

中等职业学校技能型紧缺人才培养培训系列教材

---

数控技术应用专业

# 机床维修电工

主编 杜德昌

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

高等教育出版社

## 内容提要

本书以数控技术应用专业领域人才需求为依据,围绕机床维修电工所必需的基础知识,以及电工技术人员“职业技能鉴定规范(考核大纲)”和“工人技术等级标准”编写,主要内容包括:电工基本知识、常用机床电气元器件、电动机与变压器、机床电气控制基本环节、典型机床电气控制、数控机床电气控制等部分。

本书以就业为导向,以培养学生的实际操作技能为主线,紧密结合生产实际,在讲授与机床维修有关的电工基本知识的基础上,简要介绍常用机床电气元器件、电动机、变压器的工作原理,重点介绍机床电气控制线路的工作原理和典型机床、数控机床的电气控制线路维护与故障排除。

本书内容深入浅出、简明扼要、图文并茂、通俗易懂,是各类职业技术学校必不可少的专业教材,也可作为企业中级技术电工的培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

机床维修电工 / 杜德昌主编. —北京:高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014946-X

I.机... II.杜... III.机床—维修—电工—技术学校—教材 IV.TG502.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第044298号

策划编辑 王瑞丽 责任编辑 张春英 封面设计 于涛 责任绘图 朱静  
版式设计 张岚 责任校对 康晓燕 责任印制

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷

开 本 787×1092 1/16  
印 张 15.5  
字 数 380 000

版 次 年 月第1版  
印 次 年 月第 次印刷  
定 价 19.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 说 明

本书是根据劳动力市场需求,以数控技术应用专业领域技能型紧缺人才需求为依据,从中等职业技术学校的实际需要出发,参考电工“职业技能鉴定规范(考核大纲)”和“工人技术等级标准”编写的。

本书是职业技术学校数控技术应用专业领域的一门专业课教材,主要包括:电工基本知识、常用机床电气元器件、电动机与变压器、机床电气控制基本环节、典型机床电气控制、数控机床电气控制等部分。主要介绍了机床维修电工所必需掌握的基础知识,常用低压电器等电气元器件和电动机、变压器的基本结构及工作原理,产生故障的原因及设备维护和排除故障的方法,典型机床电路的电气控制的基本环节,控制电路的控制过程以及维护与故障排除,特别是对目前使用较多的数控机床的常见故障做了介绍。对于技能性较强的操作部分,均安排了技能训练的课题,便于学生加深对知识的理解,强化学生实际分析和排除故障的动手能力。

本书以学生就业为导向,以培养具有“双证书”的一线操作人员为基本要求,紧密结合当前数控加工生产行业的实际,立足于培养技能型的以机床维修为主的维修电工技术人员。在教学内容的选取上,从岗位的实际需要出发,体现学以致用原则,基础理论知识以必需、够用为度,重在职业能力的培养。在文字的表述上力求深入浅出、简明扼要、通俗易懂,并尽可能多地采用插图,以求直观形象。

本教材的总教学课时定为 100 学时,其中,理论教学 78 学时,技能训练或课堂见习 22 学时。各部分内容的课时分配建议如下:

序号	教学 内 容	理论教学	技能训练 (课堂见习)	合 计
一	电工基本知识	8	2	10
二	常用机床电气元器件	16	2	18
三	电动机和变压器	18	6	24
四	机床电气控制基本环节	14	8	22
五	典型机床电气控制	12	2	14
六	数控机床电气控制	10	2	12
	合 计	78	22	100

本书由山东省教学研究室杜德昌主编,参加编写的有淄博信息工程学校李涛(第二章)、济南第九职业中专鹿学俊(第三章)、济南电子机械工程学院路坤(第四、五、六章),其余由杜德昌编写并统稿。

全书承蒙湖南铁道职业技术学院赵承荻教授审阅,在此表示感谢。

由于编写经验不足,加之时间仓促,书中定有不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者  
2004 年 2 月

# 目 录

<b>第一章 电工基本知识</b> .....	1	<b>第三节 接触器</b> .....	60
<b>第一节 电工工具和电工材料</b> .....	1	一、交流接触器 .....	60
一、电工工具 .....	1	二、直流接触器 .....	63
二、电工材料 .....	3	<b>第四节 继电器</b> .....	65
<b>第二节 电工仪表</b> .....	10	一、电磁式继电器 .....	66
一、电工仪表概述 .....	10	二、时间继电器 .....	68
二、电工仪表的测量原理 .....	12	三、热继电器 .....	71
三、电工仪表的使用 .....	13	四、速度继电器 .....	73
<b>第三节 导线加工基本操作</b> .....	22	五、各种继电器的常见故障及排除方法 .....	74
一、绝缘层的去除 .....	22	<b>第五节 可编程序控制器 (PLC)</b> .....	75
二、电磁线线头的连接 .....	23	一、可编程序控制器 (PLC) 和单片机控制的区别 .....	76
三、导线绝缘层的修复 .....	30	二、可编程序控制器 (PLC) 的基本结构 .....	77
<b>第四节 工厂供电和电气安装</b> .....	30	三、可编程序控制器 (PLC) 的工作原理 .....	78
一、工厂供电 .....	30	四、可编程序控制器 (PLC) 的常见故障及原因 .....	81
二、机床电气线路的安装 .....	31	<b>复习思考题</b> .....	82
三、机床电气控制线路的试车 .....	32	<b>技能训练 2-1 交流接触器的修理和调整</b> .....	85
<b>第五节 机床电气安全技术</b> .....	32	<b>技能训练 2-2 可编程序控制器实验</b> .....	87
一、机床电工安全操作规程 .....	32	<b>第三章 电动机与变压器</b> .....	90
二、预防触电及触电急救 .....	33	<b>第一节 直流电动机</b> .....	90
<b>复习思考题</b> .....	36	一、直流电动机的结构 .....	90
<b>技能训练 1-1 常用导线的识别与连接</b> .....	38	二、直流电动机的运行特性 .....	94
<b>技能训练 1-2 万用表的使用</b> .....	39	三、直流电动机的起动、调速、反转与制动 .....	96
<b>第二章 常用机床电气元器件</b> .....	43	四、直流电动机的使用、维护及故障处理 .....	100
<b>第一节 低压开关和主令电器</b> .....	43	<b>第二节 三相异步电动机</b> .....	101
一、低压开关 .....	43		
二、主令电器 .....	47		
<b>第二节 熔断器</b> .....	56		
一、插入式熔断器 .....	57		
二、螺旋式熔断器 .....	57		
三、封闭式熔断器 .....	58		
四、快速熔断器 .....	58		
五、自复式熔断器 .....	58		



## II 目 录

一、三相异步电动机的结构及分类 .....	101	第二节 三相异步电动机的点动、长动	
二、三相异步电动机的工作原理 .....	105	电气控制 .....	158
三、三相异步电动机的运行特性 .....	106	一、电动机的点动控制电路 .....	158
四、三相异步电动机的控制 .....	108	二、电动机的长动控制电路 .....	159
五、三相异步电动机的使用、维护		三、电动机的点动与长动控制电路 .....	159
及故障处理 .....	114	第三节 三相异步电动机的正、反转	
第三节 单相异步电动机 .....	115	电气控制 .....	161
一、单相异步电动机的结构和工作		一、倒顺开关正、反转控制电路 .....	161
特点 .....	115	二、接触器互锁正、反转控制电路 .....	161
二、单相异步电动机的分类 .....	116	三、按钮联锁正、反转控制电路 .....	162
三、单相异步电动机的反转与调速 .....	119	四、接触器、按钮双重互锁正、反	
四、单相异步电动机的使用与检修 .....	120	转控制电路 .....	162
第四节 伺服电动机 .....	121	第四节 工作台的自动往复循环电气	
一、交流伺服电动机 .....	121	控制 .....	163
二、直流伺服电动机 .....	124	一、行程控制电路 .....	163
三、伺服电动机的使用和维修 .....	126	二、工作台自动往复控制 .....	164
第五节 特殊电动机 .....	126	第五节 三相异步电动机的降压起动	
一、电磁调速异步电动机 .....	126	控制 .....	165
二、步进电动机 .....	129	一、星形—三角形降压起动控制 .....	165
三、永磁电动机 .....	131	二、自耦变压器起动控制 .....	166
四、直线电动机 .....	133	第六节 三相异步电动机制动控制 .....	166
第六节 变压器 .....	135	一、电磁式机械制动控制电路 .....	167
一、变压器的结构 .....	135	二、能耗制动 .....	168
二、变压器的铭牌与额定值 .....	136	三、反接制动 .....	168
三、单相变压器 .....	137	第七节 直流电动机的控制电路 .....	169
四、变压器的运行特性 .....	138	一、直流电动机的起动控制电路 .....	169
五、三相变压器 .....	139	二、直流电动机的正、反转控制	
六、电焊变压器 .....	141	电路 .....	171
七、互感器 .....	143	三、直流电动机的制动控制电路 .....	172
复习思考题 .....	144	复习思考题 .....	174
技能训练 3—1 三相异步电动机的拆装		技能训练 4—1 三相异步电动机的点	
及简易测试 .....	149	动、长动控制 .....	175
技能训练 3—2 直流电动机的起动、		技能训练 4—2 三相异步电动机的	
反转与调速 .....	152	正、反转控制 .....	176
技能训练 3—3 小型变压器的测试 .....	153	技能训练 4—3 自动往复循环控制 .....	177
第四章 机床电气控制基本环节 .....	156	技能训练 4—4 星形—三角形降压	
第一节 电气控制系统图 .....	156	起动控制 .....	178
一、电气控制原理图 .....	156	技能训练 4—5 自耦变压器降压起动	
二、电气设备安装图 .....	157	控制 .....	179
		技能训练 4—6 电动机的能耗制动控	

制 .....	180	三、X62W 型卧式万能铣床的电气	
技能训练 4—7 反接制动控制 .....	181	控制电路分析 .....	198
<b>第五章 典型机床电气控制 .....</b>	<b>182</b>	四、X62W 型卧式万能铣床的常见	
<b>第一节 CA6140 型卧式车床的电气控</b>		电气故障分析 .....	202
制 .....	182	<b>第五节 常用机床控制电路的维护和</b>	
一、CA6140 型卧式车床的主要结构		电气故障诊断 .....	202
和运动形式 .....	182	一、机床电气设备的日常维护 .....	203
二、CA6140 型卧式车床电力拖动		二、机床电气故障的诊断方法 .....	203
特点及要求 .....	183	复习思考题 .....	205
三、CA6140 型卧式车床电气控制		技能训练 5—1 X62W 型卧式万能铣	
电路分析 .....	183	床的故障分析与排除 .....	205
四、CA6140 型卧式车床常见电气		<b>第六章 数控机床电气控制 .....</b>	<b>206</b>
故障分析 .....	185	<b>第一节 数控系统 (CNC 系统) .....</b>	<b>207</b>
<b>第二节 M7130 型平面磨床的电气控</b>		一、CNC 系统的基本构成 .....	207
制 .....	186	二、CNC 系统的硬件结构 .....	207
一、M7130 型平面磨床的主要结构		三、CNC 系统的软件结构 .....	209
及运动形式 .....	186	四、CNC 系统可执行的功能及其	
二、M7130 型平面磨床电力拖动特		特点 .....	211
点及要求 .....	187	五、CNC 系统常见故障分析 .....	212
三、M7130 型平面磨床的电气控制		<b>第二节 电源装置 .....</b>	<b>213</b>
电路分析 .....	187	一、电源配置 .....	213
四、M7130 型平面磨床的常见电气		二、电源装置常见故障分析 .....	214
故障分析 .....	191	<b>第三节 伺服驱动系统 .....</b>	<b>216</b>
<b>第三节 Z3040 型摇臂钻床的电气控</b>		一、主轴驱动系统 .....	217
制 .....	191	二、进给驱动系统 .....	223
一、Z3040 型摇臂钻床的主要结构		三、伺服驱动系统的常见故障分析 .....	224
及运动形式 .....	191	<b>第四节 位置检测装置 .....</b>	<b>225</b>
二、Z3040 型摇臂钻床的电力拖动		一、旋转变压器 .....	225
特点及控制要求 .....	192	二、光电盘 .....	226
三、Z3040 型摇臂钻床的电气控制		三、光电编码器 .....	226
电路分析 .....	192	四、光栅尺 .....	227
四、Z3040 型摇臂钻床的常见电气		五、磁尺测量装置 .....	228
故障分析 .....	196	六、感应同步器 .....	229
<b>第四节 X62W 型卧式万能铣床电气</b>		七、位置检测装置的常见故障分析 .....	230
控制 .....	196	<b>第五节 数控机床 PLC .....</b>	<b>230</b>
一、X62W 型卧式万能铣床的主要		一、数控机床 PLC 的功能 .....	230
结构及运动形式 .....	196	二、数控机床 PLC 的输入/输出	
二、X62W 型卧式万能铣床的电力		元件 .....	232
拖动特点及控制要求 .....	197	三、数控机床 PLC 的常见故障	

#### IV ■ 目 录

分析 .....	234	二、数控机床电气故障的发生特点 .....	235
第六节 数控机床的维护和电气故障		三、数控机床故障诊断方法 .....	236
诊断 .....	235	复习思考题 .....	237
一、数控机床电气设备的日常维护 .....	235	参考文献 .....	239

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

# 第一章

## 电工基本知识

### 第一节 电工工具和电工材料

在机床电气设备的维修、安装和检修的过程中,经常要用到一些常见的电工工具,正确地使用这些工具,不但能提高工作效率,顺利完成机床电气设备的各项检修任务,而且还能减少体力消耗,确保操作的安全和延长工具的使用年限。

#### 一、电工工具

##### 1. 电工刀

电工刀是切割和削剥电工材料的专用工具,如图 1-1 所示。常用的有普通型和专用型两种,普通型按刀口部分的长度分为大号和小号两种规格,专用型增加了锯片和锥子,用来锯小木板和锥孔等。

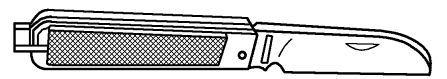


图 1-1 电工刀

使用电工刀时应注意将刀口向外削剥,避免切割坚硬的材料,以保护刀口。切削导线的绝缘层时,应使刀面与导线成较小的锐角,以免割伤芯线。刀口用钝后可用油石磨,用完后应立即把刀身折入刀柄。电工刀的刀柄不绝缘,不能在带电体上使用电工工具进行操作,以防触电。

##### 2. 活络扳手

活络扳手是用来紧固和放松螺母的一种专用工具,如图 1-2 所示。它由头部和柄部组成。头部由定扳唇、动扳唇、蜗轮和轴销等组成。旋转蜗轮可调节扳口的大小。

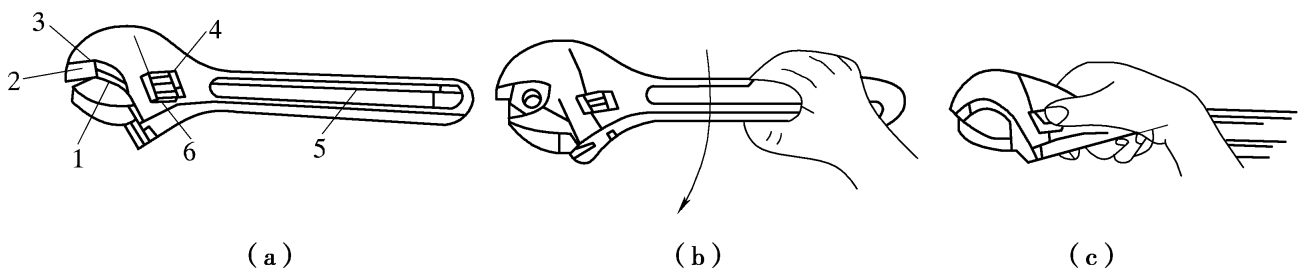


图 1-2 活络扳手

1—动扳唇; 2—扳口; 3—定扳唇; 4—蜗轮; 5—手柄; 6—销轴

使用时,旋转蜗轮使扳口正好卡在螺母上,然后扳动扳手,即可把螺母紧固或旋松。扳动规

格较大的螺母时,必须将扳唇放在用力方向的内侧,手应握在近柄尾处,如(b)图所示;扳动小螺母时,手应握在近头部的地方,拇指随时调节蜗轮,收紧扳唇,防止打滑,如(c)图所示。

### 3. 钢丝钳

钢丝钳也叫断线钳,由钳头和钳柄两部分组成,钳柄一般带绝缘套管,如图1-3所示。钢丝钳有多种用途,刀口用来剪断导线或剖切软导线绝缘层;钳口用来夹持或弯曲导线线头。

使用时,要握在钳柄的后部。不要用钢丝钳来松紧螺母,带电作业时不能一次剪断带电的双股胶线,否则会引起短路。

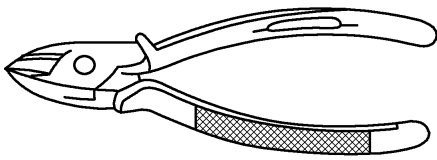


图 1-3 断线钳

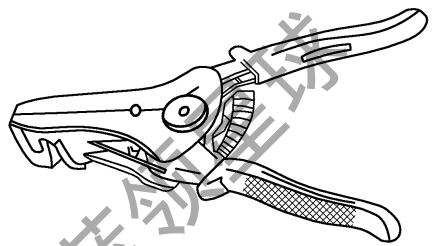


图 1-4 剥线钳

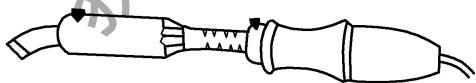
### 4. 剥线钳

剥线钳是用来剥除小线径电线、电缆端头橡皮或塑料绝缘层的专用工具,如图1-4所示。它由钳头和手柄两部分组成,手柄是绝缘的。钳口部分由压线口和切口组成,可分直径0.5~3.0 mm的多个切口,以适应于不同规格的芯线。

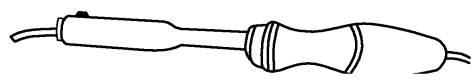
剥线时,电线必须放在稍大于线芯直径的切口中,然后用手握钳柄,导线的绝缘层被切破自动弹出。当需要剥削稍长一段绝缘层时,应分段进行。

### 5. 电烙铁

电烙铁是锡焊接工具,用于焊接电路元件接点及软导线的连接等,由发热元件(电阻丝)、烙铁头和手柄组成,如图1-5所示。电烙铁有外热式、内热式和感应式三种。常用的电烙铁规格有15 W、25 W、45 W、100 W和300 W等多种。焊接弱电元件时一般采用45 W以下规格的小功率的电烙铁,焊接强电元件时,应采用45 W以上规格的电烙铁。



(a) 大功率电烙铁



(b) 小功率电烙铁

图 1-5 电烙铁

焊接材料有焊料和焊剂两类。焊料是焊锡或纯锡,常用的有锭状或丝状两种。丝状焊料中心含有松香。

焊接前应将被焊工件表面擦净,涂上一层焊锡层,以免虚焊。焊接时,先将电烙铁沾上焊料,再沾一些焊剂,对准焊接点下焊,停留时间应根据焊件的大小决定。当焊液在焊点四周充分熔开后,快速向上提起烙铁头,使焊接点表面光滑、牢固。焊接完毕后,要用棉纱蘸适量的酒精清除焊接处的残留焊剂。

使用电烙铁时,要必须注意使电烙铁的金属外壳妥善接地,以防电烙铁漏电,发生意外。电

烙铁一旦使用完毕,应立即断电,让其自然冷却。

## 6. 试电笔

试电笔是检查导线和电气设备是否带电的常用工具。常用的试电笔检测电压的范围是 60~500 V。低压试电笔有笔式、螺丝刀式、电子式等几种,如图 1-6 所示。

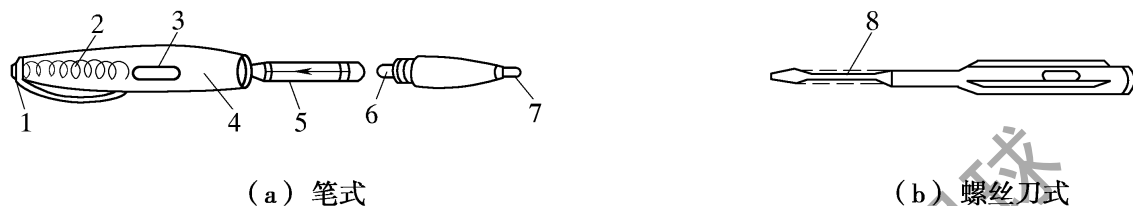


图 1-6 试电笔

1—后端金属; 2—弹簧; 3—小窗; 4—笔身; 5—氖管; 6—电阻; 7—金属探头; 8—绝缘套管

笔式和螺丝刀式试电笔的前端是金属探头,身部依次装有安全电阻、氖管和弹簧,弹簧和后端金属部分接触,使用者手应触及后端金属部分,金属探头接触被检测导线、机床或电气设备,使氖管小窗背光朝向自己,如图 1-7 所示。氖管发光说明被测体带电,否则不带电。

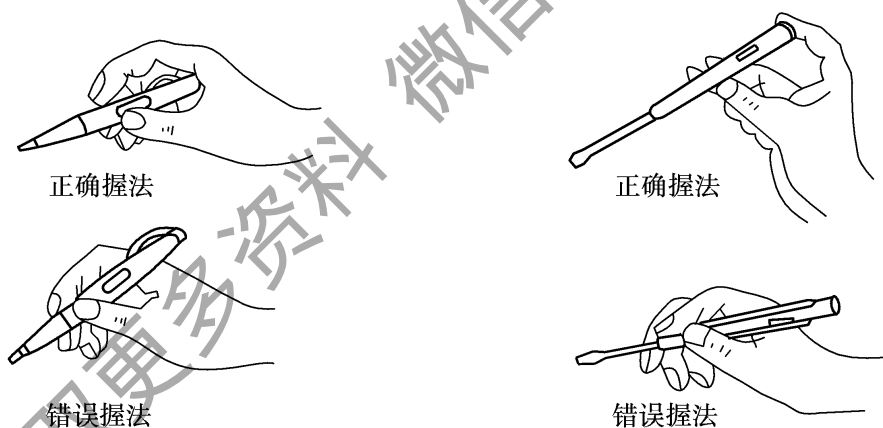


图 1-7 试电笔的使用方法

使用试电笔前,必须要在正常的电源上检查氖管泡能否正常发光,以确认试电笔验电可靠。试电笔的探头多制成螺丝刀形状,但不能承受较大的扭矩,不能作为旋具使用。

## 二、电工材料

### 1. 导电材料

导电材料用于输送和传递电流。铜、铝、钢铁等都是常用的导电材料,用它们制成各种导线和母线等。按照导线的性能结构,可以分为:裸导线、电磁线、电气设备用电线电缆、通讯电线电缆几种类型。

#### (1) 裸导线

裸导线是导线表面没有绝缘材料的导线。裸导线按结构可分为圆单线、型线、绞合线和软线等。圆单线的型号、主要用途及使用情况如表 1-1 所示。

表 1-1 圆单线的分类、型号、主要用途及使用情况

名称	型号	主要用途	使用情况
硬圆铝单线	LY	做电线、电缆的线心用	可代替 TY 和 TR
半硬圆铝单线	LYB	做绕组用	
软圆铝单线	LR	小容量小距离架空线路用	
硬圆铜单线	TY	与 LY 相同	因价格较铝高, 一般情况下不用
软圆铜单线	TR	与 LR 相同	
镀锌铁线	G	常用做电话线和小功率电力线	

1) 型线 型线通常是指非圆形截面的裸导线。配电设备中使用的硬母线(又称汇流排)就属于型线。型线的类别、名称、型号、用途如表 1-2 所示。

表 1-2 常用型线的类别、名称、型号、用途

类别	名称	型号	主要用途
扁线	硬扁铜线	TBY <sup>①</sup>	适用于电机、电器安装配电设备及其他电工制品
	软扁铜线	TBR	
	硬扁铝线	LBY	
	软扁铝线	LBR	
母线	硬铜母线	TMY <sup>②</sup>	适用于电机、电器安装配电设备及其他电工制品, 也可作输配电的汇流排
	软铜母线	TMR	
	硬铝母线	LMY	
	软铝母线	LMR	
铜带	硬铜带	TDY <sup>③</sup>	适用于电机、电器、安装配电设备及其他电工制品
	软铜带	TDR	

①“B”表示扁形;②“M”表示母线;③“D”表示带状的。

2) 绞合线 绞合线是由多股单线绞合而成的导线,以改善其导电性能和力学性能。绞合线具有结构简单、制造方便、容易架设和维修、线路造价低等优点,主要用于电力架空线路中。常用绞线应用举例见表 1-3 所示。

表 1-3 常用绞线应用举例

名称	型号	主要用途
铝绞线	LJ	适应于短距离的输电
加强型钢芯铝绞线	LGJJ	适应于高低压输电线路
硬铜绞线	TJ	适应于高低压输电线路
镀锡铜软电刷线	TSXR	适应于电机、电器的电刷连接线
特软铜绞线	TTJR	适应于振动设备的连接线

3) 软接线 软接线是指柔软的铜绞线、各种编织线和铜铂。主要用于需耐振动和耐弯曲的场合。常见的几种软接线的名称、型号及用途见表 1-4 所示。

表 1-4 常用软接线应用举例

名 称	型 号	主要用途
裸铜电刷线	TS	供电机、电器线路连接电刷用
裸铜软绞线	TRJ	供移动式电器设备连线用,如开关、电热器等
	TRJ-3	供要求较柔软的电器设备连接线之用,如引出线、接地线
	TRJ-4	供要求特柔软的电器设备连接线之用,如整流器、可控硅
软裸铜编织线	TRZ-1	供移动式电器设备的小型电炉连接线之用
软铜编织蓄电池线	QC	供汽车、拖拉机、电瓶车蓄电池连接线之用
铜编织线	TZ-4-1	用作扬声器连接线
镀锡铜编织线	TZX-2	用作电子电器设备或元件等连接线
镀锡铜编织套	TZXP	用作屏蔽保护线

## (2) 电磁线

电磁线是指专用于电能与磁能相互转换的带有绝缘层的导线,常用于电动机、电工仪表作绕组或元件时的绝缘导线。它通过电磁感应实现电磁互换。常用的电磁线,按它们使用的绝缘材料不同分为漆包线、绕包线、无机绝缘电磁线等。

1) 漆包线 漆包线的表面涂有漆膜做保护层,漆膜薄而牢固,均匀光滑。主要用于制造中小型电机、变压器、电器线圈等。在电动机修理中,最好采用与原来同型号的漆包线,不要轻易改变;当无法搞清原来漆包线型号时,可根据电动机的使用条件、工艺和漆包线性能等要求进行选择。表 1-5 列出了几种漆包线的名称、型号、特点及主要用途。

表 1-5 常用漆包线应用举例

名 称	型 号	耐热等级	特点及主要用途
缩醛漆包线	QQ	E	漆膜的热冲击性和耐刮性优良,电气性能好,适用于中小型高速电动机、电动工具的绕组及油浸式变压器的线圈和电器
聚酯漆包线	QZ QZB QZL	B	电气性能好、耐高压,但耐水解性、热冲击性差,适用于密封的电机、电器的绕组或线圈及直流电动机
聚酯亚胺漆包线	QZY QZYB	F	电气性能好、耐高压,但耐水解性、热冲击性差,适用于密封的电机、电器的绕组或线圈及直流电动机
聚酰亚胺漆包线	QY QYB	H	电气性能好、耐高压,但耐水解性、热冲击性差,适用于密封的电机、电器的绕组或线圈
聚酰胺酰亚胺漆包线	QXY QXYB	H	高频条件下介质损耗小,着色性好,焊接性好,但过载力差,适用于电工仪表的细微线圈或电视线圈等高频线圈,直流电动机

2) 绕包线 绕包线是指用绝缘物(如绝缘纸、玻璃丝或合成树脂等)绕包在裸导线芯(或漆包线芯)上形成绝缘层的电磁线,绕包好后的绕包线经过浸漆处理,成为组合绝缘。绕包线具有绝缘层厚、电气性能优良、过载力强等特点,常用于大中型、耐高温的设备中。常用绕包线的名



称、型号、特点及主要用途见表 1—6 所示。

表 1—6 常用绕包线应用举例

名 称	型 号	耐热等级	特点及用途
单玻璃丝包漆包圆铜线	SB Q	B—H	电气性能和机械强度良好,用于各种电机电器绕组线
双玻璃丝包扁铜线	SB ECB	B	同上
纸包绕组线	Z ZL ZB ZLB	A	耐电压性能良好,价格便宜,大部分用于油浸式变压器的绕组
双玻璃丝包聚酯漆包扁铜线	Q ZSB ECB	B	电气性能和机械强度优良,适用于电机电器的绕组和干式变压器的线圈

3) 无机绝缘电磁线 无机绝缘电磁线有铜质和铝质两种,形状各异,其优点在于耐高温、耐辐射等。如 YMLB 型氧化膜扁铝线耐温可达 250 ℃ 以上,常用于高温制动器线圈等。

### (3) 机床电气设备用电线电缆的分类、型号及选用

机床电气设备用电线电缆品种很多,使用范围很广,一般分为通用电线电缆和专用电线电缆两大类,常用的有塑料绝缘电线、橡胶绝缘电线、塑料绝缘护套线、通用橡套电缆、塑料绝缘控制电缆和橡胶绝缘控制电缆等。

在各种系列中,根据它们的特性及导电线芯、绝缘层、保护层的材料不同又分为若干种,现将常用品种的名称、型号、特性及用途分别介绍如下:

表 1—7 B 系列橡皮塑料绝缘电线常用品种表

产品名称	型 号		长期最高工作温度/℃	主要用途
	铜芯	铝芯		
橡皮绝缘电线	BX①	BLX	65	固定敷设于室内(明敷、暗敷或穿管),可用于室外,也可作设备内部安装用线
氯丁橡皮绝缘电线	BXF②	BLXF	65	同 BX 型。耐气候性好,适用于室外
橡皮绝缘软电线	BXR	—	65	同 BX 型。仅用于安装时要求柔软的场所
橡皮绝缘和护套电线	BS HF③	BLXHF	65	同 BX 型。适用于较潮湿的场合和作室外进户线,可代替老式铅包线
聚氯乙烯绝缘电线	BV④	BLV	65	同 BX 型。耐湿性和耐气候性较好
聚氯乙烯绝缘软电线	BVR	—	65	同 BV 型。仅用于安装时要求柔软的场所
聚氯乙烯绝缘和所套电线	BVV⑤	BLVV	65	同 BV 型。用于高温和机械防护要求较高的场合,可直接埋于土壤中
耐热聚氯乙烯绝缘电线	BV—105⑥	BLV—105	105	同 BV 型。用于 45 ℃ 及以上的环境中
耐热聚氯乙烯绝缘软电线	RVR—105	—	105	同 BVR 型。用于 45 ℃ 及以上的环境中

① “X”表示橡皮绝缘;② “XF”表示氯丁橡皮绝缘;③ “HF”表示非燃性橡套;④ “V”表示聚氯乙烯绝缘;⑤ “VV”表示聚氯乙烯绝缘和橡套;⑥ “105”表示耐热 105 ℃

1) B系列橡皮塑料绝缘电线 B系列橡皮塑料绝缘电线名称、型号如表1-7所示。此系列电线结构简单、重量轻、价格较低,有良好的电气、力学性能,能工作在交流500 V、直流1 000 V的动力、配电和照明线路中。

2) R系列橡皮塑料绝缘软线 此系列软线的线芯是用多根细导线(铜线)绞合而成,特点是柔软、电气性能和力学性能良好,常用做机床各种仪器的内部连线。其名称、型号和用途如表1-8所示。

