应时间 /ms	> 200	无斜率校正时 < 1 有斜率校正时 10 ~ 20	60	20	< 10	< 10
调节	连续	连续 (无调节器)	连续	阶梯	连续	连续
谐波	无	大, 5次 25% 7次 10%	大, 5次 25% 7次 10%	无	小, 5次 5% 7次 2.7%	小, 5次 5% 7次 2.7%
运行	不能分相调节	不能分相调节 有非线性电路的特殊问题	不能分相调节 有非线性电路的特殊问题	可分相调节	可分相调节	可分相调节
设计方式	需降压变压器	可直接接高压 控制难	需降压变压器 不适宜于超高压系统	可直接接高压	可直接接高压	可直接接高压 制造难
损耗	大	大	大	小	小	小
噪声	大	大	大	小	小	小

第四节 静止无功发生器 (SVG)

一、用途

静止无功发生器是一种新型的无功补偿装置，它利用半导体换流电路发出或吸收无功功率对电网进行动态

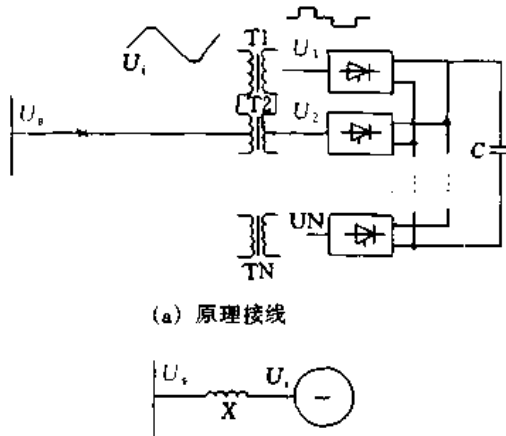
无功补偿。它主要用于冲击性负荷（如电弧炉、轧钢机等）作动态无功补偿，以减少电压波动及闪变。用于电力系统枢纽点以提高系统稳定性。采用特殊的控制方法，可用作负序电流补偿器，补偿不对称负荷。作为有源滤波器，可消除高次谐波。

二、类型及工作原理

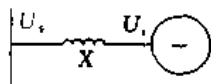
按换流电路不同的结构分以下不同的类型。

1. 电压源型静止无功发生器

原理如图 7.11.11 所示，同步电动势由变流器逆变产生，电容器 C 上的直流电压强迫换相式逆变器 U_i 变为三相交流方波电压。为改善波形，采用多重化的方法，用变压器连接具有一定相位差的多组逆变器，在变压器的另一侧就得到了接近正弦波形的阶梯波电压。在逆变器的触发控制电路中采用锁相技术，可保证逆变电压与系统电压同步。调节逆变电压与系统电压之间的相对角，可控制逆变电压的高低。当逆变电压高于系统电压时，SVG 向系统发送无功功率。当逆变器电压低于系统电压时，SVG 从系统吸收无功功率。静止无功发生器的直流端不需要单独的电源支持，一般只接一个直流滤波电容，逆变器通过变压器的漏抗与电网相连接。



(a) 原理接线



(b) 等值电路

图 7.11.11 电压源型静止无功发生器原理接线

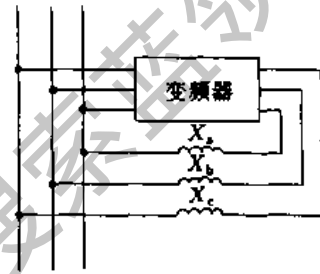


图 7.11.12 功率倍增型静止无功发生器原理接线

2. 电流源型静止无功发生器

其直流端不是采用电容滤波，而是采用电感滤波，使用电流型逆变器把直流电流变为三相交流电流。采用多重化方法可改善电流波形和减少谐波。输出的三相电流也是阶梯波。

3. 功率倍增型静止无功发生器

采用交流变交流的变频器构成，原理接线如图 7.11.12。其两端均接在交流系统中，一端串联电抗器，变频器把三相交流电力系统的电压变为另一组三相同频同相的交流电压，电压幅度不同，通过电抗器与同一电网连接。对电力系统来说，其无功功率吸收量是双倍的，故称之为功率倍增型。

第五节 交流滤波电容器及交流滤波装置

一、交流滤波电容器

为了防止高次谐波对通信及电器设备的危害，在大功率的谐波源如整流或换流设备附近应装设交流滤波装置，把高次谐波就地消除。滤波装置中的电容器既要经受基波电压的作用，又要经受谐波电压的作用，其工作条件比并联电容器苛刻。交流滤波电容器的结构与并联电容器的相似，但设计参数不同，常装有内部熔丝，以保证整套滤波装置的稳定运行。

1. 主要参数的计算与确定

额定电压 U_n ，其值可选下两式中计算值较大者：

$$U_n = U_{1n} + \sum_{h>1} U_{hn}$$

$$U_n = \sqrt{U_{1n}^2 + \sum_{h>1} h^2 U_{hn}^2}$$

式中 U_{1n} ——基波额定电压；
 h ——高次谐波次数；
 U_{hn} —— h 次谐波电压。
 额定基波电压 U_{1n} 的确定：

$$U_{1n} = \frac{h_1^2 U_s}{(h_1^2 - 1)n}$$

式中 U_s ——母线上的最高运行工频电压；
 h_1 ——滤波支路的实际调谐频率次数；
 n ——电容器的串联台数。
 额定电压优先值如表 7.11.9 所示。

表 7.11.9 交流滤波电容器额定电压优先值

基波电压/kV	额定电压优先值/kV
$6.6/\sqrt{3}$	4.2; 4.4; 4.6; 4.8; 5.0; 5.2; 5.4
$11/\sqrt{3}$	7.0; 7.4; 7.8; 8.2; 8.6; 9.0
11	12.0; 12.6; 13.2; 13.8; 14.4; 15.0; 15.6

2. 型号标注方法

例：



3. 常用型号规格 (见表 7.11.10)

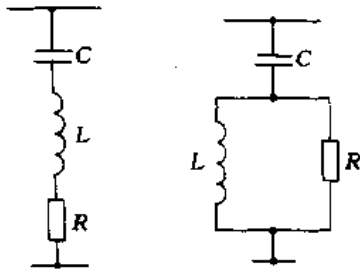
表 7.11.10 交流滤波电容器常用型号规格

型号规格	额定电压 /kV	基波额定 电压/kV	额定容量 /kvar	额定电容 / μ F	基波频率 /Hz	相数	说 明
AWF 7.4-50-1	7.4	6.3	50	2.90	50	1	
AWF 8.6-90-1	8.6	6.3	90	4.30	50	1	
AFF 4.2-50-1	4.2	$6.6/\sqrt{3}$	50	10.2	50	1	
AFF 4.6-100-1	1.6	$6.3/\sqrt{3}$	100	17.0	50	1	
AFF 7-100-1	7.0	$11/\sqrt{3}$	100	7.20	50	1	
AFF 12-200-1	12.0	11	200	5.00	50	1	
AFF 13.8-200-1	13.8	11	200	3.70	50	1	
AFF 42-3000-1	42.0	33.0	3000	6.80	50	1	箱式, 用于电气化铁道

二、交流滤波装置工作原理

目前一般采用由滤波电容器、电抗器和电阻器适当组合而成的无源型交流滤波装置, 运行中与谐波源并联, 除起滤波作用外还兼顾无功补偿的需要。滤波器的基本原理是利用电路谐振的特点来抑制高次谐波。由电阻 R 、电感 L 、电容 C 串联的电路, 其固有谐振频率为 ω_n 。对于非谐振频率 ω_1 , R 、 L 、 C 串联电路的阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2}$ 可能比 R 大得多, 该电路对 ω_1 频率的谐波电流呈高阻抗。对于 $\omega = \omega_n$ 的谐波, 该电路的阻抗最小, 与电阻 R 相近。利用这一特性, 很容易滤去频率为 $\omega = \omega_n$ 的高次谐波。

三、常用滤波装置的结构类型



(a) 单调谐滤波器 (b) 二阶减幅型高通滤波器

图 7.11.13 滤波器接线方式

目前一般采用第一种办法。因为它比较简单灵活。可以节省投资。

1. 滤波器基本类型

工程中常采用的有二种。一种是单调谐滤波器，另一种是二阶减幅型高通滤波器，接线方式见图 7.11.13。

2. 滤波装置的方案选择

根据谐波源大小及所产生的主要特征谐波，确定用一组或几组单调谐滤波器。如要滤除更高次谐波，则可设一组高通滤波器。电力滤波装置一般采用星形接线，而电气铁道滤波装置只需单相。在选择滤波装置方案的同时，应一并考虑满足无功补偿的要求。使滤波装置满足无功补偿的要求，可以有两种处理办法：

① 根据滤波要求设计滤波装置，如其无功容量小于应补偿的容量，不足部分加装并联电容器装置；

② 加大滤波器容量，使其总的无功容量满足补偿要求。

第六节 串联电容器及其装置

一、串联电容器的特点及性能参数

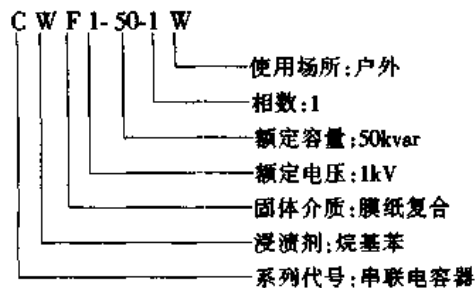
在运行中，串联电容器经常会受到较高过电压和较大过电流的作用，所以其过负荷能力和绝缘水平比相同额定电压的并联电容器要高得多。内部元件通常装有保护熔丝。通常串联电容器的主要性能参数如表 7.11.11 所示。

表 7.11.11 串联电容器的主要性能参数

性能参数名称	性能参数值			说明
额定电压/kV	0.6, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0, 3.0			
额定容量/kvar	20, 30, 50, 80, 100, 900, 1800, 2500			
耐受工频过电流能力	1.10I _n 每 12h 运行 8h 1.35I _n 每 6h 运行 30min 1.50I _n 每 2h 运行 10min 整个使用期限内允许有 10 次在 1.5I _n 下运行 1h			I _n 为电容器额定电流
耐受工频过电压能力	1.35U _n 30min; 1.70U _n 1min; 2.2U _n 1.2s; 4.0U _n 1 个周波;	1.5U _n 5min 1.8U _n 15s 2.6U _n 15 周波 4.4U _n 0.5 周波	U _n 为电容器额定电压	
绝缘水平			U _n ≤ 1kV	用于电气铁道的例外
	短时工频耐压/kV		18	
	雷电冲击峰值/kV		40	60
电容偏差	-7.5% ~ +7.5%			
tgδ	膜纸复合不大于 0.18			

二、串联电容器的型号规格

产品型品代表的意义如下：



产品主要型号规格见表 7.11.12。

表 7.11.12 串联电容器型号规格

型 号	额定电压 /kV	额定容量 /kvar	额定电容 /μF	额定频率 /Hz	相数	说 明
CWF0.6-20-1	0.6	20	176.9	50	1	箱式，用于电气铁道
CWF1-45-1	1	45	143.3	50	1	
CWF3-900-1W	3	900	318.3	50	1	
CWF3-1800-1W	3	1800	636.6	50	1	
CWF3-2500-1W	3	2500	884.2	50	1	

三、串联电容器的作用原理

1. 减小输电线路的电压降落

图 7.11.14 表示接有串联电容器的输电或配电线路的等值电路。

当无电容器时，线路的电压降落为：

$$\Delta U_1 = I [R \cos \varphi + X_L \sin \varphi]$$

当串入电容器后，系统的电压降落为：

$$\Delta U_2 = I [R \cos \varphi + (X_L - X_C) \sin \varphi]$$

显然，串入电容器后，可减少系统电压损失 $I X_C \sin \varphi$ 。

2. 提高输送功率和稳定性

当无电容器时，静态稳定条件下的输送功率

$$P_1 = \frac{U_1 U_2}{X_L} \sin \delta$$

式中 δ 为 U_1 与 U_2 的相角差。

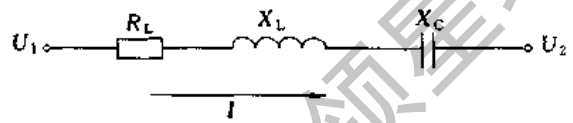


图 7.11.14 接有串联电容器的输电或配电线路的等值电路

U_1 —送电端电压； U_2 —用电端电压；
 R_L —线路电阻； X_L —线路感抗；
 X_C —串联电容器容抗； I —线路电流

当串入电容器后

$$P_2 = \frac{U_1 U_2}{X_L - X_C} \sin \delta$$

在同一相角差 δ 下，输送功率增大 $\frac{X_L}{X_L - X_C}$ 倍。在输送相同功率时，则系统的稳定度得到提高。

四、串联电容器装置的典型结构

串联电容器装置的典型结构见图 7.11.15。

串联电容器除箱式外其额定电压通常仅为 0.6~2kV，绝缘等级仅相当于 6kV，因此将这种串联电容器串接到 35~500kV 的高压输电线上时，电容器必须安装在对地绝缘的台架上，台架的绝缘水平应与该线路对地的绝缘水平相同。为了限制放电能量，在大型的串联电容器装置上往往还设有辅助台架。

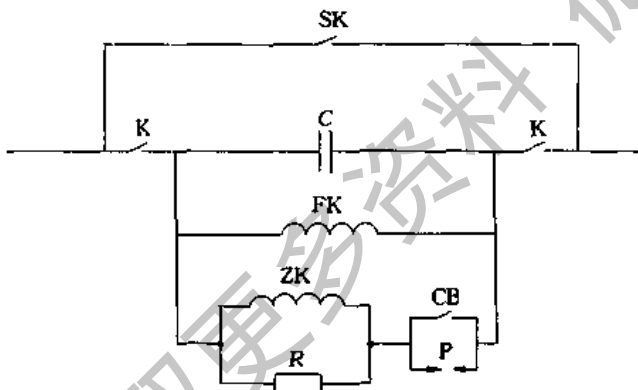


图 7.11.15 串联电容器装置的典型结构
SK—旁路开关；K—隔离开关；C—电容器；FK—放电阻抗器；R—阻尼电阻；ZK—阻尼电抗器；CB—断路器或负荷开关；P—放电间隔

第七节 其他电容器

一、电热电容器

电热电容器主要用于提高感应加热设备的功率因数，额定频率 40~2400Hz，额定电压 375~2000V 额定容量 15~3300kvar。电容器分为空气自冷式和水冷式两种，其内部介质材料正由浸渍纸、浸渍膜纸向全膜发展。空气自冷式选择全膜介质的为好。在安装时应使电容器之间留较大的间距，以利散热。在使用水冷式电容器时必须先通水后投运，先切断电容器的电源后停水源。在运行过程中若出现停水、水量不足或水温超过 40℃ 时

应将电容器退出运行，查出原因并排除故障后方可再投入运行。冷却水的硬度应不大于 10 度，pH 值应在 6~9 之间，总固体含量应不超过 250mg/L。如果几台电容器的水管相串联，则最后一台电容器的出水温度应不高于 40℃。冬天停运时要及时排尽水管中积水，以免冻裂冷却水管。电容器允许在 $1.35I_n$ 下长期运行，每 24h 允许在 $1.1U_n$ 下运行 4h，每个工作日允许承受以重燃方法接通和开断操作 100 次。

常用电热电容器的主要技术参数如表 7.11.13。

表 7.11.13 常用电热电容器的主要技术参数

型号规格	额定电压 /kV	额定容量 /kvar	额定电容 /μF	额定频率 /Hz	说明
RW0.375-125-2.5SB	0.375	125	56.6	2500	尾注 S 表示水冷式 尾注加 B 表示电容可 调变
RW0.5-125-2.5S	0.5	125	31.9	2500	
RW0.75-125-2.5SB	0.75	125	14.2	2500	
RW0.375-140-4SB	0.375	140	39.7	4000	
RW0.5-160-8S	0.5	160	12.7	8000	
RWFO.375-250-2.5S	0.375	250	113.2	2500	
RWFO.75-280-2.5S	0.75	280	31.71	2500	
RWFO.75-320-8S	0.75	320	11.3	8000	无尾注字母的为空气 自冷式
RWFO.75-125-2.5	0.75	125	14.15	2500	

二、脉冲电容器

脉冲电容器主要用来作为储能器件，可以把一个较小功率的电源，在较长时间内对其充电的能量积聚起来，在需要放电的时候可在瞬间将其储存的能量迅速释放出来，形成强大的冲击电流和冲击功率，在高电压技术、高能物理、激光技术、地震勘探、工业生产和医疗器械等方面有着广泛的应用。脉冲电容器是直流电容器，与交流电容器的区别主要是对 $\tan\delta$ 要求较低，工作电场强度高，工作状态是间歇式的。由于用途广泛，故规格品种很多，主要性能参数如表 7.11.14。目前我国生产的脉冲电容器，其最高工作电压以达到 500kV，最大电容达 1000μF，内部电感已做到 30nH 以下。

表 7.11.14 脉冲电容器的主要性能参数

名称	性能参数
储能密度/(J/L)	与工作条件、介质材料、额定电压、耐久性等有关，通常在 7~180 的范围内
耐久性	充放电通常不少于 10000 次
电容偏差	冲击分压用 $\pm 5\%$ ，其余 $\pm 10\%$
绝缘电阻 或时间常数	$C \leq 1\mu\text{F}$ $R \geq 1 \times 10^9 \Omega$ $C > 1\mu\text{F}$ $RC \geq 10^3 \text{s}$

常用脉冲电容器的主要技术参数如表 7.11.15。

表 7.11.15 常用脉冲电容器的主要技术参数

型号规格	额定电压/kV	额定电容/μF	说明
MZ2-200	2	200	Z—植物油，常用介电系数较大的蓖麻油 F—膜纸复合介质，膜常用介电系数较大的聚酯薄膜
MZ5-50	5	50	
MZF10-20	10	20	
MZF50-10	50	10	
MZF100-2	100	2	

三、耦合电容器

主要在高压输电线路的电压测量、载波通信、控制和保护及抽取电能等装置中使用。由于耦合电容器直接接在高压线路上，在工频高压长期作用下运行，承受输电线路所产生的过电压的作用，并设有开关和保护装置，因此其结构和性能应特别可靠，以免直接影响高压电网的安全。

耦合电容器的电容量通常在 2000~20000pF 范围内,并具有很小的电容-温度系数和良好的频率特性。额定电压有 $35/\sqrt{3}$ 、 $66/\sqrt{3}$ 、 $110/\sqrt{3}$ 、 $220/\sqrt{3}$ 、 $330/\sqrt{3}$ 、 $500/\sqrt{3}$ kV 等多种;载波频率范围为 30~500kHz。其介质结构通常为浸渍纸和浸渍膜纸,外绝缘的介电强度随海拔而变化。常用耦合电容器的主要技术参数见表 7.11.16。

表 7.11.16 常用耦合电容器的主要技术参数

型号规格	额定电压 /kV	额定电容 / μF	电容器 /个	爬电距离 /mm	说明
OWF35/ $\sqrt{3}$ -0.0035FH	$35/\sqrt{3}$	0.0035	1	1300	尾注号含义: F—用于中性点非有效接地 H—适用于污秽地区 G—适用于高原地区
OWF66/ $\sqrt{3}$ -0.02F	$66/\sqrt{3}$	0.02	1	1820	
OWF110/ $\sqrt{3}$ -0.01G	$110/\sqrt{3}$	0.01	2	3640	
OWF220/ $\sqrt{3}$ -0.01H	$220/\sqrt{3}$	0.01	2	6390	
OWF330/ $\sqrt{3}$ -0.005H	$330/\sqrt{3}$	0.05	3	9585	
OWF500/ $\sqrt{3}$ -0.01H	$500/\sqrt{3}$	0.01	3	13750	

四、交流电动机电容器

交流电动机电容器连接在单相异步电动机辅助绕组中,有两种不同的用途。一种是对电动机辅助绕组提供超前电流,帮助电动机启动后就从电路中断开,称之为电动机启动电容器,见图 7.11.16 (a)。另一种是永久性地连接在电动机绕组上,在运行情况下增加最大转矩,称之为电动机运行电容器,见图 7.11.16 (b)。

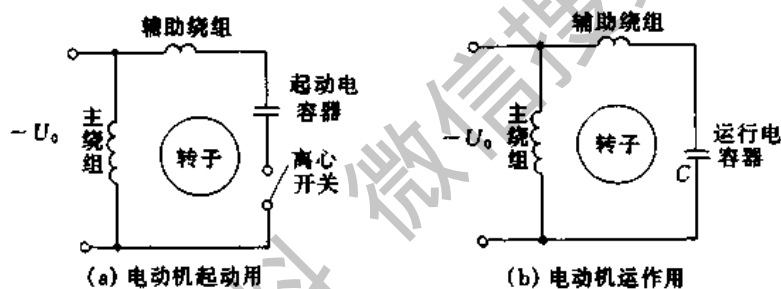


图 7.11.16 电动机电容器在单相异步电机中的应用

电容器与三相异步电动机连接,能使这些电动机由单相系统来供电运行,见图 7.11.17。电动机电容器的额定电压通常在 100~600V 之间,额定电容为 0.68~35 μF 。目前大多数电动机电容器由金属化薄膜卷绕而成,分油浸和干式两类,具有自愈性能。

由于电动机电容器与辅助绕组串联,在电容器端子上的电压通常高于电源电压 U_0 ,所以在选用时应根据运行状态下的实测值来确定电容器的额定电压,以免电容器发生早期损坏。同时应正确选配电容值,以免发生谐振而造成故障。

常用电动机电容器的技术参数见表 7.11.17。

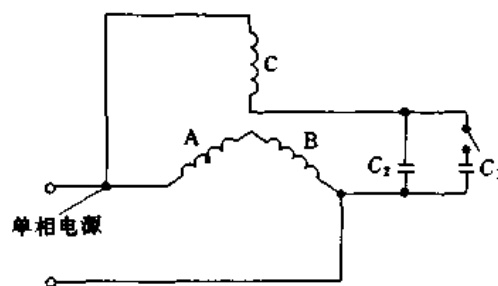


图 7.11.17 三相电动机作单相运行的接线

表 7.11.17 常用电动机电容器的技术参数

型号	额定电压/V	标称电容/ μF	说明
CBB25	250, 350, 400, 450, 500	2, 2.4, 3, 4, 6, 7, 8, 8.5, 9.10, 12, 15	型号尾注字母 S 表示具有防爆性能
CBB65	250, 400	10, 12, 16, 20, 25, 30, 35	
CBB65S	450, 540	13, 18, 20, 25, 30	

五、电容式电压互感器 (CVT)

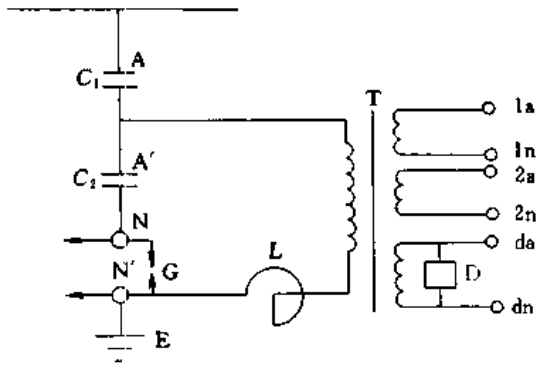


图 7.11.18 电容式电压互感器接线原理图

A—高压端子； C_1 —高压电容器； C_2 —中压电容器； A' —中间电压端子；N—低压端子； N' —电磁单元的低压端子；E—接地端子；G—保护间隙；T—中间变压器；1a、1n—测量用二次绕组端子；2a、2n—保护用二次绕组端子；da、dn—剩余电压绕组端子；D—阻尼器；L—补偿电抗器

电容式电压互感器在高压和超高压系统中用于电压、功率和电能的测量，向继电保护提供电压信号，此外还可兼作耦合电容器，用于输电线载波通讯系统。由于准确度可达 0.2 级，输出容量可达 300~600VA，因此在 66~765kV 变电站的线路侧和母线上都获得了广泛的应用。CVT 和 TV 相比有以下显著优点：

- ① 绝缘可靠性高；
 - ② 不会与断路器的断口电容相匹配造成铁磁谐振；
 - ③ 价格较低，电压等级越高，价格低得越多；
 - ④ 可兼作耦合电容器；
 - ⑤ 运行维护简单，实现带电监测比较容易。
- CVT 由电容分压器和电磁单元两部分组成，其接线原理图见图 7.11.18。

常用产品主要技术参数见表 7.11.18。

表 7.11.18 电容式电压互感器的主要技术参数

产品型号	额定电压比 /kV	准确等级/额定输出 /VA			额定电容 /pF	电容器数 量	爬电 距离 /mm	海拔 /m
		1a-1n	2a-2n	da-dn				
TYD66/ $\sqrt{3}$ -0.02H	$\frac{66}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{3}$	0.2/50	$\frac{0.5}{3P} / 50$	3P/50	20000	1	1820	1000
TYD110/ $\sqrt{3}$ -0.01H	$\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.5/150		3P/50	10000	1	2965	2000
TYD110/ $\sqrt{3}$ -0.02H	$\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.2/150	$\frac{0.5}{3P} / 150$	3P/100	20000	1	3195	2000
TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.005H	$\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.5/150		3P/50	5000	2	5930	2000
TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.01H	$\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.2/150	$\frac{0.5}{3P} / 150$	3P/100	10000	2	6390	2000
TYD330/ $\sqrt{3}$ -0.005H	$\frac{330}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.2/75	$\frac{0.5}{3P} / 75$	3P/50	5000	3	9585	2000
TYD500/ $\sqrt{3}$ -0.01H	$\frac{500}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / 0.1$	0.2/100	$\frac{0.5}{3P} / 150$	3P/100	10000	3	13750	1000

第十二章 电抗器

第一节 电抗器的分类及型号

一、分类 (见表 7.12.1)

表 7.12.1 电抗器分类

名称	用途	特点	标准代号
空心式电抗器	在交流电力系统中用以限制短路电流,抑制合闸涌流和谐波放大,补偿容性电流,滤除高次谐波	因无铁芯,磁路的磁导小,电抗值一般不大,无磁饱和现象,结构简单,有带磁屏蔽及带磁分路的种类	GB 10229—89 IEC 289 (1987) JB 629—82 JB 5346—91
铁芯式电抗器	在交流电力系统中用以补偿容性电流,抵消一相接地故障时的电容电流,电动机降压起动、限流,在整流电电路中进行滤波	磁路由带气隙的铁芯形成,磁导大,电抗值也大,有磁饱和现象,体积相对较小	GB 10229—89 IEC 289 (1987) JB/DC 2126—85
饱和式电抗器	用于调节负载电流和功率,调节整流装置的直流输出电压	磁路由闭合铁芯形成,利用磁性材料的非线性特点工作,在电路中作用似一个可变电感	

二、常用电抗器的型号

我国电抗器产品型号字母排列顺序及含义如表 7.12.2。

表 7.12.2 电抗器型号字母排列顺序及含义

分类	型号字母	字母含义	分类	型号字母	字母含义
型式	BK	并联电抗器	绕组外绝缘介质	—	变压器油
	CK	串联电抗器		G	空气(干式)
	EK	扼流式饱和电抗器	C	浇注成型固体	
	FK	分裂电抗器	冷却装置种类	—	自然循环冷却
	LK	滤波电抗器		F	风冷
	NK	混凝土电抗器	S	水冷	
	PK	平波电抗器	油循环方式	—	自然循环
	QK	起动电抗器		P	强迫循环
	XK	限流电抗器	结构特征	—	铁芯
	XH	消弧线圈		K	空心
相数	ZK	自饱和电抗器	线圈导线材质	—	铜
	D	单相		L	铝
	S	三相			

示例如下。

① 混凝土结构、单相、干式、自冷、铜导线、电压等级 6kV、额定电流 200A、电抗百分值 8% 的产品型号为: NKDG-6-200-8。

② 单相油浸铁芯式自冷铜导线容量 500 ~ 1000kVA 分级可变额定电压 $1.1 \times 63/\sqrt{3}$ kV 的消弧线圈的产品型号为: XHD-1000/63。

第二节 电抗器的结构及安装方法

一、磁路结构

根据绕组内有无主铁芯,电抗器分为空心式和铁芯式两大类。空心式有带与不带磁屏蔽或磁分路的差异,

铁芯式则有闭合铁芯和带气隙铁芯的区别。

单相电抗器磁路的基本结构类型见图 7.12.1。

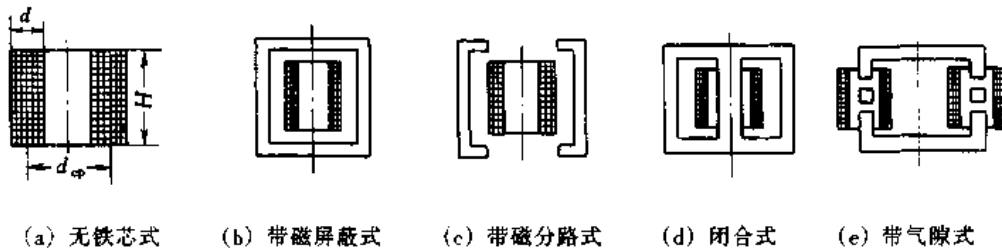


图 7.12.1 磁路基本结构

二、空心电抗器

电压等级不高于 35kV 的通常可制成干式，35kV 级以上的一般制成油浸式。

干式空心电抗器有多层并联圆筒式环氧玻纤包封结构、连续式或螺旋式绕制、混凝土浇注结构等。油浸式空心电抗器带有磁屏蔽结构。空心电抗器的一个绕组为一相。

电抗器三相组合排列方式如图 7.12.2。

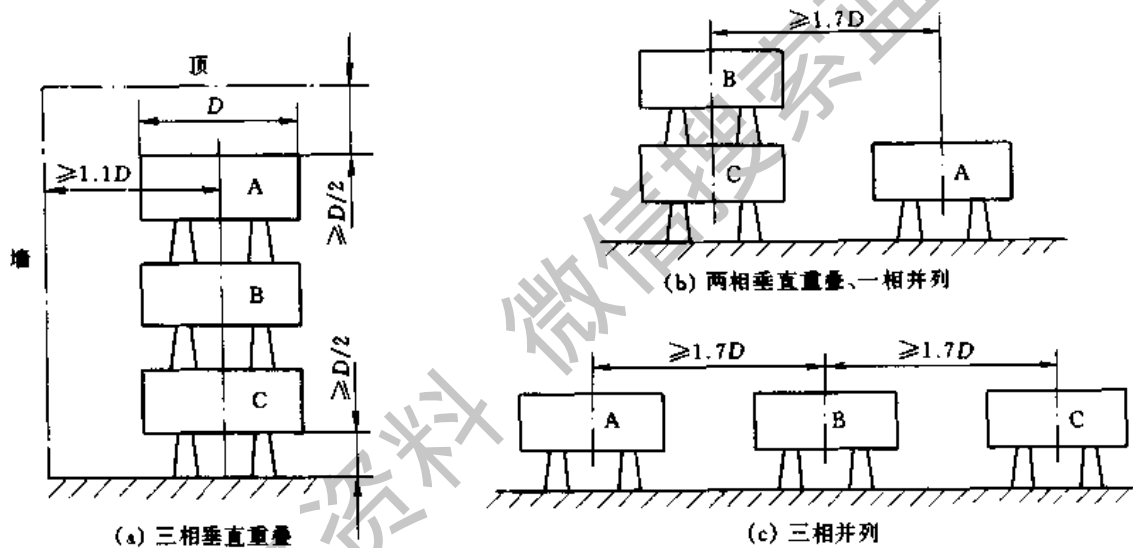


图 7.12.2 三相组合排列方式

安装时应注意以下事项。

- ① 因为安装场所的天棚、地板及墙壁中存在着钢筋或金属件，因此要求电抗器与它们之间保持一定的距离，见图 7.12.2。
- ② 选用图 7.12.2 中 (a)、(b) 两种排列方式时，必须特别注意电抗器的相序，因为互感的关系，通常 B 相绕组匝数较少且绕制方向相反。
- ③ 安装时支撑绝缘子上下端应放置较软的弹性垫片，以保证安放平实，固定牢靠。
- ④ 电抗器引线铝排与汇流线、排接触处要紧密、可靠，防止由于接触表面不洁、不平、螺栓松动而引起局部过热。
- ⑤ 电抗器所有安装组件、紧固件用不锈钢制成，采用矩形母线与相邻设备连接时，矩形母线应垂直布置。

三、铁芯电抗器

铁芯电抗器分干式和油浸两种。容量较小、电压较低（69kV 以下）和特殊场合使用的电抗器一般制成空气自冷干式，大型、高电压使用的电抗器常制成油浸型式。铁芯电抗器可根据需要制成单相或三相。

安装时应注意以下事项。

- ① 干式铁芯电抗器只宜用于户内。在柜中装设时，应考虑其绝缘耐热等级和散热措施的配合，以免产生

过热,造成故障。

② 油浸式铁芯电抗器宜布置在户外。当污秽较严重的工矿企业采用时,应布置在户内。户内布置的电抗器,其油重超过 100kg 时,应单独设置防爆间隔和储油设施。

③ 低于电网绝缘水平的电抗器,应装设在与电网绝缘水平相一致的绝缘平台上。

第三节 常用电抗器

一、限流电抗器

1. 用途

串联连接在系统线路中,在系统发生故障时限制短路电流,使短路电流降低至其后接设备的容许值。

2. 额定值及其标准组合

(1) 额定电流—每相电抗器绕组所容许的长期通过的电流。

(2) 额定工作电压—所连接的电力系统的额定电压。

(3) 电抗百分值—在额定电流下其绕组端电压与系统相电压之比的百分值。上列参数的标准组合见表 7.12.3。

表 7.12.3 限流电抗器参数的标准组合

额定电流 /A	额定工作电压 /kV	绕组电抗百分值/%					额定电流 /A	额定工作电压 /kV	绕组电抗百分值/%				
		3	4	5	6	8			5	6	8	10	
200	6	3	4	5	6	8	1000	6	5	6	8	10	
	10	4	5	6	8			10	6	8	10		
400	6	4	5	6	8		1500	6	5	6	8	10	
	10	4	5	6	8			10	6	8	10		
600	6	4	5	6	8		2000	6	6	8	10		
	10	4	5	6	8			10	6	8	10		
800	6	4	5	6	8		3000	6	8	10			
	10	4	5	6	8			10	8	10			

3. 参数选择

限流电抗器应按表 7.12.4 所列要求选择参数,并按环境条件校验。

表 7.12.4 限流电抗器参数选择

项 目		参 数
技术要求	正常工作条件	电压、电流、频率、电抗百分值
	短路稳定性	动稳定电流、热稳定电流及持续时间
	安装条件	安装方式、进出线端子角度
环境条件		环境温度、相对湿度、海拔、地震烈度

额定电流应按回路最大工作电流选择,而不能按正常持续电流选择。用于发电厂母线分段回路的电抗器,应根据由于母线事故而切断的最大一台发电机的额定电流的 50%~80%,来确定电抗器的额定电流。变压器母线分段回路的电抗器应满足用户的一级负荷和大部分二级负荷的要求。

电抗百分值选择应满足以下要求:

- ① 将短路电流限制到要求值;
- ② 正常工作时,电抗器上的电压损失不宜大于额定电压的 5%;
- ③ 短路时母线上的剩余电压一般保持在 60%~70%。

4. 限流电抗器产品常用规格(见表 7.12.5)

表 7.12.5 干式空心限流电抗器的型号规格及主要参数

型 号	额定电压 /kV	额定电流 /A	电抗率 /%	额定电感 /mH	单相容量 /kvar	单相损耗 /W	动稳定电流峰值 /kA	短时电流 (4s) /kA	线圈外径 /mm	线圈高度 /mm
XKDGL-6-200-3	6	200	3	1.645	20.8	1069	12.75	5	1071	627
XKDGL-6-200-8			8	4.412	55.5	2062			1071	967
XKDGL-10-200-5	10	200	5	4.595	57.7	2126			1071	987
XKDGL-10-200-8			8	7.351	92.4	2873	1271	1087		
XKDGL-6-400-4	6	400	4	1.103	55.4	2068	25.50	10	1040	597
XKDGL-6-400-8			8	2.206	111	3230			1140	737
XKDGL-10-600-4	10	600	4	1.225	138.6	3224	38.25	15	1168	667
XKDGL-10-600-6			6	1.838	207.9	5238			1150	727
XKDGL-6-800-5	6	800	5	0.689	138.5	3775	51.00	20	980	607
XKDGL-6-800-8			8	1.103	221.8	5056			1130	637
XKDGL-10-1000-6	10	1000	6	1.103	347	6511	63.75	25	1250	719
XKDGL-10-1000-10			10	1.838	577	9000			1250	869
XKDGL-6-2000-6	6	2000	6	0.331	416	7503	102	40	1410	790
XKDGL-6-2000-10			10	0.551	694	10344			1510	880
XKDGL-10-2000-6	10	2000	6	0.551	692	10337	102	40	1510	880
XKDGL-10-2000-10			10	0.919	1155	14081			1658	990
XKDGL-6-3000-8	6	3000	8	0.294	831	12453	128	50	1590	790
XKDGL-6-3000-10			10	0.368	1041	14299			1655	840
XKDGL-10-3000-8	10	3000	8	0.490	1387	15027	128	50	1656	930
XKDGL-10-3000-10			10	0.613	1733	17042			1756	940

二、串联电抗器

1. 用途

与并联电容器串联后接入电网，用来限制电容器合闸时的涌流，抑制由于接入电容器可能引起的系统谐波放大，降低开断电容器组时由于开关重燃引起的过电压。

2. 额定值和主要性能指标

- (1) 系统额定电压 电抗器和并联电容器相串联接入电力网路处的系统的额定电压。
- (2) 额定端电压 电抗器通过工频额定电流时一相绕相两端的电压。
- (3) 额定电流 与电抗器相串联的电容器组的额定电流。
- (4) 额定容量 电抗器在工频额定端电压和额定电流时的无功功率。
- (5) 额定电抗 电抗器通过工频额定电流时的电抗值。
- (6) 额定电抗率 电抗器的额定电抗与相串联的并联电容器额定电抗的百分比值。
- (7) 温升 干式空心电抗器绕组温升不超过表 7.12.6 (a) 的规定。油浸铁芯电抗器绕组温升不超过表 7.12.6 (b) 的规定。

表 7.12.6 (a) 干式空心串联电抗器绕组温升

测温部位	绝缘系统温度/℃	温升限值/K	测温部位	绝缘系统温度/℃	温升限值/K
绕组 (电阻法)	120 (E)	65	绕组 (电阻法)	155 (F)	90
	130 (B)	70		180 (H)	115

表 7.12.6 (b) 油浸铁芯电抗器绕组温升

测温部位	测温方法	温升限值/K
绕组 (绝缘耐热等级)	电阻法	55
顶层油	温度计法	50

(8) 损耗 在工频额定电流下 75℃时电抗器的损耗值应符合表 7.12.7 中的规定值, 其偏差不大于 +15%。

表 7.12.7 串联电抗器的损耗值的规定

电抗器额定容量 /kvar	损耗值/(W/var)	
	干式空心	油浸铁芯
100 及以上	0.030	0.015
101 ~ 300	0.024	0.012
301 ~ 500	0.020	0.010
501 ~ 1000	0.016	0.008
1000 以上	0.012	0.006

表 7.12.8 干式空心串联电抗器绝缘水平

系统额定电压 /kV	工频耐受电压 (干、湿) 1min /kV	雷电冲击耐受电压 (峰值) 1.2/50 μ s /kV
6	32	60
10	42	75
35	95	200
63	155	325

(9) 最大短时电流 (热稳定) 当电抗率不大于 1% 时, 应能承受 25 倍额定电流持续 2s; 当电抗率在 4.5% 及以上时, 电抗器应能承受额定电抗率倒数倍额定电流持续 2s, 而不产生任何热和机械的损伤。

(10) 绝缘水平 地面安装的电抗器的绝缘水平应符合表 7.12.8 的要求。

3. 串联电抗器的选用

① 电抗率的选择见表 7.12.9。若电抗器主要用于限制合闸涌流, 可选电抗率为 0.1% ~ 1%。

表 7.12.9 电抗率的选择

抑制谐波的次数	3	5	7	9
电抗率/%	12 ~ 13	6	3	2

② 电抗器额定电流应等于与其相串联的并联电容器组的额定电流。

③ 典型并联电容器组配用电抗器的参数见表 7.12.10。

表 7.12.10 并联电容器组配用电抗器参数表

并联电容器组容量/kvar	1200			2000			3000			5000		7200		10000	
	1	6	12	1	6	12	1	6	12	1	6	1	6	1	6
电抗率/%	1	6	12	1	6	12	1	6	12	1	6	1	6	1	6
电抗器三相总容量/kvar	12	72	144	20	120	240	30	180	360	50	300	72	432	100	600
每相电抗器容量/kvar	4	24	48	6.7	40	80	10	60	120	16.7	100	24	144	33	200

三、并联电抗器

1. 用途

在电力网络中补偿容性无功, 以避免超高压电网中较大电容电流造成网路末端电压的升高, 降低网路合闸和甩负载时的过电压倍数, 减少线路损耗, 改善电压分布, 提高系统稳定性及送电能力。

2. 结构形式及主要性能指标

按结构可分为干式空心和油浸式两种; 按使用目的和连接方式不同, 可分为高压和低压两种。高压并联电抗器直接接于超高压输电线路, 主要限制工频过电压。低压并联电抗器接于超高压变电所主变压器第三绕组或高中压配电母线上, 主要用来移相调压。

(1) 高压并联电抗器 这类电抗器通常采用油浸式, 其主要技术指标如下。

① 最高工作电压: 550/ $\sqrt{3}$ kV, 363/ $\sqrt{3}$ kV。

② 连接方式: Y 连接, 中性点经小电抗接地。

③ 磁化特性: 在 $1.4 \times 550/\sqrt{3}$ kV, $1.3 \times 363/\sqrt{3}$ kV 下磁化特性应为直线, 高于上述电压时, 磁化特性曲线的斜率不应低于该斜率的 2/3。

④ 谐波电流: 幅值在额定电压下, 每相三次谐波电流的幅值不超过基波电流幅值的 3%。

⑤ 电抗偏差: 每相偏差不大于 5%, 三相间偏差不大于 2%。

⑥ 绝缘水平: 见表 7.12.11。

表 7.12.11 并联电抗器满足最低绝缘要求时的绝缘水平

系统额定电压 /kV	额定短时工频耐压 /kV	雷电冲击试验(峰值)/kV		额定操作冲击耐 压(峰值)/kV
		全 波	截 波	
330	510	—	1175	850
	—	1175	1300	950
500	—	1550	1550	1050
	680	1610	—	—
	—	1675	1675	1175

⑦ 损耗：见表 7.12.12。

表 7.12.12 并联电抗器的损耗

容量/Mvar	40	50	60
总损耗不大于/kW	120	150	180

注：总损耗允许偏差最大不超过 +15%。

⑧ 声级：不超过 80dB。

(2) 低压并联电抗器 有单相户外干式空心电抗器和三相油浸铁芯式电抗器两种。当有条件时优先采用干式空心电抗器，因为这种电抗器结构简单，重量较轻，电抗值恒定不变，维护工作量少，无火灾危险。但干式空心电抗器抗环境污染能力及耐老化能力

不及油浸式电抗器。

其主要技术性能指标如下。

- ① 最高运行电压：为主变压器第三次级绕组额定电压的 1.0~1.05 倍，目前尚不宜高于 35kV。
- ② 电抗偏差：每相偏差不大于 5%，三相间偏差不大于 2%。
- ③ 总损耗：不大于额定容量的 5%。
- ④ 磁化特性：在外施电压为 1.1 倍的最高工作电压时，其伏安特性仍为线性。
- ⑤ 绝缘水平：应符合 GB 311.1 标准的规定，其中性点为线端全绝缘水平。
- ⑥ 声级：铁芯油浸式不超过 75dB，干式空心式不超过 60dB。

四、消弧线圈

1. 用途

中性点对地绝缘的电力系统，当一相事故接地时，健全相通过对地电容电流会在接地点引起间歇性电弧，使系统承受强烈的电磁振荡，或形成稳定的大电弧，可能导致更大的事故。系统中性点经消弧线圈接地，接地点会同时流过反向的电感电流和电容电流，使电弧很快熄灭。

2. 结构

消弧线圈是一种铁芯电抗器，铁芯多采用口字形，铁芯柱中间有气隙。消弧线圈有全绝缘和分级绝缘之分。额定电压在 35kV 及以下的为全绝缘结构；高于 35kV 的为分级绝缘结构。除主绕组外，还有一个电表绕组，用于外接电压表，监视消弧线圈的运行状态和事故状态。

对于额定电压为 63kV 及以上的产品，有些用户需要备有供外接电阻的副绕组，用来查找接地故障点。消弧线圈主绕组的接地端装有供测量接地电流的电流互感器。消弧线圈的电感是分级或连续可变的，可在规定的变化范围内与网络的电容相协调。

3. 额定值及性能指标

- (1) 额定电压范围 6.3~110kV。
- (2) 额定电流范围 6.25~110A。
- (3) 额定容量范围 23~7000kVA。

- (4) 温升限值 对于持续流过额定电流的绕组为 80K；
对于额定电流的最大通流时间规定为 2h 的绕组为 100K；
对于最大通流时间规定为 30min 的绕组为 120K。

(5) 绝缘水平 除非另有规定，消弧线圈的绝缘水平与系统中变压器中性点的绝缘水平相同，其接地端取更低的绝缘水平（分级绝缘）。绝缘水平的数值见表 7.12.13。

4. 消弧线圈的选用

应按表 7.12.14 所列技术要求选择，并按表中使用环境条件校验。

表 7.12.13 消弧线圈的绝缘水平

电压等级 /kV	设备的最高电压 /kV	额定短时工频耐压 /kV	雷电全波冲击耐压(峰值) /kV
110	126	95	250
220	252	200	400
330	363	230	550
500	550	140	325

表 7.12.14 消弧线圈参数选择

项 目	参 数
技术要求	电压, 频率, 电流, 容量, 补偿度, 电流分接头, 中性点位移电压
环境条件	环境温度, 日温差 ^① , 相对湿度 ^② , 污秽 ^③ , 海拔, 地震烈度

① 当在户内使用时可不校验。

② 当在户外使用时一定要校验。

额定电压值至少要等于在接地故障时, 出现在变压器或变压器中性点和大地之间的最高电压, 一般规定等于系统的线对中性点电压。

额定电流不得小于在线对地故障时的最大电流值。

容量一般按下式计算:

$$Q = KI_C U_1 / \sqrt{3}$$

式中 Q ——消弧线圈容量, kVA;

K ——系数, 过补偿取 1.35, 欠补偿按脱谐度确定;

U_1 ——电网或发电机回路的额定线电压, kV;

I_C ——电网或发电机回路的电容电流, A。

消弧线圈一般选用油浸式。装于室内相对湿度小于 80% 的场所, 也可选用干式。

5. 消弧线圈的常用产品规格 (见表 7.12.15)。

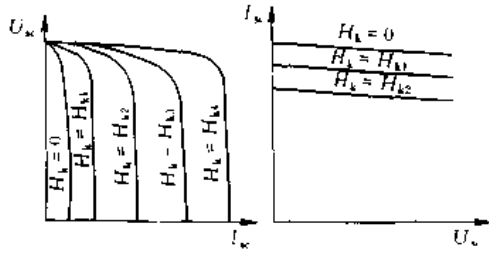
表 7.12.15 消弧线圈的常用产品规格

型号规格	技 术 参 数			分接数
	容量/kVA	电压/V	电流/A	
XHD-48/6.3	23.87 ~ 47.75	$1.05 \times 6300 / \sqrt{3}$	6.25 ~ 12.5	5
XHD-190/6.3	95.5 ~ 191		25 ~ 50	
XHD-380/6.3	191 ~ 382		50 ~ 100	
XHD-75/10	30 ~ 76	$1.05 \times 10000 / \sqrt{3}$	6.25 ~ 12.5	5
XHD-150/10	75.75 ~ 151.5		12.5 ~ 25	
XHD-300/10	151.5 ~ 303		25 ~ 50	
XHD-550/35	278 ~ 556	$1.1 \times 35000 / \sqrt{3}$	12.5 ~ 25	9
XHD-1100/35	556 ~ 1112		25 ~ 50	
XHD-2200/35	1112 ~ 2223		50 ~ 100	
XHD-1000/63	500 ~ 1000	$1.1 \times 63000 / \sqrt{3}$	12.5 ~ 25	9
XHD-2000/63	1000 ~ 2000		25 ~ 50	
XHD-4000/63	2000 ~ 4000		50 ~ 100	
XHD-3500/110	1750 ~ 3500	$1.1 \times 110000 / \sqrt{3}$	25 ~ 50	9
XHD-7000/110	3500 ~ 7000		50 ~ 100	

五、其他电抗器

1. 饱和式电抗器

饱和式电抗器包括饱和电抗器和自饱和电抗器。它们的磁路是一个闭合的铁芯, 无间隙。除交流工作绕组外, 还有直流控制绕组。利用铁磁材料非线性特点工作, 改变直流控制电流, 可以改变铁芯的饱和特性, 从而改变交流侧的等效电感。



(a) 饱和电抗器 (b) 自饱和电抗器
图 7.12.3 饱和电抗器与自饱和电抗器的输出特性

2. 起动电抗器

起动电抗器用于大型交流电动机降压起动。起动时，电抗器与电动机绕组串联；起动后，电抗器即被切除，电动机直接接入电网（见图 7.12.4）。起动电抗器连续工作时间不得超过 2min。

起动电抗器的基本参数应根据电动机的全电压起动电流和要求降压的百分数来确定。若电动机的起动电流为 I_0 ，当全电压起动时，起动电流为额定电流的 k 倍。如要求降压到全电压的 $s\%$ 起动，在不考虑电动机参数随电压降低而改变的前提下，电抗器的额定电流可按式确定：

$$I_n = kI_0 \frac{s}{100} \quad (\text{A})$$

电抗器的额定电抗值：

$$X_n = \frac{\left(1 - \frac{s}{100}\right) \frac{U}{\sqrt{3}}}{I_n} \quad (\Omega)$$

式中 U ——电动机的额定线电压，V。

起动电抗器常带有一个电抗值为额定电抗值 85% 的分接头。

3. 三相均衡电抗器

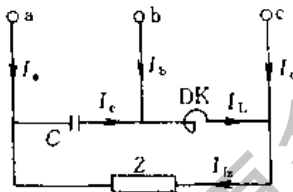


图 7.12.5 三相均衡系统接线图

某些工业大功率的电气设备（例如感应电炉），由于只能单相工作，会给电网带来严重的不平衡，若将适当的电感和电容分别接入其他两相，电源所供给的电流就可以成为三相平衡电流，如图 7.12.5。当此单相负载为纯电阻负载时，电抗器容量应为电阻负载消耗功率的 $1/\sqrt{3}$ 。这类电抗器一般是连续工作制，不带分接头。

4. 平波电抗器

平波电抗器串联在由整流电源供电的直流线路中，对电流中的谐波分量呈高阻抗，以平抑电流中的脉动成分，使其成为较理想的平直波形，并在系统发生故障时降低电流的上升陡度，保护晶闸管。直流输电线路、直流电动机传动（包括电力机车驱动）都要用平波电抗器。电感量的大小与原来线路中脉动分量的大小有关。

平波电抗器的结构形式随着其直流工作电压的高低、等效容量的大小而不同。用于高电压直流输电的平波电抗器，电压高，等效容量大，常做成油浸式、空心、有磁屏蔽，个别情况下，也有干式的，均为户外装置。传动和牵引等方面使用的平波电抗器等效容量较小，电压也低，可以是油浸式或干式，多数为铁芯式。

5. 滤波电抗器

滤波电抗器主要用于有各种谐波源的交流线路中，用以滤去谐波电流，使电源电流接近正弦波。滤波电抗器与滤波电容器串联，形成谐振滤波器，对某一频率呈现很低的阻抗。一套滤波装置常包括好几组滤波器，分别对不同次的系统特征谐波谐振。

高次谐波滤波器在工频下呈现容性，因此在滤波的同时也提供了一个容性无功补偿。

滤波电抗器中流过的电流中，谐波电流占主要成分，因此在设计时要考虑到谐波频率下有效电阻的增加。

目前，由于效率和成本等原因，在不少场合，饱和电抗器已被晶闸管电路取代。自饱和电抗器现在主要在二极管整流装置中作小范围调压和稳流用。

饱和电抗器和负载串联，其输出特性（电压-电流）曲线具有陡降的下坠特性 [见图 7.12.3 (a)]，因此，可以看作是电流调节器。

自饱和电抗器是自饱和磁放大器的基本组成部分，接在整流臂中与整流元件串联，其输出特性曲线是平缓下降的 [见图 7.12.3 (b)]，因此可看作是电压调节器。当无直流控制电流时，这种电抗器在单方向负载电流作用下，始终处于饱和状态。

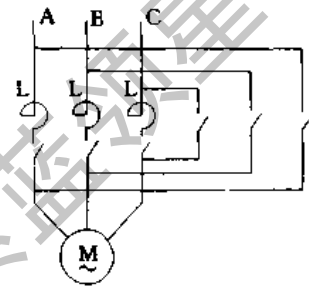


图 7.12.4 用起动电抗器降压起动电动机接线原理图

滤波电抗器根据情况可做成油浸铁芯式或空心干式。

在直流输电线路中，除交流侧装有滤波装置外，直流侧也装有各次谐波滤波器。直流输电用的滤波装置数量多，电压高，等效容量也大，为了节省建筑费用，要求做成户外式。

6. 静止无功补偿装置中的相控电抗器

这里指的是相控型静止无功补偿装置（TCR）中的电抗器。电抗器由晶闸管控制开放角，由此改变其基波电流。电抗器与电容器并联，组成静止无功补偿装置，通过晶闸管的控制改变整个装置的无功容量。这种装置反应快速，在无功补偿的同时，还可防止因负载急剧变化（例如大型炼钢电弧炉）而使电网电压波动对照明引起的闪烁效应。

图 7.12.6 是相控电抗器的接线原理图。每相电抗器分成二个串联，如一个故障，晶闸管阀也不致因流经过大的短路电流而损坏。

应该注意，相控电抗器是一个谐波源，所产生的各次谐波电流必须由滤波装置滤去。滤波装置也构成静止无功补偿装置的一部分。

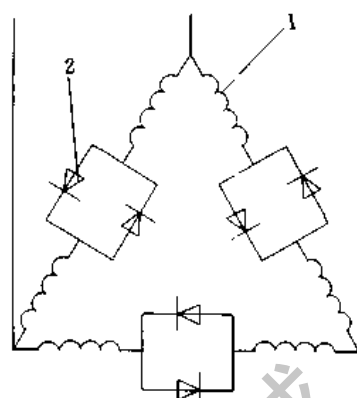


图 7.12.6 相控电抗器接线原理图

1—相控电抗器；2—晶闸管

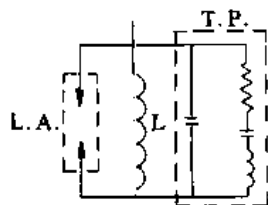


图 7.12.7 宽频带阻波器的电路

T.P.—调谐装置；L.A.—避雷器；L—阻波器本体

电抗器通常做成干式空心，不带抽头，户内或户外装设。

7. 阻波器

阻波器是一种空心电抗器，串联在输电线路中，其作用是对指定的高频或频带呈高阻抗，使信号能经由耦合电容器进入变电所。

阻波器所阻挡的载波频率很高，在几十到几万赫，所以电感量不大，通常从 0.1 到几个毫亨。阻波器内流经的电流是线路电流，所以阻波器的构造应能承受线路短路时的短路电流所造成的电动力。

阻波器常与调谐装置配套，以得到所需要的频率特性，图 7.12.7 为宽频带阻波器的一例，调谐装置和避雷器通常用树脂包封以后装入阻波器内部。

阻波器多数悬挂在架空线上，也有装在绝缘支柱或耦合电容器上面。

获取更多资料

第十三章 3~35kV 交流金属封闭开关设备

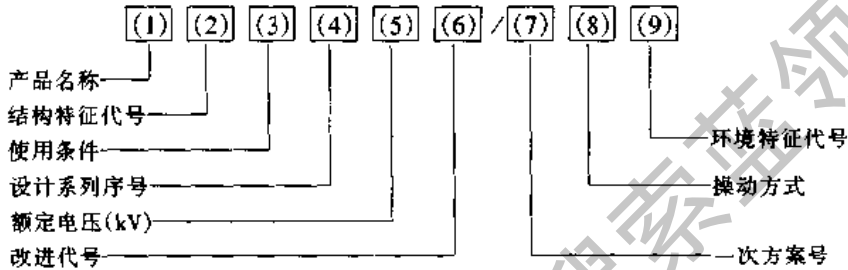
第一节 概 述

中压成套开关设备是额定频率为 50Hz，额定电压为 3~35kV 的三相交流中性点不接地的单母线及单母线分段系统中作为接受和分配电能用的配电设备，主要用于发电厂、变电所及工矿企业、民用设备的受、馈电及中压电动机等电气设备的控制与保护。

一、产品型号及分类

1. 产品型号及其含义

(1) 产品型号 中压成套开关设备的型号组成形式如下：



(2) 产品型号中代号含义 (表 7.13.1)

表 7.13.1 产品型号中各组成部分的代号及其含义

序号	型号组成部分	汉语拼音字母	含 义	序号	型号组成部分	汉语拼音字母	含 义
(1)	产品名称	K	金属封闭铠装式开关设备	(8)	操动方式	T	弹簧操动
		J	金属封闭间隔式开关设备			A	第一次改进
		X	金属封闭箱式开关设备			B	第二次改进
(2)	结构特征代号	G	固定式	(9)	环境特征代号	TH	用于湿热带
		Y	移开式			TA	用于干热带
(3)	使用条件	N	户内用			G	用于高海拔
		W	户外用			F	用于化学腐蚀的场地
(8)	操动方式	D	电磁操动			H	用于高寒地区

2. 产品分类

(1) 按产品结构形式分类

① 铠装式金属封闭开关设备：除进出线外，完全被接地的金属外壳封闭，且某些组成部件分别装在用金属隔板隔开的隔室中。

② 间隔式金属封闭开关设备：除进出线外，完全被接地的金属外壳封闭，与铠装式金属封闭开关设备一样，它的某些元件也分设于独立的隔室内，但具有一个或多个非金属隔板的金属封闭开关柜。

③ 箱式金属封闭开关设备：除铠装式、间隔式金属封闭开关设备以外的金属封闭开关设备。

(2) 按功能单元的安装方式分类

① 固定式：功能单元固定安装在开关设备内。

② 移开式：主要元件（如断路器、电压互感器等）安装在可移开部件（如手车）中，能够从金属封闭开关设备中完全移开并能被替换，在主电路带电时也不例外。

(3) 按金属封闭开关设备的用途分类

① 进线柜。

② 馈电柜。

③ 电控柜（控制电动机等）。

- ④ 计量柜。
- ⑤ 互感器柜。
- ⑥ 母联柜。
- ⑦ 变压器（所用变）柜。
- ⑧ 电容器补偿柜等。

二、主要技术要求

1. 正常使用条件（户内）

- (1) 周围空气温度 上限+40℃，下限一般地区-10℃，高寒地区-25℃。
- (2) 海拔 安装场地海拔不超过1000m。
- (3) 湿度 相对湿度日平均不大于95%，月平均值不大于90%。
- (4) 环境 周围空气应不受腐蚀性或可燃气体、水蒸气等明显污染。无经常性剧烈振动。

2. 主要技术参数

- (1) 额定频率 50Hz。
- (2) 电压

额定电压/kV	3	6	10	(15)	20	35
最高电压/kV	3.5	6.9	11.5	(17.5)	23	40.5

- (3) 额定电流 630A, 1250A, 1600A, 2500A, 3150A。
- (4) 额定短路分断电流 16kA, 20kA, 25kA, 31.5kA, 40kA。
- (5) 额定短时耐受电流（有效值 3s） 16kA, 20kA, 25kA, 31.5kA, 40kA。
- (6) 额定峰值电流 40kA, 50kA, 63kA, 80kA, 100kA。
- (7) 额定绝缘水平 交流金属封闭开关设备的额定绝缘水平应符合表 7.13.2 的规定。

表 7.13.2 试验电压值

试品耐压值 / kV	施加电压部位		柜体及开关设备绝缘的工频耐压值		柜体及开关设备绝缘的冲击耐压值（峰值）	
	主绝缘对地	隔离断口间的绝缘	主绝缘对地	隔离断口间的绝缘	主绝缘对地	隔离断口间的绝缘
3	24	26	40	43		
6	32	36	60	66		
10	42	48	75	84		
15	55	64	105	119		
20	65	77	125	144		
35	95	115	185	218		

(8) 电气间隙和爬电比距

① 电气间隙在单纯以空气作为绝缘介质时，开关设备内各相导体的相间及对地净距应符合表 7.13.3 的规定。

表 7.13.3 电气间隙/cm

额定电压/kV	3	6	10	15	20	35
1. 导体至接地间净距	7.5	10	12.5	15	18	30
2. 不同相的导体之间净距	7.5	10	12.5	15	18	30
3. 导体至无孔遮栏间净距	10.5	13	15.5	18	21	38
4. 导体至网状遮栏间净距	17.5	20	22.5	25	28	40
5. 导体至栅栏间净距	82.5	85	87.5	90	93	105
6. 无遮栏裸导体至地板间净距	237.5	240	242.5	245	248	260
7. 需要不同时停电检修无遮栏裸导体之间的水平净距	187.5	190	192.5	195	198	210
8. 出线套管至屋外通道地面间净距	400	400	400	400	400	400

注：海拔超过 1000m 时本表所列 1、2 项值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正。

3~7 项之值应分别增加 1 或 2 项值的修正值。

② 各组件及其支持绝缘件的外绝缘爬电比距应符合以下要求:

- a. 凝露型的爬电比距 纯瓷绝缘不小于 1.4cm/kV, 环氧树脂绝缘不小于 1.6cm/kV。
- b. 不凝露型的爬电比距 纯瓷绝缘不小于 1.2cm/kV, 环氧树脂绝缘不小于 1.4cm/kV。

(9) 外壳防护等级 外壳防护等级不低于 IP2X。

(10) 母线的排列及色标 母线的排列 (从开关设备正面观察) 及色标应符合表 7.13.4 的规定。

表 7.13.4 母线的排列与色标

相序	垂直排列	水平排列	前后排列	色标
A	上	左	后	黄
B	中	中	中	绿
C	下	右	前	红
保护导体	—	—	—	黄、绿相间

注: 如果按上述相序排列会造成母线配置困难, 可不按此表的规定。

(11) 联锁 为保护设备及人身安全, 金属封闭开关设备应具有如下防误功能:

- a. 防止带负荷分、合隔离开关 (隔离触头);
- b. 防止误分、误合断路器、负荷开关和接触器 (允许提示性);
- c. 防止接地开关处于闭合位置时, 关合断路器、负荷开关等开关;
- d. 防止在带电时误合接地开关;
- e. 防止误入带电隔室等。

三、常用断路器的操动机构

在交流金属封闭开关设备中, 通常采用电磁操动机构和弹簧操动机构作为断路器的分、合闸机构。现将最常用的几种操动机构的主要技术参数示于表 7.13.5 至表 7.13.8 中。其中 CD-10 和 CT-8 用于少油断路器, CD-17 和 CT-19 用于真空断路器。

表 7.13.5 CD-10 操动机构技术参数

名称	单位	技术参数			
		CD10-I	CD10-II	CD10-III	
220V 合闸线圈	计算电流	A	98	120	147
	电阻	Ω	$2.22 + 0.18$	$1.82 + 0.15$	$1.72 + 0.24$
110V 合闸线圈	计算电流	A	196	240	204
	电阻	Ω	$0.56 + 0.05$	$0.46 + 0.04$	$0.43 + 0.04$
220V 分闸线圈	计算电流	A	5.0		
	电阻	Ω	$22 + 1.1$		
110V 分闸线圈	计算电流	A	2.5		
	电阻	Ω	$88 + 4.4$		
适用于断路器型号			SN10-10 I / 630-16 1000	SN10-10 II / 1000-31.5 SN10-10-III / 1000-43.3 SN10-35 / 1000-16	SN10-10 III / 3000-43.3

表 7.13.6 CT-8 操动机构技术参数

项目	单位	技术参数					
电动机额定输出功率	W	240					
电动机额定工作电压	V	AC 110, 220, 380; DC 110, 220					
电动机额定工作电流	A	0.85 ~ 1.10 倍额定工作电压					
电动储能时间	s	≤ 5 (10)					
合分闸电磁铁额定工作电压	V	AC 110	AC 220	AC 380	DC 48	DC 110	DC 220
合闸电磁铁额定工作电流	A	< 9.5	< 5	< 3	< 6	< 2.3	< 1.2
分闸电磁铁额定工作电流	A	2.53	1.25	0.75	2.8	1.38	0.80
合闸电磁铁正常工作电压	V	0.85 ~ 1.10 倍额定工作电压					
分闸电磁铁正常工作电压	V	0.65 ~ 1.20 倍额定工作电压 小于 0.3 倍额定电压时不动作					

注: 括号内为 CT8 III 型的数据。

表 7.13.7 CD-17 操动机构技术参数

名 称		单 位	技 术 参 数		
			CD17-II	CD17-III	CD17-IV
220V 合闸线圈	计算电流	A	55	71	128
	电阻	Ω	4 ± 0.24	3.1 ± 0.18	1.72 ± 0.24
110V 合闸线圈	计算电流	A	110	142	256
	电阻	Ω	1 ± 0.06	0.775 ± 0.47	0.43 ± 0.04
220V 分闸线圈	计算电流	A	1.5		
	电阻	Ω	146 + 8		
110V 分闸线圈	计算电流	A	3.0		
	电阻	Ω	36.5 + 2		
适用于断路器型号			ZN28-10/1250-20, 25	ZN28-10/1250-31.5 1600	ZN28-10/2000-40 2500-40 3150

表 7.13.8 CT-19 操动机构技术参数

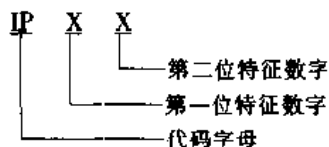
项 目	单 位	技 术 参 数					
		CT19-I		CT19-II		CT19-III	
合闸功	(型号) J	100		140		180	
电动机额定输出功率	W	70		70		120	
电动机额定工作电压	V	DC110, 220					
电动机额定工作电流	V	0.85 ~ 1.10 倍额定工作电压					
电动储能时间	s	≤ 12					
人力储能操作力	N	< 150					
合分闸电磁铁额定工作电压	V	AC 110	AC 220	AC 380	DC 48	DC 110	DC 220
合闸电磁铁额定工作电流	A	1.83	1.33			2.34	1.63
分闸电磁铁额定工作电流	A	1.83	1.33			2.34	1.63
合闸电磁铁正常工作电压	V	0.85 ~ 1.10 倍额定工作电压					
分闸电磁铁正常工作电压	V	0.65 ~ 1.20 倍额定工作电压					

四、电气设备的外壳防护等级 (IP)

外壳防护等级 (IP) 是电气设备借助于外壳进行防护的防护分级规定, 目的是防止人体接近壳内危险部件造成人身伤害, 防止固体异物及水进入电气设备内而对电气设备造成有害影响。

IP 代码有带附加字母和补充字母及不带附加字母和补充字母两种表示方式。在高、低压开关设备中, 常用不带附加字母补充字母表示方式。

1. IP 代码的组成



2. 第一位特征数字

第一位特征数字表示对接近危险部件和固体异物进入外壳的防护等级, 见表 7.13.9。当对其不作要求时, 该特征数字用 X 表示。

3. 第二位特征数字

第二位特征数字表示外壳防止由于进水而对设备造成有害影响的防护等级, 见表 7.13.10。当对其不作要求时, 该特征数字用 X 表示。

表 7.13.9 IP 代码第一位特征数字的含义

特征数字	防护等级		防护要求
	对人员的防护含义 防止接近危险部件	对设备防护的含义 防止固体异物进入	
0	无防护	无防护	—
1	防止手臂 接近危险部件	防止直径不小于 50mm 的固体异物	直径 50mm 球形试具应与危险部件有足够的间隙 直径 50mm 球形物体试具不得完全进入壳内
2	防止手指 接近危险部件	防止直径不小于 12.5mm 的固体异物	直径 12mm, 长 80mm 的铰接试指应与危险部件之间 在半球范围内有足够的间隙 直径 12.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内
3	防止工具 (人持) 接近危险部件	防止直径不小于 2.5mm 的固体异物	直径 2.5mm 的试具不得进入壳内 直径 2.5mm 物体试具不得完全进入壳内
4	防止金属线 (人持) 接近危险部件	防止直径不小于 1.0mm 的固体异物	直径 1.0mm 的试具不得进入壳内 直径 1.0mm 物体试具不得完全进入壳内
5	防止金属线 (人持) 接近危险部件	防尘	直径 1.0mm 的试具不得进入壳内 不能完全防止尘埃进入, 但进入的灰尘量不得影响 设备的正常运行, 不得影响安全
6	防止金属线 (人持) 接近危险部件	密尘	直径 1.0mm 的试具不得进入壳内 无灰尘进入

表 7.13.10 IP 代码第二位特征数字的含义

特征数字	防护等级	防护要求
	对设备的含义	
0	无防护	—
1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水应无有害影响
2	防止当外壳在 15°范围内倾斜时垂直方向滴水	当外壳各垂直面在 15°范围内倾斜时, 垂直方向滴水 应无有害影响
3	防淋水	外壳各垂直面在 60°范围内倾斜淋水, 应无有害影响
4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响
6	防强烈喷水	向外壳各方向强烈喷水无有害影响
7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致 达有害影响
8	防持续潜水影响	按生产厂和用户双方同意的条件 (应比数字 7 严格) 持续潜水后外壳进水量不致达有害影响

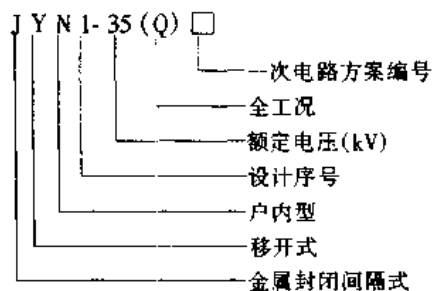
4. 示例

IP2X 表示防止人手指接近危险部件及直径不小于 12.5mm 的固体异物进入壳体, 而对防水不作要求。

第二节 JYN1-35 (Q) 手车式高压开关柜

JYN1-35 (Q) 型手车式高压开关柜 (以下简称开关柜) 为用户内金属封闭间隔式成套开关设备, 具有“五防”功能, 适用于 50Hz、35kV 单母线系统中, 作为接受和分配电能之用。

一、型号含义



二、结构

开关柜系户内型金属封闭高压成套装置，由柜体和手车两部分组成。柜体由角钢及钢板弯制零件经焊接、组装而成。柜体按其功能分隔成手车室、母线室、隔离触头室、电缆室、继电器及小母线室、二次端子室等隔室。手车室与隔离触头室、电缆室之间，隔以绝缘材料制造的整块隔板，并在其上装有绝缘活门，其他各室之间均以接地的金属板隔开。其结构见图 7.13.1。

手车按作用分为真空断路器手车、少油断路器手车、避雷器手车、“V”形接法的电压互感器手车、“Y”形接线的电压互感手车、单相电压互感器手车、隔离手车和变压器手车等八种。

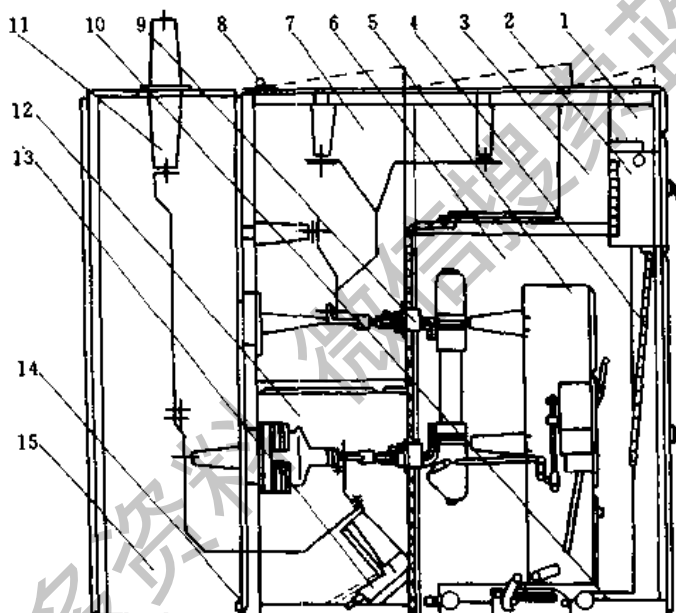


图 7.13.1 开关柜内部结构(断路器柜)

1—二次控制电缆通道；2—继电器及小母线室；3—排气通道；4—二次端子室；5—断路器；
6—手车室；7—主母线室；8—吊钩；9—绝缘活门；10—接地及手车导正装置；11—穿墙套管
(用户自备)；12—下隔离触头室；13—接地开关；14—接地母线；15—进(出)线及电缆头室

三、主要技术参数

1. 开关柜的主要技术参数(见表 7.13.11)

表 7.13.11 开关柜主要技术参数

项 目	单 位	数 据	项 目	单 位	数 据	
额定电压	kV	35	雷电冲击电压(峰值)	kA	185	
最高电压	kV	40.5	主回路电阻值(不包括互感器)	$\mu\Omega$	100~250	
额定电流	A	1000, 1250, 1600	机械寿命	次	少油断路器 2000	
额定开断电流	kA	16, 20, 25			真空断路器 6000	
额定关合电流(峰值)	kA	40, 50, 63	外壳防护等级		IP20CH	
极限通过电流(峰值)	kA	40, 50, 63	重量(断路器柜)	kg	1600~1800	
4s热稳定电流(有效值)	kA	16, 20, 25	动 负 荷	向上	kg	约 500
主回路 1min工频耐压	kA	80		向下	kg	约 500
辅助回路 1min工频耐压	kA	2				

2. 开关柜常用一次元件的名称及型号 (见表 7.13.12)

表 7.13.12 开关柜常用一次元件名称及型号

名称	型号	名称	型号
真空断路器	ZN23-35	电压互感器	JDJ ₂ -35
少油断路器	SN10-35C	避雷器	FZ-35
电磁操动机构	CD10	氧化锌避雷器	RZY ₁ -35
弹簧操动机构	CT10, CT10A	高压熔断器	RN ₂ -35
电流互感器	LCZ-35	高压熔断器	RW ₁₀ -35
电压互感器	JDJ ₂ -35	电力变压器	SCL-35-50/0.4

四、安装

开关柜不靠墙安装，平面布置分为单列和双列布置两种，并设有母线桥。

安装开关柜为水泥基础，操作走廊以水磨石地为好。地面埋设槽钢及开设主回路电缆沟。

开关柜排列整齐后，各柜之间用螺钉拼装，底脚与基础槽钢间可用螺钉固定，也可以采用电焊。

第三节 JYN2-10 型交流金属封闭型移开式开关设备

JYN2-10 型交流金属封闭型移开式开关设备适用于 3~10kV 单母线系统，作为接受和分配电能用。

一、结构

JYN2-10 型开关柜的结构用钢板弯制而成，整个柜由固定的本体和可以用滚轮移动的手车两部分组成，电缆室用盖板封闭防止小动物侵入。开关柜的结构形式见图 7.13.2。固定的本体用钢板或绝缘板分隔成手车室、母线室和继电器室三个部分。

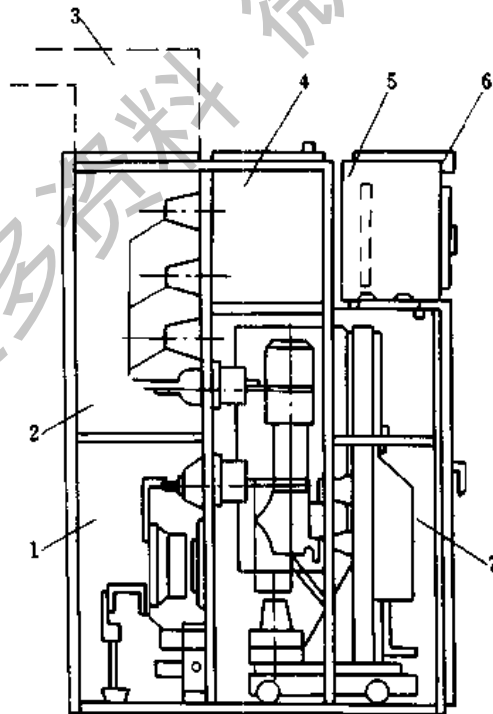


图 7.13.2 JYN2-10 型开关柜结构示例

1—电缆室；2—母线室；3—母线桥；4—排气道；5—继电器室；6—小母线室；7—手车室

二、主要技术参数 (表 7.13.13)

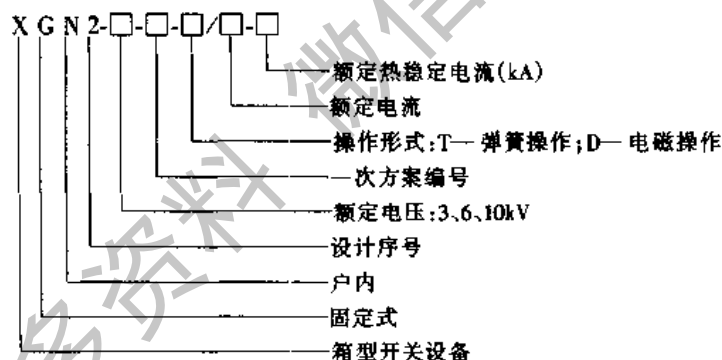
表 7.13.13 JYN2-10 型产品主要技术参数

名称	单位	断路器柜参数及配用断路器型号						
		SN10-10 I C		SN10-10 II C	SN10-10 III C		ZN □10/1000	
额定电压	kV	3		6	10			
最高工作电压	kV	3.5		6.9	11.5			
额定电流	A	630	800	800	1000	1600	2500	800
断路器额定电流	A	630	1000	1000	1250	2000	3000	1000
额定开断电流 (有效值)	kA	20		31.5	31.5		20	
最大关合电流 (峰值)	kA	50		80	80		50	
动稳定电流 (峰值)	kA	50		80	80		50	
热稳定电流 (4s 有效值)	kA	20		31.5	31.5			
参考重量	kg	750		810	1000 (1000A) 1200 (2500A)			
外壳防护等级		IP2X						

第四节 XGN2-10 型固定式高压开关箱

XGN2-10 型固定式高压开关箱 (以下简称开关箱) 为户内金属封闭式箱形结构, 具有“五防”功能, 适用于 3~10kV 三相交流、50Hz 系统中作为接受电能及分配电能之用。其母线系统为单母线, 并可以派生出单母线带旁路和双母线结构。

一、型号含义



开关箱为金属封闭箱形结构, 箱体骨架由角钢焊接而成。箱体分为断路器室、母线室、电缆室及继电器室等, 室与室之间用钢板隔开。

二、主要技术参数

1. 开关箱的主要技术参数 (见表 7.13.14)

表 7.13.14 开关箱主要技术参数

项 目	单 位	技 术 参 数	项 目	单 位	技 术 参 数
额定电压	kV	3, 6, 10	热稳定电流	kV	16, 20, 31.5, 40
最高电压	kV	3.6, 6.9, 11.5	热稳定时间	s	4
额定电流	A	5~3000	防护等级		IP20CH
额定短路开断电流	kA	16, 20, 31.5, 40	母线系统		单母线, 单母线带旁路
额定短路关合电流	kA	40, 50, 80, 100	操作方式		电磁式, 弹簧储能式
动稳定电流	kA	40, 50, 80, 100	质量	kg	1000~1200

2. 开关箱所配一次元件的型号及规格 (见表 7.13.15)

表 7.13.15 开关箱所配一次元件型号及规格

名 称	型 号	名 称	型 号
真空断路器	ZN28-10 1000 ~ 2000A	电流互感器	CZZJ-10 CFZJ-10
少油断路器	SN10-10 I、II、III 630 ~ 3000A	电压互感器	JDJ-6-10 JDZJ6-10
电磁操动机构	CD10- I、II、III	旋转式隔离开关	GN30-10 GN30-10D
弹簧操动机构	CT8-1 CT17	旋转式隔离开关	GN22-10/2000 GN22-10/3150

三、安装、调整与维护

1. 安装

- ① 断路器在分闸时产生的动负载, 向上、下约为 7810N。开关箱的基础设计应能承受该压力。
- ② 将开关箱顺序放在基础上, 调整好成组开关箱的直线度、垂直度、水平度, 然后用 M12 螺栓或用点焊的方法将开关箱固定在基础槽钢上。
- ③ 打开主母线室顶盖, 安装主母线。
- ④ 安装一次电缆: 将电缆头制作好后, 固定在电缆支架上。接头连接好后用隔板将电缆室与电缆沟封闭。
- ⑤ 安装二次电缆: 二次电缆由机构左侧底部穿入, 顺侧壁进入继电器室, 接至相应的端子上。电缆完工后, 应封闭电缆孔。
- ⑥ 连接接地母线, 将各个开关箱接地母线按排列方向连成一体, 并具有接地连续性。

2. 调整

- ① 检查所有紧固件是否松动, 如有松动必须紧固。
- ② 检查母线连接处是否良好, 如接触不好应重新处理。
- ③ 手动操作隔离开关及机械联锁 3~5 次, 应动作灵活、准确。
- ④ 检查真空断路器 (或少油断路器) 及操动机构应符合断路器本身的技术要求。
- ⑤ 检查二次回路, 在一次高压电路不带电的情况下进行动作试验, 结果应符合设计要求。
- ⑥ 测量一次回路电阻 (不包括电流互感器), 其电阻值应在 $60 \sim 100 \mu\Omega$ 的范围内。
- ⑦ 一次回路 1min 工频耐压试验: 试验电压值为出厂试验的 85%。
- ⑧ 二次回路 1min 工频耐压试验: 试验电压值为交流 2000V。
- ⑨ 检查轴承及各转动部分应涂润滑脂。

3. 维护

- ① 观察少油断路器的油位, 不低于下限值。油的颜色变为褐色时应更换。
- ② 少油断路器每分合三次短路电流时, 应进行内部检修。而真空断路器一般不进行检修。
- ③ 记录断路器动作次数。
- ④ 观察一次电路和电气连接处母线, 如发现松动及过热变色时应及时检修。
- ⑤ 观察控制、信号、照明回路是否正常运行。

第五节 GZS1 型户内金属铠装移开式高压开关柜

GZS1 型户内金属铠装移开式开关设备 (以下简称开关设备), 是 3~10kV 三相交流 50Hz 单母线及单母线分段系统的成套配电装置。主要用于发电厂、中小型发电机送电、工矿企事业配电以及电业系统的二次变电所的受电、送电及大型高压电动机起动等, 实行控制保护、监测之用。

一、结构

开关设备按 GB 3906—91 中的铠装式金属封闭开关设备而设计。整体由柜体和中置式可移开部件 (即手

车)两大部分组成,见图7.13.3。柜体分四个单独隔室,外壳防护等级为IP4X,各小室间和断路器室门打开时防护等级为IP2X,具有架空进出线、电缆进出线及其他功能方案,经排列、组合后能成为各种方案装置形式的配电装置。此开关设备可以从正面进行安装调试和维护,提高了开关设备的安全性、灵活性,体积小,减少了占地面积。

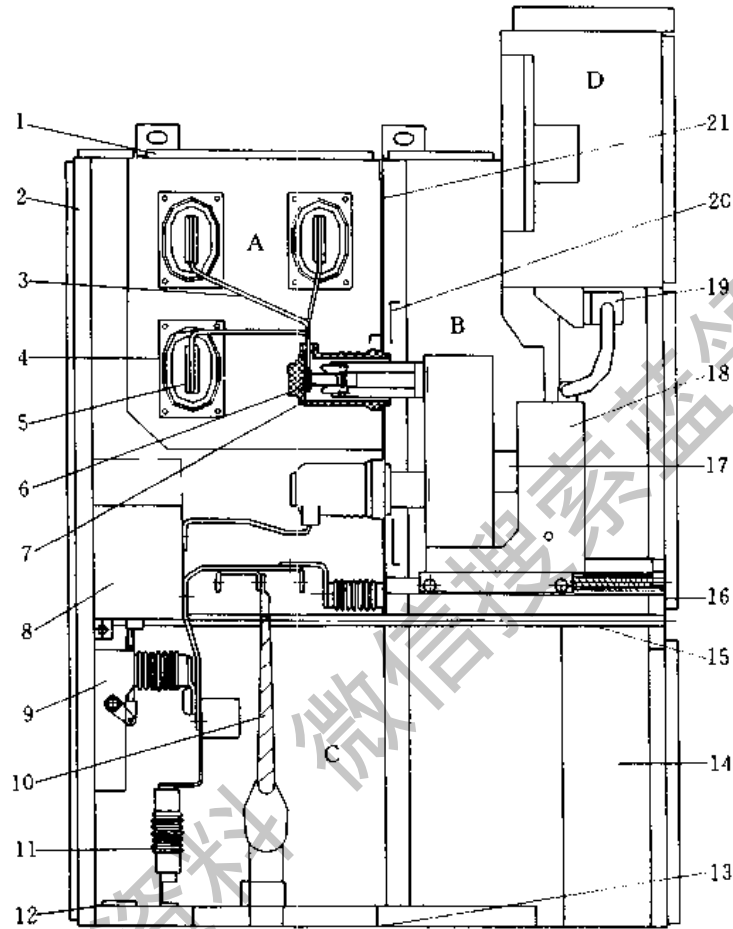
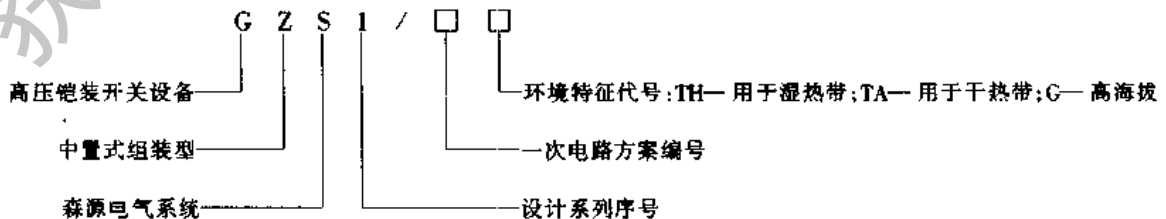


图 7.13.3 开关柜结构示意图

A—母线室; B—断路器手车室; C—电缆室; D—继电器仪表室;

1—泄压装置; 2—外壳; 3—分支小母线; 4—母线套管; 5—主母线; 6—静触头装置; 7—静触头盒; 8—电流互感器; 9—接地开关; 10—电缆; 11—避雷器; 12—接地主母线; 13—底板; 14—控制小线槽; 15—接地开关操作机构; 16—可抽出式水平隔板; 17—加热装置; 18—断路器手车; 19—二次插头; 20—隔板(活门); 21—装卸式隔板

二、产品型号含义



三、常用开关柜技术参数

1. 开关设备的技术参数 (见表 7.13.16)
2. VS1/VD4 真空断路器的技术数据 (见表 7.13.17 和表 7.13.18)

表 7.13.16 开关设备技术参数

项 目		单 位	数 据
额定电压		kV	3, 6, 10
最高工作电压		kV	3.6, 7.2, 12
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压	kV	42
	雷电冲击耐受电压	kV	75
额定频率		Hz	50
主母线额定电流		A	630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150
分支母线额定电流		A	630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150
4s 热稳定电流 (有效值)		kA	16, 20, 25, 31.5, 40, 50
额定动稳定电流 (峰值) ^①		kA	40, 50, 63, 80, 100, 125
防护等级		外壳为 IP4X, 隔室间、断路器室门打开时为 IP2X	

① 电流互感器的短路容量应单独考虑。

表 7.13.17 VS1/VD4 真空断路器技术数据 (一)

项 目		单 位	数 据
额定电压		kV	3, 6, 10
最高工作电压		kV	3.6, 7.2, 12
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压	kV	42
	雷电冲击耐受电压	kV	75
额定频率		Hz	50
额定电流		A	630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150
额定对称短路开断电流 (有效值)		kA	16, 20, 25, 31.5, 40, 50
4s 热稳定电流 (有效值) ^①		kA	16, 20, 25, 31.5, 40, 50
额定动稳定电流 (峰值)		kA	40, 50, 63, 80, 100, 125

① 若选用 VD4 断路器则为 3s。

表 7.13.18 VS1/VD4 真空断路器技术数据 (二)

项 目	单 位	数 据	
		VS1	VD4
瞬态恢复电压上升率	kV/s	0.345, 0.415	
瞬态恢复电压峰值	kV	20.6, 30	
额定操作顺序		分—3min—合分—3min—合分	
自动重合闸操作顺序		分—0.3s—合分—3min—合分	
多次重合闸操作顺序		分—0.3s—合分—15s—合分—15s—合分	
合闸时间	ms	≤ 100	约 70
分闸时间	ms	≤ 50	≤ 45
燃弧时间	ms	≤ 15	≤ 15
开断时间	ms	约 65	≤ 60

3. VS1/VD4 真空断路器弹簧操动机构的技术数据 (见表 7.13.19)

表 7.13.19 真空断路器弹簧操动机构技术数据

额定电压/V	消耗功率 ^① /(VA/W)		储能(时间少)(最大) ^② /s
	VS1	VD4	
交流	110	50, 75	15
	220	50, 75	15
直流	24		15
	30		15
	48		15
	60		15
	110	50, 75	15
	220	50, 75	15

① 近似值。

② 在额定电压下。

四、选用、使用和维护

当断路器用于控制3~10kV电动机时,若起动电流小于600A,必须加金属氧化物避雷器,其具体要求由用户与制造厂联系协商。当断路器用于开断电容器组时,电容器组的额定电流不应大于断路器额定电流的80%。

动作时间的推荐值:

合闸时间	≤100ms	开断时间	约65ms
分闸时间	≤50ms	最小的合闸指令持续时间	20ms(100ms)
燃弧时间(50Hz)	≤15ms	最小的分闸指令持续时间	40ms(100ms)

虽然开关设备设计有保证开关设备各部分操作程序正确的联锁,但是操作人员对开关设备各部分的投入和退出,仍应严格按操作规程和产品技术文件的要求进行,不应随意操作,更不应在操作受阻时不加分析强行进行操作,否则容易造成设备损伤,甚至引起事故。有些联锁因特殊需要允许紧急解锁(如体下面板和接地开关的联锁),但紧急解锁的使用必须慎重,不宜经常使用。使用时也要采取必要的防护措施,一经处理完毕,应立即恢复联锁原状。

开关柜的检修除按有关规程进行外,建议用户特别注意以下几点:

- ① 按真空断路器的安装使用说明书的要求,检查断路器的情况,并进行必要的调查;
- ② 检查手车推进机构及其联锁的情况,使其满足有关要求;
- ③ 检查主回路触头的情况,擦除动静触头上陈旧油脂,察看触头有无损伤,弹簧力有无明显变化,有无因温度过高引起镀层异常氧化现象,如有以上情况,应及时处理;
- ④ 检查辅助回路触头有无异常情况,并进行必要的修整;
- ⑤ 检查接地回路各部分的情况,如接地触头、主接地线及过门接地线等,保证其导电连续性;
- ⑥ 检查各部分紧固件,如有松动,应及时紧固。

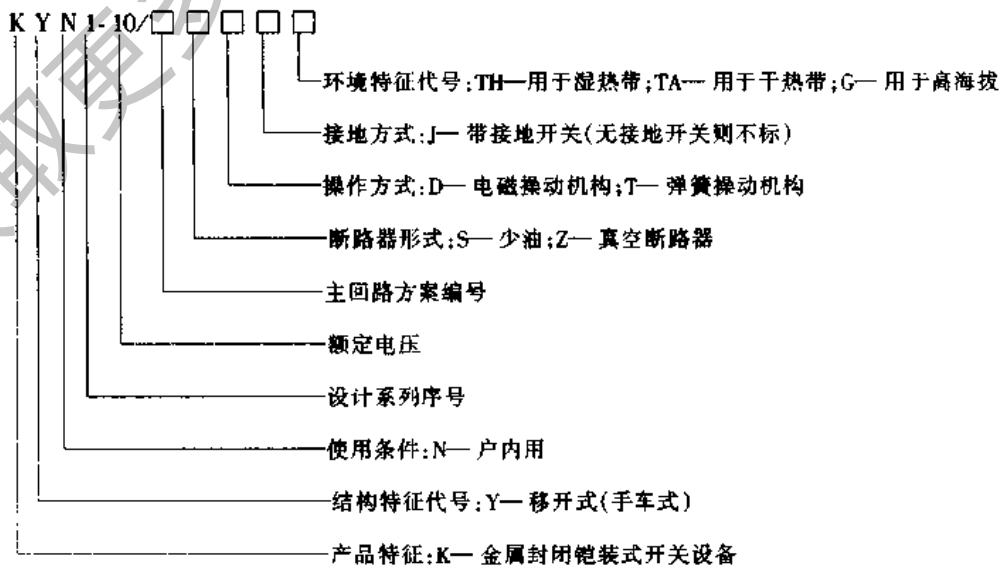
第六节 KYN1-10型户内金属铠装移开式高压开关柜

KYN1-10型3、6、10kV户内交流金属铠装移开式开关设备(以下简称开关柜)是三相交流50Hz,额定电压为3~10kV中性点不接地的单母线分段系统中,作为接受和分配电能之用的户内型配电设备,主要用于发电厂、中小型发电机送电、工矿企业配电所以及电力系统中的变电所的受电,送电及大型高压电动机的控制及保护等。

一、结构特点

铠装式手车柜结构是用钢板弯制焊接而成的全封闭型。结构外壳防护等级符合IP30。整个柜是由固定的本体(以下简称柜体)和装有滚轮的可移开部件(以下简称手车)两大部分组成。

二、产品型号含义



三、常用开关柜技术参数 (表 7.13.20 和表 7.13.21)

表 7.13.20 铠装式开关柜额定参数及主要技术数据 (一)

参数名称	单位	铠装式手车柜及配用的真空断路器的主要技术参数											
		3AF				3AH				ZN12		ZN28	
额定电压	kV	7.2	12	7.2	12	7.2	12	7.2	12	10			
最高工作电压	kV									11.5			
开关柜额定电流	A	630 800	1000	1250	1600	2000	2500						
真空断路器额定电流	A	630 800	1250	1600	2000	2500					3150		
额定热稳定电流 (有效值)	kA	31.5		40		31.5		40		31.5		40	
额定热稳定时间	s	3		3		3		3		3		4	
额定动稳定电流 (峰值)	kA	80		100		80		110		80		100	
额定关合电流 (峰值)	kA	80		100		80		110		80		100	
额定开断电流 (有效值)	kA	31.5		40		31.5		40		31.5		40	
额定短路开断次数	次	75	100	75	50	50	30	50	30	30	30	20	
额定电流开断次数	次	30000				10000				10000			
配用操动机构形式		弹簧储能								电磁			
重量	kg	1000 (1000A 及以下)						1250 (1250A 及以上)					

表 7.13.21 铠装式开关柜额定参数及主要技术数据 (二)

名称		单位	铠装式手车柜和配用少油断路器						
			SN10-10 I (C)		SN10-10 II (C)		SN10-10 III (C)		
额定电压		kV	3		6		10		
最高工作电压			3.5		6.9		11.5		
铠装式手车柜额定电流		A	630	1000	1000	1250	1600	2000	
少油断路器的额定电流			630	1000	1000	1250	2000	3000	
额定开断电流	配电磁机构 或弹簧机构	10kV	16		31.5		31.5 (分—0.5s—合分— 180s—合分) 40 (分—180s—合分— 180s—合分)		
		6kV	20						
操作顺序		—	分—0.5s—合分—180s—合分						
额定关合电流		kA	40; 50 ^①		80		125		
动稳定电流		(峰值)	40; 50 ^①		80		125		
热稳定电流		kA	16; 20 ^①		31.5		40		
热稳定时间		s	4						
合闸时间	电磁机构	不大于	s	0.2					
	弹簧机构			0.15					
分闸时间 当操作 电压为	最低			0.1					
	最高			0.06		0.07			
铠装式手车柜防护等级		—	IP30						
分合闸装置和辅助回路的额定电压		V 直流	48 ^②		110		220		
		V 交流	100 ^③		220		380		

① 如果额定开断电流为 20kA (6kV 以下), 则额定关合电流、动稳定电流为 50kA, 热稳定电流为 20kA。

② 直流合闸线圈电压仅采用 110V、220V 两种。

③ 交流 100V 只用于电压互感器、继电器等控制系统的电压。

四、选用、使用与维护

1. 选用

一次系统要选择保护功能完善齐全的方案。为了保证电气系统的安全可靠运行，应按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选用，并按短路电流的动热稳定参数选择开关柜的动热稳定参数，对断路器和熔断器还要按断流容量选择。选择时，还应考虑安装地点的环境条件（如环境温度、相对湿度、海拔高度、空气介质及剧烈振动等因素）。

2. 使用

(1) 停电程序 为防止误分误合断路器，可采用红绿翻牌。下面就对红绿翻牌的停送电操作程序说明如下，当某开关柜处于运行状态，断路器已合闸。

接到此开关柜停电的指令后，在模拟板上将该开关柜的操作翻牌（红色）取下，翻牌转为绿色，然后到该开关柜前，将仪表盘 KK 控制开关上的红牌取下，换上对应的绿翻牌，操作 KK 控制开关，使断路器分闸。转动手车面板上的位置指示手柄，从“工作位置”转至“进出位置”，然后用蜗轮蜗杆摇进机构，把手车抽出。

当带电显示装置氖灯熄灭后，插入接地开关手柄，按柜前面右下角的接地开关分、合指示，把手柄向右转动，使接地开关合上。

先打开后下盖板，再打开后上盖板，此时，全部停电操作完毕，开关柜处于停电检修状态。

(2) 送电程序 当某开关柜处于停电检修完毕状态。

接到某开关柜送电的指令，在模拟板上将开关柜的绿牌取下，转换为红色。然后到该开关柜前，先关上后上盖板，再关上后下盖板。插入接地开关操作手柄，按“分”指示，把手柄向左转动，使接地开关分闸。确信断路器在分闸位置将手车推到“工作位置”，此时手车被锁紧（如果二次插头是手动的，应在试验位置时把插头插到插座上并锁紧）。

把仪表门上的 KK 控制开关的绿牌取下，换上从模拟板上取下的对应的红翻牌，操作 KK 控制开关合闸，使断路器合闸，然后将取下的绿翻牌转为红色，插回模拟板上对应的开关柜上，此时，全部送电操作程序完毕。

3. 维修

开关柜的维修分为定期检修及故障检修两种。

定期检修一般每年进行一次，内容较全面。其内容如下：

- ① 按停电程序拉出手车，观察带电显示装置，氖灯熄灭后，合接地开关，清扫柜内和手车上各处的灰尘及油污；
- ② 按断路器及操作机构的安装使用说明对断路器、操作闭锁机构进行检修调试；
- ③ 检查所有一次元件有无烧损，有烧损应予以更换；
- ④ 紧固所有螺钉、销钉；
- ⑤ 将手车推至柜内试验位置进行动作试验，故障检查内容应根据故障状态而定，修复或更换故障位置的零件并经调整试验合格后，仍以本柜与原配之手车推入工作位置运行。

故障检修则应在故障出现时或断定其即将出现时，立即对故障部位进行维修，以排除故障，避免带故障运行和防止故障扩大。如果故障出现在手车上，则拉出手车，推入备用手车继续运行，然后对故障进行维修。如果故障出现在柜上，则需将故障设备所在的一段母线停电，再进行维修。

第七节 KYN1B-10 (VD4) 型户内金属铠装移开式高压开关柜

KYN1B-10 (VD4) 型户内金属铠装移开式开关设备（以下简称开关设备），系 3~10kV 三相交流 50Hz 单母线分段系统的成套配电装置，主要用于发电厂、中小型发电机送电、工矿企事业配电以及电业系统的二次变电所的受电、送电及大型高压电动机等，实行控制保护、监测之用。

一、结构特点

开关柜由固定的柜体和可抽出部件（即手车）两大部分组成。柜体的外壳和各功能单元的隔板均采用敷铝锌钢板组装而成。开关柜的外壳防护等级为 IP4X，断路室门打开时防护等级为 IP2X。本柜具有架空进出线、电缆进出线及左右联络的功能，可以根据用途将各方案的开关柜排列组成能完成的设计功能的配电装置。由于开关柜的安装与调试均可正面靠墙安装，可以节省占地面积，减少总投资，其结构如图 7.13.4 所示。

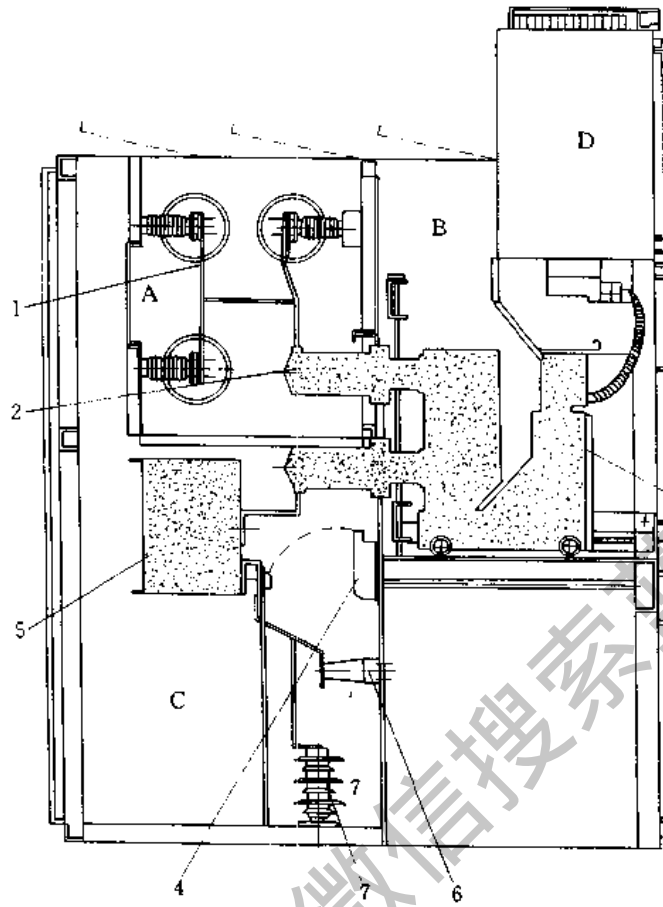
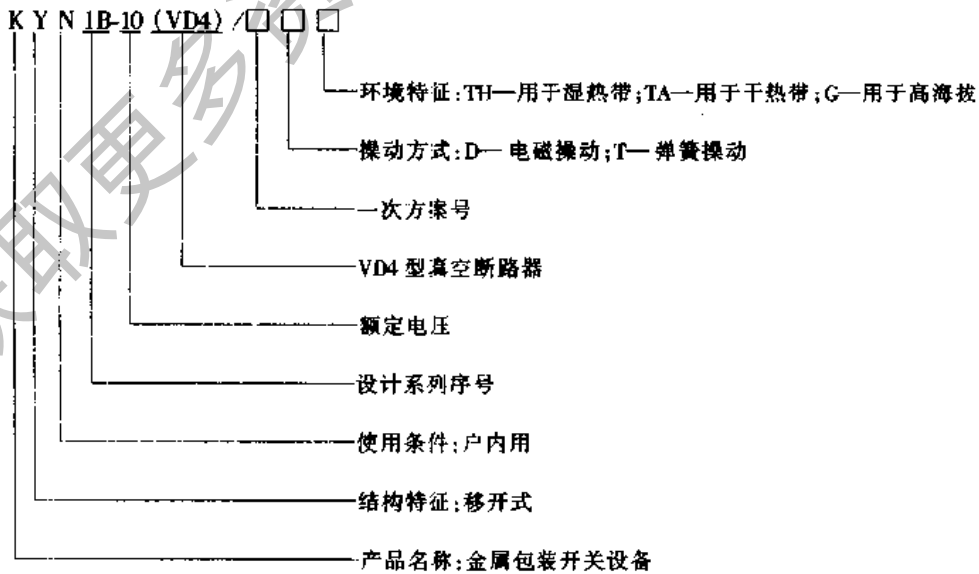


图 7.13.4 开关柜结构示意图

A—母线隔室；B—断路器室；C—电缆室；D—仪表室；

1—母线；2—静触头；3—断路器；4—接地开关；5—电流互感器；6—带电显示仪探头；7—避雷器

二、产品型号含义



三、常用开关柜技术参数

开关柜技术参数见表 7.13.22。

表 7.13.22 开关柜技术参数

项 目	单 位	数 据	
额定电压	kV	3~10	
最高工作电压	kV	12	
额定绝缘水平	1min 工频耐压	kV	42
	雷电冲击耐压 (全波)	kV	75
额定频率	Hz	50	
主母线额定电流	Hz	630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150	
分支母线额定电流	A	630, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 ^①	
3s 热稳定电流 (有效值)	A	16, 20, 25, 31.5, 40, 50	
额定动稳定电流 (有效值) ^②	kA	40, 50, 63, 80, 100, 125	
防护等级	kA	外过 IP4X, 断路器室门打开为 IP2X	

① 分支母线额定电流在风冷时可达 3150A。

② 电流互感器的短路容量应单独考虑。

四、选用、使用和维修

1. 选用

一次系统要选择保护功能完善齐全的方案。

为了保证电气系统的安全可靠运行, 应按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选用, 并按短路电流的动热稳定参数选择开关柜的动热稳定参数, 对断路器和熔断器还要按断流容量选择。选择时, 还应考虑安装地点的环境条件 (如环境温度、相对湿度、海拔高度、空气介质及剧烈振动等因素)。

当断路器用于控制 3~10kV 电动机时, 若起动电流小于 600A 必须加金属氧化物避雷器, 其具体要求由用户决定。当断路器用于开断电容器组时, 电容器组的额定电流不应大于断路器额定电流的 80%。

动作时间和推荐:

合闸时间	(约) 70ms	开断时间	≤45ms
分闸时间	≤45ms	最小合闸指令持续时间	20ms (100ms)
燃弧时间 (50Hz)	≤45ms	最小分闸指令持续时间	40ms (100ms)

2. 使用

(1) 产品设有可靠的联锁装置

① 低压室门板上装有提示性的按钮或者 KK 型转换开关。可有效防止误分、合断路器。

② 仅当断路器手车处于试验或工作位置时, 才能对断路器进行合分闸操作; 断路器处于合闸状态时, 手车无法移动。可有效防止带负荷误推拉断路器手车。

③ 仅当接地开关处在分闸位置时, 才能将断路器手车从试验/断开位置移至工作位置。可有效防止接地开关处于闭合位置时关合断路器。

④ 仅当断路器手车处于试验/断开位置时, 接地开关才能进行合闸操作。可有效防止带电误合接地开关。

⑤ 手车在工作位置时, 由于机械联锁作用, 二次插头被锁定不能解除。

联锁功能的实现和解除, 多是在正常操作过程中同时实现的, 不需要额外的操作步骤。如发现操作受阻, 应首先检查是否有误操作, 而不要强行操作以致损坏开关柜, 甚至导致误操作事故的发生。

(2) 断路器的操作

① 断路器手车准备由柜外推入柜体前, 应认真检查断路器是否完好, 有无漏装部件, 有无工具等杂物遗留在手车机构箱或开关柜内。确认无问题后将手车装在转运车上并锁定好。此时, 手车两侧的锁舌插入转运车定位孔。注意: 在正式投入前, 应将断路器本体绝缘筒顶部的防尘盖打开。

② 断路器手车在从转运车上进入柜体断路器室时, 即可被可靠锁定在断开/试验位置而与开关柜连接, 此时断路器手车外壳已可靠地连接到开关柜的接地系统。

③ 插接二次插头, 使手车处在试验位置时辅助回路保持接通。此时若通电, 则仪表室面板上的试验位置指示灯亮, 并可在主回路未接通的情况下对手车进行电气操作试验。

④ 把所有柜门关好, 用专用钥匙插入门锁孔, 把门锁好, 并确认断路器处于分闸状态。

⑤ 将手车推进机构操作摇把插入面板上的推进机构操作孔内, 顺时针转动摇把, 直到摇把明显受阻并听到清脆的辅助开关切换声, 同时仪表室面板上工作位置指示灯亮, 然后取下摇把。此时, 主回路接通, 断路器

处于工作位置，可通过控制回路对其进行合、分操作。

(3) 接地开关的操作

若要合接地开关，首先应确定手车已退到试验/断开位置，并取下推进摇把，然后按下接地开关操作机构处的联锁弯板，插入接地开关操作手柄，顺时针转动 180°并听到接地开关三相闸刀切换的声音，则接地开关处于合闸状态；若再逆时针转动 180°并听到接地开关三相闸刀切换的声音，便是接地开关分闸。合分接地开关动作完成后应及时取下操作确认手柄。

接地开关的合分闸状态可通过以下二种方式进行确认。

① 通过开关柜下面板的观察窗观察接地开关位置来确认。若看到绿色的分闸指示牌 (0)，则确定接地开关处于分闸状态；若看到红色的合闸指示牌 (1)，则确定接地开关处于合闸状态。

② 通过观察接地开关操动机构处的状态指示标签来确认。若看到绿色的分闸指示牌 (0)，则确定接地开关处于分闸状态；若看到红色的合闸指示牌 (1)，则确定接地开关处于合闸状态。

3. 维护

① 清除柜内设备上的灰尘杂物，确保有关绝缘件表面干燥无尘。

注意 A、B、C 隔室顶部压力释放板固定金属螺栓和塑料螺栓的安装位置是否正确（从柜前看，金属螺栓在前，塑料螺栓在后）。

② 根据线路检查二次接线是否正确，并检查各接地有无脱落现象，如有错误或脱落，应及时调整并紧固，以确保其导电正确性、连续性。

③ 将断路器在柜中推进、推出，并进行分合闸动作，观察有无异常。

④ 检查各联锁是否有效。

⑤ 将仪表箱上的仪表指针调整到零位，确认所有电气元件处于正常工作位置。

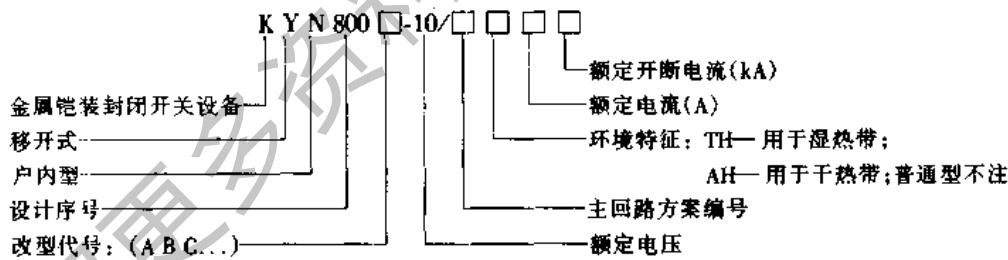
第八节 KYN800-10 型铠装移开式金属封闭高压开关柜

KYN800-10 铠装移开式金属封闭高压开关柜，适用于 3~10kV 交流三相 50Hz 单母线电力系统中，作为接受和分配电能用，为用户内使用。基本型 KYN800-10 可（不推荐）靠墙安装，改进型 KYN800A-10 系不靠墙安装。

一、结构特点

该开关柜为铠装移开式金属封闭开关设备，结构上分为柜体和可移开部件（简称小车）两部分。小电流柜的柜宽与额定电压有关，大电流柜的柜宽与额定电压无关。

二、产品型号含义



该产品系列可分为大电流柜（额定电流 > 2000A）和小电流柜（额定电流 ≤ 2000A）。

三、常用开关柜技术参数

开关柜基本技术参数见表 7.13.23。

表 7.13.23 KYN800-10 铠装式金属封闭开关设备技术参数

参 数	单 位	数 据		
额定电压	kV	(3), 6, 10		
最高工作电压	kV	(3.5), 6.9, 11.5		
额定短路开断电流	kA	31.5	40	50
额定电流	A	1250, 1600, 2000, 2500		
4s 额定热稳定电流	kA	31.5	40	50 (3s)
额定动稳定电流	kA	80	100	125
额定雷电冲击耐受电压	kV	75		
额定 1min 工频耐受电压	kV	42		
外壳及隔室防护等级		IP40		

四、选用、使用和维护

1. 选用

一次系统要选择保护功能完善齐全的方案。为了保证电气系统的安全可靠运行，应按正常工作条件下的额定电压、额定电流等来选用，并按短路电流的动热稳定参数选择开关柜的动热稳定参数，对断路器和熔断器还要按断流容量选择。选择时，还应考虑安装地点的环境条件（如环境温度、相对湿度、海拔高度、空气介质及剧烈振动等因素）。

2. 使用

开关柜在运行中，运行人员除应遵守有关规程外，还应注意以下问题。

① 虽然开关柜设计有保证开关柜各部分操作程序正确的联锁，但是操作人员对开关柜各部分的投入和退出仍应严格按操作规程和本技术文件的要求进行，不应随意操作，更不应在操作受阻时，不加分析强行操作，否则，容易造成设备损坏，甚至引起事故。

② 本产品联锁功能的投入与解除，大部分是在正常操作过程中同时实现的，不需要增加额外的操作步骤。

③ 本产品的主要步骤是通过联锁钥匙的使用而实现的，因此，在操作中，一次操作过程只应使用一把钥匙逐步进行，而不应同时使用几把联锁钥匙，导致联锁关系可能出现混乱。因此联锁钥匙应由操作人员随身携带，用毕带走，不应长期放置在开关柜上。

3. 维修

开关柜的维修除按有关规程要求进行外，应特别注意以下几点。

① 定期检查断路器的情况，并进行必要的调整。

② 检查小车推进机构及其联锁的情况。

③ 检查主回路触头的情况，擦除动静触头上陈旧油脂，察看触头有无损伤，弹簧力有无明显变化，有无因温度过高引起镀层异常氧化现象。如有以上情况，应及时处理。检查辅助回路触头有无异常情况，并进行必要的修整。

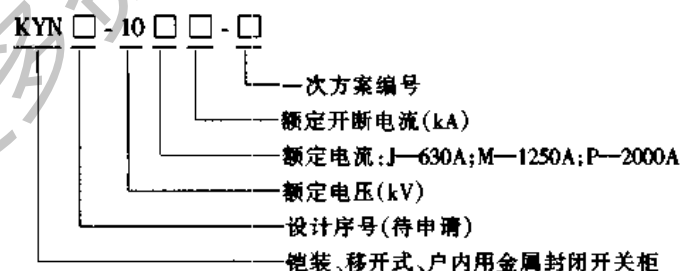
④ 检查接地回路各部分的情况，如接地触头、主接地线及过门接地线等，保证其电连续性。

⑤ 检查各部分紧固件，如有松动，应及时紧固。

第九节 KYN□-10 型双层铠装式金属封闭真空开关柜

KYN□-10 型双层铠装式金属封闭真空开关柜具有分断能力大、操作安全方便、防火防爆、占地面积小等特点。其价格性能比好。柜内装有性能优良的 VK-10 型（国内引进产品型号为 ZN18-10）真空断路器。在高层建筑及用地紧张的工矿企业 3~10kV 单母线配电系统中作为接受和分配电能之用。

一、产品型号含义



二、主要技术参数（见表 7.13.24）

表 7.13.24 KYN□-10 型真空开关柜主要技术参数

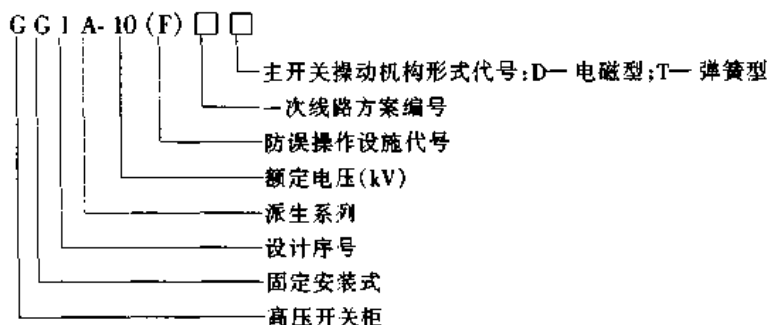
名称	数据	名称	数据
额定电压/kV	3, 6, 10	开断电流/kA	25, 31.5, 40
额定电流/A	630, 1250, 2000	操动方式	电动弹簧储能操动机构
母线电流/A	1250, 2000	母线系统	单母线

注：当主回路不带接地开关时，深度可缩小至 2000mm。

第十节 GG1A-10 (F) 型高压开关柜

GG1A-10 (F) 型高压开关柜是箱式固定安装的高压开关柜。基本柜型为靠墙安装式, 具有“五防”闭锁功能。

一、产品型号含义



二、结构特点

基本骨架用等边角钢焊接而成。前面板及柜间隔板(同终端侧板)均用薄钢板弯制而成。基本型产品柜后无保护板, 一般用于靠墙安装。派生产品为柜后防护型的, 有后网板和后网柜两种方式三种结构。

三、主要技术参数 (表 7.13.25)

表 7.13.25 GG1A-10 (F) 型高压开关柜主要技术参数

名 称		数 据		
额定电压/kV		3, 6, 10	3, 6, 10	3, 6, 10
最大工作电压/kV		3.5, 6.9, 11.5	3.5, 6.9, 11.5	3.5, 6.9, 11.5
最大工作电流/A		630	1000	2000-3000
额定开断电流/kA		16	31.5	40
额定关合电流/kA		40	80	125
主回路	动稳定电流/kA	40	80	125
	热稳定电流/kA	16	31.5	40

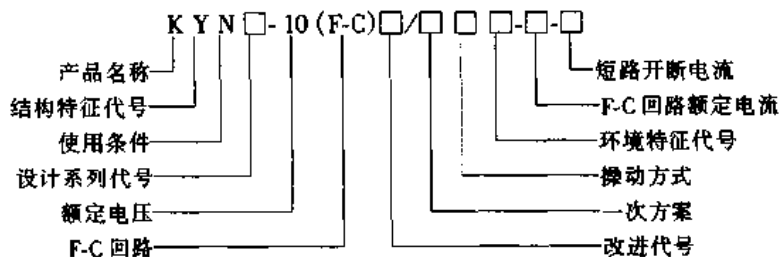
防护等级不低于 IP2X。

第十一节 KYN19-10 (FC) 型铠装双层移开式金属封闭开关设备

KYN19-10 (FC) 户内交流铠装双层移开式金属封闭开关设备是以高压限流熔断器和真空接触器为主导元件, 一个柜内能装两个功能单元的移开式开关设备。它是 KYN19-10 户内交流铠装移开式开关设备(内装真空断路器)中的一部分, 可与 KYN19-10 移开式开关柜成套使用, 也可以单独配套使用。

由于真空接触器寿命长, 可频繁操作, 尤其适合于各种中压电动机的控制及需频繁操作的场所。与断路器相比, 具有操作维修简便、使用周期长、投资成本低等优点。

一、产品型号含义



二、产品分类

1. 手车分类

手车按功能可分为 F-C 手车、真空接触器手车、电压互感器手车、所用变手车及电容器手车。

2. 柜分类

柜主要分为出线柜、出线与计量柜、出线与保护柜、出线与联络柜、出线与保护联络柜、计量与保护柜、电动机起动柜和电容器柜。

三、主要技术参数

1. 开关柜主要技术参数 (表 7.13.26)。

表 7.13.26 开关柜主要技术参数

名 称		单 位	数 据		
额定电压		kV	3	6	10
最高电压		kV	3.6	7.2	12
1min 额定短时工频耐受电压	对地、相间及普通断口	kV	24	32	42
	隔离断口		26	36	48
额定雷电冲击耐受电压	对地、相间及普通断口	kV	40	60	75
	隔离断口		46	70	85
主母线额定电流		A	630, 800, 1000, 1250, 1600, 2500		
F-C 回路额定电流		A	200		
预期短路关合电流 (峰值)		kA	100		
预期短路开断电流		kA	40		
主母线 4s 短时耐受电流		kA	40		
主母线峰值耐受电流		kA	100		
柜间贯联接地母线 2s 短时耐受电流		kA	31.5		
柜间贯联接地母线峰值耐受电流		kA	80		
支母线 4s 峰值耐受电流		kA	4		
支母线峰值耐受电流		kA	10		
机械寿命	真空接触器	次	按自身技术条件规定		
	高压接地开关		2000		
防污等级			IP2X		

2. 主要元件——JCZ□-10J (D) /400 高压真空接触器的主要技术参数 (表 7.13.27)

表 7.13.27 JCZ□-10J (D) /400 高压真空接触器主要技术参数

名 称	单 位	参 数	名 称	单 位	参 数
额定电压	kV	10	额定短路关合电流 (峰值)	kA	10
最高电压	kV	12	额定短路开断电流	kA	4
额定电流	A	400	4s 额定短时耐受电流	kA	4
1min 额定短时工频耐受电压 (有效值)	kV	42	额定峰值耐受电流	kA	10
额定雷电冲击耐受电压 (峰值)	kV	75	半波允通电流 (瞬时值)	kA	40
额定开断电流	kA	3.2	机械寿命	万次	30
额定关合电流 (有效值)	kA	4			

第十二节 空气绝缘和 SF₆ 气体绝缘环网供电开关箱

为提高供电可靠性和线路、变压器的利用率,环网供电被证明特别适合于城市住宅小区或生产区的供电。空气绝缘和 SF₆ 气体绝缘箱型高压环网供电设备 (以下简称环网箱),是城市环网供电最佳的配电设备。

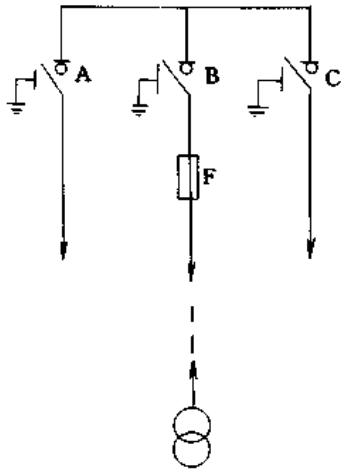


图 7.13.5 环网供电基本接线图

环网供电单元一般至少由三个独立的间隔组成，即二个环缆进出线间隔和一个变压器回路间隔。图 7.13.5 表示环网供电的基本接线图，图中负荷开关 A 和 C 能隔离故障线路，并能及时恢复回路的连续供电。同负荷开关 B 相连接的高分断限流熔断器 F，在中压/低压变压器发生内部故障时起保护作用。开关 B 对熔断器和变压器还起隔离作用。

由于熔断器可以在 10ms 的时间内开断变压器的故障电流，因此用负荷开关 + 熔断器的结构形式保护变压器比用断路器 + 继电器的结构形式更加有效。

在选择组合电器时，因各种型号环网箱的转移电流各不相同，因此应根据馈电变压器的容量进行核算。

环网供电箱与装有断路器的成套开关设备相比，具有价格便宜、维护简单方便（SF₆ 环网供电设备可以 10 年不检修）、安全可靠的特点，又可以深入到负荷中心，因此发展迅速。

组成环网供电的各种间隔可以任意扩展及组合，也可以用作非环网供电系统中。

HXGN-10 型、KHG-10 型等空气绝缘环网箱及 SF₆ 气体绝缘环网箱，适用于城镇小区、工矿企业、高层建筑群 10kV、交流 50Hz 的配电系统中作为环网供电、终端供电，以及在开关站中作为配电、电缆分支的保护及开闭之用。

一、产品分类

按环网箱的功能分，可分为电缆（环缆）进出线环网箱、馈电环网箱、计量环网箱、联络母线环网箱、电压（电流）互感器环网箱、避雷器环网箱。

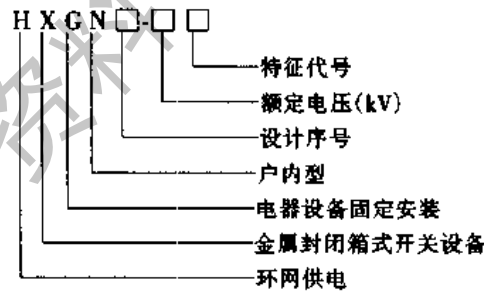
按负荷开关的灭弧方式分，可分为 SF₆ 环网箱、产气式环网箱、压气式环网箱、真空式环网箱。

按负荷开关的安装方式分，可分为负荷开关正装式环网箱和负荷开关侧装式环网箱。

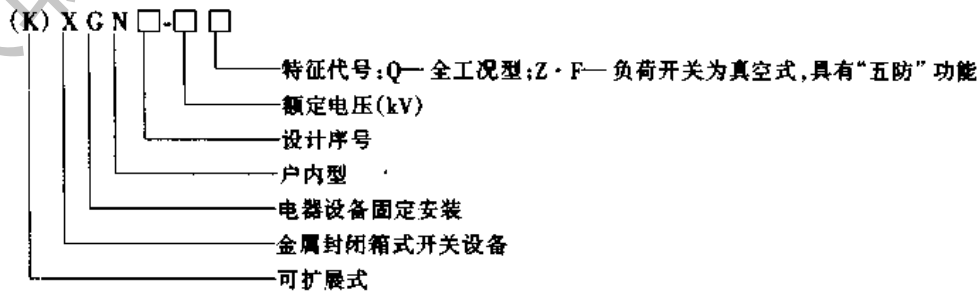
按可否扩展分，可分为可扩展式和不可扩展式。

二、主要产品型号及含义

1. 环网供电箱



2. 可扩展式环网供电箱



三、主要技术参数

1. 主要技术参数（见表 7.13.28）

表 7.13.28 环网供电开关箱主要技术参数

项 目	单位	技 术 参 数				
		HXGN-10	(K) XGN-10Q	HXGN6-10	HXGN-10Z·F	
额定电压	kV	10	3, 6, 10	6, 10	10	
最高电压		11.5	3.5, 6.9, 11.5	6.9, 11.5	12	
额定频率	Hz	50	50	50	50	
主电路额定电流	A	400, 630	400, 630, 800	400, 630	630	
额定电流 (功能单元)		5 ~ 630	5 ~ 800	400, 630	5 ~ 630	
额定峰值耐受电流	kA	50	40, 50	40, 50	50	
额定短时耐受电流		20	16, 20	16, 20 (3s)	20	
额定短路关合电流 (峰值)		50	50	50	50	
额定短路开断电流 (有效值)		42/53	31.5	31.5	31.5	
额定绝缘水平	工频耐压 (对地、相间/断口)	kV	42/53 (1min)	42/48 (1min)	42/48 (1min)	42/48 (1min)
	冲击耐压 (对地、相间/断口)		78/85	75/85	75/85	75/85
接地回路	额定短时耐受电流	kA	20	16, 20	16, 20	20
	额定峰值耐受电流		50	40, 40	40, 50	50
开断电流	额定闭环	A		400, 630, 800		630
	额定有功负载		630	400, 630, 800	400, 630	630
	额定电缆充电		10	10	10	25
额定变压器开断容量	kVA	1250	1250	1600	1600	
转移电流	A	1000	1200	1500	1500	
操作方式		S(手动)	S(手动), D(电动)	S(手动)	S(手动), D(电动)	
防护等级		IP20CH	IP20CH	IP50CH	IP20CH	
配用负荷开关型号		FN9-10, FNR9-10	ISARC	NAL, NALF	ZFN-10, ZFNR-10	
灭弧方式		压气式	压气式	SF ₆	真空	

2. 环网箱所配用的主要元件的型号规格 (见表 7.13.29)

表 7.13.29 配用主要元件的型号规格

名 称	型 号	名 称	型 号
负荷开关	FN9-10	高压熔断器	SFL-J-10
	ZFN-10		SKL-J-10
	ISARC-1		CEF12-100
组合电器	FNR9-10	避雷器	Y5W1-12.7
	ZFNR-10		HY5W-12.7/30
	ISARC-2		FS4-10
高压熔断器	RN2-10	电压互感器	JDZ-6-10
	SDL-J-10	电流互感器	LZJC-10

四、环网箱的结构特征及安装维护

1. HXGN-10 型环网箱

(1) 结构特征 HXGN-10 型环网箱结构采用型钢材及钢板弯制件焊接而成。负荷开关为压气式结构, 采用侧装式, 三相前后布置。负荷开关、熔断器及接地开关为自上而下排列, 过中弹簧机构置于箱体的正面, 便于操作。

负荷开关、接地开关、箱门之间联锁均采用强制性的机械闭锁方式, 以实现“五防”功能, 同时负荷开关的断口之间设有独特的折叠式活门, 并与接地开关联动, 即当负荷开关动静触头分离、接地开关闭合时, 活门自动插入断口间。

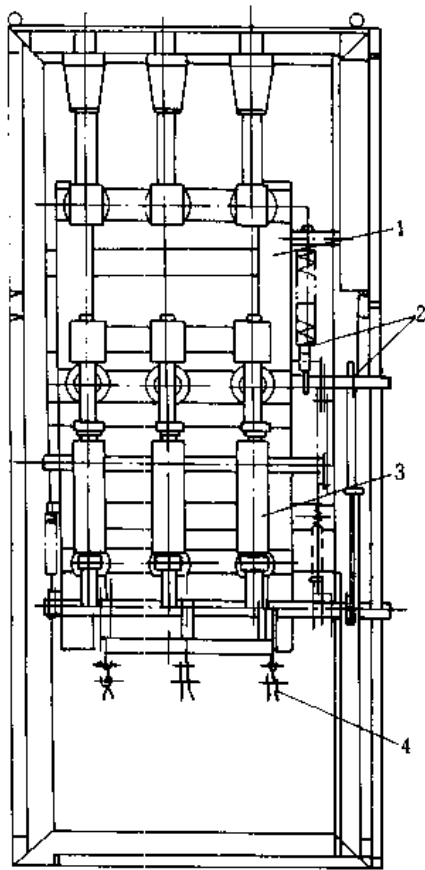


图 7.13.6 HXGN-10-05 外形图

1—负荷开关；2—操动机构；
3—熔断器；4—接地开关

HXGN-10 型环网箱的外形见图 7.13.6。

(2) 安装和调试

① 环网箱安装前、后均应检查紧固件是否松动，带电体接触是否良好，开关操作是否正常。

② 环网箱的安装位置见图 7.13.7。

③ 按设计排列图的要求把环网箱顺序排列整齐，并将各箱放在基础上，基础要求平整，每平方米的平面度不大于 $1 \sim 2\text{mm}$ ，并将箱体靠紧，用螺栓紧固，使箱体有良好的接地可靠性。

④ 电缆接线必须牢固可靠，电缆接好后应将箱底电缆孔封闭。

⑤ 连接相邻各箱的主母线及接地母线。

⑥ 安装完毕后环网箱内各电器元件、操作机构及其零部件应进行检查，外表有无异常情况，有无损伤；检查附件、备件及随机文件是否与设计相符，发现问题应及时解决。

(3) 使用与维护

① 箱内无论是负荷开关还是接地开关，手动操作机构的手柄顺时针旋转均是合闸，逆时针旋转均是分闸，负荷开关与接地开关互为闭锁。

② 负荷开关的操作：若接地开关是在合闸状态，将手柄插入接地开关操作孔内逆时针旋转，使接地开关分闸，取出手柄插入负荷开关操作孔内顺时针旋转，负荷开关合闸。

③ 负荷开关-熔断器组合电器的操作：当负荷开关合闸后，注意应将手柄再逆时针旋转，直至操作机构处于合闸储能位置才能取出操作手柄，此时若线路发生短路，熔断器熔断方能使负荷开关自动分闸。开关带电时要检修，先使用面板上的手动脱扣器使负荷开关分闸，然后再进行检修。

④ 熔断器安装时要插紧、牢固，带有撞针的一端必须向下，以避免撞击时失灵。

⑤ 当熔断器在短路情况下熔断时，无论有一根或两根熔断，都必须将三根熔管全部更换。

⑥ 负荷开关经事故开断后，应检查弧触头表面烧损情况，必要时用锉刀修整，用汽油擦净，并检查灭弧回路所有接触部分是否清洁，若有脏物也应擦洗干净，以保持良好的接触。

若在短路开断后动、静触头有严重的损伤，则应进行调换。

⑦ 环网箱的检修应定期进行，一般每年进行一次。若负荷开关已关合二次短路电流，应进行检修。

2. (K) XGN-10Q 环网箱

(K) XGN-10Q 环网箱为可扩展式全工矿型，它的结构采用钢板弯制、螺钉组装，不采用焊接方式。箱体上部为母线室，下部为开关室。负荷开关为压气式，在箱内为侧装式，三相前后排列，负荷开关本身备有独特加活门结构，负荷开关分闸后，活门自动将断口隔离，使进线、母线室与开关室分离，防护性能好，检修、维护安全可靠。

负荷开关操动机构有手动和电动两种。

负荷开关与箱门之间设有强制性的机械联锁，先进可靠，满足“五防”要求，并可实现双电源（两进线或进线带联络）互锁。

环网箱延伸、组合方便，可构成环网供电单元及各种接线方式。

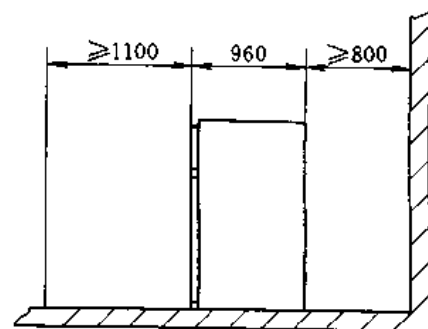


图 7.13.7 HXGN-10 型环网箱的安装位置

其外形图及结构图见图 7.13.8。

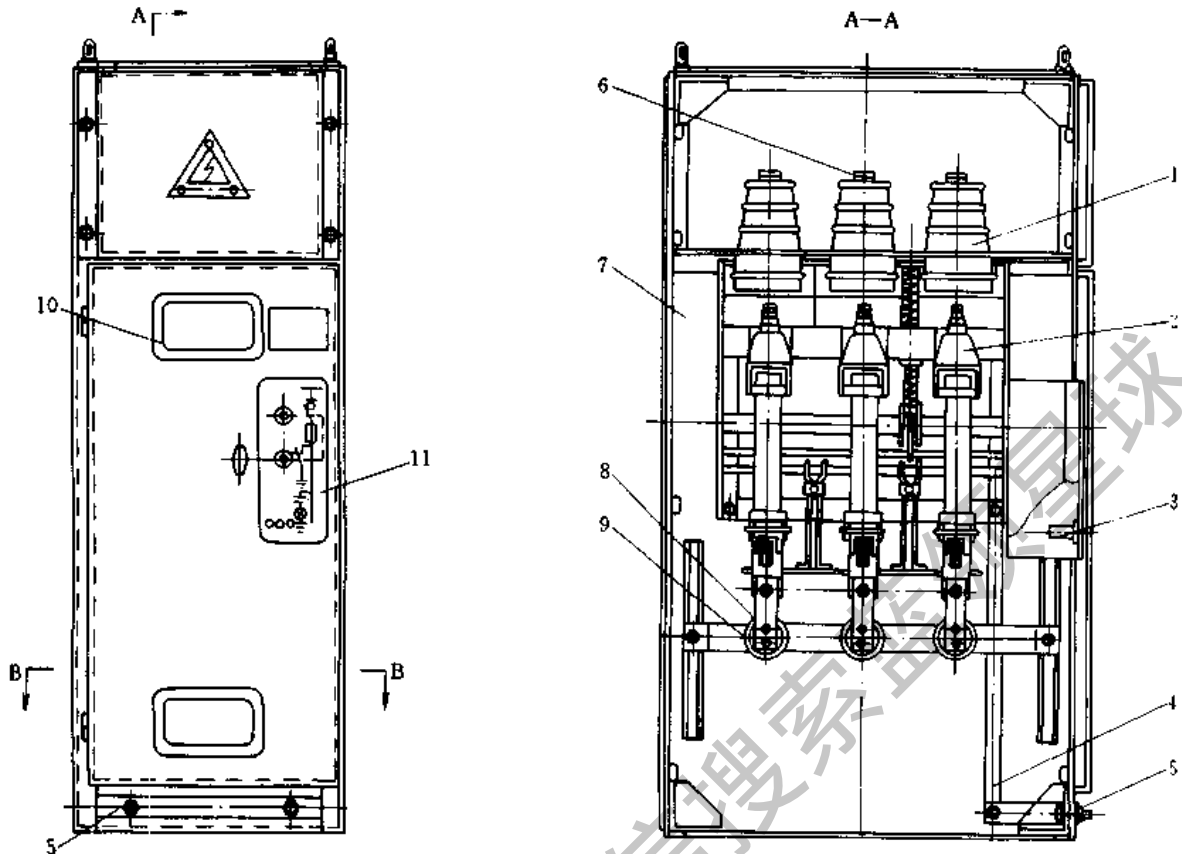


图 7.13.8 (K) XGN-10Q 环网箱结构图

1—压气式负荷开关；2—高压熔断器；3—带电显示器；4—接地母线；5—接地母线及连接端子；
6—水平母线；7—箱体；8—引出线；9—带电显示器绝缘子；10—探视窗；11—操动机构及模拟电路

3. HXGN6-10 型 SF₆ 环网箱

(1) 结构特征 HXGN6-10 (F·R) / 630-31.5 型 SF₆ 环网箱 (以下简称 SF₆ 环网箱)，是将中压回路密封在一个壳体内，采用手动储能弹簧操动机构、充以压力为 0.02~0.03MPa 的 SF₆ 气体，为灭弧和绝缘介质的成套组合电器。

SF₆ 环网箱的基本结构由开关室、熔断器室、操动机构室和接线室四个部分组成，见图 7.13.9。

(2) 安装调试

① 用户开箱时应检查箱体有无磕碰，绝缘子有无损伤，发现问题及时与制造厂联系解决，且不可松动密封处。

② 产品在出厂时各种参数均已调试合格，整体密封完好，用户无需调试。只要在运行前检查表压是否在额定工作表压范围内，操动机构是否正常即可。

③ 电缆接线必须牢固、可靠，应由专业人员连接。

(3) 使用维护

① SF₆ 环网箱在投运前应检查功能回路开关是否处于隔离状态，指示牌指示是否正确，联锁机构动作是否正常，表压指示是否在额定范围内。

② 检查熔断器有撞针的一端必须向上。

③ 操作时必须有专业人员监护，根据图 7.13.5 的原理，送电时必须先合负荷开关 A、C，再合负荷开关 B，变压器即已投运。

④ 当熔断器因短路事故有任何一相或两相熔断时，三相熔管必须全部更换。

⑤ 壳体内的 SF₆ 气体年漏气率很小，不超过 1%，壳体内开关为免维护型，使用过程中要不断注意 SF₆ 气体表压的变化情况。由于环境温度变化有所波动，这是正常情况，只要在额定表压范围内，无需充气。

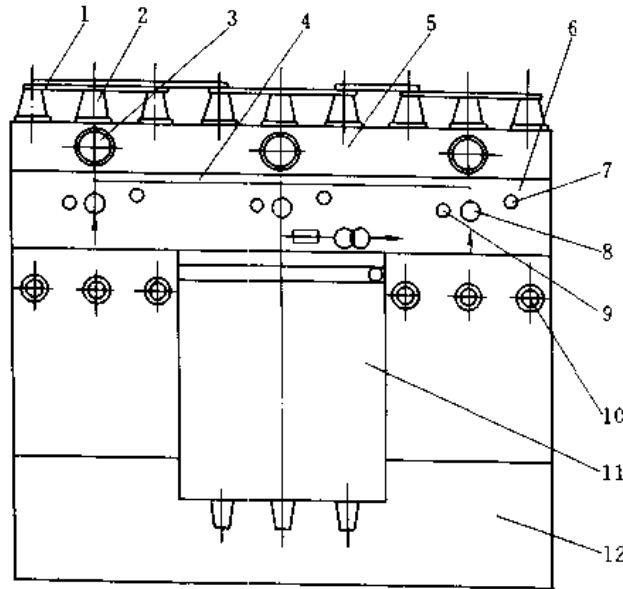


图 7.13.9 SF₆ 环网箱基本结构

1—接地母排；2—接地绝缘子；3—观察窗；4—模拟母线；5—开关室；6—操动机构室；7—接地开关操作孔；8—指示牌；9—负荷开关操作孔；10—进线绝缘子；11—熔断器室；12—底架

4. HXGN-10 (Z·F) 型环网箱

HXGN-10 (Z·F) 型环网箱采用 FA 型材焊接成基本骨架，门和其他结构件采用组装方式。箱体上部为母线室，母线室前面为仪表继电器室，室内可安装操动负荷开关的控制设备以及其他保护电器、端子排、电度表等。仪表门上可以安装指示仪表、指示灯、带电显示器等。

HXGN-10 (Z·F) 型环网箱内装设三工位真空负荷开关，负荷开关有正装式和侧装式两种，因此外形尺寸也有两种，分别为：

正装式：宽 × 深 × 高 = 840mm × 840mm × 2200mm

侧装式：宽 × 深 × 高 = 660mm × 900mm × 2200mm

环网箱设有可靠的机械联锁，可满足“五防”要求及负荷开关、隔离形状、接地开关的操作程序性。

环网箱适合电缆进出线及架空进线。

环网箱还可以安装电压、电流互感器及避雷器等电器元件。

第十三节 3~35kV 交流箱式变电站

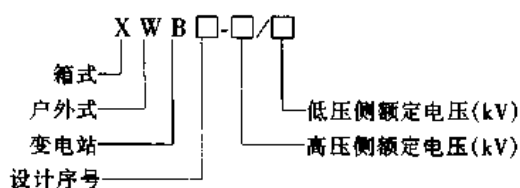
箱式变电站是我国近 10 年来 10kV 配电系统成套设备中发展最快的设备之一。它是将高压室、变压器室和低压室科学地组合在一起的成套配电装置。由于它设计合理，结构紧凑，体积小，重量轻，可移动，价格低，安装使用方便，操作维修简单，因此被广泛应用于城市、农村、工厂、矿山、路灯、码头、学校、小区、商场、机场等场合。

箱式变电站的主要特点如下。

- (1) 占地小 一般箱式变电站占地面积不超过 12m²。
- (2) 重量轻 一般箱式变电站的全重量在 2~3t 左右。
- (3) 可移动 箱式变电站顶部有四只起吊环，可方便地起吊、移动。
- (4) 不生锈 箱式变电站外壳均用铝合金板构成，槽钢、角铁经热镀锌处理，十几年不生锈。
- (5) 安装、使用方便 只要将箱式变电站起吊至预先砌好的水泥基础上，高低压两端分别接好线（地线也要接好），就可供电，使用极为方便。
- (6) 投资省 箱式变电站所需费用只有砖砌配电房的 2/3。

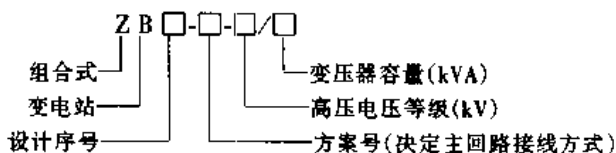
一、型号含义

1. 原始型号



2. 标准型号

随着箱式变电站生产规模的扩大,生产 ZBK40001-89 组合式变电站国家专业标准规定了标准型号。其含义如下:



3. 其他型号

随着箱式变电站普及和推广,生产厂家出于各自的原因推出了许多自定的型号,但基本上都是从标准型号上套用的。

ZBW□-□/□型; ZPW□-10型; ZPW□-□/□型; ZB-1型; XB-2型; LXB-10型; GYB-1型; XYB-2型; ZB1型; ZB2型; ZBN1型; NXB-10型; ZBW-10型; ZBW₁-10型; ZBW(N)-10型; YBT₁-3516.3型。

二、结构

1. 基本结构

不论何种形式的箱式变电站基本均由三大部分组成,即高压室、变压器室和低压室。最初的箱式变电站呈目字型排列,框架式结构。用热镀锌槽钢作底座,角铁焊成框架,外用水不生锈的铝合金板。顶部为中空式,既通风又形成空气垫防辐射,三室之间用隔板隔开,各室均有铝合金门启闭。变压器室还加隔离网。箱式变电站上部有四只起吊环,三室一般为整体吊装。

三室内部初期的定型是:高压室由负荷开关、操动机构、熔断器和避雷器组成;变压器室由 S7 或 S9 油浸式变压器或 SC 型干式变压器组成,另外该室上端或门的上侧部分装有排风扇,为变压器散热强迫通风而设;低压部分一般为面板式,各种元器件有序的排列安装于一块面板上,一目了然,操作方便。初期三室设计为共箱式,也有拼装的。其内部结构示意图如图 7.13.10。

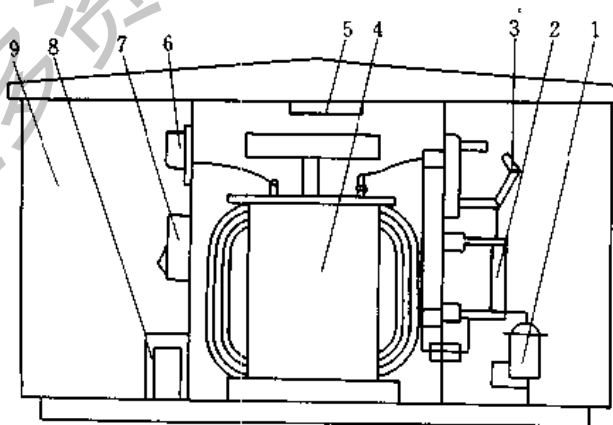


图 7.13.10 户外箱式变电站内部示意图

1—避雷器; 2—高压熔断器; 3—高压负荷开关; 4—电力变压器; 5—电控排气扇;
6—计量及指示仪表; 7—配电开关; 8—电力电容器; 9—箱体

由于变压器的容量不一样,因此其体积也不同,使箱式变电站的体积也各不相同,其外形尺寸见图 7.13.11,具体数字见表 7.13.30(参考尺寸,实际尺寸因设计而不同)。

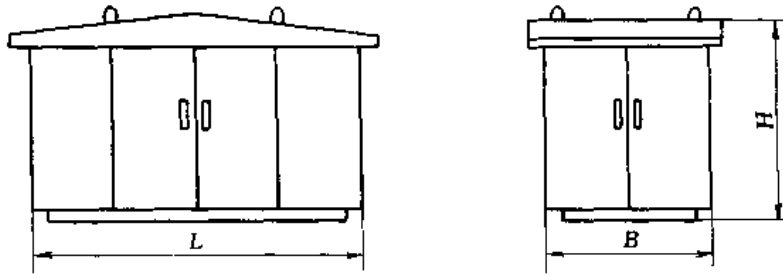


图 7.13.11 外形尺寸图

表 7.13.30 外形尺寸

变 量	变 压 器 容 量/kVA		
	30, 50, 80, 100	160, 200, 250, 315, 400	500, 630, 800, 1000, 1250
L/mm	3000	3340	3600
B/mm	2200	2200	2400
H/mm	2320	2320	2550

2. 其他结构

箱式变电站除最初设计的“目”字型结构外，尚有“品”字型结构和双电源的“田”字型结构。其内部高压室有用环网柜的，低压室有用 PGL 柜或 GCK 柜等等，总之随用户要求不同，其结构也不相同。

3. 35kV 箱式变电站结构特点

- ① 高压室一般为负荷开关加熔断器式，但也有少量用 35kV 断路器。
- ② 为保证安全，35kV 架空进线处下面有一个安全隔离网或隔板。
- ③ 变压器一般为露天放置，便于散热。
- ④ 输出 10kV 或 6kV 侧一般用 10kV 断路器，或用 6kV 矿用柜。
- ⑤ 35kV 直变其输出 400V 时，一般用面板式或屏柜式。
- ⑥ 35kV 箱变由于要考虑带电距离，以及所用开关、元器件体积尺寸较大，因此整个箱式变电站尺寸较大，给运输、吊装带来困难，设计时应加注意。

三、主要技术参数

1. 10kV 箱式变电站技术参数

(1) 高压室主要技术参数 (见表 7.13.31)

表 7.13.31 高压室主要技术参数

名称	开关及其他 单位	名称					
		FN ₃ -10 负荷开关	FN ₆ -10 负荷开关	ZN ₂₈ -10 真空断路器	RN ₁ -10 熔断器	O SFLAJ K 熔断器	FS ₄ -10 避雷器
额定电压	kV	10	10	10	10	10	10
最高工作电压	kV	12	12	12	12	12	12
额定电流	A	400	400, 630	630	40	40	—
有功负载开断电流	A	400	400, 630	800, 1250	100, 125	100, 125	—
额定短路开断电流	kA	—	—	20	12	31.5, 50	—
额定短时耐受电流	kA/s	14.5/4	20/2	25, 31.5 20/4	—	—	—
额定峰值耐受电流	kA	15	50	50	—	—	—
额定短路关合电流 (峰值)	kA	15	50	63, 80	—	—	—
转移电流	A	—	1300	50	—	—	—
工频耐压 (对地, 相间/断口)	kV	42/48	42/48	42/48	42	42	26~31
冲击耐压 (对地, 相间/断口)	kV	75/85	75/85	75/85	75	75	50
机械寿命	次	2000	2000	10000	—	—	—

(2) 变压器室主要技术参数 (表 7.13.32)

表 7.13.32 变压器室主要技术参数

名称	单位	数 据
额定电压	kV	10/0.4
额定容量	kVA	30、50、100、160、200、250、400、630、800、1000、1250
工频耐压	kV/min	高压端: 28/1 (环氧浇铸), 35/1 (油浸) 低压端: 5/1 (油浸) 3/1 (干式) 变压器油: 25/1
排气扇电压	V	~220

(3) 低压室

低压室所装的元器件最多且最复杂, 有各种空气开关、电容器、交流接触器, 各种电表、接线端子、低压熔管、刀开关、低压互感器等等。表 7.13.33 仅为空气开关的主要技术参数。

表 7.13.33 空气开关主要技术参数

名称	单位	DZ20	CMI	H 系列	DW15	ME
额定电压	V	380	380	380	380	380
额定电流	A	100、200、 400、630、1250	100、200、 400、630、1250	100、200、400、 800、1250、2500	200、400、630、 1000、1600、2500	800、1000、1250、 1600、2000、2500
额定短路开断电流	kA	18~42	35~100	20~80	20~60	50~80
额定短时耐受电流 (有效值 1s)	kA	18~42	35~100	20~80	20~60	50~80
额定峰值耐受电流	kA	45~100	87~250	50~200	50~250	125~200
工频耐压	V/min	2500	2500	2500	2500	2500
机械寿命	次	10000	10000	10000	10000	10000

2. 35/10 (6) kV 箱式变电站技术参数

一般 35/10 (6) kV 箱式变电站属同一类别, 技术鉴定时可合一进行, 但实际具体上两者有较大的区别, 首先变压器的变比不同, 其次低压开关不同。

(1) 35/10kV 箱式变电站技术参数

① 高压侧 (表 7.13.34)

表 7.13.34 35/10kV 箱式变电站高压侧技术参数

名称	额定电压 /kV	额定电流 /A	额定短时耐受电流 / (kA/s)	额定峰值耐受电流 /kA	关合电流 /kA	工频耐压 / (kV/min)	冲击耐压 /kV	机械寿命 /次
KLF 或 L-TR15 负荷开关	35	400 630	20	50	50	对地相间/断口 95/118	对地相间/断口 185/215	2000

② 变压器室

额定电压: 35/10 (6) kV

额定容量: 1000、2000、5000、10000、12500kVA

③ 低压侧 (表 7.13.35)

表 7.13.35 35/10kV 箱式变电站低压侧技术参数

名称	数值	单位	ZN28-51 真空断路器						
额定电压		kV	10						
额定电流		A	630	1000	1250	1600	2000	2500	3150
额定短时耐受电流		kA/s	20/4	25/4	31.5/4	40/4			
额定峰值耐受电流		kA	50	63	80	100			
工频耐压对地、相间/断口		kV/min	42/48						

(2) 35/6kV 箱式变电站技术参数

① 高压侧

与 35/10kV 箱式变电站相同。

② 变压器室

额定电压: 35/6kV

额定容量: 1000, 2000, 5000kVA

③ 低压侧 (表 7.13.36)

表 7.13.36 35/6kV 箱式变电站低压侧技术参数

名称	额定电压	额定电流	额定短时耐受电流	额定峰值耐受电流	工频耐压	冲击耐压	机械寿命
GKW-1D6kV 矿用柜	6kV	250A	12.5kA/4s	31.5kA	23kV/1min	66.7kV	2000次

3. 35/0.4kV 箱式变电站技术参数

① 高压侧

与 35/10kV 箱式变电站相同。

② 变压器室

额定电压: 10/0.4kV

额定容量: 100, 200, 400, 630, 800, 1000, 1250, 4000, 5000kVA

③ 低压侧 (表 7.13.37)

表 7.13.37 35/0.4kV 箱式变电站低压侧技术参数

名称	单位	DZ20、DW15、ME、H 系列等开关									
额定电压	V	380									
额定电流	A	100	200	400	800	1000	1600	2000	2500	3150	4000
额定短时耐受电流	kA/s	20	25	31.5	40	50	80	100			
额定峰值耐受电流	kA	50	63	80	100	125	200	250			
工频耐压	V/min	2500									

四、选用、安装、使用与维修

1. 选用

(1) 变压器容量的选择 一般 10kV 箱式变电站, 其变压器在 30 ~ 1250kVA 之间选择, 35kV 箱式变电站在 50 ~ 5000kVA 之间选择。

(2) 方案选择 一般选标准方案, 也可自行设计, 但不宜太复杂。

(3) 外形尺寸的选择 一般宜小不宜大, 但如地方允许可适当大些, 便于通风散热。

(4) 高压开关的选用 一般用负荷开关加熔断器室, 体积小, 重量轻, 保护好, 价格低。万不得已才选择断路器。

(5) 变压器的选用 一般选油浸式。易爆、易燃场合选干式。

2. 安装

① 预制基础, 见图 7.13.12。

② 将箱式变电站吊至现场基础上, 接好地网, 固定好箱式变电站。

3. 使用

① 使用前对箱式变电站作全面检查——外观, 接线, 元器件, 仪表有无损坏等等。

② 接好输出电缆线。

③ 按照相序接入高压电源。

④ 将高压室门关好, 接通 10kV 电源。

⑤ 空载时合上低压电源, 观察仪表变化, 再依次合上各分路开关。

4. 维修

① 如有可能, 10kV 或 35kV 负荷开关每年应检查一次触头, 机构摩擦部分应适当滴油润滑, 检查螺丝有无松动。

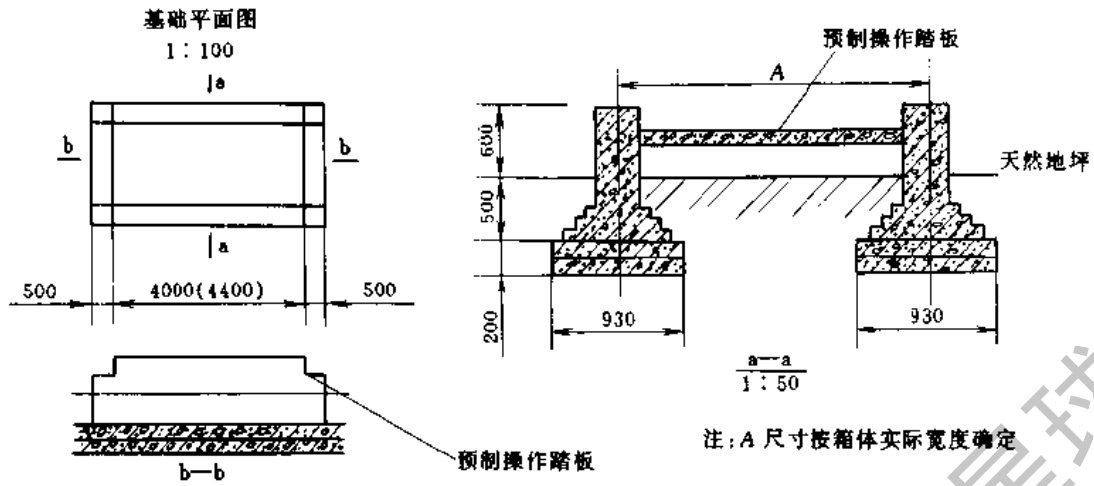


图 7.13.12 基础图

- ② 运行中的避雷器应在每年雷雨季节前进行预防性试验。
- ③ 运行中的变压器应不少于一年一次抽样分析。
- ④ 低压开关跳闸后应首先检查原因，故障排除后方可合闸。
- ⑤ 当功率因数投切有故障时，应先将自动投切改为手动投切，再检查电容器和交流接触器。
- ⑥ 当电表无指示时应检查线路或更换电表。
- ⑦ 重大事故应由供电部门、生产厂，用户共同分析、处理。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第八篇 低压电器

第一章 概 述

低压电器是用于额定电压交流 1000V 或直流 1500V 及以下，在由供电系统和用电设备等组成的电路中起保护、控制、调节、转换和通断作用的电器。

一、分类与用途

低压电器按产品种类可分为配电开关电器、控制电器、控制电路电器、多功能电器和组合电器及辅助电器和其他低压器件五大类，按动作方式可分自动切换电器和非自动切换电器两类。常用低压电器产品的分类及其主要用途见表 8.1.1。

表 8.1.1 低压电器产品分类及其用途

产品名称	主要品种	用 途
配电开关电器	断路器 万能式断路器、塑料外壳式断路器、框架式断路器、限流式断路器、灭磁断路器、直流快速断路器、多功能断路器	主要用作线路过载、短路、漏电或欠压保护，也可用作不频繁接通和分断电器
	漏电保护断路器	用于人身触电保护
	刀型开关 大电流隔离器、熔断器式刀开关、开关板用刀开关、负荷开关 熔断器式隔离器、开关熔断器组	主要用作电路隔离，也能接通分断额定电流
	熔断器 有填料熔断器、无填料熔断器、半封闭插入式熔断器、快速熔断器、自复熔断器、螺旋式熔断器	主要用作线路和设备的短路和过载保护
转换开关 组合开关 换向开关	主要作为两种及以上电源或负载的转换和通断电路之用	
控制电器	接触器 交流接触器 直流接触器 真空接触器 半导体式接触器 切换电容器接触器	主要用作远距离频繁地起动或控制交直流电动机，以及接通分断正常工作的主电路和控制电路
	起动器 直接（全压）起动器 星-三角减压起动器 自耦减压起动器 变阻式转子起动器 半导体式起动器 真空起动器	主要用作交流电动机的起动和正反向控制
控制电路电器	控制继电器 电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 温度继电器 热继电器	主要用于控制系统中，控制其他电器或作主电路的保护
	控制器 凸轮控制器 平面控制器 鼓形控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法，以达到电动机起动、换向和调速的目的
	主令电器 主令开关 按钮 限位开关 微动开关 万能转换开关 脚踏开关 接近开关 程序开关	主要用作接通分断控制电路，以发布命令或用作程序控制

续表

产品名称	主要品种	用途
多功能电器和组合电器	模数化终端电器	主要用于电力线路末端,对有关电路和用电设备进行配电、控制、保护、调节、报警等
	终端组合电器	
辅助电器和其他低压器件	电阻器	主要用作改变电路参数或变电能为热能
	变阻器	主要用作发电机调压以及电动机的平滑启动和调速
	电磁铁	主要用于起重、操纵或牵引机械装置

在特殊环境和工作条件下使用的各类低压电器,在设计代号中应注明:“9”表示船用,“8”表示防爆,“7”表示纺织用,“6”表示农业用,“5”表示化工用。产品在基本系列基础上可派生,通用派生字母见表 8.1.2。

表 8.1.2 加注通用派生字母对照表

派生字母	代表意义	派生字母	代表意义
A、B、C、D……	结构设计稍有改进或变化	K	开启式
C	插入式	H	保护式、带缓冲装置
J	交流、防溅式	M	灭磁、母线式、密封式
Z	直流、防震、正向、重任务、自动复位	Q	防尘式、手车式
W	失压、无极性、出口用、无灭弧装置	L	电流的、槽板式、漏电保护
N	可逆、逆向	F	高返回、带分励脱扣
S	三相、双线圈、防水式、手动复位、三个电源,有锁住机构	X	限流
P	单相、电压的、防滴式、电磁复位、两个电源	TH	湿热带 } 为热带产品代号,加注在全 干热带 } 型号的最后位置
		TA	

二、使用类别

低压电器通常选用的使用类别及其代号见表 8.1.3。

表 8.1.3 低压电器常用的使用类别及其代号

电流种类	使用类别代号	典型用途举例	有关产品
AC	AC-1	无感或低感负载、电阻炉	低压接触器和电器和电动机 起动器
	AC-2	绕线式感应电动机的启动、分断	
	AC-3	笼型感应电动机的启动、运转中分断	
	AC-4	笼型感应电动机的启动、反接制动或反向运转、点动	
	AC-5a	放电灯的通断	
	AC-5b	白炽灯的通断	
	AC-6a	变压器的通断	
	AC-6b	电容器组的通断	
	AC-7a	家用电器和类似用途的低感负载	
	AC-7b	家用的电动机负载	
	AC-8a	具有手动复位过载脱扣器的密封制冷压缩机中的电动机控制	
AC-8b	具有自动复位过载脱扣器的密封制冷压缩机中的电动机控制		

续表

电流种类	使用类别代号	典型用途举例	有关产品
AC	AC-12	控制电阻负载和光耦合器隔离的固态负载	控制电路电器和开关元件
	AC-13	控制变压器隔离的固态负载	
	AC-14	控制小容量电磁铁负载	
	AC-15	控制交流电磁铁负载	
	AC-20	空载条件下闭合相断开电路	
AC和DC	AC-21	通断电阻负载, 包括通断适中的过载	低压开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器
	AC-22	通断电阻电感混合负载, 包括通断适中的过载	
	AC-23	通断电动机负载或其他高电感负载	
	A	无额定短时耐受电流要求的电路保护	
DC	B	具有额定短时耐受电流要求的电路保护	低压断路器
	DC-1	无感或低感负载, 电阻炉	低压接触器
DC-3	并励电动机的起动, 反接制动或反向运转, 点动, 电动机在动态中分断		
DC-5	串励电动机的起动, 反接制动或反向运转, 点动, 电动机在动态中分断		
DC-6	白炽灯的通断		
DC	DC-12	控制电阻负载和光耦合器隔离的固态负载	控制电路电器及开关元件
	DC-13	控制直流电磁铁	
	DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载	
	DC-20	空载条件下闭合和断开电路	
DC	DC-21	通断电阻负载, 包括通断适中的过载	低压开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器
	DC-22	通断电阻电感混合负载, 包括通断适中的过载 (例如并励电动机)	
	DC-23	通断高电感负载 (例如串励电动机)	

三、外壳防护等级

常用外壳防护等级见表 8.1.4。表中防护等级由表征字母 IP 和附加在后面的两个表征数字组成。第一个数字表示防止固体异物进入壳内或触及壳内带电或运动部分的程序, 第二个数字表示防液体进入壳内的程度。

表 8.1.4 常用外壳防护等级

第一个表征数字	第二个表征数字								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	防 护 等 级 IPXX								
0	IP00	—	—	—	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	—	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3L	IP3L 0	IP3L 1	IP3L 2	IP3L 3	IP3L 4	—	—	—	—
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34	—	—	—	—
4L	IP4L 0	IP4L 1	IP4L 2	IP4L 3	IP4L 4	—	—	—	—
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	—	—	—	—
5	IP50	—	—	—	IP54	IP55	—	—	—
6	IP60	—	—	—	—	IP65	IP66	IP67	IP68

四、污染等级与安装类别

1. 污染等级

分为如下四级。

污染等级 1 无污染或仅有非导电的污染。

污染等级 2 一般情况仅有非导电性污染, 但是必须考虑到偶然由于凝露造成短暂的导电性。

污染等级 3 有导电性污染, 或由于预期的凝露使干燥的非导电性污染变为导电性的。

污染等级 4 造成持久性的导电性污染, 例如由于导电尘埃或雨雪所造成的污染。

除非产品标准另有规定，对于工业用低压电器通常推荐考虑污染等级 3。

2. 安装类别

分为如下四级。

I (信号水平级) 安装在系统线路末端的特殊设备或部件,例如低压电子电器。

II (负载水平级) 安装在安装类别 I 前面和安装类别 III 后面的电器设备或部件,例如控制和通断电动机的电器,耗能电器(电灯、电热器),通过变压器的主令和控制电路电器。

III (配电水平级) 安装在安装类别 II 前面和安装类别 IV 后面的电器或部件,例如直接连接至配电干线装入配电箱中的电器。

IV (电源水平级) 安装在安装类别 III 前面的电器,例如安装在电源进线处的电器。

3. 常用低压电器安装类别(见表 8.1.5)

表 8.1.5 低压电器的安装类别

产品名称	安装类别				产品名称	安装类别			
	IV	III	II	I		I	II	III	IV
低压熔断器	IV	III	II	I	低压接触器	I	II	III	IV
隔离器、开关、隔离开关及熔断器组合电器	IV	III	II	I	低压电动机起动器	I	II	III	IV
低压断路器	IV	III	II	I	控制电路电器和开关元件	I	II	III	IV

五、电气间隙、爬电距离与接地螺钉

1. 电气间隙

电器的最小电气间隙与额定冲击耐受电压、污染等级有关,见表 8.1.6。表中最小电气间隙是在海拔 2000m 处确定的,因此适用于 0~2000m 海拔范围。表中最小电气间隙不适用于受电弧作用部分和具有游离气体的触头开距等。电器应采用大于表 8.1.6 情况 B 规定的最小电气间隙,若采用小于情况 A 规定的最小电气间隙,则必须进行规定的冲击耐受电压试验。若采用大于或等于情况 A 规定的最小电气间隙,可不必进行冲击耐受电压试验。

表 8.1.6 空气中最小电气间隙

额定冲击耐受电压 U_{imp} 或规定的冲击 耐受电压/kV	最小电气间隙/mm							
	情况 A 非均匀电场条件				情况 B 均匀电场理想条件			
	污染等级				污染等级			
	I	2	3	4	I	2	3	4
0.33	0.01	0.2	0.8	1.60	0.01	0.2	0.80	1.60
0.50	0.04				0.04			
0.80	0.10				0.10			
1.50	0.50	0.30	0.30					
2.00	1.00	1.00	1.00		0.45	0.45		
2.50	1.50	1.50	1.50		0.60	0.60		
3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.80	0.80		
4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.20	1.20	1.20	
5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.50	1.50	1.50	
6.00	5.50	5.50	5.50	5.50	2.00	2.00	2.00	2.00
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	3.00	3.00	3.00	3.00
10.00	11.00	11.00	11.00	11.00	3.50	3.50	3.50	3.50
12.00	14.00	14.00	14.00	14.00	4.50	4.50	4.50	4.50
15.00	18.00	18.00	18.00	18.00	5.50	5.50	5.50	5.50
20.00	25.00	25.00	25.00	25.00	8.00	8.00	8.00	8.00
25.00	33.00	33.00	33.00	33.00	10.00	10.00	10.00	10.00

2. 爬电距离

最小爬电距离与电器的额定绝缘电压或工作电压、污染等级和绝缘材料组别等有关。绝缘材料可按其相比漏电起痕指数 (CTI) 划分为以下 4 个组别。

绝缘材料组别 I: $CTI \geq 600$

绝缘材料组别 II: $600 > CTI \geq 400$

绝缘材料组别 IIIa: $400 > CTI \geq 175$

绝缘材料组别 IIIb: $175 > CTI \geq 100$

电器的最小爬电距离见表 8.1.7, 表中规定的最小爬电距离不适用于受电弧作用部分和具有游离气体的触头间部分。

表 8.1.7 最小爬电距离

额定绝缘电压 (或实际工作电压, 交流有效值或直流) /V	承受长期电压的电器的最小爬电距离/mm												
	污染等级			污染等级			污染等级			污染等级			
	1 ^①	2 ^②	1	2			3			4			
	材料组别			材料组别			材料组别			材料组别			
	①	②	③	I	II	IIIa/IIIb	I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa
10	0.025	0.04	0.08	0.40	0.40	0.40	1.0	1.0	1.0	1.6	1.6	1.6	
12.5			0.09	0.42	0.42	0.42	1.05	1.05	1.05				
16			0.10	0.45	0.45	0.45	1.1	1.1	1.1				
20			0.11	0.48	0.48	0.48	1.2	1.2	1.2				
25			0.125	0.50	0.50	0.50	1.25	1.25	1.25				
32			0.14	0.53	0.53	0.53	1.3	1.3	1.3				
40			0.16	0.56	0.80	1.1	1.4	1.6	1.8				
50			0.18	0.60	0.85	1.2	1.5	1.7	1.9				
63	0.04	0.063	0.20	0.63	0.90	1.25	1.6	1.8	2.0	2.1	2.6	3.4	
80	0.063	0.10	0.22	0.67	0.96	1.3	1.7	1.9	2.1	2.2	2.8	3.6	
100	0.10	0.16	0.25	0.71	1.0	1.4	1.8	2	2.2	2.4	3.0	3.8	
125 (127)	0.16	0.25	0.28	0.75	1.05	1.5	1.9	2.1	2.4	2.5	3.2	4.0	
160	0.25	0.40	0.32	0.80	1.1	1.6	2.0	2.2	2.5	3.2	4.0	5.0	
200 (208)	0.40	0.63	0.42	1.0	1.4	2.0	2.5	2.8	3.2	4.0	5.0	6.3	
250	0.56	1.0	0.56	1.25	1.8	2.5	3.2	3.6	4.0	5.0	6.3	8.0	
320	0.75	1.6	0.75	1.6	2.2	3.2	4.0	4.5	5.0	6.3	8.0	10	
400	1.0	2.0	1.0	2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3	8.0	10	12.5	④
500	1.3	2.5	1.3	2.5	3.6	5.0	6.3	7.1	8.0	10	12.5	16	
630 (690)	1.8	3.2	1.8	3.2	4.5	6.3	8.0	9	10	12.5	16	20	
800 (830)	2.4	4.0	2.4	4.0	5.6	8.0	10	11	12.5	④	16	20	25
1000	3.2	5.0	3.2	5.0	7.1	10	12.5	14	16		20	25	32
1250			4.2	6.3	9.0	12.5	16	18	20		25	32	40
1600 (1650)			5.6	8.0	11	16	20	22	25		32	40	50
2000			7.5	10	14	20	25	28	32		40	50	63
2500			10	12.5	18	25	32	36	40		50	63	80
3200			12.5	16	22	32	40	45	50		63	80	100
4000			16	20	28	40	50	56	63		80	100	125
5000			20	25	36	50	63	71	80		100	125	160
6300			25	32	45	63	80	90	100		125	160	200
8000			32	40	56	80	100	110	125	160	200	250	
10000			40	50	71	100	125	140	160	200	260	320	

① 印刷线路材料专用的最小爬电距离可在该列数值中选定。

② 材料组别为 I、II、IIIa、IIIb。

③ 材料组别为 I、II、IIIa。

④ 该区域的爬电距离尚未确定, 材料组别 IIIb 一般不推荐用于污染等级 3 电压 630V 以上, 也不推荐用于污染等级 4。

注: 1. 绝缘在实际工作电压 32V 及以下不会产生漏电起痕, 但必须考虑电腐蚀的可能性, 因此规定了最小爬电距离。

2. 表中的额定绝缘电压或实际工作电压之值是按 R_{10} 数系选定的。

3. 接地螺钉

接地螺钉的最小尺寸应不小于表 8.1.8 中的规定。

表 8.1.8 接地螺钉最小尺寸

电器的约定发热电流/A	$I_{th} \leq 20$	$20 < I_{th} \leq 200$	$200 < I_{th} \leq 630$	$630 < I_{th} \leq 1000$	$1000 < I_{th}$
接地螺钉最小尺寸/mm	M4	M6	M8	M10	M12

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第二章 配电开关电器

第一节 断路器

一、型号含义



派生代号: L—漏电断路器

设计代号

W—万能式断路器; WX—万能式限流型断路器; Z—塑料外壳式断路器;

ZX—塑料外壳式限流断路器; ZL—漏电断路器(开关);

S—快速断路器; M—灭磁断路器(开关)

D—低压断路器

二、结构及动作原理

断路器由触头系统、辅助触头、灭弧室、过电流脱扣器、欠电压脱扣器、分励脱扣器、自由脱扣机构、传动机构及其他结构部件组成。触头系统和灭弧室是实现接通与分断的执行元件，其触头有主触头、弧触头或副触头等。自由脱扣机构可实现触头系统与传动机构之间的自由脱扣；当推动传动机构时，闭合力经自由脱扣机构驱动主轴，使触头系统闭合，并保持接通电路；当断路器脱扣时，触头系统断开，由于存在自由脱扣机构，触头的断开可与传动机构（手柄）的位置无关，即使传动机构保持闭合位置，触头系统仍可断开。为了实现过载和短路保护，三相主电路内串联有电磁式过电流脱扣器或电子式过电流脱扣器。

电磁式过电流脱扣器在原理上是一个电磁铁系统，其衔铁被一整定弹簧拉住，保持一定的间隙。断路器的主电路导体穿过铁芯（或绕几匝）使磁系统产生电磁力，当电磁力超过整定弹簧反力时衔铁吸合，推动断路器的脱扣轴使其断开。电磁式过电流脱扣器上可加装延时装置，经一定的延时后才使断路器脱扣，以达到选择性动作，实现低压配电系统的选择性保护。

断路器在要求遥控的情况下，可加装闭合电磁铁或传动电动机机构，使其遥控闭合，而遥控分断则采用分励脱扣器。

典型结构的断路器，有以下几种。

1. 万能式断路器

万能式断路器的特点是具有一钢制框架（小容量的也有用塑料底架的），所有部件，包括触头系统、灭弧室等都安装在框架内，导电部件需加绝缘，其部件大多设计成可拆卸式的，以便于安装和制造。万能式断路器可制成配电用和电动机保护用两类。选择型配电断路器大都采用万能式，也可制成限流型，常有抽屉式结构，以适应抽屉式开关板的需要。也有带单相接地保护脱扣器的断路器，以满足单相接地故障保护的要求主要适用于变压器中性点接地配电系统。图 8.2.1 为选择型万能式断路器结构图。该断路器的特点是装有半导体脱扣器，当被保护电路内发生短路时，它能实现延时分断（约 0.2~0.4s），达到选择性分断（离短路点最近的断路器先断开），以把故障限制在最小的范围。

2. 塑料外壳式断路器

塑料外壳断路器的所有零部件都装于由塑料基座和盖组成的外壳中，其操作手柄也由塑料压制而成，从盖正面伸出，供操作断路器用。其特点是结构紧凑简单，外露带电部件少，只有进出线端子外露供连接外接导线，较为安全。塑料外壳断路器大多是非选择型，多作为配电支路负载端开关或电动机保护用开关。操作方式大多为手动，分扳动式和按钮式两种。大容量的塑料外壳式断路器也可增加欠电压脱扣器、分励脱扣器和电动传动机构等。这种断路器动作速度快，分断短路电流时都有限流断开功能。漏电断路器和导线保护断路器均属塑料外壳式断路器。图 8.2.2 为塑料外壳式断路器结构图。

3. 限流型断路器

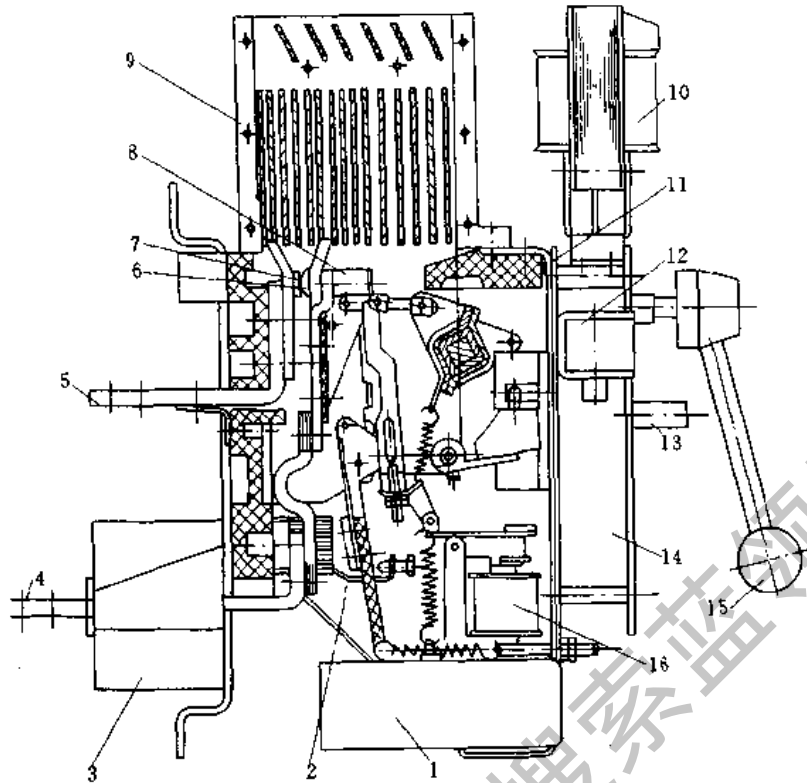


图 8.2.1 选择型万能式断路器结构

1—半导体脱扣器；2—过电流脱扣器；3—互感器；4—下母线；5—上母线；6—动触头；7—静触头；
8—触头弹簧；9—灭弧室；10—电磁铁传动机构；11—缓冲件；12—分励脱扣器；
13—脱扣按钮；14—自由脱扣器；15—操作手柄；16—欠电压脱扣器

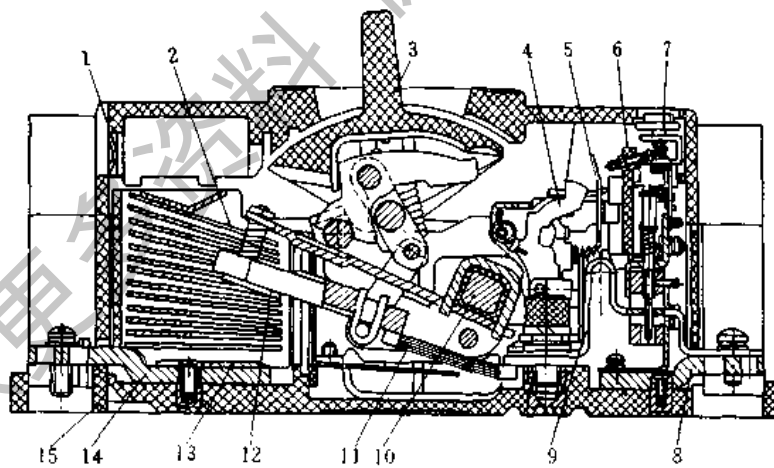


图 8.2.2 塑料外壳式断路器结构图

1—盖；2—灭弧室；3—手柄；4—自由脱扣机构；5—双金属片；6—脱扣轴；7—瞬动电磁脱扣器；
8—下母线；9—热元件；10—主轴；11—软连接；12—动触头；13—静触头；14—上母线；15—底壳

不论是万能式还是塑料外壳式断路器都可设计成限流型断路器，通常采用电动斥力原理进行限流型断路器的设计。利用短路电流在触头回路内所产生的电动力，使触头快速斥开而达到限制电流上升到最大值才断开的目的。图 8.2.3 (a) 示出一般交流断路器分断电流波形和限流断路器分断电流波形的比较。不难看出，限流断路器的全分断时间约 10ms，电流峰值被限制得很低（小于预期短路电流峰值的一半），大大降低了分断短路电流时的 I^2t 值和电动力。

4. 直流快速断路器

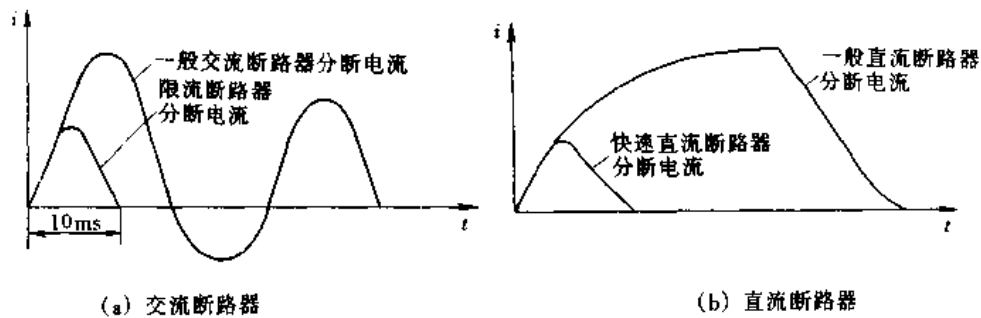


图 8.2.3 不同断路器分断短路电流波形的比较

直流快速断路器一般都是单极的。触头系统多采用双断点桥式触头，按保持触头闭合的方式可分为电磁保持式和机械保持式两种。所有部件都安装在同一绝缘的框架上。图 8.2.4 示出机械保持式直流快速断路器的结构。断路器由电磁操作机构实现闭合，用冲击衔铁脱扣器达到快速脱扣，必要时也可用电子式感应斥力脱扣器实现快速脱扣。由于动作速度快，加之有较强的灭弧室，并有吹弧磁轭，加强熄弧，故有极强的限流效果。一般直流断路器与快速断路器分断电流波形的比较见图 8.2.3 (b)。

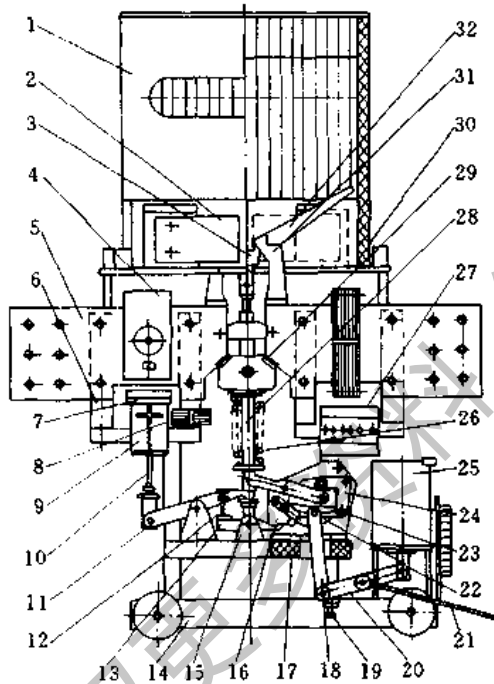


图 8.2.4 机械保持式直流快速断路器结构

- 1—灭弧室；2—吹弧磁轭；3—动弧触头；4—吸引铁芯；
- 5—主汇流排；6—分流排；7—冲击衔铁；8—附加电感；
- 9—保持铁芯；10—脱扣连杆；11—脱扣杠杆；12—螺钉；
- 13—弯板；14—底座；15、20、24—杠杆；16—锁片；
- 17—半轴；18—拉杆；19—定位螺钉；21—操作手柄；
- 22、23—连杆；25—闭合电磁铁；26—主触头弹簧；
- 27—直流互感器；28—动触头；29—动主触头；
- 30—附加电感；31—静弧触头；32—弧角

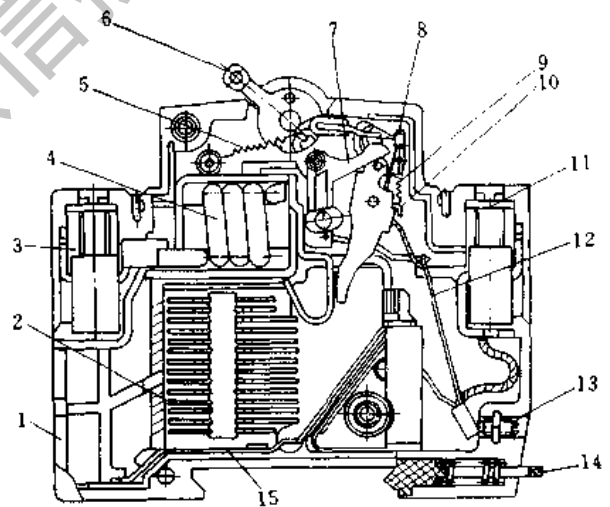


图 8.2.5 家用断路器结构

- 1—外壳；2—灭弧室；3—上接线端子；
- 4—电磁脱扣器；5—复位弹簧；
- 6—手柄；7—顶杆；8—锁扣；
- 9—断开弹簧；10—触头；
- 11—下接线端子；12—双金属片；13—调节螺钉；
- 14—安装卡子；15—引弧角

5. 家用断路器（导线保护断路器）

这种断路器广泛用于住宅、宾馆、高级办公楼、医院等建筑内的电气线路中作过载短路保护用。额定电压为 220/380V，额定电流在 1~125A 范围内。有专门的国际标准（IEC-898）和国家标准（GB 10963），对其性能

和安全指标作了明确的规定，适于非熟练人员操作，不可维修和调整。图 8.2.5 示出家用断路器的结构。家用断路器有单极、双极、三极和四极各种产品，有插入式和安装轨安装两种形式。在断路器正常安装和接线完毕，操作人员不可触及带电部件，以保证操作者的安全。过载保护元件多用双金属片实现，短路保护用直穿式电磁铁（适用于瞬动倍数较高者）或螺管式电磁铁（适用于瞬动倍数较高者）或螺管式电磁铁（适用于瞬动倍数较低者）实现。外壳均用绝缘材料压制而成。

6. 漏电保护断路器

漏电保护断路器有电磁式电流动作型、电压动作型和电子式（集成电路）电流动作型等。电磁式电流动作型漏电保护断路器原理见图 8.2.6。它由断路器、零序电流互感器和漏电脱扣器组成。断路器可以用一般塑料外壳断路器，也可用家用断路器。在正常运行时，各相电流的矢量和为零，零序电流互感器二次侧无输出。当出现漏电或人身触电时，则在零序电流互感器二次侧感应出零序电流。漏电脱扣器受此电流激励使断路器脱扣而断开电路。为了提高零序电流互感器的效率，缩小体积，其铁芯采用高导磁材料合金制成。漏电脱扣器要求灵敏度高，动作时间短，体积小和具有足够的脱扣功率，常采用释放式漏电脱扣器。

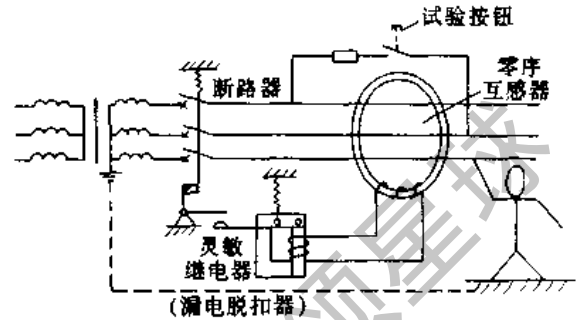


图 8.2.6 电磁式电流动作型
漏电保护断路器

三、选用、使用及维护

1. 选用

- ① 断路器的额定工作电压 \geq 线路额定电压。
- ② 断路器的额定电流 \geq 线路计算负载电流。
- ③ 断路器的额定短路通断能力 \geq 线路中可能出现的最大短路电流（一般按有效值计算）。
- ④ 线路末端单相对地短路电流 ≥ 1.25 倍断路器瞬时（或短延时）脱扣整定电流。
- ⑤ 断路器欠电压脱扣器额定电压 = 线路额定电压。
- ⑥ 断路器的分励脱扣器额定电压 = 控制电源电压。
- ⑦ 电动传动机构的额定工作电压 = 控制电源电压。
- ⑧ 断路器用于照明电路时，电磁脱扣器的瞬时整定电流一般取负载电流的 6 倍。
- ⑨ 断路器用于电动机保护时：

a. 长延时电流整定值 = 电动机额定电流。

b. 保护笼型电动机时，断路器的电磁脱扣器瞬时整定 = (8~15) 倍电动机额定电流；对于保护绕线式转子电动机的断路器，电磁脱扣器瞬时整定电流 = (3~6) 倍电动机额定电流。

- ⑩ 注意断路器接线方向，母联断路器应选用可下进线的断路器。
- ⑪ 注意与其他电器的配合协调，各级断路器的过电流脱扣器整定值和延时应符合选择性配合要求。

2. 使用及维护

- ① 应按产品使用说明书安装，安装前应检查产品的铭牌及脱扣器、操作电压数据是否符合实际要求。
- ② 安装前应各磁铁工作面（如欠电压脱扣器的磁系统吸合面）的防锈油脂抹净，以免影响磁系统的动作值。
- ③ 对带手柄的断路器，先手动试操作几次，注意按住欠电压脱扣器（或给电压），以免断路器空操作（欠电压脱扣器无电压，断路器不能闭合），空操作易损坏断路器。
- ④ 安装和接线时，应注意勿使螺钉、垫圈、接线头等零件落入断路器内部，造成卡住或短路现象。安装时应将螺钉拧紧，但切勿用力过猛（特别是小型断路器）。应注意把接地线接至接地螺钉，断路器的接地螺钉一般有符号。
- ⑤ 安装完毕，应用电动操作机构试操作，抽屉式断路器置于试验位置试操作，操作正常后才可投入运行。
- ⑥ 安装完毕后一定要把灭弧室装好，并拧紧其安装螺钉。
- ⑦ 灭弧室在短路分断或较长期使用后，应清除灭弧室内壁的栅片上的黑烟和金属颗粒。长期未使用的灭弧室（如作为备件的灭弧室），在使用前应先清理烘干，以保证良好的绝缘。
- ⑧ 断路器与熔断器配合使用时，熔断器应尽可能装于断路器之前，保证使用安全。

⑨ 电磁脱扣器的整定值一经调好后就不允许随意更动,使用日久后检查其弹簧是否生锈卡住,以免影响其动作。

⑩ 断路器在分断短路电流后,应在切除上一级电源的情况下,及时地检查触头。若发现有严重的电灼痕迹,可用于布擦去;若发现触头烧毛,用砂纸或细锉小心修整,但主触头一般不允许用锉刀修整。

⑪ 应定期清除断路器上的积尘和检查各种脱扣器的动作值,操作机械在使用一段时间后(可考虑1~2年一次),在传动机构部分应加润滑油(小容量塑壳式断路器不需要)。

3. 断路器的常见故障及修理方法(见表8.2.1)

四、常用断路器的主要技术数据(表8.2.2)

表 8.2.1 断路器故障一览表

故障现象	原因	处理办法
手动操作断路器不能闭合	欠电压脱扣器无电压或线圈损坏	检查线路,施加电压或更换线圈
	储能弹簧变形,导致闭合力减小	更换储能弹簧
	反作用弹簧力过大	重新调整反作用力
	机构不能复位再扣	调整再扣面或复位弹簧力
电动操作断路器不能闭合	操作电源电压不符	调换电源
	电源容量不足	增大操作电源容量
	电磁铁拉杆行程不够	重新调整或更换拉杆
	电动机操作机构定位开关移位	重新调整
有一相触头不能闭合	控制器中整流管或电容器损坏	更换损坏元件
	一般型断路器的一相连杆断裂	更换连杆
分励脱扣器不能使断路器分断	限流断路器斥开机构连杆之间的角度变化	调整至原规定值
	线圈短路	调换线圈
	电源电压太低	按要求调整电源电压
欠电压脱扣器不能使断路器分断	螺栓松动	拧紧螺栓
	反力弹簧变小	调整弹簧
	如系储能释放,则储能弹簧变小或断裂	调整或更换弹簧
起动电动机时断路器立即分断	机构卡死	消除卡死原因,如有异物或生锈
	过电流脱扣器瞬动整定值太小	调整瞬动整定值
	脱扣器某些零件损坏,如半导体器件、线圈等	更换脱扣器或更换坏零件
断路器闭合后经一定时间自行分断	脱扣器的反力弹簧断裂或落下	更换弹簧,或重新装上
	过电流脱扣器长延时整定值不对	重新调整
欠电压脱扣器噪声	热元件或半导体延时电路元件变化	更换
	反力弹簧太大	重新调整
	铁芯工作面有油污	清除油污
断路器温升过高	短路环断裂	更换衔铁或铁芯
	触头压力过低	调整压力或更换弹簧
	触头表面过分磨损使接触不良	清理接触面,或更换触头
	导电零件间连接螺丝松动	拧紧螺丝
断路器误动作	触头表面污染	清除油污或氧化层
	整定电流值调得不准确	调高整定电流
	锁键或搭钩磨损	调换锁键或搭钩
辅助开关不通	动触桥卡死或脱落	拨正或重新装好
	传动杆断裂或滚轮脱落	更换传动杆或更换辅助开关
	触头不接触或表面氧化	调整触头,清理触头表面
带半导体脱扣器的断路器误动作	半导体脱扣器元件损坏	更换损坏元件
	外界电磁场干扰	清除外界干扰,例如邻近有大电磁铁在操作,大接触器分断或电焊等,应予隔离或更换供电线路
漏电断路器经常自行分断	漏电动作电流处于临界状态	送制造厂重新校验
	线路有不稳定漏电	消除不稳定原因,如受潮或绝缘不良
漏电断路器不能闭合	操作机构损坏	送制造厂修理
	线路某处有漏电	消除漏电或接地故障

表 8.2.2 常用断路器的主要技术数据

类别	型号	额定电流/A	机械寿命/电寿命/次	过电流脱扣器 电流范围/A	短路通断能力						重量/kg	备注	
					交流		直流		电压/V	电流/kA			T/s
					电压/V	电流 (有效值)/kA	电压/V	电流/kA					
万	DW15-200	200	20000/10000	100~200	380	20/4*	0.3	—	—	—	20.6	可取代老产品 DW10 电磁铁和电动机操作	
		400	10000/5000	200~400	660	10	0.3/0.8	—	—	—			27
	DW15-400	400	10000/5000	200~400	380	25/8*	0.3	—	—	—	29	电磁操作 热磁保护或半导体保 护 有抽屜式 * 分母为短时断开 能力	
		630	10000/5000	300~600	1140	10	0.25/0.5	—	—	—			31
	DW15-1000	1000	5000/500	100~1000	380	40/30*	0.3	—	—	—	62	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式	
		1500	5000/500	1500~2500	380	60/35*	0.3	—	—	—			65
	DW15-2500	2500	5000/500	1500~2500	380	80/56*	0.3	—	—	—	126	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式	
		4000	4000/500	2500~4000	380	50	0.2	—	—	—			170
	DWX15-200	200	20000/10000	100~200	380	50	0.2	—	—	—	23	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式	
		400	10000/5000	200~400	380	50	0.2	—	—	—			25
DWX15-630	630	10000/5000	400~630	380	70	0.25	—	—	—	27	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	400	10000/5000	100~400	380	30	0.25	—	—	—			58***	* 当电动机传动带释 能装置时为10000次 * * 不包括抽屜式外 形尺寸 * * * 指抽屜式重量
DW16-630	630	10000/5000	315~630	380	30	0.2	—	—	—	59.5	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	630	10000/5000	200~630	380	50	0.2	—	—	—			61	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-630(ME330)	630	20000/10000	200~630	660	50	0.25	220	40	0.015	63.5	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	800	10000/5000	200~800	1000	30	0.25	440	30	0.015			66.5	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-1000(ME1000)	1000	20000/10000	350~1000	660	80	0.2	220	60	0.015	71.7	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	1250	10000/5000	500~1250	660	80	0.2	440	40	0.015			116	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-1250(ME1250)	1250	20000/10000	500~1250	660	80	0.2	220	60	0.015	119	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	1600	10000/5000	500~1600	660	80	0.2	440	40	0.015			132	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-1600(MW1600)	1600	20000/10000	500~1600	660	80	0.2	220	60	0.015	160	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	1900	10000/10000	900~1900	660	80	0.2	440	40	0.015			179	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-1605(ME1605)	1900	10000/10000	900~1900	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	2000	10000/10000	500~2000	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-2000(ME2000)	2000	20000/10000	500~2000	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	2500	10000/5000	1500~2500	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-2500(ME2500)	2500	20000/10000	1500~2500	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	2900	10000/5000	1000~2900	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-2505(ME2505)	2900	20000/10000	1000~2900	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	3200	10000/5000	—	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-3200(ME3200)	3200	20000/10000	—	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	3900	10000/5000	—	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-3205(ME3205)	3900	20000/10000	—	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	4000	10000/5000	—	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-4000(ME4000)	4000	20000/10000	—	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	5000	10000/5000	—	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式
DW17-4005(ME4005)	5000	20000/10000	—	660	80	0.2	220	60	0.015	216	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式		
	5000	10000/5000	—	660	80	0.2	440	40	0.015			240	电动机保护、热磁保护 或半导体保护 * 分母为短时断开 能力 热磁保护 有抽屜式

续表

类别	型号	额定电流/A	机械寿命/电寿命/次	过电流脱扣器 电流范围/A	短路通断能力				重量/kg	备注															
					交流		直流																		
		电压/V	电流 (有效值)/kA	cosφ	电压/V	电流/kA	T/s																		
万能式	AH-6B	600	10000/1000	100~600	660/380	22/22	40	—	—	46	外形尺寸指抽屜的外 形尺寸 重量含抽屜及电磁操 作机构														
	AH-10B	1000	5000/500	250~1000		30/42				48															
	AH-16B	1600	2500/500	250~1600		45/65				50															
	AH-20C	2000	2500/500	500~2000		30/65				95															
	AH-20CH	2000	2500/500	500~2000		30/70				140 240															
	AH-30C	3200	2000/100	2000~3200		50/65																			
	AH-30CH	3200	2000/100	2000~3200		50/85																			
	AH-40C	4000	2000/100	4000		85/120																			
直流快速	DST-3/8	1000	2000/	10000~2000	—	—	—	—	—	170	单向动作														
	DST-20/15	2000		2000~4000						206															
	DST-30/15	3000		3000~6000						213															
	DS8-3/8	300	2000/	200~500						35		单向动作													
	DS8-6/8	600		500~1200						40															
	DS8-6/15	600		500~1200						40															
	DS10-1000	1000	2000/	1000~2000						82		不包括电容器重量													
	DS10-2000	2000		2000~4000						99															
	DS10-3000	3000		3000~6000						110															
	DS11-6000	6000		4800~9600						162															
	塑料外壳式	DS12-10/8	1000	5000/						800~2000		—	—	—	—	—	63	双向动作							
		DS12-20/8	2000							1600~4000							70								
		DS12-30/8	3000							2400~6000							124								
		DS12-60/8	6000							4800~12000							174								
		DZ5-10	10							50000/50000							0.5~10		—	—	—	—	—	0.12	单极
		DZ5-25	25														0.5~25							0.2	
DZ5-20		20	0.15~20		0.58																				
DZ5-50		50	10~50		0.90																				
塑料外壳式	DZX10-100	100	10000/5000	60~100	380	—	—	—	—	3	外形尺寸“高”中+数 为挡弧板尺寸														
	DZX10-200	200		100~200						8															
	DZX10-400	400		200~400						15															
	DZX10-600	600		400~600						17.5															
	DZ12	6~60		10000/						6,10,15,20,25,30,40,50,60		5/3	0.15	单极											
										120,740		0.5													

续表

类别	型号	额定电流/A	机械寿命/电寿命/次	过电流脱扣器 电流范围/A	短路通断能力						重量/kg	备注		
					交流		直流		电压/V	电压/V			电流/kA	T/s
					电压/V	电流 (有效值)/kA	cosφ	电流/kA						
DZX19		10~63	10000/8000	10, 15, 20, 30, 40, 50, 60	220/380	10(P-1) 6(P-2)	0.7	—	—	—	0.14	单板		
DZ20Y-100				16, 20, 32, 40, 50, 63, 80, 100		18	0.3	10				统一设计更新换代产品 Y—一般型 J—较高型 G—最高型 括弧内数据暂不推荐使用		
DZ20J-100		100	8000/4000			35	0.25	15						
DZ20G-100						75	0.2	20						
DZ20Y-200		200	8000/2000	(106), 125, 160, 180, 200, (225)		25	0.25	20						
DZ20J-200						35	0.25	20						
DZ20G-200						70	0.2	25						
DZ20J-400		400	5000/1000	(200), 250, 315, 350, 400	380	42	0.25	25						
DZ20G-400						80	0.2	30						
DZ20Y-630		630	5000/1000	500, 630		30	0.25	25						
DZ20J-630				700, 800		65	0.2	30						
DZ20G-800		800		500, 630, 700, 800		75	0.2	35						
DZ20Y-1250		1250	3000/500	(630), (700), 800, 1000, 1250		50	0.25	30			95			
TO-100BA		100	8500/1500	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100		35/40	0.15~0.20				1.35			
TO-225BA		225	7000/1000	125, 150, 175, 200, 225		25/20	0.15~0.20 0.20~0.30				2.6			
TO-400B		400	4000/1000	250, 300, 350, 400		35/30	0.15~0.20				5.6			
TC-30		30	8500/1500	15, 20, 30	380/440	35/30	0.15~0.20				1.35			
TC-100B		100	8500/1500	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100		35/40	0.15~0.20				1.8			
TC-400B		400	4000/1000	250, 300, 350, 400		42/35	0.15~0.20				5.6			
TC-600B		600	4000/1000	450, 500, 600		50/42	0.15~0.20				10.5			
HFB-150		150	6000/2000	15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 70, 90, 125, 150	380	22	0.25	20	250	20		15		
HKB-250		250	6000/2000	70, 90, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250	380	25	0.25	20	250	20		15		
HIA-600		600	4000/1000	250, 300, 350, 400, 500, 600	380	28	0.25	20	250	20		15		
HNB-1200		1200	2500/500	700, 800, 900, 1000, 1200	380	35	0.25	20	250	20		15		

塑壳式

续表

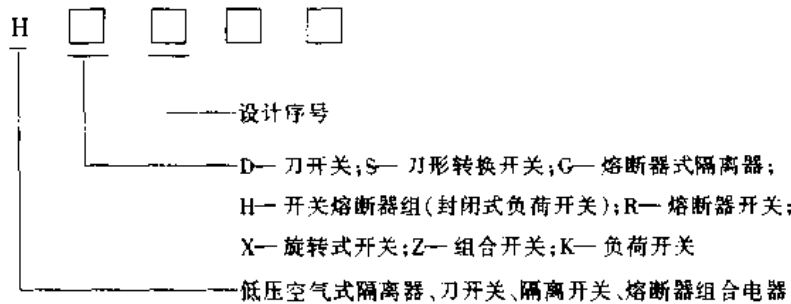
类别	型号	额定电流/A	机械寿命/电寿命/次	过电流脱扣器 电流范围/A	短路通断能力					重量/kg	备注	
					交流		cosφ	直流				
					电压/V	电流 (有效值)/kA		电压/V	电流/kA			T/s
塑 料 外 壳 式	PB-3000	3000	900/100	1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2500, 3000	380	97	0.2	250	75	15		
	CMI-100L.M.H	100		16, 20, 32, 40, 50, 63, 80, 100	380 × 1.1	35/50/85	0.25					
	CMI-225L.M.H	225		100, 125, 160, 180, 200, 225	380 × 1.1	35/50/85	0.25					
	CMI-400L.M.H	400		225, 250, 315, 350, 400	380 × 1.1	50/65/100	0.25					
	CMI-630L.M.H	630		400, 500, 630	380 × 1.1	50/65/100	0.25					
	S060	40	10000/6000	6, 11, 16, 20, 25, 32, 40	220/380	3	0.8	—	—	—	20A 以下电 寿命为 8000	
	C45N	63		1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	220/380	4.5/6					1P: 127g 2P: 250g 3P: 385g 4P: 495g	
	C45AD	40	20000	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	220/380	4.5					1P: 127g 2P: 250g 3P: 385g 4P: 495g	
	NC100H	100		63, 80, 100	117 ~ 400	20 ~ 6					1P: 180g 2P: 360g 3P: 540g 4P: 720g	
	3VE1	20	100000	0.16, 0.25, 0.4, 0.63, 1, 1.6, 2.5, 3.2, 4.5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20	380/660	1.5/1.0	0.95				可装欠压, 分 励磁扣器	
3VE3	32	100000	1.6, 2.5, 4, 6.3, 10, 12.5, 16, 20, 25, 32	380/660	10/3	0.5/0.9				可装欠压, 分 励磁扣器辅助 触头组		
3VE4	63	30000	10, 16, 25, 32, 40, 50, 63	380/660	22/7.5	0.25/0.5						
漏 电 保 护 式	DZ5-20L	20	20000/20000	1, 1.5, 2, 3, 4, 4.5, 6.5, 10, 15, 20	380	1.5	0.8	额定漏 电动作 电流 mA	额定漏 电不动 作电流 mA	漏电动 作时间 s	1.0	电磁式
								30	15			

续表

类别	型号	额定电流/A	机械寿命/ 电寿命 /次	过电流脱扣器 电流范围/A	短路通断能力					重量/kg	备注
					交流		直流				
					电压/V	电流 (有效值)/kA	cosφ	电压/V	电流/kA		
漏	DZ1SL-40/390	40	15000/15000	6, 10, 15, 20, 30, 40	2.5	0.7	30	15	≤0.1	1.25	
							50	25			
							75	40			
电	DZ1SL-40/490	40	15000/15000	6, 10, 15, 20, 30, 40	2.5	0.7	50	25	≤0.1	1.4	电磁式
							75	40			
							100	50			
保	DZ1SL-60/390	60	15000/10000	10, 15, 20, 30, 40, 60	5	0.5	30	15	≤0.1	1.85	
							50	25			
							75	40			
护	DZ1SL-60/490	60	15000/10000	10, 15, 20, 30, 40, 60	5	0.5	50	25	≤0.1	2.2	电磁式
							75	40			
							100	50			
式	DZL16-40	40	2000	—	1	1	15	7.5	≤0.1	0.60	
							30	15			
							15	6			
式	DZL18-20	20	10000/4000	10, 16, 20	—	—	30	15	≤0.1		集成电路式
							30	15			
							30	15			
式	DZL21-100	100	10000/5000	63	5	0.7	30, 50, 100	15, 25, 50	扶速型 ≤0.2 反时限型 IΔn 时 >0.2 1.4IΔn 时 >0.1 4.4IΔn 时 0.5		
				80			25, 50				
				100			37.5, 75, 150				
式	DZL21-250	250	8000/4000	100	10	0.5	30, 50, 100, 200, 300	15, 25, 50, 25, 37.5, 75, 150			
				125			50, 25, 37.5, 75, 150				
				160			50, 100, 200, 300				

第二节 隔离器开关、隔离开关、熔断器组合电器

一、型号含义



二、结构及原理

典型结构的开关有以下几种。

1. 熔断器式刀开关

以熔断器作为触刀，加上灭弧室和操作机构，构成熔断器式刀开关。为达到高短路分断能力，采用有填料熔断器（例如 NT 或 RT20 有填料熔断器），其极限短路分断能力达 50kA。在回路正常供电情况下，接通和分断由触刀承担，当线路短路时，由熔断器分断短路电流。更换熔断器后，这种组合电器可继续使用。HRS 型熔断器式刀开关是这种组合的典型，主要由钢板底座和塑料盖两大部分组成。三对夹型触头和灭弧室通过绝缘板装在底座上，熔断体装在盖上直接作为动触头刀用，盖可沿铰销转动，呈扇形打开，使熔断器从插座中安全拔出，绝缘盖亦可方便地从底座上撤出，以便于安装和安全拆换熔断体。灭弧室由耐弧塑料压制而成，并装有金属弧角。此外，熔断器的指示器与微动开关配合，可提供信号或切断电动机控制回路，以防止单相运转事故。

2. 熔断器式隔离器

其结构原理与熔断器刀开关相似，但由于作为隔离器，不要求额定接通和分断能力，一般没有灭弧室，结构较为简单。如 HC1 熔断器式隔离器，采用 RT14 圆筒形帽熔断器作为短路保护。

3. 负荷开关

由刀形开关加熔断器组合而成，因而兼有刀开关和熔断器的功能，即可带一定负荷操作，又可作短路保护之用。负荷开关有开启式和半封闭式两类。

开启式负荷开关结构简单，应用很广，就是习称的瓷底胶盖闸开关。

半封闭式负荷开关（习称铁壳开关），其触刀、熔断器、操作机构通过绝缘装于铁壳（钢板的或铸铁的）中。操作机构与外壳之间装有机械联锁，以保证操作安全，操作机构采用弹簧储能式，其触刀分合速度与手柄操作速度无关。老产品 HH3、HH4 负荷开关选用瓷插式熔断器，其短路分断能力较低；新产品 HH10、HH11 负荷开关选用有填料封闭管式熔断器，短路分断能力可达 50kA。

三、选用、使用及维护

1. 选用

(1) 结构形式的选择 根据它在线路中的作用和它在成套配电装置中的安装位置来确定结构形式。若仅用来隔离电源时，则只需选用不带灭弧罩的产品；如用来分断负载，就应选用带灭弧罩，而且是通过杠杆来操作的产品。此外，还应根据是正面操作还是侧面操作，是直接操作还是杠杆传动，是板前接线还是板后接线等来选择结构形式。

(2) 额定电流的选择 刀开关、负荷开关、组合开关的额定电流，一般应等于或大于所关断电路中的各个负载额定电流的总和。若负载是电动机，就必须考虑电动机的起动电流为额定电流的 4~7 倍，故应选用额定电流大一级的刀开关。此外，还要考虑电路中可能出现的最大短路峰值电流是否在该额定电流等级所对应的电动稳定性峰值电流以下（当发生短路事故时，如果刀开关能通过某一最大短路电流，并不因其所产生的巨大电动力的作用而发生变形、损坏或者触刀自动弹出的现象，则这一短路峰值电流就是刀开关的电动稳定性峰值电流）。如有超过，就应当选用额定电流更大一级的刀开关。

(3) 综合考虑 组合电器应综合考虑刀开关和熔断器的要求来选择。根据用电设备的容量，正确选择熔断器的等级及熔体的额定电流。

2. 使用维护

(1) 刀开关

① 接线时，应注意母线与刀开关接线端子相连，不应存在极大的扭应力，在安装杠杆操作机构时，应调节好连杆的长度，以保证操作到位且灵活。

② 开关应垂直安装在开关板上，并要使静触座位于上方。如静触座位于下方，则刀开关断开时，如果铰链支座松动，触刀在自重作用下掉落而发生误动作，会造成严重事故。

③ 作电源隔离开关使用时，合闸顺序是：先合上刀开关，再合上其他用以控制负载的开关，分闸顺序则相反。

④ 严格按照产品说明书规定的分断能力来分断负载，无灭弧罩的刀开关一般不允许分断负载，否则有可能导致稳定持续燃弧，使刀开关寿命缩短，严重的还会造成电源短路，开关被烧毁，甚至发生火灾。

⑤ 对于多极刀开关，应保证各极动作的同步性，而且接触良好，否则，当负载是异步电动机时，便可能发生电动机因缺相运转而烧坏的事故。

⑥ 如果刀开关不是安装在封闭的控制箱内，则应经常检查，防止因积尘过多而发生相间短路现象。

(2) 负荷开关

① 不准横装或倒装，必须垂直地安装在控制屏或开关板上，更不允许将开关放在地上使用。

② 安装接线时，电源进线和出线一般不能接反，但具体情况应以产品说明书为准。

③ 半开启式负荷开关的外壳应可靠的接地，防止意外的漏电使操作者发生触电事故。

④ 更换熔丝必须在闸刀断开的情况下进行，且应换上与原用熔丝规格相同的新熔丝。

⑤ 应经常检查开关的触头，清理灰尘和油污等物。操作机构的摩擦处应定期加润滑油，使其动作灵活，延长使用寿命。

⑥ 在修理负荷开关时，要注意保持手柄与门的联锁，不可轻易拆除。

(3) 转换开关

① 转换开关通断能力较低，故不能用来分断故障电流。当用于控制电动机作可逆运转时，必须在电动机完全停止转动后，才允许反向接通。

② 当操作频率过高或负载功率因数较低时，转换开关要降低容量使用，否则影响开关寿命。

(4) 组合电器

① 更换熔断体时，应戴上工作手套，避免因熔管的高温而烫手。

② 更换熔断体时，应更换同型号同规格的熔断体。

3. 刀开关常见故障及修理方法（见表 8.2.3）

表 8.2.3 刀开关的常见故障及修理方法

类型	故障现象	产生原因	修理方法
刀开关	触刀过热，甚至烧坏	电路电流过大	改用较大容量的开关
		触刀和静触座接触歪扭	调整触刀和静触座的位置
		触刀表面被电弧烧毛	磨掉毛刺和凸起点
负荷开关	开关手柄转动失灵	定位机械损坏	修理或更换
		触刀转动铰链过松	拧紧固定螺栓
	合闸后一相或两相没电	夹座弹性消失或开口过大，使夹座与动触头（闸口）不能接触	更换夹座
		熔丝熔断或虚连	更换熔丝
		夹座、动触头氧化或有尘污	清洁夹座或动触头
		电源进线或出线头氧化后接触不良	检查进出线头
	夹座或触头过热或烧坏	开关容量太小	更换较大容量的开关
		断、合闸时动作太慢造成电弧过大，烧坏触头	改进操作方法
		夹座表面烧毛	用细锉修整
		动触头与夹座压力不足	调整夹座压力
负载过大		减轻负载或调换较大容量的开关	
半开启或负荷开关的操作手柄带电	外壳接地线接触不良	检查接地线	
	电源进出线绝缘损坏碰壳	更换导线	

四、常用开关主要技术数据

常用隔离器、开关、隔离开关、熔断器组合电器的主要技术数据见表 8.2.4 至表 8.2.8。

表 8.2.4 HR5、HR6 系列熔断器式刀开关技术数据

型 号			HR5-100	HR5-200	HR5-400	HR5-630	HR6-160	HR6-250	HR6-400	HR6-630
额定绝缘电压/V			660	660	660	660	660			
约定发热电流/A			100	200	400	630	380V:160 660:100	250 200	400 315	630 425
额定接通 分断能力	380V, $\cos\varphi = 0.35$ (符合 IEC408 AC-23)	接通/A 分断/A	1000 800	1600 1200	3200 2400	5040 3780	1280(1000) 960(800)	2000(1600) 1500(1200)	3200 2400	5040 3780
	660V, $\cos\varphi = 0.65$ (符合 IEC408 AC-22)	/A	300	600	1200	1800	480(300)	750(600)	1200	1890
额定熔断短路电流/kA			50	50	50	50	50			
最大预期峰值电流/kA			100	100	100	100	100			
配用熔断器号码(NT系列)			00	1	2	3	00	1	2	3
辅助开关	额定电压/V 约定发热电流/A 控制功率/VA		380 5 300				二侧可备辅助开关			

表 8.2.5 HG1、HG2 系列熔断器式隔离器技术数据

型 号		HG1-20	HG1-32	HG1-63	HG2-160
配用熔断器型号		RT14-20	RT14-32	RT14-63	RT16(NT00)
约定发热电流/A		20	32	63	160
额定工作电压/V		380			380
额定熔断短路电流/kA		50			50
辅助触头	额定工作电压/V	250			—
	额定发热电流/A	1			—
机械寿命/次		3000			1000

表 8.2.6 HH10、HH11 系列负荷开关技术数据

型 号	额定电流/A	接通与分断能力 1.1×415V			熔断短路电流 1.1×415V	
		接通/A	分断/A	$\cos\varphi$	电流/kA	$\cos\varphi$
HH10	20	80	64	0.65	50	0.25
	32	140	112			
	53	250	200	0.35		
	100	400	320			
HH11	100	300*	300*	0.65	50	0.25
		400	320	0.35		
	200	600*	600*	0.65		
		800	640	0.35		
	315	945*	945*	0.65		
		1000	800	0.35		
	400	1200*	1200*	0.65		
		1300	1000	0.35		

注:带*上为 380V,下为 660V 时的数据。

表 8.2.7 QSA 系列开关技术数据

型号规格	ASA63	QSA125	QSA160	QSA250	QSA400	QSA630	QSA800
极数	2, 3, 4					2, 3	
额定绝缘电压(AC)/V	1000						
额定工作电压/V	AC: 380、660、1000, DC: 220、440						
约定发热电流 I_{th}/A	80	160	160	400	400	800	800
约定封闭发热电流 I_{the}/A	63	125	160	250	400	630	800
额定工作电流(I_n)/功率 AC							
380V $\cos\phi 0.35$ AC-23 类别/(A/kW)	63/30	125/75	160/90	250/132	400/200	630/333	800/425
660V $\cos\phi 0.35$ AC-23 类别/(A/kW)	63/55	125/110	160/150	250/220	400/375	630/560	800/710
1000V $\cos\phi 0.65$ AC-22 类别/A	63	63	160	250	400	630	800
1000V $\cos\phi 0.35$ AC-23 类别/(A/kW)			160/220	250/325	315/425	355/475	355/475

表 8.2.8 负荷开关技术数据

型号	额定电流 /A	极数	额定电压 /V	额定电流 I_n/A	开关的分断电流/A	熔断器极限分断能力/A	电寿命/次
HK2	10	2	220	10	$4I_n$	500	—
	15			500			
	30			1000			
HK2	15	3	380	10	$2I_n$	500	—
	30			1000			
	60			1500			
HK8	10	2	220	10	40	1000	2000
	16			64		1500	
	32			128		2000	
HK8	16	3	380	16	32	1500	2000
	32			64		2000	
	63			94.5		2500	

第三节 熔断器

一、型号含义



熔断器额定电流

设计代号

L—螺旋式熔断器; T—有填料封闭管式熔断器; S—快速熔断器;

LS—螺旋式快速熔断器; C—插入式熔断器; M—无填料封闭管式熔断器

低压熔断器

二、结构及原理

典型结构的熔断器有以下几种。

① 半封闭插入式熔断器的结构最简单, 将熔丝用螺钉固定在瓷盖中, 然后插入底座。以 RC1A 型为代表, 广泛用于工厂及家庭中。

② 无填料封闭管式熔断器用锌片作熔断材料, 熔体可更换。以 RM10 型管式熔断器为代表, 应用也很广泛。

③ 有填料封闭管式熔断器由触刀、熔管、石英填料、熔断体、指示器、底座(螺栓连接式则无底座)等组成, 见图 8.2.7。一般工业用熔断器用铜片作熔体材料, 半导体器件保护用熔断器用银片作熔体材料。

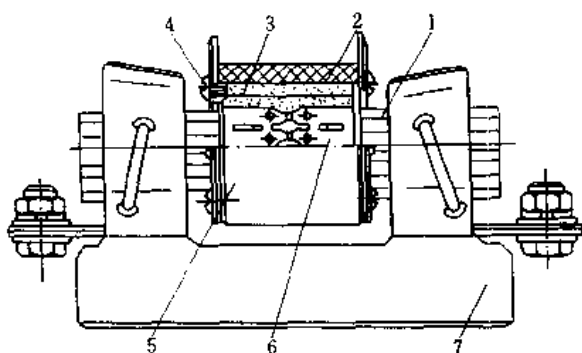


图 8.2.7 有填料封闭管式熔断器
1—触刀；2—熔管；3—石英砂填料；4—熔断指示器；5—熔断体；6—熔体；7—底座

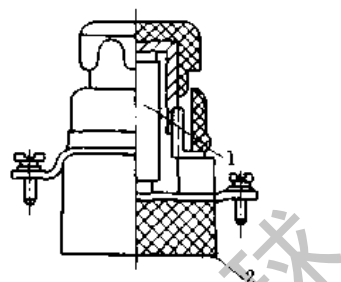


图 8.2.8 有填料螺旋式熔断器
1—熔断体；2—底座

④ 小容量有填料熔断器多做成螺旋式，这样更换熔断体很方便。图 8.2.8 示出有填料螺旋式熔断器的结构。

三、选用、使用及维护

1. 选用

(1) 熔体额定电流的选择

- 对于变压器、电炉和照明等负载，熔体的额定电流应略大于或等于负载电流。
- 对于输配电线路，熔体的额定电流应略小于或等于线路的安全电流。
- 对电动机负载，因为起动电流较大，一般可按下列公式计算。

对于一台电动机负载的短路保护：

$$I_{\text{熔体额}} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{\text{电机额}}$$

式中，(1.5~2.5) 系数视负载性质和起动方式不同而选取；对轻载起动、起动次数少、时间短或降压起动时，取小值；对重载起动、起动频繁、起动时间长或全压起动时，取大值。

对于多台电动机负载的短路保护：

$$I_{\text{熔体额}} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{\text{最大电机额}} + \text{其余电动机的计算负荷电流}$$

(2) 熔断器的选择

- 熔断器的额定电压应大于或等于线路工作电压。
- 熔断器的额定电流应大于或等于所装熔体的额定电流。
- 按配电系统中可能出现最大短路电流，选择有相应分断能力的熔断器。

2. 使用及维护

① 熔断器在安装前应核对规格是否符合要求，熔管有无碎裂，指示器是否完好。在安装底座时，拧螺丝应小心，切勿用力过猛，以免损坏瓷件。插入熔体时，应先隔离电源。

② 经常注意检查熔断器的指示器，以便及时发现单相运转情况。若发现瓷底座有沥青流出，则说明熔断器接触不良，温升过高，应及时更换。

③ 插入和拔出熔断器要用规定的把手，不能用手直接操作，或用不合适的工具。

④ 发现有填料熔断体熔断时，应换上原型号熔断器，用户不可自行更换熔体。

⑤ 封闭管式熔断器更换熔片时，应检查熔片规格。装上新熔片前应清理管子内壁的烟尘；装上新熔片后应拧紧两端盖。RC1A 型熔断器更换熔丝时应换规定的熔丝或铜丝。熔丝应顺着螺钉旋紧方向绕过去，同时应注意不要划伤熔丝，也不要使熔丝绷紧，以免减小熔丝截面尺寸或插断熔丝。

⑥ 安装螺旋式熔断器时，必须注意将电源线接到瓷底座的下接线端，以保证安全。

⑦ 更换熔体时应切断电源，并应换上相同额定电流的熔体，不能随意加大熔体。

3. 熔断器的常见故障及修理方法（见表 8.2.9）

表 8.2.9 熔断器的常见故障及修理方法

故障现象	产生原因	修理方法
电动机启动瞬间熔体即熔断	熔体规格选择太小	调换适当的熔体
	负载侧短路或接地	检查短路或接地故障
	熔体安装时损伤	调换熔体
熔丝未熔断但电路不通	熔体两端或接线端接触不良	清扫并旋紧接线端
	熔断器的螺帽盖未拧紧	旋紧螺帽盖

四、常用熔断器的主要技术数据

常用熔断器的主要技术数据列于表 8.2.10 中。

表 8.2.10 常用熔断器的主要技术数据

类别	型号	额定电压/V	熔断器额定电流/A	熔体额定电流/A	短路分断能力/kA	试验电路参数		
						cosφ	T/ms	
有填料封闭螺柱式	RL1	交流 380 直流 440	15	2,4,5,6,10,15	25	0.25	15~20	
			60	20,25,30,35,40,50,60				
				100	60,80,100	50		
				200	100,125,150,200			
	RL2	交流 380	25	2,4,6,10,15,20,25,35,50,60	25	≤0.3		
	RL93	交流 380 直流 220	6 25 60 125 225 350 600	6 10,15,20 25,35,60 60,100,125 160,200,225 260,300,350 430,500,600	25	0.35	15~20	
RL6	交流 380	25 63 100 200	2,4,6,10,16,20,25 35,50,63 80,100 125,160,200	50	0.1~0.2			
RL7	交流 660	25 63 100	2,4,6,10,16,20,25 35,50,63 60,100	25	0.1~0.2			
有填料封闭式快速	HS0	250 500 750		30,50,80,150,350,480 30,50,80,150,320,480 250,320	50	≤0.25		
	RS3	500 750 1000		10,15,30,50,80,100,150,200,250,300,500 200,250,600,700 450	25	≤0.3		
	RLS1	500	10 50 100	3,5,10, 15,20,25,30,40,50 60,80,100	50	≤0.25		
	RLS2	500	(30) 63 100	16,20,25,(30) 35,(45),50,63 (75),(90),100	50	0.1~0.2		
	NGT00 NGT1 NGT2 NGT3	380,800 380 660 1000	125 250 400 630	25,32,40,50,63,80,100,125 100,125,160,200,250 200,250,280,315,355,400 355,400,450,500,560,630	100	0.1~0.2		

续表

类别	型号	额定电压 /V	熔断器 额定电流 /A	熔体额定电流/A	短路分断 能力 /kA	试验电路参数	
						cosφ	T/ms
有 填 料 封 闭 管 式 刀 型 触 头	RT0	交 流 380 直 流 440	50 100 200 400 600 1000	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 30, 40, 50, 60, 80, 100 80, 100, 120, 150, 200 150, 200, 250, 300, 350, 400 350, 400, 450, 500, 550, 600 500, 600, 700, 800, 900, 1000	~ 380V: 50 ~ 500V: 25 ~ 400V: 25	0.10 ~ 0.20	15 ~ 20
	RT16(NT00C)	500, 660	160	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100	~ 550V: 120 ~ 660V: 50		
	RT16(NT00)	500	160	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160			
	RT16(NTD)	500, 600/500	160	6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160			
	RT16(NT1)		250	80, 100, 125, 160, 200, 224, 250			
	RT16(NT2)		400	125, 160, 200, 224, 250, 304, 115, 355, 400			
	RT16(NT5)		630	315, 355, 400, 425, 500, 630			
	RT17(NT4)	380	1000	800, 1000	100		
RT20-000 RT20-00 RT20-1 RT20-2 RT20-3	500 600	100 160 250 400 600	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 125, 160 80, 100, 125, 160, 200, (224), 250 125, 160, 200(224), 250, 315, (355), 400 315, (355), 400, (425), 500, 630	120	0.1 ~ 0.20		

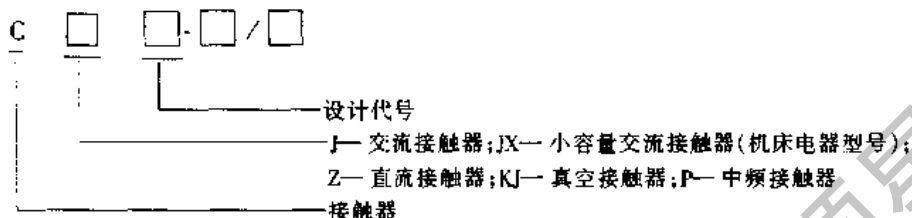
获取更多资料

微信搜索 蓝领资料

第三章 控制电器

第一节 接触器

一、型号含义



二、结构及原理

接触器的工作原理是：当操作线圈通电后，电磁系统产生的电磁吸力克服了反作用力，使衔铁吸合，并带动动触头，使动、静触头接触闭合，从而接通主电路。当操作线圈断电或电压过低时，由于电磁吸力消失或过小，衔铁释放，动、静触头分开并产生电弧，电弧在灭弧室中熄灭，从而分断主电路。典型结构介绍如下。

1. 交流接触器

交流接触器在结构上可分为空气式交流接触器和真空式交流接触器两大类。空气式交流接触器的主要组成部分及其典型结构见图 8.3.1。

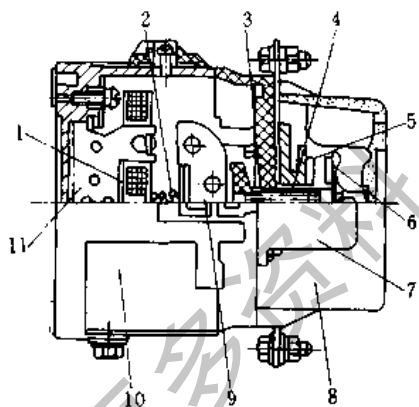


图 8.3.1 空气式交流接触器的典型结构

- 1—吸引线圈；2—反作用弹簧；3—触头弹簧；
- 4—触头支架；5—静触头；6—动触头；
- 7—辅助触头；8—灭弧室；9—衔铁；
- 10—外壳；11—铁芯

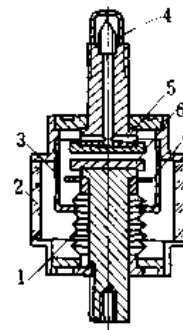


图 8.3.2 真空灭弧室的结构

- 1—波纹管；2—外壳；3—屏蔽罩；
- 4—排气管；5—静触头；
- 6—动触头；7—挡板

真空式交流接触器主要由真空灭弧室，框架及基座、电磁操作机构、辅助触头等组成，主触头密封在真空灭弧室内，真空灭弧室具有陶瓷外壳和不锈钢波纹管及触头屏蔽罩。真空灭弧室的结构见图 8.3.2。

2. 直流接触器

直流接触器的主要组成部分及其典型结构见图 8.3.3。直流接触器的品种很多，具体结构亦有所差异，但是基本动作原理大体相同。以结构上看主要由触头灭弧系统、电磁系统及传动机构三部分组成。

3. 交流接触器的节电

交流接触器的节电是指采用各种节电技术来降低其操作电磁系统所消耗的电功率，一般是将原设计的交流操作改为直流吸持，可节省铁芯和短路环中的损耗功率，一般节电率可高达 85% 以上，有的产品竟可超过 95%。

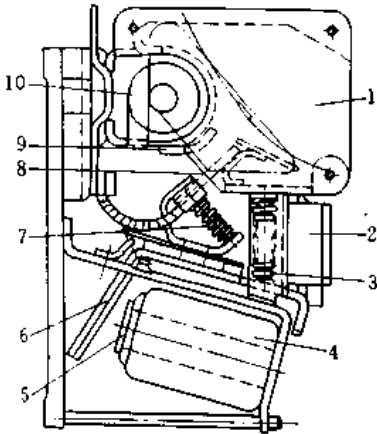


图 8.3.3 典型结构的直流接触器

- 1—灭弧室；2—辅助触头；3—反力弹簧；4—吸引线圈；
- 5—铁芯；6—衔铁；7—触头弹簧；8—动触头；
- 9—静触头；10—磁铁线圈

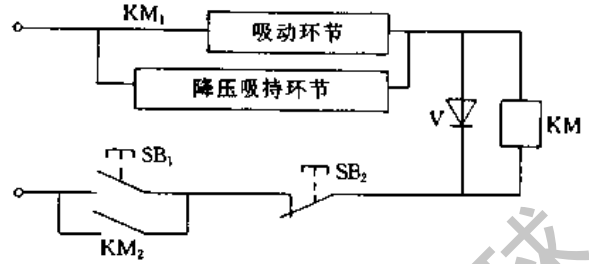


图 8.3.4 节电器的工作原理

交流接触器的节电主要可分为附装节电器和采用节电线圈两种。

① 节电器的工作原理见图 8.3.4，图中 SB₁ 和 SB₂ 分别为闭合的断开按钮，V 为续流二极管，KM 为接触器线圈，KM₁、KM₂ 为接触器的辅助触头。吸动环节可以由二极管和电阻串联，或由变压器组成，降压吸持环节可由电容器、或由变压器、或由互感器组成。

② 节电线圈以双绕组变压器式为典型，其工作原理见图 8.3.5。按下启动按钮 SB₁，线圈 1 和 2 中的交流

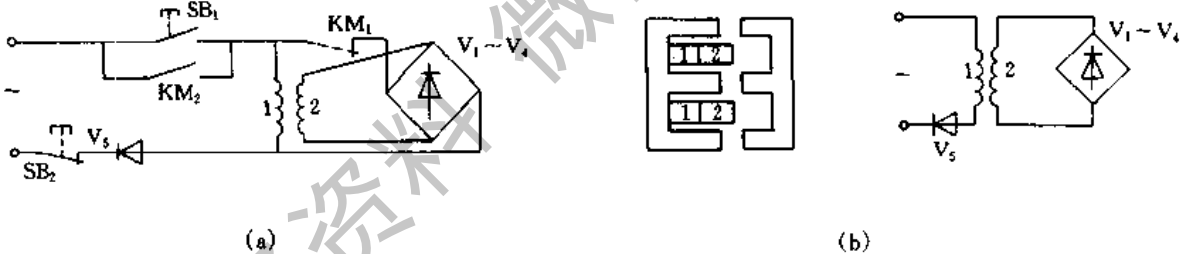


图 8.3.5 节电线圈的工作原理

和直流产生合成磁通使衔铁吸动，当常闭辅助触点 KM₁ 断开后，就转换为图 8.3.5 (b) 所示等效电路的吸持状态。此时，接触器的铁芯和绕组 1 和 2 起变压器的作用。二次绕组接整流器半波整流，铁芯中产生脉动直流电磁吸力使衔铁吸持于闭合位置上。

4. 切换电容器接触器

切换电容器接触器（以下简称接触器）是一种带有抑制涌流功能，专用于投切低压并联电容器的接触器，使用类别 AC-6b。

典型结构为直动式双断点。触头系统分上下两层布置，每层有五对触头，用八对触头组成三相主触头，其中两相主触头中各有一对预充触头与切合电阻组成抑制涌流装置，当合闸时它先接通（另一相主触头中也有一对预充触头同时接通），数毫秒之后工作触头接通，短接了切合电阻，使电容器正常运行；释放时，工作触头先断开，数毫秒之后预充触头才断开，接触器内部电路连接见图 8.3.6，磁系统为 E 字形铁芯直动式，装在接触器的下半部。辅助触头有两对、四对两种。接线端有绝缘罩覆盖，安全可靠。线圈接线端带有标出电压数据及色别的标牌，可防错误使用。接触器可用螺钉安装，也可借底部的滑块扣在 35mm 标准卡轨上，十分方便。

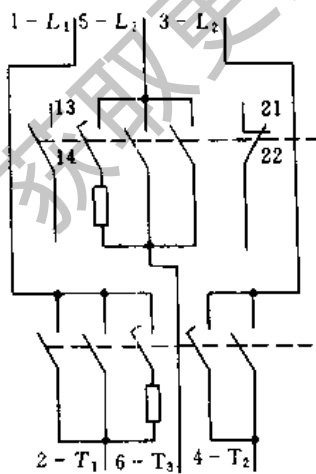


图 8.3.6 接触器内部电路连接

三、选用、使用及维护

1. 选用

(1) 交流接触器控制电动机负载时的选用方法

① 一般任务 主要运行于 AC-3 使用类别, 压缩机、搅拌机、空调机、风泵、传送带、离心机、冲床、剪床等的拖动属于此类。选用交流接触器时, 其额定电压和 AC-3 额定电流等于或稍大于电动机的额定电压和额定电流就可以了。

② 重任务 主要运行于 AC-3 占 90%, AC-4 占 10%, 或 AC-1、AC-2 各占 50% 的混合使用类别。车、钻、铣、磨机床、升降设备, 轧机辅助设备, 卷取机, 绞盘, 离心机, 破碎机等的传动均属于此类。应选用具有 AC-2 和 AC-4 使用类别技术性能的交流接触器。有时可以通过降容来提高电寿命。

③ 特重任务 主要运行于近乎 100% 的 AC-4 或 100% AC-2 使用类别。印刷机、拉丝机、镗床、港口起重设备、轧钢辅传动(如翻钢机、升降台、热剪机、前辊道拔钢机等)均属于此类。必须选用具有 AC-2 和 AC-4 使用类别电寿命较高的交流接触器。

(2) 交流接触器控制非电动机负载时的选用方法

① 控制电热设备 电热设备包括电阻炉、空调系统、供暖系统等。一般按接触器的约定发热电流(或额定工作电流)等于或大于电热设备的额定电流选用即可。

② 控制电容器 控制电容器必须选用切换电容器专用接触器。CJ16 和 CJ19 是切换电容器专用接触器。

③ 控制照明装置 选用的交流接触器必须具有较高的接通电流能力。

④ 控制低压变压器 选用使用类别为 AC-6a 的交流接触器。

(3) 直流接触器的选用方法

① 控制直流电动机 选用时, 直流接触器的额定电压、额定电流(功率)和额定操作频率均不得低于电动机的相应值。直流接触器用于控制牵引电动机时, 必须选用耐冲击、振动、颠簸和安装倾斜度均符合牵引电器技术要求的接触器。

② 控制直流电磁铁 选用时, 应根据电磁铁的额定电压、额定电流、通电持续率和时间常数等主要技术参数选用。

(4) 交流接触器节电器的选用方法 节电器主要配用于不间断工作制、8 小时工作制和不频繁操作使用场合。1981 年前生产的 CJ12 系列交流接触器存在剩磁过大问题。故不宜加装节电器, 以防出现剩磁不释放的故障。

2. 使用与维护

① 接触器安装前应先检查线圈的额定电压等技术数据是否与实际使用相符, 然后将铁芯极面上的防锈油脂或粘结在极面上的锈垢用汽油擦净, 以免多次使用后被油垢粘住, 造成接触器断电时不能释放。

② 接触器安装时, 除特殊订货外, 一般应安装在垂直面上, 其倾斜角不得超过 5° , 否则会影响接触器的动作特性; 安装有散热孔的接触器时, 应将散热孔放在上下位置, 以利于散热降低线圈的温度。

③ 接触器安装与接线时, 注意不要把零件失落入接触器内, 以免引起卡阻而烧毁线圈; 同时应将螺钉拧紧, 以防振动松脱。

④ CZ18 系列 160A 及以上直流接触器磁系统带电, 要安装在绝缘底座上。

⑤ 对于有接线极性要求的直流接触器必须严格按照规定的极性连接。

⑥ 接触器的触头应定期清扫和保持整洁, 但不允许涂油; 当触头表面因电弧作用形成金属小珠时, 应及时铲除; 但银及银合金触头表面产生的氧化膜, 由于接触电阻很小, 可不必锉修。

3. 接触器的常见故障及修理方法(见表 8.3.1)

表 8.3.1 接触器的常见故障及修理方法

故障现象	产生原因	修理方法
接触器不吸合或吸不足 (即触头已闭合而铁芯尚未完全吸合)	电源电压过低	调高电源电压
	线圈断路	调换线圈
	线圈技术参数与使用条件不符	调换线圈
	铁芯机械卡阻	排除卡阻物
	触头弹簧压力与超程过大	按要求调整触头参数

续表

故障现象	产生原因	修理方法
线圈断电, 接触器不释放或释放缓慢	触头熔焊	排除熔焊故障, 修理或更换触头
	铁芯表面有油污	清理铁芯极面
	E形铁芯中去磁气隙消失, 剩磁增大	更换铁芯
	触头弹簧压力过小或反作用弹簧损坏	调整触头弹簧力或更换反作用弹簧
	机械卡阻	排除卡阻物
触头熔焊	操作频率过高或过负载使用	调换合适的接触器或减小负载
	负载侧短路	排除短路故障更换触头
	触头弹簧压力过小	调整触头弹簧压力
	触头表面有金属颗粒突起	清理触头表面
	机械卡阻	排除卡阻物
铁芯噪声过大	电源电压过低	检查线路并提高电源电压
	短路环断裂	调换铁芯或短路环
	铁芯机械卡阻	排除卡阻物
	铁芯极面有油垢或磨损不平	用汽油清洗极面或更换铁芯
	触头弹簧压力过大	调整触头弹簧压力
线圈过热或烧毁	线圈匝间短路	更换线圈并找出故障原因
	操作频率过高	调换合适的接触器
	线圈参数与实际使用条件不符	调换线圈或接触器
	铁芯机械卡阻	排除卡阻物
	铁芯极面不平或剩磁气隙过大	清理极面或调换铁芯
触头过热或灼伤	触头弹簧压力过小	调高触头弹簧压力
	触头上有油污, 或表面高低不平, 有金属颗粒突起	清理触头表面
	环境温度过高, 或使用在密闭的控制箱中	接触器降容使用
	铜触头用于长期工作制	接触器降容使用
	操作频率过高, 或工作电流过大, 触头的断开容量不够	调换容量较大的接触器
触头的超程太小	调整触头超程或更换触头	

四、常用交流和直流接触器的主要技术数据 (表 8.3.2 和表 8.3.3)

续表

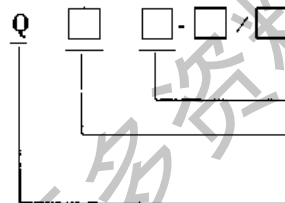
型号	额定电压/V	额定电流/A	机械寿命/万次	电寿命/万次
DSL	380	8.5, 12, 16, 22	1000	100 (AC-3) 1~2 (AC-4)
CKJ5	660 1140	7, 9, 13, 17.5 250, 400, 600	300	60 (AC-3) 0.5~6 (AC-4)
CJ10	380	10, 20, 40, 60, 100, 150	300	60
CJX1 (3TB 40~58)	380	9, 12, 16, 22, 32, 38, 45, 63, 75, 85 110, 140, 170, 250, 400, 630	800~1000	60~100 (AC-3)
	660	7.2, 9.5, 13.5, 18, 45, 63, 75, 110, 170		10 (AC-4)
CJX2	440	9, 12, 16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 95	>600~1000	>100~200 (AC-3)
	660	4, 5, 7, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 38		5~20 (AC-4)
CJX5	AC-3	380	500~1000	60~100
		660		
	AC-4	380		
		660		
CKJ6	660	100	300	30 (AC-3)
	1440	125		6 (AC-4)

表 8.3.3 常见直流接触器的主要技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	机械寿命/万次	电寿命/万次
CZ0	440	40, 100, 150, 250, 400, 600	300	30~50 (DC-2)
CZ16	660	1000, 1500	50	0.5 (DC-5)
CZ17	48	150	100	15 (DC-4)
CZ18	440	40, 80, 160, 315, 630	300~500	30~50 (DC-2、DC-4) 1~3 (DC-5)
CZ21	440	16	300	5 (DC-3、DC-5)
CZ22	440	63	600	5 (DC-3)
				3 (DC-5)

第二节 起 动 器

一、型号含义



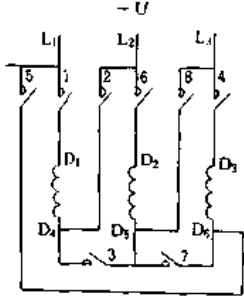
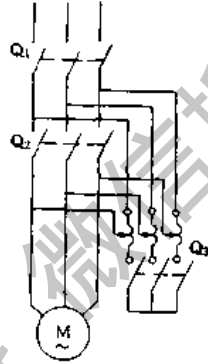
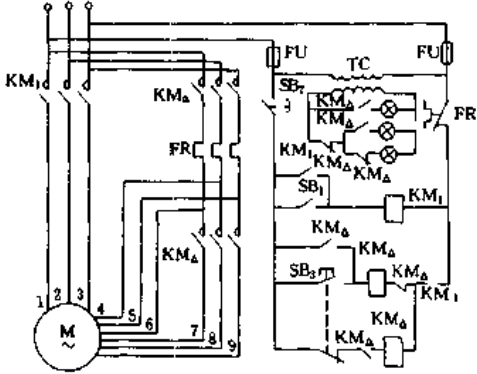
设计代号
C—电磁起动器; J—自耦减压起动器; S—手动起动器;
Z—综合起动器; W—无触点起动器
起 动 器

二、结构及原理

结构及原理见表 8.3.4。

表 8.3.4 起动器的结构及原理

类型	组成的元器件	典型接线图	原 理
全 压 直 接 起 动 器	电磁式不可逆全 压直接起动器: 交流接触器 热继电器 按钮		手动全压直接起动器采用不同外轮廓形状的凸轮或按钮操作的锁扣机构来完成线路的分合动作,并可带有热继电器、失压脱扣器、分励脱扣器

类型	组成的元器件	典型接线图	原 理
星形·三角形起 动器	交流接触器 热继电器 时间继电器 按钮		<p>当触点 1、6、4、3、7 闭合时，电动机定子绕组成星形连接；当触点 5、1、2、6、8、4 闭合，而只有触点 3 和 7 断开时，电动机定子绕组为三角形连接</p>
减 压 起 动 器	交流接触器 热继电器 时间继电器 按钮 自耦变压器		<p>合上开关 Q₃，自耦变压器接成星形，再合上 Q₁，电动机减压起动；当电动机运转到一定转速时，打开 Q₃，合上 Q₂，自耦变压器断开，电动机直接与电源相连并在额定电压下工作</p>
器 延 边 三 角 形 减 压 起 动 器	交流接触器 热继电器 按钮 信号灯 变压器		<p>电动机三个相绕组的出线头编号分别为 A 相 (1、7、4)、B 相 (2、8、5)、C 相 (3、9、6)，其中，端头 7、8、9 为绕组中间抽头。可通过改动接触器的触头，组成 1:1 或 2:1 等不同的抽头比，以获得不同的起动转矩和起动电流比</p>

续表

类型	组成的元器件	典型接线图	原理
无触点起动机	采用抽屉式结构, 内装有快速熔断器、双向晶闸管、印刷电路板和冷却风扇等。面板上有电源、过载、断相(或电流不平衡)等信号灯、过电流动作时间和瞬动倍数旋钮及有关电表		晶闸管 KS_1 和 KS_2 导通时, 电动机正转; KS_3 和 KS_4 导通时, 电动机反转。为了防止转换时发生相间短路, 在触发电路前增设了延时开关电路, 此转换联锁延时约为 60ms
无触点起动机过流断相	电流互感器 电阻 电容 二极管		主回路电流通过由电流互感器和电阻构成的电流-电压变换器转换成电压信号, 然后经整流、滤波变成随主回路电流变化的直流电压。根据此电压的变化就可以判断过载、断相和电流不平衡
电阻或电抗减压起动机	电阻或(电抗)交流接触器 热继电器	<p style="text-align: center;">接线图所示电阻或电抗短接方式的不同而异</p>	在笼型异步电动机的定子绕组接成星形运行的情况下, 起动时将电阻或电抗串联在定子电路中, 以达到减压起动, 限制起动电流的目的, 起动结束后再把电阻或电抗短接, 使电动机在额定电压下正常运行。电阻减压起动比电抗减压起动消耗电能更大些。由于这类起动机在制造和使用中技术经济效果较差, 故其应用逐渐减少

三、选用及维护

1. 选用

选用起动器首先需要决定采用直接全电压起动还是减压起动，如采用后者，则需确定选用哪一种减压起动方式。

① 可根据被控电动机功率与电源容量的比值 K 来决定起动方式：

当 $K < 0.35$ 时，可采用直接全电压起动；

当 $K = 0.35 \sim 0.58$ 时，可采用星形-三角形减压起动；

当 $K > 0.58$ 时，可采用延边三角形变换方式或自耦减压起动。

② 负载性质和对起动电流有无限流要求、负载举例及起动器的选择见表 8.3.5。

表 8.3.5 各种起动器的选择

负载性质	使用要求			负载举例
	限制起动电流	减小起动时对机械的冲击	不要求限制起动电流及起动时对机械的冲击	
要求起动力矩大，力矩增加快的负载				各类机械及农电设备，如电力排灌、潜水泵、扬谷机、脱粒机、粉碎机、碾米机等
无载或轻载起动	星形-三角形起动器 电阻起动器 电抗起动器		全压直接起动器	金属切削机床，圆锯，带有离合器的卷扬机，铰盘和带卸料的破碎机；带离合器的一般纺织和工业机械；电动发电机组
负载转矩与转速平方成正比	自耦减压起动器 延边星形-三角形起动器 电抗起动器			离心泵、叶轮泵、螺旋泵、轴流泵、离心式鼓风机和压缩机、轴流式风扇和压缩机
摩擦负载	延边星形-三角形起动器 电阻起动器 电抗起动器	电阻起动器		水平传送带、活动台车、粉碎机、混砂机、压延机、电动门等
阻力矩小的惯性负载	星形-三角形起动器 延边星形-三角形起动器 自耦减压起动器 电抗起动器			离心式分离机、脱水机、曲柄式压力机
恒转矩负载	延边星形-三角起动器 电阻起动器 电抗起动器	电阻起动器 电抗起动器		往复泵和压缩机、罗茨鼓风机、容积泵，挤压机
重力负载		电抗起动器		卷扬机、倾斜式传送带类机械升降机、自动扶梯类机械
恒重负载		电抗起动器		织机、卷扬机、夹送辊、长距离皮带运输机、链式输送机

③ 各种起动器的起动特性和优缺点，列于表 8.3.6 中。

确定起动方式后，按电动机的额定电流选用起动器的型号、容量等级及过载继电器的整定值或热元件。

④ 起动器与短路保护电器协调配合，起动器通常选用熔断器作为短路保护电器，熔断器应安装在起动器的电源侧，应能分断安装点的预期短路电流，但不应代替起动器去分断正常工作时最大负载电流及以下的电流。因此熔断器和热继电器的两条保护特性的交点应选择适当。

2. 维修

起动器内装的电器元件，其维修可参照各电器元件的有关章节进行。

应按电动机的额定电流调整热继电器的动作电流值，并定期进行校验。

表 8.3.6 各种起动器起动特性及优缺点对比

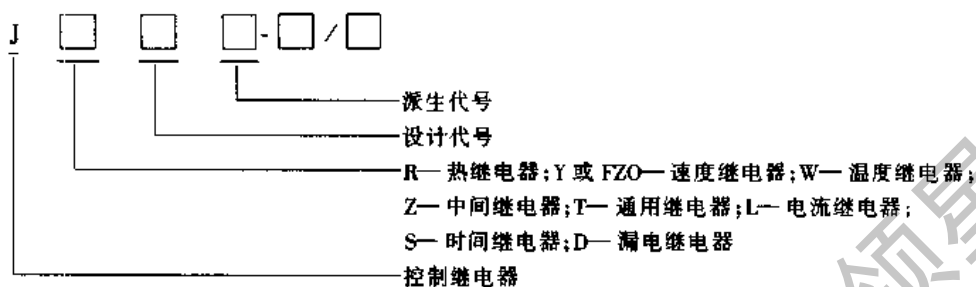
项 目		全压直 接起 动器	减 压 起 动 器									延边星形- 三角形 起动器	
			星形-三 角形起 动器	电抗减压起动器			电阻减压起动器			自耦减压起动器			
				抽 头			抽 头			抽 头			
			50%	65%	80%	50%	65%	80%	50%	65%	80%		
起 动 特 性	起动时电动机端电压	U_e	$0.58U_e$ (相电压)	$0.5U_e$	$0.65U_e$	$0.8U_e$	$0.5U_e$	$0.65U_e$	$0.8U_e$	$0.5U_e$	$0.65U_e$	$0.8U_e$	$(0.7 \sim 0.8)U_e$
	起动时电动机电流	I_d	$0.33I_d$	$0.5I_d$	$0.65I_d$	$0.8I_d$	$0.5I_d$	$0.65I_d$	$0.8I_d$	$0.5I_d$	$0.65I_d$	$0.8I_d$	取 $\sim 0.7I_d$
	起动转矩	M_d	$0.33M_d$	$0.25M_d$	$0.42M_d$	$0.64M_d$	$0.25M_d$	$0.42M_d$	$0.64M_d$	$0.25M_d$	$0.42M_d$	$0.64M_d$	$\sim 0.49M_d$
优 缺 点 对 比	起动过程中电动机端电压	恒定	恒定	随速度增加而较 快增大			随速度增加而稍 加大			恒定			恒定
	起动电流	最大	小	在相同的起动电 流下起动转矩较自 耦减压起动器小			在相同的起动电 流下转矩较自耦减 压起动器小			即使起动电流较 小也能获得较大的 起动转矩			中等
	起动转矩	最大	小	在相同的起动电 流下转矩较自耦减 压起动器小			在相同的起动电 流下转矩较自耦减 压起动器小			即使起动电流较 小也能获得较大的 起动转矩			较小
	起动对电源电压的影响	最大	小	一般			一般			较小			较小
	起动时对机械的冲击	最大	小	较小			较小			较小			较小
	起动过程中力矩变化情况	得到充分 加速力矩	力矩增 加不大	力矩增加较快			随速度增加 而稍加大			力矩有增加			力矩有增加
	最大转矩	大	较小	较大			一般			一般			一般
	电动机起动时间	最短	较长	较短			较长			较短			较短
	线路复杂性	最简单	简单	较复杂			较复杂			最复杂			复杂
	价格	最便宜	便宜	较贵			较贵			最贵			一般

获取更多资料 微信搜 59696162

第四章 控制电路电器

第一节 控制继电器

一、型号含义



二、结构及原理

双金属片式热继电器是利用膨胀系数各异复合在一起的双金属片，在受热时弯曲而去推动触头动作的。其典型结构原理见图 8.4.1。

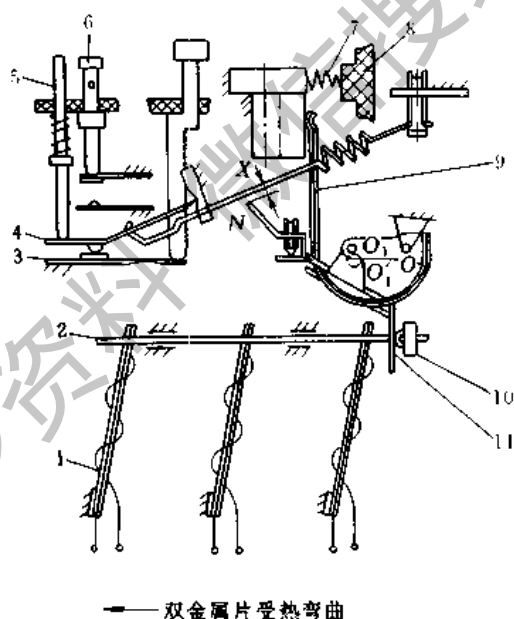


图 8.4.1 双金属片热继电器结构原理图

1—主双金属片; 2—导板; 3,4—常闭触头; 5—动作指示器; 6—复位按钮; 7—拉簧;
8—旋钮; 9—补偿双金属片; 10—推杆; 11—杠杆

热继电器接入被保护电动机的主电路中，当电动机过载时，主双金属片 1 受热弯曲，推动导板 2，并通过推杆 10 和杠杆 11 顶动拉簧 7，使常闭触头 3、4 断开，分断交流接触器的线圈电路，使电动机断电，避免过载烧毁。当电动机发生断相运转时，通过差动导板及推杆 10 的差动放大作用，加速了热继电器的动作，达到断相保护。热继电器动作后，动作指示器 5 弹出作动作的显示，经过一定时间冷却后即可自动复位，也可通过复位按钮 6 实行手动复位。热继电器的整定电流值可通过调节旋钮 8 进行调整。补偿双金属片 9 能使热继电器的动作特性基本上不受周围空气温度在正常使用范围内变化时的影响。

三、选用、使用及维护

继电器的选用、使用及维护见表 8.4.1。

表 8.4.1 继电器的选用、使用及维护

类型	选 用	使用及维护	常见故障及修理方法		
热 继 电 器	<p>① 类型选择 一般情况下, 可选用两相结构的热继电器。但当电压的三相均衡性较差, 工作环境恶劣, 或较少有人照管的电动机, 最好选用带断相保护装置的热继电器</p> <p>② 热继电器额定电流选择 热继电器的额定电流应大于电动机额定电流</p> <p>③ 热元件额定电流的选择和整定 热元件的额定电流应略大于电动机额定电流。当电动机起动电流为其额定电流的 6 倍及起动时间不超过 5s 时, 热元件的整定电流调节到等于电动机的额定电流; 当电动机的起动时间较长, 拖动冲击性负载或不允许停车时, 热元件整定电流调节到电动机额定电流的 1.1 ~ 1.15 倍</p>	<p>① 热继电器安装接线时, 应清除触头表面污垢, 以避免电路不通或因接触电阻太大而影响热继电器的动作性能</p> <p>② 如电动机起动时间过长或操作次数过于频繁, 将会使热继电器误动作或烧坏热继电器, 故一般不用热继电器作过载保护; 如仍用热继电器, 则应在热元件两端并一副接触器或继电器的常闭触头, 待电动机起动完毕, 使常闭触头断开, 热继电器投入工作</p> <p>③ 热继电器周围介质的温度, 原则上应和电动机周围介质的温度相同。否则, 势必破坏已调整好的配合情况。当热继电器与其他电器安装在一起时, 应将它安装在其他电器的下方, 以免其动作特性受到其他电器发热的影响</p> <p>④ 热继电器出线端的连接导线不宜太粗, 也不宜过细。如连接导线过细, 轴向导热性差, 热继电器可能提前动作; 反之, 连接导线太粗, 轴向导热快, 热继电器可能滞后动作。一般规定: 额定电流为 10A 的热继电器, 宜选用 2.5mm² 的单股塑料铜芯线; 额定电流为 20A 的热继电器, 宜选用 4mm² 的单股塑料铜芯线; 额定电流为 60A 的热继电器, 宜选用 16mm² 的多股塑料铜芯线; 额定电流为 150A 的热继电器, 宜选用 35mm² 的多股塑料铜芯线</p>	热继电器误动作或动作太快	<p>① 整定电流偏小</p> <p>② 电动机起动时间过长</p> <p>③ 操作频率过高</p> <p>④ 受强烈的冲击振动</p> <p>⑤ 环境温度变化太大</p> <p>⑥ 连接导线太细</p>	<p>① 调大整定电流</p> <p>② 选择具有合适的可返回时间的热继电器或起动时将热继电器短接</p> <p>③ 调换热继电器或限定操作频率, 也可改用电流继电器</p> <p>④ 选用带防冲击装置的热继电器</p> <p>⑤ 按要求配置适当的热继电器, 或使周围介质温度在 30 ~ 40℃ 之间</p> <p>⑥ 选用标准导线</p>
			热继电器不动作	<p>① 整定电流偏大</p> <p>② 热元件烧断或脱焊</p> <p>③ 动作机构卡死</p> <p>④ 导板脱出</p>	<p>① 调小整定电流</p> <p>② 更换热元件或热继电器</p> <p>③ 进行维修调整, 但维修后不能使特性发生变化</p> <p>④ 将导板重新放入, 并试验动作是否灵活</p>
			热元件烧断	<p>① 负载侧短路或电流过大</p> <p>② 反复短时工作, 操作频率过高</p>	<p>① 排除故障, 调换热继电器</p> <p>② 限定操作频率或调换合适热继电器</p>
			主电路不通	<p>① 热元件烧毁</p> <p>② 接线螺钉未拧紧</p>	<p>① 更换热元件或热继电器</p> <p>② 拧紧接线螺钉</p>
		控制电路不通	<p>① 触头烧坏或动触片弹性消失</p> <p>② 可调整式转到不合适的位置</p>	<p>① 修理触头或触片</p> <p>② 调整旋钮或调整螺钉</p>	

类型	选用	使用及维护	常见故障及修理方法		
时间继电器	根据延时方式、触头数量、延时范围、操作频率及工作电压来选择	① 应经常清除时间继电器上面的灰尘和油污, 否则延时误差将增大 ② JS7-A 系列时间继电器只要将线圈转 180°, 即可将通电延时改成断电延时 ③ JS7-A 系列时间继电器由于无刻度, 故不能准确地调整延时时间 ④ JS11-□1 系列通电延时继电器, 必须在分断离合器电磁铁线圈电源时才能调节延时值; 而 JS11-□2 型断电延时继电器, 必须在接通离合器电磁铁线圈电源时才能调节延时值	延时触头不动作	① 电磁铁线圈断线 ② 电源电压低于线圈额定电压很多 ③ 电动式时间继电器的同步电动机线圈断线 ④ 电动式时间继电器的棘爪无弹性, 不能刹住棘齿 ⑤ 电动式时间继电器游丝断裂	① 更换线圈 ② 更换线圈或调高电源电压 ③ 调换同步电动机 ④ 调换棘齿 ⑤ 调换游丝
			延时时间缩短	① 空气阻尼式时间继电器的气室装配不严, 漏气 ② 空气阻尼式时间继电器的气室内橡皮薄膜损坏	① 修理或调换气室 ② 调换橡皮薄膜
			延长时间变长	① 空气阻尼式时间继电器的气室内有灰尘, 使气道阻塞 ② 电动式时间继电器的传动机构缺润滑油	① 清除气室内灰尘, 使气道畅通 ② 加入适量的润滑油
过电流继电器	① 过电流继电器线圈的额定电流一般可按电动机长期工作的额定电流来选择。对于频繁起动的电动机, 考虑起动电流在继电器中的热效应, 额定电流可选大一级 ② 过电流继电器的整定值一般为电动机额定电流 1.7 ~ 2 倍, 频繁起动场合可取 2.25 ~ 2.5 倍	① 安装前检查额定电流及整定值是否与实际使用相符 ② 安装后应在主触头不带电情况下, 使吸引线圈带电操作几次, 看继电器动作是否可靠 ③ 定期检查电器各部件有否松动及损坏现象, 并保持触头的清洁和接触可靠	过电流继电器的常见故障及修理方法同接触器类似		

四、常用热继电器的主要技术数据

常用热继电器的主要技术数据列于表 8.4.2。

表 8.4.2 常用热继电器的主要技术数据

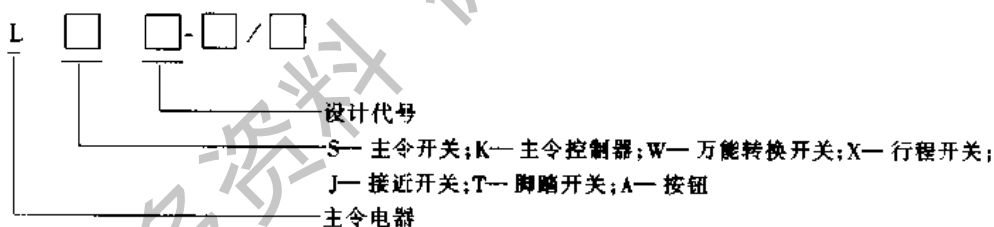
型号	额定电压 /V	额定电流 /A	热元件		断相保护	温度补偿	复位方式	控制触点数	机械寿命/次	
			档数	整定电流范围 /A					电寿命/次	
JR9	660	310	3	24 ~ 310	有	有	手动, 自动	1 常开, 1 常闭	—	
JR15	380	10	10	0.25 ~ 11	无	有	手动, 自动	1 常开 1 常闭	1000	
		40	5	6.8 ~ 45						
		100	3	32 ~ 100						
		150	2	68 ~ 150						
JR16	380	20	12	0.25 ~ 22	有	有	手动, 自动	1 常开 1 常闭	1000	
		60	4	14 ~ 63						
		150	4	40 ~ 160						

续表

型号	额定电压/V	额定电流/A	热元件		断相保护	温度补偿	复位方式	控制触点数	机械寿命/次
			档数	整定电流范围/A					电寿命/次
JR20	660	10	15	0.1~11.6	有	有	手动, 自动	1常开, 1常闭	3000
		16	6	3.6~18					
		63	6	16~71					
		160	9	33~176					
		250	2	130~250					
		400	2	200~400					
JRS (西门子 3UA 系列)	660	14.5	18	0.1~14.5	有	有	手动, 自动	1常开, 1常闭	10000 5000
		25	18	0.1~25					
		36	6	4~36					
		63	24	0.1~63					
JR□ (德国 BBC 公司 T 系列)	660	16	22	0.11~17.6	有	有	手动, 自动	1常开 1常闭	—
		25	22	0.17~35					
		45	22	0.25~45					
		85	8	6~100					
		105	5	36~115					
		170	3	90~200					
		250	3	100~400					
370	4	100~500							
KTD (德国 西屋-芬纳尔)	500	23	12	0.2~23	有	有	手动, 自动	1常开 1常闭	—

第二节 主令电器

一、型号含义



二、结构及原理

主令电器的典型结构及原理见表 8.4.3。

表 8.4.3 主令电器的结构及原理

类型	典型结构	原理
按钮	<p>1—按钮帽; 2—复位弹簧; 3—常闭触头; 4—常开触头</p>	<p>当按下按钮帽时, 先断开常闭触头, 后接通常开触头; 当松开按钮帽时, 复位弹簧便将按钮的触头复原</p>

类型	典型结构	原理
转换开关	开关由接触系统、操作机构、转轴、手柄、定位机构等主要部件组成,接触系统由许多接触元件组成,定位机构采用滚轮卡、棘轮辐身结构	通过凸轮外缘缺口的不同形状来实现不同的定位角度和满足各种线路的控制要求
主令控制器	传动机构部分 凸轮和触头系统部分 壳体部分	传动部分装在箱体上部,由操作柄传动凸轮轴触头组按规定程序分合
行程开关	按使用方式分为杆式和旋转式,由触头系统、传动系统与外壳三部分组成	触头的分断靠操作机构带动凸轮轴的转动来实现,以输出信号达到控制机构行程的目的

三、选用、使用及维护

主令电器的选用、使用及维护见表 8.4.4。

表 8.4.4 主令电器的选用、使用及维护

类型	选用	使用维护	常见故障及修理		
			故障原因	产生原因	修理方法
按钮	① 根据使用场合选用型号和形式。铸工车间及电动葫芦均不宜用 LA18、LA19 ② 根据用途选用合适的形式 ③ 按工作状态批示和工作情况要求,选用按导的颜色 ④ 按控制回路数确定具体数量	① 由于按钮的触头间距较小,应经常保持触头间清洁,以防发生短路事故 ② 安装时多加一个紧固圈,在接线螺钉处加套绝缘塑料管,以防按钮按油,接线螺钉间相碰短路 ③ 通电时间较长,不宜用带批示灯的按钮	按下起动按钮时有触电感觉	① 按钮金属外壳与导线接触 ② 按钮帽的缝隙间充满铁屑,使其与导电件形成通道	① 检查按钮连接导线 ② 清扫按钮
			停止按钮失灵,不能断开电源	① 接线错误 ② 线头松动或搭连在一起 ③ 铁尘过多或油污使停止按钮两常闭触头形成短路 ④ 胶木烧焦短路	① 更改接线 ② 检查停止按钮处连接 ③ 清扫按钮 ④ 调换按钮
			按下停止按钮再按起动按钮,被控电器不动作	① 被控电器各故障 ② 停止按钮的复位弹簧损坏 ③ 按钮接触不良	① 检查被控电器 ② 调换复位弹簧 ③ 清洗按钮触头
转换开关	① 按额定电压和工作电流等选用 ② 按操作需要选定手柄型式和定位特征 ③ 按控制要求确定触头数量和接线图 ④ 选择面板形式及状态	① 安装前揩去触头盒和外露触头表面的尘埃 ② 一般水平安装在屏上,但也可做斜或垂直安装 ③ 当开关故障时,必须立即切断电源,检验弹簧有无变形或失效,触头工作状态和触头状况是否正常	手柄转动 90°后,内部触头未动	① 手柄上的三角形或半圆形磨成圆形 ② 操作机构损坏 ③ 绝缘杆变形(由方形磨成圆形) ④ 轴与绝缘杆装配不紧	① 调换手柄 ② 修理操作机构 ③ 更换绝缘杆 ④ 紧固轴与绝缘杆
			手柄转动后,静动触头不能同时接通或断开	① 开关型号不对 ② 触头角度装配不正确 ③ 触头失去弹性或有尘污	① 更换开关 ② 重新装配 ③ 更换触头或清除尘污
			开关接线相间短路	铁屑或油污附在接线柱间形成导电层,将胶木烧焦,绝缘破坏,形成短路	清扫开关或调换开关

续表

类型	选用	使用维护	常见故障及修理		
			故障原因	产生原因	修理方法
行程开关	① 按应用场合及控制对象选 ② 按安装环境选防护形式 ③ 按控制回路电压、电流及触头数量选 ④ 按机械与行程开关的传力与位移关系选合适的头部形式	① 安装时位置要准确, 否则不能达到行程控制和限位控制的目的 ② 定期清扫开关, 以免触头接触不良	挡铁碰撞位置开关触头不动作	① 位置开关安装不对, 离挡铁太远 ② 触头接触不良 ③ 触头连接线松脱	① 调整位置开关位置或挡铁位置 ② 清洗触头 ③ 紧固直接线
			位置开关离位后, 常闭触头不闭合	① 触头被杂物卡死 ② 动触头脱落 ③ 弹簧弹力减退或卡死 ④ 触头偏斜	① 清扫开关 ② 装配动触头 ③ 更换弹簧 ④ 调整触头
			杠杆已偏转, 但触头不动作	① 位置开关位置太低 ② 位置开关内机械卡阻	① 位置开关调高 ② 清扫开关
主令控制器	① 根据使用环境, 室内用防护式, 室外用防水式 ② 电路数及操作档位控制电路数选择 ③ 减速器传动比选择	① 安装前细查产品铭牌上的技术数据与所选的规格是否一致 ② 安装前应操作手柄不少于 5 次, 有否卡轧现象, 触头的开闭顺序是否符合要求 ③ 应按图接线, 检查无误才能通电 ④ 清除控制器内灰尘, 活动部分定期加润滑油 ⑤ 不使用时, 手柄应停在零位	触头过盐或烧毁	① 电路电流过大 ② 触头压力不足 ③ 触头表面有油污 ④ 触头超行程过大	① 选用容量较大的主令控制器 ② 高速或更换触头弹簧 ③ 清洗触头 ④ 更换触头
			手柄转动失灵	① 定位机构损坏 ② 静触头的固定螺钉松脱 ③ 控制器落入杂物	① 修理或更换定位机构 ② 紧固螺钉 ③ 清除杂物

四、常用主令电器的主要技术数据

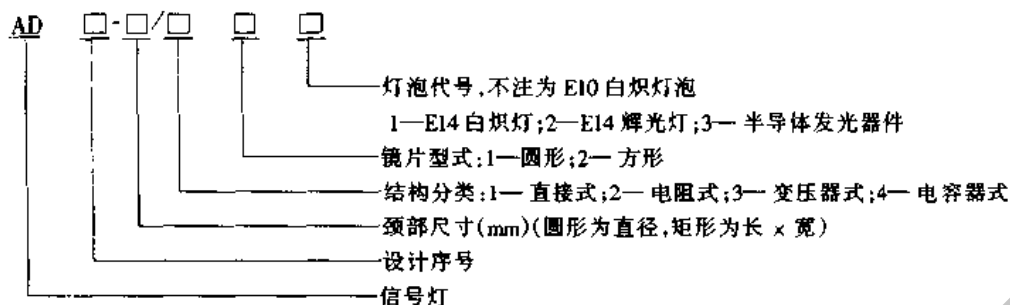
常用主令电器的主要技术数据列于表 8.4.5。

表 8.4.5 常用主令电器的主要技术数据

型号	额定工作电源/V	额定工作电流/A	使用类别	电寿命/万次	机械寿命/万次
LK18	AC: 380	2.6、4.5	AC11	100	150
	DC: 220	0.4、0.8	DC11	60	
LW15-10	DC: 220	10	单相 AC-1, AC-21	AC-1, AC-21 AC-11, AC-23 20	60
		4	AC-11		
LW15-16	AC: 380	16	单相 AC-1, AC-21	AC-3:3	
		6	AC-11	AC-4:1 CD-11:6	
LX33	DC: 220	3	AC-11	20	100
	AC: 380	0.5	DC-11		
LT3	DC: 220	3	$1.1I_e, 1.1U_e, \cos\varphi = 0.7$		
	AC: 380	0.5	$1.1I_e, 1.1U_e, IP = 300$		
LA25	AC: 220	4.5	AC-11	10~50	10~100
	AC: 380	2.6	AC-15		
	DC: 110	0.6	DC-11	10~25	
	DC: 220	0.3	DC-11		

第三节 信号灯

一、型号含义



二、结构及原理

信号灯一般均采用塑料外壳, 其发光器件为白炽灯或氖氙辉光灯或发光二极管(LED)。结构形式有变压器降压式、电阻器降压式、直接式、电容器式等, 电阻器和变压器安装在外壳中, 采用接触式接线方式。在电气线路中, 具有节电、新颖、美观、清晰、可靠、安全等特点, 作为各种灯光指示信号、预告信号、事故信号及其他指示信号之用。

三、选用、使用及维修

1. 选用

- ① 信号灯的额定电压应高于线路工作电压。
- ② 根据使用场合安装条件要求选用合适的结构形式的型号产品。
- ③ 根据工作状态指示和工作情况要求选用信号灯的颜色。

2. 使用维修

- ① 信号灯的安裝一般是由灯配的塑料螺母拧紧固定, 因此不可用力过大, 以免塑料开裂。在拧紧螺母时特别是方形镜片灯, 务请把灯装端正。
- ② 信号灯一般都外露在箱体表面, 因此操作及运输中要多加注意, 以免损坏, 弄碎灯的镜片。

四、常用信号灯的主要技术数据

常用信号灯的主要技术数据列于表 8.4.6。

表 8.4.6 常用信号灯的主要技术数据

型 号	额定电压/V	电源种类	灯头型号			信号灯颜色
AD1-22/31, -25/31, -30/31	110, 220	AC	XZ8-1W			红, 黄, 绿, 蓝, 白, 无色透明
AD1-22/32, -25/32, -30/32	380	50Hz	E10/13			
AD1-22/21, -25/21, -30/21	110, 220	AC	XZ60-1.6W			
AD1-22/22, -25/22, -30/22		DC	E10/13			
AD0-0, AD0-1, (XD0, XD1)	6, (6, 3), 12	AC DC	E10/13			红, 黄, 蓝, 绿, 无色透明
AD0-11, AD0-12(XD11, XD12)	6, (6, 3), 12, 24					
AD0-2, AD0-9(XD2, XD9)	24, 36, 48, 110, 127	AC DC	E14/25-2			红, 黄, 蓝, 绿, 无色透明
AD0-10	220					
AD11-25/20 ~ 21-1G	DC: 6.3 ~ 110, 220	AC DC	外形	安装方式	颈部尺寸/mm	红, 黄, 绿, 白, 橙
AD11-25/40 ~ 41-1G	AC: 220, 380		球、圆	固定式	φ25	
		球、圆				
AD11-25/22, 24-2G	DC: 6.3, 12, 24, 48, 110, 270, 380	AC DC	正、长方形	固定式	φ25	
AD11-25/42, 44-2G	AC: 220, 380		正、长方形			

第五章 终端电器

终端电器是指装于电路末端的电器，用于对电路和用电设备进行配电、控制、保护、调节、报警等。其额定电压一般为 220、380V，额定电流一般为 32A 及以下，最大为 100A。

模数化终端组合电器是指用于电力线路末端，由模数化电器以及它们之间的电气、机械联结和防护外壳等构成的组合体。组合电器的最大额定电流一般为 250A。

终端电器使用面极广，遍及工业、商业和家庭。

第一节 模数化终端电器

一、型号、含义



设计序号(30:模数化终端电器)

终端电器名称:HL—隔离开关;HG—熔断器式隔离器;

HH—开关熔断器组;RT—有填料圆管式熔断体;

AC—插座;DZ—断路器;DZL—漏电断路器;

AG—过电压保护器;AD—信号灯;

AV—指针式电流表;AA—指针式电压表;

LW—旋转式转换开关;EV—数字式电压表;

EA—数字式电流表;TC—电子调速、调光器;

LZ—控制开关;LA—按钮

二、结构特点 (见表 8.5.1)

表 8.5.1 结构特点

型号名称	结构特点
HL30 隔离开关	<ol style="list-style-type: none"> ① 操作机构为弹簧储能快动结构，动触头开闭状况通过与手柄的刚性联结，由指示器直接显示 ② 触头为单断点，栅片灭弧，动触头导体采用双回路并行导电体，采用轴承导电而省略软连接并提高动稳定性
HG30 熔断器式隔离器	<ol style="list-style-type: none"> ① 由底座、手柄、插座、凸轮、接触桥、弹簧等组成 ② 熔断器放置在手柄内，并随手柄一起旋转作为隔离器相线的动触头。手柄处在打开位置时，相线断、中线也同时断开，可安全可靠地更换熔断体 ③ 氖灯和电阻组成了隔离器的熔断信号装置
HH30 开关熔断器组	<ol style="list-style-type: none"> ① 由双断点桥式触头和熔断体两个主要部分组成。适装的熔断体为 RT30 系列 ② 熔断体熔断后，在正面即有指示，不同额定电流的熔断体可配以不同螺纹的旋柄，以防家庭用户装错 ③ 32A 级熔断体安装旋柄除适装 RT30~32A 外，也可装 RT14~32A 熔断体，此时 2~32A 熔断体均可装于其熔管内，尺寸一样，可适于工业用
AV30 AA30 模数化指针式 电压表、电流表	<ol style="list-style-type: none"> ① 外壳采用海灰色阻燃优质工程塑料 ② 仪表表盖采用高强度、高透明材料 ③ 仪表的零位校正螺钉设在仪表正面，使用更为方便、可靠
LW30 模数化旋转式 转换开关	<ol style="list-style-type: none"> ① 外壳采用优质阻燃工程塑料 ② 操作系统由方型面板和手柄组成。面板上印有指示手柄操作位置的标志
EV EA 模数化数字式电 压表、电流表	<ol style="list-style-type: none"> ① 外壳采用海灰色阻燃工程塑料 ② 采用电子式结构，数字显示，读数方便、直观 ③ 表盖采用高强度、高透明工程材料

型号名称	结构特点
TC2 新型模数化电子调速、调光器	① 外壳采用优质阻燃工程塑料 ② 优化结构与传统产品相比体积小, 仅1个回路 ③ 手柄上下运动, 三档控制操作方便, 标志清晰
LZ30、LA30、AD30B系列模数化控制开关按钮、信号灯	① 外壳采用优质阻燃工程塑料 ② 外壳防护等级为IP20, 人手指不能触及带电部件, 使用安全 ③ 控制开关、按钮、信号灯采用同一外形基座
AC30 改模数化插座	① 外壳采用优质阻燃工程塑料 ② 插座采用专利结构, 确保接触的可靠 ③ 安装卡板弹性材料采用高强度优质弹簧钢丝, 使产品安装更稳定、可靠 ④ 采用增大新型插座接线窗口, 接线更方便
C45EIM 电磁式 C45ELE 电子式漏电断路器	在 C45N 系列断路器基础上, 增加一个可加装在 C45N 或 C45AD 断路器上的漏电附件 Vigi, 便组成漏电断路器 漏电断路器 = 断路器 + 漏电附件 电磁式为: C45N-1 ~ 40A/1 (照明型) ~ 4P + VigiC45ELM2 ~ 4P C45N-50 ~ 63A/1 ~ 4P + VigiC63 ELM2 ~ 4P 电子式为: C45N-1 ~ 40A/1 (照明型) ~ 4P + VigiC45ELE2 ~ 4P 电磁式为: C45AD-1 ~ 40A/ (动力型) 1 ~ 4P + VigiC45ELM2-4P 电子式为: C45AD-1 ~ 40A/ (动力型) 1 ~ 4P + VigiC45ELE2-4P 所有 VigiC45/C63ELM 型附件都装有滤波装置, 漏电附件正面有用于脱扣指示的红色标志。额定漏电动作电流 30mA, 带夹箍的接线端子, 可连接 10 ~ 25mm ² 硬电缆
DPN Vigi 民用漏电保护断路器	具有漏电、过载、短路保护功能。体积小, 仅为 2 极开关 + 2 极漏电附件体积的一半。P (相线)、N (零线) 同时切断可有效防止因接线错误及系统故障而产生的意外事故。价格低廉, 更加经济实用

三、常用模数化终端电器的主要技术数据 (见表 8.5.2 至表 8.5.4)

表 8.5.2 常用模数化终端电器的主要技术数据 (一)

型号	额定电压/V	额定电流/A	额定熔断短路电流/kA	额定通断能力	电寿命/次	机械寿命/次	备注
HL30	380	16, 32, 63, 100	20	$1.1I_n, 3I_n$, $\cos\varphi = 0.65$	1500	10000	
HG30-16	220	10, 16	6			3000	
HG30-32	380	20, 32	20				
HG30-63	380	63					
HH30	220, 380	16, 32	220V: 6 380V: 20	220V: $3I_n$ 380V: $3I_n$		> 20000 (机电寿命)	
C45N-1 ~ 40A/1 ~ 4P + VigiC45ELM2 ~ 4P	240/415	1, 3, 6, 10, 16 20, 25, 32, 40	6			20000	C形曲线 (5 ~ 10) I_n
C45N-50 ~ 63A/1 ~ 4P + VigiC63ELM2 ~ 4P	240/415	50, 63	220V: 1P—4.5 380V: 2 ~ 4P—4.5			20000	瞬脱
C45N-1 ~ 40A/1 ~ 4P + VigiC45ELE2 ~ 4P	240/415	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	6			20000	
C45AD-1 ~ 40A/1 ~ 4P + VigiC45ELE2 ~ 4P	240/415	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	220V: 1P—4.5 380V: 2 ~ 4P—4.5			20000	D形曲线 (10 ~ 14) I_n
C45AD-1 ~ 40A/1 ~ 4P + VigiC45ELE2 ~ 4P	240/415	1, 3, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	220V: 1P—4.5 380V: 2 ~ 4P—4.5			20000	瞬脱
DPNVigi	220/240	3, 4, 6, 10, 16, 20	4.5			20000	C形曲线 (5 ~ 10) I_n 瞬脱

表 8.5.3 常用模数化终端电器的主要技术数据(二)

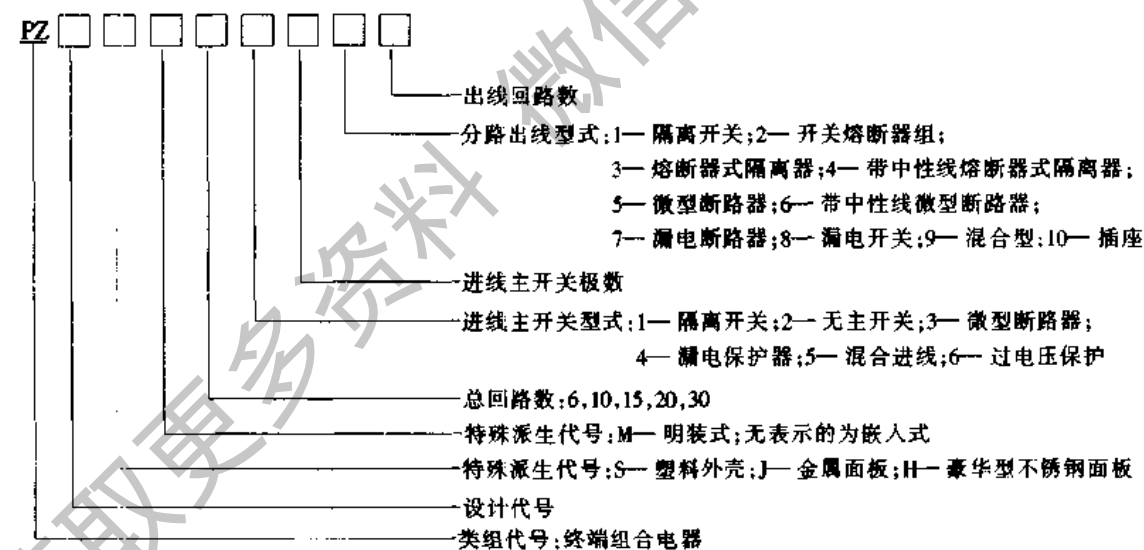
型号	量程	接通方式	准确度	备注
AV30	0~380V, 0~500V	直接接通	1.5级	符合 GB 7676 标准
AA30	0~5A, 0~50A, 0~60A, 0~80A, 0~150A 0~200A, 0~250A, 0~300A, 0~400A	使次级电流为 5A 的电流互感器		
EA	0~500V	直接接通	1.0(±1个字)	额定功耗 ≤3VA
EA	0~100A 0~400A			

表 8.5.4 常用模数化终端电器的主要技术数据(三)

型号	额定电压/V	额定电流/A	使用类别	符合标准	备注
LW30	220, 380	10	AC-13	GB/T 14048.1 及 GB 40485	
TC2	220	—		GB/T 14048.1 及 GB 3380	输出功率 100W, 四档调节, IP20
LZ30	220, 380	16		GB/T 14048.1	IP20
LA30	220, 380	10A	AC12	GB/T 14048.5	
LA30		0.33A	AC14		
		0.47A	AC15		
AD30B	220, 380	—		JB/T 7121	
AC30-10, 16/2, 3	220	10, 16		GB 1002, 1003	操作寿命 5000 次, IP20
AC30-16, 25/4	380	16, 25		GB 2099	

第二节 终端组合电器

一、型号含义



二、结构及原理

终端组合电器由门、上盖、预埋箱、安装轨、导电排、接线座、护线罩和电器开关元件等结构部件组成。箱内采用阶梯形母排结构，多种接地严格分开，内装电器开关元件全部采用宽度为 9mm 模数的电器，安装于顶帽形轨道上，可根据需要任意组合，拆装迅速方便。开关元件手柄外露，带电及其他部分遮盖于上盖内部，打开门可方便操作，箱体上下、左右及背后均设置进出线孔，接线方便，既可用于明装式，又可用于暗装式，使用安全可靠。图 8.5.1 所示为 PZ28 模数化住宅组合电器。

终端组合电器主要用于末端电路中，具有对用电设备进行控制、配电，对线路的过载、短路、漏电、过电压起保护作用等功能。

终端组合电器的结构主要具有以下特点：尺寸模数化，组合灵活化，功能多样化，造型艺术化，安装轨道化，使用安全化。

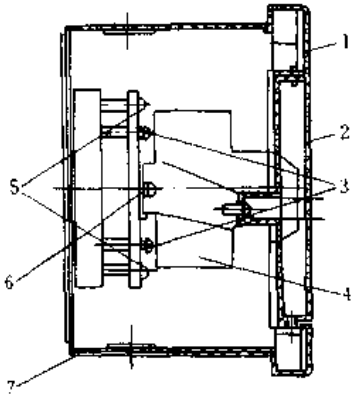


图 8.5.1 模数化住宅组合电器

1—上盖；2—门；3—调整螺钉；
4—电器开关元件；5—紧固螺钉；
6—安装轨；7—预埋箱

三、选用、使用及维护

1. 选用

① 根据使用场合要求，确定组合方案，从而选择外壳容量，按防护等级、安装类别选用终端组合电器。

② 按负载电流选择出线元件的额定电流，按负载额定电流出线路数，确定进线元件额定电流。

③ 按用途容量选用元器件的型号、规格、极数。

④ 用户对终端组合电器的特殊要求，如外壳上盖材料与颜色，开门方式，安装型式，是否要预埋箱等，均可同制造厂协商解决。

2. 使用及维护

① 暗装式组合电器的安装，应先将预埋箱直接砌于墙内，埋前根据需要将预埋箱上的敲落孔敲穿，把预埋墙体中的电线管口引至预埋箱敲落孔上，要求预埋箱与墙体粉刷层平齐，再把骨架整体装入预埋箱中。

② 在预埋箱埋设施工过程中，难免出现预埋箱埋设过深或过浅的现象（即出现开关高于壳盖窗口、或低于壳盖窗口），P228 系列产品在设计时充分考虑到了这一点，如果开关高于壳盖窗口，就松开紧固螺钉，逆时针旋动调整螺钉；如果开关低于壳盖窗口，就顺时针旋动，直至调妥为止，然后再拧紧紧固螺钉即可。

③ 明装式组合电器安装时，直接将壳体固定在墙面上即可。

④ 组合电器安装完毕后，应对电器元件进行试操作，各个元件外观应无损坏，操作机构灵活，无卡死和滑扣现象，组合电器通电后还应操作漏电保护开关的试验按钮，试跳应动作可靠。

⑤ 断路器、漏电保护开关、熔断器等元件故障分断后，应找出故障原因，排除故障后，方能合闸使用。

⑥ 组合电器应由专业熟练人员进行定期检修。当熔断器发生故障时，应及时换上适量电流的熔体相配，不能随意配上电流不符的熔体。断路器非正常突然分断时，首先应检查线路有无问题，其次检查断路器，如确系断路器问题，应及时换上同型号的产品（此微型断路器属不可维修型）。

四、常用终端组合电器主要技术数据

常用终端组合电器的主要技术数据见表 8.5.5。

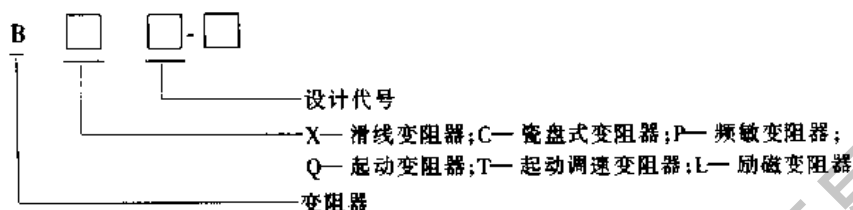
表 8.5.5 常用组合电器的主要技术数据

型号	额定电压/V	单排负载总电流/A		总单元数	额定短路电流 分断能力/kA	外壳防 护等级
		单相	三相			
PZ20	220,380	100	32,63	金属外壳: 6,10,15,30,45 全塑外壳: 2,4,6,10,12,15,18,24,36	20	IP30 IP41
PZ25	220,380	100 63		6,10,15,20,30	20	IP40
PZ28	220,380			6,10,15	20	
PZ30	220,380	100	32,63	金属外壳: 6,10,15,30,45 全塑外壳: 2,4,6,10,12,15,18,24,36	20	IP30 IP41

第六章 辅助电器和其他低压器件

第一节 变阻器

一、型号含义



二、结构及原理

变阻器主要由转换机构和电阻元件组成。变阻器的转换机构按其结构可分为滑线转换机构、刀开关转换机构和逐级步进式转换机构。

频敏变阻器的结构比较特殊，类似一个铁损很大的电抗器，由铁芯和线圈两大部分组成。铁芯结构形式有叠片式、方柱式、钢管式和由方钢组成的铁芯柱等。上下磁轭也有整块式、叠片式或混合式等多种。

绕组的结构形式有单绕组式、绕组加感应线圈式和绕组加多层短路环等，绕组还可设置抽头。根据铁芯和绕组结构的不同，其性能也各异。为适应不同的起动特性，铁芯的气隙通常做成可调式。单绕组式频敏变阻器，有时为了便于调整，其绕组还设置有抽头，例如在总圈数的90%、80%、70%引出抽头。三相线圈的六个出线头，一般上面三个接至电动机转子回路，下面三个则接在一起构成星形接法的中心点，有时也可接成三角形。

三、选用、使用及维护

1. 选用

选用频敏变阻器时必须考虑到生产机械的起动负载特性和操作频繁程度。

生产机械起动负载特性可分为轻载和重载起动两种。空压机、冷冻机、机床、水泵、风机等起动属于轻载起动；真空泵、破碎机、球磨机、皮带机等起动属于重载起动。

操作频繁程度可分为偶尔起动和频繁起动两大类。空压机、冷冻机、泵类等属于偶尔起动；辊道、轧机辅助设备、桥式起重运输机的平移机构和回转机构等属于频繁起动。

频敏变阻器的选用参见表 8.6.1。

表 8.6.1 频敏变阻器的选用

适用的频敏变阻系列		负载特性	
		轻 载	重 载
频繁程度	偶 尔	BP1, BP2, BP4	BP4G, BP6
	频 繁	BP1, BP2, BP3	—

2. 使用及维护

- ① 频敏变阻器应牢靠地固定在基础上，若基础为铁磁物质，则应垫放厚度不小于 10mm 的非磁性垫片。
- ② 测量线圈对地绝缘电阻，若小于 $1M\Omega$ ，则应进行烘干处理。
- ③ 调试时电动机起动就跳闸或起动电流太大，起动太快，对生产机械的冲击过大，可调整如下：
 - a. 改用较多匝的线圈抽头；
 - b. 如绕组为多组并联，可拆掉一组，甚至改为串联；
 - c. 如绕组仅有一组，且已用到最多匝数，而线圈还绕得下，则可用相应规格的导线在原线圈上再增绕数匝。
- ④ 电动机起动不起来，起动电流太小，或虽可起动，但不能稳定转动，可调整如下：
 - a. 改用较少匝数的线圈抽头；

- b. 绕组由Y改为 Δ 连接；
c. 绕组仅有一组，且匝数已用到最少，起动力矩还太小，而由Y改为 Δ 连接后力矩又太大，则可增加上下铁芯的气隙。

⑤ 刚启动时启动转矩太大，启动后稳定转速太低。可调整如下：

- a. 增加线圈匝数；
b. 增加上下铁芯的气隙；
c. 改变铁芯的片数，使几组频敏变阻器不平衡运行，可灵活地调整试用。

⑥ 长期不用或使用一年后，应对其进行维护：

- a. 检查线圈对地的绝缘电阻应不小于 $1M\Omega$ ；
b. 如线圈松动或绝缘有破坏，应将线圈固牢和加强绝缘电阻。

四、常用变阻器的主要技术数据

常用变阻器的主要技术数据列于表 8.6.2 和表 8.6.3。

表 8.6.2 常用变阻器的主要技术数据 (一)

型 号	额定功率/W	电流/A	最高温度/ $^{\circ}C$	电阻值 (+20 $^{\circ}C$)/ Ω	
				最 小	最 大
BC1D、BC1-25	25	—	300	2	3000
BC1D、BC1-50	50		300	2	3000
BC1D、BC1-100	100		300	2	3000
BC1D、BC1-150	150		350	2	3000
BC1D、BC1-300	300		350	2	3000
BC1D、BC1-500	500		350	2	3000
BX7-11/A8	—		0.1~22.5	—	0.55
BX7-12/A10		0.75/0.72			7k
BX7-13/A12		0.95/0.9			8.7/8.5k
BX7-14/A14		1.1			10.5/10k

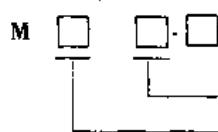
表 8.6.3 常用变阻器的主要技术数据 (二)

型 号	所配电动机系列	电动机功率/kW	转子电压/V	转子电流/A	起动方式	起动电流/倍	负 载 系 数	起动时间/s
BP1 系列	—	22~2240	—	51~2000	偶尔起动	—	—	—
	—	2~125	—	12~200	重复短时工作制	—	—	—
BP2 系列	JZR	2.2~125	125~442	13~178	—	2~2.5	0.75~10	190~1600
	JZR2	2.2~125	134~452	12.1~189	—			
BP3 系列	JZR	2.2~125	—	12.8~175	—	—	—	—
	JZR2	0.6~125	—	8.2~181	—	—	—	—
BP4 系列和 BP4G ^① 系列	—	26~500	—	64~630	—	—	—	—
BP6 系列	—	75~315	162~640	200~500	—	—	—	—

① BP4G 系列频敏变阻器线圈外围装有感应管，适用于重载起动。

第二节 电 磁 铁

一、型号含义



ZD—单相制动电磁铁；ZS—三相制动电磁铁；Q—牵引电磁铁；YT—电力液压推动

二、结构及原理

电磁铁主要有线圈及由磁轭和衔铁构成的磁系统组成，其典型结构如图 8.6.1 所示。

电磁铁线圈通以交流电流，产生交变磁场，磁通大部分集中在磁轭及衔铁中，在衔铁中柱形成一个轴向的

电磁吸力，将衔铁吸入线圈中直至衔铁与磁轭接触，利用这个电磁力在衔铁上连接一定的机械负荷，即可做功。

因线圈通交流电，为减少涡流损耗，铁芯采用硅钢片叠装而成；为减小以致消除衔铁闭合时的噪音，在与磁轭接触的衔铁面上装有短路环。

三、选用、使用及维护

① 电磁铁的工作极面应经常清除灰尘、油污，并涂以低粘度防锈机油，以保持极面清洁。工作极面上不得沾有异物或硬质颗粒，以防衔铁吸合时撞击磁轭，造成极面损伤，并产生较大噪声。

② 衔铁每次动作至行程终止时，衔铁与磁轭应保持良好接触，衔铁在吸合过程中不得停留在中间位置或处于不完全闭合状态，并且勿使异物落入线圈中心磁轭中柱表面上，否则电磁铁会产生很大噪声或使线圈过热烧毁。

③ 电磁铁的安装螺钉、销钉等联结部件必须有可靠的防止松动的措施，必须经常检查这些零部件，以保证联结及安装的紧固性，防止松动及衔铁脱落。

④ 如因用户操作使用不当造成吸引线圈烧毁时，只需依次卸下衔铁、导轨、导向件及缓冲垫，即可方便取下线圈进行更换。

⑤ 电磁铁外界故障及损坏原因综合情况如图 8.6.2 所示。

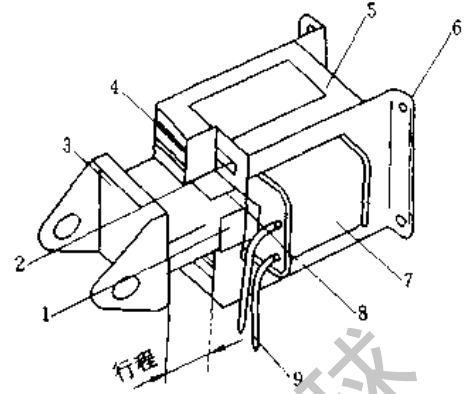


图 8.6.1 典型结构简图

1—导轨；2—缓冲垫；3—衔铁；
4—短路环；5—磁轭；6—安装面；
7—线圈；8—导向件；9—引出线

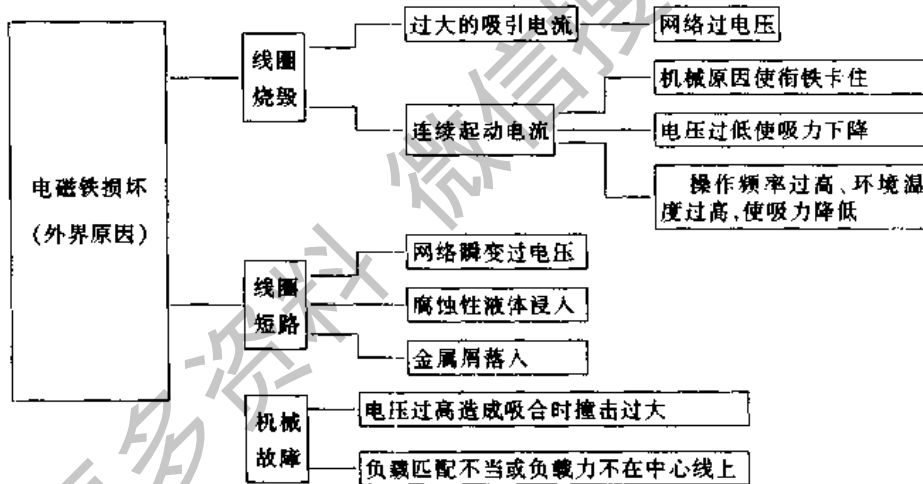


图 8.6.2 电磁铁外界故障及损坏原因综合情况

四、常用电磁铁的主要技术数据

常用电磁铁的主要技术数据列于表 8.6.4。

表 8.6.4 常用电磁铁的主要技术数据

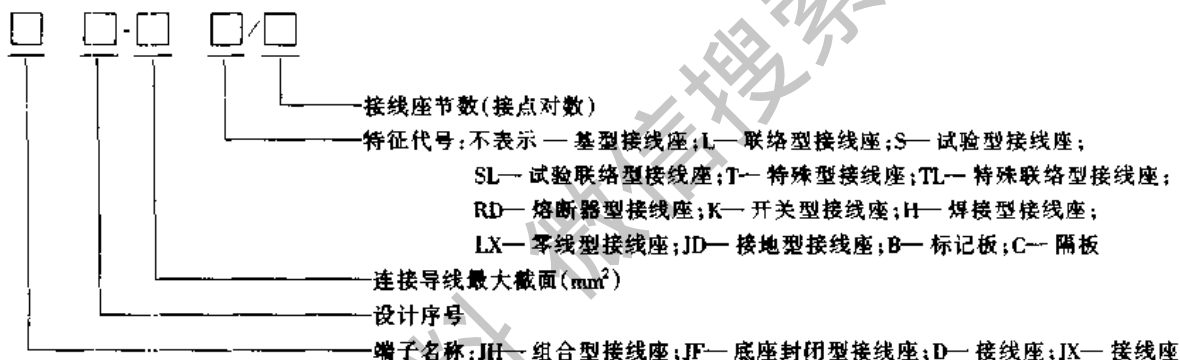
型号	分类	额定吸力/N	额定行程/mm	每小时额定操作次数 $TD = 60\%$ (次)	吸引线圈额定电压/V	机械寿命/次
MQ1-1.5 N Z	拉动式 推动式	15	20	600	110, 220, 380	
MQ1-3 N Z	拉动式 推动式	30	25	600		
MQ1-5 N Z	拉动式 推动式	50	25	600		

续表

型号	分类	额定吸力/N	额定行程/mm	每小时额定操作次数 TD = 60% (次)	吸引线圈额定电压/V	机械寿命/次
MQ1-8 N Z	拉动式 推动式	80	25	600	110, 220, 380	
MQ1-15N	拉动式	150	30/50	600/300		
MQ1-25N	拉动式	250	30	600		
MQ3	微型	6.2(0.63)7.8(0.8) 9.8(1.0), 12.3(1.25)	10	1200	36, 110, 220, 380	1.2×10^6
MQ3	小型	15.7 (1.6), 19.6 (2.0), 24.5 (2.5), 31(3.15), 39(4.0)	20	60	110, 220, 380	1.2×10^6
MQ3	中型	49(5.0), 62(6.3), 78(8.0), 98 (10)	30	600	110, 220, 380	1.0×10^6
MQ4	小型	123(12.5), 157(16), 196(20), 245 (25)	40	300	220, 380	0.7×10^6

第三节 接线端子

一、型号含义



二、结构及原理

接线端子主要由接线座、导电件、组合螺钉、防尘罩及弹簧卡扣组成。典型结构详见图 8.6.3。接线座由弹簧卡扣固定在“G”型高低槽安装轨上, 装卸方便, 安装稳固。导电件安装在接线座内, 由组合螺钉固定, 垫圈可随螺钉移动, 接线方便, 螺钉头复合槽头, 一字、十字两种螺丝刀均可操作。每节均有防尘罩, 防尘罩采用优质透明工程塑料, 抗冲击强度高, 耐老化性能和绝缘性能均较好。

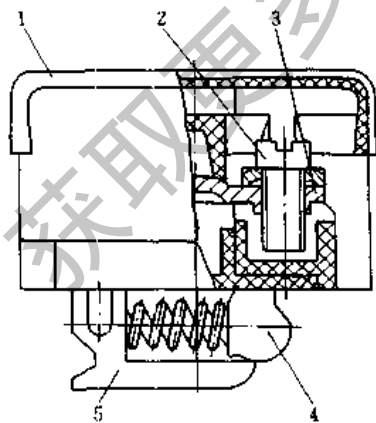


图 8.6.3 接线端子结构图

1—防尘罩; 2—组合螺钉;
3—导电件; 4—弹簧卡扣; 5—接线座

三、选用、使用及维护

1. 选用

① 根据使用场合的电压、电流及交直流等情况, 选用接线、接地端子的型号规格。

② 熔断器型接线座要确定熔断体的额定电流; 标记座要注明标牌种类, 有乳白塑料、纸芯塑料等。

2. 使用及维护

① 接线座可任意方向安装成任何位置。在垂直安装时, 基座的高槽边应在下方 (TZ1), 若属安装轨安装, 先装入安装轨低槽一边, 然后压入高槽边即可。

② 接线方式最好配用 TO、TU 型端头压线, 接触可靠, 装卸方便。

③ 接线座附有带阿明胶的标号片，上面印有 1~100 顺序码，在使用时，可根据需要选择适用号码撕下，粘贴于绝缘件的中心轴线位置。

④ 接线完毕后有防尘盖的务请盖好。

⑤ 安装后的接线座，应定期进行检查，期限由用户自定。

四、常用接线端子的主要技术数据

常用接线端子的主要技术数据见表 8.6.5。

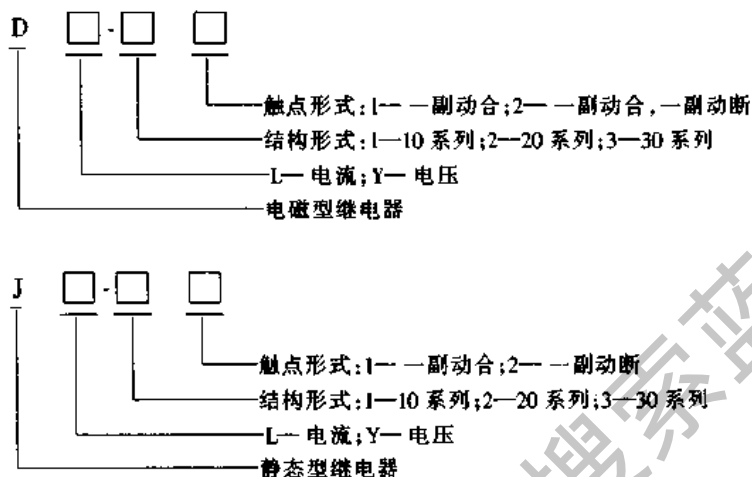
表 8.6.5 常用接线端子的主要技术数据

型 号	结构特征		连接导线 范围/mm ²	额定电流 /A	安装导轨尺寸 /mm	配用端头型号	
JH1-1.5□/L	普通/联络		0.7~1.5	17.5	80, 100, 120 160, 200, 240, 300, 350, 400 (G型导轨)	TU1-1~1.5/3	
JH1-1.5B/G	标记板/隔板					TO1-1~1.5/3	
JH1-2.5□/L	普通/联络		0.75~2.5	24		TV1-1~2.5/4	
RD JH1-2.5 S SL	熔断器 试验 试验联络			2, 4, 6, 8 10, 12, 16 20		TO1-1~2.5/4	
JH1-2.5B/G	标记/隔板			24			
SG	试验隔板						
RDG	熔断器隔板						
JH5-1.5 (TZ1-10)	普通		0.75~1.5	17.5	80, 100, 120, 160, 200, 240, 300, 350, 400, 500 (G型导轨)	TU1-1/3~1.5/3	
JH5-1.5L (TZ1-10L)	联络						
JH5-1.5T (TZ1-10T)	特殊						
JH5-1.5TL (TZ1-10TL)	特殊联络						
JH5-1.5S (TZ1-10S)	试验						
JF5-1.5/1 JF5-1.5/2 JF5-1.5/3 JF5-1.5/5	基 型	单联 双联 三联 五联	0.75~1.5	17.5			TU1-1/3 TU1-1.5/3 TO1-1/3 TO1-1.5/3
JF5-1.5/2L	联络		0.75~1.5	17.5	80, 100, 120 160, 200, 250 300, 350, 400, 500 (G型导轨)	TU1-1/3	
JF5-1.5/3L	联络					TU1-1.5/3	
JF5-1.5/KS	开关试验型					TO1-1/3	
JF5-1.5/B	标记板					TO1-1.5/3	
JF5-2.5/SL	试验型		0.75~2.5	24		80, 100, 120 160, 200, 250 300, 250, 400, 500 (G型导轨)	TU1-1/4
JF5-2.5JD	接线型						TU1-1.5/4
JF5-2.5/RD	熔断器型				TU1-2.5/4		
JF5-2.5/S2	试验型				TO1-1/4		
JF5-2.5/S1	试验型				TO1-1.5/4		
JF5-25/1	基型单联		6~25	100			TO1-10~25/8

第七章 保护继电器

第一节 电流电压继电器

一、型号含义



二、结构及工作原理

10 系列和 20 系列继电器的结构为突出式安装方式, 整机固定在胶木底座上。30 系列的继电器采用插拔式嵌入结构, 机芯通过支架固定在插板上, 维修时只需将机芯从壳体中拔出即可。

对于电磁型继电器, 当流过线圈的电流大到一定程度, 所产生的电磁力矩克服游丝的反作用力矩时, 继电器就动作。反之, 当电流减小时, 继电器在游丝的作用下将返回。电磁系统有两个独立线圈, 使用时可根据需要进行串并联, 使继电器的整定范围扩大一倍。

静态型继电器的动作原理框图见图 8.7.1。当输入激励量加到变换器后, 在其次级得到与被测量成比例的电压 U_i , U_i 通过整流回路进行全波整流, 同时由拨盘开关和倍率开关设定整定值, 整定后的脉动电压再经过滤波器滤波, 得到与 U_i 成正比的直流电压 U_o 。然后在电平检测器中 U_o 与参考电压 U_e 比较, 若 U_o 低于 U_e , 电平检测器输出正信号, 驱动出口继电器动作。反之, 若 U_o 高于 U_e , 则电平检测器输出负信号, 继电器处于不动作状态。

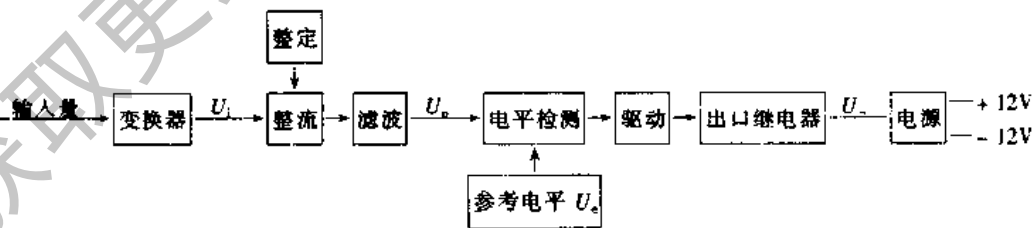


图 8.7.1 静态型电流电压继电器原理框图

三、使用及维护

1. 使用方法

为了防止在运输过程中碰坏电磁型继电器的可动系统, 产品在出厂时用尼龙塞子卡住可动系统。用户在使用前应先拔去尼龙塞子。使用时可根据铭牌上的刻度, 通过拨动指针的位置来改变游丝的反作用力矩, 达到不同的整定值。另外, 电磁系统有二个线圈, 可根据需要进行串并联, 使整定范围变化一倍。

静态型继电器采用数字式拨盘开关及倍率开关来确定整定值。例：JL-30系列电流继电器的三位拨盘开关为125，倍率开关在0.1档，线圈串联时的整定值为 $125 \times 0.1 = 12.5$ (A)。

静态型继电器的直流辅助电源的波动范围应在80%~115%的额定值之内。

2. 维护须知

在维护调整时，可通过改变游丝的反作用力的大小来调整最小整定值，改变动片与磁极间的气隙调整最大整定值，但必须保证：

- ① 可动系统的轴向活动范围在0.15~0.25mm之间；
- ② 静接触片和限制片之间的间隔在0.1~0.3mm之间；
- ③ 指针在整个刻度范围内，游丝各圈不得相碰；
- ④ 触点在断开位置时，动静接触片之间的间隙不小于1.5mm。

四、主要技术数据

1. 动作值的极限误差

- ① 在基准条件下，电磁型继电器各整定值的极限误差应不大于 $\pm 6\%$ 。
- ② 静态型继电器一般用平均刻度误差来定义，其误差范围应不大于 $\pm 3\%$ 。

2. 动作值的一致性

在基准条件下，电磁型继电器动作值的一致性应不大于6%，静态型继电器不大于3%。

3. 返回系数

电磁型电流继电器的返回系数应不小于0.8，最大整定值为200A的继电器返回系数应不小于0.7。静态型电流继电器的返回系数应不小于0.9。

过电压继电器的返回系数应不小于0.8，低电压继电器的返回系数应不大于1.25。

4. 动作时间

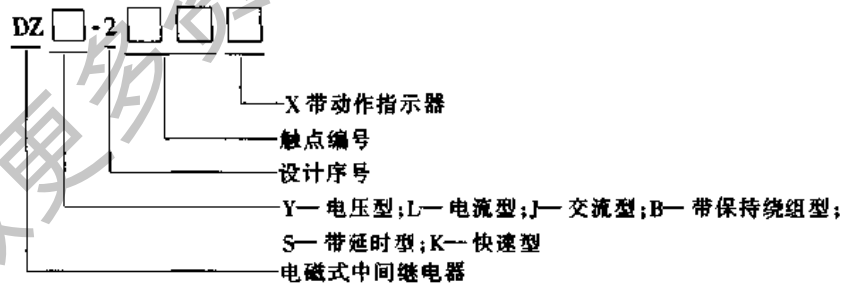
电磁型继电器的动作时间在1.1倍动作值时不大于0.12s，在2倍动作值时不大于0.04s，而静态型继电器在突加1.2倍的整定值时，其动作时间不大于30ms，突加2倍的整定值时，继电器的动作时间不大于20ms。

5. 触点断开容量

在电压不大于250V，电流不大于2A，时间常数为 (5 ± 0.75) ms的直流有感电路中触点的断开容量为50W；在电压不大于250V，电流不大于2A， $\cos\varphi = 0.4 \pm 0.1$ 的交流电路中触点的断开容量为250VA。

第二节 DZ-200系列中间继电器

一、型号含义



二、结构和动作原理

DZ系列继电器为闸型电磁式继电器。线圈装在U形导磁体上，导磁体上有一个活动的衔铁，导磁体两侧装有两排接触系统，接触系统由若干不同的触点组构成。

当对继电器线圈施加激励量时，衔铁被吸向导磁体，压动接触系统，使动合触点闭合，动断触点断开，完成继电器的工作。当线圈被切断激励量或激励量降低到小于其返回值时，衔铁受到触点弹片的反作用力返回原始位置，即继电器返回。

在U形导磁体的两个侧柱上均可装设线圈，对于DZY-200、DZL-200和DZJ-200型继电器只装一个线圈，而对于DZB-200和DZS-200型继电器可根据需要在一个铁芯上装设工作绕组，在另一个铁芯上装设保持绕组或延时阻尼片等。对于DZK-200型继电器的铁芯采用0.35mm的硅钢片叠装而成，以降低损耗和提高动作时间，并

且在静接触片上装有双层减震片,用以吸收动作时的冲击惯量,减少触点回弹,提高工作可靠性。

三、使用与维护

表 8.7.1 DZK-200 继电器的外附电阻

型 号	额定电压/V	附加电阻/ Ω
DZK-200	220	5100
	110	1200
	48	220
	24	56

四、主要技术数据

1. 动作值、保持值和返回值

DZ-200 系列中间继电器的动作值、保持值和返回值见表 8.7.2。

表 8.7.2 DZ-200 系列中间继电器的动作值、保持值和返回值

类 型	动 作 值	保 持 值	返 回 值
DZY-200 DZY-200X	$30\% \sim 70\% U_e$		$\leq 5\% U_e$
DZL-200 DZL-200X	$\geq 80\% I_e$		$\leq 5\% I_e$
DZJ-200 DZJ-200X	$\geq 80\% I_e$		$\leq 5\% U_e$
DZB-200 DZB-200X	$30\% \sim 70\% U_e$ 或 $\geq 80\% I_e$	$\geq 70\% U_e$ 或 $\geq 80\% I_e$	$\leq 3\% U_e$ (或 I_e)
DZS-200 DZS-200X	$30\% \sim 70\% U_e$	$\geq 80\% I_e$	$\leq 3\% U_e$
DZK-200 DZK-200X	$50\% \sim 70\% U_e$ 或 $\geq 80\% I_e$	$\geq 70\% U_e$ 或 $\geq 80\% I_e$	$\leq 3\% U_e$ (或 I_e)

2. 动作时间

当输入激励量为额定值时, ZDY-200、DZL-200 和 DZJ-200 继电器的动作时间不大于 45ms, DZB-200 继电器的动作时间不大于 45ms, 短接阻尼绕组时, 动作时间不小于 55ms, DZS-210 继电器的动作时间不小于 60ms, DZS-220 继电器的动作时间不小于 110ms, DZK-200 继电器的动作时间不大于 15ms。

3. 返回时间

当输入激励量从额定值下降到零时, DZY-200、DZL-200 和 DZJ-200 继电器的返回时间不大于 60ms。DZB-200 继电器的返回时间见表 8.7.3。DZS-200 继电器的返回时间见表 8.7.4。

表 8.7.3 DZB-200 继电器的返回时间

型 号	返回时间/ms
DZB-210 DZB-220 DZB-230 DZB-280	在断开保持绕组状态下, ≤ 60
DZB-270	在断开保持绕组, 短接阻尼绕组状态下, ≥ 500

表 8.7.4 DZS-200 继电器的返回时间

型 号	返回时间/s	
	正常时	短接阻尼绕组时
DZS-230	0.5	—
DZS-240	1.1	—
DZS-250	0.4	0.8

4. 功率消耗

继电器在额定值时的功率消耗见表 8.7.5。

表 8.7.5 DZ-200 系列继电器的功率消耗

型 号	功 率 消 耗		型 号	功 率 消 耗	
	工作绕组	保持绕组		工作绕组	保持绕组
DZY-200	5W		DZS-200	5W	
DZL-200	5W		DZK-200	电压线圈 8W 电流线圈 2.5W ^①	
DZJ-200	5VA				
DZB-200	5W	2.5W			

① 包括外附电阻。

① 继电器应垂直安装在成套装置上,使接触系统处于水平位置。

② DZK-200 中间继电器应按额定电压串接如表 8.7.1 所示的附加电阻。

③ 继电器在使用过程中,当接触系统因氧化产生氧化膜时应及时清理,可用锋利的刀片刮去触点的表面氧化物,然后用少量的汽油擦拭,情况严重时更换触点片。

5. 触点性能

(1) 断开容量 继电器主触点在电压不大于 250V、电流不大于 1A，时间常数为 (5 ± 0.75) ms 的直流有感电路中的断开容量为 50W；在电压不大于 250V，电流不大于 3A， $\cos\varphi = 0.4 \pm 0.1$ 的交流电路中触点的断开容量为 250VA。

继电器信号触点在电压不大于 250V，电流不大于 1A，时间常数为 (5 ± 0.75) ms 的直流有感电路中的断开容量为 30W；在电压不大于 250V，电流不大于 3A， $\cos\varphi = 0.4 \pm 0.1$ 的交流电路中触点的断开容量为 100VA。

(2) 长期允许闭合电流 继电器的主触点为 5A，信号触点为 3A。

6. 寿命

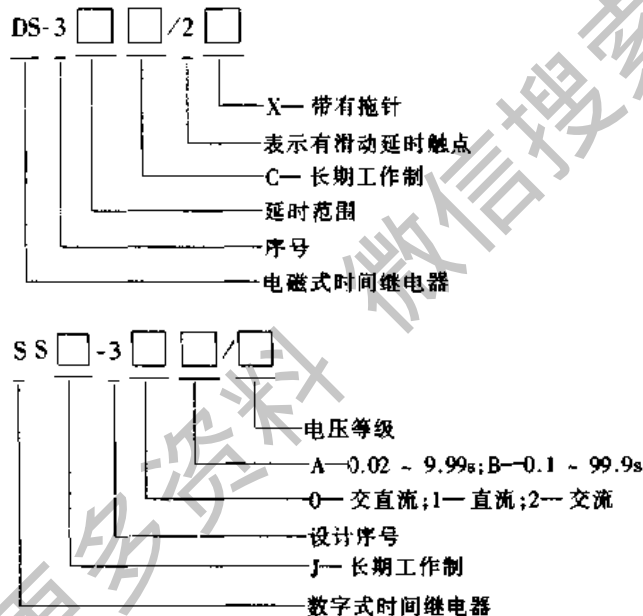
继电器的电寿命和机械寿命见表 8.7.6。

表 8.7.6 DZ-200 系列继电器的寿命

型 号	电寿命/次	机械寿命/次	型 号	电寿命/次	机械寿命/次
DZY-200	10^3	10^4	DZB-200	10^3	10^4
DZL-200	10^3	10^4	DZS-200	10^3	10^4
DZJ-200	10^3	10^4	DZK-200	10^3	5×10^3

第三节 时间继电器

一、型号含义



二、结构及动作原理

DS-30 系列时间继电器采用电磁铁带动钟表延时机构，达到延时目的。电磁铁由直流或交流电源供电，交流继电器内部装有桥式整流器，将电源整流后供给电磁铁。本系列继电器有两副瞬动转换触点，一副延时主触点。根据需要还可安装一副滑动延时触点，其延时整定值可等于或小于延时主触点的整定值。另外，还可装设面板拖针以指示继电器的动作情况。

当向继电器线圈施加激励量后，电磁铁吸合，瞬动转换触点进行瞬时切换。同时钟表机构开始工作，延时动合触点向闭合方向移动，并且带动面板拖针转动。经延时后整定滑动触头与主触点接通，主触点接通后由于止档限制机构的作用，钟表机构停止工作，继电器长期滞留在主触点闭合状态下。当继电器失去电源后，各触点瞬时复位至原始状态，面板拖针则留在该处，指示延时主触点的整定值。

SS-30 系列时间继电器采用集成电路构成，具有整定方便，延时精度高，以及功耗较小等优点。它通过二组独立的数字式拨盘开关确定整定值，继电器无需辅助电源。当向继电器施加额定激励量后，继电器内部的瞬时出口继电器动作，同时使晶振起振，所产生的时钟脉冲经分频器分频后至计数器计数，当所计脉冲数达到延时整定值时，触发器翻转，经驱动后使延时出口继电器动作。二路独立的整定延时触点可根据延时整定值的长

短,起到电磁型时间继电器的滑动触点的作用。原理框图见图 8.7.2。

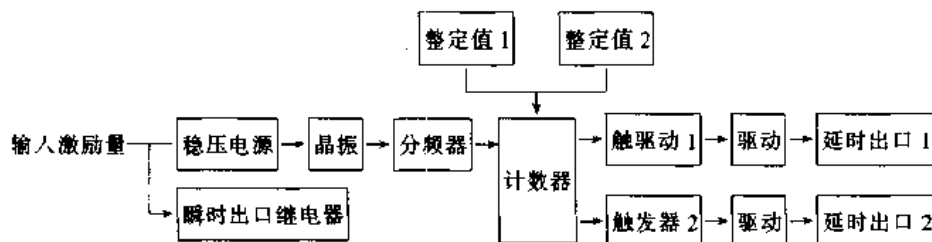


图 8.7.2 SS-30 系列时间继电器的原理框图

三、使用及维护

用户在使用时应注意 DS-30 系列时间继电器的工作方式,若将短期工作的继电器用于长期带电回路中,则继电器线圈会因过热而损坏。长期工作的继电器有外附电阻,在使用时应正确接入。

DS-30 系列时间继电器的钟表机构在维修时,各零件应使用航空汽油清洗,装配后在各可动部位点加适量的 4# 航空仪表油。电磁部分、铁芯及线圈管中应擦拭清洁。调整时用手按住电磁机构的啮子到吸合位置,延时机构应立即起动,直至延时触点可靠闭合。同时,瞬时触点应可靠转换。释放啮子时,动触点应迅速返回,瞬时触点应可靠转换。

SS-30 系列时间继电器为交直流通用继电器,在用于直流电路时与接入电源的极性无关,可以任意接入。继电器的整定值由三位数字式拨盘开关乘以倍率开关确定,即:

$$\text{延时时间 } T = X.XX \times \text{倍率 (s)}$$

四、主要技术数据

1. 动作值

在基准条件下,交流型继电器的动作电压不大于 85% 的额定电压,直流型继电器的动作电压不大于 70% 的额定电压。长期工作制的继电器的动作电压不大于 75%。

2. 返回值

在基准条件下,继电器的返回值不小于 5% 的额定值。

3. 动作延时一致性

对于 DS-30 系列的继电器,当向线圈施加额定激励量,在同一整定点上 10 次测量中的最大值与 10 次测量中的最小值之差称为继电器的动作延时一致性,具体数据见表 8.7.7。

表 8.7.7 继电器的动作延时一致性

型 号	动作延时一致性/s
DS-31 DS-35	≤ 0.06
DS-32 DS-36	≤ 0.125
DS-33 DS-37	≤ 0.25
DS-34 DS-38	≤ 0.5

表 8.7.8 整定值的平均误差

型 号	平均误差/%
DS-31 DS-35	10
DS-32 DS-36	5
DS-33 DS-37	5
DS-34 DS-38	5

对于 SS-30 系列的继电器,当施加额定激励量时,在同一整定点上 10 次测量的最大值与最小值之差不大于 5ms (继电器内部的固有时间为不大于 20ms)。

4. 延时整定值的平均误差

具体数据见表 8.7.8。

5. 返回时间

当继电器线圈断电时,继电器的可动驳回至原始位置的时间,对于直流型继电器应不大于 0.15s,对于交流型继电器应不大于 0.2s。

6. 功率消耗

在额定电压下,继电器的功率消耗见表 8.7.9 和表 8.7.10。

7. 触点性能

(1) 断开容量 继电器延时主触点、滑动触点及瞬时动合触点应能断开电压不大于 250V 及电流不大于 1A,容量为 50W,时间常数为 (5 ± 0.75) ms 的直流有感负载。

表 8.7.9 DS-30 系列时间继电器的功率消耗

型 号	功率消耗
DS-31 DS-32 DS-33 DS-34	$> 30W$
DS-31C DS-32C DS-33C DS-34C	$> 15W$
DS-35 DS-36 DS-37 DS-38	$> 25VA$
DS-35C DS-36C DS-37C DS-38C	$> 15VA$

表 8.7.10 SS-30 系列继电器的功率消耗

型 号	功率消耗	
	直 流	交 流
SS-30	11W	11VA
SSJ-30	15W	15VA

(2) 长期允许闭合电流 继电器延时主触点的长期允许闭合电流为 5A，瞬时转换触点的长期允许闭合电流为 3A。

8. 电寿命

在规定负荷下，继电器的电寿命为 5×10^3 次。

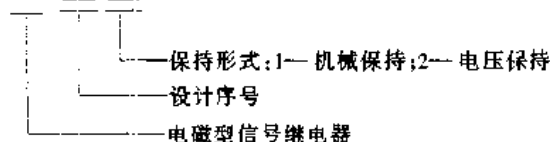
9. 机械寿命

对继电器施加额定激励量，触点不带负荷，应能可靠动作和返回 10^4 次。

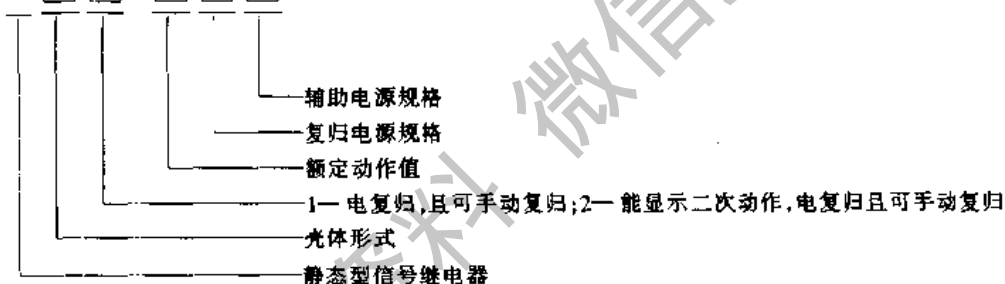
第四节 信号继电器

一、型号含义

DX-□□



JX□□/□□□



二、结构及动作原理

DX-30 系列信号继电器为拍合式电磁型继电器，在一个 U 形的导磁体上装有工作绕组和保持绕组，在导磁体上有一个活动的动板，动板顶端的绝缘板上有两组动合触点。

当线圈通电时，所产生的电磁吸力将动板吸合，继电器处于工作状态。对于 DX-31A 型继电器由于限制片将信号指示器释放，指示器弹出指示。在线圈断电后，因限制片的作用，指示器和触点仍在工作位置，只有在手动复位后继电器才回到原始位置。DX-32A 型、DX-32B 型继电器为信号灯指示，有工作线圈和保持线圈两个绕组。当线圈通电后动板吸合，动合触点闭合，信号灯点亮。在工作线圈断电后，由于保持线圈的作用，继电器仍处于工作状态，只有当保持线圈复归后，继电器才返回原始位置。

JX-30 系列静态信号继电器的动作原理为：当电压（或电流）信号加入继电器的起动回路后，经光电隔离后驱动磁保持继电器动作，所有动合触点闭合，并且由于磁保持的作用一直保持在此状态下，同时点亮发光二极管。只有在加入复归信号后，磁保持继电器的复归线圈接通，整个继电器才返回，发光二极管同时熄灭。

三、主要技术数据

1. 动作值

电压型继电器的动作值应不大于 70% 的额定电压，电流型继电器的动作值应不大于 90% 的额定电流。

2. 返回值

继电器的返回值应不小于 2% 的额定值。

3. 保持值

对于有保持线圈的继电器，电压保持值应不大于 80% 的额定电压。

4. 信号显示时间

当向继电器线圈施加 110% 的额定值时，信号指示器应在 50ms 内显示。

5. 功率消耗

- ① 电压型继电器在额定值下，其功率消耗应不大于 3W。
- ② 电流型继电器在额定值下，其功率消耗应不大于 0.3W。
- ③ 对于有保持线圈的继电器在额定保持值下，其功率消耗见表 8.7.11。

表 8.7.11 DX-32 型继电器保持线圈的功率消耗

额定保持电压/V	功率消耗/W
220	>20
110	>10
48	>4

6. 触点断开容量

继电器触点在电压不超过 250V，电流不超过 0.5A，时间常数为 (5 ± 0.75) ms 的直流有感负荷电路中的断开容量不小于 30W，在电压不超过 250V，电流不超过 1A，功率因数为 0.4 ± 0.1 的交流电路中的断开容量不小于 100VA。

7. 电寿命

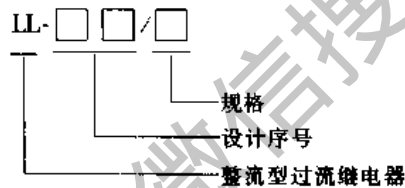
在额定负荷条件下，继电器的电寿命为 5000 次。

8. 机械寿命

在向继电器施加额定激励量，触点不带负荷的情况下，继电器应能可靠地动作和返回 10^4 次。

第五节 LL-10 系列过流继电器

一、型号含义



二、动作原理

本系列继电器为整流型继电器，其动作原理图见图 8.7.3。

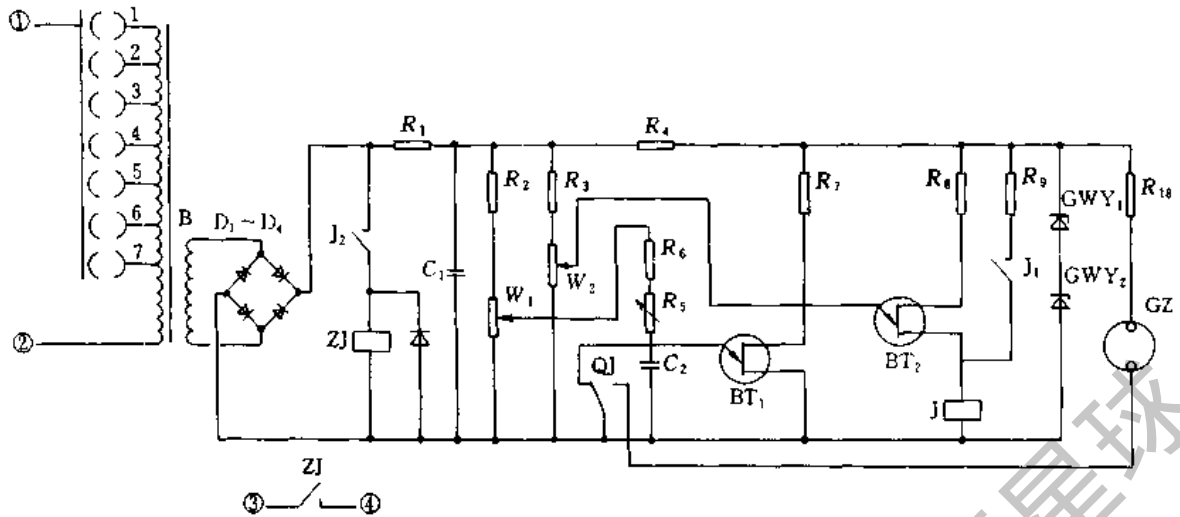
LL-10 系列过流继电器内部的电流互感器 W_1 的初级绕组设有抽头，用以改变动作电流的整定值。互感器上还装有起动部件，它具有一副转换触点 QJ，QJ 的动断部分平时将充电回路的电容 C_2 短接，在到达动作电流时 QJ 转换，延时回路开始工作，电阻 R_2 和电位器 W_1 构成延时电路的分压器，经 R_5 、 R_6 向 C_2 充电，当 C_2 上的电压达到双基极二极管 BT_1 所需的触发电压时， BT_1 导通，密封继电器 J 动作，动合触点 J_2 合上，从而使出口继电器 ZJ 动作。电阻 R_3 和电位器 W_2 组成瞬动回路的分压器，分压电压直接加到双基极二极管 BT_2 的发射极上。 R_1 和 C_1 为滤波电路， R_4 和稳压管 GWY_1 、 GWY_2 构成稳压电路， R_6 和 J_1 为密封继电器 J 构成自保持回路，GZ 是测试插座。

LL-11 和 LL-12 型继电器的 BT_1 、 BT_2 合用一个密封继电器，而 LL-13 和 LL-14 型继电器的 BT_1 触发时，使密封继电器 1J 动作，常开触点 $1J_1$ 用于自保， $1J_2$ 用作信号触点。当 BT_2 被触发时，使继电器 2J 动作，其常开触点 $2J_1$ 再使得出口继电器 ZJ 动作，由 ZJ 的触点控制过流继电器的外部电路。 R_2 和 W_1 的分压位置与继电器的延时特性曲线有关，其分压电压随互感器 W 的初级电流变化，电位器 W_1 的位置校验后予以锁紧。当初级电流为继电器的动作电流时，供给 C_2 的充电电压最小，到达 BT_1 触发所需的时间（即继电器的动作时间）最长；当电流增大时，分压电压也随之增加，继电器的动作时间缩短，这就形成了过流继电器的反时限特性，调整 R_5 可改变继电器动作时间的整定值。 R_3 和电位器 W_2 的分压位置与瞬动电流倍数有关，当分压电压足够大时可直接触发 BT_2 ，使继电器动作，调整电位器 W_2 即可改变继电器的瞬动电流倍数。

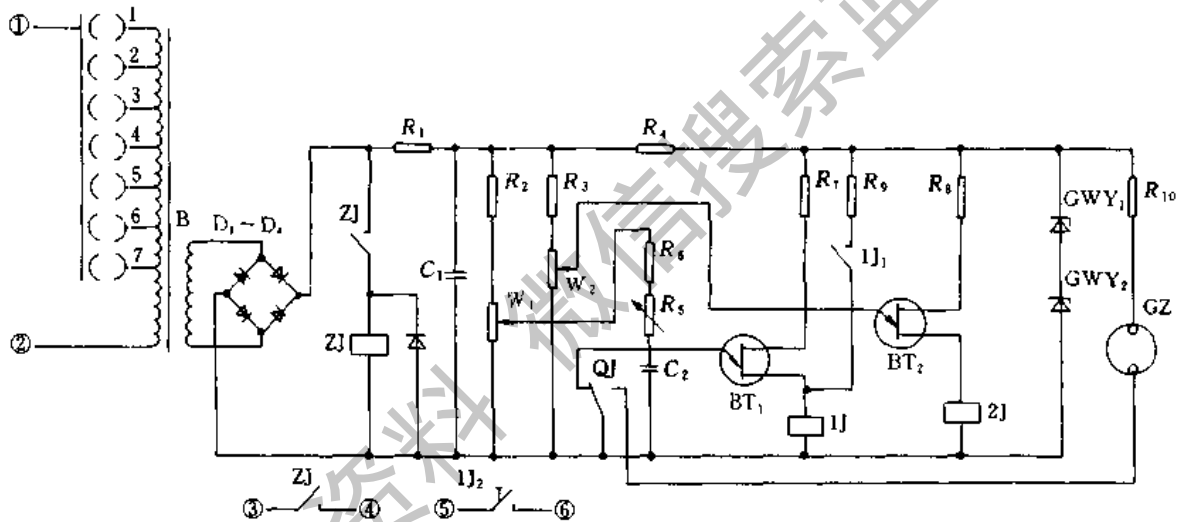
继电器的面板上有调整动作电流用的整定板和整定螺丝，还装有调整瞬动电流倍数和动作时间的旋钮以及测试插座。另外，当继电器动作时，面板上的指示器转到动作位置；在继电器返回后，应手动复位。

三、使用及维护

- ① 继电器在使用前，应将动作电流调整螺钉拧在所需的整定孔内，在端子 1、2 之间施加交流电流，检查



(a) LL-11、LL-12型继电器



(b) LL-13、LL-14型继电器

图 8.7.3 LL-10系列过流继电器原理图

继电器起动部件的动作电流是否符合整定值，如差别较大时，可适当转动游丝支片。同时应检查返回系数是否符合要求，若不符合时可适当调整接触系统和止档螺钉。

② 电位器 W_1 的位置与继电器延时特性曲线有关，出厂时已调整好，一般不要再调整。如需调整时应先松开锁紧螺母，用小螺丝刀细心调整，并重新测定延时曲线，在调整后固紧锁紧螺母。

③ 如要更换电路板上的电气元件，必须重新校正瞬动电流特性和延时特性。

四、主要技术数据

1. 动作电流的平均误差

在基准条件下，动作电流的平均误差应不大于 $\pm 5\%$ 。

2. 动作电流的一致性

在基准条件下，动作电流的一致性应不大于 5% 。

3. 返回系数

在基准条件下，继电器的延时整定范围内任一整定点的返回系数（即返回电流与动作电流之比）应不小于 0.85。

4. 速动电流

继电器的速动电流用动作电流整定值的倍数来表示,即在基准条件下,速动电流平均误差应符合表 8.7.12 的规定。

表 8.7.12 速动电流的平均误差

速动电流整定倍数	2	4	6	8
平均误差	$\pm 12\%$	$\pm 14\%$	$\pm 14\%$	+25% -15%

5. 延时动作时间

在基准条件下,继电器在 10 倍动作电流整定值时,各延时整定点的延时平均误差应不大于表 8.7.13 中的规定值。

表 8.7.13 延时动作时间

型 号	动作电流整定倍数	各整定点动作时间及延时平均误差/s				
		0.5 \pm 0.10	1 \pm 0.1	2 \pm 0.2	3 \pm 0.2	4 \pm 0.25
LL-11	10	0.5 \pm 0.10	1 \pm 0.1	2 \pm 0.2	3 \pm 0.2	4 \pm 0.25
	4	0.75 \pm 0.25	1.5 \pm 0.25	2.9 \pm 0.3	4.4 \pm 0.5	5.9 \pm 0.5
LL-12	10	2 \pm 0.5	4 \pm 0.5	8 \pm 0.6	12 \pm 0.75	16 \pm 1
	4	2.9 \pm 0.5	5.9 \pm 0.5	11.8 \pm 0.75	17.7 \pm 1	23.6 \pm 1.5
LL-13	10			2 \pm 0.2	3 \pm 0.2	4 \pm 0.25
	4			2.9 \pm 0.3	4.4 \pm 0.5	5.9 \pm 0.5
LL-14	10			3 \pm 0.6	12 \pm 0.75	16 \pm 1
	4			11.8 \pm 0.75	17.7 \pm 1	23.6 \pm 1.5

6. 延时一致性

在基准条件下,继电器在 1.5 倍动作电流整定值时,其延时一致性应不大于表 8.7.14 的规定值。

表 8.7.14 LL-10 系列过流继电器的延时一致性

10 倍整定电流时的延时整定值	延时一致性/s
≤ 2	0.5
$> 2 \sim \leq 4$	1
$> 4 \sim \leq 10$	1.5
$> 10 \sim \leq 16$	2

7. 对动作机构的要求

当继电器主触点动作时,信号指示器应转到动作位置。

8. 功率消耗

在电流等于继电器整定电流时,其线圈的功率消耗不大于 10VA。

9. 触点断开容量

继电器的动合主触点在电压不大于 250V 时,应能接通直流或交流 5A。但当它断开所接通的电路时,应由其他触点替代。动断触点应能断开电压不超过 250V,电流不超过 0.5A,时间常数为 (5 ± 0.75) ms,容量为 50W 的直流有感电路,或电压不超过 250V,电流不超过 2A,功率因数为 0.4 ± 0.1 ,容量为 250VA 的交流电路。

10. 电寿命

在额定负荷下,继电器主触点的电寿命为 500 次。

11. 机械寿命

对继电器施加额定激励量,触点不带负荷时,应能可靠动作和返回 5000 次。

第八章 防爆电器

第一节 概 述

防爆电器产品主要分为矿用和厂用两大类。防爆电器产品的技术指标，应遵守国家颁布的下列标准：

- (1) GB 3836.1—83 爆炸性环境用防爆电气设备 通用要求
- (2) GB 3836.2—83 爆炸性环境用防爆电气设备 隔爆型电气设备“d”
- (3) GB 3836.3—83 爆炸性环境用防爆电气设备 增安型电气设备“e”
- (4) GB 3836.4—83 爆炸性环境用防爆电气设备 本质安全型电路和电气设备“i”

一、防爆电器的类别、级别与温度组别

1. 电气设备分类

电气设备分两类 I类：煤矿井下用电气设备；II类：工厂用电气设备。

2. II类电气设备分级

II类电气设备，按其适用于爆炸性混合物最大试验安全间隙或最小点燃电流比分为A、B、C三级，并按其最高表面温度分为T1~T6六组。

对只适用于某一种爆炸性气体混合物的电气设备，须在设备铭牌上标明可燃性气体或蒸气的名称或分子式。

3. 温度

(1) 电气设备的允许最高表面温度 I类电气设备表面可能堆积粉尘时，允许最高表面温度为+150℃，采取措施防止堆积时，则为+450℃；II类电气设备的最高表面温度须符合表8.8.1的规定。

表 8.8.1 I类防爆电气设备引燃温度分组

温度组别	允许最高表面温度/℃	可燃气体蒸气引燃温度 t_1 /℃	温度组别	允许最高表面温度/℃	可燃气体蒸气引燃温度 t_1 /℃
T1	$300 \leq t_1 < 450$	$450 < t_1$	T4	$100 \leq t_1 < 135$	$135 < t_1 \leq 200$
T2	$200 \leq t_1 < 300$	$300 < t_1 \leq 450$	T5	$85 \leq t_1 < 100$	$100 < t_1 \leq 135$
T3	$135 \leq t_1 < 200$	$200 < t_1 \leq 300$	T6	$t_1 < 85$	$85 < t_1 \leq 100$

(2) 电气设备运行环境温度 一般为-20~+40℃，若环境温度不同，须在铭牌上标明，并以最高环境温度为基准计算电气设备的最高表面温度。

(3) 电气设备局部最高表面温度 对于总表面积不大于10cm²的部件（如本质安全型电路使用的晶体管或电阻），其最高表面温度相对于实测引燃温度具有下列安全裕度时，该部件的最高表面温度允许超过电气设备上标志的组别温度：

- ① T1、T2、T3组设备为+50℃；
- ② T4、T5、T6组设备为+25℃。

二、防爆电器的标志

新标准各防爆形式的标志		旧标准各防爆形式的标志		
		工厂用	煤矿用	
隔爆型	d	隔爆型	B	KB
增安型	e	防爆安全型	A	KA
本质安全型	ia; ib	安全火花型	H	KH
正压型	p	防爆通风充气	F	KF
充油型		防爆充油型	C	KC
充砂型	q			
无火花型	n			
特殊型	s	防爆特殊型	T	KT

电气设备外壳的明显处,需设置清晰的永久性凸纹标志“Ex”。小型电气设备及仪器、仪表可采用标志牌铆在或焊在外壳上,也可采用凹纹标志。

电气设备外壳的明显处,需设置铭牌,并可靠固定。铭牌需包括下列主要内容:

- ① 铭牌的右上方有明显的标志“Ex”;
- ② 防爆标志,并顺次标明防爆形式、类别、级别、温度组别等标志;
- ③ 防爆合格证编号(为保证安全指明在规定条件下使用者,须在编号之后加符号“X”);
- ④ 其他需要标出的特殊条件;
- ⑤ 有关防爆形式专用标准规定的附加标志;
- ⑥ 产品出厂日期或产品编号。

三、防爆标准举例

① II类本质安全型 ia 等级 A 级 T5 组: ia II AT5。

② 采用一种以上的复合形式,需先标出主体防爆形式,后标出其他防爆形式,如 II 类主体增安型并且有正压型部件 T4 组: ep II T4。

③ 对只允许使用一种可燃性气体或蒸气环境中的设备,其标志可用该气体或蒸气的化学分子式或名称表示,这时可不必注明组别与温度组别,例如 II 类用于氨气环境的隔爆型: d II (NH₃) 或 d II 氨。

④ 对于 II 类电气设备的标志,可以标温度组别,也可以标最高表面温度,或两者都标出,例如,最高表面温度为 125℃ 的工厂用增安型: e II T4、e II (125℃) 或 e II (125℃) T4。

⑤ 复合型电气设备,需分别在不同防爆形式的外壳上,标出相应的防爆形式。

⑥ II 类本质安全 ib 等级关联设备 C 级 T5 组: (ib) II CT5。

⑦ 对使用于矿井中除沼气外,正常情况下还有 II 类 B 级 T3 组可燃气体的隔爆型电气设备: d I / II BT3。

⑧ 为保证安全指明在规定条件下使用的电气设备,例如,指明具有抗低冲击能量的电气设备,在其合格证编号之后加符号“X”: × × × × - X。

四、防爆电气设备的形式

防爆电气设备的形式、标志、类别、级别、温度组别及防爆措施的原理见表 8.8.2。

表 8.8.2 防爆电气设备的形式、标志、类别、级别、温度组别及防爆措施原理

防爆形式	防 爆 标 志				防 爆 措 施 的 原 理
	形式	类别	级别	温度组别	
隔爆型	d	I			当外壳内部爆炸时,火焰在穿过规定缝隙的过程中,受间隙壁的吸热及阻滞作用而显著降低其外传的能量和温度,从而不能引起产品外部爆炸性混合物的爆炸
		II	A, B, C	T1 ~ T6	
增安型 ^①	e	I			在正常运行时不产生火花、电弧或危险温度的产品部件上采取适当措施(如降温、对堵转时间要求等),以提高其安全程度
		II		T1 ~ T6	
本质安全型 ^①	ia ^② ib	I			在低电压小电流的电路、系统和产品中,合理选择电路参数,一般还需采取有效的限能措施,使其在正常状态下和故障状态下产生的电火花,达不到引起周围爆炸性气体混合物爆炸的最小引燃能量
		II	A, B, C	T1 ~ T6	
正压型 ^①	p	I			向外壳内通入正压新鲜空气或充以惰性气体,以阻止爆炸性气体混合物进入外壳内部
		II		T1 ~ T6	
充油型	o	I			将可能产生火花、电弧或危险温度的带电部件浸入油中,使其不能引起油面以上爆炸性气体混合物的爆炸
		II		T1 ~ T6	
充砂型	q	I			将可能产生火花、电弧或危险温度的带电部件埋入沙中,使其不能引起沙层以外爆炸性气体混合物的爆炸
		II		T1 ~ T6	
无火花型	n	II		T1 ~ T6	在产品部件上采取适当措施,以使其在正常运行条件下不会点燃周围爆炸性气体混合物,因此一般不会发生点燃故障(其安全水平与增安型相比,略低些)
特殊型	s	I			结构上不属于上述防爆形式而采取其他防爆措施(如气密、灌封等)
		II		T1 ~ T6	

① 增安型相当于旧标准中的防爆安全型,本质安全型相当于旧标准中的安全火花型,正压型相当于旧标准中的防爆通风型或充气型,而在分级分组上有所修改。

② ia 指在正常工作、一个故障和两个故障时,均不能点燃周围爆炸性气体混合物的等级,ib 指在正常工作、一个故障时,不能点燃周围爆炸性气体混合物的等级。

五、防爆电气分级新旧标准对比 (见表 8.8.3)

表 8.8.3 防爆电气设备分级新旧标准对比

GB 3836.1—83 (新标准, 附录 C)			GB 1336—77 (旧标准)	
级别	最大试验安全间隙 δ_{\max}/mm	最小点燃电流比 MICR	级别	试验最大不传爆间隙 δ/mm
Ⅱ A	$\delta_{\max} \geq 0.9$	$\text{MICR} > 0.8$	1	$1.0 < \delta$
Ⅱ B	$0.9 \geq \delta_{\max} > 0.5$	$0.8 \geq \text{MICR} \geq 0.45$	2	$0.6 < \delta \leq 1.0$
Ⅱ C	$0.5 \geq \delta_{\max}$	$0.45 > \text{MICR}$	3	$0.4 < \delta \leq 0.6$
			4	$\delta \leq 0.4$

注: 1. δ_{\max} 是按 IEC79-1A (1975) 附录 D 方法测得的最大试验安全间隙。

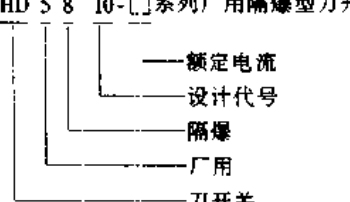
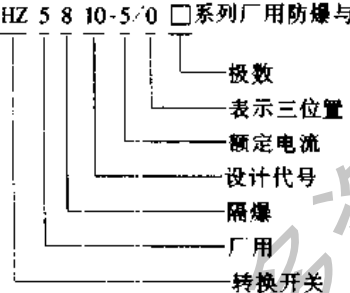