表1-8 R系列橡皮塑料绝缘软线常用品种表

产品名称	型号	工作电压/V	长期最高工作温度/℃	用途及使用条件
聚氯乙烯绝缘线	PV RVB RVS	交流 250 直流 500	65	供各种移动电器、仪表、电信设备、自动化装置用,也可以作为内部安装线,安装时环境温度不低于-15℃
耐热聚氯乙烯绝缘软线	RV105	交流 250 直流 500	105	同RV型。用于45℃及以上的环境中
聚氯乙烯绝缘和护套软线	RVV	交流 500 直流 1000	65	同RV型。用于潮湿和机械防护要求较高,经常移动、弯曲的场合
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘软线	RFB RFS	交流 250 直流 500	70	同RV、RVS型。但低温柔软性好
棉纱编织橡皮绝缘双绞软线 棉纱总编织橡皮软线	RXS RX	交流 250 直流 500	65	室内日用电器、照明用电源线
棉纱编织橡皮绝缘平型软线	RXB	交流 250 直流 500	65	室内日用电器、照明用电源线

3) Y系列通用橡套电缆 这种系列电缆适用于各种电气设备、电动工具、仪器和日用电器的移动式电源线,所以也称为移动电缆,长期工作温度不得超过65℃,其名称、型号及用途见表1-9所示。

表1-9 Y系列通用橡套电缆品种表<sup>①</sup>

产品名称	型号	交流工作电压/V	特点和用途
轻型橡套电缆	YQ <sup>②</sup>	250	轻型移动电器装备和日用电器的电源线
	YQW <sup>③</sup>		同上。具有耐气候和一定的耐油性
中型橡套电缆	YZW <sup>④</sup>	500	各种称动电气装备和农用机械的电源线
			同上。具有耐气候和一定的耐油性能
重型橡套电缆	YC <sup>⑤</sup>	500	同YZ型。能承受较大的机械外力作用
	YCW		同上。具有耐气候和一定的耐油性能

① 表示产品均为铜导线芯; ② “Q”表示轻型; ③ “W”表示户外型; ④ “Z”表示中型; ⑤ “C”表示重型。

## 2. 绝缘材料

绝缘材料按其正常运行条件下允许的最高工作温度分级(耐热等级)。绝缘材料的耐热性对

电气产品正常运行影响很大,是选择绝缘材料首先考虑的重要因素之一。耐热等级分级标准见表 1-10 所示。按应用和工艺特征,可将其划分为 6 大类,见表 1-11 所示。

表 1-10 绝缘材料的耐热等级和极限温度

等级代号	耐热等级	绝缘材料	极限工作温度/℃
0	Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品,醋酸纤维为基础的纺织品,以及易于热分解和溶化点较低的塑料(脲醛树脂)	90
1	A	工作在矿物油中的和用油或树脂复合胶浸过的 Y 级材料,漆包线、漆布、漆丝的绝缘,油性漆,沥青漆等	105
2	E	聚酯薄膜和 A 级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线	120
3	B	聚酯薄膜,经合适树脂粘合成的浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉等,聚酯漆,聚酯漆包线	130
4	F	以有机纤维材料补强和石棉带补强的云母片制品,玻璃丝和石棉,玻璃漆布,以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品,以无机材料补强和石棉带补强的云母粉制品,化学热稳定性较好的聚酯和醇酸类材料,复合硅有机聚酯漆	155
5	H	无补强或以无机材料为补强的云母制品,加厚的 F 级材料,复合云母、有机硅云母制品。硅有机漆,硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布,复合薄膜,聚酰亚胺漆等	180
6	C	不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物,如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	180 以上

表 1-11 绝缘材料的分类

分类代号	分类名称	分类代号	分类名称
1	漆、树脂和胶类	4	压塑料类
2	浸渍纤维制品类	5	云母制品类
3	层压制品类	6	薄膜、粘带和复和制品类

### (1) 绝缘漆和绝缘胶

绝缘漆和绝缘胶都是以高分子聚合物为基础,能在一定条件下固化成绝缘硬膜或绝缘整体的重要绝缘材料。

1) 绝缘漆 绝缘漆按用途主要分有浸渍漆、覆盖漆、漆包线漆和硅钢片。

2) 绝缘胶 绝缘胶主要用于浇注电缆接头、套管。按用途分为电器浇注胶和电缆浇注胶两类。

### (2) 液体绝缘材料

液体绝缘材料俗称绝缘油,主要由矿物油和合成油两大类组成。矿物油具有好的化学稳定性和电气稳定性,应用广泛,在电气设备中除起绝缘、冷却和润滑的作用外,还起到灭弧的作用,一般用于电力变压器、断路器、高压电缆、油浸纸电容器等电力设备中。

### (3) 纤维制品

1) 漆布 漆布或漆带主要用作电机、电器的衬垫和线圈的绝缘。常用的是 2432 醇酸玻璃漆布,它有良好的电气性能、耐油性、防霉性,可用于油浸变压器等线圈绝缘,耐热等级为 B。使用漆布时,要包绕严密,不可出现皱折和气囊,更不能出现机械损伤,以免影响其电气性能。当漆布和浸渍漆用在一起时,注意两者的相容性。

2) 漆管 也称黄蜡管,可代替油性漆管,用作电机、电器的引出线或连线绝缘套管。常用的有 2730 醇酸玻璃漆管,它具有良好的电气性能和力学性能,耐油性、耐热性、耐潮性好,但弹性稍差,可用于油浸变压器中。

3) 绑扎带 绑扎带主要用于绑扎变压器铁心和电机转子绕组的端部,常用的是 1317 玻璃纤维无纬胶带。在使用时,缠绕的张力不能过大或过小,一般将缠绕拉力控制在 180 N/cm 左右,并且在绑扎工件时,工件应预热至一定温度,绑完后进行烘干固化。

4) 绝缘纸 主要用作电力电缆、控制电缆和通信电缆的电缆纸,用作电信电缆绝缘的电话纸等。

5) 绝缘纸板 主要使用于变压器,作绝缘保护和补强材料,其中硬钢纸板(白板)适宜做电机、电器的支承绝缘件或小电机槽楔。

6) 绝缘纱、带、绳和管 绝缘纱一般用于电缆电线中,而绝缘带用作电机线圈的绑扎,绝缘管可作电机、电器的引出线绝缘管。

7) 层压制品 常用的层压制品有 3240 层压玻璃布板,3640 层压玻璃布管,3840 层压玻璃布棒,它们都能做电机、电器的绝缘零件,且有较高的电气和力学性能,耐热性、耐潮性良好。

### (4) 其他绝缘材料

1) 云母制品 云母制品主要使用白云母和金云母两种原料。常用的有 5434 醇酸玻璃云母带及 5438—1 环氧玻璃粉云母带,均有良好的电气和力学性能,适宜做电机、电器线圈的绝缘或衬垫。

2) 电瓷材料 电瓷具有良好的绝缘性能和化学稳定性,并且有较高的热稳定性和机械强度。常用来制造高、低压绝缘子和低压电器绝缘瓷件。

3) 薄膜和薄膜复合制品 薄膜常用的有 6020 聚酯薄膜,有良好的电气性能和机械强度,质地柔软,适用于电机槽的绝缘、匝间绝缘和相间绝缘以及其他电工产品线圈的绝缘。

4) 电工橡胶 电工用橡胶分天然橡胶和合成橡胶两类。天然橡胶柔软,富有弹性,但易燃、易老化,不耐油,一般用于户内作电线电缆的绝缘层和护套。合成橡胶常用的是氯丁橡胶和丁腈橡胶,能耐油,但电气性能不高,只作引出线套管、衬垫等绝缘材料和保护材料。

5) 电工塑料 常用的电工塑料有 ABS 和尼龙 1010 两种,前者适用于各种结构的零件,也用作电动工具的引出线或外壳、支架等,后者宜做绝缘套、插座、线圈骨架、接线板等零件。

6) 绝缘包扎带 绝缘包扎带有黑胶布带(俗称黑包布)和聚氯乙烯带两种,主要用作包缠电线和电缆的接头。聚氯乙烯带还能制成不同颜色用来包扎电缆接头。

## 第二节 电工仪表

### 一、电工仪表概述

#### 1. 电工仪表的分类

##### (1) 按作用原理分

电工仪表按作用原理分为磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表和感应系仪表 4 种。

1) 磁电系仪表 根据通电导体在磁场中产生电磁力的原理来工作,如直流电流表、直流电压表、万用表、兆欧表等。

2) 电磁系仪表 根据铁磁物质在磁场中被磁化后产生电磁力相互作用原理制成,如交流电流表、交流电压表等。

3) 电动系仪表 根据两个通电线圈之间产生电动力原理制成,如功率表等。

4) 感应系仪表 根据交变磁场中的导体感应涡流与磁场产生电磁力的原理制成,如电能表等。

##### (2) 按准确度等级分类

电工仪表按准确度等级分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级、5.0 级 7 级。

所谓几级是指仪表测量时,可能产生的误差占满刻度的百分之几,表示级别的数字越小,表明表的准确度越高。例如,用 0.2 级和 2.5 级两同样的 10 A 量程的电流表,分别去测量 8 A 的电流,0.2 级可能产生的误差为  $10 \text{ A} \times 0.2 \% = 0.02 \text{ A}$ ,而 2.5 级表可能产生的误差为  $10 \text{ A} \times 2.5 \% = 0.25 \text{ A}$ 。

通常 0.1 级和 0.2 级仪表用作标准表,0.5 级至 1.5 级仪表用于实验测量,1.5 级以上的仪表用于工程计量。

##### (3) 按防护性能分类

电工仪表按防护性能分为普通、防尘、防水、防爆等类型。

##### (4) 按被测对象分类

电工仪表按被测对象分为电流表、电压表、电能表、功率表、兆欧表、功率因数表、相位表等。

部分常用电工仪表的符号及意义如表 1-12 所示。

表 1-12 常用电工仪表的符号及其意义

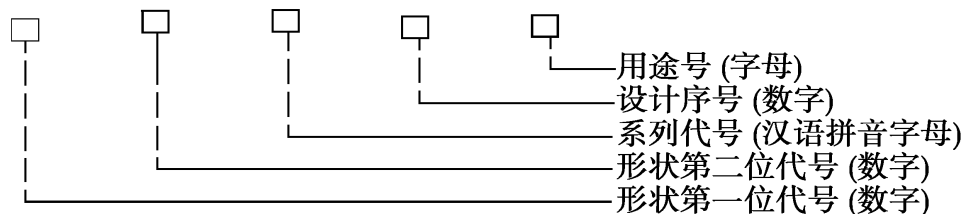
符 号	符号的意义	符 号	符号的意义
	安培表		毫伏表
	毫安表		千伏表
	微安表		瓦特表
	伏特表		千瓦表

续表

符 号	符号的意义	符 号	符号的意义
	千 瓦 时 表		电动系
	欧 姆 表		感应系
	兆 欧 表		整流系
	频 率 表	~50	50 Hz 的交流电
—	直 流 电		铁磁电动系
~	交 流 电		电动系流比计
≈	交 直 流 电		磁电系流比计
3~或≈	三 相 交 流 电		工作环境 0~40 °C 湿度 85 % 以下
	仪表绝缘试验电压 2 000 V		工作环境 -20~50 °C 湿度 85 % 以下
	仪表绝缘试验电压 500 V		工作环境 -40~60 °C 湿度 98 % 以下
⊥或↑	仪表垂直放置		20 °C, 位置正常, 没有外磁场影响下, 准确度 0.1 级, 相对额定误差 ±0.1 %
∠60°	仪表倾斜 60° 放置		20 °C, 位置正常, 没有外磁场影响下, 准确度 1.0 级, 相对额定误差 ±1.0 %
n或→	仪表水平放置	—	负 端 钮
	1 级防外磁场, 允许产生误差 0.5 %	+	正 端 钮
	2 级防外磁场, 允许产生误差 1.0 %	×	公共端钮 (多量限仪表和复用电表)
	3 级防外磁场, 允许产生误差 2.5 %		接地用的端钮 (螺钉或螺杆)
	4 级防外磁场, 允许产生误差 5.0 %		与外壳相连接的端钮
	相 位 表		与屏蔽相连接的端钮
	功率因数表		调 零 器
	磁电系		
	电磁系		

## 2. 电工仪表的型号说明

安装式指示仪表型号的组成, 一般有 5 个代号组成。



形状第一位代号(数字)按仪表面板形状的最大尺寸编制;形状第二位代号(数字)按仪表外壳尺寸编制;系列代号(汉语拼音字母)按仪表工作原理的系列编制,如磁电系列代号为“C”、电磁系列代号为“T”、电动系列代号为“D”、感应系列代号为“G”等。

例如,44C2—A型电流表,其中“44”为形状代号,“C”表示磁电系仪表,“2”为设计序号,“A”表示用于电流测量。

### 3. 电工仪表的选择

1) 正确理解准确度 选择仪表时,不能只想着“准确度越高越精确”。事实上,准确度高的仪表,要求的工作条件也越高。在实际测量中,若达不到仪表所要求的测量条件,则仪表带来的误差将更大。

2) 正确选择表的量限 测量值越接近表的偏满值误差越小,应尽量使测量的数值在仪表量限的 $\frac{2}{3}$ 以上的位置。

3) 有合适的灵敏度 要求对变化的被测量有敏锐的反应。

4) 有良好的阻尼性 要求阻尼时间要短,一般不超过 $4\sim 6s$ 。

5) 受外界的影响小 即温度、电场、磁场等外界因素对仪表影响所产生的误差小。

6) 仪表本身的能耗小,并有良好的读数装置等。

### 4. 电工仪表的正确使用

1) 严格按说明书上的要求使用、存放。

2) 不能随意拆装和调试,以免影响准确度、灵敏度。

3) 经过长期使用后,要根据电气计量的规定,定期进行校验和校正。

4) 交流、直流电表(挡)要分清,多量程表在测量中不应更换挡位,严格按说明接线,以免出现烧表事故。

## 二、电工仪表的测量原理

常用电工仪表的测量原理可分为磁电系、电磁系、电动系和感应系等几种类型。电表的测量机构一般包括驱动机构、指示机构、阻尼机构、调零机构和产生机械反作用转矩的机构等几部分。驱动机构一般由固定部分和可动部分构成。固定部分主要产生磁场,可动部分产生电磁转矩。

### 1. 磁电系仪表

磁电系仪表的测量机构及工作原理如图1—8所示。驱动机构是由一个固定不动的马蹄形永久磁铁和一个可绕轴转动的可动线圈构成;指示机构由固定在转轴上的指针和刻度盘组成。马蹄形永久磁铁产生磁场。当可动线圈通过被测电流时,线圈受到一个电磁转矩,带动指针偏转,同时与转轴相连的游丝发生变形,游丝产生的反作用弹性力矩与偏转角的大小成正比,这个弹性力矩将阻止可动线圈的偏转。当磁场的力矩和游丝的弹性力矩相等时,可动线圈处于平衡状态,指针不再偏转,表盘显示读数。

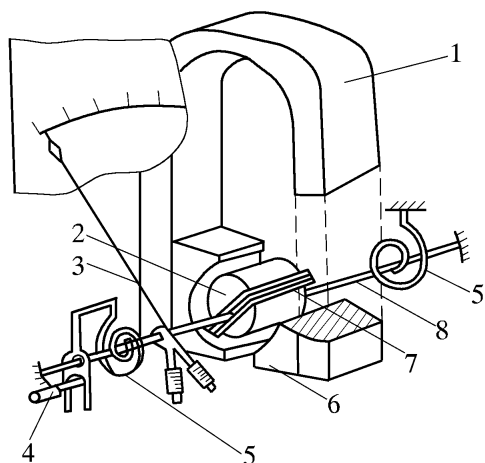


图1—8 磁电系仪表结构

1—马蹄形永久磁铁;2—软铁铁心;3—指针;

4—零点调节器;5—游丝;6—磁极;

7—可动线圈;8—转轴

## 2. 电磁系仪表

电磁系仪表的结构如图 1-9 所示,它是由固定线圈和装在线圈内的固定铁片、与轴相连的可动铁片、空气阻尼器等组成。当线圈通电后,线圈内产生磁场,固定铁片和可动铁片同时被磁化,成为两片磁铁。两片磁铁同一端的极性相同,互相排斥,使可动铁片绕转轴顺时针转动,并带动指针一起转动,直至铁片的转矩与游丝的弹性力矩相平衡,指针静止,表盘显示读数。如果电流方向改变,两铁片的磁性也同时改变,结果转轴的转向不变,所以这种仪表既可以用于直流电路的测量,也可用于交流电路的测量。

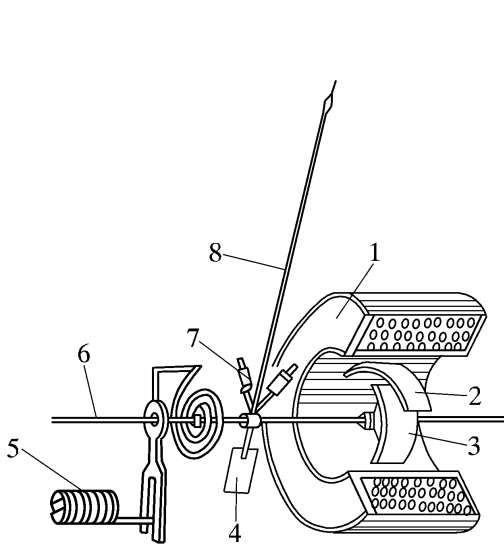


图 1-9 电磁系仪表的构造

1—固定线圈；2—固定铁片；3—可动铁片；  
4—空气阻尼器；5—零点调节器；6—转轴；  
7—平衡重物；8—指针

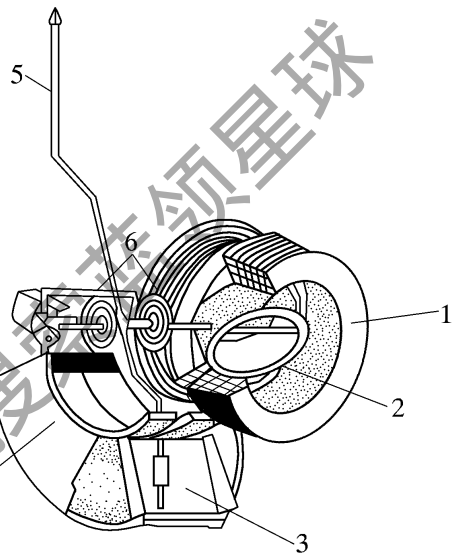


图 1-10 电动系仪表的构造

1—固定线圈；2—可动线圈；3—空气阻尼器；  
4—阻尼盒；5—指针；6—游丝

## 3. 电动系仪表

电动系仪表的测量机构如图 1-10 所示。它的驱动机构由固定线圈和可动线圈构成。为了在可动线圈附近获得较为均匀的磁场,常把固定线圈分成两半,两个线圈串联或并联,引出两个接线端。固定线圈由较粗的绝缘导线绕成。可动线圈在固定线圈两部分中,匝数较多,导线较细,允许通过的电流较小。可动线圈、指针和空气阻尼器都固定在转轴上。可动线圈的电流由游丝引入。当固定线圈通入电流时,在线圈内部产生磁场;可动线圈通入电流后,受到磁场的作用而产生一个力矩,带动转轴和指针转动。电动系仪表既可用于直流电路的测量,也可用于交流电路的测量。

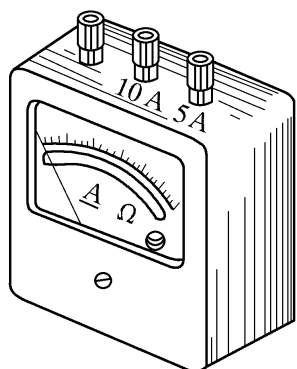
## 三、电工仪表的使用

### 1. 直流电流表、直流电压表的使用

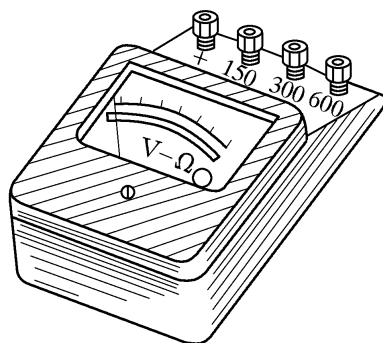
直流电流表是用来测量直流电路中电流值的,直流电压表是用来测量直流电路中电压值的。直流电流表、直流电压表的面板如图 1-11 所示。

使用直流电流表测量时,应与负载串联,如图 1-12 所示。由于仪表线圈的导线很细,所以允许通过的电流是很微小的,一般是几十微安到几十毫安之间,如果要用它测量较大电流就必须





(a) 直流电流表



(b) 直流电压表

图 1-11 直流电流表和直流电压表

扩大量程。

直流电流表的扩程方法是采用在电表线圈两端并联一个分流电阻的方法来扩大量程的,如图 1-13 所示。例如,有一只内阻为  $30\ \Omega$  的  $0\sim 1\ \text{mA}$  的表头,要改装成  $0\sim 2\ \text{mA}$  的电流表,则需要并联一个与表头内阻相等(即  $30\ \Omega$ ) 的电阻,此时实测的电流值为指针所指出的读数的 2 倍。

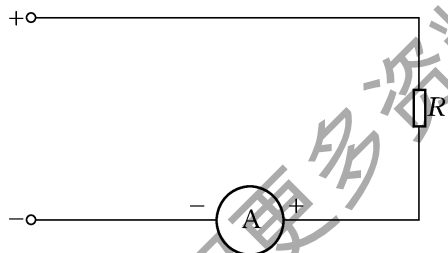


图 1-12 电流表串联电路中

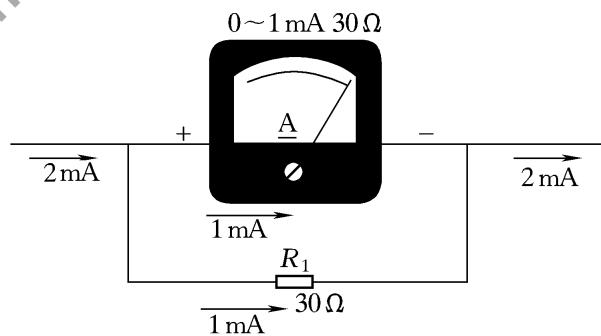


图 1-13 表头改为 2 mA 电路图

使用直流电压表测量时,将仪表并联在电路中被测电压的两端。由于磁电系仪表允许通过很小的电流,所以只能测较低的电压。要测较高的电压时,可以在测量仪表上串联一个附加电阻,如图 1-14 所示( $R_c$  代表机构电阻, $R_j$  代表附加电阻)。

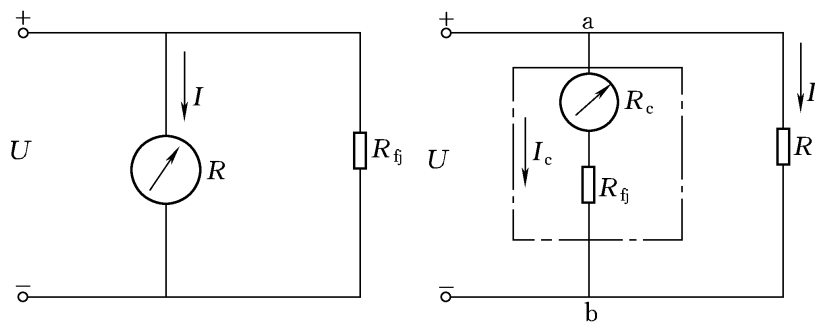


图 1-14 测量电压线路图和电压表的附加电阻

电压表各量限的内阻不一样大,但各量限的内阻与相应电压量限的比值为一常数,这个常数往往在电压表的铭牌上标明,它的单位为  $\Omega/\text{V}$ ,它是电压表的一个重要参数。例如,量限为 1 000 V 的电压表其内阻为  $2 \times 10^6 \Omega$ ,则该电压表的内阻参数可表示为 2 000  $\Omega/\text{V}$ ,这个参数愈大,表明仪表内阻愈大,功率消耗愈小。

## 2. 交流电流表、交流电压表的使用

一般来说,若被测电流或者电压的数值超过电流表或者电压表的最大量程时,就必须与互感器配合使用,如图 1-15、1-16 所示。

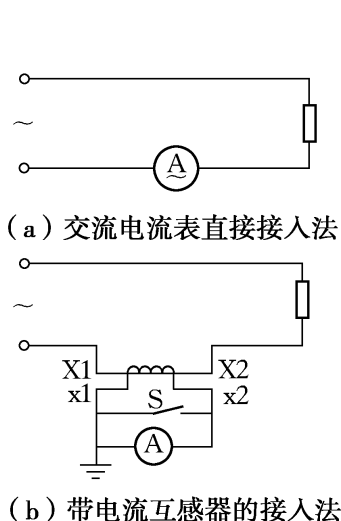


图 1-15 交流电流表的接法

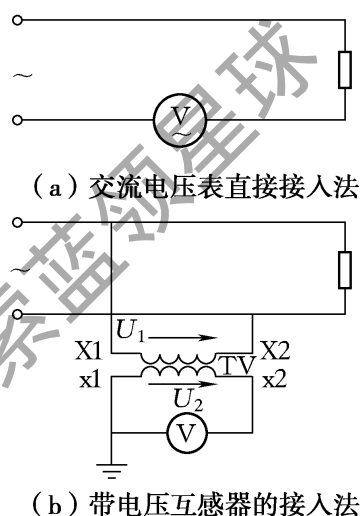


图 1-16 交流电压表的接法

图中互感器 X1、X2 的两端串接在电路中,x1、x2 接仪表,此时,电路中电流或电压的实际值为表的读数再乘上互感器的变比。实际应用时,表盘刻度按实际值标示,同时将所配互感器变比标注在表盘上,测量时可直读。

## 3. 兆欧表的使用

测量电阻的仪表和方法很多,小电阻 ( $1 \Omega$  以下) 可用双臂电桥测量;中值电阻 ( $1 \sim 0.1 \text{ M}\Omega$ ) 可采用欧姆表和伏安法测量,若需要精密测量可选用单臂电桥法测量;绝缘电阻的测量一般使用兆欧表。

兆欧表俗称摇表,是一种便携式仪表,主要用来测量电气设备、供电线路的绝缘电阻,常用的兆欧表有 ZC-7 系列、ZC-11 系列等。兆欧表的额定电压有 500 V、1 000 V、2 500 V 等几种,测量的范围有 500  $\text{M}\Omega$ 、1 000  $\text{M}\Omega$ 、2 000  $\text{M}\Omega$  等几种。

ZC-7 型兆欧表的外形如图 1-17 所示。一般兆欧表上都有 3 个接线柱,正极接柱“L”、接地接柱“E”、屏蔽接柱“G”。

### (1) 兆欧表的选择

绝缘材料因受潮、发热、污染、老化等原因,造成绝缘强度降低,为了便于检查修复后的设备绝缘性能是否达到要求,都要用兆欧表经常测量其绝缘电阻。

兆欧表的手摇直流发电机,其额定电压一般有 500 V、1 000 V、2 000 V、2 500 V 等几种不同的规格,可根据被测设备的工作电压来选用。

兆欧表的额定电压与被测电气设备或线路的工作电压相适应,电压高的电气设备,需使用电

压高的兆欧表进行测量。例如,瓷瓶的绝缘电阻总在  $1\ 000\ \text{M}\Omega$  以上,至少要用  $2\ 500\ \text{V}$  以上的兆欧表才能测量,而测量电压不足  $500\ \text{V}$  的电气设备以及线路的绝缘电阻时,可选用  $500\ \text{V}$  的兆欧表。

兆欧表的测量范围应与被测绝缘电阻的范围相一致。有的兆欧表的刻度不是从零开始,而是从  $1\ \text{M}\Omega$  或  $2\ \text{M}\Omega$  开始,这样的兆欧表不宜用于测量在潮湿环境中的低压电气设备的绝缘电阻,因为在这种潮湿环境中的电气设备的绝缘电阻比较小,有可能小于  $1\ \text{M}\Omega$ ,在兆欧表上得不到读数而误以为绝缘电阻为零,从而得出错误的结论。

### (2) 兆欧表的使用与维护

在测量时,将正极接柱“L”与被测物和大地绝缘的导体部分相连接;将接地线柱“E”与被测物的外壳或其他导体部分相连接;将屏蔽接线柱“G”与被测物上的保护遮蔽环或其他不需测量的部分相接。一般测量时只用“L”和“E”两接线柱,“G”接线柱只在被测物表面漏电严重时才使用,如图 1-18 所示。

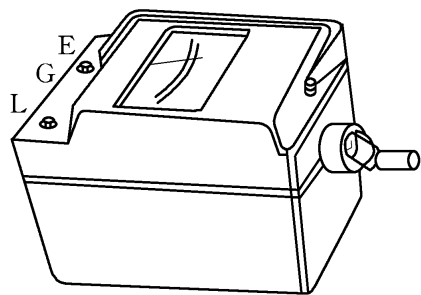
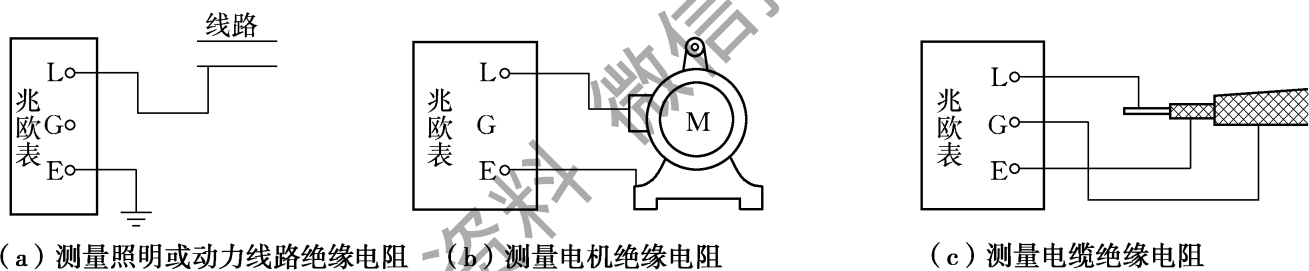


图 1-17 兆欧表



(a) 测量照明或动力线路绝缘电阻 (b) 测量电机绝缘电阻 (c) 测量电缆绝缘电阻

图 1-18 兆欧表的接线方法

使用兆欧表时应注意以下事项:

① 兆欧表应平稳放置,放置地点必须远离有大电流的导体和有外磁场的场合,以免影响读数。

② 在测量绝缘电阻之前,必须对兆欧表本身检查一次,检查方法如下:使“L”、“E”两个接线柱处在开路状态,转动手柄到额定转速,这时指针应指在“ $\infty$ ”位置,然后再将“L”、“E”接线柱短接,缓慢转动手柄(注意:必须缓慢转动,以免电流过大烧坏线圈),观察指针是否指到“0”处,若开路时指针能指到“ $\infty$ ”,短路时能指“0”,说明兆欧表良好。

③ 凡用兆欧表测量电气设备的绝缘电阻时,必须在停电以后进行,并对被测设备进行充分放电,否则可能发生人身和设备事故。

④ 接线柱至被测物间的测量导线,不能使用双股并行导线或多股绞合导线去接“L”、“E”、“G”接线柱,以免线间的绝缘电阻影响测量结果,应使用单股绝缘良好的导线,并保持兆欧表表面的清洁和干燥,以免兆欧表本身带来测量误差。

⑤ 使用兆欧表时,发电机的手柄应由慢渐快地摇动,速度切忌忽快忽慢,以免指针摆动引起误差,一般转速规定为  $120\ \text{r}/\text{min}$ ,可以有  $\pm 20\%$  的变化。在摇转过程中,若发现指针指零,说明被测绝缘物有短路现象,这时不能继续摇动,以防表内动圈因发热而损坏。

⑥ 绝缘电阻一般规定摇测 1 min 后的读数为准,遇到电容量特别大的被测物时,可等到指针稳定不变时为准。

⑦ 当兆欧表没有停转和被测物没有放电之前,不可用手去触及被测物体的测量部分,也不能进行导线拆除工作。测量具有大电容设备的绝缘电阻以后,必须先将被测物对地放电,然后再停止兆欧表发电机手柄的转动,这主要是为了防止电容器因放电而损坏兆欧表。

#### 4. 万用表的使用

万用表的结构外形多种多样,图 1-19 所示为常用万用表的外型。不同型号的万用表其表面上的旋钮、开关的布局也各有差异,所以,在使用万用表之前,必须弄清各部件的作用,要分清表盘上各标度尺所对应的测量数值。

使用万用表时应注意以下几点:

① 在使用万用表进行测量以前,首先要检查测试棒应接在什么位置上,万用表上有几个插孔,如“+”、“-”、“\*”、“2500V”、“5A”等。规定红色测试棒应插在“+”孔内或接正接线柱,黑色测试棒插在“-”孔内或接负极接线柱,不得接反。

② 将旋转开关调到相应的位置,在进行测量电压时,万用表应并接在电路中。测直流电压时,要使万用表红色测试棒接被测部分的正极,黑色测试棒接被测部分的负极。如果不知道被测部分的正、负极性,可以用以下方法判断测量:先将万用表转换开关置于直流电压最大量程挡,然后将一测试棒接于被测部分的一端,再将另一测试棒在被测部分的另一端轻轻地一触,立即拿开,同时观察万用表指针的偏向,若万用表的指针往正方向偏转,则红色测试棒所接触的一端为正极;若万用表指针往反向偏转,则红色测试棒所接触的一端为负极。

③ 正确选择转换开关的位置。例如,要测交流电压,则将转换开关旋至标有“V”的区间;若需要测量电阻,则将转换开关旋至“ $\Omega$ ”区间;其他需要测量的物理量依此类推。

④ 正确选择量程。量程的正确选择,将减少测量中的误差。测量时应根据被测物理量的大约数值,先把转换开关旋转到该种类区间的适当量程上,在测量电流或电压时,最好使指针指示在满刻度的 1/2 或 2/3 以上,这样测量的结果比较准确。例如,要测量 220 V 的交流电压时,就可选用“V”区间 250 V 的量程挡上。如果被测量的数值不能预先知道,则在测量前将转换开关旋转到该区间最大量程挡,然后进行测量。如果读数太小,再逐步缩小量程。

⑤ 在万用表的表盘上有很多条标度尺,如图 1-20 所示。它们分别在测量各种不同的被测对象时使用,因此在进行测量时,要在相应的标度尺上读数。例如,标有“ $\Omega$ ”的标度尺是欧姆挡,在测量直流电阻时用;标有“V”的标度尺是测交流电压时用;标有“V”的标度尺为测直流电压时用。所读的标度尺必须与万用表的转换开关的量程相符。

#### 5. 电度表的选择与安装

##### (1) 电度表的结构

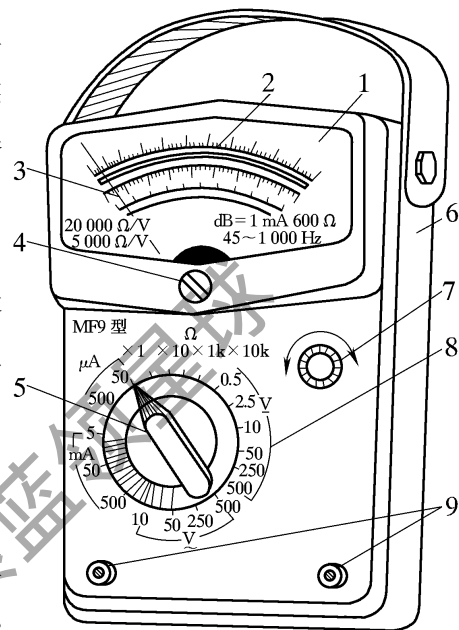


图 1-19 万用表

1—表盘; 2—标尺; 3—指针; 4—调零旋钮; 5—转换开关; 6—表壳; 7—零欧姆调节旋钮; 8—选择开关; 9—接线插孔

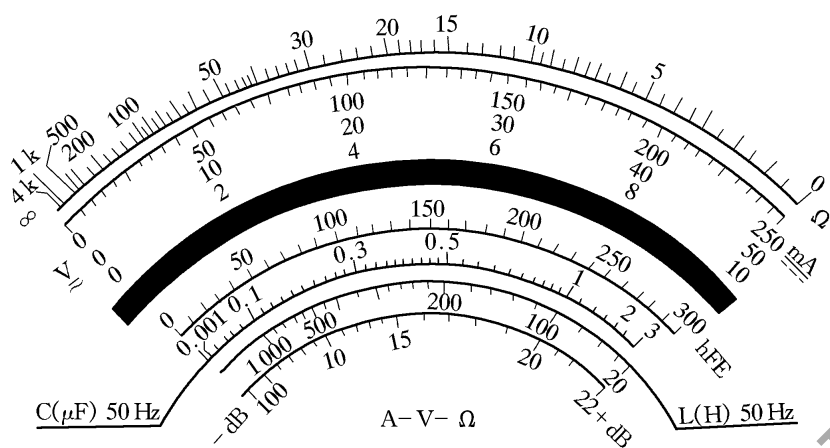


图 1-20 万用表表盘

电度表又叫电能表,是用来测量某一段时间内发电机发出的电能或负载消耗电能的仪表,分为有功电度表和无功电度表,其中有功电度表有单相电度表、三相三线制电度表、三相四线制电度表。

## (2) 电度表的选择

① 根据实测电路,选择电度表的类型。单相用电(如照明电路)选用单相电度表;三相用电时,可选用三相电度表或3只单相电度表,有时在成配套电气设备中或电动机负载电路中,采用三相三线制电度表;为测无功电度数,电路中还安装了无功电度表。图1-21为单相电度表的外型及结构,三相电度表与单相电度表的外型相似。

② 根据负载的最大电流及额定电压,以及要求测量的准确度选择电度表的型号。选择时,电度表的额定电压与负载的额定电压一致,而电度表的额定电流应不小于负载的最大电流。

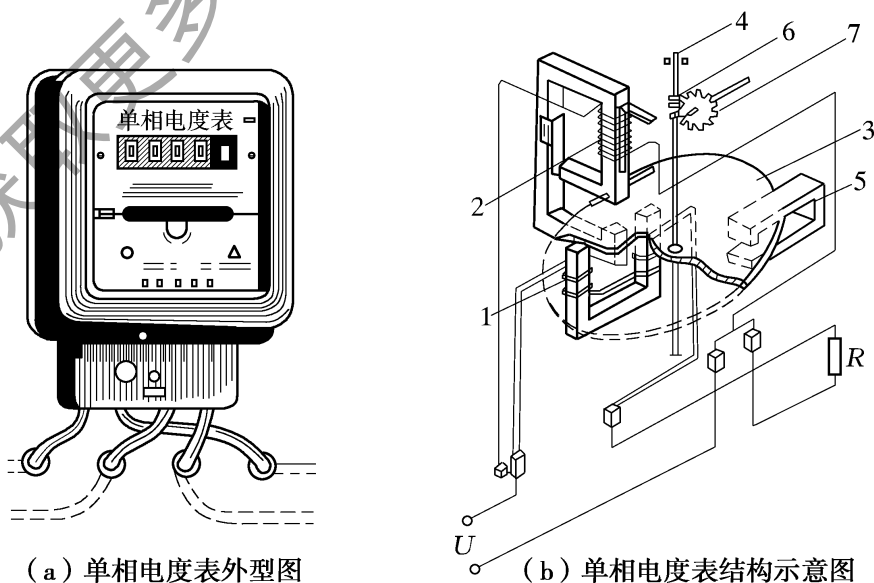


图 1-21 单相电度表

1—电压线圈;2—电流线圈;3—铝制圆盘;4—转轴;  
5—制动永久磁铁;6—蜗杆;7—蜗轮

③ 当没有负载时,电度表的铝转盘应该静止不转。当电度表的电流线路中无电流而电压

线路上有额定电压时,其铝盘转动应不超过潜动允许值,即在限定时间内潜动不应超过 1 整转。

### (3) 电度表的安装

① 电度表一般要与配电装置装在一起,如图 1-22 所示。

装电度表的木板正面及四周边缘应涂漆防潮,木板为实板,且必须坚实干燥,不应有裂缝,拼接处要紧密封。

② 电度表的安装场所要干燥、整洁,无震动、无腐蚀、无灰尘、无杂乱线路,表板的下沿离地面至少 1.8 m。

③ 为了使导线走向简洁而不混乱,电度表应装在进线侧。为抄表方便,明装电度表箱底面距地 1.8 m,特殊情况 1.2 m,暗装电度表箱底面距地 1.4 m。如需并列安装多只电度表时,则两表间的距离不应小于 200 mm。

④ 不同电价的用电线路应分别安装表,同一电价的用电线路应合并装表。

⑤ 安装电度表时,表身必须与地面垂直,否则会影响电度表的准确度。

⑥ 电度表不允许安装在 10% 负载以下的电路中使用。

⑦ 电度表在使用过程中,电路上不允许经常出现短路或负载超过额定值的 125% 的情况,否则会影响电度表的准确度和寿命。

### 6. 功率表的使用

功率表俗称瓦特表,是用来检测负载在单位时间内做功多少的一种仪表,如图 1-23 所示。功率表在直流电路中反映负载电压与电流的乘积 ( $P=UI$ );在交流电路中除反映负载电压与电流的乘积外,还能反映它们间的相位关系 ( $P=UI\cos\phi$ )。常用的功率表有单相功率表、三相功率表等。

#### (1) 功率表量程的选择

单量程功率表,只有一种量程,在选用时,不但要考虑测量功率的量程是否足够,更要注意电压、电流量程是否和负载电压、电流相适应。若功率量程满足要求而电压、电流的某一量程不合适,此表也不能用。对于多量程功率表,一般有两个电流量程,通过选用不同的电流、电压量程,可获得不同的功率量程,但选择量程时也必须遵照单量程功率表的选择原则。

例如:D19-W 型功率表,额定值为 5/10 A 和 150/300 V,它的功率量程就有 3 种,  $5\times 150=750$  W;  $10\times 150$  或  $5\times 300=1\ 500$  W;  $10\times 300=3\ 000$  W。若测量电流为 4.5 A、电压 220 V 的阻性负载时,选用额定电压 150 V,电流为 10 A 的功率表测量时,虽然功率量程为 1 500 W,能满足功率的测量要求,但负载电压 220 V 已超过了功率表所承受的电压 150 V,所以要选用额定电流为 5 A,额定电压为 300 V 的量程测其功率。

#### (2) 功率表的正确接线

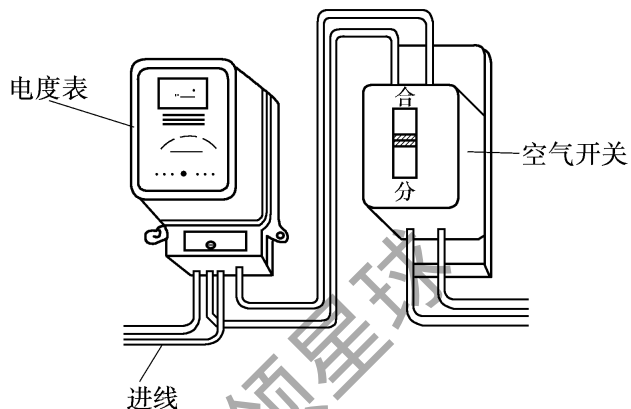


图 1-22 单相电度表的安装

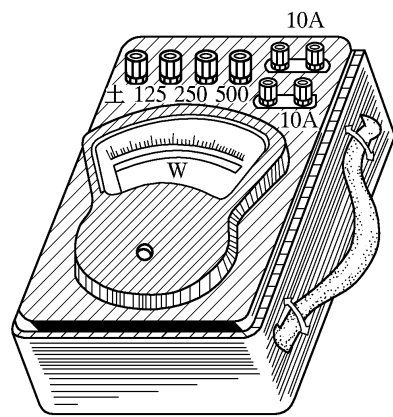


图 1-23 功率表的外形

单量程功率表有 4 个接线端钮,其中 2 个是电流接线端,另 2 个是电压接线端。为了正确接线,在电流接线和电压接线的一端标有“\*”字号(此端为发电机端)。

直流电路的功率测量接线方法如图 1-24 所示。

说明:接线时,必须使电流同时从电流、电压的发电机端(\* 字号端)流进,电路功率可直接读出。

交流电路的功率测量接线方法,图 1-25 所示。

说明:电流线圈(原圈)串联接入,线圈的发电机端(带 \* 字号端)必须接电源的一端,另一端接负载;电压线圈(动圈)并联接入,线圈的发电机端可以接功率表电流端钮的任一端,而另一个电压接线端必须接到负载的另一端。

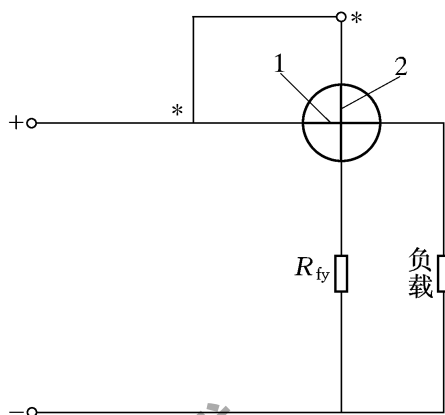


图 1-24 用功率表测量直流电路功率  
1—定圈; 2—动圈;  $R_{fy}$ —分压电阻

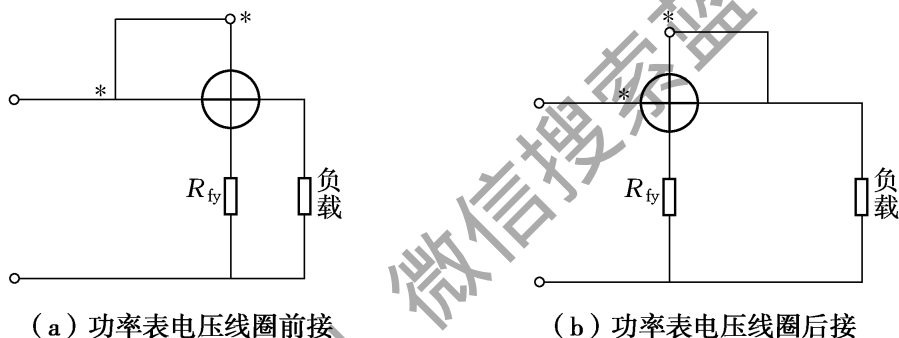


图 1-25 功率表的正确接线

当功率表电压线圈前接时,适用于负载电阻远大于功率表电流线圈电阻的情况;而功率表电压线圈后接,则适用于负载电阻远小于功率表电压线圈电阻的情况。负载所消耗的功率可通过功率表直接读出。

### (3) 用一个单相功率表测三相对称负载的功率

若用一单相表来测三相对称负载,此时三相功率为该功率表的 3 倍。其接线方式如图 1-26 所示。

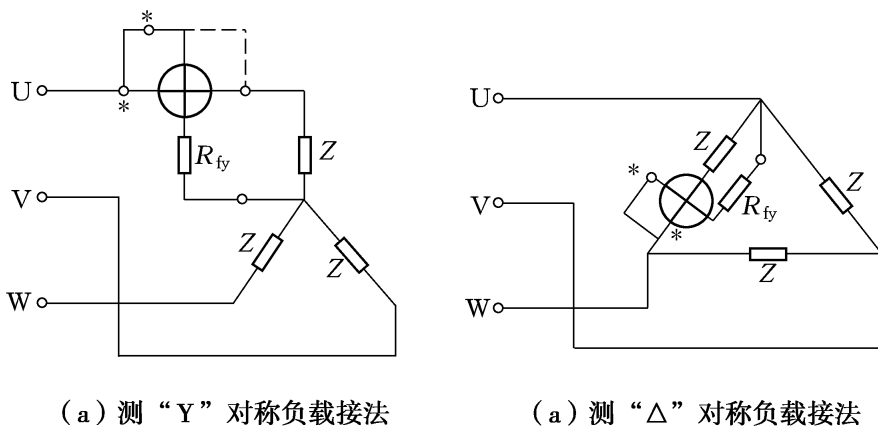


图 1-26 一表法测三相功率

### (4) 用两个单相功率表测三相三线制负载的功率

对于三相星形联结的负载,可按图 1-27 所示接线;若三相负载是三角形联结,可用一个等效的星形联结的负载来代替。两表的读数加起来就是三相负载消耗的总功率。

说明:①两表法不管三相负载是否对称,都适用;②此法不能用于三相四线制电路中测量功率。

(5) 用三个单相功率表测三相四线制不对称电路的功率

对于三相四线制不对称电路,需要用三只功率表测出每相的功率,把三相功率加起来,即为三相电路的总功率。其接线方法如图 1-28 所示。

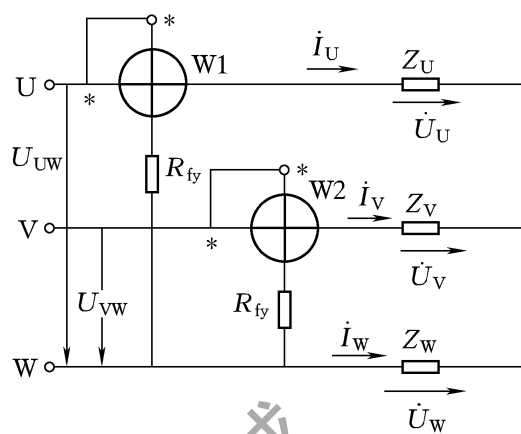


图 1-27 两表法测三相功率

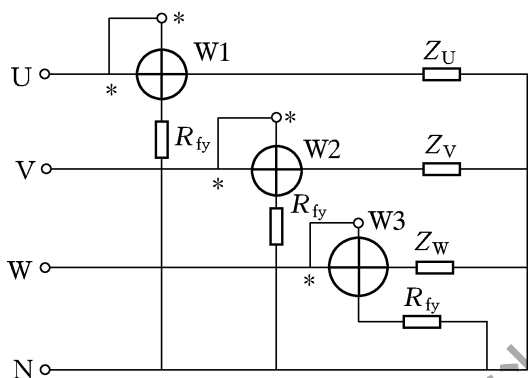


图 1-28 三表法测三相功率

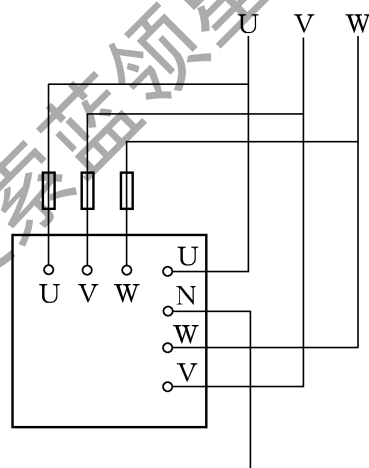


图 1-29 三相功率表的接线

(6) 用三相功率表测量三相电路功率

三相功率表一般用于测量三相三线制或负载对称的三相四线制电路的功率。其接线方法如图 1-29 所示。

(7) 功率表的读数

功率表的表盘不同于其他表盘,功率表的标尺不标瓦数,而只标分格数。在测量功率时,不能直接从标尺上读出瓦特数。读数时,首先看选用的电流量限和电压量限,然后去查对每一分格代表的瓦特数,再根据功率表的偏转格数,乘上功率表相应的分格常数,就等于被测功率的数值。其公式为

$$P = C \alpha W$$

式中  $P$ ——被测功率的瓦数;

$C$ ——功率表分格常数 (W/格),一般附有表格;

$\alpha$ ——指针偏转的格数;

$W$ ——每一分格代表的瓦特数。



### 第三节 导线加工基本操作

#### 一、绝缘层的去除

对绝缘导线进行连接时,必须去除接头处的绝缘层,以保证接头处有良好的导电特性。绝缘层要去除得干净、彻底,否则通电后接头处会发热。此外,还要保证接头处的机械强度不小于其他部位的。

绝缘导线接头处绝缘层切剥的常用工具是电工刀和钢丝钳。

##### (1) 电磁线绝缘层的去除

直径在 0.6 mm 以上的电磁线,可用电工刀刮去其线头表面的绝缘漆;直径在 0.1 mm 以上的需用细砂布(纸)对折夹住其线头轻擦;直径在 0.1 mm 以下的需用特殊方法,即将线头在酒精灯上烧红后迅速投入酒精内,绝缘漆可自动脱落。

在去除丝包线线头绝缘层时,对于线径较小的,只要将丝包层向后推缩,即可使芯线露出;对于线径较大的可松散一些丝包层后推出芯线;对于线径过大的线头,松散后的丝线头要打结,以免松散过多,露出的芯线可用细砂布擦去绝缘层。

##### (2) 电力线绝缘层的去除

在去除塑料单芯线线头的绝缘层时,对于芯线截面积在  $4 \text{ mm}^2$  以上的可用电工刀剥除,剥除方法如图 1-30 所示。首先根据所需线头的长度将刀口以  $45^\circ$  角切入塑料层,注意不可触及芯线。然后将刀面与芯线保持  $15^\circ$  左右,用力向外削出一条缺口。将被剖开的绝缘层向后扳翻,用电工刀齐根部切去。

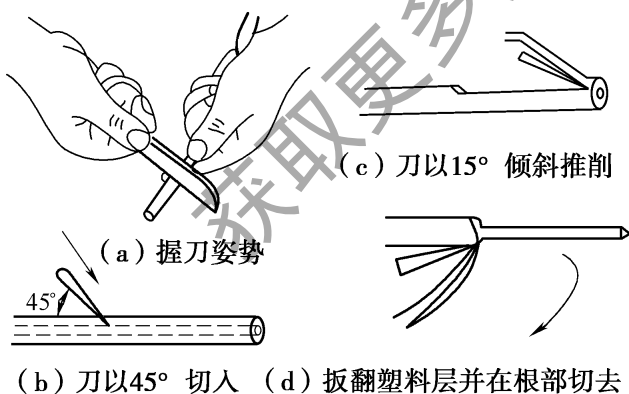


图 1-30 电工刀剥削塑料层

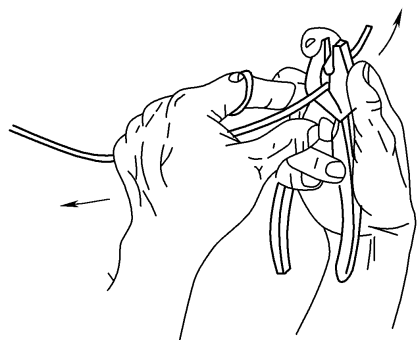


图 1-31 钢丝钳剥塑料层

对于芯线截面积在  $2.5 \text{ mm}^2$  以下的单芯塑料硬线,可用钢丝钳剥去其绝缘层,具体操作方法如图 1-31 所示。选择好所需线头长度,用钢丝钳钳口轻轻切破塑料层,此时用力要轻,不可切伤芯线,然后左手拉紧导线,右手握住钳头向外用力拉去绝缘层即可。

在剥除塑料软线的绝缘层时,除了用剥线钳外,亦可用钢丝钳,按截面积在  $2.5 \text{ mm}^2$  以下的塑料单芯硬线的剥除方法进行剥除。剥削软线绝缘层不可用电工刀,因容易切伤芯线。

塑料护套线绝缘层的剥除,如图 1-32 所示。先用电工刀刀尖沿两股芯线中缝划开绝缘护

套层。将划开部分向后扳翻,用刀切齐。芯线绝缘层的剥除方法如同塑料硬线,注意芯线绝缘层切口应长出护套层切口 5~10 mm。

剥除橡皮线的绝缘层时,要先用电工刀划开纤维编织层,削出绝缘台,再用塑料硬线的剥除方法剥去橡皮绝缘层。有的芯线上还包有棉纱,应将其齐根切去。

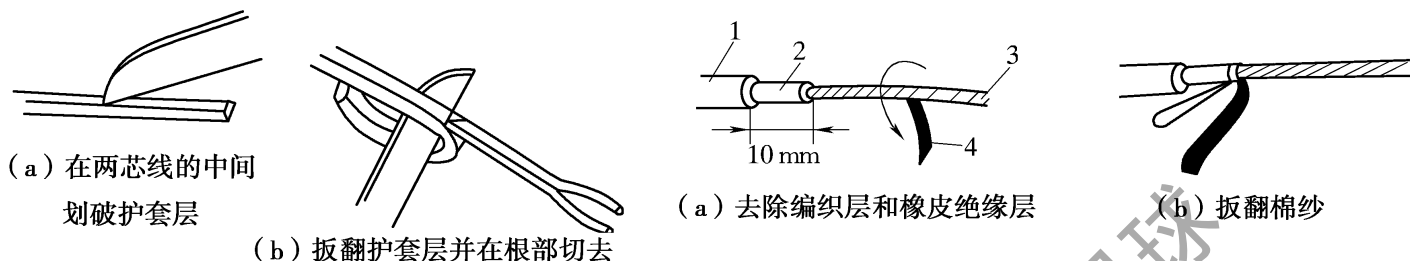


图 1-32 护套层剥除

图 1-33 剥除花线绝缘层

1—棉纱编织层; 2—橡皮绝缘层; 3—线芯; 4—棉纱

花线绝缘层有两层,在剥除外层棉纱织品时,可用电工刀将其切割一圈后除去;内层的橡胶绝缘层,可用钢丝钳按剥除塑料软线绝缘层的方法剥除,如图 1-33 所示。

橡套软线(橡套电缆)外包较厚的护套层时,可用剥除塑料护套层的方法剥除。其内部每根芯线又包有各自的橡皮绝缘层,可用花线绝缘层的剥除方法剥除。

铅包线的铅包层要用电工刀剥除,如图 1-34 所示。确定好线头长度,先用电工刀将铅包层切割一刀,再用双手在切口两侧左右上下扳折,使铅包层由切口处折断,将其抽出后露出芯线内层绝缘层,然后按剥除塑料硬线的方法剥除。

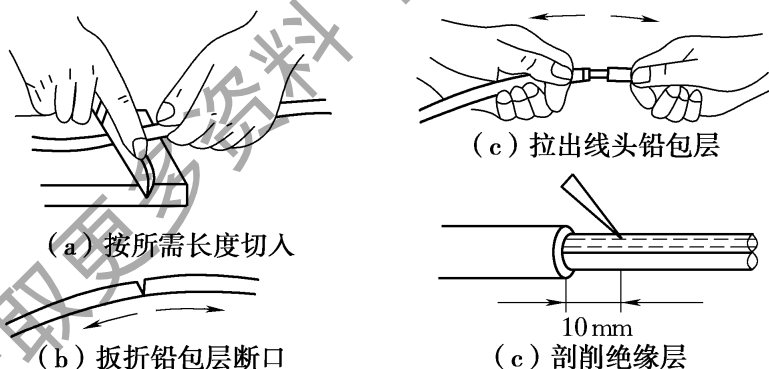


图 1-34 铅包层剥离方法

## 二、电磁线线头的连接

### 1. 线圈内部的连接

对于直径 2 mm 及以下的圆铜漆包线,进行连接时采用铰接法,即将两线头相互均匀绞绕至少 10 圈以上,两端封口,不留毛刺,如图 1-35 (a)、(b) 所示。绞接后需要钎焊:用烙铁在锡池中溶化少量焊锡,将导线接头处镀上松香后浸入溶锡中,2 s 后取出即可。

直径在 2 mm 以上的圆铜导线,连接时采用套接法。首先要选好与导线直径相适应的连接套管,如图 1-35 (c) 所示,其中套管采用厚度在 0.6~0.8 mm 的镀锡铜皮制成,长度一般为导线直径的 8~10 倍,截面积一般取导线截面积的 1.2~1.5 倍(例如,电磁线直径 2 mm,截面积近 3 mm<sup>2</sup>,则套管截面积应选在 3.6~4.5 mm<sup>2</sup> 之间)。将两线头相对插入套管,使线头顶端对接在套管中间位置。进行钎焊时要使焊锡充分浸入套管内部,充满中间缝隙,将线头和套管铸成整体。

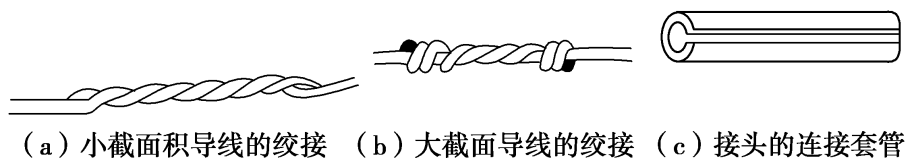


图 1-35 线圈内部端头的连接方法

## 2. 线圈的外部连接

线圈之间的连接(如几个线圈的串并联),对于截面积较小的导线,仍采用绞接后再钎焊的方法,而对于大截面导线要用气焊法。线圈引出端与接线桩连接时,需用接线端子(接线耳)(图 1-36),先将线圈引出端与接线耳用压接钳压接,如图 1-37 所示,然后再将接线耳与接线桩用螺钉压接。

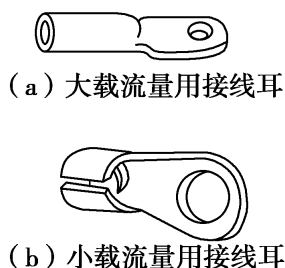


图 1-36 接线耳

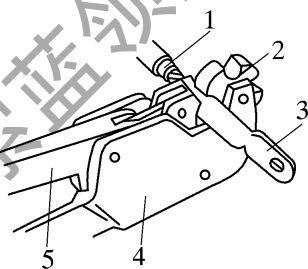


图 1-37 导线与接线耳的压接

## 3. 铜芯电力线线头的连接

### (1) 单股芯线直线连接

利用绞接法对于截面积为  $6 \text{ mm}^2$  以下的单芯导线进行直线连接时可按如图 1-38 所示方法进行:将两线头用电工刀剥去绝缘层,露出  $10 \sim 15 \text{ cm}$  裸线头;把导线两裸端头 X 形相交,互相绞绕 2~3 圈,再扳直两线自由端头,将每根线头在对边线芯上密绕,每边绕 5~7 圈,缠绕长度不小于导线直径的 10 倍;将多余部分剪去,修正接口毛刺即可。

对截面积在  $10 \text{ mm}^2$  以上的单芯导线进行直线连接可利用缠绕绑接法,如图 1-39 所示。

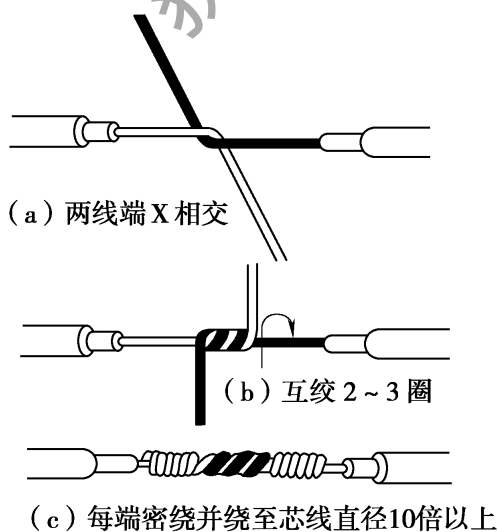


图 1-38 单股芯线绞接法

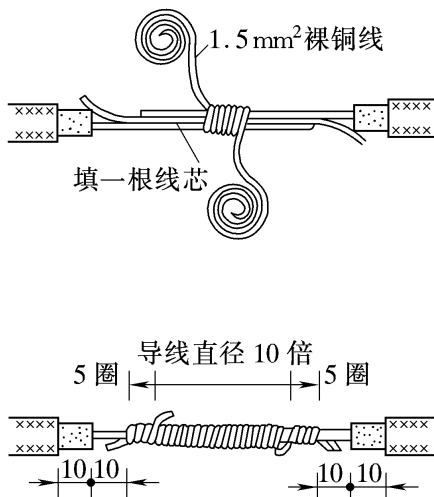


图 1-39 缠绕绑接法

将两芯线线头相对并叠,加入 1 根截面积为  $1.5 \text{ mm}^2$  的铜芯线做辅助;用截面积为  $1.5 \text{ mm}^2$  的裸铜线对 3 根并叠芯线头进行绑扎缠绕,芯线截面积  $16 \text{ mm}^2$  以下的缠绕长度为  $60 \text{ mm}$ ,截面积为  $16 \text{ mm}^2$  以上的缠绕长度为  $90 \text{ mm}$ 。