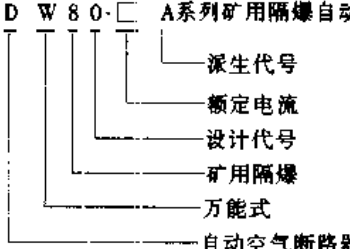
2. MICR 是按 IEC79-3 (1972) 方法测行的最小点燃电流与甲烷测得的最小点燃电流的比值。

第二节 防爆开关

一、型号、用途与适用范围

常用防爆开关的型号、用途与适用范围见表 8.8.4。

表 8.8.4 防爆开关的用途与适用范围

开关型号名称	用途	适用范围
HD 5 8 10-□□系列厂用隔爆型刀开关 	用于有爆炸危险性混合物的场所, 作为 380V、50Hz 电路不频繁、无载地接通与分断电源之用	挂式安装, 海拔 1000m, 环境温度 -25 ~ 4℃, 空气相对湿度不大于 95% (25℃ 时), 无剧烈振动, 能防止雨雪侵袭的地方。在无破坏金属和绝缘的腐蚀性气体及蒸汽的环境中, 爆炸性混合物不超过 II c 级 T4 组可靠工作
HZ 5 8 10-5/0 □系列厂用防爆与转换开关 	用于 II A、II B 级、T1、T2、T3、T4 组可燃性气体蒸气与空气形成的爆炸性危险混合物的场所, 交流 50Hz, 电压 380V 及直流电压至 220V 的电路中接通和分断电路, 为不频繁操作的手动开关	海拔 1000m, 环境温度 -20 ~ 40℃, 空气相对湿度不大于 85%, 无激烈振动和冲击的地方; 周围介质中不含有破坏金属和绝缘的腐蚀性气体或导电尘埃的场所
DZ 5 8 □-□型隔爆型自动空气开关 	用于有爆炸危险 (爆炸性混合物不超过 C 级 T4 组) 的场所, 在交流 50Hz、380V 以下的线路中作线路过载和短路保护, 并可作不频繁地接通和分断电路之用	海拔 1000m, 环境温度 -30 ~ 40℃, 无激烈振动及冲击的地方, 无破坏金属和绝缘的腐蚀性气体或蒸汽的地方, 能防止雨雪侵袭的地方可靠地工作
DW 8 0-□ A系列矿用隔爆自动馈电开关 	用于煤矿或周围介质中含有甲烷类爆炸性气体的场所, 在交流 50Hz、电压至 660V 线路中作为大容量电动机不频繁起动用, 当线路发生过载或短路时能自动切断电源	海拔 2000m, 环境温度 -5 ~ 40℃, 空气相对湿度不大于 95% (25℃ 时); 无激烈摇动或冲击震动的地方, 垂直面的倾斜度不超过 15°。在含有甲烷混合气体和蒸汽的环境; 在不足以破坏绝缘的气体或蒸汽的环境中; 在防雨雪侵袭及其正常满足蒸汽的场所

二、结构

常用防爆开关的结构见表 8.8.5。

表 8.8.5 防爆开关的结构

型 号	结 构
HD5810	由隔爆外壳及装在壳内的刀开关组成，外壳用钢板焊接，呈圆柱形。盖与外壳采用螺栓固定，以保证隔爆结合面的间隙不超过 0.2mm。大盖与外壳用铰链联接开关的右侧装有操作手柄，手柄垂直位置为刀开关闭合位置，引进、引出电缆装置设于外壳上端的接线盒上，并在接线盒上装有电压表以指示电源电压值。HD 5810-300 型刀开关分装有电压表与不装电压表两种
HZ5810	由铸铁的壳体、壳盖及出线套组成。壳体内装有转换开关元件，壳体侧面装有出线柱，出线套上有两个出线口。接线时，将橡皮电缆穿过出线压紧螺母、垫圈、橡胶封垫，出线套的出线口和出线柱相连接，将出线套和壳体用螺钉紧固后，再将出线压紧螺母旋紧，使橡胶封垫起到密封作用，壳盖与壳体也用螺钉紧固，使其间隙不大于 0.1mm
DZ5810-80	由隔爆外壳与装在壳内的自动开关元件及指示灯等组成。自动开关手动操作，利用壳外手柄接通、分断电路，手柄所处位置分合标志明显 隔爆外壳为方形，用钢板焊接而成，主腔的盖与壳体用铰链连接，所有盖与壳体间的防爆结合面均采用螺栓紧固，隔爆结合面的间隙宽度不大于 0.2mm。接线盒备两个，上部为电源侧，下部为负荷侧，接线盒有两个进出口供橡皮电缆进出 外壳内装 DZ100 自动开关元件有电磁脱扣和复式脱扣两种
DW80	由一台三极万能自动空气断路器及外壳组成。外壳为圆柱形，外壳与盖的连接采用转盖式，操作手柄置于外壳的右边，用于分断和关合断路器，盖子和操作手柄间装有联锁装置，以防止在盖子打开时闭合断路器。如要打开盖子，必须先分断断路器。外壳上部的接线箱用以引出、引进电源电缆和控制电缆，接线口为喇叭形，用螺母、橡胶垫圈和金属垫圈使电缆和接线箱压紧

三、常用防爆开关的主要技术数据

HD5810 型刀开关的主要技术数据见表 8.8.6。HZ5810 系列转换开关的主要技术数据见表 8.8.7。DZ 型隔爆型自动空气开关主要技术数据见表 8.8.8。DW 型隔爆型自动馈电开关主要技术数据见表 8.8.9。

表 8.8.6 HD5810 型刀开关的主要技术数据

型 号	额定电流/A	额定电压/V	内 装 元 件	
			刀开关	交流电压表
HD5810-150	150	380	HD14-200	62T2-V
HD5810-300	300	380	HD14-400	62T2-V

表 8.8.7 HZ5810 系列转换开关的主要技术数据

型 号	额定电压/V		额定电流/A	结构特点
	交流	直流		
HZ5810-5/1	220	380	5	单极二位置
HZ5810-5/2				双极二位置
HZ5810-5/01				单极三位置

表 8.8.8 DZ 型隔爆型自动空气开关主要技术数据

型 号	额定电压/V	额定电流/A	脱扣器整定电流/A		
			二 极	三 极	复 式
DZ5810-80	380	80	10、6.4、6	80	50、40
DZ5811-20/2	220	20		10	
DZ5811-20/3	380	20			

表 8.8.9 DW 系列隔爆自动馈电开关的技术数据

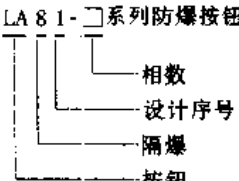
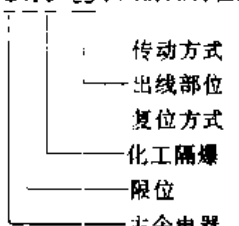
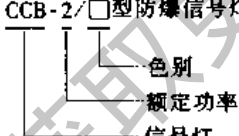
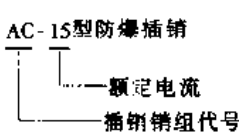
型 号	额定电压/V	额定电流/A	极限转换能力/kA		脱扣器额定电流/A	瞬时脱扣整定电流/A	重量/g
			360V	660V			
DW80-100	380, 660	100			100	100 ~ 150 ~ 300	130
DW80-200	380, 660	200			200	200 ~ 300 ~ 600	130
							120
							130
							125
DW80-200A	380	200	15	7	400	200 ~ 300 ~ 600	130
DW80-350	380, 660	350				400 ~ 600 ~ 1200	
							125
DW80-350A	380	350	15	7		400 ~ 600 ~ 1200	
DW80-400	380, 660	400			400	400 ~ 600 ~ 1200	130

第三节 防爆主令电器、信号灯及插销

一、型号、用途与适用范围

常用防爆主令电器、信号灯及插销的型号、用途与适用范围见表 8.8.10。

表 8.8.10 常用防爆主令电器、信号灯及插销的型号、用途与适用范围

型号名称	用 途	适 用 范 围
LA 8 1-□系列防爆按钮  <ul style="list-style-type: none"> — 相数 — 设计序号 — 隔爆 — 按钮 	适用于工厂爆炸性气体环境和煤矿井下, 对电磁起动器、接触器、继电器和信号装置进行控制	周围介质中含有爆炸性混合气体为 C 级 T3 组场所, 无破坏绝缘的气体, 导电尘埃及蒸汽的环境中; 有防止滴水或液体浸人的环境中
LX 5-□系列防爆行程开关  <ul style="list-style-type: none"> — 传动方式 — 出线部位 — 复位方式 — 化工隔爆 — 限位 — 主令电器 	适用于爆炸性气体混合物的环境中, 交流 50Hz、电压至 380V 或直流至 220V 的线路中, 作为控制运动机构的行程和变换运动方向或速度用	用于仅在事故情况下才含有 C 级 T4 组爆炸性气体混合物的环境中, 户内或户外有遮蔽的车间, 周围介质中不含有破坏金属的活动性化学物质的场所
CCB-2/□型防爆信号灯  <ul style="list-style-type: none"> — 色别 — 额定功率 — 信号灯 	适用于交流 220 或 110V 的电路中作各种灯光信号用	周围介质在事故情况下才含有 C 级 T4 组爆炸性混合物的环境, 户内或户外有遮蔽的车间, 周围不得含有破坏金属或绝缘的化学物质
AC-15型防爆插销  <ul style="list-style-type: none"> — 额定电流 — 插销组代号 	适用于交流电压 380V、电流 15A 的线路中, 作为连接照明灯及小型手持电动工具用, 产品有斜式和水平式两种	周围介质中仅在事故情况下才含有 C 级 T4 及以下的爆炸性混合物的工业企业中, 户内及户外有遮蔽的生产车间, 周围介质中不得含有破坏金属和绝缘的活动性化学物质的场所

二、结构特点

常用防爆主令电器、信号灯及插销的结构特点见表 8.8.11。

表 8.8.11 防爆主令电器、信号灯及插销的结构特点

型 号	结 构
LA81	由隔爆外壳与装在壳内不同数量的按钮元件组成。按钮元件具有一组常开触头或一组常闭触头，或同时具有两组常开（或常闭）触头。 隔爆外壳用可锻铸铁制成，它包括盒座与盒盖，两者采用六角螺钉固紧在一起，盖上有孔，经该孔向外伸出控制按钮的按钮杆
LX5	分直动式和转动式两种结构形式。它们均为下出线或侧出线，其中直动式的防爆行程开关只用于挡板的移动速度大于0.4m/min的机构。 转动式行程开关用滚轮杠杆传动分为： ① 带有一个滚轮开关能自动复位； ② 带有二个滚轮开关不能自动复位。 直动式防爆行程开关内装 BK-111 行程开关，其传动部分装有橡皮罩以供防水之需 转动式防爆行程开关具有瞬时动作的特点
CCB-2/□	由灯座、降压变压器、出线口三部分组成。灯座外壳为圆柱形，内装有 19V, 0.11A 的小电珠。变压器装在方形塑料外壳内，出线口用玻璃纤维塑料压制。灯罩玻璃具有各种色别以区别线路信号，玻璃外面有防护罩
AC-15	插销由插座及触头两部分组成，其外壳用高强度铸铝合金制成，插座连接于电源侧，插头连接于电气设备侧 插座由供连接导线的接线盒及接通电流的主插套和接地插套组成，并带有快速切换开关，开关用绝缘座固定在插座外壳上 插头有用来分合开关的转套；插头的接地触头比主触头长；插销的进出线口均具有橡胶垫圈及压紧螺母，进线可用电缆布线，若用钢管作电缆保护管时，进线口为 $\phi 20\text{mm}$ 带螺纹

三、主要技术数据

常用防爆主令电器、信号灯及插销的主要技术数据见表 8.8.12 至表 8.8.15。

表 8.8.12 LA87-A 系列隔爆型控制按钮技术数据

型 号	额定电压/V		额定电流/A	防爆标志	配线方式	密封圈最大孔径/mm	钮数	重量/kg
	交流	直流						
LA81-1A LA81-2A LA81-3A	380	220	15	B3C ^①	电缆	19	1 2 3	5 7 10

① 按旧标准标法。

表 8.8.13 LX5 系列防爆行程开关技术数据

开关形式	额定电压/V		额定电流/A	防爆标志	触头对数/对		触头转换时间/s	操作速度/(m/min)	动作/°	工作行程/mm	配线方式	密封圈最大孔径/mm	重量/kg
	交流	直流			常开	常闭							
直 动	380	220	5	B3Ad ^①	1	1	≤0.04	>0.4	≈12°	10~12	电缆	12	6.0
转 动													

① 按旧标准标法。

表 8.8.14 CCB-2 型防爆信号灯技术数据

额定电压/V	额定功率/W	防爆标志	配线方式	灯头形式	色 别	重量/kg
110/12, 220/12	2	B3Ad ^①	钢管, 电缆	E10	红, 黄, 蓝, 绿, 白	2.3

① 按旧标准标法。

表 8.8.15 AC-15 型防爆插销技术数据

型 号	额定电压/V	相 数	额定电流/A	防爆标志	配线方式	密封圈最大孔径/mm	进出口直径/mm	重量/kg
AC-15	380	3 相 4 相	15	B3Ad ^①	电缆	16	20	2

① 按旧标准标法。

第九章 低压成套开关设备和电控设备

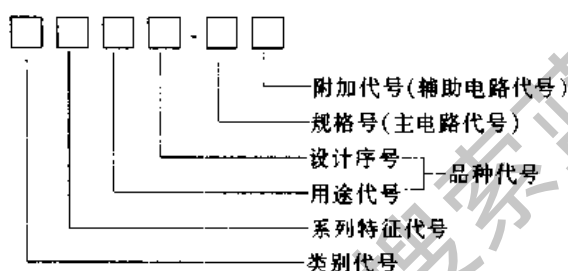
第一节 概 述

低压成套开关设备和电控设备系指交流额定频率不超过 1000Hz，额定电压交流不超过 1000V（对矿用设备为 1140V），直流不超过 1500V 的开关和电控设备，主要用于工业企业、民用设施中，在低压配电网络中作为接受和分配电能及用电设备的控制和保护之用。

一、产品命名及分类

1. 产品型号命名方法及其代号含义

低压成套开关设备和控制设备的型号命名方法我国有统一的规定。产品的全型号由类别代号、系列特征代号、品种代号（包括用途代号和设计序号）、规格代号和附加代号组成，形式如下：



(1) 类别代号 类别代号按产品的结构特征进行划分，其代号含义见表 8.9.1。

表 8.9.1 类别代号含义

类别代号	含 义	类别代号	含 义
P	开启式配电屏	T	封闭式控制台
G	封闭式配电柜	C	母线通道，母线槽
X	封闭式配电箱	—	—

(2) 系列特征代号 系列特征代号按产品的形式特征进行划分，其代号含义见表 8.9.2。

表 8.9.2 系列特征代号含义

系列特征代号	含 义	系列特征代号	含 义
B	固定安装式（正面不带电，操作、维修不会触及带电部分）	L	电器元件固定安装，回路间采用隔离式
C	抽出式，手车式，回路间采用隔室、主电路母线有绝缘层或采用金属或绝缘隔离	M	抽出式，回路间采用隔室，母线不隔离
D	不隔相式	R	嵌入式
E	隔相式	S	主电路元件为抽出式，控制回路为手动连接插头的抽出式
F	分相隔离式	X	悬挂式
G	电器元件固定安装，固定接线	Y	移动式
H	抽出式与电器元件固定安装式。混合安装形式	Z	组合式

(3) 品种代号 品种代号按产品的用途进行划分。品种代号由用途代号与设计序号组成。用途代号用字母表示，其代号含义见表 8.9.3。设计序号用数字表示，由 1 开始编排。

(4) 特定代号 对于特殊环境使用的低压成套开关设备，可在全型号后加注指定的代号，其代号含义见表 8.9.4。

表 8.9.3 用途代号含义

用途代号	含 义	用途代号	含 义	用途代号	含 义
A	矿用	L	动力, 动力中心	H	海上平台用, 船用
B	变电站	M	照明	J	无功功率补偿
C	计量	N	农村用	Z	直流, 插座
D	配电	F	分线	X	母线
K	控制, 控制中心	G	化工用	Y	电源

表 8.9.4 特定代号含义

附加代号	含 义	附加代号	含 义
H	热带产品	C	防尘式
TH	温热带产品	W	户外式(包括防雨、防溅、防霉、防尘等要求)
F	防腐式	R	耐燃型

2. 产品分类

(1) 按结构形式分类

- ① 固定式: 功能单元固定安装。
- ② 抽出式: 功能单元制作成抽屉, 可方便地插入和抽出, 即使主电路带电也不例外。
- ③ 混装式: 开关设备中既有固定式功能单元, 也有抽出式功能单元。

(2) 按用途分类

- ① 受电柜(屏、单元)。
- ② 馈电柜(屏、单元)。
- ③ 电动机控制中心(MCC)。
- ④ 计量柜(单元)。
- ⑤ 电容器补偿柜(屏)。

二、主要技术要求

1. 正常使用条件(户内)

- (1) 周围空气温度 周围空气温度不超过 $+40^{\circ}\text{C}$, 下限为 -5°C , 而且在24h内其平均温度不得超过 $+35^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 大气条件 空气清洁。在最高温度为 40°C 时, 其相对湿度不得超过50%; 在较低温度时, 允许有较大的相对湿度, 例如 20°C 时相对湿度为90%。但应考虑到由于温度变化, 有可能会偶尔产生适度的凝露。
- (3) 海拔高度 安装场地的海拔不得超过2000m。对于在海拔高于1000m处使用的电子设备, 有必要考虑介电强度的降低和空气冷却效果的降低。
- (4) 污染等级 污染等级为3。

凡是超出上述正常使用条件范围属特殊使用条件, 用户与制造商应协商确定, 并在合同书中或作为合同附件的技术协议书中明确规定。

2. 主要技术参数

- (1) 额定工作频率 50Hz, 60Hz。
 - (2) 额定工作电压 交流: 380V, 660V;
直流: 220V, 440V。
 - (3) 额定绝缘电压 不低于主电路中的最高额定工作电压。而且任一电路的工作电压, 即使是瞬时, 也不得超过额定绝缘电压的110%。
 - (4) 额定电流 100A, 125A, 160A, 200A, 250A, 315A, 630A, 800A, 1000A, 1250A, 1630A, 2000A, 2500A, 3150A, 4000A。
 - (5) 额定短时耐受电流(有效值1s) 15kA, 30kA, 50kA, 80kA。
 - (6) 额定峰值耐受电流 30kA, 63kA, 101kA, 176kA。
 - (7) 介电强度
- ① 主电路及直接接入主电路上的辅助电路, 应符合表8.9.5规定的要求。

表 8.9.5 主电路及直接接入主电路上的辅助电路介电试验电压

额定绝缘电压 U_i/V	介电试验电压(交流)(有效值)/V	额定绝缘电压 U_i/V	介电试验电压(交流)(有效值)/V
$U_i \leq 60$	1000	$690 < U_i \leq 800$	3000
$60 < U_i \leq 300$	2000	$800 < U_i \leq 1000$	3500
$300 < U_i \leq 690$	2500	$1000 < U_i \leq 1500$	3500

② 不由主电路直接供电的辅助电路(与主电路隔离)应符合表 8.9.6 中规定的介电试验电压值。

表 8.9.6 辅助电路(与主电路隔离)介电试验电压

额定绝缘电压 U_i/V	介电试验电压(交流)(有效值)/V
$U_i \leq 12$	250
$12 < U_i \leq 60$	500
$U_i > 60$	$2U_i + 1000$, 其最小值为 1500

(8) 电气间隙和爬电距离

① 主汇流排、支母排及抽出式功能单元的主电路接插件,其相间、相对裸露导体之间,电气间隙与爬电距离均不小于 20mm。

② 其他不等电位的带电部件之间,带电部件与裸露导体之间的电气间隙与爬电距离应符合表 8.9.7 的规定。

表 8.9.7 电气间隙和爬电距离

额定绝缘电压 U_i/V	电气间隙/mm		爬电距离/mm	
	63A 及以下	大于 63A	63A 及以下	大于 63A
$U_i \leq 60$	3	5	3	5
$60 < U_i \leq 300$	5	6	6	8
$300 < U_i \leq 660$	8	10	10	12
$U_i > 660$	待定	待定	待定	待定

(9) 外壳防护等级 外壳防护等级不低于 IP2X。

(10) 母线

① 主母线的布置 有柜顶式和柜后式两种布置方式。

② 母线排列顺序应符合表 8.9.8 的规定。

表 8.9.8 母线排列顺序

类 别	垂直排列	水平排列	前后排列
交 流	A 相	左	远
	B 相	中	中
	C 相	右	近
	中性线 中性保护线	最下	最右
直 流	正极	左	远
	负极	右	近
保护线	—	—	—

注: 1. 在特殊情况下,如果按此相序排列会造成母线配置困难,可不按本表规定。

2. 中性线或中性保护线如果不在相线附近并行安装,其位置可以不按本表规定。

3. 母线色标

① 交流: A 相为黄色, B 相为绿色, C 相为红色, 中性线(N)为淡蓝色, 保护导体(PE, PEN)为黄绿相间双色。

② 直流: 正极为棕色, 负极为蓝色, 接地中线为淡蓝色。

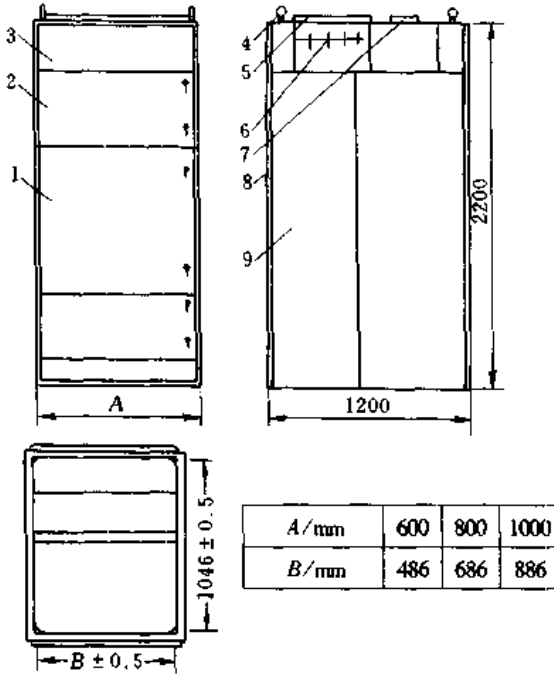
第二节 GCL1、GCK1 型低压抽出式开关设备

GCL1 和 GCK1 型低压抽出式开关设备是用于交流 50~60Hz, 额定工作电压为 380V、660V 的低压配电网中, 作为动力配电中心和电动机控制中心。GCL1 仅作为动力中心使用, GCK1 主要用于电动机控制中心, 并配以相应的动力中心。

一、结构特点

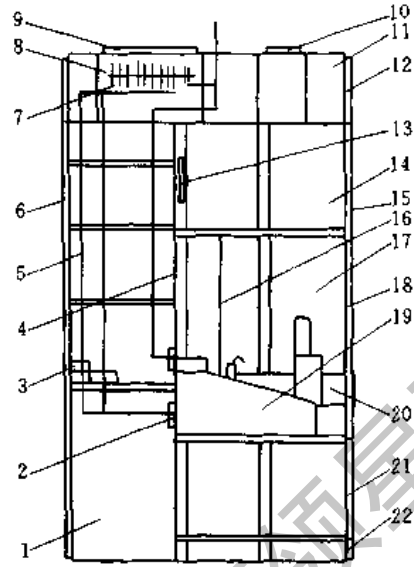
GCL1 和 GCK1 型低压抽出式开关设备的柜体是由带翼(双边或单边)方管型钢作为立柱等基础结构件,

用专用连接件组装而成。柜示意图见图 8.9.1。



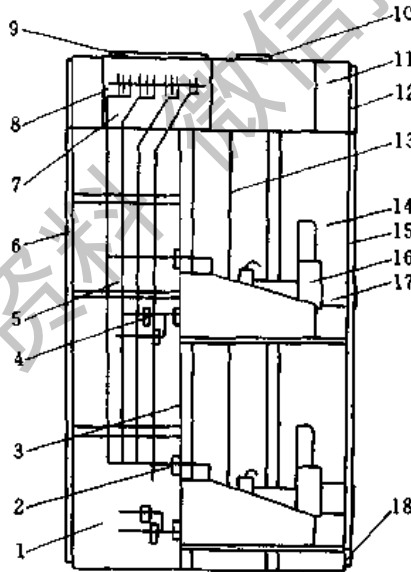
(a) GCL1 开关柜外形示意

- 1—隔室门；2—仪表门；3—控制室封板；
4—吊环；5—防尘盖；6—主母线室；
7—压力释放装置；8—后门；9—侧板



(b) 进线、母联柜内部结构示意图

- 1—电缆室；2—绝缘隔板；3—电流互感器；4—金属隔板；
5—垂直母线；6—后门；7—水平母线；8—水平母线夹；
9—防尘盖；10—压力释放装置；11—控制线室；12—控制线室封板；13—安装板；14—仪表室；15—仪表门；
16—活门；17—抽屉室；18—隔室门；19—主开关；
20—绝缘套；21—小门；22—封板



(c) 出线柜内部结构示意图

- 1—电缆室；2—绝缘隔板；3—金属隔板；4—电流互感器；5—垂直母线；6—后门；7—水平母线夹；
8—水平母线；9—防尘盖；10—压力释放装置；11—控制线室；12—控制室封板；13—活门；
14—隔室；15—隔室门；16—主开关；17—绝缘套；18—封板

图 8.9.1 GCL1 外形及结构示意图

GCL1 的柜体只有两种隔室：电缆室和功能单元隔室。电缆室既供电缆走线，也供断路器等功能单元进线母线安装。GCK1 的柜体有三种隔室：母线室、功能单元室和电缆室。垂直母线有封闭罩分隔成独立的隔室。

GCK1 的抽出式功能单元为框架式结构。抽屉高度最小为 160mm，以 80mm 为模数增加，最高的功能单元为 720mm。

GCK1 电控单元主电路中，采用了限流线来限制短路电流。

二、主要技术参数 (见表 8.9.9)

表 8.9.9 低压抽出式开关设备主要技术参数

名 称		GCL1	GCK1
额定工作电压/V		AC: 380	
额定工作电流/A	水平母线	3159	3000
	垂直母线		600
额定短时耐受电流/kA	水平母线	59, 80	59, 80
	垂直母线	59, 80	59, 80
额定峰值耐受电流/kA	水平母线	105, 176	105, 176
	垂直母线	105, 176	105, 176
防 护 等 级		IP40	

第三节 GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜

GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜适用于石油、化工、冶金、纺织、发电厂等工矿企业, 作为三相交流 50Hz、额定电压 660V 及以下的低压配电、电动机控制及照明之用。

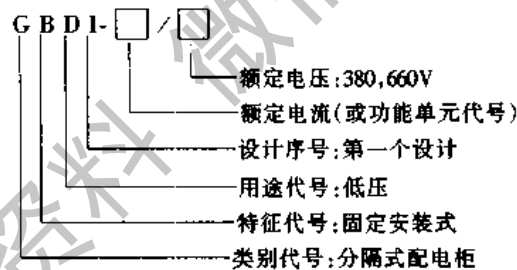
一、结构特点

柜体为垂直地面安装, 自撑式, 其骨架是由 HX-1Y、XY-2Y 薄壁冷弯高频焊接异型材用三维角板组装而成, 大大增强了柜体强度。零件表面采用镀锌或环氧粉末喷涂工艺, 柜体美观, 防腐能力强。

装有 ME 断路器的进线柜具有电子门锁联锁, 只有当断路器处于分断状态时方可开门检查, 操作安全可靠。

馈电柜柜体为全封闭式, 前后采用开门结构, 柜内部回路与回路之间、回路与母线之间采用钢板分隔, 限制了意外事故的蔓延。柜顶装有通风窗口, 柜底采用钢板封闭, 并设有透气孔及电缆出线的敲落孔。

二、产品型号含义



三、常用技术参数 (表 8.9.10)

表 8.9.10 GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜技术参数

项 目	数 据	项 目	数 据
额定工作电压/V	交流 380, 660	垂直母线短时耐受电流 (有效值)/(kA/1s)	50
水平母线额定电流/A	1600, 2500,	水平母线峰值耐受电流/(kA/0.1s)	176
	3150	垂直母线峰值耐受电流/(kA/0.1s)	105
垂直母线额定电流/A	630, 1000	馈电回路额定短路分断能力 (有效值)/kA	35
水平母线短时耐受电流 (有效值)/(kA/1s)	80	外壳防护等级	IP40

四、选用、使用与维护

1. 选用

GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜使用条件如下。

- ① 周围空气温度不高于 40℃, 不低于 -5℃, 24h 内平均温度不得高于 35℃。
- ② 户内使用, 使用地点的高度不得超过 2000m。
- ③ 周围空气相对湿度在最高温度为 40℃ 时不超过 50%。
- ④ 装置安装时与垂直面的倾斜度不超过 5°。

⑤ 装置应安装在无剧烈震动和冲击以及不足以使电器元件受到不应有腐蚀的场所。

GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜共有主电路方案 57 个规格, 额定工作电流为 3150A 及以下, 适合 2000kVA 及以下的配电变压器选用, 适用于发电、供用电和其他电力用户的需要, 主要用于厂矿企业及高层建筑的变电所的低压系统。方案中设有操作电气联锁、备用、自投、自复等控制电路。工程设计中可以直接采用。

2. 安装使用

① 用户应根据制造厂提供的柜体底脚尺寸预先做好槽钢基础, 然后将柜就位, 紧固底脚的柜间连接螺栓及水平母线, 母线的连接必须牢固可靠。

② 仪表的刻度整定、互感器的变比及极性应正确无误。

③ 馈电柜功能单元一次出线端子搭接处应加装绝缘护套。

④ 装置单独或成列安装时, 其垂直度以及柜面不平和柜间缝隙的偏差应符合表 8.9.11 规定。

表 8.9.11 安装偏差

项 目	允差/mm	项 目	允差/mm
垂直度	3.3	不平度 相邻两柜边	1
水平度 相邻两柜顶部	2	成列柜边	5
成列柜顶部	5	柜间接缝	2

3. 维护

① 电气元件的操作机构应调整灵活, 使其没有卡涩或操作力过大现象。

② 对母线搭接、绝缘支撑件、安装件及其他附件安装进行紧固。

③ 空气断路器、塑壳断路器经过多次分、合, 特别是经过短路分、合后, 会使触头局部烧伤和产生碳类物质, 使接触电阻增大, 应按断路器使用说明书进行维护和检修。

第四节 GCS 型交流低压抽出式开关柜

GCS 型交流低压抽出式开关柜由动力配电中心(PC)和电动机控制中心(MCC)两部分组成, 适用于发电厂、石油化工、冶金、纺织、高层建筑供电等行业, 在大型发电厂、石油化工等自动化程度高, 要求与计算机接口的场所, 作为三相交流频率为 50(60)Hz, 额定工作电压为 380(660)VAC, 额定电流为 4000A 及以下的发电供电系统中的配电, 电动机集中控制, 电抗器限流, 无功功率补偿使用的低压成套配电装置。

一、结构特点

1. 总体结构特点

① 主构架采用 8MF 开口型钢, 由 2.5mm 冷轧钢板组成, 在型钢的二侧面分别有模数为 20mm 和 100mm, $\phi 9.2$ mm 的安装孔, 具有强度高, 便于模块化安装的特点。

② 主构架设计为二种: 全组装式和部分(侧框和横梁)焊接式结构, 以适应不同层次用户的需要。

③ 各功能室严格分开, 其隔室主要分为功能单元室、母线室、电缆室, 各单元作用相对独立, 互不影响。

④ 水平主母线采用柜后平置式排列, 增强了母线抗短路电流产生的电动力的能力。

⑤ 装置与外部电缆的连接在电缆隔室中完成, 零序电流互感器置于电缆隔室中, 安装维修简易便捷。

2. 功能单元

① 抽屉类型分为 1/2 单元(160mm 高)、1 单元(160mm 高)、3/2 单元(240mm 高)、2 单元(320mm 高)、3 单元(480mm 高)五个尺寸系列, 回路额定电流在 400A 及以下。

② 功能单元安装区域高度为 1760mm, 每台装置最多能安装 11 个 1 单元抽屉或 22 个 1/2 单元抽屉, 单柜回路最多。其中 1/2 抽屉特别适用于小容量控制回路。

③ 抽屉均具有合闸、分闸、试验、抽出、隔离五个位置, 并具有明显标志。

④ 1 单元及以上抽屉均设有机械联锁装置和紧急解锁装置。

⑤ 抽屉进出线根据电流大小采用不同片数的同一规范片式结构接插件。

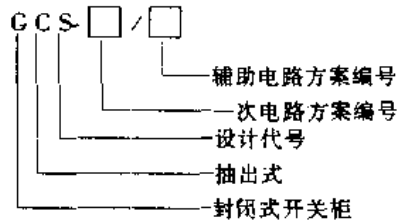
⑥ 1/2 单元抽屉与电缆室的转接采用背板式转接件。1 单元抽屉与电缆室的转接采用棒式结构转接件。

3. 母线系统

(1) 水平母线 水平母线置于柜后部母线隔室内, 3150A 及以上为上下双层布置, 2500A 及以下为单层布置, 大大提高了母线的抗短路强度能力。

(2) 垂直母线 用于抽屉柜的垂直母线采用 L 形母线, 密封于由防腐阻燃工程塑料制成的功能板中, 强度高, 安全可靠。

二、产品型号含义



三、常用技术参数 (表 8.9.12)

表 8.9.12 GCS 型交流低压抽出式开关柜技术参数

项 目	数 据
主电路额定电压/V	AC: 380 (660)
辅助电路额定电压/V	AC: 220, 380; DC: 110, 220
额定频率/Hz	50 (60)
额定绝缘电压/V	660
水平母线额定电流/A	1600, 2500, 3150, 4000
垂直母线额定电流/A	1000
母线额定短时耐受电流 (有效值) / (kA/1s)	50, 80
母线额定峰值耐受电流 / (kA/0.1s)	105, 176
馈电回路额定短路分断电流 (有效值) /kA	50
主电路接插件/A	200, 400
辅助电路接插件/A	15
控制电机最大容量/kW	200
防护等级	IP30, IP40
操作方式	就地, 远方, 自动

四、选用、使用与维护

1. 选用

使用条件如下。

- ① 周围空气温度不高于 40℃, 不低于 -5℃, 24h 内平均温度不得高于 35℃。
- ② 户内使用, 使用地点的高度不得超过 2000m。
- ③ 周围空气相对湿度在最高温度为 40℃ 时不超过 50%。
- ④ 装置安装时与垂直面的倾斜度不超过 5°。
- ⑤ 装置应安装在无剧烈震动和冲击以及不足以使电器元件受到不应有腐蚀的场所。

GCS 型交流低压抽出式开关柜共有主电路方案 36 组 118 个规格, 适用于发电、供用电和其他电力用户的需要。额定工作电流为 4000A 及以下, 适合 2500kVA 及以下的配电变压器选用。共有辅助方案 200 余种, 主要用于厂矿企业及高层建筑的变电所的低压系统, 其中编制了 6 种适用于双电源进线操作控制的组合方案, 并设有操作电气联锁、备用、自投、自复等控制电路。工程设计中可以直接采用。馈电柜和 MCC 柜电流隔室有 240mm 和 440mm 宽两种规格。MCC 柜以抽屉为主体, 也可抽屉与固定式安装混合使用。其中单台 MCC 柜最多可装 1/2 单元抽屉 22 个或 1 单元抽屉 11 个。

2. 安装使用

① 用户应根据制造厂提供的柜体底脚尺寸预先做好槽钢基础, 然后将柜就位, 紧固底脚的柜间连接螺栓及水平母线, 母线的连接必须牢固可靠。

② 抽屉或拍出式机构的动、静触头的中心线应一致, 触头接触应紧密。主、辅触头的插入深度应符合要求。机械联锁或电气联锁装置应动作正确, 闭锁和解除均应可靠。

③ 抽屉或抽出式机构抽拉应灵活、轻便, 无卡阻和碰撞现象。

④ 相同尺寸的抽屉应能方便互换, 无卡阻和碰撞现象。

⑤ 装置单独或成列安装时,其垂直度以及柜面不平度和柜间缝隙的偏差应符合表 8.9.13 规定。

表 8.9.13 安装偏差

项 目	允差/mm	项 目	允差/mm
垂直度	3.3	不平度 相邻两柜边	1
水平度 相邻两柜顶部	2	成列柜边	5
成列柜顶部	5	柜间接缝	2

3. 维护

- ① 调整灵活电气元件的操作机构,使其没有卡涩或操作力过大现象。
- ② 对母线搭接、绝缘支撑件、安装件及其他附件安装进行紧固。
- ③ 空气断路器、塑壳断路器经过多次分、合,特别是经过短路分、合后,会使触头局部烧伤和产生碳类物质,使接触电阻增大,应按断路器使用说明书进行维护和检修。

第五节 ID/IDS 全绝缘全封闭配电柜

ID/IDS 全绝缘全封闭配电柜是采用德国 KM 公司专有技术制造的一种新型配电柜。其透明外壳采用聚碳酸酯工程塑料制造,结构模数化,机械强度高,绝缘性能好,有抗腐蚀、抗老化、防尘、防潮、阻燃等优点,外壳防护等级达 IP55,尤其适合于沙漠、油田、化工、轻纺、建材、粮食加工等粉尘多,污染严重等恶劣环境的工作场所,在中、小型供电网络(供电变压器为 160~630kVA)中作为动力中心(PC)和电动机控制中心(MCC)使用。

一、结构特点

ID/IDS 配电柜的最大特点是所有的功能单元都组装在相互隔离的 Ci 绝缘外壳中,并配以透明的防护罩,可以清晰地看到功能单元内部元件及其工作状态。Ci 绝缘外壳是模数化的,它有四种尺寸可供选择。根据电气元件的大小和数量选择合适的 Ci 绝缘外壳,可以方便地组成各种功能用途的配电屏。

二、产品分类

1. ID 自立式配电屏

ID 自立式配电屏由装有各种功能单元的 Ci 绝缘外壳和绝缘基座组成。各种功能单元固定安装在 Ci 外壳中,绝缘基座高 660mm,供中性线、保护导体(PE)和进出线电缆接线端子安装用。屏宽为 360mm,屏高可根据功能单元的规格和数量分为 1850mm、2100mm、2350mm 三种,其中上部为 Ci 外壳构成的母线箱。如需要,底部可加装 300mm 高电缆室。

2. IDS 自立抽屉式

IDS 自立式配电屏结构形式及外形尺寸与 ID 自立式配电屏一样,也是由各种 Ci 外壳构成,不过它是抽屉式的,带有垂直母线及各种抽屉单元。在更换、增加抽屉时,不需要切断电源。抽屉单元可安装电动机启动器和馈电开关。主电路接插件位于安装板后侧,其额定电流为 100A,两组并联可达 200A,三组并联可达 250A。

3. ID 挂壁式小型配电屏

ID 挂壁式小型配电屏用紧固角架固定在墙壁上,紧固角架固定在配电屏后面,使配电屏可离开墙壁 50mm,电缆可从配电屏后面进出。

三、主要技术参数

- (1) 额定工作电压 交流 660V。
- (2) 额定绝缘电压 交流 660V,直流 880V。
- (3) 主母线额定参数
 - ① 额定电流: 250A, 400A, 630A, 1000A。
 - ② 短时耐受电流: 25kA, 40kA, 50kA, 80kA。
 - ③ 峰值耐受电流: 52.5kA, 84kA, 105kA, 176kA。
- (4) 垂直母线额定参数
 - ① 额定电流: 400A。
 - ② 短时耐受电流: 40kA。
 - ③ 峰值耐受电流: 84kA。
- (5) 外壳防护等级 外壳防护等级为 IP55。

第六节 MNS 型低压成套设备

MNS 型低压成套设备适用于交流 50~60Hz, 额定工作电压 660V 及以下的系统, 用于发电、输电、配电作为电能转换和电能消耗设备的控制。

MNS 型低压成套开关设备除一般陆用外, 经过特殊处理后, 可以用于海上石油钻井平台和核电站中。

一、结构特点

MNS 型开关设备的装置基本框架为组合装配式结构, 框架的全部构件都经过镀锌处理, 通过自攻锁紧螺钉或 8、8 级六角螺钉紧固互相连接成基本框架, 可按各设计方案要求, 组装成各种完整的结构装置。装置内的零部件尺寸、隔室尺寸实现模数化 (单位模数 $E=25\text{mm}$)。MNS 型低压成套设备由三部分组成。

(1) 动力配电中心 (简称 PC)

(2) 电动机控制中心和小电流动力配电中心 (简称 MCC) MCC 柜按功能单元结构型式可分为抽出式和可移式两种。

(3) 功能单元

① 抽出式功能单元: 它有五种标准尺寸。功能单元的主电路进线和出线均采用插接式。

② 可移式 MCC 功能单元: 它有七种标准尺寸。功能单元的主电路进线为插接式, 出线为固定接线式。

二、产品分类

1. 按功能分

(1) 动力配电中心 (PC) 柜

(2) 电动机控制中心 (MCC) 柜

(3) 补偿电容器柜

2. 按结构形式分

(1) 抽出式

(2) 可移式

3. 按操作面分 (仅限于 MCC 型柜)

(1) 单面操作

(2) 双面操作

三、主要技术参数 (见表 8.9.14)

表 8.9.14 MNS 型低压成套设备主要技术参数

额定工作电压/V		380, 660
额定绝缘电压/V		660
额定工作电流/A	水平母线	630~5000
	垂直母线	800~2000 ^①
额定短时耐受电流, 有效值 (1s) (峰值)/kA	水平母线	50~100/105~250
	垂直母线	60/130~150
外壳防护等级		IP30, IP40, IP54 ^②
外形尺寸 (高×宽×深)/mm		2200×600 (800, 1000) ×600 (1000)

① 垂直母线额定工作电流: 单面或双面操作的抽出式 MCC 为 800A, 可移式为 1000A; 柜深 1000mm 单面操作的 MCC 为 800~2000A。

② 防护等级 IP54 由于降容情况严重, 故不推广使用。

四、吊运与安装

1. 吊运

MNS 开关柜出厂时有单台包装和多台整体包装多种方式。开箱吊运应参照图 8.9.2 所示方法进行吊运。

2. 安装

MNS 开关柜在现场就位, 首先应检查每台装置是否与底面垂直, 否则允许用垫块校正。然后将整个排列的底框用连接板连接起来, 安装好并柜螺钉, 将其与基础槽钢焊接起来 (无地脚螺钉), 如图 8.9.3 所示。

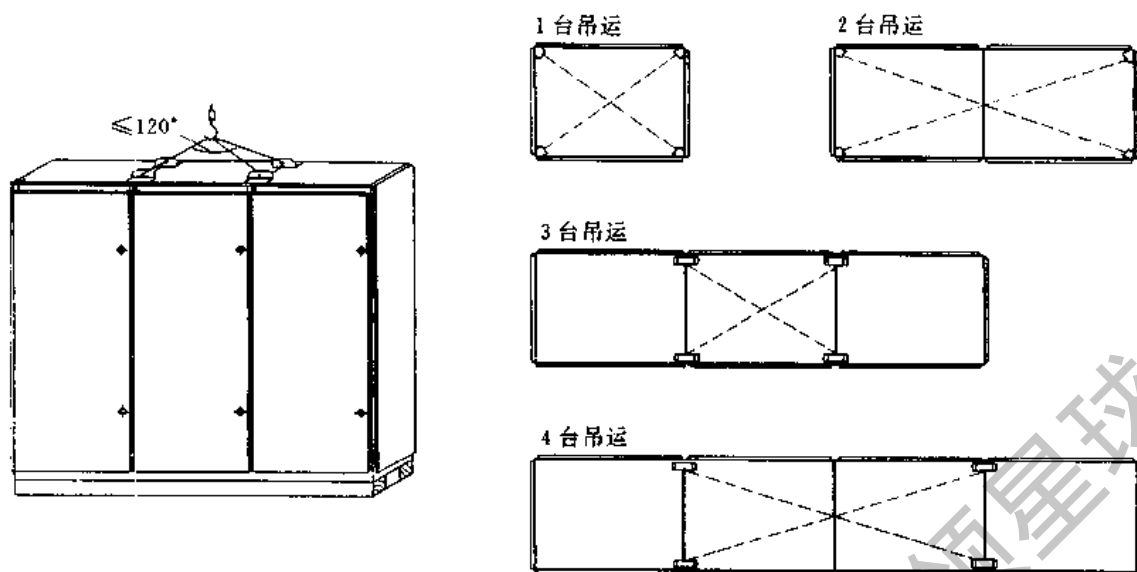


图 8.9.2 装置吊运示意图

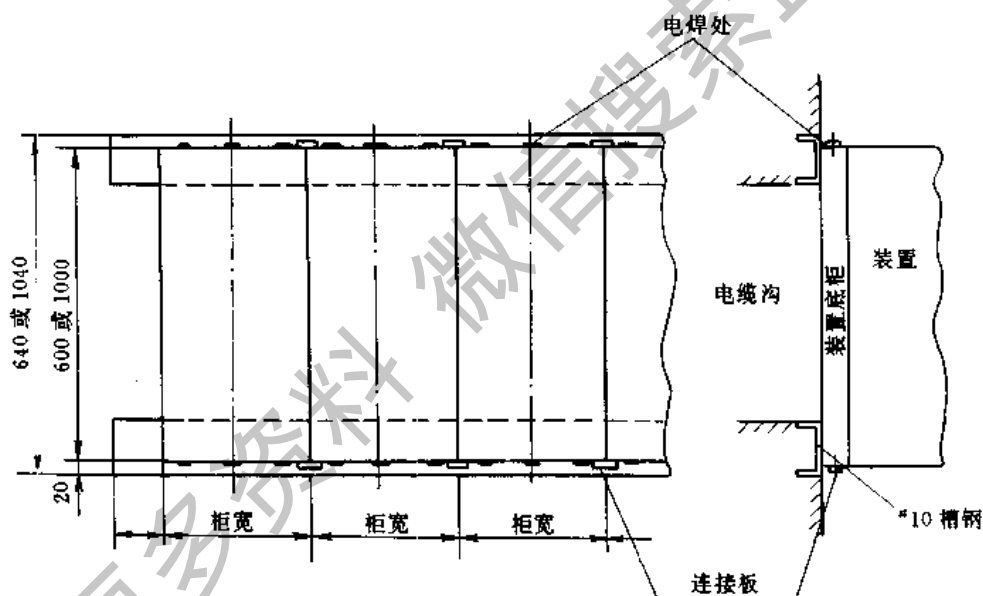


图 8.9.3 装置安装示意图

第七节 多米诺 (DOMINO) 组合式开关柜

多米诺 (DOMINO) 组合式开关柜是引进国外技术根据我国国情进行国产化设计的一种适用于三相交流 50Hz (60Hz), 额定工作电压为 380V 及 660V 的配电系统, 作为动力配电、电动机控制以及照明之用。

一、结构特点

多米诺组合式开关柜柜体采用组装式柜体, 利用模数化的结构件组装成柜体, 单台或多台并列固定在专用底柜上 (底柜最大尺寸不超过 2700mm), 便于组装和零部件的生产与储存。

柜体内利用绝缘板分隔成五个间隔区 (见图 8.9.4), 分别为: ①水平母线区; ②有效安装区; ③垂直母线区; ④电缆区; ⑤PE 导体区。结构紧凑, 以较小的空间容纳较多的功能单元。

功能单元有固定式、插入式和抽出式三种结构, 功能单元可以按结构形式分类安装, 也可以在同一柜内混合安装, 便于用户选择。

主母线和垂直支母线均采用三相五线制，提高了开关柜及用电设备的安全可靠性。

开关柜为自承式结构，现场安装时不需附加底座槽钢，方便用户安装。

二、主要技术参数（见表 8.9.15）

表 8.9.15 多米诺组合式开关柜主要技术参数

额定工作频率/Hz		50 ~ 60
额定工作电压 (AC) /V		380, 660
额定绝缘电压 (AC) /V		660
额定工作电流/A	水平母线	225 ~ 3150
	垂直母线	225 ~ 1200
额定短时耐受流 (1s 有效值) /kA	水平母线	50 ~ 80
	垂直母线	50 ~ 80
额定峰值耐受电流/kA	水平母线	105 ~ 176
	垂直母线	105 ~ 176
外壳防护等级		IP2X, IP30, IP4X

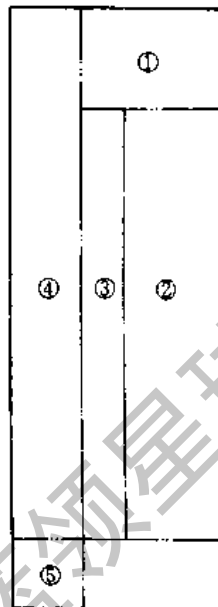


图 8.9.4 柜体间隔分区及尺寸图

第八节 S 型 MCC (GCD24) 电动机控制中心

S 型 MCC (国内型号为 GCD24) 是从日本东洋电机株式会社技术引进的产品。该产品结构设计紧凑，组装简单，牢固可靠，安装占地面积小。可容纳 16 个标准（一个高度模数）抽出式功能单元，提高了电气室单位面积的安装容量。主要适用于高层建筑、冶金、石油化工、一般工矿企业及水泥等行业的交流 50Hz (60Hz)，额定电压为 380V 及以下的低压配电和电动机集中控制系统。

该产品可方便地安装 IPR 型集成化电动机多功能保护继电器，成为 N 型 MCC 智能型电动机控制中心。

一、结构特点

S 型 MCC 柜体采用整板弯制焊接成型的骨架，抽出式功能单元采用悬挂式结构，抽屉的推进机构操作方便、省力。

S 型 MCC 为双面安装双面操作的抽出式开关柜。柜顶部为母线室，柜前后视的左侧为功能单元室，右侧为电缆室，下部为端子室，柜中部为垂直母线室。功能单元室可装 8 个标准模数的功能单元，双面共 16 个。主电路及辅助电路的进出线均经过电缆室引到端子室，检修方便。

二、产品分类

- ① MCC 柜：功能单元为抽出式或固定间隔式，主要用于电动机控制及中、小容量馈电。
- ② 受、馈电柜：断路器采用抽屉式，底座固定安装。
- ③ 无功功率因数电容器补偿柜。

三、主要技术参数

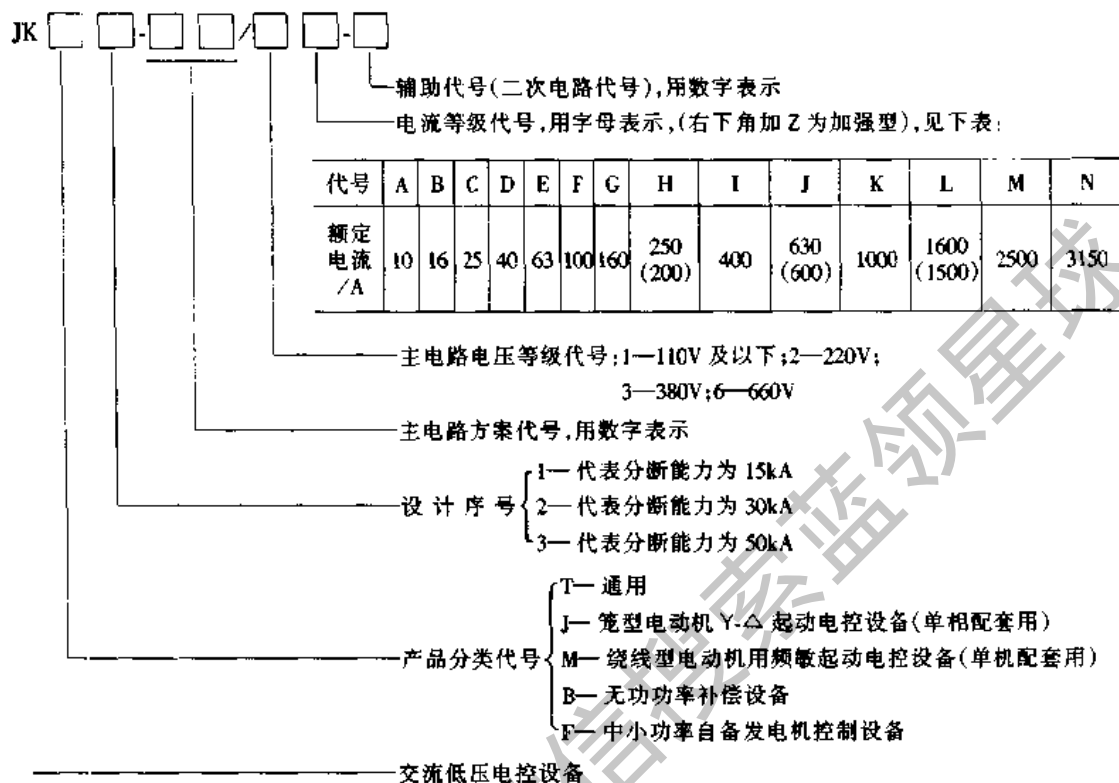
- (1) 额定工作电压 交流 380V。
- (2) 额定绝缘电压 交流 660V。
- (3) 汇流母线额定电流 600A, 1200A, 1600A, 2000A, 3150A。
- (4) 垂直母线额定电流 400A, 600A, 800A。
- (5) 额定短时耐受电流 汇流母线：30kA, 50kA；垂直母线：15kA, 30kA。
- (6) 额定峰值耐受电流 汇流母线：63kA, 105kA；垂直母线：30kA, 63kA。
- (7) 外壳防护等级 外壳防护等级为 IP2X。

第九节 JK 型交流低压电控设备

JK 型交流低压电控设备是 80 年代末，由行业组织有关厂、所联合开发的新型交流电控设备，能广泛应用

于冶金、轧机、矿山等工矿企业，容量在 315kW 以下的各类笼型和绕线型电动机的各种控制方式，同时还可以作为额定电流在 3150A 及以下的低压配电设备。

一、产品型号含义



二、结构特点

JK 型电控设备柜体采用钢板弯制成型的组装式结构,柜体的连接部位采用专用连接件通过紧固件固装。前后双面开门维护,门采用暗铰链凸装,仪表和操作电器采用专用安装板嵌装在门上,开关的操作机构不露出柜外。组合并列安装的设备,柜与柜之间可根据用户的需要加装隔板。

三、产品分类

1. 按使用对象及功能分

- (1) JKT 型—集中组合安装的设备。
- (2) JKJ 型—单机配套用的笼型电动机 Y-△ 起动电控设备。
- (3) JKM 型—单机配套用的绕线型电动机频敏变阻器起动电控设备。

2. 按分断能力分

- (1) JKT1 型—分断能力为 15kA。
- (2) JKT2 型—分断能力为 30kA。
- (3) JKT3 型—分断能力为 50kA。

3. 按结构形式分

- (1) 单机配套使用的设备 高度为 1200~1800mm。
- (2) 集中组合安装使用的设备 高度为 1800mm。
- (3) 矿井安装使用的非防爆型设备 高度为 1800mm。
- (4) 控制板 尺寸为 240(480)mm×800mm (不作单独产品)。

四、主要技术参数

- (1) 额定绝缘电压 交流 500V 和 660V。
- (2) 额定工作电压 交流 380V (全系列产品) 和 660V (矿用一般型)。
- (3) 主母线最大工作电流 3150A。

- (4) 主母线最大短时耐受电流 (1s 有效值) 50kA。
- (5) 主母线最大峰值耐受电流 105kA。
- (6) 外壳防护等级 IP2X 和 IP41 两种。

第十节 CUBIC-0.66kV 低压开关柜

CUBIC (科必可) 低压系列开关柜是引进丹麦 CUBIC 公司技术, 消化、扩展生产的低压系列产品。该系列产品采用模数化设计, 具有结构新颖、组装灵活、刚度好、强度高、防护等级高等基本优点, 广泛适用于电力、冶金、石化、建筑、煤炭、航海等各系统。

一、结构特点

1. 柜体结构

CUBIC 系列柜由母线室、功能单元室、电缆室、底座四部分组成。

多列柜组合时, 推荐两柜一组合的形式, 电缆室宽度可为 2M (1M = 192mm), 更便于安装和维护。

柱、梁间采用不同形状的金属连接片即可将电气元器件板安装在随心所欲的位置, 组装十分灵活。

(1) 母线系统 本系列开关柜采用三相五线制母线系统。A、B、C、N、PE 五线均采用铜制全搪锡母线, 外部不加绝缘套。每相母线至少有两根拼制而成, 母线之间的连接采用压接方式, 不需要打孔。垂直母线与水平母线连接位置任意、灵活。母线室一般 1M 高。

(2) 功能单元室 功能单元室有插入式、抽屉式、固定式三种形式, 同一面柜上可同时装配上述三种结构。MCC 柜中抽屉式功能单元室一般宽为 3M, 固定式为 2M。

(3) 电缆室 电缆室一般宽度为 1M, 可置于柜的后面或侧面。置于柜后侧时, 功能单元室后加深 1M; 置于盘侧面时, 功能单元侧加 1M。

(4) 底座 柜体为自承式结构, 带有 1/2M 高的底座, 现场安装时可不需另加座架。

2. 抽屉式结构

容量在 630A 以下, 均可配以抽屉柜。

抽屉采用螺栓推进形式, 一二次触头位于抽屉后部, 两侧装有三节导轨。在检修位置时, 抽屉不需拿下, 即可检修一二次全部触头, 卸下则需按导轨上的卡簧。

抽屉面板上设断开、试验、工作、解锁四个标志, 每个抽屉配有一把专用操作手柄。抽屉在断开→试验→工作→检修四个位置转换时都有机械闭锁。

抽屉锁紧机构与自动开关之间带有机械联锁, 无自动开关时, 抽屉与元器件的联锁通过电气联锁来完成。

100A 以下回路, 抽屉一般高度为 1M; 200~400A 高度为 2M; 630A 回路高度为 3M。抽屉宽度、深度均为 3M。二次插头接线座最多 22 对。

每列柜最多安装 8 个功能单元 (均为 1M 高), 给母线系统及 PE 保护线各留 1M 的空间。

3. 固定分隔结构

固定分隔式可有四种形式:

① 不隔开;

② 母线与功能单元隔开;

③ 母线与功能单元隔开, 并且所有功能单元之间 (它们的输出端子除外) 也要互相隔开, 它们的输出端子与母线不需隔开;

④ 母线与功能单元隔开, 所有功能单元之间以及功能单元的输出端子之间都互相隔开。

固定分隔开关柜的出线分前侧出线和后出线二种。前侧出线时, 柜与柜可以背靠背安装或靠墙安装。

4. 插入式结构

插入式结构适用于电流为 630A 以上的回路, 当主开关采用插接形式时, 用手把摇动推进杆来完成与母线的接通和断开。摇动主开关手把推进过程, 有断开、试验和接通三个位置。

用户有要求时, 可将母线与回路隔开。

5. 固定分隔、抽屉式混装结构

不同功能单元可分别装于固定隔式内或抽屉内, 并可将它们混装在同一面柜上。

6. 电容器补偿柜

电容器柜分自动控制和联动控制两种, 可装成固定分隔式或抽屉式。

7. 变压器柜结构

变压器柜原则上只能安装容量为 2000kVA 及以下的干式电力变压器，柜体尺寸根据变压器外形大小以 192mm 为基本模数加以扩大，柜底用 8# 槽钢加 1/2M 底柜组成，母线与开关柜母线统一配制，结构合理、紧凑、美观大方。

8. 母线桥

CUBIC 型钢可配制母线桥，使之与开关柜浑然一体，美观大方。

二、主要技术参数（见表 8.9.16）

表 8.9.16 科必可低压系列开关柜主要技术参数

参数名称	数值
额定工作电压/V	660 及以下
绝缘电压/V	660
母线额定工作电流/A	水平母线：1000, 1600, 2000, 4000, 7000 垂直母线：400, 1000, 1600, 2000, 3600
母线短时耐受电流（1s 有效值）/kA	50, 80
母线峰值耐受电流/kA	105, 176
外壳防护等级	IP30, IP40, IP44, IP54
地震烈度	低于 9 度

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第九篇 家用电器

第一章 概 述

第一节 分 类

家用电器产品种类繁多，已有数百种产品，上万个款式、规格，其分类如下。

(1) 根据使用环境 可分为普通型和非普通型电器。

(2) 根据防护形式分类 IP×1 防滴型电器；IP×3 防淋型电器；IP×4 防溅型电器和 IP×8 潜水型电器。

(3) 按防触电保护分类 可分为 0 类电器、0 I 类电器、I 类电器、II 类电器和 III 类电器，其含义如下：

0 类器具：依靠基本绝缘来防止触电的器具，如果有易触及的导电部件，则这些部件与固定配电路中的保护导线之间没有连接手段，万一基本绝缘损坏，安全就依靠环境条件；

0 I 类器具：至少有完整的基本绝缘和装有接地端子的器具，但电源软线不带接地导线，插头没有接地插脚，不能插入有接地插孔的电源插座；

I 类器具：器具的防触电保护不仅依靠基本绝缘，而且还有一个附加的安全措施，它的易触及的导电部件被连接到固定线路中的保护接地导体上，一旦基本绝缘失效，使易触及的导电部件不变成带电部件；

II 类器具：器具的防触电不仅依靠基本绝缘，而且提供双重绝缘或加强绝缘的附加安全措施，但没有保护接地或依赖于安装条件的措施；

III 类器具：依靠安全特低电压供电来防止触电的器具，同时在内部任何部位不会产生比安全特低电压高的电压。其安全电压的获得，若从电网取得时，必须是通过一个安全隔离变压器或一个有独立绕组的变压器。

(4) 按用途分类 见表 9.1.1。

表 9.1.1 日用电器按用途的分类

类 别	主 要 产 品
电热及取暖器	取暖器、电热褥、电围腰、电热鞋、电热水汀、电烙铁、电熨斗、熨衣机等
制冷器具	电冰箱、冷饮水器、制冰块机、冰淇淋机、冰柜等
空调器具	电风扇、空调器、空气去湿器、空气净化剂、电加湿器、负离子发生器等
厨房器具	电饭煲、微波炉、电磁炉、电水壶、电灶、电烤箱（炉）、烘面包机、打蛋机、食品搅拌机、切肉片机、面粉搅拌机、饺子机等
音像制品	电视机、录像机、VCD 等
整容器具	电吹风、电热梳、卷发器、烘发器、电动剃须刀、电理发器等
清洁器具	洗衣机、干洗机、吸尘器、擦窗机、地板打蜡机、擦鞋器等
其他器具	电子门铃、捕鼠器、报警器、驱蚊器等

第二节 家用电器的安全

家用电器使用时，经常会触及人体，尤其是手持式家用电器对使用者直接构成危险。世界各国对家用电器的安全十分重视，国际电工委员会制订的 IEC 335-1《家用和类似用途电器的安全》就是对各种家用电器安全性要求的基础标准，我国根据 IEC 标准也相应制订了 GB 4706《家用和类似用途电器的安全》作为设计、制造、检验家用电器安全性的准则。

家用电器的安全性指标主要有耐压、绝缘电阻、泄漏电流和极限温升，其具体数据分别见表 9.1.2 至表 9.1.5。

表 9.1.2 家用电器的耐压试验值/V

器具部位和绝缘等级	III 类	II 类	I 类和 0 I 类
不同极间	500	1250	1250
基本绝缘	500	1250	1250
附加绝缘	—	2750	—
双重绝缘或加强绝缘	—	3750	—

表 9.1.3 家用电器各种部件绝缘电阻 (标准值)

测试的绝缘部位		绝缘电阻不小于/MΩ
带电部件与壳体间	基本绝缘	2
	加强绝缘	7
带电部件和仅用基本绝缘隔开的Ⅱ类器具的金属部件间		2
仅用基本绝缘与带电部件隔开的Ⅱ类器具的金属部件与壳体间		5

表 9.1.4 家用电器的泄漏电流限值 (标准值)

测试部位	器具类别	泄漏电流/mA, ≤
带电部件易触及的金属部件或金属箔	0、0I 和Ⅲ类器具	0.5
	轻便式Ⅰ类器具	0.75
	固定式Ⅰ类电动器具	3.5
	固定式Ⅰ类电热器具	0.75
	输入功率超过 1kW 的固定式Ⅰ类电热器具	每 1kW 为 0.75, 但最大值不超过 5
带电部件到只用基本绝缘隔开的Ⅱ类器具的金属部件	普通型器具	5
	防滴、防溅和水密型器具	3.5

注: 对于同时装有电热元件和电动机的器具, 其总的泄漏电流值可取上表规定极限中较大的一个数据。

表 9.1.5 家用电器的极限温升

器具的各个部分		温升限值/℃
作附加绝缘用的电线护套		20
作衬垫或其他零件用的非合成橡胶	附加绝缘或加强绝缘其他情况	25
	其他情况	35
普通木材	壁、上板、下板及支架	50
	长期连续工作的固定式器具	45
	其他器具	50
电容器	有最高工作温度标记 (T)	T-50
	没有最高工作温度标记	其他电容器 用于抑制干扰的小型陶瓷电容器
无电热元件的器具外壳		45
连续握持的手柄、旋钮、夹子等	金属材料制	15
	陶瓷或玻璃材料制	25
	模压材料、橡胶或木制	35
电动机或变压器绕组	A 级绝缘	60
	E 级绝缘	75
	B 级绝缘	80
	F 级绝缘	100
	H 级绝缘	125
器具插头的插脚	在高温情况下使用	115
	在热态情况下使用	115
	在冷态情况下使用	25
开关和恒温器周围	有最高工作温度标记	15
	没有最高工作温度标记	T-40
橡胶或聚氯乙烯绝缘导线	有最高工作温度标记	35
	没有最高工作温度标记	T-40

第三节 家用电器的标志

按 GB 4706 规定, 家用电器产品应具有以下标志:

- ① 电器型号及名称;
- ② 额定电压或额定电压范围 (V);
- ③ 额定功率 (Hz);
- ④ 额定输入功率 (以 W 或 kW 为单位);
- ⑤ II 类结构符号 (仅在 II 类电器上标出):
 - —— II 类结构;
- ⑥ 防水等级 (仅在有需要时):
 - (一滴) —— 防滴结构;
 - ▲ (三角形中加一滴) —— 防溅结构;
 - (二滴) —— 水密结构;
- ⑦ 制造厂名或商标;
- ⑧ 出厂年月。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

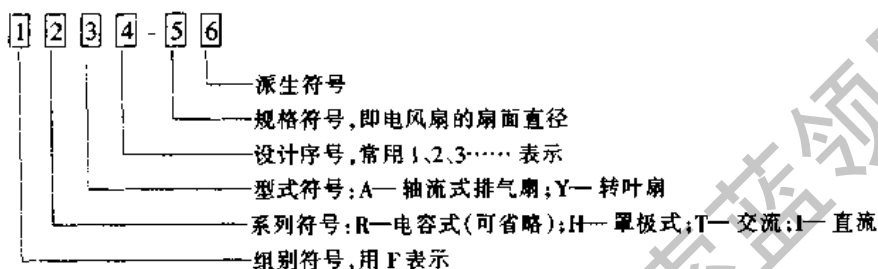
第二章 清洁器具

第一节 电 风 扇

一、型号含义

电风扇型号由六部分组成，第一、二、三部分是汉语拼音，第四、五部分是阿拉伯数字，第四、五部分中间有一横线，第六部分为派生符号。

其含义如下：



二、结构及原理

1. 结构

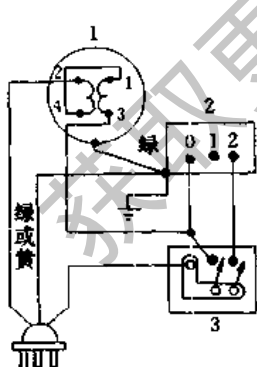
按结构分有落地扇、台扇、吊扇、壁扇、转页扇等。

2. 原理

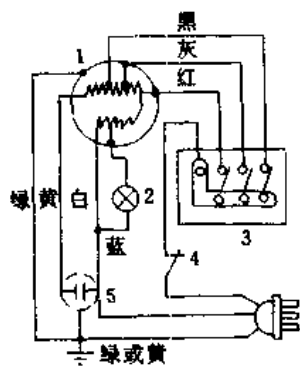
虽然电风扇的结构各不相同,但其基本工作原理是一样的,电风扇是一种通过电机将电能转化为机械能,驱动风叶高速旋转,强制空气加速流动,从而达到改善人体周围空间的热交换条件,起到消暑降温的作用。

3. 电扇常见原理接线图

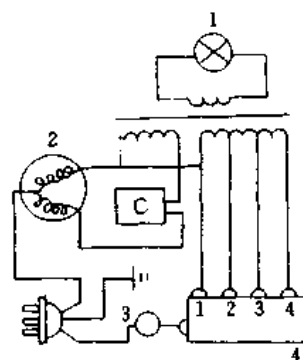
电扇常见原理接线图如图9.2.1所示。电扇电机的调速方法根据所用电机决定。直流风扇用串联电阻的方法调速,罩板式和电容式交流风扇采用电抗器、电容或插头法调速。目前使用的电扇电容式使用的最为普遍。电机调速原理如图9.2.2至图9.2.5所示。



(a) 200mm 台扇
1—电动机; 2—调速器;
3—开关



(b) 300mm 台扇(有定时器)
1—电动机; 2—指示灯; 3—开关;
4—定时器; 5—电容器



(c) 350mm、400mm 台扇(有定时器)
1—指示灯; 2—电动机;
3—定时器; 4—开关

图 9.2.1 几种常用电风扇的接线图

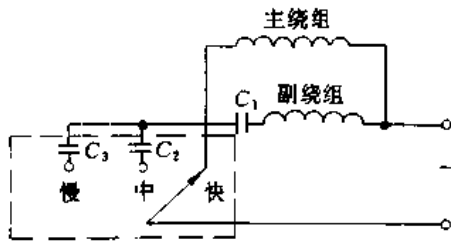


图 9.2.2 电容调速接线图
C₁—电机运转电容；C₂、C₃—调速电容

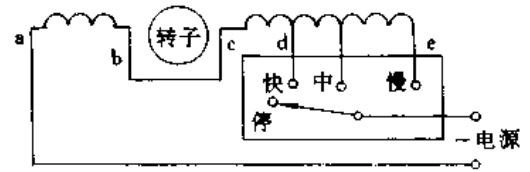


图 9.2.3 罩极式电机抽头调速接线原理图

名称	接线原理图	
L 型接法	<p>I 型</p>	<p>II 型</p>
	<p>III 型</p>	
	T 型接法	<p>I 型</p>
<p>串、并联接法</p>		

图 9.2.4 电容式电机抽头调速接线方法

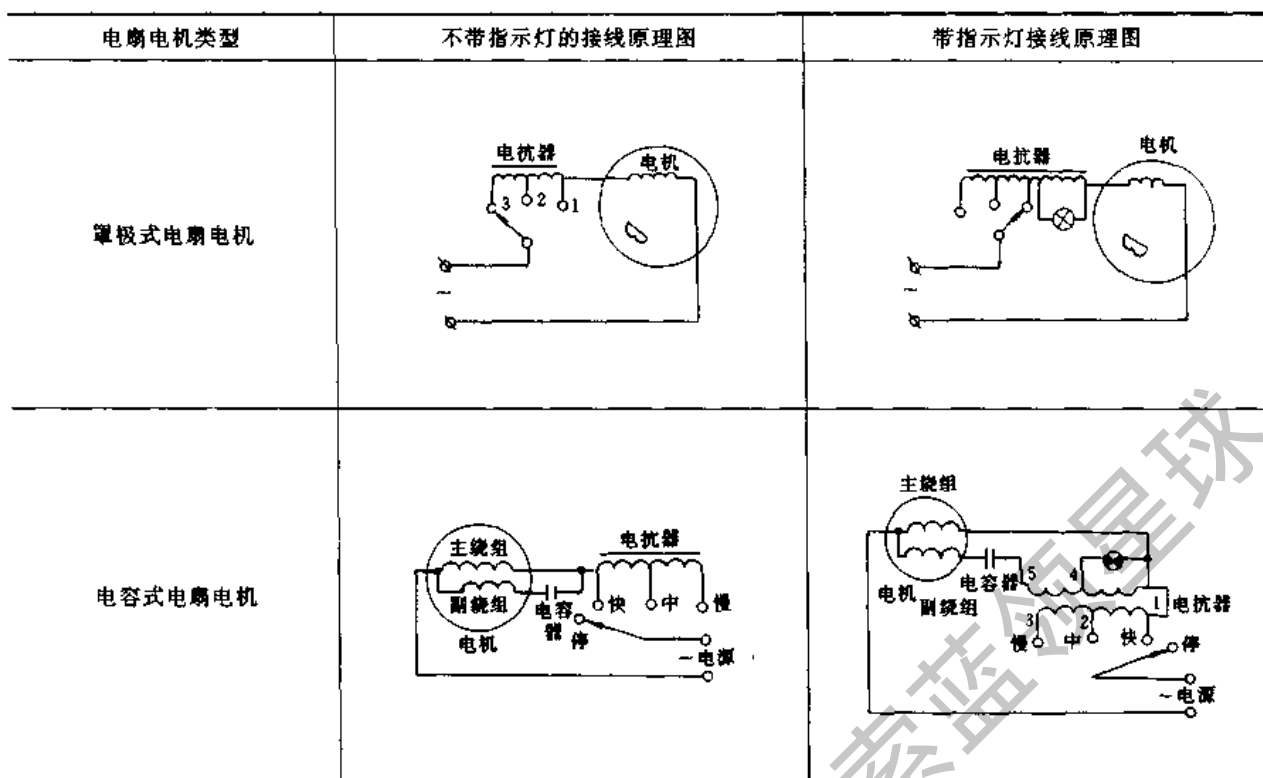


图 9.2.5 电抗器调速的接线方法

三、使用及维修

1. 使用和保养

① 电风扇在使用和保管时，注意避免碰撞和改变扇叶的角度，否则会引起转动时噪音增大，严重时可能会引起机座跳动，发生意外事故，以致于影响电扇的使用寿命。

② 电风扇的调速开关有循环式和琴键式两种，面板上分别标出“0”、“1”、“2”、“3”，“0”表示停止，“1”、“2”、“3”表示各转速档位，使用时可根据需要选择适当档位。

③ 目前很多新型电扇都装有定时器，可按需要调节使用的时间。如长时间使用不用设置时间，将旋钮置于“ON”位置。定时按钮使用时应用力均匀，并要顺时针旋转，以免损坏定时器。

④ 电风扇的摇头装置常采用掀拔式或旋转式。掀拔式的拉杆在扇头上，掀下拉杆即摇头，拔起拉杆则停止摇头。旋转式将旋钮旋至 MOVE（摇动）位置（有的标“90°”）即摇头，将旋钮旋至 STOP（停止）位置（有的标“0”）即停止摇头。

⑤ 改变电风扇仰俯角度的控制方法：一种只要轻轻推动网罩，即能改变仰俯角度；另一种是调节机头和扇头连接处的夹紧旋钮，先松开夹紧旋钮，将扇头调到需要的仰俯角度，再紧上夹紧旋钮。

⑥ 应保持电风扇外表的整洁美观，定期用软布蘸肥皂水擦净表面灰尘和油污，再用软布擦干，打蜡上光。注意切忌使用汽油、苯及酒精等溶剂擦拭，否则将损坏油漆。

⑦ 定期在油眼中加入少量优质机油或缝纫机油。各铰接部位也要加些油。齿轮箱中的润滑脂 2~3 年要更换一次，应选用品质纯净的油脂。

⑧ 台扇移动时应先切断电源，用手拎住网罩后提攀，切忌拿着网罩或电源线。移动落地扇时双手应抓住立柱搬移。

⑨ 使用中若发现有异常声响，或有焦味、冒烟等情况，应立即切断电源，检查原因，排除故障后方可再次使用。

⑩ 电风扇用毕收藏前应注意作一次清洁工作，一般拆除扇叶保管好。在运转部位加油，应放在通风干燥处，避免叠压和碰撞。

2. 维修

电风扇的常见故障及维修方法见表 9.2.1。

表 9.2.1 电风扇的常见故障及维修方法

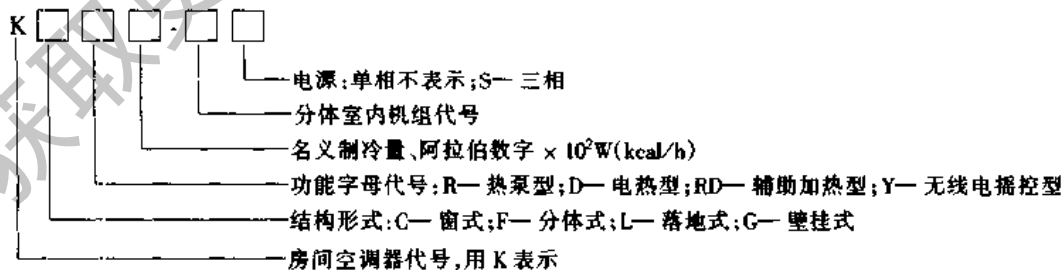
故障现象	原因分析	维修方法
通电后不转动	电源没有接通 电容器损坏 电抗器断路 定子绕组断路或烧坏 调速开关接触不良 定时开关损坏 电机轴承档油污严重 轴承磨损, 定位转子相擦	检查电源熔断器、插头及电源导线等是否断路, 并予修复 更换同规格电容器 修复或更换电抗器 接通或更换绕组 修理或更换调速开关 修理或更换定时开关 清洗电机轴承档 更换同规格轴承
摇头失灵	摇头机构装配不良 摇头齿轮损坏 离合器弹簧片断裂 离合器上下齿不啮合或损坏 摇头拉线松动或损坏 齿箱杠杆松脱	重新装配摇头机构 更换齿轮 更换弹簧片 调整或更换离合器 调整夹紧装置或更换拉线 调整杠杆位置
电扇转动时响声异常	扇叶止动螺钉松 有异物碰撞转子 扇叶不平衡或变形 网罩固定不紧 轴承内径磨损, 引起轴径向跳动 电机轴向移动过大	旋紧止动螺钉 清除异物 校正或更换扇叶 重新固定紧网罩 更换轴承 轴上添加垫圈, 调小轴移
电扇外壳带电	泄漏电流大 定子绕组绝缘老化, 导线与外壳相碰 连接线或引出线碰壳 电容器漏电	装好接地线 更换定子绕组 更换损坏处导线 更换电容器
电机温升过高	电机绕组短路 电机冷却风道堵塞 摇头部分卡死 绕组接线错误 调绕组时数据不准	更换电机绕组 清除风道堵塞物 修复摇头部分 改正接线 查清数据, 重新绕制
指示灯不亮, 或时亮时暗	指示灯脚松动 指示灯损坏 氖灯的电阻或指示灯电源的感应线圈损坏 灯座与电抗器引线脱落或接触不良	旋紧指示灯 更换指示灯 更换电阻或感应线圈 整理并重焊
调整失灵	调整开关接触点接触不良 调整开关焊接不良 抽头绕组断线或短路	修复或更换调整开关 焊好接触不良处 更换电动机绕组
快档转速慢, 并带有“嗡嗡”声	电机装配不良, 气隙不均匀 转子轴弯 电机绕组部分短路 转轴与轴承空隙过大	重新装配或调整气隙 校正转子 修复绕组短路部分或调换绕组 更换轴或轴承
通电后起动慢	电容量规格不对, 或金属器容量变小 定子转子不同心 主副相绕组中有短路 转子铝条或端环断开	以合格电容器测试比较后进行调换 调整气隙使其均匀 修复故障或调换绕组 检修或调换新转子
通电后扇叶不转动, 但可按手捻动方向移动	主绕组或副绕组断开或损坏 电容器失效 副绕组与电容器接触不良 罩极式风扇的起步圈脱焊	修复或调换短路绕组 更换同规格电容器 焊接好接触不良处 修复好铜带脱焊处

故障现象	原因分析	维修方法
电扇转速慢	电源电压过低 电机绕组接线错误 电机绕组匝间短路 电容器损坏 电机绕组导线过细或匝数绕错 风叶与电机不匹配 吊扇平面轴承损坏或缺油 吊扇转子下沉	调整电源 纠正接线 修复或调换绕组 更换同规格电容器 查明数据重绕 调换风叶或校正风叶高度 调换平面轴承或加润滑油 调整到定子转子平面齐
定时器失灵	定时器损坏 定时器开关失灵 定时器接头焊接不良	更换定时器 修复或更换定时开关 重新焊接接触不良处
电扇在运行时冒烟	绕组匝间短路 电抗器绕组短路 导线绝缘损坏或碰线	更换绕组 修复或更换电抗器绕组 修复碰线处或换导线
电扇运转时有振动	电扇安放不平稳 扇叶不平稳或变形 扇叶套筒与转轴配合过松 轴伸端弯曲	将电扇放平稳 校正扇叶 校正或调换转轴 修整或调换转子
电扇运转失常,甚至有时倒转	电容器失效 副绕组损坏 电机绕组接线错误 罩极式电扇起动绕组断开	更换电容器 修复或更换绕组 纠正接线错误 重焊或更换起动绕组
摇头时有“嗒嗒”声而不摇头	中心轴过紧 角度盘阻力过小 齿轮保险机构夹紧力不够	修复中心轴,使转动灵活,并加入适量润滑油 增加角度定位阻力 增加齿轮保险机构的夹紧力
新风扇使用一段时间后扇叶运转时有颤动现象	扇叶受外力碰击,造成变形 扇叶套筒与转轴配合过松 中心轴铆接不牢固	重新校正扇叶角度 修复或调换扇叶 拆开铆牢中心轴
摇头开关定位不牢	软轴装得过紧 摇头开关定位弹子松或定位槽磨损	调整软轴松紧程度,使处于正常状态 调整弹簧力,压紧定位弹子,如定位处磨损应予调换

第二节 空调器

一、型号含义

空调器型号由代号、机型、制冷量、功能等组成。其含义如下:



二、结构及原理

空调器的结构有窗式、分体式、落地式和壁挂式。常用空调器由制冷(热)、通风、电气控制三个系统组成。制冷系统由压缩机、风冷冷凝器、毛细管、蒸发器和干燥过滤器用管路连接起来构成一个封闭系统。风路系统由同轴离心风扇、轴流风扇、空气过滤网、排风栅、风门等。电气控制系统由压缩机电机的起动、保护装置、风扇电机的起动保护装置、室内的温度控制器及起动继电器等。

常用空调器工作原理如下。

1. 单冷型空调器

压缩机把制冷剂气体压缩成高温高压气体，送到冷凝器。轴流风扇吸入室外空气，迅速通过冷凝器，将制冷剂的热量带走排出至室外，从而将高温高压制冷剂气体冷却液化。

液化后的制冷剂经干燥过滤器除去质和水分后，送到节流毛细管，毛细管使液体制冷剂减压膨胀，进入蒸发器蒸发气化，并从周围空间吸收热量。

离心风扇不断地使室内空气经过过滤器进入空调器箱内，与蒸发器进行热交换，冷却后的空气以一定的速度送至室内，通过空气不断地循环流动，达到降温的目的。

2. 冷热两用型空调器

这是一种热泵式空调器，其制冷工作原理与上述单冷空调器一样，制热工作原理见图 9.2.6。控制电路见图 9.2.7。

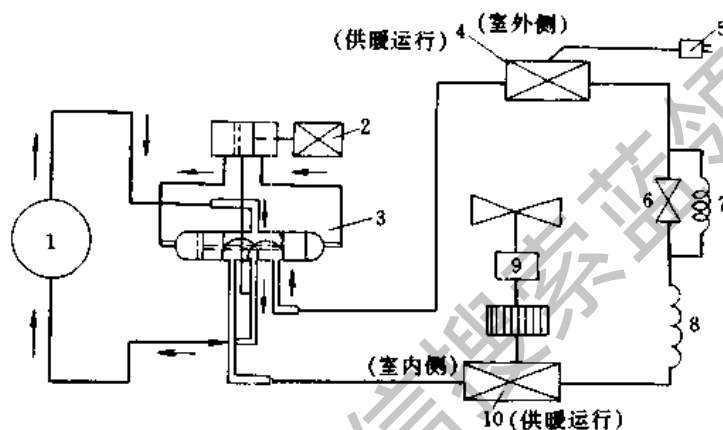


图 9.2.6 工作原理

1—压缩机；2—电磁线圈；3—换向阀；4—蒸发器；5—除冰器；6—单向阀；7—短毛细管；8—长毛细管；9—风扇电机；10—冷凝器

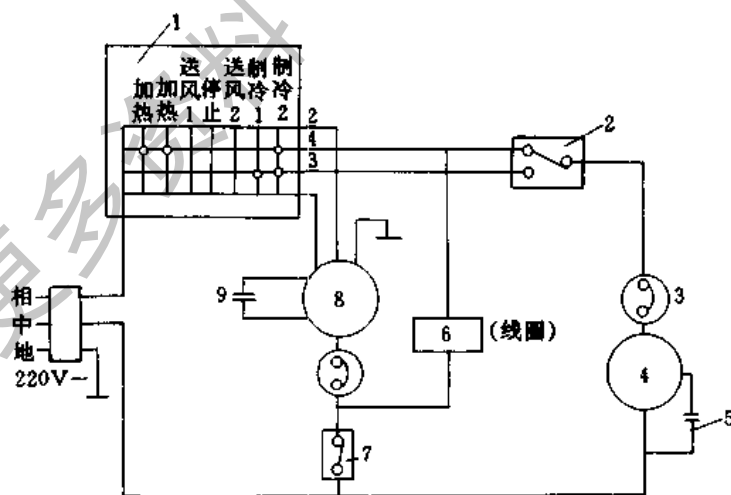


图 9.2.7 控制电路

1—主令开关；2—漏控器；3—过载保护器；4—压缩机；5、9—电容器；6—换向阀；7—除冰器；8—风扇电机

压缩机排出高压制冷剂气体，经换向阀流向室内热交换器（制冷循环时的蒸发器改作冷凝器用），被室内冷空气冷却成高压液体。高压液体经长、短毛细管减压后，成为低压液体流入室外热交换器。由于其相变点温度低于室外环境温度，因此在由风扇电机带动的室外空气循环中吸收热量成为低压气体，经换向阀后流向压缩机。如此往复循环，达到制热目的。

三、选用、使用及维修

1. 选用

空调器类型的选择,可根据居住条件、环境、房间的建筑形式、面积来选择。由于空调器种类多,价格相差悬殊,可根据个人经济情况选择合适的空调。

单冷、冷热两用空调器的选择,一般应从当地气候条件考虑。冬季比较冷的地区或有必要用空调增加室内温度的应选择冷热两用型空调器,一般单供夏季使用的单冷型空调器是普通家庭优先选取的。冷热两用空调在冬季使用时,使用条件为室外温度 $+5^{\circ}$ 以上才能使用。

制冷量的选择可参照表 9.2.2。

表 9.2.2 空调器制冷量的选择

空调器制冷量 /W(kcal/h)	办公室/m ²	计算机房/m ²	旅馆/m ²	餐厅/m ²	百货商场/m ²	住宅/m ²
3480~4060 (3000~3500)	15~20	10~20	15~25	10~15	15~20	15~25
5230~6500 (4500~5600)	30~40	25~30	25~30	20~25	25~30	30~45
7320 (6300)	34~45	30~40	30~45	25~30	30~40	40~45
8240 (7100)	45~50	40~45	45~50	30~35	40~45	50~60
9290 (8000)	50~60	45~55	50~65	35~40	45~50	60~70
13930 (12000)	65~60	60~80	65~90	40~50	50~65	65~85
15680 (13500)	65~85	65~90	70~100	50~60	60~75	80~110
20900 (18000)	70~95	90~110	80~120	60~80	65~85	90~130
27870 (24000)	120~160	110~150	90~170	80~110	80~120	120~170

空调器的耗电量的选择,应根据单位功率制冷量来确定。如 KT-200 型号空调器单位功率制冷量为 1220W/kW,而 KA-10 型的单位功率制冷量为 1930W/kW。比较两者很明显,单位功率制冷量大的空调器,耗电量较省。

选购空调时,在满足其他要求时,应选择在其他条件相同下噪音较小的空调器。注意低冷或弱风档时噪音一定要小,以满足睡眠的需要。

2. 使用

空调器在安装使用前应看懂说明书,并选择有安装空调器技术的专业人员安装。

使用冷暖两用空调器,可根据需要选择冷、热、风扇、停等几档,可使用遥控器控制或手动控制。

温度调节有“冷”、“热”档,冷量与热量的控制在一定温度下自动控制。

风向摆动开关调节百叶窗片风向。

使用空调时若发现电源电压过低,压缩机起不了,继电器反复动作,应马上断电停止使用,否则易烧坏压缩机。通常要求在关机 3min 后允许再次起动。

空调房间内应禁止吸烟,吸烟导致空气污染,更换新鲜空气耗电造成人为的浪费。

要经常对空调器进行必要的维护。一般每年注意清洗过滤网 3~4 次,提高空调器的效率。

3. 常见故障及维修方法。

常见故障及维修方法见表 9.2.3。

表 9.2.3 空调器常见故障及排除方法

故障现象	产生原因	排除方法
通电整机不运转	电源断路或电压过低 主控或温控器失灵 起动继电器失灵 风扇电机烧坏 压缩机卡住或电机烧坏	修复电源 修复或更换 更换同规格的起动继电器 更换电机 用橡胶棒或铁锤垫上木块敲击振动压缩机外壳或更换压缩机

续表

故障现象	产生原因	排除方法
空调器突然停	熔断器熔丝熔断 热保护器动作 电容器击穿 恒温控制器正常自动停开 电机故障通电不转动, 电流猛增 (包括两只电机) 压缩机故障使电机拖不动电流猛增 通风机故障, 电机拖不动电流猛增, 恒温开关被整定某温度点会自动停与开	换同规格熔丝 停车 5min 后热保护器会自动复位, 空调器重新启动, 然后查找原因 换电容器 误为故障 修理或更换同规格电机 修理或更换同规格压缩机 修理或更换同规格通风机
空调器运转但不能制冷 (或不制热)	制冷剂不足过量 制冷系统堵塞 空气过滤器严重堵塞 风扇不转或风量不足 室外侧盘管通风不良或气流受阻 电磁器通阀有故障动作失灵 电加热丝短路或断路 压缩机本身效率低 温控器调整不当	按规定补足或放出制冷剂 对系统进行充氮气清洗 清洗空气过滤器 修复电机或更换皮带 去除室外盘管的障碍物 更换同规格的电磁器通阀 焊妥或更换电加热丝 更换压缩机 调整温控器
整机运转但制冷量不足或室内温度降不下来	电源电压太低 室内热负荷大空调器容量太少	修复电源 更换大容量空调器
空调器频繁开停	电源电压不正常 冷凝器散热不好、通风不好 制冷剂过量 制冷系统压力不正常, 压力继电器动作 压缩机冷却不好	检查电源 清除冷凝器上的积灰和排风口的障碍物 放出多余的制冷剂 检查高、低压压力, 使制冷剂适量 加设预热器, 冷却压缩机
风扇转动但压缩机不运转	接线错误 起动继电器主控开关、温控失灵 过载保护继电器动作 电容器容量不足或击穿 压缩机本身故障	按图正确接线 修复或更换 检修电机有无过载 更换电容器 修复或更换压缩机
噪音大	机件安装不紧或有异物 风扇脱落	紧固机件和清除异物 检修扇叶、紧固
漏水	冷凝排水管路堵塞 冷凝水管弯或压扁	清洗使排水孔畅通 修复或更换

四、空调器的主要技术性能

- ① 空调器的电气安全要求应符合产品技术条件中有关规定。
- ② 空调器的实测制冷量不小于额定值的 92%。
- ③ 空调器的输入功率不超过额定值的 11%。
- ④ 热泵制热空调器的制热量应不低于额定值的 92%。
- ⑤ 热泵制热空调器的消耗功率不大于额定值的 110%，而电热型和热泵辅助电热型空调器的消耗功率在额定值的 90% ~ 105%。

⑥ 性能系数(能效比): 它是实测制冷量 W 与实测消耗功率 P 之比, 表示 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电能所获得的制冷量值。该值越大, 表明空调器的经济性能越好(即耗电省), 国家标准规定其能效比不得低于表 9.2.4 所规定的 85%。

⑦ 用卤素仪测定空调器制冷系统时, 各部分不得有制冷剂泄漏。

⑧ 按指定条件检测窗式空调器的室内噪声应小于 54 ~ 60dB(A), 而室外噪声应小于 60 ~ 80dB(A)。

表 9.2.4 性能参数 (能效比)

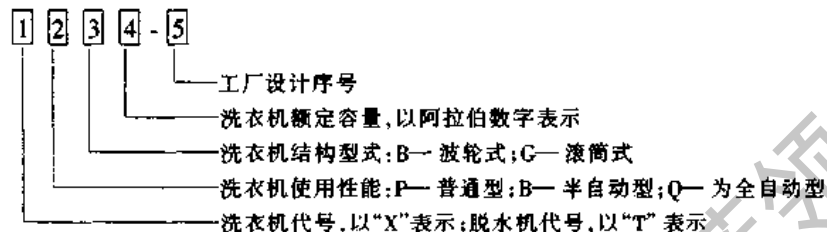
空调器名义制冷量 /W(kcal/h)	性能系数(能效比) W/P
< 2500(2150)	2.20(1.89)
2500(2150) ~ 4500(3870)	2.26(1.94)
$\geq 4500(3870)$	2.32(2.00)

第三章 清洁器具

第一节 洗衣机

一、型号含义

根据轻工业部部标 (SG 186—80) 普通家用洗衣机型号标准规定, 洗衣机型号由五部分组成。前三部分是汉语拼音字母, 后两部分是阿拉伯数字。第四、五部分间有一横线。其含义如下:



二、结构及原理

1. 波轮式双桶洗衣机

波轮式双桶洗衣机主要由洗衣机系统和脱水系统两大部分组成。其电气原理图见图 9.3.1。

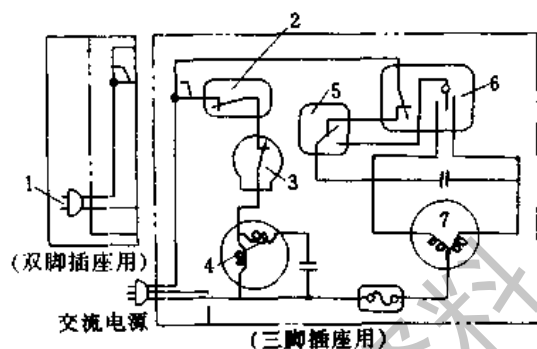


图 9.3.1 波轮式双桶洗衣机电气原理图

1—接地线端子; 2—盖开关; 3—脱水定时器;
4—脱水马达; 5—选择开关; 6—洗涤定时器; 7—洗衣马达

在立式洗衣桶内安装一个搅动水流的波轮, 靠波轮的转动使洗涤液和衣服在洗衣桶内旋转翻滚而达到洗涤目的。这种洗衣机结构简单, 制造维护方便, 耗电省, 洗涤时间短, 洗净度高。

2. 全自动洗衣机工作原理

全自动洗衣机电路图如图 9.3.2。

洗衣机按照进水、洗涤及漂洗、排水、脱水四个程序工作。图 9.3.2 中点划线框内为程序控制器。C₁~C₆ 为程控器凸轮上的切换簧片, 随程控器的转动, 簧片在 a、b 两触点切换。

(1) 进水 程控器开始工作后, 电流经熔丝进入 C₁, 经 C₁a (表示 C₁ 与 a 接能, 下同) → C₂a → PL 指示灯亮, 显示已进入工作状态。同时, 电流经 C₁a → C₂a → C₃ 水位开关 COM → NC → C₄b → IV (进入电磁阀)。这时, 洗衣机进水阀被打开, 洗衣桶开始注水, 洗衣桶内的水位达到预定水位后, 水位开关 COM 即自动由 NC 切换到 NO 位置, 进水阀 IV 断电, 阀门关闭, 进水结束。

(2) 洗涤及漂洗 随着程控器凸轮转动, 洗衣机进入洗涤漂洗阶段, 洗衣电机开始运转。此时, 电流通过的路线是: 电源 C₁a → C₂a → C₃ → 水位开关 COM → NO → C₆a。电流在这里分成两个支路: 一路经程控器电机 TM 回电源; 另一路由 C₆a → C₅b → 水流变换开关 → 电机 M → 电源, 形成闭合回路。

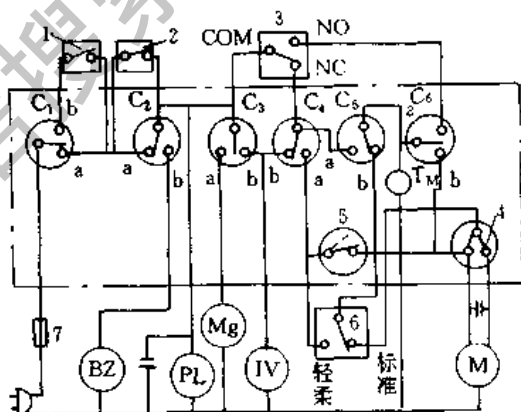


图 9.3.2 全自动洗衣机电路图

1—脱水停止开关; 2—盖开关; 3—水位开关;
4—反转开关; 5—间歇触点;
6—水流变换开关; 7—熔断器

洗衣机水流方式的选择,即电机正、反转或间歇转动,由水流变换开关、间歇触点与反转开关配合,共同完成。水流变换开关置在“标准”位置时,随着反转开关簧片的切换,电机转动方向周期性改变。转换开关置在“轻柔”位置时,电流由 C_5b →轻柔→间歇触点→电机。此时,反转开关不能改变电机转向,间歇触点则由程控器凸轮控制通断。

洗涤结束后,程控器内凸轮控制 C_6 触点返回中间位置,电机M停转。同时, C_3 触点与a接通,使得 M_g 排水电磁阀通电,排水开始。

程控器重复上述控制程序,洗衣机即完成漂洗过程。

(3) 排水 排水时电流经过的路线是:电源→ C_1a → C_2a → C_3a → M_g 排水阀→电源,形成闭合回路。排水阀开启后,桶中存水流出。

(4) 脱水 洗衣机进入脱水程序时,排水阀仍须处在开启状态,所以电机M与排水阀 M_g 均应通电。这里电机的电流通路是:电源→ C_1b →脱水停止开关→盖开关→水位开关COM→NC→ C_4 → C_5a 。在这里电流分成两个支路:一路经程控器电机TM后回电源,另一回路经 C_6b 到电机M。在这个回路中,若断开脱水停止开关或打开盖板(开盖开关断),电路即被切断,电机停转。排水电磁阀的电流回路是由电源→ C_1b →脱水停止开关→ C_3a → M_g 排水阀,形成闭合回路。

洗衣机的进水、洗涤及漂洗、排水、脱水动作依次完成后,即完成了一次洗衣程序控制。

3. 滚筒式洗衣机

滚筒式全自动洗衣机电路图如图9.3.3所示。由图可知,在各种运转状态下接通程控器电机TM的电路(略去供电部分)是:预注水、排水、脱水时, TM电机通过程控器触点5T接通,通过电路图,可知构成的电路是5—5T→TM→18。

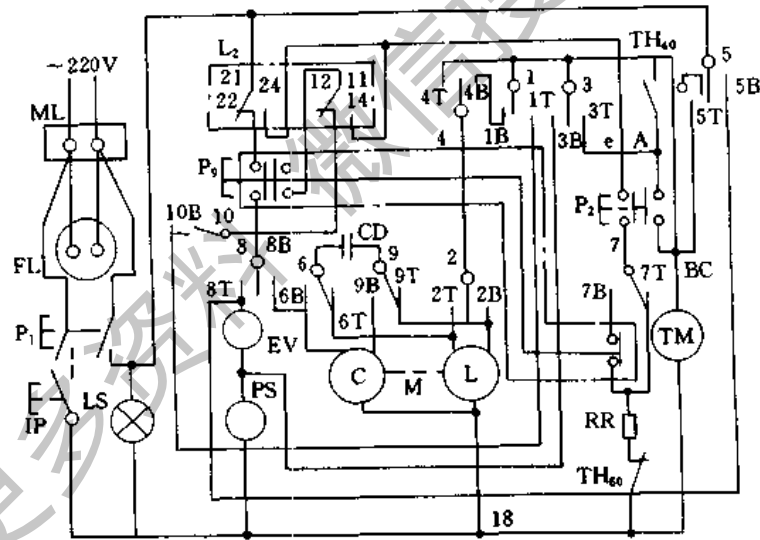


图 9.3.3 TEMA832 型滚筒式全自动洗衣机电路图

ML—接线板; FL—滤噪器; P₁—电源开关; IP—门开关; LS—指示灯; L₂—双水位开关; EV—进水阀;
PS—排水泵; CD—电容器; M—双速电机(L—洗涤电机; C—高速电机); TM—程控器电机; RR—加热器;
TH—温控器(TH₄₀—常开触点; TH₆₀—常闭触点); P₂—不加热开关; P₃—节能开关

由程序控制形成冷水洗涤、强制注水时, TM电机通过 L_2 、3T接通,对照电路图,可知 TM 电路是 L_2 (21—24)→C点→3T—3→TM→18。

手选冷洗时,需将不加热开关按下, TM 构成的电路是 L_2 (21—24)→C点→A点→P₂→TM→18。

洗涤液加热(达到40℃)后进行洗涤时, TM 电路是 L_2 (21—24)→TH₄₀→TM→18。

洗涤运转时,6T和9T接通将电容器接入洗涤电机L(M),程控器运转(即在不同洗涤运转状态下要满足接通 TM 电机的条件),以热洗为例,高水位、轻柔洗时构成的洗涤电路是 L_2 (21—24)→C点→A点→TH₄₀→1→1B→4B→4→2—2T→L(M)→18。

用类似的方法也可以得出其他负载件在各种运转状态下构成的电路。

三、常用波轮式双桶洗衣机的使用、选用及维修

1. 使用

- ① 应将洗衣机安放在靠近水源和有下水的通风处。
- ② 使用时可根据衣服多少、脏污程度设置洗涤时间。
- ③ 洗衣机使用几个月后要打开后盖，定期向轴承处注入机油，保证轴承的正常运转，以防生锈。
- ④ 使用前洗衣机必须接地线。

2. 选用

① 洗衣机种类品种繁多，市场上销售的洗衣机多以波轮式为主，有单桶、双桶、半自动、全自动、套桶型等。购买时可根据价格、维修等方面考虑，全自动洗衣机价格贵，维修困难。一般家庭可选购价格适中的滚筒洗衣机。

② 洗衣机规格的选择一般三口之家选择 2.0~2.5kg 的洗衣量，3~5 口之家可选用 3.0kg 以上的洗衣机。洗衣机过大不仅费用高，而且洗衣时耗电又费水，合理地选用洗衣机的规格很重要。

3. 波轮式双桶洗衣机的常见故障及排除方法

波轮式双桶洗衣机的常见故障及排除方法见表 9.3.1。

表 9.3.1 波轮式双桶洗衣机的常见故障及排除方法

故障	故障的常见部位	原因分析	排除方法
渗水、漏水或溢水	排水阀体漏水	阀体破裂，有小孔或阀体变形 压盖松动 伸缩皮塞有小孔或损坏	更换阀体 紧固压盖 更换伸缩皮塞
	盛水桶底密封皮碗周围漏水	密封皮碗划伤破裂 周围胶粘脱落 密封皮碗固定架松动或损坏	更换密封皮碗 重新胶粘安装 重新胶粘正确，紧固或更换固定架
	波轮轴、脱水桶轴渗漏水	密封圈损坏 密封皮碗损坏	更换密封圈 更换密封皮碗
	洗涤桶排水口漏水	排水管松动或破裂 密封橡皮圈损坏	紧固或更换排水管 更换密封橡皮圈
	管接处漏水	管接处脱胶 管接处紧固松动	重新脱胶 重新紧固
	连接管或排水长管漏水	划伤破裂	更换连接管或排水管
	溢水口漏水	脱胶或损坏	重新胶粘或更换
	桶的焊接处渗漏水	焊接不良	重新焊接
	洗涤桶轴承座周围渗漏水	轴座丝圈松动或密封橡皮圈损坏	紧固丝圈或更换密封橡皮圈
	水从桶四周溢出	注水过量	掌握注水时不要过量
排水不畅	在 2min 内不能将 40L 水排完	排水阀体或排水管内杂物阻塞 排水阀拉带（绳）过松，排水阀不能充分打开 排水管口低于污水口	打开阀体排除杂物、疏通管道 调节拉带（绳）松紧适当 洗涤前垫高洗衣机（注意平稳）
排水阀失灵	排水阀关不严（开关关闭排水口有小水流继续流出）	排水阀体有杂物 排水阀拉带太短（过紧） 阀体内弹簧压力不够	打开阀体清除杂物 调节拉带（绳）松紧适当 更换弹簧
	排水阀拉不开或旋扭不起作用	排水阀拉带松或失效 拉带与旋扭脱开 阀体内导芯低于压盖 弹簧生锈（失去收缩力）	更换拉带 连接或更换损坏件 调整或更换导芯 更换弹簧
放下排水管，盛水桶存水不能全部排出		止逆片移位或安装错 止逆片被杂物卡住	重新安装止逆片（注意正确） 排除杂物
打开排水开关，洗涤桶污水进入盛水桶		止逆片脱落或反装、移位	重新正确安装
脱水桶运转正常，但脱不净或脱水率较低		脱水桶周围小孔被杂物阻塞 盛水桶内水未排出	排除小孔内杂物 排掉盛水桶内存水

四、主要技术性能指标

1. 耗电量

实际消耗功率应小于额定输入功率的 115%，国产 2kg 容量洗衣机的输入功率为 230W 左右。

2. 洗衣容量及耗水量

洗衣容量分为：1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0kg。

洗衣机的耗水量以 L 表示。洗衣机额定洗涤水量与额定洗衣容量之比，称为溶比，应符合下列数值：波轮式洗衣机 < 20，滚筒式洗衣机 < 13；摆动（叶）式洗衣机 < 15。

3. 洗净度、洗净比

洗衣机的洗净度和洗净比是评价洗衣机洗净能力的参数。国家规定波轮式洗衣机的洗净比不得 < 0.8。洗净比 > 0.95 时可认为洗衣机的洗净能力强。

4. 磨损率

国家规定波轮式洗衣机的磨损率应 $\leq 0.2\%$ ；普通波轮式洗衣机的磨损率在 0.1% 以下较好。新水流洗衣机的磨损率一般在 0.05% 左右。

5. 脱水率（见表 9.3.2）

表 9.3.2 洗衣机脱水率考核值

脱 水 方 式		脱水率/%
手动式	挤水器	> 40
离心式	全自动波轮式和摆动（叶）式洗衣机	> 45
	滚筒式洗衣机	> 45
	普通型和半自动型波轮式洗衣机	> 50
	脱水机	> 50

第二节 吸 尘 器

吸尘器是一种电动清洁工具，用以清扫地毯、沙发、衣物、家具等上面的灰尘与脏物，具有省时、省力，保持空气洁净等特点，现正被越来越多的家庭所接受。

一、吸尘器的分类

吸尘器可按电机容量、结构形状、使用功能和电气安全性能分类。

1. 按电机容量分类

吸尘器的电机容量一般有 100、250、400、600、800、1000、1500 和 2000W 等多种规格。

(1) 小型吸尘器 电机容量为 100~600W。

(2) 中型吸尘器 电机容量为 600~1500W。

(3) 大型吸尘器 电机容量在 1500W 以上。

家用吸尘器多为中、小型吸尘器，一般电机容量在 100~800W 之间。

2. 按结构形状分类

(1) 立式 又称直立式或手推式，外形如图 9.3.4 所示，它较适于清扫地毯等物件。

(2) 卧式 又称地面式，外形如图 9.3.5，一般用于吸取天花板、墙角、缝隙、书架等的灰尘。

(3) 便携式

这类吸尘器轻便灵活，便于携带，使用范围窄。便携式吸尘器又分为以下几种。

① 肩式：实际是立式、卧式吸尘器的小型化，重约 2kg，可用带子背在肩上清洁楼梯等。

② 杆式：形状像一根棍子，用于清扫沙发之类的低矮家具、墙壁角落等。

③ 手提式：可直接拿在手中使用，结构简单，主要用于清洁沙发、衣服、床上用品，还可用于汽车吸尘。

④ 微型式：结构简单，形状多样，使用灵活，通常用干电池作电源，输入功率只有数瓦，吸力较小，适于清洁呢料衣服，又称大衣刷。

3. 按使用功能分类

(1) 干式吸尘器 供清除表面干状灰尘和碎状物之用，上面介绍的吸尘器均属此类。

(2) 干、湿两用吸尘器 此吸尘器既具有上面介绍的干式吸尘器性质，又可用于吸取肥皂水之类的液体或

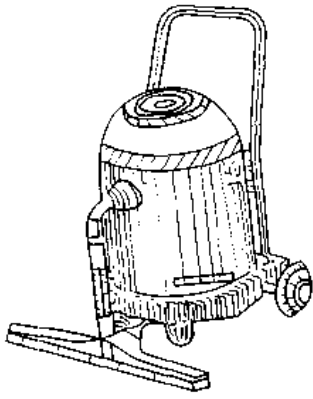


图 9.3.4 立式吸尘器外形图

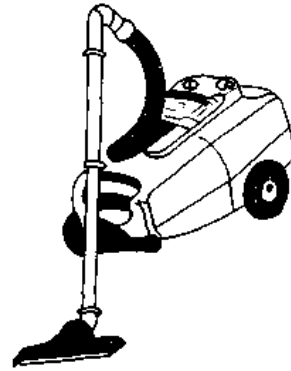


图 9.3.5 卧式吸尘器外形图

多性泡沫污物，可用于浴室清洁吸尘，能吸入 10L 污水，结构简单。

此外还有专用于地毯吸尘的地毯吸尘器，专用于打蜡的打蜡吸尘器。

4. 按电气性能分类

(1) I 类吸尘器 额定电压超过 45V，绝缘结构中多数部位只有基本绝缘，不带电的金属部件均需可靠接地。

(2) II 类吸尘器 额定电压超过 45V，绝缘结构全部为双重绝缘结构，无保护接地装置。

(3) III 类吸尘器 额定电压为安全特低电压，可以避免触电危险，无需接地保护。汽车、火车及船用吸尘器等均属此类。

二、吸尘器工作原理

吸尘器是利用电动机的高速运转，驱动由风叶轮和导流轮组成的风叶组以同一高速旋转，使吸尘器内部形成真空，吸尘器内部与外部形成大气压力差，产生吸力，将尘埃和脏物吸入吸尘器，经过滤装置，使空气中混有的污物灰尘过滤下来，而将过滤后的清洁空气排出，以此达到除尘的目的。图 9.3.6 给出吸尘器工作的原理图。

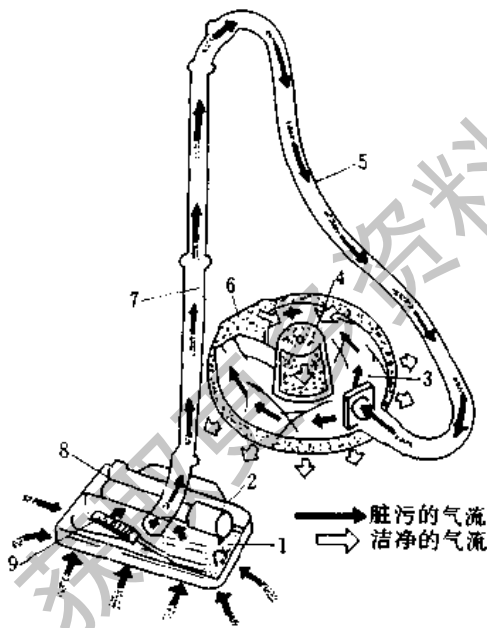


图 9.3.6 吸尘器工作原理图

- 1—皮带；2—起尘电机；3—集尘袋；
- 4—电机-风机；5—软导管；
- 6—滤尘器；7—硬导管；
- 8—刷座；9—转刷

三、吸尘器的使用与维护

1. 吸尘器的使用与保养

各种不同型号、规格的吸尘器，它们具有不同的结构性能、功能特点，使用前必须仔细阅读说明书，以确保人身安全和适当地使用吸尘器。

使用前，首先接好软管，把软管插入吸入口，根据需要连接不同功能的附件。

使用装有自动卷线机构的吸尘器时，不要把电源线拉出太长，电源线上有红或黄色警示标记。

吸尘器有两个开关，一个为电源开关一个是自动卷线开关。按下电源开关，吸尘器工作；按下自动卷线开关，电源线自动卷回机壳内。

吸尘器使用一段时间后，要进行去灰处理。一般吸尘器都装有除灰装置。

吸尘器不能连续使用太长时间，避免电机过热，缩短使用寿命。

电机轴承要定期滴油，保持润滑。

干式吸尘器不能吸入污水，以免降低电气绝缘，出现意外事故。

2. 吸尘器的故障与维修 (表 9.3.3)

表 9.3.3 吸尘器故障与维修

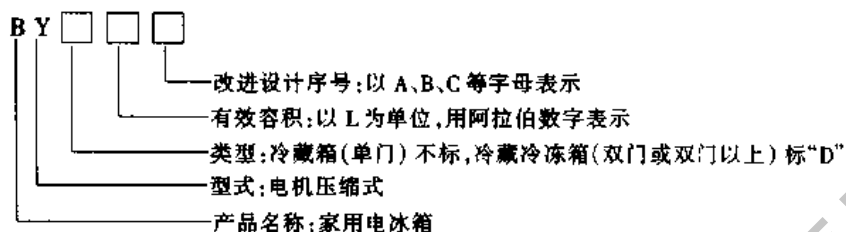
故障现象	故障原因	修理方法
吸尘器不能起动运转	电源不通或电压不正常 电源插头接线端子或内部接线松脱 电机整流子与电刷不接触 电机绕组断路	测电压与电源引线通断 换插头或换新的电源线 检查整流子与电刷保证接触 修复断路部位
吸尘器有“嗡嗡”声	定子线圈接错, 两极性相同 电枢被卡住	倒接定子线圈绕组的接头 清除障碍物
电机转动但不吸尘	软管、吸嘴、集尘袋的孔被堵塞 集尘袋已满 软管两端与刷座及滤尘器接头没接好 电机与吸尘器壳体密封太差	清理堵塞物 倒掉灰尘 插接好接头, 避免漏气 粘补裂缝, 或拧紧螺丝, 或更换新壳体
吸尘器使用不久便发热	电机绕组断路或短路 轴承润滑油干枯 吸管内吸尘太多 换向器表面磨损, 绝缘层外露	更换电机转子 轴承上加油 倾倒垃圾 将绝缘层下剥 0.5 - 1mm
无级调速的吸尘器调速失灵	可调电阻损坏 双向二极管击穿 可控硅元件损坏	更换可调电阻 更换双向二极管 更换可控硅元件
电源线不能自动卷入	自动卷线开关卡住 压力弹簧移位 卷线弹簧损坏	重新安装开关组件 重调压力弹簧位置 更换卷线弹簧
灰尘指示器失灵	管体内变形 密封体老化 与指示器相连的软管损坏	更换新元件

获取更多资料 微信搜索 维修资料

第四章 制冷器具——电冰箱

一、型号含义

根据我国轻工业部关于电冰箱型号标准的规定，容积在 250L 以下的电机压缩式家用电冰箱的型号由五部分组成。其含义如下：



二、工作原理

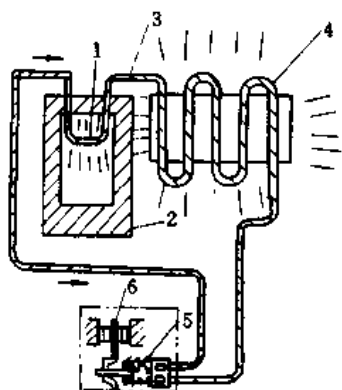


图 9.4.1 压缩式电冰箱制冷示意图

1—蒸发器; 2—箱体; 3—毛细管;
4—冷凝器; 5—压缩机; 6—电动机

普通电冰箱制冷系统由压缩机、过滤器、毛细管、蒸发器、冷凝器等组成。制冷系统示意图见图 9.4.1。

制冷系统中充入适量的制冷剂。接通电源后,电动机带动压缩机活塞往复运动。当活塞向下运动时,吸气阀打开,来自蒸发器的低温低压制冷剂蒸气通过吸气管进入气缸。当活塞向上运动时,排气阀打开,被压缩的高温、高压制冷剂蒸气经排气阀、排气管进入冷凝器,被冷却后形成高压制冷剂液体,同时冷凝器向外界空气放出热量。

在冷凝器中的高压制冷剂液体经毛细管节流降压进入蒸发器,在低压条件下开始蒸发吸热,使冰箱内部降温。吸收了箱内热量的低压、低温制冷剂气体再被压缩机吸入,完成一个制冷循环。如此不断地循环,就可以使冰箱内部的温度降下来。

在整个循环中,制冷剂是通过蒸发器吸收箱内热量,又通过冷凝器把吸收的热量散发到箱外。压缩机迫使制冷剂流动,从而才能实现这个热量的转移工作。

三、压缩式冰箱的电气控制系统

压缩式冰箱的电气控制系统主要由温度控制器、压缩机电动机、起动继电器、保护继电器和照明系统等组成,见图 9.4.2。由图可见,温度控制器接点、保护继电器接点都与压缩机电动机工作绕组串联,而起动继电器的接点与电动机起动绕组串联。当冰箱内温度高于调节温度时,温度控制器动作,接通电源,因电动机起动电流较大,起动继电器动作,接通接点,起动绕组中流过电流;当电动机正常运转时,电流减小,起动接点断开,只有工作绕组流过电流,维持电动机运转。

四、选用、使用及维修

1. 选用

购买电冰箱之前,先要了解电冰箱的市场供应情况,根据厂家的声誉、产品的质量、市场价格、维修难易程度等因素来选择电冰箱的牌号。

选择电冰箱的结构形式主要是选择直冷式电冰箱还是间冷式电冰箱,是选择单门单温电冰箱还是双门双温电冰箱的问题。直冷式电冰箱制冷快,食品上有霜,耗电省。间冷式电冰箱食品上无霜,存取冷冻食品方便,但耗电较大。单门冰箱价格便宜,耗电省,星级低,食品保存时间短。双门冰箱容积大,冷冻与冷藏食品可分开,保鲜效果好。

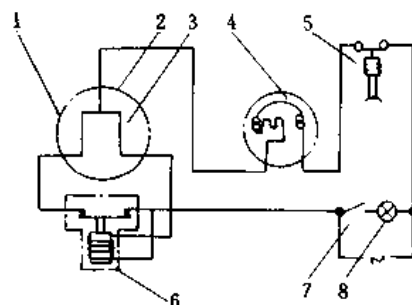


图 9.4.2 压缩式电冰箱电气控制系统图

1—起动绕组; 2—压缩机电动机;
3—工作绕组; 4—保护继电器;
5—温度控制器; 6—起动继电器;
7—门灯开关; 8—照明灯

应根据家庭人口、存储食品来源的多少和房间大小确定，选择电冰箱的容积，通常选择 150~200L 比较适合。

选择电冰箱时还应该考虑到电冰箱是属于冷藏箱还是冷冻箱。冷藏箱没有冷冻能力，冷藏箱适于冷冻食品储藏。双温电冰箱冷冻室温度分级见表 9.4.1，冷藏室食品冷藏时间见表 9.4.2。

表 9.4.1 家用双温电冰箱冷冻室温度分级









标准	分级名称	符号	冷冻室温度	冻结食品大约保存时间
ISO (国际标准化组织)	一星级		-6℃以下	0.4个月 (BS)
	二星级		-12℃以下	1个月 (BS)
BS (英国标准)	二星级		-12℃以下	1个月 (BS)
	三星级		-18℃以下	3个月 (BS)
DIN (西德标准)	三星级		-18℃以下	3个月 (BS)
	二星级		-12℃以下	1个月
JIS (日本标准)	高二星级		-15℃以下	1.8个月
	三星级		-18℃以下	3个月

表 9.4.2 食品冷藏时间

种类	食品种类	储存时间	说明
肉类	牛肉	2~3天	用蜡纸或塑料薄膜包好，以防脱水、走味
	猪肉	3~4天	
鱼类	鲜鱼	2~3天	取出内脏，清洗干净后，放入少许食盐，用蜡纸或塑料袋包好
加工食品	火腿、腊肠	3~4天	用蜡纸或塑料袋包好
	豆腐	1~2天	豆腐应放入存有新鲜水的容器内
乳制品	牛奶	(生产日期开始) 5~6天	开封后，应尽早食用
	奶油	开封后两星期	
蔬菜类	西红柿	3~5天	洗净擦干，然后用塑料袋封好。切开的菜，必须蜡纸封
	其他青菜	3~7天	
其他	蛋	一星期	放入蛋架内，周期更换
	加工豆类	5~7天	封入塑料袋内

2. 使用

(1) 安装

- ① 详细阅读电冰箱说明书，把电冰箱安装在干燥、通风的房间内。
- ② 安装场所应远离热源，避免阳光直晒。
- ③ 电冰箱应远离煤炉、液化气炉等，防止有害气体腐蚀电冰箱，或产生意外危险。
- ④ 电冰箱安装时，背后冷凝器应距离墙 10cm 以上，顶部留有 30cm 空间。底部应保持空气的流通。
- ⑤ 国产电冰箱所用额定电压是 220V，要求电源电压的范围在 180~242V 之间，如居住地电压不稳定，应安装电冰箱稳压保护器。

- ⑥ 使用三孔电源插头，严格安装外壳接地线，接地线电阻小于 4Ω，以保证用电安全。

(2) 试用

- ① 电冰箱安装完毕后可进行试用，试用时观察压缩机是否起动，冷凝管是否发热。
- ② 箱内照明亮是否亮，关门时灯是否熄灭。
- ③ 冰箱运转 30min 后蒸发器是否结霜、制冷是否正常。电冰箱是否能自动停机。
- ④ 冰箱的振动声音过大，寻找振源，排除振动。

3. 常见故障及维修方法

压缩式电冰箱的常见故障及维修方法见表 9.4.3。

表 9.4.3 压缩式电冰箱的常见故障及维修方法

故障现象	原因分析	维修方法
调温旋钮置于停位，电源插头插入插座时熔丝熔断	电源插头接线松动，发生线间短路 电源芯线内部短路 电源插头绝缘损坏 箱内接线短路 电动机绕组碰机壳而通地	拆开电源插头，排除短路，拧紧接线螺帽 更换电源线 更换电源插头 排除短路部位 重绕绕组
调温旋钮置于停位，冰箱门打开时，熔丝熔断	箱内照明灯座短路 箱内照明电路碰地	排除短路处 排除导线碰地部分
调温旋钮置于使用位时，熔丝熔断	起动接点粘连或接触不良 压缩机插头接线柱碰地 起动电容器损坏 电动机绕组短路，转子卡住	用金相砂纸修磨接头 使插头接线柱绝缘 更换新电容器 拆修电动机
压缩机工作正常，箱内照明灯不亮	照明灯泡坏 灯头接触不良 门灯开关接点接触不良 照明电路断线	更换灯泡 拧紧灯泡 修理门灯开关，拉长门灯开关弹簧 接通断线部位
箱内照明灯工作正常，调温旋钮置于使用位，电动机“嗡嗡”，不运转	输入电源电压过低 电源插座插头连接线松动 电动机转子卡住 起动接点接触不良 起动电容器损坏 电动机起动绕组断路	配用 300W 磁饱和稳压器 拧紧松动部位 修理电动机 修理起动接点 更换新电容器 重绕起动绕组或更换电动机
箱内照明灯工作正常，调温旋钮置于使用位，电动机不运转，无声音	温度控制器自控接点接触不良 温度控制器感温剂渗漏 热保护起动继电器不工作 运转绕组中间断路 压缩机与箱体连接插头、插座松开	用金相砂纸修磨接头 更换温度控制器 修理接点或更换继电器 重绕运转绕组或更换电动机 压缩插头、插座
箱内照明灯不亮，调温旋钮置于使用位，电动机不运转	停电 熔丝熔断 电源插头、插座连接线断线 电源插头、插座未插紧	遇突然停电时，应把调温旋钮置于停位，待有电时，再置于使用位置，以防损坏电动机 更换熔丝 连接断线处 压紧插头、插座
压缩机起动停止频繁交替	输入电源电压过高或过低 调温旋钮在停位附近 起动接点接触不良 安全保护接点与电热丝距离过近 磁性门封吸合不严密 电动机绕组损坏 毛细管与蒸发器管路相碰 温度控制器感温管放置不当	配用 300W 磁饱和稳压器，或停止使用 重调调温旋钮 修理起动接点 调节过载调节螺钉 修理门封 重绕绕组 使毛细管与管路脱开 把感温管放在正确位置
箱内温度已低于要求值，压缩机继续运转	调温旋钮置于不停位 温度控制器感温管与蒸发器接触不良 温度控制器自控接点粘连	使调温旋钮离开不停位 使感温管与蒸发器贴紧 修理自控接点

五、主要技术性能

- (1) 冰箱有效容积 测量计算值不应小于铭牌标称容积的 97%。
- (2) 冷却性能 将冰箱温控器调到某一点位置时，各室温度应符合表 9.4.4 所列的数值。
- (3) 冷却速度 要求冰箱冷藏室温度达到 5℃，冷冻室达到星级要求的温度所需时间不应超过 2h (250L 以下) 或 3h (超过 250L)。
- (4) 制冰能力 要求冰盒中的水在 2h 内或在制冰量对应的时间内完全结成实冰。
- (5) 制冷系统 任何部位制冷剂年泄漏量不大于 0.5g。
- (6) 门封的气密性 放在门封的纸片无论在任何位置都不应自由活动。

表 9.4.4 冰箱各室储藏温度

家用电冰箱的使用气候类型	测试环境温度/℃	冷藏食品储藏室温度/℃	冷冻食品储藏室温度/℃			冷却室温度/℃
			“一星级”	“二星级”	“三星级”	
亚温带型 SN	10	$-1 < \text{箱内温度} \leq 10$	≤ -6	≤ -12	≤ -18	$8 \leq \text{箱内温度} \leq 14$
	32					
温带型 N	16	$0 < \text{箱内温度} \leq 10$	≤ -6	≤ -12	≤ -18	
	32					
亚热带型 ST	18	$0 < \text{箱内温度} \leq 12$	≤ -6	≤ -12	≤ -18	
	38					
热带型 T	18	$0 < \text{箱内温度} \leq 12$	≤ -6	≤ -12	≤ -18	
	43					

(7) 对冰箱的门铰链和把手的要求 冷藏室门能经受 10 万次无损坏。

(8) 噪声和振动 电冰箱的噪声 (以声功率级计) 不应超过 52dB(A) (250L 以下) 或 55dB(A) (超过 250L)。

(9) 耗电量指标 这是每个消费者很关心的问题, 但到目前为止, 国内外电冰箱耗电量尚无统一标准, 通常要求实耗电量不超过铭牌标定值的 115%, 因为即使冰箱的容积一样对不同的牌号, 其耗电量也不一致。具体可参见表 9.4.5 常用冰箱日耗电量。

表 9.4.5 常用冰箱日耗电量/(kW·h/24h) (环境温度在 25℃)

容积/L	100	150	170 以上
单门、(直冷式)	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1
双门、(直冷式)	0.9~1	0.9~1	1.2~1.3
双门、(间冷式)		1.1~1.3	1.3~1.5

获取更多资料 微信搜索 球球

第五章 音像器具

第一节 电视机

一、彩色电视机的制式

制式是指传送电视节目所采用的技术标准。电视的制式不同，频道的频率范围、高频道的频带宽度、图像信号的调制极性、伴音信号的调制方式等就不同。目前世界上主要有三种制式。

- (1) NTSC 制式 为正交平衡调幅制，采用这种制式的主要国家是美国、加拿大、日本等。
- (2) PAL 制 在正交平衡逐行倒像制，德国、英国等西欧国家采用这种制式。
- (3) SECAM 制 为引轮换调频制。法国、俄罗斯等东欧国家采用这种制式。
- (4) PAL/D 制式 我国采用 PAL/D 制式。

二、电视机的管型

国产彩色电视机中使用的显像管有三枪三束管、单枪三束管和自会聚管。

三、彩电电路结构

彩色电视机工作原理图见图 9.5.1。

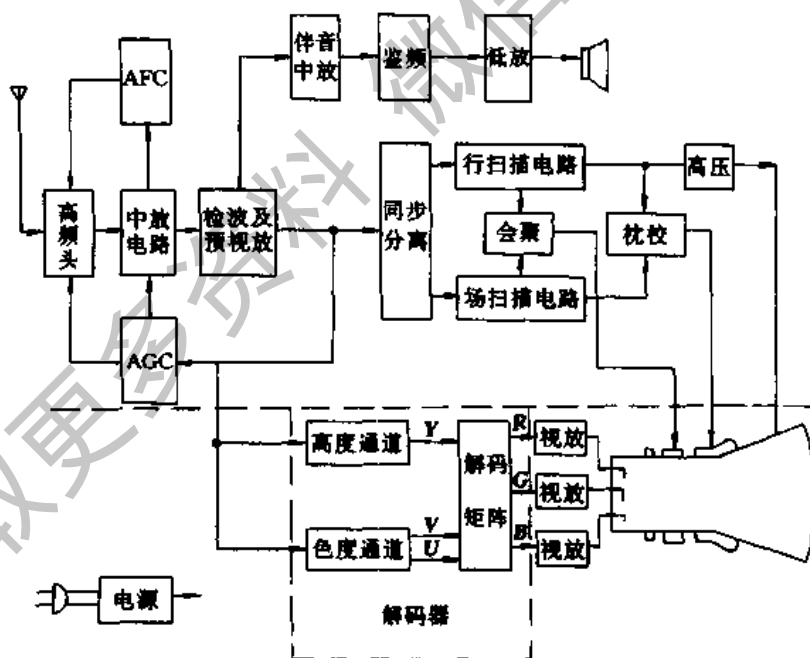


图 9.5.1 彩色电视机电路组成方框图

四、使用与维护

目前彩色电视机内都采用了各种保护电路，一般不会发生大面积损坏性故障。对于常见故障，列于表 9.5.1 中。

表 9.5.1 彩电常见故障及检修

故障现象	原因及检修
有伴音, 无光栅, 关机时光栅一闪即逝	亮度通道有故障。检查加速极供电电路中的限流电阻, 可能是该阻值太大
彩电通电后便发出很响的“滋滋”的声音	空气潮湿, 高压部位绝缘性不好。用纯酒精清洗显像管高压嘴周围和高压帽内外部分表面, 用砂纸除去高压帽内金属卡上的锈迹, 并涂上灭弧灵
无声音, 无图像, 无色彩 (三无), 电源指示灯亮	这是新机器开机时可能发生的故障, 是机械接触不良所致。应检查行扫描及相关电路 (先检查功耗较大的行、场扫描电路), 这些部位常因热胀冷缩形成接触不良
无光栅, 无伴音, 无“吱吱”声	这是由于电源部分出现故障引起的。首先应排除机外原因检查电源插座是否有电? 电源插头、电源线和电源开关是否良好? 如确认是机内故障, 再检查机内的电源电路

第二节 录像机

录像机是高技术产品, 其功能较多, 电路及工艺结构复杂。盒式录像机通用的卷带方式有 U 方式、 β 方式和 VHS 方式。VHS 方式录像机是家用磁带录像机的主流, 特别是在国内, 普遍使用的是 VHS 方式录像机。

一、录像机的分类

录像机分类见表 9.5.2。

表 9.5.2 录像机分类

分类方式	类 型	特点及用途
按用途分	广播专用录像机	图像质量高, 多次复制后图像仍良好, 价格昂贵
	一般专用录像机	图像质量及价格介于广播专用和家用之间
	家用录像机	有满意的像质, 能满足一般家庭的需求, 价格低廉
按所用磁带分	50.8mm (2 英寸)	用于广播电视专业
	25.4mm (1 英寸)	
	$19.05\text{mm}(\frac{3}{4}\text{英寸})$	
	$13\text{mm}(\frac{1}{2}\text{英寸})$	用于家庭
	8mm	
$6.35\text{mm}(\frac{1}{4}\text{英寸})$		
按磁头数目分	四磁头	磁头数目的多少与放像质量无关, 磁头数目多的说明特殊放像能力强些。磁头越多, 价格越高。最新的录像机磁头数也有 6、7 个
	双磁头	
	单磁头	
按扫描方式分	横向扫描	
	螺旋扫描	
按录、放、播功能分	录像机	能录能放
	放像机	只能放不能录
	摄录一体机	能摄能录

二、录像机工作原理

录像机的电路组成见图 9.5.2。

录像机电路各部分功能见表 9.5.3。

三、录像机使用与维护

1. 录像机的维护

- ① 当磁带装不进时, 不能硬推强按。
- ② 不能轻易调整录像机的机械构件。
- ③ 清洗录像机磁头时应慎重, 因为录像机磁头怕损伤。

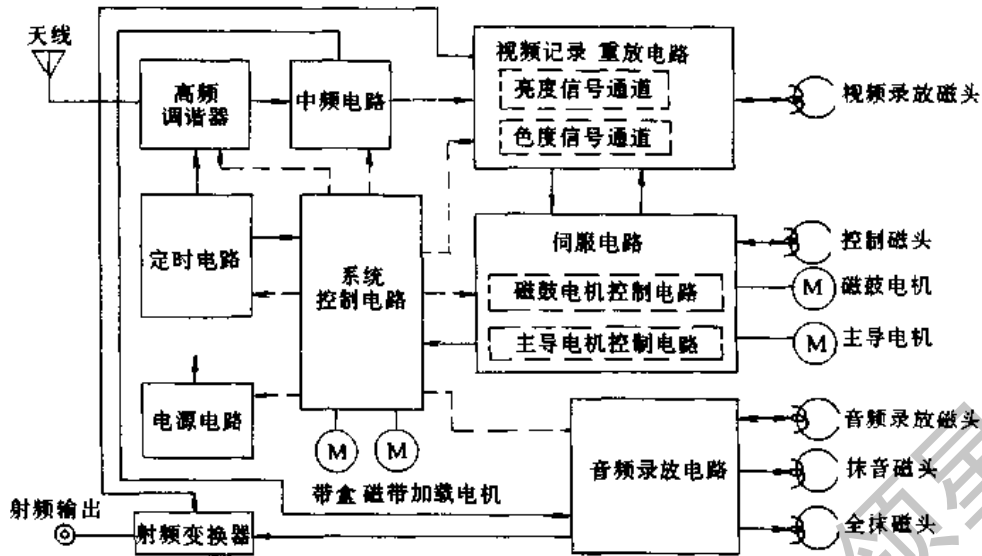


图 9.5.2 录像机电路总体方框图

表 9.5.3 录像机电路各部分功能

电路名称	功能
接收电路	把接收的电视信号通过变频调谐器、图像中放、检波变成彩色全电视信号
视频记录和重放电路	视频信号经处理放大后，送入视频记录头记录在磁带上，并把从视频头取出的信号放大后输出
音频记录和重放电路	记录和重放音频信号
伺服电路	控制视频头的位置、转速，并控制磁带的行走速度
系统控制电路	控制电路及机械系统的工作状态
定时电路	定时控制录像机的记录和重放
射频变换电路	把视频及音频信号转变为射频信号
电源电路	为各个电路部分提供电源

- ④ 录像机使用中磁带不能强拉。
- ⑤ 不能使用有皱折的磁带。
- ⑥ 录像机要防磁、防尘、防热、防潮、防振。
- ⑦ 录像机精度高，对走带速度及磁鼓转速有严格要求，因此要经常清洁。
- ⑧ 录像机视频磁头工作寿命为 1000h，累计工作时间 700h 后，图像质量已明显下降，因此应及时更换磁头。

2. 常见故障分析表 (表 9.5.4)

表 9.5.4 录像机常见故障分析表

故障现象	故障原因及分析
重放无图像	说明重放电路从磁头到输出端某一环节出了故障。先检查磁头是否有堵塞污物和损坏，然后用示波器沿信号通路进行寻踪
有图像无彩色	磁头磨损和堵塞 磁头放大器频率补偿偏较大 色度通道工作不正常
不能记录图像	检查亮度通道 检查磁头及 3MHz 切割低通滤波器及相位等电路
录放均无色彩	注意检查磁头及混频电路、本振电路
不能装入磁带	带盒加载电机无动作，应检查电机的控制电路工作是否正常

四、录像机的主要技术参数 (表 9.5.5)

表 9.5.5 常见录像机主要性能

生产厂家及型号	松下 NV-G30	松下 NV-G33	松下 NV-G50	日立 VT-426	夏普 VC-779E	东芝 DV-98C
彩色电视机制式	PAL-D/I MESECAM	PAL-D/I MESECAM	PAL-D/I/K/B MESECAM NTSC(4.43 MHz)	PAL-D/I/K	PAL-D/I/B/G SECAM, NTSC (4.43MHz, 3.58MHz)	PAL-D/I/K
视频磁头数	三磁头	四磁头	四磁头	三磁头	四磁头	三磁头
高质量图像	HQ	HQ	HQ	HQ	HQ	HQ
倍速重放	无	有	有	—	—	有
慢速重放	超微慢动作重放	正常重放速度的 $1/5 \sim 1/25$ 速度慢放	正常重放速度的 $1/5 \sim 1/25$ 速度慢放	无噪声慢速重放	无噪声慢速重放	正常重放速度的 $1/10$ 速度慢放
静止图像	静止图像质量好	静止图像质量好,清晰	静止图像质量好,清晰	静止图像质量好	静止图像质量好,清晰	数字式静止画面好,清晰
自动反复重放功能	—	—	—	有	有	—
显示器	多功能荧光显示器	多功能荧光显示器	多功能荧光显示器	多功能荧光显示器	多功能荧光显示器	多功能荧光显示器
蜂鸣器	—	—	—	有	—	—
锁定检索机构	有	有	有	有	有	有
体积	380×99×352 mm ³	380×82×343 mm ³	430×82×346 mm ³	453×81×337 mm ³	430×93×345 mm ³	430×85×348 mm ³
遥控器	12功能键无线红外遥控器和数码扫描录像器	10功能键无线红外遥控器和带液晶显示(LCD)数码扫描录像器	多功能无线红外遥控器和带液晶显示(LCD)数码扫描录像器	全功能的,带荧光液晶显示(LCD)的无线红外遥控器	18功能键无线红外遥控器	27功能无线红外遥控器
电压选择器	自动电压选择 110~240V 50Hz/60Hz	自动电压选择 110~240V 50Hz/60Hz	自动电压选择 110~240V 50Hz/60Hz	手动电压选择 100;115;220V; 230V四档	自动电压选择 110~240V 50Hz/60Hz	自动电压选择 110~240V 50Hz/60Hz
多制式重放	—	—	可在 PAL 制电视机上模拟重放 NTSC 信号图像	—	可在三制式电视机上重放三种制式的彩色图像	—
自动功能	自动通电 自动重放 自动起弹 自动倒带等	自动通电 自动重放 自动起弹 自动倒带 自动断电	自动通电 自动重放 自动倒带 自动断电	自动通电 自动重放 自动起弹 自动循环重放 自动反复重放 自动断电	自动通电 自动重放 自动起弹 自动反复重放 自动断电	自动通电 自动重放等
生产厂家及型号	松下 NV-370EN	松下 NV-450MC	松下 NV-G12	日立 VT-136E	东芝 V-84C	三菱 HS 306HD
彩色电视制式	PAL-I	PAL-D	PAL-D/I SECAM	PAL-D/K, PAL-I		
高质量图像(HQ)	—	—	HQ	HQ	HQ	—
静止画面	一般静止	无杂波静止	无杂波静止	无杂波静止	无杂波静止	低杂波静止
快速寻址	—	有	有	有	有	有
慢动作	—	—	有, 1/8 速度	有, 1/10 速度	有, 1/10 速度	—
自动放像	—	—	有	有	有	有
自动保护退带	—	—	有	—	—	—

续表

生产厂家及型号	松下 NV-370EN	松下 NV-450MC	松下 NV-G12	日立 VT-136E	东芝 V-84C	三菱 HS 306HD
断电取带	—	—	有	—	—	—
自动倒带	—	—	有	—	有	—
预定录像	14天内1节目设定		14天内4节目设定			
遥控器	有线6动作	红外线27动作	红外线16动作	红外线16动作	红外线13动作	有线10动作
多功能显示屏	两处	集中	集中、有频道显示			
单频定时录像(OTR)	有	有	有,快速	有		
电源消耗	110V/220V 28W	220V 28W	200V/220V 30W	220V 30W	110-240V 28W	110V/220V 35W
电视遥控器	全频道	16频道合成遥控		79频道合成	16频道合成遥控	
清晰度控制	水平240线	有控制器、水平240线				
编辑	—	有	有	有	—	—
射频输出	C3、4、E36	C3、4	C25、E38	C25、E37	C24、E36	C25、E33
机身颜色	银灰、黑色、灰色、乳白					
机身尺寸/mm	430×115×372	430×99×367	380×99×350	435×95×344	430×95×375	410×127×278
重量/kg	8.2	7.2	6.2	7	7.3	7.2

注：1. 彩电制式：中国 PAL-D，香港地区 PAL-I。

2. NV-470与NV-450基本相同，增加了慢放等。

3. NV-G10与NV-G12基本相同，只少SECAM制。

4. 本表列举各机型全部为VHS（大1/2）录像机。

第三节 VCD

VCD是集“光、机、电”技术于一体的精密电器，是数字化小型视盘放像系统的英文 Video Compact Disc 的缩写，俗称小影碟机。影碟的直径为12cm，厚度为1.2mm。VCD采用了大规模或超大规模集成电路技术、微处理与电脑控制技术、激光高密度记录与重视技术、数字信号处理技术等，伴音与图像质量较为理想。

一、VCD的功能及选用

1. VCD的功能

VCD的功能主要有两大类，一是放像功能，二是卡拉OK功能。放像时，VCD可以直接放像、选曲放像、快速搜寻放像、编程放像、重复放像、随机放像、多碟式播放、自动快速翻面播放等。需要唱卡拉OK时，VCD一般都具有双输入插孔，可以同时插入两只话筒，并且麦克风音量、高低音均可以调节，数字回响控制钮可以对演唱者的声音进行修饰和润色，产生良好的回声效果。另外，VCD还可以进行数码升降调、曲间暂停、评分等功能。

除了以上所述两大类功能之外，VCD还有一些其他功能，如声道选择、蓝色背景静噪、多屏幕信息显示（该功能可以将正在播放的曲号、播放时间、剩余时间、音调、回声度等信息同步显示在电视画面上）。

2. VCD的选用

目前我国市场上VCD品牌很多，这些产品在功能上有很大差别，因此选用时要注意以下几点。

(1) VCD的档次定位 如果选用VCD仅满足于一般影视欣赏及唱卡拉OK，可以选用1.1或2.0版本带卡拉OK升降调、工艺成熟、性能稳定、价格较廉的机种。如果对音质画质要求很高，可以选用信噪比S/N高、动态范围大、整机失真度小、技术含量高的名牌产品，以便将Hi-Fi家庭音乐中心扩充成家庭影院。经济条件好的，还可以考虑选择LD/CD/VCD全兼容机。

(2) VCD的版本 所谓版本是指影碟机生产时所使用的技术标准。VCD1.0版有动画现象及马赛克现象，画质较差，目前已属淘汰范畴。后来，又出现了VCD1.1版本，该版本技术含量比1.0版先进得多，动态画质也很好，售价也不高。1994年底又出现了更先进的VCD技术制作标准，即目前最新的VCD2.0版本。该版本

的 VCD 除了有优质的动画图像外, 还可存储 2000 多幅高清晰静止图像; 另外还可以灵活地操作 VCD 做一些简单的人机对话, 供用户随机选择调取节目播放顺序。因此, VCD 2.0 能获得更多的软件支持和更广泛的用途。

二、VCD 的维护

1. 检修要点

① 尽可能找到相应机型的维修手册, 在 VCD 中靠目测不容易查找线路的走向, 应配一些专用工具, 用这些工具配合手册, 能很快将 VCD 调整到最佳状态。

② 检修时要谨慎小心。需要翻开印制板或焊接时, 一定要先断开电源。VCD 线路板线很细, 焊接用的电烙铁功率不能大于 25W。

③ 不要随便调整任何一个跟踪、增益电位器, 特别是激光头上的电位器。激光头组件、滑动组件和它们结合部上的螺丝也不能随意调整。

2. 常见故障及维修

表 9.5.6 是常见故障及处理方法。

表 9.5.6 VCD 常见故障及维修

故障现象	原因及检修
播放 CD/VCD 时出现重复播放或跳越的情况	机械振动的影响。应先用优质的减振橡皮垫在机芯的支脚上, 并避免人为冲击 碟片质量不好 跟踪误差信号减弱。由于激光管老化, 光头物镜日久积尘而阻碍激光。可以微调激光功率管来改善。光头物镜积尘可用无水酒精棉球擦拭除尘 跟踪推挽驱动电路的部分损坏。如果推挽电路是单边损坏, 只要找出电路中的损坏单边部分即可迅速排除故障 跟踪伺服环路不稳定。可以精确调整 E、F 平衡、跟踪增益等调整电位器加以排除 机械传动方面的故障 其他原因, 如电源系统不稳定, 电源接插件接触不良等
有声音无图像 (如高仕达 VCD)	X603 晶振失效
开机显示 "NODISC" 按放像键无作用	KSS-210 激光头失效
不能进行播放	检查一下是否装入了光盘片或光盘片倒置, 应将光盘有标记的一面向上
声音断续失真, 影像扭曲	光盘太脏, 应清洁光盘 光盘被损坏, 应更换新光盘

3. 影碟机调整时出现的字符

下面将影碟机调整时, 常见的字符含义列出:

FOCUS	聚焦	ERROR	误差
FCS LOCK	聚焦锁定	FCS BAL	聚集平衡
TRK DRV	寻迹驱动	CT	窜扰
GAIN	增益	TE	跟踪误差信号
LOAD	加载	CAV	恒角速度
Buffer	缓冲器	CLV	恒线速度
RF	射频	1H DELAY LINE	1 行延迟线
LEVEL	电平	TBC	时基校正
EFM	8-14 调制数字信号		
HUE	色调	TILT	倾斜
DOC	失落补偿信号	TRK	寻迹
FG	主轴电机转动检测脉冲信号 (频率发生器脉冲)		
LRCLK	左右声道时钟信号		
TES	跟踪误差旁路信号		

三、VCD 的主要技术参数及规格

部分 VCD 产品的主要技术参数及规格见表 9.5.7。

表 9.5.7 VCD 主要

品牌型号		索尼 MDP- V900G	索尼 MDP- V8K	索尼 VCP- K10	松下 VM- 510	马兰士 VCD- 500	三星 DVC- 650	三星 DVC- 850	三星 DV- 532KV	三星 DV- 4500V	三星 DV-5500 KV
VCD 版本		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
LD/VCD/CD 兼容		√	√					√	√	√	
碟数		单	单	单	5	双	单	5	单	单	单
制式		P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N
卡拉OK	数码回响	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	升降调	17级	17级	11级	7级	17级	17级	17级			
	麦克风及音量调控	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	三模式麦克风环回						√	√			
	歌声替代	√	√	√	√	√	√	√			
输出功能	视频输出	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
	音频输出	2组				1组	2组	2组			
	RF 射频输出						√	√			
	S 端子	√									
	左右声道选择	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
特殊功能	控制放像	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	慢速放像	√	√				√	√	√	√	√
	浏览放像	√									
	A-B 重复										
	下碟预选		√		√						
	设时放像	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	十轨直接选曲	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
整机指标	动态范围	100	99	95	92	92	98	96	90	96	96
	总失真度						0.005%	0.009%	0.009%	0.005%	
	音频范围	4~ 20000	4~ 20000	20~ 20000	20~ 20000	20~ 20000	20~ 20000	4~ 20000	4~ 20000	4~ 20000	4~ 20000
	信噪比	115	115	92	100	100		95	95	107	100
	功能备注	abeg hm	bflm ø		eg k	abegj m	beg j	hae gil	bejg	bejg	bejg

注：a. 自动暂停；b. 伴唱；c. 歌声消除；d. 麦克风高低音调节；e. 电脑记忆系统；f. 最后画面记忆；g. 静噪蓝色

技术参数及规格

飞利浦 VCD 928	飞利浦 CDC 771V	高士达 FL- 300V	高士达 FL- 333V	现代 HCV- 1000	现代 HCV- 3000	彩龙 K100 A2	万燕 CDK 320	YONG VCP- K600	爱多 IV-720A	雄鹰 FD- 2038	LHG VCD- 955	先驱 MVD 300	万利达 VCP N10
2.0	2.0	1.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.1
单	5	3	3	单	3	单	单	单	单	单	单	单	单
N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N	P/N
√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		13级	13级				13级	13级	13级	20级	13级	8级	9级
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
						5		√	√				
						√	√						
1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1
						√	√	√	√	√	√	√	√
					√								√
√	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√	√
√	√		√	√		√	√	√	√	√	√		
√	√	√	√	√		√		√		√	√	√	
			√	√	√							√	
			√	√	√	√							√
√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
90	90	90	90			92	95	95	90	90	90	90	95
20~ 20000	20~ 20000						20~ 20000			20~ 20000			
92	90	90	95	90	95	90	90	90	90	90	90	90	90
ghnj	gnj	ablj	abli	aei	aei	ae	bck	abeg jk	acgi k	ck j	efik	lki	lkj

背景; h. 辅助输入; i. 光纤输入; j. 全功能遥控; k. PAL 图像无压缩; l. 电脑评分; m. 声音淡出淡入。

第四节 收录机

收录机是最常见的家用电器之一，目前已形成收音机、录音机、电唱机等音响设备组合在一起的产品。

一、收录机的分类

收录机的种类很多。按使用方式分类有落地式、台式、便携式、袖珍式等；按磁带的型式分类有微型盒式、盒式、大盒式、卡式循环磁带等；按声道分类有单声道、双声道、多声道；按功能分类有录放机、收录放机、双卡收录机、立体声盒式跟读机、声画机、多功能组合机等等。

二、收录机工作原理

以最具普遍意义的盒式收录音机为例说明，其工作方框图如图 9.5.3 所示。

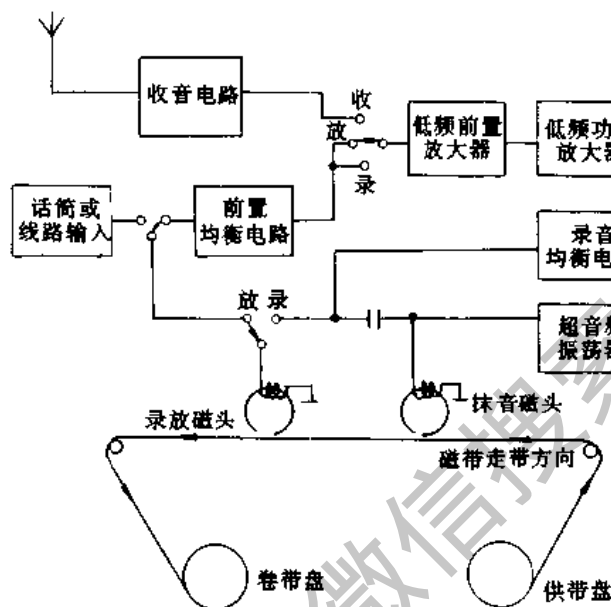


图 9.5.3 收录音机工作方框图

收录机工作经过收音、录音、放音三个基本过程来实现。

(1) 收音过程 仅在收音电路和放音电路有电源供电，收录机的机械传动部分不工作，电动机停止供电。原理如图 9.5.4。

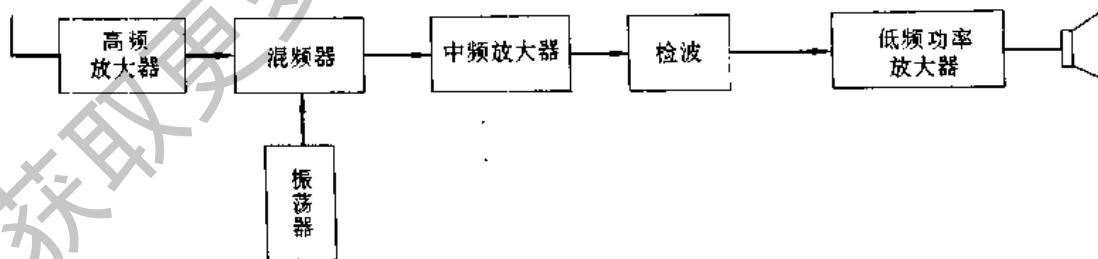


图 9.5.4 收音过程工作原理

(2) 录音过程 这一过程见图 9.5.5 示意，如前所述，从机内话筒或线路输入的音频信号经低噪声的前置均衡放大器、低频功率放大器等放大后，通过录音输出电路，加到录音磁头线圈上。在磁带上录制节目。

(3) 放音过程 放音是录音的逆过程。放音时，录音电路、超音频振荡器、收音电路停止供电，抹音磁头远离磁带，磁带运动时，放音磁头上感应的微弱音频信号经放大后驱动扬声器。

三、收录机的性能指标

收录机的性能指标包括机械性能指标和电声性能指标。

1. 机械性能指标

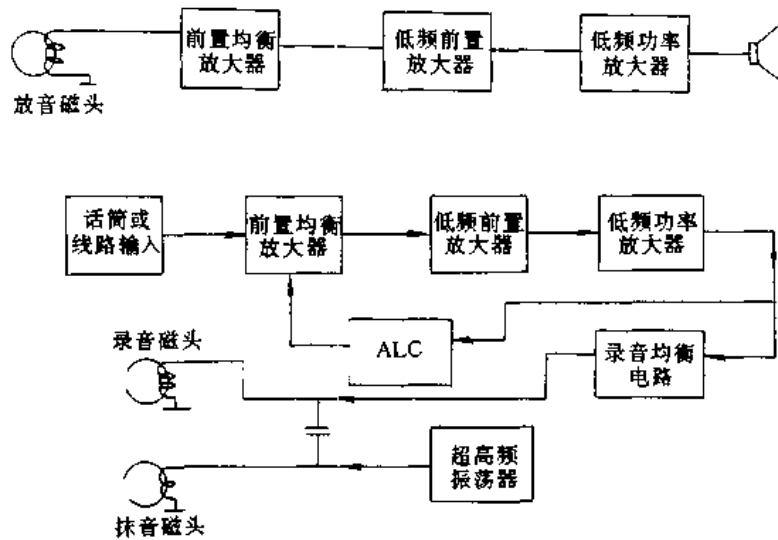


图 9.5.5 典型的录音部分工作方框图

(1) 带速误差 它指实际带速与标称值之差,用百分比表示。带速误差大的带子在听觉上将引起放音音调高低的变化。

(2) 抖晃率 等于容生调频频值对录音信号频率之比的百分数一般从 $\pm 0.5\%$ ~ $\pm 0.6\%$, 越小越好。

2. 电声性能指标

(1) 频率响应 收录机在录放进行中信号的幅频传输特性, 频率范围越宽越好, 较好的达 $60 \sim 18000\text{Hz}$ 。

(2) 信噪比 指信号与噪声之比, 用 S/N 表示。收录机 S/N 越大越好, 一般为 50dB 左右。

(3) 失真度 指谐波失真, 失真大, 音质就差。一般要求失真度在 $0.3\% \sim 1\%$ 之间。

四、收录机的使用与维修

收录机常见故障及修理方法见表 9.5.8。

表 9.5.8 收录机常见故障及维修方法

故障现象	故障原因	修理方法
用交流市电供电, 收录机无声, 不走带	保险丝熔断 电源变压器线包断路 整流元件损坏	检查有无短路, 再换保险丝 重新绕组线或换变压器 换新元件 (整流管、滤波电容、三极管)
电池供电, 收录机不工作	电池本身或电池盒有故障 外接直流电源引线故障	换电池, 重新焊接 保证引线接通
交直流供电都无声, 不走带	交直流公共供电机芯开关坏 电容被击穿	修复 更换电容
放音时带速不均, 声音变调	电池没电 磁带受潮或卷绕不齐 调速电路故障 压带轮磨损 元件或导线位置不对 传动系统有问题	换新的电池 更换正常磁带 更换电路损坏器件 更换压带轮 拆开检修, 调整位置 更换传动带或清洗干净
放音时, 走带机构不动, 但有噪声	电机或调速电路损坏 飞轮或传动带卡滞 磁带盒转轴摩擦力大	换电机或修复调速电路 拆开, 按正位置 换新的磁带盒
放音正常, 录不上音	录音话筒线断 话筒损坏 录音键没按实 录音键不能按下	接通或焊牢 更换话筒 将录音键按好 拆下检修
抹音不净	抹音磁头损坏 偏磁电路损坏	更换新磁头 调整偏磁电路
收、放音时声音沙哑, 有“噼啦”声	喇叭受潮, 纸盆无弹性 纸盆破损 喇叭框架变形, 引起纸盆变形	烘烤纸盆 修补纸盆 校正框架

第六章 厨房器具

第一节 微波炉

微波炉是一种新型高档烹调炊具，主要用于对食物进行快速烹调、加热及解冻。其原理是利用微波场内被加热物质的分子振动、摩擦、碰撞而使食物在很短的时间内加热熟透，比用一般电炉或电灶省电 60% 左右。

一、分类

微波炉的分类见表 9.6.1。

表 9.6.1 微波炉分类

分类方式	类型	特点及用途
按频率分	915MHz	用于商业、工业部门作烘烤、干燥、消毒用
	2450MHz	家庭用
按结构分	箱体式	容量大，输出功率在 1000W 以上
	嵌入式	容量小，输出功率在 1000W 以下，可以放在灶台上或嵌入橱柜中使用
按控制功能分	普通机械控制式	有计时、功率调节和温度控制装置，根据需要，可以自行设定工作时间，调节输出功率 设有记忆装置，可按预定程序完成解冻、最佳功率加热和保温等工作
	电脑控制式	

二、微波炉工作原理

图 9.6.1 是带烧烤的微波炉工作原理图。电源变压器初级线圈输入 220V 交流电压，次级线圈输出 2050V 交流高压。另一次线输出 3.30V 灯丝电压。交流高压经高压电容和高压二极管倍压整流，供给磁控管阴极一个 4000V 直流高压，阳极接地，使磁控管振荡，发出频率为 2450MHz 的微波。微波经过波导管进入炉腔，使腔内食物中的水分子振动发热。

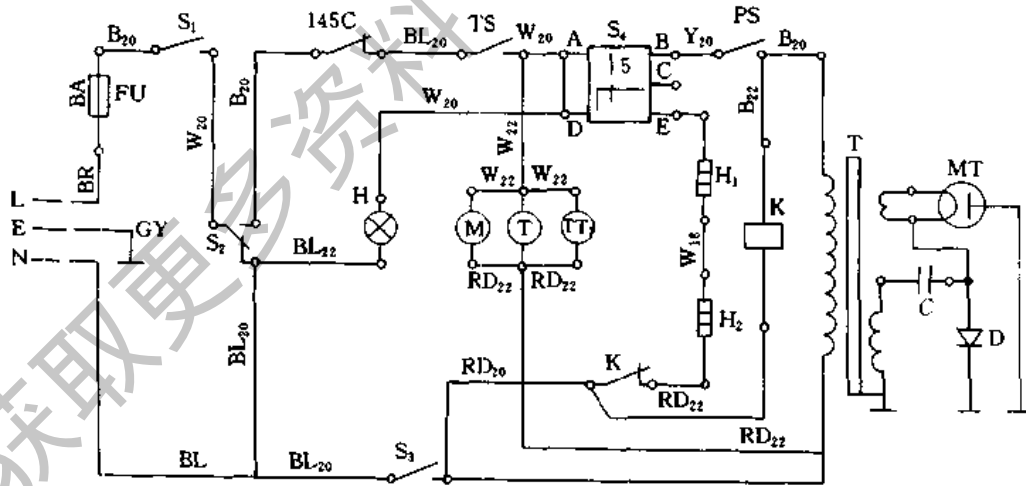


图 9.6.1 烧烤微波炉电气原理图

FU—熔断器；S₁、S₂、S₃—门控开关；S₄—微波/烧烤选择开关；H—炉灯；M—风扇电机；
T—时间/功率掣电机；TT—转盘电机；TS—时间掣开关；PS—功率掣开关；H₁、H₂—石英发热管；
K—继电器；T—高压变压器；MT—磁控管；C—电容；D—高压二极管；B—黑色导线；BL—蓝色导线；
BR—棕色导线；RD—红色导线；W—白色导线；GY—黄绿色导线；Y—黄色导线

三、使用与维护

微波炉在使用过程中常见故障及维护详见表 9.6.2。

表 9.6.2 微波炉常见故障现象、原因及检修

故障现象	原因及检修
炉内照明亮,但不能加热食物	灶门安全开关损坏,应修复或更换 电源变压器损坏,应修复或更换 高压整流元件损坏,应修复或更换 磁控管坏,应更换
烹调中忽然停止工作	炉门被打开或炉门安全开关断开,应关紧炉门,并检查炉门安全开关是否接触良好 磁控管散热装置故障,如鼓风机不转或风道阻塞等
炉内照明灯不亮,不能加热食物	检查是否停电,电源线是否接触良好,炉门是否关好 检查定时器是否损坏,若损坏,修复或更换 检查烹调继电器是否损坏,烹调开关是否接触良好 检查断路器是否损坏 检查断路器是否损坏
可以加热但不能控制时间	定时器不正常,修复或更换 定时器附属连接线有问题,修复或更换
照明灯不亮,但可以加热食物	检查照明灯及连接线是否有问题
按起动按钮,炉内保险丝断	电源变压器初级线圈短路,应修复 照明灯座短路,应修复 炉门连锁机构故障

四、常见微波炉的主要技术参数 (详见表 9.6.3)

表 9.6.3 常见微波炉产品性能比较一览表

牌 号	型 号	功率/W	耗电量/W	容积/L	重量/kg	尺寸/mm	控制	烧烤	
国产	舰华	E30E-3	800	1200	30	19.8	537 × 403 × 340	机械	可以
	舰华	E70TF-3	700	1100	18	15.2	492 × 365 × 300	机械	
	舰华	MB20TF-3	800	1200	20	18.2	492 × 383 × 297	机械	
	舰华	E22E-3	800	1200	22	15.3	492 × 359 × 297	电脑	
	舰华	E70E-2	650	1050	18	15.5	492 × 359 × 298	电脑	
	格兰仕	WP700	700	1180	21.8	14.5	306 × 510 × 360	机械	
	格兰仕	WP750A	750	1180	21.8	14.5	306 × 510 × 360	电脑	
	飞跃	WL6002	600	1150	19.7	15.5	470 × 353 × 320	机械	
	上菱	WP650	650	1200	21	14.5	293 × 510 × 373	机械	
	上菱	WP700	700	1250	21	14.5	293 × 510 × 373	机械	
	亚美	W650A	650	1150	21.2	17	500 × 370 × 280	机械	
进口	惠而浦	AWM602	900	1500		15.6	525 × 277 × 328	电脑	可以
	夏普	R-80	600	950	16.5	13	450 × 285 × 335	机械	
	夏普	3A65	850	1350	25	15	520 × 305 × 385	电脑	
	夏普	R-6G65	850	1400	25	18	520 × 305 × 412	电脑	
			1300	1370					
	松下	NN-5222	750	1250	21.8	13.8	510 × 306 × 360	机械	
	松下	NN-5652S	700	1330	21.8	14.1	510 × 306 × 360	电脑	
	松下	NN-5642	750	1250	21.8	14.1	510 × 306 × 360	电脑	

第二节 电饭锅

电饭锅又名电饭煲,是普及最快的家用电器之一。

一、电饭锅的分类

1. 按装配方式分类

(1) 整体式 这是流行的形式,外观上只有一个锅体,而在内部还有一层或两层锅体。这种形式保温性能

较好。

(2) 组合式 锅体与加热座分开，没有紧固连接，结构简单，便宜，现在已不多见。

2. 按控制方式分类

(1) 不定型 普通电饭锅没有定时器，接通电源，即开始升温工作，饭熟后自动保温，一直到食用这一段时间都耗电。

(2) 定时型 它与不定型电饭锅没有太大区别，只在控制系统中装了一只定时器，用户可根据需要在12小时内任意选定某一时间开始蒸煮，定时器按设定时间接通电源。

(3) 电脑控制型 这种型式电饭锅在控制系统中设置了程序控制，具有智能化特点，可节能。

3. 按压力大小分类

(1) 常压型 一般所说的电饭锅都是常压型的。

(2) 压力型 这种电饭锅兼有高压锅和电饭锅二者的优点，采用密封结构，使锅内产生高于大气压的蒸煮压力。

4. 按电热元件划分

按电热元件的个数及装置方式，可将电饭锅分为单发热板式、双发热板式及多发热板式。普通电饭锅都为单发热板式。

电饭锅的规格一般用输入功率或容积来表示。一般用功率表示有下面一些规格：400、450、500、550、600、650、700、800W等，用容积表示有如下规格：0.7、1、1.5、2、2.5、3、3.6、4.2L等。

二、电饭锅工作原理

图9.6.2为普通自动保温电饭锅电路原理图。电饭锅接通电源时，按下限温开关，则指示灯亮，此时电热盘通电发热，并不断将热量传导至锅体内的衬锅底部。当温度上升至大约65℃时，控温器（双金属片）断开，由于磁钢限温器仍然处于接通状态，因此并不中断电源供电。当米饭中的水分大量蒸发，至锅内温度上升到103℃时，磁钢限温器自动切断电源，此时指示灯熄灭，电热盘停止供电。当温度低于65℃以下，双金属片构成控温器，接通电源，电热盘工作并升温。控温器设定的温度是65℃，因此温度上升到65℃时即自动断电。如此周而复始，电饭锅在把米饭做熟之后，自动保温在65℃，直至人为切断电源。

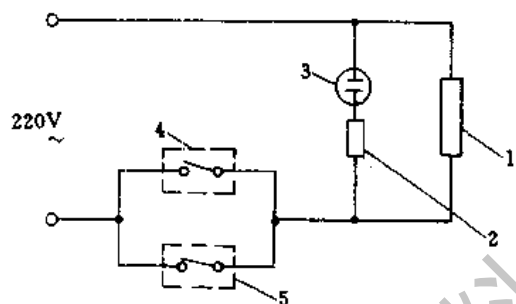


图 9.6.2 普通自动保温电饭锅电路原理图

1—发热元件；2—限流电阻；3—指示灯；
4—磁钢限温器；5—自动保温器

三、使用与维修

1. 电饭锅的使用与保养

新买的电饭锅在使用前一定要仔细阅读使用说明书，熟悉使用方法和注意事项。

电热盘和内锅表面要保持清洁，在盘与锅之间切忌有饭粒等杂物。

放入内锅时，要将内锅来回转动几下，以保证内锅与电热盘紧密接触。

通电后，不可再动内锅，更不许在接通电源情况下取出内锅，否则时间长了电热盘因无热负载而烧毁。

内锅为铝质材料，严禁放胃酸、碱食品，也不允许用普通铝锅替代内锅。

避免湿手操作电饭锅。

2. 电饭锅的故障与维修（表9.6.4）

表 9.6.4 电饭锅故障与维修方法

故障现象	故障原因	修理方法
指示灯不亮，电热元件不热	停电，或保险丝断而电源不断 操作开关损坏 恒温器开关不通 发热元件断路	换保险丝，接通电源线 更换新的操作开关 检查双金属片，打磨或更换 测电压，正常为开路；如损坏，更换新元件
指示灯亮但锅体不热	管状（板）加热器开路	将管状加热元件打磨、重接，如损坏更换新电热元件

续表

故障现象	故障原因	修理方法
饭未熟, 控制开关跳开	自动开关的动作点过低或出现毛病 间接加热式电饭锅的外锅加水过少 内锅变形传热不良 内锅水不足 所用电压过高	检查开关, 适当放松螺丝 适当加水 整形内锅或更换新内锅 适当加水 用稳压器检查电压
饭熟后, 不跳闸	自动开关的动作点高 自动开关或限温器失去弹性 电压低	收紧双金属片开关的螺丝 挑开触点, 打磨或更换触片 稳压
保温后, 烧出的饭干缩	煮饭后加水少 保温时间太长	适当加水 控制保温时间
电饭锅工作正常, 但指示灯不亮	指示灯坏 相关电路损坏	更换指示灯 修复电路
锅体漏电	电饭锅电气部分受潮或水侵入 管式电热元件封口密封失效 内部电路导线绝缘层损坏 云母片式电热元件绝缘层损坏	干燥电饭锅 用硅胶或碳酸钡将端口封好 更换导线 换云母片
饭生熟不均	发热器质量不佳 内锅底不洁净	更新加热器 清除内锅底杂物
饭呈棕黄色	内锅底有杂物 内锅变形, 传导感热元件传感不准, 温度过高	清除内锅底杂物 整形内锅, 检查感温器
压力电饭锅的饭半生不熟	加热器局部损坏 压力锅漏气	检查加热器修复或更换 保证密封

获取更多资料 微信: 414921428

第七章 其他

第一节 电熨斗

一、电熨斗的分类及工作原理

家用手持式电熨斗按功能完善程度可分为四大类：普通型、调温型、蒸汽型和喷雾型。其中又分有恒温型、折叠型、全塑型、无引线型等不同形式。

电熨斗的功率一般在 100~1200W 之间，普通型、调温型一般为 100~1000W，蒸汽型、喷雾型多在 750~1200W 范围内。

1. 普通型电熨斗

普通型电熨斗为初级低档产品。它的基本组成是底板、电热元件、压板、罩壳、后撑板和手把，见图 9.7.1。

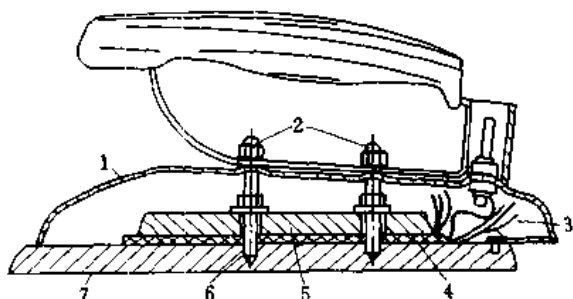


图 9.7.1 普通型电熨斗的结构

1—上罩；2、6—紧固螺母；3—云母片；
4—云母电热芯；5—压铁；7—底板

底面即电熨斗的工作面，常用铝合金或不锈钢制成，要求平滑，不能太薄或太轻，底板形状取尖船形，便于熨烫衣物角部。

电热元件有云母状电热元件和金属管状电热元件两种。云母片状电热元件为较老式的半封闭式元件，简单，但寿命低，现在常用金属管状加热器。

2. 调温电熨斗

这种电熨斗和普通型电熨斗的不同点仅在于多了一只恒温调节器，并增设了相应的调温旋钮。目前所用的恒温器主要是双金属片。在常温状态时，双金属片处于平直状态，其电触点可靠接触，接通电源工作一段时间后，双金属片因热胀系数不同而变形，从而自动切断电源供电，使电熨斗维持在某一设定温度。

之后电熨斗自身温度开始下降，待到双金属片恢复原始的平直位置时，电路又被自行接通。

由于织物不同，所要求的熨烫温度差别较大。我国现行的控温分级如下：尼龙（60~100℃）、合成纤维（110~125℃）、丝绸（125~150℃）、羊毛（150~180℃）、棉（180~200℃）、麻（200~230℃）。

3. 蒸汽电熨斗

蒸汽型电熨斗较调温型电熨斗增加了储水箱、汽化室和喷汽孔。工作时它能从底板下喷出水气，免去了熨烫时在织物上垫布撒水的环节，熨烫质量较好。

现还有一种盐液蒸汽电熨斗，也有人称为离子型电熨斗。使用时，先从进水口注入一定浓度的食盐溶液，食盐溶液的浓度决定熨斗的工作功率。这种熨斗是利用离子导电原理进行加热的。

4. 喷雾型电熨斗

喷雾型电熨斗是在蒸汽电熨斗的基础上改进而成。和蒸汽电熨斗相比，在结构上多了一套喷雾系统，并在手柄前上方设置了一个喷雾喷雾选择按钮。

5. 旅行电熨斗

旅行电熨斗主要是为人们外出使用而设计的一种电熨斗，主要采用折叠或可拆结构。

旅行电熨斗的功率较小，一般在 100~300W 之间。为适应供电电压不同国家旅行使用，一般还有电压变换装置。

6. PTC 恒温电熨斗

这种电熨斗是一种半导体陶瓷 PTC 元件作发热体的新型电熨斗。这种材料的发热量可随电熨斗底板的温度变化实现自动调温，使其保持恒定温度。采用 PTC 元件的电熨斗不必另设调温装置即可自动调温。

7. 无绳电熨斗

无绳电熨斗就是没有电源引线的电熨斗。它的熨斗本体上没有电热元件，它是利用交变磁场在金属底板内部产生感应电动势，从而引起涡流而致熨斗底板发热的。这种电熨斗还设有不同功率，靠转换开关改变铁芯线圈的抽头来实现，一般功率在300~900W之间调节。

二、电熨斗的使用与维护

1. 使用与维护

- ① 产品额定电压应与电源电压相同。为确保安全，应采用带地线三芯电源线。
- ② 电熨斗通电后应照看好，使用者不可远离。短时不熨烫时，应利用后撑板及手把将电熨斗竖立放置，不得平放在衣物等易燃品上。
- ③ 普通电熨斗的使用无自动控制，经多次实践才能掌握合适的温度。烫熨时最好垫上湿布，以免过温损坏衣物。每次使用后，用干布擦净，不得用水洗电熨斗。
- ④ 调温型电熨斗的调温旋钮上有温区档或织物种类标记，熨烫多种纤维衣物时，应从最低温织物烫起，逐渐调节到高温。
- ⑤ 使用喷汽、喷雾型电熨斗时，应注意在使用前加够水，最好用煮沸、澄清、去水垢的水，否则结垢后会堵汽孔，影响使用效率。

2. 电熨斗的故障与维修

(1) 普通型电熨斗（见表9.7.1）

表 9.7.1 普通型电熨斗故障及修理方法

故障现象	故障原因	修理方法
接上电源电熨斗不热	插头与插座接触不良 云母片损坏 管状电热元件损坏	重装插头与插座 更新云母片 更换新元件
电熨斗漏电	云母电热元件的云母绝缘层损坏 管状电热元件的两端密封失效	更换云母绝缘层 重新密封
电熨斗时热时不热	电路接触不好	检查电路，保证接触良好
烧保险丝	电源或电热丝部分短路	检查电路与发热元件
底板发黑	熨温与物品不适合	掌握正确熨烫方法

(2) 调温型电熨斗（见表9.7.2）

表 9.7.2 调温型电熨斗故障及修理方法

故障现象	故障原因	修理方法
调定温度值较高，但达不到	温度控制调节螺丝调整不正	调节螺丝
调温器失灵	调温器触点烧蚀在一起 动静触点接触不良	更换调温器触点或触片 砂纸打光，使良好接触
熨斗不开温	电路不通 加热元件损坏	检查电路，保证通路 打磨或更换

(3) 喷雾电熨斗（见表9.7.3）

表 9.7.3 喷雾电熨斗故障及修理方法

故障现象	故障原因	修理方法
喷雾口漏气，不能封闭	按钮内的弹簧无弹性	整形弹簧或更换新的
使用一段时间喷汽量变少	针阀失控 喷汽孔有水垢堵住	更换针阀 大头针疏通或醋水清洗
汽中带水滴	汽化不完全（一次蒸汽） 调温器失控（二次蒸汽回路）	调温器调到高档 修复调温器
熨斗弄脏衣物	底板有烧焦物 储水器中有矿物质或沉渣	擦净净底板 清除水垢
盐液蒸汽熨斗漏水	盐液蒸发室上下连接部位粘接密封不严 电源插头处松动	用粘合剂粘堵密封部位 拧紧螺丝或更换插头

第二节 电 吹 风

电吹风是用以吹干湿发和修发美容,或用以对某些物品进行局部加热或干燥的电热器具。

一、电吹风的分类及型号

1. 电吹风的分类

电吹风可按使用方式、送风方式、电动机型式、外壳材料等来分类。

按使用方式分,有手持式和支座式两种。

按送风方式分有离心式和轴流式两种。轴流式电吹风是靠电动机带动风叶旋转,推动进入电吹风的空气作轴向流动,不断地向外排风。这种电吹风排出的风全部流经电动机,使电机得到很好的冷却,但它的噪音大。离心式电吹风是靠风叶旋转产生离心力,不断地向外排风。与轴流式电吹风机相比,它噪音小,但风不能全部流经电机,电机温升高。

按电机型式来分有三种形式:单相交流感应式、交直流两用串激式和永磁自流式。

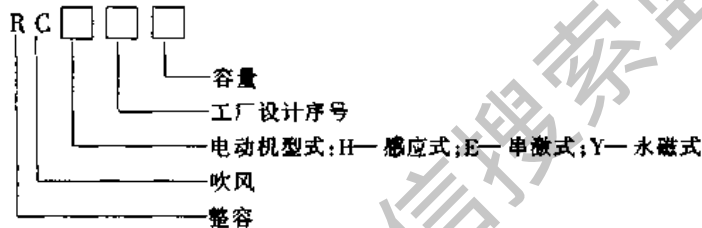
现在应用较多的是永磁式电吹风。这种电吹风重量轻,转速高。

电动机的规格按额定功率来划分,有150W、250W、350W、450W、550W、850W等。

电吹风从外壳所用材料分有金属式、塑料式和金属塑料混合式三种。

2. 电吹风的型号

电吹风的型号表示如下:



示例:电吹风型号RCH—64245型,即表示该电吹风的电动机为感应式,功率为450W,工厂设计序号为642。

二、电吹风工作原理

当接通电源后,电机就带动风叶旋转,将空气从进风口吸入,经电热元件加热后,热风便从出风口吹出。若电热元件采用PTC元件,则能起自动控温作用。

新颖的无级调温调速电吹风,电压调控电机,发热元件采用抽头方式调节,同样可以改变温度和风速。电压高低的改变是由改变晶闸管导通延迟角的大小来控制的,所以可以作到无级调速。

三、使用与维修

1. 电吹风的使用

使用电吹风前必须仔细阅读使用说明书,保证接线正确。长期使用的电吹风应该用试电笔试其有无漏电;

使用电吹风时要保证进出口畅通,避免造成过热烧坏电吹风。

用于吹干湿发时,应使电吹风与头发有一定距离,防止堵塞出风口,烧焦头发等。

电吹风尽量不要连续使用时间太久,以免电热元件与电机过热而烧坏。

经常检查电刷有无严重磨损,换向器有无积垢,以及电机转轴部位是否缺油。

2. 电吹风故障与维修(表9.7.4)

表 9.7.4 电吹风故障及与维修方法

故障现象	故障原因	修理方法
电吹风转不动	电源开关触头磨损或弹簧失灵 电机绕组断路 电刷磨损 电机引线折断或脱焊	修复或更换开关 重新绕制线圈 更换电刷 重新接焊
转动不灵活	轴承缺少润滑油 叶片与外壳相碰	加润滑油 校正叶片

续表

故障现象	故障原因	修理方法
噪声大	轴承磨损或松动	调换轴承或更换轴承压簧
无热风	电热丝烧断 保护器发生故障	更换电热丝 修理或更换过热保护器
气流太热	热熔保险丝失灵 轴承太紧或缺油 碳刷与整流子间的电火花严重 碳刷弹簧压力大	换正常保险丝 重新装配轴承 磨光整流子更换碳刷 更换弹簧

第三节 电 烙 铁

这里主要介绍控温烙铁。

控温烙铁又称恒温烙铁，是一种可以控制温度的锡焊工具。这种烙铁除了可控制温度外，还可克服感应电势对器件的影响。

目前国内控温烙铁有很多，通常按其温度控制原理可分三类：电子控温型、磁性控温型和双金属片控温型。也可以按控温加热特征分为触点型和无触头型。

一、控温烙铁工作原理

1. 电子控温型烙铁

电子控温型电烙铁的电气原理框图见图 9.7.2。

传感信号和基准信号（由温度调节旋钮决定）同时输入，经比较放大器比较，如不平衡即有输出。输出信号经推动级到输出级，使晶闸管导通，这时加热器开始通电加热。当传感信号和基准信号达到平衡后，电路使晶闸管关闭，加热器停止加热。调节温度调节旋钮可改变基准信号，从而得到不同的焊接温度。这种烙铁控温精度可达 2% 左右，控温范围广，可在 100~340℃ 间任意调节。

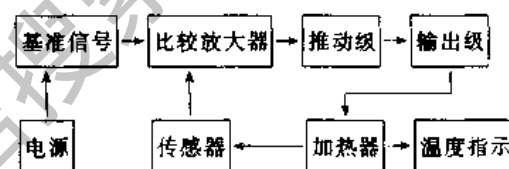


图 9.7.2 电子控温型电烙铁电气原理框图

2. 磁性控温型烙铁

磁性控温型烙铁外形和电子控温型极为相似，其结构如图 9.7.3。其控温原理是利用烙铁头的特殊结构完成的。烙铁头后部有感温磁钢，这种物质磁性随温度的高低而变化。低温时为顺磁性，磁钢与永久磁铁吸合触头接触，加热器加热，烙铁头温度升高。当磁钢温度达到居里点时，成为逆磁性物质，使触点脱开，中断加热；当温度低于居里点时，触头再次接近加热，如此保持了恒定温度。不同的焊接温度是通过更换镶有不同磁钢的烙铁头来实现的。

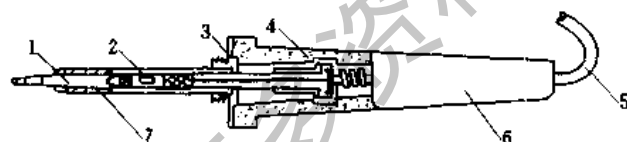


图 9.7.3 磁性控温型烙铁结构

1—烙铁头；2—永久磁铁；3—连杆；4—触头；
5—电缆；6—手柄；7—加热器

3. 双金属片控温型烙铁

它的传感器是由两种膨胀系数不同的金属片构成。当烙铁温度升高时，双金属片热膨胀系数大的一面伸长量增大，膨胀系数小的一面伸长量较小，结果迫使金属片向膨胀系数小的一面弯曲，且使触头分离，于是烙铁断电，温度不再上升。当温度低到某一值时，双金属片又受冷收缩，回复原状，使触头闭合通电。如此保持了烙铁恒温。

二、电烙铁的使用与维护

1. 电烙铁的使用

第一次使用时要阅读说明书，保证电源电压与所输电压一致。

磁性控温型烙铁不能在周围大于 50e 的磁场环境条件下工作，以避免误动作，产生温度失控。

电烙铁采用特殊涂敷，不要用锉修理，不要使用酸性焊剂，以免氧化。

2. 电烙铁故障与修理方法（表 9.7.5）

表 9.7.5 电烙铁故障与修理方法

故障现象	故障原因	修理方法
电烙铁加电不热	电路不通 发热元件损坏	接通电路 更新发热元件
焊头氧化不吃锡	表面有氧化层	打磨焊头
电烙铁温度太高	电热元件局部短路	更换电热芯
电烙铁漏电	引线碰外壳, 安全地线没接好	接好地线, 使引线与外壳绝缘好

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第十篇 电工材料

电工材料的品种繁多，主要包括有导电材料、绝缘材料、电阻和电热材料、磁性材料、电碳制品等。

第一章 导电材料

第一节 概 述

导电材料种类很多，一般可分为以下几类。

(1) 裸电线 指仅有导体部分，而没有绝缘层的产品。主要包括铜、铝等各种金属和复合金属圆单线、架空绞线、软绞线、型线和编织线等。

(2) 绕组线 以绕组的形式在磁场中切割磁力线产生感应电流，或通以电流产生磁场的一类电线。主要包括漆包线、绕包线和无机绝缘线等。

(3) 电气装备用电线电缆 从电力系统的配电点把电能直接传送到各种用电设备的电源连接线及各种工、农业装备中的电气安装线和控制、信号用的电线电缆。主要包括通用型电线电缆、安装线、控制和信号用电线电缆、飞机、汽车等专用电线、电机引接线、矿用电缆、船用电缆、油矿及探测用电缆及各种高压直流装备用软电缆等。这类产品使用面广，品种最多。

(4) 电力电缆 在电力系统线路中用以传输和分配电能的电缆，包括 1kV 及以上的各种电压等级。主要包括纸绝缘电力电缆、塑料绝缘电力电缆及橡皮绝缘电力电缆等。

(5) 通信电线电缆 传输音频及以上各种电讯信息的线缆产品。主要包括市内电话电缆、长途对称通信电缆、同轴电缆及光缆等。

电线电缆一般是由导体、绝缘层和保护层三大部分构成。导体是用来传导电流的物体，是电线电缆的导电部分。用作电线电缆导体的材料，要求有良好的导电性能，即电阻要小，以减少电流在线路上通过时的损耗。常用的导体材料有铜、铝及各种合金等。

绝缘层包覆在导体外面，用以分隔带电体与其他部分的接触。绝缘层材料要求有良好的电气绝缘性能、一定的机械物理性能和良好的加工性能。常用的绝缘材料有橡皮、塑料、绝缘纸、绝缘油、绝缘漆及一些纤维材料等。

保护层是在电线电缆外层的保护部分。根据电线电缆的用途及使用环境，保护层有许多型式和结构，它们所起的作用也各不相同。保护层的主要作用是保护电线电缆不受外界的伤害、干扰和腐蚀等。常用的护层材料有橡皮、塑料、钢带（丝）、铅（铝）套及各种防腐材料等。

电线电缆产品应用于各种不同场合，其性能要求也是多方面的，但其主要性能归纳起来有以下几项。

(1) 电气性能 包括导体材料的电阻率，导体直流电阻，绝缘电阻，介电系数，介质损失角正切，耐电压，局部放电，传输特性等。

(2) 机械性能 包括抗张强度，断裂伸长率，弯曲性能，耐刮磨性，抗撕性能，抗开裂性，柔软性，耐冲击性等。

(3) 老化性能 指在各种外界因素的作用下，产品保持其原有性能的能力，包括热老化、电老化、化学老化及机械老化等。

(4) 热性能 包括产品耐热等级，工作温度，发热和散热特性，热冲击，热变形性等。

(5) 耐腐蚀和耐气候性能 包括耐电化腐蚀，耐生物侵蚀，耐油性，耐酸（碱）性，耐盐雾，耐光性，耐寒性，防潮性及防霉性等。

(6) 其他特性 包括不延燃性，阻燃性，耐火性，耐原子辐射，低烟低卤阻燃性，防虫咬等。

产品性能要求，主要是根据产品的用途、使用条件及配套装备的配合关系来决定的。

电线电缆的品种规格很多，使用特性和性能要求各不相同，在选用电线电缆产品时应考虑以下问题：

① 根据系统的设计、使用要求和敷设条件来选择合适的产品；

- ② 路线设计要正确, 尽量避免各种外界因素的干扰与破坏, 或采取相应的防护措施;
- ③ 应按照产品的性能特点, 认真细致地进行安装, 端头处理及中间连接也应根据要求进行安装;
- ④ 电缆线路要经常进行巡视和预防测试, 采取各种有效的防护措施, 加强电缆线路的维护与管理。

第二节 裸 电 线

裸电线是指仅有导体部分, 而没有绝缘和护层结构的产品。裸电线按产品的形状与结构可分为四个系列, 即圆单线、裸绞线、软绞线和型线。裸电线应具有良好的导电性能和物理机械性能。

一、圆单线

圆单线主要作为构成各种电线电缆和绞线的半成品, 同时也可作为小容量配电电力线路和架空的通信明线。主要品种有电工圆铜线、镀锡圆铜线、镀镍圆铜线、镀银软圆铜线、电工圆铝线和铝包钢线等。

1. 电工圆铜线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.1)

表 10.1.1 电工圆铜线的型号规格、标准及用途

名 称	型 号	规格范围 /mm	标 准	用 途
软圆铜线	TR	0.020~14.00	GB 3953—83	用于各种电线电缆和电磁线及架空绞线的导体 硬圆铜线和特硬圆铜线仅在特殊场合用于架空导线
硬圆铜线	TY	0.020~14.00		
特硬圆铜线	TYT	1.50~5.00		

(2) 主要技术参数 (见表 10.1.2)

表 10.1.2 电工圆铜线的主要技术参数

标称直径 /mm	TR TY 型 TYT 偏差/mm	TR 型	TY 型		TYT 型	
		伸长率/%	抗拉强度/(N/mm ²)	伸长率/%	抗拉强度/(N/mm ²)	伸长率/%
0.020~0.025	±0.002	10	421	—	—	—
0.026~0.125	±0.003	10~15	421~420	—	—	—
0.126~0.400	±0.004	15~20	420~417	—	—	—
0.401~14.00	±1% <i>d</i>	20~35	417~271	0.6~3.6	446~408	0.6~1.4

(3) 电阻率 (见表 10.1.3)

表 10.1.3 电工圆铜线的电阻率

型 号	电阻率 $\rho > 0$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) 不大于	
	2.00mm 以下	2.00mm 及以上
TR	0.017241	0.017241
TY	0.01796	0.01777
TYT		

2. 镀锡圆铜线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.4)

表 10.1.4 镀锡圆铜线的型号、规格及用途

名 称	型 号	规格范围 /mm	标 准	用 途
镀锡软圆铜线	TXR	0.05~4.00	GB 4910—85	用于制造电线电缆导体及电器制品
可焊镀锡软圆铜线	TXRH	0.20~1.20		

(2) 偏差 (见表 10.1.5)

表 10.1.5 镀锡圆铜线的偏差

标称直径 d/mm	偏差/mm
$0.05 < d \leq 0.125$	$-0.003 \sim +0.006$
$0.125 < d \leq 0.400$	$-0.004 \sim +0.010$
$0.400 < d \leq 4.00$	$-1\% d \sim +2\% d$

(3) 主要技术参数 (见表 10.1.6)

表 10.1.6 镀锡圆铜线的主要技术参数

标称直径 d /mm	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$		标称直径 d /mm	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	
		TXR	TXRH			TXR	TXRH
$0.05 < d \leq 0.09$	6	0.01851	0.01851	$0.50 < d \leq 2.00$	20	0.01760	0.01775
$0.09 < d \leq 0.25$	12	0.01802	0.01831	$2.00 < d \leq 4.00$	25	0.01760	0.01775
$0.25 < d \leq 0.50$	15	0.01770	0.01793				

3. 镀镍软圆铜线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.7)

表 10.1.7 镀镍软圆铜线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm	标准	用途
镀镍软圆铜线	TRN	0.05 ~ 2.00	GB 11019—89	用于制造电线电缆导体及电器制品

(2) 偏差 (见表 10.1.8)

表 10.1.8 镀镍软圆铜线的偏差

标称直径 d/mm	偏差/mm
$0.050 \leq d \leq 0.250$	$+0.008$ -0.003
$0.250 < d \leq 1.300$	$+3\% d$ $-1\% d$
$1.300 < d \leq 2.000$	$+0.038$ -0.013

(3) 伸长率 (见表 10.1.9)

表 10.1.9 镀镍软圆铜线的伸长率

标称直径 d /mm	伸长率不小于/%		标称直径 d /mm	伸长率不小于/%	
	2、4、7、10级	27级		2、4、7、10级	27级
$0.050 \leq d \leq 0.100$	12	6	$0.230 < d \leq 0.500$	16	12
$0.100 < d \leq 0.230$	12	8	$0.500 < d \leq 2.000$	20	16

(4) 电阻率 (见表 10.1.10)

表 10.1.10 镀镍软圆铜线的电阻率

级 别	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	级 别	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
2	0.017960	10	0.019592
4	0.018342	27	0.024284
7	0.018947		

4. 镀银软圆铜线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.11)

表 10.1.11 镀银软圆铜线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm	标准	用途
镀银软圆铜线	TRV	0.05 ~ 2.00	JB 3135—82	用于制造电线电缆导体, 编织层及其他电气设备

(2) 偏差 (见表 10.1.12)

表 10.1.12 镀银软圆铜线的偏差

标称直径/mm	允许偏差/mm	标称直径/mm	允许偏差/mm
0.050 ~ 0.100	±0.003	0.710 ~ 1.000	±0.015
0.110 ~ 0.250	±0.005	1.100 ~ 2.000	±0.020
0.260 ~ 0.700	±0.010		

(3) 主要技术参数 (见表 10.1.13)

表 10.1.13 镀银软圆铜线的主要技术参数

标称直径/mm	抗拉强度不小于 /(N/mm ²)	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
0.050 ~ 0.100	—	5.5	0.017241
0.110 ~ 0.150	196	10	
0.160 ~ 0.250	196	15	
0.260 ~ 0.500	196	20	
0.510 ~ 1.000	196	25	
1.100 ~ 2.000	196	25	

5. 电工圆铝线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.14)

表 10.1.14 电工圆铝线的型号、规格及用途

名称	型号	状态代号	规格范围 /mm	标准	用途
软圆铝线	LR	O	0.30 ~ 10.00	GB 3955—83	用于制造电线电缆及电机、电器
H ₄ 状态硬圆铝线	LY ₄	H ₄	0.30 ~ 6.00		
H ₆ 状态硬圆铝线	LY ₆	H ₆	0.30 ~ 10.00		
H ₈ 状态硬圆铝线	LY ₈	H ₈	0.30 ~ 5.00		
H ₉ 状态硬圆铝线	LY ₉	H ₉	1.25 ~ 5.00		

(2) 偏差 (见表 10.1.15)

表 10.1.15 电工圆铝线的偏差

标称直径/mm	偏差/mm
0.300 ~ 0.900	±0.013
0.910 ~ 2.490	±0.025
2.50 及以上	±1% d

(3) 主要技术参数 (见表 10.1.16)

表 10.1.16 电工圆铝线的主要技术参数

型号	直径 /mm	抗拉强度 /(N/mm ²)	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
LR	0.30 ~ 1.00	≤ 98	15	0.0280
	1.01 ~ 10.00		20	
LY ₄	0.30 ~ 6.00	95 ~ 120	—	0.028264
LY ₆	0.30 ~ 6.00	125 ~ 165	—	
	6.01 ~ 10.00		3	
LY ₈	0.30 ~ 5.00	160 ~ 205	—	
LY ₉	1.25	200	—	
	1.26 ~ 1.50	193	—	
	1.51 ~ 1.75	188	—	
	1.76 ~ 2.00	184	—	
	2.01 ~ 2.25	≥ 180	—	
	2.26 ~ 2.50	176	—	
	2.51 ~ 2.75	173	—	
	2.76 ~ 3.00	169	—	
	3.01 ~ 3.25	166	—	
	3.26 ~ 3.50	164	—	
	3.51 ~ 3.75	162	—	
	3.76 ~ 4.25	160	—	
	4.26 ~ 5.00	159	—	

6. 铝镁硅系合金圆线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.17)

表 10.1.17 铝镁硅系合金圆线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm	标准	用途
热处理铝镁硅系合金圆线	LHA	1.33 ~ 4.60	GB 7893—87	用于架空电力线路和制造钢芯铝合金绞线
热处理铝镁硅系合金圆线	LHB			

(2) 主要技术参数 (见表 10.1.18)

表 10.1.18 铝镁硅系合金圆线的主要技术系数

标称直径 /mm	偏差 /mm	抗拉强度 不小于 /(N/mm ²)	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
1.33 ~ 2.49	± 0.025	294	4	0.328
2.50 ~ 4.60	$\pm 1\% d$			

7. 铝包钢线

铝包钢线是以镀锌钢线为芯，外色铝层的双金属复合导线。抗拉强度高，导电性能好，耐腐蚀性能与纯铝线相同。

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.19)

表 10.1.19 铝包钢线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm	标准	用途
铝包钢线	GL	2.8 ~ 4.4	企业标准	用作通讯线及绞制的载波避雷线和输电线
高强度铝包钢线	GGL	3.8 ~ 4.4		用于重冰区及大跨越导线多股绞线

(2) GL型铝包钢线的主要技术参数 (见表 10.1.20)

表 10.1.20 GL型铝包钢线的主要技术参数

标称直径 /mm	偏差 /mm	标称截面 /mm ²	铝层单面厚度 /mm		最小抗拉强度 /(N/mm ²)	最小 伸长率 /%	扭转不断 裂不起皮 最少次数	最大直流电阻 (20℃) /(Ω/km)	计算重量 /(kg/km)
			标称	最小					
2.8	±0.06	6.1575	0.30	0.15	794			9.97	36.01
3.0	±0.06	7.0686	0.04	0.02	701			7.59	38.47
3.2	±0.06	8.0425	0.35	0.18	786			7.54	46.75
3.6	±0.07	10.1788	0.30	0.15	885			7.01	63.53
3.8	±0.07	11.3411	0.30	0.15	902	1.5	16	6.49	71.64
4.0	±0.08	12.5664	0.50	0.25	730			4.44	69.98
4.0	±0.08	12.5664	0.40	0.20	822			5.09	74.94
4.4	±0.09	15.2053	0.60	0.30	690			3.48	82.07

(3) GGL型铝包钢线的主要技术参数 (见表 10.1.21)

表 10.1.21 GGL型铝包钢线的主要技术参数

标称直径 /mm	偏差 /mm	标称截面 /mm ²	铝层单面厚度 /mm		最小抗拉强度 /(N/mm ²)	最小 伸长率 /%	扭转不断 裂不起皮 最少次数	最大直流电阻 (20℃) /(Ω/km)	计算重量 /(kg/km)
			标称	最小					
3.8	±0.07	11.3411	0.40	0.20	955			5.47	66.67
3.8	±0.07	11.3411	0.30	0.15	1076			6.49	71.64
4.0	±0.08	12.5664	0.60	0.30	766			3.97	65.33
4.0	±0.08	12.5664	0.50	0.25	869	1.5	16	4.44	69.98
4.0	±0.08	12.5664	0.40	0.02	978			5.09	74.94
4.2	±0.08	13.8544	0.60	0.30	794			3.71	73.46
4.4	±0.09	15.2053	0.60	0.30	821			3.48	82.07

二、裸绞线

裸绞线是裸电线中生产量最大的一种产品,一般用于各种电压等级电力线路中的架空导线。架空导线与电力电缆和绝缘电线相比,具有结构简单、制造方便、造价便宜、施工容易、便于维修、传输容量大、利于跨越江河山谷等特殊地形等优点,因此得到了广泛的应用。但其占用地面和空间较多,对建筑物和树木须有足够的的安全间距。

架空导线的导体一般用铝,仅在特殊场合下允许用铜。

1. 铝绞线及钢芯铝绞线 (见表 10.1.22)

表 10.1.22 铝绞线及钢芯铝绞线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
铝绞线	LJ	16~800	GB 1179—83	用于架空电力线路
钢芯铝绞线	LGJ	10~800		
防腐钢芯铝绞线	LGJF	10~800		

2. 铝合金绞线及钢芯铝合金绞线 (见表 10.1.23)

表 10.1.23 铝合金绞线及钢芯铝合金绞线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
热处理铝镁硅合金绞线	LH _A J	10~1000	GB 9329—88	用于架空电力线路, 特别适合于大跨越架 空电力线路
热处理铝镁硅稀土合金绞线	LH _B J			
钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LH _A GJ			
钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LH _B GJ			
轻防腐钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LH _A GJF ₁			
轻防腐钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LH _B GJF ₁			
中防腐钢芯热处理铝镁硅合金绞线	LH _A GJF ₂			
中防腐钢芯热处理铝镁硅稀土合金绞线	LH _B GJF ₂			

3. 铝包钢绞线及钢芯铝包钢绞线 (见表 10.1.24)

表 10.1.24 铝包钢绞线及钢芯铝包钢绞线的型号、规格及用途

名称	型号	规格	标准	用途
铝包钢绞线	GLJ	按技术协议	企业标准	架空地线 (载波避雷线)
高强度铝包钢绞线	GGLJ			大跨越导地线
钢芯铝包钢绞线	GLGJ			大跨越导地线、天线
钢芯高强度铝包钢绞线	GGLGJ			大跨越导地线
铝包钢芯铝绞线	GLLJ			在要求增大铝钢截面比和提高耐腐蚀性能的情况下用
铝包钢绞线铝绞线混绞线	GLLHJ			

4. 铝包钢载流承力缆索 (见表 10.1.25)

表 10.1.25 铝包钢载流承力缆索的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围	标准	用途
铝包钢铝混绞线载流承力缆索	GLZA	按技术协议	企业标准	主要用于铁道电气化接触网中的防腐承力缆索及防腐载流承力缆索
铝包钢芯铝绞线载流承力缆索	GLZC			
铝包钢绞线载流承力缆索	GLZE			

三、软绞线

凡柔软的铜绞线和各种编织线均称为软绞线, 供各种要求柔软连接的场合使用, 故使用面较广。

1. 电工用软铜绞线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.26)

表 10.1.26 电工用软铜绞线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
1 型软铜绞线	TJR1	0.10 ~ 1000	GB 12970.2—91	用于电气装备及电子、电器元件作接线用
2 型软铜绞线	TJR2	2.5 ~ 63		
3 型软铜绞线	TJR3	0.025 ~ 500		
1 型镀锡软铜绞线	TJRX1	0.1 ~ 2.5		
2 型镀锡软铜绞线	TJRX2	2.5 ~ 63		
3 型镀锡软铜绞线	TJRX3	0.025 ~ 500		

(2) 主要技术参数 (见表 10.1.27)

表 10.1.27 电工用软铜绞线的主要技术参数

型号	标称截面 /mm ²	计算截面 /mm ²	单线直径 /mm	单线总数 /根	计算外径 /mm	20℃ 直流电阻不大于 /(Ω/km)
TJR1	0.10 ~ 1000	0.102 ~ 1003.6	0.12 ~ 1.05	9 ~ 1159	0.44 ~ 47.25	176 ~ 0.0184
TJR2	2.5 ~ 63	2.47 ~ 63.11	0.15 ~ 0.20	140 ~ 2009	2.36 ~ 13.32	7.40 ~ 0.292
TJR3	0.025 ~ 500	0.025 ~ 496.92	0.05 ~ 0.15	13 ~ 28120	0.22 ~ 38.06	707 ~ 0.0371
TJRX1	0.1 ~ 2.5	0.102 ~ 2.41	0.12 ~ 0.25	9 ~ 49	0.44 ~ 2.25	179 ~ 7.92
TJRX2	2.5 ~ 63	2.47 ~ 63.11	0.15 ~ 0.20	140 ~ 2009	2.36 ~ 13.32	7.73 ~ 0.305
TJRX3	0.025 ~ 500	0.0255 ~ 496.92	0.05 ~ 0.15	13 ~ 28120	0.22 ~ 38.06	759 ~ 0.0388

2. 电工用软铜天线

其型号、规格及用途见表 10.1.28。

表 10.1.28 电工用软铜天线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
软铜天线	TTR	1.0 ~ 25	GB 12970.3—91	用于通信用架空天线

3. 铜电刷线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.29)

表 10.1.29 铜电刷线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
铜电刷线	TS	0.25 ~ 16	GB 12970.4—91	用于电机、电器及仪表线路的连接线
软铜电刷线	TSR	0.25 ~ 16		
镀锡铜电刷线	TSX	0.063 ~ 6.30		

(2) 主要技术参数 (见表 10.1.30)

表 10.1.30 铜电刷线的主要技术参数

型号	标称截面 /mm ²	单线直径 /mm	单线总数 /根	外径不大于 /mm	20℃直流电阻不大于 /(Ω·km)	伸长率不小于 /%
TS	0.125 ~ 16	0.07 ~ 0.12	63 ~ 1406	1.0 ~ 6.7	75.5 ~ 1.16	18
TSR	0.063 ~ 6.3	0.05 ~ 0.07	32 ~ 1534	0.5 ~ 4.3	288 ~ 2.93	15
TSX	0.125 ~ 16	0.07 ~ 0.12	63 ~ 1406	1.0 ~ 6.7	81.1 ~ 1.21	15

4. 电工铜编织线

编织线采用软铜线制造 (线径在 0.10mm 及以下者可以采用硬铜线制造)。用于屏蔽保护的编织线 (套), 则采用镀锡铜线制造。

(1) 斜纹编织线、套 (包括斜纹镀锡铜编织线、套) 型号、规格及用途见表 10.1.31, 主要技术参数见表 10.1.32 至表 10.1.34。

表 10.1.31 电工铜编织线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
20 型斜纹铜编织线	TZ-20	16 ~ 800	JB/T 6313.1.23—92	用于输配电用电气装置及电子电器设备或元件的连接线
15 型斜纹铜编织线	TZ-15	4 ~ 120		
10 型斜纹铜编织线	TZ-10	4 ~ 35		
扬声器音圈用斜纹铜编织线	TZQ	0.03 ~ 0.30		
20 型斜纹镀锡铜编织线	TZX-20	16 ~ 800		
15 型斜纹镀锡铜编织线	TZX-15	4 ~ 120		
10 型斜纹镀锡铜编织线	TZX-10	4 ~ 35		
扬声器音圈用镀锡斜纹铜编织线	TZXQ	0.03 ~ 0.30		
屏蔽保护用镀锡斜纹铜编织套	TZXP	1 ~ 60		

表 10.1.32 TZ-20、TZX-20、TZ-15、TZX-15、TZ-10、TZX-10 型的主要技术参数

型号	标称截面 /mm ²	单线直径 /mm	单线总数 /根	宽度不大于 /mm	参考厚度 /mm	20℃直流电阻不大于 /(Ω/km)
TZ-20	16 ~ 800	0.20	528 ~ 24384	16 ~ 55	3.0 ~ 6.5	1.30 ~ 0.023
TZX-20	16 ~ 800	0.20	528 ~ 24384	16 ~ 55	3.0 ~ 6.5	1.36 ~ 0.029
TZ-15	4 ~ 120	0.15	192 ~ 6720	9 ~ 42	1.0 ~ 7.0	6.36 ~ 0.18
TZX-15	4 ~ 120	0.15	192 ~ 6720	9 ~ 42	1.0 ~ 7.0	6.65 ~ 0.19
TZ-10	4 ~ 35	0.10	504 ~ 4536	8 ~ 20	1.0 ~ 4.5	5.44 ~ 0.60
TZX-10	4 ~ 35	0.10	504 ~ 4536	8 ~ 20	1.0 ~ 4.5	5.69 ~ 0.63

注: 凡有厚度要求的斜纹编织线均应压成扁带。

表 10.1.33 TZQ 型和 TZXQ 型的主要技术参数

型号	标称截面 /mm ²	结构 股数 × 根数 / 单位直径 / mm	计算外径不大于 /mm	20℃直流电阻不大于 /(Ω/km)
TZQ	0.03 ~ 0.3	8 × 3 / 0.05 ~ 16 × 5 / 0.07	0.50 ~ 1.30	458.5 ~ 70.0
TZXQ	0.03 ~ 0.3	8 × 3 / 0.05 ~ 16 × 5 / 0.07	0.50 ~ 1.30	492.2 ~ 75.1

注: TZQ 型和 TZXQ 型的镀锡斜纹铜编织线的中心应加放一根丝线, 且贯穿其产品全长。

表 10.1.34 TZXP 型的主要技术参数

套径范围 /mm	结 构 股数×根数/单线直径/mm	计算重量 /(kg/km)	套径范围 /mm	结 构 股数×根数/单线直径/mm	计算重量 /(kg/km)
1~2	16×3/0.10	3.77	16~24	24×8/0.30	135.7
2~4	16×5/0.10	6.28	24~30	36×6/0.30	152.7
3~6	24×4/0.15	16.96	30~40	36×8/0.30	204.3
6~10	24×8/0.15	33.93	40~55	40×8/0.30	271.4
10~16	24×8/0.20	60.32	55~60	48×10/0.30	339.3

(2) 直纹编织线 型号、规格及用途见表 10.1.35, 主要技术参数见表 10.1.36。

表 10.1.35 直纹编织线的型号、规格及用途

名 称	型 号	规格范围 /mm ²	标 准	用 途
15 型直纹铜编织线	TZZ-15	6~50	JB/T 6313.1-23-92	用于输配电用电气装置及电子电器设备或元件的连接线
10 型直纹铜编织线	TZZ-10	4~35		
07 型直纹铜编织线	TZZ-07	4~16		

表 10.1.36 直纹编织线的主要技术参数

型 号	标称截面 /mm ²	结构(经线+纬线) /mm	宽度不大于 /mm	参考厚度 /mm	20℃直流电阻不大于 /(Ω/km)
TZZ-15	6~50	21×16/0.15+18/0.10~60×48/0.15+18/0.10	13~28	3.5~5.0	3.2~0.38
TZZ-10	4~35	28×18/0.10+30/0.07~62×72/0.10+30/0.07	11~22	3.2~4.5	4.94~0.56
TZZ-07	4~16	35×30/0.07+30/0.07~69×60/0.07+30/0.07	10~18	2.5~3.0	4.84~1.23

5. 汽车、拖拉机、蓄电池用软铜编织线

型号、规格及用途见表 10.1.37。

表 10.1.37 汽车、拖拉机、蓄电池用软铜编织线的型号、规格及用途

型 号	规格范围/mm ²	标 准	用 途
QC	16~48	JB 676-65	用于汽车、拖拉机、蓄电池用连接线

6. 防波套

(1) 型号、规格及用途(见表 10.1.38)

表 10.1.38 防波套的型号、规格及用途

名 称	型 号	直径范围 /mm	标 准	用 途
防波套	TZXP	1~60	JB 2572-79	用于电器装置及电子设备或元件防止电波干扰或起保护作用

(2) 主要技术参数(见表 10.1.39)

表 10.1.39 防波套的主要技术参数

型 号	套径范围 /mm	结构组成 股数×根数/单线直径 /mm	计算重量 /(kg/km)	型 号	套径范围 /mm	结构组成 股数×根数/单线直径 /mm	计算重量 /(kg/km)
TZXP	1~2	16×3/0.10	3.77	TZXP	16~24	24×8/0.30	136
	2~4	16×5/0.10	6.28		24~30	36×6/0.30	153
	3~6	24×4/0.15	17.0		30~40	36×8/0.30	204
	6~10	24×8/0.15	33.9		40~55	48×8/0.30	271
	10~16	24×8/0.20	60.3		55~60	48×10/0.30	339

(3) 防波套的编织密度

防波套的编织密度应符合下列规定: 套径为 4mm 及以下者不小于 65%, 套径为 4mm 以上者不小于 80%。

7. 扬声器音圈接线

其型号、规格及用途见表 10.1.40。

表 10.1.40 扬声器音圈接线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
扬声器音圈接线	TZ-4	0.03 ~ 0.3	JB 2572—79	用于扬声器音圈和电子电器设备或元件的接线
镀锡扬声器音圈接线	TZX-4	0.03 ~ 0.3		
新型扬声器音圈接线	TZ-4-1	0.012 ~ 0.2		

四、型线

型线基本上是非圆形截面的裸电线与裸导体制品,一般包括母线、扁线、异形铜排及电车线等产品。母线是集中与分配传输大容量电能用的,大量应用于电站和各工矿企业。异形铜排作为电机中换向器或作为制造电器触头、闸刀等的半制品。电车线则广泛地在地市、铁道及工矿企业的电力牵引车辆的馈电网络中作接触线之用。

1. 铜母线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.41)

表 10.1.41 铜母线的型号、规格及用途

名称	型号	状态	规格范围/mm		标准	用途
			a 边	b 边		
软铜母线	TMR	O—退火的	2.24 ~ 31.50	16.00 ~ 125.00	GB 5585.2—85	用于制造电机的绕组、高低压电器、开关触头及供配电安装用导线
硬铜母线	TMY	H—硬的	2.24 ~ 31.50	16.00 ~ 125.00		

铜母线的截面图如图 10.1.1 所示。

(2) 主要技术参数

铜母线的尺寸及圆角半径偏差见表 10.1.42, 铜母线的机械电气性能见表 10.1.43。

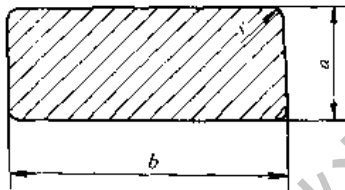


图 10.1.1 铜母线截面图

表 10.1.42 铜母线的尺寸及圆角半径偏差

尺寸偏差/±mm		圆角半径 r/mm	
a 边	b 边	标称	偏差
0.03 ~ 0.15	0.13 ~ 0.3%b	0.5a ~ 3.2	±25%

表 10.1.43 铜母线的机械电气性能

型号	抗拉强度不小于 /(N/mm ²)	伸长率不小于 /%	布氏硬度不小于 /HB	电阻率 ρ ₂₀ 不大于 /(Ω·mm ² /m)
TMR	206	35	—	0.017241
TMT	—	—	65	0.01777

2. 铜扁线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.44)

表 10.1.44 铜扁线的型号、规格及用途

名称	型号	状态	规格范围/mm		标准	用途
			a 边	b 边		
软铜扁线	TBR	O	0.80 ~ 7.10	2.00 ~ 16.00	GB 5584.2—85	用于制造电机、电器设备绕组、安装配电设备及其他电工方面
H ₁ 状态硬铜扁线	TBY ₁	H ₁				
H ₂ 状态硬铜扁线	TBY ₂	H ₂				

铜扁线截面图同图 10.1.1 类似。

(2) 主要技术参数

铜扁线的尺寸及圆角半径偏差见表 10.1.45, 铜扁线的机械电气性能见表 10.1.46。

表 10.1.45 铜扁线的尺寸及圆角半径偏差

尺寸偏差/ \pm mm		圆角半径 r /mm	
a 边 0.03 ~ 0.07	b 边 0.03 ~ 0.09	标称 0.5 a - 1.20	偏差 $\pm 25\%$

表 10.1.46 铜扁线的机械电气性能

型号	抗拉强度 / (N/mm^2)	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
TBR	不大于 275 ~ 245	30.0 ~ 36.0	0.017241
TBY ₁	373 ~ 245	1.5 ~ 3.0	0.01777
TBY ₂	不小于 373 ~ 275	0.4 ~ 1.7	0.01777

3. 铜带

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.47)

表 10.1.47 铜带的型号、规格及用途

名称	型号	状态	规格范围/mm		标准	用途
			a 边	b 边		
软铜带	TDR	0				
H ₁ 状态硬铜带	TDY ₁	H ₁	1.80 ~ 3.55	9.00 ~ 100.00	GB 5584.4—85	用于制造电机、 电器、配电设备绕 组及其他电工用
H ₂ 状态硬铜带	TDY ₂	H ₂				

铜带截面图同图 10.1.1 类似

(2) 主要技术参数

铜带的尺寸及圆角半径偏差见表 10.1.48, 铜带的机械电气性能见表 10.1.49。

表 10.1.48 铜带的尺寸及圆角半径偏差

尺寸偏差/ \pm mm		圆角半径 r /mm	
a 边 0.03 ~ 0.05	b 边 0.10 ~ 0.25	标称 0.5 a - 1.20	偏差 $\pm 25\%$

表 10.1.49 铜带的机械电气性能

型号	抗拉强度 不小于 / (N/mm^2)	伸长率 不小于 /%	电阻率 ρ_{20} 不大于 / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
TDR	—	35	0.01737
TDY ₁	250	10 ~ 15	0.01777
TDY ₂	309 ~ 289	—	0.01777

4. 梯形铜排及梯形银铜合金排 (见表 10.1.50)

梯形排的截面形状如图 10.1.2 所示。

表 10.1.50 梯形排的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 / mm^2	标准	用途
梯形铜排	TPT	$T \leq 24$	ZB K13003.2—89	用于制造 直流电机的 换向片
一类梯形银铜合金排	TH ₁₁ PT	$H \leq 150$		
二类梯形银铜合金排	TH ₁₂ PT	$H/t \leq 50$		

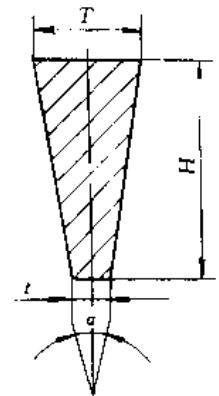


图 10.1.2 梯形排截面形状图

5. 七边形铜排 (见表 10.1.51)

表 10.1.51 七边形铜排的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 $H_1 (H_2) / L (a+b+c)$ /mm	标准	用途
七边形铜排	TPQ	6.0 (5.0) / 58.0 (8.0+26.0+24.0) 16.0 (13.9) / 60.0 (8.0+28.0+24.0)	ZB K13003.3—89	用于大型水轮发电机磁极线圈绕组用

七边形铜排的形状如图 10.1.3 所示。

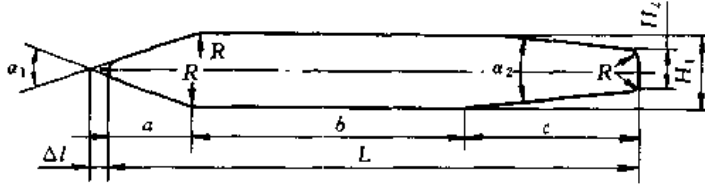


图 10.1.3 七边形铜排形状图

6. 凹形铜排 (见表 10.1.52)

表 10.1.52 凹形铜排的型号、规格及用途

名称	型号	规格/mm $A \times B/a \times b$	标准	用途
凹形铜排	TRA	8 × 28/5 × 16	ZB K13003.4—89	用于制造气内冷发电机转子线圈绕组用
凹形银铜合金排	TH ₂ PA	9.6 × 30.5/6 × 16.5		

凹形铜排的形状如图 10.1.4 所示。

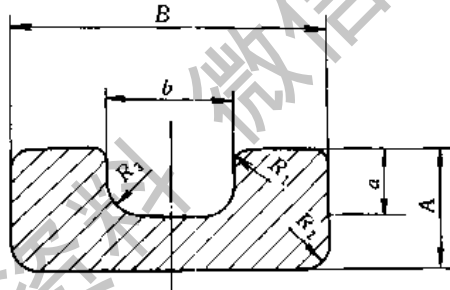


图 10.1.4 凹形铜排的形状图

7. 哑铃形铜排 (见表 10.1.53)

表 10.1.53 哑铃形铜排的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm	标准	用途
哑铃形铜排	TPY	9/18 ~ 24/36	ZB K13003.5—89	用于制造熔断器触头

哑铃形铜排的形状如图 10.1.5 所示。



图 10.1.5 哑铃形铜排图

8. 铝母线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.54)

表 10.1.54 铝母线的型号、规格及用途

名称	型号	状态	规格范围/mm		标准	用途
			a 边	b 边		
软铝母线	LMR	O—退火的	2.24 ~ 31.50	16.00 ~ 125.00	GB 5585.3—85	用于电机、电器、配电设备及其他电工制品
硬铝母线	LMY	H—硬的				

铝母线截面图同图 10.1.1 类似。

(2) 主要技术参数

铝母线的尺寸及圆角半径偏差见表 10.1.55, 铝母线的机械电气性能见表 10.1.56。

表 10.1.55 铝母线的尺寸及圆角半径

尺寸偏差/ \pm mm		圆角半径 r /mm	
a 边	b 边	标 称	偏 差
0.14 ~ 0.30	0.40 ~ 1.20	1.0 ~ 2.0	± 0.5

表 10.1.56 铝母线的机械电气性能

型 号	全 部 规 格		电阻率 ρ_{20} 不大于 $/(\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m})$
	抗拉强度 不小于 $/(\text{N} / \text{mm}^2)$	伸长率 不小于 $\%$	
LMR	68.6	20	0.028264
LMY	118	3	0.0290

9. 铝扁线

(1) 型号、规格及用途 (见表 10.1.57)

表 10.1.57 铝扁线的型号、规格及用途

名 称	型号	状态	规格范围/mm		标准	用途
			a 边	b 边		
软铝扁线	LBR	O	0.80 ~ 7.10	2.00 ~ 16.00	GB 5584.3—85	用于电机、变压器、 电器设备绕组和其他 电工制品及日用器具
H2 状态硬铝扁线	LBY ₂	H2				
H4 状态硬铝扁线	LBY ₄	H4				
H8 状态硬铝扁线	LBY ₈	H8				

铝扁线截面图与图 10.1.1 类似。

(2) 主要技术参数

铝扁线的尺寸及圆角半径偏差见表 10.1.58, 铝扁线的机械电气性能见表 10.1.59。

表 10.1.58 铝扁线的尺寸及圆角半径偏差

尺寸偏差/ \pm mm		圆角半径 r /mm	
a 边	b 边	标 称	偏 差
0.03 ~ 0.07	0.03 ~ 0.09	0.5a ~ 1.20	$\pm 25\%$

表 10.1.59 铝扁线的机械电气性能

型 号	抗拉强度 $/(\text{N} / \text{mm}^2)$	伸长率 不小于 $\%$	电阻率 ρ_{20} 不大于 $/(\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m})$
LBR	60.0 ~ 95.0	20	0.0280
LBY ₂	75.0 ~ 115	6	0.028264
LBY ₄	95.0 ~ 140	5	0.028264
LBY ₈	不小于 130	3	0.028264

10. 电力牵引车辆用铜接触线（铜电车线）（见表 10.1.60）

表 10.1.60 铜电车线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
圆形铜接触线	CTV	50~110	GB 12971.2—91	用于铁路、工矿、城市、交通等电气运输、起重等系统中，作为架空接触导线
双沟形铜接触线	CT	65~150		

11. 电力牵引车辆用铝合金接触线（铝合金电车线）（见表 10.1.61）

表 10.1.61 铝合金电车线的型号、规格及用途

名称	型号	规格范围 /mm ²	标准	用途
铝镁硅稀土合金接触线	CLHA	130~200	GB 12791.5—91	用于铁路、工矿、城市交通等电气运输、起重系统等，作为架空的接触导线

第三节 绕组线

绕组线是绕制线圈，用以产生电磁作用的电线。绕组线的结构比较简单，一般是在导体外面加上绝缘层而成。

一、分类

绕组线按其绝缘层的不同可分为漆包线、绕包线、无机绝缘绕组线和特种绕组线四类。

绕组线根据耐温等级、绝缘材料、结构和用途的不同，可分为六个系列。

1. 普通漆包线

包括长期使用温度在 155℃ 及以下的漆包线，如油性、缩醛、环氧、聚氨酯、聚酯以及改性聚酯漆包圆（扁）线，大量应用于电机、电器、电工仪表的绕组。

2. 耐高温漆包线

包括长期使用温度在 180℃ 及以上的漆包线，如聚酯亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰亚胺漆包圆（扁）线，供温升要求高的电机、电器、电工仪表绕组之用。

3. 特种漆包线

包括自粘性、自粘直焊、无磁性聚氨酯、耐冷媒等漆包圆线，供特殊用途的小型电机、电器、电工仪表绕组之用。

4. 无机绝缘绕组线

包括陶瓷、氧化膜铝箔、氧化铝膜圆（扁）线、玻璃膜绝缘微细锰铜线和镍铬线，由于绝缘层是无机材料制成，耐热性能优异，具有耐辐射性，可应用于高温、辐射等特殊场合的电机、电器、电工仪表的绕组和元件。

5. 纤维绕包绝缘绕组线

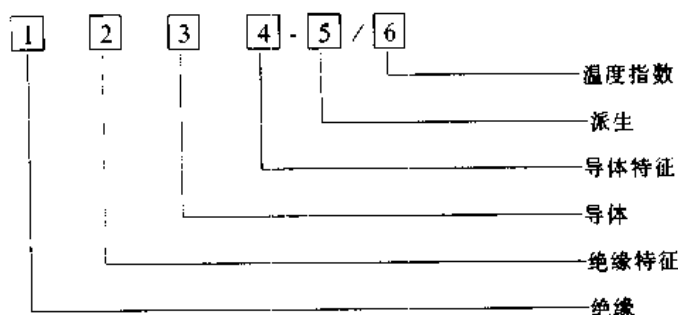
包括纸包扁线、玻璃丝包圆（扁）线、丝包线等。其绝缘层是以绝缘纸带、玻璃丝、天然和合成丝等组成。纸包线大量应用于油浸变压器中。玻璃丝包线耐热性能较高，如能配合良好的粘合浸渍漆，则可提高其耐热性和机械性能，适用于容量大和高电压电机的绕组。

6. 特种绕组线

包括换位导线、薄膜绕包线、中频与高频绕组线。换位导线可提高大型变压器的技术经济指标，又能提高其质量；而聚酰亚胺薄膜绕包线则具有耐高温性能，耐辐射性能，可应用于潜水电机、深井电机等高温特殊场合和严酷条件下。

二、型号表示法

绕组线型号的组成应包括下列六个部分：



绕组线的名称用汉语拼音字母和阿拉伯数字组合而成。1~4部分用汉语拼音表示，5~6部分用阿拉伯数字表示。每个部分具体代表的字母或数字规定如表 10.1.62 所示。

表 10.1.62 绕组线产品型号

绝 缘	绝缘特性	导 体	导体特性	派 生
Q—油性漆	N—自粘性	(T)—铜线	(Y)—圆	1—薄绝缘
QQ—缩醛漆	F—耐冷冻	TK—康铜	B—扁	2—厚绝缘
QA—聚氨酯漆	S—彩色	TM—锰铜	D—带(箔)	3—特厚绝缘
QZ—聚酯漆	B—编织	TWC—无磁性铜线	K—空心	12—绝缘厚度 0.12mm
QZ(G)—改性聚酯漆	E—双层	TY—镀银铜线	J—绞制	20—绝缘厚度 0.20mm
QH—环氧漆	J—加厚	TN—镀镍铜线	R—柔软	25—绝缘厚度 0.25mm
QZY—聚酯亚胺漆		L—铝线		30—绝缘厚度 0.30mm
QY—聚酰亚胺漆		TL—铜包铝线		35—绝缘厚度 0.35mm
QXY—聚酰胺酰亚胺漆		NG—镍铬线		40—绝缘厚度 0.40mm
M—棉纱				50—绝缘厚度 0.50mm
SB—玻璃丝				60—绝缘厚度 0.60mm
SR—人造丝				
ST—天然丝				
Z—绝缘纸				
BM—玻璃膜				
YM—氧化膜				

由于目前绕组线产品沿用的导体以铜的、圆的居多，所以若是铜线、圆线在型号中均不表达。例如：

温度指数为 130 的厚绝缘自粘性聚氨酯漆包铜圆线 QAN-2/130

绝缘厚度为 0.40mm，温度指数为 155 的双玻璃丝包铝扁线 SBELB-40/155

不同的电气产品需用不同直径或不同尺寸的绕组线。一般的生产范围如表 10.1.63 所示。

三、漆包线

漆包线是用绝缘漆膜作为绝缘层的绕组线。

表 10.1.63 绕组线品种及生产范围

产 品 名 称	型 号	生产范围/mm
油性漆包线	Q	0.020 ~ 2.500
缩醛漆包线	QQ	0.040 ~ 5.000
聚氨酯漆包线	QA	0.015 ~ 2.500
聚酯漆包线	QZ	0.018 ~ 5.000
改性聚酯漆包线	QZ(G)	0.020 ~ 5.000
环氧漆包线	QH	0.060 ~ 2.500
聚酯亚胺漆包线	QZY	0.018 ~ 5.000
聚酰亚胺漆包线	QY	0.018 ~ 5.000
聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺漆包线	Q(ZY/XY)	0.050 ~ 5.000
漆包扁线	QQB、QZB、QZ(G)B、QZYB、QYB、Q(ZY/XY)B	a 边: 0.800 ~ 5.600 b 边: 2.000 ~ 16.000

产 品 名 称	型 号	生产范围/mm
自粘性漆包线	QZN、QAN、QZYN	0.020~1.000
无磁性聚氨酯漆包线	QATWC	0.020~0.200
耐冷媒漆包线	QF	0.060~2.500
纸包圆线	Z、ZL、ZA、ZAL	1.000~5.600
丝包线	SE、SQ、SEQ	0.050~2.500
双玻璃丝包圆线	SBE、SBEL	0.300~5.000
玻璃丝包漆包圆线	SBQ	0.300~2.500
绕包扁线	ZB、ZLB、ZAB、ZALB	a边:0.800~5.600
(纸包扁线、玻璃丝包扁线、玻璃丝包漆包扁线、 玻璃丝包薄膜绕包扁线、复合薄膜绕包扁线)	SBEB、SBELB、SBQB、SBEQB、 SBQLB、SBEQLB、SBMB、SBEMB、 MYFB、MYFEB	b边:2.000~16.000
陶瓷绝缘线	TC	0.060~0.500
氧化膜铝线	YML、YMLC	0.530~5.000
	YMLB、YMLBC	a边:0.800~5.600 b边:2.000~16.000
玻璃膜绝缘线	BMTM	0.006~0.008
	BMNG	0.002~0.005

漆包线的品种、型号及执行标准如表 10.1.64 所示。

表 10.1.64 漆包线的品种、型号及执行标准

产 品 名 称	型 号	耐温等级	执 行 标 准
油性漆包线	Q	A(105℃)	企业标准
缩醛漆包线	QQ	E(120℃)	GB 6109.3
	QQB		GB/T 7095.2
聚氨酯漆包线	QA	B(130℃)	GB 6109.4
聚酯漆包线	QZ	B(130℃)	GB 6109.7
	QZB		GB/T 7095.7
改性聚酯漆包线	QZ(G)	F(155℃)	GB 6109.2
	QZ(G)B		GB/T 7095.3
环氧漆包线	QH	E(120℃)	企业标准
聚酯亚胺漆包线	QZY	H(180℃)	GB 6109.5
	QZYB		GB/T 7095.4
聚酰亚胺漆包线	QY	C(220℃)	GB 6109.6
	QYB		GB/T 7095.5
聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包线	Q(ZY/XY)	C(200℃)	GB 6109.11
	Q(ZY/XY)B		GB/T 7095.6
自粘性漆包线	QZN	B(130℃)	GB 6109.8
	QAN	B(130℃)	GB 6109.9
	QZYN	H(180℃)	企业标准
无磁性聚氨酯漆包线	QATWC	E(120℃)	企业标准
耐冷媒漆包线	QF	E(120℃)	企业标准

1. 油性漆包线

漆膜的主要成膜物质为植物油。它的特点是：

- ① 漆膜均匀，绝缘层薄，槽满率高；
- ② 介质损耗角正切小，能适应高频环境，而且具有优良的耐超负荷能力；
- ③ 价格较低；

- ④ 漆膜的耐刮性差，易遭受机械损伤；
- ⑤ 耐溶剂性差，配套的浸渍漆应选用不含芳香族溶剂的牌号。

主要用途：仪表、小型继电器、音频线圈、发火线圈等绕组。

2. 缩醛漆包线

漆膜的主要成膜物质为聚乙烯醇缩醛树脂、热固性酚醛树脂、三聚氰胺树脂等。它的特点是：

- ① 漆膜热冲击性能优，耐刮性能优；
- ② 耐油、耐水性好；
- ③ 由于卷绕应力原因，漆膜易产生裂纹，浸渍前须在 120℃ 左右加热 1h 以上，借以消除应力。

主要用途：普通中、小型电机绕组和油浸变压器绕组。

3. 聚氨酯漆包线

漆膜的主要成膜物质为多羟基的聚氨酯甲酸酯树脂、多羟基的聚酯树脂、封闭的异氰酸酯等。它的特点是：

- ① 直焊性：可以不必去除漆膜直接进行焊锡；
- ② 染色性：可以在漆膜中掺入各种耐高温染料，制成各种不同颜色的漆包线；
- ③ 耐高频性：在温度变化时，其电感量基本不变，在高频条件下介质损耗角正切小。

主要用途：高频线圈、电视线圈、小型电机、电讯、电器和仪表用的微细线圈绕组。

4. 聚酯漆包线

聚酯漆包线属高强度漆包线。漆膜的主要成膜物质为聚酯树脂。它的特点是：

- ① 在干燥和潮湿条件下，耐压性能优；
- ② 耐机械强度性能优，可以用自动化高速绕线机来绕制线圈；
- ③ 软化击穿性能优；
- ④ 在高压、高温、高湿的条件下，耐水解性能较差，不宜用于密封电机、电器；
- ⑤ 热冲击性能较差；
- ⑥ 与聚氯乙烯、氯丁橡胶等含氯高分子化合物不相容。

主要用途：B 级电机、电器、干式变压器、电信设备和仪器仪表的线圈绕组。

5. 改性聚酯漆包线

本产品用改性聚酯漆涂制而成。它保留了聚酯漆包线耐电压性能优，耐机械强度高、软化击穿性能优等特点，耐热冲击性能比聚酯漆包线明显提高。

主要用途：F 级电机、电器；起动频繁、瞬间电负荷变化大的各种电机、电器、仪表及电信设备的线圈绕组。

6. 环氧漆包线

环氧漆包线漆膜的主要成膜物质为环氧树脂。它的特点是：

- ① 耐水解性能优和耐潮性优；
- ② 耐化学药品，特别是耐酸、耐碱、耐油性优。

主要用途：油浸变压器的线圈、化工电器以及湿热环境工作的电机线圈绕组。

7. 聚酯亚胺漆包线

聚酯亚胺漆包线属耐高温漆包线。漆膜的主要成膜物质为 THEIC 改性的聚酯亚胺树脂。它的特点是：

- ① 在干燥和潮湿条件下耐电压性能优；
- ② 热冲击性能优；
- ③ 软化击穿性能优，漆包线在 300℃ 下测试，2min 内不软化击穿。

主要用途：H 级电机、电器仪表绕组线圈。用于吊车电机、矿用电机绕组效果更佳。也适用于封闭式制冷压缩机。

8. 聚酰亚胺漆包线

聚酰亚胺漆包线具有较高的热稳定性。漆膜的主要成膜物质为聚酰亚胺树脂。它除了具有漆包线应有的基本性能外，还具有的特点是：

- ① 耐热性优，软化击穿、热冲击性能优，并能承受短期过载负荷；
- ② 耐低温性优，能耐酷寒和忍受大幅度的温度骤变；

- ③ 耐辐射性优，经大辐射量 γ 射线照射后的聚酰胺漆包线仍能通过技术条件中原有的全部指标；
 - ④ 耐化学药品及耐溶剂性能优；
 - ⑤ 由于卷绕应力原因，漆膜易产生裂纹，浸渍漆须在 150℃ 左右加热 1h 以上，以消除应力。
- 主要用途：C 级或在严酷条件下使用的电机、电器、仪表电讯和无线电电子器材的线圈绕组。

9. 聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包线

聚酯亚胺/聚酰胺酰亚胺复合漆包线是以聚酯亚胺漆为基漆，以聚酰胺酰亚胺漆为面漆的复合绝缘漆包线。漆膜中同时具有酰胺基和亚胺基。它的特点是：

- ① 耐热冲击性能优，特别是在线圈成型后能承受负荷的冲击；
- ② 软化击穿性能优，漆包线在 320℃ 下测试，2min 内不软化击穿；
- ③ 漆膜的耐刮性能优；
- ④ 在干燥和潮湿条件下耐击穿电压性能优；
- ⑤ 耐化学药品腐蚀性能优，漆膜不因冷冻剂的作用而软化，其萃取百分数极低，并且不因一般浸渍漆、溶剂和清洗液的作用而开裂；
- ⑥ 耐辐射性能优。

主要用途：干式变压器、密封电机、冰箱压缩机、工具马达、汽车电机定子、螺线管及高温环境使用的 H 级以上电机的线圈绕组。

10. 自粘性漆包线

这是以聚酯或聚氨酯或聚酯亚胺漆包线为基础，外涂粘合层的漆包线。用这种漆包线所绕成的线圈在一定温度下烘焙一定的时间或通以强大电流后，线圈便能自行粘合成型，或者用溶剂粘合亦能使线圈自动成型。

通用的自粘性漆包线有四大类：① 自粘性聚酯漆包线；② 自粘性聚氨酯漆包线；③ 自粘性聚酯亚胺漆包线；④ 自粘性缩醛漆包扁线。

产品的耐温等级，根据基漆的特性来确定。

主要用途：电视机偏转线圈，计算机驱动线圈、电磁灶、电动自行车电机、无骨架线圈和其他微型电机、电器和仪表电讯元件。自粘性缩醛漆包扁线用于换位导线后绕制变压器。

11. 无磁性聚氨酯漆包线

它是用无磁性聚氨酯漆涂在无磁性、高纯度裸铜线上制成。漆包线整体的铁磁含量极低，因此在感应磁场中所起的干扰作用极小，从而保证了高级仪器仪表的高灵敏性和高精度。

无磁性聚氨酯漆包线除具有一般漆包线的基本性能外，还具有耐高频、自粘和直焊的特性。另外，在储存、绕线和处理方面均有特殊要求，应在“无尘室”内开装使用，所有工具不应有铁磁材料制成，并应严格注意工艺卫生。

主要用途：直流镜式检流式毫伏表、微安表、高级万用表、磁通计、换能器、自动摇表、测震仪等高灵敏度的仪器、电表。

12. 耐冷媒漆包线

这是由耐冷媒缩醛漆涂制而成的漆包线。线圈绕组可直接忍受冷媒的侵蚀，能长期耐氟利昂-22 的腐蚀，漆包线的成本较低。

主要用途：空调设备和封闭式制冷压缩机电机的线圈绕组。

四、绕包线

绕包线是用纤维状或带状绝缘材料紧密缠包在导线（裸的或漆包线）上所制成的一种绕组线。其中大部分产品尚需用粘结漆（剂），使绝缘之间、绝缘与导体之间进行粘结处理，以提高绕组线的机械、电气、导热性能，以及耐潮，耐化学腐蚀等性能。

绕包线与漆包线相比较，有下列一些特点：

- ① 绝缘厚度较漆包线为大；
- ② 产品的质量比较均匀，分散性较小；
- ③ 有较好的迁载能力；
- ④ 良好的制造工艺性。

绕包线适用于高、低压、大、中、小容量的电气产品绕组。

绕包线的品种、特点和主要用途如表 10.1.65 所示。

表 10.1.65 绕包线的品种、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	耐温等级	生产范围 /mm	执行标准	特点	主要用途			
纸 包 线	电缆纸或电话纸包 铜圆线	Z	不浸油 Y(90℃)	1.00 ~ 5.60	GB 7673.2	在油浸变压器中 使用时耐电压性能 好 价格便宜 绝缘纸易破裂,弯 曲时须注意 如果不浸渍,耐潮 性差	油浸式变压器,干 式变压器,电磁铁等 电器绕组			
	电缆纸或电话纸包 铝圆线	ZL	浸油 A(105℃)							
	500kV 变压器匝间 绝缘纸包铜圆线	ZA								
	500kV 变压器匝间 绝缘纸包铝圆线	ZAL								
	电缆纸或电话纸包 铜扁线	ZB		a 边: 0.80 ~ 5.60	GB 7673.3					
	电缆纸或电话纸包 铝扁线	ZLB		b 边: 2.00 ~ 16.00						
	500kV 变压器匝间 绝缘纸包铜扁线	ZAB								
	500kV 变压器匝间 绝缘纸包铝扁线	ZALB								
	双丝包铜圆线	SE	A(105℃)	0.05 ~ 2.50				企业标准	绝缘层的机械强 度较好	无线电、仪表等高 频绕组
	单丝包漆包铜圆线	SQ	依漆包线耐 温等级而定	0.05 ~ 2.50				企业标准	电性能优 如果不浸渍,耐潮 性差,电压不稳定 价格较高	
双丝包漆包铜圆线	SEQ									
双 玻 璃 丝 包 线	双玻璃丝包铜圆线	SBE	B(130℃)	0.30 ~ 5.00	GB 7672.2	过负载性能优 耐电晕性能优 弯曲性能较差 耐潮性能较差	高低压、大、中、小 容量的电机电器产 品绕组			
	双玻璃丝包铝圆线	SBEL	F(155℃) H(180℃)							
	双玻璃丝包铜扁线	SBEB		a 边: 0.80 ~ 5.60	GB 7672.4					
	双玻璃丝包铝扁线	SBELB		b 边: 2.00 ~ 16.00						
玻 璃 丝 包 漆 包 线	单玻璃丝包漆包铜 圆线	SBQ	B(130℃) F(155℃)	0.30 ~ 2.50	GB 7672.3	过负载性能优 耐电晕性能优 机械性能优 耐潮性能优 弯曲性能较差	高低压、大、中、小 容量的电机、电器产 品绕组			
	单玻璃丝包漆包铜 扁线	SBQB	H(180℃)					a 边: 0.80 ~ 5.60	GB 7672.5	
	双玻璃丝包漆包铜 扁线	SBEQB		b 边: 2.00 ~ 16.00						
	单玻璃丝包漆包铝 扁线	SBQLB								
	双玻璃丝包漆包铝 扁线	SBEQLB								
玻 璃 丝 包 薄 膜 绕 包 线	单玻璃丝包薄膜绕 包铜扁线	SBMB	B(130℃) F(155℃)	a 边: 0.80 ~ 5.60	GB 7672.6	耐热性和耐低温 性能优 耐辐射性优 在高温下电击穿 性能好 和玻璃丝包线相 比槽满率高	耐高温、耐高压的 直流电机、牵引电 机、潜油泵电机,使 用环境比较恶劣的 电机电器绕组			
	双玻璃丝包薄膜绕 包铝扁线	SBEMB	H(180℃)	b 边: 2.00 ~ 16.00						

续表

类别	产品名称	型号	耐温等级	生产范围 /mm	执行标准	特点	主要用途
聚酰亚胺-氟46复合薄膜绕包线	单聚酰亚胺-氟46复合薄膜绕包铜扁线	MYFB	C(200℃)	a边: 0.80~5.60	JB 6757—93	绝缘薄且耐电压性能优 耐热性和耐低温性能优 耐辐射性能优 密封性能好,能在一定温度、压力的水或油中浸泡相当长的时间仍能保持良好的电性能	耐高温的冶金、起重、化工、矿用机电器绕组
	双聚酰亚胺-氟46复合薄膜绕包铜扁线	MYFEB		b边: 2.00~16.00			

五、无机绝缘绕组线

无机绝缘绕组线是以陶瓷、氧化铝膜、玻璃膜等无机材料作为绝缘层的绕组线。由于绝缘层是无机材料制成,耐热性能优异,具有耐辐射性能,因此无机绝缘绕组线可应用于特殊场合的电机、电器、电工仪表的绕组和元件。

无机绝缘绕组线的品种、特点和主要用途如表 10.1.66 所示。

表 10.1.66 无机绝缘绕组线的品种、特点和主要用途

类别	产品名称	型号	长期工作温度/℃	生产范围 /mm	执行标准	特点	主要用途
陶瓷绝缘线	陶瓷绝缘线	TC	500	0.06~0.50	企业标准	耐高温性能优 耐化学腐蚀性能优 耐辐射性能优 弯曲性能差 耐潮性能差	高温以及耐辐射的绕组,高能物理、宇宙、航空等领域
氧化铝铝线和铝箔	氧化铝铝圆线	YML YMLC ^①		0.53~5.00	企业标准	耐热性能优,不用绝缘漆封闭的氧化铝膜铝线长期使用,温度一般可达 240℃ 以上 槽满率高 重量轻 耐辐射性能好 弯曲性能差 电性能差 氧化铝的机械强度差 耐酸碱性能差	起重电磁铁、高温制动器、干式变压器线圈以及耐辐射的绕组
	氧化铝铝扁线	YMLB YMLBC ^①		a边: 0.80~5.60 b边: 2.00~16.00			
	氧化铝铝箔(带)	YMLD		厚 0.08~1.00 宽 20~900			
玻璃膜绝缘线	玻璃膜绝缘微细锰铜线	BMTM-1 BMTM-2	-40~ +100	0.006~0.008	企业标准	导体电阻的热稳定性性能好 适应高低温的骤变弯曲性能差	高精度、高稳定、高灵敏和超微型的仪器、仪表、电子仪器及小巧的电阻元件
	玻璃膜绝缘微细镍铬线	BMNG	-40~ +100	0.002~0.05			

① 在氧化铝膜层上再涂以绝缘漆,使其密封。

六、特种绕组线

特种绕组线的品种、特点和主要用途如表 10.1.67 所示。

表 10.1.67 特种绕组的品种、特点和主要用途

产品名称	型号	长期工作温度 / $^{\circ}\text{C}$	生产范围 /mm	执行标准	特点	主要用途
纸绝缘漆包换位导线	HZQQ	120	$W_1 \leq 28$ $H_1 \leq 65$ $5 \leq n \leq 41$ 根	JB 6758	简化绕制线圈工艺 无循环电流,线圈内涡流损耗小 比纸包线的槽满率高	油浸式变压器及其他类似电器设备的绕组线
中频绕组线	QZJBSB	130 180	宽 2.10~6.90 ^D 高 2.80~9.30	企业标准	多根漆包线组成,柔软性好,可降低集肤效应 整版绕组的嵌线工艺简单	1000~8000Hz 的中频变频器绕组
高频绕组线	SQJ SEQJ	90	10~50mm ²	企业标准	品质因素(Q值)大 多根漆包线组成,柔软性好,可降低集肤效应 如使用聚氨酯漆包线,介质损耗角正切小,且有直焊性 耐潮性差	要求Q值稳定和介质损耗角正切小的电讯器材等高频绕组
潜水电机绕组线	QYN SYN	70	0.28~5.0mm ² 3.55~23.6mm ²	企业标准	耐水性能较好 机械强度高 槽满率低	额定电压 V_0/V 为 300V/500V 充水湿式潜水电机及在类似条件下工作的电机电器绕组
双丝包空心铜导线	SEKB		4.7×10×1.35 4.7×7.2×1.40	企业标准		大型发电机组定子线圈绕组

① 宽、高是指多根漆包线绞合、压缩成型后的尺寸。

第四节 电气装备用电线电缆

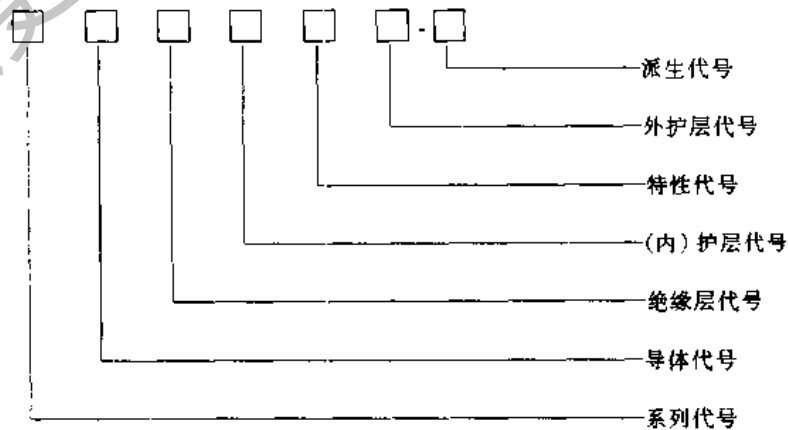
一、分类

电气装备用电线电缆主要作为电气装备内部或外部的连接线,也可用于输送电能或传递各种电信号。

按照产品的使用特性,电气装备用电线电缆可分为通用型电线电缆、信号控制电缆、电机电器引出线、仪器仪表用电线电缆、交通运输用电线电缆、地质勘探和采掘用电线电缆等。

二、型号表示法

电气装备用电线电缆的型号由以下七部分组成:

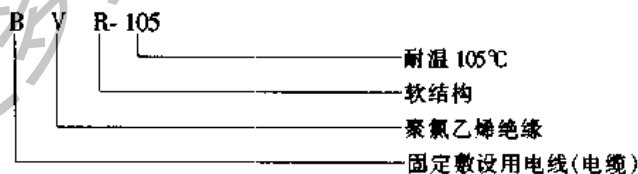


各部分的代号及其含义见表 10.1.68。

表 10.1.68 电气装备用电缆型号表示及其含义

类型、用途	导体	绝缘层	护层	特征	铠装层	外护层
A—安装线	G—钢	B—棉纱编织	BL—玻璃丝编织	B—扁、平型	2—双钢带	1—纤维层
B—固定敷设用线	L—铝	E—乙丙橡皮	涂蜡	B—编织加强	3—细钢丝	2—PVC套
BC—补偿导线	Z—阻尼导 电线芯	F—聚氯乙烯丁腈 复合物	F—丁腈聚氯乙烯 复合物	C—重型	4—粗钢丝	3—PE套
C—船用电缆	T—铜	G—硅橡胶	F—氯丁橡胶	C—彩色	8—铜丝编织	
D—带状电缆		F46—聚全氟乙丙 烯	E—乙丙橡胶	C—滤尘器用	9—钢丝编织	
DC—机车车辆电缆		H—氯磺化聚乙 烯	H—氯磺化聚乙 烯橡胶	G—高压		
DJ—电子计算机用		V—聚氯乙烯	J—交联聚乙烯	H—电焊机用		
G—高压电缆		X—天然丁苯橡 胶	M—氯醚橡胶	H—电子轰击炉用		
J—电机引接线		Y—聚乙烯	N—尼龙	J—监视		
K—控制电缆		YJ—交联聚乙烯	Q—铅(铝合金)	L—电炉用		
N—农用电线		YE—聚酰胺、 四氟乙烯、 六氟丙烯共 聚物、复合 薄膜/乙丙 橡皮组合绝 缘	S—硅橡胶	P—铜丝编织		
P—信号电缆		YF—F46 复合薄 膜/可溶性 聚四氟乙烯 组合绝缘	T—Cu	P ₁ —铜丝稀绕屏蔽		
Q—以汽车为代表的公路 车辆		Z—聚酯薄膜(纤 维)	L—Al	P ₂ —铜带屏蔽		
QG—汽车用高压点火线			V—聚氯乙烯	P ₃ —铝塑复合膜屏 蔽		
R—软线			Y—聚乙烯	Q—轻型		
SB—无线电装置用			YF—F46 复合薄 膜/可溶性 聚四氟乙烯 组合绝缘	Q—电子枪用		
SY—闪光灯用				R—柔软		
U—矿用				R—绕包加强		
UC—采掘机用				S—双绞型		
UM—矿工帽灯线				T—耐热		
UZ—电站电缆				PT—金属屏蔽		
W—地球物理工作用				Z—中型		
WB—油泵用				Z—直流		
WC—海上探测用						
WE—野外探测用						
WQ—潜油泵电力电缆						
WQJ—潜油泵引接电缆						
WT—轻便探测电缆						
Y—移动电缆						

例如，铜芯耐温 105℃ 聚氯乙烯绝缘软线：



三、基本结构

1. 导电线芯

目前，移动使用的电线电缆主要用铜作为导体；固定敷设用的电线电缆除特殊场合外，一般也可以采用铝导线。铜铝导电线芯的结构及性能要求在 GB 3956 中有明确规定，第 1、2 种结构为固定敷设用，第 3、4 种为移动式用。对于用在环境恶劣、湿度很大等场合的移动式电线电缆宜采用镀锡铜线。线芯温度在 150℃ 及以上时，铜线表面应镀锡，200℃ 时应镀银，260℃ 及以上应镀镍，镍包铜线耐温 400℃，不锈钢包铜线 650℃，铱导线可达 1000℃。

相同截面时导线的单线根数越多，节距越短则越软，弯曲性能也更好些。由多根单线组成导电线芯时须进行绞合。绞合方式有正规绞合、束绞和复绞三种。正规绞合和复绞的单线排列见图 10.1.6。

2. 绝缘层

电气装备用电线电缆的绝缘层大多采用塑料或橡胶的混合物，选择绝缘材料时，主要考虑电、热、机械和

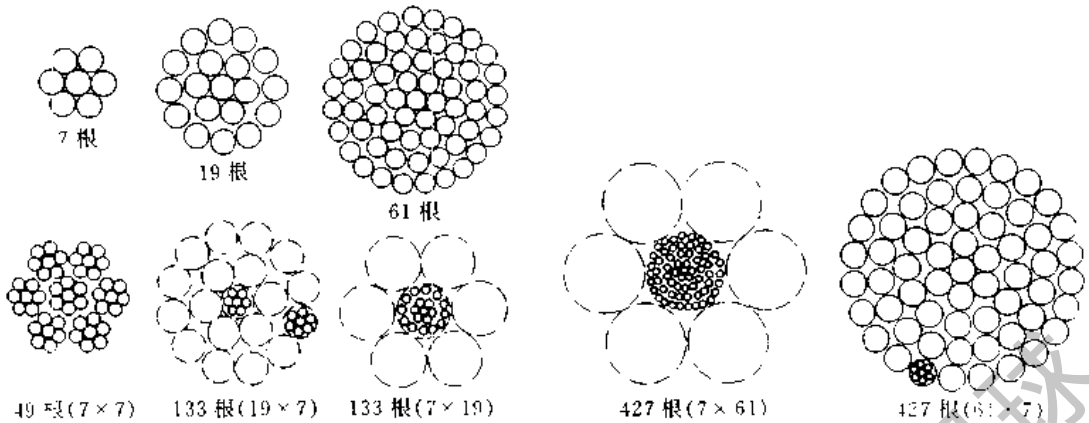


图 10.1.6 导线正规绞合和复绞的几种排列方式

防护性能。

电气装备用电线电缆的绝缘层大多采用挤出成型将橡塑材料整体包覆在导线上。绝缘厚度的大小取决于电线电缆的电压等级与使用条件。电压等级高（6kV及以上）的电缆，绝缘应能承受一定的电场强度；传输电流较大的需考虑绝缘层的散热性对允许载流量的影响。

3. 屏蔽层

电气装备用电线电缆有许多品种具有屏蔽层。屏蔽层的作用可分为电场屏蔽、磁场屏蔽和电磁屏蔽。

(1) 屏蔽材料 电线电缆常用的屏蔽材料有三类。

① 高导电材料，如铜、铝、铅、金属化纸或金属化塑料薄膜，要求有良好的电导率和耐腐蚀性。电场屏蔽和低频磁场屏蔽（主要起抵消作用）都采用高导电材料。

② 半导体材料，如半导电的橡皮、塑料、布带、纸等，要求与绝缘层很好地粘合又易剥离、没有析出物或迁移物影响绝缘材料的性能，并有一定的电阻率。用于要求均匀表面电场和电场屏蔽的电缆中。

③ 高导磁材料，如低碳钢，要求材料磁化系数大，矫顽磁力小。用于电磁场屏蔽（主要起能量吸收作用）。

(2) 屏蔽结构

① 钢丝编织是在绝缘或成缆后的缆芯上用软圆铜线或镀锡铜线交叉编织而成。

② 铜带屏蔽、铜丝缠绕屏蔽和铝-塑复合膜绕包屏蔽。

③ 半导电布带绕包和半导电橡皮挤包。

4. 护层

护层是保护产品免受环境因素侵蚀的结构部分。

(1) 绝缘层兼护层 绝缘层兼护层用于没有机械外力、环境条件较好的场合。如橡皮、塑料绝缘电线和绝缘软线，部分电机引接线、电焊机电缆等。

(2) 纤维编织护层 这是一种最简单的护层，用于橡皮绝缘电线和软线，起轻度保护作用。

(3) 橡皮塑料护套 大多数电气装备用电线电缆都采用橡皮、塑料护套作为护层。橡塑护套按适用范围可分为普通型与特殊型两类。普通型要求能承受一定的机械外力，并有防潮、耐气候老化性能。特殊型除具备以上性能外，针对不同的使用环境，还应有相应的耐油、耐寒、阻燃、耐酸碱等特殊性能。

(4) 铠装层 铠装护层主要用于受机械外力较严重的场合，而且铠装层同时还起电场屏蔽和防止外界电磁波干扰的作用。

铠装的形式主要有钢带铠装、细钢丝铠装、粗钢丝铠装及瓦楞型钢带铠装。

四、电气装备用电线电缆产品介绍

1. 通用型电线电缆

(1) 通用绝缘电线和软线 通用绝缘电线和软线结构简单，轻便，电气性能和机械性能都有较大的裕度，广泛用于各种电器装置、仪器仪表、电信设备和动力及照明线路。绝缘电线作固定敷设用，绝缘软线大量用于移动式电器及其他要求柔软、经常弯曲的场合。

通用绝缘电线和软线的品种、用途分别列于表 10.1.69 和表 10.1.70。

表 10.1.69 通用绝缘电线的品种和用途

产品名称	型号		长期允许 工作温度 /°C	额定 电压 /V	规格/mm ²	标准	用途	
	铜芯	铝芯						
橡皮绝缘棉纱或其他相当纤维编织电线	BX	BLX	65	300/ 500	铜 0.75~630	JB 1601— 93	固定敷设,可明敷、暗敷	
橡皮绝缘氯丁或其他相当的合成胶混合物护套电线	BXF	BLXF			铝 2.5~630		铜 0.75~240	适用于户内明敷和户外,特别是寒冷地区
橡皮绝缘黑色聚乙烯护套电线	BXY	BLXY			铝 2.5~240		铜 0.75~240	适用于户内穿管和户外,特别是寒冷地区
橡皮绝缘棉纱或其他相当纤维编织软电缆	BXR				0.75~400		室内安装,要求较柔软时用	
聚氯乙烯绝缘电线	BV	BLV	≤70	450/ 750	1 1.5~400	GB 5023.2— 85	固定敷设	
	BVR				1 0.5~1		固定敷设在要求柔软的场合	
耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线	BV-105	BLVV	1 2.5~70	450/ 750	0.5~6		固定敷设	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆形电线	BVV		2,3,4,5	300/ 500	1 0.75~10	JB 2171— 85	农用直埋,一般地区	
	BVVB	BLVVB			1 1.5~3.5			2.5~10
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平形电线	BVVB		2,3	450/ 750	1 0.75~10	JB 2171— 85	农用直埋,一般及寒冷地区	
					2,3 2.5~10			2.5~10
聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线		NLYV	70	450/ 750		JB 2171— 85	农用直埋,一般及寒冷地区	
		NLYV-H						
聚乙烯绝缘耐寒聚氯乙烯护套电线		NLYV-Y					农用直埋,白蚁活动地区	
聚乙烯绝缘防蚁聚氯乙烯护套电线		NLYV-Y					农用直埋,一般及寒冷地区	
聚氯乙烯绝缘黑色聚乙烯护套电线		NLVV					农用直埋,一般地区	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线		NLVV-Y					农用直埋,白蚁活动地区	
聚氯乙烯绝缘防蚁聚氯乙烯护套电线		NLVV-Y					农用直埋,白蚁活动地区	

表 10.1.70 通用绝缘软线品种与用途

产品名称	型号	额定电压 /V	长期最高 工作温度 /°C	规格		标准	用途及使用条件
				芯数	铜芯截面 /mm ²		
聚氯乙烯绝缘连接软电线	RV	300/500	70	1	0.3~1	GB 5023.3—85	供各种移动电器、仪表、电信设备, 自动化装置接线用, 也作为内部安装线, 安装时环境温度不低於-15°C
		450/750		2	1.5~70		
聚氯乙烯绝缘平型连接软电线	RVB	300/ 300	70	2	0.3~1	GB 5023.3—85	同 RV, 用于 45°C 及以上高温环境中
聚氯乙烯绝缘绞型连接软电线	RVS	300/300	70	2	0.3~0.75		
耐热 105°C 聚氯乙烯绝缘连接软电线	RV-105	450/750	105	1	0.5~6	GB 5023.3—85	同 RV, 用于潮湿和机械防护要求较高, 经常移动, 弯曲的场合
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆型连接软电线	RVV	300/300 300/500	70	2, 3 2, 3, 4, 5	0.5~0.75 0.75~2.5		
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平型连接软电线	RVVB	300/300 300/500	70	2	0.5~0.75 0.75	GB 5023.3—85	同 RV, 用于潮湿和机械防护要求较高, 经常移动, 弯曲的场合
橡皮绝缘编织双绞软电线	RXS	300/300	65	1	0.3~4		
橡皮绝缘总编织圆形软电线	RX		65	2, 3	0.3~4	GB 3958—83	室内照明灯具、家用电器和工具用电源线
橡皮绝缘橡皮保护层总编织圆形软电线	RXH		65	2, 3	0.3~4		

(2) 通用屏蔽绝缘电线 仪器仪表、电子设备、自动控制等线路,要求电线具有一定的防干扰性能,可采用在通用绝缘电线、软线上包覆屏蔽层的屏蔽绝缘电线。

通用屏蔽绝缘电线的品种和用途见表 10.1.71。

表 10.1.71 通用屏蔽绝缘电线品种和用途

产品名称	型号	额定电压 /V	导线长期 允许工作 温度 /°C	规格		标准	用途
				芯数	截面 /mm ²		
铜芯聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	AVP	300/300	70	1	0.03~0.4	GB 5023.5 —86	用于固定安装敷设,安装时环境温度应不低于-15℃
铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽电线	AVP-105		105				1
铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘屏蔽软电线	RVP-105	70	2	0.08~1.5	可移动使用,也可用于安装位置较小的场合		
铜芯聚氯乙烯绝缘屏蔽软电线	RVP						
铜芯聚氯乙烯绝缘屏蔽聚氯乙烯护套软电缆(电线)	RVVP	70	1	0.035~ 2.5	0.08~1.5		
铜芯聚氯乙烯绝缘缠绕屏蔽聚氯乙烯护套软电缆(电线)	RVVP ₁						3
		4~24 ^①	0.12~0.4				

① 芯数系列: 4、5、6、7、10、12、14、16、19 和 24 芯。

(3) 通用橡套电缆 通用橡套电缆在一般场合下作为各种移动式电气设备、电动工具、动力和家用电器的移动式电源线。按其承受机械外力的情况,分为轻、中、重三种型式,每一型式产品又分为一般型和耐候型。

通用橡套电缆的品种、用途见表 10.1.72。

表 10.1.72 通用橡套电缆品种和用途

产品名称	型号	额定电压 /V	长期允许工作 温度/°C	芯数	标准截面 /mm ²	标准	用途
轻型橡套软电缆	YQ YQW	300/ 300	65	2,3	0.3~0.5	GB 5013.2	用于轻型移动电器设备和工具
中型橡套软电缆	YZ YZW	300/ 500					2,3,4,5
重型橡套软电缆	YC YCW	450/ 750		1	1.5~400		
				2	1.5~95		
				3,4	1.5~150		
5	1.5~25						

注:“W”型派生电缆具有耐候和一定的耐油性,适宜于在户外或接触油污的场合使用。

导体用铜芯,第 3 种结构。如果导体不镀锡,则在每一导体外面包一层由合适材料制成的隔离层,镀锡线芯上允许不包隔离层。

绝缘层采用一般橡皮绝缘。绝缘线芯应采用易于辨认和不易擦掉的颜色进行分色,地线芯采用黄绿双色线。

2. 信号控制电缆

在信号、控制系统中传输各种启动、操作、信号显示、测量等电信号的电缆称为信号控制电缆。

(1) 信号电缆 信号电缆的品种和用途见表 10.1.73 和表 10.1.74。

表 10.1.73 信号电缆的品种和用途

产品名称	型号	使用范围
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套信号电缆	PVV	敷设于室内外、电缆沟、管道或地下直埋；内铠装电缆能承受较大的机械外力，不允许承受拉力，聚乙烯绝缘的绝缘电阻、耐潮性比聚氯乙烯好
聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套信号电缆	PYV	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套内钢带铠装信号电缆	PVV ₂₂	敷设在槽、管中，能承受较大机械外力
聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内钢带铠装信号电缆	PYV ₂₂	
聚乙烯绝缘综合扭绞综合护套双钢带铠装耐寒聚氯乙烯护套信号电缆	PZYAV ₂₂	敷设在槽、管中，能承受一般的机械外力
聚乙烯绝缘综合扭绞综合护套聚乙烯护套信号电缆	PZYAY	敷设在槽、管中，能承受较大机械外力，适用于寒冷地区
聚乙烯绝缘，综合扭绞，综合护套双钢带铠装耐寒聚乙烯护套信号电缆	PZYAH ₂₂	敷设在土壤及槽、管中，能承受一般机械外力
聚乙烯绝缘综合扭绞铝护套聚氯乙烯护套信号电缆	PZYL _V	敷设在土壤及槽、管中，能承受一般机械外力，适用于寒冷地区
聚乙烯绝缘综合扭绞铝护套耐寒聚氯乙烯护套信号电缆	PZYL _{VH}	敷设在土壤及槽、管中，能承受较大机械外力
聚乙烯绝缘综合扭绞铝护套双钢带铠装聚氯乙烯护套信号电缆	PZYL _{V22}	敷设在土壤及槽、管中，能承受较大机械外力，用于寒冷地区
聚乙烯绝缘综合扭绞铝护套双钢带铠装耐寒聚氯乙烯护套信号电缆	PZYL _{YH22}	

表 10.1.74 信号电缆的规格

型号	额定电压	导体标称直径/mm	
		1.0mm	
PVV PYV	交流 250V 直流 500V	芯数	2~61
PVV ₂₂ PYV ₂₂			7~61
FZYAY FZYAV ₂₂ FZYAH ₂₂	交流 500V 直流 1000V	芯数	4~61
FZYL _V FZYL _{VH} FZYL _{V22} FZYL _{YH22}			6~61

注：2~61 芯的芯数为 2、3、4、5、6、7、9、12、14、16、19、24、27、30、33、37、42、44、48、61。

信号电缆的导电线芯采用直径 1.0mm 的软铜线组成。绝缘采用聚氯乙烯或聚乙烯绝缘线芯按同心式绞合成缆。综合扭绞电缆的绝缘线芯采用对绞时，绝缘颜色采用红白、绿白、蓝白、黄白；采用四线组绞合时，绝缘颜色采用红绿蓝白。绞合后的缆芯外挤包一层聚氯乙烯护套，外护层由垫层、钢带和外被层组成。

信号电缆的主要性能要求如下。

- ① 导电线芯 20℃ 时直流电阻不大于 0.0235Ω/km。
- ② 成品电缆线芯间及线芯对钢带间的绝缘电阻换算到 20℃ 时应不小于 40MΩ/km；综合扭绞型电缆 20℃ 绝缘电阻不小于 3000MΩ/km。
- ③ 成品电缆每根线芯对地地的所有其余线芯间的电容换算到长度为 1km 时应不大于 0.3μF。

④ 综合护套铠装电缆当护套上的感应电压为 35~200V/km 时电缆的理想屏蔽系数 ν 不大于 3。

信号电缆用于铁路信号联锁、火警信号、电报及各种自动装置中，因而要求导线不易折断。综合扭绞型电缆用于铁路信号传输，产品应具有良好的屏蔽性能，可传输铁路信、集、闭的一般自动信号，可用于有强电干扰的地区。

(2) 控制电缆 控制电缆用于交流额定电压 0.6/1kV 及以下控制、监控回路及保护线路等场合。

控制电缆的品种和用途见表 10.1.75，规格见表 10.1.76。交联聚乙烯绝缘控制电缆的额定电压 U_0/U 为 0.6/1kV，导体长期允许工作温度为 90℃；聚氯乙烯绝缘控制电缆的额定电压 U_0/U 为 450/750V，导体长期允许工作温度为 70℃，电缆执行标准 GB 9330。

表 10.1.75 控制电缆的品种与使用范围

产 品 名 称	型 号	主 要 使 用 范 围
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	KYJV	敷设在室内、电缆沟、管道等固定场合
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆	KVV	
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套编织屏蔽控制电缆	KYJVP	敷设在室内、电缆沟、管道、直埋等要求屏蔽的固定场合
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套编织屏蔽控制电缆	KVVP	
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝环绕屏蔽控制电缆	KYJVP ₁	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜丝环绕屏蔽控制电缆	KVVP ₁	
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽控制电缆	KYJVP ₂	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜带屏蔽控制电缆	KVVP ₂	敷设在室内、电缆沟、管道、直埋等能承受较大机械外力等固定场合
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套钢带铠装控制电缆	KYJV ₂₂	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套钢带铠装控制电缆	KVV ₂₂	敷设在室内、电缆沟、管道、竖井等能承受较大机械拉力等固定场合
交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套细钢丝铠装控制电缆	KYJV ₃₂	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套细钢丝铠装控制电缆	KVV ₃₂	敷设在室内移动要求柔软等场合
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制软电缆	KVVR	
聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套编织屏蔽控制软电缆	KVVRP	敷设在室内移动要求柔软、屏蔽等场合

表 10.1.76 控制电缆的规格

型 号	导 体 标 称 截 面/mm ²							
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.5	4	6	10
芯 数								
KYJV, KVV, KYJVP ₁ , KVVP ₁	—	2~61			2~14		2~7	
KYJP, KVVP	—	2~30			2~14		2~7	
KYJP ₂ , KVVP ₂	—	4~61			4~14		4~7	
KYJV ₂₂ , KVV ₂₂	—	7~61			4~61		4~7	
KYJV ₃₂ , KVV ₃₂	—	19~61		7~61		4~14		4~7
KVVR	4~61			—		—		
KVVRP	4~61			4~48		—		

注：推荐的芯线系列为 2、3、4、5、7、8、10、12、14、16、19、24、27、30、37、44、48、52 和 61。

3. 电机、电器用电线电缆

(1) 电机引接线

常用的电机引接线品种和用途列于表 10.1.77。

表 10.1.77 电机引接线常用的品种和用途

产 品 型 号	额定电压 /V	配套电机 耐温等级	标称截面 /mm ²	标 准	用 途
JV, JF	500	B	0.12 ~ 50	JB 6213.2	用于小型电机、中小型电器
JXN, JXF	500 ~ 6000		0.5 ~ 240		用于 B 级电机、电器、 可用于湿热地区
JE, JEH, JEM, JH	500 ~ 6000	F	0.2 ~ 240	JB 6213.3	用于耐温等级较高的 电机电器, 可用于湿热 地区
JG	500 ~ 1000	H	0.75 ~ 95	JB 6213.4	用于 F、H 级的电机 电器
JZ, JF ₄₆	500	C	0.5 ~ 2.5	JB6213.5	用于 H、C 级及以上 的电机

引接线的导体都用铜芯, 为保证良好的柔软性, 采用第 3 种结构。橡皮绝缘电缆导体的单线必须镀锡, 耐温 F 级及以上的引接线也用镀锡铜线, 使接线方便。

引接线是安装电机、电器中使用的, 因此其耐热要求应该与电机、电器的耐温等级匹配。经验证明, B 级绝缘的电机、配套的引接线长期工作温度约为 60 ~ 80℃。电机的耐温等级与使用的引接线的实际温度关系列于表 10.1.78。

表 10.1.78 电机耐温等级与引接线使用时的实际温度关系

耐温等级	最高工作温度/℃	引接线实际的工作温度/℃
E, B	120, 130	60 ~ 80
F	155	85 ~ 105
H	180	130

(2) 电焊机电缆 电焊机电缆用于二次侧对地电压交流不超过 200V 和脉动直流峰值 400V 的电焊机用二次侧接线及连接电焊钳用。

电焊机用电缆的品种列于表 10.1.79。

表 10.1.79 电焊机电缆的品种

产 品 名 称	型号	工作电压 /V	长期允许 工作温度/℃	规格 /mm ²	标 准
天然胶护套电焊机电缆	YH	200 及以下	65	10 ~ 185	GB 5013.3
氯丁或其他相当的合成胶弹性体护套电焊机电缆	YHF			10 ~ 185	

电焊机电缆导体采用最柔软的铜芯第 4 种结构。为了保证弯曲时的柔软性和使导体与绝缘易于相对滑动, 在导体外绕包一层聚酯薄膜。

(3) 防水橡胶套电缆

防水橡胶套电缆用于在水下进行作业的潜水电机传输电能用。

潜水电机用防水橡胶套电缆为潜水电机的移动式连接线, 其型号、规格列于表 10.1.80 中。

表 10.1.80 潜水电机用电缆的型号与规格

产品名称	型号	工作电压/V	长期允许 工作温度/℃	规格	
				芯数	截面/mm ²
潜水电机用防水橡套电缆	JHS	500	65	1	4~70
				3	2.5~35
				4	2.5~35

潜水电机用电缆的导电线芯用铜芯第3种结构,绝缘层用天然丁苯橡皮。导线间隙中以及导线与绝缘间填充密封胶,护套采用吸水性小的橡皮,使电缆在3MPa的水压下仍具有良好的密封性能。

(4) 电光源用电缆

电光源用电缆的品种很多,表10.1.81列出两种代表性品种。

表 10.1.81 电光源电缆品种和用途

产品名称	型号	工作电压 /V	长期允许 工作温度/℃	规格		用途
				芯数	截面/mm ²	
摄影光源用软电缆	GER	交流 500 直流 1000	90	1	10~50	室内外大容量照明灯用电源接线和连接用线
				2	1~50	
				2芯平型	1~50	
				4	1~6	
照相机闪光灯用软线	SYXH	直流 500	65	2	0.2~0.5	连接闪光灯及电容器的电源用
照相机闪光灯弹簧软线	SYXHT			4		
				6		

电光源用电缆的导体均用最柔软的铜芯第4种结构,铜线镀锡。摄影光源电缆用乙丙橡皮绝缘,耐高温等级高,电性能好,可使绝缘薄,外径小。护套用氯丁橡皮,缆芯间隙用电缆麻填充。2芯平型电缆有利于摄影棚内多根交叉,收放线方便。

4. 仪器仪表用电缆

仪器仪表用电缆包括的品种很多,不少是属于通用类品种,如通用绝缘电缆和软线、通用屏蔽绝缘电缆以及绕组线等。本节主要介绍具有代表性的专用类品种。

(1) 医疗仪器用电缆 品种和用途见表10.1.82。

表 10.1.82 医疗电子仪器用软电缆的品种和用途

产品名称	型号	规格		用途
		芯数	截面/mm ²	
聚氯乙烯绝缘总屏蔽、聚氯乙烯护套电缆	LVP	1~7、10、 14、18、24、 30、36	0.06、0.12、 0.2、0.3、 0.5	压力心音换能器、病人监护仪、肌电图机、脑电图机用
聚氯乙烯绝缘分相屏蔽、聚氯乙烯护套电缆	LVFP			心电图计、心电图向量计、急救装置用
聚氯乙烯绝缘及护套电缆	LV	1~7、10	0.06、0.12、 0.2、0.3	医疗电子仪器上短接用
		14、18、24、 30、36	0.06、0.12、 0.2	
聚氯乙烯绝缘及护套弹簧形电缆	LVT	1~7、10	0.5	心脏去颤器与高压电极连接用
		14、18、24、 30、36	0.3、0.5	
		3	0.75	
心脏起搏器用开关电极电缆	LG	1	0.07	供需式心脏起搏器、心脏去颤器及心脏急救监视装置连接开关电极埋藏人体内部用

其使用要求如下。

① 医疗仪器用电缆大多传输低电压（几伏至几十微伏），小电流的微弱信号，也有少数品种传输刺激用脉冲信号，其电压略高。

② 插入人体内的电缆，要求柔软、轻小，使用材料无毒性等。

③ 要求电缆具有一定的防止内外相互干扰的能力。

其结构特征如下。

① 导体截面很小，材料为铜丝或特制的不锈钢丝，并采用 GB 3956 标准规定的第 4 种特软型结构。

② 绝缘和护套可采用高强度硅橡胶橡皮、聚氯乙烯、聚乙烯等。

③ 屏蔽层可采用铜丝编织或绕包。有频繁移动要求的品种，可制成弹簧型。

(2) 电工、电子仪器仪表用电线电缆 其品种和用途见表 10.1.83。

表 10.1.83 电工、电子仪器仪表用电线电缆部分品种和用途

产品名称	型号	长期允许 工作温度 /℃	额定电压 /V	规格		用途		
				芯数	截面/mm ²			
无线电装置用电缆	SBH	65	250	2,3	0.35~1.0	供移动式无线电装置用		
				4~8,10、 12,14	0.35~2.5			
			500	2,3	0.75~1.0			
				4~8,10、 12,14	0.75~2.5			
	3000	2~8,10 12,14	1.5,2.5					
		SBHP	65	250	2,3		0.35~1.0	供移动式无线电装置用 有防干扰能力
4~8,1、 10,12,14	0.35~2.5							
500	2,3			0.75~1.0				
	4~8,1、 10,12,14			0.75~2.5				
3000	1~8,10、 12,14	1.5,2.5						
	ZRC-YVVP ZRA-YVVP	65	300	2,3 ^①	0.75~1.5	供检测和控制计算机系统 或自动化控制装置用		
ZRC-YYJVP ZRC-YEVP ZRC-YEFP ZRC-YEYHP							90	2,3 ^①
	间距 1.27mm、绝缘刺 破型端接式的聚氯乙烯 绝缘带状电缆	DV(1.27) DVC(1.27)	70	300	1~64			
DV(1.27)-105 DVC(1.27)-105							105	
		带状多芯软线	DR	120	100	5~50		0.03~0.5
微小型二芯屏蔽线		AFSP AFSF	200	36	2	0.013,0.035 0.035	适用于高温,小型电子元 件器件及仪器仪表内部安 装用	
多芯聚氯乙烯绝缘和 护套屏蔽电缆	AVVP	65	250	3,7,12	0.35~0.75	电子设备间通道连接用, 各芯单独屏蔽,有防干扰能 力		

① 2、3 表示二线组，三线组，对数有 1、2、4、7、10、12、16、19、24、30、36。

5. 交通运输用电线电缆

(1) 公路车辆用电缆(电线) 公路车辆用电缆(电线)按其用途可分为低压电缆(电线)和高压点火电线两个系列。详见表 10.1.84。

表 10.1.84 公路车辆用电缆(电线)品种和用途

产品名称	型号	长期允许 工作温度 /°C	规格		标准	用途
			芯数	截面/mm ²		
公路车辆用铜芯聚氯乙烯绝缘低压电线	QVR	70	1	0.2~120	GB 9328	车辆电器及仪表线路用
公路车辆用铜芯聚氯乙烯-丁腈复合物绝缘低压电线	QFR					车辆高温区电器及仪表线路用
公路车辆用铜芯耐热 105℃聚氯乙烯绝缘低压电线	QVR-105	105	7	1×2.5+ 6×1.5		车辆与挂车间 电器线路用
公路车辆用铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低压电线	QVVR	70				
公路车辆用铜芯聚氯乙烯绝缘高压点火电线	QGV	70	1, 2, 3 ^①	1	GB/T 14820.2	车辆发动机高压点火系统线路连接之用
公路车辆用铜芯聚氯乙烯-丁腈复合物绝缘高压点火电线	QGF					
公路车辆用铜芯耐热 150℃聚氯乙烯绝缘高压点火电线	QGV-105	105				
公路车辆用铜芯天然丁苯橡胶绝缘氯丁护套高压点火电线	QQXF	70				
公路车辆用铜芯天然丁苯橡胶绝缘聚氯乙烯护套高压点火电线	QGXV					
公路车辆用阻尼芯聚氯乙烯绝缘高压点火电线	QGZV	70	1, 2, 3	2 ^②	GB/T 14820.3	车辆发动机高压点火系统用, 具有抑制和衰减点火系统所产生的对通讯设备干扰的无线电波
公路车辆用阻尼芯聚氯乙烯-丁腈复合物绝缘高压点火电线	QGZF					
公路车辆用阻尼芯耐热 105℃聚氯乙烯绝缘高压点火电线	QGZV-105	105				
公路车辆用阻尼芯天然丁苯橡胶绝缘聚氯乙烯护套高压点火电线	QGZXV	70				
公路车辆用阻尼芯天然丁苯橡胶绝缘氯丁护套高压点火电线	QGZXF					

① 1, 2, 3 为电线外径代号。

② 2 为阻尼芯标称直径。

其使用要求如下。

- ① 要求具有良好的耐热、耐寒和防潮等性能。
- ② 必须具有一定的耐油性和不延燃性。

- ③ 要求具有适当的柔软性。
- ④ 要求具有良好的电气性能和抗臭氧能力，且不发生表面放电。
- ⑤ 要求具有抑制和衰减自己产生电磁干扰波的能力。
- ⑥ 要求电缆（电线）采用分色标识。

其结构特征如下。

① 导体：除阻尼芯高压点火电线采用具有均匀电阻值的高电阻合金丝卷绕而成的电抗线芯，或具有均匀电阻值的纤维等材料组成的电阻线芯外，其余品种均采用铜线或镀锡铜线，按 GB 3956 标准规定的第 3 种结构绞合。

② 绝缘：低压电缆（电线）的绝缘一般采用聚氯乙烯、耐热聚氯乙烯、聚氯乙烯-丁腈复合物等材料；高压点火电线的绝缘，除采用上述材料外，还可以采用电性能优良的天然丁苯橡胶等。

(2) 铁路机车车辆用电线（电线） 其品种和用途见表 10.1.85。

表 10.1.85 铁路机车车辆用电线（电线）品种和用途

产品名称	型号	长期最高工作温度 /℃	额定电压 /kV	规格 /mm ²	标准	用途
铜芯天然丁苯橡胶绝缘氯丁橡胶护套铁路机车车辆用电线（电线）	DCXF/2	70	0.75	1~300	GB 12528.2	交流额定电压 1.5kV 及以下的铁路机车车辆上作敷设连接线用
			1.5	1.5~300		
铜芯氯磺化聚乙烯绝缘机车车辆用电线（电线）	DCH/3	70	0.75	0.5~300	GB 12528.3	交流额定电压在 750V 及以下的机车车辆上作敷设连接线用
铜芯耐热 100℃ 氯磺化聚乙烯绝缘机车车辆用电线（电线）	DCH/3-100	100	0.75	0.5~300		
铜芯乙丙绝缘氯磺化聚乙烯护套铁路机车车辆用电线（电线）	DCEH/3	70	0.75	0.5~300	GB 12528.4	交流额定电压 3kV 及以下的铁路机车车辆上作敷设连接线用
			1.5	1~300		
			3.0	2.5~300		
铜芯耐热 100℃ 乙丙绝缘氯磺化聚乙烯护套铁路机车车辆用电线（电线）	DCEH/3-100	100	0.75	0.5~300	GB 12528.4	交流额定电压 3kV 及以下的铁路机车车辆上作敷设连接线用
			1.5	1~300		
			3.0	2.5~300		

其使用要求如下。

- ① 要求电缆（电线）的外径尽可能地缩小，并具有较好的柔软性和弯曲性。
- ② 要求电缆（电线）具有优良的电气性能、耐油性能、较高的耐温等级以及较好的滞燃性。

其结构特征如下。

① 导体：采用 GB 3956 标准中规定的第 3 种或第 4 种软结构，铜单线可以镀锡或不镀锡，如采用不镀锡，导体与绝缘之间应有隔离层。

② 绝缘：根据不同的耐温等级，选择相适应的绝缘材料，如天然丁苯橡胶、乙丙橡胶、氯磺化聚乙烯等。

(3) 船用电缆 船用电缆是供江河湖海船舶及其水上浮动建筑物用的电力、照明、信号控制及通信联系的专用产品。它包括船用电力电缆、船用控制电缆、船用通信电缆三大系列。船用电缆也可用于性能要求类似的其他场合，如户外大型起重设备用电源线等。这里主要介绍船用电力电缆和船用控制电缆。

船用电力电缆品种和用途见表 10.1.86。船用控制电缆品种和用途见表 10.1.87。

其使用要求如下。

- ① 要求电缆重量轻、外径小，具有一定的柔软性。
- ② 要求电缆能适应各种气候温度的变化。
- ③ 要求电缆耐热、防潮等性能优良，耐油性要好。

表 10.1.1.86 船用电力电缆品种和用途

产品名称	型号				额定电压 /kV	长期允许工作温度 /°C	规格		标准	用途
	非铠装型	钢丝编织	钢丝编织	软结构 (非铠装型)			芯数	截面 /mm ²		
乙丙绝缘船用电力电缆	CEF/DA	CEF 80/DA CEF 82/DA	CEF 90/DA CEF 92/DA	CEFR/DA	0.6/1	85	1 2 3 4~37 ^①	1~300 1~120 1~185 1~2.5	GB 9331.2	适用于各种内河船舶及海上石油平台等水上建筑物输电能用
	CEH/DA	CEH 80/DA CEH 82/DA	CEH 90/DA CEH 92/DA	CEHR/DA						
	CEV/DA	CEV 80/DA CEV 82/DA	CEV 90/DA CEV 92/DA							
聚氯乙烯绝缘和护套船用电力电缆	CVV/DA	CVV 80/DA	CVV 90/DA CVV 92/DA			60			GB 9331.3	适用于各种内河船舶及海上石油平台等水上建筑物输电能用
	CXF	CXF 80	CXF 90 CXF 92	CXFR						
天然丁苯橡皮绝缘船用电力电缆	CXV	CXV 80	CXV 90 CXV 92			70			GB 9331.4	适用于各种内河湖泊船舶及近海渔轮等传输电能用
	CJV/DA	CJV 80/DA	CJV 90/DA CJV 92/DA							
交联聚乙烯绝缘船用电力电缆						85			GB 9331.5	适用于各种内河船舶及海上石油平台等水上建筑物输电能用

① 4~37芯的序列为：4, 5, 7, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 27, 30, 33, 37。

表 10.1.87 船用控制电缆品种和用途

产品名称	型号			额定电压 /V	长期允许工作温度 /℃	规格		标准	用途
	非铠装型	铜丝编织	铜丝编织			芯数	截面 /mm ²		
乙丙绝缘船用控制电缆	CKEF/DA	CKEF 80/DA	CKEF 90/DA	250	85	2~37 ^①	0.75, 1	GB 9332.2	适用于各种河海船舶及海上石油平台等水上建筑物仪器仪表和控制设备用
		CKE 82/DA							
	CKEH/DA	CKEH 80/DA	CKEH 90/DA CKEH 92/DA						
聚氯乙烯绝缘船用控制电缆	CKEV/DA	CKEV 80/DA	CKEV 90/DA CKEV 92/DA	250	60	2~37 ^①	0.75, 1	GB 9332.3	适用于各种河海船舶及海上石油平台等水上建筑物仪器仪表和控制设备用
		CKV 82/DA							
	CKVV/DA	CKVV 80/DA CKV 82/DA	CKVV 90/DA CKVV 92/DA						
天然丁苯绝缘船用控制电缆	CKXF	CKXF 80	CKXF 90 CKXF 92	250	70	2~37 ^①	0.75~2.5	GB 9332.4	适用于各种内河湖泊船舶及近海渔轮等的仪表和控制设备用
		CKX 82							
	CKXV	CKXV 80	CKXV 90 CKXV 92						
交联聚乙烯绝缘船用控制电缆	CKJV/DA	CKJV 80/DA	CKJV 90/DA CKJV 92/DA	250	85	2~37 ^①	0.75, 1	GB 9332.5	适用于各种河海船舶及海上石油平台等水上建筑物仪器仪表和控制设备用
		CKJ 82/DA							

① 2~37芯的序列为：2, 4, 7, 10, 14, 19, 24, 30, 37。

其结构特征如下。

① 导体：采用铜导体。其中船用控制电缆和固定敷设的船用电力电缆，采用 GB 3956 中规定的第 2 种绞合结构；移动敷设的船用电力电缆，采用 GB 3956 中规定的第 3 种结构。橡皮绝缘的电缆导体单线应镀锡，塑料绝缘的电缆导体可不镀锡。

② 绝缘：按不同的使用场合，选择天然丁苯橡皮、乙丙橡皮、聚氯乙烯、交联聚乙烯等为基料的不同耐温等级的材料。如 CE 系列采用 XJ-30A 型绝缘；CX 系列采用 XJ-10A 型绝缘；CS 系列采用 XJ-80A 型绝缘；CV 系列采用 VJ-10A 型绝缘；CJ 系列采用 VJ-30A 型绝缘。

6. 地质勘探和采掘用电线电缆

地质勘探和采掘用电线电缆 按其使用特征来区分，可分为地质普查用的检测电缆、钻井时测量各种参数用的钻探电缆（测井电缆）、油田生产用电缆以及固体矿采掘用电缆（矿用橡套软电缆）四个系列。

(1) 检测电缆 检测电缆是用于地质普查中接收系统的仪表和地震仪、检波器、磁力仪等探测仪器的连接线。

其品种和用途见表 10.1.88。

表 10.1.88 检测电缆品种和用途

产品名称	型号	额定电压 /V	允许使用 环境温度 /℃	规格/mm ²	用途
航空核旋 磁力仪电缆	WFL	250	-40 ~ +50	1×10+13×0.5	供连接航空核旋磁力仪传 输磁化电流和信号，作为航 空探测普查地下资源用
航空磁通 门磁力仪电 缆	WFT	250	-40 ~ +50	19×0.5 其中有四根屏蔽芯	电缆供航空探测普查地下 资源的航空磁通门磁力仪作 为传输电流和信号用
测磁电缆	SC-13A SC-13B SC-15 SC-20	250 500	-20 ~ +40	15×0.4 20×0.4	供固定或移动式的配套装 置上测量大地（海底）的磁 场
磁带地震 检波仪用电 缆	WTCV WTCH			28×0.33 30×0.33	供地质勘探作检波器与磁 带地震仪之间传输信号用
放射性河 海测量电缆	WF	直流 1200	-30 ~ +60	1×0.93+1×0.3+5×0.5	供放射性同位素河海含沙 量计中传输电力和信号用
深海测量 电缆	WCHF-4	直流 80	-20 ~ +40	7×0.56	供深海中声波测量用
石油勘探 检波器用软 电缆	WEYF-1		-50 ~ +50	2×0.3 3×0.3	供石油与地质勘探仪器数 字地震仪中检波器连接用

其使用要求如下。

- ① 要求电缆具有较高的电气性能和防干扰能力，且导体电阻应与检测仪器匹配。
- ② 陆地上使用的电缆，应具有一般野外用移动电缆的特性，柔软、耐磨，具有一定的机械性能。
- ③ 海洋中使用的电缆，应具有一定的防水性能和防腐性能。
- ④ 航空中使用的电缆，应轻便、柔软，本身无磁性。

其结构特征如下。

- ① 承受拉力的电缆可采用尼龙或钢丝绳作加强芯。

- ② 导电线芯采用铜丝或镀锡铜丝, 并按 GB 3956 标准规定的第 2 种结构绞合。
 ③ 绝缘采用天然丁苯橡皮、乙丙橡皮、聚氯乙烯等, 按需要采用铜丝或镀锡铜线编织进行分相屏蔽。
 ④ 内护套采用挤包一层聚乙烯作为防水层。外护套采用氯丁橡皮、聚氯乙烯等。

(2) 钻探电缆(又称测井电缆) 钻探电缆用于矿床位置确定以后, 钻井作进一步的勘探、或钻成井后破层出油, 或生产一段时间后的再次勘测。

其品种和用途见表 10.1.89。

表 10.1.89 钻探电缆品种和用途

产品名称	型号	规格	额定拉断力/kN	标称制造长度/m	用途
F46 绝缘超深井石油勘探电缆	WTF、WTFP WTFPP	7×0.56	69	8000	用于超深井勘测石油和天然气等测井工作之用
深井石油勘探电缆	WTB、WTE WTBP、WTBPP	7×0.56	59	5500	用于陆地与海洋的各类油气井的测井、射孔、取芯等作业之用
六芯油矿测井电缆	W6X-3 WCL4	6×0.56	29	2200 3500	用于勘测石油和天然气等测井工作之用
野外用高强度轻便测井电缆	WTJHQ-1	7×0.88	9.8	1200	用于煤田、金属矿等测井工作等用
轻便加强型多芯物探测井电缆	WTJYV-0.5	10×0.56	4.9	1200	用于交流 50Hz, 250V 以下, 煤田、金属矿小口径综合测井工作之用
三芯橡套轻便电测电缆	WTJHY-0.35 WTJYH-0.35	3×0.88	3.4	350	用于浅井勘测或一般水文测井工作之用
三芯轻便电缆	WTJYV-0.2 WTJNV-0.2	3×0.5	2.0	350	用于浅井勘测及一般水文测井工作之用
地球物理用野外测井电缆	WJHG-0.3 WJHG-0.6 WJHG-1.0	3×1.0 3×2.5 3×2.5	2.9 5.9 9.8	800 800 1000	用于井深不超过 1000m 钻孔, 从事测井工作之用

其使用特点和要求如下。

- ① 要求电缆能承受较大的拉力, 并且在长期受力情况下, 伸长率尽量小而稳定。
 ② 电缆所用的绝缘和护套材料应满足与井下温度相应的耐热老化性能要求。
 ③ 要求电缆结构紧密, 电缆的绝缘、护套以及铠装钢丝具有承受各种化学物质侵蚀的能力。
 ④ 要求电缆具有足够的机械强度, 耐摩擦, 柔软。

其结构特征如下。

① 钻探电缆的制造长度是确定电缆结构、材料的依据。制造长度根据使用井的深度来确定。一般, 固体矿井用电缆长度在 1200m 以下, 油、气井用的电缆长度在 1000~8000m 之间。

② 一般情况, 导电线芯采用镀锡铜丝, 并按 GB 3956 标准规定的第 2 种结构绞合。有的品种(如野外用高强度轻便测井电缆)为增加拉断力, 采用镀锡铜丝和镀锡铜丝混绞结构。六芯油矿测井电缆则在线芯中间放置苧麻加强绳, 既承受拉力, 又比较柔软。

③ 绝缘可采用天然丁苯橡皮、乙丙橡皮、聚丙烯塑料和氟塑料等。

(3) 油田生产用电缆 其品种和用途见表 10.1.90, 使用要求和结构特征见表 10.1.91。

(4) 采掘用电线电缆(矿用橡套软电缆) 为井下或地面开采煤炭和各种矿石提供电力的电线电缆被称为采掘用电线电缆。它包括电力电缆、架空电缆等通用类产品以及矿用橡套软电缆专用类产品。

表 10.1.90 油田生产用电缆品种和用途

产品名称	型号	额定电压 /kV	长期允许工作 温度 /℃	井下允许 环境温度 /℃	规格		标准	用途		
					芯数	截 面 /mm ²				
电动潜 油泵引接 电缆	WQYEN10	1.8/3	175	120	3	10.0, 13.2,	JB 5332.2	适用于额定电压 3.6/6kV 及以下电动潜油(包括潜水、 潜卤)泵机组用引接电缆,引 接电缆下端与潜板式电机接 线盒相连,上端与馈电用电力 电缆相连接		
	WQYEE10	3.6/6				16.0, 20.0				
	WQYEH10	1.8/3				16.0				
	WQYEQ10					10.0, 13.2,				
	WQYFQ10					16.0, 20.0				
电动潜 油泵扁形 电力电缆	WQPN10、WQPF10、WQPN12、 WQPF12、WQYN10、WQYN12	1.8/3 3.6/6	100	90	3	16.0, 20.0, 33.5, 42.5	JB 5332.3	适用于额定电压 3.6/6kV 及以下电动潜油(包括潜水、 潜卤)泵机组用扁形电力电 缆,电缆下端与引接电缆相 连,上端与地面控制柜相连接		
	WQEN10、WQEN12		140	120		16.0, 20.0				
	WQEE10、WQEE12、WQEH10、 WQEH12、WQEQ10		150							
	WQPNY10、WQPFY10、 WQPNY12、WQPFY12、 WQYNY10、WQYNY12	1.8/3 3.6/6	100	90	3	16.0 20.0 33.5 42.5			JB 5332.4	适用于额定电压 3.6/6kV 及以下电动潜油(包括潜水、 潜卤)泵机组用圆形电力电 缆,电缆下端与引接电缆相 连,上端与地面控制柜相连接
	WQENY10、WQENY12		140	120						
	WQEY10、WQEY12、 WQEHY10、WQEHY12		150							
油井加 热电缆	WJVG-1 WJVG-2	1.0	105	不低于-40 不低于-15	1	25, 30	企业标准	适用于油井井下钢管敷设 中,由电缆与钢管组成的加热 系统,为油井采油输油管道提 供加热用		
	WMBY WMBHY	0.38	120	不低于-5	3	8, 10			企业标准	油井含蜡量高时,将电缆放 入井内通电加热,提高油温

表 10.1.91 油田生产用电缆使用要求和结构特征

产品名称	使用要求	结构特征
电动潜油泵引接电缆	要求电缆耐油性好, 导体密封, 耐温等级高, 外形尺寸小 (一般为扁形)	导体为实心圆铜线, 绝缘采用组合型结构, 如聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜与乙丙橡皮组合, 聚酰亚胺-氟 46 复合薄膜与可熔性聚四氟乙烯组合, 并采用丁腈橡皮、乙丙橡皮、铅、氯磺化聚乙烯等作内护套, 还可包覆适当的耐油垫层, 最后将三根包覆内护套或耐油垫层的线芯平行排列, 用镀锌钢带或合金钢带连锁铠装
电动潜油泵电力电缆	当油管与套管间空隙较小时, 应采用扁形电缆。敷设时弯曲半径应不小于 500mm	导体为实心圆铜线, 或按 GB 3957 规定的绞合结构, 当采用聚丙烯作绝缘材料时, 导体为镀锡铜导体。绝缘还可以采用交联聚乙烯、乙丙橡皮等, 一般只需单一绝缘。圆形结构的电缆, 绝缘线芯绞合成缆后, 再挤包内护套。内护套的种类有丁腈橡皮、丁腈聚氯乙烯复合物、乙丙橡皮、氯磺化聚乙烯等。外护层可以是裸钢带铠装结构, 也可以是钢带铠装层外再挤包聚氯乙烯的结构
油井加热电缆	要求发热量大, 外径小, 重量轻, 耐腐蚀, 耐弯曲, 长度满足井深的要求	采用 GB 3957 规定的绞合铜导体, 为增加拉断力, 也可以采用镀锌钢丝与软铜线混绞结构 绝缘采用绕包交联聚乙烯、聚酯等薄膜, 或挤包交联聚乙烯、改性聚丙烯塑料等 护套可用耐油橡皮或塑料, 加双细钢丝铠装

其品种和用途见表 10.1.92。

其使用特点和要求如下。

- ① 移动频繁, 要求电缆的护套有较好的耐磨性和抗张强度。
- ② 经常受到弯曲和扭转, 要求电缆有较好的柔软性能和耐多次弯曲与扭转性能, 并要求必须使用铜作为导体材料。
- ③ 经常受到机械外力的破坏, 要求电缆的绝缘与护套有足够的耐冲击与耐挤压性能。
- ④ 有燃烧的危险性, 要求电缆具有一定的阻燃性能。
- ⑤ 有漏电现象, 要求电缆有足够的电气绝缘性能和接地信号的传递性能 (可靠和灵敏的继电保护系统), 以保障人身安全。

其结构特征如下。

- ① 导体: 常采用 GB 3956 标准中规定的第 3 种软结构; 矿工帽灯线柔软性要求更高, 因此, 采用 GB 3956 标准中规定的第 4 种软结构。

电钻电缆、矿工帽灯线、采煤机电缆常采用镀锡铜导体; 移动电缆导体一般不镀锡, 包隔离层来防止铜导体氧化和增加导体与绝缘的滑移性。

- ② 绝缘: 为了使电缆具有足够的电气绝缘性能, 采用天然丁苯橡皮和乙丙橡皮, 绝缘厚度根据工作电压来确定。为了方便接线, 绝缘线芯应采用分色标识。

绝缘线芯成缆时, 线芯中央应有成型橡皮填芯。

- ③ 屏蔽: 额定电压为 3.6/6kV 电缆, 必须有导体屏蔽, 屏蔽层的型式可采用半导体挤包层或半导体带包层等。

一般屏蔽型电缆的绝缘屏蔽层结构采用半导体挤包层, 或半导体带包层 + 金属/纤维编织层, 或胶布带 + 金属/纤维编织层等。在 0.66/1.14kV 采煤机电缆和 3.6/6kV 移动式电缆中, 采用了带有监视线芯的结构, 以实现地线断线时的自动保护。

五、部分产品的载流量

通用橡套绝缘软电缆 (电线) 连续负荷载流量见表 10.1.93。固定敷设用单芯聚氯乙烯绝缘电缆 (电线) 连续负荷载流量见表 10.1.94。固定敷设用橡皮绝缘电缆 (电线) 连续负荷载流量见表 10.1.95。连接用聚氯乙烯绝缘软电缆 (电线) 连续负荷载流量见表 10.1.96a。耐热聚氯乙烯绝缘电线连续负荷载流量见表 10.1.96b。

表 10.1.92 矿用橡套软电缆品种和用途

产品名称	型号	额定电压/kV	长期允许工作温度/℃	规格				标准	用途
				动力线芯截面/mm ²	动力线芯	地线芯	控制线芯		
采煤机橡套软电缆	UC-0.38/0.66	0.38/0.66	65	16~50	3	1	3,4,7	GB 12972.2	适用于额定电压 0.38/0.66kV 和 0.66/1.14kV 采煤机及类似设备的电源连接
采煤机屏蔽橡套软电缆	UCP-0.38/0.66	0.38/0.66	90	35~95	3	1	3	GB 12972.3	适用于额定电压 0.66/1.14kV 及以下采煤机及类似设备的电源连接。UCPJB 可直接拖曳使用,UCPJR 必须在保护链板内使用
	UCP-0.66/1.14	0.66/1.14							
采煤机屏蔽监视编织加强型橡套软电缆	UCPJB-0.66/1.14	0.66/1.14	90	35~95	3	1	2	GB 12972.3	适用于额定电压 0.66/1.14kV 及以下采煤机及类似设备的电源连接。UCPJB 可直接拖曳使用,UCPJR 必须在保护链板内使用
采煤机屏蔽监视绕包加强型橡套软电缆	UCPJR-0.66/1.14	0.66/1.14							
采煤机金属屏蔽橡套软电缆	UCPT-0.66/1.14	0.66/1.14	90	16~95	3	1	1 (监视线芯)	GB 12972.4	适用于额定电压 0.66/1.14kV 及以下采煤机及类似设备的电源连接
矿用移动橡套软电缆	UY-0.38/0.66	0.38/0.66	65	4~70	3	1	0	GB 12972.5	适用于额定电压 0.38/0.66kV 和 0.66/1.14kV 各种井下移动采煤设备的电源连接
	UY-0.38/0.66	0.38/0.66							
	UY-0.66/1.14	0.66/1.14							
矿用移动屏蔽橡套软电缆	UYPI-3.6/6	3.6/6	90	25~50	3	1	3 (监视线芯)	GB 12972.6	适用于额定电压 3.6/6kV 的井下移动变压器及类似设备的电源连接
矿用移动屏蔽监视型橡套软电缆	UY-3.6/6	3.6/6	90	16~50	3	1	0	GB 12972.7	适用于额定电压 3.6/6kV 移动式地面矿山机械电源连接。UY、UYPT 环境温度下限为 -20℃,UYPD、UYPTD 环境温度下限为 -40℃
	UYPD-3.6/6	3.6/6							
	UYPT-3.6/6	3.6/6							
	UYPTD-3.6/6	3.6/6							
矿用电钻电缆	UZ-0.3/0.5	0.3/0.5	65	2.5,4	3	1	0,1	GB 12972.8	适用于额定电压 0.3/0.5kV 以下电钻的电源连接
矿用屏蔽电钻电缆	UZP-0.3/0.5	0.3/0.5	65	1.0~2.5	2,3,4,7,12	0	0	GB 12972.9	适用于煤矿井下巷道照明、运输机联锁和控制与信号设备电源连接
矿用移动轻型橡套软电缆	UYQ-0.3/0.5	0.3/0.5	65	0.75,1.2	2	0	0	GB 12972.10	用于各种酸、碱性矿灯,UM-1 护套具有耐燃烧性能
矿丁帽灯电缆	UM UM-1	5V (直流)	65						

表 10.1.93 通用橡套绝缘软电缆(电线)连续荷载流量/A

型号	YQ YQW YZ YZW YC YCW				
电压	450/750V				
芯数	一芯 ^①	二芯	三芯	四芯	五芯
截面/mm ²	铜	铜	铜	铜	铜
1.5	20	16	14	13	12
2.5	27	23	19	18	16
4	36	30	26	24	22
6	47	39	33	30	28
10	65	55	47	43	40
16	85	73	62	56	53
25	115	96	83	71	70
35	145	120	100	98	
50	175	145	125	115	
70	220	185	160	140	
95	265	220	195	170	
120	310		225	195	
150	360		255	220	
185	410				
240	490				
300	560				
400	670				
工作温度/℃	65				
环境温度/℃	40				

① 单芯电缆成束敷设时以此栏数据为基准数据。四芯、五芯电缆用于三相交流系统时按三芯电缆选择载流量。

表 10.1.94 固定敷设用单芯聚氯乙烯绝缘电缆(电线)连续荷载流量/A

型号	BV BLV							
电压	450/750V							
排列	○○ ^②		○ ^② ○○		○○○ ^②		○○○ ^①	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	19	16	14	11	14	11	20	16
2.5	26	20	19	15	20	16	27	21
4	34	28	26	20	27	21	36	28
6	44	35	33	26	34	27	46	36
10	62	48	48	36	49	37	64	49
16	85	65	65	50	67	52	86	66
25	110	87	88	69	91	71	115	90
35	135	105	110	86	115	89	140	110
50	170	130	135	105	140	110	175	135
70	220	165	175	135	180	140	225	175
95	270	210	220	170	225	175	275	215
120	320	245	260	200	265	205	325	250
150	360	285	305	230	310	240	370	290

续表

型 号	BV BLV							
电 压	450/750V							
排 列	○○ ^②		○○ ^② ○○		○○○ ^②		○○○ ^①	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
185	425	325	355	270	360	280	430	335
240	510	390	420	325	435	340	515	400
300	570	455	490	380	510	395	600	465
400	690	540	580	445	600	470	700	550
工作温度/℃	70							
环境温度/℃	40							

① 电缆之间距离等于电缆外径。单芯电缆成束敷设时以此栏数据为基准数据。

② 电缆相互接触。

表 10.1.95 固定敷设用橡皮绝缘电缆（电线）连续负荷载流量/A

型 号	BX BLX							
电 压	450/750V							
芯 数	单 芯				二 芯		三 芯	
排 列	○○ ^②		○○○ ^①		○		○	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	14	—	20	—	16	—	14	—
2.5	19	15	26	21	23	18	19	28
4	25	20	35	28	30	24	26	20
6	32	26	45	35	39	31	33	26
10	46	35	62	48	55	42	46	35
16	62	48	83	65	73	56	62	48
25	85	66	110	87	96	75	83	65
35	105	82	140	105	120	93	100	80
50	130	100	170	130	145	110	125	98
70	165	130	215	165	185	145	260	125
95	210	160	265	205	225	175	200	155
120	245	190	310	240	265	205	230	180
150	285	220	360	275				
185	330	255	410	320				
240	395	310	490	385				
300	460	360	560	445				
400	535	425	670	525				
工作温度/℃	65							
环境温度/℃	40							

① 电缆之间距离等于电缆外径。单芯电缆成束敷设时以此栏数据为基准数据。

② 电缆相互接触。

表 10.1.96a 连接用聚氯乙烯绝缘软电缆(电线)连续负载流量/A

型 号	BVV BLVV BVVB BLVVB						
电 压	300/500V						
芯 数	一芯 ^①	二 芯		三 芯		四 芯	五 芯
截面/mm ²	铜	铜	铝	铜	铝	铜	铜
0.75	15	—	—	9	—	—	—
1.05	17	—	—	11	—	—	—
1.5	22	18	—	16	—	14	13
2.5	30	25	20	21	17	20	18
4	39	33	26	28	22	26	24
6	50	43	34	36	29	33	31
10	69	59	45	51	39	46	43
16	—	105	—	68	—	61	57
25	—	125	—	91	—	82	77
35	—	—	—	110	—	100	95
工作温度/℃	70						
环境温度/℃	40						

① 单芯电缆成束敷设时以此栏数据为基准数据。四芯、五芯电缆用于三相交流系统时按三芯电缆选择载流量。

表 10.1.96b 耐热聚氯乙烯绝缘电线连续负载流量/A

型 号	BV-105			
电 压	450/750V			
排 列	○○ ^②	○○ ^②	○○○ ^②	○○○ ^①
截面/mm ²	铜	铜	铜	铜
0.5	15	11	11	16
0.75	19	13	14	20
1.0	23	16	17	24
1.5	29	21	22	30
2.5	40	29	30	41
4	53	39	40	54
6	67	51	52	70
工作温度/℃	105			
环境温度/℃	40			

① 电缆之间距离等于电缆为径。单芯电缆成束敷设时以此栏数据为基准数据。

② 电缆相互接触。

第五节 电力电缆

电力电缆在供电系统中起着传输和分配电能的作用。电力电缆的基础建设费用高于架空线路,但却有以下优点:

- ① 线间绝缘距离小,占地少,作为地下敷设时不占空间;
- ② 受气候和周围环境影响小,送电安全可靠;
- ③ 不易污染环境,运行维护工作量小。

电力电缆常用于城市的地下电网、发电站的引出线路、工矿企业内部的供电以及过江、过海等水下输电线路等。

一、分类

电力电缆的结构复杂,品种繁多。按绝缘材料的类型可分为纸绝缘电力电缆、自容式充油电缆、塑料绝缘

电力电缆（包括塑料绝缘架空电力电缆）。按导电线芯类别可分为铝芯电力电缆和铜芯电力电缆。还可按电缆的特殊性能进行分类，如阻燃电力电缆、低烟低卤电力电缆、低烟无卤电力电缆和耐火电力电缆等。

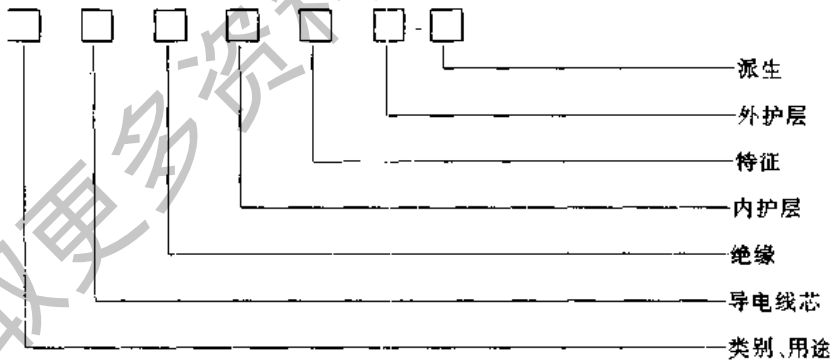
电力电缆的名称及代表产品型号见表 10.1.97。

表 10.1.97 电力电缆名称及代表产品型号

绝缘类型	名称	电压等级 /kV	执行标准	允许工作温度 /°C	代表产品型号
聚氯乙烯绝缘	聚氯乙烯绝缘电力电缆	1~10	GB 12706.1—91 GB 12706.2—91	70	VV、VLV、VY、VV22、VLV22、VV23、VV32、VV33、VV42、VV43
交联聚乙烯绝缘	交联聚乙烯绝缘电力电缆	1~35	GB 12706.1—91 GB 12706.3—91	90	YJV、YJLV、YJV、YJV22、YJLV22、YJV32、YJV23、YJV42、YJV43、YJV33
		110	GB 11017—89		
粘性油浸纸绝缘	粘性油浸纸绝缘金属套电力电缆	交流 1~35 直流 1~75	GB 12976.1—91 GB 12976.3—91	1~6kV: 80 10~15kV: 70 20kV: 65 35kV: 60	ZL、ZL22、ZQ、ZQ22、ZLQ22、ZLL22、ZL23、ZQ23、ZQ32、ZQ41
不滴流油浸纸绝缘	不滴流油浸纸绝缘金属护套电力电缆	交流 1~35 直流 1~75	GB 12976.1—91 GB 12976.2—91	1~6kV: 80 10~15kV: 70 20~35kV: 65	ZLD、ZLD22、ZQD、ZQD22、ZLQD22、ZLLD22、ZLD23、ZQD23、ZQD32、ZQD41
油纸绝缘	油纸绝缘自容式充油电缆	110~330	GB 9326.2—88	—	CYZQ102 CYZQ302 CYZQ141
—	架空绝缘电缆	1	GB 12527—90	PE、PVC: 70 XLPE: 90	JKV、JKLV、JKLHV、JKY、JKLY、JKLHY、JKYJ、JKLYJ、JKLHYJ
		10、35	GB 14049—93	HDPE: 75 XLPE: 90	JKYJ、JKTRYJ、JKLYJ、JKLHYJ、JKY、JKTRY、JKLY、JKLHY、JKLYJ/Q、JKLHYJ/Q、JKLY/Q、JKLHY/Q

二、型号表示方法

电力电缆的表示方法如下：

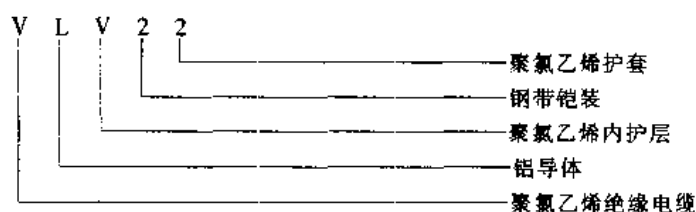


各部分代号含义如表 10.1.98 所示。

表 10.1.98 电力电缆各部分代号含义

类别、用途	导体	绝缘	内护层	特征	铠装层	外护层
N—农用电线 V—聚氯乙烯塑料绝缘电缆 X—橡皮绝缘电缆 YJ—交联聚乙烯绝缘电缆 Z—纸绝缘电缆	L—铝线芯	V—聚氯乙烯 X—橡皮 Y—聚乙烯	H—橡胶套 F—氯丁橡皮护套 L—铅套 Q—铅套 V—聚氯乙烯 Y—聚乙烯套	CY—充油 D—不滴流 F—分相护套 P—贫油干绝缘 P—屏蔽 Z—直流	0—无 2—双钢带 3—细圆钢丝 4—粗圆钢丝	0—无 1—纤维层 2—聚氯乙烯套 3—聚乙烯套

举例:



该产品名称为铝芯聚氯乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆。

三、常用电力电缆

1. 塑料绝缘电力电缆

塑料绝缘电力电缆（简称塑料绝缘电缆）主要有聚氯乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆。它们是由热塑性材料挤包在导电线芯上制成的，交联聚乙烯绝缘线芯经过交联而形成热固性的交联聚乙烯绝缘线芯。交联的方法主要有两种：一种是经过很长时间的加热加压管（即硫化管）进行化学交联；另一种是经过高能电子照射进行交联，即辐照交联。

聚氯乙烯绝缘电缆的电压等级范围是1~10kV，额定电压 U_0 为6kV的电缆应有导体屏蔽和绝缘屏蔽。

交联聚乙烯绝缘电缆可分为中低压交联电缆（电压等级范围为1~35kV）和高压超高压交联电缆（110kV及以上）。交联电缆额定电压在1.8kV以上的应有导体屏蔽和绝缘屏蔽。导体屏蔽和绝缘屏蔽层为半导体层，绝缘屏蔽外再绕包铜带或铜丝，即金属屏蔽。

中低压塑料绝缘电缆的外护层一般为聚氯乙烯护套或聚乙烯护套。当使用环境要求加强电缆的机械性能时，在外护层内用钢带或钢丝铠装，并在铠装层内有内衬层。

高压交联聚乙烯绝缘电缆一般为单芯电缆。如使用环境需要加强电缆的机械性能或其他特殊性能时，可进行铠装、铅包等处理。但要注意的是，在铠装时，铠装层一定要设计成隔磁结构或非磁性结构，以避免涡流损耗。

电缆规格见表10.1.99。

2. 纸绝缘电力电缆

纸绝缘电力电缆包括粘性油浸纸绝缘电力电缆（简称粘性电缆）和不滴流油浸纸绝缘电力电缆（简称不滴流电缆）。这两种电缆广泛用于35kV及以下的电力线路中，区别仅在于浸渍剂的配方不同。粘性浸渍剂主要是由电缆油和松香混合而成；不滴流浸渍剂主要组成是电缆油、松香以及合成地蜡或其他聚合物。

表 10.1.99 电缆规格

型号	芯数	额定电压/kV									
		0.6/1	1.8/3	3.6/6	6/6	6/10	8.7/10	8.7/15	12/20	18/20	26/35
		标称截面/mm ²									
VV VY	1 ^①	1.5~800	10~800	10~1000		—					
VLV VLY		2.5~1000	10~100	10~1000		—					
VV22 VV23 VLV22 VLV23		10~1000	10~1000	10~1000		—					
VV VY	2	1.5~185	10~185	10~150		—					
VLV VLY		2.5~185	10~185	10~150		—					
VV22 VV23 VLV22 VLV23		4~185	10~185	10~150		—					
VV VY	3	1.5~300	10~300	10~300		—					
VLV VLY		2.5~300	10~300	10~300		—					
VV22 VV23 VLV22 VLV23		4~300	10~300	10~300		—					
VV32 VV33 VLV32 VLV33		—	—	16~300		—					
VV42 VV43 VLV42 VLV43		—	—	16~300		—					

型号	芯数	额定电压/kV										
		0.6/1	1.8/3	3.6/6	6/6	6/10	8.7/10	8.7/15	12/20	18/20	26/35	64/110
		标称截面/mm ²										
VV VY VLV VLY	3+1	4~300	10~300	—			—			—		
VV22 VV23 VLV22 VLV23		4~300	10~300	—			—			—		
VV VY VLV VLY	4	4~185	10~185	—			—			—		
VV22 VV23 VLV22 VLV23		4~185	10~185	—			—			—		
YJV YJLV	1 ^①	1.5~800	10~800	25~1200	25~1200	35~1200	50~1200	240				
YJY YJLY		2.5~1000	10~1000	25~1200	25~1200	35~1200	50~1200	300~400				
YJV32 YJLV32 YJV33 YJLV33 YJV42 YJLV42 YJV43 YJLV43		10~1000	10~1000	25~1200	25~1200	35~1200	50~1200	—				
YJLW02 YJLLW02 YJQ02 YJLQ02 YJQ41 YJLQ41		—	—	—	—	—	—	—	500, 630, 800, 1000, 1200			
YJV YJLV		1.5~300	10~300	25~300	25~300	35~300	—	—				
YJY YJLY	2.5~300	10~300	25~300	25~300	35~300	—	—					
YJV22 YJLV22 YJV23 YJLV23 YJV32 YJLV32 YJV33 YJLV33 YJV42 YJLV42 YJV43 YJLV43	3	4~300	10~300	25~300	25~300	35~300	—	—				

① 单芯电缆铠装应采用非磁性材料或减少磁损耗结构。

粘性电缆的制造方便，成本低，但浸渍剂在工作温度下粘度小，易于流淌，因此有落差限制。不滴流浸渍剂的特点是在浸渍温度下为液体，便于浸渍，而在电缆工作温度下呈半固体状态。

20kV、35kV的多芯电缆一般制成分相屏蔽或分相铅包，线芯表面和绝缘层外有半导电纸屏蔽层，并共用一个金属护套。

(1) 绝缘厚度 带绝缘电缆的绝缘厚度见表 10.1.100，单芯电缆及分相铅套电缆的绝缘厚度见表 10.1.101。

表 10.1.100 带绝缘电缆的绝缘厚度

额定电压 U_0/U /kV	标称截面 /mm ²	芯绝缘/mm		带绝缘/mm	
		最小	标称	最小	标称
0.6/1	16	0.6 (0.6)	0.7 (0.7)	0.4	0.5
	25~120	0.7 (0.7)	0.8 (0.8)	0.5	0.6
	150~185	0.9 (1.0)	1.0 (1.1)	0.5	0.6
	240~400	1.0	1.1	0.6	0.7
1.8/3	25~400	1.2	1.3	0.6	0.7
3.6/3	25~400	1.2	1.3	0.9	1.0
3.6/6	25~400	2.1	2.2	0.6	0.7
6/6	25~400	2.1	2.2	1.0	1.1
6/10	25~400	2.7	2.9	0.4	0.5
8.7/10	25~400	2.7	2.9	1.2	1.3

注：括号中数值为有一小截面线芯的四芯带绝缘电缆中性线芯绝缘厚度。

表 10.1.101 单芯电缆及分相铅套电缆的绝缘厚度

额定电压 U_0/U /kV	标称截面 /mm ²	绝缘厚度/mm		额定电压 U_0/U /kV	标称截面 /mm ²	绝缘厚度/mm	
		最小	标称			最小	标称
0.6/1	25~70	1.2	1.4	8.7/10, 8.7/15	25~1000	3.6	3.8
	95~120	1.3	1.5	12/15, 12/20	25~1000	4.7	5.0
	150~185	1.4	1.6		35	7.5	7.9
	240	1.6	1.8	18/20	50	7.0	7.4
	300	1.7	1.9		70~1000	6.7	7.1
	400	1.8	2.0	21/35	50	8.7	9.1
	500~1000	2.0	2.2		70	8.2	8.6
1.8/3	50~300	1.8	2.0	26/35	95~1000	8.1	8.5
	400	1.9	2.1		50	11.0	11.4
	500~1000	2.0	2.2	70	10.1	10.5	
3.6/3, 3.6/6	50~1000	2.4	2.6	95	9.9	10.3	
6/6, 6/10	50~1000	2.8	2.9	120~1000	9.7	10.1	

(2) 金属套厚度 电缆的铅套标称厚度见表 10.1.102, 铝套厚度见表 10.1.103。

表 10.1.102 电缆铅套标称厚度/mm

铅套前 假定直径	铅套标称厚度		铅套前 假定直径	铅套标称厚度	
	一般电缆 (护层型号: Q02, Q03, Q20, Q22, Q23, Q30, Q32, Q33)			分相铅套电缆 (护层型号: QF20, QF22, QF23)	裸铅套及粗钢丝铠装电缆 (护层型号: Q40, Q41, QF40, QF41)
22.4 及以下	1.2		11.6 及以下	1.2	1.4
22.5~27.4	1.3		11.7~14.9	1.2	1.5
27.5~32.4	1.4		15.0~18.3	1.2	1.6
32.5~37.4	1.5		18.4~21.6	1.3	1.7
37.5~42.4	1.6		21.7~24.9	1.4	1.8
42.5~47.4	1.7		25.0~28.3	1.5	1.9
47.5~52.4	1.8		28.4~31.6	1.6	2.0
52.5~57.4	1.9		31.7~34.9	1.7	2.1
57.5~62.4	2.0		35.0~38.3	1.8	2.2
			38.4~41.6	1.9	2.3
			41.7~44.9	2.0	2.4
			45.0~48.3	2.1	2.5
			48.4~51.6	2.2	2.6
			51.7~54.9	2.3	2.7
			55.0~58.3	2.4	2.8
			58.4~61.6	2.5	2.9

注: 1. 铅套的最小厚度为 95% 标称厚度 - 0.1mm。

2. 假定直径大于表列数值, 铅套厚度应递增。

表 10.1.103 电缆铝套厚度/mm

铝套前直径	铝套厚度		铝套前直径	铝套厚度	
	最小	标称		最小	标称
12.00~20.00	1.00	1.20	40.01~45.00	1.50	1.70
20.01~25.00	1.10	1.30	45.01~50.00	1.60	1.80
25.01~30.00	1.20	1.40	50.01~55.00	1.70	1.90
30.01~35.00	1.30	1.50	55.01及以上	1.80	2.00
35.01~40.00	1.40	1.60			

3. 架空电缆

架空电缆分架空裸电线和架空绝缘电缆两种。架空裸电线见裸电线篇的介绍，本篇只介绍架空绝缘电缆。

架空绝缘电缆按其绝缘材料又可分为聚氯乙烯绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆。架空绝缘电缆的绝缘材料均为耐候绝缘材料。前两种的电压等级为0.6/1kV，后一种为1kV、10kV、35kV。

架空绝缘电缆的结构是在导体表面挤制一层绝缘塑料。其中10kV、35kV要有导体屏蔽。

(1) 规格 1kV 架空绝缘电缆规格见表 10.1.104，10kV、35kV 架空绝缘电缆规格见表 10.1.105。

表 10.1.104 1kV 架空绝缘电缆规格

型 号	芯 数	额定电压 0.6/1kV	
		标称截面/mm ²	
JKV、JKLV、JKLHV、JKY、JKLY、JKLHY、JKYJ、JKLYJ、JKLHYJ	1	16~240	
	2、4	10~120	
JKLV、JKLY、JKLYJ	3+K ^①	10~120	

① K 为带承载的中性导体，根据配电工程要求，任选其中截面与主线芯搭配。

表 10.1.105 10kV、35kV 架空绝缘电缆规格

型 号	芯 数	额定电压/kV		型 号	芯 数	额定电压/kV	
		10	35			10	35
		标称截面/mm ²				标称截面/mm ²	
JKYJ	1	10~300	50~300	JKLYJ/Q	1	10~300	—
JKTRYJ	3	25~300	—	JKLHYJ/Q			
JKLYJ	3+K(A)	25~300	—	JKLY/Q			
JKLHYJ	或 3+K(B)	其中 K 25~120	—	JKLHY/Q			
JKY	1	10~300	—	JKLYJ/B	3	25~300	—
JKTRY				3+K(A)	25~300	—	
JKLY				或 3+K(B)	其中 K 25~120	—	
JKLHY				JKLHYJ/B	或 3+K(B)	其中 K 25~120	—

(2) 主要技术参数 1kV 架空绝缘电缆和 10kV、35kV 架空绝缘电缆的主要技术参数分别见表 10.1.106 和表 10.1.107。

表 10.1.106 1kV 架空绝缘电缆结构与主要技术参数

导体 标称 截面 /mm ²	紧压圆形导体 中至少单线根数		导体外径 (参考值) /mm	绝缘 标称 厚度 /mm	单芯电缆 平均外径 上 限 /mm	20℃时导体电阻不大于 /(Ω/km)				额定工作温度 时最小绝缘 电阻/(MΩ·km)		电缆抗断力 /N				
	铜芯	铝芯及 铝合金芯				铜	芯	铝	芯	铝	合	70℃	50℃	硬铜芯	铝芯	铝合 金芯
10	6	5	3.8	1.0	6.5	1.906	1.83	3.08	3.574	0.0067	0.67	3471	1650	2514		
16	6	5	4.8	1.2	8.0	1.198	1.15	1.91	2.217	0.0065	0.65	5486	2512	4022		
25	6	6	6.0	1.2	9.4	0.749	0.727	1.20	1.303	0.0054	0.54	8465	3762	6284		
35	6	6	7.0	1.4	11.0	0.540	0.524	0.868	1.007	0.0054	0.54	11731	5177	8800		
50	6	6	8.4	1.4	12.3	0.399	0.387	0.641	0.744	0.0046	0.46	16502	7011	12569		
70	12	12	10.0	1.4	14.1	0.276	0.268	0.443	0.514	0.0040	0.40	23461	10354	17596		
95	15	15	11.6	1.6	16.5	0.199	0.193	0.320	0.371	0.0039	0.39	31759	13727	23880		
120	18	15	13.0	1.6	18.1	0.158	0.153	0.253	0.294	0.0035	0.35	39911	17339	30164		
150	18	15	14.6	1.8	20.2	0.128	—	0.206	0.239	0.0035	0.35	49505	21033	37706		
185	30	30	16.2	2.0	22.5	0.1021	—	0.164	0.190	0.0035	0.35	61846	26732	46503		
240	34	30	18.4	2.2	25.6	0.0777	—	0.125	0.145	0.0034	0.34	79823	34679	60329		

表 10.1.107 10kV、35kV 架空绝缘电缆结构与主要技术参数

导体 标称 截面 /mm ²	导体 中 最 少 单 线 根 数	导体 直 径 (参 考 值) /mm	导体屏蔽层 最小厚度 ^① (近似值) ^② /mm		绝缘标称厚度/mm			绝缘屏蔽层 标称厚度 /mm		20℃时导体电阻 不大于 /(Ω/km)				导体拉断力 不小于 /N		
			10kV	35kV	10kV		35kV	10kV	35kV	硬铜芯	软铜芯	铝芯	铝合 金芯	硬铜芯	铝芯	铝合 金芯
					薄绝缘	普通 绝缘										
			10kV	35kV	薄绝缘	普通 绝缘	10kV	35kV	硬铜芯	软铜芯	铝芯	铝合 金芯	硬铜芯	铝芯	铝合 金芯	
10	6	3.8	0.5	—	—	3.4	—	—	—	—	1.830	3.080	—	—	—	—
16	6	4.8	0.5	—	—	3.4	—	—	—	—	1.150	1.910	—	—	—	—
25	6	6.0	0.5	—	2.5	3.4	—	1.0	—	0.749	0.727	1.200	1.393	8465	3762	6284
35	6	7.0	0.5	—	2.5	3.4	—	1.0	—	0.540	0.524	0.868	1.007	11731	5177	8800
50	6	8.3	0.5	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.399	0.387	0.641	0.744	16502	7011	12569
70	12	10.0	0.5	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.276	0.268	0.443	0.514	23461	10354	17596
95	15	11.6	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.199	0.193	0.320	0.371	31759	13727	23880
120	18	13.0	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.158	0.153	0.253	0.294	39911	17339	30164
150	18	14.6	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.128	—	0.206	0.239	49505	21033	37706
185	30	16.2	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.1021	—	0.164	0.190	61846	26732	46503
240	34	18.4	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.0777	—	0.125	0.145	79823	34679	60329
300	34	20.6	0.6	0.8	2.5	3.4	9.3	1.0	1.5	0.0619	—	0.100	0.110	99788	43349	75411

① 轻型薄绝缘结构架空电缆无外半导电屏蔽层。

② 近似值是既不要保证又不要检查的数值，但在设计与式也制造上需予充分考虑。

四、电力电缆的选择

电力电缆的选择一般从三个方面进行。

1. 绝缘类型的选择

电力电缆选择绝缘类型时主要考虑的因素是电缆的使用寿命以及投资运行中的综合经济指标。各种电力电缆的使用特性见表 10.1.108。

表 10.1.108 电力电缆的使用特性

电缆品种	额定电压/kV 或护套型式	长期允许最高 工作温度/℃	短路允许 温度/℃	敷设时最低 环境温度/℃	允许敷设位差/m
粘性油浸 纸绝缘	0.6/1	80	220	0	无铠装 20、有铠装 25 15 15 5
	6/6	65			
	8.7/10	60			
	26/35	50			
不滴流油 浸纸绝缘	0.6/1~6/6	80	220	0	无限制，可垂直敷设
	8.7/10~26/35	65			
聚氯乙烯 绝缘	0.6~1~6/10	70	160	0	无限制，可垂直敷设
交联聚乙 烯绝缘	0.6/1~26/85	90	250	0	无限制，可垂直敷设
橡皮绝缘	500V 裸铅套 橡胶套 聚氯乙烯套 有外护层的电缆	65	150	-20	无限制，可垂直敷设
				-15	
				-15	
				-7	

注：电缆线路中有中间接头时，短路允许温度要降低，锡焊接头为 120℃，压接接头为 150℃。

2. 电缆外护层的选择

电缆外护层主要按敷设环境以及是否受外力作用来选择。非金属和金属电缆外护层类型及适用场合见表 10.1.109 和表 10.1.110。

表 10.1.109 非金属外护层类型及适用场合

型号	名称	主要适用敷设场所										
		敷设方式							特殊环境			
		室内	隧道	电缆沟	管道	埋地一般土壤	地多砾石	竖井	水下	易燃	严重腐蚀	拉力
12	联锁钢带铠装聚氯乙烯外套	△	△	△		△	△			△	△	
22	钢带铠装聚氯乙烯外套	△	△	△		△	△			△	△	
23	钢带铠装聚乙烯外套	△		△		△	△				△	
32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯外套					△	△	△	△	△	△	△
33	细圆钢丝铠装聚乙烯外套					△	△	△	△		△	△
41	粗圆钢丝铠装纤维外被								△		○	△
42	粗圆钢丝铠装聚氯乙烯外套							△	△	△	△	△
43	粗圆钢丝铠装聚乙烯外套							△	△		△	△
62	铝带铠装聚氯乙烯外套	△	△	△		△	△			△	△	
63	铝带铠装聚乙烯外套	△		△		△	△				△	
441	双粗圆钢丝铠装纤维外被								△		○	△
241	钢带-粗圆钢丝铠装纤维外被								△		○	△

注：△表示适用；○表示当采用涂塑钢丝或具有良好非金属防腐层的钢丝时适用。

表 10.1.110 金属外护层类型及适用场合

型号	名称	被保护的金属套	主要适用敷设场所												
			敷设方式							特殊环境					
			架空	室内	隧道	电缆沟	管道	埋地一般土壤	地多砾石	竖井	水下	易燃	强电干扰	严重腐蚀	拉力
02	聚氯乙烯外套	铅套	△	△	△	△	△					△		△	
		铝套	△	△	△	△	△	△		△		△		△	
		皱纹钢套或铝套	△	△	△	△	△	△				△		△	
03	聚乙烯外套	铅套	△	△		△	△							△	
		铝套	△	△		△	△	△		△				△	
		皱纹钢套或铝套	△	△		△	△	△						△	
22	钢带铠装聚氯乙烯外套	铅套		△	△	△		△	△			△		△	
		铝套或皱纹铝套		△	△	△			△			△	△	△	
23	钢带铠装聚乙烯外套	铅套		△		△		△	△					△	
		铝套或皱纹铝套		△		△			△				△	△	
32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯外套	各种金属套						△	△	△	△	△		△	△
33	细圆钢丝铠装聚乙烯外套	各种金属套						△	△	△	△			△	△
41	粗圆钢丝铠装纤维外被	铅套									△			○	△
42	粗圆钢丝铠装聚氯乙烯外套	铅套								△	△	△		△	△
43	粗圆钢丝铠装聚乙烯外套	铅套								△	△			△	△
441	双粗圆钢丝铠装纤维外被	铅套									△			○	△
241	钢带-粗圆钢丝铠装纤维外被	铅套									△			○	△

注：△表示适用；○表示当采用涂塑钢丝等具有良好非金属防腐层钢丝时适用。


3. 电缆截面选择

电缆截面应根据电缆在线路中所承受的传输容量以及短路电流来进行选择。对于标准系列电缆应按其载流量来选择其截面，并按短路电流来校核其截面。对于大长度电缆还需进行线路压降校核。

单芯非铠装聚氯乙烯绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.111。单芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.112。多芯裸金属套油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.113 ~ 表 10.1.115。三芯非铠装油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.116。分相铅套油纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.117。单芯裸金属套油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.118。分相铅套粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.119。单芯非铠装油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.120。三芯非铠装粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.121。空气中敷设单芯裸金属套粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.122。单芯非铠装粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.123。高压交联聚氯乙烯绝缘电力电缆连续负荷载流量见表 10.1.124。330kV 及以下油纸绝缘自容式充电电缆连续负荷载流量见表 10.1.125。

不同环境温度和不同土壤热阻系数下载流量修正系数见表 10.1.126 至表 10.1.128。空气中电缆（电线）并列敷设时载流量的修正系数见表 10.1.129 和表 10.1.130。

表 10.1.111 单芯非铠装聚氯乙烯绝缘电力电缆连续负荷载流量/A

型 号	VV VLV VY VLY									
	0.6/1		1.8/3							
电 压/kV	0.6/1 1.8/3									
排 列	 三角形（相互接触）									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截 面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	19	—	27	—	25	—	23	—	19	—
2.5	25	19	36	27	33	25	30	21	25	17
4	33	26	47	35	43	32	39	28	33	23
6	41	34	58	46	53	41	48	36	41	29
10	57	44	78	58	71	52	65	46	55	38
16	76	59	100	76	92	68	84	60	72	49
25	98	76	160	98	115	87	105	77	93	64
35	115	90	155	115	140	105	125	93	110	77
50	145	110	185	140	165	125	150	110	130	93
70	180	140	225	170	200	150	185	135	165	115
95	225	175	270	205	240	180	225	165	200	140
120	260	200	310	235	275	205	255	190	230	160
150	309	230	330	265	310	235	290	215	260	185
185	345	270	395	300	350	265	325	245	295	210
240	410	320	455	350	405	310	380	280	340	245
300	475	370	515	395	455	350	430	320	385	280
400	555	440	585	455	515	400	485	370	440	320
工作温度/ $^{\circ}C$	70									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							

型 号	VV VLV VY VLY									
电压/kV	0.6/1 1.8/3									
排 列	○○○扁平形 (相邻间距等于电缆外径)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	24	—	29	—	28	—	28	—	28	—
2.5	31	24	38	30	37	29	36	28	36	28
4	41	32	49	39	47	37	47	37	47	37
6	52	42	61	50	58	48	58	47	58	47
10	72	55	83	64	78	60	77	59	76	59
16	95	73	105	83	100	77	99	76	98	76
25	120	96	135	105	125	99	125	98	125	97
35	150	115	160	125	150	115	150	115	145	115
50	180	140	195	150	175	135	175	135	175	135
70	230	175	240	185	215	170	215	165	210	165
95	280	215	285	220	260	200	255	200	255	195
120	325	250	325	250	295	230	290	225	290	225
150	375	290	365	285	330	255	325	255	325	250
185	430	335	415	320	375	290	370	285	365	285
240	510	395	480	375	435	340	430	335	425	330
300	585	455	545	425	495	385	485	380	480	375
400	690	540	625	490	565	440	555	435	550	430
工作温度/ $^{\circ}C$	70									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							
型 号	VV VLV VY VLY									
电压/kV	3.6/6 6/6 6/10									
排 列	○○○三角形 (相互接触)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	59	45	74	55	71	53	67	49	60	42
16	77	60	96	72	91	68	86	63	77	54
25	99	77	120	92	115	87	105	80	98	69
35	120	93	145	110	135	100	130	95	115	82
50	145	110	170	130	160	120	150	110	135	97
70	180	140	210	160	195	150	185	135	165	115
95	215	170	255	190	235	175	220	160	200	140
120	250	195	290	220	265	200	250	185	225	160
150	285	220	325	245	295	225	280	205	250	175
185	330	255	365	280	330	250	315	230	280	200
240	385	300	425	325	385	290	360	265	325	230
300	445	345	480	365	430	330	405	300	360	260
400	520	410	545	420	485	375	455	345	410	295
工作温度/ $^{\circ}C$	70									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							

续表

型 号	VV VLV VY VLY									
电压/kV	3.6/6 6/6 6/10									
排 列	○○○扁平形 (相邻间距等于电缆外径)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	69	53	76	59	76	58	75	58	75	58
16	90	70	99	76	97	75	97	75	96	75
25	115	90	125	98	120	96	120	95	120	95
35	140	110	150	115	145	110	145	110	145	110
50	170	130	180	140	170	130	170	130	170	130
70	210	165	220	170	210	160	205	160	205	160
95	260	200	265	205	250	195	245	190	245	190
120	300	230	300	235	285	220	280	215	280	215
150	340	265	340	265	315	245	315	245	310	240
185	395	305	385	300	360	280	355	275	350	275
240	465	360	445	345	415	320	410	320	405	315
300	535	415	505	395	465	365	460	360	455	355
400	630	490	580	455	530	415	525	410	520	405
工作温度/ $^{\circ}C$	70									
环境温度/ $^{\circ}C$	40					25				

注： ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.112 单芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	0.6/1 1.8/3									
排 列	○○○三角形 (相互接触)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	26	—	33	—	28	—	25	—	21	—
2.5	34	26	43	32	36	27	32	23	27	18
4	44	35	56	42	47	35	42	30	35	24
6	56	45	70	54	58	45	52	39	43	31
10	77	59	94	69	77	57	69	49	58	40
16	100	78	120	90	100	74	89	64	76	52
25	130	100	155	115	125	95	115	83	98	68
35	160	125	185	135	150	110	135	99	115	82
50	195	150	220	165	180	135	160	115	140	98
70	245	190	270	200	220	165	200	145	175	120

续表

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	0.6/1					1.8/3				
排 列	△三角形 (相互接触)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_a/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
95	300	230	320	240	260	195	240	175	210	145
120	350	270	365	275	300	225	275	200	240	170
150	400	310	410	310	335	255	310	225	275	195
185	465	360	465	355	380	285	350	260	310	220
240	550	430	540	410	440	335	405	300	360	260
300	635	495	610	465	495	375	460	340	410	295
400	745	590	695	535	560	435	520	395	465	340
工作温度/ $^{\circ}C$	90									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							
型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	0.6/1					1.8/3				
排 列	○○○扁平形 (相邻间距等于电缆外径)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_a/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	32	—	45	—	44	—	44	—	44	—
2.5	42	33	59	46	57	45	57	44	57	44
4	56	44	77	61	74	58	73	58	73	57
6	70	57	97	79	92	75	91	74	91	74
10	97	75	130	100	120	95	120	94	120	93
16	125	99	170	135	160	120	155	120	155	120
25	165	125	220	170	200	155	200	155	195	150
35	200	155	265	205	240	185	240	185	235	180
50	245	190	320	245	285	220	280	220	275	215
70	305	240	395	305	350	270	345	265	340	265
95	375	290	475	370	420	325	410	320	405	315
120	435	340	545	420	480	370	470	365	460	355
150	500	390	610	475	535	415	525	405	515	400
185	580	450	695	540	605	470	595	460	585	455
240	685	535	810	630	705	545	690	535	675	525
300	795	615	910	710	795	620	780	605	765	595
400	930	730	1050	820	910	710	890	695	870	685
工作温度/ $^{\circ}C$	90									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							

续表

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	3.6/6~12/20									
排 列	△ 三角形 (相互接触)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	140	110	150	115	130	99	120	89	105	75
35	170	135	180	135	155	115	140	105	125	90
50	205	160	215	160	180	135	170	125	150	105
70	260	200	265	200	220	165	205	150	180	130
95	315	245	315	240	265	200	245	180	215	155
120	360	280	360	270	300	225	275	205	245	175
150	410	320	405	305	335	255	310	230	275	195
185	470	365	455	345	380	285	350	260	310	220
240	555	435	530	400	440	330	405	300	360	255
300	640	500	595	455	495	375	455	340	405	290
400	745	585	680	520	560	430	515	385	460	330
工作温度/℃	90									
环境温度/℃	40		25							
型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	3.6/6~12/20									
排 列	○○○扁平形 (相邻间距等于电缆外径)									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	165	130	160	120	140	110	135	105	135	105
35	205	155	190	145	165	130	160	125	160	125
50	245	190	225	175	195	150	190	150	190	145
70	305	235	275	215	240	185	235	180	230	180
95	370	290	330	255	285	220	280	215	275	210
120	430	335	375	290	325	250	315	245	310	240
150	490	380	425	330	365	280	355	275	345	270
185	560	435	480	370	410	320	400	310	390	305
240	665	515	555	435	475	370	460	360	455	350
300	765	595	630	490	535	415	520	405	510	400
400	890	695	725	565	610	480	595	465	585	455
工作温度/℃	90									
环境温度/℃	40		25							

型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	18/20~26/35									
排 列	△ 三角形 (相互接触)									
数 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
50	220	170	215	165	190	140	175	130	160	110
70	270	210	265	200	230	175	215	160	190	135
95	330	255	315	240	275	205	255	190	230	160
120	375	290	360	270	310	235	290	215	260	185
150	425	330	400	305	345	260	320	240	290	205
185	485	380	455	345	390	295	360	270	325	230
240	560	435	525	400	450	340	420	310	375	265
300	650	510	595	455	505	385	470	350	420	300
400	760	595	680	525	580	440	535	400	480	345
工作温度/ $^{\circ}C$	80									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							
型 号	YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV	18/20~26/35									
排 列	○○○扁平形 (相邻间距等于电缆外径)									
数 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/ mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
50	245	190	225	175	200	155	200	155	195	150
70	305	235	275	215	245	190	240	185	240	185
95	370	285	330	255	295	225	290	225	285	220
120	425	330	375	290	335	260	325	255	320	250
150	485	375	420	325	375	290	365	285	360	280
185	555	430	475	370	420	325	410	320	405	315
240	650	505	555	430	485	380	475	370	470	365
300	745	580	630	490	550	425	535	415	530	410
400	870	680	720	565	630	490	615	480	605	470
工作温度/ $^{\circ}C$	90									
环境温度/ $^{\circ}C$	40		25							

注: ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。

ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.113 多芯裸金属套油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负载流量/A
（空气中敷设）

型 号		ZQD ZLQD ZLD ZLLD ZQ ZLQ ZL ZLL					
电 压/kV		0.6/1		1.8/3-6/6		6/10-8.7/10	
芯 数	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝
二 芯	25	110	88				
	35	140	105				
	50	170	130				
	70	215	165				
	95	265	205				
	120	310	240				
	150	360	280				
	185	415	325				
	240	500	390				
	300	570	445				
400	650	515					
三 芯	25	98	76	100	78	79	61
	35	120	94	120	95	96	75
	50	145	115	150	115	115	91
	70	190	145	190	145	145	115
	95	230	180	230	180	180	140
	120	270	210	270	210	210	160
	150	315	245	310	240	240	185
	185	365	285	360	280	275	215
	240	435	340	430	335	330	255
	300	490	385	480	375	370	290
400	560	445	550	435	420	330	
工作温度/℃		80				65	
环境温度/℃		40					

表 10.1.114 多芯非铠装油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负荷载流量/A

型 号		ZQD ₀₂ ZLQD ₀₂ ZQD ₀₃ ZLQD ₀₃ ZLD ₀₂ ZLLD ₀₂ ZLD ₀₃ ZLLD ₀₃ ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZLL ₀₂ ZL ₀₃ ZLL ₀₃									
电压/kV		0.6/1									
敷 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(k \cdot m/W)$		ρ_D (水分迁移)/(k·m/W)					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
芯 数	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
二 芯	25	120	96	160	125	145	115	145	110	145	110
	35	150	115	195	150	175	135	175	135	170	135
	50	180	140	230	180	210	160	205	160	200	155
	70	230	180	285	220	255	195	250	195	245	190
	95	280	220	345	265	305	235	300	230	295	230
	120	330	255	390	305	345	270	340	265	335	260
	150	375	290	435	340	385	300	380	295	370	290
	185	430	335	495	385	435	340	425	330	420	325
	240	515	400	570	445	495	390	490	385	480	380
	300	590	460	635	505	555	440	545	430	535	425
400	670	530	710	570	615	495	605	485	595	475	
三 芯	25	105	82	135	105	120	96	120	94	120	93
	35	130	100	160	125	145	115	145	110	140	110
	50	155	120	195	150	175	135	170	130	170	130
	70	200	155	240	185	210	165	210	160	205	160
	95	245	190	285	225	250	195	245	190	245	190
	120	285	220	325	255	285	225	280	220	275	215
	150	330	255	365	285	320	250	315	245	310	240
	185	380	295	415	325	360	380	350	275	345	270
	240	450	350	475	375	410	325	405	320	395	315
	300	505	395	525	415	455	360	445	355	440	350
400	575	455	585	470	505	410	495	400	485	395	
工作温度/℃		80									
环境温度/℃		40		25							

注： ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.115 多芯铠装油浸纸（包括不滴流和粘性油浸纸）绝缘电力电缆连续负载流量/A

型号		ZQD ₂₂₍₂₃₎ ZLQD ₂₂₍₂₃₎ ZQD ₃₂₍₃₃₎ ZLQD ₃₂₍₃₃₎ ZQD _{41(42,43)} ZLQD _{41(42,43)} ZLD ₂₂₍₂₃₎ ZLLD ₂₂₍₂₃₎ ZLD ₃₂₍₃₃₎ ZLLD ₃₂₍₃₃₎ ZQ ₂₂₍₂₃₎ ZLQ ₂₂₍₂₃₎ ZQ ₃₂₍₃₃₎ ZLQ ₃₂₍₃₃₎ ZQ _{41(42,43)} ZLQ _{41(42,43)} ZL ₂₂₍₂₃₎ ZLL ₂₂₍₂₃₎ ZQ ₃₂₍₃₃₎ ZLQ ₃₂₍₃₃₎									
电压/kV		0.6/1									
敷 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
芯 数	截面/mm ²			1.0		2.5		3.0		3.5	
		铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
二 芯	25	120	93	155	120	145	110	140	110	140	110
	35	145	110	185	145	170	135	170	130	170	130
	50	175	135	220	170	205	160	200	155	200	155
	70	220	170	270	210	250	195	245	190	245	190
	95	270	210	330	255	300	230	295	230	290	225
	120	315	245	375	290	340	265	335	260	330	255
	150	360	280	420	325	380	295	375	290	370	290
	185	410	320	475	370	430	335	425	330	420	325
	240	490	380	550	430	495	390	490	385	485	380
	300	555	435	615	485	555	435	545	430	540	425
400	630	500	690	550	620	495	610	485	605	490	
三 芯	25	100	79	130	100	120	94	120	93	115	92
	35	125	97	155	120	145	110	140	110	140	110
	50	150	115	185	145	170	130	170	130	165	130
	70	190	150	230	175	210	160	205	160	205	160
	95	235	180	275	215	250	195	245	190	240	190
	120	270	210	315	245	285	220	280	215	275	215
	150	310	245	355	275	320	250	315	245	310	240
	185	360	280	400	310	360	280	355	275	350	270
	240	425	330	460	360	415	325	405	320	400	315
	300	470	370	510	405	460	360	450	355	445	350
400	535	425	575	455	515	410	505	405	500	400	
工作温度/℃		80									
环境温度/℃		40		25							

注： ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.116 三芯非铠装油浸纸(包括不滴流和粘性)绝缘电力电缆连续负荷载流量/A

型 号	ZQD ₀₂ ZLQD ₀₂ ZQD ₀₃ ZQLD ₀₃ ZL ₀₂ ZLLD ₀₂ ZLD ₀₃ ZLLD ₀₃ ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZLL ₀₂ ZL ₀₃ ZLL ₀₃									
	1.8/3 - 6/6									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	105	81	125	100	120	94	120	93	120	93
35	125	99	155	120	145	110	140	110	140	110
50	155	120	185	145	170	130	170	130	165	130
70	195	150	230	175	210	160	205	160	205	160
95	240	185	275	215	250	195	245	190	240	190
120	280	215	315	245	280	220	280	215	275	215
150	320	250	355	275	315	245	310	245	305	240
185	370	290	400	315	355	280	350	275	345	270
240	440	345	460	365	410	320	400	315	395	310
300	490	385	510	405	450	360	445	350	435	345
400	560	445	570	460	500	405	490	395	485	390
工作温度/°C	80									
环境温度/°C	40		25							
型 号	ZQD ₀₂₍₀₃₎ ZLQD ₀₂₍₀₃₎ ZLD ₀₂₍₀₃₎ ZLLD ₀₂₍₀₃₎ ZQ ₀₂₍₀₃₎ ZLQ ₀₂₍₀₃₎ ZL ₀₂₍₀₃₎ ZLL ₀₂₍₀₃₎									
	6/10 - 8.7/10									
敷 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	82	64	110	85						
35	100	78	130	100						
50	120	94	155	120						
70	150	115	195	150						
95	185	145	235	180	230	180	230	180	230	180
120	215	165	265	210	260	205	260	205	260	205
150	245	190	300	235	295	230	295	230	290	230
185	285	220	340	265	330	260	330	260	330	260
240	335	260	390	310	380	300	375	300	375	295
300	375	295	435	345	420	335	415	330	415	330
400	430	340	485	390	465	375	460	375	460	370
工作温度/°C	65									
环境温度/°C	40		25							

续表

型 号	ZQD ₂₂₍₂₃₎ ZLQD ₂₂₍₂₃₎ ZQD ₃₂₍₃₃₎ ZLQD ₃₂₍₃₃₎ ZQD _{41(42,43)} ZLD ₂₂₍₂₃₎ ZLLD ₂₂₍₂₃₎ ZLD ₃₂₍₃₃₎ ZLLD ₃₂₍₃₃₎ ZQ ₂₂₍₂₃₎ ZLQ ₂₂₍₂₃₎ ZQ ₃₂₍₃₃₎ ZLQ ₃₂₍₃₃₎ ZQ _{41(42,43)} ZL ₂₂₍₂₃₎ ZLL ₂₂₍₂₃₎ ZL ₃₂₍₃₃₎ ZLL ₃₂₍₃₃₎									
	电压/kV									
数 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	100	79	120	96	120	93	115	92	115	92
35	125	96	150	115	140	110	140	110	140	110
50	150	115	175	135	170	130	165	130	165	130
70	190	145	220	170	205	160	205	160	205	155
95	230	180	265	205	245	190	245	190	240	185
120	265	205	300	235	280	220	275	215	275	215
150	305	240	340	265	315	245	310	240	310	240
185	350	275	385	300	355	275	350	275	345	270
240	415	325	450	350	410	320	405	315	400	315
300	465	365	500	390	455	360	450	355	445	350
400	525	420	560	445	510	405	505	400	495	395
工作温度/℃	80									
环境温度/℃	40		25							
型 号	ZQD ₂₂₍₂₃₎ ZLQD ₂₂₍₂₃₎ ZQD ₃₂₍₃₃₎ ZLQD ₃₂₍₃₃₎ ZQD _{41(42,43)} ZLD ₂₂₍₂₃₎ ZLLD ₂₂₍₂₃₎ ZLD ₃₂₍₃₃₎ ZLLD ₃₂₍₃₃₎ ZQ ₂₂₍₂₃₎ ZLQ ₂₂₍₂₃₎ ZQ ₃₂₍₃₃₎ ZLQ ₃₂₍₃₃₎ ZQ _{41(42,43)} ZL ₂₂₍₂₃₎ ZLL ₂₂₍₂₃₎ ZL ₃₂₍₃₃₎ ZLL ₃₂₍₃₃₎									
	电压/kV									
数 设	空气中		土 壤 中							
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
			1.0		2.5		3.0		3.5	
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	80	62	105	83						
35	98	76	125	99						
50	115	91	150	115						
70	145	115	185	145						
95	180	140	225	175	⊙		⊙		⊙	
120	205	160	260	200						
150	235	185	290	225						
185	270	210	330	260						
240	320	250	385	300	380	300	380	300	380	300
300	355	280	425	335	425	335	420	335	420	335
400	405	325	480	380	475	380	475	380	475	380
工作温度/℃	65									
环境温度/℃	40		25							

注：⊙ 电缆表面温度不超过 50℃，不发生水分迁移。


 ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.117 分相铅套油纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号	ZQFD ₂₂ ZLQFD ₂₂ ZQFD ₂₃ ZLQFD ₂₃ ZQFD _{41(42,43)} ZLQFD _{41(42,43)} ZQF ₂₂ ZLQF ₂₂ ZQF ₂₃ ZLQF ₂₃ ZQF _{41(42,43)} ZLQF _{41(42,43)}									
	8.7/15 12/15				12/20 ~ 26/35					
敷 设	空气中		土 壤 中				空气中		土壤中 ^① ρ_w	
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)				/(K·m/W)	
			1.0	2.5	3.0	3.5	1.0			
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	96	75	115	91					—	—
35	115	90	140	110	⓪	⓪	⓪		105	82
50	140	105	165	130					130	100
70	175	135	205	160	205	160	205	160	160	125
95	210	165	245	190	245	190	245	190	195	150
120	240	190	280	215	275	215	275	215	220	170
150	275	215	315	245	310	240	310	240	250	195
185	315	245	355	280	350	275	350	270	285	225
240	370	290	415	325	405	315	400	315	335	260
300	425	335	470	365	455	355	455	355	385	300
400	495	390	535	420	515	410	515	405	445	350
工作温度/℃	70								65	
环境温度/℃	40		25				40		25	

注：① 电缆表面的温度不超过 50℃，不发生水分迁移。

 ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。表 10.1.118 单芯裸金属油浸纸（包括不滴流和粘性）绝缘电力电缆连续负载流量/A
(空气中敷设)

型 号	ZQD ZLQD ZLD ZLLD ZQ ZLQ ZL ZLL							
电压/kV	0.6/1 ~ 6/6				6/10 ~ 12/15		12/20 ~ 26/35	
金属套接地	— 端				— 端		— 端	
排 列	截面/mm ²		铜	铝	铜	铝	铜	铝
	25		105	82	—	—	—	—
	35		130	100	—	—	—	—
	50		155	120	140	110	130	100
	70		200	155	180	140	165	125
	95		245	190	220	170	200	155
 三角形（相互接触）	120		285	220	250	195	230	180
	150		330	255	290	225	265	205
	185		380	295	330	260	300	235
	240		455	355	395	305	355	275
	300		530	415	455	355	405	320
	400		620	490	530	420	475	375

续表

型 号	ZQD ZLQD ZLD ZLLD ZQ ZLQ ZL ZLL						
电压/kV	0.6/1~6/6				6/10~12/15		12/20~26/35
金属套接地	— 端				— 端		— 端
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝
○○○ 扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	25	140	105	—	—	—	—
	35	170	130	—	—	—	—
	50	205	160	175	135	150	120
	70	260	205	220	170	190	150
	95	320	250	265	205	230	180
	120	375	290	310	240	270	210
	150	430	335	355	275	305	240
	185	495	385	410	315	350	275
	240	590	460	485	375	415	325
	300	685	535	560	435	480	375
400	805	630	660	515	560	440	
工作温度/℃	80				70		65
环境温度/℃	40				40		40

表 10.1.119 分相铅套粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负载流量/A



型 号	ZQF ₂₂ ZLQF ₂₂ ZQF ₂₃ ZLQF ₂₃ ZQF _{41(42,43)} ZLQF _{41(42,43)}																	
电压/kV	0.6/1						8.7/15		12/15		12/20~26/35							
敷 设	空气中		土 壤 中								空气中		土壤中 ^① ρ_w /(K·m/W)					
			ρ_w /(K·m/W)				ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)								空气中		土壤中 ^① ρ_w /(K·m/W)	
			1.0		2.5		3.0		3.5									
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝		
25	105	83	130	100	120	95	120	95	120	94	78	61	105	82	—	—	—	—
35	130	100	155	120	145	110	145	110	145	110	94	73	125	98	—	—	—	—
50	155	120	185	140	170	135	170	130	170	130	110	88	150	115	115	90	145	110
70	195	150	225	175	210	165	210	160	205	160	140	110	180	140	140	110	180	140
95	240	185	270	210	250	195	250	190	245	190	170	130	220	170	170	135	215	165
120	275	215	310	240	285	220	280	220	280	215	195	150	250	195	195	155	245	190
150	315	245	345	270	320	250	315	245	315	245	225	175	280	220	225	175	275	215
185	360	280	390	305	360	280	355	280	355	275	255	200	320	250	255	200	310	245
240	425	335	455	355	420	325	415	325	410	320	300	235	370	290	300	235	360	285
300	490	385	515	405	475	370	465	365	460	360	345	270	420	330	340	265	410	320
400	570	455	585	465	535	425	530	420	525	415	400	315	475	380	390	310	465	370
工作温度/℃	80						60 ^②				60 ^②							
环境温度/℃	40		25						40		25		40		25			

注：① 电缆表面温度不超过50℃不发生水分迁移。





② 有敷设位差情况下的工作温度。

 ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.120 单芯非铠装油浸纸(包括不滴流和粘性)绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号		ZQD ₀₂₍₀₃₎ ZLQD ₀₂₍₀₃₎ ZLD ₀₂₍₀₃₎ ZLLD ₀₂₍₀₃₎ ZQ ₀₂₍₀₃₎ ZLQ ₀₂₍₀₃₎ ZL ₀₂₍₀₃₎ ZLL ₀₂₍₀₃₎									
电压/kV		0.6/1~6/6									
敷 设		土 壤 中									
		空气中		$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
 三角形 (相互接触)	25	115	89	145	110	125	99	125	97	120	96
	35	140	105	175	135	150	115	145	115	145	110
	50	170	130	205	160	180	135	175	135	170	130
	70	215	165	250	195	215	170	210	165	210	160
	95	260	200	300	235	260	200	255	195	250	195
	120	305	235	345	265	295	230	285	225	280	220
	150	350	270	385	300	330	255	320	250	315	245
	185	400	315	435	340	370	290	360	280	355	275
	240	480	375	500	395	430	335	420	325	410	320
	300	555	430	565	445	480	375	470	370	460	360
400	650	510	640	510	545	430	530	420	520	415	
 扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	25	145	110	150	115	130	100	125	100	125	99
	35	175	135	180	135	155	120	150	120	150	115
	50	215	165	210	165	185	140	180	140	175	135
	70	270	210	260	200	225	175	220	170	215	165
	95	330	255	310	240	270	205	260	205	260	200
	120	385	295	355	275	305	235	295	230	290	225
	150	440	340	400	310	340	265	335	260	330	255
	185	505	395	450	350	385	300	375	295	370	290
	240	600	470	525	405	445	350	435	340	430	335
	300	695	540	595	460	505	395	495	385	485	380
400	820	640	680	530	575	455	565	440	555	435	
工作温度/°C	80										
环境温度/°C	40			25							

续表

型 号		ZQD ₀₂₍₀₃₎ ZLQD ₀₂₍₀₃₎ ZLD ₀₂₍₀₃₎ ZLLD ₀₂₍₀₃₎									
电压/kV		ZQ ₀₂₍₀₃₎ ZLQ ₀₂₍₀₃₎ ZL ₀₂₍₀₃₎ ZLL ₀₂₍₀₃₎									
电 压/kV		6/10-12/15									
数 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
 三角形 (相互接触)	50	150	115	180	140	170	130	170	130	170	130
	70	185	145	220	170	210	160	205	160	205	160
	95	225	175	265	205	250	195	245	190	245	190
	120	265	205	305	235	280	220	280	215	275	215
	150	300	235	340	265	315	245	310	240	310	240
	185	345	270	385	300	355	275	350	275	350	270
	240	410	320	450	350	410	320	405	315	400	315
	300	470	370	505	395	460	360	455	355	450	355
400	550	435	575	455	520	415	515	405	505	405	
 扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	175	135	185	145	175	135	175	135	175	135
	70	220	170	230	175	215	165	215	165	210	165
	95	270	210	275	215	255	200	255	195	255	195
	120	315	245	315	245	290	225	290	225	285	225
	150	360	280	355	275	330	255	325	250	320	250
	185	415	320	400	310	370	290	365	285	365	280
	240	495	385	465	365	430	335	425	330	420	325
	300	570	440	530	410	485	380	480	375	475	370
400	670	525	605	475	555	435	545	430	540	425	
工作温度/℃	70										
环境温度/℃	40			25							
型 号		ZQD ₀₂₍₀₃₎ ZLQD ₀₂₍₀₃₎ ZLD ₀₂₍₀₃₎ ZLLD ₀₂₍₀₃₎									
电压/kV		ZQ ₀₂₍₀₃₎ ZLQ ₀₂₍₀₃₎ ZL ₀₂₍₀₃₎ ZLL ₀₂₍₀₃₎									
电 压/kV		12/20-26/35									
数 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
 三角形 (相互接触)	50	135	105	165	125	①		①		①	
	70	170	130	200	155	①		①		①	
	95	205	160	245	190	240	190	240	190	240	190
	120	235	185	275	215	275	215	275	215	275	215
	150	270	210	310	240	305	240	305	240	305	240
	185	310	240	350	275	345	270	345	270	345	270
	240	365	285	410	320	400	310	395	310	395	310
	300	420	325	460	360	445	350	445	350	440	350
400	490	385	525	415	505	400	500	400	500	395	
 扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	155	120	170	130	①		①		①	
	70	195	150	210	160	①		①		①	
	95	235	180	250	195	①		①		①	
	120	270	210	285	220	285	220	285	220	285	220
	150	310	240	320	250	320	250	320	250	320	250
	185	355	275	365	285	360	280	360	280	360	280
	240	420	325	425	330	420	325	415	325	415	325
	300	485	375	480	375	470	370	470	365	470	365
400	565	445	550	435	535	420	535	420	535	420	
工作温度/℃	65										
环境温度/℃	40			25							

注：① 电缆表面温度不超过 50℃，不发生水分迁移。

 ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.121 三芯非铠装粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号	ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZLL ₀₂ ZL ₀₃ ZLL ₀₃													
电压/kV	3.6/6 6/6								6/10 8.7/10					
数 设	空气中		土 壤 中								空气中		土壤中 ^① ρ_w	
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$								$/(K \cdot m/W)$	
	1.0		2.5		3.0		3.5				1.0			
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	82	64	110	87	①		①		①		73	57	100	81
35	100	78	135	105							89	69	125	97
50	120	94	160	125	160	125	160	125	160	125	105	83	150	115
70	150	115	200	155	195	150	195	150	195	150	135	105	185	140
95	185	145	240	185	235	180	230	180	230	180	165	125	220	170
120	215	170	270	215	265	205	265	205	260	205	190	145	250	195
150	250	195	310	240	295	230	295	230	295	230	220	170	285	220
185	285	225	345	275	330	260	330	260	330	260	250	195	320	250
240	340	265	400	315	380	300	380	300	375	300	295	230	370	290
300	380	300	445	350	420	335	415	335	415	330	330	260	410	325
400	435	345	495	400	465	380	465	375	460	375	380	300	455	370
工作温度/℃	65 ^②										60 ^②			
环境温度/℃	40		25								40		25	

型 号	ZQ ₂₂₍₂₃₎ ZLQ ₂₂₍₂₃₎ ZQ ₃₂₍₃₃₎ ZLQ ₃₂₍₃₃₎ ZQ _{41(42,43)} ZLQ _{41(42,43)} ZL ₂₂₍₂₃₎ ZLL ₂₂₍₂₃₎ ZL ₃₂₍₃₃₎ ZLL ₃₂₍₃₃₎													
电压/kV	3.6/6 6/6								6/10~8.7/10					
数 设	空气中		土 壤 中								空气中		土壤中 ^① ρ_w	
			$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$								$/(K \cdot m/W)$	
	1.0		2.5		3.0		3.5				1.0			
截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	80	62	105	84							71	55	100	78
35	97	76	130	100							87	67	120	94
50	115	92	155	120	①		①		①		105	81	145	110
70	145	115	190	150							130	100	175	135
95	180	140	230	180							160	120	210	165
120	210	160	265	205	265	205	260	205	260	205	185	140	245	190
150	240	185	300	230	295	230	295	230	295	230	210	165	275	215
185	275	215	335	265	335	260	330	260	330	260	240	185	310	245
240	325	255	390	305	385	300	380	300	380	300	280	220	360	285
300	360	285	435	340	425	335	425	335	425	335	315	250	400	315
400	410	325	485	390	475	380	475	380	475	380	360	285	450	360
工作温度/℃	65 ^②										60 ^②			
环境温度/℃	40		25								40		25	

注：① 电缆表面温度不超过 50℃，不发生水分迁移。

② 有敷设位差情况下工作温度。

ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。

ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.122 空气中敷设单芯裸金属套粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号		ZQ ZLQ ZL ZLL					
电 压/kV		3.6/3 ~ 6/6		6/10 ~ 12/15		12/20 ~ 26/35	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝
三角形 (相互接触)	50	125	97	115	89	115	92
	70	155	120	140	110	145	115
	95	190	150	175	135	175	135
	120	225	175	200	155	205	160
	150	255	200	230	180	230	180
	185	295	230	265	205	265	205
	240	350	275	315	245	315	245
	300	405	320	360	280	360	280
扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	160	125	140	105	135	105
	70	200	155	175	135	170	130
	95	245	190	215	165	205	160
	120	285	220	250	190	240	185
	150	330	255	285	220	270	210
	185	380	295	325	255	310	245
	240	450	350	390	300	370	285
	300	520	405	450	350	425	330
400	615	485	525	415	500	390	
工作温度/℃		65 ^①		60 ^①		60	
环境温度/℃				40			

① 有敷设位差情况下的工作温度。

表 10.1.123 单芯非铠装粘性油浸纸绝缘电力电缆连续负载流量/A

型 号		ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZLL ₀₂ ZL ₀₃ ZLL ₀₃									
电 压/kV		3.6/6 - 6/6									
敷 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		$\rho_D(\text{水分迁移})/(K \cdot m/W)$					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
三角形 (相互接触)	50	130	100	175	135	165	130	165	130	165	125
	70	165	130	215	170	205	160	200	155	200	155
	95	205	155	260	200	245	190	240	185	240	185
	120	235	185	295	230	275	215	270	210	270	210
	150	270	210	330	260	310	240	305	235	305	235
	185	310	240	375	295	345	270	345	270	340	265
	240	370	290	435	340	400	315	395	310	395	305
	300	425	335	490	385	450	355	445	350	445	345
400	500	395	555	440	505	405	500	400	495	395	
扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	165	125	180	145	170	135	170	130	170	130
	70	205	160	225	175	210	165	210	160	205	160
	95	255	195	270	205	250	195	250	195	245	190
	120	295	225	305	235	285	220	285	220	280	220
	150	335	260	345	265	320	250	315	245	315	245
	185	390	300	390	305	360	280	360	280	355	275
	240	460	360	455	355	420	325	415	325	410	320
	300	535	415	515	400	475	370	470	365	465	360
400	630	490	585	460	540	425	535	420	530	415	
工作温度/℃		65 ^②									
环境温度/℃		40				25					

续表



型 号		ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZL ₀₂ ZL ₀₃ ZL ₀₃									
电压/kV		6/10~12/15									
敷 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
三角形 (相互接触)	50	120	93	160	125	①		①			①
	70	150	115	200	155	200	155	200	155	200	155
	95	180	140	240	185	235	185	235	185	235	185
	120	210	165	270	210	270	210	270	210	265	210
	150	240	185	305	240	300	235	300	235	300	230
	185	275	215	345	270	340	265	335	265	335	265
	240	325	255	400	315	390	305	390	305	385	305
	300	375	295	450	355	440	345	435	340	435	340
400	440	345	510	405	495	395	490	390	490	390	
扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	140	110	165	130	①		①			①
	70	180	140	205	160						
	95	220	170	245	190	245	190	245	190	245	190
	120	255	195	280	220	280	215	280	215	280	215
	150	290	225	315	245	315	240	310	240	310	240
	185	335	260	360	280	355	275	350	275	350	275
	240	395	310	420	325	410	320	410	320	405	315
	300	455	355	475	370	460	360	460	360	460	360
400	535	420	540	425	525	415	525	410	520	410	
工作温度/℃		60 ^②									
环境温度/℃		40		25							
型 号		ZQ ₀₂ ZLQ ₀₂ ZQ ₀₃ ZLQ ₀₃ ZL ₀₂ ZL ₀₂ ZL ₀₃ ZL ₀₃									
电压/kV		12/20~26/35									
敷 设		空气中		土 壤 中							
				$\rho_w/(K \cdot m/W)$		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)					
				1.0		2.5		3.0		3.5	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
三角形 (相互接触)	50	120	94	155	120						
	70	150	115	190	150						
	95	180	140	230	175						
	120	210	165	260	205						
	150	240	185	295	230	①		①		①	
	185	275	215	330	260						
	240	325	250	385	300						
	300	370	290	435	340						
400	430	340	490	390	490	390	490	390	490	390	
扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	50	135	105	160	125						
	70	170	135	195	150						
	95	210	160	235	185						
	120	240	185	270	210						
	150	275	215	305	235						
	185	315	245	345	270	①		①		①	
	240	375	290	400	310						
	300	430	335	455	355						
400	505	395	520	410							
工作温度/℃		60 ^②									
环境温度/℃		40		25							

注：① 电缆表面温度不超过 50℃，不发生水分迁移。

② 有敷设位差情况下的工作温度。

 ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.124 高压交联聚乙烯绝缘电力电缆连续荷载流量/A

型 号		YJV YJLV YJY YJLY									
电压/kV		64/110									
敷 设		土 壤 中									
		空气中		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)							
				ρ_w /(K·m/W)		1.0		2.5		3.0	
排 列	截面/mm ²	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
 三角形 (相互接触)	240	570	445	500	385	435	330	410	305	370	265
	300	650	505	565	435	490	375	455	340	410	295
	400	750	590	645	495	550	425	515	385	460	335
	500	860	680	730	565	620	480	580	440	520	380
	630	980	790	820	645	695	545	645	495	580	425
 扁平形 (相邻间距等于 电缆外径)	240	630	490	525	410	470	365	460	360	455	355
	300	725	560	595	465	530	410	520	405	510	395
	400	840	655	680	535	600	470	585	460	575	450
	500	970	765	775	610	680	535	665	520	650	515
	630	1120	890	880	700	765	610	750	595	735	585
工作温度/°C		90									
环境温度/°C		40					25				

注: ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。 ρ_D —水分迁移使土壤干燥时土壤热阻系数。

表 10.1.125 330kV 及以下油纸绝缘自容式充油电缆连续荷载流量/A

型 号		CYZQ102 CYZQ302											
电压/kV		110											
敷 设		土 壤 中											
		空气中		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)				空气中		ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)			
				ρ_w /(K·m/W)		1.0				2.5		3.0	
排 列	截面/mm ²	ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)	ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)	ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)	ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)	ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)		
三角形 (相互接触)	120	350	325	295	290	285	370	340	300	295	290		
	150	395	365	330	325	320	420	380	335	330	325		
	185	450	415	370	365	360	480	430	375	370	365		
	240	520	480	425	415	410	555	495	435	425	415		
	300	595	540	475	470	460	635	560	490	475	470		
400	695	615	545	535	525	735	640	555	545	535			
扁平形 (相邻间距 等于电缆 外径)	120	395	340	305	300	295	415	350	310	305	300		
	150	445	380	340	335	330	475	395	350	340	335		
	185	510	430	385	380	375	540	445	395	385	380		
	240	595	495	445	435	430	630	515	455	445	435		
	300	680	560	500	490	485	720	580	510	500	490		
400	795	645	570	560	555	845	670	585	570	560			
工作温度/°C		80					85						
环境温度/°C		40					25						

型 号		CYZQ102 CYZQ302									
电压/kV		220									
敷 设		空气中	土 壤 中				空气中	土 壤 中			
			ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)				ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)		
排 列	截面/mm ²		1.0	2.5	3.0	3.5		1.0	2.5	3.0	3.5
三角形 (相互接触)	120	325	305	280	275	270	350	320	285	280	275
	150	365	340	310	305	300	390	355	320	310	305
	185	420	385	345	340	335	445	400	355	350	345
	240	485	445	400	390	385	515	465	410	400	395
	300	550	500	445	440	435	590	520	460	450	440
	400	640	570	505	495	490	685	595	520	505	500
扁平形 (相邻间距 等于电缆 外径)	120	360	315	290	285	285	385	330	300	295	290
	150	405	355	325	320	315	435	370	335	325	325
	185	465	400	365	360	355	495	415	375	365	360
	240	540	460	420	415	410	575	480	430	420	415
	300	620	520	470	465	460	655	545	485	475	465
	400	720	595	535	525	520	765	620	550	540	530
工作温度/℃		80					85				
环境温度/℃		40	25			40	25				
型 号		CYZQ102 CYZQ302									
电压/kV		330									
敷 设		空气中	土 壤 中				空气中	土 壤 中			
			ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)				ρ_w /(K·m/W)	ρ_D (水分迁移)/(K·m/W)		
排 列	截面/mm ²		1.0	2.5	3.0	3.5		1.0	2.5	3.0	3.5
三角形 (相互接触)	120	300	275	250	245	245	325	290	260	255	250
	150	340	310	280	275	270	365	325	290	280	275
	185	385	345	310	305	300	415	365	320	315	310
	240	445	400	355	350	345	480	420	365	360	350
	300	505	450	395	385	380	545	475	410	400	390
	400	580	505	440	430	425	630	535	460	445	435
扁平形 (相邻间距 等于电缆 外径)	120	330	290	265	265	260	355	305	275	270	265
	150	375	325	295	290	290	400	340	305	300	295
	185	425	365	330	325	320	455	380	340	335	330
	240	495	420	380	375	370	530	440	390	385	375
	300	565	470	425	415	410	605	495	440	430	420
	400	655	535	475	465	460	700	565	495	480	470
工作温度/℃		80					85				
环境温度/℃		40	25			40	25				

注： ρ_w —未发生水分迁移时土壤热阻系数。

ρ_D —水分迁移使土壤干枯时土壤热阻系数。

表 10.1.126 不同环境温度下载流量修正系数 (一)

导体工作温度 /°C	环 境 温 度/°C (空气中)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
60	1.58	1.50	1.41	1.32	1.22	1.11	1.00	0.86	0.73
65	1.48	1.41	1.34	1.26	1.18	1.09	1.00	0.89	0.77
70	1.41	1.35	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.81
80	1.32	1.27	1.22	1.17	1.11	1.06	1.00	0.93	0.86
90	1.26	1.22	1.18	1.14	1.09	1.04	1.00	0.94	0.89
105	1.22	1.19	1.15	1.11	1.08	1.04	1.00	0.95	0.91

表 10.1.127 不同环境温度下载流量修正系数 (二)

导体工作温度 /°C	环 境 温 度/°C (土壤中)					
	10	15	20	25	30	35
60	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85
65	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87
70	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88
80	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90
90	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92


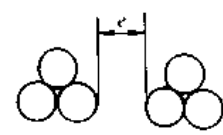
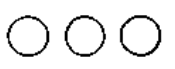
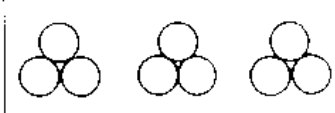
表 10.1.128 不同土壤热阻系数的载流量修正系数

电压/kV	截面/mm ²	土壤热阻系数 ρ_T (K·m/W)				
		0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
0.6/1~6/6	≤35	1.06	1.00	0.95	0.88	0.80
	50~150	1.08	1.00	0.94	0.87	0.77
	≥185	1.09	1.00	0.93	0.85	0.76
6/10~12/15	≤35	1.05	1.00	0.95	0.89	0.80
	50~150	1.06	1.00	0.94	0.88	0.79
	≥185	1.07	1.00	0.93	0.86	0.77
12/20~26/35	≤95	1.05	1.00	0.95	0.90	0.82
	≥120	1.06	1.20	0.94	0.83	0.80




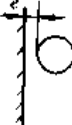
注: 1. 本表修正系数仅对载流量表中未发生水分迁移土壤热阻系数 ρ_w 栏下的载流量修正系数。

2. 110kV 电缆参考《26/35 (kV)》一栏选用。

表 10.1.129 空气中电缆 (电线) 并列敷设时载流量修正系数 (一)

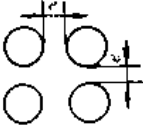
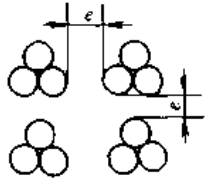
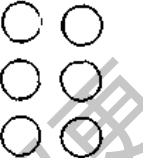
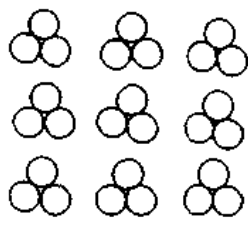
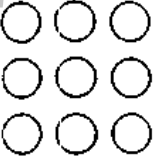
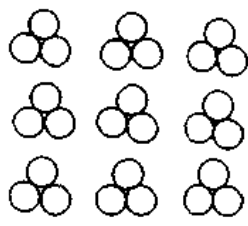
电 缆 排 列	$\frac{c}{D_c}$ = (值)	修正系数	电 缆 排 列	$\frac{c}{D_c}$ = (值)	修正系数
	<0.5	0.89		<1.0	0.93
	<0.75	0.84		<1.5	0.92

续表

电 缆 排 列		$\frac{e}{D_c} = (\text{值})$	修正系数	电 缆 排 列		$\frac{e}{D_c} = (\text{值})$	修正系数
多芯 电缆		1.9 ~ 1.5	0.99	单芯 电缆组		3.9 ~ 3.0	0.99
		1.4 ~ 1.0	0.97			2.9 ~ 2.0	0.98
		< 0.5	0.90			1.9 ~ 1.0	0.96
	4 ~ 3	0.99	< 0.5			0.88	
		2.9 ~ 2.0	0.97		< 0.5	0.93	
		1.9 ~ 1.0	0.94				
		< 0.5	0.85				

注：单芯电缆组以载流量表中三角形排列下的载流量为基准值。

表 10.1.130 空气中电缆（电线）并列敷设时载流量修正系数（二）

电 缆 排 列	$\frac{e}{D_c} = (\text{值})$		修正 系数	电 缆 排 列	$\frac{e}{D_c} = (\text{值})$		修正 系数			
	水 平	垂 直			水 平	垂 直				
多芯 电缆			2 ~ 1.5		< 1.0		4 ~ 3	0.99		
		< 0.5	1.49 ~ 1.0			0.97	2.9 ~ 2	0.97		
			0.9 ~ 0.5			0.90	1.9 ~ 1	0.94		
		< 0.5		4 ~ 3	单芯 电缆		< 1.5	4 ~ 3	0.99	
				2.9 ~ 2				0.97	2.9 ~ 2	0.98
				1.9 ~ 1				0.94	1.9 ~ 1	0.96
				0.9 ~ 0.5				0.85	0.9 ~ 0.5	0.87
		< 0.75		4 ~ 3		< 1.5		2.9 ~ 2	0.98	
				2.9 ~ 2			0.97	1.9 ~ 1	0.96	
				1.9 ~ 1.0			0.94	0.9 ~ 0.5	0.87	
				0.9 ~ 0.5			0.85			

五、电力电缆附件的品种、结构和性能

1. 终端

(1) 低压电缆的终端 油浸纸绝缘电缆终端的组成部分：①电缆终端头的壳体，如铸铁头、陶瓷头、铸铝合金头等；②瓷套；③出线端子；④组装用的部件，如密封件、支撑装置等。

35kV 及以下电缆的终端品种及特点见表 10.1.131。

表 10.1.131 低压电缆终端的品种及特点

类型	名称、型号	性能特点	适用场合
油浸纸绝缘电缆终端	鼎足式铸铁终端头 (WD 型)	机械强度高，寿命长 体积大，密封性能好 性能稳定，安全裕度大	适用于户外的墙边、设备支架上和塔杆上
	倒挂式终端头 (WG 型)	便于浇注绝缘胶，利于防雨水 耗费绝缘胶多，体积大，笨重，不经济 采用衬铅密封，工艺复杂	同 WD 型，特别适用于雨水较多和潮湿地区
	环氧树脂终端头	体小质轻，结构简单，安装方便，机械 电气性能好，耐气候和耐化学药品性好 品质受现场工艺制作影响较大 在日光强烈和潮湿地区，应有保护措施	适用于无严重潮湿、污秽地区， 更适用于高落差敷设的低端和环境 温度较高的场所
	单芯电缆终端头套管 558 型 512 型 511 型	套管可根据电压、环境来选择 可以设计成有补油装置的油罐，以补充 电缆上端流失的浸渍剂	适用于额定电压 35kV 及以下单 芯电缆和 20 ~ 35kV 分相铅 (铝) 护套电缆。适用于各种环境，也 可适用于相应电压等级的橡塑电 缆
	扇形终端头 WS 型 (户外用) NS 型 (户内用)	形状为扁体扇形 体积小，重量轻，便于安装在杆上 壳体结构牢固	适用于环境较恶劣、安装要求 高的场合
	户内用鼎足式终端头 NTN (尼龙料) NTC (瓷质)	电气性能好，安装方便，轻巧 NTN 用尼龙作盒体外壳 NTC 为整体瓷质	适用于户内 NTN 不宜用于高温、污秽多、 有火种的地区 NTC 不适用于机械冲击大的地 区
橡塑电缆终端	户内、户外终端头	不需浇注，尺寸小，重量轻，价格低 施工、维修方便 电性、耐潮湿性差 户外型需加防水措施	适用于干燥、清洁的环境

(2) 高压充油电缆终端 高压充油电缆终端的组成部分有：①内绝缘，有增绕式和电容式；②外绝缘；③密封装置；④出线杆；⑤屏蔽罩。

高压充油电缆终端的品种，特点见表 10.1.132。

表 10.1.132 高压充油电缆终端的品种及特点

类型	名称	性能特点	适用场合
户外式终端	增绕式终端	① 提高了终端闪络电压 ② 提高了防潮气侵入或浸渍剂溢出 ③ 有良好的电气强度	适用于 110 ~ 220kV 电 缆，户内、户外均适用
	电容式终端	在电缆终端附加一些电容器，使轴向电场分布均匀， 从而缩短电缆终端高度	常用于 220kV 以上电 缆
封闭式终端	象鼻式终端	由于电缆终端与变压器生成的连接在变压器油中， 提高了耐环境能力，但一般有防震装置	城市户内变电所以及 污秽严重等地区
	全封闭式电缆终端	① 电缆终端与开关设备的连接封闭在绝缘气体 SF ₆ 中 ② 绝缘距离小、安装方便，安全，受环境影响小	全封闭式电站设备

2. 连接盒

(1) 低压电缆连接盒 低压电缆 (35kV 及以下) 用连接盒见表 10.1.133。

表 10.1.133 低压电缆连接盒

名称	结构特点	适用场合
LB 系列连接盒	① 外壳用铸铁或铝合金制成, 二端电缆引入处和灌注孔机械密封 ② 安装方便	10kV 及以下电缆直埋和隧道敷设
LL 系列连接盒	① 外壳用铸铝制成, 电缆引入处和灌注孔机械密封 ② 结构简单, 安装方便	20~35kV 分相铅包、铝包电缆的直埋和隧道敷设
环氧树脂连接盒	① 电缆接头处经处理后放在模中, 灌注环氧树脂, 固化后除去模子 ② 要保证内外密封性良好, 否则埋地时易渗水、击穿	10kV 及以下电缆隧道敷设。用于直埋敷设时, 应注意密封的严密性
LSV 系列橡塑电缆连接盒	① 机械强度低 ② 壳体由硬质塑料制成 ③ 不用耐油橡皮圈密封	10kV 及以下橡塑电缆直埋和隧道敷设

(2) 高压充油电缆连接盒 高压充油电缆连接盒见表 10.1.134。

表 10.1.134 高压充油电缆连接盒

名称	性能特点	适用范围
普通连接盒	保证电气和中空油道的畅通	电缆的中间连接
绝缘连接盒	在外壳之间插入绝缘垫片, 使电缆的金属护套轴向绝缘	各相电缆护套的交叉换位互联接地
塞止连接盒	电缆的电气连接, 油路不通, 互不影响	电缆连接, 防止故障电流扩大。使电缆线路分开, 各段压力均在允许范围之内

(3) 压力箱、接地保护等其他附件

① 压力箱。压力箱结构如图 10.1.7。

根据电缆工作压力可将压力箱分为低压箱、中压箱和高压箱。低压箱的供油曲线如图 10.1.8 所示。

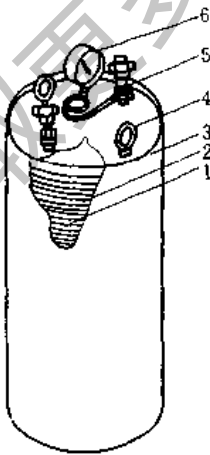


图 10.1.7 压力箱外形图

1—弹性元件；2—油；3—盛油箱；4—吊环；
5—阀门；6—压力表

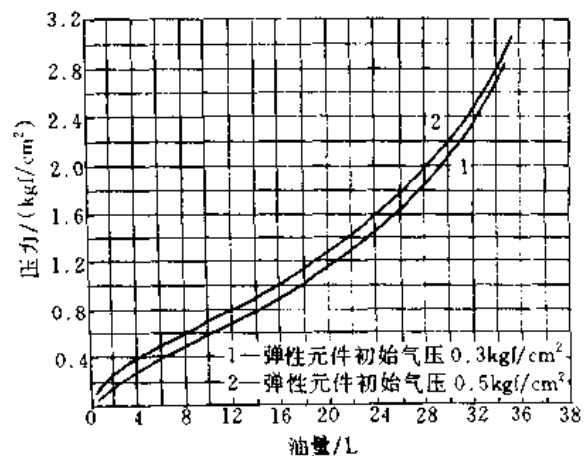


图 10.1.8 DY30 型压力箱供油曲线

$1\text{kg}/\text{cm}^2 = 10^5\text{Pa}$

② 接地保护器。高压电缆线路中，为减小金属护层的损耗，一般采用金属护层一端接地或各相金属护层交叉换位互联接地。但是在这种情况下，如电缆遭受过电压时，金属护层也产生感应过电压，可能引起护层击穿损坏，所以需在金属护层接地端安装护层接地保护器，限制护层的过电压，保护护层。

目前使用比较广泛的有碳化硅阀片保护器和氧化锌压敏电阻保护器。

第六节 通信电缆

通信电缆是传输电话、电视、电报、传真、广播、数据和其他电信信息的电缆。现代通信系统，一般采用无线传输和有线传输两种传输方式。与无线通信相比，有线通信在长距离传输过程中性能稳定、可靠性好，保密性强，受大气和自然灾害的影响小，传输信息质量较高，同时又可获得大量的通信路数。

通信电缆的特点是传输电流的频率较高，而电流、电压、功率一般较小。通信电缆的一般要求是：电缆的性能稳定，衰减小，失真小，电缆回路对相互干扰小及对外界干扰的防卫度高，并综合考虑电缆的机械性能、防潮性能等有关因素。

一、分类

为了适应各种不同的传输项目，通信电缆可以分为多种类型，按通信电缆的用途和使用范围可分类如下。

① 市内通信电缆：其中包括聚烯烃绝缘聚烯烃护套市内通信电缆，自承式塑料绝缘市内通信电缆，纸绝缘市内通信电缆，塑料绝缘配线电缆等。

② 长途通信电缆：其中包括塑料绝缘高频对称电缆，1.2/4.4mm 小同轴综合通信电缆，2.6/9.4mm 中同轴综合通信电缆，纸绝缘高频对称通信电缆，电气化铁道通信电缆，铝芯聚苯乙烯绝缘单四线组铝套高频对称电缆等。

③ 通信设备用电缆：其中包括聚氯乙烯局用电缆，橡皮、塑料绝缘电话软线等。

④ 特种用途通信电缆：其中包括船用通信电缆、数字通信电缆、农用通信线、矿用通信电缆等。

按敷设和运行条件可分为架空电缆、直埋电缆、管道电缆及水底电缆。

按传输频谱可分为低频（10kHz 以下）电缆和低频（12kHz 以上）电缆。

按绝缘材料和结构可以分为空气绝缘电缆、纸带绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆、聚苯乙烯绳带绝缘电缆、聚乙烯鱼泡绝缘电缆、聚氯乙烯绝缘电缆和橡皮绝缘电缆等。

按结构可分类如下。

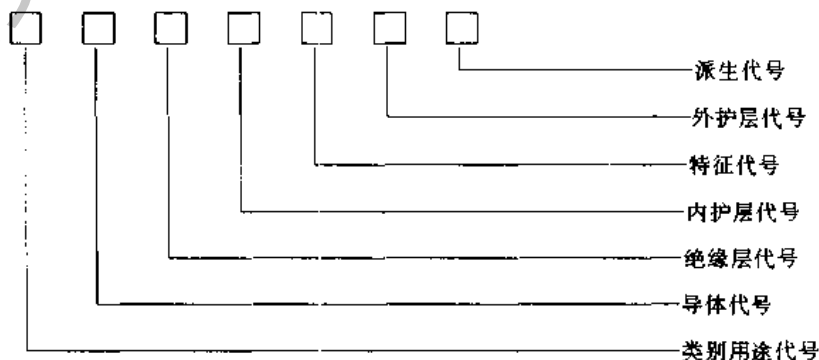
① 对称电缆：其中包括市话电缆，局用电缆，高频电缆，低频电缆和特种电缆等。

② 同轴电缆：其中包括小同轴干线电缆，中同轴干线电缆，微同轴电缆，大同轴电缆，射频电缆及特种电缆。

③ 通信光缆：其中按敷设和运行条件可分为架空光缆、埋地光缆及水底敷设光缆；按电缆元件的组合情况可分为单一结构光缆和综合光缆等。

二、型号表示方法

通信电缆的型号一般采用汉语拼音字母和数字相结合来表示：

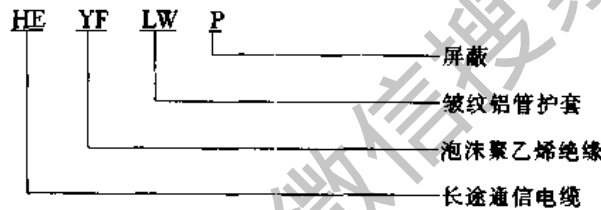


其字母代表意义如表 10.1.135 所示。

表 10.1.135 通信电缆字母代号意义

类别用途	导体	绝缘	内护层	特征	外护层	派生
H—市话电缆	T—铜芯	V—聚氯乙烯	L—铅套	A—综合护套	0—无	1—第一种
HB—通信线	L—铝芯	Y—聚烯烃	Q—铅套	C—自承式	1—纤维外被	2—第二种
HE—长途通信电缆	G—铁芯	B—聚苯乙烯 (或聚丙烯)	V—聚氯乙烯	D—带形	2—聚氯乙烯外套	252—频率为 252 kHz
HJ—局用电缆	HL—铝合	YF—泡沫聚烯	H—氯磺化聚乙烯	E—耳机用	3—聚乙烯外套	DA—在火焰条件下燃烧特性表示
HH—海底通信电缆	金导体	炔	A—铝-聚乙烯	G—隔离式	铠装层	
HO—同轴电缆	HT—铜合	YP—带皮泡沫	F—氟丁橡胶	J—交换机用		
HP—配线电缆	金导体	聚烯烃	LW—皱纹铝管	P—屏蔽	0—无	
HR—电话软线	体	X—橡皮	Y—聚乙烯	S—水下	2—双钢带	
HS—电视电缆		Z—纸		Z—综合型	3—细圆钢丝	
HU—矿用电话电缆		E—乙丙橡胶		W—尾巴电缆	4—粗圆钢丝	
HW—岛屿通信电缆		YJ—交联聚乙				
NH—农用电话线		烯				
CH—船用电话线		S—硅橡胶				
P—信号电缆		YK—纵孔聚乙				
S—射频同轴电缆		烯				
SZ—数字电缆		YS—聚烯烃绳				
G—通用光缆		管型				

举例：



三、常用通信电缆

通信电缆的系列品种、代表型号、产品用途及执行标准，如表 10.1.136 所示。

表 10.1.136 通信电缆系列品种

系列	品种	代表型号	执行标准	用途	规格
市内通信电缆	铜芯, 实心或泡沫(带皮泡沫)聚烯烃绝缘, 非填充式, 挡潮层聚乙烯护套市内通信电缆	HYA, HYA23, HYFA, HYA53, HYPA, HYA553	GB/T 13849.2—93	城市内和近距离通信用, 其中无铠装电缆, 主要敷设在管道中, 铠装型电缆可直埋	线径: 0.32, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 对数: 10 ~ 3600
	铜芯, 实心或泡沫(带皮泡沫)聚烯烃绝缘, 填充式, 挡潮层聚乙烯护套市内通信电缆	HYAT, HYFAT, HYPAT, HYAT23, HYPAT23, HYAT53, HYAT553, HYAT33, HYAT43	GB/T 13849.3—93	城市内和近距离通信用, 其使用场合由外护层决定	线径: 0.32, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 对数: 10 ~ 3300
	铜芯, 实心聚烯烃绝缘(非填充), 自承式, 挡潮层聚乙烯护套市内通信电缆	HYAC	GB/T 13849.4—93	城市内和近距离通信用, 主要架空使用	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 对数: 10 ~ 300
	铜芯, 实心或泡沫(带皮泡沫)聚烯烃绝缘, 隔离式(内屏蔽), 挡潮层聚乙烯护套市内通信电缆	HYACC, HYAG, HYFAG, HYPAG, HYATG, HYATG23, HYATG53, HYATG33, HYATG553, HYATG43	GB/T 13849.5—93	城市内和近距离通信用, 其中自承式主要架空使用, 无铠装型电缆主要敷设在管道中, 铠装型电缆由外护层决定	线径: 0.5, 0.6, 0.8 对数: 10 ~ 200

续表

系列	品 种	代表型号	执行标准	用 途	规 格
长途对称通信电缆	纸绝缘高频对称通信电缆	HEQ-252 HEQ ₂ -252	JB 866—81	多路载波长途通信线路用	线径:1.2 组数:4.7
	铝芯聚乙烯绝缘单四线组铝套高频对称通信电缆	HELBL03 HELBL23 HELBL33	YD/T 529—92	多路载波长途通信线路用	线径:1.6
同轴通信电缆	1.2/4.4mm 小同轴综合通信电缆	HOL02, HOL03, HOL22, HOL23, HOQ, HCQ02, HOQ03, HOQ22, HOQ23	GB 4011—83	同轴对供较多话路的载波长途通信用 高频组供多路载波长途通信用 低频组用于音频通信系统	线径: 1.2/4.4, 0.6, 0.7, 0.9
	2.6/9.5mm 同轴综合通信电缆	HOL, HOL02, HOL03, HOL22, HOL23, HOL33, HOQ, HOQ02	GB 4012—83	同轴对用于模拟于线通讯系统或高速数据、图像传真等信息传输 高频组用于模拟通信系统 低频组用于音频通信系统	线径: 2.6/9.5, 0.6, 0.9
	双屏蔽数字同轴电缆	SZYF V-75-2-2	YD/T 528—92	主要用于数字设备之间的连接	线径:0.18
电信设备用电缆	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低频通信电缆局用电缆(对线组、三线组、四线组或五线组)	HJVV HJVVP	GB 11327.2—89	主要用于交换机及其他传输设备、电话和电报设备、数字处理设备之间连接用	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 线组数:5~200
	聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套低频通信电缆配线电缆(对线组)	HPVV	GB 11327.3—89	主要用于各级配线、电缆与分线设备连接及架空配线等	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 对线组数: 10~600
	铜芯聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套高频局用对称电缆	HJYVP-530	YD/T 530—92	主要用于载波通信局内高频分线盒至引入试验架,引入试验架至通信设备间的连接	线径:0.51
	实心或绞合导体聚氯乙烯绝缘屏蔽型设备用电线电缆	HNVP HNVVP	YD/T 531—92	主要用于传输设备、电话和电报设备、数据处理设备间的内部布线	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8
	通信设备和装置用信号电缆	HSVV HSVVP	YD/T 532—92	主要用于传输设备和信号设备,电话和电报设备,数据处理设备等室内通信设备和装置的连接	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0 芯数:3~48

续表

系列	品种	代表型号	执行标准	用途	规格
电信设备用电线电缆	实心导体聚氯乙烯绝缘聚酰胺外皮局用配线	HJVN	YD/T 533—92	主要用于配线架至通信设备端子,用户线至交换机或通信设备之间的连接	线径: 0.4, 0.5, 0.6, 0.8 单芯~五线组
	实心或绞合导体聚氯乙烯绝缘设备用电线	HAV, HAHTV	YD/T 534—92	主要用于通信设备的内部布线及工业和用户电子设备的内部布线	线径: 0.20, 0.25, 0.32, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.40
	实心导体聚氯乙烯绝缘局用配线	HJV	YD/T 535—92	主要用于配线架至通信设备端子,用户线至交换设备或通信设备之间的连接	线径: 0.5, 0.6, 0.8, 1.0 对线组~五线组
	聚氯乙烯绝缘电话软线	HRV, HRVB, HRVT	GB 11016.2—89	主要用于连接电话机机座与电话机手柄或接线盒	芯数: 2~5芯
	聚丙烯绝缘电话软线	HRBBT, HRBB	GB 11016.3—89	主要用于连接电话机机座与电话机手柄或接线盒	芯数: 2~6芯
	橡皮绝缘电话软线	HR, HRH, HRE, HRJ	GB 11016.4—89	主要用于连接电话机机座与电话机手柄或接线盒,以及连接交换机与插塞	芯数: 2~5芯
农用通信电缆	农用直埋铝芯塑料绝缘通信线	NHLYV, NHLYY, NHLYVB, NHLYYB	JB 868—81	主要用于农村传输电信和广播信号,也可作架空敷设	线径: 1.60
	聚烯烃绝缘铝-聚烯烃粘结护套高频农村通信电缆、铜芯非填充电缆	NHYAN-A(B,C) NHYPAN-A(B,C) NHYPAN-A(B,C) NHYSAN-A(B,C)	GB 11326.2—89	主要应用于农村本地网内的通信线路	线径: 0.7, 1.2
	聚烯烃绝缘铝-聚烯烃粘结护套高频农村通信电缆、铝芯非填充电缆	NHLYAN-A(B,C) NHLYFAN-A(B,C) NHLYPAN-A(B,C) NHLYSAN-A(B,C)	GB 11326.3—89	主要应用于农村本地网内的通信线路	线径: 1.6
农用通信电缆	聚烯烃绝缘铝-聚烯烃粘结护套高频农村通信电缆铜芯填充电缆	NHYATN-A(B,C) NHYPATN-A(B,C) NHYPATN33-A(B,C) NHYPATN23-A(B,C) NHYPATN41-A(B,C) NHYPATN53-A(B,C)	GB 11326.4—89	主要应用于农村本地网内的通信线路	线径: 0.7, 1.2
	聚烯烃绝缘铝-聚烯烃粘结护套高频农村通信电缆铝芯填充电缆	NHLYATN-A(B,C) NHLYATN23-A(B,C) NHLYATN53-A(B,C) NHLYATN553-A(B,C)	GB 11326.5—89	主要应用于农村本地网中的通信线路	线径: 1.6
	聚烯烃绝缘铝-聚烯烃粘结护套高频农村通信电缆自承式电缆	NHYANC-A(B,C) NHYPANC-A(B,C) NHYSANC-A(B,C)	GB 11326.6—89	主要应用于农村本地网中的通信线路	线径: 1.2 对数: 1

续表

系列	品 种	代表型号	执行标准	用 途	规格
射 频 电 缆	射频电缆总规范	—	GB 12269—90	该标准适用于无线电通信设备和采用类似技术的电子装置中所用的同轴或对称的柔软或半柔软射频电缆	—
	实芯聚四氟乙烯绝缘同轴式射频电缆	SFF-50-1, SFF-50-2-1, SFF-50-3-1, SFF-50-5, SFF-75-1, SFB-75-7	SJ 1563—80	用于无线电通讯、广播及类似目的的电子装置中,作机内外射频信号传输用	9.0 电缆外径:0.87~
	实芯聚乙烯绝缘射频电缆	SYV, SEYV, SWY, SEWY	SJ 1132—77	用于无线电通讯广播和有关无线电电子设备中传输射频信号	34.5 电缆外径:1.9~
通 信 电 缆	干线和中继用室外光缆	GYA, GYTA, GYFY, GYFTY, GYL02, GYTA33	GB/T 13993—92	用于室外干线光缆线路和中继光缆线路	单模多模
	通讯光缆	GA, GA22, GS03, GY, GV, GTA, GFY	ZBK 13001—87	用于公共通信网、专用通信网、通信设备和类似技术的装置中	—

四、通信光缆

近年来光通信技术和光纤光缆制造技术的迅速发展,制造出了容量大,通讯保密性强的光纤光缆。通信光缆与电缆相比有如下优点:

- ① 传输损耗低,传输频带宽,不受电磁干扰,保密性好,无串话干扰;
- ② 线径细,单位截面容量大,重量轻,可挠性好,便于敷设;
- ③ 可用于大容量多系统数字信道,长距离无中继传输,电磁干扰大或有核辐射的地区;
- ④ 制造成本低,可节省中继设备,施工及运输费较低,维护费用少。

光纤光缆正被大量应用于通信、测量、传感、自动控制、导航设备、无线电设备和医疗卫生等各个领域。

通信光缆根据应用的不同环境和领域,应满足以下基本要求:

- ① 有足够的抗拉、抗压、抗震、抗弯曲能力,以保证光纤不损伤断裂;
- ② 可靠性要求高,所含光纤要满足传输性能要求,光纤性能应稳定;
- ③ 具有抗腐蚀特性,能适应不同敷设环境的需要;
- ④ 保持光纤径细、质轻的特点。光缆中的附加部分应与光纤具有同等的优良物理及温度特性,具有较好的相容性;

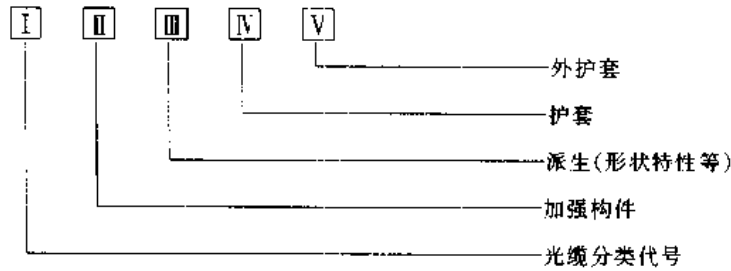
- ⑤ 要求成本低,方便制造、接续、敷设和维护。

1. 光缆的分类

- ① 室(野)外光缆:用于室外直埋、管道、槽道、隧道、架空以及水下敷设的光缆。
- ② 软光缆:具有优良的曲挠性能的可移动光缆。
- ③ 室(局)内光缆:适用于室内布放的光缆。
- ④ 设备内光缆:适用于设备内布放的光缆。
- ⑤ 海底光缆:用于跨越海洋敷设的光缆。
- ⑥ 特种光缆:除上述分类之外,作特殊用途的光缆。

2. 光缆型号的编制方法

光缆型号由以下五个部分构成,各部分的作用如下:

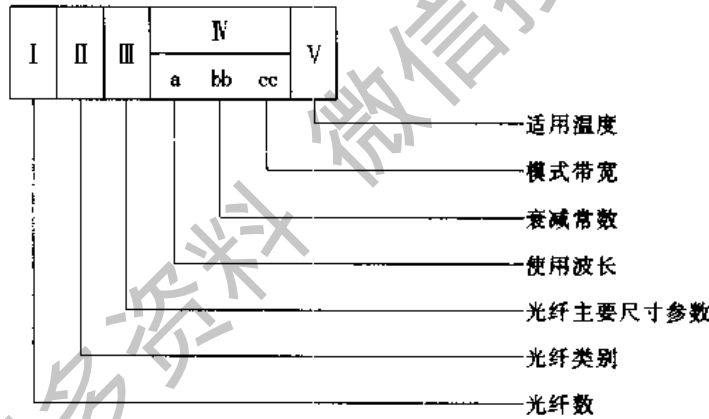


各种符号代表意义如表 10.1.137 所示。

表 10.1.137 光缆各种符号意义

分类代号 (类别、用途)(I)	加强构件代号 (II)	派生特征 (III)	护套 (IV)	外护套 (V)
G—通用光缆 GY—通信用室(野)外光缆 GR—通信用软光缆 GJ—通信用室(局)内光缆 GS—通信设备内光缆 GH—通信用海底光缆 GT—通信用特殊光缆	无符号—金属加强构件 F—非金属加强构件 G—金属重型加强构件 H—非金属重型加强构件	B—扁平形状 Z—自承式结构 T—填充式结构	L—铝护套 G—钢护套 Y—聚乙烯 Q—铅护套 V—聚氯乙烯 A—铝聚乙烯粘结型式(LAP) S—钢、铝-聚乙烯综合护套 Z—聚乙烯纵包皱纹钢带综合式	02—聚氯乙烯 03—聚乙烯 33—钢丝铠装聚乙烯 55—轧纹纵包钢带铠装聚乙烯

光纤的规格由五大部分构成，如下所示，各部分均以代号表示，相邻的各大部分的代号都是数字时，用乘号把它们隔开。



① 光纤类别代号意义如下：

- J——二氧化硅系多模渐变型光纤；
- T——二氧化硅系多模阶跃型光纤；
- Z——二氧化硅系多模准阶跃型光纤；
- D——二氧化硅系单模光纤；
- X——二氧化硅纤芯塑料包层光纤；
- S——塑料光纤。

② 光纤主要尺寸参数：多模光纤用芯径或包层直径的 (μm) 数表示，单模光纤用模场直径或包层直径的 μm 数表示。

③ 光纤传输特性：a 表示使用波长的代号，其中 1 表示使用波长的 $850\mu\text{m}$ 区域；2 表示使用波长在 $1300\mu\text{m}$ 的区域，3 表示使用波长在 $1550\mu\text{m}$ 的区域；bb 是衰减常数的表示符号，为两位数字，代表光纤衰减常数分类数值 dB/km 的个位和十位数字；cc 是表示模式带宽的代号，为两位数字，代表光纤模式带宽分类数值 ($\text{MHz}\cdot\text{km}$) 的千位和百位数字，单模光纤无此项。

④ 适用温度代号：

A——光纤适用温度范围为 $-40 \sim +40^{\circ}\text{C}$;

B——光纤适用温度范围为 $-30 \sim +50^{\circ}\text{C}$;

C——光纤适用温度范围为 $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$;

D——光纤适用温度范围为 $-5 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

导电线芯的规格的构成应符合有关电缆标准中导电线芯规格构成的规定。如果采用铝导线，则在线径的规格后面加上一个字母L。

举例：金属重型加强构件，自承式，铝护套，聚乙烯外护层的通信用室外光缆，包括12根芯线，包层直径为 $50/125\mu\text{m}$ 的二氧化硅系多模渐变型光纤和5个用于远供电及监测的铜线径为 0.9mm 的四线，且在 1300nm 波长上，光纤的衰减常数不大于 1.0dB/km ，模式带宽不小于 $800\text{MHz}\cdot\text{km}$ ；光缆的适用温度范围为 $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。光缆的型号表示为：

GYGZL03-12J50/125 (21008) C+5×4×0.9

3. 光缆结构特征

光缆由光纤元件、元件、加强构件、缆芯及护层等组成。

光缆结构类型可分为四种：①束管式；②层绞式；③骨架式；④带式。

4. 光缆主要性能

(1) 几何尺寸参数 多模渐变型光纤的几何尺寸参数如表10.1.138所示。单模光纤的尺寸参数如表10.1.139所示。

表 10.1.138 多模渐变型光纤尺寸参数

项 目	要 求	
	标称值	允许偏差
芯径	$50\mu\text{m}$	不大于 $\pm 6\%$
包层直径	$125\mu\text{m}$	不大于 $\pm 2.4\%$
芯不圆度	小于 6%	
包层不圆度	小于 2%	
芯/包层的同心度误差	小于 6%	

表 10.1.139 单模光纤几何尺寸

项 目	要 求	
	标称值	允许偏差
模场直径(波长 1300nm)	$9 \sim 10\mu\text{m}$	不大于 $\pm 10\%$
包层直径	$125\mu\text{m}$	不大于 $\pm 3\mu\text{m}$
包层表面不圆度	小于 2%	
模场/包层的同心度误差	小于 $0.5 \sim 3.0\mu\text{m}$	

(2) 传输特性 多模渐变型光纤的衰减常数在制造长度上应符合表10.1.140要求。单模光纤的衰减常数在制造长度上应符合表10.1.141要求。

表 10.1.140 多模渐变型光纤衰减常数

规格代号	波长/mm	衰减常数不大于/(dB/km)	规格代号	波长/mm	衰减常数不大于/(dB/km)
130CC	850	3.0	208CC	1300	0.8
135CC		3.5	210CC		1.0
140CC		4.0	215CC		1.5
			220CC		2.0
			230CC		3.0

注：代号中的CC表示与光纤模式带宽有关的两位数字代号。

表 10.1.141 单模光纤衰减常数

规格代号	波长/nm	衰减常数不大于/(dB/km)
204	1300	0.4
206		0.6
208		0.8
210		1.0

光缆的机械性能包括拉伸、磨损、压扁、冲击、均衡压力、反复弯曲、扭转、振动、曲挠、钩挂、弯折和卷绕等。

光缆的环境性能包括光纤的衰减温度特性、护套完整性、耐腐蚀性能、抗霉菌生长性能、不延燃性、抗外静压性能、抗渗水性、低温性能、耐冷冻性能和耐辐射性能等。

第二章 绝缘材料

第一节 概 述

工程上把电阻率大于 $10^7 \Omega \cdot m$ 的物质称为绝缘材料。研究绝缘材料在电场中的物理现象时，称其为介质。

绝缘材料在电气设备中的作用主要是隔离电位不同的导体，如电机的绕组靠绝缘和接地的机壳隔开。在某些情况下，绝缘材料还能起机械支撑固定，散热冷却，提供电容储能条件，灭弧，改善电位梯度，防潮防霉以及保护导体等作用。

一、绝缘材料的基本性能

1. 绝缘材料的电阻率和绝缘电阻

绝缘材料并非绝对不导电，在直流电压作用下仍有微弱的电流流过。在固体绝缘材料中，这个电流由以下三部分组成。

(1) 瞬时充电电流 i_c 。这时绝缘材料相当于一个电容器，开始加上外电压时，电流值较大，随着时间的增加逐步衰减至零。

(2) 吸收电流 i_a 。由绝缘材料极化而产生，最后也衰减为零。

(3) 泄漏电流 I_L 。是稳定不变流过绝缘材料的电流。这个电流由从材料内部流过电流和从表面流过电流两部分组成，表现为体积电阻率和表面电阻率。表面电阻率反映电介质表面的导电能力，其值较小，且易受环境的影响。体积电阻率反映电介质内部的导电能力，其值较大，工程上使用的绝缘电阻是指体积电阻，用兆欧表测得的绝缘电阻即是体积电阻。

影响材料绝缘电阻的因素有：

- ① 温度：温度升高，电阻率下降，绝缘电阻减小；
- ② 湿度：水分入侵，绝缘电阻下降；
- ③ 杂质：杂质会使电介质中的导电离子增加，绝缘电阻下降；
- ④ 电场强度：场强增加，使固体、液体电介质中的离子迁移能力增强，绝缘电阻降低。

2. 绝缘材料的极化与介电系数

在外电场作用下，电介质在沿场强方向的两端出现不能自由移动的束缚电荷，这种现象称为电介质的极化。表征介质易极化程度的物理量是介电系数。工程上常采用相对介电系数 ϵ_r 表示， ϵ_r 越大，表明该介质在同一电场作用下极化程度越高。

介电系数对工程上选择绝缘材料有很大的实际意义。影响绝缘材料介电系数的因素有：

- ① 频率：频率升高， ϵ_r 减小；
- ② 温度：温度升高， ϵ_r 基本上随温度增加而增加；
- ③ 湿度：因水属强极性介质， ϵ_r 很大。绝缘材料吸湿后， ϵ_r 增大，介损增高，使介质温度升高，故电气设备受潮后均需进行干燥处理后才能投入运行。

3. 绝缘材料的介质损耗

在交变电场作用下，电介质会损耗电能，称介质损耗。介质损耗由两部分组成：其一是由泄漏电流 I_L 引起的电阻损耗；其二是由介质分子在交变极化时引起相互摩擦而引起的极化损耗。

4. 电介质的绝缘强度与电击穿

绝缘材料外施电压被击穿时的电场强度称为该材料绝缘的绝缘强度，单位为 kV/mm 。

当外施于某一电介质的电场强度高于某一值时，会使通过电介质的电流剧增，直至完全失去绝缘性能，这种现象称电击穿。

5. 绝缘材料的耐热性

绝缘材料的耐热性是指绝缘材料及其制品承受高温而不致损坏的能力。绝缘材料过热时，介质的电导增加，绝缘强度降低，介质损耗加大。因此绝缘材料的耐热性对电气设备的正常运行影响极大。

6. 绝缘材料的老化

绝缘材料在设备运行中由于各种因素的作用而发生一系列不可恢复的物理、化学变化而导致材料电气和机械性能的劣化，通常称老化。

引起绝缘材料老化的形式主要有大气老化——有害气体引起的污染性化学老化、热老化和电老化——电老化多见于高压电器。

二、绝缘材料的分类

绝缘材料的种类繁多，按物态分类如下。

- ① 气体绝缘材料：常用的有空气、氮气、二氧化碳和六氟化硫等。
- ② 液体绝缘材料：常用的有变压器油、电容器油、电缆油等。
- ③ 固体绝缘材料：常用的有绝缘漆、胶、纸、云母、陶瓷、电工塑料、橡胶等。

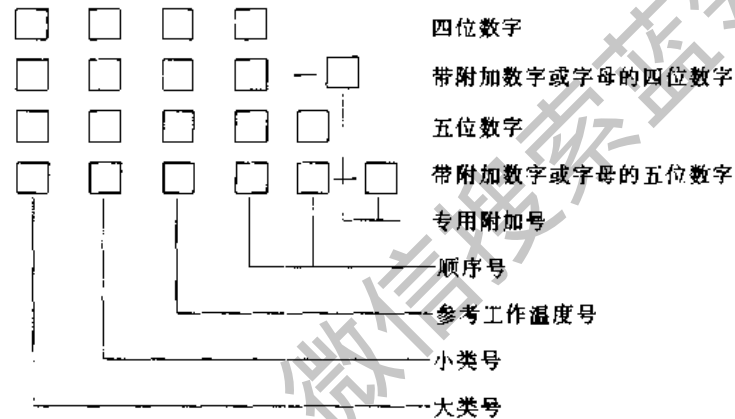
三、绝缘材料的型号编制方法

1. 型号编制方法

绝缘材料产品按 JB 2197—77 规定的统一命名原则进行分类和型号编制。

产品型号由四位数字组成，必要时可增加附加代号（数字或字母），但尽量少用附加方式。

绝缘材料的型号编制格式如下：



参考工作温度号：

- 1—参考工作温度为 105℃；2—参考工作温度为 120℃；
- 3—参考工作温度为 130℃；4—参考工作温度为 155℃；
- 5—参考工作温度为 180℃；6—参考工作温度大于 180℃。

云母制品型号中，没有附加数字的为白云母制品，有附加数字的：1—粉云母制品，2—金云母制品，3—鳞片云母制品。

复铜箔板的产品顺序后，奇数为单面复铜箔，偶数为双面复铜箔。如含有杀菌剂或防霉剂的产品，在型号最后附加字母“T”。

2. 绝缘材料产品的分类

(1) 按应用或工艺特征划分（以数字表示）

- 1—漆、树脂和胶类；2—浸渍纤维制品类；
- 3—层压制品类；4—塑料类；
- 5—云母制品类；6—薄膜、粘带和复合制品类。

(2) 在各大类中按使用范围及形态划分小类（以数字表示）

① 漆、树脂及胶类

- 0—有溶剂浸渍漆类；1—无溶剂浸渍漆类；
- 2—覆盖漆类；3—瓷漆类；
- 4—胶粘漆、树脂类；5—熔敷粉末类；
- 6—硅钢片漆类；7—漆包线漆类；
- 8—胶类。

② 浸渍纤维制品类

0—棉纤维漆布类；2—漆绸类；
4—玻璃纤维漆布类；6—防电晕漆布类；
7—漆管类；8—绑扎带类。

③ 层压制品类

0—有机底材层压板类；2—无机底材层压板类；
3—防电晕及导磁层压板类；4—覆铜箔层压板类；
5—有机底材层压管类；6—无机底材层压管类；
7—有机底材层压棒类；8—无机底材层压棒类。

④ 塑料类

0—木粉填料塑料类；1—其他有机物填料塑料类；
2—石棉填料塑料类；3—玻璃纤维填料；
4—云母填料塑料类；5—其他矿物填料塑料类；
6—无填料塑料类。

⑤ 云母制品类

0—云母带类；1—柔软云母板类；
2—塑料云母板类；3—玻璃塑型云母板类；
4—云母带类；5—换向器云母板类；
7—衬垫云母板类；8—云母箔
9—云母管。

⑥ 薄膜、粘带和复合制品类

0—薄膜类；2—薄膜粘带类；
3—橡胶及织物粘带类；5—薄膜绝缘纸及薄膜玻璃漆布复合箔。
6—薄膜合成纤维纸复合箔；7—多种材质复合箔。

第二节 气体绝缘材料

常选用高压气体作电绝缘介质。作为电绝缘介质的气体，必须满足下述特性要求：

- ① 具有较高的电离场强和击穿场强，击穿后能迅速自动地恢复绝缘性能；
- ② 化学性质稳定，惰性大，无毒，无腐蚀性，不燃，不爆，不易被放电作用所分解；
- ③ 热稳定性好，热容量大，导热性和流动性好；
- ④ 容易制取，成本低。

常用的气体介质有空气、氮气、氢气、二氧化碳和六氟化硫。它们的电气性能见表 10.2.1。

表 10.2.1 气体绝缘材料的性能

名称	分子式	沸点 / $^{\circ}\text{C}$	密度(沸点时) / (kg/m^3)	比热容(25 $^{\circ}\text{C}$, 0.1MPa) / $(\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$	导热系数率 (25 $^{\circ}\text{C}$) / $(\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$	粘度(25 $^{\circ}\text{C}$, 0.1MPa) / $(\text{MPa}\cdot\text{s})$	介电常数
空气	混合物	-196	1.18	1.004	0.0318 (100 $^{\circ}\text{C}$)	0.017 (0 $^{\circ}\text{C}$)	1.00059 (20 $^{\circ}\text{C}$)
氮	N_2	-195.8	1.2506	1.036	0.0259 (30 $^{\circ}\text{C}$)	0.0163 (0 $^{\circ}\text{C}$)	1.00058 (20 $^{\circ}\text{C}$)
氢	H_2	-252.8	0.0825	14.259	0.0430 (100 $^{\circ}\text{C}$)	0.0086 (0 $^{\circ}\text{C}$)	1.00027 (20 $^{\circ}\text{C}$)
二氧化碳	CO_2	-78.7	—	0.831	—	0.0141 (0 $^{\circ}\text{C}$)	1.00096 (20 $^{\circ}\text{C}$)
六氟化硫	SF_6	-63.8 (升华点)	6.10	0.594	0.0168 (100 $^{\circ}\text{C}$)	0.0161 (0 $^{\circ}\text{C}$)	1.00191 (20 $^{\circ}\text{C}$)

续表

名称	分子式	沸点 /°C	密度(沸点时) /(kg/m^3)	比热容(25°C, 0.1MPa) /($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)	导热系数率 (25°C) /($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)	粘度(25°C, 0.1MPa) /($\text{MPa}\cdot\text{s}$)	介电常数
二氟二氟甲烷	CCl_2F_2	-29.8	5.575 (-11°C)	0.607	0.0100	0.0123	1.0032 (29°C)
四氟甲烷	CF_4	-128	3.877 (-11°C)	0.707	0.0158	0.0172	1.0012 (25°C)
一氟二氟甲烷	CHClF_2	-40.8	4.72	0.657	0.0105	0.0127	1.0071 (25°C)
三氟三氟乙烷	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	47.6	7.38	0.674 (60°C)	0.0076 (0.05MPa)	0.010 (0.01MPa)	—

一、空气

空气是一种天然的、最常用的气体电介质。其电阻率为 $10^{16}\Omega\cdot\text{m}$ ，介损因数为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ ，直流击穿强度为 $3.3\text{kV}/\text{mm}$ 。由于其电气物理性能稳定，绝缘性能良好，击穿后能瞬时自动恢复，来源丰富，所以应用极为广泛。但空气击穿电压相对较低，增加气体压力可以提高空气的击穿电压。

二、六氟化硫 (SF_6)

六氟化硫是一种无色无臭，不燃不爆的惰性气体。它具有良好的绝缘性能和灭弧性能，其击穿电压为空气的 2~3 倍，在高压断路器的单断口灭弧室中，其灭弧能力为空气的 100 倍，由于其绝缘强度高，设备体积小，检修周期长，所以高压断路器和全封闭组合电器广泛采用 SF_6 作绝缘材料。 SF_6 气体中含有杂质和水分时，易于形成氟化物，使绝缘材料如金属受到侵蚀。国际电工委员会 (IEC) 规定了 SF_6 中杂质的允许含量，见表 10.2.2。

表 10.2.2 SF_6 中杂质含量的最大允许量

杂质名称	空气 (指氮、氧) 含量	四氟化碳含量	水分含量	游离酸 (HF) 含量	水解后氟化物含量	矿物油含量
最大允许量	0.05%	0.05%	15×10^{-6}	0.3×10^{-6}	1.0×10^{-6}	10×10^{-6}

第三节 电工用油漆、绝缘油和浇注胶

一、电工用油漆

电工用油漆是应用在电工绝缘上的油漆，也称为绝缘漆。电工用油漆的漆膜除具有防机械损伤、防锈蚀作用外，还要求有绝缘性、耐热性和耐化学性等。

电工用油漆品种很多。按组成和用途来分类，电工用油漆可以分为浸渍漆（包括有溶剂浸渍漆和无溶剂浸渍漆）、漆包线漆、覆盖漆、硅钢片漆、防电晕漆和胶粘漆。

1. 浸渍漆

采用浸渍的方法，将电工用油漆渗透到纤维或被浸件缝隙内部作填充绝缘的油漆称为浸渍漆。主要用于浸渍电机、电器和变压器的线圈绕组和绝缘零部件，以填充其间隙和微孔，通过晾干或烘烘干后，固化成一结实整体，减低了受空气的氧化作用，提高了绝缘结构件的电绝缘性、耐潮性、导热性、机械强度和使用寿命。

对浸渍漆的基本要求是：

① 粘度小，固体含量高；

② 干燥速度要适中，内层干透性要好，达到厚层固化快，消除漆膜针孔，粘结力强，有热弹性，固化后绝缘结构件能经受电机、电器运转时的离心力；

③ 具有高的电气性能、耐潮性、耐热性、耐油性和化学稳定性；

④ 对导体和其他材料的相容性要好，并不应有明显影响，烘焙时不应放出腐蚀性气体。

(1) 有溶剂浸渍漆 含有挥发性溶剂的浸渍漆称为有溶剂浸渍漆。有溶剂浸渍漆具有渗透性好，储存期长，使用方便等特点；缺点是浸渍和烘焙时间长，固化慢，有溶剂挥发而造成环境污染和浪费。

有溶剂浸渍漆品种很多，以醇酸漆和环氧类漆应用最为广泛。

常用有溶剂浸渍漆的品种、组成、特性和用途见表 10.2.3, 主要技术性能见表 10.2.4。

表 10.2.3 常用有溶剂浸渍漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	标准编号	主要组成	耐热等级	特性和用途
沥青漆	1010 L30-10	JB 873—66	石油沥青、干性植物油、松脂酸盐, 溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	A	耐潮性好。供浸渍不要求耐油的电机线圈
油改性醇酸漆	1030	ZBK 15024—90	亚麻油、桐油、松香改性醇酸树脂, 溶剂为 200 号溶剂汽油	B	耐油性和弹性好。供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇酸漆	1031	ZBK 15024—90	蓖麻油改性醇酸树脂、丁醇改性酚醛树脂, 溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、内干性较好, 机械强度较高。供浸渍线圈, 可用于湿热地区
三聚氰胺醇酸漆 (包括改性漆)	1032 A30-1	ZBK 15024—90	油改性醇酸树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂, 溶剂为二甲苯和 200 号溶剂汽油	B	耐潮性、耐油性、内干性较好, 机械强度较高, 且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈
环氧酯漆 (包括 高固体量漆)	1033 H30-2	ZBK 15024—90	干性植物油酸、环氧树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂, 溶剂为二甲苯和丁醇	B	耐潮性、内干性好, 机械强度高, 粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧醇酸漆	H30-6 8340		酸性醇酸树脂与环氧树脂共聚物、三聚氰胺树脂	B	耐热性、耐潮性较好, 机械强度高, 粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
聚酯浸渍漆	155 Z30-2		干性植物油改性对苯二甲酸聚酯树脂, 溶剂为二甲苯和丁醇	F	耐热性、电气性能较好, 粘结力强。供浸渍 F 级电机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053 W30-1		有机硅树脂, 溶剂为二甲苯	H	耐热性和电气性能好, 但烘干温度较高。供浸渍 H 级电机电器线圈和绝缘零部件
低温干燥有机硅 漆	9111		有机硅树脂, 固化剂, 溶剂为甲苯	H	耐热性较 1053 稍差, 但烘干温度低, 干燥快。用途同 1053
聚酯改性有机硅 漆	931 W30-P		聚酯改性有机硅树脂, 溶剂为二甲苯	H	粘结力较强, 耐潮性和电气性能好, 烘干温度较 1053 低, 若加入固化剂可在 150℃ 固化。用途同 1053
有机硅玻璃丝包 线漆	1152		有机硅树脂, 溶剂为甲苯或二甲苯	H	漆膜柔软, 机械强度高。供浸涂 H 级玻璃丝包线
聚酰胺酰亚胺浸 渍漆	PAL-Z		聚酰胺酰亚胺树脂, 溶剂为二甲基乙酰胺, 稀释剂为二甲苯	H	耐热性优于有机硅漆, 电气性能优良, 粘结力强, 耐辐照性好。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电机、电器线圈

有溶剂浸渍漆使用时应掌握浸渍效果及烘焙温度和时间二者的关系。一般采用多次浸渍、多次烘焙和逐步升温的工艺, 避免由于溶剂挥发过快, 表里干燥不一致使漆膜形成针孔或气泡, 影响产品的性能和寿命。烘焙温度一般与漆的工作温度相同, 也可以使烘焙温度高于漆的工作温度 20℃ 左右时进行操作。工艺条件能采用真空压力浸渍方法时, 可以相应缩短烘焙时间, 并能达到提高绝缘结构性能的要求。

溶剂的选择应对其溶解能力、挥发速度、毒性大小等因素进行综合考虑, 并要关注其所组成的有溶剂浸渍漆对导线和其他材料的相容性是否良好。工艺条件允许溶剂和稀释剂混合使用时, 能够降低有溶剂浸渍漆的成本与挥发物的毒性。

(2) 无溶剂浸渍漆 无溶剂浸渍漆与有溶剂浸渍漆的区别主要是所用溶剂是活性溶剂, 参与无溶剂浸渍漆基合成树脂的反应, 溶剂挥发少。无溶剂浸渍漆的主要组分是合成树脂、固化剂和活性溶剂等。其特点是固化快, 粘度随温度变化快, 流动性和浸透性好, 绝缘整体性好, 固化过程挥发物少。它具有提高绝缘结构的导热性和耐潮性能, 降低介电损耗, 材料消耗, 减少污染, 提高质量和工效的优点。

表 10.2.4 常用有溶剂浸渍漆的主要技术性能

性能名称	三聚氰胺醇酸漆 1032	环氧酯漆 1033	环氧醇酸 H30-6	环氧少溶剂漆 H30-9	聚酯漆 155	酚醛改性聚酯 155-1	亚胺环氧漆 F 130	有机硅漆 1053	改性有机硅漆 931 1054	聚酯胺漆 亚胺漆 PAL-2	亚胺改性醇酸漆 F 55	亚胺改性聚酯漆 H-71 (9116) 1057	三聚氰胺醇酸漆 快干漆 1038	高固体 环氧树脂 1039
粘度/s (4号粘度计) (23±1℃)	32~48	30~70	20~35	20~35	30~60	20~50	20~45	30~65	25~70	50~90	80~90 (23℃)	65~75 (23℃)	25~55 (23℃)	20~60
固体含量/%	48~52	47	45	70	45	45	42	50	50	30	48~50	45~47	50±3	≥70% (140℃, 2h)
干燥时间/h	1.5~2 (105℃)	1~2 (120℃)	≤1.5 (105℃)	2 (150℃)	0~3 (130℃)	3 (130℃)	1 (130℃)	1.5~2 (200℃)	0.5~1 (180℃)	≤1/6 (180℃)	—	—	0.5~1 (105℃)	≤3 (140± 2℃)
耐热性/h 不小于	30 (150℃)	50 (150℃)	60 (150℃)	—	50 (180℃)	—	—	200 (200℃)	75 (200℃)	200 (200℃)	—	—	30 (150℃)	—
击穿强度/(kV/mm) 常态 热态 浸水后	70~95 ≥30 (130℃)	70~95 —	60~95 —	80 —	65~100 35~75 (155℃)	65 35 (155℃)	90 40 (155℃)	65~100 30~45 (200℃)	90~110 30~50 (200℃)	90~110 80~90 (180℃)	≥60 ≥50 (155℃)	≥60 ≥60 (180℃)	116 76 (130℃)	80 — 60
体积电阻率/(Ω·cm) 常态 热态 浸水后	≥1×10 ¹⁴ ≥1×10 ⁹ (130℃)	10 ¹⁴ ~10 ¹⁶ 10 ¹² ~10 ¹¹ (130℃)	— —	10 ¹⁴ —	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵ 10 ¹⁰ ~10 ¹¹	10 ¹⁴ 10 ¹⁰	10 ¹⁵ 10 ¹⁴	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵ 10 ¹¹ ~10 ¹⁴	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵ 10 ¹¹ ~10 ¹²	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵ 10 ¹³ ~10 ¹⁴	≥10 ¹⁵ —	≥10 ¹⁵ —	1.0×10 ¹⁴ —	1×10 ¹⁴ — 1×10 ¹²
耐热等级	B	B	B	B	F	F	F	H	H	H	F	H	B	B

常见无溶剂浸渍漆的品种、组成、特性和用途见表 10.2.5, 主要技术性能见表 10.2.6。

表 10.2.5 常用无溶剂浸渍漆的品种、组成、特性和用途

名称	主要组成	耐热等级	特性和用途
环氧无溶剂漆 110	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯	B	粘度低, 击穿强度高, 储存稳定性好。可用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 672-1	672 环氧树脂、桐油酸酐、苯基二甲胺、70 酸酐	B	挥发物少, 固化快, 体积电阻高, 适于滴浸小型电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9102	618 或 6101 环氧树脂、桐油酸酐、70 酸酐、903 或 901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	挥发物少, 固化较快, 可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 111	6101 环氧树脂、桐油酸酐、松节油酸酐、苯乙烯、二甲基咪唑乙酸盐	B	粘度低, 固化快, 击穿强度高, 可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 H30-5	苯基苯酚环氧树脂、桐油酸酐、二甲基咪唑	B	特性用途与 111 相同
环氧无溶剂漆 594 型	618 环氧树脂、594 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低, 体积电阻高, 储存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9101	618 环氧树脂、901 固化剂、环氧丙烷丁基醚	B	粘度低, 固化较快, 体积电阻高, 储存稳定性好。可用于整浸中型高压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 1034	618 环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、正钛酸丁酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、苯乙烯	B	挥发物较少, 固化快, 耐毒性较差。用于滴浸小型低压电机、电器线圈
聚丁二烯环氧聚酯无溶剂漆	聚丁二烯环氧树脂、甲基丙烯酸聚酯、不饱和聚酯、邻苯二甲酸二丙酯、过氧化二苯甲酰、萘酸钴、对苯二酚	B	粘度较低, 挥发物较少, 固化较快, 储存稳定性好, 耐热性较 1034 高。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯醚无溶剂漆 5152-2	6101 环氧树脂、丁醇改性甲酚甲醛树脂、不饱和聚酯、桐油酸酐、过氧化二苯甲酰、苯乙烯、对苯二酚	B	粘度低, 击穿强度高, 储存稳定性好。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 EIU	不饱和聚酯亚胺树脂、618 和 6101 环氧酯、桐油酸酐、过氧化二苯甲酰、苯乙烯、对苯二酚	F	粘度低, 挥发物较少, 击穿强度高, 储存稳定性好。用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆 319-2	二甲苯树脂、改性间苯二甲酸不饱和聚酯、苯乙烯、过氧化二异丙苯	F	粘度较低, 电气性能较好, 储存稳定性好。可用于沉浸小型 F 级电机、电器线圈
改性环氧聚酯无溶剂漆 1140-1	环氧树脂、偏苯三酸酐、己内酰胺、顺丁烯二酸酐、乙二醇、桐油酸酐	F	机械、电气性能较好, 耐热性和防潮性能较高。用于浸渍 F 级中、小型电机绕组

无溶剂浸渍漆的使用方法可分沉浸、整浸、滚浸或滴浸等不同方式。浸渍工艺要求无溶剂浸渍漆具有粘度小、挂漆量大、固化速度快和储存期长等综合性能, 选用时必须根据不同浸渍方式的工艺要求, 有所侧重。例如, 沉浸法要求漆的储存期长, 固化快, 漆具有储存期长, 挥发物少, 电气性能好的特征, 尤其其它的介质损耗角正切值要小。滚浸法和滴浸法要求漆具有渗透性强, 固化快, 挥发物少的特征。

为满足上面各种浸渍工艺要求, 对固化剂的选用来讲, 采用潜伏性固化剂可达到较好的效果。

2. 漆包线漆

漆包线漆属覆盖漆中的一个大类。主要用于导线表面的涂覆绝缘, 增强导线的电气绝缘和防护性能。要求漆包线漆具有良好的涂覆性, 漆膜附着力强, 柔软而富有耐挠曲性, 并有一定的耐磨性和弹性, 漆膜表面要求光滑, 有足够的电气性能、耐热性和耐溶剂性, 而且要求对导体无腐蚀的作用。

常用的漆包线品种繁多, 大体有油性漆、缩醛漆、聚氨酯漆、环氧漆、聚酯亚胺漆、聚酰胺亚胺漆、聚酯

续表

性能名称	环氧聚酯漆 D 023	不飽和聚 酯漆浸漆 J 844D	环氧快干漆 J 831	环氧聚酯漆 E1U	环氧聚酯漆 112	环氧不飽 和聚酯漆 802	环氧不飽 和聚酯漆 319-2	环氧亚胺漆 D 021	环氧亚胺 漆浸漆 D 020	环氧聚酯无 溶剂漆 1130	环氧聚酯 F 级 无溶剂漆 1140 1140-1	不飽和聚 酯亚胺 无溶剂漆 1145
粘度/s (4号粘度计)	>60 (25℃)	30~100 (25℃)	45 (25℃)	20~50 (25℃)	60 (28±1℃)	40~60 (25℃)	30~60 (25℃)	20~70	80~150 (60℃) 30~70 (80℃)	30~90	30~80	100~130
胶化时间/min	60 (140℃)	6 (140℃)	12 (130℃)	—	—	—	180 (155℃)	—	—	10 (130℃)	10 (140℃)	25~35 (100±1℃)
儲存稳定性/月 /h	6 —	6 —	6 —	6 —	3 —	6 —	6 —	6 —	6 —	6 —	6 —	—
击穿强度 /(kV/mm)	70 —	20 —	20 16 (130℃)	70~120 >30 (-155℃)	70 —	>20 —	20~80 —	30 —	25 —	>20 >10 (130℃)	>20 >10 (155℃)	50 30 (155℃) 30 (受潮后)
体积电阻率 /(Ω·cm)	10 ¹⁴ —	10 ¹⁴ 10 ⁹ (155℃)	10 ¹⁴ 10 ¹⁰ (130℃)	10 ¹⁵ ~10 ¹⁶ 10 ¹⁰ ~10 ¹¹ (155℃)	10 ¹⁴ —	10 ¹⁴ 10 ¹⁰ ~10 ¹¹ (155℃)	>10 ¹⁵ 10 ¹⁰ ~10 ¹¹ (155℃)	10 ¹⁵ 10 ¹¹ (155℃)	>10 ¹⁵ 10 ¹¹ (180℃)	>10 ¹⁵ >10 ¹¹ (130℃)	10 ¹⁵ 10 ¹⁰ (155℃)	10 ¹⁵ 10 ¹¹ (155℃) >10 ⁹
耐热等级	B	B-F	B	F	F	B-F (受潮后)	F	F	F-H	B	F	F

注：儲存期指各漆组分包装。

亚胺漆等,除此以外还有一些特种漆包线漆。常用漆包线漆的品种、组成、特性和用途见表 10.2.7,主要技术性能见表 10.2.8。

表 10.2.7 常用漆包线漆的品种、组成、特性和用途

名称	主要组成	耐热等级	特性和用途
油性漆	甲酚或二甲酚玷珞树脂、干性植物油、松脂酸盐	A	高频下介质损耗小,耐潮性好,涂线工艺性好,耐溶剂性、耐刮性和耐热性差;适于涂制潮湿环境使用的中、高频电器、仪表或通信仪器等用漆包线
缩醛漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	E	漆膜耐刮性、耐热冲击性、耐水解性以及耐油性好。可涂制高强度漆包线
耐致冷剂漆	聚乙烯醇缩甲(乙)醛树脂、甲酚甲醛树脂、三聚氰胺树脂、甲酚封闭二异氰酸酯	A	耐致冷剂。适于涂制封闭式冷冻机电机用漆包线
自粘性漆	漆包线内层为聚酯树脂、缩醛树脂或环氧树脂等,外层为聚乙烯醇缩丁醛树脂	A 或 E—B	适于涂制中、小型电机、电器、仪表等用漆包线及无支撑线圈用漆包线。此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体,不需浸漆
聚氨酯漆	聚氨基甲酸酯树脂、聚酯树脂、二异氰酸酯	E	高频下介质损耗小,着色性好,有直焊性(漆包线焊接前不需消除漆膜),耐过负载性差;适于涂制要求 Q 值稳定的中、高频小型线圈和电视、仪表用漆包线
无磁性漆	同聚氨酯漆	E	铁含量极低,磁场对它的感应极微。适于涂制精密仪表和精密电器用漆包线
自粘直焊漆	同聚氨酯漆	E	有直焊性,此类漆包线嵌线后经热烘即能粘合成一整体,不需浸漆,但耐过负载性能差;适于涂制微型电机、仪表、无线电元件、无支撑线圈用漆包线
环氧漆	环氧树脂、脲醛树脂	E	漆膜耐酸、耐碱、耐腐蚀、耐油、耐漆、耐水解性好,但弹性、耐刮性以及含氯绝缘油相容性差。适于涂制油浸变压器、化工电器、潮湿环境工作的电机用漆包线
聚酯漆	对苯二甲酸多元醇聚酯树脂	B	漆膜耐热、耐刮、耐溶剂性较好,耐电压和耐软化击穿性好,但耐碱、耐热冲击性和耐水解性较差,与含氯高聚物如聚氯乙烯、氯丁橡胶等不相容。适于涂制中、小型电机、电器、仪表、干式变压器等用漆包线
水溶性聚酯电泳漆	含亲水基团的聚酯树脂,用水作溶剂	B	可一次涂成所需厚度漆膜,性能、用途与聚酯漆相同,可涂制异形线材
水散体聚酯漆	含亲水基团的聚酯树脂,用水作溶剂	B	可一次涂成所需厚度漆膜,性能、用途与聚酯漆相同,可涂制异形线材
聚酯亚胺漆	聚酯亚胺树脂	F	耐热冲击性优于聚酯漆,其他性能与聚酯漆相同。适于涂制 F 级电机、致冷装置电机、干式变压器、电器、仪表用漆包线
水乳性聚酯亚胺电泳漆	含亲水基团的聚酯亚胺树脂	F	工艺性与水溶性聚酯漆相同,特性、用途与聚酯亚胺漆相同
聚酰胺酰亚胺漆	聚酰胺酰亚胺树脂	H—C	耐热性、耐热冲击性、耐电压和耐软化击穿性好,耐刮和耐化学药品腐蚀性好。与含氯高聚物不相容。适于涂制高温、重负荷电机、密封式电机、致冷设备电机、干式变压器和电器、仪表用漆包线
聚酰亚胺漆	聚酰亚胺树脂	H—C	耐热性、耐热冲击性、耐软化击穿性好,能承受短期过载负荷,耐辐照、耐溶剂及耐化学药品腐蚀性好,但耐碱性差,在含水的密闭系统中容易水解,漆膜受卷绕应力易产生裂纹。适于涂制耐高温电机、干式变压器、密封式继电器及电子元件用漆包线

表 10.2.8 常用漆包线漆的主要技术性能

性能名称	聚酯漆包线漆 1730-31	改性聚酯漆包线漆 1745-35	聚氨基酯漆包线漆 1736-30	聚酯亚胺 漆包线漆 1753L-34	聚酯亚胺漆 包线漆 Terebec MT 533-39	聚酯亚胺 漆包线漆 1766-25	聚酯亚胺 漆包线漆 Alodham 602-35	聚酯亚胺漆包线漆 1770-16	自粘性漆包线漆 1716
固体含量/%	≥31 (200±3℃, 2h)	≥35 (180±3℃, 1h)	≥30 (180±3℃, 1h)	≥34 (180±3℃, 1h)	≥38 (180±2℃, 1h)	≥25 (200±3℃, 2h)	≥34 (200±3℃, 1h)	≥16 (160±2℃, 1h)	≥12 (150±2℃)
粘度/s (*4粘度计)	75~150 (30±1℃)	65~100 (23±0.5℃)	20~35 (23±0.5℃)	70~100 (23±0.5℃)	100~150 (23±0.5℃)	130~230 (30±1℃)	130~230 (30±1℃)	90~200 (30±1℃)	50~110 (23±0.5℃)
热冲击≤d	4 (155℃, 3min)	4 (175℃)	1 (125~130℃)	2 (200℃)	2 (200℃)	2 (220℃)	1 (220℃)	2 (240℃)	1 (125±2℃)
软化击穿	不击穿 (240℃, 2min)	不击穿 (240℃, 2min)	不击穿 (170℃, 2min)	不击穿 (300℃, 2min)	不击穿 (300℃, 2min)	不击穿 (320℃, 2min)	不击穿 (320℃, 2min)	不击穿 (400℃, 2min)	不击穿 (170±1℃, 2min)
涂线后漆膜主要性能	平均值	4.7	4.3	11.4	10.8	11.8	11.8	2.00	热粘合 ≥0.35 (170±2℃·N)
	刮漆 ≥N 最小值	4.0	3.6	9.6	9.6	10.1	10.1	1.70	焊锡试验 2.5~3.7 (375±5℃, s)
耐溶剂≥H	1	1	1	1	1	1	1	1	2.1~3.9
击穿电压 (常态)≥ /kV	4.1	4.1	4.1	5.2	5.2	5.2	5.2	2.1	—
漆膜连续性 性孔	5	5	3	5	5	5	5	2.5~5	—
耐热等级	B	F	B	H	H	C	C	C	A

3. 覆盖漆、硅钢片漆和防电晕漆

(1) 覆盖漆 采用喷、刷、辊、浸等方法, 将漆涂覆在金属、绝缘结构件、电磁线纤维或线圈等被涂件的表面, 起到增强电气绝缘或防护性能的漆, 称之为覆盖漆。

覆盖漆品种很多, 以漆的组分来分大致分成清漆和磁漆两种: 漆内不含填料或颜料的漆称清漆; 漆内含有填料颜料的漆称为瓷漆。

覆盖漆按其漆基树脂类型又可分为醇酸漆、环氧漆和有机硅漆。环氧漆具有更好的耐潮性、耐霉性、内干性和附着力, 以及漆膜硬度高等优点, 能适用于湿热地区电机、电器零部件的表面覆盖。有机硅漆的特点耐热性能高, 适用于 H 级电机、电器绝缘结构件的表面覆盖。

由同一树脂组成的覆盖漆, 瓷漆品种与清漆品种相比较, 瓷漆的漆膜硬度相应比清漆的漆膜硬度大, 导热、耐热和耐电弧性也比清漆好, 而其他电气性能较清漆稍差。

覆盖漆按干燥方式还可分为晾干漆和烘干漆两种。由同一树脂组成的晾干漆较烘干漆的性能要差些, 储存不稳定。

常用覆盖漆的品种、组成和用途见表 10.2.9, 主要技术性能见表 10.2.10。

表 10.2.9 常用覆盖漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	标准编号	主要组成	耐热等级	特性和用途
晾干醇酸漆	1231 C31-1	ZBK 15022—90	干性植物油或脂肪酸改性邻苯二甲酸季戊四醇醇酸树脂、干燥剂	B	晾干或低温干燥, 漆膜的弹性、电气性能、耐气候性和耐油性较好。用于覆盖电器或绝缘零部件
晾干醇酸灰瓷漆	1321 C32-9	ZBK 15021—89	油改性醇酸树脂、干燥剂、颜料	B	晾干或低温干燥, 漆膜硬度较高, 耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰
醇酸灰瓷漆	1320 C32-8	ZBK 15021—89	油改性醇酸树脂、颜料	B	烘焙干燥, 漆膜坚硬, 机械强度高, 耐电弧性和耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈
晾干环氧酯漆	9120 H31-3		干性植物油酸与环氧酯化物、干燥剂	B	晾干或低温干燥, 干燥快, 漆膜附着力好, 耐潮、耐油和耐气候性好, 有弹性。用于覆盖电器或绝缘零部件, 可用于湿热地区
环氧酯灰瓷漆	163 H31-4		环氧树脂酯化物、氨基树脂、防霉剂	B	烘焙干燥, 漆膜硬度大, 耐潮、耐霉、耐油性好。用于覆盖电机、电器线圈, 可用于湿热地区
晾干环氧酯灰瓷漆	154 H31-2		环氧树脂酯化物、颜料、干燥剂、防霉剂	B	晾干或低温干燥, 漆膜坚硬, 耐潮、耐霉、耐油性好, 用于覆盖电机、电器线圈及绝缘零部件表面修饰, 可用于湿热地区
环氧聚酯铁红瓷漆	6541 H31-7		环氧树脂、酚醛树脂、己二酸聚酯树脂	B	烘焙干燥, 漆膜附着力强, 耐潮、耐霉、耐油性好, 用于覆盖电机、电器线圈, 可用于湿热地区
晾干有机硅红瓷漆	157		有机硅树脂、醇酸树脂、颜料	H	晾干或低温干燥, 漆膜耐热性高, 电气性能好。用于覆盖耐高温电机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红瓷漆	1350 W32-3		有机硅树脂、颜料	H	烘焙干燥, 漆膜耐热性、电气性能比 167 好, 且硬度大, 耐油。用途同晾干有机硅红瓷漆
醇酸覆盖漆	1230	JB 2720—80	干性植物油、改性醇酸树脂、甲苯或二甲苯	B	热弹性较好。用于电磁纤维绝缘的涂覆

表 10.2.10 常用覆盖漆的主要技术性能

性能名称	醇干醇酸漆 1231	醇干醇酸漆 1321 C32-39	醇酸灰 瓷漆 1320 C32-58	环氧酯 灰瓷漆 163 H31-54	醇干环氧 酯灰瓷漆 164 H31-2	醇干环 氧酯漆 9120 H31-3	聚酯醇 干瓷漆 165	聚酯醇干 红瓷漆 182	醇干有机 硅瓷漆 167	有机硅瓷漆 W31-1 169 9131	醇酸 覆盖漆 1230
粘度 (4号粘度计) /s (20±1℃)	47~80	90~150	90~110	60~240	120~420	50~70	40	40	>40	>80	— ^①
固体含量/% 不少于	47	—	—	55	45	45	—	—	55	70	45
干燥时间/h	10~20 (20℃)	20~24 (20℃)	2~3 (105℃)	<2 (120℃)	<24 (25℃)	<24 (25℃)	<24 (20℃)	<24 (20℃)	<24 (20℃)	<1 (180±5℃)	<3 (105±2℃)
击穿强度/(kV/mm)											
常态	70~95	30~40	30~60	35~45	>30	30~60	35	35	>30	>50	40
浸水后	30~60	8~20	10~30	10~20	>10	8~20	10	7	—	>25 (受潮后)	—
表面电阻率/Ω											
常态	—	>10 ¹³	>10 ¹³	>10 ¹³	>10 ¹¹	—	10 ¹²	10 ¹²	—	—	—
浸水后	—	>10 ¹⁰	>10 ¹⁰	>10 ¹¹	>10 ⁹	—	10 ¹⁰	10 ¹⁰	—	—	—

① 1230醇酸覆盖漆粘度视供需双方商定。

覆盖漆品种多,组成和特性差异大,故在选用覆盖漆时应要根据使用地区的气候条件和电机、电器正常运行时的工作温度以及涂覆部件的部位和材质分别加以选择。在使用覆盖漆时应严格控制漆的粘度和均匀性、通风、烘焙温度变化及其环境净化等,否则将影响漆膜的干燥和表面质量。对于瓷漆来说,调漆时及使用前均应进行充分搅拌。

(2) 硅钢片漆 硅钢片漆属专门用于涂覆硅钢片的覆盖漆种类,它的作用是使涂覆后的硅钢片铁芯降低涡流损耗,增强其防锈和防腐蚀等能力。

硅钢片漆大致可分为油性漆、醇酸漆、环氧酚醛漆、有机硅漆和聚酰胺酰亚胺漆等类型,常用硅钢片漆的品种、组成、特性和用途见表 10.2.11。

表 10.2.11 常用硅钢片漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性和用途
油性漆	1611 1612	干性植物油、松脂酸盐、酚醛树脂	A	在高温(400~500℃)下干燥快,漆膜厚度均匀、坚硬、耐油、抗潮。供涂覆一般用途小型电机、电器、变压器用硅钢片
醇酸漆	9161 5364	油改性醇酸树脂、丁醇改性三聚氰胺树脂	B	在 300~350℃ 下干燥快,漆膜有较好的耐热性和耐电弧性。供涂覆一般电机、电器用硅钢片,但不宜涂覆磷酸盐处理硅钢片
环氧酚醛漆	133 H52-1 9162 B164	环氧树脂、酚醛树脂	F	附着力强,在 200~350℃ 下干燥快,漆膜有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能。供涂覆大型电机、电器用硅钢片,且适宜涂覆磷酸盐处理硅钢片和其他硅钢片
有机硅漆	947S W35-1	有机硅树脂	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂覆高温电机、电器用硅钢片,但不宜涂覆磷酸盐处理硅钢片
聚酰胺酰亚胺漆	PAI-Q D061	聚酰胺酰亚胺树脂	H	漆的涂覆工艺性和干燥性好,漆膜附着力强,耐热性高,耐溶剂性优越。供涂覆高温电机、电器用各种硅钢片

硅钢片漆涂覆后均需经高温短期焙烘干燥,以保证其涂层薄、附着力强的特征,达到漆膜层坚硬、光滑、厚薄均匀,并具有良好的耐油性、耐潮性和电气性能的效果。常用硅钢片漆的主要技术性能见表 10.2.12。

表 10.2.12 常用硅钢片漆的主要技术性能

性能名称	油性漆 1611 1612	醇酸漆 9161 5364	环氧酚醛漆 133、H52-1 9162、B164	有机硅漆 947S W35-1	聚酰胺酰亚胺漆 PAI-Q D061
粘度/s(4号粘度计)	70~95 (20℃)	50~80	50~80	40~70	30~70
固体含量/%	45~57	48	35	65	25
干燥时间/min	11~12 (210±2℃)	2~12 (160±2℃)	15~40 (180±2℃)	~15 (200±2℃)	~10 (150±2℃)
耐油性/h (浸油温度)	24 (105±2℃)	—	24 (155±2℃)	—	—
耐热性/h	—	—	50 (180℃)	—	200 (200℃)

续表

性能名称	油性漆 1611 1612	醇酸漆 9161 5364	环氧酚醛漆 133、H52-1 9162、B164	有机硅漆 947S W35-1	聚酰胺酰亚胺漆 PAI-Q D061
击穿强度/(kV/mm)					
常态	—	—	50~90	60~100	80~110
热态	—	—	—	25 (200℃)	80~100 (180℃)
体积电阻率/(MΩ·m)					
常态	$10^5 \sim 10^7$	$10^5 \sim 10^7$	$10^6 \sim 10^7$	$10^6 \sim 10^7$	$10^6 \sim 10^7$
热态			$10^3 \sim 10^4$ (155℃)	$10^4 \sim 10^5$ (200℃)	—

(3) 防电晕漆 防电晕漆主要作为高压线圈防电晕的涂层。该类漆通常以绝缘清漆和非金属导体粉末(石墨、炭黑、碳化硅等)混合而成,有时同时加入其他填料,以保证电晕漆具有电阻率稳定,附着力和耐磨性好,干燥速度快和储存稳定性好的特性。

防电晕漆按组分可分为醇酸防电晕漆、环氧防电晕漆和改性聚酯防电晕漆;按其电阻率来区分又可分为低电阻漆和高电阻漆两类。低电阻防电晕漆用于大型高压电机槽部涂覆;高电阻防电晕漆用于大型高压电线的端部的涂覆。常用防电晕漆的品种、组成与特性和用途见表 10.2.13,常用防电晕漆的主要技术性能见表 10.2.14。

表 10.2.13 常用防电晕漆的品种、组成与特性和用途

名称	型号	主要组成	耐热等级	特性	用途
醇酸防电晕漆	1233 1234	油改性醇酸树脂漆、乙炔黑、立德粉、干燥剂	B	漆膜较坚硬,耐油,室温干燥	主要用于高压线圈防电晕的涂层
环氧防电晕漆	1235 H38-1	环氧树脂漆、炭黑,石墨用时加入 651 聚酰胺树脂	B	漆膜附着力强,坚硬,室温固化	
改性聚酯防电晕漆	140	改性聚酯、石墨	F	漆膜附着力强	

表 10.2.14 常用防电晕漆的主要技术性能

性能名称	醇酸防电晕漆		环氧防电晕漆	改性聚酯防电晕漆
	1233	1234	1235 H38-1	140
细度/ μm (括板细度计), \leq	50	50	50	—
干燥时间(20℃)/h	6~8	6~8	—	<3 (130℃)
表面电阻率/ Ω^{D}	$10^3 \sim 10^5$	$10^{10} \sim 10^{12}$	$10^3 \sim 10^4$	$10^3 \sim 10^5$

① 表面电阻率允许根据使用要求确定。

在使用防电晕漆时,可将它单独涂在线圈表面,也可先将它涂在石棉带、玻璃布带上再包扎在线圈外层,或者涂在玻璃布带上与主绝缘件一次成型。

4. 胶粘漆

电工用胶粘漆主要是指在两个绝缘体接触面间起粘结作用的电工用油漆。它有溶剂和无溶剂两大类,无溶剂胶粘漆又称为胶粘剂。常用胶粘漆主要是酚醛树脂溶液和以环氧树脂为基本组分的胶粘剂,常用作电机、电器和变压器中纸板槽绝缘的层间粘结剂。

二、绝缘油

绝缘油就是供变压器、电容器、开关和充油电缆作绝缘介质使用的油性液体,因而又称“介质油”。

绝缘油主要有石油类、芳香烃合成油类和有机硅油类,使用场合主要是变压器、油开关,电信电容器、电力电容器和充油电缆等,常用绝缘油的主要技术性能和用途见表 10.2.15。

表 10.2.15 常用绝缘油的主要技术性能和用途

性能名称	代号	变压器油 (SYB 135—62)		变 压 器 油	油 开 关 油	电 容 器 油		二芳基乙烷 绝 缘 油		电 缆 油	
		10号	25号	45号	45号	1号	2号	8020		低 压	高 压
		DB-10	DB-25	DB-45	DD-45	DD-1	DD-2	A	B	DL-1 DL-1B	DL-2
倾点 \leq / $^{\circ}$ C		-10	-25	-45	-45	-45	-40	-50	-12	-45	
闪点 \geq / $^{\circ}$ C (闭口杯法)		135			135	140	140	250	125		
运动粘度 /(m^2/s)	50 $^{\circ}$ C时	9.6			9~12	—	—	25~27 (100 $^{\circ}$ C)	35~8		
	40 $^{\circ}$ C时	—			—	≤ 7	≤ 4.0	—	—		
	20 $^{\circ}$ C时	30			37~45	—	—	—	8~18		
透明度 ($\pm 5^{\circ}$ C时)		透明			透明	透明	透明	透明	—	—	
击穿电压 kV/2.5mm	20 $^{\circ}$ C, 50Hz	≥ 8.75	—		≥ 50	—	—	≥ 35	≥ 50		
	40 $^{\circ}$ C	—			—	≥ 40	≥ 50	—	—		
酸值 \leq / (mgKOH/g)		0.05			—	0.02	0.08	—	—		
介质 损耗 因素	100 $^{\circ}$ C, 1000Hz	—		—	≤ 0.002	—	—	—	—		
	100 $^{\circ}$ C, 50Hz	—		—	≤ 0.005	—	—	≤ 0.01	≤ 0.001		
	(70 $^{\circ}$ C)/%	≤ 2.5		—	—	—	—	—	—		
	(20 $^{\circ}$ C)/%	≤ 0.5		—	—	—	—	—	—		
	90 $^{\circ}$ C, 40~80Hz	—		—	—	≤ 0.001	≤ 0.001	—	—		
体积 阻率 /($\Omega \cdot m$)	20 $^{\circ}$ C时	—			$\geq 1 \times 10^{10}$	—	—	—	—		
	90 $^{\circ}$ C时	—			—	$\geq 1 \times 10^{20}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	—	—		
	100 $^{\circ}$ C时	—			$\geq 1 \times 10^{15}$	—	—	—	—		
主要用途	用于变压器及油开关中起绝缘和散热作用			在低温工作下的油开关中作绝缘排热灭弧用	在电 力工 业电 容上 作绝 缘用	在电 信工 业电 容上 作绝 缘用	是电 力器 的良 剂	适 于 大 户 容 器	宜 造 量 及 电 容 外 容 器	供充油电缆作绝缘用	

三、浇注胶

浇注胶属于绝缘胶，与无溶剂漆大致相似。只是粘度较无溶剂漆大，并一般加有填料。广泛应用于浇注电缆接头及套管，浇注 20kV 及以下电流互感器，10kV 及以下电压互感器，及大量用于干式变压器、船用变压器等。浇注工艺特征是成形性和整体性好，可提高耐潮、导热和电气性能，且装备简单。

(1) 浇注胶用树脂的特性要求 浇注胶所用树脂应具有粘度小、流动性好、收缩率小、挥发物少、固化快、低压成型性好等特性，并有足够的电气性能、机械性能和化学稳定性。环氧树脂通过改性方法，基本符合上述要求，因而环氧浇注胶的应用最为广泛。

(2) 阻燃型 Araldite F 浇注胶 该类浇注胶归属 F 级阻燃型环氧浇注胶，它在耐温等级、抗力强度、电气性能、耐开裂性、脱模光洁度等方面都优于普通的环氧浇注胶。它主要用于生产中、小型干式变压器，也能用于高压互感器等其他高压输变电设备的浇注。

树脂浇注用的阻燃型 Araldite F 浇注胶基本由浇注主单体 Araldite F 环氧树脂、固化剂 HY905 复合树脂、增韧剂 DY040 复合树脂、促进剂 061 (或 062) 复合树脂、色浆 OW0111~OW0117 和复合环氧树脂 F 级硅钢片涂料六个组分构成。其中四种主要复合树脂的性能指标见表 10.2.16。

表 10.2.16 阻燃型 Araldite 下四种主要组分的技术性能

指标 \ 组分	Araldite F	HY905	DY040	DY061
粘度/(mPa·s)	9000 ~ 13000	150 ~ 230	50 ~ 110	800 ~ 2000
环氧含量/(eq/kg)	5.0 ~ 5.4			
闪点/°C	7200	150	169	97
密度/(g/cm ³)	1.15 ~ 1.2	1.15 ~ 2.25	0.95 ~ 1.05	1.0 ~ 1.05
蒸汽压/Pa	(25°C) 0.1 (60°C) 0.5	0.08 5	0.005 0.05	0.005 0.1

(3) 常用浇注胶的种类和特征 70年代以来环氧浇注胶大致产生了大型件浇注胶、户外用浇注胶、耐 SF₆ 浇注胶、耐热浇注胶、高导热浇注胶、低温用浇注胶和加压浇注用浇注胶等七种类型。

① 大型件浇注胶。通常采用可挠性好、反应活性小或环氧基含量低的高分子量环氧树脂，放热少的酸酐固化剂，线性膨胀系数小和保证机械强度大的填料或混合料，添加具有增韧作用的环氧或酸酐或增韧性树脂。因主要组分为双酚 A 环氧，耐热只限于 B 级。

② 户外用浇注胶。采用脂环族环氧、六氢邻苯二甲酸二缩水甘油酯、四氢邻苯二甲酸二缩水甘油酯、氢化双酚 A 二缩水甘油醚、海因环氧和环氧化脂肪酸化合物，固化剂用六氢苯酚、甲基六氢苯酚、甲基纳狄克酸酐等，为改善胶的韧性，一般加入适量双酚 A 环氧或环氧化脂肪酸树脂。但如双酚 A 环氧量过大会影响耐大气候性能。常用户外浇注胶配方见表 10.2.17。

表 10.2.17 常用户外浇注胶配方

组 分	配 比	组 分	配 比
刚性环氧	30% ~ 70% (树脂混合物)	三氧化铝	30% ~ 60% (总量)
挠性环氧	30% ~ 70% (树脂混合物)	二氧化硅	根据需要
刚性酸酐	30% ~ 70% (固化剂)	促进剂	根据需要
挠性酸酐	30% ~ 70% (固化剂)		

③ 耐 SF₆ 浇注胶。SF₆ 绝缘组合开关和管电缆等场合用的浇注胶，常采用环氧/酸酐体系。为改进体系的相容性，也可采用脂环族酸酐。填料为选择不含硅元素无机物，如三水合氧化铝。

④ 耐热浇注胶。耐热浇注胶是为适应某些特殊用途而从环氧浇注胶来的，如日立化成的 MI 树脂 (H 级) 等。

⑤ 高导热性浇注胶。对发热性电气电子设备浇注，以改进高散热性的浇注胶。TSL-1 的高导热浇注胶用于电磁吸盘的线圈浇注胶，可在 F-H 级温度下使用。高导热浇注胶典型特性见表 10.2.18。

表 10.2.18 高导热浇注胶 TSL-1 的特性

项 目	实测值	项 目	实测值
主组分/固化剂混合比(重量)	100/1.5	热导率/[kJ/(m·h·°C)]	3.47
固化条件(室温)/h	约 48	硬度 (肖氏 A)	65
粘度(主组分)/(Pa·s)	3.5	体积电阻率/(Ω·cm)	1 × 10 ¹⁴
相对密度	1.9	和漆包线的相容性	没问题

⑥ 低温用浇注胶。某些低温用环氧浇注胶的配方见表 10.2.19。

表 10.2.19 低温用环氧浇注胶的配方

配方	配比	配方	配比	配方	配比	配方	配比
MY740	100	Epikote871	25	D400	57	MY740	100
HY906	80	MOCA	25	C260	10	H121	18
DY062	0.5	MY740	100	MY740	100	Zircosil D	550
LI00	50	D230	44	X83/319	24		
MY740	30	MY740	100	Zircosil D	550		

⑦ 加压浇注用浇注胶。加压胶化用环氧浇注胶的种类与性能见表 10.2.20。

表 10.2.20 加压胶化用环氧浇注胶的种类与性能

树脂	户内用				户外用		高温用	
	双酚 A 环氧				脂环族环氧		杂环环氧	二缩水甘油醚
	CY225	CY225	CY227	CT202	CY184	CY185	XB2793	CY182
固化剂	HY225	XB2888	HY227	HT903	HY907	HT921	XB2794	HY905 (DY067)
固化条件								
混合温度/℃	80	80	80	120	80	80	80	80
使用期/min	90~110	90~110	90~110	30	30	30	60~80	30
成型温度/℃	140~190	140~190	140~190	160~200	140~190	140~190	150~160	140~160
脱模温度/℃	10~30	10~30	10~30	10~15	5~15	5~15	6~8	5~15
混合后粘度(25℃) /(mPa·s)	200.000	220.000	320.000	-3000 (110℃)	10000~ 3000 (80℃)	-3000 (80℃)	-30.000	-14.000
固化物性能								
拉伸强度/(MN/m ²)	120~130	120~130	120~130	120~130	120~130	65~70	120~130	120~130
伸长率/mm	2.5~3	2.5~3	3~3.5	2.5~3	1.0~1.5	2~2.5	2~2.5	2~2.5
冲击强度/(kJ/m ²)	11~13	11~13	10~13	12~13	8~11	9~10	10~12	8~12
马丁氏热变形温度/℃	90~100	110~120	60~65	100~110	95~105	70~80	125~135	85~95
特点	耐冷热冲击性好	耐热性好	可挠性	大型浇注用	45kV 户外绝缘子用	高压绝缘子用	耐热性好	大电流电弧用

第四节 电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料

一、电工用薄膜

电工用薄膜主要是采用不同高分子聚合物所制成的具有不同特性和用途的薄膜。常用制备方法有定向拉伸、流涎、浸涂、车削碾压和吹塑法等。利用这些不同方式所制成的电工用薄膜，其分子排列产生定向、半定向和不定向三种情况。一般来讲，同一种材料所制成的薄膜，定向薄膜比不定向的薄膜具有较高的电气性能和抗张强度。目前我国所制备的电工用薄膜的厚度范围大致在 0.006~0.5mm 之间，视特种需求，可以制备超薄型或超厚型薄膜。电工用薄膜的特点是厚度薄，柔软，耐潮，电气性能和机械性能好。它主要用作电机、电器和变压器线圈及电线电缆的浇包绝缘，也可以用作某些中小型电机、电器的槽间绝缘以及电容器的介质。

1. 聚酯薄膜

聚酯薄膜是由对苯二甲酸乙醇酯缩聚而成的聚酯树脂 (PET) 经釜式法或挤塑法先制成厚片，再经双轴定向拉伸而成的电工用薄膜。

聚酯薄膜具有较高的抗张强度，较高的绝缘电阻和击穿强度，耐有机溶剂性好。但易醇解和水解，耐碱性和耐电晕性差。工作温度为 -60~120℃，属 E 级电工用绝缘材料。

6020 电工用聚酯薄膜具有优良的电气性能、机械性能、耐热性能和耐化学性能，被广泛用作电机、电器设备的绝缘材料，并可用作金银线、烫金材料、真空镀膜材料、电工用胶粘带等基材，磁带带基，照相片基及测绘包装和玻璃钢脱模材料。

2. 聚丙烯薄膜

聚丙烯薄膜是由聚丙烯树脂 (PP) 挤出厚片，再经定向拉伸而成的电工薄膜。电工用聚丙烯薄膜一般采用双轴定向拉伸工艺。它的介质损耗低，且不随温度而变化，工作场强高，是进一步提高电力电容器单台容量和工作场强的最理想的介质材料。随着易浸渍的单面粗化聚丙烯薄膜的研制成功，使它完全取代了电容器纸，开始了全膜电力电容器新时代。聚丙烯薄膜相对密度小，较其他薄膜轻，并可拉伸成 0.006mm 或更薄的材料，且具有较高的电气性能、机械性能和化学稳定性，目前被广泛用作电力电容器的介质和电线、电缆的包扎带。同时，双轴定向聚丙烯薄膜还可以用作高压电缆和高压开关的绝缘材料。

近年来，聚丙烯薄膜的工业发展很快，国外已能生产 4μm 薄膜。用于低压电容器作介质材料的表面喷涂

金属的薄膜也已开始生产，双面粗化、易浸渍的薄膜也正在研制。

3. 聚酰亚胺薄膜

聚酰亚胺薄膜是由均苯四甲酸二酐和4,4'-氨基二苯醚在溶剂中缩聚为聚酰胺溶液，流涎到钢带（或浸渍在铝箔）上，经烘焙、高温脱水 and 环化而成的耐高温电工用薄膜。它是一种新型的耐高温有机聚合物薄膜，具有良好的机械性能和电性能、化学稳定性以及很高的抗辐射能力。它能长时间在250℃下使用，能在400℃中工作数小时，超过800℃时才炭化，但不燃烧。聚酰亚胺薄膜还具有深耐冷性能，在液氮温度下可保持柔软性。在化学稳定性方面，它能耐所有的有机溶剂和酸，但不耐强碱，不提倡在油中使用。在抗辐射能力方面，聚酰亚胺薄膜经 10^{10} erg/g的 γ 射线辐照后，仍保持良好的抗张强度和延伸率。

4. 其他特种电工用薄膜

(1) 聚乙烯薄膜 聚乙烯薄膜是由聚乙烯树脂（PE）经吹塑或T型模挤出法制备而成。它的机械性能和耐热性较差，长期工作温度为70℃。由于材料价廉，可用作电信电缆绝缘和电力电缆的包护层。

(2) 聚苯乙烯薄膜 聚苯乙烯薄膜是由本体聚合的聚苯乙烯树脂（PS）挤出后经定向拉伸而成。它属于非极性电介质，有良好的电气性能，介质损耗小，并在很宽的温度、频率范围内变化不大。缺点是耐热性和柔软性较差，并脆性大，抗冲击、抗撕裂强度低。

(3) 聚四氟乙烯薄膜 聚四氟乙烯薄膜是由聚四氟乙烯树脂（PTEE）经模压、烧结毛坯后，车削、辗压而制成。车削后的薄膜属不定向的，经辗压后则可制成定向或半定向薄膜。

聚四氟乙烯薄膜的特征是耐热性和耐寒性高，工作温度为-250~250℃；有优良的电气性能和化学稳定性，在某些卤化胺及芳香族碳氢化合物中有轻微溶胀现象，只有碱金属和氟元素通过高温对它才有明显腐蚀作用；介质损耗小，并在很宽温度和频率范围内变化微小；电弧作用下不炭化；高温下，其抗张强度下降，延伸率增大，低温时抗张强度则上升，延伸率降低。该薄膜不易粘结，需采用特种粘合剂。

(4) 全氟乙丙烯薄膜 全氟乙丙烯薄膜是由四氟乙烯与六氟丙烯共聚而成的全氟乙丙烯树脂（FEP或F₄₆）悬浮液再经浇注而成。它具有优良的高频特性，介质损耗小，且受温度、频率变化的影响小；吸湿性小；化学稳定性类似于聚四氟乙烯薄膜；机械性能较聚四氟乙烯薄膜差，而抗张强度比半定向和不定向的聚四氟乙烯薄膜好；可在高温高压下自粘或与其他材料粘结；工作温度范围为-250~200℃（或更高）。

(5) 芳香族聚酰胺薄膜 芳香族聚酰胺薄膜是由间苯二甲酰氯与间（对）苯二胺通过界面（或溶液）缩聚而生成的芳香族聚酰胺树脂（PA），再经流涎到钢带上（或浸涂在铝箔上），然后烘干制成。该薄膜特征是耐溶剂性好，溶点高，并具有一定的电气性能和机械性能。特别是它的耐变压器油性更好，在80℃的变压器油中浸入1000h，薄膜只产生轻度卷曲。只是耐潮性稍差。

(6) 聚萘酯薄膜 聚萘酯薄膜是由聚2,6-萘二甲酸乙二醇酯缩聚而生成的聚萘酯树脂（PEN），先挤出厚片，再经定向拉伸处理而制成。它的耐热性较聚酯薄膜好，弹性模数高，断裂伸长率小，高温下易水解，但水解速度较聚酯薄膜慢，在耐酸、碱和耐芳香胺性能方面较聚萘酯薄膜好，耐气候性优良。该类薄膜吸收紫外线后发黄，但机械性能不明显下降。

常用电工用薄膜的型号、规格和主要用途见表10.2.21。

常用电工用薄膜的主要技术性能见表10.2.22。

表 10.2.21 常用电工用薄膜的型号、规格和主要用途

名称	型号 或标准号	规格		耐热 等级	特点和主要用途
		厚度/mm	宽度/mm		
聚丙烯 薄膜	6010	0.02~0.015 0.016~0.019 0.020~0.030	500,1000	A	用作电力电容器的介质和电线、电缆的包扎带
聚酯薄 膜	6020 (原型号 2820) (JB 1256—77)	0.04,0.05,0.07,0.1	500,900, 1000,1500	E	具有较高的机械强度、弹性和介电性能，耐化学性较差，易醇解和水解。适用于中小型低压电机作槽绝缘、匝间绝缘等
聚酰亚 胺薄膜	6050	0.03~0.06		C	具有良好的耐酸、耐溶剂、耐高温、耐寒、耐电弧、抗辐射、抗燃及介电性能。适用于航空、船舶、牵引耐高温电机、电器作槽衬和绕组外包绝缘。不宜作高电压绝缘

续表

名称	型号 或标准号	规格		耐热 等级	特点和主要用途	
		厚度/mm	宽度/mm			
聚氯乙烯(带)薄膜		0.02~0.08 0.5~0.8, 1.35~1.65		Y	具有较高的机械强度和较强的抗水性, 耐热性不高。适用于电信电缆绝缘及安装线绝缘	
聚四氟乙烯薄膜	SFM-3	定向	10, 15	60, 90, 110	C	介电损耗较小, 介电和耐电弧性优良, 不吸水, 耐气候变化和耐化学腐蚀性和耐热、耐寒性均较好。适用于电器、电工仪表绝缘
			20, 25, 30, 35, 40			
50, 60, 70, 80, 90, 100	60, 90, 120					
不定向	15, 20, 25	60, 90				
	30, 35, 40	60, 90, 120				
	50, 60, 70, 80, 90, 100					
110, 120, 140, 160, 180, 200	60, 90, 200					
SFM-4	不定向: 300, 400, 500		60~260	主要特点与 SFM-3 相同: 供电器和无线电装置作衬垫绝缘		
聚酯酯薄膜		定向	0.02~0.10	F	可用作 F 级电机槽绝缘、导线绕包绝缘和线圈端部绝缘	
芳香族聚酰胺薄膜		不定向	0.03~0.06	H	可用作 F、H 级电机槽绝缘	
全氯乙烯薄膜		不定向	0.01~0.50	C	可用作电线、同轴电缆的包覆层和印刷电路板	
聚苯乙烯薄膜		定向	0.02~0.10	Y 以下	可用作高频电信电缆绝缘和电容器介质	
聚乙烯薄膜		不定向	0.02~0.20	Y 以下	可用作电信电缆绝缘及工作温度不超过 70℃ 的电缆绝缘护层	

二、电工用胶粘带

电工用胶粘带目前分薄膜胶粘带、织物胶粘带和无底材胶粘带三种类型。

电工用薄膜胶粘带以涂胶方式又可分单面胶粘带和双面胶粘带二种。电工用薄膜胶粘带一般以薄膜为底材, 先涂胶, 再经焙烘, 切带而制成橡胶型压敏胶带或丙烯酸粘合剂胶粘带。特别应注意的是, 电工用薄膜胶粘带所用胶粘剂的耐热性能应与底材薄膜相匹配。

常用电工用胶粘带的品种、主要性能和用途见表 10.2.23。

三、电工用柔软复合材料

电工用柔软复合材料是由二种或多种不同的绝缘材料粘叠在一起组成在常态下为柔软的电工绝缘材料。电工薄膜复合材料是由薄膜与纸、绝缘纸板、玻璃漆布合成纤维纸(或布), 用粘合剂粘结制成。通常来说是在薄膜的一面或双面粘合纤维材料, 以加强薄膜的机械性能, 提高抗撕强度的表面挺度。由于是复合材料, 性能上能弥补单一材料的不足, 更能适合电机电器的技术要求, 所以电工薄膜的复合材料普遍适用于中小型电机槽绝缘、电机、电器线圈端部绝缘和相间绝缘。

电工用薄膜柔软复合材料现主要有聚酯薄膜绝缘纸柔软复合材料、聚酯薄膜玻璃漆布柔软复合材料、聚酯膜聚酯纤维纸柔软复合材料以及聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸柔软复合材料等, 形成了从 E 级到 H 级的电工用柔软复合材料系列产品。近年来, 国外又研制成功了一批新颖电工用薄膜柔软复合材料。例如 B-F 级的聚酯薄膜/玻璃布/聚酯薄膜的复合材料; H 级的聚酰亚胺薄膜/玻璃布/聚酰亚胺薄膜复合材料; H 级的聚海因薄膜/玻璃布/聚芳酰胺纤维纸复合材料; 用作 132kV 高压电缆并用于 750~1000kV 电缆的聚丙烯薄膜/电缆纸复合材料; 用作 1000kV 级充油电缆的绝缘带的聚四氟乙烯薄膜/电缆纸复合材料以及能满足 750~1000kV 级充油电缆绝缘要求的聚乙烯薄膜/电缆纸复合材料等。

表 10.2.22 常用电工用薄膜的主要技术性能

名称	结晶定向程度	耐热等级	厚度/mm	密度/(g/cm ³)	收缩率/%		延伸率/%		抗张强度/(kgf/mm ²)		击穿强度/(kV/mm)		体积电阻率/(Ω·cm)		介质损耗角正切		相对介电系数	
					纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	常态	热态	常态	热态	50Hz	10 ⁴ Hz	50Hz	10 ⁴ Hz
聚丙烯薄膜	定向	A	0.006~0.02	0.89~0.92	5 (120℃)	3 (120℃)	60~130	25~70	>12	>14	>180	—	10 ¹⁵ ~10 ¹⁷	—	0.0007 (100℃)	—	2~2.2 (100℃)	—
			0.006~0.10	1.38~1.40	1~3.5 (150℃)	1~3.5 (150℃)	40~130	40~130	15~21	15~20	130~230	100~180 (130℃)	10 ¹⁶ ~10 ¹⁷	10 ¹³ ~10 ¹⁴	<0.005	<0.002	3.2±0.2 3.0±0.2	—
聚酯酯薄膜	定向	F	0.02~0.10	1.35~1.40	0.33 (100℃)	—	46~66	21~75	14~25	21~25	>210	150 (155℃)	10 ¹⁶	—	<0.004	—	2.9	—
			0.03~0.06	—	1.08 (200℃)	1.05 (200℃)	7.1	6.3	9~12	8~11	90~130	87 (180℃)	10 ¹³ ~10 ¹⁴	—	0.003~0.004	—	3.5~4	—
聚酰胺酯薄膜	不定向	C	0.03~0.06	1.38~1.41	0.3 (200℃)	—	20~50	—	10~17	—	100~190	80~130 (200℃)	10 ¹⁵ ~10 ¹⁶	10 ¹² ~10 ¹³ (200℃)	0.004~0.01	—	3~4	—
			0.01~0.10	2.1~2.3	—	—	>30	>30	>3	>3	>60 (直流)	—	10 ¹⁶ ~10 ¹⁷ (200℃)	—	0.0002	1.8~2.2 1.8~2.2	—	—
聚四氟乙烯薄膜	半定向	C	0.04~0.12	—	—	—	>50	>50	>1.5	>1.5	>50 (直流)	—	>10 ¹⁶	—	—	—	—	—
			0.02~0.50	2.1~2.3	—	—	>100	>100	>1	>1	>40 (直流)	—	10 ¹⁵ ~10 ¹⁶	—	0.0002	—	—	—
全氟乙丙烯薄膜	不定向	C	0.01~0.50	2.15	—	—	>300	>300	1.8~2	—	196	—	10 ¹⁸ ~10 ¹⁹	—	0.0003	—	2.0 (10 ⁴ Hz)	2.0
			0.02~0.10	0.93	—	—	2~4	2~4	>5	>5	>110	—	10 ¹⁷	—	0.003	—	2.3~2.7	—
聚乙稀薄膜	不定向	Y以下	0.02~0.20	0.93	—	—	>200	>200	>1	>1	>40	—	10 ¹⁷	—	0.0004	—	—	2.5

表 10.2.23 常用电工用胶粘带的品种、主要性能和用途

名称	厚度/mm	组成	抗张强度/(kg/mm ²) (纵向)	延伸率/% (纵向)	永久变形/%	击穿强度/(kV/mm)			体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)			表面电阻率/ Ω	介质损耗角正切(10 ⁶ Hz)	相对介电系数(10 ⁶ Hz)	特征和用途
						常态	受潮后	热态	常态	受潮后	热态				
聚乙烯薄膜粘带	0.22~0.26	聚乙烯薄膜、橡胶型胶粘剂	1.23~1.56	460~480	—	>30	—	—	10 ¹³ ~10 ¹⁶	—	—	—	0.02~0.03	1.8	有一定的电气性能和机械性能,柔软性好,粘接力较强,但耐热性低(低于Y级),可用于一般电线接头包扎绝缘
聚乙烯薄膜纸粘带	0.10	聚乙烯薄膜、纸、橡胶型胶粘剂	6	—	—	>10	—	—	—	—	—	—	—	—	包扎服贴,使用方便,可代替黑胶布带作电线接头包扎绝缘
聚氯乙烯薄膜粘带	0.14~0.19	聚氯乙烯薄膜、橡胶型胶粘剂	—	—	—	>10	—	—	—	—	—	—	—	—	有一定的电气性能和机械性能,较柔软,粘接力强,但耐热性低(低于Y级)。供电压为500~6000V电线接头包扎绝缘
聚酯薄膜粘带	0.055~0.17	聚酯薄膜、橡胶型胶粘剂或聚丙烯酸酯胶粘剂	—	—	—	>100	—	—	—	—	—	—	—	—	耐热性较好,机械强度高。可用作半导体元件密封绝缘和电机线圈绝缘
聚酯亚胺薄膜粘带	0.045~0.07	聚酯亚胺薄膜、聚酯亚胺树脂胶粘剂	10.8~12.5	25~45	—	190~210	120~150	130~150 (180℃)	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹² (180℃)	—	0.003	2.6~3.2	电气性能和机械性能较高,耐热性优良,但成型温度较高(180~200℃),适于作H级电机线圈绝缘和槽绝缘
聚酯亚胺薄膜粘带	0.05	聚酯亚胺薄膜、E ₆₆ 树脂胶粘剂	9~10	40~50	—	>120	—	80 (180℃)	>10 ¹⁶	—	>10 ¹⁵ (180℃)	—	0.001	2	电气性能和机械性能较高,耐热性优良,但成型温度更高(300℃以上),可用于H级或C级电机、潜油电机线圈绝缘和槽绝缘

续表

名称	厚度/mm	组成	抗张强度/(kgf/mm ²) (纵向)	延伸率/% (纵向)	永久变形/%	击穿强度/(kV/mm)			体积电阻率/(Ω·cm)			表面电阻率/Ω	介电损耗角正切 (10 ⁶ Hz)	相对介电系数 (10 ⁶ Hz)	特征和用途
						常态	受潮后	热态	常态	受潮后	热态				
环氧玻璃带	0.17	无碱玻璃布、环氧树脂胶剂	>12 ^①	—	—	>6 ^②	3.8 ^③	—	>10 ¹⁴	>10 ¹³	>10 ¹² (130℃)	—	—	—	具有较高的电气性能和机械性能，作变压器铁芯绑扎材料，属B级绝缘
有机玻璃带	0.15	无碱玻璃布、有机硅树脂胶剂	>8 ^①	—	—	>0.6 ^②	—	—	>10 ¹¹	—	>10 ¹² ④	—	—	—	具有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性，以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线连接绝缘
硅橡胶带	—	无碱玻璃布、硅橡胶胶剂	>20 ^①	—	—	3~5 ^②	—	—	10 ¹³ ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹³	—	—	—	—	具有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性，以及较好的电气性能和机械性能。柔软性也较好，可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线连接绝缘
白粘性硅橡胶三角带	—	硅橡胶、硫化填料、剂	0.5~0.8	36~50	2.5~10	20~30	—	—	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	—	—	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	0.0014~0.01	>4	具有耐热、耐潮、抗震动、耐化学腐蚀等特性，但抗张强度较低。适用于半迭包法作高压电机线圈绝缘。但需注意胶带保持清洁才能粘牢
白粘性丁基橡胶带	—	丁基橡胶、薄膜隔离材料等	>0.15	>400	—	>20	—	—	>10 ¹⁵	—	—	—	0.02~2.75	2.5~2.75	有硫化型和非硫化型两种。胶带弹性好，伸缩性大，包扎紧密性好。主要用于电力电缆连接和端头包扎绝缘

① 抗张力，kgf。

② 击穿电压，kV。

③ 弯折后。

④ 180℃处理18h后。

一般, 电工用薄膜柔软复合材料根据耐热等级大致可分为以下四种类型。

1. E级薄膜复合材料

聚酯薄膜/青壳纸复合材料(6520 聚酯薄膜绝缘纸柔软复合材料)是将聚酯薄膜涂以胶粘剂的与电绝缘纸(青壳纸)复合而成。

2. B级薄膜复合材料

(1) 聚酯纤维纸/聚酯薄膜 聚酯纤维纸复合材料(6630 聚酯薄膜聚酯纤维非织布柔软复合材料) 是将聚酯薄膜两面涂以胶粘剂与聚酯纤维纸复合而成, 简称 DMD。它具有良好的机械及电气性能, 聚酯纤维非织布具有吸附能力, 可在浸渍时吸收树脂。它被广泛应用于低压电机中的槽间及相间电工绝缘, 也可用作变压器中的层间绝缘。

(2) 聚酯薄膜/玻璃漆布复合材料(6530 聚酯薄膜玻璃漆布柔软复合材料) 是将聚酯薄膜涂以胶粘剂与玻璃漆布复合而成。

3. F级薄膜复合材料

聚芳酰胺纤维纸/聚酯薄膜/聚芳酰胺纤维纸复合材料(6640 聚酯薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料)是将聚酯薄膜两面涂以胶粘剂与聚芳酰胺纤维纸复合而成, 简称为 NMN。

有些厂家将 DMD 再浸涂耐高温绝缘漆亦可达到 F 级绝缘。

4. H级薄膜复合材料

聚芳酰胺纤维纸/聚酰亚胺薄膜/聚芳酰胺纤维纸复合材料(6650 聚酰亚胺薄膜聚芳酰胺纤维纸柔软复合材料)是将聚酰亚胺薄膜两面涂以 H 级胶粘剂与聚芳酰胺纤维纸复合而成。

常用电工用柔软复合材料的品种、组成和用途见表 10.2.24。

表 10.2.24 常用电工用柔软复合材料的品种、组成和用途

名称	标准号	组成	耐热等级	用途
聚酯薄膜绝缘纸复合箔(6520)	JB 4059—91	电工绝缘纸与聚酯薄膜经粘合而成	E	用于中小型电机 E 级
聚酯薄膜玻璃漆布复合箔(6530)	JB 1258—77	醇酸玻璃漆布与聚酯薄膜经粘合而成	B	用于湿热带中小型 E、B 级槽, 相绝缘
聚酯薄膜与聚酯纤维纸复合箔(DMD)	JB 4060—91	聚酯纤维纸与聚酯薄膜复合而成	B	用于中小型电机 B 级槽、相绝缘
聚芳酰胺纤维纸与聚酯薄膜复合箔(NMN)	JB 4061—85	聚酯薄膜与聚芳酰胺纤维纸经粘合而成	F	用于 F 级电机槽、相绝缘
聚酯纤维聚芳酰胺纤维混抄纸与聚酯薄膜复合箔(642、AjMAd)	参照 JB 4061—85	聚酯纤维聚芳酰胺纤维混合纤维纸与聚酯薄膜经粘合而成	F	用于 F 级电机槽、相绝缘
聚酰胺纤维纸与聚酯薄膜复合箔(SMS)	参照 JB 4061—85	聚酰胺纤维纸与聚酯薄膜经粘合而成	F	用于 F 级电机槽、相绝缘
聚酯纤维与聚酰胺纤维混抄纸与聚酯薄膜复合箔(SdMSd)	参照 JB 4061—85	聚酯纤维聚酰胺纤维混合纤维纸与聚酯薄膜经粘合而成	F	用于 F 级电机槽、相绝缘
含粉云母聚芳聚酯纤维混合纸与聚酯薄膜复合箔(643)	参照 JB 4061—85	聚芳酰胺纤维聚酯纤维粉云母混抄纤维纸与聚酯薄膜经粘合而成	F	用于 F 级电机槽、相绝缘、耐电晕绝缘
聚芳酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜复合箔(NHN)	JB 4062—85	聚芳酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜经粘合而成	H	用于 H 级电机槽、相绝缘
聚酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜复合箔(SHS)	参照 JB 4062—85	聚酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜经粘合而成	H	用于 H 级电机槽、相绝缘
652 聚芳酰胺纤维纸聚酰亚胺薄膜复合单面箔(带)(NH)	—	聚芳酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜单面经粘合而成	H	用于 H 级电机衬垫绝缘, 电器线圈对地、匝间绝缘

常用电工用柔软复合材料的主要技术性能见表 10.2.25。

表 10.2.25 常用电工用柔软复合材料的主要技术性能

电工用柔软复合材料名称	厚度 /mm	抗张力/N (15mm宽)		击穿电压/kV			体积电阻率/($\Omega \cdot \text{cm}$)			耐热 等级
		纵向	横向	常态	受潮后	热态	常态	受潮后	热态	
6520 聚酯薄膜绝缘纸复合箔	0.15~0.30	180~330	120~300	6.5~12	4.5~12	—	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^{11} \sim 10^{13}$	E
6530 聚酯薄膜玻璃布箔	0.17~0.24	250~330	200~300	8~12	6~10	—	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{11} \sim 10^{12}$	B
聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔 (DMID)	0.20~0.25	180~270	150~220	10~12	8~12	8~11 (130℃)	$10^{14} \sim 10^{15}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	B
聚芳酰胺纤维纸与聚酯薄膜复合 箔 (NMN)	0.20~0.35	120~240	100~200	6~13	5~12	5~12 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{13}$ (155℃)	F
聚芳酰胺纤维聚酯纤维混抄纸与 聚酯薄膜复合箔 (642, AdMIAd)	0.20~0.35	120~240	100~200	6~13	5~12	5~12 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{13}$ (155℃)	F
聚酰胺纤维聚酯纤维混抄纸与 聚酯薄膜复合箔 (SUNMSI)	0.20~0.35	≥ 196	≥ 98	≥ 10	≥ 9	≥ 7.5 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^{11}$ (155℃)	F
聚酰胺纤维纸与聚酯薄膜复合 箔 (SMS)	0.20~0.35	≥ 196	≥ 98	≥ 10	≥ 9	≥ 7.5 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{11}$	$\geq 1 \times 10^{11}$ (155℃)	F
含粉云母聚芳酰胺纤维聚酯纤维 混抄纸与聚酯薄膜复合箔 (643)	0.20~0.35	120~240	100~200	6~13	5~12	5~12 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{13}$ (155℃)	F
聚芳酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜 复合箔 (NHN)	0.20~0.25	≥ 120	—	6~7.5	5~6.25	5~6.25 (155℃)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{13}$ (180℃)	H
聚酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄膜 复合箔 (SHS)	0.20~0.35	≥ 190	≥ 98	8~10	8~10	2.5~ 8.5 (180℃)	$\geq 1 \times 10^{12}$	$\geq 1 \times 10^{10}$	$\geq 1 \times 10^{11}$ (180℃)	H
652 聚芳酰胺纤维纸与聚酰亚胺薄 单面复合箔 (NH)	0.10~0.15	≥ 100	—	3~4.5	2.5~3.8	2.5~ 3.8 (180℃)	$\geq 1 \times 10^{14}$	$\geq 1 \times 10^{13}$	$\geq 1 \times 10^{18}$ (180℃)	H

四、电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料的分切加工和使用储存

电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料在生产和使用时，均需经过分切加工。分切工序的工作环境必须保持清洁，必要时分切加工设备应装有静电消除器。

电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料应保持在规定的温度、湿度条件下储存。超储存产品必须按标准复检合格后方可使用。

第五节 绝缘纸板及绝缘成型件

一、电绝缘纸板

电绝缘纸板是由 100% 的未漂硫酸盐针叶木浆经打浆、湿造、热压、整理等工序精制而成。与其他绝缘材料（麻浆）相比，具有价格低廉，物理性能、化学性能、电气性能、耐老化等综合性能良好的优点，广泛应用于变压器、发电机、电器开关等电器行业。

1. 绝缘纸板的主要性能要求

(1) 外观要求

① 厚度应均匀一致，切边整齐、洁净。

② 纸板应该平整，不许翘曲、鼓包、压痕、压折子，不能有表面裂纹、肉眼可见的孔眼、粗大纤维束以及导电杂质。

③ 纸板在冲压切断时不应分层。

(2) 主要性能指标（见表 10.2.26）

表 10.2.26 绝缘纸板主要性能指标

项目名称			单位	指标	项目名称			单位	指标
厚度 (3.0mm) 偏差			%	±7	供货水分			%	5~9
紧度			g/cm ³	1.0~1.25	灰分, 不大于			%	1.0
抗张强度	纵向	不小于	N/mm ²	90	吸油率, 不小于			%	9.0
	横向			50					
收缩率	纵向	不大于	%	1.0	水抽出物电导率, 不大于			ms/m	10
	横向			1.4					
	厚度			6.0	水抽出物 pH 值				6~9
伸长率	纵向	不小于	%	3.5					
	横向			4.0	油中	24			

2. 绝缘纸板的应用范围及注意事项

(1) 应用范围 绝缘纸板可用于制造垫块、夹件、夹板、支撑板、瓦楞板、端圈、铁轭绝缘、撑条、倒线槽和生产层压板等。

(2) 注意事项 纸板含水量对纸板的电气性能影响很大。纸板及其加工的条料绝缘件在加工后或装配完毕需进行彻底干燥，以保证纸板良好的绝缘性能。在选用纸板制作纸筒或压制瓦楞纸板时，如纸板含水量不在 10%~14% 范围内，应予增湿，即在纸板表面均匀喷洒一层水膜，逐层将纸板叠合，上部用塑料膜覆盖，经 24~48h 湿平衡即可。

二、绝缘成型件

目前，国内生产的绝缘成型件有五大系列产品，一千多个品种规格。

1. 分类

成型件按其用途分为引线绝缘、器身绝缘、油隙绝缘、支撑绝缘、导油导线绝缘；按工艺方法分为：异型件、模压件、层压件、压铸件、组装套件、机加工标准件。

2. 主要性能要求

(1) 外观要求 成型件表面应平整，无明显凹凸、气泡、粒块、孔洞、杂质和污染斑点等缺陷。边部和内部不应有分层现象，任何切割加工部位应平滑、无毛刺，不允许有碳化现象。

(2) 主要性能要求 (见表 10.2.27)

表 10.2.27 绝缘成型件主要性能要求

序号	项目名称		单位	指 标		
				TJ-V0I	TJ-POI	TJ-MOI
1	密度		g/cm ³	0.72~0.92	1.0~1.2	1.1~1.25
2	水分		%	<6.0		<7.0
3	灰分		%	<1.0		
4	水抽出物 pH 值			5.5~9.0		
5	电导率		ms/m	<8.0		
6	收缩率	厚度方向	%	<6.0		
		其他方向		<2.0		
7	击穿电压	1~2mm	kV/mm	油中 > 10	油中 > 30	油中 > 32
				空气中 > 7.5	空气中 > 7.5	空气中 > 7.5
		2mm 以上	kV/mm	油中 > 10	油中 > 20	油中 > 29
				空气中 > 7.5	空气中 > 7.5	空气中 > 7.5

第六节 电工层压制品

电工层压制品是以有机或无机纤维作底材, 浸涂不同的胶粘剂, 经热压或卷制而成的层状结构绝缘材料。层压制品的性能取决于底材和胶粘剂的性质及其成型工艺。可制成具有优良电气、机械性能和耐热、耐油、耐雷、耐电弧、防电晕等特性的制品。

电工层压制品可分为层压板、层压管、棒、电容式套管芯三类。

一、层压板

层压板是选用经浸涂合成树脂的坯料, 堆叠整齐热压制成的板材。它包括层压纸板、层压布板、层压玻璃布和防电晕层压板等。其品种和用途见表 10.2.28。

表 10.2.28 层压板的品种、组成、特性和用途

名称	型号	标准编号	组 成		耐热等级	特性和用途
			底 材	胶 粘 剂		
酚醛 层压 纸板	3020	GB 1302—77	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	电气性能较好, 耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件, 并可在变压器油中使用
	3021	GB 1302—77	浸渍纸	苯酚或甲酚 甲醛树脂	E	机械强度高, 耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件, 并可在变压器油中使用
	3022	JB 1677—75	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	有较高的耐潮性。适于作高湿条件下工作的电工设备中的绝缘结构件
	3023	JB 1678—75	浸渍纸	甲酚甲醛树脂	E	介质损耗低。适于作无线电、电话和高频设备中的绝缘结构件
	—	—	漂白棉纤维 纸	合成橡胶改 性酚醛树脂	E	外观好, 具有良好的冷冲剪性能。适于作无线电和其他电器设备的冷冲剪绝缘结构件
酚醛 层压 布板	3025	JB 886—75	棉布	苯酚甲醛树脂	E	机械强度高。适于作电器设备中的绝缘结构件, 并可在变压器油中使用
	3027	JB 2182—77	棉布	苯酚甲醛树脂加甲酚甲醛 树脂	E	电气性能好, 吸水性小。适于作高频无线电装置中的绝缘结构件

续表

名称	型号	标准编号	组成		耐热等级	特性和用途
			底材	胶粘剂		
酚醛层压玻璃布板	3230	Q/D 147—66	无碱玻璃布	苯酚甲醛树脂	B	机械性能、耐水和耐热性比层压纸、布板好，但粘合强度低。适于作电气设备中的绝缘结构件，并可在变压器油中使用
苯胺酚醛层压玻璃布板	3231	Q/D 148—66	沃兰处理玻璃布	苯胺酚醛树脂	B	电气性能和机械性能比酚醛玻璃布板的好，粘合强度与棉布板相近。可代替棉布板用作电机、电器中的绝缘结构件
环氧酚醛层压玻璃布板	3240	GB 1303—77	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	具有很高的机械强度，电气性能好，耐热性和耐水性较好，浸水后的电气性能较稳定。适于作要求高机械强度、高介电性能以及耐水性好的电机、电器绝缘结构件，并可在变压器油中使用
有机硅环氧层压玻璃布板	3250	Q/D 149—66	沃兰处理玻璃布	有机硅环氧树脂	F	电气性能和耐热性好，机械强度较高。供作耐热和湿热地区 F 级电机、电器绝缘结构件
有机硅层压玻璃布板	3251	Q/D 149—66	沃兰处理玻璃布	有机硅树脂	H	耐热性好，电气性能和机械性能与 3230 相近，并耐化学药品腐蚀，耐辐照。可用作 H 级电机电器绝缘结构件
聚二苯醚层压玻璃布板	—	—	沃兰处理玻璃布	聚二苯醚树脂	H	具有优良的耐热性和机械性能，耐辐照，耐腐蚀等理化性能。适于作 H 级电机、电器绝缘结构件
聚酰胺亚胺层压玻璃布板	—	—	无碱玻璃布	聚酰胺亚胺树脂	H	具有良好的机械性能，电气性能和耐热、耐辐照性。适于作 H 级电机电器绝缘结构件
聚酰胺层压玻璃布板	—	—	无碱玻璃布	聚酰亚胺树脂	C	具有很好的耐热性，耐辐照。用作 H 级电机电器绝缘结构件
酚醛纸复铜箔板	3420 (双面) 3421 (单面)	JB 1547—75	棉纤维纸	酚醛树脂	E	具有高的抗剥强度、较好的机械性能、电气性能和机械加工性。适于作无线电、电子设备和其他设备中的印刷电路板

续表

名称	型号	标准编号	组成		耐热等级	特性和用途
			底材	胶粘剂		
环氧酚醛玻璃布复铜箔板	3440 (双面) 3441 (单面)	JB 1547—75	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	F	具有较高的抗剥强度和机械强度, 电气性能和耐水性好。用于制造工作温度较高的无线电、电子设备及其他设备中的印刷电路板
防电晕环氧玻璃布板			无碱玻璃布	加有导电材料的环氧酚醛树脂	F	具有较稳定的低电阻。适于作高压电机槽部的防电晕材料

二、层压管和棒

层压管(棒)是选用浸涂合成树脂的坯料, 经卷制和热处理制成的管(棒)状绝缘材料。

层压管的品种、组成及用途见表 10.2.29。

表 10.2.29 层压管的品种、组成、特性和用途

名称	型号	组成		耐热等级	特性和用途
		底材	胶粘剂		
酚醛纸管	3520	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	电气性能好。适于作电机、电器绝缘结构件, 可在变压器油中使用
	3522	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	电气性能好, 介质损耗较小。适于作无线电和电信装置中的绝缘结构件
	3523	卷绕纸	苯酚甲醛树脂	E	具有良好的机械加工性。适于作电机、电器绝缘结构件, 可在变压器油中使用
酚醛布管	3526	煮炼布	苯酚甲醛树脂	E	具有较高的机械强度和一定的电气性能。适于作电机、电器绝缘结构件, 可在变压器油中使用
环氧酚醛玻璃布管	3640	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B-F	具有高的电气性能和机械性能, 耐潮性和耐热性较好。适于作电机、电器绝缘结构件, 可在高电场强度、潮湿环境或变压器油中使用
有机硅玻璃布管	3650	无碱玻璃布	改性有机硅树脂	H	具有高的耐热性, 耐潮性好。适于作 H 级电机、电器绝缘结构件

层压棒的组成、性能和用途见表 10.2.30。

表 10.2.30 层压棒的组成、性能和用途

名称	标准号	组成		耐热等级	相对密度	吸水率 /%	耐油性 /℃	抗弯强度 /MPa	抗张强度 /MPa	平行层向绝缘电阻 /Ω		平行层向击穿电压 /kV (在变压器油中)		特性和用途
		底材	胶粘剂							常态	浸水后	(20±5)℃	(90±2)℃	
酚醛纸棒 3720	ODG 503.041	浸渍纸	酚醛树脂	E	1.25	—	105	98~245.2	68.6~156.9	>10 ¹⁰	—	8~22 ^①	—	具有一定的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件, 并可在变压器油中使用

续表

名称	标准号	组成		耐热等级	相对密度	吸水率/%	耐油性/℃ ^①	抗弯强度/MPa	抗张强度/MPa	平行层向绝缘电阻/Ω		平行层向击穿电压/kV (在变压器油中)		特性和用途
		底材	胶剂							常态	浸水后	(20±5)℃	(90±2)℃	
酚醛布棒 3721	JB 889—75	棉布	酚醛树脂	E	1.25	< 10.0	—	117.7 ~ 176.5	78.5 ~ 166.7	> 10 ⁸	—	10 ~ 40	—	具有较好的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备的绝缘结构件,并可在变压器油中使用。
环氧酚醛玻璃布棒 3840	JB 890—75	无碱玻璃布	环氧酚醛树脂	B、F	1.75 ~ 2.00	—	—	343.2 ~ 549.2	196.1 ~ 411.9	10 ¹⁰ ~ 10 ¹²	10 ⁷ ~ 10 ¹⁰	—	15 ~ 30	具有良好的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件,可在湿热地区或变压器油中使用。

① 在变压器油中 4h。

② 系内电阻率,单位为 Ω·m。

③ 电极间距为 10mm。

三、电容式套管芯

电容式套管芯是以绝缘卷绕纸为基材,由浸涂合成树脂的上胶纸和涂胶铝箔相间卷绕烘干制成。其实质是一组以胶纸为电介质,以铝箔为电极的串联电容器,接入高压电场中可起均压作用,是高压电器设备出线套管的重要组成部分。

电容式套管芯分 35、60、110、220 和 330kV 五级。对套管芯的要求是起始游离电压高(即不易被电离)和介质损耗小。起始游离电压值应不低于工作相电压的 115%。

第七节 电工用橡胶

橡胶是一种分子链为无定形结构的高分子聚合物,富有弹性和较大的延伸率。

橡胶随温度上升而变软,发粘,因此必须进行硫化处理,以改变橡胶的分子结构状态,改善橡胶的性能。为了进一步改善橡胶性能,在硫化过程中还需添加其他配合剂,如添加促进剂、硫化剂、防老剂、补强剂、增塑剂等。

电工用橡胶分天然橡胶和合成橡胶两大类。

一、天然橡胶

天然橡胶的主要成分是聚异戊二烯,其抗张强度、抗撕性和回弹性比多数合成橡胶好,但不耐热,易老化,不耐臭氧,不耐油和有机溶剂,易燃。

天然橡胶适宜作柔性、弯曲性和弹性要求较高的电线电缆护套,长期使用温度 60 ~ 65℃,耐压等级 6kV,但不宜接触矿物油和有机溶剂,也不宜用在户外。

二、合成橡胶

合成橡胶又称人造橡胶,用类似天然橡胶性质的高分子聚合物制成。合成橡胶有非极性橡胶和极性橡胶之分。非极性橡胶有丁苯橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶和硅橡胶等,主要用作电线电缆绝缘、电机线圈弯曲部分绕包绝缘(硅橡胶带)等。极性橡胶有氯丁橡胶、丁腈橡胶、氯磺化聚乙烯、氟橡胶等,主要用于电线电缆的外护套。

合成橡胶具有优良的耐热、耐磨、耐老化和耐腐蚀性,其耐油性和耐燃性也比天然橡胶好。合成橡胶的原料易得,可大批生产,并可生产出满足不同使用要求的电工橡胶。

表 10.2.31 列出了常用电工橡胶的性能。

表 10.2.31 常用的

产品名称		天然橡胶	丁苯橡胶	氯丁橡胶		甲基硅	
标准编号			GB 8655—88	ZBG 35001—88		HG 2—	
产品型号			SBR1500	CR2441	CR2442	107	106
指标名称	单位	指					
挥发分,最大	%	—	1.00	1.3		2.0	3.0
总灰分含量,最大	%	0.6	1.50	1.0		—	—
硫化条件		—	145℃ 35', 50'	—	—	①	—
相对密度(对水)		0.92 ~ 0.96	—	—	—	—	—
邵氏硬度,最小		—	—	—	—	—	25
抗张强度,最小	MPa	20	21.1(35')	—	—	—	1.1 ^②
伸长率,最大	%	750	480(35')	—	—	—	150
300%定伸强度,最小	MPa	—	5.9 ~ 11.8(25') 10.3 ~ 16.2(35') 12.3 ~ 18.1(50')	—	—	—	—
门尼粘度	ML 100℃ 1+4	—	45 ~ 59(生胶) ≤ 85(混炼)	—	—	—	—
	MS 100℃ 2+2.5	—	—	40 ± 3	48 ± 4	—	—
体积电阻系数,最小	MΩ·m	1 × 10 ⁷	—	—	—	1 ×	
介电强度,最小	MV/mm	20	—	—	—	17	18
介电系数,最大	10 ³ Hz	2.3 ~ 3	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz	—	—	—	—	3.0	3.3
损耗因数,最大	10 ³ Hz	0.03	—	—	—	—	—
	10 ⁶ Hz	—	—	—	—	0.0005	0.005
耐辐射剂量	rad	5 × 10 ⁶	—	—	—	—	—
脆化温度	℃	-50 ~ -60	—	—	—	—	—
长期工作温度	℃	60 ~ 65	65 ~ 70	70 ~ 80		180 ~	

① 指表面硫化时间。

② 未加补强剂。

③ SDL型含SDL-14,SDL-1-35,SDL-1-43等三种型号。

④ 丁腈橡胶有DQJ-170,DQJ270,DQJ370,DQJ371等四种型号。

电工橡胶的性能

橡胶		氟硅橡胶	氟橡胶	丁腈橡胶 ^①	丁基橡胶	氯磺化聚 乙烯	顺丁橡胶	三元乙丙橡胶
—1494—83							HG 4—1278 —80	
SD33	SDL ^②					20型, 30型 40型, 45型	DJ9000	I型
标 值								
1.0	1.0~2.0	—	—	1.0	—	1.0	0.75	1.0
—	—	—	—	1.5	—	—	0.3	0.5
—	—	—	—	142℃60' 50', 40'	—	—	145℃ 30'	160℃ 40'
—	—	1.4	1.85	0.96~1.02	0.91	—	—	—
20	30~35	—	—	—	—	—	—	—
0.4 ^②	1.1~2.0 ^②	7 ^③	14	25~30	21~24	18~25	13	18
100	150~120	100~200	100~500	450~600	400~800	310~500	450	350
—	—	—	—	—	—	—	8~12	—
—	—	—	—	46~65	—	37~43(20型) ≥50(30型) 30~45(40型)	45±5	45±5
—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 ³		1×10 ⁵	1×10 ⁴	1×10 ²	1×10 ²	—	—	—
15	17	15	20	15	10~20	—	—	—
—	—	6.9~7.4 (100Hz)	—	—	7.5~9	—	—	—
3.0	3.0~3.5	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0.03~0.07 (100Hz)	—	0.055	0.03	—	—	—
0.0005	0.005	—	0.3~0.4	—	—	—	—	—
—	—	—	10 ⁶ ~10 ⁷	—	10 ⁶	—	—	—
—	—	-68	-34~-45	-15~-40	-40~-55	—	—	—
200		200	200	80~85	80~85	90~105	—	—

第八节 电工用塑料

电工用塑料一般由合成树脂、填料和各种添加剂等配制成的粉状、粒状或纤维状高分子材料，在一定温度和压力下加工成各种规格、形状的电气设备绝缘零部件。电工塑料质轻，电气性能优良，有足够的硬度和机械强度，易用模具加工成型，在电气设备中得到广泛的应用。

合成树脂是塑料的主要成分，它决定了塑料的基本特性。按树脂的类型，塑料可分热固性塑料和热塑性塑料两类。热固性塑料在热压成型后变成不溶不熔的固化物，而热塑性塑料可反复多次熔化和固化。

一、热固性塑料

热固性塑料是由热固性合成树脂、填料、固化剂、促进剂、脱模剂、颜料和染料等组成。热固性塑料成型加工方法有模压、注塑成型等。热固性塑料的品种、特性和用途见表 10.2.32。热固性塑料的性能见表 10.2.33。

表 10.2.32 热固性塑料的品种、组成、特性和用途

类别	名称	型号	组成	耐热等级	特性和用途
酚 醛 塑 料	酚醛塑料	4010	由苯酚甲醛树脂、木粉和固化剂等组成	A	具有一定的电气性能和机械性能，但吸湿性较大，耐霉性差。适于塑制一般低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	酚醛塑料	4013	由苯酚甲醛树脂、木粉、石粉和固化剂等组成	A	树脂含量较 4010 高，表面光泽性好，吸湿性小，耐霉性好。可塑制湿热地区使用的低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	二甲苯改性酚醛塑料	—	由二甲苯改性酚醛树脂、木粉、石粉和固化剂等组成	A	具有良好的耐潮性和耐霉性，适于塑制湿热地区使用的低压电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	丁腈橡胶改性酚醛塑料	4511	由丁腈橡胶改性酚醛树脂、木粉或高岭土和固化剂等组成	A	抗冲击性好，耐潮性和耐霉性好。适于塑制耐震或湿热地区使用的低压电机、电器和仪器、仪表绝缘零部件
	聚酰胺改性酚醛塑料	35-1	由聚酰胺改性酚醛树脂、石粉和固化剂等组成	B	具有较高的电气性能和尺寸稳定性，耐潮性和耐霉性好。适于塑制高压、高频和湿热地区使用的电机、电器和仪器仪表绝缘零部件
	酚醛玻璃纤维塑料	4330	由苯胺、聚乙烯醇缩丁醛改性酚醛树脂和定向玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能和机械性能，热变形温度较高，耐潮性和耐霉性好。适于塑制湿热地区使用的电机、电器绝缘零部件
	无氮酚醛塑料	17-1	由苯酚苯胺甲醛树脂和木粉等组成	A	长期使用中无氮产生。适于塑制要求无氮产生的电器和仪表等绝缘
	高频酚醛塑料	14-5	由苯酚苯胺甲醛树脂、苯酚甲醛树脂、石英或云母粉组成	B	具有优良的电气性能，机械强度高，收缩性小，耐潮性和耐霉性好。适于塑制高频电器、仪表和电信设备

续表

类别	名称	型号	组成	耐热等级	特性和用途
氨基塑料	脲醛塑料	212	由尿素甲醛树脂和漂白棉纤维纸浆组成	A	具有较好的机械性能和电气性能, 色泽鲜艳, 但吸湿性大, 耐热性差。可塑制照明、器材、电话机、电工仪表等的零部件。用三聚氰胺改性的脲醛塑料可用在湿热地区
	三聚氰胺甲醛玻璃纤维塑料	34	由三聚氰胺甲醛树脂和定向玻璃纤维组成	B	具有较高的机械性能和热变形温度, 表面光泽和耐电弧性好。适于塑制防爆电机、电器、电动工具绝缘结构件以及高压开关耐弧部件, 可在湿热地区使用
	三聚氰胺甲醛石棉塑料	4220	由三聚氰胺甲醛树脂、石棉和其他添加剂组成	B	具有优良的耐电弧性, 热变形温度高, 但机械性能较低。适于塑制电器开关灭弧罩和其他耐弧部件
聚酯塑料	聚酯料团	L-200	由邻苯二甲酸酐、顺丁烯二酸酐丙二醇型不饱和聚酯树脂和无碱玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能和机械性能, 热变形温度较高, 耐霉性好, 成型工艺性好。适于塑制湿热地区电机、电器绝缘零部件
	邻苯二甲酸二丙酯塑料	D200	由邻苯二甲酸二丙酯树脂和无碱玻璃纤维组成	B	具有优良的电气性能, 耐潮性、耐霉性和耐化学药品性好, 尺寸稳定, 成型工艺性好。适于塑制湿热地区电机、电器和电信设备等的绝缘零部件
耐高温塑料	有机硅石棉塑料	4250	由有机硅树脂和石棉纤维组成	H	具有较高的耐热性和耐电弧性, 但机械性能差, 成型时间长。适于塑制耐高温和防爆电机、电器绝缘零部件。制件需进行后处理
	聚酰亚胺塑料	—	由聚酰亚胺树脂和无碱玻璃纤维组成	H	具有较高的耐热性, 良好的电气性能和机械性能, 耐辐照性、耐腐蚀性和耐磨损性优良, 但成型温度高, 时间长。适于塑制耐高温、高强度的电机、电器绝缘零部件

二、热塑性塑料

热塑性塑料有纯树脂的, 也有用树脂、填料和各种添加剂组成的。热塑性塑料在热挤压成型后虽固化, 但其物理和化学性质不发生明显变化, 仍可熔可溶, 故可反复多次成型。热塑性塑料主要品种有聚苯乙烯、苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物 (ABS)、聚酰胺 (尼龙 1010)、聚甲基丙烯酸甲酯 (有机玻璃 PMMA) 和电线电缆用热塑性塑料聚乙烯 (PE)、聚氯乙烯 (PVC) 等。表 10.2.34 列出了一般电工用热塑性塑料的性能。表 10.2.35 列出了电线电缆用塑料的性能。

表 10.2.33 热固性塑料的性能

性能名称	酚醛塑料 4010	酚醛塑料 4013	甲苯改 性酚醛 塑料	丁腈橡胶 改性酚醛 塑料	聚酰胺改 性酚醛 塑料	酚醛玻璃 纤维塑料	无氮酚醛 塑料	高频酚醛 塑料	源醛塑料	二聚氰胺 甲醚玻璃 纤维塑料	二聚氰胺 甲醚石棉 塑料	聚酯料团 L-200	邻苯二甲 酸二丙稀 酯塑料	有机硅石 棉塑料	聚胺 酰亚 胺塑 料
相对密度	≤1.4	≤1.5	≤1.5	≤1.7	≤1.9	≤1.9	≤1.4	≤1.9	≤1.5	≤2.0	≤1.75	≤1.9	≤1.7	≤1.95	≤1.3
比容 (cm ³ /g)	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.2	≤2.0	—	≤2.0	≤2.0	≤3.0	—	—	—	—	—	—
吸水性/%	≤0.1	≤0.04	≤0.04	≤0.03	≤0.02	≤0.05	≤0.07	≤0.025	≤0.5	≤0.1	≤0.1	≤0.08	≤0.05	—	≤0.035
计算收缩 率/%	0.5~0.9	0.5~0.9	0.5~0.9	0.5~0.9	0.4~0.7	—	0.6~1.0	0.4~0.7	0.4~0.8	0.3~0.6	—	—	0.1~0.8	≤0.5	—
拉西格流 动性/mm	100~180	100~190	200	90~190	100~190	—	100~180	100~180	130~190	100~190	—	—	—	100~160	150 ~180
马丁氏耐 热性/°C	125~140	125~140	>125	125~140	125~135	200~250	120~140	>140	100~130	150~160	150~160	150~200	130~150	>300	>210
抗弯强度 /MPa	58.8~92.2	68.6~89.2	>68.6	44.1~ 79.4	88.3~ 113	>245	58.8~86.3	78.5~ 114.7	88.3~ 131.4	117.7~ 196.1	44.1~70.6	117.7~ 245.2	49~ 78.5	24.5~41.2	>86.3
抗冲击强 度/(N·cm/ cm ²)	58.8~88.2	58.8~88.2	>58.8	78.4~98.0	58.8~78.4	1470~2254	53.9~88.2	58.8~78.4	78.4 ~11.76	>980.6	≥49	784 ~1960	>490	34.3~88.2	74.5
表面电阻 率/Ω	10 ¹¹ ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹³	>10 ¹²	10 ¹² ~10 ¹³	>10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹⁴	10 ¹⁰ ~10 ¹⁵	10 ¹³ ~10 ¹⁴	10 ¹⁰ ~10 ¹⁴	10 ¹¹ ~10 ¹⁴	10 ¹¹ ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹⁵	10 ¹² ~10 ¹⁵	10 ¹⁰ ~10 ¹³	>10 ¹⁶
体积电阻 率/(Ω·cm)	10 ¹⁰ ~10 ¹³	10 ¹¹ ~10 ¹³	>10 ¹¹	10 ¹¹ ~10 ¹³	>10 ¹⁴	10 ¹³ ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹³	10 ¹¹ ~10 ¹⁴	10 ¹⁰ ~10 ¹³	10 ¹⁰ ~10 ¹³	10 ¹² ~10 ¹⁴	10 ¹² ~10 ¹⁵	10 ¹¹ ~10 ¹⁴	>10 ¹⁴
击穿强度 /(kV/mm)	10~15	13~16	>13	13~15	>16	13~19	13~15	12~16	>10	10~12	10~14	8~12	>12	3~10	>14
介质损耗 角正切 (10 ⁶ Hz)	—	—	—	—	8×10 ⁻² ~ 1.2× 10 ⁻²	2.8×10 ⁻² ~5×10 ⁻²	8×10 ⁻²⁰	7×10 ⁻³ ~ 1×10 ⁻²	—	—	—	—	<2×10 ⁻²	—	—
相对介电 系数(10 ⁶ Hz)	—	—	—	—	3~5	6~8	—	3~6	—	—	—	—	<5	—	—
耐电弧性 δ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≥60 ^②	—	—	—	>180 ^③	—
耐毒性	差	良	良	良	优	优	良	优	良	优	优	优	良	良	良

① 50Hz。
② 电流 6.5mA, 电极距离 5mm。
③ 电流 40mA, 电极距离 40mm。

表 10.2.34 一般电工用热塑性塑料的性能

性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯		苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物			聚甲基丙烯酸甲酯		聚酰胺(尼龙) 1010		聚碳酸酯		聚砒		聚甲醛		聚苯醚	
	纯料	玻璃纤维增强	203A	204	AS	高抗冲击型	中抗冲击型	耐热型	丙稀酸甲酯	纯料	玻璃纤维增强	纯料	玻璃纤维增强	纯料	均聚	共聚	纯料	改性	
相对密度	1.04~1.09	1.2~1.3	1.1	1.01	1.06	1.02~1.04	1.05~1.07	1.06~1.08	1.17~1.20	1.04~1.09	1.23~1.30	1.20	1.40~1.45	1.41~1.43	1.42~1.43	1.06~1.07	1.06	1.06	
硬度 洛氏布氏 (kgf/mm ²)	M65~80	M90~95	—	—	—	R66~109	R108~121	R105~116	M85~105	—	—	M70~80 R118	M93	M94 R120	M80~94	M78 R118~123	M78 R119	—	
吸水率/%	0.03~0.10	0.05~0.07	—	0.17	—	0.3	0.3	0.2	0.3~0.4	0.5~1.0	0.05	0.13~0.24	0.07~0.1	0.22~0.25	0.25	0.06~0.07	0.07~0.14	—	
熔点/°C	200	—	—	—	—	217~237	217~237	217~237	>108	200~210	—	220~230	—	166	175	>300	—	—	
热变形温度/°C 1.8MPa时	96	104	—	—	—	87~103	89~107	96~118	70~90	45	—	132~142	140~149	110	124	185~193	130~190	—	
451.1kPa时	—	—	—	—	—	96~107	98~110	104~121	75~115	—	—	—	150~155	158	170	—	—	—	—
马丁氏耐热性/°C	≥56	—	76	75	79~81	>50	—	—	65	42~48	90~180	110~140	150~152	57~75	60~64	144~160	—	—	—
维卡耐热性/°C	≥80	—	≥80	—	93~94	71~80	—	—	≥110	123~160	—	156	—	148~153	154	—	—	—	—
连续耐热性/°C (不受力)	65	82~93	—	60~96	—	71~99	87~110	—	—	82~120	—	121	140~141	104	85	185~220	100~130	—	—
脆化温度/°C	≥-30	—	≥-30	≥-30	≥-40	—	—	—	—	-60	-60	-100	—	-40	—	-127	-45	—	—

续表

性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯		苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚物		聚甲基丙烯酸甲酯	聚酰胺(尼龙) 1010		聚碳酸酯		聚砜	聚甲醛		聚苯醚	
	纯料	玻璃纤维增强	203A	204	AS	高抗冲型		中抗冲型	耐热型	纯料	玻璃纤维增强		纯料	玻璃纤维增强		共聚
导热系数/[kJ/(m·h·°C)]	0.50	—	—	—	—	0.67~1.21	0.67~1.21	0.67~1.21	—	0.69	0.46	—	0.84~1.13	0.84~1.13	—	0.78
线膨胀系数×10 ⁻⁵ /°C	8	3.0~4.5	—	—	—	9.5~10.5	5~8.5	6.0~9.0	3.1	5~7	1.6~2.7	5.0~5.2	10.9~11.4	8.1~10.0	5.0~5.6	6.0~6.7
模塑收缩率/%	0.4~0.7	0.1~0.3	0.4~0.7	0.4~0.7	0.4~0.7	0.3~0.8	0.3~0.8	0.3~0.8	1.2~1.5	0.5~0.8	—	0.8	2.0~3.0	2.0~2.5	0.7~1.0	0.5~0.7
抗张强度/MPa	34.3~82	75.5~103.0	39.2	≥49.0	≥53.9	34.3~43.1	41.2~60.8	44.1~55.9	67.7~176.5	53.9~68.6	107.9~166.7	70.6~83.4	53.0~68.8	65.7~75.5	65.2~75.5	65.7
抗弯强度/MPa	58.8~96.1	103.0~127.5	≥58.8	≥70.6	≥127.5	51.0~79.4	67.7~95.1	68.6~83.8	107.9~304	93.2~107.9	137.3~192.2	105.9~124.5	78.5~122.6	88.3~132.4	96.1~134.4	93.2
抗冲击强度/(N·cm/cm ²) 缺口	13.7~20.5	131.3	—	—	—	519.4	58.8	15.6~31.4	83.3	627.2~735	88.2~127.4	68.6~79.4	63.7~88.2	63.7~99.9	81.3~99.9	57.8~68.6
无缺口	12~16	—	≥25	≥16	21~26	180~190	—	—	60~100	不断	65	170~370	36~120	90~110	53~64	—
抗压强度/MPa	78.5~107.9	—	—	≥88.3	—	—	—	75.5~103.0	154.0	73.5~86.3	98.1~132.4	87.3~95.1	90.2~110.8	119.6	89.2~109.8	112.8
疲劳强度/MPa(10周)	—	—	—	—	—	10.8~14.7	10.8~14.7	—	—	68.6~98	44.1	—	24.5~26.5	29.4~34.3	8.2~13.7	13.7~19.6

续表

性能名称	聚苯乙烯		改性聚苯乙烯		苯乙烯-丙烯酸共聚共聚酯			聚甲基丙烯酸甲酯		聚酰胺(尼龙)1010		聚碳酸酯		聚砜		聚甲醛		聚苯醚	
	纯料	玻璃纤维增强	203A	204	AS	高抗冲型	中抗冲型	耐热型	—	—	纯料	玻璃纤维增强	纯料	玻璃纤维增强	—	共聚	均聚	纯料	改性
伸长率/%	1.0~2.5	0.75~1.1	—	12~48	—	5~60	5~25	3~20	2~10	—	50~250	60~130	1~5	20~100	32~75	15~25	30~80	20~30	—
拉伸弹性模数/MPa	0.27~0.41	—	—	—	—	0.16~0.25	0.21~0.30	0.21~0.29	0.30~0.34	0.86~1.27	0.10~0.16	0.21~0.25	0.64~1.17	0.25~0.27	0.27	0.28	0.25~0.27	0.16~0.25	—
弯曲弹性模数/MPa × 10 ⁴	0.29~0.32	—	—	—	—	0.18	0.29	0.25~0.25	—	0.58~0.73	0.13~0.16	0.20~0.29	0.47~0.74	0.26~0.27	0.25	0.28	0.20~0.21	0.25	—
体积电阻率/(Ω·cm)	10 ¹⁶ ~10 ¹⁷	>10 ¹⁶	>10 ¹⁵	>10 ¹⁰	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	5.0 × 10 ¹⁶	10 ¹¹ ~10 ¹⁵	>10 ¹⁴	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	10 ¹⁶ ~10 ¹⁷	>10 ¹⁶	>10 ¹⁷
表面电阻率/Ω	—	—	>2.0 × 10 ¹⁵	1.4 × 10 ¹³	>10 ¹²	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	>10 ¹⁵	—	>10 ¹⁶	>10 ¹⁴	>10 ¹⁴	10 ¹⁵ ~10 ¹⁷	—	—
击穿强度/(kV/mm)	20~28	14~17	29	25	22	13~18	14~16	14~16	18~22	15~24	18~29	17~22	19~29	16~20	19	18	16~21	—	—
介质损耗角正切(50Hz)	1 × 10 ⁻⁴	(1~3) × 10 ⁻³	—	(1~3) × 10 ⁻⁴	1 × 10 ⁻²	3 × 10 ⁻³	(3~8) × 10 ⁻³	3.4 × 10 ⁻²	(2~6) × 10 ⁻²	(2~3) × 10 ⁻²	2.7 × 10 ⁻¹	(6~7) × 10 ⁻³	(3~7) × 10 ⁻³	(1~6) × 10 ⁻³	5 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³	3.5 × 10 ⁻¹	3.5 × 10 ⁻⁴	(4~6) × 10 ⁻⁴
相对介电常数	2.4~2.7	2.7~3.4	—	3.12	—	2.4	2.4	2.7~3.5	3.0~3.7	2.5~3.6	3.5~4.6	3.0	3.2~3.5	2.9~3.1	3.8	3.7	2.58	2.64	—
燃烧性	易燃	易燃	易燃	易燃	易燃	缓慢	缓慢	缓慢	可燃	自熄	自熄	自熄	不燃	自熄	缓慢	缓慢	缓慢	自熄	自熄

表 10.2.35 电线电缆用塑料的性能

性能名称	聚氯乙烯			聚乙烯				聚丙烯						氟塑料						氯化聚酯
	绝缘级		护层级	低密度	中密度	高密度	交联	聚丙烯			F-46	F-40	PFA	F-2	F-3	氟塑料				
	约 1.5	约 1.25	D33	0.910 0.925	R15	R30~50	—	R90~110	D50~60	R25	R50	D60	D70~80	R111~115	R100	氟塑料				
相对密度	约 1.5	约 1.25	D33	0.910 0.925	R15	R30~50	—	R90~110	D50~60	R25	R50	D60	D70~80	R111~115	R100	氟塑料			氯化聚酯	
硬度	D95	—	1.0	0.02	0.02	0.01	—	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	—	0.01	氟塑料			0.01	
吸水率/% 不大于	> 17.7	> 11.8	> 300	9.6~13.0 13.0	13.0~17.8 17.8	17.8~30.9 30.9	—	29.4~39.2 39.2	13.7~29.4 29.4	> 19.6	—	—	> 58.8	29.4~39.2 39.2	> 39.2	氟塑料			> 39.2	
抗张强度/MPa	> 200	> 300	> 300	20~350	100~600	15~700	> 200	400~700	200~300	250~330	> 200	> 300	> 300	125~175	60~160	氟塑料			60~160	
伸长率/%	—	—	—	41~50	49~66	64~85	—	99~110	121	72	104	—	149	129	149	氟塑料			149	
热变形温度/°C (45kPa)	0.452~0.602	0.452~0.602	—	1.201	—	1.653~1.799	—	0.494	0.900	0.900	0.900	—	0.678	0.900	—	氟塑料			—	
导热系数/[kJ/(m·h·°C)]	10 ³ ~10 ⁴	10 ⁹ ~10 ¹⁰	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁷	> 10 ¹⁷	> 10 ¹⁶	> 10 ¹⁷	> 10 ¹⁷	> 10 ¹⁷	> 10 ¹⁵	氟塑料			> 10 ¹⁵	
体积电阻率/(Ω·cm)	5.0~6.0 (50Hz)	—	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	8.4	2.3~2.8	3.0	氟塑料			3.0	
相对介电系数 (50Hz)	4.5~5.8 (10 ³ Hz)	—	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	7.7	2.3~2.8	3.0	氟塑料			3.0	
(10 ⁶ Hz)	3.5~4.5	—	—	2.3	2.3	2.35	2.3	2.2	2.0	2.1	2.6	2.1	6.4	2.3~2.8	3.0	氟塑料			3.0	
介质损耗角正切 (50Hz)	5 × 10 ⁻²	—	—	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻⁴	(2~3) × 10 ⁻⁴	< 2 × 10 ⁻⁴	< 3 × 10 ⁻⁴	6 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻²	1.2 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻²	氟塑料			1 × 10 ⁻²	
(10 ³ Hz)	~1.5 × 10 ⁻¹	—	—	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻⁴	(2.5~3) × 10 ⁻⁴	< 2 × 10 ⁻⁴	< 3 × 10 ⁻⁴	8 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴	1.9 × 10 ⁻²	3.6 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻²	氟塑料			1 × 10 ⁻²	
(10 ⁶ Hz)	6 × 10 ⁻²	—	—	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻⁴	(4~6) × 10 ⁻⁴	< 2 × 10 ⁻⁴	< 7 × 10 ⁻⁴	5 × 10 ⁻³	3 × 10 ⁻⁴	1.6 × 10 ⁻²	3.6 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻²	氟塑料			1 × 10 ⁻²	
击穿强度/(kV/mm)	> 20	16~18	18~28	18~28	20~28	18~20	18~28	30~35	> 19	20~24	16~20	—	10~50	> 20	> 16	氟塑料			> 16	
耐电弧性/s	—	—	—	—	—	> 125	—	—	> 300	> 300	75	—	> 50	> 300	—	氟塑料			—	
燃烧性	自熄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	氟塑料			—	
长期工作温度/°C	65~105	65	70	70	70	70	80~90	120	250	205	150~180	250	130~150	130~150	120	氟塑料			120	

第九节 云母及云母制品

云母是一种矿物晶体。云母的品种很多，在电工绝缘材料中主要应用的是天然白云母、金云母和合成云母。

白云母透明，具有玻璃光泽，云母层中含有铝离子，硬度大。金云母近于金属光泽和半金属光泽，金云母层中含有镁离子，硬度小，又称软质云母。这两种云母解理性好，可加工剥离成不同厚度的薄片；同时均具有良好的电气和机械性能，耐热，耐电晕，化学性质稳定。

合成云母主要是氟金云母，以氟离子取代天然金云母中的氢氧离子，是天然云母的拟似物。其电气、机械、化学性能均优于天然云母。

由于云母从云母矿开采到加工成薄片损失率高（达90%以上），一般只在少数场合用天然云母片，多数用合成云母和粉云母。

一、云母片

云母片就是将天然云母解理成片状材料，它包括云母薄片、电容器用云母片和电子管用云母片三类。表10.2.36列出了常用云母薄片的面积和厚度规格。表10.2.37列出了电容器和电子管云母片面积厚度规格。

表 10.2.36 云母薄片分组规格

编 号		3 [#]	4 [#]	4 1/2 [#]	5 [#]	5 1/2 [#]	6 [#]	6 1/2 [#]	7 [#]	8 [#]	
厚 度	I	10~20								—	
	II	20~30								—	
	III	—								5~35	
面 积 ^①		cm ²	65以上	50~65	40~50	30~40	20~30	15~20	10~15	6~10	4~6

① 指云母片上最大矩形面积。

表 10.2.37 电容器和电子管用云母片规格

编 号		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	
电 容 器 用 云 母 片	厚度 ^①	(1) 20~25; (2) 26~35; (3) 36~45; (4) 46以上									
	面积 ^②	cm ²	155以上	90~155	65~90	40~65	20~40	10~20	6~10	—	—
电 子 管 用 云 母 片	直径 ^③	mm	18	20	25	30	50	70	80	100	119
	最小厚度	mm	0.2	0.2	0.25	0.25	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

① 每一编号的云母片均有四种厚度规格。

② 指云母片上最大矩形面积。

③ 指云母片上有效面积可冲剪零件的直径。

二、云母制品

云母制品是由天然云母片和粉云母，用虫胶、甘油树脂、沥青漆等强力胶粘剂粘合烘干而成。云母制品主要有云母带、云母板、云母箔和云母玻璃等。

1. 云母带

云母带是由胶粘剂粘合云母片或云母粉与补强材料，经烘干而成。云母带及粉云母带的组成性能见表10.2.38。

2. 云母板

云母板是由胶粘剂粘合云母片和粉云母纸经烘焙热压而成。由不同的材料组合，可制成具有不同特点的云母板，主要品种有柔软云母板、塑料云母板、换向云母板及衬垫云母板等。柔软云母板在室温下可弯曲，塑料云母板在室温下硬，加热变软，可塑制成各种形状的绝缘件；换向器云母板含胶量少，在室温下坚硬，塑性小，厚度均匀。云母板的品种、性能见表10.2.39和表10.2.40。

表 10.2.38 云母带及粉云母带的品种、性能和用途

名称	型号	产品标准号	主要组成	耐热等级	厚度 /mm	击穿强度 / (kV/mm)	抗张力/N	特性和用途
沥青绸云母带	5032	JB 896—75	白云母 > 45%，沥青漆 20% ~ 35%，挥发物 > 6%，单面绸，单面云母带纸	A~E	0.13, 0.16	16~25	50~60	柔软性，防潮性和介电性能好，储存期较长（6个月），作线圈绕包绝缘，易嵌线，但绝缘厚度偏差大，耐热性较低。可作高压电机主绝缘
沥青玻璃云母带	5034	JB 896—75	白云母 > 45%，沥青漆 20% ~ 35%，挥发物 > 6%，单面玻璃布，单面云母带纸	E	0.13, 0.16	16~25	50~100	
醇酸纸云母带	5430	JB 896—75	白云母 > 50%，醇酸漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4%，双面云母带纸	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	30~60	
醇酸绸云母带	5432	JB 896—75	白云母 > 45%，醇酸漆 10% ~ 30%，挥发物 < 4%，单面绸，单面云母带纸	B	0.13, 0.16	16~25	50~100	耐热性较高，但防潮性较差。可作直流电机电枢线圈和低压电机线圈的绕包绝缘
醇酸玻璃云母带	5434	JB 896—75	白云母 > 45%，醇酸漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4%，单面无碱玻璃布，单面云母带纸	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	70~140	
环氧聚酯玻璃粉云母带	5437-1	JB 1480—74	粉云母 > 37%，环氧树脂漆 20% ~ 40%，挥发物 < 3%，双面无碱玻璃布	B	0.14, 0.17	20~35	70~140	热弹性较高，在室温下储存期可达6个月，但介质损耗较大。可代替醇酸云母带作电机匝间绝缘和端部绝缘，不宜作高压电机主绝缘
环氧玻璃粉云母带	5438-1	JB 1259—73	粉云母 > 37%，桐油酸酐环氧树脂漆 34% ~ 41%，挥发物 < 2%，双面无碱玻璃布	B	0.14, 0.17	24~45	100~200	含胶量大，厚度均匀，固化后电气、机械性能较好，但储存期较短（半个月）。适用于模压或液压成型的高压电机线圈绝缘
钛改性环氧玻璃粉云母带	9541-1	—	粉云母 > 37%，桐油酸酐钛改性环氧树脂漆 24% ~ 41%，挥发物 < 2%，双面无碱玻璃布	B	0.14, 0.17	24~45	100~200	柔软性好，绕包工艺性好，由于胶粘剂流动性大，故固化时间长。适宜作液压成型的高压电机的主绝缘
环氧玻璃粉云母带	—	—	粉云母 > 37%，磷酸环氧树脂漆 28% ~ 40%，挥发物 < 3%，双面无碱玻璃布	B	0.11, 0.13	24~45	100~200	储存期长。适用于整浸式中型高压电机的主绝缘
有机硅玻璃云母带	5450	JB 896—74	白云母 > 40%，有机硅漆 15% ~ 35%，挥发物 < 2%，单面或双面无碱玻璃布	H	0.10, 0.13, 0.16	16~25	70~170	耐热性高。主要用于要求耐高压电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃粉云母带	5450-1	JB 1479—74	粉云母 > 37%，有机硅漆 20% ~ 40%，挥发物 < 2%，单面或双面无碱玻璃布	H	0.14, 0.17	16~30	70~170	耐热性高。主要用于要求耐高压电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃金云母带	5450-2	JB 896—74	金云母 > 40%，有机硅漆 15% ~ 35%，挥发物 < 2%，单面或双面无碱玻璃布	H	0.10, 0.13, 0.16	16~20	70~170	耐热性高。主要用于要求耐高压电机或牵引电机线圈绝缘

表 10.2.39 柔软云母板和塑型云母板的品种、组成、性能和用途

名称	型号	标准编号	主要组成	耐热等级	击穿强度/(kV/mm)				体积电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)		用途
					厚 0.15 /mm	厚 0.2 ~ 0.25 /mm	厚 0.3 ~ 0.5 /mm	厚 0.6 ~ 1.2 /mm	常态	受潮 48h 后	
醇酸纸柔软云母板	5130	JB 897—74	白云母 > 50%, 醇酸漆 15% ~ 30%, 双面云母带纸	B	15 ~ 28	20 ~ 30	15 ~ 26	—	$> 10^{12}$	$> 10^{10}$	供作低压交直流电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸纸柔软粉云母板	5130-1	J 1481—74	粉云母 > 38%, 醇酸漆 25% ~ 45%, 双面云母带纸	B	16 ~ 35	18 ~ 55	> 16	—	—	—	—
醇酸玻璃柔软云母板	5131	JB 897—74	白云母 > 45%, 醇酸漆 15% ~ 30%, 双面无碱玻璃布	B	16 ~ 20	18 ~ 25	16 ~ 22	—	$> 10^{12}$	$> 10^{10}$	用于一般电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸玻璃柔软粉云母板	5131-1	JB 1482—74	粉云母 > 38%, 醇酸漆 25% ~ 45%, 双面无碱玻璃布	B	16 ~ 25	18 ~ 25	16 ~ 22	—	—	—	—
沥青玻璃柔软云母板	5135	JB 897—74	白云母 > 45%, 沥青漆 15% ~ 30%, 双面无碱玻璃布	E	16 ~ 25	18 ~ 25	16 ~ 22	—	$> 10^{12}$	$> 10^9$	用于低压电机槽绝缘
环氧纸柔软粉云母板	5136	JB 1483—74	白云母 > 38%, 环氧胶 25% ~ 45%, 挥发物 < 3%, 双面云母带纸	B	> 16	> 18	> 16	—	—	—	用作电机槽绝缘及匝间绝缘
环氧玻璃柔软粉云母板	5137-1	JB 1484—74	粉云母 > 40%, 环氧胶 15% ~ 35%, 无碱玻璃布	B	> 25	> 30	> 30	—	—	—	用于低压电机槽绝缘和端部层间绝缘或外包绝缘
环氧薄膜玻璃柔软粉云母板	5138-1	JB 1485—74	粉云母 > 30%, 环氧聚酯 10% ~ 30%, 聚酯薄膜与无碱玻璃布	B	—	> 35	> 35	—	—	—	用于高压电机定子线圈匝间和换位绝缘或其他衬垫绝缘
醇酸柔软云母板	5133	JB 897—74	白云母 > 65%, 醇酸漆 15% ~ 35%	B	25 ~ 30	25 ~ 32	25 ~ 28	—	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	用于高压电机定子线圈匝间和换位绝缘或其他衬垫绝缘
有机硅柔软云母板	5150	JB 897—74	白云母 > 75%, 有机硅漆 15% ~ 25%	H	> 20	> 25	> 20	—	$> 10^{12}$	$> 10^{10}$	—
有机硅玻璃柔软云母板	5151	JB 897—74	白云母 > 45%, 有机硅漆 15% ~ 30%, 单面或双面无碱玻璃布	H	16 ~ 26	18 ~ 28	16 ~ 26	—	$> 10^{12}$	$> 10^{10}$	用于 H 级电机槽部或端部层间绝缘
有机硅玻璃柔软粉云母板	5151-1	JB 897—74	粉云母 > 40%, 有机硅漆 15% ~ 30%, 双面无碱玻璃布	H	> 15	> 25	> 20	—	—	—	—
醇酸塑型云母板	5230	JB 898—74	白云母 75% ~ 85%, 醇酸漆 15% ~ 25%	B	35 ~ 50	35 ~ 50	30 ~ 40	25 ~ 30	$> 10^{12}$	$> 10^{12}$	用于电机整流子 V 形环和电器绝缘结构件
虫胶塑型云母板	5231	JB 898—74	白云母 75% ~ 85%, 虫胶漆 15% ~ 25%	B	35 ~ 47	35 ~ 47	30 ~ 38	> 25	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	—
醇酸塑型云母板	5235	JB 898—74	白云母 85% ~ 92%, 醇酸漆 8% ~ 15%	B	35 ~ 50	35 ~ 50	30 ~ 40	> 25	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	用于温升较高、转速较快的电机整流子 V 形环和绝缘结构件
虫胶塑型云母板	5236	JB 898—74	白云母 85% ~ 92%, 虫胶漆 8% ~ 15%	B	35 ~ 50	35 ~ 50	30 ~ 40	25 ~ 30	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	—
有机硅塑型云母板	5250	JB 898—74	白云母 75% ~ 85%, 有机硅漆 15% ~ 25%	H	35 ~ 50	35 ~ 50	30 ~ 40	> 25	$> 10^{13}$	$> 10^{11}$	用于耐热电机、电器、仪表绝缘结构件

表 10.2.40 换向器云母板和衬垫云母板的品种、性能和用途

名称	型号	标准编号	主要组成	耐热等级	击穿强度 (常态) /(kV/mm)		体积电阻率 /($\Omega \cdot \text{cm}$)		收缩率 (压力 6000 N/cm ²) 不小于/%		起层率/%			主要用途
					厚 0.15 /mm	厚 0.4 - 2.0 /mm	常态	受潮 48 h 后	(20 ± 5)°C	(160 ± 5)°C	试样厚度与面积			
											0.15 (mm) 20 × 40 (mm ²)	0.4 - 0.65 (mm) 20 × 40 (mm ²) ^①	0.7 - 1.0 (mm) 20 × 40 (mm ²) ^②	
虫胶 换向器 云母板	5535	JB 899—74	白云母 > 94%, 虫胶漆 < 6%	B	—	18 ~ 35	—	—	9 ^③ , 7 ^④	1.4	—	5	10	用于一般 直流电机、换 向器绝缘
虫胶 换向器 金云母 板	5535-2	JB 899—74	金云母 > 94%, 虫胶漆 < 6%	B	—	> 18	—	—	9 ^③ , 7 ^④	1.4	—	5	10	用于一般 直流电机、换 向器绝缘
环氧 换向器 粉云母 板	5536-1	JB 899—74	粉云母纸 > 90%, 环氧 树脂漆 < 10%	B	—	20 ~ 40	—	—	9	2.5	—	3	5	用于汽车 电机和其他 小型直流电 机、换向器绝 缘
磷酸 铵换向器 云母板	5560-2	JB 899—74	金云母和 磷酸铵	H	—	> 18	5×10^{12} ~ 10^{13}	5×10^{10} ~ 10^{11}	10	1.0	—	10	10	用于耐高 温电机、换向 器绝缘
醇酸 衬垫云 母板	5730	JB 900—74	白云母 75% ~ 85%, 醇酸漆 15% ~ 25%	B	—	20 ~ 40	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	—	—	—	5	10	用于电机、 电器衬垫绝 缘
虫胶 衬垫粉 云母板	5731	JB 900—74	白云母 75% ~ 85%, 虫胶漆 15% ~ 25%	B	—	20 ~ 40	$> 10^{13}$	$> 10^{12}$	—	—	—	5	10	用于电机、 电器衬垫绝 缘
环氧 衬垫粉 云母板	5737-1	JB 1486— 74	粉云母纸 86% ~ 94%, 环氧树脂漆 6% ~ 14%	B	—	20 ~ 40	—	—	—	—	—	3	5	用于电机、 电器衬垫绝 缘
有机 硅衬垫 云母板	5755	JB 900—74	白云母 80% ~ 95%, 有机硅漆 5% ~ 20%	H	30 ~ 50	> 20	5×10^{12} ~ 10^{13}	5×10^{10} ~ 10^{11}	—	—	5	10	10	用于耐高 温电机、电器 衬垫绝缘
有机 硅衬垫 金云母 板	5755-2	JB 900—74	金云母 80% ~ 95%, 有机硅漆 5% ~ 20%	H	> 30	> 20	5×10^{12} ~ 10^{13}	5×10^{10} ~ 10^{11}	—	—	5	10	10	用于耐高 温电机、电器 衬垫绝缘
硝酸 铵衬垫 金云母 板	5760-2	JB 900—74	金云母和 磷酸铵	H	—	> 10	5×10^{12} ~ 10^{13}	5×10^{10} ~ 10^{11}	—	—	5	10	10	用于耐高 温电机、电器 衬垫绝缘

① 换向器云母板试样尺寸为 20 × 20cm²。② 衬垫云母板试样尺寸为 40 × 40cm²。

③ 板厚 0.65mm 及以下者。

④ 板厚 0.7mm 及以上者。

3. 云母箔

云母箔由胶粘剂粘合云母片和粉云母纸与单面补强材料经烘焙压制而成，其厚度较薄。云母箔的品种、成分和用途见表 10.2.41。

表 10.2.41 云母箔的品种、性能及用途

名称	型号	标准编号	耐热等级	标称厚度/mm	主要组成	击穿强度/(kV/mm)	用途
醇酸纸云母箔	5830	JB 901—74	B	0.15 0.20 0.25 0.30	白云母 > 50%，醇酸漆 12% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，电话纸	16 ~ 35	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
醇酸纸粉云母箔	583-1	JB 1487—74	B	0.17 0.22	粉云母纸 > 40%，醇酸漆 > 25%，挥发物 < 4.0%，电话纸	25 ~ 40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸云母箔	5831	JB 901—74	E ~ B	0.15 0.20 0.25 0.30	白云母 > 50%，虫胶漆 12% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，电话纸	16 ~ 35	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸粉云母箔	5831-1	JB 1488—74	E ~ B	0.15 0.20 0.25	粉云母纸 > 50%，虫胶漆 20% ~ 35%，挥发物 < 4.0%，电话纸	25 ~ 40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸金云母箔	5831-2	JB 1490—74	E ~ B	0.15 0.20 0.25 0.30	金云母 > 50%，虫胶漆 12% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，电话纸	16 ~ 30	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
醇酸玻璃云母箔	5832	JB 901—74	B	0.15 0.20 0.25 0.30	白云母 > 45%，醇酸漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，无碱玻璃布	16 ~ 35	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶玻璃云母箔	5833	JB 901—74	B	0.15 0.20 0.25 0.30	白云母 > 45%，虫胶漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，无碱玻璃布	16 ~ 35	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶玻璃金云母箔	5833-2	JB 1491—74	B	0.15 0.20 0.25 0.30	金云母 > 45%，虫胶漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，无碱玻璃布	16 ~ 30	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
环氧玻璃粉云母箔	5836-1	JB 1489—74	B	0.15 0.20 0.25	粉云母纸 > 50%，环氧树脂漆 20% ~ 35%，挥发物 < 4.0%，无碱玻璃布	25 ~ 50	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
有机硅玻璃云母箔	5850	JB 901—74	H	0.15 0.20 0.25 0.30	白云母 > 45%，有机硅漆 15% ~ 30%，挥发物 < 4.0%，无碱玻璃布	16 ~ 35	用于 H 级电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘

4. 云母玻璃

云母玻璃是由云母粉与低熔点的硼铝玻璃粉混合后，经热熔模压成型的硬质板状材料，耐热和耐弧性好。云母玻璃的品种、性能见表 10.2.42。

表 10.2.42 云母玻璃的性能

性能名称	云母玻璃	合成云母玻璃
相对密度	2.65 ~ 2.8	2.6 ~ 3.8
抗弯强度/(N/cm ²)	7600 ~ 8600	8500 ~ 10000
耐热性/°C	300 ~ 350	350 ~ 650
体积电阻率/(Ω·cm)	10 ¹³ ~ 10 ¹⁶	10 ¹⁵
介质损耗角正切 (10 ⁶ Hz)	1.3 × 10 ⁻³ ~ 5 × 10 ⁻³	1.3 × 10 ⁻³ ~ 2.3 × 10 ⁻³
相对介电系数 (10 ⁶ Hz)	6.5	6.8 ~ 9.8
击穿强度/(kV/mm)	14 ~ 20	13 ~ 20

第十节 绝缘子

绝缘子俗称为“电瓷”、“瓷瓶”等，我国电工名词术语标准 GB/T 2900.1—92 和 GB 2900.8—95 均称为绝缘子。

一、分类与用途

按用途和结构，绝缘子分类如下。

- (1) 线路绝缘子 包括线路蝶式绝缘子、线路针式绝缘子、线路柱式绝缘子、盘形悬式绝缘子（包括耐污型）等。
- (2) 变电所绝缘子 包括户内支柱绝缘子（胶装型式有内胶装、联合胶装和外胶装三种）、户外针式支柱绝缘子和户外棒形支柱绝缘子、空心绝缘子（各类电器瓷套）等。
- (3) 套管 包括户内套管和户外套管两部分，分类列于表 10.2.43。

表 10.2.43 套管的分类

分类特征		类别	分类特征	类别
主绝缘结构	电容式	胶粘纸 胶浸纸 油浸纸 浇铸树脂 气体或其他绝缘液体	用途	变压器 电抗器 全封闭组合电器 多油断路器 变压器—全封闭组合电器 穿墙
	非电容式	气体 液体 浇铸树脂	安装地点	户外 户外—户内 户内
			安装方式	垂直、倾斜、水平

注：变电所绝缘子和套管统称为电站电器绝缘子。

瓷绝缘子具有相当良好的电气、机械和化学稳定性，能较好地耐受各种环境条件的浸蚀，原料普遍，制造技术较为成熟且适宜各种形状结构，是目前应用最广泛的各类绝缘子。

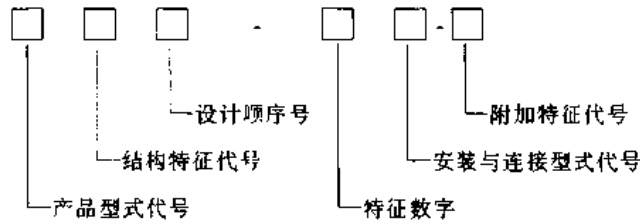
玻璃绝缘子是一种新型绝缘子，具有生产周期短，使用维护简便，机械、电气性能优良等优点，特别是具有运行后期性能的稳定性、产品可靠性较高的特点，越来越多地使用到高压超高压输电线路中。

有机材料绝缘子具有尺寸小、重量轻、机械强度高和工艺简单等优点，易于制造结构形状较复杂的产品。鉴于该产品耐漏电起痕性能较差，目前还处在线路绝缘子和比较次要产品的试运行阶段。

二、型号含义

产品型号是表示产品型式、结构特征、特性参数等的标志，一般用字母和数字表示。

绝缘子产品型号由选定的代表产品型式（或系列）、结构特征、安装连接型式与附加特征的汉语拼音字母和代表设计顺序与特性数字阿拉伯数码组成。型号结构如下：



1. 产品型式代号

产品型式代号以汉语拼音字母表示。当产品的主绝缘为玻璃、有机材料或由二种及以上绝缘材料构成复合绝缘子时，其材料特征代号分别为“L”、“Y”和“F”（瓷不表示），并排在产品型式代号首位。

2. 结构特征代号

产品结构特征（或外绝缘伞形）代号以汉语拼音字母表示，无结构特征不表示。

3. 设计顺序号

表示同一类型产品的不同设计，区别其基本结构、尺寸、性能，按产品设计的次序，以阿拉伯数码表征其设计顺序，顺序号由“1”开始，按照自然数的顺序排列。

4. 特征数字

表示与产品使用直接有关的主要特征（如电压、电流、机械电气性能等）和产品形状、主要尺寸、序号等特征，以阿拉伯数码或代号表示，阿拉伯数码顺序由“1”、“01”或“001”开始，按照自然数的顺序排列。

5. 安装与连接形式代号

安装与连接形式代号是产品型号的附加特征之一，它表示产品规格或品种，以汉语拼音字母表示。

6. 附加特征代号

附加特征代号表征产品适用的特殊环境条件，排在安装与连接型式代号之后。其代号含义规定如下：

用于高海拔地区：G

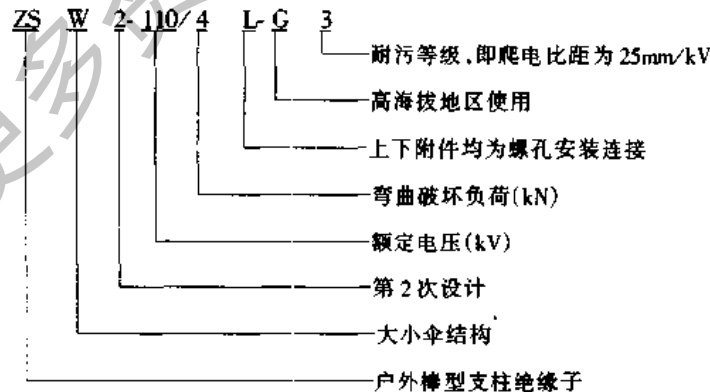
用于干湿热带地区：T

用于湿热带地区：TH

用于干热带地区：TA

外绝缘污秽等级：对耐污型产品还应根据其最小公称爬电比距数值给以耐污等级代号。外绝缘污秽等级 I、II、III、IV 时分别以 1、2、3、4 表示，但当产品没有 0 级时，则 I 级产品不表示耐污型及其等级代号，排在 a、b、c、d 之后，并以间隔号隔开。

示例：



三、瓷绝缘子

所谓瓷绝缘子，是指主绝缘由“瓷件”（主要材料是石类、长石和粘土）构成的绝缘子。瓷绝缘子品种繁多，现将主要品种简介如下。

1. 低压瓷绝缘子

低压瓷绝缘子主要包括低压布线用绝缘子和低压架空电力线路绝缘子。

(1) 低压布线用绝缘子（GB 1388—78） 低压布线用绝缘子用于交流或直流 1000V 户内配电线路中导线的

绝缘和固定,包括低压布线用鼓形绝缘子、瓷夹板和瓷管三类。

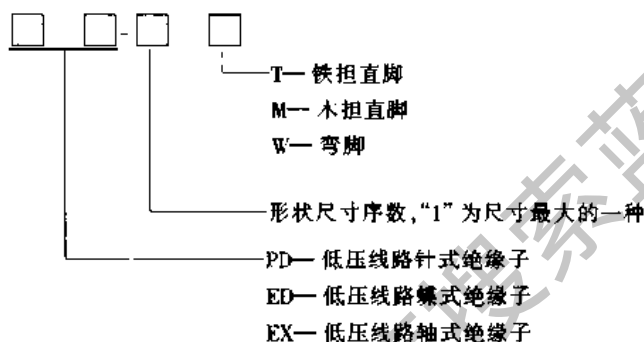
① 鼓形绝缘子,型号有 G-25、G-38、G-50、G-60、GK-50。其中:G—鼓形绝缘子;K—胶装木螺钉的;其后所带数字为瓷件高度,mm。

② 瓷夹板,型号有 N-240-1、N-240-2、N-250-1、N-250-2、N-376-1、N-376-2。其中:N—瓷夹板;第一个短横线后数字首位为线槽数;后两位为瓷夹板长度,mm;第二个短横线后数字“1”为上瓷板,“2”为下瓷板。

③ 瓷管,型号有 U-10-150、UW-10-150、U-15-150、UW-15-150、U-25-150、UW-25-150、U-40-150、UW-40-150、U-10-270、UW-10-270、U-15-270、UW-15-270、U-25-270、UW-25-270、U-40-270、UW-40-270、UB-10-30、UB-15-30、UB-25-30、UB-40-30。其中:U—瓷管;W、B—分别表示弯头、包头(直管不表示);第一短横线后数字为瓷管内径,mm;第二个短横线后数字为瓷管长度,mm。

(2) 低压架空线路绝缘子(GB 1386—78) 低压架空线路绝缘子用于交流或直流 1000V 以下架空电力线路导线的绝缘和固定,包括低压线路针式绝缘子、蝶式绝缘子和线轴式绝缘子三类。

型号:



(3) 线轴式绝缘子 绝缘子电气与机械性能见表 10.2.44。

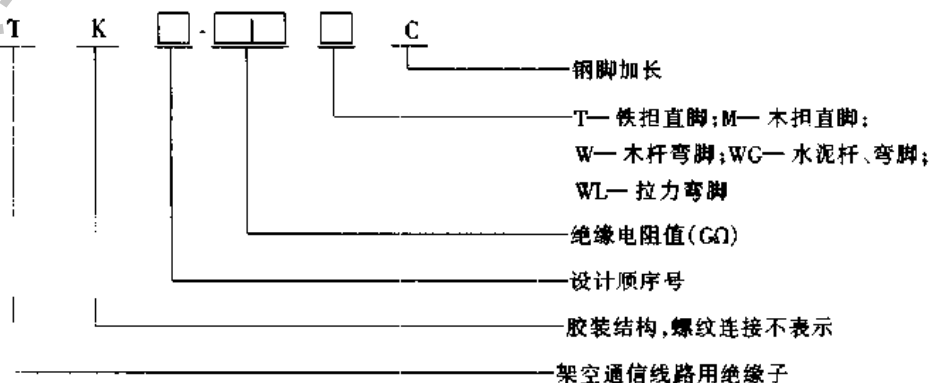
表 10.2.44 绝缘子电气与机械性能

绝缘子型式	型号	瓷件机械破坏强度 /kgf 不小于	工频电压/kV 不小于		绝缘子型式	型号	瓷件机械破坏强度 /kgf 不小于	工频电压/kV 不小于	
			干 闪	湿 闪				干 闪	湿 闪
针式	PD-1	800	35	15	蝶式	ED-4	500	14	6
	PD-2	500	30	12		EX-1	1500	22	9
蝶式	ED-1	1200	22	10	线轴式	EX-2	1200	18	8
	ED-2	1000	18	9		EX-3	1000	16	6
	ED-3	800	16	7		EX-4	700	14	5

2. 线路绝缘子

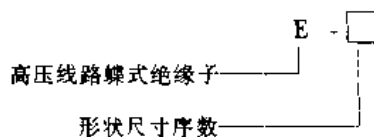
(1) 架空通信线路针式瓷绝缘子(GB/T 774—93) 架空通信线路针式瓷绝缘子用于架空通信线路导线的绝缘和支持。

型号说明:



(2) 高压线路蝶式绝缘子 (GB 1390—93) 高压线路蝶式绝缘子用于高压架空电力线路终端、耐张和转角杆上导线的绝缘和固定。

产品型号说明:



绝缘子电气与机械性能见表 10.2.45。

表 10.2.45 绝缘子电气与机械性能

型 号	工频电压/kV, 不小于			机械破坏负荷/kN, 不小于
	干 闪	湿 闪	击 穿	
E-1	45	27	78	20
E-2	38	23	65	20

(3) 高压线路针式瓷绝缘子 (GB 1000—88) 高压线路针式瓷绝缘子用于三相电力系统标称电压 35kV 及以下架空电力线路中导线的绝缘和支持。

绝缘子机械、电气性能见表 10.2.46。

表 10.2.46 绝缘子机械、电气特性

绝缘子型号	标准雷电冲击全波耐受电压 (峰值) 不小于 /kV	工频湿耐受电压 (有效值) 不小于 /kV		绝缘子弯曲耐受负荷 瓷件弯曲破坏负荷 不小于 /kN	
P-10T	75	28	95	1.4	13.7
PQ1-10T16	90	40	130	2.0	10.6
PQ1-10T20				—	
PQ1-10L				4.0	
PQ1-10LT	110	50	145	3.0	13.3
PQ2-10T				—	
PQ2-10L				3.5	
PQ2-10LT				3.0	
PQ2-10BT				—	
PQ2-10BL				3.5	

注: 1. 绝缘子弯曲耐受负荷系指对绝缘子施加弯曲负荷时, 瓷件受力点相对轴线偏移 5° 时的负荷值。

2. 标准雷电冲击全波耐受电压和工频湿耐受电压值, 其试验安装方式为模拟铁横担安装。

表中型号说明:

P—普通型针式绝缘子; PQ1—加强绝缘 1 型 (中污型) 针式绝缘子; PQ2—加强绝缘 2 型 (特重污型) 针式绝缘子; B—瓷件侧槽以上部位, 除承烧面外, 全部上半导体釉; T—带脚、铁担; L—不带脚, 瓷件与脚螺纹连接; LT—带脚、瓷件与脚螺纹连接, 铁担; 破折号后的数字表示额定电压, 10kV; T 后的数字表示下端螺纹直径。

(4) 盘形悬式绝缘子 (GB 1001—86、GB 7253—87) 盘形悬式绝缘子用于交流架空电力线路、变电站和电气化铁路接触网导线的绝缘和固定。

盘形悬式绝缘子由铁帽、绝缘子和钢脚用水泥胶合剂胶合而成。

盘形悬式绝缘子一般均采用串接成不同的串使用在各种电压等级和不同地区的线路上。绝缘子的串连接分为球窝连接和槽型连接二种。球窝连接结构无方向性，并具有装拆方便的优点，特别便于带电更换绝缘子，因此高压和超高压线路上一般均采用此种连接方式。槽型连接不便于带电作业，一般使用在较低电压等级线路中。绝缘子主要特性见表 10.2.47。

表 10.2.47 绝缘子串元件主要特性表

绝缘子型号	机电(或机械)破坏负荷 kN /1 不小于	打击破坏负荷 (N·cm) (kgf·cm) 不小于	公称结构	绝缘件公	最小公称	连接型	雷电全波冲击耐受电压 (峰值) 不小于	工频电压 (有效值)不小于	
			高度 H	称直径 D	爬电距离 L			式标记	击耐电压 (峰值) 不小于
XP-70	70	565	146	255	295		100	40	110
LXP1-70			146	255	295		100	40	110
XP1-70	(7.1)	(58)	127	255	295	16	95	35	110
XP2-70			146	190	200		85	30	90
XP-100	100	678	146	255	295				
LXP-100	(10.2)	(69)	146	255	295	16	100	40	110
XP-120	120	678	146	255	295				
LXP-120	(12.2)	(69)	146	255	295	16	100	40	110
XP1-160			146	255	305		100	40	
LXP1-160			146	255	305		100	40	
XP2-160			146	280	330		105	42	
LXP2-160	160	1017	146	280	330		105	42	
XP-160	(16.3)	(104)	155	255	305	20	100	40	110
LXP-160			155	280	330		105	42	
XP1-210	210	1017	170	280	335				
LXP1-210	(21.4)	(104)	170	280	335	20	105	42	120
XP-300	300	1017	195	320	370				
LXP-300	(30.6)	(104)	195	320	370	24	110	45	120
XP-400	400		205	360	525				
LXP-400	(40.8)		205	360	525		—	—	—
XP1-400			220	380	550	28			
LXP1-400			220	380	550				
XP-530			240	380	600				
LXP-530			240	380	600				
XP1-530	530		255	440	640	32	—	—	—
LXP1-530	(54.1)		255	440	640				

表中型号说明：

X—悬式瓷绝缘子；LX—悬式玻璃绝缘子；P—机电破坏负荷；数字 1,2 为设计顺序号；破折号后面的数字为额定机电破坏负荷，kN。

(5) 高压线路耐污盘形悬式瓷绝缘子(ZBK 50008—90) 耐污盘形悬式瓷绝缘子用于污秽地区交流架空电力

线路、变电站和电气化铁道接触网用导线的绝缘和固定。

绝缘子的特性见表 10.2.48。

表 10.2.48 绝缘子的主要尺寸和特性表

绝缘子型号	主要尺寸/mm			连接型式标记	机电破坏负荷/kN	打击试验负荷/(N·m) 不小于	50%全波冲击闪络电压(峰值) 不小于/kN	工频电压 (有效值)不小于/kV	
	公称结构高度 <i>H</i>	瓷件公称盘径 <i>D</i>	最小公称爬电距离 <i>L</i>					湿闪络	击穿
XWP1-60	160	255	400		60				
XWP1-70	160	255	400		70				
XWP2-60	146	255	400	16	60	—	120	45	120
XWP2-70	146	255	400		70				
XWP3-70	160	280	450		70				
XWP1-100	160	255	400	16	100	—	120	45	120
XWP2-100		280	450		100				
XWP1-160	160	280	400	20	160	—	130	50	120
XWP6-160					160				
XHP1-60	160	255	400	16	60	5.6	120	45	120
XHP1-70					70				
XHP1-100	160	270	400	16	100	6.8	120	45	120
XHP1-160	160	280	400	20	160	10.0	130	50	120
XAP1-160		300			160				

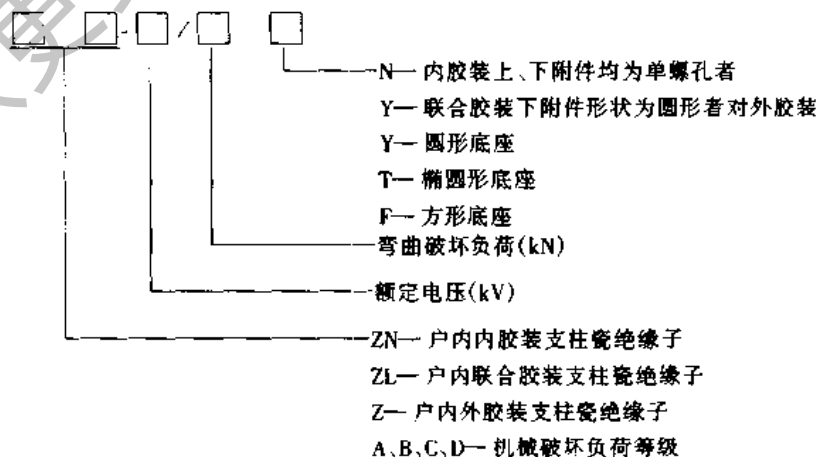
表中绝缘子型号: XWP—双层伞耐污盘形悬式瓷绝缘子; XHP—钟罩伞(伞裙有垂直面部分, 棱的垂直高度大于 30mm)耐污盘形悬式瓷绝缘子; XAP—大伞径耐污盘形悬式瓷绝缘子; 数字 1, 2, 3……6 为设计顺序号(其中 XWP6-160 取特定序号 6, 取代原标准型 XEP1“伞下带伞型”耐污悬式瓷绝缘子); 破折号后面的数字为额定机电破坏负荷值, kN。

3. 变电所绝缘子

变电所绝缘子使用在发电厂和变电站(所)发、变电装置和电器上的绝缘子。

(1) 支柱绝缘子(GB 8287—87) 支柱绝缘子主要用于交流系统中运行的电力设备和装置的绝缘和支持(固定), 包括户内支柱绝缘子和户外支柱绝缘子两大类。

① 户内支柱绝缘子。型号如下:



户内支柱绝缘子机械特性见表 10.2.49。

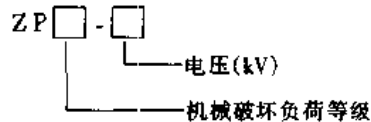
表 10.2.49 户内支柱绝缘子机械特性

型式	等级号	图号	额定电压/kV	机械破坏负荷不小于/N(kgf)		型式	等级号	图号	额定电压/kV	机械破坏负荷不小于/N(kgf)	
				弯曲	拉伸					弯曲	拉伸
内 胶 装	ZN-6/4	1	6	4000 (408)	4000 (408)	联 合 胶 装	ZL-35/4Y	7	35	4000 (408)	4000 (408)
	ZN-10/4	1	10	4000 (408)	4000 (408)		ZL-35/4	8	35	4000 (408)	4000 (408)
	ZN1-10/4	1	10	4000 (408)	4000 (408)		35-35/8	9	35	8000 (816)	8000 (816)
	ZN-10/4N	2	10	4000 (408)	4000 (408)		外 胶 装	ZA-6Y	10	6	3750* (383)
	ZN-10/8	1	10	8000 (816)	8000 (816)	ZB-6Y		10	6	7500* (765)	7500 (765)
	ZN1-10/8	1	10	8000 (816)	8000 (816)	ZA-6T		11	6	3750* (383)	3750 (383)
	ZN-10/8N	2	10	8000 (816)	8000 (816)	ZB-6T		11	6	7500* (765)	7500 (765)
	ZN-10/16	3	10	16000 (1632)	16000 (1632)	ZA-10Y		10	10	3750* (383)	3750 (383)
	ZN-20/16	3	20	16000 (1632)	16000 (1632)	ZB-10Y		10	10	7500* (765)	7500 (765)
	ZN-20/30	4	20	30000* (3060)	30000 (3060)	ZA-10T	11	10	3750* (383)	3750 (383)	
联 合 胶 装	ZL-10/4	5	10	4000 (408)	4000 (408)	ZB-10T	11	10	7500* (765)	7500 (765)	
	ZL-10/8	5	10	8000 (816)	8000 (816)	ZC-10F	12	10	12500 (1275)	12500 (1275)	
	ZL-10/16	6	10	16000 (1632)	16000 (1632)	ZD-10F	12	10	20000 (2010)	20000 (2010)	
	ZL-20/16	6	20	16000 (1632)	16000 (1632)	ZD-30F	13	20	20000 (2010)	20000 (2010)	
	ZL-20/30	6	20	30000* (3060)	30000 (3060)						

注:带“*”号的弯曲破坏负荷只适用于老产品。

② 户外支柱绝缘子

户外针式支柱绝缘子型号如下:



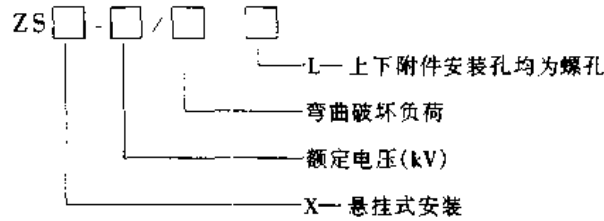
户外针式支柱绝缘子机械性能见表 10.2.50。

表 10.2.50 户外针式支柱绝缘子机械性能

等级号	图号	额定电压/kV	弯曲破坏负荷不小于/N(kgf)
ZPA-6	14	6	3750* (383)
ZPB-10	15	10	5000* (510)
ZPD-10	16	10	2000 (2040)

注:带“*”号的弯曲破坏负荷只适用于老产品。

户外棒形支柱绝缘子型号如下：



户外棒形支柱绝缘子机械特性见表 10.2.51。

表 10.2.51 户外棒形支柱绝缘子机械特性

等级号	额定电压 /kV	机械破坏负荷不小于		等级号	额定电压 /kV	机械破坏负荷不小于	
		弯曲 /N(kgf)	扭转/(N·m) (kgf·m)			弯曲 /N(kgf)	扭转/(N·m) (kgf·m)
ZS-10/4	10	4000 (408)	—	ZSX-63/4	63	4000 (408)	1500 (153)
ZS-20/8	20	8000 (816)	—	ZS-110/4	110	4000 (408)	2000 (204)
ZS-20/16	20	16000 (1632)	—	ZS-110/4L	110	4000 (408)	2000 (204)
ZS-20/30	20	30000 (3060)	—	ZS5-110/4L	110	4000 (408)	2000 (204)
ZS-35/4	35	4000 (408)	1000 (102)	ZSX-110/4	110	4000 (408)	2000 (204)
ZSX-35/4	35	4000 (408)	1000 (102)	ZS-220/4	220	4000 (408)	2000 (204)
ZS-35/6L	35	6000 (612)	1000 (102)	ZS-220/6	220	6000 (612)	2000 (204)
ZS5-35/4L	35	4000 (408)	1000 (102)	ZS-220/8	220	8000 (816)	2000 (204)
ZS-35/8	35	8000 (816)	1500 (153)	ZS-330/4	330	1000 (108)	— 2000 (204)
ZS-63/4	63	4000 (408)	1500 (153)	ZS1-500/5	500	5000 (510)	2000 (204)
ZS-63/4L	63	4000 (408)	1500 (153)	ZS-500/5	500	5000 (510)	2000 (204)
ZS5-63/4L	63	4000 (408)	1500 (153)				

支柱绝缘子电气性能见表 10.2.52。

表 10.2.52 支柱绝缘子电气性能表

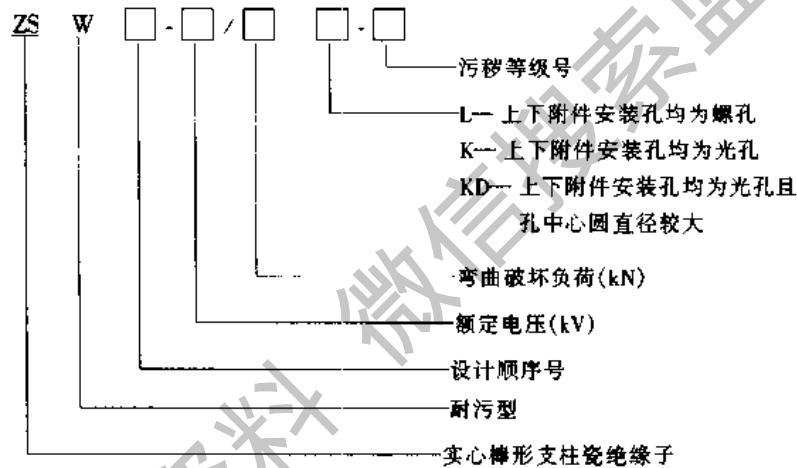
绝缘子额定 电压/kV	绝缘子最高 电压/kV	工频电压(有效值)不小于 /kV			标准雷电冲击耐受 电压(峰值)不小于 /kV	标准操作冲击湿耐 受电压(峰值)不小于 /kV
		干耐受 1min	湿耐受 1min	击穿		
6	6.9	32	23	56	60	—
10	11.5	42	30	74	75	—
15	17.5	57	40	100	105	—
20	23	68	50	119	125	—
35	40.5	100	80	175	185	—
63	69	165	140	—	325	—

续表

绝缘子额定电压/kV	绝缘子最高电压/kV	工频电压(有效值)不小于/kV			标准雷电冲击耐受电压(峰值)不小于/kV	标准操作冲击耐受电压(峰值)不小于/kV
		干耐受 1min	湿耐受 1min	击穿		
110	126	265	185	—	450	—
220	252	450 495	360 395	—	850 950	—
330	363	—	—	—	1050 1175	850 950
500	550	—	—	—	1425 1550 1675	1175 1240

(2) 耐污型户外棒形支柱绝缘子(GB 12744—91) 耐污型户外棒形支柱绝缘子用于 35~500kV 交流系统中运行的电力设备和装置, 污秽等级 II 级及以上的绝缘和支撑固定。

型号:



户外棒形支柱绝缘子机械特性见表 10.2.53。

表 10.2.53 绝缘子机械特性表

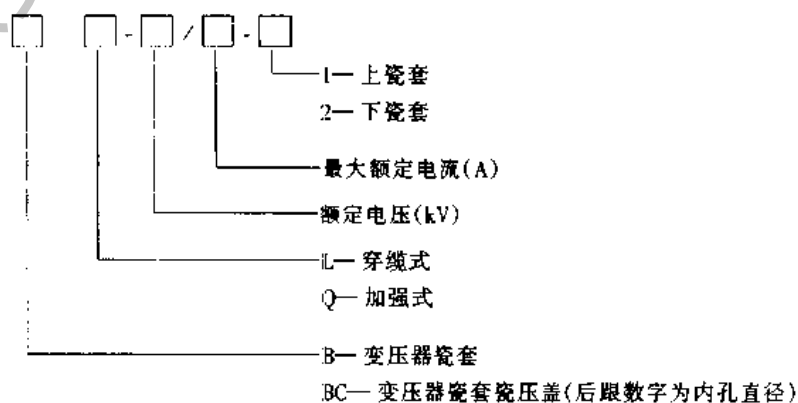
序号	型号	额定电压/kV	机械破坏负荷不小于		相应于 IEC 273 中记号
			弯曲/kN	扭转/(kN·m)	
1	ZSW7-35/4L-2	35	4.0	1.2	C4-170 II
2	ZSW7-35/8L-2	35	8.0	2.0	C8-170 II
3	ZSW8-35/4L-3	35	4.0	1.2	C4-200 II
4	ZSW8-35/8L-3	35	8.0	2.0	C8-200 II
5	ZSW9-35/4L-4	35	4.0	1.8	C4-250 II
6	ZSW7-63/4L-3	63	4.0	2.0	C4-325 II
7	ZSW7-63/8L-3	63	8.0	3.0	C8-325 II
8	ZSW8-63/4L-4	63	4.0	2.0	—
9	ZSW7-110/4L-3	110	4.0	3.0	C4-550 II
10	ZSW7-110/8-3	110	8.0	4.0	C8-550 II
11	ZSW7-110/12.5-3	110	12.5	6.0	C12.5-550 II
12	ZSW8-110/4-4	110	4.0	3.0	C4-650 II
13	ZSW8-110/8-4	110	8.0	4.0	C8-650 II
14	ZSW7-220/4-2	220	4.0	3.0	C4-1050 II
15	ZSW7-220/8-2	220	8.0	4.0	C8-1050 II

续表

序号	型号	额定电压 /kV	机械破坏负荷不小于		相当于 IEC 273 中记号
			弯曲 /kN	扭转 /(kN·m)	
16	ZSW7-220/8K-2	220	8.0	4.0	C8-1050 II
17	ZSW7-220/12.5K-2	220	12.5	6.0	C12.5-1050 II
18	ZSW7-220/16K-2	220	16.0	6.0	C16-1050 II
19	ZSW8-220/8-3	220	8.0	4.0	C8-1050 II
20	ZSW8-220/10K-3	220	10.0	4.0	C10-1050 II
21	ZSW8-220/12.5K-3	220	12.5	6.0	C12.5-1050 II
22	ZSW9-220/4-3	220	4.0	3.0	C4-1175 II
23	ZSW9-220/8-3	220	8.0	4.0	C8-1175 II
24	ZSW7-330/4-2	330	4.0	3.0	C4-1300 II
25	ZSW7-330/8K-2	330	8.0	4.0	C8-1300 II
26	ZSW7-330/10K-2	330	10.0	4.0	C10-1300 II
27	ZSW8-330/8K-2	330	8.0	4.0	C8-1550 II
28	ZSW8-330/10K-2	330	10.0	4.0	C10-1550 II
29	ZSW9-330/8K-3	330	8.0	4.0	C8-1675 II
30	ZSW9-330/10K-3	330	10.0	4.0	C10-1675 II
31	ZSW7-500/8K-2	500	8.0	4.0	C8-1800 II
32	ZSW7-500/8KD-2	500	8.0	4.0	C8-1800 II
33	ZSW7-500/10K-2	500	10.0	4.0	C10-1800 II
34	ZSW7-500/10KD-2	500	10.0	4.0	C10-1800 II
35	ZSW7-500/12.5K-2	500	12.5	6.0	C12.5-1800 II
36	ZSW7-500/12.5KD-2	500	12.5	6.0	C12.5-1800 II
37	ZSW8-500/8K-2	500	8.0	4.0	C8-1950 II
38	ZSW8-500/8KD-2	500	8.0	4.0	C8-1950 II
39	ZSW8-500/10K-2	500	10.0	4.0	C10-1950 II
40	ZSW8-500/10KD-2	500	10.0	4.0	C10-1950 II
41	ZSW9-500/10K-3	500	10.0	4.0	C10-1950 II
42	ZSW9-500/10KD-3	500	10.0	4.0	C10-1950 II
43	ZSW9-500/12.5K-3	500	12.5	6.0	C12.5-1950 II
44	ZSW9-500/12.5KD-3	500	12.5	6.0	C12.5-1950 II
45	ZSW10-500/8K-3	500	8.0	4.0	C8-2100 II
46	ZSW10-500/8KD-3	500	8.0	4.0	C8-2100 II
47	ZSW10-500/10K-3	500	10.0	4.0	C10-2100 II
48	ZSW10-500/10KD-3	500	10.0	4.0	C10-2100 II

(3) 35kV 及以下变压器瓷套 (GB 3969—83) 35kV 及以下变压器瓷套用于交流额定电压 1~35kV, 额定电流 8000A 及以下油浸电力变压器引出线用的以瓷和油为主绝缘的套管。

型号:



瓷套结构型式见表 10.2.54, 特性见表 10.2.55。

表 10.2.54 瓷套结构形式

额定电压 /kV	结构形式	适用于套管的额定电流/A
1	对夹式	315 630 1250 2000 3150 4000
6	对夹式	315
10	穿缆式	315
	导杆式	630 3150 4000
20	穿缆式	315
	导杆式	630 3150 4000 8000
35	穿缆式	630
	导杆式	3150

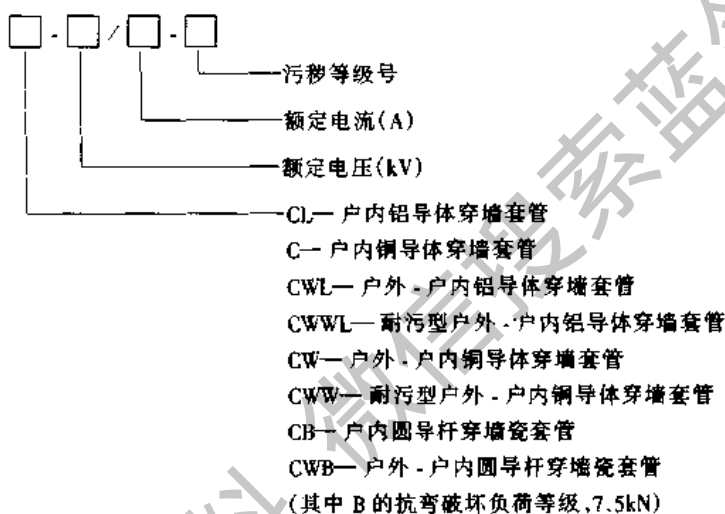
表 10.2.55 瓷套弯曲破坏负荷等级表

额定电压 /kV	额定电流 /A	弯曲破坏负荷/kgf (N)
10	315 630	200 (1960)
	3150 4000	400 (3920)
20	315 630	200 (1960)
	3150	400 (3920)
	4000 8000	800 (7840)
35	630	200 (1960)
	3150	400 (3920)

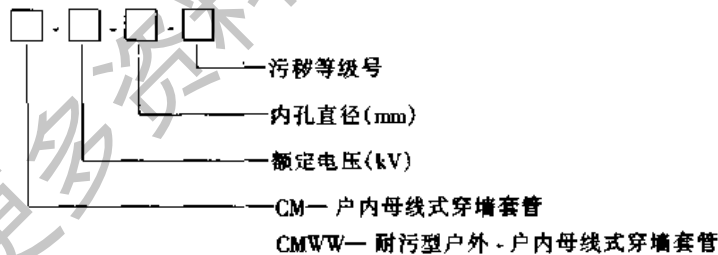
4. 套管

(1) 高压穿墙瓷套管 (GB 12944—91) 高压穿墙瓷套管用于 6 - 35kV 交流系统电站和变电所配电装置上, 使导体与墙壁 (隔板) 绝缘和固定, 是主绝缘为陶瓷材料构成的一种套管。

带导体套管的型号:



母线式套管型号:



套管的主要特性见表 10.2.56 至表 10.2.59。

表 10.2.56 套管的电气性能

套管型式	套管额定电压 (有效值) /kV	套管最高电压 (有效值) /kV	工频电压 (有效值), 不小于 /kV				雷电冲击 耐受电压 (峰值), 不小于 /kV
			干耐受 1min	湿耐受 ^① /min	击穿	可见电晕	
普通型 与 耐污型	6	6.9	23	58	—	60	
	10	11.5	30	75	—	75	
	20	23	50	120	14.8	125	
高原型	35	40.5	80	176	25.8	185	
	10	11.5	37.5	75	—	93.8	
	35	40.5	100	176	32.2	231	

① 仅对户外-户内套管户外端进行。

表 10.2.57 带导体套管的弯曲破坏负荷和热短时电流值

套管额定电流 (有效值) /A	额定弯曲破坏负荷 /kN	热短时电流 (5s 有效值) 不小于 /kA	套管额定电流 (有效值) /A	额定弯曲破坏负荷 /kN	热短时电流 (5s 有效值) 不小于 /kA
250	4	3.8	1600	4	30
400	4	7.2	2000	8	40
630	4	12	3150	8	60
1000	4	20	> 3150	16	

注：弯曲破坏试验时力施加在长端端帽或瓷件（当没有端帽时）端部。

表 10.2.58 母线式套管的弯曲破坏负荷值

使用场所	瓷套孔径/mm	额定弯曲破坏 负荷/kN	使用场所	瓷套孔径/mm	额定弯曲破坏 负荷/kN
户内	< 100	4	户外-户内	150 ~ 300	10
	100 ~ 200	8		> 300	30

表 10.2.59 带导体套管长期最高允许发热温度

套管各部分名称	最高允许 发热温度 /℃	最高允许温升 (高出周围温度) /K	套管各部分名称	最高允许 发热温度 /℃	最高允许温升 (高出周围温度) /K
载流或不载流的金属部分 (盖、法兰和导电排的非接触部分)及瓷件等	110	70	在空气中的用螺栓压紧的接触连接部分		
			裸铜或裸铝	85	45
			镀银	105	65
			镀锡	95	55

(2) 电容套管 电容套管是以一个所谓“电容芯子”为主绝缘的套管，即在导体与中间接地法兰之间加入一个电容芯子。产品尺寸小，重量轻。

油纸电容套管主绝缘由未处理的电缆纸卷绕成“电容芯子”构成，然后再浸以绝缘液体（通常为变压器油）。胶（粘）纸电容套管主绝缘由上胶纸卷绕成的“电容芯子”构成。还有一种胶浸纸套管，其“电容芯子”是在绝缘纸绕成“芯子”后，用低粘度、低损耗、无溶剂的合成树脂浸渍，然后通过加热、加压固化而成。

① 油纸电容式穿墙套管（GB 13026—91）。油纸电容式穿墙套管用于交流系统额定电压 35 ~ 500kV 导体穿过墙壁（隔板）的绝缘和支持（固定）。油纸电容式穿墙套管分水平安装和垂直安装两种。其主要特性见表 10.2.60 和表 10.2.61。

表 10.2.60 套管的试验电压/kV

额定电压	最高工作 电压 U_m	1min 工频耐受电压（有效值）			雷电冲击耐受电压（峰值）			操作冲击 耐受电压 （峰值） （干或湿）
		内 绝 缘		外绝缘 (干或湿)	全 波		载 波	
		变压器及电 抗器的套管	其他套管		变压器及电 抗器的套管	其他套管		
6	6.9	26	23	23	60	60	65	—
10	11.5	37	30	30	75	75	85	—
20	23.0	58	50	50	125	125	140	—
35	40.5	90	80	80	200	185	220	—
63	69.0	147	140	140	325	325	360	—
110	126.0	220	185	185	480	450	530	—
220	252.0	395	360	360	850	850	935	—
		435	395	395	950	950	1050	—

续表

额定电压	最高工作电压 U_m	1min 工频耐受电压 (有效值)			雷电冲击耐受电压 (峰值)			操作冲击耐受电压 (峰值) (干或湿)
		内绝缘		外绝缘 (干或湿)	全波		载波	
		变压器及电抗器的套管	其他套管		变压器及电抗器的套管	其他套管		
330	363.0	485	460	460	1050	1050	1175	850
		535	510	510	1175	1175	1300	950
550	550.0	660	630	630	1425	1425	1550	1050
		715	680	680	1550	1550	1675	1175
		—	740	740	—	1675	—	—
电力变压器中性点绝缘套管试验电压								
110	126	105	—	95	250	—	250	—
330	363	255	—	230	550	—	550	—

② 油纸电容式变压器套管 (GB 13027—91)。

油纸电容式变压器套管用于交流系统中额定电压 35 ~ 500kV 电力变压器、电抗器中导体穿过箱盖的绝缘和固定。套管分长尾套管和短尾套管。

四、玻璃绝缘子 (Q3201-NCP26—1995)

目前采用玻璃材质制成的绝缘子仅为盘形悬式玻璃绝缘子，主要用于 35 ~ 500kV 高压、超高压输电线路导线的绝缘和悬挂。

表 10.2.61 套管的 $\tan\delta$ 的最大值

套管主绝缘类型		$\tan\delta$ 最大值
电容式	油浸纸	0.007
	胶粘纸或胶浸纸	0.010 (63kV 及以下套管为 0.015)
	浇铸树脂	0.010
	气体	0.010
非电容式	浇铸树脂	0.020
其他套管		由供需双方商定

型号含义说明：

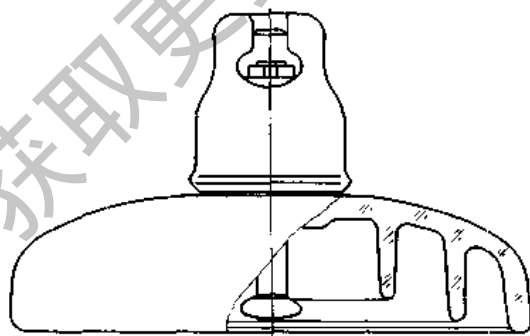
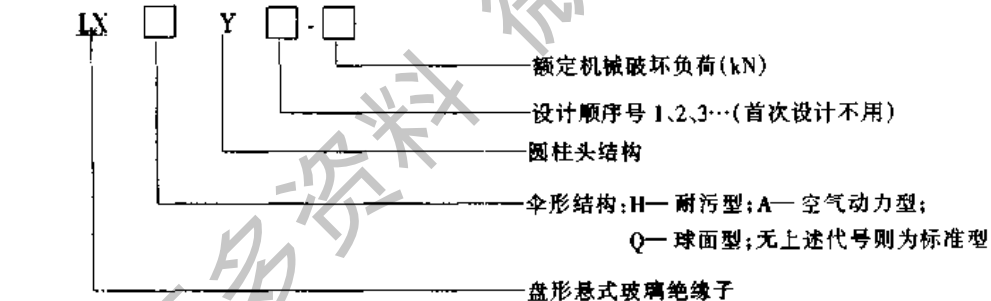


图 10.2.1 玻璃绝缘子结构

玻璃绝缘子尺寸小，重量轻，强度高，爬电距离大。产品结构见图 10.2.1，主要特性见表 10.2.62 和表 10.2.63。

五、有机复合绝缘子 (JB 5892—91)

有机复合绝缘子是至少有两种绝缘材料并装配金属连接件构成的绝缘子。目前已经开发和生产的复合绝缘子主要包括线路柱式绝缘子、长棒形绝缘子、支柱绝缘子和空心绝缘子。

根据 ZBK 50010—90《绝缘子产品型号编制方法》规定，有机复合绝缘子产品型号与瓷、玻璃绝缘子产品型号的区别仅是主绝缘不同，复合绝缘子产品型号仅在原产品型号的首位加上汉语拼音字母“F” (若为单一有机材料绝缘子，则将“F”换为“Y”即可)。

有机复合绝缘子具有尺寸小、重量轻、机械强度高等优点。

表 10.2.62 玻璃绝缘子特性特性(一)

绝缘子型号	机械破坏负荷 不小于 /kN	打击破坏 负荷 不小于 /(N·cm)	公称结构	绝缘件	最小公称 爬电距离	连接型式 标记	雷电全波 冲击耐受电 压(峰值) 不小于/kV	工频电压(有效值) 不小于/kV			
			高度 <i>H</i>	公称直径 <i>D</i>							
			mm								
LXY-70	70	565	140	255	305	16	100	40	110		
LXY1-70			146				100	40			
LXY2-70			127				95	35			
LXY-100	100	678	146	255	305	16	100	40	110		
LXY1-100			127				95	35			
LXY-120	120	678	146	255	305	16	100	40	110		
LXY-160	160	1017	155	280	330	20	105	42	110		
LXY1-160			146							330	
LXY3-160			155							370	
LXY4-160			146							370	
LXY-210	210	1017	170	280	375	24	105	42	120		
LXY3-210			20								
LXY3-300	300	1017	195	320	480	24	110	45	120		

表 10.2.63 玻璃绝缘子特性特性(二)

绝缘子型号	机械破坏负荷 不小于 /kN	打击破坏 负荷 不小于 /(N·cm)	公称结构	绝缘件	最小公称 爬电距离	连接型式 标记	50%雷电冲 击闪络电压 (峰值) 不小于/kV	工频电压(有效值) 不小于/kV	
			高度 <i>H</i>	公称直径 <i>D</i>				湿闪络	击穿
			mm						
LXHY1-70	70	565	146	255	400	16	120	45	120
LXHY4-70			146	280	450				
LXHY4-100	100	678	146	280	450	16	120	45	120
LXHY4-120	120	678	146	280	450	16	120	45	120
LXHY3-160	160	1017	155	280	450	20	130	50	120
LXHY5-160			170						
LXHY3-210	210	1017	170	320	540	20	130	50	120
LXQY-120	120	678	140	255	305	16	100	45	120
LXAY-120	120	—	146	390	360	16	100	50	120
LXAY-160	160	—	146	390	360	20	100	50	120
LXAY-210	210	—	160	390	350	20	100	50	120

第三章 电阻合金及电热材料

第一节 电阻合金

电阻合金是制造电阻元件的主要材料。它应具有稳定的电阻值、低的温度系数、与铜的接触热电动势小及良好的机械性能等特点。电阻合金的形状有丝、片、带、棒等，广泛用于电机、电器、仪器及电子工业中。

电阻合金材料按其使用要求的不同可分为调节电阻合金、精密电阻合金、发热电阻合金、高电阻率合金、电位器用贵金属电阻合金、应变元件用电阻合金及温度补偿用电阻等七类。

1. 调节电阻合金

此类合金主要用于制造调节电流、电压的电器产品中。它具有机械强度高，耐腐蚀和抗氧化性好，加工性能好，工作温度较高等特点。

调节电阻的品种、性能见表 10.3.1。

康铜、新康铜和锰铜丝的规格、电阻和重量见表 10.3.2。

表 10.3.1 调节电阻合金品种、性能和特点

名称	牌号	主要化学成分 /%	电阻率 ρ (20°C) /($\mu\Omega \cdot m$)	平均电阻温 度系数 α /($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	对铜热 电动势 E_{Cu} /($\mu V/^{\circ}C$)	抗拉 强度 (N/mm^2)	伸长率 /%	最高工 作温度 /°C	特点及用途
康铜	6J40	Ni 39 ~ 41 Mn 1 ~ 2 Cu 余量	0.48 ± 0.03	-40 ~ +40	45	≥ 390	≥ 15	500	具有较低的温度系数，较高的使用温度，抗氧化，加工性能良好，易钎焊。适宜做一般电器中的电阻元件
新康铜	6J11	Mn 10.5 ~ 12.5 Al 2.5 ~ 4.5 Fe 1.0 ~ 1.6 Cu 余量	0.49 ± 0.03	-40 ~ +40	2	≥ 240	≥ 15	500	加工性能良好，易钎焊，抗氧化比康铜稍差，价格低廉。适宜做一般电器中的电阻元件
镍铬 20	Cr20 Ni80	Cr 20 ~ 23 Ni 余量	1.09 ± 0.05	≤ 70	≤ 4	≥ 600	≥ 20	1000	电阻率高，高温强度高，抗氧化良好，加工性能好，焊接性能较差。适宜制造大功率的电动机起动、调速电阻器
II 镍铬		Cr 20 ~ 24 Ni 28 ~ 34 Si 2 ~ 3 Fe 余量	1.09 ~ 1.14	≤ 70	≥ 5	≥ 500	≥ 20	1000	电性能与镍铬 20 类同，抗氧化良好，焊接性能较差，价格比镍铬 20 低廉。适宜制造大功率的电动机起动、调速电阻器
铁铬铝	1Cr13 Al4	Cr 12 ~ 15 Al 4 ~ 6 Fe 余量	1.25 ± 0.08	≤ 4.5	≤ 160	≥ 600	≥ 16	900	电阻率高，使用温度高，焊接性能和抗氧化较差，高温强度较差，价格低廉。适宜制造大功率的电动机起动、调速电阻器

表 10.3.2 康铜、新康铜和锰铜丝的规格、电阻和重量

线 径 /mm	线径公差 /mm	截面积 /mm ²	每米电阻/(Ω /m)		每米重量/(g/m)			
			康铜、新康铜	锰 铜	康 铜	新康铜	锰 铜	
0.020	±0.002	0.000314	1528	1496	0.00279	0.00251	0.00265	
0.025		0.000491	978	957	0.00436	0.00393	0.00414	
0.030	±0.003	0.000707	679	665	0.00628	0.00565	0.00597	
0.040		0.001257	382	374	0.01116	0.01005	0.01061	
0.050		0.001964	244	239	0.01744	0.01571	0.01657	
0.060		0.00283	169.8	166.2	0.0239	0.0226	0.0239	
0.070		0.00385	124.7	122.1	0.0325	0.0308	0.0325	
0.080		0.00503	95.5	93.5	0.0424	0.0402	0.0424	
0.090		0.00636	75.5	73.9	0.0537	0.0509	0.0537	
0.100			0.00785	61.1	59.8	0.0663	0.0628	0.0663
0.110		0.00950	50.5	49.5	0.0802	0.0760	0.0802	
0.120	±0.005	0.01131	42.4	41.6	0.0955	0.0905	0.0955	
0.130		0.01327	36.2	35.4	0.1120	0.1062	0.1120	
0.140		0.01539	31.2	30.5	0.1299	0.1232	0.1299	
0.150		0.01767	27.2	26.6	0.1491	0.1414	0.1491	
0.160		0.0201	23.9	23.4	0.1697	0.1608	0.1697	
0.170		0.0227	21.1	20.7	0.1916	0.1816	0.1916	
0.180		0.0254	18.86	18.47	0.215	0.204	0.215	
0.190		0.0284	16.93	16.58	0.239	0.227	0.239	
0.200		0.0314	15.28	14.96	0.265	0.251	0.265	
0.210		0.0346	13.86	13.57	0.292	0.277	0.292	
0.230		0.0415	11.55	11.31	0.351	0.332	0.351	
0.250		0.0491	9.78	9.57	0.436	0.403	0.414	
0.280		±0.010	0.0616	7.80	7.63	0.547	0.493	0.520
0.310			0.0755	6.36	6.23	0.670	0.604	0.637
0.330	0.0855		5.61	5.50	0.760	0.684	0.722	
0.350	0.0962		4.99	4.89	0.854	0.770	0.812	
0.380	0.1134		4.23	4.14	1.007	0.907	0.957	
0.400	0.1257		3.82	3.74	1.116	1.005	1.061	
0.420	0.1385		3.46	3.39	1.230	1.108	1.169	
0.450	0.1590		3.02	2.96	1.412	1.272	1.342	
0.470	0.1735		2.77	2.71	1.541	1.388	1.464	
0.500	+0.010		0.1964	2.44	2.39	1.744	1.571	1.657
0.530	-0.020	0.221	2.18	2.13	1.959	1.765	1.862	
0.560	+0.010	0.246	1.949	1.908	2.91	1.970	2.08	
0.600	-0.020	0.283	1.698	1.662	2.57	2.26	2.39	
0.630		0.312	1.540	1.508	2.77	2.49	2.63	
0.670		0.353	1.361	1.333	3.13	2.82	2.98	
0.710		0.396	1.212	1.187	3.52	3.17	3.34	

线 径 /mm	线径允差 /mm	截面积 /mm ²	每米电阻/(Ω /m)		每米重量/(g/m)		
			康铜、新康铜	锰 铜	康 铜	新康铜	锰 铜
0.750		0.442	1.086	1.064	3.92	3.53	3.73
0.800		0.503	0.955	0.935	4.46	4.02	4.24
0.850	+0.010	0.567	0.846	0.828	5.04	4.54	4.79
0.900	-0.020	0.636	0.755	0.739	5.65	5.09	5.37
0.950		0.709	0.677	0.663	6.29	5.67	5.98
1.000		0.785	0.611	0.598	6.97	6.28	6.63
1.060		0.882	0.544	0.533	7.84	7.06	7.45
1.120		0.958	0.487	0.477	8.75	7.88	8.32
1.180		1.094	0.439	0.430	9.71	8.75	9.23
1.250	± 0.020	1.227	0.391	0.383	10.90	9.82	10.36
1.300		1.327	0.362	0.354	11.79	10.62	11.20
1.400		1.539	0.312	0.305	13.67	12.32	12.99
1.500		1.767	0.272	0.266	15.69	14.14	14.91
1.600		2.01	0.239	0.234	17.85	16.08	16.97
1.700		2.27	0.211	0.207	20.16	18.16	19.16
1.800	+0.020	2.54	0.1886	0.1847	22.6	20.4	21.5
1.900	-0.030	2.84	0.1693	0.1658	25.2	22.7	23.9
2.000		3.14	0.1528	0.1496	27.9	25.1	26.5
2.120	+0.020 -0.030	3.53	0.1360	0.1331	31.3	28.2	29.8
2.240		3.94	0.1218	0.1193	35.0	31.5	33.3
2.360		4.37	0.1097	0.1074	38.8	35.0	36.9
2.500	± 0.030	4.91	0.0978	0.0957	43.6	39.3	41.4
2.600		5.31	0.0904		47.1	42.5	
2.800		6.16	0.0780		54.7	49.3	
3.000		7.07	0.0670		62.8	56.5	
3.100		7.55	0.0636		67.0	60.4	
3.300		8.55	0.0561		76.0	68.4	
3.500		9.62	0.0499		85.4	77.0	
3.800	+0.030	11.34	0.0423		100.7	90.7	
4.000	-0.040	12.57	0.0382		111.6	100.5	
4.200		13.85	0.0346		123.0	110.8	
4.500		15.90	0.0302		141.2	127.2	
4.700		17.35	0.0277		154.1	138.8	
5.000	± 0.040	19.64	0.0244		174.4	157.1	

2. 精密电阻合金

此类合金具有很稳定的电阻值，即电阻温度系数很小，对铜的热电动势小，具有良好的机械性能等特点。精密电阻的品种与性能见表 10.3.3。

3. 发热电阻合金

表 10.3.3 精密电阻合金品种

品种	合金牌号	主要化学成分/%	电阻率 ρ (20℃) /($\mu\Omega \cdot m$)	电阻温度系数			对铜平均 热电动势 E_{Cu} /($\mu N/^\circ C$)	抗拉强度 (N/mm^2)	伸长率 /%	使用温 度范 围 /°C	特 点	主要用途
				测试温度 /°C	α (20℃) /($\times 10^{-6}^\circ C^{-1}$)	β /($\times 10^{-6}^\circ C^{-1}$)						
锰 铜	6J12	Mn 11~13 Ni 2~3 Cu 余量	0.47 ± 0.03	10 ± 0.1	-2 ~ +2		≤ 1	≥ 390	≥ 6	15 ~ 25	电阻稳定性高,对 铜热电动势小,机械 性能良好,焊接性能 好,抗氧化和抗腐蚀 性能较差	基准电阻器、标准电 阻器 精密电阻器、精密直 流仪器 精密电表和普通电 工仪器 一般电阻元件
				20 ± 0.1	-3 ~ +5	-0.7 ~ 0				5 ~ 45		
				40 ± 0.1	-5 ~ +10					5 ~ 45		
					-10 ~ +20					5 ~ 45		
F ₁ 锰铜	6J8	Mn 8~10 Si 1~2 Cu 余量	0.35 ± 0.05	10 ± 0.1 40 ± 0.1 60 ± 0.1	-5 ~ +40	-0.25 ~ 0	≤ 2	≥ 390	≥ 8	5 ~ 80	β 值减小,电阻变 化率较小,电阻率较 低	用于较宽温度范围 的电工仪器、仪表及分 流器,取样电阻
F ₂ 锰铜	6J13	Mn 11~13 Ni 2~5 Cu 余量	0.44 ± 0.04	10 ± 0.1 40 ± 0.1 60 ± 0.1	0 ~ +40	-0.4 ~ 0	≤ 2	≥ 390	≥ 8	10 ~ 80	α 为正值,峰值温 度提高,使用温度加 宽	适用各种分流器
铝锰铜		Mn 8.5~9 Al 3~4 Fe 1~2 Cu 余量	0.43 ~ 0.49	10 ± 0.1 40 ± 0.1 60 ± 0.1	0 ~ +20	-0.02 ~ 0	≤ 2	≥ 400	≥ 8	10 ~ 80	β 很小,电阻温度 曲线平坦,抗氧化, 耐腐蚀性能比锰铜 好	用于制造精密分流 器,大电流高稳定取样 电阻
钴锰铜		Mn 6~7 Co 5~6 Cu 余量	0.43 ± 0.03	0 ± 0.1 20 ± 0.1 70 ± 0.1	-3 ~ +5	-0.03 ~ 0	≤ 1.7	≥ 400	≥ 8	0 ~ 70	稳定性高,电阻温 度曲线平坦,电阻变 化率小,材料价格贵	适用于宽温度范围 的精密电仪器
滑线锰铜		Mn 12~13 Ni 1~3 Cu 余量	0.45 ± 0.03		-30 ~ +30	-0.5 ~ 0	≤ 2	≥ 200	≥ 10	5 ~ 60	线材横圆度小,阻 值均匀,抗氧化性较 好	适用于电子电位差 计等滑线电阻器

此类电阻应具有均匀的电阻值, 良好的抗氧化及焊接性能, 好的机械加工性能和绕制性能。主要用于制造热继电器和过载保护器中的发热电阻元件。其品种和性能见表 10.3.4。

表 10.3.4 发热电阻合金品种、性能和特点

系列	品种	主要化学成分 /%	电阻率 ρ (20℃) /($\mu\Omega \cdot m$)	抗拉强度 /(N/mm ²) 不小于	伸长率 /%	平均电阻 温度系数 α /($\times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$)	特点
Cu-Ni 系	CuNi2	Ni 1.5~2.5 Cu 余量	0.05 ± 0.005	210	15	1200	电阻率系列化, 机械性能良好, 焊接性能良好, 抗氧化随镍含量增加有所提高
	CuNi6	Ni 5.5~6.5 Cu 余量	0.10 ± 0.01	250	15	600~700	
	CuNi8	Ni 7.5~8.5 Cu 余量	0.12 ± 0.01	290	15	500~600	
	CuNi23	Ni 22~24 Cu 余量	0.30 ± 0.03	300	15	160~200	
	CuNi25	Ni 24~26 Cu 余量	0.32 ± 0.03	350	15	150~200	
	CuNi45Mn	Ni 43~47, Mn1 Cu 余量	0.50 ± 0.04	400	15	60~100	
	CuNi44	Ni 42~46 Cu 余量	0.49 ± 0.04	420	18	60~100	
Cu-Mn 系	CuMn3	Mn 2.5~3.5 Cu 余量	0.12 ± 0.01	280	15	280~350	电阻率低, 加工性能良好, 易焊接, 抗氧化性差
Ni-Cr-Fe 系	NiCr3020	Cr 18~22 Ni 30~34 Fe 余量	1.04 ± 0.05	650	18	130~140	电阻率高, 使用温度高, 高温强度好, 抗氧化, 耐腐蚀, 焊接性能较差
	NiCr6015	Cr 15~18 Ni 58~62 Fe 余量	1.12 ± 0.05	700	20	130~140	
	NiCr4523	Cr 22~26 Ni 44~48 Fe 余量	1.11 ± 0.05	700	18	130~140	
Fe-Cr-Al 系	CrAl205	Cr 20~22 Al 4.0~6.0 Fe 余量	1.37 ± 0.07	600	10	65~70	电阻率高, 使用温度高, 焊接性能和抗氧化性能较差
	CrAl235	Cr 23~26 Al 4.5~6.5 Fe 余量	1.42 ± 0.07	600	10	40~45	
	FeCrAlCo	Cr 22~23.5 Al 4.5~5.5 Co 0.5~1 Fe 余量	1.35 ± 0.07	600	12	10~15	

4. 高电阻率电阻合金

此类合金主要用于高电阻元件, 高阻值电阻箱及小型精密仪器中。其电阻率高, 冷加工性能好, 可拉成细丝或可轧成薄膜, 可加工成金属膜电阻及贴膜平面电阻等。高电阻率电阻合金的品种、性能和特点见表 10.3.5。

表 10.3.5 高电阻率电阻合金品种、性能和特点

名称	主要成分 /%	电阻率 ρ (20℃) /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	平均电阻 温度系数 (0~100℃) α /($\times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$)	对铜热 电动势 /($\mu\text{V}/\text{℃}$)	密度 γ /(g/cm^3)	抗拉强度 σ_b /($\times 10^6 \text{N}/\text{m}^2$)	伸长率 δ /%	工作温度 /℃	特 点
镍铬铝铁	Cr 18~20 Al 1~3 Fe 1~3 Ni 余量	1.33	-20~20	≤ 2	8.1	784~980	10~25	-65~125	电阻系数大, 温度系数小, 对铜热电势小, 机械强度高, 耐磨, 抗氧化, 焊接性能略差
镍铬铝铜	Cr 18~20 Al 2~4 Cu 1~3 Ni 余量	1.33	-20~20	≤ 2	8.1	784~980	10~25	-65~125	特点同镍铬铝铁, 焊接性能比其略好
镍铬锰硅	Cr 17~19 Mn 2~4 Si 1~4 Al、Ni 余量	1.35	-20~20	≤ 2	8.1	784~980	10~25	-65~125	特点同上, 焊接性能比镍铬铝铜略好
镍铬铝钒	Cr 17~19 Al 3~5 V 3~5 Mn、Ni 余量	1.70	-30~30	≤ 5	8.1	≈ 1570	≈ 15	-65~125	焊接性能较差
镍锰铬钼	Mn 34~37 Cr 7~10 Mo、Ni 余量	1.90	-50~50	≤ 7		≈ 1570	6~10	-65~125	焊接性能较好

5. 电位器用贵金属电阻

此类电阻主要用于电位器和滑线变阻器。它应具有稳定的电阻值、良好的抗氧化性和耐腐蚀性、较低的电阻温度系数和低的对铜接触热电势, 还应有耐磨性和小而稳定的接触电阻。其性能和特点见表 10.3.6。

表 10.3.6 电位器用贵金属电阻合金性能和特点

类型	名 称	20℃电阻率 ρ /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{cm}$)	平均电阻 温度系数 α /($\times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$)	抗拉强度 σ_b 软态 /($\times 10^6 \text{N}/\text{m}^2$)	特 点
铂基	铂铱 10	0.19	1700	500	① 具有较好的化学稳定性 ② 接触电阻较低 ③ 耐磨性能好
	铂铱 10	0.25	1300	540	
	铂钨 10	0.42	470	780	
	铂铜 8.5	0.50	330	780	
	铂钨 8	0.62	280	980	
金基	金银 20 铜 30	0.12	—	640	① 化学性能较稳定, 特别能抗有机物质的侵蚀 ② 具有较稳定的接触电阻 ③ 摩擦系数较大 ④ 接触压力大时, 耐磨性能不够高
	金镍 7.5 铜 1.5	0.19	—	500	
	金镍 5	0.14	71	—	
	金镍 5 铬 1	0.24	35	380	
	金钨 40 铁 10	1.9	20~75	—	
钨基	钨银 40	0.42	30	400	① 机械性能及耐磨性能好 ② 抗腐蚀性能好, 但抗有机物质的侵蚀性能差
	钨银 36 铜 4	0.45	30	500	
	钨钼 10	0.90	—	600	

6. 应变元件用电阻合金

此类合金主要用于应变仪中的敏感检测元件, 应具有应变灵敏系数高, 比例极限与弹性模量之比大, 强度高, 低和稳定的电阻温度系数, 高的结构稳定性和化学稳定性。敏感检测元件通常制成丝或箔, 丝径为 0.02~

0.05mm, 箔厚为 0.003~0.01mm。其品种和性能见表 10.3.7。

表 10.3.7 应变元件电阻合金的性能、特性

类型	名称	主要成分/%	电阻率 ρ (20℃) /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	平均电阻 温度系数 α /($\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	电阻对温 度线性关 系范围 /℃	应变灵敏 系数 /K	抗拉强度 σ_b /($\times 10^6 \text{ N}/\text{m}^2$)	对铜热 电势 /($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	特 点
铁基	铁镍铬铂	Ni 32~37 Cr 6~9 Mo, Fe 余量	1.13	100~470	20~230	2.1~3.6	1150	≈3.5	① 高温下抗氧化性能比镍基好 ② 高温下蠕变大 ③ 冷加工性能较差 ④ 原料丰富、成本低
	铁铬铂	Cr 20~23 Al 3~7 V, Mo, Fe 余量	1.45	-40~10	—	2.7	750		
	铁铂	Cr 20~23 Al 8~12 Fe 余量	1.78	≈-120	20~1000	2.0			
镍基	镍铜	Ni 40~45 Mn 1~4 Cu 余量	0.48	-20~20	20~300	2.0	400~700	≈43	① 冷加工性能较好, 易拉制成细线 ② 电阻对温度关系的线性性较好 ③ 工作温度一般不高于 400℃
	镍铬	Cr 20~23 Ni 余量	1.10	≈70	20~400	2.2	700~1350	≈4	
	镍铬铂铁	Cr 18~23 Al 1~3 Fe 1~3 Ni 余量	1.33	-10~10	20~400	2.1	900~1300	≈3	
	镍铂	Mo 20~25 Al 1~3 Ni 余量	1.55	-30~30	-200~20 20~520	2.1	≈1400	≈8	
贵金属基	铂钨	W 8, Pt 余量	0.66	≈230	0~700	3.5~4	≈900	6.1	① 高温下抗氧化性能好, 稳定性好 ② 除金钨铁外, 电阻对温度关系的线性性较好 ③ 随温度升高, 应变灵敏系数下降较大 ④ 原材料贵重
		W 8, 5Pt 余量	0.68	≈200	0~700	3.5~1	≈980	6.4	
		W 9, 5Pt 余量	0.75	≈170	0~700	3~3.5	≈1200	6.5	
	铂钼	Pd 45, Mo 10 Pt 余量	0.86	≈130	0~450	2.5	≈800	6.8	
	铂铼	W 7.5, Re 5.5 Pt 余量	0.84	≈88	0~300	2.8	≈1370	3.6	
金钨	Pd 48, Fe 10 Au 余量	1.60~1.78	-20~20	非线性	≈2	≈1280	1		

7. 温度补偿电阻

此种合金具有负的电阻温度系数, 其阻值随温度的上升而降低, 适用于做仪表中的温度补偿电阻。其性能特点见表 10.3.8。

表 10.3.8 温度补偿用电阻合金性能、特点

名称	主要成分 /%	电阻率 ρ (20℃) /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	平均电阻温度 系数 α /($\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	对铜热电势 /($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	工作温度 /℃	特 点
铁锰铝	Mn 32~37 Al 5~7 Fe 余量	1.25~1.35	-200~-300	<2	-50~60	焊接性能较差

第二节 电热材料

电热材料用于制作各种电热设备和电热器具中的发热元件。它在高温下应具有良好的抗氧化性能、高的电阻率及小的电阻温度系数和易加工成型等特点。

电热材料根据不同的使用环境和使用温度可分为合金、纯金属、非金属陶瓷及管状电加热元件等品种。常用电热材料的类别、品种和特点见表 10.3.9。

表 10.3.9 电热材料的品种、性能和特点

类别	品种及型号	元件最高使用温度 /℃	物理及机械性能					特点及用途		
			密度 d / (g/cm ³)	电阻率 ρ / ($\mu\Omega \cdot m$)	抗拉强度 σ_b / MPa	伸长率 δ \geq / %	熔点 t /℃			
合金	铬铝合金	1Cr13Al4	7.4	1.25	588 - 735	16	1450	① 抗氧化及耐温高于镍铬 ② 电阻率比镍铬高, 相对密度小, 用料省 ③ 不用镍, 价格低廉 ④ 加工性能稍差 ⑤ 高温强度低, 且用后变脆, 适用于各种固定式设备 ⑥ 铁素体组织, 有磁性		
		0Cr13Al6Mo2	7.2	1.41	686 - 834	12	1500			
		0Cr25Al5	7.1	1.42	637 - 785	12	1500			
		0Cr21Al6Nb	7.1	1.45	686 - 785	12	1510			
		0Cr27Al7Mo2	7.1	1.53	686 - 785	10	1520			
	镍铬合金	Cr20Ni30	1100	7.9	1.12		20	1390	① 电阻率较高 ② 加工性能好 ③ 高温强度较高, 用后不变脆, 适用于移动式设备上 ④ 奥氏体组织, 基本无磁性	
		Cr15Ni60	1150	8.2	1.15	637 - 785	20	1390		
		Cr20Ni30Si3	1200		1.14		20			
		Cr20Ni80	1200	8.4	1.14	637 - 785	20	1400		
		Cr30Ni70	1250	8.1	1.20		20	1380		
	镍铁合金	Ni45Fe	350	8.1	0.52	539 - 637	20 - 35	1425	① 电阻率较低 ② 正电阻温度系数大, 具有温度自控作用, 可用作快热式恒温发热元件 ③ 抗腐蚀性较差, 有磁性	
		Ni55Fe	500	8.3	0.36	539 - 637	20 - 35	1425		
	金属	高熔点纯金属	Mo	1800	10.2	0.0563	785 - 1177		2622	① 使用温度高, W、Mo 须在惰性气体, 真空及氢中使用, Ta 除不适用于氢以外, 其他同 W、Mo ② 电阻率低, 电阻温度系数较大, 使用时经配调压装置, 适用于实验室或特殊高温电炉 ③ 材料价高
			Ta	2200	16.6	0.124	294 - 441		2996	
			W	2400	19.3	0.0549	1079		3400	

类别	品种及型号		元件最高使用温度 /℃	物理及机械性能					特点及用途	
				密度 d / (g/cm ³)	电阻率 ρ / ($\mu\Omega \cdot m$)	抗拉强度 σ_b / MPa	伸长率 δ \geq /%	熔点 t /℃		
非 金 属	硅钼棒 MoSi ₂	GM-1700	1700	5.3~5.5	0.25	抗弯 245~343			① 抗氧化性能好, 不易老化 ② 正电阻温度系数较大, 需配调压装置 ③ 室温时硬而脆, 1350℃开始变软 ④ 低温下不易形成保护性二氧化硅 ⑤ 耐急冷急热性差	
		GM-1800	1800		0.26					
	硅碳棒 SiC	粗端部 GC 型	1500	3.2	1000左右 (1400℃)	抗折 > 44				① 高温强度高 ② 质硬而脆 ③ 元件间电阻值一致性较差 ④ 易老化, 电阻随使用时间延长而增大, 需配调压装置
		等直径 GD 型								
陶 瓷	PTC 半 导 体 陶 瓷		居里温度 /℃	常温电阻/k Ω		额定电压 /V	耐压 /V	外形	正电阻温度系数大, 具有温度自控作用, 适用于电热驱蚊器、卷发器、电饭锅等各类家用电器	
		MZ90AH	180	0.4~4		220	430	圆形		
		MZ90AF	220	0.5~5		220	380	方形		
		MZ90AD	260	1~10		220	380	圆形		
		MZ90AB	300	5~10		220	380	圆形		

1. 电热合金材料

(1) 电热合金材料的表面负荷 电热元件的作用是把电能转变成热能, 热能通过辐射、对流或传导散发。其散发能力用“单位表面负荷 P_{bm} ”来表示, 简称表面负荷, 即电热元件表面单位面积所散发的热功率, 单位为 W/cm²。 P_{bm} 的大小决定着电热元件与炉内温度之间的温差, P_{bm} 越大, 温差越大。表 10.3.10 列出了辐射加热时电热元件的允许表面负荷范围。

表 10.3.10 辐射加热时电热元件的允许表面负荷

加热元件材料	Cr20Ni80	1Cr13Al4	0Cr25Al5 0Cr13Al6Mo2	0Cr27Al7Mo2	碳化硅元件	二硅化钼元件	
元件最高工作温度 /℃	1200	950	1250	1400	1450	1700	
炉温/℃	600	1.8~2.2					
	700		1.6~2.0				
	800	1.4~2.0	1.0~1.6	1.8~2.2			
	900	1.2~1.6	0.8~1.0	1.4~2.0			
	1000	0.8~1.2		1.0~1.6	1.8~2.4		
	1100			0.8~1.0	1.2~1.8	25	
	1200				1.0~1.5	20	
	1300				0.8~1.0	13	14~22
	1400					5	11~18
	1500						9~15
	1600						6~11

(2) 电热合金元件计算 计算电热元件尺寸的公式如下。

对于线材：

$$d = 0.343 \sqrt[3]{\left(\frac{P}{U}\right)^2 \frac{\rho_t}{P_{bm}}}$$

$$L = \frac{P}{10\pi d P_{bm}}$$

式中 P ——元件功率，W；

P_{bm} ——元件表面负荷，W/cm²；

ρ_t ——元件温度为 t 时的电阻系数，Ω·mm²/m；

L ——电热线长度，m；

d ——电热线直径，mm；

U ——元件两端电压，V。

对于带材：

$$a = \sqrt[3]{\frac{P^2 \rho_t}{20K(K+1)U^2 P_{bm}}}$$

$$L = \frac{U^2 K a^2}{P \rho_t}$$

式中 a ——带材厚度，mm；

K ——带材宽厚比 $\left(\frac{b}{a}\right)$ ；

b ——带材宽度，mm。

(3) 部分电热合金材料在不同温度下的电阻修正系数（见表 10.3.11）和技术数据。

表 10.3.11 电热合金在不同温度下的电阻修正系数 R_t/R_{20} (GB 1234—85)

合金型号 \ 温度/℃	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Cr15Ni60	1.000	1.013	1.029	1.046	1.062	1.074	1.078	1.083	1.089	1.097	1.105	1.121	
Cr20Ni80	1.000	1.006	1.016	1.024	1.031	1.036	1.026	1.019	1.017	1.021	1.028	1.038	1.040
Cr30Ni70	1.000	0.997	1.016	1.028	1.038	1.044	1.036	1.030	1.028	1.029	1.033	1.037	1.043
1Cr13Al4	1.000	1.004	1.013	1.027	1.041	1.062	1.090	1.114	1.126	1.135	1.142		
0Cr13Al6Mo2	1.000	1.001	1.003	1.007	1.014	1.028	1.048	1.053	1.057	1.060	1.063	1.066	1.069
0Cr25Al5	1.000	1.002	1.005	1.008	1.012	1.023	1.024	1.026	1.028	1.030	1.032	1.034	1.036
0Cr21Al6Nb	1.000	0.997	0.996	0.994	0.991	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
0Cr27Al7Mo2	1.000	0.997	0.994	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992

注： R_{20} 是从室温将每种合金的试样加热到工作温度后随炉冷却来确定的，在此情况下，电阻（ R_{20} ）与现行标准规定：Cr15Ni60 合金高 1%；Cr20Ni80 和 Cr30Ni70 合金高 3%；1Cr13Al4 和 0Cr13Al6Mo2 低 2%；0Cr25Al5、0Cr21Al6Nb 和 0Cr27Al7Mo2 合金低 3%。

(4) 开启式电炉盘用圆线螺旋形电炉条技术数据（220V）（见表 10.3.12）。

表 10.3.12 开启式电炉盘用圆线螺旋形电炉条技术数据（220V）

0Cr25Al5 铁铬铝								
功率 /W	单线直径 /mm	芯棒直径 /mm	单线长度 /m	每根重量 /g	螺旋中径 /mm	螺旋长度 /mm	热态电阻 /Ω	冷态电阻 /Ω
3000	1.2	4	12.15	98.2	5.2	830	16.13	15.37
2500	1.1	4	12.34	83.3	5.1	780	19.36	18.44
2000	0.9	4	10.33	46.7	4.9	560	24.2	23.1
1500	0.8	4	10.87	38.8	4.8	530	32.27	30.7
1200	0.7	4	10.41	28.5	4.7	460	40.33	38.4
1000	0.65	4	10.77	25.4	4.65	440	48.4	46.1
900	0.65	4	11.96	28.2	4.65	490	53.78	51.2
800	0.6	3.5	11.48	23.1	4.1	490	60.5	57.6

0Cr25Al5 铁铬铝								
功率 /W	单线直径 /mm	芯棒直径 /mm	单线长度 /m	每根重量 /g	螺旋中径 /mm	螺旋长度 /mm	热态电阻 /Ω	冷态电阻 /Ω
700	0.55	3.5	11.01	18.6	4.05	440	69.1	65.9
600	0.5	3.5	10.62	14.8	4	390	80.7	76.8
500	0.45	3.5	10.33	11.7	3.95	350	96.8	92.2
400	0.4	3	10.19	9.1	3.4	350	121	115.2
300	0.35	3	10.41	7.5	3.35	320	161.3	153.7
Cr20Ni80 镍铬								
2200	0.8	4	10.8	45.7	4.8	540	24.2	23.5
1500	0.7	4	11.1	35.8	4.7	500	32.3	31.4
1200	0.6	3.5	10.2	24.2	4.1	450	40.3	39.2
1000	0.56	3.5	10.6	22	4.06	440	48.4	47
800	0.5	3.5	10.6	17.5	4.0	400	60.5	58.8
600	0.4	3	9.1	9.6	3.4	320	80.7	78.5
500	0.35	3	8.3	6.7	3.35	260	96.8	94
400	0.31	3	8.2	5.2	3.31	230	121	118
300	0.25	2.5	7.1	2.9	2.75	195	161.3	157

2. PTC 恒温发热材料

PTC 恒温发热材料是一种具有高的正温度系数的半导体陶瓷电热材料。PTC 材料的电阻率呈非线性，冷态时电阻率小，随温度的升高电阻率增大。当 PTC 元件两端加电压时，开始时电阻率小，电流大，迅速升温，随温度升高到近居里点时电阻率快速上升，电流减小，升温减慢，最后稳定在该材料的居里温度，也称恒温点。

选用不同比例厚材料制成的 PTC 材料有不同的居里温度，常用的中、低温 PTC 材料居里温度可以在 20~300℃ 范围内根据需要设定。在同一居里温度下，其冷态电阻也能在很宽的范围内设定。

PTC 材料作为发热元件具有升温迅速，无明火、恒温发热、发热功率随外界散热条件而自动调整等优点，广泛用于各种电热器。

3. 管状电热元件

管状电热元件是由镍铬或铁铬铝电热合金材料作发热体，外面套以金属套管，中间空隙部分紧密填满具有良导热性和绝缘性的结晶氧化镁，两端由封口材料密封而成，故又称电热管。

各种型号电热管的规格见表 10.3.13，技术数据见表 10.3.14 至表 10.3.16。

表 10.3.13 管状电热元件的型号及规格

型号	加热介质	管子材料	管子表面 负荷 /(W/cm ²)	温度 /℃	每支功率范围 /kW	
					220V	380V
JGQ	非流动空气	10 [#] 钢	1.2~1.8	300	0.5~1.5	2~3
		1Cr18Ni9Ti	1.2~3.0	500 (管子温度 800℃)		
	流动空气 风速 > 6m/s	10 [#] 钢	1.8~3.0	300		
		1Cr18Ni9Ti	2~4			
JGY	注	静止	10 [#] 钢	2.5~2.8	1~8	5~8
		流动	10 [#] 钢	3~6		
JGS	水	铜; 10 [#] 钢 1Cr18Ni9Ti	5~10	100~105	0.5~5	4~7
JGX	硝酸盐	1Cr18Ni9Ti	3~3.5	550		2~7
JGJ	碱	10 [#] 钢	3~3.5	550		2~7
JGM	金属模具	10 [#] 钢 1Cr18Ni9Ti	2~4	220	36V: 0.2~1.5	
					55V: 0.2~0.3	
					110V: 0.4~0.5	
					220V: 0.2~1.5	

表 10.3.14 JGQ 型管状电热元件的技术数据

型 号	电 压 /V	功 率 /kW	每支重量 /kg	型 号	电 压 /V	功 率 /kW	每支重量 /kg
JGQ1-220/0.5	220	0.5	1.25	JGQ5-220/0.8	220	0.8	1.40
JGQ1-220/0.75	220	0.75	1.60	JGQ5-220/0.9	220	0.9	1.72
JGQ2-220/1.0	220	1.0	1.83	JGQ5-220/1.1	220	1.1	2.04
JGQ2-220/1.5	220	1.5	2.62	JGQ5-220/1.2	220	1.2	2.26
JGQ3-380/2.0	380	2.0	3.43	JGQ5-220/1.3	220	1.3	2.48
JGQ3-380/2.5	380	2.5	4.00	JGQ5-220/1.5	220	1.5	2.80
JGQ3-380/3.0	380	3.0	4.50	JGQ6-36/0.25	36	0.25	—
JGQ4-220/0.8	220	0.8	1.20	JGQ6-55/0.25	55	0.25	—
JGQ4-220/1.0	220	1.0	1.42	JGQ6-55/0.3	55	0.3	—
JGQ4-220/1.2	220	1.2	1.65	JGQ6-110/0.4	110	0.4	—
JGQ4-220/1.4	220	1.4	1.87	JGQ6-110/0.5	110	0.5	—
JGQ5-220/0.7	220	0.7	0.97	JGQ6-220/0.6	220	0.6	—

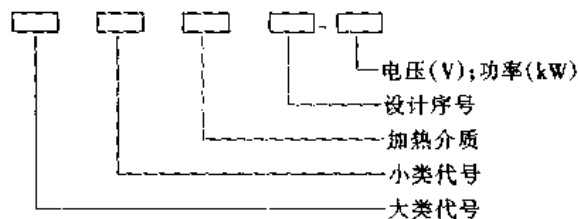
表 10.3.15 JGY 型管状电热元件的技术数据

型 号	功 率 /kW	电 压 /V	总 长		每支重量 /kg
			A /mm	B 浸入油中长度 /mm	
JGY2-220/1	1	220	307	230	1.45
JGY2-220/2	2	220	507	430	1.90
JGY2-220/3	3	220	707	630	2.35
JGY2-220/4	4	220	922	845	2.83
JGY4-220/5	5	220	697	620	2.45
JGY4-220/6	6	220	807	730	2.70
JGY4-220/8	8	220	1007	930	3.05
JGY3-220/1	1	220	625	595	0.77
JGY-220/2	2	220	825	795	1.01
JGY3-220/3	3	220	925	895	1.13
JGY3-220/4	4	220	1125	1095	1.37

表 10.3.16 JGS1 型管状电热元件的技术数据

型 号	电 压 /V	功 率 /W	每支重量 /kg
JGS1-380/1	380	1	2.00
JGS1-380/2	380	2	2.15
JGS1-380/3	380	3	2.53
JGS1-380/4	380	4	2.80
JGS1-380/5	380	5	3.08
JGS1-380/6	380	6	3.33
JGS1-380/7	380	7	3.50

电热管的型号如下：



类别代号：G—管状；J—电热元件。

加热介质代号：Q—空气；S—水；Y—油；X—硝酸盐液；J—碱液；M—金属模具。

第四章 磁性材料

磁性材料是电气设备、电子仪器、电气仪表、计算机和电讯工业中的重要材料。

影响磁性能的因素如下。

(1) 生产工艺的差别 磁性材料除特性曲线反映的各种磁特性外, 往往同种磁性材料由于生产工艺的差别有各向同性和各向异性之分。各向异性磁性材料的磁性能与磁化方向有关, 使用时应特别注意选其磁性最好的方向为磁化方向。

(2) 温度 温度对磁性材料的磁性能影响显著。磁性材料的磁导率和饱和磁感应强度随温度的升高而降低, 当温度超过某一数值(居里温度)时, 磁性材料将失去铁磁性。居里温度也称居里点 T_c 。各种磁性材料具有不同的居里点, 如硬磁铁氧体为 450°C , 钴为 1137°C 。

(3) 频率 频率的变化对磁性能也有影响, 各种磁性材料只适用一定的频率范围。当频率超出时, 会导致材料导磁性能下降, 铁耗增加。

(4) 机械加工产生的内应力 磁性材料进行机械加工时, 会在内部产生内应力, 内应力的出现会使材料的 μ 下降, H_c 加大, 铁损增加。为此, 必须进行退火处理来消除内应力, 恢复原来的磁性。

磁性材料按其磁特性通常可分为软磁材料和硬磁(永磁)材料两大类。

第一节 软磁材料

不同的磁性材料有不同形状的磁滞回线, 其中磁滞回线形状既狭长又陡的称软磁材料。

软磁材料的主要特点是磁导率高, 剩磁少, 矫顽力低, 磁滞损耗小, 是一种既容易磁化又容易去磁的磁性材料。此类材料适合在交变磁场中工作。

常用的软磁材料可分为金属软磁材料和铁氧体软磁材料两大类。其中金属软磁材料又分为电工纯铁、硅钢片、铁镍合金和铁铝合金等。

各类软磁材料的特点和应用范围见表 10.4.1。

表 10.4.1 软磁材料的品种、主要特点和应用范围

品 种	主 要 特 点	应 用 范 围
电工用纯铁	含碳量在 0.04% 以下, 饱和磁感应强度高, 冷加工性好, 但电阻率低, 铁损高, 有磁时效现象	一般用于直流磁场
硅钢片	铁中加入 0.8%~4.5% 的硅, 就是硅钢。它和电工用纯铁相比, 电阻率增高, 铁损降低, 磁时效基本消除, 但导热系数降低, 硬度提高, 脆性增大	电机、变压器、继电器、互感器、开关等产品的铁芯
铁镍合金	和其他软磁材料相比, 在低磁场下, 磁导率高, 矫顽力低, 但对应力比较敏感	频率在 1MHz 以下低磁场中工作的器件
铁铝合金	和铁镍合金相比, 电阻率高, 相对密度小, 但磁导率低; 随着含铝量增加, 硬度和脆性增大, 塑性变差	低磁场和高磁场下工作的器件
软磁铁氧体	烧结体, 电阻率非常高, 饱和磁感应强度低, 温度稳定性也较差	高频或者较高频率范围内的电磁元件

1. 电工纯铁

电工纯铁是一种含碳量(约 0.04%) 极低的软铁。电工纯铁可分为原料纯铁、电子管纯铁和电磁纯铁三种, 工程上广泛采用电磁纯铁。电磁纯铁按其磁特性可分为普级、高级、特级和超级四个等级。

电磁纯铁具有高的 B_s 、 μ 和低的 H_c , 且居里温度高达 770°C , 冷加工性能好, 但电阻率太低, 铁损耗大。因此, 只宜作直流磁路的材料, 如电磁铁磁极、继电器铁芯等。

电工纯铁的型号和磁性能见表 10.4.2。

表 10.4.2 电工用纯铁的磁性能

磁性等级	牌号代号	矫顽力 H_c , 不大于		最大磁导率 μ_m 不小于		在不同磁场强度下的磁 感应强度值, 不小于				
		$/\left(\frac{A}{m}\right)$	/Oe	$/\left(\frac{H}{m}\right)$	$/\left(\frac{Gs}{Oe}\right)$	B_5 /T	B_{10} /T	B_{25} /T	B_{50} /T	B_{100} /T
普级	DT3、DT4 DT5、DT6	96	1.2	0.0075	6000	1.40	1.50	1.62	1.71	1.80
高级	DT3A、DT4A DT5A、DT6A	72	0.9	0.00875	7000					
特级	DT4E、DT6E	48	0.6	0.0113	9000					
超级	DT4C、DT6C	32	0.4	0.015	12000					

注: 1. 代号中“DT”表示电工用纯铁,“DT”后面的数字为代号序号,表示材料成分,序号后面的字母表示电磁性能等级,即“A”、“E”、“C”分别表示“高”、“特”、“超”级,未用字母者表示“普”级。

2. DT3、DT4为铝镇静纯铁,DT5、DT6为硅铝镇静纯铁。DT3、DT5用于不保证磁时效的一般电磁元件,DT4、DT6用于在一定时效工艺下,保证无时效、磁性范围较稳定的电磁元件。

3. B_5 、 B_{10} 、 B_{25} 、 B_{50} 、 B_{100} 分别表示磁场强度为500、1000、2500、5000、10000A/m时的磁感应强度值。

2. 硅钢片

硅钢片是指在铁中加入0.38%~4.5%硅的铁硅合金,经轧制成厚度为0.05~1mm的片状材料。

(1) 热轧硅钢片 热轧硅钢片表面不光滑,因而叠装系数低,现正被冷轧硅钢片逐步取代。

热轧硅钢片的牌号和性能见表10.4.3。

表 10.4.3 热轧硅钢片的性能

牌 号		厚 度 /mm	最小磁感应强度/T			最大铁损/(W/kg)		弯曲次数 不小于	密度/(g/cm ³)	
新牌号	旧牌号		B_{25}	B_{50}	B_{100}	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$		酸洗钢板	未酸洗钢板
DR530-50	D22	0.50	1.51	1.61	1.74	2.20	5.30	7.75	7.70	
DR510-50	D23	0.50	1.54	1.64	1.76	2.10	5.10			
DR490-50	D24	0.50	1.56	1.66	1.77	2.00	4.90			
DR450-50	—	0.50	1.54	1.64	1.76	1.85	4.50			
DR420-50	—	0.50	1.54	1.64	1.76	1.80	4.20			
DR400-50	—	0.50	1.54	1.64	1.76	1.65	4.00			
DR440-50	D31	0.50	1.46	1.57	1.71	2.00	4.40	4.0	7.65	
DR405-50	D32	0.50	1.50	1.61	1.74	1.80	4.05	4.0	—	
DR360-50	D41	0.50	1.45	1.56	1.68	1.60	3.60	1.0	7.55	
DR315-50	D42	0.50	1.45	1.56	1.68	1.35	3.15	1.0		
DR290-50	D43	0.50	1.44	1.55	1.67	1.20	2.90	1.0		
DR265-50	D44	0.50	1.44	1.55	1.67	1.10	2.65	1.0		
DR360-35	D31	0.35	1.46	1.57	1.71	1.60	3.60	5.0		7.65
DR325-35	D32	0.35	1.50	1.61	1.74	1.40	3.25	5.0		—
DR320-35	D41	0.35	1.45	1.56	1.68	1.35	3.20	1.0	7.55	
DR280-35	D42	0.35	1.45	1.56	1.68	1.15	2.80	1.0		
DR255-35	D43	0.35	1.44	1.54	1.66	1.05	2.55	1.0		
DR225-35	D44	0.35	1.44	1.54	1.66	0.90	2.25	1.0		

注: $P_{10/50}$ 、 $P_{15/50}$ 分别为50Hz时B为1.0T和1.5T时的铁损。

(2) 冷轧硅钢片 冷轧硅钢片有晶粒取向与无取向两种。硅钢是立方晶系的多晶体,每个晶体有三个相互垂直的易磁化方向,多晶体中的晶粒排列本来是混乱的,各方向的磁性能相同,是无取向的。但在材料制造过程中,可采取工艺措施将晶粒的一个易磁化方向都沿轧制方向排列,而使其余两个易磁化方向都不与钢片平面平行,这样轧制成的硅钢片便只有一个易磁化方向,称单取向硅钢片,常称取向硅钢片。取向硅钢片的磁性能沿轧制方向最佳,其 μ_m 可达18.8mH/m,比最好的热轧硅钢片高50%~100%,沿其他方向则较差。

冷轧取向硅钢片主要用来制造电力变压器和大型发电机的铁芯。

单用冷轧无取向和取向硅钢片的牌号和磁性能见表10.4.4、表10.4.5。

表 10.4.4 常用无取向硅钢片的主要参数

牌 号	厚 度 /mm	最大铁耗 P _{15/50} /(W/kg)	最小磁通 密度 B ₅₀ /T	密 度 /(g/cm ³)	牌 号	厚 度 /mm	最大铁耗 P _{15/50} /(W/kg)	最小磁通 密度 B ₅₀ /T	密 度 /(g/cm ³)	
DW240-35	0.35	2.40	1.58	7.65	DW360-50	0.5	3.60	1.60	7.65	
DW265-35		2.65	1.59		DW400-50		4.00	1.61		
DW310-35		3.10	1.60		DW470-50		4.70	1.64		
DW360-35		3.60	1.61		DW540-50		5.40	1.65		
DW440-35		4.40	1.64		DW620-50		6.20	1.66		
DW500-35		5.00	1.65		DW800-50		8.00	1.69		7.80
DW550-35		5.50	1.66		DW1050-50		10.50			7.85
DW270-50	0.5	2.70	1.58	7.65	DW1300-50	13.00	1.69	7.85		
DW290-50		2.90	1.59		DW1550-50	15.50				
DW310-50		3.10								

表 10.4.5 常用取向硅钢片的主要参数

牌 号	厚 度 /mm	最大铁耗 P _{17/50} /(W/kg)	最小磁通 密度 B ₁₀ /T	密 度 /(g/cm ³)	牌 号	厚 度 /mm	最大铁耗 P _{17/50} /(W/kg)	最小磁通 密度 B ₁₀ /T	密 度 /(g/cm ³)		
DQ113G-30	0.30	1.13	1.89	7.65	DQ117G-35	0.35	1.17	1.89	7.65		
DQ122G-30		1.22			DQ126G-35		1.26				
DQ133G-30		1.33			DQ137G-35		1.37				
DQ133-30		1.47			1.79		DQ137-35			1.51	1.79
DQ147-30					1.77		DQ151-35				1.77
DQ162-30					1.74		DQ166-35				1.74
DQ179-30		1.79			1.71		DQ183-35			1.83	1.71

3. 铁镍合金

铁镍合金又称坡莫合金。它是一种在铁中加入 30%~80% 的镍，经真空冶炼而成的软磁材料。这类材料在中等和弱磁场中具有较高的磁导率和低的矫顽力，并具有较高的电阻率和耐蚀性，通常轧成厚度为 0.01~0.35mm 的薄带，可在较高的频率下工作。一般用在频率 1MHz 以下的场合。由于铁镍合金含有贵金属镍，价格昂贵，故多用作弱磁场或要求磁导率特别高的磁性材料。

国产铁镍合金的类型和磁性能见表 10.4.6。

表 10.4.6 铁镍软磁合金冷轧带直流磁性能

牌 号	级 别	厚 度 /mm	μ_1 /(mH/m) ≥	μ_m /(mH/m) ≥	H _c /(A/m) ≤	B _s /T ≥	B _r /B _m (80A/m)	特 点 和 用 途
1J46		0.02~0.04	2.5	22.6	32.0	1.5		Ni 含量 36%~50%，具有较高的饱和磁感强度。适用于中等磁场下工作的中小功率变压器、微电机、继电器、扼流圈、电磁离合器的铁芯、屏蔽罩、话筒振动膜片以及力矩电动机衔铁和导磁体等
		0.05~0.09	2.9	27.6	24.0	1.5		
		0.10~0.19	3.5	31.3	20.0	1.5		
		0.20~0.34	4.0	37.6	16.0	1.5		
		0.35~2.50	4.5	45.1	12.0	1.5		
1J50		0.02~0.04	2.7	25.0	24.0	1.5		
		0.05~0.09	3.5	35.1	20.0	1.5		
		0.10~0.19	4.0	40.1	14.4	1.5		
		0.20~0.34	4.5	50.1	11.2	1.5		
		0.35~1.0	5.6	62.7	9.6	1.5		
1J54		0.02~0.04	2.0	20.0	20.0	1.0		
		0.05~0.09	2.5	25.1	16.0	1.0		
		0.10~0.19	3.1	31.3	12.0	1.0		
		0.20~0.34	3.8	37.6	9.6	1.0		
		0.34~100	4.0	40.1	8.0	1.0		

续表

牌号	级别	厚度 /mm	μ_1 /(mH/m) ≥	μ_m /(mH/m) ≥	H_c /(A/m) ≤	B_s /T ≥	B_r/B_m (80A/m)	特点和用途
1J34		0.005 ~ 0.01		62.5	20	1.50	0.90	Ni含量34%~50%，具有矩形磁滞回线，在中等磁场下具有较高的磁导率和高饱和磁感应强度，适用于中小功率高灵敏度磁放大器和磁调制器、脉冲变压器以及计算机的元件
		0.02 ~ 0.04		75	16	1.50	0.90	
		0.05 ~ 0.09		112.5	9.8	1.50	0.90	
		0.10 ~ 0.20		137.5	8	1.50	0.87	
1J51	I	0.005		19	40	1.50	0.80	Ni含量65%左右，具有磁织构的特点，以及高 μ_m 和矩形磁滞回线。主要用于中功率磁放大器、继电器、扼流圈和计算机元件
		0.01		25	32	1.50	0.83	
		0.02 ~ 0.09		50	20	1.50	0.85	
		0.10		50	18	1.50	0.85	
	II	0.01		44	20	1.50	0.87	
		0.02 ~ 0.04		75	15	1.50	0.92	
		0.05 ~ 0.08		75	15	1.50	0.92	
	III	0.10		75	15	1.50	0.90	
		0.01		75	15	1.52	0.91	
		0.02 ~ 0.04		95	13	1.52	0.94	
		0.05		100	11	1.52	0.91	
1J52		0.02 ~ 0.04		62.5	20	1.40	0.90	Ni含量65%左右，具有磁织构的特点，以及高 μ_m 和矩形磁滞回线。主要用于中功率磁放大器、继电器、扼流圈和计算机元件
		0.05 ~ 0.10		87.5	16	1.40	0.90	
1J65		0.005 ~ 0.01		100	8.0	1.30	0.90	Ni含量65%左右，具有磁织构的特点，以及高 μ_m 和矩形磁滞回线。主要用于中功率磁放大器、继电器、扼流圈和计算机元件
		0.02 ~ 0.04		125	6.4	1.30	0.90	
		0.05 ~ 0.09		187.5	4.8	1.30	0.90	
		0.10 ~ 0.50		275	3.2	1.30	0.90	
1J67		0.005 ~ 0.04		200	6.4	1.20	0.90	Ni含量65%左右，具有磁织构的特点，以及高 μ_m 和矩形磁滞回线。主要用于中功率磁放大器、继电器、扼流圈和计算机元件
		0.05 ~ 0.09		250	4.8	1.20	0.90	
		0.10 ~ 0.19		312.5	4.0	1.20	0.90	
		0.20 ~ 0.50		437.5	3.2	1.20	0.90	
1J79		0.01	15.0	87.7	4.8	0.75	该类合金又称高Ni坡莫合金，在弱磁场下具有很高的起始磁导率和最大磁导率，但合金的 B_s 较低。主要用于弱磁场下的高灵敏度小功率变压器、小功率磁放大器、继电器、扼流圈、磁屏蔽等方面。1J79有高的最大磁导率且稳定性较好。1J80合金有好的动态特性和温度稳定性，但处理必须在高真空或高纯 H_2 ，以免氧化。1J83合金具有高矩形比，用于快速磁放大器铁芯上。1J76合金Ni含量稍低些，合金的温度稳定性好	
		0.02 ~ 0.04	18.8	112.8	4.0	0.75		
		0.05 ~ 0.09	22.6	137.9	4.0	0.75		
		0.10 ~ 0.19	25.1	188.0	1.6	0.75		
1J80		0.005 ~ 0.01	17.5	75.2	4.8	0.65	该类合金又称高Ni坡莫合金，在弱磁场下具有很高的起始磁导率和最大磁导率，但合金的 B_s 较低。主要用于弱磁场下的高灵敏度小功率变压器、小功率磁放大器、继电器、扼流圈、磁屏蔽等方面。1J79有高的最大磁导率且稳定性较好。1J80合金有好的动态特性和温度稳定性，但处理必须在高真空或高纯 H_2 ，以免氧化。1J83合金具有高矩形比，用于快速磁放大器铁芯上。1J76合金Ni含量稍低些，合金的温度稳定性好	
		0.02 ~ 0.04	22.6	94.0	4.0	0.65		
		0.05 ~ 0.09	25.1	112.8	3.2	0.65		
		0.10 ~ 0.19	27.6	150.4	2.4	0.65		
1J83		0.01	5.0	62.7	5.6	0.82	0.80	该类合金又称高Ni坡莫合金，在弱磁场下具有很高的起始磁导率和最大磁导率，但合金的 B_s 较低。主要用于弱磁场下的高灵敏度小功率变压器、小功率磁放大器、继电器、扼流圈、磁屏蔽等方面。1J79有高的最大磁导率且稳定性较好。1J80合金有好的动态特性和温度稳定性，但处理必须在高真空或高纯 H_2 ，以免氧化。1J83合金具有高矩形比，用于快速磁放大器铁芯上。1J76合金Ni含量稍低些，合金的温度稳定性好
		0.02 ~ 0.04	8.8	125.3	4.0	0.82	0.80	
		0.05 ~ 0.09	8.8	188.0	2.4	0.82	0.80	
		0.10	20.1	225.6	1.6	0.82	0.80	
1J76		0.02 ~ 0.04	18.8	75.2	4.8	0.75	该类合金又称高Ni坡莫合金，在弱磁场下具有很高的起始磁导率和最大磁导率，但合金的 B_s 较低。主要用于弱磁场下的高灵敏度小功率变压器、小功率磁放大器、继电器、扼流圈、磁屏蔽等方面。1J79有高的最大磁导率且稳定性较好。1J80合金有好的动态特性和温度稳定性，但处理必须在高真空或高纯 H_2 ，以免氧化。1J83合金具有高矩形比，用于快速磁放大器铁芯上。1J76合金Ni含量稍低些，合金的温度稳定性好	
		0.05 ~ 0.09	22.6	125.3	3.2	0.75		
		0.10 ~ 0.19	25.1	175.5	2.8	0.75		
		0.20 ~ 0.50	31.3	225.6	1.44	0.75		
1J85		0.005 ~ 0.01	20.1	87.7	4.80	0.70	具有最高的起始磁导率，极低的矫顽力，和相当高的最大磁导率，对微弱信号反应灵敏。主要用于扼流圈、音频变压器、高精度电桥变压器、互感器、磁调制器、快速磁放大器、录音机磁头等铁芯上。 1J85合金超薄带具有铁损低的特点，还可用作20kHz下开	
		0.02 ~ 0.04	22.6	100.3	3.60	0.70		
		0.05 ~ 0.09	35.1	137.9	2.40	0.70		
		0.10 ~ 0.19	37.6	188.0	1.60	0.70		
		0.20 ~ 0.34	50.1	225.6	1.20	0.70		
		0.35 ~ 1.00	62.7	313.3	0.80	0.70		
		1.10 ~ 2.50	50.1	188.0	1.20	0.70		
2.51 ~ 3.00	43.9	150.4	1.44	0.70				

续表

牌号	级别	厚度 /mm	μ_1 /(mH/m) ≥	μ_m /(mH/m) ≥	H_c /(A/m) ≤	B_s /T ≥	B_v/B_m (80A/m)	特点和用途
1J86		0.005~0.01	12.5	100.3	4.00	0.6	—	关电源的铁芯 1J85、1J86 合金磁性热处理工艺关系极大, 在 600~300℃ 应控制合适冷速 1J77 合金 Ni 含量较低, 性能对热处理工艺不太敏感
		0.02~0.04	37.6	137.9	2.40			
		0.05~0.09	50.1	188.0	1.44			
		0.10~0.19	62.7	225.6	1.20			
		0.20~0.34	75.2	275.7	0.72			
1J77		0.05~0.09	37.6	175.5	2.00	0.60	—	
		0.10~0.19	50.1	225.6	1.20			
		0.20~0.34	62.7	275.7	0.96			
		0.35~0.50	75.2	313.3	0.80			
1J403	I	0.02		500	3.2	1.38	0.97	含 N、Co 和 Mo, μ_m 很高, 具有矩形磁滞回线。适用于直流变换器, 磁放大器、扼流圈及计算机元件
		0.05		625	2.4	1.38	0.97	
	II	0.02		375	4.0	1.38	0.95	
		0.05		500	3.2	1.38	0.95	
		0.10		625	2.4	1.38	0.95	

4. 铁铝合金

铁铝合金指含铝 6%~16% 的铁合金。其特点是具有较高的起始磁导率和最高的电阻率, 且矫顽力低、磁滞损耗小, 其磁性能接近低镍含量的铁镍合金。由于不含贵金属镍, 成本低, 在某些场合可替代铁镍合金使用。但这类合金的加工性能差, 当铝含量小于 16% 时, 可热轧成板材或带材; 当铝含量大于 5%~6% 时, 冷轧非常困难。铁铝合金的牌号和磁性能及用途见表 10.4.7。

表 10.4.7 铁铝合金性能和用途

牌号	品种	厚度 /mm	μ_1 /(mH/m) (0.4A/ m 时)	μ_m /(mH/m)	H_c /(A/m)	B_s /T	密度 /(g/cm ³)	电阻率 /($\mu\Omega\cdot m$)	特点和用途
1J16	温轧带材	0.20	5.0	62.7	3.2	0.65	6.5	1.40 ~ 1.60	电阻率高, 硬度高, 相对密度小, 耐磨性好, 应力敏感性小, 中子辐照磁性变化小, 在弱磁场下有较高的磁导率, 可部分取代 1J79 合金。主要用于磁屏蔽、小功率变压器、继电器、微电机、信号放大器、输入输出变压器及磁头等
	热轧板材	0.35	7.5	37.6	4.0	0.65			
1J13	温轧	0.20	0.45	6.3	48.0	1.05	6.6	1.25 ~ 1.30	λ_s 较高 ($= 35 \times 10^{-6}$), B_s 较高 可替代纯 Ni, 作超声波清洗机和其他超声波换能元件
	热轧	0.35	0.83	12.5	57.6	1.10			
1J12	温轧	0.20	($\mu_{0.01}$)	31.3	12.0	1.2	6.7	0.90 ~ 1.00	具有较高磁导率和 B_s , 可替代部分 1J50、1J46 合金, 用于中等磁场工作元件, 如微电机、音频变压器、脉冲变压器等
	热轧	0.35	3.1						
1J6	冷轧	0.20 ~ 0.50	($\mu_{0.01}$) 2.5 ~ 6.9	18.9 ~ 62.7	48.0	1.3	7.2	0.70	高 B_s , 低 B_v (0.25~0.5T), 良好抗大气腐蚀性, 加工性好。可替代部分硅钢, 作脉冲变压器、功率变压器电感元件、电磁阀、电磁离合器铁芯

5. 软磁铁氧体

软磁铁氧体是一种由氧离子和金属离子组成的金属氧化物。软磁铁氧体采用陶瓷工艺生产, 外观呈黑色, 硬而脆。软磁铁氧体与合金软磁材料相比, 密度约为合金的 1/2, 电阻率是合金的 1000 倍以上 (约为 $10^2 \sim 10^{10} \Omega\cdot cm$), 涡流损耗小, 磁导率相近, 但居里点和饱和磁感应强度 B_s 低, 磁导率随温度变化大, 因此它适用于 1000Hz~1000MHz 的中高频和超高频。

最常用的软磁铁氧体有锰锌铁氧体和镍锌铁氧体。

锰锌铁氧体电阻率约 $10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，具有较高的磁导率，一般适用于 1MHz 以下频率范围内工作的器件上，如中长波天线、低功率脉冲变压器等。

镍锌铁氧体电阻率高，宜在 1~200MHz 的高频下使用，在低频时（低于 1MHz）各方面的性能都不如锰锌铁氧体。

国产软磁铁氧体的牌号和性能见表 10.4.8。

表 10.4.8 软磁铁氧体的部分牌号和主要磁性能

材料牌号	初始磁导率 μ_i /(H/m)	矫顽力 H_c /(A/m)	饱和磁感应 强度 B_s /T	磁导率比温度系数 (+20 ~ +55℃) α_{μ/μ_0}	居里点 T_c /℃	使用频率 f /MHz
NXD-5	$(5 \pm 1) \times 10^{-6}$			$\leq 8 \times 10^{-6}$	≥ 350	≤ 150
NX-10	$(10 \pm 2) \times 10^{-6}$				≥ 350	≤ 100
NXD-10	$(10 \pm 2) \times 10^{-6}$			$\leq 3 \times 10^{-5}$	≥ 350	≤ 100
NXD-20	$(20 \pm 4) \times 10^{-6}$			$\leq 2.5 \times 10^{-5}$	≥ 350	≤ 80
NXD-40	$(40 \pm 8) \times 10^{-6}$			$\leq 1 \times 10^{-5}$	≥ 350	2~30
NX-40	$(40^{+10}_{-15}) \times 10^{-6}$			$\leq 6 \times 10^{-5}$	≥ 350	2~30
NX-60	$(60^{+15}_{-20}) \times 10^{-6}$			$\leq 7.5 \times 10^{-5}$	≥ 350	2~20
NXD-60	$(60 \pm 10) \times 10^{-6}$			$\leq 5 \times 10^{-6}$	≥ 350	2~20
NXD-100	$(100 \pm 20) \times 10^{-6}$			$\leq 7 \times 10^{-6}$	≥ 300	≤ 10
NXD-200	$(200 \pm 40) \times 10^{-6}$			$\leq 4 \times 10^{-6}$	≥ 300	≤ 5
NX-300	$(300 \pm 50) \times 10^{-6}$			$\leq 8 \times 10^{-6}$	≥ 300	≤ 3
MX-400	$(0.4 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	< 120	≥ 0.24	$\leq 8 \times 10^{-6}$	≥ 180	≤ 2
MXD-400	$(0.4 \pm 0.04) \times 10^{-3}$			$\leq 4 \times 10^{-6}$	≥ 180	≤ 2
MX-800	$(0.8 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	< 40	≥ 0.32	$\leq 5 \times 10^{-6}$	≥ 150	≤ 1
MX-1000	$(1 \pm 0.2) \times 10^{-3}$	< 40	≥ 0.30	$\leq 5 \times 10^{-6}$	≥ 120	≤ 0.5
MX-2000	$(2 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	< 32	≥ 0.32	$\leq 2.5 \times 10^{-6}$	≥ 120	≤ 0.5
MXD-2000	$(2 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	< 24	≥ 0.35	$\leq 1.0 \times 10^{-6}$	≥ 150	≤ 1
MX-4000	$(4 \pm 0.8) \times 10^{-3}$	< 32	≥ 0.32	$\leq 2 \times 10^{-6}$	≥ 120	≤ 0.4
MX-6000	$(6 \pm 1.2) \times 10^{-3}$	< 16	0.32	$\leq 2 \times 10^{-6}$	≥ 120	≤ 0.2
MX-10000	$(10 \pm 2) \times 10^{-3}$	< 8	0.36	$\leq 1.2 \times 10^{-6}$	≥ 120	≤ 0.1

注：NX—代表镍锌铁氧体；MX—代表锰锌铁氧体；D—代表低温度系数。

第二节 硬磁材料

硬磁材料又称永磁材料。这类材料有面积很大的磁滞回线。

硬磁材料的特点是经强磁场饱和磁化后，具有较高的剩磁和矫顽力，当磁化磁场去掉后，在较长时间内能保持强而稳定的磁性。

衡量硬磁材料特性的主要参数是剩磁感应强度 B_r 、矫顽力 H_c 、最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 和磁稳定性。一般把矫顽力 $H_c > 10^4 \text{ A/m}$ 的磁性材料归为硬磁材料。

硬磁材料的品种很多，现用得最多的是铝镍钴合金、铁氧体硬磁材料、稀土钴合金和塑性变形硬磁材料。表 10.4.9 列出了上述四种硬磁材料的磁性能和主要用途。

表 10.4.9 常用永磁材料部分品种的磁性能和主要用途

种类	系列	品种名称	剩磁感应强度 B_r /T	矫顽力 H_c /(kA/m)	磁化磁 场强度 /(kA/m)	最大磁能积 (BH) _{max} /(kJ/m ³)	回复磁导率 μ_{rec} /($\times 10^{-6}$ H/m)	居里 点 T_c /°C	主要用途
铸造 铝 镍 钴	各向同性	铝镍 10	0.60	36	200	10	7.5~8.5	760	一般磁电式仪表、 永磁电机、磁分离 器、微电机、里程表
		铝镍钴 13	0.68	48	240	13	7.5~8.5	810	
	热磁处理 各向异性	铝镍钴 32	1.20	44	240	32	4.4~6.0	890	精密磁电式仪表、 永磁电机、流量计、 微电机、磁性支座、 传感器、扬声器、 微波器件
		铝镍钴 32H	1.10	56	240	32	4.0~5.7		
		铝镍钴钽 32	0.80	100	400	32	3.0~4.5	850	
		铝镍钴钽 40	0.72	140	550	40			
	定向结晶 各向异性	铝镍钴 52	1.30	56	240	52	3.0~4.5	890	精密磁电式仪表、 永磁电机、微电机、 地震检波器、磁性 支座、扬声器、微 波器件
		铝镍钴钽 56	0.95	104		56	3.0~4.5	850	
		铝镍钴钽 70	0.90	145	550	70			
		铝镍钴钽 72	1.05	111	450	72	2.5~4.0	850	
粉末烧 结 铝 镍 钴	各向同性	烧结铝镍 9	0.5	35		9	7.5~8.5	760	微电机、永磁电 机、继电器、小型 仪表
	热磁处理 各向异性	烧结铝镍钴 25	1.05	46		25	4.0~5.4	890	
		烧结铝镍钴钽 28	0.70	95		28		850	
铁 氧 体	各向同性	铁氧体 10T	0.20	128~160	700	6.4~9.6	1.3~1.6	450	永磁点火电机、 永磁电机、永磁选 矿机、永磁吊头、 磁推轴承、磁分离 器、扬声器、微波 器件、磁医疗片
	各向异性	铁氧体 15	0.28~0.36	128~192	750	14.3~17.5	1.3~1.6	450	
		铁氧体 20	0.32~0.38	128~192	750	18.3~21.5	1.3~1.6	450	
		铁氧体 25	0.35~0.39	152~206	800	22.3~25.5	1.3~1.6	450	
		铁氧体 30	0.38~0.42	160~216	800	26.3~29.5	1.3~1.6	450	
		铁氧体 35	0.40~0.44	176~224	800	30.3~33.4	1.3~1.6	450	
稀 土 钴	各向异性	钴钨铜 60	0.55~0.70	270~400	1200	60.0~80.0	1.1~1.4	≈500	低速转矩马达、 启动马达、力矩马 达、传感器、磁推 轴承、助听器、电 子聚焦装置
		混合稀土钴 95	0.70~0.80	320~480		95~110	1.3~1.5	≈475	
		混合稀土钴 110	0.80~0.95	440~550	8000	110~130	1.3~1.5	≈525	
		钐钴 125	0.82~0.95	500~660	8000	125~160	1.3~1.4	≈725	
塑 性 变 形	各向同性	铁铬钴 15	0.85	44		13.5~16.0	6.9~8.0	里程表、罗盘仪	
	各向异性	铁铬钴 30	1.10	48	240	27.0~35	5.0~6.0		

第五章 焊接材料

焊接材料包括焊条、焊丝、焊剂、钎料、焊粉及焊接用气体共六大类。

同一金属材料，采用不同的焊接材料和焊接方法，其焊接效果将会有很大差别。

选择焊接材料时的考虑因素及选择原则很多。同类钢材焊接时选择焊条的原则见表 10.5.1，异种钢、复合钢板焊接时选择焊条原则见表 10.5.2。

表 10.5.1 同类钢材焊接时选择焊条的原则

考 虑 因 素	选 择 原 则
考虑焊件的物理、力学性能和化学成分	① 根据等强度的观点，选择满足母材力学性能的焊条，或结合母材的可焊性，改用非等强度而焊接性好的焊条，但应考虑焊缝结构形式，以满足等强度、等刚度要求 ② 使其合金成分符合或接近母材 ③ 母材含碳、硫、磷有害杂质较高时，应选择抗裂性和抗气孔性能较好的焊条。建议选用氧化钛钙型、钛铁矿型焊条。如果尚不能解决，可选用低氢型焊条
考虑焊件的工作条件和使用性能	① 在承受动载荷和冲击载荷情况下，除保证强度外，对冲击韧性、延伸率均有较高要求，应依次选用低氢型、钛钙型和氧化铁型焊条 ② 接触腐蚀介质的，必须根据介质种类、浓度、工作温度，以及区分是一般腐蚀还是晶间腐蚀等，选择合适的不锈钢焊条 ③ 在磨损条件下工作时，应区分是一般还是受冲击磨损，是常温还是在高温下磨损等 ④ 非常温条件下工作时，应选择相应的保证低温或高温力学性能的焊条
考虑焊件几何形状的复杂程度、刚度大小、焊接坡口的制备情况和焊接位置	① 形状复杂或大厚度的焊件，焊缝金属在冷却时收缩应力大，容易产生裂纹，必须选用抗裂性强的焊条，如低氢型焊条、高韧性焊条或氧化铁型焊条 ② 受条件限制不能翻转的焊件，须选用能全位置焊接的焊条 ③ 焊接部位难以清理的焊件，选用氧化性强、对氧化皮和油垢不敏感的酸性焊条，以免产生气孔等缺陷
考虑施焊工地设备	在没有直流焊机的地方，不宜选用限用直流电源的焊条，而应选用交直流电源的焊条。某些钢材（如珠光体耐热钢）需焊后消除应力热处理，但受设备条件限制（或本身结构限制）不能进行热处理时，应改用非母体金属材料焊条（如奥氏体不锈钢焊条），可不必焊后热处理
考虑改善焊接工艺和保护工人身体健康	在酸性焊条和碱性焊条都可以满足要求的条件下，应尽量采用酸性焊条
考虑劳动生产率和经济合理性	在使用性能相同的情况下，应尽量选择价格较低的酸性焊条，而不用碱性焊条，在酸性焊条中又以钛型、钛钙型为贵，应大力推广钛铁矿型药皮的焊条

表 10.5.2 异种钢、复合钢板焊接时选择焊条原则

分 类	原 则
一般碳钢和低合金钢的焊接	① 应使焊接接头的强度大于被焊钢材中最低的强度 ② 应使焊接接头的塑性和冲击韧性不低于被焊钢材 ③ 为防止焊接裂纹，应根据焊接性较差的母材选取焊接工艺
低合金钢和奥氏体不锈钢的焊接	① 一般选用含铬镍比母材高，塑性、抗裂性较好的奥氏体不锈钢焊条 ② 对于不重要的焊件，可选用与不锈钢相应的焊条
不锈钢复合钢板的焊接	① 推荐使用基层、过渡层、复层三种不同性能的焊条 ② 一般，复合钢板的基层与腐蚀性介质不直接接触，常用碳钢、低合金钢等结构钢，所以基层的焊接可选用相应等级的结构钢焊条 ③ 过渡层处于两种不同材料的交界处，应选用含铬镍比复合钢板高，塑性、抗裂性较好的奥氏体不锈钢焊条 ④ 复合层直接与腐蚀性介质接触，可选用相应的奥氏体不锈钢焊条

表 10.5.3 电焊条国家标准型号表示方法

类别	型号形式	第一组数字				第三、四数字(碳钢和低合金钢通用)				焊接位置	英文字母		
		数字	熔敷金属 σ_t/MPa	数字	药皮类型	焊接电源	药皮类型	数字	药皮类型				
碳钢焊条 (GB 5117-1985)		43	≥ 420	00	特殊型	AC 或 DC(±)	特殊型	00	特殊型	AC 或 DC(±)	平焊 立焊 横焊 仰焊	A	熔敷金属化学成分类别 碳钢
		50	≥ 490	01	钛铁砂型	AC 或 DC(±)	钛铁砂型	01	钛铁砂型	AC 或 DC(±)		B	铬钼钢
		50	≥ 490	03	钛钙型	AC 或 DC(±)	钛钙型	03	钛钙型	AC 或 DC(±)		C	镍钢
		50	≥ 490	10	高纤维素钠型	DC+	高纤维素钠型	10	高纤维素钠型	DC+		NM	镍钼钢
		50	≥ 490	11	高纤维素钾型	AC 或 DC+	高纤维素钾型	11	高纤维素钾型	AC 或 DC+		D	锰钼钢
		55	≥ 540	12	高钛钠型	AC 或 DC±	高钛钠型	12	高钛钠型	AC 或 DC±		C	含有 Ni, Cr, Mo, V 之同 G, 但 $-40^\circ C \leq \sigma_t$
		60	≥ 590	13	高钛钾型	AC 或 DC±	高钛钾型	13	高钛钾型	AC 或 DC±		E	$\geq S4$
		70	≥ 690	14	铁粉钛型	DC+	铁粉钛型	14	铁粉钛型	DC+		M	含有 Ni, Cr, Mo, V
		75	≥ 740	15	低氢钠型	AC 或 DC+	低氢钠型	15	低氢钠型	AC 或 DC+		W	含 Cu
		80	≥ 780	16	低氢钾型	AC 或 DC+	低氢钾型	16	低氢钾型	AC 或 DC+		L	$C \leq 0.05$
低合金钢 (GB 5118-1985)		55	≥ 540	18	铁粉低氢钾型	AC 或 DC+	铁粉低氢钾型	18	铁粉低氢钾型	AC 或 DC+	平焊和单平角焊 (其中 20, 27 又可细分为单平焊、单平角焊; 22 单平角焊)		
		60	≥ 590	18M	铁粉低氢型	DC+	铁粉低氢型	18M	铁粉低氢型	DC+			
		70	≥ 690	20	氧化铁型	AC 或 DC±	氧化铁型	20	氧化铁型	AC 或 DC±			
		75	≥ 740	22	氧化铁型	AC 或 DC±	氧化铁型	22	氧化铁型	AC 或 DC±			
		80	≥ 780	23	铁粉钛钙型	AC 或 DC±	铁粉钛钙型	23	铁粉钛钙型	AC 或 DC±			
		85	≥ 830	24	铁粉钛型	AC 或 DC±	铁粉钛型	24	铁粉钛型	AC 或 DC±			
		90	≥ 890	27	铁粉氧化铁型	AC 或 DC±	铁粉氧化铁型	27	铁粉氧化铁型	AC 或 DC±			
		95	≥ 940	28	铁粉低氢型	AC 或 DC+	铁粉低氢型	28	铁粉低氢型	AC 或 DC+			
		100	≥ 980	48	铁粉低氢型	AC 或 DC+	铁粉低氢型	48	铁粉低氢型	AC 或 DC+			

续表

类别		型号形式				新旧型号对照表 (第一组数字)																							
E	XXX	XX	XX	XX	GB/T 983—1995	GB 983—85	GB/T 983—1995	GB 0983—85	GB/T 983—1995	GB 983—85																			
	第一组数字	化学元素符号 (1个或多个)	第二组数字	XX	E209	E219	E240	E307	E308	E308H	E308L	E308M6	E308MoL	E309	E309L	E309Nb	E309Mo	E309MoL	E310	E310H	E310Nb	E310Mo	E312	E316	E316H	E316L	E317	E317L	
焊条	熔敷金属化学成分分类代号	熔敷金属中这些化学元素有特殊要求	药皮类型 焊接位置 焊接电源	注: 第一组数字后加 H 表示低碳, 加 L 表示超低碳	E209			E317MoCu	E0-19-13Mo2Cu2	E11MoVNiW	E2-11MoVNiW																		
					E219			E317MoCuL	E00-19-13Mo2Cu2	E2209																			
15	碱性	与 16 接近, SiO ₂ 增多	平、立、横仰	DC +	E240			E318	E0-18-12Mo2Nb	E2553																			
					E307	E1-19-9MoMn4		E318V	E0-18-12Mo2V																				
16	碱性或铁、钛钙	与 16 接近, SiO ₂ 增多	平、立、横仰	AC、DC ±	E308L	E00-19-10		E330	E2-16-35																				
					E308M6	E0-19-10Mo2		E330H	E3-16-35																				
17	与 16 接近, SiO ₂ 增多	与 15 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、立、横仰	AC、DC ±	E308MoL	E00-19-10Mo2		E330NiMoMnWNB	E2-16-35MoMn4W3Nb																				
					E309	E1-23-13		E347	E0-19-10Nb																				
25	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	DC +	E309L	E00-23-13		E349	E1-19-9MoW2Nb																				
					E309Nb	E1-23-13Nb		E385																					
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E309Mo	E1-23-13Mo2		E410	E1-13																				
					E309MoL	E00-23-13Mo2		E410NiMo	E0-13-5Mo																				
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E310	E2-26-21		E430	E0-17																				
					E310H	E3-26-21		E502	E0-5Mo																				
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E310Nb	E1-21-21Nb		E505	E0-9Mo																				
					E310Mo	E1-26-21Mo2		E630	E0-16-5MoCu4Nb																				
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E312	E1-30-9		E16-8-2	E1-16-8Mo2																				
					E316	E0-18-12Mo2		E16-25MoN	E1-16-25Mo6N																				
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E316H			E7Cr	E0-7Mo																				
					E316L	E00-18-12Mo2		E5MoV	E1-5MoV																				
26	皮过渡合金元素	与 16 类似, 允许药皮过渡合金元素	平、横	AC、DC ±	E317	E0-19-13Mo3		E9Mo	E1-9Mo																				
					E317L	E00-19-13Mo3		E11MoVNi	E1-11MoVNi																				

不锈钢 (GB/T 8431-1995)

续表

类别		型号形式				型号表示方法					
		E	D	X	X	型号分类	熔敷金属化学组成类型	末尾数字	药皮类型	焊接电源	
堆焊焊条 (GB 84—85)	E	焊条				EDPXX-XX	普通低、中合金钢	00	特殊型	AC或DC	
				X		EDRXX-XX	热强合金钢	03	钛钙型	AC或DC	
						EDCXX-XX	高铬钢	15	低氢钠型	DC	
						EDMnXX-XX	高锰钢	16	低氢钾型	AC或DC	
						EDCrMnXX-XX	高铬锰钢	08	石墨型	AC或DC	
						EDCrNiXX-XX	高铬镍钢				
						EDDXX-XX	高速钢				
						EDZXX-XX	合金铸铁				
						EDZCrXX-XX	高铬铸铁				
						EDC ₂ GXX-XX	钴基合金				
						EDWXX-XX	碳化钨				
						EDTXX-XX	特殊型				
	镍及镍合金 (GB/T 13814—92)	E	焊条				ENi-(0.1)	纯镍		药皮类型	焊接电源
							ENiCa-7	镍铜	03	钛钙型	AC或DC
						ENiCrFe-(0~4)	镍铬铁	15	低氢钠型	DC	
						ENiMo-(1,3,7)	镍钼	16	低氢钾型	AC或DC	
						ENiCrMo-(0~9)	镍铬钼				
						以上共21种					

XX 末尾数字表示药皮类型和焊接电源

X 用字母表示基本型号内的分型，再加注下角数字，没有分型不加若再细

X 用化学元素符号表示熔敷金属中含有的四合金元素

X 用字母或化学元素符号表示堆焊焊条的型号分类(见右)

D 堆焊焊条

E 焊条

-XX

末尾数字表示药皮类型和焊接电源

-X

数字表示同一合金系统细分序号

XX

成分化学元素符号

续表

类别	型号形式		型号	名称	焊芯	药皮类型	焊接电源		
	E	B							
铜及铜合金 (GB/T 3670-1983)	焊条	CuSi 化学元素符号表示熔敷金属中主要化学元素	ECu		纯铜				
			ECuSi-(B、A)		硅青铜	低氢钠型	DC		
			ECuSn-(A、B)		锡磷青铜				
			ECuAl-(A ₂ 、B、C)		铝锰青铜				
			ECuNi-(A、B)		铜镍合金				
			ECuAlNi						
			ECuMnAlNi						
铝及铝合金 (GB 366-83)	T	AlSi	TAI		纯铝				
			TAISi		铝硅合金	盐基型	DC		
			TAIMn		铝锰合金				
铸铁 (GB 1004-88)	E	Z 用于铸铁焊接	C 为铸金属类型(本例为铸铁)或化学元素符号表示其中主要元素	Q 熔敷金属中含碳量(本例为0.2%)和熔敷金属中碳当量(本例为0.2%)	EZC	灰铸铁	钢或铸铁	强石墨化型	AC或DC
					EZCQ	球墨铸铁焊条	钢或铸铁	强石墨化型	
					EZNI	纯镍铸铁焊条	纯镍		
					EZNiFe	镍铁铸铁焊条	镍铁		
					EZNiCu	镍铜铸铁焊条	镍铜		
					EZNiFeCu	镍铁铜铸铁焊条	镍铁铜或铜镍铸铁		
					EZFe	纯铁及碳钢焊条	1-纯铁芯; 2-低碳钢芯		
					EZV	高钒焊条	低碳钢芯		

第一节 电 焊 条

焊条按药皮熔化后的熔渣特性可分为酸性焊条和碱性低氢型焊条。

焊条按将施焊的母材类别（用途）可分为：

- (1) 结构钢焊条（碳钢及低合金钢焊条）
- (2) 钼和铬钼耐热钢焊条
- (3) 不锈钢焊条（铬不锈钢焊条、奥氏体型不锈钢焊条）
- (4) 堆焊焊条
- (5) 低温钢焊条
- (6) 铸铁焊条
- (7) 镍和镍合金焊条
- (8) 铜和铜合金焊条
- (9) 铝和铝合金焊条
- (10) 特殊用途焊条

上述各类焊条按其主要性能或化学成分组成不同，又可分成若干型号，各种型号焊条可以有多种牌号的产品。

电焊条型号表示方法见表 10.5.3，电焊条牌号表示方法见表 10.5.4。

表 10.5.4 电焊条全国统一牌号表示方法

类别	牌号	焊缝金属抗拉强度 /MPa (kgf/mm ²)		牌 号 意 义
结构 钢 焊 条	J42X	420 (42)		<p>— 焊条药皮及电源种类 — 焊缝金属抗拉强度 — 焊条类别</p>
	J50X	490 (50)		
	J55X	540 (55)		
	J60X	590 (60)		
	J70X	690 (70)		
	J80X	740 (75)		
	J85X	830 (85)		
	J10X	980 (100)		
钼 和 铬 钼 耐 热 钢 焊 条	牌号	主要化学成分等级 (约含量)/%		<p>— 焊条药皮及电源种类 — 同一焊缝金属主要化学成分组成等级中的不同牌号,对 — 同一药皮类型焊条,有十个牌号,按 0,1,2...9 顺序排列 — 焊缝金属主要化学成分等级 — 焊条类别</p>
		Cr	Mo	
	R1XX		0.5	
	R2XX	0.5	0.5	
	R3XX	1~2	0.5~1	
	R4XX	2.5	1	
	R5XX	5	0.5	
	R6XX	7	1	
	R7XX	9	1	
R8XX	11	1		

类别	牌号	主要化学成分等级 (约含量)/%	牌 号 意 义
不 锈 钢 焊 条		Cr Ni	<p>C 2 X X</p> <ul style="list-style-type: none"> 药皮类型及电源种类 同一焊缝金属主要化学成分组成等级中的不同牌号,对同一药皮类型焊条有十个牌号,按0.1,2...9顺序排列 焊缝金属主要化学成分等级 焊条类别
	G2XX	13	
	G3XX	17	
	A0XX	含 C ≤ 0.04 超低级	
	A1XX	18 8	
	A2XX	18 12	
	A3XX	25 13	
	A4XX	25 20	
	A5XX	16 25	
	A6XX	15 35	
	A7XX	铬锰氮 不锈钢	
A8XX	18 18		
A9XX	待发展		
类别	牌号	用途或焊缝金属 主要成分	牌 号 意 义
堆 焊 焊 条	D0XX	不规定	<p>D X X X</p> <ul style="list-style-type: none"> 药皮类型和电源种类 同一用途组织或焊缝金属主要成分中的不同牌号编号,对同一药皮类型的焊条,按0.1,2...9顺序排列 表示用途、组织或焊缝金属主要成分 堆焊焊条
	D1XX	普通常温用	
	D2XX	普通常温用及常温高锰钢	
	D3XX	刀具及工具用	
	D4XX	刀具及工具用	
	D5XX	阀门用	
	D6XX	合金铸铁型	
	D7XX	碳化钨型	
	D8XX	钴基合金	
D9XX	待发展		
类别	牌号	熔敷金属主要化学 成分组成类型	牌 号 意 义
铸 铁 焊 条	Z1XX	碳钢或高钒钢	<p>Z 4 0 8</p> <ul style="list-style-type: none"> 石墨型药皮,交直流两用 牌号编号为0 熔敷金属主要化学成分组成类型为镍铁合金 铸铁焊条
	Z2XX	铸铁(包括球墨铸铁)	
	Z3XX	纯镍	
	Z4XX	镍铁	
	Z5XX	镍铜	
	Z6XX	铜铁	
	Z7XX	待发展	
镍 及 镍 合 金 焊 条	Ni1XX	纯镍	<p>Ni 1 1 2</p> <ul style="list-style-type: none"> 钛钙型药皮,交直流两用 牌号编号为1 熔敷金属主要化学成分组成类型为纯镍 镍及镍合金焊条
	Ni2XX	镍铜	
	Ni3XX	因康镍合金	
	Ni4XX	待发展	
铜 及 铜 合 金 焊 条	T1XX	纯铜	<p>T 2 2 7</p> <ul style="list-style-type: none"> 低氢钠型药皮,直流 牌号编号为2 熔敷金属化学成分组成类型为青铜 铜及铜合金焊条
	T2XX	青铜	
	T3XX	白铜	
	T4XX	待发展	
铝 及 铝 合 金 焊 条	L1XX	纯铝	<p>L 2 0 9</p> <ul style="list-style-type: none"> 盐基型药皮,直流 牌号编号为0 熔敷金属化学成分组成类型为铝硅合金 铝及铝合金焊条
	L2XX	铝硅合金	
	L3XX	铝锰合金	
	L4XX	待发展	

类别	牌号	用途或熔敷金属 主要成分	牌 号 意 义
特殊用途焊条	TS2XX	水下焊接用	<p>TS 2 0 2 — 钛钙型药皮, 交直流两用 — 牌号编号为 0 — 水下焊接用(其他数字代表意义见左) — 特殊用途焊条</p>
	TS3XX	水下切割用	
	TS4XX	铸铁件补焊前开坡口用	
	TS5XX	电渣焊用管状焊条	
	TS6XX	铁锰铝焊条	
	TS7XX	高硫堆焊焊条	

所有焊条牌号末尾数字代表药皮类型及电流种类

数字	XX0	XX1	XX2	XX3	XX4	XX5	XX6	XX7	XX8	XX9
药皮类型	不属已 规定型	氧化钛型	氧化 钛钙型	钛铁矿型	氧化铁型	纤维素型	低氢钾型	低氢钠型	石墨型	盐基型
电流种类	不规定	直流或交流	直流或交流	直流或交流	直流或交流	直流或交流	直流或交流	直流	直流或交流	直流

第二节 焊 丝

焊丝的品种较多,其主要类型有气保护焊丝、埋弧焊丝、药芯焊丝、有色金属焊丝及铸铁焊丝等。在我国二氧化碳气体保护焊丝和埋弧焊丝应用较为广泛,而药芯焊丝则是一种很有发展前途的焊接材料。

二氧化碳气保护焊丝主要用来焊接低碳钢及低合金钢结构,最常用的焊丝牌号为 MG50-6 (ERSO-6)、该焊丝的工艺性能较好,飞溅不大,抗气孔性能良好,焊缝力学性能可达到国标及美国标准中规定的要求。

埋弧焊接时电流大,熔深大,母材熔合比高,故焊缝成分和性能主要由焊丝和焊剂决定,母材成分影响也大。对于给定的焊接结构,应根据母材钢种,对焊缝的技术要求等综合分析后,再决定采用合适的埋弧焊丝及与之配合的焊剂。

药芯焊丝也称粉芯焊丝或管状焊丝。药芯焊丝的焊接工艺性能好,焊缝质量好,对钢材的适应性强,熔敷速度高,解决了实芯焊丝存在的诸如飞溅大、成形差、电弧硬等缺点。目前焊接结构钢用的药芯焊丝国内已有定型产品,并可批量生产。采用的保护气体为 CO₂,适用于自动或半自动焊接,直流或交流电源均可满足要求。

焊丝牌号编制方法见表 10.5.5; 焊丝型号表示方法见表 10.5.6。

表 10.5.5 焊丝牌号编制方法

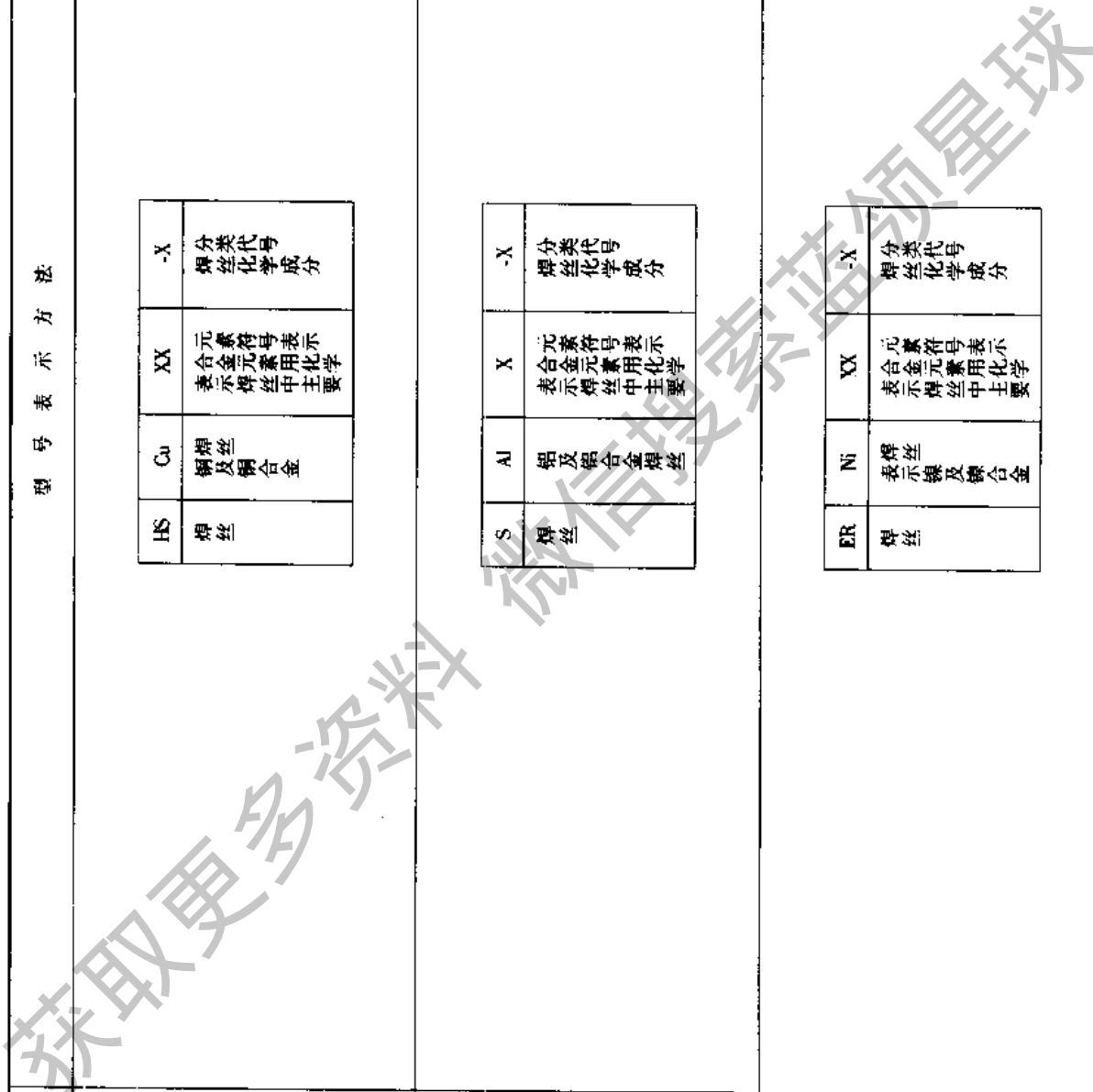
焊 丝 类 别	牌 号 编 制 方 法										
埋弧焊丝 碳钢、低合金钢气焊丝	<p>H XX XX X — 钢材等级: A—— 优质钢; E—— 特优质钢 — 合金元素及其含量(%) — 含碳量(%) — 表示焊丝</p>										
药芯焊丝	<p>Y J X X - X — 焊接时的保护方法, 详见右表 — 药芯类型及焊接电源 — 熔敷金属抗拉强度的最小值十分之一 — 结构钢 — 药芯焊丝</p> <table border="1" style="float: right;"> <thead> <tr> <th>牌 号</th> <th>焊接时的保护方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>YJXX-1</td> <td>气保护</td> </tr> <tr> <td>YJXX-2</td> <td>自保护</td> </tr> <tr> <td>YJXX-3</td> <td>气保护自保护两用</td> </tr> <tr> <td>YJXX-4</td> <td>其他保护形式</td> </tr> </tbody> </table>	牌 号	焊接时的保护方法	YJXX-1	气保护	YJXX-2	自保护	YJXX-3	气保护自保护两用	YJXX-4	其他保护形式
牌 号	焊接时的保护方法										
YJXX-1	气保护										
YJXX-2	自保护										
YJXX-3	气保护自保护两用										
YJXX-4	其他保护形式										
有色金属及铸铁焊丝	<p>HS X XX — 牌号编号 — 化学组成类型, 见右表 — 表示焊丝</p> <table border="1" style="float: right;"> <thead> <tr> <th>牌 号</th> <th>化学组成类型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HS1XX</td> <td>堆焊硬质合金</td> </tr> <tr> <td>HS2XX</td> <td>铜及铜合金</td> </tr> <tr> <td>HS3XX</td> <td>铝及铝合金</td> </tr> <tr> <td>HS4XX</td> <td>铸铁</td> </tr> </tbody> </table>	牌 号	化学组成类型	HS1XX	堆焊硬质合金	HS2XX	铜及铜合金	HS3XX	铝及铝合金	HS4XX	铸铁
牌 号	化学组成类型										
HS1XX	堆焊硬质合金										
HS2XX	铜及铜合金										
HS3XX	铝及铝合金										
HS4XX	铸铁										