### (2) 单股芯线的 T 字型分支连接

对于截面积  $6 \text{ mm}^2$  以下的导线进行 T 字型连接,可参照如图 1-40 所示方法进行:将支线线头与干线十字相交后绕一单结,支线芯线根部留  $3\sim 5 \text{ mm}$ ,然后紧密地绕在干线芯线上,缠绕长度为芯线直径的  $8\sim 10$  倍,剪去多余线头并修平接口毛刺。

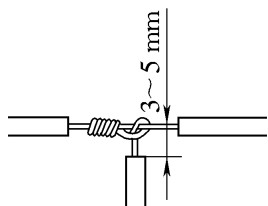


图 1-40 单股芯线的 T 字型分支连接

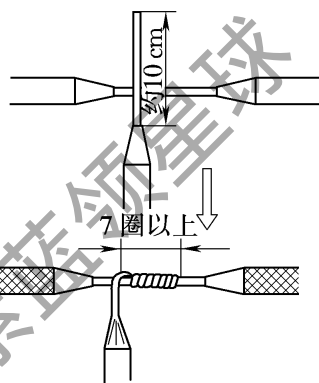


图 1-41 直接缠绕法

对于截面较大的导线可用直接缠绕法进行 T 字型连接,即将芯线线头与干线十字相交后直接缠绕在干线上,如图 1-41 所示。缠绕长度应为芯线直径的  $8\sim 10$  倍。缠绕时要用钢丝钳配合,力求缠绕紧固,并应在接头处搪锡。

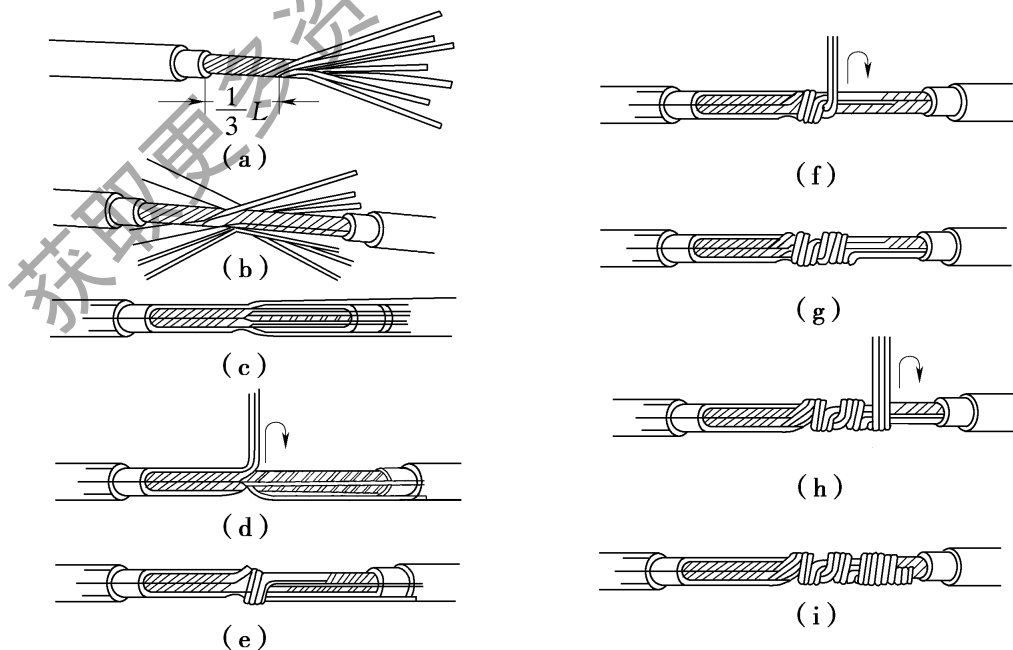


图 1-42 7 股芯线自缠法直线连接

### (3) 7 股芯线的直线连接

对于截面积较小(如  $10 \text{ mm}^2$ )的 7 股芯线连接采用自缠法,如图 1-42 所示:先将两个待接线头进行整形处理,用钢丝钳将其根部的  $1/3$  部分绞紧,其余  $2/3$  部分呈伞骨状,如图 1-42 (a)

所示。再将两芯线线头隔股对叉,叉紧后将每股芯线捏平,如图 1-42 (b)、(c) 所示。然后将一端的 7 股芯线线头按 2、2、3 分成三组,将第一组 2 股垂直于芯线扳起,按顺时针方向紧绕两周后扳成直角,使其与芯线平行,如图 1-42 (d)、(e) 所示。最后将第二组芯线紧贴第一组芯线直角的根部扳起,按第一组的绕法缠绕两周后仍扳成直角,如图 1-42 (f)、(g) 所示。第三组 3 根芯线缠绕方法如前,但应绕三周,如图 1-39 (h) 所示,在绕到第二周时找准长度,剪去前两组芯线的多余部分,同时将第三组芯线再留一圈长度,其余剪去,使第三组芯线绕完第三周后正好压没前两组芯线线头,如图 1-42 (i) 所示。这样,一端连接结束。另一端的连接方法与此相同。

对于大截面积的 7 股芯线(如  $35 \text{ mm}^2$  及以上的)用自缠法连接困难,一般采用缠绕绑接法,如图 1-43 所示。先将两段芯线线端打开,呈伞骨状,将其隔股对叉,成为一体,叉实后将每股芯线捏平。用  $1.5 \text{ mm}^2$  的铜线由中央开始绑缠,要求缠绕紧固。绑缠长度为 7 股芯线直径的 10 倍。

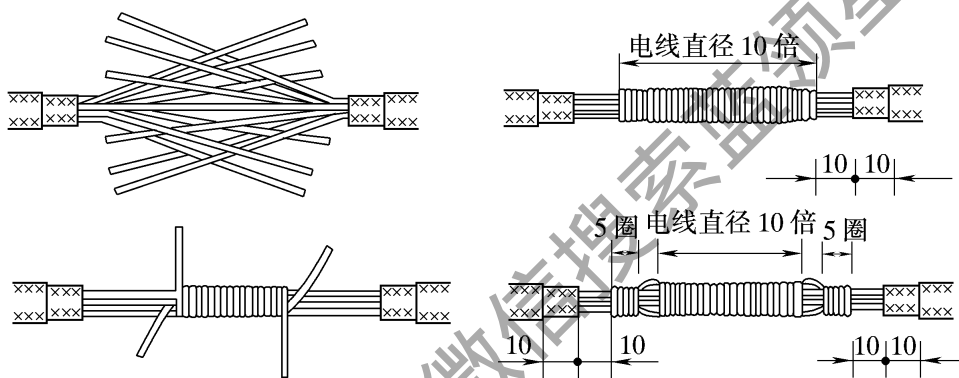


图 1-43 7 股芯线缠绕绑接法直线连接

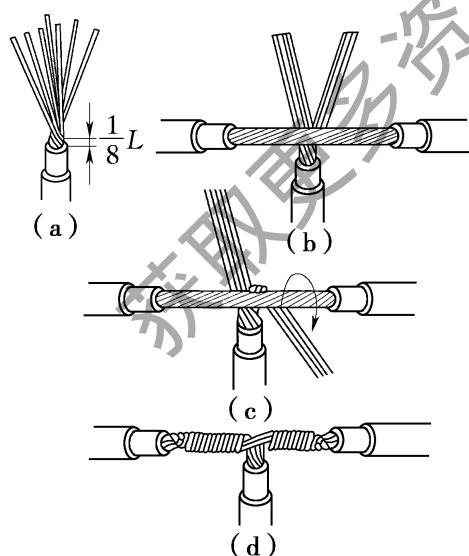


图 1-44 7 股芯线 T 字型连接

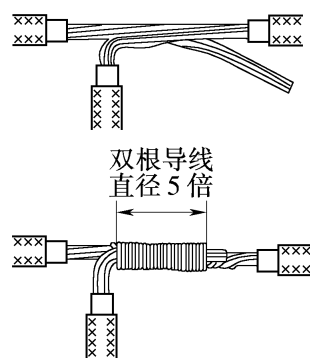


图 1-45 7 股芯线 T 字型连接时缠绕绑接法

#### (4) 7 股芯线 T 字型连接

对于截面积较小的 7 股芯线,采用如图 1-44 所示的方法连接:先将支线线头剥去绝缘层后,在根部  $1/8$  处进一步绞紧,余部按 3 股、4 股分成两组;然后用平口螺丝刀除去绝缘层的干线接口部分,同样按 3 股、4 股分成两组;将支线 4 股一组插入两组干线中间至根部;将支线两组向彼此相反的方向沿干线绕制 4~5 圈,剪去余端,修平切口。对于截面积较大的 7 股芯线进行 T

字连接时常用缠绕绑接法,如图 1-45 所示。

#### 4. 铝芯电力线线头的连接

##### (1) 套管压接法

单股  $10\text{ mm}^2$  以下小截面铝芯导线的连接宜采用套管压接法,如图 1-46 所示:先选好合适的套管,套管又叫钳接管,如图 1-46 (a) 所示;然后用钢丝刷刷去导线线头及套管内壁的氧化层和油污,涂上凡士林粉膏;按图 1-46 (b) 样式,将两线头插入套管,用压接钳进行压接,将其压成如 1-46 (d) 所示形式。若是钢芯铝绞线,在两线头之间还要垫一层铝垫片。

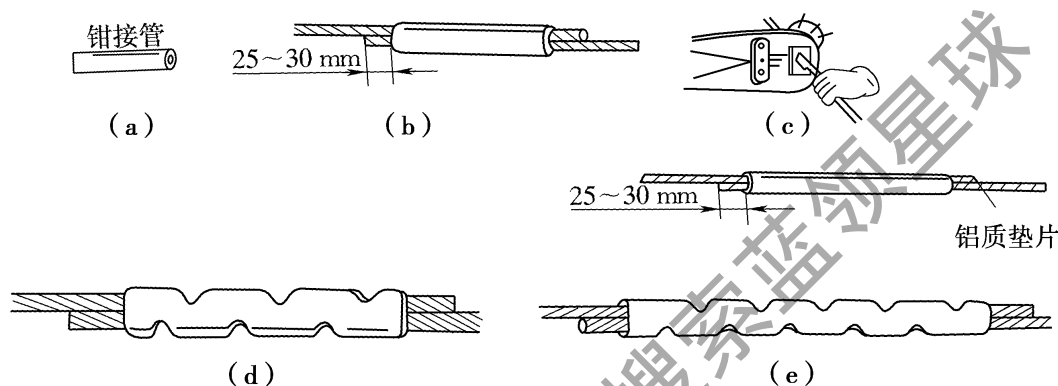
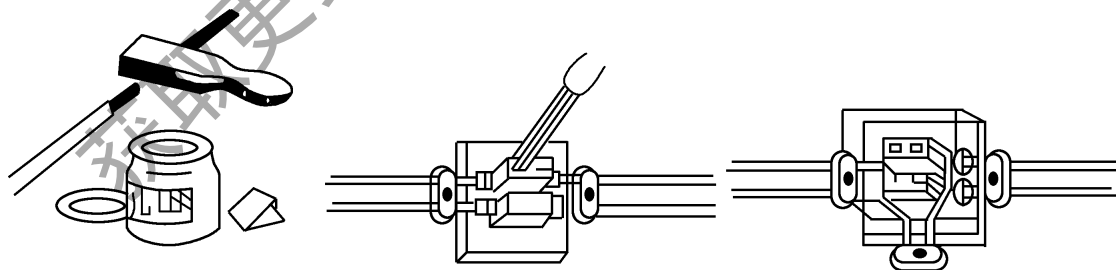


图 1-46 套管压接法

##### (2) 螺钉压接法

此种方法适用于负荷较小的单股芯线。电路中导线与开关、熔断器、仪表、瓷接头等的连接多用此法,具体做法如图 1-47 所示:先将除去绝缘层的线头用电工刀或钢丝刷除去氧化层,涂上凡士林锌膏粉或中性凡士林;将线头插入接头线孔内,用压线螺丝压接。若是两个或两个以上线头用在同一个接线桩上,应将其拧成一股后进行压接。



(a) 刷去氧化层涂上凡士林 (b) 在瓷接头上进行直线连接 (c) 在瓷接头上进行分路连接

图 1-47 单股铝芯导线的螺钉压接法

##### (3) 线头与接线桩的连接

常用接线桩有三种:针孔式、螺钉平压式和瓦型式,如图 1-48 所示。

##### (4) 线头与针孔式接线桩的连接

这种接线桩是靠针孔顶部的压线螺钉压住线头来完成电路连接的,主要用于室内线路中某些仪器、仪表的连接,如熔断器、开关和某些监测计量仪表等。单股芯线与针孔接线桩连接时,芯线直径一般小于针孔,最好将线头折成双股并排插入针孔内,使压接螺钉顶紧双股芯线中间,如图 1-49 (a) 所示。若芯线较粗也可用单股,但应将芯线线头向针孔上方微折一下,使压接更加

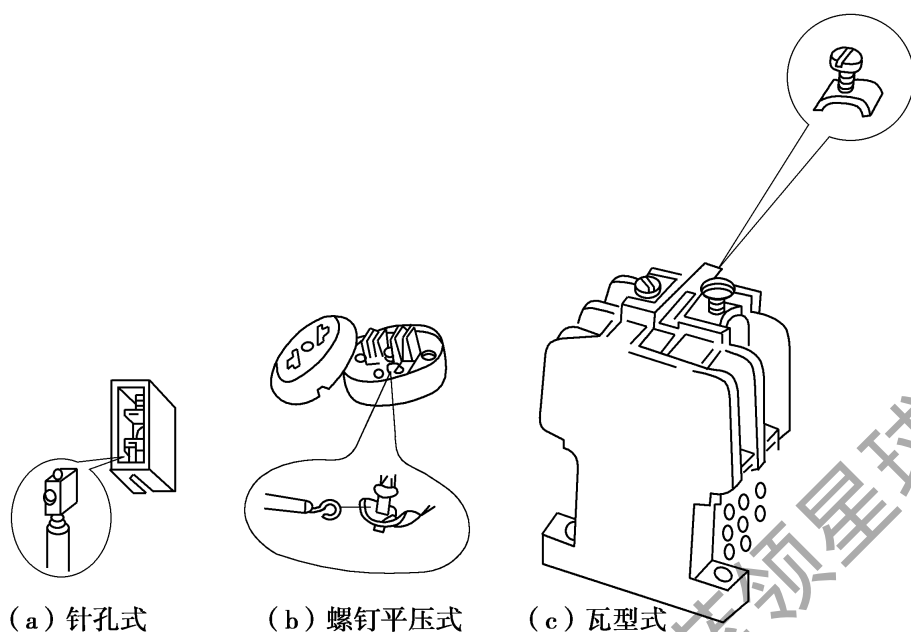


图 1-48 常用接线桩

牢固,如图 1-49 (b) 所示。

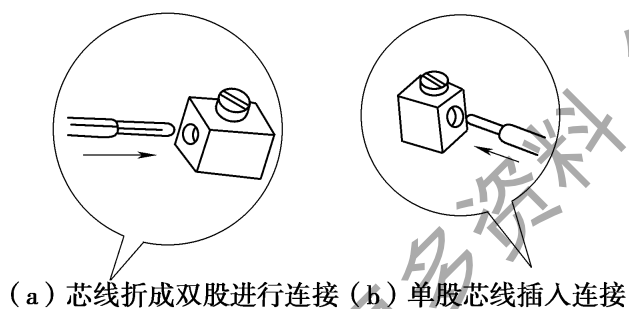


图 1-49 单股芯线与针孔式接线桩的连接方法

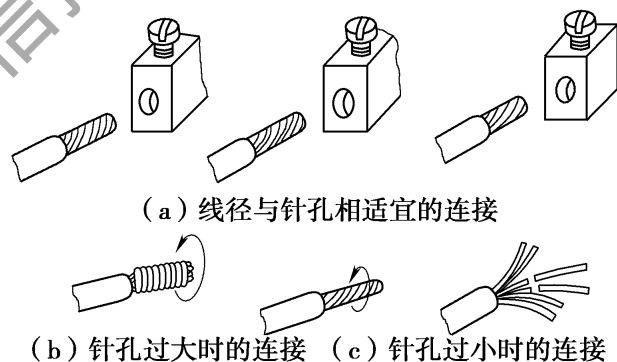


图 1-50 多股芯线与针孔式接线桩的连接

多股芯线的连接方法如图 1-50 所示。将芯线线头绞紧,注意线径与针孔的配合:

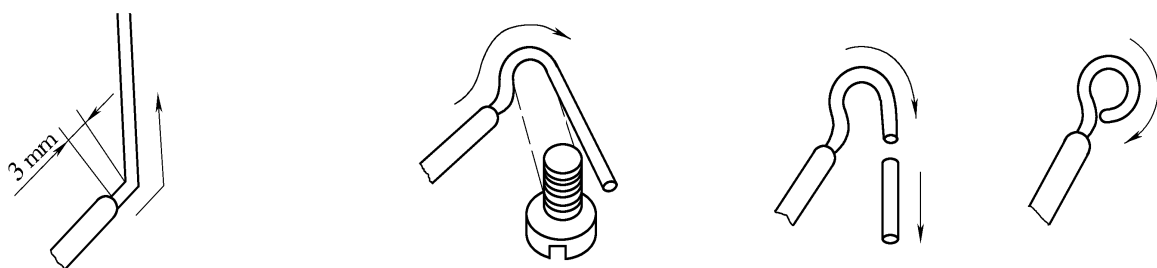
若线径与针孔相适,可直接压接,如图 1-50 (a) 所示。但在一些特殊场合应做压扣处理。以 7 股芯线为例,绝缘层应多剥去一些,芯线线头在绞紧前分三级剪除,2 股剪的最短;4 股稍长,长出单股芯线直径的 4 倍;最后 1 股应保留能在 4 股芯线上缠绕两圈的长度。然后将其多股线头绞紧,并将最长 1 股绕在端头上形成“压扣”,最后再进行压接。

若针孔过大可用一单股芯线在端头上密绕一层,以增大端头直径,如图 1-50 (b) 所示。

若针孔过小可剪去芯线线头中间几股。一般 7 股芯线剪去 1、2 股;19 股芯线剪去 2~7 股,如图 1-50 (c) 所示,但一般尽量避免这种情况。

#### (5) 线头与平压式接线桩的连接

载流量较小的单股芯线压接时,应将线头制成压接圈,压接前需清除连接部位的污垢,将压接圈套入压接螺钉,放上垫圈后,拧紧螺钉将其压牢。在制作压接圈时必须按顺时针方向弯转,而不能逆时针弯转,如图 1-51 所示。



(a) 离绝缘层根部约3mm处向外侧折角 (b) 按略大于螺钉直径弯曲圆弧 (c) 剪去芯线余端 (d) 修正圆圈致圆

图 1-51 单股芯线压接圈的做法

截面积不超过  $10 \text{ mm}^2$  的 7 股及 7 股以下的芯线压接时也可制成压接圈,如图 1-52 所示:先将线头靠近绝缘层的  $1/2$  段绞紧,再将绞紧部分的  $1/3$  处定为圆圈根部,并制成圆圈,如图 1-52 (a)、(b) 所示;然后把松散的  $1/2$  部分按 2、2、3 分成 3 组,按 7 股芯线直线对接的自缠法加工处理,如图 1-52 (c)、(d)、(e) 所示。压接圈制成后即可按单股芯线压接方式压接。

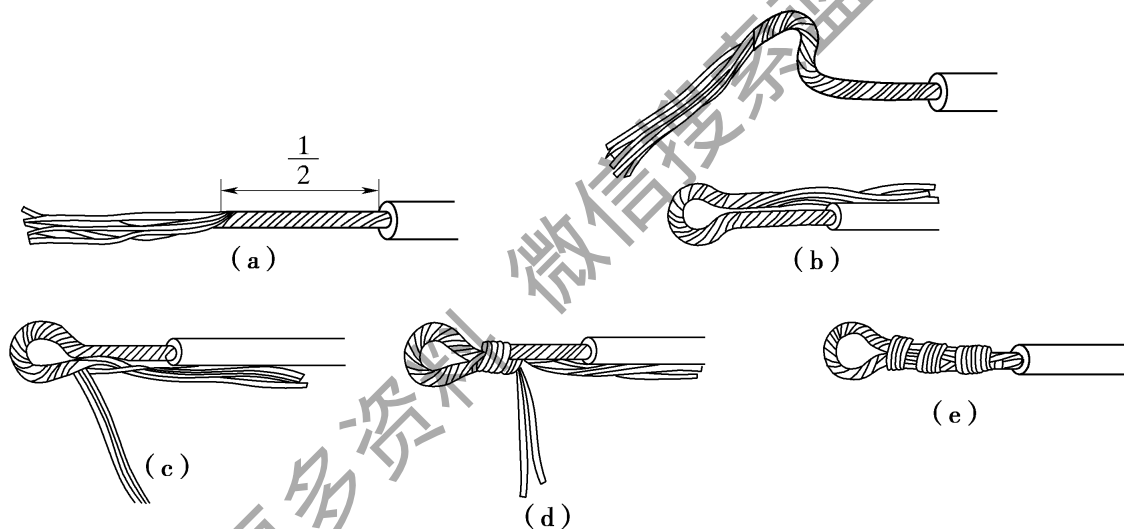


图 1-52 7 股导线压接圈弯法

### 5. 导线的封端连接

导线在与用电设备连接时,必须对其端头进行技术处理。对于截面积大于  $10 \text{ mm}^2$  的多股铜芯线和铝芯线,必须在端头做好接线端子,然后才能与设备连接,这一项工作称为导线的封端连接。

铝芯导线通常采用压接法进行封端连接。压接前清除线头与接线端子(接线耳)内壁的氧化层污垢,涂上中性凡士林后进行压接,压接工艺多为围压截面,如图 1-53 所示。

铜线的封端连接可以采用焊接法,其方法是清除导线端头与接线端子(接线耳)内壁的氧化层污物,在焊接部位表面涂上无酸焊膏并将线头镀锡,然后将少量焊锡放入接线端子(接线耳)线孔内,用酒精喷灯加热熔化,再把镀锡线头插入

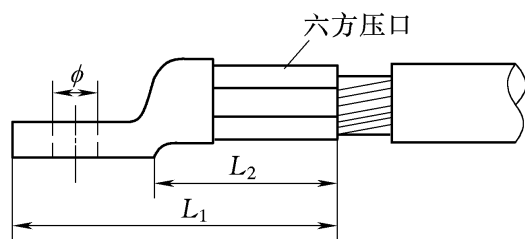


图 1-53 铝接线端子压接图

线孔内继续加热,使锡液充满线孔并完全浸入导线缝中方可停止。另外还可以采用压接法,即将导线端头插入接线端子(接线耳)内,用压接钳进行压接。



### 三、导线绝缘层的修复

导线线头连接完毕之后,必须对在连接时所破坏的绝缘层进行修复。修复后其抗拉强度和绝缘等级应不低于原有绝缘层的。

#### 1. 电磁线绝缘层的修复

线圈内部绝缘层破损或内部有接头时,应根据线圈层间和匝间所承受的电压值及线圈的技术要求来选用相应的绝缘材料进行包扎修复。一般小型线圈选用电容纸;高压线圈则选用绝缘强度较高的涤纶薄膜;较大线圈采用黄蜡带或青壳纸。电机绕组要选用耐热性能较好的电容纸或青壳纸。修复时,在导线绝缘层破损处,上下各衬垫一二层绝缘材料,左右两侧利用邻匝线圈压住。垫层前后两端都要留有相当于破损长度的余量。

线圈端子连接处绝缘层的恢复通常采用包缠法,绝缘材料常选用黄蜡带、涤纶薄膜或玻璃纤维带。一般要包两层绝缘带,如需要时,可再包缠一层纱带。

#### 2. 电力线绝缘层的修复

电力线绝缘层通常也用包缠法进行修复。绝缘材料一般选用塑料胶布、黑胶布。宽度一般在 20 mm 较适宜,具体操作过程如图 1-54 所示。在包缠 220 V 的线路时,应内包一层塑料胶布,外缠一层黑胶布。黑胶布与塑料胶布也采用续接方法衔接,或不用塑料胶布,只缠两层黑胶布亦可。而在包扎 380 V 的电力线时,要内包两层塑料胶布,外缠一层黑胶布才行。黑胶布要缠紧,且要覆盖塑料胶布。

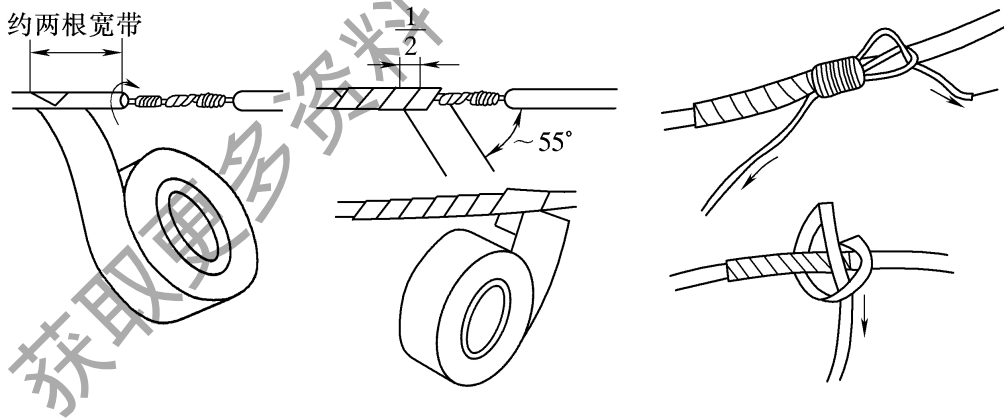


图 1-54 绝缘带包缠方法

## 第四节 工厂供电和电气安装

### 一、工厂供电

#### 1. 工厂供电概述

电能相对于煤炭、石油、原子核能等一次能源而言,属于二次能源,它是现代工业生产中的主要动力能源,我们将其他形式的能量转化为电能的场所称为发电厂。根据发电所用能源的不同,可以将发电厂分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及太阳能发电厂等。

电力发电和供电系统如图 1-55 所示。为了安全和降低成本,一般把发电厂建在远离城市

中心的能源富集地区。

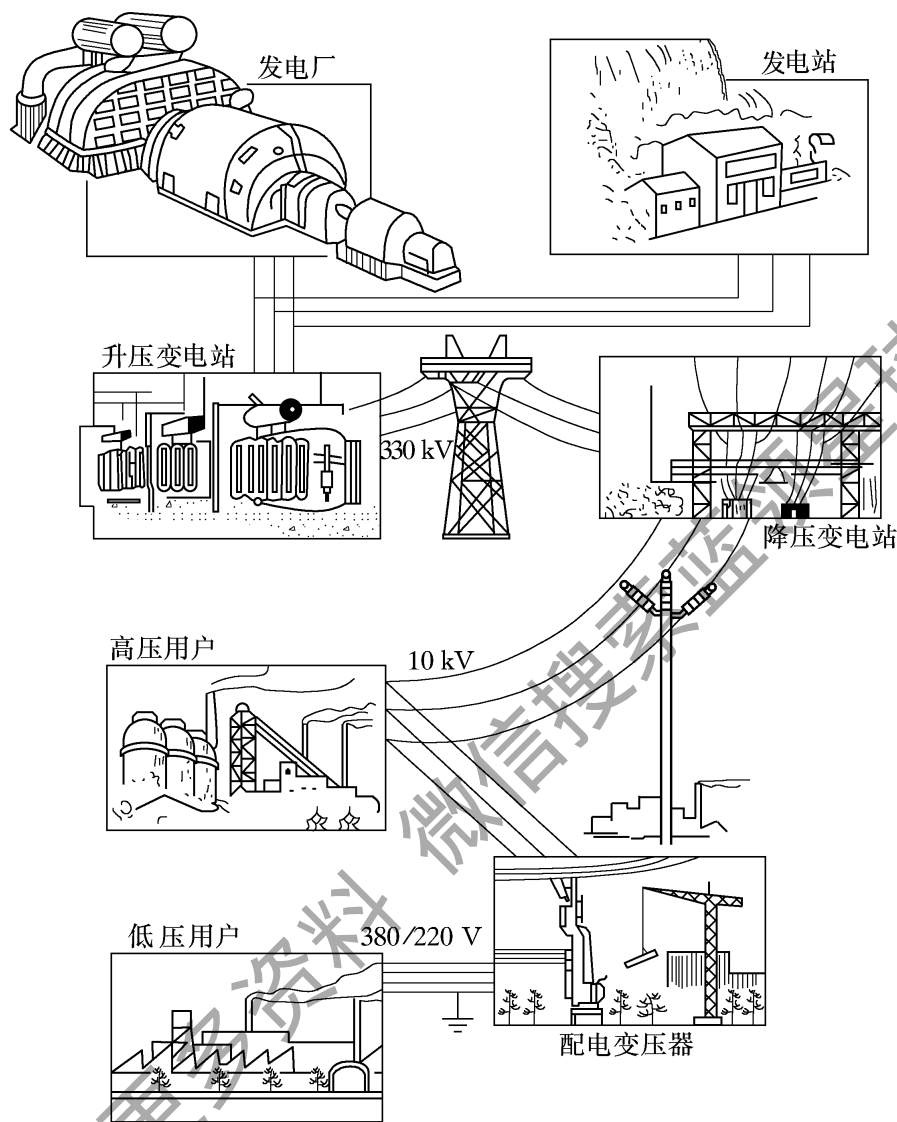


图 1-55 三相电力系统示意图

## 2. 工厂供电的基本要求

工厂供电系统是指电力从进厂开始,到所有用电终端为止的整个电路。工厂供电就是指工厂所需电能的供应和分配。搞好工厂供电对于保证工厂生产的正常进行和实现工业现代化具有十分重要的意义。工厂供电应满足以下几个要求:

- 1) 要求电能 在供应、分配和使用过程中,不发生人身事故和设备事故。
- 2) 满足电能用户对电网连续供电的要求。
- 3) 要满足用户对电能质量的要求,主要是对电压质量和频率质量的要求。

## 二、机床电气线路的安装

### 1. 机床对电气线路的基本要求

机床内部与控制柜的配线必须严格按照图纸进行。先选择导线,再按照导线加工的基本操作方法连接导线。机床的电气线路有共性的要求,但不同的机床又有不同的要求,在分析电气线

路时,必须先看清机床的特殊要求。要有各种保护措施,如:短路保护、过载保护、欠压保护、欠流保护、限位保护等。另外,安装成本要低,所使用的电气元件要尽量减少,容量选择适当,导线截面积适中,布线经济合理。安装时就要考虑使用和维修的方便。

## 2. 机床布线

机床布线必须严格按照说明书和图纸的要求进行。机床与电源的接线都应穿在电线管内,机床控制柜、机组及床身之间的连线必须严格按照机床电气原理图或电气接线图进行接线,接线前,应先校线、套线号,接线时避免接错。

### (1) 电线管的敷设

机床内部的敷设采用塑料管或金属软管,也可采用绝缘捆扎,机床外部的敷设采用金属软管,对于手拉压的方位,如悬挂操纵箱,一般采用橡皮管电缆套,可能受机械损伤的地方和电源引入线等处,可采用铁管。

### (2) 电线管的穿线

电线管内穿入导线的规格、型号、根数应符合图纸的要求,绝缘强度不低于 500 V,铜导线的截面不小于  $1 \text{ mm}^2$ ,铝导线的截面不小于  $2.5 \text{ mm}^2$ 。穿入同一管线内的导线必须是同一回路的导线,尽量避免不同回路的导线穿在同一管内。

## 三、机床电气控制线路的试车

机床电气控制线路按照要求全部安装完毕后,必须经过试车与调整后才能投入生产。试车前必须先熟悉电气设备和机床电气系统的性能,掌握试车的顺序,严格按照操作规程进行。

- 1) 准备好试车调整用的仪表,如转速表、兆欧表、万用表、交流电流表等。
- 2) 先进行电气设备的外部检查,如电动机有无卡死现象,所有电气的触点接触是否良好,外部接线是否正确等。
- 3) 检查电动机和电气元件及控制线路的绝缘电阻是否符合规定等。
- 4) 逐次检查电器动作是否符合电器原理的要求等。
- 5) 凡有夹紧、升降的试验要谨慎小心,一定要与装配钳工配合好,检查合格后,才能进行试验。

## 第五节 机床电气安全技术

机床电工安全操作是每一名电气工作者所必须遵守的规章制度,是对电工最基本的要求;电工生产岗位责任制则规范了电工工作的范围,是确保工艺纪律得以贯彻执行的重要条件。

### 一、机床电工安全操作规程

机床维修电工在进行操作时应遵守以下规程:

- 1) 工作前必须检查工具、测量仪表和防护用具是否完好。
- 2) 任何电气设备内部未经验明无电时,一律应视为有电,不准用手触及。
- 3) 不准在运行中拆卸、修理电气设备。检修电气设备时必须停车,切断电源,验明无电后,方可取下熔丝(体),挂上“禁止合闸,有人工作”的警示牌。

4) 在总配电盘及母线上进行工作时,在验明无电后应挂临时接地线,装拆接地线都必须由值班电工进行。

5) 临时工作中断后或每班开始工作前,都必须重新检查电源是否已断开,并确保无电。

6) 由专门检修人员修理电气设备时,值班电工要负责进行登记,完工后要做好交代,共同检查,然后方可送电。

7) 低压配电设备上带电进行工作时,必须在要经领导批准,并要有专人监护。

8) 工作时要戴安全帽,穿长袖衣服,戴绝缘手套,使用绝缘的工具,并站在绝缘物上进行操作,邻相带电部分和接地金属部分应用绝缘板隔开。严禁使用锉刀、钢尺等金属工具进行工作。

9) 禁止带负载操作动力配电箱中的刀开关。

10) 电气设备的金属外壳必须接地(接零),接地线要符合标准,不准断开带电设备的外壳接地线。

11) 拆除电气设备或线路后,对可能继续供电的线头必须立即用绝缘布包好。

12) 安装灯头时,开关必须接在相线上,灯头(座)螺纹端必须接在零线上。

13) 对临时装设的电气设备,必须将金属外壳接地。严禁将电动工具的外壳接地线和工作零线接在一块插入插座。必须使用两线带地或三线插座,或者将外壳接地线单独接到干线上,以防接触不良引起外壳带电。

14) 动力配电盘、配电箱、开关、变压器等各种电气设备附近,不准堆放各种易燃、易爆、潮湿和其他影响操作的物件。

15) 熔断器的容量要与设备和线路安装容量相适应。

16) 使用梯子时,梯子与地面之间的角度以  $60^{\circ}$  左右为宜。在水泥地面上使用梯子时,要有防滑措施。

17) 使用喷灯时,油量不得超过容器容积的  $3/4$ ,打气要适当,不得使用漏油、漏气的喷灯,不准在易燃、易爆物品的附近将喷灯点燃。

18) 使用一类电动工具时,要戴绝缘手套,并站在绝缘垫上。

19) 用橡胶软电缆接移动设备时,专供保护接零的芯线中不许有工作电流通过。

20) 当电气设备发生火灾时,要立刻切断电源,然后使用“1211”灭火器或二氧化碳灭火器灭火,严禁用水或泡沫灭火器灭火。

## 二、预防触电及触电急救

### 1. 触电的原因及其危害

#### (1) 触电原因

触电一般是由以下原因造成:

- 1) 电气设备的安装过于简陋,不符合安全要求;
- 2) 电气设备老化有缺陷,或破损严重,维修维护不及时;
- 3) 作业时没有严格遵守电工安全操作规程或粗心大意;
- 4) 缺乏安全用电常识。

#### (2) 触电造成的伤害

触电对人体的伤害主要是电击和电伤。电击是触电者直接接触了设备的带电部分,电流通

过了人的身体,当电流达到了一定的数值后,就会将人击倒。电伤是指触电后皮肤的局部创伤,主要是由于电流的热效应、化学效应、机械效应以及在电流的作用下,使熔化和蒸发的金属微粒侵袭人体皮肤而遭受灼伤。一般当通过人体的交流电流(频率为 50 Hz)超过 10 mA 时,直流电流超过 50 mA 时,就可能危及生命。同时,人体接触的电压越高,通过的电流越大,时间越长,造成的伤害也就越严重。

## 2. 触电的种类

常见的触电有单相触电、两相触电、跨步电压触电等。

### (1) 单相触电

单相触电是指人体的一部分触及一根相线,或者接触到漏电的电气设备的外壳,而另一部分触及到大地(或中线)时,电流从相线经人体流到大地(或中线)形成回路,此时人体承受的电压为相电压(220 V),如图 1-56 所示。单相触电常见于家庭用电,因为家用电器使用的都是单相交流电。

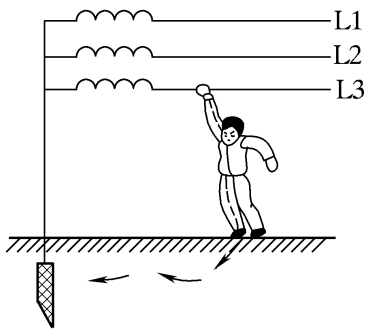


图 1-56 单相触电

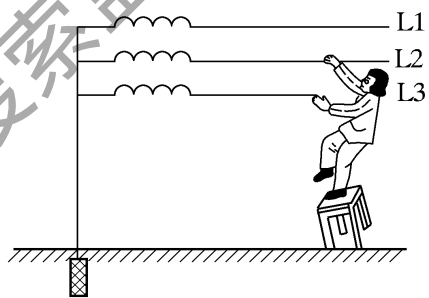


图 1-57 两相触电

### (2) 两相触电

两相触电是指人的两个部位同时触及两根带电的不同相的相线,电流流经人体形成回路,称之为两相触电。此时,加在人体上的电压是线电压(380 V),如图 1-57 所示。两相触电后果比单相触电更为严重,常见于电工电杆上带电作业时发生的触电事故。

### (3) 跨步电压触电

当架空电力线路的一根带电导线断落在地上时,电流就会经过落地点流入地中,并向周围扩散。导线的落地点电位很高,离落地点越远处,电位越低,离落地点 20 m 以外,地面的电位近似等于零。当人走近落地点附近时,两脚踩在不同的电位上,两脚之间就会有电位差,此电位差称之为跨步电压。当人体受到跨步电压的作用时,电流就会从一脚经胯部流到另一脚下形成回路,造成跨步触电,如图 1-58 所示。



图 1-58 跨步电压触电

## 3. 防止触电的措施

### (1) 保护接地

电气设备的任何部分与土壤间做良好的电气连接叫做接地。保护接地的接线方法如图 1-59 所示。电气设备的外壳常用导线与地面的接地装置(电阻一般应小于  $4 \Omega$ )连接,此时,当人体

接触电气设备时,人体与接地装置是并联,由于人体的电阻很大,电流就流经接地装置形成回路,从而减轻了人体触电。在正常情况下,电机、变压器、携带电器及移动式用电器具等较大功率的电气设备的外壳(或底座)都应接地。

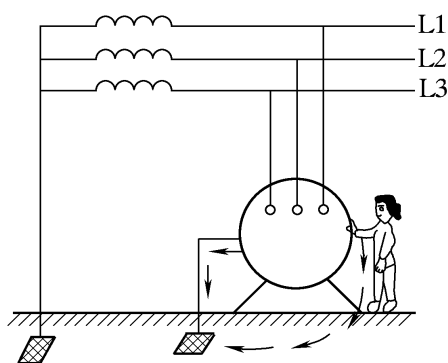


图 1-59 保护接地

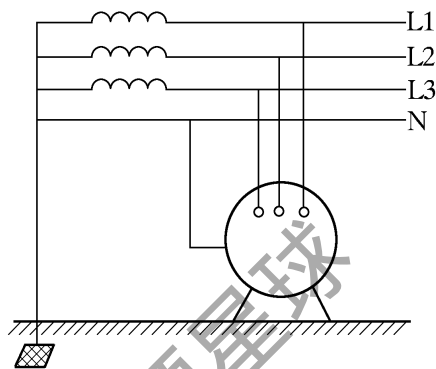


图 1-60 保护接零

## (2) 保护接零

保护接零的接线方法如图 1-60 所示。电气设备发生漏电后,相电压经机壳到零线形成回路,从而产生短路电流,使电路中的保护电器动作,切断电源;就是在切除故障前,由于人体的电阻远远大于短路电阻,单相短路电流几乎全部通过接零电路。

## 4. 触电急救技术

当发现有人触电后,应立即拉断附近的电源开关闸刀或拔掉电源插头。救护人员应及时根据现场条件,采取适当的方法和措施,使触电人员迅速脱离电源,进行积极抢救,抢救的方法有人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

### (1) 人工呼吸急救方法

人工呼吸的急救方法很多,其中,口对口呼吸法效果最好,且简单易学,容易掌握。

使触电者仰卧,打开气道,然后一只手捏紧触电者的鼻子,另一只手掰开触电者的嘴,直接用嘴或隔一层薄布对其吹气,每次吹气要以触电者的胸部微微鼓起为宜,时间约为 2 s,如图 1-61 所示。吹气停止后,要立即将嘴移开,放松捏鼻的手,让触电者自行呼吸,时间约为 3 s。每次吹气的速度要均匀,反复多次,直到触电者能够自行呼吸为止。如果触电者的嘴不易掰开,可捏紧嘴,向鼻孔吹气。

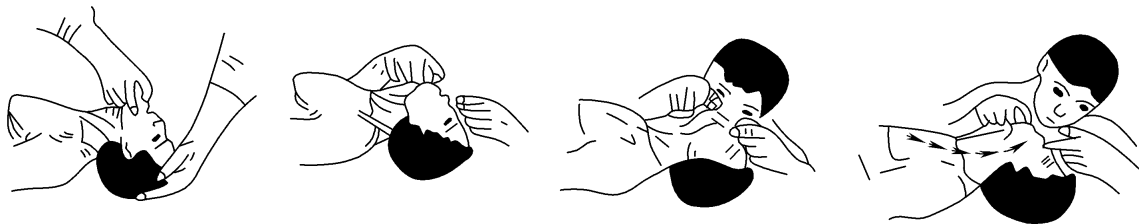


图 1-61 人工呼吸急救方法

### (2) 胸外心脏挤压急救方法

胸外心脏挤压法适用于触电者心跳停止或不规则的情况,其目的是通过人工操作,有节律地使心脏收缩,从而达到恢复触电者心跳的目的。方法是先让触电者仰卧在硬板或平地上,保持呼

呼吸道畅通,以保证挤压的效果。救护者跪在触电者的一侧或骑在其腰部两侧,两手相叠,手掌根部放在比心窝稍高一点的地方,掌根用力垂直向下挤压,压出心脏里的血液。对成人压陷3~4 cm,每分钟挤压60次为宜;对于儿童,压胸仅用一只手,深度较成人浅,每分钟大约90次为宜。挤压后,掌根迅速放松,让触电者胸部自动复原,让血液充满心脏。心脏挤压有效果时,会摸到颈动脉的搏动,如果挤压时摸不到脉搏,应加大挤压力量,减缓挤压速度,再观察脉搏是否跳动。挤压时要十分注意压胸的位置和用力的大小,以免发生肋骨骨折,如图1-62所示。

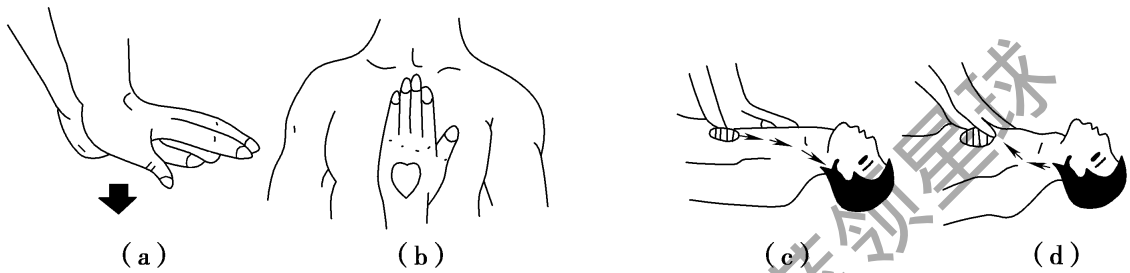


图1-62 胸外挤压急救方法

## 复习思考题

### 一、填空题

1. 电工常用工具有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
2. 电工材料一般可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两类。
3. 电工仪表按作用原理可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_四种。
4. 铜芯导线的连接方式一般可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_四种。
5. 扩大直流电流表量程的方法是\_\_\_\_\_采用;而扩大交流电流表的方法是\_\_\_\_\_。
6. 兆欧表俗称\_\_\_\_\_,是专供测量\_\_\_\_\_用的仪表。
7. 使用万用表时,规定\_\_\_\_\_测试棒插入“+”孔内,\_\_\_\_\_测试棒插入“-”孔内,不得接反。
8. 导线连接中常用的接线桩有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
9. 铝芯导线通常采用\_\_\_\_\_进行封端连接,铜芯导线的封端连接可以采用\_\_\_\_\_。
10. 对导线绝缘层修复后的要求是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_应不低于原有绝缘层。
11. 常见的触电类型有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
12. 当发现有人触电后,应立即想办法使触电人员\_\_\_\_\_。
13. 触电急救的方法有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。

### 二、选择题

1. 使用试电笔进行验电时,手指应按在试电笔的( )。
  - A. 前部金属探头
  - B. 笔杆中间
  - C. 后端部金属部分

2. 电工在进行操作前,必须检查工具、测量仪器和绝缘用具是否灵敏可靠,应( )失灵的测量仪表和绝缘不良的工具。

- A. 禁止使用                      B. 谨慎使用                      C. 视工作需要,暂时使用

3. 在正常情况下,绝缘材料也会逐渐因( )而降低绝缘性能。

- A. 磨损                              B. 老化                              C. 腐蚀

4. 交流电压表、交流电流表指示的数值是( )。

- A. 平均值                              B. 最大值                              C. 有效值

5. 兆欧表有三个测量端钮,分别标有“L”、“E”和“G”三个字母,若测量电缆的对地电阻,其屏蔽层应接( )

- A. “L”端钮                              B. “E”端钮                              C. “G”端钮

6. 功率表又称为( )。

- A. 伏特表                              B. 绝缘电阻表                              C. 瓦特表

### 三、判断题

1. 试电笔能分辨出交流电和直流电。 ( )
2. 电气设备中铜、铝接头不能直接相连接。 ( )
3. 导线接头接触不良往往是电气事故的根源。 ( )
4. 当测量直流电流时,可在仪表内或仪表外附加一个串联的小电阻,然后再串联到电路中。 ( )
5. 单相电度表的额定电压一般为 220 V、380 V、660 V 三种。 ( )
6. 电工仪表表示级别的数字越小,表明表的准确度越低。 ( )
7. 常用的交流电度表是一种感应系仪表。 ( )
8. 试电笔的探头多制成螺丝刀的形状,因此可以作为旋具使用。 ( )
9. 在选用电工仪表时,应尽可能选择准确度高的仪表。 ( )
10. 使用兆欧表检查电气设备的绝缘电阻时,必须在停电以后进行,否则可能发生人身和设备事故。 ( )

### 四、简答题

1. 电工仪表的误差有哪几种?
2. 常用的电工材料有哪些?
3. 常用的导线有哪些? 简述它们的主要特点和在使用中应注意的问题。
4. 常用的电工仪表有哪些? 简述它们的主要用途。
5. 如何进行电工仪表的选择?
6. 使用电压表、电流表测量时应注意哪些问题?
7. 使用万用表、兆欧表时应注意哪些问题?
8. 如何选择电度表?
9. 电度表安装时应注意哪些问题?
10. 使用功率表测量直流、交流电路的功率时,应注意哪些问题?
11. 导线线头与接线桩的连接方法有哪几种?
12. 如何正确恢复导线的绝缘层?



13. 机床维修电工在进行操作时,应遵循哪些规程?
14. 防止触电的措施有哪些?
15. 当发现有人触电时,应采取哪些措施?

## 技能训练 1—1 常用导线的识别与连接

### 一、训练目的

1. 学会剖削常用导线的绝缘层、连接导线线头并恢复其绝缘层。
2. 培养学生严谨认真的工作态度。

### 二、仪器器材

#### 1. 工具

电工刀、钢丝钳。

#### 2. 材料

塑料软线、塑料硬线、护套线、橡皮线、花线、橡套电缆、铅包线、七股铜芯绞线、漆包线、沟线夹。

### 三、训练内容

1. 剖削导线绝缘层,并将有关数据记录到表 1—13 中。

表 1—13 常用导线的识别与绝缘层剖削记录

导线种类	导线规格	剖削长度	剖削工艺要点
塑料软线			
塑料硬线			
护套线			
橡皮线			
花线			
橡套电缆			
铅包线			
七股铜芯绞线			
漆包线			

#### 2. 导线线头连接训练

将常用导线进行连接,并将连接情况记录列表 1—14 中。

表 1-14 常用导线的连接记录

导线种类	导线规格	连接方式	线头长度	绞合圈数	密缠长度	线头连接工艺要点
单股芯线		直线				
单股芯线		T形线				
七股芯线		直线				
七股芯线		T形线				
漆包线		直线				

### 3. 线头绝缘层的恢复

用符合要求的绝缘材料包缠导线绝缘层,并将包缠情况记录列表 1-15

表 1-15 线头绝缘层包缠记录

线路工作电压	所用绝缘材料	各处包缠层数	包缠工艺要点
380 V			
220 V			

## 四、分析与思考

1. 7股芯线 T型连接的工艺特点是什么?你用什么办法实现连接的牢固和美观?
2. 恢复导线绝缘层时,你是怎样做到保证它的绝缘强度和外观美观的?

## 技能训练 1-2 万用表的使用

### 一、训练目的

1. 熟悉万用表的结构和使用方法。
2. 掌握用万用表测量交流电压、直流电压、直流电流、电阻的方法。
3. 培养学生严谨认真的工作态度,学会安全用电。

### 二、仪器器材

螺丝刀(一字形和十字形各一把)、万用表、直流稳压电源、调压器、监视输出电压的交流电压表、电烙铁、烙铁架、数只定值电阻、焊剂、适量焊料。

### 三、训练内容

#### 1. 读数训练

(1) 使用模拟表盘或多媒体课件将表头指针指在某一固定位置,按表 1-16 中转换开关,选择适当的测量项目和量程,要求同学统一练习读数,并将读取的数据填入该表中。

表 1-16 标度尺读数和转换开关使用练习一

测量项目和量程	$R \times 1$	10 V	100 $\mu\text{A}$	10 V	25 mA	$R \times 1 \text{ k}$	1 kV	250 V	$R \times 10$
读取数据(带单位)									
测量项目和量程	$R \times 100$	2.5 mA	250 mA	50 V	1 kV	$R \times 10 \text{ k}$	250 V	2.5 A	2.5 V
读取数据(带单位)									

(2) 按表 1-17 所读取的数据,选择合适的测量项目和量程。

表 1-17 标度尺读数和转换开关使用练习二

测量项目和量程	7.0 $\Omega$	7.15 V	70.2 $\mu\text{A}$	35.1 V	176 mA	7 k $\Omega$	715 V	176 V	70 $\Omega$
转换开关选择									
测量项目和量程	700 $\Omega$	17.6 mA	1.76 mA	50 V	720 V	70 k $\Omega$	176 V	2.5 A	7.2 V
转换开关选择									

(3) 使用模拟表盘或多媒体课件将表头指针指示在另一固定位置,按表 1-18 中转换开关,选择适当的测量项目和量程,将读取的数据填入该表中,若量程选择不当,应将选定的适当量程填入该表下面一栏中。

表 1-18 标度尺读数和转换开关使用练习三

测量项目和量程	$R \times 100$	250 V	100 $\mu\text{A}$	10 V	25 mA	$R \times 1$	1 kV	250 V	$R \times 10$
读取数据(带单位)									
应选择何种量程									

## 2. 交流电压的测量

(1) 切断实习室电源总开关,将调压变压器输入端接入 220 V 市电,输出端接实习室电源,即将变压器输入端接入闸刀开关进线端头,将变压器输出端接闸刀开关出线端头。利用实习桌上的插座测交流电源。

(2) 训练时,教师在调压器输出端并联万用表监视,前几次告诉学生测量电压的范围,后两次不说电压范围,选择几种电压,组织学生统一用万用表进行实际测量,并将测量数据记录列表 1-19 中。

表 1-19 交流电压的测量记录

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次
量程						
读数						

## 3. 直流电压、直流电流的测量

切断实习室总电闸开关,把一台容量足够大的直流稳压电源输出端接到闸刀开关的出线端头上,直流稳压电源的电源线接到闸刀开头的进线端头并分断闸刀。先按图 1-63 右半部分焊接电路,再利用实习桌上配置的插座取得的直流电源进行测量。测量时,调节稳压电源选择几种

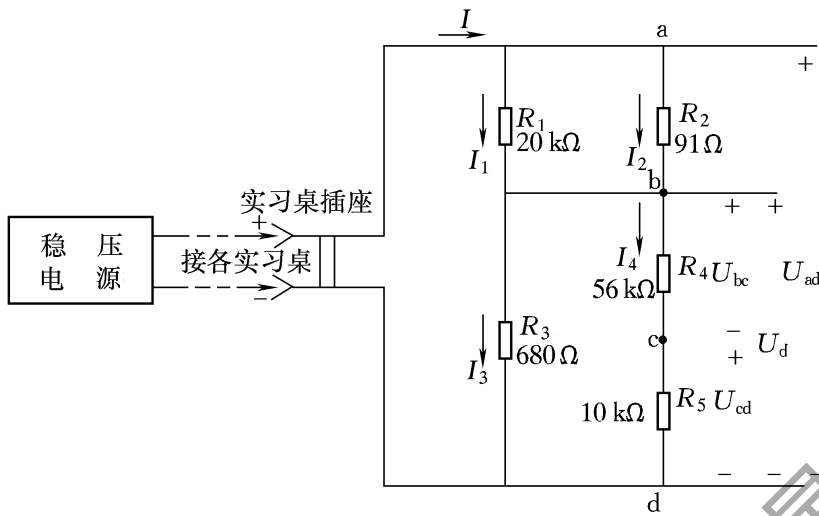


图 1-63 直流电压、直流电流的测量电路

输出电压,分别测量电压、电流后将数据填入表 1-20 中。

表 1-20 直流电压、直流电流的测量记录

测量项目		$R_1 = 20 \text{ k}\Omega, R_2 = 91 \text{ k}\Omega, R_3 = 680 \text{ k}\Omega, R_4 = 56 \text{ k}\Omega, R_5 = 10 \text{ k}\Omega$				
直流电压 /V	测量对象	$U_{ad}$	$U_{ab}$	$U_{bd}$	$U_{bc}$	$U_{cd}$
	量程					
	测量数据					
直流电流 /A	测量对象					
	量程					
	测量数据					

#### 4. 电阻的测量

(1) 分别测量图 1-64 焊接电路的各个电阻的电阻值,将数据记录在中。

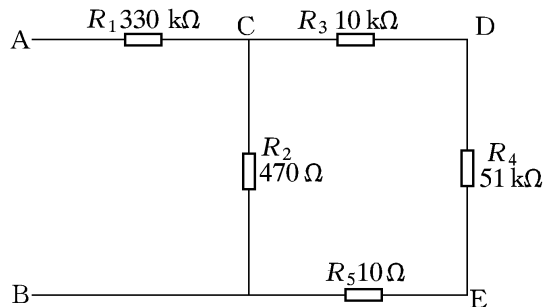


图 1-64 电阻的测量

表 1-21 单个电阻的阻值测量

测量内容	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
电阻标称值					
量程					
测量数据					

(2) 按图 1-64 焊接电路, 并将图中各点间电阻的测量数据记录在表 1-22 中。

表 1-22 混联电阻的阻值测量

测量内容	$R_{AB}$	$R_{AC}$	$R_{CD}$	$R_{DE}$	$R_{EB}$	$R_{CB}$	$R_{CE}$	$R_{AB}$	$R_{AD}$	$R_{DB}$
计算阻值										
量程										
测量数据										

#### 四、分析与思考

从你实际测量的经验中总结使用万用表时应注意哪些问题?

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

## 第二章

# 常用机床电气元器件

机床的控制线路是由各种低压电气元器件组成的,而电器的故障往往是引起线路故障的主要原因。作为从事机床维修工作的电气技术人员,必须熟悉常用低压电器的结构、工作原理和常见故障的维修。

### 第一节 低压开关和主令电器

#### 一、低压开关

低压开关主要用于隔离、转换以及接通和分断电路,多数也可作为机床电路的电源开关、局部照明电路的控制,有时也可用来直接控制小容量电动机的起动、停止和正反转。

低压开关一般为非自动切换电器,常用的主要类型有刀开关、组合开关和低压断路器等。

##### 1. 刀开关

刀开关又称闸刀开关,是一种结构最简单且应用最广泛的低压电器。其代表产品有 HK 系列瓷底胶盖刀开关和 HH 系列铁壳开关,常见外形分别如图 2-1 所示。

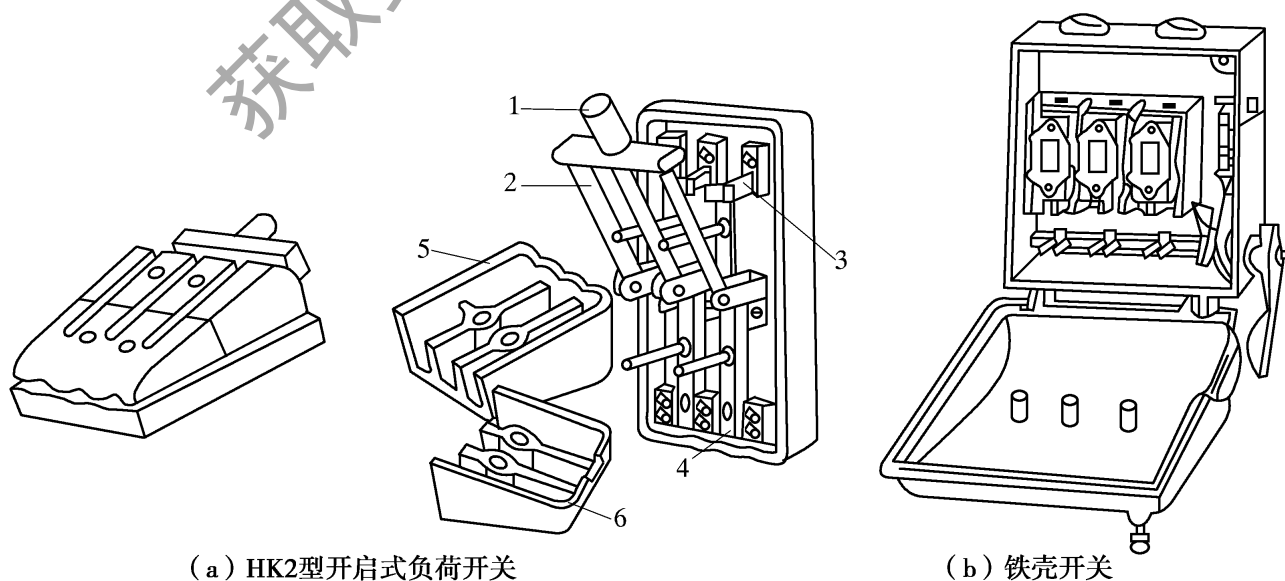


图 2-1 常见刀开关外形

1—瓷质手柄; 2—闸刀本体; 3—静触座; 4—接装熔丝的接头; 5—上胶盖; 6—下胶盖

### (1) HK 系列瓷底胶盖刀开关

HK 系列瓷底胶盖刀开关又称为开启式负荷开关,不设专门的灭弧装置,仅利用胶盖的遮护以防电弧灼伤人手,因此不宜带负载操作,适用于接通或断开有电压而无负载电流的电路。其结构简单、操作方便、价格便宜,在一般的照明电路和功率小于 5.5 kW 的电动机控制电路中仍可采用。操作时动作应迅速,使电弧较快熄灭,既能避免灼伤人手,也能减少电弧对动触刀和静触座的灼损。

安装 HK 系列刀开关时,手柄要向上,不得倒装或平装,否则在分断状态手柄有可能松动落下引起误合闸,造成人身安全事故。接线时进线和出线不能接反,电源线接在上端,负载接在熔丝下端,否则在更换熔丝时会发生触电事故。

### (2) HH 系列铁壳开关

铁壳开关又称为封闭式负荷开关,因其外壳为铁制壳,故俗称为铁壳开关。铁壳开关的灭弧性能、操作及通断负载的能力和安全防护性能都优于 HK 系列瓷底胶盖刀开关,但其价格比瓷底胶盖刀开关贵。

HH 系列铁壳开关的操作机构具有以下两个特点:一是采用了弹簧储能分合闸方式,其分合闸的速度与手柄的操作速度无关,从而提高了开关通断负载的能力;二是设有联锁装置,保证开关在合闸状态下开关盖不能开启,开关盖开启时又不能合闸,充分发挥外壳的防护作用,并保证了更换熔丝等操作的安全。

刀开关在电气原理图中的符号如图 2-2 (a) 所示,型号意义如图 2-2 (b) 所示。

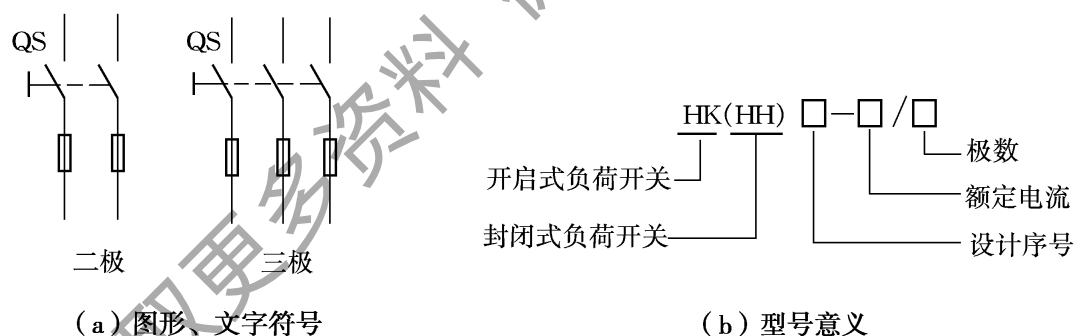


图 2-2 刀开关符号和型号

## 2. 组合开关

组合开关又称转换开关,它实质也是一种特殊的刀开关,只不过一般刀开关的操作手柄是在垂直于安装面的平面内向上或向下转动,而组合开关的操纵手柄则是在平行于其安装面的平面内向左或向右转动。它具有多触点、多位置、体积小、性能可靠、操作方便、安装灵活等优点,多用在机床电气控制线路中作为电源引入开关,也可以用作不频繁的接通和断开电路、换接电源、负载以及控制 5 kW 及以下容量异步电动机的正反转和星—三角起动。