表 10.5.6 焊丝型号表示方法

焊丝类别	型号表示方法	含义																																																																																																																					
二氧化碳气保护焊丝 氩弧焊填充焊丝	<table border="1"> <tr> <td>ER</td> <td>表示焊丝</td> <td></td> </tr> <tr> <td>XX</td> <td>最低值的十分之一 表示熔敷金属抗拉强度 MPa</td> <td></td> </tr> <tr> <td>XX</td> <td>位数字或英文字母加数字 表示焊丝化学成分</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>元素符号 表示焊丝中含该元素</td> <td></td> </tr> </table>	ER	表示焊丝		XX	最低值的十分之一 表示熔敷金属抗拉强度 MPa		XX	位数字或英文字母加数字 表示焊丝化学成分		X	元素符号 表示焊丝中含该元素		<table border="1"> <tr> <td>英文字母</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>L</td> </tr> <tr> <td>含义</td> <td>铬钼钢</td> <td>镍钢</td> <td>锰钼钢</td> <td>加在数字后表示低碳</td> </tr> </table> <p>分类代号中英文字母含义</p>	英文字母	B	C	D	L	含义	铬钼钢	镍钢	锰钼钢	加在数字后表示低碳																																																																																															
ER	表示焊丝																																																																																																																						
XX	最低值的十分之一 表示熔敷金属抗拉强度 MPa																																																																																																																						
XX	位数字或英文字母加数字 表示焊丝化学成分																																																																																																																						
X	元素符号 表示焊丝中含该元素																																																																																																																						
英文字母	B	C	D	L																																																																																																																			
含义	铬钼钢	镍钢	锰钼钢	加在数字后表示低碳																																																																																																																			
药芯焊丝	<table border="1"> <tr> <th rowspan="2">EF</th> <th rowspan="2">X</th> <th rowspan="2">XX</th> <th colspan="2">X</th> <th rowspan="2">X</th> <th rowspan="2">X</th> <th rowspan="2">X</th> </tr> <tr> <th>数</th> <th>字</th> </tr> <tr> <td rowspan="6">药芯焊丝</td> <td rowspan="6">数字 0 : 表示用于半位置 ; 1 : 表示用于全位置</td> <td rowspan="6">表示抗烧强度最小值</td> <td rowspan="6">焊丝分类</td> <td rowspan="6">焊丝类型</td> <td rowspan="6">焊丝类型</td> <td rowspan="6">保护气体</td> <td rowspan="6">电流种类</td> <td rowspan="6">适用性</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">0</td> <td rowspan="5">AKV</td> <td rowspan="5">—</td> <td rowspan="5">—</td> <td rowspan="5">—</td> <td rowspan="5">—</td> <td rowspan="5">—</td> <td rowspan="5">—</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td rowspan="4">+20</td> <td rowspan="4">227</td> <td rowspan="4">1</td> <td rowspan="4">+20</td> <td rowspan="4">247</td> <td rowspan="4">—</td> <td rowspan="4">—</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td rowspan="3">0</td> <td rowspan="3">227</td> <td rowspan="3">2</td> <td rowspan="3">0</td> <td rowspan="3">247</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">—</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3</td> <td rowspan="2">-20</td> <td rowspan="2">227</td> <td rowspan="2">3</td> <td rowspan="2">-20</td> <td rowspan="2">247</td> <td rowspan="2">—</td> <td rowspan="2">—</td> </tr> <tr> <td rowspan="1">4</td> <td rowspan="1">-30</td> <td rowspan="1">227</td> <td rowspan="1">4</td> <td rowspan="1">-30</td> <td rowspan="1">247</td> <td rowspan="1">—</td> <td rowspan="1">—</td> </tr> <tr> <td rowspan="1">5</td> <td rowspan="1">-40</td> <td rowspan="1">227</td> <td rowspan="1">5</td> <td rowspan="1">-40</td> <td rowspan="1">247</td> <td rowspan="1">—</td> <td rowspan="1">—</td> </tr> </table>	EF	X	XX	X		X	X	X	数	字	药芯焊丝	数字 0 : 表示用于半位置 ; 1 : 表示用于全位置	表示抗烧强度最小值	焊丝分类	焊丝类型	焊丝类型	保护气体	电流种类	适用性	0	AKV	—	—	—	—	—	—	1	+20	227	1	+20	247	—	—	2	0	227	2	0	247	—	—	3	-20	227	3	-20	247	—	—	4	-30	227	4	-30	247	—	—	5	-40	227	5	-40	247	—	—	<table border="1"> <tr> <th colspan="10">焊丝分类</th> </tr> <tr> <th>焊丝类型</th> <th>药芯类型</th> <th>保护气体</th> <th>电流种类</th> <th>适用性</th> </tr> <tr> <td>EF×1</td> <td>氧化钛型</td> <td>二氧化碳</td> <td>直流, 焊丝接正</td> <td>单道焊和多道焊</td> </tr> <tr> <td>EF×2</td> <td>氧化钛型</td> <td>二氧化碳</td> <td>直流, 焊丝接正</td> <td>单道焊</td> </tr> <tr> <td>EF×3</td> <td>氧化钙-氟化物型</td> <td>二氧化碳</td> <td>直流, 焊丝接正</td> <td>单道焊和多道焊</td> </tr> <tr> <td>EF×4</td> <td>—</td> <td>自保护</td> <td>直流, 焊丝接正</td> <td>单道焊和多道焊</td> </tr> <tr> <td>EF×5</td> <td>—</td> <td>自保护</td> <td>直流, 焊丝接负</td> <td>单道焊和多道焊</td> </tr> <tr> <td>EF×C</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>EF×CS</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </table>	焊丝分类										焊丝类型	药芯类型	保护气体	电流种类	适用性	EF×1	氧化钛型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊	EF×2	氧化钛型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊	EF×3	氧化钙-氟化物型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊	EF×4	—	自保护	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊	EF×5	—	自保护	直流, 焊丝接负	单道焊和多道焊	EF×C	—	—	—	—	EF×CS	—	—	—	—
EF	X				XX	X				X	X																																										X																																																																		
		数	字																																																																																																																				
药芯焊丝	数字 0 : 表示用于半位置 ; 1 : 表示用于全位置	表示抗烧强度最小值	焊丝分类	焊丝类型	焊丝类型	保护气体	电流种类	适用性																																																																																																															
									0	AKV	—																		—	—	—	—	—																																																																																						
																					1	+20	227	1	+20	247	—	—																																																																																											
												2	0	227	2	0	247	—	—																																																																																																				
																				3														-20	227	3	-20	247	—	—																																																																															
																																									4	-30	227	4	-30	247	—	—																																																																							
5	-40	227	5	-40	247	—	—																																																																																																																
焊丝分类																																																																																																																							
焊丝类型	药芯类型	保护气体	电流种类	适用性																																																																																																																			
EF×1	氧化钛型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊																																																																																																																			
EF×2	氧化钛型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊																																																																																																																			
EF×3	氧化钙-氟化物型	二氧化碳	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊																																																																																																																			
EF×4	—	自保护	直流, 焊丝接正	单道焊和多道焊																																																																																																																			
EF×5	—	自保护	直流, 焊丝接负	单道焊和多道焊																																																																																																																			
EF×C	—	—	—	—																																																																																																																			
EF×CS	—	—	—	—																																																																																																																			

焊丝类别		型号表示方法			
铜及铜合金焊丝		HS	Cu	XX	-X
		焊丝	铜焊丝及铜合金	合金元素符号表示 表示焊丝中主要元素	分类代号 焊丝化学成分
铝及铝合金焊丝		S	Al	X	-X
		焊丝	铝及铝合金焊丝	合金元素符号表示 表示焊丝中主要元素	分类代号 焊丝化学成分
镍及镍合金焊丝		ER	Ni	XX	-X
		焊丝	表示镍及镍合金	合金元素符号表示 表示焊丝中主要元素	分类代号 焊丝化学成分

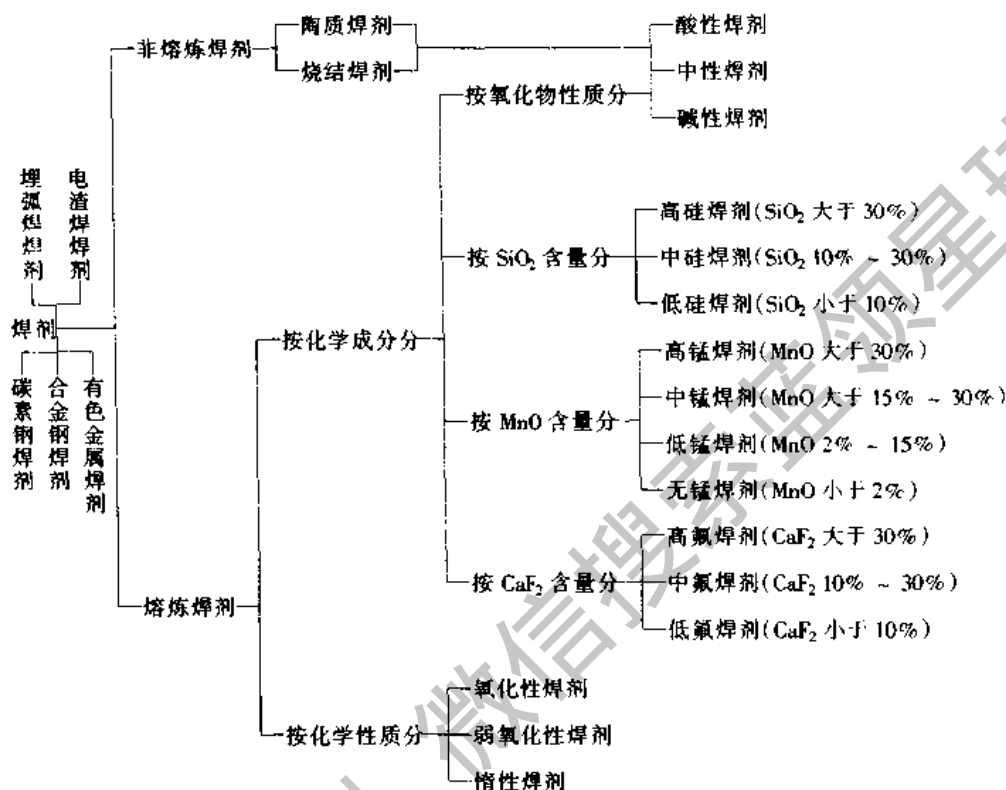
有色金属焊丝



第三节 焊剂与熔剂

焊剂主要应用于埋弧焊。焊剂的焊接工艺性能和化学冶金性能是决定焊缝金属性能的主要因素之一，采用同样的焊丝和同样的规范参数焊接，而配用的焊剂不同，所得到的焊缝金属性能将有很大差别。焊剂的分类见表 10.5.7。

表 10.5.7 焊剂分类



焊剂的型号见表 10.5.8。

焊剂牌号表示法见表 10.5.9。

焊剂的技术要求主要指对熔敷金属机械性能、焊接工艺性及焊剂制造质量方面的要求，结合 GB 5293、GB 12470 综述如下：

- (1) 熔敷金属拉伸性能 应符合表 10.5.8 的规定。
- (2) 熔敷金属的 V 形缺口冲击吸收功 应符合表 10.5.8 的规定。

表 10.5.8 焊剂的型号

类别	型号意义	型号中数字意义								
		X_1	抗拉强度/MPa		屈服强度/MPa		伸长率/%			
碳素钢埋弧焊用焊剂	$H X_1 X_2 X_3 - H \times \times \times$ H — 焊丝牌号 X_1 — 表示焊缝金属冲击试验温度 X_2 — 表示拉伸试样和冲击试样的状态 X_3 — 表示焊缝金属的拉伸性能 H — 表示碳素钢埋弧焊用焊剂	3	410 ~ 550		≥ 310		≥ 22.0			
		4			≥ 330					
		5	480 ~ 650		≥ 400					
			X_2	0		1				
			试样状态	焊态		焊后热处理状态				
			X_3	0	1	2	3	4	5	6
			试验温度/°C	—	0	-20	-30	-40	-50	-60
			冲击吸收功/J	无要求		≥ 27				

类别	型号意义	型号中数字意义									
		X_1	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长度/%						
低合金钢埋弧焊用焊剂	$F X_1 X_2 X_3 X_4 - H \times \times \times$ 焊丝牌号 焊剂渣系代号 熔敷金属冲击吸收功 分级代号 试样状态代号 熔敷金属拉伸性能代号 低合金钢埋弧焊用焊剂	5	480 ~ 650	≥ 380	≥ 22.0						
		6	550 ~ 690	≥ 460	≥ 20.0						
		7	620 ~ 760	≥ 540	≥ 17.0						
		8	690 ~ 820	≥ 610	≥ 16.0						
		9	760 ~ 900	≥ 680	≥ 15.0						
		10	820 ~ 970	≥ 750	≥ 14.0						
		X_2	0	焊态		1 焊后热处理状态					
		X_3	0	1	2	3	4	5	6	8	10
		试验温度/℃	--	0	-20	-30	-40	-50	-60	-80	-100
		冲击吸收功/J	无要求	≥ 27							
		X_4	主要组分, %							渣系	
		1	CaO + MgO + MnO + CaF ₂ > 50 SiO ₂ ≤ 20, CaF ₂ ≥ 15							氟碱型	
		2	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO > 45, Al ₂ O ₃ ≥ 20							高铝型	
		3	CaO + MgO + SiO ₂ > 60							硅钙型	
4	MnO + SiO ₂ > 50							硅铝型			
5	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ > 45							铝钛型			
6	不作规定							其他型			

表 10.5.9 焊剂的牌号

类别	型号意义	型号中数字意义						
		\times ②	焊剂类型	SiO ₂ /%	CaF ₂			
熔炼焊剂	$HJ \times \times \times$ 同一类型焊剂不同牌号按 0,1,2...9 顺序排列,同一牌号生产两种粒度时, 牌号后加“x”表示细颗粒 ② 二氧化硅、氟化钙的含量 ① 氧化锰含量 熔炼焊剂	1	低硅低氟	< 10	< 10			
		2	中硅低氟	10 ~ 30				
		3	高硅低氟	> 30				
		4	低硅中氟	< 10	10 ~ 30			
		5	中硅中氟	10 ~ 30				
		6	高硅中氟	> 30				
		7	低硅高氟	< 10	> 30			
		8	中硅高氟	10 ~ 30				
		9	其他					
		\times ①	类型	MnO /%				
		1	无锰	< 2				
		2	低锰	2 ~ 15				
		3	中锰	15 ~ 30				
4	高锰	> 30						
烧结焊剂	$SJ \times \times \times$ 同一渣系类型焊剂中的不同牌号焊剂,按 01,02...09 顺序排列 ① 焊剂熔渣的渣系 烧结焊剂	\times ①	1	2	3	4	5	6
		焊剂熔渣渣系类型	氟碱型	高铝型	硅钙型	硅锰型	铝钛型	其他型

(3) 焊接试件射线探伤 应达到 GB 3323 中规定的 I 级标准。

(4) 渣系的主要组分 应符合国家标准的规定。

(5) 焊接工艺性能 电弧燃烧稳定；渣壳脱离容易，焊道与焊道间及焊道与母材间均熔合良好，平滑过渡，没有明显咬边；焊道表面成形良好。

(6) 焊剂颗粒度 一般分为两种：一种是普通颗粒度，粒度为 40~8 目，颗粒度小于 40 目的重量百分比不得大于 5%，颗粒度大于 8 目的不得大于 2%；另一种是细颗粒度，粒度为 60~14 目，颗粒度小于 60 目的不得大于 5%，颗粒度大于 14 目的不得大于 2%。

(7) 焊剂抗潮性 焊剂在 25℃，相对湿度 70% 条件下放置 24 小时，吸潮率不得大于 0.15%。

(8) 焊剂的含水量 出厂焊剂的含水量 GB 5293、GB 12470 分别规定为不得大于 0.1% 与 0.2%。

(9) 焊剂机械夹杂物 焊剂中机械夹杂物（碳粒、铁屑、原材料颗粒、铁合金凝珠及其他杂物）的重量百分含量不得大于 0.3%，其中碳粒与铁合金凝珠重量百分含量不得大于 0.2%。

(10) 焊剂的硫、磷含量 焊剂的硫含量不得大于 0.060%，磷含量不得大于 0.080%。需要时，可由供需双方共同协商确定硫、磷含量。

(11) 熔敷金属扩散氢含量 GB 12470 中规定，需方要求时，由供需双方协商处理。 $H_D \leq 2\text{ml}/100\text{g}$ 时，提供水银法或色谱法测定的数据； $H_D > 2\text{ml}/100\text{g}$ 时，可提供甘油法或其他方法测定的数据。

使用焊剂时注意事项如下：

① 焊剂应存放在干燥的库房内，防止受潮，影响焊接质量。应妥善运输焊剂，防止包装破损。

② 使用前，应按说明书所规定的参数烘焙焊剂，熔炼焊剂通常在 250~300℃ 烘焙 2h，烧结焊剂通常在 300~400℃ 烘焙 2h。干燥时，焊剂应散布在盘中，厚度最大不超过 5cm，并做到随烘随取随用，暴露于空气中时间过长的焊剂要重新烘焙。

③ 焊接前，工件焊接处应清除铁锈、油污、水分等杂质。

④ 使用回收的焊剂，应清除掉里面的渣壳、碎粉及其他杂物，与新焊剂混匀后使用。

⑤ 使用直流电源时，一般采用直流反接，即焊丝接正极。

为了获得满意的焊接结构，必须认真选用焊丝、焊剂组合，按照一定的规范参数进行焊接。

第四节 钎料

钎料是钎焊时的填充材料，焊件依靠熔化的钎料连接起来，钎焊接头的质量很大程度上取决于钎料。钎料应满足下列基本要求。

① 钎料有合适的熔点，即比母材熔点低几十度。

② 钎料有良好的润湿性和铺展性，能充分填满钎缝间隙。

③ 钎料能与母材发生一定的溶解、扩散作用，形成牢固的结合。

④ 钎料有稳定而均匀的成分，不产生成分严重偏析、蒸发和有毒蒸气。

⑤ 所有钎接头能满足产品的技术性能要求，如力学性能、物理化学性能等要求。

⑥ 钎料有良好的成型性能，可制成丝、片、箔等形状，并可以不用或少用贵重稀有金属。

钎料通常按熔点分类。熔点在 450℃ 以下的钎料称软钎料，高于 450℃ 的称为硬钎料，高于 950℃ 的称高温钎料。

钎料的型号表示方法见表 10.5.10。

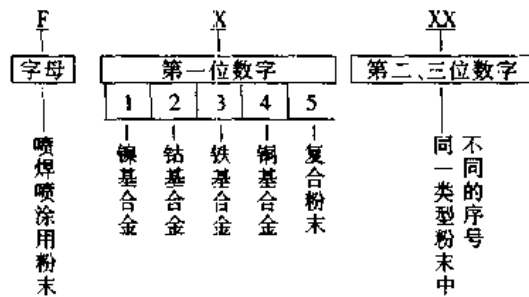
表 10.5.10 钎料型号表示方法

第一部分	第二部分：最多六个化学元素符号						
	第一元素	顺序原则	重量百分数的标注		< 1% 的组分	尾部加 E	
S: 软钎料	钎料基本组成	首先按重量百分数大小；其次按原子序数排列	每个组成均标出公称重量百分数	公称重量百分数取整 ($\pm 1\%$)，仅规定最小值也取整	一般不必标出；若为关键组分一定要标出，则：	仅标出化学元素符号	电子行业用品则不加
B: 硬钎料			仅第一个化学元素符号后标出			标出化学元素符号并加括号	—

第五节 焊 粉

喷焊喷涂用合金粉末简称焊粉，主要用于氧-乙炔火焰喷焊和喷涂、等离子喷焊和喷涂等热喷涂工艺。

喷焊喷涂用合金粉末牌号编制方法如下：



采用中小型喷焊枪（一般指最大送粉量 $\leq 4\text{kg/h}$ 的焊枪）喷焊时，可选用 -150 目/in（ $1\text{in} = 25.4\text{mm}$ ）的粉末；而用大型焊枪喷焊或喷涂时，宜选用 $-150 \sim +300$ 目/in的粉末；等离子喷焊应选用 $-60 \sim +200$ 目/in的粉末，等离子喷涂的选用 $-150 \sim +300$ 目/in的粉末。

氧-乙炔火焰喷焊用合金粉末都是自溶性合金，即粉末在喷焊熔化过程中，合金的成分能还原自身及基材的氧化膜，形成低熔点的硼硅酸盐熔渣覆盖于表面。自溶合金与基材的结合强度达 350MPa 以上。此类合金熔点低，根据不同的化学组成可得到 $25 \sim 60\text{HRC}$ 不同硬度的粉末。

氧-乙炔火焰或等离子喷涂用粉末 分复合型自结合粉末和工作层粉末两大类。

自结合粉末是指粉末被加热到一定的温度后，会自行进行再放热，大大提高粉末的温度，使粉末能和基体形成显微扩散，达到牢固的结合，并为工作层粉末的喷涂提供活性表面。通过喷涂自结合粉末，涂层和基体的结合强度一般达 $30 \sim 50\text{MPa}$ 。

工作层粉末是为适应各种工作条件的需要而研制的，不一定具有自溶性，但粉末的塑性、抗氧化性较好，沉积效率也高。

第六节 焊接用气体

氧乙炔火焰气焊及切割、 CO_2 气保护焊、惰性气体保护焊、混合气体保护焊、等离子弧焊和保护气氛中钎焊等，都要使用相应的气体。

保护气体按被焊金属性质、接头质量要求、焊件厚度、焊接位置及工艺方法等因素选用。对各种有色金属、高温金属等容易氧化或难熔的母材，焊接时宜用惰性气体（Ar或Ar+He混合气体）保护，以获得优良的焊缝金属。对碳钢、低合金钢、不锈钢等，焊接时宜用氧化性气体（ CO_2 、Ar+ CO_2 或Ar+ O_2 ）保护，以细化过渡熔滴，有时也可采用惰性气体保护。

从生产率考虑，在Ar气中加入He、 N_2 、 H_2 、 CO_2 或 O_2 等气体可增加母材的输入热量，提高焊接速度。如焊接大厚度铝板，推荐选用Ar+He混合气体；焊接低碳钢时，在Ar中加入一定量的 CO_2 或 O_2 ，或在 CO_2 中加入一定量的 O_2 ，采用混合气体保护，可以增大熔深，消除未焊透、裂纹、气孔等缺陷。

第六章 其他电工材料

第一节 热 电 偶

一、热电偶材料

热电偶一般由热电极材料、绝缘材料、保护材料和补偿导线等部分组成。

1. 常用热电极材料

热电极材料可使用一般金属、贵金属和难熔金属等，各种材料的特性见表 10.6.1。

表 10.6.1 常用的热电极材料

名 称	化学成分	测温范围/℃	特点及用途
标准用铂铑 ₁₀ -铂热电偶丝	(+) 铂铑 10 (-) 纯铂丝	419.58 ~ 1084.88	适用制造铂铑 ₁₀ -铂各级标准热电偶
标准用铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶丝	(+) 铂铑 30 (-) 铂铑 6	1200 ~ 1600	适用于制造铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 各级标准热电偶
工业用铂铑 ₁₀ -铂热电偶丝	(+) 铂铑 6 (-) 铂丝	0 ~ 1600	适用于制造工业用各种热电偶
工业用铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆ 热电偶丝	(+) 铂铑 30 (-) 铂铑 6	600 ~ 1700	适用于制造工业用各种热电偶
工业用铂铑 ₁₃ -铂热电偶丝	(+) 铂铑 13 (-) 铂丝	0 ~ 1600	适用于制造工业用各种热电偶
双铂铑热电偶丝	(+) 铂铑 5 (-) 铂铑 0.1	0 ~ 1700	具有低的中子俘获截面，适用于核场测温
铱铑 ₁₀ -铱热电偶丝	(+) 铱铑 10 (-) 铱	0 ~ 2100	主要用于科学研究中测量温度
铱铑 ₄₀ -铂铑 ₄₀ 热电偶丝	(+) 铱铑 40 (-) 铂铑 40	0 ~ 1900	适用于氧化、中性气氛测温
钨铱 ₃ -钨铱 ₂₅ 热电偶丝	(+) 钨铱 3 (-) 钨铱 25	300 ~ 2800	主要用于还原惰性、真空气氛中测温
镍铁-镍铜热电偶丝	(+) 镍铁 (-) 镍铜	50 ~ 500	适用于作火警信号系统的温度传感器
镍铬-镍硅热电偶丝	(+) 镍铬 (-) 镍硅	- 50 ~ 1312	适用于制造各种热电偶
镍铬-康铜热电偶丝	(+) 镍铬 (-) 康铜	- 200 ~ 900	适用于制造各种热电偶
铜-康铜热电偶丝	(+) 铜 (-) 康铜	- 200 ~ 400	适用于制造各种热电偶
镍铬(铜)-金铁 ₃ 低温热电偶丝	(+) 镍铬(铜) (-) 金铁 3	与镍铬配对 2 ~ 300K 与铜配对 2 ~ 20K	电势大，灵敏度较高，用于低温测量
镍铬(铜)-金铁 ₇ 低温热电偶丝	(+) 镍铬(铜) (-) 金铁 7	与镍铬配对 3 ~ 273K 与铜配对 3 ~ 77K	电势大，灵敏度较高，用于低温测量
镍铬(铜)-铜铁低温热电偶丝	(+) 镍铬(铜) (-) 铜铁	与镍铬配对 4.2K ~ 室温 与铜配对 4.2 ~ 140K	适用于强磁场下低温测量

2. 补偿导线

各种补偿导线只能与相应型号的热电偶配用。补偿导线和热电偶参比端连接时，双方的正负极应同极性相接，不能接反，否则会造成更大的误差。补偿导线与热电偶参比端的两个接点的温度必须相同。补偿导线的品种及性能见表 10.6.2。

表 10.6.2 补偿导线品种及特性

补偿导线型号	配用热电偶类别	使用温度范围/℃	补偿导线材料		100℃时热电动势/mV	绝缘层着色	
			正极	负极		正极	负极
SC	铂铑 ₁₀ -铂 铂铑 ₁₃ -铂	0~200	铜	铜镍	0.64±0.03	红	绿
KC	镍铬-镍铝	0~100	铜	康铜	4.10±0.15	红	蓝
Kx	镍铬-镍硅	0~200	镍铬	镍硅	4.095	红	黑
Ex	镍铬-康铜	0~200	镍铬	康铜	6.317	红	棕
Jx	铁-康铜	0~200	铁	康铜	5.15	红	紫
Tx	铜-康铜	0~200	铜	康铜	4.75±0.15	红	白

二、热电偶的种类和主要特性

1. 标准化热电偶

我国对某些通用的热电偶制订了标准,如S分度号(铂铑₁₀-铂)、R分度号(铂铑₁₃-铂)、B分度号(铂铑₃₀-铂铑)、K分度号(镍铬-镍硅)等。标准化热电偶的性能见表10.6.3和表10.6.4。

表 10.6.3 标准化热电偶的性能

型号及名称		密度 /(g/cm ³)	熔点/℃	20℃时的电阻率 /(μΩ·m)	使用温度范围 /℃	特 性
S	铂铑 ₁₀	20.00	1847	0.190	0~1600	测温精度高,复现性好,热电动势稳定,温度与热电动势有很好的线性关系,热电偶材料的熔点高,化学稳定性好,有良好的高温抗氧化性能。适用于氧化性气氛中
	铂	21.46	1769	0.098		
R	铂铑 ₁₃	19.60	1865	0.196		
	铂	21.46	1769	0.098		
B	铂铑 ₃₀	17.60	1925	—	1200~1600	在100℃以下微分电动势很小,通常不需要用补偿导线。稳定性好,测量温度高,高温下晶粒长大倾向性小。适用于真空、惰性及氧化性气氛中使用
	铂铑 ₆	20.60	1820	0.177		
K	镍铬	8.50	1430	0.700	-50~1300	在廉金属热电偶中综合性能最优,可以部分代替1300℃以下的贵金属热电偶的使用。适合于真空、惰性及氧化性气氛中使用
	镍硅	8.60	1410	0.230		
E	镍铬	8.50	1430	0.700	-200~900	在标准化的热电偶中它的微分电动势最高。在石油化工中使用,其耐腐蚀性及耐热性能好。适用于氧化性气氛及弱还原性气氛中使用
	康铜	8.80	1250	0.490		
J	铁	7.80	1534	0.120	-40~750	微分电动势较高,原材料价格低。适用于石油、化工中的弱还原性气氛环境中,氧化性气氛也适用
	康铜	8.80	1250	0.490		
T	铜	8.90	1083	0.170	-200~400	在300℃以下有较好的热电动势均匀性和稳定性,测温精度高,低温时灵敏度高,在潮湿空气中有较好的抗腐蚀性能,焊接性能好,价格低廉
	康铜	8.80	1250	0.490		
N	镍铬硅	8.40	1425	1.00	-200~1300	减少了在550℃以下由于镍铬合金的有序、无序转变对热电动势的影响,提高了合金的抗氧化性能,因此它的性能比K型热电偶优良
	镍硅	8.50	1405	0.330		
NiCr-AuFe 0.07	镍铬	8.50	1430	0.700	-270~0	热电动势的均匀性和复现性好,性能稳定,低温灵敏度高
	金铁	19.20	1063	0.029		
Cu-AuFe 0.07	铜	8.90	1083	0.017	-270~-196	在-270~-196℃范围内性能稳定,灵敏度高等
	金铁	19.20	1063	0.029		

2. 非标准化热电偶

非标准化热电偶在高温和特殊环境中使用。当被测温度在1300~2000℃时,一般可采用碳-钨热电偶、碳-碳化硅热电偶;当被测温度到2400℃时可用钨铼系列热电偶;在氧化性气氛中铱铑系列热电偶可测到2000℃的高温;在测超低温时,镍铬-金铁热电偶能在2~273K低温范围内应用。

表 10.6.4 标准化热电偶的整百度热电动势/mV

型号 t/°C	S	R	B	K	E	J	T	N	NiCr- AuFe0.07	Cu- AuFe0.07
-270				-6.458	-9.835	—	-6.258	-4.345	-5.280	-1.702
-200				-5.891	-8.824	-7.890	-5.603	-3.990	-4.117	-0.896
-100				-3.553	-5.237	-4.632	-3.378	-2.407	-2.167	-0.309
100	0.645	0.647	0.033	4.095	6.317	5.268	4.277	2.774		
200	1.440	1.468	0.178	8.137	13.419	10.777	9.286	5.912		
300	2.323	2.400	0.431	12.207	21.033	16.325	14.860	9.340		
400	3.260	3.407	0.786	16.395	28.943	21.846	20.869	12.972		
500	4.234	4.471	1.241	20.640	36.999	27.388		16.744		
600	5.237	5.582	1.791	24.902	45.085	33.096		20.609		
700	6.274	6.741	2.430	29.128	53.110	39.136		24.526		
800	7.345	7.949	3.154	33.277	61.022	45.498		28.456		
900	8.448	9.203	3.957	37.325	68.783	51.875		32.370		
1000	9.585	10.503	4.833	41.269	76.358	57.942		36.248		
1100	10.754	11.846	5.777	45.108		63.777		40.076		
1200	11.947	13.224	6.783	48.828		69.536		43.836		
1300	13.155	14.624	7.845	52.398				47.502		
1400	14.368	16.035	8.952							
1500	15.576	17.445	10.094							
1600	16.771	18.842	11.257							
1700	17.942	20.215	12.426							
1800			13.585							

获取更多资料 微信搜索 蓝球

配一个仪表的测量电路。测量条件中只要保持 t_0 和 t_0' 端温度相等。如显示仪表为电位差计, 不必考虑测量线路电阻对测温的影响; 如是动圈式仪表, 则必须考虑测量线路电阻对测温精度的影响。

(2) 利用热电偶测量两点之间温度差的测量线路 图 10.6.1 是测量两点之间 t_1 、 t_2 温度差的一种方法。两只同型号热电偶配用相同的补偿导线, 由图中知两热电势相互抵消, 仪表直接测出 t_1 和 t_2 的温度差值。测量条件是两只热电偶的冷端温度相同, 两只热电偶的热电势 E 和温度 t 呈相同的线性关系。

(3) 利用热电偶测量设备中的平均温度

① 热电偶串联测量线路。将 N 支同型号的热电偶正负极依次相互串联, 如图 10.6.2 (a) 所示。输入到仪表两端的热电势为三个热电偶的热电势之和, 即 $E = E_1 + E_2 + E_3$, 可直接从仪表读出温度平均值。

串联电路的主要优点是热电势大, 精度比单只高; 缺点是只要一支热电偶断开, 整个线路就不能工作, 个别短路会引起示值偏低。

② 将 N 支同型号的热电偶的正负极分别接在一起, 如图 10.6.2 (b) 所示。输入到仪表两端的热电势为三支热电偶输出热电势的平均值, 即 $E = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3}$, 如三个热电偶均工作在线性部分, 则此值代表了各点温度的算术平均值, 为此每个分支电路中需串联较大的电阻。

此种电路的优点是仪表分度和单独配用一个热电偶一样, 缺点是当某一热电偶烧断时不易发现。

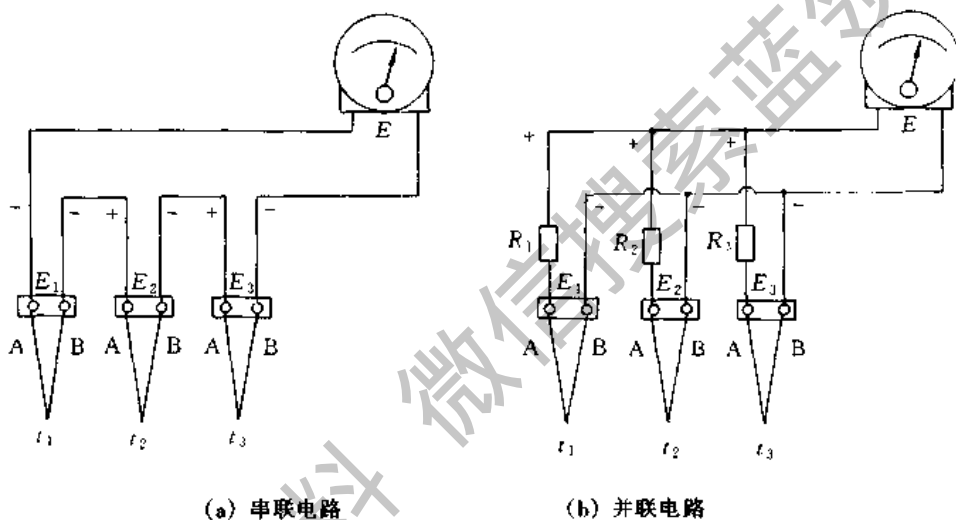


图 10.6.2 热电偶测量平均温度连接电路

第二节 热双金属片

热双金属片材料(热敏双金属片)是由两层热膨胀系数差异较大的金属或合金牢固结合而成的复层材料。其中热胀系数大的一层材料称主动层, 热胀系数小的一层材料称被动层。有些特殊用途的双金属片制成三层(电阻系列)、四层(某些防腐蚀系列), 但仍统称为双金属片。

双金属片一般制成片材或带材。由于各层材料的热膨胀系数不同, 当温度变化时, 复层材料的曲率将发生变化, 表现为热敏性。标志复层材料热敏特性的方式有以下四种。

- (1) 温曲率 单位厚度的热双金属片在变化单位温度时的纵向中心线曲率变化。
- (2) 比弯曲 单位厚度的热双金属片在变化单位温度时的纵向中心线曲率变化之半。
- (3) 弯曲常数 一端固定的热双金属片, 其单位厚度和单位长度在温度变化 1°C 时自由端挠度的变量。
- (4) 敏感系数 是热双金属片主动层和被动层热膨胀系数的差值。

1. 热双金属片的分类

热双金属片材料主要用于温度控制、电流限制、温度指示, 温度补偿等装置中, 如热继电器、恒温器、温度控制器、日光灯起辉器等。根据其用途特点, 热双金属片可分为六类。

(1) 普通型 这类双金属片有 5J1480 和 5J1578, 其主动层分别由 Ni22G3 和 Ni20Mn6 组成, 被动层均是 Ni36 合金。适用中等使用温度, 有较高的灵敏度。

(2) 低温型 典型牌号有 5J1478, 适用于 0°C 及以下的场合。

(3) 高温型 这类双金属片有 5J1070 和 5J0756。适用于 300℃ 及以上的情况，有较高的强度和良好的抗氧化性。

(4) 耐蚀型 其牌号有 5J1075，主动层为 Ni16Cr11 合金，被动层为 Ni20Co26Cr8。它具有良好的耐蚀性，可在腐蚀介质中使用。

(5) 高灵敏型 这类热双金属片的主动层由高热膨胀系数和高电阻率的高锰合金组成，因此具有高的比弯曲和电阻率，即高灵敏性。其常用牌号有 5J20110、5J14140（主动层为 Mn75Ni15Cu10 被动层为 Ni36，两种牌号的区别是层厚度比不一样；5J20110 为 53/47，5J14140 为 80/20）和 5J15120（主动层同前，被动层为 Ni45Cr6 合金）。由于其热敏性和电阻率都较高，特别适用于作小电流的热敏元件。

(6) 电阻系列 为使同一型号而不同额定电流的热敏元件具有同样的尺寸，采用不同电阻率的材料制作热敏元件可做到上述要求。这类热双金属片分 A 和 B 两个系列。A 系列的主动层为 Ni20Mn6 合金，B 系列为 Ni22Cr3 合金，被动层都是 Ni36 合金。电阻系列热双金属片有高、低不同的电阻率供选用，可作小型化、标准化电器中的热敏元件。

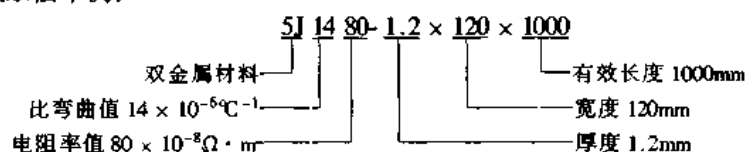
各型热双金属片的牌号和性能见表 10.6.5。

表 10.6.5 各型热双金属片的性能

类型	牌 号	比弯曲 K (室温 - 130℃) $/ \times (10^{-6} \text{℃}^{-1})$	电阻率 ρ (20 ± 5℃) $/ (\mu\Omega \cdot \text{M})$	弹性模量 E \geq / MPa	线性温度范围 $/ \text{℃}$	允许使用温度 范围 $/ \text{℃}$	密度 $/ (\text{g}/\text{cm}^3)$
普通	5J1480	14.0	0.80	147000	-20 ~ 180	-70 ~ 350	8.2
	5J1578	15.3	0.78	147000	-20 ~ 180	-70 ~ 350	8.1
低温	5J1478	14.0	0.78	147000	-50 ~ 100	-80 ~ 350	8.1
高温	5J1070	10.6	0.70	152000	+20 ~ 350	-70 ~ 500	8.0
	5J0756	7.5	0.56	152000	0 ~ 400	-70 ~ 500	8.2
耐蚀	5J1075	10.8	0.75	166000	-20 ~ 200	-70 ~ 500	8.0
高灵敏	5J20110	20.5	1.10	113000	-20 ~ 150	-70 ~ 200	7.7
	5J14140	14.5	1.40	113000	-20 ~ 150	-70 ~ 200	7.5
	5J15120	15.3	1.25	122000	-20 ~ 200	-70 ~ 250	7.6
电阻系列	5J1306A	13.8	0.06	122000	-20 ~ 150	-70 ~ 200	8.3
	5J1306B	13.5	0.06	122000			8.3
	5J1411A	14.9	0.11	122000			8.2
	5J1411B	14.2	0.11	122000			8.2
	5J1417A	14.9	0.17	122000			8.2
	5J1417B	14.2	0.17	122000			8.2
	5J1320A	12.3	0.20	152000			8.2
	5J1320B	12.0	0.20	152000			8.2
	5J1325A	13.9	0.25	152000			8.2
	5J1325B	13.5	0.25	152000			8.2
	5J1430A	14.8	0.30	152000			8.2
	5J1430B	14.0	0.30	152000			8.2
	5J1435A	14.8	0.35	152000			8.2
	5J1435B	14.0	0.35	152000			8.2
	5J1440A	14.8	0.40	152000			8.2
	5J1440B	14.0	0.40	152000			8.2
5J1455A	14.9	0.55	152000	8.2			
5J1455B	14.1	0.55	152000	8.2			

2. 热双金属片型号表示法

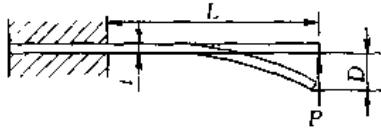
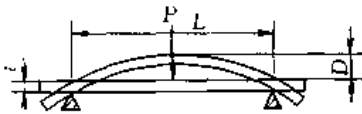
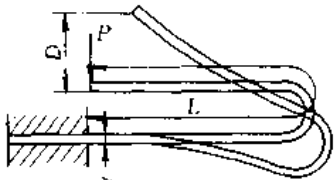
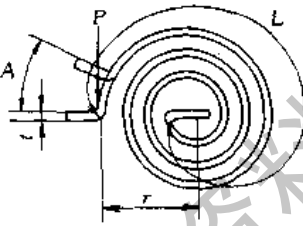

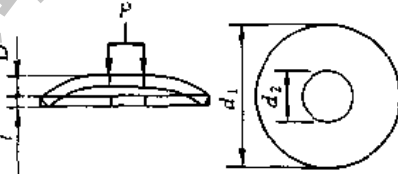
热双金属片型号表示法举例：



3. 常用热双金属片的形状和计算公式

常用热双金属片的形状有单支点直条形、双支点直条形、U形、平螺旋形、直螺旋形、碟形（电冰箱用）。具体形状和相应的计算公式见表 10.6.6。

表 10.6.6 常用热双金属元件的形状和计算公式

形 状	位 移	推 力	最大应力
单支点 	$D = \frac{KTL^2}{t}$	$P = \frac{KTEbt^2}{4L}$	$\sigma = \frac{6PL}{bt^2}$
双支点 	$D = \frac{KTL^2}{4t}$	$P = \frac{KTEbt^2}{L}$	$\sigma = \frac{3PL}{2bt^2}$
U形 	$D = \frac{KTL^2}{2t}$	$P = \frac{KTEbt^2}{2L}$	$\sigma = \frac{3PL}{bt^2}$
平螺旋 	$A = \frac{2KTL}{t}$	$P = \frac{KTEbt^2}{6r}$	$\sigma = \frac{6Pr}{bt^2}$
直螺旋 	$A = \frac{2KTL}{t}$	$P = \frac{KTEbt^2}{6r}$	$\sigma = \frac{6Pr}{bt^2}$
碟形 	$D = \frac{KT(d_1^2 - d_2^2)}{4t}$	$P = KET\Delta^2$	

注：表中符号含义如下：

- t ——厚度，mm；
- K ——比弯曲， $\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ；
- b ——宽度，mm；
- E ——弹性模量，MPa；
- L ——有效长度，mm；
- T ——温度变化， $^\circ\text{C}$ ；

- D ——挠度，mm；
- P ——推力，N；
- σ ——最大应力，MPa；
- A ——螺旋体的角度偏转， $(^\circ)$ ；
- r ——平螺旋和直螺旋的半径，mm；
- d_1 ——碟形片的直径，mm；
- d_2 ——碟形片中的孔的直径，mm。

4. 热双金属片的选用

选择的原理是热双金属片元件的工作范围应在其线性范围内。

选用时根据现场的使用温度范围、元件所需承受的最高温度、元件所需的位移或作用力或两者的组合、空间的限制等条件选择类型和牌号，再按表 10.6.6 中的公式进行计算，求得元件的尺寸。

另外元件采用直接加热方式时应注意材料的电阻率和电阻温度系数，采用辐射加热方式时应选用导热性好、表面是暗色或深色的材料。

第三节 熔 丝

低压电气设备的保护电路中最简单最常用的是熔丝保护。当设备正常工作时熔丝仅起导电作用；当设备故障电流增大到超过熔断值时，经过一定时间（超过电流值越大，熔断时间越短）后自动熔断，起到保护电气设备和电路的作用。

常用的熔丝材料有纯金属铜和合金材料铅锡熔丝等。铜熔丝的规格见表 10.6.7。

表 10.6.7 铜熔丝的额定电流及熔断电流

直径 /mm	标称截面 /mm ²	额定电流 /A	熔断电流 /A	直径 /mm	标称截面 /mm ²	额定电流 /A	熔断电流 /A
0.234	0.043	4.7	9.4	0.70	0.385	25	50
0.254	0.061	5	10	0.80	0.5	29	58
0.274	0.059	5.5	11	0.90	0.6	37	74
0.295	0.068	6.1	12.2	1.00	0.8	44	88
0.315	0.078	6.9	13.8	1.13	1.0	52	104
0.345	0.093	8	16	1.37	1.5	63	125
0.376	0.111	9.2	18.4	1.60	2	80	160
0.417	0.137	11	22	1.76	2.5	95	190
0.457	0.164	12.5	25	2.00	3	120	240
0.508	0.203	15	29.5	2.24	4	140	280
0.559	0.245	17	34	2.50	5	170	340
0.60	0.283	20	39	2.73	6	200	400

铅熔丝的规格见表 10.6.8、表 10.6.9。

表 10.6.8 铅熔丝的额定电流及熔断电流

(熔丝成分：铅 75%，锡 25%)

直径 /mm	近似类规 线号	额定电流 /A	熔断电流 /A	直径 /mm	近似类规 线号	额定电流 /A	熔断电流 /A
0.508	25	2	3.0	1.63	16	11	16.0
0.559	24	2.3	3.5	1.83	15	13	19.0
0.61	23	2.6	4.0	2.03	14	15	22.0
0.71	22	3.3	5.0	2.34	13	18	27.0
0.813	21	4.1	6.0	2.65	12	22	32.0
0.915	20	4.8	7.0	2.95	11	26	37.0
1.22	18	7	10.0	3.26	10	30	44.0

表 10.6.9 铅熔丝的额定电流及熔断电流

(熔丝成分: 铅 $\geq 98\%$, 锡 $0.3\% \sim 1.5\%$)

直径 /mm	标称截面 /mm ²	额定电流 /A	熔断电流 /A	直径 /mm	标称截面 /mm ²	额定电流 /A	熔断电流 /A
0.08	0.005	0.25	0.5	0.98	0.75	5	10
0.15	0.018	0.5	1.0	1.02	0.82	6	12
0.20	0.031	0.75	1.5	1.25	1.23	7.5	15
0.22	0.038	0.8	1.6	1.51	1.79	10	20
0.25	0.049	0.9	1.8	1.67	2.19	11	22
0.28	0.062	1	2	1.75	2.41	12	24
0.29	0.066	1.05	2.1	1.98	3.08	15	30
0.32	0.080	1.1	2.2	2.40	4.52	20	40
0.35	0.096	1.25	2.5	2.78	6.07	25	50
0.36	0.102	1.35	2.7	2.95	6.84	27.5	55
0.40	0.126	1.5	3	3.14	7.74	30	60
0.46	0.166	1.85	3.7	3.81	11.40	40	80
0.52	0.212	2	4	4.12	13.33	45	90
0.54	0.229	2.25	4.5	4.44	15.48	50	100
0.60	0.283	2.5	5	4.91	18.93	60	120
0.71	0.40	3	6	5.24	21.57	70	140
0.81	0.52	3.75	7.5				

第四节 常用电刷

电刷是用于电机的换向器或集电环上传导电流的滑动导体。它应具有良好的导电性和抑制电刷下火花性能,同时对换向器(或集电环)和电刷自身的磨损要小,运行噪音低,使用寿命长。

1. 常用电刷的分类

常用电刷根据原材料和制造工艺的不同可分为以下三类。

(1) 石墨类电刷(S系列) 该类电刷是用天然石墨制成,质地较软,润滑性能较好,电阻率低,摩擦系数小,可承受较大的电流密度。适用于运行平稳、负载变化不大的直流电机和汽轮发电机集电环。

(2) 电化石墨类电刷(D系列) 该类电刷是以天然石墨、焦炭、炭黑等为原料,经 2500°C 以上高温处理制成。其特点是摩擦系数小,耐磨,换向性能好,有自润滑作用,易加工。适用于负载变化较大的各种交直流电机。

(3) 金属石墨类电刷(J系列) 该类电刷是由铜及少量的银、锡、铅等金属粉末渗入石墨中(有的加入粘合剂),混合后采用粉末冶金的方法制成。它的导电性能优良,能承受较大的电流密度,电阻系数和接触电压降特低。适用于低电压、大电流的直流电机和感应电机。

2. 常用电刷的技术性能和应用范围(见表10.6.10)

3. 电刷的选用

正确选择和使用电刷,与电机能否正常运转密切相关。选用电刷类型和结构形状的依据是所服务电机的特性和工况,如电机的换向困难程度、电压高低、电流大小、换向器线速度的高低、负载变化是否均匀等。例如:

① 对低电压、大电流的电机宜用接触电压降特低的J10型金属石墨电刷,其接触电压降仅为 0.25V ,可大大降低能耗;

② 对汽车、拖拉机用电机和其他有机械振动的电机,宜用D21型电化石墨电刷,其特点是硬度和机械强度较高;

③ 对高速电机要求选用摩擦系数小的电刷;

④ 对集电环电刷,宜用接触电阻值低的电刷。

4. 电刷运行中的常见故障及排除方法(见表10.6.11)

表 10.6.10 常用电刷的技术性能和适用范围

类别	材质	型号	电阻率 ($\mu\Omega \cdot m$)	洛氏硬度(HR)		一对电刷 接触电压 牌/V	50h 磨损 不大于 /mm	摩擦系数 不大于	工作条件			应用范围
				球 $\phi 10mm$	薄片 载荷/N				额定电 流密度 (A/cm^2)	允许圆 周速度 (m/s)	电刷单位压力 /kPa	
石墨 电刷	天然 石墨	S3	13	77	600	2.1	0.20	0.25	11	25	19.6~24.5	电压为 80~120V 的直流电机
		S27	21	62	200	2.5	0.15	0.27	10	70	14.7~19.6	汽轮发电机电集电环
电 化 石 墨 电 刷	石 墨 基	D104	10	100	200	2.4	0.25	0.20	12	40	14.7~19.6	整流正常, 负荷均匀, 电压为 80~230V 的直流电机
		D172	13	103	200	2.7	0.20	0.25	12	70	14.7~19.6	整流正常的直流电机、汽轮发电机电集电环
	D213	29	89	1000	2.6	0.15	0.25	10	40	19.6~39.2	有机械振动的直流电机、汽车发电机及牵引电机等	
	D214	28	82	1000	2.4	0.15	0.25	10	40	19.6~39.2	整流困难, 电压为 220V 以上具有冲击负荷的直流电机, 如轧钢电动机、励磁机	
	D215	30	68	1000	2.8	0.15	0.25	10	40	19.6~39.2	整流困难, 电压 80~230V 的牵引电动机、直流发电机、功率扩大机	
	D252	15	85	600	2.5	0.15	0.25	12	45	19.6~24.5	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D308	40	86	1000	2.6	0.15	0.25	10	40	19.6~39.2	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D309	39	78	1000	2.9	0.15	0.25	10	40	19.6~39.2	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D374	44	70	1000	2.7	0.25	0.25	12	50	19.6~39.2	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D374B	57	83	1000	2.8	0.25	0.25	12	50	19.6~39.2	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D374D	45	70	1000	2.6	0.20	0.25	12	50	19.6~39.2	整流困难的直流电机、高速直流电机、小型直流电机和功率扩大机	
	D374F	57	90	1000	2.7	0.20	0.20	12	50	19.6~39.2	牵引电动机和换向困难的直流电机	
	D374L	50	90	1000	2.9	0.12	0.20	12	50	19.6~39.2	小型高速串激电动机	
	D374DL	45	90	1000	3.4	0.15	0.25	12	50	19.6~39.2	小型高速串激电动机	
D374N	58	83	1000	2.8	0.20	0.20	12	60	19.6~39.2	机车牵引电动机和主发电机、汽轮发电机和高速励磁机, 整流困难, 具有机械振动和冲击负荷的轧钢电动机		
D376	60	99	1000	2.9	0.25	0.25	12	50	19.6~39.2	机车牵引电动机和主发电机、汽轮发电机和高速励磁机, 整流困难, 具有机械振动和冲击负荷的轧钢电动机		
D376N	62	99	600	2.9	0.20	0.20	12	60	19.6~39.2	机车牵引电动机和主发电机、汽轮发电机和高速励磁机, 整流困难, 具有机械振动和冲击负荷的轧钢电动机		

续表

类别	材质	型号	电阻率 /($\mu\Omega \cdot m$)	洛氏硬度(HR)		对电刷 接触电压 降/V	50h磨损 不大于 /mm	摩擦系数 不大于	工作条件			应用范围
				钢球 $\phi 10mm$ 基本值	载荷/N				额定电 流密度 /(A/cm^2)	允许圆 周速度 /(m/s)	电刷单位压力 /kPa	
金属石墨电刷	不带粘 结剂 铜石墨	J101	0.12	87	400	0.25	0.80	0.20	20	20	17.64~22.54	低电压、高电 流密度、绕 线式电动机 电环
		J102	0.23	85	400	0.5	0.40	0.20	20	20	17.64~22.54	
		J113	0.13	70	400	≤ 0.5	0.60	0.20	20	20	17.64~22.54	
		J151	0.09	71	400	0.30	0.60	0.20	25	20	17.64~22.54	
		J164	0.09	75	400	0.30	0.70	0.20	20	20	17.64~22.54	
		J204	0.6	95	600	1.1	0.30	0.20	15	20	19.6~24.5	
	带粘 结剂 铜石墨	J213	0.55	93	600	0.7	0.40	0.20	15	20	19.6~24.5	电压40V以 下的大电 流直流电 机、汽车、 拖拉机起 动机、异 步电动机 电环
		J230	1.2	88	600	0.8	0.30	0.20	15	20	19.6~24.5	
		J241	2.5	85	600	1.2	0.30	0.25	15	20	19.6~24.5	
		J240	2.5	90	600	1.3	0.30	0.25	15	20	19.6~24.5	
		J205	6	87	600	≤ 2	0.50	0.25	15	35	14.7~19.6	
		J201	3.5	90	600	1.5	0.18	0.25	15	25	14.7~19.6	
		J206	4	93	600	1.5	0.30	0.20	15	25	14.7~19.6	
		J220	6	90	400	1.4	0.20	0.26	12	20	14.7~19.6	
		J203	8.8	75	600	1.8	0.15	0.25	12	20	14.7~19.6	
		R104	120	82	600	3.7	0.15	0.20	10	35	24.5~34.3	
R211	210	60	600	4.8	0.12	0.15	8	22	19.6~24.5			
R155	160	96	400	4.0	0.15	0.25	8	40	14.7~19.6			
R201	225	80	600	4.0	0.15	0.20	8	35	24.5~34.3			
人造树脂 粘 结 电 刷	人造树脂 粘 结 石 墨										用于交流整 流于电动 机和小型 高速串激 电动机	

注：旧型号：S—石墨，DH与DS—电化石墨，T—铜，Q—铅，TSQ—A 汽车拖拉机用，SQF—汽轮机用。

表 10.6.11 电刷运行中常见故障与排除方法

故障现象	产生故障的原因	排除方法
电刷磨损异常	电刷选型不当; 换向器偏摆、偏心; 换向片、绝缘云母凸起等	应根据电机的运行条件选配合适的电刷, 或排除偏摆凸故障
电刷磨损不均匀	电刷质量不均匀或弹簧压力不均匀	更换电刷或调整弹簧压力
电刷下出现有害火花	机械原因: 如换向器偏摆、偏心; 换向器片、绝缘云母凸起和振动等 电气原因: 如负荷变化迅速; 电机换向困难; 换向极磁场太强或太弱	排除外部机械故障 选用换向性能好的电刷 调整气隙, 移动换向极位置等
电刷导线烧坏或变色	电刷导线装配不良 弹簧压力不均	更换电刷 调整弹簧压力
电刷导线松脱	振动大 电刷导线装备不良	排除振源 更换电刷
换向器工作面拉槽成沟	电刷工作表面有研磨性颗粒, 包括外部混入杂质; 长期轻载, 严重油污, 有害气体, 损害接触点间表面薄膜的形成	清扫电刷; 更换电刷; 排除故障
电刷或刷握过热	弹簧压力太大或不均匀 通风不良或电机过载 电刷的摩擦系数大 电刷型号混用 电刷安装不当	降低或调整弹簧压力 改善通风或减小电机负荷 选用摩擦系数小的电刷 换向同一型号的电刷 正确安装电刷
刷体破损, 边缘碎裂	振动大 电刷材质软、脆	排除振源 选用韧性好的电刷 采取加缓冲压板等防振措施
电机运行中出现噪音	电刷的摩擦系数大; 电机极握振动大; 空气温度低	选用摩擦系数小的电刷; 排除振源; 调整湿度
电刷表面“镀铜”	由于电刷与换向器间接触不好而产生电镀作用, 在电刷表面粘附铜粒 由于产生火花, 使铜粒脱落, 并聚积在电刷面上 局部电流密度过高	排除换向器偏摆、电刷跳动、弹簧压力低而不均等故障 消除产生火花的原因 排除电流密度不均的故障

第五节 电线槽管

电线槽管是用来保护穿在其中的绝缘导线免受外界的机械损伤, 防止小动物侵害, 防潮, 防腐, 保障安全的护管。常用的电线槽管有水煤气管、电线管、镀锌金属软管、硬聚氯乙烯管、软聚氯乙烯管, 难燃塑料电线槽、难燃塑料电线管等。

1. 水煤气管 (钢管)

水煤气管分镀锌和不镀锌两种。镀锌钢管有较强的抗腐蚀能力, 常用于潮湿、有腐蚀介质的场所作暗敷。不镀锌管的抗腐蚀能力差, 常用于干燥场所作明敷。

水煤气管按壁厚又分普通管和加厚管两种, 普通管能承受 2MPa 的水压, 加厚管能承受 3MPa 的水压。

水煤气管的规格、技术数据见表 10.6.12。

2. 电线管 (薄黑铁管)

电线管是用来保护穿越导线的专用黑铁管。管壁较薄, 管壁内外均涂一层绝缘漆。常用于明敷或暗敷于不受较大外力的干燥场所。

电线管的规格和技术数据见表 10.6.13。

3. 镀锌金属软管 (俗称蛇皮管)

镀锌金属软管由 0.5mm 以上双面镀锌薄钢带压边卷制而成。轧缝处有加石棉和不加石棉两种。常用来作活动连接绝缘导线的护管。

镀锌金属软管的规格和技术数据见表 10.6.14。

表 10.6.12 水煤气管的规格和技术数据

公称口径		外径 /mm	普通管		加厚管	
/mm	/in		壁厚 /mm	理论质量 /(kg/m)	壁厚 /mm	理论质量 /(kg/m)
10	$\frac{3}{8}$	17	2.25	0.82	2.75	0.97
15	$\frac{1}{2}$	21.35	2.75	1.25	3.25	1.44
20	$\frac{3}{4}$	26.75	2.75	1.63	3.5	2.01
25	1	33.5	3.25	2.42	4	2.91
32	$1\frac{1}{4}$	42.25	3.25	3.13	4	3.77
40	$1\frac{1}{2}$	48	3.5	3.84	4.25	4.58
50	2	60	3.5	4.88	4.5	6.16
70	$2\frac{1}{2}$	75.5	3.75	6.64	4.5	7.88
80	3	88.5	4	8.34	4.75	9.81
100	4	114	4	10.85	5	13.44
125	5	140	4.5	15.04	5.5	18.24
150	6	165	4.5	17.81	5.5	21.63

表 10.6.13 电线管的规格和技术数据

公称口径		外径 /mm	壁厚 /mm	重量 /(kg/m)	公称口径		外径 /mm	壁厚 /mm	重量 /(kg/m)
/mm	/in				/mm	/in			
13	$\frac{1}{2}$	12.7	1.24	0.34	38	$1\frac{1}{2}$	38.1	1.6	1.13
16	$\frac{5}{8}$	15.87	1.6	0.43	50	2	50.8	1.6	1.47
20	$\frac{3}{4}$	19.05	1.6	0.72	64	$2\frac{1}{2}$	63.5	2.5	3.76
25	1	25.4	1.6	0.82	75	3	76.2	3.2	5.75
32	$1\frac{1}{4}$	31.75	1.6	0.90					

表 10.6.14 普通镀锌金属软管规格和技术数据及参考价格

公称内径 /mm	外径 /mm	内外径 允许偏差 /mm	节距 /mm	自然弯曲直 径不大于 /mm	最大轴向拉力 /kg	理论重量 /(g/m)
4	6.1	±0.20	2.65	30	24	44.9
6	8.2	±0.25	2.70	40	36	68.5
8	11.0	±0.30	4	45	48	111
10	13.5	±0.30	4.7	55	60	141
12	15.5	±0.35	4.7	60	72	164
13	16.5	±0.35	4.7	65	78	176
15	19.0	±0.35	5.7	80	90	236
16	20.0	±0.35	5.7	85	96	249
19	23.3	±0.40	6.4	95	114	327
20	24.3	±0.40	6.4	100	120	342

续表

公称内径 /mm	外径 /mm	内外径 允许偏差 /mm	节距 /mm	自然弯曲直 径不大于 /mm	最大轴向拉力 /kg	理论重量 /(g/m)
22	27.3	±0.45	8.5	105	132	384
25	30.3	±0.45	8.5	115	150	432
32	38.0	±0.50	10.5	140	192	585
38	45.0	±0.60	11.4	160	228	807
51	58.0	±1.00	11.4	190	306	1055
64	72.5	±1.50	14.2	280	384	1590
75	83.5	±2.00	14.2	320	450	1850
100	108.5	±3.00	14.2	380	600	2430

计量软管长度，应处在自然平直状态，用量尺逐根进行。长度从10cm起算，10cm以下不计算。

4. 软管接头（蛇皮管接头）

软管接头由聚酰胺（尼龙）塑料制成。管接头一端可与同规格金属软管相配合。另一端为外螺纹（采用厚管螺纹），可与螺纹规格相同的电气设备或管路接头等相连接。管接头的规格以配用金属软管的内径来区分。

软管接头技术数据见表10.6.15。

表 10.6.15 软管接头技术数据

型 号	结构形式	规格 /mm	管螺纹规格 /in	穿线孔径 /mm	最大外径 /mm	长度 /mm
TJ-38	封闭式	10	1/2	10	32	40
		12~13	1/2	12	36	40
		15~16	1/2	15	40	45
		20	3/4	20	46	45
TJ-350	简易式	6	1/4	6	20	26
		8	1/4	8	24	26
		8	3/8	8	24	27
		10	1/2	10	29	34
		13	1/2	13	31	34
		16	3/4	16	34	38
		19	3/4	19	36	40
		25	1	25	46	47
		32	1 1/4	32	54	52
38	1 1/2	38	66	61		
		51	2	51	89	71

注：1in = 25.4mm。

5. 硬聚氯乙烯管

硬聚氯乙烯管的特点是耐酸碱性强，质轻。适用于温度0~40℃范围内输送腐蚀性液体或气体，也适用于较严重腐蚀场所作电线护管。管子每根长度为(4±0.1)m，相对密度为1.4~1.6。分轻型（使用压力不超过600kPa）和重型（使用压力不超过1MPa）两种。

硬聚氯乙烯管的技术数据见表10.6.16。

6. 软聚氯乙烯管

软聚氯乙烯管按用途分为电器套管和液体输送管。电器套管常用作电器连接导线套管，有多种颜色以利区别。其公称尺寸以内径表示。技术数据见表10.6.17。

7. 难燃聚氯乙烯（PVC）电线槽、管及配件

难燃聚氯乙烯（PVC）电线槽管是以聚氯乙烯树脂粉为主要原料，加入阻燃剂、增强剂及其他的助剂生产而成。该类产品具有优良的抗腐蚀性、绝缘性和阻燃性，并有抗冲击、抗拉、抗弯强度大等特点。

表 10.6.16 硬聚氯乙烯管技术数据

外径 /mm	外径公差 /mm	轻型 (使用压力 $\leq 600\text{kPa}$)		重型 (使用压力 $\leq 1\text{MPa}$)	
		壁厚及公差/mm	近似重量/(kg/m)	壁厚及公差/mm	近似重量/(kg/m)
10	± 0.2	—	—	1.5+0.4	0.06
12	± 0.2	—	—	1.5+0.4	0.07
16	± 0.2	—	—	2.0+0.4	0.13
20	± 0.3	—	—	2.0+0.4	0.17
25	± 0.3	1.5+0.4	0.17	2.5+0.5	0.27
32	± 0.3	1.5+0.4	0.22	2.5+0.5	0.35
40	± 0.4	2.0+0.4	0.36	3.0+0.6	0.52
50	± 0.4	2.0+0.4	0.45	3.5+0.6	0.77
63	± 0.5	2.5+0.5	0.71	4.0+0.8	1.11
75	± 0.5	2.5+0.5	0.85	4.0+0.8	1.34
90	± 0.7	3.0+0.6	1.23	4.5+0.9	1.81
110	± 0.8	3.5+0.7	1.75	5.5+1.1	2.71
125	± 1.0	4.0+0.8	2.29	6.0+1.1	3.35
140	± 1.0	4.5+0.9	2.88	7.0+1.2	4.38
160	± 1.2	5.0+1.0	3.65	8.0+1.4	5.72
180	± 1.4	5.5+1.1	4.52	9.0+1.6	7.26
200	± 1.5	6.0+1.1	5.48	10.0+1.7	8.95
225	± 1.8	7.0+1.2	7.20	—	—
250	± 1.8	7.5+1.3	8.56	—	—
280	± 2.0	8.5+1.5	10.88	—	—
315	± 2.5	9.5+1.6	13.68	—	—
355	± 3.0	10.5+1.8	17.05	—	—
400	± 3.5	12.0+2.0	21.94	—	—

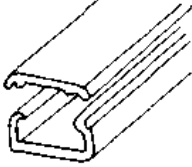
表 10.6.17 软聚氯乙烯管技术数据

电 器 套 管			电 器 套 管		
内 径 /mm	内径公差 /mm	壁厚及公差 /mm	内 径 /mm	内径公差 /mm	壁厚及公差 /mm
1	± 0.2	0.4 \pm 0.05	12	+0.50	0.7 \pm 0.1
1.5	± 0.25	0.4 \pm 0.05	14	+0.50	0.7 \pm 0.1
2	± 0.25	0.4 \pm 0.05	16	+0.80	0.9 \pm 0.1
2.5	± 0.25	0.4+0.05	18	± 0.9	1.2 \pm 0.15
3	± 0.25	0.4 \pm 0.05	20	± 0.1	1.2 \pm 0.15
3.5	± 0.25	0.4 \pm 0.05	22	± 0.1	1.2 \pm 0.15
4	± 0.25	0.6 \pm 0.1	25	± 0.1	1.2 \pm 0.15
4.5	± 0.25	0.6 \pm 0.1	28	+0.1	1.4 \pm 0.2
5	± 0.25	0.6 \pm 0.1	30	± 1.3	1.4 \pm 0.2
6	± 0.30	0.6 \pm 0.1	34	± 1.3	1.4 \pm 0.2
7	± 0.30	0.6 \pm 0.1	36	± 1.3	1.4 \pm 0.2
8	± 0.50	0.6 \pm 0.1	40	± 2.0	1.8 \pm 0.2
9	± 0.50	0.6 \pm 0.1	颜色: 本色、红、黄、蓝、白、黑色		
10	± 0.50	0.7 \pm 0.1			

难燃 PVC 电线槽管常用在工厂和民用建筑的电气配线中。

(1) 难燃 PVC 电线槽 PVC 电线槽由槽身和槽盖两部分组成。它有多种规格的槽宽和槽高, 常用线槽的规格尺寸和图样见表 10.6.18。PVC 电线槽适用于敷设在建筑物内部的可见部分, 同时适用于敷设高频线路和电缆。

表 10.6.18 难燃 PVC 电线槽规格尺寸及图样

规格 /mm	壁厚 /mm	规格 /mm	壁厚 /mm	图样
15 × 10	1.2	60 × 30	2.0	
20 × 15	1.2	80 × 30	2.0	
25 × 15	1.2	100 × 40	2.5	
30 × 15	1.2	100 × 80	2.5	
40 × 20	1.2	100 × 80	2.5	
40 × 25	1.2	40 × 20 (双坑)	1.2	
60 × 25	2.0	40 × 20 (三坑)	1.2	

安装方法：用钻将电线槽的底部钻穿（孔距视线槽的承重而定），再用螺丝固定。注意线槽的平直、美观。线槽固定好后，放入电线并扎好，再盖上槽盖即可。

(2) 难燃 PVC 电线管 PVC 电线管的常用规格有几种，详细规格尺寸见表 10.6.19。这类电线管适用于敷设在建筑物中的天花板内、地板下和某些明敷的场合。同时适合输送有腐蚀性的流体或作自来水进水和排水配管。

表 10.6.19 PVC 电线管的规格尺寸

公称外径 /mm	壁厚 /mm	公称外径 /mm	壁厚 /mm	公称外径 /mm	壁厚 /mm
15	1.2	32	1.8	75	2.3
20	1.2	40	2.0	110	3.2
25	1.8	50	2.0	160	4.0

(3) PVC 电线槽管配件 各种 PVC 电线槽管配件（如角弯、三通、十字通、大小接、线槽盒等）是专为相应尺码的槽管配套设计制造的，它使线路的转弯、分引、延长等非常方便。安装时，先将配件底座固定，嵌入转弯或分引的电线，加上面盖即可。

第六节 金属封闭母线槽

一、KFM 型空气绝缘母线槽

KFM 型母线槽适用于轻纺、化工、汽车制造、写字楼、计算机房等工矿企事业单位和高层建筑场所，在交流 50Hz，额定电压 380V，额定电流 63~3500A 范围内，三相四线或三五线制供电系统中，作为输配电设备之用。

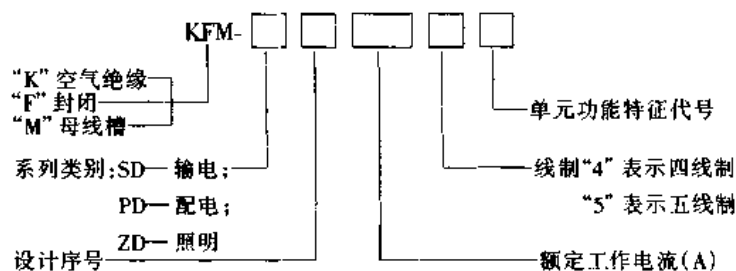
产品有 SI 型（输电系列）、PD 型（配电系列）和 ZD 型（照明系列）三种类型。

① SD 型母线槽为较大容量的输电母线，可用于连接变压器至低压进线开关柜，作为输送电能的通道。可根据用户的需要在任意位置设置插接口，其容量可达 630A，很方便地直接为大容量用电设备供电。该系列母线槽额定容量为 1250~3500A。

② PD 型母线槽为带插口的配电母线槽，可安装在车间或高层建筑中供电分支较多的地方。根据不同的需求，可选择不同容量的插接箱，插接箱的分接容量有 100A、200A、400A 三种，能很方便地引出电流分路给用电设备。该系统母线槽额定容量有 250A、400A、630A、800A、1000A。

③ ZD 型母线槽是小容量照明母线槽，可安装在试验室、办公室、计算机房等场所，作为仪器、办公设备、照明灯具的供电线路设备。插接箱分接容量为 40A。该系列母线槽容量有 63A、100A。

1. 型号含义说明



单元功能特征代号内容见表 10.6.20。

表 10.6.20 母线槽单元功能特征代号

单元特征名称	代 号	单元特征名称	代 号
直母线 (不带插口)	A	“十”字型母线 (水平位置)	XS
直母线 (带一个插口)	A1	“十”字型母线 (垂直位置)	XC
直母线 (带两个插口)	A2	Z型母线 (水平位置)	ZS
直母线 (带 n 个插口)	An	Z型母线 (垂直位置)	ZC
L型母线 (水平位置)	LS	膨胀母线	P
L型母线 (垂直位置)	LC	分线箱 (插接箱)	GC
T型母线 (水平位置)	TS	进线箱	GH
T型母线 (垂直位置)	TC	终端盖	Z
变容母线	BR		

2. KFM 型母线槽主要技术数据

① 按额定电流分

a. SD 型母线槽 (输电线型): 1250A, 1600A, 2000A, 2500A, 3150A, 3500A

b. PD 型母线槽 (配电型): 250A, 400A, 630A, 800A, 1000A

c. ZD 型母线槽 (照明型): 63A, 100A

② 按结构形式分: a. 无插口直母线; b. 有插口直母线; c. 变容量母线; d. 膨胀母线; e. 始端母线; f. 转向母线。其标准长度见表 10.6.21。

表 10.6.21 母线槽标准长度尺寸

母线槽结构形式	标 准 长 度/mm
直母线槽, 不带插口	500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000
直母线槽, 带插口	1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000
变容量母线槽	1000
始端母线槽	500 (不含始端头)
膨胀母线槽	1000
转向母线槽	500X500X500

注: 带插口母线槽单面插口间中心距为 1000mm, 双面插口中心距为 500mm。

3. 母线槽的安装

① 母线槽安装前, 应测量绝缘电阻, 每一单元应不小于 10MΩ, 必要时可进行交流 50Hz, 1min, 2500V 耐压试验, 应无击穿、闪烁现象。

② 母线槽安装前, 应预先安装好固定支承架。母线槽垂直安装时, 支架距离不应大于 6m; 水平安装时, 支架距离不应大于 3m。

③ 安装示意图如图 10.6.3 和图 10.6.4 所示。

水平安装方式

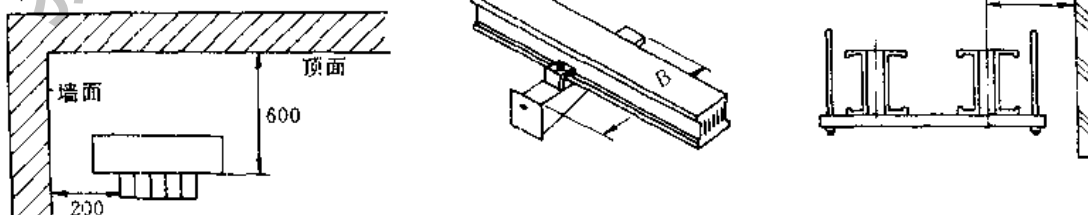


图 10.6.3 母线槽水平安装示意

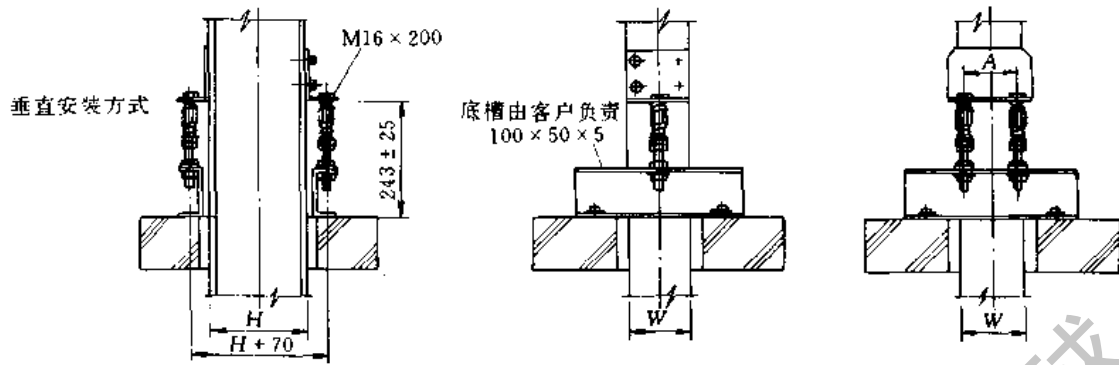


图 10.6.4 母线槽垂直安装示意

④ 母线槽的连接处应保持接触面的清洁,按相序连接,然后用搬手拧紧夹紧螺栓,检查无误后将连接盖板装好。

⑤ 安装或拆卸插接箱时,应将负载切断,严禁带负荷插拔插接箱。

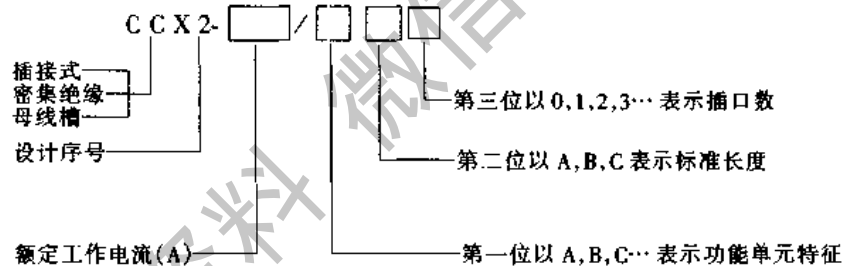
⑥ 母线槽通电前应对系统进行电气性能检查:绝缘电阻应大于 $0.5\text{M}\Omega$,系统与所连接的设备之间相位是否正确,接地是否良好、可靠。

二、CCX2 型密集绝缘母线槽

CCX2 型母线槽适用于工矿企业的厂房和高层建筑,在交流 $50\sim 60\text{Hz}$,额定工作电压 380V ,额定工作电流 2500A 以下的三相四线制供电系统中作为配电线路设备之用。

产品有带插口的母线槽,可以通过配套的 XKC 型插接开关箱,非常方便地引出所需要的电源分路。

1. 型号含义说明



单元功能特征的代号内容见表 10.6.22。

表 10.6.22 单元功能特征代号

第一位	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
功能	直线段 母线槽	始端 母线槽	进线箱	终端盖	L型水平 弯头	L型垂直 弯头	T型水平 弯头	T型垂 直弯头	膨胀节	变容节
第二位	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
长度 /m	3.0	2.9	2.8	2.7	0.5×0.5	0.5×0.5	0.5×0.5 $\times 0.5$	0.5×0.5 $\times 0.5$	1.7	0.6
第三位	0	1	2	3						
插口数	无插口	一个插口	两个插口	三个插口						

2. 主要技术参数

(1) 母线槽主要规格

- ① 额定电流等级: 250A , 400A , 630A , 800A , 1000A , 1600A , 2000A , 2500A
- ② 变容量母线变容级次: $250\text{A}/400\text{A}$, $400\text{A}/630\text{A}$, $630\text{A}/800\text{A}$, $800\text{A}/1000\text{A}$
- ③ 结构形式: a. 无插口直母线; b. 有 $1\sim 3$ 个插口直母线; c. 始端母线; d. 膨胀母线; e. 变容量母线; f. 转向母线。

(2) 母线槽配套的 XKC 型插接开关箱规格

① 额定工作电流：100A，250A，630A。

② 操作方式：a. 箱内操作式；b. 箱外正面操作式；c. 箱外侧面操作式。

③ 母线槽绝缘强度：母线槽在温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，及空气相对湿度为 50% ~ 70% 的正常条件下，其绝缘电阻不低于 $10\text{M}\Omega$ 。

(3) 各规格母线槽标准长度（见表 10.6.23）

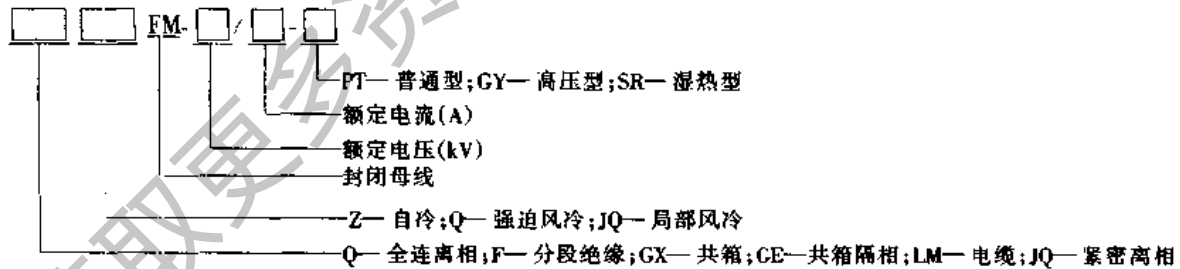
表 10.6.23 母线槽标准长度

母线槽型式	额定电流/A	标准长度/mm	母线槽型式	额定电流/A	标准长度/mm	
直线 段 母 线 槽	不带插口	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500, 1300, 1050, 600	直 线 段 槽	带三个插口	250	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
					400	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
					630	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
					800	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
					1000	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
					1600	3000, 2900, 2800, 2700, 2600
	带一个插口	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500, 1300, 600	始 端 母 线 槽	不带插口	250	3000, 2500, 2000, 1750, 1050, 500
					400	3000, 2500, 2000, 1750, 1050, 500
					630	3000, 2500, 2000, 1750, 1050, 500
					800	3000, 2500, 2000, 1750, 1050, 500
					1000, 1600, 2000, 2500	3000, 2500, 2000, 1750, 1050, 500
					250	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500
	带二个插口	3000, 1900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900	带一个插口	250	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500	
				400	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500	
				630	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500	
				800	3000, 2900, 2800, 2700, 2600, 2500, 2000, 1900, 1800, 1700, 1600, 1500	
	带三个插口	3000, 2900, 2800, 2700, 2600	带二个插口	250	2500	
				400	2500	
630				2500		
800				2500		
带三个插口	3000, 2900, 2800, 2700, 2600	带三个插口	250	2500		
			400	2500		

三、高压封闭母线

高压封闭母线适用于发电机输出回路和励磁回路作为线路设备之用。

1. 型号含义说明



2. 高压封闭母线的种类

① 按外壳采用的材料可分为塑料外壳和金属外壳两种。塑料外壳封闭母线对磁场不起屏蔽作用，相当于敞露母线，既不能减少短路产生的电动力，也不能减少母线附近钢构件的感应发热，只起到一般的防护作用，所以大容量发电机组不采用塑料封闭母线，均采用金属铝外壳封闭母线。

② 按外壳结构形式分共箱母线和离相母线。

a. 共用一个金属外壳，相间没有金属隔板或相间有金属隔板称为共箱式封闭母线（相间有金属隔板称共箱隔相封闭母线）。

b. 每相都有一个金属外壳，称为离相封闭母线。离相母线又分为四种：

·不全连离相封闭母线——每相外壳相邻段在电气上相互绝缘，以防止轴向电流通过外壳连接处，使每段外壳中只有外壳涡流。为防止短路时在外壳上的感应电压对人身危害，制造时每 3 ~ 4m 分为一段，每一段有

一点接地。

·全连离相封闭母线——在每相外壳上各段间电气上导电连接，并在各相外壳两端通过短路板相互连接并接地。

·经电抗器接地的全连离相封闭母线——该封闭母线外壳全连，外壳的一端经三相短路板接地，而另一端各相均经过电抗器接地。

·分段全连离相封闭母线——在移开式隔离开关，或断路器的两端装三相短路板，将母线分成两个全连离相封闭母线和移开式隔离开关，或断路器的不全连离相封闭母线的混合，称为分段全连式离相封闭母线。

③按冷却方式分，封闭母线可分为自然冷却式和人工通风冷却式及水冷式三种。

a. 自然冷却封闭母线：母线导体及外壳的热量靠辐射、对流散到周围环境中。这种冷却方式简单可靠，运行维护方便，但金属材料消耗量大。

b. 人工通风冷却封闭母线：利用母线导体和封闭外壳作通风道，用强制通风的办法，将母线及外壳的热量带走散出。

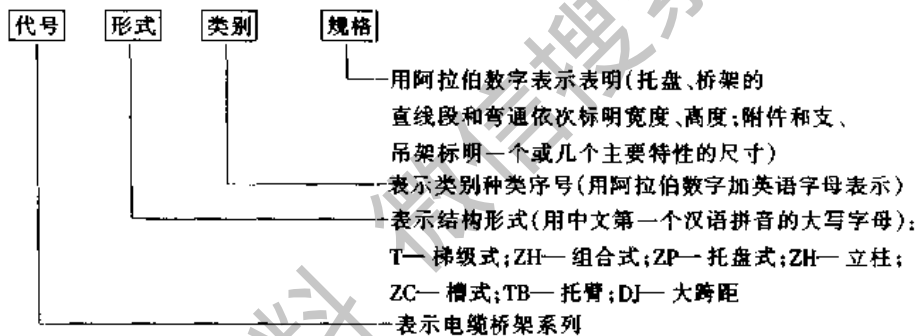
c. 水冷式封闭母线：在母线内通水，将母线的热量带走。但这种冷却方式结构较复杂，设备多，造价高。

第七节 电缆桥架

电缆桥架适用于10kV以下的电力电缆、控制电缆以及照明配线等室内、室外架空电缆沟、隧道的敷设。

电缆桥架具有强度大、结构轻、施工简单、配线灵活、安装标准、外形美观等特点，给技术改造、维护检修带来极大的方便。

一、型号表示方法



桥架结构形式种类很多，这里重点介绍 ZQC 系列桥架。

ZQC 系列电缆桥架包括钢制电缆桥架、铝合金桥架、防火桥架、阻燃玻璃钢桥架等。

二、ZQC 系列钢制电缆桥架

1. 钢制电缆桥架的特点

钢制桥架分为槽式、托盘式、梯级式、组合式、安装支架、电缆竖井六种。

(1) ZQC-ZC 槽式桥架 槽式桥架是一种全封闭型电缆桥架。它适用于敷设计算机电缆、通信电缆、热电偶电缆及其他高灵敏系统的控制电缆。它对控制电缆的屏蔽干扰和重腐蚀环境中电缆的防护都有较好的效果。

(2) 托盘式电缆桥架 ZQC-ZP 托盘式电缆桥架是石油、化工、电力轻工、电视、电讯等方面最广泛应用的理想敷设装置。它具有重量轻，载荷大，造型美观，散热透气好等优点。

(3) 梯级式桥架 ZQC-ZJ 梯级式桥架是根据国外有关资料及产品的特点改进而成，适用于一般直径较大电缆的敷设，特别适用于高、低压、动力电缆的敷设。

(4) 组合式电缆桥架 ZQC-ZH 组合式电缆桥架是一种新型桥架，它适用于各项工程、各个单位和各种电缆的敷设。它具有结构简单，配置灵活，任意转向、变宽，分支引上、引下安装方便的特点。

(5) 安装支架 ZQC-TB 支架是支撑电缆桥架和电缆的主要部件。它由立柱、立柱底座、托臂等组成。它具有结构简单，重量轻，强度大，安装灵活，可满足不同环境条件（工艺管理架，挡板下，墙臂上，电缆沟内）、不同安装形式（悬吊式，直立式，侧立式，单边、双边和多层等）等特点。

2. 电缆桥架的选用、使用、安装及维护

(1) 选用

① 桥架形式及品种选择

a. 需屏蔽电气干扰的电缆回路, 或有防护外部影响, 如油、腐蚀性液体、易燃粉尘等环境的要求时, 应选用槽式桥架。

b. 需要因地制宜组装的场所, 宜选用组装式。

c. 在①、②两种情况外, 可选用托盘式或梯级式。

② 规格选择

a. 电缆填充率不应超过有关标准规范的规定值, 动力电缆可取 40% ~ 50%, 控制电缆可取 50% ~ 70%, 且宜预留 10% ~ 25% 的工程发展裕量。

b. 工作均布载荷不应大于所选载荷等级的额定均布载荷。如果支、吊架的实际跨距不等于 2m 时, 则工作载荷应满足:

$$qG \leq qE(2/LG)$$

式中 qG ——工作均布载荷, N/m;

qE ——额定均布载荷, N/m;

LG ——实际跨距, m。

各类弯通及附件规格, 应适合工程布置条件, 并与槽式、托盘式、梯架相配套。

支架吊架规格选择, 应按槽式、托盘式、梯架规格层数、跨距等条件配置, 并应满足载荷的要求。

③ 表面防腐处理方式选择。表面防腐处理方式的选择应按工程环境条件、重要性、耐久性和技术经济性等因素, 对桥架选择适宜的防腐处理方式, 一般情况按表 10.6.24 选择。

表 10.6.24 表面防腐处理方式选择

环境条件				防腐层类别					
类型		代号	等级	Q 涂漆	D 电镀锌	P 喷涂粉末	R 热浸镀锌	DP 复合层	RQ 复合层
户内	一般	普通型	J	3K5L、3K6	✓	✓	✓		
	0类	湿热型	TH	3K5L	✓	✓	✓		
	1类	中腐蚀型	F1	3K5L、3C3	✓	✓	✓	✓	✓
	2类	强腐蚀型	F2	3K5L、3C4		✓	✓	✓	✓
户外	0类	轻腐蚀型	W	4K2、4C2	✓	✓	✓	✓	✓
	1类	中腐蚀型	WF1	4K2、4C3		✓	✓	✓	✓

注: 符号“✓”表示推荐防腐类别。

(2) 使用与安装

① 电缆桥架的安装可因地制宜。可随工艺管道架空敷设、楼板; 梁下吊装; 室内外墙壁、柱臂、隧道、电缆沟臂上的侧装, 还可在露天立柱或支墩上安装, 大型多层桥架吊装或立装时, 应尽量采用工字钢立柱两侧对称敷设。

② ZQC 系列电缆桥架可水平、垂直敷设; 可转角、T 字型、十字型分支; 可调宽、调高、变径。

③ 当电力电缆和控制电缆较少时, 可同一电缆桥架安装, 但中间要用隔板将电力电缆和控制电缆隔开敷设。

④ 电缆桥架水平敷设时, 桥架之间的接头应尽量设置在跨距的 1/4 左右处。水平走向的电缆每隔 2m 左右固定一下, 垂直走向的电缆每隔 1.5m 左右固定一下。

⑤ 电缆桥架装置应有可靠的接地。如利用桥架作为接地干线, 应将每层桥架的端部用 16mm 软铜线连接(并联)起来, 与总接地干线相通, 长距离的电缆桥架每隔 30 ~ 50m 接地一次。

⑥ 电缆桥架装置除需屏蔽装保护罩外, 在室外安装时应在其顶层加装保护罩, 防止日晒雨淋。如果焊接安装时, 焊件四周的焊缝厚度不得小于母材的厚度, 焊口必须防腐处理。

三、铝合金桥架 ZQC-LQJ

铝合金抗腐蚀桥架具有结构简单、式样新颖、载荷大、重量轻、耐腐蚀、使用寿命长、安装方便等特点, 适用一般环境地区, 在沿海盐雾区、高湿度和有腐蚀性的环境中, 更能显示出它的独特抗腐蚀性能。铝合金桥架分为梯级式、托盘式、槽式。

四、防火桥架 ZQC-QJPS

为了适应不同的使用场合，这个系列分为四大部分。

① 耐火型钢制槽盒：该产品能经受火焰熏烤，槽内温度可限制在电缆运行安全允许值内。该桥架设有防雨罩，可广泛用于室外易燃场所。

② 耐火型无机槽盒：该品种用无机材料与增强玻璃纤维构成耐火结构，产品呈封闭式，可有效地防止电缆自身燃烧及外部火源的危害。由于采用无机材料，在酸、碱腐蚀严重或露天场合，特别显示其优越性。

③ 隧道用阻火网托架：该产品可广泛用于隧道、地下公共设施及尘埃较小的场合，具有良好的通风透气特性，电流载流量较正系数高达 0.95。当电缆过热自身燃烧时，由于火焰作用使原来开启的浸有特种防火涂料的通风网孔堵塞，并膨胀成厚厚的碳席层包覆电缆，使燃烧介质由于缺氧而自熄。

④ 电缆过热，着火报警桥架：该类产品在电缆过热及电缆槽内部、外部火灾时发出声光报警。声光报警超过 70℃ 电缆温度允许值 2℃ 时 (5min 内)，发出声光报警。声光报警器安装在监察场所，单机容量为 8 回路。本产品亦可配套于其他耐火型桥架，使之既具有预报警又具备耐火特性。

五、阻燃玻璃钢桥架 ZQC-ZBQ

阻燃玻璃钢桥架具有强度高、绝缘性能好、耐化学腐蚀、耐火阻燃性能和足够的机械强度，广泛适用于石油、化工、冶金、电力。

第八节 电触头材料

电触头是开关电器的关键元件，在电能的转换、输配、控制与调节过程中起着关键的作用。电触头有固定、滑动和开闭三种。

电触头按其材料性质分一般有银基材料、铜基材料、钨基材料、金基材料、铂基材料和钽基材料等。其中以银基材料在开关电器中使用得最为广泛。按照开关电器使用电流等级划分，电触头材料有强电、中电和弱电之分，强电一般为高压电器用触头材料，以铜钨、铜铬等真空触头为主，弱电一般为家用电器和电子电器所用触头材料，以银及银合金、复合银触头，镀银、镀金、镀铂触头为主，中电触头材料习惯称为低压电器用电触头，以银基和铜基为主，用量远大于强电和弱电触头。

一、开关电器对电触头材料的主要要求

1. 长期载流不过热

开关在长期流过额定电流时触头应不过热，我国老的产品标准中规定银基触头材料的允许温升为 80℃，新标准中对银基触头的温升不规定，但注明应以不损害邻近的绝缘材料为限。

触头材料包括经过通断和电寿命试验后，应保持接触电阻低且稳定。

2. 抗熔焊性能好

开关在接通过载或短路电流时，要求触头材料有较好的抗动熔焊性能，开关在分断过载或短路电流时，在触头分开之前已有大电流流过，要求触头材料有较高的抗静熔焊性能。

3. 耐电弧性好

在接通和分断电流时，要求触头的磨损量小。

4. 有一定的机械强度

要求触头材料要有一定的机械强度，不能发生破损或压裂。

二、常用电触头材料的种类及性能

电触头材料物理性能特征、种类及用途见表 10.6.25。

表 10.6.25 常用触头材料物理性能特征

名称	性能特征
银-镍	接触电阻低而稳定，导电、导热性好，电磨损小而均匀。在直流开闭时，材料转移比纯银少。其缺点是抗熔焊性能较差，通常和银-石墨配对使用。常用机械混粉法或共沉析法制造，在压型与烧结制造后，若再用热、冷挤压法加工，或采用纤维强化工艺，则触头电寿命能显著提高
银-氧化钨	具有耐电磨损、抗熔焊和接触电阻低而稳定的优点。广泛用于接触器、继电器中。特别是在大容量交流接触器中，其寿命比纯银和银-镍有很大提高 常用的制造方法是共沉析法和内氧化法。内氧化法制品耐电磨损较好，而共沉析法制品则抗熔焊性能较好。若共沉析法制品再提高其致密度，则既可保持抗熔焊的优点，又能提高耐电磨损能力

名称	性能特征
银-氧化锌	有内氧化法和粉末法两种。其触头抗熔焊性优越,耐电弧烧蚀性好,接触电阻低而稳定。主要应用于中小容量低压断路器、漏电断路器
银-氧化锡	具有抗熔焊、接触电阻稳定的优点,其耐磨损性能特别优异、无毒,因此是当前国际上积极开发和推荐的触头材料。主要应用于中、小容量交流接触器和低压塑壳断路器
银-石墨	导电性好,接触电阻低,抗熔焊(在短路电流下也不熔焊)。缺点是电磨损大,灭弧能力较差。一般石墨含量不超过5%。常和银-镍配对使用。其制造方法和银镍相同
银-钨	既具有银的良好导电性和易加工性,又具有钨的高熔点、高硬度、耐电弧腐蚀、抗熔焊、材料转移少的特性。随着钨含量增加,其抗腐蚀性能和抗熔焊性能提高,但其导电性能降低。常用机械混粉法和共沉析法和浸渍法制造,含钨量为30%~40%一般用共沉析法,含钨60%~80%一般用浸渍法。银-钨的缺点是接触电阻不稳定,在分断过程触头表面易产生高接触电阻的薄膜,随开闭次数增加,接触电阻增大
银-碳化钨	接触电阻比银-钨稳定,抗熔焊性比银-钨好。但质硬,可加工性差。可与银-镍配对使用
银-铁	具有良好的导电、导热、耐磨损及加工性能。用在中小电流等级的交流接触器上,其电寿命比纯银成倍增加,其缺点是抗熔焊性能较差,易受大气侵蚀形成锈斑(但一般不影响使用)。通常采用共沉析法制造
铜-钨	与银-钨性能相似,但与银-钨更易氧化
铜-石墨	其机械强度比银-石墨高,价格较低,但比银-石墨易氧化。制造方法与银-石墨大致相同

单一触头材料的主要性能及用途见表 10.6.26。

表 10.6.26 单一触头材料的主要性能及用途

名称	牌 号	主要性能			主要用途	
		密度 ≥ /(g/cm ³)	硬 度 ≥ (HB) (N/mm ²)	电 阻 率 ≤ /(μΩ·cm)		
银	C _{Ag} -1	10.5	500	1.8	小容量接触器的主触头和辅助触头	
细晶银	C _{Ag} -2	10.4	850	1.85		
银	CFG _{Ag}	10.4	750	1.8	小容量交流接触器、继电器的触头和辅助触头	
银-镍	C _{Ag} Ni10	10.1	750	2.1	小容量交直流接触器、继电器的触头和交流接触器辅助头	
	C _{Ag} Ni30	9.8	800	2.7	低压断路器	
	C _{Ag} Ni70	10.0	700	2.0	交流接触器、继电器、按钮	
银-氧化铜	C _{Ag} CdO ₁₂	内氧化法	10.1	800	3.5	交直流接触器、凸轮转换开关等
		烧结挤压	10.1	650	2.1	
		单件压制	10.0	1060	2.5	
	C _{Ag} CdO(T)	10	10~10.3	700~1250	3.2	
12		10	800~1250	3.5		
13		9.8~10.15	755~1290	3.5		
银-氧化锌	C _{Ag} ZnO ₁₀	9.5	755	3.7	主要是中小容量低压断路器、漏电断路器、单极断路器、接触器、继电器	
	C _{Ag} ZnO ₈	9.8	680	3.5		
银-氧化钨	C _{Ag} (SnO ₂ In ₂ O ₃) 14/Ag(SA-1)	9.8	1000	3.5	凸轮控制器、交直流接触器、中小容量低压断路器、限流断路器	
	C _{Ag} (SnO ₂ In ₂ O ₃) 10.5/Ag(SB-1)	9.8	1000	3.2		
	C _{Ag} (SnO-T)	9.75~10.1	795~1310	3.5		
银-石墨	C _{Ag} CS	烧结挤压	8.6	330	2.1	交流接触器
		单件压制	8.5	350	3.2	
	C _{Ag} CSP	8.6	400	3.2	低压塑壳断路器	

续表

名称	牌 号	主要性能			主要用途
		密度 ≥ /(g/cm ³)	硬 度 ≥ (HB) /(N/mm ²)	电阻率 ≤ /(μΩ·cm)	
银-钨	CAgW30	11.75	750	2.3	中大容量低压断路器
	CAgW40	12.4	850	2.6	
	CAgW50	13.15	1050	3.0	
	CAgW60	14.0	1250	3.4	中大容量低压断路器
	CAgW70	14.9	1500	3.8	中大容量低压断路器、大容量交流接触器
银-碳化钨	CAgWC30	11.0	900	2.9	中、小容量低压断路器
	CAgWC40	11.6	1000	3.4	
	CAgWC45	12.0	1250	4.3	低压断路器
	CAgWC50	12.2	1350	4.5	
	CAgWC12	9.4	600	3.2	
银碳化钨 石墨	CAgWC12C3	9.4	600	3.2	和银镍(30)、银钨、银碳化钨配对用于低压断路器
银碳化钨 石墨镍	CAgWCNiC	10.3	810	2.8	牵引电器和机车用气动接触器等
银氧化铜	CAgCuO10	9.65	690	2.25	40A 以下接触器、继电器、家用电器
银铁	CAgFe7	10.1	710	2.0	
铜钨	CCuW50	11.85	1150	3.2	低压断路器弧触头
	CCuW60	12.75	1400	3.7	
	CCuW70	13.8	1750	4.1	
	CCuW75	14.6	2200	4.8	
	CCuW80	15.15	2200	5.0	
铜-石墨	CCuC5	7.0	408	3.4	低压断路器
	CCuC3 (B)	8.15	620	3.0	
铜碳化钨	CCuWC15	9.15	800	2.8	低压断路器

复合触头材料的主要种类及用途见表 10.6.27。

表 10.6.27 复合触头材料的主要种类及用途

类别	名称	牌 号	工作层材料	主要用途
铆钉型	银/铜	CAg/Cu	CAg	小容量交流接触器、继电器主触头和辅助触头
		CAg-1/Cu	CAg-1	
	细晶银/铜	CAg-2/Cu	CAg-2	交流接触器辅助触头、继电器主触头
	银镍/铜	CAgNi10/Cu	CAgNi10	
	银氧化铜/铜	CAgCdO12/Cu	CAgCdO12	
片 材	银铜/铜	CAgCu/Cu	CAgCu	小容量交流接触器、继电器主触头
	银氧化铜/铜	CAgCdO12/Cu	CAgCdO12	转换开关、中小容量自耦减压起动器主触头

第十一篇 供电与配电

第一章 35kV 变配电所

第一节 电力系统简介

一、电力系统的组成

电力系统是生产、输送、分配、消费电能的一个整体，是由若干个发电机、电厂的升压变压器、输电线路、供配电的降压变压器和电力用户的用电设备组成。图 11.1.1 为电力系统示意图。

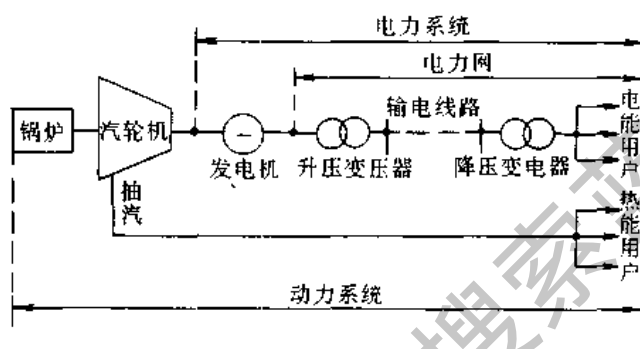


图 11.1.1 电力系统示意图

二、电力网的结构

电力网是将各种电压等级的输电线路和变电所连接而成的网络。电力网如图 11.1.2 所示。

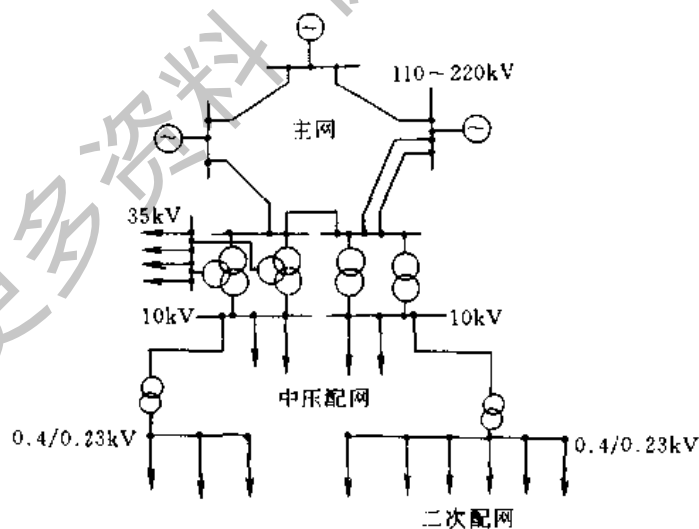


图 11.1.2 电力网结构

按作用电力网可分为：输电网（主网）和配电网。

按电压等级电力网可分为：

- ① 110~500kV 高压和超高压电网；
- ② 35kV 高压配电网；
- ③ 3~10kV 中压配电网；
- ④ 0.4kV 及以下低压二次配电网。

三、电力系统的电压等级

1. 电力系统的额定电压等级

电力系统中的电机、电器和用电设备都规定有额定电压。在额定电压下运行时，技术经济性能最好，也能保证安全可靠运行。用电设备、发电机、变压器的额定电压标准如表 11.1.1。

表 11.1.1 额定电压标准

用电设备额定电压/kV	发电机额定线电压/kV	变压器额定线电压/kV		用电设备额定电压/kV	发电机额定线电压/kV	变压器额定线电压/kV	
		一次线圈	二次线圈			一次线圈	二次线圈
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3	(154)	—	154	169
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6	220	—	220	242
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11.0	330	—	330	363
—	15.75	15.75	—	500	—	500	525
35	—	35	38.5	以下单位为 V			
(60)	—	60	66	220/127	230	220/127	230/133
110	—	110	121	380/220	400	380/220	400/230

注：1. 变压器一次线圈栏内 3.15、6.3、10.5、15.75kV 电压适用于与发电机直接连接的升压变压器。

2. 变压器二次线圈栏内的 3.3、6.6、11kV 适用于阻抗值在 7.5% 以上的降压变压器。

表中，发电机的额定电压较用电设备的额定电压高 5%，变压器一次线圈可以看作是用电设备，二次线圈相当于一个供电电源，比用电设备的额定电压高 5%~10%。

2. 电力网不同电压的选择

选择输电线路不同电压等级是输送功率、输送距离建设费用和设备制造是否经济合理等的综合性问题。在三相传输容量一定的条件下，提高线路额定电压可以减少电流，相应的线路上的功率损耗、电能损耗和电压损耗也减少，也可以采用较小的导线截面，增大传输距离。但电压提高，线路的绝缘要加强，电气设备的投资要增加。表 11.1.2 列出了电力网的额定电压、传输距离和传输功率的大致关系。

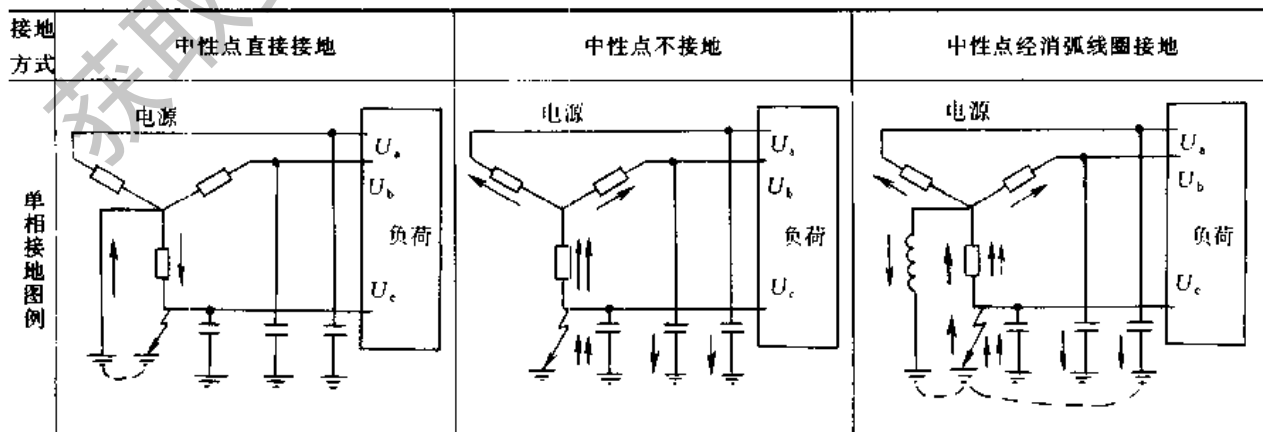
表 11.1.2 不同额定电压及其相应的输送功率、输送距离

额定电压/kV	输送方式	输送功率/kW	输送距离/km	额定电压/kV	输送方式	输送功率/kW	输送距离/km
0.22	架空线	小于 50	0.15	6	电缆	3000	小于 8
0.22	电缆	小于 100	0.2	10	架空线	200~3000	20~5
0.38	架空线	100	0.25	10	电缆	5000	小于 10
0.38	电缆	175	0.35	35	架空线	2000~10000	50~20
3	架空线	100~1000	3~1	110	架空线	10000~50000	150~50
6	架空线	200~1200	16~3	220	架空线	100000~500000	300~100

四、电力系统的中性点

电力系统的中性点，是指发电机、变压器线圈三相星形连接时的中点。其接地方式关系到单相接地后的接地电流大小、非接地相的电压和供电可靠性的问题。表 11.1.3 比较了中性点三种接地方式的特点。

表 11.1.3 电力系统中性点三种接地方式的特点



接地方式	中性点直接接地	中性点不接地	中性点经消弧线圈接地
故障特点	任意一相、二相接地后, 电源、线路与接地电阻构成大电流短路回路, 故应立即切除故障线路	一相和二相接地后, 电源线路对地电容构成小电流回路 单相接地后, 非接地相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍, 允许短时不切除故障线路	在故障点容性电流和感性电流相位相反, 使单相接地合成电流减少, 有利于接地点电弧熄灭, 非接地相电压升高约 $\sqrt{3}$ 倍, 允许短时不切除故障线路
系统名称	大电流系统	小电流系统	小电流系统

当线路对地电容电流超过以下数值时, 中性点应安装消弧线圈:

3~6kV 供电网: 30A; 10kV 供电网: 20A; 35kV~60kV 供电网: 10A

接地电容电流估算经验公式:

6kV 架空线路

$$I_c = 0.015 \text{ (A/km)}$$

6kV 电缆线路

$$I_c = \frac{95 + 2.84S}{2200 + 6S} U_c \text{ (A/km)}$$

10kV 架空线路

$$I_c = 0.025 \text{ (A/km)}$$

10kV 电缆线路

$$I_c = \frac{95 + 1.44S}{2200 + 0.23S} U_c \text{ (A/km)}$$

或近似估算:

架空线路单相接地电流

$$I_c = \frac{U_c}{350} \text{ (A/km)}$$

电缆线路单相接地电流

$$I_c = 0.1 U_c \text{ (A/km)}$$

式中 S ——电缆截面, mm^2 ;

U_c ——额定线电压, kV。

第二节 负荷计算、分类及供电方案

计算负荷的方法目前普遍采用需用系数法和二项式系数法。要计算负荷 P_j , 需先确定设备功率 P_s 。

一、设备功率 P_s 的确定

将用电设备按性质分为用电设备组, 其额定功率或额定容量换算为统一负荷持续率下的有功功率, 即设备功率。

方法如下。

① 连接工作的电动机设备功率等于其额定功率: $P_s = P_e$ 。

② 成组用电设备的设备功率是指不包括备用设备在内的所有单个用电设备功率之和: $P_s = \sum P_e$ 。

③ 断续或短时工作的电动机的设备功率应换算成统一负载持续率下的有功功率。

起重电动机应折算到负载持续率为 25% 下的有功功率:

$$P_s = P_e \sqrt{\epsilon_e / 0.25} = 2P_e \sqrt{\epsilon_e}$$

电焊机应折算到负载持续率为 100% 下的有功功率:

$$P_s = S_e \sqrt{\epsilon_e} \cos \varphi$$

④ 整流装置的设备功率是指额定直流功率。

⑤ 照明设备为灯泡上注明的功率和镇流器功率损耗之和。

⑥ 其他设备功率的计算可参照进行。

上述式中: P_s 为用电设备组的设备功率; P_e 为额定有功功率; S_e 为额定视在功率; ϵ_e 为电动机的额定负载持续率; $\cos \varphi$ 为功率因数。

二、需用系数法

需用系数法计算简便, 适用于计算变配电所负荷, 但不适用于计算低压配电线路等用电设备台数少、容量差别大的分支干线的负荷。

1. 用电设备组计算负荷

$$P_j = K_x P_e \text{ (kW)}$$

$$Q_j = P_j \operatorname{tg} \varphi \text{ (kvar)}$$

$$S_j = \sqrt{P_j^2 + Q_j^2} \text{ (kVA)}$$

2. 配电干线或车间变电所计算负荷

$$P_j = K_{\Sigma P} \Sigma (K_x P_e) \text{ (kW)}$$

$$Q_j = K_{\Sigma Q} \Sigma (K_x P_e \operatorname{tg} \varphi) \text{ (kvar)}$$

$$S_j = \sqrt{P_j^2 + Q_j^2} \text{ (kVA)}$$

以上式中： K_x 为需要系数（见表 11.1.4、表 11.1.6）； $K_{\Sigma P}$ 、 $K_{\Sigma Q}$ 为有功、无功同时系数，分别取 0.8~0.9 及 0.93~0.97； $\operatorname{tg} \varphi$ 为用电设备的功率因数角的正切值（见表 11.1.4、表 11.1.5）。

表 11.1.4 部分用电设备的 K_x 、 $\cos \varphi$ 及 $\operatorname{tg} \varphi$ 值

用电设备组名称		K_x	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
单独传动的金属加工机床	金属冷加工机床	0.14~0.2	0.5	1.73
	金属热加工机床	0.2~0.25	0.55~0.6	1.52~1.33
锻锤、压床、剪床及其他锻工机械		0.25	0.6	1.33
连续运输机	联锁的	0.65	0.75	0.88
	非联锁的	0.6	0.75	0.88
轧钢车间反复短时工作机械	生产用通风机	0.75~0.85	0.8~0.85	0.75~0.62
	卫生用通风机	0.65~0.7	0.8	0.75
	泵、活塞压缩机、鼓风机、电动发电机组	0.75~0.85	0.8	0.75
	透平压缩机和透平鼓风机	0.85	0.85	0.62
锅炉旁、金工、装配车间		0.05~0.15	0.5	1.73
木工机械		0.2~0.3	0.5~0.6	1.73~1.33
一般工业用硅整流装置		0.5	0.7	1.02
电解用硅整流装置		0.7	0.8	0.75
红外线干燥设备		0.85~0.9	1	0
金属、机修、装配车间、锅炉房用的起重机($\epsilon=25\%$)		0.1~0.15	0.5	1.73
陶瓷隧道窑		0.8~0.9	0.95	0.33

表 11.1.5 照明用电设备的 $\cos \varphi$ 及 $\operatorname{tg} \varphi$ 值

光源类别	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	光源类别	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
白炽灯、卤钨灯	1	0	高压钠灯	0.45	1.98
荧光灯(无补偿)	0.55	1.52	金属卤化物灯	0.4~0.61	2.29~1.29
荧光灯(有补偿)	0.9	0.48	钠灯	0.52	1.6
高压水银灯	0.45~0.65	1.98~1.16	氙灯	0.9	0.18

表 11.1.6 照明用电设备的需要系数

建筑类别	K_x	建筑类别	K_x	建筑类别	K_x	建筑类别	K_x
生产厂房(有天然采光)	0.8~0.9	科研楼	0.8~0.9	医院	0.5	展览馆	0.7~0.8
生产厂房(无天然采光)	0.9~1	仓库	0.5~0.7	食堂	0.9~0.95	旅馆	0.6~0.7
办公楼	0.7~0.8	锅炉房	0.9	商店	0.9		
设计室	0.9~0.95	宿舍区	0.6~0.8	学校	0.6~0.7		

3. 配电所或总降压变电所计算负荷

为各车间变电所计算负荷之和再乘以同时系数 $K_{\Sigma P}$ 和 $K_{\Sigma Q}$ ，对配电所分别取 0.85~1 和 0.95~1，对总降压变电所则分别取 0.8~0.9 和 0.93~0.97。

三、二项式系数法

二项式系数法是考虑用电设备的数量少和大容量设备对负荷影响的经验公式，适用于计算低压配电支干线

和配电箱的负荷。

1. 单个用电设备组的计算负荷

$$\text{有功功率} \quad P_j = cP_n + bP_s \quad (\text{kW})$$

$$\text{无功功率} \quad Q_j = P_j \tan \varphi \quad (\text{kvar})$$

式中 P_s ——用电设备组设备功率之和；

P_n ——用电设备组中 n 台容量最大用电设备有功功率之和；

b 和 c ——二项式系数（见表 11.1.7）。

2. 多个电设备组的计算负荷

$$\text{有功功率} \quad P_j = (cP_n)_{\max} + \sum (bP_s) \quad (\text{kW})$$

$$\text{无功功率} \quad Q_j = (cP_n)_{\max} \tan \varphi_n + \sum (bP_s \tan \varphi) \quad (\text{kvar})$$

式中 (cP_n) ——各组有功功率中最大的一个；

$\sum (bP_s)$ ——所有各组有功功率之和。

3. 四台以下设备的用电设备组计算负荷

$$\text{有功功率} \quad P_j = K_j P_s \quad (\text{kW})$$

$$\text{无功功率} \quad Q_j = P_j \tan \varphi \quad (\text{kvar})$$

式中 K_j ——计算系数（见表 11.1.8）。

4. 计算负荷的视在功率及计算电流

$$S_j = \sqrt{P_j^2 + Q_j^2} \quad (\text{kVA})$$

$$I_j = S_j / \sqrt{3} U_c \quad (\text{A})$$

表 11.1.7 二项式系数、功率因数及功率因数角的正切值

负荷种类	用电设备组名称	二项式系数及公式	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
金属切削机床	小批及单件金属冷加工	$0.4P_3 + 0.12P_s$	0.5	1.73
	大批及流水生产的金属冷加工	$0.5P_3 + 0.12P_s$	0.5	1.73
	大批及流水生产的金属热加工	$0.5P_3 + 0.26P_s$	0.65	1.16
长期运转机械	通风机、泵、发电机	$0.25P_3 + 0.65P_s$	0.8	0.75
反复短时负荷	锅炉、装配、机修起重机、电动吊车	$0.2P_3 + 0.06P_s$	0.5	1.73
电热设备	实验室小型干燥箱、加热器	$0.7P_s$	1	0
	自动装料的电阻炉	$0.3P_2 + 0.7P_s$		
	定期装料的电阻炉	$0.5P_1 + 0.5P_s$		
电镀用	硅整流装置	$0.35P_3 + 0.5P_s$	0.75	0.88

表 11.1.8 4 台以下设备的用电设备组计算系数

用电设备名称	$\cos \varphi$	K_j			用电设备名称	$\cos \varphi$	K_j		
		2 台	3 台	4 台			2 台	3 台	4 台
金属冷加工机床	0.5	0.68	0.63	0.59	连续运输机械	0.75	1.01	0.94	0.87
金属热加工及木工机械	0.65	0.89	0.84	0.8	通风机、泵、电动发电机	0.8	1.09	1.02	0.96
起重机及电动葫芦	0.5	0.52	0.32		干燥箱、加热器	1	1	1	0.85

四、单相负荷的计算

1. 单相负荷换算为等效三相负荷的方法

对于既有线间负荷又有相负荷的情况，先将线间负荷换算为相负荷。

$$\text{a 相} \quad P_a = P_{ab} P_{(ab)a} + P_{ca} P_{(ca)a}$$

$$Q_a = P_{ab} q_{(ab)a} + P_{ca} q_{(ca)a}$$

$$\text{b 相} \quad P_b = P_{ab} P_{(ab)b} + P_{bc} P_{(bc)b}$$

$$Q_b = P_{ab} q_{(ab)b} + P_{bc} q_{(bc)b}$$

$$\text{c 相} \quad P_c = P_{bc} P_{(bc)c} + P_{ca} P_{(ca)c}$$

$$Q_c = P_{bc} q_{(bc)c} + P_{ca} q_{(ca)c}$$

式中 P_{ab} 、 P_{bc} 、 P_{ca} ——接于 ab、bc、ca 线间负荷，一般为需要功率或平均功率，kW；

P_a 、 P_b 、 P_c ——换算为 a、b、c 相有功功率，kW；

$P_{(ab)a}$ 、 $q_{(ab)a}$ 等——换算系数，见表 11.1.9。

2. 等效三相负荷

上述计算值与单相负荷相加，选出最大相负荷，取其 3 倍作为等效三相负荷。

表 11.1.9 线间负荷换算为相负荷的换算系数表

换算系数	负荷功率因数									
	0.35	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.8	0.9	1.0	
$P_{(ab)a}$ 、 $P_{(bc)b}$ 、 $P_{(ca)c}$	1.27	1.17	1.0	0.89	0.84	0.8	0.72	0.64	0.5	
$P_{(ab)b}$ 、 $P_{(bc)c}$ 、 $P_{(ca)a}$	-0.27	-0.17	1.0	0.11	0.16	0.2	0.28	0.36	0.5	
$q_{(ab)a}$ 、 $q_{(bc)b}$ 、 $q_{(ca)c}$	1.05	0.86	0.58	0.38	0.3	0.22	0.09	-0.05	-0.29	
$q_{(ab)b}$ 、 $q_{(bc)c}$ 、 $q_{(ca)a}$	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.8	0.67	0.53	0.29	

五、确定变压器容量、台数原则

1. 变压器台数的选择

台数主要根据负荷大小，对供电可靠性和电能质量的要求，并兼顾节能和降低造价，运行合理。

工厂变电所一般装设两台变压器。若对一、二类负荷仅装设一台变压器时，则必须另外有一条备用联络线作备用电源。

2. 变压器容量的选择

① 对平稳负荷供电的单台变压器负荷率一般取 85% 左右，并在高峰时适当过载运行。

② 应考虑低压电器的工作条件，单台变压器容量一般不宜大于 1000kVA。

③ 两台或两台以上变压器的变电所，当其中一台因故障停用后，其余变压器应能保证一级负荷及大部分二级负荷的用电。

④ 假设工厂总降压变装设二台同容量变压器时，采用以下运行方式：

a. 明备用：正常运行时，一台工作，另一台备用，则每台变压器与单台变压器的选择相同：

$$S_e = (115 \sim 125)\% S_j$$

b. 暗备用：两台变压器同时投入运行： $S_e = \frac{70\%}{K_Q} S_j$

式中 K_Q ——当地全年环境温度修正系数，取 0.96（广州）~1.05（哈尔滨）之间；

S_j ——计算负荷的视在功率。

六、负荷的分类

1. 根据用户在国民经济中所在部门分

① 工业用电负荷

② 农业用电负荷

③ 交通运输用电负荷

④ 照明及市政生活用电负荷

2. 根据突然中断供电所引起的损失程度分

(1) 一类负荷 是指突然中断供电将会造成人身伤亡或会引起对周围环境严重污染的；突然中断供电将会造成经济上的巨大损失，如重要的大型设备损坏，重要产品或用重要原料生产的产品大量报废，连续生产过程被打乱且长时间才能恢复生产的；突然中断供电将会造成社会秩序严重混乱或产生政治上严重影响的，如重要的交通与通讯枢纽、国际社交场所等的用电负荷。

(2) 二类负荷 是指突然中断供电会造成较大经济损失，如生产的主要设备损坏，产品大量报废或减产，连续生产过程需较长时间才能恢复；突然中断供电将会造成社会秩序混乱或在政治上产生较大影响，如交通与通讯枢纽、城市主要水源、广播电视、商贸中心的用电负荷。

(3) 三类负荷 是指不属于上述一类和二类负荷的其他负荷。对这类负荷，突然中断供电所造成的损失不大或不会造成直接损失。

3. 根据国民经济各时期的政策和季节的要求分

① 优先保证的重点负荷

② 一般性供电的非重点负荷

③ 可以暂时限制或暂时停止供电的负荷

七、供电方案

建成投入运行的供电工程的供电可靠性应能满足生产或安全、社会安定的需要。

根据突然中断供电可能对电力用户造成损失的程 度，对一类负荷的用电应按两个及两个以上的独立电源供电，并辅之以其他必要的非电的保安措施。二类负荷的用电应按两个独立电源供电，分别作为主供电源和备供电源。三类负荷的用电可以仅设一个电源供电。

第三节 无限大电源系统短路电流计算

对电力系统危害最大的是短路故障。短路故障分三相短路、二相短路和单相短路。为防止短路故障带来的危害，必须设法降低短路电流或缩短短路故障持续时间。后者是依靠选用和整定好继电保护装置，使故障电流造成危害前即被自动切断，但是从短路故障电流产生到继电保护自动切断这一过程时间内，电力设备应能承受短路电流的冲击。

一、高压短路电流计算的特点

1. 近似计算

准确计算短路电流是相当复杂的，同时必要性也不大，因为解决大部分实际问题并不要求非常准确的计算结果。实用中多采用近似的计算方法：①认为短路元件的电抗为一常量；②略去变压器励磁电流和元件分布电抗；③短路回路总电阻 R_{Σ} 小于总电抗 X_{Σ} 的三分之一时，认为 $Z_{\Sigma} = X_{\Sigma}$ 。

2. 认为电网为无限大功率系统

工厂用电负荷容量远小于电网容量或距电源很远，工厂侧发生短路时，对电源端电压影响可以忽略不计。因此工厂皆可按“无限大电源系统”进行短路电源计算，使计算内容简化。

3. 考虑电网运行状态的影响

当电网运行状态改变时，短路电流也发生显著变化，选择设备时，需要知道通过该设备最大可能的三相短路电流。因此要按最大运行方式计算短路电流。当校验继电保护装置的灵敏度时，又要知道最小短路电流时灵敏度系数是否合格，所以要算出最小运行方式下的最小短路电流。为此，需要供电部门提供电网连接点的两种运行方式下的系统短路参数作为计算依据。

二、短路电流计算

1. 短路电流周期分量的有效值 $I_d^{(3)}$

(1) 最大运行方式的 $I_d^{(3)}$

$$I_d^{(3)} = \frac{I_1}{Z_{*\Sigma}} = \frac{S_1/\sqrt{3}U_1}{Z_{*\Sigma}} \quad (\text{kA})$$

如电阻可略而不计，则：

$$i_d^{(3)} = \frac{I_1}{X_{*\Sigma}} = \frac{S_1/\sqrt{3}U_1}{X_{*\Sigma}} \quad (\text{kA})$$

(2) 最小运行方式时的 $I_d'^{(3)}$

$$I_d'^{(3)} = \frac{I_1}{Z'_{*\Sigma}} = \frac{S_1/\sqrt{3}U_1}{Z'_{*\Sigma}} \quad (\text{kA})$$

如电阻可略而不计，则：

$$I_d'^{(3)} = \frac{I_1}{X'_{*\Sigma}} = \frac{S_1/\sqrt{3}U_1}{X'_{*\Sigma}} \quad (\text{kA})$$

2. 冲击短路电流 $i_{\text{ch}}^{(3)}$ 及短路全电流最大有效值 I_{ch}

$$i_{\text{ch}}^{(3)} = \sqrt{2}i_d^{(3)}K_{\text{ch}}; \quad I_{\text{ch}} = I_d^{(3)}\sqrt{1+2(K_{\text{ch}}-1)^2}$$

式中 K_{ch} 为冲击系数，可由图 11.1.4 查出。

3. 短路电流之稳态值 $I_{\infty}^{(3)}$

$$I_{\infty}^{(3)} = I_d^{(3)} \quad (\text{kA})$$

4. 短路点短路容量 S_d

$$S_d = \sqrt{3}U_j I_d^{(3)} \quad (\text{MVA})$$

5. 两相短路电流的近似计算

用对称分量法分析不对称短路系统是最简便方法。对无限大电源供电系统可用下式作近似计算：

$$I_d^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_d^{(3)} \quad (\text{kA})$$

6. 高压电动机对短路电流冲击值的影响

高压系统在靠近短路点（一般不超过 5m）接有 1000kW（或总容量大于 1000kW）以上高压交流电动机时，计算短路电流冲击值，应将它们的影响作为附加电源来考虑。

7. 系统参数不明时的短路电流估算

如供电部门不能明确提供国家电网在接线处的短路容量时，可假设向工厂供电断路器的额定断流容量等于该点在最大运行方式时的短路容量，据此可求出电源侧的阻抗标么值以及最大工作方式的短路电流。此短路电流数值显然偏大于实际值，但可作选择高压设备时参考。

断路器的额定断流容量可参照手册中查出。一般 10kV 少油断路器额定断流容量在 200 ~ 500MVA 之间；35kV 少油断路器额定断流容量在 400 ~ 1500MVA 之间；60kV 少油断路器在 2500MVA 左右。

第四节 变配电所一般要求

一、所址选择

变、配电所所址的选择，应根据下列要求综合考虑确定：

- ① 接近负荷中心；
- ② 靠近供电电源；
- ③ 与企业本身的规划相协调，便于架空或电缆线路的引入和引出；
- ④ 交通运输方便；
- ⑤ 避开有剧烈振动的场所；
- ⑥ 避开空气污秽、多尘的场所，如空气污秽或无法远离时，则应选在上风侧或受污染源影响最小处；
- ⑦ 具有适宜的地质、地形和地貌条件；
- ⑧ 避开易燃、易爆厂房、车房、民房，其最小水平距离应符合防火、防爆、环保的有关规定；
- ⑨ 所址标高宜高于 50 年一遇高水位之上，否则所区应有可靠的防洪措施或与地区（工业企业）的防洪标准相一致，但仍应高于内涝水位；
- ⑩ 所址不应设在厕所、浴室、泵房、水池或其他经常积水场所的正下方；
- ⑪ 如确须建在建筑物的地下层时，应尽量远离水池、泵房等设施，并采取有效措施，避免邻近设施的影响；
- ⑫ 有扩建的余地；
- ⑬ 节约用地。

二、变、配电所的类型

变、配电所一般为独立建筑物，通常有以下几种类型。

1. 室外变电所

这种变电所采用露天结构，变压器及主要电气设备装于室外。一般已很少采用。

2. 室内变电所

在人口比较密集的地区和环境不太好的地区宜采用室内型变电所，这种变电所的高压设备和变压器均装于室内，既有利于美化市容，又能减少对城市环境的污染。

室内变电所的结构特点：

- ① 占地面积小，但建设费用较高；
- ② 受外界环境污染少，提高了运行可靠性，并减少了维修工作量，运行费用较少。

3. 地下变电所

近年来一些高层建筑中常将变配电所布置在地下层内，但地下层往往还布置水泵房、水池、空调机组、停车场等，相互影响在所难免；一般在 35kV 及以下电压等级才采用。

地下变电所的结构特点：

- ① 适合于人口比较密集的地区；

- ② 节省占地, 但土建工程量大, 设备造价高;
- ③ 保密性好, 但使用电缆较多。

三、平面布置

- ① 变电所的总平面布置应紧凑合理。
- ② 变电所宜设置不低于 2.2m 高的实体围墙。城网变电所、工业企业变电所围墙的高度及形式, 应与周围环境相协调。
- ③ 变电所内为满足消防要求的主要道路宽度应为 3.5m。主要设备运输道路的宽度可根据运输要求确定, 并应具备回车条件。
- ④ 变电所的场地设计坡度, 应根据设备布置、土质条件、排水方式和道路纵坡确定, 宜为 0.5% ~ 2%, 最小不应小于 0.3%, 局部最大坡度不宜大于 6%, 平行于母线方向的坡度, 应满足电气及结构布置的要求。当利用路边明沟排水时, 道路及明沟的纵向坡度最小不宜小于 0.5%, 局部困难地段不应小于 0.3%; 最大不宜大于 3%, 局部困难地段不应大于 6%。
- 电缆沟及其他类似沟道的沟底纵坡不宜小于 0.5%。
- ⑤ 变电所内的建筑物标高、基础埋深、路基和管线埋深, 应相互配合。
- ⑥ 各种地下管线之间和地下管线与建筑物、构筑物、道路之间的最小净距, 应满足安全、检修安装及工艺的要求, 并应符合表 11.1.10 和表 11.1.11 的规定。

表 11.1.10 地下管线之间的最小水平净距/m

管线名称	压力水管	自流水管	热力管和管沟	压缩空气管	通信电缆	电力电缆 (直埋 35kV 及以下)	事故排油管
压力水管	1.0	1.5~3.0	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0
自流水管	1.5~3.0	—	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
热力管和管沟	1.5	1.5	—	1.5	2.0	2.0	1.0
压缩空气管	1.0	1.5	1.5	—	1.0	1.0	1.0
通信电缆	1.0	1.0	2.0	1.0	—	0.5	1.0
电力电缆 (直埋 35kV 及以下)	1.0	1.0	2.0	1.0	0.5	—	1.0
事故排油管	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	—

- 注: 1. 表列净距应自管或防护设施的外缘算起。
 2. 当热力管与直埋电缆间不能保持 2m 净距时, 应采取隔热措施。
 3. 同沟敷设的管线间距, 不应受本表规定限制。
 4. 压力水管与自流水管之间净距取决于压力水管的管径, 管径大于 200mm 应取 3m, 管径小于 200mm 应取 1.5m。
 5. 电缆之间的净距还应满足工艺布置的要求。
 6. 如有充分依据, 本表数字可酌量减小。

表 11.1.11 地下管线相互交叉或与道路交叉的最小垂直净距/m

管线名称	压力水管	自流水管	热力管	压缩空气管	通信电缆 (直埋)	通信电缆 (穿管)	电力电缆 (直埋 35kV 及以下)	事故排油管	明沟 (沟底)	道路 (路面)
压力水管	0.15	0.15	0.15	0.15	0.5	0.15	0.5	0.25	0.5	0.8
自流水管	0.15	0.15	0.15	0.15	0.5	0.15	0.5	0.15	0.5	0.8
热力管	0.15	0.15	0.1	0.15	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.7
压缩空气管	0.15	0.15	0.15	0.1	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	0.7
通信电缆 (直埋)	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	0.5	0.5	1.0
通信电缆 (穿管)	0.15	0.15	0.25	0.25	—	—	—	0.25	0.5	1.0
电力电缆 (直埋 35kV 及以下)	0.5	0.5	0.5	0.5	—	—	—	0.5	0.5	1.0
事故排油管	0.25	0.15	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5	0.25	0.5	1.0

- 注: 1. 表列净距应自管或防护设施的外缘算起。
 2. 生活给水管与排水管交叉时, 生活给水管应敷设在上面。
 3. 管沟与管线间的最小垂直净距按本表规定采用, 但穿越道路时的最小垂直净距不限。
 4. 电缆之间的净距应按工艺布置要求确定。
 5. 如有充分依据, 本表数字可酌量减小。

- ⑦ 控制室应位于运行方便、电缆较短、朝向良好和便于观察屋外主要设备的地方。
- ⑧ 控制屏(台)的排列布置,宜与配电装置的间隔排列次序相对应。
- ⑨ 控制室的建筑应按变电所的规划容量在第一期工程中一次建成。
- ⑩ 变电所所区场地宜进行绿化。绿化规划应与周围环境相适应,并严防绿化物影响电气的安全运行。绿化宜分期、分批进行。

⑪ 变电所排出的污水必须符合现行国家标准《工业企业设计卫生标准》的有关规定。

四、防火

① 变电所内建筑物、构筑物的耐火等级,不应低于表 11.1.12 的要求。

表 11.1.12 变电所建筑物、构筑物的最低耐火等级

建、构筑物名称		火灾危险性类别	最低耐火等级
主控制室、继电器室(包括蓄电池室)		戊	二级
配电装置室	每台设备油量 60kg 以上	丙	二级
	每台设备油量 60kg 及以下	丁	
油浸变压器室		丙	一级
有可燃介质的电容器室		丙	二级
材料库、工具间(仅储藏非燃烧器材)		戊	三级
电缆沟及电缆隧道	用阻燃电缆	戊	二级
	用一般电缆	丙	

注:主控制室、继电器室的戊类应具备防止电缆着火延燃的安全措施。

② 油量均为 2500kg 以上的屋外油浸变压器之间无防火墙时,其最小防火净距应符合表 11.1.24 的规定。

③ 主变压器的油释放装置或防爆管,其出口宜引至储油坑的排油口处。

当电压等级为 3~35kV 时,屋内断路器,油浸电流互感器和电压互感器宜设在两侧有隔墙(板)的间隔内。

总油量超过 100kg 的屋内油浸电力变压器,宜设在单独的防爆间内,并应设置消防设施。

④ 屋内单台电气设备总油量在 100kg 以上应设置储油设施或挡油设施。挡油设施宜按 20% 油量设计,并应有将事故油排至安全处的设施,当事故油无法排至安全处时,应设置能容纳 100% 油量的储油设施。

排油管内径的选择应能尽快将油排出,但不小于 100mm。

⑤ 充油电气设备间的总油量在 100kg 及以上且门外为公共走道或其他建筑物的房间时,应采用非燃烧或难燃烧的实体门。

⑥ 变电所与所外的建筑物、堆场、储罐之间的防火净距,应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》的规定。变电所内部的设备之间、建筑物之间及设备与建筑物、构筑物之间的最小防火净距,应符合 11.1.13 表的规定。

表 11.1.13 建筑物、构筑物及设备的最小防火净距/m

建、构筑物及设备名称			丙、丁、戊类 生产建筑		变压器(油浸)	屋外可燃 介质电 容器	总事故 油池	所内生活建筑	
			耐火等级		电压等级			耐火等级	
			一、二级	三级	35kV			一、二级	三级
丙、丁、戊 类生产建筑	耐火 等级	一、二级	10	12	—	10	5	10	12
		三级	12	14				12	14
变压器(油 浸)	电压 等级	35kV	10	10	5	10	5	—	—
屋外可燃介质电容器			10	10	10	10	10	—	5
总事故油池			12	5	5	5	5	5	—
所内生活建 筑	耐火 等级	一、二级	10	12	—	15	10	6	7
		三级	12	14	—	20	12	7	8

注:1. 如相邻两建筑物的面对面外墙其较高一边为防火墙时,其防火净距可不限,但两座建筑物侧面门窗之间的最小净距应不小于 5m。

2. 耐火等级一、二级建筑物,其面对变压、可燃介质电容器等电气设备的外墙的材料及厚度符合防火墙的要求,且该墙在设备总高加 3m 及两侧各 3m 的范围内不设门窗不开孔洞时,则该墙与设备之间的防火净距可不受限制;如在上述范围内虽不开一般门窗但设有防火门时,则该墙与设备之间的防火净距应等于或大于 5m。

3. 所内生活建筑与油浸变压器之间的最小防火净距,应根据最大单台设备的油量及建筑物的耐火等级确定,当油量为 5~10t 时为 15m(对一、二级)或 20m(对三级);当油量大于 10t 时为 20m(对一、二级)或 25m(以三级)。

⑦ 变电所应根据容量大小及其重要性,对主变压器等各种带油电气设备及建筑物配备适当数量的手提及推车式化学灭火器。对主控制室等设有精密仪器、仪表设备的房间,应在房间内或附近走廊内配置灭火后不会引起污损的灭火器。

⑧ 屋外油浸变压器之间,当防火净距小于表 11.1.24 的规定值时,应设置防火隔墙,墙应高出油枕顶,墙长应大于储油坑两侧各 0.5m。屋外油浸变压器与油量在 600kg 以上的本回路充油电气设备之间的防火净距不应小于 5m。

⑨ 主变压器等充油电气设备,当单个油箱的油量在 1000kg 及以上时,应同时设置储油坑(或档油墙)及总事故油池,其容量分别不小于单台设备油量的 20% 及最大单台设备油量的 60%。储油坑(或档油墙)的长宽尺寸宜较设备外廓尺寸每边大 1m,储油坑的四周应高出地面 100mm。储油坑内应铺设厚度不小于 250mm 的卵石层,其卵石直径宜为 50~80mm。总事故油池应有油水分离的功能,其出口应引至安全处所。

⑩ 在防火要求较高的场所,有条件时宜选用不燃或难燃的变压器。

在高层民用主体建筑中,设置在首层或地下层的变压器不宜选用油浸变压器;设置在其他层的变压器严禁选用油浸变压器。

布置在高层民用主体建筑中的配电装置,亦不宜采用具有可燃性的断路器。

⑪ 3~35kV 母双线布置的屋内配电装置,母线与母线隔离开关之间宜装设耐火隔板。

⑫ 当火灾危险类别为丙、丁、戊类的生产建筑物外墙距屋外油浸变压器外壳 5m 内时,在变压器高度以上 3m 的水平线以下及外廊两侧各加 3m 的外墙范围内,不应有门、窗或通风孔。当建筑物外墙距变压器外廓为超过 5m 但在 10m 以内时,可在外墙上设防火门,并可在变压器高度以上设非燃烧性的固定窗。

3~10kV 变压器,其油量在 1000kg 以下时,其外廓两侧可减为各加 1.5m。

⑬ 电缆从室外进入室内的入口处、电缆竖井的出入口处及主控制室与电缆层之间,应采取防止电缆火灾蔓延的阻燃及分隔措施。

⑭ 设在城市市区的无人值班电所,宜设置火灾检测装置并遥控有关单位。对位于特别重要场所无人值班变电所,可以装设自动灭火装置。

五、远动和通信

① 远动装置应根据审定的调度自动化规划设计的要求设置或预留位置。

② 遥信、遥测、遥控装置的信息内容,应根据安全监控、经济调度和保证电能质量以及节约投资的要求确定。

③ 无人值班的变电所,宜装设遥信、遥测装置。需要时可装设遥控设置。

④ 工业企业的变电所,宜装设与该企业中央控制室联系的有关信号。对与当地供电部门订有调度协议的还应按协议规定装设遥信、遥测、遥控装置。

⑤ 远动通道宜采用载波或有线音频通道。

⑥ 变电所应装设调度通信。

工业企业变电所尚应装设与该企业内部的通信;对 10kV 重要变电所和 35kV 变电所宜装设当地邮电外线专用电话;对与当地供电部门订有调度协议的用户变电所还应按协议规定装设直通专用电话或其他通讯装置。

⑦ 远动和通信设备应有可靠事故备用电源,其容量应满足电源中断 1h 的使用要求。

六、所用电源

① 当变电所有两回进线,在无蓄电池组的变电所中采用交流操作时应分别装设一台所用变压器,当能从变电所外引入一个可靠的 380V 备用电源时,也可只装设一台所用变压器。

② 当 10kV、35kV 变电所只有一回电源进线且需要合闸操作电源时,应在电源进线处装设一台所用变压器。

③ 两交流电源同时供电时,交流 380V 母线应分段并应装设备用电源自动投入装置,一段常用,一段备用。

④ 当条件允许时,宜将所用变压器装设在与配电装置同一系列开关柜内。10kV 及以下变、配电所的所有电源,一般可引自本所变电器。

⑤ 变电所应将交流屏安装在控制室内,作为所用交流电源的受电、配电和控制之用。所用交流电源应设声、光电源监视。硅整流、照明、配电装置各辅助、检修等用电应由分别回路供电。

七、采暖通风

① 变电所的采暖通风及空调设计应符合现行国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》的有关规定。在严寒地区,凡所内有人值班、办公及生活的房间以及工艺、设备需要的房间均可设置采暖设施。在寒冷地区,

凡工艺或设备需要,不采暖难以满足生产要求的房间均可设置采暖设施。不属于严寒或寒冷的地区,在主控制室等经常有人值班的房间可根据实际气温情况,采用局部采暖设施。采暖的方式可根据变电所的规模,结合当地经验作技术经济比较后确定,但必需符合工艺及防火要求。

② 主控制室及通信室的夏季室温不宜超过 35℃;继电器室、电力电容器室、蓄电池室及屋内配电装置室的夏季室温不宜超过 40℃;油浸变压器室的夏季室温不宜超过 45℃;电抗器室的夏季温不宜超过 55℃。

③ 屋内配电装置室及采用全封闭防酸防爆式蓄电池的蓄电池室和调酸室,每小时通风换气次数均不应低于 6 次。蓄电池室的风机应采用防爆式。

④ 在空气湿度较大的地区或由于防污(雾)闪的要求,应在高压配电装置室、控制室、继电器小室、通讯室等处装设除湿机或冷暖型空调机,保证空气的温度和湿度在一定的范围内以满足设施安全运行的需要。

第五节 电气主接线

变配电所电气主接线是指由变、配电所的一次设备,即与供电电网直接连接的高压主要电气设备组成的主电路接线关系。

一、对变、配电所主接线的基本要求

① 变、配电所主接线应根据变、配电所的实际情况和用电的需要,尽量做到简单,供电方式可靠,主设备齐全。

② 设备选择合理,运行安全经济、灵活,并适当考虑未来的发展。

③ 便于维护检修,操作步骤简单、方便。

④ 处理故障时,能保证安全,便于执行规定的安全措施,年运行损失小。

二、35kV 及以下变、配电所常用主接线类型

1. 单电源、单台变压器,称线路变压器组接线(见图 11.1.3)

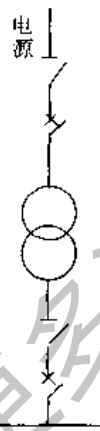


图 11.1.3 线路变压器组接线

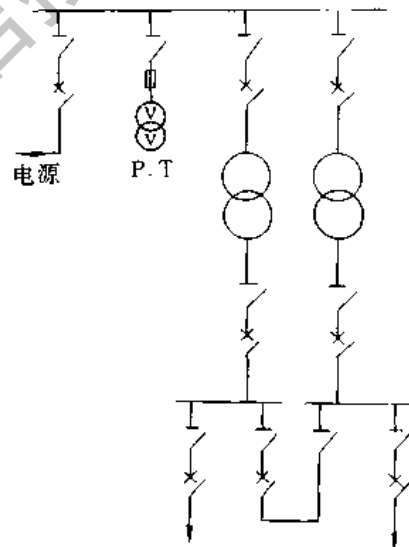


图 11.1.4 单电源供电单母线接线

这种主接线系统的主要特点是:

- ① 接线简单,使用的设备节省;
- ② 投资省,维护简单,操作方便;
- ③ 检修需要全部停电。

这种接线适应于中小容量的变电所。

2. 单电源供电,单母线接线

这种接线方式适用于一般用户多路出线供电(如图 11.1.4),其特点是:接线简单;操作方便;投资省。

图 11.1.4 中两台变压器的次级母线则呈单母线分段。

3. 双电源供电单母线式主接线

这种接线方式分为单母线不分段（图 11.1.5 (a)）、单母线用隔离开关分段（图 11.1.5 (b)）和单母线用断路器分段（图 11.1.5 (c)）。其特点是接线简单，操作方便，投资省。但也有缺点，如单母线不分段方式一般只允许两路两源呈一主一备情况采用，此时如母线故障或需进行检修、试验等，对外需全部停电，因此一般不采用此方式，而采用单母线用断路器分段接线方式。

如需两路两源同时供电，一般也采用单母线用断路器分段接线。

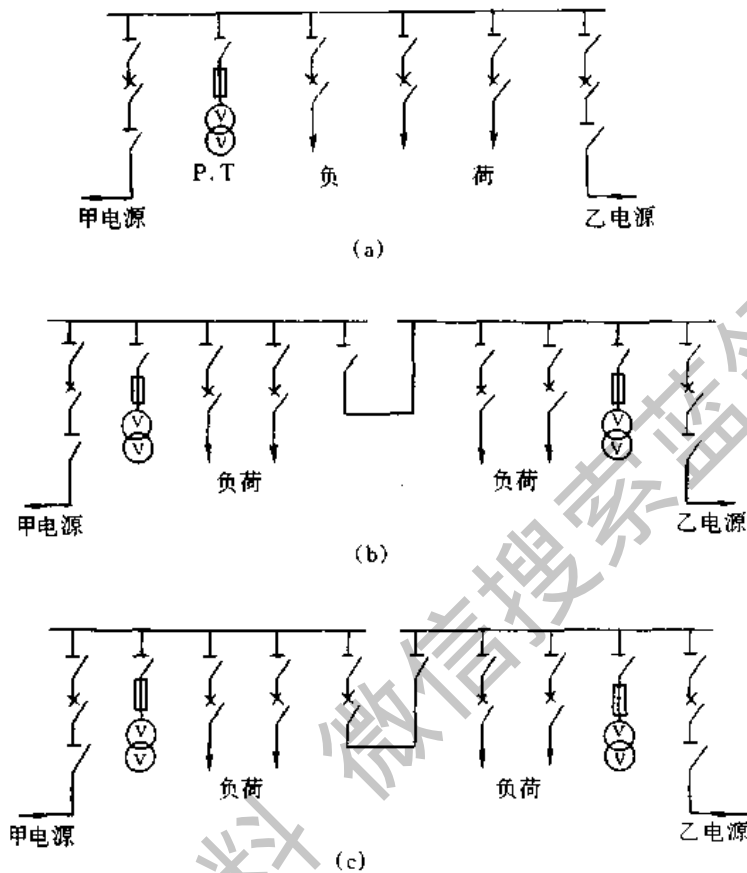


图 11.1.5 双电源供电单母线式主接线

4. 双母线接线

这种接线适用于电力系统中的枢纽变电所和一类负荷的用户。

双母线接线可分为二种，图 11.1.6 为双母线不分段式主接线，图 11.1.7 为双母线分段式主接线。

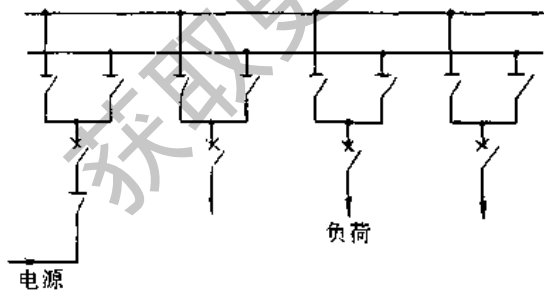


图 11.1.6 双母线不分段式主接线

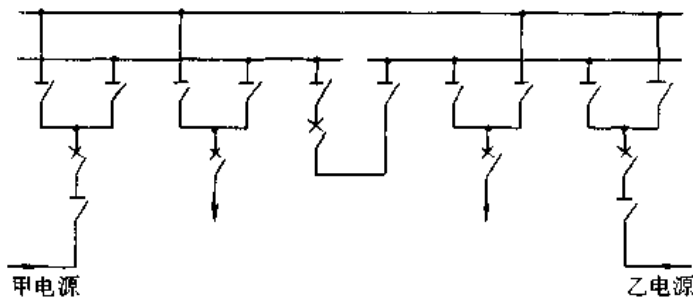


图 11.1.7 双母线分段式主接线

双母线接线的主要特点是：

- ① 供电容量大；
- ② 可用于供电线路多的变、配电所；

- ③ 供电可靠性高;
- ④ 运行灵活性大;
- ⑤ 投资高;
- ⑥ 占地面积和建设面积大;
- ⑦ 操作步骤复杂。

因此上述双母线接线多用于受电电压 110kV 及以上的变电所, 或用于主变压器的次级母线系统中。

5. 桥式接线

这种接线用于电力系统中, 电压为 35kV 及以上双电源同时投运供电的变电所, 分为内桥接线 (如图 11.1.8 (a)) 和外桥接线 (如图 11.1.8 (b))。

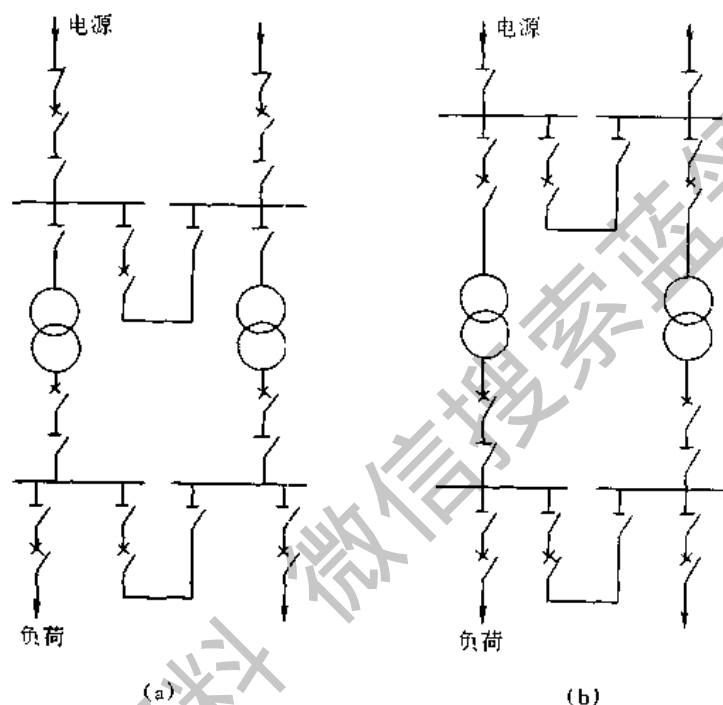


图 11.1.8 桥式接线

(1) 内桥接线的主要特点

- ① 设备简单, 投资省。
- ② 运行灵活。
- ③ 检修时操作复杂。
- ④ 继电保护复杂。

(2) 外桥接线的主要特点

- ① 检修时操作方便。
- ② 当主变压器断路器外侧发生短路故障时, 会影响电力系统供电的可靠性。

6. 35~10kV 供电用户常用主接线

(1) 单电源供电 一般性用户常采用单电源供电, 线路变压器组接线或单母线接线。

- ① 用电容量在 10kV、160~630kVA 或 35kV、3150kVA 及以下且不大会有扩容可能时, 可用单台变压器供电。

运行)。

(2) 双电源供电 如属重要用户双路电源供电时,宜采用单母线用断路器分段接线,此接线供电比较可靠,运行方式灵活,倒闸操作比较方便,检修或试验时不必全部停电。

至于双电源的运行方式可以根据供用电双方商定的供电方式有关条款而定,有以下几种:

- ① 一路为主电源,另一路为冷备用电源;
- ② 一路为主电源,另一路为热备用电源;
- ③ 一路为主电源,另一路电源热备用自投(线投);
- ④ 两路电源同时供电,母线分段断路器分开(冷备用);
- ⑤ 两路电源同时供电,母线分段断路器分开(热备用);
- ⑥ 两路电源同时供电,母线分段断路器分开热备用自投(联投)。

(3) 其他要求

① 当采用10kV负荷开关时,其动热稳定或熔断器的开断容量不能满足要求时,应采用装设断路器的接线。

② 10kV单电源供电、容量在630kVA及以下的主变压器,其一侧如不装断路器时,其低压侧应装总开关保护。

③ 10(6)kV变、配电所,有下列情况之一时,应装设断路器:

- a. 主变压器容量在630kVA以上的;
- b. 事故时需要切断电源;
- c. 需要带负荷切换电源;
- d. 继电保护及自动装置要求;
- e. 出线回路较多。

④ 有反馈可能的10(6)kV出线上,应装设线路隔离闸刀。

⑤ 当需限制10(6)kV出现短路电流时,一般采用主变压器分列运行或在变压器回路中装设电抗器等措施。

⑥ 10(6)kV变电所,变压器低压侧的总开关和母线分段开关属下列情况之一时应采用自动开关:

- a. 需要自动切换电源;
- b. 配电方式为变压器-母干线,且继电保护有要求或需要带负荷操作;
- c. 单母线分段开关;

采用自动开关的电源侧应装设隔离闸刀或隔离插头。

⑦ 当变电所装有两台主变压器时,其次级6~10kV侧宜采用分段单母线。出线为12回及以上时,亦可采用双母线。对一、二级负荷,不允许停电检修断路器时,可设置专用旁路设施。

当配电装置采用手车式高压柜时,不宜设置旁路设施。

⑧ 采用SF₆断路器的主接线不宜设旁路设施。

⑨ 接在母线上的避雷器和电压互感器(非计量专用)可合用一组隔离闸刀,对接在变压器引出线上的避雷器,可不装设隔离闸刀。

第六节 主设备选择原则

一、一般原则

在进行变电所设计、选择电气设备时,应根据以下各点,合理地选用设备,并采用行之有效的新技术、新设备、新材料,做到安全可靠、技术先进、经济合理、维修方便。

- ① 根据电力负荷及容量和当地环境条件下的正常运行、安装维修、短路和过电压状态的要求。
- ② 根据当地供电电网的具体情况、要求及供电部门确定的有关原则。
- ③ 适当考虑扩建的可能。

④ 执行国家有关标准和规定,如“35~110kV变电所设计规范”、“3~110kV高压配电装置设计规范”、“工业企业噪声控制设计规范”、“城市区域环境噪声标准”、“电力装置的过电压保护设计规范”等。

1. 按正常运行条件选择

电气设备应在正常工作电压及正常工作电流的条件下运行,具体要求如下。

(1) 按工作电压选择 电器的额定电压应大于电器装设地点电网的额定电压,即

$$U_{eq} \geq U_e$$

式中 U_{eq} ——电器的额定电压, kV;

U_e ——电网额定电压, kV。

电器的额定电压就是铭牌上所标明的线电压, 电网额定电压是国家规定的各级线电压。

(2) 按工作电流选择 电器的额定电流是指在一定的环境温度下, 能允许长期通过的电流, 该电流应满足下列条件:

$$I_{eq} \geq I_{gmax}$$

式中 I_{eq} ——电器的额定电流, A;

I_{gmax} ——电器所在线路的最大工作电流, A。

我国生产的高压电器, 在规定其额定电流时, 周围环境最高温度取 40°C , 如果装设地点的气温高于 40°C , 则因为冷却条件变坏, 高压电器允许通过的电流可按式近似地予以降低。

$$I'_{eq} = I_{eq} \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_0}{\theta_{max} - 40}}$$

式中 I'_{eq} ——环境温度为 θ_0 时, 电器允许通过的电流;

I_{eq} ——环境温度 40°C 时, 电器的额定电流;

θ_{max} ——电器某部分的最高允许温度, 如断路器和隔离开关触头的最高允许温度为 75°C 。

(3) 环境条件 屋内或屋外及气象条件、不同地域等, 根据具体要求而定, 并进行必要的校核。

2. 在短路情况下的校验

对于高压设备, 选择时校验项目如表 11.1.14 所示。其中电器及导体的动稳定校验及断流容量校验都按三相短路电流的数值进行校验。热稳定校验一般也按三相短路电流校验。

表 11.1.14 电气设备选择时应校验的项目

设备名称	检验项目	电 压	电 流	遮断容量	短路电流校验		其他应进行的 校验项目
					动稳定	热稳定	
断路器		×	×	×	×	×	选择性 准确度、二次侧负荷 准确度、二次侧负荷
负荷开关		×	×	×	×	×	
隔离开关		×	×	×	×	×	
熔断器		×	×				
电流互感器		×	×		×	×	
电压互感器		×					
支柱绝缘子		×			×		
套管绝缘子		×	×		×		
母线			×		×	×	
电缆		×	×			×	
限流电抗器							

注: 表中“×”表示应该校验的项目。

有些电器因其本身在网路中的用途及使用场合的重要程度不同, 可以不进行短路电流的校验。属于这类情况的设备有下列几种:

① 用熔断器保护的电器和导体可不校验热稳定, 其中除用有限流作用的熔断器保护者外, 裸导体和电器的动稳定仍应验算;

② 装设在电压互感器回路内的裸导体和电器, 因有熔断器保护, 可不验算动、热稳定;

③ 向不重要用电场所供电的导体, 当供电变压器容量在 1250kVA 以下, 高压侧电压为 10kV 及以下, 且不致因短路故障损坏导体而产生严重后果 (如引起爆炸, 并修复困难或生产过程混乱) 时, 可不验算动、热稳定;

④ 架空电力线路可不验算动、热稳定。

(1) 在短路情况下的热稳定性校验 表 11.1.15 列出了常用高压设备在进行短路热稳定校验时的计算公式以及使用说明。表 11.1.16 列出了各种材料的母线最小截面积计算公式及其说明。

表 11.1.15 部分高压设备热稳定校验的计算公式

设备名称	计算公式	说明
断路器 隔离开关 负荷开关	$I_{\infty} \leq I_t \sqrt{\frac{t}{t_{jx}}}$	I_t ——设备在 t 内允许通过的热稳定电流, kA, 可从样本查得 t_{jx} ——假想时间, s I_{∞} ——短路稳态电流, kA
电抗器	$I_{\infty} \leq I_t \sqrt{t} / \sqrt{t_{jx}}$	$I_t \sqrt{t}$ ——电抗器热稳定度, $\text{kA} \cdot \sqrt{\text{s}}$, 可从设备样本查得 I_{∞} ——短路稳态电流, kA t_{jx} ——假想时间, s
电流互感器	$I_{\infty} \leq I_{1c} K_t \times 10^{-3} / \sqrt{t_{jx}}$	I_{1c} ——一次额定电流, A K_t ——1s 热稳定倍数, 可从样本查得 I_{∞} ——短路稳态电流, kA t_{jx} ——假想时间, s
套管绝缘子	$I_{\infty} \leq I_t \sqrt{t/t_{jx}}$	I_t ——在 t 内允许通过的热稳定电流, 可从样本查得 I_{∞} ——短路稳态电流, kA t_{jx} ——假想时间, s

表 11.1.16 各种材料的母线 S_{\min} 的计算公式

母线种类	导体所需要的最小截面/ mm^2	说明
铜母线	$S_{\min} = \frac{I_{\infty}}{165} \sqrt{t_{jx} K_f}$	I_{∞} ——短路稳态电流, kA t_{jx} ——假想时间, s K_f ——集肤效应系数
铝母线	$S_{\min} = \frac{I_{\infty}}{95} \sqrt{t_{jx} K_f}$	
钢母线	不直接和电器连接者 $S_{\min} = \frac{I_{\infty}}{70} \sqrt{t_{jx} K_f}$ 直接和电器连接者 $S_{\min} = \frac{I_{\infty}}{60} \sqrt{t_{jx} K_f}$	

当母线的截面较小时, 可不计集肤效应的影响, 在下列情况下 $K_f = 1$:

- ① 钢或铜矩形母线, 截面在 600mm^2 以下;
- ② 铝矩形截面的母线, 截面在 1000mm^2 以下;
- ③ 铜和铝圆形截面的母线, 直径分别在 20mm 和 22mm 以下。

(2) 在短路情况下的动稳定性校验 校验电器的电动力稳定时应满足的条件是:

$$I_{\max} \geq I_{ch}$$

$$i_{\max} \geq i_{ch}$$

式中 I_{\max} 、 i_{\max} ——制造厂规定电器允许通过的最大电流的有效值及幅值, 在此电流的作用下电器不受变形和破坏;

I_{ch} 、 i_{ch} ——按三相短路情况计算所得的电器所在电路的短路冲击电流有效值和冲击电流峰值。

对于各种高压电器, 在短路情况下电动力稳定的验算方法, 分述如下。

① 断路器、负荷开关、隔离开关及电抗器的动稳定验算。这几种电器的动稳定验算比较简单, 直接按 $I_{\max} \geq I_{ch}$ 、 $i_{\max} \geq i_{ch}$ 计算即可。

② 电流互感器的动稳定计算。电流互感器的电动力稳定性用动稳定倍数来表示。动稳定倍数 (K_{dw}) 是电流互感器所能承受的不致遭到破坏的最大电流瞬时值与电流互感器的一次额定电流的幅值 ($\sqrt{2}I_{1c}$) 的比, 即

$$K_{dw} = \frac{i_{\max}}{\sqrt{2}I_{1c}}$$

式中 i_{\max} ——制造厂所规定的电流互感器的最大容许电流的幅值, A;

I_{1c} ——电流互感器一次绕组的额定电流, A。

根据电动力稳定的一般条件, 校验电流互感器内部电动力稳定性的公式为

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{2}K_{dw}I_{ie} &\geq i_{ch} \\ i_{max} &\geq i_{ch} \end{aligned} \right\}$$

电流电感器受到的电动力的作用，和电流互感器的相间距离（ a ）和从电流互感器绝缘瓷瓶到最近一个支柱绝缘子的距离（ L ）有关，其关系式为

$$F = 0.5 \times 1.77 i_{ch}^2 \frac{L}{a} \times 10^{-8}$$

系数 0.5 是考虑了在电流互感器的绝缘瓷瓶与最近的支柱绝缘子间长度为 L 的母线上的电动力均匀分布而采取的修正系数。如果已知电流互感器一次绕组出线端允许力 F_m （此值可查产品样子），则校验电动力稳定的计算公式由 $F = 0.5 \times 1.77 i_{ch}^2 \frac{L}{a} \times 10^{-8}$ 经过推演后得出

$$i_{ch} \leq 10.65 \sqrt{\frac{aF_m}{L}}$$

式中 a ——相间距离，cm；

L ——电流互感器出线端至最近一个固定点的距离，cm；

F_m ——电流互感器一次出线端允许受力，kg；

i_{ch} ——三相短路冲击电流幅值，kA。

在校验电流互感器的电动力稳定时，如果产品样本中没有给出 F_m ，而只标明 $a = 40\text{cm}$ 、 $L = 50\text{cm}$ 时的动稳定倍数 K_{dw} 时，则动稳定校验仍以下式进行

$$i_{ch} \leq K_{dw} \sqrt{2} I_{1r}$$

如 $a \neq 40\text{cm}$ 时， $L \neq 50\text{cm}$ ，则上式的右边应注意修正其具体数据如下

当 $a \neq 40\text{cm}$ 时，公式右边再乘以 $\sqrt{\frac{a}{40}}$ ；

当 $L \neq 50\text{cm}$ 时，如果 $L = 100\text{cm}$ ，公式右边再乘以 0.8；如果 $L = 20\text{cm}$ ，在公式右边再乘以 1.15。

③ 母线的动稳定计算。母线安装方式不同，其受短路电动力的大小也不同，校验母线受短路电动力的大小时，要考虑很多因素。

如图 11.1.9 所示，三相单条竖放母线，其相间距离为 a ，跨距为 l ，当发生三相短路时，其中间相受力最大。其值可用下式计算

$$F = 1.77 K i_{ch}^2 \frac{l}{a} \times 10^{-2}$$

式中 l ——母线结构中支持绝缘瓷瓶的距离，cm；

i_{ch} ——三相短路冲击电流，kA；

K ——母线的形状系数。

母线长度在二个跨距以上时，最大弯曲力矩为

$$M = \frac{Fl}{10}$$

式中 l ——母线的跨距，cm；

F ——长度为一个跨距的一段母线所受的电动力，kg。

若母线长度仅有两个跨距时，其最大弯曲力矩为

$$M = \frac{Fl}{8}$$

母线材料在弯曲时的机械应力为

$$\sigma = M/W$$

式中 W ——母线对垂直于电动力作用方向的轴而言的抗弯矩， cm^3 。

图 11.1.10 表示不同截面和不同放置方法时母线的抗弯矩。

母线在短路时，由电动力所产生的机械应力 σ 若小于或等于母线材料的允许应力，母线才不会因弯曲变形而遭到破坏，故

$$\sigma_m \geq \sigma$$

母线材料的允许应力 σ_m 为：铜 1400kg/cm^2 ；铝 $(420 \sim 700)\text{kg/cm}^2$ ；钢 1600kg/cm^2 。

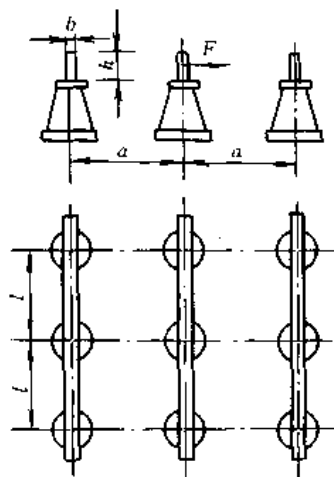


图 11.1.9 竖放的母线

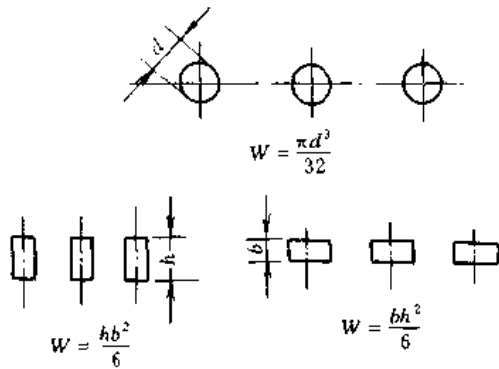


图 11.1.10 母线不同放置方法时的弯曲力矩

如果母线短路时的 σ 大于 σ_m , 则必须采取种种措施减少 σ 。可采取的措施有: 变更母线的放置方式 (由竖放改成平放), 以增大相间距离, 减小母线的跨距, 增加母线的截面等。

在选择及设计母线时, 可根据母线的机械强度, 可用下述方法求出最大可能的跨距 l_{max} :

$$M_{max} = \frac{Fl_{max}}{10} = \frac{\beta l_{max}^2}{10}$$

因 $\sigma_m = \frac{M_{max}}{W}$, 求得

$$l_{max} = \sqrt{\frac{10\sigma_m W}{\beta}}$$

为了不使母线由于自重而弯曲下垂, 母线的跨距最大不得大于 1.5~2.0m。如果母线位于配电装置小间的上方, 其跨距大小为配电装置间隔的宽度。

④ 高压开关设备的断短路能力校验。校验时要求:

$$I_{dn} \geq I_d$$

$$S_{dn} \geq S_d$$

式中 I_{dn} ——开关的额定开断电流, kA;

S_{dn} ——开关的额定开断容量, MVA;

I_d ——电力系统在 t_s 时 (电器断开的时间) 的三相短路电流, kA;

S_d ——电力系统在 t_s 时 (电器断开的时间) 三相短路功率, MVA。

为了求得 I_d 及 S_d , 需要肯定断路器何时断开, 即从发生短路开始到断路器触头开始分离的这一段期间, 此段时间叫计算时间 t_{js} , 它是继电保护的整定时间 t_b 与断路器本身固有动作时间 t_{gu} 的总和, 即

$$t_{js} = t_b + t_{gu}$$

开关的固有动作时间 t_{gu} 可从产品样本中查得。继电保护整定时间要取最小时间, 这样切断的短路电流最大, t_b 具体值按继保整定而定。在无确切数据时, 最快的保护时间 t_b 取 0.05s, 计算时间 t_{js} 取 0.2s。

二、变压器

决定变电所内变压器的台数和容量及其型号、参数等, 应根据地区供电条件、负荷性质、用电容量、运行方式、装置地点、环境条件等综合考虑后确定。

变压器的台数、容量确定时除应遵照本章第二节有关规定外尚需综合考虑。

① 在有一、二级负荷的变电所中, 应装设二台主变压器。变电所中可由中、低压侧电力网取得足够容量的备用电源时, 可设一台主变压器。当技术经济比较合理时, 也可装设三台或四台主变压器。

② 装有二台及以上主变压器的变电所中, 当断开一台时, 其余主变压器的容量应能保证一级负荷和二级负荷, 变压器的容量宜不小于全部负荷的 60%~70%。

③ 对供电电压质量有严格要求的用户, 应采用有载调压变压器。采用有载调压变压器时, 主变压器的台数应不小于二台。

④ 因季节性负荷变动较大或能满足保安备用用电需要的, 在经过经济技术比较后, 两台主变压器的容量可不一致。

⑤ 对冲击性负荷较大, 如电弧炉或其他能引起配电网电压严重波动的用电设备 (包括医用设备如 X 光机) 等宜装设专用变压器供电。

三、互感器

1. 选择电压互感器的要点

(1) 根据装置位置电压等级选择其一次侧额定电压

(2) 根据装置地点及其用途选择其型号

① 装设在进线处作为监视电压和供指示、测量表计或与保护合用的一般可用二只单相互感器组成 V 形 (即不完全星形) 接线。

② 作为计费专用互感器的应用二只单相互感器组成 V 形接线；在 35kV 手车上为满足绝缘距离，宜采用 JSF-35 型（其外形以三相式实为二只单相成 V 形接线）双次级互感器。

③ 在用户 35kV 二级降压变电所 10(6)kV 母线上为装设能测定三个相电压的绝缘监视装置，因此母线上应装三相五柱三绕组电压互感器或三只单相三绕组电压互感器。

(3) 根据所接负载要求选择其次级准确度等级及负载额定值

① 供一般指示仪表或与保护合用者用 0.5 级。

② 供计费专用的须双次级，其准确度等级按表计类别选择（参阅本章第十一节）。

(4) 根据环境条件和供电部门要求选用防污型产品（以满足爬电比距要求）。

2. 选择电流互感器的要点

① 根据装置位置电压等级选择其额定电压。

② 根据装置位置及其用途选择其型号。

③ 根据所接负载及其要求选择其次级线圈个数和准确度等级及负载额定值：

a. 供一般指示仪表为 0.5 级；

b. 供保护用为 B 级或 D 级，且 10% 误差曲线要符合有关要求等；

c. 一般情况下指示仪表和保护可用同一只电流互感器的二个次级，但当变比过大，不能满足仪表指示要求时宜分开，各选合适变比的互感器；

d. 供计费专用的须双次级，其准确度等级应按国家有关规定（可参阅本章第十一节）。

④ 需进行短路情况下的校验。

⑤ 根据环境条件和供电部门要求选择爬电比距符合要求的产品。

⑥ 根据保护或计费表计的要求决定用二相式还是三相式。

四、高压断路器

1. 对高压断路器的基本要求

由于断路器要在正常工作时接通和切断负载电流，短路时切断短路电流，并受环境变化的影响，故对高压断路器的要求大致有如下几个方面。

① 工作可靠。断路器在额定条件下，应能长期可靠地工作。

② 应具有足够的断路能力。由于电网电压较高，电流较大，当断路器在断开电路时，触头间会出现电弧，只有将电弧熄灭，才能断开电路。因此，要求断路器有足够的断路能力，尤其在短路故障时，应能可靠地切断短路电流，并保证具有足够的热稳定性和动稳定性。

③ 具有尽可能短的切断时间。当电力网发生短路故障时，要求断路器迅速切断故障电路，这样可以缩短电力网的故障时间和减轻短路电流对电气设备的危害及增加电力系统的稳定性。因此，分闸时间是高压断路器的一个重要参数。

④ 结构简单，价格低廉。在要求安全可靠的同时，还应考虑到经济性，因此，应力求断路器结构简单，尺寸小，重量轻，价格低廉。

2. 常用高压断路器种类及选择

主要有少油断路器、真空断路器、六氟化硫断路器。

(1) 多油断路器 由于多油断路器有体积大、用油量多、爆炸和火灾的危险性、检修工作量较大等缺点，在一些老变电所还有使用，目前新建变电所一般很少采用，常用型号有 DW₂-35 型。

(2) 少油断路器 相对多油式讲，少油断路器用油量少，体积小，重量轻，同时减少了爆炸及火灾的危险性，检修也方便。少油式断路器有屋内式和户外式两大类，按电压等级有 10kV、35kV。10kV 户内式 SN₁₀-10 I、II、III 型，35kV 有户内式 SN₁₀-35 型、户外有 SW4-35 型。新建变电所已较少采用。

(3) 真空断路器 ZN-10 和 ZN-35 型真空断路器系三相交流 50Hz，户内式高压开关设备。它配有专用的、带有自由脱扣的直流操作机构，适用于额定电压 35kV 及以下的以电缆为进线的户内配电系统。除作为普通配电保护断路器外，尤其适用于频繁操作及故障较多的场合，如切除电容器组、控制电炉变压器、切合高压电动机等。

(4) 六氟化硫断路器 该断路器是用 SF₆ 气体作为灭弧和绝缘介质的断路器。SF₆ 气体具有优良的绝缘和灭弧性能，所以，六氟化硫 (SF₆) 断路器有如下优点：开断能力强，断口电压便于做得较高，允许连续开断次数较多，适于频繁操作，噪音小，无火灾危险等。但 SF₆ 断路器对加工工艺与材料要求较高，需要一套 SF₆

气体系统，并需采取专门措施，防止低氟化合物对人体或材料的危害和影响。SF₆的缺点是电气性能受电场均匀程度及水分等杂质影响特别大，故对 SF₆ 断路器的密封结构、元件结构及 SF₆ 气体本身质量的要求严格。

五、隔离开关

隔离开关又名隔离刀闸，是高压开关的一种。因为它没有专门的灭弧结构，所以不能用来切断负荷电流和短路电流。使用时应与断路器配合，只有在断路器断开后才能进行操作。

1. 隔离开关的用途与要求

在电力系统中，隔离开关的主要用途是：

- ① 将电气设备与带电的电网隔离，以保证被隔离的电气设备有明显的断开点，能安全地进行检修；
- ② 改变运行方式，在双母线的电路中，可利用隔离开关将设备或线路从一组母线切换到另一组母线上；
- ③ 接通和断开小电流电路。

根据隔离开关担负的任务，它应满足以下要求：

- ① 隔离开关应具有明显的断开点，易于鉴别电器是否与电网断开；
- ② 隔离开关断开点之间应有可靠的绝缘，即要求隔离开关断开点之间应有足够的距离，以保证在恶劣的气候条件下也能可靠工作，并在过电压及相间闪络的情况下，不致从断点击穿而危及人身安全；
- ③ 隔离开关在运行中，会受到短路电流的热效应和电动力的作用，所以要求它具有足够的热稳定性和动稳定性，尤其不能因电动力的作用而自动断开，否则将引起严重事故；

- ④ 隔离开关的结构应尽可能简单，动作要可靠；

⑤ 带有接地闸刀的隔离开关必须有联锁机构，以保证先断开隔离开关后，再合上接地闸；先断开接地闸刀后，再合上隔离开关的操作顺序。

2. 隔离开关选择要点

- ① 按装置位置电压等级确定其额定电压和户外式或户内式。
- ② 按被控制回路工作电流确定其额定电流值。
- ③ 按环境条件和供电部门要求选用爬电比距符合要求的产品及型号。
- ④ 按短路情况下的校验结果最后确定型号。

六、熔断器

在工厂企业供电系统中，对容量较小而且不太重要的负载，广泛使用熔断器作为输、配电线路及电力变压器（包括电压互感器）的过载及短路保护。它既经济又能满足一定程度的可靠性要求，它的结构简单，易于维护检修。

熔断器一般由熔断管、熔体、灭弧填充物、动触座、静触座、绝缘支持物及指示器等组成。熔断器的动作具有反时限特性，通过熔体的短路电流愈大，则熔体的熔断电流时间愈短。

为了提高熔断器的灭弧性能，有些熔断器（如 RN 系列）的熔断管内装有石英砂填充物，它有利于快速灭弧，提高了断路容量。

对单侧电源放射式线路、降压变压器、不经常操作的容量有限的电容器组，可采用高压熔断器作为短路保护，但应符合下列条件：

- ① 熔断器的上限断流容量不小于短路电流的最大值，下限断流容量不大于短路电流的最小值；
- ② 能保证可靠性、灵敏性和选择性的要求，熔体的额定电流的选择，应保证运行中可能出现的冲击电流不致使熔体熔断；
- ③ 利用其他方法能可靠断开最大负荷电流、线路空载电流、变压器空载电流和电容器额定电流等。

熔断器应装设在被保护回路的所有各相上。

熔断器的熔体，应符合可靠性的要求。熔体的额定电流应有足够的裕度，以保证运行中可能出现的冲击电流（如自起动电流、励磁涌流以及投入电容器的暂态电流等）不致使熔体熔断。

使用充石英砂的熔断器（如 RN 系列）时，其工作电压要与额定电压相符，不应降低使用。

RW 系列熔断器（即户外跌落式熔断器）用于 10kV 交流 50Hz 的送、配电线路及配电变压器进线侧作短路和过负荷保护。

RN 系列高压熔断器（分户外、户内型）可用于高压配电线路、电力变压器、电压互感器、电力电容器等设备的过载及短路保护。其中 RN₁ 型、RN₅ 改进型作为供电线路、变电所设备的过载及短路保护用；RN₂、RN₄、RN₆ 改进型，作为电压互感器的短路保护用；RN₃ 型作为电力线路的短路保护用。

以上熔断器的断流容量应能通过装置外短路情况下的校核。

七、母线

变电所的各级电压配电装置中，将变压器与各种电器连接的导线称为母线。母线是各级电压配电装置的中间环节，它的作用是汇集、分配和传送电能。

母线分两类：一类为软母线（多股铜绞线或钢芯铝线），应用于电压较高（35kV及以上）的户外配电装置；另一为硬母线，多应用于电压较低（35kV及以下）的户内外配电装置。

1. 母线材料、形状

(1) 母线材料

- ① 铜母线：具有电阻率低、机械强度高、抗腐蚀性强等特点，是很好的导电材料。
- ② 铝母线：铝的电阻率稍高于铜，但储量多，重量轻，加工方便，且价格便宜。用铝母线较铜母线经济。
- ③ 钢母线：钢的电阻率比铜大7倍多，用于交流时，有很强的集肤效应，优点是机械强度高和价廉，仅适用于高压小容量电路（如电压互感器）和电流在200A以下的低压及直流电路中。接地装置中的接地线多数应用钢母线。

(2) 母线的截面形状

① 矩形截面：一般应用于35kV及以下的户内配电装置中，优点（与相同截面积的圆形母线比较）是散热条件较好，集肤效应较小，在容许发热温度下通过的允许工作电流大。

② 圆形截面：在35kV以上的户外配电装置中，为了防止产生电晕，一般采用圆形截面母线。

电压为35kV及以下的户外配电装置中，一般也采用钢芯铝绞线，这样可使母线的结构简化，投资降低。

③ 槽形截面：当每相三条以上的矩形母线不能满足要求时，一般采用由槽形截面母线组成近似正方形的空心母线结构，如图11.1.19所示。

这种结构的优点是：邻近效应较小，冷却条件好，金属材料利用率较高。另外，为了加大槽形母线的截面系数，可将两条槽形母线每相隔一定距离，用连接片焊住，构成一个整体。槽形母线的工作电流以可达10~12kA。

(3) 母线的着色 母线着色可以增加辐射能力，有利散热，因此母线着色后，允许负荷电流提高12%~15%。钢母线着色还能防锈蚀。同时，使工作人员便于识别相序或直流极性。一般母线着色标志如下：

直流：正极—红色；负极—蓝色。

交流：A相—黄色；B相—绿色；C相—红色。

中性线：不接地中性线—白色；接地的中性线—紫色。

2. 母线的选择要点

① 根据变电所重要程度、环境条件决定母线的材料，如有一、二类负荷或变电所四周中环境比较恶劣，有腐蚀性气体等则应采用钢母线；一般就可用铝母线。

② 根据回路工作电压、电流和经短路情况下校验结果最终确定母线的截面、形状、排列方式、间距、绝缘子型号规格等。

③ 选择母线的排列方式。矩形母线的排列方式有以下四种。

a. 平放水平排列。其优点是母线对短路时产生的电动力具有较强的抗弯能力，缺点是散热条件差些。

b. 立放水平排列。其优点是散热条件好，缺点是抗弯能力差。

c. 立放垂直排列。其优点是散热条件好，抗弯能力强，缺点是增加空间高度。

d. 三角形排列。参看手车高压开关柜。这种排列方式具有减少开关柜的深度和高度及布置比较紧凑的特点。

裸导体的允许载流量及校正系数见表11.1.17至表11.1.19。

表 11.1.17 矩形铝导体长期允许载流量/A

导体尺寸 $h \times b$ /mm × mm	单 条		双 条		三 条		四 条	
	平 放	竖 放	平 放	竖 放	平 放	竖 放	平 放	竖 放
40 × 4	480	503						
40 × 5	542	562						
50 × 4	586	613						
50 × 5	661	692						
63 × 6.3	910	952	1400	1547	1866	2111		
63 × 8	1038	1085	1623	1777	2113	2379		

续表

导体尺寸 $h \times b$ /mm × mm	单 条		双 条		三 条		四 条	
	平 放	竖 放	平 放	竖 放	平 放	竖 放	平 放	竖 放
63 × 10	1168	1221	1825	1994	2381	2665		
80 × 6.3	1128	1178	1724	1892	2211	2505	2558	3411
80 × 8	1274	1330	1946	2131	2491	2809	2863	3817
80 × 10	1427	1490	2175	2373	2774	3114	3167	4222
100 × 6.3	1371	1430	2054	2253	2633	2985	3032	4043
100 × 8	1542	1609	2298	2516	2933	3311	3359	4479
100 × 10	1728	1803	2558	2796	3181	3578	3622	4829
125 × 6.3	1674	1744	2446	2680	2079	3490	3525	4700
125 × 8	1876	1955	2725	2982	3375	3813	3847	5129
125 × 10	2089	2177	3005	3282	3725	4194	4225	5633

注：1. 载流量系按最高允许温度 + 70℃、基准环境温度 + 25℃、无风、无日照条件计算的。
 2. h 为宽度， b 为厚度。
 3. 当导体为四条时，平放、竖放时第二、三片间距皆为 50mm。

表 11.1.18 槽形铝导体长期允许载流量及计算用数据

截面尺寸 /mm				双槽 导体截面 /mm ²	集肤 效应系数 K_f	导体 载流量 /A	[] [] []			□□□□			双槽焊成整体时				共振最大 允许距离 /cm	
h	b	c	r				截面 系数 W_y /cm ²	惯性 矩 I_y /cm ⁴	惯性 半径 r_y /cm	截面 系数 W_x /cm ²	惯性 矩 I_x /cm ⁴	惯性 半径 r_x /cm	截面 系数 W_{y0} /cm ²	惯性 矩 I_{y0} /cm ⁴	惯性 半径 r_{y0} /cm	静力 矩 S_{y0} /cm ³	双槽 实连时 绝缘子 间距	双槽不 实连时 绝缘子 间距
75	35	4.0	6	1040	1.012	2200	2.52	6.2	1.09	10.1	41.6	2.83	23.7	89	2.93	14.1		
75	35	5.5	6	1390	1.025	2620	3.17	7.6	1.05	14.1	53.1	2.76	30.1	113	2.85	18.4	178	114
100	45	4.5	8	1550	1.020	2740	4.51	14.5	1.33	22.2	111	3.78	48.6	243	3.96	28.0	205	125
100	45	6.0	8	2020	1.038	3590	5.9	18.5	1.37	27	135	3.70	58	290	3.85	36	203	123
125	55	6.5	10	2740	1.050	4620	9.5	37	1.65	50	290	4.70	100	620	4.80	63	228	139
150	65	7.0	10	3570	1.075	5650	14.7	68	1.97	74	560	5.65	167	1260	6.00	98	252	150
175	80	8.0	12	4880	1.103	6600	25	144	2.40	122	1070	6.65	250	2300	6.90	156	263	147
200	90	10.0	14	6870	1.175	7550	40	254	2.75	193	1930	7.55	422	4220	7.90	252	285	157
200	90	12.0	16	8080	1.237	8800	46.5	294	2.70	225	2250	7.60	490	4900	7.90	290	283	157
225	105	12.5	16	9760	1.285	10150	66.5	490	3.20	307	3450	8.50	645	7240	8.70	390	299	163
250	115	12.5	16	10900	1.313	11200	81	660	3.52	360	4500	9.20	824	10300	9.82	495	321	200

注：1. 载流量系按最高允许温度 + 70℃、基准环境温度 + 25℃、无风、无日照条件计算的。
 2. h 为槽形铝导体高度， b 为宽度， c 为壁厚， r 为弯曲半径。

表 11.1.19 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数

导体最高 允许温度 /℃	适应范围	海拔高度 /m	实际环境温度/℃						
			+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
+70	屋内矩形、槽形、 管形导体和不计日照 的屋外软导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
		1000 及以下	1.05	1.00	0.85	0.89	0.83	0.76	0.69
+80	计及日照时屋外软 导线	2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79		
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75		
		4000	0.93	0.89	0.84	0.77	0.71		
	计及日照时屋外管 形导体	1000 及以下	1.05	1.00	0.94	0.87	0.80	0.72	0.63
		2000	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74		
3000		0.95	0.90	0.84	0.76	0.69			
	4000	0.91	0.86	0.80	0.72	0.65			

八、绝缘子

1. 绝缘子的作用

绝缘子又名瓷瓶，被广泛应用于发电厂和变电所的户内、外配电装置、变压器、开关电器及输配电线路中，用来支持和固定带电导体，并与地绝缘，或作为带电导体之间的绝缘。因此，要求绝缘子具有足够的机械强度和绝缘性能，并能在恶劣环境（高温、潮湿、多尘埃、污垢等）下安全运行。

2. 绝缘子的分类

① 按装设地点可分为户内式和户外式两种。户内和户外绝缘子的区别在于户外式具有较多和较大的裙边，以增长沿面放电距离，并能在雨天阻断水流，使绝缘子能在较恶劣环境中可靠工作。在多灰尘和有害气体的地区，绝缘子应采用特殊结构的防污绝缘子。户内绝缘子有表面无裙边和有裙边的。

② 按用途可分为电站绝缘子、电器绝缘子和线路绝缘子等。电站绝缘子的用途是支持和固定户内外配电装置的硬母线，并使母线与地绝缘。电站绝缘子又分为支柱绝缘子和套管绝缘子，后者用于母线穿越墙壁或天花板，以及从户内向户外引出之处。

电器绝缘子的用途是固定电器的载流部分，分支柱和套管绝缘子两种。支柱绝缘子用于固定没有封闭外壳的电器的载流部分，如隔离开关的静、动触头等，套管绝缘子用来使有封闭外壳的电器，如断路器、变压器等的载流部分引出外壳。

3. 绝缘子的选择要点

① 按装置地点电压等级确定额定电压（有时还须选高一级的）。

② 按装置特点和回路工作电流及要求的爬电比距等确定型号、规格，并根据母线短路电流下校核的结果最后确定其型号、规格。

第七节 继电保护及自动装置

一、一般规定

① 继电保护装置的设计应以合理的运行方式和故障类型为依据，并应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。保护装置的最小灵敏度系数见表 11.1.20。

表 11.1.20 保护装置的最小灵敏系数

保护分类	保护类型	组成元件	最小灵敏系数	备注
主保护	电流速断器保护	电流元件	2.0	按保护安装处短路计算
	过电流保护	电流元件	1.5	个别情况下可为 1.25
	线路、电动机的纵联差动保护	零序元件	2.0	
		差电流元件	2.0	
中性点不接地系统中的单相接地保护	电流元件	1.5	架空线路	
		1.25	电缆线路	
后备保护	远后备保护	电流元件及阻抗元件	1.2	按相邻保护区末端短路计算（短路电流应为阻抗元件精确工作电流 2 倍以上）
		零序或负序方向元件	1.5	
	近后备保护	电流电压及阻抗元件	1.3~1.5	按线路末端短路电流
负序或零序方向元件		2.0		
辅助保护	电流速断保护		>1.2	按正常运行方式下保护安装处短路计算

注：1. 主保护的灵敏系数除表中注出者外，均按保护区末端计算。

2. 保护装置如反应故障时增长的量，灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比；如反应故障时减少的量，则为保护整定值与金属性短路计算值之比。

② 电力系统中的电力设备和线路，应装设短路故障和异常运行保护装置。

③ 在拟定保护装置和制定保护配置方案时，对稀有故障，可根据对电网影响程度和后果采取相应措施，使保护装置能正确动作。对两种稀有故障同时出现的情况可不考虑。

④ 在配置各类保护装置的电流互感器二次线圈时，应考虑到既要消除保护死区，同时又要尽可能减轻电流互感器本身在故障时所产生的影响。

⑤ 保护用电流互感器（包括中流互感器）的稳态比误差不应大于10%。对35kV及以下电力网，当技术上难以满足要求，且不致使保护装置不正确动作时，才允许较大的误差。

原则上，保护装置与测量仪表不共用电流互感器的二次线圈。当必须共用一组二次线圈时，则仪表回路应通过中间电流互感器或试验部件连接，当采用中间电流互感器时，其二次开路情况下，保护用电流互感器的比误差仍应不大于10%。

⑥ 在电力系统正常运行情况下，当电压互感二次回路断线或其他故障能使保护装置误动作时，应装设断线闭锁装置或采取其他措施，将保护装置解除工作并发出信号。当保护装置不致误动作时，可装设电压回路断线信号装置。

⑦ 为了分析和统计继电保护的工作情况，在保护装置回路内应设置指示信号（包括信号继电器、带动作指示的继电器、带指针的时间继电器等），并应符合下列要求：

- a. 在直流电压消失时不自动复归，或在直流电源恢复时，仍能维持原来的信号显示状态；
- b. 能分别显示各保护装置的动作情况；
- c. 在由若干部分组成的保护装置中，能分别显示各部分及各段的动作情况；
- d. 对复杂的保护装置，宜设置反应装置内部异常的信号；
- e. 在条件许可时，宜在保护出口至断路器跳闸的回路内装设信号指示装置。

⑧ 为了便于分别校验保护装置和提高可靠性，主保护和后备保护宜做到回路彼此独立。

⑨ 当采用蓄电池组作直流电源时，由浮充电设备引起的波纹系数应不大于5%，电压波动范围应不大于 $\pm 5\%$ 。

当采用交流整流电源作为保护用直流电源时，应符合下列要求。

a. 直流母线电压，在最大负荷情况下保护动作时不应低于额定电压的80%，最高电压不应超过额定电压的110%。应采取限幅、稳压（电压波动不大于0.5%）和滤波（波纹系数不大于5%）措施。

b. 如采用复式整流，应保证各种运行方式下，在不同故障点和不同相短路时，保护与断路器均能可靠动作跳闸；电流互感器的最大输出功率应满足直流回路最大负荷需要。

c. 对采用电容储能电源的变电所（一般尽量不采用），其电力设备和线路除应具有可靠的远后备保护外，还应在失去交流电源情况下，有几套保护同时动作时，或在其他消耗直流能量最大时，保证保护与有关断路器均能可靠动作跳闸。

d. 当自动重合闸装置动作时，如重合于永久性故障，应能可靠跳闸。

⑩ 采用交流操作的保护装置时，短路保护可由被保护电力设备或线路的电流互感器取得操作电源，变压器的瓦斯保护和中性点非直接接地电力网的接地保护，可由电压互感器或变电所所用变压器取得操作电源。必要时，可增加电容储能电源作为跳闸的后备电源。

二、电力变压器的保护

电力变压器常会出现下列故障及异常运行方式：

- ① 绕组与其引出线的相间短路和在中性点直接接地侧的单相接地短路；
- ② 绕组的匝间短路；
- ③ 外部相间短路引起的过电流；
- ④ 中性点直接接地电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电流；
- ⑤ 过负荷；
- ⑥ 油面降低；
- ⑦ 变压器温度升高和冷却系统故障。

应按下列规定装设相应的保护装置。

① 0.8MVA及以上的油浸式变压器和0.4MVA及以上的车间内油浸式变压器，均应装设瓦斯保护。当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，应动作于断开变压器各侧断路器。

② 对变压器引出线、套管及内部的短路故障，应按下列规定，装设相应的保护装置作为主保护：

a. 对6.3MVA以下并列运行的变压器、以及10MVA以下厂用备用变压器和单独运行的变压器，当后备保护时限大于0.5s时，应装设电流速断保护；

b. 对 6.3MVA 及以上并列运行的变压器、10MVA 及以上单独运行的变压器, 以及 2MVA 及以上用电流速断保护灵敏度不符合要求的变压器, 应装设纵联差动保护;

c. 当变压器纵联差动保护对单相接地短路灵敏度不符合要求时, 可增设零序差动保护。

③ 纵差动保护应符合下列要求:

a. 应能躲开励磁涌流和外部短路产生的不平衡电流;

b. 差动保护范围应包括变压器套管及其引出线, 如不能包括引出线时, 则应采取快速切除故障的辅助措施。

④ 对由外部相间短路引起的变压器过电流, 可采用下列保护装置作后备保护:

a. 过电流保护, 宜用于降压变压器, 保护装置的整定值应考虑事故时可能出现的过负荷;

b. 复合电压(包括负序电压及线电压)起动的过电流保护, 宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流保护不符合灵敏度要求的降压变压器。

各项保护装置动作后, 应带时限动作于跳闸。

⑤ 一次电压为 10kV 及以下, 线圈为星形-星形连接, 低压侧中性点接地的变压器, 对低压侧单相接地短路应装设下列保护之一:

a. 接在低压侧中性线上的零序电流保护;

b. 利用高压侧的过电流保护, 保护装置宜采用三相式以提高灵敏度。

保护装置带时限动作于跳闸。当变压器低压侧有分支线时, 宜利用分支过电流保护有选择地切除各分支回路的故障。

⑥ 0.4MVA 及以上变压器, 当数台并列地或单独运行并作为其他负荷的备用电源时, 应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护。

过负荷保护采用单相式, 带时限动作于信号。

在无经常值班人员的变电所, 必要时, 过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷。

⑦ 对变压器温度升高和冷却系统故障, 应按现行电力变压器标准的要求, 装设可作用于信号或动作于跳闸的装置。

⑧ 6~10kV 配电变压器的继电保护配置与整定计算见表 11.1.21 和表 11.1.22。

表 11.1.21 6~10kV 配电变压器的继电保护配置

变压器容量 /kVA	保护装置名称					备注
	过电流保护	电流速断保护	低压侧单相 接地保护 ^①	瓦斯保护	温度保护	
< 630						可用高压熔断器 保护, 否则同下 315~750者
315~400~750	高压侧采 用断路器时 装设	高压侧采用断路器, 且过电流保护时限 >0.5s时装设	装设	车间变 压器装 设		
800 1000~1600	装设	过电流保护时限 >0.5s时装设		装设	装设	

① 绕组为星形-星形连接、低压侧中性点接地的配电变压器, 当利用主侧的过电流保护兼作低压侧单相接地保护, 或利用低压侧的三相过电流保护不能满足灵敏度要求时, 应装设变压器低压侧中性线上的零序电流保护。当变压器低压侧有分支线时, 宜有选择地切除各分支线的故障。

三、线路的保护

1. 1~10kV 中性点非直接接地电力网的线路

对相间短路和单相接地, 装设相应的保护装置。

(1) 对单相接地故障 应按下列规定装设保护装置。

① 在变电所母线上, 应装设单相接地监视装置。

② 有条件安装零序电流互感器的线路, 如电缆线路或经电缆引出的架空线路, 当单相接地电流能满足保护的选择性和灵敏度要求时, 应装设动作于信号的单相接地保护。

表 11.1.22 6~10kV 配电变压器的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	<p>保护装置的動作电流 (应躲过可能出现的过负荷电流)</p> $I_{drj} = K_k K_{jx} \frac{K_{gh} I_{db}}{K_h n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 [按系统最小运行方式下, 低压侧两相短路时流过高压侧 (保护安装处) 的短路电流校验]</p> $K_m = \frac{I_{d2\cdot\min}^{(2)}}{I_{dr}} \geq 1.5$ <p>保护装置的動作时限 (应与下一级保护動作时限相配合) 一般取 0.5~0.7s</p>	<p>K_k——可靠系数, 用于过电流保护时 DL 型和 GL 型继电器分别取 1.2 和 1.3, 用于电流速断保护时分别取 1.3 和 1.5, 用于低压侧单相接地保护时 (在变压器中性线上装设的) 取 1.2;</p> <p>K_{jx}——接线系数, 接于相电流时取 1, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;</p> <p>K_h——继电器返回系数, 取 0.85;</p> <p>K_{gh}——过负荷系数, 包括电动机自启动引起的过电流倍数一般可取 2~3, 当无自启动电动机时取 1.3~1.5;</p>
电流速断保护	<p>保护装置的動作电流 (应躲过低压侧短路时, 流过保护装置的最大短路电流)</p> $I_{drj} = K_k K_{jx} \frac{I_{d2\cdot\max}^{(3)}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 (按系统最小运行方式下, 保护装置安装处两相短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{d2\cdot\min}^{(2)}}{I_{dr}} \geq 2$	<p>n_i——电流互感器变比;</p> <p>I_{db}——变压器一次侧额定电流, A;</p> <p>$I_{d2\cdot\min}^{(2)}$——最小运行方式下变压器低压侧两相短路, 流过高压侧 (保护安装处) 的稳态电流, A;</p> <p>I_{dr}——保护装置一次动作电流, A;</p> $I_{dr} = I_{drj} \frac{n_i}{K_{jx}}$
低压侧单相接地保护 (利用高压侧三相式过电流保护)	<p>保护装置的動作电流和動作时限与过电流保护相同</p> <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 低压侧母线或母干线末端单相接地时, 流过高压侧 (保护安装处) 的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{d2\cdot\min}^{(1)}}{I_{dr}} \geq 2$	<p>$I_{d2\cdot\max}^{(3)}$——最大运行方式下变压器低压侧三相短路时, 流压侧 (保护安装处) 的超瞬变电流, A;</p> <p>$I_{d2\cdot\min}^{(2)}$——最小运行方式下保护装置安装处两相短路超瞬变电流, A;</p> <p>$I_{d2\cdot\min}^{(1)}$——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地短路时, 流过高压侧 (保护安装处) 的稳态电流, A;</p>
低压侧单相接地保护 (采用在低压侧中性线上装设专用的零序保护)	<p>保护装置的動作电流 (应躲过正常运行变压器中性线上流过的最大不平衡电流, 其值按国家标准《电力变压器》规定, 不超过额定电流的 25%)</p> $I_{drj} = K_k \frac{0.25 I_{db}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的動作电流尚应与低压出线上的零序保护相配合</p> $I_{drj} = K_{ph} \frac{I_{dr\cdot 0}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{d2\cdot\min}^{(1)}}{I_{dr}} \geq 2$ <p>保护装置的動作时限一般取 0.5s</p>	<p>$I_{d2\cdot\min}^{(1)} = \frac{2}{3} \frac{I_{d2\cdot\min}^{(2)}}{n_b}$</p> <p>$I_{d2\cdot\min}^{(1)}$——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流, A;</p> <p>n_b——变压器变比;</p> <p>K_{ph}——配合系数, 取 1.1;</p> <p>$I_{dr\cdot 0}$——低压分支线上零序保护的動作电流, A</p>

如不能安装零序电流互感器, 而单相接地保护能够躲过电流回路中不平衡电流的影响, 例如单相接地电流较大, 或保护装置反应接地电流的暂态值等, 也可将保护装置接于三相电流互感器构成的零序回路中。

③ 在出线回路数不多, 或难以装设选择性单相接地保护时, 可用依次断开线路的方法, 寻找故障线路。

④ 根据人身和设备安全的要求, 必要时, 应装设动作于跳闸的单相接地保护。

(2) 对线路单相接地 可利用下列电流构成有选择性的电流保护或功率方向保护:

- ① 网络的自然电容电流；
- ② 消弧线圈补偿后的残余电流，例如残余电流的有功分量或高次谐波分量；
- ③ 人工接地电流，但此电流应尽可能小些，不宜大于 10~20A；
- ④ 单相接地故障的暂态电流。

(3) 可能时常出现过负荷的电缆线路 应装设过负荷保护。保护装置宜带时限动作于信号，必要时可动作于跳闸。

6~10kV 线路的继电保护配置和整定计算如表 11.1.23 和表 11.1.24 所示。

表 11.1.23 6~10kV 线路的继电保护配置

被保护线路	保护装置名称				备注
	无时限电流速断保护 ^①	带时限速断保护	过电流保护	单相接地保护	
单侧电源放射式单回线路	自重要配电所引出的线路装设	当无时限电流速断不能满足选择性动作时装设	装设	根据需要装设	当过电流保护的时限不大于 0.5~0.7s，且没有保护配合上的要求时，可不装设电流速断

① 无时限电流速断保护范围，应保证切除所有使该母线残压低于 50%~60% 额定电压的短路。为满足这一要求，必要时保护装置可无选择地动作，并以自动装置来补救。

表 11.1.24 6~10kV 线路的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	<p>保护装置的動作電流（應躲過線路的過負荷電流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{gh}}{K_b n_i} \quad (\text{A})$ <p>保護裝置的靈敏係數（按最小運行方式下線路末端兩相短路電流校驗）</p> $K_m = \frac{I_{d2\text{-min}}^{(2)}}{I_{dzj}} \geq 1.5$ <p>保護裝置的動作時限，應較相鄰元件的過電流保護大一時限階段，一般大 0.5~0.7s。</p>	<p>K_k——可靠係數，用於過電流保護時，DL 型和 GL 型繼電器分別取 1.2 和 1.3，用於電流速斷保護時分別取 1.2 和 1.5，用於單相接地保護時無時限取 4~5，有時限取 1.5~2；</p> <p>K_{jx}——接線係數，接於相電流時取 1，接於相電流差時取 $\sqrt{3}$；</p> <p>K_b——繼電器返回係數，取 0.85；</p> <p>n_i——電流互感器變比；</p> <p>I_{gh}——線路過負荷（包括電動機起動所引起的）電流，A；</p> <p>$I_{d2\text{-min}}^{(2)}$——最小運行方式下線路末端兩相短路穩態電流，A；</p> <p>I_{dz}——保護裝置一次動作電流，A；</p> $I_{dz} = I_{dzj} \frac{n_i}{K_{jx}}$
無時限電流速斷保護	<p>保護裝置的動作電流（應躲過線路末端短路時最大三相短路電流）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{d3\text{-max}}^{(3)}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保護裝置的靈敏係數（按最小運行方式下線路始端兩相短路電流校驗）</p> $K_m = \frac{I_{d1\text{-min}}^{(2)}}{I_{dzj}} \geq 2$	<p>$I_{d3\text{-max}}^{(3)}$——最大運行方式下線路末端三相短路超瞬變電流，A；</p> <p>$I_{d1\text{-min}}^{(2)}$——最小運行方式下線路始端兩相短路超瞬變電流，A；</p> <p>K_{jx}——配合係數，取 1.1；</p> <p>I_{dz3}——相鄰元件的電流速斷保護的一次動作電流，A；</p> <p>$I_{d3\text{-max}}^{(3)}$——最大運行方式下相鄰元件末端三相短路穩態電流，A；</p>
帶時限電流速斷保護	<p>保護裝置的動作電流（應躲過相鄰元件末端短路時的最大三相短路電流或與相鄰元件的電流速斷保護的動作電流相配合，按兩個條件中較大者整定）</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{d3\text{-max}}^{(3)}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>或</p> $I_{dzj} = K_{ph} K_{jx} \frac{I_{dz3}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保護裝置的靈敏係數與無時限電流速斷保護相同</p> <p>保護裝置的動作時限，應較相鄰元件的電流速斷保護大一個時限階段，一般大 0.5~0.7s。</p>	<p>$I_{d3\text{-max}}^{(3)}$——最大運行方式下相鄰元件末端三相短路穩態電流，A；</p>

保护名称	计算项目和公式	符号说明
单相接地保护	保护装置的一次动作电流（按躲过被保护线路外部单相接地故障时，从被保护元件流出的电容电流及按最小灵敏系数1.25整定） $I_{\text{d}} \geq K_{\text{k}} I_{\text{c}\alpha} \quad (\text{A})$ 和 $I_{\text{d}} \leq \frac{I_{\text{c}\Sigma} - I_{\text{c}\alpha}}{1.25} \quad (\text{A})$	$I_{\text{c}\alpha}$ ——被保护线路外部发生单相接地故障时，从被保护元件流出的电容电流，A； $I_{\text{c}\Sigma}$ ——电网的总单相接地电容电流，A

2. 35kV 中性点非直接接地电力网的线路

对相间短路和单相接地，装设相应的保护装置。

(1) 相间短路保护配置原则

① 保护装置如由电流继电器构成，应接于两相电流互感器上，并在同一网络的线路上均装于相同的两相上。

② 保护装置采用远后备方式。

③ 如线路短路，使重要用户母线电压低于额定电压的 50%~60% 时，应快速切除故障。

(2) 对相间短路 应按下列规定装设保护装置（单侧电源线路）：

① 可装一段或两段式电流电压速断保护和过电流保护；

② 由几段线路串联的单侧电源线路，如上述保护不能满足速动性或灵敏性要求，速断保护可无选择地动作，但应以自动重合闸来补救，此时，速断保护应躲开降压变压器低压母线的短路。

(3) 对单相接地故障 保护装置的装设原则及构成方式同 1~10kV 中性点非直接接地电力网线路。

(4) 可能时常出现过负荷的电缆线路，或电缆与架空混合线路 应装设过负荷保护。保护装置宜带时限动作于信号，必要时可动作于跳闸。

四、电力电容器的保护

对 1kV 及以上的并联补偿电容器组的下列故障及异常运行方式，应按规定装设保护装置：

- ① 电容器组和断路器之间连接线短路；
- ② 电容器内部故障及其引出线短路；
- ③ 电容器组中某一故障电容器切除后所引起的过电压；
- ④ 电容器组的单相接地故障；
- ⑤ 电容器组过电压。

(1) 并联补偿电容器组 应按下列规定装设保护装置。

① 对电容器组和断路器之间连接线的短路，可装设带有短时限的电流保护，动作于跳闸。保护装置的动作电流，按电容器组长期允许的最大工作电流整定。

② 对电容器内部故障及其引出线的短路，宜对每台电容器分别装设专用的熔断器。熔丝的额定电流可为电容器额定电流的 1.5~2.0 倍。

③ 当电容器组中故障电容器切除到一定数量，引起电容器端电压超过 110% 额定电压时，保护应将整组电容器断开。为此，可采用下列保护之一：

a. 单星形接线电容器组的零序电压保护、电压差动保护、中性点不平衡电流或电压保护或利用电桥原理的电流平衡保护等；

b. 双星形接线电容器组的中性点电压或电流不平衡保护。

对电容器组的单相接地故障，可参照 1~10kV 中性点非直接接地电力网线路的规定装设保护，但安装在绝缘支架上的电容器组，可不再装设单相接地保护。

对电容器组应装设过电压保护，带时限动作于信号或跳闸。

(2) 串联补偿电容器组 应装设反应下列故障及异常情况的保护装置。

① 对电容器内部故障及其引出线上的短路，应装设平衡保护。保护装置应在一个电容器组内部分熔丝熔断时，带时限动作于信号。

② 对有可能发生过负荷的串联电容器组，可装设反应线路电流的过负荷保护，带时限动作于信号。

6~10kV 电力电容器组的继电保护配置和整定计算见表 11.1.25 和表 11.1.26 (供参考)。

表 11.1.25 6~10kV 电力电容器组的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称				备注
	无时限或带时限过电流保护	横差保护	过电压保护	单相接地保护	
电容器组	装 设	对电容器内部故障及其引出线短路采用熔断器保护时,可不装设	当电压可能经常超过 110% 额定值时,宜装设	电容器与支架绝缘时可不装设	当电容器组的容量在 400kvar 以内时,可以用带熔断器的负荷开关进行保护

表 11.1.26 6~10kV 电力电容器组的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
无时限或带时限过电流保护	<p>保护装置的动作电流 (应躲过电容器组接通电路时的冲击电流)</p> $I_{d,j} = K_k K_{\mu} \frac{I_{sc}}{n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下,电容器组首端两相短路时,流过保护安装处的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{d,m}^{(2)}}{I_{d,j}} \geq 1.5$ <p>保护装置的动作时限,可不带时限或带短时限 0.1~0.2s</p>	<p>K_k——可靠系数,取 2~2.5;</p> <p>K_{μ}——接线系数,接于相电流时取 1,接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;</p> <p>n_i——电流互感器变比;</p> <p>I_{sc}——电容器组额定电流, A;</p> <p>$I_{d,m}^{(2)}$——最小运行方式下电容器组首端两相短路,流过保护安装处的超瞬变电流^①, A;</p> <p>$I_{d,j}$——保护装置一次动作电流, A;</p> $I_{d,j} = \frac{I_{d,j} n_i}{K_{\mu}}$
横联差动保护	<p>保护装置的动作电流 (应躲过正常时电流互感器二次侧差动回路中的最大不平衡电流,及当单台电容器内部 50%~75% 串联元件击穿时,使保护装置有一定的灵敏系数,即 $K_m \geq 1.5$)</p> $I_{d,j} \geq K_k I_{bp} \quad (\text{A})$ $I_{d,j} \leq \frac{Q \beta_c}{U_{sc}(1-\beta_c)} \frac{1}{n_i K_m} \quad (\text{A})$	<p>I_{bp}——最大不平衡电流, A, 由测试决定;</p> <p>Q——单台电容器额定容量, kvar;</p> <p>β_c——单台电容器元件击穿相对数,取 0.5~0.75;</p> <p>U_{sc}——电容器额定电压, kV;</p> <p>$I_{c\Sigma}$——电网的总单相接地电容电流, A;</p> <p>U_{sc}——电压互感器二次额定电压, V, 其值为 100V</p>
单相接地保护	<p>保护装置的一次动作电流 (按最小灵敏系数 1.5 整定)</p> $I_{d,j} \leq \frac{I_{c\Sigma}}{1.5} \quad (\text{A})$	
过电压保护	<p>保护装置动作电压 (按母线电压不超过 110% 额定电压值整定)</p> $U_{d,j} = 1.1 U_n \quad (\text{V})$ <p>保护装置动作于信号或带 3~5min 时限动作于跳闸</p>	

① 两相短路超瞬变电流 $I_{d,m}^{(2)}$ 等于三相短路超瞬变电流 $I_{d,m}^{(3)}$ 的 0.866 倍。

五、异步电动机和同步电动机的保护

(1) 对电压为 1kV 及以上的异步电动机和同步电动机 应按规定对下列故障及常运行方式,装设相应的保护装置:

- | | |
|-------------|-------------------|
| ① 定子绕组相间短路; | ⑤ 同步电动机失步; |
| ② 定子绕组单相接地; | ⑥ 同步电动机失磁; |
| ③ 定子绕组过负荷; | ⑦ 同步电动机出现非同步冲击电流。 |
| ④ 定子绕组低电压; | |

(2) 对电动机的定子线组及其引出线的相间短路故障 应按下列规定装设相应的保护装置:

① 2MW 以下的电动机, 装设电流速断保护, 保护装置宜采用两相式;

② 2MW 及以上的电动机, 或 2MW 以下, 但电流速断保护灵敏性不符合要求的电动机, 装设纵联差动保护。

上述保护装置应动作于跳闸。对于有自动灭磁装置的同步电动机, 保护装置还应动作于灭磁。

(3) 对单相接地 当接地电流大于 5A 时, 应装设单相接地保护。单相接地电流为 10A 及以上时, 保护装置动作于跳闸; 单相接地电流为 10A 以下时, 保护装置可动作于跳闸, 也可动作于信号。

(4) 下列电动机应装设过负荷保护

① 生产过程中易发生过负荷的电动机, 保护装置应根据负荷特性, 带时限动作于信号、跳闸或自动减负荷。

② 起动或自起动困难、需要防止起动或自起动时间过长的电动机, 保护装置动作于跳闸。

(5) 下列电动机应装设低电压保护 (保护装置应动作于跳闸)

① 当电源电压短时降低或短时中断后又恢复时, 为保证重要电动机自起动而需要断开的次要电动机。

② 当电源电压短时降低或短时中断后, 根据生产过程不允许或不需自起动的电动机。

③ 需要自起动, 但为保护人身和设备安全, 在电源电压长时间消失后须从电力网中自动断开的电动机。

(6) 对同步电动机失步 应装设失步保护。失步保护带时限动作。对于重要电动机, 动作于再同步控制回路, 不能再同步, 或根据生产过程不需要再同步的电动机, 则应动作于跳闸。

失步保护可按下列原理构成:

① 反应转子回路出现的交流分量;

② 反应定子电压与电流间相角的变化;

③ 反应定子过负荷, 这种方法, 用于短路比在 0.8 及以上且负荷平稳的电动机。

(7) 对于负荷变动大的同步电动机 当用反应定子过负荷的失步保护时, 应增设失磁保护。失磁保护带时限动作于跳闸。

(8) 不允许非同步冲击的同步电动机 宜装设防止电源中断再恢复时造成非同步冲击的保护。

保护装置可反应功率方向、频率降低、频率下降速度或由有关保护和自动装置连锁动作。

保护装置应确保在电源恢复前动作。重要电动机的保护装置, 宜动作于再同步控制回路。不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机, 保护装置应动作于跳闸。

(9) 3~10kV 电动机的继电保护配置和整定计算 (见表 11.1.27 和表 11.1.28)

表 11.1.27 3~10kV 电动机的继电保护配置

电动机容量 /kW	保护装置名称						
	电流速断保护	纵联差动保护	过负荷保护	单相接地保护	低电压保护	失步保护 ^①	阻止非同步冲击的断电失步保护 ^②
异步电动机 < 2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设	生产过程中易发生过负荷时, 或起动、自起动条件严重时, 应装设	单相接地电流 > 5A 时装设, ≥10A 时一般动作于跳闸, 5~10A 时可动作于跳闸或信号	根据需要装设		
同步电动机 ≥ 2000		装设					
异步电动机 < 2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设				装设	根据需要装设
同步电动机 ≥ 2000		装设					

① 短路比在 0.8 及以上且负荷平稳的同步电动机及负荷变动大的同步电动机, 可以利用反应定子回路的过负荷保护兼作失步保护, 但此时应增设失磁保护。

② 大容量同步电动机当不允许非同步冲击时, 宜装设防止电源短时中断再恢复时造成非同步冲击的保护。

表 11.1.28 3~10kV 电动机的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
电流速断保护	<p>保护装置的動作电流</p> <p>异步电动机 (应躲过电动机的起動电流)</p> $I_{dzj} = K_h K_{jx} \frac{K_q I_{qd}}{n_i} \text{ (A)}$ <p>同步电动机 (应躲过电动机的起動电流或外部短路时电动机的输出电流)</p> $I_{dzj} = K_h K_{jx} \frac{K_q I_{qd}}{n_i} \text{ (A)}$ <p>和</p> $I_{dzj} = K_h K_{jx} \frac{I_{dd}^{(3)}}{n_i} \text{ (A)}$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 电动机接线端两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{dmin}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 2$	<p>K_h——可靠系数, 用于电流速断保护时, DL 型和 GL 型继电器分别取 1.4~1.6 和 1.8~2.0, 用于差动保护时取 1.3, 用于过负荷保护时动作于信号取 1.05, 动作于跳闸取 1.2;</p> <p>K_{jx}——接线系数, 接于相电流时取 1.0, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;</p> <p>n_i——电流互感器变比;</p> <p>I_{qd}——电动机额定电流, A;</p> <p>K_q——电动机起動电流倍数^①;</p> <p>$I_{dd}^{(3)}$——同步电动机接线端三相短路时, 输出的超瞬变电流^②, A;</p> <p>$I_{dmin}^{(2)}$——最小运行方式下, 电动机接线端两相短路时, 流过保护安装处的超瞬变电流^③, A;</p>
纵联差动保护 (用 BCH-2 型差动继电器时)	<p>保护装置的動作电流 (应躲过以下三种情况最大不平衡电流: ①电动机起動电流, ②电流互感器二次回路断线, ③外部短路时同步电动机输出的超瞬变电流)</p> $\textcircled{1} I_{dzj} = K_k K_{\alpha} \Delta / K_{jx} \frac{K_q I_{qd}}{n_i} \text{ (A)}$ $\textcircled{2} I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{I_{qd}}{n_i} \text{ (A)}$ $\textcircled{3} I_{dzj} = K_k K_{\alpha} \Delta / K_{jx} \frac{I_{dd}^{(3)}}{n_i} \text{ (A)}$ <p>确定继电器的差动线圈及平衡线圈的匝数</p> $W_{jx} = \frac{AW_0}{I_{dzj}}$ $W_{jx} \geq W_{1ph} + W_{c, \alpha}$ $W_{1ph} = W_{1ph, \alpha}$ <p>确定短路线圈的抽头: 一般选取抽头 3-3 或 2-2, 对大容量电动机 (如容量 $\geq 5000\text{kW}$) 可选取 2-2 或 1-1</p> <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 电动机接线端两相短路时, 流过保护装置的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{W_{1ph} + W_{c, \alpha}}{AW_0} \cdot \frac{K_{jx} I_{dmin}^{(2)}}{n_i} \geq 2$	<p>I_{dz}——保护装置一次動作电流, A;</p> $I_{dz} = \frac{I_{dzj} n_i}{K_{jx}}$ <p>K_{α}——电流互感器的同型系数, 取 0.5;</p> <p>Δf——电流互感器允许误差, 取 0.1;</p> <p>AW_0——继电器的動作安匝, 应采用实测值, 如无实测值, 则可取 60;</p> <p>W_{jx}——差动继电器计算匝数;</p> <p>$W_{1ph, \alpha}$——第一平衡线圈的实用匝数;</p> <p>$W_{c, \alpha}$——差动线圈的实用匝数;</p> <p>W_{1ph}——第二平衡线圈的实用匝数;</p> <p>K_k——继电器返回系数, 取 0.85;</p> <p>t_{qd}——电动机实际起動时间, s;</p> <p>t_{dz}——保护装置動作时限, 一般选为 10~15s, 应在实际起動时校验其能否躲过起動时间;</p> <p>I_{ca}——电动机的电容电流, A, 除大型同步电动机外, 可忽略不计;</p> <p>$I_{c\alpha}$——电网的总单相接地电容电流, A</p>
纵联差动保护 (用 DL-11 型电流继电器时)	<p>保护装置的動作电流 (应躲过电动机的最大不平衡电流)</p> $I_{dzj} = (1.5 \sim 2) \frac{I_{qd}}{n_i} \text{ (A)}$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 电动机接线端两相短路时, 流过保护装置的短路电流校验)</p> $K_m = \frac{I_{dmin}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 2$	

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过负荷保护	保护装置的动作电流（应躲过电动机的额定电流） $I_{dz-j} = K_k K_{pr} \frac{I_{ed}}{K_h n_i} \quad (\text{A})$ 保护装置的动作时限 ^① （躲过电动机起动及自起动时间，即 $t_{dz} > t_{qd}$ ）对于一般电动机为 $t_{dz} = (1.1 \sim 1.2) t_{qd} \quad (\text{s})$ 对于传动风机负荷的电动机为 $t_{dz} = (1.2 \sim 1.4) t_{qd} \quad (\text{s})$	
单相接地保护	保护装置的一次动作电流（应按被保护元件发生单相接地故障时最小灵敏系数 1.25 整定） $I_{dz} \leq \frac{I_{g2} - I_{ed}}{1.25} \quad (\text{A})$	
失步保护（过负荷保护兼作）	保护装置的动作电流和动作时限与过负荷保护相同	

① 如为降压电抗器起动及变压器-电动机组，其起动电流倍数 K_k 改用 K'_k 代替：

$$K'_k = \frac{1}{\frac{1}{K_k} + \frac{u_d S_{ed}}{S_{ob}}}$$

式中 u_d ——电抗器或变压器的阻抗电压相对值；

S_{ed} ——电动机额定容量，kVA；

S_{ob} ——电抗器或变压器额定容量，kVA。

② 同步电动机接线端三相短路时，输出的超瞬变电流为

$$I_{ed}^{(3)} = \left(\frac{1.05}{K'_k} + 0.95 \sin \varphi_e \right) I_{ed} \quad (\text{A})$$

式中 X'_d ——同步电动机超瞬变电抗，相对值；

φ_e ——同步电动机额定功率因数角；

I_{ed} ——同步电动机额定电流，A。

③ 两相短路超瞬变电流 $I^{(2)}$ 等于三相短路超瞬变电流 $I^{(3)}$ 的 0.866 倍。

④ 实际应用中，保护装置的动作时限 t_{dz} ，可按两倍动作电流及两倍动作电流时允许过负荷时间 t_{ph} ，在继电器特征曲线上查出 10 倍动作电流的动作时间。 t_{ph} 可按下式计算：

$$t_{ph} = \frac{150}{\left(\frac{2I_{dz-j} n_i}{K_{pr} I_{ed}} \right)^2 - 1} \quad (\text{s})$$

六、6~10kV 电弧炉变压器的继电保护

1. 6~10kV 电弧炉变压器的继电保护配置（表 11.1.29）

表 11.1.29 6~10kV 电弧炉变压器的继电保护配置

保护动作的断路器	保护装置名称						备注
	电流速断保护	过电流保护	过负荷保护	线路单相接地保护	瓦斯保护	温度保护	
线路断路器	装设	装设		有条件时装设			
操作断路器			一般装设三相三继电器式保护作用于跳闸		装设	装设	当变压器容量小于 400kVA 时，允许不装设瓦斯保护

2. 6~10kV 电弧炉变压器的继电保护整定计算 (表 11.1.30)

表 11.1.30 6~10kV 电弧炉变压器的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
电流速断保护	<p>保护装置的动作电流 (应躲过电极触及炉料时的操作短路冲击电流)</p> $I_{dzj} = K_k K_{jx} \frac{K_{ab} I_{d1}}{n_{11}} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 变压器高压侧两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验)</p> $K_n = \frac{I_{d' \min}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 1.5$	<p>K_k——可靠系数, 用于电流速断保护时取 1.25, 用于过负荷保护时取 1.1~1.25;</p> <p>K_{jx}——接线系数, 接于相电流时取 1.0, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$;</p> <p>n_{11}——变压器高压侧电流互感器变比;</p> <p>n_{12}——变压器低压侧电流互感器变比;</p> <p>K_{ab}——过负荷倍数, 取 3~3.5;</p> <p>I_{d1}——变压器高压侧额定电流, A;</p> <p>I_{d2}——变压器低压侧额定电流, A;</p> <p>$I_{d' \min}^{(2)}$——最小运行方式下, 变压器高压侧两相短路时, 流过保护安装处的超瞬变电流^①, A;</p> <p>I_{dz}——保护装置一次动作电流, A;</p> $I_{dz} = \frac{I_{dzj} n_{11}}{K_{jx}}$
过电流保护	<p>保护装置的动作电流 (应按最小运行方式下, 变压器低压侧两相短路时的最小灵敏系数 1.25 整定, 其次可按与过负荷保护相配合整定)</p> $I_{dzj} \leq K_{jx} \frac{I_{d2 \min}^{(2)}}{1.25 n_{11}} \quad (\text{A})$ <p>其次</p> $I_{dzj} = K_{jx} K_{ph} \frac{I_{dz1}}{n_{11}} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的动作时限, 应比过负荷保护大一时限阶段, 一般大 0.7s。</p> <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下, 变主器低压侧两相短路时, 流过保护装置处的短路电流来校验)</p> $K_n = \frac{I_{d' \min}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 1.25$	<p>$I_{d' \min}^{(2)}$——最小运行方式下, 变压器低压侧两相短路时, 流过保护安装处的稳态电流;</p> <p>K_{ph}——配合系数, 取 1.1;</p> <p>I_{dz1}——过负荷保护归算到高压侧的一次动作电流, A;</p> $I_{dz1} = \frac{I_{dzj1} n_{12} I_{d1}}{K_{jx} I_{d2}}$ <p>K_h——继电器返回系数, 取 0.85</p>
过负荷保护	<p>保护装置的运行电流 (应躲过变压器额定电流)</p> $I_{dzjl} = K_k K_{jx} \frac{I_{d2}}{K_h n_{12}} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的動作时限, 应按变压器过负荷电流为 3 倍额定电流时, 继电器的动作时间为 5~10s 整定</p>	

① 两相短路超瞬变电流 $I_{d' \min}^{(2)}$ 等于三相短路超瞬变电流 $I_{d' \min}^{(3)}$ 的 0.866 倍。

七、6~10kV 分段母线的继电保护配置

1. 6~10kV 分段母线的继电保护配置 (表 11.1.31)

表 11.1.31 6~10kV 分段母线的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称		备注
	电流速断保护	过电流保护	
不并列运行的分段母线	仅在分段断路器合闸瞬间投入, 合闸后自动解除	装设	采用反时限过电流保护时继电器瞬动部分应解除 出线不多的, 对 II、III 级负荷供电的配电所分段母线, 可不设保护装置

2. 6~10kV 分段母线的继电保护整定计算 (表 11.1.32)

表 11.1.32 6~10kV 分段母线的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	<p>保护装置的動作电流 (应躲过任一母线段的最大负荷电流)</p> $I_{dzj} = K_k K_{js} \frac{I_{fb}}{K_h n_i} \quad (\text{A})$ <p>保护装置的灵敏系数 (按最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验, 对后备保护, 则按最小运行方式下相邻元件末端两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验)</p> $K_n = \frac{I_{d\cdot\min}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 1.5$ $K_n = \frac{I_{d\cdot\min}^{(2)}}{I_{dz}} \geq 1.25$ <p>保护装置的動作时限, 应较相邻元件的过电流保护大一时限阶段, 一般大 0.5~0.7s</p>	<p>K_k——可靠系数, 同线路保护;</p> <p>K_{js}——接线系数, 同线路保护;</p> <p>K_h——继电器返回系数, 取 0.85;</p> <p>I_{fb}——一段母线最大负荷 (包括电动机自启动引起的) 电流, A;</p> <p>n_i——电流互感器变比;</p> <p>$I_{d\cdot\min}^{(2)}$——最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的稳态电流, A;</p> <p>$I_{d\cdot\min}^{(2)}$——最小运行方式下相邻元件末端两相短路时, 流过保护安装处的稳态电流, A;</p> <p>I_{dz}——保护装置一次動作电流, A;</p> $I_{dz} = I_{dzj} \frac{n_i}{K_{js}}$
电流速断保护	<p>保护装置的動作电流 (应按最小灵敏系数 2 整定)</p> $I_{dzj} \leq \frac{I_{d\cdot\min}^{(2)}}{2n_i}$	<p>$I_{d\cdot\min}^{(2)}$——最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的超瞬变电流^①, A</p>

① 两相短路超瞬变电流 $I_{d\cdot\min}^{(2)}$ 等于三相短路超瞬变电流 $I_{d\cdot\min}^{(3)}$ 的 0.866 倍。

八、自动投入装置

在下列情况下应装设备用电源或备用设备的自动投入装置 (以下简称自动投入装置)。

- ① 装有备用电源的变电所所用电源。
- ② 由双电源供电, 其中一个电源经常断开作为备用的变电所 (有必要时, 但需经供电部门同意)。
- ③ 降压变电所内有备用变压器或有互为备用的母线段。
- ④ 有备用机组的某些重要辅机。

自动投入装置应符合下列要求:

- ① 应保证工作电源或设备断开后才投入备用电源或设备;
- ② 工作电源电压, 除了因电源进线开关, 保护动作而消失外, 在其他原因造成消失时, 自动投入装置均应动作;
- ③ 自动投入装置应保证只动作一次;
- ④ 当工作电源及其回路故障时应闭锁自投装置的启动回路;
- ⑤ 自动投入装置如投入故障, 必要时应使投入断路器的保护加速动作。

应校验备用电源或备用设备自动投入时过负荷的情况和电动机自启动的情况, 如过负荷超过允许限度或不能保证自启动时, 应在自动投入装置动作时自动减负荷。

备用电源自动投入装置的启动回路中应串入电压互感器闸刀辅助接点, 以免拉开电压互感器闸刀时造成误动作。

应有防止电压互感器熔线熔断而造成备用电源自动投入装置误动作的措施, 如用二只电压继电器接点串联以及电压互感器二次侧 B 相接地并不装熔丝等。

备用电源自动投入装置的启动回路及合闸回路应经过具有明显断绝开点的断路装置 (如小闸刀或切换开关), 以便将备用电源自动投入装置投入或退出运行。

正常操作时应有防止备用电源自动投入的措施。

备用电源自动投入装置的启动回路、合闸回路及后加速回路都应有信号继电器及压板。

备用电源自动投入装置中的自保持中间继电器或常带电的延时返回中间继电器, 应有监视其状态的指示灯。

第八节 过电压保护

电力系统中的过电压，分内部过电压和大气过电压。

一、内部过电压

引起内部过电压的原因很多，有内部操作、故障、串联谐振等。而内部过电压数值的确定应考虑系统结构、容量及参数、中性点接地方式、断路器性能、母线出线回路数、系统运行接线、操作方式等诸因素。

对 35kV 及以下系统，内部过电压幅值按 4 倍最高运行相电压计。

为减少内部过电压对电气设备的不良影响，一方面在设备制造时适当放大其绝缘裕度，提高绝缘水平，使其在承受高于额定电压数倍的内部过电压时不至于损坏。另一方面在系统中采取减少过电压发生机率，降低过电压数值的措施。

① 选用励磁特性较好的电磁式电压互感器或采用电容式电压互感器。

② 在电磁式电压互感器的开口三角绕组中装设 $R \leq 0.4 (X_m / K_{13}^2)$ 的电阻 (K_{13} 为互感器一次绕组与开口三角形绕组的变比) 或装设其他专门消除此类铁磁谐振的装置。

在 35kV 以下电力网中，一般 $R < 100\Omega$ 。也可用 220V 500W 的白炽灯泡固定安装在 35kV 及以下电压互感器的开口三角绕组中。在中性点位移超过一定电压值时，可用零序过电压继电器将电阻短时投入 1min，然后再自动切除。

③ 个别情况下，在 10kV 及以下的母线上，可装设一中性点接地的星形接线电容器组，或用一段电缆代替架空线，减小对地容抗 X_{c0} ，使 $X_{c0} / X_m < 0.01$ (X_m 为互感器在线电压作用下单相绕组的励磁电抗)。

④ 减少同一系统中电压互感器中性点接地的数量，除电源侧电压互感器高压绕组一中性点接地外，其他电压互感器中性点尽可能不接地，因此对 10~35kV 供电的用户，不再装设供电电压级的三相五柱式互感器，也不装设一相或二相互感器接在相与地间（对于指示或计量专用互感器均采用高压侧不完全星形接线方式）。

⑤ 35kV 供电用户只在变电所 6~10kV 母线上装设一套三相五柱接地电压互感器，在该电压系统中均不再装设三相五柱接地电压互感器；不允许装设一相或两相电压互感器接在相线与地线间。

⑥ 断开高压变压器-电弧炉组时，电流迅速截断产生的过电压，应用阀型避雷器加以限制。为限制内过电压装设的避雷器，在变压器等被保护设备运行中不得断开。

⑦ 采用真空断路器投切电容器组、旋转电机、空载长线路等设备时，应装氧化锌避雷器限制过电压值。

二、大气过电压（防雷措施）

大气过电压是由大气中雷云放电而引起的过电压。大气过电压分两种：一种是由雷云对电力网或电气设备直接放电而引起过电压，称为直击雷过电压；另一种是雷云感应使电气设备过电压，称为感应过电压。

对于 35kV 及以下供用电系统，因其本身绝缘水平低，因此大气过电压的危害性更大。为预防因雷击而引起过电压对供用电系统的危害，必须采取防护措施。

装设避雷针和避雷线是防止直接雷击的有效措施。在 35kV 供电的变、配电所四周装设避雷针，以保护进线及电气设备等。

1. 保护范围计算

① 单支避雷针的保护范围，应按下列方法确定（图 11.1.11）。

避雷针在地面上的保护半径，应按下式计算：

$$r = 1.5h$$

式中 r ——保护半径，m；

h ——避雷针的高度，m。

在被保护高度 h_x 水平面上的保护半径，应按下式确定：

a. 当 $h_x \geq \frac{h}{2}$ 时

$$r_x = (h - h_x)p = h_a p$$

式中 r_x ——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径，m；

h_x ——被保护的高度，m；

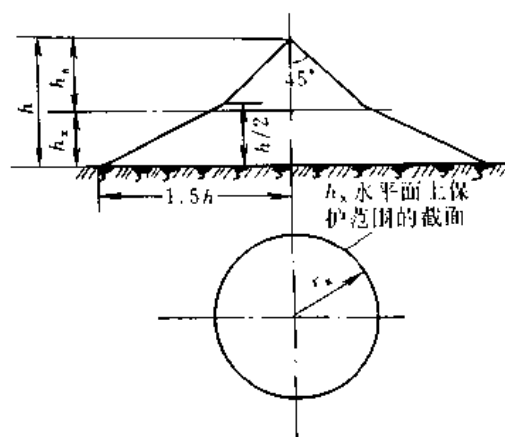


图 11.1.11 单支避雷针的保护范围

h_a ——避雷针的有效高度, m;

p ——高度影响系数, $h \leq 30\text{m}$, $p = 1$; $30 < h \leq 120\text{m}$, $p = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ 。

b. 当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时

$$r_x = (1.5h - 2h_x)p$$

② 两支等高避雷针的保护范围, 应按下列方式确定 (图 11.1.12)。

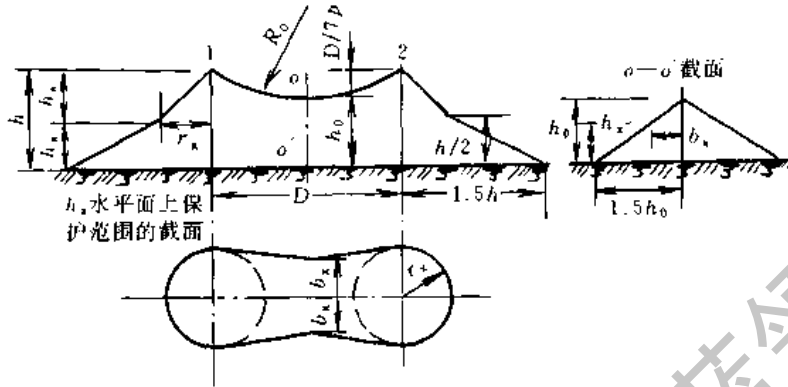


图 11.1.12 高度为 h 的两支等高避雷针的保护范围

两针外侧的保护范围, 应按单支避雷针的计算方法确定。

两针间的保护范围, 应通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 o 的圆弧确定, 圆弧的半径为 R_0 。 o 点为假想避雷针的顶点, 其高度应按下列式计算

$$h_0 = h \frac{D}{7p}$$

式中 h_0 ——两针间保护范围上部边缘最低点高度, m;

D ——两避雷针的距离, m。

两针间 h_x 的水平面上保护范围的一侧最小宽度, 应按下列式计算:

$$b_x = 1.5(h_0 - h_x)$$

式中 b_x ——保护范围一侧的最小宽度, m;

当 $D = 7h_x p$ 时, $b_x = 0$ 。

求得 b_x 后, 可按图 11.1.13 绘出两针间的保护范围。

保护变电所用的避雷针, 两针间的距离与针高之比 D/h 不宜大于 5。但保护第一类工业建筑物和构筑物用的避雷针, D/h 不宜大于 4。

③ 多支等高避雷针的保护范围, 应按下列方式确定 (图 11.1.13、图 11.1.14)。

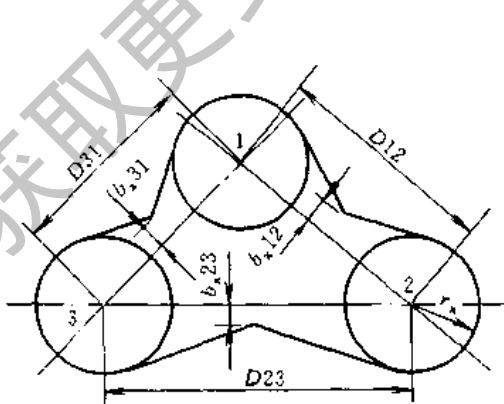


图 11.1.13 三支等高避雷针在 h_x 水平面上的保护范围

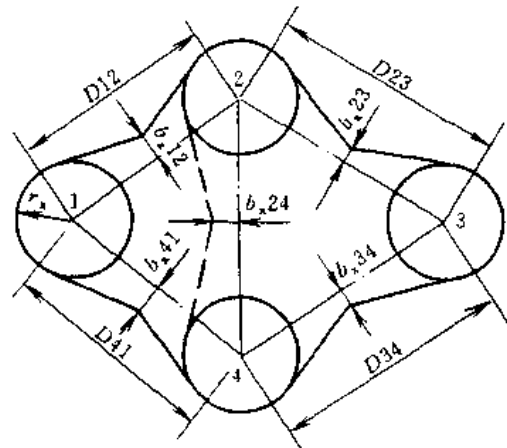


图 11.1.14 四支等高避雷针在 h_x 水平面上的保护范围

三支等高避雷针所形成的三角形的外侧保护范围，应分别按两支等高避雷针的计算方法确定。如在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上，各相邻避雷针间保护范围的一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ 时，则全部面积受到保护。

四支及以上等高避雷针所引成的四角形或多角形，可先将其分成两个或数个三角形，然后分别按三支高避雷针的方法计算。如各边的保护范围一侧最小宽度 $b_x \geq 0$ ，则全部面积受到保护。

④ 保护电力装置用的单根避雷线，在 h_x 水平面上每侧保护范围的宽度（端部的保护半径与其相等），应按下列公式确定（图 11.1.15）。

当 $h_x \geq \frac{h}{2}$ 时，

$$r_x = 0.47(h - h_x)p$$

式中 r_x ——每侧保护范围的宽度，m。

当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时，

$$r_x = (h - 1.53h_x)p$$

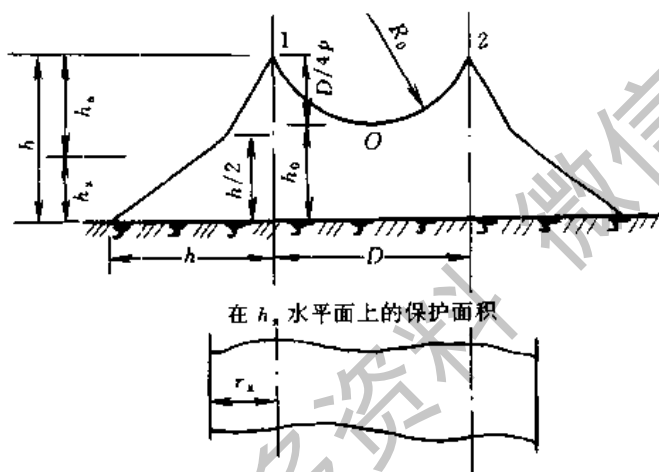


图 11.1.16 两根平行避雷线的保护范围

按下列方法确定（图 11.1.17）。

两支不等高避雷针外侧的保护范围，应分别按单支避雷针的计算方法确定。

两支不等高避雷针的保护范围，应按单支避雷针的计算方法，先确定较高避雷针 1 的保护范围，然后由较低避雷针 2 的顶点，做水平线与避雷针 1 的保护范围相交于点 3，取点 3 为等效避雷针的顶点，再按两支等高避雷针的计算方法确定避雷针 2 和 3 的保护范围。通过避雷针 2、3 顶点及保护范围上部边缘最低点的圆弧，其弓高应按下式计算：

$$f = \frac{D'}{7p}$$

式中 f ——圆弧的弓高，m；

D' ——避雷针 2 和等效避雷针 3 间的距离，m。

对多支不等高避雷针所形成的多角形，各相邻两避雷针的外侧保护范围，按两支不等高避雷针计算方法；三支不等高避雷针，如在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上，各相邻避雷针间保护范围一侧最小宽度 $b_x \geq$

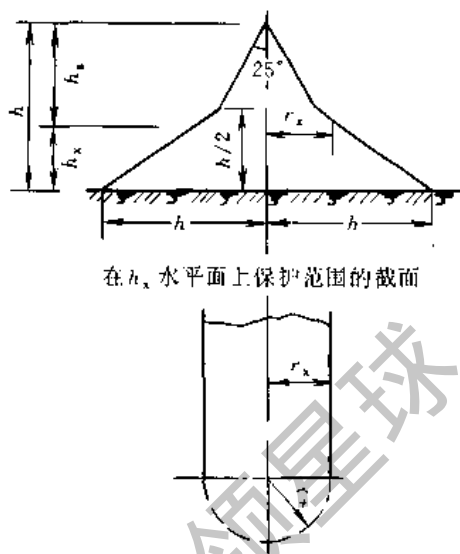


图 11.1.15 单根避雷线的保护范围

⑤ 保护电力装置用的两根等高平行避雷线的保护范围，应按下列方法确定（图 11.1.16）。两避雷线外侧的保护范围，应按单根避雷线的计算方法确定。

两避雷针间各横截面的保护范围，应由通过两避雷针 1、2 点及保护范围边缘最低点 O 的圆弧确定，O 点的高度应按下式计算：

$$h_0 = \frac{h - D}{4p}$$

式中 h_0 ——两避雷线间保护范围上部边缘最低点的高度，m；

D ——两避雷线间的距离，m；

h ——避雷线的高度，m。

两避雷线端部的保护范围，可按两支等高避雷针的计算方法确定，等效避雷针的高度可近似取避雷线悬点高度的 80%。

⑥ 不等高避雷针、避雷线的保护范围，应

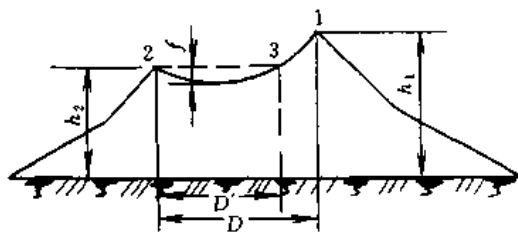


图 11.1.17 两支不等高避雷针的保护范围

0, 则全部面积都受到保护; 四支及以上不等高避雷针所形成的多角形, 其内侧保护范围可仿照等高避雷针的方法确定。

两根不等高避雷线各横面的保护范围, 应根据两支不等高避雷针的方法, 按公式计算。

⑦ 保护电力装置用的山地和坡地上的避雷针, 由于地形、地质、气象及雷电活动的复杂性, 避雷针的保护范围应有所减小。

利用山势设立的远离保护物的避雷针不得作为主要保护装置。

保护建筑物、构筑物用的山地和坡地上的避雷针、避雷线, 其保护宜分别减小为相应保护范围的 75%。

独立避雷针、避雷线应尽量靠近建筑物、构筑物装设, 但独立的避雷针、避雷线和建筑物、构筑物间的距离, 应符合防止反击的要求。

利用山势设立的远离建筑物、构筑物的避雷针、避雷线, 不得用为对第一、二类工业建筑物、构筑物和民用第一类建筑物、构筑物的主要保护装置。

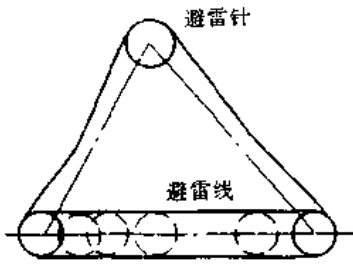


图 11.1.18 避雷针和避雷线的联合保护范围

⑧ 相互靠近的避雷针、避雷线可按联合保护作用确定其保护范围 (见图 11.1.18)。

可近似将避雷线上的各点看作等效避雷针, 其等效高度可取该点避雷线高度的 80%, 然后分别按两针的方法计算联合保护范围。

2. 独立避雷针制作有关规定

避雷针及其支架应满足机械强度的要求及其他相关标准及规定。

(1) 雷电接受器 即避雷针的最高部分接受放电的导体。

材料: 用一根 $\phi 30$ 白铁管 (或 $\phi 19$ 圆钢或 $40 \times 40 \times 4$ 角钢), 避雷针高度在 30m 以上要用 $\phi 38$ 白铁管 (或 $\phi 25$ 圆钢或 $50 \times 50 \times 5$ 角铁)。

做法: 上端作成 30° 尖锐光滑锥形, 外镀以锌。

(2) 引导体 即避雷针引下线。

材料: 用 $25\text{mm} \times 5\text{mm}$ 扁铁 (或用一根 $\phi 12$ 圆钢或 $35\text{mm}^2 \times 2$ 镀锌钢绞线); 避雷针高度在 30m 以上者, 用 $30\text{mm} \times 4\text{mm}$ 扁钢铁, 也可以用避雷针本身的柱、架的金属结构或水泥杆的钢筋作为引导体。

做法: 引导体尽可能和雷电接受器及接地极焊接, 引导体与接地极连接的弯曲 转角需大于 90° , 以减少电抗。

(3) 接地极 独立避雷针应设单独的接地装置, 在土址电阻率大于 $100\Omega \cdot \text{m}$ 的地区, 其接地电阻不宜超过 10Ω 。

材料: 人工接地极以 $\phi 38 \sim \phi 50$ 白铁管 (或 $40 \times 40 \times 4$ 角钢), $2 \sim 3\text{m}$ 长, 不少于 2 根。

做法: 人工接地极垂直打入地下, 用同样引导体规格金属线连接接地极。

(4) 避雷针杆架

材料: 可用水泥杆、钢管及铁塔。

做法: 水泥杆一般采用 18m 杆, 安装在水泥套筒内, 上面装金属棒。

铁管采用从下到上, 由粗到细的钢管焊接安装在混凝土的基础上。高度超过 30m 者宜采用铁塔。

3. 变配电所的直击雷保护装置有关规定

① 屋外变配电装置, 包括母线构架等应装设直接雷保护装置。

直接雷保护装置可采用避雷针或避雷线。

主控制室和配电装置室一般不装设直接雷保护装置。为保护其他设备而装设的避雷针, 不宜装在独立的主控制室的屋顶上。

已在相邻高建筑物保护范围内的建筑物或设备, 可不装设直接雷保护装置。

② 独立避雷针 (线) 宜设独立的接地装置, 在非高土壤电阻率地区, 其接地电阻不宜超过 10Ω 。当有困难时, 该接地装置可与主接地网连接, 但避雷针与主接地网的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点, 沿接地体的长度不得小于 15m 。

独立避雷针不应设在人经常通行的地方。避雷针及其地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m , 否则应采取均压措施, 或铺设砾石或沥青地面。

③ 严禁在装有避雷针的构筑物上架设通信线、广播线和低压线。

若需要在独立避雷针或者装有避雷针的构架上安装照明灯, 其电源线必须采用直接埋入地下的带金属外皮

的电缆或穿入金属管的导线, 电缆外皮或金属管埋地长度在 10m 以上, 才允许与 35kV 及以下配电装置的接地网及低压配电装置相连接。

④ 在 35kV 及以下高压配电装置构架或屋顶不宜装避雷针。在变压器的门形构架上, 不应装设避雷针、避雷线。

⑤ 35kV 配电装置, 在土壤电阻率不大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 的地区, 允许将线路的避雷线引接到出线门型构架上, 但应装设集中接地装置。在土壤电阻率大于 $500\Omega\cdot\text{m}$ 的地区, 避雷线应架设到线路终端杆为止。从线路终端杆塔到配电装置的一档线路的保护, 可采用独立避雷针, 也可在线路终端杆塔上装设避雷针。

变电所地区内难于装设接地装置时, 避雷线引接到构架上时应按 110kV 等级绝缘。

⑥ 独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分间的空气中距离, 以及独立避雷针、避雷线的接地装置与接地网间的地中距离, 应符合下列要求:

a. 独立避雷针与配电装置带电部分、变电所电力设备接地部分、构架接地部分之间的空气中距离, 应符合下列的要求:

$$S_k \geq 0.2R_{ch} + 0.1h$$

式中 S_k ——空气中距离, m;

R_{ch} ——独立避雷针的冲击接地电阻, Ω ;

h ——避雷针校验点的高度, m。

b. 独立避雷针的接地装置与变电所接地网间的地中距离, 应符合下式的要求:

$$S_d \geq 0.3R_{ch}$$

式中 S_d ——地中距离, m。

c. 避雷线与配电装置带电部分、变电所电力设备接地部分以及架构接地部分间的空气中距离, 应符合下列公式的要求:

一端绝缘另一端接地的避雷线

$$S_k \geq 0.2R_{ch} + 0.10(h + \Delta L)$$

式中 R_{ch} ——避雷线的冲击接地电阻, Ω ;

h ——避雷线支柱的高度, m;

ΔL ——避雷线上校验的雷击点与接地支柱的距离, m。

两端接地的避雷线

$$S_k \geq B' [0.2R_{ch} + 0.10(h + \Delta L)]$$

式中 B' ——避雷线分流系数;

ΔL ——避雷线上校验的雷击点与接地支柱的距离, m。

避雷线分流系数可按下列式计算

$$\beta' = \frac{1 + \frac{t_1 R_{ch}}{12.4(L_2 + h)}}{1 + \frac{\Delta L + h}{L_2 + h} + \frac{t_1 R_{ch}}{6.2(L_2 + H)}} \approx \frac{L_2 + h}{L_2 + \Delta L + 2h}$$

式中 $L_2 = L - \Delta L$;

ΔL ——避雷线上校验的雷击点与另一端支柱间的距离, m;

L ——避雷线两支柱间的距离, m;

t_1 ——雷击流波头长度, 一般取 $2.6\mu\text{s}$ 。

d. 避雷线的接地装置与变电所接地网间的地中距离, 应符合下列要求:

对一端绝缘另一端接地的避雷线, 应按 $S_d \geq 0.3R_{ch}$ 校验。

对两端接地的避雷线

$$S_d \geq 0.3\beta R_{ch}$$

e. 除上述要求外, 对避雷针和避雷线, 空气中的距离不宜小于 5m, 地中距离不宜小于 3m。

对 35kV 及以下配电装置, 包括组合导线、母线廊道等, 当条件许可时, 空气距离应尽量增大, 以便尽量降低感应过电压。

4. 变、配电所感应雷保护装置的有关规定

① 变电所应采取防止或减少近区雷击闪络。未沿全线架设避雷线的 35kV 架空送电线路，应在变电所 1~2km 的进线段架设避雷线。

进线保护段上的避雷线保护角宜不超过 20°，最大不应超过 30°。

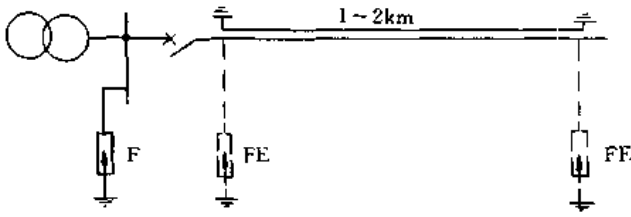


图 11.1.19 35kV 变电所的进线保护接线

② 未沿全线架设避雷线的 35kV 线路，其变电所的进线段应采用图 11.1.19 所示的保护接线。

在雷季，如变电所 35kV 进线的隔离开关或断路器可能经常断路运行，同时线路侧又带电，必须在靠近隔离开关或断路器处装设一组排气式避雷器 FE。

FE 外间隙距离的整定，应使其在断路运行时，能可靠地保护隔离开关或断路器，而在闭路运行时不动作。如 FE 整定有困难，或无适当参

数的排气式避雷器，则可用阀式避雷器代替。

全线架设避雷器的 35kV 变电所，其进线的距离开关或断路器与上述情况相同时，宜在靠近隔离开关或断路器处装设一组保护间隙或阀式避雷器。

铁塔或铁横担，瓷横担的钢筋混凝土杆线路，以及全线有避雷线的线路，其进线段首端一般不装设 FE。

③ 发电厂、变电所的 35kV 电缆进线段，在电缆与架空线的连接处应装设阀式避雷器，其接地端应与电缆金属外皮连接。对三芯电缆，末端的金属外皮应直接接地，如图 11.1.20 (a) 所示，对单芯电缆，应经金属氧化物电缆护层保护器 (FC) 或保护间隙 (FG) 接地，如图 11.1.20 (b) 所示。



(a) 三芯电缆段的变电所进线保护接线

(b) 单芯电缆段的变电所进线保护接线

图 11.1.20 具有 35kV 电缆段的变电所进线保护接线

如电缆长度不超过 50m 或虽超过 50m，但经校验，装一组阀式避雷器即能符合保护要求，图 11.1.21 中可只装 F1 或 F2。

如电缆长度超过 50m，且断路器在雷季可能经常断路运行，应在电缆末端装设排气式避雷器或阀式避雷器。

连接电缆段的 1km (35kV 及以上) 架空线路应架设避雷线。

全线电缆—变压器组接线的变电所内是否需装设阀式避雷器，应视电缆另一端有无雷电过电压波侵入的可能，经校验确定。

④ 具有架空进线的 35kV 发电厂和变电所敞开式高压配电装置中阀式避雷器的配置。

每组母线上应装设阀式避雷器。阀式避雷器与主变压器及其他被保护设备的电气距离超过表 11.1.33 的参考值时，可在主变压器附近增设一组阀式避雷器。

表 11.1.33 普通阀式避雷器至主变压器间的最大电气距离/m

系统标称电压 /kV	进线长度 /km	进 线 路 数			
		1	2	3	4
35	1	25	40	50	55
	1.5	40	55	65	75
	2	50	75	90	105

注：1. 全线有避雷线进线长度取 2km，进线长度在 1~2km 间时的距离按补插法确定。

2. 35kV 也适用于有串联间隙金属氧化物避雷器的情况。

变电所内所有阀式避雷器应以最短的接地线与配电装置的主接地网连接，同时应在其附近装设集中接地装置。集中接地装置与主接地网间的连接点应在地面上合适处，以便拆开测试。

35kV 装有标准绝缘水平的设备和标准特性阀式避雷器且高压配电装置采用单母线、双母线或分段的电气主接线时，碳化硅普通阀式避雷器与主变压器间的最大电气距离可参照表 11.1.33 确定。对其他电器的最大距离可相应增加 35%。

标准绝缘水平指 35kV 变压器，电压互感器标准雷电冲击全波耐受电压为 220kV。

架空进线采用双回路杆塔，有同时遭到雷击的可能，确定阀式避雷器与变压器最大电气距离时，应按一路考虑，且在雷季中宜避免将其中一路断开。

对电气接线比较特殊的情况，可用计算方法或通过模拟试验确定最大电气距离。

⑤ 有效接地系统中的中性点不接地的变压器，如中性点采用分级绝缘且未装设保护间隙，应在中性点装设雷电过电压保护装置，且宜在变压器中性点装金属氧化物避雷器。如中性点采用全绝缘，但变电所为单进线且为单台变压器运行，也应在中性点装设雷电过电压保护装置。

不接地、经消弧线圈接地和高电阻接地系统中的变压器中性点，一般不装设保护装置，但多雷区单进线变电所且变压器中性点引出时，宜装设保护装置；中性点接有消弧线圈的变压器，如有单进线运行可能，也应在中性点装设保护装置，该保护装置可任选金属氧化物避雷器或碳化硅普通阀式避雷器。

⑥ 35kV 配电所，应根据其重要性和进线路数等条件，在母线上或进线上装设阀式避雷器。

⑦ 与架空线路连接的变压器（包括一台变压器与两台电机相连的三绕组变压器）的低压绕组如有开路运行的可能和发电厂双绕组变压器当发电机断开由高压侧倒送厂用电时，应在变压器低压绕组三相出线上装设阀式避雷器，以防来自高压绕组的雷电波的感应电压危及低压绕组绝缘；但如该绕组连有 25m 及以上金属外皮电缆段，则可不装设避雷器。

⑧ 变电所的 3~10kV 配电装置（包括电力变压器），应在每组母线和架空进线上装设阀式避雷器（分别采用电站和配电阀式避雷器），并应采用图 11.1.21 所示的保护接线。母线上阀式避雷器与主变压器的电气距离不宜大于表 11.1.34 所列数值。

⑨ 35kV 小接地电流系统变压器中性点的防雷保护规定如下：

- a. 35kV 变压器中性点一般不需保护；
- b. 多雷地区，单路进线的 35kV 变电所宜在变压器中性点上加装避雷器保护；

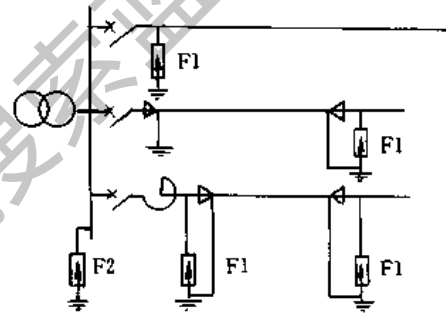


图 11.1.21 3~10kV 配电装置雷电侵入波的保护接线

c. 中性点接有消弧线圈的变压器，如有单路运行可能，也应在中性点上加装避雷器，在非雷季也不退出运行，以限制消弧线圈可能引起的内过电压。

⑩ 小容量变电所雷电侵入波过电压的简易保护

a. 3150~5000kVA 的变电所 35kV 侧，可根据

负荷的重要性及雷电活动的强弱等条件适当简化保护接线，变电所进线段的避雷线长度可减少到 500~600m，但其首端排气式避雷器或保护间隙的接地电阻不应超过 5Ω（见图 11.1.22）。

表 11.1.34 阀式避雷器至 3~10kV 主变压器的最大电气距离

雷季经常运行的进线路数	1	2	3	≥4
最大电气距离/m	15	20	25	30

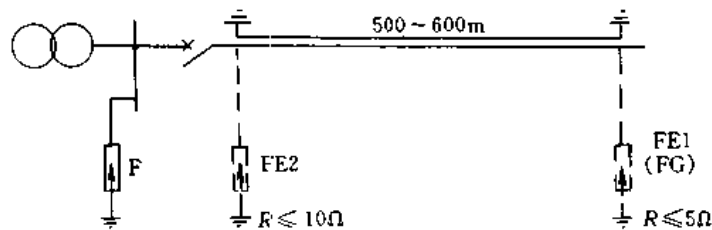


图 11.1.22 3150~5000kVA, 35kV 变电所的简易保护接线

b. 小于 3150kVA 供非重要负荷的变电所 35kV 侧, 根据雷电活动的强弱, 可采用图 11.1.23 (a) 的保护接线; 容量为 1000kVA 及以下的变电所, 可采用图 11.1.23 (b) 的保护接线。

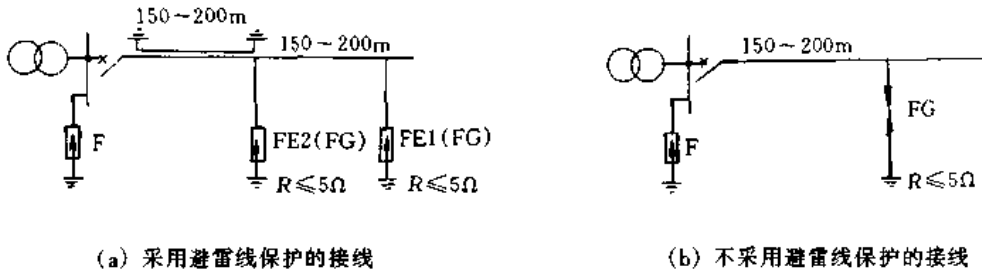


图 11.1.23 小于 3150kVA 变电所的简易保护

c. 小于 3150kVA 供非重要负荷的 35kV 分支变电所, 根据雷电活动的强弱, 可采用图 11.1.23 的保护接线; 根据分支线的长短, 可采用图 11.1.24 的保护接线。

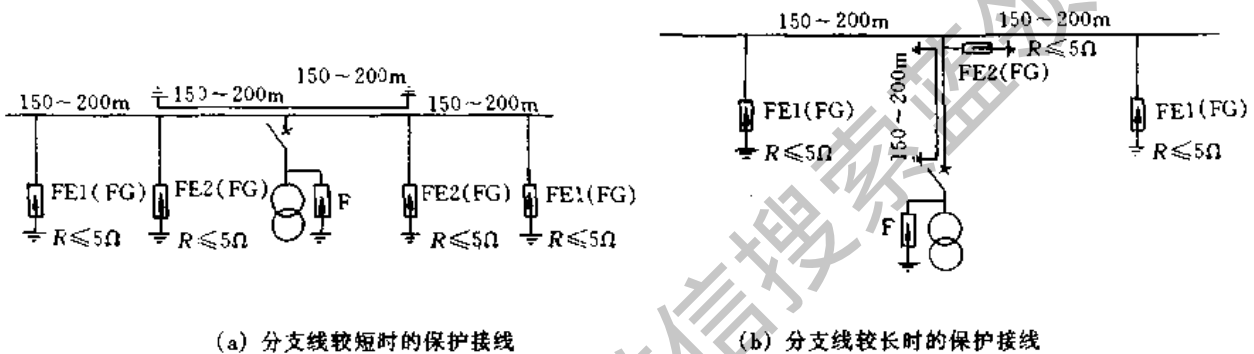


图 11.1.24 小于 3150kVA 分支变电所的简易保护

d. 简易保护接线的变电所 35kV 侧, 阀式避雷器与主变压器或电压互感器间的最大电气距离不宜超过 10m。

第九节 二次回路

对一次电气设备进行监视、测量、操纵、控制和起保护作用的辅助设备称为二次设备, 如各种继电器、信号装置、测量仪表、控制开关、控制电缆、操作电源和小母线等, 由这些二次设备连接成的回路则称为二次回路。按照二次设备的用途不同, 二次回路可分为继电保护二次回路、自动装置二次回路、控制二次回路、测量二次回路、信号装置二次回路、直流操作电源二次回路等。本节介绍有关设计原则。

一、信号回路

- ① 变电所控制室应设中央信号装置, 中央信号装置由事故信号和预告信号组成。
- ② 中央信号接线应简单、可靠, 对其电源熔断器应有监视。
- ③ 中央信号可采用由冲击继电器或脉冲继电器构成的装置, 也可采用由制造厂成套供应的闪光报警装置。
- ④ 信号回路应经过熔断器接至信号小母线 (无信号小母线时可接至控制母线)。
- ⑤ 变压器调压分接头的切换开关应在控制室设置自动的位置指示信号。
- ⑥ 直流系统的事故、预告信号应重复动作。当直流屏装设在主环外时, 还应在主环设直流系统故障的总信号光字牌。

二、控制回路

① 变电所宜采用一对一控制接线。控制回路宜采用控制开关具有固定位置的接线, 对遥控及无人值班变电所的控制回路, 宜采用控制开关自动复位的接线。

② 断路器的控制回路应满足下列要求:

- a. 应有电源监视。应有跳、合闸回路完整性的监视 (如有相关电气设备的电气联锁时也应反映出来);
- b. 应能指示断路器合闸与跳闸的位置状态, 自动合闸或跳闸时应有明显信号;

- c. 合闸或跳闸完成后应使命令脉冲自动解除。如采用弹簧操动机构应有弹簧拉紧与否的闭锁及信号灯；
- d. 有防止断路器“跳跃”的电气闭锁装置；
- e. 灯光或音响监视控制回路接线中，串联在跳、合闸回路中的信号灯或位置继电器上所得到的电压应不低于其额定电压的75%，各元器件应可靠动作；
- f. 接线应简单可靠，使用电缆芯最少。

③ 断路器宜采用双灯制接线的灯光监视控制回路。断路器在合闸位置时红灯亮，分闸位置时绿灯亮，事故跳闸绿灯闪光。

④ 当断路器采用电流起动的“防跳”接线时，应满足以下要求：

- a. 防跳继电器的动作时间，不应大于跳闸脉冲发出至断路器辅助触点切断跳闸回路的时间；
- b. 一般利用防跳继电器的常开触点，对跳闸脉冲予以自保持。当保护跳闸回路串有信号继电器时，该保护继电器触点应串接其电流自保持线圈。当选用的防跳继电器无电流自保护线圈时，亦可接适当电阻代替，电阻值应保证信号继电器能可靠动作。

⑤ 控制回路应经过熔断器接至控制小母线。控制回路的熔断器配置如下。

- a. 当一个安装单位内只有一台断路器时（如单回路馈线），只装设一组控制、保护、自动装置共用的熔断器。
- b. 当一个安装单位内有几台断路器（如主变压器），各断路器的控制回路应分别装设熔断器，对该安装单位公用的保护回路，则应根据主接线的各种运行方式，决定接于电源侧断路器的控制回路熔断器或另行设置总熔断器。当设置总熔断器时，该安装单位的各单独熔断器均应接于总熔断器之下。
- c. 对两个及以上安装单位公用保护或自动装置（如双路平行线路的公用保护、不接地电网的单相接地保护）应装设单独的熔断器并设电源（熔断器）监视继电器。

⑥ 对35kV及以下电压的隔离开关、接地闸刀和母线接地器宜就地控制。

隔离开关、接地闸刀和母线接地器，都必须有操作闭锁措施，严防电气误操作。防电气误操作回路的电源应单独设置。

⑦ 对具有电流或电压自保持的继电器，如防跳继电器等，在接线中应标志极性。

⑧ 当变电所有两组蓄电池时，对具有两个独立跳闸系统的断路器，应由二组蓄电池的直流电源分别供电，当保护有两组出口继电器时，也应由不同的出口继电器分别接至两个跳闸线圈。

三、操作电源

所谓操作电源是指变电所中开关控制、继电保护、自动装置和信号设备所用的电源统称。

变电所的操作电源应具有足够的可靠性。不论变电所的运行状况如何变化，即使是停电或发生事故、母线电压下降很多，操作电源也不允许中断，仍应保证有足够的电压和容量向二次回路供电。

变电所的操作电源按其性质可分交流操作电源和直流操作电源两大类。而直流操作电源又可分为由蓄电池供电的独立的直流操作电源和由硅整流供电的直流操作电源。

在35kV及以下供电的用户变电所中常采用以下几种操作电源。

1. 交流操作电源

交流操作电源由电流互感器（保护用）、电压互感器或所用变压器供电。对10kV中、小用户宜采用反时限保护，并利用电流互感器二次侧供给跳闸电源；由进线电压互感器二次100V侧经 $\sim 100/220\text{V}$ 升压器供断路器弹簧操作机构和分、合闸电源。

以往还有复式整流操作电源，但由于其结构复杂、电压不稳等缺点，目前已很少采用。

2. 直流操作电源

直流操作电源主要有：

① 硅整流电容储能直流装置，仅用于接线简单的小容量变电所中，其接线虽简单，但由于可靠性差，近年来已较少采用；

- ② 硅整流镉镍电池成套直流装置；
- ③ 硅整流免维护电池成套直流装置。

3. 蓄电池组

蓄电池组的容量应满足下列要求：

- ① 全所事故停电后所需较长时间（至少1h）的放电容量；

- ② 事故放电末期最大冲击负荷容量；
- ③ 变电所事故照明容量。

对小容量镉镍电池装置中的镉镍电池容量，应满足分闸、信号和继电保护的要求。

4. 蓄电池或储能电容器组组数

对35kV/(6)10kV降压变电所，应配两组蓄电池或储能电容器，分别供35kV、(6)10kV开关。对35kV直配变电所可选一组，但如开关台数多时应考虑单组电池容量是否足够。

5. 其他

应按有关规定配有过充过放保护、自动活化电池的电路和监视直流系统绝缘以及自动监测蓄电池容量、单只电池端电压的装置。

第十节 无功补偿

用户中绝大部分用电设备都是电感性负载，都要向电网吸取大量无功功率，因此用户的自然功率因数都较低，这不仅给供用电双方的运行带来很大不利，还影响到用户的经济利益，为此应采取多种措施提高功率因数，达到有关规定的标准。

一、提高功率因数的方法

1. 提高自然功率因数

- ① 合理使用感应式电动机，减少“大马拉小车”现象。
- ② 限制感应电动机等用电设备空载运行时间。
- ③ 合理使用变压器。
- ④ 采用同步电动机。

2. 采用并联电容器

当自然功率因数未达到规定标准的变配电所则装设并联电容器装置，其装置分组、容量宜根据就地补偿、便于调整电压及不发生谐振的原则进行配置。电容器装置宜装设在主变压器的低压侧或主要负荷侧。补偿方式一般有分散补偿和集中补偿。

二、装置的一般要求

- ① 应符合配电装置设计的基本原则及要求。
- ② 应充分考虑安装地点及其周围自然环境条件（海拔、污秽、风速、地震烈度、温度、湿度、日照、小动物等）和满足电容器标准中规定的对产品使用环境条件的限制。
- ③ 电容器组不应安装在下列场所：
 - a. 潮湿、多尘、高温场所；
 - b. 易燃、易爆及有腐蚀性气体场所；
 - c. 长期震动的场所。
- ④ 并联电容器安装方式分为户内式和户外式，一般用户均采用户内式。
- ⑤ 并联电容器应尽量设置在吸收无功功率大的部位。
- ⑥ 电容器室应有良好的自然通风，自然通风不能保证室（柜）内温度不超过+40℃时，应增设机械通风。
- ⑦ 电容器装置的载流部分（开关设备、导体等）的长期允许电流，不应小于电容器组额定电流的1.35倍。
- ⑧ 电容器组应装设放电装置，应能使电容器的剩余电压迅速下降到规定范围。电容器组与放电装置应直接连接，中间不应有开关和熔断器。
- ⑨ 高压电容器组应装设瞬时或延时的保护并动作于跳闸，保护装置的动作值应躲开投入电容器时的冲击电流。

电容器应每台装设熔断器或将电容器分成若干组，按组装设熔断器，每组电容器一般不超过4台，容量不大于50kF。保护高压电容器的熔丝额定电流可按下式选择：

$$\text{熔丝额定电流} = \text{电容器额定电流} \times \text{系数 } K$$

式中系数 K 值如下：

一台电容器 $K = 1.5 \sim 2.0$ ；一组电容器 $K = 1.3 \sim 1.8$ ；自落熔丝 $K = 1.2 \sim 1.3$ 。

- ⑩ 按高压电容器组容量大小可分别选用下列开关投切：

a. 跌落式熔断器可投切225kF及以下电容器组；

b. 负荷开关可投切 400kF 及以下的电容器组；

c. 容量超过 400kF 时，应用断路器投切；然而宜用真空开关等投切。

⑮ 对有冲击性负荷、三相负荷电流不对称并在低压侧补偿的高压用户，应采用快速响应、无触点，三相负荷不对称补偿的投切装置。

⑯ 采用低压电容器组时，电容器组应装设单独的控制和保护装置，但为提高单台用电设备功率因数（属分散补偿方式）的电容器组可与该用电设备共用控制和保护装置。此时若电容器用熔断器保护，熔体额定电流可按电容器额定电流的 1.5~2.0 倍选择。

⑰ 电容器装置宜设置失压保护（控制电器可选用接触器或带失压脱扣的自动空气开关），当母线失压时自动将电容器切除。

⑱ 电容器装置应采用自动投切装置，选用等容量分组循环投切方式兼手动控制，自动控制装置应兼有限压保护功能，当系统电压上升到 1.1 倍电容器额定电压时能自动切除。

⑲ 当装设电容器装置处的高次谐波含量超过规定允许值或需要限制合闸涌流时，应在并联电容器组回路中设置串联电抗器。

三、电气接线

电容器装置的接线，应使电容器组的额定电压与接入电网的运行电压相配合。电容器组的绝缘水平应与电网的绝缘水平相配合。

电容器装置接线有中性点不接地的星形或双星形接线和三角形接线等方式。

第十一节 电能计量装置

一、装置的分类方法

一类计量装置：月平均用电量 $100 \times 10^4 \text{kWh}$ 及以上或变压器容量为 2000kVA 及以上的高压用户； $10 \times 10^4 \text{kWh}$ 及以上发电机。

二类计量装置：月平均用电量 $10 \times 10^4 \text{kWh}$ 及以上或变压器容量为 315kVA 及以上的高压计费用户； $10 \times 10^4 \text{kWh}$ 以下发电机；总厂用电线路。

三类计量装置：月平均用电量 $10 \times 10^4 \text{kWh}$ 及以下或变压器容量为 315kVA 以下的高压计费用户；负荷容量为 315kVA 及以上的低压计费用户。

四类计量装置：用户企业经济技术指标内部分析考核用的高压、低压线路。

二、装置的技术要求

1. 电能表、互感器接线方法

接入中性点有效接地的高压线路的计量装置，应采用三相四线有功、无功电能表。

接入中性点非有效接地的高压线路的计量装置，宜采用三相三线有功、无功电能表。一般 35kV 及以下的变配电所都采用中性点非有效接地方式。

接入中性点非有效接地的高压线路的计量装置，宜采用两台电压互感器，且按 V/V 方式接线。

2. 准确度

各类电能计量装置应配置的电能表、互感器的准确度等级如表 11.1.35 所示。

表 11.1.35 电能计量装置应配置的电能表、互感器准确度等级

电能计量装置类别	准确度等级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电流互感器
I	0.5	2.0	0.2	0.2 或 0.2s
II	1.0	2.0	0.2 或 0.5 ^①	0.2 或 0.2s 或 0.5 ^①
III	1.0	2.0	0.5	0.5 或 0.5s
IV	2.0	3.0	0.5	0.5 或 0.5s

① 此处的 0.5 级电压或电流互感器，在正常工作电压或负荷电流范围内和实际二次负荷下，其实际误差符合 0.2 级互感器的要求。

电压互感器二次回路电压降：对 I 类计费用计量装置，应不大于额定二次电压的 0.25%，其他计量装置，应不大于额定二次电压的 0.5%。

电压互感器二次回路电压降以电压互感器二次线圈端子与电能表端子的同相别线电压之间的幅值差和相位差（以弧度表示）的合成值（用方和根法计算）来考核。

电能计量装置的综合误差：当具备条件时，对电能计量装置中的电能表、互感器和电压互感器二次回路电压降可按综合误差进行考核。

3. 计量互感器的二次回路

互感器二次回路的连接导线应采用铜质单芯绝缘线。连接导线的截面积应由计算来确定：对电流二次回路，应按电流互感器的额定二次负荷来计算，但至少应不小于4（或2.5） mm^2 ；对电压二次回路，应按允许的电压降来计算，但至少不小于2.5 mm^2 。

专用互感器额定二次负荷的确定，应保证实际二次负荷在25%~100%额定二次负荷范围内；专用电压互感器额定二次负荷的额定功率因数应为0.3~0.5；专用电流互感器额定二次负荷的额定功率因数应为0.8。

电流互感器额定一次电流的确定，应保证其在正常运行中的实际负荷电流达到额定值的60%左右，至少应不小于30%。当实际负荷电流小于30%时，应采用二次绕组具有抽头的多变比电流互感器，或0.5s、0.2s级电流互感器。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星

第二章 配电系统

配电系统是电力系统中生产者（发电厂）与电力用户（消费者）之间分配电能的环节，我国规定配电压是110kV及以下，直至用户的接受电，并划分为高压配电压（35~110kV）、中压配电压（10kV）、低压配电压（220/380V）。一般将高压配称为次输电，中压配称为一次配，低压配称为二次配。配电系统组成网络的必要部分。配电设施包括配电线路、配电变电所、配电变压器等。

第一节 配电方式

配电网结构基本可分为放射式、树干式和环形接线，其中放射式和树干式结构简单，电能只能通过单一路径从电源点送到用电点；环形接线结构比较复杂，电能主要通过两个及以上的路径从电源点送到用电点。其中环形接线又可分多回线式、环式和网络式等多种形式。

一、放射式配电网

一路配电线路自配电变电所引出，按负荷的分布情况，呈放射状延伸出去，散布于整个供电区域，所有用电点的电能只能通过单一的路径供给（见图 11.2.1）。放射式配电网的优点是设施简单，运行维护方便，设备费用低，适用于低负荷密地区和一般的照明、动力负荷供电。只要不超过线路的额定容量并满足电压质量要求，放射式的配电线路就可以逐步延伸，以适应新增加的用电负荷的需要。放射式配电网的缺点是供电可靠性低，一旦配电设施有故障就会造成大量用户停电。为了弥补这一缺点，部分用户可以视其对供电可靠性要求的不同，从邻近配电网取得适当容量的备用电源。在中压和低压的放射式配电网中，通常还装设分段断路器将线路分成适当的区段，而且在适当的分段处与相邻线路之间装设联络断路器，使得放射式配电线路发生故障时的停电区段缩小，或将部分非故障区段切换到相邻线路，以保证继续供电。这种形式连接的放射式结构在城市的中、低压配电网中使用较多。



图 11.2.1 放射式配电网

二、树干式配电网

树干式接线跟放射式接线基本一致，如图 11.2.1 (a)，常用于目前负荷水平较高、密集的地区，为了解决其单电源供电的缺陷，常常在其支线上加装分段器来解决由于单电源供电的供电可靠性的要求。

三、环形接线

环形接线可分以下三种接线形式。

1. 多回线式配电网

多回配电线路（一般是平行敷设的）自配电变电所引出接到受电端，正常时各条配电线路并列运行，平均分担全部负荷，当一条配电线路有故障时，可自动将近其切断隔离，其余的配电线路有足够容量承担全部负荷（见图 11.2.2）。多回线式配电网至少有两个回配电线路，但一般为 3~4 路或更多回路。多回线式配电网比放

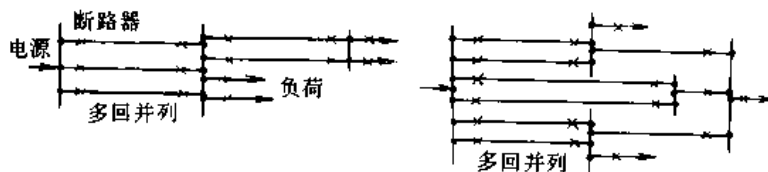


图 11.2.2 多回线式配电网

射式配电网可靠性高，一回配电线路故障时，不会造成用户停电，有需要时还可达到在第二回配电线路故障时不使用户停电的要求。电缆配电网故障测寻和故障修复时间较长，故常采用这种多回线的结构。多回线式配电网的主要缺点是继电保护配置比放射式配电网的要复杂。

2. 环式配电网

配电变电所引出的配电线路连接成环形，每个用电点自环上不同部位接出（见图 11.2.3）。简单的环式配电网是二回配电线路自同-（或不同）配电变电所的母线引出，利用联络断路器（或分段线路器）连接成环，每个用电点自环上 T 形或 Ⅱ 形支接。当环路上某区段发生故障时，利用分段断路器切换隔离后，其他区段上的负荷可继续供电，这是环式配电网的特点。将联络断路器经常断开，只有当某区段发生故障或停电作业时才倒换闭合的运行方式称为常开环路方式；而将联络断路器经常闭合的运行方式称为常闭环路方式。闭环运行增加装置的复杂性，但可改善配电网内电流分布，减少电压降和功率损耗。环式配电网的主要缺点是：若不配置自动化装置，当线路某--区段发生故障时，此线路将全部停电，要先逐段查出故障点，经隔离后才能恢复供电。

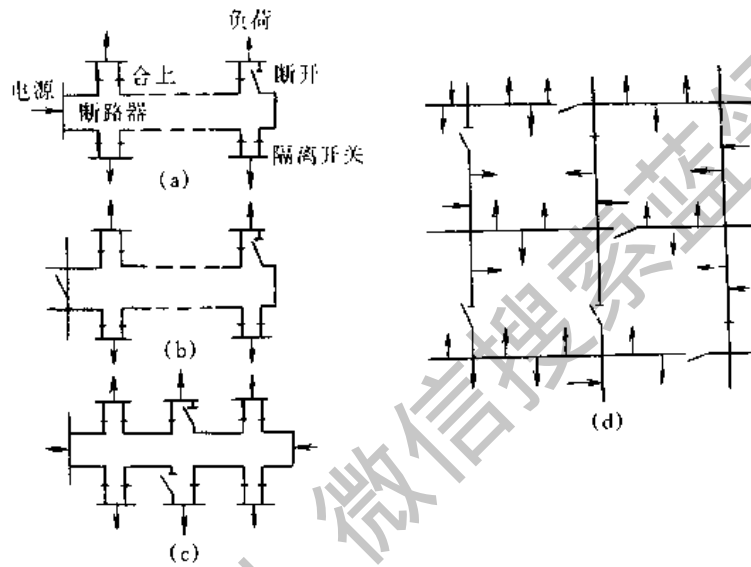


图 11.2.3 环式配电网
(a)、(b)、(c) 环式电缆配电网；(d) 环式架空配电网

3. 网络式配电网

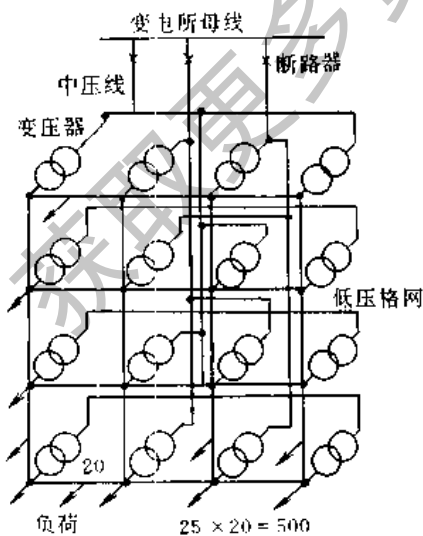


图 11.2.4 格网式配电网

自配电变电所的同一线引出多回中压配电线路（一般至少三路），配电线路上各配电变压器的低压侧均连接在一起，形成网络布置，用电点都自网上接出，任何一回配电线路或变压器停电时，用电负荷不会停电。网络式配电网又可分为格网式配电网和点网式配电网两种。

(1) 格网式配电网（图 11.2.4）用于大城市的低压电缆配电网，由来自同一电源但不同配电线路的多台变压器的低压电网实联或通过熔断器并联组成电缆故障时，电源侧断路器跳闸，配电变压器的低压侧断路器由反馈的励磁电流使逆功率保护动作跳闸，实现从高、低压两侧隔离故障，格网仍维持供电。格网式配电网供电可靠性高，线损小，电压质量好，但保护复杂，建设费用高。

(2) 点网式配电网（图 11.2.5）适用于大城市较大的集中负荷（如大楼、工厂等），由来自同一电源的多回配电线路（一般是三回）供电。用电点的每台配电变压器分别接到一回配电线路上，各变压器的低压侧连接到共同的母线（常称低压网络母线）上，用电负荷自此低压母线上接出。通常每回配电线路上还支接有本地区的其他点网供电的用户。点网式配电网在运行中，各配电变压器低压侧实联，平均

分担负荷，电压变动小，一台变压器回路故障时，不会造成停电，供电可靠性高。但其保护配置比较复杂，低压侧要装设较灵敏的网络保护器（其动作原理类似于电网式配电网中的逆功率保护），而且低压侧的短路容量较大，因此点网式配电网的容量不能建得太大。

架空配电网，放射式及树干式是其主要的接线方式，为了弥补其可靠性的缺陷，往往通过在其线路段上加装分段开关，通过线路的重合及跳闸保护等自动化设备来提高供电可靠性。上述二种接线形式投资少，但可靠性比较低。

现代化程度高、负荷密集的地区，对用电要求比较高，适合采用环形网络的接线，但投资比较大，适宜一次性投资，改造相对困难，而且调度管理也比较复杂。

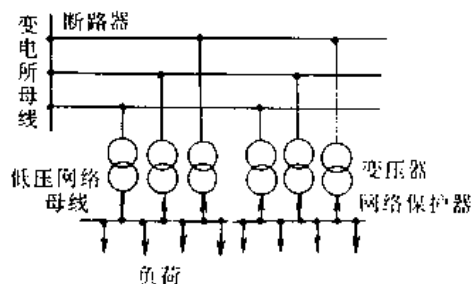


图 11.2.5 点网式配电网

第二节 低压配电线路敷设

低压配电线路的敷设一般需考虑环境场所、建筑物的特征和布线可能遭受的其他应力和导线的自重。

低压配电线路敷设过程中结合敷设环境和用户的具体要求可分为：绝缘子布线、金属管布线、塑料管布线、软电线管布线、金属槽板布线、塑料槽板布线、金属线槽布线、照明线槽布线、母线槽布线、橡套电缆敷设和橡套电缆以外的电缆敷设、特殊场所的布线等 12 种常见敷设方式。

具体的屋内、屋外和屋侧的低压配线，根据敷设的场所，当电压在 380V 以下可采用表 11.2.1 所列配线施工方法中的任何一种方法进行施工；当电压在 380V 以上，则可采用表 11.2.2 所列配线施工方法中的任何一种方法进行施工。

表 11.2.1 380V 以下配线敷设场所及施工方法

配线施工方法	能否敷设									
	屋内						屋侧屋外			
	明布线		暗布线				淋雨	不淋雨		
	干燥场所	特别潮湿或有水蒸气的场所	能检修		不能检修					
干燥场所			特别潮湿或有水蒸气的场所	干燥场所	特别潮湿或有水蒸气的场所					
绝缘子布线	○	○	○	○	×	×	○	○		
金属管布线	○	○	○	○	○	○	○			
塑料管布线	○	○	○	○	○	○	○			
软电线管布线	第 1 种软电线管	○	×	○	×	×	×	×		
	第 2 种软电线管	○	○	○	○	○	○			
金属槽板布线	○	×	○	×	×	×	×	×		
塑料槽板布线	○	×	○	×	×	×	×	×		
地下线槽布线	—	×	—	×	○	×	—	—		
金属线槽布线	○	×	○	×	×	×	×	×		
照明线槽布线	○	×	○	×	×	×	×	×		
母线槽布线	○	×	○	×	×	×	○	○		
橡套电缆敷设	第 1 种 聚氯乙烯橡套电缆	○	○	○	○	×	×	○	○	
	第 2 种	氟丁橡胶橡套电缆	○	○	○	○	×	×	○	○
		天然橡胶橡套电缆	○	○	○	○	×	×	×	×
	第 3 种	氟丁橡胶橡套电缆	○	○	○	○	○	○	○	○
天然橡胶橡套电缆		○	○	○	○	○	○	×	×	
橡套电缆以外的电缆敷设	○	○	○	○	○	○	○	○		

注：○表示只限于在明布线场所及能检查的暗布线场所是可行的。

×表示只限于在混凝土等地面内的布线。

—表示只限于使用户外线槽布线时（不能检查的暗布线场所除外）是可行的。

表 11.2.2 380V 以上配线敷设场所及施工方法

配线施工方法		能否敷设							
		屋内						屋侧屋外	
		明布线		暗布线					
		干燥场所	特别潮湿或有水蒸气的场所	能检修		不能检修		淋雨	不淋雨
干燥场所	特别潮湿或有水蒸气的场所			干燥场所	特别潮湿或有水蒸气的场所				
绝缘子布线		○	○	○	○	×	×	○	○
金属管布线		○	○	○	○	○	○	○	
塑料管布线		○	○	○	○	○	○	○	
软电线管布线	第1种软电线管	○	×	○	×	×	×	×	×
	第2种软电线管	○	○	○	○	○	○	○	○
金属线槽板布线		○	×	○	×	×	×	×	×
母线槽布线		○	×	○	×	×	×	×	×
橡胶套 电缆敷 设	聚氯乙烯橡胶套电缆		×	×	×	×	×	×	×
	第2种	氯丁橡胶橡胶套电缆	×	×	×	×	×	×	×
		天然橡胶橡胶套电缆	×	×	×	×	×	×	×
	第3种	氯丁橡胶橡胶套电缆	○	○	○	○	○	○	○
第4种	天然橡胶橡胶套电缆	○	○	○	○	○	○	×	
橡胶套电缆以外的电缆敷设		○	○	○	○	○	○	○	○

注：○表示只限于在明布线场所是可行的。

×表示只限于需要用软管作为接到电动机很短的局部引出时是可行的。

一、绝缘子布线

绝缘子布线是用鼓形绝缘子或针式绝缘子支持和敷设绝缘电线的方法。多年以来，木结构建筑物的配线施工，一直是以鼓形绝缘子布线为主。但是，现在这种布线方法，已经被用扁形聚氯乙烯护套电缆敷设所代替。绝缘子布线敷设场所及配线施工方法见表 11.2.1 (300V 以下) 及表 11.2.2 (300V 以上)。

二、金属管布线

金属管布线是在明敷或暗敷时把绝缘电线穿在钢电线管里的布线方法。它在钢筋混凝土建筑物的暗布线方面用得最多，也适用于在工厂等容易受到外部损伤的场所的明布线。

金属管布线一般是采用薄钢电线管，但最近也有采用无螺纹电线管。在有危险等的特殊场所，则采用厚钢电线管。

不同截面的导线穿在同一根管内时，按表 11.2.3 所列的导线（包括绝缘层）截面积的总和不得超过管的内截面积的 40%（表 11.2.5、表 11.2.7、表 11.2.9）来选择。金属管的尺寸与所穿导线的截面以及根数的关系见表 11.2.4、表 11.2.6、表 11.2.8。另外，当金属管的长度在 6m 以下，而且弯曲不很大，并能够容易更换导线时，3.2mm 以下的相同截面导线穿过管内允许根数见表 11.2.10，在其他的情况下，导线（包括绝缘层）的截面积之和不能超过金属管内截面积的 60%（见表 11.2.5、表 11.2.7、表 11.2.9）。

表 11.2.3 导线（包括绝缘层）的截面积

导线尺寸		截面积 /mm ²	导线尺寸		截面积 /mm ²
单线/mm	绞线/mm ²		单线/mm	绞线/mm ²	
1.6		20		60	186
2.0		23		80	224
2.6	5.5	32		100	302
3.2	8	43		125	350
				150	405
	14	58		200	531
	22	88		250	647
	30	104		325	774
	38	121		400	913
	50	163		500	1134

注：此表为橡皮绝缘电线的截面积，但是也适用于聚氯乙烯绝缘电线（聚氯乙烯绝缘电线比橡皮绝缘电线滑动性要差）。

表 11.2.7 薄钢电线管的 40% 和 60% 内截面积

电线管直径 /mm	40%内截面积 /mm ²	60%内截面积 /mm ²	电线管直径 /mm	40%内截面积 /mm ²	60%内截面积 /mm ²
15	57	85	39	382	573
19	79	118	51	711	1066
25	154	231	63	1116	1667
31	256	385	75	1636	2455

表 11.2.8 无螺纹电线管尺寸的选择

导线尺寸		导线根数									
单线/mm	绞线/mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		电线管的最小直径/mm									
1.6	—	E15	E15	E15	E19	E25	E25	E25	E25	E31	E31
2.0	—	E15	E15	E19	E25	E25	E25	E25	E31	E31	E31
2.6	5.5	E15	E19	E25	E25	E25	E31	E31	E31	E39	E39
3.2	8	E15	E25	E25	E31	E31	E31	E39	E39	E39	E51
—	E14	E15	E25	E25	E31	E39	E39	E51	E51	E51	E51
	22	E19	E31	E31	E39	E51	E51	E51	E51	E63	E63
	30	E19	E31	E39	E51	E51	E51	E63	E63	E63	E63
	38	E25	E39	E39	E51	E51	E63	E63	E63	E63	E75
	50	E25	E51	E51	E51	E63	E63	E63	E75	E75	E75
—	60	E25	E51	E51	E63	E63	E63	E75	75	—	—
	80	E31	E51	E51	E63	E63	E75	E75	—	—	—
	100	E31	E63	E63	E75	E75	—	—	—	—	—
	125	E31	E63	E63	E75	—	—	—	—	—	—
	150	E39	E63	E75	E75	—	—	—	—	—	—
—	200	E51	E75	E75	—	—	—	—	—	—	—
	250	E51	E75	—	—	—	—	—	—	—	—
	325	E51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	E51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	500	E63	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 11.2.9 无螺纹电线管的 40% 和 60% 内截面积

电线管直径 /mm	40%内截面积 /mm ²	60%内截面积 /mm ²	电线管直径 /mm	40%内截面积 /mm ²	60%内截面积 /mm ²
E15	60	90	E39	391	586
E19	87	130	E51	723	1084
E25	166	249	E63	1141	1712
E31	264	396	E75	1654	2482

表 11.2.10 管长在 6mm 以下, 中间无太大弯曲,
并易于更换导线时的最多导线根数 (IV 电线)

导线尺寸		厚 钢 线 管		薄 钢 电 线 管		
单线 /mm	绞线 /mm ²	16	22	15	19	25
1.6	—	9	15	6	9	15
2.0	—	6	11	4	6	11
2.6	5.5	4	7	3	4	7
3.2	8	2	4	1	2	4

三、软电线管布线

软电线管布线是把绝缘导线穿入软电线管进行布线，有第1种软电线管布线（蛇皮管布线）和第2种软电线管布线（波纹管布线）。

第1种软电线管布线不是用在全部配电线路上的，而是专门用于金属管布线和电动机等设备之间很短的连接上。

第2种软电线管布线也可以埋在混凝土里。当担心会受到重物的压力或在有明显的机械冲击的地方布线时，应该采取适当的防护措施。在特别潮湿或有水蒸气的场所进行布线时，必须采取防潮措施。

四、塑料管布线

塑料管布线是把导线穿入硬聚氯乙烯制成的塑料进行布线，与金属管布线一样，是在各种场所都能使用的布线方法（也可以埋在混凝土里布线）。塑料管布线与金属管布线相比，由于承受明显的机械冲击、重物压力等外力的能力差，所以当敷设在担心遭受这些外力的场所时，应采取适当的防护措施。另外，不能在温度特别高或特别低的地方进行布线。塑料管是在加热软化后进行弯曲的。管子弯曲时需要注意的事项和金属管布线相同。穿入电线困难时可用润滑剂。

五、地下线槽布线

这指的是采用钢地下线槽，埋在矿渣混凝土或混凝土板中纵、横、十字交叉地布线。根据需要，在线槽的导线出线口装上插座或电话用的出线接线盒，用电设备从最近的接线盒引入电线。

在地下线槽内用绝缘导线敷设。在同一线槽内包括绝缘在内的导线截面积的总和，应该为线槽内部截面积的40%以下。在线槽交叉、转弯以及引入电源的地方，应该设置接线盒。

六、金属线槽布线

钢板制的线槽（宽度超过5cm，厚度在1.2mm以上），主要是集中工厂内的配线以及从高层建筑变配电室引出来的干线等许多导线用的布线。集中在线槽内包括绝缘层的导线截面积的总和，应该为线槽内部截面积的20%以下（只收容电气灯光信号装置、出缺勤显示器以及其他与此相类似的装置或控制回路等电路的配线时，可以在50%以下）。导线分支时，除了在便于检修的地点之外，在线槽内不应有导线的连接点。

七、网状金属楼板布线

建筑物的地面本身是用波浪形钢板制成的，在它的上面铺上轻型混凝土面层，将导线穿入许多波浪形的网眼内部。在需要用电的地方开孔，能够像地下线槽那样在地面引出线，同时也能对下一层的顶棚灯布线。从配电箱或端子箱来的导线通过联管箱在网眼中相互交叉。

照明线槽是商店等采用的一种布线方法。在容纳有裸铜导体的小型线槽的出线处装有插销，因为电灯和小型用电器具是接在插销上使用的，所以，照明线槽有把插销固定使用的固定式和可以滑行移动的移动式两种。

八、母线槽布线

如图11.2.6(a)所示，母线槽内在适当间隔处放置用绝缘体支持的裸铜导线或裸铝导线，将母线槽放在用钢板或铝板制成的金属槽内，这种布线方式使用较早。目前，馈电母线槽和插接式母线槽等把导体放在绝缘槽里的绝缘式母线槽，如图11.2.6(b)所示。

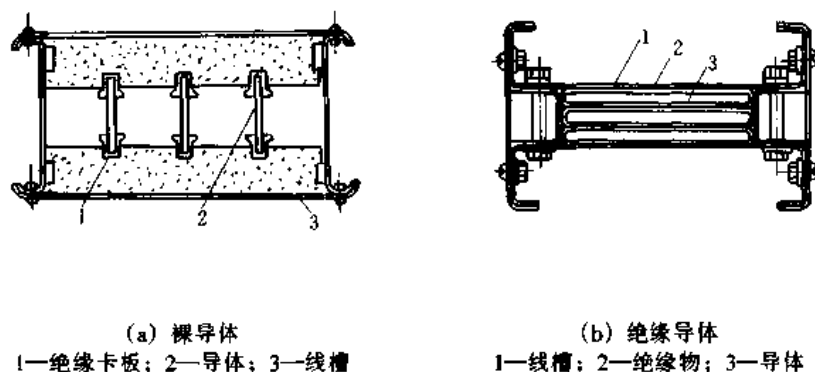


图 11.2.6 母线槽的剖面的实例

根据用途不同，母线槽可以分为馈电母线槽、插接式母线槽和滑触式母线槽三种。

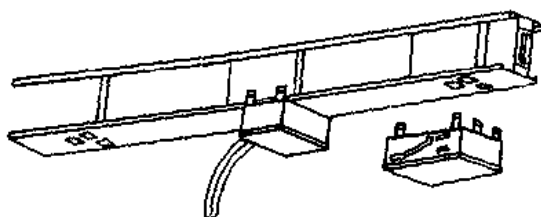


图 11.2.7 插接式母线槽（绝缘导体的实例）

(1) 馈电母线槽布线 这种母线槽是作为从变压器到配电屏，从配电屏到各个配电箱干线布线用的，载流量很大（一般是几千安）。这种母线槽一般具有像图 11.2.6 那样的剖面。

(2) 插接式母线槽布线 如图 11.2.7 所示，在母线槽侧面，每隔一定的距离设置一个出线口，根据需要把支路用的插接盒（开关和过电流保护器）插到这个出线口上。

(3) 滑触式母线槽布线 因为位于线槽下面的触点能够沿着带槽的母线移动，所以这种母线槽适用于小型移动式电功具等的布线。

九、金属槽板布线

第 1 种金属槽板布线是一种小型的金属槽板（A 型厚度在 1.0mm 以上，B 型厚度在 1.2mm 以上）是用钢板制成，由槽形底座和嵌在它上面的盖子所组成，沿着顶棚、墙面等敷设。在槽板内部不能有导线的接头。

第 2 种金属槽板布线是一种钢质小型金属槽板（宽度在 5cm 以下，厚度在 1.05mm 以上），布线时把荧光灯等吊在槽板的下面。放在槽板内，包括其绝缘层在内的导线截面积之和，应该是槽板内部截面积的 20% 以下。导线分支时，其接头应该处于能够容易检修的地方，此外，在线槽内部不应该再有导线的接头。这种布线方法适于在工厂、商店等建筑物内使用。

十、塑料槽板布线

塑料槽板是用厚度 1.2mm 以上的硬聚氯乙烯做的。在槽的宽度和深为 3.5cm 以下的槽板上，嵌上盖板。布线时是把这种槽板明敷在天花板、墙壁等上面，或者只把槽板的底座埋在天花板、墙壁等里面。插座、灯线盒等是嵌装在槽板上的。导线不能在塑料接线盒以外的地方进行连接。这种布线适于在公寓等建筑物内部使用。

十一、电缆敷设

(1) 扁形聚氯乙烯护套电缆敷设 扁形聚氯乙烯护套电缆（VVF）用于配线。本结构建筑物的配线专门采用这种电缆敷设。钢筋混凝土建筑物吊顶内的配线，也采用这种电缆敷设。但是当电缆穿过金属板条、铁丝网以及金属板加强的墙壁时，就需要穿瓷管加以保护。

(2) 混凝土内直埋电缆敷设 这种布线方法，是把混凝土内直埋电缆直接敷设在混凝土里。电缆应该在接线盒或接线箱内进行连接，不能把连接部分埋在混凝土内。但是，在修理时，不得不把接头埋在砂浆内时，要对接头进行充分的绝缘处理，如果已采取不低于电缆强度的机械性保护措施，则可不受此限制。

钢筋混凝土结构建筑物的支线，采用这种敷设方法。

(3) 圆形聚氯乙烯套电缆、氯丁橡胶护套电缆和聚乙烯护套电缆的敷设 圆形聚氯乙烯护套电缆、氯丁橡胶护套电缆和聚乙烯护套电缆敷设，不应该用在受到重物的压力或有显著的机械冲击的场所。但是，当把这部分的电缆穿在金属管、塑料管等有适当的保护措施时，则不受此限制。

(4) 铅包电缆和铝包电缆的敷设

钢带铠装或钢丝铠装的铅包电缆，可以省去其外部损伤的防护。铝包电缆敷设在有腐蚀性的地方时，应采取适当的防护措施。

(5) 无机绝缘（MI）电缆敷设 无机绝缘（MI）电缆适于敷设在环境温度高的场所，也可以直接埋在混凝土里。

第三节 进户、计量装置

一、接户装置

从低压配电线路到用户室外第一支持点之间的这段线路称为接户线。从接户线第一支持点沿墙敷设延伸至其他支持点的线路称为接户连接线。

接户线的档距不应大于 25m，接户连接线的长度一般不大于 40m。接户连接线如遇无法立杆或确无发展地的用户可适当延长。

接户连接线的档距不应大于6m,同一幢住宅大楼两凸形单元之间的接户连接线可直接连接,但支持物应采用镀锌角铁。接户线和接户线应采用绝缘良好的铜芯导线,导线截面按安全载流量选择其最小允许截面应符合表11.2.11的规定。

接户线和接户连接线最小线间距离一般不小于200mm。

接户线和接户连接线安装后与建筑物有关部分的距离应符合表11.2.12的规定值。

表 11.2.11 导线最小允许截面

架设方式	档 距	截面 (绝缘铜线) /mm ²
自电杆引下	10m 及以下	2.5
	10 ~ 25m	4.0
沿墙敷设	6m 及以下	2.5

注:住宅大楼和跨越通车的主要干道的接户线和接户连接线的截面应不小于10mm²。

表 11.2.12 接户线和接户连接线安装后与建筑物有关部分的距离

序号	接户线跨越交叉的对象	最小距离/m	序号	接户线跨越交叉的对象	最小距离/m
1	跨越通车的街道	6	6	跨越屋面	2.5 ^①
2	跨越通车困难的街道、人行道	3.5	7	与下方窗户	0.3
3	跨越里、弄、巷	3 ^①	8	与上方窗户或阳台	0.8
4	跨越阳台、平台	2.5	9	与窗户或阳台的水平距离	0.75
5	与通读线、广播线交叉	接户线在上方时	10	与墙壁或构架的水平距离	0.05
		接户线在下方时	11	对树枝的距离	0.4

① 住宅区跨霸占场地宽度在3m以上8m以下的,则高度一般应不低于4.5m。

②、③ 如不能满足要求,应采取隔离措施。

④ 跨越人字形屋面可降低为1.5m。

接户线第一支持物的离地高度不高于4m,不低于3m,在主要街道应不低于3.5m。特殊情况下最低不得少于2.5m,否则应采取加高措施。

二、进户方式

1. 供电方式

用电设备容量在250kW或需用变压器容量在160kVA及以下的用户,一般从低压供电。只有单相设备的用户,计算负荷电流在25A及以下的,一般以单相两线供电;计算负荷电流超过25A的,以三相四线供电,并尽可能将负荷均匀分配在三相上。仅有三相设备的用户和既有三相设备又有单相设备的用户,均应以三相四线供电。

2. 进户方式

一个建筑物内部相互连通的用户,多层住宅的每一个单元或同一围墙内一个单位的灯、力用电,两路及以上电源供电的用户,一般均考虑一处进户点。

交叉设置,以防混用。

选择进户点,应综合考虑下列要求:

- ① 进户点处的建筑应牢固和不漏水;
- ② 保证施工安全及便于进行维修;
- ③ 尽可能接近供电线路和用电负荷中心;
- ④ 与邻近房屋的进户点,应尽可能取得一致。

进户点应在接户线支持物或沿墙铁板以下方,进户点与接户线的垂直距离不应大于0.5m。

进户敷设方式一般采用绝缘铜芯导线穿硬塑料管或钢管进户(见图11.2.8)。

如接户线第一支持物由于安全要求,而装得较高时,应在进户点上方加装角铁支架,并将接户线引下伸到进户点处搭头进户(见图11.2.9)。

进户点离地高度一般不低于2.7m,特殊情况下最低不低于2.2m,最高不宜高于4m。

三、进户装置

1. 进户线

由接户线或接户连接线支持物起引到用户室内计量电能表或计量电流互感器的一段导线,称为进户线。

进户线应采用绝缘良好的铜芯导线,不得使用软线,中间不应有接头。应采用穿管敷设。

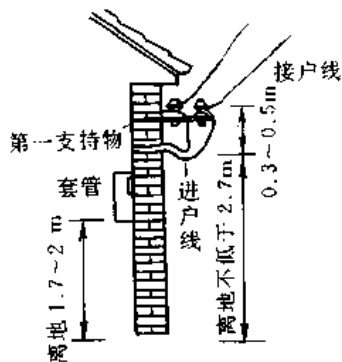


图 11.2.8 进户敷设方式

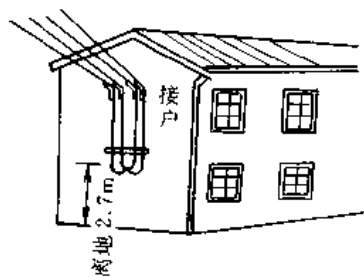


图 11.2.9 加装角铁支架

采用电缆进户的，进户电缆不宜过长，且应充分考虑压降和损耗。电缆的户外埋地部分应保持适当的裕度，防止水进入室内。

进户线截面的选择方法如下。

(1) 电灯及电热负荷 导线的安全载流量(A) \geq 所有电具的负载电流之和。

(2) 电力负荷

① 一台电动机：导线的安全载流量(A) \geq 电动机的额定电流。

② 多台电动机：导线的安全载流量(A) \geq 容量最大的一台电动机额定电流 + 其余电动机的计算负荷电流。

(3) 进户线的最小截面 不得小于 4mm^2 。

进户线穿越天井或房间时采用明管敷设。

2. 进户管

进户管应采用钢管或硬塑料管不应小于 16mm 。一般单相两线照明的进户管宜采用硬塑料管。进户管应完整无损，管口应光滑无毛刺，户外一端必须有防雨弯头，管口向下，且稍向下倾斜伸入室内计量箱（柜）内。

四、计量装置

1. 一般的计量装置

电能计量装置应保证正确计量和合理计算电费。表计容量和电流互感器的变化、安装地点由供电部门在供电方案中决定。供电部门一般规定报装容量在 100kW (kVA) 及以上用户。应设配电室，采用配电柜和专用计量柜。动力和照明分别装表计量。

导线穿过铁质配电盘（板）时要套护圈或软塑料管。

在车间内时，电能计量表和总的配电装置安装应有单独间隔。地下公用建筑用电应单独装表计量，计量及总的配电装置宜装在地下进出口处。电表箱、配电箱宜采用涂塑金属制品及无延燃的塑料制品。地下建筑及多层建筑内，必须采用涂塑金属配电箱（柜），配线应采用铜芯绝缘线，明、暗管敷设。

电度表应装置在周围环境明亮、干燥、不易受损、受震动以及便于抄读和装拆、维修的场所。在易燃、易爆、潮湿、高温、有腐蚀性气体、有磁力影响的场所及卧室内不宜装置电能表。

装表方式规定如下：

- ① 不同电价的用电应分别装表计量；
- ② 单相供电，装一只单相表；
- ③ 三相四线供电，装一只三相四线电度表或三只单相表；
- ④ 100kW (kVA) 及以上动力用户，应加装无功电能表（临时用电除外）；
- ⑤ 装表容量超过 80A 时，应配置量电电流互感器。

2. 居民照明装表

居民照明用电的电能表，一般都采用集中装表，以便供电部门抄收管理，对于楼层高的居民楼区，可采用分层集中装置。

目前，国内开始采用磁卡式电度表，是一种对居民实施远距离遥控集中抄表的方式。

第四节 电缆线路

电力电缆线路是采用电缆输送电力的输电和配电线路。一般敷设在地下或水下，也有架空敷设的配电电缆线路。电力电缆线路主要由电缆本体、电缆接头、电缆终端组成，有些电力电缆线路带有配件，如压力箱、护层深护器、交叉互联箱、压力和温度示装置等，有些电力电缆线路还包括相应的土建设施，如电缆沟、排管、竖井、隧道等。

按电压等级和绝缘材料的不同可分为油浸纸绝缘电缆、固体挤压聚合电缆和压力电缆三大类。

油浸纸绝缘电缆是用纸带浇包在导线上经过真空干燥后，浸渍矿物油作为绝缘层，在其上再挤包金属套的电力电缆。可分成粘性浸渍纸绝缘电缆和滴流电流两种，而按不同结构，这两种电缆又都可分为带绝缘电缆、屏蔽型电缆和分铅型电缆。

固体挤压聚合电缆是用聚合物材料挤压在导线上作为电缆的绝缘，这种电缆不存在油浸纸绝缘电缆的淌油等缺点，而且制造工艺简单，按聚合材料的不同，固体挤压聚合电缆又可分成聚氯乙烯电缆、聚乙烯电缆、交联聚乙烯电缆和乙丙橡胶电缆。

一、电缆的选择

设计电缆线路或选用电缆时对其型号和规格的选择，主要是导体材料和截面、绝缘种类和护层种类的选择。

1. 导体材料和截面的选择

对输配电电缆线路，主要按负荷电流和电缆导体的长期允许温度选择其截面。对长电缆线路，除了按负荷电流选择截面外，还要校核该负荷电流产生的电压降是否在允许范围内，如超出允许范围，则选择高一档的截面。

2. 绝缘种类的选择

油浸纸绝缘电缆的生产和使用历史最长，其优良的电性能为大家所公认，几乎各种场合均能使用，但制造工序多，工艺复杂，成本较高。随着塑料工业的发展，合成绝缘材料出现，并且很快就应用于电缆制造业，多种固体挤压聚合电缆逐步替代了油浸纸绝缘电缆。

(1) 380V 线路用电缆 在一般场所多选用聚氯乙烯电缆。聚氯乙烯电缆在火灾燃烧时会产生大量黑烟和氯化氢等强腐蚀性气体，故在火电厂、核电站、石油平台、高层建筑、公共场所和船舶上不宜采用。

(2) 10~35kV 电缆 中国大都选用滴流电缆或交联聚乙烯电缆，在其他国家则多选用交联聚乙烯电缆。由于乙丙橡胶电缆不但电性能和热性能都比较好，与交联聚乙烯电缆相似，而且柔软性、耐 X 射线辐照和抗水树枝性能好，因此适宜在矿井、水上和核电站内使用。其缺点是价格较贵和介质损耗因数较大。

3. 护层种类的选择

对明敷的油纸绝缘电缆要选用裸钢带铠装，在易受腐蚀的环境中或在地下直埋敷设时要选用钢带外有护套的电缆。有金属套的电缆敷设在易受振动的场所时要选用铝套电缆。交联聚乙烯电缆敷设在水下，或者电压等级为 63kV 及以上时，要选用有防水金属套的电缆，在水下敷设或受到较大拉力时也要选用钢丝铠装电缆，在其他场合不一定都要求铠装。

二、电缆的敷设

电缆的敷设方式有电缆直埋敷设、电缆排管敷设、电缆沟敷设、电缆隧道敷设、电缆竖井敷设和海底电缆敷设。

1. 电缆直埋敷设

将电缆线路直接埋设在地面下 0.7~1.5m 深的一种电缆安装方式。一般用在电缆线路不太密集和交通不太频繁的城市地下走廊。电缆直埋敷设不需要前期土建工程，是一种较经济的安装方式。它的优点是施工时间较短，便于维修，线路输送容量较大。缺点是容易受到机械性外力损坏，更换电缆困难，容易受周围土壤化学或电化学腐蚀。

2. 电缆排管敷设

将电缆敷设在预先埋设于地下的管子中的一种电缆安装方式，通常用于交通频繁、城市地下走廊较为拥挤的地段。将电缆线路的路径开挖至设计的深度和宽度后，先在沟底浇注混凝土基础，再将分层组合的塑料管或石棉水泥管放在基础上，而后用混凝土填满管间的孔隙，待混凝土坚硬后恢复路面，如图 11.2.10 所示。排管每达到一定长度后，设置一座人井，两座人井间的距离决定于敷设电缆时的允许牵引长度和地形。

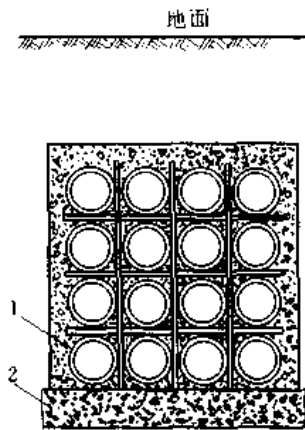


图 11.2.10 排管示意图
1—排管孔；2—排管基础

盖板与地面高低不平和雨水进入电缆沟。根据所敷设电缆的数量不同，可以将电缆单层搁置在电缆沟底，也可以将电缆分层搁置在电缆沟的支架上，大部分使用后一种形式。分层搁置的电缆留有纵向及横向间距。电缆支架可根据敷设电缆的数量装在电缆沟的单侧或两侧。两侧支架之间或支架与电缆沟侧壁（单侧支架）之间留有一定宽度的通道，如图 11.2.11 所示。有的电缆沟内，为了防火还填有黄砂。

电缆沟敷设的优点类似于电缆排管敷设，且不需要人井，减少了投资。缺点是盖板承压强度较差，不能使用在车行道上，且电缆沟离地面太近，降低了电缆的载流。

4. 电缆隧道敷设

将电缆敷设在地下隧道内的一种电缆安装方式。用于电缆线路较多（如发电厂或变电所的出线）和电缆线路路径不易开挖的场所（如过江隧道、机场道路隧道等）。

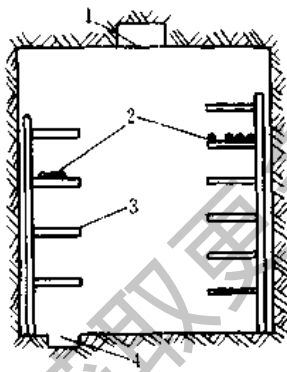


图 11.2.12 电缆隧道结构
1—装灯用壁槽；2—电缆；
3—支架；4—排水小沟

人井主要用作牵引电缆进入排管的施工场所，兼作放置电缆接头和安装接头用地。人井的四壁和顶板由于受到上面道路车辆的荷重和冲击，常用钢筋沿混凝土板制成。人井的出入孔由于使用频繁，常用铸铁作成盖和座。较大的人井设置两个出入孔，以便施工时，一个作为进风口，使井内空气流通。

电力电缆线路用排管敷设受到机械损坏的可能性减少，因此电缆不需要铠装，但在牵引电缆时由于金属套与排管内壁摩擦，容易被损坏，故在制造时通常都增加了金属套的厚度，国际上还将这种电缆称作排管电缆。

排管敷设的优点是土建工程一次完成，其后在同途径陆续敷设电缆，不必重复开挖道路，此外不易受到外力机械损坏。缺点是土建工程投资较大，工期较长，而且如果排管中的电缆损坏，需要更换两相邻人井间的整根电缆。

3. 电缆沟敷设

将电缆敷设在预先砌好的电缆沟中的一种电缆安装方式，适用于地面载重负荷较轻的电缆线路路径，如人行道、工厂内的场地等。

电缆沟一般采用混凝土或砖砌结构，其顶部用盖板覆盖。盖板面可以和地面齐平，便于开启，也有的稍低于地面而在盖板上粉刷一层水泥，以防止

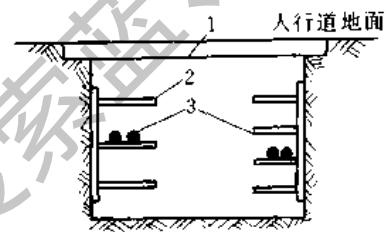


图 11.2.11 电缆沟结构示意图
1—盖板；2—支架；3—电缆

为敷设电缆线路建筑的专用隧道也称电缆隧道，一般为钢筋混凝土结构，也有砖砌或钢管结构。隧道的高度、宽度除了需满足容纳需要敷设电缆的数量外，还需满足施工时必要的场地要求，因此电缆隧道净高一般不少于 2m。隧道内壁两侧装有立柱，以便安装多层支架。支架用来搁置电缆，如图 11.2.12 所示。电缆隧道通常还设有照明、排水、通风和防火措施及设备。电缆隧道敷设具有方便施工、巡视、检修和更换电缆等较多优点，其缺点是投资大，隧道施工期长，且要求严格防火。

敷设在隧道中的电缆，最初因为隧道深度较浅，一般电缆都能使用。由于城市建设的发展，地下管道、地下建筑增多（如地下铁路、地下车库等），建设电缆隧道就有往深处发展的趋势，当使用粘性浸渍纸绝缘电缆时，电缆油有下淌的危险，因此敷设在隧道中的电缆有全部改用固体挤压聚合电缆的趋势。

5. 电缆竖井敷设

将电缆敷设在竖井中的一种电缆安装方式。主要在水电站及高层室内变电所作为输电线路出线的竖井中，或者用在较深层电缆隧道的出口竖井中。

电缆竖井一般为钢筋混凝土结构。按电缆敷设方法和电缆安装位置的不同，在竖井内设有工作平台、上下工作梯、起重及牵引电缆用拉环等设施。竖井敷设的特点如下。

① 固定电缆的金具安装在竖井的内壁上，但电缆的夹具须谨慎选择。夹具压力过紧会轧坏电缆的金属套和绝缘，过松则电缆会因自重而下沉。负荷较大的单芯电缆常采用电缆蛇形敷设，并采用非磁性材料铸成的电缆夹具。

② 在竖井中敷设电缆时，需按敷设的方向采取必要的措施，以防止敷设速度失控。如由高处向低处敷设时，要用钢丝绳绑扎电缆后，利用电缆的自重逐渐松下。也可将电缆盘放在竖井底部，如水电站内电缆竖井敷设时，在竖井顶口用卷扬机将电缆牵引头和绑扎钢丝绳同时提升敷设。

③ 竖井高度在 30m 以上时，应该选择有牢固的铠装高落差电缆。采用有纵向铠装的高落差电缆时，在竖井内要设电缆锚定装置。

④ 采用油浸纸绝缘电缆或自容式充油电缆时，需采取限制静油压过高的措施，如采用塞止电缆接头减小电缆的静油压，在敷设及接头时要采取措施防止电缆油下淌。

三、电缆头及中直接头

电缆接头是电缆与电缆相互连接的部件。有些电缆接头还同时具有其他功能。电缆接头可分为直线电缆接头、绝缘电缆接头、塞止电缆接头、过渡电缆接头、分支电缆接头、电缆软接头等。对电缆接头的基本要求是：恢复电缆导体在连接处的导电性，具有足够的绝缘强度和防潮性能，其密封套还应具有防腐性能。

1. 导体连接

电缆的导体之间通常用相当于导体外径四倍长的连接管连接，连接管的断面积等效于导体的截面积。连接管带有螺孔，用锡焊法连接时则带有开口槽。用机械法连接时，现大多采用压接法，因此连接管有时也称压接管。压接的方式有点压法、围压法和六角形法，按导体截面大小和电压等级不同而选用，电压越高连接管表面要求越光洁。用药包焊或氩弧焊连接导体时，不需用连接管，大截面铝导体常用氩弧焊连接。

所有导体连接都要求连接管长度内的电阻不大于同长度导体电阻，且抗张强度不低于导体的 50%。

2. 接头绝缘

导体连接管外径大于导体直径，接头内的复合绝缘厚度和电缆绝缘厚度不同，这就使得接头产生了轴向应力，因此除低电压电缆接头外，高电压电缆接头都需考虑绝缘设计，包括电缆应力锥、反应力锥及两种绝缘介质界面的滑闪距离等。电缆接头的绝缘设计按电缆的结构不同可分为油浸纸绝缘电缆接头和固体挤压聚合电缆接头的绝缘设计。

油浸纸绝缘电缆接头用绝缘带或纸卷绕包在导体连接管外面作为主要绝缘，填充电缆油或电缆胶作为辅助绝缘。在导体连接处的绕包厚度一般为电缆绝缘厚度的 2 倍。

固体挤压聚合电缆接头有五种绝缘结构：①用自粘结橡胶带绕包；②用热缩型交联聚乙烯管加热收缩而成；③用辐照过的聚乙烯带绕包后加温加压成型；④用可交联聚乙烯电缆料经注射法加温加压模塑而成；⑤用工厂预制部件的接头。

3. 接头密封

密封方式分为四种：①以铅管或紫铜壳作为接头盒，其两端以封铅与电缆的金属套封设，主要用于高电压油浸纸绝缘电缆；②以金属盒用机械方法卡装，灌注沥青胶密封，主要用于低电压油浸纸绝缘电缆；③用热缩或冷缩管作为接头密封，主要用于固体挤压聚合电缆；④用塑料接头盒灌注环氧树脂或聚氨酯等密封，可用于油浸纸绝缘电缆和固体挤压聚合电缆。

四、电缆的维护及检修

1. 电缆线路的巡视检查

电缆线路的巡视检查由专人负责，并根据具体情况制订巡视检查的项目和周期。较大的电缆网络通常要划区分块进行巡视检查。穿越河道、铁路的电缆线路，以及安装在杆塔上、桥梁上和敷设在水底的电缆，都较容易受到外力损伤，对它们的巡视检查周期需相应缩短。对于敷设在隧道内的电缆，要定期检查是否有油渗漏或自支架上滑落等现象，以及自动排水装置是否良好，照明是否正常。

运行人员对超高压电缆线路除了作经常性的巡视检查外，在电力系统发生故障而电缆线路通过大电流后，对装设在电缆线路上的护层保护器应进行检查，查看是否受到损坏。

充油电缆线路的巡视检查，主要是查看压力箱、电缆本体、阀门及油管路是否有油渗漏，油压是否正常，以及线路上的塞止接头井内自动排水装置是否良好。

电缆线路的际面上不能堆置瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物件、酸碱性排泄物或砌堆石灰坑等，因为这样既容易压伤电缆，妨碍紧急修理，而且在装卸重物、挖土或打地桩时，也极易直接损伤电缆。

对于在施工中挖出的电缆本体和电缆接头，运行人员要设法加以保护，并在其附近设立警告标志，提醒施工人员注意和防止外人误伤电缆。

巡视检查中所发现的缺陷，运行人员要立即向主管部门报告，以便采取对策，及时处理，并作好记录，归

入该条电缆线路专用台账。

2. 电缆线路运行维护

运行维护是电缆线路投入运行后,为保持电缆设备始终在良好的状态和防止电缆事故突发的可能性所做的日常具体工作。电缆线路运行维护着重要做好负荷监视、电缆金属套腐蚀监视和绝缘监督三个方面工作,主要项目有建立电缆线路技术资料、进行电缆线路巡视检查、电缆预防性试验、防止电缆外力破坏、分析电缆故障原因、电缆故障测寻和电缆故障修理等。

(1) 负荷监视 利用各种仪表测量电缆线路的负荷电流或电缆的外皮温度等,防止电缆绝缘超过允许最高温度而缩短电缆寿命。

(2) 腐蚀监视 以专用仪表测量邻近电缆线路的周围土壤,如果属于阳极区,则应采取相应措施,以防止电缆金属套的电解腐蚀。

(3) 绝缘监督 对每条电缆线路按其重要性,编制预防性试验计划,及时发现电缆线路中的薄弱环节,消除可能发生电缆事故的缺陷。金属套对地有绝缘要求的电缆线路,一般在预防性试验后还需对外护层分别另作直流电压试验,以及时发现和消除外护层的缺陷。

(4) 压力监视 充油和充气电缆,要有油压和气压的监视装置,以及时发现和消除引起油压或气压降低的因素和缺陷。

3. 电缆故障修理

电缆线路发生故障后,通过测寻找到故障点,按故障情况采取相应的修理措施。电缆线路发生故障后通常立即抢修。以避免水分侵入电缆内而扩大修理范围。修理措施可分为油浸纸绝缘电缆修理、固体挤压聚合电缆修理、自容式充油电缆修理和护层修理四类。修理结束后对电缆线路进行直流耐压试验、对三芯电缆还须核对相位。修理竣工后,将修理记录及时填入故障报告书,如果故障的原因未能在现场分析清楚,可对故障实物拍摄图片归入宗卷,待进一步分析查明。

五、电缆的故障检测

测定电缆故障点前要先要确定故障的性质,选用最佳的初测法确定故障区段后,再用精测定点法证实故障点的位置。充油电缆的漏油和充气电缆的漏气属于金属套的缺陷。一般常用流量法来确定。

(1) 故障性质确定 用仪表测量电缆绝缘变化程度和导体是否连续,以确定故障是绝缘损坏还是导体断线。电缆绝缘的变化有一相、二相、三相和相间之分,同时又有高阻、低阻、金属性接地的差别,少数也呈现封闭性故障(闪络故障)。导体的连续性可分为一相断线、二相断线和三相全部断线等情况。通常电缆故障主要是绝缘的损坏,但也有同时烧断导体的现象。只有确定了故障性质后,才能选用合适的初测法和精测定点法。

(2) 初测法 按故障性质不同,选用合适的仪表,利用电缆线路技术资料测量并计算出故障点离测试点的距离和故障点的路径位置。初测法主要有回路电桥平衡法、低压脉冲反射法和闪测仪法三种。

(3) 精测定点法 电缆故障在初测时不可避免存在有测量误差,还需作进一步的精测定点。精测定点法有声测法和感应两种。

(4) 漏油点测寻 用浮子式流量计接在压力箱和电缆油管路之间,测量充油电缆微量渗油的变化,以此确定漏油点的位置。漏油点测寻法主要有冷冻分段法和油流法两种。

(5) 漏气点测寻 采用气体流向指示器测寻充气电缆漏气点,因为气体总是向漏气点流动,这样就可找到漏气的线段。漏气线段确定后,可以进一步寻找漏气点。测寻方法有流量法、压力法、示踪气体法、声测法等。

第三章 照 明

第一节 电光源与照明器

一、光度量的定义和单位 (见表 11.3.1)

表 11.3.1 光度量的名称、符号、定义和单位

名称	符号	定义和公式	单位名称和代号		说 明
			SI 制	其 他	
光通量	Φ	$\Phi = K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda$	流明 lm	1lm = 1cd·1sr sr (球面度)	光谱辐射通量 $\Phi_{e,\lambda} = \frac{d\Phi_e}{d\lambda}$ (W/m) 辐射通量 Φ_e (W)
发光强度 (光强)	I	单位立体角中发出的光通量 $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$	坎 (德拉) cd		1cd 的定义是明视觉条件下 波长为 555nm 的单体辐射光源, 在辐射强度为 1/683W/sr (每球面度 1/6.83W) 方向上的 光强值
亮度	L	发光体在给定方向上单位 投影面积中发出的发光强度 $L = \frac{dI}{dA \cos\theta}$ $= \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos\theta}$	坎/米 ² cd/m ²	1 尼特 (nt) = 1cd/m ² 1 熙提 (sb) = 10 ⁴ cd/m ² 1 阿熙提 (asb) = $\frac{1}{\pi}$ cd/m ² 1 朗伯 (L) = $\frac{10^4}{\pi}$ cd/m ² 1 英尺朗伯 (fl) = 3.426cd/m ²	尼特现在一般不再使用,而 改用 cd/m ²
出射度	M	单位面积上发出的光通量 $M = \frac{d\Phi}{dA}$	流明/米 ² lm/m ²	又称辐勒(克斯) rlx	1rlx = 1lm/m ²
照度	E	单位面积上接收的光通量 $E = \frac{d\Phi}{dA}$	勒(克斯) lx	1 辐透(ph) = 10 ⁴ lx 1 英尺烛光(fc) = 10.764lx	1lx = 1lm/m ²
曝光量	H	光照度对时间的积分 $H = \int E dt$	勒·秒 lx·s		

二、常用照明电光源的分类

现今广泛用于照明的电光源,按发光原理分类如表 11.3.2 所示。

表 11.3.2 常用电光源分类

热辐射光源	普通白炽灯		
	卤钨灯		
气体放电光源 (按发生光辐射的物质分类)	金属	汞灯	荧光灯 荧光高压汞灯
		钠灯	低压钠灯 高压钠灯
	惰性气体	氙灯——管形氙灯, 超高压球形氙灯	
		汞氙灯——管形汞氙灯	
		氙灯	
	金属卤化物灯	霓虹灯	
		钠铊铟灯、镨灯、钪钠灯	

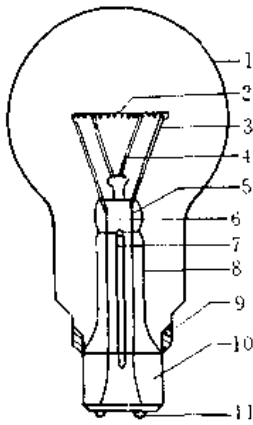


图 11.3.1 白炽灯结构示意图

1—玻璃泡壳；2—钨丝；3—导线；
4—钼丝支架；5—杜美丝；
6—玻璃压结；7—排气管；
8—芯柱；9—胶泥；
10—灯头帽；11—焊接触点

三、常用照明电光源的特点

1. 白炽灯

(1) 常用白炽灯及其光电参数 电流通过装在真空或充有惰性气体的玻璃泡壳内的钨丝加热达到白炽状态而发光。这种热辐射光源称为白炽灯，其形状见图 11.3.1。

在照明光源中，它的发光效率最低，只有 10lm/W 左右。然而，它具有加工简单、成本低廉、使用方便和发暖色光等优点，因而仍然应用很广。常用白炽灯的光电参数见表 11.3.3。

(2) 电压变化对白炽灯光电参数的影响 升高电压将缩短白炽灯的寿命。电压变化对白炽灯各种参数的影响见图 11.3.2。

(3) 与寿命有关的几个因素 除供电电压外，发光效率、环境温度、间歇点灯和供电性质等都与寿命有关。寿命与发光效率的关系见图 11.3.3。

对真空白炽灯来说，环境温度在小于 200°C 时寿命几乎没有影响，在 260°C 时减少寿命 12%；对充气白炽灯来说，环境温度在 100°C 时寿命降低 40%，在 200°C 时寿命降低 60%。

开关周期在几百毫秒到几秒内间歇点灯，将使寿命减少 2%~8%，对长丝灯泡来说，影响更为明显。

在直流工作时，光源的寿命和光通量维持都比交流工作时来得差。

表 11.3.3 白炽灯的光电参数

光源型号	电压 /V	功率 /W	光通量 /lm	最大直径 /mm	平均寿命 /h	灯头型号	附注
PZ220-15	220	15	110	61	1000	E27/27 或 B22d/25 × 26	梨形灯泡
PZ220-25		25	220				
PZ220-40		40	330				
PZ220-60		60	630				
PZ220-75		75	850				
PZ220-100		100	1250	71			
PZ220-150		150	2090	81			
PZ220-200		200	2920	111.5			
PZ220-300		300	4610				
PZ220-500		500	8300				
PZ220-1000		1000	18600	151.5			
PZS220-36		220	36	350		61	
PZS220-40	40		415				
PZS220-55	55		630				
PZS220-60	60		715				
PZS220-75	75		960				
PZS220-94	94		1250				
PZS220-100	100		1350				
PZM220-15	15		2920	56			
PZM220-25	25	4610	61				
PZM220-40	40	8300					
PZM220-60	60	18600					
PZM220-75	75	110					
PZM220-100	100	220					
PZQ220-40	220	40	345	80	1000	E27/27	球形灯泡
PZQ220-60		60	620	100			
PZQ220-75		75	824				
PZQ220-100		100	1240	125			

续表

光源型号	电压 /V	功率 /W	光通量 /lm	最大直径 /mm	平均寿命 /h	灯头型号	附注
PZQ220-150	220	150	2070	125	1000	E40/45	球形灯泡
PZF220-100		100	925	81		E27/35 × 30	
PZF220-300		300	3410	127		E40/45	反射型
PZF220-500		500	6140	154			

注：1. 本表所列白炽灯其玻璃泡均为透明的。白炽灯的玻璃泡也可用乳白玻璃、涂白玻璃或磨砂玻璃，它们发出的光通量分别是透明玻璃泡白炽灯的75%、85%和97%。

2. 灯头型号中，E表示螺旋型，B表示插口型。

3. 一般显色指数 $R_a = 95 \sim 99$ 。

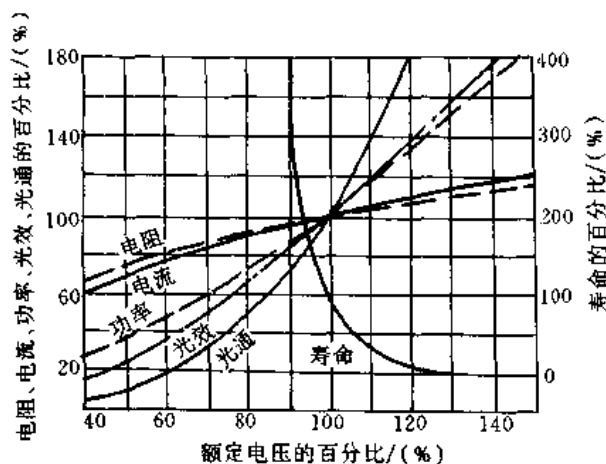
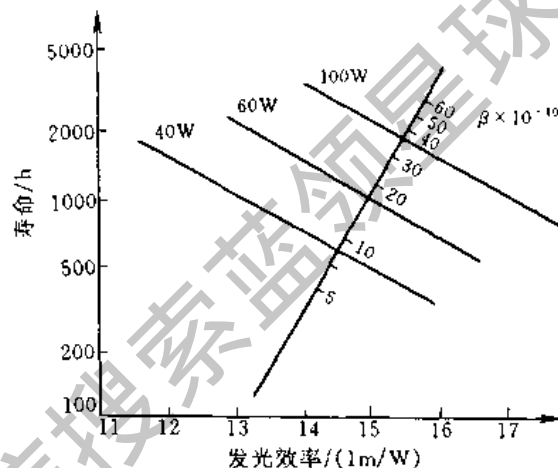


图 11.3.2 供电电压对白炽灯参数的影响

图 11.3.3 白炽灯寿命和发光效率的关系
(β 是寿命常数)

2. 卤钨灯

(1) 照明卤钨灯的原理及其型号参数 缩小白炽灯的泡壳尺寸，使管壁达到一定温度后，从钨丝上蒸发的钨就能和灯内充入的卤元素（碘或溴）在管壁附近结合成卤化钨分子，然后再回到钨丝附近，被那里的高温分解为钨和卤原子，即形成卤钨循环，可有效地抑制钨的蒸发。它提高了灯的寿命和发光效率，有更好的光通量维持，故称这类白炽光源为卤钨灯。图 11.3.4 是常用的两种卤钨灯外形图，二端引出型用于普通照明，单端

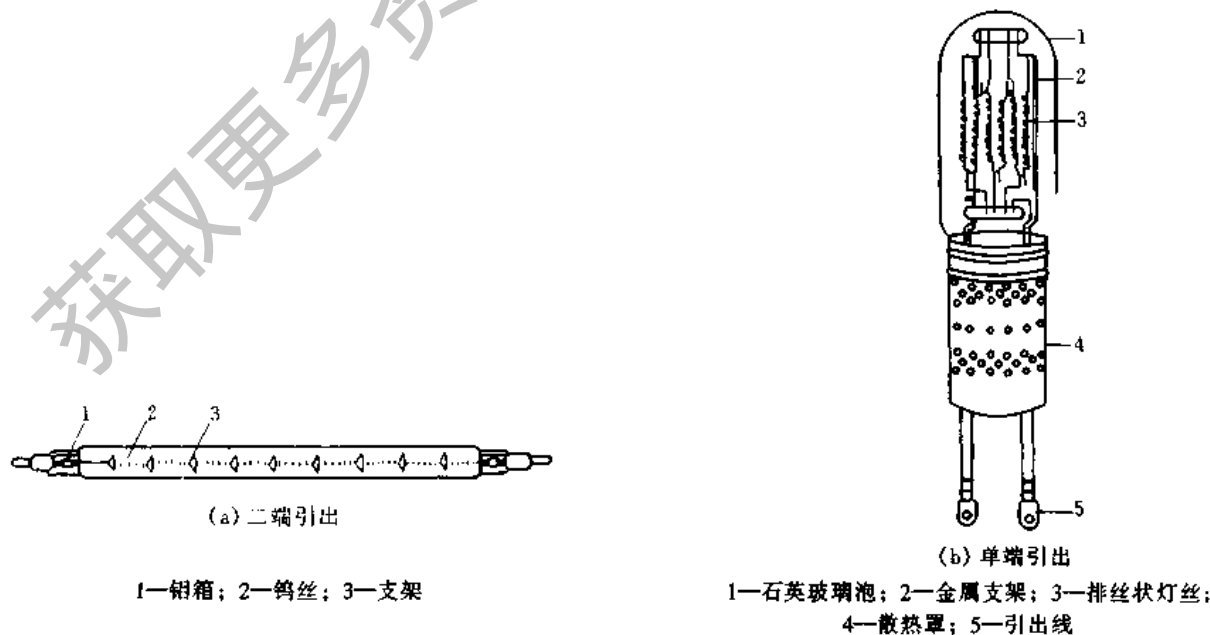


图 11.3.4 卤钨灯

引出型用于电视、电影、摄影等场所。

照明用卤钨灯的型号和参数见表 11.3.4。

表 11.3.4 照明用卤钨灯的型号和参数

光源类别	型号	电压 /V	功率 /W	光通量 /lm	色温 /K	寿命 /h
管形卤钨灯	LZG 220-500	220	500	9750	2800	1500
	LZG 220-1000		1000	21000		
	LZG 220-1500		1500	31500		
	LZG 220-2000		2000	42000		
硬质玻璃卤钨灯	LJY 220-500		500	9800	3000	100
	LJY 220-1000		1000	22500		
	LJY 220-2000		2000	47000	3200	
	LJY 220-3000		3000	70500		
	LJY 220-5000	5000	122500			

注：一般显色指数 $R_a = 95 \sim 99$ 。

(2) 照明用卤钨灯的结构和使用 为了维持卤钨循环，管壁的温度很高，目前大多采用石英玻璃泡壳。与同功率白炽灯相比，体积大大缩小，有利于灯具设计。

游离的溴会腐蚀低于 1500°C 的灯丝部分，为此必须充入溴的化合物，如溴化氢。它在靠近灯丝的附近被高温分解，释放出足够的溴，与蒸发的钨结合，余下的溴仍与氢结合成溴化氢。在使用过程中，氢将通过石英管壁逃逸出去一部分，多余的溴就会腐蚀钨丝，因此在寿命小于 1000h 的卤钨灯中使用溴钨灯。

碘对钨丝没有腐蚀作用，在 1700°C 以上的灯丝和 250°C 左右的管壁间循环，可以做成寿命大于 1000h 的灯。碘蒸气呈紫红色，吸收 5% 的光线，发光效率低一些。

为了保持良好的卤钨循环，使用中应避免出现冷端，例如，直管形卤钨灯应工作在水平状态，倾斜角小于 $\pm 4^\circ$ 。

钨丝与外引线之间采用钼箔，它和石英管壁作非匹配封接，工作温度必须小于 350°C ，否则会缩短光源寿命。

3. 荧光灯

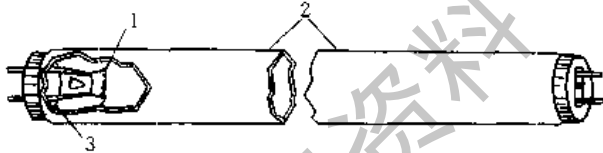


图 11.3.5 荧光灯的结构示意图

1—电极；2—玻璃管（内表面涂荧光粉）；3—水银

常用荧光灯的光电参数见表 11.3.5。

(1) 荧光灯及其光电参数 荧光灯是一种气体放电灯，它是利用管内低压汞蒸气，在放电过程中汞原子辐射出的紫外线（波长主要为 254nm ）激发管内壁上的荧光粉而发出可见光的，其结构见图 11.3.5。它有很低的管壁负荷（ $280 \sim 400\text{W}/\text{m}^2$ ）和较低的亮度（ $\approx 10^4\text{cd}/\text{m}^2$ ），加工比较简单，成本不高，可以制成不同光色，是一种除白炽灯外产量最高、应用最广的高效光源。

表 11.3.5 照明用荧光灯的光电参数

类别	型号	功率 /W	灯管 电压 /V	光通量 /lm	电流 /mA	寿命 /h	灯管直径 × 灯管长度 /mm	镇流器参数		功率 因数 $\cos\varphi$
								阻抗 /Ω	最大功 耗/W	
直管式	YZ6RR ^①	6	50 ± 6	160	140	1500	16×226.7	1400	4.5	0.34
	YZ8RR	8	60 ± 6	250	150	1500	16×302.4	1285	4.5	0.38
	YZ15RR	15	51 ± 7	450	330	3000	40.5×451.6	256	8	0.33
	YZ20RR	20	57 ± 7	775	370	3000	40.5×604.0	214	8	0.35
	YZ30RR	30	81 ± 10	1295	405	5000	40.5×908.8	460	8	0.43
	YZ40RR	40	103 ± 10	2000	430	5000	40.5×1213.6	390	9	0.52
	YZ100RR	100	92 ± 11	4400	1500	2000	40.5×1213.6	123	20	0.37
	YZ110RR	110	92	4200	1500	2000	38×1213.6			

续表

类别	型号	功率 /W	灯管 电压 /V	光通量 /lm	电流 /mA	寿命 /h	灯管直径 × 灯管长度 /mm	镇流器参数		功率 因数 cosφ	
								阻抗 /Ω	最大功 耗/W		
直 管 式	YZ110RL ^①	110	92	4300	1500	2000	38 × 1213.6				
	TLD18W/54 ^②	18	57 ± 7	1050	370	8000	26 × 604.0				
	TLD18W/33 ^②	18	57 ± 7	1150	370	8000	26 × 604.0				
	TLD36W/54	36	103 ± 10	2500	430	8000	26 × 1213.6				
	TLD36W/33	36	103 ± 10	3000	430	8000	26 × 1213.6				
	快 速 启 燃 式	YZK15RR	15	51 ± 7	450	330	3000	40.5 × 451.6	202	4.5	0.27
		YZK20RR	20	57 ± 7	770	370	3000	40.5 × 604.0	196	6	0.32
		YZK40RR	40	103 ± 10	2000	430	5000	40.5 × 1213.6	168	12	0.55
		YZK65RR	65	120	3500	670	3000	38 × 1514.2			
		YZK85RR	85	120	4500	800	3000	38 × 1778.0			
		YZK125RR	125	149	5500	940	2000	38 × 2389.1			
	瞬 时 启 燃 式	YZS20RR	20	59 ± 7	1000	360	3000	32.5 × 604.0	540	8	0.35
		YZS40RR	40	107 ± 10	2560	420	5000	32.5 × 1213.6	390	9	0.52
	三 基 色	STS40 ^③	40	103 ± 10	3000	430	5000	38 × 1213.6	390	9	0.52
	高 显 色	YZGX40	40	103	> 2025	430	5000	38 × 1213.6			0.52
异 型	U 型	YU30RR	30	89	1550	350	2000	38			
		YU40RR	40	108	2200	410	2000	38			
	环 型	YH20RR	20	60	930	350	2000	32			
		YH30RR	30	89	1350	350	2000	32			
		YH40RR	40	108	2200	410	2000	32			
		YH22RR	22		780		2000	29			
YH22 ^④	22		1000		5000						
紧 凑 型	H 型	YDN5-H ^⑤	5	35	235	180	5000				
		YDN7-H	7	45	400	180	5000				
		YDN9-H	9	60	600	170	5000				
		YDN11-H	11	90	900	155	5000				
	2D 型	YDN16-2D	16	103	1050	195	5000				

① 型号中 RR 表示 6500K 日光色荧光灯, RL 表示 4300K 白色荧光灯。

② 型号中/54 表示 6200K 日光色荧光灯, /33 表示 4100K 白色荧光灯。

③ 三基色荧光灯 $R_a > 80$, 高显色荧光灯 $R_a > 82$, 紧凑型荧光灯 $R_a > 82$ 。

④ 该规格荧光灯系三基色荧光灯。

⑤ 型号中 YDN 的意思是单端内启燃型荧光灯。

(2) 电源电压变化对荧光灯电参数的影响 供电电压增高时, 灯管电流变大, 电极过热, 促使灯管两端早期发黑, 寿命缩短。在低电压时, 启动不正常, 也影响寿命。要求供电电压波动范围为 $\pm 10\%$, 这种变化带来的光电参数变化见图 11.3.6。

(3) 荧光灯的光色 改变荧光粉的成分荧光灯可以得到不同光色和显色指数。常用的是价格较低的卤磷酸钙荧光粉, 转换效率较低, 有冷白 (4500K) 和日光 (6500K) 等光色, 显色指数 $R_a = 65 \sim 70$, 有较多的连续光谱。另一种是三基色荧光粉, 转换效率高, 耐紫外辐射能力强, 适应于细管径的灯管。这种荧光灯发光效率较高, 不同的配方可以得到不同的光色, $R_a > 80$, 线光谱成分较多。

(4) 荧光灯的光通量和环境温度 荧光灯的光输出与汞蒸汽被激发出的 254nm 紫外辐射强度有关, 辐射的大小与汞蒸气压有关, 汞蒸气压与灯管直径、冷端温度等因素有关。

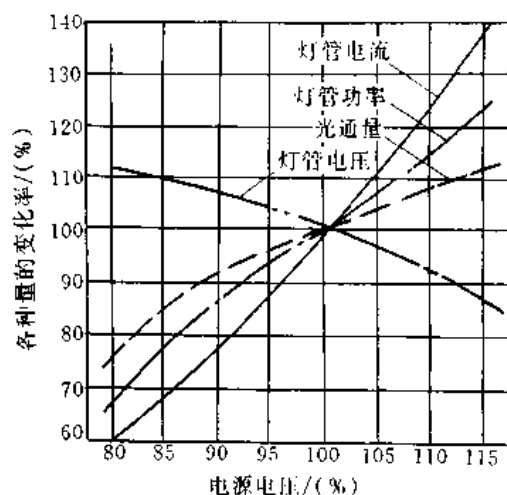


图 11.3.6 供电电压变化对荧光灯光电特性的影响

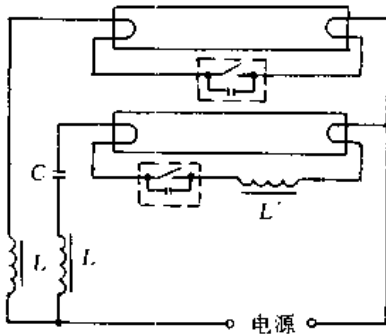
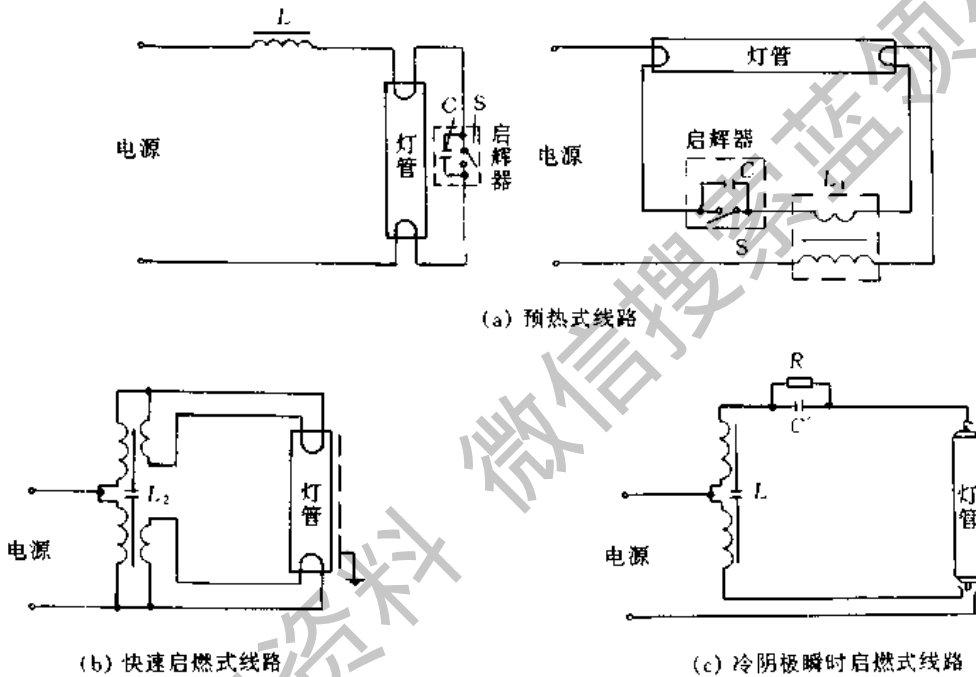


图 11.3.7 单相供电双管荧光灯
电容移相电路
 L' —启燃补偿电感； C —移相电容

对常用的外径 40.5mm 的灯来说，环境温度 25℃，冷端温度 38~40℃时光效最高；对于细管荧光灯，由于汞对光的自吸收量减少，最佳工作温度将偏高一些；充汞齐合金的紧凑型细管荧光灯，工作环境的温度可更高一些。

(5) 荧光灯的频闪 每当交流电压过零时荧光灯的光输出几乎为零，因此灯的闪烁频率为电压的两倍。这样的闪烁一般不易察觉，但在观察周期性运动的物体时会降低视觉的分辨能力，甚至造成事故，这种现象称为频闪效应。为消除频闪引起的影响，可在照明控制线路上采用如下的措施：将同一房间内的荧光灯分相供电，或对单相供电的双管荧光灯采用电容移相法，见图 11.3.7。

(6) 荧光灯控制电路 按目前荧光灯和镇流器的种类可分成三类：预热式线路、快速启燃式线路和冷阴极瞬时启燃式线路，见图 11.3.8。



(a) 预热式线路

(b) 快速启燃式线路

(c) 冷阴极瞬时启燃式线路

图 11.3.8 荧光灯控制电路

C —启辉器电容，0.006~0.2 μ F，其作用是在启燃时增加突变电流宽度，工作时降低射频干扰； L_1 —有副线圈的镇流器； L_2 —漏磁镇流器； R —放电电阻

(7) 紧凑型荧光灯 目前大量使用的紧凑型荧光灯，采用较细的玻璃管，内壁涂有三基色荧光粉，光色接近白炽灯，具有光效高、寿命长的特点，见图 11.3.9。这种光源有各种外形，例如圆环灯、双曲灯、H 灯和双 D 灯等；其中有些灯内附镇流器，可以直接代替白炽灯，例如圆环灯、双曲灯等。紧凑型荧光灯属于节能型光源。

4. 高强度气体放电灯 (HID)

(1) HID 光源及其光电参数 HID 光源主要包括高压汞灯、金属卤化物灯和高压钠灯，其放电管的管壁负荷大于 3W/cm²。高压汞灯的辐射是因汞原子被激发后在去激发时产生紫外线和可见光。若采用涂有荧光粉的外泡壳，可将紫外线转换为可见光，这种高压汞灯称做荧光高压汞灯。金属卤化物灯是由于金属（如钠、铊、铟、镨等）的卤化物在高

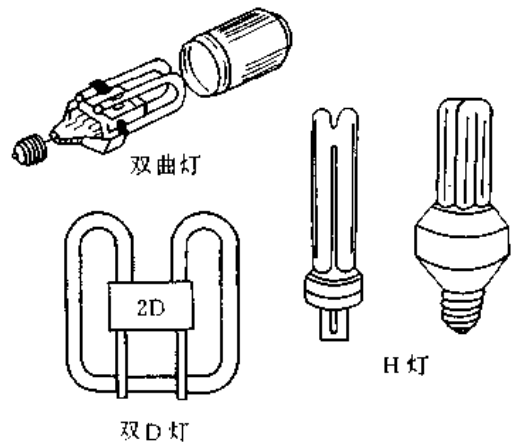


图 11.3.9 几种紧凑型荧光灯

温下分解后产生的金属蒸气与汞蒸气的混合物激发，产生光辐射。高压钠灯是由于高压钠蒸气激发形成的光辐射。HID光源的结构见图 11.3.10。几种常用的 HID 光源的光电参数见表 11.3.6。

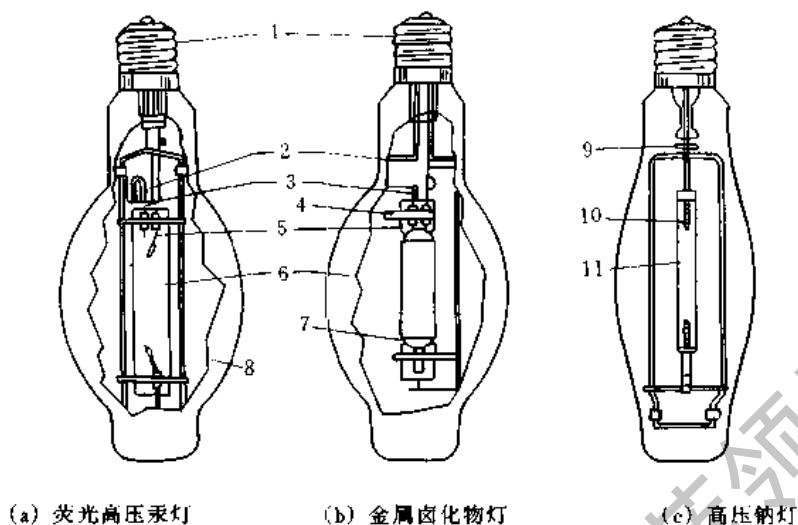


图 11.3.10 HID 光源结构示意图

1—灯头；2, 3—启动电阻；4, 9—消气剂；5, 10—主电极；
6—放电管；7—保湿膜；8—内壁荧光粉；11—陶瓷放电管

表 11.3.6 照明用高强度气体放电灯的规格参数

类别	型号	电源电压 /V	额定功率 /W	灯管电压 /V	工作电流 /A	光通量 /lm	稳定时间 /min	再启燃时间 /min	色温 /K	显色指数 R_a	寿命 /h	功率因数 $\cos\varphi$	灯头型号	
荧光高压汞灯	普通型	220	GGY-50	95	0.62	1575	5~10				3500	0.44	E27/27	
			GGY-80	110	0.85	2940	5~10				3500	0.51	E27/27	
			GGY-125	115	1.25	4990	4~8				5000	0.55	E27/35×30	
			GGY-175	130	1.50	7350	4~8	5~10	5500	35~40	5000	0.61	E40/45	
			GGY-250	130	2.15	11025	4~8				6000	0.61	E40/45	
			GGY-400	135	3.25	21000	4~8				6000	0.61	E40/75×54	
			GGY-1000	145	7.50	52500	4~8				5000	0.67	E40/75×54	
	反射型	GYF-400	220	400	135	3.25	16500	4~8	5~10	5500	35~40	6000	0.61	E40/75×54
	自镇流型	GYZ-100		100		0.46	1150					2500		E27/35×30
		GYZ-160		160		0.75	2560					2500		E27/35×30
GYZ-250		220	250	220	1.20	4900	4~8	3~6	4400	35~40	3000	0.90	E40/45	
GYZ-400			400		1.90	9200					3000		E40/45	
GYZ-450			450		2.25	11000					3000		E40/45	
GYZ-750			750		3.55	22500					3000		E40/45	
金属卤化物灯	钠铊铟灯	NTY-250	220	250	100	2.80	18500							
		NTY-400	220	400	120	3.60	26000			5000				
		NTY-1000	220	1000	120	10.00	75000	10	10~15	6000	60~70	1000		两端装夹式
		NTY-1000A	220	1000	120	10.00	75000			6000				
		NTY-2000A	380	2000	220	10.30	140000							
		NTY-3500A	380	3500	220	18.00	240000							
		镝灯	DDG-125	220	125	125	1.15	6500			5000		1500	0.54
	DDG-250/V	220	250	125	2.30	16000	5~10	10~15		≥75	1500	0.55	E40/45	
	DDG-250/H	220	250	125	2.30	13500			7000		1500	0.55	E40	
	DDG-250/HB	220	250	125	2.30	13500					1500	0.55	E40/45	

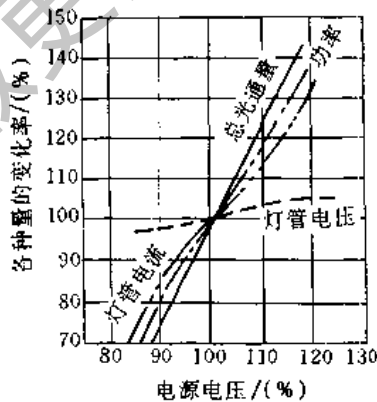
类别	型号	电源电压 /V	额定功率 /W	灯管电压 /V	工作电流 /A	光通量 /lm	稳定时间 /min	再启燃时间 /min	色温 /K	显色指数 R_a	寿命 /h	功率因数 $\cos\phi$	灯头型号		
金属卤化物灯	镝灯	DDG-400/V	220	400	125	3.65	28000				2000	0.55	E40/75 × 54		
		DDG-400/H	220	400	125	3.65	24000				2000	0.55	E40		
		DDG-400/HB	220	400	125	3.65	24000			5000		2000	0.55	E40/75 × 54	
		DDG-1000/HB	220	1000	125	8.50	70000	5 ~ 10	10 ~ 15		≥ 75	1000	0.58	E40/75 × 54	
		DDG-2000/HB	380	2000	220	10.30	150000			7000		500	0.57	E40/75 × 54	
		DDG-3500/HB	380	3500	220	18.00	280000					500	0.56	E40/75 × 54	
		DDF-250	220	250	125	2.30	—					1500	0.55	E40/75 × 54	
	DDF-400	220	400	125	3.65	—					2000	0.55	E40/75 × 54		
	铊钠灯	KNG-250	220	250	110	2.40	15000			4000	60	1500		E40/45	
		KNG-400	220	400	130	3.30	28000	5 ~ 10	10 ~ 15	5000	50	1500		E40/45	
		KNG-1000	220	1000	135	8.30	70000			6000	60	1000		E40/75 × 54	
		KNG-2000	380	2000	220	10.30	150000			4500		800		E40/75 × 54	
	高压钠灯	普通型	NG-35	220	35	85	0.53	2250					1600		E27/27
			NG-50	220	50	85	0.74	3600					1800		E27/27
NG-70			220	70	95	0.90	6000					3000	0.40	E27/30 × 35	
NG-100			220	100	95	1.20	9100	5	2	2000	20 ~ 25	3000	0.43	E27/35 × 30	
NG-150			220	150	95	1.80	16000					5000	0.42	E40/45	
NG-250			220	250	95	3.00	28000					5000	0.42	E40/45	
NG-400			220	400	100	4.60	48000					5000	0.44	E40/45	
NG-1000			380	1000	185	6.50	150000					3000		E40/75 × 54	
改显型		NGX-150		150		1.80	12000						0.42		
		NGX-250	220	250	100	3.00	21500	5 ~ 6	1	2250	60	12000	0.42	E40/45	
高显型		NGG-250	220	250	100	3.00	11000	5	1	2300 ~	> 70	12000	0.42	E40/45	
		NGC-400		400		4.60	35000			3000			0.44		

注：表中光通量是光源的初始光通量，高压钠灯 100h 时的光通量约为初始光通量的 80%。

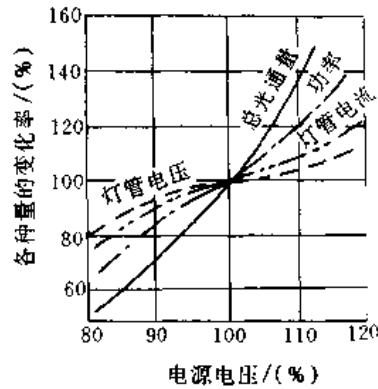
(2) 供电电压波动对光源光电参数的影响 供电电压波动对 HID 光源光电参数的影响见图 11.3.11。高压钠灯的工作电压随电源电压有很大的变化，因此对其镇流器有较高的要求，图 11.3.12 表示的是 400W 高压钠灯功率-电压限制四边形。

5. 霓虹灯

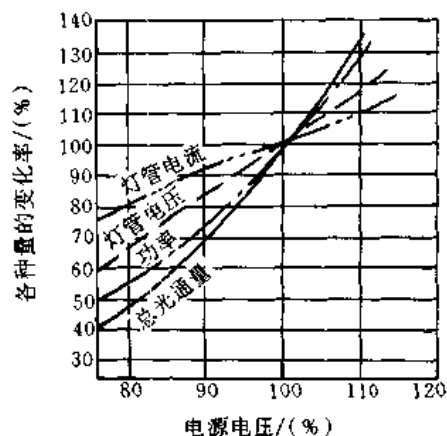
霓虹灯是一种辉光放电灯。用直径 6~8mm 的玻璃管，两端装上电极，管内充入少量的氩、氛、氦或氙等



(a) 400W 荧光高压汞灯



(b) 400W 钠铊钠灯



(c) 400W 高压钠灯

图 11.3.11 HID 光源各参数与供电电压的关系

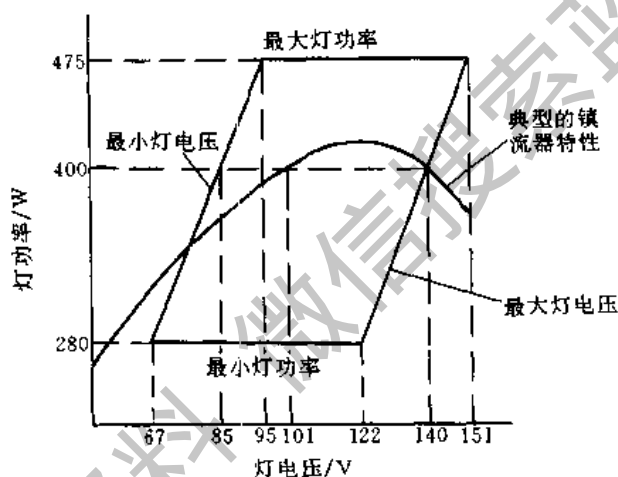
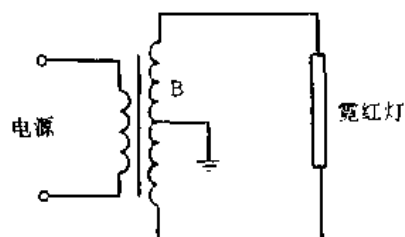


图 11.3.12 400W 高压钠灯功率-电压四边形

惰性气体和汞，有时管壁上还涂有不同的荧光粉，可获得各种不同颜色的光。

灯管需要很高的起辉电压，用一个次级开路电压小于 15kV、容量 450VA、额定工作电流 24mA、短路电流 30mA 的漏磁变压器作起辉和镇流用，它能为管径 $\phi 12\text{mm}$ 、展开长度约 12m 的灯管供电。霓虹灯的线路图见图 11.3.13。

灯的起辉电压与灯管长度成正比，与灯管直径成反比，并与所充的气体种类和气压有关。若以 D 表示灯管的直径 (cm)， G 表示每厘米长灯管所需的放电电压 (V/cm)，那么 DG 乘积表示建立放电的必要条件，它与气体种类的关系见表 11.3.7。

图 11.3.13 霓虹灯的工作线路
B—漏磁变压器表 11.3.7 各种气体的 DG 值

气体种类	氩	氖	氩 + 汞
DG	45 ~ 50V	120 ~ 140V	约 30V

6. 场致发光屏

(1) 原理和结构 有些荧光粉在足够强的交流电场中能激发并发光，这种现象称为场致发光。将它做成发

光屏后可以发出多种色彩、可制成字母板作为标志灯。其结构见图 11.3.14。

(2) 特性与参数 场致发光屏的亮度 L 与电压 V 的关系如下：

$$L = ae^{-bV}$$

式中 a 、 b 是与温度、频率有关的两个常数。

当发光屏工作在频率分别为 50、500 和 1000Hz、电压为 220V 的交流电源下，亮度将分别大于 6.9、51.4 和 85.7 cd/m^2 ，有效寿命（半亮度）大于 3000h，能在 2~2.5 倍工作电压下不发生击穿现象。目前大多采用绿色，也可用黄色和蓝色。

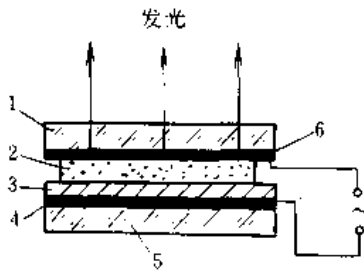


图 11.3.14 场致发光屏结构示意图

- 1—玻璃板；2—荧光粉层；3—高介电常数反射层；4—铝箔；5—玻璃板；6—透明导电膜

四、照明器

照明器是光源与灯具的组合。灯具的作用是固定光源，把光源发出的光进行再分配，可以抑制光源引起的眩光，可以保护光源不受外力或潮湿、有害气体的影响，并有一定的装饰功能。

1. 照明器的配光特性

照明器的配光特性是描述照明器光强空间分布的，它可以有各种不同的表示方法，最常用的是极坐标表示法，并称为照明器的配光特性曲线。图 11.3.15 是 YG2-1 型筒式荧光灯的配光特性曲线。

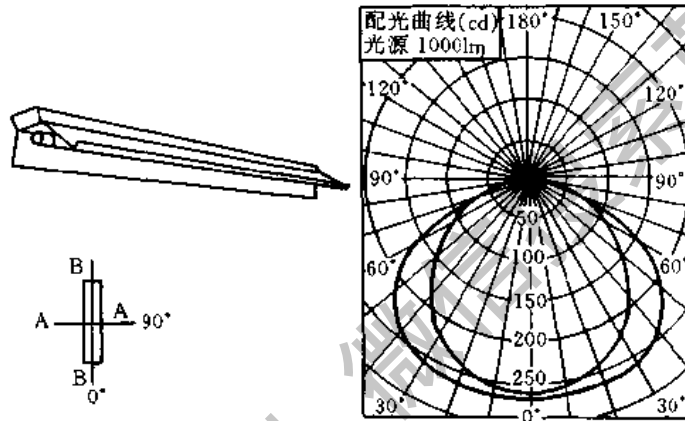


图 11.3.15 YG2-1 型筒式荧光灯配光曲线

照明器的配光特性也可以用表格的形式表示，YG2-1 型筒式荧光灯配光特性见表 11.3.8。

表 11.3.8 YG2-1 型筒式荧光灯配光特性 (1000lm)

	θ°	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
	A—A	I_e/cd	140	140	141	142	142	144	146	149	150	151	152	151	149	145	141	136	129	124	121
θ°		95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160						
B—B	I_e/cd	121	122	122	116	103	88	75	60	45	18	19	6.4	0.8	0						
	θ°	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
	I_e/cd	124	122	120	116	112	107	101	94	85	77	68	58	47	37	27	17	9	2.8	0	

照明器的配光特性一般规定是在其光源光通量为 1000lm 时求得的，因实际光强值还应通过换算取得，换算可按下式进行：

$$I_e = \frac{I_e^{1000} \Phi_s}{1000}$$

式中 I_e ——照明器在垂直角为 θ 时的光强，cd；

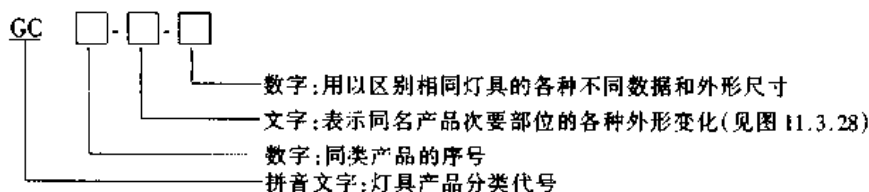
I_e^{1000} ——由照明器配光特性查得的在垂直角为 θ 时 1000lm 下的光强，cd；

Φ_s ——照明器内光源的实际光通量，lm。

2. 工厂灯

不同地区灯类产品型号的编排方法有所不同，现举北京及上海两地区。

上海地区：



北京地区:工厂灯类无统一型号。个别灯具(如防水防尘灯)有厂编型号。北京照明器材厂灯具具有五种连接形式,其代号如下:

g—杆式;w—弯式(w_1 为 30° , w_2 为 60° , w_3 为 90°);L—链式;d—吊式;z—座式。

各种工厂灯的外形图、基本数据、用途与结构见表 11.3.9 至表 11.3.21。

表 11.3.9 GC1 配照型工厂灯

型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构	 外形图
上 海	GC1-A、B-1 GC1-C-1 GC1-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	工厂车 间、一般性 仓库及公共 场所等的照 明	钢板搪瓷灯 罩,内腔白色, 外观灰色,白瓷 螺口风雨灯头, 铝合金灯座,铸 铁或钢板冲制底 座,1/2"焊接钢 管	
	GC1-A、B-2 GC1-C-2 GC1-D、E、F、G-2	150~200					
北 京		60~100	110/220	E27			
		150~200		E40			
		300~500					

表 11.3.10 GC3 广照型工厂灯

型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构	 外形图
上 海	GC3-A、B-1 GC3-C-1 GC3-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	室内 外靠墙壁附 近的车间 操作场 地,货垛 要道等的 固定照明	钢板搪瓷灯 罩,内腔白 色,外观灰 色,1/2"焊 接钢管,白 瓷螺口风 雨灯头, 铸铝灯座	
	GC3-A、B-2 GC3-C-2 GC3-D、E、F、G-2	150~200	110/220	E27			
北 京		60~100	110/220	E27			
		150~200		E40			
		300~500					

表 11.3.11 GC5 深照型工厂灯

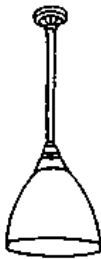
型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构	 外形图
上 海	GC5-A、B-1 GC5-C-1 GC5-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	适用于厂 房、加工车 间及大型机 床作固定照 明	钢板搪瓷灯 罩,内腔白色, 外观灰色,白瓷 螺口风雨灯头, 铸铝灯座,铸 铁底座	
	GC5-A、B-2 GC5-C-2 GC5-D、E、F、G-2	150~200					
海	GC5-A、B-3 GC5-C-3 GC5-D、E、F、G-3	300		E40			
	GC5-A、B-4 GC5-C-4	300~500					
北 京				E27			
				E27 或 E40			

表 11.3.12 GC7 斜照型工厂灯


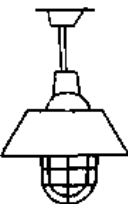
型 号	灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构	 外形图
上 海	GC7-A-1 GC7-C-1 GC7-D、G-1	60	110/220	适用于室 内外的画 廊、广告牌 等作固定照 明	钢板搪瓷或镀 铬抛光的灯罩, 白瓷螺口风雨灯 头, 铸铝灯座, 铸铁底座, 1/2" 焊接钢管弯成各 种角度和长度的 支撑管	
	GC7-A-2 GC7-C-2 GC7-D、G-2	100	110/220			
北 京			E27			
		300	110/220	E40		

表 11.3.13 FSC 防水防尘灯

型 号	灯泡功率 /W	电源电压 /V	重 量 /kg	用 途	结 构	 外形图
FSC-200- $\frac{2}{3}$ -g	200	110/220	3.7/3.4	用于多水溅、 多灰尘的场所, 特别潮湿, 有 大量蒸汽和有 腐蚀性气体的 场所不宜采用	钢板搪瓷灯 罩, 半磨砂玻 璃罩, $\phi 4$ 钢 丝保护网, E27 瓷防水灯 口	
FSC-200- $\frac{2}{3}$ -w ₁	200	110/220	3.5/3.2			
FSC-200- $\frac{2}{3}$ -d	200	110/220	3/2.7			

注: FSC-2 为带保护网, FSC-3 为不带保护网。H 为带网/不带网。

表 11.3.14 GC9 (FSC) 广照型防水防尘灯 (无保护网)

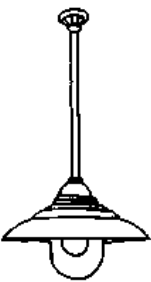
型 号	灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构	 外形图
上 海	GC9-A、B-1 GC9-C-1 GC9-D、E、F、G-1	60~100	110/220	用于室内 多尘多水操 作场所的照 明	钢板搪瓷罩, 螺口透明玻璃 罩, 橡胶密封 圈, 铸铝或铸铁 的灯座, 铸铁或 钢板冲制底座	
	GC9-A、B-2 GC9-C-2 GC9-D、E、F、G-2	150~200	110/220			
北 京	FSC-100、200-5-g	100~200	110/220	E27		
	FSC-100、200-5-w ₁					
	FSC-100、200-5-w ₂					
	FSC-100、200-5-w ₃					
	FSC-100、200-5-Z					
	FSC-300-5-g	300		E40		

表 11.3.15 GC11 (FSC) 广照型防水防尘灯 (有保护网)

型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构
上 海	GC11-A、B-1 GC11-C-1 GC11-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	适用于多 尘、多水的 操作场所和 车间的照明	钢板搪瓷灯罩 或螺口透明玻璃 罩, 铁丝保护 网, 铸铝或铸铁 的灯座, 铸铁或 钢板冲制底座
	GC11-A、B-2 GC11-C-2 GC11-D、E、F、G-2	150~200	110/220	E27		
北 京	FSC-100、200-4-g	100~200	110/220	E27		
	FSC-100、200-4-w ₁					
	FSC-100、200-4-w ₂					
	FSC-100、200-4-w ₃					
	FSC-100、200-4-Z			E40		
	FSC-300-4-g	300				



外形图

表 11.3.16 GC15 (FSC) 散照型防水防尘灯

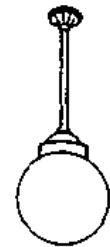
型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构
上 海	GC15-A、B-1 GC15-C-1 GC15-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	适用于多 水多尘的操 作场所作照 明用	乳白色或透明 玻璃灯罩, 1/2" 焊接钢管, 橡胶 密封防水装置, 白瓷螺口灯头, 铸铝灯座铸铁底 座
	GC15-A、B-2 GC15-C-2 GC15-D、E、F、G-2	150~200	110/220	E27		
北 京	FSC-200-1	100~200	110/220	E27		



外形图

表 11.3.17 GC17 圆球型工厂灯

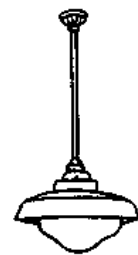
型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构
GC17-A、B-2 GC17-C-2 GC17-D、E、F、G-2		100	110/220	E27	适用于精 密仪器仪表 装配车间的 吸顶照明及 厂房、办公 室或水蒸气 不大的操作 场所	乳白色玻璃螺 口圆球灯罩, 橡 胶密封防水装 置, 白瓷螺口灯 头, 铸铝灯座, 钢板或铸铁底 座
	GC17-A、B-3 GC17-C-3 GC17-D、E、F、G-3	200	110/220	E27		



外形图



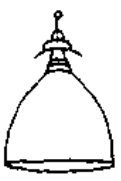
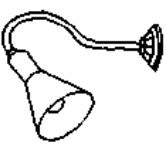
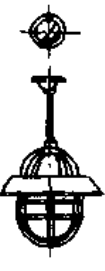
表 11.3.18 GC19 双罩型工厂灯 (原万能型灯)

型 号		灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用 途	结 构
上 海	GC19-A、B-1 GC19-C-1 GC19-D、E、F、G-1	60~100	110/220	E27	适用于厂 房、车间等 光线柔和的 室内照明	钢板搪瓷灯 罩、乳白色嵌 口玻璃罩, 1/2" 焊接钢管, 铸铝 灯座, 铸铁或钢 板冲制底座
	GC19-A、B-2 GC19-C-2 GC19-D、E、F、G-2	150~200	110/220	E27		
北 京	直杆吊灯 吊链灯 弯杆灯 60°	60~100	110/220	E27		



外形图

表 11.3.19 GC21~GC28 型部分照明灯/mm

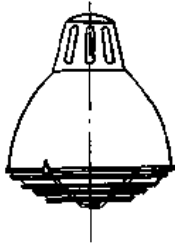
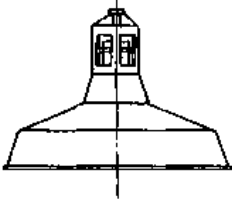
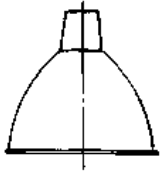
名称	型号	灯泡功率 /W	电源电压 /V	灯座 型号	用途	结构	
GC21 配照型挂灯	GC21-1 GC21-2	60~100 150~200	110/220	E27	室内外移动性工作场所临时照明	钢板搪瓷灯罩, 内腔白色, 外观灰色, 白瓷螺口风雨灯头, 铸铝灯座和吊线器	 外形图
GC22 广照型防水防尘挂灯	GC22-1 GC22-2	60~100 150~200	110/220	E27	适用于室内外多水多尘的厂房, 车间或露天场地等移动性场所照明	钢板搪瓷灯罩, 螺口透明玻璃罩并有橡胶密封装置, 铸铝灯座和吊线器	 外形图
GC23 深照型挂灯	GC23-1 GC23-2 GC23-3	60~100 150~200 300	110/220	E27 E27 E40	工厂车间、运动场及其他室内外工作场所照明	镀锌钝化吊钩, 铸铝三通吊线器, 深照型钢板搪瓷灯罩, 内腔白色, 外观灰色	 外形图
GC26 局部深照型照明灯	GC26-E60° 弯杆灯 GC26-H120° 弯杆灯	60~100	110/220	E27	E型适用于精密仪器仪表装配检修工作局部照明; H型适用于剧场、影院的广告栏等作局部照明	铜或铝制灯罩, 内腔镀铬抛光或氧化处理, 亦可采用钢板搪瓷制成。内装白瓷螺口灯头, 13mm 焊接钢管, 铸铁底座	 外形图
GC28 防潮灯	GC28-1 GC28-2 GC28-3	150 300 500	220	E27 E27 E40	适用于一般工厂、矿山等潮湿的车间、工作场地的照明	灯具采用铝合金材料制成, 外壳喷灰色氨基醇酸烘漆。保护网经镀锌钝化处理, 灯内装有镀铬反射器。搪瓷反光罩、内腔白色, 可以有效地提高光的利用率	 外形图

注: GC28-1系 GC27 矿山灯的改型、改名产品。

表 11.3.20 GC29 ~ GC40 型及部分新型照明灯

名 称	GC29 防震行车灯	GC30 胶柄手提灯			GC31 扁形防潮灯
外形图					
型号	GC29	GC30-B	GC30-D	GC30-E	GC31
电源电压/V	220	24/36	24/36	24/36	220
灯泡功率/W	500	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60
灯座型号	E40	E27	E27	E27	E27
重量/kg	1.7	0.28	0.28	0.29	3
特点	灯颈内设有防震装置, 有效地提高了灯泡的使用寿命。适用于行车及起重机上作操作照明		耐油	有金属回光罩带开关	铸铁灯座和防护罩, 灯具内腔喷有反光较强的银粉漆、透明灯罩, 结构坚固防腐性能较好
备注		北京大兴灯具厂生产的型号如下: XD-2 (不带开关) XD-3 (带开关)			北京大兴灯具厂生产的型号为: FC-100。护罩为铅丝制成。天津生产的为铸铝灯座和防护罩
名 称	GC32 手提消防灯	GC33 防潮灯		GC34 搪瓷防潮灯	
外形图					
型号	GC32	GC33		GC34	
电源电压/V	6	110/220		110/220	
灯泡功率/W	30 + 5	60、100		150	
灯座型号		E27		E27	
重量/kg	6.3	1.6		1.4	
用途	适用于火灾场地作施救照明及供电部门夜间高空作业临时照明, 但不得用于有爆炸介质的场合	适用于工厂车间及其他潮湿场所照明		适用于一般潮湿车间及有少量腐蚀性气体的车间照明	
结构特点	灯具外壳采用钢材制成, 外表漆成红色, 紫铜反光镜具有射程远、光线强等特点。电源采用 GN-10 型镉镍碱性电池 6 节串联供电, 容量可达 10A 时, 电池密封性能好	结构严密, 具有防潮性能, 因此适用于工厂车间及其他潮湿场所照明		搪瓷防潮灯, 灯座采取钢材冲制并经搪瓷处理, 灯杆连接部件采用尼龙 1010 制成, 因此具有防潮防腐性能	

续表

名称	GC39 深照型防震灯	GC40 配照型灯	GCS16 深照型球场灯
外形图			
型号	GC39	GC40	GCS16
电源电压/V	220/380	220	220
光源及功率/W	G-400、1000, N-400, K-400	B-300, G-250	B-300、500, G-250
灯座型号	E40	E40	E40
重量/kg	5.7	2.6	2.0
用途	适用于一般性及有震动的高大厂房	适用于中小型厂房及仓库	适用于中型厂房及球场照明
结构特点	灯具采用钢板搪瓷灯罩, 经镀锌处理的防护罩。灯内有特制安装波纹管及压簧作防震装置。灯具在安装时需 用 1/2"管子连接, 以防止灯光闪动	开启型	开启型

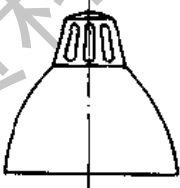
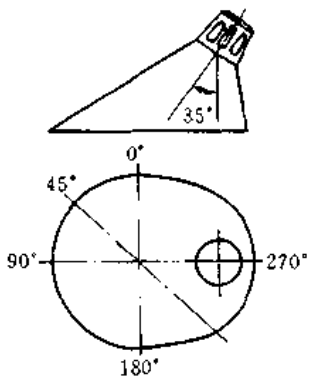
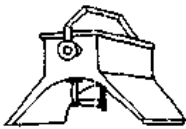

名称	GCL 高纯铝深照型灯		GCX 搪瓷斜照型灯
外形图			
型号	GCL-1	GCL-2	GCX
电源电压/V	220/380	220	220/380
光源及功率/W	G-250、400 K-400	G-1000	B-300 G-250、400 K-400
灯座型号	E40	E40	E40
重量/kg	2.3	5	5
用途	适用于高大厂房		适用于中大型厂房作为壁灯
结构特点	开启型, 材料为高纯铝抛光, 效果及寿命都比镜面深照型优越		开启型

表 11.3.21 大面积照明灯

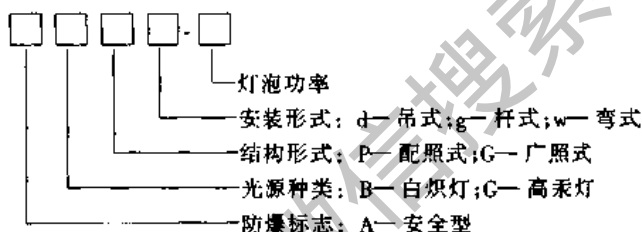
名称	ZMD 大面积照明灯	DYC 大面积斜照灯
外形图		
型号	ZMD-741-2	DYC-LIA
电源电压/V	220/380	220/380
光源及功率/W	K-1000	K-1000
灯座型号	E40	E40
重量/kg	3.9	4.1
用途	适用于高大厂房及户外照明	适用于高大厂房作壁灯及广场照明
结构特点	开启型, 材料为高纯铝抛光	开启型, 适用于挂灯高度为 12~14m

注: 光源代号: B—白炽灯; G—荧光高压汞灯; N—高压钠灯; K—金属卤素灯。

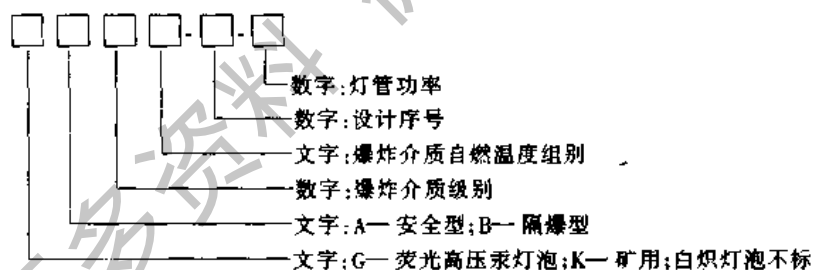
3. 防爆灯

防爆灯具分安全型和隔爆型。

(1) 防爆灯类产品型号编排方法说明 防爆安全型灯具(全国统一设计型号):



上海地区(目前使用的型号):



(2) 各种防爆灯的技术数据

① AGP、ABP 系列防爆安全型配照灯: 该系列的灯具是统一设计产品, 共有 6 种。其技术数据见表 11.3.22。

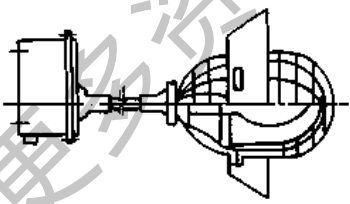
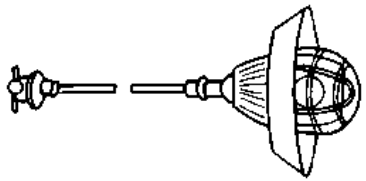
表 11.3.22 AGP、ABP 系列防爆安全型配照灯

名称	型号	功率/W	高度/mm	最大外径/mm	灯座型号
防爆安全型吸顶式高汞配照灯(灯具上带有镇流器盒)	AGPX-125	125	1218	340	E27
	AGPX-250	250	1329	385	E40
	AGPX-400	400	1415	440	E40
防爆安全型吸顶式白炽配照灯	ABPX-200	200	460	340	E27
	ABPX-300	300	541	385	E27
	ABPX-500	500	610	440	E40

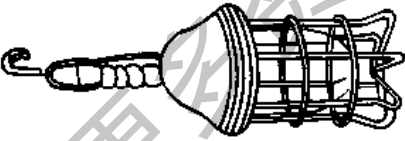
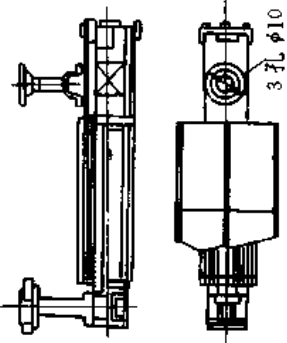
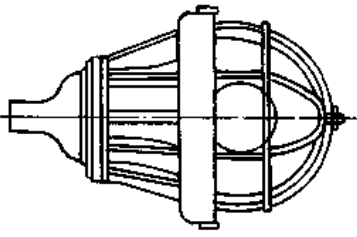
注: 上述产品均有吊式(d)、杆式(g)、弯式(w)三种安装方法。

② 目前常用的几种隔爆灯、安全灯的技术数据见表 11.3.23。

表 11.3.23 目前常用的几种隔爆灯及安全灯技术数据

名称	型号	外形图	型式	光源及功率 /W	电压 /V	表面温升 /°C	触头温升 /°C	灯头型式	重量 /kg	用途
荧光高压汞灯安全照明灯	GA0C-400		密封式	G-400	220				12	适合于生产过程中偶然与空气形成爆炸性混合物的 Q-2 级、C 组爆炸介质的厂房内
隔爆型防爆灯	B3C-200 CB3C-125			B-200 G-125	220	< 60	< 75	E27	8 11	适用于有爆炸介质的 I、2、3 级 a、c 组 (B3C-200 可使用至 a、b、c 组) 蒸气气体的厂房和工作场所作业照明

续表

名称	型号	外形图	型式	光源及功率 /W	电压 /V	表面温升 /°C	触头温升 /°C	灯头型式	重量 /kg	用途
防爆行灯	B3C-11-40			B-40	24~36			E27	1.8	适用于易于产生爆炸介质为1、2、3级的蒸气气体、粉尘等工作场所作检修照明
隔爆型荧光防爆灯	B3e-1-30 B3e-2-80 B3e-2-60			30 2×40 2×30	220			灯头插座为连锁断式	9 18 16	适合于有爆炸介质为2、3级a、b、c、d、e组的蒸气气体的厂房内作业照明。灯内设有自动断电装置，能在安装检修时预先切断电源
隔爆型防爆灯 (无灯罩)	CB3e-200G		隔爆式	B-200	220	< 80	< 110	承弧式	7.4	适用于有爆炸危险混合物(如气体、粉末状尘埃、纤维等)聚集的车间、厂房和作业场地的Q-1级厂房内

4. 投光灯

投光灯的技术数据见表 11.3.24。

表 11.3.24 投光灯的技术数据

型 号	型 式	光源及功率 /W	电源电压 /V	灯座 型式	重 量 /kg	说 明
TG1-A (无网) TG1-B (有网)	防水式	B-300	110/220	E27	15 15.5	适用于船舶、舰艇、铁路、 矿山、建筑工地等露天场地 $D = 445\text{mm}$, $H = 590\text{mm}$, $L = 385 (410)\text{mm}$
TG2-A (无网) TG2-B (有网)	防水式	B-500	110/220	E40	18.5 19.5	适用于船舶、舰艇、铁路、 矿山、广场、建筑工地等露天 场地 $D \times H \times L = 525\text{mm} \times 660\text{mm} \times$ $415 (460)\text{mm}$
TG7 (高压汞灯投光灯)	防水式	G-400	220	E40	14	玻璃罩为无色或磨砂。天津 生产的型号为 812 型。适用于 船舶、舰艇、铁路、矿山、船 坞、码头、广场及建筑工地等 作强光大面积照明
TG12 (轻型投光灯)	防滴式	B-300	110/220	E27	6.9	
TG14 (探照灯)	防溅式	B-1000	110/220	E40	19	适用于铁路、矿山、船坞、 码头、广场、建筑工地及作警 卫探照等远距离照明
TG15	防溅式	B-1000 (球型聚光泡)	220	E40	19	适用于铁路、矿山、船坞、 码头、广场、建筑工地作大面 积强光照明
TG16-B (搜索灯)		B-100 (SS-178 搜索泡)	12/24		4.6	适用于中小型船舶作夜航照 明及工厂、矿山、铁路、码头 等作工程检修、警卫警界等远 距离照明
TG19		管形氙灯 10000	220			适用于广场、船舶、铁路、 机场、矿山、码头、船坞、建 筑工地等作强光大面积照明。 本灯具应与 SF-A1 触发器配套 使用
TG20 (轻型投光灯)		B-150 (DK-178 搜索灯泡)	220		3.1	适用于工厂、矿山、仓库警 卫、工程检修的照明
TG22 (防震投光灯)		150 DK-178 型 单丝投光灯泡	220		3.3	适用工矿、码头、工程检修 等照明
TQB-150-1 (墙壁投光灯)		100 ~ 150	220	E27		$D \times L = 480\text{mm} \times 595\text{mm}$, 预 留孔洞尺寸为 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ 适用于室内不宜安装灯具的 车间、库房等场所的照明

注：光源：B—白炽灯；G—高压汞灯。

5. 交通灯

部分交通灯的技术数据见表 11.3.25。

表 11.3.25 部分交通灯的技术数据

名称	腰形仓顶灯	弯管船灯	障碍灯	
型号	CCD2-1	CCD13	HZA-1	HZA-2
灯泡功率/W	60	40~60	60	60
电源电压/V	110/220	110/220	110/220	110/220
灯座型号	E27	E27	专用	E27
重量/kg	2.3	1.4	4.3	1.8
滤光镜颜色			红色	
最大温升/℃			65	
结构特点	由铝合金制成灯座、灯罩圈及底座,乳白色或透明玻璃灯罩等组成,结构紧密,防水性能良好	由铝合金制成灯座、灯管及底座,外表涂有灰色防锈漆	结构紧密、坚固,具有防水性能,安装轻便,经久耐用	
用途	适用于大型地下室、隧道等照明	适合于大中型地下室、隧道及防空壕等室内照明	安装在高大建筑物的顶端,夜间以灯光标出妨碍飞机飞行的障碍物位置	

6. 卤钨灯

卤钨灯的技术数据见表 11.3.26。

表 11.3.26 卤钨灯技术数据


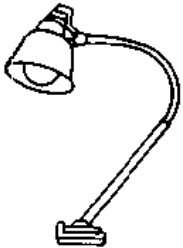
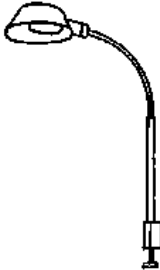

型号	灯管功率/W	外形尺寸/mm			结构特点
		L	B	H	
DD1-1000	1000				灯具外壳用优质铝板制成,外壳及反射器均经阳极氧化处理
TD6-500	500	245			
TD6-1000	1000	300			
TD6-2000	2000	380			
DD3-1000	1000	400	165	95	灯具为搪瓷罩,适用于室外及有腐蚀性气体的场所 北京产品: LTP 型称搪瓷配照卤钨灯 LTS 型称搪瓷深照卤钨灯 LTX 型称搪瓷斜照卤钨灯(有 30°斜角)
LTP-500-1	500	320	230	100	
LTP-1000-1	1000	370	270	230	
LTS-1000-1	1000	520	529	420	
LTX-500-1	500	320	230	100	
LTX-1000-1	1000	320	520	150	灯具为金属罩 LJP 型称金属配照卤钨灯 LJS 型称金属深照卤钨灯 LJX 型称金属斜照卤钨灯
LTX-2000-1	2000	520	520	330	
LJP-500-1	500	260	150	172	
LJS-1000-1	1000	314	120	204	
LJX-500-1	500	259	163	210	

注:电源电压 220V。

7. 台灯、机床灯

部分常用台灯和机床灯的规格,分别见表 11.3.27 至表 11.3.29。

表 11.3.27 JC 型灯规格

名称	JC1-B 软梗工作台灯	JC2 软梗工作台灯	JC3 软梗工作台灯	JC4 软梗工作台灯
外形图				

续表

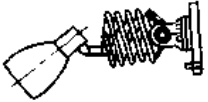
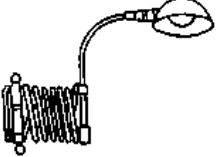
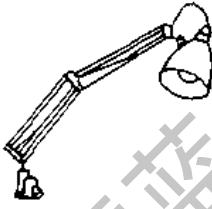
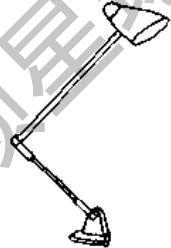
名称	JC1-B 软梗工作台灯	JC2 软梗工作灯	JC3 软梗工作灯	JC4 软梗工作灯
电压/V	110/220	24/36	24/36	24/36
灯泡功率/W	60~100	40~60	40~60	40~60
灯座型式	E27	E27	E27	E27
用途	JC1-B 用于仪表装配、检修、制图、医疗等作局部照明 另有 JC1 型, 外形相似, 灯泡功率 60W, 重 1.4kg JC2 用于机床、工作台局部照明 JC3 用于机床、工作台、绘图台的局部照明 JC4 用于精密机床、工作台、绘图局部照明			
名称	JC7-B 壁式伸缩立架灯	JC8 壁式伸缩立架灯	JC13-A 拉簧型工作灯	JC14 缝纫机灯
外形图				
电压/V	220	110/220	110/220	12~220
灯泡功率/W	60~100	40	60	≤15
灯座型式	E27	E27	E27	2C-15
用途	JC7-B、JC8、JC13 适用于精密机床工作照明, 精密仪器仪表装配, 检修和制图等照明。 JC7 型外形相似, 电源电压 6~12V, 灯泡功率 15W 或 25W, 灯头 2C-15 型 JC14 适用于缝纫机工作照明, 也可作小型仪器、仪表作装配检修照明用			

表 11.3.28 JC5、JC6 机床工作灯


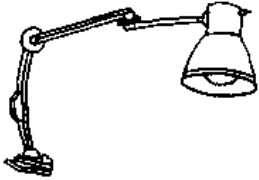
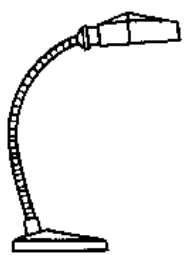
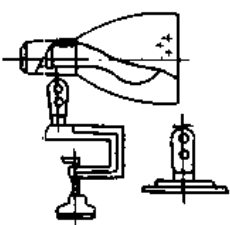
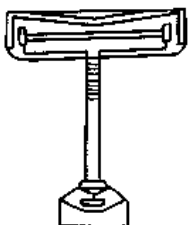
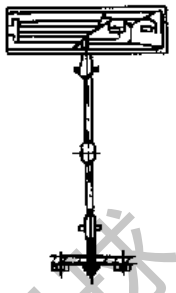
名称	型 号		型 号	
	长二节 JC5-2	短二节 JC5-1	长三节 JC6-2	短三节 JC6-1
外形图				
电源电压/V	24/36		24/36	
灯泡功率/W	60		60	
灯座型号	E27		E27	
用途	供各种机床作局部工作照明		供各种机床作局部工作照明	
结构	优质钢板、搪瓷灯罩、焊接钢管灯架		优质钢板、搪瓷灯罩、焊接钢管灯架	

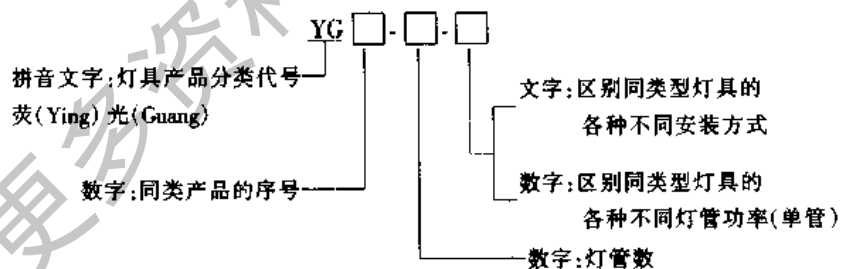
表 11.3.29 JC18、JC20、YT-1、YG738 台灯

名称	JC18 软管台灯	JC20 展览台灯	YT-1 台式荧光灯	YG738 双管台式荧光灯
外形图				
电源电压/V	110/220	220	220	220
灯泡功率/W	15~40	60	8	2×8
灯座型式	E27	E27		
重量/kg	1.8	0.35~0.5		1.4
特点	JC18-1 型软梗长 500mm; JC18-2 型软梗长 550mm	用于展览会场所, 橱窗布置作局部照明 JC20-A 型为台壁式, 俯仰角 90°, JC20-B 型为扎脚式, 俯仰角 140°。二灯均可作水平 360° 照射	YT-1 型用方形琴键开关, YT-4 型用菱形琴键开关, 另有 YT-7 型用 6W 灯管。由上海沪光灯具厂生产	YG738-A 型灯杆为软梗结构, 有底座 YG738-B 型灯杆为硬梗活络结构, 无底座仅作固定照明

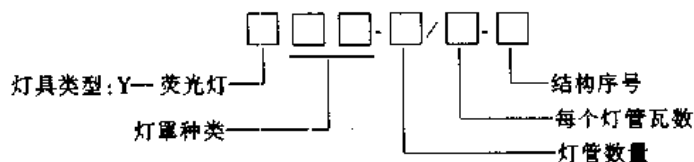
8. 荧光灯

(1) 荧光灯类产品型号编排方法说明

上海地区:



北京地区:



灯具型号与名称:

YJQ—简易开启荧光灯;

YJK—简易控照荧光灯;

YSK—三角控照荧光灯;

YMB—密闭荧光灯;

YQD—开启吸顶荧光灯。

(2) 各种荧光灯的技术数据 (见表 11.3.30)

表 11.3.30 荧光灯的技术数据

名称	型号	灯管数量及 功率/W	电源电压 /V	灯具长度 /mm	结构特点	用途					
筒式 荧光灯	上海	YG1-1	1×40	110/220	1280	灯具用钢板制成, 结构坚固, 造型简单, 安装轻便	一般工厂、办公室、车间、食堂、商店等照明				
		YG1-2	2×40								
		YG2-1	1×40								
		YG2-2	2×40								
	北京	YJQ-1/40-1	1×40								
		YJQ-2/40-1	2×40								
		YJK-1/40-2	1×40								
嵌入 式 荧光灯	上海	YG3-2	2×40	110/220	1300	配磨砂玻璃罩	精密产品的工厂、车间、大厅、礼堂嵌顶照明				
		YG3-3	3×40								
密闭 型 荧光灯	上海	YG4-1	1×40	110/220	1380	灯座内有密封圈可防止潮气及有害气体侵入。灯具有吊链和双吊杆二种, 不能吸顶安装	化工厂、印染厂及其他具有潮湿蒸汽及有害气体的场所照明				
		YG4-2	2×40								
		YG4-3	3×40								
	北京	YMB-1/40-1	1×40		1300						
YMB-2/40-2		2×40	1350								
三角 罩 荧光灯	上海	YG5-2	2×40	110/220	1300	灯具顶部是两个角度陡峭的斜面, 尘埃等不易集结, 有聚光效果	纺织厂、制鞋厂、配电站、食品加工厂照明				
		YSK-2/40-1	2×40								
		YSK-3/40-1	3×40								
吸 顶 式 荧光灯	上海	YG6-2	2×40	110/220	1334	灯具用薄钢板或木材加工制成	一般工厂、车间、大厅、食堂、商店等吸顶安装照明				
		YG6-3	3×40								
	北京	YQD-2/40-1	2×40		L = 1470 B = 570						
		YQD-4/40-1	4×40		L = 1470 B = 820						
		YQD-4/40-2	4×40		L = 1470 B = 1470						
	上海	YG7-2-40	2×40		110/220			1300	灯具用薄钢板及钢管加工制成, 结构坚固, 灯具为单吊杆(在中心)安装	车间和精密机床等操作环境照明	
		YG7-2-30	2×30					1000			
		YG7-2-20	2×20					700			
	上海	A B C D	YG8-1		1×40			110/220	1300	灯具用钢板制成, 罩壳夹层内设有防震装置, 镇流器装在灯具内, 灯罩有良好的散热效果 A—双吊杆式 B—吊链式 C—单吊杆式 D—壁式	
A B				YG8-3		3×40					
嵌 入 式 荧光灯	上海	YG9-2	2×40	110/220	1380	灯具壳体用钢板制成, 罩框选用铝氧化或铁镀铬抛光, 隔栅用有机玻璃或其他透明材料制成					
		YG9-3	3×40								
	上海	A B A	YG11-1	1×40	110/220	1300	灯具用钢板制成, 镇流器装在散热性能良好的隔层内 YG11型顶罩为弧形, YG12和YKZ型顶罩为梯形, 其余结构均同。YG11-A型为双吊杆式, YG11-B型为吊链式, 安装间距700mm。YG12和YK2型也有吊链和双吊杆式二种	仪表厂、纺织厂及商店、学校、会议室、实验室等照明			
			YG11-2	2×40							
			YG11-3	3×40							
	北京	A B A	YG12-1	1×40	110/220	1300					
			YG12-2	2×40							
			YG12-3	3×40							
	北京	A B A	YKZ-1/40-1	1×40	110/220	1300					
			YKZ-2/40-1	2×40							
YKZ-3/40-1			3×40								

续表

名称	型号	灯管数量及功率/W	电源电压/V	灯具长度/mm	结构特点	用途
嵌入式 荧光 灯	上海 YG14-2	2×40	220	1395	灯具用钢板制成,为嵌顶式安装,透光部分配有磨砂玻璃罩。检修在灯具下面进行。 开孔尺寸: L=1340 B=225	制药厂、仪表、无线电元件制造车间及商店大厅等作室内照明
	上海 YG15-2 YG15-3	2×40 3×40	220	1300	灯具系按 YG12 型修改而成,其外形尺寸及安装间距与 YG12 相同,但装格栅(有铝制和有机玻璃制二种)。灯具吊链和双吊杆二种。安装间距 800mm	
吸顶式 荧光灯	上海 YG16-2 YG16-3	2×40 3×40	220	1350	壳体除设有隔栅外,还配有磨砂玻璃作侧光灯罩。钢镀铬加固装饰圈。用二管时可另加白炽事故灯一个	发电厂、变电所的主控制室及制药、化工、仪表厂等作大面积照明
嵌入式 荧光 灯	上海 YG17-1	1×40	220	1420	壳体用钢板制成,配有磨砂玻璃灯罩,外表喷白漆。灯具在吊顶内检修灯管,启辉器在吊顶下可取出	
	YG17-2	2×40				
	YG17-3	3×40				
	YG17-4	4×40				
栅格 荧光灯	FI701-2-0 FI701-3-0	2×40 3×40	220	1320	可拼装成发光带	

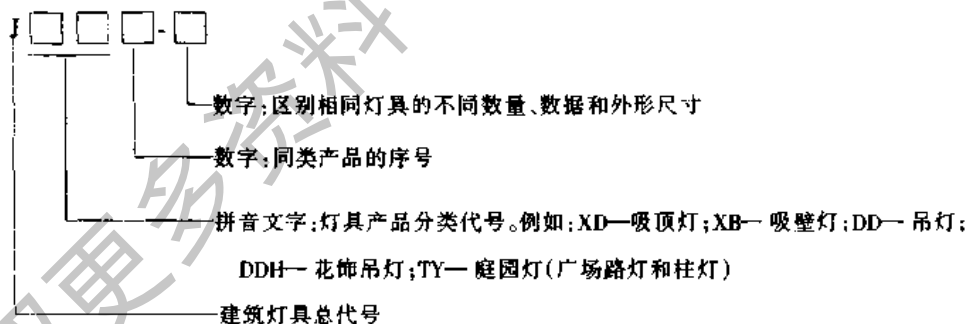
注: 1. YG1、YG2 还可制成 20W、30W 等规格,相应的灯管长度分别为 680mm, 980mm。

2. YG16、FI701 等,当采用三管灯具仅装两根荧光灯管时,可加装两个白炽灯作事故照明用。

9. 建筑灯

(1) 建筑灯类产品型号编排方法说明

上海地区:



(2) 常用建筑灯的种类

①吸顶灯。②吸壁灯。③吊灯。④花饰吊灯。⑤路灯。⑥柱灯。

第二节 照明质量

一、合适的照度

光环境应当使人易于辨别所从事工作的细节,同时消除或者适当地控制那些会造成不适的有害因素。

国际照明委员会(CIE)认为刚能辨认人脸特征的亮度约需 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 。在水平面照度 20lx 左右的普通照明环境下,可以达到这个亮度, 20lx 是所有的工作房间的最低照度。表 11.3.31 为 CIE 出版物 No29/2 (TC-4.1) 对各种作业和活动所推荐的由三个连续的照度级组成的照度范围。对于工作房间,其中间值代表应当采用的推荐照度,在考虑到作业本身反射比、亮度对比、工作重要性以及工作人员年龄等因素时,可分别采用较高值或较低值。

我国 1990 年颁布的《民用建筑照明设计标准》(GBJ 133—90) 规定如表 11.3.32 至表 11.3.42。

表 11.3.31 CIE 对不同区域或活动推荐的照度范围

推荐的照度范围/lx ^①	区域或活动的类型	推荐的照度范围/lx ^①	区域或活动的类型
20—30—50	室外交通区和工作区	500—750—1000	有相当费力的视觉要求的作业
50—75—100	交通区 ^② , 简单地判别方位或短暂访问	750—1000—1500	有很困难的视觉要求的作业
100—150—200	非连续工作作用的房间	1000—1500—2000	有特殊视觉要求的作业
200—300—500	有简单视觉要求的作业	> 2000	完成非常精密的视觉作业
300—500—750	有中等视觉要求的作业		

① 在有些国家中, 推荐照度以使用照度表示, 其他国家以维持照度表示。

② 在交通区, 这个数值应当与相邻工作区或相邻空间的照度有关。

表 11.3.32 图书馆建筑照明的照度标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
		低	中	高
一般阅览室、少年儿童阅览室、研究室、装订修理间、美工室	0.75m 水平面	150	200	300
老年读者阅览室、善本书和舆图阅览室	0.75m 水平面	200	300	500
陈列室、目录厅(室)、出纳厅(室)、视听室、缩微阅览室	0.75m 水平面	75	100	150
读者休息室	0.75m 水平面	30	50	75
书库	0.75m 垂直面	20	30	50
开敞式运输传送设备	0.75m 水平面	50	75	100

表 11.3.33 办公楼建筑照明的照度标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
		低	中	高
办公室、报告厅、会议室、接待室、陈列室、营业厅	0.75m 水平面	100	150	200
有视觉显示屏的作业	工作台水平面	150	200	300
设计室、绘图室、打字室	实际工作面	200	300	500
装订、复印、晒图、档案室	0.75m 水平面	75	100	150
值班室	0.75m 水平面	50	75	100
门厅	地面	30	50	75

注: 有视觉显示屏的作业, 屏幕上的垂直面照度不应大于 150lx。

表 11.3.34 商店建筑照明的照度标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx			
		低	中	高	
一 般 商 店 营 业 厅	一般区域	0.75m 水平面	75	100	100
	柜台	柜台面上	100	150	200
	货架	1.5m 垂直面	100	150	200
	陈列柜、橱窗	货物所处平面	200	300	500
室内菜市场营业厅	0.75m 水平面	50	75	100	
自选商场营业厅	0.75m 水平面	150	200	300	
试衣室	试衣位置 1.5m 高处垂直面	150	200	300	
收款处	收款台面	150	200	300	
库房	0.75m 水平面	30	50	75	

注: 陈列柜和橱窗是指展出重点、时新商品的展柜和橱窗。

表 11.3.35 影院剧场建筑照明的照度标准值

类 别		参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
门厅		地面	100	150	200
门厅过道		地面	75	100	150
观众厅	影院	0.75m 水平面	30	50	75
	剧场	0.75m 水平面	50	75	100
观众休息厅	影院	0.75m 水平面	50	75	100
	剧场	0.75m 水平面	75	100	150
贵宾室、服装室、道具间		0.75m 水平面	75	100	150
化妆室	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
	化妆台	1.1m 高处垂直面	150	200	300
放映室	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
	放映	0.75m 水平面	20	30	50
演员休息室		0.75m 水平面	50	75	100
排演厅		0.75m 水平面	100	150	200
声、光、电控制室		控制台面	100	150	200
美工室、绘景室		0.75m 水平面	150	200	300
售票房		售票台面	100	150	200

表 11.3.36 旅馆建筑照明的照度标准值

类 别		参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
客房	一般活动区	0.75m 水平面	20	30	50
	床头	0.75m 水平面	50	75	100
	写字台	0.75m 水平面	100	150	200
	卫生间	0.75m 水平面	50	75	100
	会客室	0.75m 水平面	30	50	75
梳妆台		1.5m 高处垂直面	150	200	300
主餐厅、客房服务台、酒吧柜台		0.75m 水平面	50	75	100
西餐厅、酒吧间、咖啡厅、舞厅		0.75m 水平面	20	30	50
大宴会厅、总服务台、主餐厅柜台、外币兑换处		0.75m 水平面	150	200	300
门厅、休息厅		0.75m 水平面	75	100	150
理发		0.75m 水平面	100	150	200
美容		0.75m 水平面	200	300	500
邮电		0.75m 水平面	75	100	150
健身房、器械室、蒸汽浴室、游泳池		0.75m 水平面	30	50	75
游艺厅		0.75m 水平面	50	75	100
台球		台面	150	200	300
保龄球		地面	100	150	200
厨房、洗衣房、小卖部		0.75m 水平面	100	150	200
食品准备、烹饪、配餐		0.75m 水平面	200	300	500
小件存放处		0.75m 水平面	30	50	75

注：1. 客房无台灯等局部照明时，一般活动区的照度可提高一级。

2. 理发台的照度值适用于普通招待所和旅馆的理发厅。

表 11.3.37 住宅建筑照明的照度标准值

类	别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
起居室、卧室	一般活动区	0.75m 水平面	20	30	50
	书写、阅读	0.75m 水平面	150	200	300
	床头阅读	0.75m 水平面	75	100	150
	精细作业	0.75m 水平面	200	300	500
餐厅或方厅、厨房		0.75m 水平面	20	30	50
卫生间		0.75m 水平面	10	15	20
楼梯间		地面	5	10	15

表 11.3.38 铁路旅客站建筑照明的照度标准值

类	别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
普通候车室、母子候车室、售票室		0.75m 水平面	50	75	100
贵宾室、软席候车室、售票厅、广播室、调度室、行车计划室、海关办公室、公安验证处、问讯处、补票处		0.75m 水平面	75	100	3150
进站大厅、行李托运和领取处、小件寄存处		地面	50	75	100
检票处、售票工作台、售票柜、结帐交班台、海关检验处、票据存放室(库)		0.75m 水平面	100	150	200
公安值班室		0.75m 水平面	50	75	100
有棚站台、进出站地道、站台通道		地面	15	20	30
无棚站台、人行天桥、站前广场		地面	10	15	20

表 11.3.39 港口旅客站建筑照明的照度标准值

类	别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
检票口、售票工作台、结帐交接班台、票据存放库、海关检查厅、护照检查室		0.75m 水平面	100	150	200
贵宾室、售票厅、补票处、调度室、广播室、问讯处、海关办公室		0.75m 水平面	75	100	3150
售票室、候船室、候船通道、迎送厅、接待室、海关出入口		0.75m 水平面	50	75	100
行李托运处、小件寄存处		地面	50	75	100
栈桥、长廊		地面	20	30	50
站前广场		地面	10	15	20

表 11.3.40 体育运动场地照度标准值

运 动 项 目	参考平面 及其高度	照 度 标 准 值/lx						
		训 练			比 赛			
		低	中	高	低	中	高	
篮球、排球、羽毛球、网球、手球、田径 (室内)、体操、艺术体操、技巧、武术	地面	150	200	300	300	500	750	
棒球、垒球	地面	—	—	—	300	500	750	
保龄球	地面	150	200	300	200	300	500	
举重	地面	100	150	200	300	500	750	
击剑	台面	200	300	500	300	500	750	
柔道、中国摔跤、国际摔跤	地面	200	300	500	300	500	750	
拳击	地面	200	300	500	1000	1500	2000	
乒乓球	台面	300	500	750	500	750	1000	
游泳、蹼泳、跳水、水球	水面	150	200	300	300	500	750	
花样游泳	水面	200	300	500	300	500	750	
冰球、速度滑冰、花样滑冰	冰面	150	200	300	300	500	750	
围棋、中国象棋、国际象棋	台面	—	—	—	500	750	1000	
桥牌	桌面	—	—	—	100	150	200	
射击	靶 心	靶心垂直面	1000	1500	2000	1000	1500	2000
	射 击 房	地面	50	100	150	50	100	150
足球 曲棍球	观 看 距 离	120m	—	—	—	150	200	300
		160m	—	—	—	200	300	500
		200m	—	—	—	300	500	750
观众席	座位面	—	—	—	50	75	100	
健身房	地面	100	150	200	—	—	—	
消除疲劳用房	地面	50	75	100	—	—	—	

- 注：1. 篮球等项目的室外比赛应比室内比赛照度标准值降低一级。
 2. 乒乓球赛区其他部分不应低于台面照度的一半。
 3. 跳水区的照明设计应使观众和裁判员视线方向上的照度不低于200lx。
 4. 足球和曲棍球的观看距离是指观众席最后一排到场地边线的距离。

表 11.3.41 运动场地彩电转播照明的照度标准值

运 动 分 组	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
		最大摄影距离/m		
		25	75	150
A组：田径、柔道、游泳、摔跤等项目	1.0m垂直面	500	750	1000
B组：篮球、排球、羽毛球、网球、手球、体操、 花样滑冰、速滑、垒球、足球等项目	1.0m垂直面	750	1000	1500
C组：拳击、击剑、跳水、乒乓球、冰球等项目	1.0m垂直面	1000	1500	—

表 11.3.42 公用场所照明的照度标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx			类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
		低	中	高			低	中	高
走廊、厕所	地面	15	20	30	电梯前室	地面	30	50	75
楼梯间	地面	20	30	50	吸烟室	0.75m水平面	30	50	75
盥洗间	0.75m水平面	20	30	50	浴室	地面	20	30	50
储藏室	0.75m水平面	20	30	50	开水房	地面	15	20	30

我国1992年颁布的《工业企业照明设计标准》(GB 50034—92)规定如表11.3.43和表11.3.44所示,与《民用建筑照明设计标准》不同的是《工业企业照明设计标准》的照度标准值是指使用照度,而《民用建筑照明设计标准》采用维持照度。但以使用照度为照度标准时,在维护周期末照度值不得低于标准值的80%。

表 11.3.43 工作场所作业面上的照度标准值

视觉作业特性	识别对象的最小尺寸 d/mm	视觉作业分类		亮度对比	照度范围/lx					
		等级			混合照明			一般照明		
特别精细作业	$d \leq 0.15$	I	甲	小	1500	2000	3000	—	—	—
			乙	大	1000	1500	2000	—	—	—
很精细作业	$0.15 < d \leq 0.3$	II	甲	小	750	1000	1500	300	300	500
			乙	大	500	750	1000	150	200	300
精细作业	$0.3 < d \leq 0.6$	III	甲	小	500	750	1000	150	200	300
			乙	大	300	500	750	100	150	200
一般精细作业	$0.6 < d \leq 1.0$	IV	甲	小	300	500	750	100	150	200
			乙	大	200	300	500	75	100	150
一般作业	$1.0 < d \leq 2.0$	V	—	—	150	200	300	50	75	100
较粗糙作业	$2.0 < d \leq 5.0$	VI	—	—	—	—	—	30	50	75
粗糙作业	$d > 5.0$	VII	—	—	—	—	—	20	30	50
一般观察生产过程	—	VIII	—	—	—	—	—	10	15	20
大件贮存	—	IX	—	—	—	—	—	5	10	15
有自行发光材料的车间	—	X	—	—	—	—	—	30	50	75

表 11.3.44 工业企业辅助建筑照度标准值

类别	规定照度的作业面	照度范围/lx						
		混合照明			一般照明			
办公室、资料室、会议室、报告厅	距地 0.75m	—	—	—	75	100	150	
工艺室、设计室、绘图室	距地 0.75m	300	500	750	100	150	200	
打字室	距地 0.75m	500	750	1000	150	200	300	
阅览室、陈列室	距地 0.75m	—	—	—	100	150	200	
医务室	距地 0.75m	—	—	—	75	100	150	
食堂、车间休息室、单身宿舍	距地 0.75m	—	—	—	50	75	100	
浴室、更衣室、厕所、楼梯间	地面	—	—	—	10	15	20	
盥洗室	地面	—	—	—	20	30	50	
托儿所、幼儿园	卧室	距地 0.4~0.5m	—	—	—	20	30	50
	活动室	距地 0.4~0.5m	—	—	—	75	100	150

二、照度的均匀性

人们总希望被照场所内有比较均匀的照度。照度的这种均匀性用照度均匀度来描述，它表示平面上照度变化的量，可以用最小照度与平均照度之比，或者用最小照度与最大照度之比表示，即

$$U_{ni} = \frac{E_{\min}}{E_{av}}$$

或

$$U_{ni} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

式中， U_{ni} 照度均匀度； E_{\min} 最小照度 (lx)； E_{av} 平均照度 (lx)； E_{\max} 最大照度 (lx)。

办公室、阅览室等工作房间一般照明照度的均匀度，按最小照度与平均照度之比确定，其数值不宜小于 0.7。

当采用分区一般照明时，房间内的通道和其他非工作区域，一般照明的照度值不宜低于工作面照度值的 1/5。

当局部照明与一般照明共用时，工作面上一般照明的照度值宜为总照度值的 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$ ，且不宜低于 50lx。

对于体育运动场地，考虑到摄像的需要，在其主要摄像方向上的垂直照度最小值与最大值之比不宜小于 0.4，平均垂直照度与平均水平照度之比不宜小于 0.25；场地水平照度最小值与最大值之比不宜小于 0.5；体育

场所观众席的垂直照度不宜小于场地垂直照度的 0.25。

影响照度均匀度的最主要因素是灯具布置的距高比（灯具间的距离与灯具至工作面高度之比），因此在布灯时应注意满足距高比的要求。

三、恰当的亮度分布

室内工作人员当精力集中于某一视觉作业，然后又因休息而旁视时，在工作环境中的视野要求是不相同的。因此，对视觉作业的照明和对环境的照明要有所区别。为了在视觉环境中给人以较好的舒适感，在视野内的亮度分布应比较均匀。根据视觉实验和实际经验，室内环境在与视觉作业相邻近的地方，其亮度应尽可能低于视觉作业的亮度，但最好不要低于作业亮度的 1/3。视觉作业周围视野的平均亮度应尽可能不要低于视觉作业亮度的 1/10。

为了具有合适的亮度分布，可通过满足所规定的室内表面反射比和照度比来实现。

所谓表面反射比是指该表面反射光通量与入射光通量之比，照度比是指该表面的照度与工作面一般照明的照度之比。

在办公室、阅览室等长时间连续工作的房间，其表面反射比和照度比宜按表 11.3.45 选取。

表 11.3.45 工作房间表面反射比和照度比

表面名称	反射比	照度比
顶棚	0.7~0.8	0.25~0.9
墙面、隔断	0.5~0.7	0.4~0.8
地面	0.2~0.4	0.7~1.0

四、眩光限制

在视野内，如果亮度的分布或亮度范围不适宜，或者在空间或时间上存在着极端的亮度对比，则会使人眼睛感到不舒适，降低目标的可见度，这种视觉条件称为眩光。

眩光分为直接眩光和反射眩光。

直接眩光是由视野中高亮度或未曾充分遮蔽的光源所产生的眩光。

反射眩光是由视野中光泽表面的反射所产生的眩光。当视觉作业上出现镜面反射和漫反射的重叠时，则好像在视觉工作面上蒙上一层“光幕”，这种反射眩光称为光幕反射。

对于直接眩光的限制，其质量等级按照 CIE 和我国《工业企业照明设计标准》，眩光程度可分为五级，如表 11.3.46 所示；我国《民用建筑照明设计标准》把眩光程度简化为三级，见表 11.3.47。

表 11.3.46 《工业企业照明设计标准》直接眩光限制等级

质量等级	眩光程度	作业或活动的类型
A	无眩光	很严格的视觉作业
B	刚刚感到的眩光	视觉要求高的作业；视觉要求中等但集中注意力要求高的作业
C	轻度眩光	视觉要求和集中注意力要求中等的作业，并且工作人员具有一定程度的流动性
D	不舒适眩光	视觉要求和集中注意力要求低的作业，并且工作人员在有限区域内频繁走动
E	一定的眩光	工作人员不限于一个工作岗位而是来回走动，并且视觉要求低的房间，不是由同一批人连续使用的房间

表 11.3.47 《民用建筑照明设计标准》直接眩光限制质量等级

质量等级	相当等级	眩光程度	适用场所举例
I	B	无眩光感	有特殊要求的高质量照明房间，如计算机房、制图室等
II	D	有轻微眩光	照明质量要求一般的房间，如办公室和候车、船室等
III	E	有眩光感	照明质量要求不高的房间，如仓库、厨房等

室内一般照明的直接眩光应根据灯具亮度限制曲线进行限制，详见有关设计标准。

对于直接型灯具，为限制眩光，其遮光角应不小于表 11.3.48 所示的值。

表 11.3.48 直接型灯具的最小遮光角

灯具出光口平均亮度 $L/(10^3 \text{cd/m}^2)$	直接眩光限制等级			应用光源举例
	I	II	III	
$L \leq 20$	20°	10°		荧光灯管
$20 < L \leq 500$	25°	20°	15°	涂荧光粉或漫射光玻璃壳的高光强气体放电灯
$L > 500$	30°	25°	20°	透明玻璃壳的高光强气体放电灯、白炽灯、卤钨灯

为了限制眩光，应满足灯具的最低悬挂高度的要求，见表 11.3.49。

表 11.3.49 工业企业一般照明灯具最低悬挂高度

光源种类	灯具型式	灯具遮光角	光源功率/W	最低悬挂高度/m
白炽灯	有反射罩	10° ~ 30°	≤ 100	2.5
			150 ~ 200	3.0
			300 ~ 500	3.5
	乳白玻璃漫射罩	—	≤ 100	2.0
			150 ~ 200	2.5
			300 ~ 500	3.0
荧光灯	无反射罩	—	≤ 40	2.0
			> 40	3.0
	有反射罩	—	≤ 40	2.0
			> 40	2.0
荧光高压汞灯	有反射罩	10° ~ 30°	< 125	3.5
			125 ~ 250	5.0
			≥ 400	6.0
	有反射罩带格栅	10° ~ 30°	< 125	3.0
			125 ~ 250	4.0
			≥ 400	5.0
金属卤化物灯、高压钠灯、混光光源	有反射罩	> 30°	< 150	4.5
			150 ~ 250	5.5
			250 ~ 400	6.5
			> 400	7.5
	有反射罩带格栅	—	< 150	4.0
			150 ~ 250	4.5
			250 ~ 400	5.5
			> 400	6.5

尚需指出，眩光在有些情况下可以用来制造某种必要的气氛。例如，可以利用白炽灯的闪烁发光来造成富丽堂皇的环境。

五、频闪效应和闪烁的消除

对于交流供电的气体放电光源，其光通量也发生周期性的变化。在这种以一定频率变化的光的照射下，观察到的物体运动显现出不同于其实际运动的现象，称为频闪效应。当电网电压出现波动时，光源出现闪烁现象。

六、光源的颜色

人眼观察光源所发出光的颜色，称为光源的色表。光源照射到物体上所显现颜色的性能，称为光源的显色性。色表和显色性构成了光源的颜色。

室内照明光源的色表可根据相关色温，按表 11.3.50 分为三组。

表 11.3.50 光源的色表分组

色表分组	色表特征	相关色温/K	适用场所举例
I	暖	< 3300	客房、卧室等
II	中间	3300 ~ 5300	办公室、图书馆等
III	冷	> 5300	高照度水平或白天需补充自然光的房间

人们习惯上以日光的光谱成分和能量分布为基准来分辨颜色，同一颜色的物体在具有不同光谱能量分布的光源照射下所呈现的颜色与日光照射下呈现的颜色相符合的程度称为某光源的显色性，用显色指数表示，日光显色指数为 100。表 11.3.51 所示为一般室内光源的显色指数分组及其适用场所举例。

表 11.3.51 光源的显色指数

显色指数分组	一般显色指数 (R_a)	适用场所举例
I	$R_a \geq 80$	客房、卧室、绘图室等辨色要求很高的场所
II	$60 \leq R_a < 80$	办公室、休息室等辨色要求较高的场所
III	$40 \leq R_a < 60$	行李房等辨色要求一般的场所
IV	$R_a < 40$	库房等辨色要求不高的场所

当采用一种光源不能满足光色或显色性要求时,可采用两种光源的混光光源。混光光源的混光光通量比,可按表 11.3.52 选取。

表 11.3.52 混光光源的混光光通量比

混光光源	光通量比/%	一般显色指数 (R_a)	色彩辨别效果
DDG + NGX	40 ~ 60	≥ 80	除个别颜色为“中等”外,其他颜色为“良好”
DDG + NG	60 ~ 80		
KNG + NG	50 ~ 80	60 ~ 70	
DDG + NG	30 ~ 60	60 ~ 80	
KNG + NGX	40 ~ 60	70 ~ 80	除部分颜色为“中等”外,其他颜色为“良好”
GGY + NGX	30 ~ 40	60 ~ 70	
ZJD + NGX	40 ~ 60	70 ~ 80	
GGY + NG	40 ~ 60	40 ~ 56	
KNG + NG	30 ~ 50	40 ~ 60	除个别颜色为“可以”外,其他颜色为“中等”
GGY + NGX	40 ~ 60	40 ~ 60	
ZJD + NG	30 ~ 40	40 ~ 50	

光源颜色的选择宜与室内表面的配色互相协调。

第三节 照度计算

一、室内各面反射比

平均照度计算方法适用于一般照明,照明器在室内均匀布置。将照明器所在平面称做等效顶棚,水平工作面称做等效地面,等效顶棚与等效地面之间称做室空间(图 11.3.16)。

用室形指数 RI 表示房间形状,按下式计算:

$$RI = \frac{wl}{h_{RC}(w+l)}$$

式中 w ——房间宽度, m;

l ——房间长度, m;

h_{RC} ——室空间高度,即照明器距工作面高度, m。

房间形状也可以用室空间比 RCR 表示:

$$RCR = \frac{5h_{RC}(w+l)}{wl}$$

相应地也可顶棚空间比 CCR 和地面空间比 FCR 表示顶棚空间和地面空间的形状:

$$CCR = \frac{5h_{CC}(w+l)}{wl}$$

$$FCR = \frac{5h_{FC}(w+l)}{wl}$$

式中 h_{CC} ——顶棚空间高度, m;

h_{FC} ——地面空间高度,即工作面高度,坐着工作按 0.75m 计算,站着工作为 0.85m。

室空间墙的平均反射比 ρ_{wa} 按下式计算:

$$\rho_{wa} = \rho_w(1-R) + \rho_g R$$

式中 ρ_w ——墙实际反射比;

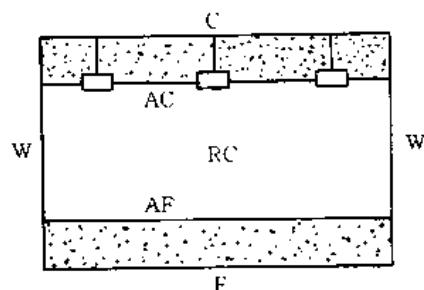


图 11.3.16 室空间示意图

C—顶棚; W—墙; F—地面; AC—等效顶棚; AF—等效地面; RC—室空间

ρ_k ——窗反射比,可取0.1;

R ——窗面积与室空间内墙面积之比,

$$R = \frac{A_g}{2h_{RC}(w+l)}$$

其中 A_g 为窗面积, m^2 。

顶棚空间内表面的平均反射比 ρ_{ca} :

$$\rho_{ca} = \frac{2.5\rho_c + \rho_w CCR}{2.5 + CCR}$$

式中, ρ_c 为实际顶棚反射比; ρ_w 为顶棚空间内墙的实际反射比。

等效顶棚反射比 ρ_{CC} 按下式计算:

$$\rho_{CC} = \frac{2.5\rho_{ca}}{2.5 + (1 - \rho_{ca}) CCR}$$

地面空间内表面的平均反射比 ρ_{fa} :

$$\rho_{fa} = \frac{2.5\rho_f + \rho_w FCR}{2.5 + FCR}$$

式中, ρ_f 为实际地面反射比; ρ_w 为地面空间内墙的实际反射比。

等效地面反射比 ρ_{FC} 按下式计算:

$$\rho_{FC} = \frac{2.5\rho_{fa}}{2.5 + (1 - \rho_{fa}) FCR}$$

二、单位容量法

单位容量法是根据房间工作面达到 1lx 照度单位面积所需的光通量, 估算该房间应安装的光源总电功率。表 11.3.53 给出了单位面积光通量的估算值。

表 11.3.53 单位面积光通量计算表/[lm/(m²·lx)]

室形指数 R/I	直接型配光灯具		半直接型配光灯具	漫射型配光灯具	半间接型配光灯具	间接型 配光灯具
	$S \leq 0.9h$	$S \leq 1.3h$				
0.6	5.38	5.00	5.38	5.38	7.78	8.75
0.8	4.38	3.89	4.38	4.24	6.36	7.00
1.0	3.89	3.41	3.68	3.59	5.39	6.09
1.25	3.41	2.98	3.33	3.11	4.83	5.00
1.5	3.11	2.74	3.04	2.86	4.38	4.83
2.0	2.80	2.46	2.69	2.50	4.00	4.38
2.5	2.64	2.30	2.50	3.30	3.59	3.89
3.0	2.55	2.20	2.37	2.19	3.33	3.68
3.5	2.46	2.12	2.30	2.11	3.18	3.33
4.0	2.37	2.06	2.22	2.03	3.04	3.30
4.5	2.35	2.02	2.17	1.99	2.98	3.26
5.0	2.33	1.97	2.12	1.94	2.92	3.18

本表编制的条件: 1. 室内顶棚反射比为 0.7, 墙平均反射比为 0.5, 地面反射比为 0.2; 2. 维护系数 K 为 0.72; 3. 灯具效率不小于 0.7。

在要求达到的照度条件下, 所需安装的光源最小总电功率 P 可按下式计算:

$$P = \frac{\Phi_0 A E C}{\eta_s}$$

式中 Φ_0 ——单位面积、单位照度所需光通量, $lm/(m^2 \cdot lx)$, 可从表 11.3.53 中查得;

A ——房间面积, m^2 ;

E ——房间工作面要求达到的照度, lx ;

η_s ——光源的发光效率, lm/m^2 ;

C ——修正系数,

$$C = C_1 C_2 C_3$$

其中 C_1 为反射比修正系数，见表 11.3.54； C_2 为灯具效率修正系数，见表 11.3.55； C_3 为维护修正系数，按下式计算：

$$C_3 = \frac{0.72}{K}$$

式中 K 为维护系数。

表 11.3.54 反射比修正系数 C_1

顶棚反射比	0.7	0.6	0.4	地面反射比	0.2	0.2	0.2
墙反射比	0.5	0.4	0.3	修正系数 C_1	1	1.08	1.27

三、灯数概算法

灯数概算法是根据房间的面积，利用灯数概算曲线求所需安装的灯的数量。图 11.3.17 是 YG2-1 型筒式荧光灯照明器的灯数概算曲线。

表 11.3.55 灯具效率修正系数 C_2

灯具效率	≥ 0.7	0.6	0.5
修正系数 C_2	1	1.22	1.47

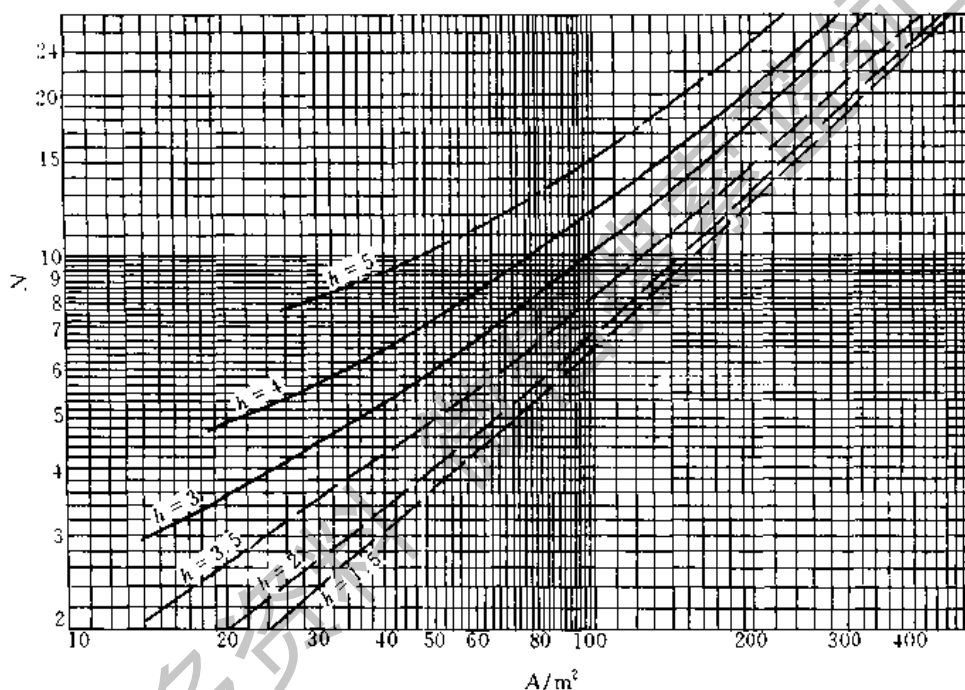


图 11.3.17 YG2-1 型筒式荧光灯照明器灯数概算曲线

应用灯数概算曲线时，应选用与照明器相符的曲线，即不同的照明器有不同的概算曲线；然后根据房间顶棚、地面与墙的反射比和计算高度（即照明器离工作面的高度，m）选定对应的曲线；最后按房间面积查得所需照明器的数量 N 。

当实际要求与概算曲线图的绘制条件不同时，可按下式换算：

$$n = \frac{EK'}{100K} N$$

式中 n ——实际应安装的照明器数，个；

N ——由概算曲线图上查得的照明器数，个；

K ——实际维护系数；

K' ——概算曲线图上规定的维护系数；设计要求达到的平均照度。

四、利用系数法

利用系数法是按房间的形状尺寸（室空间比或室形指数）和房间各面的平均反射比或等效反射比，从选定的照明器的利用系数表中查得相应的利用系数，由此可根据房间内布置的照明器数量，按下式求得平均照

度 E_{av} :

$$E_{av} = \frac{n\Phi_s UK}{A}$$

- 式中 n ——照明器数量, 个;
- Φ_s ——每个照明器中光源的光通量, lm;
- U ——利用系数, 由表 11.3.56 查得;
- A ——房间面积, m^2 ;
- K ——维护系数, 由表 11.3.57 查得。

也可根据要求的平均照度求所需安装的照明器数:

$$n = \frac{AE_{av}}{\Phi_s UK}$$

表 11.3.56 YG2-1 型筒式荧光灯照明器利用系数
(等效地面反射比 20%; 距高比 $S/h_{RC} = 1.0$)

等效顶棚 反射比/%	70				50				30				10				0
	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	
室空间比																	
1	0.93	0.89	0.86	0.83	0.89	0.85	0.83	0.80	0.85	0.82	0.80	0.78	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73
2	0.85	0.79	0.73	0.69	0.81	0.75	0.71	0.67	0.77	0.73	0.69	0.65	0.73	0.70	0.67	0.64	0.62
3	0.78	0.70	0.63	0.58	0.74	0.67	0.61	0.57	0.70	0.65	0.60	0.56	0.67	0.62	0.58	0.55	0.53
4	0.71	0.61	0.54	0.49	0.67	0.59	0.53	0.48	0.64	0.57	0.52	0.47	0.61	0.55	0.51	0.47	0.45
5	0.65	0.55	0.47	0.42	0.62	0.53	0.46	0.41	0.59	0.51	0.45	0.41	0.56	0.49	0.44	0.40	0.39
6	0.60	0.49	0.42	0.36	0.57	0.48	0.41	0.36	0.54	0.46	0.40	0.36	0.52	0.45	0.40	0.35	0.34
7	0.55	0.44	0.37	0.32	0.52	0.43	0.36	0.31	0.50	0.42	0.36	0.31	0.48	0.40	0.35	0.31	0.29
8	0.51	0.40	0.33	0.27	0.48	0.39	0.32	0.27	0.46	0.37	0.32	0.27	0.44	0.36	0.31	0.27	0.25
9	0.47	0.36	0.29	0.24	0.45	0.35	0.29	0.24	0.43	0.34	0.28	0.24	0.41	0.33	0.28	0.24	0.22
10	0.43	0.32	0.25	0.20	0.41	0.31	0.24	0.20	0.39	0.30	0.24	0.20	0.37	0.29	0.24	0.20	0.18

表 11.3.57 维护系数 K

环境污染特征	工作房间或场所	维护系数	
		白炽灯、荧光灯、高强度气体放电灯	卤钨灯
清洁	住宅卧室、办公室、餐厅、阅览室、绘图室等	0.75	0.80
一般	商店营业厅、候车、候船室、影剧院观众厅等	0.70	0.75
污染严重	厨房	0.65	0.70

第四节 照明的控制和支路的分路

一、照明的控制

照明控制的方式有两种基本形式: 单灯或数灯控制、回路控制。根据控制装置和手段不同, 可以有跷板开关控制方式、断路器控制方式、定时控制方式、光电感应开关控制方式、智能控制器控制方式等等。

1. 跷板开关控制方式

跷板开关控制方式就是用跷板开关 (或搬把开关、拉线开关) 控制一套或几套灯具, 是应用最多的一种控制方式, 多用于分散的灯具控制。

2. 断路器控制方式

断路器控制方式就是用断路器控制一整条照明支路上所有灯具的启闭, 多用于较大照明空间以及较高照度的场所 (如大面积空间的商场营业厅等), 这种方式控制方便, 接线简单, 投资少, 但节能方面的效果较差, 因此, 为了既要考虑到节能, 又要考虑照度的变化、分布的均匀、建筑照明装饰图案的完整协调性, 必须注意照明支路的合理划分, 且在整个大面积的照明场所应有部分灯具采用单灯控制的方式。

3. 定时控制方式

定时控制方式就是采用定时方式对灯具进行控制，多纳入建筑物设备自动化系统（BAS）中，利用BAS的接口，通过控制中心来实现，按一天的作息时间内不同照明要求，定时控制灯具的启闭。该方式一个很大的缺点是控制不灵活，当天气变化或更改作息时间，则为了达到所需的照明要求，必须修改控制的设定值。

4. 光电感应开关控制方式

光电感应开关控制方式就是用光电感应开关对灯具的启闭自动进行控制，通过光电感应开关，对灯具照明场所的被照工作面的照度自动检测，与其设定值作比较，当实际测得的照度值低于设定值时，控制照明开关开启灯具。

5. 智能控制器控制方式

智能控制器控制方式是一种数字式智能照明控制系统，多应用于智能建筑或设有建筑物设备自动化系统的高层建筑。

二、照明支路的分路

照明支路一般为单相回路。考虑到照明配电箱的出线支路开关与照明支路导线的配合，每个单相照明回路的电流不宜超过15A。支路电流最好能控制在10A以下，这样，支路开关选10A，支线选BV-1.5或BLV-2.5等比较小的截面的导线，安装接线、穿管布线均简便。对于在单层高大厂房等场所所采用的高强气体放电灯，由于单个灯具的电流都比较大，故支路电流可适当大些，但不宜超过30A。考虑到当灯具数量多时事故影响面大、维护不便，因此，每个单相回路的灯头数不宜超过25个。当然，对于花灯、彩灯、多管荧光灯及大面积照明，灯具数量可不受此限。插座宜单独设置回路。

从常用导线截面、导线长度、灯数、电压损耗、照明设备的电压偏移等因素综合考虑，每一单相照明支路的长度不宜超过40m。为了不致增加配电点（即照明配电箱），允许个别支路长度超过40m，但此时该支路所接灯头的数量宜减少，负荷电流也宜相应减少，并要适当加大导线截面和配管管径，以减小电压损耗，方便施工布线。

获取更多资料

微信

第四章 民用建筑供配电与建筑弱电设备

第一节 多层住宅的供配电

多层住宅是指九层及以下的一般住宅。

在住宅设计的供配电方面，一要满足生活需要，二要注意安全和节能。

一、住宅用电的负荷计算

1. 住宅用电负荷分析

随着洗衣机、电冰箱、彩电、录像机几乎涌入城市中每一个家庭，大功率的用电设备如空调、电饭煲、电炒锅、微波炉、取暖器等相继进入住宅，原先的小容量电表已远远满足不了使用要求，现在每户用电量按4kW，20A考虑，基本满足了一般住宅用电的需要。对于公寓、别墅之类的高级住宅，可分别按6~8kW和10~15kW考虑，电表采用40A及60A的。

预计进入21世纪之后，随着电脑、传真等办公设备家庭化，普通住宅的用电量将会很快达到和超过10kW。

根据有关调查和预测，2000年前后我国普通住宅常用电器如表11.4.1所示。

表 11.4.1 住宅住户常用电器

家用电器名称	家用电器耗电	家用电器名称	家用电器耗电	家用电器名称	家用电器耗电	家用电器名称	家用电器耗电
	功率/W		功率/W		功率/W		功率/W
	四室二厅		四室二厅		四室二厅		四室二厅
电视机	150	家用录像机	50	电吹风	800	电烤箱	700~1500
电冰箱	150~250	抽油烟机	120	吸尘器	650	微波炉	600~900
洗衣机	200~400	音响	100	电热淋浴器	1500	家用空调器	900~3600
电风扇	40~80	电熨斗	1000	电饭煲	500~1000	计算机	300

2. 住宅用电的负荷计算

① 住宅的负荷计算一般采用需要系数法，其干线的需要系数根据接在同一相电源上的户数按如下原则选取：

25户以下时取0.45~0.50；

25~100户时取0.4~0.45；

超过100户时取0.30~0.35。

对每一住户的电源线路按 K_d （需要系数）=1计算，并留有一定裕度。

② 对于三相供电的住宅，当三相负荷不平衡时，应按最大相负荷的3倍计算。

③ 功率因数的确定：

对白炽灯和电热设备取1；

荧光灯（采用电子镇流器时）取0.90；

荧光灯（采用电感型镇流器时）取0.50；

空调设备一般按0.80计算，排气风机取0.75。

在住宅用电中，灯所占容量比例很小，当住宅总用电量为4kW时，照明灯具的比例仅为5%~10%左右。用加权平均法计算功率因数时，灯具本身的 $\cos\varphi$ 值对总功率因数影响很小，主要影响因素是空调设备和电热设备，为简化计算，在作负荷计算时，可取综合功率因数为0.85~0.90比较合适。

二、供电电源与配电系统

1. 供电电源

多层住宅的负荷等级为三级。

一般在三相平衡的前提下，对住宅楼的单元以单相二线供电；若对一幢多单元住宅楼采用电缆作树干式供电时，应以三相四线供电；若距供电变电所比较近，最好以三相五线电缆埋地引入。

电源进线有架空进线和电缆埋地进线两种,应根据当地具体条件和供电局规划要求确定。现在城市中一般住宅小区多采用电缆进线,安全美观。当必要时采用架空线引入时,接户线应尽量避免靠近阳台和设在窗户的正上方、正下方及左右近旁,其对地面的距离宜在3m以上。进户线宜穿钢管保护,其长度一般不大于15m。进户线与干线的截面选择应留有适当的裕度。

2. 配电系统

住宅楼的配电一般是按一个单元一个系统来进行设计和安装的。不同地区,供电部门对住宅的配电系统的具体要求有所不同,但大体上是一致的。应用最多的有下面两种情况。

① 当采用普通电度表对每户用电量进行计量时,将一个单元的所有分户电表与分路保护开关集中装入单元总表箱中,每户室内装设配电箱。总表箱装在底层楼道的墙壁上,以方便供电局抄表。

楼道灯专用1只电表集中计量,电费由各户分摊。楼道灯的电表也装在总表箱中。

当一个单元的住户在15户及以下时,设1只总表箱,当单元住户超过15户时宜设2只总表箱。

② 当采用磁卡式电表时,住户用电是先买后用,即先去供电部门购买磁卡,再将磁卡上的数据输入电表。当购买的电度数快要使完时,磁卡式电表自动报警,提醒住户再去买电。也有人将这种磁卡叫电钥匙。使用这种电表,供电局省去了抄表程序,用户也可根据情况一次性多买电,省去每月交电费的麻烦。

使用磁卡式电表时,分户卡表可以装在每户室内,与用户配电箱合为一体安装在户内(也有的地方供电部门要求装在住户门外旁边墙上,以便于定期校表),此时总配电箱内装有分户电表的保护开关和楼道灯电表,由于箱内不再装分户电表,其箱体大大缩小,即使一个单元住户达21户(一梯三户)或28户(一梯四户),一只总配电箱也就够了。当然,有时考虑到出线和施工的方便,在出线多时,也可分为两个总配电箱。

3. 分户配电箱(或分户计量箱)的系统

对于分户配电箱,上述两种配电系统的区别仅在于有无电度表的问题。这里主要谈其配出回路的问题。根据现行设计规范,住宅中照明与插座一般分开配线,因此分户配电箱中至少应设两个回路。每个支路应装设短路和过载保护装置,在插座回路中还应装设漏电保护装置。

随着家用电器的日益增多,所有插座都接在一个回路的情况已适应不了家庭生活的需要。因此往往把插座分成3个或更多的支路。当分为3个支路时,其中一为普通插座回路,用于台灯、电视机、录放像机和音响等设备使用;二为厨、卫插座回路,用于电冰箱、电饭煲、微波炉、洗衣机、电热水器、电取暖器等设备用;三为空调用插座。当一住户装有多台空调时,最好每台空调一个回路。

在分户配电箱中,照明灯回路不接漏电保护装置,目的是一旦插座回路漏电跳闸时,避免灯回路被切断后,房间内漆黑,影响故障的排除;固定安装的空调器也可不接入漏电保护回路,因为空调是固定安装,位置高,又多为遥控器控制,发生故障的可能性不大。

三、住宅用电安全

(1) 住宅用电的潜在危险因素 在住宅中,有如下诸多潜在因素导致电气事故的发生:

- ① 使用者大部分为非电气专业人员;
- ② 使用者中有不懂事的孩子和行动不便的老人,使触电的几率比其他场所增大;
- ③ 住宅中,厨房、卫生间环境潮湿,人手潮湿,这也是触电几率增加的因素之一,而且一旦触电,因潮湿皮肤电阻变小(干燥时几千欧、上万欧,潮湿时只有数百欧),将使通过人体电流增大,以至超过危险值导致致命;
- ④ 家用电器除顶灯、壁灯和空调等固定安装以外,大部分为非固定设备,位置的变动、插头反复插拔以及导线明拖甚至被脚踩等,均易引起接线头松动、插座插头松动、导线绝缘层受损等,亦成为触电的潜在因素之一;
- ⑤ 在当前市场经济尚不完全规范的情况下,不少质量低劣的家用电器通过多种渠道进入家庭,成为威胁人身安全的最直接因素。

(2) 住宅用电安全的保证措施

- ① 合理选用住宅电气设备及其安装高度
 - a. 住宅中的插座要选带接地孔及带保护门的,否则,其安装高度应不低于1.8m,以使小孩够不着;
 - b. 卫生间不常用的插座(如洗澡时才使用的电取暖器插座等)应选带防护盖的,用时将盖子打开,不用时将盖子合上,防止水滴溅入;
 - c. 洗衣机、空调插座选用自带开关的,防止频繁插拔引起插头、插座松动;
 - d. 厨房、卫生间的灯控制开关选用带防护膜的翘板开关或暗装的拉线开关,灯头选用瓷质的或其他防水灯头;

e. 家用电器保护箱明装时,下底距地不低于1.8m,暗装时下底距地不低于1.5m。

② 选用可靠的过载和短路保护装置。过去住宅中多用熔丝来保护,其弊端较多。一旦熔丝被熔断,很难及时找到符合规格要求的熔丝替代品,往往被铁丝或铜丝代换,以致造成过载而不熔断,甚至烧坏导线绝缘引起触电或火灾。因此现在新的住宅不再采用熔丝作保护,而是选用保护性能好的小型自动开关,如C45、DZ23型和DPN型,其中尤以DPN型小型自动开关最适合住宅使用,它体积小,价钱相对便宜,相当于普通单极开关而实际上起双极开关的作用,因为DPN开关内部采用的是双极结构设计,其中一极有保护(过载,短路),一极无保护,双极同时闭合同时断开,做到零线、相线“一刀两断”,并且能方便地与漏电保护器配合。这种开关过载或短路时自动跳闸,当调整使用负荷或排除故障后,只需重新合闸即可,没有上述更换熔丝的麻烦,使用起来非常方便,安全可靠。

住宅电气回路的保护开关应选用双极开关。目前已投入使用的新建住宅中多采用单极开关保护火线(相线),而将中性线N统一接在零线端子上,不经过保护开关。这样做,表面看来是一种节约的方案,实际上却存在着相当大的隐患。

③ 漏电保护器的使用

a. 漏电保护装置原理

当电气设备漏电时,出现两种异常现象:一是三相电流的平衡遭到破坏,出现零序电流;二是某些正常不带电的外露可导电部分出现对地电压。通过检测机构取得这两种异常信号,经过中间环节的转换和传递,促成执行机构动作,带动开关设备切断电源,以确保设备和人身安全,这就是漏电保护装置的作用。

b. 漏电保护装置种类

从原理上讲,漏电保护装置有两种:一是电压型,二是电流型。

电压型漏电保护装置是以反映外壳对地电压为基础的。当电气设备漏电,其外壳对地电压达到危险数值时,装置动作,切断电源。因此,电压型漏电保护装置适用于设备的漏电保护。

适用于住宅使用的是电流型漏电保护装置,它又有电磁式和电子式两种,它们的基本原理是一样的,都是利用故障时产生的漏电流(或称零序电流)在零序电流互感器的二次侧感应出电动势推动脱扣器动作,切断电源,从而起到保护作用。

住宅中的漏电保护装置一般装在插座回路,特别是厨、卫插座回路。固定安装的吊扇、灯及空调器回路不必装设。

漏电保护装置和动作电流整定为30mA,动作时间不大于0.1s。

应当强调指出,凡装有漏电保护装置的线路,其工作零线(N)与保护接地线(PE)必须严格分开,不能混接在一起,否则,就会误动作,使漏电保护器投运不上。

④ 住宅配线暗敷时必须穿保护管,不能直接将导线埋入墙中,明敷导线要用阻燃型或穿阻燃型塑料管敷设。近年来,为防止二次装修时对暗敷管线的损伤,不少房地产开发商都要求设计时采用厚壁钢管保护住宅配电路。

⑤ 做好住宅的保护接地,包括如下内容:

a. 在接户线的进户端和电缆进户处,做好重复接地,接地电阻不大于 10Ω ;

b. 单相三极插座的接地插孔桩头应与专用的保护地线(PE)连接,中性线和保护地线必须严格分开,仅在重复接地处连接;

c. 专用的保护地线(PE线)应采用铜芯导线,其截面不小于 1.5mm^2 ,且其颜色宜与相线、中性线加以区别。也可利用敷线钢管作保护接地线,但此时管壁厚度应不小于 1.5mm^2 。

⑥ 防雷装置

a. 当住宅楼处于住宅群的边缘或高于其周围的建筑,而其高度又超过20m(在雷电活动较弱地区可为25m;在雷电活动较强地区可为15m)时,应设避雷装置,且按三类防雷建筑物装设。

b. 接闪器宜采用避雷带,屋顶上高于避雷带的透气管或易受雷击的其他突出物体,如电视天线、卫星接收天线等,需装设避雷针或与避雷带可靠连接。

c. 宜利用住宅楼钢筋砼柱内钢筋作引下线,利用建筑物的钢筋砼基础内的钢筋作接地装置。当采用人工接地体时,应避开住宅楼门的出入口。

d. 住宅楼的保护接地宜与防雷接地合用一套接地装置,其总接地电阻不大于 4Ω 。

e. 未装防雷装置的住宅,宜利用接户线进户端的零线或在电源电缆进户处作重复接地,并将架空线末端绝缘子铁脚或其他金属件或电缆保护钢管接地(接于基础钢筋或专打人工接地极)。

⑦ 家用可燃气体报警器是将敏感元件传感器、监控器与鸣响报警器组合成一体的盒式装置，将它装在有可燃气体泄漏危险的厨房（对使用管道煤气者，将其装在距屋顶 0.6m 的墙上，对使用石油液化气者，将其装在距地坪 0.6m 的墙上），当可燃气体泄漏浓度达到装置整定值时便立即鸣响报警，呼叫家人立即开窗通风、或开排气扇，并检查煤气、液化气开关是否拧紧，及时排除险情，防止悲剧发生。

家用可燃气体报警装置通过二根联锁导线亦可与厨房排气扇或排油烟机联动，使其在报警器鸣响的同时自动开启风机，当无人在家时也可自动排除险情。

现在不少地区和单位在新建住宅楼时，都已预留了报警器所需的交流 220V 电源管线和电源插座，在住宅竣工验收时都已装好了报警器。特别是一些涉外的公寓、别墅等建筑物，若未装家用可燃气体泄漏报警装置，则影响出售。

可燃气体报警装置中的敏感元件寿命短，易失效，需要定期更换。这是迄今为止难以全面推广使用的根本原因。

四、住宅用电节能

住宅的节电措施主要有如下几项。

① 选用高效节能照明灯具，如在起居室及书房选用国际上先进的细管型 36W 荧光灯（或 18W 荧光灯），其光效比目前普遍使用的 40W 荧光灯高 50%~60%，节电 10% 左右。在厨房、卫生间、贮藏室选用三基色紧凑型荧光灯，不但光线柔和悦目，无频闪，保护视力，并且节能效果非常显著，该种节能灯的光通量，7W、15W 和 18W 相当于白炽灯的 60W、150W 和 200W，且其寿命是白炽灯的 5 倍。

② 推广采用电子镇流器和新型的 LC 镇流器代替电磁型镇流器，不但耗电量降低 10%~20%，而且功率因数可达 0.9~0.99，且无噪音、无频闪，不需起辉器，无需功率补偿。

③ 在家庭中用电子发光显示板作为起夜灯，功率 1W 左右，可代替 15W 白炽灯，如用于住宅楼道中，效果也不错。

④ 有的住宅，在主卧室或门厅内安装组合式花灯，可在灯内装一个数控开关，将灯泡按不同数量组合成几种开灯方式，在使用普通单控开关和不增加导线根数的情况下，能够根据需要通过扳动开关的次数达到选择开灯多少的目的，以实现节能。

⑤ 在住宅的节能方面，楼道灯的问题是最引人注目的。凡由单位统一对住宅楼道灯电费出资者往往成为长明灯，晚上亮，白天也亮；而由住户分摊楼道灯电费者往往成为长黑灯。前者浪费电能，后者对住户不便，特别对老人和孩子容易跌跤受伤。这固然与管理有关，但从技术上来讲，楼道灯的控制未采用合理的方法也不无关系。现在设计中常采用的楼道灯节能控制方法有：

- a. 采用双控开关，每一楼层的灯，由本层及上一层两处进行控制，两处都可开、停，这就使上、下数的人员按需开灯、及时关灯；
- b. 采用延时开关，每层装 1 个，手动开启，自行延时后熄灭，避免忘记关灯而耗电；
- c. 有的地方，每户门头上装 1 只灯，开关装在室内，自己家人出门或送客时开灯；
- d. 采用红外线感应开关，靠人体感应来自动开灯和关灯，但初期投资较大，短时期难以大量推广。

前面所述均为照明灯的节能措施，对于住宅内日益增多的大功率用电设备，诸如空调、电热设备等，其节能的意义更为重要，现在有的单体设备自身已带有微型电脑控制，对节能已有效果，但从整套住宅既达到舒适又实现节能将有待于智能型建筑予以全面具体的实现。

第二节 高层公共建筑供配电

一、高层建筑的特点

按照《高层民用建筑设计防火规范》的规定，建筑总高度超过 24m 的非单层民用建筑和 10 层及 10 层以上的住宅建筑（包括底层设商业网点的）称为高层建筑。根据使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度，高层建筑又分为一类、二类高层建筑，如表 11.4.2。

高层建筑除建筑面积大、高度高并设有地下层、设备多而分散、电梯多的特点外，高层建筑比低层建筑火灾危险性大，而且会发生大的损失和伤亡事件。在电梯上除普通的照明、电力之外需要设置航空障碍灯和避雷装备、中央空调系统、消防报警及联动设备，弱电设备包括电话站、消防中心、监控中心、设备楼宇控制中心、广播站等。它耗电量大，如一般旅游饭店宾馆为 60~120W/m²，高层住宅为 10~35W/m²。供电可靠性高，一般有两个独立电源供电。

表 11.4.2 高层建筑分类

名称	一类	二类
居住建筑	高级住宅 19层及以上的普通住宅	10至18层的普通住宅
公共建筑	医院 百货楼 展览楼, 财贸金融楼 电信楼, 广播楼 省级邮政楼 高级旅馆 重要办公楼、科研楼、图书馆、档案楼 建筑高度超过50m的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、图书馆、档案楼等	建筑高度不超过50m的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、图书馆、档案楼、省级以下的邮政楼

二、高层建筑负荷分布及分级

1. 用电负荷的分布

高层建筑的用电负荷一般可分为空调、动力、电热、照明等类, 对于全空调的各种商业性楼宇, 空调负荷属于大众用电。由于地理环境不同, 空调要求也不同, 它对高层建筑的计算负荷有举足轻重的影响。

动力负荷主要指电梯、水泵、排烟风机、正压送风机、洗衣机等设备。一般高层建筑的动力负荷都比较小, 随着建筑高度的增加, 在超高层建筑中, 由于电梯负荷和水泵容量的增大, 动力负荷的比重将会明显增加。

在40层及以上的高层建筑中, 电梯设备增多, 此类负荷大部分集中于大楼的顶部, 竖向中段层数较多, 通常设有分区电梯和中间泵站, 在这种情况下, 宜将变压器上、下配置或上、中、下层分别设置。供电变压器的供电范围大约为25~20层。

2. 负荷分级

建筑物中常用的重要设备及部位的负荷等级如表11.4.3。

表 11.4.3 常用重要设备及部位的负荷级别

建筑类别	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
住宅建筑	高层普通住宅	客梯电力, 楼梯照明	二级
宿舍建筑	高层宿舍	客梯电力, 主要通道照明	二级
旅馆建筑	一、二级旅游旅馆	经营管理用电子计算机及其外部设备电源, 宴会厅电声, 新闻摄影, 录像电源, 宴会厅餐厅, 娱乐厅, 高级客房, 厨房, 主要通道照明, 部分客梯电力, 厨房部分电力	一级
		其余客梯电力, 一般客房照明	二级
	高层普通旅馆	客梯电力, 主要通道照明	二级

三、供电系统

1. 供电要求

(1) 一级负荷的供电要求 一级负荷应由两个电源供电, 两个电源应符合下列条件之一。

① 对于仅允许很短时间中断供电的一级负荷, 应能在发生任何一种故障且保护装置(包括断路器, 下同)失灵时, 仍有一个电源不中断供电。对于允许稍长时间(手动切换时间)中断供电的一级负荷, 应能在发生任何一种故障且保护装置动作正常时, 有一个电源不中断供电, 并且在发生任何一种故障且主保护装置失灵以及两个电源均中断供电后, 应能在有人值班处完成各种必要操作, 迅速恢复一个电源的供电。

② 如一级负荷容量不大时, 应优先采用从电力系统或临近单位取得低压第二电源, 也可采用柴油发电机组或蓄电池组作为备用电源, 当一类负荷容量较大时, 应采用两路高压电源。

对于特等建筑应考虑一电源系统检修或故障时, 另一电源系统又发生故障的严重情况, 此时应从电力系统取得第三电源或自备电源。

应根据一级负荷允许中断供电的时间, 确定备用电源手动或自动方式投入。

对于采用备用电源自动投入或自启动仍不能满足供电要求的一级负荷, 例如银行、气象台、计算中心等建筑中的主要业务用计算机和旅馆经营管理用计算机, 应由不停电电源装置供电。

(2) 二、三级负荷的供电要求 当地区供电条件允许且投资不高时,二级负荷宜由两个电源供电。当地区供电条件困难或负荷较小时,二级负荷可由专用线路供电,如采用电缆时,应敷设备用电缆并经常处于运行状态。

(3) 三级负荷 对供电无特殊要求。

2. 高压供配电系统

下面是几种高层建筑高压供电方案。

① 两路不独立的 10kV 一用一备。图 11.4.1 所示的是供电系统方案一。此方案用于商品房的设计较合适。因商品房尽量降低成本,节省投资,采用单母线已能满足供电可靠性的要求,可节省一套计费柜及母联开关。

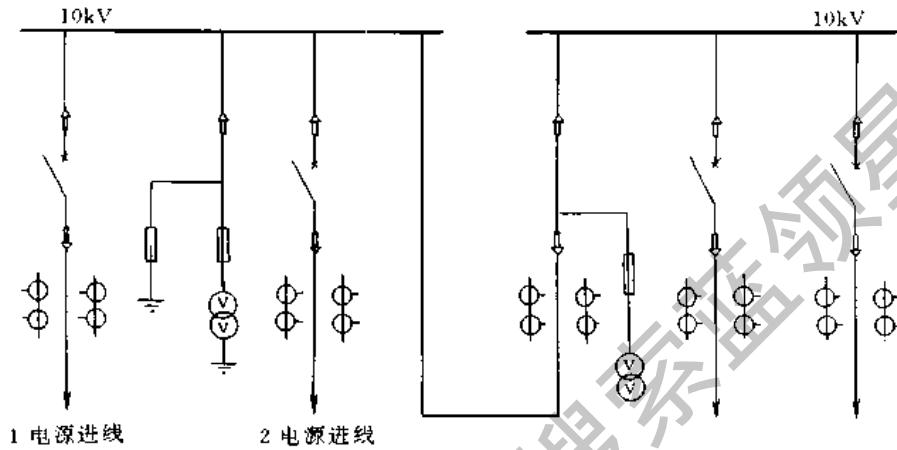


图 11.4.1 两路不独立,一主一备电源 10kV 电气主接线

② 两路 10kV 电源同时运行。图 11.4.2 两段高压母线间不设联络。这种系统的可靠性较高,申请用电贴费率也相对最低(有相对于一用一备或两用中间带联络的方案而言),所以在当地电网条件允许的情况下,应与供电部门共同研究,尽可能采用两路电源互为独立,同时工作的方案,这样可简化供电设备,节约投资,并可提高供电的可靠性。

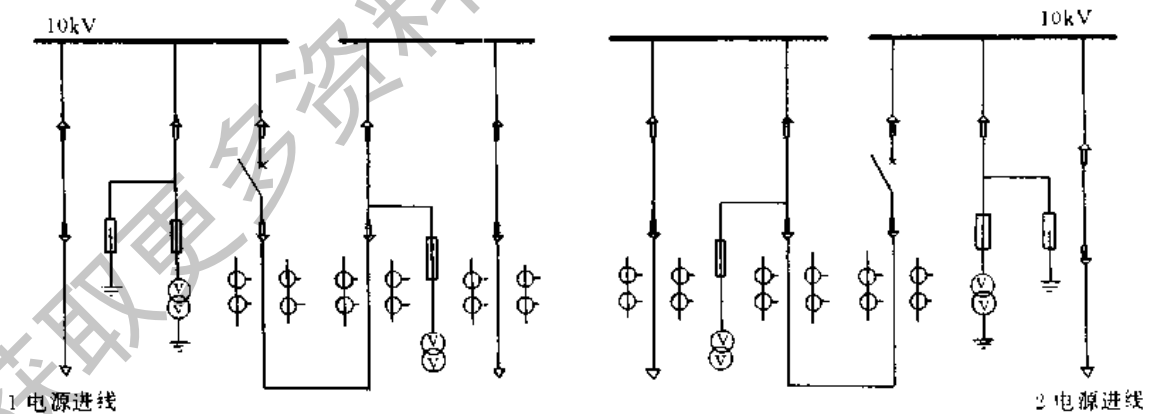


图 11.4.2 双路电源同时运行 10kV 电气主接线

③ 两路独立 10kV 电源,一用一备,如图 11.4.3。这样做的优点是外部电源的这种运行方式比较灵活,并缩短了当一路停电时另一路恢复供电的时间。此方案显然基本满足了提供两路独立的外部电源条件,但因受其运行方式等条件的制约,电源仍不是十分可靠。一类用电负荷较多时,还必须设置自备柴油发电机组。

另外还有两路电源同时供电,平时各带用电负荷的 50%,每路容量均有足够的容量,使每路电源均能在另一路失电的情况下单独承担整个建筑的全部负荷。这样做外部线路及供电设施的初投资加大,但提高了供电的可靠性。

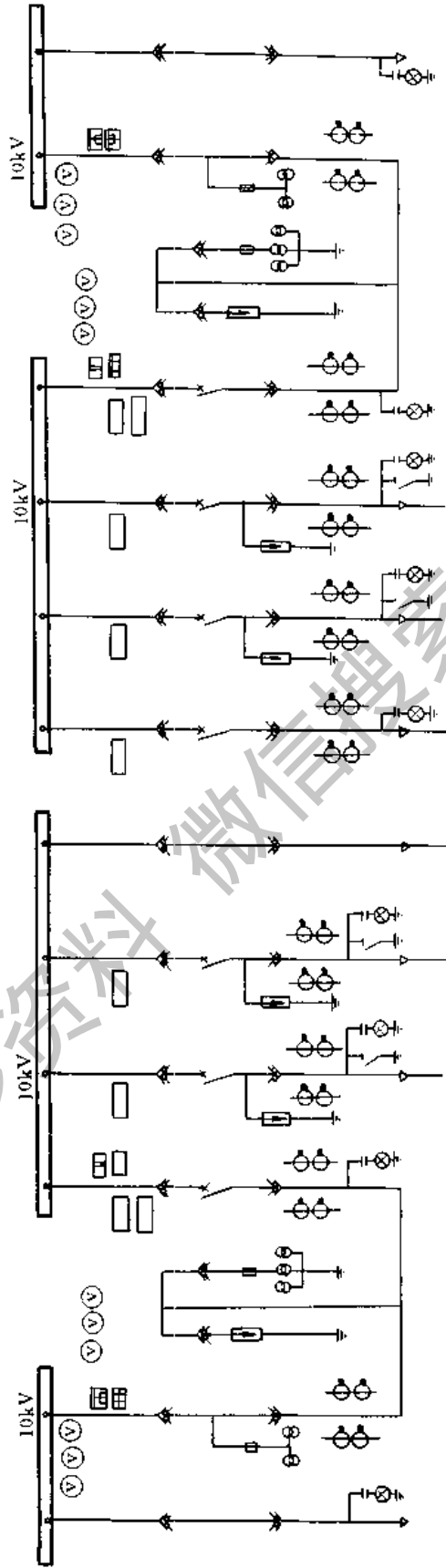


图 11.4.3 两路独立,一用一备电源 10kV 电气主接线

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

3. 低压配电系统

高层建筑内低压供电系统的构成比高压供电系统更为多样化。如某方案平时各变压器分列定行，各变压器之间的母联开关全部断开，当某台变压器事故跳闸时由相邻变压器经联络开关供电，当所有变压器全部停电时备用发电机组才可将自备电源供至所有用电负荷，在充分利用自备电源并作日常供电方面具有较大灵活性。但若一般负荷出线多，这种方案就不是很合理了。另外这一方案也不利于在非制冷季节集中切除制冷站电力等季节性负荷，造成季节性的变压器低负荷运行。同时为了避免变压器的并列运行，需增加相应的电气联络等。

若把季节性负荷供电的两台变压器独立开，则又是一种控制方案。

4. 低压配电网

(1) 低压配电系统 低压配电系统分为放射式和树干式两大类。放射式配电系统供电可靠性较高，配电设备集中，检修方便，但系统灵活性较差，一般适用于容量大负荷集中或重要的用电设备，如客梯等。树干式配电系统所需配电设备较少，系统灵活性好，但干线故障时影响范围大，一般适用于用电设备比较均匀，容量不大，又无特殊要求的场合，如地下室的潜水泵等。

(2) 配电干线 高层建筑低压网络的配电方式基本上都是采用放射式系统，楼层配电则为混合式系统，而且普遍地采用插接式绝缘母线槽沿竖井敷设。

现代高层建筑的配电都分成工作和事故两个独立系统。当电力和照明分开时，则有电力工作、电力事故、照明工作、照明事故等四个配电系统。

(3) 楼层配电方式 高层建筑的楼层配电多采用放射式和树干式相结合的混合配电系统。

地下设备层和裙房，大容量的用电设备较多，应采用电缆放射式对单台设备或设备组供电，电缆可沿电缆支架或电缆托盘敷设。如果线路较短，则可采取穿钢管暗设，这样不影响空间使用。

上部各层配电有几种方式，工作电源采取分区树干式。

工作电源也可采用由底层至顶层垂直的大树干式向所有各层供电，各层事故电源也可用分区树干式或垂直大树干式供电，事故照明电源直接引自变电所低压配电柜事故照明回路。

如楼层不多（仅为十多层），负荷又不太大，则可采用导线穿钢管在竖井内敷设，钢管也可在墙体内暗敷。

电梯回路按规范要求不能同楼层用电回路共用，应由变电所低压配电柜单独回路供电。消防电梯、排烟、送风设备属于重要的消防用电设备，应有两个回路（一用一备）供电，并在末级配电箱内自动切换。

(4) 电气竖井 高层建筑中少不了电气竖井，它是各种电器管线的竖向通道。强电和弱电线路，有条件时宜分别设置在不同竖井内。如受条件限制必须合用时，强电与弱电线路分别布置在竖井两侧或采取隔离措施，以防强电对弱电的干扰。

选择好竖井的位置很重要，一般位于中心筒部位。作为电气竖井，最好要远离排烟，热管道或潮湿的地方。选扁而宽的矩形，即在宽面开门较为好用，窄而深的竖井则利用率不高。竖井需要维护操作的箱体，门向外开启，尽量布置在正对门的位置。

竖井内布置时，高压、低压和应急电源的电气线路，相互之间应保持 0.3m 以上距离或采取隔离措施且高压线路应设明显标志。

竖井内应明设接地母线，分别与预埋金属构件，管路和电缆外壳等做良好连接。

为了消除在火灾情况下竖井的烟囱效应，在配电小间的层界处，每隔 2~3 层在楼板处用相当于楼板耐火极限的非燃烧体作防火分隔。

四、应急柴油发电机组

高层建筑一般必须有两路独立电源供电，但现在的线路名为两路电源实为一个电源两条线路。目前解决此问题的方法是高层建筑本身设置独立的发电机组作为备用电源，当供电电源出现故障时，发电机自启动，保证一、二级负荷的供电。

自备发电机组有柴油机、汽油机两种。柴油机价格较汽油机贵，但其运行性能较汽油机好，且柴油机的燃油消耗量约为汽油机的 50%~60%，且柴油价格低，虽然柴油机没有点火系统，噪音比汽油机大，但柴油机经过降噪处理后也可明显下降，故一般选用柴油机组。

自备应急柴油发电机组的发电机输出电压一般为 400/230V，其供电范围一般包括：消防设备用电；事故照明，疏散指示，主要通道照明；电梯设备；中央控制室与经营管理电脑系统；变电所发电机房用电设备及照明；保安，通信设施和航空障碍灯用电等。

1. 柴油发电机组容量的选择

发电机额定容量为外界大气压 0.1MPa, 环境空气温度为 20℃, 相对湿度为 60% 时额定转速下 24h、连续运转 12h 的功率。如果安装条件不同, 则应按厂家资料进行容量修正。自备柴油发电机组的容量一般按一级负荷的容量确定, 对于一些重要的民用建筑可按一级负荷和部分二级负荷来确定装机容量。通常按变压器容量的 10%~20% 考虑。具体选择时应满足发电机的计算负荷和电动机启动时母线电压降的要求。

(1) 按发电机的计算负荷选择 首先把高层建筑的用电负荷归类:

- ① 消防负荷, 如消防泵、消防梯、防排烟设施、应急照明等;
- ② 重要负荷, 如营业厅部分的照明、生活水泵、部分客梯、主要通道照明等;
- ③ 除上述以外的其他负荷。

如发电机组只作为应急电源使用, 只需按消防负荷的设备容量计算发电机的容量。

如发电机组不只是作为应急电源使用, 而是作为备用电源使用, 这时应统计消防负荷和重要负荷, 择其较大者作为发电机组的设备容量。

对于大型、重要的高层建筑宜选二台柴油发电机组, 其中一台带消防设备负荷, 另一台带其他一级、二级负荷。这样做运行比较灵活。

设备容量统计出来后, 根据实际情况选择需要系数 (一般在 0.8 左右) 即可标出柴油发电机的功率。

(2) 按电动机启动时母线允许电压降选择

按计算负荷选择的柴油发电机, 还必须对它所供电的电动机启动容量进行计算, 由此来校验发电机组的启动能力。

在实际工作中, 可用经验系数法计算柴油发电机组的启动能力。表 11.4.4 列出了不同启动方式下所需发电机功率为被启动电动机功率的最小倍数。

表 11.4.4 发电机功率为被启动电动机功率的最小倍数

启动方式		全压启动	Y- Δ 启动	自耦变压器启动	
				0.65U _e	0.80U _e
母线允许	20%	5.5	1.9	2.4	3.6
电压降	10%	7.8	2.6	3.3	5.0

2. 柴油发电机的要求

① 一类高层建筑中一定要选择带自启动装置的柴油发电机组, 具有市电自动检测、自动启动、市电与机组电源自动切换、自动保护等功能。一旦市电供电中断或市电电压超过 480V 或低于 320V 时, 自动发出转换信号, 必须在 15s 内向负载供电。二类高层建筑中有条件时, 也宜选择带自启动装置的机组。

② 机组的外形尺寸要小, 结构紧凑, 重量轻, 辅助设备也要尽量减少。一般应选用高速机组, 电启动, 避免采用压缩空气启动。冷却方式尽量采用闭式水循环冷却的整体机组。发电机组宜选用无刷型自动励磁的方式。

③ 机组的台数可根据负荷的大小性质及发展等因素综合考虑确定。机组总台数不宜超过二台, 当负荷较大并有较大容量的电动机启动时, 可考虑采用容量较大的单台机组。当用电设备台数多, 单台容量小, 实际供电变化较大时, 可考虑两台机组的方案。

五、建筑物的防雷

1. 建筑物的雷击部位

- ① 不同屋顶坡度 (0°, 15°, 30°, 45°) 建筑物的雷击部位。
- ② 屋角与檐角雷击率最高。
- ③ 屋顶的坡度愈大, 屋脊的雷击率也越大, 当坡度大于 40° 时, 屋檐一般不再遭受雷击。
- ④ 当屋面坡度小于 27°, 长度小于 30m 时, 雷击点多发生在山墙, 而屋脊和屋檐一般不再遭受雷击。

2. 建筑物的防雷分级

防雷等级可分为三级。

(1) 一级防雷的建筑物

① 具有特别重要用途的建筑物, 如国际性航空港, 通信枢纽, 大型展览馆, 特等火车站, 国宾馆, 大型旅游建筑等。

- ② 高度超过 100m 的建筑物。
- ③ 国家级重点文物保护的建筑物和构筑物。

(2) 二级防雷的建筑物

① 重要的人员密集的建筑物，如市、部、省级办公楼，省级大型的集会，体育、交通、通信、广播、商业和影剧院建筑等。

- ② 省级重点保护的建筑物和构筑物。
- ③ 19 层及以上的住宅和高度超过 50m 的其他民用建筑物。
- ④ 省级及以上大型计算机中心和装有重要电子设备的建筑物。

(3) 三级防雷的建筑物

- ① 建筑群中最高或位于建筑群边缘高度超过 20m 的建筑物。
- ② 高度为 15m 及以上的烟囱、水塔等孤立的建筑物或构筑物。

3. 主要防雷措施

(1) 一级防雷建筑物的保护措施 对于一类高层建筑物，必须采取全面的保护措施，以防直接雷和雷电波沿着管线侵入所引起的破坏性后果。

① 防止直接雷的措施

a. 建筑物顶部采用避雷网保护，网格不应大于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ ，突出屋面的物体，应沿其顶部四周装设避雷带。在屋面接闪器保护范围之外的物体应装接闪器，并和屋面防雷装置相连。若为金属物体，则可以不装，但应与屋面避雷网连接。

b. 引下线应优先利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋。

c. 专设引下线时，其引下线的数量不应少于 2 根，间距不应大于 18m。

d. 当利用建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋为防雷装置的引下线时，其根数不做具体规定，但间距不应大于 18m，且建筑外廊各个角上的柱筋应被利用。

e. 当建筑物高度超过 30m 时，30m 及以上部分应将钢构架和钢筋混凝土的钢筋作互相连接；30m 及以上部分墙上的栏杆、金属门窗等较大金属物直接或通过金属门窗埋铁与防雷装置相连。

f. 当整个建筑物全部为钢筋混凝土结构，或为砖混结构但有钢筋混凝土组合柱和圈梁时，应将建筑物内的各种竖向金属管道每三层与圈梁的钢筋连接一次。对设有组合柱和圈梁的建筑物，应将建筑物内的各种竖向金属管道，每三层与敷设在建筑物外墙内的一圈 12mm 镀锌圆钢均压环相连，均压环应与所有防雷装置专设引下线连接。

g. 防雷接地装置应优先利用建筑物钢筋混凝土基础内的钢筋作为接地装置。当为专设接地装置时，接地装置应围绕建筑物敷设成一个闭合环路，其冲击接地电阻不应大于 10Ω 。

② 防止雷电流侵入的措施

a. 进入建筑物的各种线路及金属管道宜采用全线埋地引入，并在入户端将电缆的金属外皮、钢管及金属管道与接地装置连接。当全线埋地电缆确有困难而无法实现时，可采用一段长度不小于 15m 的铠装。电缆或穿钢管的全塑电缆直接埋地引入，其入户端电缆的金属外皮或钢管应与接地装置连接。在电缆与架空线连接处，还应装设避雷器，并与电缆的金属外皮或钢管及绝缘子铁脚连在一起接地，其冲击接地电阻不应大于 10Ω 。

b. 进出建筑物的各种金属管道及电气设备的接地装置，应在进出处与防雷接地装置连接。

c. 除特殊要求的接地外，各种接地与防雷接地装置共用。

(2) 二级防雷建筑物的保护措施

① 防止直击雷的措施

a. 在建筑物易受雷击部位装设避雷带作接闪器，并在屋面上装设不大于 $15\text{m} \times 15\text{m}$ 的网格。突出屋面的物体，应沿其顶部四周装设避雷带。若为金属体可不装，但应与屋面避雷带连接。

b. 引下线应优先利用建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋。

c. 专设引下线时，其引下线的数量不应少于 2 根，间距不应大于 20m。

d. 当利用建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋作为防雷装置的引下线时，其引下线的数量不做具体规定，间距不应大于 20m，且建筑物外廊各个角上的钢筋应被利用。

e. 当建筑物高度超过 30m 时的防侧击雷和等电位做法与一级防雷建筑物的保护措施相同。

② 防止雷电流侵入的措施 与一级防雷建筑物的保护措施相同。

(3) 三级防雷建筑物的保护措施

① 防止直接雷的措施

a. 在建筑物易受雷击部位装设避雷带或避雷针。当采用避雷带保护时，应在屋面上装设不大于 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的网格。采用避雷针保护时，被保护的建筑物及突出屋面的物体均应处于接闪器的保护范围内。

b. 引下线应优先利用建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋。

c. 专设引下线时，其引下线的数量不应少于 2 根，间距不应大于 25m 。

d. 当利用建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋作为防雷引下线时，其引下线的数量不作具体规定，间距不应大于 25m ，且建筑物外廊各个角上的柱子应被利用。

e. 引下线的冲击接地电阻不宜大于 30Ω ，其接地装置宜和电气设备等接地装置共用。防雷接地装置宜与埋地金属管道及不共用的电气及设备接地装置相连。

② 防止雷电流侵入的措施

a. 对电缆进出线，应在进出端将电缆的金属外皮、钢管等与电气设备接地相连。如电缆转换架空线，则应在转换处装设避雷器。

b. 进出建筑物的各种金属管道及电气设备的接地装置，应在进出处与防雷接地装置连接。

4. 避雷装置

(1) 接闪器

① 避雷针。采用圆钢或焊接钢管制成（一般用圆钢），其直径不应小于下列数值：

针长 1m 以下，圆钢为 12mm ，钢管为 20mm ；

针长 $1 \sim 2\text{m}$ ，圆钢为 16mm ，钢管为 25mm ；

烟囱上的避雷带针，一般采用直径为 20mm 的圆钢。

② 避雷网和避雷带。高屋建筑防雷保护用避雷网和避雷带采用圆钢或扁钢（一般采用圆钢）制作。圆钢直径为 8mm ，扁钢截面为 48mm^2 ，厚度为 4mm 。

③ 屋顶上的下列金属物宜作为接闪器，但其所有部件之间均应连成电气通路：

a. 旗杆、栏杆、装饰物等等，其规格不小于标准接闪器所规定的尺寸；

b. 厚度不小于 2.5mm 的金属管金属罐，且不会由于被雷击穿而发生危险。

接闪器应镀锌，焊接处应涂防腐漆，但利用混凝土构件内钢筋作接闪器除外。在腐蚀性较强的场所还应适当加大其截面或采取其他防腐措施。

(2) 引下线 高屋建筑一般是利用结构建筑物钢筋混凝土柱中的钢筋作为防雷引下线，其上部（屋顶）应与接闪器焊接，下部在室外地坪下 $0.8 \sim 1\text{m}$ 处焊出一根为 12mm 或 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ 镀锌导体。此导体伸向室外距外墙皮的距离宜不小于 1m ，并应符合下列要求：

① 当钢筋直径为 16mm 及以上时，应利用 2 根钢筋（绑扎或焊接）作为一组引下线；

② 当钢筋直径为 10mm 及以上时，应利用 4 根钢筋（绑扎或焊接）作为一组引下线。

(3) 接地装置

高层建筑一般利用建筑物的基础作接地装置。地梁内的主筋和基础主筋连接起来，并要把各段地梁的钢筋连成一个环路，综合组成一个完整的接地系统，其接地电阻一般不大于 10Ω 。若把防雷接地和电气设备的保护接地连接在一起或共同利用基础作为接地装置，则接地电阻要求不大于 1Ω 。这对于一般高层民用建筑来说是很容易满足其要求的。而一般在高屋建筑中，要把避雷装置和电气设备的接地装置完全隔离开来，在每个不能接近的部分保持必要的安全距，是很难做到的，如果在某处稍有疏忽，雷击时就存在反击危险。

六、母线、桥架、电缆的选择与敷设

1. 母线

高屋建筑往往照明，空调负荷较大，一般由母线提供配电。母线具有载流量大、安装迅速、使用方便、安全可靠的特点。

母线水平敷设时，至地面的距离不应小于 2.2m ，支撑点间距不宜大于 2m 。竖直敷设时，应在通过楼板处采用专用附件支撑，进线盒及末端悬空时，应采用支架固定。当母线直线敷设长度超过制造厂给定的数值时，宜设置伸缩节。水平跨越建筑物的伸缩缝或沉降缝处，也宜采取适当措施。母线的连接不应在穿过楼板或墙壁处进行。在穿过防火墙及防火楼板时，应采取防火隔离措施。

2. 桥架

高层建筑中电缆数量多而集中的场所，如地下设备层和竖井里，适合电缆桥架敷线，桥架分为梯级式、托盘式、槽式和组合式四种。

电缆桥架（梯架，托盘）水平敷设时的距地高度一般不宜低于 2.5m，支撑跨距一般为 1.5~3m。垂直敷设时其固定点间距不宜大于 2m。

电缆桥架多层敷设时，其层间距离一般为：控制电缆间不应小于 0.2m；电力电缆间不应小于 0.3m；弱电电缆与电力电缆间不应小于 0.5m，如有屏蔽盖板可减少到 0.3m；桥架上部距顶棚或其他障碍物不应小于 0.3m。电缆桥架上可以无间距敷设电缆，但电缆在桥架内横断面的填充率；电力电缆不大于 40%，控制电缆不大于 50%。电缆桥架在穿过防火墙及防火楼板时，应采取防火隔离措施。

3. 电缆

目前国内外开发生产并已广泛应用的有阻燃电缆，耐火电缆及防火电缆。

(1) 阻燃电缆 阻燃电缆具有自熄、不延燃的性能。一类高层民用建筑中的照明、电力、自控等线路及二类建筑中的消防用电设备宜采用阻燃型电缆，对于火灾初起应起作用的，如火灾自动报警器、检测器，可采用阻燃型的导线。

(2) 耐火电缆 耐火电缆其物理、电气性能不变，允许工作温度 70℃，可在着火情况下保持一定时间的安全运行，在 750~800℃ 的火焰燃烧中维持 90min 至 3h 的正常运行。在额定电压下电缆不击穿。

超高层及一类高层内的消防设备的供电回路宜采用耐火型电缆。

(3) 防火电缆 防火电缆也称矿物绝缘电缆，国际上称 MI 电缆。它是由铜芯、铜护套和氧化镁绝缘材料构成，因此长期使用温度可达 250℃。在 950~1000℃ 下可维持 90min 至 3h 不损坏，短时间或非常时期可接近铜的熔点 1083℃，具有防火、耐高温、防爆、载流量大、机械强度高等特点，是重要部门要害部位首选的电缆品种。

第三节 共用天线电视系统

许多用户的电视机共同使用一副或一组天线接收多套广播电视节目，该天线就是电视共用天线。电视共用天线及其附属部件和同轴电缆等所组成的系统叫做共用天线电视系统，简称 CATV（即英文 Community Antenna Television 的缩写）。

由于居民楼越来越高，楼内住用户多，密集程度大，电视信号受阻挡、反射和相互干扰情况比较严重，这就使电视共用天线很有发展前途。

新建住宅、公寓、旅馆等民用建筑符合下列情况者，可以安装电视共用天线系统：

- ① 采用大模板、预制壁板、滑升等对电视信号屏蔽严重的钢筋混凝土建筑；
- ② 9 层及 9 层以上的高层建筑及其遮挡区的建筑；
- ③ 远离电视台电视信号太弱或反射波复杂区域内的建筑。

进入 90 年代以来，各大中城市有线电视迅速普及，使得各单体楼房顶上的电视共用天线成为多余，城市中新建楼房不必再设共用天线，只需用同轴电缆从城市有线电视网上接入楼内即可。当然楼内的电视分配系统仍需建立。

有线电视与共用天线电视系统相比，其特点是：

- ① 用户楼顶不需加设天线；
- ② 前端箱的位置一般设在底层或二层（在共用天线电视系统中一般将前端箱设在顶层距离天线近的场所）；
- ③ 前端箱内设备简化，不需天线放大器和混合器；
- ④ 用户收到的电视节目更多，效果更好。

但是，有线电视短期内还难于普及，共用天线电视系统依然需要保留和发展。

一、系统组成

共用天线电视系统由天线及前端设备、信号传输分配网络及用户终端三部分组成，如图 11.4.4 所示。

共用天线电视系统的具体组成部件如图 11.4.5 所示。现将各部分分述如下。

1. 天线及前端设备

(1) 天线 天线是接收空间电视信号的元件。只接受单一频道的称为某个频道的专用接收天线。能接收

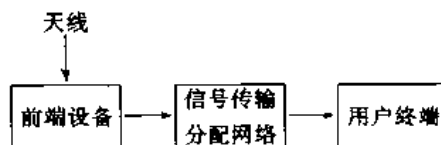


图 11.4.4 共用天线电视系统组成的方框图

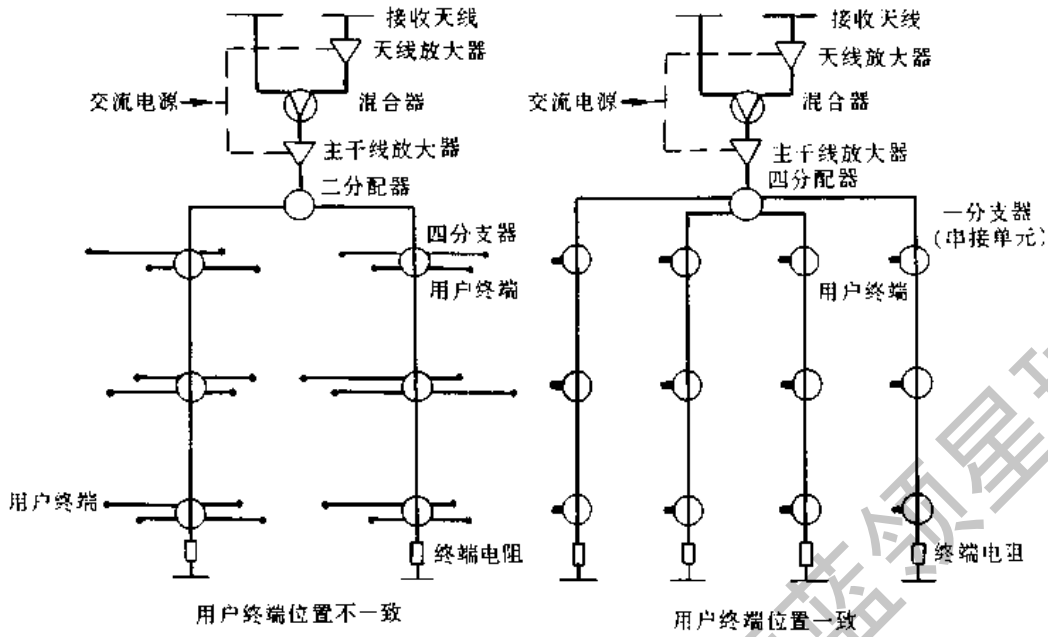


图 11.4.5 共用天线电视系统组成

1~5频道的称为 VHF 低频段接收天线。能接收 6~12 频道的称为 UHF 高频段接收天线。1~12 频道信号都能接收者称为 VHF 全频带接收天线，能接受 13~30 或 31~44 频道者为 UHF 低频段接收天线。能接收 45~68 频道者为 UHF 高频段接收天线。13~68 频道信号都能接收者为 UHF 全频带接收天线。

VHF 频段频率范围为 48.5~233MHz。VHF 频段接收天线一般均采用引向天线（亦称八木天线）。引向天线由 1 个辐射器、1~2 个反射器和若干个引向器所组成，如图 11.4.6 所示。辐射器为半波折合偶极天线，它是把半波长偶极子天线的两个尾端用导体连接起来而成。反射器的功能是减弱来自天线后方的干扰波，而提高前方的灵敏度。引向器的作用是增大对前方电波的灵敏度，其数量愈多愈能提高增益。辐射器为有源振子，反射器和引向器为无源振子，振子的总数量即为单元数。

UHF 频段频率范围为 470~958Hz。UHF 频段引向天线的外形见图 11.4.7。

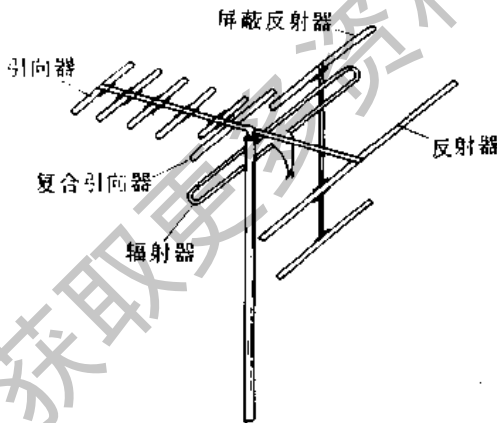


图 11.4.6 VHF 引向天线外形示意（八木天线）

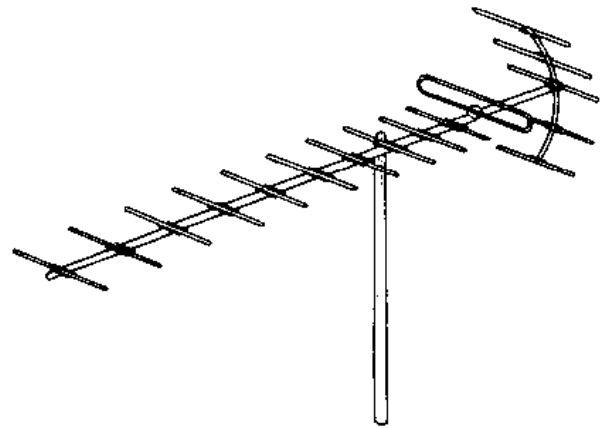


图 11.4.7 UHF 引向天线外形示意

(2) 前端设备 前端设备主要包括天线放大器、混合器、主干放大器等。天线与前端设备的组合，可有图 11.4.8 所示几种方案。

图 11.4.8 (a) 为单方向信号的接收与馈出。如果只接收某个频道的电视信号，可选用单频道天线和单频道天线放大器；若要接收同一方向传来的多个频道的电视节目，而且各频道电场强度相差不太大时，可选用 VHF 全频带天线，配合全频带放大器。

图 11.4.8 (b) 为接收两个来自不同方向但场强都较弱的电视信号的前端方案。两路经天线放大器放大的

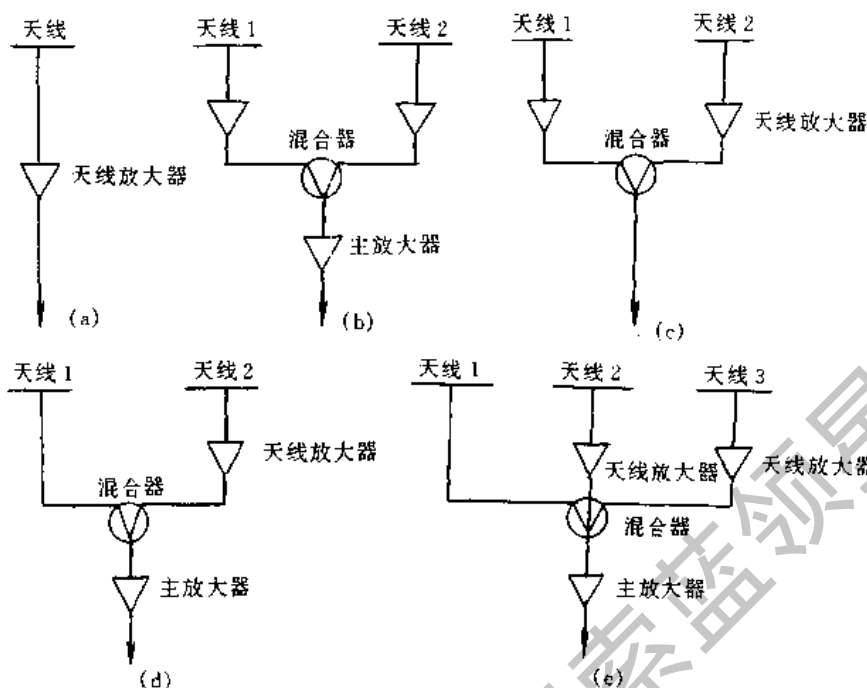


图 11.4.8 天线与前端设备组合的示例

信号混合后送入主放大器。

图 11.4.8 (e) 也是接收两个来自不同方向电视信号的前端方案，因系统较小而不需主放大器。

图 11.4.8 (d) 示出了用两副天线接收两个频道的电视信号，其中一个信号较强（如本地电视台），另一个信号较弱（如外地电视台），故将弱信号经天线放大器放大，再与强信号混合。

图 11.4.8 (e) 为接收三个不同频道和不同方向的电视信号，其中一个信号较强，另两个信号较弱（如外地电视台）。对弱信号频道先经天线放大器，放大提高信号电平后，与另一路信号经混合器混合后，再送入主放大器。

图 11.4.9 除了电视天线 VHF、UHF 外，还有卫星接收天线 SHF 以及自办节目用录像机等，在传输分配网络不变的情况下，使系统的功能大大增加。

天线放大器的作用是提高接收天线的输出电平，以满足处于弱场强区和电视信号阴影区共用天线电视传输系统主干线放大器输入电平的要求。由于它的输入电平一般为 50~60dB，输出电平一般为 90dB，因而天线放大器是属于低电平放大器。同时，天线放大器处于系统的前端，要求有一定的信噪比（电视信号与噪声信号之比），因此也是低噪声型的放大器。

天线放大器宜采用专用频道放大器。只放大单一频道的放大器称为专用频道放大器，它对频道外的信号有很大的衰减，可使交调、互调的影响减至最小。

专用频道放大器是与单一频道接收天线相配合使用的。当需要接收较多频道电视信号时，为了减少天线数量可采用宽频带接受天线接收多路信号，然后设分波器（把混合器的输入和输出互换使用）把天线接收来的多

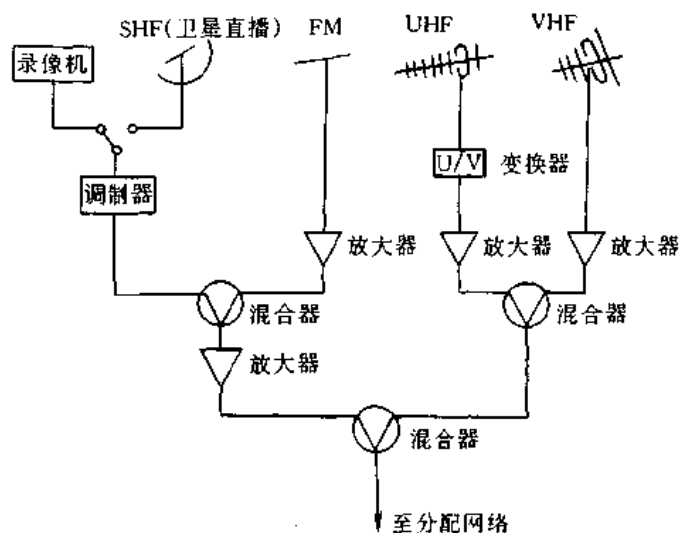


图 11.4.9 多功能共用天线电视系统示例

路信号分路接入专用频道放大器。

混合器是把天线接收到的几个频道信号混合在一起, 形成一个单独的多频道合成信号, 供传输分配使用。

主放大器的作用是补偿传输网络中的信号损失, 其输入电平一般为 80~90dB, 输出电平一般为 110dB, 属于中电平放大器。主放大器多采用宽带放大器, 对 1~12 频道的信号进行放大者称为 VHF 全频道放大器, 简称 V 型放大器; 对 13~68 频道信号放大者称为 UHF 全频道放大器, 简称 U 型放大器。

宽带放大器的通用性强, 但抗干扰能力差。为了增强抗干扰能力, 可采用具有一定带宽的宽带放大器, 即把低频段与高频段分开放大, 然后组合在一起。例如将 1~5 频道的 VHF 低频道带宽放大器与 6~12 频道的 VHF 高频道带宽放大器组合, 这在信号较强的地方使用可以避免由于功放管的非线性作用而产生低频段与高频段的相互干扰。

2. 传输分配网络

传输分配网络由分配器、分支器、串接单元、线路放大器及馈线等组成。其中有线路放大器的叫有源分配网络, 适用于用户多、传输距离较长的大系统; 反之则为无源分配网络, 适用于用户少、传输距离短的小系统。

分配器是把一个输入信号均等地分成几个输出信号, 并且几路输出相互之间有一定的隔离度。分配器有二分配器、三分配器和四分配器。

分配器使用时要注意其输出端不能开路和短路, 否则会造成严重的不匹配。因此, 其剩余的输出端要接一个 75Ω 的终端电阻。

分支器串接在干线线路上使用, 经它取出部分信号直接供几台用户电视机使用而互不影响。分支器有单向传输的特性, 因而其输出端有开路和短路情况时不会影响干线的输出。分支器有一分支器、二分支器、三分支器和四分支器等。

串接单元的作用与一分支器相同, 它是一分支器与用户插座盒的综合结构, 是在支线传输中分出一路信号供给电视机使用。使用串接单元时, 不必再设单独的用户盒和分支电缆。它的特点是结构简单, 施工方便, 价钱便宜。

在传输分配网络中, 为了补偿因用户增多、线路增长后的信号损失, 有时需加线路放大器。线路放大器一般采用全频道放大器。

馈线一般有平行馈线和同轴电缆两种类型。平行馈线见图 11.4.10 所示, 由两根平行的导线组成, 用聚氯乙烯或聚乙烯等绝缘材料固定两导线之间的距离。同轴电缆如图 11.4.11 所示, 其两根导体为芯线和屏蔽铜网, 因铜网接地, 两根导体对地不对称, 故为不对称或不平衡式馈线。同轴电缆的工作频率范围宽, 损耗小, 对静电耦合有一定的屏蔽作用, 因此在共用天线电视系统中, 不论是干线还是支线均采用它传输和连接各部件。但是电缆的屏蔽层对不同频率的屏蔽效果不同, 频率越低屏蔽作用越差, 所以敷设时应避免与强电流线路并行及靠近低频信号线(如载波电话线等)。



图 11.4.10 平行馈线外形



图 11.4.11 同轴电缆外形

对于传输距离很长、用户数量很大的系统, 经过技术经济比较, 在可能的条件下, 可采用光缆传输, 其性能更加优越。

共用天线电视系统的分配网络一般有如下几种形式:

- (1) “分配—分配”方式
- (2) “分支”方式
- (3) “分支—分支”方式
- (4) “分支—分配”方式
- (5) “分配—分支”方式
- (6) “串接分支”方式
- (7) 不平衡分配方式

图 11.4.12 示出了全部采用分配器的“分配—分配”方式。这种系统的分配损失较小，在信号较强的地区可不用放大器。缺点是一路空载时对其他几路影响较大，故在某一路输出暂时不用时，一定要接以 75Ω 匹配电阻。故这种方式多用于干线分配。

图 11.4.13 为全部采用分支器的分配方式，称为“分支”方式。上分支器的主路输出端与下分支器的主路输入端的连接用电缆称为干线；分支器的分支输出至用户端的电缆，称为分支线。为了使各分支器的输出电平尽可能接近，需选用不同损失的分支器。靠近前端的分支器要求接入损失小一些，分支损失大一些；靠近终端的分支器要求接入损失大一些，分支损失小一些；而中间部分的分支器则介于两者之间。为了系统匹配需要，在干线的终端接入 75Ω 电阻。分支系统在空载时，对整个系统的匹配影响较小，故多用于输出端经常不接电阻的系统中。

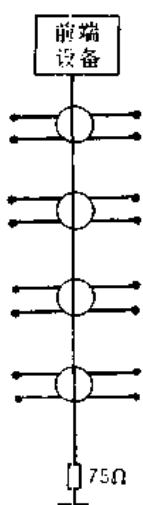


图 11.4.13 “分支”方式

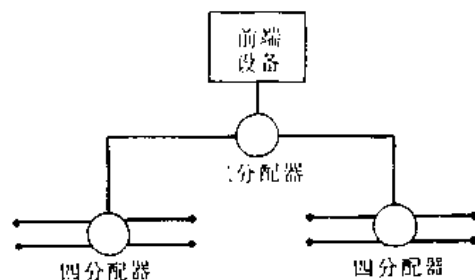


图 11.4.12 “分配—分配”方式

图 11.4.14 为全部采用分支器的“分支—分支”方式。这种电路的线路损失较大，适用于前端设备输出电平较高的情况。

图 11.4.15 为适用于终端不空载、分段平面辐射形的用户分配，称为“分支—分配”方式。

图 11.4.16 适用于用户端的位置相同、上下成串的多层与高层建筑中，可节省管线，称为“分配—分支”方式。由于各条干线终端均接有 75Ω 匹配电阻，因而对于每一条干线来说基本上可以保持匹配，四分配器的每路一般也不会出现完全空载状态。

图 11.4.17 示出各种“串联分支”方式，其中 (a) 全部串接单元（或串联一分支器）连成一串，这样在串接数较多时，始端与终端的输出电平相差可能较大；(b) 所用的串接单元具有两个输出端（或串联二分支器）在同一墙的两侧；(c) 将一路信号先用二分配器分成两路，这样每串的数量减少了一半，上下串的输出电平差较小；(d) 考虑到下串电缆较长比上串电缆的损耗多，在下串少串 1 个；(e) 把二分配器放在中间，使上下两端得到对称的电平。

以上图 11.4.12 至图 11.4.17 均为平衡分配方式。图 11.4.18 为不平衡分配的方式，图中 (a) 为不平衡三路分配方式，其中一路的分配损失为 3.5dB ，用于向远处传输，另两路的分配损失为 7dB ，可向近处传送。(b) 为不平衡五路分配方式，适用于单数串集中用户的场所。先用一个分支损失比较小的一分支器取出一路输出，其主路输出再接一个四分配器，将一路信号再分为四路输出。

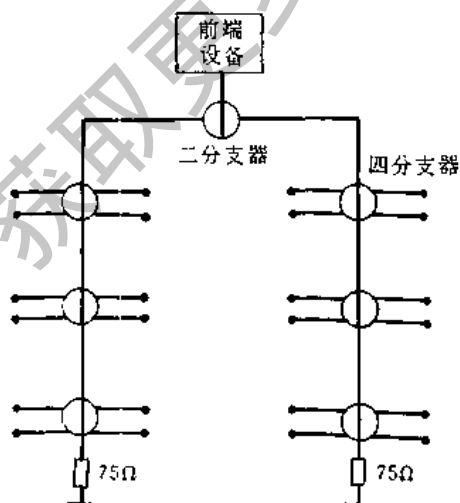


图 11.4.14 “分支—分支”方式

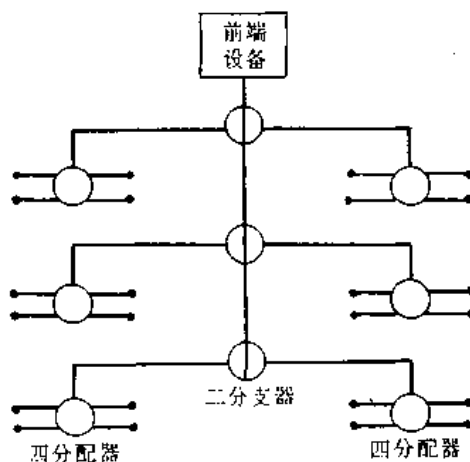


图 11.4.15 “分支—分配”方式

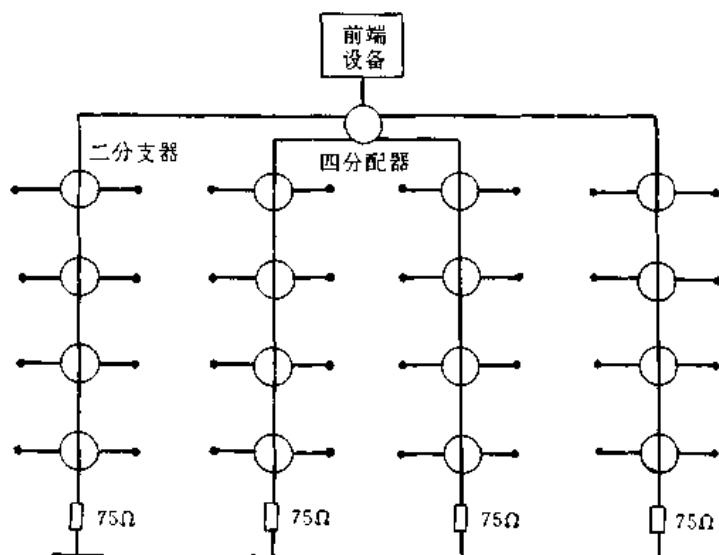


图 11.4.16 “分配—分支”方式

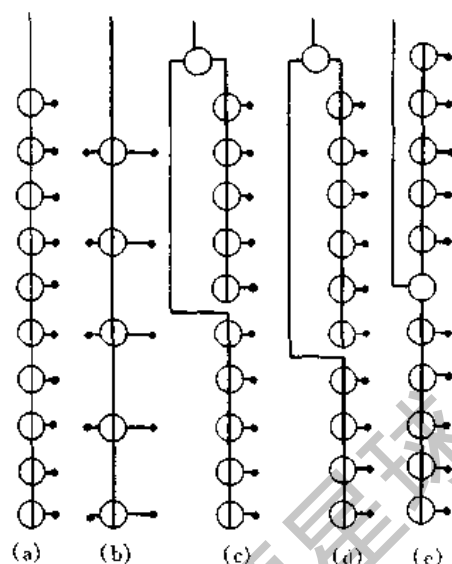


图 11.4.17 “串联分支”方式

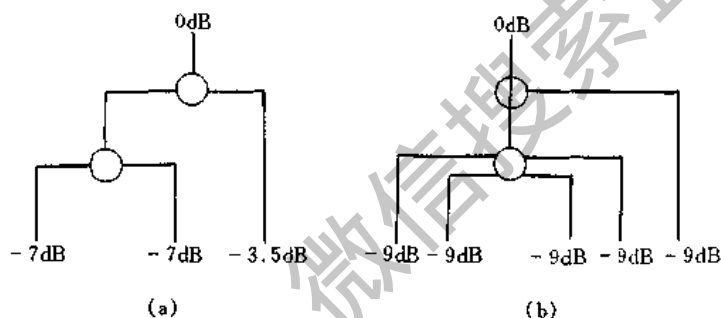


图 11.4.18 不平衡分配方式

在以上各分配系统中各元件之间均用馈线连接，它是提供信号传输的通路，分为主干线、干线、分支线等，用于分配网络与用户终端的连接。

3. 用户终端

用户盒是电视共用天线系统的终端设备，其功用是将分支器送来的分支信号和用户电视机连接起来。用户盒有 75Ω 和 300Ω 两种输出，当连接电视机的电线是对称扁线时，使用 300Ω 的双插孔；当用同轴电缆连接电视机时，则使用 75Ω 的单插孔。现在一般都是 75Ω 的用户插座。

二、系统中各元件的主要技术特性

1. 接收天线的主要技术特性

VHF 段接收天线的技术数据如表 11.4.5。UHF 段接收天线的技术数据见表 11.4.6。

表 11.4.5 VHF 单、多、全频道天线技术数据

型 号	频 道	单元数	增益/dB	阻抗/Ω	驻波比	前后比
STDW-D ₁ -5	1	5	≥6	75/300	<2	≥10
STDW-D ₂ -5	2	5	≥6	75/300	<2	≥10
STDW-D ₆ -5	6	8	≥10	75/300	<2	≥12
STDW-D ₃ -8	8	8	≥10	75/300	<2	≥12
STDW-K ₂ -12	2~12	7	3~6	75/300	≈3	≈6
STDW-K ₉ -12	5~12	5	3~6	75/300	≈2.5	≈8
STDW-K ₁ -12	1~12	6	3~6	75/300	≈4	≈5
STDW-K ₅ -12	6~12	10	≥9	75/300	≈3	≈9

表 11.4.6 UHF 对数周期天线技术数据

型 号	频率范围 /MHz	单元数	增益 /dB	阻抗 / Ω	驻波比	前后比
DS-1	470 ~ 566	12	≥ 7	75	≤ 2.5	≥ 12
DS-2	606 ~ 958	18	≥ 7	75	$2.5 \leq$	≥ 12
DS-3	470 ~ 958	23	≥ 7	75	≤ 2.5	≥ 12

2. 混合器的主要技术特性

VHF 段混合器的技术数据见表 11.4.7。

表 11.4.7 VHF 频段混合器技术数据

型 号	使用频率范围 (VHF 频段)	插入损失 /dB	相互隔离 /dB	输入、输出 阻抗/ Ω	电压驻波比
SHH-3	任意不相邻三个频道	< 3	> 20	75	< 2.5
SHH-5	任意不相邻五个频道	< 3	> 20	75	< 2.5
SHH-7	任意不相邻七个频道	< 3	> 20	75	< 2.5
SHH-3		< 6	相邻频率 > 10 不相邻频道 > 20	75	< 3

3. 放大器的主要技术特性

低电平和中电平放大器的技术数据见表 11.4.8。

表 11.4.8 低电平和中电平放大器的技术数据

类 别	标准输入电平 /dB μ V	标准输出电平 /dB μ V	最大输出电平 /dB μ V	标准增益 /dB	增益可变范围 /dB	噪声系数 /dB
低电平放大器	55 (50 ~ 60)	80	90	25	± 5	5 ~ 8
中电平放大器	85 (80 ~ 90)	110	115	25	± 5	8 ~ 12

4. 分配器的主要技术特性

分配器的技术数据见表 11.4.9。

表 11.4.9 分配器技术数据

型 号	名 称	阻抗/ Ω		驻波比	分配损失/dB		隔离/dB	
		输 入	输 出		VHF	UHF	VHF	UHF
SEP-2-UV	二分配器	75	75	2	3.6	4.2	> 20	> 15
SEP-3-UV	三分配器	75	75	2	5	6	> 20	> 15
SEP-4-UV	四分配器	75	75	2	8	8.5	> 20	> 15

5. 分支器的主要技术特性

分支器的技术数据见表 11.4.10。

表 11.4.10 分支器技术数据

型 号	名 称	使用频率 /Hz	阻抗/ Ω 输入/输出	插入损失 /dB	分支损失 /dB	分支隔离 /dB	反向隔离 /dB	驻波比
SCF-0571-D	串联一分支器	48.5 ~ 223	75	≤ 4	5	> 26	> 26	≤ 1.6
SCF-0971-D				≤ 2	9			
SCF-1571-D				≤ 0.9	15			
SCF-2071-D				≤ 0.6	20			
SCF-2571-D				≤ 0.6	25			
SFZ1072	二分支器	48.5 ~ 223	75	2	10	20	25	1.6
SFZ1372				1	13			
SFZ1672				1	16			
SFZ2072				0.7	20			
SFZ2572				0.5	25			
SFZ3072				0.5	30			

续表

型号	名称	使用频率/Hz	阻抗/ Ω 输入 输出	插入损失/dB	分支损失/dB	分支隔离/dB	反向隔离/dB	驻波比
SFZ1074	四分支器	48.5 ~ 223	75	4	10	20	25	1.6
SFZ1474				2.5	14			
SFZ1772				1.6	17			
SFZ2074				1	20			
SFZ2574				1	25			
SFZ3074				1	30			

6. 同轴电缆的主要技术特性

同轴电缆的技术数据见表 11.4.11。

表 11.4.11 同轴电缆技术数据

型号	特性阻抗/ Ω	衰减常数/(dB/100m)			电缆外径/mm
		45Hz	100Hz	300Hz	
SYV-75-5-1	75	8.2	11.3	20	7.3
SYV-75-9	75	4.8	7	13	13
SYV-75-5-4	75	6	9	16	7
SYV-75-7-4	75	3.7	6.1	12	10

三、系统的安装

1. 天线安装

天线位置的选择应做到：

- ① 尽可能将天线装在建筑物的最高处，以便收到较好的电视信号；
- ② 天线朝向电视发射台的方向不应有遮挡物；
- ③ 架设天线应考虑不影响建筑物的美观及方便施工。

安装天线时应注意以下各点。

- ① 天线振子应水平安装，必须将引向器对准电视发射台的方向，不能装反。
- ② 对于组合天线，要注意低层天线与楼顶的最小距离一般不小于 2~3m，否则会因地面反射而降低接收效果；上、下层天线间距不小于 1.5~2m，一般高频道天线在上层，低频道天线在下层。但也可以考虑将弱场强频道天线装于天线竖杆上部，因为天线每升高 1m 约能获得 1.5~2dB 的增益。

③ 两组天线并列安装时相距不小于 3m，而且注意在接收信号的方向上不要互相遮挡（即不要前后布局）。

④ 天线竖杆上要装 300 Ω /75 Ω 的阻抗变换器，从天线有源振子用 300 Ω 扁平馈线连至变换器，再由变换器引出 75 Ω 同轴电缆馈线。

⑤ 天线馈线穿过屋顶引向前端箱时要穿钢管保护。钢管要事先预埋，露出屋面部分要注意弯曲，防止雨水倒灌。

⑥ 架设天线时不仅能前后、左右移动，还要求能够调上下和高低，以便在安装好天线后，能方便地调整天线，以获得最理想的接收电平。在系统接电发现重影时，还要再次调整方向，使反射场强达到最小。

⑦ 天线要做好防雷，一般采取如下措施。

a. 安装独立避雷针以保护天线，这是最有效的防雷措施。一般在距天线 3m 以外的地方安装独立避雷针，使天线在避雷针的保护范围之内。这种方法可靠，但花钱多，安装施工麻烦，实际采用较少。

b. 在天线杆顶部加避雷针，这是现在实际使用最多、最普遍的方式。它是将共用天线金属主杆的顶端加长 2m 左右作避雷针用，保护角可取 45°~60°，使各频道天线均在自身避雷针的保护范围之内。由于天线主杆与避雷针直接相接，所以将天线底座用扁钢或圆钢可靠焊接并与屋面避雷网在两处可靠连接，通过避雷引下线做良好的接地。当设专用接地极时，一般要求接地电阻不小于 4 Ω 。通常利用建筑物的联合接地装置，要求接地电阻不大于 1 Ω 。

c. 将放大器、混合器、分配器等置于金属外壳的前端箱内，在前端箱中加装防雷二极管，并将前端箱的金属外壳、馈线的金属保护管等统一接地。

d. 为了确保安全，使建筑物达到均衡电位的条件，对高层框架结构，应把同轴电缆的金属屏蔽层与金属

保护管、与建筑结构墙、板、柱中的钢筋焊接或卡接，使整个建筑物成为一个接地良好的等电位体。

⑧ 天线基础要牢靠，一般应做三副拉线，相互水平夹角为 120° ，拉线不得位于接收电视信号的传播路径上。

2. 前端设备安装

前端设备组装在一起有箱式、柜式和台式结构，根据系统大小而分别选用。一般情况下多选用标准的或自制的前端箱，它有明装及暗装两种。当建筑物内有专用前端设备间时，可采用明装，用膨胀螺栓将其固定在墙上，安装高度为下口距地 1.5m 。否则采用暗装。一般把前端设备装在距天线不大于 15m 的房间或顶层走道内。

3. 分配系统安装

① 分配器、分支器和线路放大器的安装，一般对新建楼房应采用暗装方式，对已有建筑物可采用明装方式。安装必须牢靠、安全，并应避免将部件安装在高湿、潮湿或易受损伤的场所。当在有腐蚀性环境中安装时，应采取防腐措施。

② 同轴电缆也分明敷与暗敷。明敷时打卡子固定，暗敷时穿塑料管或钢管在墙中敷设。明敷时与电力电缆间距不应小于 0.3m 。暗设时，不得将此同轴电缆与电力电缆同线槽、同出线盒、同过路箱安装。

③ 用户终端也有明、暗装之别。所要注意的是，对整个分配系统内的各部件包括馈线在内，要明装则全部明装，要暗装则要全部暗装，不能某些部件明装，某些部件暗装。

用户终端盒的安装高度为其下沿距地坪 0.3m 或 1.5m 。

第四节 火灾报警设备

一、火灾的危险性

现代建筑物的面积越建越大，使用功能越来越复杂，楼层和装修标准也越来越高，因而隐含的火灾危险因素也越来越严重，尤其是高层建筑，其火灾的危险性更大。高层建筑的火灾危险特点如下。

(1) 起火因素多 因楼层多，面积大，使用单位多，管理制度松散，火灾危险漏洞多，比一般的多层及单层建筑物更易引起火灾。

(2) 火灾蔓延途径多 高层建筑的楼梯间、电梯井、管道井、电缆井、通风道、排烟道、垃圾道等竖向管井，火灾时尤如一座座高耸的烟囱，排气作用大，成为火势迅速蔓延的途径。试验证明，一座 100m 高的大楼，在 $25\sim 33\text{s}$ 的时间内，火烟即可由底层扩散到顶层，使整个大楼成为火柱。

(3) 疏散困难，容易造成伤亡事故 一是高层建筑垂直距离长，需要较长的疏散时间；二是人员比较集中，疏散时拥挤，不能顺利疏散；三是烟气竖向蔓延快，给安全疏散带来困难。分析及事实证明，火灾时被烟熏死的人占火灾总死亡人数的一半以上，甚至达 70% 。

(4) 火灾扑救困难 因楼层高，消防人员“全副武装”爬楼梯需时间长，体力消耗大，室外登高云梯车目前尚未普及，影响扑救效果，甚至延误灭火战机。

因此，在高层建筑的设计和建设过程中（对有火灾危险的多层建筑也一样），必须按照“防消结合、以防为主”的方针，做好综合防火设计，尽量消除和减少起火因素。采用先进的火灾自动报警设备，一旦发生火灾，能够及时报警。

二、火灾探测器

1. 火灾探测器的作用

昼夜监视着火灾“敌情”，一旦有情况，便通过导线和报警装置，向消防值班人员发出声、光信号，并能指出火灾部位，以达到通知人们进行疏散及扑救的目的。

2. 火灾探测器的分类

火灾是一种传感器。火灾初起阶段产生有烟雾、高温和火光，探测器能把热、烟、光等非电物理量转变为电信号传入报警器中进行报警。因此，从其原理来讲，火灾探测器分为感烟、感温、光辐射和可燃气体探测器四大类，每大类又根据具体工作原理的不同分为若干种，如图 11.4.19 所示。

火灾探测器还有其他分类方式，如按线制分有多线制、少线制和总线制；按使用场所分为普通型和防爆型等，这里不一一赘述。

3. 火灾探测器的工作原理

(1) 离子感烟探测器 由信号电路和检测器两部分组成。检测器由两片放射性元素 Am^{241} （镅 241）及电子电路构成内外两个电离室。内电离室经常处于密闭状态，而外电离室的放射源与电极之间的空间与房间内的空

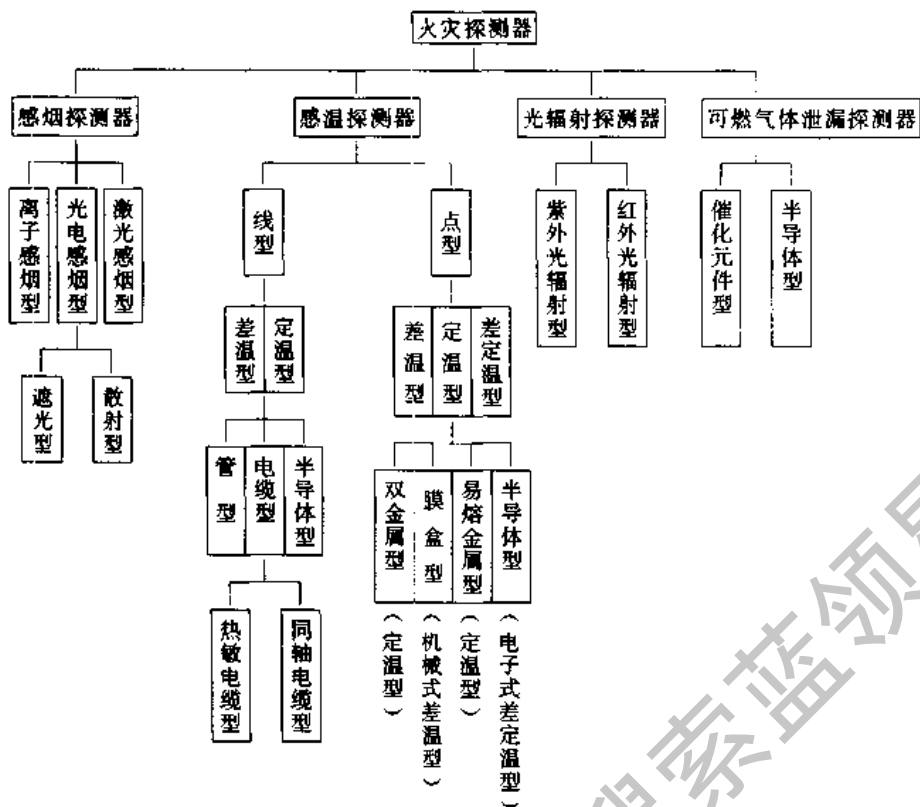


图 11.4.19 火灾探测器分类

气是相通的。无火灾时，内、外电离室环境状况一样，其伏安特性相同，相减后无信号输出。当发生火灾时，烟气进入外电离室，烟雾吸收电子，使电子数下降，从而电阻上升，改变了内、外电离室的电压，产生电流，有信号输出。

(2) 光电感烟探测器 其原理是利用火灾产生的烟雾阻挡光，使照射在光电池上的光束强度下降，电路电流下降，则灵敏继电器动作，发出火警信号。

光电感烟探测器又分为遮光型和散射型。图 11.4.20 所示是遮光型探测器，主要元件由一个电光源（灯泡或发光二极管）和一个相对应的光敏元件所组成。光源发出的光通过透镜聚成光束，照射到光敏元件上。光敏元件将光能变为电信号，使整个电路维持正常状态。

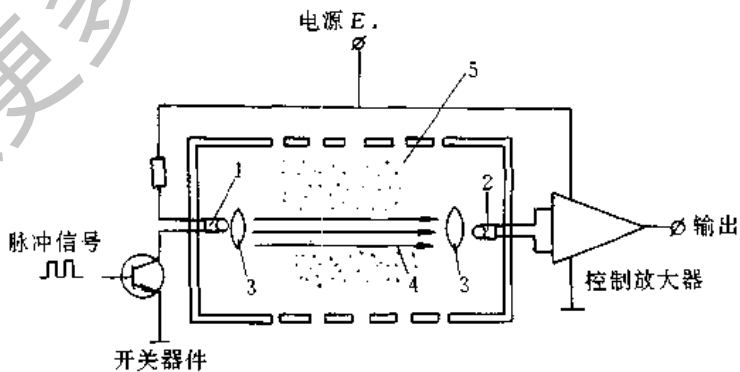


图 11.4.20 遮光型探测器原理图

1—发光二极管；2—光敏三极管；3—光学透镜；4—光束；5—烟雾粒子

火灾时，烟雾粒子进入光源与光敏元件之间，遮挡住了部分光线，使光敏元件接收的光信号变弱，其输出的电信号也随之发生突变，再经过放大电路放大后，使报警器发出报警信号。

图 11.4.21 是散射型探测器，其原理是：无烟时，光源发出的光不能到达光敏元件；火灾时，烟雾粒子进

入光室并达到一定数量后，光源发出的光经烟粒反射或散射而达到光敏元件，产生光敏电流，再经放大器放大后推动报警器报警。

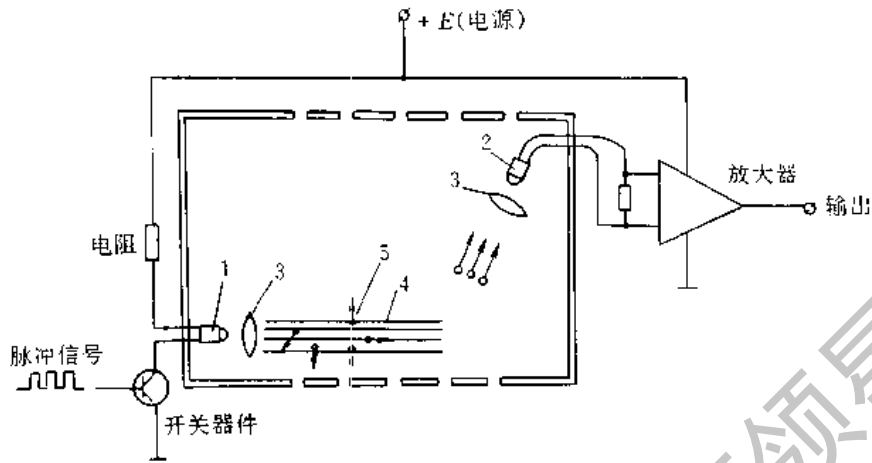


图 11.4.21 散射型探测器原理

1—发光二极管；2—光敏三极管；3—光学透镜；4—光束；5—烟雾粒子

(3) 定温探测器 在定温探测器中，双金属片型感温探测器与强电线路中使用的热保护用继电器原理相同。

易熔金属型探测器是利用低熔点合金在火灾温度烘烤下熔化脱落，从而使之相连的机构发生位移动作，接点转换而发出报警信号。

线性感温探测器的热敏元件是沿着一条线连续分布的，只要线段上任何一点的温度出现异常（高温），就能感应报警。

热敏电缆型是在两根钢丝导线外面各罩上一层热敏绝缘材料后拧在一起，置于编织电缆的外皮内。热敏材料在预定的温度下熔化，造成两根钢丝导线短路，发出报警信号。如图 11.4.22 所示。

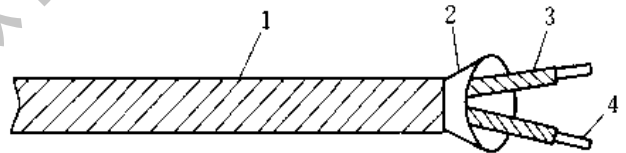


图 11.4.22 热敏电缆型线型探测器

1—外护套；2—包带；3—热敏绝缘材料；4—钢丝

同轴电缆型是在金属丝编织的网状外导体中放置一根导线，在内、外导体之间用一种特殊绝缘物充填隔绝。这种绝缘物在常温下呈绝缘性能，一旦遇热且达到预定温度则变成导体，于是内、外导体间短路，发出报警信号。

(4) 差温探测器 火灾发生时，室内局部温度以超过常温数倍的异常速率上升，差温探测器就是以这种异常温升速率产生感温的探测器。

① 膜盒型差温探测器如图 11.4.23 所示，膜盒探测器属机械式的。它的感应外罩与底座形成密闭的气室，只有一个很小的泄漏孔与大气相通。当环境温度缓慢变化时，气室内外的空气通过泄漏孔进行调节，使内外压力保持平衡。如有火灾发生，环境温升速率变大，气室内空气急剧受热膨胀，来不及从小孔外逸，致使气室压力升高，将波纹片鼓起，与中间接点相碰，从而发出报警信号。

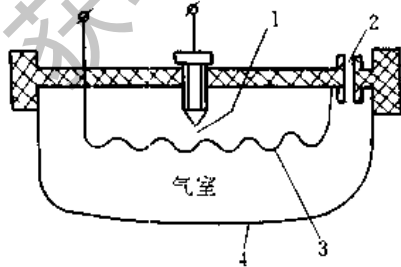


图 11.4.23 膜盒型差温探测器

1—触点；2—泄漏孔；3—波纹片；4—感热外罩

膜盒探测器灵敏度高，可靠性好，不受气候变化的影响，所以应用很广泛。

② 电子式差温探测器如图 11.4.24 所示，电子式差温探测器的电路由三部分组成。

第一部分由热敏电阻 R_1 、 R_2 和晶体管 BC_1 、 BC_2 组成差温电路。 R_1 、 R_2 的特性是随温度升高其阻值下降。 R_1 、 R_2 阻值相同，特性相

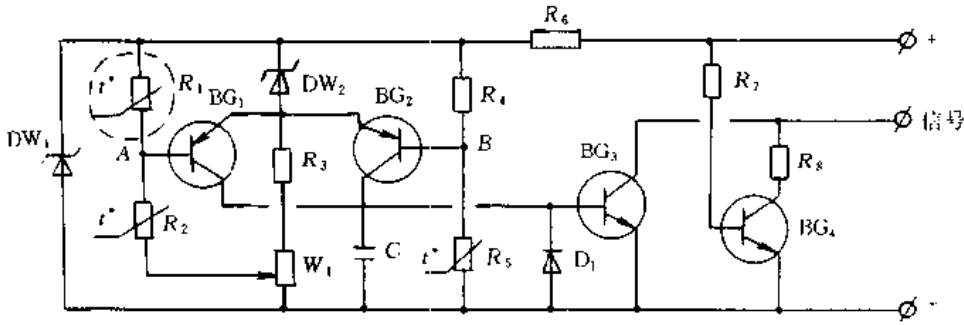


图 11.4.24 电子式差定温探测器

似，布置在探头上不同的位置： R_2 在铜外壳上，对外界温度变化较为敏感； R_1 布置在一个特制的金属罩内，对环境温度变化不敏感。

当环境温度变化缓慢时， R_1 、 R_2 阻值相近， BG_1 截止；火灾时，温度很快上升， R_2 直接受热，其阻值大大下降，A 点电位随之下降，当其下降到一定值时， BG_1 导通， BG_3 导通，向报警器输出火警信号。

第二部分电路是由 BG_2 、 R_4 、 R_5 组成定温电路。火灾时，当环境温度达到 70~90℃ 时，热敏电阻 R_5 阻值下降， BG_2 、 BG_3 导通，发出报警信号。

第三部分是由 R_7 、 R_8 、 BG_4 组成断线自动监测电路。

③ 空气管线型差温探测器。这种探测器是在膜盒探测器的基础上，加装了一根 20~80m 长， $\phi 3 \times 0.5$ 紫铜管制成的。其中紫铜管作为敏感元件，一端插入膜盒的气室内，另一端呈封闭端。

当未发生火灾时，气温正常变化，受热膨胀的气体从泄漏孔排出，因而不能推动膜片，动静触点不能闭合。一旦发生火灾，周围温度急剧上升，使空气管感受到一定温度，管内空气突然膨胀，膜盒泄漏孔不能立即排出，膜盒内压力很快上升，推动波纹膜化，使之产生位移，动静触点闭合，接通电路，输出报警信号。

这种探测器适用于库房、电缆隧道、天棚内、竖井中以及地下设备层等场所，保护面积大，安装方便。

(5) 光辐射探测器 可燃物燃烧后，其光焰的辐射光谱大体分成两类：一类是炽热炭粒产生的热辐射，其光谱特征是连续的；另一类是由化学反应生成的大量气体和离子，所产生的辐射光谱是间断的，位于光谱的紫外和红外区域。

① 红外光辐射探测器。红外光谱的波长较长，烟粒对其吸收和衰减远比波长较短的紫外光和可见光为弱。因此，在存在大量烟雾的火场，在距火焰一定距离内可使红外敏感元件感应，可以用来作为消防人员在能见度很差的烟雾中发现火源的确切地点，以便准确及时地扑灭火灾。以此为原理制成的探测器就是红外光辐射探测器。

② 紫外光辐射探测器。图 11.4.25 中，紫外光敏管 ZK 经限流电阻 R_1 接到 220V 交流电源上。无火焰时，ZK 截止，无信号输出。如有火焰出现，ZK 受紫外光照射立即导通，经二极管 D_1 给 BG_1 、 BG_2 组成的双稳态电路一个正的触发脉冲信号，使电路翻转， BG_1 导通， BG_2 截止，继电器 J 吸合，并给后面的报警器输出一个开关信号。

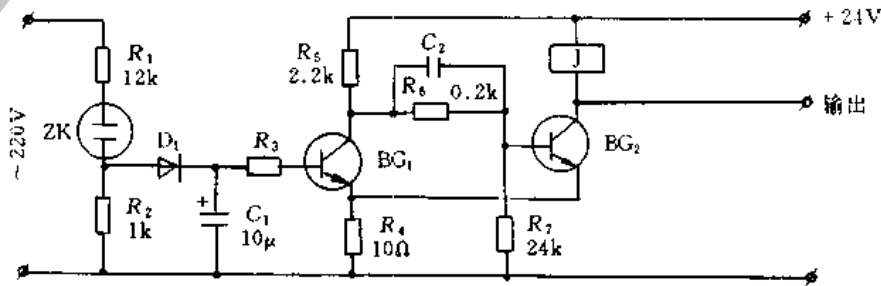


图 11.4.25 紫外光辐射探测器

应用紫外光辐射探测器时,要注意如下事项:

- ① 由于阳光中有微弱的紫外光辐射,因此使用中应避免阳光直接照射;
- ② 在安装该型探测器的区域及附近,不得进行电焊作业,也不允许安装发出大量紫外线的碘钨灯等照明设备,以防引起误动作;

③ 如发现紫外光敏管频繁误报,可能是管子特性发生改变而造成自激所致,应及时更换。

(6) 可燃气体探测器 在存在可燃气体泄漏而又有可能导致燃烧和爆炸的场所,应设置可燃气体探测器。可燃气体探测器是一个气-电变换器,它的作用是把可燃性气体在空气中含量的大小(即浓度)变成直流 mV 电信号,进而使报警器工作。目前我国生产的可燃气体探测器有两种。

① 催化型探测器,其基本原理如图 11.4.26 所示。其中, r_1 为检测元件; r_2 为补偿元件; R_1 、 R_2 为平衡电阻; R_0 为调整电阻。 r_1 又叫催化元件,由铂金丝绕制,上面涂以 Al_2O_3 载体,再涂以催化剂钯制成。其形状如黑色米粒,故又叫黑元件。

补偿元件 r_2 与 r_1 的区别是未涂催化剂,呈白色米粒状,又叫白元件。它是用来补偿供电电流、风速、周围温度变化等因素对电桥的影响,以保持仪器检测的精确度。

固定电阻 R_1 、 R_2 为电桥的平衡桥臂,当电桥相对两臂电阻之积相等,即 $r_1 R_1 = r_2 R_2$ 时,电桥处于平衡状态,“5”、“6”两端无信号输出。通常选用 $r_1 = r_2$, $R_1 = R_2$ 。当电桥平衡被破坏时,相对桥臂阻值之积不等,“5”、“6”两端就有信号电压输出,故 R_1 、 R_2 称为平衡电阻。

R_0 为调整电阻,其作用是:当电桥正常供电后,周围空气中可燃气体浓度为 0 时,调整 R_0 ,使电桥处于平衡状态,即初始工作状态。

电桥平衡的破坏是由检测元件 r_1 来实现的。 r_1 、 r_2 都装在探测器的气室里,两者相隔一定距离。其中 r_1 与周围空气接触。当电桥加上电源后, r_1 、 r_2 都有电流流过,其本身发热,阻值增加。但因两者变化相同,电桥仍处于平衡状态,这是一种准备待命的状态。一旦空气中有可燃气体泄漏,与空气中的氧混合后,即进入探测器的气室,在检测元件 r_1 表面进行无焰燃烧,生成 CO_2 和水,并放出热量,这就是热催化效应。该反应过程中放出的热量使 r_1 温度上升,具有正温度系数的铂丝电阻 r_1 阻值随之升高。而补偿元件 r_2 在制造时未涂催化剂,不参加热催化反应,其温度和阻值固定在一定的数值上,于是 $r_1 R_1 \neq r_2 R_2$,电桥平衡被打破,“5”、“6”两端就有信号电压输出。

周围空气中可燃气体浓度越高,热催化反应越剧烈, r_1 的阻值升高越多,输出的信号电压就越大。在标定好的探测范围内,输出信号电压的大小与可燃气体的浓度成正比例关系。

这就是热催化反应元件探测器的工作原理。

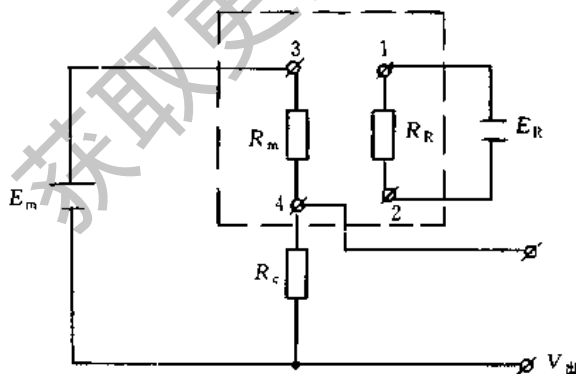


图 11.4.26 催化型探测器

② 气敏元件探测器 它是化学物质为监测对象的化学传感器,其核心元件是气敏电阻。制造气敏电阻的主要材料是金属氧化物,制造时通过化学成分比计的偏移和杂质缺陷制成 P 型或 N 型半导体。

气敏电阻工作时,吸附周围被测气体,使其内部多数载流子的浓度发生变化,从而导致气敏电阻阻值的变化,进而感知被测气体的存在。其简化后的电路如图 11.4.27 所示。

图 11.4.27 中虚线框内的气敏电阻 R_m 和加热电阻 R_R 加起来就是气敏元件,气敏元件是可燃气体探测器的核心元件。由于气敏电阻工作时产生复杂的物理化学变化,需要在高于周围环境温度的条件下进行(一般为 $200 \sim 300^\circ C$),这就需要有一个电阻 R_R 通电产生热量对 R_m 加热。

图 11.4.27 气敏元件探测器

R_m —气敏电阻; R_c —输出电阻;
 R_R —加热电阻; E_R —加热电源;
 E_m —工作电源

当周围环境中无可燃气体泄漏时, R_m 阻值一定时, R_c 上的输出电压恒定。当有可燃气体泄漏时, R_m 阻值变化, 引起 R_c 上输出电压的变化, 并根据其变化值的大小来感知可燃气体在周围空气中浓度的大小。

这就是气敏元件探测器的工作原理。

(7) 复合型探测器 把具有两种或两种以上探测功能的部件组装在一只外壳中的探测器称为复合型探测器。

有的将光电感烟和感温探测结合在一起, 组成电感烟、感温复合探测器, 以便在探测早期火情的前提下, 对后期火情予以监视, 此属早期探火与非早期探火的复合。

还有一种光电、感温、电离式复合探测器。

(8) 智能型火灾探测器 智能型的特点是在上述探测器内装一个微型电脑芯片, 它能对输出探测器的信号进行鉴别和处理, 以达到可靠报警, 减少以至消除普通探测器存在的误报和漏报的缺点。

4. 火灾探测器的选定原则

(1) 根据火灾特点选择探测器 见表 11.4.12。

表 11.4.12 根据火灾特点选择探测器

火灾的特点	感烟	感温	火焰	可燃气体
火灾初期有阴燃阶段, 产生大量的烟和少量的热	✓			
火灾发展迅速, 产生大量的热、烟和火焰辐射	✓	✓	✓	
火灾发展迅速, 有强烈火焰辐射和少量的烟、热			✓	
可能产生可燃气体或可燃蒸汽泄漏的场所				✓

对于在火灾的形成和发展特点不可预料的场所, 可以先进行模拟试验, 然后再根据试验结果确定选用何种探测器。

(2) 根据房间高度选择探测器 不同的房间高度应选择与其相适应的探测器的种类, 同时也应结合探测范围的危险程度和探测器本身的灵敏因素等, 见表 11.4.13。

表 11.4.13 根据房间高度选择探测器

空间高度 h /m	感烟探测器	感温探测器			火焰探测器
		I级	II级	IV级	
$12 < h \leq 20$	×	×	×	×	✓
$8 < h \leq 12$	✓	×	×	×	✓
$6 < h \leq 8$	✓	✓	×	×	✓
$4 < h \leq 6$	✓	✓	✓	×	✓
$h \leq 4$	✓	✓	✓	✓	✓

(3) 根据房间用途和环境选择探测器 (见表 11.4.14)

表 11.4.14 根据房间用途和环境选择探测器

探测器种类	房间用途和环境条件
感烟探测器	饭店、旅店、教学楼、办公楼、卧室、电子计算机房、通讯机房 电影及电视放映室、走道、电梯机房、书库、档案、其他机房 有电气火灾危险的场所
感温探测器	厨房、锅炉房、发电机房、烘干房间、汽车库、吸烟室、开水间 可能发生无烟火灾的场所 其他不易装设感烟探测器的厅堂和公共场所
火焰探测器	火灾时有强烈的火焰辐射的场所 易发生无阴燃阶段火灾的场所 需要对火焰作出快速反应的场所

(4) 探测器不宜装设的场所 (见表 11.4.15)

(5) 一个探测区域内所需设置的探测器数量的确定 当所要探测的区域比较大时, 首先需要了解每个火灾探测器的保护范围, 然后按照公式计算:

$$N \geq \frac{S}{KA}$$

其中 N ——一个探测区域内需要设置的探测器的数量 (取整数), 个;

S ——一个探测区域的面积, m^2 ;

K ——修正系数, 对重要建筑 K 取 0.7~0.8; 对非重要建筑 K 取 0.9~1.0;

A ——探测器的保护面积, m^2 。

表 11.4.15 探测器不宜装设的场所一览表

探测器种类	不宜装设的场所
离子感烟探测器	相对湿度长期大于 95% 有大量粉尘、水雾滞留 正常情况下有烟滞留 产生严重腐蚀性气体
光电感烟探测器	可能产生黑烟 可能产生蒸汽或油雾 大量积聚粉尘 存在高频电磁干扰
感温探测器	有可能产生阴燃火灾或如发生火灾不及早报警可以造成重大损失的场所, 温度常在 0°C 以下的场所, 不宜设定温探测器 正常情况下温度变化较大的场所, 不宜装设差温探测器
火焰探测器	探测器易被污染 在火焰出现前有浓烟扩散 探测器易受阳光或其他光源直接或间接照射 在正常情况下有明火作业以及 X 射线、弧光等影响

以上所指的探测区域是指有热气流或烟雾充满的区域。对于屋内天棚, 如果有突出天棚高度小于 200mm 的梁, 可不必考虑其对探测器保护面积的影响; 如果有突出天棚的高度在 200~600mm 之间的梁, 应按有关规定确定梁的影响 (见图 11.4.28); 如果梁的突出高度超过 600mm, 每个梁间区域应至少设置一只探测器。

探测器至墙、梁边的水平距离不应小于 0.5m。

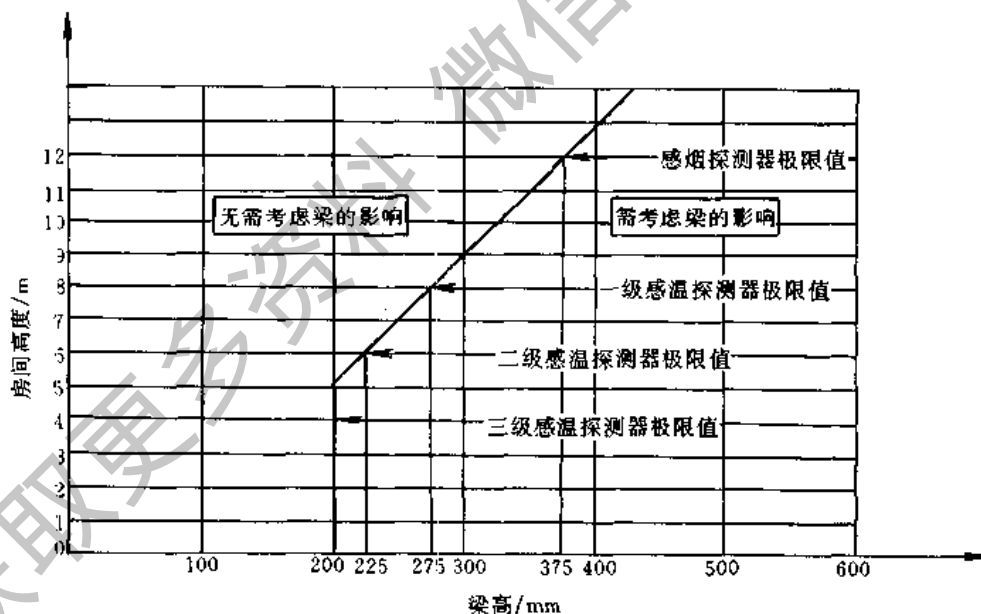


图 11.4.28 不同房间高度下梁高对探测器设置的影响

探测器至空调送风口边的水平距离不应小于 1.5m, 至多孔送风顶棚孔口的水平距离不应小于 0.5m。

在电梯井、升降机井设置探测器时, 其位置宜在井道上方的机房顶棚上。

三、自动报警控制装置

火灾报警控制装置有区域型的和集中型的。

区域装置一般是由火灾探测器、手动火灾报警按钮等组成。区域装置在某一区域范围中独立工作, 并把各种信号同时传送给集中报警控制装置, 它也可以接受集中报警控制器的监控。

区域装置内还设有控制本区域中各种消防设备的输出电接点，可与区域内的消防设施联动，以便达到自动报警、灭火等功能。有的区域报警装置不能自己独立构成系统，它通过集中报警控制装置总的数据传输及电路检测来实现区域报警及控制。

集中报警控制装置能够接收区域报警装置或火灾探测器发来的火灾信号，用声、光及数字显示火灾发生的区域和部位。有的集中报警控制器既能作为区域控制器使用，又能作为集中报警控制器使用。

集中报警控制装置是整个防火系统的“指挥中心”。它除了接收、显示各探测器的状态，控制各类消防设施外，还具有自动记录、消防专用通信及发出人员疏散报警功能。

区域、集中报警控制装置的种类较多。目前一般设置在智能建筑中的该装置，极少采用多线制或普通装置，大多采用带数据传输及电脑处理智能（或模拟）系统。

1. 区域报警装置

区域报警装置的基本工作原理框图如图 11.4.29 所示。

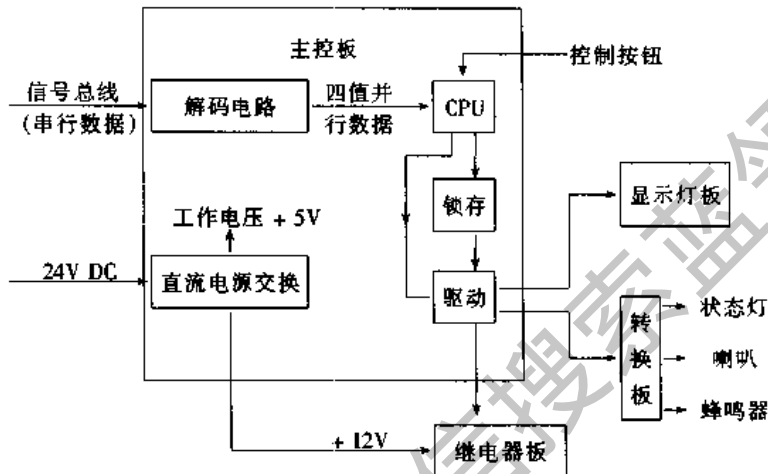


图 11.4.29 区域报警装置的基本工作原理框图

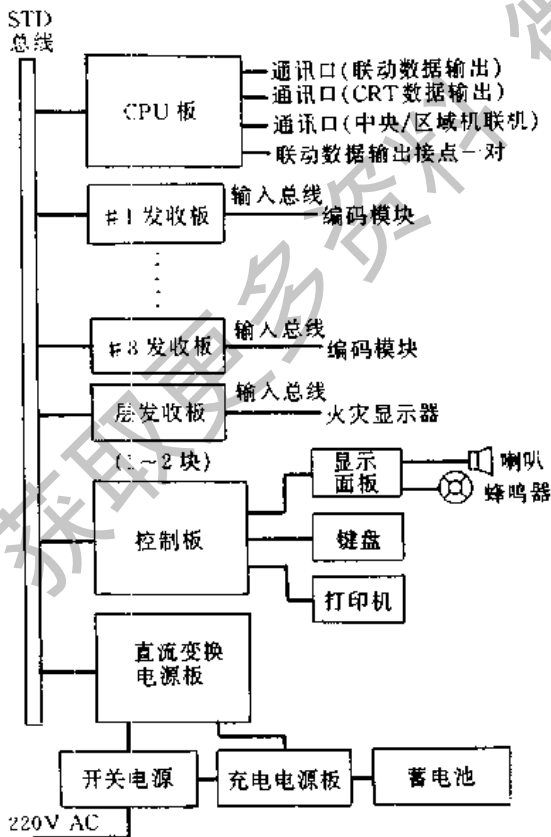


图 11.4.30 某集中报警控制装置工作原理框图

它是一微机控制的自动巡检装置，由微处理机、解码电路、直流电源、显示电路及驱动器等组成。此类区域报警装置不能自身独立构成系统，它是通过集中报警控制装置总的数据传输及电路检测来实现区域报警显示。

装置可以通过集中报警控制器的现场编程，将整个区域范围内的任意探测点的编码地址与对应火灾显示点一一对应。它通过总的集中报警探测装置顺序对每个探测器进行巡检，内容包括探测器的报警、预警、断线故障、运行情况及各模块的运行状态、数据等，这些信息数据将存在存储器中，经微机按确定的程序分析处理之后，分别实行预警、火警、故障等声光报警，同时实行火警信号最高级别程式，即所有故障信号均让位于火警信号。

2. 集中报警控制装置

与前述区域装置对应配套的集中报警控制装置，其工作原理图见图 11.4.30 所示。

该装置为二总线制通用型火灾报警控制器，由 CPU 板、控制板、显示、报警电路、电源板及其他电路构成。

装置既可作集中报警控制装置，也可作区域装置使用，它能够接收所有探测点的火警、故障电信号，

以声、光信号发出火情警报，同时显示及记录火情发生的位置和时间。装置采用地址编码技术，所有探测器部位可以在现场编程，确定地址与对应的层、房号，这使得探测器地址的确定及修改极为容易。它能对探测点的编码地址与对应的火灾显示器（区域报警器）显示号作现场编程，以求得一致。

装置可以进行打印机自检，查看内部软件时钟，对各回路探测点运行状态进行单步检查和声、光显示自检；可以对发生故障的探测点进行封闭以及被封闭探测点修复后释放的操作。这样就可以使得各回路中即使存在个别故障探测器，也不致影响整个探测回路中其他探测器的正常工作。

以上所讲报警控制器的主要功能是在火灾时进行报警。但报警只是手段，报警的目的有两个，一是叫人们尽快疏散；二是通过火灾报警控制器的输出去联动控制有关消防设施的启动和运行。实现和完成第二个目的装置就是消防联动控制器。

3. 消防联动控制器

联动控制器的基本工作原理图见图 11.4.31。联动控制器有两种类型。一种为总线制控制模块，主要用于控制各层的外控消防设备（包括疏散广播、警铃等）。还有一种是多线控制输出，主要作为中央消防设备控制的补充（如消防水泵、防排烟机等控制），以确保消防设备的绝对可靠。

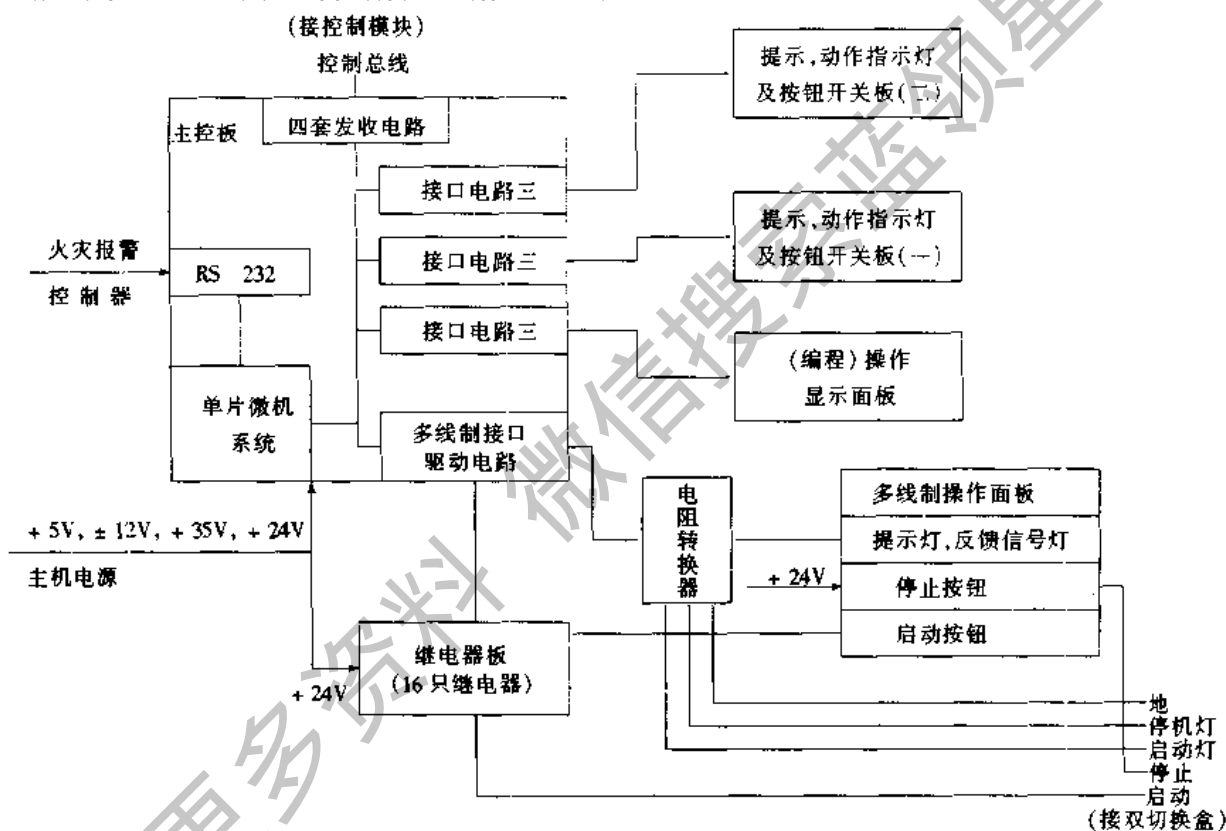


图 11.4.31 联动控制器的工作原理框图

联动控制装置可以通过通信接口接收来自集中报警控制数据，再根据已输入的控制逻辑数据，对报警点数据进行分析，然后根据编辑的程序依次对各消防设施进行控制。当确认某控制模块动作时，相对应的指示灯会亮，然后由控制模块带动断路器触点的动作来启动或关闭外控消防设备。外控消防设备的工作状态经控制模块由总线返回反馈信号给主机。

各控制模块具有现场可编程功能，同时可以设置探测点与控制点之间的逻辑控制对应关系，逻辑控制有“与”、“或”、“非”、“总报”等。

如果某个控制模块故障或其他原因，控制主机可以暂时封闭某个控制模块，而其他模块不会由此而受影响。主机还设置有“二次编程逻辑控制”，即当某控制模块有反馈信号输入时，可以启动其他控制模块。当控制回路有开路、短路或断线及模块故障时，显示板上有声、光故障信号及显示故障信息。

由集中报警装置附带联动控制器及区域报警屏（重复显示屏）可以构成一个消防控制系统，这是目前国内生产的较为先进的消防自动报警控制装置。其特点是：

- ① 报警及联动控制全部采用了二总线制；
- ② 装置采用串行码数字通信，抗干扰能力较强，系统较可靠；
- ③ 报警、联动控制器都可以实行现场编程，对各种功能要求都能通过现场编程来实现，并且可以反复写入，断电不会消失；
- ④ 联动控制器具有手动/自动功能。

四、消防联动控制系统

用导线将火灾探测器与自动报警控制器连接起来，给以电源，那么系统故障时能发出故障声光报警，火灾时能发出火灾事故报警。如果系统某部分故障和另一部分感知到了火灾这两个事件同时发生，则报警控制器具有火警优先原则。

联动就是通过电流和控制管线及控制电路把各种消防设备组织起来，像中枢神经指挥四肢运动一样，使各种消防设施在火灾时密切配合，其详细内容如图 11.4.32 所示。

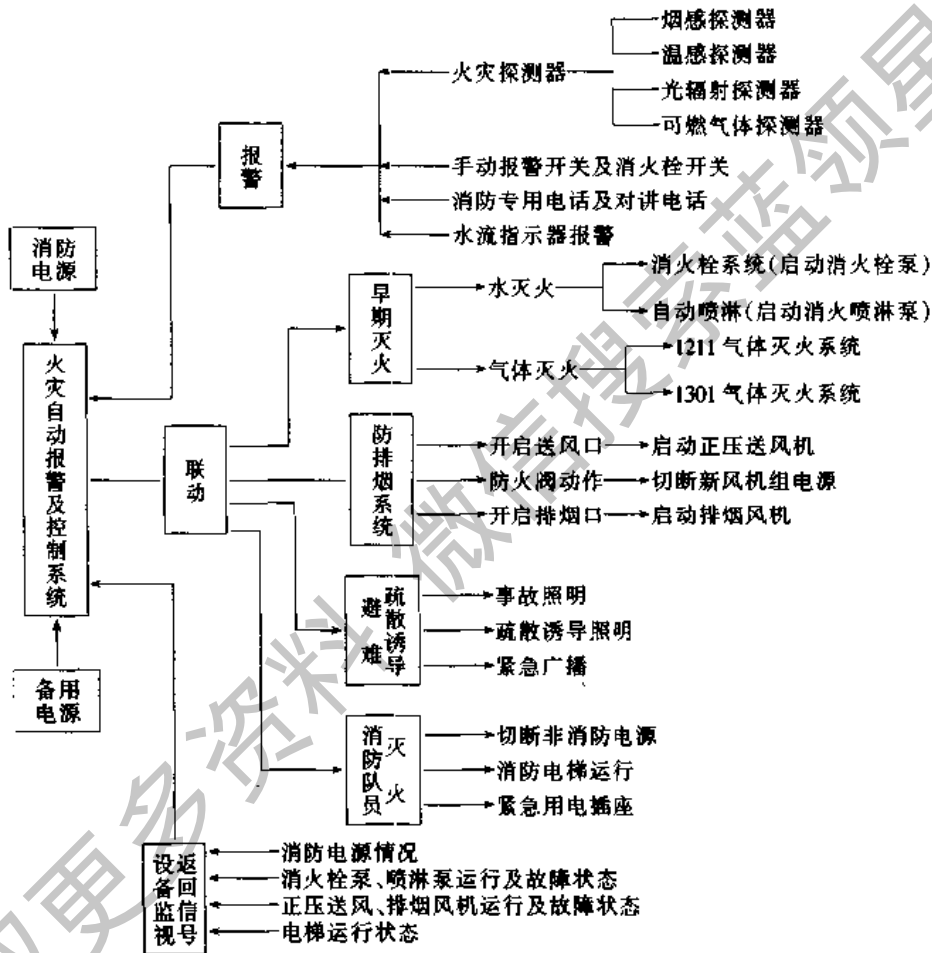


图 11.4.32 消防联动控制关系图

1. 自动喷水灭火系统

用水灭火是最简单、经济而又有效的灭火方法。现代建筑物内用水灭火是完全自动进行的，因此叫自动喷水灭火系统。常用的自动喷水灭火系统有湿式和干式两种。

湿式自动喷水系统一般由电源、喷淋水泵、输水管线、自动喷淋头、压力开关和水流指示器等设备组成，如图 11.4.33。

自动喷淋头是关键部件，一般有低熔点金属控制的喷淋头和易爆炸玻璃瓶式喷淋头。目前国际国内常用的是爆炸瓶式喷头，它是在一个封闭球形玻璃瓶内装满了易于膨胀的液体，如酒精、乙醚等，该喷淋头被固定安装在喷淋管路的末端，将管路封闭。管路内正常情况下均充满了压力水，呈待备受命的状态。一旦发生火灾，环境温度升高，喷头玻璃泡内的液体急剧膨胀使玻璃泡爆炸，打开管路，管内压力水自动喷出进行灭火。

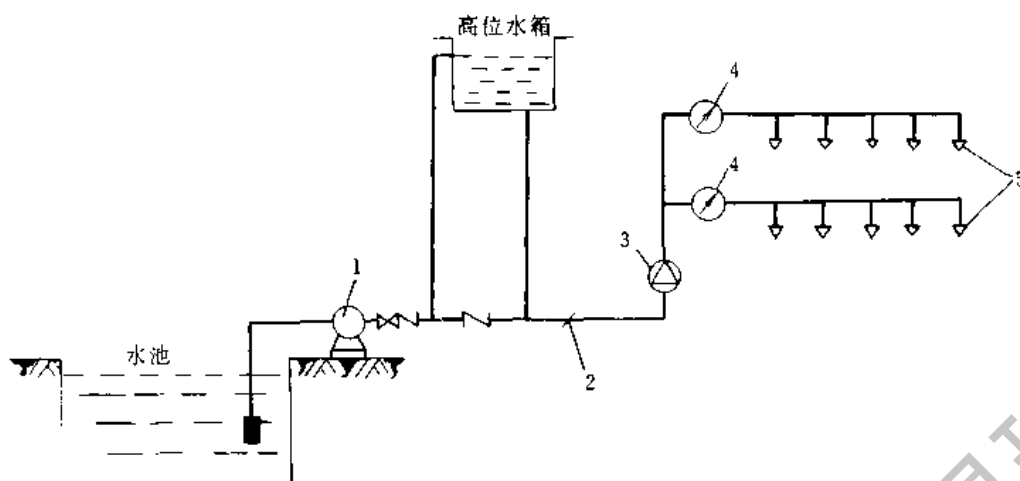


图 11.4.33 湿式自动喷水系统

1—自动喷淋泵；2—供水输水管；3—压力开关（垂直干管上）；4—水流指示器（每层1只）；5—自动喷淋头

当喷头动作洒水时，管内水由静止度流动，管内压力发生变化，于是装在干管上的压力开关（内有一组无源接点）和装在水平支管上的水流指示器动作，送出信号，进行报警（接入火灾报警回路），同时连锁起动喷淋水泵，以保证不断向管网供水，进行连续不断的喷水灭火。

水流指示器是靠水流推动浆片移位带动接点动作从而发出信号的装置，通常装在水平支管上，以指示出一个区域或一个楼层发生火灾的位置。对自动喷淋泵的起动要求为：

- ① 控制箱上设就地起停按钮；
- ② 消防中心设遥控手动起泵按钮；
- ③ 通过水流指示器和压力开关的连锁作用，自动起动喷淋泵。

无论哪些方式起动喷淋泵，其泵的工作及故障状态信号均应返回送到消防中心。

自动喷淋泵应由两路电源供电并在配电控制箱处自动切换。

2. 排烟风机与正压送风机的控制

由于火灾时产生的烟雾主要是 CO，它是火灾时导致人员窒息死亡的主要因素；再者火灾时烟气阻挡视线，使人员紧急疏散时难以辨别方向。因此，迅速排出烟气，并防止烟气窜入疏散楼梯等非火区域。这就是排烟风机和正压送风机的功能。

排烟系统一般由排烟风机、排烟阀门及防火阀组成。排烟阀门一般设在排烟口处，平时处于关闭状态。当火警发生后，由感烟信号联动，报警控制器发信号或手动使之打开，同时立即联动启动排烟风机，进行排烟。

在排烟风机前面烟气入口处，设有防火阀。当排烟风机启动时，此阀同时打开。当排烟温度高达 280℃ 时，装在防火阀口的温度熔断器动作，将此阀自动关闭，同时连锁停止排烟风机。

采用总线制联动控制排烟风阀和风机的方框图如图 11.4.34 所示。

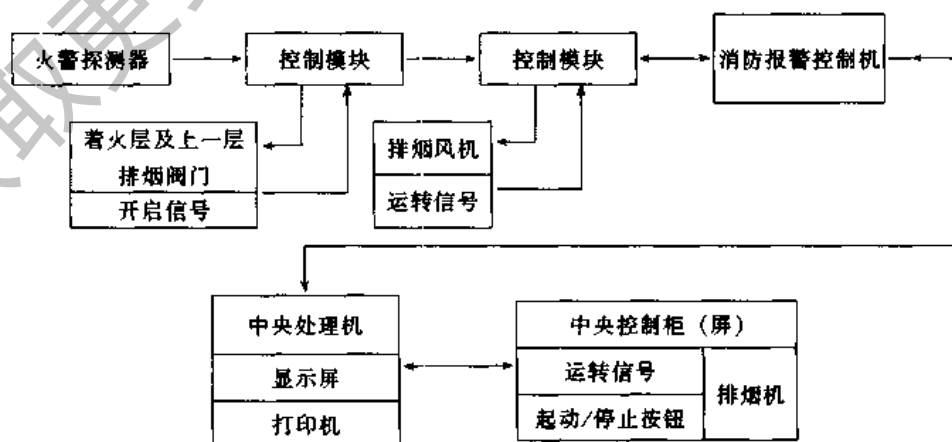


图 11.4.34 排烟系统控制方框图

正压送风系统的设置目的是,火灾时,通过正压送风机,将加压到一定压力的空气送入消防电梯前室和疏散楼梯间,以它来阻止火灾烟气的侵入,以保证消防人员乘消防电梯进入失火前室进行灭火,同时保证人员经过无烟的疏散楼梯顺利进行安全疏散。

正压送风系统是由正压送风阀和正压送风机组成,其总线制联动控制方框图如图 11.4.35 所示。

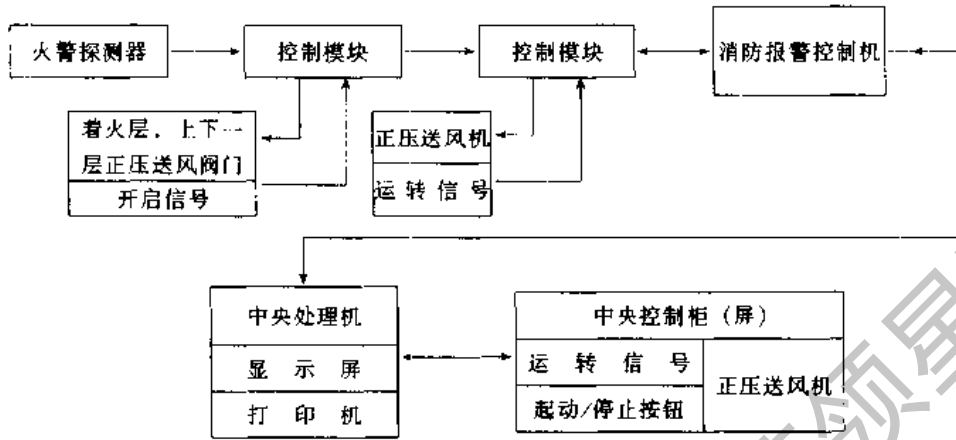


图 11.4.35 正压送风系统控制方框图

3. 火灾事故广播

火灾发生后,为便于组织人员安全疏散和通告有关灭火事项,因此需设置火灾事故紧急广播。

紧急广播系统通常有两种方式:一是单独设置的专用火灾事故广播系统,正常时不播音;火灾时通过控制模块将相关楼层的火灾广播扬声器接入广播总线,由消防中心人员直接用话筒播音或录放磁带。另一种是将事故广播与建筑物内音响广播系统合并,平时按照正常程序广播节目或音乐等,火灾时能对正常广播进行强制切换至事故广播系统中,且能在消防中心用话筒或磁带播音。此时整个系统工作状态的音量将变大,使设在各扬声器附近的音量控制器不再起作用,以保证事故广播的特有效果。

4. 安全疏散诱导系统

为了火灾时保证人员安全疏散和重要房间继续工作及组织扑救,消防设计中还设置有事故照明和疏散诱导指示灯,即应急照明系统。

应急照明的电源除了正常电源供电外,还有备用电源(包括柴油发电机供电)。火灾时,通过火灾报警控制器及联动控制器的作用,将建筑物内的一般性照明电源切断,而将应急照明电源接通(有的应急灯自带电池组,此时灯内电池组放电),维持灯具点亮状态,维持时间一般要求在 30~120min 之间。

5. 消防专用电话

火灾发生后,为通报有关火灾情况及组织灭火,应设置消防专用电话,该系统与普通电话系统分开设置,自成独立系统。

消防专用电话总机装置在消防中心的集中控制屏台上面,其分机设置在变电所、配电室、消防水泵房等重要机房处和经常有人值班的主要场所。同时在消防中心设有直拨外线 119 火警电话。

6. 火灾时电梯的管理控制

对电梯的正常管理一般有两种方式:一是在消防中心(或消防控制室)内设电梯控制显示盘,紧急时,值班人员可根据需要直接控制电梯。另一种方式是在消防中心或电梯轿箱内设置专用控制开关。火灾时,通过专用控制开关将电梯强制降于首层,此时所有厅、站和楼层的电梯升降按钮将不起作用,唯一控制权在消防中心及专用开关上,确保此时集控无效。

当所有电梯迫降于首层后,让乘客首先离去,然后客梯、货梯等停运,消防电梯只供消防人员使用。消防电梯的运行速度应保证从底层到顶层时不超过 1min。切除所有停止运行的非消防电梯电源。

7. 空调设备、新风机组等非消防设备电源的自动切除

火灾时,为了防止事故的漫延扩大和确保所有消防设备的可靠供电,通过控制模块将相关楼层的空调设备及新风机组等非消防电源自动切除。

第五节 住宅对讲防盗门系统

公寓及住宅楼的楼门电话又叫楼宇呼叫对讲电话、客访电话或保安电话等。其作用是解决公寓或住宅楼上住户主人与楼下来访客人的通话问题，或有急事截住刚下楼的家人，有的主机还能直接控制楼宇保安防盗门的开启，以利安全。因此有人美誉楼门电话为“家庭的卫士、盗贼的克星”。

此类设备应用较多的是对讲机——电锁门保安系统。其一般的工作原理及动作过程如下。

在住宅楼宇的入口常设有电锁门，上面设有电磁门锁，平时门总是关闭的。在入口的门边外墙上嵌有大门对讲总按钮盘。来访客人依照探访对象的层次和单元号按动盘上相应按钮，此时，被访户主家中的对讲机铃响。主人通过对讲机与门外访客对话，大门外的总按钮箱内也装着一部对讲机。当主人问明来意、同意探访时，即可按动附设在话筒上的按钮（此按钮隐蔽在话筒下面，只有拿起话筒，才能操作按钮），此时入口电锁门的电磁铁通电将门打开，来客即可推门进入。反之，如果对来访的人素不相识或有疑虑，可以不按电锁按钮，拒之门外，这就达到了保安的作用。

对讲机和大门对讲总按钮盘形式多样，接线方式也不相同。具体选用时，应根据大楼的层数、使用功能、住户多少以及投资能力等情况选用，达到经济、实用、安全、可靠的目的。下面介绍几种系统供参考。

1. 电子呼叫对讲系统

该系统采用 8 位微型计算机组成主机，结构简单，使用方便，可靠性强，通话声音清楚。该系统主机服务容量为 2000 户，可适用于 64 层每层 32 户或者 32 层每层 64 户及以下的情况。

该系统所用设备情况如表 11.4.16 所示。

表 11.4.16 电子呼叫对讲系统设备一览表

名 称	规 格	代 号	外形尺寸/mm
主机	悬挂式	HH1001	360×260×100
	台式	HH1002	360×160×200
层分配器	内装一个层分配器（16 户）	HH1101	360×300×140
	内装二个层分配器（2×16 户）	HH1102	560×300×140
用户应答器	悬挂式	HH1201	116×164×65
	手持式	HH1202	100×220×65
分线端子箱	分线箱	HH1301	240×160×70

2. 少线制呼叫系统

该系统由单片微机作主机，五线制总线信号传输结构。当主机通过按键发出用户编码时，用户振铃响，用户可以用免提方式摘下受话器的方式实现主机与用户分机的双工对讲。本系统适用于公寓住宅小区、高层居民住宅楼等。还可根据用户需要扩展功能，如遥控楼道防盗门的启闭等。

该系统设备情况如表 11.4.17。

表 11.4.17 少线制呼叫系统设备一览表

名 称	型 号	外形尺寸/mm	安装方式
主机	NT-9210A	390×300×130	嵌 入
层解码器	NT-9210Z	200×230×130	嵌 入
用户解码器	NT-9210H	鸿雁开关盒 146H50	嵌 入

技术指标：

- ① 系统容量（最大用户数）为 4096 户；
- ② 最大传输距离 3km；
- ③ 主机电源：~220V，75W；
- ④ 用户机及层解码器不需另提供电源。

3. 少线制编译码保密型楼宇呼叫系统

该系统只用 4 根导线传输所有信息，主机有 I、II 两种机型，I 型适用于 28 户以下的低层住宅楼，II 型

适用于多住户的高层住宅楼。考虑到高层住户下楼不便，特设计了住户分机对主机的反向呼叫，以方便有急事需及时截住刚下楼的家人。同时分机能直接控制楼宇保安防盗单元门的开启。该系统还配备了停电时应急电源系统设备。

型号：NH-LH-I 型（ ≤ 28 户，可扩容）明、暗装均可；

NH-LH-II 型（ ≤ 156 户，可扩容）明、暗装均可。

主要技术指标：

① 电源： $\sim 220\text{V}$ ，工作电压 12V DC ；

② 最大系统功耗： $\leq 10\text{W}$ ；

③ 干线传输，编译码式选择；

④ 有窃听功能， $800\text{Hz}/\text{min}$ 声频呼叫，分机 LED 灯闪烁提示；

⑤ 分机直接控制防盗门锁的开启；

⑥ 主机夜间有照明指标，根据用户需要可配置应急电源切换系统；

⑦ I 型主机一个按钮代表一个分机，箱体尺寸： $440\text{mm} \times 170\text{mm} \times 90\text{mm}$ ；II 型主机为按钮方阵来选呼分机，箱体尺寸同上。

4. 高层公寓传呼电子监视系统

公寓的大门，平时是锁着的，来访者不能随便进入。客访时，需先按下大厅传呼机上的房间号码，向主人发出呼叫信号，主人听到铃声后，先打开电视机，从荧光屏上观察来访者，如同意接见，可使用传呼机回话，同时按下遥控按钮。把大门打开，客人便可进入，否则可不理睬或进行报警。门厅摄像头的信号，经调制器调制后混合接入共用天线电视系统，家用电视机兼作监视荧光屏。电视机必须留出一个频道供电视监控系统使用。传呼机的对讲系统线路是共用的，用脉冲编码方式取得选择性。用户之间不发生干扰。

第六节 闭路电视监控系统

电视分为广播电视和应用电视两大类。广播电视的主要功能是作为大众传媒，向城乡居民提供新闻报道、文化娱乐、体育、教育等电视节目；应用电视主要用于工业、交通、商业、金融、医疗卫生、军事及安全保卫等领域，是现代化企业、办公管理、监测和控制的重要手段之一。闭路电视监控系统属于应用电视，简称 CCTV（即 Closed Circuit Television）。

闭路监控电视系统主要由摄像、传输、显示及控制四部分组成。当需要记录、监视目标的图像时，应设置磁带录像装置。在监视目标的同时，需要监听声音时，应配置声音传输、监听和记录系统。

在 CCTV 系统中，摄像机是核心部件，系统的规模大小往往用摄像机的台数来衡量。一般认为，具有 1~10 台摄像机的系统为小规模系统；具有 10~100 台摄像机的系统为中规模系统；具有 100 台摄像机以上的系统为大规模系统。

一、系统的组成形式

1. 单头单尾型

系统由一台摄像机和一台监视器及传输电缆组成，如图 11.4.36 所示。该系统适用于在一处连续监视一个固定目标的情况，是最简单的 CCTV 系统。

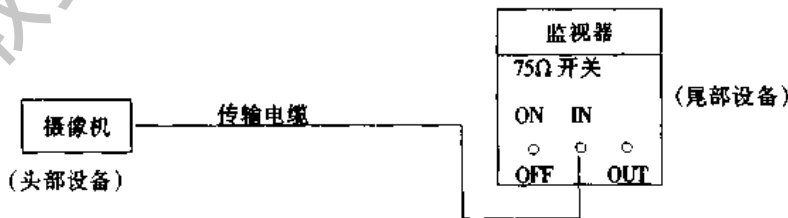


图 11.4.36 单头单尾型 CCTV 系统

2. 多头单尾型

系统由多台摄像机、视频切换控制器和一台监视器及相应的传输电缆组成，如图 11.4.37 所示。本系统适用于在一处监视多个分散目标的场合。

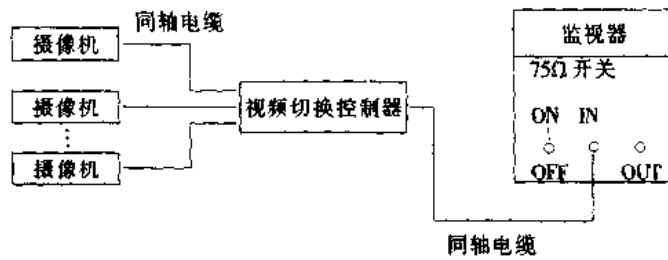


图 11.4.37 多头单尾型 CCTV 系统

3. 单头多尾型

由一台摄像机、多台监视器、视频分配器及传输电缆组成，适用于在多处监视一个固定目标的情况。这种系统根据监视器的连接方式又分为串接与并接两种方式，如图 11.4.38 和图 11.4.39 所示。

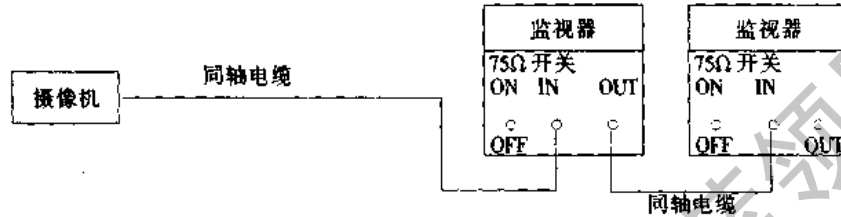


图 11.4.38 单头多尾型串接方式 CCTV 系统

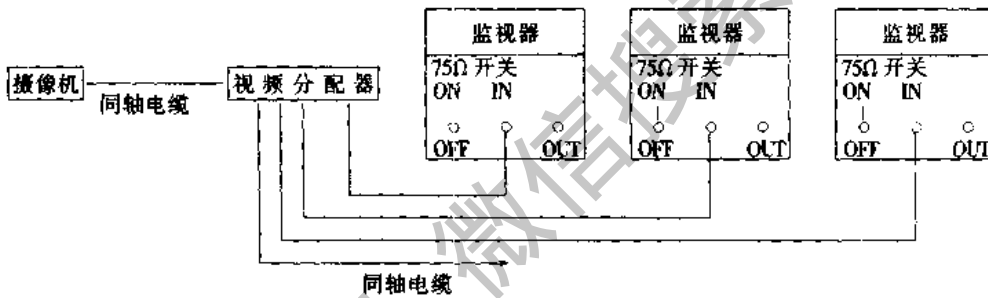


图 11.4.39 单头多尾型并接方式 CCTV 系统

4. 多头多尾型

系统由多台摄像机、视频切换控制器、视频分配器和多台监视器以及传输电缆等组成，适用于在多处监视多个目标的情况，如图 11.4.40 所示。

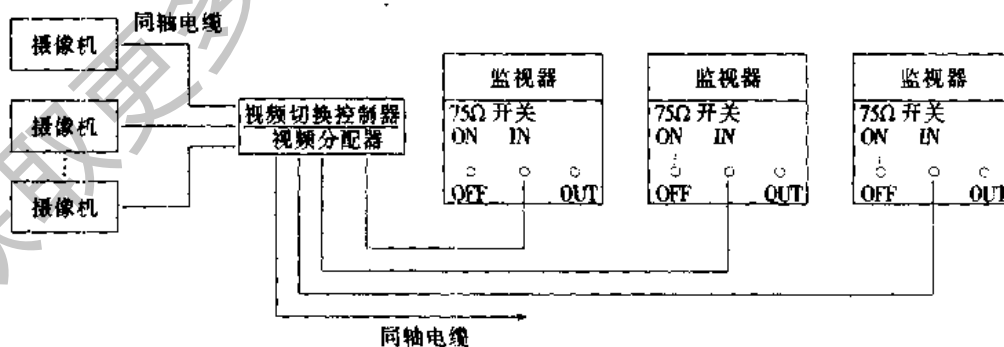


图 11.4.40 多头多尾型 CCTV 系统

二、摄像机和显示设备的选择

1. 摄像机的选择

摄像机的选择应考虑如下几个条件。

- (1) 对工作环境的适应性 主要根据不同的环境特点，要求其具有适应能力，如耐高温（最高可达 60℃）。

耐低温（最低可达 -30°C ），耐潮湿（可在90%相对湿度环境中工作），防尘，防雨，防溅，防腐，防爆等。一般都是通过加装防护套或防爆外壳的办法来达到这些要求。

防护套可根据需要设置调温控制系统和遥控雨刷等。当摄像机在露天工作时，防护套应避免日光直射，刮去玻璃窗上的水珠，防止结露，低温环境下还可对摄像机进行加温等。

(2) 按监视目标的环境照度条件来选择摄像机 不同型号的摄像机对环境照度的灵敏度不同，有的要求环境照度在 10^6lx 以上才能可靠工作，有的要求环境照度在 $10 \sim 10^5\text{lx}$ 范围内能可靠工作，有的要求在 $10 \sim 10^{-1}\text{lx}$ 照度即可，还有超低照度摄像机在 10^{-2}lx 以下的环境中即能出色地工作。

当然，对环境照度要求越低，摄像机本身的性能应越高，其价钱也就越贵，因此，选择摄像机时，要以技术经济合理为前提，根据某一具体摄像机所处环境最不利的照度条件，结合表11.4.18来确定最低照度。表11.4.18给出了一般环境的典型照度范围。一般来说，要求监视目标的环境最低照度应高于摄像机要求最低照度的10倍。当环境自然照度达不到此要求时应选用夜视红外照射器与摄像机配合使用。

表 11.4.18 环境的典型照度范围

照度/lx	$3 \times 10^4 \sim 10^5$	$3 \times 10^3 \sim 10^4$	5×10^2	5	$30 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-1}$	$7 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-4}$
环境条件	晴天	阴天	日出/日落	曙光	月圆	星光	阴暗夜晚

对于处在室外的监视目标，其环境照度从黑夜 10lx 以下到晴天中午的 $3 \times 10^4 \sim 10 \times 10^5\text{lx}$ ，变化幅度相当大，因此应采用光圈自动可调镜头的摄像机。

(3) 摄像机色制的确定 一般根据被测目标的不同情况来分别对待。若被监视的目标本身没有明显的色彩标志和差异，接近黑白反差对比的图像，同时又希望能比较清晰地反映出其被测目标的细节情况者，宜采用黑白摄像机。但若进行宏观监视，被观察目标场景色彩比较丰富，此时选用彩色摄像机获得的图像层次对比比较生动且富于立体感，目标主观清晰程度反而比黑白图像高。

一般来讲，闭路监控电视的目的主要是了解监视目标形体的变化、运动量大小等亮度强弱的明暗信息，黑白电视有其突出的优越性，即清晰度高，对外界光线适应范围大，可靠性高，售价低，维修容易，对外界温度和湿度要求低，因此从经济和实际效果考虑，目前国内外在CCTV系统中一般多采用黑白摄像机和黑白监视器。

(4) 根据监视目标是否固定来选择摄像机

① 当监视目标固定不动时，应选用固定焦距、标准镜头的摄像机。焦距可用下面公式来估算：

$$F = \frac{UL}{W_0} \text{ 或 } F = \frac{VL}{H_0}$$

式中 F ——所需要的镜头焦距长度，m；
 W_0 ——被监视目标的宽度，m；
 H_0 ——被监视目标的高度，m；
 L ——被监视目标与摄像机之间的距离，m；
 U ——镜头成像面上图像的宽度，mm；
 V ——镜头成像面上图像的高度，mm。

摄像机镜头规格与图像尺寸的关系见表11.4.19，成像尺寸的“宽高比”一般为4:3。

表 11.4.19 摄像机镜头规格与图像尺寸关系

摄像机镜头	$\frac{1}{2}''$	$\frac{3}{4}''$	1''
图像的成像尺寸 $U \times V/\text{mm}$	6.2 × 4.65	8.8 × 6.6	12.7 × 9.5

当已知被监视目标的宽度 W_0 和高度 H_0 ，选定了镜头的焦距 F ，就可以确定摄像机到监视目标的距离，也就是确定摄像机的安装位置；反之，如果已经确定了摄像机的安装位置，就可依此来选定摄像机的焦距。这样得到的图像在监视器上能最大限度地利用其荧光屏的面积。由于被监视目标的 W_0 和 H_0 之比不一定符合4:3的关系，所以要根据上述二式算出的 F 取其小值为准。

为简化计算步骤，对 $\frac{3}{4}''$ 镜头的摄像机，也可利用图11.4.41查出焦距 F 。

在镜头的选择方面，当视距小而视角大时（如电梯轿箱内的摄像机，其视距约2m，视角为 90° 左右）可选

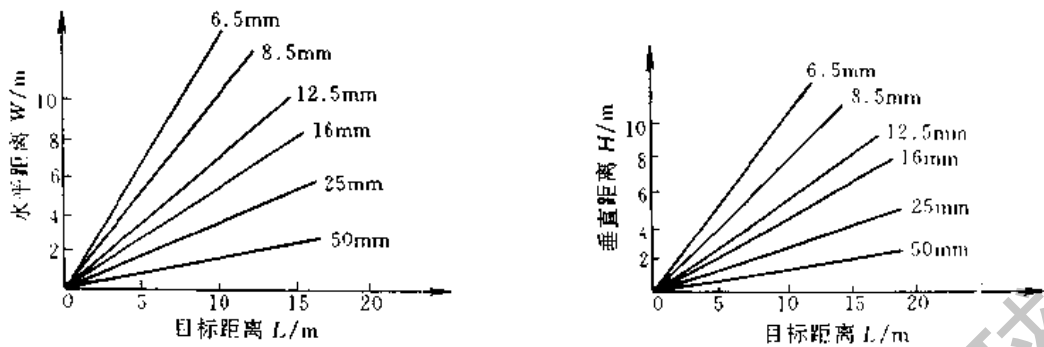


图 11.4.41 查焦距

用广角镜头；当视距较大（如广场、车站、码头等）时可选用望远镜头。

② 当一台摄像机需要监视多个不同方向时，应配置遥控电动云台和自动调焦镜头。通过云台上下、左右转动，可使监视范围增大。

电动云台的使用可使摄像机配备台数适当减少。但是应考虑到云台造价很高，而且还需为此增加一些附属设备，所以如果多设一、二台固定式摄像机能够监视整个场所时，尽量不设带云台的摄像机。

摄像机选择时，还应考虑选用体积小，重量轻、便于现场安装与检修的电荷耦合器件（CCD）型摄像机。

对于需要隐蔽的摄像机，可选用带针孔镜头或棱镜镜头的摄像机，可安装在吊顶内或墙壁内。

2. 显示设备的选择

显示设备的功能是将被监视的目标图像在监视器上显示出来，其显示的图像一要清晰，二要包括所需要的全部信息，以供相关人员观察、分析和处理。

监视器应根据摄像机来选择，彩色摄像机配备彩色监视器，黑白摄像机配备黑白监视器。对于清晰度无特殊要求的系统可以选用收/监两用机。对于清晰度要求较高的系统，应该选用专用监视器。为了充分显示摄像机的清晰度，监视器的清晰度至少应与摄像机等同，最好能高出一档。

监视器的屏幕一般选用 23~51cm 的即可。对有特殊要求的系统，可选用大屏幕监视器或投影电视。

三、控制和报警设备的配置

1. 控制设备

主要包括控制器、信号选切器和视频分配器等。其中，控制器的功能是对摄像机进行遥控操作，一般需要 12 个控制动作。即光圈大小的控制、聚焦远近的控制、焦距长短的控制、云台上下左右转动控制以及摄像机电源通断的控制等。

信号选切器又叫视频开关，它和控制器组合在一起成为 CCTV 系统的枢纽中心，其作用是从 n 路输入视频信号中选通其中的某一路输出到监视器去。根据目前产品情况， n 可取 3, 4, 5, 8, 10, 16 等值。当 n 超过 16 时可以采用二级切换或采用微机控制切换的办法。

信号选切器是在多台摄像机与单台监视器所组成的系统中使用的必不可少的器件。

视频分配器则是将一路输入信号变换成多路输出信号，每一个视频输出端的输出阻抗都和 75 Ω 同轴电缆特性阻抗相匹配，而输出端之间以及输出端和输入端之间具有相当好的隔离度。与信号选切器的作用相反，视频分配器应用在由单台摄像机与多台监视器所组成的 CCTV 系统中。

2. 报警设备

对于金库、文物展厅以及其他机要部门的 CCTV 系统，除了上述设备之外，还必须装设报警设备。例如对于银行金库，一般在门口装 CK 双鉴报警器、夜视红外照射器，在四周墙壁上装设振动报警器，在里面屋顶装火灾探测器，在值班室或营业厅柜台下装紧急脚踩报警开关。一旦发现异常情况，通过上述有关设备将报警信号送到控制台的微处理机，经过微机处理，将信号送给控制台的信号显示板，使对应区域的信号指示灯闪光，同时控制电路启动该区域的摄像机和控制室的录像机、监视器，自动录像、显示、存储、取证。

四、信号传输

在 CCTV 系统中，传输信号有两种，即视频信号和控制信号。视频信号来源于摄像机，多路信号要求同时传输到监控中心，使多台监视器同时显示（这里系指多头多尾的大型监控系统）。控制信号则由控制台发出，

传输到前端设备，以控制云台的动作和摄像机的正常工作。

对于视频信号的传输，按传输距离的长短不同分别采取不同的传输线路。比如，当传输距离不超过 200m 时，可选用多芯闭路电视电缆（如 SSYV-20 型）传输全电视信号；当传输距离超过 200m 时，宜选用同轴电缆传输视频信号，同轴电缆可选用 SBYFV-75-9 泡沫绝缘型的；当传输距离较长时，应在线路中加设视频电缆补偿器，如图 11.4.42 所示，以补偿信号的衰减。



图 11.4.42 加设电缆补偿器

电缆补偿器有电缆均衡器和电缆均衡放大器，当传输的黑白电视基带信号在 5MHz 点的不平坦度大于 3dB 时，宜加电缆均衡器；当大于 6dB 时，应加电缆均衡放大器。当传输的彩色电视基带信号在 5.5MHz 点的不平坦度大于 3dB 时，宜加电缆均衡器；当大于 6dB 时，应加电缆均衡放大器。

电缆补偿器必须按线路的实际长度来调整，避免出现补偿不足或过补偿（高频端电平抬得过高），从而达到改善图像质量的效果。

当在长距离传输情况下（特殊是传输距离大于 1km 时）或需避免强电磁场干扰时，宜采用传输光调制信号的光缆传输方式。

系统控制信号有两种传输方式，一是采用多芯控制电缆（KVV 型或 KVVP 型）直接传输；二是将遥控信号进行数字编码后用电缆或光缆传输。

五、设备安装与线路敷设

1. 安装

摄像机宜安装在监视目标附近不易受外界损伤的地方，安装位置不应影响现场设备运行和人员正常活动。安装的高度，室内宜距地面 2.5~5m；室外应距地面 3.5~10m，并不得低于 3.5m。

电梯轿箱内的摄像机应安装在轿箱顶部、电梯操作器的对角处，并应能监视电梯轿箱内全景。

摄像机镜头应避免强光直射，保证摄像管靶面不受损伤。镜头视场内，不得有遮挡监视目标的物体。

摄像机镜头应从光源方向对准监视目标，并应避免逆光安装；当必须逆光安装时，应降低监视区域的对比度。

2. 传输线路敷设

① 传输线路路径应短捷、安全可靠，施工维护方便。

② 应避免恶劣环境条件或易使管线损伤的地段。

③ 同轴电缆在室外应采用穿管暗敷或线槽敷设方式。当线路附近有强电磁场干扰时，电缆应在金属管内敷设并埋入地下。

④ 当同轴电缆与电力线平行或交叉敷设时，为防止对视频信号的干扰，应保持一定的间距，不得小于 0.3m；当与通讯线平行或交叉敷设时，其间距不得小于 0.1m。

⑤ 电源线宜与信号线、控制线分开敷设。

⑥ 线路敷设应符合国家有关现行规程、规范的规定。

六、监控室的布置要求

1. 监控室布置要求

根据 CCTV 系统的大小，宜在建筑物内设监控点或监控室。

监控室应设置在环境噪声较小的场所，一般情况下多与保安室或消防中心合设。当单独设置时，其使用面积根据系统大小和设备复杂程度确定，一般宜为 12~50m²。

监控室的地面应光滑、平整、不起尘。地面最好为活动架空木地板。监控室内电缆、控制线宜在地板下沿线槽敷设。

监控室内温度宜为 16~30℃，相对湿度宜为 30%~75%。

控制台正面与墙的净距不应小于 1.2m；侧面与墙或其他设备的净距离在主走道不应小于 1.5m，在次走道不应小于 0.8m。

机架背面和侧面与墙净距离不应小于 0.8m。

监控室应具备下列基本功能：

- ① 提供系统设备所需的电源；
- ② 对摄像机送来的图像信号进行监视和记录；
- ③ 向摄像机的云台等输送各种遥控信号；
- ④ 接收各种报警信号；
- ⑤ 同时输入、输出多路视频信号，并对其进行切换；
- ⑥ 对时间、编码等字符进行显示；
- ⑦ 监控室内、外的通信联络。

2. CCTV 系统的供电

系统供电电源的采用 $\sim 220\text{V}$ 、 50Hz 的单相交流电源，应设专门的配电箱。当电压波动超过 $+5\% \sim -10\%$ 范围时，应设稳压电源装置。稳压电源的标称功率不得小于系统使用功率的 1.5 倍。

摄像机（包括云台）的供电方式有两种：

- ① 由监控室直接引专线经隔离变压器统一供电；
- ② 距监控室较远的摄像机可就近通过插座供电，但插座回路应设置电源开关、熔断器和稳压等保护装置。

3. CCTV 系统的接地

系统应采用一点接地方式，以防不同接地点之间存在的电位差对系统产生干扰。接地母线应采用铜质线，接地线不得形成封闭回路，不得与强电的电网零线短接或混接。

系统采用专用接地装置时，其接地电阻不得大于 4Ω ；采用联合接地时，其接地电阻不得大于 1Ω 。

光缆传输系统中，各监控点的光端机外壳应接地，且宜与分监控点统一连接接地。光缆加强芯、架空光缆接续护套应接地。

4. 防雷保护

对于进入监控室的架空电缆入室端和摄像机装于旷野、塔顶或高于附近建筑物的电缆端，应设防雷保护装置。防雷接地装置宜与电气设备接地装置和埋地金属管道相连；否则，二者之间距不应小于 20m。

第十二篇 电工仪表及设备

第一章 常用电工仪表和测量常识

第一节 常用电工仪表常识

一、电工仪表的特点

用来测量电工设备和电子仪器中各种电量和非电量的专用仪表，统称为电工仪表。电工仪表目前主要有电工指示仪表、数字式仪表和智能仪表三大类。

电工指示仪表（又称机电式仪表）的基本原理是把被测电量和非电量变换成仪表的偏转角，偏转角的大小反映被测量的大小。

数字式仪表的基本原理是将被测电量和非电量通过数字电路的工作变换成仪表的数值，显示数值的大小代表被测量的大小。

智能仪表的基本原理是将被测电量和非电量通过数字电路和微型计算机软硬件的工作变换成仪表的数值显示，数值的大小代表了被测量的大小。它具有许多数字式仪表无法实现的功能，如记忆、储存和自动校验功能等，这类仪表一般用于测量要求较高的场合。

目前，电工领域里常用的仪表是电工指示仪表。它的主要特点是依靠仪表指针的机械运动来实现被测量的测量。

二、电工指示仪表的分类

电工指示仪表的分类方法很多，它可以根据测量对象、使用条件、使用方式和防护性能等来分类。根据测量对象，电工指示仪表的分类如表 12.1.1 所示。

表 12.1.1 电工指示仪表的分类

电工指示仪表	电流表	安培表 毫安表 微安表	电工指示仪表	功率表
	电压表	伏特表 毫伏表 微伏表 千伏表		电度表
				欧姆表
				功率因数表
				相位表
				其他仪表

三、电工指示仪表的结构形式

电工指示仪表有多种结构形式，按照其测量机构的工作原理，可以分为以下七大类。

(1) 磁电系仪表 它的结构特点是有一个可动线圈处于固定的永久磁铁的气隙磁场中。当可动线圈中有电流流动时，它受到永久磁铁所产生的磁场作用而发生偏转，其偏转角由电动力和与其相反的可动线圈上弹簧力共同决定。显然，流过动线圈的电流越大，偏转角就越大，偏转角反映被测电流的大小。它的结构如图 12.1.1 所示。

(2) 电磁系仪表 它的结构特点是在线圈内有一个与其固定的铁片和一块固定在转轴上的动铁片，当线圈中有电流流过时，同时磁化了固定铁片和动铁片相互作用而发生偏转。当作用力与弹簧上的作用力相平衡时，偏转角就反映了被测量的大小。它的结构如图 12.1.2 所示。

(3) 电动系仪表 它的结构特点是有一个动线圈和一个定线圈。当动线圈和定线圈中有电流流过时，发生载流导体间的电磁相互作用现象，

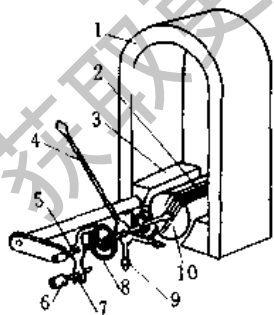


图 12.1.1 磁电系仪表的结构

- 1—永久磁铁；2—可动线圈；3—极靴；
- 4—指针；5—轴；6—调零螺丝；
- 7—调零导杆；8—游丝；9—平衡重物；10—圆柱铁芯

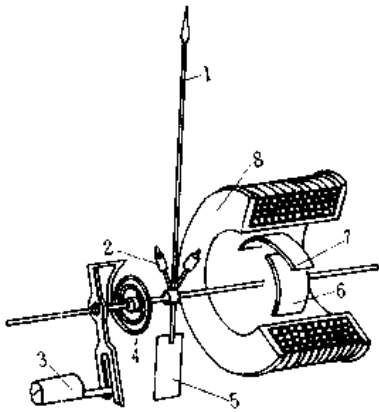


图 12.1.2 电磁系仪表的结构

1—指针；2—平衡重物；3—调零螺丝；
4—游丝；5—空气阻尼器；6—动铁片；
7—定铁片；8—固定线圈

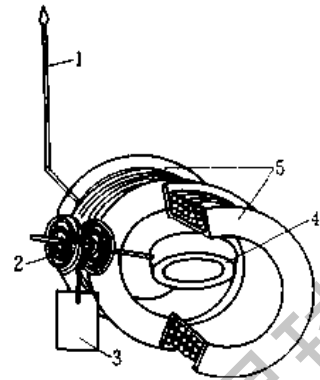


图 12.1.3 电动系仪表的结构

1—指针；2—游丝；3—空气阻尼器；
4—可动线圈；5—固定线圈

从而使动线圈旋转。当作用力与弹簧上的作用力相平衡时，动线圈的偏转角就反映了被测量的大小。它的结构如图 12.1.3 所示。

(4) 感应系仪表 它的结构特点是有一个固定线圈和一个让固定线圈所产生的磁场通过的导体，当固定线圈中通过交流电流时，它将在导体中感应涡流。涡流受到固定线圈所产生的磁场作用使导体旋转。当作用力与作用在导体上的制动力相平衡时，导体的偏转角就反映了被测量的大小。它的结构如图 12.1.4 所示。

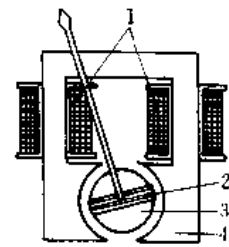


图 12.1.4 感应系仪表的结构

1—固定线圈；2—可动线圈；
3—圆柱铁芯；4—铁芯极靴

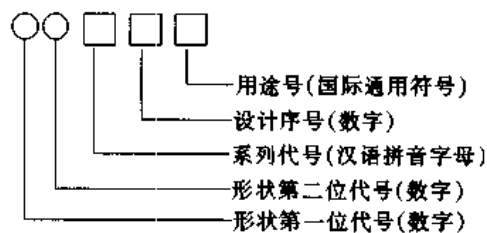
(5) 静电系仪表 它的结构特点是有一个静电感应系统。当被测电压变化时，将引起静电感应力大小的变化，从而使得转轴旋转，偏转角就反映了被测量的大小。

(6) 热电系仪表 它是根据电流通过热电偶后，将在热电偶中产生热电势而工作的仪表。

(7) 整流系仪表 它的结构特点与磁电系仪表相同，只是磁电系仪表测量的是直流电量，而整流系仪表是在磁电系仪表的输入端加入一个整流系统，将交流变换成直流。

四、电工指示仪表的型号

1. 安装式仪表型号



形状第一位代号按仪表面板形状最大尺寸编制，见表 12.1.2；形状第二位代号按仪表外壳形状尺寸特征编制，见表 12.1.3；系列代号按测量仪表的系列编制，为一系列英文字母，见表 12.1.4；设计序号按该产品自己的序列；用途号表示该仪表用于何种测量，见表 12.1.5。

表 12.1.2 形状第一特征代号

形状第一位代号	1	2	4	5	6	8	9
面板形状最大尺寸/mm	150~200	200~400	100~120	120~150	80~100	50~80	50及以下

表 12.1.3 形状第二特征代号

第一形状特征代号	形状第二代号						
	0	1	2	3	5	6	9
1	160×160-150(Ⅲ)	185×185-120(Ⅰ)				160×160-150×170(Ⅲ)	其他
2		220×220-210(Ⅲ)					其他
4	110×110-100(Ⅲ)	110×110-100(Ⅰ)		110×80-60(Ⅲ)			其他
5	135×135-120(Ⅰ)	135×110-80(Ⅱ)	130×105-70(Ⅱ)				其他
6	85×65-40(Ⅱ)		85×85-80(Ⅰ)		85-70(V)	100-80(V)	其他
8		65×65-60(Ⅰ)	80-65(V)				其他
9	30×30-25(Ⅰ)	45×45-40(Ⅰ)					其他

注: I、II、III、V 表示仪表外形形状的五种式样。

表 12.1.4 指示仪表系列代号

仪表结构形式	磁电系	电磁系	电动系	感应系	静电系	热电系	整流系
型号代号	C	T	D	G	Q	E	L

表 12.1.5 常用仪表用途符号

用途	电流表	电压表	功率表	频率表	功率因数表	电阻表
符号	A	V	W	Hz	$\cos\varphi$	Ω

2. 可携式仪表型号

可携式仪表不同于安装式仪表,它不需要外形尺寸去指导安装,因而只需在安装形式仪表的型号编制规则中省略形状第一位代号和形状第二位代号即可。

五、电工仪表的技术指标

电工仪表的技术指标一般是指测量的准确度、量程和工作条件等。不同功能的仪表有不同的技术指标。

准确度是指仪表所测得的量与该量实际值的一致程度,准确度越高,仪表的测量误差就越小。电工仪表一般按其准确度来划分其测量性能,它们与仪表的测量误差之间的关系如表 12.1.6 所示。从表中可以看出,准确度越高,仪表的测量误差越小,仪表的测量精度也就越高。

表 12.1.6 仪表的测量误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
测量误差/%	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0
















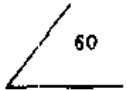




仪表的量程是指仪表直接可以测量出的被测量的最大数值。量程相当于一个标尺,应根据仪表的应用场合来选择。








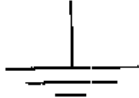
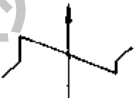


仪表的工作条件是指仪表能够正常工作的外部环境条件,包括温度、湿度、霉菌、沙尘、外磁场、外电场等几个方面。仪表对上述条件有一定的要求,国家为此制定专门的标准 ZBN 21002—88 把仪表分为 P、S、A、B 四组工作条件。此外,国家标准 GB 776—76《电测量指示仪表通用技术条件》对电工指示仪表作了具体要求,包括足够的准确度、合适的灵敏度、损耗功率小以及良好的读数装置。

六、常见电工仪表的面板符号

每个电工仪表的面板上都有许多符号,它们代表了仪表的型号、性能、工作条件等许多方面。仪表面板上的主要标记如表 12.1.7 所示。

表 12.1.7 常见仪表面板符号

种类	名称	符号	名称	符号
仪表 型号 图形 符号	磁电系仪表		电磁系仪表	
	电动系仪表		感应系仪表	
	静电系仪表		热电系仪表	
	整流系仪表			
工作 电流 符号	直流和交流		三相对称 负载交流	
	三相四线不 对称负载交流		三相不对称 负载交流	
准确度 等级 符号	准确度等级	1.5	准确度等级 (以标度尺长度计)	
	准确度等级 (以示值百分数计)			
工作 位置 符号	标尺度位置为垂直		标尺度位置为水平	
	标尺度与水平 面成一个角度			
绝缘 强度 符号	不进行绝缘强度试验		绝缘强度试验电压为 (2kV)	
	绝缘强度试验电压为 (500V)		危 险	

种类	名称	符号	名称	符号
工作 条件 符号	I级防外磁场		I级防外电场	
	II级防外磁场和电场		III级防外磁场和电场	
	IV级防外磁场和电场		P组仪表 S组仪表 A组仪表 B组仪表	不标注 S A B
端钮 符号	公共端钮		与屏蔽端相联端钮	
	接地端钮		与仪表动线圈相联端钮	
	与外壳相联端钮		调零器	

第二节 电量测试的方法

根据电量测试的过程,通常将电量的测试方法分为三大类:直接测试法,间接测试法,混合测试法。

1. 直接测量法

直接测量法是用一定的仪表直接测定被测量之值。直接测量法包含直读法和比较法两种测量方式。

(1) 直读法 被测量的大小直接可以从指示仪表的刻度盘上读取。直读法在测量过程中,不直接使用标准度量器进行测量工作。

(2) 比较法 被测量在测量过程中需要与标准度量器进行比较,通过比较获得被测量的数值。这种方法一般需要用准确度较高的标准器和灵敏度很高的指零仪器,测量结果准确度一般较高。但这种方法一般操作比较麻烦,设备复杂。直接电桥和电位差计均属于这种测量方法。根据被测量与度量器进行比较时的不同特点,比较法又可以分为零值法、差值法、替代法和重合法。

① 零值法(又称平衡法) 它是通过被测量与已知标准量在对等的情况下共同对测量仪表进行作用,作用的方向是相反的。当被测量与已知标准量相等时,测量仪表指示为零。零值法的测量精确度取决于标准量的精确度和指示仪表的灵敏度。

② 差值法 它是通过测量被测量与已知标准量之间的差值或正比于此差值的值,通过换算得到被测量的值。差值法的测量精确度较高,主要取决于标准量的准确度。

③ 替代法 它是通过分别测量被测量和标准量,并且不断地调整标准量,使测量仪表在测量标准量时所反映的数值与测量被测量所反映的数值一致,此时被测量的数值就与标准量相等,从而获得测试数据。

④ 重合法 它是通过寻找被测量和标准量之间一些特征信号的重复性来测量的。

2. 间接测量法

这种测量方法是用直接法测量几个与被测量有一定函数关系的量,通过函数关系计算获得被测量的数值。如测量电路的功率损耗,可以通过测量该电路的电压 U 和电流 I ,功率损耗为 $W = UI$ 。

间接测量在工程上一般用于直接测量无法进行或直接测量精确度不如间接测量精确度高的情况下。

3. 组合测量法

这是一种相对比较复杂的测量方法,它要求通过对被测量的一系列直接测量和间接测量的数值进行综合处

理, 求解被测量的值。这种方法一般用于科学研究中。

第三节 电量测量误差和消除方法

一、测量误差

在电量的实际测量过程中, 无论测量的仪器精确度多高, 无论测量方法多么完善, 无论测量者多么仔细认真, 同一个条件和环境中多次测量一个电量, 所测得的数据总是存在着差异, 因而每次所测得的结果只能是被测量的近似值。测量值与被测量真值之间的差异称为测量误差。按误差产生的原因, 测量误差可以分为三大类: 系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

由于偏离规定的测量条件或由于测量仪器、方法等问题, 多次测量同一值时, 出现被测量的绝对值和符号按某一确定规律变化的误差称为系统误差。系统误差主要包括四个方面的误差: 装置误差、环境误差、方法误差和人员误差。

(1) 装置误差 装置是指测量被测量所需的仪器和辅助设备的总和。装置误差主要包括:

① 标准器误差 标准器是提供标准量值的器具, 如标准电阻、标准电感、标准电池等。它们的标称值与其自身在一定条件下体现出来的客观量值之间有某些差异, 故使测量出来的值也产生了误差。

② 仪器误差 它是由于测量所使用的仪器(如电工仪表、测量工具、电桥、温度计、秒表等)在设计、制造、用料等方面的缺陷, 导致仪表刻度不准、机械平衡不良、仪表指针不直等问题, 从而使得测量出现误差。

③ 装备及附件误差 测量中除了测量仪器和标准器外, 所用的其他设备称为辅助设备和附件。如电源设备质量问题使得进入仪表的电压或电流波形与频率不标准、三相电源不对称, 从而产生测量误差。

(2) 环境误差 环境误差又称外界误差。它是由于外界环境因素(如温度、湿度、外界电磁场、电源质量等)的影响, 造成测量工具的工作条件发生变化, 从而使测量结果发生偏差。

(3) 方法误差 方法误差又称理论误差。这是由于测量方法本身不够完善, 测量所依据的理论不够严密而引起的测量误差。这些误差通常由于某些因素在测量过程中对测量结果产生影响, 而这些因素在测量分析中无法体现。

(4) 人员误差 测量者在视觉和敏捷性以及判断力等方面的差别, 也会使测量带来误差。这种误差完全是人为因素造成的。

2. 随机误差

随机误差也称偶然误差。在一个相对稳定的测量条件下, 多次测量同一电量, 误差的绝对值和符号以一种不可预测的方式而变化着的误差称为随机误差。

随机误差的来源和系统误差类似, 不同之处在于随机误差是由多种无一定变化规律而且相对独立的因素随机波动而引起的。如大地微振、空气扰动、空间电磁场的微变、气压和湿度的变化、电源的波动以及目前人们尚未认识的很多自然的相互独立的因素所造成的误差。

3. 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差, 称为粗大误差, 也称寄生误差。这种误差是由于测试人员粗心大意、实验操作过程不正确、数据记录人员的错误读取和记录、使用了不正确的仪器和辅助设备所引起的。这种误差往往明显歪曲了测量结果, 数据异常突出。这种误差在实验数据整理时应予以除去。

上述各种误差中, 系统误差和随机误差在一定条件下是会变化的。一定条件和范围内的随机误差, 在另一个条件和范围内将转化为系统误差。

二、测量误差的消除方法

在各种误差中, 随机误差和粗大误差难以有通用的方法来消除, 因为它们无规律可寻。系统误差广泛存在于测量过程中, 在大多数情况下, 系统误差的存在是有一定规律的, 因而可以通过不同的方法来消除或减小它。

① 从系统误差产生的四个方面入手。具体而言, 要正确选择规格和量程都合适的仪表和辅助设备; 认真检查和调试仪器和仪表; 密切注意外界工作环境的变化; 不断监视电源和辅助设备的工作情况, 发现问题及时解决。实验人员要密切配合, 注意力高度集中, 并保持良好的精神状态。

② 在实验前对测量仪器和仪表, 以及预先可以发现的但难以克服的误差进行理论分析和计算, 实验完成后对实验结果进行修正。

③ 在实际测量中,采用一些有效的测量方法消除系统误差。

a. 替代法: 这种方法是将被测量与等值标准量进行替换, 替换前后一定要保持测量仪器的工作状态不变。

b. 正负误差抵偿法: 在测量系统的设计中, 使产生系统恒定误差的测量结果从正负两个方面影响测量结果。

c. 换位抵消法: 在测量系统中, 将被测量作位置替换进行测量, 将两次测量的结果作适当的数据处理, 从而消除系统误差。

d. 等时距对称观测法: 通过多次等间隔记录测量结果, 可以消除电源变化的系统误差。

第四节 测量数据的处理

使用测量仪器和仪表, 经过多次测量可以获得一系列数据, 这些测量数据与被测量的实际值之间都有一定的误差, 要通过某些方法对测量数据进行处理, 科学地去粗取精、去伪存真, 从而获得高精度、可靠和有效的测量数据。

一、有效数字

由于在测量中不可避免地存在误差, 并且仪器的分辨能力有一定的限制, 因此, 在测量、记录和计算过程中必须掌握有效数字的概念。所谓有效数字是指从数字左边的第一位非零的数字开始, 直到右边最后一个数字为止所包含的数字。如 $0.00268\text{k}\Omega$, 它的有效数字为 2、6、8 三个数。在有效数字中, 最后一位数字称为欠准确数字。

二、有效数字的舍入原则

当需要 n 位有效数字时, 对超过 n 位的数字要根据舍入规则进行处理。目前广泛采用如下的舍入原则:

① 当保留 n 位有效数字时, 如果 n 位后面的数字小于第 n 位数字的 0.5, 就舍去 n 位后面的数字;

② 当保留 n 位有效数字时, 如果 n 位后面的数字大于第 n 位数字的 0.5, 就在 n 位的数值上加 1, 然后舍去 n 位后面的数字;

③ 当保留 n 位有效数字时, 如果 n 位后面的数字恰好为第 n 位数字的 0.5, 则第 n 位数字为偶数或零时就舍去 n 位后面的数字, 否则就在 n 位的数值上加 1, 然后舍去 n 位后面的数字。

三、测量结果的数据处理

在实际测量中, 往往对某一被测量要进行多次测量。由于每次测量都存在误差, 因而需要对测量的一组数据进行实际处理, 以便获得测量的准确值。目前, 采用较多的方法如下。

1. 平均法

设被测量为 X , 对它进行 m 次测量, 每一次所测量的数值为 X_1, X_2, \dots, X_m , 则估计被测量的数值为:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^m X_j}{m}$$

2. 回归分析

一般来说, 在实际测量过程中往往要获得某一量的变化规律, 但对某一量重复测量不可能是无限的, 因此可以通过回归分析来研究在多次测量的基础上获得被测量的变化规律。设被测量为 X , 对它进行了 m 次测量, 每一次所测量的数值为 X_1, X_2, \dots, X_m , 则多次测量结果应有一个变化规律, 可以描述为一个函数关系:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{m-1}x^{m-1}$$

将 m 次测量结果代入上式中, 通过最小二乘法, 即可获得一代数方程组, 解此方程组可以得到常数 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$, 从而得到被测量与多次测量值之间的关系, 它反应了被测量的变化规律。

3. 加权平均法

设被测量为 X , 对它进行 m 次测量, 每一次所测量的数值为 X_1, X_2, \dots, X_m , 对应于每次测量的加权值为 W_1, W_2, \dots, W_m , 则估计被测量的数值为:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^m W_j X_j}{\sum_{j=1}^m W_j}$$

此外, 在测量数据的处理过程中还要注意有效数字在计算中的问题等。

第二章 常用电工仪表

第一节 电压表

一、功能、种类和特点

电压表(又称伏特表)是一种测量电路中电压的电工仪表。按测量信号的性质分为直流、交流或交直流电压表。根据其量程、准确度要求和应用场合,可分为磁电系、电磁系、电动系等几类电压表。电子电压表是另一种类型的电压表,属于电子类测量仪器。

1. 直流电压表

直流电压表用来测量直流电压。常见的为磁电系仪表,具有准确度高、灵敏度高、仪表消耗功率小和表盘刻度均匀等特点,但存在过载能力低的缺点。

(1) C19-V 量程 0~600V,分五种规格,准确度 0.5%,用于直流电路中测量电压以及生产线上作标准表校验较低精度的电表,其零位可在表盘中间位置。

(2) C46-mV 磁电系结构,量程 0~3000mV 等,分十几种规格,准确度为 0.5%,由于采用张丝支撑,因此仪表具有极高的灵敏度,消耗功率很小,特别适合弱电流、直流电路及晶体管静态参数测试。

(3) C30-mV, V 量程 7.5mV~600V,十种规格,准确度 1.0%,采用轴尖轴支撑,用于野外以及船上使用,各工厂、学校、实验室亦可使用。

(4) C50-mV, V 量程 45mV~600V,两种规格,准确度 0.1%,采用张丝支撑、光标指示,用于电气计量室和生产线作为标准表使用,或是实验室精密测量直流电压。

2. 交流电压表

交流电压表用来测量交流电压。整流系交流电压表为磁电系测量机构附加整流器测量线路,常见于便携式万用表电路。电磁系电压表一般用于控制屏上指示电压大小。常用的交流电压表为电动系仪表,可交、直流合用,灵敏度较其他型式的交流电压表高,且可测量非正弦量的有效值。

(1) L7-V 平均值电压表 量程 2.4~600V,分十一种规格,功耗 0.6W,准确度 $\pm 1.0\%$,用于交流 45~60Hz 及较高内阻的交流电路中,测量交流有效值(平均值响应)电压,也可作继电器校验的校准表。

(2) L2-V 平均值电压表 属于整流系仪表,量程 150~600V,准确度 0.5%,采用平均值张丝支撑方式,用于交流 45~10000Hz 的交流电路中,测量平均值电压,特别适用于钢铁企业测试铁损及科研、学校等部门的实验用。

(3) T54-V 低功耗交直流电表 属于电磁系仪表。量程为 1.5~30V, 30~600V,准确度 0.5%,用于微型电机和家用电器等低功耗电气设备的电压测量,也可用于家用电器极壳与电路之间漏电流的测量。

(4) T10-V 交直流两用表 量程 1.5~15V 等三种规格,准确度 0.5%,用于实验室及科研机关,在直流电路和频率为 5~60Hz 的交流电路中测量电压,在交流电路中可扩大频率使用范围。

(5) D26-V 交直流电压表 属于电动系仪表。量程 75~600V,分三种规格,准确度 0.5%,采用轴夹轴支撑,用于直流电路和交流 45~65Hz 电路中测量电压。

(6) D9-V 交直流中频电压表 量程 15~600V,共七种规格,准确度等级为 0.5,用于直流及中频交流 45~150Hz 的交流电路中测量电压。

3. 电子电压表

电子电压表具有输入阻抗大(可达兆欧级)、灵敏度高(可测量毫伏级)、测量范围宽(可由毫伏到几百伏)、频率范围宽(可测量兆赫级)等特点。电子电压表可分为电子管电压表和晶体管电压表。

(1) GB-9B 电子管毫伏表 测量范围:电压为 500 μ V~300V,电平为 -50~50dB,频率范围 25Hz~200kHz,准确度 2.5%,用于测量正弦波电压有效值以及测量电平。

(2) DA-16 晶体管毫伏表 测量范围:电压为 100 μ V~300V,电平为 -72~+32dB,频率范围 20Hz~1MHz,电压准确度 $\pm 3\%$,输入阻抗 1kHz 时为 1.5M Ω ,输入电容为 50pF,用于测量正弦波电压有效值以及测量电平。

二、测量原理

1. 直流电压表测量原理

直流电压表一般采用磁电系结构的表头。磁电系表头测量原理是当处于空气隙磁场中的动圈通过电流时，载流的动圈与磁场相互作用产生转动力矩，使动圈带动转轴发生转动。与此同时，连接转轴的游丝产生反作用力矩，该力矩与转轴力矩大小相等方向相反时，固定在转轴上的指针即停留在面板标度尺的某一位置，从而指示出被测量大小。磁电系表头的内阻很小，因而表头只能承受很小的电压。电磁系结构的表头能够承受较大的电流。但是无论磁电系还是电磁系表头都必须串联电阻组成电压表。串联的附加电阻可以通过下式计算求得：

$$R_{ij} = (m - 1)R_c$$

式中 R_c ——测量机构（表头）内阻；

R_{ij} ——附加电阻；

m ——所需量程扩大倍数。

2. 电子电压表测量原理

一般是将被测电压经衰减或放大，再将放大后的电压进行检波，最后用磁电系表头指示被测电压的大小。也有的是先对被测电压检波，再进行直流放大，最后用磁电系表头指示被测电压。电子电压表的测量原理框图如图 12.2.1 所示。

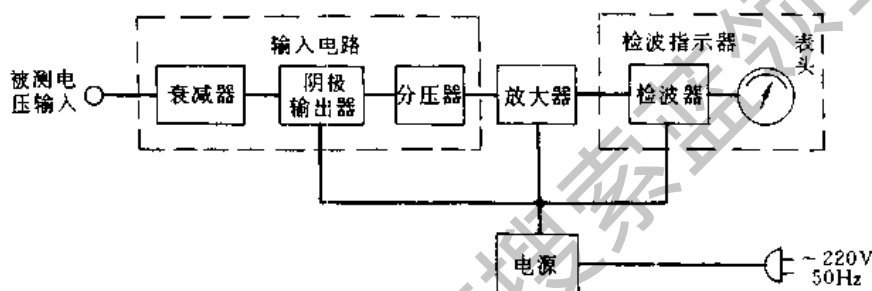


图 12.2.1 电子电压表的测量原理框图

三、使用及注意事项

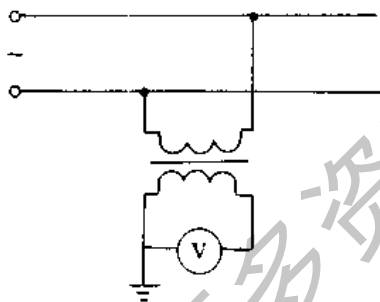


图 12.2.2 用电压互感器扩大电压量限

① 使用仪表时要求将其水平放置，尽量远离强磁场环境，克服环境因素造成的读数误差。

② 仪表盘上指针如不在零位上，可以通过面板上零调器将指针调至零位。

③ 要求在测量前估计线路中电压大小，正确选择量程，防止仪表过载，损坏仪表。

④ 测量高电压时，应考虑连接相应的电压互感器扩大测量范围，读数时应考虑外接互感器可能引入附加的误差。用电压互感器来扩大电压量限如图 12.2.2 所示。

⑤ 电子电压表使用时应将量程开关置所需测量的范围，在小量程档（如 10mV ~ 1V 档）测量时，应避免接触测量端，接线时应首先接输入接地端。

第二节 电 流 表

一、功能、种类和特点

电流表又称安培表，一般分为直流电流表和交流电流表。

1. 直流电流表

直流电流表是测量直流电流的电工仪表，一般多为磁电系测量机构。根据其用途、量程和准确度要求有以下几种。

(1) C-19A 量限 3, 5, 20, 30A 等多种规格，准确度 0.5%，在直流电路中测量电流，在生产线上做标准表，校验较低精度的电表。

(2) C21-A 量限 0 ~ 500A/75mV，采用 0.5 级 75mV，外附分流器，代配精确度 0.5%。用于直流电路测量电流。

(3) C46- μ A 量限 0~1000 μ A, 采用张丝支撑, 具有极高的灵敏度, 消耗功率很小, 特别适合弱电流及晶体管静态参数的测试。

(4) C31-mA, A 量限 1.5mA~30A 共分六种规格, 准确度 1.0%, 轴夹轴承支撑, 用于野外以及船上, 各工厂、学校、实验室也可使用。

2. 交流电流表

交流电流表是测量交流电流的测量仪表, 一般多为电动系仪表, 可交直流合用。

(1) D26-A 量限 0~20A, 有五种规格, 准确度 0.5%, 用于直流及交流 (50~60Hz) 电路中测量电流。

(2) D26-mA 量限 0~300mA, 有两种规格, 轴夹轴承支撑, 用于直流及交流 (50, 60Hz) 电路中测量电流。

(3) D9-mA 中频毫安表, 量限 25~500mA 分五种规格, 准确度 $\pm 0.5\%$, 用于直流及交流 50Hz 和 90~1500Hz 的交流电路中测量电流。

二、测量原理

直流电流表常采用磁电系结构的表头, 而交流电流表则采用电磁系结构的表头, 前者由于表头内阻很小, 只能承受很小的电压, 而后者能够承受较大的电流。两者都是通过表头并联电阻组成电流表。交流电流表并联的附加电阻可以通过下式计算求得:

$$R_{\text{p}} = R_{\text{c}} / (n - 1)$$

式中 R_{c} ——测量机构 (表头) 内阻;

R_{p} ——分流电阻;

n ——电流扩大倍数 ($n = I/I_{\text{c}}$)。

电流表电原理图如图 12.2.3 所示。

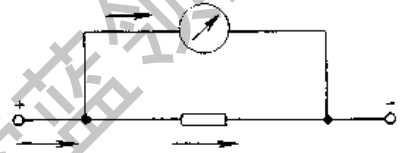


图 12.2.3 电流表电原理图

三、使用及注意事项

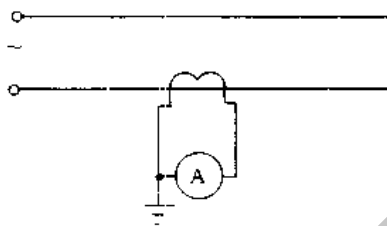


图 12.2.4 电流互感器扩大

电流表电流量限的接线图

① 使用时, 将仪表水平放置, 避免强电流、强磁场对其干扰产生附加误差。

② 测量前, 检查指针是否在零位, 可通过调零器调整指针零位。

③ 根据被测线路中的电流强度进行预估, 选择量程, 避免仪表过载。

④ 电流表必须与负载串联。

⑤ 负载与仪表连接必须紧固, 所用导线应按负载大小选择相应的线径和截面的导线。

⑥ 为了扩大量限, 可考虑使用电流互感器, 但读数的误差是表计误差和互感器误差之和。用电流互感器来扩大电流量限, 如图 12.2.4。

第三节 功率表

一、功能、种类和特点

功率表, 又称瓦特表。它是一种测量电路中电功率的常用电工仪表, 可分为单相功率表和三相功率表, 三相功率表又有有功功率和无功功率之分。另外, 还有低功率因数功率表等特殊用途的功率表。

(1) D51-W 单相功率表 量限 75/150/300V, 0.5/1A 等三种规格, 准确度 $\pm 0.5\%$, 功耗 3.8W, 用于直流及额定频率为 45~65Hz 的交流电路中, 测量电功率。

(2) D33-W 三相瓦特表 150~600V 及电流 0.5~10A, 有四种规格, 准确度 1.5%, 属电动系双元件轴尖轴支撑结构, 用于频率为 45~65Hz 的交流三相电路中, 测量有功功率。

(3) D64-W 低功率因数瓦特表 量限 75~450V, 0.25~1A, 有八种规格, 准确度 $\pm 0.5\%$, 用于直流或频率为 45~65Hz 电路中, 或在低功率因数 ($\cos\varphi = 0.2$) 的电路中精密测量电功率, 亦广泛用于测量软磁材料的铁损, 电机和变压器的空载试验。

(4) D39-W 用于直流电路中测量小功率, 或交流 (45~65Hz 及 100~50Hz) 电路中测量有功功率, 在测磁装置上做磁和涡流损失的测量。

(5) L17-var 三相乏尔表 量限 1A, 5A, 100V, 380V (三线); 准确度 $\pm 0.5\%$, 用于测量无功功率。

二、测量原理

单相功率表有两组线圈。其一为电流线圈，它与被测负载串联，当电流通过负载时，电流线圈产生磁场；另一为电压线圈，在仪表中作为动圈，它与线路并联，流经它的电流在磁场中产生转矩，使指示机构动作，即指针偏转角与负载消耗的功率成正比。

瓦特表的电原理图如图 12.2.5 所示。

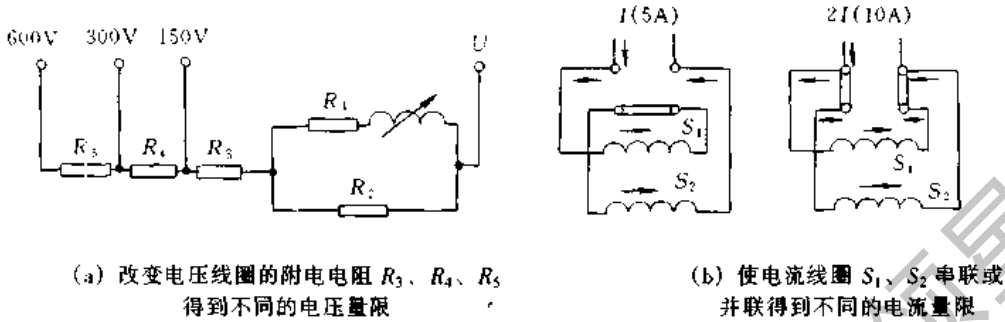


图 12.2.5 瓦特表的电原理图

三、使用及注意事项

① 仪表应水平放置。测量前指针校零位。通电之前应对被测量线路中的电流、电压大小进行预估，避免仪表过载，损坏表计。

② 按图 12.2.6 接入瓦特表，若需扩大量限，可考虑选择相应的互感器，互感器的接入方法如图 12.2.7 所示。

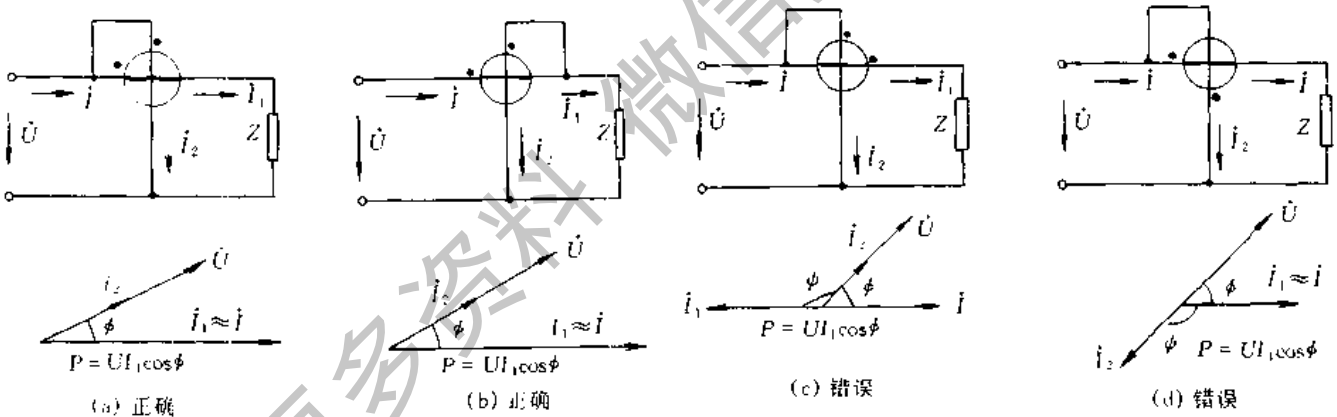


图 12.2.6 瓦特表的接线方法

注：如电流线圈和电压线圈同时以没有标记的一端作“对应端”也可

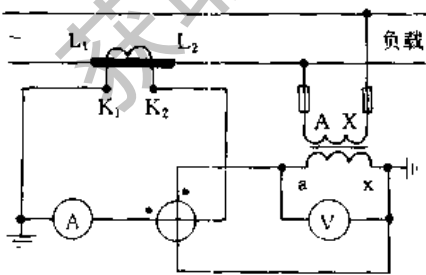


图 12.2.7 通过互感器扩大瓦特表量限的接线方法

③ 瓦特表的指示值按下式计算：

$$P = C\alpha \text{ (W)}$$

式中 P ——功率；
 α ——瓦特表标度盘上的格数；
 C ——仪表常数亦即刻度各小格所表示的瓦特数。

如果没有仪表常数，可按下式计算：

$$C = U_m \times I_m / \alpha_m \text{ (W/格)}$$

式中 U_m ——所用功率表的电压额定值；
 I_m ——所用功率表的电流额定值；
 α_m ——功率表标度尺的满刻度的格数。

第四节 兆欧表

一、功能、种类和特点

兆欧表也称为高阻计或绝缘电阻测试仪，是一种用于测量高值电阻或检验绝缘程度的电工仪表。常见的是一种手提式兆欧表，由于测量机构中的电源是由表内部的手摇发电机供给，故也称这种兆欧表为“摇表”。

(1) ZC25-1 手提式兆欧表 量限 $0 \sim 10\text{M}\Omega$ ， $100 \sim 1000\text{V}$ 共有四种型号，用于测量各种电机、电缆、变压器及其电器设备绝缘电阻。

(2) 2Z52 绝缘电阻表 量限 250, 500, $1000\text{M}\Omega$ ， $250, 500, 1000\text{V}$ ，交流 220V 供电，具有电阻值设定报警及报警输出功能，还可远距离有线控制测量与不测量，以及 100mV 输出（可外接记录仪），用于测量各种电机、家用电器和各种电信元件的绝缘电阻。

二、测量原理

兆欧表主要由直流高压电源、磁电系流比计和附加电阻组成。直流高压电源根据使用场合，通过交流工频电压 220V 经交直流变换，产生直流高压。而对于便携式兆欧表则采用手摇发电机或于电池经电子线路产生直流高压。

兆欧表结构简图如图 12.2.8 所示，兆欧表原理图如图 12.2.9 所示。

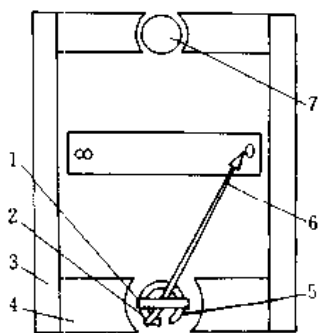


图 12.2.8 兆欧表结构简图

1, 2—动圈；3—永久磁铁；4—极掌；5—有缺口的圆环铁芯；6—指针；7—手摇发电机

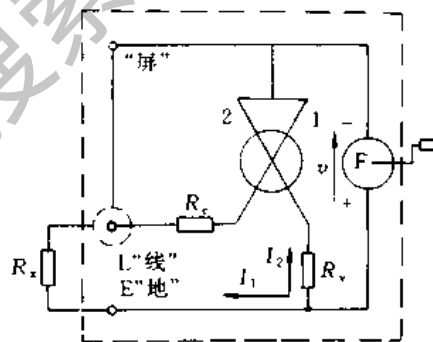


图 12.2.9 兆欧表原理图

1, 2—动圈；F—发电机； R_c 、 R_x —附加电阻； R_x —被测绝缘电阻

由图 12.2.9 可见，动圈 1 回路的电流 I_1 与被测绝缘电阻 R_x 的大小有关，即 R_x 愈小 I_1 愈大，磁场与 I_1 相互作用产生的力矩 M_1 也愈大，使指针向“0”标度处趋近。动圈 2 与手摇发电机电压 U 及电阻 R_c 有关。两动圈的电流 I_1 和 I_2 在磁场中产生的力矩 M_1 和 M_2 方向相反，而两动圈安装在同一个轴上。因此， I_1/I_2 随被测 R 电阻 R_x 大小变化而变化，安装在转轴上的指针偏转也随被测电阻 R_x 变化，从而实现电阻的测量功能。

三、使用及注意事项

① 正确选择兆欧表的电压及测量范围。如要求绝缘电阻大的设备选择高电压的兆欧表，低压电气设备电压可以选低些。表计的量限不应大于被测量值太多，避免引起读数误差。

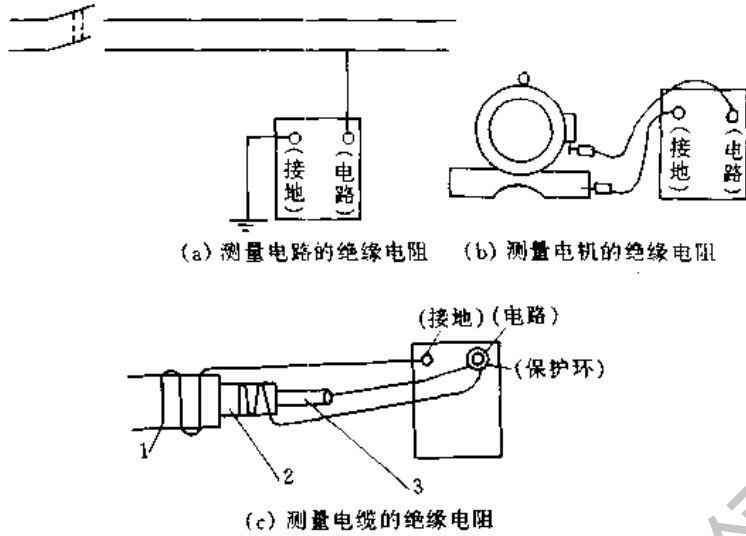
② 检查兆欧表的方法：首先将“线”、“地”两端钮短接；缓慢转动发电机手柄，观察指针是否指零；再将两端钮断开，摇动发电机手柄置额定转速，指针应指在“ ∞ ”的位置。

③ 测量前，检查被测设备完全不带电。

④ 为了正确检验绝缘程度，要求被测部位的表面应用干净的布或棉纱擦干净。

⑤ 测量时，要求摇动手柄力量均匀。待指针稳定不变后再读数。

⑥ 用兆欧表测量绝缘电阻的用法如图 12.2.10 所示。



1—电缆外皮；2—电缆内层绝缘物；3—电缆芯

图 12.2.10 用兆欧表测量绝缘电阻的用法

第五节 万用表

一、功能、种类和特点

(1) 万用表又称繁用表、多用表或复用表 是一种可以测量直流电流、交直流电压和电阻等多功能、多量限的仪表。有些万用表还可以用来测量交流电流、电容、电感及半导体三极管的穿透电流或直流电流放大倍数等参数，用途十分广泛。

① MF30 万用表，属于便携式仪表，可在各种场合对电气参数进行测量。

② MF500 是一种高灵敏度、多量限的便携式仪表，共有 24 种测量量限，能分别测量交直流电压、电流、电阻及音频电平。

(2) 直流钳形电流表 采用霍尔效应原理，可在线检测直流供电情况。

(3) 钳形交流电流表 主要用于频率为 50Hz，电压不超过 660V 的交流电路中作不间断的在线测量交流电流。另外，多用钳形表还可对在线状态下交流电压、交流电流及交流功率进行检测。

二、测量原理

一般万用表的测量电路是多量限直流电流表、多量限直流电压表、多量限整流式交流电压表以及多量限欧姆表等多种测量线路组合而成。测量项目及量限由转换开关选择，转换开关通常为多刀多掷，且各刀之间是联动的，旋动转换开关可以接通不同的测量线路。万用表直流电流测量电路见图 12.2.11，直流电压测量电路图见图 12.2.12，交流电压测量电路图见图 12.2.13，测量欧姆值的测量电路见图 12.2.14。

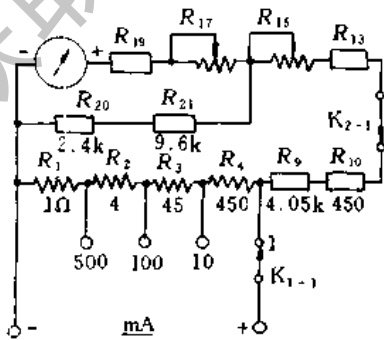


图 12.2.11 直流电流测量电路图

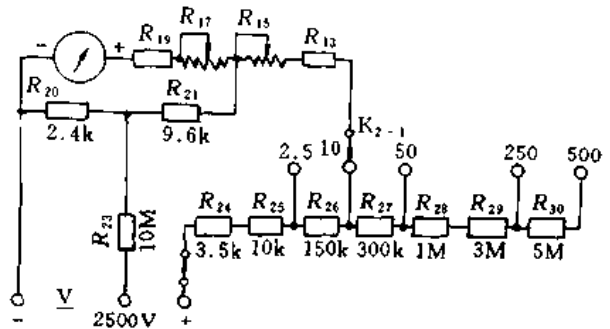


图 12.2.12 直流电压测量电路图

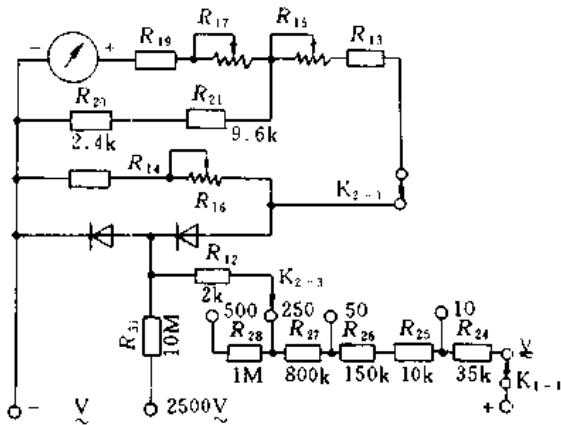


图 12.2.13 交流电压测量电路图

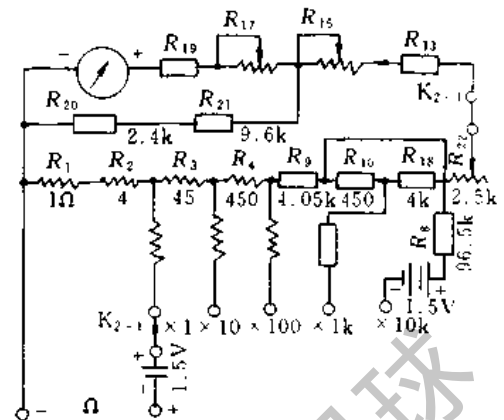


图 12.2.14 欧姆值测量电路图

三、使用及注意事项

- ① 测量前，检查仪表的指针是否调零，可通过调零器调节。
- ② 测量直流电压，将测试短杆插入“+”插孔，黑色短杆插入“-”插孔，选择开关旋至直流电压的量限。若事前不能确定量限大小，可将量限旋至最大，再根据指示值修改量限，以指针偏转最大为宜。
- ③ 测量交流电压，交流电压的额定频率为45~1000Hz，正弦波失真度应小于2%，非正弦、频率超过额定值都将引起测量误差。
- ④ 测量直流电流，将开关旋至直流电流档，测量时将测试杆串接在被测电路中。
- ⑤ 测量电阻时，将开关旋至欧姆量程的各档范围。首先检查零欧姆指示，方法是将测试杆两端短接，指针指向零欧姆，否则调节零欧姆调节器。为了提高测量精度，使用时尽量使指针在全刻度的20%~80%之间。当测量电路的电阻时，应将电路的电源切断，严禁带电测量电阻。

第六节 电 桥

一、功能、种类和特点

电桥是一种使用较为广泛的电磁测量仪表，具有灵敏度高和准确度高的特点。电桥一般分为直流电桥和交流电桥两大类。

1. 直流电桥

直流电桥主要用来测量电阻，根据直流电桥的结构不同可分为单臂电桥、双臂电桥和单双臂电桥。单电桥适用测量中值电阻（1~10M Ω ），双电桥适用测量低值电阻（1 Ω 以下）。

(1) QJ23A 便携式直流单臂电桥 量限1~1111M Ω ，准确度0.1%，用于现场导体电阻的测量，以及厂矿、电信等部门直流电阻及线路故障测试。

(2) QJ26 便携式双臂电桥 量限11~104 Ω ，准确度0.2%，用于现场测试金属导体、开关、继电器、接触器等电器设备的接触电阻以及电机、变压器绕组的直流低值电阻。另外，准确测量金属导体的电阻系数。

(3) 携式直流高阻电桥 量限10⁵~10¹⁰ Ω ，准确度0.1%~1.0%，用于精密测量高值电阻。

2. 交流电桥

交流电桥主要用于测量电容、电感和阻抗的参数，也有可兼测电阻的交流电桥。

(1) QS18A 万用电桥 测量范围，电阻为0.01 Ω ，电容为1pF~1100 μ F，电感为1.0 μ H~110H，准确度1%，用于测量电容、电感、电阻等元件。

(2) WQ-5 万用电桥 电阻0.01 Ω ~1.2281M Ω ，电容1pF~122.81 μ F，电感1 μ H~121.1H，电容损耗因数指示值0.02~1.5，电感品质因数指示值0.02~10.0/10~1000，测量准确度10%，用于测量电阻值、电容器电容量、电感器电感量，同时对电容器的损耗因数、电感器的品质因数也能相应指示。另外，QS26还可测量小功率晶体管的 I_{ceo} 、 I_{cbo} 、 I_c 、 h_{ie} 以及 β 等参数。

(3) QS30 高压电桥 用于测量电力设备装置的绝缘损耗角正切值，具有便于携带，可测量一端接地式试品等特点，适合现场使用。

(4) QS-18A 万用阻抗电桥 是一种携带和使用方便的音频交流电桥。内附晶体管振荡器 (1kHz)、选频放大器和指示电表。用于测量电容电感和电阻等, 也能使用 10Hz~10kHz 的外接音频振荡器信号来测量, 适用于工矿和维修部门。

(5) QJ63 便携式电桥 测量范围 25Hz~200kHz, 准确度 2.0%, 用于测量正弦波电压有效值测电平。

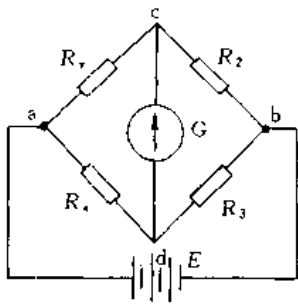
3. 其他电桥

QS24-1 变压比电桥, 变压比测量范围 1~1000, 误差测量 1.1%, 联接组别为 Y/Y-12, Y/Δ-11, Y/Y-6, Y/Δ-5, 准确度 0.1%, 用于测量变压器变压比误差。

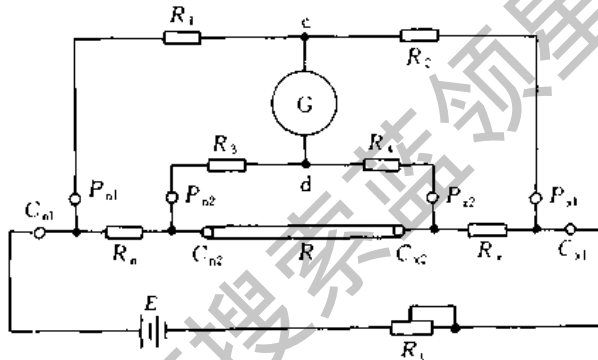
二、测量原理

在电桥工作时, 调节电桥的一个臂或几个臂的电阻, 使检流计指针指零, 电桥达到平衡。根据转换开关指示的倍率及读数盘的读数, 可测量被测电阻的阻值。交流电桥与直流电桥测量原理的区别主要在于: 交流电桥的四个臂均为阻抗元件, 即由电阻、电容、电感组成, 检流计为交流指零仪, 电源为交流电源。

直流电桥原理图及交流电桥电路图见图 12.2.15 和图 12.2.16。



G—检流计; R_x —被测电阻; E—直流电源; R_1, R_3, R_4 —标准电阻



G—检流计; E—直流电源; R_n —标准电阻; R_{1-4} —桥路电阻; R_x —被测电阻; R_5 —调节电阻; C_{n1}, C_{n2}, C_d, C_2 —电流接头; P_{n1}, P_{n2}, P_d, P_2 —电压接头

图 12.2.15 直流电桥原理图

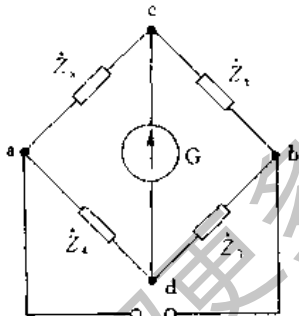


图 12.2.16 交流电桥电路图

三、使用及注意事项

1. 直流电桥使用及注意事项

- ① 按照使用说明书的要求, 根据被测电阻大小选择比例臂的比率。
- ② 在进行测量之前, 应将检流计指针调零, 否则测量值不准。
- ③ 测量端子与被测电阻的引脚连线应接触良好, 尽量用短而粗的导线, 以提高测量精度和保证仪表的安全。
- ④ 电桥不使用时应将检流计锁住, 以免搬动电桥时震断悬丝。
- ⑤ 使用双臂电桥时, 电桥的四个测量端子都需与被测电阻连接, 且测量电阻的端子应比电流引出端子更靠近被测电阻。

2. 交流电桥使用及注意事项

- ① 应严格按照使用说明书中对电源的要求, 选择电源的电压数值、频率和波形。
- ② 测量过程中, 合理放置仪器设备, 正确处理屏蔽接地端, 防止外界干扰造成对电桥平衡条件的影响。
- ③ 在电桥逐渐接近平衡状态后, 应当提高指零仪的灵敏度, 在最大灵敏度下调整电桥处于平衡状态。
- ④ 换接被测元件应关闭电桥电源。

第七节 电位差计

一、功能、种类和特点

直流电位差计是测量直流电势或电压的仪器。经过附加器也可间接测量电阻、电流及功率等。

电子电位差计又称电子自动平衡记录仪, 广泛应用于生产过程参数 (如温度、流量及液位等) 的自动测量

和记录。

(1) UJ33A 携带式直流电位差计 测量范围 $0 \sim 1.055\text{V}$ ，最小分度值 $10\mu\text{V}$ ，准确度 0.05% ，可在实验室、车间及现场测量直流电压，配用标准电阻，经换算后可测量电阻、电流、功率及温度等。另外，可直接用来测量直流电动势，也可以用它作标准仪器来校验低一级直流电位差计，校对直流毫伏表。

(2) UJ31 低电势直流电位差计 测量范围 $0 \sim 17.1 \sim 171\text{mV}$ ，最小分度值 $10\mu\text{V}$ ，准确度 0.05% 。

(3) UJ24 高电势直流电位差计 测量范围 $10^{-5} \sim 1.61110\text{V}$ ，准确度 0.01% 。

(4) XWX-204 电子电位差计 $0, 5\text{mV} \sim 10\text{V}$ 共分 11 档，指示误差小于 $\pm 0.5\%$ ，记录误差小于 $\pm 1.0\%$ 。

二、测量原理

用电位差计测量电势的测量原理是用一个可以改变的已知电压与被测电势进行比较，使比较线路中的检流计无电流通过，这时表明此时的已知电压等于被测电势。

① 电阻式电位差计的测量原理是直流电位差计中采用标准电池经标准电阻分压取得可变的已知电压。直流电位差计原理图如图 12.2.17 所示。

② 匝比式电位差计是利用变压器原理构成的一种电位差计。

③ 电子电位差计的测量原理是采用不平衡电桥来产生已知电压，用放大器替代检流计。电位差计工作时，将不平衡电桥两端的 U_b 与被测电势叠加产生的差值 ΔU ，经放大后驱动可逆电动机 D，使电动机按减小 ΔU 的方向自动改变滑线电阻 R_p 的动触点的位置，直至 $\Delta U = 0$ 才停滞转动。电子电位差计电原理图如图 12.2.18 所示。

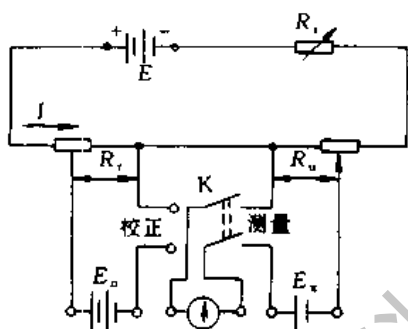


图 12.2.17 直流电位差计原理图
 E_x —被测电势； E_s —标准电势； R_1 —读数盘电阻；
 R_2 —调定电阻； E —工作电源； I —工作电流
 调节电阻；K—转换开关

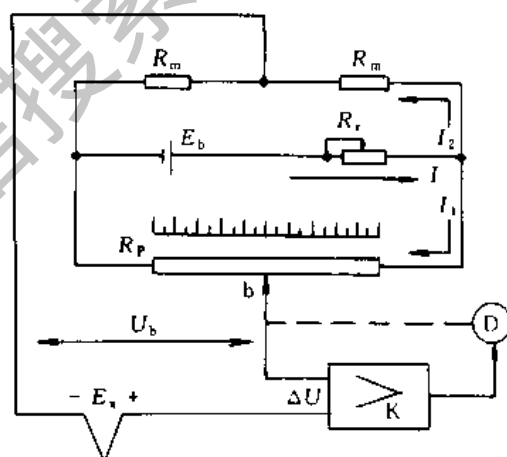


图 12.2.18 电子电位差计电原理图

三、使用及注意事项

- ① 按照被测电势的大小和测量准确度的要求，选择所需量程和相应准确度的电位差计。
- ② 选择量程时应使被测值的第一位数字出现在首位读数盘上。
- ③ 当被测电压大于电位差上限电压时，可用标准分压箱来扩大量程。
- ④ 测量大电压时要注意泄漏和静电屏蔽。
- ⑤ 在使用直流电位差计时，如发现检流计指针始终指向一边或灵敏度低，应考虑更换电池。
- ⑥ 测量完毕，应将倍率开关置“断”位置，防止电池无谓地放电。
- ⑦ 使用电子电位差计时，应注意输入信号的极性和幅值大小，避免仪器过载。

第八节 示波器

一、功能、种类和特点

示波器可以看成是一种具有图形显示的电压表，即它能在屏幕上以图形的方式显示信号电压随时间的变化历史情况，而且能够同时显示两个或多个信号。

示波器按用途和特点，可分成通用示波器（包括简易示波器、低频示波器、普通示波器、宽带示波器）、

多线示波器、取样示波器、记忆、存储示波器以及数字智能化示波器。

(1) XJ4210A 示波器 频带宽度 DC ~ 7MHz, Y 轴偏转因数 10mV/格 ~ 5V/格, X 轴偏转因数 0.2 μ s/格 ~ 0.1s/格, 交直流两用, 用于电信号参数测量, 特别用于机电系统及程控机床等设备的监视器。

(2) XC4320 双踪示波器 Y 偏转因数 1mV/格 ~ 5V/格, 频带宽度 DC ~ 20MHz, 3DB, 最大输入电压 400 (DC+ACPP), X 通道频率响应 DC ~ 500kHz, 3DB, 适用于通信、广播、雷达、电子计算机及冶金、建筑、化工、原子能等工业作定性、定量测量信号, 也适用于电力、铁路及工矿企业。

(3) XC4646 双踪慢扫描示波器 频带宽度 0 ~ 1MHz, 灵敏度 0.01 ~ 5V/格, 最高灵敏度 2mV/格, 工作方式 Y1、Y2、双 Y1+Y2、X-Y 显示, 扫描因数 5 μ s/格, 最慢全过程扫描 500s, 触发极性 +/ -, 触发源: 内/外。具有多种显示功能, 广泛用在石油、自动化方面。

(4) SSI-A 二踪双触发数字存储器 用于电信号参数测量, 特别适用于捕捉并存储单次瞬变信号。

二、测量原理

示波器由示波管、Y 轴系统、触发及扫描系统、X 轴系统和电源几部分组成。示波器原理框图如图 12.2.19 所示。

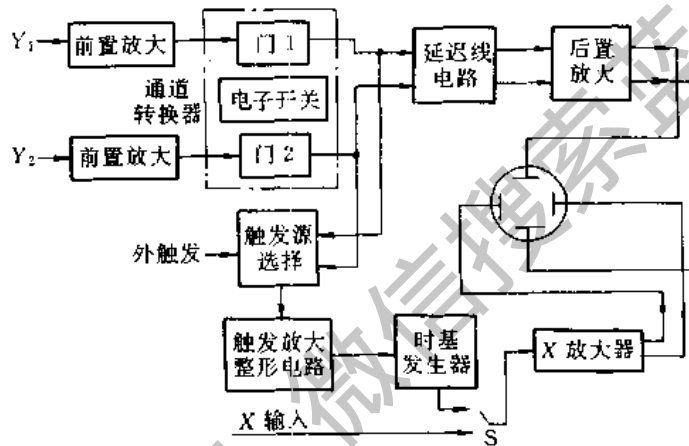


图 12.2.19 示波器原理框图

Y 轴系统又称垂直轴放大系统, 它的作用是将被测信号电压经放大后加到示波管的 Y 轴偏转板上, 使之能在屏幕上显示出来。

X 轴系统又称时基轴扫描系统, 它的作用是将触发、扫描系统产生的作时基用的锯齿波扫描电压, 经水平放大后, 加到示波管 X 轴偏转板上, 使之能在屏幕上沿水平方向移动扫迹。

触发、扫描系统能够使扫迹上某一点和某一条垂直标尺线对齐, 即保证每次时基在屏幕上扫描时, 时基扫描从输入信号上一精确的确定点开始。

三、使用及注意事项

- ① 开机前, 检查电源电压是否符合仪器的电源要求。
- ② 输入端不应馈入过高的电压。
- ③ 不要用力猛旋各控制旋钮。
- ④ 正确选择扫描因数数值的大小, 注意信号输入耦合开关及测试探头的正确使用。
- ⑤ 选择适当的扫描时间和正确的扫描工作方式, 仔细调节触发电平旋钮, 使波形显示稳定。
- ⑥ 双踪显示工作时, 要选择同步信号, 以便正确测量信号的相位差。

第九节 数字式仪表

一、功能、种类和特点

数字式仪表是以电子线路及数字式显示电路组成的电子系测量仪表, 精度高, 功能多, 读数方便, 且种类

繁多,有电压、电流、欧姆、万用表、频率表、相位表以及其他数字式仪表。数字式仪表是测量仪表的发展趋势。

(1) PZ124B 数字直流电压表 显示方式为四位半数字显示,直流电压测量范围 $100\mu\text{V} \sim 1000\text{V}$,准确度 0.2% 。可对直流电压进行测量,还可增设 BCD 输出接口,用于各种设备、仪器测量直流电压及以电压为信号的非电量。

(2) PZ58 系列 平均值数字电压表 量限 DC $\sim 20\text{mV}$ 、 200mV 、 2 、 20 、 200V ,最高灵敏度 $1\mu\text{V}$,准确度 $\pm 0.1\% U_{\text{max}} \pm 0.1\% U_{\text{min}}$,峰值保持 $\pm 0.2\% U_{\text{max}} \pm 0.1\% U_{\text{min}}$,输入阻抗大于 $10\text{M}\Omega$,其中 20V 、 200V 大于 $1\text{M}\Omega$ 。功能具有 BCD 码输出、峰值保持测量和直流电压测量。另外, PZ97 平均值数字电压表量限 DC $2\text{mV} \sim 600\text{V}$ 。工作频率 $40\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$,准确度 $\pm (0.2\% \text{读数} \pm 0.1\% \text{FS})$,分辨率 $0.1\mu\text{V}$,消耗 10VA ,用于测量交流电压平均值。

(3) PZ72 数字峰值电压表 电压峰峰值: $5/50/500\text{mV}$ 、 $5/50/500/1000\text{V} \pm (0.3\% \text{读数} + 15 \text{字})$;电压正负峰峰值: $2.5/25/250\text{mV}$ 、 $2.5/25/25/500\text{V} \pm (0.3\% \text{读数} + 8 \text{字})$,工作频率 $40\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 、 $40\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$,用于测量正弦信号、方波、矩形脉冲、三角波等信号电压峰峰值、正峰值、负峰值。

(4) XPB-2A 数字交流电流表和 XPB-2V 数字交流电压表 量限分别为 200mA 、 2A 、 20A 、 220A (配电流互感器)和 200mV 、 2 、 20 、 200V 、 2kV ,用于开关板、控制屏、控制台及要求精度较高的仪器设备的面板上测量电压、电流。

(5) PC22 数字接地电阻表 用于测量各种电力系统、电气设备、避雷针等接地装置的接地电阻值,也可测量低电阻。

(6) PC40 数字绝缘电阻表 用于家电、仪器仪表和电工检测等行业测量绝缘电阻。

(7) PC98 数字微欧计 用于测量各种线圈的电阻;电动机、变压器绕组的电阻;各种电缆的导线电阻;开关插头、插座等电器元件的接触电阻和车、船、飞机的金属铆接电阻。

(8) DM6200 数字兆欧表 量限 $1000\text{M}\Omega/1000\text{V}$ (高阻)三位半显示。

(9) 2510A 数字万用表 最大显示 1199999 (六位半),直流电压量程 ± 10 、 100mV 、 1 、 10 、 100 、 1000V ,准确度为 $\pm (0.005\% \text{读数} \pm 2 \text{字})$,分辨率 0.01mV ;交流电压量程 1 、 10 、 100 、 500V ,分辨率为 $10\mu\text{V}$,准确度

获取更多资料

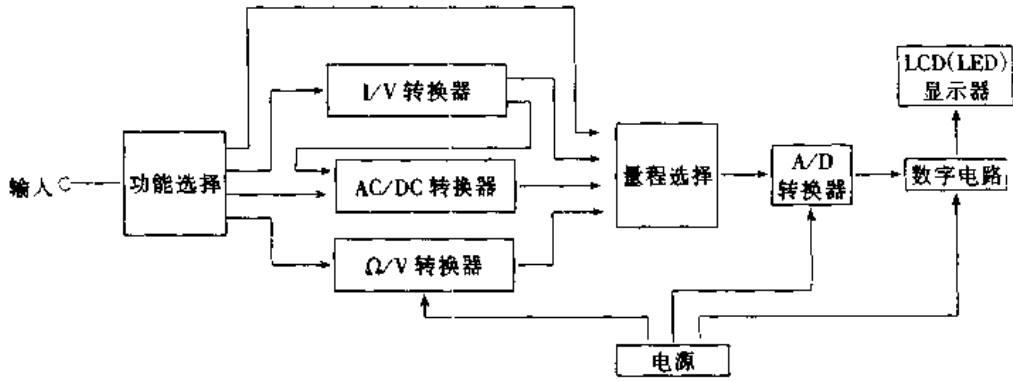


图 12.2.20 普通数字万用表的基本构成

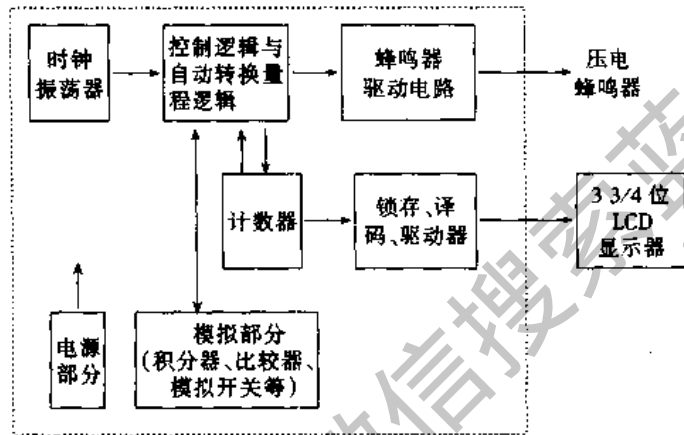


图 12.2.21 单片数字电压表的基本构成

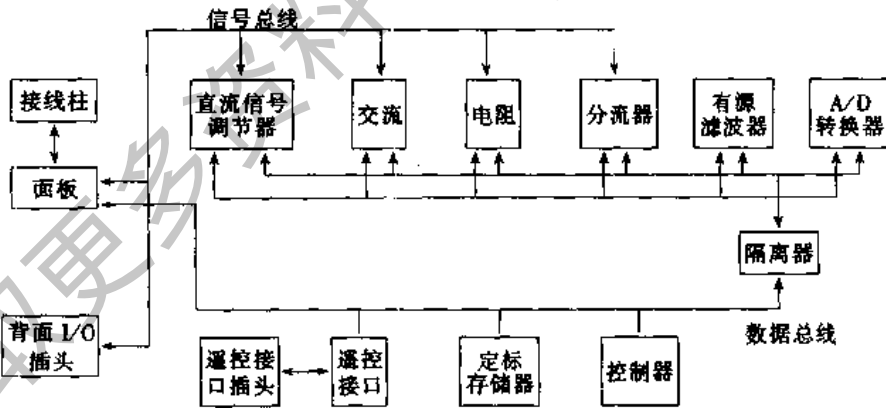


图 12.2.22 智能数字万用表的内部总线

三、使用及注意事项

- ① 测量直流电压时输入电压应限制在 1000V 以内。对于交流输入电压，规定在 700VRMS 以下（RMS 表示有效值）。
- ② DVM 的基本量程一般为 200mV。
- ③ 测量时，严禁误用电流档或电阻档测 220V 交流电压。
- ④ 数字万用表在测量电阻时，内部电压的极性是红笔为“+”，黑笔为“-”，与普通万用表所带的极性恰好相反。

第十节 电能表

一、功能、种类和特点

电能表又称电度表，是一种电能计量仪表，用来计算发电机发出电的电能或计算负载（用电设备）所消耗的电能。按使用的场合和计量的内容不同分为单相电度表和三相电度表。三相电度表又有计量有功功率和无功功率两种表计。另外，还有计量直流能的电度表以及可以按复费率计量电能的电表。

(1) 单相电度表 DD862-4 额定电压 220V，标定电流及最大电流 2.5 (10) A 至 30 (100) A 七种规格、准确度等级为 2.0。用于测量 50Hz 交流电路中的单相有功功率。属感应式结构仪表，用于测量单相交流电路的有功功率，常用于计量民用电能。

(2) 三相三线有功功率电度表 DS862 也是感应式电度表。额定电压 $3 \times 380V$ ，标定电流为 1.5 (6) A ~ 30 (100) A，准确度等级 2.0。用于测量额定频率为 50Hz 三相交流有功功率电能，主要用于计量工业用电能。

(3) 三相三线无功功率电度表 DX862 额定电压为 $3 \times 100V$ ，标定电流为 $3 \times 1.5 (6) A$ ，准确度等级为 2.0。用于计量额定频率为 50Hz 的三线制电网中的无功电能。

(4) 三相四线制有功功率 DT864 和三相四线制无功功率电度表 DX864 主要用于计量额定频率为 50Hz 的三相四线制电网中有功功率和无功功率。

(5) 三相三线复费率电度表 DSF933H 每天可分 9 个时段，按峰、平、谷三种费率准确记录各费率时段的用电量，一年可分四个季节，分别设定各季节的起始时间，遥控编程与抄表，红外遥控操作距离为 5m，时钟准确度小于 $0.3s/d$ ，时段转换准确度小于 $0.1s$ 。用于计量三相三线制有功复费率电能及连续时间或任意时段的最大需量电能。

(6) 电子式直流电度表 用于矿山电车及城市有轨电车计量其直流电能。

二、测量原理

单相电度表有两组绕在铁芯上的线圈，一组与电路并联称为电压线圈，另一组与电路串联称为电流线圈。此外还有一套记数机构称为积算器。当负载用电时，电压、电流线圈所产生的两个相位不同的磁通形成了移进磁场，此磁场在铝盘中感应出涡流，涡流又与磁通作用，对铝盘产生一定方向的力矩，使铝盘在制动磁铁的间隙中匀速旋转。其转速与电路的功率成正比。积算器被铝盘带着转动，并且累计铝盘的转数。因此在某一段时间内积算器的转数即与这段时间内电路消耗的电能成正比，所以积算器的读数即为电路的有功电能。

三、使用及注意事项

- ① 选择电度表时，要使电度表铭牌上的额定电压和额定电流值等于或略大于电路的电压和电流值。
- ② 单相电度表电能测量接线图见图 12.2.23。
- ③ 三相电能表接线如图 12.2.24 所示。

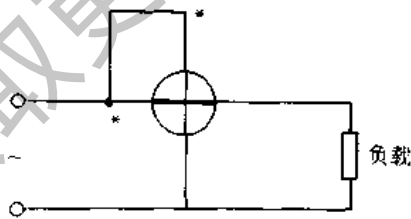


图 12.2.23 单相电度表电能测量接线图

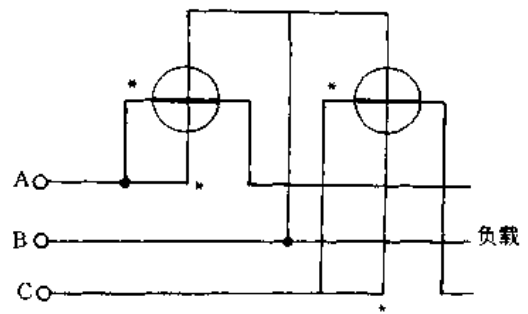


图 12.2.24 三相电能表接线图

第十一节 智能仪器

一、功能、种类和特点

智能仪器是以现代数字技术为基础，以计算机控制技术为核心发展起来的全新的电子测量仪器。

智能仪器具有如下功能和特点。

(1) 程控操作 智能仪器将用于常规测试的操作步骤编制成程序事先输入计算机, 操作人员只需按动键盘上某些“功能键”, 即可启动仪器自动完成测试工作。仪器具有一定的逻辑和运算功能, 使得仪器在短时间内进行更多的测量。

(2) 自动调节量程 测量范围、增益、频率范围等需要调节的功能可以通过程控指令去操作。测量中仪器会自动改变量程, 以便仪器处于最佳的测量工作状态, 减少人工干预。

(3) 具有自校功能 智能仪器自动完成自校和误差校正工作, 从而消除漂移、噪声以及某些干扰因数的影响。即仪器可以将自身的系统误差通过执行自检程序时存储起来, 而在测量时对测量结果进行修正, 从而保持始终如一的高准确度。

(4) 能够完成自动分选工作 具有保持始终如一的基本特点。

(5) 带有标准接口 可以和自动测试系统中的测量设备、计算机或外围设备连接, 使仪器不仅拥有大量工作的能力, 而且可以进行大量的数据管理。

智能仪器产品举例如下。

(1) HP-3455A 数字电压表 直流电压量程 0.1~1000V; 精度 0.005%; 输入阻抗在 0.1~10V 量限时 $> 10^{10} \Omega$, 在 100V 和 1000V 量限时为 $10M\Omega$ 。电阻量程 0.1~10000k Ω , 精度 0.005%。交流电压量程 1~1000V; 精度与测量频率和读数位数有关; 输入阻抗 $2M\Omega \pm 10\%$; 输入电容 $< 100pF$ 。此外, 还具有实时自动校准, 内部有两种算术运算功能, 备有 GPIB 标准接口母线, 可和其他设备或自动测试系统连接。

(2) 数字存储示波器 (简称 DSO) DSO 能够存储波形信息, 还具有模拟示波器所不具备的功能, 如预触发和后触发、毛刺捕捉、滚动显示和放大显示等。另外, DSO 还具有自动测量和数字处理功能。有些 DSO 还配有通讯硬件及其支持软件, 如 RS-232 接口、通用接口软件 (GPIB) 和 IEEE-488 总线。

(3) 76A 电容电桥 电容测量范围 0~20000pF, 自动转换量程, 工作频率为 1MHz, 基本测量精度为 0.1%, 四位半显示, 具有计算机程控和运算功能。

二、测量原理

智能仪器的基本组成如图 12.2.25 所示。

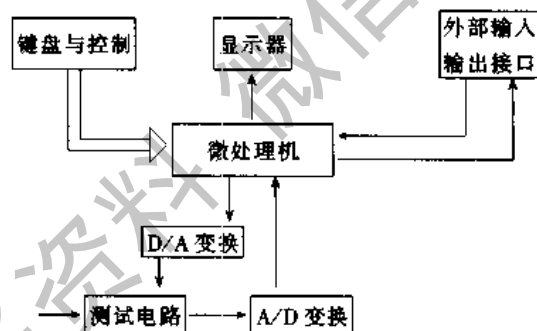


图 12.2.25 智能仪器的基本组成方框图

从图 12.2.25 中可见, 微处理器内含在电子仪器中成为控制核心。测试电路、键盘、显示器以及接口电路等是计算机的外围设备。由于被测信号大多数是模拟量, 需经 A/T 转换后才能送入计算机进行处理。同时计算机发出的各种控制指令有的经 D/A 转换成模拟信号馈与测量电路执行。仪器内部有数据、地址等总线, 用于传送系统内的信息。仪器与外部联系采用标准接口, 完成和外部计算机或其他自动测试系统的连接。

第十二节 UPS 电源

一、功能、种类和特点

UPS 即不间断供电电源的英文缩写, UPS 用于微电脑和精密电子仪器设备。它除了能经常有一稳定 220V 交流电输出之外, 还可在交流市电突然停电或瞬间某周波电压过高或过低时, 立即以千分之十秒高速度投入发电。继续对负载供电。对于在电源线上的短暂高电压尖峰脉冲和高频噪声信号均被有效地钳制及净化至最低程度, 以确保微电脑系统或精密电子仪器的正常运行。

UPS 分为后备式和在线式两种。前者输出电压波形为方波, 一般没有逆变输出隔离变压器, 体积小, 重量轻, 适用于微电脑系统的不间断供电。后者输出为正弦波电压波形, 输出功率大, 过载能力强, 适用于计算机

系统和精密电子设备。另外，标准型 UPS 后备电池安装在机内，供电持续时间较短。长时间供电则采用外接电池的 UPS 系列。

WH17501C 不间断电源，输入电压 220V (-15%，+20%)，输出电压 220V ± 3%；输出功率 1000kW，波形：正弦波，失真度小于 3%，输出频率为 50Hz，被用时间 1kVA > 10min。用于电子计算机、医疗设备和一些不容许突然掉电的电子系统及一些电脑控制设备。

二、电路原理

市电正常时，UPS 输出稳压的 220V 交流电，当发生停电时，则在极短时间内由电池供电，经逆变器发出 220V 交流电继续供给负载，供电持续时间在 5min 左右。如在电池供电期间，市电恢复正常，机内逆变器立即停止工作，自动转回市电对负载供电，同时，充电器对电池充电，直至电池达到额定值为止。

UPS 电源原理图见图 12.2.26。

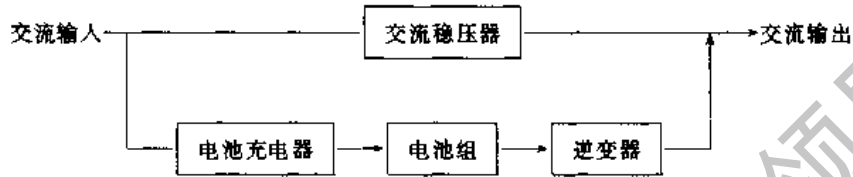


图 12.2.26 UPS 电源原理图

三、使用及注意事项

- ① 合上 UPS 电源开关之前，要检查电源电压等级是否符合要求，以避免可能导致人为损坏 UPS。
- ② 电脑及电子仪器等设备数目应根据它们的最大消耗功率的总和不超过 UPS 的有功功率而决定。
- ③ 当市电停电，UPS 蜂鸣器鸣叫，应及时将电脑的软件数据存入磁盘，然后关闭 UPS，待市电恢复正常后，再开机使用。
- ④ 若停电后由 UPS 供电至自动停机，不应使用电池供电，以免造成电池能量耗尽而可能失去再被充电的能力。
- ⑤ UPS 在久放后或初次使用时，尽量预充电 6h。

第三章 常用电子元件参数测试仪器

第一节 晶体管特性图示仪

一、功能、种类和特点

晶体管特性图示仪是运用示波器原理制成的一种直角坐标显示仪器，它能在荧光屏上以曲线的形式显示出晶体管特性曲线，从而求出晶体管的低频参数。与其他各种晶体管测试仪相比，图示仪具有测试简便、显示直观的突出优点。而且，图示仪采用扫描显示方式，故加在被测管上的电压、电流是瞬时的，从而减少被测管在高功率区域因发热引起的测量误差和防止过载损坏被测管。

(1) JT-1 晶体管特性图示仪 是一种全电子管的测量仪器，它与 JT3 配合可以测量大功率晶体管的特性曲线和参数。

(2) QT-2 晶体管特性图示仪 是一种全晶体管的测量仪器，最大集电极电流可达 50A。还附有 3kV 高压测量装置，可测量高反压晶体管击穿电压和反向漏电流。

二、测量原理

晶体管特性图示仪由集电极扫描电压发生器、基极阶梯信号发生器、阶梯信号放大器、X、Y 偏转放大器、高、低压电源及示波管控制电路组成。

图示仪的原理框图如图 12.3.1 所示。

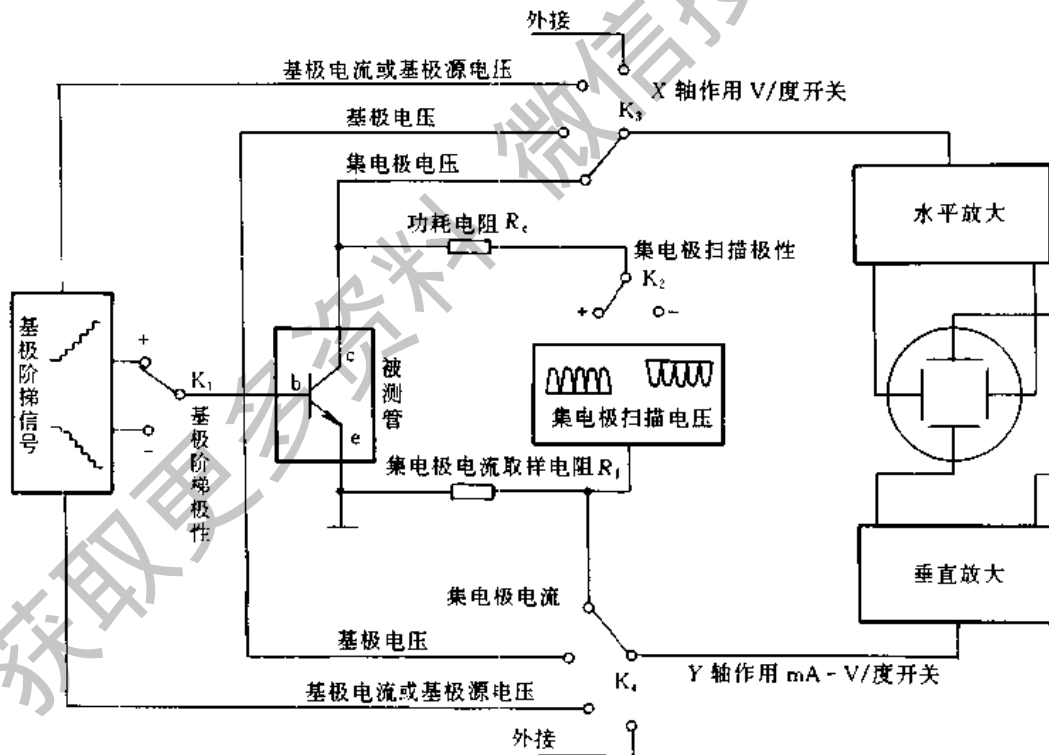


图 12.3.1 图示仪的原理框图

三、使用及注意事项

- ① 必须保证电源电压保持在 198 ~ 242V 范围内。
- ② 通常情况下，将“峰值电压”置 0。测量时从 0 开始缓慢增大。
- ③ “功耗限制电阻”旋钮除测量饱和电压（如 $U_{CE(sat)}$ ）及最大电流（如 I_{CM} ）外，一般应将“功耗限制电

阻”置于较大值 ($\geq 1k\Omega$), 这样既可保护被测元件不致电流过大, 又可防止由于被测元件击穿后导致损坏仪器。在测量击穿电压时更需注意。

④ 测量时, 注入的基极阶梯电流或电压应与被测管的功率、最大集电极电流相适应, 一般情况注入电流由小逐档增加, 以免被测管电流、功率击穿造成永久性损坏。同时, 正确选择“电流/度”, 它应与阶梯电流(电压)相适应, 一般情况应以大量程再逐档调至需要档级。

⑤ 测量被测管首先要了解是 PNP 或 NPN, 然后将仪器置相应极性。

第二节 品质因数测试仪

一、功能和特点

品质因数测试仪又称 Q 表, 用于测量电阻 R 、电容 C 、电感 L 的集总参数。使用简便, 工作频率宽, 易于校准, 更适合高 Q 值元件的测量。

二、测量原理

Q 表利用谐振法原理测量元件的参数, 电原理图如图 12.3.2 所示。

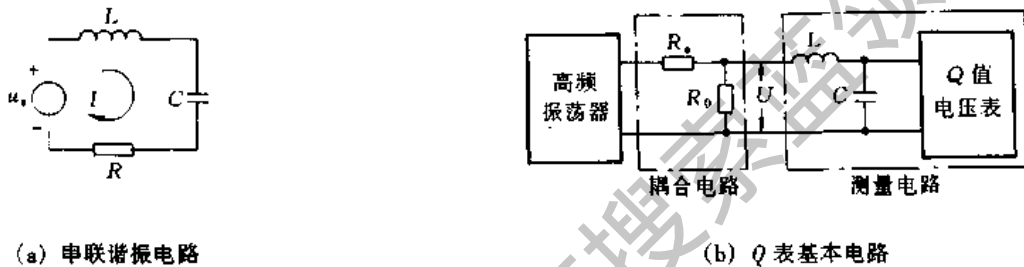


图 12.3.2 Q 表电原理图

由图 12.3.2 可见, 由于谐振时谐振回路电流 I 达到最大值, 且电压是信号源电压 u_s 的 Q 倍, 若保证信号源电压 u_s 为恒定电压, 则元件上的电压可用来指示电路的谐振状态, 且能以 Q 值标度。

测量电感时, 电路中电容 C 使用标准元件 (机内的可变电容 C_s)。按下式计算被测电感值:

$$L_x = \frac{2.53 \times 10^4}{f_0^2 C_s} \quad (\mu\text{H})$$

测量电容时, 电路中电感 L 使用标准元件 (标准电感 L_s)。按下式计算被测电容值:

$$C_x = \frac{2.53 \times 10^4}{f_0^2 L_s} \quad (\text{pF})$$

三、使用及注意事项

① Q 表通常有 4 个接线端子, 如图 12.3.3 所示, 信号源接 a 和 d 之间, 被测元件为电感时接 a 和 b 之间。若被测元件是电容, 则需要在 a 和 b 之间接入标准电感 (又称辅助电感)。 Q 表测量接线图如图 12.3.3 所示。

② Q 表进行测量的方法有直接测量法、并联替代法和串联替代法, 根据实际情况加以选择。

③ Q 值电压表是直接用 Q 值标度的电子电压表, 输入阻抗高, 灵敏度高。换接元件时应在电路处于失谐状态下。

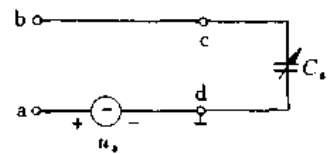


图 12.3.3 Q 表测量接线图

第四章 其他仪表仪器

第一节 测速表

一、功能、种类和特点

测速表又称转速表，它是测量电机等旋转体转速的仪表。转速表种类很多，有机械离心式转速表、机械钟表式转速表、电磁式转速表（利用测速发电机作速度传感器）以及闪光测速表。对于需要测量瞬时速度的场合，有各种测速传感器配以模拟方式或数字方式的显示装置构成测速表。有的还应用微型计算机进行控制、检测和运算。

(1) SS-2 闪光测速仪 测速范围：低档 200~3000r/min，高档 30~20000r/min，测速精度 $\pm (1 \times 10^{-4} \times \text{读数} + 1)$ r/min，五位 LED 显示，适用于微电机、纺织锭子和小型电动工具的测速。由于采用观察旋转体像的办法来测量转速值，所以一具有测速，二具有观察高速旋转体的运行状态的功能。SSC-1 为数字闪光测速仪。

(2) 光电转速传感器 如 SZGB-3，输出波形为方波，输出信号幅值“1”大于 8V，“0”小于 0.5V，输出脉冲数 1~600，最高频率 10kHz，最高转速小于 10000r/min，主要供单向计数器使用测量转速和线速度。另外，SZGB-4，测速范围 200~3000r/min，连续使用，采用红光器件结构的小型封闭式转速传感器，具有功耗小、寿命长，抗干扰能力强等特点。使用时通过联轴器与被测轴连接，当转轴旋转时，将角位移转换成电脉冲，供计数器使用。另外，采用可单头反射式光电传感器，内藏光电转换单元，能将被测物反映回来的光信号转换成电脉冲，与数字显示仪配合使用，不需另配电源就能测速。SZGB-6，采用调制光结构的单头反射式光传感器，具有测量距离远及不受环境光干扰的特点。内藏调制光发射和接收单元，能将被测物反射回来的信号转换成电脉冲。传感器输出电平适应性强，能与各种转速数字显示仪配套使用及与计算机接口电路直接连接。

(3) SZMZ-01 磁敏转速传感器 检测齿轮模数 M 大于 1.5mm（齿宽大于 2mm），具有测量范围宽、安装简便等优点，特别是使用温度可从 -10~65℃。

(4) SZHG-01 霍尔效应转速传感器 测量范围 1~10000r/min，是一种小型封闭式转速传感器，通过联轴节与被测轴连接，当转轴旋转时，将转角转换成电脉冲信号，供二次仪表使用。具有体积小、结构简单、无触点和启动力矩小等优点，并可进行连续测量。

二、测量原理

光电传感器、磁电式传感器、振动式传感器、电容式传感器输出的脉冲信号，经放大、整形后变为具有一定幅值的方波信号，其频率与转速成正比例。将此信号经过门电路，再输入计数器进行脉冲计数，最后用数字显示。控制门电路开闭的门控信号由石英晶体经分频电路得到。该种测量方法称为测频法，其测量原理图如图 12.4.1 所示。

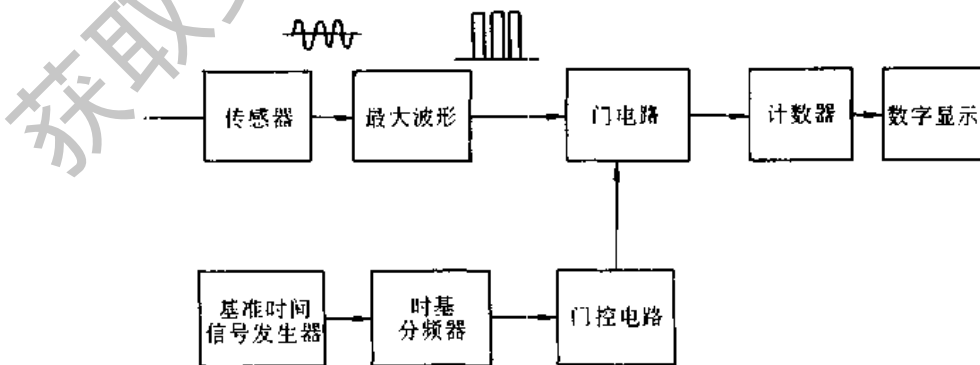


图 12.4.1 测频法测量原理图

另一种测量方法是将被测电动机输出的脉冲信号作门控信号控制门电路开闭，标准时间的脉冲信号经门电路送入计数器进行计数。该测量方法称为测周法，其测量原理图如图 12.4.2 所示。

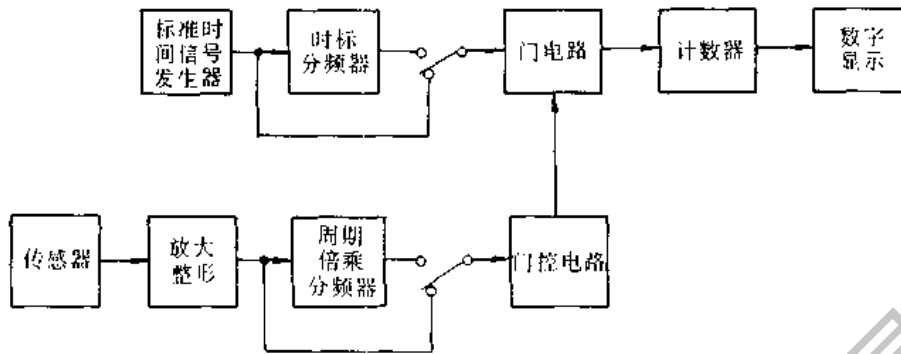


图 12.4.2 测周法测量原理图

三、使用及注意事项

- ① 使用接触式测速仪表时，应保持测量机构的转轴与被测电动机在一条连线上，不要将转轴硬顶在电动机轴上。
- ② 使用闪光测速仪、调节闪光频率时应从低到高缓慢变化。
- ③ 使用光电式测速表，应将测量窗口对准位于被测电动机转轴上的反光物，距离要求适中，待显示的数字稳定后再读数。

第二节 测功机

一、功能、种类和特点

测功机主要用于测定电机的静态转矩和稳态转矩。

- (1) 机械测功机 仅用于小型电动机的转矩测量。
- (2) 涡流测功机 用于测量电动机的稳态转矩。结构简单，使用方便，调节时平稳稳定，但需要直流电源供给励磁电流。设备使用时产生热量较大。
- (3) 磁粉测功机
- (4) 电机测功机 操作方便，测量准确度高，在测试时还可以将电能反馈给电网。

二、测量原理

测功机根据作用力和反作用力的平衡原理进行测量。采用测力计、磅秤、砝码或重锤直接与被测量的力求得平衡后从中计算出转矩的大小。

涡流测功机结构图如图 12.4.3 所示，电机测功机结构图如图 12.4.4 所示。

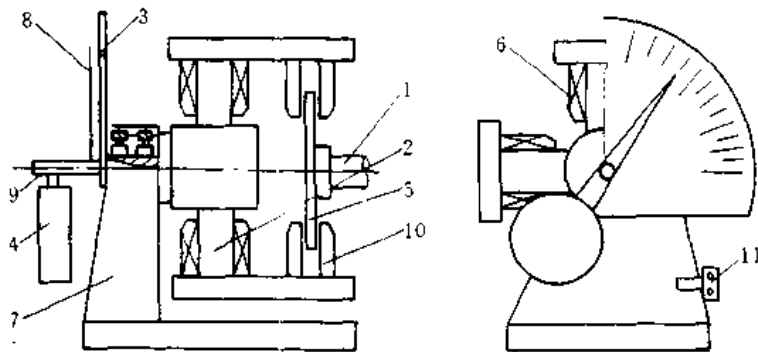


图 12.4.3 涡流测功机结构图

- 1—电动机轴伸；2—可偏转的磁极；3—刻度盘；4—平衡锤；5—圆钢盘；6—直流磁极绕组；7—轴承支架；8—指针；9—轴（磁极、指针与此轴一起偏转）；10—极靴；11—接线板

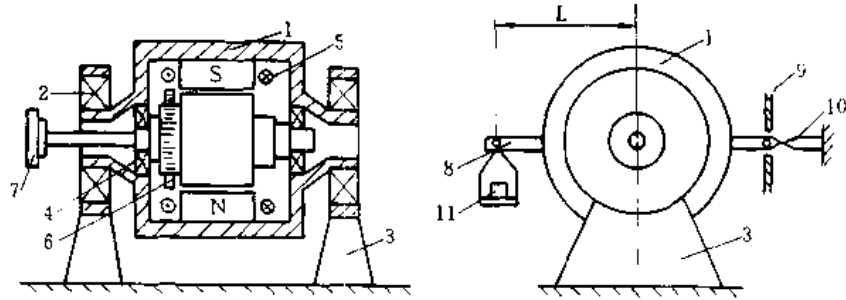


图 12.4.4 电机测功机结构图
 1—定子；2—轴承；3—轴承座；4—滚动轴承；5—励磁绕组；6—电刷；
 7—联轴节；8—杠杆；9—挡板；10—准星；11—砝码

三、使用及注意事项

- ① 使用机械测功机测量转矩时，增加制动力要迅速，并注意空心摩擦轮的温升变化。
- ② 当电机测功机作发电机运行时，实际值比读数大；而当电机测功机作电动机运行时，实际值比读数值小，测量时应加以校正。校正的方法是，先将测功机处于空载运行状态，测得测功机转轴上的输出转矩为0，而实际读数不为零，然后用这很小的数据对测量结果进行修正。

第三节 转矩转速测试仪

一、功能、种类和特点

转矩转速测试仪（简称转矩仪）用于测量旋转电机的转速和输出转矩。它具有精度高、数字直读的特点。可以替代电机测功机和其他类型的测功设备。如 ZJYW 微机型转矩转速测量仪，输入信号频率为 100Hz ~ 50kHz，是测量仪表的发展趋势。

二、测量原理

- ① 根据承受转矩的轴会产生扭变的原理，通过传感器测量轴的内部应力或导磁情况变化来反应转矩大小，既可以测量稳态转矩，又可以测量动态转矩。如电阻应变式传感器、差动变压器、霍尔元件式传感器以及电容式力传感器。
- ② 通过测量电机某些电量来确定被测转矩。电量法测量异步电动机转矩的电路如图 12.4.5 所示。

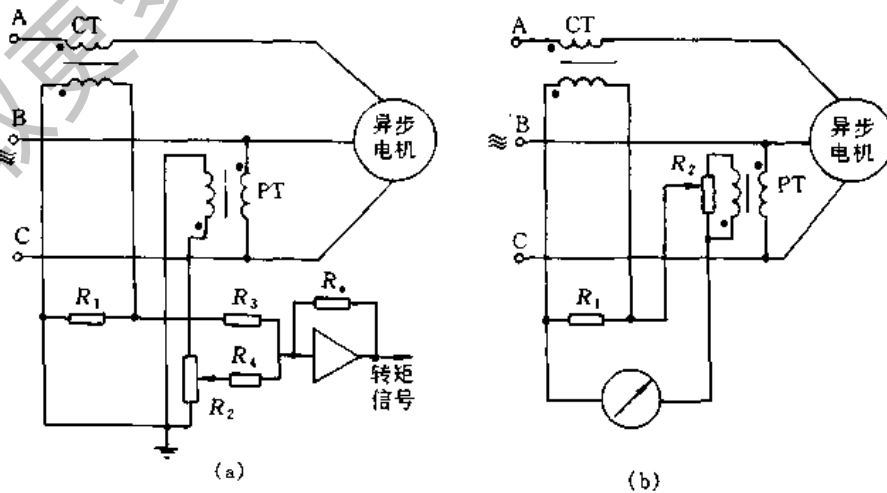


图 12.4.5 电量法测量异步电动机转矩的电路

③ 根据转矩使转子产生加速度的原理来测量电机的加速转矩。

④ 根据相位差式转矩传感器，如图 12.4.6 所示，测得弹性轴两段由于外加转矩产生两路同频率不同相位的信号，这相位角的变化与外加转矩成正比。转矩仪将这两路信号分别经过放大整形后进入检相器。再通过测时法变换成直读的转矩和转速值。也可以转换成输出信号，供示波器、记录仪以及计算机显示、处理。

三、使用及注意事项

① 转矩传感器中的弹性轴是转矩仪的重要部件，整个仪器的测量准确度、测量数据的重复性、稳定度、温度变化率等，在很大程度上都取决于弹性轴的性质。因此连接时严禁用铁锤敲打。