组合开关按操作机构可分为无限位型和有限位型两种,其结构略有不同。

### (1) 无限位型组合开关

无限位型组合开关手柄可以在  $360^\circ$  范围内旋转,无固定方向、无定位限制。常用的是 HZ10 系列,其外形、结构和在电气原理图中的符号如图 2-3 所示。它由多节触片分层组合而成,开关的动触片和静触片分别装在数层成型的胶木绝缘垫板内,绝缘垫板可以一层一层地堆叠起来。

动触片由两片磷铜片或硬紫铜片与具有良好消弧性能的绝缘钢纸板铆合而成。它们一起套在附有手柄的方形绝缘转轴上,两个静触片则分别置于胶木绝缘垫板边缘上的两个凹槽内。当方轴转动时,便带动动触片与静触片接触或分离,达到接通或分断电路的目的。特殊规格的 HZ10 组合开关也可以用于控制小容量三相异步电动机的正、反转。

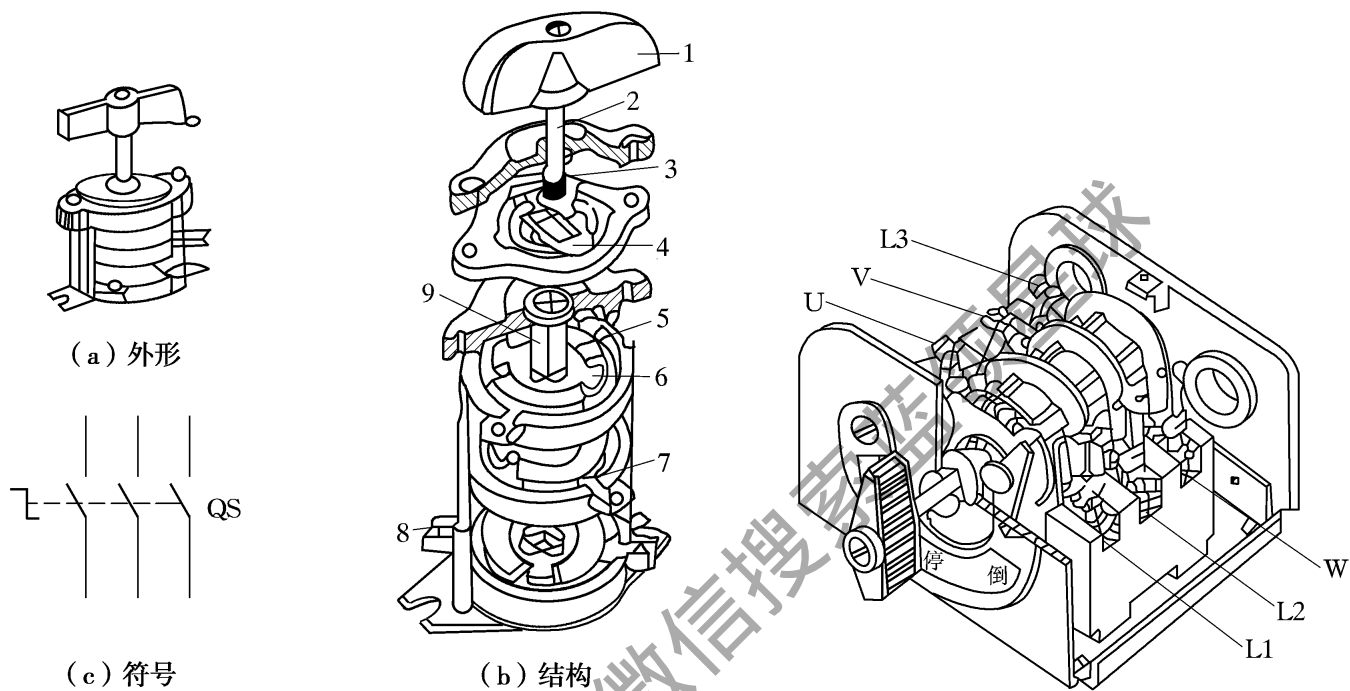


图 2-3 HZ10-10/3 型组合开关

1—手柄; 2—转轴; 3—弹簧; 4—凸轮;

5—绝缘垫板; 6—动触片; 7—静触片; 8—接线柱; 9—绝缘杆

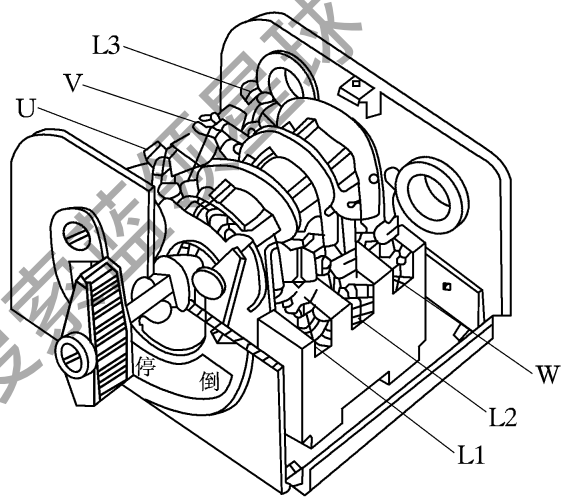


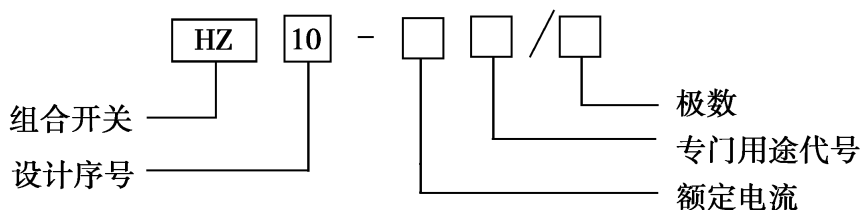
图 2-4 HZ10 型倒顺开关

### (2) 有限位型组合开关

有限位型组合开关也称为可逆转换开关或倒顺开关,它只能在 90° 范围内旋转,有定位限制,常用的为 HZ10 系列,其外形与结构如图 2-4 所示。

HZ10-132 型组合开关的手柄有倒、停、顺三个位置,手柄只能从“停”位置左转 45° 和右转 45°。它多用于控制小容量异步电动机的正、反转及双速异步电动机  $\Delta$ /YY、Y/YY 的变速切换。

组合开关的型号意义:



### 3. 低压断路器

低压断路器又称自动空气断路器,它的应用十分广泛,可用来保护电网的各种电气设备,在现代机床控制中被广泛作为电源的引入开关,也可用来控制不频繁起动的电动机。它不但能带负载接通和分断电路,而且对所控制的电路有短路、过载、欠压和漏电保护等作用。

常用的低压断路器为塑壳式,如 DZ5 系列和 DZ10 系列。DZ5 系列为小电流系列,其额定电流为 10 A~50 A;DZ10 系列为大电流系列,其额定电流等级有 100 A、250 A 和 600 A 三种。以



DZ5—20 型系列为例,其外形及结构如图 2—5 所示。

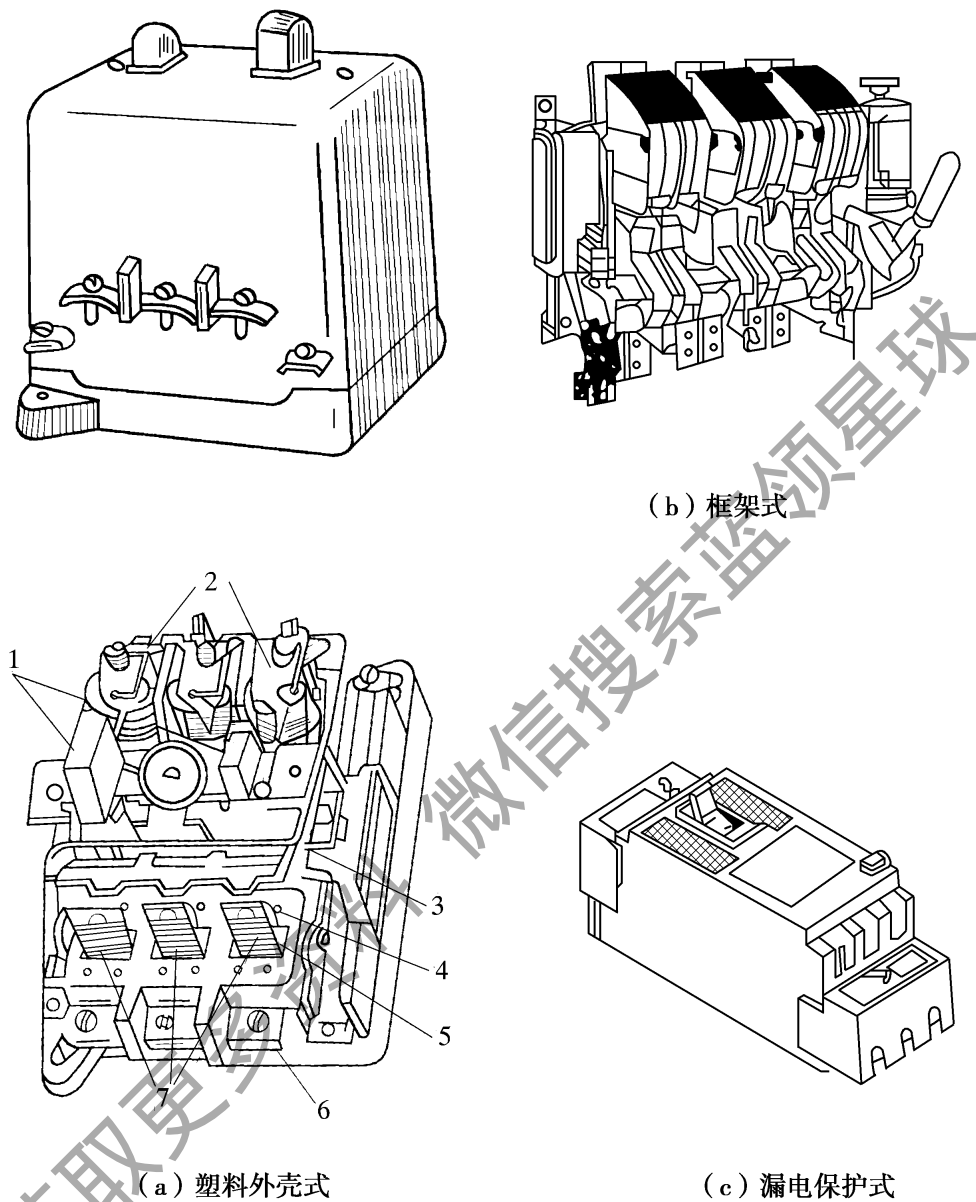


图 2—5 几种常见断路器结构示意图

1—按钮；2—过流脱扣器；3—自由脱扣器；4—动触点；  
5—静触点；6—接线端；7—热脱扣器

DZ5—20 型系列低压断路器的结构采用立体布置,操作机构在中间,外壳顶部突出红色分断按钮和绿色停止按钮,通过储能弹簧连同杠杆机构实现开关的接通和分断。壳内底座下部为热脱扣器,由热元件和双金属片构成,作过载保护;上部为自由脱扣器,由电流线圈和铁心组成,作短路保护用;主触点系统在操作机构的下面,由动触点和静触点组成,用以接通和分断主电路,并采用栅片灭弧。另外,还有动合触点和动断触点各一对,可用作信号指示或控制电路。主、辅触点接线柱伸出壳外,便于接线。

低压断路器的型号意义和图形符号如图 2—6 所示。

由于低压断路器比较复杂,所以故障原因较多,其常见故障及排除方法如表 2—1 所示。

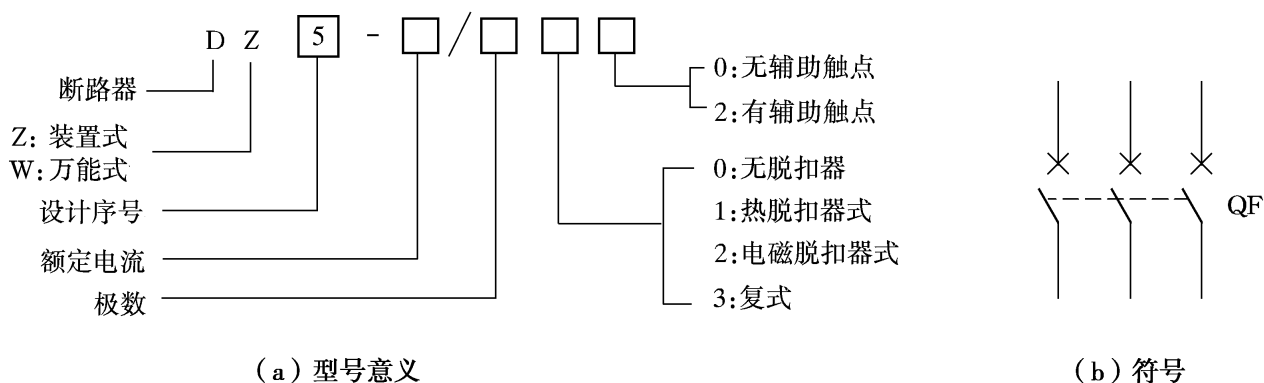


图 2-6 低压断路器的型号和符号

表 2-1 低压断路器常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
手动操作低压断路器不能闭合	欠电压脱扣器无电压或线圈损坏	检查线路施加电压或更换线圈
	储能弹簧变形导致闭合力减小	更换储能弹簧
	反作用弹簧力过大	重新调整弹簧反力
起动电动机时开关立即分断	过流脱扣器整定值太小	调整整定值
	脱扣器某些零件损坏,如橡皮膜等损坏	更换脱扣器或损坏零件
	脱扣器反力弹簧断裂或脱落	更换弹簧或重新装上
工作时,低压断路器温升太高	触点压力过低	调整触点压力或更换弹簧
	触点表面过分磨损或接触不良	更换触点或清理接触面
	两导电零件连接螺钉松动	拧紧
	触点表面油污氧化	清除油污或氧化层
断路器闭合后经一定时间自行分断	过电流脱扣器延时整定值不对	重新调整
	热元件或延时电路元件变化	更换
辅助触点不通	辅助触点的动触桥卡死或脱落	拨正或重新装好动触桥
	辅助触点的传动杆断裂或滚轮脱落	更换传动杆或更换辅助触点
	触点不接触或氧化	调整触点,清理氧化膜
低压断路器经常自行分断	漏电动作电流变化	送回厂家重新校正
	线路漏电	排除漏电原因

## 二、主令电器

主令电器在机床控制系统中是专门“发布”命令的一类电器,主要用来接通和分断控制电路。主令电器应用十分广泛,种类繁多,常用的有控制按钮、行程开关和主令控制器等。随着电子技术的普及和自动化程度的提高,目前,主令电器正向着无触点方向发展,如无触点接近开关已在电力拖动系统中开始应用。

### 1. 控制按钮

控制按钮是一种手动操作接通或分断小电流控制电路的主令电器。主要利用其远距离手动指令或信号,去控制接触器、继电器等电磁装置,实现主电路的分合、功能转换或实现电气连锁。

控制按钮一般由按钮帽、复位弹簧、桥式动触点、静触点、外壳及支柱连杆等组成。按静态时的触点分合状态,可分为动断按钮、动合按钮和复合按钮,它们的结构和符号如图 2-7 所示。

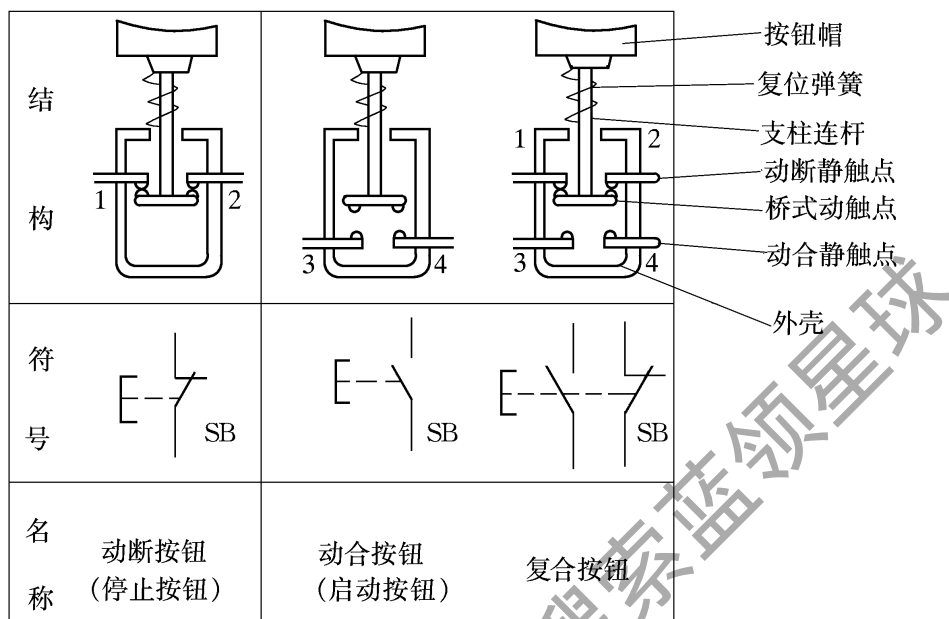


图 2-7 控制按钮的结构、符号

控制按钮根据其使用要求、安装形式、操作方式不同,种类繁多,常见的控制按钮外形如图 2-8 所示。

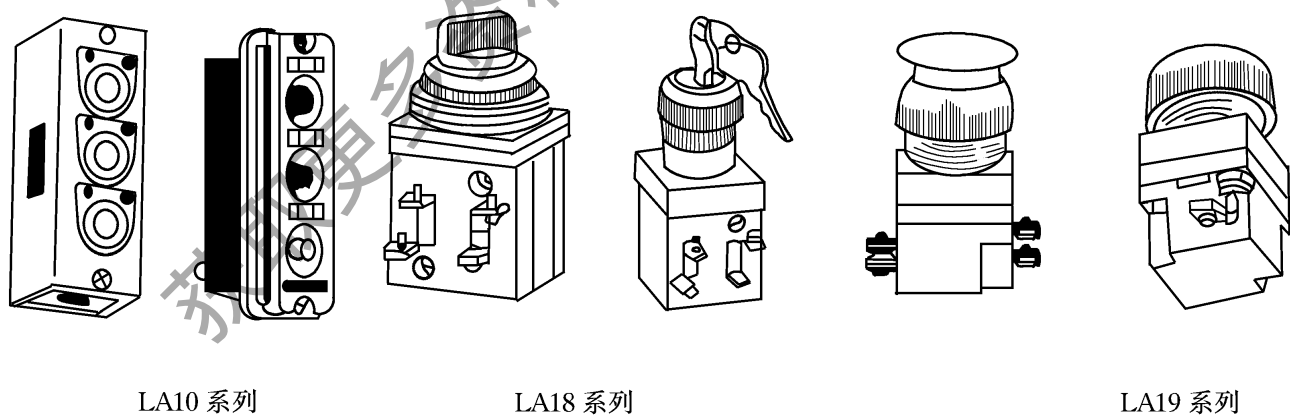
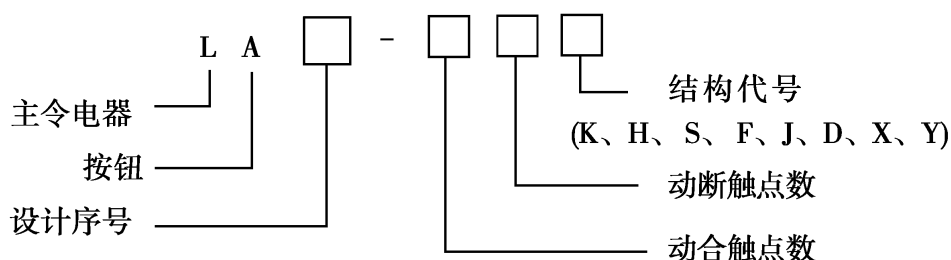


图 2-8 部分控制按钮外形

在机床中常用的控制按钮有 LA18 系列、LA19 系列、LA20 系列。LA18 系列采用积木式结构,触点数量可以按照需要拼接;LA19 系列与 LA18 系列结构大体相同,但 LA19 系列中有将按钮与信号灯两种元件组合成一体的产品;LA20 系列结构与前两种产品类似,也是组合式的,它除带有信号灯外,还有两个或三个元件组合为一体的开启式或保护式产品。

按钮帽操动部分除常见的直上、直下的操纵形式外,还有旋钮式、钥匙式、紧急式、保护式和防爆式等。按钮帽也通过不同的颜色和符号标志来区分功能及作用,红色代表停止,绿色或黑色代表起动,便于操作人员识别,避免误操作。

控制按钮的型号意义为



结构代号含义：

K——开启式；H——保护式；S——防水式；F——防腐式；

J——紧急式；D——带指示灯式；X——旋钮式；Y——钥匙式。

使用按钮时，应注意保持按钮清洁，避免油污及水汽浸入按钮内部。按钮常见故障及排除方法如表 2-2 所示。

表 2-2 按钮常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
按下按钮时，动合触点不通	触点氧化	擦拭触点
	按钮受热变形，动触点不能接触静触点	更换按钮
	机械机构卡死	清除按钮内杂物
松开按钮时，动断触点不通	触点氧化或有污物	擦拭触点
	弹簧弹力不足	更换或修理弹簧
按下按钮时，动断触点不断开	污物过多造成短路	擦拭清除按钮内杂物
	胶木烧焦形成短路	更换按钮
按下按钮时，发生触电感觉	接线松动，搭接在按钮外壳上	重新接线，排除搭线现象
	按钮内污物过多	擦洗按钮，清除污物
松开按钮时，动合触点不断开	污物过多造成短路	擦洗按钮，清除污物
	复位弹簧弹力不足	更换或处理弹簧
	胶木烧焦形成短路	更换按钮
按钮过热	通过按钮的电流过大	重新设计电路
	环境温度过高	加强散热措施
	指示灯电压过高	降低指示灯电压

## 2. 行程开关

行程开关又称位置开关或限位开关，其触点的动作不是靠手去操纵，而是利用机械设备的某些运动部件的碰撞来完成操作的。因此，行程开关是一种将机械行程信号转换成电信号的开关器件，广泛应用于顺序控制、自动往返控制以及定位、限位、安全保护等自控系统中。

行程开关按结构可分为按钮式（直动式）、滚轮式（旋转式）、微动式三种，其常见外形如图 2-9 所示。

### (1) 按钮式行程开关

按钮式行程开关有 LX1 和 JLXK1 等系列，其内部结构如图 2-10 所示。这种行程开关的动作过程同按钮一样，动作简单，维修容易。但它的缺点是触点分合速度取决于生产机械的移动速度，当生产机械的移动速度低于 0.4 m/min 时，触点分断太慢，易受电弧烧损，从而减少触点的

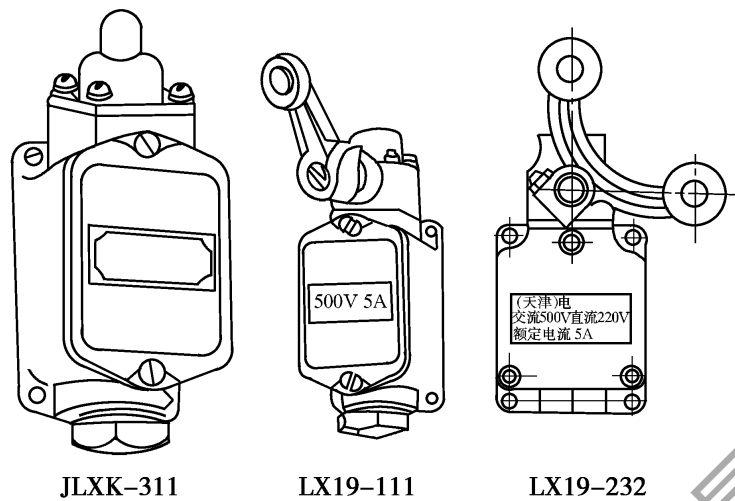


图 2-9 行程开关外形图

使用寿命。

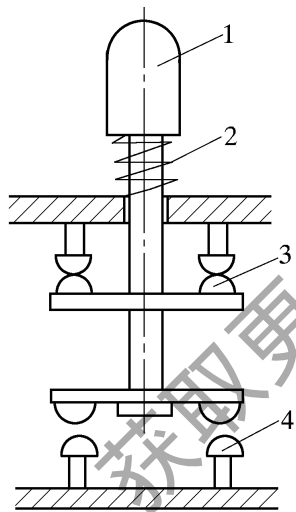


图 2-10 按钮式行程开关内部结构

1—按钮；2—弹簧；  
3—静触点；4—动触点

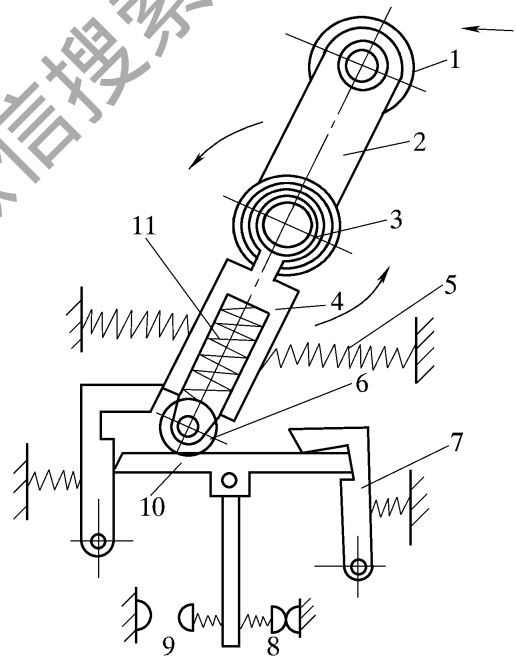


图 2-11 单滚轮式行程开关的内部结构

1—滚轮；2—上转臂；3—盘形弹簧；4—下转臂；  
5—弹簧；6—滑轮；7—压板；8—动断触点；  
9—动合触点；10—横板；11—压缩弹簧

## (2) 滚轮式行程开关

滚轮式行程开关有 LX2 和 LX19 等系列,滚轮式行程开关又分为单滚轮自动复位式和双滚轮(羊角式)非自动复位式两种。

单滚轮式行程开关的内部结构如图 2-11 所示。当撞块向左撞击滚轮时,上下转臂绕支点以逆时针方向转动,滑轮在自左向右的滚动中,压迫横板,待滚过横板的转轴时,横板在弹簧的作用下突然转动,使触点瞬间切换,复位弹簧在撞块离开后带动触点自动复位。

双滚轮式行程开关的动作过程为:当机械运动挡块碰压其中一个滚轮时,杠杆便转动一定角

度,使触点瞬时切换,挡块继续移动离开滚轮后,杠杆和触点不会自动复位,此时只有靠运动机械反向移动,当挡块从相反方向碰压另一个滚轮时,触点才能恢复原始位置。

(3) 微动式行程开关

微动式行程开关是具有瞬时动作和微小行程的灵敏开关。常用型号有 LX31、LXW-11 等系列,其内部结构如图 2-12 所示。

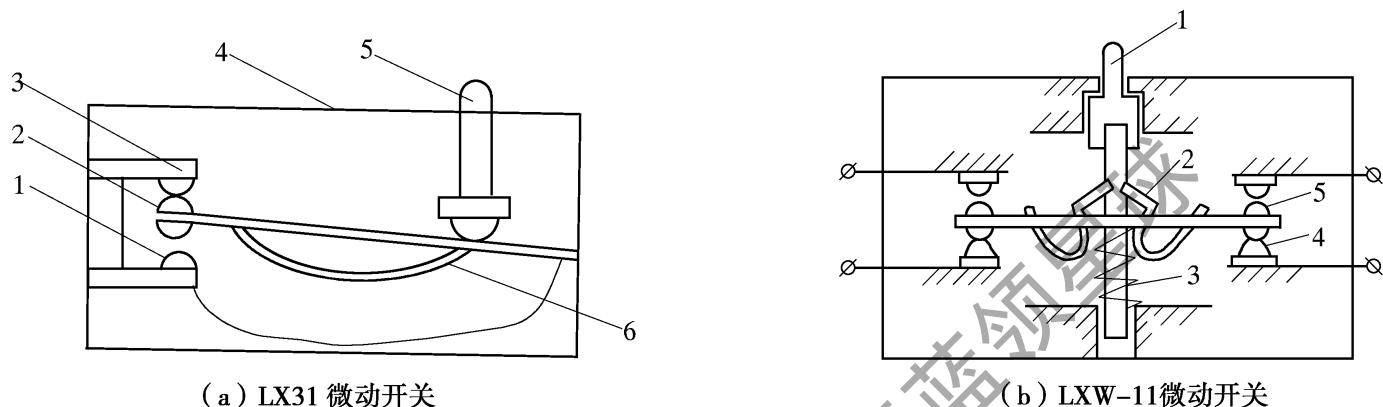


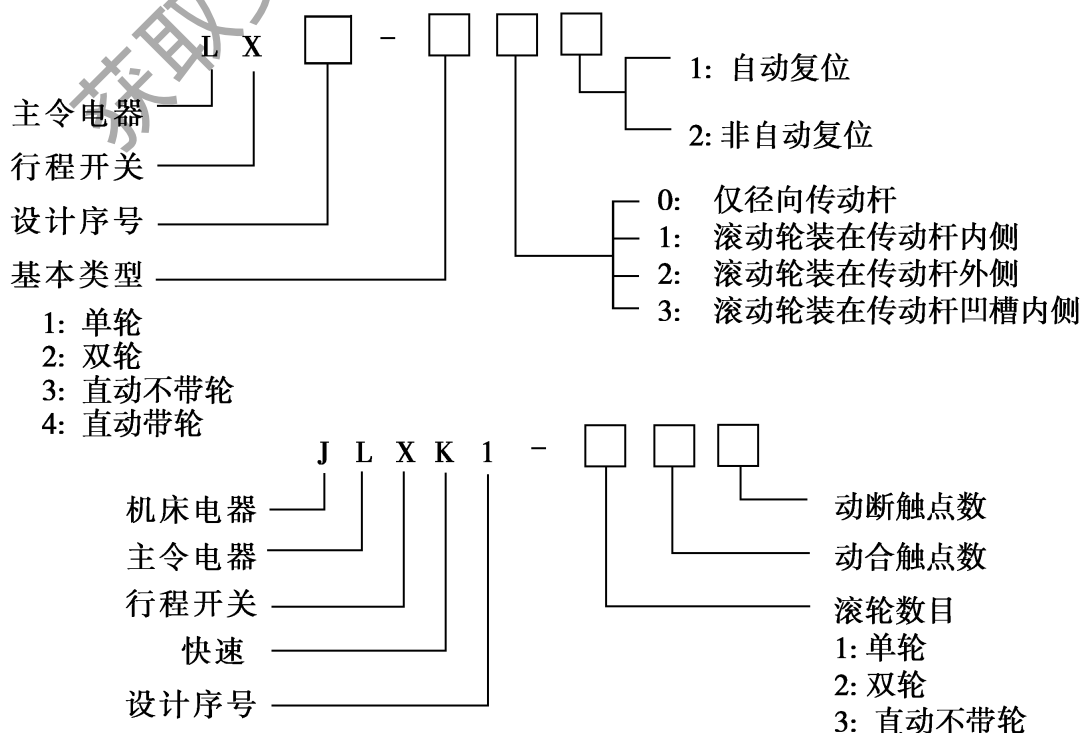
图 2-12 微动式行程开关内部结构

- (a) 1—动触点; 2—触点; 3—静触点; 4—外盒; 5—推杆; 6—弹簧片  
 (b) 1—推杆; 2—弯形弹簧; 3—恢复弹簧; 4—静触点; 5—动触点

LX31 型单断点微动开关,采用弓片状弹簧的瞬动结构,当开关推杆在机械力的作用下压下一定距离时,由于弓片弹簧的瞬动作用使桥式动触点瞬时动作。当外力失去后,推杆在复位弹簧的作用下迅速复位,触点恢复原状。