② 转矩传感器的底座安装时要求平稳，避免撞击。

③ 安装时要求被测电机、传感器及负载三者必须保证一定的同心度，安装示意图如图 12.4.7 所示。

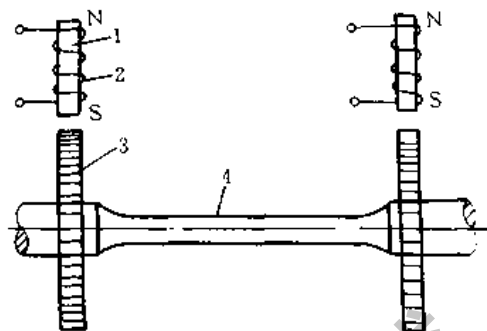


图 12.4.6 相位差式转矩传感器
1—磁钢；2—信号线圈；3—齿轮；4—弹性轴

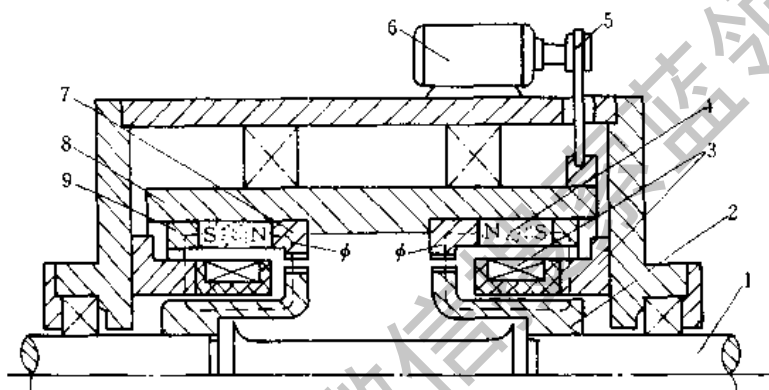


图 12.4.7 安装示意图

1—弹性轴；2—外齿轮；3—信号线圈及支架；4—永久磁钢；5—三角皮带；
6—电动机；7—内齿轮；8—旋转套筒；9—导磁环

第四节 接地电阻测试仪

一、功能、种类和特点

接地电阻测试仪（由称接地摇表）是用来测量电气设备的接地电阻的电工仪表。测量接地电阻的方法很多，可用伏安法，即用接地体与零电位区之间的电压降和通过接地体的电流比值来确定接地电阻数值。工程上，常用接地摇表测量接地电阻。

ZC-8 接地电阻测试仪用于直接测量各种接地电阻值，也可用于测量低电阻导体电阻值，还可测量土壤的电阻率。

二、测量原理

接地电阻测试仪主要是由手摇发电机、电流互感器、电位器和检流计等组成。手摇发电机发出的交流电压经电流互感器一次侧、辅助接地探针和被测区域形成环路电流，互感器二次侧经电位器和被测区域构成另一路电流回路，当电位器动触点电位（ U_b ）与测地探针电位（ U_p ）相等时，即检流计指零，可通过测量标度盘刻度读出测量值。接地电阻测试仪原理线路图见图 12.4.8。

三、使用及注意事项

① 被测接地板、电位探针及电流探针间隔 20m，且电位探针

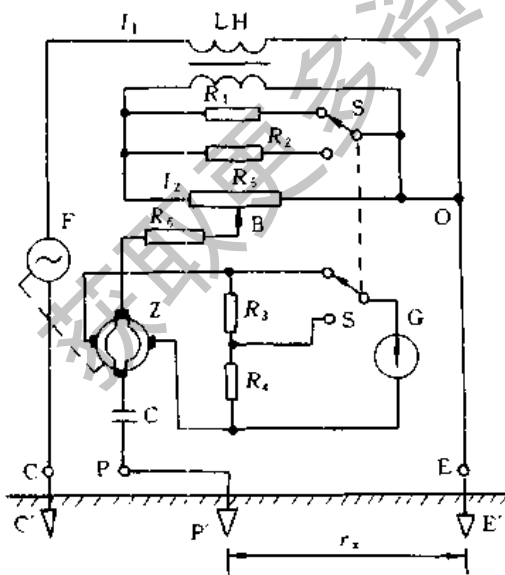


图 12.4.8 接地电阻测试仪原理线路图
LH—电流互感器；F—手摇发电机；E'—接地极；
C'—电流探针；P'—电位探针；G—检流计

在其他两者之间。

- ② 测量时，应将接地线与被保护的设备连线断开，然后进行测量。
- ③ 仪表要水平放置，检查检流计指针是否在红线位置上，如果不在，用零位调整器将其调到中心红线上。
- ④ 先将“倍率标度”置最大，缓慢摇动手摇发电机，同时旋转“测量标度盘”，直至检流计指向红线。
- ⑤ 用“测量标度盘”的读数乘以倍率标度的倍数，即得所测的接地电阻值。

第五节 谐波测试仪

一、功能、种类和特点

谐波测试仪又称为波形分析仪，用来分析被测信号中各次谐波的数量和这些谐波在信号中所占的比例以及测量各个谐波的能量。早先的谐波失真分析仪只能测量被测信号总的谐波失真，但不能指出是哪些谐波分量构成这种谐波失真。波形分析仪能够区分出谐波失真和非谐波失真，并能测试每一类谐波的大小，主要应用于电气测量、声谱分析和振动分析领域。

谐波测试仪是一种采用电扫描方法进行频率分量的选取，并以模拟方式（诸如电表、示波器及 X-Y 记录仪等）或数字方式来显示被测信号的频域分析结果的常用电子测量仪器。它可分为两大类。一是实时频谱分析仪，即在被测信号发生的实际时间内取得所需要的全部频谱信息，以进行分析及显示出结果，诸如多通道滤波器频谱仪、时基压缩式频谱仪、快速傅里叶变换（FFT）或离散傅里叶变换分析仪等，一般用于测试非周期信号。另一类是非实时频谱分析仪，即对被测信号进行多次采样，以完成频谱分析，一般用于测试周期性信号。

二、测量原理

现代的谐波测试仪，实质上就是智能化的频谱分析仪，如傅氏变换频谱分析仪。当被测信号经 A/D 转换变成一组数据点，存储器将数据存储起来，计算机采用 FFT 算法再对数据进行运算，导出频谱，以便进行谐波的测量和分析。

快速傅里叶频谱分析仪框图如图 12.4.9 所示。

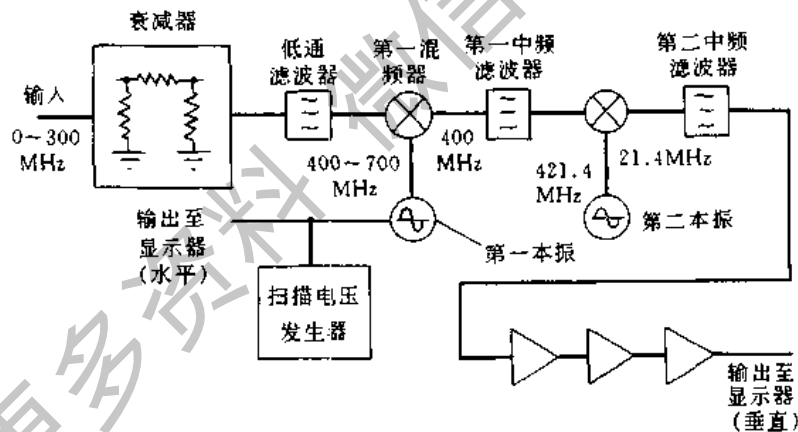


图 12.4.9 快速傅里叶频谱分析仪框图

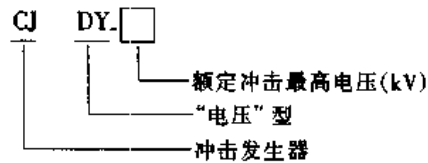
第五章 常用电气测试设备

第一节 冲击电压发生器

一、用途

CJDY 系列冲击电压发生器可产生符合国家标准的雷电波、操作波、雷电截波、振荡雷电波、振荡操作波和陡波。冲击电压是考核变压器、互感器、绝缘子、套管等电力产品的绝缘强度。

二、产品型号含义说明



CJDY 系列产品按照电压等级可分为三种系列，即 CJDY-1200 系列、CJDY-2400 系列、CJDY-4800 系列。

三、主要技术参数

CJDY-1200 系列参数见表 12.5.1。CJDY-2400 系列参数见表 12.5.2。CJDY-4800 系列参数见表 12.5.3。

表 12.5.1 CJDY-1200 系列主要技术参数

额定电压/kV	冲击电容量/11F	级电容量/11F	冲击能量/kJ	级电压/kV	级数
300	0.163	0.325	7.32	±150	2
450	0.1083		10.97		3
600	0.0813		14.63		4
750	0.065		18.3		5
900	0.0542		21.94		6
1050	0.04643		25.60		7
1200	0.040625		29.25		8

表 12.5.2 CJDY-2400 系列主要技术参数

额定电压/kV	冲击电容量/11F	冲击能量/kJ	级电容量/11F	级电压/kV	级数
1600	0.0625	80	0.5	±200	8
	0.09375	120	0.75		
	0.125	160	1		
1800	0.0556	90	0.5		9
	0.0833	135	0.75		
	0.1111	180	1		
2200	0.0456	110	0.5		11
	0.0682	165	0.75		
	0.09091	220	1		
2400	0.0417	120	0.5		12
	0.0625	180	0.75		
	0.0833	240	1		
2800	0.0357	140	0.5		14
	0.0536	210	0.75		
	0.0714	280	1		
3000	0.0333	150	0.5	15	
	0.05	225	0.75		
	0.067	300	1		

表 12.5.3 CJDY-4800 系列主要技术参数

额定电压/kV	冲击容量/11F	冲击能量/kJ	级容量/11F	级电压/kV	级数
3200	0.03125	160	0.5	±200	16
	0.04687	240	0.75		
	0.0625	320	1		
3600	0.0278	180	0.5		18
	0.04167	270	0.75		
	0.0556	360	1		
4000	0.025	200	0.5		20
	0.0375	300	0.75		
	0.05	400	1		
4200	0.0238	210	0.5		21
	0.0357	315	0.75		
	0.0476	420	1		
4800	0.0208	240	0.5		24
	0.03125	360	0.75		
	0.0417	480	1		

四、电气原理图

图 12.5.1 为常用原理图。图中, C_1 为主电容, C_2 为调波电容 (包括外加的调波电容、试品、测量装置、截波球隙等的电容及发生器本身的对地寄生电容), R_1 为波前电阻, R_2 为波尾电阻, G_S 为点火间隙, S_{on} 为截波球隙, L 为回路电感, T 为充电变压器, D 为整流元件, R_p 为保护电阻, u_C 为变压器高压测电压, V_S 为点火电压。

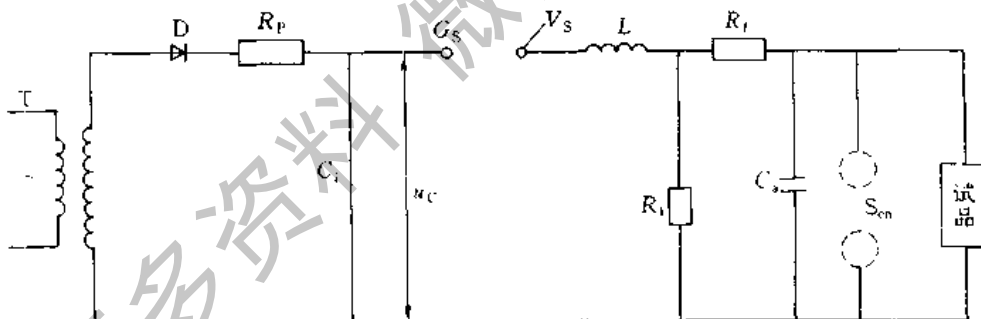


图 12.5.1 冲击电压发生器原理图

操作过程如下。

- ① 准备工作。充电设备、发生器本体截波装置分压器、试品测量设备及控制台均应妥善接地。
- ② 该设备正极性充电输出, 获得负极性冲击电压; 负极性充电输出, 获得正极性冲击电压。
- ③ 试验结束, 按停止按钮, 本体自动接地。

五、选用、使用和维护

CJDY 系列冲击发生器可产生 6 种符合国家标准和 IEC 规定的冲击电压波形, 可根据被试品的电压等级分别选择与产品相适应的参数。

CJDY 系列冲击电压发生器的操作人员应经过专业培训。

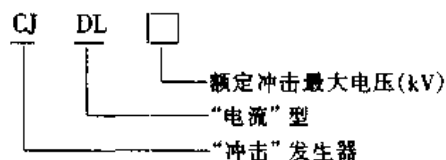
该设备需要经常性维护, 时刻保持设备的清洁, 各部分的接地引线应牢固可靠, 机械传动机构应经常加润滑油, 非专业人员不得乱动设备的任何部件。

第二节 冲击电流发生器

一、用途

CJDL系列冲击电流发生器是在试验室中产生模拟雷电流的试验设备，其特点是产生时间很短（从数微秒到百微秒），峰值很大的电流（从10A到百千安），冲击电流试验具有多种用途，如考核试品的雷电流通流能力，研究接地体冲击电流通过时特性、研究防雷措施等。

二、型号含义



三、技术参数

冲击电流发生器系列的结构外形及相应技术参数见图 12.5.2 和图 12.5.3。

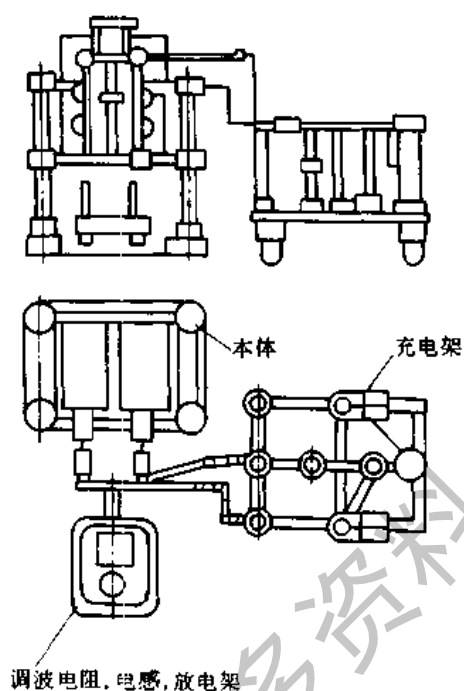


图 12.5.2 冲击电流发生器（一）

主要技术参数：额定电压 $\pm 50\text{kV}$ 或 $\pm 100\text{kV}$ ；波头 $1\mu\text{s}$ 陡波冲击电流幅值 $20\text{kA} \pm 5\%$ ； $4/10\mu\text{s}$ 冲击电流幅值 $100\text{kA} \pm 5\%$ ； $8/20\mu\text{s}$ 雷电波冲击电流幅值 $40\text{kA} \pm 5\%$ ； $30/80\mu\text{s}$ 操作波冲击电流幅值 $2\text{kA} \pm 5\%$ ； $18/40\mu\text{s}$ 冲击电流幅值 $20\text{kA} \pm 5\%$ 。

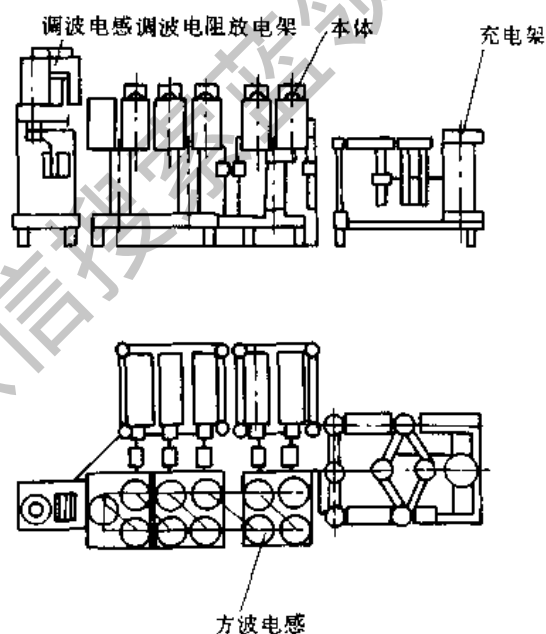


图 12.5.3 冲击电流发生器（二）

主要技术参数：额定电压 $\pm 50\text{kV}$ 或 $\pm 100\text{kV}$ ； $200\mu\text{s}$ 方波冲击电流幅值 $1.5\text{kA} \pm 5\%$ ；波头 $1\mu\text{s}$ 陡波冲击电流幅值 $20\text{kA} \pm 5\%$ ； $4/10\mu\text{s}$ 冲击电流幅值 $100\text{kA} \pm 5\%$ ； $8/20\mu\text{s}$ 雷电波冲击电流幅值 $40\text{kA} \pm 5\%$ ； $30/80\mu\text{s}$ 操作波冲击电流幅值 $2\text{kA} \pm 5\%$ ； $18/40\mu\text{s}$ 冲击电流幅值 $20\text{kA} \pm 5\%$ 。

四、电气原理图

冲击电流发生器电气原理如图 12.5.4 所示。

工作过程如下。

1. 手动部分

根据试验需要选择整流器极性和充电方式。检查放电回路后，合主电源，打开控制电源，将手动、自动按钮选择到手动位置，撤“启动”按钮，然后进行充电，当充电电压达到预期值并维持一定时间，即可按“触发”按钮，球隙放电输出冲击电流，示波器将显示冲击电流及残压波形。当试验结束时，按“停止”按钮时即自动接地，之后关闭电源。

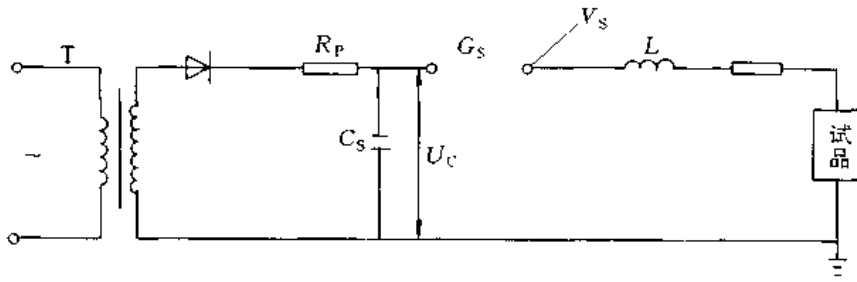


图 12.5.4 冲击电流发生器电气原理图

C_S —回路电容； L —回路电感； G_S —点火球隙； T —充电变压器； R_P —保护电阻； U_C —充电电压

2. 自动部分

将手动/自动按钮选到自动位置，打开电源，整定好电容器预期充电电压，选择好“充电时间”和“间隙时间”，按启动按钮，则将自动完成手动工作部分。

五、选用、使用和维护

CJDL 系列冲击电流发生器可产生 6 种符合国家标准规定的波形，根据被试品的不同规格，可选择与之相适应的冲击电流发生器，采用不同的充电方式可得到不同的冲击电流波形和幅值。

CJDL 系列冲击电流发生器应配备专业人员维护和使用不用时应遮盖，注意防潮防尘，机械传动部分应经常加润滑油，各部分引线接地应牢固。

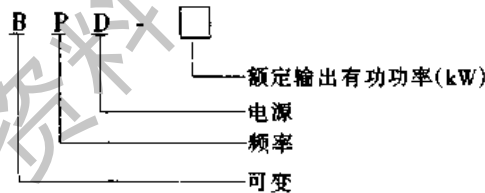
第三节 BPD 晶体管变频电源

一、用途

晶体管变频电源具有体积小、重量轻、操作方便、性能好、功能多等特点，普遍应用于电气设备的现场调试。

BPD 晶体管系列变频电源主要用作大型变压器的感应耐压试验和局部放电试验的电源，也用于 SF6 组合电器、SF6 断路器、电流互感器、电压互感器、电容型套管、高压电缆、带电作业工具等高电压设备的工频 (50~60Hz) 和变频 (50~300Hz) 的试验。

二、型号含义



三、电气原理及工作过程

BPD 晶体管变频电源电气原理如图 12.5.5。

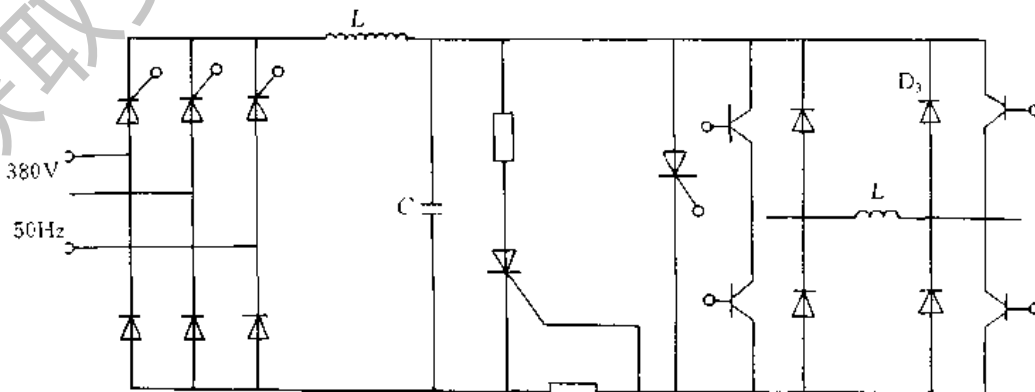


图 12.5.5 晶体管变频电源电气原理图

变频器的工作电源直接取自三相 380V 交流电网, 经具有过流和速断保护的空气开关和真空接触器送入三相桥式整流电路, 变成脉动直流, 经 L 和 C 组成的滤波电路, 将脉动直流变为平滑的直流电源, 供给功放电路。调频信号由一个性能稳定的信号发生器产生 45 ~ 300Hz 连续可调的正弦波去推动前置功放电路。

四、选用、使用和维护

根据不同的试品要求的参数, 选择不同的谐振装置和不同的变频电源联合起来, 找到合适的谐波点, 产生谐振电压, 同时必须接好过电压保护和过电流保护器, 预防谐振失调后, 过电压危害试品。

BPD 系列晶体管变频电源应定期检查内部接线和各接点螺丝紧固情况, 必须放置在干燥清洁的场地, 不使用时, 应将防水罩套上, 以免灰尘从风道进入柜内。

五、主要技术参数 (见表 12.5.4)

表 12.5.4 晶体管变频电源主要技术参数

相对湿度	≤ 90%		
额定输出电流/A	180	333	800
额定输出功率/kW	65	120	300

第四节 高压试验变压器

这里所说的高压试验变压器主要是指工频高压试验变压器。这种变压器主要用于水电厂、火电厂以及高压试验室, 它的用途是对电气设备、电器产品、绝缘材料等进行工频高压试验。

工频高压试验变压器的主要特点如下。

① 二次侧的电压较高, 电流较小。这种变压器二次侧的额定电压一般根据所要求的试验电压而定。单台变压器的电压等级可以达到 750kV 以上。对于电压超过 750kV 的变压器, 常采用多台串级式结构。二次侧电流则主要通过通过试验品的电流来确定, 有时还需考虑通过测量装置和补偿装置的电流大小。工频高压试验变压器二次侧的电流一般在 0.1 ~ 1A 之间, 但对于用在大型电机和电缆绝缘试验的变压器, 其二次侧电流可以达到几安培。

② 工频高压试验变压器大多为单相变压器, 且系户内装置, 冷却方式一般为油浸自冷式, 高压线圈常常一端接地。少数变压器制成户外装置, 高压线圈的两端均采用绝缘套管引出。

③ 工频高压试验变压器大多为半小时或一小时短时工作制, 但用于外绝缘污秽试验、线路电晕试验以及电缆试验者除外。

④ 由于电压等级高, 故绝缘层厚, 在结构上起着决定性作用。器身一般要求真空干燥, 对于 100kV 以上的还要求真空注油。

一、主要技术要求

① 工频高压试验变压器的输出电压波形应尽量接近正弦波形。所采取的措施之一是铁芯的工作范围应限定在磁化曲线的线性段, 这样可以减少由于空载电流的谐波分量而产生的谐波电压导致的电压波形的畸变。措施之二是选用波形畸变较小的调压设备。措施之三是可以加设滤波装置, 以减小谐波分量。

② 工频高压试验变压器的阻抗电压不宜太大, 这是由于试验变压器的二次电流为容性的, 经过调压器和变压器的阻抗后, 有可能导致输出电压超过电压比所确定的值。但工频高压试验变压器的阻抗电压也不宜太小, 否则将可能导致短路电流过大。一般说来, 单台变压器的阻抗电压一般为 4.5% ~ 10%, 多台串级时, 可以达到 40% 左右。

③ 一般情况下, 该类变压器的绝缘工频试验电压超过其额定电压不多, 这是由于该变压器不受大气过电压的影响, 操作过电压也受到一定的限制, 且大多系短时工作制的缘故。具体来说, 工频高压试验变压器的试验电压为: (a) 额定电压小于 50kV 的, 为额定电压的 1.3 倍; (b) 额定电压介于 50 ~ 150kV 之间的, 为额定电压 + 25kV; (c) 额定电压大于 250kV 的, 为 (1.1 ~ 1.15) 倍的额定电压。试验一般按感应法进行, 其持续时间为 5min。

④ 在试品前应放置保护电阻, 以防止被试品放电时可能对变压器造成损伤。

二、多台串级式结构的工频高压试验变压器

所谓串级式结构就是将两台或两台以上变压器的高压线圈彼此首尾串联, 串联后的高压输出为各台试验变压器的输出电压之和。后面一台的低压线圈由前一台的高压端的串级励磁线圈供电, 故后面一台的低压线圈、铁芯和油箱的对地电位均相应提高。图 12.5.6 为两台双套管式高压试验变压器串级连接示意图, 图中每台变压器的高压额定电压都相同, 绝缘都按 U_1 考虑, 输出电压为 $2U_2$ 。

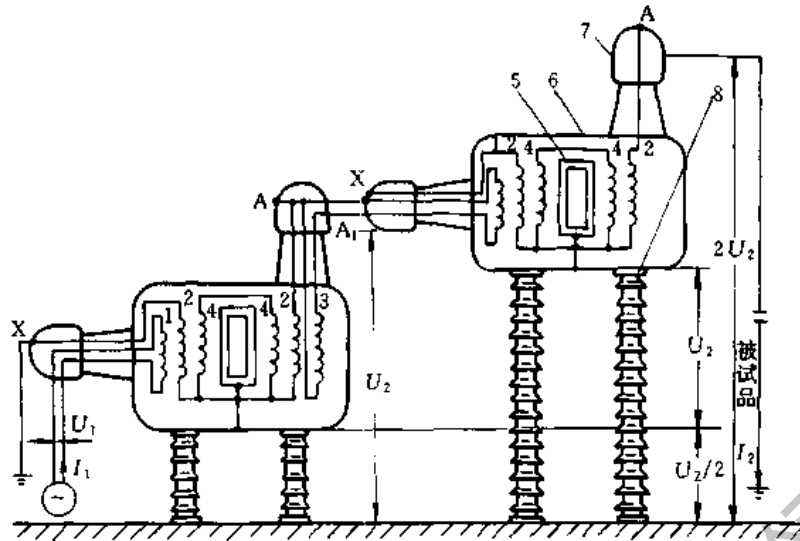


图 12.5.6 两台双套管式高压试验变压器串联连接示意图

1—低压线圈；2—高压线圈；3—串级激磁线圈；4—平衡线圈；
5—铁芯；6—油箱；7—套管；8—支柱绝缘子

通常额定电压超过 750kV 时，采用串级变压器组，但一般情况下串级不宜超过 3 级。

三、工频高压试验变压器主要技术数据

1. 型号含义

型号含义：Y—试验变压器；D—单相；S—三相；J—油浸自冷式；T—绝缘筒；W—无晕；C—串级；分数分子—额定容量 (kVA)；分数分母—高压侧额定电压 (kV)。

2. 主要技术数据

① YDJ 型单相工频高压试验变压器一般为单台装置，它的主要技术数据见表 12.5.5。在同一个铁芯上有高压、低压和仪表用三个绕组，或在低压绕组上抽一仪表用接头的两绕组结构。

表 12.5.5 YDJ 型单相工频高压试验变压器主要技术数据

型 号	额定容量 /kVA	额定电压 /kV		连接组 标号	结构 型式	允许工 作时间 /min	短路 损耗 /W	空载 损耗 /W	阻抗 电压 /%	空载 电流 /%	重量 /kg
		高压	低压								
YDJ-3/5	3	5	0.22	1/I-12	铁壳式	30			6		
-3/10	3	10	0.22	1/I-12	铁壳式	30			6		
-3/35	3	35	0.22	1/I-12	铁壳式	30	105	55	4.5	25	125
YDJ-5/50	5	50	0.22	1/I-12	铁壳式		180	200	9	8.5	104
-5/80	5	80	0.22	2/I-12	铁壳式		350	180	9	8.5	290
-10/100	10	100	0.22	1/I-12	胶木筒式	60	450	100	7.5	9.6	180
-25/100	25	100	0.38	1/I-12	胶木筒式		923	325	10.8	13.8	470
-25/150	25	150	0.38	1/I-12	胶木筒式		801	326	9.5	11.8	670
-50/50	50	50	0.22	1/I-12	胶木筒式		1100	850	5	10	550
-50/100	50	100	0.38	1/I-12	胶木筒式		2285	342	7.2	4.6	470
-50/150	50	150	0.38	1/I-12	胶木筒式		1478	880	8.4	16	850
-100/100	100	100	0.38	1/I-12	胶木筒式	30	3280	920	8.2	7.2	875
-100/150	100	150	0.38	1/I-12	胶木筒式		3150	1190	9.7	11.5	995
-180/35	180	35	0.38	1/I-12	铁壳式				5.5		1170
-100/50	100	50	0.22	1/I-12	铁壳式				5.5		1000
-200/35	200	35	0.40	1/I-12	铁壳式	60	2700	1100	4.5	4.5	1260
-250/100	250	100	0.38	1/I-12	胶木筒式	30	1300	1750	8.3	7.5	1500
-250/250	250	250	0.38	1/I-12	胶木筒式	30	6140	2007	8.5	6.9	3680
-500/500	500	500	3, 6, 10	1/I-12	瓷支柱式	5	3500	10100	4.5	16	20000
-750/750	750	750	3, 6, 10	1/I-12	瓷支柱式	5	4700	16400	5	17	33500

续表

型 号	额定容量 /kVA	额定电压 /kV		连接组 标号	结构 型式	允许工 作时间 /min	短路 损耗 /W	空载 损耗 /W	阻抗 电压 /%	空载 电流 /%	重量 /kg
		高压	低压								
YDJ-10/100	10	100	0.22	L/I-12	铁壳式		225	300	5.6	7.5	250
-25/100	25	100	0.22	L/I-12	铁壳式		480	800	5.7	24.5	280
-50/50	50	50	0.38	L/I-12	铁壳式		640	800	4.4	25	480
-50/100	50	100	0.38	L/I-12	铁壳式		880	550	4.9	6.5	340
-100/10	100	10	0.40	L/I-12	铁壳式		2400	410	11	5	500
-100/50	100	50	0.40	L/I-12	铁壳式		1620	1000	5.7	7.8	880
-100/100	100	100	0.40	L/I-12	铁壳式		2100	800	8.5	5.8	890
-25/150	25	150	0.22	L/I-12	铁壳式		520	725	4.4	8.4	470
-100/150	100	150	0.40	L/I-12	铁壳式		1620	1350	9.4	7.3	1100
-250/250	250	250	0.50	L/I-12	铁壳式			3000		3.6	2800
-400/100	400	100	0.50	L/I-12	铁壳式		3600	3000	9.6	6.1	2800

② YDJC 型单相工频试验变压器一般为串级装置, 它的主要技术数据见表 12.5.6。在同一铁芯上有高、低压和仪表用三个绕组, 或者在低压绕组上抽一仪表用接头的两绕组结构。

表 12.5.6 YDJC 型单相串级试验变压器主要技术数据

型 号	额定容量 /kVA	额定电压 /kV		连接组 标号	短路 损耗 /W	空载 损耗 /W	阻抗 电压 /%	空载 电流 /%	重 量 /kg
		高压	低压						
YDJC-333/333	333	333	10	L/I-12	2673	8500	4.55	17.5	11630
YDJC-666/666	333 + 666	666	10	L/I-12	2673 + 8001	2 × 8500	16.75	8.8	2 × 11630
YDJC-750/750	750	750	3	L/I-12			5		33500
YDJC-1000/1000	333 + 666 + 1000	1000	10	L/I-12	2673 + 8001 + 13571	3 × 8500	38.1	5.8	3 × 11630
YDJC-100/150	100	150	0.4	L/I-12					1400

③ YDTW、YDTCW 型工频试验变压器的主要技术数据见表 12.5.7。

表 12.5.7 YDTW、YDTCW 型试验变压器主要技术数据

型号规格	额定容量 /kVA	额定电压 /kV		$\Phi \times H$	重量 /kg
		高压	低压		
YDTW-1.5/50	1.5	50	0.22	450 × 458	41
YDTW-5/50	5	50	0.22	360 × 665	65
YDTW-10/50	10	50	0.22	645 × 790	110
YDTW-50/50	50	50	0.38	1500 × 1405	850
YDTW-10/100	10	100	0.22	645 × 813	135
YDTW-50/100	50	100	0.40	1180 × 1566	596
YDTW-15/150	15	150	0.38	1165 × 1667	695
YDTW-25/250	25	250	0.38	1280 × 1970	1100
YDTW-50/250	50	250	0.38	1280 × 1988	1250
YDTW-75/250	75	250	0.38	1280 × 1988	1450
YDTCW-10/2 × 50	10	100	0.22	800 × 300	310
YDTCW-10/2 × 100	10	200	0.22	2000 × 1702	370
YDTCW-20/2 × 100	20	200	0.38	900 × 2020	773
YDTCW-35/2 × 125	35	250	0.38	1280 × 2510	2341
YDTCW-45/2 × 250	45	500	0.38	1350 × 2720	4030
YDTCW-100/2 × 200	100	400	0.38	2000 × 3620	4280
YDTCW-500/2 × 250	500	500	3	2700 × 5534	11400
YDTCW-750/2 × 375	750	750	3	3600 × 7780	41500
YDTCW-200/2 × 500	200	1000	0.6	3300 × 7402	12400
YDTCW-1000/2 × 500	1000	1000	6	3600 × 9377	51865
YDTCW-1200/2 × 400	1200	1200	10	4000 × 13000	55200

四、使用和维护

使用过程中一定要按照规范程序，以确保人身安全。接地要牢固，控制室、示波器室等处应敷设相应厚度的绝缘胶垫，在仪器、仪表及低压电气设备的入口处，应装设保护电容器和放电球隙，以防试验中电位突然升高而造成绝缘损伤。

高压试验变压器使用率不是太高，应经常保持变压器干燥无灰尘，套管和连接线不应松动，注意油位，定期检查油的质量。

第五节 直流高压发生器

直流高压发生器是利用整流元件单向导电的特性将交流电压变成直流电压，并采取适当措施，将输出电压的脉动抑制到允许程度，主要作为空气间隙直流放电、各种绝缘材料、构件及装置在直流高压作用下的性能测试的试验设备。

一、电气参数（见表 12.5.8）

表 12.5.8 直流高压发生器电气参数

额定电压 /kV	级电压 /kV	负载电流 /MA
200	± 200	5 ~ 20
400		
600		
800		
1000		
1200		

直流高压发生器有三个基本参数：直流输出电压 U_{av} （平均值）、直流输出电流 I_{av} 和电压脉动。该产品对硅堆要求较高，以保证输出电压的脉动率抑制到允许 $< 3\%$ 。

二、工作过程

直流高压发生器常用主电路可取单相半波回路、单相全波回路、对称倍压回路、单相倍压回路和三相桥式回路，常用直流输出高压为数千伏到数百万伏，选择某一回路方案，需多方面比较再决定。

三、选用、使用和维护

首先应使充电装置、本体、电阻分压器、控制台等妥善接地，然后选择好加到试品上的电压极性，采用恒流方式（或调压器调压）启动主电源，充电到预加电压时对试品施加电压，时间一到停止充电（或）降压，待电容器释放一段时间之后钢带接地，试验结束。

第六节 YDX 谐振变压器

YDX 系列谐振变压器用于现场对电机、电缆电压和电流互感器试品进行试验。其优点是：输出电压波形好，供电变压器和调压设备容量小，试验简单、方便、可靠。如配备合适的调压电容，使其谐振在 50 ~ 60Hz 之间，也可以作为工频试验设备使用，同时也可作为 500kV 及以下电压等级的互感器、耦合电容器、氧化锌避雷器等电力设备的局部放电试验电源。

一、型号含义



二、主要技术参数（见表 12.5.9）

表 12.5.9 YDX 谐振变压器主要电气参数

型 号	额定容量 /kVA	高压电压 /kV	低压电压 /kV	型 号	额定容量 /kVA	高压电压 /kV	低压电压 /kV
YDX-70/35	70	35	0.22	YDX-270/35	270	35	0.22
YDX-105/35	105	35	0.22	YDX-300/100	300	100	0.22
YDX-250/50	250	50	0.22	YDX-350/35	350	35	0.38
YDX-275/55	275	55	0.22				

三、电气原理及工作过程

工频谐振变压器电气原理图如图 12.5.7。

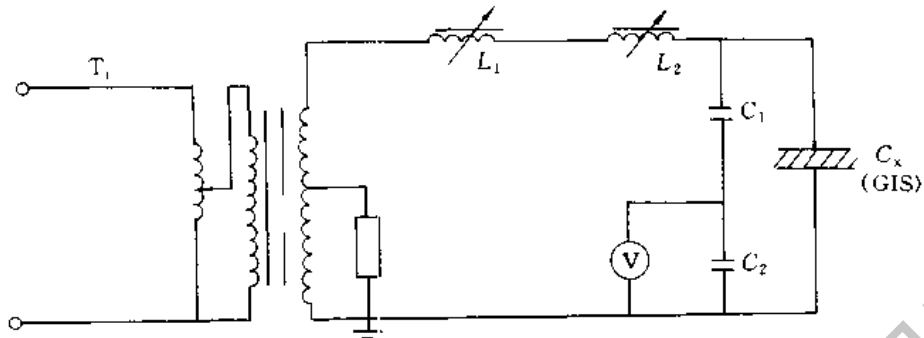


图 12.5.7 工频谐振变压器电气原理图

T_1 —调压器； C_x —被试品； L_1, L_2 —连续可调电抗器； C_1, C_2 —电容分压器

工作过程如下：工频谐振变压器装置，通过机械调感达到与试品电容进行串联谐振， Q 值可达到 8~10，电源仅供被试品变压器励磁有功功率，具有较好的输出波形电压。

四、选用、使用和维护

根据不同试品，选用不同电压等级、容量的谐振变压器，通过机械调感与被试品进行串联谐振。耐压结束后，调压器复到零位，被试品放电完毕，一次试验完毕。

YDX 系列谐振变压器是通过机械传动调节内部铁芯间隙，应注意上下限位灵敏，防止铁芯移动，传动轴滑出。

获取更多资料

微信搜一搜 星球

第六章 电动工具

第一节 概 述

一、应用

电动工具是以电动机或电磁铁为动力，通过传动机构驱动工作头的一种机械化工具。主要可分为手持式和可移式两大类。由于电动工具结构轻巧，携带和使用方便，因此广泛用于机械加工、建筑施工、设备安装、矿山开采、机械维修和住房装饰等各个方面，具有锯割、剪切、钻孔、去锈、磨光、攻丝、凿岩、螺栓紧固、木材加工、树枝剪枝、粉碎、割草、采茶等功能。

根据电动工具安全保护的要求，可分为Ⅰ类、Ⅱ类两种电动工具。

1. Ⅰ类电动工具

工具在防止触电的保护方面，不仅依靠基本（工作）绝缘，而且还包含一个附加的安全防护措施，即可触及的正常情况下不带电的金属零部件应可靠接地（PE）或接零（PEN）。

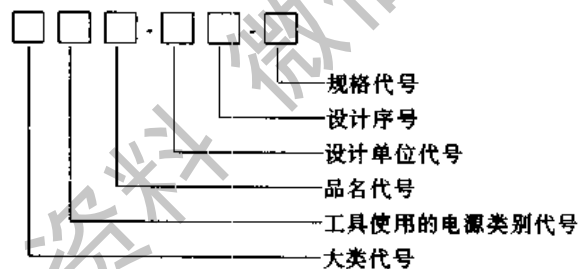
2. Ⅱ类电动工具

工具在防止触电的保护方面，不仅依靠基本（工作）绝缘，而且还提供例如双重绝缘或加强绝缘的附加安全防护措施。没有保护接地或依赖安装条件的措施，当基本（工作）绝缘损坏时，操作者仍与带电体隔离。

二、型号编制

电动工具的型号编制方法是根据国家标准 GB 9088—88 编制的，标准中规定了手持式和可移式电动工具（以下简称工具）及其组件的型号编制原则。

电动工具产品型号组成如下：



其中大类代号及品名代号各用一位汉语拼音字母表示见表 12.6.1。工具使用的电源类别代号见表 12.6.2。

表 12.6.1 电动工具大类代号及品名代号

大 类 (按使用对象)		品 名 代 号										
名称	代号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
金属切削	J	电铍刀		磁座钻	多用工具		刀锯	型材切割机	电冲剪	电剪刀	电刮刀	
砂磨	S	盘式砂光机	平板摆动式砂光机	车床电磨						模具电磨		
装配作业	P		电扳手		定扭矩电扳手							螺丝刀
林木	M	木工带锯	电刨	电插	木工多用工具	修枝剪			截枝机		开槽机	电链锯
农牧	N	采茶剪								剪毛机		粮食扦样机
建筑道路	Z	锤钻	地板抛光机	电锤	混凝土振动器	大理石切割机	金刚石带锯	电镐	夯实机	冲击电钻		膨胀螺栓扳手

续表

大 类 (按使用对象)		品 名 代 号											
名称	代号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	
矿山	K												
铁道	T		铁道 扳手					枕木 电锯					
其他	Q	塑料 电焊枪		裁布机		电动 气泵		管道 清洗机	卷花机	石膏剪	雕刻机		
大 类 (按使用对象)		品 名 代 号											
名称	代号	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	Y	Z
金属切削	J			电 动 坡口机		双刃剪	攻丝机		自爬式 锯管机				电钻
砂磨	S	角 向 磨光机		抛 光 机	气 门 座 电 磨		砂 轮 机	带 式 砂 光 机					
装配作业	P	拉 铆 枪			铆 螺 母 拉 铆 枪			钉 钉 机	墙 板 螺 丝 刀				胀管机
林木	M				曲 线 锯	木 铣	木 工 刀 磨 机					圆 锯	木 钻
农牧	N			喷 洒 机				修 碎 机					
建筑道路	Z	湿 式 磨 光 机			钢 筋 切 割 机	砖 墙 铣 沟 机	地 板 砂 光 机	套 丝 机			弯 管 机	铲 刮 机	电 动 混 凝 土 钻 机
矿山	K											岩 石 电 钻	电 动 凿 岩 机
铁道	T												枕 木 电 钻
其他	Q			电 喷 枪	除 锈 机		石 膏 电 锯	地 毯 剪				牙 钻	骨 钻

注：表里所列产品系指手持式或可移动式电动工具。

表 12.6.2 电动工具使用的电源类别代号

工具使用的电源类别	代 号	工具使用的电源类别	代 号
直流	0	三相交流 400Hz	4
单相交流 50Hz	1	三相交流 150Hz	5
三相交流 200Hz	2	三相交流 300Hz	6
三相交流 50Hz	3		

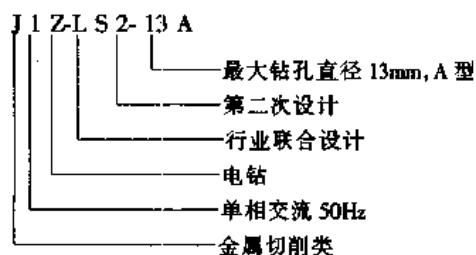
设计单位代号一般由设计单位名称的汉语拼音字头组成。统一设计产品的设计单位代号为“TS”。由主管部门组织行业联合设计的产品，设计单位代号为“IS”。

设计序号用数字表示。第一次设计的产品可省略此项。

规格代号一般用来表示该产品的主参数，用数字表示。

示例如下：

最大钻孔直径为 13mm 的 A 型电钻，使用电源为单相交流 50Hz，该产品为行业第二次联合设计。



三、电动工具的基本要求

① 安全可靠。在使用过程中避免发生触电事故，对Ⅰ类工具必须有可靠的保护接地或保护接零。应发展使用Ⅱ类工具，电源开关通、断电源及时可靠，作业工具、刀具应有安全防护罩，工具外壳应有防止手指触及内部旋转和带电零件。

② 结构轻便，噪声低，振动小，携带操作方便，坚固耐用。

第二节 电动工具的基本结构

电动工具的基本结构由外壳、电动机、传动机构、工作头、开关、干扰抑制器、电源插头及连接件组成，见图示 12.6.1。

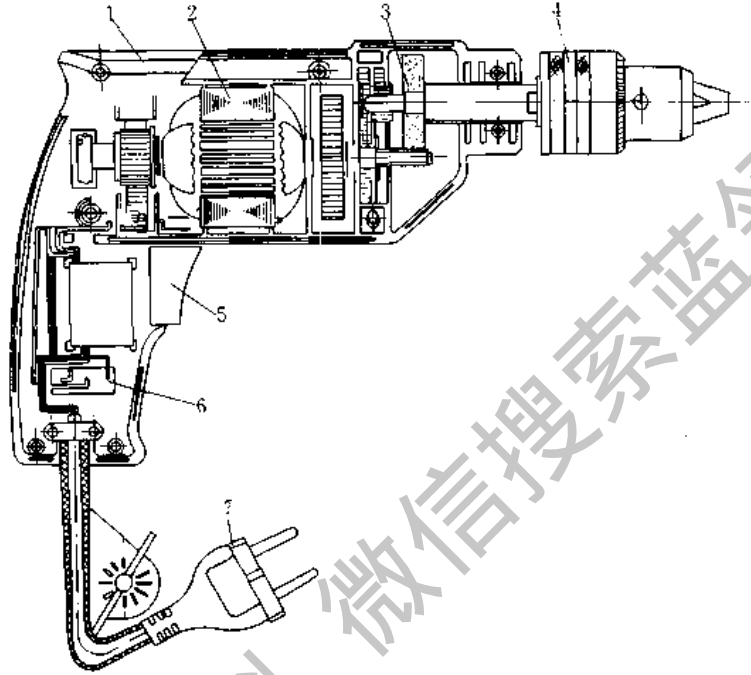


图 12.6.1 电动工具基本结构

1—外壳；2—电动机；3—传动机构；4—工作头；5—开关；6—干扰抑制器；7—电源插头

1. 外壳

外壳一般由工程塑料或铝合金制造，具有重量轻、强度高、造型大方、色泽美观和谐等优点，尤其是增强了电动工具的安全可靠性能。

2. 电动机

电动工具使用的电动机主要有单相串激、交直流两用、三相工频、三相中频异步笼式和永磁直流电动机等。较大规格的电动工具大多采用三相工频异步笼式电动机。永磁直流电动机一般用于微型和小型电动工具，可应用于农村地区和水下、高空作业。

3. 传动机构

传动机构主要功能是传递能量、变速和改变运动方向。由于加工作业的需要，电动工具运动有各种形式，如往复、冲击、旋转、振动和复合运动。传动齿轮中有直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、锥形齿轮和内啮合齿轮。传动特点是齿轮模数小，转速高，速比大，齿轮强度满足长期满载运转，能承受较大的制动转矩和冲击力，力求运动过程中噪声较小。

4. 工作头

工作头是作业工具和夹持结构的总称，包括对工件进行各种加工的刀具、刃具、磨具及其夹持部分，如夹持各种钻头、锯片、锯条、磨具、丝锥、螺丝刀及钎子的组合。

5. 开关

电动工具开关安装在电动工具本体或附件上，主要用作接通与分断电源或改变电动工具的旋转方向，限制

空载转速, 调节运转速度以及其他保护与控制, 并具有瞬时动作机构, 使触头快速通、断。手掀式开关能自动复位切断电源, 有的还装有自锁机构, 要求开关安全可靠。

6. 干扰抑制器

干扰抑制器用于抑制单相串激或交、直流两用电动工具对电视和无线电的干扰。但干扰抑制器装入工具的元件不得对工具的安全造成有害影响。

7. 电源插头及连接件

电动工具与电源连接主要由电源插头、电源电缆线、护套等组成, I类工具中带有保护接地线, II类工具中不允许有保护接地线。电源电缆线进入电动工具接口处要用橡胶等绝缘材料制成的护套保护, II类工具必须采用加强绝缘的电源插头。

第三节 常用电动工具简介

一、金属切削类

1. 电钻

(1) 用途结构 电钻主要用于金属、有色金属、木材、塑料等材料上的钻孔。电钻结构主要由外壳、电动机、传动机构、手柄、开关、工作头和电源线连接件组成。电钻外形见图 12.6.2。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.3)

表 12.6.3 电钻主要技术特性

型号	额定电压 /VAC	频率 /Hz	额定功率 /W	空载转速 /min ⁻¹	最大钻孔 直径/mm
JIZ-6	220	50	250	3500	φ6
JIZ-10	220	50	380	3500	φ10
JIZ-13	220	50	500	3000	φ13

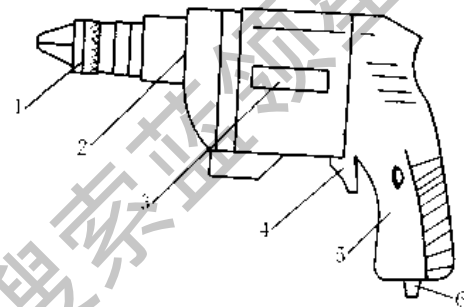


图 12.6.2 电钻外形图

1—工作头; 2—外壳; 3—铭牌; 4—开关;
5—手柄; 6—电源线连接口

2. 型材切割机

(1) 用途和结构 型材切割机是一种以三相异步笼式电动机和单相串激电动机为动力的可移动式轻型电动工具, 广泛用于机械、化工、交通、建筑、冶金、电力等部门, 普遍用于切割中小型角钢、槽钢等各种型材, 且能切割不锈钢、合金钢等材料。型材切割机结构主要由电动机、支架及底座、夹钳、增强树脂砂轮片、操作手柄、开关和电源线连接件等组成。型材切割机外形见图 12.6.3。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.4)

表 12.6.4 型材切割机主要技术特性

型号	额定电压 /VAC	频率 /Hz	额定功率 /W	空载转速 /min ⁻¹	砂轮直径 /mm
JIG-300	220	50	1600	5000	φ300
JIG-350	220	50	1700	4360	φ350
JIG-400	220	50	1800	3800	φ400

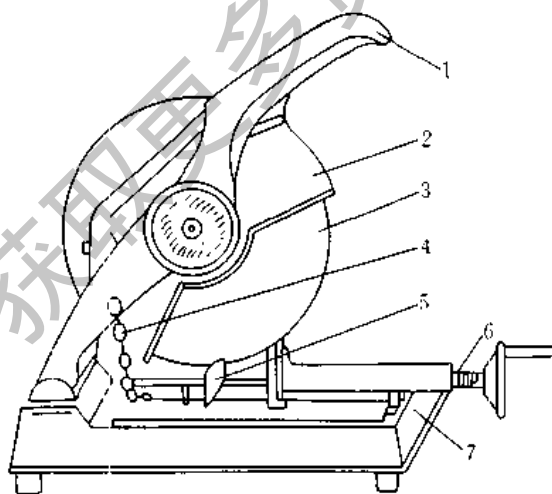


图 12.6.3 型材切割机外形图

1—手柄; 2—安全罩; 3—砂轮片; 4—链条;
5—定位块; 6—丝杆; 7—底座

3. 电冲剪

(1) 用途与结构 电冲剪是用来冲剪波纹钢板、塑料板及开切各种形状孔洞的工具。电冲剪由电动机、齿轮减速箱、连杆、上下冲模、电源开关、电源连接件等组成。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.5)

表 12.6.5 电冲剪主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	频率/Hz	额定功率/W	往复次数/ min^{-1}	最大冲剪厚度/mm
JIC-1.5	220	50	240	1200	1.5
JIC-2.5	220	50	430	700	2.5

4. 其他

金属切削类电动工具还有磁座钻、电动攻丝机、电动往复锯、电动锯管机等等。

二、砂磨类

1. 角向磨光机

(1) 用途与结构 电动角向磨光机主要用于修磨金属件的飞边、毛刺、焊缝，并可用于切割金属型材和切割瓷砖、石棉等建筑材料，亦可对金属表面进行砂光、除锈处理，因此广泛用于机械、车辆、船舶、化工、冶金和建筑部门。电动角向磨光机由电动机、齿轮箱、外壳、手柄、开关、砂轮和电源连接件组成。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.6)

表 12.6.6 电动角向磨光机主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	频率/Hz	额定功率/W	空载转速/ min^{-1}	砂轮直径/mm
SIM-115	220	50	500	11000	$\phi 115$
SIM-125	220	50	650	11000	$\phi 125$
SIM-180	220	50	1800	7000	$\phi 80$
SIM-230	220	50	1800	6600	$\phi 230$

2. 三角摆动式砂光机

(1) 用途与结构 三角摆动式砂光机主要用于对木结构进行精磨砂光，对内、外墙面装饰，对三角区进行砂平、砂光和对金属表面除锈、砂光，广泛用于建筑装潢、房屋装修、家具制造、汽车、造船砂光、油漆等方面。

三角摆动式砂光机结构由电动机、传动机构、开关、外壳、三角摩擦板及电源线连接件等组成，三角摆动式砂光机外形见图 12.6.4。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.7)

表 12.6.7 三角摆动式砂光机主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	频率/Hz	额定功率/W	空载转速/ min^{-1}	砂纸尺寸/mm
MIS-90×3	220	50	180	6500	90×90×90

3. 其他

砂磨类电动工具还有盘式砂光机、砂带机、砂轮机、曲轴修磨机等等。

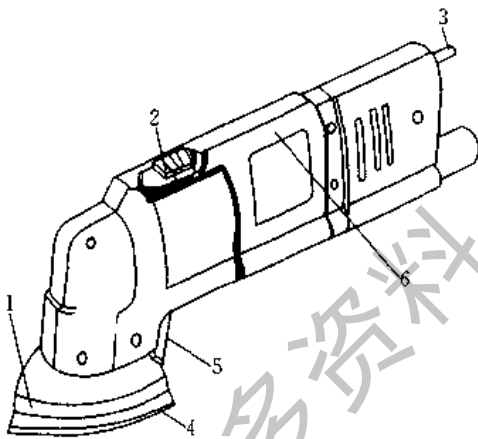


图 12.6.4 三角摆动式砂光机外形图

1—磨头；2—开关；3—电源线；
4—排屑口；5—吸尘管；6—把手

三、装配作业类

电动扳手是装卸螺纹连接件的手持式电动工具。其主要技术特性见表 12.6.8。

表 12.6.8 电动扳手主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	频率/Hz	额定力矩/ $(\text{N}\cdot\text{m})$	适用范围/mm	型 号	额定电压/VAC	频率/Hz	额定力矩/ $(\text{N}\cdot\text{m})$	适用范围/mm
PIB-8	220	50	0.4~15	M6~M8	PIB-16	220	50	50~150	M14~M16
PIB-12	220	50	15~60	M10~M12	PIB-20	220	50	120~220	M18~M24

其他装配作业类电动工具还有电动螺丝刀、电动胀管机、电动铆枪等。

四、林木类

1. 电圆锯

(1) 用途与结构 电圆锯是一种锯割木材、纤维板、塑料及类似材料的手持式电动工具。其结构由电动机、传动齿轮、防护罩、电源开关、手柄、调节底板、锯片及夹紧装置、电源连接装置等组成。其外形见图 12.6.5。

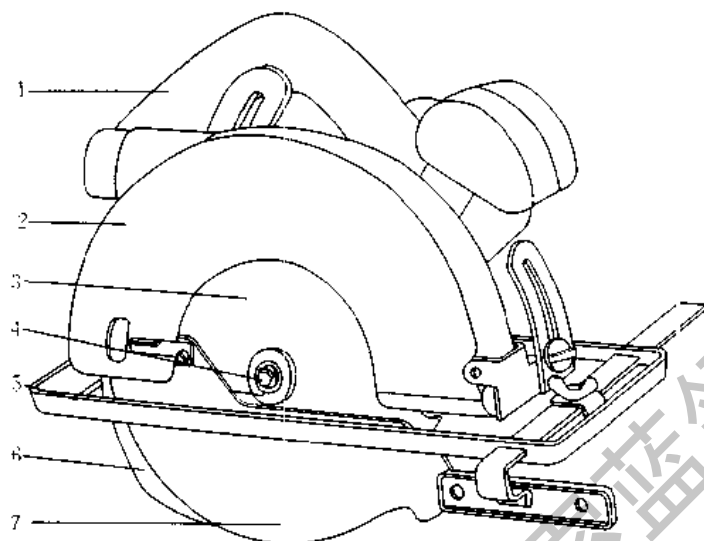


图 12.6.5 电圆锯外形图

1—手柄；2—静护罩；3—锯片；4—锯片夹紧装置；5—调节底板；6—跟刀框；7—活动护罩

(2) 主要技术参数 (表 12.6.9)

表 12.6.9 电圆锯主要技术特性

型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)	最大锯深/mm
M1Y-180	220	50	1050	4000	62
M1Y-160	220	50	1000	4000	52
M1Y-140	220	50	800	4000	42

2. 曲线锯

(1) 用途与结构 电动曲线锯用于锯割木材、塑料、橡皮、纸板、铝板、钢板及类似材料的工具，广泛用于汽车、建筑、装潢、皮革、家具等行业，其结构由电动机、偏心轮、滑杆装置、锯条、底板、开关及电源连接件等组成。曲线锯外形见图 12.6.6。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.10)

表 12.6.10 曲线锯主要技术特性

型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	额定功率/W	锯条往复次数/ min^{-1}
M1Q-55	220	50	380	1500
M1Q-65	220	50	550	1400

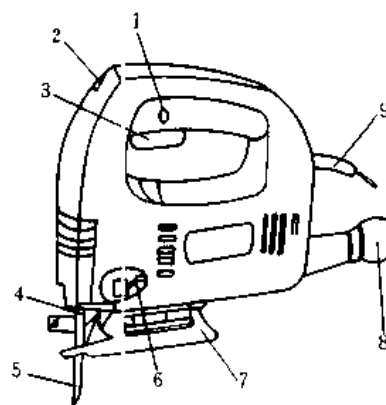


图 12.6.6 曲线锯外形图

(1) 用途与结构 电刨是对各种木材、板料等平刨加工的电动工具。其结构由电动机、刀腔机构、手柄、盖板、开关、刨削深度调节钮和电源线连接件等组成。电刨外形见图 12.6.7。

1—自锁按钮 2—调速轮；3—开关；4—锯条压块；5—锯条；6—导轮调节器；7—底板；8—吸屑管；9—电源连接件

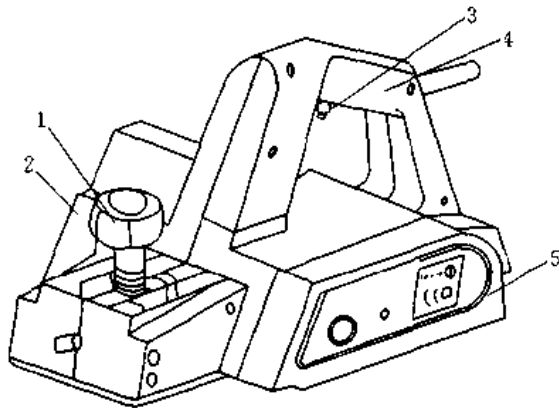


图 12.6.7 电刨外形图

1—刨削深度调节钮；2—右盖板；3—开关（按钮）；4—手柄；5—左盖板

表 12.6.11 电刨主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	额定功率/W	空载转速/(r/min)	锯割宽度/mm	锯割深度/mm
M1B-82×2	220	50	600	$n_0: 16000$	82	2

冲击电钻具有双速、无级调速功能，打大孔时用低速，打小孔时用高速。冲击电钻外形见图 12.6.8。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.12)

表 12.6.12 冲击电钻主要技术特性

型号	电压/VAC	频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)	最大钻孔直径/mm
Z1J-10	220	50	380	$n_0: 3600$	φ10
Z1J-13	220	50	500	$n_0: 2500$	φ13
Z1J-16	220	50	720	$n_0: 1000$	φ16

2. 电锤

(1) 用途与结构 电锤主要用于混凝土、砖石等建筑物、构件上凿孔、开槽、打毛等作业。电锤比冲击电钻打孔效率高 15~20 倍。

电锤设计制造成 II 类工具，由电动机、齿轮减速器、曲柄连杆冲击机构、转钎机构、过载保护装置、电源开关及电源连接装置等组成。电锤的电源开关采用耐震的手掀式带自锁的复位开关。电源线的软电缆采用橡胶套电缆，电源插头与橡胶套电缆压塑成一体，为不可重接电源插头。电锤外形见图 12.6.9。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.13)

表 12.6.13 电锤主要技术特性

型 号	电压/VAC	频率/Hz	输入功率/W	空载转速 (r/min)	最大钻孔直径/mm
Z1C-16	220	50	500	$n_0: 1400$	φ16
Z1C-20	220	50	550	$n_0: 1350$	φ20
Z1C-26	220	50	700	$n_0: 1300$	φ26

(2) 主要技术特性 (表 12.6.11)

4. 其他

其他林木类电动工具还有电链、木工凿榫机等。

五、建筑道路类

1. 冲击电钻

(1) 用途结构 冲击电钻主要用于混凝土、砖石等建筑物、构件上凿孔、开槽、打毛等作业。它具有可调式结构，当调节在旋转无冲击位置时，装上普通麻花钻，就能在金属上钻孔；当调节在旋转带冲击位置时，装上镶有硬质合金的钻头，就能在砖石、轻质混凝土等脆性材料上打孔。

电机采用单相串激电动机，器具具有双重绝缘结构，安全可靠，冲击频率同齿高、间距、齿数有关。冲击钻频率越高越好，冲击频率为主轴转速乘以齿数。

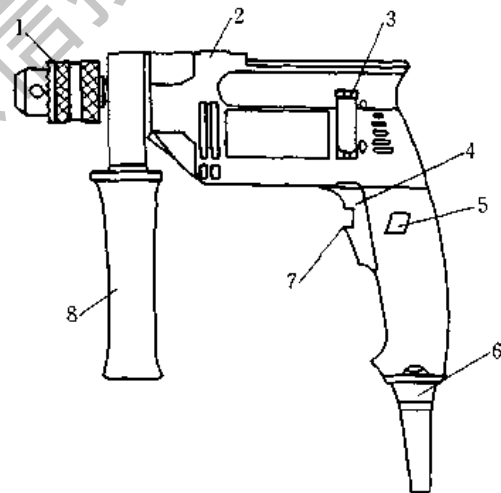


图 12.6.8 冲击电钻外形图

1—钻夹头；2—冲击/转动转换推块；3—换向拨盘；4—开关掣；5—固定开关掣；6—电源插头；7—调速轮；8—辅助手柄

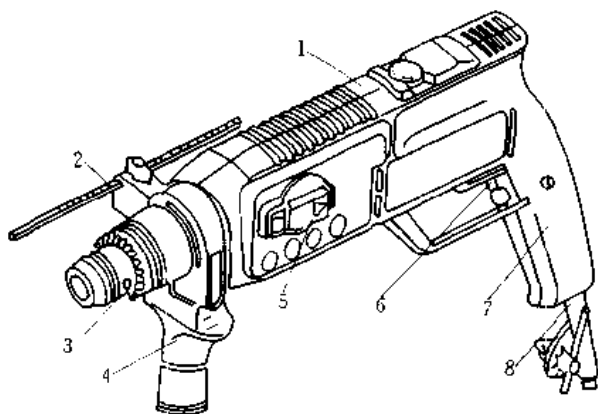


图 12.6.9 电锤外形图

1—机壳；2—标杆；3—工作头；4—辅助手柄；5—功能调节钮；6—开关；7—手柄；8—电源连接套管

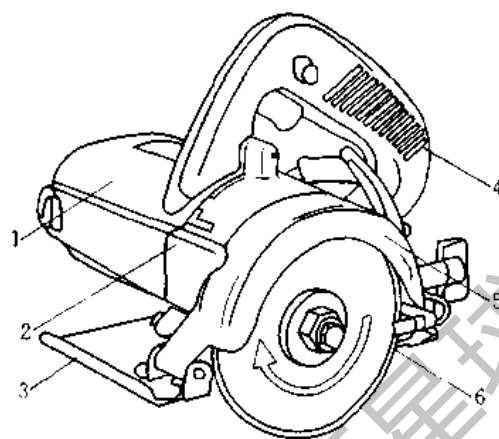


图 12.6.10 电动石材切割机外形图

1—内装电动机；2—外壳；3—底板；4—手柄；5—保护罩；6—刀片

3. 电动石材切割机

(1) 用途与结构 电动石材切割机用金刚石切割片对石材、大理石板、瓷砖、水泥板等含硅酸盐的材料进行切割，但对金属材料不得使用。

电机采用单相串激电动机，器具具有双重绝缘结构，安全可靠，锯割混凝土、瓷砖或石材时，要先浇水，电机内部不得沾水，锯割深度不得大于 20mm，开关不得带自锁。电动石材切割机见图 12.6.10。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.14)

表 12.6.14 电动石材切割机主要技术特性

型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)	最大锯深/mm
Z1E-110	220	50	1050	n_0 : 11000	30

4. 其他

其他建筑道路类电动工具还有混凝土振动器、湿式磨光机、套丝切管机等。

六、矿山类

1. 电动凿岩机

(1) 用途与结构 电动凿岩机主要用于矿山开采、地质勘探、道路建设、水利建设等施工凿岩作业，由电动机和冲击旋转两大部分组成，由于其工作环境潮湿，施工对象震动强烈，因此要求电动机有较好的防潮性能和可靠的机械强度。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.15)

表 12.6.15 电动凿岩机主要技术特性

型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输出功率/W	冲击次数/ min^{-1}	转钎扭矩/($\text{N}\cdot\text{m}$)	钎头转速/(r/min)
K3Z	380	50	2000	2300	10	200

2. 煤电钻

(1) 用途与结构 煤电钻主要用于煤层中回采和掘进工作面钻孔。煤电钻分为手持式、支架式和自动进给式三种。煤电钻的结构由隔爆电动机、减速箱、开关等组成，其隔爆壳体是将电气装置安装在强度高且不传爆的壳体内，以防止可燃性的甲烷或煤尘的爆炸。煤电钻在使用前必须检查是否选用了“KB”标志的产品，使用时必须严格遵守操作规程。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.16)

表 12.6.16 煤电钻主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输出功率/W	主轴转速/(r/min)	钻孔直径/mm
K1Y	127	50	1200	630	$\phi 36 \sim \phi 45$

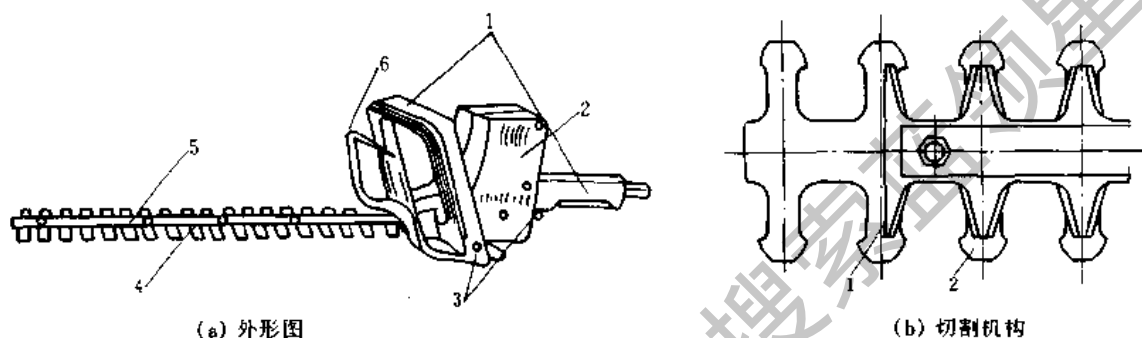
3. 其他

其他矿山类电动工具还有隔煤型电动扳手等。

七、农牧园艺类

1. 电动剪枝机

(1) 用途与结构 电动剪枝机在园林作业中用于灌木、树篱的修剪及修枝。电动修枝机多采用永磁直流电动机驱动，电动机的旋转运动通过偏心滑块机构转换成切割刀片的平面往复运动。使用操作时要防止衣服卷入切割机构，不能让电源线卷绕在切割机构上。修枝切割时如有堵塞，应将电源开关断开后再排除故障，以防止意外事故发生。剪枝机外形见图 12.6.11。



1—手柄；2—电动机、偏心滑块机构；3—开关；
4—切割刀片；5—切割机构；6—安全防护架

1—刀片；2—刀齿

图 12.6.11 剪枝机外形图

(2) 主要技术特性 (表 12.6.17)

表 12.6.17 剪枝机主要技术特性

型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)	备注	型号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)	备注
M1E-300	220	50	200	$n_0: 850$		M1E-460	220	50	380	$n_0: 1000$	
M1E-350	220	50	200	$n_0: 850$		M1E-508	220	50	380	$n_0: 1000$	

2. 电动割草机

(1) 用途与结构 电动割草机用于园林作业中修剪草坪。电动割草机有手持操作和长手柄操作两种方式，采用永磁直流电动机驱动，由电动机的旋转运动通过齿轮减速，再由偏心轮带动刀片作往复运动，割草时手推移动手柄实现割草工作。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.18)

表 12.6.18 电动割草机主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	输入功率/W	空载转速/(r/min)
N1F-250	220	50	250	14000
N1F-300	220	50	400	11000
N1F-400	220	50	400	11000

3. 树叶吸入式粉碎机

(1) 用途与结构 树叶吸入式粉碎机主要用于园林作业中自动吸入落叶并加以粉碎，工具轻巧，使用方便，既能清除残叶，又能化残叶为绿肥。

(2) 主要技术特性 (表 12.6.19)

表 12.6.19 树叶吸入式粉碎机主要技术特性

型 号	额定电压/VAC	额定频率/Hz	额定功率/W	树叶吸入量/(m ³ /min)	线速度
NIY-1200	220	50	1400	12	70

4. 电动剪毛机

(1) 用途与结构 电动剪毛机用于牧场剪羊毛、牛毛及马毛，代替人工剪毛。电动剪毛机主要有三相工频软轴式、三相中频式和单相串激式三种，剪毛前按照畜类的品种选用刀片，并按照剪毛粗细选用宽幅或窄幅刀片，剪毛机产品附有三角架和磨刀机。

(2) 主要技术特性（表 12.6.20）

表 12.6.20 电动剪毛机主要技术特性

型 号	额定电压 /VAC	额定频率 /Hz	额定功率 /W	刀片摆动次数 /min ⁻¹	剪毛幅宽 /mm	上刀片齿数	下刀片齿数
NIJ-76	36	50	215	1950	76.2	13	4

八、其他类电动工具

① 铁道用电动工具包括铁道螺钉电动扳手、枕木钻孔机、轨枕捣固机。

② 喷撒用的电喷枪用于喷清漆、喷水、喷除虫剂、喷杀菌剂等低粘度的液体介质，不需附带空气压缩机，具有携带方便操作简单等特点，适用于农用、家用和园艺用等各种用途。

③ 另外还有电动裁布机、卷花机、软轴水泵、石膏电锯和电动胸骨机等等。

第四节 电动工具的安全使用及维修知识

一、使用前的安全检查项目

1. 拆箱检查

一台完整的电动工具包装，应包含如下项目：

- ① 使用说明书；
- ② 产品合格证；
- ③ 附件（视具体产品而定）；
- ④ 整机。

2. 外观检查

- ① 器具的塑料外壳不得有气泡、裂痕、明显的糊斑及冷隔等严重缺陷。
- ② 器具的金属外壳应无明显缺损。
- ③ 器具的外壳涂层应无起层和剥落现象。
- ④ 器具的铭牌应牢固地置于壳体上，不卷曲。

3. 标志检查

- ① 注意器具铭牌所示电源与用户电源必须一致，否则会带来危险。
- ② 检查用户工作条件是否与铭牌所示条件（如器具运作方式，防潮程度等）一致。
- ③ 防（隔）爆产品应有防爆论证（KB）标记。

二、使用时安全注意事项

- ① 在使用前应仔细阅读说明书。
- ② 工作位置区域必须整洁，否则会带来危险。
- ③ 工作环境应与防溅结构相适应，必须有合适的照明，不能靠近易燃的气体和液体。
- ④ 防触电保护，避免人体触及接地部分，如管道、热元件、接地点等。
- ⑤ 避免儿童靠近器具，非工作人员不容许触及机器和电缆，也不容许进入工作区。
- ⑥ 保管好机器，机器不使用时，应置于干燥、封闭、远离儿童的地方。
- ⑦ 器具负荷不能超过额定负载范围。
- ⑧ 穿戴合适的工作服。不能穿戴易卷入运动部件的宽大工作服或手饰，野外作业推荐使用防滑鞋和橡胶手套，长发需戴发套。
- ⑨ 佩戴安全眼镜，在起尘工作时需佩戴口罩。
- ⑩ 电源线不能用作其他用途，不能使器具碰着电源线，不要将电源线置于热、油、锋利边处。I类工具

的保护接地 (PE) 线应与电网系统 PE 线可靠连接, 不应以自来水管、暖气管道代替。

- ⑪ 利用比手持被加工件更安全的夹具固定被加工件。
- ⑫ 避免非正常的工作姿势, 时刻注意保持身体平衡。
- ⑬ 不能藏起机器的钥匙, 在合上电源前先检查钥匙是否从器具上拿走。
- ⑭ 避免无意识启动。确定开关插头与电源相联时, 开关在“关”状态。器具与电网连接时, 手指不能放在开关按键上。
- ⑮ 工作必须全神贯注, 当无法控制机器时不能使用机器。
- ⑯ 延长到室外的电源线必须适合且配有证书。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第七章 电 焊 机

第一节 概 述

电焊机是利用电能加热熔化金属，达到焊接目的的一种加工设备，素有“钢铁缝纫机”之称，其种类繁多，达数百种，但最基本的有两大类，即电弧焊机和电阻焊机。这里着重介绍常用的手工电弧焊机和电阻焊机方面的有关内容。

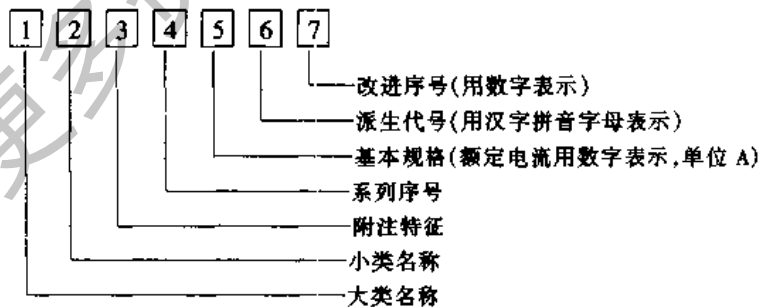
一、常用电弧焊机产品分类（见表 12.7.1）

表 12.7.1 常用电弧焊机分类表

基本类型	品种分类			
	按结构形式分	按焊丝类型分	按焊丝送给方式分	按电源类别分
手工弧焊机	—	—	—	弧焊变压器 弧焊发电机 弧焊整流器 弧焊逆变器
惰性气体保护焊机	手工焊炬 半自动软管 自动焊车	不熔化极 熔化极	手工送给 送丝机自动送给	交流 直流 脉冲直流
MIG/MAG 二氧化碳弧焊机	半自动软管 自动焊车	—	推丝式 拉丝式 推拉丝式	—
埋弧焊机	—	单丝 双丝 多丝	等速送丝 变速送丝	交流 直流
等离子弧焊机	手工焊炬 自动焊车	—	—	—

二、常用电弧焊机产品型号编制原则

1. 电弧焊机的型号组成



2. 电弧焊机的型号含义（见表 12.7.2）

表 12.7.2 电弧焊机型号及含义

大类名称		小类名称		附注特征		系列序号	
字母	含 义	字母	含 义	字母	含 义	字母	含 义
B	弧焊变压器 (交流焊机)	X P	下降特性 平特性	L	高空载电压	1 2 3 6	动铁芯式 串联电抗式 动铁圈式 变换抽头式

续表

大类名称		小类名称		附注特征		系列序号	
字母	含 义	字母	含 义	字母	含 义	字母	含 义
A	弧焊发电机	X P	下降特性 平特性	D Q T H	单纯弧焊发电机 汽油机驱动 拖拉机驱动 汽车驱动	省略 1 2	直流 交流发电机整流 交流
Z	弧焊整流器 弧焊逆变器	X P D	下降特性 平特性 多特性	省略 M L E	一般电源 脉冲电源 高空载电压 交直流两用电源	省略 1 3 5 6 7	磁放大器或饱和电抗器式 动铁芯式 动线圈式 晶闸管式 变换抽头式 变频式
N	熔化极气体保 护弧焊机 (MIG/ MAG 焊机)	B Z D	半自动焊 自动焊 点焊	省略 M C	氢气及混合气保护直流焊 脉冲式 CO ₂ 气体保护焊	省略 1 2 3 4 5 6 7	焊车式 全位置焊车式 横臂式 机床式 旋转焊头式 台式 焊接机器人式 变位式
W	不熔化极惰性 气体保护弧焊机 (TIG 焊机)	S Z D Q	手工焊 自动焊 点焊 其他	省略 J E M	直流 交流 交直流 脉冲	省略 1 2 3 4 5 6 7	焊车式 全位置焊车式 横臂式 机床式 旋转焊头式 台式 焊接机器人式 变位式
U	等离子弧焊和 切割机	H G U D	焊接 切割 堆焊 多用	省略 J M K R S	直流等离子 交流等离子 脉冲等离子 空气等离子 熔化极等离子 水下等离子	省略 1 2 3 4 5 6	焊车式 全位置焊车式 横臂式 机床式 旋转焊头式 台式 手工等离子
M	埋弧焊机	B Z	半自动 自动	省略 J E	直流 交流 交直流	省略 2 3 9	焊车式 横臂式 机床式 焊头悬挂式

示例:

BX3-400 表示具有下降外特性的动线圈式弧焊变压器, 其额定焊接电流为 400A。

ZX5-400-2 表示具有下降外特性的晶闸管式弧焊整流器, 其额定焊接电流为 400A, 第二次改进的产品。

三、常用弧焊机特点及用途

1. 手工电弧焊机特点和用途

手工电弧焊机系由弧焊变压器、弧焊发电机、弧焊整流器、弧焊逆变器等四种焊接电源, 分别配以辅助设备 & 焊接用药皮焊条组成。

(1) 弧焊变压器 是一种具有高漏抗电磁结构的下降外特性变压器, 主要用于普通低碳钢、低合金钢材料的焊接。

(2) 弧焊整流器 是变压器与电抗器或磁放大器的组合体, 利用大功率半导体整流元件或晶闸管或大功率晶体管等获得下降外特性的整流器, 主要用于各种碳钢、合金钢、不锈钢、耐热钢的焊接。

(3) 弧焊逆变器 是一种利用整流元件将交流电转变为直流电后, 再通过对大功率晶体器件控制, 转换成

高频电，最后整流成下降外特性的特殊整流器，其特点是体积小，重量轻，控制功能齐全，主要用途与弧焊整流器相同。

2. 惰性气体保护焊机的特点和用途

这类焊机是利用惰性气体作为金属熔池的保护层，将空气隔绝，不使熔池受空气侵入。常用惰性气体为氩气，主要用于有色金属及要求高的不锈钢和耐热钢等材料的焊接。

3. 二氧化碳弧焊机的特点和用途

CO₂ 焊接是一种提高焊接效率的工艺方法，利用廉价的 CO₂ 气体作为金属熔池的保护层，焊丝熔化速度较高，如使用管状焊丝，还可在焊缝中渗入合金元素。主要用于普通碳素钢和低合金钢材料的焊接。

4. 埋弧焊机的特点和主要用途

此种焊机，电弧在焊剂层下燃烧，利用颗粒状焊剂作为金属熔池的覆盖层，焊剂靠近熔池处熔融并形成气包将空气隔绝，不侵入熔池。这类焊机由交流或直流下降特性电源配以自动焊车而成。主要用于中厚钢板直缝和环缝的拼焊。

5. 等离子弧焊机的特点及用途

利用惰性气体如氩、氦作保护，并压缩电弧产生高温等离子弧作为熔化金属的热源进行焊接。其特点是电弧能量集中，温度高，穿透力强，故主要用于铜、铝及其合金、不锈钢和其他难熔金属的焊接。近年来出现的一种利用空气压缩电弧，称空气等离子弧，主要用于金属材料的切割。

第二节 弧焊变压器

弧焊变压器是一种交流弧焊电源，配以焊钳即成交流弧焊机，因其结构简单、价格低廉、效率高、使用及维修方便等优点，广泛用于工矿、建筑、农村等场地。

一、结构及工作原理

弧焊变压器是一种高漏抗的，具有下降外特性的特殊变压器，其结构形式多种多样，有动铁芯式、动线圈式、串联电抗式和抽头式等。

1. 动铁芯式弧焊变压器

它是一种三芯柱式变压器（见图 12.7.1），上下两个固定铁芯柱上绕有初、次级线圈，中间铁芯柱通过丝杆旋转可以移动，使其与静铁芯之间间隙截面发生变化，从而调节了漏抗值的大小，达到焊接电流的调节。动铁芯移出时，漏抗减小，焊接电流增大，反之，电流减小。为了调节电流时比较均匀，一般动铁芯加工成梯形（见图 12.7.2）。

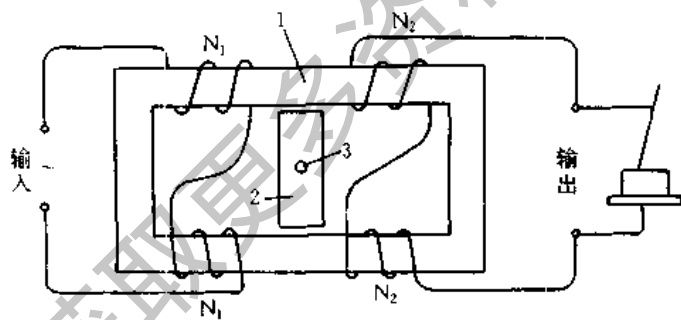


图 12.7.1 BX1 型结构
N₁—初级线圈；N₂—次级线圈；
1—静铁芯；2—动铁芯；3—丝杆

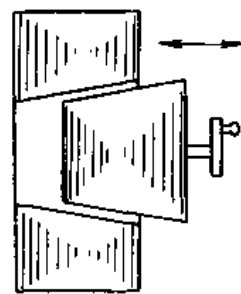


图 12.7.2 梯形动铁芯

2. 动线圈式弧焊变压器

此种弧焊变压器有两种结构形式，即双柱式和三柱式，我国目前大部分厂家生产的是结构较简单的双柱式（见图 12.7.3）。由图可知，其初级线圈分成两部分，分别固定在铁芯柱底部，次级线圈亦分成两部分，采用“工”字形塑料压板，上下夹紧置于两铁芯柱上方，可通过手柄旋转丝杆，使次级线圈上下移动，改变与初级线圈的距离，以调节变压器的漏抗大小，达到焊接电流的调节。距离小，漏抗小，焊接电流增大，反之，电流减小。另外初、次级线圈还可以通过转换开关，分别进行串、并联，扩大电流范围，实现焊接电流的粗调节。具体

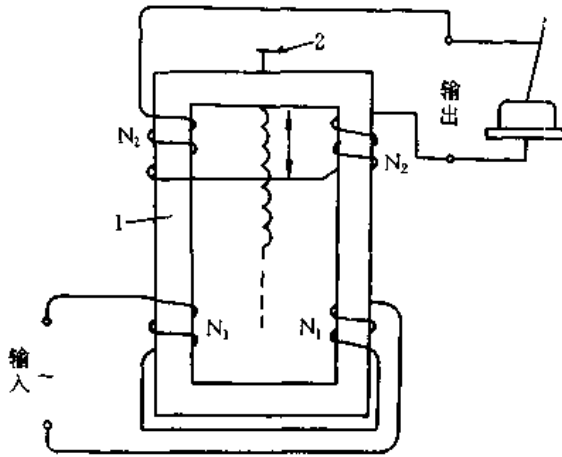


图 12.7.3 BX3 型结构
 N_1 —初级线圈； N_2 —次级线圈；
 1—铁芯；2—手摇丝杆

接线原理见图 12.7.4。

3. 串联电抗器的同体式弧焊变压器

该弧焊变压器由降压变压器和与其公有磁轭的电抗器两部分组成一体，降压变压器的初次级线圈分别绕在两侧铁芯的下部，电抗器线圈绕在铁芯的上轭部，与变压器次级线圈串联，上轭铁芯可动，通过摇动丝杆，改变其与固定铁芯的气隙长短，来调节电抗值的大小，实现焊接电流的调节，见图 12.7.5。

4. 抽头式弧焊变压器（见图 12.7.6）

这种弧焊变压器结构也是一个高漏抗变压器，其漏抗值的变化是通过调节开关，改变其初级线圈在两铁芯柱上线圈的匝数配比来实现的，从而达到次级焊接电流的有级调节。这类弧焊变压器一般制成低负载持续率的“便携形式”，体积小巧而轻便，常称为“手提式焊机”，适用于经常流动、维修的场合。

二、常用技术参数（表 12.7.3 至表 12.7.5）。

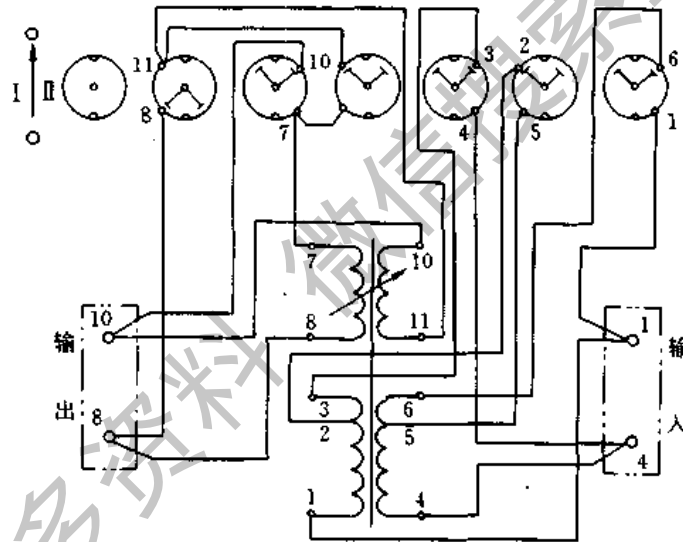


图 12.7.4 BX3 接线原理

表 12.7.3 BX1 系列弧焊变压器的常用技术参数

项目	型号	BX1-160	BX1-200-2	BX1-250	BX1-300-2	BX1-400-2	BX1-400	BX1-500-2
	单位							
电源电压	V	380	220/380	380	220/380	220/380	380	220/380
频率	Hz	50	50/60	50	50/60	50/60	50	50/60
电流调节范围	A	40 ~ 192	40 ~ 200	63 ~ 300	60 ~ 300	80 ~ 400	100 ~ 480	100 ~ 500
输入容量	kVA	13.5	14.9	20.5	25	32	31.4	40
空载电压	V	80	60	78	78	76	77	75
额定工作电压	V	26.4	28	30	32	36	36	40
额定焊接电流	A	160	200	250	300	400	400	500
额定负载持续率	%	60	35	60	35	35	60	60
效率	%	77	77	80	75	75	84.5	86
功率因数	%	0.45	0.56	0.48	0.58	0.62	0.55	0.59
重量	kg	93	78	116	108	135	144	150

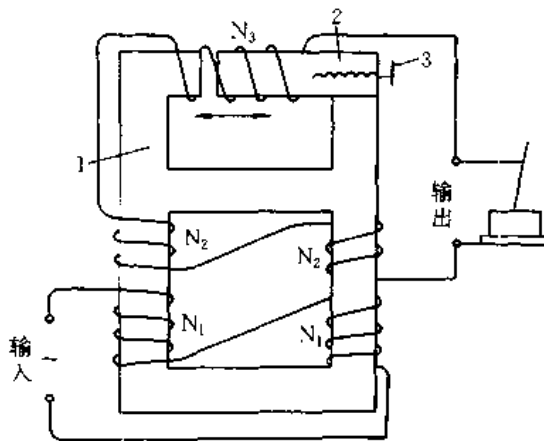


图 12.7.5 BX2 结构图

N_1 —初级线圈； N_2 —次级线圈； N_3 —电抗线圈；
1—静铁芯；2—动铁芯；3—摇动丝焊

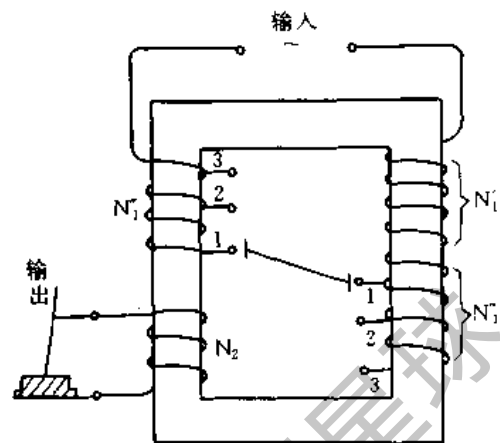


图 12.7.6 BX6 结构图

N_1' —初级固定线圈； N_1'' —初级可动线圈；
 N_2 —次级线圈

表 12.7.4 BX3 系列弧焊变压器的常用技术参数

项目	型号 单位	BX3-160	BX3-250	BX3-300-3	BX3-400	BX3-500-1	BX3-400A-3 ^①
		电源电压	V	380	380	380	380
频率	Hz	50	50	50	50	50	50
电流调节范围 I	A	25 ~ 80	40 ~ 121	50 ~ 130	50 ~ 170	62 ~ 220	50 ~ 190
II		75 ~ 250	120 ~ 370	130 ~ 300	160 ~ 400	210 ~ 500	190 ~ 500
输入容量	kVA	11.8	18.4	22	30	37	34.4
空载电压 I	V	78	78	78	75	75	88
II		70	70	70	70	68	80
额定工作电压	V	26.4	30	32	36	40	26
额定焊接电流	A	160	250	300	400	500	400
额定负载持续率	%	60	60	60	60	60	60
效率	%	80	85	85	87	88	
功率因数	%	0.44	0.48	0.55	0.55	0.65	
重量	kg	100	150	180	200	225	230

① 为派生产品即交流氩弧焊电源。

表 12.7.5 BX2-1000 和便携式交焊机技术参数

项目	型号 单位	BX2-1000	便携式交流弧焊机		
			BX6-120	BX1-120	BX1-160
电源电压	V	380	220 或 380	220/380	220/380
额定工作电流	A	1000	120	120	160
额定输入容量	kVA	76	6.24	6.25	10
电流调节范围	A	400 ~ 1200	50 ~ 120	50 ~ 125	60 ~ 160
空载电压	V	69	52	50	56
额定负载持续率	%	60	20	20	20
额定工作电压	V	44	25	25	26
效率	%	90	—	—	—
调节级数		—	6	—	—
重量	kg	560	22	26	30

三、使用与维护

① 焊机使用前必须详细检查所有连接线，包括接地线是否正确，紧固可靠；通断开关是否灵活、良好；电压选择开关是否选在和电源电压一致的位置上。

② 焊机输出端到焊接工作场地的焊接电缆，应采用橡套软电缆，不允许用铁板搭接来代替电缆，以免接触不良，压降过大，引起电弧不稳定。当焊机距焊接工作场地较远时，采用加长电缆必须适当加大电缆截面，一般要求电缆上的电压降不超过4V，否则会影响焊接性能。

③ 焊接过程中，不允许扳动所有的转换开关，同时应按焊机的额定焊接电流和负载持续率进行工作，不得长时超载使用。焊接工作结束，应及时切断电源。

④ 焊机应放在清洁、干燥、通风良好的地方，防止受潮。

⑤ 焊机内部包括电流刻度处，应经常清洁，清除灰尘杂物，可动部件的调节螺杆等处应及时施以少量润滑油，确保其转动灵活。

四、常见故障处理（见表 12.7.6）

表 12.7.6 弧焊变压器常见故障处理

常见故障	产生的原因	处理办法
焊机不起弧	电网未接通或电源电压不足 转换开关坏或连接断路 线圈接线错误或线圈短路	检查电网电压及开关熔断器情况，调整电源电压 更换开关或连线 检查接线是否正确可靠或更换线圈
焊接电流过小	电网电压不符合要求 电源进线和焊接电缆过长，或电感大，压降过大 焊接电缆接头松动	纠正电网电压 加大导线截面，减少长度或减小电感 紧固接头
焊机过热	焊机超负荷运行 焊机中线圈有短路 铁芯夹紧螺杆绝缘损坏 电源电压过高	按规定的负载持续率时的焊接电流工作 消除短路故障 更换、恢复绝缘 检查电源电压并纠正，使其符合规定要求
焊机罩壳漏电	电源进线或初级线圈碰壳或绝缘损坏 接地不良或未接地线 线圈受潮漏电	用兆欧表检查线圈绝缘电阻，消除碰壳 保证接地良好 烘干线圈
焊机震动电弧不稳	线圈有局部短路 螺杆上的压紧装置松动 动铁芯或动线圈的传动机构故障	消除短路 调整紧固螺杆压紧装置 检修传动件
电流调节手柄不动或动铁芯动线圈不移动	传动机构已卡死或锈住 移动受阻或被电缆线挂卡 传动机构损坏	清除锈蚀，恢复正常工作 消除障碍，把可动电缆线位置处理好 更换传动件
熔断器经常熔断	线圈匝间短路 初级线圈碰地	检修线圈 消除碰地点

第三节 直流弧焊发电机

一、分类

直流弧焊发电机是弧焊电源的一种形式。它是由发电机与驱动机两部分组成的，故也称弧焊发电机组，可按驱动机的不同或发电机的不同进行分类。

1. 按驱动机不同进行分类

(1) 直流弧焊电动机发电机 它以三相异步电动机作为原动机，带动一台弧焊发电机组成，电动机与发电机同轴同壳组成一体式结构。此机型为国家强令淘汰产品，已不生产，目前可被晶闸管式弧焊整流器以及逆变式弧焊整流器所代替。

(2) 原动机式弧焊发电机组 它是由一台柴（汽）油机驱动一台或数台弧焊发电机组成。如 AXC-400-1 型

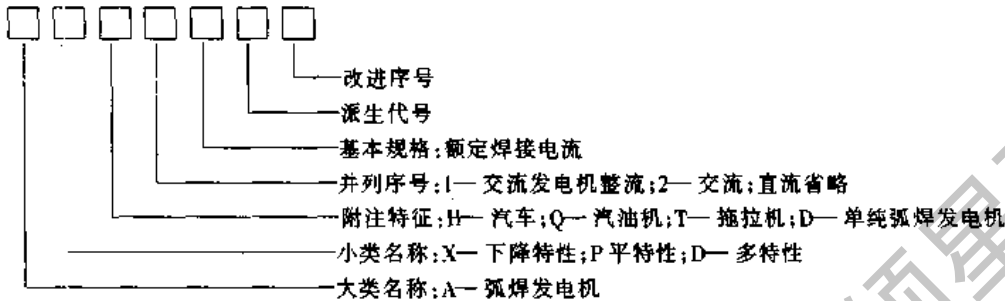
为柴油机驱动的单台弧焊直流发电机组，AXT-2X250型履带式拖拉机驱动双站直流弧焊发电机组，它由拖拉机内的汽油机作原动机，经变速、分动、稳速后驱动两台中频弧焊发电机。

2. 按发电机的外特性形状分类

可分为平外特性弧焊和陡降外特性弧焊发电机，以及多种特性弧焊发电机。这里着重介绍常见的柴（汽）油机驱动弧焊发电机组。

二、产品型号含义

柴（汽）油机驱动弧焊发电机的型号一般编排方法为：



三、工作原理

直流弧焊发电机是一种特殊的直流发电机，它的发电原理与普通的直流发电机相同，但是为了满足电弧焊特殊的情况而提出如下要求：

- ① 陡降的外特性；
- ② 均匀宽广的调节特性；
- ③ 良好的动特性。

直流弧焊发电机是一种低电压大电流发电机。其工作原理大体上分为换向整流子式直流弧焊发电机和交流发电机晶闸管整流式弧焊发电机两大类。

1. 换向整流子或直流弧焊发电机

这种弧焊发电机具有陡降的外特性，即发电机输出电压在负载增大时大大降落。这种陡降特性是借助于串励线圈去磁获得的。

弧焊发电机为四极电机，共有两个他励线圈，分别放置在两个相对称的主板上。串励线圈共分3只，分别位于另两个主板上。他励线圈的励磁电流是由原动机上的硅整流发电机输出经自动电压调节器获得的。在他励励磁回路内串入一个变阻器以调节励磁电流大小，串励线圈接成差复励，以获得陡降的输出特性。当接入串励线圈匝数多时，去磁作用大，输出电流小，反之，输出电流大。

2. 交流发电机晶闸管整流式弧焊发电机

该弧焊发电机为凸极式同步发电机，输出低电压大电流，同轴还带一只凸极式辅助工频发电机，供主机励磁以及照明、电动工具用。凸极式同步发电机输出的电源同三相桥式全控或半控整流桥和滤波电抗器组成弧焊发电机主电路。焊机主电路输出的电流、电压信号经放大电路放大后反馈，与给定电压进行比较，产生的控制电压 V_k 去控制和调整三相触发电路输出的触发脉冲相位，这样，当焊机输出的电流、电压有变化时，控制电路即能相应地改变主电路中晶闸管元件的导通角，以保证焊机输出电流和电压的稳定，以及焊机输出所需的陡降外特性及优良的动特性。

四、结构

直流弧焊发电机由一台柴油机（或汽油机）和一台弧焊发电机组成，其间通过联轴器实现能量传递，即柴（汽）油机燃油产生动能，通过飞轮传到联轴器，联轴器将动能传到发电机即输出电能供焊接使用。机组通过减震机构安装在车架上，整个机组还包括蓄电池、监视仪表和控制装置，有的机组制成四轮或二轮拖车式，有的机组制成固定底架式。

五、选用与维护

弧焊发电机组主要适用于无交流电源场所进行手工直流弧焊的电源，可焊接各种金属结构，大容量400A以上的可作为自动或半自动埋弧焊接的直流电源。水下、高山、野外施工等场合，根据需求，可选用拖车式、固定式或车载式等不同的弧焊发电机。

- ① 在使用产品时，必须按产品说明书或有关部门颁发标准对弧焊发电机进行检查，尽可能了解其原理。

② 焊接前,要仔细检查弧焊发电机的各部分接法是否正确,检查接头是否拧紧,特别是检查焊接电缆的接头是否拧紧。

③ 启动前,首先检查柴(汽)油机的冷却系统、燃油、机油系统、电气系统是否正常。

④ 启动机组连续工作不宜超过 15s,如在此时间内不能启动,应停歇 2min 左右再启动,若还不行,应查明原因再启动。启动后,应让机组怠速空转数分钟,再置于额定转速,检查各部分正常后,才能运行。

⑤ 进行施焊时,根据需求调整至电压、电流最佳状态后,不得任意移动机组,要移动机组,必须停止施焊方可进行。

⑥ 焊接工作结束后,应使弧焊发电机组缓速几分钟,再缓慢平稳地停机。

⑦ 注意事项如下。

- a. 每日启动前应检查原动机的各系统均正常,焊接回路、极性是否相符。
- b. 每日启动后应检查是否有漏水、漏气、漏油金属异常声等等,发现故障应及时排除。
- c. 发电机的电刷是否良好或磨损过多,损坏应更换。
- d. 发电机绕组、电刷组件及控制部分应经常保持清洁。

六、技术参数(见表 12.7.7)

表 12.7.7 常用弧焊发电机技术参数

型号	项目	原动机型号	原动机持续功率及转速	启动方式	空载电压/V	额定电流/A	电流调节范围/A	额定负载持续率	备注
AXC-160 AXC-200		SI95	12HP/2000r/min	手摇式	40~70	160 200	40~200	60%	
AXC-315		295C	18HP/1500r/min	电启动	50~80	320	40~320	60%	
AXCI-400 AXC7-400		495A	50HP/2000r/min	电启动	65~90	400	40~480	60%	
AXCI-400-1		495J	50HP/2000r/min	电启动	65~90	400	40~480	60%	
AXH-250		WH-492Q	50HP/3600r/min	电启动	55~80	250	45~375	60%	
AXH-400		495A	50HP/2000r/min	电启动	65~90	400	40~480	60%	
AXT-2X250		东方红 75 履带拖拉机	75HP/1500r/min	电启动	50~80	250	50~250	60%	双工位式
AXT-400		东风 50 拖拉机	50HP/1500r/min	电启动	65~90	400	65~480	60%	
DCI-450EI		ISUZUC240	42.5HP/2200r/min	电启动	max85	450	60~500	60%	日本 Denyo
TLW-450SSW		ISUZU3LD1	32.8HP/3000r/min	电启动	max85	450	40~240 230~450	60%	
Mega-Arc400DD		Deutz F3L-912D	41HP/1800r/min	电启动	max75	400	40~500	60%	美国 HOBART
Mega-Arc200 AC/DC		kechler M16S	16HP/3600r/min	电启动	max72	AC200 DC180	AC55~200 DC50~180	60%	美国 HOBART
BLUESTAR-2E AC/DC		Tecumseh QH16	160HP/3600r/min	电启动	max80	200	35~200	100%	美国 MILLER
BIG25 DIESEL		Teledyne-conti- nental TMD20	29HP/1800r/min	电启动	55~95	250	40~250	100%	美国 MILLER
BIG40 DIESEL		Teledyne-conti- nental TMD27	38HP/1800r/min	电启动	55~95	300	45~450	100%	美国 MILLER
DIG BLUE500DX		DEutz F3L-912	41.5HP/1800r/min	电启动	55~95	500	45~600	60%	美国 MILLER

第四节 弧焊整流器

弧焊整流器是一种直流弧焊电源。它是利用降压变压器、整流器件将网络交流电转换成低压直流电,配以特性调节装置的一种直流焊接电源。

一、结构和工作原理

目前国内常用的弧焊整流器有动圈式、磁放大器式、抽头式、晶闸管式等多种形式。

1. ZX3 型动圈式弧焊整流器（老型号为 ZXG1）

其主要由三相动圈式变压器、硅整流器组和涌浪电流装置以及冷却风扇等组成。三相变压器的铁芯做成三角形对称结构，三个铁芯柱直立以三角形顶点，上下两铁轭各自叠装成人形，通过夹板、拉杆与铁芯柱组装在一起，变压器的次级绕组分别固定在三芯柱的下方，初级绕组分别在铁芯柱的上方由上下支架夹紧，通过手柄转动丝杆，可使初级绕组上下移动，改变位置。变压器初次级绕组接成 Y- Δ ，次级通过硅二极管接成三相桥式整流电路，输出所需的低压焊接电流，其电流大小的调节由其初次级绕组相对位置变化而使漏抗变化所致。浪涌电流装置，是在变压器一相初级绕组外单独有一组 14V 低压浪涌绕组，经单相半波整流后再通过限流电阻并接到焊机输出端，在焊接过程中提供浪涌电流，以稳定焊接过程（见线路原理图 12.7.7）。

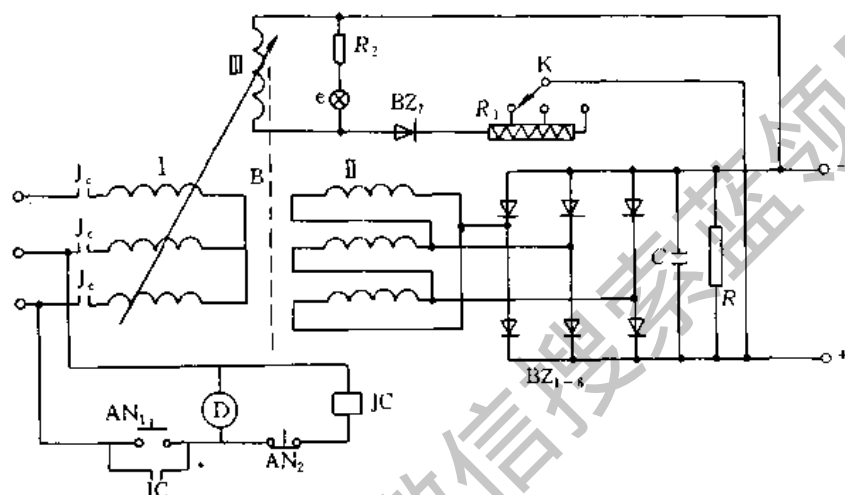


图 12.7.7 ZX3 线路原理

B—焊接变压器；I、II、III—初、次、浪涌绕组；BZ₁~BZ₆—硅整流元件；
R₁—限流电阻；K—开关；e—指示灯；R、C—滤波电阻电容

由于动圈式变压器的三相磁路完全平衡，整流波形较好，电流脉动小，可获得良好的焊接性能。

2. ZX 型磁放大器式弧焊整流器（老型号为 ZXG）

这类弧焊整流器最典型的结构是下降特性的磁放大器式弧焊整流器，它由三相降压变压器、六铁芯式磁放大器、硅整流器组、输出电抗器以及过压保护装置风扇等组成。工作原理见图 12.7.8。三相降压变压器的初次级绕组一般多采用 Y- Δ 接法，次级电压降到规定值后，输入到带有控制绕组和交流绕组的三相磁放大器（每相有两个交流绕组），六个交流绕组分别与六只硅整流元件相连，组成三相桥式全波整流电路，将交流电转变成脉动直流电，最后经输出电抗器输出。每相的两个交流绕组之间连接有电阻 R 桥，即为反馈电路，故称内桥内反馈磁放大器，当 $R = \infty$ （断路）时，则称全部内反馈磁放大器（平特性式），若 $R = 0$ ，则为无反馈式，外特性是垂直下降的，所以调节 R 值的大小即可获得不同的下降外特性。改变控制绕组中直流电流的大小，就能改变磁放大器铁芯的磁饱和程度，即改变其电感值，从而达到焊接电流的调节。控制绕组的电压是通过稳压器获得，使之不受电网波动的影响。输出电抗器有滤波作用，能改善电流脉动波形，改善弧焊整流器的动态品质，稳定电弧，减少飞溅。主电路输出端并联有阻容吸收装置。整流元件两端并联的阻容元件是过电压的抑制装置。

3. ZP6 型抽头式弧焊整流器（老型号为 ZPG8）

这类焊接电源主要用于细丝 CO_2 气体保护焊平特性电源。它和一般弧焊整流器结构相似，也是由主变压器、整流器组、输出电抗器等组成（如工作原理图 12.7.9 所示）。其中最主要的特点是：三相主变压初级绕组有很多抽头，通过组合转换开关变换抽头位置，可以得到各种不同的输出电压（其空载电压近似工作电压），从而实现焊接电流的有级调节（一般分粗细两档调节）。三相变压器的次级绕组和整流器组接成三相桥形式，整流后的脉动直流电通过输出电抗器输出，一方面起滤波作用，另一方面可控制电流的上升率，以减少飞溅，

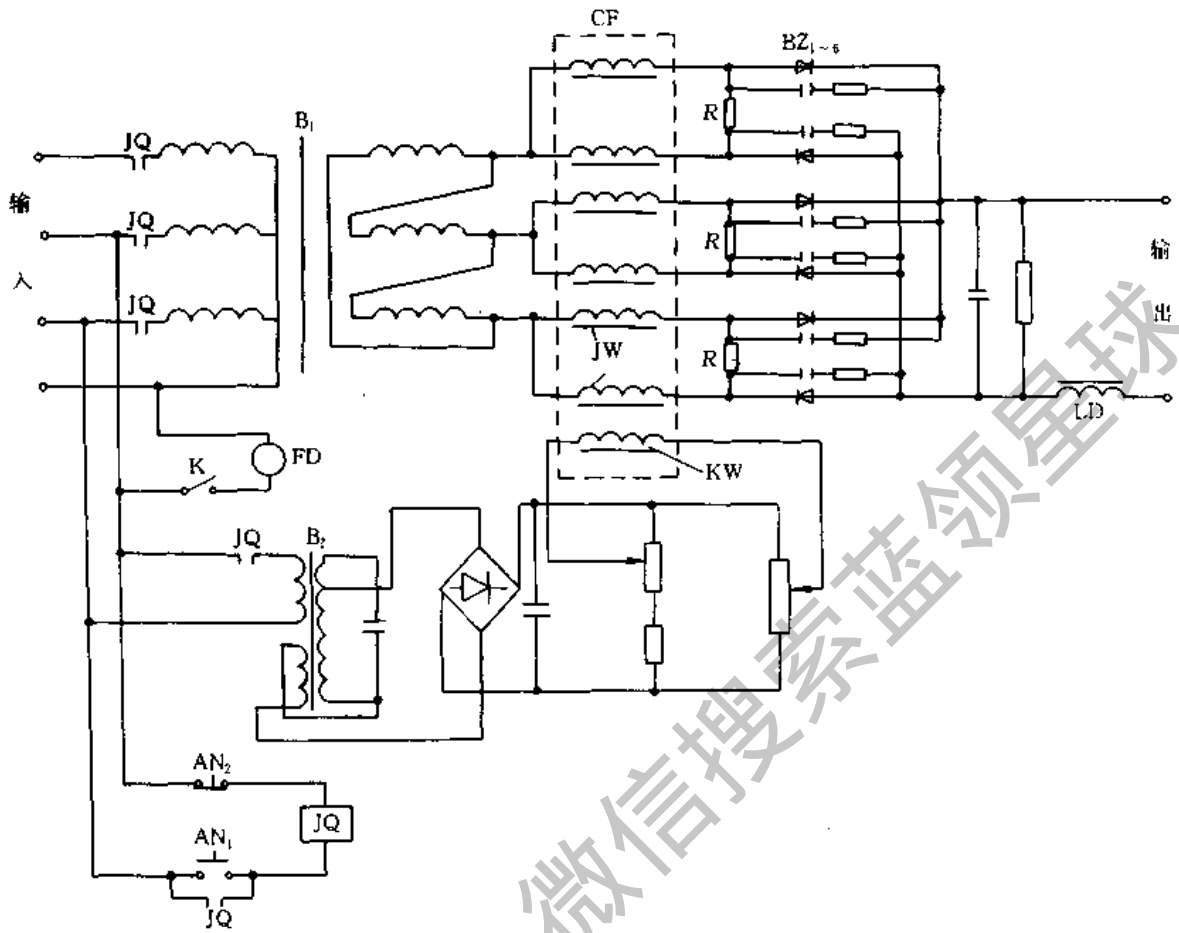


图 12.7.8 ZX 型弧焊整流器电路原理图

B₁—主变压器；B₂—稳压器；CF—磁放大器；JW—交流绕组；KW—控制绕组；
LD—输出电抗器；R—桥电阻；JQ—接触器

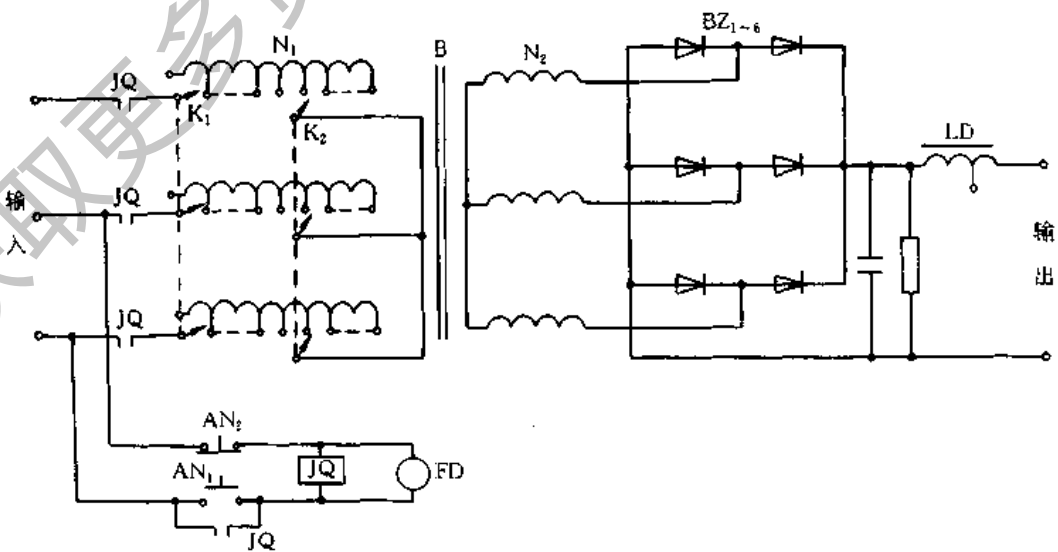


图 12.7.9 ZF6 型弧焊整流器电路原理图

B—主变压器；N₁—初级绕组；N₂—次级绕组；K₁—粗调开关；K₂—细调开关；LD—输出电抗器

确保焊缝成型良好，故有时电抗器有抽头，用以调节电感量。由于其输出电压是有级调节，工作过程中不能调节，也不能遥调，所以电网波动时没有补偿能力。但焊接电源总体结构简单，省材料，容易制造，工作可靠，故仍有生命力。

4. ZX5 型晶闸管式弧焊整流器

晶闸管式弧焊整流器亦称可控硅式弧焊整流器，实质上就是用可控硅整流器组代替了磁放大器及二极管整流装置的弧焊整流器。晶闸管的接法和触发方式种类较多，目前我国生产最多的有两种基本线路结构形式，一种是采用带平衡电抗器的双反星形晶闸管整流电路，另一种是采用三相全桥晶闸管整流电路。

(1) 带平衡电抗器的双反星形晶闸管整流装置 由原理框图 12.7.10 可见，主变压器次级有两组三相绕组，接成双反星形，每相绕组分别与晶闸管元件串联，实质上是六相半波整流，分成两路进行可控硅整流。两整流器组之间连接有平衡电抗器，输出的脉动直流电经输出电抗器滤波后，得到稳定的焊接电流，电流大小的调节由晶闸管触发电路改变相位角来实现，同时可以通过调节输出电流负反馈量来获得各种下降的外特性曲线。另外根据需要还可以设置电网波动的补偿、引弧附加电流的获取和短路电流的加大等，都可通过改变晶闸管的触发相位角来达到，以适应各种焊接工艺的要求。这种电源最主要的特点是电流电压调节范围大，输入功率相对小，体积小，重量轻，电弧控制性能好，反应速度快，操作方便，可以获得较满意的工作效果。

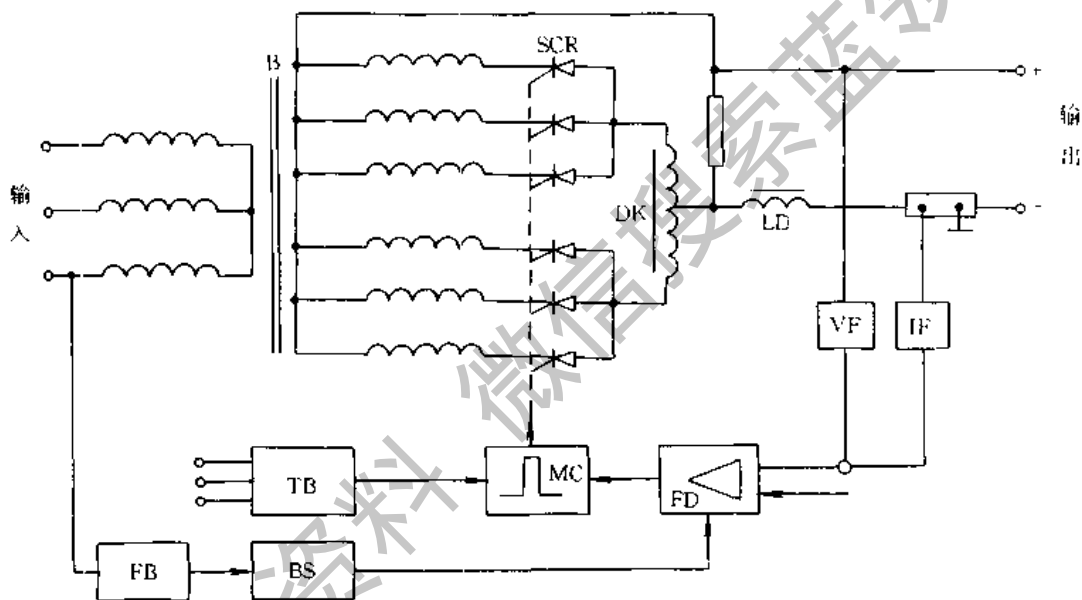


图 12.7.10 六相半波电路原理框图

B—主变压器；SCR—晶闸管组；DK—平衡电抗器；LD—输出电抗器；VF—辅助变压器；TB—同步电路；MC—脉冲触发电路；FD—放大电路；BS—补偿电路；VF—引弧附加电路；IF—电流反馈电路

(2) 三相全控桥式晶闸管整流电路 该电路主要结构和双反星形晶闸管整流电路一样（见三相全控桥电路原理框图 12.7.11），所不同的是主变压器次级是一组三相绕组接成三角形，无平衡电抗器，这样大大简化了结构，整流输出的脉动直流电直接到输出电抗器，进行滤波得到稳定的焊接电流，其电流大小的调节，下降外特性的变化，是通过改变晶闸管的触发相位角来实现的。同样可设置有电网波动补偿、附加引弧电流和短路电流等功能。其控制电路特点是全部采用集成电路元件控制，使其除具有上述电路的优点外，替换性、可靠性更高，有利于设备的维护保养。

二、常用技术参数（表 12.7.8 至表 12.7.11）

三、使用与维护

使用维护弧焊整流器，必须做到下列各点。

- ① 使用焊机前应详细阅读使用说明书，弄清各功能开关、旋钮的含义和使用方法。
- ② 仔细检查接线是否牢固正确，保证三相电源进线完好，不得在单相情况下运行，外壳接地螺栓可靠接地，地线截面用不小于 $6 \sim 10\text{mm}^2$ 的铜线。

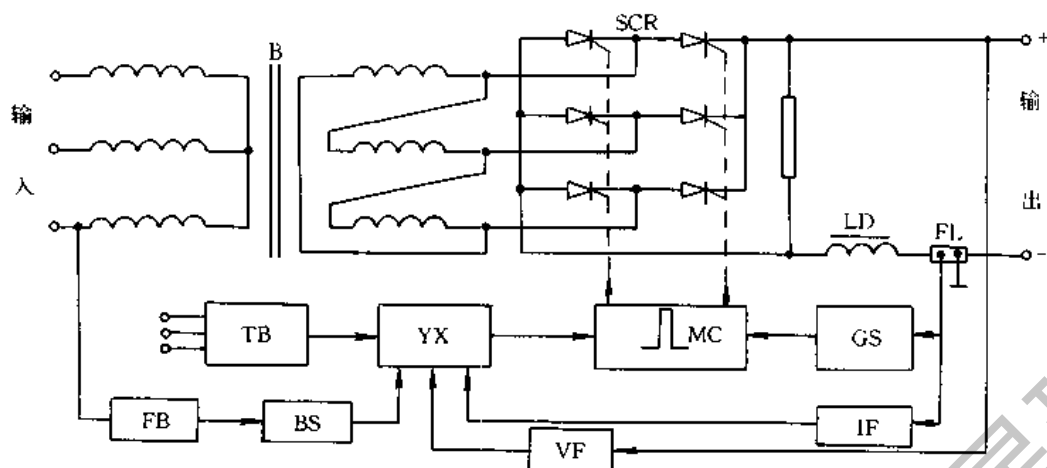


图 12.7.11 三相全控桥电路原理框图

B—主变压器；SCR—晶闸管组；LD—输出电抗器；FL—分流器；FB—辅助变压器；TB—同步电路；YX—移相电路；MC—触发电路；GS—保护电路；BS—补偿电路；VF—电压反馈；IF—电流反馈

表 12.7.8 ZX3 型弧焊整流器的常用技术参数

项 目	单 位	产 品 型 号				
		ZX3-160	ZX3-250	ZXG1-300	ZX3-400	ZXG1-500
输入电压	V	3~380	3~380	3~380	3~380	3~380
频率	Hz	50	50	50	50	50
额定输入容量	kVA	11	17.3	24	27.8	40
额定输入电流	A	16.8	26.3	36	42	61
额定焊接电流	A	160	250	300	400	500
电流调节范围	A	32~180	50~280	60~360	80~450	100~600
空载电压	V	70	70	70	70	72
额定工作电压	V	26	30	32	36	40
额定负载持续率	%	60	60	60	60	60
功率因数	%	0.70	0.68	0.64	0.73	
效率	%	55	65	70	74	80
重量	kg	138	182	200	238	280

表 12.7.9 ZP6 抽头工弧焊整流器的常用技术参数

项 目	单 位	产 品 型 号		
		ZPG8-250	ZP6-250	ZP6-400
输入电压	V	3~380	3~380	3~380
频率	Hz	50	50	50
额定输入容量	kVA	10	7.2	19.3
额定输入电流	A	15	12.2	29.3
额定焊接电流	A	250	250	400
电流调节范围	A	60~250	50~260	72~430
空载电压	V	18~36	18~36	21~49
工作电压	V	26.5	26.5	34
负载电压调节范围	V		17~27	18~34
额定负载持续率	%	60	60	60
功率因数	%	0.81	0.87	0.88
功率	%	80	80	79
重量	kg	155	150	195
用途		CO ₂ 气保焊电源	CO ₂ 气保焊电源	CO ₂ 气保焊电源

表 12.7.10 ZX 型磁放大器式弧焊整流器的常用技术参数

项 目	单位	产 品 型 号					
		ZX-160-1	ZX-250-1	ZX-400-1	ZXG-300	ZXG-400	ZXG-500
输入电压	V	3~380	3~380	3~380	3~380	3~380	3~380
频率	Hz	50	50	50	50	50	50
额定输入容量	kVA	12	19	30	25.7	35	38
额定输入电流	A	18.2	29	45.5	39	53	58
额定焊接电流	A	160	250	400	300	400	500
电流调节范围	A	32~180	45~230	65~450	50~376	40~480	25~500
空载电压	V	70	70	70	70	80	70
额定工作电压	V	26	30	36	30	36	40
额定负载持续率	%	60	60	60	60	60	60
效率	%	65	68	72	70	70	75
重量	kg	170	225	300	262	330	360

表 12.7.11 ZX5 型弧焊整流器的常用技术参数

项 目	单位	产 品 型 号					
		ZDK-160	ZX5-250	ZX5-400	ZX5-400-2	ZX5-630	ZX5-1000
输入电压	V	3~380	3~380	3~380	3~380	3~380	3~380
频率	Hz	50	50	50	50	50	50
额定输入容量	kV·A	9.4	15	25	30	46	95
额定输入电流	A	11.5	23	38	46	72	
额定焊接电流	A	160	250	400	400	630	1000
电流调节范围	A	10~195	25~250	80~400	40~410	126~630	200~1000
空载电压	V	78	55	63	68	71	85
工作电压	V	16~27	30	36	36	44	44
额定负载持续率	%	60	60	60	60	60	100
效率	%	95	75	77	77	77	76
功率因数		0.54	0.65	0.75	0.62	0.78	
重量	kg	195	170	215	200	290	

③ 新焊机或长期未用的焊机，使用前必须进行外观检查和绝缘电阻检查，其绝缘阻值应不低于 $0.5M\Omega$ （测量时将整流元件正负极短接保护）。

④ 检查风扇运转是否正常，严禁在风扇不转时使用。

⑤ 工作过程中不得任意打开外壳顶盖，更换控制板时严禁带电操作。

⑥ 调节旋钮应轻旋，当调至两端限位处切勿用力，以免损坏电位器。工作时必须按相应的负载持续率使用。

⑦ 不同型号的焊机不要并联使用，要注意并联焊机的电流合理分配。

⑧ 应保持焊机的清洁和干燥，经常清除内部尘垢。

四、常见故障处理（见表 12.7.12）

表 12.7.12 弧焊整流器常见故障处理

故 障	产生原因	处 理 方 法
空载电压过低	电网电压太低 电源相序不对 整流管击穿 变压器初级线圈匝间短路或磁放大器线圈匝间短路 晶闸管触发系统有毛病，如某相不触发（发光二极管不工作）	调整电源电压 三相电源线中任意两根对换一下 更换元件 修复线圈的短路处故障 更换印刷板或修复触发系统
外壳漏电	电源进线和次级出线处有碰壳，外壳接地不牢靠 变压器、电抗器、输出电抗器、电源开关、整流元件等导线碰壳	检查各碰壳处排除之

故障	产生原因	处理方法
风扇不转	保险丝断 风扇电机起动电容虚接或损坏 风扇电机绕组断	换保险丝 重焊虚接处或更换电容 更换风扇电机
电表无指示	电表连接线松动, 接触不良 主回路出故障, 电抗器和交流绕组断线	检查拧紧连接点 检查修复主电路各故障处
焊机电流调节失灵或焊接电流不稳定	控制绕组接触不良短路或断路 控制回路接触不良, 如印刷板插头接触不可靠, 控制电缆线断或电流调节电位器内部开路或接触不良 控制回路元件坏或印刷板有故障	修复控制绕组故障点 检查控制回路各接点或更换电电缆线或更换电位器等 更换控制回路元件, 或更换印刷板, 或修复
焊接过程中电流突然降低	整流元件坏或电容击穿 控制回路故障, 触发电路局部不工作等	更换整流元件或电容器 修复触发电路或更换控制印刷板

第五节 逆变弧焊整流器

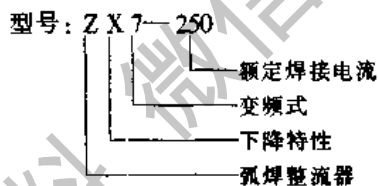
一、用途

弧焊整流器可分为动圈调节硅整流(如 ZX3)、磁放大器控制硅整流(如 ZX)、晶闸管整流(如 ZX5)等几种。这些整流电源虽然各有其优缺点, 但都有一个共同的弱点, 即重量和体积都比较大。

逆变式整流器采用电子变频技术, 使变压器的工作频率提高(目前已生产出工作在 100kHz 的电源变压器), 从而使变压器的重量、体积大大减小。逆变弧焊整流器与同容量的工频整流电源相比, 其重量和体积大约只有后者的 1/3 左右。

逆变弧焊整流器可用于手工电弧焊、半自动 CO₂ 焊和 TIG 焊。它可焊接高强度碳钢、合金钢、不锈钢等。由于逆变弧焊整流器具有抗粘、恒流、热启动和收弧功能, 所以它的焊接质量稳定。

二、型号及其含义



三、电路结构及原理

1. 逆变弧焊整流器与一般整流器电路的区别

传统的工频弧焊整流器是将电源变压器次级电压整流后即供输出使用。而逆变弧焊整流器是将电源整流后的直流电压, 由变频器变为高频电压, 然后再用高频整流器重新转变为直流电压, 供输出使用。简单地说, 一般整流器是将交流电变为直流电即使用, 只经一次变换过程。而逆变式整流器却是交流变直流, 直流再变交流, 最后再次把交流变为直流的交一直一交一直多次变换过程。

2. 逆变弧焊整流器的类别

(1) 晶闸管逆变弧焊整流器 这类产品中采用快速关断的晶闸管作为变频器的开关元件。由于受到晶闸管关断时间的限制, 变频范围只能在 2.5kHz 左右。工作时能明显听到变频声。频率的限制使高频变压器的体积还不理想。高频变压器的导磁材料也受到限制。故这类产品属于过渡型产品。

(2) 场效应管逆变器 这是用大功率场效应晶体管作为变频开关的逆变器。因为晶体管的工作频率可以做得很高, 所以用这类逆变器的弧焊整流器产品, 工作频率可达 50~100kHz, 这对于缩小高频变压器的体积有很大意义。

3. 电路结构及原理框图

逆变弧焊整流器, 由电源整流模块、变频开关元件、高频变压器、高频整流模块和控制电路组成。其原理框图如图 12.7.12。

电源整流模块按电源分, 有三相桥式和单相桥式两种。它工作在工频, 是一般的整流模块。

变频开关元件, 根据不同的工作频率要求, 有快速关断晶闸管、场效应晶体管和 IGBT 管等。

高频变压器: 10kHz 以下频率的高频变压器, 大多用 0.1~0.35mm 矽钢片, 卷绕为环形或再切割成 C 型。

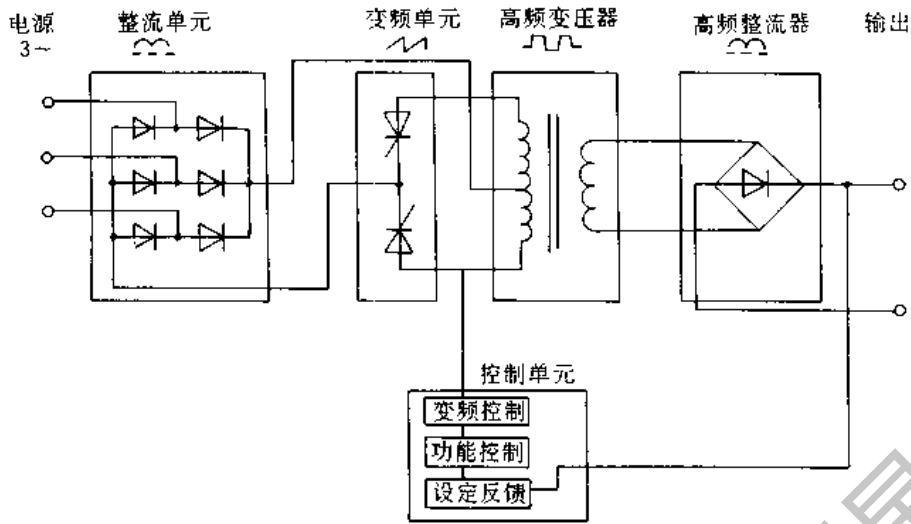


图 12.7.12 逆变弧焊整流器原理框图

10kHz 变压器多用铁氧体磁性材料烧结成型，多数为 C 型。

高频整流模块常有桥式和次级绕组中心抽头全波整流两种。

控制电路由功能、设定、反馈、保护四部分组成。多以集成电路为主。

四、常用产品的技术参数（见表 12.7.13）

表 12.7.13 逆变弧焊整流器技术数据

类别及型号	可控硅		场效应管	国外产品	
	ZX7-250	ZX7-400	ZX7-150	CPV-350	CADDY-140
额定焊接电流/A	250	400	150	350	140
电源电压/V	380	380	220	380	230
电源相数/N	3	3	1	3	1
电源频率/Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
额定输入容量/kVA	13	21	4	20	6.8
负载持续率/%	60	60	60	50	60
冷却方式	强风	强风	强风	强风	强风
输出空载电压/V	70~75	70~80	55		75
重量/kg	35	70	8	63	11

第六节 气体、焊剂保护弧焊机

从焊接工艺特征角度来讲，除前面所谈的由各种焊接电源组成的手工电弧焊机外，常用的弧焊机还有惰性气体保护焊机、二氧化碳弧焊机、埋弧焊机、等离子弧焊机等。

一、惰性气体保护弧焊机（即氩弧焊机）

按照焊接对象的不同，可选用交流、直流或脉冲等电源，组成相应的氩弧焊机。一般情况下，对于较精密的小型零件，薄板结构宜采用钨极氩弧焊；对生产率高的中、大型焊接结构宜采用熔化极氩弧焊；对焊件金相组织，焊缝变形程度要求较高的场合，则采用低频（一般小于 10Hz）小电流脉冲钨极氩弧焊。铝镁及其合金宜用钨极交流氩弧焊，交流脉冲焊或采用直流脉冲熔化极氩弧焊接。直流钨极氩弧焊最宜用于不锈钢、耐热钢、铜材等薄板结构。

1. 钨极直流氩弧焊机又称直流 TIG 焊机

这类焊机由直流弧焊电源、控制设备及焊炬组成。其直流弧焊电源一般选用具有垂直下降外特性的弧焊整流器或弧焊逆变器或直流弧焊发电机。控制设备主要是完成焊接工艺过程的控制程序的组件，如提前输送氩气、引弧、电弧维持正常燃烧、电流调节、衰减及使氩气滞后关闭等功能的组件。TIG 焊炬是具有不同倾角，配有各种直径电极夹头，焊嘴的专用焊炬，它可使保护气体流出后，呈喇叭状层流。有气冷和水冷两种型式。

通常电流在 200A 以上时，采用水冷式。

WS 型线路结构见图 12.7.13 (老型号为 NSA—手工焊、NZA—自动焊)。

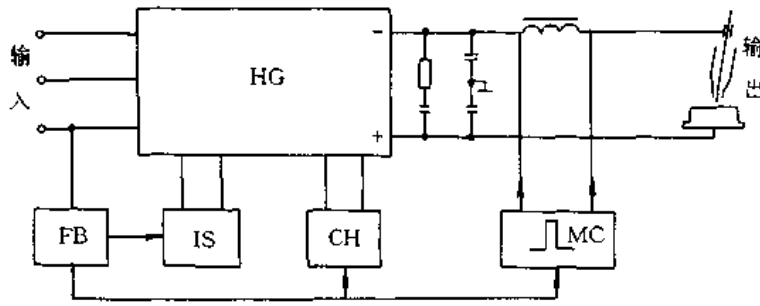


图 12.7.13 WS 型直流 TIG 焊原理框图

HG—弧焊整流器；MC—高频引弧；CH—提前滞后送气；IS—电流衰减；FB—辅助电源

2. 钨极交流氩弧焊机又称交流 TIG 焊机

它和直流 TIG 焊机结构组成相似，其弧焊电源为一弧焊变压器，控制系统可以制成独立的控制设备，它主要解决交流电弧过零点时的稳定以及消除或减小由于交流正负半波电弧参数不对称而形成的直流分量的问题。(直流分量，将减弱阴极雾化清洗作用，导致铁芯单向磁化而造成电流增大，波形畸变影响) 故交流 TIG 焊机线路结构控制功能是：用高压脉冲引燃电弧和稳定电弧，用串联无极性大容量电容器来消耗或减少焊接电流中的直流分量，以及完成焊接启动时提前输送氩气和焊接结束时延迟关闭氩气的程序。具体产品原理见框图 12.7.14。

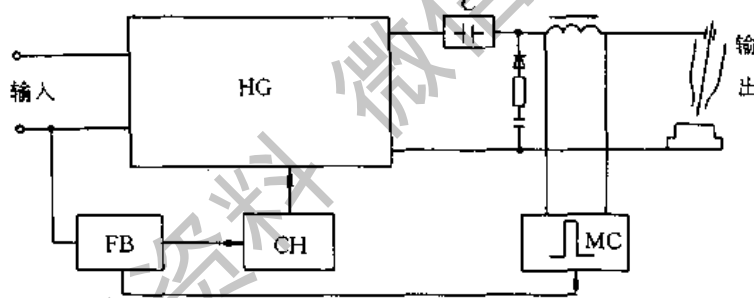


图 12.7.14 WSJ 型交流 TIG 焊机原理框图

HG—弧焊变压器；MC—高压脉冲；CH—提前、滞压送气；FB—辅助电源

3. 脉冲 TIG 焊机

钨极脉冲氩弧焊一般是指焊接电流以低频调制脉冲方式馈送的直流氩弧焊机。其结构和程序控制过程与直流 TIG 焊机相似，差别在于焊接电流是周期性地从维持电流跃升一个脉冲电流 (见示意图 12.7.15)，故脉冲电源通常由下降特性直流弧焊电源和脉冲发生电路组成。即可以是双电源式或单电源形式，而脉冲发生电路又有交流断续器、直流断续器和阻抗变换器等形式。不管电路如何变化，但基本原理是相似的。

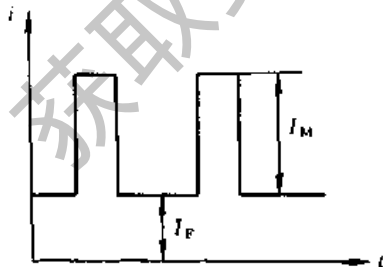


图 12.7.15 脉冲 TIG 焊电流示意图

I_F —维持电流； I_M —脉冲电流

典型的双电源供电脉冲 TIG 焊机原理如图 12.7.16 所示。基本电源是下降特性的弧焊整流器供电，其空载电压较高 (约 100V) 电流较小 ($< 15A$)。脉冲电源为一直流断续器，其空载电压较低 (30~75V)，而电流峰值较高。分别调节基本电源的输出和脉冲电源的断续周期，即可得到所需的输出脉冲电流的大小。

单电源供电形式脉冲 TIG 焊机原理见图 12.7.17。电源由一台下降特性的直流弧焊电源串接互相并联的可变电阻与断续器组成。调整电源输出和电阻值的大小, 改变断续器通断频率, 即可达到同时调节基值电流, 脉冲电流大小和频率的目的。

4. 熔化极氩弧焊机 (又称 MIG 焊机)

熔化极氩弧焊中, 焊丝直接熔化在熔池中, 成为工件焊缝的一部分。即焊接进行的过程要不断补充焊丝, 因此熔化极氩弧焊机的操作机构中, 要多一套自动送丝的控制机构, 焊炬结构也和 TIG 焊不同, 其送丝机构控制的可靠性, 将直接影响焊接的稳定性, 所以一般控制系统中采用电压和电流的反馈来实现送丝的调节, 以满足焊接工艺规范的要求。细丝熔化极氩弧焊电源一般采用平特性电源。而粗丝熔化极氩弧焊电源通常用垂直下降的恒流电源。其焊机结构组成如图 12.7.18 所示。

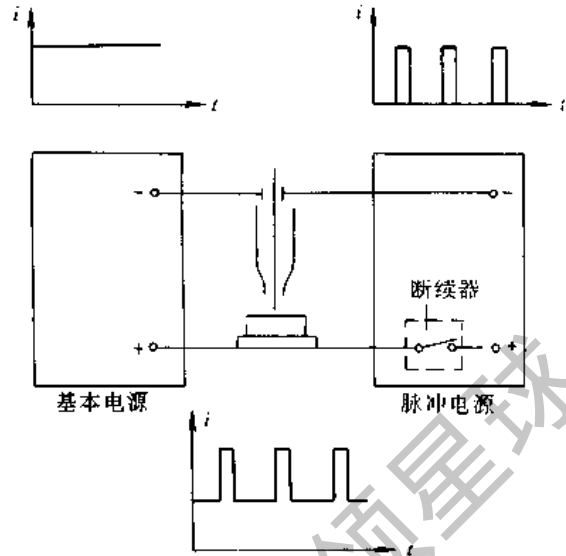


图 12.7.16 双电源供电 TIG 焊原理示意图

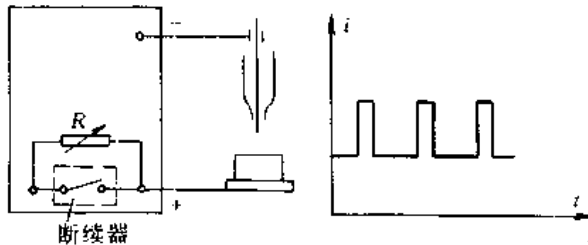


图 12.7.17 单电源供电 TIG 焊原理示意图

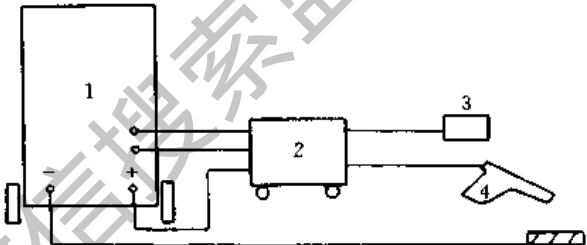


图 12.7.18 半自动熔化极氩弧焊机组成图

1—弧焊电源; 2—送丝机构; 3—焊接电流控制盒; 4—焊枪

5. 惰性气体保护焊机产品技术参数 (见表 12.7.14 至表 12.7.16)。

表 12.7.14 直流交流 TIG 焊机技术参数表

参数	单位	WS-250	WS-400	WSJ-400	NSA1-300-2	NSA4-300	NSA2-300-1
交流性质		直流	直流	交流	直流	直流	交直两用
空载电压	V	70	70	88	70	72	80
工作电压	V	12~20	12~26	12~26	12~20	25~30	12~20
焊接电流调节范围	A	50~250	60~400	60~400	30~300	20~300	35~300
电极直径	mm	1~5	2~6	2~7	1~6	1~5	1~6
氩气最大流量	L/min	25	25	25	25	25	25
冷却水流量	L/min	1	1	1	1	1	1
用途		1~8mm 不锈钢	焊接不锈钢	焊接铝合金	焊接不锈钢及高合金钢	焊接不锈钢	不锈钢铝合金

表 12.7.15 TIG 自动焊机技术参数表

参数	单位	NZA2-300	NZA3-300	NZA4-300	NZA-500-1	NZA18-500	NZA21-120-1
空载电压	V	60~80	60~80	70	直流68 交流81	直流68 交流81	
焊接电流调节范围	A	20~300	20~300	40~300	50~500	50~500	4~120
电极直径	mm	2~6	2~6	2~6	2~7	熔 0.8~2.5 不熔 2~7	1~2
填充丝直径	mm	1~2	0.8~2		0.8~2.5	0.8~2.5	
焊接速度	m/h	10~108	6.6~120	10~110	5~80	5~80	(1~6r/min)
送丝速度	m/h	25~220	13.2~240	25~150	20~1000	20~1000	
用途		低合金钢 不锈钢 钢铁合金	不锈钢带	2~4mm 厚 不锈钢带	耐热钢、有 色金属及其 合金	不 锈 钢 耐 热 钢 有 色 金 属	不 锈 钢 钛 合 金

表 12.7.16 TIG 及 MIG 脉冲自动焊机技术参数

参数	单位	NZA6-30	NZA4-250	NZA11-200	NZA20-200	NZA24-200	NZA-250-1
控制电源电压	V	380	380	380	380	380	380
最大维弧电流	A		25~250	200	200	200	
脉冲电流范围	A	1.5~30	25~250	30~200	200	200	20~250
钨极直径	mm	1	1.5, 2, 3	1.2, 1.6 (焊丝)	1.2~1.6 (焊头)	1.2~1.6 (焊丝)	
焊件厚度	mm	0.1~0.5	4				1~5
焊接速度	m/h	10~100		5~80	6~60	5~80	0.25~2r/min
脉冲频率	Hz	0~10	0.5, 1, 2 3, 4, 5	25, 50, 100	50, 100	25, 50, 100	
用途		0.1~0.5m 不锈钢板	管板焊(热 交换器)	不锈钢 耐热钢	铝合金 不锈钢	不锈钢 耐热钢	不锈钢 合金钢

6. TIG 焊机使用与维护

TIG 焊机的品种型号结构各异, 其使用和维护应遵循下列原则。

(1) 使用方法

① 操作前详细阅读产品使用说明书, 熟悉焊机性能, 并按说明书正确接线, 接好水路和气路。

② 先接通控制电源, 注意电压应符合产品要求。检查水路是否畅通, 调整气流量, 进行控制线路的动作试验, 再接通主电源, 注意网路电压和产品铭牌电压相符, 调节焊接规范参数, 检查工作是否正常。

③ 试验引弧功能是否正常, 如不正常, 对高频振荡器故障, 多在火花放电器毛病(接线不良或触尖间距要调)。对高压脉冲故障, 主要调整相位或触发系统工作。

④ 进行试焊, 电极应与工件成 20° ~ 30° 倾角, 填充焊丝与电极约成 90° 夹角, 调整好所需规范参数。

⑤ 电极准备: 对直流 TIG 焊, 钨电极端部要磨削成锥形, 锥形长度为电极直径的 2~4 倍, 但端头成平底。交流 TIG 焊、钨电极端部不需磨削。

⑥ 焊接过程中应观察, 焊机工作是否正常, 气路水路是否畅通, 并注意安全防护。

⑦ 焊接结束后, 应关闭氩气和水源, 切断电源。

(2) 焊机维护

① 定期检查焊机各连接电缆的情况, 确保可靠连接。

② 定期检查电源接触器和各种继电器的触头, 保证接触良好。

③ 定期清理焊机内, 特别是控制箱内的尘埃异物, 勿使动作失误。

④ 冷却水必须无杂质和铁锈等。

二、CO₂ 气体保护弧焊机

CO₂ 气体保护焊, 实质是一种熔化极活性气体保护焊, 现统称为 MAG 焊(它包括 CO₂、CO₂+Ar、CO₂+O₂ 的气体保护)。

通常 CO₂ 弧焊机, 有半自动与自动焊两种。其焊接设备基本上与熔化极氩弧焊设备相同, 它包括焊接电源、送丝机构、焊枪(半自动)或焊接小车(自动焊)、供气系统和控制系统等几部分。其控制系统和 MIG 焊机一样, 是用于完成焊接工作程序, 保证焊接稳定可靠的装置, 如提前送气, 滞后关气、焊丝送给、焊接小车行走及电源通断等控制。其中送丝机构是半自动和自动弧焊机的关键性部件, 它由送丝电动机、变速箱及送丝滚轮等组成, 是专门加工而成的通用性附件。通用件 CO₂ 弧焊的焊枪结构一般有鹅颈式和手枪式。关于 CO₂ 焊接电源一般情况下, 为增加电弧自调节效应, 对于等速送丝式焊机, 宜采用平特性电源, 如细丝(直径 1.2mm 以下) CO₂ 弧焊机, 就是采用这种电源。而在变速送丝式焊机时, 宜采用下降特性电源。粗丝(直径 1.6mm 以上), CO₂ 弧焊机既可采用平特性电源又可采用下降特性电源。通常 CO₂ 弧焊机使用的直流电源有抽头式弧焊整流器、磁放大器式、晶闸管式弧焊整流器以及弧焊逆变器。

1. 抽头式 CO₂ 气体保护焊机

电源是一台抽头式平特性弧焊整流器, 其特点是采用特殊的组合开关, 实现输出的有级调节, 结构简单, 制造维修方便。使用可靠, 输出电流波形畸变小, 但不能带电连续调节和实现遥控。

2. 磁放大器式 CO₂ 气体焊机

电源为一台磁放大器式平特性弧焊整流器，其特点是调整控制方便，可在较宽的范围内实现无级调节和遥控。但结构复杂，重量大。

3. 晶闸管式 CO₂ 气体保护焊机

电源是一种可控硅式平特性弧焊整流器，其特点是重量轻，控制功率小，调节范围广，有良好的动特性和可调外特性，可进行温度补偿，过载保护，实现单旋钮控制，但电气线路较复杂，生产工艺要求高。

4. 弧焊逆变器式 CO₂ 气保焊机

电源为一台弧焊逆变器。特点是：控制电路集成化，体积小，重量轻，便于携带，控制调节性能优化，自适应能力强。但整机电路极复杂，工艺要求严格，调整维护难度大。

5. CO₂ 气体保护焊机产品技术参数（见表 12.7.17 和表 12.7.18）

表 12.7.17 半自动 CO₂ 弧焊机技术参数

参数	单位	NBC-200	NBC-250	NBC1-300	NBC-350 ^①	NBC1-400	NBC1-500
空载电压	V	19~30	20~36	17~30		22~66	75
工作电压	V	17~24	17~27	17~29	16~36	15~42	20~40
焊接电流调节范围	A	60~200	60~250	50~300	40~350	80~400	100~500
焊丝直径	mm	(0.6)0.8 1	0.8, 1, 1.2	1, 1.2	0.8, 1, 1.2 (1.6)	1.2~1.6	1.2~2.0
送丝速度	m/h	90~540	120~100	120~480	(焊接速度) 15~120	80~800	12~480
CO ₂ 流量	L/min	25	25	20	25	25	25
焊丝盘容量	kg	0.5	12	12	18	18	18

① 逆变式 CO₂ 焊机。

表 12.7.18 自动 CO₂ 弧焊机技术参数

参数	单位	NZC3-2X350	NZC-500-1	NZC-1000
电源电压	V	380	380	380
空载电压	V		75	70~90
工作电压	V	15~36	20~40	30~50
焊接电流调节范围	A	40~350	100~500	200~1000
送丝速度	m/h		96~960	60~228
焊接速度	m/h	15~120	18~120	10~180
焊丝直径	mm	0.8, 1, 1.2	1~2	3~5
气体流量	L/min	25	25	25
焊丝盘容量	kg	18	10	12

6. CO₂ 弧焊机使用及维护保养

(1) 使用方法

- ① 详细阅读产品使用说明书，了解焊机的结构、原理、性能。按外部接线图正确接线。
- ② 接通控制系统电源，检查气体流通和送丝机构工作是否正常。
- ③ 接通 CO₂ 气体加热器电源预热 10min。
- ④ 送丝准备：按选用的焊丝直径换上导电嘴和送丝滚轮，放松送丝压紧滚轮，将软管拉直，接通送丝电机，使焊丝端头伸入软管内，调整好焊丝伸出长度（一般伸出焊嘴约 5~15mm）。
- ⑤ 接通主电源（注意网络电压和铭牌电压一致），调节好焊接规范参数：焊接电流、工作电压、送丝速度和气体流量（注意 CO₂ 气体纯度在 99.5% 以上）。

⑥ 试焊样板，仔细调节规范参数，直到满意为止。

(2) 维护保养注意事项

- ① 所有电缆接头和接地线必须可靠连接。
- ② 使用的焊丝不得有锈蚀和油污，在焊丝盘上绕置必须平整，不准有任何曲折，否则将影响焊接质量，未用完的焊丝必须干燥妥善保存。
- ③ 经常注意电缆绝缘情况，发现损坏及时修复或更换。
- ④ 经常注意焊丝输送情况，压紧滚轮不宜过紧，以免焊丝变形和加速滚轮磨损（如发现滚轮磨损超量，

应及时更换),也不宜过松,使送丝打滑,影响焊接的稳定性。

⑤ 经常注意导电嘴接触情况,如磨损过多造成接触不良需换新。

⑥ 为防止喷嘴上溅粘飞溅金属粒清除的困难,通常在喷嘴先涂上一层硅胶。

⑦ 定期检查送丝机构中齿轮箱的润滑情况,按时更换润滑油。

⑧ 经常检查设备内各接触器和继电器触头情况,如有烧坏的触头应及时修复或更换。

⑨ 送丝软管要注意经常转换位置,以免在一个方向磨损影响使用寿命,如发现软管严重磨损,需及时更换。

⑩ 经常检查气路系统及时排除漏气现象。

⑪ 注意操作者的安全防护,修理焊机故障时,必须切断电源。

三、埋弧焊机

埋弧焊机是本世纪40年代发展起来的一种焊接设备,具有生产效率高、焊缝成型美观、质量好、无弧光辐射、焊工劳动保护条件好等优点。随着应用领域的扩展,埋弧自动焊机的品种结构也在不断发展,有交流埋弧焊、直流埋弧焊,有单丝的、多丝的,有焊车式、机床式、悬臂式等等。但目前最常用的是单丝焊车式等速送丝埋弧焊和单丝焊车式变速送丝埋弧焊机两种。

1. 等速送丝埋弧焊机

此种焊机一当选定送丝速度后,在工作过程中送丝速度恒定不变。焊丝进给速度与熔化速度处于平衡状态,是依靠电弧自身的调节作用来保持弧长不变,达到电弧稳定燃烧。所以电弧自调节原理是等速送丝式焊机的理论基础。其调节原理可由图12.7.19来说明。

图中 O_2 为一稳定工作点,当弧长因干扰由 L_2 增大到 L_1 时,工作点将沿电源外特性曲线移到 O_1 点,焊接电流则将从 I_2 减到 I_1 ,使焊丝熔化速度相应降低,由于送丝速度不变,于是弧长有缩短趋势,促使电弧恢复到 L_2 的原工作点 O_2 稳定燃烧。同理当干扰使弧长缩短,则电流将增大至 I_3 ,熔化加速,使弧长又重新调回到原工作点 O_2 稳定燃烧。这种没有外加强迫作用的调节作用,称之为自调节作用。此原理不但用于埋弧焊机中,而且在半自动细 CO_2 弧焊机、半自动氩弧焊机中得到广泛动用。

等速送丝埋弧焊电源宜选用自调节作用较强的缓降外特性为好。电源可用交流也可用直流,它适用于高电流密度的细丝埋弧焊机。常用的这类焊机由弧焊电源、控制箱及自动焊车组成,例如目前我国广泛采用的MZ1-1000型埋弧焊机,其控制功能如下:焊接工作前能控制焊丝向上或向下,以调节焊丝端头和工件接触;焊接开始时,能控制弧焊电源接通引燃电弧;焊接过程中能自动按预定速度等速送给焊丝并使焊车沿焊缝移动;焊接结束时,先停止送丝,后切断电源,完成焊缝收尾。该焊机的电源一般配用BX2-1000型弧焊变压器,也可选配ZX5-1000型弧焊整流器。焊车由电动机组合体和回转托架两大部件组成,其中电动机组合体又由送丝机构和行走机构组成,送丝速度和焊接速度的变换,可通过变换齿轮对达到。回转托架上装有控制板、焊丝盘、焊剂输送装置、焊丝矫直机构、导电嘴、测量电表等。整个托架和送丝机构可绕电动机转动,可以方便的调整焊接位置。

2. 变速送丝埋弧焊机

这类焊机在焊接时其焊丝输送速度由电弧电压反馈控制,即依靠电弧电压对送丝速度的反馈调节和电流自调节的综合作用,来调节电弧长度,达到电弧的稳定燃烧。所以其调节工作原理是:利用弧长的弧压之间的线性递增关系,以弧长为控制对象,以电弧电压与给定电压之差为控制信号,经放大反馈到送丝电机以调节速度,达到自动调整弧长的目的,见方框图12.7.20。

由图12.7.21所示,当干扰使弧长由 L_2 增至 L_1 时,工作点 O_2 上移动 O_1 ,一方面使焊接电流减小到 I_1 ,造成焊丝熔化速度下降,由于电弧自调节作用,有利于弧长恢复。另一方面由于电弧电压 U_g 升到 U_{g1} ,使 $(U_{g1} - U_g)$ 差值增大,从而送丝速度 v_s 增加,使弧长迅速缩短,恢复到原来值,维持原来的焊接参数不变。变速送丝系统的自调节作用能保证焊接过程中弧压为定值,不受焊接电流的影响,送丝速度能够均匀的迅速改变,它较适宜于大直径(3mm以上)埋弧焊接。常用的这类焊机如MZ-1000型埋弧自动焊机,其结构和MZ1-1000型大同小异。

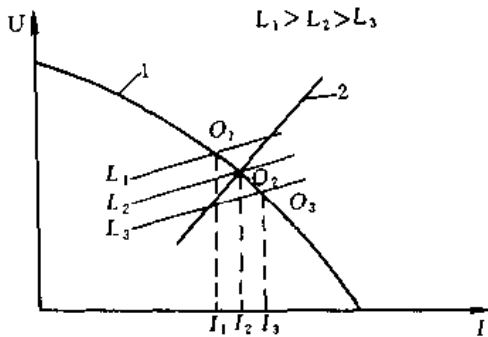


图 12.7.19 等速送丝系统电弧自调节原理
1—弧焊电源外特性曲线; 2—等速送丝系统静特性;
 L_1 、 L_2 、 L_3 —不同长度电弧伏安特性

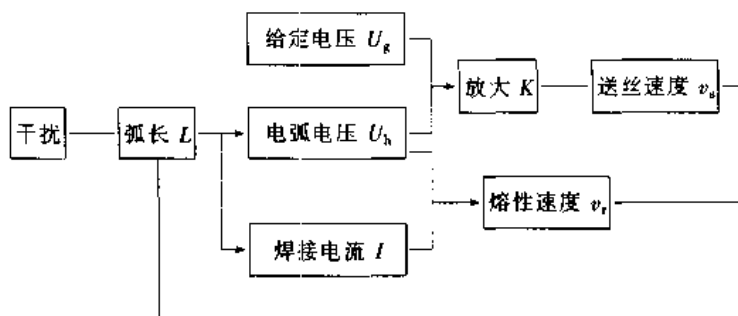


图 12.7.20 变速送丝系统自动调节方框图

3. 埋弧焊机产品技术参数 (见表 12.7.19)

4. 埋弧焊机的使用维护保养

埋弧焊机的安装使用,维护保养和其他弧焊电源及气保焊设备大同小异,如在使用安装前,都要详细阅读使用说明书,弧焊设备都应注意防潮绝缘、防尘防锈蚀,启用前要检查绝缘电阻,应不小于 $0.5\text{M}\Omega$,注意接线正确无误,接地线牢固可靠等等。

① 在通电前一定要仔细检查一遍接线是否正确牢固,外接电缆是否有足够的容量和可靠的绝缘。

② 进行空车试验,检查动作是否准确,机头固定是否牢固,焊丝输送是否通畅均匀,空载电压和直流输出的极性是否符合要求等,只有在施焊前的一切准备工作完成后才能正式焊接。

③ 焊机要定期检查,更换小车传动机构和送丝机构中减速箱内的润滑油。

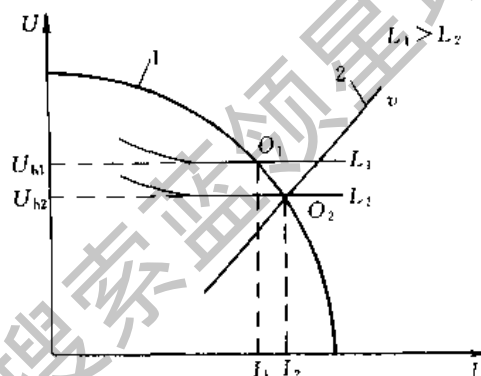


图 12.7.21 变速送丝系统电弧自调节原理

1—弧焊电源外特性;2—变速送丝系统静特性;
 L_1, L_2 —电弧不同长度伏安特性

表 12.7.19 埋弧焊机功能技术参数

型 号	MZE-630	MZ-1000	MZ1-1000	MZ2-1500
用途	水平对接焊、角焊、 环形焊、环形填角焊	焊接与水平面不大 于 15° 的各种焊缝	对接、搭接、角焊、 环形焊缝	用于厚件各种焊缝 的焊接
结构特点	自动焊车	自动焊车	自动焊机	悬挂式自动焊头
焊丝送给方式	等速送丝和弧压自调	弧压自动调节	等速送丝	等速送丝
焊接电流/A	120~630	400~1200	200~1000	400~1500
焊丝直径/mm	1.2~2.5	3~6	1.6~5	3~6
送丝速度/(m/min)	36~900	30~120	52~400	28.5~225
焊接速度/(m/h)	6~60	15~70	16~125	13.5~112
送丝速度调节方式	可控硅调整 加调换齿轮	用电位器调节 直流电动机转速	调换齿轮	调换齿轮
焊接电流种类	直流或交流	直流或交流	交流或直流	交流或直流
型 号	MZ-400	MZ3-500	MZ3-1500	MZ3-630
用途	用于薄板焊接	通用角焊	带螺旋管堆焊机	石油液化气 瓶专用焊机
结构特点	自动焊车	软管式自动焊枪头, 靠吸铁附在工作 上	螺旋管专用 焊机设备	机床式钢瓶 环缝自动焊
焊丝送给方式	等速送丝	等速送丝	等速送丝	等速送丝
焊接电流/A	150~480	180~600	300~1500	120~630
焊丝直径/mm	1.6~2	1.6~2	2~5	1.2~2
送丝速度/(m/min)	100~450	108~420	60~600	90~900
焊接速度/(m/h)	15~75	10~65	30~240	1.2~120
送丝速度调节方式	电位器	调换齿轮	调换齿轮	可控硅调节,加 调换齿轮对
焊接电流种类	直流	交流或直流	直流	直流

- ④ 定期检查送丝滚轮，如磨损严重及时换新。
- ⑤ 经常检查焊嘴与焊丝的接触情况，如发现接触不良，必须更换。
- ⑥ 定期给送丝电机进行保养，更换电刷等。

5. 埋弧焊机产品常见故障处理

- (1) 接通控制电路的电源开关，控制箱内无电 可能是电路不通或熔断器断，检查排除之。
- (2) 按下焊丝“向上”、“向下”按钮时，焊丝动作不对或不动作 可能是：①送丝电机有毛病或电机供电回路断路或接触不良；②控制线路有故障，如触发电路不工作或接触不良。
- (3) 按“启动”钮，线路工作正常，但引不起弧 可能是：①焊接电源未接通或接触器接触不良；②焊丝与工件接触不良；③地线没接上或接触不良。
- (4) 按下“启动”钮，熔断器立即熔断 可能是：①控制电路短路；②变压器初级线圈短路等。
- (5) 焊丝输送不均匀，电弧不稳定 可能是：①焊丝轮和压紧滚轮太松或磨损严重；②焊丝时有被卡所至；③送丝机构有故障，如矫直机构故障等；④网路电压波动太大。
- (6) 焊接过程正常，焊车突然停止 可能是：①焊车离合器脱开；②焊车轮被电缆等物阻挡。
- (7) 焊机“启动”后，焊丝末端周期地与工件“粘住”或断弧
 - ①“粘住”原因是：电弧电压太低，焊接电流太小或网路电压太低造成。
 - ②断弧原因是：电弧电压太高，焊接电流太大或网路电压太高所至。
- (8) 焊丝通过导电嘴产生火花，焊丝发红 可能是：①导电嘴间隙太大；②导电不良；③焊丝有油污、有锈等。
- (9) 导电嘴末端随焊丝一起熔化 可能是：①焊接电流过大；②电弧太长或焊丝伸出太短所致。
- (10) 焊接停止后，焊丝与工件“粘住” 可能是：①按“停止”钮的速度太快；②操作顺序有误造成。
- (11) 焊波粗细不匀 可能是：①电压不稳；②导电嘴接触不良；③地线接触不良；④导线接头松动等；⑤送丝轮松动或磨损严重所致；⑥导电嘴夹得太紧；⑦工件缝隙不均匀。
- (12) 焊丝没有接触工件，焊接回路有电流反应 焊车与工件间绝缘已损坏造成。
- (13) 焊接过程中焊头或导电嘴的位置不时改变 可能是：①焊车的调整机构中余隙大；②导向装置中余隙所致。
- (14) 点动送丝不正常 可能是：①按钮连线接触不良或触头磨损大；②送丝控制板内有故障；③给定电路开关接触不良。
- (15) 焊接停止时无填充弧坑作用 阻容延时回路有毛病或填充弧电流调节不对。

四、等离子弧焊机

等离子体之所以能作为一种金属焊接和切割设备，是由于等离子弧的弧柱被压缩，使气体达到高度电离，产生很高的温度，使能量集中于较小的柱体内，其能量密度可达 $10^5 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$ ，所以它可作为一种高温热源，

熔化各种高熔点的金属，且由于等离子弧电离度高、导电性能好、电弧长、挺直度好、弧柱发散角度小等特点，故其电弧稳定性好，焊接操作易掌握。同时又因等离子弧是在三个收缩效应（机械压缩效应、热收缩效应和磁收缩效应）的作用下，其内部具有很大的膨胀力，这使带电粒子高速从喷嘴喷出，其穿透力极强，能一次焊透 8mm 厚的金属板且变形很小。由于上述这些特点，使它在焊接领域很快获得应用。

等离子弧焊接有两种基本方法：一是穿孔焊接；二是熔入焊接法。“熔入法”是用较小喷射速度的等离子弧，把工件焊接处，熔化到一定的深度或熔透而形成焊缝。它适用于 3mm 以下的薄板焊接。“穿孔法”是采用较大喷射速度的等离子弧，穿透工件形成小孔，使被熔化的金属，依靠表面张力在孔壁被拉住，形成熔池，熔池在电弧吹力、液

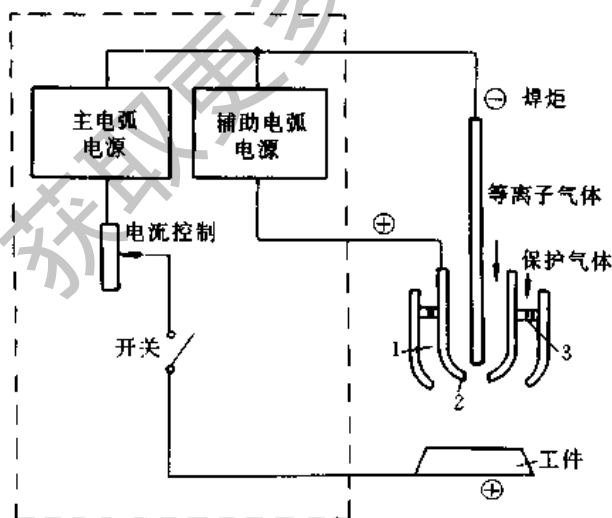


图 12.7.22 微束等离子电路原理图

1—保护罩；2—压缩喷嘴；3—气帘

态金属重力和表面张力相互作用下，保持平衡，当焊炬前进时，小孔在电弧后逐渐收口凝固，形成穿透性焊缝。它一般用于3mm以上的金属板材料焊接。目前常用的等离子弧切割设备有微束等离子弧焊机、强流等离子弧焊机和空气离子切割机。

1. 微束等离子弧焊机

微束等离子弧焊机电流一般在0.1~30A范围内，使用“熔入法”焊接。电弧分主电弧（转移电弧）和辅助电弧（稳定主电弧用）或称维弧。引弧方法一般多采用高频引弧，即在钨极和喷嘴间加高频脉冲引燃电弧，再接通工件建立起主电弧。人工手操作进行焊接，适用3mm以下厚度板材料焊接，其焊接电路原理图12.7.22所示。

微束等离子弧一般都使用混合型等离子弧。即在焊接时始终有2~3A电流的非转移电弧存在，主电弧（转移电弧）调节范围很大（0.1~30A），气体流量大小也可调节，以控制电弧长度和冲击力等。微束等离子弧电源需要两个互不相干而独立的陡降特性直流电源。一般维弧空载电压为75~150V，工作电压为18~28V。主弧空载电压在40~120V之间，工作电压在18~32V之间，电流可根据需要进行广泛调节。

2. 强流等离子弧焊机

强流等离子弧焊机电流一般在30~400A范围，采用“穿孔法”焊接方式，电弧为一个转移电弧。引弧也是在钨极与喷嘴间加一高频脉冲，当电弧引燃后再转移到钨极与工件之间，并切断通过喷嘴的电流。由于强流式等离子弧温度极高，不适宜手工操作，一般都采用自动焊车式。它用于3mm以上的金属板材焊接，其电路原理如图12.7.23所示。

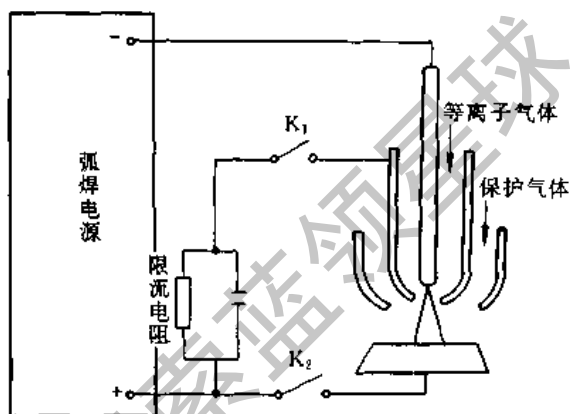


图 12.7.23 强流等离子弧电路原理图

强流等离子弧是转移型等离子，即电极接负极，工件接正极，等离子弧产生于电极与工件之间。由于焊接时使用的是氩气，容易电离，等离子弧喷射速度较大，故不需要很高的空载电压便可获得稳定的电弧（一般空载电压在70~80V即可）。

第七节 电阻焊机

一、概述

电阻焊是利用金属介质在通过电流时依然存在一定电阻这一物理特性而设计的一种焊接方法。它适用于金属之间的焊接。被焊金属由于存在一定电阻，在通过强大电流时，会产生大量热量，被焊体的温度随之急剧上升。当温度升到被焊金属的熔点时，如果对焊接部位施加适当的顶锻压力，被焊物体就会融为一体。这就是电阻焊的基本原理。

由于电阻焊具有生产效率高、焊后成型好、不消耗焊料、焊接过程自动化程度高等优点，它被广泛应用于车辆制造、航空设备制造、各种金属容器及电真空器件等产品的制造工业中。

1. 分类

① 按焊接工艺区分，常用的电阻焊机有点焊机、对焊机、凸焊机、缝焊机等多种类型。

② 按采用的电源类别来区分，有工频电源机、高频电源机、次级整流电源机和电容储能电源机等几种。其中以工频电源机应用最为广泛。

2. 用途

各电源类焊机的应用范围如下。

① 采用工频电源的电阻焊机常用于黑色金属材料的焊接。也可用于要求不高的不锈钢、铝、黄铜等材料的焊接。

② 次级整流焊机可用于黑色金属材料厚板、大展开面铝式铝合金及有镀锌层材料的焊接。

③ 电容储能焊机常用于不同厚度材料间的焊接和在无热变形焊接条件下的焊接。

3. 电阻焊机型号的编制方法

电阻焊机型号很多。其编制方法见表12.7.20。

表 12.7.20 电阻焊机型号编制方法

第一字位		第二字位		第三字位		第四字位		第五字位				
代表字母	大类名称	代表字母	小类名称	代表字母	附注特征	数字序号	系列序号	单位	基本规格			
D	点焊机	N	工频	省略	一般点焊	省略	垂直运动	kVA	额定容量			
		R	电容储能				1	圆弧运动	J	最大储能		
		J	直流冲击波				2	手提式	kVA	额定容量		
		Z	次级整流				3	悬挂式	kVA	额定容量		
		D	低频				K	快速点焊	kVA	额定容量		
		B	变频				W	网状点焊	6	焊接机器人	kVA	额定容量
T	凸焊机	N	工频	省略	省略	省略	垂直运动	kVA	额定容量			
		R	电容储能				J	最大储能				
		J	直流冲击波				kVA	额定容量				
		Z	次级整流				kVA	额定容量				
		D	低频				kVA	额定容量				
		B	变频				kVA	额定容量				
F	缝焊机	N	工频	省略	一般缝焊机	省略	垂直运动	kVA	额定容量			
		R	电容储能				1	圆弧运动	J	最大储能		
		J	直流冲击波				kVA	额定容量				
		Z	次级整流				kVA	额定容量				
		D	低频				Y	挤压缝焊	2	手提式	kVA	额定容量
		B	变频				P	垫片缝焊	3	悬挂式	kVA	额定容量
U	对焊机	N	工频	省略	一般对焊	省略	固定式	kVA	额定容量			
		R	电容储能				B	薄板对焊	1	弹簧加压式	kVA	额定容量
		J	直流冲击波				Y	异形截面对焊	kVA	额定容量		
		Z	次级整流				G	钢窗闪光对焊	kVA	额定容量		
		D	低频				C	轮圈对焊	2	杠杆加压式	kVA	额定容量
		B	变频				T	链条对焊	3	悬挂式	kVA	额定容量

二、结构

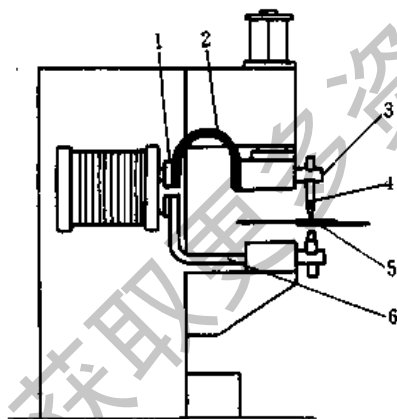


图 12.7.24 点焊机或凸焊机的焊接回路

- 1—变压器次级绕组；2—次级软连接；
3—电极臂；4—电极；5—被焊工件；
6—次级硬连接

电阻焊机一般主要由焊接回路、焊接变压器（次级整流器）、顶锻加压机构和电源控制箱四大部件组成。

1. 焊接回路

焊接电流所经过的回路称为焊接回路。它是由阻焊变压器、次级绕组、次级软硬连接、电极臂、电极和被焊工件组成。各类电阻焊机的焊接回路见图 12.7.24 至图 12.7.26。

2. 阻焊变压器

阻焊变压器是电阻焊机的关键部件。它是一个大变比、低漏抗的特殊变压器，能输出低电压的几千安及至几十万安的大电流，以满足电焊工艺的需要。绝大多数阻焊变压器的次级绕组均为单匝水冷式结构。即使是需要较高电压输出的阻焊变压器，如 DN3 悬挂式阻焊机使用的变压器，也是由两个单匝绕组串联而成。

3. 顶锻加压机构

顶锻加压机构可有多种结构。

(1) 杠杆加压传动结构 这种结构通常适用于小型点焊机，

由操作者手动或脚踏压缩弹簧，利用弹簧的应变力，作用于电极臂，再由电极臂传递到动电极。一般情况下，动电极作圆弧运动。这种结构较为简单，但压力较难稳定，操作劳动强度大，只适用于焊接要求不高的焊件。

(2) 电动凸轮传动结构 由电动机通过减速箱驱动凸轮，并由凸轮顶压弹簧，对电极臂施加压力。压力的大小可通过调节弹簧的压缩行程来控制。这种结构能进行连续点焊。操作强度低。但焊接规范设定的精度不

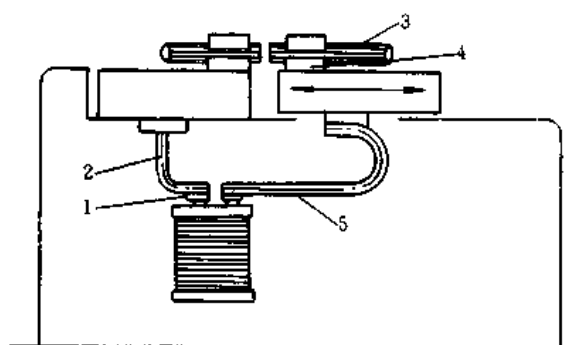


图 12.7.25 对焊机的焊接回路
1—变压器次级绕组；2—一次级硬连接；3—被焊工件；
4—夹具及电极臂；5—一次级软连接

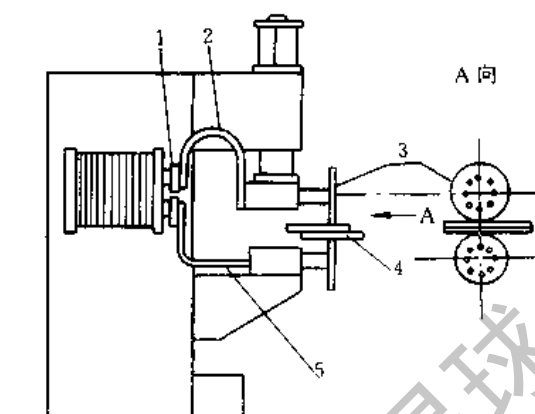


图 12.7.26 缝焊机的焊接回路
1—变压器次级绕组；2—一次级软连接；3—缝焊轮（电极）；
4—被焊工件；5—一次级硬连接

高，适用于中等容量和一般要求的焊件。它的电极运动轨迹亦为圆弧运动。

(3) 气压传动结构 用压缩空气通过气缸产生的压力，作用于电极，使电极作垂直运动。这种结构压力稳定，而且容易调节，配合专用的电气控制箱，就能获得精度很高的焊接规范。并且操作简便，运行稳定，能适合各种高要求焊件的施焊。目前中、大容量的点焊、凸焊、缝焊均采用这种结构。

三、电阻焊机的控制

电阻焊机施焊时，通常是由下列四个过程循环组成的：加压、焊接、维持和休止。此四过程必须严格按顺序进行。它们是影响焊接质量的四大要素，直接关系到焊后的质量。

通常，电阻焊机的控制有机械控制和电气阻焊控制箱两种。

1. 机械控制

前述杠杆加压式和电动凸轮加压式电阻焊机，常采用机械式电器控制。杠杆或凸轮在完成焊件加压后，触动行程开关，并接通电源。在超越行程后即断电。由于行程开关限位时，仍有一段加压行程，故能自动按加压、焊接、维持、休止顺序进行。焊接的时间可通过调节行程开关或凸轮的包络线长度来控制。这种机械式的控制装置精度不高，调节范围较小，焊接电流因网压波动及被焊工件的电阻变化而变化，只适用于要求不高的中、小容量电阻焊机。

2. 阻焊控制箱

阻焊控制箱是阻焊机中用以控制施焊动作进程的一种专用电气设备，常用于具有气压传动结构的阻焊机中。

目前常用的阻焊控制箱有两大类型。

(1) 晶体管同步控制箱 这类产品多为分列器件组合电路，能设定加压、焊接、维持、休止四个过程的时间。焊接电流能在电网电压的一定相位接通和断开，通过热量控制或网压波动补偿电路，改变触发脉冲移相控制角实现热量（电流）控制。配有该控制箱的焊机，控制精确度高，焊接电流稳定。常见产品的主要技术指标及用途见表 12.7.21。

表 12.7.21 常用阻焊控制箱主要技术数据及用途（一）

特征及型号	晶体管同步控制					
	KD6-75	KD6-100	KD7-50	KD7-200	KF2-75	KF2-100
主电路元件	Y ₁ -75/0.6	Y ₁ -75/0.6	3CT52	3CT53	Y ₁ -75/0.6	Y ₁ -75/0.6
最大电流/A	760	1350	100	1000	330	620
负载持续率/%	20	20	20	20	50	50
电网电压/V	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
焊接电流稳定性	3%	3%			3%	3%

特征及型号		晶体管同步控制					
		KD6-75	KD6-100	KD7-50	KD7-200	KF2-75	KF2-100
时间 调节 范围	加压/s	0.02~2	0.02~2	0.04~1.4			
	焊接/s	0.02~2	0.02~2	0.04~6		0.02~0.4	0.02~0.4
	维持/s	0.02~2	0.02~2	0.04~1.4			
	休止/s	0.02~2	0.02~2	0.04~1.4		0.02~0.4	0.02~0.4
冷却水消耗/(L/min)		3	4			3	4
重量/kg				20			
用途		点焊	点焊	点焊	点焊	缝焊	缝焊

(2) 可编程的同步控制箱 这类产品多数采用微机控制方式,是当前最有发展前途的产品。与晶体管同步控制箱相比它具有较大的通用性,功能更为广泛。用户可根据需要编制各种程序和提出规范参数。可预设锁存几十个焊接规范。由于微机实现的是数字控制,所以比模拟控制的精度、可靠性要高得多。故这类产品能适应各种特殊要求的焊接规范。常见产品的主要技术指标及其用途见表 12.7.22。

表 12.7.22 常用阻焊控制箱主要技术数据及用途 (二)

特征及型号		集成电路微电脑控制				
		MWC-B	WDK-1A	WDK-3A	WDK-1B	WDK-3B
电网电压/V		380	440/380/220	440/380/220	440/380/220	440/380/220
焊接电流/A		1000~19900	2000~19900	2000~19900	2000~19900	2000~19900
控制方式		数控周期	数控周期	数控周期	数控周期	数控周期
反馈控制		恒压/恒流	恒流	恒流	恒流	恒流
控制路数		2	2	1	1	2
规范数		3	4	2	4	2
时间 范围 周波	预压	0~99	0~199	0~199	0~199	0~199
	加压	0~99	0~199	0~199	0~199	0~199
	斜升	0~9		0~199	0~199	0~199
	焊接	0~99	0~199	0~199	0~199	0~199
	维持	0~99	0~199	0~199	0~199	0~199
	休止	0~99	0~199	0~199	0~199	0~199
分段数		3	2	4	2	4
重量/kg			27	26		
用途		适用于气压传动的点焊、凸焊、缝焊				

四、常用产品的技术参数及用途 (表 12.7.23 至表 12.7.26)

表 12.7.23 常用点焊机技术数据及用途 (一)

结构特征及型号	杠杆传动式				
	脚踏		电动凸轮	气压长臂	
	DN-5-1	DN-25-1	DN1-75-1	DN3-75	DN3-100
额定容量/kVA	5	25	75	75	100
初级电压/V	220/380	220/380	220/380	380	380
次级空载电压/V	1.16~1.74	1.76~3.52	3.52~7.04	3.33~6.66	3.65~7.3
次级电压调节数	6	8	8	8	8
额定负载持续率/%	20	20	20	20	20

续表

结构特征及型号	杠杆传动式				
	脚踏		电动凸轮	气压长臂	
	DN-5-1	DN-25-1	DN1-75-1	DN3-75	DN3-100
电极最大压力/kg	85	155	410	400	650
电极工作行程/mm	15	20	20	20	20
上电极辅助行程/mm				80	80
电极臂间距离/mm	97	155	210		
电极臂伸出长度/mm	210	250	410	800	800
可焊厚度/mm	1+1	3+3	4+4	2+2	2.5+2.5
生产率点/min	15	10	50	60	60
冷却水消耗/(L/min)	0.5	2	12	15	20
配用控制箱				KD3-75	KD3-75
重量/kg	50	165	370	800	850
用途	点焊低碳钢和钢丝加压及通电时间由操作者人工控制		点焊低碳钢、铝金属及低合金钢加压及通电时间由凸轮控制	焊接低碳钢, 允许焊件伸入长度较大, 生产效率较高	

表 12.7.24 常用点凸焊机技术数据及用途 (二)

结构特征及型号	气压传动				
	点焊机			凸焊机	
	DN-40	DN-63	DN-100	TN-63	TZ-100
额定容量/kVA	40	63	100	63	100
初级电压/V	380	380	380	380	380
次级空载电压/V	2.98~5.93	2.97~5.94	4.05~8.1	3.65~7.3	4.13~8.26
次级电压调节数	8	8	16	16	8
额定负载持续率/%	50	50	50	50	50
电极最大压力/kN	6	6	14	6.6	6
电极工作行程/mm	20	20	20	20	20
电极辅助行程/mm	60	60	60	60	60
电极臂伸出长/mm	550	600	500		480
可焊厚度/mm	3+3	4+4	5+5	5+5	5+5
生产率点/min	68		75	65	
冷却水消耗/(L/min)	12	16	14	14	30
压缩空气/MPa	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
配用控制箱	KD2	KD2	KD2	KD2	KD2
重量/kg	470	600	950	550	
用途	气压传动点焊机, 电极垂直运动, 电极压力和焊接电流的调节方便, 精确, 焊接质量稳定, 实现自动化生产有利, 可焊接碳钢合金钢及部分有色金属			可凸焊不等厚焊件, 如板+板, 板+螺母等, TZ, 直流型除碳钢外还能焊不锈钢、铝和钛、铌、钒、锆等稀有金属	

表 12.7.25 常用对焊机技术数据及用途

结构特征及型号	杠 杆 传 动			气 压 传 动	
	UN2-16	UN2-40	UN2-63	UNG-160	UNT-100
额定容量/kVA	16	40	63	160	100
初级电压/V	380	220/380	380	380	380
次级空载电压/V	1.76 ~ 3.52	3.02 ~ 7.04	4.6 ~ 7.6	7.9 ~ 10.85	4.05 ~ 8.1
次级电压调节数	8	8	8	4	8
额定负载持续率/%	50	50	50	50	50
最大弹簧加压力/kN	1.5				
最大杠杆加压力/kN	10	30	40		
最大可焊截面/mm ²	300	600	1000	1500	300
最大送料行程/mm	35	30	50	50	11
最大钳口距离/mm	50	80	80	10 ~ 40	100
冷却水消耗量/(L/min)	2	3	4	15	10
最大顶锻力/kN				40	65
压缩空气/MPa				0.6	0.5
夹具夹紧力/kN				65	50
生产率/(个/h)					200
重量/kg	275	445	464	1800	2700
用途	用于碳素钢和有色金属棒料的对接焊, 可采用电阻法或闪光法施焊			专用于对焊空腹、实腹的钢门架窗架	专用于环形链条的接口对焊, 焊接过程为自动

表 12.7.26 常用缝焊机技术数据及用途

结构特征及型号	杠 杆 加 压	气 压 传 动			
	FN-25	FN-63	FN-100	FZ-100	FZ-125
额定容量/kVA	25	63	100	100	125
电源电压/V	220/380	380	380	380	380
次级空载电压/V	1.18 ~ 3.62	2.97 ~ 5.94	3.39 ~ 6.79	3.52 ~ 7.04	5.57 ~ 6.75
次级电压调节数	8		8	8	
额定负载持续率/%	50	50	50	50	50
电极最大压力/kN	1.960	6	10.8	14	7.6
上电极工作行程/mm	20	35	35	35	105
电极臂有效长度/mm	400	610	610	610	520
可焊最大厚度/mm	1+1	1.2+1.2	1.5+1.5	2+2	1+1+1
焊接速度 (m/min)	0.86 ~ 3.43	4	3.5	4	20
冷却水消耗/(L/min)	5	23	20	30	6
压缩空气/MPa		0.5	0.5	0.5	0.5
重量/kg	350	580			
用途	一般用于碳钢板件搭合缝焊, FZ系列次级整流型, 还能对有色金属, 镀层板进行缝焊				自行车钢圈专用缝焊

第八章 滑 导 电 器

第一节 特点及分类

滑导电器产品在我国是 80 年代末期发展起来的一种新型移动馈电装置。采用滑块在角钢、圆铜线等载电体上的滑接方式受电，称之为滑触线馈电方式。这种馈电方式，存在着移动馈电质量不高、能耗大、可靠性不好、不安全等不足。

随着现代工业的发展，家用电器、汽车、内燃机、港口等行业的自动生产线、装配线、检测线，从事物料搬运、起重运输、加工制造的移动设备，对移动馈电的要求越来越多也越来越高。

工业上一般采用有线式传输。无线式由于价格、成本、可靠性等方面的限制，一般采用较少。有线式也可分为线缆收放式和滑接式二种，目前使用较广的是滑接式方式。

滑导电器就是一种采用滑接方式，在移动状态给移动设备同步提供电源或控制信息的电器装置，并形成定型产品。1992 年国家正式颁布了该产品的行业标准，规范了滑导电器的结构、技术指标、适用范围及试验方法，目前国内有 30 多家专业生产滑导电器的企业。

一、主要应用特点

滑导电器主要适合于移动状态输送交流 50Hz 或 60Hz，电压为 660V 及以下的电源。目前国内也生产工作电压 3kV、6kV 的滑导电器。该产品具有如下特点。

(1) 安全 输电导轨与外壳采用高绝缘性能材料。绝缘电阻大于 $10M\Omega$ ，绝缘介电强度 3000V/min，无击穿闪络，人触及无危险。外壳防护等级可根据需要满足 IP13、IP23、IP54 等级。

(2) 可靠 输电导管(导线)散热条件好，许用经济电流密度高，阻抗值低，电压线路压降小；电刷采用高导电性能、高耐磨性能的金属陶瓷材料制成；集电器移动灵活，定向性能好，能有效抑制接触电弧和防止串弧现象。

(3) 安全简便 该产品安装部件均以标准件提供，悬吊连接，组装十分简便，其安装综合费用大致与钢质滑线相当。

二、分类和型号含义

1. 产品分类

根据 JB/T 6391.1—92 标准规定滑导电器产品按结构分为滑接输电导管装置(QHG)、滑接输电导线装置(QHA)、滑接输电导轨装置(QHK)三类。

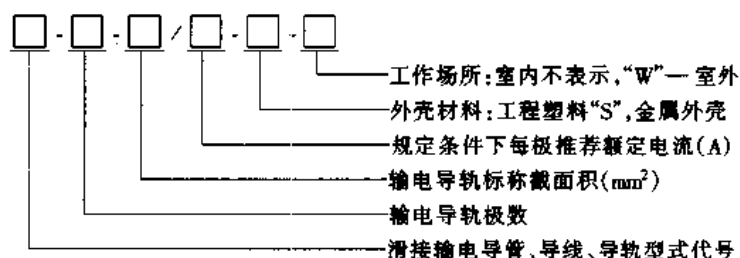
滑接导管型产品主要结构是所有输电导轨集成于一根塑料或金属导管内，集电器小车在内部滚动行走，集电器小车的受电臂从槽口伸出，由移动设备拖曳行走。其主要特点是接触压力稳定，接触可靠，电刷磨损小，安装空间小。

滑接导线型产品主要结构是输电导轨单根绝缘后，通过组装臂组装成多极导线，集电器安装在移动设备传动支架上，由外部从槽口插入导线内。其主要特点是供电极数可以任意组合，受电设备断电简便，移动速度较快。

滑接导轨型产品主要结构是单根输电导轨不绝缘，安装在金属桥架上，集电器通过移动设备传动支架，集电器的集电刷通过弹簧压力压搭在输电导轨上。其主要特点是馈电电流大，可以从几百安培到几千安培，移动速度快，可达 1200m/min，但无绝缘防护。

2. 型号含义

滑导电器型号含义



第二节 工作原理及产品结构

一、工作原理及主要功能单元

1. 工作原理

新型的防护式滑接输电装置制作成 4m 或 6m 标准长度的输电导管（导线或导轨），连接成需要的移动线路，可以是直线、弧线、圆弧轨道，导管（导线或导轨）的外壳可靠绝缘。导管（导线或导轨）内嵌有一根或多根输电导轨，可以传输单极或多极电源和电信号。导管内行走的集电器小车是一种带有滚轮和多极集电刷的小车。集电器小车在移动设备拖曳下，同步行走。同时，集电刷在管道内与各级输电导轨滑接，输电导轨电流由集电刷通过集电器传输电缆，送入移动设备（图 12.8.1）。

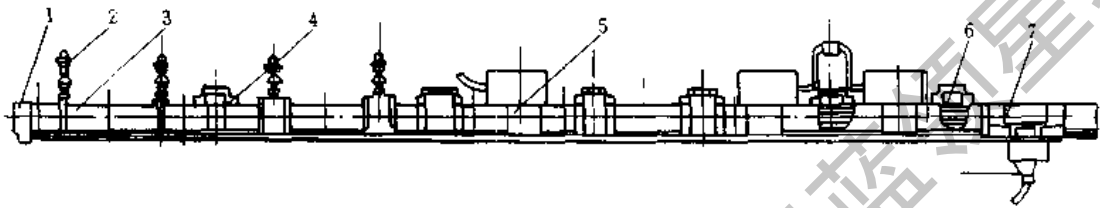


图 12.8.1 输电导管全线系统图

1—端帽；2—悬吊组件；3—导管；4—连接组件；5—供电单元；6—检修单元；7—集电器

2. 主要功能单元

滑电器产品的主要结构单元是线路功能单元和移动馈电功能单元，导管或导线是固定敷设部件。

一个线路系统长度有几十米或几千米。从功能和可靠性出发，构成一个可靠的线路系统，必须具备以下结构单元。

(1) 供电单元 将网络的电源通过电缆可靠引入或引出。因此，供电单元必须专门制作具有引入到输电导轨母排，连接可靠的接线端子。供电单元可以连接在线路系统上。

(2) 检修单元 移动受电设备需要局部停电，以保证检修安全。该单元配有开关装置，供局部断电使用。

(3) 线膨胀补偿单元 由于年温差的变化，作为一个线路系统，其长度必然产生变化。如收缩过大，在连接处将产生较大间隙；如膨胀过大，产生过盈，将使线路拱曲，均影响集电器行走，因此必须采取线膨胀补偿单元。但是由于绝缘材料和金属材料线膨胀系数不同，因而增加了补偿难度。这里采用分散补偿和集中补偿二种方式，并规范了不同安装温度下不同的补偿距离。

(4) 连接组件 输电导轨连接器用于保证输电导轨连续性的连接器。连接夹在导轨连接器外部，对连接部分有效绝缘并连接外壳的装置。

输电导管（导线）的连接包括输电导轨连接，保证接电可靠和滑接可靠；导管外壳连接，保证外壳连接强度和连接处的绝缘防护性能。

(5) 悬吊装置 有悬吊支架、固定和浮动悬吊夹等标准件，将线路系统可靠地且又具有一定柔性地悬吊在空间。

(6) 其他结构 端帽、导管（导线）终端的限位和盖板。

3. 移动馈电单元

移动馈电单元主要由集电器以及保证集电器同步运行的正交器、同步器等部件组成，集电器一般由集电刷、集电刷框、恒压弹簧、集电电缆、集电体组成。

集电器分为输电导管用集电器、导线用集电器和输电导轨集电器三种。

二、主要技术参数

1. 安全指标

根据国家机械行业标准，主要安全指标如表 12.8.1。

表 12.8.1 滑导电器产品安全指标

指标内容	指标值	指标内容	指标值
绝缘电阻	> 10MΩ	相比漏电起痕指数 CTI	> 600V
绝缘介电强度	工频交流 3000V/min 无击穿	抗非常热和着火危险	本生灯法, 阻燃性能良好
绝缘击穿电压	> 25kV/mm	外壳防护等级	不低于 IP23

2. 性能指标

使用性能指标包括短时耐受电流能力、额定速度、连续运行、温升、耐候条件等。其中短时耐受电流的有效值不低于 20 倍, 峰值不低于 50 倍额定电流。

(1) 短时耐受电流能力 (表 12.8.2)

表 12.8.2 短时耐受电流能力

额定短时耐受电流有效值 I_{sc}/kA	功率因数 $\cos\varphi$	峰值系数 n	额定短时耐受电流有效值 I_{sc}/kA	功率因数 $\cos\varphi$	峰值系数 n
≤ 1.5	0.95	1.41	> 6.0 ~ 10	0.50	1.70
> 1.5 ~ 3.0	0.90	1.42	> 10 ~ 20	0.30	2.00
> 3.0 ~ 4.5	0.80	1.47	> 20 ~ 50	0.25	2.10
> 4.5 ~ 6.0	0.70	1.53	> 50	0.20	2.20

(2) 额定速度 滑导电器产品的额定线速度应满足起重机运行速度的要求, 其值为 80、125、240、360m/min。

(3) 温升 (表 12.8.3)

表 12.8.3 温升要求

部 位		允许温升/K	部 位		允许温升/K		
供电器端电源接线端子		65	输电导轨	绝缘材料 耐热温度 /℃	> 95	55	
输电导轨接头	绝缘材料 耐热温度 /℃	> 95			65	85	45
		85			55	75	35
		75			45	60	20
	60	30					

(4) 耐候条件 正常使用条件下, 周围空气温度室内型为 $-5 \sim +40^{\circ}\text{C}$, 并且在 24h 内其平均温度不得超过 $+35^{\circ}\text{C}$ 。

大气条件: 室内型, 大气相对湿度在周围空气温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ 时, 不超过 50%, 在较低环境温度下可以有较高相对湿度; 室外型, 温度为 $+25^{\circ}\text{C}$ 时, 相对湿度可以短暂高达 100%。

使用场所的海拔高度不得超过 2000m。

第三节 常用滑导电器产品的技术参数

一、防护式移动滑接输电装置

防护式移动滑接输电装置可分为导管类和导线类二大部分。其规格选用可按功能要求配置 (图 12.8.2 和图 12.8.3)。

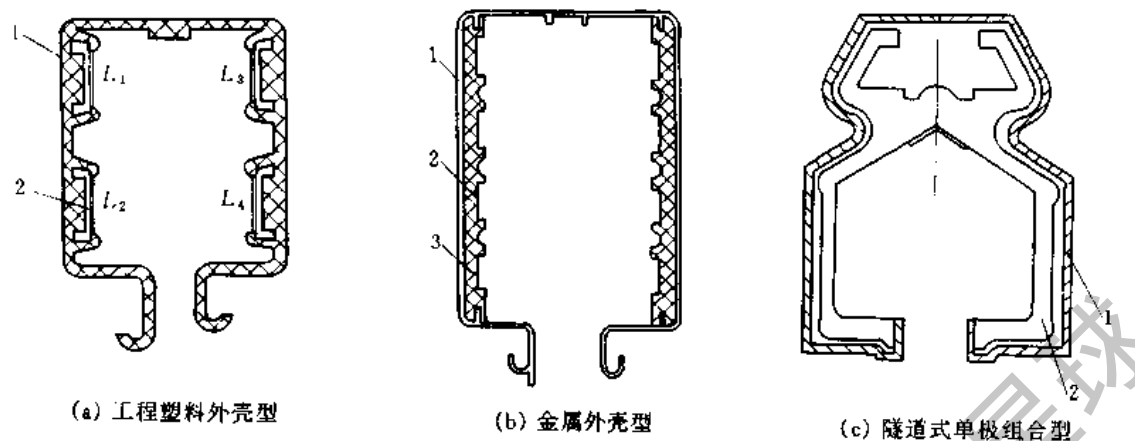
1. 滑接输电导管类

滑接输电导管类产品按外壳材料可分为工程塑料外壳和金属外壳二种; 按输电导轨的极数可有 1 ~ 24 极; 按载流特性可分为 10 ~ 2500A。

(1) 工程塑料外壳滑接输电导管

① 结构特点 该装置为工程塑料外壳的导管, 内部嵌有多极输电导轨。主要用于环境温度在 50°C 以下室内电动起重机、自动生产线、检测线的移动供电, 并且可以形成弧形、拱形等各种运行轨迹。

② 应用特点 集电器小车在管内行走, 能保证良好的接触压力和相对接触位置的准确; 由装在移动受电

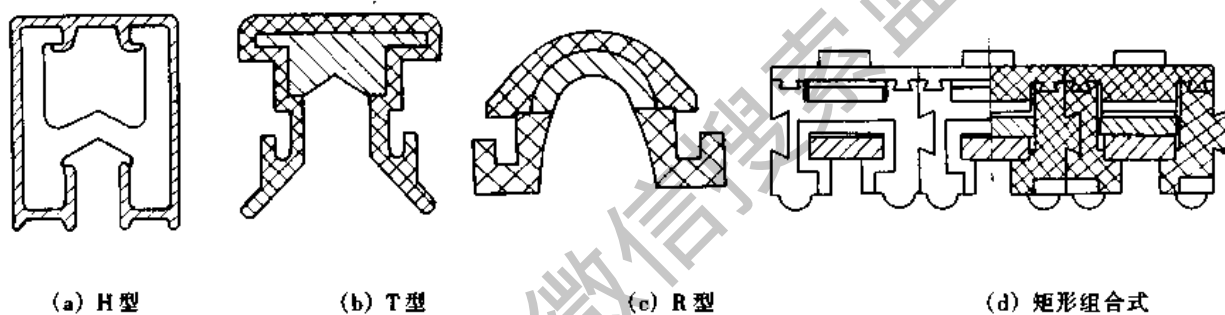


1—塑料外壳；2—输电导轨

1—金属外壳；2—输电导轨；3—绝缘体

1—绝缘外壳；2—滑接导管

图 12.8.2 滑导电器导管类产品



(a) H型

(b) T型

(c) R型

(d) 矩形组合式

图 12.8.3 滑导电器导线类产品

设备上的正交器（传动臂）带动，正交器具有五个自由度位置位移补偿，因此能够吸收移动受电设备的运动偏差和冲击。该装置在室外和其他温度较大的环境条件下应用，应注意遮阳隔热或热补偿功能单元的选用。地面敷设注意防止机械冲击。

③ 品种规格和应用参数（表 12.8.4）

表 12.8.4 工程塑料外壳滑接输电导管参数

型 号	截面积 /mm ²	极 数	连续电流 /A	额定电流时阻抗 /(Ω/km)
QHG-3-35/140-s	35	3	140	0.514
QHG-3-70/210-s	70	3	210	0.257
QHG-4-16/80-s	16	4	80	1.38
QHG-4-25/120-s	25	4	120	0.81
QHG-4-35/140-s	35	4	140	0.55
QHG-4-50/170-s	50	4	170	0.39
QHG-4-70/210-s	70	4	210	0.285
QHG-6-10/140-s	10	6	50	1.91
QHG-7-10/50-s	10	7	50	1.91

续表

型 号	截面积 /mm ²	极 数	连续电流 /A	额定电流时阻抗 /(Ω /km)
QHC ₂ -6-35/140-s	35	6	140	0.56
QHC ₂ -6-50/170-s	50	6	170	0.385
QHC ₂ -6-70/210-s	70	6	210	0.28
QHC ₂ -7-35/140-s	35	7	140	0.56
QHC ₂ -7-50/170-s	50	7	170	0.385
QHC ₂ -7-70/210-s	70	7	210	0.28
QGH ₂ -16-10/50-s	10	16	50	1.91
QGH ₂ -8-10/50-s	10	8	50	1.91
QHC ₂ -8-16/80-s	16	16	80	1.38
QHC ₂ -8-25/120-s	25	8	120	0.81
QHC ₂ -5-16/80-s	16	5	80	1.38
QHC ₂ -5-25/120-s	16/25	5	120	0.81
QHC ₂ -5-35/140-s	16/35	5	140	0.55
QHC ₂ -5-50/170-s	16/50	5	170	0.39
QHC ₂ -5-70/210-s	16/70	5	210	0.285

(2) 金属外壳型滑接输电导管

① 结构特点 该装置弥补工程塑料型滑接输电导管耐候性及受机械冲击性能不高的不足。采用铝合金或钢板外壳，内部装有嵌输电导轨的绝缘槽板，形成线路系统。集电器小车在金属导管内行走，与工程塑料导管一样通过集电刷向受电设备供电。

② 应用特点 该装置适用于室内外起重机，电动葫芦及其他移动用电设备在直线、弧线、上下拱的不同路线下移动供电。耐候性、耐机械冲击性能较好。

在连接部分应按规范可靠地做好绝缘处理，外壳要保证可靠电连续性，并可靠接地。全线由各功能单元组成。

③ 品种规格和应用参数 (表 12.8.5)

表 12.8.5 金属外壳型滑接输电导管参数

型 号	截面积 /mm ²	极 数	连续电流 /A	额定电流时阻抗 /(Ω /km)
QHC-4-16/80-j	16	4	80	1.157
QHC-4-25/100-j	25	4	100	0.725
QHC-4-35/140-j	35	4	140	0.536
QHC-4-50/170-j	50	4	170	0.385
QHC-4-70/210-j	70	4	210	0.287
QHC ₃ -5-16/80-j	16	5	80	1.157
QHC ₃ -5-25/100-j	16/25	5	100	0.725
QHC ₃ -5-16/35-j	16/35	5	140	0.536
QHC ₃ -5-25/50-j	25/50	5	170	0.385
QHC ₃ -5-25/70-j	25/70	5	210	0.287

续表

型 号	截面积 /mm ²	极 数	连续电流 /A	额定电流时阻抗 /(Ω /km)
QHG ₃ -4-95/270-j	95	4	270	0.225
QHG ₃ -4-120/320-j	120	4	320	0.174
QHG ₃ -4-150/360-j	150	4	360	0.128
QHG ₃ -8-10/10-j	10	8	50	1.346
QHG ₃ -8-16/80-j	16	8	80	1.157
QHG ₃ -8-25/140-j	25	8	140	0.725
QHG ₄ -14-10-j	10	14	50	1.346
QHG ₄ -14-16-j	16	14	80	1.157
QHG ₄ -14-25-j	25	14	140	0.725

(3) 隧道式单极输电导管

① 结构特点 该装置每极为一根，电流载体是导电稀土铝合金制作成隧道式，以保证导电表面积和机械强度。导管内腔可以行走集电器小车，集电刷与嵌有不锈钢的 V 形面滑动接触，以增加耐磨性。全线由各功能单元组成。

② 应用特点 该产品适用于 200A 电流以上，室内、外场所的电源输送，移动速度较高。同时，也可使用支架式集电器作滑接输电导线使用。

③ 品种规格和应用参数 (表 12.8.6)

表 12.8.6 隧道式单极输电导管参数

型 号	截面积 /mm ²	连续电流 /A	额定电流时阻抗 /(Ω /km)
QHG-250/250	250	250	0.0128
QHG-250/300	250	300	0.01256
QHG-250/400	250	400	0.01164
QHG-400/500	400	500	0.00083
QHG-400/600	400	600	0.000785
QHG-400/700	400	700	0.0007275
QHG-800/800	800	800	0.0004025
QHG-800/1000	800	1000	0.0003925
QHG-800/1250	800	1250	0.00036375
QHG-1250-1600	1250	1600	0.000286
QHG-1500/1800	1500	1800	0.000261
QHG-1500/2000	1500	2000	0.000237
QHG-2000/2200	2000	2200	0.000198
QHG-2000/2400	2000	2400	0.000186
QHG-2000/2600	2000	2600	0.000172

注：相同截面选用不同导电率材料。

(4) 防护式滑接输电导管用小车型集电器

① 结构特点 滑接导管用集电器一般均为小车型。其主要结构由行走部件、集电部件、车体等组成。

② 产品规格和型号



③ 产品型号和使用参数 (表 12.8.7)

表 12.8.7 防护式滑接输电导体用小车型集电器型号及参数

型 号	极数	额定电流/A	特 征
JDG-1-500	1	500	适用于隧道式, 8 只滚轮
JDG-1-700	1	700	适用于隧道式, 8 只滚轮
JDG-3-140	3	140	适合于塑料导管
JDG-4-16	4	16	适合于塑料导管的直管、弧形管
JDG-4-16A	4	16	塑料管电刷锚形
JDG-4-40	4	40	塑料管、金属管
JDG-4-2 × 20	4	40	塑料导管、金属管, 每极双电刷防瞬间断电
JDG-4-40	4	40	塑料管、金属管, 恒压弹簧刷框
JDG-4-50	4	50	塑料管、金属管, 恒压弹簧刷框
JDG-4-150	4	150	塑料管、金属管, 恒压弹簧刷框
JDG-7-25	7	25	塑料管、弯管
JDG-7-120	7	120	塑料管
JDG-8-25	8	25	塑料管
JDG-14-25	14	25	塑料管、金属管
JDG-16-25	16	25	塑料管

2. 滑接输电导线类

该装置的显著特点: 采用支架式集电器, 由外部插入输电导线底部的开口, 进行滑接输电。采用这种结构, 能提高移动速度, 并且可以随时拉下集电器, 对移动受电设备进行停电检修。导线载流量范围大, 可由 10~2500A; 集电器工作电流大, 最高可达 1000A。支架式集电器采用四杆机构或转臂机构, 用以吸收、补偿移动受电设备的运动误差和运动冲击。

(1) H 形滑接输电导线 (QHAH-□-□/□)

① 结构特点 该产品导电轨是截面呈“H”形的铝导轨, 外壳是绝缘材料, 在保证一定导电截面积的基础上, 又提高了整体刚性和强度。在底部倒 V 形槽口, 复合了不锈钢带, 以增加滑接时的耐磨性和耐受电弧能力。外壳采用工程塑料作绝缘保护。支架集电器安装在移动设备上, 通过平面四杆机构, 补偿移动设备的冲击, 平稳滑接集电。

全线由各功能单元组成, 根据输送电源需要可配置多极并列。

② 应用特点 适用于起重机大车和小车移动供电。并且可以弧形转弯, 移动速度较高, 承载电流较大, 极数选用可根据需要配置。最大运行速度可达 600m/min, 悬吊间距 1.5m 或 2.0m。在高湿度环境应使用带绝缘子的悬吊装置。

③ 主要规格及技术参数 (表 12.8.8)

表 12.8.8 H形滑接输电导线参数

型 号	导体截面积 /mm ²	堆存载流量 /A	最小极距 /mm	阻 抗 /(Ω/km)
QHAH-125/150	125	150	80	0.000376
QHAH-150/200	150	200	80	
QHAH-□/250		250	80	
QHAH-□/300		300	80	
QHAH-250/380	250	380	80	
QHAH-□/500		500	80	
QHAH-400/640	400	640	80	
QHAH-□/800		800	80	
QHAH-500/825	500	825	80	
QHAH-700/1000	700	1000	80	
QHAH-□/1200		1200	80	
QHAH-1200/1600	1200	1600	150	
QHAH-□/2000		2000	150	0.000019

(2) T形滑接输电导线 (QHAT-□/□)

① 结构特点 该产品采用 T形铝合金型材或导电铜型材为载体, 外壳采用绝缘性能良好的工程塑料。采用支架式集电器, 集电刷由外部插入底部开槽的倒 V形槽中。铝合金型材的倒 V形槽复合有不锈钢带, 以增加与集电刷的耐磨性和耐受电弧能力, 线路系统由各功能单元组成。

② 应用特点 该产品除具有 H形输电导线相同的应用特点外, 还具有悬吊安装较为简便, 导向性能好, 集电器导入方便等优点。除适用于起重机大小滑线外, 还适用于煤矿有色金属矿井下工矿电机。

③ 主要规格及使用参数 (表 12.8.9)

表 12.8.9 T形滑接输电导线参数

型 号	导电材料	截面积 /mm ²	推荐载流量 /A	轨距 /mm	阻 抗 /(Ω/km)
QHAT ₁ -125/250	铝	125	250	60	0.025
QHAT ₁ -200/400	铝	200	400	60	0.019
QHAT ₁ -100/400	铜	100	400	60	0.021
QHAT ₁ -125/500	铜	120	500	60	0.016

(3) R形滑接导线 (QHAR-□/□)

① 结构特点 该装置单极组装, 输电导轨采用弧形铜带, 外壳采用绝缘工程塑料, 连接器将滑线连接。滑线数量根据需要, 用组装臂组合, 并可悬吊、侧装。采用外挑式集电器。

② 应用特点 该产品适合于传输小电流和控制信号, 并可多根密集组合。可作成直线、弧线行走。该产品刚性较差, 全线应附壁安装或缩小支撑间隔距离。产品主要用于起重机小车、电动单轨小车、自动生产线和检测线的供电。

③ 主要规格和使用参数 (表 12.8.10)

表 12.8.10 R形滑接导线参数

型 号	截面积 /mm ²	推荐载流量 /A	阻 抗 /(Ω/km)	型 号	截面积 /mm ²	推荐载流量 /A	阻 抗 /(Ω/km)
QHAR-10/50	10	50	0.192	QHAR-35/140	35	140	0.054
QHAR-16/80	16	80	0.120	QHAR-50/180	40	180	0.038
QHAR-25/100	25	100	0.077				

(4) 矩形多极滑接输电导线 (QHAI-□/□)

① 结构特点 该产品外壳采用工程塑料成型为矩形骨架, 具有一定刚性。下端开有多组槽口和矩形槽, 矩形铜排从中穿过。安装时, 先安装塑料骨架, 然后穿入铜带, 集电器采用外挑式集电器。

② 应用特点 适合于各种电动葫芦、5t 以内的桥式起重机的大小车移动供电。滑线可以正装 (开口朝

下)、侧装,铜带必须有张紧装置。

③ 主要规格和使用参数 (表 12.8.11)

表 12.8.11 矩形多极滑接输电导线参数

型 号	极 数	推荐载流量 /A	导电截面积 /mm ²	阻 抗 /(Ω/km)
QHAJ-□-□/□	3~4	60	16	0.9
		100	25	0.6
		150	35	0.35

(5) 组合式滑接输电导轨

① 产品特点 该装置的绝缘骨架具有镶拼组装的特点,导电载体采用矩形带,集电器采用外挑式,安装方式与多极式相同。

② 应用特点 结构简单,组合简捷,安装简易,载流量较小,可用于各种起重机和电动葫芦的移动供电。

③ 主要规格型号及使用参数 (表 12.8.12)

表 12.8.12 组合式滑接输电导轨参数

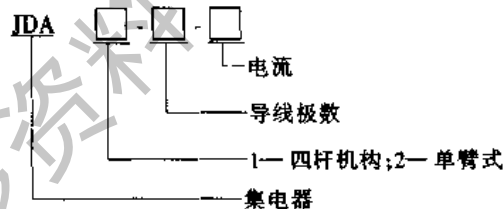
型 号	导体材料截面积 /m ²	推荐载流量 /A	阻 抗 /(Ω/km)
ZH-(3-5)-60/60	Te-60	60	4
ZH-(3-5)-100/100	Al-60	100	0.6
ZH-(3-5)-200/200	Cu-60	200	0.4

(6) QHA 型滑接输电导线用集电器

① 结构特点 滑接导线用集电器大多采用外挑式集电器,即集电器装于受电设备上,从外部插入滑接导线的开口槽。集电器必须具有以下功能:

- 移动集电,通过集电刷与载流滑线滑动接触,电流由电刷经电缆插入移动受电设备内;
- 补偿运动误差,吸收冲击,采用四杆机构或单臂机构补偿 5 个自由度的相对误差和运动冲击。

② 产品分类及型号表示方法 滑线集电器分为四杆机构式和单臂式二种。



③ 主要规格型号及使用参数 (表 12.8.13 和表 12.8.14)

表 12.8.13 四杆机构滑线集电器参数

型 号	额定电流/A	配用滑线形式	型 号	额定电流/A	配用滑线形式
JDA ₁ -□-30	30	T形、R形、多极式	JDA ₁ -□-250	250	T形、H形、隧道式
JDA ₁ -□-50	50	T形、H形、R形、多极式	JDA ₁ -□-500	500	T形、隧道式
JDA ₁ -□-100	100	T形、H形、隧道式	JDA ₁ -□-800	800	T形、隧道式
JDA ₁ -□-200	200	T形、H形、隧道式			

表 12.8.14 单臂式滑线集电器参数

型 号	额定电流/A	配用滑线形式	型 号	额定电流/A	配用滑线形式
JDA ₂ -12-16	16	R形、T形、矩形	JDA ₂ -100	100	R形、T形、H形
JDA ₂ -12-40	40	R形、T形、矩形	JDA ₂ -500	500	H形、隧道式
JDA ₂ -12-80	80	R形、T形、H形	JDA ₂ -1000	1000	H形、隧道式

二、非防护式滑接输电装置

滑接输电导轨系近年来发展的非防护式移动滑接输电装置，适合于冶金、铸造、炼焦等高温用业区大吨位起重机应用。由于采用专用铜轨道和高耐磨性能的自润滑集电刷，运行速度可达 1200m/min，安装部件标准化，安装十分简便。输电导轨主要规格型号和使用参数见表 12.8.15。

表 12.8.15 输电导轨参数

型 号	导轨截面 /mm ²	输电导轨推 荐载流量/A	导轨重量 /(kg/km)	型 号	导轨截面 /mm ²	输电导轨推 荐载流量/A	导轨重量 /(kg/km)
DHK-85	85	490	774.2	DHK-200×2	200×2	1500	3596.8
DHK-85×2	85×2	910	1548.4	DHK-240	240	900	2173.6
DHK-110	110	589	987.7	DHK-240×2	240×2	1700	4347.2
DHK-110×2	110×2	1000	1975.4	DHK-300	300	1100	2706.1
DHK-170	170	700	1533.5	DHK-300×2	300×2	2000	5412.2
DHK-170×2	170×2	1300	3067.0	DHK-340	340	1200	3062.6
DHK-200	200	800	1798.4	DHK-340×2	340×2	2300	6125.2

第四节 滑导电器的选用和维护

一、线路系统的设计和计算

滑电器线路系统的设计一般分结构形式的选择和技术参数的校核二部分进行。

1. 结构形式选择原则

由于滑接输电装置的品种众多，因此结构形式的选用应根据移动受电设备工作环境和行驶输电特点来决定。

① 应确定采用防护式还是非防护式。由环境温度、运动速度、架设空间大小以及有关异物触及可能确定。

② 选择具体结构形式。如采用非防护式，建议采用 DHK 滑接输电导轨较为合适和安全。角铁式、电车线式逐步被其代替。

选用防护式滑接输电装置，则应确定滑接导管式和滑接导线。对于中小型起重设备选用导管式较为合适，因为安装较为简便、接触压力稳定；对于大型设备或传输极数较多场合，一般选用滑接导线式，因其承载电流较大，运行速度较快，断电检修方便。

③ 应根据室外和室内使用确定外壳的防护要求。

2. 确定安装结构选用功能单元

滑接输电装置要求安装牢固、可靠，便于维修调整。同时，人和其他异物不能经常触及。一般分为高架式、地面式、地沟式三种。地面式必须采用外壳防护等级 IP23 以上的防护式滑接输电导管形式。在此基础上选用功能单元，如热膨胀补偿单元。断电维修单元并非必需，视线路情况选用。

3. 选择参数

(1) 滑导电器的极数确定 如用于电力输送，一般有单相二线制、三相三线制、三相四线制、三相五线制；如用于信号输送，根据信号数确定极数。

(2) 导电轨截面积选用 应根据负载电流、工作环境温度、负载工作持续率等多种因素进行折算，折算后的工作电流应小于在稳定条件下的滑接输电装置的推荐额定电流。

(3) 功率选择 根据负载特点，估算移动受电设备的总功率 $\sum P$ 值。

当 n 个负载同时动作时 $\sum P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$

当 n 个负载不同时动作时 $\sum P = P_1 + P_2 + P_3$ ，其中 P_1 为最大负载功率， P_2 、 P_3 为其余二个可能动作负载功率。

要求滑导电器的三相交流传输功率 PN 满足：

$$\frac{PN}{\sum P} = 1.2 \sim 1.3$$

(4) 电流选择

① 确定工作电流 IF 。

② 核算工作电流安全系统:

$$\frac{IN}{IF} \geq 1.2$$

式中, IN 为滑导电器推荐载流量。

(5) 线路电压降的校核

$$\text{直流输电线路电压降} \quad \Delta u_{\text{直}} = \frac{\sum I_n \cdot R \cdot L}{u_N} 100\%$$

$$\text{单相交流输电线路电压降} \quad \Delta u_{\text{单}} = \frac{\sum I_n \cdot Z \cdot L}{u_N}$$

$$\text{三相交流输电线路电压降} \quad \Delta u_3 = \frac{\sqrt{3} \sum I_n \cdot Z \cdot L \cdot \cos \psi}{u_N}$$

式中 $\sum I_n$ ——线路中最大二台动力最大电流之和;

R ——线路直流电阻, Ω/km ;

Z ——线路交流电阻(阻抗)值, Ω/km ;

L ——计算长度, km ;

u_N ——线路额定工作电压。

(6) 线路载流量、电压降的补偿办法 在选用滑导电器时,如经过核算载流量、电压降不能满足移动受电设备的需要,可采取增大选用导电截面积方法,但工程上也常采用增加供电点方法予以补偿。

- ① 单端供电:供电点线路的一端,常规供电方法;
- ② 中间供电:供电点在线路的中间,电压降为单端供电的 $1/2$;
- ③ 双端供电:二供电点分别在线路二端,电压降为单端的 $1/4$,载流量增加一倍;
- ④ 双偏供电:二供电点分别距线路终端的 $1/6$ 全长处,电压降为单端的 $1/6$ 。

二、集电器等移动馈电单元的选用

1. 集电器的选用

① 集电器的额定电流应等于或大于移动受电设备的总电流之和,如果移动受电设备在某点静止工作超过 2h ,应将集电器额定电流减半使用。

② 应考虑集电器的许用速度和移动受电设备的工作速度相一致。

③ 集电器的外形尺寸应和配用线路结构相一致,集电刷数应和输电导轨极数一致。

④ 在要求供电不得瞬间断电场所,可考虑采用双集电器或多集电器,冗裕处理。

2. 正交器、同步器、传动臂选用

正交器、同步器、传动臂均是一种向集电器传递前进动力的装置。

正交器一般用于管式输电装置,与集电器正交,能够吸收三维方向的传动位置误差。

同步器一般用于集电器需要保证在空间准确位置导入导管内,具有弹簧纠偏装置。

传动臂用于外挑式集电器。

三、线膨胀补偿装置的选择办法

滑导电器的线体部分在全年温差较大环境下,应合理地确定线膨胀补偿办法。否则将不能形成线体内部流畅的集电器行走通道,造成损坏。其补偿办法主要有以下二种:①室内安装,全线长度 100m 以内,一般不加热膨胀点,安装时,导管接头处均应留间隙 5mm ;②室外安装或线路超过 100m 长度,应考虑热膨胀补偿。

(1) 间隙补偿法 在导管连接处,相邻导管间交错留有间隙,供热膨胀补偿延伸之用。补偿点两端应固定悬吊,其余浮动悬吊。

(2) 分离补偿办法 在日温差较大,特别是室外使用,行走速度不高的情况下,可使用分离补偿法。导管在接头处分离一定距离,作热膨胀补偿之用。导管分离处均套上喇叭导入管,供集电器导向进入导管。分离导管采取分别供电方式。

集电器由弹簧同步器传动,并保证不在导管部分时的空间位置。为保证连续供电,必须采用双集电器。

四、滑导电器产品安装要求

- ① 必须可靠地悬吊安装和线体之间可靠的连接,保证电连续性。
- ② 在供电端、连接处,均必须可靠地用盖板、连接头等绝缘器件进行可靠的绝缘处理。

- ③ 保证线体之间可靠的几何尺寸精度，比如轴心线的直线度、轴心线与移动受电设备轨道的平行度等。
- ④ 保证按规定要求预留线膨胀补偿间隙，导轨接头之间应有圆滑过渡。
- ⑤ 通电试运行前，应进行全线绝缘电阻检测，不得小于 $10\text{M}\Omega$ ，金属外壳应可靠接地。
- ⑥ 在多极管道内，集电器引线较多，集电器应注意相位一致。
- ⑦ 通电试运行后，应低速行走 2h，作为集电刷的磨合期。

五、滑导电器的维护和保养

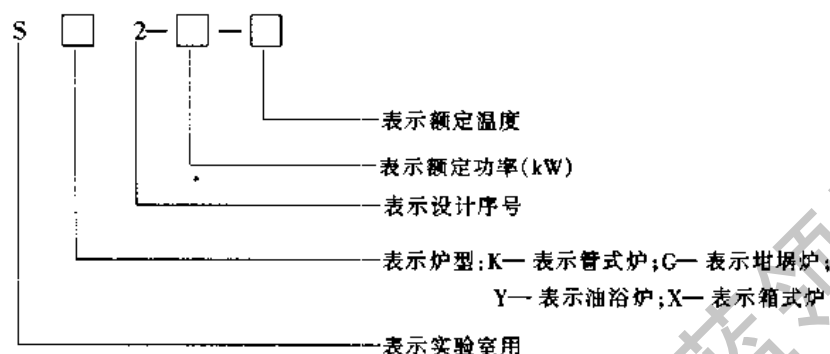
- ① 滑电器应根据设备负荷、接地持续率、工作环境温度、线路长度确定规格。超过原选用条件时，应考虑降容使用，可采取增加供电点等补偿措施。
- ② 定期检查线路积尘，如积尘较多应采取压缩空气吹法，或停电擦拭干净。
- ③ 定期检查线路直线状态，如显著变形、弯曲，可采用调整悬挂螺栓方法，进行校直，如无法校直，可单根更换。
- ④ 定期检查集电器、电刷弹簧压力正常，一般在 $1.8\sim 2.3\text{N}/\text{cm}^2$ ，检查集电器行走滚轮及集电刷磨损状况，定期更换磨损滚轮和集电刷。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第九章 电 炉

第一节 实验室电炉

一、产品型号命名及含义



二、SX系列^{1000℃}/_{1200℃}箱式电阻炉

1. 用途

SX系列中温箱式电阻炉，系周期作业式电阻炉，可供工矿企业，科研单位、实验室等作化学分析，物理测定和一般小型工件热处理加热用。

2. 技术数据（表 12.9.1）

表 12.9.1 主要技术数据

名 称	数 据						
	SX-2.5-10 型	SX-4-10 型	SX-8-10 型	SX-12-10 型	SX-2.5-12 型	SX-5-12 型	SX-10-12 型
额定功率/kW	2.5	4	8	12	2.5	5	10
额定电压/V	220	220	380	380	220	220	380
相数	1	1	3	3	1	1	3
额定温度/℃	1000	1000	1000	1000	1200	1200	1200
空炉升温时间/min	≤60	≤80	≤90	≤100	≤120	≤135	≤150
空炉损耗功率/kW	≤1.2	≤1.8	≤2.8	≤3.6	≤1.4	≤2.4	≤3.5
炉膛尺寸 (l×b×h)/mm	200×120× 80	300×200× 120	100×250× 160	500×300× 200	200×120× 80	300×200× 120	400×250× 160
重量/kg	61	100	170	240	70	100	170

3. 成套供应范围（表 12.9.2）

表 12.9.2 成套供应范围

电炉本体		温度控制器		热电偶		补偿导线	
型 号	数 量	型 号	数 量	型 号	数 量	型 号	数 量
SX-2.5-10	1台	或 KSW-4D-11 KSL-4D-11	1台	WRN-010 (L=300mm)	1支	铜-康铜 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-4-10	1台	或 KSW-4D-11 KSL-4D-11	1台	WRN-010 (L=300mm)	1支	铜-康铜 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-8-10	1台	或 KSW-12-11 KSL-12-11	1台	WRN-010 (L=300mm)	1支	铜-康铜 (2×1.0mm ²)	2.5m

续表

电炉本体		温度控制器		热电偶		补偿导线	
型号	数量	型号	数量	型号	数量	型号	数量
SX-12-10	1台	或 KSW-12-11 KSL-12-11	1台	WRN-010 (L=300mm)	1支	铜-康铜 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-2.5-12	1台	或 KSW-4D-16 KSL-4D-16	1台	WRP-110 (L=350mm)	1支	铜-铜镍 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-5-12	1台	或 KSW-8D-16 KSL-6D-16	1台	WRP-110 (L=350mm)	1支	铜-铜镍 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-10-12	1台	或 KSW-12-16 KSL-12-16	1台	WRP-110 (L=350mm)	1支	铜-铜镍 (2×1.0mm ²)	2.5m

三、SX系列 1300℃箱式电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉为周期作业式电炉，可供工矿企业、科研单位、实验室等作金属烧结、熔化、分析以及合金钢热处理时高温加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.3)

表 12.9.3 主要技术数据

名称	SX-6-13型	SX-10-13型	名称	SX-6-13型	SX-10-13型
额定功率/kW	6	10	空炉升温时间/min	≤150	≤180
额定电压/V	0~360	0~360	空炉损耗功率/kW	≤3.6	≤5.5
相数	3	3	炉膛尺寸(l×b×h)/mm	250×150×100	400×200×160
额定温度/℃	1300	1300	重量/kg	100	150

3. 成套供应范围 (表 12.9.4)

表 12.9.4 成套供应范围

电炉本体		温度控制器		热电偶		补偿导线	
型号	数量	型号	数量	型号	数量	型号	数量
SX-6-13	1台	或 KSY-12-16 KSP-6-16	1台	WRP-110 (L=350mm)	1支	铜-铜镍 (2×1.0mm ²)	2.5m
SX-10-13	1台	或 KSY-12-16 KSP-10-16	1台	WRP-110 (L=350mm)	1支	铜-铜镍 (2×1.0mm ²)	2.5m

四、SX系列 1600℃箱式电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉为周期作业式电炉，可供工矿企业、科研单位、实验室等在氧化性气氛下作金属、陶瓷的烧结、熔化、分析时高温加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.5)

表 12.9.5 主要技术数据

名称	SX-8-16型	SX-12-16型	名称	SX-8-16型	SX-12-16型
额定功率/kW	8	12	空炉升温时间/min	≤300	≤330
额定电压/V	0~75	0~95	空炉损耗功率/kW	≤4.8	≤6.5
相数	单	单	炉膛尺寸(l×b×h)/mm	300×150×120	400×200×160
额定温度/℃	1600	1600	重量/kg	240	335

五、SK 系列 1000℃管式电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉供工矿企业、科研等单位作化学分析、物理测定及热电偶检定等加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.6)

表 12.9.6 主要技术数据

名称	单位	数 据			名称	单位	数 据		
		SK-2-10 型	SK-4-10 型	SK-6-10 型			SK-2-10 型	SK-4-10 型	SK-6-10 型
额定功率	kW	2	4	6	炉膛尺寸:	mm			
额定电压	V	220	220	220	直径 d		40	60	100
额定温度	℃	1000	1000	1000	长度 l		600	1000	1000
相数		单	单	单	外形尺寸:	mm			
空炉升温时间	min	≤60	≤60	≤60	长 L		724	1143	1276
空炉损耗功率	kW	≤0.8	≤1.5	≤2.5	宽 B		320	360	380
					高 H		405	388	525
					重量	kg	37	60	73

3. 成套供应范围

- | | | | |
|--------------|-----|----------------------------|------|
| ① 电炉本体 | 1 台 | ③ WRN 型热电偶 | 1 支 |
| ② KSW 型温度控制器 | 1 台 | ④ 补偿导线, 1.5mm ² | 2.5m |

六、SK 系列 1200℃回转管式电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉供实验室、工矿企业、科研单位作化学分析、物理测定及热电偶检定等加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.7)

表 12.9.7 主要技术数据

名称	单位	数 据		名称	单位	数 据	
		SK-2-12H 型	SK-3-12H 型			SK-2-12H 型	SK-3-12H 型
额定功率	kW	2	3	空炉损耗功率	kW	≤1.2	≤1.8
额定电压	V	220	220	炉膛尺寸:	mm		
额定温度	℃	1200	1200	直径 d		40	60
相数		单	单	长度 l		600	800
空炉升温时间	min	≤75	≤90	重量	kg	46	73

3. 成套供应范围

- | | | | |
|----------------------|-----|----------------------------|------|
| ① 电炉本体 | 1 台 | ③ 热电偶 WRP 型 | 1 支 |
| ② 温度控制器 KSW 型或 KSL 型 | 1 台 | ④ 补偿导线, 1.5mm ² | 2.5m |

七、SK 系列 1300℃管式电阻炉

1. 用途

本系列管式电阻炉以硅碳管为发热元件, 适用于实验室、工矿企业等单位作小型金属机件烧结、熔解、热电偶检测及高温热处理。

2. 技术数据 (表 12.9.8)

表 12.9.8 主要技术数据

名称	单位	SK-2.5-13 型	SK-4-13 型	名称	单位	SK-2.5-13 型	SK-4-13 型
额定功率	kW	2.5	4	空炉升温时间	min	≤75	≤75
额定电压	V	122	180	空炉损耗功率	kW	≤1.5	≤2.4
额定温度	℃	1300	1300	炉膛尺寸:	mm		
相数		单	单	直径 d		40	60
加热元件接法		串	串	高度 h		400	500
硅碳管规格	mm	60/50×400/ ¹⁶⁰ ₄₀	80/70×500/ ¹³⁵ ₆₅	重量	kg	37	66

3. 成套供应范围

- | | | | |
|-------------------|----|---------------------------|------|
| ① 电炉本体 | 1台 | ③ 热电偶, WRP型 | 1支 |
| ② 控制器 KSP 或 KSY 型 | 1台 | ④ 补偿导线 1.5mm ² | 2.5m |

八、SG 系列 1000℃ 坩埚电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉系周期作业式炉, 它可供工矿企业、科研单位实验室作元素分析测定、熔解金属及一般小型钢件热处理加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.9)

表 12.9.9 主要技术数据

名称	单位	数 据			名称	单位	数 据		
		SG-3-10型	SG-5-10型	SG-7.5-10型			SG-3-10型	SG-5-10型	SG-7.5-10型
额定功率	kW	3	5	7.5	空炉损耗功率	kW	≤1.1	≤1.8	≤2.5
额定电压	V	220	220	380/220	炉膛尺寸:	mm			
额定温度	℃	1000	1000	1000	直径 <i>d</i>		150	200	250
相数		单	单	单	高度 <i>h</i>		200	250	300
加热元件接法		并	并	Y/△	重量	kg	92	114	160
空炉升温时间	min	≤90	≤90	≤90					

3. 成套供应范围

- | | | | |
|-------------|----|----------------------------|------|
| ① 电炉本体 | 1台 | ③ 热电偶, WRN型 | 1支 |
| ② 控制器, KSW型 | 1台 | ④ 补偿导线, 1.5mm ² | 2.5m |

九、SG 系列 1200℃ 坩埚电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉系周期作业式炉。它可供工矿企业、科研单位、实验室作元素测定、金属熔解和一般小型钢件热处理加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.10)

表 12.9.10 主要技术数据

名称	单位	数 据			名称	单位	数 据		
		SG-3-12型	SG-5-12型	SG-7.5-12型			SG-3-12型	SG-5-12型	SG-7.5-12型
额定功率	kW	3	5	7.5	空炉损耗功率	kW	≤1.5	≤2.5	≤3.5
额定电压	V	220	220	380/220	炉膛尺寸:	mm			
额定温度	℃	1200	1200	1200	直径 <i>d</i>		150	200	250
相数		单	单	3	长度 <i>h</i>		200	250	300
加热元件接法		并	并	Y/△	重量	kg	90	114	160
空炉升温时间	min	≤120	≤120	≤120					

3. 成套供应范围

- | | | | |
|-------------|----|----------------------------|------|
| ① 电炉本体 | 1台 | ③ 热电偶, WRP型 | 1支 |
| ② 控制器, KSW型 | 1台 | ④ 补偿导线, 1.5mm ² | 2.5m |

十、SY 系列油浴电阻炉

1. 用途

本系列电阻炉可供工矿企业、科研单位、实验室等作金属零件的低温热处理加热用。

2. 技术数据 (表 12.9.11)

表 12.9.11 主要技术数据

型 号	SY-6-3型	SY-9-3型	SY-12-3型
额定功率/kW	6	9	12
额定电压/V	380	380	380
相数	3	3	3
额定温度/℃	300	300	300
空炉升温时间/min	≤100	≤120	≤150
工作空间尺寸 (<i>l</i> × <i>b</i> × <i>h</i>)/mm	300 × 400 × 250	400 × 500 × 300	500 × 600 × 400
重量/kg	130	150	170

3. 成套供应范围 (表 12.9.12)

表 12.9.12 成套供应范围

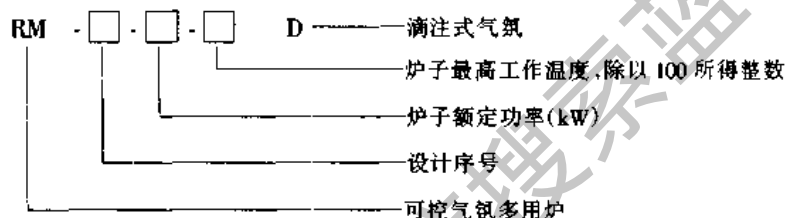
电 炉 本 体		双金属温度计/支	参考价格/元
型 号	数量/台		
SY-6-3	1	1	
SY-9-3	1	1	
SY-12-3	1	1	

第二节 RM₃ 系列密封箱式电阻炉

RM₃ 系列密封箱式电阻炉是一种周期工作滴注式可控气氛热处理设备 (简称多用炉), 广泛用于各种机械零件的气体渗碳、碳氮共渗、光亮淬火等多种热处理工艺。工件在气氛中加热后在前室进行气冷或油淬, 整个过程不与空气接触。

RM₃ 系列多用炉主要由前室、加热室、推拉料机构及温控、碳控、动作控制等组成。

一、产品型号含义



二、技术参数 (表 12.9.13)

表 12.9.13 主要技术参数

参数名称		单位	RM ₃ -45-9D	RM ₃ -75-9D	RM ₃ -100-9D	RM ₃ -125-9D
额定功率		kW	45	75	100	125
额定温度		℃	950	950	950	950
工作尺寸 (长 × 宽 × 高)		mm	750 × 500 × 400	900 × 600 × 450	1200 × 600 × 600	1200 × 760 × 760
空炉损耗		kW	≤ 8	≤ 13	≤ 17	≤ 22
一次装载量		kg	300	420	600	1000
加热方式			电辐射管式	电辐射管式	电辐射管式	电辐射管式
淬 火 油 槽	最高使用温度	℃	145	145	145	145
	加热方式		管状加热器	管状加热器	管状加热器	管状加热器
	加热功率	kW	24	30	36	48
	容积	m ³	3	3.7	5.1	8

三、国外产品特点

目前国外的多用炉主要制造厂商分别为德国易卜森公司、奥地利爱协林公司、美国索菲斯公司等。

① 易卜森公司炉主要特点, 辐射管加热, 加热室内拉料转动机构、炉门、升降台的升降动作由气缸完成, 前室内转动机构、加热室有拼装式非金属马弗, 气氛经炉顶小型裂解装置裂解后进入炉膛, 对称式油搅拌, 该炉型式较多, 分单室单开门、单室双开门、双室式等。

② 索菲斯公司炉主要特点是装炉量大, 炉内足够的气氛循环空间, 独特的 NiCr 管材做为加热元件, 加热

室内转动、炉门、升降台的升降动作由气缸完成，加热室无马弗。

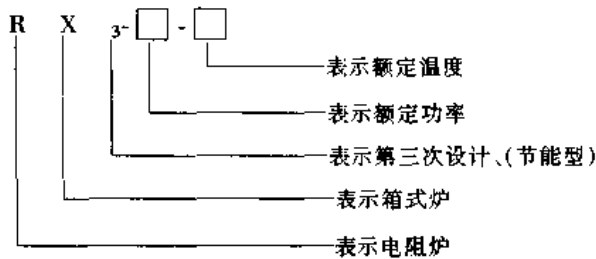
③ 爱协林公司多用炉主要特点是由辐射管加热，前室内转动，独特的推拉料设计，机械记忆式实现推、拉转化，所有传动动作均由电机减速器完成，悬臂式炉前操纵按钮箱。

国外各制造厂家设备的共同特点是外观制作精良，炉型设计美观，碳势控制均为计算机控制，电器元件、仪表、阀门等配套元器件小巧精美可靠，保护措施考虑周密，故障少，寿命长。

第三节 RX₃ 箱式电阻炉

该系列电阻炉可供金属机件（主要是一般钢件、铸铁件）在氧化气氛中进行热处理加热之用，也可在简易保护气氛中（主要是天然气、甲醇、乙醇类液体裂化后所形成的气氛或氯化）进行退火、正火、淬火等少氧化处理之用。该炉型是热处理行业中常用设备。

一、产品型号含义



二、检验

该系列箱式炉验收标准如下（GB 10966.1—89）。

1. 温度均匀性（表 12.9.14）
2. 电炉表面温升（表 12.9.15）

表 12.9.14 温度均匀性要求

工作温度	A 级	B 级	C 级
950℃, 1200℃	±15℃	±10℃	±6℃
1350℃	±20℃	±15℃	±8℃

表 12.9.15 电炉表面温升要求

工作温度	炉壳表面	炉门表面
950℃	≤50℃	≤80℃
1200℃, 1350℃	≤80℃	≤100℃

3. 空炉升温时间（表 12.9.16）

表 12.9.16 空炉升温时间要求/h

工作温度	工作区容积/m ³	A 级	B 级	C 级
950℃	<0.2	≤2.5	≤1.5	≤0.5
	0.2~0.5	≤3.0	≤2.0	≤1.0
	>0.5	≤3.5	≤2.5	≤1.5
1200℃	<0.2	≤3.0	≤2.5	≤1.5
	≥0.2	≤4.0	≤3.0	≤2.0
1350℃	<0.2	≤2.5	≤2.0	≤1.5
	≥0.2	≤3.0	≤2.5	≤2.0

三、使用和维护

在使用时应注意加热元件是否有折断、弯曲、脱位等现象；各部位接线处是否接触良好。装卸工件时严禁乱抛。带有腐蚀性、挥发性或爆炸性气体的工件严禁放入炉内加热。使用过程中需经常清除炉内氧化铁屑。传动部位要定期加注润滑油。耐火砖如有脱落、松动，可用泥浆涂砌修补。

四、技术参数 (表 12.9.17)

表 12.9.17 主要技术参数

参数名称		RX ₃ -15-9	RX ₃ -30-9	RX ₃ -45-9	RX ₃ -60-9	RX ₃ -75-9	RX ₃ -20-12	RX ₃ -45-12	RX ₃ -65-12	RX ₃ -90-12	RX ₃ -115-12	RX ₂ -14-13	RX ₂ -25-13	RX ₂ -37-13
功率/kW		15	30	45	60	75	20	45	65	90	115	14	25	37
额定温度/℃		950	950	950	950	950	1200	1200	1200	1200	1200	1350	1350	1350
工作空间尺寸/mm	A	650	950	1200	1500	1800	650	950	1200	1500	1800	520	600	810
	B	300	450	600	750	900	300	450	600	750	900	220	280	550
	C	250	350	400	450	500	250	350	400	450	550	220	300	370
最大装载量/kg		80	200	400	700	1200	50	100	200	400	600	120	200	500
电炉质量/t		1.1	2	2.7	4.5	5.2	1.4	2.2	2.6	4	5.2	0.7	1.5	3

第四节 D 系列箱式回火炉

该系列箱式回火炉是近几年国内电炉厂家吸收国外技术, 主要部件国产化, 填补了国内箱式回火炉的空白。

一、产品类别和用途

1. 产品类别 (表 12.9.18)

表 12.9.18 箱式回火炉产品类别

分 类	工作温度/℃	功 能
DL	150 ~ 450	在空气中加热
D	150 ~ 750	在空气中加热
DA	150 ~ 750	可进行保护气氛热处理
DAC	150 ~ 750	可通入保护气氛炉内具有快速冷却装置

2. 用途

该系列炉种可供一般钢件回火及铝合金制品的淬火、退火、时效等热处理。

二、技术规格参数 (表 12.9.19)

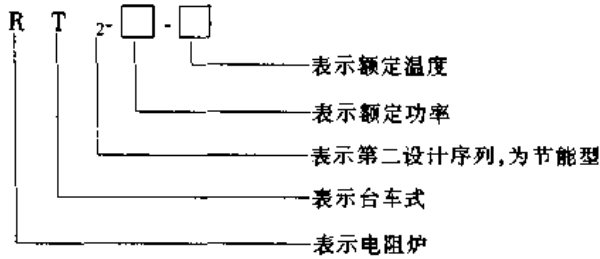
表 12.9.19 主要技术参数

炉号	装料尺寸 (宽×长×高)/mm	最大装载量/kg	额定功率/kW		重量/kg
			750℃	450℃	
2	380×610×300	180	25	20	1400
4	610×910×460	350	34	25	2100
5	610×910×610	350	36	25	2300
6	610×910×760	350	39	25	2700
8	760×1220×610	600	54	36	3000
10	760×1220×760	1000	80	56	3200
11	910×1220×610	1000	72	56	3300
13	910×1220×760	1000	80	56	3600
17	910×1220×910	1200	96	56	3900
25	1220×1520×610	1300	108	70	4300
26	1220×1520×760	1300	120	70	4800

第五节 RT₂ 台车式电阻炉

一、产品型号含义

1. 型号



2. 用途

本系列电炉用于一般金属零件在空气中加热, 进行零件的退火、回火, 淬火等热处理。

二、技术数据 (表 12.9.20)

表 12.9.20 主要技术数据

项 目	单 位	RT ₂ -80-6	RT ₂ -120-6	RT ₂ -65-9	RT ₂ -105-9	RT ₂ -180-9	RT ₂ -320-9
额定功率	kW	80	120	65	105	180	320
额定电压	V	380	380	380	380	380	380
额定温度	℃	650	650	950	950	950	950
相数		3	3	3	3	3	3
接法		Y·Y	Y·Y	Y	Y	YY	YY
每区功率	kW	45, 35	80, 40				
工作尺寸		2550 × 600 × 500	3500 × 900 × 600	1100 × 550 × 450	1500 × 800 × 600	2100 × 1050 × 750	3000 × 1350 × 950
风机功率	kW	2.2	2.2				
驱动电机功率	kW	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	
台车速度	mm/s	120	120	100	100	100	
装载量	t	1.5	2	1	2.5	5	12
质量	t	8	11	3.5	5.2	10.5	19.5

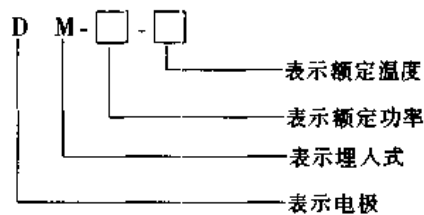
三、安装

- ① 安装前应检查配件是否完好。
- ② 按地基图埋设好导轨, 并校准水平后将台车就位。
- ③ 接好全部导线和接地装置。
- ④ 按说明书要求烘炉。
- ⑤ 测量绝缘电阻。
- ⑥ 热电偶插入炉内深度应 > 100mm。

第六节 DM 系列盐浴电阻炉

一、产品型号含义

1. 型号



2. 用途

本系列电炉主要供金属零件在盐液中加热，适用于零件的少氧化热处理。

二、技术参数（表 12.9.21）

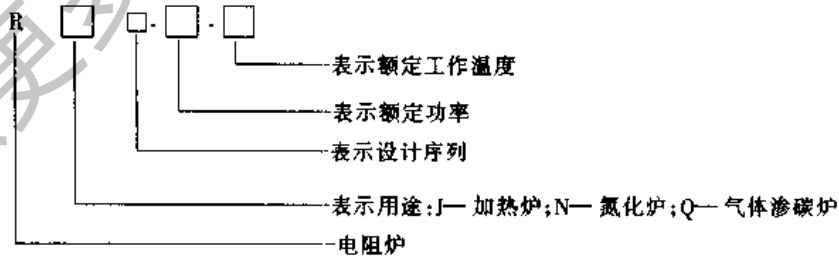
表 12.9.21 DM 系列埋入式电极盐浴炉技术参数

项目名称	单位	数 据													
		DM-35-6	DM-50-6	DM-75-6	DM-100-6	DM-35-8	DM-50-8	DM-75-8	DM-100-8	DM-35-13	DM-50-13	DM-75-13	DM-100-13		
额定功率	kW	34	50	60	84	32	50	62	98	32	42	75	95		
额定温度	℃	650	650	650	650	850	850	850	850	1300	1300	1300	1300		
变压器参数	容量	kVA	35	55	75	100	35	55	75	100	35	55	75	100	
	一次电压	V	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380		
	二次空载电压	1	V	11.57	11.88	11.37	11.25	11.57	11.88	11.37	11.25	11.57	11.88	11.37	11.25
		2	V	14.45	15	13.86	13.84	14.45	15	13.86	13.84	14.45	15	13.86	13.84
		3	V	18.08	17.4	17.52	17.47	18.08	17.4	17.52	17.47	18.08	17.4	17.52	17.47
		4	V	20.07	23.8	19.72	19.55	20.07	23.8	19.72	19.55	20.07	23.8	19.72	19.55
		5	V	25.05	30	23.87	23.7	25.05	30	23.87	23.7	25.05	30	23.87	23.7
6		V	31.31	34.8	30.45	30.45	31.31	34.8	30.45	30.45	31.31	34.8	30.45	30.45	
接法		△	串联	Y	Y	△	串联	Y	Y	△	串联	Y	Y		
相数		3	单	3	3	3	单	3	3	3	单	3	3		
电源电压	V	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380		
盐槽尺寸, 宽	mm	300	350	400	400	250	300	350	400	200	250	300	350		
长	mm	350	450	550	800	300	350	450	550	200	300	350	450		
深	mm	600	600	665	665	600	600	665	665	500	500	500	565		
空载功率	kW	≤10	≤14	≤20	≤25	≤14	≤20	≤30	≤40	≤21	≤32	≤45	≤65		
空炉升温时间	h	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3		
炉温均匀性	℃	≤15	≤15	≤15	≤15	≤15	≤15	≤15	≤15	≤10	≤10	≤10	≤10		

第七节 井 式 炉

一、产品型号含义

1. 型号



2. 用途

井式炉分为两大类，一类为自然对流井式电阻炉：主要供钢件在自然气氛或保护气氛中进行淬火加热、退火、正火等用，其使用温度一般可在 1000℃ 和 1200℃。另一类为强迫对流井式炉主要用于在自然气氛和控制气氛中进行金属零件的回火、退火和正火以及钢质零件的渗碳、渗氮、碳氮共渗、发蓝等用。该类井式炉可按结构、气氛和工作温度分为多个品种，如有炉罐和无炉罐、自然气氛和可控气氛、650℃ 和 750℃、950℃。

井式炉在使用时，一般都应将工件放置在特制的吊架上（或料筐），通过吊车完成吊架或料筐的移位，在移动吊架或料筐时要严防其撞击炉衬，这是井式炉易损坏的主要环节。炉衬损坏后要即时修补。在使用通入保护气氛或控制气氛的井式炉时，一定要注意炉盖上排气口是否被堵塞，时刻注意炉内压力是否在规定的范围内。

二、主要技术参数 (表 12.9.22 至表 12.9.24)

表 12.9.22 回火炉系列主要技术参数

参数名称	单位	型 号				
		RJ2-25-6	RJ2-35-6	RJ2-55-6	RJ2-75-6	
额定功率	kW	25	35	55	75	
额定电压	V	380				
额定温度	℃	650				
相数		2		3		
加热元件接法		串联		△/Y		
加热区数		1				
炉膛尺寸	直径	mm	400	500	700	950
	深度	mm	500	650	900	1200
最大一次装载量	kg	150	250	750	1000	
重量	kg	1380	1400	2500	3500	

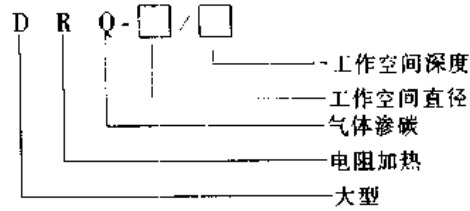
表 12.9.23 渗碳炉系列主要技术参数

参数名称	单位	型 号						
		RQ3-25-9	RQ3-35-9	RQ3-60-9	RQ3-75-9	RQ3-90-9	RQ3-105-9	
额定功率	kW	25	35	60	75	90	105	
额定电压	V	380						
额定温度	℃	950						
相数		3						
段数		1			2			
加热元件接法		Y			Y, Y			
工作空间 尺寸	直径	mm	300	300	450	450	600	600
	深度	mm	450	600	600	900	900	1200
空炉损耗功率	kW	≤7	≤9	≤12	≤14	≤16	≤18	
空炉升温时间	h	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤2.5	≤3	≤3	
一次装载量	kg	50	70	150	220	400	500	
质量	kg	1660	1850	2630	2900	3700	4100	

表 12.9.24 气体氮化炉主要技术参数

参数名称	单位	型 号			
		RN-35-6A	RN-60-6A	RN-75-6A	
额定功率	kW	35	60	75	
额定电压	V	380			
额定温度	℃	650			
相数		3			
加热元件接法		Y	Y, Y	Y, Y	
工作空间 尺寸	直径	mm	460	600	600
	深度	mm	700	900	1220
空炉损耗功率	kW	≤10	≤15	≤18	
空炉升温时间	h	≤3	≤4	≤5	
质量	kg	3000	4000	4800	

三、大型井式气体渗碳炉



该系列大型井式渗碳炉是80年代初,我国电炉制造行业引进吸收国外先进技术而发展起来的大型井式渗碳炉的系列产品。它可供轴类、大型重载齿轮、轴齿轮等大型机件进行渗碳,碳氮共渗,淬火等使用。该系列炉型结构合理、先进,一般都配有碳势控制计算机,经处理后的工件,其渗碳层表面碳浓度均控制在较准确的范围内,其具备炉内温度均匀(温度均匀 $\leq \pm 10^{\circ}\text{C}$)、气氛均匀(碳势均匀性 $\leq \pm 0.05\% \text{C}$)、碳势调节迅速和方便可控等优良性能。

该炉采用了无底导风筒,其下部自由插入油槽内,工件吊架可直接吊放在装料台上,它的使用方法和普通渗碳炉一样。碳势控制微机使用方法需详阅说明书。

根据工艺的需要,该系列渗碳炉可以配备炉内快冷装置,保证工件在炉内原气氛中冷却。预防氧化,提高工效。

该系列井式渗碳炉还可以与其他设备组合成井式渗碳炉生产线。如配套的水冷却罐、空气快速冷却罐、大型水槽,功能齐全的淬火油槽等。

大型井式渗碳炉主要技术参数见表12.9.25。

表 12.9.25 大型井式渗碳炉主要技术参数

参数名称	DRQ-90/120	DRQ-100/150	DRQ-110/180	DRQ-150/200
额定功率/kW	120	180	210	240
额定电压/V	380	380	380	380
额定温度/ $^{\circ}\text{C}$	950	950	950	950
相数	3	3	3	3
工作空间尺寸/mm	$\phi 900 \times 1200$	$\phi 1000 \times 1500$	$\phi 1100 \times 1800$	$\phi 1500 \times 2000$

第八节 输送带式电阻炉

输送带式电阻炉广泛用于轴承、标准件的淬火,机械零件的薄层气体渗碳,碳氮共渗等工艺处理,是具有输送带和一体化淬火槽的自动化热处理设备。输送带式电阻炉分铸链板式及网带式两种。

一、铸链板式电阻炉

这种炉子的链板由耐热钢精铸而成,和销轴组成输送带,可承受较大的载荷。输送带下方由耐热钢材料铸造的辊子支承,可减少传送带上的摩擦阻力,提高了使用寿命。由于输送带较重,所以驱动轴和返回部分多在炉内,以减少热损失。传动辊两引出端用带有水冷装置的密封轴承座支承。为了保证炉气的密封,炉壳由钢板焊接而成,炉衬由轻质耐火砖及耐火纤维组成,加热元件为电热辐射管,均匀分布在炉膛的上、下方及尾部,为了保证电炉的温度均匀性,整个加热段分为若干个加热温区。所处理的工件由输送带送到电炉尾部,落入淬火槽。

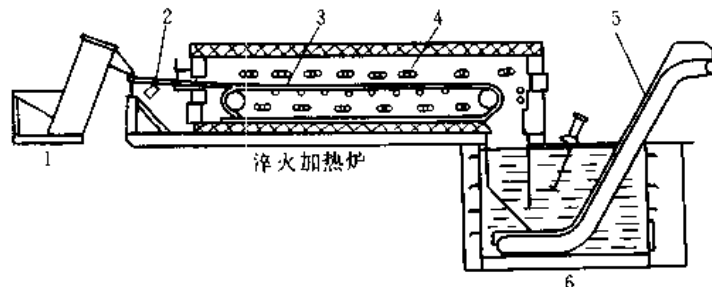


图 12.9.1 铸链板式炉结构简图

1—装料器; 2—给料器; 3—链带; 4—辐射管; 5—提升运输带; 6—淬火槽

淬火槽由钢板焊接而成,配有提升装置,由调速电机带动齿轮减速机驱动。淬火可根据工艺要求设定介质温度,并由温度控制器控制。介质可通过位于槽内的电加热器加热,也可通过配置的热交换器进行冷却。

铸链板式炉结构简图如图 12.9.1。

铸链板式电阻炉技术数据如表 12.9.26 所示。

表 12.9.26 铸链板式电阻炉技术数据

型 号	额定功率 /kW	额定电压 /V	额定温度 /℃	相数	工作空间 (长×宽) /mm	生产率 /(kg/h)
RCZ-120	120	380	950	3	4500×400	200
RCZ-160	160	380	950	3	4500×600	300
RCZ-200	200	380	950	3	4500×800	400

二、网带式电阻炉

网带式电阻炉用电阻丝进行加热,为了保证电炉炉温的均匀,整个加热段可分多个温区,并且每个温区可单独控制。加热元件均匀分布在马弗罐的上、下方及尾部,可使所处理的工件受热均匀,直至落入淬火介质中。加热元件的安放便于拆卸,在整台电炉不停炉的情况下也可更换。

炉内的马弗罐用耐热钢板焊接成,具有良好的气密性,马弗罐表面压出凸筋,可有效地提高马弗罐的使用寿命。马弗罐在电炉升温时会自由向前膨胀,尾部伸入淬火槽液面下一定距离。可前后移动的炉底板位于马弗罐内,它由调速电机带动齿轮减速机驱动,传送网带及其上的载荷由活动炉底板送入炉内。这样可避免传送网带上产生拉应力。

保护气氛或渗碳气体由落料处通入炉内,与载荷运动方向相反,朝着入口方向移动。在落料口两侧配有幕帘,可有效地阻止由零件落入淬火槽产生的油雾进入马弗罐。

在工件落槽处,传送带被引入返回通道,零件通过气密性的落料槽掉入淬火槽中。

淬火槽由钢板焊接而成,配有提升系统。提升系统放在独立的框架上,由减速齿轮马达驱动。槽内配有循环泵、油温显示器,淬火介质的温度由一恒温器控制,在温度升高时,带有水冷系统的热交换器启动,以维持可选择的温度,在温度下降时,位于淬火槽内的电加热器则自动开启。

网带所选用的钢材,按照使用温度推荐如下:

900℃ Cr25 Ni20 Si2

1150℃ Cr20 Ni80

网带式电阻炉技术数据如表 12.9.27 所示。

表 12.9.27 网带式电阻炉技术数据

型 号	额定功率 /kW	额定电压 /V	额定温度 /℃	相数	工作空间 (长×宽×高) /mm	生产率/(kg/h)	
						淬火	渗碳渗层 0.1mm
RCG-45	45	380	920	3	2400×300×80	80	40
RCG-75	75	380	920	3	3600×300×80	140	70
RCG-90	90	380	920	3	4700×300×80	200	100
RCG-120	120	380	920	3	4700×400×80	250	125

第九节 感应电热设备

感应电热设备包括感应熔炼炉、感应加热设备和感应焊接设备等。

感应加热具有加热速度快、氧化烧损少、功率和温度容易控制、炉温均匀,容易实现机械化、自动化作业,对环境污染小等优点。

一、感应熔炼炉

感应熔炼炉的分类、特点和主要用途见表 12.9.28。

表 12.9.28 感应熔炼炉的分类、特点和用途

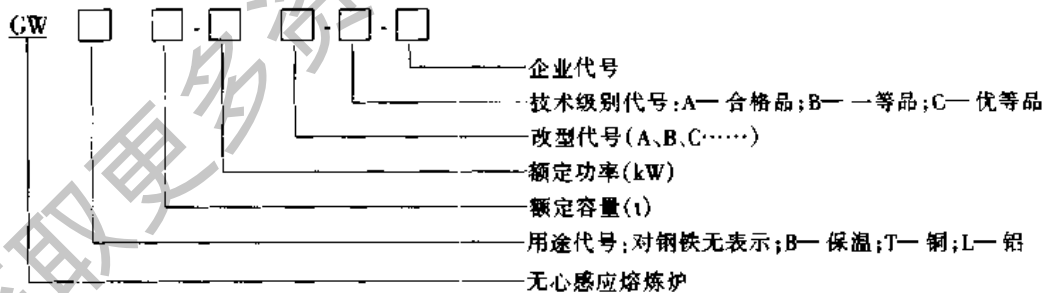
类别	特点	主要用途
高频熔炼炉	容量小。具有起熔方便,不用起炉块,搅拌力小,炉衬冲刷轻,更换品种容易等优点。缺点是功率因数太低,能耗较高	熔炼贵金属和特殊合金,也可用于熔炼钢、铸铁和有色金属等
中频熔炼炉	容量大于高频炉。具有与高频炉相似的优点。采用晶闸管变频电源已使能耗显著降低	熔炼钢、铸铁和有色金属等。也可降低频率和功率作为保温炉
工频无心熔炼炉	耐火材料坩埚	容量可很大。开炉时必须要有起炉块,搅拌力强,炉衬冲刷严重,但合金成分均匀。功率因数比中频炉高,与有心炉比,具有高、中频炉相似的优点
	铁坩埚炉	以铁磁材料做坩埚,确保了较好的电效率和功率因数,且坩埚更换方便。缺点是坩埚不宜太大,且寿命较短。增加被熔金属的含铁量
	短线圈炉	线圈在坩埚下部,占坩埚高度的 $1/4$,上部炉衬加厚,提高炉子的热效率。该炉型保留了无心炉的一般优点,但功率密度低,多是液体起熔
工频有心熔炼炉	由于有闭合磁路,炉子的电效率和功率因数均比其他炉型好。熔池保温好,热效率高。设备投资额低。缺点是炉子起熔困难,要求连续作业,不易更换品种,对炉衬材料要求高等	用于有色金属(铜、铝、锌等)的熔炼,铸铁的保温(多于冲天炉双联作业),亦可进行铸铁的熔炼等
真空熔炼炉	一般用无心炉配以所需的真空系统,分为间歇式和半连续式作业两种形式	用于耐热合金、磁性材料,电工合金,高强度钢等的熔炼及核燃料的制取

1. 无心感应熔炼炉

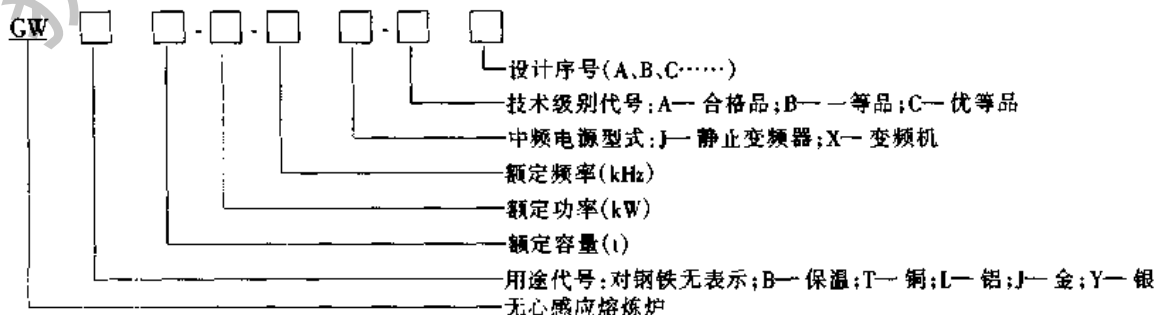
(1) 用途 无心感应炉包括工频、中频和高频熔炼炉,工频短线圈和中频保温炉。主要用于铸铁、铸钢和有色金属的熔炼和保温。

(2) 产品型号含义

① 工频炉



② 中频炉



(3) 主要技术参数 无心熔炼炉、保温炉的主要技术参数见表 12.9.29 至表 12.9.36。

表 12.9.29 工频无心感应熔铁(钢)炉主要技术参数

品种代号	额定容量 /t	主电路额定功率推荐范围 /kW	熔炼铸铁 1450℃		熔炼铸钢 1600℃		技术分级
			熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)	熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)	
GW 0.75	0.75	270 ~ 320	0.38	710	0.33	815	A
			0.46	695	0.35	785	B
			0.49	610	0.36	740	C
GW 1.0	1.0	320 ~ 360	0.47	680	0.41	780	A
			0.53	670	0.42	765	B
			0.59	590	0.47	740	C
GW 1.5	1.5	450 ~ 520	0.71	635	0.63	715	A
			0.83	625	0.70	710	B
			0.85	610	0.71	700	C
GW 3.0	3.0	750 ~ 800	1.28	585	1.15	650	A
			1.35	570	1.20	640	B
			1.43	560	1.27	630	C
GW 5.0	5.0	1150 ~ 1350	2.05	560	1.82	630	A
			2.36	550	2.00	620	B
			2.50	540	2.07	580	C
GW 7.0	7.0	1600 ~ 1800	2.96	540	2.62	610	A
			3.30	535	2.90	605	B
			3.40	530	3.20	560	C
GW 10	10	2000 ~ 3000	3.73	535	3.30	600	A
			4.80	530	4.43	575	B
			5.70	525	5.00	570	C
GW 15	15	3000 ~ 4000	5.70	525	—	—	A
			6.90	520	—	—	B
			7.70	515	—	—	C
GW 20	20	3000 ~ 5000	5.70	525	—	—	A
			7.60	520	—	—	B
			9.80	510	—	—	C
GW 25	25	4000 ~ 6000	7.68	520	—	—	A
			9.50	515	—	—	B
			11.75	510	—	—	C
GW 30	30	5000 ~ 7500	9.70	515	—	—	A
			11.75	510	—	—	B
			14.80	505	—	—	C

注:技术级别:A—合格品;B—一等品;C—优等品。

表 12.9.30 工频无心感应铸铁保温炉主要技术参数

品种代号	额定容量 /t	主电路额定功率推荐值 /kW	变压器容量 /kVA	升温 1350 ~ 1450℃	
				升温能力 /(t/h) ≥	电耗 /(kW·h/t) ≥
GWB 3	3.0	360	500	7.2	50
		500	630	10.6	47
GWB 5	5.0	360	500	7.2	50
		500	630	10.6	47
GWB 7	7.0	500	630	10.6	47
		800	1000	17.7	45
GWB 10	10	800	1000	17.7	45
		1000	1250	23.2	43
GWB 15	15	1000	1250	23.2	43
		1300	1600	30.8	42
GWB 20	20	1300	1600	30.8	42
		1600	2000	39.0	41
GWB 25	25	1300	1600	30.8	42
		1600	2000	39.0	41
GWB 30	30	1600	2000	39.0	41
		2000	2500	50.0	40

表 12.9.31 工频无心感应熔铜炉主要技术参数

品种代号	额定容量 /t	主电路额定功率推荐值 /kW	变压器容量 /kVA	熔炼紫铜 1200℃		熔炼黄铜 1000℃	
				熔化率 /(t/h) ≥	电耗 /(kW·h/t) ≤	熔化率 /(t/h) ≥	电耗 /(kW·h/t) ≤
				GWT 0.6	0.6	200	250
GWT 0.9	0.9	260	315	0.51	510	0.78	330
GWT 1.2	1.2	330	400	0.65	505	1.04	315
GWT 1.8	1.8	500	630	1.04	480	1.60	310
GWT 3.6	3.6	800	1000	1.79	445	2.80	285
GWT 6.0	6.0	1300	1600	2.97	435	4.64	280
GWT 8.5	8.5	1600	2000	3.90	410	5.80	275
GWT 12	12	2000	2500	5.00	400	7.40	270

表 12.9.32 工频无心感应熔铝炉主要技术参数

品种代号	额定容量 /t	主电路额定功率推荐值 /kW	变压器容量 /kVA	熔炼铝 700℃	
				熔化率 /(t/h) ≥	电耗 /(kW·h/t) ≤
GWL 0.25	0.25	120	150	0.175	685
GWL 0.35	0.35	160	200	0.235	675
GWL 0.50	0.50	200	250	0.30	665
GWL 0.75	0.75	270	350	0.426	630
GWL 1.0	1.0	320	400	0.35	600
GWL 1.5	1.5	450	630	0.77	580
GWL 2.5	2.5	750	1000	1.36	550
GWL 3.5	3.5	1000	1250	1.81	550
GWL 5.0	5.0	1300	1600	2.38	545
GWL 7.0	7.0	1600	2000	3.07	520

表 12.9.33 中频无心感应炉主要技术参数

额定容量 /t	中频电源额定 功率推荐范围 /kW	中频电源频率 推荐范围 /Hz	熔炼铸钢 1600℃		熔炼铸铁 1450℃		技术分级 ^①
			熔化率 /(t/h)	单位电耗 /(kW·h/t)	熔化率 /(t/h)	单位电耗 /(kW·h/t)	
0.1	100~160	1000~2500	0.11	900	0.115	870	A
			0.14	830	0.147	800	B
			0.18	770	0.187	740	C
0.15	100~200	1000~2500	0.13	830	—	—	A
			0.20	800	0.214	770	B
			0.25	735	0.27	705	C
0.25	160~500	1000~2500	0.20	820	0.22	800	A
			0.37	720	0.40	650	B
			0.95	610	1.00	570	C
0.5	50~1000	500~1000	0.35	800	0.37	770	A
			0.74	615	0.81	585	B
			1.40	585	1.50	560	C
1	500~1500	500~1000	0.76	789	0.79	750	A
			1.50	590	1.60	565	B
			2.00	575	2.07	550	C
1.5	750~1500	500~1000	1.10	650	1.13	620	A
			1.50	600	1.53	570	B
			2.40	575	2.57	555	C
2	1000~2000	500~1000	2.40	610	1.50	585	A
			2.50	575	2.60	555	B
			3.00	570	3.15	550	C
3	1500~2500	500	2.40	640	2.50	610	A
			2.90	610	3.05	590	B
			4.00	600	4.18	570	C
5	2000~3000	500	3.00	585	3.10	560	A
			4.05	570	4.16	555	B
			5.00	560	5.20	545	C
7	—	—	—	—	—	—	—

① 技术分级:A—合格品、B—一等品、C—优等品。

表 12.9.34 GWB-J 系列中频无心感应铁保温炉主要技术参数

型号	额定容量 /t	中频电源 额定功率 /kW	中频电源 频率 /kHz	额定 工作电压 /V	升温 1350~1450℃	
					升温能力 /(t/h) ≥	电耗 /(kW·h/t) ≤
GWB 3-500-0.3J	3	500	0.3	1500	10.2	49
GWB 5-500-0.3J	5					
GWB 7-500-0.3J	7					
GWB 10-750-0.3J	10	750		2000	16.93	44
GWB 15-1000-0.3J	15	1000			23.78	42
GWB 20-1500-0.3J	20	1500		3000	37.50	40
GWB 25-1500-0.3J	25					
GWB 30-1500-0.3J	30					

表 12.9.35 GWT-J 系列中频无心感应熔铜炉主要技术参数

型 号	额定容量 /t	中频电源 额定功率 /kW	中频电源 频率 /kHz	额定工 作电压 /V	熔炼紫铜 1200℃		熔炼黄铜 1000℃		备注
					熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)	熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)	
GWT 0.3-160-1J	0.3	160	1500	0.30	540	0.47	340		
GWT 0.6-250-1J	0.6	250		0.48	520	0.78	320		
GWT 1.2-350-1J	1.2	350		0.72	485	1.16	300		
GWT 1.8-500-1J	1.8	500	2000	1.08	460	1.72	290		
GWT 2.4-600-1J	2.4	600		1.33	450	2.14	280		
GWT 3.6-1000-0.3J	3.6	1000		2.35	425	3.70	270		
GWT 6.0-1500-0.3J	6.0	1500	0.3	3000	3.57	420	5.76	260	

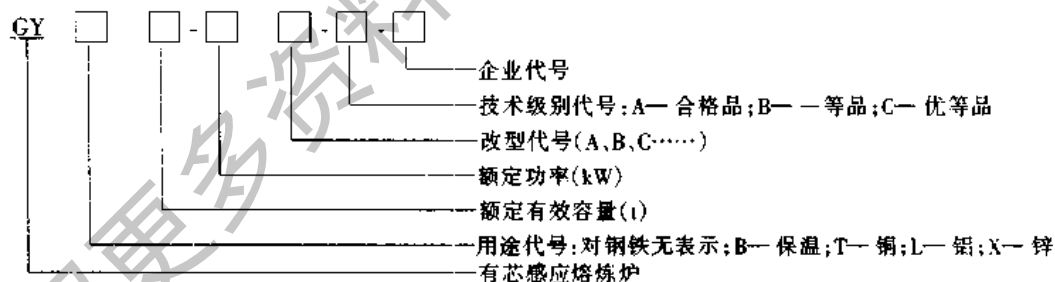
表 12.9.36 GWL-J 系列中频无心感应熔铝炉主要技术参数

型 号	额定容量 /t	中频电源 额定功率 /kW	中频电源 频率 /kHz	额定 工作电压 /V	熔化铝 700℃		备注
					熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)	
GWL 0.08-50-1J	0.08	50	0.074	670			
GWL 0.15-100-1J	0.15	100	0.150	665			
GWL 0.35-160-1J	0.35	160	0.244	655			
GWL 0.5-250-1J	0.50	250	0.396	630			
GWL 0.75-350-1J	0.75	350	1500	0.598	585		
GLW 1.0-350-1J	1.0	350		0.598	585		
GWL 1.5-500-1J	1.5	500		0.870	570		

2. 有芯感应熔炼炉

(1) 用途 有芯熔炼炉主要用于铸铁和有色金属的熔炼、保温和浇注。

(2) 产品型号含义



(3) 主要技术参数 有芯炉的主要技术参数见表 12.9.37 至表 12.9.40。

表 12.9.37 GY(B) 系列工频有芯感应铸铁熔炼、保温炉主要技术参数(举例)

型 号	有效 容量 /t	总 容量 /t	额定 功率 /kW	保温 功率 /kW	额定 电压 /V	保温 电压 /V	工作 温度 /℃	单位 电耗 /(kW·h/t)	热 料		主变压 器容量 /kVA	备注
									升温 /℃	生产率 /(kW·h/t)		
GY(B)10-300	10	15	300	50	380	150	70	150	4	400		
GY(B)15-600	15	21	600	175	380	200	58	100	10	1000		
GY(B)30-500	30	45	500	200	500	220	50	100	14	630		
GY(B)30-700	30	45	700	280	980	620	50	200		1000	卧式	
GY(B)30-800	30	—	800	295	380	230	64	100	11		立式	
GY(B)45-700	45	64	700	280	380	620						

表 12.9.38 GYT 系列工频有芯感应熔铜炉主要技术参数(举例)

型 号	有效容量	总容量	额定功率 /kW	工作温度 /°C	熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)
	/t					
GYT 0.75-180	0.75	0.9	180	1250	0.543	331
GYT 1.0-240	1.0	1.2	240		0.747	310
GYT 1.5-360	1.5	1.7	360		1.20	296
GYT 3.0-600	3.0	3.5	600		2.160	278
GYT 5.0-900	5.0	5.5	900		3.3	270

表 12.9.39 GYL 系列工频有芯感应熔铝炉主要技术参数(举例)

型 号	有效容量	总容量	额定功率 /kW	工作温度 /°C	熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)
	/t					
GYL 0.75-240	0.75	0.85	240	750	0.62	390
GYL 1.0-360	1.0	1.2	360		0.97	370
GYL 1.5-600	1.5	1.6	600		1.66	360
GYL 3.0-900	3.0	3.3	900		2.55	350
GYL 5.0-1200	5.0	5.3	1200		3.45	345
GYL 10-1800	10.0	10.5	1800		5.23	340

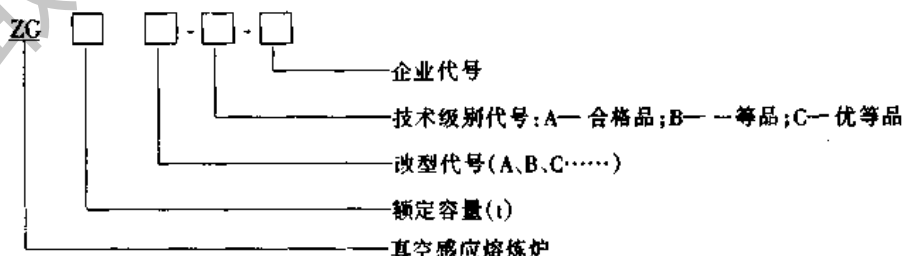
表 12.9.40 GYX 系列工频有芯感应熔锌物主要技术参数(举例)

型 号	有效容量	总容量	额定功率 /kW	工作温度 /°C	熔化率 /(t/h)	电耗 /(kW·h/t)
	/t					
GYX 1.5-125	1.5	1.6	125	500	1.0	110
GYX 3.0-250	3.0	3.2	250		2.0	
GYX 5.0-370	5.0	5.5	370		3.0	
GYX 10-500	10	15	500		4.0	120
GYX 20-750	20	21	750		6.0	

3. 真空感应熔炼炉

(1) 用途 真空感应熔炼炉主要用于特殊金属材料的熔炼。

(2) 产品型号含义



(3) 结构

真空感应熔炼炉是在真空条件下, 利用中频感应加热原理熔炼金属的真空冶炼设备。

半连续式真空感应熔炼炉结构见图 12.9.2。

(4) 主要技术参数 真空感应熔炼炉主要技术参数见表 12.9.41。

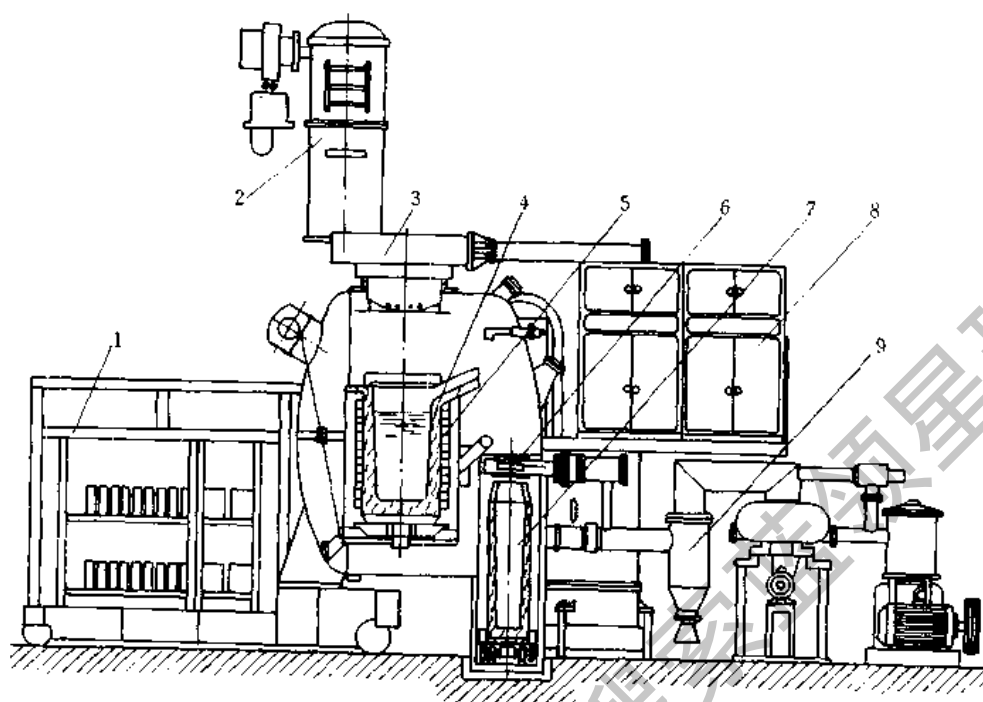


图 12.9.2 半连续式真空感应熔炼炉结构简图

1—电容器架；2—加料装置；3—加料真空阀；4—坩埚；5—感应器；6—出锭真空阀；
7—锭模；8—控制柜；9—真空系统

表 12.9.41 ZG 系列中频真空感应熔炼炉主要技术参数

品种代号	额定容量 /t	中频电源 额定功率 /kW	中频电源 频率 /kHz	最高 工作温度 /°C	感应器最 高工作电压 /V	极限 真空度 /Pa	工作 真空度 /Pa	压升率 /(Pa/min)
ZG 0.002	0.002	20	8	2000	200	6.6×10^{-3}	6.6×10^{-2}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.003	0.003	20	8	1700	200	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.01	0.01	40	4	1700	250	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.025	0.025	100/50	2.5	1700	250	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.05	0.05	100/50	2.5	1700	250	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.1	0.1	160	2.5	1700	250	6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	1×10^{-1}
ZG 0.15	0.15	160	2.5	1700	250	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.2	0.2	200	2.5	1700	250	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 0.5	0.5	500	1	1700	500	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$
ZG 1.5	1.5	600	1	1700	500	6.6×10^{-2}	6.6×10^{-1}	$< 1.33 \times 10^{-1}$

二、感应加热设备

感应加热设备的分类和主要用途见表 12.9.42。

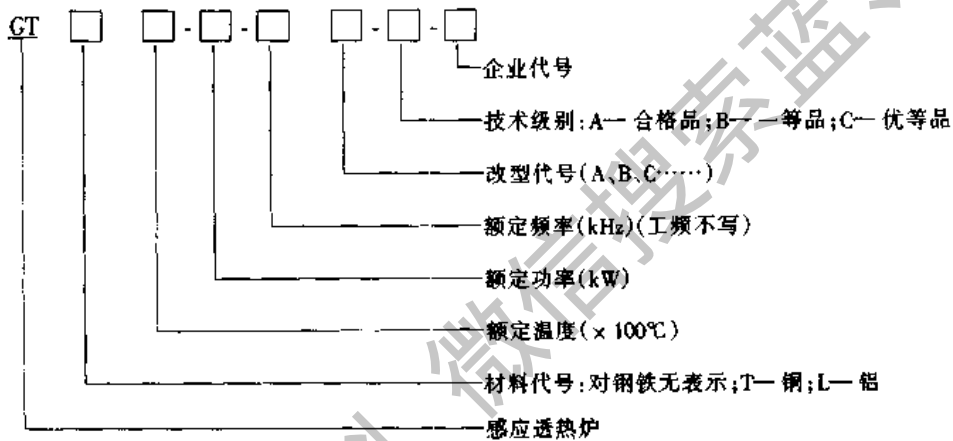
表 12.9.42 感应加热设备的分类和主要用途

名称	主要用途
感应透热炉	主要用于金属材料压力加工前的加热,金属材料和机器零件整体热处理的加热
感应热处理设备	主要用于金属材料和机器零件的表面或局部热处理和感应加热化学热处理,也用于压力容器、反应釜的感应热处理等
感应烧结炉	主要用于粉末冶金零件,硬质合金等的烧结和加压成型
感应焊接设备	主要用于各种感应加热焊接,如焊管、钎焊、对焊等
其他设备	主要用于各种液体管道加热,零件热装配等

1. 感应透热炉

(1) 用途 感应透热炉主要用于金属材料在锻造、冲挤压、轧制前的加热,也可用于某些金属材料的退火、调质、光亮处理和机械零件的热装配等。

(2) 产品型号含义



(3) 结构 感应透热炉结构示意图见图 12.9.3。

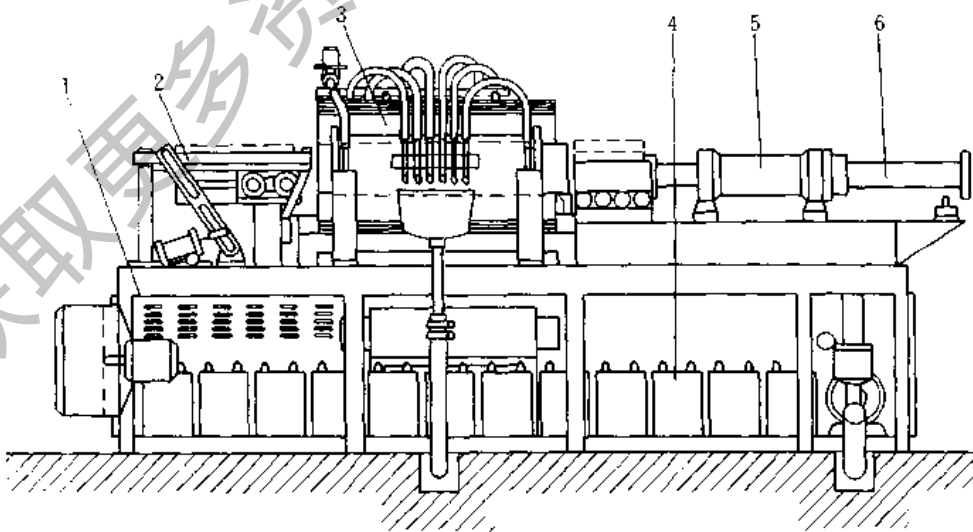


图 12.9.3 感应透热炉示意图

1—炉体; 2—上料机构; 3—冷却水系统; 4—中频电容器; 5—感应器; 6—下料机构

(4) 主要技术参数 中频感应透热炉的主要技术参数见表 12.9.43。

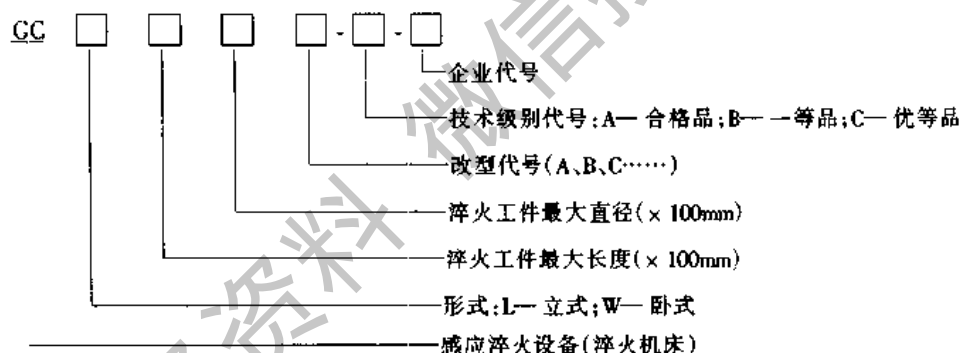
表 12.9.43 GT 系列中频感应透热设备主要技术参数(举例)

品种代号	额定产量 /(kg/h)	中频电源 额定功率 /kW	中频电源 额定频率 /kHz	工作截面 /mm	工件长度 /mm	加热温度 /℃
GT 12-200	600	200	0.4 ~ 8	25 ~ 75	25 ~ 150	1250
GT 12-300	900	300		38 ~ 76	38 ~ 150	
GT 12-400	1200	400		38 ~ 76	38 ~ 150	
GT 12-500	1500	500		45 ~ 90	45 ~ 150	
GT 12-600	1800	600		50 ~ 100	50 ~ 150	
GT 12-800	2400	800		50 ~ 150	50 ~ 600	
GT 12-1050	3200	1050		50 ~ 150	50 ~ 600	
GT 12-1600	4800	1600		75 ~ 175	75 ~ 600	
GT 12-2000	6000	2000		75 ~ 175	75 ~ 600	

2. 感应热处理设备(淬火机床)

(1) 用途 感应热处理设备(淬火机床)是供机器零件进行表面热处理的工艺装备。按配置电源可分为工频、中频和高频淬火机床;按生产方式可分为通用、专用型和生产线三类。

(2) 产品型号含义



(3) 主要技术参数 淬火机床主要技术参数见表 12.9.44。

表 12.9.44 GC 系列立式通用淬火机床主要技术参数(举例)

型号	夹持长度 /mm	零件直径 /mm	旋转速度 /(r/min)	移动速度/(mm/s)	
				工作行程	返回行程
GC 1060	600	400	20 ~ 150	1 ~ 20	1 ~ 80
GCT 10120A/1	1200	400	20 ~ 150	1 ~ 20	1 ~ 80
GCT 10120A/2	1200	400	20 ~ 150	1 ~ 20	1 ~ 80
GCT 10120A	1200	400	20 ~ 150	1 ~ 20	1 ~ 80
GC 1205	1200	500	5 ~ 250	0.3 ~ 20	0.3 ~ 20
GC 2405	2400	500	0.02 ~ 300	0.3 ~ 30	0.3 ~ 30
GC 4005	4000	500	4 ~ 120	0.3 ~ 30	0.3 ~ 30

三、感应电热设备的炉衬

感应电热设备的炉衬通常由耐火层、隔热层构成。有时，在隔热层和感应线圈之间还设有绝缘层。

1. 炉衬材料分类和要求

目前，感应电热设备的炉衬材料主要是氧化硅、氧化铝和氧化镁以及这三者的混合物。按材料性质分为酸性、中性和碱性耐火材料和莫来石、尖晶石等耐火材料；按结构形式分为整体炉衬、复合炉衬和砖砌炉衬三种；按筑炉方式又可分为干、湿法打结和浇灌炉衬。感应电热设备对炉衬耐火材料的要求是十分严格的。要求耐火材料有足够的耐火度，良好的热稳定性、化学稳定性和绝缘性，材料的热膨胀系数要小，并具有较高的力学性能等。

2. 常用炉衬材料

(1) 感应熔炼炉炉衬 感应熔炼炉酸性炉衬采用硅砂，其组成为 SiO_2 97.5% - 99%； Al_2O_3 0.72% - 0.3%； Fe_2O_3 0.41% - 0.1%； TiO_2 0.08% - 0.04%；粘结剂为硼酸或硼酐。中性炉衬采用高铝质刚玉，其 $\text{Al}_2\text{O}_3 > 90\%$ ，或氧化锆、氧化锆等。碱性炉衬采用镁质耐火材料，镁砂成分为 MgO 90%， $\text{CaO} < 4\%$ ， SiO_2 4%； FeO 和 Al_2O_3 均为 1.5% 左右。粘结剂为卤水、焦油或水玻璃。

(2) 感应透热炉炉衬 感应透热炉炉衬分不锈钢炉衬和耐火材料炉衬两种。当加热铝及其合金时可采用不锈钢制成的炉衬，但为防止形成环流，炉衬需开长通口，并加耐热、绝缘材料处理，并与感应器端板一起固定好，以免受力造成开口闭合。当加热温度为 700~1300℃ 时需采用氧化铝质耐火材料烧制而成的炉衬，也可采用耐火混凝土浇注成炉衬。

3. 炉衬的烘烤和烧结

炉衬成型由砖砌、打结和浇注三种方法。应按筑炉工艺守则严格进行。炉衬的烘烤要领是低温缓慢升温烘烤，高温满炉烧结，以利获得较好的烧结层，提高坩埚使用寿命。

四、感应电热设备的冷却水系统

感应电热设备的感应线圈、磁轭、水冷电缆、汇流母线排、电容器及电源装置中的电抗器、真空管、晶闸管等均需通水冷却，以确保设备安全、可靠运行。

感应电热设备使用的冷却水应符合国家标准 GB 10067.1-88 中的要求。

冷却水常用装置分为带冷却塔的敞开式循环系统和带换热器的封闭式循环系统。主要由冷却塔，软化处理装置，冷、热水池，热交换器及水流量、水压、进、出水温自动保护装置、水泵及各种管路组成。

五、感应加热电源装置

1. 用途

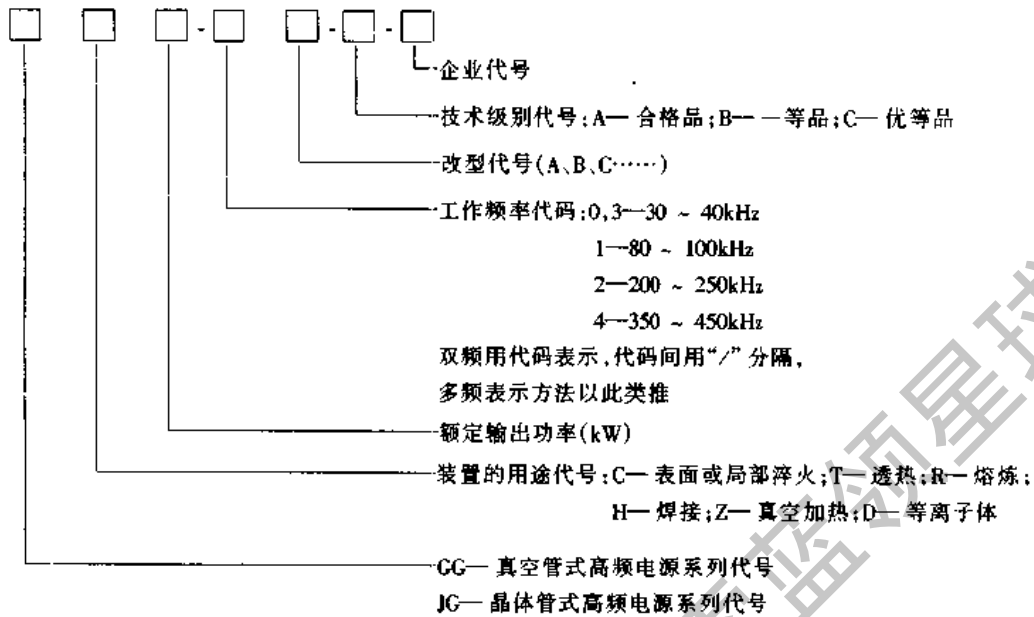
感应加热电源装置的种类较多，表 12.9.45 列出了常用电源装置的分类和用途。

表 12.9.45 常用感应加热电源装置的分类和用途

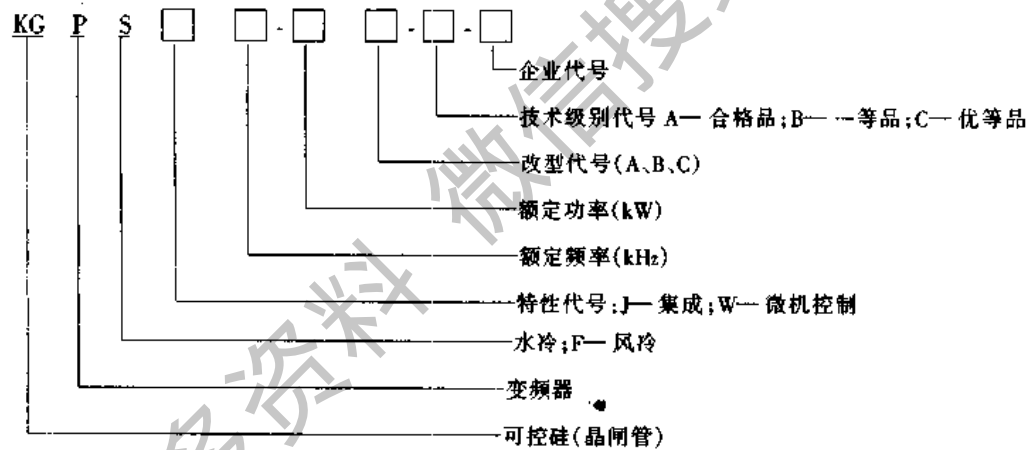
频率	电源	应用范围
工频 50Hz 三倍频 150Hz	工频电源 三倍频电源	工频无心炉、有芯炉，大尺寸工件的透热和表面热处理，热装配，管保温等
中频 > 50Hz ~ 10kHz	晶闸管中频电源	中频无心炉、真空熔炼炉、烧结炉、中频透热和表面热处理，弯管、焊接等
超音频 10 ~ 100kHz	超音频电源	中、小模数齿轮、链轮、凸轮、装键轴和各种导轨、平面类零件的表面热处理
高频 100 ~ 1000kHz	高频电源	机械零件表面热处理，小型无心熔炼炉、小零件的透热、高频焊接等
超高频 几十 MHz 以上	超高频电源	小型、细薄零件，如锯片、刀刃、针布等的局部淬火

2. 产品型号含义

(1) 真空管式和晶体管式高频电源



(2) 晶闸管中频电源



3. 主要技术参数

感应加热电源装置的主要技术参数见表 12.9.46 至表 12.9.49。

表 12.9.46 GGC 系列表面与局部加热淬火用真空管式高频感应加热电源装置主要技术参数(举例)

型号	振荡功率/kW	输出功率/kW	振荡频率/kHz	电源输入容量/kVA	型号	振荡功率/kW	输出功率/kW	振荡频率/kHz	电源输入容量/kVA
GGC 3-4	4	3	350 ~ 450	6	GGC 80-0.3	100	80	30 ~ 40	160
GGC 5-4	7	5		10	GGC 80-0.3/2			30 ~ 40/200 ~ 250	
GGC 7-4	10	7		16	GGC 80-2A			200 ~ 250	
GGC 15-4	20	15		35	GGC 150-0.3			30 ~ 40	
GGC 25-4A	30	25		50	GGC 150-0.3/2			30 ~ 40/200 ~ 250	
GGC 50-0.3	60	50	30 ~ 40	100	GGC 150-2	200	150	200 ~ 250	320
GGC 50-0.3/2			30 ~ 40/200 ~ 250						
GGC 50-2			200 ~ 250						

表 12.9.47 GGH 系列焊管用真空管式高频感应加热电源装置主要技术参数 (举例)

型号	振荡功率 /kW	输出功率 /kW	振荡频率 /kHz	电源 输入容量 /kVA	型号	振荡功率 /kW	输出功率 /kW	振荡频率 /kHz	电源 输入容量 /kVA
GGH 25-2	30	25	200~250	50	GGH 150-2	200	150	200~250	400
GGH 25-4	30	25	350~450	50	GGH 150-4	200	150	350~450	400
GGH 50-2	60	50	200~250	100	GGH 300-2	400	300	200~250	800
GGH 50-4	60	50	350~450	100	GGH 300-4	400	300	350~450	800
GGH 80-2	100	80	200~250	180	GGH 450-2	600	450	200~250	1200
GGH 80-4	100	80	350~450	180	GGH 450-4	600	450	350~450	1200

表 12.9.48 晶体管式高频感应加热电源装置主要技术参数 (举例)

型号	电源电压 /V	输出功率 /kW	振荡频率 /kHz	输入容量 /kVA	冷却水量 /(L/min)	型号	电源电压 /V	输出功率 /kW	振荡频率 /kHz	输入容量 /kVA	冷却水量 /(L/min)	
JG 10	380	10	350	14	20	JG 75	380	75	100	100	60	
JG 15		15		20	25	JG 100		100	200	130	75	
JG 25		25		30	30	JG 150		150		200	85	
JG 30		30		40	30	JG 200		200		270	115	
JG 45		45	30	60	50	JG 250		250		320	150	
JG 50		50	60	70	50							

表 12.9.49 KGPS 系列扁柄管中频电源

名称	产品型号 ^① 技术数据	KGPS (W)	KGPS (W)	KGPS (W)	KGPS (W)	KGPS (W)	KGPS	KGPS	KGPS	KGPS	KGPS	KGPS
		1~2.5/ 100	1~8/ 125~50	1/160	1/250	1~8/ 250~100	1/500	1~6/ 500~200	1/750	1/1000	1/1500	1/2500
交流输入电压/V		380	380	380	380	380	380	380	600	600	600	600
交流输入电流/A		180	225~90	280	450	450~180	900	900~360	870	1160	1740	2900
交流输入频率/Hz		50										
交流输入相数		3										
中频输出功率/kW		100	125~50	160	250	250~100	500	500~200	750	1000	1500	2500
中频输出频率/Hz		1~2.5	1~8	1	1	1~8	1	1~6	0.2~1	0.2~1	0.2~1	0.2~1
最大输出电流/A		170	200~80	270	420	425~170	850	850~340	780	1050	1550	2600
最高输出电压/V		750	750	750	750	750	750	750	1200	1200	1200	1200

① 每一型号产品均可采用微机控制。

六、感应电热设备的选用、使用和维护

1. 选用

常用非真空感应熔炼炉可参考表 12.9.50 选用。

2. 使用和维护要点

① 电源与负载的匹配十分重要。负载具有一定的阻抗角和阻抗值，用改变补偿电容器的方法可调节阻抗角，阻抗值可用改变电源输出电压来实现。

② 感应电热设备是电、水、油三者的统一体。使用中应监视运行过程中炉料、炉温、冷却水温和流量、压力、保护信号等数据。感应器在使用中要注意感应线圈接线片与水冷电缆之间的连接应良好。炉衬在使用中应避免机械损伤并及时修补。

③ 高频电源中的玻壳振荡管在使用中应格外小心，特别是玻壳与铜之间的焊缝，中频电源在刚投入运行时，因元器件可能未经老化处理，性能变化大，要注意观察，及时调整，使电源稳定运行。

④ 应保持环境和设备的清洁卫生，定期清除各部分的积尘，定期紧固各连接螺钉，清理连接导体的导电面，检查各保护系统，使设备能安全运行。

表 12.9.50 非真空感应熔炼炉的选用^①

比较项	中频无芯炉	工频耐材无芯炉		工频导电坩埚炉	有芯炉
		长线圈	短线圈		
熔炼金属	钢	1	2	—	10
	铸铁	1	1	10	6
	重有色	1	1	10	1
	轻有色	1	2	10	2
炉子容量 /kg	> 10000	2	1	1	1
	1000 ~ 10000	1	2	2	2
	100 ~ 1000	1	6	10	6
	10 ~ 100	2	—	—	—
作业方式	连续式	3	2	1	1
	间歇式	1	2	2	5
熔炼或保温	熔炼	1	2	5	4
	保温	2	3	1	1
主要经济指标	能耗	2	3	2	1
	投资额	4	4	2	1
冶金效果	金属烧损	1	1	2	3
	成分均匀性	2	1	2	3

①比较项中数字小者为佳。选型时要综合考虑各比较项，将各项数字相加，总和数值小者优先选用。比较项中“—”号为不宜选用。

第十节 电弧炼钢炉

电弧炼钢炉主要包括交流、直流电弧炉和钢包精炼炉等。

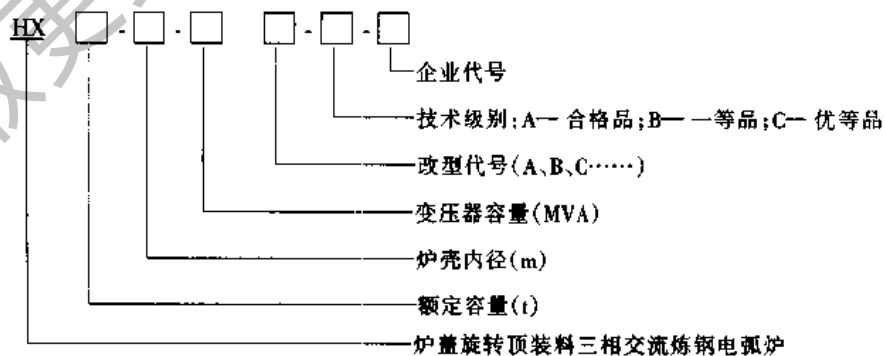
随着超高功率电弧炉——炉外精炼炉连铸工艺逐步取代电弧炉三期一步冶炼——模铸工艺，电弧炉正向大容量、超高功率方向发展。超高功率电弧炉炼钢的优点是缩短熔化时间，提高生产率，改善电炉热效率，降低电耗，容易实现计算机控制和管理。

一、三相电弧炼钢炉（交流电弧炉）

1. 用途

三相电弧炼钢炉主要用于熔炼特殊钢、合金钢和普通钢。

2. 产品型号含义

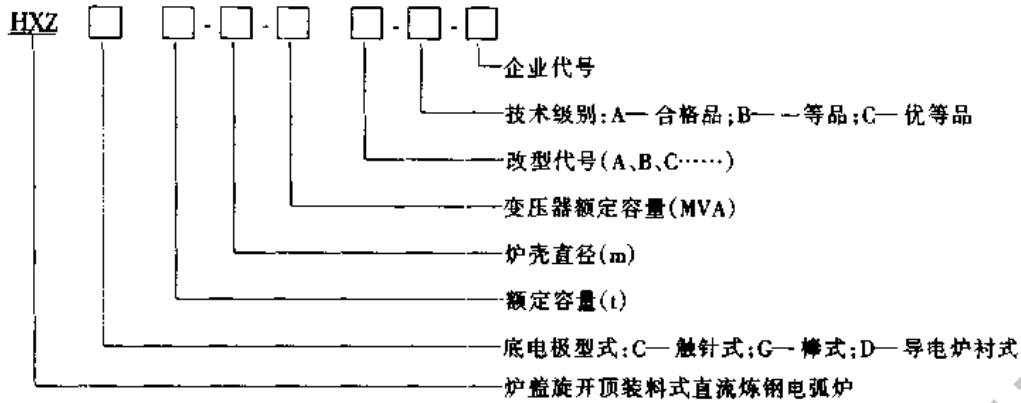


二、直流电弧炉

1. 用途

直流电弧炉的用途与三相电弧炼钢炉相同。

2. 产品型号含义

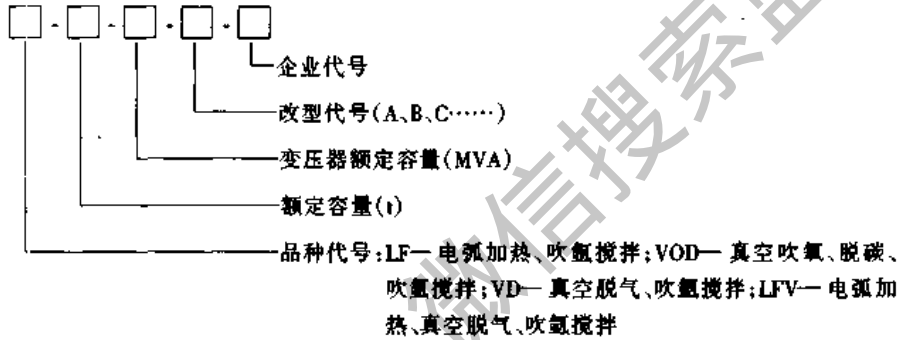


三、钢包精炼炉

1. 用途

钢包精炼炉是一种炉外精炼设备。它把电炉钢水倾入钢包内，配备电弧加热、真空脱气、吹氩搅拌、合金加料装置对钢水进行脱气、脱硫、脱碳、去除非金属杂质并调整合金成分，从而获得优质钢。

2. 产品型号含义



3. 结构

LF钢包炉结构示意图见图 12.9.4。

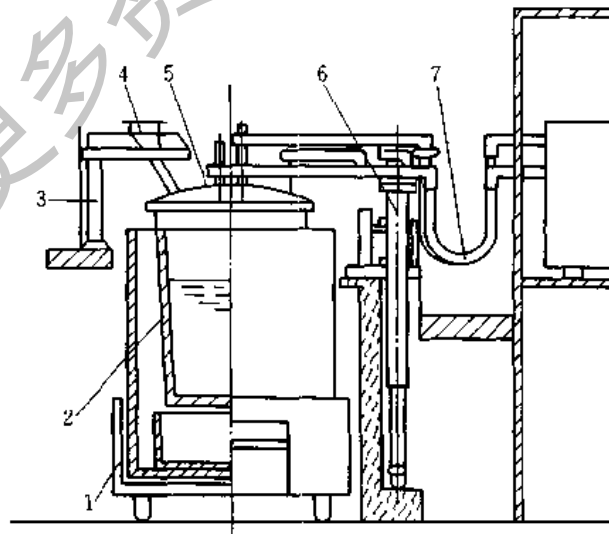


图 12.9.4 LF型钢包精炼炉示意图

1—钢包车; 2—钢包; 3—炉盖提升机构; 4—加料装置; 5—炉盖; 6—电极升降装置; 7—水冷电缆

四、主要技术参数

三相电弧炼钢炉、直流电弧炉和钢包精炼炉的主要技术参数见表 12.9.51 至表 12.9.53。

表 12.9.51 三相电弧炼钢炉主要技术参数

额定容量/最大容量 /t	炉壳内径 /m	变压器额定容量/MVA			石墨电极直径 ^① /mm
		1类	2类	3类	
0.6/1	1.6	0.63	—	—	(150), 100
1.5/2.5	2.1	1.25	—	—	(200), 150
3/5	2.5	2	—	—	(250), 200
6/10	3.0	3.15	—	—	(300), 250
12/15	3.5	5 或 6.3	—	—	300, 350
15/20	3.7	6.3	10	12.5	(400), 350
20/25	4.0	8	12.5	16	400, 350
25/30	4.3	10	12.5	16 或 20	(450), 400
30/40	4.6	12.5	16	20 或 25	450, 400
40/50	5.0	16	20	25 或 31.5	500, 450
50/60	5.2	20 或 16	25	31.5 或 40	500, 450
60/75	5.5	20	25	40	500, 450
80/100	6.1	25	31.5	40 或 50	550, 500
100/125	6.4	—	40	50 或 63	550, 500
125/160	6.8	—	—	63	(600), 550
160/200	7.4	—	—	80	600

① 根据石墨电极的允许电流负荷, 石墨电极直径可在给出的两种规格中选择其一, 但括号中的数值不推荐。

表 12.9.52 HXZ 系列直流电弧炉主要技术参数

型号	HXZ-3	HXZ-5	HXZ-10	HXZ-20	HXZ-30	HXZ-40	HXZ-50	HXZ-60	HXZ-80	HXZ-100
额定容量 /t	3	5	10	20	30	40	50	60	80	100
最大出钢量 /t	5	10	15	25	40	50	60	75	100	125
炉壳内径 /m	2.5	3	3.5	4	4.2	4.6	5	5.4	5.8	6.4
变压器额定 容量/kVA	2500	4000	6300	12500	16000 25000	20000 25000 31500	25000 31500 40000	31500 40000 50000	40000 50000 63000	50000 63000 80000
电极直径 /mm	250	300	350	400	450 500	450 500	500 550	550	600	600

表 12.9.53 钢包精炼炉主要技术参数

额定容量/t (实际容量/t)	钢包直径 /mm	变压器额定容量 /MVA	电极直径 /mm	真空罐内径 /mm
20 (15~25)	2200	3.15	250	3800~4100
40 (35~45)	2900	6.00	350	4800~5000
60 (55~65)	3150	10.00	350	5300~5500
70 (65~75)	3200	12.50	400	5400~5600

续表

额定容量/t (实际容量/t)	钢包直径 /mm	变压器额定容量 /MVA	电极直径 /mm	真空罐内径 /mm
100 (80~120)	3500	16.00	400	5800~7000
150 (130~170)	3900	25.00	450	6300~7500
200 (180~220)	4400	31.50	500	—
250 (230~270)	4700	40.00	500	—
300 (270~300)	4900	50.00	550	—
350 (320~380)	5200	63.00	600	—

注：20t 不推荐使用。

五、电弧炼钢炉的选用、使用和维护

1. 选用

确定交流电弧炉变压器容量：

$$P_s = \frac{Qm}{t \cos \varphi K \eta_d \eta_r} \quad \text{kVA}$$

式中 P_s ——变压器额定功率，kVA； Q ——熔化每吨钢并升温到 1650℃ 所需的能量（包括熔化渣），一般取 420~440kW·h/t； m ——炉料质量，t； t ——熔化时间，h； $\cos \varphi$ ——熔化期平均功率因数，对于普通功率电弧炉在 0.8~0.85 之间，高功率电弧炉在 0.7~0.8 之间，超高功率电弧炉在 0.7 以下； K ——熔化期变压器的平均利用系数，一般取 0.85~0.9； η_d ——熔化期炉子平均电效率，可取 0.85~0.9，大容量炉子取大值； η_r ——熔化期炉子平均热效率，对 0.5~5t 炉子取 0.65~0.7，10~20t 炉子取 0.7~0.8，炉子容量大可适当取大些。

直流电弧炉整流变压器的容量按下式计算：

$$S = \frac{QG}{t \cos \varphi_n \eta_d \eta_r} \quad \text{kVA}$$

式中 Q ——熔化每吨钢并升温到 1650℃ 所需的能量（包括熔渣），一般取 420~440kW·h/t； G ——电炉的额定容量，t； t ——净熔化时间，h，净熔化时间约为熔化时间的 0.85~0.9； $\cos \varphi_n$ ——熔化期变压器一次侧的平均功率因数，约为 0.7~0.8； η_d ——熔化期炉子平均电效率，可取 0.85~0.90； η_r ——熔化期炉子平均热效率，可取 0.65~0.80。

交流电弧炉容量按下式计算：

$$\text{设备利用系数} = \frac{\text{每昼夜出钢量}}{\text{电炉变压器容量}} \quad \text{t/MVA}$$

设备利用系数：普通功率炉取 18t/MVA，配用钢包精炼炉时还可取高些；高功率炉取 25 以上；超高功率炉则可取 35 或更高些。

2. 使用和维护要点

① 炉顶作业时只能在工作架上进行，为挡住从电极周围间隙处喷出的火焰，应用石棉板隔离。

- ② 当电极圈漏水、电极断裂时，应立即修炉。
- ③ 出钢前应检查倾炉机构（液压、气动系统等）的传动系统，以确保出钢时能顺利倾炉。
- ④ 废钢装炉前应经安全检查，以防把爆炸物混入炉内，不能将湿料加入已化清的钢水中，不能使用湿扒把扒渣，出钢时不能使用未经充分干燥的钢水包和塞杆。
- ⑤ 在检修电炉时，应采取适当安全措施，以防电极落入炉内；冲洗冷却水管（如用酸等）的工作人员应采取必要的防护措施。
- ⑥ 在对电炉短网系统进行电焊时，不允许接触变压器的一次侧导线，以防高电压损坏变压器。

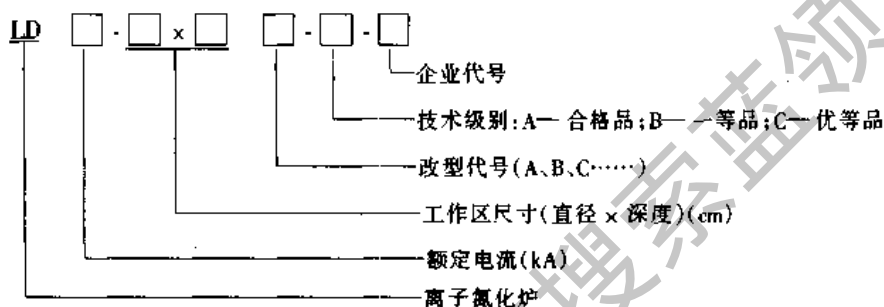
第十一节 等离子热处理设备

等离子热处理设备主要包括辉光离子氮化炉和真空离子渗碳炉。它的优点是离子渗入速度快、零件变形小、节能、无污染等。现已在热处理行业广泛应用。这里主要介绍辉光离子氮化炉。

1. 用途

离子氮化炉主要用于各种齿轮、活塞销、曲轴、衬套、气缸套等零件的氮化。

2. 产品型号及含义



3. 结构

离子氮化炉主要由炉体、真空系统、供气系统、直流电源和电气控制系统等部分组成。图 12.9.5 为离子氮化炉的设备组成。

4. 主要技术参数

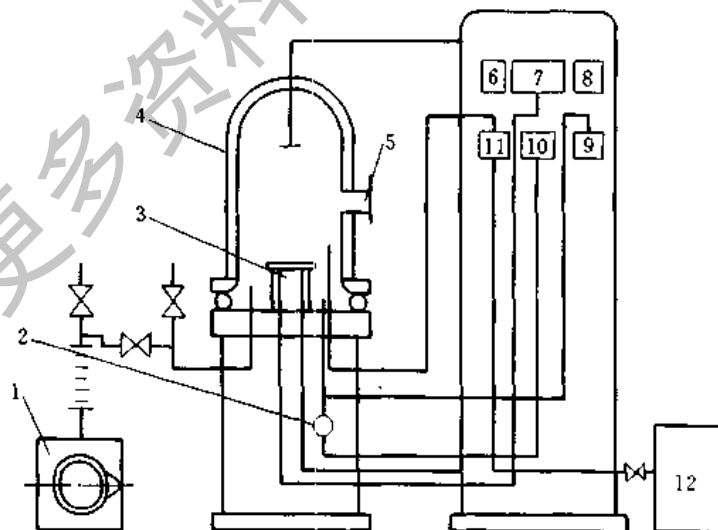


图 12.9.5 离子氮化炉的设备组成 (示例)

- 1—真空系统; 2—真空规管; 3—阴极板; 4—炉壳; 5—观察窗; 6—安培表; 7—测温仪表; 8—电压表;
9—U形压力计; 10—真空计; 11—流量计; 12—气源

离子氮化炉主要技术参数见表 12.9.54。

表 12.9.54 LD 系列离子氮化炉主要技术参数

型 号	额定功率/kW	额定温度/℃	额定电压/V	额定输出直流电流/A	极限真空度/Pa	最大一次装载量/kg	最大加热面积/cm ²	工作区尺寸直径×深度/mm×mm	外形尺寸直径×深度/mm×mm
LD0.015-15×20	10	900	380	15				150×200	1000×750×1400
LD0.015-50×45	15	650	380	15		250	250	500×450	750×1330
LD0.015-75×80	25	650	380	15	6.65	500	1250	750×800	1140×2000
LD0.05-70×100	40	650	380	50	6.65	200	20000	700×1000	1080×2115
LD0.05-75×175	50	650	380	50	6.65	1000	25000	750×1750	1140×3000
LD0.1-75×170	80	650	380	100	6.65	400	40000	750×1700	1200×3420
LD0.1-75×250	100	650	380	100	6.65			750×2500	1140×3700
LD0.15-121×220	150	650	380	150	10.64			1210×2200	

5. 离子氮化炉的选用、使用和维修

(1) 选用 离子氮化炉的功率决定于炉子工作时所允许的最大工作电流。工作电流的大小与所产生的辉光面积成正比，可用下式估算：

$$I = 10F_h j \quad A$$

式中 I ——炉子的工作电流，A；

F_h ——辉光面积，m²；

j ——电流密度 mA/cm²，通常取 0.5~3mA/cm²，加热温度高，散热条件好的取较大值。

(2) 使用和维修要点

① 因加热温度不均匀会引起氮化层厚度和硬度不均匀并增加工件的变形，应认真寻找原因并采取措施，以保证工件氮化质量。表 12.9.55 列出了工件温度不均匀的原因和改进措施。

② 应经常检查和调整阴极输电装置的护隙，及时清理观察窗和炉壁阳极上的溅射物及毛刺，以防阳极辉光，发生焙烧。

③ 电源装置要保持清洁，不允许元器件上有积尘，以防接触不良和短路，应定期检查输出波形，发现三相不平衡时应及时调整。

表 12.9.55 工件温度不均匀的原因和改进措施

原 因	改 进 措 施
氮分解时吸收热，致使氮进气口附近温度偏低	用氮分解气体代替氨，或采用氮、氢混合气体
进气口位置不当	调整进气口的位置（根据经验，对于抽气口在炉底的炉子，进气口应位于工件高度的 2/3 处；2m 以上的炉子至少要有两个进气口）
工件（阴极）表面各部分与阳极的距离不等	① 采用仿形阳极，使工件与阳极之间的距离较均匀 ② 在温度低的部位设置辅助阳极 ③ 降低炉内的气体压力（因气体压力低时，阴阳极间的距离对电流密度的影响相对较小）
工件上有小孔和沟槽，致使其邻近部位温度偏高	用销子或平板等把小孔或沟槽塞住或遮住
工件各部分的散热条件不同	① 调整工件的位置和放置方式 ② 采用合适的保温措施 ③ 采用辅助阳极或辅助阴极

第十二节 可控气氛装置

一、吸热式气氛发生装置

1. 吸热式气氛

吸热式气氛是应用最多的一种可控气氛。吸热式气氛是碳氢化合物气体和空气混合后加热到 950~1000℃，

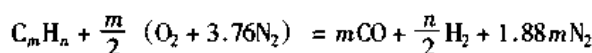
再在催化剂中通过后制成的。有时除空气外还添加水气。由于这些化学反应需要从外部供热，反应才能继续进行，所以叫吸热式气氛。这种气氛的主要优点是易于实现碳势控制，一般用作渗碳时稀释气体或中碳、高碳钢加热时的防止氧化脱碳的保护气体。

吸热式气氛的制备过程是将气体燃料（天然气、液化石油气、城市煤气等）与空气（完全燃烧程度20%~40%）混合，在有催化剂（一般用镍催化剂）作用的条件下，借外部加热反应而生成的气体。反应温度一般要1000~1050℃。

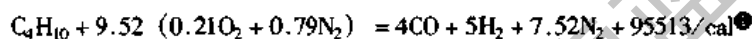
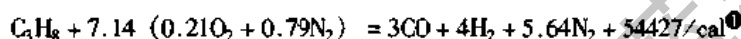
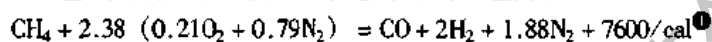
吸热式气氛分为一般吸热式气和净化吸热式气两类。净化吸热式气是将用上述方法制备的气体再次和水蒸气混合，在催化剂作用下把气体中的CO转化为CO₂，然后再经过吸收CO₂，冷冻干燥所得到的气体。这种气体的主要成分是H₂和N₂，可用来进行各种金属表面氧化物还原以及不锈钢、硅钢、高镍铬合金的光亮退火。

普通吸热式气氛的缺点为容易引起铬的氧化，和空气混合时易产生爆炸，以及在炉温较低时易积炭黑。由于和铬的反应，大多数不锈钢都不能使用一般吸热式气氛进行保护加热。用净化吸热式气氛可避免此缺点。

以主要含饱和烃的液化石油气、天然气为原料制备的吸热式气氛，其化学反应通式为：



由此，天然气、丙烷、丁烷和空气混合后，在发生炉反应罐中的反应为：



2. 吸热式气氛发生炉

发生炉一般由炉壳、反应管、冷却器、托罩、炉衬、加热体等组成。炉膛内放置用耐热钢板做成的反应管。发生炉可用电加热，亦可用煤气或柴油加热。根据反应管形状和数量的不同，气体发生炉分为单管式、多管式、套管式、弯管式等多种类型。图12.9.6所示为套管式发生炉和制备吸热式气氛的流程。

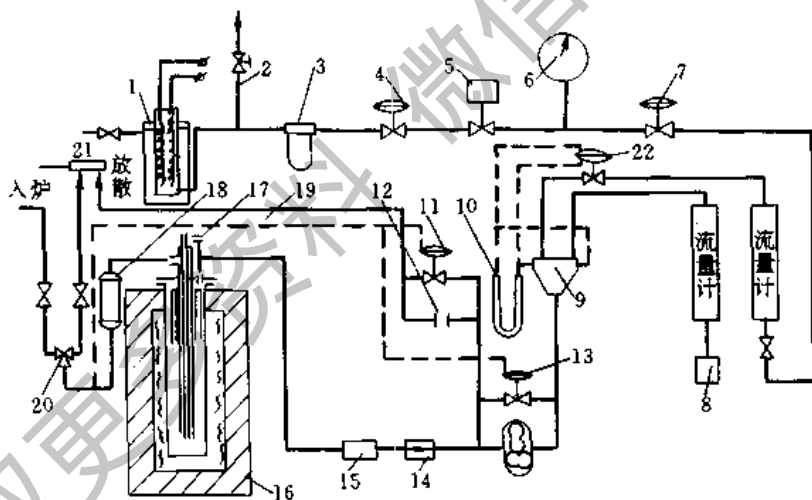


图 12.9.6 制备吸热式气氛的流程

- 1—液化石油气蒸发器；2—放气管；3—过滤器；4—一次减压阀；5—电磁阀；6—电接点压力表；7—二次减压阀；8—空气滤清器；9—混合器；10—零压表；11—放散调节阀；12—喉管；13—旁通调节阀；14—逆止阀；15—灭火器；16—发生炉；17—防爆头；18—冷却器；19—压力反馈管；20—三通转向阀；21—点火棒；22—零压调节阀

二、放热式气氛发生装置

放热式气氛是用可燃原料气（天然气、煤气、丙烷、丁烷等）与空气混合（空气过剩系数0.5~0.9）的燃烧产物。放热式气氛是所有制备气氛中最便宜的一种，发生炉的结构简单，维护简便。

● 1cal = 4.18J。

根据混合形式又分为预先混合和烧嘴混合两种。其流程图见图 12.9.7。

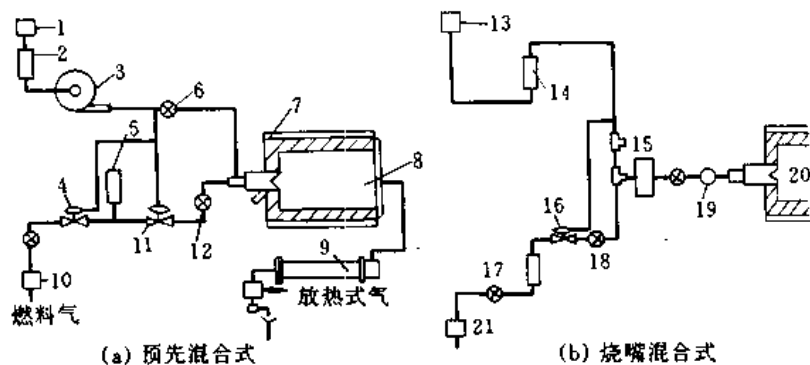


图 12.9.7 放热式气氛发生炉流程图

1, 13—空气过滤器; 2, 14—流量计; 3—鼓风机; 4, 11, 16—调压阀; 5, 17—流量计; 6—流量控制阀; 7—水冷套;
8, 20—燃烧室; 9—冷却器; 10, 21—安全切断阀; 12, 18—比例控制阀; 15—压缩机; 19—逆止阀

当原料气的压力在 $1.36 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以上时采用烧嘴混合系统。这种系统主要用于贫的比例范围的操作。预先混合系统可用的原料气压力为 $1.5 \sim 2 \text{ kPa}$, 可用于所有的贫的和富的比例范围。

不论采用何种混合系统, 混合气体从烧嘴喷出的速度应大于火焰传播速度, 否则会产生沿管道的燃烧, 即所谓“逆火”现象。

第十三节 粉末冶金烧结电炉

粉末冶金是制造各种结构零件和轴承的一种工艺, 是将各种粉末混匀, 在模具内压制所需外形, 压坯于可控气氛中烧结, 使金属颗粒的接触表面以冶金方式结合起来, 得到所需要的机械性能。

一、技术要求

1. 工艺要求

用于生产粉末冶金制品的烧结炉加热升温速度必须是缓慢的和可控制的, 然后在烧结温度保温一段时间, 以使制品获得所需要的密度。此外, 压坯在进入烧结室以前先进入烧除(或加热净化)室, 以排除压坯孔隙中的空气和润滑剂。这一点对于减少炉内保护气氛的污染是必须的。如果压坯进入炉子高温段前, 没有完全清除掉由润滑剂带来的碳氢化合物和锌, 则碳和锌的氧化物将沉积在炉子的加热元件和耐火材料上面, 这就必然增加了炉子的维修工作, 同时碳也会污染压坯。此外, 如果压坯骤然受热, 未排除的润滑剂可导致压坯破裂或变形, 从而使制品的尺寸公差难于控制。

2. 结构要求

烧结炉的构造要求是:

- ① 需要有一个密封炉壳或有一个密封马弗, 以保持住炉内还原气氛;
- ② 有一个用以排除空气和润滑剂蒸汽的加热烧除室(净化室);
- ③ 可对预热速度进行控制;
- ④ 有一个可控制的高温烧结室;
- ⑤ 在制品冷却时有一个防止氧化的水套冷却室。

烧结时常用的保护气氛是: 氢, 分解氨, 富放热型气体, 纯的富放热型气体, 干的或湿的吸热型气体。适当的选择保护气氛可以使烧结制品的外观及性能都比较好。

上面提及的五种气氛都能促进粉末颗粒还原和促进充分烧结, 也可防止氧化, 从而减少颗粒的内部摩擦, 以得到满意的机械性能和表面。

最适当的保护气氛就是制品在该气氛保护下具有最佳的机械性能和物理性能, 而且对制品的污染和脱碳也最少。

烧结炉的最后定型还取决于很多因素。例如: 烧结温度、进行烧结的材料、烧结气氛和制品, 以及对于给定制品的操作和维修。对烧结炉的合理选择, 还需要考虑另外一些因素: 电炉结构, 炉内气氛对耐火材料的

影响；压坯通过炉子的运送方法；用于烧结的热处理炉和烧结炉的温度控制和测量；以及经济性等。

二、产品分类

粉末冶金烧结电炉传送制品一般采用四种方式：网带传送式；推杆传送式；辊道炉底传送式；步进传送式等。每一种传送方式都具有特殊用途，取决于生产效率，制品的重量、大小，烧结的材料及工作温度。通常使用前两种形式。

1. 网带式传送电炉

网带式传送电炉是连续生产小而轻制品的一种最常用的烧结电炉。图 12.9.8 为该种炉型的结构图。

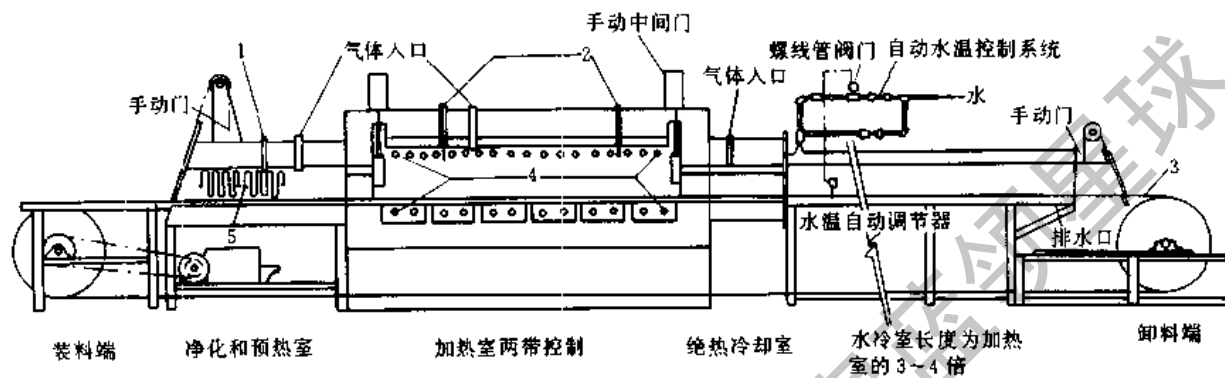


图 12.9.8 直通网带传送式烧结炉结构图

1, 2—热电偶；3—连续合金带；4—硅碳棒加热元件；5—电阻元件

网带式传送电炉的生产率是中高水平的。这也取决于加载密度、加热时间、保温时间等。网带式传送电炉在工作时炉门是敞开的。在选用气氛发生器时，必须采用大流量的。

网带式烧结电炉主要技术数据见表 12.9.56。

表 12.9.56 网带式烧结电炉主要技术数据

参数名称	RWS-40-11	RWS-60-11	RWS-100-11	参数名称	RWS-40-11	RWS-60-11	RWS-100-11
额定功率/kW	40	60	100	加热区/段	4	4	4
额定温度/℃	1120	1120	1120	网带宽/mm	220	350	600
额定电压/V	380	380	380	耗气量/m ³	10	15	30

产品型号说明如下：



2. 推送式烧结电炉

推送式烧结电炉适用于烧结那些对于网带式烧结电炉单位长度上负载过重的金属制品，以及用于那些生产速度上不需要像辊道炉底式烧结电炉那么大或者在那些烧结温度对于网带式或辊道炉底式都是过高的工作场合。产量高时，可采用机械或液压力推料。一般采用两种推料机构：间隙推料式与连续推料式。间隙推料机构多用于烧结青铜、黄铜和铁基粉末冶金制品。连续推料式用于烧结硬质合金、不锈钢制品以及其他需要逐步均匀加热与冷却的加工工艺。图 12.9.9 给出了其结构示意图。

推送式烧结电炉主要技术数据见表 12.9.57。

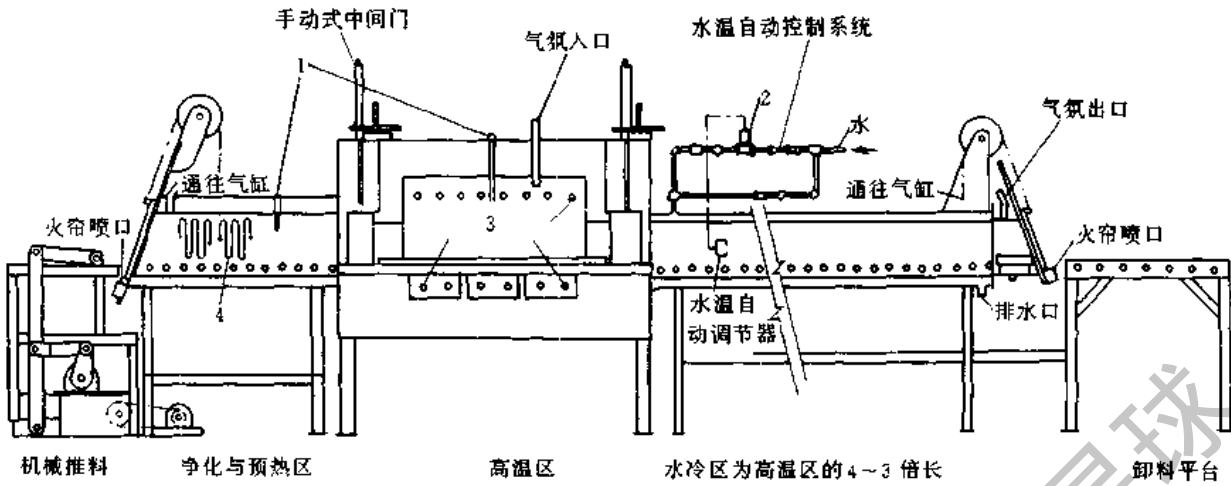


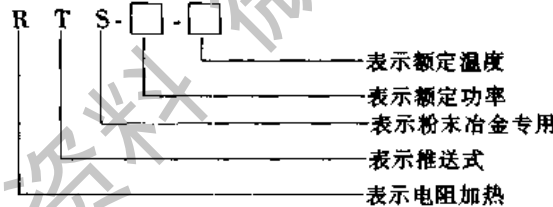
图 12.9.9 机械推料式连续炉结构图

1—热电偶；2—电磁阀；3—碳硅棒；4—阻丝

表 12.9.57 推送式烧结炉主要技术数据

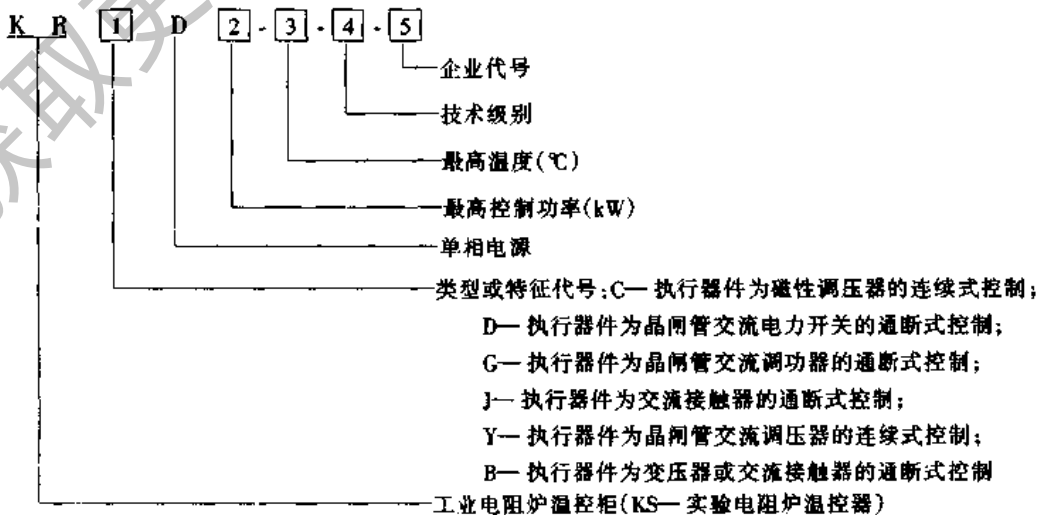
型 号	RTS-25-12	RTS-44-12	RTS-68-12
额定功率/kW	25	44	68
额定温度/℃	1150	1150	1150
额定电压/V	380	380	380
加热区数	3	4	4
料盒尺寸/mm	180×180×90	200×200×120	300×300×130
耗气量/m ³	5	8	15

产品型号说明如下：



第十四节 电气测量与控制

一、产品型号含义



二、产品选用、使用及维护

在选用温控柜时首先应考虑该温控柜应能满足炉子的各种技术指标。如型号、额定电压、电源相数、电源频率、额定温度、控温区数等。

温控柜主要由柜体、框架及各种电气元、器件和仪表等组成。温控柜的设计应配确保各电气元件动作时所产生的热量、电弧、冲击、振动、磁场或电场不得互相影响各自的正常功能。温控柜的柜体结构通常为柜门单开或双开型。对 KRJ 系列控制柜，柜内应装有与柜壳相互独立的开关控制屏。柜壳与控制屏应有各自的地脚螺钉孔。柜壳面板上装有控温仪表、控制开关、指示灯，根据需要有时还装有超温报警控制仪表。如果控温执行元件为晶闸管时则面板上还应有电流表、电压表等。柜内的电器安装板上通常装有空气开关、熔断器、接触器、继电器、电铃和保护器件。

温控柜内安装的各个元、器件和仪表应经检验合格后方能安装，安装时必须按设计要求留有足够的拆修距离。对接触器、仪表等应分别根据需要设有适当的防振措施。安装控制柜后，必须检查热电偶与补偿导线等所有导线的接线端部分接触是否良好，接线是否正确，其箱体必须可靠接地，用兆欧表测量柜内不同带电体之间以及各带电体与金属壳体之间的绝缘电阻不小于 $2M\Omega$ 。

温控柜工作时首先将柜内的空气开关合上，再将面板上的电源开关合上。这时由一次仪表热电偶将炉温变成电信号通过补偿导线输给二次仪表，再由二次控温仪表控制主回路中的执行元件从而达到控温目的。炉温自动控制系统见图 12.9.10。

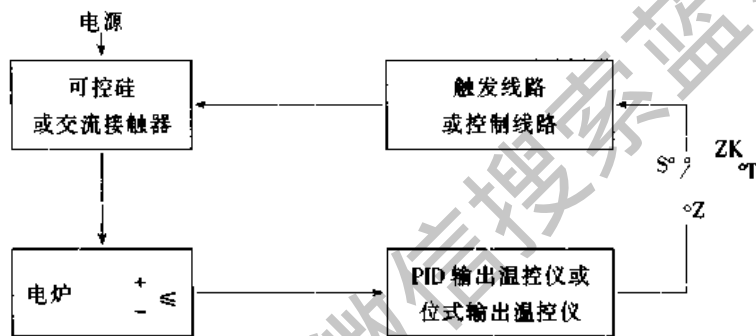


图 12.9.10 炉温自动控制图

电炉温度控制柜的维护工作是在设备安装调试完毕投入生产后经常的保养工作，精心维护能使设备常处于良好状态。

在断电状态下：

- ① 经常清扫设备内电气元件上的灰尘，重点是接触器触点之间；
- ② 检查经常动作的电气元件，如电气开关等，检查其结构和接线有无松动；
- ③ 经常检查双向可控硅及周围的环境温度，使其不过热。

三、常用的热处理温度控制仪表及调节装置

在热处理生产中，采用性能良好的先进仪表和调节装置，正确地测量和控制温度，对于保证热处理产品的质量，降低劳动强度有着重要的意义。下面将简单介绍热处理常用各类温度控制仪表及调节装置的类型。

1. 各类温控仪

(1) 动圈式温度指示调节仪 动圈式温度指示调节仪可分为毫伏计（与热电偶相配）和不平衡电桥（与热电阻相配）两种，两种的测温原理虽然不同，但仪表的调节却是一样的。

(2) 电子自动平衡式温度显示与调节仪表 它可分为电子自动电位差计和电子自动平衡电桥两种类型，前者目前应用较为广泛。

(3) 力矩电机式温度指示调节仪 力矩电机式温度指示调节仪为一小型条式自动平衡仪表，根据检测元件之不同（热电偶或热电阻）分为电位差计和平衡电桥两类。

(4) 温度调节仪

① TA 系列电子温度调节仪：TA 系列电子温度调节仪的显示方式采用偏差指示，具有二位、三位、比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等各种不同的调节功能，是一种简易的全电子式自动检测调节仪表，主要适用于一般单参数的自动调节，如温度、压力、流量等。

② 程序控制仪表 程序控制仪表按输出形式可分为电接点和连续电流或电压输出两种，电接点输出适用

于继电器或电磁阀或执行机构，可进行程序位式调节；连续电流或电压输出式适用于附带电动调节器的电子自动平衡式显示仪表以实现程序化连续自动调节和控制。

2. 调节装置的类型

(1) 二位式调节装置 对一个给定值（上或下限）进行二位式自动调节。

(2) 三位式调节装置 分别控制上、下限两个给定值，对被测对象进行“开一半开一关”调节。

(3) 时间比例调节装置 在比例带范围内，继电器间歇动作实现被测对象的准连续调节。

(4) 连续电流输出 PID 调节装置 连续输出 0~10mA 直流电流。其大小与偏差有 P、I、D 关系。

(5) 二位程序控制装置 它由二位调节装置与程序发信装置组合而成，以实现程序位式调节。

(6) 连续电流输出 PID 程序控制装置 它由电流输出 PID 调节放大器和程序发信装置所组成。从而实现程序的 PID 调节。

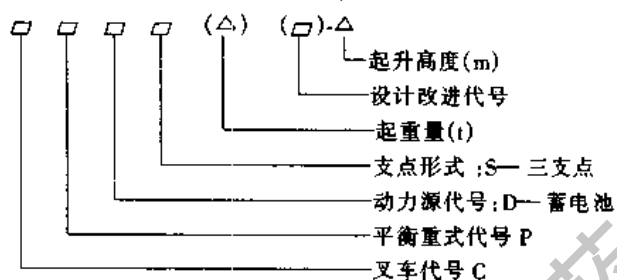
获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第十章 电瓶叉车和搬运车

第一节 电瓶叉车

一、型号及其含义

蓄电池平衡重式叉车（以下简称电瓶叉车）是以 JB/T 3300 为标准来确定其型号的。它的型号由大写的汉语拼音字母及阿拉伯数字组成。如以“△”代表数字，“□”代表字母，则电瓶叉车型号命名方式为：



[型号举例]: CPDS2-3 表示蓄电池平衡重式叉车, 三支点, 起重 2t, 升高 3m。

叉车稳定性试验方法见表 12.10.1。

表 12.10.1 叉车稳定性试验方法 (JB 3300—92)

试验编号	1	2	3	4	
稳定性类别	纵向		横向		
操作类别	堆垛	运行	堆垛	运行	
载荷情况	试验载荷	试验载荷	试验载荷	无载	
起升高度	最大	300mm	最大	300mm	
门架位置	垂直	全后倾 (对可倾斜门架叉车)			
平台倾斜度	额定起重量 < 4999kg	4%	18%	6%	(15+1.1v)% (最大 40%)
	额定起重量 ≥ 5000 ~ 10000kg	3.5%	18%	6%	(15+1.1v)% (最大 50%)
叉车在倾斜平台上的位置					

注: v—叉车无载运行状态的最大运行速度, 单位为 km/h。

二、电瓶叉车的选用、使用及维护

1. 电瓶叉车的选用

在购买电瓶叉车之前,不仅需要了解电瓶叉车的性能、参数、简要构造,而且应熟悉电瓶叉车的作业范围、堆垛效率、经济性等因素,这样用户及操作者才能正确地选用电瓶叉车,合理地使用电瓶叉车。为了更方便地选择电瓶叉车,将电瓶叉车按环境、吨位、起升高度等因素分类如下。

(1) 按环境

① 场地

a. 在道路平坦结实的室内,宜选用小轮径,实心轮胎的电动叉车;净空高度较小的车、船、集装箱内适合使用具有全自由提升功能的叉车。

b. 在空间较大,道路状况一般的室内或室外,宜选用大轮径、充气轮胎的叉车。

② 工作环境

a. 堆垛工况时间长,光线较暗处,宜选用具有宽视野门架的电动叉车。

b. 在有防火、防爆要求较高的场所及作业频繁的环境中,宜选用防爆电瓶叉车,选用节能的可控硅或微电脑控制。

(2) 按吨位或货物尺寸形状

① 电瓶叉车起重量规格有 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25, 2.5, 2.75, 3t。

② 按载荷中心距,有 400、500mm 等规格。

(3) 按起升高度

通常有 2.5、3m 的起升高度;亦有按国外要求制造的 4、4.5m 的起升高度。

2. 电瓶叉车的使用及维护

新电瓶叉车均经过严格的出厂检验。但在储运过程中,电瓶的各零件可能发生松动与损伤。因此在新电瓶叉车使用前,应先进行电瓶叉车的内外清洁工作,再进行下列各项项目的检查。

① 检查电瓶叉车各机械联接件的紧固情况,特别是转向系统、车轮及轮胎;起升机构等联接螺栓及锁紧装置是否紧固及正确;

② 检查电瓶叉车各部件管路和接头有无损坏、松动、漏油现象,特别是液压系统和行车制动器的总泵有无漏油现象;

③ 检查电瓶叉车各直流电机的润滑状况,并对电瓶叉车各润滑点进行润滑,加足齿轮箱中的齿轮油等;

④ 检查各电气元件的接头、线路,各仪表工作是否正常,喇叭、灯光、报警器是否正常工作,蓄电池是否损坏,电解液高度及密度是否合乎要求;

⑤ 检查轮胎气压,清点随车文件、工具及配件。

⑥ 新电瓶叉车有 50h 的走合期,在这期间最好使用 75% 的额定起重量,走合期后应更换齿轮油及液压油。

日常保养与一级保养的技术要求分别列于表 12.10.2 和表 12.10.3 中。

表 12.10.2 日常保养内容

项目	保养内容	技术要求
整车	充电后应用清水冲洗外溢的电解液,并擦拭全车内外各部件	内外清洁,各部件完好,连接牢固。无油污、积尘和渗漏
三电系统	察看各电机运行状况,检视各仪表、信号状况	电机运行良好,仪表显示正常,信号正确
液压系统	检查液压油位及液压系统有无渗漏,声音是否正常	液压油需充足,液压系统无渗漏现象,各齿轮泵无异常声音,各阀、油缸无明显内泄现象
驱动桥及转向桥	轮胎气压正常,轮胎无损伤,螺栓无松动,齿轮箱内无异响	运行时前后轮无摇摆现象,齿轮箱各件工作正常
转向系统	注意方向机转动量、方向机轴向间隙、转向油缸或拉杆、销球运行状况	方向机空转角不应过大,运行时转向平稳、轻松
起升机构	检视内外门架、起升和倾斜油缸座、起升链条及货叉	内外门架及各油缸座应无裂纹,货叉位置正确
润滑	各润滑点加注润滑油	各润滑点情况正常

表 12.10.3 一级保养内容

项 目	保 养 内 容	技 术 要 求
门架与货叉架	① 检查、调整起重链 ② 检查货叉、卡铁、货叉架 ③ 检查内外门架及滚轮	① 链片无裂纹、锈蚀及破损现象，两链条松紧一致，锁紧螺母齐全、牢固 ② 货叉、卡铁、货叉架无变形、裂纹及开焊现象 ③ 内门架动作自如，滚轮转动灵活，无阻滞松旷现象
驱动桥及转向桥	检查驱动桥、轮胎；检查转向桥	传动平稳，声音正常；各部件连接可靠，轮胎充足气后无裂纹，胎面无夹石；车轮连接牢固
转向系统	检查调整转向机构	方向机总成转动灵活、可靠、安全牢固，方向盘转角不超标，各纵横接杆无变形裂纹
液压系统	检查液压系统各部件	① 液压泵无异声及渗漏 ② 油质纯正无污物 ③ 多路阀正常工作，安全阀开启良好，回油畅通 ④ 各液压缸管路、接头无渗漏，液压缸动作自如、活塞无拉伤，斑痕
润滑	检查注油嘴，加油	油脂充足，油嘴齐全

三、电瓶叉车常用技术参数 (表 12.10.4)

电瓶叉车常用技术参数见表 12.10.4，电瓶叉车属具见表 12.10.5。

表 12.10.4 国内常见电瓶叉车性能表

型号	CPD0.75*	CPD50.75*	CPD1.0*	CPD51.0*	CPD1.5*	CPD51.5*
技术性能参数						
额定起重量/kg	750	750	1000	1000	1500	1500
载荷中心距/mm	400	400	400	400	500	500
最大起升高度/mm	2500	2500	2500	2500	3000	3000
自由起升高度/mm	150	150	150	150	150	150
门架(货叉)倾角(前/后)	4°/9°	4°/9°	4°/9°	4°/9°	4°/9°	4°/9°
满载最大起升速度/(mm/s)	200/300	200/300	180/300	180/300	210/360	210/360
满载最大运行速度/(km/s)	6	6	8.5	6	10	9
最小转弯半径/mm	1820	1450	1820	1450	3000	1500
最小离地间隙/mm	80	60	80	60	90	90
爬坡能力	8%	8%	8%	8%	10%	12%
轴距/mm	1250	1200	1250	1200	1525	1275
轮距(前/后)/mm	720/650	700/0	720/650	700/0	940/800	950/160
蓄电	电压/V	24	24	24	48	42
池组	容量/(A·h)	330	330	400	400	440
轮胎型号(前/后)	15×4½-8	φ260×90 φ250×125	15×4½-8	φ260×90 φ250×125	18×7-6 15×4½-8	18×7-6 15×4½-8
行走电机/kW	1.35	1.5	1.35	1.5	3.5	3×2只
起升电机/kW	1.5	1.5	1.5	1.5	6	6
转向电机/kW						0.55
叉车质量/kg	1200	1150	1250	1200	2900	3150

续表

型号	CPD2.0*	CPD2.0*	CPD10 [△]	CPD15 [△]	CPD20 [△]	CPD25 [△]	
技术性能参数							
额定起重量/kg	2000	2000	1000	1500	2000	2500	
载荷中心距/mm	500	500	500	500	500	500	
最大起升高度/mm	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
自由起升高度/mm	150	150	305	305	300	300	
门架(货叉)倾角(前/后)	4°/9°	4°/9°	6°/12°	6°/12°	6°/12°	6°/12°	
满载最大起升速度/(mm/s)	210/360	210/360	260/235	260/235	260/235	260/235	
满载最大运行速度/(km/s)	9	9	14	13	13	12	
最小转弯半径/mm	3000	1720	1800	1800	2160	2160	
最小离地间隙/mm	90	90	105	105	105	105	
爬坡能力	10%	12%	20%	20%	15%	12%	
轴距/mm	1525	1525	1250	1250	1550	1550	
轮距(前/后)/mm	960/800	950/160	890/920	890/920	970/970	970/970	
蓄电 电压/V	48	48	48	48	48	48	
池组 容量/(A·h)	400	440	385	400	440(550)	550	
轮胎型号(前/后)	18×7-6 15×4½-8	18×7-6 15×4½-8	6.50-10 500-8	6.50-10 500-8	7.00-12 6.00-9	7.00-12 6.00-9	
行走电机/kW	5	3×2只	5	5	6.3	6.3	
起升电机/kW	6	6	5	6.3	7.5	7.5	
转向电机/kW		0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	
叉车质量/kg	3000	3200	2600	2910	3650(3840)	4100	
型号	E20°	E25°	E30°	E12°	E14°	E15°	E16°
技术性能参数							
额定起重量/kg	2000	2500	3000	1200	1400	1500	1600
载荷中心距/mm	500	500	500	500	500	500	500
最大起升高度/mm	3250(4475)	3350(4475)	3350(4475)	3250(4675)	3250(4675)	3250(4675)	3250(4675)
自由起升高度/mm	150	150	150	150	150	150	150
门架(货叉)倾角(前/后)	5°/7.5°	5°/7.5°	5°/7.5°	5°/8°	5°/8°	5°/8°	5°/8°
满载最大起升速度/(mm/s)	410/580	370/550	350/550	270/480	270/480	250/480	410/620
满载最大运行速度/(km/s)	14	13	13	11	10.7	10.6	13.4
最小转弯半径/mm	1727	1925	1975	1265	1390	1445	1615
最小离地间隙/mm	120	120	120	95	95	95	95
爬坡能力	16%	16%	14%	15.5%	14.1%	13.4%	17%
轴距/mm	1502	1670	1670	1095	1165	1275	1445
轮距(前/后)/mm	890/757	960/850	960(980)/850	910/168	910/168	910/168	910/168
蓄电 电压/V	80	80	80	24	24	24	48
池组 容量/(A·h)	400(480)	500(600)	500(600)	500	700	800	600
轮胎型号(前/后)	21×8-9 16×6-8	23×9-10/20 18×7-8/16	23×9-10 18×7-8	18×7-8 15×4½-8	18×7-8 15×4½-8	18×7-8 15×4½-8	18×7-8 15×4½-8
行走电机/kW	5×2只	6.4×2只	6.4×2只	3×2只	3×2只	3×2只	4×2只
起升电机/kW	13.5	13.5	13.5	5	5	5	9.5
转向电机/kW							
叉车质量/kg	3660(3920)	4385(4640)	4845(5050)	2646	2806	2860	2895