LXW-11 双断点微动开关,采用弯曲的弹性铜片,使得推杆在很小的范围内移动时,都可以使触点因簧片的翻转而瞬间改变状态。由于采用了瞬动机构,将使触点换接速度不受推杆压下速度的影响。其动作速度快,灵敏度高。

行程开关型号意义:



**例 2-1:** LX19-212 表示双轮行程开关,滚轮装在传动杆内侧,不能自动复位。行程开关在电气原理图中的符号如图 2-13 所示。

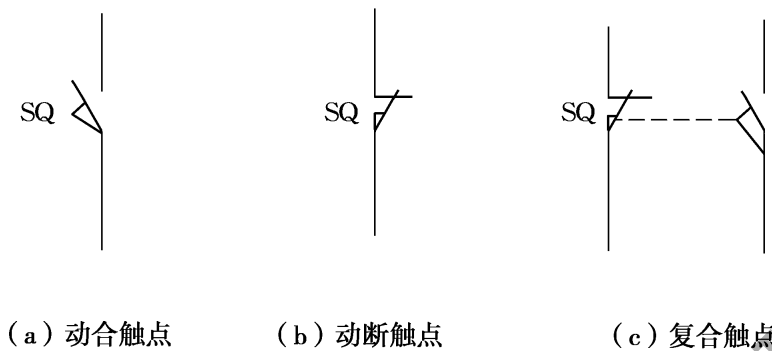


图 2-13 行程开关的符号

行程开关在电气控制线路中,往往作为位置控制或限位保护的电器,如果出现故障会危及设备和人身的安全。又由于行程开关经常受到撞块的碰撞,使安装螺丝经常松动造成位移,因此,应注意经常检查。另外在安装时注意行程开关在不工作时应处于不受外力的释放状态。行程开关常见故障及排除方法如表 2-3 所示。

表 2-3 行程开关常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
行程开关动作后不能复位	弹力减弱	更换弹簧
	机械卡阻	拆卸清除
	长期不用油泥干涸	清洁
	外力长期压迫行程开关	改变设计方法
杠杆偏转但触点不动作	工作行程不到	调整行程开关位置
	触点脱落或偏斜	修理触点系统
	异物卡住	清理杂物
	连线松脱	紧固连接线
行程开关可以复位,但动断触点 不闭合	触点被杂物卡住	清理杂物
	触点损坏	更换触点
	弹簧失去弹力	更换弹簧
	弹簧卡住	重新装配

### 3. 万能转换开关

万能转换开关是具有更多操作位置和触点的开关,且能够变换多个电路的一种手动控制电器。由于它能控制多个回路,适应复杂线路的要求,故有“万能”转换开关之称。

目前,常用的万能转换开关有 LW5、LW6 等系列。LW6 系列万能转换开关由操作机构、面板、手柄及触点座等主要部件组成,其操作位置有 2~12 个,触点底座有 1~10 层,其中,每层底座都可以安装三对触点,并由底座中间的凸轮进行控制。由于每层凸轮的形状可以做的不一样,因此,当手柄转动到不同的位置时,通过凸轮的作用,可以使各对触点按照自己的运动规律分别接通和分断电路。

LW6 型系列万能转换开关某一层的结构原理示意图和图形文字符号如图 2-14 所示。

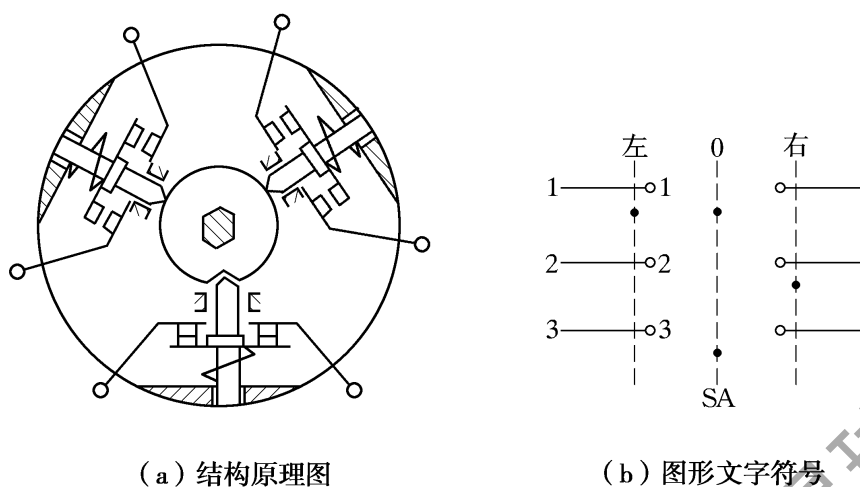


图 2-14 万能转换开关结构原理图和图形文字符号

#### 4. 主令控制器

主令控制器是用来较为频繁地转换复杂的多路控制电路的主令电器。它一般由触点、凸轮、定位机构、转轴、面板及其支撑件等部分组成。其操作轻便,允许每小时通断次数较多,触点为双断点的桥式结构,适用于按顺序操作多个控制回路。

图 2-15 为主令控制器的外形和结构原理图。凸轮块固定于方轴上,触点固定于能绕轴转动的支杆上,当操作主令控制器手柄转动时,带动凸轮块转动,当凸轮块达到推压小轮的位置时,将使小轮带动支杆绕轴转动,使支杆张开,从而使触点断开。其他情况下,由于凸轮块离开小轮,触点是闭合的。这样,只要安装一串不同形状的凸轮块,就可获得按一定顺序动作的触点,若这些触点用来控制电路,便可获得按一定顺序动作的电路了。

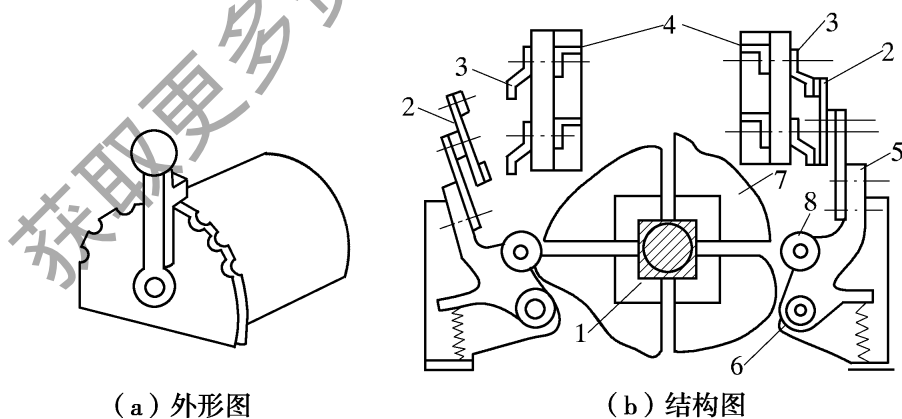


图 2-15 主令控制器

1—凸轮块;2—动触点;3—静触点;4—接线端子;5—支杆;6—转动轴;7—凸轮;8—小轮

常用的主令控制器有 LK5 和 LK6 系列,其中 LK5 系列有直接手动操作、带减速器的机械操作和电动机驱动三种形式的产品。而 LK6 系列是由同步电动机驱动,通过机械减速装置,形成定时动作来控制元件,它能按事先设定的动作顺序和规律,按时间的变化操作电路。

主令控制器结构虽然庞大,但维修更换触点比较方便,触点容量较大,主要用于轧钢、大型起重机及其他生产机械的电力拖动控制系统中,对电动机的起动、制动和调速等做远距离控制。

主令控制器在安装使用前,应操作手柄数次,以检查是否有卡滞现象及杂物影响,不使用时,



手柄应停在零位。主令控制器常见故障及排除方法如表 2-4 所示。

表 2-4 主令控制器常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
触点发热严重	被控负荷太重	减少负荷
	触点接触不良	擦拭触点表面
	触点弹簧弹力不足	更换弹簧
操作时有卡滞现象	定位机构损坏	修理或更换定位机构
	控制器内有异物	清除异物
	减速机构损坏	修理减速机构
接触不良	凸轮块磨损严重	更换凸轮块
	触点氧化	清除氧化层
	动触点弹簧弹力不足	更换弹簧

### 5. 接近开关

为了提高工作的可靠性和使用寿命,适应更高的操作频率,近年来,在机床上逐步推广使用晶体管无触点行程开关,又称接近开关。它的功能是:当有某种物体与之接近到一定距离时,就发出动作信号,从而控制继电器或逻辑元件,而不像机械式行程开关那样需要施加机械力。它的用途除行程控制和限位保护外,还可以作为检测金属的存在、高速计数、测速、定位、检测零件尺寸、液面控制及用作无触点按钮等。它具有工作可靠、寿命长、操作频率高以及能适应恶劣的工作环境等特点。接近开关较一般行程开关价格要高,因此,仅用于工作频率、可靠性及精度要求均较高的场合。

接近开关根据其工作原理的不同可分为以下几种形式:高频振荡型(用于检测各种金属);电磁感应型(检测导磁或非导磁性金属);电容型(检测各种导电或不导电的液体及固体);永磁及磁敏元件型(检测磁场或磁性金属);光电型(检测不透光的物质);超声波型(检测不透过超声波的物质)。常见接近开关的外形如图 2-16 所示,接近开关在电气原理图中的符号如图 2-17 所示。

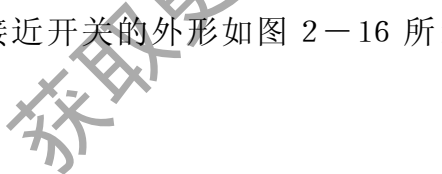


图 2-16 常见接近开关的外形

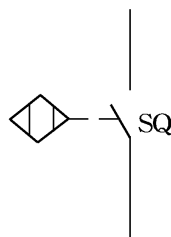


图 2-17 接近开关在电气原理图中的符号

#### (1) 高频振荡型接近开关

高频振荡型接近开关是最为常用的接近开关,占全部接近开关产量的 80% 以上,我国生产的接近开关也是高频振荡型的。其工作基础是高频振荡电路状态的变化,电路形式多种多样,但

不外乎包括感应点、振荡器、晶体管输出等部分。目前应用较多的有 LJ 系列、LXJ 系列及 LXU 系列。图 2-18 为 LXJ0 型晶体管接近开关的原理线路图。

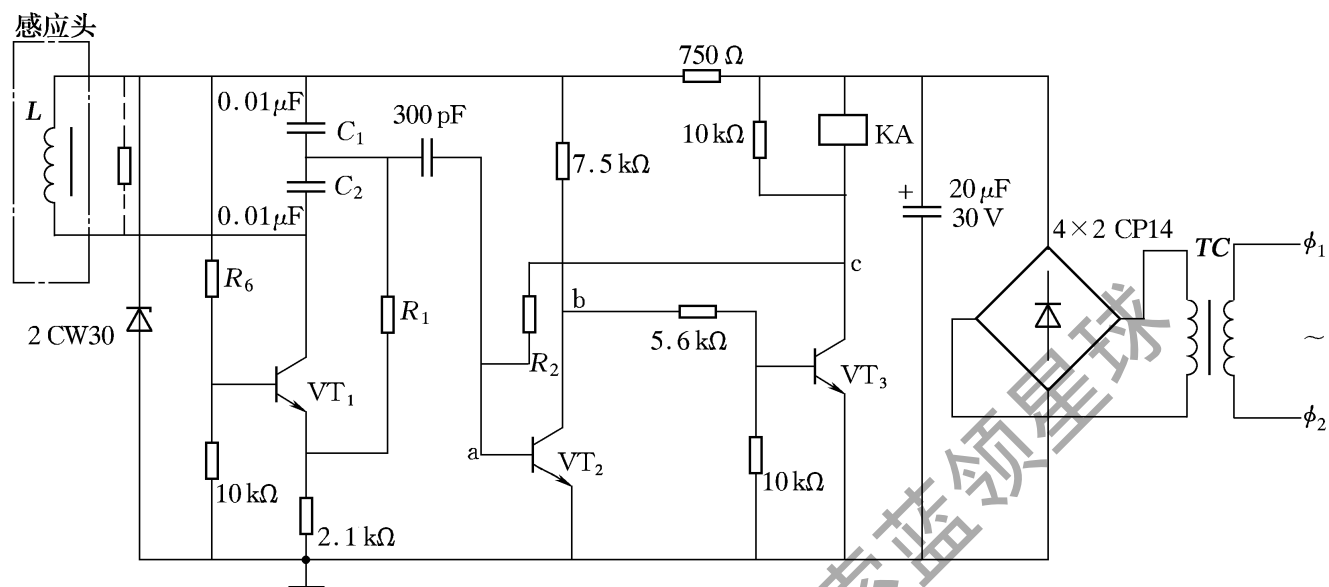


图 2-18 LXJ0 型接近开关原理图

图中感应头电感  $L$  与电容  $C_1$ 、 $C_2$ 、晶体管  $VT_1$  组成电容三点式振荡电路,在正常情况下处于振荡状态,该交流振荡信号经  $300\text{ pF}$  电容耦合到晶体管  $VT_2$  的基极, $VT_2$  导通,b 点处于低电平状态, $VT_3$  截止,c 点处于高电平状态。该高电平通过电阻  $R_2$  正反馈至晶体管  $VT_2$  的基极,加速了  $VT_2$  导通,则  $VT_3$  迅速截止,继电器  $KA$  的线圈无电流流过,因此开关不动作。

当有金属挡块接近感应头时,金属挡块在高频振荡磁场的作用下产生涡流损耗,涡流的产生相当于在感应头电感  $L$  的两端并联了一个电阻,振荡回路的品质因数  $Q$  急剧降低, $L$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  组成的振荡电路停振,此时  $VT_2$  的基极无交流信号,在  $R_2$  正反馈作用下, $VT_2$  迅速进入截止状态,而  $VT_3$  则迅速导通,使继电器  $KA$  的线圈有电流流过,继电器  $KA$  动作,其动断触点断开,动合触点闭合。当金属挡块离开感应头后,开关将恢复原状, $VT_1$  又重新起振。

### (2) 光电型接近开关

光电型接近开关利用被检测物体对红外线光束的遮光或反射作用,来检测物体的有无,被测物体不限于金属,对所有能反射光线的物体均可检测。

其原理框图如图 2-19 所示,在同一个感应面上装上一只红外线发射管和接收管,当被感应物体距感应面较近时,红外线反射达到一定的强度,接近开关接收后就可做出相应的动作。

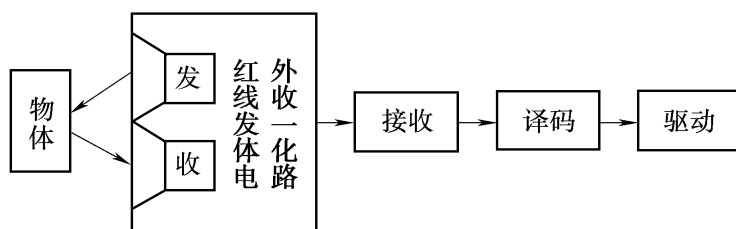


图 2-19 光电开关的原理框图

图 2-20 是光电开关的电气原理图,该电路采用  $9\text{ V}$  电源,共使用三块集成块, $IC_1$  为六反

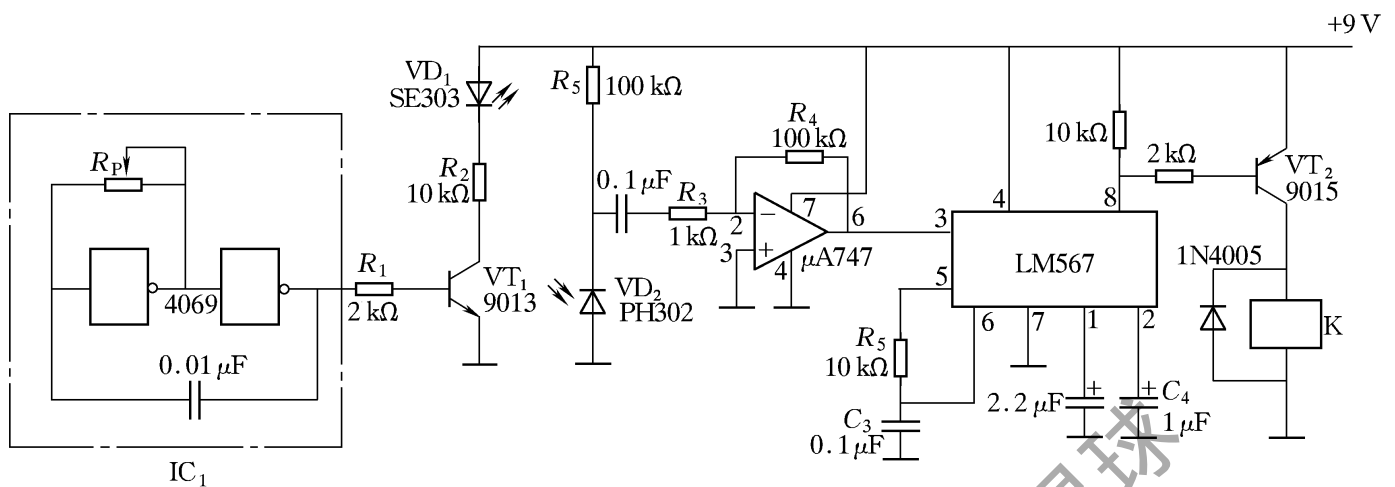


图 2-20 光电开关的电气原理图

相器;  $IC_2$  为  $\mu A747$ , 是单运算放大器;  $IC_3$  为 LM567, 是带频锁相电路。电路共分两部分, 一部分为红外线发射电路, 主要由  $IC_1$  承担; 另一部分为信号放大、检测与驱动电路, 主要由  $IC_2$ 、 $IC_3$  承担。

正常情况下,  $IC_1$  的两个反相器组成的振荡电路经晶体管  $VT_1$  放大, 驱动红外发射管  $VD_1$  发射红外光, 红外光的振荡频率受电路中可调电阻  $R_p$  控制, 发射头与接受头装在一个小盒子里, 互相之间有一定距离, 因此, 红外接收二极管  $VD_2$  不能接收到发射管发出的信号, 运算放大器构成的信号放大回路也无信号输出, LM567 的 3 管脚没有输入信号, 故 8 管脚输出高电平, 晶体管  $VT_2$  截止, 继电器 K 的线圈无电流流过, 因此开关不动作。

当有物体接近感应头时, 被测物体将发射管  $VD_1$  发射的红外光反射给接收二极管  $VD_2$ , 使  $VD_2$  输出相应变化的交流信号, 该信号经  $IC_2$  组成的运算放大器电路放大后, 经 LM567 的 3 管脚输入, 调整发射电路的发射频率, 使其正好落入 LM567 的捕捉频带内, LM567 的 8 管脚即输出低电平, 该低电平使晶体管  $VT_2$  导通, 继电器 K 得电吸合, 带动触点动作。

### (3) 霍尔效应型接近开关

霍尔效应型接近开关是根据霍尔效应原理制成的新型开关器件。当一块通有电流的金属或半导体薄片垂直地放在磁场中时, 薄片的两端就会产生电位差, 该电位差的大小与外磁场有关, 这种现象就称为霍尔效应。

根据霍尔效应, 利用霍尔传感器可探测外部的磁场, 通过磁场强度的大小来控制开关的输出状态。霍尔开关的输入端是外部磁场, 当外部磁场磁感应强度  $B$  达到一定的程度 (如  $B_1$ ) 时, 霍尔开关内部的触发器翻转, 霍尔开关的输出状态也随之翻转。

## 第二节 熔断器

熔断器在电力拖动系统中是用来作短路保护的器件。使用时, 熔断器应串联在所保护的电路中。当电路发生短路故障时, 通过熔断器的电流达到或超过某一规定值, 以其自身产生的热量使熔体熔断而自动切断电路, 起到保护作用。

熔断器的种类很多,按结构形式可分为插入式熔断器、螺旋式熔断器、封闭式熔断器、快速熔断器和自复式熔断器等类型。

### 一、插入式熔断器

常用的插入式熔断器是 RC1A 系列,其结构如图 2-21 所示。

瓷座由电工瓷制成,两端固定着静触点,静触点和接线座为一体,瓷座中间为一空腔。瓷盖也是由电工瓷制成,动触点固定在它的两端,中间有一突起部分,熔丝沿此突起部分跨接在两个动触点上,瓷盖的突起部分与瓷座的空腔共同形成灭弧室,容量较大的熔断器在空腔中还垫有熄弧用的石棉编织带。使用时,电源线与负载线分别接于瓷座的接线座上,瓷盖动触点装上熔丝,将瓷盖合于瓷座上,依靠熔丝将线路接通。

由于插入式熔断器结构简单、价格便宜、更换熔体方便,因此广泛应用于 380 V 及以下的配电线路末端作为电力、照明负荷的短路保护。尽管 15 A 以上的产品,在灭弧室中垫有熄弧用的石棉编织带,但其灭弧效果仍然有限,故分断能力较小,一般只用于 100 A 以下的电路中。

### 二、螺旋式熔断器

常用的螺旋式熔断器是 RL1 系列,其外形与结构如图 2-22 所示。

螺旋式熔断器的熔断管是一个装有熔丝的瓷管,在熔丝周围填充着石英砂,作为熄灭电弧用,熔丝焊在瓷管两端的金属盖上,其中一金属盖中间凹处有一个标有颜色的熔断指示器,当熔丝熔断时,指示器便被反作用弹簧弹出自动脱落,显示熔丝已熔断,透过瓷帽上的圆形玻璃窗口可以清楚地看见,此时只需更换同规格的熔断管即可。使用时将熔断管有色点指示器的一端插入瓷帽中,再将瓷帽连同熔断管一起旋入瓷座内,使熔丝通过瓷管上端金属盖与上接线座连通,瓷管下端金属盖与下接线座连通。

在装接使用时,电源线应接在下接线座,负载线应接在上接线座,这样在更换熔断管时(旋出瓷帽),金属螺纹壳的上接线座便不会带电,保证维修者安全。

螺旋式熔断器具有分断能力较高、结构紧凑、体积小、安装面积小、更换熔体方便、熔丝熔断后有明显指示等优点,因此广泛应用于机床控制线路、配电屏及振动较大的场所,作为短路保护器件。

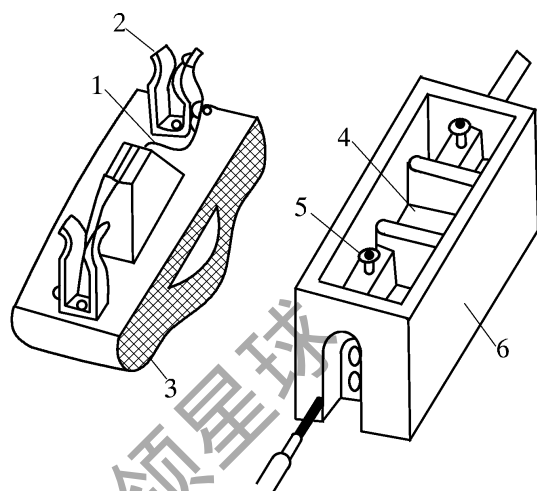


图 2-21 插入式熔断器结构

1—熔丝；2—动触点；3—瓷盖；  
4—空腔；5—静触点；6—瓷座

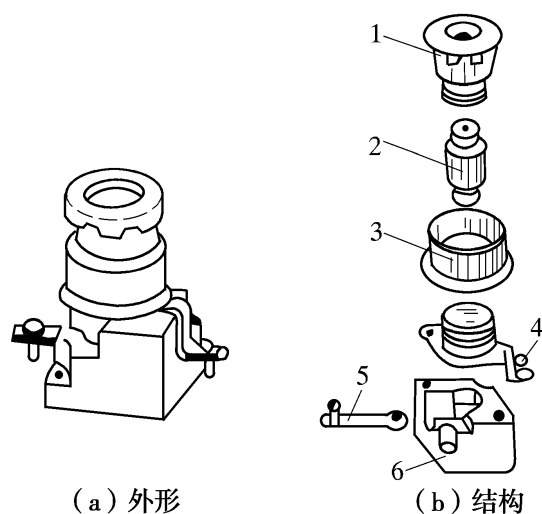


图 2-22 螺旋式熔断器

1—瓷帽；2—熔断管；3—瓷套；  
4—上接线座；5—下接线座；6—瓷座

### 三、封闭式熔断器

封闭式熔断器主要用于负载电流较大的电力网络或配电系统中,熔体采用密封式结构,一是可防止电弧的飞出和熔化金属的滴出;二是在熔断过程中,密闭管内将产生大量的气体,使气体的压力达到 30~80 个大气压,在此气压的作用下,电弧因受到剧烈压缩而很快熄灭。

封闭式熔断器有无填料式和有填料式两种,常用的型号为 RM10 系列、RT0 系列,它们的外形及结构如图 2-23 所示。

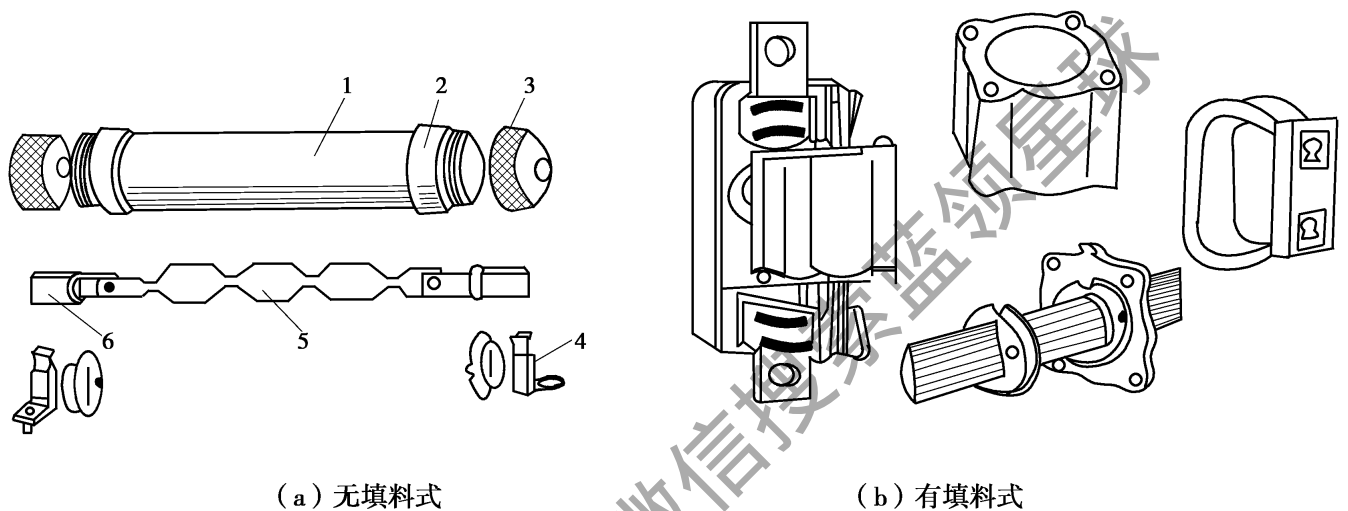


图 2-23 封闭式熔断器

1—钢纸管; 2—黄铜套管; 3—黄铜帽; 4—开口夹座; 5—熔体; 6—刀型夹头

无填料封闭式熔断器的熔管为钢纸管,当熔体熔断产生电弧时,电弧热量能使钢纸管局部分解出一种混合气体,这种气体有助于冷却电弧,促使电弧迅速熄灭。它的熔体是变截面的锌片,发生短路时,熔体在细处熔断,生成的金属蒸汽少,同时又是在多处熔断,拉长了电弧,电弧易于熄灭。

有填料封闭式熔断器的熔管用高频电工瓷制成,管内填满石英填料,在熔体熔断时起迅速灭弧作用。熔体是两片网状紫铜片,中间用锡把它焊接起来,构成“锡桥”,用以降低熔体熔化温度,然后围成笼状,焊接在刀型夹头上,装入管内用金属板封闭。当熔体熔断后,需要把熔管从熔座上取下来,这需要一定的力量,一般配有专门的插拔器。

### 四、快速熔断器

快速熔断器是在 RL1 系列螺旋式熔断器的基础上,为保护硅半导体元件而设计的,其结构与 RL1 系列完全相同。常用的型号有 RLS 系列、RS0 系列等,RLS 系列主要用于小容量硅元件及其成套装置的短路保护;RS0 系列主要用于大容量晶闸管元件的短路保护。

### 五、自复式熔断器

前面介绍的几种熔断器,虽能起到短路保护作用,但是熔体一旦熔断以后就不能再继续使用,必须更换新的熔体,这样就会给使用带来不方便,而且延缓了供电时间。为解决这一矛盾,一种新型熔断器在我国已研制成功,它就是自复式熔断器。这类熔断器的熔体是应用非线性电阻

元件制成(如金属钠、特殊合金等),其结构如图 2-24所示。

常温下,金属钠是电的良导体,而在短路时,流过金属钠的电流剧增,在高温的作用下,金属钠迅速汽化,体积膨胀,推动活塞向外移动,同时电阻剧增,限制了短路电流的进一步增大。待电流减小使金属钠冷却后,活塞在惰性气体氩气的推动下,将钠又推到瓷心中,重新恢复导电状态,以备下次使用。

自复式熔断器的优点是动作快,能反复使用,无需备用熔体。缺点是它不能真正分断电路,只能利用高阻闭塞电路,故常与自动开关串联使用,以提高组合分断性能。

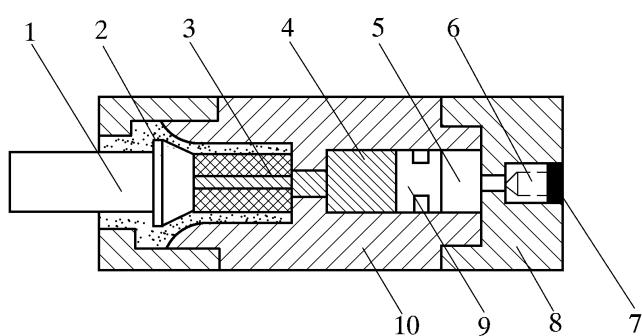


图 2-24 自复式熔断器结构图  
1—进线端子；2—特殊玻璃；3—瓷心  
4—熔体；5—氩气；6—螺钉；7—软铅  
8—出线端子；9—活塞；10—套管

熔断器的型号意义以及在电气原理图中的符号如图 2-25 所示。

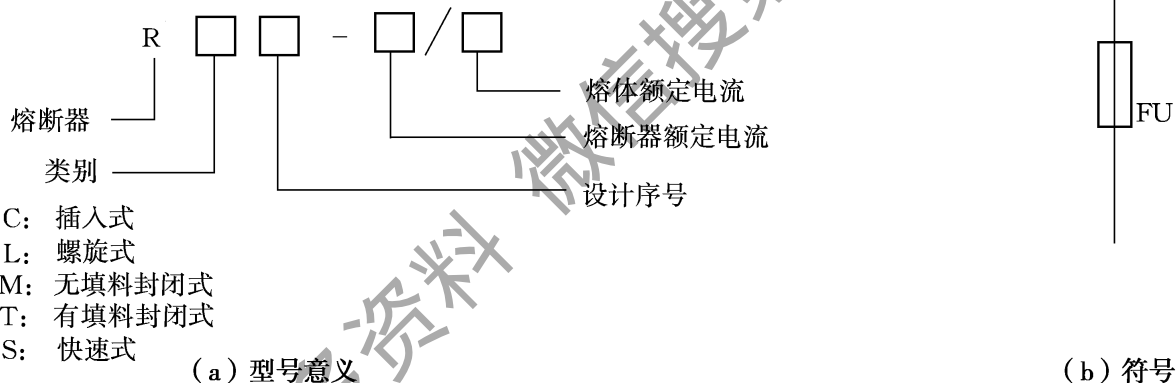


图 2-25 熔断器的型号意义和电气符号

熔断器的熔体熔断后应予以更换,但应首先查明原因,排除故障后再更换熔体,更换熔体应在断电情况下进行,并检查熔体的规格与负载的性质及线路电流是否适应。熔断器常见故障及排除方法如表 2-5 所示。