注：“*”符号是无锡电瓶车厂生产。“△”符号是合肥叉车总厂生产。“°”符号是林德-厦门叉车有限公司出品。

表 12.10.5 电瓶叉车属具一览表

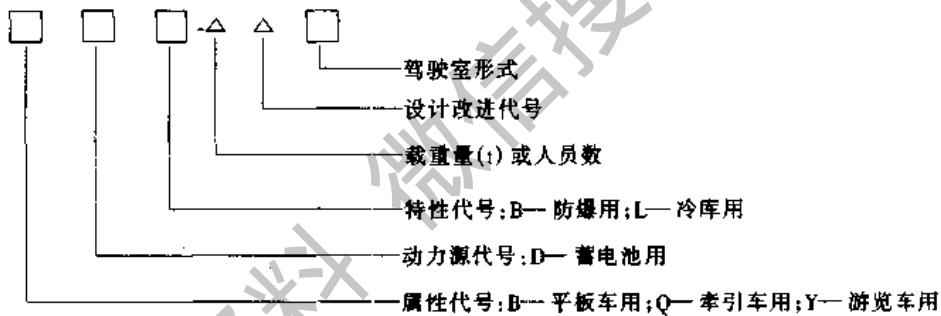
名称	起 重 量/t							用 途
	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	
申杆	○	○	○		○	○	○	申杆固定在货叉上, 主要用于筒形钢板、卷形线材、电缆卷筒的装卸
起重臂	○	○	○	○	○	○	○	焊于货叉架上, 与起重机一样吊取货物
抱夹		○	○	○	○		○	夹持货物, 有侧移、前移、旋转等形式
推出器	○	○	○	○	○		○	能将货叉或托盘上的货物推出, 装卸非常方便
铲斗	○	○	○	○	○	○	○	装卸散粒物质, 能铲出能翻转倒出货物
卫生箱	○	○	○		○		○	

注: ○表示有此类规格的属具。

第二节 电瓶搬运车

一、概述

电瓶搬运车又称电瓶车, 是一种以蓄电池和直流电动机作为动力源的运输车辆。它主要有载人、牵引、运输货物三大功能以及其他延伸功能。其中工业上用来运输货物的蓄电池平台搬运车主要应用在工矿企业、车站和码头; 另外还有蓄电池牵引车应用于车站及机场以及应用于大型工厂、公园乘坐人员的电瓶游览车。蓄电池固定平台搬运车的型号命名方法如下:



其中□代表字母; △代表数字。

[型号举例] BD2-A 表示蓄电池固定平台搬运车, 载重 2t, 无顶篷双座驾驶室。

电瓶搬运车具有结构简单、操作方便、易于控制安全可靠(易于无人驾驶和群控)、噪音低、无污染等优点。

电瓶搬运车由蓄电池及直流牵引电机、传动系统、转向系统、制动系统、车架及悬架组成。

二、电瓶搬运车的选用、使用及维护

电瓶搬运车的分类方法很多, 基本的分类法如下。

(1) 按作业方式分类 有固定平台搬运车; 倾斜平台搬运车(翻斗车); 起升平台搬运车(升高车); 起重车(吊车)等。其中固定平台搬运车可分为普通车和长料型车; 倾斜平台搬运车可分为后倾翻和侧倾翻等; 起升平台搬运车有剪刀叉升高车和液压立柱油缸升高车两种型式; 起重车有机械式(钢丝绳起吊、变幅)及液压式等。

(2) 按驾驶室分类 可分为 A 型(无篷双座); B 型(硬顶双座); C 型(简易软顶双座); D 型(无篷单座)等。

(3) 按车轮型式分类 可分成充气轮胎车轮、实芯弹性宽基轮胎、充气高压宽基轮胎和实芯轮胎车轮四种。不同轮胎适合不同的路面及场所。弹性好的轮胎其负载能力较小, 因此尺寸较大, 对路面的要求亦较低。反之要求就要高一点。

(4) 按功能作用分类 有牵引车、游览车、防爆车、平板车等形式, 其中固定平台搬运车是电瓶搬运车中最普遍, 最常用也是最主要的品种。它的载重量通常在 0.5~3t 范围内, 只在坡度不大的场合中使用。

在使用电瓶搬运车时应注意安全运行的一般规定, 主要包括:

a. 电瓶搬运车的司机必须经劳动部门的驾驶考试合格并取得有效的驾驶证;

b. 出车前应检查蓄电池, 电气开关的快慢档开关、转向操纵杆或方向盘及脚、手制动应灵敏有效, 各照明灯、制动灯、转向灯应正常发光, 喇叭响声正常, 拖挂的拖车制动器应良好, 挂钩连接应牢固;

c. 作业及牵引时应注意电瓶搬运车装载货物高度不得超过 1.7m, 两侧不得超过车体宽度各 200mm, 车辆载重量及牵引力不得超过规定值, 直线牵引时, 一次牵引拖车不得超过 6 辆空车或 3 辆重车。

搬运车在行驶 250h 或一个月要进行一次一级保养, 行驶满 1000h 或工作半年要进行一次二级保养。正常使用的蓄电池的寿命与使用次数可超过 1000 次 (寿命 5 年), 但使用或保养不当, 一年就会使蓄电池报废。一级保养主要是检查、清洁、调节转向系统、制动系统、车轮车壳等及蓄电池、电气线路的连接和绝缘。二级保养主要是在一级保养的基础上检查变速器齿轮、半轴等, 调整齿轮啮合间隙, 补充齿轮油; 清理电动机内部、测量绝缘, 调整或更换换向器及电刷, 加注润滑油; 检修制动器蹄块或抱闸, 调整制动踏板行程; 清洁蓄电池箱, 涂防酸漆。保养后, 应进行试车, 如无异常情况即可交接使用。

三、主要技术参数 (表 12.10.6)

表 12.10.6 常见蓄电池固定平板车性能

参数 \ 型号	BD0.5 [△]	BD1 [*]	BD2A [*]	BD3B [*]	BD4 [*]	BD5 [△]
额定载重量/kg	500	1000	2000	3000	4000	5000
最大运行速度/(km/h)	8	9	12	10	10	11
最小转弯半径/mm	1500	2700	3500	4000	4500	47740
载荷平台尺寸(长×宽)/mm	1000×710	1000×1400	1350×2250	1400×2250	1400×3200	3200×1485
爬坡能力/(%×m)	10×12	10×12	10×12	10×12	10×12	10×12
轮胎规格	4.00~8	5.00~8	7.00~9	7.00~12	7.00~12	7.00~9
蓄电池电压/V	48	24	48	48	48	48
蓄电池型号	6-QA-75	DG250	DG250	DG330	DG400	DG520
自重/kg	600	750	1350	1800	1850	3100

注: “△”为衡阳电瓶车厂生产。“*”为无锡电瓶车厂生产。

第十一章 蓄 电 池

蓄电池是能将所获得的电能以化学能的形式储存并将化学能转变为电能的一种电化学装置。这类电池在放电以后，用充电的方法使活性物质复原，以后能够再放电，并且充电和放电能够反复多次，循环使用。

蓄电池以其独有的特点和性能广泛地应用于工业、交通、电讯、军事、航空、航天等领域。

第一节 蓄电池的结构和工作原理

一、蓄电池的结构

蓄电池的主要组成部分有极板、隔板（膜）、电解液和蓄电池槽（外壳）等。

1. 极板

极板是由活性物质和支撑用的导体（必要时）组成的电极。极板分正极板、负极板两种。

2. 隔板

隔板是放在蓄电池正、负极板之间，允许离子穿过的电绝缘材料构件。它能完全或部分地阻挡活性物质的混合。

隔膜是特殊形式的隔板。

3. 电解液

电解液是含有移动离子并起离子导电作用的液相物质。

4. 蓄电池槽（外壳）

蓄电池槽（外壳）是容纳蓄电池极板（群）和电解液而不受电解液腐蚀的容器。此外，还应具有必要的强度、耐振动、抗冲击和加速度以及耐高、低温能力等。

二、蓄电池的工作原理

1. 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池原理结构及电化学反应如图 12.11.1 所示。

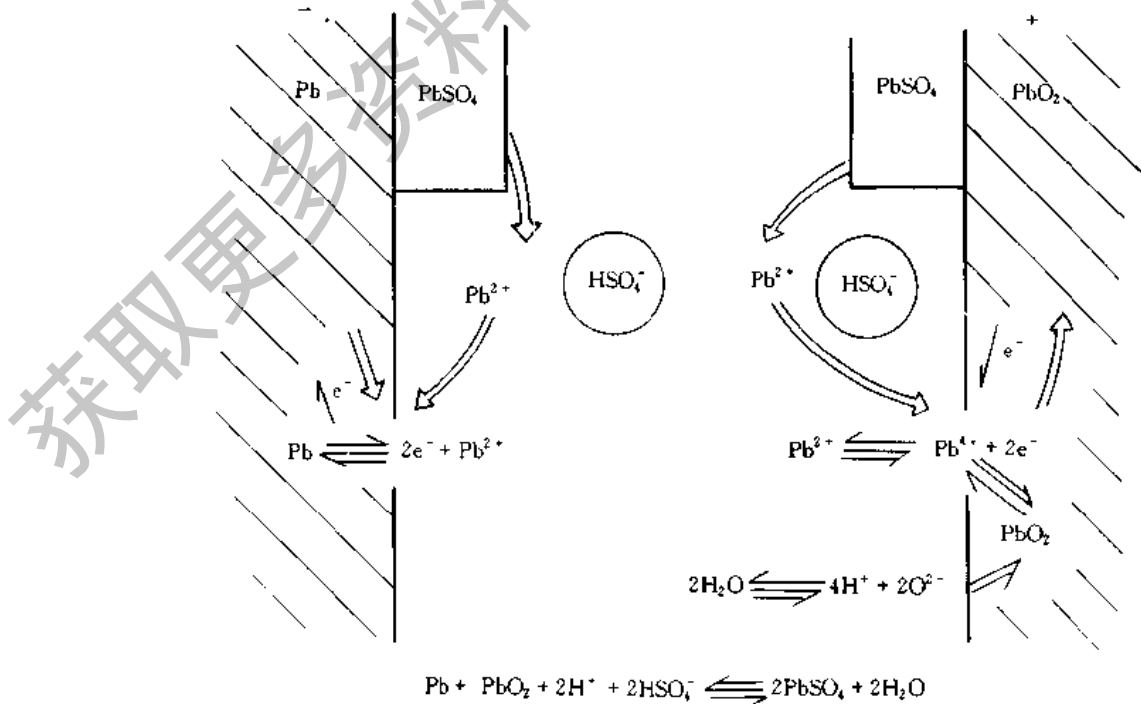
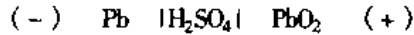
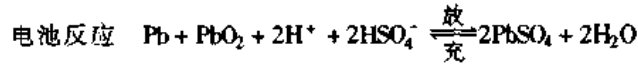
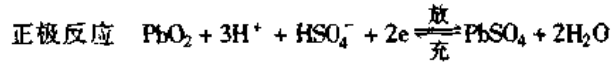
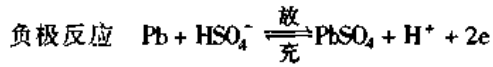


图 12.11.1 铅酸蓄电池原理结构及电化学反应

铅酸蓄电池的正极活性物质是二氧化铅，负极活性物质是海绵状金属铅，电解液是硫酸溶液。在电化学反应中该体系表示为：

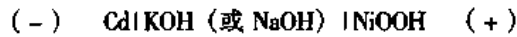


铅酸蓄电池的电极反应和电池反应如下：

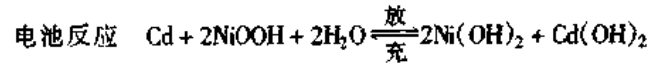
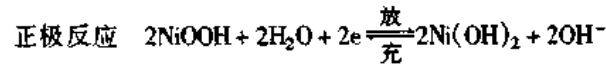
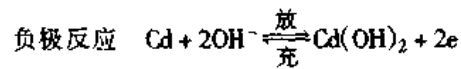


2. 镉镍碱性蓄电池

镉镍碱性蓄电池的负极活性物质是金属镉，正极活性物质是氧化镍，电解液是氢氧化钾或氢氧化钠溶液，电池式为：

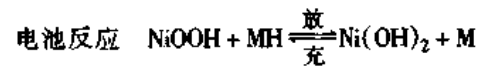
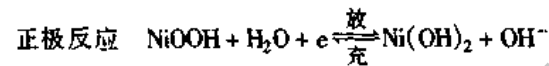
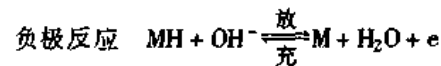


镉镍碱性蓄电池充放电反应如下：



3. 金属氢化物镍碱性蓄电池

金属氢化物镍 (MH-Ni) 碱性蓄电池的反应机理如下：



放电时氢由负极到正极，充电时氢由正极到负极，电解液没有增减现象。

三、蓄电池的分类

蓄电池以电解液的性质不同可分为酸性蓄电池和碱性蓄电池。

1. 酸性蓄电池

酸性蓄电池的电解液是酸性溶液。主要有铅酸蓄电池，其电极由铅制成，电解液是硫酸溶液。

2. 碱性蓄电池

碱性蓄电池的电解液是碱性溶液。主要有镉镍碱性蓄电池、铁镍碱性蓄电池、锌银碱性蓄电池、金属氢化物镍碱性蓄电池等。其电解液是氢氧化钾或氢氧化钠溶液。

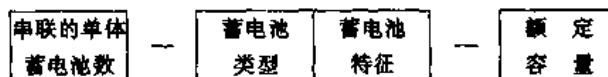
第二节 产品型号的含义

一、铅酸蓄电池产品型号表示

1. 型号表示

产品型号采用汉语拼音的大写字母及阿拉伯数字表示。

型号由三段组成。第一段为串联的单体蓄电池数，第二段为蓄电池类型和特征代号，第三段为额定容量。当需要时，可在额定容量后标志其他代号（允许标志临时代号）。



串联的单体蓄电池数，系指在一只整体蓄电池槽内或一个组装箱内所包括的串联蓄电池数目。当单体蓄电池数目为“1”时，第一段应略去。

额定容量以阿拉伯数字表示，其单位为 A·h，在型号中单位略去。

2. 蓄电池类型

蓄电池类型主要根据其用途划分, 按表 12.11.1 中代号标志。

表 12.11.1 蓄电池类型代号

蓄 电 池 类 型 (主要用途)	代 号	蓄 电 池 类 型 (主要用途)	代 号
起动用	Q	摩托车用	M
固定型	G	航标用	B
(电力) 牵引用	D	船舶用	C
内燃机车用	N	阀控型	F
铁路客车用	T	储能型	E

3. 蓄电池特征 (见表 12.11.2)

表 12.11.2 蓄电池特征代号

蓄 电 池 特 征	代 号	蓄 电 池 特 征	代 号
密封式	M	湿式荷电	H
免维护	W	防酸式	F
干式荷电	A	带液式	Y

二、碱性蓄电池产品型号表示

碱性蓄电池型号, 原则上采用汉语拼音字母与阿拉伯数字相结合的方法表示。

1. 单体蓄电池的型号

主要由系列代号、额定容量数字组成, 必要时, 附加以蓄电池形状、放电倍率的字母代号。

系列代号: 以两电极主要材料汉语拼音的第一个大写字母表示。负极材料代号在左, 正极材料代号在右。

额定容量: 以阿拉伯数字表示, 单位为 A·h。若单位为 mA·h, 则在数字后面加“m”以示区别。

系列名称代号见表 12.11.3。

形状代号: 开口蓄电池形状不标注。密封蓄电池形状代号见表 12.11.4。

放电倍率代号及倍率范围见表 12.11.5。

单体蓄电池型号的构成及排列顺序为:

系列代号 形状代号 放电倍率代号 额定容量

表 12.11.3 碱性蓄电池系列名称代号

系列名称	采用汉字	系列代号	系列名称	采用汉字	系列代号
镉镍系列	镉 镍	G N	镉银系列	镉 银	G Y
铁镍系列	铁 镍	T N	氢镍系列	氢 镍	Q N
锌银系列	锌 银	X Y	氢银系列	氢 银	Q Y
锌镍系列	锌 镍	X N	锌锰系列	锌 锰	X M

表 12.11.4 碱性蓄电池形状代号

形 状	采用汉字	形状代号	说 明
圆柱形	圆	Y	—
扁形	扁	B	高度小于直径 $\frac{2}{3}$ 为扁形 (扣式)
方形	方	F	—

注: 全密封蓄电池在形状代号右下角加脚注。如 Y₁、B₁、F₁。

表 12.11.5 碱性蓄电池放电倍率代号及倍率范围

放电倍率	采用汉字	放电倍率代号	倍率范围	放电倍率	采用汉字	放电倍率代号	倍率范围
低倍率	低	D	低于 0.5 倍率	高倍率	高	G	3.5~7 倍率
中倍率	中	Z	0.5~3.5 倍率	超高倍率	超	C	高于 7 倍率

注: 低倍率蓄电池, 放电倍率代号 D 不标注。

2. 整体蓄电池的型号

由多槽整体壳内组合极板组的个数和一个槽内组合极板组构成的蓄电池型号组成。为与蓄电池组的型号相区别，在个数数字下面加一短横“-”表示。

整体蓄电池型号的构成及排列顺序为：

整体壳内组合极板组个数

一个槽内蓄电池的型号

3. 同系列、同容量而尺寸、结构、壳体材料、充、放电态等不同的单体蓄电池或整体蓄电池的型号按顺序在原型号后加“- (2)”、“- (3)”依次类推。

4. 蓄电池组的型号

由串联单体蓄电池的只数及单体蓄电池型号组成；或由串联整体蓄电池个数、短横“-”和整体蓄电池型号组成。

如出现其他同系列、同容量、串联只数相同而结构、连接形式不同的蓄电池组，按顺序在原型号后加汉语拼音大写字母“A”、“B”，依次类推。

蓄电池组型号的构成及排列顺序为：

串联单体蓄电池只数

单体蓄电池型号

汉语拼音大写字母“A”、“B”等

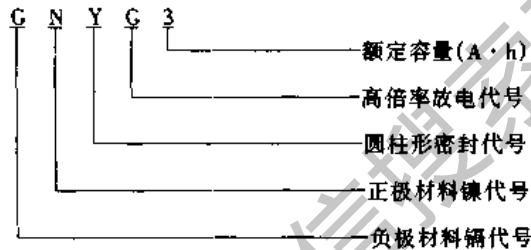
串联单体蓄电池只数

-

整体蓄电池型号

汉语拼音大写字母“A”、“B”等

例 1:

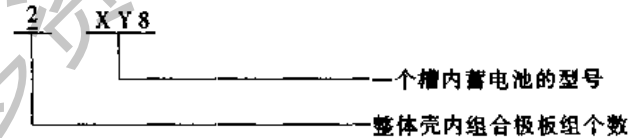


例 2:

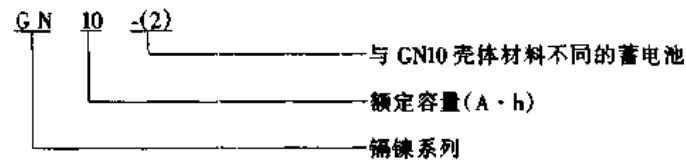


GN Y 40m 为低倍率蓄电池，放电倍率代号 D 不标注。

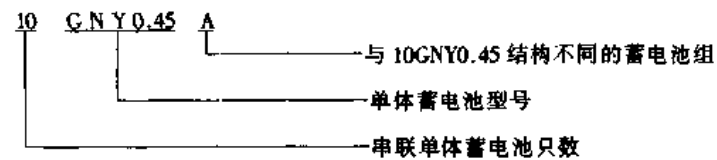
例 3:



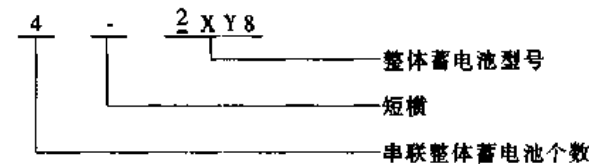
例 4:



例 5:



例 6:



第三节 蓄电池的基本性能及技术参数

一、有关术语、符号、代号

- (1) 单体蓄电池 由电极和电解液组成, 构成蓄电池组的基本单元。
- (2) 蓄电池组 用电气方式连接起来的用作能源的两个或多个单体蓄电池。
- (3) 整体蓄电池 多个极群组装在一个多格蓄电池槽(壳)中的一种蓄电池。
- (4) 排气式蓄电池(又称开口蓄电池) 蓄电池盖上有孔, 可装有排气装置, 允许气体产物逸出的一种蓄电池。
- (5) 密封蓄电池 当蓄电池在规定的的设计范围内工作时保持密封状态, 但当内部压力超过预定值时, 允许气体通过一个可复位或不可复位的压力释放装置逸出。
这种蓄电池可通过内部的部分或全部气体再复合来实现密封。这种蓄电池是免维护的、通常可在任何方位工作, 不用添加电解液。
- (6) 全密封蓄电池 没有压力释放装置的一种密封蓄电池。
- (7) 干式荷电蓄电池 无电解液储存的蓄电池, 其极板是干的, 且处于荷电状态。
- (8) 湿式荷电蓄电池 极板为荷电状态, 带有少量电解液, 而大部分电解液吸入极板和隔板中储存的一种蓄电池。
- (9) 免维护蓄电池 在规定的运行条件下, 使用期间不需要维护的一种蓄电池。对起动用铅酸蓄电池是指不需加水的一种蓄电池。
- (10) 活性物质 当蓄电池放电时通过化学反应产生电能, 而且充电时又恢复为原组分的极板物质。
- (11) 容量 在规定的条件下, 完全充电的蓄电池能够提供的电量。用符号 C 表示, 其单位通常用 $A \cdot h$ 表示。
- (12) 额定容量 在规定的条件下, 蓄电池完全充电后所能提供的由制造厂标明的定时电量。例如: 20h 率额定容量, 用 C_{20} ($A \cdot h$) 表示; 5h 率额定容量, 用 C_5 ($A \cdot h$) 表示。
- (13) 放电率 蓄电池放电时, 用 A 表示的电流。例如: 20h 率放电电流值为 $C_{20}/20$, 用 I_{20} (A) 表示; 5h 率放电电流值为 $C_5/5$, 用 I_5 (A) 表示。
- (14) 终止电压 认为放电终止时的规定电压。
- (15) 充电率 蓄电池充电时用 A 表示的电流。
例如: 20h 率充电电流值为 $C_{20}/20$, 用 I_{20} (A) 表示; 10h 率充电电流值为 $C_{10}/10$, 用 I_{10} (A) 表示。
- (16) 充电系数 是一个系数, 用它乘以放电期间放出的电量来确定再充电的电量。
- (17) 标称电压 用来鉴别蓄电池类型的适当的电压近似值。
- (18) 开路电压 开路时, 蓄电池正负极间的电位差。
- (19) 负载电压 蓄电池输出电流时端子间的电位差。
- (20) 循环 在规定条件下, 放电(充电)继之以充电(放电)的过程。

二、铅酸蓄电池的基本性能及技术参数

常见的铅酸蓄电池有起动用、固定型、牵引用、摩托车用、小型阀控密封式、固定型阀控密封式等类别。

1. 起动用铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 起动用铅酸蓄电池其标称电压有 6V 和 12V 两种。蓄电池由涂膏式正极板和负极板、隔板、蓄电池槽、蓄电池盖、电解液、液孔塞、密封材料(除塑料槽、盖热封外)组成。这类蓄电池主要供各种汽车、拖拉机及其他内燃机的起动、点火和照明用。

(2) 起动用铅酸蓄电池产品标准 起动用铅酸蓄电池产品技术标准为 GB 5008.1~5008.3。起动用铅酸蓄电池产品质量分等标准为 JB/T 56029。

(3) 起动用铅酸蓄电池主要性能技术参数。

- ① 起动用铅酸蓄电池的固定方式见图 12.11.2 至图 12.11.4。
- ② 起动用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.6 至表 12.11.8, 其他有关主要性能技术参数见表 12.11.9。
- ③ 起动用铅酸蓄电池产品质量分等有关规定见表 12.11.10。

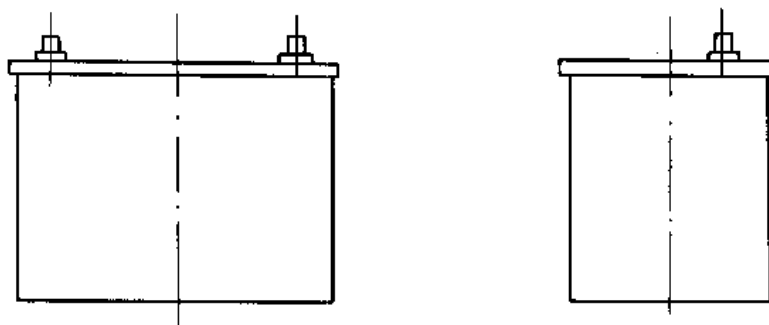


图 12.11.2 蓄电池的固定方式(上固定)

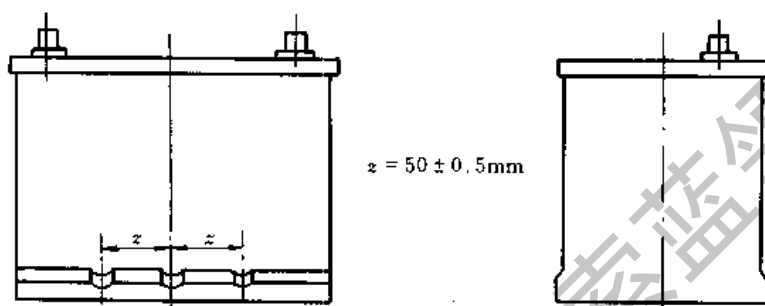


图 12.11.3 蓄电池的固定方式(下固定)

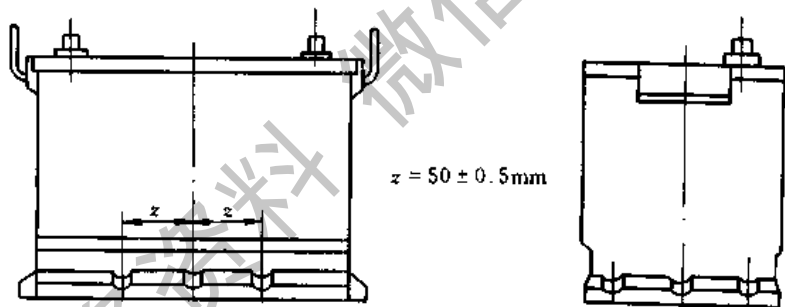


图 12.11.4 蓄电池的固定方式(下固定)

表 12.11.6 起动用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数(橡胶槽上固定式蓄电池)

标称电压 /V	20h 率额定容量 /(A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A	标称电压 /V	20h 率额定容量 /(A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A
6	75	123	300	12	75	123	300
6	90	154	315	12	90	154	315
6	105	187	368	12	105	187	368
6	120	227	420	12	120	227	420
6	135	260	435	12	135	260	435
6	150	300	450	12	150	300	450
6	165	342	495	12	165	342	495
6	180	386	540	12	180	386	540
6	195	432	585	12	195	432	585
12	60	94	240				

表 12.11.7 起动用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数 (塑料槽上固定式蓄电池)

标称电压 /V	20h 率额定容量 / (A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A	标称电压 /V	20h 率额定容量 / (A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A
6	75	123	300	12	80	133	320
6	90	154	315	12	90	154	315
6	105	187	368	12	100	176	350
6	120	227	420	12	105	187	368
6	150	300	450	12	120	227	420
12	30	43	120	12	135	260	405
12	35 (36)	52	144	12	150	300	450
12	40	59	160	12	165	342	495
12	45	67	180	12	180	386	540
12	50	76	200	12	195	432	585
12	60	94	240	12	200	441	600
12	70	113	280	12	210	450	630
12	75	123	300	12	220	460	660

注: 表内小括号内尺寸为带提手的蓄电池。

表 12.11.8 起动用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数 (塑料槽下固定式蓄电池)

标称电压 /V	20h 率额定容量 / (A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A	标称电压 /V	20h 率额定容量 / (A·h)	储备容量 /min	起动电流 I_s /A
12	36	52	144	12	63	100	252
12	45	67	180	12	66	105	264
12	50	76	200	12	88	150	352
12	54	83	216	12	100	176	350
12	55	85	220	12	135	260	405
12	60	94	240	12	165	342	495

表 12.11.9 起动用铅酸蓄电池其他有关主要性能参数

项 目		技 术 要 求 及 指 标
干荷电或 湿荷电起 动能力	一般条件	蓄电池及电解液在 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的条件下, 存放 12h, 然后蓄电池灌酸 20min 后, 以起动电流 I_s 放电
	指 标	生产后 60 天内: 放电 150s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.00\text{V}$, 储存 1 年时: 放电 100s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.00\text{V}$
低温起动能力		蓄电池电解液温度: $(-18 \pm 1)^\circ\text{C}$, 以起动电流 I_s 放电 60s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.40\text{V}$
循环耐久 能力	A 类 (额定 容量 $< 90\text{A}\cdot\text{h}$)	经 A 类电池试验条件 4 个单元后, 进行低温起动放电, 放电 30s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.20\text{V}$
	B 类 (额定 容量 $\geq 90\text{A}\cdot\text{h}$)	经 B 类电池试验条件 3 个单元后, 进行低温起动放电, 放电 60s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.00\text{V}$
荷电保持 能力	搁置时间	一般电池: 21 天, 免维护蓄电池: 49 天
	环境温度	在温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水浴中
	指标	搁置后进行低温起动放电, 放电 30s, 单体蓄电池平均电压 $\geq 1.20\text{V}$
免维护蓄 电池水损耗	环境温度	在温度为 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水浴中
	6V 蓄电池	恒压 $(7.20 \pm 0.02)\text{V}$, 充电 500h, 质量损失 $\leq 3\text{g}/(\text{A}\cdot\text{h})$
	12V 蓄电池	恒压 $(14.40 \pm 0.05)\text{V}$, 充电 500h, 质量损失 $\leq 6\text{g}/(\text{A}\cdot\text{h})$

表 12.11.10 起动用铅酸蓄电池产品质量分等有关规定

质量等级		合格品	一等品	优等品
产品质量指标应达到水平		GB 5008.1 ~ 5008.3 标准的各项要求	国际通用技术标准及国内先进水平	国际先进标准和国外同类产品近期 (5 年) 的国际先进水平
低温启动能力单体蓄电池平均电压值	< 90A·h	≥ 1.40V	≥ 1.42V	≥ 1.46V
	90 ~ 120A·h	≥ 1.40V	≥ 1.44V	≥ 1.48V
	> 120A·h	≥ 1.40V	≥ 1.46V	≥ 1.50V
有关条件		容量优先采用储备容量, 额定容量大于 120A·h 的可采用 20h 率容量考核	B 类电池循环耐久能力至少承受 4 个循环耐久试验单元	产品应是标称电压为 12V 的干式荷电、湿式荷电、免维护蓄电池
耗铅量 / (kg/kV·A·h)		—	≤ 18.00	≤ 17.50
用户意见		认为该产品适用、可靠	认为该产品质量好、好用、用户满意	认为该产品质量优、信得过、用户满意

2. 固定型防酸式铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 蓄电池由管式正极板、涂膏式负极板、隔板、蓄电池槽、蓄电池盖、电解液、防酸栓等组成。蓄电池槽与盖之间应密封, 使蓄电池内产生的气体不得从防酸栓以外排出。这类电池主要适用于开关控制、信号系统、电信装置、计算机、事故照明以及各种直流电源用。

(2) 固定型防酸式铅酸蓄电池产品标准 固定型防酸式铅酸蓄电池产品技术标准 of GB 13337.1 ~ 13337.2。固定型防酸式铅酸蓄电池产品质量分等标准为 JB/T 56030。

(3) 固定型防酸式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数

① 常见固定型防酸式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.11, 其他有关主要性能技术参数见表 12.11.12。

② 固定型防酸式铅酸蓄电池产品质量分等有关规定见表 12.11.13。

表 12.11.11 常见固定型防酸式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数

型 号		GF-100	GF-150	GF-200	GF-300	GF-500	GF-800	GF-1000	GF-1200	GF-1500	GF-2000	GF-2500	GF-3000
标称电压/V		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
额定容量/(A·h)	10h 率	100	150	200	300	500	800	1000	1200	1500	2000	2500	3000
	1h 率	45	67.5	90	135	225	360	450	540	675	900	1125	1350
	0.5h 率	35	52.5	70	105	175	280	350	420	525	700	875	1050
蓄电池间距/mm		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
第 I 系列	规格	124	163	202	168	243	243	243	370	—	480	—	355
		160	160	160	210	210	280	280	285	—	285	—	551
		310	310	310	475	475	652	652	652	—	652	—	652
		370	370	370	545	545	745	745	745	—	745	—	745
参考质量/kg	无电解液	8	12	15	23	36	60	77	95	—	145	—	220
	带电解液	11	15	20	33	49	83	102	127	—	190	—	305
第 II 系列	规格	—	—	147	147	—	193	277	277	399	399	578	578
		—	—	208	208	—	212	212	212	214	214	214	214
		—	—	360	360	—	650	650	650	775	775	775	775
		—	—	444	444	—	730	730	730	850	850	850	850
	参考质量/kg	无电解液	—	—	16	20	—	52	62	71	96	120	155
带电解液		—	—	23	26	—	72	85	92	145	163	205	235

续表

型 号		GF-100	GF-150	GF-200	GF-300	GF-500	GF-800	GF-1000	GF-1200	GF-1500	GF-2000	GF-2500	GF-3000
第Ⅲ系列	规格	143	195	195	—	—	497	497	497	—	288	—	582
		160	160	160	—	—	201	201	201	—	570	—	405
		210	324	324	—	—	464	464	464	—	464	—	662
		279	405	405	—	—	545	545	545	—	545	—	748
参考质量 /kg	无电解液	9	12	15	—	—	58	63	68	—	125	—	230
	带电解液	12	18	20	—	—	92	92	96	—	173	—	327
第Ⅳ系列	规格	135	—	163	163	315	300	300	300	300	300	417	417
		146	—	193	193	193	287	287	287	365	365	365	365
		270	—	421	421	421	611	611	611	790	790	790	790
		307	—	478	478	478	705	705	705	843	843	843	843
参考质量 /kg	无电解液	7	—	15	21	36	64	77	93	109	137	179	207
	带电解液	10	—	25	30	54	101	112	126	169	191	260	283

表 12.11.12 固定型防酸式铅酸蓄电池其他有关主要性能技术参数

项 目		技术要求及指标	
容量	C_{10}	首次循环	$\geq 0.90C_{10}$ 单体蓄电池放电终止电压: 1.80V
		第5次循环	$\geq 1.00C_{10}$ 单体蓄电池放电终止电压: 1.80V
	C_1 第7次循环	$\geq 1.00C_1$ 单体蓄电池放电终止电压: 1.75V	
	$C_{0.5}$ 第9次循环	$\geq 1.00C_{0.5}$ 单体蓄电池放电终止电压: 1.65V	
自 放 电		在规定的条件下, 静置 28d 后其容量损失不得超过 5%	
寿命	充放电循环寿命		在规定的条件下试验, 不低于 1000 次
	恒流过充电寿命		在规定的条件下试验, 不低于 360d
	使用寿命		在浮充状态下正常运行, 不低于 10 年

表 12.11.13 固定型防酸式铅酸蓄电池产品质量分等有关规定

质量等级		合格品	一等品	优等品
产品质量指标应达到水平		GB 13337.1、GB/T 13337.2 标准的规定	国际通用技术标准及国内先进水平	国际先进标准和国外同类产品近期 (5 年) 的国际水平
容量	C_{10} 首次循环	$\geq 0.90C_{10}$	$\geq 0.90C_{10}$	$\geq 0.95C_{10}$
	C_1 第7次循环	$\geq 1.00C_1$	$\geq 1.10C_1$	$\geq 1.20C_1$
恒电流过充电寿命/天		≥ 360	≥ 420	≥ 510
自放电 容量损失		$\leq 5\%$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$
耗铅量/(kg/kV·A·h)		—	≤ 29.5	≤ 28.5
用户意见		认为该产品质量可靠耐用, 外观良好	认为该产品质量好, 寿命长, 用户满意	认为该产品质量优, 信得过, 享有声誉

3. 牵引用铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 蓄电池由管式或涂膏式正极板、涂膏式负极板、隔板、蓄电池槽、蓄电池盖、电解液、液孔塞、密封材料 (除塑料槽盖热封外) 等组成。这类电池主要适用于电动车辆电源, 尤其作电力牵引车辆或物料搬运设备电源使用。

(2) 牵引用铅酸蓄电池产品标准 牵引用铅酸蓄电池产品技术标准为 GB 7403.1 ~ 7403.2 及 JB/DQ 7208。牵引用铅酸蓄电池产品质量分等标准为 JB/DQ 7316.3。

(3) 牵引用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数

① 常见牵引用铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.14。

② 牵引用铅酸蓄电池产品质量分等有关规定见表 12.11.15。

表 12.11.14 常见牵引用铅酸蓄电池规格尺寸及主要性能参数

序号	蓄电池型号	标称电压 /V	5h 率 额定容量 / (A·h)	参考质量/kg	
				无电解液	带电解液
1	D-160	2	160	12	14.8
2	D-250	2	250	17	22
3	D-290	2	290	19	23
4	D-370	2	370	26	32
5	D-400	2	400	28	36.5
6	D-520	2	520	30	39
7	D-560	2	560	32	40.5
8	D-240	2	240	14	19
9	D-330	2	330	15	19
10	D-380	2	380	19	25
11	D-395	2	395	23	34
12	D-440	2	440	23	30
13	D-460	2	460	27	35
14	D-515	2	515	26.4	34
15	D-520	2	520	26	33
16	D-550	2	550	28	37
17	D-695	2	695	33	42
18	D-730	2	730	33	42

注：序号 1~7 蓄电池槽盖为硬质橡胶材质、其他蓄电池槽盖为塑料材质。

表 12.11.15 牵引用铅酸蓄电池产品质量分等有关规定

质量等级	合格品	一等品	优等品
产品质量指标应达到水平	GB 7403.1, GB 7403.2, JB/DQ 7208 标准的规定	国际通用技术标准及国内先进水平	国际先进标准和国外同类产品近期 (5 年) 的国际先进水平
C_5 首次放电	$\geq 0.85 C_5$	$\geq 0.90 C_5$	$\geq 0.95 C_5$
循环耐久能力 \geq	750 次	850 次	1200 次
大电流放电性能放电电流: $5I_5$ 放电时间: 30min 时终止电压不低于	1.50V	1.60V	1.65V
耗铅量/(kg/kV·A·h)	—	≤ 28.0	≤ 27.0
用户意见	认为该产品质量可靠耐用, 用户满意	认为该产品质量好, 寿命长, 用户满意	认为该产品质量优, 信得过, 用户满意

4. 摩托车用铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 蓄电池由电池槽、电池盖、涂膏式正极板和负极板、隔板、电解液、液孔塞、密封材料 (除塑料槽、盖密封外) 组成。这类电池主要适用于摩托车起动、点火、照明用。

(2) 摩托车用铅酸蓄电池产品标准 摩托车用铅酸蓄电池产品技术标准 of JB/T 4282。

(3) 摩托车用铅酸蓄电池规格及主要性能参数 摩托车用铅酸蓄电池规格及主要性能参数见表 12.11.16, 其他有关主要性能参数见表 12.11.17。

表 12.11.16 摩托车用铅酸蓄电池规格及主要性能参数

蓄电池型号	标称电压 /V	10h 率 额定容量 /(A·h)	起动电流 I_s /A	蓄电池型号	标称电压 /V	10h 率 额定容量 /(A·h)	起动电流 I_s /A
3-M-2	6	2	—	6-M-9	12	9	45
3-M-4	6	4	—	6-M-10	12	10	50
3-M-6	6	6	—	6-M-12	12	12	60
3-M-12	6	12	—	6-M-14	12	14	70
3-M-14	6	14	—	6-M-16	12	16	80
3-M-16	6	16	—	6-M-18	12	18	90
6-M-2.5	12	2.5	12.5	6-M-20	12	20	100
6-M-4	12	4	20	6-M-24	12	24	120
6-M-5	12	5	25	6-M-28	12	28	140
6-M-5.5	12	5.5	27.5	6-M-32	12	32	160
6-M-7	12	7	35				

表 12.11.17 摩托车用铅酸蓄电池其他有关主要性能技术参数

项 目		技术要求及指标
干式荷电 性能	一般条件	蓄电池及电解液在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下, 存放 12h 后, 灌酸静置 20min, 然后, 6V 蓄电池进行 10h 率容量放电, 12V 蓄电池则进行起动电流放电
	指标	6V 蓄电池 生产后 60 天内; 不低于 C_{10} 的 75% 储存 0.5 年时; 不低于 C_{10} 的 60%
	12V 蓄电池	生产后 60 天内; 放电 120s, 其单体蓄电池平均电压 $\geq 1.0\text{V}$ 储存 0.5 年时; 放电 90s, 其单体蓄电池平均电压 $\geq 1.0\text{V}$
容量 C_{10}		应在前三次容量试验时达到 C_{10} 的 95%
低温起动能力(12V 蓄电池)		蓄电池电解液温度为 $(-10 \pm 1)^\circ\text{C}$, 以起动电流 $50I_{10}$ (A) 放电, 5s 时: 单体蓄电池平均电压不得低于 1.40V 90s 时: 单体蓄电池平均电压不得低于 1.00V
荷电保持 能力	一般条件	在温度 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的水浴中放置 21 天
	指标	6V 蓄电池 实际容量放置后不低于放置前的 75%
	12V 蓄电池	进行低温起动放电, 60s 时, 单体蓄电池平均电压不低于 1.00V
循环耐久能力		在规定的试验条件下, 不低于 200 次循环

5. 小型阀控密封式铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 蓄电池由正极板、负极板、隔板、蓄电池槽、蓄电盖、电解液、端子、排气阀等组成。该类电池结构最大特点是:

- ① 电解液处于不流动状态, 通过采用吸液式隔板(孔率可达 95%)或胶体电解液来实现;
- ② 负极能吸收正极产生的氧气, 同时抑制负极产生氢气;
- ③ 设置限压排气阀, 排气阀能在压力为 0.98~196.1kPa 范围内可靠地开关。

采取以上措施, 此类蓄电池不仅实现了密封状态, 而且达到了免维护的要求。

该类电池额定容量在 25A·h 以下的小型阀控密封式铅酸蓄电池, 适用于应急照明设备、不间断电源、移动测量设备等直流电源用。

(2) 小型阀控密封式铅酸蓄电池产品标准 小型阀控密封式铅酸蓄电池产品技术标准为 JB/T 6457.1~6457.2。

(3) 小型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数 小型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.18, 其他主要性能技术参数见表 12.11.19。

表 12.11.18 小型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数

蓄电池型号	标称电压 /V	20h 率额定容量 /(A·h)	27min 率放电电流 I_{27} /A	蓄电池型号	标称电压 /V	20h 率额定容量 /(A·h)	27min 率放电电流 I_{27} /A
3-FM-1.0	6	1.0	1.0	3-FM-20	6	20	20
3-FM-1.2	6	1.2	1.2	6-FM-0.7	12	0.7	0.7
3-FM-2.0	6	2.0	2.0	6-FM-1.2	12	1.2	1.2
3-FM-3.0	6	3.0	3.0	6-FM-1.9	12	1.9	1.9
3-FM-3.2	6	3.2	3.2	6-FM-3.0	12	3.0	3.0
3-FM-4.0	6	4.0	4.0	6-FM-3.2	12	3.2	3.2
3-FM-6.0	6	6.0	6.0	6-FM-6.0	12	6.0	6.0
3-FM-7.0	6	7.0	7.0	6-FM-10	12	10	10
3-FM-8.0	6	8.0	8.0	6-FM-15	12	15	15
3-FM-10	6	10	10	6-FM-24	12	24	24

表 12.11.19 小型阀控密封式铅酸蓄电池其他主要性能技术参数

项 目	技 术 要 求 及 指 标	
20h 率容量	在前三次循环内, 不低于 $0.95C_{20}$ 单体蓄电池平均放电终止电压: 1.75V	
27min 率容量	放电持续时间不应低于 27min 单体蓄电池平均放电终止电压: 1.60V	
过放电	按规定条件试验时, 实际容量应不低于 $0.75C_{20}$	
过充电	按规定条件试验时, 实际容量应不低于 $0.95C_{20}$	
密封反应效率	按规定条件试验时, 密封反应效率应不低于 90%	
自放电	在温度为 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境中静置 6 个月, 容量损失不得超过 40%	
寿命	充放电循环寿命	按规定条件试验时, 不得低于 200 次
	涓流充电寿命	按规定条件试验时, 不得低于 1 年

6. 固定型阀控密封式铅酸蓄电池

(1) 一般结构及用途 蓄电池由正极板、负极板、隔板、蓄电池槽、蓄电池盖、电解液、端子、排气阀等组成。该类蓄电池结构原理与小型阀控密封式铅酸蓄电池基本相同, 其额定容量在 $30\text{A}\cdot\text{h}$ 以上。适用于电讯、电气设备、应急电源等直流电源用。

(2) 固定型阀控密封式铅酸蓄电池产品标准 固定型阀控密封式铅酸蓄电池产品技术标准 JB/T 8451。

(3) 固定型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数 固定型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.20, 其他主要性能技术参数见表 12.11.21。

表 12.11.20 固定型阀控密封式铅酸蓄电池规格及主要性能技术参数

蓄电池型号	标称电压/V	额定容量/(A·h)	
		10h 率	1h 率
6-GFM-30	12	30	18
6-GFM-40		40	24
6-GFM-50		50	30
3-GFM-60	6	60	36
3-GFM-80		80	48
3-GFM-100		100	60
GFM-150	2	150	98
GFM-200		200	130
GFM-300		300	195
GFM-500		500	325
GFM-1000		1000	650
GFM-1500		1500	975
GFM-2000		2000	1300
GFM-3000		3000	1950

表 12.11.21 固定型阀控密封式铅酸蓄电池其他主要性能技术参数

项 目		技 术 要 求 及 指 标
容量	10h 率 C_{10}	在前五次循环内, 不低于 $0.95 C_{10}$ 单体蓄电池平均放电终止电压: 1.80V
	1h 率 C_1	在前五次循环内, 不低于 $0.95 C_1$ 单体蓄电池平均放电终止电压: 1.60V
荷电保持能力		在环境温度 (25 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 范围内, 开路保存 90 天 10h 率放电容量不低于 C_{10} 的 80%
密封反应效率		按规定条件试验, 不低于 90%
过充电 寿命	6V、12V 蓄电池	在规定的条件下试验, 不低于 180 天
	2V 蓄电池	在规定的条件下试验, 不低于 240 天

三、碱性蓄电池的基本性能及技术参数

常见的碱性蓄电池有镉镍圆柱密封碱性蓄电池、镉镍碱性蓄电池、铁镍碱性蓄电池、锌银碱性蓄电池、金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池等。

1. 镉镍圆柱密封碱性蓄电池

(1) 一般结构及用途 正极板由烧结基板和氢氧化镍组成, 活性物质高度分散在烧结基板微孔内。负极板分为烧结式和压成式或粘结式。烧结式由烧结基板和氢氧化镉组成, 负极活性物质高度分散在烧结基板微孔内, 压成式由氧化镉、海绵镉加入粘结剂压制而成。电解液为密度 $1.25 \sim 1.28\text{g}/\text{cm}^3$ 的氢氧化钾水溶液并加入 $15\text{g}/\text{L}$ 氢氧化锂。蓄电池外壳为镀镍钢板, 每个蓄电池装有安全阀, 能防止蓄电池内部因气压过高而产生的危害。

镉镍圆柱密封碱性蓄电池具有放电电压平稳, 适应环境温度广 ($-40 \sim +50^{\circ}\text{C}$)、携带方便, 可以在任何方向、装置工作都不漏电解液, 可靠性高, 低温性能优越, 使用寿命长等特点, 广泛应用于通讯、电子计算机、小功率电子仪器及变电站、配电所等领域。该系列部分蓄电池的外形尺寸与干电池相同, 可以互换使用。

(2) 镉镍圆柱密封碱性蓄电池规格及主要性能技术参数 镉镍圆柱密封碱性蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.22, 其他主要性能技术参数见表 12.11.23。

表 12.11.22 常见镉镍圆柱密封碱性蓄电池规格及主要性能技术参数

蓄 电 池 型 号	标称电压 /V	5h 率额定容量 /(A·h)	最大质量 /g	蓄 电 池 型 号	标称电压 /V	5h 率额定容量 /(A·h)	最大质量 /g	
GNY0.15	1.2	0.15	11	GNY4	1.2	4	160	
GNY0.2		0.2	14	GNY5		5	230	
GNY0.25		0.25	16	GNY6		6	300	
GNY0.35		0.35	20	GNY7		7	280	
GNY0.45		0.45	30	GNY10	12	10	400	
GNY0.5		0.5	26	10GNY0.25		0.25	160	
GNY0.6		0.6	26	8GNY0.5		9.6	0.5	210
GNY0.8		0.8	35	12GNY0.8		14.4	0.8	610
GNY1.0		1.0	47	6GNY1.2		7.2	1.2	300
GNY1.2		1.2	55	10GNY2		12	2	350
GNY1.5		1.5	75	20GNY3		24	3	3000
GNY2.0		2.0	90	10GNY5		12	5	2310
GNY3		3	160	20GNY6		24	6	5000

表 12.11.23 镉镍圆柱密封碱性蓄电池其他主要性能技术参数

项 目		技 术 要 求 及 指 标				
放电性能	条件	放电条件		最低放电时间		
		放电电流/A	终止电压/V	G	Z	D
	20℃	0.2C ₅	1.0	4h45min	4h45min	4h45min
		1C ₅	1.0	48min	42min	—
		5C ₅	0.8	6min	—	—
	-18℃	0.2C ₅	1.0	3h	3h	2h
1C ₅		0.9	30min	15min	—	
2C ₅		0.8	9min	—	—	
荷电保持能力	蓄电池充电态,在规定的条件下搁置 28 天后,以 0.2C ₅ (A)电流放电,放电时间不少于 3h15min					
过充电	蓄电池以 0.1C ₅ (A)电流充电 28 天后,以 0.2C ₅ (A)电流放电,放电时间不少于 4h45min					
安全阀工作能力	蓄电池以 0.2C ₅ (A)电流放电到终止电压 0V 后,再以 1C ₅ (A)电流强行过放电 30min 后,蓄电池不得破裂或爆炸,但允许漏液和变形					
寿命	循环寿命	在规定的试验条件下,循环寿命不少于 400 次,试验期间不漏电解液				
	备用态寿命	在规定的试验条件下,连续循环 4 次,最后一次循环以 0.2C ₅ (A)电流放电,放电时间不得少于 3h				
储 存	在规定的试验条件下,储存 1.5 天后,其放电性能符合 20℃ 放电性能技术要求					
机械性能	蓄电池充电后按下述条件进行碰撞试验,试验以后以 0.2C ₅ (A)电流放电,放电时间不少于 4h45min 最大加速度:98m/s ² ;相应脉冲时间:16ms; 相应速度变化:1m/s;碰撞次数:(1000±10)次					

2. 镉镍碱性蓄电池

(1) 一般结构及用途 镉镍碱性蓄电池外壳用优质钢板或具有一定机械强度的耐酸、耐碱、耐老化、绝缘性能好的塑料制成。钢外壳及蓄电池外部的所有金属零件均应镀镍。极柱、螺母、金属垫圈均应涂上一层凡士林油。注液口拧上气塞或盖上气塞阀后,能排出蓄电池内部产生的气体,蓄电池倒置 15min 或倾斜 30°,1min 没有电解液流出。

镉镍碱性蓄电池具有内阻小,能高倍率放电,低温放电性能好,使用寿命长,工作时不产生腐蚀性气体等特点,广泛应用于电器、电讯、照明、不停电设备等领域。

(2) 镉镍碱性蓄电池规格、尺寸及主要性能技术参数

- ① 镉镍碱性蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.24 和表 12.11.25。
- ② 镉镍碱性蓄电池组规格、尺寸及主要性能技术参数见表 12.11.26 和表 12.11.27。
- ③ 镉镍碱性蓄电池其他主要性能技术参数见表 12.11.28。

表 12.11.24 镉镍碱性蓄电池(铁壳)规格及主要性能技术参数

蓄电池型号	标称电压 /V	5h 率 额定容量 (A·h)	最大质量/kg		蓄电池型号	标称电压 /V	5h 率 额定容量 (A·h)	最大质量/kg	
			不带 电解液	带电 电解液				不带 电解液	带电 电解液
GN22	1.2V	22	1.38	1.78	GN350	1.2V	350	21.60	27.00
GN45		45	2.22	2.78	GN400		400	22.00	28.00
GN60		60	3.77	4.69	GN500		500	23.40	30.60
GN80		80	4.50	5.55	GN600		600	36.80	50.00
GN100		100	5.20	6.63	GN800		800	45.00	63.00
GN250		250	14.80	18.40	GN1000		1000	51.40	73.00
GN300		300	18.00	24.00					

表 12.11.25 镉镍碱性蓄电池（塑料壳）规格及主要性能技术参数

蓄电池型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg		蓄电池型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg	
			不带 电解液	带电 电解液				不带 电解液	带电 电解液
GN10	1.2	10	0.52	0.66	GN500	1.2	500	28.00	39.00
GN25		25	1.80	2.30	GN600		600	36.50	50.00
GN50		50	2.50	3.20	GN800		800	45.00	63.00
GN75		75	4.10	5.30	GN1000		1000	51.00	73.00
GN100		100	5.50	7.50	GNZ100		100	7.50	10.00
GN250		250	16.00	20.20	GNZ150		150	10.00	13.60
GN300		300	18.00	23.00	GNZ300		300	17.00	23.00
GN350		350	18.50	23.50	GNZ500		500	28.00	39.00

注：容量 100A·h 以下公差为 $\pm 3\text{mm}$ ，容量 100A·h 及 100A·h 以上公差为 $\pm 5\text{mm}$ 。

表 12.11.26 常见镉镍碱性蓄电池组（木框）规格及主要性能技术参数

蓄电池组型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg		蓄电池组型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg	
			不带 电解液	带电 电解液				不带 电解液	带电 电解液
2GN22	2.4	22	3.5	4.2	4GN60	4.8	60	20.3	24.0
5GN22	6.0	22	9.0	11.0	5GNH60	6.0	60	25.6	30.0
10GNH22	12	22	18.2	21.4	10GNH60	12	60	46.4	57.6
20GN22	24	22	34.0	40.5	4GN100	4.8	100	27.5	33.7
3GN45	3.6	45	9.5	11.7	5GNH100	6.0	100	32.4	39.8
5GNH45	6.0	45	15.1	17.9	10GNH100	12	100	62.3	77.0
10GNH45	12	45	29.1	34.7					

表 12.11.27 镉镍碱性蓄电池组（铁框）规格、尺寸及主要性能技术参数

蓄电池组型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg		蓄电池组型号	标称电压 /V	5h率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg	
			不带 电解液	带电 电解液				不带 电解液	带电 电解液
2GNK10	2.4	10	1.04	1.32	4GN45	4.8	45	11.80	14.00
4GNK10	4.8	10	2.55	3.12	5GN45	6.0	45	14.80	17.50
5GNK10	6.0	10	3.09	3.81	5GNH50	6.0	50	13.90	18.00
6GNK10	7.2	10	3.66	4.52	5GN80	6.0	80	27.00	42.50
10GN22	12	22	17.60	20.90	5GN100	6.0	100	32.10	39.30

表 12.11.28 镉镍碱性蓄电池其他主要性能技术参数

项 目		技 术 要 求 及 指 标					
条 件	放电条件		最少放电时间				
	电流/A	终止电压/V	D	Z	G	C	
放电性能	20℃	0.2C ₅	1.0	5h	5h	5h	5h
		1C ₅	1.0	—	40min	50min	55min
		5C ₅	0.8	—	—	4min	7min
		10C ₅	0.8	—	—	—	2min
-18℃	—	0.2C ₅	1.0	2h30min	3h	3h30min	4h
		1C ₅	0.9	—	15min	25min	35min
		2C ₅	0.9	—	—	7min30s	12min
		5C ₅	0.8	—	—	—	3min30s

项 目		技 术 要 求 及 指 标
荷电保持能力		蓄电池充电态,在规定的条件下搁置 28 天后,以 $0.2C_5(A)$ 电流放电,放电时间不少于 4h
恒压充电接受能力		在规定的试验条件下,蓄电池按充电电压: G 型: $(1.425 \pm 0.005)V$; G 型: $(1.455 \pm 0.005)V$, 进行恒压充电 8h [充电电流不超过 $0.2C_5(A)$], 充电后搁置 1~4h, 然后以 $0.2C_5(A)$ 电流进行放电, 放电时间不少于 3h30min
循环寿命		在规定的试验条件下,充放循环不少于 550 次
保存期		在规定的试验条件下,保存 18 个月,其放电性能符合 20℃ 放电性能技术要求
蓄电池组	20℃ 放电性能	放电电流: $0.2C_5(A)$, 终止电压: 1.0V, 环境温度: $(20 \pm 5)^\circ C$, 放电时间: 不少于 4h45min
	机械强度	在频率为 74 次/min, 振幅为 2.5mm 下振动 1h, 不应有机械损伤, 其放电符合蓄电池组 20℃ 放电性能技术要求

3. 铁镍碱性蓄电池

(1) 一般结构及用途 铁镍蓄电池正极活性物质是氢氧化亚镍加氢氧化钡和石墨粉而组成。负极活性物质是四氧化三铁添加硫酸镍而组成。电解液为氢氧化钾或氢氧化钠溶液。外壳为钢质或塑料, 具有较高的机械强度。蓄电池注液口拧紧气塞或盖上气塞阀时, 能排出内部产生的气体, 防止外部空气和杂质进入, 并能保证拧紧气塞倒置 15min 或盖上气塞阀倾斜 30° 不流出电解液。

铁镍碱性蓄电池具有结构坚固、容量大、维护简便、寿命长、腐蚀性小、价格较低等特点, 广泛应用于大容量设备启动、电机车牵引、照明等方面。

(2) 铁镍碱性蓄电池规格及主要性能参数 铁镍碱性蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.29, 其他有关主要性能技术参数见表 12.11.30。

表 12.11.29 铁镍碱性蓄电池规格及主要性能技术参数

型 号	标称电压 /V	5h 率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg		型 号	标称电压 /V	5h 率 额定容量 /(A·h)	最大质量/kg	
			不带 电解液	带电 电解液				不带 电解液	带电 电解液
TN250	1.2	250	16.8	18.4	TN350	1.2	350	22.6	27.6
TN300	1.2	300	17.1	21.0	TN500	1.2	500	25.5	30.6

表 12.11.30 铁镍碱性蓄电池其他有关主要性能技术参数

项 目	技 术 要 求 及 指 标				
20℃ 放电性能	放电条件		最低放电时间		
	放电电流/A	终止电压/V	G	Z	D
	$0.2C_5$	1.0	4h45min	4h45min	4h45min
	$1C_5$	0.9	50min	40min	—
	$2C_5$	—	—	10min	—
机械强度	在频率 940 次/min, 振幅 2.5mm 下, 振动 1h, 不应有机械损伤, 其放电时间符合 20℃ 放电性能技术要求				
	在规定的试验条件下, 不低于 550 次循环				
保存期	在规定的条件下保存 4 年				

4. 锌银碱性蓄电池

(1) 一般结构及用途 锌银碱性蓄电池由正、负极板包膜叠组成的极板组(群), 塑料壳体及盖子、镀银优质钢板柱和氢氧化钾电解液组成。干式荷电状态的蓄电池正极是氧化银, 负极是锌。干式放电状态的蓄电池正极是银, 负极是锌和氧化锌的混和物。蓄电池外壳为透明或半透明塑料, 能观察到蓄电池内部的电解液面, 并有液面线标记。蓄电池的注液口用气塞拧紧后能排出气体, 蓄电池倒置 15min 不流出电解液。干态蓄电池在

内外压差 0.1~0.15MPa 不漏气。

锌银碱性蓄电池具有放电压平稳, 比能量高, 比功率大, 自放电小, 有良好的储存性能, 广泛地应用于携带式通讯、照明、仪器设备及航空、航天事业等领域。

(2) 锌银碱性蓄电池规格、尺寸及主要性能技术参数 常见锌银碱性蓄电池规格及主要性能技术参数见表 12.11.31, 其他有关主要性能技术参数见表 12.11.32。

表 12.11.31 常见锌银碱性蓄电池规格、尺寸及主要性能技术参数

蓄电池型号	平稳电压 /V	5h 率 额定容量 (A·h)	放 电		储存期 月		使用温度 范围 /°C	最大质量 /kg		循环 寿命 /次		
			电流 /A	终止 电压 /V	有电 解液	无电 解液		有电 解液	无电 解液			
XYG1	1.5	1	0.25	1.3	12	36	-20 ~ +50	0.035	0.03	大于 100		
XYG1.5		1.5	0.38					0.038	0.031			
XYG2		2	0.5					0.064	0.052			
XYG3		3	0.75				-50 ~ +50	0.072	0.061			
XYG5		5	1.0					0.115	0.104			
XYG7		7	1.75					0.137	0.111			
XYG10			10				2.5	-20 ~ +50	0.245		0.205	大于 70
XYG15			15				3.75		0.34		0.27	
XYG20		1.49	20				5.0		0.36		0.3	
XYG25	1.5	25	5.0	1.3	12	36	-20 ~ +50	0.4	0.33	大于 70		
XYG45		45	7.0					0.8	0.65			
XYG180	1.49	180	36	1.4	6			2.4	1.68	大于 30		
XYG200		200	40	1.3				3.5	2.7			
XY350	1.5	350	70	1.38	12	36	+5 ~ +35	3.62	2.7	大于 100		
XY500		500	100					5.46	4.09			
XY600		600	120				5.85	4.4				
XY1000		1000	200				6.66	5.75				
2XYG2	3	2	6	2.8	12	36	+5 ~ +35	0.1	0.08	大于 100		
2XYZ4		4	12					0.224	0.174			
2XYZ5		5	15					0.258	0.205			
2XY8		8	1.6				2.6	12	-20 ~ +50		0.38	0.30
2XYZ10		10	30				2.8	3	+5 ~ +35		0.47	0.38
12XY25	18	25	30	14.6	3			6.3	5.2	大于 70		
15XYG45	22.5	45	9	20				-20 ~ +50	16.7		14.2	
2XY100	3	100	20	2.6	12	36	+5 ~ +35	3.4	2.7			
2XY200		200	40	2.8				4.72	3.6			
2XY250		250	50					5.8	4.5			

表 12.11.32 锌银碱性蓄电池其他有关主要性能技术参数

项 目	技 术 要 求 及 指 标	
20℃ 放电性能	5h 率	放电电流: 0.2C ₅ (A); 终止电压: 1.25~1.0V, 其放电容量不低于额定容量
	其他倍率	符合规定的指标
低温放电性能	-20℃, 搁置 4h, 然后在 -20℃ 环境中, 按规定的倍率放电, 其放电性能符合规定的指标	
荷电保持能力	在 (20±5)℃ 环境中, 搁置 28 天, 然后在同一环境温度下用 0.2C ₅ (A) 电流放电到终止电压, 其性能达到规定的指标	
机械性能	在规定的试验条件下经振动冲击后, 应无机械损伤。其放电性能符合 20℃ 放电性能技术要求	
循环寿命	在规定的试验条件下, 循环次数达到规定的指标	
保存期 (干态)	在规定的条件下保存 3 年	

5. 金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池

(1) 一般结构及用途 金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池以贮氢合金做负极, 其他结构及规格、尺寸基本与镉镍圆柱密封碱性蓄电池相同。金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池具有比能量高、低温放电性能好、寿命长、放电电压平稳、可快速充电、耐过充电能力强、耐冲击碰撞机械性能好、无镉污染等优异性能。广泛应用于通讯、电子计算机、电子仪器等领域。可与镉镍密封碱性蓄电池互换使用。

(2) 金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池主要性能技术参数 见表 12.11.33。

表 12.11.33 金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池主要性能技术参数

项 目		技 术 要 求 及 指 标			
放电性能	条 件	放电电流 /A	终止电压 /V	最低放电时间	
				标准型	高倍率型
放电性能	20℃	0.2C ₅	1.0	5h	5h
		1C ₅	1.0	48min	54min
		3C ₅	0.9	—	15min
		5C ₅	0.8	—	8min
	-18℃	0.2C ₅	1.0	3h	3h
		1C ₅	0.8	—	25min
荷电保持能力		蓄电池充电态, 在规定的条件下搁置 28d 后, 以 0.2C ₅ (A) 电流放电, 放电时间不少于 3h			
过充电		蓄电池以 0.1C ₅ (A) 电流充电 28d 后, 以 0.2C ₅ (A) 电流放电, 放电时间不少于 5h, 试验过程中电解液不得泄漏			
安全气阀工作能力		蓄电池以 0.2C ₅ (A) 放电到终止电压 0V 后, 再以 1C ₅ (A) 电流强行过放电 30min 后, 蓄电池不得破裂或爆炸, 但允许泄漏和变形			
寿命	循环寿命	在规定的试验条件下, 不少于 510 次, 试验期间不泄漏			
	备用态寿命	在规定的试验条件下, 连续循环 4 次, 最后一次循环以 0.2C ₅ (A) 电流放电, 放电时间不得少于 3h			
储存		在规定的试验条件下, 储存 18 个月后, 其放电性能符合 20℃ 放电性能技术要求			
机械性能		蓄电池充电后按下述条件进行碰撞试验, 试验以后以 0.2C ₅ (A) 电流放电, 放电时间不少于 5h, 蓄电池不得变形及泄漏。最大加速度: 98m/s ² ; 相应脉冲时间: 16ms; 相应速度变化: 1m/s; 碰撞次数: (1000 ± 10) 次			

第四节 蓄电池的使用和维护

一、蓄电池的选用

1. 注意蓄电池的特性与适用范围

选用蓄电池必须注意蓄电池的特性与适用范围。如供各种汽车、拖拉机及其他内燃机的启动、点火和照明的起动用铅酸蓄电池, 它的最大特点是能在短时间 (3~5s) 内放出较大电流 [3~6C (A)]。若将这类电池用作中、深程度持续放电的电力牵引或电动车辆的直流电源, 其使用寿命必然很短。再如在不许有腐蚀气体存在的工作场所, 则应选用密封式蓄电池, 而不能选用开口式蓄电池。

2. 注意容量与放电率的关系

各类蓄电池的额定容量都是指在一定的放电率和有关规定的条件下所能提供的电量。同类别、同型号、同规格、同尺寸的蓄电池, 如放电率不同, 从蓄电池获得的电量也不同。一般说来, 放电电流大时, 要比放电电流小时, 从蓄电池获得的电量少。如固定型防酸式铅酸蓄电池其型号中表达的额定容量是 C₁₀, 指按 10h 率放电电流放电时所能获得的电量。而其 1h 率的额定容量 C₁ 为 C₁₀ 的 45%, 0.5h 率的额定容量仅为 C₁₀ 的 35%。

3. 注意放电深度与寿命的关系

一般说来, 经常放电且放电深度深的蓄电池, 要比经常放电深度浅的蓄电池使用寿命短。蓄电池产品技术标准中规定的寿命指标都是指在一定的放电深度条件下所应达到的指标。如牵引用铅酸蓄电池产品技术标准中规定的循环耐久能力 (寿命) 所应达到的循环次数, 是指每次循环放电深度在 0.75C₅ 的条件下进行的。因此要想蓄电池能有正常的使用寿命, 使用时应控制放电深度。选型时应考虑到需要从蓄电池获得的电量和蓄电池

所能提供的电量之间的放电深度关系。

4. 其他

要注意蓄电池的规格、型号、外形尺寸、端子位置、结构特征、基本性能等与自己的使用条件是否符合。组成蓄电池组的单体蓄电池应具有相同的特性，通常应采用同一型号、同一牌号的产品。选用时还应认真了解其使用时应具备的条件，认真阅读使用维护说明书等有关技术文件。

二、蓄电池的安装注意事项

1. 安装前外观检查

- ① 蓄电池槽盖应密封良好，没有裂纹及损伤。
- ② 蓄电池的极性应正确，端子没有变形或损伤。
- ③ 蓄电池配件应齐全，没有损伤。
- ④ 蓄电池槽、盖如有脏污，应擦拭干净。如属塑料制作的槽、盖及合成树脂粘接或沥青封口的蓄电池，其槽、盖及粘接或封口处不得粘附芳香烃、煤油等有机溶剂。

2. 安装注意事项

- ① 蓄电池安装位置应正确，严格注意电路接线与蓄电池端子极性相符、位置正确。其正极应有明显标记。
- ② 蓄电池接线连接应牢靠，螺栓应紧固，不得有松动现象。接线与端子接触处应保持清洁，可涂抹一薄层凡士林，以防锈、防蚀。
- ③ 蓄电池安装应平稳，而且受力均匀。蓄电池的端子及连接线裸露导电部分不可与金属等导电物碰、接，以免发生短路。
- ④ 蓄电池组、汽车、摩托车等车辆用蓄电池在灌注电解液后进行安装。
- ⑤ 检查液孔塞的透气孔是否畅通。如有密封材料应去除，如有堵塞则应使之通畅，可用铁针将其孔通。

三、蓄电池的充电和放电

1. 铅酸蓄电池的充电和放电

(1) 初充电 新的蓄电池，除干式荷电、湿式荷电、密封带液充电蓄电池外，在投入使用之前进行的首次充电称为初充电。

初充电是一个细致的充电过程。其特点是充电电流较小，充入电量多，充电时间长等。

新的蓄电池灌酸后，一般要静置 2~8h，待电解液温度降到 35℃ 以下时，便可开始进行初充电。其技术参数见表 12.11.34。

表 12.11.34 常见铅酸蓄电池充电技术参数

类别	电流与电量		电池类型				
			起动用	摩托车用	牵引用	固定型	
初充电	电流 /A	分阶段	第一阶段	$1.4I_{20}$	$0.7I_{10}$	$0.5I_5$	$0.8I_{10}$
			第二阶段	$0.7I_{20}$	$0.35I_{10}$	$0.25I_5$	$0.5I_{10}$
		恒流	$1.4I_{20}$	$0.7I_{10}$	—	—	
	充入电量/(A·h)		$3 \sim 5C_{20}$	$3 \sim 5C_{10}$	$4 \sim 6C_5$	$4 \sim 6C_{10}$	
普通充电	电流 /A	分阶段	第一阶段	$2.4I_{20}$	$1.2I_{10}$	—	$1.0I_{10}$
			第二阶段	$1.2I_{20}$	$0.6I_{10}$	$0.7I_5$	$0.5I_{10}$
		恒流	$2.0I_{20}$	$1.0I_{10}$	$0.35I_5$	—	
	充入电量/(A·h)		$1.2 \sim 1.4C_{20}$	$1.2 \sim 1.4C_{10}$	$1.2 \sim 1.5C_5$	$1.2 \sim 1.5C_{10}$	

灌酸后至开始充电之间的间隔时间不可超过 12h，因此在灌酸前应做好初充电的安排和准备工作。

充电过程中，特别是充电开始后的前 24h 内，不可随意中止充电。如遇特殊情况，如电源断电等，应及时设法恢复充电。

初充电及以后的普通充电的过程中，电解液温度不可超过 45℃。如液温过高，可采用在有流动水的水浴中冷却或适当减小充电电流等方法来降低液温。

初充电及以后普通充电终止的判断方法见表 12.11.35。

表 12.11.35 铅酸蓄电池初充电及普通充电终止判断条件

项 目	特 征
电压	单体蓄电池平均电压达 2.6~2.8V, 不再上升, 且保持 3h 以上不变
电解液密度	电解液密度达规定值, 不再上升, 且保持 3h 以上不变
充电电量	充入电量符合或接近产品的技术要求
电流副作用	电解水作用强烈, 正、负极均产生大量气泡, 电解液呈“沸腾”状态

在充电终期, 应调整电解液密度和液面高度达到规定的要求。调整电解液密度应当用密度为 $1.400\text{g}/\text{cm}^3$ 的硫酸溶液和纯水进行。

(2) 普通充电 普通充电是蓄电池使用后的充电。可分为恒流充电、分阶段充电、恒压充电、改进的恒压充电、浮充电等充电方式。

① 恒流充电。在充电过程中, 以恒定电流进行充电。一般采用 10h 率或 20h 率电流进行充电。采用恒流充电的有起动用、摩托车用等种类蓄电池。

② 分阶段充电。在充电过程中, 为更有效地利用电能、提高充电效率和充电效果, 而将电流大小分阶段进行充电。一般开始时用 3~5h 率电流进行充电, 当单体蓄电池平均电压达到 2.4V 时, 将电流降到 10~20h 率电流进行充电。采用此方法的有牵引用铅酸蓄电池等。

③ 恒压充电。以单体蓄电池平均 2.3~2.5V 的恒定电压进行充电。用这种方法充电, 刚开始时, 充电电流大大超过正常电流, 随着充电的继续进行, 蓄电池电势逐渐升高, 则充电电流逐渐减小, 在充电终期达最小值, 且保持不变。

④ 改进的恒压充电。在恒压充电的初期, 限制其最大充电电流, 直至蓄电池电压达到规定的恒定电压值时, 继续以恒定电压对蓄电池进行充电。初期最大电流一般限制为 $0.25\sim 0.40C$ (A)。

⑤ 浮充电。间歇使用的蓄电池或仅在交流电停电时才使用的蓄电池, 如固定型铅酸蓄电池, 其充电方式用浮充式。以单体蓄电池平均 2.15~2.2V 的恒定充电电压, 以微小的充电电流进行充电。充电电流能补偿自放电的损失, 保持蓄电池为完全充电状态。

(3) 补充充电 适用于存放时间较长, 干荷电性能较差的干式荷电蓄电池及加酸充足电后, 停用 1 个月左右时间的蓄电池。

补充充电电流为 $0.1C$ (A), 补充充电时间为 3~5h 或根据蓄电池存放时间确定充电时间。

(4) 均衡充电 针对蓄电池在使用中因充电不足而产生的危害。目的是为了均匀平衡各单体蓄电池的性能。一般每隔 3 个月或半年进行一次均衡充电。方法是先用普通充电的方法将蓄电池充足电, 然后用初充电的第二阶段电流充电。当蓄电池冒出均匀气泡、温度上升时, 停止充电 1h, 如此重复 3~4 次或更多次数, 直至一通电每个单体蓄电池都能很快产生大量气泡, 并且蓄电池电压、电解液密度不再上升, 保持不变为止。

(5) 快速充电 是采取去极化措施而使大电流充电成为可能的脉冲充电方法。其特点是充电电流大, 可达 $1\sim 2C$ (A), 充电时间短。

快速充电在专用的快速充电机上进行。

(6) 铅酸蓄电池的放电

① 应按技术条件规定的电流值进行放电, 尽量避免使用过大电流放电, 严格防止蓄电池的过放电。

② 要认真检测和记录蓄电池放电时的电压、电解液密度和电解液温度。

③ 完全充电状态蓄电池的电解液密度和液面高度必须符合技术条件的规定。放电时, 电解液密度逐渐下降, 可根据电解液密度下降的幅度和蓄电池的端电压来判断放电程度。一般情况下, 蓄电池的放电深度不宜超过额定容量的 75%。

④ 蓄电池组放电时, 应注意检查是否有“落后”单体蓄电池存在, 即单体蓄电池放电电压下降比其他蓄电池快, 放出电量明显比其他单体蓄电池少的单体蓄电池。要防止“落后”单体蓄电池过放电, 特别防止出现端电压“反向”现象。对“落后”单体蓄电池, 应检查原因, 下次充电时应进行过量充电或排除存在的故障。

⑤ 蓄电池放电后应及时充电, 一般不要超过 12h。

2. 碱性蓄电池的充电和放电

(1) 碱性蓄电池的充电

① 密封碱性蓄电池为带液放电态出厂，在投入使用前应进行充电。新的或经倒液后贮存的开口蓄电池，在使用前也应进行充电。新的或经倒液后贮存的开口蓄电池，在充电前先灌入电解液，灌液量应按其液面高出极板 5~12mm 来控制。灌液后静置 2h，再用同样密度的电解液调整电解液液面高度。然后即可进行充电。

使用前准备的充电可分两阶段进行，第一阶段充电电流按 $0.25C_5$ (A) 充电 6 小时，然后转入第二阶段充电，其充电电流为 $0.125C_5$ (A)，再充电 6h，接着按 $0.2C_5$ (A) 的放电电流放电到终止电压 1.0V。用这种方法进行 2~3 次循环后，蓄电池即可使用。

② 蓄电池在使用期间的充电为普通充电，其充电量不应少于额定容量的 150%。其充电技术条件参见表 12.11.36。

③ 锌银碱性蓄电池通常采用 $0.1C_5$ (A) 电流进行充电。快速充电也只能用 $0.125C_5$ (A) 电流充电，不允许过充电，当蓄电池充电电压达到 2.05V 时，必须停止。

④ 镉镍圆柱密封碱性蓄电池组充电时，其单体蓄电池平均电压不能超过 1.6V。其浮充充电电压控制为单体蓄电池平均电压在 (1.38 ± 0.02) V 范围内。

表 12.11.36 常见碱性蓄电池普通充电技术参数

蓄电池类别	充电电流 C_5/A	充电时间/h	备注
镉镍碱性蓄电池	0.2	8	—
铁镍碱性蓄电池	0.25	8	--
镉镍圆柱密封碱性蓄电池	0.1	16	尽量避免在环境温度超过 30℃ 的条件下充电
金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池	0.4	3.5	

注：正常充电环境温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，充电技术条件也可根据制造厂规定的条件进行。

(2) 碱性蓄电池的放电

① 碱性蓄电池为 5h 率额定容量 (C_5)，其放电电流为 $0.2C_5$ (A)，终止电压为 1.0V。根据具体产品的技术条件可采用不同倍率电流进行放电。

② 铁镍碱性蓄电池低温性能较差，最好在环境温度 0°C 以上使用。铁镍碱性蓄电池只适合中低倍率放电，使用时注意按照技术条件规定的电流放电，不要超出太大。

③ 金属氢化物镍碱性蓄电池、镉镍碱性蓄电池、锌银碱性蓄电池等低温放电性能好。金属氢化物镍圆柱密封碱性蓄电池和镉镍圆柱密封碱性蓄电池在 -40°C 环境温度下可放出额定容量的 50% 左右，在 -20°C 环境温度下可放出额定容量的 70% 左右。

④ 锌银碱性蓄电池应按规定的技术条件使用。不允许过放电。其他碱性蓄电池也不要过放电。

四、蓄电池的日常维护及故障排除

1. 铅酸蓄电池的日常维护及故障排除

① 蓄电池外表必须保持清洁，及时擦净电解液液迹和灰尘，不可使杂质落入蓄电池内。

② 蓄电池端子及连接导线的接触部位必须保持清洁，并涂抹薄层凡士林以防止锈蚀。电路必须确保极性正确和连接紧固可靠。

③ 经常检查液孔塞或密封盖的透气孔，并使之保持畅通。

④ 按符合所选用蓄电池型号规格的电流值进行放电，避免经常使用过大电流放电，禁止过放电，即放电时蓄电池端电压不能低于规定的终止电压。

⑤ 放电后应及时充电，充电电流应按技术条件的规定进行。充电必须要充足电方可终止。使用中的蓄电池应当定期进行均衡充电。

⑥ 非维护蓄电池应注意及时用纯水调整电解液液面高度，不能低于最低液位线，更不能让极板和隔板露出液面。使用时还必须经常检查电解液密度，如不在规定范围，应及时用纯水或密度为 $1.40\text{g}/\text{cm}^3$ 的硫酸溶液调整。调整电解液密度应在充电终期进行。

⑦ 使用时，蓄电池电解液温度不可超过 45°C 。

⑧ 已使用的蓄电池如需长期搁置，必须充足电，并把蓄电池外部擦拭干净方可搁置。搁置期间，应每月进行一次补充充电。搁置地点应洁净、干燥、通风，远离热源和避免阳光直射。

⑨ 蓄电池常见故障产生原因及排除方法见表 12.11.37。

表 12.11.37 铅酸蓄电池常见故障

故障	现象	产生原因	排除方法
极板硫酸盐化	电池容量低 电解液密度低 放电电压下降快 充电电压上升快 充电时电解液温度上升快, 过早冒气	充电不足 放电后未及时充电 电解液液面低, 极板露出液面 电解液密度高 电解液温度过高 电解液杂质多	以小电流及较稀的电解液进行充电 更换杂质多的电解液
电池短路	充电时电解液密度上升幅度小 在循环中电解液密度不断降低 电解液温度高 充放电时端电压低 完全充电后容量迅速降低	隔板损坏(歪斜、开裂、穿孔) 底部沉淀物过多 负极板边缘及板身处产生树枝状铅 电池中有导电性外物 隔板、极板位置不正确或缺隔板	更换隔板 除去沉淀物 除去树枝状铅 除去外物 调整隔板或极板或补插所缺隔板
电解液量少	隔板、极板露出液面 电池容量低 内阻增大 放电时电压下降快	未及时加水调整液面高度 充电电流过大 温度高 电池槽破裂	经常补充水, 保持液面高度正常 正确采用充电电流 修理或更换电池槽
自放电大	在未使用情况下, 电压及电解液密度迅速下降, 容量损失大	电解液沾污杂质 所用纯水或硫酸不合格 电池表面不洁净	倒掉电解液, 用纯水洗电池, 然后灌入新电解液 擦净电池表面
反极	电池组的总电压降低 容量下降多	充电反向 电池组中有“落后”电池	认清极性, 正确接入充电电源 及时处理“落后”电池
断路	个别电池或电池组无电压, 但其余电池有电压	个别电池上的端子由于短路或放电电流超过最大限度而熔化 端子或接线片因有氧化或腐蚀层而接触不良	焊接已损坏的端子, 不能修复的更换电池 清洁端子和接线片, 端子连接应紧固牢靠
极板损坏	容量下降 电解液混浊	电池经常过充电 经常过放电 电池温度高 电解液密度过高 电解液杂质多	不过充电、不过放电 合理采用充电电流并采用人工冷却 注意控制电解液密度 更换电解液 严重者更换极板或更换电池

2. 碱性蓄电池的日常维护及故障排除

① 蓄电池放电后必须充足电, 经常充电不足将会损坏电池。

② 快速充电仅在特殊情况下采用, 正常情况下不宜采用。

③ 镉镍碱性蓄电池等蓄电池虽具有一定的耐过充电能力, 但在使用时必须按照规定的充放电技术条件进行。

④ 每月按使用前准备的充电方法充电一次。

⑤ 开口碱性蓄电池应经常检查并及时调整电解液液面高度, 调整液面必须用纯水。在使用过程中每年不少于一次更换电解液。

⑥ 当使用的蓄电池转为长期储存时(大于1年), 需用 $0.1C_5(A)$ 的电流放电到终止电压 $1.0V$ 。倒去电解液, 旋紧液孔塞(气塞)。存放地点应干燥、洁净、通风, 室内温度为 $(20 \pm 5)^\circ C$ 。存放后的蓄电池重新启用时, 按使用前准备的充电方法再次充电后, 便可使用。

⑦ 蓄电池的常见故障、产生原因及排除方法参见表 12.11.38。

表 12.11.38 碱性蓄电池的常见故障

故障	产生故障的原因	排除方法
容量下降	氢氧化钾或氢氧化钠电解液长时期工作, 积累了碳酸盐 电解液液面过低, 露出极板 经常充电不足 短路 漏电 电解液中有杂质	更换电解液 检查气塞的正确性及垫片的气密性 调整液面高度到正常液位 进行一次或多次大电流充电 去掉电池间的脏物 去掉灰尘、污垢并把绝缘物放好
自放电大	短路 漏电 电解液中有杂质	检查并清洁蓄电池 校正绝缘 更换电解液
蓄电池组没有电压	电池组内电池间连接线(板)没有接好 有个别电池缺少电解液或端子(极柱)损坏	连接好接线片(板), 使之清洁, 接触良好, 并紧固牢靠 加注电解液, 修复端子(极柱)或更换电池
很快产生沿容器上爬的结晶	凡士林涂得不好 电解液液面过高或电解液密度过高, 电极端子(极柱)垫片松 电池盖密封不好	重涂凡士林 校正电解液密度及液面, 压紧端子(极柱) 对电池进行密封修理
当低温时蓄电池不工作、电解液结冰	电解液密度太低 电解液中碳酸钾太多	使电解液密度符合低温工作要求 更换电解液
蓄电池起泡沫	电解液中存在有机杂质	更换电解液

第五节 蓄电池充电设备

一、蓄电池充电设备型号编制方法

半导体电力变流器型号编制方法(标准 JB 1505—75 规定):

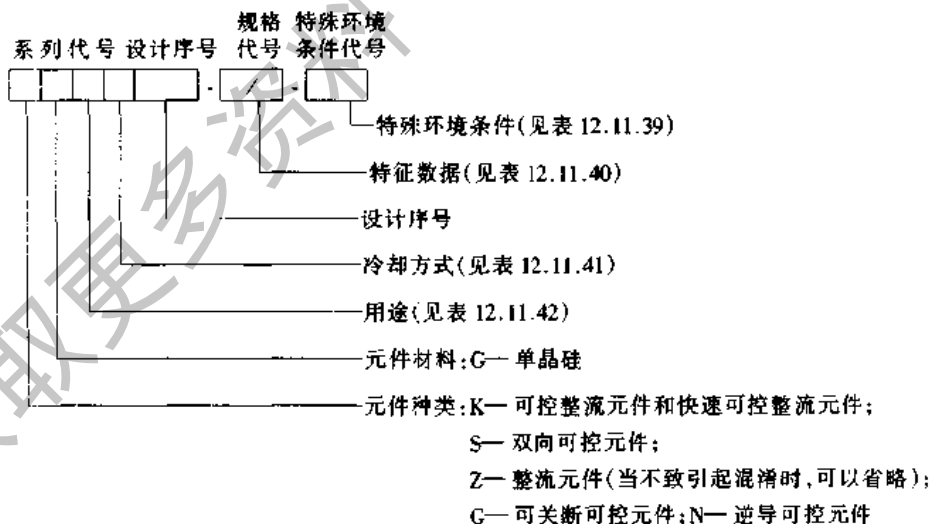


表 12.11.39 特殊环境代号

字母	特殊环境条件	字母	特殊环境条件	字母	特殊环境条件
CY	船舶用	KY	一般矿用	TA	干热带地区用
DD	多尘地区用	KA	矿用安全型	Y	防盐雾型
F	防腐蚀型	KB	矿用隔爆型	B	防爆型
GY	高原地带用	TH	湿热带地区用	CB	防震型

表 12.11.40 特征数据表示方法

整流器	额定输出电流 (A) / 额定输出电压 (V)
逆变器	额定输出频率 (Hz) / 额定输出电压 (V) × 额定输出电流 (A)
中频感应加热电源	额定输出频率 (Hz 或 kHz) / 额定输出功率 (kW)
异步电机串激调速装置	调速比 / 转子电压 (V) × 转子电流 (A)

表 12.11.41 冷却方式分类表

字母	冷却方式	字母	冷却方式	字母	冷却方式
A	自然空气冷却	F ₁	油浸风冷却	S ₁	气循环水冷却
A ₁	油浸自然空气冷却	F ₂	液循环风冷却	S ₂	油循环水冷却
F	风冷却	F ₃	蒸发风冷却	S ₃	液循环水冷却
F ₁	气循环风冷却	S	水冷却	S ₄	蒸发水冷却

表 12.11.42 用途分类表

字母	用途	字母	用途	字母	用途
B	一般工业用	H	电化学用	Q	牵引用
C	充电用	J	异步电机串激调速	S	传动用
D	电镀用	K	电磁控制保护	V	浮充电用
E	电热冶金用	L	励磁用	X	电加工用
F	电影放映用	M	变频调速用	Y	特殊用途
G	高压整流用	P	中频电源用		

型号编写方法示例如下。

① 风冷却方式充电设备, 具有三路可控硅元件, 输出额定电压为 72V, 输出额定电流为 60A 的表示方法为: KGCF60A/0-72V × 3。

② 恒流自适应充电设备, 具有空气自然冷却方式, 输出额定电压为 250V, 输出额定电流为 32A, 内燃机车蓄电池充电专用的表示方法为: ZGCA32A/0-250VN。

二、几种主要充电设备介绍

1. ZGCA 系列充电设备主要技术参数 (见表 12.11.43)

表 12.11.43 ZGCA 系列充电设备技术参数

产品型号	输入		最大输出 电流/A	电压调节 范围/V	可充蓄电池组 电压/V
	相数	电压/V			
ZGCA2/0-100	1	220	2	0~100	2~72
ZGCA5/0-100			5		
ZGCA20/0-125			20		
ZGCA20/0-220	2	380	20	0~220	2~168
ZGCA30/0-220	2	380	30	0~220	2~168
ZGCA20/0-125	1	220	20/2 × 10	0~125	2~96
2 × 10/0-100					
ZGCA-30/0-250	3	380	30	0~250	2~184
ZGCA-40/0-250			40		
ZGCA-50/0-250			50		
ZGCA-60/0-250			65		

续表

产品型号	输入		最大输出 电流/A	电压调节 范围/V	可充蓄电池组 电压/V
	相数	电压/V			
ZGCA-32/0-250N	3	380	32/16	0~250	130~190
ZGCA-46/0-250N			46/32		80~130
ZGCA-30/0-250FD	3	380	30	0~250	2~184
ZGCA-40/0-250FD			40		
ZGCA-50/0-250FD			50		
ZGCA-65/0-250FD			65		
ZGCA-32/0-250NFD	3	380	32/16	0~250	130~190
ZGCA-46/0-250NFD	3	380	46/23	0~250	80~130
ZGCA-80/0-290	3	380	80	0~290	2~220
ZGCA-100/0-290			100		2~220
ZGCA-160/0-290			160		2~220
ZGCA-200/0-290			200		2~220

注：1. 第一位字母“Z”表示恒流自适应式。

2. 特殊用途环境代号“N”—代表内燃机蓄电池充电专用。代号“FD”—代表放电机或充/放电机。

2. KGC_QA 系列快速充电设备主要技术参数（见表 12.11.44）

表 12.11.44 KGC_QA 系列快速充电设备技术参数

产品型号	输入		最大输出 电流/A	电压调节 范围/V	可充蓄电池组 电压/V
	相数	电压/V			
KGC _Q A-150/ ⁹ / ₁₈	3	380	150	3~9	6
				5~18	12
150			8~36	24	
			200	0~72	48
0~90				60	
0~110				90	
0~165	110				

注：1. 第三位字母“C”右下角标记字母“Q”表示快速充电。

2. 表中产品型号及其基本功能为：

KGC_QA-150/⁹/₁₈—常规充电；KGC_QA-200/110—浮充供电；KGC_QA-200/165—逆变放电；KGC_QA—可调直流电源。

3. KGCF 系列可控硅充电设备主要技术参数（见表 12.11.45）

表 12.11.45 KGCF 系列可控硅充电设备技术参数

产品型号	输入		最大输出 电流/A	电压调节 范围/V	可充蓄电池组 电压/V	备注
	相数	电压/V				
KGCF60/72×1	2	380	60	0~72	2~72	单路
KGCF60/72×2	3					两路
KGCF60/72×3						三路
KGCF60/72×6						六路
KGCF60/72×12						20路
KGCF80/72×1	2					80
KGCF80/72×2	3	两路				
KGCF80/72×3		三路				
KGCF80/72×6		六路				
KGCF80/72×12		20路				

注：1. 本设备主回路采用单相半控桥线路，多路充电设备由单路组装而成，因而可每路单独使用，亦可多路同时使用。

2. 本装置在使用前，应做空载试验。输入导线截面不小于 4mm²，输出导线截面不小于 16mm²。

三、蓄电池充电设备的选用、使用和维护

1. 蓄电池充电设备的选用

① 必须根据自己所用蓄电池的类型、容量和标称电压等主要参数进行选用不同规格和充电工作制的充电设备。

② 充电设备的输出电压，一般应大于被充电蓄电池标称电压的 1.5 倍。

③ 充电设备的输出电流，采用常规充电时，应大于蓄电池 10h 放电率电流值即蓄电池安时容量的 1/10；采用快速充电方式时，应大于 10h 放电率电流的 8~10 倍，即蓄电池容量的 0.8~1 倍。

④ 当一次充电数量较多时，要考虑进行多路同时充电，要选用具有多路充电的充电设备。

⑤ 在购置充电设备时，必须注意有否试验合格证，必要时可查看有关试验数据和充电设备应具有的保护措施。

⑥ 经过上述主要参数和要求检查后，其次应注意柜体质量，配备的仪表，定时器等器件不应有明显的缺陷，还应检查操作开关、旋钮等动作的可靠性。

2. 蓄电池充电设备的使用和维护

在购置蓄电池充电设备后，首先应认真阅读说明书，了解充电设备的主要组成、性能特点、工作原理和使用方法，切忌盲目地接电开机，为此，还必须做到以下几点。

① 首先应在开箱后，外观检查充电设备的各电器元件，有无因运输途中受损坏脱落，螺钉松动或受潮情况。

② 有的充电设备要求在使用前必须做空载试验，为此，应按使用说明书进行试验和检查。充电前必须了解所购充电设备的主要参数，适宜何种充电制度，做到正确的使用充电设备。

③ 充电前必须检查蓄电池的状况如电解液密度和液面高度，蓄电池是初充电还是正常充电，若是正常充电，对于不同组的蓄电池，必须分别进行一对一的充电。切忌将不同状态的蓄电池组混串充电。

④ 在充电过程中，要严格按充电设备使用说明进行操作，并要密切注意蓄电池的充电电压，充电电流，蓄电池电解液温度和出气情况，遇到不正常情况，应按充电设备关机程序关机，排除故障后继续充电。

⑤ 在充电过程中，遇到充电设备配套组件如报警器、计时器等出现故障时，一定要按充电设备使用说明书上要求进行查找故障，及时排除，切忌盲目拆卸。

⑥ 充电设备的使用环境应保持干燥，与腐蚀性物质、气体隔离，保持良好通风，及其他使用说明书中规定的要求。

⑦ 在充电结束后，应严格按充电设备使用说明书中规定的程序关机。平时要按充电设备说明书中要求进行经常性的维护保养，以保持充电设备一直处于良好状态。

⑧ 蓄电池充电设备一定要设有专人负责使用和维护保养。

第十二章 柴油发电机组

第一节 特点和结构

柴油发电机组是内燃电站中的一种，它是由柴油机、发电机、控制箱和辅助装置联合组成的独立供电电源。

1. 特点

- ① 内燃机电站（由一台或数台柴油发电机组组成）与水电、火电、核电相比，初期投资少，上马快。
- ② 体积小，重量轻，运输安装方便。
- ③ 运行、维护较为方便，可根据需要，配置手动、自动或智能化的控制系统，进行人工控制或无人控制。
- ④ 既可用于无电地区，亦可用于邮电通信、工矿企业、宾馆、医院、公路等，作为应急备用电源。

2. 结构

机组的柴油机、发电机、散热水箱、机油冷却器等都安装在一个公共底盘上，根据机组的控制箱的安装方式，一般又分为一体式和分开式。一体式机组的控制箱固定在发电机上，整个机组形成一体，便于移动和安装。分开式机组的控制屏单独落地安装，机组与控制屏之间的电气线路要用电缆连接。

中小型柴油发电机组，柴油机的飞轮壳与发电机采用凸肩定位直接构成一体，并采用圆柱形的弹性联轴器，由飞轮直接带动发电机转子旋转。这种连接与传动方式可保证柴油机与发电机的同心度。

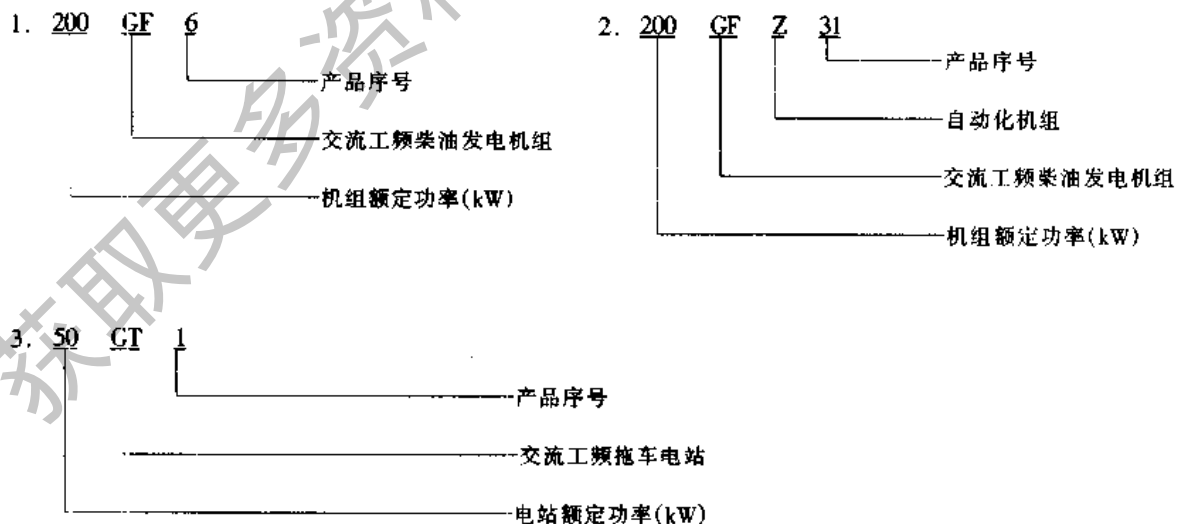
柴油机冷却系统采用的风扇、散热水箱、机油冷却器都安装在柴油机前端，风扇采用吹风式。

第二节 柴油发电机组的型号规定和技术要求

一、柴油发电机组的型号

型号构成的原则是左边几位阿拉伯数字表示发电机组功率的千瓦数，接下来的英文字母表示了电站的分类，右边的阿拉伯数字是产品的序号。

型号构成举例说明如下：



二、柴油发电机组的主要技术要求

GB 2820—90 是柴油发电机组的基础标准，它对于柴油发电机组的工作条件、工作方式、电气指标、结构、环保、运行的经济性、可靠性、安全性都作出了明确的规定。

GB 2820—90 中关于机组的电气性能如表 12.12.1。

表 12.12.1 柴油发电机组电气性能

机组额定功率 /kW	指标类别 项目	电 压				频 率			
		稳态调压 率/%	瞬态调压 率/%	稳定时 间/s	波动率 /%	稳态调整 率/%	瞬态调整 率/%	稳定时 间/s	波动率 /%
小于 250	I	±1	+20 -10	0.3	0.3	±1	±5	3	0.5
	II	±3	+25 -20	1.0	1.0	±3	±7	5	1.0
	III	±5	—	3.0	1.5	±5	±10	7	1.5
	IV	±7	—	—	1.5	±6	±12	—	1.5
大于 250		±2.5	+20 -15	1.5	1.0	±5 (0~5)	±10	7	1.0

注：增压机组的瞬态频率调整率和频率稳定时间由产品技术条件规定。

第三节 柴油发电机组的选择

一、功率的选择

机组负载总功率应在机组额定功率的 0.5~0.9 之间，既留有一定余量，又不致因为负载过轻而造成柴油机汽缸内部积炭严重。对于有大容量异步电动机的负载，考虑到起动电流比较大，应该适当加大机组功率等级。

机组在符合 GB 1105 规定的标准状况下，应能发出额定功率，GB 1105 规定的标准状况为：大气压力 100kPa；相对湿度 30%；环境温度 25℃。当实际工作条件与上述状况不符合或超出 12h 连续运行时，其输出功率应按式进行修正：

$$P = (\alpha P_0 - P_F) \times \eta$$

式中 P ——机组在非标准状况下的输出功率；

α ——可调油量法功率校正系数；

P_0 ——柴油机额定输出功率，kW；

η ——发电机效率；

P_F ——风扇消耗功率，135 系列柴油机风扇功率如下：

柴油机型号	4135	6135 6135A	6135Z 6135AZ	12V135 12V135A	12V135Z	12V135AZ
P_F /(kW/r/min)	3/2250	4/2250	6.6/2250	8/2360	8/1400	12/960

根据 GB 12699—90 标准，推荐工频柴油发电机组额定功率和额定电压的参数如表 12.12.2 所示。

表 12.12.2 工频柴油发电机组额定功率和额定电压

相 数	额定电压/V	额定功率/kW
单 相	230	1;2;3;5;7.5;10;12;(15)
三 相	400	3;5;10;12;16;20;24;30;40;50;64;75;(84);90;120;(150);200;250;320;400;500; 630;800;1000
三 相	6300 10500	500;630;800;1000;1250;1600;2000;2500;3150

当负载总容量比较大时，经常采取二台或多台相同型号机组并联运行的方式，有利于降低运行成本，提高经济效益。

二、柴油发电机组形式的选择

(1) 励磁方式的选择 对于一般的动力和照明负载，采用不可控相复励或三次谐波励磁方式，如对于电压性能指标要求比较高，可以采用无刷励磁或可控相复励励磁方式。

(2) 结构形式的选择 对于有些工作场所移动性比较大的地方，如油井、建筑工地、公路、桥梁施工等都应该选择一体式机组。现在新的一体式机组采用钢板折边新颖结构，电传式仪表造型比较美观。

对于有些要求集中控制管理的场合，可采用自动化功能的分开式机组。

(3) 功能的选择 柴油发电机组根据使用需要可以配备手动、自动化的各种功能，如表 12.12.3 所列：

表 12.12.3 柴油发电机组的功能

功 能	技 术 要 求
手动	人工操作，控制机组的起动、停止和转速的升降
自动起动	当市电失去时，发电机组自动起动
自动投入	起动成功后，升速到额定转速，空气开关自动合闸，向负载输电
自动报警	发电机组运行中，当水、油温过高，机油压力过低，电压、转速异常时，自动发声、光报警信号
紧急停机	当有严重故障时，空气开关自动分闸，切断油路（或气路），使机组立即停止工作
自动切换	当市电恢复时，立即切断机组输电回路，接通市电输电回路，改为市电供电
自动停机	自动切换后，机组空载运行一定时间（2~5min），自动降低转动速度，在怠速停机
燃油自动补给	当柴油油量不足时，自动补给
无人值守	具备上述全部功能，或由计算机遥控、遥测

第四节 柴油发电机组的使用和维护

一、柴油发电机组的安装

1. 机房的基本要求

(1) 选址 应尽量靠近用电器、变电站、配电室，环境比较干燥，无腐蚀性气体，通风。

(2) 机房面积及高度 机组两侧及前方（水箱端）至少留有 750mm 通道，以便操作人员巡视和维护，机组后边（电机端）至少留有一个半电机的长度，供机组大修用。机房高度根据机组高度及是否有起重设备等因素选定。

(3) 基础 基础有三个作用，支撑整个机组的质量，保证机组处于水平状态，吸收震动。机组基础采用混凝土结构。

基础的长、宽一般为机组底盘长、宽尺寸单边增加 150~250mm，深度为 400~800mm。

(4) 通风 机房要保证有足够尺寸的进风口和排风口，以便有足够的新鲜空气供给柴油机燃烧，并可带走机组表面散发的热量。

2. 机房布置

机房布置参见图 12.12.1。

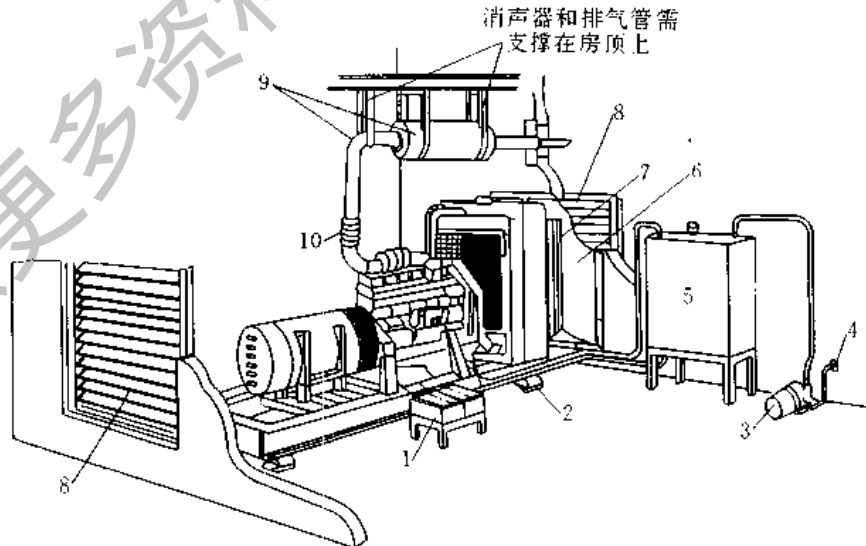


图 12.12.1 机房布置图

1—蓄电池；2—防振底脚；3—燃油泵；4—大油罐出来的燃油；5—班台油箱；6—热风出口；7—挠性管道；8—百叶栅；9—带隔热套的消声器和排气管；10—波纹软管

二、柴油发电机组的运行

1. 运行前的准备

① 详细阅读随机技术文件，并按要求作好准备工作。

② 机组安装就位后，应该按照各产品说明书要求全面检查，确认设备安装正确，线路连接无错误，方可投入试运行。

③ 检查柴油、机油、冷却水是否符合规定及适量，柴油机所用的柴油、机油、冷却水都必须严格按照柴油机使用保养说明书的规定正确选用，机组应该没有“三漏”（漏水、漏油、漏气）。

④ 机组并列运行时，运行前应该作相序测试，保证本机与他机或市电网的相序相同。

2. 机组的运行

① 接通油路，用手泵排除燃油系统的空气（旋开喷油泵上的放气螺钉直到不断流出的是柴油无气泡为止）。

② 启动机组，在低温季节，可利用预热装置对进气进行加热。启动成功后，先在怠速运行。

③ 当水、油温逐渐升高，机油压力正常，可操作油门把转速升至额定值，此时频率表应该指示 50Hz 左右。调节电压整定电阻器，使电压为额定值。如不能建立电压，可按下起励按钮帮助建压。

④ 机组空载运行正常，则可合上自动空气开关，向负载输电，负载应该逐步投入，并且不可超过机组额定功率。机组运行中，应该加强监视，水、油温和机油压力均应正常，并且作好运行记录。

⑤ 机组发生事故停机后，应该认真查找事故原因，待事故排除后再开机，严禁机组在不良状态下工作。

⑥ 正常停机，应该先卸去负载，后按柴油机说明书要求停机。

⑦ 清洁机组，并且作好下次启动工作的准备。

第五节 柴油发电机组的故障和排除

一、柴油机故障及处理

柴油机故障及处理见表 12.12.4。

表 12.12.4 柴油机故障及处理

故障	产生原因	排除方法
柴油机不能启动	燃油系统的故障 ① 燃油系统中漏入空气 ② 燃油管路阻塞 ③ 燃油滤清器阻塞 ④ 燃油泵不供油或断续供油 ⑤ 喷油不足或雾化不良	检查油路和接头 检查管路是否畅通 清洗 检查进油管、检修输油泵 检查喷油器
	启动系统的故障 ① 接线错误或接触不良 ② 蓄电池电力不足 ③ 启动电动机有问题	检查接线 对蓄电池充电或更换 更换启动电动机
柴油机不能发出规定功率	气门弹簧损坏 进、排气定时或供油提前角不对 气门间隙不正确 压缩压力不足 柴油机过热 柴油机内部积炭太多 空气滤清器堵塞 排气管路阻塞 喷油泵故障 喷油器故障 漏气	更换 按照说明书要求调整 调整 清洗检修 检修冷却和润滑系统，清除水垢，清洗机油冷却器 打开汽缸盖清除积炭 清洗或更换滤芯 清除积炭 修理或更换 修理或更换 检查密封情况

续表

故障	故障特征	产生原因	排除方法
排气烟 色不正常	排气冒黑烟	① 柴油机负荷超过规定 ② 各汽缸供油不均匀 ③ 气门间隙不正确 ④ 供油太迟 ⑤ 进气量不足	减轻负荷 调整 调整 调整供油提前角 检查进气管路
	排气冒白烟	喷油压力不足, 雾化不良	检查或更换喷油器偶件
	排气冒蓝烟	① 空气滤清器阻塞 ② 活塞环磨损过多, 机油进入燃烧室 ③ 油底壳内机油加入过多	检查或更换滤芯 更换 按照油标尺加机油
故障	产生原因		排除方法
水温过 高	水路中漏入空气, 形成气塞 冷却水循环不良		放出空气 在开式循环中提高水位, 在闭式循环中向水箱中加满水, 检修水泵
	水箱的散热表面积垢过多 风扇转动速度降低, 风力不足 水温表不准确 节温器失灵		清除 调整传动皮带张力或更换皮带 更换 更换

二、发电机故障及处理

发电机故障及处理（以相复励发电机为例说明）见表 12.12.5。

表 12.12.5 发电机故障及处理

故障	故障原因	处理方法
不能发电	无剩磁 剩磁方向与整流器输出电流产生的磁场方向相反 绕组、电抗器、整流器有开路或松脱现象 接线错误 绕组有严重短路	用 12V 或 24V 蓄电池充电 往往因重接接错形成, 将励磁绕组二头掉换接通、拧紧或焊好 对照电气图纸检查 电枢绕组短路会引起严重发热, 励磁绕组短路可用电桥测量其电阻值来判断
	电刷和滑环接触不良 电刷在电刷架中卡住 整流元件短路 机组转动速度太低	用酒精清洗滑环表面; 磨电刷表面弧度使与滑环吻合; 检查电刷压力 检查是否生锈, 可用 00 号砂纸擦去 用万用表检查正反向电阻, 更换损坏的元件 提高转速
电压不足	整流桥中有一个元件损坏 励磁绕组部分短路 整定电阻阻值偏小 转速偏低	检查并更换 检查并修理 检查并调整 提高转速
电机发热	发电机组过载 仪表不准确 负载功率因数太低 发电机电枢、励磁绕组、电抗器有部分短路 通风道堵塞	注意仪表使负载电流、电压不超过额定值 定期对仪表进行校准 对功率因数进行补偿 寻找出短路点并纠正 疏通

第十三篇 常用机械设备电气控制

第一章 车床电气控制

第一节 控制电路

车床按加工精度、尺寸等要求可分许多种类，这里简要介绍常用普通车床的电气控制。

C620、C630 等普通车床的电气控制是由主轴电动机、冷却泵电动机及控制电路组成，CA6140、CA6150、CA6240、CA6250 型普通（马鞍）车床的电气控制是由主轴电动机、冷却泵电动机、刀架快速电动机及控制电路组成。这些车床的控制电路均是带有热继电器保护的单向起动的控制电路，主轴正反向运转是由机械结构来实现的。

CA6140 车床的控制电路（见 1299 页图 13.1.1）是由熔断器 FU_5 、 FU_4 、 FU_3 、 FU_2 、 FU_1 作短路保护，热继电器 FR_1 、 FR_2 作过载保护的单向起动控制线路，主回路则是由低压断路器及熔断器进行过载、短路保护，主轴转速的有级调节和正反转是通过机械方法来实现的。

具体电气操作过程：先用钥匙将电源开关锁 SA_2 向右旋转，再合上 QF 接通电源，按下 SB_1 ，3 和 5 闭合，使接触器 KM_1 线圈得电吸合并自保，主触头吸合，主轴电动机 $M1$ 起动。如欲快速移动溜板，可将手柄拨到所需方向，按下快速移动按钮 SB_3 ，3 和 7 闭合， KM_3 线圈得电，主触头吸合， $M3$ 旋转。该电动机控制为 SB_3 点动控制，手松即停止。需冷却时则可将旋转开关 SA_1 闭合，当主轴电动机 $M1$ 运行后，接触器 KM_1 的辅助触头 9 和 11 闭合， KM_2 得电， $M2$ 旋转。

为了保证人身安全，本电路通过行程开关 SQ_1 、 SQ_2 进行断电保护，当 SA_2 向左旋锁上，或打开配电盘盘门进行维修时， SQ_2 行程开关闭合， QF 自动断开，即使出现误合闸， QF 也可在 0.1s 内再次跳闸，打开床头带罩头， SQ_1 断开，使整个控制回路断电，所有动作则停止。

第二节 电气修理

当机床发生故障后，维修人员应向操作者作如下情况了解：

- ① 故障发生前有何异常情况，有声音、气味、弧光等；
- ② 故障发生时，机床的运行方式按动了哪个按钮，扳动了哪个开关；
- ③ 停车情况；
- ④ 以前是否出现过类似故障，如何排除的。

通过了解情况后，可大致确定是机械还是电气故障，或者是两者兼有之。下面介绍两例电气故障的排除方法。

1. 电动机在运转，按钮失去控制

此时首先应分断低压断路器 QF ，切断电源，再进行如下检查。

a. 检查接触器情况，观察其触头是否焊住。若已焊住，则应修复或更换。若触头未被焊住，则可检查接触器铁芯是否有剩磁，外壳是否变形，反力弹簧是否变软等情况。

b. 检查按钮是否被击穿或严重漏电。

2. 主轴电动机 $M1$ 不能起动或起动后停止

a. 检查供电线路的三相电压是否能满足条件；检查熔断器是否熔断；同时也要检查热继电器是否良好，规格、整定电流是否符合要求。

b. 检查相关的按钮触头，接触器是否可靠，以及行程开关是否动作。

c. 检查 KM_1 接触器的自锁触头是否闭合。

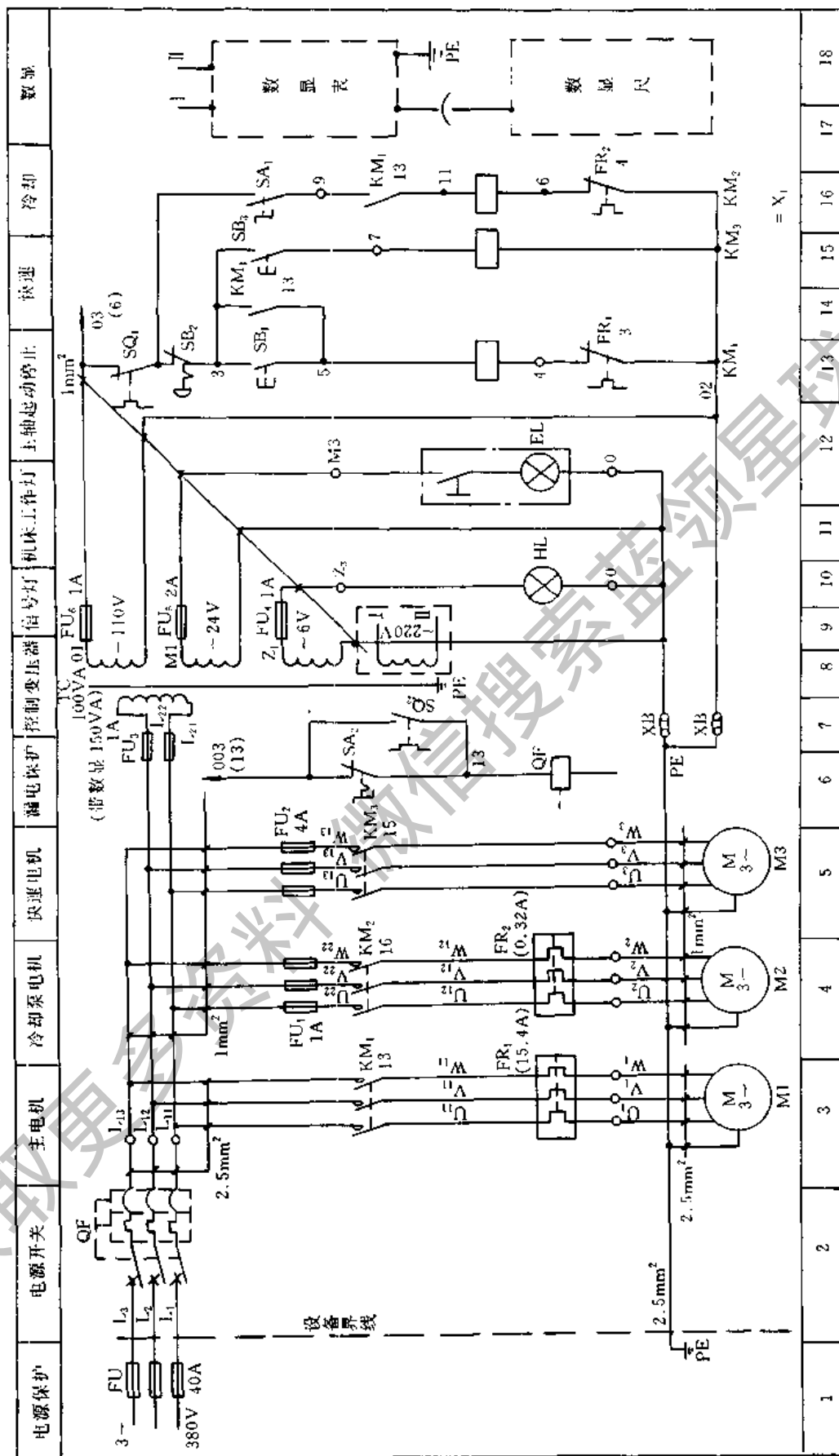


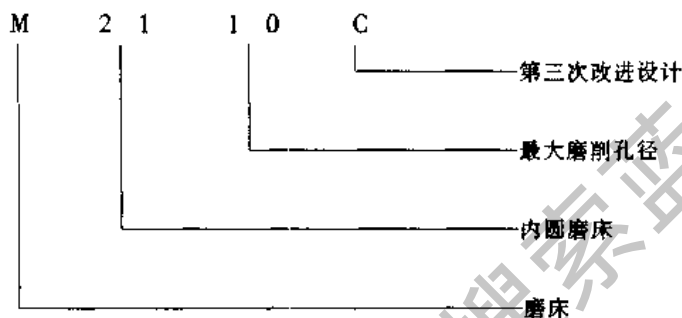
图 13.1.1 CA6140 卧式车床电气原理图

第二章 磨床电气控制

工业中常用的磨床有三大类：内圆磨床、无心磨床和轴承磨床，此外还有平面磨床等其他磨床。由于各类磨床所磨的工件不同，其机械结构随之不同，因此所采用的电气控制电路也不同。

第一节 M2110C 内圆磨床

一、产品型号含义



二、电路结构原理

1. 动力电路和动力控制电路

该机床采用 3~50Hz, 380V 电源。电源开关 (QF₁) 采用漏电保护形式的自动开关，机床总容量约为 4kW。

动力电路部分 (如图 13.2.1) 由液压电机 (M₁)、砂轮电机 (M₂)、冷却泵 (M₄) 和工件电机 (M₃) 组成。工件电机分低速和高速二种，各电机有热继电器作过载保护。

控制电路 (交流 110V 和直流 24V)、照明电路 (24V)、信号电路 (6V) 由变压器 TC₁ 供电获得相应电压，且各控制电路均有熔断器作短路保护，如图 13.2.2 所示。

动力控制电路如图 13.2.3 所示，首先按压按钮 SB₂，KM₁ 通电并自锁 (同时为其他控制电路工作作好准备)，液压电机 M₁ 起动，液压系统工作。当按压按钮 SB₄，KM₂ 通电并自锁，砂轮电动机 M₂ 起动工作，至此，磨削准备完毕。

2. 工作情况

首先关上电箱门，令 SQ₂ 呈受压断开状态，然后把选择开关 SA₅ 处在“1”位置呈工作状态、SA₂ 也放在工作状态，工作台处于后位，行程开关 SQ₁ 受压。然后分别起动液压、砂轮电机。这时可把选择开关 SA₁ 扳在“1”位置，电磁阀 YV₁ 吸，砂轮呈跳进状态。然后令工作台向前，工件进入磨削区域，SQ₁ 脱压，14~22 线路 (图中未注出) 接通，KM₃ (或 KM₄)、KM₅ 通电，工件电机运转 (低速或高速)，冷却泵工作，此时可以磨削。当手动磨削结束，把 SA₁ 放在断开位置，YV₁ 断电，砂轮呈跳出状态，令工作台向后，SQ₁ 受压，50~52 线路接通，电磁阀 YV₂ 吸，工作台停止运动。SQ₁ 使 14~22 断开，KM₃ (或 KM₄)、KM₅ 断电，M₃、M₄ 停止工作。工作循环即告结束。

如需工件电机试运转时，可令工作台在后位，SA₂ 放在接通位置，使 KM₃ (或 KM₄) 通电，而不受 SQ₁ 控制。试运转完毕，令 SA₂ 断开，即结束。试运转时 KM₅ 不通电。

电磁阀 YV₂ 通电吸合一次即完成液压系统中的工作台停止功能作用，而不管通电后是继续通电还是断电，这即是工作台的中停动作。

3. 电箱门与电源的联锁

根据电气标准，该机床所采用电源开关 (QF₁) 为漏电自动开关，原理是在通电状态下如果强行开门，SQ₂ 则接通电阻 R₁ 回路，使 QF₁ 呈漏电状态而跳闸。

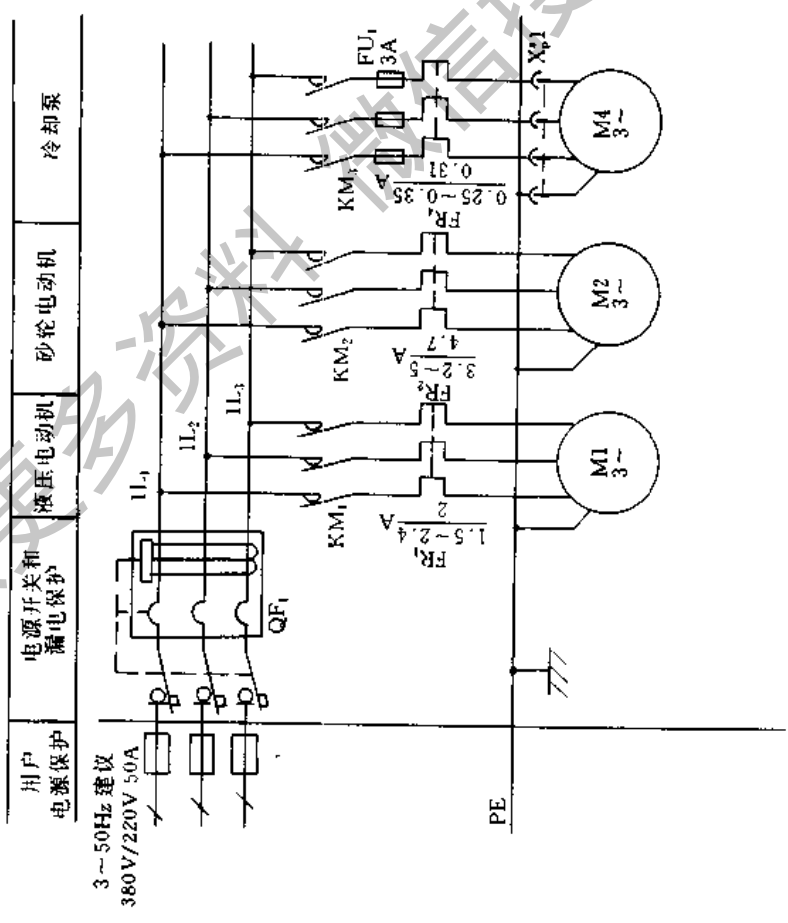
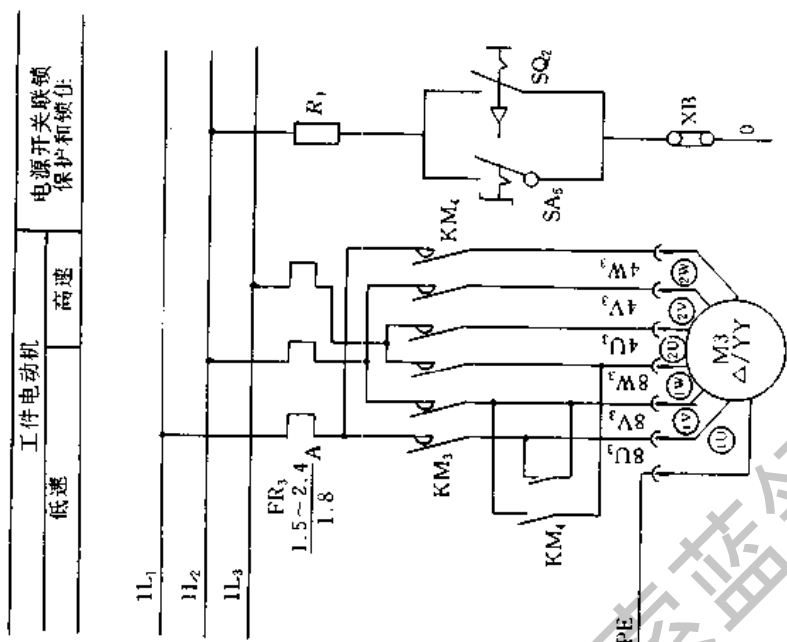


图 13.2.1 动力电路

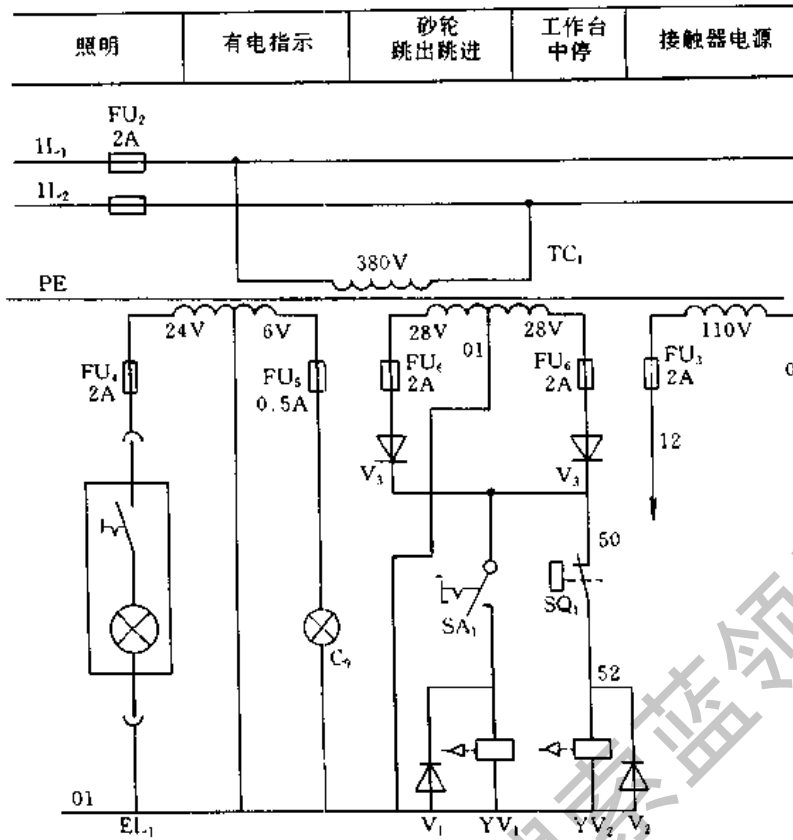


图 13.2.2 控制电路

总停和液压 电机启动	砂轮电机 启动停止	工件电机		冷却泵工作
		低速	高速	

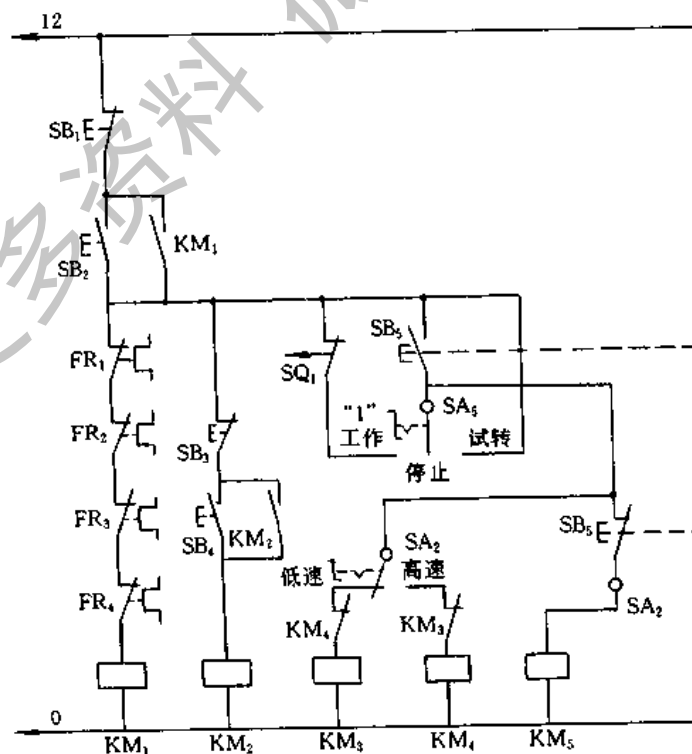
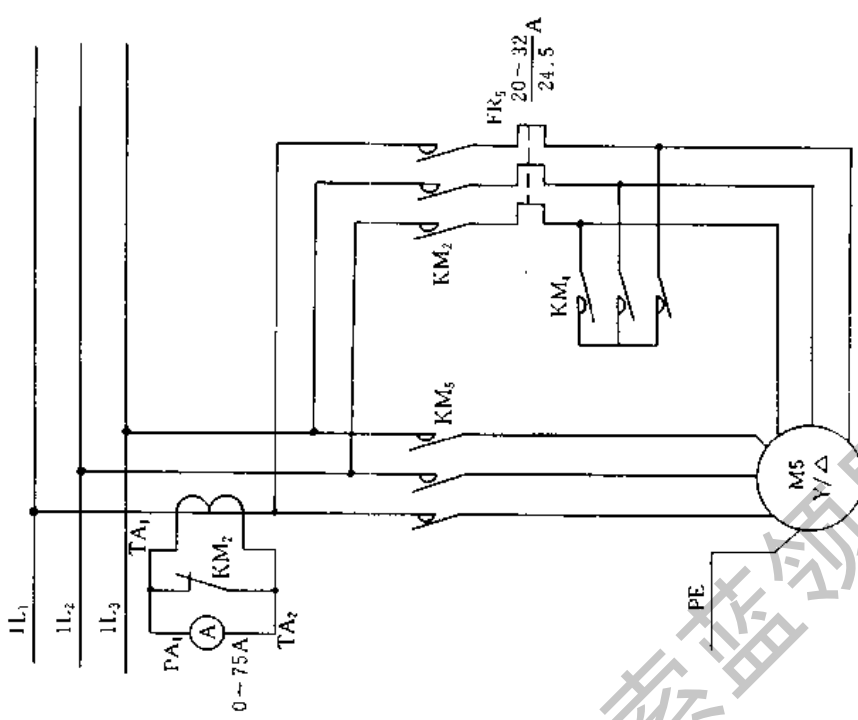


图 13.2.3 动力控制电路

砂轮电动机	Y 启动	△ 运转
电流检测		



液压电动机	电源开关	冷却泵	磁性分离器
	液滑泵电动机		

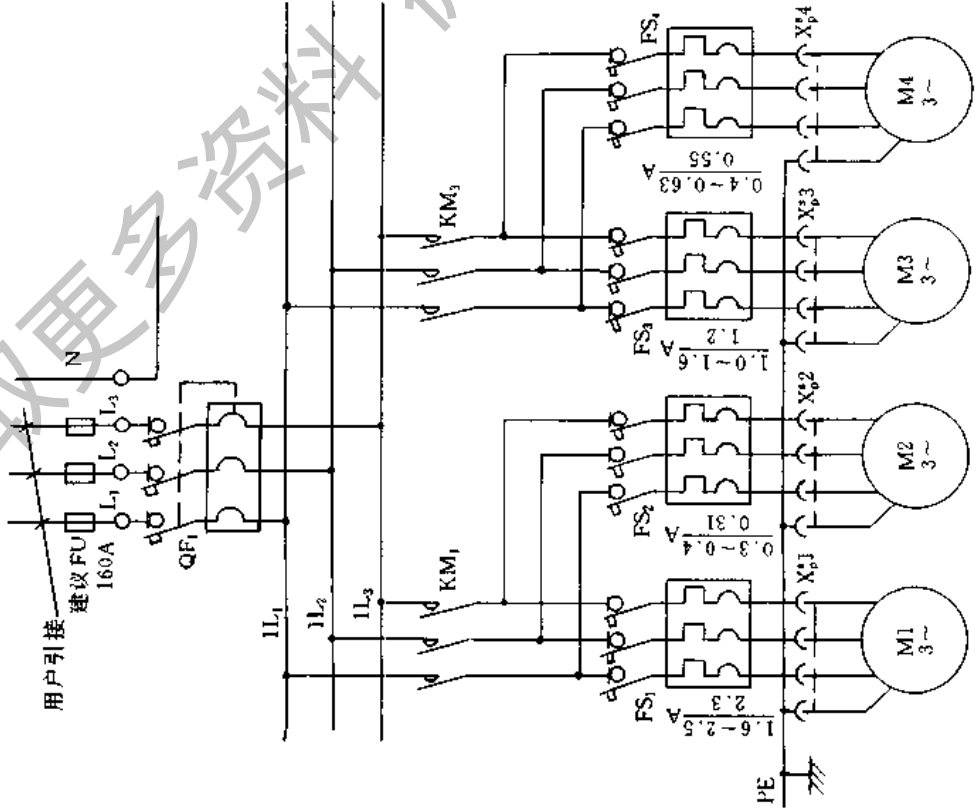
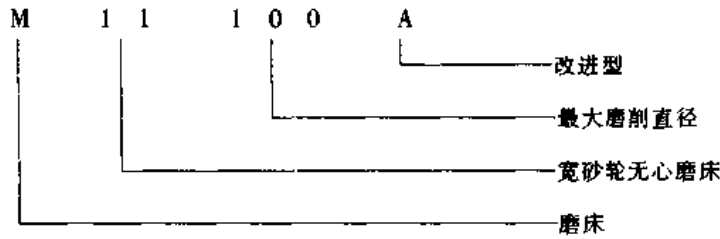


图 13.2.4 动力电路

第二节 M11100A 宽砂轮无心磨床

一、产品型号含义



二、电路结构原理

1. 动力电路

该磨床动力部分有液压电动机 M1、润滑泵电机 M2、冷却泵 M3、磁性分离器 M4、砂轮电动机 M5、导轮电动机 M6 所组成。机床的输入电源为 3~380V/220V，机床总容量为 30kW。如图 13.2.4 所示（见 P1303），M1~M4 均采用短路和过载保护（FS₁~FS₄）。

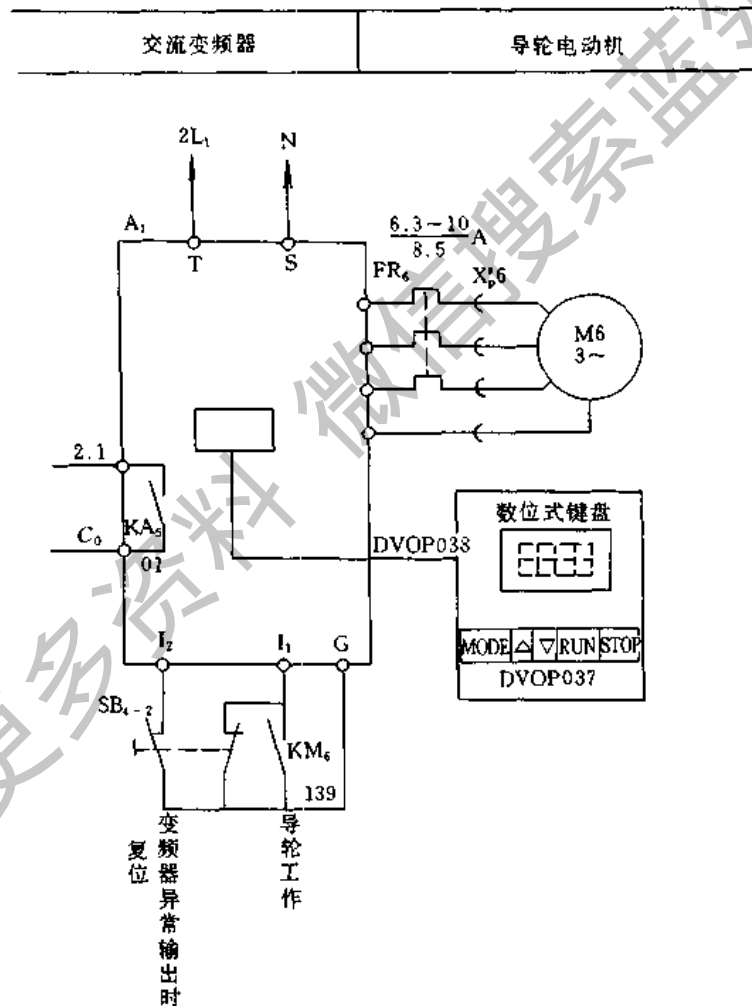


图 13.2.5 动力电路

由于砂轮电动机 M5 的功率很大，约 22kW，起动控制采用 Y- Δ （星形-三角形起动），即降压起动。这种起动方法可使每相定子绕组所受的电压在起动时降低到电路电压的 $1/\sqrt{3}$ （57.7% 电路电压），其电流为直接起动的 $1/3$ ，由于起动电流的减小，起动转矩也同时减少到直接起动的 $1/3$ 。

该机床的导轮电机的转速采用交流变频调速来控制，转速频率为 0.5~240Hz，对不同的磨削工件可选择适当的转速频率来达到不同的磨削要求。如图 13.2.5 所示。

电源保护	接触器 PC等电源	电磁阀、指示灯电源
------	--------------	-----------

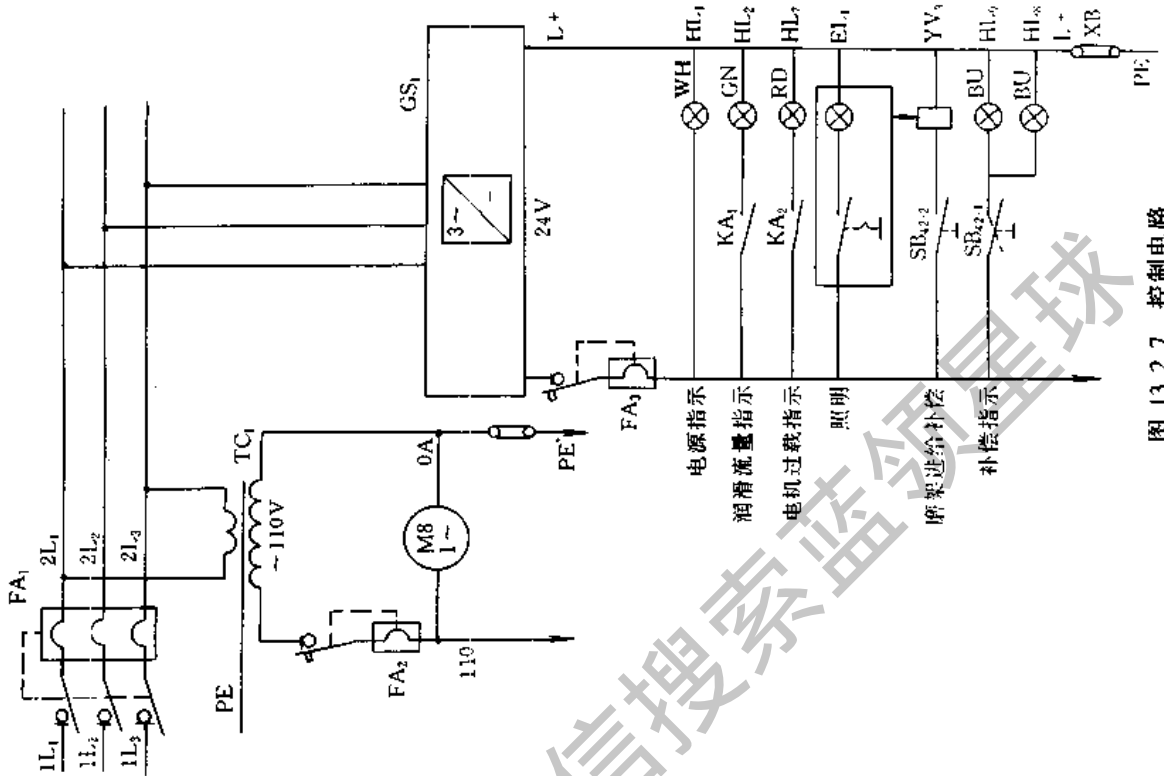


图 13.2.7 控制电路

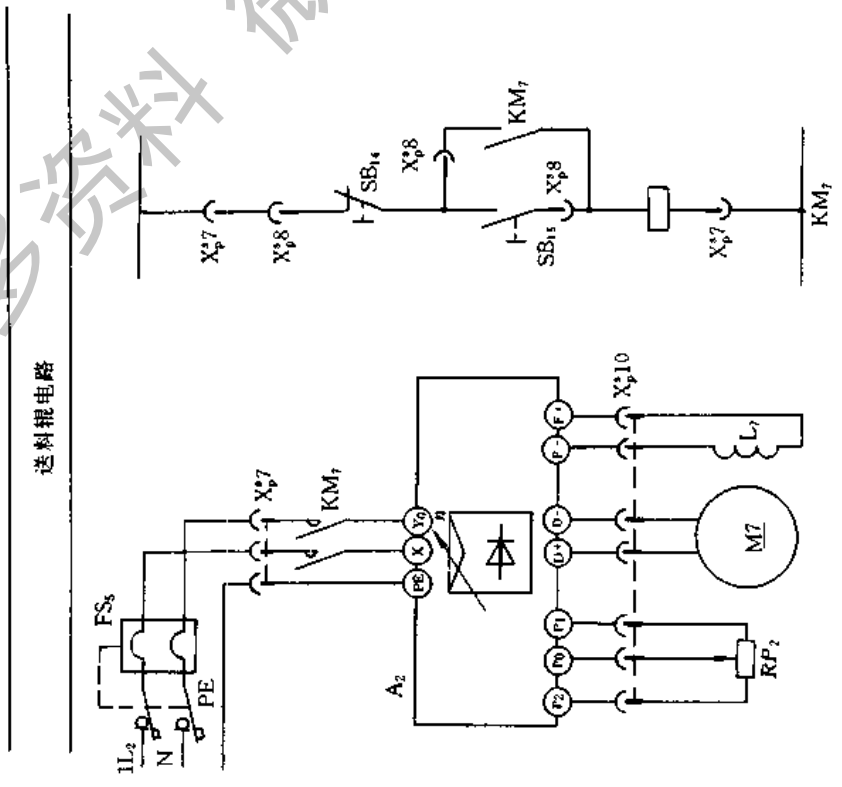


图 13.2.6 动力控制电路

获取更多资料 微信搜索 蓝球

2. 动力控制电路

该机床有二台送料辊装置，如图 13.2.6 所示，其电气设备及控制按钮都装在送料辊装置上，用插销与机床相连才能运行。送料辊电机均采用可控硅调速装置（A₂），其线路采用外同步复合反馈（电压负反馈、电压微分反馈、电流正反馈和电流截止反馈）和可靠的电流截止环节等新结构来设计制作的。

控制电路（交流 110V）由 TC₁ 供电获得电压，照明、指示灯、电磁阀由 GS₁ 三相稳压电源提供，且控制电路均有 FA₂、FA₃ 作短路保护，如图 13.2.7 所示。

动力控制电路如图 13.2.8 所示，首先要按动 SB₁₋₁ 液压泵、润滑泵起动，KM₁ 吸合后，待 SL₁ 润滑流量开关接通，润滑流量信号灯（HL₂）发亮，然后按动 SB₂，砂轮起动 KM₃ 吸合并自锁，且 KT₂ 得电开始延时，KM₄ 吸合，待 KT₂ 延时到 KM₄ 断电、KM₂ 得电，起到了 Y-△ 延时转换并起动的控制作用。转换时间由 KT₂ 来设置，一般调整在 15s 左右。过后才可按压 SB₃，KM₆ 得电并自锁（导轮工作），再按压 SB₃，KM₃ 得电并自锁（冷却泵工作），按压 SB₁₋₁ 总停止按钮后，砂轮、导轮电机及冷却泵、磁性分离器立即断电，但润滑泵 3min 后才停止，以保证砂轮主轴的润滑。润滑泵延时停止是靠 KT₁ 来设置并控制的。

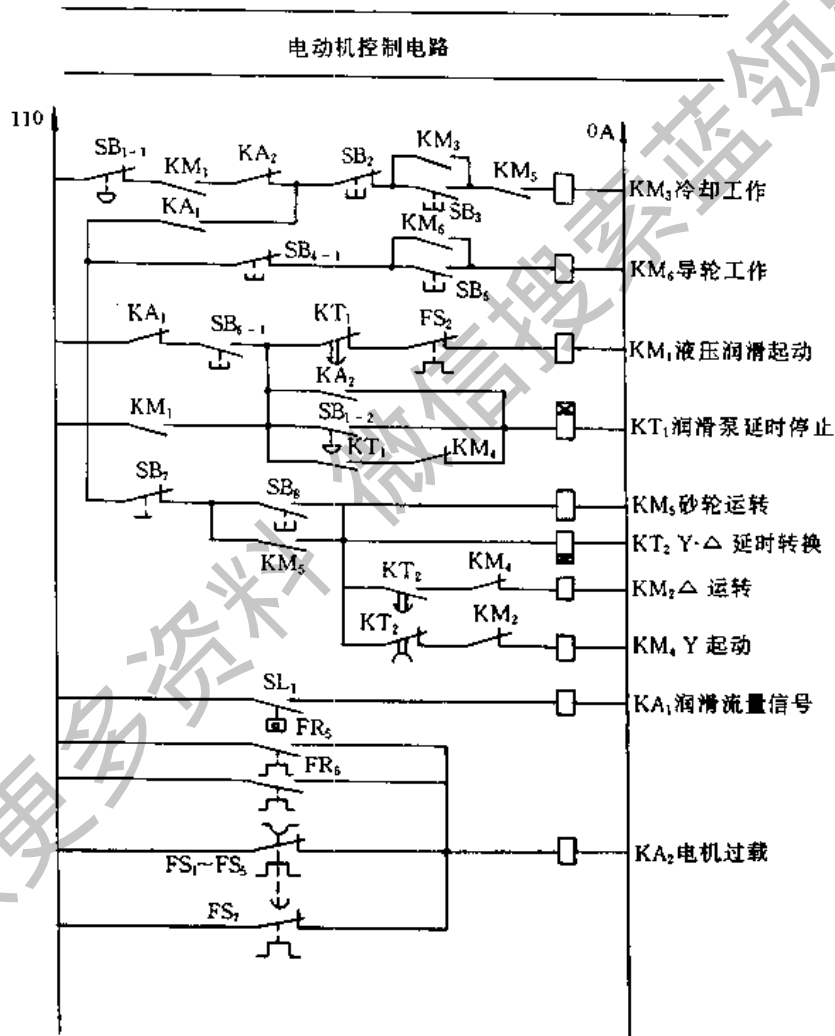


图 13.2.8 动力控制电路

3. 动作控制电路

该机床动作采用可编程控制器（PC）控制。PC 的输入和输出控制点按照机械设备的结构来确定，如图 13.2.9 所示，它由中央处理单元（CPU）来读入输入信号，如行程开关、按钮、拨码开关的状态等，再根据已存入的用户程序进行逻辑判断，然后控制输出去驱动电磁阀、指示灯、中间继电器等，如图 13.2.10 所示。PC 的梯形图是根据机床磨削动作，如图 13.2.11 动作流程和表 13.2.1 电磁阀动作表进行设计的，下面分别说明。

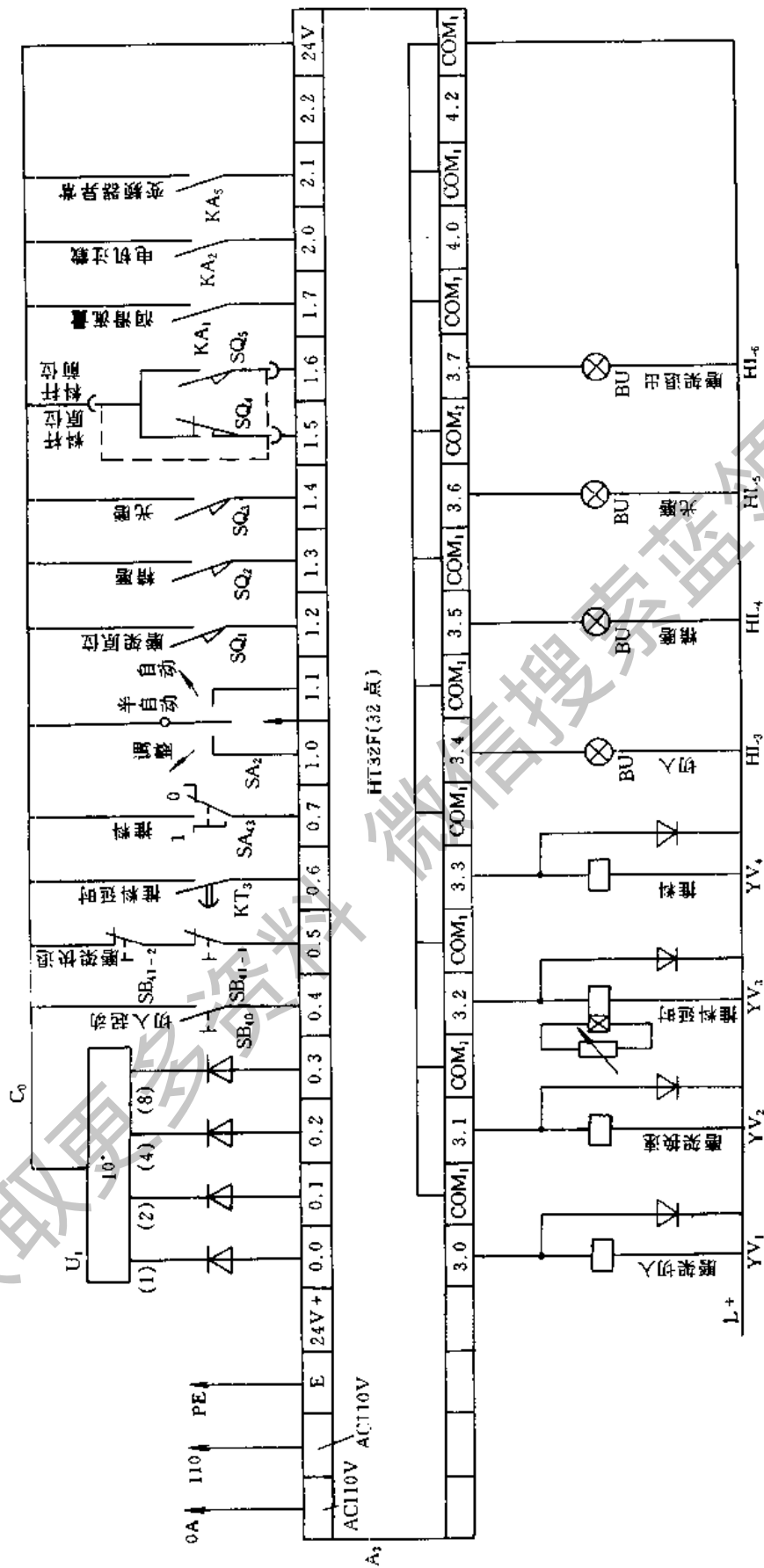
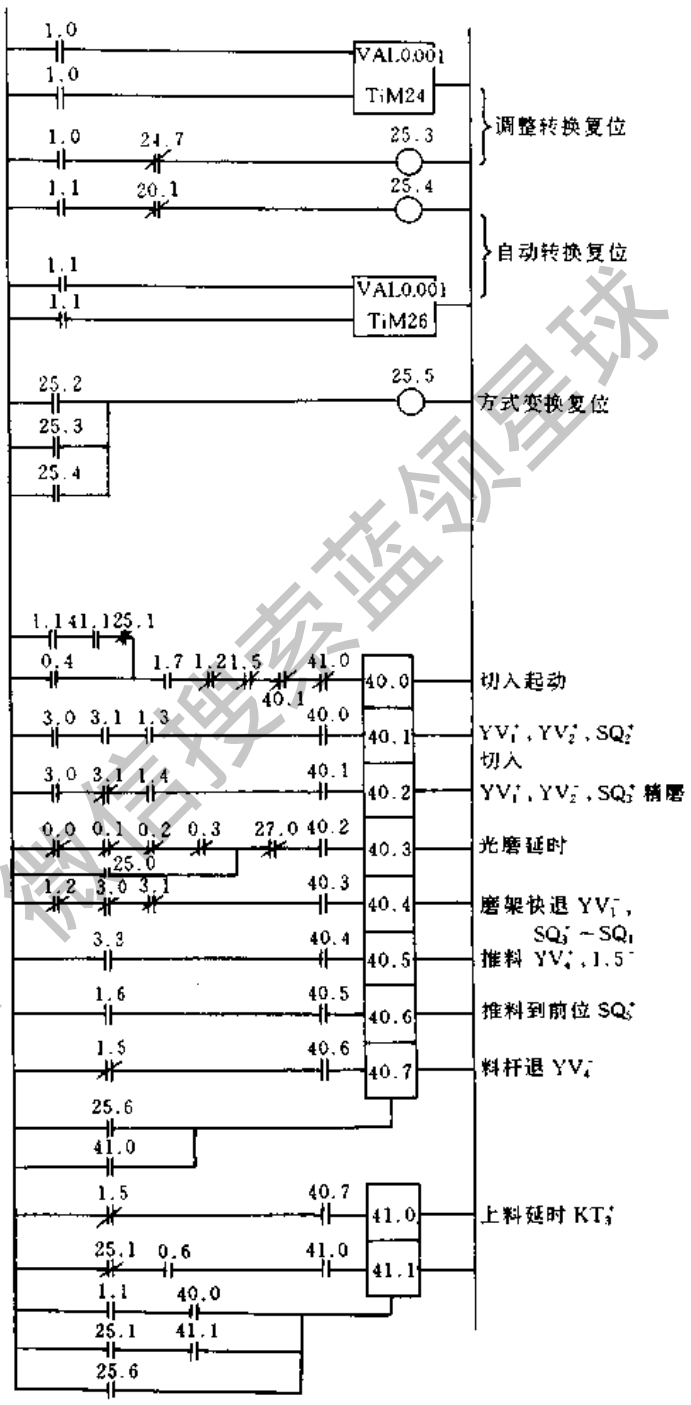
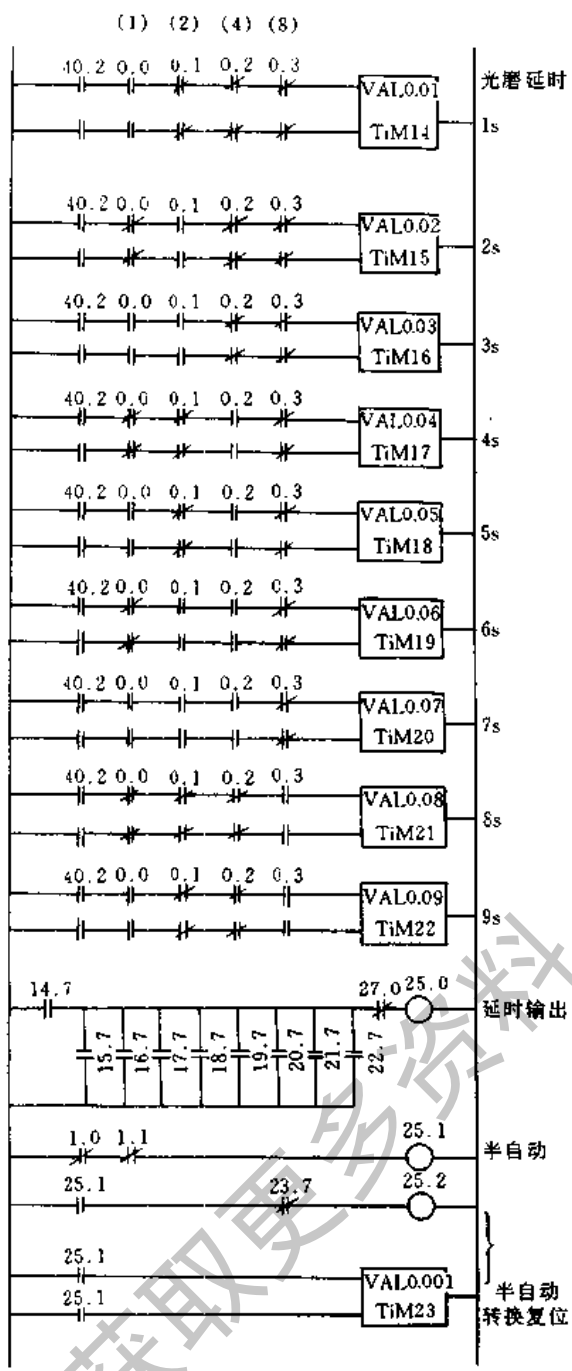


图 13.2.9 PC 输入/输出接口图



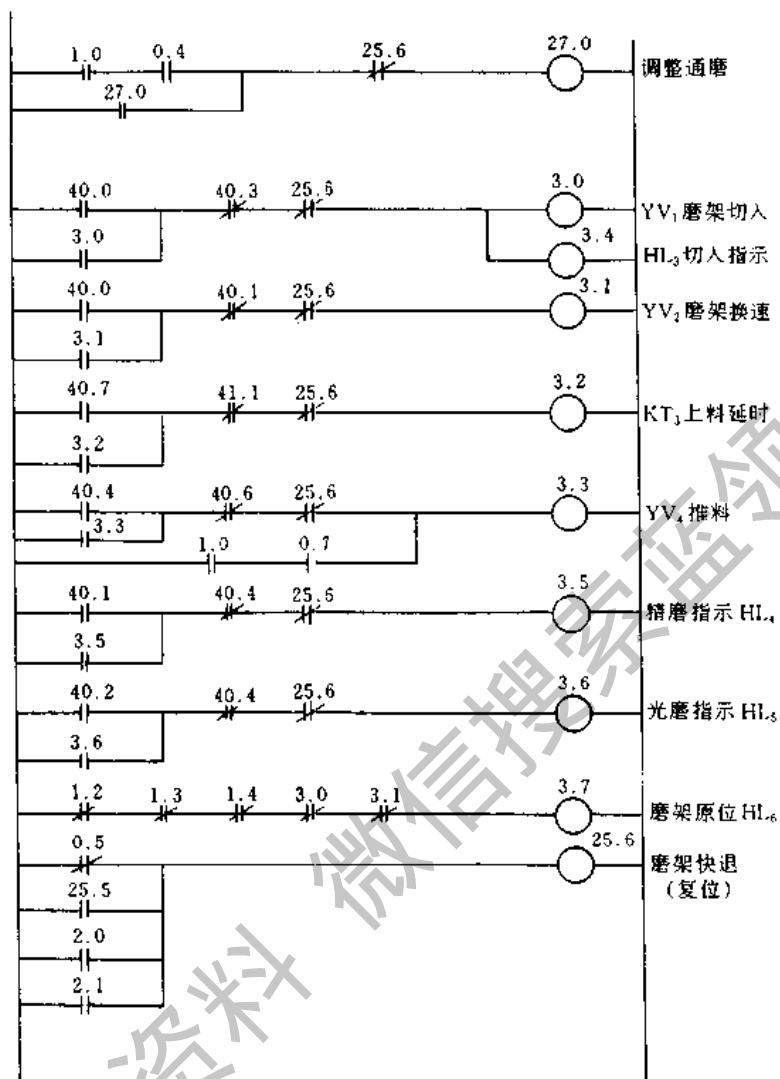


图 13.2.10 PC 梯形图

PC 输入/输出口号	代号	说 明	PC 输入/输出口号	代号	说 明
0.0	(1)	光磨延时	1.5	SQ ₄	推料杆原位
0.1	(2)	光磨延时	1.6	SQ ₅	推料杆前位
0.2	(4)	光磨延时	1.7	KA ₁	润滑流量
0.3	(8)	光磨延时	3.0	YV ₁	磨架切入
0.4	SB ₄₀	切入开始	3.1	YV ₂	磨架快速
0.5	SB ₄₁	磨架快速	3.2	KT ₃	上料延时 (推料)
0.6	KT ₃	上料延时 (推料)	3.3	YV ₄	推料
0.7	SA ₄₃	推料	3.4	HL ₃	切入
1.0	SA ₂	调整	3.5	HL ₄	精磨
1.1	SA ₂	自动	3.6	HL ₅	光磨
1.0 3.1	SA ₂	半自动	3.7	HL ₆	磨架退出
1.2	SQ ₁	磨架原位	2.0	KA ₂	电机过载
1.3	SQ ₂	精磨	2.1	KA ₃	变频器异常输出
1.4	SQ ₃	光磨			

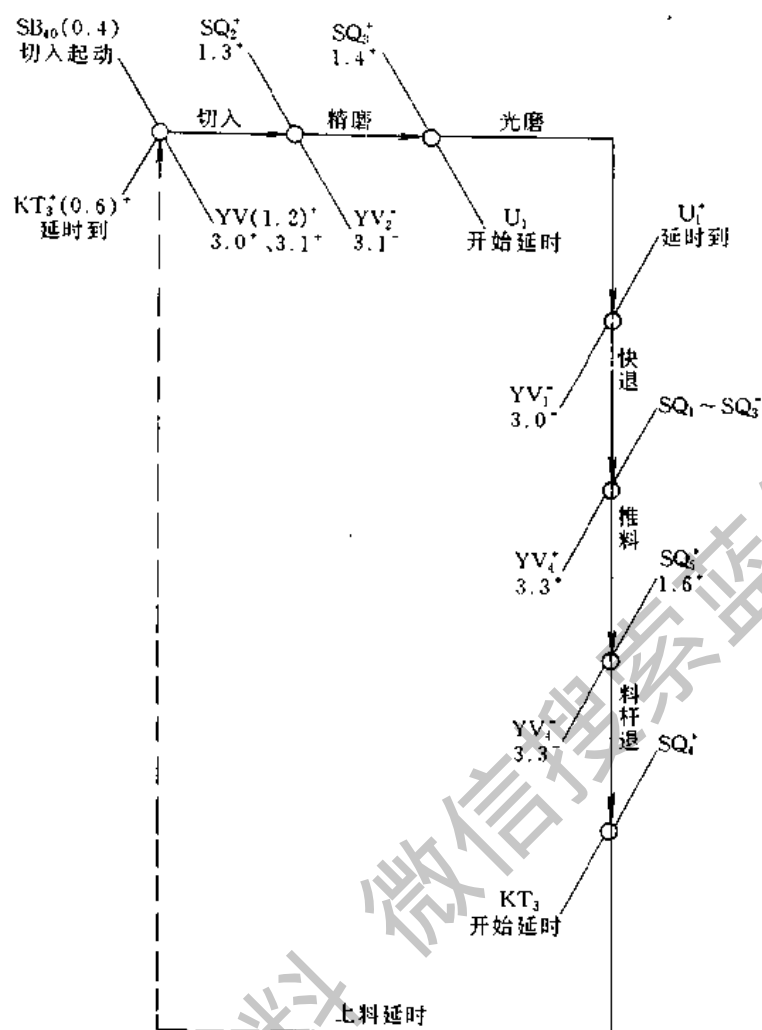


图 13.2.11 动作流程图

表 13.2.1 电磁阀动作表

电磁阀动作		程 序								
		开车	上料(延时)	切入	精磨	光磨延时	磨架快退	推料	料杆退回	补偿
YV ₁	切入	-	-	+	+	+	-	-	-	-
YV ₂	换速	-	-	+	-	-	-	-	-	-
YV ₃	补偿	-	-	-	-	-	-	-	-	+
YV ₄	推料	-	-	-	-	-	-	+	-	-

注：图中“+”表示电磁阀通电，“-”表示电磁阀断电。

(1) 调整 如图 13.2.9 所示，当 SA₂ 旋钮拨在调整位置时，该 1.0 输入口接通，这时可按压切入开始按钮

(SB₄₀) 输入点 0.4 接通, 此时内部步控器 40.0~40.2 按顺序接通, 产生切入→精磨→磨架停在终点位动作, 然后按压“磨架快退”(SB₄₁), 输入点 0.5 发信号使内部继电器 25.6 接通, 使步控器复位。且电磁阀 YV₁ (3.0)、YV₂ (3.1) 断电, 达到磨架快退至起始位的动作。也就是说, 在调整位可以进行通磨磨削。旋动“推料”开关 SA₃ 使输入点 0.7 号接通, 电磁阀 YV₄ (3.3) 输出得电, 达到手动推料动作。补偿按钮 SB₄₂ (图中未标注), 电磁阀 YV₃ 得电动作。根据需要可在任何工作状态下都可按动补偿, 不影响其他动作。

(2) 自动 自动动作参阅图 13.2.10 和图 13.2.11。图中步控器 40.0~41.1 的程序控制, 达到了自动磨削的要求。梯形图中光磨延时时间采用 PC 内部延时继电器用拨码开关的 8、4、2、1 码对应输入点 0.3、0.2、0.1、0.0 进行输入选通, 以达到光磨延时的动作。在机床碰到紧急情况时, 可按磨架快退按钮 SB₄₁, 以确保机床动作稳定、可靠、安全。

(3) 半自动 半自动动作由 SA₂ 选择开关进行选择, 输入信号是用 1.0 和 1.1 的非来组合, 在梯形图中用内部继电器 25.1 作为半自动信号。其他动作与自动动作相似, 不同处是在推料结束后循环即停止, 必须再按“切入起动”按钮才能进行下一个循环。

第三节 3MZ203/CNC 自动轴承内圆磨床

一、产品型号含义



二、电路结构原理

1. 动力电路

该机床动力部分由 8 台电动机组成, 有油泵 M1、工件冷却泵 M2、磨头冷却泵 M4、磁分电机 M3、吸雾电机 M6、工件电机 M5、振荡电机 M7、砂轮电机 M8, 如图 13.2.12 至图 13.2.14 所示。机床的输入电压为 3~380V/3~220V, 机床的总功率为 14kW。根据磨削精度的要求, 工件电机 M5 采用交流变频调速装置控制, 可选择不同的频率 (0.5~240Hz) 来满足工件电机的不同转速要求。振荡电机 M7 与工件电机一样, 采用交流变频调速装置来控制。砂轮电机 M8, 要求转速高, 故采用高频变频器控制, 它是全微机化控制的交-直-交型变频装置, 由于采用微处理器和专用变频集成芯片, 所以控制速度快, 斩波频率高, 输出高频电源高达 2000Hz。因磨削不同工件时所配用的砂轮轴转速和功率不同, 该装置均采用热敏电阻埋入式过热保护并配有专用冷却箱。砂轮轴有变频器供电, 它随频率同步变化, 可在 0~350V 之间变化。输入电压为交流 380V (变频器)。如图 13.2.14 所示。

2. 动力控制电路

控制电路 (交流 110V) 由 TC₂ 供电获得电压, 用于接触器、激磁等控制电压。交流 24V 用于照明, 由 TC₂ 供电获得。指示灯、电磁阀、继电器等由三相稳压电源提供直流 24V 电压 (GS₂), 如图 13.2.15 所示。交流 220V 电压用于 PC、量仪等控制, 由 TC₃ 供电获得。由 TC₁ 供电三相 220V 用于伺服驱动输入电源, 如图 13.2.16 所示。

该机床总电源开关为自动空气开关, 采用开门联锁装置进行安全保护。电动机主回路采用保护开关, 电机过载或短路时, FS₁~FS₃ 辅助触点动作, HL₂ “电机过载” 指示灯亮, 电机即停止运行。电机的起动用 SB₅ 来控制, 当按压 SB₅ 后 KM₁ 即工作并自锁, 如图 13.2.15 所示。工件电机和振荡电机的起停都通过 PC 的输入和输出来控制。砂轮电机的起停是直接由高频变频器上控制的。

3. 动作控制系统的构成

该机床采用华光公司的可编程控制器 10 位控模块 (E02PP) 带伺服驱动和伺服电机 + GP 显示器来进行机床的动作控制。

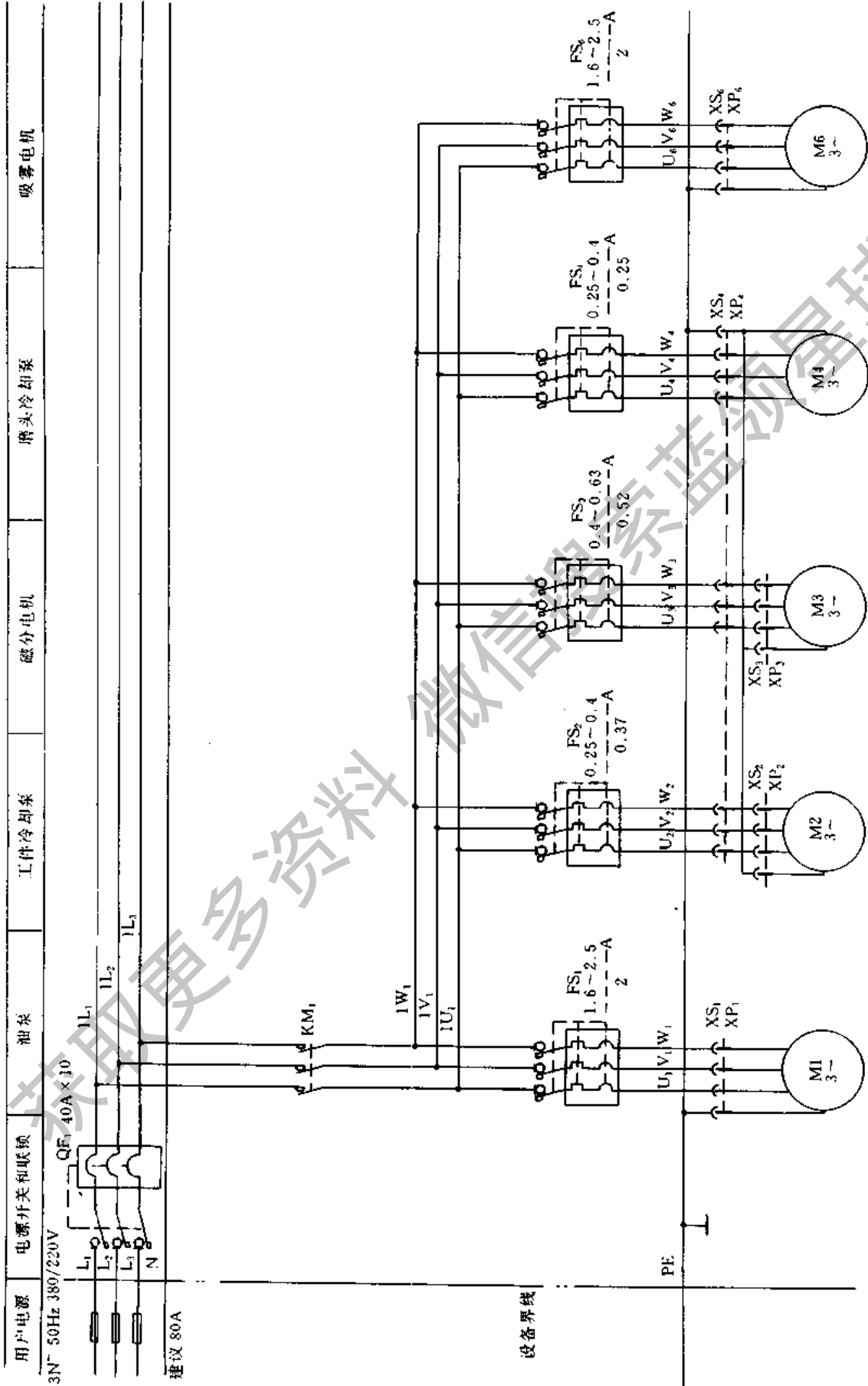


图 13.2.12 动力电路(一)

振荡电机变频调速装置及振荡电机

工件电机变频调速装置及工件电机

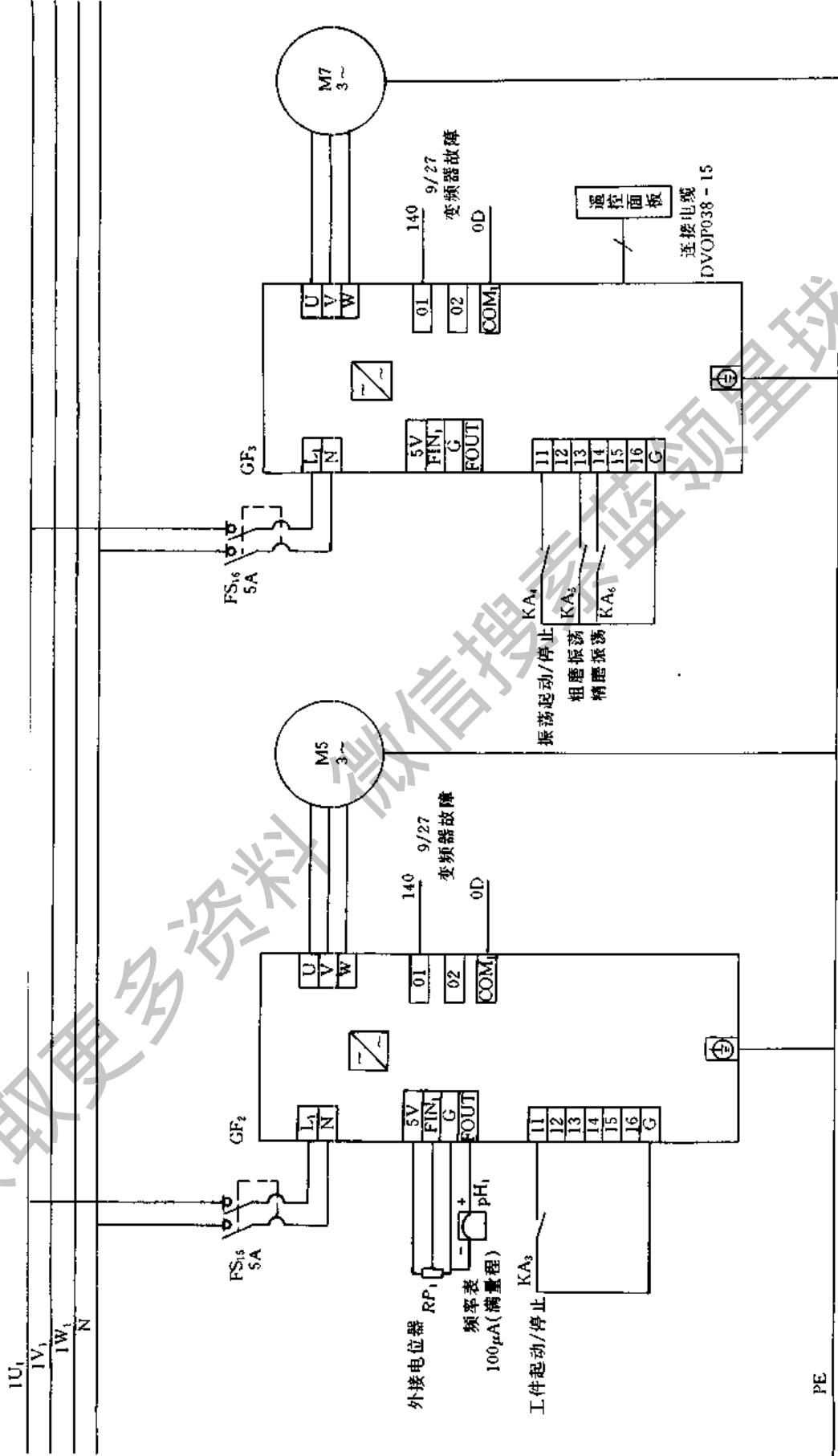


图 13.2.13 动力电路(二)

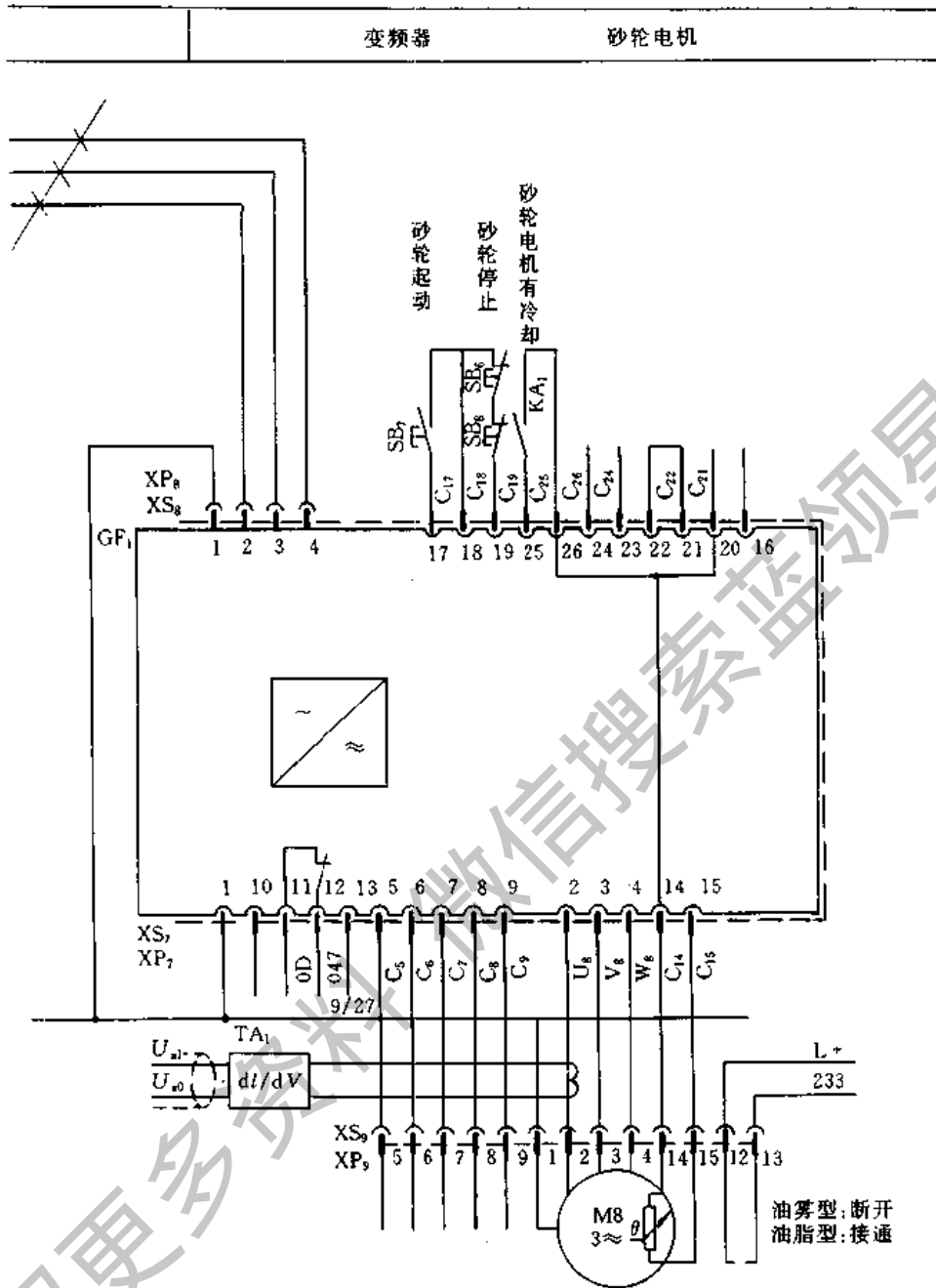


图 13.2.14 动力电路 (三)

机床的磨削进给方式可采用定程或仪表, 机床的工作方式可采用调整、半自动、自动, 砂轮的修整方式可采用计数修整或请求修整。

该控制系统采用 SE-22CPU 模块, 其用户程序运行速度快, 平均处理速度为 2.4ms (0.5K 语。顺序控制命令), 具有级式编程功能和指令、梯形图程序和级式程序混合使用以及有定时扫描方式和矩阵扫描输入和输出功能, 且内装 RS-232C 通信接口, 用户程序采用 EEPROM 进行存储。

E02PP 位控模块是一个智能性模块, 它是一个特殊的输入输出单元。用于轴定位的马达通常有两类, 一类为伺服马达, 一类为步进马达, 该模块具有两类定位功能。该机床用控制伺服马达的速度来进行定位, 且有自己的 CPU, 它根据操纵板上设置的数据以及测量仪的输入信号等命令, 按照 PC 的程序发出一系列的脉冲信号, 通过伺服驱动器来控制伺服电机运动的位置。

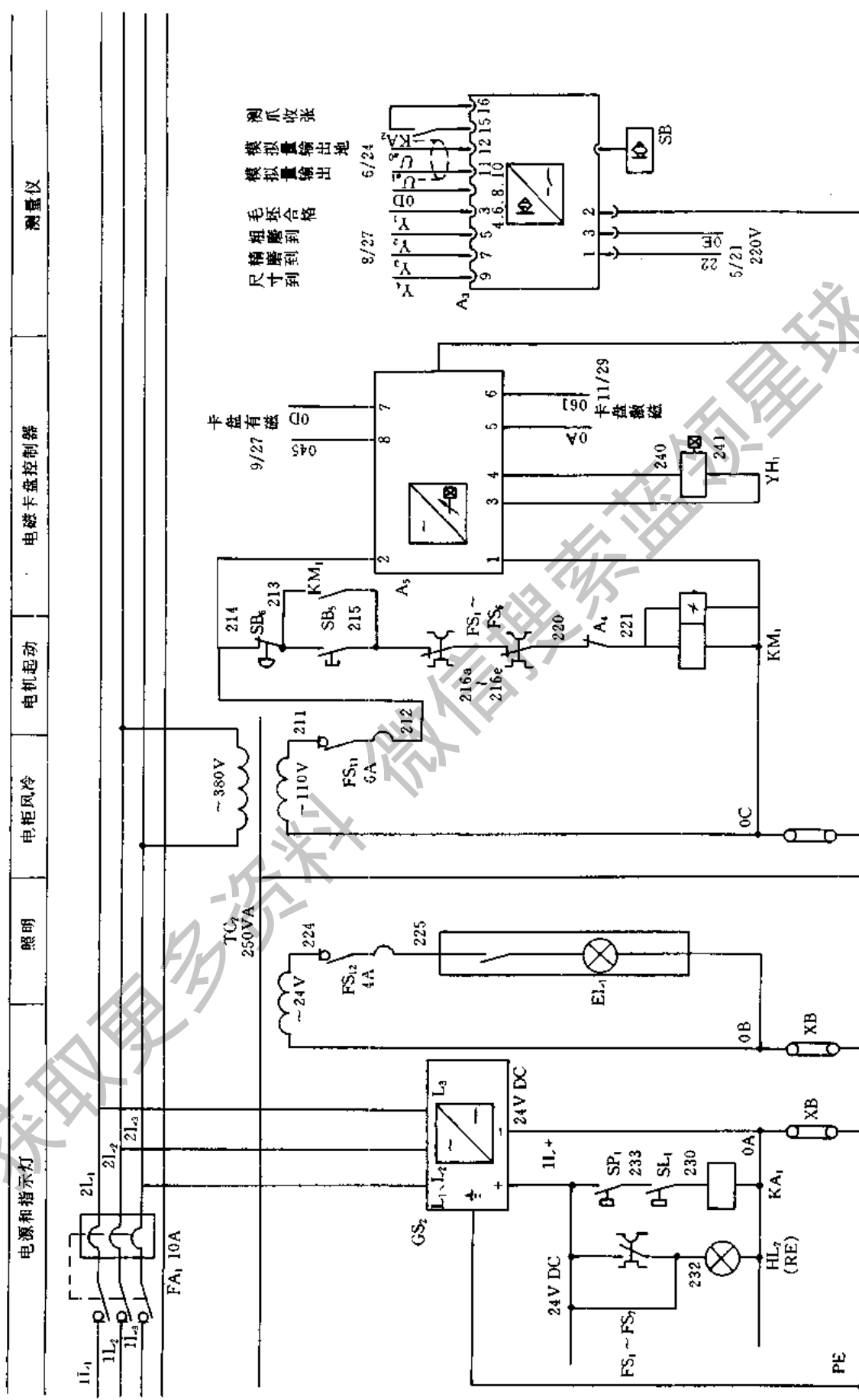


图 13.2.15 动力控制电路(一)

电机过载

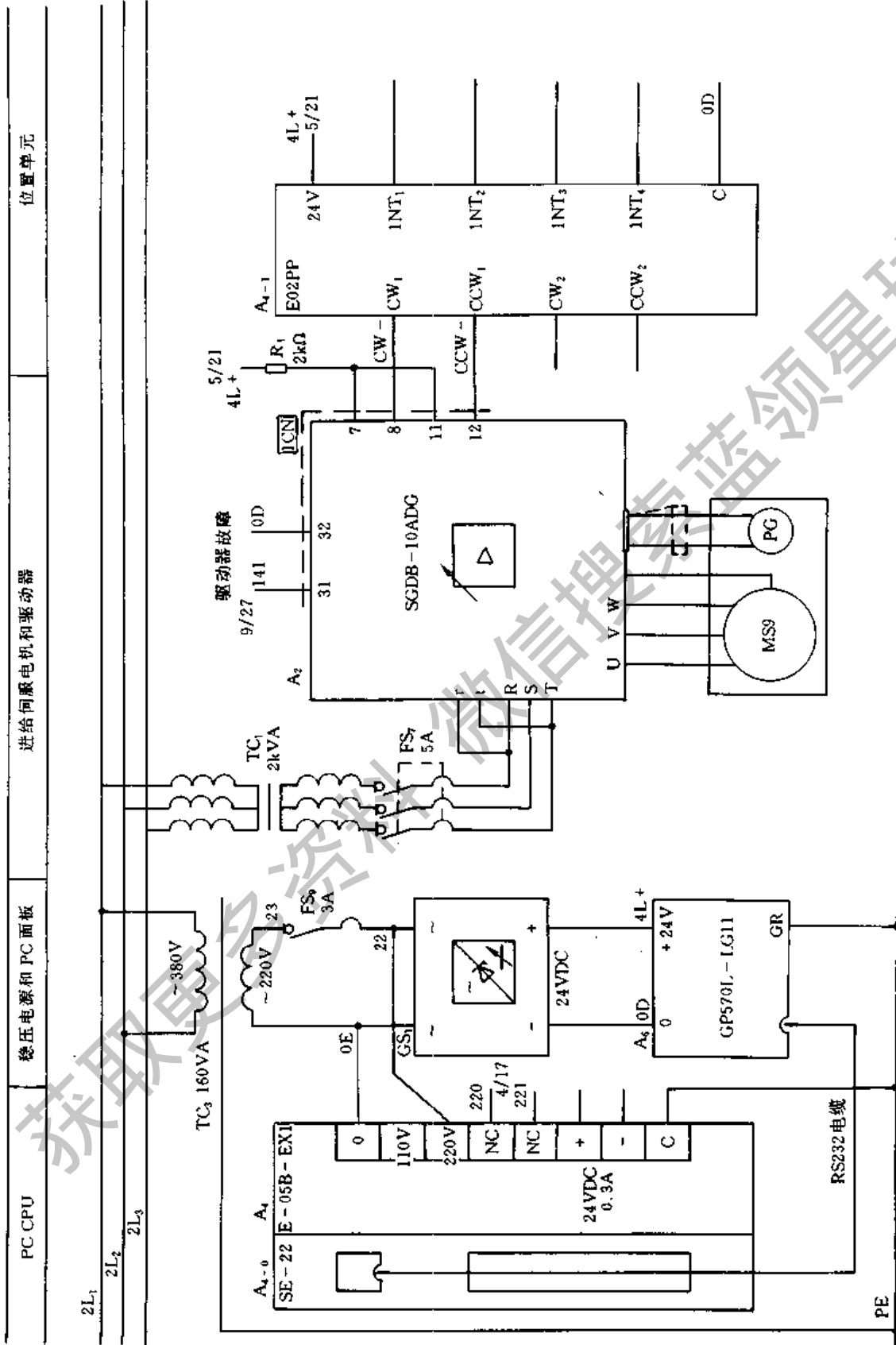


图 13.2.16 动力控制电路(二)

PC的输入和输出模块根据机械结构来选择输入和输出的点数,如图13.2.17至图13.2.19所示。输入系列设计的目的是把来自按钮、旋钮、限位开关或其他传感器的AC或DC信号变换为可编程控制器可以处理的低压DC逻辑信号。其输出系统是把可编程控制器的逻辑信号变换为用以驱动输出负载的AC或DC信号。

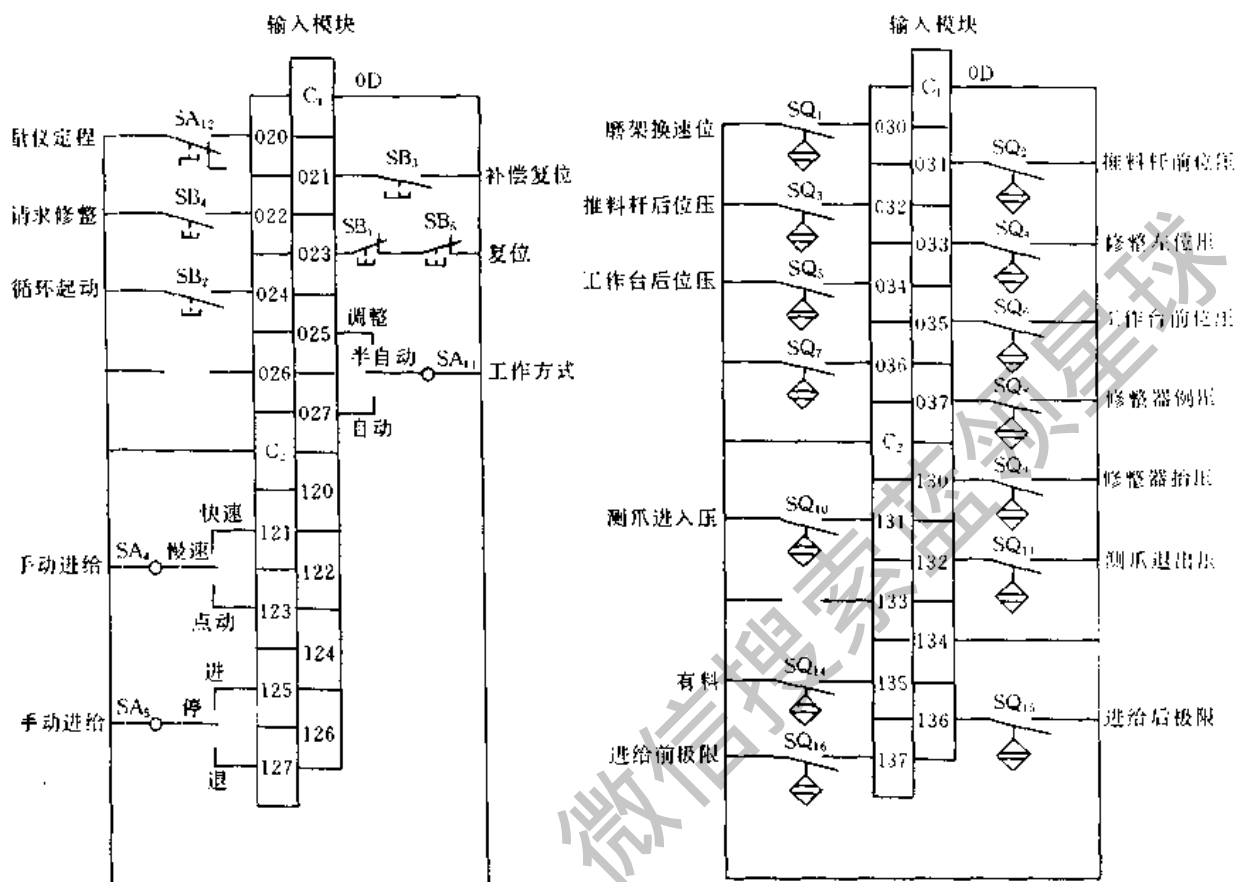


图 13.2.17 接口图

模拟量输入模块是为了用量仪测得的模拟量或用砂轮电机的电流转换而来的模拟量信号(0~5V)供CPU处理,以及时改变进给速度,达到磨削精度的要求。

该系统的GP显示器是取代传统的控制面板和键盘的智能操作显示器,它用于设置磨削参数、显示各种数据,以动画的形式描绘自动化控制过程,简化程序。

GP显示器以通讯方式与PC的输入和输出直接进行信息交换,可直接读取或改写PLC的数据寄存器、延时继电器,且可自动监控和手动监控、检测、报警实时状态,从而减轻了PLC用户程序的负担,提高了工业控制自动化程度。如图13.2.20至图13.2.23所示。

4. 机床动作控制

(1) 调整 如图13.2.17所示,当SA₁₁选择开关拨在调整位置时,输入点025接通,发光二极管亮,这时可在GP显示屏幕上做机械手推料或返回、卡盘激磁或断磁、磨架左行或右行或停、修整器倒下或抬起、仪表架进入或退出、测爪张开或收缩、振荡架是粗振或精振或者停等动作,如图13.2.20所示。它是由PC梯形图直接控制的。如当按机械手推料动作时,输入点105接通,并带动YV₄电磁阀053(图13.2.19)输出得电,从而实现了调整的动作。其他调整动作类似于这样控制。在程序设计时也要考虑动作安全联锁,如磨架左行时修整器不能倒下等动作。这要按照机械结构的情况而定。这里不再一一介绍。

在调整位置时,也要做进给调整运动,这在PC梯形图中控制,进给速度由SA₄(图13.2.17)来选择,当输入点121接通是伺服进给快速,当121和123的非是伺服进给慢速,当输入点123接通时是进给点动。那么,进给的方向由SA₅来控制,当输入点125接通时是伺服往前进,当输入点127接通时伺服电机往后退,当输入点125和127的非是伺服电机停,从而实现手动伺服电机的调整设定。当手动调整完,作为伺服电机进给的起

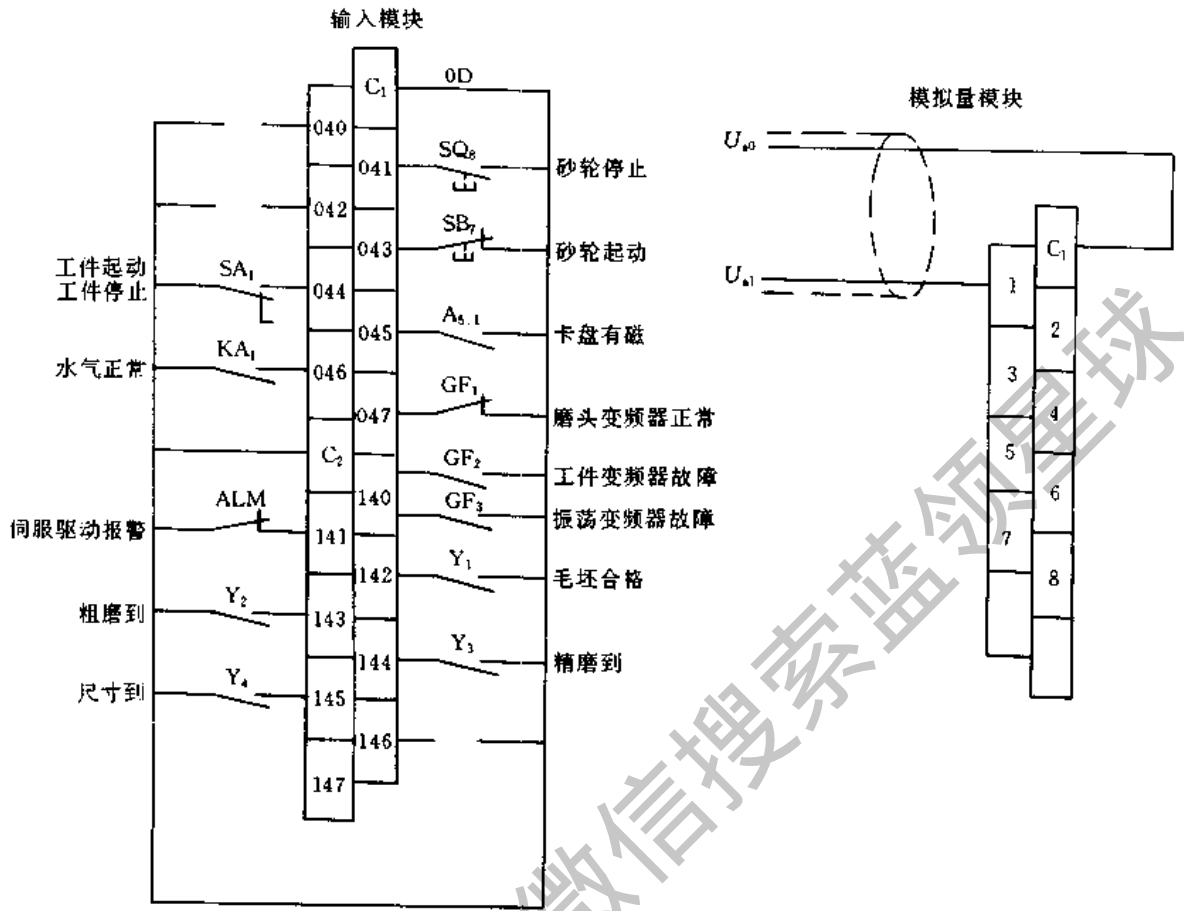


图 13.2.18 接口图

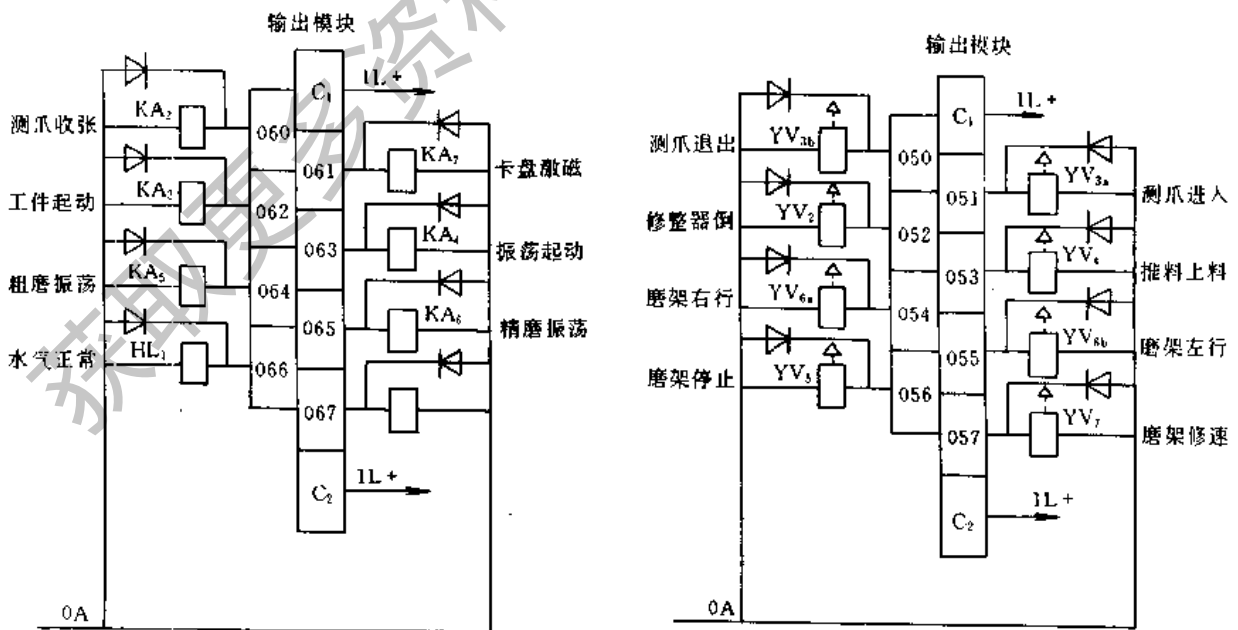


图 13.2.19 接口图

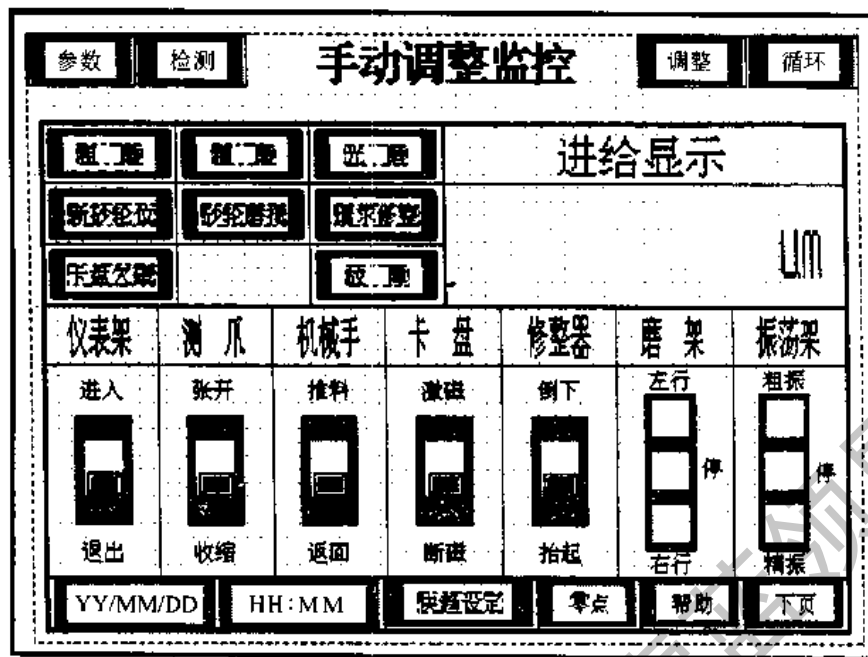


图 13.2.20 手动调整

始点的话，那么就按一下屏幕上“零点”键，这就为下面自动动作作好准备。如图 13.2.21 所示。

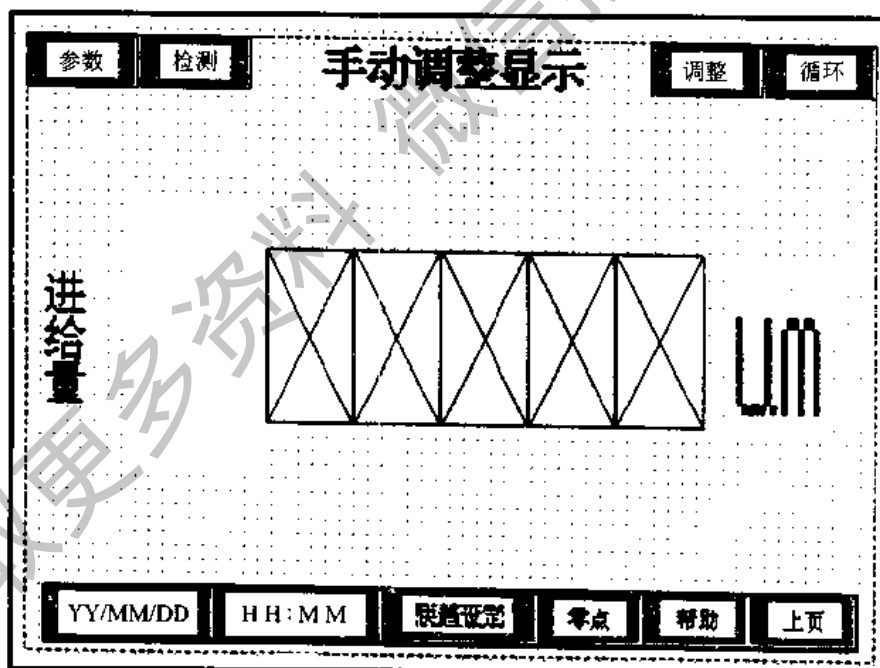


图 13.2.21 手动调整显示

(2) 自动 当 SA_{11} 拨到自动动作时，输入点 027 (图 13.2.17) 接通。这时首先要把机床恢复到原始位置，机床复位的动作是在 PC 梯图中控制的。在机床运行前，首先要把所有的磨削参数设置好，如图 13.2.22 所示，否则要报警，无法运行。

全自动循环动作由图 13.2.23 和表 13.2.2 可看出，PC 梯图控制是按照这两图来编程设计的。循环动作有定程进给或仪表进给，这由 SA_{12} 来选择，砂轮修整方式可计数修整或请求修整，这都可在 PC 梯形图中实现。

参数		参数		参数设置		调整		循环	
快进量	XXXX	UM	大补偿	XXXX	UM	快进速度	XXXX	U/S	
快首量	XXXX	UM	进给量	XXXX	UM	快首速度	XXXX	U/S	
粗进量	XXXX	UM	自修量	XXXX	UM	粗进速度	XXXX	U/S	
精进量	XXXX	UM	修进量	XXXX	UM	精进速度	XXXX	U/S	
回动量	XXXX	UM	修进量	XXXX	UM	回动速度	XXXX	U/S	
长进给	XXXX	UM	修进量	XXXX	UM	长进速度	XXXX	U/S	
补进给	XXXX	UM	修进量	XXXX	UM	补进速度	XXXX	U/S	

图 13.2.22 参数设置

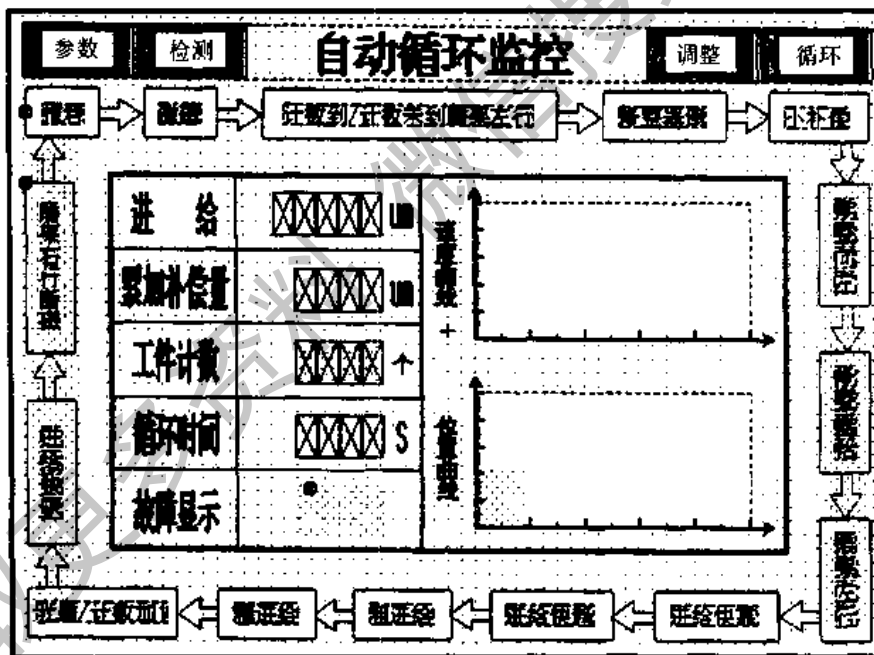


图 13.2.23 自动动作循环图

(3) 半自动 半自动动作由 SA₁₁ 来选择, 当输入点 027 和 025 的非来组合控制的, 在梯图中用内部继电器 161 来控制作为半自动信号。其他动作与自动动作相似, 不同处是在磨架右行断磁结束后循环即停止, 必须再按循环起动 SB₂ 按钮才能进行下一个循环。

(4) PC 梯形图的控制 PC 梯形图是按照循环动作表和电磁阀动作表来进行设计编程的。在编程中, 参照外部输入和输出的定义号来进行编号动作。该 PC 是按照基本梯形图指令以及内外部使用的定义号进行快速扫描, 这个扫描过程也就是所有 PC 的基本原理。该 PC 通过输入和输出总线对 E02PP 模块发各种控制命令, 并从 E02PP 位控模块接收信息。位控模块根据 PC 的命令以及马达当时的运动状态, 输出相应的速度控制信号, 使伺服马达按动作要求运转, 达到位置控制的目的。

表 13.2.2 电磁阀动作表

编号	作用	动 作 顺 序																		
		计数器修整自动循环						计数器发讯修整				砂轮过小发讯换新砂轮长期修整								
		启动	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
YV ₂	修整器倒								+	+						+	+	+	+	
YV _{3a}	仪表测爪进			+	+				+	+	+			+	+	+	+	+	+	+
YV _{3b}	仪表测爪退	+	+			+	+	+	+				+	+						
YV ₄	推料上料		+						+											
YV ₅	工作台停						+	+	+		+							+		+
YV _{6a}	工作台退	+	+	+		+	+	+	+	+		+	+						+	
YV _{6b}	工作台进				+						+	+			+	+	+	+		+
YV ₇	工作台修速					+	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+

注：“+”表示电磁阀吸。

第四节 M7130 卧轴矩台平面磨床

图 13.2.24 为 M7130 卧轴矩台平面磨床电气原理图。M7130 卧轴矩台平面磨床的电气控制是通过 FU₁、FU₂、FU₅ 构成短路保护及 FR₁、FR₂ 构成过载保护线路的，同时由 KUC 欠电流继电器与砂轮电动机实现联动保护。

电气控制的动作过程

(1) 磨削加工 合上电源开关 QS₁，将电磁吸盘开关 SC₂ 扳向“吸着”位置，SC₂ (14-16)、(13-15) 闭合，接通电磁吸盘 YH 电路，欠电流继电器 KUC 吸合，其常开触头 KUC (6-8) 闭合后，接通各电动机的控制电路。注意：只有在磨削工件被电磁吸盘 YH 吸牢的情况下，才能开动砂轮电动机及油泵电动机。

(2) 加工完毕进行退磁 将开关 SC₂ 置于退磁位置，SC₂ (14-15)、(13-17) 闭合，直流电流经过退磁限流电阻 R₁ 反向接到电磁吸盘 YH 上，这样反复操作几次 SC₂，以达到退磁的目的。

(3) 用退磁器退磁 因加工的材质用上述退磁方法不能达到退磁要求时，可将退磁器插头插入插座 XS 中，用退磁器在电磁吸盘 YH 上往返几次，从而达到退磁的目的。

(4) 不用电磁吸盘开动电动机 将转换开关置于退磁位置，由 SC₂ (6-8) 接通各电动机的控制电路，从而可在不用电磁吸盘时开动各电动机。

(5) M7130 工作台的运动 通过液压来控制速度，换向则是通过机械动作来实现的。直流回路中 R₂ 作为切断电磁吸盘电源的瞬间所产生感应电动势的放电通路。电阻 R₃ 和电容 C 起阻容保护作用。

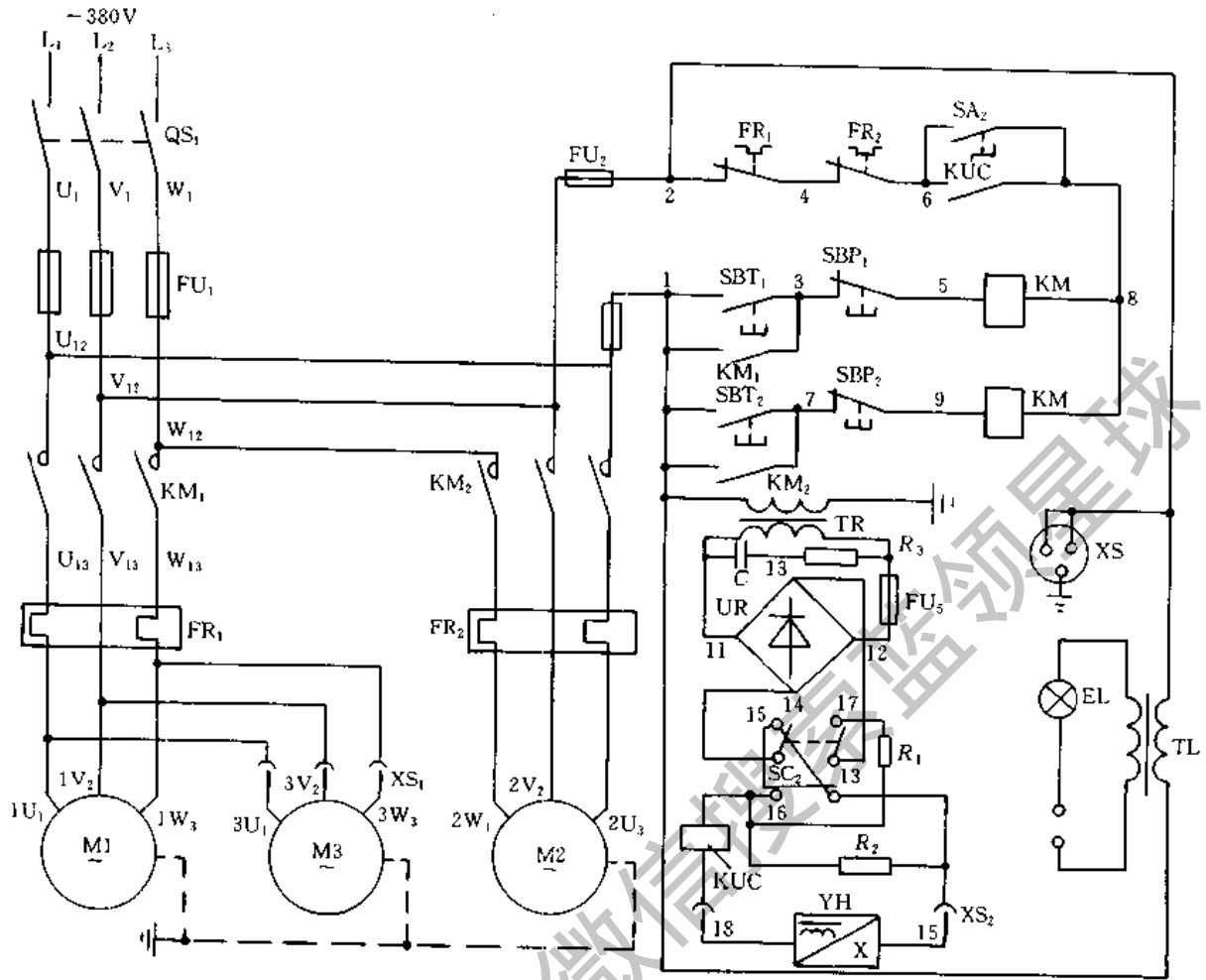


图 13.2.24 M7130 卧轴矩台平面磨床电气原理图

第三章 卧式镗床电气控制

卧式镗床由床身、前立柱、后立柱、主轴箱和工作台等五大部件组成。卧式镗床有两种运动。即主轴与平旋盘的旋转运动。卧式镗床有多种进给运动，主轴的轴向进给、平旋盘刀架的径向进给、主轴箱上下进给、工作台的纵向和横向进给等，其传动机构分为主轴旋转和快速移动二个部分。本章以 T68 卧式镗床为例介绍电气的工作过程，如图 13.3.1 所示。

1. 开车前准备

第一步先合上电源开关 QF，变压器 TC 得电，1HL 指示灯亮，把转换开关 SA 接通，局部照明灯 EL 亮。

第二步把所需的主轴转速和进给量选择好，并把主轴箱及工作台的位置调整好，预备开车。

2. 主轴旋转及进给电动机 M1 的开动

欲使主电动机正转，可按下按钮 2SB，中间继电器 KA_1 线圈得电， KA_1 的常开触点 (6-7)、(4-11)、(16-19) 闭合，而常闭触点 (9-10) 则断开，此时产生如下作用：

① 触点 (6-7) 闭合后，能使 KA_1 继续保持线圈通电，即自锁；

② 触点 (9-11) 断开后，能避免反向转动的中间继电器 KA_2 接通，即互锁；

③ 触点 (4-11) 闭合后，接触器 KM_3 通电，其常开触点 (19-7) 闭合；

④ 触点 (16-19)、(19-7) 闭合后，电动机 M1 的正转接触器 KM_1 接通， KM_1 常闭触点 (20-21) 断开，与反转接触器 KM_2 互锁，其常开触点 (17-8) 闭合，使接触器 KM_5 的线圈得电，其常开触点闭合，电动机 M1 线圈按三角形接法得电按 1500r/min 作正向转动。

如果需要电动机 M1 反转则可按下 3SB 按钮，其动作情况与前述类似。

如果选择的转速需要电动机 M1 转速为 1500r/min，可将变速开关 SQ_2 断开，使延时继电器 KT 线圈不通电，KT 的常闭延时断开触点 (23-17) 及常开延时闭合触点 (25-17) 保持原有状态。如果选择的转速需要电动机转速为 3000r/min，即把 SQ_2 (14-22) 开关闭合，当 KA_1 (或 KA_2) 的常开触点 (4-11) 闭合时 KT 将与 KM_3 同时通电，由于 KT 的延时作用，接触器 KM_5 先接通 M1 电动机按 1500r/min 转动，并在 1~2s 以后 KT 的常闭延时断开，触点 (23-17) 断开，触点 (25-17) 闭合，此时 KM_5 断电， KM_4 线圈通电，则电动机转速从 1500r/min 提高到 3000r/min。

3. 停车

当 M1 电动机正向转动以后，约在转速为 135~150r/min 时速度继电器的常开触点 RS_3 (21-17) 闭合，为反接制动停车作好准备，此时因为 KM_1 的常闭触点 (21-20) 已断开， KM_2 线圈是不通电的，停车时可按停止按钮 1SB，此时产生如下动作：

① 停车按钮 1SB 的常闭触点 (7-8) 断开， KA_1 、 KM_3 、KT 的线圈同时断电；

② 1SB 的常开触点 (17-8) 闭合，为反接制动接通线路准备条件；

③ KT 的常闭延时断开触点 (23-17) 闭合，常开延时闭合触点 (25-17) 断开，因此接通 KM_5 线圈电路，使电动机在 1500r/min 状态下反接制动停车；

④ 接触器 KM_3 及中间继电器 KA_1 的常开触点 (19-16)、(19-7) 同时断开，接触器 KM_1 断电；

⑤ 接触器 KM_1 在动力线路上的常开触点都断开，电动机断电；

⑥ KM_1 常闭触点 (20-21) 闭合，此时电动机转速仍很高，速度继电器常开触点 RS_3 (21-17) 仍在闭合状态，因此 KM_2 线圈通电，M1 电动机开始经电阻作反接制动；

⑦ 当电动机 M1 转速降至 40r/min 时，速度控制继电器的常开触点 RS_3 (21-17) 断开， KM_2 线圈断电反接制动终止。

如果电动机 M1 反转，则速度继电器的另一常开触点 RS_1 (16-17) 闭合，其反接制动停车动作同前述。

4. 调整转动

如果需要调整转动，可按下调整按钮 4SB (或 5SB)，此时接触器 KM_3 、中间继电器 KA_1 (或 KA_2) 及时间继电器 KT 的线圈都没有通电，因此 M1 电动机线圈在电路上是经电阻接成三角形得电，所以按 1500r/min 转动，与 4SB (或 5SB) 按钮松开时，因电路 (17-8) 是断开的，电动机不能作反接制动。

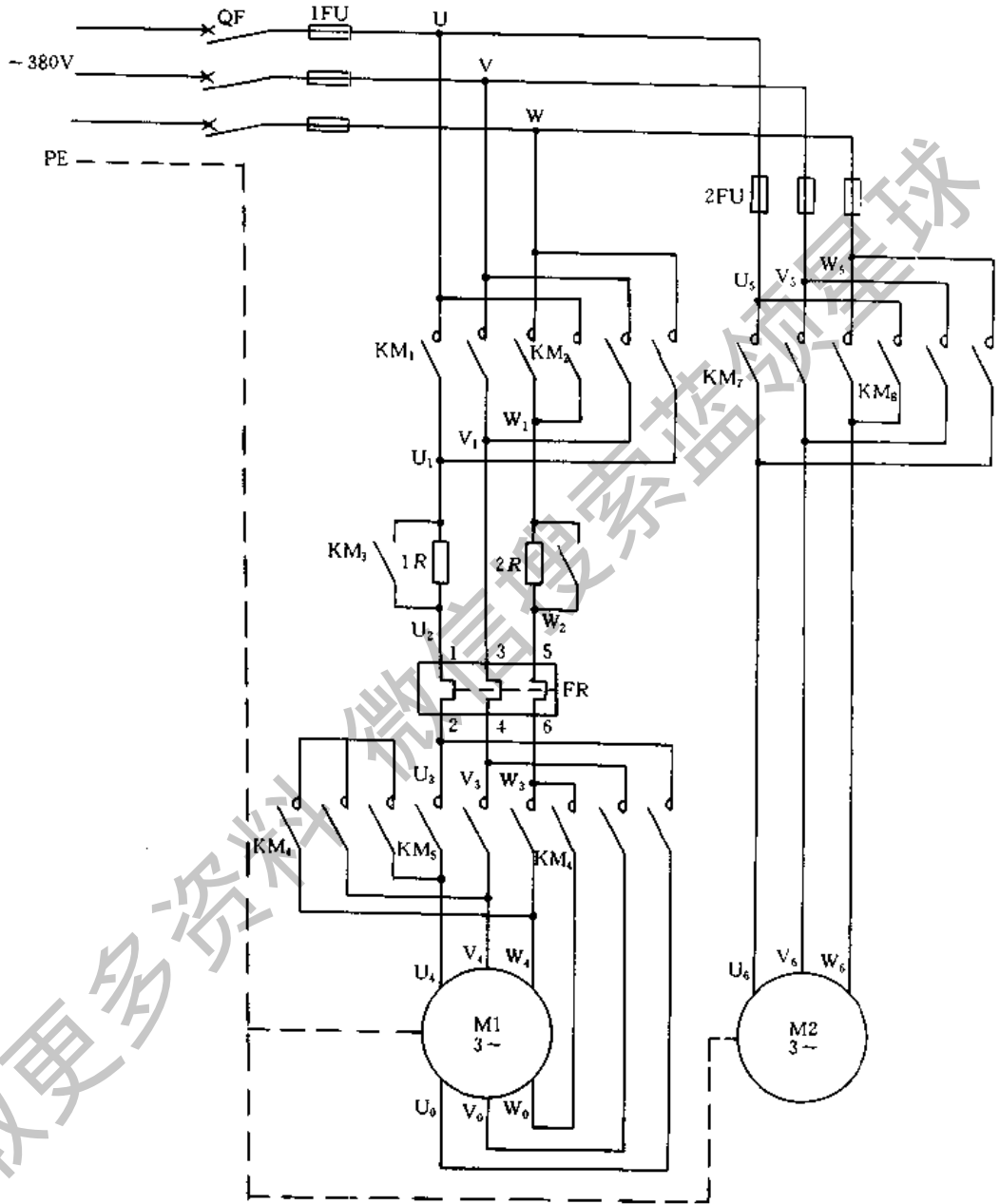
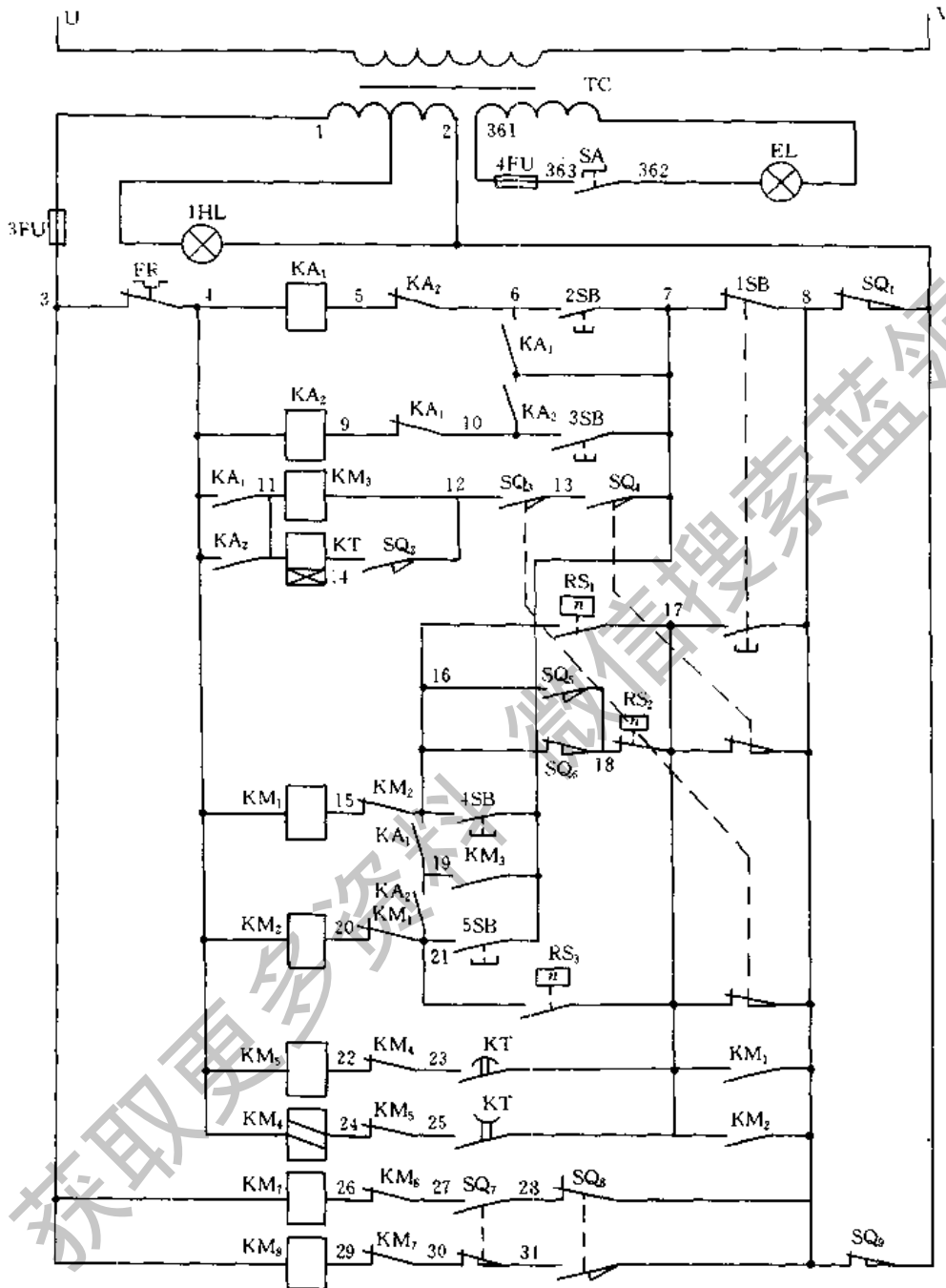


图 13.3.1 168



卧式镗床的控制电路

如果停车时电动机的转速仍很高，可按停止按钮 1SB，电动机就能迅速停止。

5. 主轴变速及进给变速

(1) 主轴变速 主轴的各种速度是通过变速操纵盘来调节变速传动系统而取得，在变换速度时必须先拉出变速的手柄，而不必按停止按钮。变换速度时，首先将手柄拉出，则开关 SQ_4 打开， KM_3 断电， KM_3 常开触点 (19-7) 打开， KM_1 断电，而速度继电器常开触点 RS_3 (21-17) 仍借助 M1 的惯性闭合， KM_2 线圈接通，M1 在通过电阻 R_0 的情况下进行反接制动，停车后 RS_3 (21-17) 打开， RS_2 (18-17) 闭合，其目的是为了在齿轮啮合不好时，给 M1 的低速运转准备条件。

变速时齿轮卡住，手柄推合不上，则开关 SQ_6 闭合，此时 RS_2 (18-17) 已闭合， KM_1 接通，电动机 M1 起动运转，当速度在 135 ~ 150r/min 时， RS_2 (18-17) 打开， KM_1 断电，电动机 M1 亦断电。当速度降低到 40r/min 时， RS_2 (18-17) 闭合， KM_1 又被接通，电动机 M1 重新起动，重复其动作直至齿轮啮合后方能推合手柄。上述动作的目的是为了变速时能在 150r/min 左右缓慢运转，以便于齿轮的顺利啮合。齿轮啮合后推上手柄，重新将开关 SQ_4 闭合，接触器 KM_3 、 KM_1 及 KM_5 (或 KM_4) 接通电动机 M1，起动主轴并按选定的速度运转。当电动机 M1 在 3000r/min 运转时， SQ_2 闭合，接通时间继电器 KT 使其在起动 M1 时通过 1500r/min 而达到 3000r/min (即 3000)。当主轴电动机在反转情况下运转时，如欲使其变速，将变速手柄拉开，其动作顺序同上所述。

(2) 进给变速 与主轴变速相同，只是压的开关是 SQ_3 和 SQ_5 。

6. 快速移动传动

为了使机床各个机构进行快速移动，以缩短辅助时间，机床上装有快速移动电动机 M2，用手柄压下开关 SQ_7 (或 SQ_8)，使接触器 KM_7 (或 KM_8) 的线圈通电，快速移动电动机 M2 就按正向 (或反向) 快速移动。当手柄松开，开关 SQ_7 (或 SQ_8) 恢复原状 (断开)，接触器 KM_7 (或 KM_8) 线圈断电，电动机 M2 也就停止转动。

7. 联锁保护装置

开关 SQ_1 和 SQ_9 并联接在电动机 M1 及快速移动电动机 M2 的控制电路中。开关 SQ_1 与手柄用机械机构连接着，此手柄操纵工作台进给以及主轴箱进给装置。当手柄在动作时开关 SQ_1 断开。同样开关 SQ_9 与另一个手柄也用机械机构连接着，这个手柄是用来操纵主轴的进给，当这个手柄动作时开关 SQ_9 断开，各个电动机必须在开关 SQ_1 和 SQ_9 中有一个处于闭合状态才可以工作，如果两个手柄都处在动作位置时，开关 SQ_1 和 SQ_9 都断开，便不能开动机床或进行快速移动。

第四章 铣床电气控制

本章介绍的 XA6132 型铣床的机械操纵与电气控制的配合十分密切。铣床的主体运动是刀具的旋转。刀具固定在上轴上，随加工精度、工件材料及铣刀规格的差异，要求主轴能够变速，它是靠电动机拖动变换齿轮来实现的。变速过程中要求电动机能够实现冲动和制动，以便缩短变速过程。其辅助运动是使工作台沿导轨上下、左右、前后 6 个方向实现进给及快速移动。用手柄选择运动的方向，以实现电动机的正反转（有的运动要靠机械与电气紧密配合来实现）。工作台的进给速度靠变换齿轮来达到，但其控制环节有独到之处，手柄操作使 3 个方向的进给相互连锁。

一、电气线路的工作原理

1. 控制线路的主要控制功能

- ① 主轴电动机、进给电动机及冷却泵电动机的起动与停止控制
- ② 主轴的正反转控制
- ③ 主轴制动控制
- ④ 工作台进给方向控制
- ⑤ 工作台机动工作进给和快速移动转换控制
- ⑥ 主轴电动机和进给电动机瞬时转动控制
- ⑦ 主轴电动机与进给电动机起动顺序控制
- ⑧ 机床照明控制
- ⑨ 电动机过载保护
- ⑩ 工作台超速保护

2. 主轴电动机的起动、停止（图 13.4.1）

起动主轴时，先将引入开关 QF_1 闭合，再把主轴换向开关 SA_4 转到主轴所需的旋转方向，然后按下起动按钮 SB_3 （或 SB_4 ），接通（10-3）及（12-13），接通接触器 KM_1 （或 KM_2 ），即可起动主轴电动机。停止主轴时，按停止按钮 SB_1 （或 SB_2 ），切断（4-7），切断接触器 KM_1 （ KM_2 ）线圈的供电电路，并接通主轴制动电磁离合器 YC_1 ，主轴即可停止转动。为了变速时齿轮易于啮合，需使主轴电动机瞬时转动，当变速手柄推回原来位置时，压下行程开关 SQ_5 ，瞬时接通 KM_1 （或 KM_2 ）（8-13）接触器，使主轴电动机作瞬时转动。注意！应以连续较快的速度推回变速手柄，以免电动机转速过高而打坏齿轮。

3. 进给运动的电气控制

升降台的上下运动和工作台的前后运动完全由操纵手柄来控制，手柄的联动机构与行程开关连接，该行程开关装在升降台的左侧，后面一个是 SQ_3 ，它控制工作台向前及向下运动，前面一个是 SQ_4 ，它控制工作台向后及向上运动。

工作台的左右运动亦由操纵手柄来控制，其联动机构控制着行程开关 SQ_1 和 SQ_2 ，分别控制工作台向右及向左运动。手柄所指的方向即是运动的方向。工作台向后、向上手柄压 SQ_4 及工作台向左手柄压 SQ_2 ，接通接触器 KM_4 线圈，即按选择方向作进给运动。工作台向前、向下手柄压 SQ_3 及工作台向右手柄压 SQ_1 ，接通接触器 KM_3 线圈，即按选择方向作进给运动。只有在主轴起动以后，进给运动才能起动。未起动主轴时，可进行工作台快速运动，即将操纵手柄选择到所需位置，然后按下快速按钮即可进行快速运动。变速进给时，当蘑菇形手柄向前拉至极端位置，而在反向推回之前，借孔盘推动行程开关 SQ_6 ，瞬时闭合（22-26），接通接触器 KM_5 ，则进给电动机作瞬时运动，使齿轮容易啮合。

4. 快速行程的电气控制

开动主轴后，将进给操纵手柄扳到所需要的位置，则工作台就开始按手柄所指的方向，以选定的速度运动。此时，若将快速按钮 SB_5 （或 SB_6 ）压下，触头（12-21）闭合，接通继电器 KA_2 线圈，其触头（110-109）闭合，接通快速离合器 YC_3 ，并断开触头（104-108）和进给离合器 YC_2 ，工作台即按原运动方向快速移动。放开快速按钮 SB_5 （ SB_6 ）时，快速移动立即停止，工作台仍以原进给速度继续运动。

5. 圆工作台的回转控制

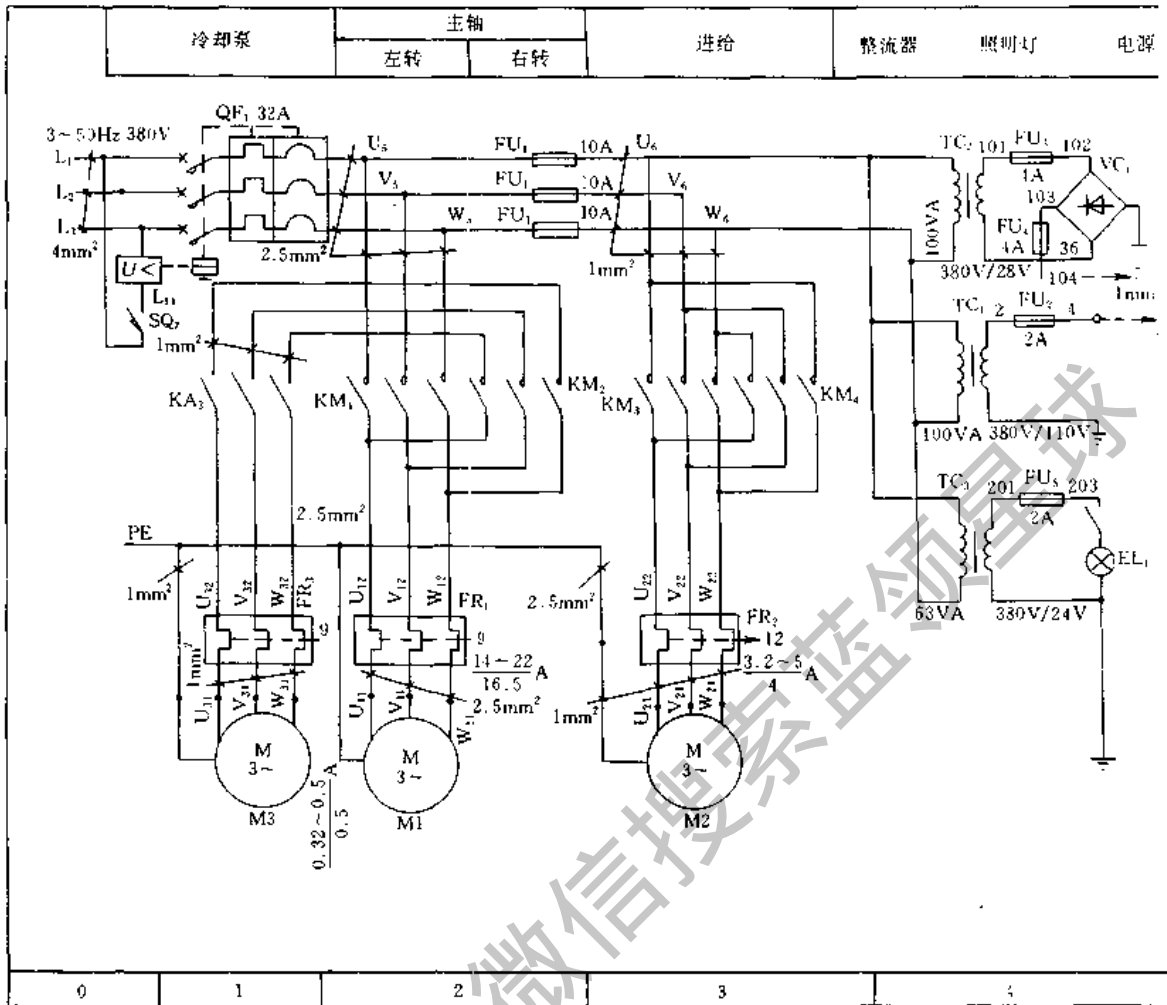


图 13.4.1 XA6132

圆工作台是 XA6132 的一个附件，可以手动回转，也可以通过工作台的光杆由进给电动机 M2 经传动机构驱动。使用时先把圆工作台转换开关 SA₂ 扳到接通位置，然后操纵起动按钮，则接触器 KM₁ (KM₂) 及 KM₃ 相继接通主轴和进给两个电动机。圆工作台与机床工作台的控制具有电气联锁，在使用圆工作台时，机床工作台不能作其他方向的进给。

6. 主轴上刀制动

当主轴上刀、换刀时，先将转换开关 SA₂ 扳到接通位置，然后再上刀、换刀，主轴不能旋转。已制动上刀完毕，再将转换开关扳到断开位置，主轴方可起动，否则主轴起动不了。

7. 冷却泵与机床照明

将转换开关 SA₁ 扳到接通位置，(13-18) 接通，则冷却泵电动机 M3 即起动。机床照明由照明变压器 TC₂ 供电，电压为 24V，照明灯 EL₁ 本身由开关控制。

8. 开门断电

左门由门锁控制低压断路器 QF₁，达到开门断电。右门中行程开关 SQ₇ 与低压断路器 QF₁ 失压线圈相连，当打开右门时，SQ₇ 闭合，使低压断路器 QF₁ 断开，达到 SQ₇ 仍带电的目的。

二、电气保护

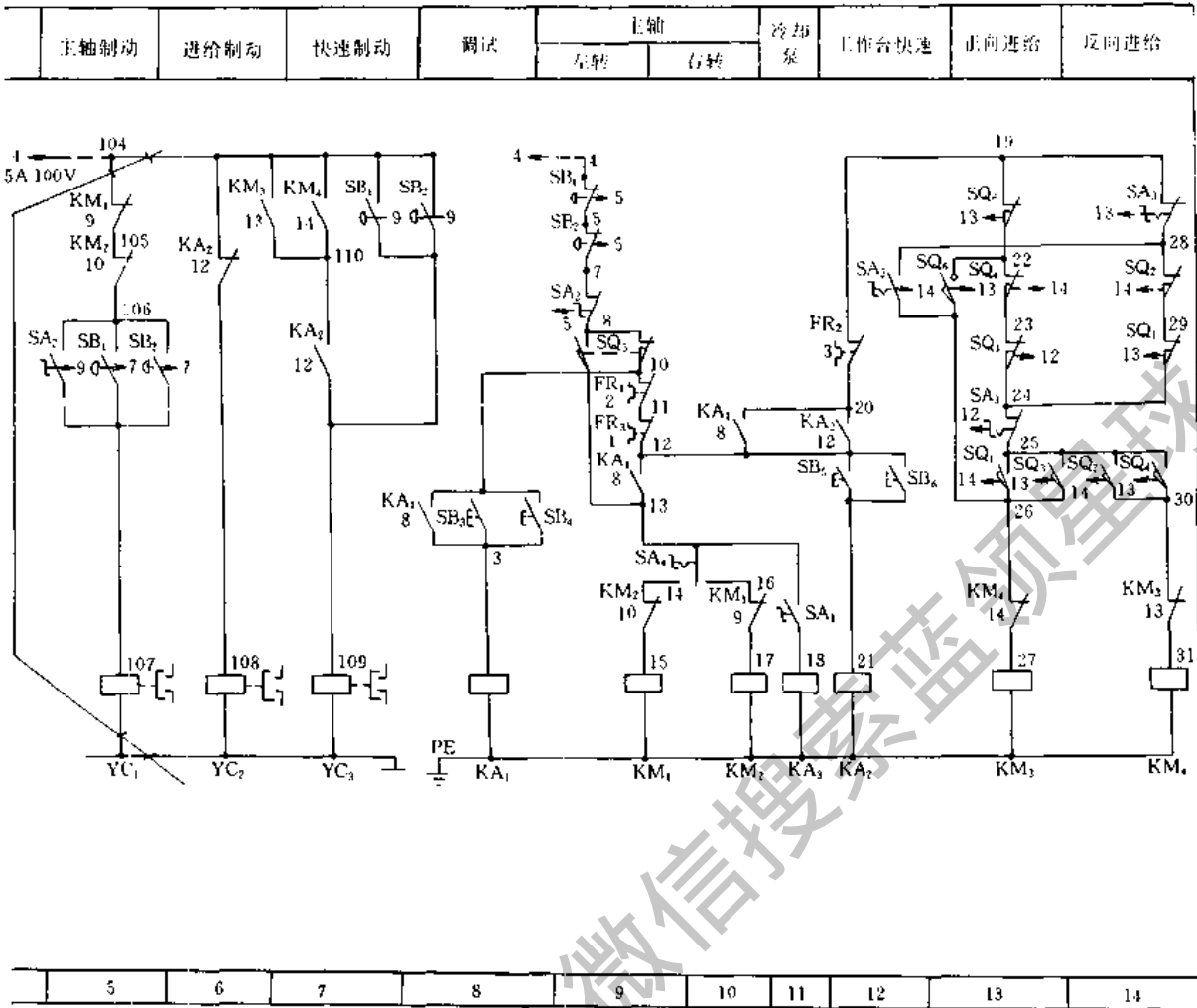
1. 主轴电动机的保护

主轴电动机 M1 的过载由热继电器 FR₁ 对其实现保护。

2. 进给电动机的保护

进给电动机 M2 的过载由热继电器 FR₂ 对其实现保护。FU₁ 则可实行短路保护。

3. 冷却泵电动机的保护



铣床电气原理图

冷却泵电动机 M3 的过载由热继电器 FR₃ 对其实现保护。

当以上 M₁、M₂、M₃ 三个电动机过载时，由于主电路中热敏元件的作用，都会使辅助电路中各自的常闭触头断开，使控制主电路得电的接触器失电，其主电路中对应对的主触头断开，从而使过载的电动机失电而得到保护。

4. 其他线路的保护

控制回路（经变压器 TC₁ 供电）由熔断器 FU₂ 对其实现短路保护。直流回路（经变压器 TC₂ 供电），整流桥进线的交流由熔断器 FU₃ 保护，而整流桥出线的直流则由熔断器 FU₄ 保护。机床照明回路的保护由熔断器 FU₅ 实现。进给电动机 M₂，变压器 TC₁、TC₂、TC₃ 的保护由熔断器 FU₁ 实现。整个电气系统的过载、短路、欠电压保护由电源空气断路器 QF₁ 实现。

另外，在铣床床身上、升降工作台上及纵向工作台都设有行程挡块，并与纵向机动操纵手柄上的挡块、鼓轮轴的联动轴上的挡块相对应。当纵向、横向及竖向运动超程时，相应的挡块会相碰，使手柄回到中位，断开与之相对应的行程开关，从而使进给电动机 M₂ 失电停转，实现工作台的超程保护。

第五章 刨 床

龙门刨床是机械化、自动化程度很高的大型机床。龙门刨床的电气控制线路比较复杂，工作台传动系直线往复运动，对主传动系统的要求相当高，不仅需有较大的切削功率，而且要有较宽的调速范围，一般不低于10:1，随着加工工艺精度要求不同，调速范围可达40:1以上。由于工作台经常运行在频繁正反过渡过程状态下，要求具有过渡过程快，传动平稳等特点，故对主传动系统提出更高的要求。目前主传动系统方式有传动带、电磁离合器、直流发电机-电动机机组、液压、晶闸管供电系统。而发电机-电动机机组系统又可采用转控机（已淘汰）、电机扩大机、磁放大器、晶闸管等励磁调节装置。

我国目前生产的龙门刨床主要采用电机扩大机-发电机-电动机系统。随着电子技术飞速发展，武汉重型机床厂、襄樊机床电气传动设备厂和张家港机床电气传动装备厂等已研制成功晶闸管供电拖动系统。

下面介绍 B2016A 龙门刨床电气线路，B1010A、B2010A、B2012A 等规格型号的电气传动系统也基本相同。

一、龙门刨床对电力拖动的要求

龙门刨床是频繁往复运动的生产机械。前进行程是切削行程，后退行程不作切削，只让工作台驶回准备作第二次切削。在实际工作中，为了提高劳动生产率，总希望后退速度高于切削速度。为了加工不同的金属材料 and 适应不同的加工工艺，要求工作台有宽广的调速范围和较硬的机械特性。不仅如此，从工作台的运动图（图 13.5.1）上可以看出，在前进和后退的变换过程中还要求有一定的平滑的减速，而且动作反应要快。由于工作台长度不一，要求工作台的行程可以根据需要来调整。

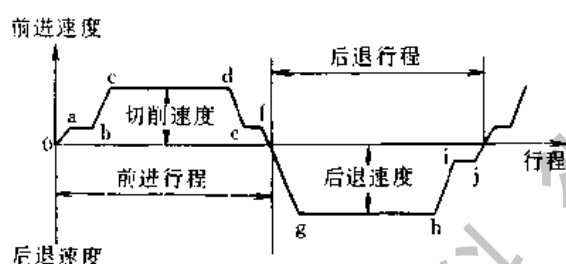


图 13.5.1 工作台运动图

机床采用电动机与一档机械齿轮变速，保证工作台速度在宽广的范围内无级调速。低速档 4.5 ~ 45m/min，高速档为 9 ~ 90m/min。工作台速度还可降低到 1m/min，供磨削加工之用。

工作台前进与后退速度能单独地作无级调整，无需停车。

电气控制电路保证机床可靠地自动工作。工作台往复一次后，刀架自动进给。后退行程中，刀架自动抬刀。工作台在行程末尾进行减速、反向等运动的自动变换。

作高速切削时，为了减小刀具承受的冲击，以延长使用期限，在前进行程的起始，可使工具慢速切入工件，如图 13.5.1 中的 ab 线段（约 12 ~ 15m/min），而后增加到规定的速度，如图 13.5.1 中的 cd 线段。若刀具能够承受切削速度的冲击，那么可以在操纵台上旋转开关 6SC，取消慢速切入。

在前进与后退行程的末尾，工作台自动减速，如图 13.5.1 上的 ef 和 ij 线段，以保证刀具慢速度离开工件，避免工件边缘崩裂，同时提高反向时的准确度。

当减速与反向行程开关偶尔失灵时，由极限行程开关和液压安全器作限位保护，使工作台不致驶出床身导轨面外。各部件的相对运动设有必要的联锁。

二、主拖动系统（AR-G-M）

它是电机扩大机作为励磁调节器的发电机-电动机电压调速系统，它采用调节直流电压来调节电动机的转速与机械两级齿轮变速结合的机电联合变速。

由于电机扩大机具有较大的放大系数，并采用电压负反馈、电流正反馈、电流截止负反馈以及桥臂稳定环节，所以主拖动系统有较大的调速范围、较高的机械特性以及平稳、较快速的过渡过程。

三、各控制环节的作用

1. 电压负反馈环节

电压负反馈在控制系统中作用很大，它的强弱直接影响系统的性能，调整时要特别注意其极性方向，不可接反，以免发生事故。图 13.5.2 中， $αU_C$ 为电压负反馈电压； i_{wC} 为电压负反馈电流，它与给定电流方向相反。电压负反馈在系统中的作用如下。

(1) 提高系统静态特性硬度 发电机电压与电压负反馈电压成比例, 如果发电机电压因负载增大而降低, 则主回路电流增大而转速降低, 控制绕组 3WC 中的电流就会增加, 因而增大了电机扩大机的电压, 使发电机电压重新回到接近原来的数值, 从而维持了发电机端电压, 提高了静态机械特性的硬度。

(2) 加速过渡过程 当电动机启动时, 发电机电压还未建立起来, 这时候没有电压负反馈, 给定电压在 3WC 控制绕组中产生一个比稳态时大很多 (约 7~10) 倍的励磁电流, 迫使电机扩大机电压迅速上升, 其数值可达到稳定时的 3 倍左右, 这个电压对发电机强迫励磁, 使发电机电压迅速升高, 加大了起动转矩, 电动机转速也随之上升, 缩短了电动机起动过程的时间。电压反馈量越大, 强励磁的倍数也越大, 过渡过程的时间就越短。

同样在减速、反向、停车等过程中, 由于强励磁的作用, 使过渡过程加快, 工作台越位减小。为了使越位不致过大, 必须加大电压负反馈系数 a , 但强励磁倍数过大, 过渡过程太快, 会使传动机械冲击太大。

(3) 降低电机扩大机和发电机的剩磁电压, 扩大系统的调速范围, 消除工作台的爬行 由于剩磁的存在, 限制了系统的低速运行, 故减小了调速范围, 剩磁电动势越大, 调速范围就越小, 并且有可能使电动机在无控制信号下仍能运转, 出现工作台爬行。电压负反馈系数 a 即电压负反馈电压与发电机端电压之比, 一般取 $a = 0.35 \sim 0.45$ 。

2. 电流正反馈环节

电压负反馈虽能在负载变动时补偿发电机端电压, 但由于电动机电枢电路有电阻存在, 负载电流在该电阻上产生的电压降, 电压负反馈是被偿不了的, 所以必须加入电流正反馈, 电流正反馈绕组 2WC 的输入信号取自 WA2-G 与 WA2-M 两点之间的 4RP 上 (图 13.5.2)。

电流正反馈在系统中的作用如下。

(1) 补偿发电机和电动机的内部压降, 提高特性硬度, 扩大调速范围 根据电流以正反馈电压的大小正比于电枢电流, 当负载增加转速下降时, 通过绕组 2WC 正反馈作用, 主电路电流增加越多, 绕组 2WC 中电流也越大, 发电机的电压就上升得越高。适当调节电流正反馈的强度, 发电机电压上升值可以完全补偿发电机和电动机的电枢和换向极上的电压降, 使电动机的反电动势和转速基本保持不变, 从而获得平直的机械特性, 扩大了调速范围。

(2) 加快过渡过程 电流正反馈在过渡过程中的作用是加大起动、减速反向、停车等过渡过程中的电流峰值, 即加大起动和制动转矩, 因而能够加快过渡过程, 减小工作台越位, 但同时也有, 即加大了过渡过程中电动机转速的超调量。

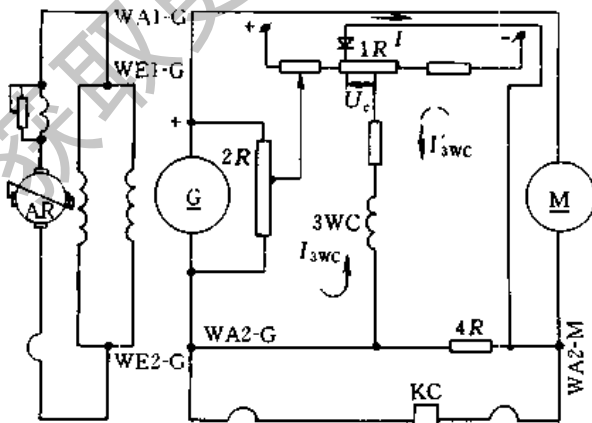


图 13.5.3 电流截止负反馈

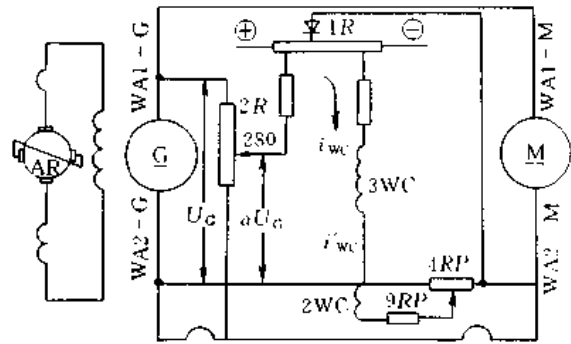


图 13.5.2 龙门刨床给定及电压负反馈环节

U_G —发电机电压; aU_G —电压反馈电压;

i_{3WC} —给定电流; i_{3WC} —电压反馈电流

3. 电流截止负反馈环节 (图 13.5.3)

电流截止负反馈的作用如下。

① 电流截止负反馈环节对系统静特性具有下垂特性 (即挖土机特性, 如图 13.5.4 所示)。当负载过载时, 能使拖动工作台电动机的转速下降停止, 不使发生过大大短路电流而损坏电机及损坏传动机构。

从图 13.5.3 中看, 当主电路电流大于 $I_{21} = 1.4I_N$ (I_N 是电动机额定电流) 以上时, U_{ab} 电压超过比较电压 U_c 与整流器 WC 正向电压降之和, 产生了去磁电流 I'_{3WC} , 因为 I'_{3WC} 与原来励磁电流 I_{3WC} 方向相反, 使电机扩大机和发电机电压迅速下降, 当主电路电流达到 $I = I_{21}$ (堵转电流) 时,

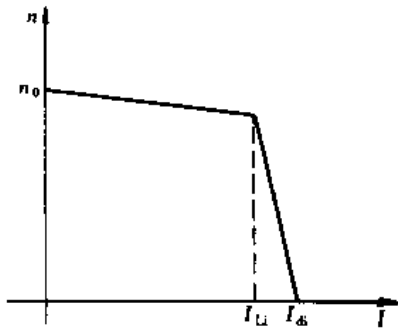


图 13.5.4 理想特性曲线

n —电动机转速； n_0 —电动机理想空载转速；
 I —主电路电流

电动机被堵转。

② 增大过渡过程时电流波形充填系数，加快过渡过程。电流截止负反馈的引入，既限制了主电路电流不超过电机的允许值，又始终保持了较大电流和较大的转矩，加快了过渡过程。

③ 比较电压 U_c 大时，过渡过程加快，冲击电流加大，超调加大；比较电压小时，过渡过程加长，不能发挥电机的作用。一般将其调整在 9.5~11V 范围内。

4. 桥形稳定环节

桥形稳定环节的接入是为了稳定过渡过程，使电动机在启动、反向、制动过程时不发生振荡现象。图 13.5.5 中， R_1 、 R_2 和 R_{WE-G} 和 $10RP$ 的电阻 R_{10RP} 组成电桥。

$$\text{当电桥平衡时} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{WE-G}}{R_{10RP}}$$

式中， R_{WE-G} 为发电机励磁绕组的电阻 (Ω)。控制绕组 1WC 接于电桥的对角线 $1WC_2$ 与 $WE2-G$ 之间，在稳态时电压应为零 (为调整方便起见，规定不大于 0.5V， $WE2-G$ 为正)。

当电机扩大机输出电压因某种因素而增大的瞬间， $3R$ 上 $1WC_2$ 抽头随整个电位升高而升高，而 $WE2-G$ 点电位因发电机励磁电感作用，电位升高很小，这样 $1WC_2$ 与 $WE2-G$ 之间形成较大的电位差，在绕组 1WC 中产生了与绕组 3WC 中相反的去磁电流，降低了电机扩大机的输出，降到接近原来的数值，从而使电机扩大机输出稳定在给定参数上，增加 $10RP$ 电阻值 (同时相应增大电阻 R_2)，可以加强稳定，但增加了过渡过程时间。

5. 消磁系统

发电机和电机扩大机在停车后，不可避免会有剩磁电压存在，特别是电机扩大机，它的后果是在停车后使工作台继续爬行。消减剩磁电压，分为三个环节。

① 利用电阻 $2R$ (图 13.5.3) 上 $WA-G$ 间电压作为电压负反馈。

② 当停车后， KT 延时闭合，电压负反馈直接取自 $280-WA2-G$ ，加强了电压负反馈，这个环节称为消磁电路，反馈系数取 0.6~0.7。

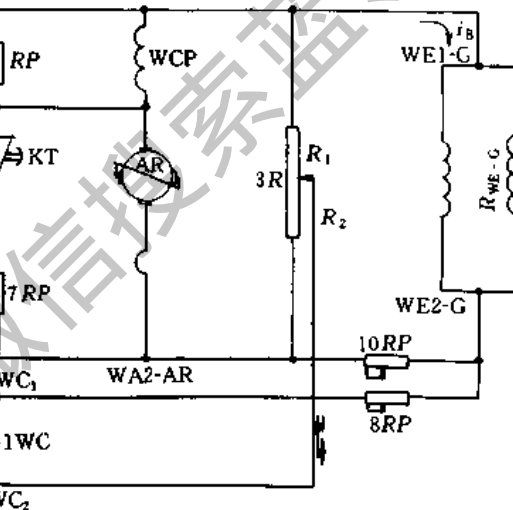


图 13.5.5 电桥稳定环节

③ 为了进一步消减剩磁，系统中还有一个电机扩大机欠补偿环节 (见图 13.5.6)， KT 延时闭合后， $7RP$ 将电枢输出分路，流经补偿绕组 WCP 的电流减少，补偿作用被削弱，因而有效地减小电机扩大机的剩磁电压。

6. 控制系统各电阻元件的作用及调整

① 电位器 $RPA-F$ (或 $RPA-R$) 又称加速度调节器，在减速与反向的过渡过程中，串接在 WC 绕组回路中。调节 $RPA-F$ (或 $RPA-R$) 向“反向平稳”的方向旋转 (即增加电阻)，减小绕组 $3WC$ 的强励电流，过渡过程减缓，主电路电流冲击减小，传动机构的冲击减小，但工作台越位增加；当向“越位减小”

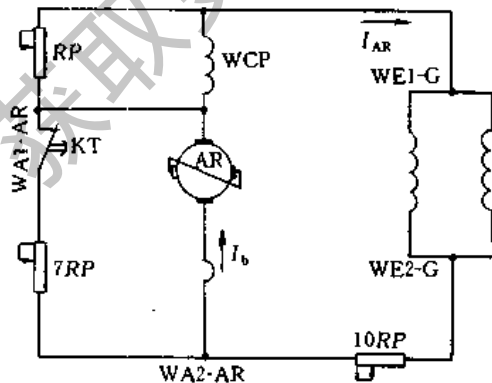


图 13.5.6 电机扩大机欠补偿环节

的方向旋转（即减少电阻）时，越位减小，冲击增大。当加工不同零件，对反向越位与反向平稳性的要求不同外，该电位器能在控制箱前方便地进行调整。

② 电阻 $1RP$ 、 $2RP$ 调节起动与反向过程的强励倍数。电阻小，强励作用大，过渡过程快，超调量增大，冲击大；电阻大，则降低整个系统的放大系数，影响静态特性。

③ 电阻 $3RP$ 、 $4RP$ 起着限制减速制动强度的作用，减速制动强度对越位有很大影响。该电阻有两个抽头，靠调速电位器 $RPA-F$ 、 $RPA-R$ 上附加开关 $R-SQD2$ 和 $F-SQD2$ 的配合，根据速度的大小，决定减速回路中串入的电阻值，从而达到减速平滑，越位小，冲击也小。

四、电气系统的试车与调整

机床全部安装完毕后，必须经过试车与调整才能正式投入生产。必须指出，机床出厂前已作过全套设备（包括电气设备）的配套试验，各电器元件参数都已作过细致的调整，因此，在一般情况下，仅需要检查电器元件参数是否由于某种原因而有所变动，根据具体情况作个别调整，而无需作全部调整工作。

试车前必须先熟悉电气设备与机床电气系统性能，掌握试车顺序。在机械安装人员的密切配合下，严格遵守安全操作规程进行正确的试车工作。

1. 试车前的准备工作

① 准备好试车调整所需的仪表，如转速表、兆欧表、万用表、交直流电流表等。

② 检查各处接线是否与图样相符，极性不可颠倒，将直流发电机与直流电动机直接从电刷出线的一头 $WA1-G$ 和 $WA1-M$ 用粗线互相连接，而它们另一端从换向极出线的 $WA2-G$ 和 $WA2-M$ ，连接到电器柜相应的接线端上。同时必须注意连到电机接线端 $WA2-G$ 和 $WA2-M$ 上的细导线，它们应该连到电刷与换向极之间，不要误接到 $WA1-G$ 和 $WA1-M$ 上。

③ 检查所有直流电机的接触情况，刷架中心位置，一般电动机放在中心线位置，发电机、电机扩大机应向旋转方向移动 $2 \sim 3\text{mm}$ ，电机扩大机欠补偿调整到 80% 左右。

④ 行程开关放置于零位，见图 13.5.7。

⑤ 将工作台传动变速箱上的变速手柄置于零位（即直流电动机不带工作台）。为了安全起见，也可将工作台齿条与传动蜗杆暂时脱开。

⑥ 将操纵台上的转换开关 $1SC \sim 7SC$ 放于断开位置， $8SC$ 放于“刨削”位置。

⑦ 把两调速电位器手柄调到最左端位置（最低速度），两加速度电位器旋向“越位减小”一端。

⑧ 在直流发电机接线端上拆下线号 $WA1-G$ 的两根导线，其中一根粗线是主电路，另一根细线是电压负反馈用的。

在电机扩大机接线盒内拆下 $1WC_1$ 、 $2WC_1$ 、 $3WC_1$ 、 $WC2-AR$ 四根通向电器柜的导线，将电器柜接线柱上 131 与 129 线号用导线短接。

2. 电器动作的检查和辅助拖动试车

① 检查各交流控制电路电器的动作是否与图样相符。

② 合上断路器 QF 及接触器 $KM-M$ ，检查电动机 $M1$ 的旋转方向是否符号箭头指示方向，励磁机所发出电压为 $210 \sim 230\text{V}$ ，线号 1 为正，2 为负。

③ 合上断路器 $2QF$ ，进行横梁升降夹紧试验，夹紧电流继电器 $KC-C$ 的动作电流一般为 $2.2 \sim 2.5\text{A}$ 。

3. 各控制环节的试车与调整

(1) 电机扩大机及发电机的极性检查 将电机扩大机接线盒内拆下的导线 $3WC_1$ 串入 $500 \sim 1000\Omega$ 电阻后，接到原接线端子上，起动机组，合上断路器 $1QF$ ，检查电机扩大机旋转方向是否和电机壳上所示的箭头方向一致，然后按工作台“步进”按钮 $8SB$ ，电机扩大机的输出电压 $WC1-AR$ 为正， $WC2-AR$ 为负；按工作台“步进”按钮 $12SB$ ， $WC2-AR$ 为正， $WC1-AR$ 为负。

电机扩大机试好后接上 $WA2-AR$ ，按工作台“前进”按钮，这时发电机的端电压 $WA1-G$ 为正， $WA2-G$ 为负，如果电压极性不对，可能是发电机励磁绕组接反。

(2) 电压负反馈极性检查 把电压表接在发电机 $WA1-G$ 和 $WC2-G$ 端上，使发电机发出 100V 左右电压，把

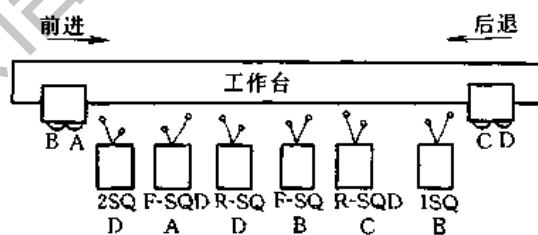


图 13.5.7 行程开关位置

从发电机接线盒内拆上的 WA1-G 细导线，向 WA1-G 接线端子触一下，如果发电机端电压下降，说明电压负反馈接得正确，如果电压反而升高，说明极性接错了。电压负反馈接反，会使电机扩大机和发电机产生过电压而烧坏，故试验时一定要仔细、快速。细导线 WA1-G 只有在极性测试正确后，才可接发电机 WA1-G 的端子上。

(3) 电流正反馈极性的检查 用一根粗导线将接线端子 WA1-G 和 WA2-M 连接起来，把放大机补偿绕组短接，将调速电位器 RP-F 手柄放在最低速位置。起动机组，按工作台“前进”按钮 9SB，慢慢调节调速电位器，使主电路电流达到 200A 左右，然后将拆下的 2WC₁ 导线触一下接线端 2WC₁，如果主电路电流增大，说明电流正反馈极性正确。

(4) 电流截止负反馈环节的调整 接线同上，从接线端子上拆下细导线 WA2-M，起动机组，按工作台“前进”按钮 9SB，调节调速电位器，使主电路电流慢慢升高，同时用一块毫安表一端接在拆下的细导线 WA2-M 上，另一端在电流升高过程中，同时轻触接线端子 WA2-M，当毫安表有明显变化时的主电路电流，即为截止电流值，一般取 $1.4I_N$ (I_N 是电动机的额定电流)，同时接上 WA2-M 时，主电路电流应该有所下降，说明电流负反馈极性是正确的。

如果截止电流值过大或过小，可调节电阻 1R 上的 205，同理按工作台“后退”按钮 11SB，调整 1R 上的 206 位置。

上述 (3)、(4) 两项是做机组短路试验，除了用外部短接线外，亦可断开电动机励磁绕组，将刨台压上使电动机不转，让电枢成为一个负载，将电流升起来。不过不论用哪一种方法，因电流较大，不慎会烧坏机组，故要仔细谨慎，在条件不具备时，可以不做短路试验，而将这两项在负载试车中进行，电流正反馈的极性用倒换法，即速度降较小的是正确极性，电流截止负反馈也可在负载试车中调整，移动 1R 上的 205 和 206 号观察电流变化，使其冲击电流不超过 450A。

(5) 电桥稳定环节测试 让发电机发出 100V 左右电压，用小量程电压表测量 1WC₂ 与 WE2-G 之间的电压为 0.1~0.2V，1WC₂ 为正，WE2-G 为负，否则调整 3R 上的抽头和 10RP 上的阻值，然后将拆下的 1WC₂ 细导线触一下 1WC₂ 接线端子，如果发电机电压略有下降的话，说明上述极性是正确的。

4. 工作台主拖动系统的调整

① 把从发电机接线盒内拆下的粗导线 WA1-G 接上，按“步进”或“步退”按钮，检查发电机 M 的旋转方向，如果反了，将电动机励磁线头对调一下，然后按工作台“前进”按钮，用手扳动各行程开关，模仿工作台自动往复状态，观察电动机转向和减速是否正常。扳动极限开关，电动机应平稳制动。并调节调速电位器，慢慢旋向最高速发电机电压 220V，电动机转速 970r/min，如达不到可调节 2R 上抽头 200 号的位置及 1RP、2RP 阻值。同时应检查它反向、减速时的整流情况，火花不应超过 1½~2 级，振动应较小。当一切都认为正常后，方可将变速箱上的机械手柄从空档变到工作位置，带上工作台作往复自动运动。

② 调整电阻 3RP 的抽头 235 和 236，使工作台在最高速运行时，减速与换向过渡过程中，最大冲击电流不超过 450~500A，工作台在换向时的越位不超过 250~280mm，换向前的减速速度为 12m/min，过渡过程力求平滑、冲击小。

③ 调整电阻 5RP 和 6RP，使工作台在最高速停车时的冲程不超过 400~500mm。同时配合调整时间继电器 KT 的延时值，一般取 0.9s 左右，若冲程太大，可减小延时，若制动太强，可加大延时，另外 2R 上抽头 280 号位置也影响到制动强度。

④ 在速度为 70~80m/min 时，调节 3RP 和 4RP 上 233 和 234 抽头位置，来调节减速制动强度，以达到反向时的平滑越位不过大。

⑤ 做负载试验，选择切削容量和切削速度，调整 4R 抽头 290 号位置和 9RP 阻值的大小，工作台速度在 10m/min 以上时其静差度不超过 ±5%。

第六章 Z535 型钻床

Z535 型钻床是按三相交流电源设计的。电气原理图见图 1336 页 13.6.1。

电气系统由以下几部分组成。

- (1) 主轴电动机 M1 装在主轴箱顶部，驱动主轴旋转及进给。
- (2) 冷却泵 M2 装在立柱内底部。
- (3) 配电板 装在机床右侧壁龛内。有电动机保护开关 QM₁、QM₂，交流接触器 KM₁、KM₂、KM₃，控制变压器 TC₁ 及熔断器 FU₁、FU₂、FU₃。
- (4) 机械联锁电源开关 装在壁龛门盖上。
- (5) 手动开关 机床主轴的正转、反转、停止由装在机床左侧的手动操作柄控制。手柄放在正转位置，微动开关 SQ₂ 接通；手柄放在反转位置，微动开关 SQ₃ 接通；手柄放在停止位置，微动开关 SQ₁ 断开。旋钮开关 SA₁ 控制冷却泵的工作。
- (6) 照明灯、装在立柱左上侧，采用 JD-3 照明灯，光线明亮，使用方便。

第一节 机床电路工作原理

1. 钻孔

接通机床电源开关 (QS₁ 于接通状态)，手柄放在正转位置，控制线路经变压器转换 (380V/110V) 沿 2—5—6—7—8—0 接通，KM₁ 得电，KM₁ 常开点闭合，并经 5—9—6 自锁，主轴电机 M1 正转。手柄放在反转位置 KM₂ 得电，SQ₃ 微动开关常闭点断开，切断 KM₁ 线圈，使 KM₁ 失电，控制线路沿 2—5—11—12—8—0 接通，KM₂ 常开点闭合，并经 5—13—11 自锁，主轴电机 M1 反转。这样手柄再次放到正转位置。重复主轴电机正转，切断控制线路 5—13。

2. 总停

把手柄放在停止位置。控制线路 2—5 被切断。整个机床的控制回路被切断，主轴电机和冷却泵失电自然停止。

3. 冷却泵

将机床右侧电箱门盖上的旋钮开关 SA₁ 位于冷却位置。控制线路沿 2—5—14—15—0 接通，KM₃ 得电，冷却泵 M2 接通，生产冷却液，将旋钮开关 SA₁ 位于停止位置，则控制线路被断开，M2 停转，冷却液停止生产。

4. 机床电气保护

本机床备有电动机保护开关和熔断器工作时线路上的短路和过载保护，发生过载和短路时机床自动停止。机床有专用的接地螺钉，能可靠接地。

电源机械联锁开关的原理和使用方法如下。Z535 型钻床采用 DJ4 型电源开关，与 HZ10-10/4 组合开关配套使用，控制机床电源的闭合、断开，并能起锁闭柜门的作用，电源开关不切断，电柜门就不能开启，起到安全保护作用。联锁由手柄、拨块安装及旋柄等组成。柜门关上后，当手柄按逆时针方向转动，带动旋柄同步转动 70° 时，将电源开关闭合；当手柄按顺时针旋转 70° 时，开关旋转柄也同步旋转，将电源开关断开。若手柄继续顺时针旋转 10°，拨块圆销在旋转柄长槽内移动，利用长柄间隙，开关不受力，拨块只带动锁栓，逆时针旋转，与搭口脱离，柜门开启，从而达到了先断电后开门的目的，手柄在断开位置上锁住，钥匙可拔出。

为了便于维修，保持故障点，联锁设有解锁机械，可用解锁钥匙，逆时针旋转解锁螺钉，在带电情况下，开启柜门，寻找故障。

Z5140B 型钻床是系列更新并经过改型设计的产品，采用迭变合一的箱体布局形式，机床外形为直线轮廓，布局合理，造型美观，操作方便，整机动静刚度，并具有钻孔、攻丝选择开关，攻丝至要求深度后自动切换控制正反转，具有性能完善、结构简单紧凑、便于维修等特点。

第二节 使用与维护

由于 Z535 机床电气结构相对简单，其故障相对较少，而且维修简单。主要故障在于频繁正反转后，主接触器触点容易烧坏，引起不能正确脱开，导致动作失灵，甚至烧坏主电机。

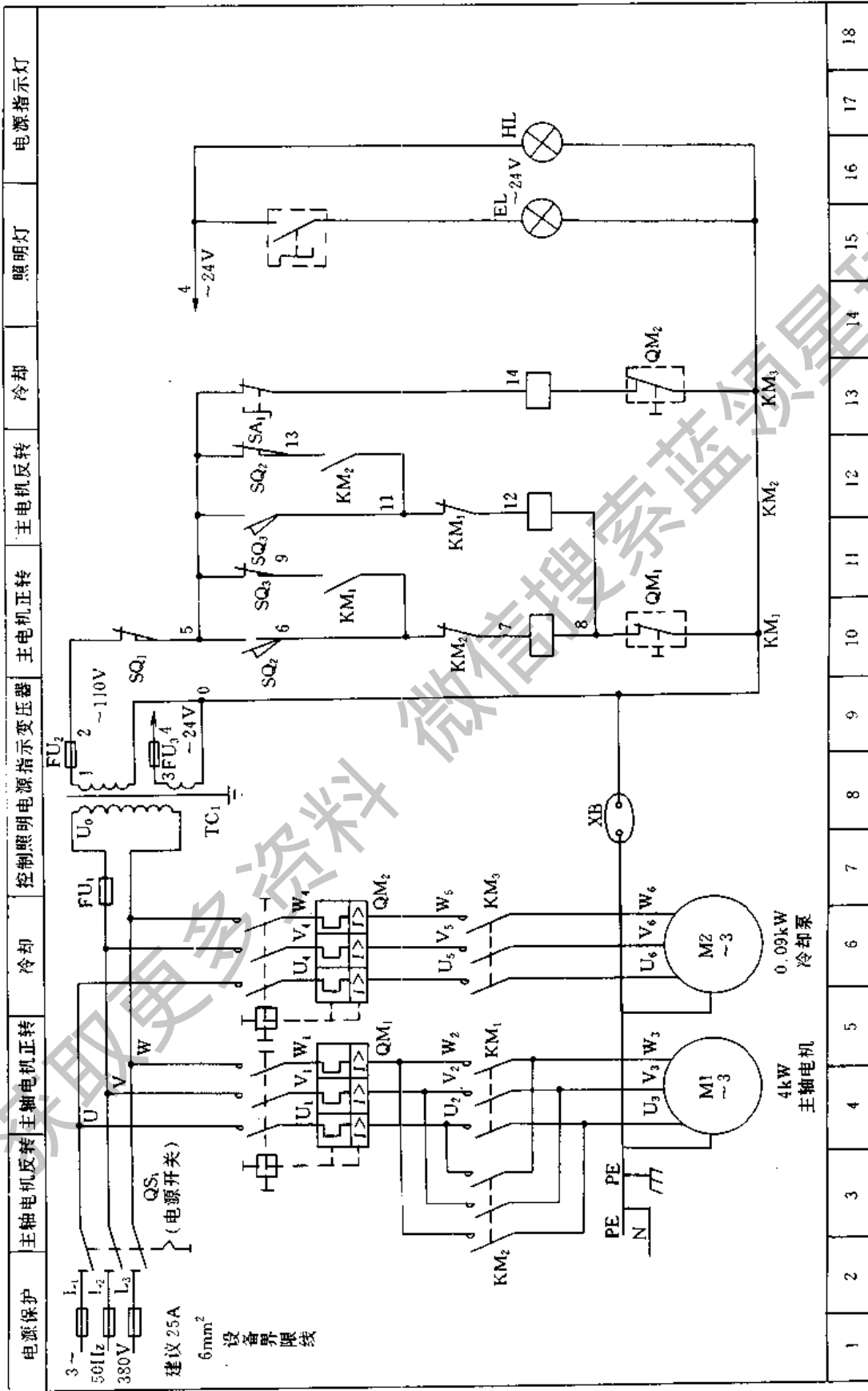


图 13.6.1 Z535 钻床(新结构)电气原理图

第七章 数控机床电气设备的修理

数控机床是一种适用于精度高、零件形状复杂的单件和小批生产的自动化机床，它不仅能进行程序控制和辅助功能控制，而且能进行坐标控制，并且以数字指令信息的形式达到加工的全过程控制，是一种用电子计算机或专用电子计算装置控制的高效自动化机床。

第一节 CK6163D 数控车床

基本结构框图见图 13.7.1。

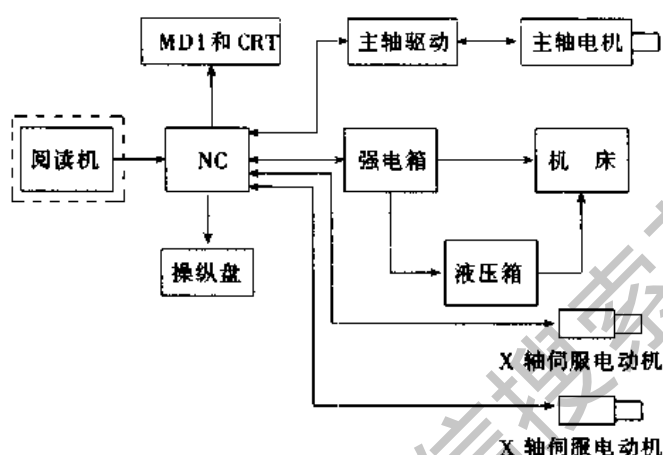


图 13.7.1 CK6163D 数控车床基本结构框图

1. 3T-F 控制箱

3T-F 控制箱是一个 SNC（顺序控制）系统，它把 FAPT（数控自动编程语言）装入了 CNC（计算机数控）系统。利用这个系统，编程人员可根据 CRT（图形显示器）上的指令，操作相应的按钮，编制出工件加工程序。而且编程人员也可以在机床加工过程中，利用 FAPT 功能编写下一个工件加工程序。

SNC 是一个高精度、高性能、固化软件的车床系统。控制电路中使用了高速微处理器、专用 LSI（大规模集成电路）和半导体存储器，不仅提高了机床工作的可靠性，并且大大地改善了性能价格比。

控制箱内装有 CNC 系统 PAPT 板、电源单元、PC（可编程序控制器）控制单元、电池盒、X 轴伺服单元板、伺服变压器等。

NC（数字控制）控制箱是整个数控车床的指挥中心，所有的输出指令都从这里发出，是数控车床的关键组成部分。

2. MDI（手动数据输入）和 CRT 板

板上有 35cm（14"）彩色显示屏，可显示各种加工坐标值、工件程序的刀尖加工轨迹、刀具补偿值、加工时间、主轴给定转数及实际转数、设定参数的内容、输入输出接口的状态、中间寄存器地址单元的内容、报警内容等等。MDI 和 CRT 板上还有功能键和数字键，可进行各种操作及自动、手动编程。

3. 阅读机

穿在纸带上的工件程序可通过阅读机输入到 NC 控制机中。阅读机的接口插座装在控制箱上，用户如果需要阅读机，只需要将阅读机的连接电缆插头分别插在控制箱和阅读机上即可。

4. 操纵盘

上面装有开关、按钮、手摇脉冲发生器和指示灯等，用来进行操作控制并显示操作状态和故障状态。

5. 强电箱

装有交流盘、直流盘、插座板、变压器、接触器和稳压电源等。强电箱的作用是进行信号转换和放大，连接 NC 控制箱、液压箱和机床，为电器元件提供电源。

6. 液压箱

用来控制车床动作。装有液压马达、液压泵、液压阀、电接点压力表和其他压力表，能控制机械变档、卡盘卡紧和卡盘松开，台尾顶尖前进和后退。

3T-F 控制系统的 PC 属于 FANUC C-P 型，有三块印刷电路板，即 PC 板、附加板和 PAM（随机存取存储器）板。存储器的元件采用两块 EPROM，存储容量为 4KB（约 1000 步）。控制继电器有 256 个：用于参数和保持继电器 24 个；用于数据表存储器 BCD 二位 \times 32；定时器 50ms ~ 3276.7s 2 个，50ms ~ 12.7s 16 个；计数器（十进制四位数）2 个；指令 34 个。输入：96 点，高速输入：8 点。输出：72 点。

在 3T-F 控制箱内装有 PC 板，PC 是 NC 和车床之间的中间环节，NC 发出的指令经过 PC 送到车床，而从车床方面来的信号也要通过 PC 送到 NC。控制系统装上 PC 后，能大大减少强电箱里继电器的数量，从而提高了数控车床的可靠性和工作效率。

第二节 安装与调试

数控车床安装、调试的步骤如下。

1. 外观检查

车床运抵安装现场后，用钥匙打开控制箱，依次检查箱内的主控制板、FAPT 板等有无异常，两块伺服板是否完好，各插头是否松动或脱落，变压器的连接线有无松动，PC 板是否插牢。检查箱内电气元件是否受潮，印刷板上的元件有无生锈，如果发现生锈，应立即用干净的棉球沾酒精擦拭干净，再用吹风机将箱内潮气排除，将元器件吹干。

检查强电箱的直流配电盘上的继电器是否插牢，变流盘上的接触器、变压器、热继电器、阻容吸收器等电器元件的接线情况如何。检查箱内的两排接线端子上的信号线情况如何，最好是先用螺钉旋具把每个端子上的螺钉都旋紧，以便发现由于装配时螺钉没拧紧或因运输等原因造成松动的导线，可以避免以后在这方面出故障。观察电器的标牌是否有脱落，若有脱落，一定要重新粘好，否则，假如掉在危险的位置，通电时可能造成短路。

打开液压箱的门，观察各液压阀和电接点压力表的接线是否良好，检查液压阀有无生锈，各条液压管路是否完好。液压泵电动机应当能用手旋转，并且电动机轴受力在一周之内应是均匀的。检查各个压力表和两个电接点压力表是否有破损，表上的航空插头是否已经拧紧，油箱是否有油等。

检查操纵盘上的各个按钮、开关、手摇脉冲发生器是否完整，指示灯有无破损，MDI 和 CRT 上的屏幕及按键是否正常，检查固定操纵盘的螺钉是否完整，盘上的接地线有无松动。检查操纵箱内的插头是否插牢，各电器元件上的接线是否牢固。把操纵盘的开关一律置在不起作用的位置上。

观察两个脚踏开关及其连接电缆是否完好，床头上的几个变速压合开关有无问题，电子泵箱内是否已加足了油。

检查伺服电机及电缆是否完好，电缆插头是否插牢。主轴电动机是否完好。主轴伺服电源和主轴位置编码器及其电缆是否正常。

最后，检查床身、导轨、防护板、卡盘、台尾和排屑器等有无损坏。

2. 通电前的测量

在通电前一定要用万用表测量下面几处：

① 测量强电箱内的 +24V 稳压电源，其电源正端输出的对地电阻应大于几十欧，其电源负端的输出应接地；

② 测量强电箱内变压器的一、二次侧，它们都不能接地；

③ 测量控制箱里的 +24V 稳压电源，电源的正极输出和地之间的电阻应为 80 Ω 左右，电源的负极输出和地相接。

3. 强电箱送电

送电要分步进行，不可同时给电。

① 把车床电源开关的三根动力线和地线接好。把强电箱内所有的自动开关一律置于断开的位置。

② 把电源开关合上，用万用表测量箱内的稳压电源的输出应为 24V。主轴伺服板上的报警灯都应不亮。测量输入到主轴伺服板上的电压为 380V。

③ 把液压泵电动机的断路器合上，液压泵电动机应均匀转动，液压箱上的压力表应指示出正常的压力。如果压力表上没有压力显示，说明外部进入车床的动力线相序不对，交换三根动力线中的任意两根的接线位置。

即可。液压箱内的压力如果不对，应进行相应的检查调整。调整时要按说明书给出的标准调整。

④ 把润滑电动机的断路器合上。润滑电动机应正常运转，并能从床头的油窗上看到油管喷出润滑油。如果没有油从管内喷出，应立即断开开关查找故障。该故障产生的原因可能是润滑电动机没有转，或是润滑泵坏了，或是油管堵了，也可能是由于油箱里无油造成的。

⑤ 合上排屑电动机的断路器，将操纵盘上的排屑开关合上，排屑履带就应该运动起来，不允许有碰撞、摩擦床身的声音。

⑥ 合上冷却电动机的断路器，当把操纵盘上控制手动冷却液的开关合上时，冷却液应当由冷却管中喷出。

⑦ 合上刀架电动机的断路器，以备后面试验选刀时用。

⑧ 合上电子泵的开关，两个电子泵都应当正常工作。

到此为止，强电箱、液压箱和主轴伺服驱动箱的送电过程基本结束。

4. NC 控制箱送电

送电前打开 NC 控制箱的门，用专用钥匙合上箱门上的开门断电保护开关，电压表接在 +5V 电源上。按下 MDI 和 CRT 板上的 ON 按钮，这时屏上在 10s 之内应连续显示三个画面。

按下 NC 键，转到 NC 控制页面上，并观察有无报警显示。用 PARAM 键和 PAGE 键查看参数是否存在。在一切都正常情况下进行下面步骤。

5. 调试机床动作

(1) 试验超程开关 超程保护线路要先试验。用手分别压下 +X、-X、+Z、-Z 超程开关，应产生报警。如果压下超程开关时不产生报警，应先查找故障，使超程保护功能正常，才能移动刀架。

(2) 刀架进给试调 将车床锁住开关置于锁住的位置，状态开关置于 HS 位置，旋转手摇脉冲发生器盘，观察屏幕上 X 正方向数值和 X 负方向数值的变化是否正常，观察屏幕上 Z 正方向数值和 Z 负方向数值的变化是否正常。状态开关置于 J 的位置，十字开关分别打在 ±X 方向和 ±Z 方向，从屏幕上观车床点动是否正常。最后再试车床快速是否正常。如果以上都正常，将车床锁住开关置于非锁住位置，然后顺次地用手摇脉冲发生器、十字开关试验手摇进给、点动进给和快速进给（注意：车床开关打在非锁住位置时要先打开车床导轨防护板，洗去防锈油，加上润滑油）。

(3) 返回参考点试验 将返回参考点开关合上，状态开关打在 RJ 的位置，方向选择开关打在 +X 方向。这时刀架快速向 X 的参考点运动，在到达参考点后 X 轴的参考点指示灯亮。用相同的方式试验 Z 轴是否能返回参考点。

(4) 试验操纵盘上的开关 操纵盘上的开关需要一个一个地试验，当把一个开关的状态改变时，可以从屏幕上观察输入口的状态是否变化。通过试验可以发现其中是否有开关损坏或接线错误。

(5) 试验卡盘和台尾 用脚踏一下控制卡盘的脚踏开关，卡盘应卡紧。再踏一下，卡盘松开。用脚踏控制台尾的脚踏开关，台尾的顶尖应能进或退。

(6) 手动选刀 在 MDI 方式下依次选 1~8 把刀，每把刀应能准确无误地选上，并且相应的刀号指示灯亮。

(7) 试机械变档 在 MDI 方式下，分别输入 M21、M22、M23、M24 四个机械变档信号。观察变档的情况及变档指示灯显示情况。

(8) 调试手动旋转主轴 在 MDI 方式下将机械档变到最低档 M21 上，将卡盘卡紧，把手动调速按钮调到最低位置。按下主轴正转按钮，主轴应正向旋转起来。旋动调速电位器，一直把主轴旋转速度加大到该档的最大值。按主轴停止按钮，再试主轴反转，将四档都试一遍。

(9) 程序试验 将前面的调试步骤都进行完后，把一个全机能的综合试验程序输入到 NC 控制器中。把车床锁住，先空运行一遍程序，从屏幕上观察各条指令执行的情况及数据正确与否。打开车床锁住开关，使单程序段开关起作用，使程序一段一段地执行，检查车床的实际运动情况。最后置于单程序开关不起作用，使整个程序自动地从头至尾执行完毕。车床的安装调试便结束。

第三节 一般故障检测与排除方法

一、PC 故障检测与维修

(1) EPROM 故障 编好的程序通过编程机写到 EPROM 元件里，一般地说，存在 EPROM 元件里的程序是永久存在的，在长期运行中一般不会发生问题。但是，由于有的元件质量有问题，在工作一段时间后，芯片存储的信息有了变化，造成 PC 程序混乱。此外，由于维修人员打开控制箱检修时用的照明灯光很亮，或是开着

门用带有闪光灯的照相机拍照，都有可能抹去 EPROM 元件里的内容。还有，EPROM 元件的窗口有时没有封闭好，也会产生问题。

如果希望把 EPROM 元件里的程序去掉，重新写入新内容时，将 EPROM 元件窗口的封条拿掉，用擦写器擦去原内容，或把元件放在紫外线灯下照射 20min 以上。照过的元件如果没有把握，把元件放在写入器上读一下，看是否里面还有内容。

(2) 定时器故障 定时器是设置在 PC 里的，地址：第 1 定时器占 204（低字节）、205（高字节）两个字节；第 2 定时器占 206（低字节）、207（高字节）两个字节；第 3~18 定时器占 208~223 共 16 个字节（每个定时器占一个字节）。这些定时器存在控制机的 RAM 片子里，在控制机停电时靠内部电池供电。维修人员要注意的是：在控制机进行总清后、主控制板更换后、或是换电池时不小心把设定都清除了，而重新设置参数时，往往会忘记设置定时器。假如重新设置参数后，发现刀具选择不正常，应当考虑到定时器是否忘记了设置。

出厂时，PC 程序已经调整好，维修人员在没有看懂程序之前不要随意改动，如果想改动，最好事先和制造厂家联系。

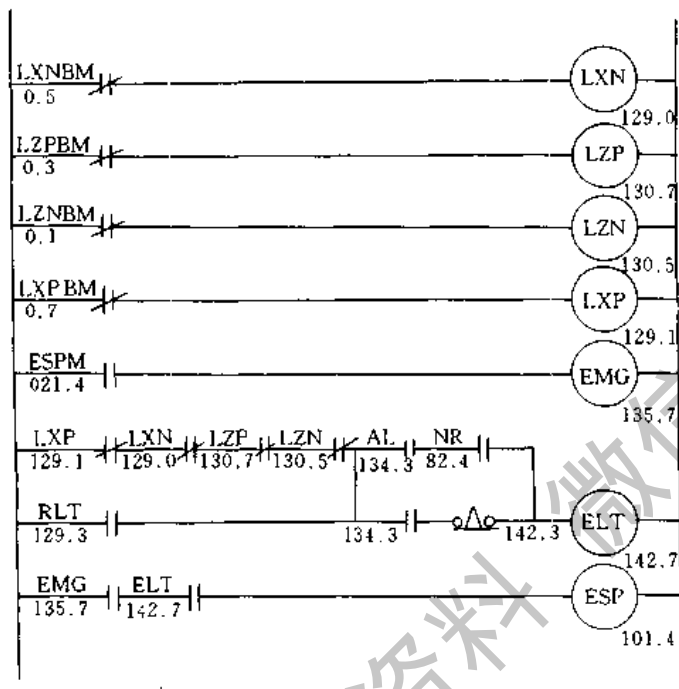


图 13.7.2 紧急停机梯形图

如果 0.5、0.3、0.1 和 0.7 都是“1”状态，看 129.0、130.7、130.5 和 129.1 位应全为“0”状态。假设 129.0 位为“1”状态，说明 129.0 位有问题了。如果 129.0、130.7、130.5 和 129.1 都为“0”状态，看 142.7 位是否为“1”状态，如果为“0”状态，说明该故障不是由超程通道产生的。这时看 134.3，若是“0”状态，说明紧急停机故障是由主轴通道来的，进一步去检查主轴伺服系统和主轴电动机的故障。

如果 142.7 位为“1”状态，说明故障出在急停按钮通道上。看 021.4 位的状态，如果是“0”状态，说明故障出在急停按钮和 PC 接口之间。故障是由下面原因造成：

- ① 紧急停止按钮压下了；
- ② 紧急停止按钮的常闭触头有故障；
- ③ +24V 电压没有加到紧急停止按钮上；
- ④ 由紧急停止按钮到 PC 接口之间的信号线断了。

如果 021.4 位的状态为“1”状态，则 135.7 位若为“1”状态，则表示该位有问题。查找其他故障的方法照此类推。

二、3T-F 数控箱的维修

1. 电源

检查稳压电源对大多数人来讲比较容易，3T-F 数控箱内的稳压电源为 +5V 和 +24V。一般情况下是由于元

(3) 利用梯形图维修数控车床 这种方法很重要。因为操作面板的输入输出信号、强电箱大部分直流继电器信号等都要经过 PC 送往 NC，或者在 PC 内部组合后又送回车床，因此在维修过程中常常用梯形图去查找故障。

以车床发生紧急停机故障为例，说明如何利用梯形图来查找，参看图 13.7.2。

当车床紧急停止报警的红灯亮后，车床停止了一切动作，这时屏幕上显示 NOT READY。引起该故障的原因有 X 轴的正负向超程和 Z 轴正负向超程，也可能是急停按钮这一通道产生的。

按下 PGNO5 键，分别看 0.5、0.3、0.1 和 0.7 的地址是什么状态。假如 0.5 地址为“0”状态，其他三个地址为“1”状态，说明车床 X 轴负向超程。造成 X 轴负向超程的外部原因有：

- ① X 负向超程开关常闭触头没闭合好；
- ② 滑板到达了床身 X 轴负向极限位置（真正的超程了）；
- ③ +24V 电压没有加到超程开关上。

器件自然损坏和输出短路造成故障，有时也可能是由于高压误接入而造成故障。当发现电源发生故障时，可用仪表检查电源的各个元器件，找出损坏的元器件，然后予以更换。有条件的用户，也可以用无故障的备用电源板来更换。

2. 印制电路板上的集成块损坏

前面讲过，CPU等主要芯片质量比较好，一般情况下不易损坏，其他的元件（如接口芯片等）如果损坏了，可以买新的换上。有时，为了尽快地排除故障，使车床恢复正常，可以用电路板上没被用的芯片（必须和损坏的芯片同型号）来代替。

维修条件较好的用户，可以把有故障的板块放在调试台上，用万用表、逻辑笔或示波器等仪器逐一地检查每个元件的输入和输出。如果查到某一个元件输入不对，而输出正确（相对于输入来讲是正确的），问题则出在该元件的后一个元件上。假如某一个元件输入正确，而输出不正确，则有两种可能：一种可能是该元件本身坏了，另一种可能是该元件后面所连接的负载元件坏了。确定的办法是把该元件的输出断开，重新测量该元件的输入输出，输出仍不对，可确定该元件已坏。如果输出正确，也不能绝对肯定该元件是好的，因为有的元件由于质量有问题，负载能力不够，带不了后面几路元件，这时，只有更换元件试试。如果怀疑该元件后面的某一元件坏了时，可把该元件的几路负载元件全断开，然后一路一路地接通，并用仪器监视该元件的输出，在哪一路恢复上时，该元件的输出变坏，可断定是哪一路的负载元件坏了。

总之，自己动手维修印制线路板时，先要弄懂该印制板的控制原理和元件实际位置。电源和时钟脉冲不能错，否则，会把故障扩大。

三、常见故障的排除方法

下面举一些维修数控车床经常会遇到的故障，供维修人员在工作中借鉴。

1. 功能不同的信号线相碰

① 在MDI方式，用键盘输入换刀和变速指令，按下循环起动按钮后，换刀和变速都不能执行，CRT上又没有任何报警显示。该情况经查诊断口，查到虽然没按进给保持按钮，但该接口中一直给出一个“1”信号。造成错误信号的原因不是进给保持按钮常开和常闭触头接错，而是该按钮的一根控制线未固定住，掉下来正巧与其他按钮的+24V相碰，造成系统一直处在停止状态，故其他功能都不能正常执行。

② 快速点动，刀架不走。用手摇脉冲发生器调试，刀架也不走，机床未处在锁住状态，CRT上也无报警显示。该情况经查找发现存储信号与程序保护钥匙开关线相碰，程序保护开关虽未打开，但仍接有+24V电压，因此，控制系统始终处于存储状态。存储状态属于自动方式，状态开关置于点动和手摇状态（手动方式）造成自动和手动同时存在，经PC控制后，刀架在自动和手动都不能走。

2. 短路棒接触不好

维修中会遇到这种情况：用手动和用自动起动，主轴都起动不了。卡盘处在卡紧状态，液压正常，操作方式也正常，没有任何报警信号。用万用表查找，控制系统送到主轴伺服单元上的几个信号都正确。主轴伺服变压器的电压正常，主轴伺服驱动单元的各指示灯也正常，但主轴伺服单元没有输出。这时，应考虑到S短路棒是否有问题而造成NC信号传递不到主轴伺服单元内，若是这样，把主轴伺服单元S短路棒正确短接后，主轴便能正常运转起来。

3. 电阻烧坏

选刀盘上的某一把刀，无论用什么方法都选不上。经查找，NC的该刀译码信号已译出，外部电路的信号线既未断开也未误连，该刀的无触点开关也完好无损，+24V和地线亦都正常。此时应怀疑并联在无触点开关上的电阻是否断路了或者阻值太大，用万用表测量后即可做出判断。该电阻是0.25W、2.4kΩ的金属膜电阻，因体积很小，在装配时如果用电烙铁焊接的时间过长，很容易使电阻的引线电阻脱开。电阻的烧坏导致无触点开关动作不正常，从而选刀选不上。

4. 接触器触头闭合（断开）不好

走刀时，发现X轴伺服电机发热。检查滑板并不紧，电机的连线正常，X轴伺服驱动板正常。后测得X轴电机电流很大，怀疑电机制动线圈是否有问题。用万用表测量线圈未断，问题可能是在制动电路。送电后制动的接触器虽然已动作，但接触器触头未吸合好。接触器前面电压正常，后面电压很低，制动线圈的电压不正常，造成X轴电机在制动状态下工作，电机发热。

5. 进给率为零使刀架不移动

运行程序时，刀架不移动。检查程序编制都正确，机床并未处于锁住状态，系统也无报警。用诊断查看操

作面板上的开关和按钮送 PC 的状态时,发现开关在零位置,使进给输出 F 值为零,没有输出,导致程序中有刀架移动指令,而刀架实际不移动。

6. 驱动板上的频率转换开关位置不对

机床送电后, X 轴伺服电机振动,把制动线圈断开后还是振动。经查找,发现 X 轴伺服驱动板上的频率转换开关置于 60Hz 的位置(应置于 50Hz)。机床出厂时,一般都已置于 50Hz,但机床到用户后,安装时有可能有意无意地扳动了其位置而造成此故障。

7. 慢速点动时刀架快速移动

慢速点动时,机床快速移动,而且进给倍率开关也不起作用。经查找慢速点动按钮及进给倍率开关都正常。试验观察到刀架只能快速向 $+x$ 或 $+z$ 方向移动,而不能向 $-x$ 或 $-z$ 方向移动。又检查输入接口 $+x$ 、 $-x$ 、 $+z$ 、 $-z$ 、J(点动) RT(快速)都正常,而操作面板上的返回参考点开关状态不正常。不管将返回参考点的开关置于何位置,开关都是接通的,从而使机床总是处于返回参考点状态。故慢速点动,刀架快速移动。

8. 加工工件时进给速度比程序段给定的速度慢

此时,测量实际进给速度恰巧是指令值的一半,同时测量两个轴的速度都是一样。这样便排除了直径编程和半径编程的问题。于是考虑是否是主轴脉冲发生器有问题,经检查果真是主轴脉冲发生器出了问题。主轴脉冲发生器有一路信号无输出。

9. 机床送电后 CRT 上出现 11 号报警

由于该报警信号内容为 x 轴或 z 轴误差寄存器的误差过大。采取措施是先停电,然后压下 RESET 和 DLET 键再接通控制机的电源,便可清除掉。

10. 送电后未给进指令,伺服电机快速转个角

对此,经查找电机反馈线虽正常,但因 x 轴和 z 轴伺服控制板之间的连接电缆 CN6 和 CN7 没有插牢而造成该故障。

11. 按 MDI 和 CRT 面板上的 ON 按钮后屏幕不亮

先检查电源,接通 ON 按钮、连线,都正常。最后发现是对控制箱内进行过维修,门上装有开关联锁装置,以保证开门断电,开门维修将门锁用钥匙合上,维修完把钥匙打开。此时由于控制箱门未关紧,而使控制箱送不上电。对控制箱送电时一定勿忘把门关紧。

12. 接通电源后 CRT 上出现“NOT READY”而无其他报警信号

利用控制机的诊断功能发现输入口总是有紧急停机信号。沿着急停线路查找,发现 +24V 直流电压没能加到控制机的输入口内,使控制机一直处于紧急停机状态。其原因是急停按钮的常闭触头未接触上。

四、3T-F 系统的故障报警及处理

由于 3T-F 系统有报警显示功能,一旦 NC 控制系统和伺服系统有故障,在 CRT 上能够显示报警警号,便于维修人员排除故障。

第八章 15/3t 重级桥式起重机

起重机作为短距离移动的运输机械在工矿企业中被广泛应用。根据运用场合的不同，起重机可分为塔式起重机和桥式起重机两大类。塔式起重机主要应用于建筑业，桥式起重机则主要应用于工矿企业。下面就桥式起重机的结构、性能、特点作一简要介绍。

如图 13.8.1 所示，大车是被安装在沿车间长度方向铺设的轨道上的，桥架横跨车间，并沿轨道顺车间长度方向移动。

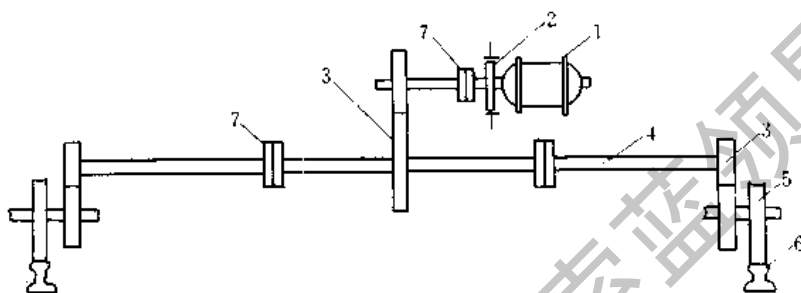


图 13.8.1 大车传动机构示意图
1—电动机；2—制动器；3—齿轮；4—中间传动轴；
5—大车走轮；6—大车轨道；7—联轴器

如图 13.8.2 所示，小车是被安装在大车桥架轨道上并顺车间横向移动。根据工作需要可在大车桥架轨道上安装二台或二台以上小车，一般称双小车或三小车桥式起重机。提升机构是一个装在小车上的绞车，钢丝绳的一端固定在小车上，另一端带有钩子，用以升降重物。起重机超过 15t 的提升机构，一般带有二个挂钩，大的称主钩，小的称副钩，各自均由提升电动机通过减速器进行独立传动。

桥式起重机有以下几种：

① 按大车的跨度分（行走的两轨道中心距），一般有 10.5m、13.5m、16.5m、19.5m、22.5m、25.5m、28.5m、31.5m 等规格；

② 按起重重量分，一般有 5t、10t、15/3t、20/5t、30/5t、50/10t、75/20t、100/20t、150/30t、250/30t 等；

③ 按行车使用频率分，一般可分为中级、重级两类。

15/3t 重级交流桥式起重机兼有吊重 15t 的主钩和 3t 的副钩，它除了采用一般凸轮控制器外，还在主钩部分采用了由主令控制器操纵的磁力控制盘。其他不同吨位或不同跨度的交流桥式起重机仅仅在设备容量上有所差异，其线路结构基本上不超越这一范畴。

一、电气设备和电路布置

桥式起重机的电气控制电路可以分四个部分，即主钩、副钩、大车或小车，它们都分别由 JZR 型起重机专用的电动机来拖动。主钩、副钩和小车的传动机构连同各自的制动器都要装在小车上。大车移动机构采用分别传动，即装于桥架二侧的主动轮分别由二台规格相同的电动机来拖动。为了布线经济和方便，磁力控制盘和所有电阻就近安装在起重机的桥架上。全部操纵器件集中安装在驾驶室里，以便于司机操作。

供给起重机的三相交流电源，是由集电拖从车间的导电轨（俗称行车滑触线）引到驾驶室保护控制盘。电

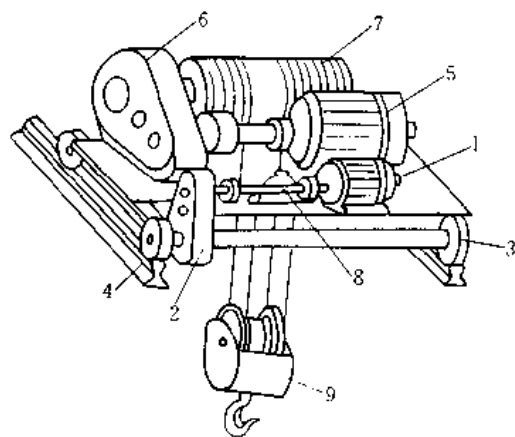


图 13.8.2 小车及提升机构示意图
1—小车电动机；2—小车减速器；3—小车滚轮；
4—轨道；5—提升电动机；6—提升减速器；
7—卷筒；8—静滑轮；9—吊钩

源总开关和接触器以及过电流继电器（不包括主钩部分）都是安装在保护控制盘内的。必须指出，从保护控制盘引出到凸轮控制器或磁力控制盘去的电源线，只有三相中的二相，另一相称为电源的公用相（在电路图 13.8.1 上线端编号为 X_{21} ），直接接到电动机的定子接线端。对所有安装在小车上的电动机、制动电磁铁和限位开关都是用导电轨作为导线的。其数目共有 21 根。

二、主电路和联锁控制的保护

在车间里安装总熔丝作为包括三相导电轨在内的整个起重机电路的短路保护。起重机的钢轨应当可靠接零。在起重机上，所有电动机均由各自的过电流继电器作为公路过载保护，这些过电流继电器的整定值一般整定在被保护的电动机额定电流的 2.25 ~ 2.5 倍。总电流过载保护的过电流继电器串接在公用线的一相（即 X_{21} ），它的整定值不应超过全部电动机额定电流总和的 1.5 倍。起重机的控制电路都装有熔丝保护。

为了防止人身触电事故，在舱口盖及横梁、栏杆门上装有安全开关（CAK、1LAK、2LAK），以防止有人在电源没有切断的情况下，由驾驶室或从大车轨道跨入起重机的桥架上而发生危险。这些限位开关的触点都与过电流继电器触点相串联，其中要有一对触点断开，将使主接触器 C 释放，同时主钩电路也由于控制电源失电而全部释放。

起重机还设置了零位联锁，即所有凸轮控制器的手柄都必须放在零位，这样才能按保护盘上的起动按钮使起重机准备投入运行。这样联锁的目的是为了防止电动机在切除的情况下，以避免一撤按钮便直接起动，这不仅会产生很大的冲击电流，而且很容易造成事故。

在大车和小车的各两端装有行程终端开关，此外，还在主钩和副钩的顶部装有上升极限开关，使得运动部分达到某一极限位置后不可能再继续进行，但必须具有相反方向运转的可能性。

在驾驶室内装有一只单刀单投的紧急开关 JJK，开关的触点串联在主接触器的线圈电路中，以备紧急停车之用。

三、凸轮控制器的控制情况

凸轮控制器是用来直接控制绕线式异步电动机的正反向起动、运转和停止；副钩、小车和大车都是由凸轮控制器控制的。

在起重机投入运行以前，应当将控制器手柄放在“零位”，然后按下保护盘上的起动按钮，使总电源接通。这一要求是利用 5 和 7 之间触点 XTK 来完成的，它在零位时是处在闭合状态。小车机构的“向前”或“向后”移动是依靠凸轮控制器对调电机进线来实现的。当手柄转到向前位置的任一档时，控制器的主触点 X_{32} 与 XD_2 接通， X_{33} 与 XD_3 接通，电动机便作向前运转。反之如手柄转到“向后”位置，则 X_{32} 与 XD_3 接通， X_{33} 与 XD_2 接通，电动机反转。

在向前运转第一位置时，电动机转子接入全部电阻，此时电动机产生的转矩小于额定转矩，这是为了避免机构发生危险的冲击，以及提升轻负载时获得较慢的速度。

当控制器转到向前运转第二位置时，凸轮控制器 XZ_5 与 XZ_6 之间触点闭合，切去了一段电阻，电动机产生的转矩增加，因而电动机开始加速，这样使控制器逐步从一个位置到另一个位置。由于触点的闭合，即可依次切除转子电路的起动电阻，最后电动机便以固有的机械特性而运转。

“向后”运转工作情况与“向前”运转是相似的。

应用大车的凸轮控制器，其工作情况与小车的基本相似，但被控制的电动机容量和电阻器规格有所区别，此外，大车控制器由于一个控制器同时控制两台电动机，因此多了五副触点以供切除第二台电动机的转子电阻之用。

四、磁力控制盘的控制情况

主钩升降是采用主令控制器配合磁力控制盘来共同控制的。主钩电动机的转子附加电阻采用三相平衡切除。主钩上升时与凸轮控制器的动作基本相仿，但是通过接触器来控制的。

主钩下降也有六个位置。“0”、“1”、“2”为制动下降位置，为使重负载下降时获得较小的下降速度，构成了反接制动状态的下降情况。后三个位置“3”、“4”、“5”为强力下降位置，主要用于轻负载强迫下降。现介绍主令控制器处在不同的下降位置时的动作情况。

(1) 制动下降“0” 此时 K_3 、 K_6 、 K_7 、 K_8 都闭合，相应的使终端开关 ZXK 投入工作，接触器 ZC、1YC、2YC 吸合。由于制动接触器 ZDC 仍未通电，制动器的抱闸未松开；尽管接触器 ZC 已吸合，电动机已向提升方向产生转矩，但在制动器抱闸和载重的重力作用下，迫使电动机不能旋转。此时转子电路接入四段起动电阻，

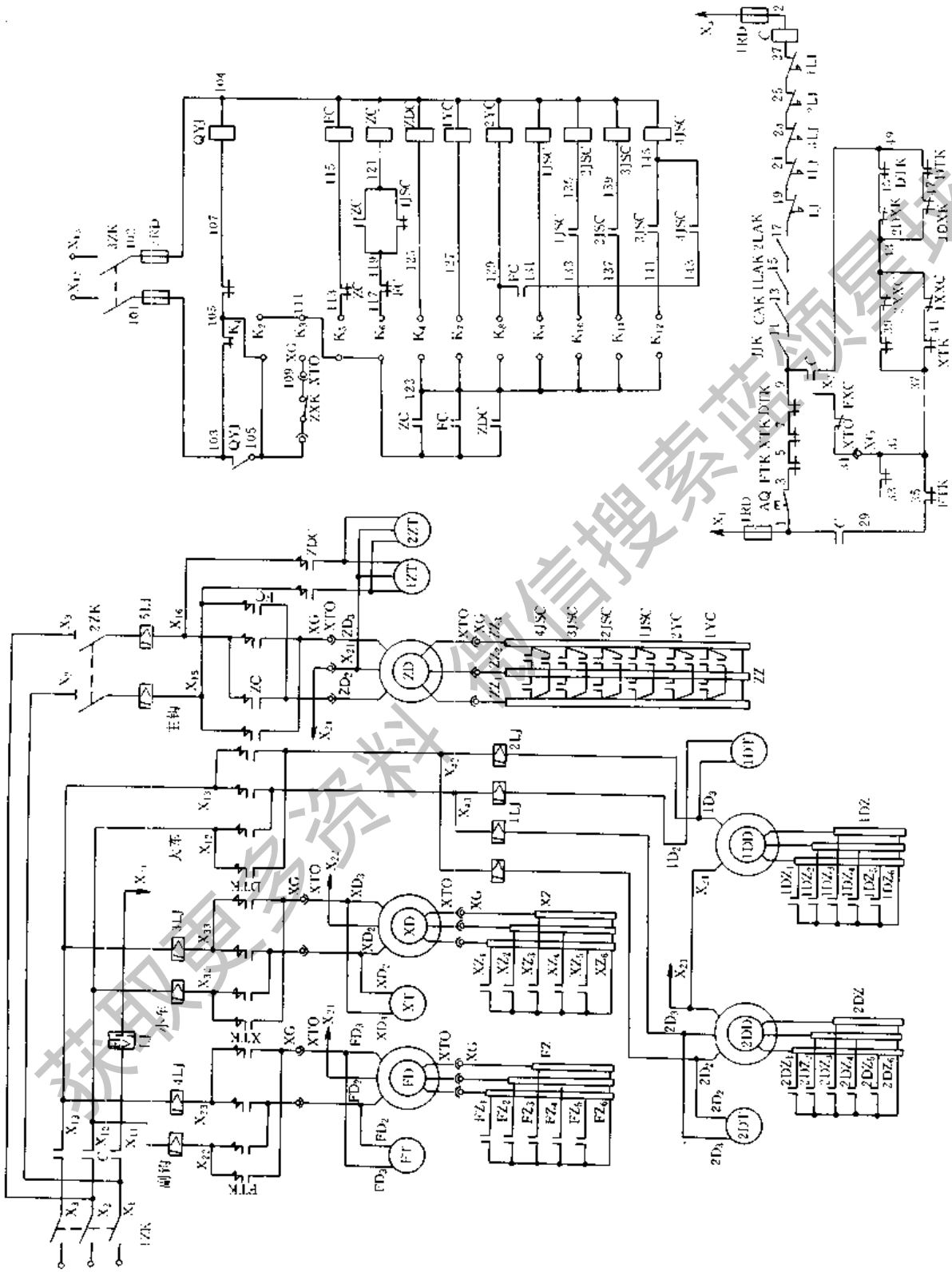


图 13.8.3 15/3t 重级交流桥式起重机控制电路

这是一个起动的准备位置。

(2) 制动下降“1” 此时 K_4 闭合, K_8 断开。制动接触 ZDC 通电, 电磁制动器的抱闸松开。由于 K_8 的断开, 2YC 释放, 使转子电路增加一段反接电阻, 从而使电动机转矩减小。若此时载重足够大, 则电动机开始作反接制动运转, 重负载低速下降。

(3) 制动下降“2” 触点 K_7 打开, 接触器 1YC 释放, 此时转子电阻全部接入, 使电动机力矩更小。这样就可以从第二个位置与第三个位置上选择重负载缓慢下降的速度。

(4) 强力下降“3” 此时 K_3 断开, K_2 闭合, 把上升终端开关从控制回路中切除。 K_6 断开, K_5 闭合, 使上升接触器 ZC 释放, 下降接触 FC 吸合。转动手柄时, 在触点 K_6 打开之前, K_5 已接通, 这是为了减小换接时间。 K_7 、 K_8 闭合使 1YC、2YC 吸合, 这时负载在电动机的作用下开始下降。制动接触器 ZDC 线圈早已通过 111 与 123 之间的触点 ZDC 自锁, 因此不致由于 ZC 与 FC 的换接而中断, 造成机械冲击。

(5) 强力下降“4” 这时触点 K_9 闭合, 接触器 1JSC 吸合, 再切除一段电阻, 电动机进一步加速运转。于是转子电路中只剩下三段电阻。

(6) 强力下降“5” 这时触点 K_{10} 、 K_{11} 、 K_{12} 闭合, 依靠 133 与 135 之间触点 1JSC 和 137 与 139 之间触点 2JSC 以及 141 与 145 之间触点 3JSC 的联锁, 使接触器 2JSC、3JSC、4JSC 顺次吸合, 加速电阻逐级被切除, 从而避免过大的冲击电流。电动机以最高速度运转。在这个位置上, 下降较重的负载也能获得发电制动, 因此起了制动下降作用。如果要取得较低的下降速度, 就需要把控制器旋回到制动下降位置“1”、“2”进行反接制动下降。但是, 为了避免在转换过程中可能发生过高下降速度, 需要使电动机从这最末位置相应的特性直接过渡到反接制动的特性上运转, 因此用 143 与 145 之间触点 4JSC 将接触器 4JSC 线圈自锁。同时, 为了不影响提升的调速, 在这联锁电路中在 129 与 143 之间串联一个辅助触点 FC。在主令控制器的开合表中可看到强力下降“3”、“4”位置上有 00 的表示, 便是这个意义。反过来说, 如果没有以上的联锁装置, 则当手柄向零位回转时, 例如需要下降中停下, 或要求低速下降时, 操作人员一不小心, 把手柄停留在位置“3”或“4”上, 那么下降速度就要大大增加, 这不仅产生很大的冲击电流, 而且还可能造成事故。

在磁力控制电路中, 串联在接触器 ZC 线圈电路中 119 与 121 之间的一副触点 4JSC, 它与 ZC 的自锁触点并联, 保证了当接触器 FC 释放以后, 在 4JSC 断开的情况下, 转子电路保持一定的附加电阻, 上升接触器 ZC 才能接通并自锁, 以防止反接时的直接起动造成危险。

最后, 必须说明, 当下降轻载时不能把控制器手柄停留在下降“1”、“2”的位置, 否则负载反而提升。如果没有上升极限开关 Z XK, 很可能碰撞卷扬筒而造成事故。

15/3t 重级交流桥式起重机的控制电路原理见图 13.8.3。

获取更多资料

第九章 起重电磁铁

起重电磁铁广泛应用于冶金、机械行业，起重电磁铁电源这里介绍 ZM-16 整流装置供给 HW1-16 型起重电磁铁，输入三相交流 380V，输出直流 220V。起重电磁铁结构如图 13.9.1 所示。

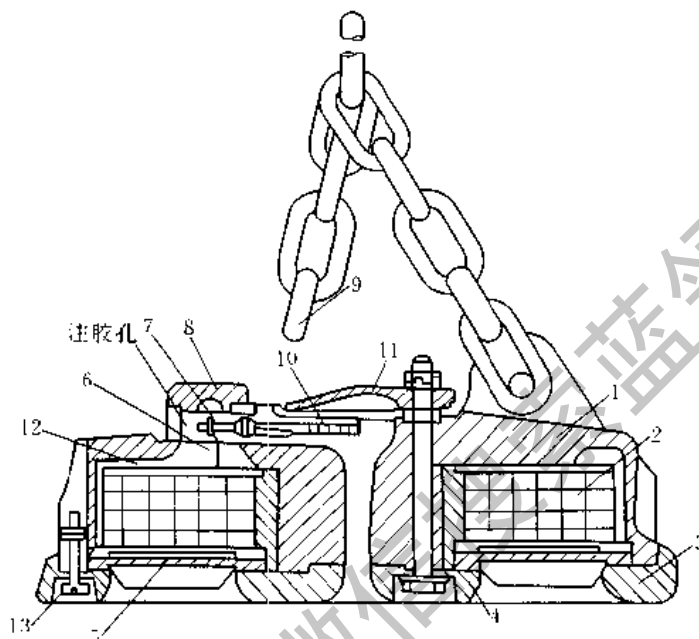


图 13.9.1 MW1 型圆形起重电磁铁示意图

1—钟盖；2—线圈；3—外极圈；4—内极圈；5—非磁圈；6—软导片；7—出线螺杆；
8—注胶盖；9—链条；10—软导线；11—保护盖；12—沥青；13—紧固螺钉

第一节 起重电磁铁电源

ZM-16 整流装置采用晶闸管整流，触发脉冲与加在晶闸管的交流电压必须同步。在安装中，电源线电压相序符合图样要求时，调节电位器 RP_1 ，直流输出载电压变化范围约为 $0 \sim 34 \sim 257V$ ；若调节 RP_1 时直流电压变化范围很小，说明电源线电压相序不正确。此时只要将电源线 L_1 与 L_2 对调即可。由于直接用交流电网电压整流，不允许负载接地，否则将发生对地短路事故，熔断熔断器或损坏晶闸管。

ZM-16 整流装置电气原理图见 1348 页图 13.9.2。

第二节 起重电磁铁的控制电路

起重电磁铁的控制电路应满足以下三个基本要求：正常供电使其吸重；断电后用放电电阻将电磁铁短接，使其过电压限制在 $1kV$ 以下；在电磁铁释放重物时，反向供电给电磁使其消磁，以期达到尽快释放重物，提高生产率的目的。通常采用的有时间控制、电压控制及无触点控制三种反向消磁控制电路。

CKB 型控制箱对起重电磁铁控制，是采用时间控制反向消磁电路。图 13.9.3 为 CKB 控制箱电气原理图。

此电路可以接通与分断电磁铁，电磁铁断电后自动放电、消磁。电磁铁 YA 线圈在接触器 K_1 、 K_2 主触头分断之前，由时间继电器 KT 常开触头和 K_2 辅助常闭触头（此触头在 K_2 主触头断开前闭合）构成放电回路，以防止过电压。 K_2 辅助常闭触头使放电回路在电磁铁工作时断开，不消耗电能。电磁铁反向消磁时间由时间继电器 KT 的触头（常开触头延时分断）来控制，与被吸重物无关，这是不合理的；加之使用电器元件较多，CKB 型控制箱已被淘汰。

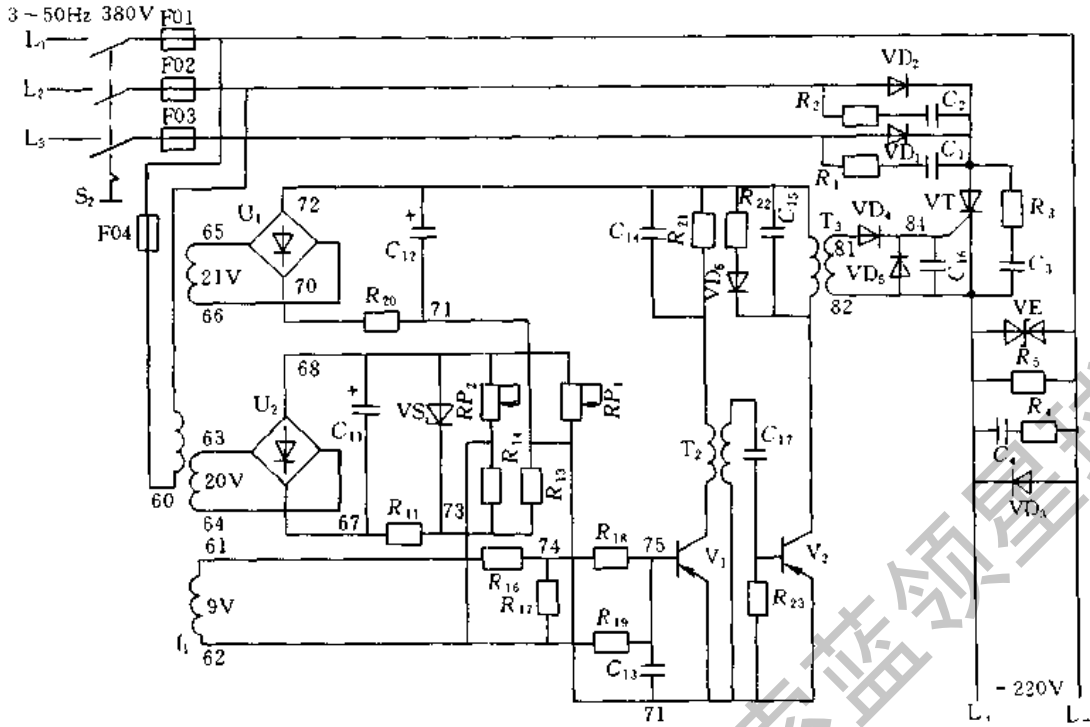
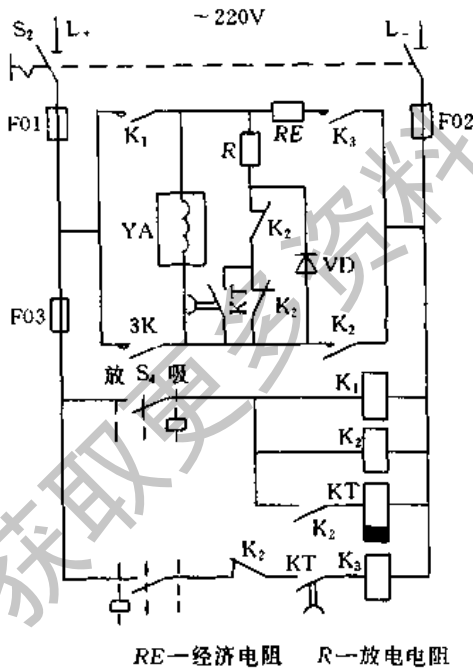


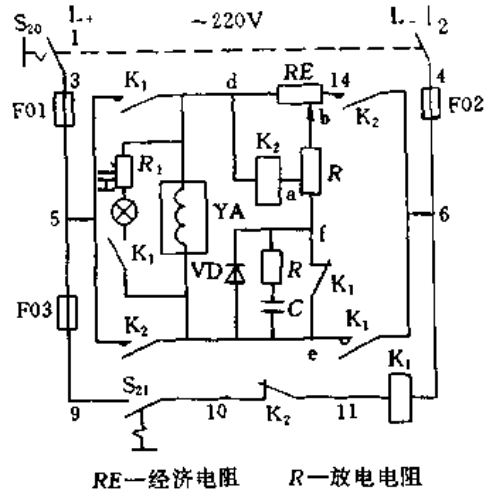
图 13.9.2 ZM-16 装置电气原理图

改进后的 CKB 型电磁铁控制箱的控制电路采用电压控制自动反向消磁，它克服了时间控制反向消磁电磁的缺点，其电路见图 13.9.4。



RE—经济电阻 R—放电阻

图 13.9.3 CKB 控制箱电气原理图



RE—经济电阻 R—放电阻

图 13.9.4 改进后的 CKB 电气原理图

此电路可以实现接通和分断电磁铁，电磁铁断电后能自动放电、反向消磁。电磁铁断电过程如下：当接触器 K_1 线圈失电而使其主触头断开时，电磁铁线圈产生的自感电动势通过 $e \rightarrow f \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow e$ 构成的回路放电，避免了操作过电压；同时，在经济电阻 RE 的 $b-d$ 之间，放电阻 R_1 的 $a-b$ 之间分别产生电压 U_{bd} (b_+, d_-)、 U_{ab} (a_+, b_-)，消磁接触器 K_2 在电压 U_{bd} (其值等于 U_{ab} 与 U_{bd} 之和) 作用下吸合。 K_2 主触头闭合，电源接

通,电磁铁开始反向消磁。电压 U_{ab} 仍保持 (a_+, b_-) 不变,但 U_{ba} 变成 d_+, b_- , 接触器 K_2 线圈电压 U_{kd} 迅速下降,一直到释放消磁过程结束。在这过程中,消磁接触器 K_2 的释放时间是由电磁铁的消磁电流自动控制的,根据被吸重物的大小自动地控制了电磁铁的消磁时间。

起重电磁铁的放电电阻,其阻值可按电磁铁线圈冷态电阻的 6~8 倍选择。阻值选得大,电磁铁断电时产生的过电压峰值也高,但卸载也快。在放电电阻长期与电磁铁线圈并联的控制电路中,电阻值大,其损耗就可以小些。电磁铁的消磁电流,可按电磁铁线圈冷态工作电流的 15%~20% 选取。

第三节 起重电磁铁的使用

电磁铁线圈对壳体间的绝缘电阻,冷态时应不小于 $10M\Omega$,热态时不得小于 $0.6M\Omega$ 。新电磁铁线圈的耐压试验为交流 50Hz,电压 3000V,历时 1min。电磁铁本体应可靠接地。

电磁铁的通电持续率 TD 超过 50%、运行中过早地接通或不及时断电以及吸运高温物料时,都会导致线圈温升过高,其后果是电阻增大而使起重重量降低,还将缩短绝缘寿命。电磁铁通电后应停 3~12s 再使其移动,磁通达到最大,以期获得较大的吸力。为避免损伤和减轻作用于电磁铁和线圈绝缘层的机械力冲击,不允许用磁铁撞击某种物料或用来荡平成堆的钢板坯料,也不允许在电磁铁与被吸物料接触之前送电。

在冶金等连续生产的行业中,电磁铁及其控制装置(简称 ZDT 装置)失效造成的损失,往往大于装置本身的价值,ZDT 装置发生断路而造成早期失效的情况较多,而断路一般是由于电缆与电缆卷筒故障而引起的。这就要求电缆卷筒工作可靠,避免张力过大,拉断电缆;也要防止张力过小,缠绕过松,运行时电缆拖地,导致断路或短路而使电缆严重损坏的事故。加强电缆卷筒维护保养,经常检查其电接点有无松动、跳动、接触不良等现象。在电磁铁出线端并联压敏电阻作断路泄能保护极为有效。ZDT 装置失效的另一个原因是短路与过电流,这是由于电磁铁线圈绝缘老化或过电压击穿、电缆损坏、整流控制设备内部故障等引起的,这就要求应经常对电气设备进行保养、发现故障及时修复。

第四节 起重电磁铁是自保磁系统

为了避免由于意外地中断供电、振动等外来原因造成被吸重物落下,最适用的方法是采用蓄电池供电的自保磁系统。

自保磁系统在正常工作状态下,起重机上的直流电源除供电给电磁铁吸持重物外,同时向蓄电池进行浮充电,必须保证蓄电池组端电压不低于 230V,加上辅助电池可达 300V 左右。即能在故障状态下可靠地向电磁铁供电。经过 0.4~0.5s 辅助电池组也投入工作,随着放电时间的持续,电池端电压不断地降低。安全规程要求,电池组以电磁铁的额定电流放电可以持续 15min,以便司机寻找安全地点将吸持物放置地面。

第十章 电梯电气控制

第一节 概 述

一、电梯产品型号编制方法

国家标准规定：电梯、液压电梯产品型号由类组型、主参数和控制方式三部分组成，第二、三部分之间用短线分开。第一部分是类、组、型代号，用大写汉语拼音字母表示；第二部分是主参数代号，额定载重量与额定速度用斜线分开，均用阿拉伯数字表示；第三部分是控制方式代号，用大写汉语拼音字母表示。

电梯产品型号图示如下：

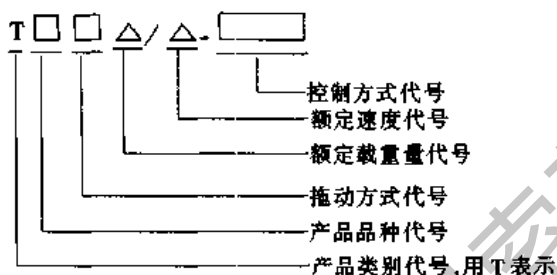


表 13.10.1 产品类别代号

产品类别	简称	采用代号
电梯	梯	T
液压电梯		

示例：

THJS2000/0.63-AZ 表示：交流双速载货电梯，额定载重量 2000kg，额定速度 0.63m/s，按钮控制，自动门。

1. 产品类别代号

电梯产品类别代号见表 13.10.1。

2. 产品品种代号

电梯产品品种代号见表 13.10.2。

表 13.10.2 产品品种代号

产品品种	简称	采用代号	产品品种	简称	采用代号
乘客电梯	客	K	杂物电梯	物	W
载货电梯	货	H	船用电梯	船	C
病床电梯	病	B	观光电梯	观	G
住宅电梯	住	Z	汽车用电梯	汽	Q

3. 拖动方式代号

电梯拖动方式代号见表 13.10.3。

表 13.10.3 拖动方式代号

拖动方式	简称	采用代号
液压拖动系统	液压	Y
交流单速电动机拖动系统	交流单速	JD
交流双速电动机拖动系统	交流双速	JS
交流调压调速拖动系统	交流调速	JT
交流调压调频调速拖动系统	调压调频	TT
直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统	直流励磁	ZL
可控硅直接供电拖动系统	可控硅供电	ZG

4. 额定载重量代号

电梯额定载重量代号见表 13.10.4。

表 13.10.4 额定载重量代号

额定载重量/kg	采用代号	额定载重量/kg	采用代号
400	400	1250	1250
630	630	1600	1600
800	800	2000	2000
1000	1000	2500	2500

5. 额定速度代号

电梯额定速度代号见表 13.10.5。

表 13.10.5 额定速度代号

额定速度/(m/s)	采用代号	额定速度/(m/s)	采用代号
0.25	0.25	1.60	1.6
0.50	0.5	2.50	2.5
0.63	0.63	3.15	3.15
1.00	1.0		

6. 控制方式代号

电梯控制方式代号见表 13.10.6。

表 13.10.6 控制方式代号

控制方式	简称	采用代号	控制方式	简称	采用代号
轿厢外按钮控制	外、按	WA	集选控制	集选	J
按钮控制、自动门	外、自	AZ	并联控制	并联	B
按钮控制、手动门	按、手	AS	梯群控制	群控	Q
信号控制	信 号	X			

注：控制方式采用微处理机时，在代号后加汉语拼音字母 W。例如，采用微处理机控制的集选控制方式，代号为 JW。

二、电梯性能（国家标准）

1. 运行速度

当电源为额定频率，对电动机施以额定电压时，电梯轿厢在半载（50%负载），向下运行至行程中段（除去加速和减速段）时的速度，不得大于额定速度的 105%，宜不小于额定速度的 92%。

2. 加、减速度

电梯起、制动加、减速度最大值不大于 1.5m/s^2 。

额定速度 $1\text{m/s} < v \leq 2\text{m/s}$ 的电梯平均加、减速度应不小于 0.5m/s^2 ；额定速度 $v > 2\text{m/s}$ 的电梯平均加、减速度应不大于 0.7m/s^2 。

3. 振动加速度

乘客电梯与病床电梯的轿厢运行时的水平方向和垂直方向振动加速度（用时域记录的振动曲线中的单峰值）应符合表 13.10.7 规定。

表 13.10.7 振动加速度/(cm/s^2)

项目等级	合格品	一等品	优等品
垂直振动加速度	≤ 25	≤ 15	≤ 7
水平振动加速度	≤ 15	≤ 10	≤ 7

4. 噪声

各机构和电气设备在工作时不得有异常撞击声或响声。乘客电梯与病床电梯的总噪声应符合表 13.10.8 规定值。

表 13.10.8 电梯噪声/dB (A)

项目等级	合格品	一等品	优等品
机房噪声	≤ 80	≤ 75	≤ 70
运行中轿厢内噪声	≤ 55	≤ 52	≤ 48
开关门过程噪声	≤ 65	≤ 60	≤ 50

5. 平层准确度

平层准确度指：电梯轿厢到站停靠后，轿厢地坎上平面对层门地坎上平面垂直方向的误差值。各类电梯的平层准确度应达到表 13.10.9 规定值。

表 13.10.9 平层准确度/mm

电梯种类	等级	合格品	一等品	优等品
交流双速	$v \leq 0.63\text{m/s}$	± 15	± 12	± 10
交流双速	$v \leq 1.00\text{m/s}$	± 30	± 20	± 15
交、直流调速	$v \leq 2.50\text{m/s}$	± 15	± 10	± 5

6. 平衡系数

使用钢丝绳的曳引式电梯，基本上都采用对重对轿厢进行平衡。对重的总重量取决于空轿厢重量（轿厢自重）、电梯的额定负载和平衡系数，即

$$\text{对重的总重量} = \text{轿厢自重} + \text{平衡系数} \times \text{额定负载}$$

国家标准规定，各类电梯平衡系数应为 40% ~ 50%。具体的平衡系数应根据电梯的使用状况进行合理的选择。

7. 安全设施

电梯应有如下安全设施：

- ① 超速保护装置（限速器-安全钳系统，限速器绳断裂或松弛保护开关）；
- ② 供电系统断相、错相保护装置；
- ③ 撞底缓冲装置（用液压缓冲器时，缓冲器复位开关）；
- ④ 超越上、下极限工作位置时的保护装置（极限开关）；
- ⑤ 层门锁与轿门电气联锁装置（检修运行；安全触板）；
- ⑥ 井道底坑有通道时，对重应有防止超速或断绳下落的装置；
- ⑦ 停电、或电气系统发生故障时应有轿厢慢速移动的措施（紧急操作装置）；
- ⑧ 停止保护装置（机房、轿顶、底坑应具有停止运行保护装置）。

第二节 电梯电气系统

电梯电气系统通常由控制系统、电力拖动系统、信号传输系统等部分组成。典型的电气系统如图 13.10.1 所示。

一、控制系统

控制系统即指控制电梯运行过程的电气控制系统。常用的电梯控制系统有：信号控制系统、集选控制系统、下集选控制系统、并联控制系统和群控系统等。

按组成控制系统的元、器件划分，以往常用的电梯控制系统有继电器控制系统和电脑控制系统。由于继电器控制系统存在可靠性差、故障率高、性能差、体积大和维护工作量大等缺点，国家已明文规定不准再制造、销售由继电器控制的电梯。因此，现在出厂的电梯产品的控制系统已全部采用电脑控制。常用的电脑控制系统有可编程序控制器（PLC）控制系统、单电脑控制系统和多电脑网络控制系统等。

电脑控制系统通常可划分为以下子系统：

- | | |
|-----------|-----------|
| ① 工作状态控制； | ④ 方向控制； |
| ② 安全控制； | ⑤ 运行控制； |
| ③ 选层控制； | ⑥ 开、关门控制。 |

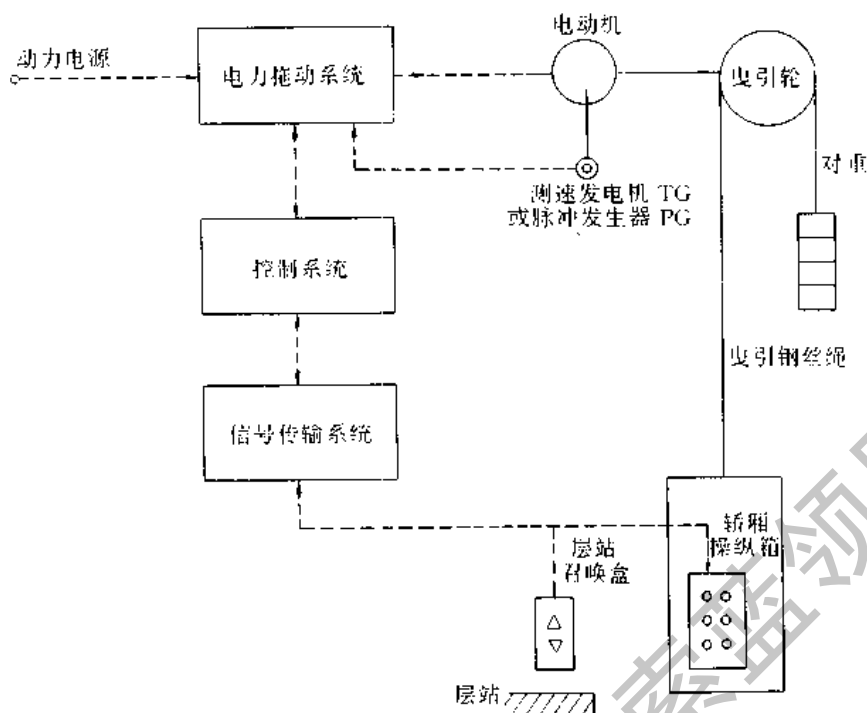


图 13.10.1 典型的电梯电气系统

1. 工作状态控制

乘客电梯通常具有：无司机（自动）、司机操作、消防（选配）和检修四种工作状态。

① 无司机（自动）工作状态时，电梯由乘客自己操作。控制系统根据乘客登记的轿内指令和层站召唤信号自动确定运行方向、自动关门和起动运行。电梯在运行过程中，根据已登记的指令信号或同向召唤信号逐一停站，每次停站时，电梯自动减速、平层和开门。

② 司机操作工作状态时，电梯的运行方向和开、关门等动作均由专职司机操作。

③ 消防工作状态时，电梯的运行方向和开、关门等动作均由消防员操作。

④ 检修工作状态时，电梯必须由专职检修人员进行操作，严禁无关人员操作。

2. 安全控制

为了保证电梯的安全运行，安全检查电路必须非常全面和完善，而且必须由硬件电路和电脑软件二方面来保证系统的安全。电脑控制系统通常都应具有自检测、自诊断功能，检查电脑因各种原因产生的故障情况，并采取保证系统正常运行的必要措施。通常对电脑故障采取的措施为：迫使电梯在运行前方的最近层站（就近层）停车或紧急停车。

典型的安全控制电路如图 13.10.2 所示。

为了保证电梯的安全运行，只有当电脑自检测、安全电路（门锁、方向运行反馈等）同时满足安全条件时，控制系统才能发出动作指令，其逻辑结构如图 13.10.3 所示。

3. 选层控制

电脑控制系统的选层控制通常为逻辑运算式和数据运算式二种，PLC 控制系统采用逻辑运算式，电脑或多电脑网络控制系统采用数据运算式。

选层控制由电脑软件实现，主要处理电梯层站数据、电梯当前位置、电梯前进位置、电梯当前层和前进层的运算，以及修正运算等，是控制系统中较重要的部分。

4. 方向控制

方向控制软件根据选层控制的运算结果进行运算，决定电梯的运行方向，并通过输出电路，驱动电梯运行。典型的方向控制电路如图 13.10.4 所示。

5. 运行控制

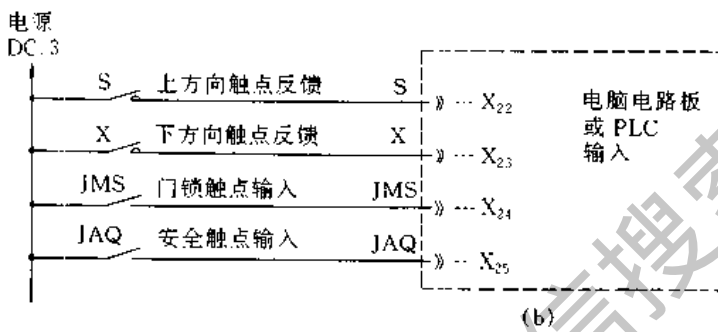
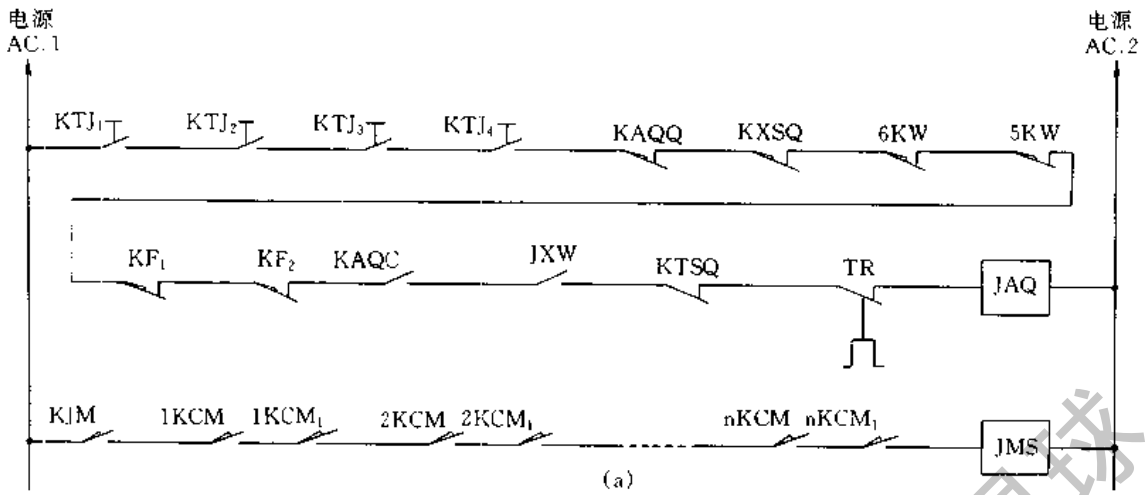


图 13.10.2 典型的安全控制电路

KTJ₁—机房停机开关；KTJ₂—轿厢停机；KTJ₃—轿顶停机；KTJ₄—底坑停机；KAQQ—安全钳开关；KXSQ—限速器开关；6KW—上极限开关；5KW—下极限开关；KF₁、KF₂—缓冲器复位开关；KAQC—安全窗开关；JXW—错相断相关；KTSQ—调速装置安全开关；TR—热继电器保护开关；JAQ—安全继电器；KJM—轿门开关；1KCM…nKCM—层门开关；1KCM₁…nKCM₁—被动门开关

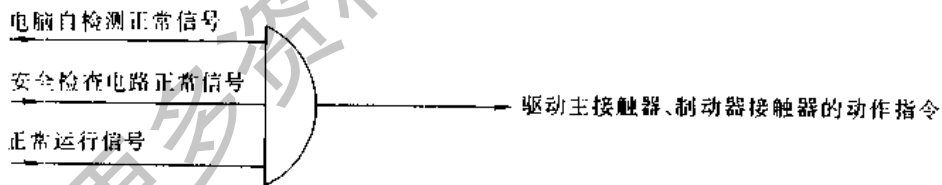


图 13.10.3 电梯控制系统的逻辑结构

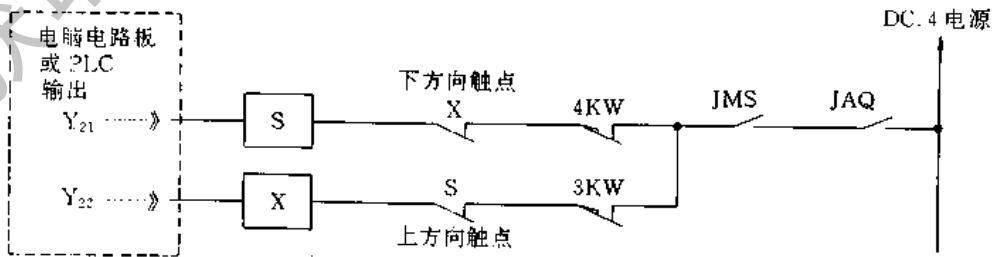
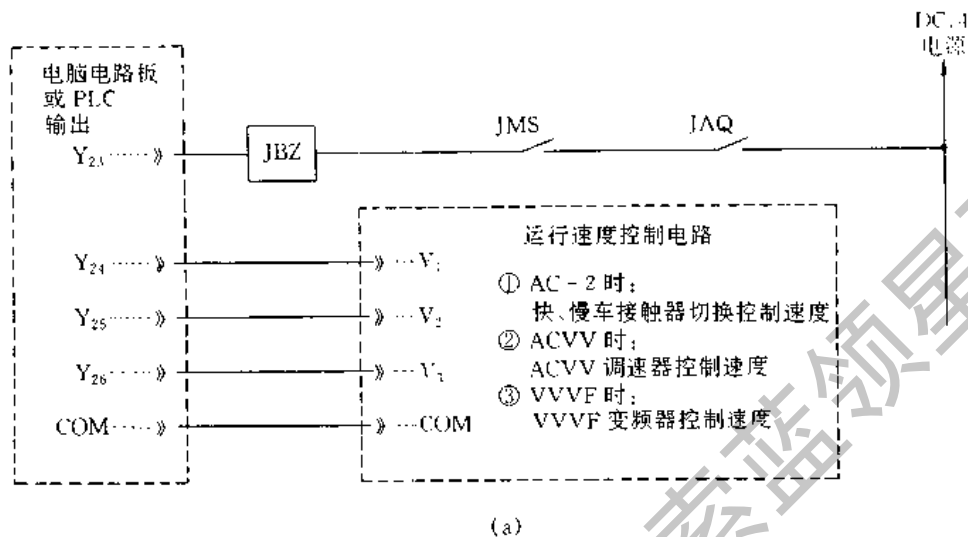


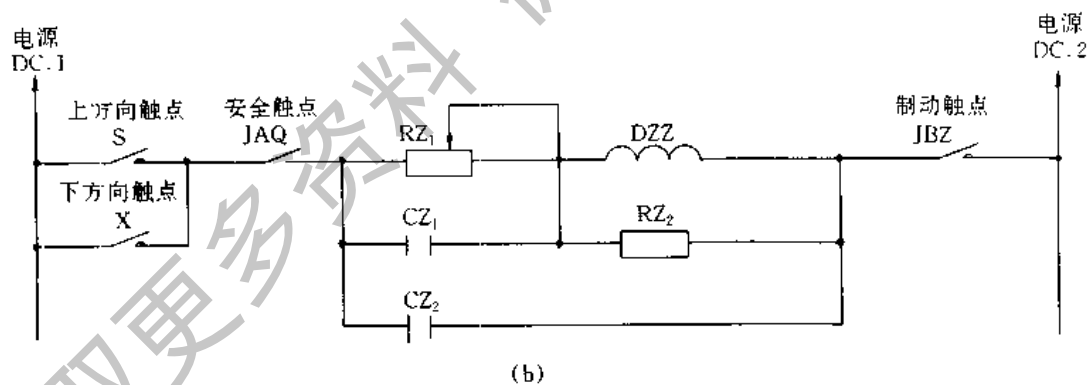
图 13.10.4 典型的方向控制电路

S—上方向接触器；X—下方向接触器；4KW—上限位开关；3KW—下限位开关；JMS—门锁触点；JAQ—安全触点

运行控制软件根据选层控制和方向控制的运算结果进行运算，决定电梯的起动、加速、减速和制动。典型的运行控制电路如图 13.10.5 所示。



JBZ—制动器继电器；JMS—门锁继电器触点；JAQ—安全继电器触点



RZ₁—调整电阻；CZ₁，CZ₂—电容；DZZ—制动器线圈；RZ₂—电阻

图 13.10.5 典型的运行控制电路

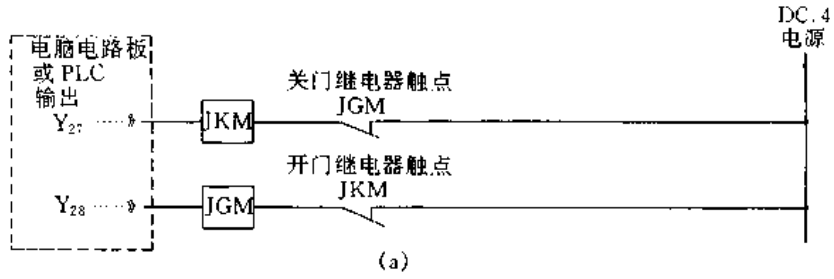
6. 开、关门控制

开、关门控制软件根据选层控制、方向控制和运行速度控制的运算结果，开、关门按钮信号、门安全触板开关（或光电开关等）信号，对电梯进行开、关门控制。典型的开、关门电路如图 13.10.6 所示。

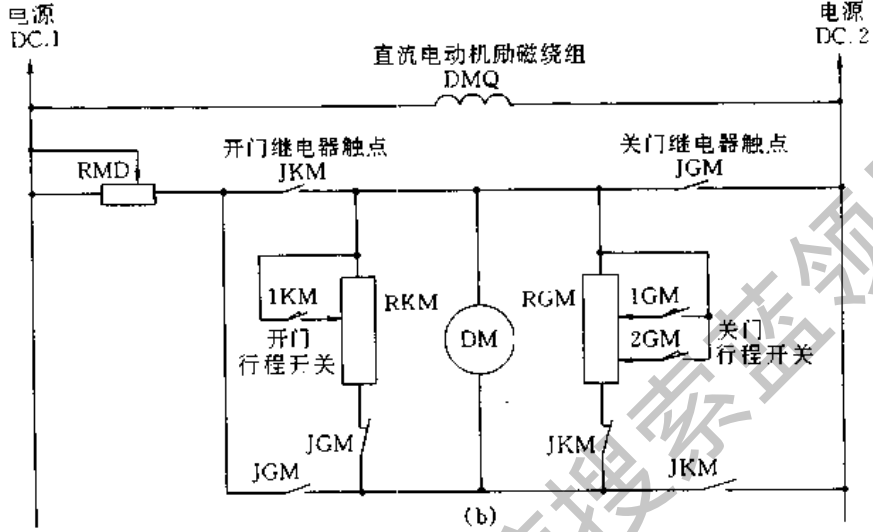
二、电力拖动系统

1. 交流双速（AC-2）拖动系统

电梯的拖动系统由交流变极调速装置和交流双速电动机组成。典型的交流双速（AC-2）拖动系统主回路（速度： $v \leq 0.5\text{m/s}$ ）如图 13.10.7 所示。



JKM—开门继电器；JGM—关门继电器



RMD—调压电阻；RKM—开门调速电阻；DM—电流电动机；RGM—关门调速电阻

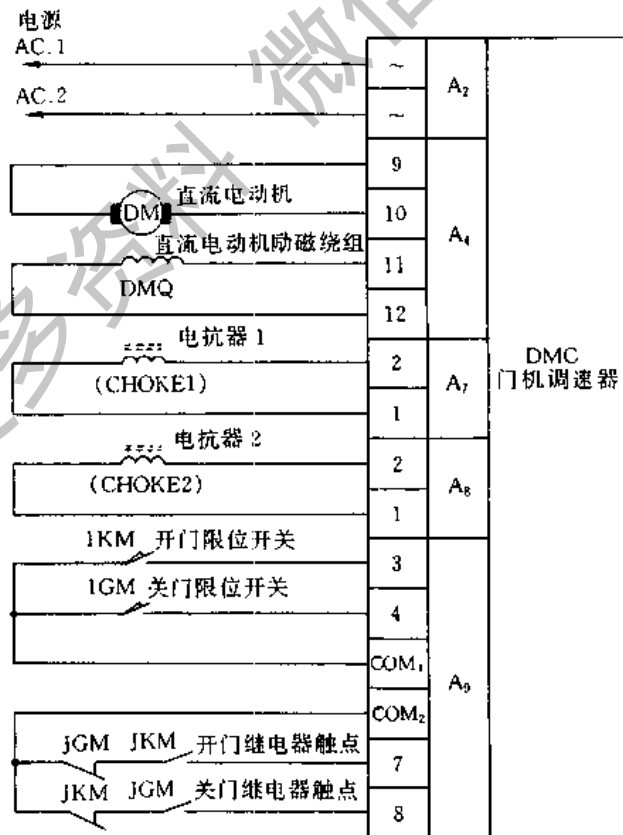


图 13.10.6 典型的开、关门电路

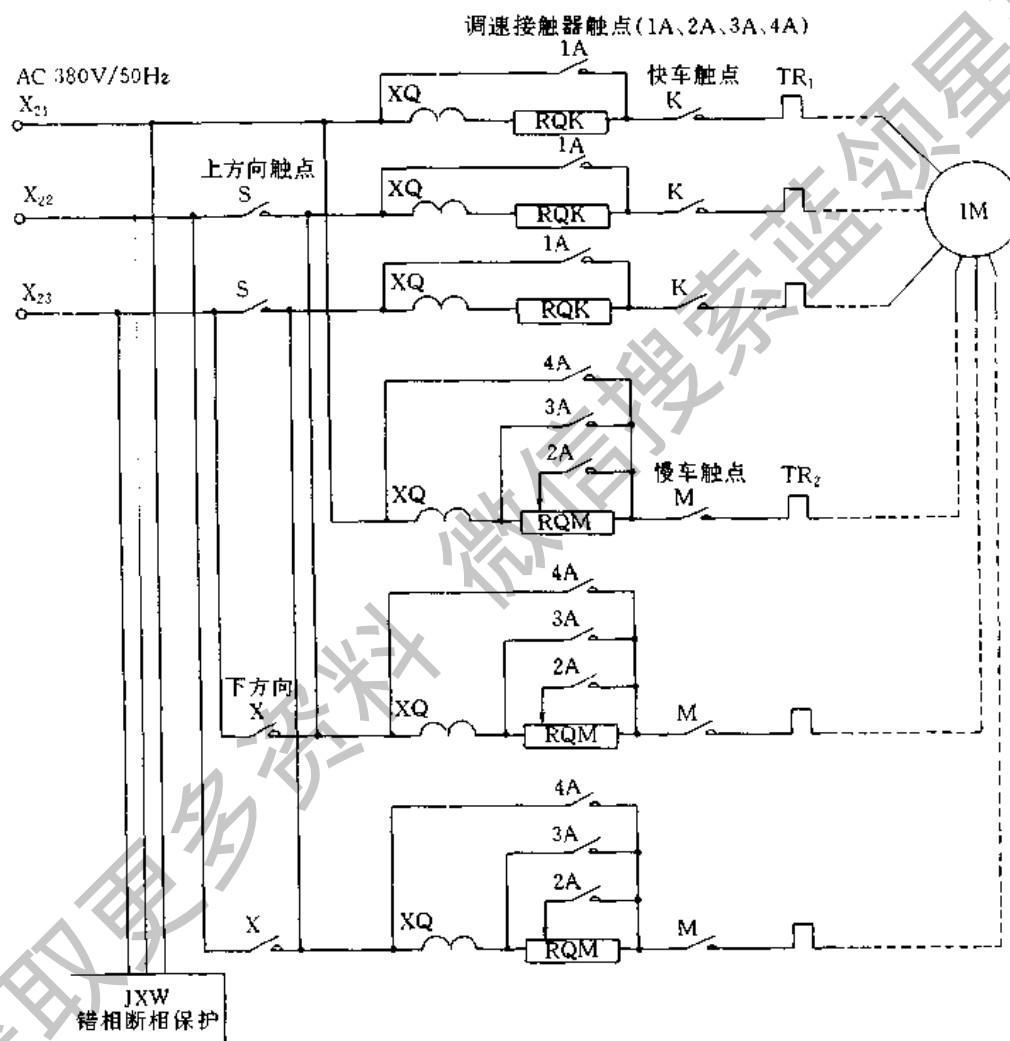


图 13.10.7 典型的交流双速拖动系统主回路

XQ—调速电抗；RQK—调速电阻；TR₁、TR₂—热继电器；IM—交流电动机

2. 交流调压 (ACVV) 调速拖动系统

电梯的拖动系统由交流调压调速装置和交流电动机组成。典型的交流调压 (ACVV) 调速主回路 (速度： $v \leq 1.75\text{m/s}$) 如图 13.10.8 所示。

3. 交流变压变频 (VVVF) 调速拖动系统

电梯的拖动系统由交流变压变频调速装置和交流电动机组成。典型的交流变压变频 (VVVF) 调速主回路 (速度： $v \leq 1.75\text{m/s}$) 如图 13.10.9 所示。

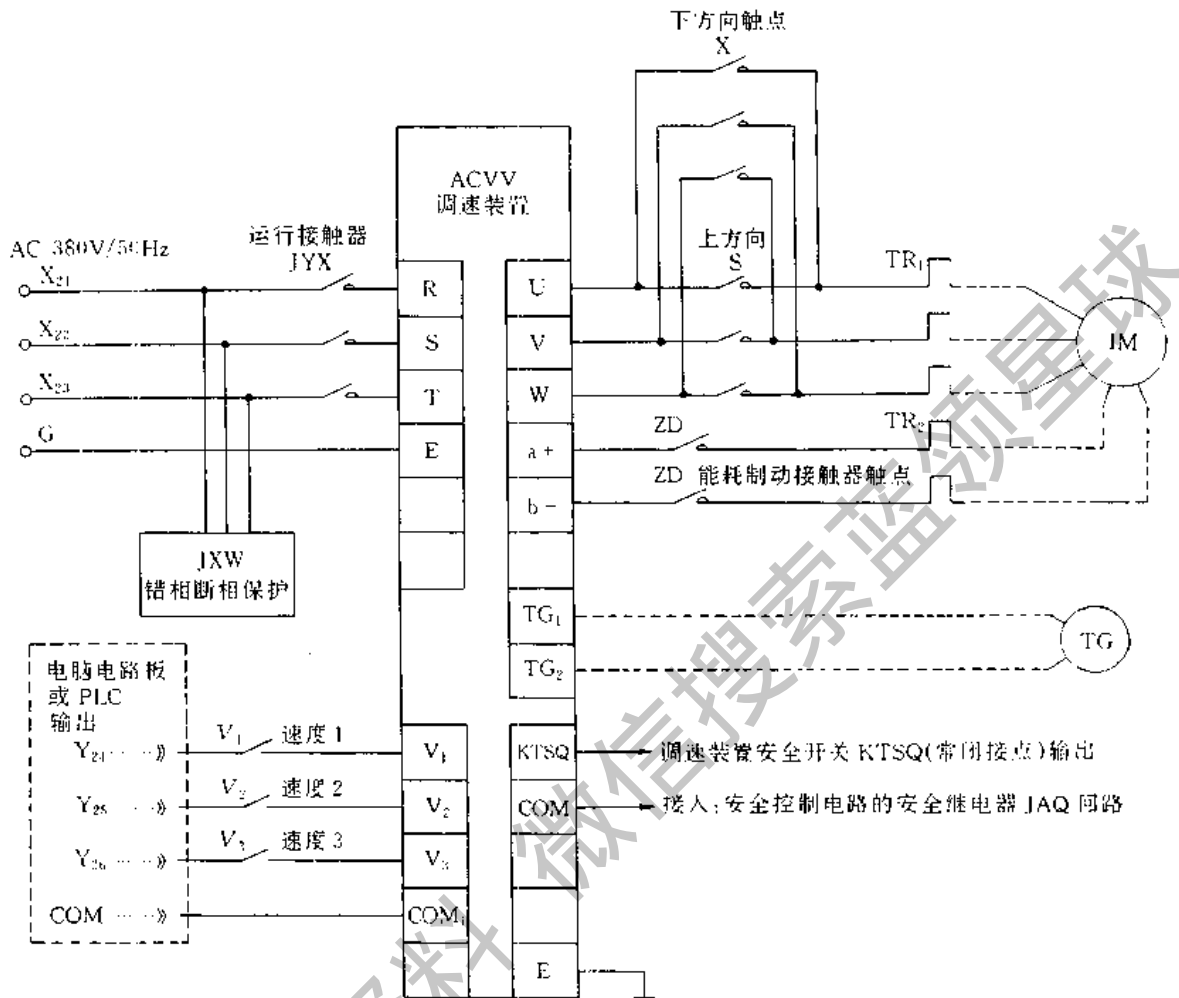


图 13.10.8 典型的交流调压调速主回路

TR₁、TR₂—热继电器；IM—交流电动机；TG—脉冲发生器或测速发电机

4. 交流电动机的功率估算

曳引式电梯用交流电动机的功率可按静功率进行估算，即

$$N = \frac{Qv(1-\psi)}{102\eta i} \quad (\text{kW})$$

式中 Q —电梯额定载重量，kg；
 v —电梯运行速度，m/s；
 ψ —电梯的平衡系数，通常取：0.4~0.5；
 η —电梯的机械传动总效率；
 i —钢丝绳绕绳倍率。

由于电梯在运行时会产生附加阻力，而且还经常处于满载启动工况，为了保证电动机的温升不超过规定值，因此一般情况下，选择交流电动机的功率应大于按上式估算的功率值。

5. 交流 ACVV 与 VVVF 调速系统的性能比较

交流调压 (ACVV) 调速与交流变压变频 (VVVF) 调速系统的性能比较见表 13.10.10。

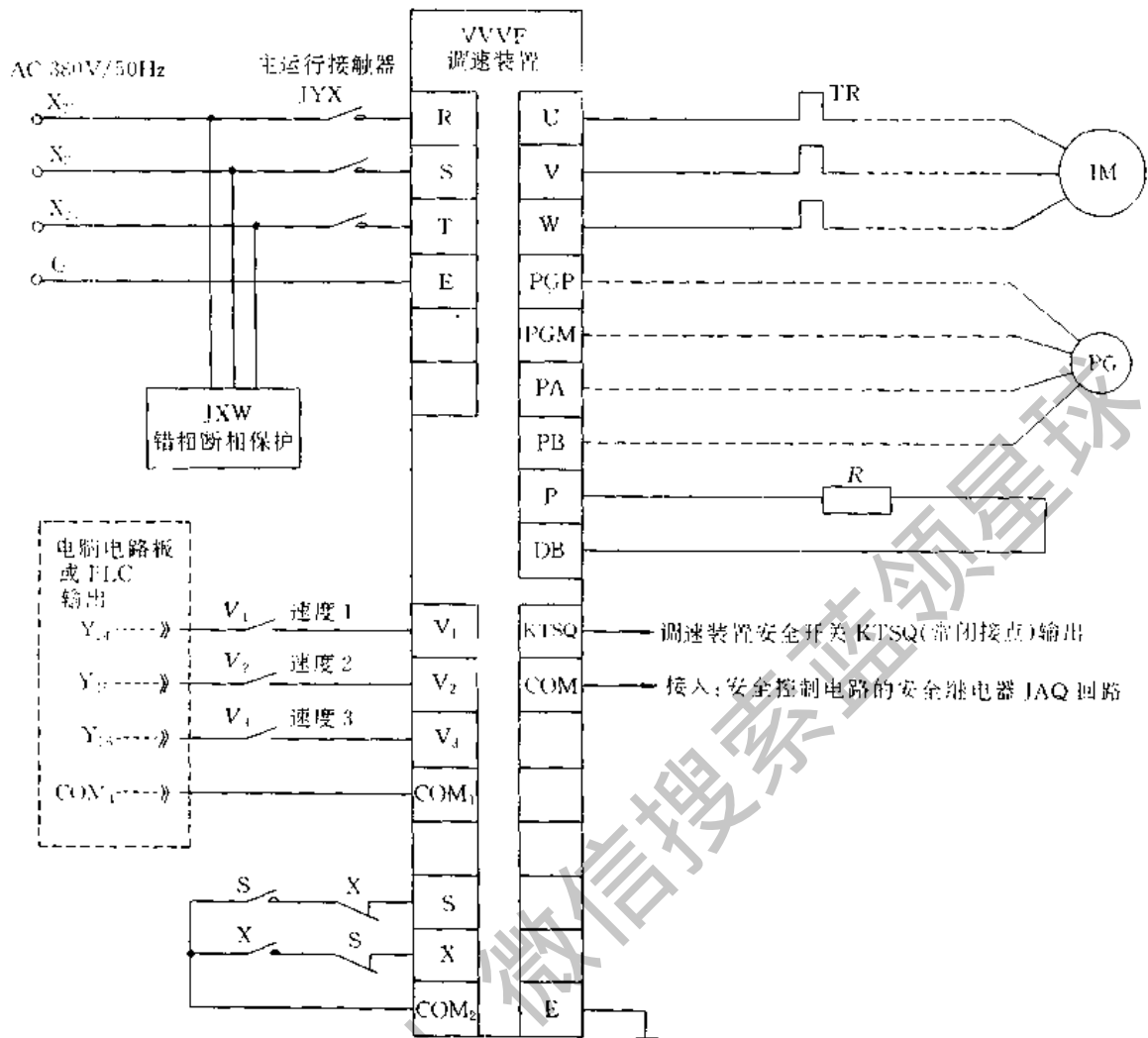


图 13.10.9 典型的交流变压变频调速主回路

TR—热继电器；IM—交流电动机；PG—脉冲发生器；R—再生制动电阻

表 13.10.10 交流调压调速与交流变压变频调速系统性能比较

项 目	交流调压 (ACVV) 调速	交流变压变频 (VVVF) 调速
调速范围	调速范围窄，低速时性能差	调速范围宽，可从接近零速开始
电动机转矩脉动	有高频转矩脉动，但影响不大	转矩脉动极小
电动机发热情况	由于存在谐波和高转差率，电动机发热较严重	电动机发热较小
功率因数	由于相位控制，功率因数低	功率因数，接近于 1
电动机效率	电动机效率低	高，采用 IGBT 后可进一步改善
对电网的干扰	对电网有一定的干扰	对电网基本无干扰
电能消耗	电能消耗较大	少，与 ACVV 相比可减少 50%
电源容量	电源容量配置较大	小，与 ACVV 相比可减少 50% 左右
总评价	性能及可靠性均较差，应用有局限性，仅限于速度小于 1.75m/s 的电梯	性能及可靠性均较高，采用矢量控制和 IGBT 后，可进一步改善。应用范围广，电梯速度可达：10m/s 以上

6. 直流拖动系统

用直流拖动系统组成的直流调速电梯的调速性能较好，起、制动过程较平稳，平层精度较高。但是，由于直流拖动系统的成本较高，系统较复杂，日常维护工作量较大；另一方面，由于交流拖动系统的不断发展，尤其是交流变压变频 (VVVF) 调速拖动系统的发展和在高速电梯上成功的应用，直流调速电梯的应用领域已开

始逐渐被成本较低，日常维护工作量较小，节能效果较好的交流变压变频（VVVF）调速电梯所替代。

(1) 直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统 直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统的直流发电机的励磁绕组 G_b 不是由普通的直流电源供电，而是由可控硅 SCR 及其速度控制环节所组成的电路供电。控制可控硅 SCR 的导通角大小，可以改变直流发电机的励磁电流，即改变了直流发电机的输出电压，使直流曳引电动机 M 的端电压改变，速度也随之改变，从而达到调速的目的。

典型的直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统主回路如图 13.10.10 所示。

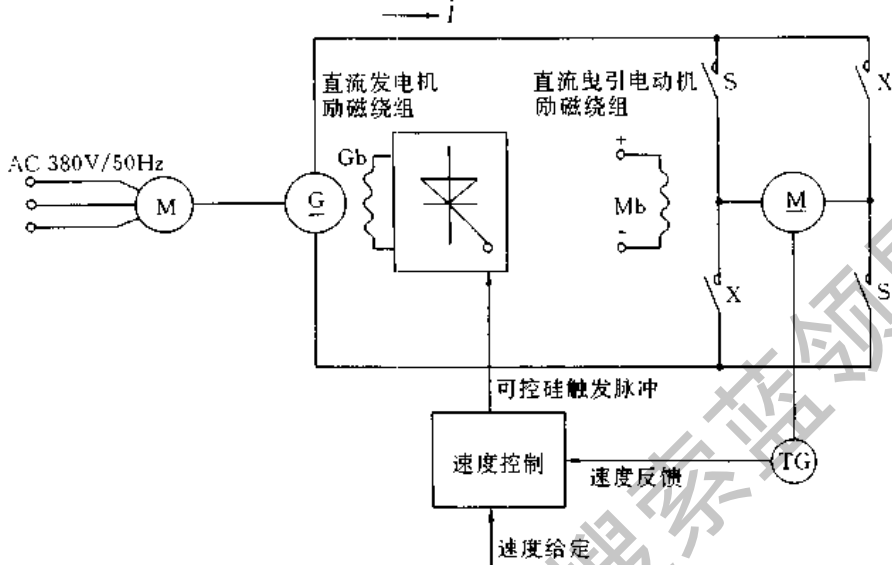


图 13.10.10 典型的直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统主回路

M—交流电动机；G—直流发电机；Mb—直流曳引电动机；TG—测速发电机

(2) 可控硅直接供电拖动系统 可控硅直接供电拖动系统由于不存在发电机磁场和电动机电枢的电气时滞问题，因此，响应时间短运行效率较高，工作较可靠，成本比直流发电机-电动机可控硅励磁拖动系统低，日常维护工作量也减少；缺点是变流器输出电压存在脉动含量，会使直流电动机发热，过载能力较差，再生控制过程复杂。

典型的可控硅直接供电拖动系统主回路如图 13.10.11 所示。

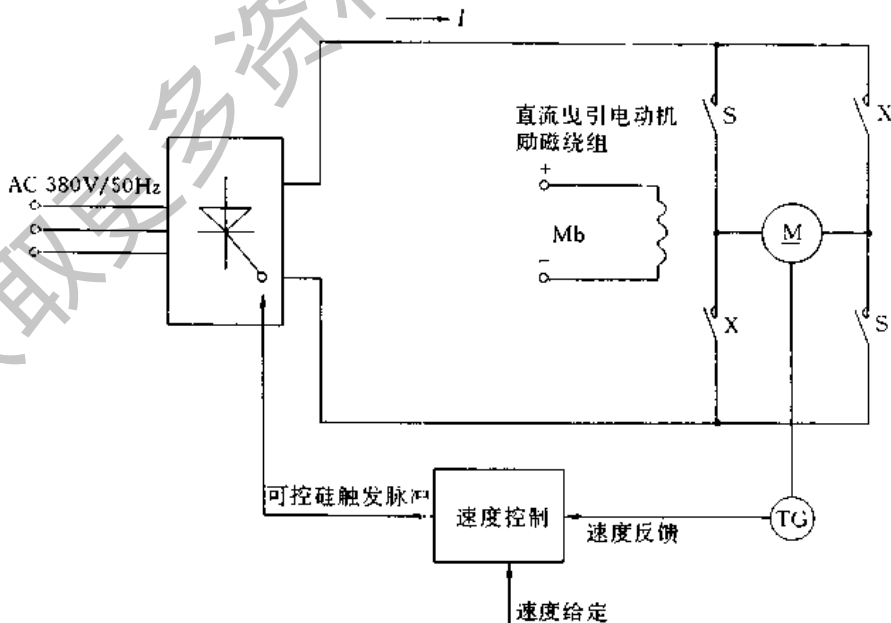


图 13.10.11 典型的可控硅直接供电拖动系统主回路

M—直流曳引电动机；TG—测速发电机

三、信号传输系统

电梯的轿内指令信号和层站召唤信号的传输系统常用的信号传输方式有并行传输和串行传输两种。

1. 信号并行传输系统

信号并行传输系统的特点是：硬件电路和电脑软件都较简单，容易实现，但是使用信号传输线较多（层站越多传输导线越多），抗干扰性能较差。典型的信号并行输入电路如图 13.10.12 所示。



图 13.10.12 典型的信号并行输入电路

2. 信号串行传输系统

信号串行传输系统的特点是使用信号传输导线较少，不受层站多少限制（传输导线数固定），抗干扰性能强。但是，串行传输系统的硬件电路和电脑软件都较复杂，技术难度较大，成本较高。典型的信号串行传输（层站召唤信号输入）电路如图 13.10.13 所示。

3. 信号应答输出电路

电梯的控制系统接收到轿内指令信号和层站召唤信号后，必须输出应答信号，以通知使用者。典型的信号应答输出电路如图 13.10.14 所示。

4. 层楼指示信号输出电路

电梯在运行过程中，必须随时显示电梯运行的方向和电梯所处层楼位置的层楼指示信号（群控时，通常仅在基站层同时设置方向指示和层楼指示器，其他层仅设置方向指示器），以通知使用者。典型的灯式层楼指示信号输出电路如图 13.10.15 所示。

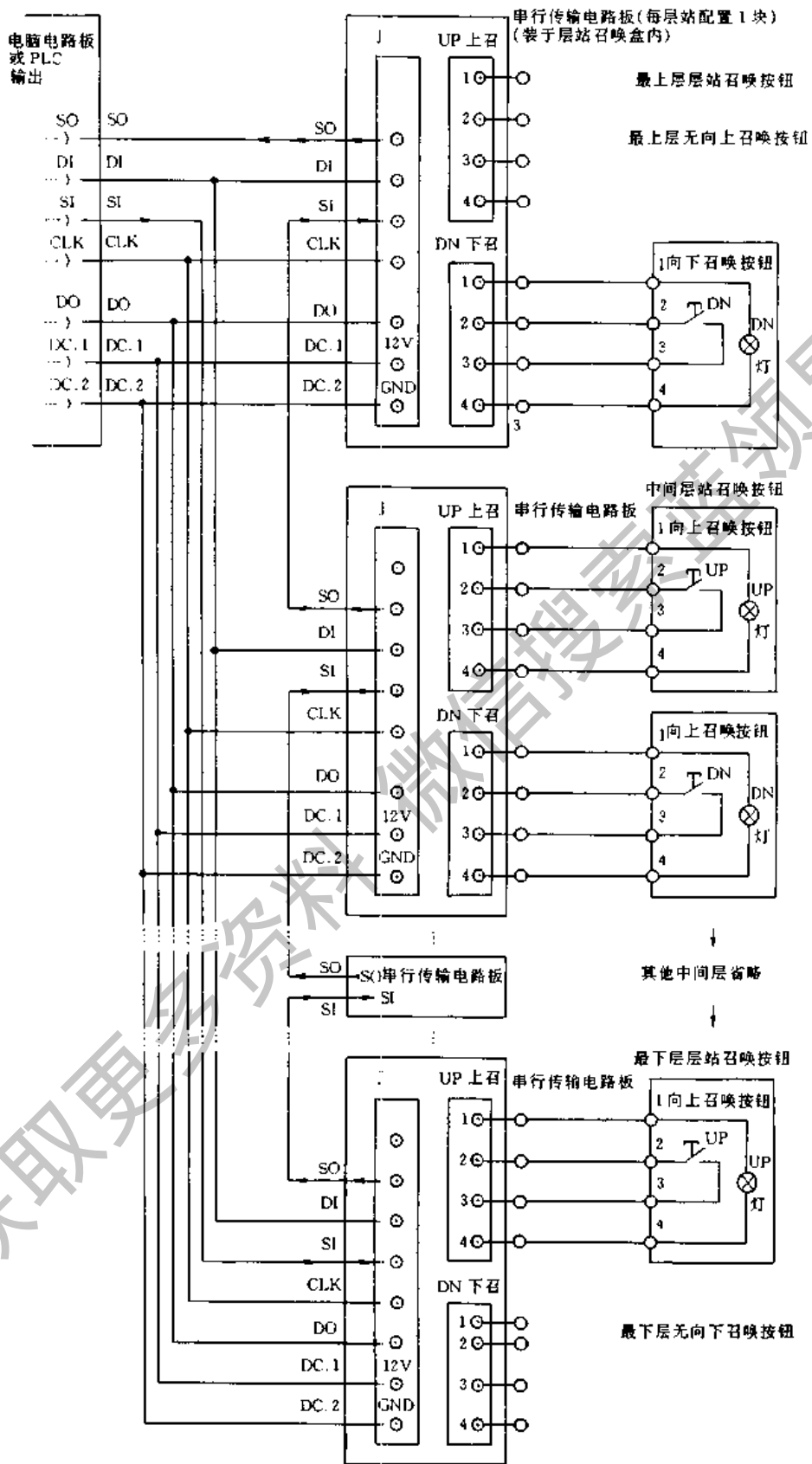


图 13.10.13 典型的信号串行传输电路

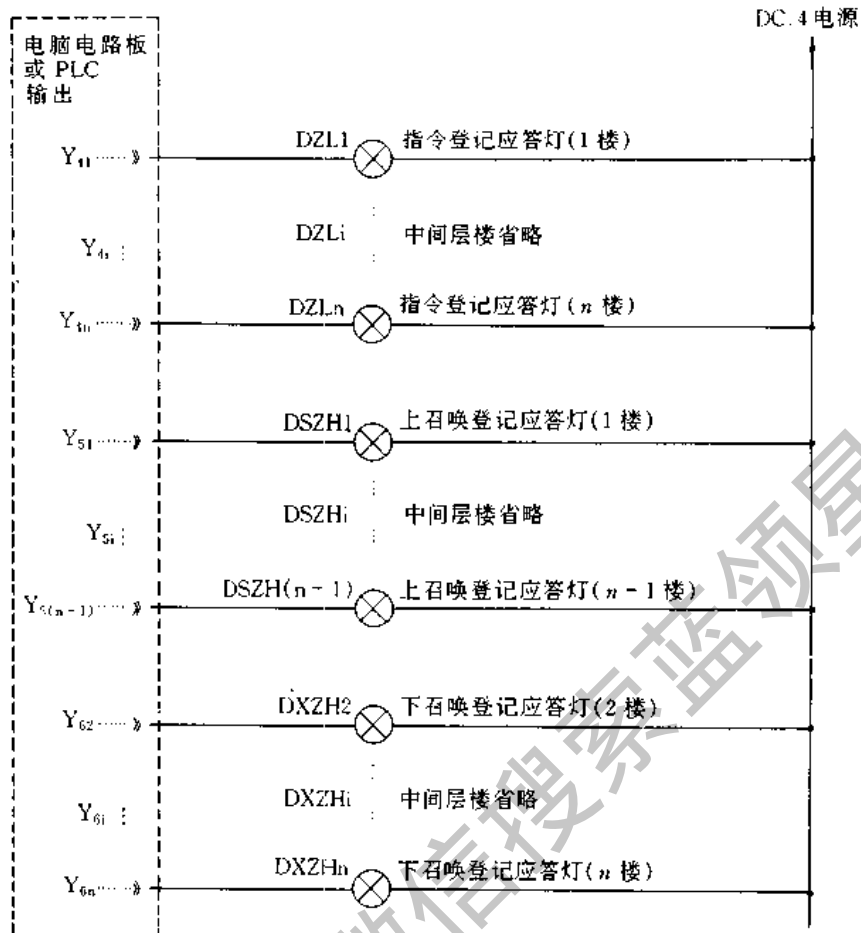


图 13.10.14 典型的信号应答输出电路

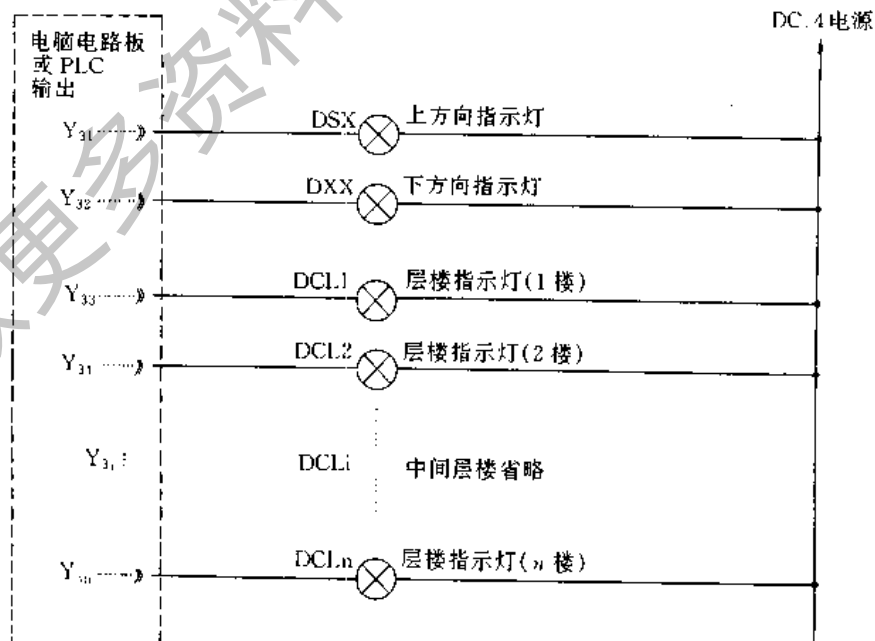


图 13.10.15 典型的灯式层楼指示信号输出电路

第三节 安全设施

一、超速保护

1. 限速器

(1) 限速器动作速度的规定

操纵轿厢安全钳装置的限速器的动作速度至少等于额定速度的 115%，但是小于下列各值：

- a. 对于除了不可脱落滚柱式以外的瞬时式安全钳装置为 0.8m/s；
- b. 对于不可脱落滚柱式安全钳装置为 1.0m/s；
- c. 对于额定速度小于或等于 1.0m/s 的渐进式安全钳装置为 1.5m/s；
- d. 对于额定速度大于 1.0m/s 的渐进式安全钳装置为 $1.25v + \frac{0.25}{v}$ 。

(2) 限速器动作速度的选择

- ① 对于额定速度大于 1m/s 的电梯，建议选用接近上述上限值的动作速度。
- ② 对于额定载重量大，额定速度低的电梯，应专门为此设计限速器，建议选用接近上述下限值的动作速度。
- ③ 对重安全钳装置的限速器动作速度应大于轿厢安全钳装置的限速器动作速度，但不得超过 10%。

(3) 对限速器的若干规定

- ① 限速器动作时，限速器绳的张紧力不得小于以下两个值的较大值：
 - a. 300N；
 - b. 安全钳装置起作用所需力的两倍。
- ② 限速器的动作速度测定后，其调节部位应加铅封。
- ③ 限速器上应标明与安全钳装置动作相应的旋转方向。
- ④ 限速器绳应满足以下规定：
 - a. 限速器绳的安全系数应至少为 8；
 - b. 限速器绳的公称直径应至少为 6mm。
- ⑤ 限速器动作速度参见表 13.10.11。

表 13.10.11 限速器动作速度

电梯额定速度/(m/s)	安全钳型式	限速器动作速度的上限值/(m/s)	对额定速度的百分比/%
0.63	瞬时式	0.80	127
	不可脱落滚柱式	1.00	159
1.00	缓冲作用瞬时式	1.50	150
	渐进式		
1.60	渐进式	$1.25v + 0.25/v = 2.156$	135
2.50	渐进式	$1.25v + 0.25/v = 3.225$	133

2. 安全钳

轿厢应装一套仅能在下行时动作的安全钳，在达到轿厢限速器动作速度时，甚至在悬挂装置断裂的情况下，安全钳应能夹紧导轨而使装有额定载荷的轿厢制停并保持静止状态。

(1) 各类安全钳的使用条件

① 按电梯额定速度 v 选用轿厢安全钳如下：

- a. $v \leq 0.63\text{m/s}$ ——应用瞬时式安全钳；
- b. $0.63\text{m/s} < v \leq 1\text{m/s}$ ——应用具有缓冲作用的瞬时式安全钳；
- c. $v > 1\text{m/s}$ ——应用渐进式安全钳。

② 若轿厢装有数套安全钳，均应是渐进式。

③ 若额定速度超过 1m/s，对重用安全钳应是渐进式，其他情况下可以是瞬时式。

(2) 各类安全钳的使用规定

① 禁止使用电气、液压或气压操纵安全钳。

② 在装有额定载荷的轿厢自由下落的情况下，渐进式安全钳制动时平均减速度应在 $0.2 \sim 1.0g_n$ (g_n 为自由落体加速度) 之间。

- ③ 在载荷均匀分布的情况下安全钳作用时轿厢地板的倾斜度应不得超过其正常位置时的5%。
- ④ 当轿厢安全钳作用时, 装在它上面的一个装置应在安全钳动作以前或同时使曳引电动机停转。

二、撞底缓冲装置 (缓冲器)

在轿厢和对重的行程底部极限位置应设置缓冲器。

按电梯额定速度 v 规定各类缓冲器的适用范围如下:

- a. 蓄能型缓冲器适用于 $v \leq 1\text{m/s}$ 的电梯;
- b. 具有缓冲复位的蓄能型缓冲器适用于 $v \leq 1.6\text{m/s}$ 的电梯;
- c. 耗能型缓冲器适用于任何额定速度的电梯。

1. 蓄能型缓冲器 (包括具有缓冲复位的蓄能型缓冲器)

蓄能型缓冲器可能的总行程 S_1 (m) 应不小于相应 115% 额定速度 v (m/s) 的重力制停距离的两倍, 即

$$S_1 \geq \frac{(1.15v)^2}{2g_n} \times 2 \approx 0.135v^2 \text{ (m)}, \text{ 且 } S_1 \text{ 不得小于 } 65\text{mm}$$

蓄能型缓冲器设计时, 应满足在静载荷为轿厢质量与额定载荷之和 (或对重质量) 的 2.5~4 倍时达到上述总行程 S_1 的规定。

2. 耗能型缓冲器

耗能型缓冲器的总行程 S_2 (m) 应不小于相应 115% 额定速度 v (m/s) 的重力制停距离, 即:

$$S_2 \geq \frac{(1.15v)^2}{2g_n} \approx 0.067v^2 \text{ (m)}$$

当载有额定载荷的轿厢以额定速度撞击缓冲器时, 缓冲器作用期间的平均减速度应不大于 g_n , 减速度为 $2.5g_n$ 以上的作用时间应不大于 0.04s。

耗能型缓冲器应具有能检测缓冲器在动作后回复至其正常伸长位置的电气安全装置 (复位开关)。

三、其他安全设施

1. 供电系统断相、错相保护装置

2. 超越上、下极限工作位置时的保护装置

电梯应设有极限开关, 并应设置在尽可能接近端站时起作用而无误动作危险的位置上。极限开关应在轿厢或对重接触缓冲器之前起作用, 并在缓冲器被压缩期间保持其动作状态。

3. 层门锁与电气装置

为了保证:

- a. 对坠落危险的保护 (电梯在正常运行时, 应不可能打开层门);
- b. 对剪切的保护 (如果一个层门开着, 电梯应不能启动或继续运行)。

电梯应有层门锁闭装置和证实层门闭合的电气装置, 以确保在层门打开或未锁紧的情况下, 从人们正常可接近的位置用一个非正常操纵程序的简单动作应不可能开动电梯。

4. 停电、或电气系统发生故障时的保护装置

(1) 紧急照明灯 轿厢内应装设紧急照明灯, 以保证在停电、或电气系统发生故障时轿厢内有照明。

(2) 紧急报警装置 为了保证乘客在停电或电气系统发生故障时能有效地在轿厢内向外求援, 应在轿厢内装设乘客易于识别和触及的紧急报警装置。该装置应采用警铃 (或蜂鸣器)、对讲系统 (对讲电话)、外部电话或类似形式的装置。

紧急报警装置应使用紧急照明电源 (自动再充电的紧急照明电源, 或等效电源) 供电。如果在轿厢内装设了与公用电话网连接的外部电话则报警装置可不使用紧急照明电源。

(3) 慢速移动措施 停电、或电气系统发生故障时应有轿厢慢速移动的措施。

第四节 维修与保养

一、维修与保养安全须知

- ① 在电梯机房内或适当的地方应张贴紧急电话号码 (医院、消防、公安等单位)。
- ② 维修保养人员进行检修前, 应在电梯轿厢入口处挂贴“电梯检修, 停止使用”的警告牌。
- ③ 维修保养人员在维修保养时, 必须戴好安全帽。
- ④ 维修保养人员在离地面高度超过 1.2m 的工作场地施工时, 必须系好安全带, 并扣绑好。

- ⑤ 维修保养人员在检修电路时，必须穿着绝缘胶鞋或站立在干燥木板上。
- ⑥ 维修保养人员进行钻、凿、磨、切割、浇注巴氏合金和焊接作业时，必须戴好护目镜。
- ⑦ 维修保养人员在检修时，应注意提防触电，避免人体与带电部件相接触，在较暗的场所进行检修时，应使用带绝缘外壳的手电筒。
- ⑧ 维修保养人员在检修带有电容器的电路之前，必须先释放掉电容器的电能，然后再进行检修。
- ⑨ 维修保养人员在测试电路电压时，应先将电压表的量程调整到表上的最高档。
- ⑩ 维修保养人员在使用跨接线时，应使用颜色鲜明和足够长度的电线，检修完毕后，必须将跨接线拆除。
- ⑪ 维修保养人员在检修时，禁止使用汽油喷灯。
- ⑫ 维修保养人员在检修时，禁止在井道内吸烟和使用明火。
- ⑬ 维修保养人员在检修时，应断开维修保养人员所在位置的安全开关：
 - a. 在机房内检修时，应断开机房电源总开关；
 - b. 在轿顶上检修时，应断开轿顶检修箱上的轿顶停机开关；
 - c. 在轿厢内检修时，应断开轿厢操纵箱内的轿厢停机开关；
 - d. 在底坑内检修时，应断开底坑检修箱上的底坑停机开关。
- ⑭ 维修保养人员在检修时，应使用有护罩的安全工作灯（交流 36V 及以下电压）。
- ⑮ 维修保养人员在检修时，应有二人以上协同工作；进入井道进行检修时，必须有专人负责看管。
- ⑯ 维修保养人员在检修时，严禁从井道外探身到井道内，严禁骑跨在轿厢和层站之间进行检修工作。
- ⑰ 维修保养人员在检修电梯时，应关闭轿厢门，并确保轿厢内无人。
- ⑱ 维修保养人员在转动的机械部件附近工作时，禁止戴手套。
- ⑲ 维修保养人员在对任何转动的部件进行清洁、加注油或润滑脂的作业，必须在电梯停驶状态下进行。
- ⑳ 维修保养人员如果一个人在轿厢顶部作业时，应挂贴“有人在轿顶工作”或“正在检修”的告示牌。
- ㉑ 维修保养人员检修完毕后，应清理维修场所，拆除所有的告示牌。

二、电梯的维护

1. 电梯维护的一般要求

为确保电梯安全运行，必须建立正确的维修与保养制度，对电梯进行正确的经常性的和定期的维修与保养。电梯的定期检查和维修保养，一般可分为每周检查、季度检查和年度检查三种。

2. 每周检查

电梯维修保养人员应每周对电梯进行一次检查，检查的主要内容为：

- ① 检查开门机运行是否正常，轿门、层门的开、关门动作是否灵活可靠；
- ② 检查门的保护部件（安全触板、光电门的保护装置等）；
- ③ 检查门锁是否灵活可靠，动作是否正确；
- ④ 检查轿厢内应急照明、对讲系统（内部通话器、电话）、警铃等报警装置是否正常可靠；
- ⑤ 检查轿厢内照明、层楼指示器、蜂铃等器件是否正常，指示是否正确；
- ⑥ 检查轿厢内所有的按钮和开关是否灵活可靠，动作是否正确；
- ⑦ 检查消防电梯的消防功能是否正常；
- ⑧ 检查平层准确度；
- ⑨ 检查门导轨中是否有污物；
- ⑩ 检查曳引机运行是否正常，检查曳引机油位是否在油位线上，必要时添加润滑油；
- ⑪ 检查曳引电动机有无异常噪音和过热现象；
- ⑫ 检查制动器是否正常。

3. 季度检查

电梯维修保养人员应每个季度对电梯的重要机械和电气装备进行一次检查，检查的主要内容为：

- ① 每周检查的内容；
- ② 检查控制屏上的所有电气元器件、接线端子、接线柱，要求：控制动作正常，开关灵活可靠，接线端子、接线柱不松动，线圈、导线不老化；
- ③ 检查安全回路，对限位开关、极限开关、限速器开关、安全钳开关等安全保护开关必须认真检查，要求：安全开关接触良好，灵活可靠，接线正确牢固；

- ④ 检查曳引机减速箱及电动机轴承端是否有油；
- ⑤ 检查制动器是否正常，制动盘与制动瓦之间的间隙及磨损量情况，必要时调整或更换制动瓦；
- ⑥ 检查曳引钢丝绳是否正常，是否渗油过多，每根曳引钢丝绳的张紧是否一致，必要时进行调整；
- ⑦ 检查限速器钢丝绳，钢丝绳的张紧是否正常，必要时进行调整；
- ⑧ 检查对重装置和轿厢的联接件（补偿链）是否正常，必要时进行调整；
- ⑨ 检查开门机运行是否正常，检查开门机的主要部件，如开门电动机、皮带、皮带轮、速度控制开关等是否正常，工作是否可靠，紧固件是否松动；
- ⑩ 检查门锁及电气联锁是否正常，检查其电气开关是否正常，工作是否可靠，紧固件是否松动；
- ⑪ 检查门的保护部件（安全触板、光电门的保护装置等）是否正常，检查其电气开关是否正常，工作是否可靠，紧固件是否松动；
- ⑫ 检查门悬挂装置运行是否正常，检查门悬挂装置的主要部件，如门悬挂滚轮、安全开关和弹簧等是否正常，工作是否可靠，紧固件是否松动；
- ⑬ 检查门刀和门锁滚轮之间的间隙与直线度是否正常，门与地坎之间的间隙是否正常，必要时进行调整；
- ⑭ 检查轿厢导轨和对重导轨的磨损情况，必要时进行调整或更换；
- ⑮ 检查井道传感器、开关等是否接触良好，灵活可靠，接线正确牢固；
- ⑯ 检查并调整电梯的运行性能，如起动、运行、减速和停车是否舒适良好。

4. 年度检查

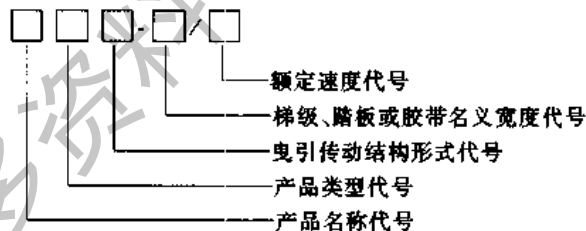
电梯运行一年之后，应进行一次全面的技术检验，由有经验的技术人员负责，维修保养人员配合，按技术检验标准，详细检查电梯的机械、电气和安全设备的使用情况，详细检查主要零部件的磨损程度，调整、修配或更换磨损量超过允许值的零部件。

第五节 自动扶梯和自动人行道

一、产品型号编制方法

自动扶梯和自动人行道产品型号由产品类型代号和主参数两部分组成，第一部分是产品代号，用大写汉语拼音字母表示；第二部分是主参数代号，额定速度与梯级、踏板或胶带名义宽度用斜线分开，均用阿拉伯数字表示。

产品型号图示如下：



1. 产品名称代号

产品名称代号见表 13.10.12。

表 13.10.12 产品名称代号

产品名称	表示代号
自动扶梯	F
自动人行道	X

2. 产品类型代号

产品类型代号见表 13.10.13。

3. 曳引传动结构形式代号

表 13.10.13 产品类型代号

类型	表示代号
普通型	P
公共交通型	G ^①

① 公共交通型自动扶梯和自动人行道定义为：用于每周大约 140h 的运行时间，并在任何 3h 的时间间隔内其达 100% 制动载荷的持续时间至少为 0.5h 的工作场合。

曳引传动结构形式代号见表 13.10.14。

表 13.10.14 曳引传动结构形式代号

曳引传动形式	表示代号
链条传动	L
齿条	C
胶带滚筒	D

表 13.10.15 名义宽度代号

名义宽度	表示代号
600	600
800	800
1000	1000

4. 梯级、踏板或胶带名义宽度代号

梯级、踏板或胶带名义宽度代号见表 13.10.15。

5. 额定速度代号

额定速度代号见表 13.10.16。

表 13.10.16 额定速度代号

额定速度/(m/s)	表示代号	额定速度/(m/s)	表示代号
0.50	0.50	0.75	0.75
0.65	0.65	0.90	0.90

二、自动扶梯和自动人行道的技术参数

1. 自动扶梯和自动人行道的技术参数

① 自动扶梯和自动人行道的梯级、踏板或胶带名义宽度和额定速度为主参数。主参数系列为：

a. 梯级、踏板或胶带名义宽度 (mm) B 分为：600, 800, 1000；

b. 额定速度 (m/s) v 分为：0.50, 0.65, 0.75, 0.90 (仅适用于自动人行道)。

② 自动扶梯和自动人行道的倾斜角度、提升高度、梯级水平运行距离为基本参数。

2. 主参数和基本参数 (见表 13.10.17)。

表 13.10.17 主参数和基本参数表

名称	自动扶梯		自动人行道	
	梯级、踏板或胶带名义宽度 B/mm	600, 800, 1000		600, 800, 1000
额定速度 $v/(\text{m/s})$	$\alpha \leq 30^\circ$	≤ 0.75	≤ 0.90	
	$30^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ, H \leq 6$	≤ 0.50		
倾斜角度 α	$\leq 30^\circ$	$\leq 12^\circ$		
	$v \leq 0.5, H \leq 6$			
提升高度 H/m	由用户决定			
梯级、踏板或胶带水平运行距离 L/mm	$v \leq 0.50$	≥ 800	$\alpha \geq 6^\circ, v \leq 0.75$	≥ 400
	$v \leq 0.65$ 或 $H \geq 6$	≥ 1200	$v = 0.90, B \leq 1100$	≥ 1600
	$v \geq 0.65$ (公共交通型)	≥ 1600		

注：不适用有加速行程的自动人行道或者直接过渡至不同速度的自动人行道的自动人行道系统。

三、自动扶梯的电气系统

1. 控制系统组成

控制系统即指控制自动扶梯运行工艺过程的电气控制系统。常用的自动扶梯控制系统有继电器控制系统和电脑控制系统。继电器控制系统的可靠性差，故障率高，性能差，体积大，维护工作量大，因此，已逐渐采用电脑控制系统，最常用的是可编程序控制器 (PLC) 控制系统。

自动扶梯控制系统通常由上、下机房控制箱、照明箱、开关盒、安全开关、监控装置等部分组成。

① 上机房控制箱安装于桁架上部，其主要功能是拖动系统主回路控制及保护回路。

② 下机房控制箱安装于桁架下部，其主要功能是运行控制回路和检测回路等。

③ 照明箱安装于桁架下部 (此为选择功能，若用户不需扶手照明，则无此箱)。

④ 在自动扶梯上、下出入口处右侧各装一个开关盒，提供运行方向选择钥匙开关和停止按钮。

2. 工作状态控制

自动扶梯通常具有正常 (连续) 运行和检修运行两种工作状态。

(1) 正常运行工作状态的启动 正常运行工作状态时,由司机(或管理人员)用钥匙开关启动自动扶梯。

(2) 正常运行工作状态的停止

① 正常停机:正常运行工作状态时,由司机(或管理人员)用钥匙开关停止自动扶梯。

② 紧急停机:运行中发生危险和故障(或安全开关动作)时,由司机(或管理人员、乘客)按下紧急停止按钮(或安全开关动作断开安全回路)后,自动扶梯即停机。

(3) 检修工作状态 检修工作状态时,自动扶梯必须由专职检修人员进行操作,严禁无关人员操作。

当需要对自动扶梯进行检修时,必须采用检修运行。

3. 安全控制电路

为了保证自动扶梯的安全运行,安全控制电路必须非常全面和完善。典型的安全控制电路如图 13.10.16 所示。自动扶梯安全装置的安装位置如图 13.10.17 所示。

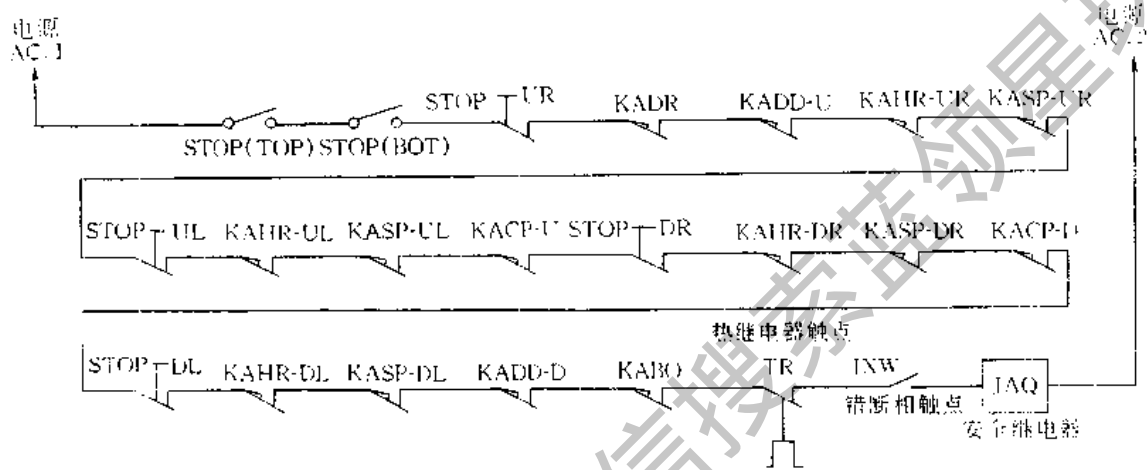


图 13.10.16 典型的安全控制电路

图中:

停止开关:	STOP-UR (上右) -UL (上左) -DR (下右) -DL (下左)
停止开关:	STOP-TOP (上部) -BOT (下部)
扶手带进出口安全开关:	KAHR-UR (上右) -UL (上左) -DR (下右) -DL (下左)
梯级与围裙间安全开关:	KASP-UR (上右) -UL (上左) -DR (下右) -DL (下左)
驱动链断链安全开关:	KADR
曳引链断链安全开关:	KACR-DR (下右) -DL (下左) (图中未标出)
梳齿板安全开关:	KACP-U (上部) -D (下部)
梯级下陷安全开关:	KADD-U (上部) -D (下部)
制动器安全开关:	KABO

4. 运行控制电路

典型的运行控制电路简图如图 13.10.18 所示。

5. 电力拖动系统

典型的自动扶梯的拖动系统主回路简图如图 13.10.19 所示。

四、自动扶梯的维修保养

1. 维修保养的安全措施

① 维修保养人员进行检修前,应在自动扶梯出、入口处挂贴“正在检修,停止使用”的警告(告示)牌。

② 维修保养人员在检修电路时,必须穿着绝缘胶鞋,防止触电,避免人体与带电部件相接触,在较暗的场所进行检修时,应使用带绝缘外壳的手电筒。

③ 维修保养人员在测试电路电压时,应先将电压表的量程调整到表上的最高档;使用跨接线时,应使用颜色鲜明和足够长度的电线,检修完毕后,必须将跨接线拆除。

④ 维修保养人员在检修时,禁止使用汽油喷灯和明火。

⑤ 维修保养人员在检修时,应有二人以上协同工作。

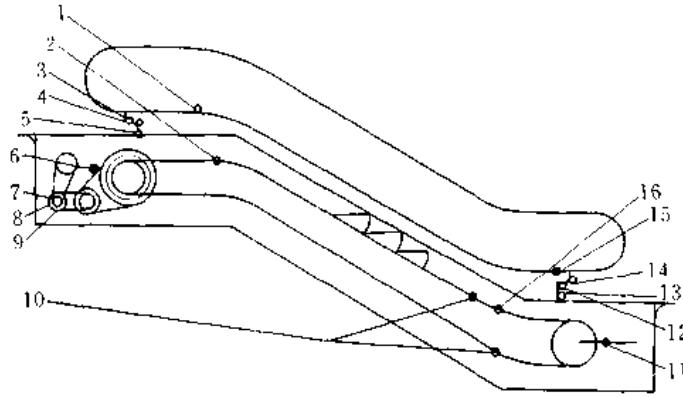


图 13.10.17 安全装置的安装位置

1, 15—裙板安全装置; 2, 16—弯曲部导轨安全装置; 3, 14—梳齿安全装置; 4, 13—扶手带入口安全装置; 5, 12—急停按钮 (紧急按钮); 6—驱动链安全装置; 7—制动器; 8—限速器; 9—防止倒反转安全装置; 10—梯级滚轮安全装置; 11—梯级牵引链安全装置

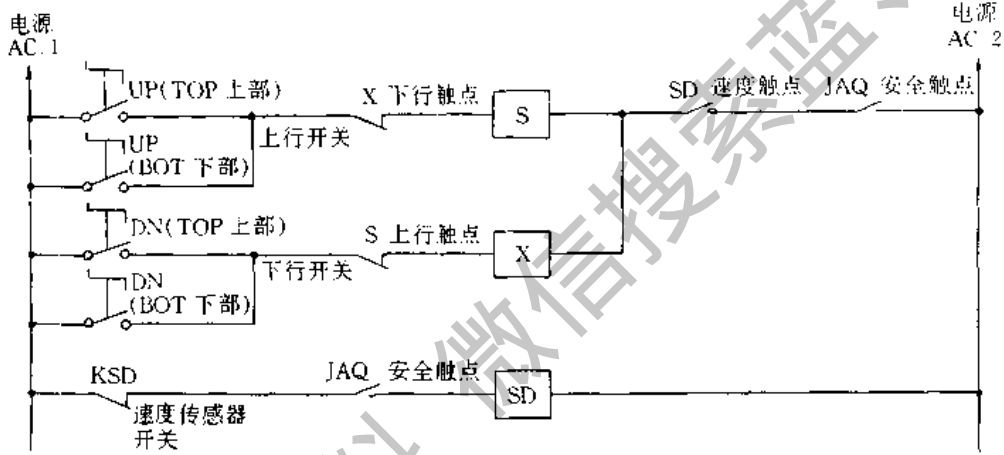


图 13.10.18 典型运行控制电路

S—上行接触器; X—下行接触器; SD—速度接触器

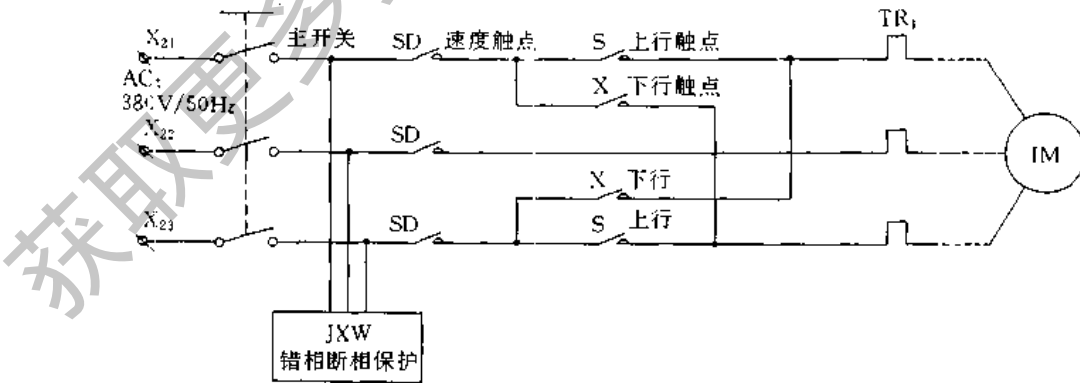


图 13.10.19 典型自动扶梯拖动系统主回路

TR₁—热继电器; IM—交流电动机

- ⑥ 维修保养人员在检修转动着的机械部件时, 禁止戴手套。
- ⑦ 维修保养人员在对任何转动的部件进行清洁、加注润滑油或润滑脂的作业, 必须在停机状态下进行。
- ⑧ 维修保养人员在检修时, 不允许在有载荷状态下启动自动扶梯。

⑨ 维修保养人员在检修时，必须使用检修开关操作自动扶梯运行。

⑩ 维修保养人员检修完毕后，应清理维修场所，清洁自动扶梯，并拆除所有的警告（告示）牌。

2. 每周检查和维修保养

维修保养人员应每周应对自动扶梯进行一次检查，检查的主要内容为：

① 检查减速机、电动机、制动器运行是否正常，有无异常噪音和过热现象，检查减速机油位是否在油位线上，必要时添加润滑油；

② 检查安全保护装置（开关等）是否正常；

③ 检查所有的操作按钮和开关是否灵活可靠，动作是否正确；

④ 检查梯级及梯级滚轮运行是否灵活可靠，有无异常噪音和过热现象；

⑤ 检查扶手带运行是否灵活可靠，有无异常噪音和过热现象；扶手带与梯级运行是否同步；

⑥ 检查上、下机房和导轨面是否有污物，如有污物应及时清理；

⑦ 检查自动扶梯照明、梯级下照明和各运行指示器等是否正常，如有损坏应及时更换；

⑧ 检查梳齿板齿与梯级齿的间距是否正常；梳齿板是否损坏，如有损坏应及时更换；

3. 季度检查和维修保养

自动扶梯开始运行3个月以后，必须对其进行全面的调整一次。以后每3个月应对自动扶梯的重要机械和电气装备进行一次检查和维修保养。主要内容如下。

① 检查减速机、电动机、制动器运行是否正常，有无异常噪音和过热现象；检查并紧固各连接部分紧固件；检查减速机油位，必要时添加润滑油；自动扶梯最初运行3个月以后，必须更换减速机润滑油，换油时应先放尽废油，再加新的齿轮油。

② 检查控制箱上的所有电气元器件、接线端子、接线柱，要求：控制动作正常；开关灵活可靠；接线端子、接线柱不松动；线圈、导线不老化。

③ 检查安全回路，要求：所有的安全开关接触良好，动作灵活可靠正确，接线正确牢固。

④ 检查制动器制动时动作是否可靠、平稳；自动扶梯的制动距离是否正确，正确的制动距离应为：自动扶梯空载时，上、下行的停止滑行距离在0.20~1.00m范围内。

⑤ 检查所有的操作按钮和开关，要求：所有的按钮和开关接触良好，动作灵活可靠正确，接线正确牢固。

⑥ 检查梯级及梯级滚轮运行是否灵活可靠，有无异常噪音和过热现象；应及时更换损坏或磨损的梯级滚轮。

⑦ 检查扶手带运行是否灵活可靠，有无异常噪音和过热现象；扶手带与梯级运行是否同步，如有异常应及时调整或更换零部件。

⑧ 检查链条运行是否灵活可靠，有无异常噪音，润滑是否良好；如有异常应及时调整或更换零部件。

⑨ 检查上、下机房和导轨面是否有污物，如有污物应及时清理。

⑩ 检查自动扶梯照明、梯级下照明和各运行指示器等是否正常，如有损坏应及时更换。

⑪ 检查梳齿板齿与梯级齿的间距是否正常；梳齿板是否损坏，如有损坏应及时更换。

⑫ 对自动扶梯进行一次全面的清理、清洁工作。

4. 年度检查和维修保养

自动扶梯运行一年之后，应进行一次全面的技术检验，由有经验的技术人员负责，维修保养人员配合，按技术检验标准，详细检查机械、电气和安全设备的使用情况，详细检查主要零部件的磨损程度，调整、修配或更换磨损量超过允许值的零部件。年度检查和维修保养的主要项目为：

① 驱动装置（包括减速机、电动机、制动器及制动器制动片）；

② 控制系统（包括控制箱、操作箱和所有的操作按钮和开关）；

③ 安全回路（包括所有的安全装置和安全开关）；

④ 驱动轮张紧装置；

⑤ 梯级；

⑥ 梯级牵（曳）引链；

⑦ 梯级滚轮（包括所有的主、副滚轮）；

⑧ 梯级（下部）间隙照明；

⑨ 梯级导轨；

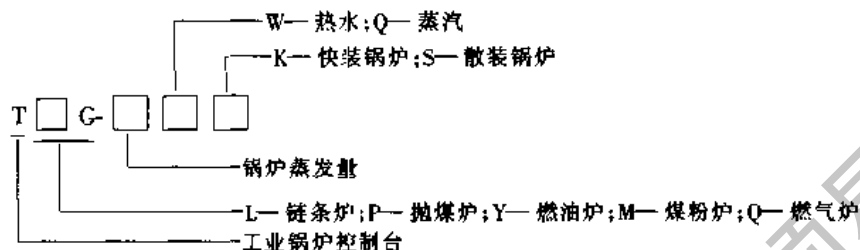
- ⑩ 梳齿板;
- ⑪ 扶手带;
- ⑫ 扶手带驱动装置 (包括导向轮组及滚轮);
- ⑬ 扶手带张紧装置;
- ⑭ 润滑系统 (包括: 减速机润滑油);
- ⑮ 照明系统;
- ⑯ 全面的清理、清洁工作。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

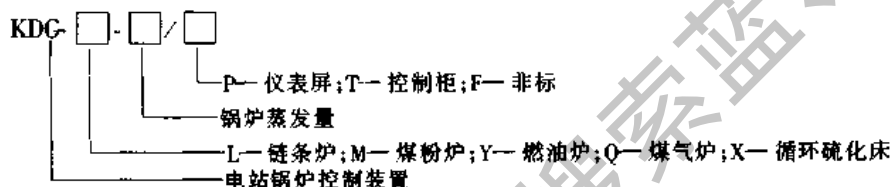
第十一章 锅炉电控装置

第一节 型号

1. 工业锅炉成套控制柜型号含义



2. 电站锅炉成套控制柜型号含义



第二节 工业锅炉成套控制装置

工业锅炉类型品种多,燃料各不相同,按燃料划分可分为燃煤炉、燃油炉、燃气炉,还有一些特种锅炉,如燃烧木柴的锅炉及垃圾炉。按燃烧设备来分可分为手烧炉、抛煤炉、链条炉、沸腾炉和煤气炉等。

一、工业锅炉电控装置的设计内容

1. 自动检测系统

锅炉在正常运行过程时,操作工需经常观测锅炉运行的各个参数,以判断其是否运行正常。这些参数包括压力、温度、汽包水位、流量、烟气成分等。这些参数测试方式可分为两大类,一类是就地指示方式,有双金属温度计、平板式水位计、弹簧压力表等,另一类为控制盘上显示,这类参数主要通过现场的热电阻、热电偶、远传压力表、变送器、孔板等送至控制盘上的显示仪表、记录仪等,也可以通过盘上工业PC机在CRT上显示各类参数。

2. 自动调节系统

工业锅炉自动调节系统有水位调节系统、燃烧调节系统和过热蒸汽调节系统。

(1) 汽包水位调节系统 工业锅炉的汽包水位是相当重要的一个控制指标:液位过高会影响汽水的分离,使蒸汽带水,影响蒸汽质量;水位过低,则水的气化速度加快,给水量和汽包液位的变化速度就特别快,不及时调节会烧坏锅炉,甚至爆炸。因此必须使汽包水位在一个允许范围内波动。

工业锅炉容量0.5~65t/h,一般来说随容量的增加,锅炉的容汽比减小。如果锅炉在满负荷运行情况下突然完全停止供水,汽包内水位在允许最高水位下降至危低水位的时间,随着锅炉吨位增加而减少。因此蒸发量越大的锅炉,其水位控制的要求越高。根据这个特点,一般工业锅炉水位调节系统分三类:

- ① 单冲量调节系统:一般用于4t/h以下锅炉(见图13.11.1);
- ② 双冲量调节系统:一般用于6~10t/h锅炉(见图13.11.2);
- ③ 三冲量调节系统:一般用于10t/h以上锅炉(见图13.11.3)。

(2) 燃烧自动调节系统 燃烧自动调节系统是为了确保锅炉蒸汽压力稳定,而要求燃料充分燃烧,充分利用热能的自动调节系统。一般包括负荷调节系统、炉膛负压调节系统以及送风调节系统。一般用于10t/h以上锅炉,而一般蒸发量较小的工业锅炉为了节省投资,往往只检测参数,操作工根据参数的变化人为地去调节风

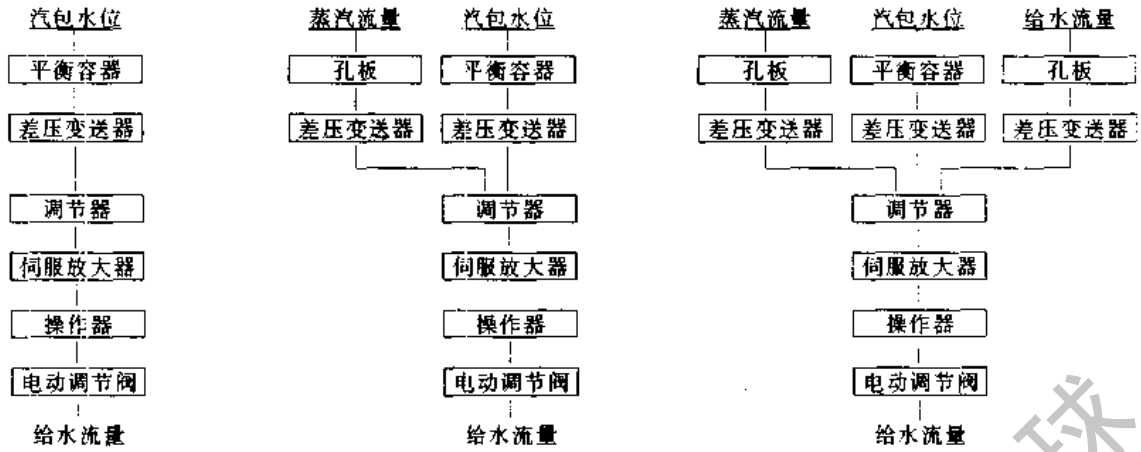


图 13.11.1 单冲量水位调节系统 图 13.11.2 双冲量水位调节系统 图 13.11.3 三冲量水位调节系统
 图 13.11.4 是负荷调节系统与炉膛负压调节系统的控制方框图。

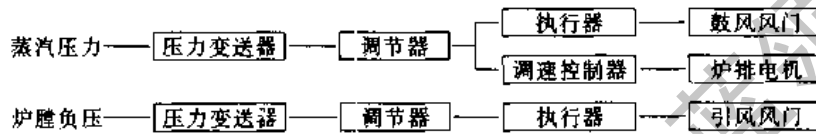


图 13.11.4 负荷调节系统与炉膛负压调节系统控制方框图

(3) 过热蒸汽温度调节系统 过热蒸汽温度的调节是为了维持过热器出口蒸汽温度在一定范围内变化，保护减温器、汽机安全经济地运行，其方法是通过减温水调节阀控制减温水的流量，来控制过热器出口蒸汽的温度（见图 13.11.5）。

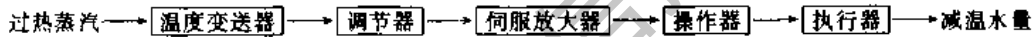


图 13.11.5 过热蒸汽温度调节系统

3. 工业锅炉的电气控制部分

电气控制主要指各种辅机如鼓风机、引风机、炉排电机、水泵、出渣机等 的启动、停止以及保护和联锁关系，还有各种设备运行信号、报警信号的指示。开炉时引风机先启动，延时一定时间，启动鼓风机，再延时后启动炉排电机；停炉时先停鼓风机、炉排电机，延时后关引风机。锅炉运行过程中，蒸汽压力过高或汽包水位过低，将自动停炉，并发出声光报警信号。

二、工业锅炉的常用控制方案

1. 4t/h 以下工业锅炉的控制

(1) 系统组成

- ① 检测参数：汽包水位；蒸汽压力；排烟温度；省煤器进口烟温；给水流量；煤量积算。
- ② 报警：蒸汽压力高报警；水位过低报警。
- ③ 水位控制：一般采用单冲量位式控制，主要通过一台液位自控仪来控制水泵的起停。
- ④ 燃烧控制：炉排调速、蒸汽压力位式燃烧控制。
- ⑤ 电气部分：包括引风电机，鼓风电机，水泵，炉排电机，出渣电机，上煤电机。

(2) 系统介绍 由于 4t/h 以下工业锅炉本身造价低，因此，要求其控制装置的设计应该安全可靠，简单易操作，实用且价格低廉。由于其体积小，一般的压力、温度等参数只在现场测量而不远传至控制柜上，也可以根据用户要求把这些参数远传至控制柜上显示。电气原理设计如下。

- ① 水泵电机起停与液位控制器联锁，水位过高水泵将无法启动，调试时可以在手动位置调试。
- ② 鼓引风机、炉排电机联锁，开炉时，启动引风机，延时启动鼓风机、炉排电机；停炉时先停鼓风机、炉排电机，延时停引风机。
- ③ 若蒸汽压力高和水位过低将自动停炉。同时控制柜发出声光报警，提醒操作人员排除故障。
- ④ 设计线路中有一联锁开关 ISA，此开关在试验位置时各电机可单独调试，必须把此开关打在联锁位置，联锁指示灯亮，锅炉方可投入正常运行。

2. 6t/h 链条炉控制柜

(1) 系统组成

① 检测参数：汽包水位；蒸汽压力；炉膛负压；省煤器前烟压；给水压力；鼓风压力；引风压力；省煤器后烟压；炉膛温度；省煤器出口水温；省煤器进口水温；排烟温度；给水流量；煤量积算。

② 报警：蒸汽压力高报警；水位过低报警。

③ 水位控制：采用单冲量水位控制。

④ 燃烧控制：鼓引风门遥控；炉排调速，蒸汽压力位式燃烧控制。

⑤ 电气部分：包括引风电机；鼓风电机；水泵；炉排电机；出渣电机；上煤电机。

(2) 系统介绍 6t/h 锅炉控制柜与 4t/h 锅炉控制柜相比，6t/h 锅炉控制柜所控制检测参数要多，辅机功率增大，而电气原理是一样的。其控制装置有两台，一台为仪表操作台，另一台为动力柜。

3. 10t/h 链条炉控制柜

(1) 系统组成

① 检测参数：蒸汽压力；炉膛负压；给水压力；省煤器前后压力；引风压力；鼓风压力；除尘器前后负压；空预器负压炉膛温度；排烟温度；省煤器进出口水温；汽包水位；给水流量；煤量积算；对流管束烟温；空预器出口风温。

② 报警保护：蒸汽压力高报警；水位过高过低报警；蒸汽压力高，水位过低，将自动停炉。

③ 水位控制：一般采用双冲量调节，用如有特殊要求也可采用三冲量调节。

④ 燃烧控制：鼓引风门遥控；炉排调速，蒸汽压力位式燃烧控制。

⑤ 电气部分：引风电机；鼓风电机；水泵 2 台；炉排电机；出渣电机；上煤电机。

(2) 系统介绍 10t/h 锅炉控制柜所控制检测参数较多，辅机功率增大，而电气原理基本一样。其控制装置有两台，一台为仪表操作台，另一台为动力柜。

4. 20t/h 以上链条炉控制柜

(1) 系统组成

① 检测参数：蒸汽压力；炉膛负压；给水压力；省煤器前后压力；引风压力；鼓风压力；除尘器前后负压；空预器负压炉膛温度；排烟温度；省煤器进出口水温；汽包水位；省煤器前后烟温；对流管束烟温；空预器出口风温；给水流量；煤量积算；过热炉需加过热蒸汽压力和温度。

② 报警保护：采用闪光报警仪；蒸汽压力高低报警；水位过高过低报警；蒸汽温度高报警；给水压力高报警；水位过低，蒸汽压力高将自动停炉。

③ 水位控制：一般采用双三冲量调节。

④ 燃烧控制：鼓引风门遥控；炉排调速，蒸汽压力位式燃烧控制；减温水阀遥控，过热蒸汽温度自控。

⑤ 电气部分：引风电机；鼓风电机；水泵 2 台；炉排电机；出渣电机；上煤电机。

(2) 系统介绍 20t/h 锅炉控制柜一套共两台，一台为仪表操作台，另一台为动力柜。

5. 工业锅炉的微机控制装置

随着科学技术的不断进步，微机控制技术越来越多地被应用于锅炉的控制上。目前常用的 PC 总线工业控制机，采用 C 语言编程，能对一台或多台工业锅炉全自动控制监测，并完成管理、报警、保护等各项功能。主要用于 10t/h 以上锅炉的控制。

(1) 系统功能

① 显示功能：CRT 上可显示工艺流程图，锅炉全部检测点的瞬时值、积算值，各种参数的设定值，各种设备的运行状态显示，以及各种报警信号的显示。

② 实时控制功能：三冲量水位调节；蒸汽压力调节；送风调节；炉膛负压调节；烟气含氧量调节；燃烧自动调节；蒸汽温度调节；按时间顺序起停锅炉；高低水位报警；蒸汽压力过高、水位过低自动停炉。

③ 打印功能 可将锅炉运行过程中的各类参数存储到硬盘或软盘，同时可按时或随时打印各种报表，主要参数曲线及报警状态。

(2) 主要技术指标

① 炉膛负压 $\pm 10\text{Pa}$ 。

③ 烟气含氧量 $< 18\%$ 。

② 水位控制 $\pm 10\text{mm}$ 。

④ 给水压力 $< \pm 0.1\text{MPa}$ 。

(3) 工作原理 一般锅炉微机控制系统由仪表控制和微机控制两部分组成，工作时可单回路自由切换到手

动或自动状态,系统操作较灵活。仪表盘包括锅炉主要参数的显示,如蒸汽压力、炉膛温度、水位指示、氧量指示等,还有各回路自控信号及阀位反馈指示仪表,各辅机起停按钮和电流指示表,在运行过程中如需要可随时通过手/自动切换开关,将控制系统无扰地切换到仪表盘操作状态,由操作员根据锅炉的运行情况,用仪表盘上的操作开关、控制器对锅炉运行进行常规的调节。在微机控制系统中,锅炉现场所测参数通过变送器等,把0~10mA或4~20mA、1~5V信号经A/D转换板转换成数字量信号输入计算机,计算机经过D/A板输出0~10mA或4~20mA的控制信号,通过伺服放大器控制各回路的执行机构,保证锅炉的正常运行。

三、工业锅炉控制装置常见故障及处理方法

工业锅炉控制装置常见故障及处理方法见表13.11.1。

表 13.11.1 工业锅炉控制装置常见故障及处理方法

控制类别	配用一次元件及仪表	常见故障	故障原因及处理方法
温度部分	热电阻、热电偶、温度数显指示仪、温度指示调节仪	热电阻、热电偶断丝、断偶,数字显示仪无指示,一次元件与二次仪表不配套	1. 用万用表测量热电阻、热电偶通断,判断其好坏 2. 检查一次元件与二次仪表的分度号是否匹配 3. 在确认接线正确无误的情况下,输入模拟电阻值及毫伏信号,判断二次仪表的好坏,包括精度实验及调整
压力部分	膜盒式压力表,气体切换阀,导压管等	各风压系统测压无指示	检查各取压管路是否堵塞
		切换阀回路指示值无变化	检查气体切换阀是否有渗漏现象
		膜式压力表有滞死、卡针现象	膜式压力表由于受振动等因素造成滞死、卡针现象
	远传压力表,数字显示压力显示调节仪	远传压力表无指示	检查冷凝管、针阀是否堵塞,压力表指针是否脱落
		压力调节仪无显示,示值误差大	无显示一般由电源或线路故障引起;示值误差大一般由调整电阻引起,即调零调幅电位器失灵
		数字显示表数字只显示“1”	数字显示表数字只显示“1”,一般由连接导线松动或断线引起,或者是量程不对和压力超过表的测量范围
	压力变送器、差压变送器、数显仪、记录仪	变送器无输出	变送器无输出:a. 检查电源是否正常;b. 检查导压管是否堵塞,平衡阀是否完好;c. 在输出回路串入电流表,加压力信号看输出是否有变化,如无,则变送器内部有问题
量程范围误差大		由于安装调整不好出现线性不好等,必须严格按生产厂家说明书进行安装调整	
数显仪、记录仪不工作或工作不稳定		a. 电源故障;b. 连接信号线不可靠或有强电干扰,例变频器等引起的电污染;c. 仪表内部滑线电位器、差动放大器接触不良等故障引起	

第三节 中小型电站锅炉成套控制装置

电站锅炉主要用于电厂发电、供热。对锅炉成套控制装置要求相当高。它所检测的参数很多,见表13.11.2。随着国内仪表工业的发展和国外先进技术的引进,一些智能型仪表、变送器及国外引进的分析仪表被应用到锅炉控制中,对容量较大的锅炉均采用仪表与计算机相结合的控制技术,现场用先进的智能型变送器等输送信号,计算机按双微机方式配制,即由上位监控站、下位控制机和通讯接口组成。65t/h以上电站锅炉微机控制系统方框图如图13.11.6所示。

表 13.11.2 220t/h 以下电站锅炉控制装置检测项目

序号	测点名称	20~35t/h	65~130t/h	220t/h	备 注
1	饱和蒸汽压力	X@	X@	X@	X@表示盘与就地均显示
2	过热蒸汽压力	X@	X@	X@	
3	母管蒸汽压力	X	X@	X@	
4	给水压力	X@	X@	X@	
5	给水调整门后给水压力		X*	X*	X*表示就地显示
6	鼓风机出口风压	X	X	X	
7	空气预热器后风压	X	X	X	
8	送粉管一次风压		X	X	
9	燃烧器二次风压		X	X	
10	炉膛负压	X	X	X	
11	引风机前负压	X	X	X	
12	过热蒸汽温度	X	X	X	
13	集汽联箱蒸汽温度		X	X	
14	连通管蒸汽温度		X	X	
15	各减温器前后蒸汽温度	X	X	X	
16	过热器管壁温度			X	
17	烟道各段烟气温度	X	X	X	
18	排烟温度	X	X	X	
19	鼓风机入口冷风温度	X	X	X	
20	空气预热器后热风温度	X	X	X	
21	给水温度	X	X	X	
22	鼓风机轴承温度		X	X	
23	引风机轴承温度		X	X	
24	过热蒸汽流量	X	X	X	
25	给水流量	X	X	X	
26	减温水流量			X	
27	汽包水位	X@	X@	X@	
28	过热蒸汽含盐量			X	
29	饱和蒸汽含盐量			X	
30	炉水导电度			X	
31	炉膛火焰			X	
32	烟气含氧量	X	X	X	

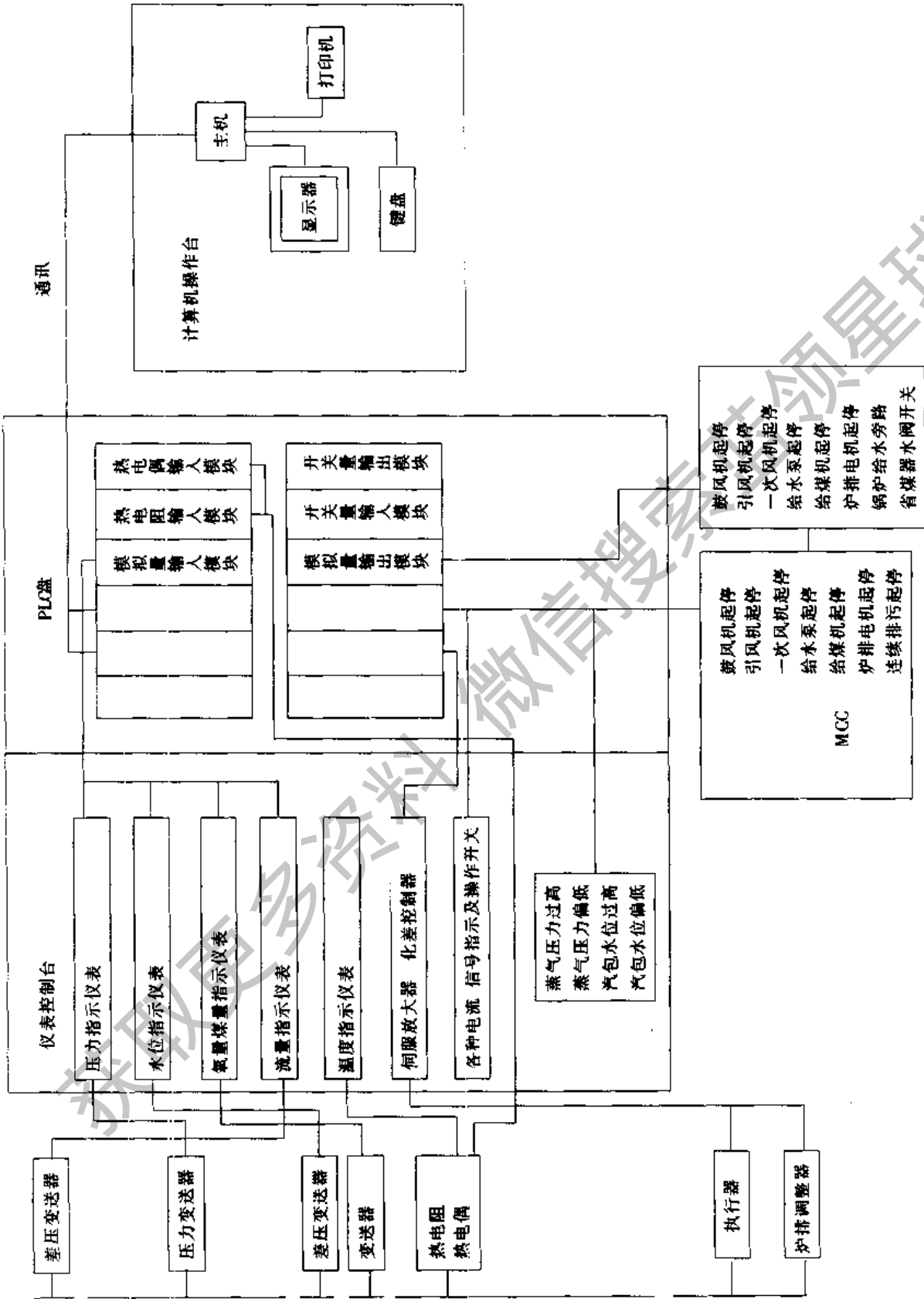


图 13.11.6 65t/h 以上电站锅炉微机控制系统方框图

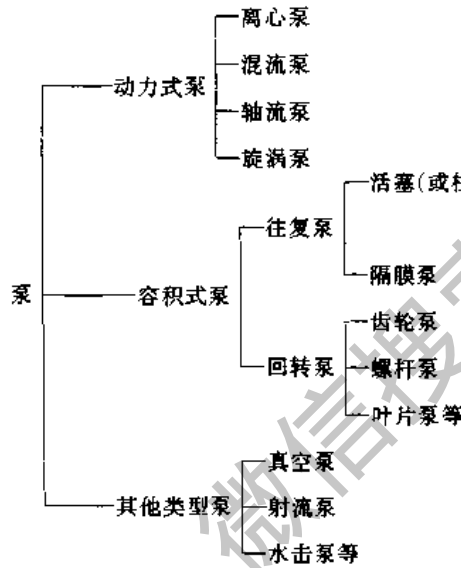
第十二章 泵、风机和压缩机的电气拖动

第一节 泵、风机和压缩机的分类和性能

一、泵的分类

把能够将输入的能量变成液体（其中可能含有固体或气体物质）的能量（主要是压力势能和动能），并且具有液体引进和排出机构的机器叫做泵。

泵根据工作原理大致可分类如下：



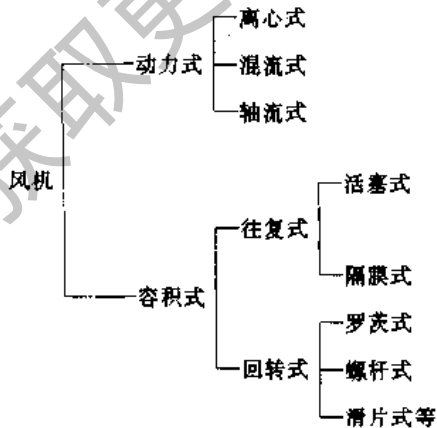
其中，动力式应用最为广泛（尤其是离心泵），其次是容积式。各种泵的使用范围如图 13.12.1 所示。

二、风机和压缩机的分类

把能够将输入的能量变成气体（其中可能含有固体或液体物质）的能量（主要是压力势能和动能），并且具有气体引进和排出机构的机器叫做风机。

1. 根据工作原理分类

风机根据工作原理大致可分类如下：



2. 根据排气压力分类

按排气压力风机可分为通风机、鼓风机和压缩机（见表 13.12.1）。

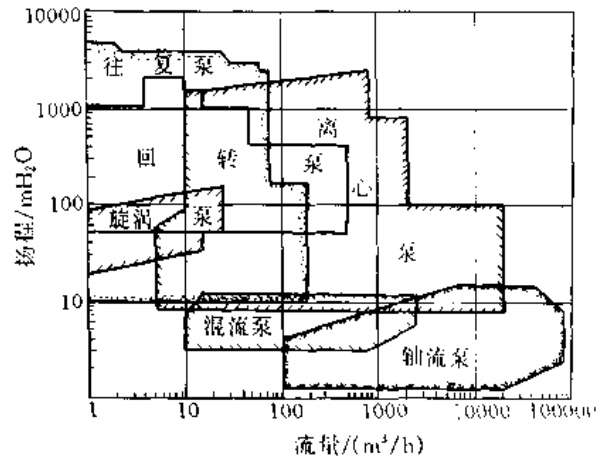


图 13.12.1 各种泵的使用范围

注：1mH₂O = 9.806 × 10⁻³Pa

表 13.12.1 通风机、鼓风机和压缩机的排气压力范围

类 型	排气压力(表压)/(N/m ²)	类 型	排气压力(表压)/(N/m ²)
通风机	小于 14700	中压压缩机	$9.81 \times 10^5 \sim 9.81 \times 10^6$
鼓风机	$14700 \sim 1.96 \times 10^5$	高压压缩机	$9.81 \times 10^6 \sim 9.81 \times 10^7$
低压压缩机	$1.96 \times 10^5 \sim 9.81 \times 10^5$	超高压压缩机	大于 9.81×10^7

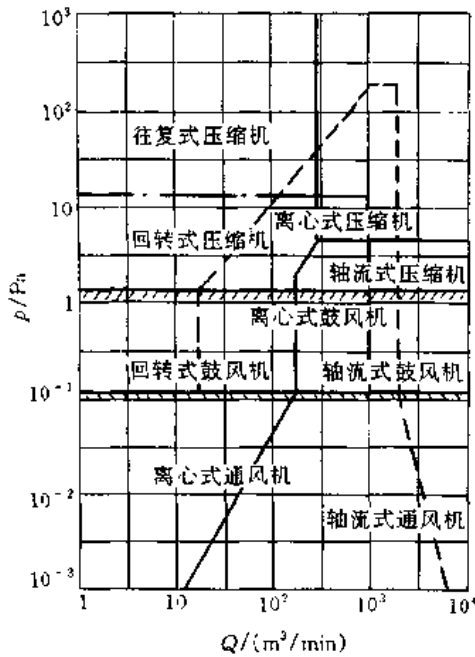


图 13.12.2 各种风机的排气压力和流量范围

广义上的风机包括通风机、鼓风机和压缩机，一般所说的风机是指通风机和鼓风机。各种风机的压力和流量范围如图 13.12.2 所示。

三、动力式泵、风机和压缩机的性能

动力式（又称叶片式）的工作原理是利用旋转叶轮中叶片对流体的作用，来提高流体的能量。

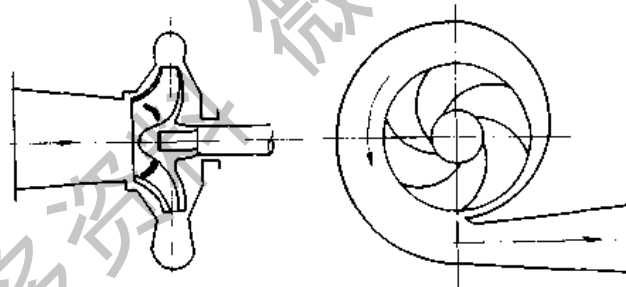
1. 工作原理

(1) 离心式 如图 13.12.3 所示，离心式的工作原理是利用旋转叶轮对流体的作用，使流体发生旋转，流体主要是在离心力的作用下获得能量。流体轴向流入叶轮，径向流出叶轮。

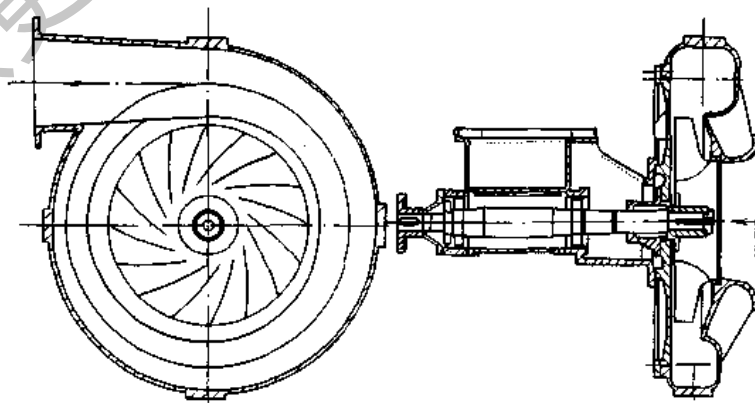
(2) 轴流式 如图 13.12.4 所示，轴流式的工作原理是利用旋转叶片对流体的挤压推进作用，使流体获得能量。流体轴向流入、流出叶轮。

(3) 混流式 如图 13.12.5 所示，混流式的工作原理和性能介于离心式和轴流式之间。

(4) 旋涡泵 如图 13.12.6 所示，旋涡泵的工作原理是叶轮旋转时，由于叶轮中液体的离心力大于流道中液体的离心力，从而产生纵向旋涡，在纵向旋涡的作用下，液体的能量得到提高。



(a) 离心泵



(b) 离心式风机

图 13.12.3 离心式示意图

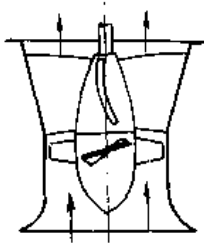
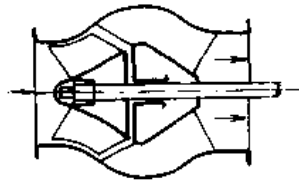
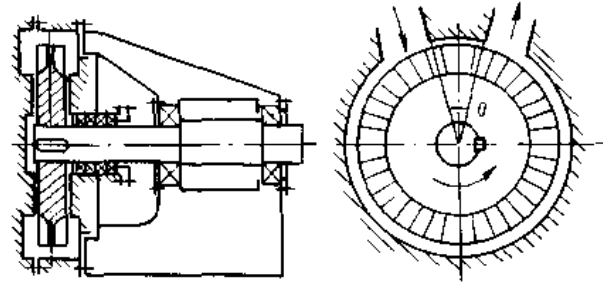
图 13.12.4 轴流式
示意图图 13.12.5 混流式
示意图

图 13.12.6 旋涡泵示意图

2. 性能参数和性能曲线

(1) 性能参数 性能参数主要有流量、能头、转速、轴功率、效率、比转数和泵的汽蚀性能参数等。

① 流量：流量是指单位时间内所输送流体的数量。流体的数量如以体积来表示则为体积流量，用 Q 表示，单位是 m^3/s 、 m^3/h 、 L/min 和 m^3/min 等；流体的数量如以质量来表示则为质量流量，用 G 表示，单位是 kg/s 、 kg/min 、 kg/h 和 t/h 等。工程上多用体积流量 Q 。

② 能头：泵和风机的能头有不同的定义。

a. 泵的能头称为扬程，是指从泵的进口（或进口法兰）到泵的出口（或出口法兰）单位重量液体所获得的能量，用 H 表示，单位是 m 。

b. 风机的能头称为压力，压力有全压 p 、静压 p_s 和动压 p_k 之分，一般所说的风机压力是指全压，即指单位体积气体通过风机时所获得的能量，也就是风机出口与进口的气体全压之差。风机动压是指风机出口的气体动压，风机的静压是风机全压与动压之差。单位是 Pa ，如没有特殊说明，风机的压力是指吸入状态为常态空气时的压力。常态是指压力为 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ （即一个标准大气压），温度为 20°C ，相对湿度为 50% ，其时空气密度为 $1.2 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

对于鼓风机和压缩机还常用风机（或级）的压比（出口气压与进口气压之比，用 ϵ 表示）来反映气体在风机（或级）内的压力提高程度。

③ 转速：转速是指每分钟泵轴或机轴的转数，用 n 表示，单位是 r/min 。

④ 轴功率：轴功率是指泵轴或机轴的输入功率，用 N 表示，单位是 kW 。

⑤ 效率：效率是指流经泵或风机的流体所得到的功率（即有效功率 N_e ）与轴功率 N 的百分比，用 η 表示，单位是 $\%$ 。对于风机还有静压效率，静压效率是指流经风机的气体由于静压提高所需的功率与风机的轴功率的百分比，用 η_s 表示，单位是 $\%$ 。

$$\eta = \frac{\gamma Q H}{1000 N} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{Q p}{1000 N} \times 100\%$$

$$\eta_s = \frac{Q p_s}{1000 N} \times 100\%$$

对于鼓风机和压缩机，根据气体压缩的过程不同，有多变效率 η_{pd} 、等温效率 η_{is} 和绝热效率 η_{ad} 等。

⑥ 比转数：比转数是包括泵或风机流量 Q 、能头（ H 或 p ）及转速 n 等设计参数在内的综合相似特征数，用 n_s （风机有时用 n_y ）表示，一般不标出单位。不同国家采用的计算公式不同，我国常用的计算公式为（以单级单吸为标准）：

$$\text{泵} \quad n_s = \frac{3.65 n \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

$$\text{风机} \quad n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{p^{3/4}}$$

式中 n ——设计转速， r/min ；

Q ——设计流量, m^3/s ;

H ——设计扬程^①, m ;

p ——设计压力^①, Pa , 工程上有时采用 mmH_2O , 其时的比转数比国际单位制的大 5.54 倍(即 $9.807^{3/4}$)。

如果 p 不是吸入状态为常态空气时的风机全压, 则应进行修正, 即 $n_s = n \sqrt{Q} / \left(\frac{1.2p}{\rho} \right)^{3/4}$, ρ 为进气密度, kg/m^3 。

在不同的比转数范围内宜采用不同类型的泵或风机。对于泵, 比转数 n_s 在 30~500 范围内宜采用离心泵, 500 以上宜采用轴流泵, 旋涡泵适宜的 n_s 范围是 10~40, 容积式泵适宜于 n_s 小于 30; 对于风机, $n_s = 2.7 \sim 12$ 宜采用前弯型离心式, $n_s = 3.6 \sim 16.6$ 宜采用后弯型离心式, $n_s > 16.6 \sim 17.6$ 宜采用单级双吸或并联离心式, $n_s = 18 \sim 36$ 宜采用轴流式, $n_s < 1.8 \sim 2.7$ 宜采用容积式。

⑦ 泵的汽蚀性能参数: 汽蚀发生时多伴有不同程度的噪声和振动。

反映泵的汽蚀性能主要有两个参数。

a. 允许吸上真空高度。吸上真空高度 H_s 是指泵的吸入液面上的压头 p_e/γ 与泵进口处的压头 p_s/γ 之差, 即:

$$H_s = \frac{p_e}{\gamma} - \frac{p_s}{\gamma} \quad (\text{m})$$

式中 p_e 、 p_s ——分别是泵的吸入液面、进口处的静压, Pa ;

γ ——液体的重度, N/m^3 。

在发生汽蚀断裂工况时的 H_s 称为最大吸上真空高度, 用 $H_{s\max}$ 表示, $H_{s\max}$ 是通过试验来确定的。为保证泵不发生汽蚀, 通常把 $H_{s\max}$ 减去 0.3m 作为允许吸上真空高度 $[H_s]$ ^②, $[H_s]$ 值越大, 泵的抗汽蚀性能越好。

b. 必需汽蚀余量。泵的必需汽蚀余量是指由泵的进口断面至泵内最低压力区之间的能头损失, 也称最小汽蚀余量, 用 Δh_r 或 NPSH_r 表示, 单位为 m 。为保证泵不发生汽蚀, 通常把 Δh_r 加上 0.3m 作为允许汽蚀余量 $[\Delta h]$ ^③, $[\Delta h]$ 值越小, 泵的抗汽蚀性能越好。通常 Δh_r 均由制造厂通过试验得出。

(2) 无因次性能参数 动力式风机常用到无因次性能参数。从风机性能参数中去除尺寸、转速和气体密度等计量单位的影响而获得的参数, 称为风机的无因次性能参数。

无因次性能参数有无因次流量(又称流量系数) \bar{Q} 、无因次压力(又称压力系数或全压系数) \bar{p} 、无因次静压(又称静压系数) \bar{p}_s 和无因次轴功率(又称功率系数) \bar{N} 。风机的性能参数与无因次性能参数之间的关系有:

$$\bar{Q} = 0.04108 n D_2^2 \bar{Q} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$\bar{p} = 0.00274 \rho n^2 D_2^2 \bar{p} \quad (\text{N}/\text{m}^2)$$

$$\bar{p}_s = 0.00274 \rho n^2 D_2^2 \bar{p}_s \quad (\text{N}/\text{m}^2)$$

$$\bar{N} = 1.127 \times 10^{-7} \rho n^3 D_2^5 \bar{N} \quad (\text{kW})$$

$$\eta = \frac{\bar{Q} \bar{p}}{\bar{N}} \times 100 \quad (\%)$$

(3) 性能曲线 泵与风机的性能曲线一般是指泵或风机在一定转速下流量与其他主要性能参数之间的关系曲线。其中流量与能头的关系曲线反映着泵或风机的工作能力和在系统中运行的稳定性, 泵的流量与汽蚀性能参数的关系曲线反映着泵的汽蚀安全性, 流量与轴功率、流量与效率的关系曲线反映着泵或风机工作的经济性。流量与轴功率的关系曲线是选用原动机的主要依据。由于气流流经通风机时压力变化不大, 气体密度变化较小, 所以通风机性能曲线的特征与泵的性能曲线相似。

动力式泵与风机性能曲线的典型形状如表 13.12.4 所示。

风机的无因次流量与其他无因次性能参数之间的关系曲线称为无因次性能曲线。无因次性能曲线只与风机(或级)的几何形状有关。同种型式的风机或叶轮(指按同一空气动力学图制造的、通流部分几何相似的风机

① 多级泵或风机用单级能头 H/I 或 P/I (I 为级数) 计算。

② 考虑到水温变化及压力波动等因素而留的安全量, 一般情况下取 0.3m, 但需视具体情况而定, 也有取 0.5m 的。对于吸取饱和水的给水泵、凝结水泵等安全量应以允许温升为 5~8℃ 计。

③ 考虑到水温变化及压力波动等因素而留的安全量, 一般情况下取 0.3m, 但需视具体情况而定, 也有取 0.5m 的。对于吸取饱和水的给水泵、凝结水泵等安全量应以允许温升为 5~8℃ 计。

或叶轮)具有相同的无因次性能曲线。不同类型风机的无因次性能曲线的形状与对应的性能曲线形状相似。多用无因次性能曲线比较不同型式风机的工作特性。

(4) 影响性能曲线的因素

① 转速变化 泵和通风机转速变化前后性能参数的关系为:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \frac{\Delta h_{e1}}{\Delta h_{e2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

鼓风机和压缩机转速变化前后性能参数的关系为(进气条件不变):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \epsilon_2 = \left[1 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 (\epsilon_1^{\frac{m-1}{m}} - 1)\right]^{\frac{m}{m-1}} \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

式中 m 为压缩过程气体的多变指数。

② 流体密度变化 泵和通风机的流体密度变化前后性能参数的关系为:

$$Q_1 = Q_2 \quad H_1 = H_2 \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)$$

③ 几何尺寸变化

a. 泵和通风机型式相同(即通流部分几何相似),几何尺寸不同时,性能参数之间的关系为:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_{21}}{D_{22}}\right)^3 \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_{21}}{D_{22}}\right)^2 \quad \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{D_{21}}{D_{22}}\right)^2 \quad \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{D_{21}}{D_{22}}\right)^5 \quad \frac{\Delta h_{e1}}{\Delta h_{e2}} = \left(\frac{D_{21}}{D_{22}}\right)^2$$

b. 离心式的叶轮外径 D_2 变化(切割或加长)时性能参数的变化由切割定律来描述。

$$\frac{Q'}{Q} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2 \frac{b_2'}{b_2} \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2$$

$$\frac{p'}{p} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^2 \quad \frac{N'}{N} = \left(\frac{D_2'}{D_2}\right)^4 \frac{b_2'}{b_2}$$

式中, b_2 为叶轮叶片的出口宽度,对于低比转数的泵或风机,可认为 b_2 不随 D_2 变化,对于中高比转数的泵或风机,可认为 b_2 与 D_2 成反比。

四、容积式泵、风机和压缩机的性能

容积式的工作原理是利用工作室的一个或几个运动边界,周期性地将能量施加于流体,来提高流体的能量。

1. 工作原理

(1) 往复式 如图 13.12.7 所示,往复式的工作原理是利用活塞(包括柱塞)或隔膜往复运动,配合吸入阀和排出阀的开闭,交替地吸入和排出流体,流体在往复运动元件的挤压下能量得到提高。

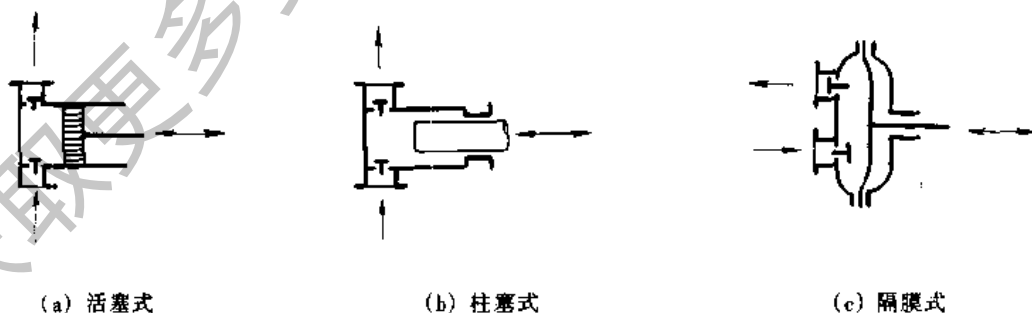


图 13.12.7 往复式示意图

(2) 回转式 如图 13.12.8 所示,回转式工作过程都包括三个基本动作:首先是机器的动件(作回转运动)和不动件形成一个与机器出口隔断、和进口连通的容积;随着动件的转动,该容积逐渐增大,流体被吸入,随后动件达到这样一个位置,使得该容积与机器的进、出口都不连通;最后该容积又与机器的出口相通,并且在动件和不动件的共同作用下,该容积中的流体被排挤出去。

2. 性能参数和性能曲线

(1) 性能参数 性能参数主要有流量、能头、转速、功率、效率和泵的汽蚀性能参数等。泵的汽蚀性能参

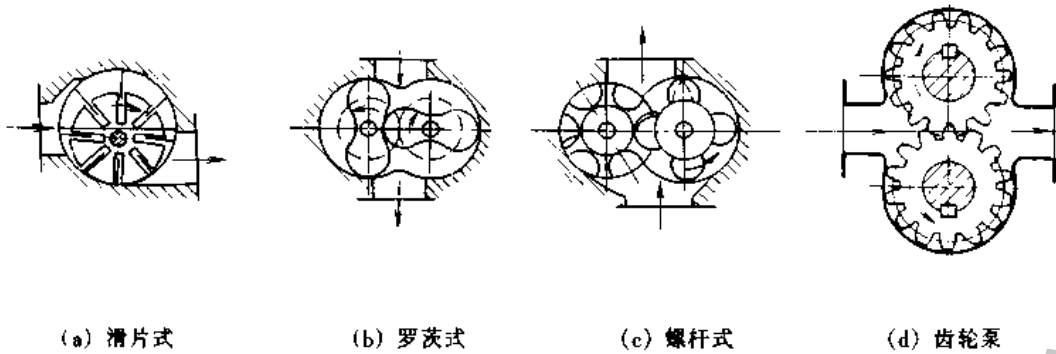


图 13.12.8 回转式示意图

数同动方式。

① 流量：泵的流量同动方式。鼓风机和压缩机的流量称为气量，气量是指单位时间内所输送气体的体积，用 Q 表示，国际单位是 m^3/s ，工程上常用的单位有 m^3/h 和 m^3/min 等。排气量 Q_v 是指在风机出口处的气体体积流量换算到进气状态时的值。标准排气量 Q_{vN} 是指把排气量换算到标准状态（压力为标准大气压，温度为 0°C 的干燥气体）时的值。

② 能头：容积式泵与风机的能头一般采用压力 p ，压力是指单位体积流体通过机器时所获得的能量，也就是泵或风机出口与进口的流体全压之差。单位是 Pa 和 MPa。

容积式泵与风机还常用进口压力 p_{10} 、出口压力 p_{20} 和压比（出口压力与进口压力之比，用 ϵ 表示）来反映流体在泵与风机内的压力提高程度。

③ 转速：转速是指每分钟泵轴或机轴的转数，用 n 表示，单位是 r/min 。

④ 功率：单位时间内泵与风机理论循环消耗的功称为理论功率，压缩过程按等温过程计，称为等温功率 N_{it} ，按绝热过程计，称为绝热功率 N_{ad} ，按多变过程计，称为多变功率 N_{pd} ，单位均是 kW。

流体实际得到的功率称为有效功率 N_e ，实际循环消耗的功率称为指示功率 N_{id} ，指示功率加上热损失和泄漏而损失的功率称为内功率 N_i ，内功率加上机械损失（不包括与原动机之间的传动机械损失）的功率称为轴功率 N 。

轴功率与流量之比称为比功率，用 q 表示，单位是 $\text{kW}/(\text{m}^3 \cdot \text{min})$ 。

⑤ 效率：等温功率与指示功率的百分比称为等温效率 η_{it} ，多变功率与指示功率的百分比称为等温效率 η_{pd} ，绝热功率与指示功率的百分比称为绝热效率 η_{ad} ，有效功率与指示功率的百分比称为指示效率 η_i ，内功率与轴功率的百分比称为机械效率 η_{me} ，泵与风机的总效率 η 是有效功率与轴功率的百分比，单位均是 %。

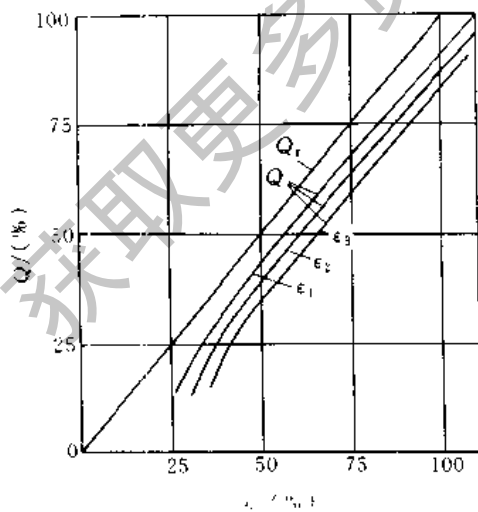


图 13.12.9 不同压比时流量与转速的关系曲线
($\epsilon_3 > \epsilon_2 > \epsilon_1$)

(2) 性能曲线 容积式泵与风机性能曲线的典型形状如表 13.12.2 所示。

对于给定的容积式泵与风机，其压力主要取决于外界系统，流量主要取决于机器的结构和转速，结构和转速一定，流量基本不变，出口压力升高，流量略有减小，轴功率与流量和压力成正比。

(3) 影响性能的主要因素

① 转速变化：在结构和压力不变的条件下，流量和轴功率与转速成正比。

② 几何尺寸变化：在几何相似、转速和压力不变的条件下，流量和轴功率与几何尺寸的立方近似成正比。

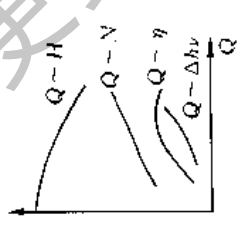
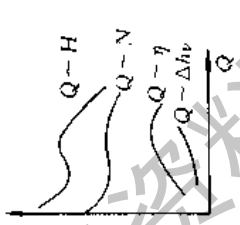
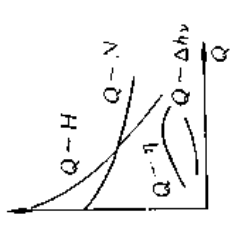
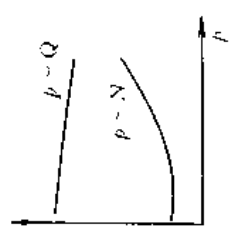
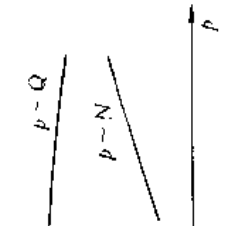
③ 冷却效果的影响：冷却效果愈好，流量愈大，比功率愈小。

容积式压缩机在不同压比时流量与转速的关系曲线如图 13.12.9 所示。

五、容积式和动力式泵与风机的性能比较

动力式和容积式泵与风机的性能比较如表 13.12.2 所示。

表 13.12.2 动力式和容积式泵与风机的性能比较

类型	动力式			容积式	
	离心式	轴流式	旋涡泵	往复式	回转式
性能曲线					
流量、能头、轴功率的稳定性	稳定			脉动	有的脉动
工作稳定性	可能有不稳定工作区	有不稳定工作区	稳定	稳定	稳定
泵的自吸能力	除特殊结构的离心泵外无自吸能力	泵启动前需充液, 开出口阀启动, 常用改变入口导叶或动片角度与调节	开式泵能自吸	能自吸	能自吸
启动与调节	泵启动前需充液, 关闭出口阀启动, 常用出口阀节流调节	泵启动前需充液, 开出口阀启动, 常用改变入口导叶或动片角度与调节	开出口阀下启动, 用旁通阀调节	开出口阀下启动, 用旁通阀调节或专门调节机构等	开出口阀下启动, 用旁通阀调节或专门调节机构等
转速	转速范围大, 可达很高转速	一般转速较低	转速高	低速	转速较高
流量和能头范围	流量和能头范围都较大	大流量、单级能头低	小流量、高扬程	中、小流量、压力范围大 可达很高压力	流量不大、中压或较高压力
效率	高	高	较低	高	较高
结构	结构简单、可靠性高			结构复杂、易损部件较多	介于动力式和往复式之间

第二节 泵、风机和压缩机与电动机的匹配

泵、风机和压缩机的原动机有电动机、汽轮机、内燃机、水轮机和燃气轮机等，最常用的原动机是电动机。

一、电动机类型的基本确定

感应电动机与其他电动机相比，具有结构简单、操作方便、价格便宜等优点，因此被普遍地用来驱动泵与风机，尤其是笼型感应电动机应用更为广泛，绕线型电动机一般用于有调速要求及重载起动的场所。但是，在驱动低速运转而且额定功率较大的泵与风机时，同步电动机在价格和性能上一般均优于感应电动机。直流电动机调速性能好，但成本大，效率较低，一般只是在直流电成了唯一可供使用电源的情况下才被用来驱动泵与风机。

二、泵、风机和压缩机与电动机的功率匹配

电动机的配套额定输出功率 N_g 为：

$$N_g = K \frac{N}{\eta_m} \quad (\text{kW})$$

式中 N ——泵与风机的额定轴功率，kW；

η_m ——传动机械效率（见表 13.12.3），%；

K ——电动机容量安全系数（见表 13.12.4），如果泵的轴功率曲线较陡，应考虑加大该安全系数。

按上式计算的电动机额定输出功率应圆整到电动机标准输出功率。

表 13.12.3 传动方式与传动机械效率

传动方式	传动机械效率 η_m /%	传动方式	传动机械效率 η_m /%
同轴联接传动	100	平带传动	95
联轴器直联传动	98	三角带传动	93

表 13.12.4 电动机额定输出功率与容量安全系数

电动机功率/kW	容量安全系数 K	电动机功率/kW	容量安全系数 K
<0.5	1.5	2~5	1.2
0.5~1	1.4	5~50	1.15
1~2	1.3	>50	1.08

三、泵、风机和压缩机与电动机的传动

通常泵和风机与电动机采用直接联接，在与电动机不能同轴联接的情况下，绝大多数采用弹性联轴器联接。在有些情况下也采用齿轮传动和带传动。

采用弹性联轴器时，允许电动机与泵轴或机轴之间有一点轴线错位，大多数弹性联轴器在传递转矩的同时，能向电动机的轴承传递轴向力，在泵和风机起动期间这一轴向力经常发生，因此电动机应具有承受一定轴向力的能力。

大型泵与风机和电动机之间传递的转矩较大，因此必须使用刚性联轴器。此时，必须严格保证两个轴的同轴度，如果电动机采用滚动轴承，必须使轴承的外环能够在轴承箱中自由滑动，以免轴承产生初始装配负荷。

电动机与泵或风机同轴联接时，电动机轴的材料要和所输送的流体性质相适应。如果叶轮靠螺帽来定位，则螺帽螺纹的方向必须考虑到电动机的旋转方向。动力式高压泵往往会产生较大的轴向力，同轴连接时要考虑到电动机轴承的轴向承载能力。同轴连接时，在电动机轴上安装甩水盘，可防止通过泵密封泄漏出来的液体进入电动机轴承。

四、泵、风机和压缩机与电动机的起动特性

泵与风机在起动时，即由停止状态达到稳定运行之前的过渡过程中，可能会出现所要求的转矩比设计值高得多的情况，此时，电动机的选择必须以起动状态为依据，而不能以额定工况为依据，否则必须改变电动机、泵或风机的起动方式。电动机转速—转矩特性和起动方式请参阅本手册第五篇第二章。

1. 一般的起动特性

泵与风机的一般起动方式有闭阀起动、开阀^①起动和在有逆止阀下起动。离心式的起动特性如图 13.12.10 所示，轴流式的起动特性如图 13.12.11 所示，混流式的起动特性介于离心式和混流式之间，因为混流式零流量时与额定流量时的轴功率比较接近，所以开阀和闭阀的起动特性比较接近。旋涡泵具有与轴流式相类似的零流量时轴功率大于额定流量时轴功率的特性，它的起动特性与轴流式相类似。上述两个图中还给出了笼感应电动机的典型转速-转矩特性曲线，其中电动机是按泵与风机的额定状态选定。

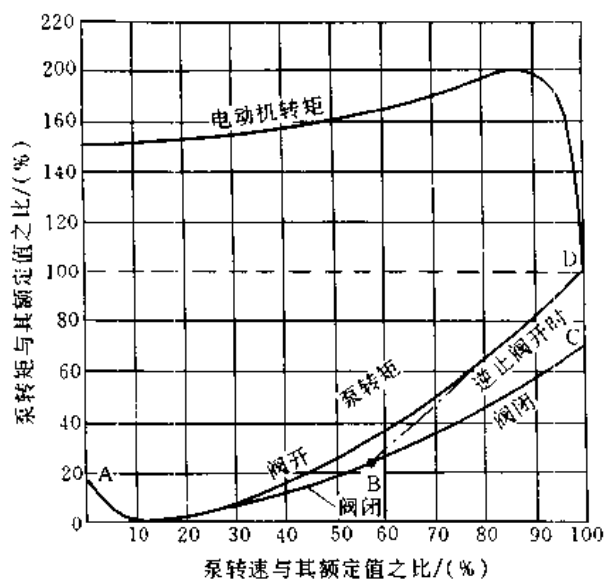


图 13.12.10 离心式泵与风机的一般起动特性

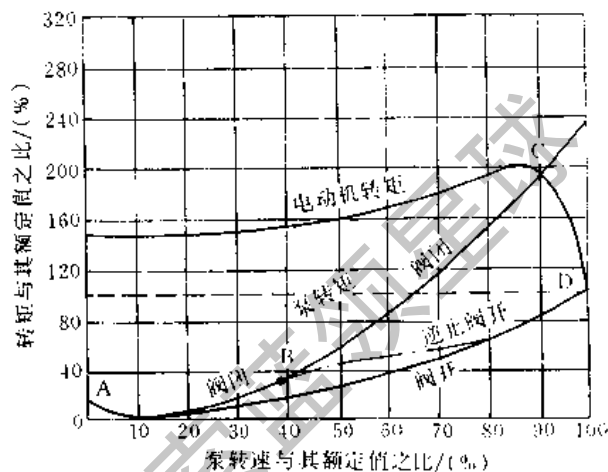


图 13.12.11 轴流式泵与风机的一般起动特性

对于容积式，由于零流量时的轴功率非常大，远超过额定功率，因此闭阀起动转速-转矩特性曲线近似沿着纵坐标上升，而无法起动成功；由于轴功率与转速成正比，开阀起动时，在克服静转矩后，转矩维持恒定（不考虑转矩脉动）而不随转速变化，即起动转速-转矩特性曲线是与横坐标平行的，所以这种方法起动是很顺利的。在有逆止阀下起动时，逆止阀起到了增加起动静转矩的作用。

因此，离心式多采用闭阀起动，起动后再开大出口阀，此时转速基本不变，流量增大，转矩、功率上升（如 CD 段所示）；混流式这三种起动方式均可；轴流式、旋涡泵和容积式不采用闭阀起动，采用开阀起动、开启旁通管路（由出口至进口的一段管路）起动或采用特定的起动机构（如往复泵采用吸入阀卸荷装置）等。

2. 考虑流体惯性的起动特性

如果泵系统中含有大量液体，则液体的惯性对于速度的突然变化就可能表现出很大的阻力，因此，在开阀（或无阀）情况下起动充满液体的泵和系统时，需要更大的功率和转矩。由于轴流泵的流量一般较大，这方面表现的较为明显，图 13.12.12 所示的是一台轴流泵考虑液体惯性时的起动特性。可见，由于液体惯性的存在，在升速后期电动机只有很小的剩余转矩，泵升至全速所需的时间较长，电动机长时间承

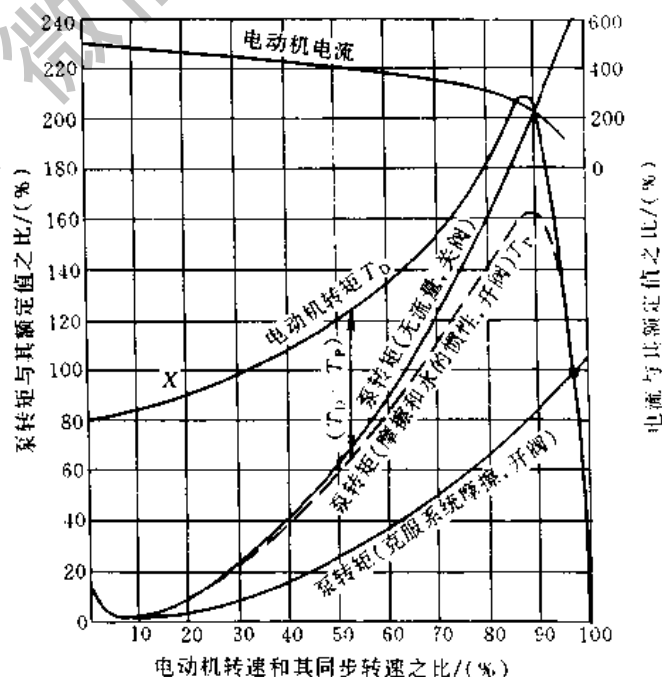


图 13.12.12 轴流泵组考虑液体惯性的起动特性

① 指出口阀开启且没有外界系统压力作用在泵或风机上。

受较大的电流，如果是同步电动机一般不可能牵入同步。为此，可采用开旁通管（尺寸不宜大）启动、变速或双速电动机可采用低转速启动、叶片可调式轴流泵可将叶片调至对应的轴功率较小的角度下启动、或者启动时部分开启排出阀，而在达到全速之前再把它打开到相当大的程度。

3. 在反转下的启动特性

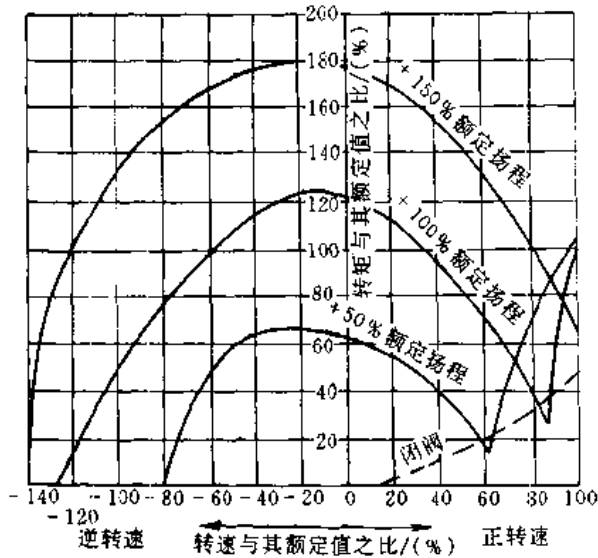


图 13.12.13 离心泵组典型的反向转速-转矩特性

限制反转装置时，启动特性曲线为图中0转速右边部分，此时泵组启动特性有所改善，但仍有可能出现上述问题。因此，应尽量避免在反转下启动，如反转启动不可避免，可增大管路系统阻力，减小直接作用在泵上的系统扬程，减小反向流量，启动特性会明显改善。

当泵向有较高能头的地方输送液体或者和其他泵并联运行并随后停车时，除非出口阀关闭，或管路系统中有逆止阀（包括底阀），或在虹吸系统中有断路虹吸，液体就会反向通过这台泵，如果泵没有限制反转装置（如装在联轴器中的反转保护器），泵就会反转，反转一段时间后会达到平衡状态，此时泵在“飞逸”转速下旋转，而转矩为零。开阀启动时如有外界系统扬程作用在泵上，也会出现倒流和反转现象。

离心泵和轴流泵典型的反向转速-转矩特性分别如图 13.12.13 和图 13.12.14 所示，曲线上的扬程是作用在泵上的外界系统扬程与泵额定扬程之比。可见，反向旋转启动时所要求的转矩可能超过额定值，电动机除克服扬程外，还必须对泵施加额外的转矩以改变液体流向，这样延长了电动机在大于额定电流下的工作时间，泵组可能不能启动到额定转速，可能会引起电气方面的故障。当泵有

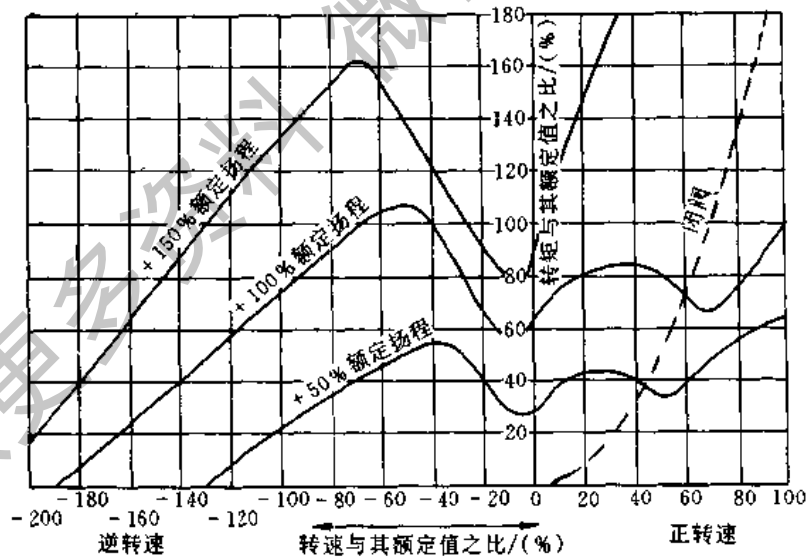


图 13.12.14 轴流泵组典型的反向转速-转矩特性

4. 泵与风机的其他启动特性

活塞式泵与风机由于其轴功率和转矩是脉动的，为了不致引起电动机产生的转矩也脉动，通常在曲柄轴上装有飞轮，或者采用具有大转子转动惯量的电动机，这样在启动时具有较高的阻转矩，要求电动机的启动转矩即使是对于卸载的活塞式泵与风机也不应低于1.2倍的额定转矩。

有些通风机在正常运行时气体温度较高，而启动时气体可能是常温，如锅炉引风机，因此，在启动时气体密度较正常运行时的大，而轴功率和转矩与密度成正比，在电动机的选择和启动时应注意这一特性。

五、对电动机的其他要求

泵的额定转速要与电动机的标准转速相吻合。对电动机绝缘等级、接线方式、变速、机壳和电压等方面的要求与电动机相一致。

第三节 泵、风机和压缩机的选择、安装、使用

一、泵、风机和压缩机的选择

选择的总原则是使泵、风机和压缩机在系统中能安全、经济地运行。选择的内容是确定泵的类型、型式、规格、台数以及与之配套的电动机。

1. 选择前应具备的已知条件

- ① 系统所需的额定流量 Q 、最大流量 Q_{\max} 及流量正常变化范围或规律。
- ② 系统所需的额定能头 (H 或 p)、最大能头 (H_{\max} 或 p_{\max}) 及正常变化范围或规律。
- ③ 流体的有关性质 (包括吸入压力、温度、粘度、密度、腐蚀性、爆炸性及有无杂质等) 及其正常变化情况。
- ④ 系统运行特性对泵、风机和压缩机的性能有无特殊要求 (如有的系统要求在较大流量范围内能头不宜变化太大等)。
- ⑤ 可能将要安装的位置和环境 (周围有无可燃或爆炸性物质, 泵、风机和压缩机泄漏时的污染限制程度等)。

对于大多数的泵、风机和压缩机, 制造厂家提供的性能参数或曲线是基于一定的标准吸入状态, 如通风机的标准吸入状态一般是压力为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 温度为 20°C , 相对湿度为 50% 的空气 (其时空气密度为 1.2 kg/m^3)。系统实际所需要的参数, 如通风系统中的能头, 应换算到标准吸入状态下的值, 然后以该值为选型依据, 反之, 定型后应将制造厂家提供的性能参数或曲线换算成使用场合下的值。

2. 系统能头的确定

系统能头是指流体由吸入处到排出处所需克服的能头。如图 13.12.15 所示的泵系统, 系统扬程 H_c 为:

$$H_c = \frac{p_B - p_A}{\rho g} + (Z_B - Z_A) + KQ^2 \quad (\text{m})$$

- 式中 p_A 、 p_B ——分别为吸入、排出液面的压力, Pa;
 Z_A 、 Z_B ——分别为吸入、排出液面相对于某一基准面的高度, m;
 ρ ——液体的密度, N/m^3 ;
 Q ——系统的液体流量, m^3/s ;
 K ——与系统流动摩擦阻力系数相对应的系数, s^2/m^5 。

上左右边第一项是液体所要克服的静压头, 第二项是液体所要克服的位置头, 第三项是液体所要克服的流动摩擦阻力, 前两项之和称为系统静扬程。

上左右边某一参数发生变化, 都会引起系统扬程的改变。系统扬程随流量的变化曲线称为系统的管路特性曲线 (如图 13.12.16 所示)。

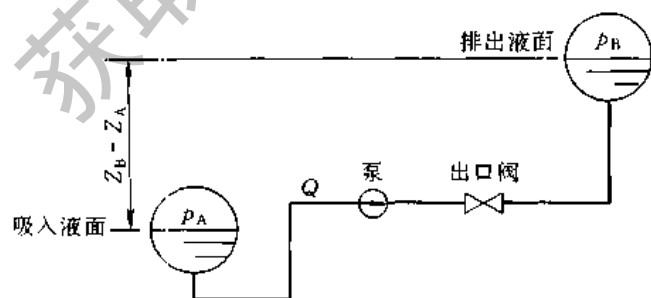


图 13.12.15 泵的工作系统示意图

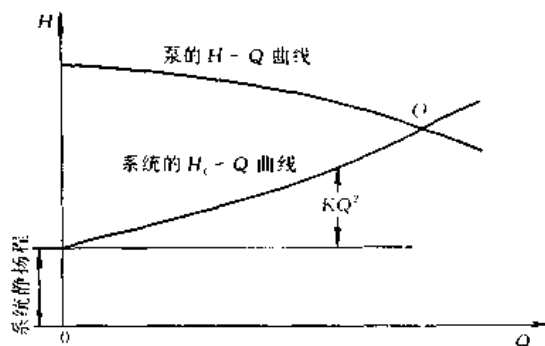


图 13.12.16 管路特性曲线和泵的工作点

系统管路特性曲线 (H_c-Q) 与泵的扬程流量曲线 ($H-Q$) 的交点 (O) 是泵的工作点, 工作点对应的泵的参数就是泵的运行参数。风机、压缩机的管路特性曲线和工作点与泵相似, 只是能头常用压力。

3. 泵、风机和压缩机额定流量和能头的确定

考虑到对系统最大流量和最大能头的确定可能存在误差、机器性能老化等因素, 泵、风机和压缩机额定流量 Q 和额定能头 H (或 p) 应是在系统最大流量和最大能头的基础上乘以一定的裕量系数, 一般有:

$$Q = (1.05 \sim 1.10) Q_{\max}$$

$$H = (1.10 \sim 1.15) H_{\max}$$

如果在确定 Q_{\max} 和 H_{\max} 时已考虑了一定的安全余量, 上式中的裕量系数不宜过大 (甚至裕量系数可取 0), 否则所选的泵或风机将来长时间在较设计工况低得多的工况下工作, 从而运行效率较低, 甚至处于不稳定运行区域 (如图 13.12.17)。

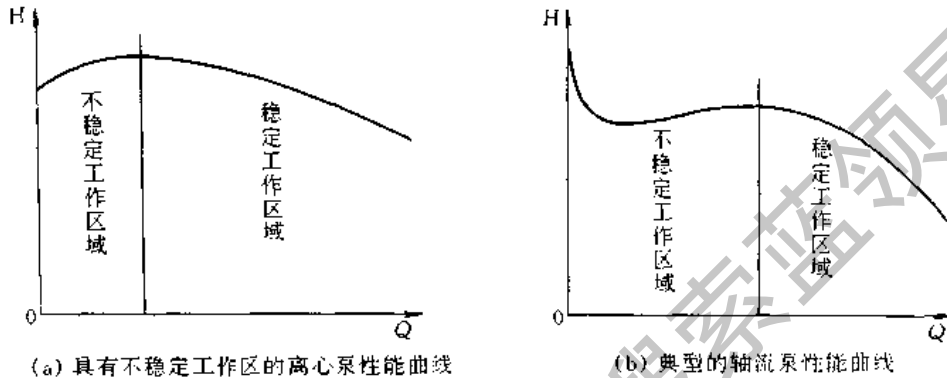


图 13.12.17 具有不稳定工作区的泵性能曲线

4. 泵、风机和压缩机的选型

在确定了泵、风机和压缩机需要的额定流量和额定能头后, 就可以根据流体的性质、机器用途和使用场合等查阅有关产品目录或选型图表, 进行初步选型, 即选出那些额定流量和额定能头稍大于或等于所需流量和能头的泵与风机。符合上述要求的泵型或机型可能较多, 应进一步比较其他性能 (如效率、转速、汽蚀性能)、性能曲线、材质、零部件结构及价格等后再定型。

如果按照所需要的流量和能头难以选择一台合适的泵或风机, 应考虑采用多台联合运行 (如并联运行或串联运行, 有时从系统可靠性、大幅度改变流量等需要, 有意采用多台并联运行), 联合运行时尽量采用同型号的泵与风机。

如果选型仍有困难, 可以选用流量和能头大一点的, 以损失一定的运行经济性为代价, 如运行中有较大的节流或旁通流量, 对于离心泵和离心式通风机可以进行叶轮的切割, 以适应系统的要求并降低轴功率。

二、泵、风机和压缩机的使用

1. 起动前的准备和起动

(1) 起动前的检查 检查泵、风机和压缩机本体、管路系统、电气系统、冷却系统、润滑系统、监控系统、密封系统等是否具备起动条件, 如有可能应分别试运转。

(2) 泵的充液 动力式泵一般不具有自吸能力 (除非是自吸式泵或部分旋涡泵, 或泵安装在吸入液面之下, 或者吸入液面的压力大于大气压), 因此, 这些泵起动之前必须充液, 即把吸入管路和泵中的空气排出, 使之充满液体。比较简便的方法是在吸入管的入口安装底阀, 然后用任何可以将液体充满的方法进行充液。一种较好的方法是关闭出口阀, 通过从泵壳最高点抽空气 (用真空泵) 来进行充液。充液的关键是要充分, 空气要排尽。

对于容积式泵, 虽然具有自吸能力, 但充液后起动总是有好处的。

(3) 暖机 流体温度与环境温度相差较大时, 起动前应进行暖机, 使机器内的温度逐步变化到接近于流体的温度, 以防产生较大的热冲击和热应力。

(4) 起动 泵、风机和压缩机的起动特性与要求见第二节。

(5) 其他事项 起动中要注意监视机器的运行状况和有关参数, 如转向、转速、流量、压力、振动、噪

声、电动机电流和电压等，起动不正常应停机检查；起动之前应检查机器的润滑状况（特别是长期停用的）。对于小型泵与风机可手动盘车，对于大型泵与风机应先起动盘车装置，盘车一段时间后再起动。

2. 运行工况的调节

泵运行工况的调节是通过改变 H_c-Q 曲线或 $H-Q$ 曲线来实现的，风机和压缩机也与泵类似。

有些动力式泵、风机和压缩机有不稳定运行区域（如图 13.12.25），因此，工况调节时不应使工作点处于该区域。

常用的工况调节方法如下：

(1) 出口阀节流调节 离心式最普遍和简便的调节方法是，通过改变出口阀的开度来改变管路的流动阻力系数（公式 (13.14.12) 中的 K ），从而实现工况调节。该调节方法出口阀上有节流损失，经济性差。容积式、轴流式和旋涡泵由于关小阀门，流量减小，功率反而增大，因此不用该方法。

(2) 入口导叶调节 通过改变轴流式、混流式或离心式的入口导叶角度，改变泵、风机和压缩机的性能曲线，从而实现工况调节。该调节方法的经济性比出口阀节流调节好。因为入口导叶的节流使泵容易发生汽蚀，所以泵很少采用。

(3) 泵的汽蚀调节 泵发生汽蚀时，其性能曲线会发生变化。利用吸入液面高度改变时，泵发生汽蚀时的流量也变化来实现工况调节。该调节方法能自动地根据吸入液面的高度改变流量，减少运行人员操作，调节经济性较好。但汽蚀会对泵产生损坏，只有当这种损坏的程度不严重时，才能采用汽蚀调节。汽蚀调节多用于一些冷凝泵。

(4) 转速调节 通过改变泵、风机和压缩机的转速，改变它们的性能曲线，从而实现工况调节。该调节方法的经济性高，但投资较大，对于大功率且工况变化范围较大的泵、风机和压缩机，采用该方法会产生显著的节能效益。

(5) 可动叶片调节 通过改变轴流式、混流式的叶片角度，改变泵与风机的性能曲线，从而实现工况调节。该调节方法的经济性高，但投资较大，对于大功率且工况变化范围较大的泵与风机，采用该方法会产生显著的节能效益。

(6) 旁通管路调节 通过改变旁通阀的开度，改变由出口到进口的回流量，从而实现系统流量调节（泵、风机和压缩机的运行状况基本不变）。多用于容积式、旋涡泵和混流式。对于离心泵，当系统所需的流量很小时，也可采用该方法，以防止泵内液体的温升过大。

一般来说，泵、风机和压缩机的变速调节具有较高的经济性。当系统所需要的流量或能头大幅度变化时，可以通过改变泵、风机和压缩机的台数来实现。

3. 运行中防止泵发生汽蚀

(1) 有效汽蚀余量 有效汽蚀余量是指在泵进口处，液体所具有的超过液体温度所对应的汽化压头的富余能头，用 Δh_e （或 $NPSH_e$ ）表示，单位是 m。

$$\Delta h_e = \left(\frac{p_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} \right) - \frac{p_v}{\rho g} \quad (\text{m})$$

$$\Delta h_e = \left(\frac{p_s}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} \right) - H_g - h_w \quad (\text{m})$$

(2) 汽蚀发生的条件 当有效汽蚀余量 Δh_e 等于泵的必需汽蚀余量 Δh_r 时，泵内压力最低处的压力等于液体温度对应的汽化压力，其时开始产生汽蚀。

(3) 防止汽蚀的措施 要避免汽蚀必须满足：

$$\Delta h_e > \Delta h_r$$

因此，可以从增大 Δh_e 或降低 Δh_r 来防止汽蚀的发生。对于给定的泵及其吸入系统，在运行中防止汽蚀的主要措施有：

- ① 液体温度不变，维持吸入液面有足够高的压力；吸入液面的压力不变，降低液体温度；
- ② 降低泵的吸上高度或增大泵的倒灌高度；
- ③ 减小吸入管路中的流动阻力；
- ④ 控制转速不能过高。

对于离心泵，在流量很低时，由于叶轮入口附近会出现回流（液体由叶轮内部返回到入口处），长时间运行会使泵入口处的温度上升，从而导致汽蚀，因此当系统所需流量低到一定程度时应开启离心泵的再循环管路

(即旁通管路), 以保持有较大的流量通过离心泵, 避免发生汽蚀。

4. 运行中的监视项目

泵、风机和压缩机在运行中一般应监视其压力(进、出口)、流量、电动机的电流和电压, 必要时应监视流体的温度。对于大型泵、风机和压缩机应监视其轴承温度和润滑油油温, 对于变速泵、风机和压缩机应监视其转速, 对于大型多级采用平衡盘平衡轴向力的离心泵, 应监视平衡盘处的压力。泵、风机和压缩机在运行中应定期检查润滑油、冷却水、轴封泄漏量和振动等。

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

第十三章 联合收割机电控装置

随着农业现代化水平的提高,广大农民已广泛使用联合收割机,以减轻劳动强度、提高劳动生产率,作为复杂的农业机械,电器控制系统是联合收割机的一个重要组成部分,也是作业过程中故障率高的部分,更是操作人员在维修保养时遇到困难大的部分。由于联合收割机种类繁多,因此我们选线路结构典型的国产自走式半喂入稻麦两用联合收割机太湖-1450型的电气系统(图13.13.1)进行介绍。

第一节 太湖-1450型联合收割机电气原理

太湖-1450型联合收割机电气原理图见图13.13.1。

太湖-1450型联合收割机的主电源可分三路,一路是与蓄电池直接相连的电源线,在停车或工作时均有电;第二路是由电源开关控制,保证收割机的割台升降和整机转向;第三路是通过电源继电器向大功率用电设备供电。

1. 电源电路

太湖-1450型联合收割机的电源由100A·h负极接地的12V蓄电池与三相交流发电机和硅整流调压调节器组成,当电源开关1置于Ⅱ档工作位置时,发动机转速低于1200r/min,则6发出的交流电经调节器7输出后不能满足用电设备的要求,仍由蓄电池2供电,此时仪表的充电指示灯8亮;当发动机转速达到或高于1200r/min时,发出的电稳定在 $(14 \pm 0.5)V$,并向蓄电池和其他用电设备供电,此时8熄灭,表明发电机对外供电。

2. 起动停车回路

2kW串激式直流起动机5由起动继电器3控制,当1置于Ⅲ位置时,并接通离合器开关4,3吸合,使控制电流从2经正极电缆输入起动机5,驱动起动机使发动机起动,起动后,1及时回复Ⅱ位置,向其他设备供电。

当1从关闭位置0切换到Ⅰ时,电源继电器10工作,使电流从2→10→F₄→9→地,使停车电机9正向回转,在发动机处于可以工作位置后,停车电机内的常闭行程开关断开,使9两端同处正电位而停止回转。

电源开关1无论从Ⅱ切换到Ⅲ或Ⅲ切换到Ⅱ位置,9两端电位不改变而使停车电机不回转,保持发动机的正常工作位置。

当开关1从Ⅱ切换到0位置时,10断电不工作使9两端原同处正电位的另一端转负而构成回路,使9反向回转,当发动机处于关闭位置,9内的原处于断开状态的常闭行程开关合上,从而使9两端电位同处负而停止回转。

使用中应注意起动时间不应超过5s,两次起动间隔应不小于2min,起动后应及时将电源开关回复Ⅱ位置。

3. 预热、仪表与指示灯、灯光电路

当电源开关1置于Ⅰ或Ⅲ预热位置,电流从2→1→F₁₁→45→地,同时综合单元39通电,使预热指示灯44亮,15min后熄灭,表示预热结束,可以起动。

当1置于Ⅱ工作位置时,电流从2→1→F₈→10→地,使电源继电器10动作,当仪表、灯光、喇叭和报警、喂入深度等电路供电。

电流由10的触点→F₄后流入仪表电路。

发动机转速表→转速传感器15→地。

燃油指示表→燃油传感器14→地。

油压指示灯→油压开关12→地,使指示灯亮,如起动后机油压力高于0.3MPa,12自动断开,指示灯熄灭,否则应及时添加机油。

水温指示灯→水温报警开关13后,如发动机水箱的冷却液温度上升至 $110^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$,13接地使报警指示灯亮示警,应及时停机检查。

灯光电路的电流由电源继电器10→F₅→16,当变档开关置于Ⅰ时,灯18、19、20和21亮;当16置于Ⅱ时,灯17、18和19亮。

4. 喇叭和报警、喂入深度调节电路

当电源开关1置于Ⅱ位置,电流由蓄电池2→10→F₆、F₇后流入各电路。

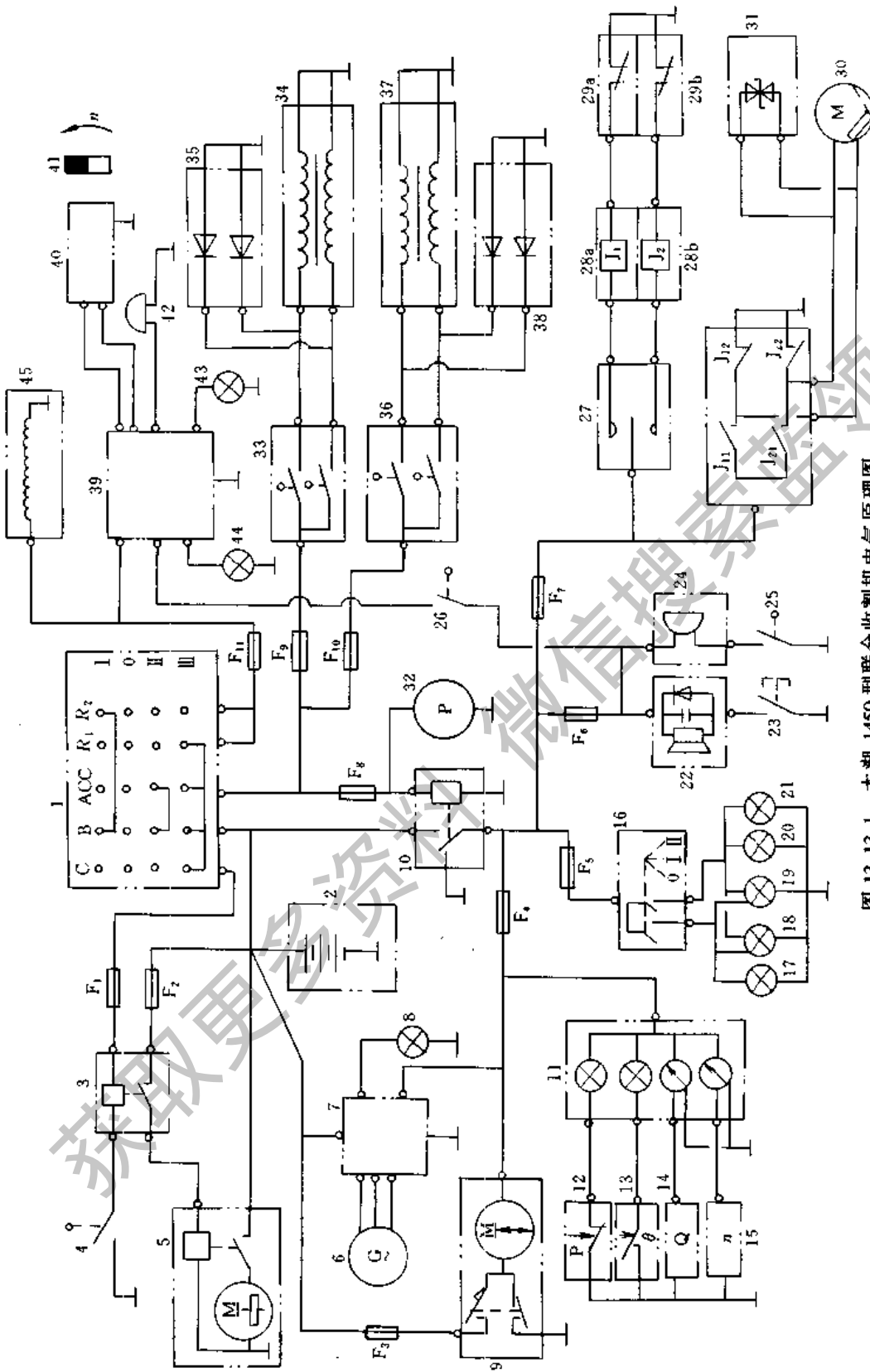


图 13.13.1 太湖-1450 型联合收割机电气原理图

1—电源开关;2—蓄电池;3—起动继电器;4—起动高合器开关;5—起动机;6—发电机;7—硅整流电压调节器;8—充电指示灯;9—停车电机;10—电源继电器;
 11—综合仪表;12—机油压力报警开关;13—水温报警开关;14—柴油液位传感器;15—转速传感器;16—照明灯开关;17—仪表内照明灯;18—左大灯;19—右大
 灯;20—喂入喇叭和二极管电容保护;21—喇叭开关;22—倒车开关;23—喇叭开关;24—倒车蜂鸣器;25—倒车蜂鸣器;26—脱粒离合器开关;27—喂入深浅开关;
 28a—喂入深浅继电器;28b—喂入深浅继电器;29a—喂入深浅限位开关;29b—喂入深浅限位开关;30—喂入电机;31—过电压保护;32—燃油泵;33—割台升降
 开关;34—割台升降电磁阀;35—续流二极管;36—续流二极管;37—转向电磁阀;38—续流二极管;39—综合单元;40—二次提升堵塞报警传感器;41—条形磁铁;
 42—报警蜂鸣器;43—报警指示灯;44—预热指示灯;45—预热指示灯(保险盒内);8、11、17、43、44 在仪表盘内

喇叭开关 23 接通时, 电流从 $F_6 \rightarrow$ 喇叭 22 \rightarrow 23 \rightarrow 地, 使喇叭鸣叫示警。

当处于倒档时, 倒车开关 25 接通, 电流由 $F_6 \rightarrow$ 蜂鸣器 24 \rightarrow 25 \rightarrow 地, 使 24 鸣叫示意倒车。

收割机脱粒工作时, 26 接通, 使电流从 $F_6 \rightarrow$ 综合单元 39 \rightarrow 地, 经 3s 延时后, 若 40 感应到磁铁 41 的磁场变化 (与二次提升搅龙同步) 少于 800r/min 时, 转化为电信号后传给 39, 使 39 让 42 和 43 同时报警, 应提高发动机转速或停机检查。

在调节喂入深浅时, 27 接通 28a, 触点 J_{12} 先断开后 J_{11} 合上, 使电流从 $F_7 \rightarrow J_{11} \rightarrow 30 \rightarrow J_{22} \rightarrow$ 地, 使喂入电机 30 正向旋转, 带动喂入机构喂深, 当回转到极限位置, 29a 断开, 使控制继电器 28a 断电, J_{11} 断开, J_{12} 合上, 30 停止回转, 换向时引起的过电压经引释放。

当 27 接通 28b 时, J_{22} 先断开后 J_{21} 合上, 使电流从 $F_7 \rightarrow J_{21} \rightarrow 30 \rightarrow J_{12} \rightarrow$ 地, 使 30 反向回转, 带动喂入机构喂浅, 当回转到极限位置, 29b 断开, 使喂入浅控制继电器 28b 断电, J_{21} 断开, J_{22} 合上, 使 30 停止回转。

5. 割台升降、转向和燃油泵工作电路

电源开关 I 处于 II 或 III 位置时, 电流从 $2 \rightarrow 1 \rightarrow F_8 \rightarrow 32 \rightarrow$ 地, 使燃油泵处于连续工作状态, 为发动机提供燃油。

当 I 处于 II 位置时, 收割机工作, 当割台升降开关一个闭合, 使电流从 $2 \rightarrow 1 \rightarrow F_9 \rightarrow 33 \rightarrow 34 \rightarrow$ 地, 使相应的电磁阀 34 通电动作, 实现割台升降。当整机转向时, 转向开关 36 的一个闭合, 同时使换向阀动作, 电流从 $F_{10} \rightarrow 36 \rightarrow 37 \rightarrow$ 地, 使对应的电磁阀 37 动作, 从而使整机转向。

第二节 常见故障及其处理方法

故障	故障分析		处理方法
	故障部位	故障原因	
不充电	线路	连接导线断、短路, 接插件处有松脱	查出故障部位, 紧固或更换导线、接插件
	硅整流调节器	调节器的整流二极管损坏	更换
起动机不转	线路	蓄电池与起动机连接电缆接头松动、氧化、搭铁不良	紧固接点, 清洁电瓶桩头、电缆接头
	起动机继电器	继电器触点氧化, 线圈短路或断路	清洁继电器触点, 修理或更换
	熔断器	熔断	更换
	起动机	电磁开关损坏、接触盘触点氧化, 电刷接触不良等	修理、清洁, 必要时更换
起动机不能起动	蓄电池	充电不足极板硫化, 内阻增大	充电, 并检查充电系统是否正常
	电源继电器	继电器触点氧化或线圈断路	清洁触点, 或更换
	电动泵	电动泵有脏物或损坏, 一次滤清堵塞	清洁必要时更换, 清洗一次滤清
	熔断器	熔断	更换
起动后, 切断电源开关起动机仍运转	起动机	电磁开关的接触盘与触点烧结	修理接触盘与触点
	起动机继电器	继电器触点烧结	修理或更换
喂入电机不转	喂入深浅开关	接触不良或损坏	更换
	控制继电器	触点氧化, 线圈断路	修理、清洁或更换
	限位开关	接触不良, 损坏	更换
	喂入电机	电刷接触不良, 电枢磁场短路	清洁、修理或更换
	线路	接插件有松动	紧固
割台升降失控	熔断器	熔断	更换
	升降微动开关	机械接触不良或损坏	修理, 必要时更换
二次提升报警没有	熔断器	熔断	更换
	综合单元	集成电路保险丝熔断或损坏	更换保险丝

第十四章 农村排灌用水泵

第一节 常用水泵

一般农村排灌站用水泵有三种类型，即离心泵、混流泵和轴流泵。

1. 离心泵

离心泵的种类很多，划分的方法也各不相同。在农业排灌中常用的有以下几种。

(1) 单级单吸离心泵 所谓单级，是指水泵只有一个叶轮。单吸指水从叶轮的一面进水。这种泵的扬程较高，流量较小，结构简单，重量轻，工作可靠，使用方便，价格便宜，适用于丘陵山区的一些小灌区。属于这类型的有 IS 型泵等。

(2) 单级双吸离心泵 双吸是指泵在工作时水从叶轮两面吸入。这种泵的流量比较大，工作可靠，装拆与维修都比较方便。但是泵的体积较大，泵体笨重，所以比较合适固定使用。属于这类泵的型号有 Sh 型和改进的 S 型泵等。

(3) 多级离心泵 这种泵实际上是将几个叶轮装在一根轴上串联起来工作。有几个叶轮就称几级。它的扬程和轴功率是各个叶轮的单级扬程和轴功率之和。多级泵的扬程较高，但结构复杂，比较笨重。属于这种类型的泵有 D 型泵等。

2. 混流泵

混流泵的特点是流量和扬程中等，介于轴流泵和离心泵之间，高效区宽，结构简单，重量轻，体积小，维护和检修都很方便，运行操作都很简单，适用于农村排灌需要。

根据混流泵压水室的结构不同，可以划分为蜗壳式混流泵和导叶式混流泵二种。

(1) 蜗壳式混流泵 这种混流泵的压水室是蜗壳型的，它的体积较大，但效率较高。目前常用的蜗壳式混流泵有 HBC 型、HW 型等。

(2) 导叶式混流泵 这种混流泵的压水室是导叶型的，泵壳是圆筒型，体积比较小。效率一般比蜗壳型混流泵低。导叶式混流泵的型号有 HD 型等。

3. 轴流泵

轴流泵是一种大流量、低扬程的泵。它的流量大约在 $0.1 \sim 60 \text{m}^3/\text{s}$ 范围内，适用于河网湖区的灌溉和排涝。它的分类有二种。

按泵轴的安装方式分类如下。

(1) 立式轴流泵 在轴流泵中，以立式轴流泵用得最多，特别是大、中型轴流泵，一般都是采用立式结构。这是因为立式轴流泵占地面积小，电动机安装在水泵的上面，离水面有一定的距离，容易保持干燥。立式轴流泵的叶轮浸在水中，因而起动方便。

(2) 卧式轴流泵 卧式轴流泵适用于低扬程灌区。它的泵体可以做成中开式，其拆装比较方便，便于检查泵的内部。传动轴也比较短。但是当卧式轴流泵安装于水面以上时，在起动前需要用真空泵引水。

(3) 斜式轴流泵 斜式轴流泵的水泵和电动机两者一起固定于公用基础上，一般采用 15° 、 30° 左右的倾斜角度。由于叶轮浸在水中，可以直接起动。

按叶片的调节方式分类如下。

按照轴流泵叶轮叶片调节的可能性可以分为固定叶片、半调节叶片和全调节叶片轴流泵三种。

(1) 固定叶片轴流泵 这种轴流泵的叶片是和轮体铸在一起，叶片角度是不变的。一般小型轴流泵是属于这种类型。

(2) 半调节叶片轴流泵 这种轴流泵的叶片是用螺母和短销（有的没有短销）压紧和固定在轮毂体上，在需要调节时只要松开压紧叶片的螺母，变更固定叶片的短销位置，就可以调节叶片的安装角度。这种调节方法应用在中、小型轴流泵中。

(3) 全调节叶片轴流泵 这种轴流泵可根据不同的扬程和流量，在停机或不停机的情况下，通过一套调节机构来改变叶片的安装角度，以满足流量和扬程的要求。

此外农用泵较常用的还有深井泵、潜水泵等，这两种泵都用于把深井中的水提到地面上来。常用深井泵的型号有J型和JD型，潜水泵的型号有QZ、QH、QHD等。

第二节 容量确定方法

1. 排灌流量的计算

(1) 灌溉设计流量 先需了解作物的灌溉用水情况，才可确定水泵设计流量。

$$Q = \frac{m A}{t T \eta}$$

式中 Q ——灌溉设计流量， m^3/h ；

m ——最大一次用水量灌水定额， $\text{m}^3/\text{亩}$ ；

A ——灌溉面积，亩；

t ——每昼夜进行灌水的时数，h；

T ——灌溉天数；

η ——灌区渠系水利用系数，一般明渠取0.7~0.8之间，防渗渠取0.9~0.95之间。

(2) 排水设计流量

$$Q = \frac{0.667 \times [A_{\text{稻}}(P - h_{\text{蓄}}) + A_{\text{旱}} CP - A_{\text{河}}(h_{\text{降}} - P)]}{3600 t T}$$

式中 Q ——排水设计流量， m^3/s ；

$A_{\text{稻}}$ ——圩内水稻田面积，亩；

$A_{\text{河}}$ ——河网水面积，亩；

$A_{\text{旱}}$ ——道路、村基和旱地面积，亩；

P ——一定频率下的日暴雨量，mm；

C ——旱地暴雨径流系数；

$h_{\text{蓄}}$ ——水稻田间临时可蓄水深，mm；

$h_{\text{降}}$ ——河网预降水深，mm；

T ——排水天数；

t ——每天开机时数，h；

0.667——单位换算系数。

2. 水泵设计扬程的计算

$$H = H_{\text{实}} + h_{\text{损}}$$

实际扬程

$$H_{\text{实}} = h_{\text{出}} - h_{\text{进}}$$

式中 $h_{\text{出}}$ ——灌溉渠系的渠首水位（最高水位），m；

$h_{\text{进}}$ ——进水池设计水位（历年灌溉季节枯水位的平均值），m。

损失扬程：

$$h_{\text{损}} = ALQ^2 + \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$$

式中 L ——进出水管总长，m；

A ——沿程损失系数；

Q ——水泵流量， m^3/s ；

V ——管道流速，m/s；

ζ ——局部损失系数；

g ——重力加速度。

一般

$$h_{\text{损}} = H_{\text{实}} \times 0.05$$

3. 水泵的选型

根据已确定的设计流量、设计水位，可利用“水泵性能表”结合当地的产品生产和供应情况选择水泵。

一般扬程为：10m以上选用离心泵；4~8m选用混流泵；4m以下选用轴流泵。

4. 动力的配套

动力的配套包括确定机型和功率，所需动力的功率应和水泵轴功率相配合，但应比水泵轴功率大。可用下

式计算：

$$N_{\text{配}} = K \frac{N_{\text{轴}}}{\eta_{\text{传}}}$$

式中 $N_{\text{配}}$ ——动力机的配套功率，kW；

$N_{\text{轴}}$ ——水泵的轴功率，kW；

$\eta_{\text{传}}$ ——传动效率，一般取 0.9~1.0；

K ——备用系数，可参考下表。

水泵轴功率/kW	< 5	5 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 100	> 100
K (电动机)	2 ~ 1.3	1.3 ~ 1.15	1.15 ~ 1.1	1.1 ~ 1.05	1.05
K (柴油机)		1.2 ~ 1.15	1.15 ~ 1.12	1.12 ~ 1.1	1.10

一般选配电机时，可按水泵铭牌或“水泵性能表”中规定的配套功率直接选配。

第三节 常见故障原因及修理

1. 水泵的常见故障和排除

(1) 水泵启动后不出水

① 可能是水泵启动前没有充水或充水不足或真空泵抽气不足，以致水还没有沿着进水管路上升到叶轮中心就进行启动。

排除方法：应重新充水或继续抽真空，当叶轮大部分浸在水中后再启动。

如果发现水始终充不足，说明底阀漏水，应修理。如果发现底阀真空度始终上不去或者从真空泵排气管里始终没有大量水排出时，则可能是排水管路中的闸阀或出水管口的拍门没有关紧，也有可能是进水管路漏气，或水泵填料压盖未压紧而漏气。

造成管子漏气的原因一是接口未接好，二是锈蚀穿孔或裂缝，属接口问题时应重新接口，属穿孔裂缝问题的应根据情况进行调换或修理。如果漏气的地方不大，也可用粘性较大的湿黄泥、胶布等临时堵贴一下。

② 叶轮转向不对，将电动机电源接线任意两根相线调换位置即可。

③ 水泵转速太低，原因一是电机转速不配套，二是电压太低或电网频率过低，此外还有水泵传动皮带轮直径算大的原因。

④ 泵站的实际总扬程大于水泵的扬程这种原因是选泵不当所造成的，应调换扬程合适的水泵。

⑤ 水泵进水管滤网周围或叶轮的流道中堵塞有杂草或其他杂物时水泵也会不出水。

⑥ 水泵在运行时吸进了硬物使叶片损坏或卡死。

⑦ 深井泵还可能是由于传动轴断裂，或泵体装配时由于锥形套紧固不够而使叶轮打滑，或轴向间隙调节过多而使叶轮松脱。

⑧ 潜水泵合闸后有“嗡嗡”声而不出水，原因一是缺相供电，电机不能启动；二是电压太低；三是叶轮被杂物卡住。

(2) 水泵出水量不足

① 水泵进水管路漏气。

② 水泵填料密封处漏气。

③ 进水管或水泵的淹没深度不够。进水管的深度一般要大于 1.4~1.6 倍的进水口直径。

④ 水泵的转速不够。

⑤ 水泵长期使用后，口环磨损较大，造成泵壳中压力水大量回流到吸水侧，从而使水量减少。

⑥ 水泵滤网或叶轮流道被杂草泥沙堵塞。

⑦ 半调节水泵叶片角度调小或松动。

(3) 水泵耗用功率过大

① 由于动力机转速比选高或因皮带轮的直径计算错误使水泵转速过高。

② 叶轮与泵壳之间的间隙过小，运转时产生机械摩擦，或者填料压得太紧、泵轴有弯曲，轴承有损坏。

③ 轴流泵安装中连接位置不对称或叶片安装角度超过规定值。

(4) 水泵运转中产生的噪音和振动

- ① 水泵、底座的地脚螺丝松动。
- ② 水泵轴弯曲、叶轮失衡。
- ③ 水泵吸程过高或水泵进水管淹没深度不够，进水条件不好。
- ④ 滚动轴承的滚球破碎。

(5) 轴承发热

- ① 轴承润滑不良，润滑油太多、太少或不清洁。
- ② 传动皮带太紧或将规定的联轴传动改为皮带传动。
- ③ 轴承安装不正确或磨损严重。

(6) 填料函发热或漏水过多

- ① 填料压得太紧。
- ② 填料位置装得不对，水封管的开口不能对准水封环，使压力水不能进入填料函中起到润滑和冷却作用。
- ③ 填料磨损过多，轴套有磨损，填料压盖过松或填料使用过久失去弹性。

2. 电器设备常见故障

(1) 起动设备（补偿器开关）

- ① 接线板烧坏。主要是由于螺丝没有拧紧而发热引起。
- ② 动、静触点烧坏。由于动作频繁，触点磨损烧毛。
- ③ 不能起动运转。由于实际电流超过热继电器热片额定电流引起。

(2) 电动机

- ① 电动机二相运转，声音不正常。一般因烧断熔丝或接线处烧断引起。
- ② 轴承发热。主要由于皮带过紧和轴承严重缺油引起。

(3) 真空设备

- ① 排气量不足，造成真空时间延长，使水泵不能出水。一般是真空管内吸入杂物造成。拆卸真空管道，清除杂物即可，一般杂物堵塞在阀门处。
- ② 填料处严重漏水，造成真空时间延长，加装填料即可。

第十四篇 安全用电及节约用电

第一章 安全用电

在电力设备的安装和使用过程中，由于所使用的电气设备不够完善，维修不及时，或操作不当，都可能引起意外事故。事故主要有两种：一种是由于电气设备或导线绝缘的损坏和操作不当引起了触电事故，另一种是由于电气设备或导线绝缘的损坏以及设备作长时间过载运行或操作不当，而引起了短路事故或过载事故，以致烧坏设备，引起火灾、爆炸等，严重的还会引起区域或地区性停电事故。这些事故不仅严重影响生产和生活，而且危及人身的安全。所以确保用电安全就具有十分重要的意义。

第一节 人体触电的危害

一、影响触电后果的因素

电流对人体的危害程度与通过人体的电流强度、通电持续时间、电流的频率、电流通过人体的部位（途径）以及触电者的身体状况等多种因素有关。

1. 电流强度

通过人体的电流越大，人体的生理反应越强烈，对人体的伤害就越大。按照人体对电流的生理反应强弱和电流对人体伤害程度，可将电流大致分为感知电流、摆脱电流和致命电流三级。感知电流是指能引起人体感觉但无有害生理反应的最小电流值；摆脱电流是指人触电后能自主摆脱电源而无病理性危害的最大电流；致命电流是指能引起心室颤动而危及生命的最小电流。上述这几种电流的阈值与触电对象的性别、年龄以及触电时间等因素有关。实验表明，当工频电流通过人体时，成年男性的平均感知电流为1mA，摆脱电流为10mA，致命电流为50mA（通电时间在1s以上时）。在一般情况下，可取30mA为安全电流，即以30mA为人体所能忍受而无致命危险的最大电流。但在有高度触电解除的场所，应取10mA为安全电流；而在空中或水面触电时，考虑到人体受电击后有可能会因痉挛而摔死或淹死，则应取5mA作为安全电流。

2. 电流通过人体的持续时间

触电致死的生理现象是心室颤动。电流通过人体的持续时间越长，越容易引起心室颤动，触电的后果也越严重。这一方面是由于通电时间越长，能量积累越多，较小的电流通过人体就可以引起心室颤动；另一方面是由于心脏在收缩与舒张的时间间隙（约0.1s内）对电流最为敏感，通电时间一长，重合这段时间间隙可能性就越大，心室颤动的可能性也就越大。此外，通电时间一长，电流的热效应和化学效应将会使人体出汗和组织电解，从而使人体温逐渐降低，流过人体的电流逐渐增大，使触电伤害更加严重。

3. 电流通过人体的途径

电流经任何途径通过人体可以致人死亡。电流通过心脏、中枢神经（脑部和脊髓）、呼吸系统是最危险的。因此，从左手到前胸是最危险的电流路径，这时心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电路内，很容易引起心室颤动和中枢神经失调而死亡；从右手到脚的途径的危险性要小些，但会因痉挛而摔伤，从右手至左手的危险性又比右手到脚要小些；危险性最小的电流途径是从左脚至右脚，但触电者可能因痉挛而摔倒，导致电流通过全身或二次事故。

4. 人体状况

人体电阻的大小是影响触电后果的重要物理因素。显然，当接触电压一定时，人体电阻越小，流过人体的电流越大，触电者也就越危险。

人体电阻包括体内电阻和皮肤电阻。体内电阻较小（约500Ω），而且基本不变。人体电阻主要是皮肤电阻，其值与诸多因素有关。接触电压、接触面积、接触压力、皮肤表面状况（干湿程度、有无组织损伤、是否出汗、有无导电粉尘、皮肤表层角质的厚薄）等因素都会影响到人体电阻的大小。

5. 作用于人体的电压

触电伤亡的直接原因在于电流在人体内引起的生理病变。显然，此电流的大小与作用于人体的电压高低有

关。这不仅是由于就一定的人体电阻而言，电压越高，电流越大，更由于人体电阻将随着作用于人体的电压升高而呈非线性急剧下降，致使通过人体的电流显著增大，使得电流对人体的伤害更加严重。我国规定适用于一般环境的安全电压为 36V。

6. 电流的频率

工频电流对人体的伤害最为严重，直流电流对人体的伤害较轻，高频电流对人体的伤害程度远不及工频电流严重，但电压过高的高频电流仍会使人触电致死。

二、电流对人体的伤害分类

所谓触电是指电流流过人体时对人体产生的生理和病理伤害。这种伤害是多方面的，可以分为电击和电伤两种类型。

1. 电击

电击是由于电流通过人体内而造成的内部器官在生理上的反应和病变，如刺痛、灼热感、痉挛、麻痹、昏迷、心室颤动或停跳、呼吸困难或停止等现象。

2. 电伤

电伤是电流对人体造成的外伤，如电灼伤、电烙印、皮肤金属化等。

(1) 电灼伤 电灼伤有接触灼伤和电弧灼伤两种。接触灼伤是发生高压触电事故时，在电流通过人体皮肤的进出口处造成的灼伤。一般进口处比出口处灼伤严重。接触灼伤面积虽较小，但深度可达三度。灼伤处皮肤呈黄褐色，可波及皮下组织、肌肉、神经和血管，甚至使骨骼碳化。由于伤及人体组织深层，伤口难以愈合，有的甚至需要几年才能结痂。

电弧灼伤发生在误操作或人体过分接近高压带电体而发生电弧放电时。这时高温电弧将如火焰一样把皮肤烧伤。被烧伤的皮肤将发红、起泡、烧焦、坏死。电弧还会使眼睛受到严重损害。

(2) 电烙印 电烙印发生在人体与带电体有良好接触的情况下，在皮肤表面将留下和被接触带电体形状相似的肿块痕迹。有时在触电后并不立即出现，而是相隔一段时间后才出现。电烙印一般不发炎或化脓，但往往造成局部麻木和失去知觉。

(3) 皮肤金属化 由于电弧的温度极高（中心温度可达 6000~10000℃），可使其周围的金属熔化、蒸发飞溅到皮肤表层而使皮肤金属化。金属化后的皮肤表面变得粗糙坚硬，肤色与金属种类有关，或灰黄（铜）或绿（紫铜）。金属化后的皮肤经过一段时间会自行脱落，一般不会留下不良后果。

必须指出，人身触电事故往往伴随着高空坠落或摔跌等机械性创伤。这类创伤虽起因于触电，但不属于电流对人身本身的直接伤害，可谓之触电引起的二次事故，亦应列入电气事故的范畴。

三、人体触电的方式

人体触电的方式多种多样，一般可分直接接触触电（即人体直接接触及或过分靠近正常带电体导致的触电）和间接接触触电（指人体触及正常情况下不带电而故障情况下变为带电的设备外露导体引起的触电）两种主要触电方式。此外，还有高压电场、高频电磁场、静电感应、雷击等对人体造成的伤害。

1. 直接接触触电

人体直接接触及或过分靠近电气设备及线路的带电导体而发生的触电现象称为直接接触触电。单相触电、两相触电、电弧伤害都属于直接接触触电。

(1) 单相触电 当人体直接碰触带电设备或线路的一相导体时，电流通过人体而发生的触电现象称之为单相触电。这种触电事故的规律及后果与电网中性点运行方式有关。

① 在中性点直接接地的电网中发生单相触电的情况 如图 14.1.1 (a) 所示。设人体与大地接触良好，土壤电阻忽略不计。由于人体电阻比中性点工作接地电阻大得多，加于人体的电压几乎等于电网相电压，这时流过人体的电流为：

$$I_m = \frac{U_\varphi}{R_m + R_0}$$

式中 U_φ ——电网相电压，V；

R_0 ——电网中性点工作接地电阻， Ω ；

R_m ——人体电阻， Ω ；

I_m ——流过人体的电流，A。

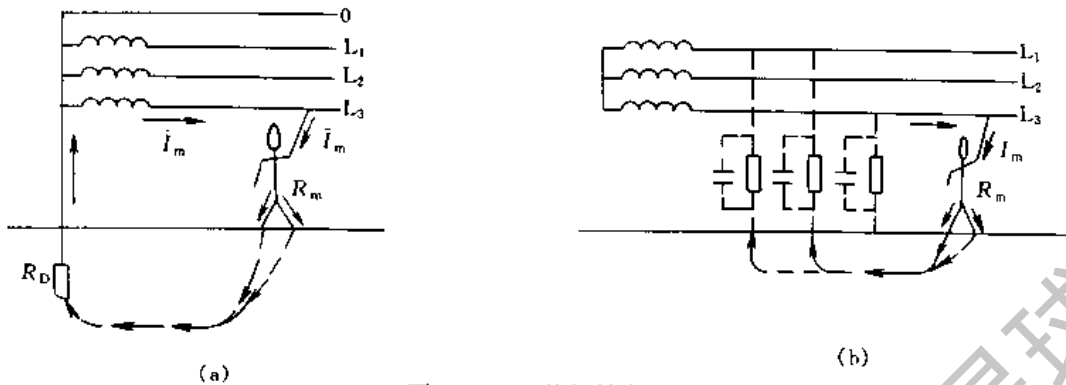


图 14.1.1 单相触电

对于 380/220V 三相四线制电网, $U_{\phi} = 220\text{V}$, $R_0 = 4\Omega$, 若取人体电阻 $R_m = 1700\Omega$, 则由式可算出流过人体的电流 $I_m = 129\text{mA}$, 远大于安全电流 30mA, 足以危及触电者的生命。

单相触电的后果与人体和大地间的接触状况有关。如果人体站在干燥的绝缘地板上, 由于人体与大地间有很大的绝缘电阻, 通过人体的电流就很小, 则不会有触电危险; 但如地板潮湿, 那就有触电危险。

② 中性点不接地电网中发生单相触电的情况 如图 14.1.1 (b) 所示。这时电流将从电源火线经人体, 其他两相的对地阻抗 (由线路的绝缘电阻和对地电容构成) 回到电源的中性点形成回路。此时, 通过人体的电流与线路的绝缘电阻和对地电容的数值有关。因低压电网中, 对地电容很小, 设备的绝缘电阻相当大, 通过人体的电流很小, 一般不致造成对人体的伤害。但当线路绝缘下降时, 单相触电对人体的危害仍然存在。而在高压中性点不接地电网中 (特别在对地电容较大的电缆线路上) 线路对地电容较大, 通过人体的电容电流, 将危及触电者安全。

(2) 两相触电 人体同时触及带电设备或线路中的两相导体而发生的触电方式称为两相触电, 如图 14.1.2 所示。两相触电时, 作用于人体上的电压为线电压, 电流将从一相导体经人体流入另一相导体, 这种情况是很危险的。以 380/220V 三相四线制为例, 这时加于人体的电压为 380V, 人体电阻按 1700 Ω 考虑, 则人体内部的电流将达 224mA, 足以致人死亡。因此, 两相触电要比单相触电严重得多。

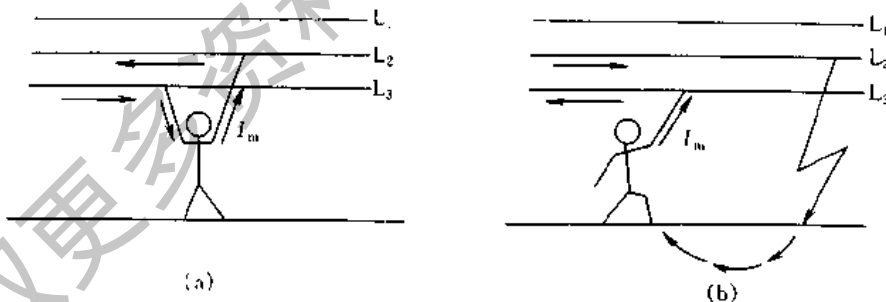


图 14.1.2 两相触电

(3) 电弧伤害 电弧是气体间隙被强电场击穿时电流通过气体的一种现象。之所以将电弧伤害视为直接触电, 是因为电弧是被游离的带电气态导体, 被电弧“烧”着的人, 将同时遭受电击和电伤。在引发电弧的种种情形中, 人体过分接近高压带电体所引起的电弧放电以及带负荷拉、合刀闸造成的弧光短路, 对人体的伤害往往是致命的。电弧不但使人受电击, 而且由于弧焰温度极高, 将对人体造成严重烧伤, 烧伤部位多见于手部、胳膊、脸部及眼睛。电弧辐射对眼睛的刺伤, 后果更为严重。此外, 被电弧熔化了了的金属颗粒侵蚀皮肤还会使皮肤组织金属化, 这种伤疤往往经久不愈。

2. 间接接触触电

电气设备在正常行动时, 其金属外壳或结构是不带电的。当电气设备绝缘损坏而发生接地短路故障 (俗称“碰壳”或“漏电”) 时, 其金属外壳便带有电压, 人体触及便会发生触电, 此谓间接接触触电。

(1) 接触电压及接触电压触电 当电气设备因绝缘损坏而发生接地故障时, 如人体的两个部分 (通常是手

和脚)同时触及漏电设备的外壳和地面,人体该两部分便处于不同的电位,其间的电位差即称为接触电压。由于受接触电压作用而导致的触电现象称为接触电压触电。

(2) 跨步电压及跨步电压触电 电气设备发生接地故障时,电流便经接地体或导线落地点呈半球形向地中流散,如图 14.1.3 (a) 所示。由于接近电流入地点的土层具有最小的流散面积,呈现出较大的流散电阻值,接地电流将在流散途径的单位长度上产生较大的电压降。于是,在电流入地点周围的土壤中和地表面各点便具有不同的电位分布,如图 14.1.3 (b) 电位分布曲线所示。

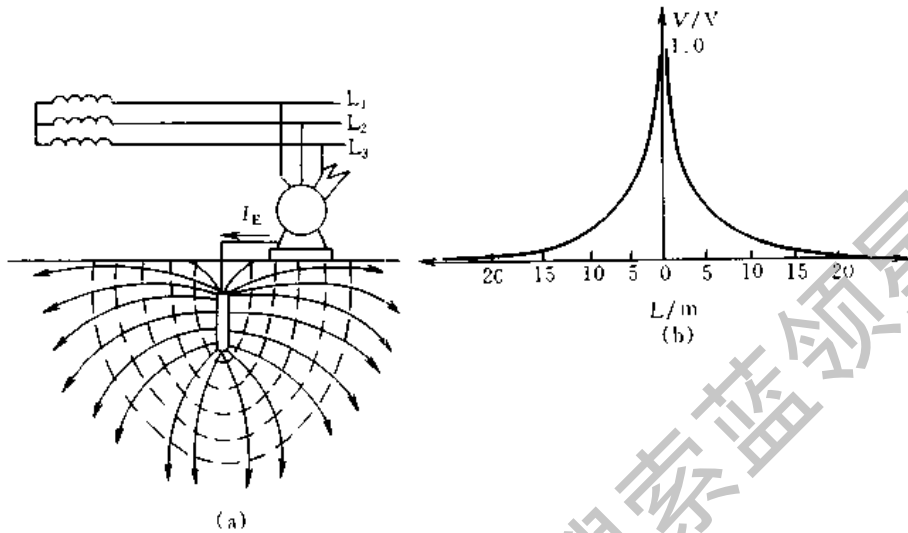


图 14.1.3 跨步电压及跨步电压触电

在接地电流入地点周围电位分布区(以电流入地点为圆心,半径为 20m 的范围内)行走的人,其两脚将处于不同的电位,两脚之间(一般人的跨步约为 0.8m)的电位差称之为跨步电压。显然人体距电流入地点越近,其所承受的跨步电压越高。触电者的症状是脚发麻,抽筋,跌倒在地。跌倒后,电流可能改变路径(如从头到手)而流经人体重要器官,使人致命。

必须指出,跨步电压触电还可发生在其他一些场合,如架空导线接地故障点附近或导线断落点附近,防雷接地装置附近地面等。预防跨步电压触电的措施是用双脚(单脚)跳出危险区域。

3. 静电对人体的伤害

金属物体受到静电感应及绝缘体间的摩擦起电是产生静电的主要原因。静电的特点是电压高,有时可高达数万伏,但能量不大。发生静电电击时,触电电流往往瞬间即逝,一般不至于有生命危险。但受静电瞬间电击会使触电者从高处坠落或摔倒,造成二次事故。

电工人员最常遇到的静电是断开大电容电气设备(电容器、电线等)后残存的静电。静电荷泄放很慢,为防止静电对人的电击,在这类设备上作业之前应用导体或经电阻进行放电。

4. 雷电的危害

雷害的特点是电压高,电流大,但作用时间短。雷击对人畜、建筑物和电力设施的破坏是极其严重的。防止人身受雷击的方法大致如下。

① 野外遇着雷电时,不要站在高大的树林下,也不要接触或靠近避雷针或高大的金属物体,应寻找屋顶下有较大空间的房屋避雨,如无合适场所避雨,可双脚并拢蹲下,应将手中握持的金属物体抛弃。打雷时,不要在河边洼地等潮湿的地方停留,不要在河水中游泳。

② 雷电时,禁止在室外变电所进户线上进行检修作业,室内人员最好远离电线、无线电天线以及与其相连的设备 1.5m 以外。

③ 电子设备的外接天线应有可靠的防雷措施,在雷雨季节不要使用室外天线,以免将雷电引入电视机等电子设备,造成电视机爆炸及人身被雷击事故。

第二节 防止人体触电的技术措施

电气安全防护技术是预防各类电气事故所采取的一系列最基本的安全防护技术措施。正确地采取这些措

施,是实现安全用电,预防各类电气事故发生最有效的手段。

一、绝缘

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来。良好的绝缘是保证设备和线路正常运行的必要条件,也是防止触电事故的重要措施。为了防止绝缘损坏造成事故,应当按照规定严格检查绝缘性能。

二、屏护

身处安全距离之外的电工人员,虽可免触电之害,但由于人们难于直观地认知设备是否带电及电压的高低,再加上有时注意力分散,工作人员仍有偶然触及或过分接近带电体而遭受电击或电伤的危险。采用栅栏、围墙、遮栏、保护网等屏护措施将带电体间隔起来,可以有效地防止上述危险情况的发生。

三、安全标志

在有触电危险的场所或容易产生误判断、误操作的地方,以及存在不安全因素的现场,设置醒目的文字或图形标志,提示人们识别、警惕危险因素,对防止人们偶然触及或过分接近带电体而触电具有重要作用。

四、安全间距

为了防止人体触及或接近带电体造成触电事故,为了避免车辆或其他器具碰撞或过分接近带电体造成事故,以及为了防止火灾、过电压放电和各种短路事故,为了操作方便,在带电体与地面之间、带电体与其他设施和设备之间,带电体与带电体之间均需保持一定的安全距离。安全距离的大小决定于电压的高低、设备的类型、安装的方式等因素。

五、安全电压

从保护人身安全的意义来说,可以称人体持续接触而不会使人直接致死或致残的电压为安全电压。根据不同的环境,正确选用相应额定值的安全电压作为供电电压,是一项防止触电伤亡事故的重要技术措施。表14.1.1列出了不同场合下的安全电压值。

表 14.1.1 不同场合下的安全电压

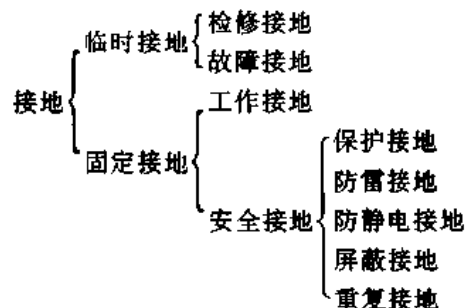
类别	接触状态	通过人体的容许电流 /mA	人体电阻 /Ω	安全电压 /V
第一种	人体大部分浸于水中的状态	5	500	2.5 以下
第二种	人体显著淋湿状态;人体一部分经常接触到电气装置金属外壳和构造物的状态	50	500	25 以下
第三种	除一、二两种状态外的情况,对人体加有接触电压后危险性高的状态	30	1700 (接触电压为50V的人体电阻)	50 以下
第四种	除一、二两种状态以外的情况,对皮肤加有接触电压后,危险性低或无危险的情况	不规定		无限制

六、保护接地和接零

电气设备的接地(接零)是安全技术防护中最重要的、最基本的、最有效的措施,它对确保电工作业的人身安全和电气设备的安全运行起着非常重要的作用。

1. 接地分类

接地可根据使用场合的不同进行如下分类:



2. 基本概念

(1) 关于“接地”的概念 接地有正常接地和非人为的故障接地之分。这里所说“接地”,一般是指人为的正常接地。

为满足电气装置和系统的工作特性及安全防护的要求，而将电气装置和系统的某部分与土壤间作良好的电气连接，称为接地。

① 工作接地。根据电力系统运行工作的需要而进行的接地（如系统中变压器中性点的接地），称为工作接地。

② 保护接地。将电气装置的金属外壳和架构（即设备的外露可导电部分）与接地装置作电气连接，因为它对间接触电有防护作用，故称作保护接地。

③ 保护接零。为对间接触电进行防护，将电气装置的外壳和架构与电力系统的接地点（如接地中性点）直接进行电气连接，称作保护接零。

④ 重复接地。将零线一处或多处通过接地装置与大地再次连接。通常在低压接地电网中，在架空线的干线和分支线的终端及沿线每 1km 处应重复接地。重复接地的作用是预防零线断裂产生的危险电压。

(2) “地”和对地电压 当电气设备发生接地故障时，接地电流经接地装置向大地作半球形散开。这一半球形面与接地体距离越远，接地电流流散时产生的电压降就小，电位就越低。实验证明，在离开单根接地体或接地点 20m 以外的地方，该电位已不再变化，并趋近于零。我们把这零电位的地方称为电气上的“地”。

所谓对地电压即是指电气装置的接地部分与零电位“地”之间的电位差。

3. 保护接地和保护接零的基本原理

保护接地和保护接零可统称为保护接地。因为这两种保护措施的设备金属外壳都是接地的，所不同的是：保护接地是电源侧的接地和电气设备的金属外壳接地是分开的，而保护接零则是经公共的 PE 线或 PEN 线与电源共同接地。

保护接地和保护接零的保护原理，可按下面三种情况加以简明的分析。

(1) 不采取任何保护措施时 图 14.1.4 假定电动机装在导电不良的水泥墩上，忽略它的对地漏电。在 380/220V 的三相四线中性点直接接地的电网中，当任一相碰外壳时，则通过人体的电流为：

$$I_m = \frac{U}{R_0 + R_m}$$

式中 R_0 ——供电系统中性点工作接地电阻，取 4Ω ；
 R_m ——人体电阻，取 800Ω 。

则

$$I_m = \frac{220}{4 + 800} = \frac{220}{804} \approx 0.274\text{A}$$

此电流通过人体足以致人死亡。这时人体所受的电压为 $0.274 \times 800 \approx 219\text{V}$ 。

(2) 采用保护接地 从图 14.1.5 可见，一旦发生上述同样的故障，当人体未触及外壳时电路中的电流为：

$$I_{id} = \frac{U}{R_0 + R_D} = \frac{220}{4 + 4} = 27.5\text{A}$$

式中 R_D ——保护接地装置的接地电阻，这里取 4Ω 。

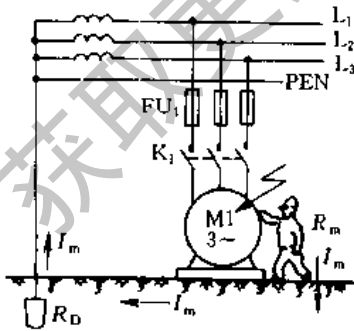


图 14.1.4 不采取任何保护措施

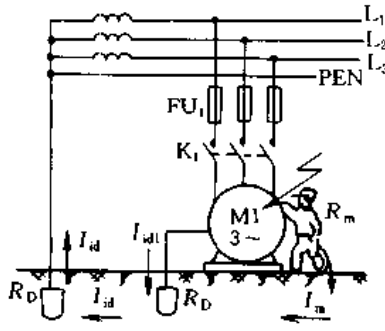


图 14.1.5 采用保护接地

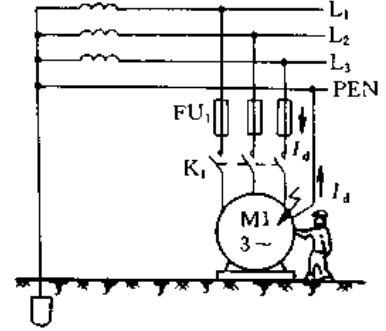


图 14.1.6 采用保护接零

电动机外壳所带的电压为 $I_{id} \times R_D = 27.5 \times 4 = 110\text{V}$

此接地短路电流足以使较小的电动机线路的保护熔丝 FU_1 熔断或低压断路器跳闸，迅速切断电源。

但是，当用电设备及熔丝的额定电流较大时，接地短路电流不足以使电源速切断。此时若有人触及带电外

壳, 则人体电阻 $R_m = 800\Omega$ 与 $R_D = 4\Omega$ 并联, 由于 R_m 相对很大, 故并联后对总电阻几乎没有影响, 电动机外壳电压仍为 110V, 即人体所承受的电压约 110V, 为不接地时的 1/2, 使触电时的安全情况较不接地时有所改善。

在工厂企业中, 如有多台电动机或较大电动机时, 应改善接地装置, 如用多根接地极连成接地网, 并充分利用自然接地极, 尽量降低接地电阻 R_D , 以确保安全保护作用。

(3) 采用保护接零 见图 14.1.6, 当采用保护接零而发生上述同样的一相绝缘损坏碰外壳的故障时, 电流从 L_3 相通过碰壳点流至保护零线 (PEN 为保护零线和工作中性线合用的线), 然后经零干线流回至电源中性点。如忽略碰壳点的接触电阻, 则故障电流可近似地认为仅由变压器 L_3 相的绕组阻抗 Z_{CZ} 、 L_3 相相线的阻抗 Z_C 与零线的阻抗 Z_0 之和来确定, 设 $Z_{CZ} = 0.1\Omega$, $Z_C = 0.1\Omega$, $Z_0 = 0.2\Omega$, 则总阻抗为: $Z = 0.1 + 0.1 + 0.2 = 0.4\Omega$, $I = U/Z = 220/0.4 = 550A$ 。

4. 保护接地和保护接零注意事项

① 380/220V 电网的中性点必须在电源处直接接地。在电源的中性点不接地或接地断开的情况下, 如果有一相发生接地故障, 会引起整个中性线电位升高至近似于 220V 的相电压, 使全部接零的电气设备外壳都带相应的电压, 这是很危险的。

② 同一低压电网中, 不允许一部分电气设备采用保护接地, 而另一部分采用保护接零。

③ 在零线的全长应重复接地, 要求重复接地的地点是: 架空线的干线和分支线终端及沿线每 1km 处, 线路进建筑物处等。用此措施防止零线断裂造成的断点以后接零设备故障漏电时外壳电压升高而失去保护。

④ 零线同相线的敷设一样, 注意安装妥善, 防止断裂。零线不得装在架空线之上, 防止零线断落后接触相线而带较高电压。

⑤ 零线上不得装熔断器或开关, 这是为了保证零线的电气连续、可靠, 以防熔丝熔断或零线开关断开时零线带电。

⑥ 为保证电气设备碰壳短路时熔断器或低压断路器能立即动作, 零线应有足够的截面, 保证电网作一点在导电部分与被接地部分或零线之间发生短路时, 短路电流能使最近处的熔断器或低压断路器可靠地切除故障。

⑦ 零线外表面应与相线有明显的区别, 以防接线错误, 便于维修。例如零线排应漆成蓝色, 设备外壳保护零线采用黄绿组合色绝缘芯线等。

5. 接地装置

(1) 自然接地体 接地装置可采用埋在地下的自来水管等自然接地体。对于居民住宅、办公楼等家用电器可只用一根可靠的自然接地体接地; 但在工厂企业等用户处, 要求接地体不少于两根, 其中一根可利用自然接地体。虽然接地体允许采用自来水管作自然接地体, 但必须确保其连接的可靠性和电气连续性。即作接地用的地上自来水管道与埋在地下的管道必须有很好的电气连接, 中间必须接触良好, 不能有塑料等不导电的接头, 如遇塑壳水表等非导电元件, 则应用铜导线跨接 (跨接的铜导线应与接地线截面相同), 使接地回路在电气上能连接成一体, 在任何两点之间的电阻值不大于 1Ω 。特别要注意: 高层建筑内由顶部水箱引下的管道, 如不与埋入地下的自来水管紧密连接好, 则不能作为接地体使用。此外, 还要注意不得利用煤气管道等易燃易爆的气体管道作为接地体或接地线使用。

可用作自然接地体的还有与大地有可靠连接的建筑物和构筑物的金属构架、自流井的插入金属管等。利用自然接地体时, 应采用不少于两根导线在不同地点连接接地体作接地干线。

(2) 人工接地体 人工接地体多采用钢管、角钢、扁钢、圆钢制成。一般情况下, 接地体垂直埋设, 多岩石地区接地体可水平埋设。

垂直埋设的接地体常采用直径 40~50mm 的钢管或 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 4\text{mm}$ ~ $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的角钢。垂直接地体的长度以 2.5m 左右为宜。垂直接地体由两根以上的钢管或角钢组成, 可以成排布置, 也可以作环形布置或放射形布置。相邻钢管或角钢之间的距离以不超过 3~5m 为宜。钢管或角钢上端用扁钢连接成一个整体。

(3) 接地线 接地线可采用绝缘导线 (铜或铝芯) 或裸导线 (包括扁钢、圆钢, 但其地下部分不允许用裸铝导体)。接地线也可采用①建筑物或生产用的金属结构 (如梁、柱、行车轨道、配电屏外壳、电梯竖井、起重机等) 的构架; ②布线用的钢管; ③上下水道等金属管道。无论采用上述哪种导体作为接地线, 都应保证电气通路的连续性, 不得有损伤折断。接头处应用焊接、压接等可靠方法连接。接地线的截面不应小于相线截面的 50%, 当相线截面小于 16mm^2 时, 接地线的截面不应小于相线截面的 1/3。

七、漏电保护器

1. 漏电保护器原理

漏电电流动作保护器（剩余电流动作保护器）简称 RCD，可以对低压电网中的直接接触电和间接触电进行有效的防护，因此得到了广泛的应用。

漏电保护器的特点，就在于它在反应触电和漏电方面具有独特的优点，即高灵敏性和快速性，这是其他保护电器，如自动开关和熔断器等所不能比拟的。

图 14.1.7 所示为电流型漏电保护器的基本电气原理图。图中 LH 为剩余电流互感器，其环状铁芯由高导磁率的坡莫合金或非晶态合金制成，其上绕有二次侧线圈，电源线 L_1 、 L_2 、 L_3 及零线 N 从 LH 中穿过，构成其一次侧线圈。LH 的作用是反映漏电电流信号，故构成整个装置的检测部分；用于测量放大漏电电流信号的，构成装置的比较、控制部分；JC 为接触器，构成装置的执行部分，其作用是执行动作命令。

在正常情况下，漏电保护装置所控制的电路中没有人身触电及漏电等接地故障，各相电流的相量和等于零，即 $i_a + i_b + i_c = 0$ 。同时各相电流在 LH 铁芯中所产生的磁通向量和也等于零，即 $\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c = 0$ 。这样在 LH 的二次回路中就没有感应电势输出，漏电装置不动作。

当电路中发生触电或漏电故障，回路中有漏电电流流过，这时穿过 LH 的三相电流相量和不等于零，其相量和为 $i_a + i_b + i_c = I_\Delta$ (I_Δ 为漏电电流)。因而“LH”中磁通向量和也不等于零，即 $\varphi_a + \varphi_b + \varphi_c = \varphi_\Delta$ 。这样在 LH 的二次线圈中就有了一个感应电压，此电压加于检测部分的电子放大电路，与保护装置的预定动作电流值相比较，如大于动作电流，即使灵敏继电器动作，作用于执行元件掉闸。

2. 漏电电流动作保护器常见形式分类及额定值

(1) 常见形式分类 根据漏电保护装置所具有的保护功能和结构特征，大体上可分为以下三类。

① 漏电继电器。只具备检测和判断功能而不具备开闭主电路功能的漏电保护装置，通常称为漏电继电器，漏电继电器由检测元件——零序电流互感器、判断元件——漏电脱扣器和输出信号的辅助触点构成。把这三个部分组装在一个绝缘外壳中的产品称为组装式漏电继电器。把零序电流互感器和其余两部分分开安装在两个外壳中的产品称为分装式漏电继电器。

漏电继电器，通常可以与带有分励脱扣器的自动开关或电磁接触器组成分装式的漏电开关。漏电继电器检测到漏电信号后，辅助触点动作，控制自动开关分励脱扣电磁线圈的供电回路，使自动开关或接触器断开，切断主回路，从而达到漏电保护的目的。漏电继电器也可以控制指示灯或蜂鸣器等声光元件，组成漏电报警装置，当发生漏电时，不断开主回路，仅发出声、光指示，告诉操作人员应及时进行检修。

这种由漏电继电器组成的分装式漏电开关，一般容量比较大，动作电流也较大，适宜于作为低压电网的总保护或主干线保护。主要作为接地、漏电保护，和电气设备的金属外壳保护相配合，可以达到良好的间接接触保护。由漏电继电器组成的漏电报警装置通常用在要求连续供电的流水工艺过程中，或一些重要负载的供电回路上，如消防设施、石油、化工等行业的供电回路，监视线路的绝缘。

漏电中继电器的零序电流互感器按不同的保护场合可以接在主回路中，也可以接在配电变压器的接地线上。

② 漏电开关。将零序电流互感器、漏电脱扣器和自动开关组装一个绝缘外壳中，同时具备检测、判断和分断电路功能的漏电保护装置称为漏电开关。根据漏电开关的保护功能，又可分为带过电流保护的漏电开关、不带过电流保护的漏电开关和带有过电压保护功能的漏电开关。

a. 带过电流保护漏电开关：除了具有漏电保护功能之外，还兼有过载、短路保护功能漏电开关。

b. 不带过电流保护的漏电开关：这种漏电开关除了具有漏电保护功能之外，不具备其他保护功能。这种漏电开关没有过电流保护，所以安装使用时，其电源一侧必须配装相应的过电流保护装置，如熔断器等，一般在漏电开关的产品使用说明书中应提供配装熔断器规格。这种产品的特点是体积小，结构较简单，造价便宜，适合于家庭使用。

c. 带有过电压保护功能的漏电开关：这种漏电开关除具有漏电保护功能外，还具有工频电压保护功能。

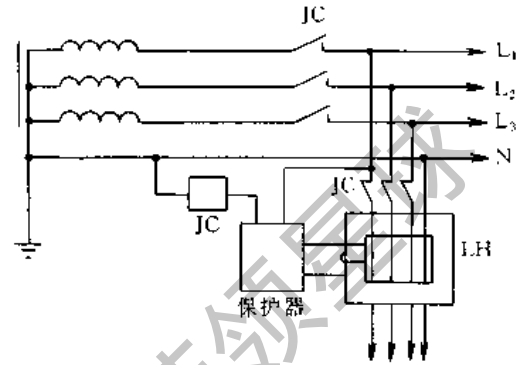


图 14.1.7 电流型漏电保护器基本电气原理图

当电源电压发生波动时,如相电压波动过高,会对电器构成威胁,带有过电压保护的漏电开关能在电压达到一定数值时,自动切除电路,避免电气设备因过电压而损坏。

③ 漏电保护插座。因为在插座回路较易引起触电事故,所以许多国家规定了家用或类似设备使用的带有插座的供电回路,必须安装漏电开关。把漏电开关和插座组合在一起的漏电保护装置,称为漏电保护插座。这种产品使插座回路具备了触电保护功能,特别适用于移动设备和家用电器使用。

④ 漏电保护装置(开关型)。按主开关的极数和电流回路数可分为单相单极漏电开关、单相双极漏电开关、三相三极漏电开关、三相四线漏电开关(三极)和三相四极漏电开关。

(2) 漏电电流动作保护器的额定值 保护器额定值含以下主要内容。

① 额定频率(Hz)。额定频率应为50Hz。

② 额定电压 U_n 。额定电压为220、380V。

③ 辅助电源额定电压 U_m 。辅助电源额定电压的优选值为:

直流:12、24、40、60、110、220V

交流:12、48、220、380V

④ 额定电流 $I_{\Delta n}$ 。额定电流值为6、10、16、20、25、32、40、50、(60)、63、100、(125)、160、200、250A。

带括号的不优先推荐采用。

⑤ 额定漏电动作电流 $I_{\Delta n}$ 。额定漏电动作电流值为0.006、0.01、(0.015)、0.03、(0.05)、(0.075)、0.1、(0.2)、0.3、0.5、1、3、5、10、20A。

带括号的值不优先推荐采用。

⑥ 额定漏电不动作电流 $I_{\Delta n}$ 。额定漏电不动作电流的优选值为 $0.5I_{\Delta n}$ 。

⑦ 漏电保护器的分断时间。直接接触补充保护用漏电保护器的最大分断时间如表14.1.2。间接触电保护用漏电保护器的最大分断时间如表14.1.3。

表 14.1.2 直接接触补充保护用漏电保护器最大分断时间

$I_{\Delta n}/A$	I_n/A	最大分断时间/s		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	0.25A
≤ 0.03	任何值	0.2	0.1	0.4

表 14.1.3 间接触电保护用漏电保护器最大分断时间

$I_{\Delta n}/A$	I_n/A	最大分断时间/s		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$
≤ 0.03	任何值	0.2	0.1	0.04
	$> 40^{\text{①}}$	0.2		0.15

① 适用于漏电保护组合器。

延时型漏电保护器只适用于间接触电保护, $I_{\Delta n} > 0.03A$ 。

延时型漏电保护器延时时间的优选值为:0.2、0.4、0.8、1、1.5、2s。

第三节 触电急救

人触电以后,会出现神经麻痹、呼吸困难、血压升高、昏迷、痉挛,直至呼吸中断、心脏停跳等险象,呈现昏迷不醒的状态,如果未见明显的致命外伤,就不能轻率地认定触电者已经死亡,而应该看作是“假死”,施行急救。

有效的急救在于快而得法。即用最快的速度,施以正确的方法进行现场救护。多数触电者是可以得活的。有触电后经5h救护而脱险的记录,这说明触电急救对于减少触电死亡率是有效的。但因抢救无效而死亡者亦不乏其例,究其原因,除了发现过晚的因素外,救护人不掌握触电急救方法是未能将触电者救活的主要原因,这说明掌握触电急救知识和技能的重要性。

触电急救的第一步是使触电者迅速脱离电源,第二步是现场救护。

一、使触电者脱离电源

电流对人体的作用时间愈长，对生命的威胁愈大。所以，触电急救的要旨是首先使触电者迅速脱离电源。可根据具体情况，选用下述几种方法使触电者脱离电源。

1. 脱离低电源的方法

脱离低压电源的方法可用“拉”、“切”、“挑”、“拽”、“垫”五个字来概括。

“拉”指就近拉开电源开关，拔出插销或瓷插保险。此时应注意拉线开关和板把开关是单极的，只能断开一根导线，有时由于安装不符合规程要求，把开关安装在零线上，这时虽然断开了开关，人身触及的导线可能仍然带电，这就不能认为已切断电源。

“切”指用带有绝缘柄的利器切断电源线。当电源开关、插座或瓷插保险距离触电现场较远时，可用带有绝缘手柄的电工钳或有干燥木柄的斧头、铁铤等利器将电源线切断。切断时应防止带电导线断落触及周围的人体，多芯绞合线应分相切断，以防短路伤人。

“挑”如果导线搭落在触电者身上或压在身下，这时可用干燥的木棒、竹竿等挑开导线或用于干燥的绝缘绳套拉导线或触电者，使之脱离电源。

“拽”救护人可戴上手套或在手上包缠干燥的衣服、围巾、帽子等绝缘物品拖拽触电者，使之脱离电源。如果触电者的衣裤是干燥的，又没有紧缠在身上，救护人可直接用一只手抓住触电者不贴身的衣裤，将触电者拉脱电源。但要注意拖拽时切勿触及触电者的体肤。救护人亦可站在干燥的木板、木桌椅或橡胶垫等绝缘物品上，用一只手把触电者拉脱电源。

“垫”如果触电者由于痉挛手指紧握导线或导线缠绕在身上，救护人可先用干燥的木板塞进触电者身下使其与地绝缘来隔断电源，然后再采取其他办法把电源切断。

2. 脱离高压电源的方法

由于装置的电压等级高，一般绝缘物品不能保证救护人的安全，而且高压电源开关距离现场较远，不便拉闸。因此，使触电者脱离高压电源的方法与脱离低压电源的方法有所不同，通常的做法是：

① 立即电话通知有关供电部门拉闸停电；

② 如电源开关离触电现场不甚远，则可戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，拉开高压断路器，或用绝缘棒拉开高压跌落保险以切断电源；

③ 往架空线路抛挂裸金属软导线，人为造成线路短路，迫使继电保护装置动作，从而使电源开关跳闸，抛挂前，将短路线的一端先固定在铁塔或接地引下线上，另一端系重物，抛掷短路线时，应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全，也要防止重物砸伤人；

④ 如果触电者触及断落在地上的带电高压导线，且尚未确证线路无电之前，救护人不可进入断线落地点8~10m的范围内，以防止跨步电压触电，进入该范围救护人员应穿上绝缘靴或临时双脚并拢跳跃地接过触电者，触电者脱离带电导线后应迅速将其带至8~10m以外，立即开始触电急救，只有在确证线路已经无电，才可在触电者离开触电导线后就地急救。

3. 在使触电者脱离电源时应注意的事项

① 救护人不得采用金属和其他潮湿的物品作为救护工具。

② 未采取绝缘措施前，救护人不得直接接触触电者的皮肤和潮湿的衣服。

③ 在拉拽触电者脱离电源的过程中，救护人宜用单手操作，这样对救护人比较安全。

④ 当触电者位于高位时，应采取预防措施防止触电者在脱离电源后坠地摔伤或摔死。

⑤ 夜间发生触电事故时，应考虑切断电源后的临时照明问题，以利救护。

二、现场救护

触电者脱离电源后，应立即进行抢救。“立即”之意就是争分夺秒，不可贻误。“就地”之意就是不能消极地等待医生的到来，应在现场施行正确的救护的同时，派人通知医务人员到现场并做好将触电者送往医院的准备工作。

根据触电者受伤的轻重程度，现场救护有以下几种抢救措施。

1. 触电者未失去知觉的救护措施

如果触电者所受的伤害不太严重，神志尚清醒，只是心悸、头晕、出冷汗、恶心、呕吐、四肢发麻、全身乏力，甚至一度昏迷，但未失去知觉，则应让触电者在通风暖和的处所静卧休息，并派人严密观察，同时请医生前来或送往医院诊治。

2. 触电者已失去知觉（心肺正常）的抢救措施

如果触电者已失去知觉，但呼吸和心跳尚正常，则应使其舒适地平卧着，解开衣服以利呼吸，四周不要围人，保持空气流通，冷天应注意保暖，同时立即请医生前来或送往医院诊察。若发现触电者呼吸困难或心跳失常，应立即施行人工呼吸或胸外心脏挤压。

3. 对“假死”者的急救措施

如果触电者呈现“假死”（即所谓电休克）现象，则可能有三种临床症状：一是心跳停止，但尚能呼吸；二是呼吸停止，但心跳尚存（脉搏很弱）；三是呼吸和心跳均已停止。“假死”症状的判定方法是“看”、“听”、“试”。“看”是观察触电者的胸部、腹部有无起伏动作；“听”是耳贴近触电者的口鼻处，听他有无呼气声音；“试”是用手或小纸条试测口鼻有无呼吸的气流，再用两手指轻压一侧（左或右）喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动感觉。如“看”、“听”、“试”的结果，既无呼吸又无颈动脉搏动，则可判定触电者呼吸停止或心跳停止或呼吸心跳均停止。“看”、“听”、“试”的操作方法见图 14.1.8 所示。

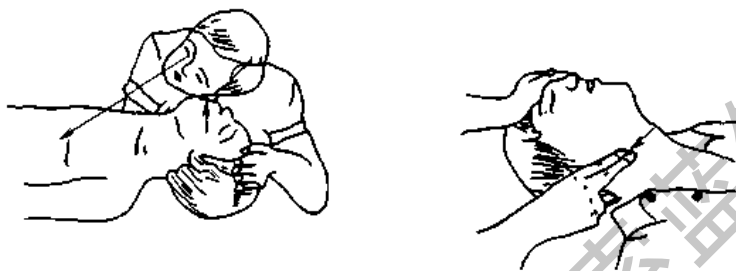


图 14.1.8 判断“假死”的方法

当判定触电者呼吸和心跳停止时，应立即按心肺复苏法就地抢救。所谓心肺复苏法就是支持生命的三项基本措施，即通畅气道，口对口（鼻）人工呼吸，胸外按压（人工循环）。

(1) 通畅气道 若触电者呼吸停止，要紧的是始终确保气道通畅，其操作要领如下。

① 清除口内异物。使触电者仰面躺在平硬的地方，迅速解开其领扣、围巾、紧身衣和裤带。如发现触电者口内有食物、假牙、血块等异物，可将其身体及头部同时侧转，迅速用一个手指或两个手指交叉从口角处插入，从中取出异物，操作中要注意防止将异物推到咽喉深处。

② 采用仰头抬颏法。见图 14.1.9 通畅气道，操作时，救护人用一只手放在触电者前额，另一只手的手指将其颏颌骨向上抬起，两手协同将头部推向后仰，舌根自然随之抬起，气道即可畅通。气道是否畅通见图 14.1.10 所示，为使触电者头部后仰，可于其颈部下方垫适量厚度的物品，但严禁用枕头或其他物品垫在触电者头下，因为头部抬高前倾会阻塞气道，还会使施行胸外按压时流向脑部的血量减小，甚至完全消失。



图 14.1.9 仰头抬颏法



图 14.1.10 通畅气道

(2) 口对口（鼻）人工呼吸 救护人在完成气道通畅的操作后，应立即对触电者施用口对口或口对鼻人工呼吸，见图 14.1.11，口对鼻人工呼吸用于触电者嘴巴紧闭的情况。人工呼吸的操作要领如下。

① 先大口吹气刺激起搏。救护人蹲跪在触电者的左侧或右侧，用放在触电者额上的手的手指捏住其鼻翼，

另一只手的食指和中指轻轻托住其下巴；救护人员深吸气后，与触电者口对口紧合，在不漏气的情况下，先连续大口吹气两次，每次1~1.5s，然后用手指试测触电者颈动脉是否有搏动，如仍无搏动，可判断心跳确已停止，在施行人工呼吸的同时应进行胸外按压。

② 正常口对口人工呼吸。大口吹气两次试测搏动后，立即转向正常的口对口人工呼吸阶段。正常的吹气频率是每分钟约12次。正常的口对口人工呼吸操作姿势如上述，但吹气量不需过大，以免引起胃膨胀，如触电者是儿童，吹气量宜小些，以免肺泡破裂。救护人换气时，应将触电者的鼻或口放松，让他借自己胸部的弹性自动吐气，吹气和放松时要注意触电者胸部有无起伏的呼吸动作。吹气时如有较大的阻力，可能是头部后仰不够，应及时纠正，使气道保持畅通。触电者如牙关紧闭，可改用口对鼻人工呼吸。吹气时要将触电者嘴唇紧闭，防止漏气。

(3) 胸部按压 胸外按压是借助人力使触电者恢复心脏跳动的急救方法。其有效性在于选择正确的按压位置和采取正确的按压姿势，见图14.1.12。操作要领简述如下。

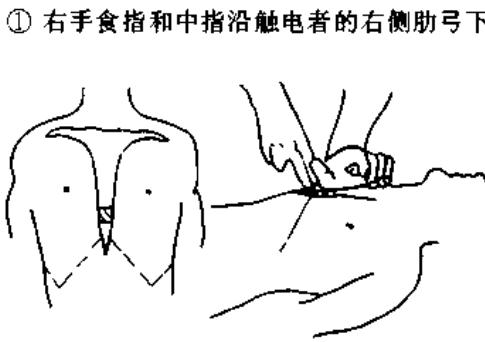


图 14.1.12 胸部按压位置

① 右手食指和中指沿触电者的右侧肋弓下缘向上，找到肋骨和胸骨接合处的中点。

② 右手两手指并齐，中指放在切迹中点（剑突底部），食指平放在胸下部，另一只手的掌根紧挨食指上缘置于胸骨上，掌根处即为正确的按压位置，见图14.1.12。

③ 使触电者仰面躺在平硬的地方并解开衣服，仰卧姿势与口对口（鼻）人工呼吸法相同。

④ 救护人立或跪在触电者一侧身旁，两肩位于触电者胸骨正上方，两臂伸直，肘关节固定不屈，两手掌相叠，手指翘起，不接触触电者胸壁。

⑤ 以髌关节为支点，利用上身的重力，垂直将正常成人胸骨压陷3~5cm（儿童和瘦弱者酌减）。

⑥ 压至要求程度立即全部放松，但救护人的掌根不得离开触电者的胸壁。按压姿势与用力方法见图14.1.13。按压有效的标志是在按压过程中可以触到颈动脉搏动。

⑦ 胸外按压要以均匀速度进行。操作频率以每分钟80次为宜，每次包括按压和放松一个循环，按压和放松的时间相等。

⑧ 当胸外按压与口对口（鼻）人工呼吸同时进行，操作的节奏为：单人救护时，按压15次后吹气2次（15:2），反复进行；双人救护时，每按压6次后由另一人吹气1次（6:1），反复进行。

4. 现场救护中的注意事项

(1) 抢救过程中应适时对触电者进行再判定

① 按压吹气1min后（相当于单人抢救时做了4个15:2循环），应采用“看、听、试”方法在5~7s内完成对触电者伤员是否恢复自然呼吸和心跳的再判断。

② 若判定触电者已有颈动脉搏动，但仍无呼吸，则可暂停胸外挤压，再进行2次口对口人工呼吸，按着每隔5s吹气一次（相当于每分钟12次）。如果脉搏和呼吸仍未能恢复，则继续坚持心肺复苏法抢救。

③ 在抢救过程中，要每隔数分钟用“看、听、试”方法再判定一次触电者的呼吸和脉搏情况，每次判定时间不得超过5~7s。在医务人员未前来接替抢救前，现场人员不得放弃现场抢救。

(2) 抢救过程中移送触电伤员时的注意事项

① 心肺复苏应在现场就地坚持进行，不要图方便而随意移动触电伤员，若确有需要移动时，抢救中断时间不应超过30s。

② 移动触电伤员或将伤员送往医院，应使用担架并在其背部垫以木板，不可让伤员身体蜷曲着进行搬运、移送途中应继续抢救，在医务人员未接替救治前不可中断抢救。

③ 应创造条件，用装有冰屑的塑料袋作成帽状包绕在伤员头部，露出眼睛，使脑部温度降低，争取触电

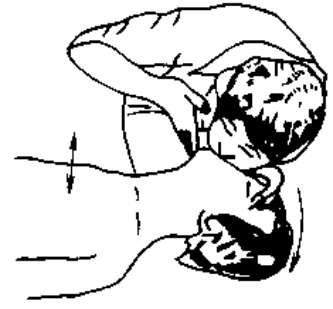


图 14.1.11 人工呼吸方法



图 14.1.13 胸部按压姿势与用力方法

者心、肺、脑得以复苏。

(3) 伤员好转后的处理 如伤员的心跳和呼吸经抢救后均已恢复,可暂停心肺复苏法操作。但心跳呼吸恢复的早期仍有可能再次骤停,救护人应严密监护,不可麻痹,要随时准备再次抢救。触电伤员恢复之初,往往神志不清,精神恍惚或情绪躁动、不安,应设法使他安静下来。

(4) 慎用药物 人工呼吸和胸外挤压是对触电“假死”者的主要急救措施,任何药物都不可替代。无论是兴奋呼吸中枢的可拉明、洛贝林等药物,或者是使心脏复跳的肾上腺素等强心针剂,都不能代替人工呼吸和胸外心脏挤压这两种急救办法。必须强调指出的是,对触电者用药或注射针剂,应由有经验的医生诊断确定,慎重使用。例如肾上腺素有使心脏恢复跳动的作用,但也可使心脏由跳动微弱转为心室颤动,从而导致触电者心跳停止而死亡。因此,现场触电抢救中,对使用肾上腺素等药物应持慎重态度。如没有必要的诊断设备条件和足够的把握,不得乱用。而在医院内抢救触电者时,则由医务人员据医疗仪器设备诊断的结果决定是否采用这类药物救治。此外,禁止采用冷水浇淋,猛烈摇晃,大声呼唤或架着触电者跑步等“土”办法刺激触电者的举措,因为人体触电后,心脏会发生颤动,脉搏微弱,血流混乱,如果在这种险象下用上所述办法强烈刺激心脏,会使触电者因急性心力衰竭而死亡。

(5) 触电者死亡的认定 对于触电后失去知觉、呼吸心跳停止的触电者,在未经心肺复苏急救之前,只能视为“假死”。任何在事故现场的人员,一旦发现有人触电,都有责任及时和不间断的进行抢救。“及时”就是争分夺秒,即医生到来之前不等待,送往医院的途中也不可中止抢救。“不间断”就是要有耐心坚持抢救,直到救活或医生作出触电者已临床死亡的认定为止。只有医生才有权认定触电者已死亡,宣布抢救无效,否则就应本着人道精神坚持不懈的运用人工呼吸和胸外按压对触电者进行抢救。

5. 关于电伤的处理

电伤是触电引起的人体外部损伤(包括电击引起的摔伤)、电灼伤、电烙印、皮肤金属化这类组织损伤,需要上医院治疗。但现场也必须预作处理,以防止细菌感染,损伤扩大,这样可以减轻触电者的痛苦和便于转送医院。

① 对于一般性的外伤创面,可用无菌生理食盐水或清洁的温开水冲洗后,再用消毒纱布、防腐绷带或干净的布包扎,然后再将触电者护送去医院。

② 如伤口大出血,要立即设法止住。压迫指血法是最迅速的临时止血法,即用手指、手掌或止血橡皮带在出血处供血端斜血管压瘪在骨骼上而止血,同时火速送医院处置。如果伤口出血不严重,可用消毒纱布或干净的布料叠几层盖在伤口处压紧止血。

③ 高压触电造成的电弧灼伤,往往深达骨骼,处理十分复杂。现场救护可用无菌生理盐水或清洁的温开水冲洗,再用酒精全面涂擦,然后用消毒被单或干净的布类包裹好送往医院处理。

④ 对于因触电摔跌而骨折的触电者,应先止血、包扎,然后用木板、竹竿、木棍等物品将骨折肢体临时固定并速送医院处理。

第四节 电气防火防爆

一、电气火灾和爆炸的原因

1. 电气短路和设备过热

由于短路、过载、接触不良、机械摩擦、通风散热条件恶化等原因,都会使电气线路和电气设备整体或局部温度升高,从而引爆易爆物质或引燃易燃物质而发生电气爆炸的火灾事故。

2. 电火花和电弧

电气线路和电气设备发生短路或接地故障、绝缘子闪络、接头松脱、炭刷冒火、过电压放电、熔断器熔体熔断、开关分合以及静电等都会产生电火花和电弧。电火花和电弧不仅可以直接引燃或引爆易燃易爆物质,电弧还会导致金属融化、飞溅而构成引燃可燃物品的火源。所以,在有火灾危险的场所,尤其在有爆炸危险的场所,电火花和电弧是引起火灾十分重要的因素。

二、电气火灾和爆炸的预防

- ① 导线的安全载流量应能承受由该导线供电的负荷电流。
- ② 正确选用与导线截面相配合的熔断器、自动开关。
- ③ 线路和电气设备的安装应符合电气装置规程。
- ④ 选用的电气设备应与使用场所环境相适应。

- ⑤ 用电设备必须配置过负荷、短路等保护。
- ⑥ 通电使用的加热设备必须有人看管，人离开时必须切断电源。
- ⑦ 加强检查管理，及时维修，消除缺陷。
- ⑧ 带静电的设备接地应良好。

三、电气灭火知识

1. 灭火器

常用的灭火器主要有酸碱灭火器、泡沫灭火器、二氧化碳灭火器、1211 灭火器、干粉灭火器等。其中酸碱、泡沫两种灭火器的灭火物质具有导电作用，不适用于带电灭火，而且对电气设备具有腐蚀性，对绝缘损害大，不易清理，因此只能在危急情况下，方可用于断电时的电气灭火。二氧化碳、1211、干粉灭火器的灭火物质绝缘性能好，对电气设备物腐蚀性小，损害小，易清理，因此适用于扑灭电气设备的火灾。

二氧化碳的灭火原理是：在灭火对象上覆盖浓度很高的二氧化碳，以减少或隔绝其与氧的接触，从而使燃烧着的火焰熄灭；由于液化二氧化碳从灭火器中喷出时的蒸发、吸热，因此，还具有冷却作用。1211 是一种氟溴化合物的简称，它的学名为二氟一氯一溴甲烷，化学分子式为 CF_2ClBr ，灭火原理主要是抑制火焰的连锁反应，使火熄灭；另外，靠喷射时的蒸发、吸热而产生适量的冷却作用。干粉灭火器是一种具粉状灭火剂的新型灭火器，其灭火剂主要由小苏打、碳酸氢钾、磷酸铵等灭火基料加少量防湿剂、流动促进剂等添加物组成，它的灭火原理是在燃烧区内隔绝火焰的辐射热，析出气体，冲淡空气中氧的含量，并有中断燃烧连锁反应的作用。

2. 电气灭火

电气火灾危害性很小，并有其特殊性，如扑救不当，可能引起触电事故等。除做种种预防工作外，还必须具备扑灭电气火灾的必要知识。电气火灾的扑救方法如下。

(1) 断电灭火 电气设备发生火灾，首先要切断电源，并及时用灭火器材进行扑救。

(2) 带电灭火 电气设备发生火灾时，有时在危急的情况下，如等待切断电源后再进行扑教会失去时机，扩大危险性，从而使火势蔓延，燃烧面积扩大。这时为了争取时间，迅速有效地控制火势，扑灭火灾，就必须在保证灭火人员的安全情况下进行带电灭火。带电灭火要使用不导电的灭火剂，如二氧化碳、1211、干粉灭火器等。

第二章 节约用电

第一节 减少线路损失

在输送电力过程中会产生与电流平方成正比的有功功率损耗，称之为线路损失。对变压器而言，除这部分损失外，还有与通过电流关系极小，运行中损耗基本不变的铁芯中的滞磁、涡流损耗。称前者为可变损耗，后者为固定损耗。可变损耗与负荷大小和均衡程度、功率因数的高低、回路电阻的大小有关。固定损耗则与电器铁芯材料、漏电情况、电压高低有关。这一节主要谈线路上的线损。

一、线损率计算

损失电量 $\Delta W = \Delta Pt$ (kW·h)

线损率 $\Delta W\% = \frac{\Delta W}{W} \times 100\%$

功率损耗 $\Delta P = 3I^2 R \times 10^{-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \times R \times 10^{-3}$ (kW)

式中 I ——电流，A；

R ——每相电阻， Ω ；

t ——用电时间，h；

W ——受入电量，kW·h；

P ——有功功率，kW；

Q ——无功功率，kvar；

U ——线路电压，kV。

(以上为三相电路，单相电路则 $\Delta P = 2I^2 R \times 10^{-3}$ kW)

二、提高负荷率及不均衡用电线损计算

1. 负荷率计算

反映用电不均匀性常用负荷率 $r\%$ 表示：

$$r\% = \frac{P_{pj}}{P_{max}} \times 100\%$$

式中 P_{pj} ——平均有功负荷，kW；

P_{max} ——最大有功负荷，kW。

以统计时间分，常用的有月负荷率 $r_y\%$ 和日负荷率 $r_d\%$ 。由于测量的条件关系，通常以用电量来计算负荷率。例如日负荷率：

$$r_d\% = \frac{\sum_1^{24} W}{24 \times W_{max}} \times 100\%$$

式中 $\sum_1^{24} W$ ——24小时用电量总和，kW·h；

W_{max} ——日最大小时用电量，kW·h。

2. 不均衡用电的线损计算

输送相同功率因数的同一电量，均衡和不均衡产生的线路损失是不同的，不均衡用电的损失要大于均衡用电的损失，也即：

$$\Delta W = 3 \sum I_i^2 R \times 10^{-3} > 3 I^2 R \times 10^{-3} \text{ (kW·h)}$$

式中 $\sum I_i^2$ ——电流平方的总和；

I ——与不均衡用电输送相同电量的均衡用电电流，A；

t ——时间。

为减少计算和测量工作量，理论计算往往是选定一个有代表性的代表日来测量负荷电流或功率，据此进行

计算。

3. 提高负荷率的措施

提高负荷率的主要措施是调整负荷，削峰填谷，拉平负荷曲线。调整负荷按时间来分，有调整日负荷、调整周负荷、调整月负荷和调整年负荷。

调整负荷的主要方法有：

- ① 将非连续性负荷安排至低谷用电时间用电；
- ② 调整开工班次；
- ③ 调整各车间公休日；
- ④ 错开用餐时间；
- ⑤ 在低谷用电时间蓄热、蓄冷；
- ⑥ 避高峰；
- ⑦ 均匀生产。

三、提高功率因数

电感性负荷，例如变压器、电动机供给铁芯励磁的励磁电流，滞后于电压 90° 相角，它并不吸收有功功率作功，称之为无功电流。但它的存在将使总电流增加，从而增加线路损失，降低电压质量。

1. 功率因数的计算

功率因数 $\cos\varphi$ 是衡量无功功率比例的指标

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{S}$$

式中 P 、 Q ——分别为有功功率和无功功率；

S ——视在功率。

也可用有功电量 W_P 和无功电量 W_Q 来计算平均功率因数：

$$\cos\varphi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}$$

2. 提高功率因数的方法

(1) 并联电容器补偿无功功率 用电力电容器并联补偿就是利用电容电流与电感电流在相位上相反的作用，抵消电感性电流，从而提高功率因数。或者也可说由电容器来供给负荷的无功电流，减少电源输送无功电流量。

补偿容量计算公式：

$$Q_C = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = P\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_2} - 1}\right)$$

式中 P ——最大负荷日的平均有功功率，kW；

$\operatorname{tg}\varphi_1$ 、 $\operatorname{tg}\varphi_2$ ——补偿前后的功率因数角的正切值；

$\cos\varphi_1$ 、 $\cos\varphi_2$ ——补偿前后的功率因数值；

Q_C ——补偿电容器容量，kvar。

(2) 应用同步电机 增加同步电动机转子回路的励磁电流，使同步电机进入过激运行状态，输出容性无功电流。

(3) 异步线绕电动机同步化运行 在线绕电动机转子绕组通以直流电流，使异步电动机拖入同步运行。

(4) 合理配置容量，提高使用电器的自然功率因数 合理配置变压器、电动机容量，避免大马拉小车。

异步电动机长期处于轻载运行状态时，在不影响起动力矩要求下适当降低所加电压，以减小感性励磁电流。

四、合理配电

1. 变电所靠近负荷中心

对一级降压配电的，由于以 400V 低压电送至车间和用电场所，电流较大，靠近负荷中心后配电线路的功率损失能得到较大降低，同时可减小电压损失。

2. 合理布线

避免迂回供电。采用合适的配电方式（树干式、放射式、环式）和配电点的布置，避免有的线路负荷过

重,有的负荷过轻情况。

3. 平衡三相电流

三相电流不平衡将增加线路损失。因此要平衡三相电源的装接负荷,使三相电流尽可能平衡。

对变压器而言,要求不平衡电流,即中性线电流 I_0 的不平衡度不大于 10%,即

$$K_{bp}\% = \frac{I_0}{(I_A + I_B + I_C)/3} \times 100\% \leq 10\%$$

式中 K_{bp} ——不平衡度。

4. 减小导线电阻

除合理选用导线截面外,主要是要减少导线连接电阻。连接不良,接触电阻增加,使线损增加,严重的会使接头因过度发热而烧损。大截面导线要用连接线夹、连接管,采取压接或螺栓连接。小截面导线绕接时一定要绕紧,接头电阻要小于同长度导线的电阻。

铝线表面氧化层电阻大,连接时要清除并涂中性凡士林。铝线有蠕变情况,螺栓连接时过一段时间要再复紧。铝线宜于用线夹、连接管连接,不受力,小截面导线连接也可用焊接。

铜铝连接容易产生电化腐蚀,故应用铜铝专用线夹,或在铜铝连接导线间衬以镀锡的铜垫片。

第二节 照明节电

我国照明电量占有比例约 10%~20%,大多使用白炽灯、普通荧光灯和电感式镇流器,它们光效低,损耗大,故节电潜力大。为此应大力推广应用节能灯、新光源灯和电子镇流器。

一、电子式镇流器

电子式镇流器产品已经成熟,体积小,重量轻,各项技术性能均优于电感式镇流器。

1. 与电感式镇流器优缺点比较

(1) 节电 电子式镇流器使荧光灯工作在 30~50kHz,比工作在 50Hz 时亮度增加约 14%,电感式镇流器的铁芯损耗在 8W 左右,而电子式镇流器本身损耗只需 1.5W 左右;使用电子式镇流器的日光灯 $\cos\varphi$ 可达 0.90~0.99,而用电感式镇流器日光灯 $\cos\varphi$ 仅为 0.5。

(2) 对灯管寿命的影响 由于电感式镇流器温度在 10℃ 以下时启辉困难,造成频繁启动,因此由于灯管灯丝溅射,灯管端部发黑,缩短了灯管的使用寿命。

电子式镇流器启辉电压要求低,150V 电压甚至更低的电压就能启辉点亮。电子式镇流器使灯管灯丝有 $\geq 0.4s$ 的预热时间,在 -10℃ 甚至在 -25℃ 温度下仍能启辉点亮,这就延长了灯管的使用寿命。

(3) 安全影响 电感式镇流器由于自身功率损耗大,致使镇流器发热,如果镇流器通风不良,而又紧靠易燃、可燃物时,有引起火警的危险。

(4) 对环境的影响 电感式镇流器铁芯电磁振动产生的噪声大,电子式镇流器无噪声。配用电感式镇流器的灯存在 100Hz 的频闪,电子式因使灯管工作于高频率,对视觉无影响。同时电子式镇流器的电磁干扰也比电感式镇流器小。

2. 主要性能

- ① 功率因数 $\lambda \geq 0.93$; 高功率因数型可达到 0.99 左右。
- ② 预热时间 $\geq 0.4s$ 。
- ③ 流明系数 $U > 0.95$ 。
- ④ 总谐波失真 THD $< 30\lambda$, 极高型 $< 15\lambda$, 三次谐波含量一般为 37%, 极高型约 5% 左右。
- ⑤ 具有短路、过流、过压等异常保护。

二、节能灯

节能灯亦称紧凑型荧光灯。国外简称 CEL 灯,它与普通荧光灯的主要不同点是使用了三基色稀土荧光粉,因而光色好,光效高,为白炽灯的 5 倍左右,节电效果显著,光衰期长,寿命是白炽灯的 5~8 倍,体积也小。外形有 U 形、螺旋形、H 形等多种形状,是取代白炽灯的理想品种。

一体化节能灯是指将镇流器、紧凑型节能灯管(俗称毛管)、螺口灯头及附件组成一体,可直接与白炽灯螺旋插口连接使用,和白炽灯泡使用一样方便,能低电压、低温启动。

三、钠灯

钠灯是气体放电管内充以金属钠蒸汽,光效高达 60~115lm/W,是白炽灯的 7 倍,汞灯的 2.5 倍,节电效

果甚为显著,国外被誉为节能冠军,穿透云雾能力强,寿命长达10000~25000h。缺点是显色性差,色温较低,约为2050~2100K。

高压钠灯适用于道路和室外大面积照明,低压钠灯多用于航线和机场跑道指示灯。

四、金属卤化物灯

金属卤化物灯也称金属卤素灯,是在高压汞灯基础上的改进产品,在石英玻璃放电管内添加金属卤化物,在电弧高温下金属卤化物分解为金属原子和卤素原子,金属原子参与放电发出自己的特征光谱,填补了汞谱线的空白,使灯发出的光线近于日光色,改善了高压汞灯的光色,色温为5500~7000K,显色指数 $\geq 60R_a$,发光效率高,一般为75~80lm/W,是理想光源。

五、照明节电开关

声控开关利用声波和超声波来控制电灯开关,光控开关是利用光或红外线来控制开关,可做到人来开灯,人走熄灯,避免了长明灯,节约电力。光控开关还常用来控制路灯照明,以达到自动控制目标。

第三节 通用设备节电

一、风机、水泵

1. 风机

风机的耗电量与风量、风压、风机效率等有关。风机的耗用电功率 P 用下式计算:

$$P = \frac{QH}{3600 \times 102 \times \eta} \quad (\text{kW})$$

式中 Q ——风机风量, m^3/h ;

H ——风机全风压, $\text{mmHg} \approx 9.8\text{Pa}$;

η ——风机效率。

从上式可知风机节电的途径是在满足生产要求时配置风机的 Q 和 H 裕度不可过大, η 要高。节电措施如下。

(1) 节流调节改变速调节 风机风量配置过大或需要减小风量时,常用的方法是减小挡板开度,这将使阻力增加,这是人为的用增加流动损失(节流损失)来改变风机特性曲线的工作点,很不经济。风机的转速与风量、风压、所需功率有如下关系:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

式中 Q_1 、 H_1 、 P_1 ——转速在 n_1 时风机的风量、风压与耗用功率;

Q_2 、 H_2 、 P_2 ——转速在 n_2 时风机的风量、风压与耗用功率。

风量与转速成正比,风压与转速的平方成正比,所需功率与转速的立方成正比。因此,除合理配置风机外,很重要的节电方法是变速调节。

变速调节的方法很多,如电磁滑差调速、线绕电动机串激调速、电动机变极调速和变频调速等等。

(2) 减小管道阻力 合理配置风道管径;取消不必要的挡板;减少弯头;方形弯道改为圆形转角;减少漏气;减少涡流损失。

(3) 采用高效风机 老旧风机效率一般仅50%~70%,新型风机效率可达80%~90%,可通过检修时对风机叶片型线进行技术改造,或适当减少叶片段数,或者更换新型风机。

2. 水泵

风机和水泵的理论基础都是流体力学,风机的节电方法也适用于水泵。当然水的密度比空气大,具有很高的压力,管道阻力中的水值差也很大。

此外还有取消离心泵底阀节电技术。用射流法、灌水法、抽真空法自吸上水,提高抽水效率,节约电力。

二、电加热

1. 硅酸铝纤维耐火保温材料

硅酸铝纤维具有相对密度轻,导热系数低(为一般耐火砖的 $\frac{1}{5}$ ~ $\frac{1}{3}$),抗震性强,化学稳定性好等优点,使用温度可达1300℃。

电炉使用硅酸铝纤维保温材料节约电力显著,升温快,保护性能好,平均省时率在22.4%,节电率在25%~30%。

2. 远红外线加热、干燥

波长 3~1000 μm 的电磁波为远红外线, 其中 3~25 μm 波长区的远红外线能被绝大多数高分子化合物强烈吸收, 直接将辐射能转化为热能, 使物体内部和表面同时得到加热, 热效率高, 节电显著, 因此被应用于加热和干燥。

三、电动机

1. 电动机损耗计算

下式为有功损耗计算公式:

$$\Delta P = P_0 + \beta^2 \left[\left(\frac{1}{\eta_N} - 1 \right) P_N - P_0 \right]$$

式中 ΔP ——有功损耗, kW;

P_0 ——空载损耗, kW;

η_N ——电动机额定效率;

P_N ——额定功率, kW;

β ——负载系数, $\beta = P_2/P_N$ 。

2. 经济负载率计算

有功经济负载率 β_p 计算:

$$\beta_p = \sqrt{\frac{P_0}{\left(\frac{1}{\eta_N} - 1 \right) P_N - P_0}} \times 100$$

综合经济负载率 β_c 计算:

$$\beta_c = \sqrt{\frac{P_0 + Q_0 K_Q}{\left(\frac{1}{\eta_N} - 1 \right) P_N - P_0 + \left(\frac{P_N}{\eta_N} \lg \varphi_N - Q_0 \right) K_Q}} \times 100$$

电动机的无功功率计算:

$$\Sigma Q = Q_0 + \beta^2 \left(\frac{P_N}{\eta_N} \lg \varphi_N - Q_0 \right)$$

式中 ΣQ ——无功功率;

Q_0 ——空载无功功率 $\approx \sqrt{3} U_N I_0 \times 10^{-3}$, kvar;

I_0 ——空载电流, A;

U_N ——额定电压, V;

$\cos \varphi_N$ ——额定功率因数。

电动机有功损耗和因电动机无功功率使电网增加的有功损耗之和称为综合功率损耗, 计算公式如下:

$$\Sigma \Delta P_0 = \Delta P + K_Q \Sigma Q$$

式中 K_Q 为无功经济当量, kW/kvar, 根据负载在电网中的位置取值; 发电厂母线直配工厂 0.02~0.04, 二次变压 0.05~0.07, 三次变压 0.08~0.10, 当企业功率因数已补偿至 0.9 及以上时, 取 0.02~0.04。

3. 电动机节电措施

(1) 电动机选择原则

① 机械对起动、制动无特殊要求时, 应采用笼型电动机。企业如有高压电的条件, 则电动机容量在 200~300kW 之间宜选用高压电动机; 电动机容量在 355kW 以上应选用高压电动机。对于年运行时间大于 3000h, 负载率大于 50% 的场合, 应选用高效电动机。

② 电动机的实际负载率接近经济负载率, 在选择时还要考虑到电动机额定效率随电动机额定功率、额定转速增加而增加。要满足机械对电动机各转矩的要求。

③ 特殊工作要求和工作方式按具体情况选择。

④ 新装电动机不应再选 JO 型, 应用 Y 型或更节电的 YX 型。

(2) 降压运行 当空载运行时间较长且轻载运行的负载率小于 30% 时, 宜采用降压节电。降压运行要满足生产上对起动、运行转矩的要求。降压方式可采用变压器分头调节、自耦变压器抽头降压或定子绕组改接线等方法。

四、变压器

1. 变压器的损耗

(1) 铁损 变压器一次绕组加电压后铁芯中交变磁通产生的磁滞、涡流损耗称铁损 ΔP_f 。它与电压接近平方倍关系变化，通常视作电压不变，因此称为固定损耗。

由于变压器的空载损耗中空载电流通过变压器绕组电阻产生的损耗很小，可忽略，所以铁损 ΔP_f 就等于空载损耗 ΔP_0 。 ΔP_0 可查出厂试验单。

$$\Delta P_f = \Delta P_0$$

(2) 变压器的铜损 变压器一、二次绕组都有电阻，电流通过要产生损耗，称为铜损 ΔP_c 。铜损随负载电流平方变化，所以是可变损耗。

通过数学分析得知，当变压器铜损等于铁损时，变压器效率最高。一般最高效率时的负载系数约为 0.5 ~ 0.6。

2. 变压器节电措施

(1) 使用低损耗变压器 S_7 、 SL_7 、 S_9 、 SL_9 由于铁芯采用了冷轧晶粒取向硅钢片，工艺上用 45° 全斜接缝和粘带绑扎结构，降低了铁损；绝缘等结构改进后，使绕组电阻降低，减小了铜损，所以损耗降低。

(2) 变压器经济运行 合理配置变压器容量和台数，根据运行负荷决定投入运行的台数，实现经济运行。

五、电焊机空载自动断电装置

电焊机空载时间较长，使用空载自动断电装置能减少空载损耗。

六、交流接触器无声运行

交流接触器交流电吸合产生噪声，通过整流改为以直流电吸合后，消除了噪音，运行温度降低，使用寿命延长，节电效果显著。

获取更多资料 微信搜索蓝球

附 录

第一节 计量单位及其换算

一、可与 SI 单位并用的其他单位(见表附 1)

表附 1 可与 SI 单位并用的其他单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	$t, (\Delta t)$	分	min	1min = 60s
		[小]时	h	1h = 60min = 3600s
		天(日)	d	1d = 24h = 86400s
平面角	$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	[角]秒	($''$)	$1'' = (\pi/648000)\text{rad}$ (π 为圆周率)
		[角]分	($'$)	$1' = 60'' = (\pi/108000)\text{rad}$
		度	($^\circ$)	$1^\circ = 60' = (\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	n	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
质量	m	吨	t	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$
体积	V	升	L, (l)	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
能	W, A, E	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.602177 \times 10^{-19}\text{J}$
级差		分贝	dB	

二、习用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系(见表附 2)

表附 2 习用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系

量的名称	习用非法定计量单位		法定计量单位		单位换算关系
	名称	符号	名称	符号	
长度	里(市制)		米	m	1里 = 500m
	丈(市制)		米	m	1丈 = 10尺 = 3.3m
	尺(市制)		米	m	1尺 = 0.3m
	寸(市制)		厘米	cm	1寸 = (1/10)尺 = 3.3cm
	分(市制)		厘米	cm	1分 = (1/100)尺 = 0.3cm
	英寸	in	厘米	cm	1in = 2.539cm
	英尺	ft	厘米	cm	1ft = 12in = 30.48cm
	码	yd	米	m	1yd = 3ft = 0.9144m
英里	mi	米	m	1mi = 5280ft = 1760yd = 1609.344m	
面积	平方里	里 ²	平方米	m ²	1里 ² = 250000m ²
	亩		平方米	m ²	1亩 = 666.67m ²
	平方尺	尺 ²	平方米	m ²	1尺 ² = 0.111m ²
	公亩	a	平方米	m ²	1a = 100m ²
	公顷	hm ²	平方米	m ²	1ha = 10000m ²
	平方英里	mi ²	平方千米	km ²	1mi ² = 2.58999km ²
	平方英尺	ft ²	平方厘米	cm ²	1ft ² = 144in ² = 929.03cm ²
平方英寸	in ²	平方厘米	cm ²	1in ² = 6.4516cm ²	
体积, 容积	升	L, l	立方厘米	cm ³	1L = 1000cm ³
	立方尺	尺 ³	立方米	m ³	1尺 ³ = 0.037m ³
	立方英寸	in ³	立方厘米	cm ³	1in ³ = 16.387cm ³
	立方英尺	ft ³	立方厘米	cm ³	1ft ³ = 28.317cm ³
	美加仑	USgal	立方厘米	cm ³	1USgal = 3.785dm ³ = 3785cm ³
	英加仑	UKgal	立方厘米	cm ³	1UKgal = 4.546dm ³ = 4546cm ³

量的名称	习用非法定计量单位		法定计量单位		单位换算关系
	名称	符号	名称	符号	
质量(重量)	吨	t	千克	kg	1t = 1000kg
	担(市制)		千克	kg	1担 = 50kg
	斤(市制)		千克	kg	1斤 = 0.5kg
	两(市制)		克	g	1两 = 50g
	钱(市制)		克	g	1钱 = 5g
	分(市制)		克	g	1分 = 0.5g
	[米制]克拉 盎司 磅	oz lb	克 克	g g	1克拉 = 0.2g 1oz = 28.349g 1lb = 0.4535g
力	达因	dyn	牛[顿]	N	1dyn = 10 ⁻⁵ N
	千克力	kgf	牛[顿]	N	1kgf = 9.80665N
	吨力	tf	牛[顿]	N	1tf = 9806.65N
压强,压力,应力 (力/面积)	达因每平方米	dyn/cm ²	帕[斯卡]	Pa	1dyn/cm ² = 0.1Pa
	巴	bar	帕[斯卡]	Pa	1bar = 10 ⁵ dyn/cm ² = 10 ⁵ Pa
	千克力每平方米	kgf/m ²	帕[斯卡]	Pa	1kgf/m ² = 9.8066Pa
	毫米水柱	mmH ₂ O	帕[斯卡]	Pa	1mmH ₂ O = 9.8066Pa
	托	Torr, mmHg	帕[斯卡]	Pa	1Torr = 133.322Pa
	标准大气压 工程大气压	atm at	帕[斯卡]	Pa	1atm = 760Torr = 101325Pa 1at = 1kgf/m ² = 98066.5Pa
功、能、力矩、 热量	千克力米	kgf·m	焦[耳]	J	1kgf·m = 9.8066N·m = 9.8066J
	吨力米	tf·m	千焦[耳]	kJ	1tf·m = 9.8066kJ
	(米制)马力小时	HPh	兆焦[耳]	MJ	1HPh = 2.64779MJ
	卡	cal	焦[耳]	J	1cal = 4.1868J
	大卡,千卡	kcal	千焦[耳]	kJ	1kcal = 4.1868kJ
功率	(米制)马力	HP	瓦[特]	W	1HP = 75kgf·m/s = 735.499W
	申, 马力	hp	瓦[特]	W	1hp = 746W
磁场强度	奥斯特	Oe	安[培]每米	A/m	1Oe = 79.5775A/m
磁通[量]	麦克斯韦	Mx	韦[伯]	Wb	1Mx = 10 ⁻⁸ Wb
磁通[量] 密度	高斯	Gs	特[斯拉]	T	1Gs = 10 ⁻⁴ T
光亮度	尼特	nt	坎[德拉] 每平方米	cd/m ²	1nt = 1cd/m ²
光亮度	熙提	sb	坎[德拉] 每平方米	cd/m ²	1sb = 10000cd/m ²
热流密度	卡每平方 厘米秒	$\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$	瓦[特] 每平方米	W/m ²	1cal/(cm ² ·s) = 41868W/m ²
	千卡每平方 厘米小时	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$	瓦[特] 每平方米	W/m ²	1kcal/(m ² ·h) = 1.163W/m ²
传热系数	卡每平方厘米 秒摄氏度	$\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$	瓦[特]每平方米 开尔文	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	1cal/(cm ² ·s·°C) = 41868W/(m ² ·K)
	千卡每平方 米小时摄氏度	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	瓦[特]每平方米 开尔文	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	1kcal/(m ² ·h·°C) = 1.163W/(m ² ·K)
导热系数	卡每厘米 秒摄氏度	$\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$	瓦[特]每米 开尔文	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	1cal/(cm·s·°C) = 418.68W/(m·K)
	千卡每厘米 小时摄氏度	$\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$	瓦[特]每米 开尔文	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	1kcal/(m·h·°C) = 1.163W/(m·K)

三、几种电工常用单位的换算

1. 温度单位的换算(见表附 3)

表附 3 温度单位的换算

单位及符号	T/K	$\theta/^\circ\text{C}$	$t_F/^\circ\text{F}$
开尔文度,绝对温度 K	T	$\theta + 273.15$	$\frac{5}{9}(t_F + 459.67)$
摄氏度 $^\circ\text{C}$	$T - 273.15$	θ	$\frac{5}{9}(t_F - 32)$
华氏度 F	$\frac{9}{5}T - 459.67$	$\frac{9}{5}\theta + 32$	t_F

2. 能量单位的换算(见表附 4)

表附 4 能量单位的换算

单位及符号	相当数量的其他单位	单位及符号	相当数量的其他单位
焦 J	1 N·m(牛米)	千瓦小时 kW·h	$3.60068 \cdot 10^{-6}$ Ws, Nm, J
	1 W·s(瓦秒)		$2.24762 \cdot 10^{-25}$ eV(电子伏特)
	$2.77778 \cdot 10^{-7}$ kW·h(千瓦小时)	电子伏特 eV	$1.602 \cdot 10^{-19}$ Ws, Nm, J
	$6.2422 \cdot 10^{-18}$ eV(电子伏特)		$4.4499 \cdot 10^{-26}$ kWh

3. 功率单位的换算

常用功率单位有千瓦(kW)和电工马力(HP)两种,换算关系如下:

$$1\text{kW} = 1.341\text{HP}$$

$$1\text{HP} = 0.746\text{kW}$$

4. 导线直径单位(线规号码、英寸、毫米)的换算

电工导线直径的表示法有多种,各国均制定有各种标称截面导线的规格,称为线规,并用数码表示。不同线规线规号相同的导线直径是不相同的。表附 5 列出了美国标准线规、伯明翰线规、伯明翰规、美国线规和中国线规的线径对照。

表附 5 常用线规号码与线径(英寸、毫米)对照表

线规号码	SWG		BWG		BG		AWG		CWG
	"	mm	"	mm	"	mm	"	mm	mm
4/0	0.400	10.160	0.454	11.532	0.5416	13.757	0.4600	11.684	11.20
3/0	0.372	9.449	0.425	10.795	0.5000	12.700	0.4096	10.404	10.00
2/0	0.348	8.839	0.380	9.652	0.4452	11.308	0.3648	9.266	9.00
0	0.324	8.230	0.340	8.636	0.3964	10.069	0.3249	8.252	8.00
1	0.300	7.620	0.300	7.620	0.3532	8.971	0.2893	7.348	7.10
2	0.276	7.010	0.284	7.214	0.3147	7.993	0.2576	6.544	6.30
3	0.252	6.401	0.259	6.579	0.2804	7.122	0.2294	5.827	5.60
4	0.232	5.893	0.238	6.045	0.2500	6.350	0.2043	5.189	5.00
5	0.212	5.385	0.220	5.588	0.2225	5.652	0.1819	4.621	4.50
6	0.192	4.877	0.203	5.156	0.1981	5.032	0.1620	4.115	4.00
7	0.176	4.470	0.180	4.572	0.1764	4.481	0.1443	3.665	3.55
8	0.160	4.064	0.165	4.191	0.1570	3.988	0.1285	3.264	3.15
9	0.144	3.658	0.148	3.759	0.1398	3.551	0.1144	2.906	2.80
10	0.128	3.251	0.134	3.404	0.1250	3.175	0.1019	2.588	2.50
11	0.116	2.946	0.120	3.048	0.1113	2.827	0.0907	2.305	2.24
12	0.104	2.642	0.109	2.769	0.0991	2.517	0.0808	2.053	2.00
13	0.092	2.337	0.095	2.413	0.0882	2.240	0.0720	1.828	1.80
14	0.080	2.032	0.083	2.108	0.0785	1.994	0.0641	1.628	1.60

续表

线规号码	SWG		BWG		BG		AWG		CWG
	"	mm	"	mm	"	mm	"	mm	mm
15	0.072	1.829	0.072	1.829	0.0699	1.775	0.0571	1.450	1.40
16	0.064	1.626	0.065	1.651	0.0625	1.588	0.0508	1.291	1.25
17	0.056	1.422	0.058	1.473	0.0556	1.412	0.0453	1.150	1.12
18	0.048	1.219	0.049	1.245	0.0495	1.257	0.0403	1.024	1.00
19	0.040	1.016	0.042	1.067	0.0440	1.118	0.0359	0.912	0.90
20	0.036	0.914	0.035	0.889	0.0392	0.996	0.0320	0.812	0.80
21	0.032	0.813	0.032	0.813	0.0349	0.887	0.0285	0.723	0.71
22	0.0280	0.711	0.028	0.711	0.0312	0.795	0.0253	0.644	0.63
23	0.0240	0.610	0.025	0.635	0.0278	0.706	0.0226	0.573	0.56
24	0.0220	0.559	0.022	0.559	0.0247	0.627	0.0201	0.511	0.50
25	0.0200	0.508	0.020	0.508	0.0220	0.559	0.0179	0.455	0.45
26	0.0180	0.457	0.018	0.457	0.0196	0.498	0.0159	0.405	0.40
27	0.0164	0.417	0.016	0.406	0.0174	0.442	0.0142	0.361	0.355
28	0.0148	0.376	0.014	0.356	0.0156	0.396	0.0126	0.321	0.315
29	0.0136	0.345	0.013	0.330	0.0139	0.353	0.0113	0.286	0.280
30	0.0124	0.315	0.012	0.305	0.0123	0.312	0.0100	0.255	0.250
31	0.0116	0.295	0.010	0.254	0.0110	0.279	0.0089	0.227	0.224
32	0.0108	0.274	0.009	0.229	0.0098	0.249	0.0080	0.202	0.200
33	0.0100	0.254	0.008	0.203	0.0087	0.221	0.0071	0.180	0.180
34	0.0092	0.234	0.007	0.178	0.0077	0.196	0.0063	0.160	0.160
35	0.0084	0.213	0.005	0.127	0.0069	0.175	0.0056	0.143	0.140
36	0.0076	0.193	0.004	0.102	0.0061	0.155	0.0050	0.127	0.125
37	0.0068	0.173			0.0054	0.137	0.0045	0.114	0.112
38	0.0060	0.152			0.0048	0.122	0.0040	0.102	0.100
39	0.0052	0.132			0.0043	0.109	0.0035	0.089	0.090
40	0.0048	0.122			0.0038	0.097	0.0031	0.079	0.080
41	0.0044	0.112			0.0034	0.086	0.0028	0.071	0.071
42	0.0040	0.102			0.0030	0.076	0.0025	0.064	0.063
43	0.0036	0.091			0.0027	0.069	0.0022	0.056	
44	0.0032	0.081			0.0024	0.061	0.00198	0.050	
45	0.0028	0.071			0.0021	0.053	0.00176	0.045	
46	0.0024	0.061			0.0019	0.048	0.00157	0.040	

注:SWG—美国标准线规;BWG—伯明翰线规;BG—伯明翰规;AWG—美国线规;CWG—中国线规。

第二节 国内外标准代号

一、国内主要标准代号(见表附6)

表附6 国内主要标准代号

标准代号	意义	标准代号	意义	标准代号	意义
GB	国家标准	DZ	地质	SB	商业
JB	机械、电工	SD	水电	QB	轻工
ZB	仪器仪表	SJ	电子工业	FJ	纺织
NJ	农机	YD	邮电	LS	粮食
YB	冶金	TE	铁道	LY	林业
HG	化工	JT	交通	SC	水产
SY	石油	JC	建筑工程	WS	医疗器械
MT	煤炭	JC	建筑材料	JY	教学仪器

二、常见国际、国外标准代号(见表附 7)

表附 7 常见国际、国外标准代号

标准代号	名 称	标准代号	名 称
ISA	国际标准化协会标准	NEN	荷兰国家标准
ISO	国际标准化组织标准	SIS	瑞典国家标准
BIPM	国际计量局	NP	葡萄牙国家标准
IEC	国际电工委员会标准	UNE	西班牙国家标准
CEE	国际电气设备管制委员会标准	NS	挪威国家标准
CEC	欧洲共同体委员会标准	STAS	罗马尼亚国家标准
ANSA	美国国家标准	JLS	南斯拉夫国家标准
TOCT	苏联国家标准	IS	印度国家标准
BS	英国国家标准	ASTM	美国试验与材料协会标准
NF	法国国家标准	EIA	美国电子工业协会标准
JIS	日本国家标准	IEEE	美国电气电子工程师协会标准
CSA	加拿大国家标准	JEC	日本电气学会标准
AS	澳大利亚国家标准	JEM	日本电机工业会标准规格
UNI	意大利国家标准	MIL	美国军用标准
VSN	瑞士国家标准	NDS	日本防卫厅标准

第三节 优先数和模数

1. 优先数和优先数系

优先数是一种适用于各种量值分级的、无量纲的分档数系列。优先数在工程技术中的采用,可使产品的品种得到统一和简化,且具有国际通用性。

优先数是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$,且项值中含有10的整数幂的理论等比数列导出的一组近似等比的数列。各数列分别用R5、R10、R20、R40、R80表示,分别称为R5、R10、R20、R40、R80优先数系。

优先数系中的任何一个项值均为优先数。

我国国家标准 GB 3211—80《优先数和优先数系》规定的优先数系基本系列见表附 8。

表附 8 优先数系基本系列

序 号	R5	R10	R20	R40	序 号	R5	R10	R20	R40
0	1.00	1.00	1.00	1.00	21				3.35
1				1.06	22			3.55	3.55
2			1.12	1.12	23				3.75
3				1.18	24	4.00	4.00	4.00	4.00
4		1.25	1.25	1.25	25				4.25
5				1.32	26			4.50	4.50
6			1.40	1.40	27				4.75
7				1.50	28		5.00	5.00	5.00
8	1.60	1.60	1.60	1.60	29				5.30
9				1.70	30			5.60	5.60
10			1.80	1.80	31				6.00
11				1.90	32	6.30	6.30	6.30	6.30
12		2.00	2.00	2.00	33				6.70
13				2.12	34			7.10	7.10
14			2.24	2.24	35				7.50
15				2.36	36		8.00	8.00	8.00
16	2.50	2.50	2.50	2.50	37				8.50
17				2.65	38			9.00	9.00
18			2.80	2.80	39				9.50
19				3.00	40	10.00	10.00	10.00	10.00
20		3.15	3.15	3.15					

电工产品的品种规格系列广泛地采用优先数系列,例如,电力变压器额定容量系列采用的是 R10 系列,其容量等级系列为:50、63、80、100、125、160、200、250、315、400、500、630……kVA。

2. 模数和模数制

以一基本数值为准的整数倍或整数分割,以此来协调单元和组合尺寸之间的配合,这一基本数值称为模数。模数制是指在模数基础上制定的一整套尺寸协调标准。模数制由基本模数和由基本模数派生出的组合模数和分割模数组成。

基本模数一般为 100mm,其符号为 M 。

组合(扩大)模数有 $2M$ 、 $3M$ 、 $6M$ 、 $12M$ 、 $15M$ 、 $30M$ 、 $60M$ 等。例如其中: $6M = 6 \times 100 = 600\text{mm}$ 。

分割模数(分模数)有 $\frac{1}{10}M$ 、 $\frac{1}{5}M$ 、 $\frac{1}{2}M$ 等。

例如其中 $\frac{1}{10}M = \frac{1}{10} \times 100 = 10\text{mm}$ 。

在低压抽屉式开关柜、组合式模数化终端电器等电器设备的设计与生产中,都应用到模数的概念。

第四节 常用物理化学资料

一、重要的物理常数(见表附 9)

表附 9 重要的物理常数

常数名称	符号	常数值	单位	常数名称	符号	常数值	单位
标准大气压	p/atm	101325	Pa	重力加速度	g	9.80665	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
真空中光速	c	2.99792×10^8	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	热力学温度绝对零度	t_0	-273.15	°C
法拉第常数	F	$9.6487 \cdot 10^4$	$\frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}$	理想气体标准摩尔体积	V_0	22.413	$\frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}$
玻尔兹曼常数	k	$1.380 \cdot 10^{-23}$	$\frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{K}}$	摩尔气体常数	R	8.3143	$\frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
斯忒藩-玻耳兹曼常数	σ	$5.667 \cdot 10^{-8}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$	电子伏特	E/eV	$1.6021892 \cdot 10^{-19}$	J
普朗克(作用量子)常数	h	$6.625 \cdot 10^{-34}$	$\text{W} \cdot \text{s}^2 = \text{J} \cdot \text{s}$				

二、物质的密度

1. 纯金属的密度(见表附 10)

表附 10 纯金属的密度

金属名称	密度/(g/cm ³)	金属名称	密度/(g/cm ³)	金属名称	密度/(g/cm ³)
铝	2.70	硅	2.33	铅	11.35
银	3.5	镁	1.74	汞	10.50
铍	1.85	锰	7.43	铋	6.69
铯	9.75	铜	8.96	铬	7.2
钨	19.3	钨	10.22	锌	7.0
铁	7.87	镍	8.9	铀	22.42
金	19.32	锡	7.31	钡	12.02
镉	8.65	铂	21.45	钛	4.54
钴	8.9	汞	13.55		

注:表列数值是在温度为 20°C 时的密度。

2. 气体的密度(见表附 11)

表附 11 气体的密度

名称	密度 ρ /(g/L)	相对于空 气的密度	名称	密度 ρ /(g/L)	相对于空 气的密度
氮(N ₂)	1.25049	0.967	一氧化氮(NO)	1.340	1.037
氨(NH ₃)	0.77140	0.596	一氧化碳(CO)	1.250	0.967
乙炔(C ₂ H ₂)	1.1747	0.907	丙烷((CH ₃) ₂ CH ₂)	2.0096	1.554
氢(H ₂)	0.089882	0.0695	二氧化硫(SO ₂)	2.92655	2.264
丁烷(C ₄ H ₁₀)	2.7032	2.090	硫化氢(H ₂ S)	1.538	1.198
氟化氢(HF)	0.921	0.7123	二氧化碳(CO ₂)	1.977	1.529
氯化氢(HCl)	1.6392	1.2678	氟(F ₂)	1.696	1.312
氰化氢(HCN)	0.901	0.697	氯(Cl ₂)	3.214	2.485
空气(无 CO ₂)	1.293	1	乙烷(C ₂ H ₆)	1.356	1.049
氧(O ₂)	1.42896	1.105	乙烯(C ₂ H ₄)	1.26035	0.975
甲烷(CH ₄)	0.71682	0.554			

注: 1. 表中的 ρ 是干燥气体在 0℃ 和 10⁵Pa 压力下的密度。气体对空气的相对密度是假定两者在相同的压力和温度条件下的密度之比。

2. 当计算气体的密度时, 认为无杂质的水在 4℃ 时密度为 1.000g/cm³。要将气体密度 ρ 的单位由 g/L 化为 g/cm³, 须将表中 ρ 的数值除以 1000。

3. 常用材料的密度(见表附 12)

表附 12 常用材料的密度

材料名称	密度/(g/cm ³)	材料名称	密度/(g/cm ³)	材料名称	密度/(g/cm ³)
木材*	0.4~0.6	皮革	0.4~1.2	汽油	0.7~0.8
竹材*	0.9	纤维纸板	1.3	苯	0.879
石墨	1.9~2.1	平板玻璃	2.5	松香	1.07~1.1
水泥	1.2	耐高温玻璃	2.23	煤油	0.80~0.82
石英	2.5~2.8	石英玻璃	2.2	二甲苯	0.88
滑石	2.6~2.8	陶瓷	2.3~2.45	冰(0℃)	0.89~0.92
碳化硅	3.10	热固性压塑料	1.4~2.1	石油	0.73~0.94
云母	2.7~3.1	热塑性压塑料	0.95~2.4	二硫化碳	1.263
地沥青	0.9~1.5	聚氯乙烯	1.35~1.40	松节油	0.86~0.87
地蜡	0.96	聚苯乙烯	0.91	甲醇	0.791
石蜡	0.9	聚乙烯	0.92~0.95	乙醇	0.789
石棉	2.2~3.2	有机玻璃	1.18	甲苯	0.867
纯橡胶	0.93	泡沫塑料	0.2	醋酸	1.049
平胶板	1.6~1.8	丙酮	0.92		

注: 表列数值是在温度为 15~20℃ 时的密度; 带“*”者是指含水率为 15% 时的密度。

三、常用物质的熔点和沸点(见表附 13)

表附 13 常用物质的熔点和沸点

物质名称	熔点/℃	沸点/℃	物质名称	熔点/℃	沸点/℃
铝	660.1	2441	镉	320	767
铋	271.3	1560	钴	1495	2870
钨	3400	5550	硅	1441	3280
铁	1536	2870	镁	650	1090
金	1053	2857	锰	1244	2060
铀	2450	4399	铜	1084	2575

续表

物质名称	熔点/°C	沸点/°C	物质名称	熔点/°C	沸点/°C
钨	2620	4651	氢	-259.2	-252.8
镍	1453	2914	氯化氢	-112	-83.7
锡	232	2600	甘油	20	290
铂	1770	3825	石英玻璃	1725	2230
汞	-38.86	356.55	无水醋酸	16.7	118
铅	327.5	1750	二甲苯	-47.4	139
银	961	2212	甲烷	-182.5	-161.5
铈	630.1	1750	一氧化氮	-163.6	-151.8
钛	1670	3290	一氧化碳	-207	-192
碳	>3500	4825	石蜡	50~60	350~430
铬	1860	2670	甲醇	-93.9	64.6
锌	419.5	910	乙醇	-117	78.5
氧	-218.4	-182.97	甲苯	-95	110.6
氟	-223	-187.9	乙烷	-183.3	-88.6
氯	-101	-34.6	乙烯	-169.2	-103.7
丙酮	-95	56.5	乙醚	-116	-34.6
苯	5.5	80.1	水	0	100

注：均指纯净物质在 10^5 Pa 的大气压下。

四、常用物质的比热容

1. 固体和液体的比热容(见表附 14)

表附 14 固体和液体的比热容

名称	确定 c 的温度 /°C	比热容 c / [cal/(g·°C)]	名称	确定 c 的温度 /°C	比热容 c / [cal/(g·°C)]
铝	25	0.215	铬	25	0.110
铋	25	0.090	锌	25	0.0903
铋	25	0.032	钢(1.25% C)	10~13	0.12
铁	25	0.118	青铜	14~98	0.09
金	25	0.031	黄铜	20~100	0.09
铀	25	0.031	康铜	0	0.098
镉	25	0.055	陶瓷	15~950	0.26
钨	25	0.058	无定形炭	26~76	0.168
硅	25	0.17	石墨	20~85	0.174
镁	25	0.243	玻璃	10~50	0.16~0.20
锰	25	0.114	石英玻璃	0~100	0.18
铜	25	0.092	二硫化碳	0~30	0.24
钨	25	0.060	丙酮	3~23	0.52
镍	25	0.106	苯	6~60	0.41
锡	25	0.0504	甘油	15~50	0.58
铂	25	0.032	煤油	18~99	0.50
铅	25	0.031	醋酸	1~8	0.62
银	25	0.056	冰	-10	0.53
钛	25	0.125		-20	0.48
铈	25	0.05	甲醇	15~20	0.57

续表

名称	确定 c 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	比热容 c / $[\text{cal}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})]$	名称	确定 c 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	比热容 c / $[\text{cal}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})]$
乙醇	12~30	0.60	水银	100	1.0074
甲苯	0	0.386		0	0.0334
水	0	1.0094		20	0.0332
	20	1.0000		40	0.0331
	40	0.9982		60	0.0330
	60	1.0000		100	0.0328
	80	1.0033			

注: 1cal = 4.18J。

2. 气体的比热容(见表附 15)

表附 15 气体的比热容

气体名称	确定 c_p 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	比热容 c_p / $[\text{cal}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})]$	气体名称	确定 c_p 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	比热容 c_p / $[\text{cal}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})]$
氨(蒸汽)	24~200	0.536	一氧化氮	13~172	0.231
乙炔	18	0.383	一氧化碳	26~198	0.248
丙酮(蒸汽)	26~110	0.374	二氧化硫	16~202	0.134
苯(蒸汽)	80	0.26	硫化氢	16~206	0.245
氢	10~200	3.409	二氧化碳	15	0.199
空气	0~100	0.237	氯	13~202	0.124
氟	13~207	0.217	乙烷	15	0.403
甲烷	18~208	0.594	乙烯	15~100	0.399

注: c_p 值是在标准压力下的比热容平均值。

1cal = 4.18J。

五、常用物质的热膨胀系数(见表附 16)

表附 16 常用物质的热膨胀系数 α

物质名称	确定 α 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	线膨胀系数 α / $(10^{-4}/^{\circ}\text{C})$	物质名称	确定 α 的温度 / $^{\circ}\text{C}$	线膨胀系数 α / $(10^{-4}/^{\circ}\text{C})$
铝		0.125~0.27	锰		0.115~0.28
钨		0.027~0.046	铋		0.09~0.105
金		0.115~0.15	铈		0.035~0.095
铀		0.04~0.07	钛	37~237	0.04~0.098
镉		0.26~0.38	锌	37~237	0.023~0.032
铋		0.12~0.135	钢	0~100	0.105
钴	37~237	0.12~0.13	软铁	0~100	0.114
硅	37~237	0.025~0.035	青铜	20	0.180
镁		0.15~0.29	黄铜	0~16	0.122
铜		0.105~0.18	康铜	10~16	0.189
铂		0.03~0.055	铝镁合金	12~39	0.238
铁		0.06~0.145	镍铬合金	18	0.123
镍		0.065~0.155	石英玻璃	0~80	0.004
锡		0.155~0.275	冰	-10~0	0.507
铂		0.066~0.095	石墨	50	0.08
铅		0.25~0.32	陶瓷	0~100	0.03
银		0.143~0.206	硬橡胶	17~25	0.77

注: 1. 未列出的温度为 100~500K。

2. 体膨胀系数 $\beta = 3\alpha$ 。

六、常用物质的导热系数

1. 固体和液体的导热系数(见表附 17)

表附 17 固体和液体的导热系数

名 称	确定 λ 的温度 /°C	导热系数 λ /[cal/(cm·s·°C)]	名 称	确定 λ 的温度 /°C	导热系数 λ /[cal/(cm·s·°C)]
铝	20	0.48	铬	20	0.165
铍	20	0.3847	铍	18	0.265
铋	18	0.019	软铁	18	0.14
钨	18	0.35	武德合金	10~20	0.03
铁	20	0.141	康铜	18	0.054
金	18	0.70	黄铜	18	0.26
铀	17	0.140	锰镍铜合金	18	0.053
镉	18	0.22	德银	18	0.06
钴	30	0.160	钢(1.5%C)	0	0.11
钨	100	0.182	青铜	18	0.14
镁	0~100	0.376	石棉板	500	0.0004
铜	18	0.916	瓷器	20	0.0025
铂	17	0.35	云母	50	0.0018
镍	18	0.140	石墨	7	0.012
锡	18	0.16	硬橡胶	25	0.0004
铂	17	0.165	水	41	0.00129
汞	20	0.0148		20	0.00143
铅	18	0.083		80	0.00154
银	18	0.990		90	0.0016
铋	0	0.0440	石油	13	0.00035

注: 1 cal = 4.18 J。

2. 气体的导热系数(见表附 18)

表附 18 气体的导热系数

热力学温度 /K	导热系数 λ / [10 ⁻⁵ cal/(cm·s·°C)]						
	氧 O ₂	一氧化碳 CO	氢 H ₂	甲烷 CH ₄	一氧化氮 NO	二氧化碳 CO ₂	空 气
100	2.16	2.09	16.25	2.54	—	—	2.2
150	3.29	3.15	23.54	3.86	3.21	—	3.32
200	4.37	4.17	30.64	5.22	4.24	2.27	4.36
250	5.39	5.11	37.09	6.64	5.23	3.08	5.27
273.1	5.84	5.52	39.65	7.34	5.67	3.48	5.66
300	6.35	6	42.27	8.19	6.19	3.98	6.1
310	6.55	6.18	43.19	8.52	6.38	4.17	6.26
320	6.75	6.35	44.11	8.86	6.57	4.37	6.42
330	6.95	6.53	45.02	9.22	6.76	4.57	6.58
350	7.38	6.88	46.85	9.98	7.13	4.99	6.9
380	8.03	7.43	49.6	11.22	7.69	5.63	7.39

注: 表列气体的导热系数是理论值。

1 cal = 4.18 J。

七、常用物质的电阻率及电导率

1. 常用固体的电阻率(见表附 19)

表附 19 常用固体的电阻率

名 称	电阻率 ρ / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	名 称	电阻率 ρ / $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
铝	0.0269	康铜	0.49
铍	0.046	铜镍合金	0.33
钨	0.055	白铜	0.42
铁	0.0971	锰镍铜合金	0.43
金	0.023	殷钢	0.81
铀	0.053	高镍钢	0.45
钴	0.0624	武德合金	0.52(0°C)
硅	23×10^3	石墨	8.0
钼	0.108	石棉	10^{12}
镁	0.039	热固性压塑料	$10^{14} \sim 3.7 \times 10^{17}$
锰	0.05	热塑性压塑料	$10^{16} \sim 2.1 \times 10^{22}$
铜	0.01673	云母(片)	10^{19}
铂	0.057	瓷	2×10^{19}
铋	1.16	火漆	5×10^{19}
镍	0.06844	虫胶	10^{20}
锡	0.128	松香	10^{20}
铂	0.106	聚苯乙烯	10^{21}
汞	0.965	硬橡胶	10^{22}
铅	0.20648	石蜡	3×10^{22}
硫	2×10^{23}	安装电线的铜线芯	0.0184
银	0.016	铜圆线、扁线、母线,硬	0.0179 ~ 0.0182
铊	0.42	软	0.01754
钛	0.55	工业用铜,硬棒	0.0179
碳	13.75	软棒	0.01748
铬	0.129	H62 黄铜,铸造的	0.072
锌	0.059	软的	0.065
镉	0.074	安装电线的铝线芯	0.0310
硬铝	0.0335	铝圆线、扁线、母线	0.0295
黄铜	0.08	工业用铝(含 Al 99.5%)	0.027 ~ 0.030
青铜	0.18		

注：对金属表列数值是指在温度 18~20°C 时纯金属及合金的电阻率。对绝缘体，表列数值是指在温度 18~20°C 时电阻率的近似值。

2. 化学液体的电导率及电阻率(见表附 20)

表附 20 化学液体的电导率及电阻率(20°C 时)

液体名称	化学符号	浓 度 /%	电导率 / $(\frac{\text{S} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2})$	电阻率 / $(\frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}})$	液体名称	化学符号	浓 度 /%	电导率 / $(\frac{\text{S} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2})$	电阻率 / $(\frac{\Omega \cdot \text{cm}^2}{\text{cm}})$
碳酸钠	Na_2CO_3	5	0.0450	22.2	氢氧化钠 溶 液	NaOH	25	0.256	3.9
		10	0.0704	14.2			40	0.116	8.6
		15	0.0833	12.0			硝 酸	HNO_3	5
氢氧化钠 溶 液	NaOH	5	0.196	5.1	10	0.461			2.17
		10	0.312	3.2	15	0.613			1.63
		15	0.345	2.9	20	0.709			1.41
		20	0.323	3.1	25	0.769			1.30

续表

液体名称	化学符号	浓度 /%	电导率 $/\left(\frac{\text{S}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}\right)$	电阻率 $/\left(\frac{\Omega\cdot\text{cm}^2}{\text{cm}}\right)$	液体名称	化学符号	浓度 /%	电导率 $/\left(\frac{\text{S}\cdot\text{cm}}{\text{cm}^2}\right)$	电阻率 $/\left(\frac{\Omega\cdot\text{cm}^2}{\text{cm}}\right)$			
硝酸	HNO ₃	30	0.787	1.27	氯化铵	NH ₄ Cl	15	0.258	3.87			
		40	0.735	1.36			20	0.336	2.98			
		50	0.629	1.59			25	0.400	2.50			
		80	0.267	3.75			氯化铁	FeCl ₃	5	0.052	19.4	
		100	0.015	67					10	0.103	9.7	
盐酸	HCl	5	0.395	2.53	15	0.138	7.24	硫酸铁	FeSO ₄	5	0.020	50.5
		10	0.629	1.59	10	0.032	31.5					
		15	0.746	1.34	15	0.041	24.5					
		20	0.766	1.30	20	0.047	21.2					
		25	0.752	1.33	硫酸镉	CdSO ₄	5	0.017	68.5			
		30	0.662	1.51			10	0.025	40.5			
		40	0.515	1.94			15	0.031	32.0			
硫酸	H ₂ SO ₄	5	0.201	4.97	25	0.043	23.3	氢氧化钾	KOH	5	0.172	2.00
		10	0.392	2.55	10	0.314						
		15	0.543	1.84	15	0.426						
		20	0.654	1.53	20	0.500						
		25	0.714	1.40	25	0.528						
		30	0.741	1.35	氯化钾	KCl	5	0.069	14.5			
		40	0.680	1.47			10	0.136	7.35			
		50	0.541	1.85			15	0.202	4.95			
		80	0.111	9.00			20	0.268	3.73			
		100	0.011	90			25	0.308	3.25			
氯化锌	ZnCl ₂	5	0.048	20.7	氯化铜	CuCl ₂	5	0.048	21			
		10	0.072	13.8			10	0.075	13.3			
		15	0.084	11.8			15	0.090	11.1			
		20	0.090	11.0	硫酸铜	CuSO ₄	2.5	0.011	91.7			
		30	0.092	10.8			5	0.019	52.9			
		40	0.084	11.8			10	0.032	31.3			
		50	0.069	16.4			15	0.042	23.8			
硫酸锌	ZnSO ₄	5	0.019	52.4	氯化钠	NaCl	5	0.067	14.9			
		10	0.032	31.2			10	0.120	8.3			
		15	0.041	24.1			15	0.164	6.1			
		20	0.047	21.3			20	0.196	5.1			
		25	0.048	20.9			25	0.213	4.7			
		30	0.044	22.7								
氨水	NH ₃	1.5	0.83×10^{-3}	1200								
		4.0	1.11×10^{-3}	900								
		10.0	0.91×10^{-3}	1100								
		15.0	0.65×10^{-3}	1550								
氯化铵	NH ₄ Cl	5	0.092	10.90								
		10	0.178	5.63								

注：以上数据均为 20℃ 下获得。

3. 水、土壤和岩石的电阻率及电导率(见表附 21)

表附 21 水、土壤和岩石的电阻率及电导率

材 料	电 阻 率 /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	电 导 率 /(S/cm)	材 料	电 阻 率 /($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	电 导 率 /(S/cm)
海水	3×10^2	0.03	干砂	$> 2 \times 10^8$	$< 5 \times 10^{-6}$
河水	$10^7 \sim 10^8$	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	花岗石	$10^{11} \sim 10^{13}$	$10^{-7} \sim 10^{-9}$
蒸馏水	$(1 \sim 4) \times 10^{10}$	$(0.2 \sim 1) \times 10^{-6}$	石英	$> 10^{10}$	$< 10^{-6}$
青粘土	$10^7 \sim 10^9$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	大理石	10^{14}	10^{-10}
泥灰土、湿泥炭土、沼土	$2 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$	$2 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$	石灰石	$10^8 \sim 10^9$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
干泥炭土	$5 \times 10^7 \sim 10^8$	$10^5 \sim 2 \times 10^{-4}$	页岩	10^{11}	10^{-7}
砂质粘土、陶土、湿砂	$10^8 \sim 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$			

注: $1\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 10^{-4}\Omega \cdot \text{cm}$; $1\text{S}/\text{cm} = 1/\Omega \cdot \text{cm} = 10^{-4}\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ 。

八、常用物质的介电常数(见表附 22)

表附 22 常用物质的介电常数

名 称	确定 ϵ 的温度 /°C	介电常数 ϵ	名 称	确定 ϵ 的温度 /°C	介电常数 ϵ
热固性塑料	18	2.3~5	陶瓷	18	5.0~6.8
热塑性塑料	18	3~8	虫胶	18	3.1~3.7
水	18	78.5	硬橡胶	18	2.5~2.8
胶纸板	18	3.5~5.0	氢	0	1.000264
甘油	15	39.1	空气	0	1.000576
变压器油	18	2.2~2.5	氧	0	1.000524
石油、煤油	21	2.1	一氧化碳	0	1.000695
石蜡	20	2.0~2.5	二氧化碳	0	1.000946
云母	18	5.7~7.0	聚苯乙烯	20	2.6
钛酸钡	20	1200			

注: 1. 所列数值是物质对不变电场或低频电场的介电常数。

2. 气体物质是指在标准大气压下的数值。

九、金属的几项主要机械性能(见表附 23)

表附 23 室温下纯金属的机械性能

金属名称	抗拉强度 /(kgf/mm ²)	弹性强度 /(kgf/mm ²)	屈服点 /(kgf/mm ²)	伸长率 /%	收缩率 /%	标准弹性 /(kgf/mm ²)	布氏硬度 /(kgf/mm ²)
铝	8~11	3.0	3~7	40	85	7200	20~35
镁	14	6	—	—	—	30000	140
铋	0.5~2.0	—	—	—	—	3200	9
铊	120~140	—	75	—	—	42000	350
铁	25~33	12	12.5	25~55	70~85	21000	50
金	14	1~2	3~4	30~50	90	7900	18
铀	23	—	—	2	—	52000	170
镉	6.4	0.3	1	20	50	5300	20
钡	20	—	—	55	90	12360	30
铯	24	—	—	5	—	20750	140
硅	—	—	—	—	—	11450	240
镍	17~20	1.2	2~6	15	20	4360	25
锰	脆	—	—	—	—	20160	210
铜	22	1.5	6~8	60	75	13200	35
钨	70	—	—	30	60	33000	125
镍	40~50	8	12	40	70	20500	60~80
锡	2~4	0.15	—	40	75	5500	5

续表

金属名称	抗拉强度 /(kgf/mm ²)	弹性强度 /(kgf/mm ²)	屈服点 /(kgf/mm ²)	伸长率 /%	收缩率 /%	标准弹性 /(kgf/mm ²)	布氏硬度 /(kgf/mm ²)
铂	15	—	—	50	90	17000	25
铅	1.5	0.25	0.5~1	50	100	1700	4.0~6.0
银	18	3	3.5	50	90	8100	25
锡	0.5~1	—	—	—	—	7600	30
铬	20~28	—	—	9~17	9~23	25200	220
钛	25~30	—	—	50~70	76~88	7970	100
锌	11~15	—	9~10	5~20	70	9400	30~42

注: 1kgf=9.8N。

十、常用材料的摩擦系数

1. 常用材料的滑动摩擦系数(见表附 24)

表附 24 常用材料的滑动摩擦系数

摩擦对材料	静 摩 擦 系 数		动 摩 擦 系 数	
	干 的	有 润 滑	干 的	有 润 滑
钢-钢	0.15~0.18	0.1~0.12	0.10	0.05~0.1
钢-软钢			0.2	0.1~0.2
钢-不淬火的 T8 钢			0.15	0.03
钢-铸铁	0.2~0.3	0.06~0.08	0.16~0.18	0.05~0.15
钢-黄铜			0.19	0.03
钢-青铜	0.15	0.1~0.15	0.15~0.18	(0.07)
钢-铝			0.17	0.02
钢-夹布胶木			0.22	
钢-钢纸			0.22	
钢-软木			0.5~0.65	
软钢-铸铁	0.2		0.18	0.05~0.15
软钢-青铜	0.2		0.18	0.07~0.15
钢-石棉树脂				
钢-石棉橡胶				
铸铁-铸铁		0.15	0.15~0.16	0.07~0.12
铸铁-青铜	0.21~0.28	0.16	0.15~0.2	0.07~0.15
铸铁-皮革	0.3~0.55	0.15	0.28	0.12
铸铁-橡皮			0.8	0.5
铸铁-皮带		0.28		
铜-不淬火的 T8 钢			0.15	0.03
铜-淬火的 T8 钢			0.15	0.03
铜-铜			0.20	
黄铜-不淬火的 T8 钢			0.19	0.03
黄铜-淬火的 T8 钢			0.14	0.02
黄铜-黄铜			0.17	0.02
黄铜-铜			0.30	0.02
黄铜-硬橡皮			0.25	
黄铜-石板			0.25	
黄铜-绝缘物			0.27	
青铜-不淬火的 T 号钢			0.16	
青铜-黄铜			0.16	

2. 常用材料的滚动摩擦系数(见表附 25)

表附 25 常用材料的滚动摩擦系数

摩擦对材料	摩擦系数 K	摩擦对材料	摩擦系数 K
软钢-软钢	0.005	木材-钢	0.03~0.04
淬火钢-淬火钢	0.001	木材-木材	0.05~0.08
铸铁-铸铁	0.005		

第五节 常用气象地理资料

一、常用气象地理名词术语(见表附 26)

表附 26 常用气象地理名词术语

名称	含义	电气应用说明
空气温度	离地面 2m 高,无阳光直接照射且空气流通之处的空气温度(空气流通的户内环境亦相当于这个条件)	计算、选择、校验导体载流量,考虑电气设备温升及设备安装的重要依据
极端最高(或最低)温度	自有气象记录以来的最高(或最低)温度值	在几十年内可能出现一次,持续时间很短,只对可靠性要求很高的产品要考虑此参数
年最高(或最低)温度	一年记录中所测得的最高(或最低)温度的多年平均值	是一种短时(1~5h)出现的极限值,一般电工产品在考虑可靠性和发热影响时选用之
月平均最高温度	每日最高温度的月平均值	允许短时过载的产品,常考虑最热月平均最高温度。在最热月里约有一半左右的天数,其最高温度接近或超过此值。月平均最高温度的出现时间较长,每年约有 100h 以上
日平均温度	一天 24h 温度记录的平均值,一般指一天中 2 时、8 时、14 时、20 时四个时刻测得的气温平均值	一般是考虑最热日的 24h 平均温度,如油浸式变压器调节负荷时选用此值
月平均温度	日平均温度的一个月平均值	由最热月的所有日平均温度求得,它适用于温度变化幅度较小的环境,如通风不良而无热源的坑道内使用的产品选用此值
年平均温度	月平均温度的一年 12 个月平均值	是全年气温变化的中间值,在设计计算变压器的使用寿命和仪器仪表校验时用此值
地温	与产品处于同一水平面而又不受产品散热影响之处的地下温度(一般地区地面以下 0.8~1.0m 深处、寒冷地区冻土层以下的温度)	计算地下电缆的载流量、电缆选型和敷设等的主要依据
冷却水温度	冷却产品用的引入水的温度(一般指江河湖海中距水面 1m 以下处的水或地下水的温度)	采用水冷的发电机组、变压器及其他大功率设备的散热计算、选型、安装的依据
绝对湿度	以每立方米空气中所含水气质量的克数(g/m^3)来表示,也常以水汽压力(mmHg)来表示 温度 t °C 时,空气中的水汽压力 p (mmHg)和水汽密度 ρ (g/m^3)的近似关系为: $p = 0.945(1 + 0.00367t)\rho$	电气设备绝缘强度、外壳防腐、变压器吊芯等参考数据
相对湿度	空气中水蒸气的密度(或压力)和同温度下饱和水蒸气的密度(或压力)之比,即相对湿度 $(RH) = \frac{p}{p_{饱和}} \times 100\% = \frac{\rho}{\rho_{饱和}} \times 100\%$	同“绝对湿度”
露点	空气中水蒸气的含量达到饱和(即能形成水滴)时的最高温度(这时的相对湿度为 100%)	同“绝对湿度”
大气压	通常取纬度 45°处海平面的平均大气压力作为标准大气压,它相当于温度 0°C 时正常的重力加速度下 $10^5 Pa$ 的压力	考虑电气绝缘强度、开关灭弧能力时参考
海拔高度	以平均海平面作为基准(0m)起算的陆地高度	考虑电气绝缘强度、开关灭弧能力、设备散热时参考

注: 1mmHg = 133.322Pa。

二、大气压力、温度与海拔高度的关系(见表附 27)

表附 27 大气压力、温度与海拔高度的关系

海拔高度 /m	大气压力 /mmHg	温 度 /°C	海拔高度 /m	大气压力 /mmHg	温 度 /°C
-300	789.44	16.95	3000	525.77	-4.50
-260	783.74	16.69	3100	519.12	-5.15
-200	778.20	16.30	3200	512.53	-5.80
-160	774.53	16.04	3300	506.01	-6.45
-100	769.06	15.65	3400	499.56	-7.10
-60	765.43	15.39	3500	493.18	-7.75
0	760	15	3600	486.86	-8.40
500	716.00	11.75	3700	480.61	-9.05
600	707.45	11.10	3800	474.42	-9.70
700	698.99	10.45	3900	468.30	-10.35
800	690.60	9.8	4000	462.24	-11.00
900	682.50	9.15	4100	456.24	-11.65
1000	674.08	8.50	4200	450.31	-12.30
1100	665.94	7.85	4300	444.44	-12.95
1200	657.88	7.20	4400	438.64	-13.60
1300	649.90	6.55	4500	432.89	-14.25
1400	642.00	5.90	4600	427.21	-14.90
1500	634.17	5.25	4700	421.58	-15.55
1600	624.43	4.60	4800	416.02	-16.20
1700	618.76	3.95	4900	410.51	-16.85
1800	611.17	3.30	5000	405.07	-17.50
1900	603.55	2.65	5500	378.71	-20.75
2000	596.20	2.00	6000	353.76	-24.00
2100	588.83	1.35	6500	330.16	-27.25
2200	581.54	0.70	7000	307.85	-30.50
2300	574.32	-0.05	7500	286.78	-33.75
2400	567.17	-0.60	8000	266.89	-37.00
2500	560.09	-1.25	8500	248.13	-40.25
2600	553.09	-1.90	9000	230.46	-43.50
2700	546.16	-2.55	9500	213.81	-46.75
2800	539.29	-3.20	10000	198.16	-50.00
2900	532.50	-3.85			

注: 1mmHg = 133.322Pa

三、我国自然气候分区与典型气象区

1. 温湿度气候分区

我国的自然气候按温湿度状况可分为寒冷、寒温、暖温、干热、亚湿热和湿热等六个区。其中寒温又可分为寒温Ⅰ和寒温Ⅱ两类。具体的分区标准参数和地区分布情况分别见表附 28 和表附 29。

表附 28 我国温湿度气候分区标准参数

环境参数		气候分区						
		寒冷	寒温		暖温	干热	亚湿热	湿热
			I	II				
日平均值的	低温/℃	-40	-29	-26	-15	-15	-5	3
	高温/℃	25	29	22	32	35	35	35
	RH > 95%时最高温度/℃	15	18	6	24	—	25	26
	最大绝对湿度/(g/m ³)	17	19	10	24	13	25	26
年极限的平均	低温/℃	-50	-33	-33	-20	-20	-10	5
	高温/℃	35	37	31	38	40	40	40
	RH > 95%时最高温度/℃	20	23	12	26	15	27	28
	最大绝对湿度/(g/m ³)	18	21	11	26	17	27	28
绝对极限	低温/℃	-55	-40	-45	-30	-30	15	0
	高温/℃	40	40	34	45	45	45	40
	RH > 95%时最高温度/℃	33	26	13	28	20	29	29
	最大绝对湿度/(g/m ³)	22	25	13	28	20	29	29

表附 29 我国主要地区温湿度分区

气候分区	主要地区
寒冷	漠河、呼玛、嫩江、伊春、图里河、海拉尔、满洲里、阿勒泰、清水河
寒温 I	博克图、齐齐哈尔、哈尔滨、通河、牡丹江、长春、沈阳、呼和浩特、银川、张掖、酒泉等
寒温 II	西宁、大柴旦、噶尔、帕里、阿坝、五台山等
暖温	丹东、北京、石家庄、太原、济南、延安、西安、兰州、安阳、宝鸡、徐州、峨嵋山、昆明、拉萨、黄山、庐山等
干热	哈密、喀什、和田、吐鲁番、库尔勒
亚湿热	南京、上海、合肥、宜昌、汉口、长沙、赣州、南昌、南宁、桂林、九江、贵阳、巴中、成都、重庆、杭州、福州、舟山、韶关、梅县、广州、汕头等
湿热	上川岛、北海、阳江、湛江、海口

2. 典型气象区

从室外架空线路设计和施工计算条件出发，按大气温度、风速和覆冰厚度等气象条件，我国共划分为七个典型气象区。典型气象分区及适用地区见表附 30。

表附 30 典型气象分区及适用地区

序号	适用地区	气象区	最大风速 / (m/s)	覆冰厚 /mm	最低气温 /℃
1	南方沿海受台风侵袭地区，如浙江、福建、广东、广西、上海	I	30	—	-5
2	华东大部分地区	II	25	5	-10
3	西南非重冰地区，福建、广东等台风影响较弱地区	III	25	5	-5
4	西北大部分地区，华北京津唐地区	IV	25	5	-20
5	华北平原，湖北，湖南，河南	V	25	10	-20
6	东北大部分地区，河北的承德、张家口一带	VI	25	10	-40
7	覆冰严重地区，如山东、河南部分地区、湘中、鄂北、粤北重冰地带	VII	25	15	-20

四、我国主要城市的气象资料 (见表附 31)

表附 31 我国主要城市的气象资料

项目 城市	海拔高度 /m	平均气压 /mbar	平均气温 /°C	极端最 高气温 /°C	极端最 低气温 /°C	平均相 对湿度 /%	年积雪日/天		最大积 雪厚度 /cm	最大风速 /(m/s)
							平均	最多		
哈尔滨	171.7	993.7	3.6	36.4	-38.1	67	102.9	151	41	24.3
长春	236.8	986.6	4.8	38	-36.5	65	86.2	141	18	28
沈阳	41.6	1011.3	7.7	38.3	-30.6	65	64.7	120	20	29.7
乌鲁木齐	2160.0	—	2.0	30.5	-30.2	—	177.1	198	65	14
西宁	2261.2	775.1	5.5	32.4	-26.6	58	23.1	35	18	15.1
兰州	1517.2	847.8	9.1	39.1	-21.7	59	17.5	58	10	10
银川	1111.5	890.4	8.5	39.3	-30.6	59	15.4	66	17	28
西安	396.9	969.8	13.3	41.7	-20.6	71	17.8	47	22	19.1
呼和浩特	1063.0	896.0	5.6	37.3	-32.8	56	35.2	84	30	20
太原	777.9	926.8	9.3	39.4	-25.5	60	22.8	61	16	25
北京	31.2	1013.2	11.6	40.6	-27.4	59	16.5	36	24	23.8
天津	3.3	1016.5	12.2	39.6	-22.9	63	13.3	31	20	26
石家庄	81.8	1007.1	12.8	42.7	-26.5	62	19.3	44	15	20
济南	51.6	1010.5	14.2	42.5	-19.7	59	15.9	40	19	33.3
上海	4.5	1016.0	15.7	38.9	-9.4	80	3.4	9	14	30
南京	8.9	1015.5	15.4	40.7	-14.0	77	9.4	31	51	19.8
合肥	23.6	1012.4	15.7	41.0	-20.6	76	12.2	33	45	21.3
杭州	7.2	1015.8	16.1	39.7	-9.6	82	7.4	22	16	16
南昌	46.7	1009.4	17.5	40.6	-7.7	78	5	11	16	19
福州	84.0	1005.0	19.6	39.3	-1.2	77	—	—	—	29
台北	9.0	1012.9	22.3	—	—	82	—	—	—	—
郑州	110.4	1003.4	14.2	43.0	-17.9	66	14.9	40	23	—
汉口	23.3	1013.2	16.3	39.4	-17.3	79	9.3	31	32	20
长沙	44.9	1005.6	17.2	40.6	-9.5	80	6	14	—	20
广州	6.3	1012.2	21.8	38.7	0	78	—	—	—	22
南宁	72.2	1003.9	21.6	40.4	-2.1	79	—	—	—	16
成都	505.9	956.3	16.3	37.3	-4.6	82	0.6	4	—	16
贵阳	1071.2	993.3	15.3	37.5	-7.8	77	3.2	7	—	16
昆明	1891.4	810.3	14.8	31.5	-5.4	72	0.9	3	—	18
拉萨	3658.0	651.9	7.5	29.4	-16.5	45	4.1	10	—	16
满洲里	666.8	—	-1.4	37.4	-42.7	64	122.6	171	24	—
海拉尔	612.9	941.3	-2.2	36.7	-48.5	69	140.5	168	39	—
伊春	231.3	985.5	0.2	34.4	-43.1	71	143.1	154	33	18
齐齐哈尔	145.9	996.2	3.1	39.9	-39.5	63	84.6	115	17	26
鹤岗	227.9	985.0	2.6	35.4	-33.6	63	122.2	146	40	20
大庆	150.5	995.9	3.2	38.2	-37.3	64	80.2	133	21	40
鸡西	233.1	986.0	3.5	37.1	-35.1	65	102.1	143	60	21
牡丹江	241.4	985.8	3.4	36.5	-38.3	68	101.7	136	34	24
绥芬河	296.7	955.4	2.3	34.6	-37.5	67	116	145	51	34
通辽	178.5	994.3	5.9	39.1	-30.9	56	36	93	14	20
四平	164.2	995.8	5.8	36.6	-34.6	66	78.3	135	18	21
延吉	176.8	994.0	4.9	37.1	-32.2	66	80.2	129	58	>20
通化	402.9	968.4	4.8	35.0	-36.3	71	112	151	39	34
赤峰	571.1	948.8	6.6	42.5	-31.4	49	33.2	82	25	40
阜新	144.0	990.5	7.4	38.5	-28.4	59	30.6	73	16	33.3
抚顺	118.1	1002.4	7.0	36.9	-35.2	69	80.4	129	25	20
文阳	168.7	995.6	8.4	40.6	-31.1	52	24.7	75	17	24

续表

项目 城市	海拔高度 /m	平均气压 /mbar	平均气温 /°C	极端最 高气温 /°C	极端最 低气温 /°C	平均相 对湿度 /%	年积雪日/天		最大积 雪厚度 /cm	最大风速 /(m/s)
							平均	最多		
本溪	212.8	997.0	7.8	37.3	-32.3	64	80.5	125	35	—
辽阳	10.5	—	8.2	38.0	-33.7	64	58.4	114	33	—
锦州	66.3	1008.2	8.9	37.3	-24.7	59	24.1	92	23	>40
鞍山	21.6	1014.0	8.6	36.9	-30.4	64	53.8	86	26	24
营口	3.5	1016.6	8.8	35.3	-27.3	66	44.1	84	21	40
丹东	15.1	1015.4	8.5	34.3	-28.0	71	42.2	90	31	28
大连	93.5	1005.4	10.1	34.4	-21.1	68	26.7	53	37	34
克拉玛依	427.0	970.9	7.9	42.9	-35.9	48	81.6	135	25	>40
伊宁	662.5	941.1	8.2	37.4	-40.4	66	104.9	147	89	34
哈密	737.9	930.9	9.9	43.9	-32.0	40	29.6	47	16	24
喀什	1288.7	871.4	11.7	40.1	-24.4	50	23.7	79	20	21
玉门	2312.4	846.9	6.9	36.7	-27.7	41	24.7	63	16	24
天水	1131.7	887.3	10.7	37.2	-19.2	68	19.8	63	15	20
石嘴山	1092.0	892.3	8.1	37.0	-27.2	51	6.6	26	7	24
延安	957.6	907.6	9.3	39.7	-25.4	63	21.5	57	17	16
铜川	978.9	905.6	10.6	37.7	-18.2	64	24.1	50	15	28
宝鸡	616.2	945.5	12.8	41.4	-16.7	69	17.4	44	16	25
汉中	508.3	956.8	14.3	38.0	-10.1	79	3.9	14	9	14
二连浩特	964.8	904.9	3.2	39.6	-40.2	48	54.8	121	10	24
集宁	1416.5	857.2	3.5	35.7	-33.8	52	41.4	82	30	28
阳泉	741.9	929.9	10.7	40.2	-19.1	55	26.2	51	23	20
承德	375.2	972.7	8.8	41.5	-23.3	54	26.9	83	27	16
唐山	25.9	1014.3	11.0	38.9	-21.0	62	16.3	32	19	—
张家口	723.9	932.7	7.5	40.9	-26.2	51	29.5	87	31	20
保定	17.2	1014.4	12.1	43.3	-23.7	63	18.9	59	16	28
沧州	11.4	1015.7	12.4	42.9	-20.6	63	14.8	36	—	19
邢台	76.8	1007.6	12.9	41.8	-22.4	64	17.4	40	15	18
德州	21.2	1014.3	12.8	43.4	-27.0	64	16.7	43	25	28
淄博	32.8	1012.5	13.0	42.1	-21.8	63	18.7	51	26	—
潍坊	62.8	1009.7	12.3	40.5	-21.4	66	18.4	49	20	18
泰安	128.8	1001.5	12.8	40.7	-22.4	65	18.9	48	20	19
青岛	16.8	1015.6	11.9	36.9	-20.5	74	9	26	19	—
大同	1067.6	894.8	6.4	37.7	-29.1	54	30.7	54	22	29
连云港	3.0	1016.7	14	40.0	-18.1	70	8.6	31	28	—
徐州	43.0	1012.5	14	40.1	-22.6	71	10.7	42	25	16
淮阴	15.5	1014.9	14	39.5	-21.5	77	12.5	39	24	17
南通	5.3	1016.0	15	37.3	-10.8	81	5.1	19	16	26.3
镇江	26.4	1013.8	15.4	40.9	-12.0	76	6.8	23	26	—
宿县	25.8	1013.1	14.3	40.0	-23.2	71	13.7	45	22	20
蚌埠	21.0	1014.1	15.1	41.3	-19.4	73	13.2	38	35	21.3
阜阳	31.2	1013.2	14.8	41.4	-20.4	73	14.1	37	26	23
六安	60.5	1009.1	15.5	41.0	-18.9	78	13.4	37	30	—
芜湖	14.8	1014.2	16.1	39.3	-13.1	79	9.1	24	25	24
铜陵	37.2	—	16.2	40.2	-11.9	76	9.3	29	31	—
安庆	44.0	1011.0	16.5	40.2	-12.5	77	7.7	23	18	29
屯溪	146.7	998.9	16.3	41.0	-10.9	79	6.0	14	17	20
宁波	4.2	1016.2	16.2	38.7	-8.8	82	4.3	12	11	16
衢州	66.1	1008.2	17.3	40.5	-10.4	79	6.1	15	—	19
金华	64.1	1008.9	17.4	41.2	-9.0	77	5.6	13	45	16
温州	6.0	1015.0	17.9	39.3	-4.5	81	1.2	6	10	16

续表

项目 城市	海拔高度 /m	平均气压 /mbar	平均气温 /℃	极端最 高气温 /℃	极端最 低气温 /℃	平均相 对湿度 /%	年积雪日/天		最大积 雪厚度 /cm	最大风速 /(m/s)
							平均	最多		
九江	32.2	1011.8	17.0	40.2	-9.7	75	6.4	16	25	20
景德镇	46.3	1009.4	17.0	41.8	-10.9	79	3.4	9	13	24
宜春	129.0	1000.5	17.2	41.6	-9.2	81	4.3	11	20	28
萍乡	108.8	—	17.2	38.8	-8.6	82	4.4	16	21	—
吉安	78.0	1005.6	18.3	40.2	-7.1	78	2.6	8	14	20
赣州	123.8	999.9	19.4	41.2	-6.0	76	1.1	4	13	28
南平	127.2	999.9	19.3	41	-5.8	79	0.4	3	4	>20
漳州	30	1010.6	21.1	40.9	-2.1	80	—	—	—	—
厦门	63.2	1006.9	20.8	38.4	+2	77	—	—	—	34
安阳	75.5	1007.4	13.5	41.7	-21.7	66	15.7	42	16	20
三门峡	389.9	971.1	13.9	43.2	-16.5	61	12.2	30	15	—
开封	72.5	1007.9	14	42.9	-14.7	70	11.6	42	30	—
洛阳	156.6	999.7	14.5	44.2	-18.2	65	14.3	35	25	4
商丘	50.1	1010.6	13.9	43	-18.9	72	15.8	45	22	24
许昌	71.9	1008	14.6	41.9	-17.4	69	15.9	47	38	—
南阳	129.8	1001.1	14.9	40.8	-21.2	71	13.2	43	27	27
信阳	75.9	1007.3	15	40.9	-20	77	18.8	49	44	20
老河口	91.1	1005.2	15.3	41.0	-15.7	76	1.4	38	—	17
随县	96.2	—	15.6	41.1	-16.3	74	7.3	18	15	—
宜昌	131.1	1007.8	16.9	41.4	-8.9	77	5	12	20	18
荆州	34.7	1011.9	16.0	38.6	-14.8	81	9	31	21	18
黄石	22.2	1013.2	17.0	40.3	-11.0	78	6.9	21	16	18
岳阳	51.6	1009.3	16.9	38.3	-11.8	79	8.4	23	16	—
常德	36.7	1011.7	16.8	39.8	-11.2	81	8.7	26	17	17
株洲	57.5	1008.5	17.6	40.5	-8.0	78	5	13	22	—
邹阳	249.8	986.5	17.1	39.0	-7.7	78	5.2	14	10	—
衡阳	100.6	1004.7	17.9	40.8	-7.0	79	4.1	15	16	—
郴州	184.9	993.8	17.7	41.3	-9.0	81	4.3	15	15	18
韶关	69.3	1005.7	20.3	42.0	-4.3	76	—	—	—	25
梅县	77.5	1104.5	21.3	39.3	-7.3	78	—	—	—	13
汕头	1.2	1012.7	21.3	37.9	+0.4	82	—	—	—	34
湛江	26.4	1008.4	23.1	38.1	+2.8	82	—	—	—	34
海口	14.1	1009.1	23.8	38.9	+2.8	85	—	—	—	23.8
桂林	166.7	994.8	18.8	39.4	-4.9	76	0.4	2	1	19
梧州	119.2	999.3	21.1	39.2	-3.0	78	—	—	—	14
北海	14.6	1010.0	22.6	37.1	+2.0	80	—	—	—	28
绵阳	470.8	960.4	16.4	37.0	-5.9	78	0.3	2	1	—
达县	510.4	977.8	17.3	42.3	-4.7	79	0.3	2	4	—
南充	297.7	979.0	17.6	41.3	-2.2	79	0.6	3	5	18
万县	186.7	992.4	18.1	41.8	-3.7	81	0.3	1	5	—
内江	352.3	973.0	17.7	41.1	-3.0	80	0.2	2	3	—
重庆	260.6	982.9	18.3	42.2	-1.8	79	0.1	1	3	22.9
乐山	424.2	964.8	17.2	38.1	-4.3	81	0.1	1	—	—
自贡	354.9	—	17.8	38.9	-2.8	79	0.1	1	2	—
泸州	334.8	974.6	18	40.3	-0.6	83	0.1	1	1	—
宜宾	340.8	974.0	18	39.4	-3	81	0.1	1	—	20
西昌	1590.7	837.2	17.1	36.5	-3.4	61	0.9	4	9	13
遵义	843.9	918.2	15.2	38.7	-6.5	81	3.1	8	9	10.8
安顺	1392.9	859.8	14	34.3	-6.5	80	2.7	9	8	20
盘县	1527.1	847.0	15.2	36.7	-6.4	77	1.5	4	6	20

注：1mbar = 100Pa。

五、电工产品的使用环境条件及有关技术要求

1. 普通电工产品的基本使用环境条件

(1) 基本使用环境条件

- ① 海拔高度：不超过 1000m。
- ② 最高空气温度：40℃。
- ③ 最低空气温度，取下列数值之一：+5℃，-10℃，-25℃，-40℃。
- ④ 空气相对湿度：最湿月的月平均最大相对湿度为 90%，同时该月的月平均最低温度为 25℃。

(2) 在选定环境条件下的技术要求

- ① 在所选定的环境条件下，产品应满足有关技术性能要求和安全可靠地运行。
- ② 在所规定的海拔高度内：

产品的允许温升随海拔高度的修正系数，由专业标准具体规定；

产品的使用性能（如电晕、动作值、外绝缘强度、灭弧性能等）受海拔影响的变换规律及其有关技术措施，由专业标准具体规定。

③ 为保证在所规定的环境条件下安全可靠地使用，应对产品（或关键性零部件）进行相应的适应性试验（如低温试验、湿热试验等），其试验方法与考核要求由专业标准具体规定。

2. 特殊电工产品的基本使用环境条件（见表附 32）

表附 32 特殊电工产品基本使用环境条件

环境因素		环境条件					
		湿热	干热	高原			
海拔高度/m		≤1000	≤1000	2000	3000	4000	5000
空气 温度	年最高/℃	40	45	35	30	25	20
	年最低/℃	0	-5	取下列数值之一： +5、-10、 -25、-40	取下列数值之一： +5、-10、 -25、-40	取下列数值之一： +5、-10、 -25、-40	取下列数值之一： +5、-10、 -25、-40
	年平均/℃	25	30	15	10	5	0
	月平均最高/℃	35	43	30	25	20	15
	日平均/℃	35	40	25	20	15	10
	最大日温差/℃		30	30	30	30	30
空气相对湿度/%		95(25℃)	10(40℃)	90(15℃)	90(10℃)	90(5℃)	90(0℃)
气压	最低/mmHg	(656)	(656)	(581)	(510)	(450)	(394)
	平均/mmHg	(675)	(675)	(600)	(529)	(465)	(409)
冷却水最高温度/℃		33	35				
1m 深地下最高温度/℃		32	32	22	19	16	13
太阳辐射最大强度/[cal/(cm ² ·min)]		1.4	1.6	1.6	1.6	1.8	1.8
最大降雨强度/(mm/10min)		50		30	30	30	30
最大风速/(m/s)		35	40	△	△	△	△
露、雪、霜、冰		△	△	△	△	△	△
霉菌		○					
盐雾		△	△				
灰尘与砂尘			○(户外) △(户内)	△	△	△	△
雷电		○					

注：表中，“○”者为必须考虑的项目，“△”者为根据具体要求考虑的项目。

1mmHg = 133.322Pa。

1cal = 4.18J。

六、温度、湿度、大气压力对电气装置的影响（见表附 33）

表附 33 温度、湿度、大气压力对电气装置的影响

名 称		对 电 气 装 置 的 影 响
温 度	高温	影响电气装置使用时的安全可靠性能，如电子元件性能被破坏，热继电器产生误动作，电缆头流胶，电动轴承流油，以及材料变质变形，加速绝缘材料劣化，缩短使用寿命
	低温	使材料机械性能降低，变硬发脆，油类粘度增加甚至凝固
	日温差和温度突变	日温差会引起凝露，使电气装置受潮，加速金属腐蚀。温度突变会使电气装置密封体遭到破坏，机械结构变形、开裂以及绝缘子破裂等
湿 度	相对湿度 > 65%	任何物体的表面均附着一层水膜，使电气绝缘的表面电阻大大降低
	相对湿度 > 80%	可使绝缘材料受潮，导致电气装置绝缘性能的降低
	相对湿度为 80% ~ 95%	当温度为 25 ~ 30℃ 时，霉菌将旺盛繁殖，破坏电气装置的外观和标志等
	湿度超过临界湿度	湿度超过金属的临界腐蚀湿度时，其腐蚀速度将成倍增加。一般金属的临界湿度为：铁 70% ~ 75%，锌 65%，铝 60% ~ 65%
	长期低温	如木材、皮革、塑料等绝缘材料制品，会产生干燥收缩、变形、甚至龟裂。当绝对湿度低于 0.5g/m ³ 时，对电机碳刷磨损有一定影响
大气压力	低气压	使空气介电强度和冷却作用降低，以空气为冷却介质的电气装置的温升将增高，使开关在空气中灭弧发生困难等

七、各种场所对电工产品噪声限度的要求（见表附 34）

表附 34 各种场所对电工产品噪声限度的要求

噪声要求 /dB (A)	场 所 与 产 品 举 例
30 ~ 35	用于高级宾馆、播音室、录音室、高级会议室、医院、消声室等场所的产品，如摄影机、伺服电机、暖水泵等
35 ~ 40	用于图书馆、手术室、实验室、计量室、剧场等场所的产品，如精密仪器、精密设备、医疗仪器、计量用的产品、高级风扇、录音机用的电机等
40 ~ 45	一般实验室、工厂中心试验室、中心计量室、精密加工车间、一般会议室等场所用的产品，如高精机床、台扇、计量用伺服电机等
45 ~ 50	一般办公室、餐厅、仪表车间、轿车等场所用的产品，如划水器、一般风扇、变流装置等
50 ~ 60	船上的会议室、住舱、报房、驾驶台等场所用的产品
60 ~ 80	一般环境用的产品，如无噪声的车间、船上一般舱室用的较大排气风扇、电焊机等
80 ~ 90	普通车间、有较高噪声的环境用的产品
90 ~ 100	高噪声环境，如织布车间、大型汽轮发电机车间、船舶主机舱等用的产品

说明：噪声的度量通常采用声压级，单位为分贝（dB），其数学表达式为：

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

式中 L_p ——声压级，dB；

p ——声压，N/m²；

p_0 ——基准声压，是 1000Hz 纯音的听觉阈声压，为 2×10^{-5} N/m²。

第六节 电气技术中的图形符号

一、常用电气系统图、电路图用图形符号 (见表附 35)

表附 35 常用电气系统图、电路图用图形符号和其他符号

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
直流	— 或 - - -	—	导线的多线连接		
交流	~	.		或	或
交直流	~	.	导线的不连接	+	.
接地一般符号		.	接通的连接片		
无噪声接地 (抗干扰接地)			或		
保护接地			断开的连接片		
接机壳或接底板			电阻器一般符号	优选形	其他形
等电位			或		
故障			电容器一般符号		
闪络、击穿			极性电容器		
导线间绝缘击穿			半导体二极管一般符号		
导线对机壳绝缘击穿			光电二极管		
导线对地绝缘击穿			电压调整二极管 (稳压管)		
导线的连接			晶体闸流管 (阴极侧受控)		
			PNP 型半导体三极管		
			NPN 型半导体三极管		

续表

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
换向绕组			串励直流电动机		
补偿绕组		.	他励直流电动机		
串励绕组		.	并励直流电动机		
并励或他励绕组		或 	复励直流电动机		
发电机			铁芯带间隙的铁芯		-
直流发电机			单相变压器		
交流发电机			有中心抽头的单相变压器		
电动机			三相变压器星形-有中性点引出线的星形连接		
直流电动机					
交流电动机					
直线电动机					
步进电动机					
手摇发电机					
三相笼式异步电动机					
三相绕线转子异步电动机					

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
三相变压器有中性点引出线的星形-三角形连接			延时断开的动合触点		
电流互感器脉冲变压器			延时闭合的动断触点		
动合(常开)触点			延时断开的动断触点		
动断(常闭)触点			延时闭合和延时断开的动合触点		
先断后合的转换触点			延时闭合和延时断开的动断触点		
先合后断的转换触点			带动合触点的按钮		
中间断开的双向触点			带动断触点的按钮		
延时闭合的动合触点			带动合和动断触点的按钮		

续表

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
位置开关的动合触点			继电器线圈		
位置开关的动断触点			热继电器的驱动器件		
热继电器的触点			灯		
接触器的动合触点			电抗器		
接触器的动分触点			荧光灯起动器		
三级开关			转速继电器		
三级高压断路器			压力继电器		
三级高压隔离开关			温度继电器		
三级高压负荷开关					

续表

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
液位继电器			热电阻		
火花间隙			电喇叭		
避雷器			扬声器		
熔断器			受话器		
跌开式熔断器			电铃		
熔断器式开关			蜂鸣器		
熔断器式隔离开关			原电池或蓄电池		
熔断器式负荷开关					
示波器					

续表

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
换向器上的电刷			桥式全波整流器		
集电环上的电刷					

注:旧符号一栏中,“=”表示旧符号与新符号相同;空白表示旧符号无此符号。

二、常用电力、照明和电信布置图形符号(见表附 36)

表附 36 常用电力、照明和电信布置图形符号

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
发电站	 规划的 运行的		控制及信号线路(电力及照明用)		
变电所 配电所	 规划的 运行的		用单线表示的多回路线路		
杆上变电所	 规划的 运行的		母线		
地下线路			交流母线		
架空线路			直流母线		
事故照明线			中性线		
50V 及以下电力及照明线路			保护线		
			保护和中性共用线		

续表

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
向上、向下配线			带接地插孔的三相插座		
屏、台、箱、柜			开关的一般符号		
动力、照明配电箱			单极开关		
信号板、箱			双极开关		
照明配电箱			三极开关		
电磁阀			单极拉线开关		
按钮盒			双控开关		
电风扇			灯的一般符号		
单相插座			投光灯		
带保护接地插座			荧光灯		

三、电气图上常用设备技术参数的标注方法(见表附 37)

表附 37 电气图上常用设备技术参数的标注方法

序号	类 别	新标注方法	旧标注方法
1	用电设备 a—设备编号 b—额定功率,kW c—线路首端熔断片或自动开关释放器的电流,A d—标高,m	$\frac{a}{b}$ 或 $\frac{a}{b} + \frac{c}{d}$	=
2	电力和照明设备 (1) 一般标注方法 (2) 当需要标注引入线的规格时 a—设备编号 b—设备型号 c—设备功率,kW d—导线型号 e—导线根数 f—导线截面,mm ² g—导线敷设方式及部位	$a \frac{b}{c}$ 或 a-b-c $a \frac{b-c}{d(e \times f)-g}$	=
3	开关及熔断器 (1) 一般标注方法 (2) 当需要标注引入线的规格时 a—设备编号 b—设备型号 c—额定电流,A i—整定电流,A d—导线型号 e—导线根数 f—导线截面,mm ² g—导线敷设方式	$a \frac{b}{c/i}$ 或 a-b-c/i $a \frac{b-c/i}{d(e \times f)-g}$	基本相同 其中一般符号为 $a \frac{b}{cd}$ d—导线型号
4	照明变压器 a—一次电压,V b—二次电压,V c—额定容量,VA	a/b-c	=
5	照明灯具 (1) 一般标注方法 (2) 灯具吸顶安装 a—灯数 b—型号或编号 c—每盏照明灯具的灯泡数 d—灯泡容量,W e—灯泡安装高度,m f—安装方式 L—光源种类	$a-b \frac{c \times d \times L_f}{e}$ $a-b \frac{c \times d \times L}{e}$	=
6	最低照度○(示出 15lx)	Ⓛ5	=
7	照明照度检查点 (1) a:水平照度,lx (2) a-b:双侧垂直照度,lx c:水平照度,lx	● a ● $\frac{a-b}{c}$	=

续表

序号	类别	新标注方法	旧标注方法
8	电缆与其他设施交叉点 a——保护管根数 b——保护管直径,mm c——管长,m d——地面标高,m e——保护管埋设深度,m f——交叉点坐标		
9	安装或敷设标高,m (1) 用于室内平面、剖面图上 (2) 用于总平面图上的室外地面	± 0.00 ± 0.00 	=
10	导线根数,当用单线表示一组导线时,若需要示出导线数,可用加小短斜线或画一条短斜线加数字表示		
11	导线型号规格或敷设方式的改变 (1) $3 \times 16\text{mm}^2$ 导线改为 $3 \times 10\text{mm}^2$ (2) 无穿管敷设改为导线穿管($\phi 2 \frac{1}{2}''$)敷设	$3 \times 16 \times 3 \times 10$ $\phi 2 \frac{1}{2}''$ 	

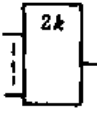


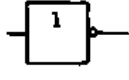

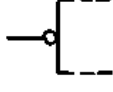

四、常用二进制逻辑单元图形符号(见表附 38)

表附 38 常用二进制逻辑单元图形符号

名称	符号	含义
逻辑极性指示符	(1) (2) (3) (4)	(1) 示在输入端 (2) 示在输出端 (3) 示在信息流为从右到左的输入端 (4) 示在信息流为从右到左的输出端 内部逻辑“1”状态与连线上的 L 电平相对应
动态输入		内部“1”状态(暂时)与从外部“0”状态到外部“1”状态的转换过程相对应。其他所有时间内部逻辑状态为“0” 在采用极性指示符的图上,内部“1”状态(暂时)与连接线上从 L 电平到 H 电平的转换过程相对应。在其他所有时间内部逻辑状态为“0”

续表





名称	符号	含义
内部连接		右边单元输入端的内部“1”状态（“0”状态）与左边单元输出端的内部“1”状态（“0”状态）相对应
具有逻辑非的内部连接		右边“1”（“0”）与左边“0”（“1”）相对应
具有动态特性的内部连接		右边“1”（暂时）与左边从“0”到“1”的转换过程相对应。在其余时间里，右边为“0”
非逻辑连接		没有任何逻辑信息的连接（例如基准电压的连接）
双向信息流		
“或”单元，通用符号		只有一个或一个以上的输入呈现“1”状态，输出才呈现其“1”状态 注：如果不会引起意义混淆，“>1”可以用“1”代替
“与”单元，通用符号		只有所有输入呈现“1”状态，输出才呈现“1”状态
逻辑门阈单元，通用符号		只有呈现“1”状态输入的数目等于或大于限定符号中以 m 表示的数值，输出才呈现“1”状态 注：① m 总是小于输入端的数目 ② 具有 $m=1$ 的单元就是通常所说的或单元
等于 m 单元，通用符号		只有呈现“1”状态输入的数目等于限定符号中以 m 表示的数值，输出才呈现“1”状态 注：① 同上 ② $m=1$ 的 2 输入单元就是通常所说的“异或”单元
多数单元，通用符号		只有多数输入呈现“1”状态，输出才呈现“1”状态
逻辑恒等单元，通用符号		只有所有输入呈现相同的状态，输出才呈现“1”状态
奇数单元		只有呈现“1”状态的输入数目为奇数（1、3、5等），输出才呈现“1”状态

名称	符号	含义
偶数单元		只有呈现“1”状态的输入数目为偶数(0、2、4等), 输出就呈现其“1”状态
异或单元		只有两个输入之一呈现“1”状态, 输出才呈现“1”状态 注: 在两个以上输入情况下, 使用 $m=1$ 的符号 12-27-04 还是使用符号 12-27-07, 由所包括的功能决定
输出无专门放大的缓冲单元		只有输入呈现“1”状态, 输出才呈现“1”状态
非门 反相器(用逻辑符号表示)		只有输入呈现外部“1”状态, 输出才呈现外部“0”状态
反相器(用极性指示符号表示)		只有输入呈现 H 电平, 输出才呈现 L 电平
逻辑非	(1)  (2) 	(1) 示在输入端 (2) 示在输出端 内部“1”状态与外部“0”状态相对应



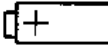






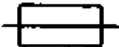



五、常用电器设备用图形符号(见表附 39)




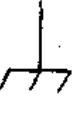







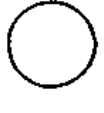
电气设备用图形符号主要用于各种类型的电气设备或电气设备的部件上, 使操作人员了解其用途和操作方法; 也可用于安装或移动电气设备的场合, 以指示诸如禁止、警告、规定或限制的应注意事项。不应与电气图用图形符号相混淆。

表附 39 常用电气设备用图形符号




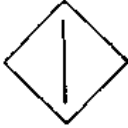








序号	名称	图形符号	应用范围及说明
1	直流电		用于各种设备。标志在只适用于直流电的设备的铭牌上, 以及用于表示通直流电的端子
2	交流电		用于各种设备。标志在适用于交流电的设备铭牌上, 以及用于表示通交流电的端子
3	交直流通用		用于各种设备。标志在交、直流通用的设备的铭牌上, 以及用以表示相应的端子
4	正号、正极		用于各种设备。表示使用或产生直流设备的正端


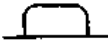

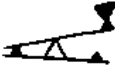






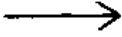
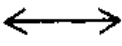
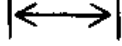
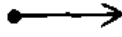
续表

序号	名称	图形符号	应用范围及说明
5	负号、负极		用于各种设备。表示使用或产生直流电设备的负端
6	电池检测		用于由电池供电的设备上。表示电池测试按钮和表明电池情况的灯或仪表
7	电池定位		用于电池盒(箱)上或内部。表示电池盒(箱)本身和表示盒(箱)内电池的极性和位置
8	交流/直流变换器、整流器、电源代用器		用于各种设备。表示交流/直流变换器本身,在有插接装置的情况下则表示有关插座
9	直流/交流变换器		用于各种设备。表示直流/交流变换器及其相应的接线端和控制装置
10	有稳定输出电压的变换器		表示供给恒定电压的变换器
11	有稳定输出电流的变换器		表示供给恒定电流的变换器
12	整流器(未注明类型)		用于各种设备。表示整流设备及有关接线端和控制装置
13	变压器		用于各种设备。表示电气设备可通过变压器与电力线连接的开关、控制器、连接器或端子。同样可用于变压器的包封或外壳上(如插接装置)
14	熔断器		用于各种设备。表示熔断器盒及其位置
15	测试电压		用于各种电气和电子设备。表示该设备能承受500V的测试电压(测试电压的其他数值可以按照有关标准在符号中用一个数字表示)
16	危险电压		用于各种设备。表示危险电压引起的危险
17	II类设备		用于各种设备。表示能满足II类设备(双重绝缘设备)安全要求的设备

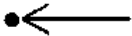


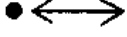





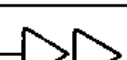




序号	名称	图形符号	应用范围及说明
18	接地		用于各种设备。表示接地端子
19	无噪声接地		用于各种设备。表示连接到无噪声接地或无噪声接地电极的端子
20	保护接地		用于各种设备。表示在发生故障时防止电击的与外保护导体相连接的端子，或与保护接地电极相连接的端子
21	接机壳、接机架		用于各种设备。表示连接机壳、机架的端子
22	低电位信号端（电测量仪器）		用于任何种类的电测量仪器。表示信号的低电位端
23	等电位		用于各种设备。表示那些相互连接后使设备或系统的各部分达到相同电位的端子
24	输入		用于各种设备。在需要区别输入和输出的场合表示输入端
25	输出		用于各种设备。在需要区别输入输出的场合表示输出端
26	过载保护装置（在电测量设备上）		用于任何种类的电测量设备。表示一个设备装有过载保护装置
27	复位控制过载保护装置（在电测量设备上）		用于任何种类的电测量设备。表示复位控制过载保护装置
28	通（电源）		用于各种设备。表示已接通电源，必须标在电源开关的位置，以及与安全有关的地方
29	断（电源）		用于各种设备。表示已与电源断开，必须标在电源开关位置，以及与安全有关的地方










续表

序号	名称	图形符号	应用范围及说明
30	准备		用于各种设备。指明设备的一部分已接通（合闸），而使设备处于准备使用状态的开关或开关位置
31	通/断（按-按）		用于各种设备。表示与电源接通或断开，以及与安全有关的地方
32	通/断（按钮开关）		用于各种设备。表示已与电源接通，必须标在电源开关或其位置上，以及与安全有关的地方
33	起动、开始（动作）		用于各种设备。表示起动按钮
34	停机、停止（动作）		用于各种设备。表示停止动作的按钮
35	暂停、中断		用于各种设备。表示与正在连续运转的驱动机械脱离连接，使（如磁带）运转中断的按钮
36	脚踏开关		用于各种设备。表示与脚踏开关相连接的输入端子
37	手持开关		用于各种设备。表示手持开关
38	快速起动		用于各种设备。表示诸如加工、程序控制、磁带等起动，不需要很多时间就可以达到工作速率的控制
39	快速停止		用于各种设备。表示短时间立即停止的控制
40	通电设备的一种功能正在使用，设备的一部分“通”		用于各种设备，表示开关“通”的位置，或表示一个指示器
41	通电设备的某种功能不在使用，设备的一部分“断”		用于各种设备。表示开关“断”的位置；或表示一个指示器

序号	名称	图形符号	应用范围及说明
42	准备 (设备的一部分)		用于各种设备。表示“准备”状态
43	两种状态均稳定的 两功能按-按开关, “撤入”状态		用于各种设备。表示按-按开关的“撤入”状态
44	两种状态均稳定的 两功能按-按开关, “放出”状态		用于各种设备。表示按-按开关的“放出”状态
45	莫尔斯电键		用于电信设备。表示连接莫尔斯电键的端子或控制装置
46	可变性 (可调性)		用于各种设备。表示量的被控方式, 被控量随图形的宽度而增加
47	调节装置的离散量 值的变化		用于各种设备。表示调节装置的离散量值的变化
48	平衡		用于各种设备。表示平衡控制装置
49	调到最小		用于各种设备。表示将量值调到最小的控制
50	调到最大		用于各种设备。表示将量值调到最大的控制
51	可调整电阻范围的 控制 (电测量仪表)		用于任何种类的电测量设备
52	单向运动		用于各种设备。表示控制动作或被控制物, 沿着所指的方向运动
53	双向运动		用于各种设备。表示控制动作或被控制物, 可按标出的方向作双向运动
54	双向局限运动		用于各种设备。表示在一定限度内运动
55	移离参考点的效应 或作用		用于各种设备。表示移离一个具体的或假想的参考点或标志的某种效应或作用的方向

续表

序号	名称	图形符号	应用范围及说明
56	移向参考点的效应或作用		用于各种设备。表示移向参考点的效应或作用方向
57	移离参考点的双向效应或作用		用于各种设备
58	移向参考点的双向效应或作用		用于各种设备
59	非同时移离和移向参考点的效应或作用		用于各种设备
60	同时移离和移向参考点的效应或作用		用于各种设备
61	从固定位置以正常速度按箭头方向移动		用于各种设备。表示这一功能的控制开关
62	从固定位置快速按箭头方向移动		用于各种设备。表示这一功能的控制开关
63	按箭头方向以正常速度向固定位置移动		用于各种设备。表示这一功能的控制开关
64	按箭头方向向固定位置快速移动		用于各种设备。表示这一功能的控制开关
65	正常速度运转		用于各种设备（除盒式磁带录音机外）。表示这一功能的启动按钮或开关
66	快速运转		用于各种设备
67	灯、照明、照明设备		用于各种设备。表示控制照明光源的开关
68	暗房照明（如红色适应性照明）		用于各种设备。表示暗房照明的控制装置
69	间接照明（用于控制面板等）		用于各种设备。表示对间接照明的控制

序号	名称	图形符号	应用范围及说明
70	信号灯		用于各种设备。表示接通或断开信号灯的开关
71	钟、定时开关、计时器		用于各种设备。以识别与时间、时间开关和计时器有关的端子和控制装置
72	铃		用于控制铃的开关(按钮),如门铃
73	喇叭(报警用)		用于控制喇叭的开关,如厂用喇叭、音响报警信号
74	扬声器		用于各种设备。表示连接扬声器的插座、接线端或开关
75	扬声器/传声器		用于各种设备。表示讲话/收听转换按钮
76	听		用于各种设备。表示听的操作
77	讲		用于各种设备。表示讲的操作
78	耳机		用于各种设备。表示连接耳机的插座、接线端或开关

注:表中图形符号只供识别用。

第七节 电气技术中的文字符号

文字符号适用于电气技术领域技术文件的编制,也可表示在电气设备、装置和元件上或其近旁,以标明电气设备、装置和元器件的名称、功能、状态和特征。但不适用于电气产品的型号编制与命名。

一、基本文字符号

基本文字符号分为单字母符号和双字母符号两种。

单字母符号是按拉丁字母将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 大类,每大类用一个专用单字母符号表示。如“C”表示电容器类,“T”表示变压器类。单字母符号应优先采用。

双字母符号由一个表示种类的单字母符号与另一个字母组成,其组合形式应以单字母符号在前、另一个字母在后的次序列出。如“GB”表示蓄电池,“G”为电源的单字母符号。只有当用单字母符号不能满足要求、

续表

序号	设备、装置和 元器件种类	名称	基本文字符号		序号	设备、装置和 元器件种类	名称	基本文字符号	
			单字母	双字母				单字母	双字母
14	电力电路的 开关器件	断路器 电动机保护开关 隔离开关	Q	QF QM QS	19	电子管 晶体管	气体放电管 二极管 晶体管 晶闸管 电子管 控制电路用电源整流器	V	VE VC
15	电阻器	电阻器 变阻器 电位器 测量分路表 热敏电阻器 压敏电阻器	R	RP RS RT RV	20	传输通道 波导 天线 传输通道 波导 天线	导线 电缆 母线 波导 波导定向耦合器 偶极天线 抛物天线	W	
16	控制、记 忆、信号电路 的开关器件选 择器	拨号接触器 连接级 控制开关 选择开关 按钮开关 液体标高传感器 压力传感器 位置传感器（包括接近 传感器） 转数传感器 温度传感器	S	SA SA SB SL SP SQ SR ST	21	端子 插头 插座	连接插头和插座 接线柱 电缆封端和接头 焊接端子板 连接片 测试插孔 插头 插座 端子板	X	XB XJ XP XS XT
17	变压器	电流互感器 控制电路电源用变压器 电力变压器 磁稳压器 电压互感器	T	TA TC TM TS TV	22	电气操作的 机械器件	气阀 电磁铁 电磁制动器 电磁离合器 电磁吸盘 电动阀 电磁阀	Y	YA YB YC YH YM YV
18	调制器 变换器	鉴频器 解调器 变频器 编码器 变流器 逆变器 整流器	U		23	终端设备 混合变压器 滤波器 均衡器 限幅器	电缆平衡网络 压缩扩展器 晶体滤波器 网络	Z	

二、辅助文字符号

辅助文字符号用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征。如“SYN”表示同步，“L”表示限制，“RD”表示红色等。辅助文字符号也可放在表示种类的单字母符号后边组成双字母符号，如“SP”表示压力传感器，“YB”表示电磁制动器。为简化文字符号起见，若辅助文字符号由两个以上字母组成时，允许只采用其第一位字母进行组合，如“MS”表示同步电动机等。辅助文字符号还可以单独使用，如“ON”表示接通，“M”表示中间线，“PE”表示保护接地等。

常用辅助文字符号见表附 41。

表附 41 常用辅助文字符号

序号	名称	文字符号	序号	名称	文字符号
1	电流	A	8	辅助	AUX
2	模拟	A	9	异步	ASY
3	交流	AC	10	制动	B, BRK
4	自动	A, AUT	11	黑	BK
5	加速	ACC	12	蓝	BL
6	附加	ADD	13	向后	BW
7	可调	ADJ	14	控制	C

续表

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

三、新旧文字符号对照

所谓旧文字符号, 是指我国 1964 年颁布的国家标准规定使用的文字符号, 是以汉语拼音字母的组合为基础的。

1. 新旧常用基本文字符号对照 (见表附 42)

表附 42 新旧常用基本文字符号对照

名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号
	单字母	双字母			单字母	双字母			单字母	双字母	
发电机	G		F	交流电动机	M	MA	JD	电力变压器	T	TM	LB
直流发电机	G	GD	ZF	同步电动机	M	MS	TD	控制变压器	T	TC	KB
交流发电机	G	GA	JF	异步电动机	M	MA	YD	升压变压器	T	TU	SB
同步发电机	C	CS	TF	笼型电动机	M	MC	LD	降压变压器	T	TD	JB
异步发电机	C	CA	YE	绕组	W	Q		自耦变压器	T	TA	OB
永磁发电机	G	GM	YCF	电枢绕组	W	WA	SQ	整流变压器	T	TR	ZB
水轮发电机	G	GH	SLF	定子绕组	W	WS	DQ	电炉变压器	T	TF	LB
汽轮发电机	G	GT	QLF	转子绕组	W	WR	ZQ	稳压器	T	TS	WY
励磁机	G	GE	L	励磁电组	W	WE	LQ	互感器	T		H
电动机	M		D	控制绕组	W	WC	KQ	电流互感器	T	TA	LH
直流电动机	M	MD	ZD	变压器	T		B	电压互感器	T	TV	YH

续表

名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号	名称	新符号		旧符号
	单字母	双字母			单字母	双字母			单字母	双字母	
整流器	U		ZL	接触器	K	KM	C	光电池	B		GDC
变流器	U		BL	电磁铁	Y	YA	DT	晶体管	V		BC
逆变器	U		NB	制动电磁铁	Y	YB	ZDT	电子管	V	VE	G
变频器	U		BP	牵引电磁铁	Y	YT	QYT	调节器	A		T
断路器	Q	QF	DL	起重电磁铁	Y	YL	QZT	放大器	A		FD
隔离开关	Q	QS	CK	电磁离合器	Y	YC	CLH	晶体管放大器	A	AD	BF
自动开关	Q	QA	ZK	电阻器	R		R	电子管放大器	A	AV	GF
转换开关	Q	QC	HK	变阻器	R		R	磁放大器	A	AM	CF
刀开关	Q	QK	DK	电位器	R	RP	W	变换器	B		BH
控制开关	S	SA	KK	起动电阻器	R	RS	QR	压力变换器	B	BP	YB
行程开关	S	ST		制动电阻器	R	RB	ZDR	位置变换器	B	BQ	WZB
限位开关	S	SL	XK	频敏电阻器	R	RF	PR	温度变换器	B	BT	WDB
终点开关	S	SE	ZDK	附加电阻器	R	RA	FR	速度变换器	B	BV	SDB
微动开关	S	SS	WK	电容器	C		C	自整角机	B		ZZJ
脚踏开关	S	SF	TK	电感器	L		L	测速发电机	B	BR	CSF
按钮开关	S	SB	AN	电抗器	L		DK	送话器	B		S
接近开关	S	SP	JK	起动电抗器	L	LS	QK	受话器	B		SH
继电器	K		J	感应线圈	L		CQ	拾声器	B		SS
电压继电器	K	KV	YJ	电线	W		DX	扬声器	B		Y
电流继电器	K	KA	LJ	电缆	W		DL	耳机	B		EJ
时间继电器	K	KT	SJ	母线	W		M	天线	W		TX
频率继电器	K	KF	PJ	避雷器	F		BL	接线柱	X		JX
压力继电器	K	KP	YLJ	熔断器	F	FU	RD	连接片	X	XB	LP
控制继电器	K	KC	KJ	照明灯	E	EL	ZD	插头	X	XP	CT
信号继电器	K	KS	XJ	指示灯	H	HL	SD	插座	X	XS	CZ
接地继电器	K	KE	JDJ	蓄电池	G	GB	XDC	测量仪表	P		CB

2. 新旧常用辅助文字符号对照 (见表附 43)

表附 43 新旧常用辅助文字符号对照

名称	新符号	旧符号		名称	新符号	旧符号		名称	新符号	旧符号	
		单组合	多组合			单组合	多组合			单组合	多组合
高	H	G	G	绿	GN	L	L	断开	OFF	DK	D
低	L	D	D	黄	YE	U	U	附加	ADD	F	F
升	U	S	S	白	WH	B	B	异步	ASY	Y	Y
降	D	J	J	蓝	BL	A	A	同步	SYN	T	T
主	M	Z	Z	直流	DC	ZL	Z	自动	A, AUT	Z	Z
辅	AUX	F	F	交流	AC	JL	J	手动	M, MAN	S	S
中	M	Z	Z	电压	V	Y	Y	起动	ST	Q	Q
正	FW	Z	Z	电流	A	L	L	停止	STP	T	T
反	R	F	F	时间	T	S	S	控制	C	K	K
红	RD	H	H	闭合	ON	BH	B	信号	S	X	X

四、电气图中导线的补充标记符号及色码

1. 导线的补充标记符号

在电气接线图上，可以采用某些特定的符号表示出连接导线的相位、极性或用途（如保护、接地等），这些符号称为补充标记符号。补充标记符号一般标在图线的上方，为避免混淆，最好用斜杠将其与主接线标记分开。补充标记符号也可在实际导线上标注。导线的补充标记符号见表附 44。

表附 44 导线的补充标记符号

序号	类别	名称	标记符号
1	相位标记	交流系统的电源 1相 2相 3相 中性线	L1 1 L2 2 L3 3 N
		交流系统 1相 2相 3相 中性线	U V W N
2	极性标记	直流系统的电源 正 负 中间线	L+ 或 ± L- M
3	保护导线和接地线标记	保护接地线 不接地的保护导线 保护接地线和中性线共用一线 接地线 无噪声接地线 机壳或机架 等电位	PE PU PEN E TE MM CC

2. 表示颜色的标准字母代码 (色码)

在电气接线图中, 也可用色码 (颜色代码) 作导线的标记, 色码标准字母组合见表附 45。

表附 45 表示颜色的标准字母代码

颜色	字母代码	颜色	字母代码	颜色	字母代码
黑	BK	绿	GN	粉红	PK
棕	BN	蓝 (包括浅蓝)	BU	金黄	GD
红	RD	紫	VT	青绿	TQ
橙	OG	灰	GY	银白	SR
黄	YE	白	WH	绿-黄	GNYE

第八节 基本电气额定值等级

一、额定电压等级

1. 1000V 以下电气设备的额定电压等级

用于直流和 50Hz 交流的供电设备、受电设备 (含电子设备) 的额定电压等级见表附 46。

表附 46 1000V 以下电气设备的额定电压

直流/V		单相交流/V		三相交流/V	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
1.5	1.5				
2	2				
3	3				
6	6	6	6		
12	12	12	12		
24	24	24	24		
36	36	36	36	36	36
		42	42	42	42
48	48				
60	60				
72	72				

续表

直流/V		单相交流/V		三相交流/V	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
110	115	100*	100*	100*	100*
220	230	127*	133*	127*	133*
400 [▽] , 440	400 [▽] , 460	220	230	220/380	230/400
800 [▽]	800 [▽]			380/660	400/690
1000 [▽]	1000 [▽]			1140**	1200**

- 注：1. 电气设备和电子设备分为供电设备和受电设备两大类。受电设备的额定电压也是系统的额定电压。
 2. 直流电压为平均值，交流电压为有效值。
 3. 在三相交流栏下，斜线“/”之上为相电压，斜线之下为线电压，无斜线者都是线电压。
 4. 带“+”号者为只用于电压互感器、继电器等控制系统的电压。带“[▽]”号者为使用于单台供电的电压。带“*”号者只用于矿井下、热工仪表和机床控制系统的电压。带“**”号者只限于煤矿井下及特殊场合使用的电压。

2. 1kV以上三相交流系统的额定电压等级用于1kV以上发电机、变压器、送电线路和高压用电设备的额定电压等级见表附47。

表附 47 1kV以上三相交流系统额定电压

受电设备与系统 /kV	供电设备/kV	设备最高电压/kV	受电设备与系统 /kV	供电设备/kV	设备最高电压/kV
3	3.15	3.5	35		40.5
6	6.3	6.9	63		69
10	10.5	11.5	110		126
	13.8*		220		252
	15.75*		330		363
	18*		500		550
	20*		750		

注：带“*”者只适用于发电机。

3. 一般中频（50Hz~10kHz）工业电气设备的额定电压等级（见表附48）

表附 48 一般中频工业电气设备的额定电压/V

类别		单相/V	三相(线电压)/V
通用电气设备		9, 12, 16, 20, 26, 36, 60, 90, 115, 220, 375, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000	42, 115, 160, 220, 350
受电设备	电热装置	(250), 375, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000	—
	机床电器	—	115, 220, 350
	纺织电机	—	115, 130*, 160*
	控制微电机	9, 12, 16, 20, 26, 36, 60, 90, 115, 220	—
	电动工具	—	42, 220
供电设备	发电机及装置	115, 220, 375, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000	115, 160*, 220, 350, 550*
	移动电源设备	115, 230	208, 230, 400

二、额定电流等级

1. 以电流为主参数的交、直流电气设备和电子设备的额定电流等级 (见表附 49)

表附 49 额定电流值/A

1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80 (75)
100	125 (120)	160 (150)	200	250	315 (300)	400	500	630 (600)	800 (750)
1000	1250 (1200)	1600 (1500)	2000	2500	3150 (3000)	4000	5000	6300 (6000)	8000
10000	12500 (12000)	16000 (15000)	20000	25000					

注: 括号内的值, 仅限于老产品使用。

2. 常用交流高压电器的额定电流等级 (见表附 50)

表附 50 常用交流高压电器的额定电流

项 目	额 定 电 流/A
断路器隔离开关	200, 400, 630, (1000), 1250, 1600, 2000, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000
负荷开关	10, 16, 31.5, 50, 100, 200, 400, 630, 1250, 1600, 2000, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000
熔断器	2, 3.15, 5, 6.3, 10, 16, 20, 31.5, 40, 50, (75), 80, 100, (150), 160, 200, 315, 400
熔丝	(3), 3.15, 5, (7.5), 8, 10, (15), 16, 20, 3.15, 40, 50, 80, 100, (150), 160, 200

注: 括号内的数值尽量不用。

3. 常用低压电器的额定电流等级 (见表附 51)

表附 51 常用低压电器的额定电流

项 目	额 定 电 流/A
通用开关电器	6.3 (6), 10, 16, (15), 25, 31.5, 40, 50, 63 (60), 100, 160 (150), 200, 250, 315 (300), 400, 500, 630 (600), 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000
控制电器	1, 2.5, 5, 10, 16 (15), 20, 25, 40, 63 (60), 100, 160 (150), 250, 400, 630 (600), 1000
熔断器的熔体	1, 2, 2.5, 3.15 (3), 4, 5, 6.3 (6), 10, 16 (15), 20, 25, 31.5 (30), (35), 40, (45), 50, 63 (60), 80, 100, 125, 160 (150), 200, 250, 315 (300), 400, 500, 630 (600), 800, 1000

注: 括号内的数值尽量不采用。

三、额定频率等级

一般工业电气设备, 包括通用电气设备、电热装置、机床电器、纺织电机、控制电机、电动工具等, 以及供电系统、船舶与航空电气设备的单相和三相交流额定频率等级见表附 52。

表附 52 额定频率/Hz

电力供电系统及设备	舰船电气设备	航空电气设备	一般工业电气设备					
			通用电气设备	电热装置	机床电气设备	纺织电机	控制电机	电动工具
50	50	50	50	50	50	50	50	50
	—	—	—	—	—	(75)	—	—
	—	—	100	—	—	100	—	—
	—	—	—	—	—	* 133	—	—
—	—	—	150	150	150	150	—	150
	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	200	—	—	200	—	200
	—	—	—	—	—	(300)	—	—
—	—	—	—	—	—	—	(330)	—
	400	400	400	400	400	400	400	400
	—	—	—	—	—	—	(427)	—
	—	—	—	(500)	—	—	(500)	—
—	—	—	600	—	600	600	—	—
	—	—	800	—	800	—	—	—
	—	—	1000	1000	1000	1000	1000	—
	—	—	1500	—	1500	—	—	—
—	—	—	—	—	* 2000	—	—	—
	—	—	2500	2500	2500	—	—	—
	—	—	—	—	(3000)	—	—	—
	—	—	4000	4000	4000	—	—	—
—	—	—	8000	8000	—	—	—	—
	—	—	10000	10000	—	—	—	—

注：1. 50Hz 称为工频。

2. 带括号的值在设计新产品时不推荐采用。

3. * 133Hz 仅限于人造纤维的纺锭用。

4. * 2000Hz 仅限于轴承磨削用。

5. 额定频率允许偏差值规定为 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 六种，按设备需要选用。

6. 电力供电系统及设备的额定频率的允许偏差值规定为 $\pm 1\%$ 。