表 2-5 熔断器常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
熔体熔断频繁	熔体选择太小	更换较大熔体
	保险丝安装时受损	更换新保险丝
熔体未熔断,但电路不通	熔体两端未接好	重新连接
	螺帽未拧紧	重新拧紧
	端线引出不良	重新连接

### 第三节 接 触 器

接触器是机床电路及自动控制电路中的一种自动切换电器,可用于远距离频繁地接通和断开交、直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机,也可用于控制其他电力负载,如电热设备、电焊机、电容器组等。接触器不仅能遥控通断电路,还具有欠电压、零电压释放保护功能,操作频率高,使用寿命长,工作可靠,结构简单经济,因此在电气控制中应用十分广泛。

接触器按主触点通过电流的种类,可分为交流接触器和直流接触器两种,其中交流接触器应用最为广泛,直流接触器则应用范围较小。

#### 一、交流接触器

交流接触器的种类很多,常用的有我国自行设计生产的 CJ10 及 CJ20 等系列,还有引进德国 BBC 公司制造技术生产的 B 系列,德国 SIEMENS 公司的 3TB 系列。另外,还有些比较先进的接触器,如 CJK1 系列真空接触器和 CJW1-200A/N 型晶闸管接触器,也在电力拖动系统中开始应用。

##### 1. 交流接触器的结构

交流接触器主要由电磁机构、触点系统、灭弧装置及辅助部件等组成,其结构如图 2-26 所示。

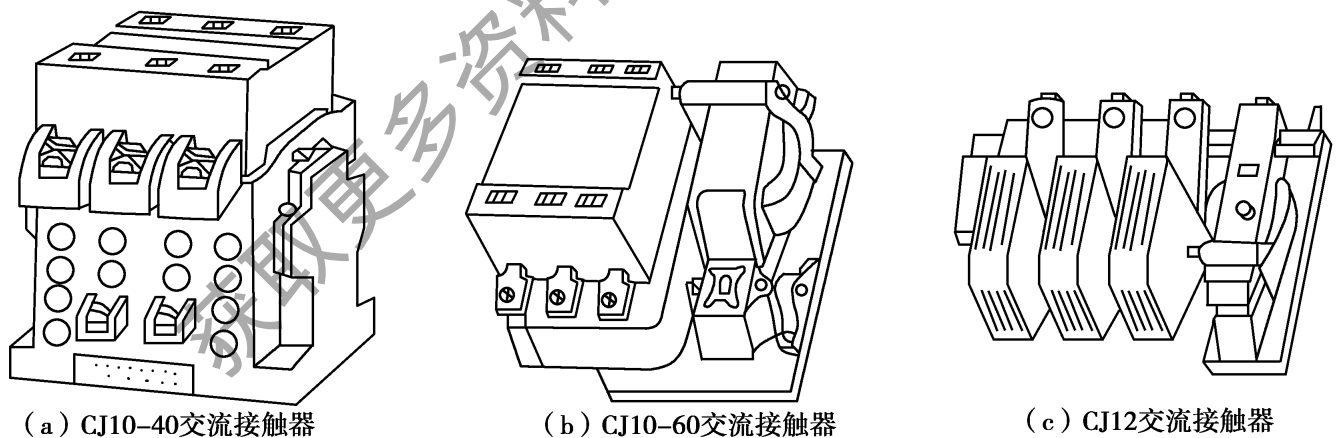


图 2-26 交流接触器

##### (1) 电磁机构

电磁机构包括铁心、衔铁、线圈三部分。

交流接触器的铁心与衔铁按结构形式可分为单 E 形、单 U 形和双 E 形等,为减少交变磁场在铁心中产生的涡流和磁滞损耗,防止铁心过热,一般用硅钢片叠压铆成。

交流接触器衔铁的运动方式,对于额定电流为 40 A 及以下的采用直动式;对于额定电流为 60 A 及以上的,多采用衔铁绕轴转动的拍合式,如图 2-27 所示。

交流接触器的衔铁在吸合过程中,一方面受到线圈产生的电磁吸力的作用,另一方面受到复位弹簧的弹力及其他机械阻力的作用,只有电磁吸力大于这些阻力时,衔铁才能被吸合。由于交

流电磁铁线圈中的电流是交变的,所以它产生的电磁吸力也是脉动的。电流为零时,电磁吸力也为零,交流电每变化一个周期,衔铁将释放两次,若交流电源频率为 50 Hz,则电磁吸力为 100 Hz 的脉动吸力,于是在工作时,衔铁将会振动,并产生较大的噪音。为了解决这一问题,在铁心和衔铁的两个不同端部各开一个槽,在槽内嵌装一个用铜、康铜或镍铬合金制成的短路环,又称减振环或分磁环,如图 2-28 所示。

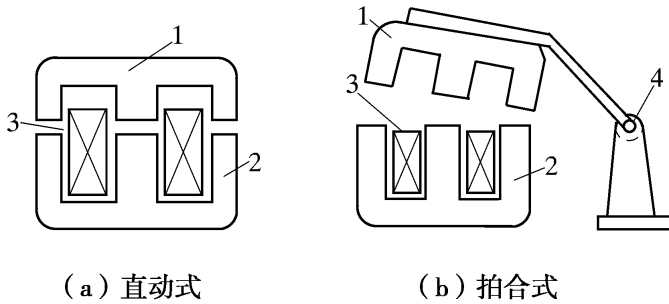


图 2-27 交流接触器衔铁运动方式  
1—衔铁; 2—铁心; 3—线圈; 4—轴

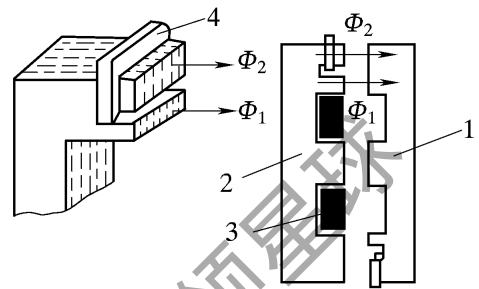


图 2-28 交流接触器的短路环  
1—衔铁; 2—铁心; 3—线圈; 4—短路环

加上短路环后,磁通被分为两部分,一部分为不通过短路环的  $\Phi_1$ ;另一部分为通过短路环的  $\Phi_2$ 。由于电磁感应,使  $\Phi_1$  与  $\Phi_2$  间有一个相位差,它们不会同时为零,因此它们产生的电磁吸力也没有同时为零的时刻,如果配合比较合适的话,电磁吸力将始终大于反作用力,使衔铁牢牢地吸合,这样就消除了振动和噪音。一般短路环包围铁心端面的 2/3。

交流接触器的线圈是利用绝缘性能较好的电磁线绕制而成,是电磁机构动作的能源,一般并接在电源上,为了减少分流作用,降低对原电路的影响,需要阻抗较大,因此线圈匝数多、导线细。对于交流接触器,除了线圈发热外,铁心中有涡流和磁滞损耗,铁心也会发热,并且占主要地位。为了改善线圈和铁心的散热情况,在铁心和线圈之间留有散热间隙,而且把线圈做成有骨架的矮胖型。

### (2) 触点系统

交流接触器触点是接触器的执行部件,接触器就是通过触点的动作来分合被控电路的。交流接触器的触点一般采用双断点桥式触点。动触点桥一般用紫铜片冲压而成,并具有一定的刚性,触点块用银或银基合金制成,镶焊在触点桥的两端;静触点桥一般用黄铜板冲压而成,一端镶焊触点块,另一端为接线座。动、静触点的外形及结构如图 2-29 所示。

按通断能力触点分为主触点和辅助触点。主触点用于通断电流较大的主电路,体积较大,一

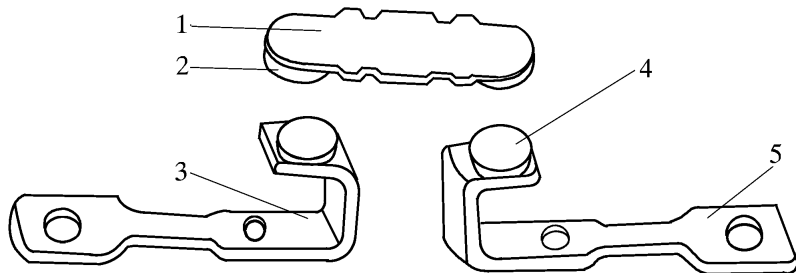


图 2-29 动、静触点外形结构图  
1—动触头桥; 2—动触头块; 3—静触头桥; 4—静触头块; 5—接线柱



般由三对动合触点组成；辅助触点用于通断电流较小的控制电路，体积较小，一般由两对动合触点和两对动断触点组成。

### (3) 灭弧装置

交流接触器在断开大电流电路或高电压电路时，在高热和强电场的作用下，触点表面的自由电子大量溢出形成炽热的电子流，即电弧。电弧的产生一方面会烧蚀接触器触点，缩短其使用寿命；另一方面还使切断电路的时间延长，甚至造成弧光短路或引起火灾。因此，我们希望在断开电路时，触点间的电弧能迅速熄灭。为使电弧迅速熄灭，可采用将电弧拉长、使电弧冷却、把电弧分割成若干短弧等方法，灭弧装置就是基于这些原理来设计的。

容量较小的交流接触器，如 CJ0-10 型，采用的是双断点桥式触点，本身就具有电动灭弧功能，不用任何附加装置，便可使电弧迅速熄灭，其灭弧示意图如图 2-30 所示。

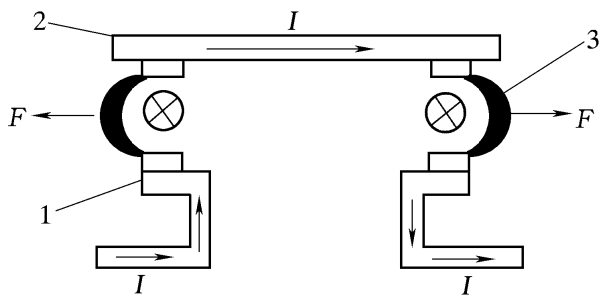


图 2-30 双断点触点的电动力吹弧  
1—静触点；2—动触点；3—电弧

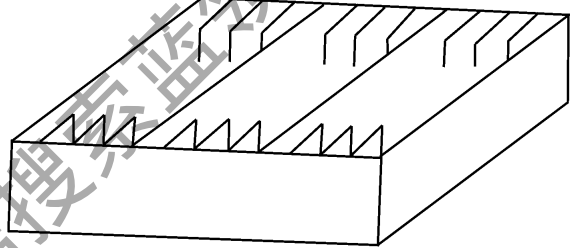


图 2-31 灭弧罩结构图

当触点断开电路时，在断口处产生电弧，静触点和动触点在弧区内产生如图所示的磁场，根据左手定则，电弧电流将受到指向外侧方向的电磁力  $F$  的作用，从而使电弧向外侧移动，一方面使电弧拉长，另一方面使电弧温度降低，有助于电弧熄灭。

对容量较大的接触器，如 CJ0-20 型，采用灭弧罩灭弧；CJ0-40 型采用金属栅片灭弧装置。

灭弧罩由陶土材料制成，其结构如图 2-31 所示。安装时灭弧罩将触点罩住，当电弧发生时，电弧进入灭弧罩内，依靠灭弧罩对电弧进行降温，因此使电弧容易熄灭，也防止电弧飞出。金属灭弧栅片是由镀铜或镀锌的铁片制成，形状一般为人字形，栅片插在灭弧罩内，各片之间相互绝缘。当触点分断产生电弧时，电弧周围产生磁场，电弧在磁场力的作用下进入栅片，被分割成许多串联的短弧，每个栅片就成了电弧的电极，电弧电压低于燃弧电压，同时栅片将电弧的热量散发，加速了电弧的熄灭，其工作原理示意图如图 2-32 所示。

### (4) 辅助部件

交流接触器的辅助部件包括反作用弹簧、缓冲弹簧、动触点固定弹簧、动触点压力弹簧片及传动杠杆等。

反作用弹簧安装在动铁心和线圈之间。其作用是在线圈断电后，促使动铁心迅速释放，各触点恢复原始状态。

缓冲弹簧安装在静铁心与线圈之间，是一个刚性较强的弹簧，静铁心固定在胶木底盖上。其作用是缓冲动铁心在吸合时对静铁心的冲击力，保护外壳免受冲击，以防损坏。

动触点固定弹簧安装在传动杠杆的空隙间。其作用是通过活动夹并利用弹力将动触点固定在传动杠杆的顶部，有利于触点的维修或更换。

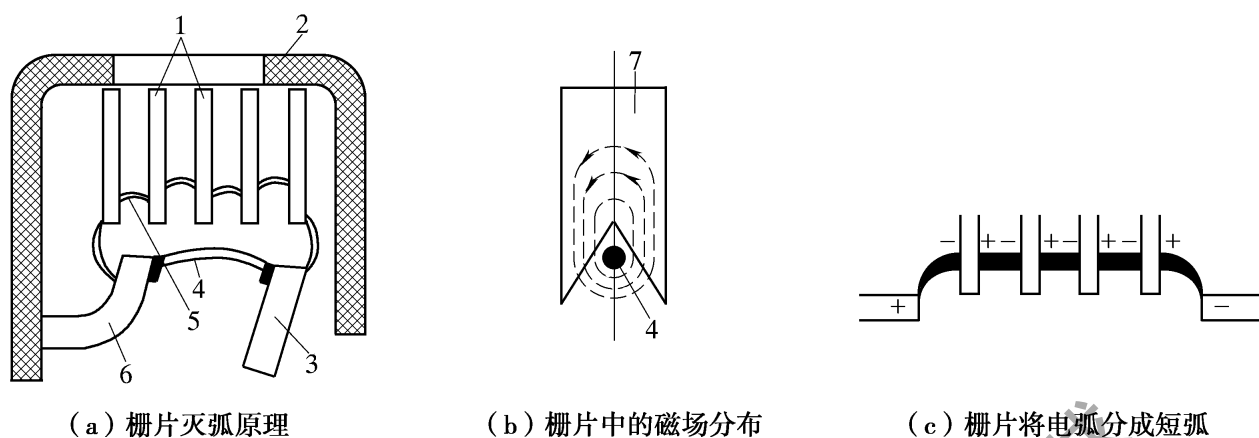


图 2—32 金属栅片灭弧装置的原理结构

1—灭弧栅；2—灭弧罩；3—动触点；4—电弧；5—短电弧；6—静触点；7—栅片

动触点压力弹簧片安装在动触点的上面,有一定的钢性。其作用是增加动、静触点之间的压力,从而增大接触面积,减小接触电阻,防止触点过热。

传动杠杆的一端固定动铁心,另一端固定动触点,安装在胶木壳体的导轨上。其作用是在动铁心或反作用弹簧的作用下,带动动触点实现与静触点的接通或分断。

## 2. 工作原理

当电磁线圈通电后,线圈流过的电流产生磁场,使静铁心产生足够的吸力,克服反作用弹簧和动触点压力弹簧片的反作用力,将动铁心吸合,同时带动传动杠杆使动触点和静触点的状态发生改变,其中三对动合主触点闭合,主触点两侧的两对动断辅助触点断开,两对动合辅助触点闭合。当电磁线圈断电后,由于铁心电磁吸力消失,动铁心在反作用弹簧的作用下释放,各触点也随之恢复原始状态。

交流接触器的线圈电压在 85%~105% 额定电压时,都能保证可靠工作。电压过高,磁路趋于饱和,线圈电流将显著增大;电压过低,电磁吸力不足,动铁心吸合不上,线圈电流往往达到额定电流的十几倍。因此,线圈电压过高或过低都会造成线圈过热而烧毁。

## 二、直流接触器

直流接触器是一种频繁地操作和控制直流电动机的控制电器,主要用于远距离接通或分断额定电压 440 V、额定电流 600 A 及以下的直流电路。普遍采用的是 CZ0 系列和 CZ18 系列,它们的结构及工作原理与交流接触器基本相同。

### 1. 铁心与衔铁

由于直流接触器的线圈通过的是直流电,铁心不会产生涡流和磁滞损耗,也不会发热,因此铁心和衔铁采用整块铸钢或软铁制成即可。直流接触器正常工作时,衔铁没有产生振动和噪音的条件,那么铁心的端面也不需要嵌装短路环。但在磁路中为保证衔铁的可靠释放,常垫以非磁性垫片,以减少剩磁影响。

### 2. 线圈

线圈的绕制与交流接触器相同,但线圈的匝数比交流接触器多,因此线圈的电阻值大,铜耗大,所以线圈发热是主要的。为增大线圈的散热面积,通常把线圈做成高而薄的瘦高形,且不设骨架,使线圈与铁心间隙很小,以借助铁心来散发部分热量。

### 3. 触点系统

直流接触器的触点系统多制成单极的,只有小电流才制成双极的,触点也有主、辅之分,由于主触点的通断电流较大,多采用滚动线接触的指形触点,如图 2-33 所示。

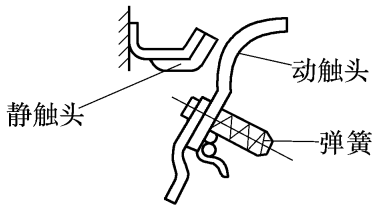


图 2-33 指形触点外形

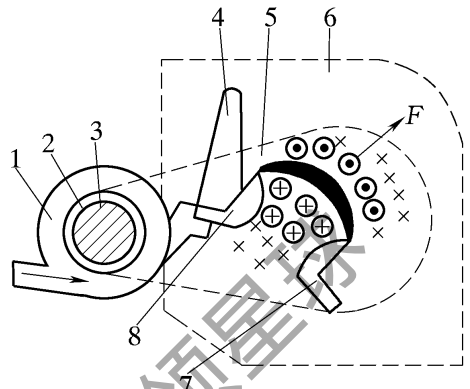


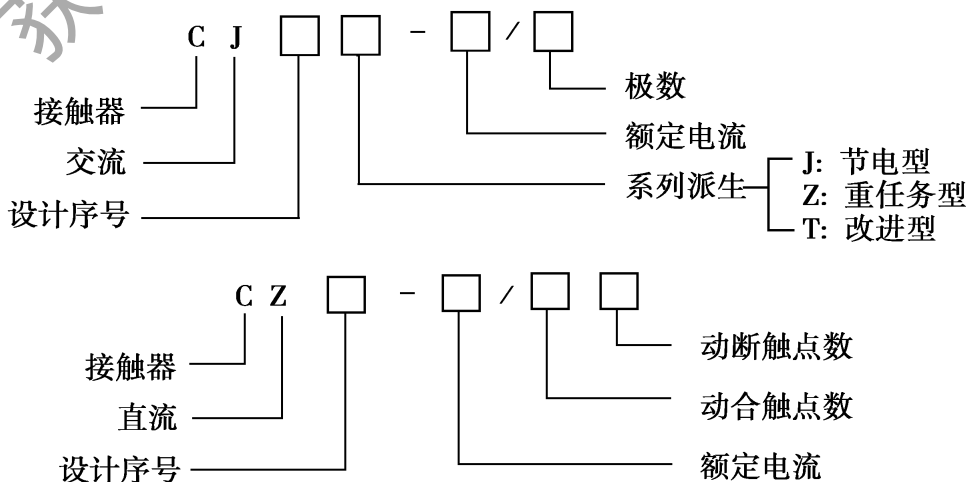
图 2-34 磁吹灭弧示意图

- 1—磁吹线圈; 2—绝缘套; 3—铁心;
- 4—引弧角; 5—倒磁夹板;
- 6—灭弧罩; 7—动触点; 8—静触点

### 4. 灭弧装置

直流接触器一般采用磁吹式灭弧装置,如图 2-34 所示。磁吹式灭弧装置中的磁吹线圈利用扁铜线弯成,通过绝缘套套在铁心上,和静触点相串联。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围,其方向由右手螺旋定则确定(为图中×所示),触点间的电弧也产生磁场(其方向为图中和⊙所示)。这两个磁场在电弧下方方向相同(叠加),在弧柱上方方向相反(相减),所以电弧下方的磁场强于上方的磁场,电弧将从磁场强的一边被拉向磁场弱的一边,于是电弧向上运动,被吹离触点,经引弧角引进灭弧罩中,使电弧很快熄灭。

接触器的型号意义如下:



接触器在电气原理图中的符号如图 2-35 所示。

接触器的常见故障及排除方法,如表 2-6 所示。

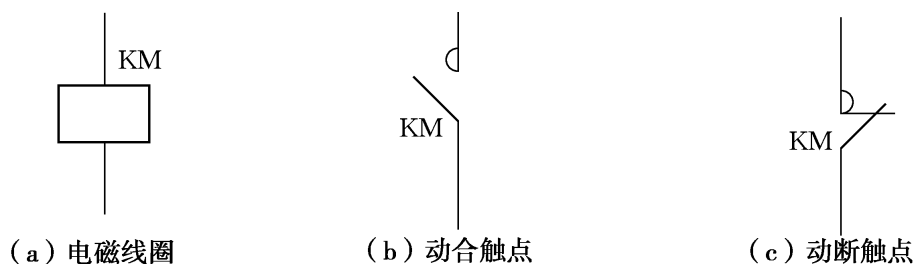


图 2-35 接触器图形和文字符号

表 2-6 接触器的常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
衔铁吸不上	线圈断线或烧毁	修理或更换线圈
	衔铁或机械可动部分被卡住	清除卡阻物
	机械部分生锈或歪斜	去锈或调换零件
断电时衔铁不释放	反作用弹簧弹力小	更换弹簧
	衔铁或机械部分被卡住	清除卡阻物
	触点熔焊在一起	更换触点并找出原因
	铁心寿命结束,剩磁增大	更换铁心
触点熔焊	触点断开容量不够	改换较大容量接触器
	触点开断次数过多	更换触点
触点过热或灼伤	触点弹簧压力过小	调高弹簧压力
	触点上有油污	清除油污
	触点断开容量不够大	改换较大容量接触器
线圈过热或烧毁	线圈额定电压与电源电压不符	更换线圈或调整电压
	线圈由于机械损伤或附有导电灰尘而部分短路	修复或更换线圈并保持清洁
	运动部分被卡住	排除卡住现象
有噪声	极面磨损过度而不平	修正极面
	电磁系统歪斜	调整机械部分
	短路环断裂(交流)	重焊或调换短路环
	衔铁与机械部分的连接销松脱	装好连接销

## 第四节 继电器

继电器是机床控制线路的基本元件之一,其输入信号可以是电压、电流等电学量,也可以是温度、速度、压力等非电量。当输入量变化到某一设定值时,继电器即动作,使输出量发生预定的变化,从而接通或断开被控电路。因此从宏观而言,继电器是一种传感器件,是控制电路与外界联系的桥梁。

继电器主要是用来感知信号的,一般不用来直接控制大电流的主电路,它的触点一般用在控制电路中,控制电路的功率一般不大,所以继电器触点的分断能力很小,一般在 5 A 或 5 A 以下。因此,继电器一般不设灭弧装置,触点的结构也比较简单,这是继电器与接触器的主要区别。

继电器的用途广泛,种类繁多。按输入信号的不同可分为电压继电器、电流继电器、速度继电器、时间继电器、压力继电器等。按工作原理可分为电磁式继电器、电动式继电器、感应式继电器

器、电子式继电器等。

## 一、电磁式继电器

电磁式继电器是应用最早的一种形式,属于有触点自动切换电器,其结构基本与电磁式接触器相似。按继电器反映的参数又可分为中间继电器、电流继电器、电压继电器等。

### 1. 中间继电器

中间继电器是将一个输入信号变成多个输出信号的继电器,它的输入信号为线圈的通电和断电,输出信号是各触点的动作。中间继电器的触点对数较多,并且没有主、辅之分,各对触点允许通过的电流大小是相同的。常用的中间继电器有JZ7系列和JZ14系列,其外形及结构如图2-36所示。

使用中间继电器的目的,一是放大信号。有时候外界信号太弱,不足以直接驱动接触器,需要中间继电器对信号进行放大。二是扩展触点数目。有时候电路比较复杂,联锁部分较多,接触器上的触点不够使用,这时可用接触器上的一对触点控制中间继电器,则中间继电器的动作与接触器完全同步,中间继电器的触点就相当于接触器的辅助触点,这就等于扩展了接触器的触点数目。

### 2. 电流继电器

根据电流大小而动作的继电器称为电流继电器。电流继电器的线圈串联在负载电路中,为使串入电流继电器线圈后不影响电路正常工作,所以电流继电器的线圈匝数要少,导线要粗,阻抗要小。根据实际需要电流继电器有过电流继电器和欠电流继电器两种。常用的电流继电器为JL14系列。

过电流继电器在正常工作时,线圈中流过负载电流,衔铁不吸合;当通过线圈的电流超过某一整定值时,衔铁吸合,带动触点动作,切断电路,从而起到过载保护作用。显然过电流继电器是利用它的动断触点来完成这一任务的。通常交流过电流继电器的吸合电流调整为电路额定电流的110%~400%之间;直流过电流继电器的吸合电流调整为电路额定电流的70%~300%之间。

欠电流继电器在电路正常时,衔铁处于吸合状态,当电路中的负载电流降低到某一整定值时,衔铁释放,从而利用其触点切断电路。显然欠电流继电器是利用它的动合触点来完成这一任务的。欠电流继电器一般用在直流电机控制线路中,例如在直流电动机的电枢励磁回路中,如果励磁电流减小,根据直流电动机的机械特性其转速要上升,当励磁电流趋于零时,根据理论分析,其转速将趋于无穷大,会引起直流电动机转速猛增,亦即“飞车现象”,这样会发生严重的设备事故。为了杜绝这种现象的发生,在直流电动机的电枢励磁回路中串入欠电流继电器,一旦电枢励

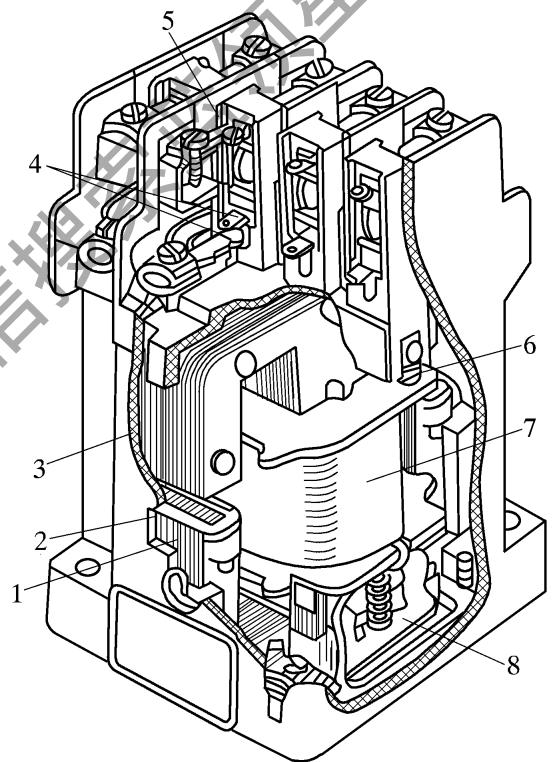


图 2-36 JZ7 系统中间继电器

- 1—静铁心; 2—短路环;  
3—动铁心; 4—动合触点; 5—动断触点;  
6—反作用弹簧; 7—线圈; 8—缓冲弹簧

磁回路中电流下降到某数值时,欠电流继电器动作,切断电源,从而起到欠电流保护的作用。因此现今的产品中,只有直流欠电流继电器,而没有交流欠电流继电器。直流欠电流继电器的吸合电流为线圈额定电流的 30%~65%,释放电流为线圈额定电流的 10%~20%。

电流继电器的动作值与释放值可通过调整反作用弹簧的方法来调整。旋紧弹簧,反作用力增大,吸合电流和释放电流都被提高;反之,旋松弹簧反作用力减小,吸合电流和释放电流都降低。

### 3. 电压继电器

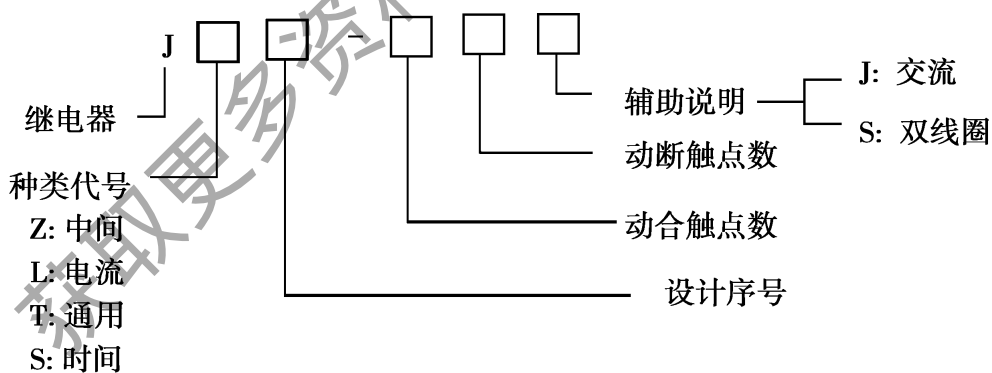
根据电压大小而动作的继电器称为电压继电器。电压继电器的线圈并联在负载两端,以反映负载两端电压的变化,所以线圈匝数多,导线细,阻抗大。根据实际应用的要求,电压继电器有过电压继电器和欠电压继电器之分。常用的电压继电器是 JT4 系列。

过电压继电器是在负载电压超过规定的限值时,衔铁吸合,从而通过触点切断电器设备的电源。显然过电压继电器是利用它的动断触点来完成这一任务的。过电压继电器的吸合电压调整为线路额定电压的 105%~120%。因为直流电路不会产生波动较大的过电压,所以在产品中并没有直流过电压继电器,只有交流过电压继电器。

欠电压继电器在电路正常时,衔铁处于吸合状态,当电压降低到释放电压时,衔铁释放,使触点动作,从而利用其触点切断电器设备的电源,显然欠电压继电器是利用它的动合触点来完成这一任务的。通常欠电压继电器的释放电压为线路额定电压的 40%~70%。

值得一提的是,交流接触器、中间继电器本身也具有欠电压和过电压保护的功能,故在机床控制线路中,常用交流接触器或中间继电器代替过电压和欠电压继电器进行过电压或欠电压保护。

电磁式继电器的型号意义:



例 2-2: JZ15-62J 表示交流中间继电器,设计序号为 15,动合触点数为 6,动断触点数为 2。

电磁式继电器在电气原理图中的符号如图 2-37 所示:

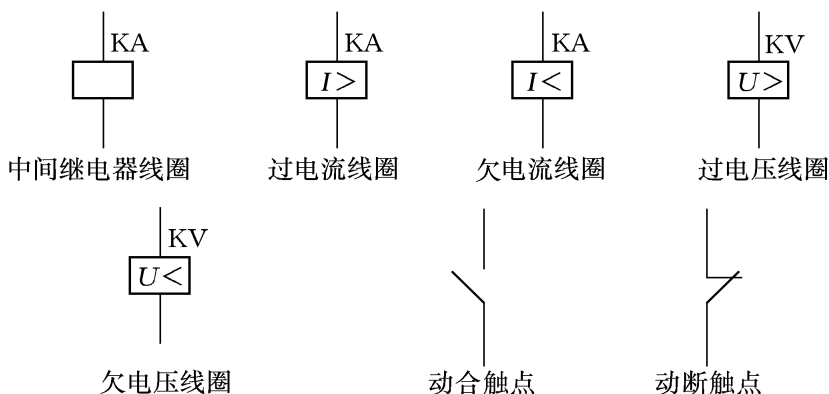


图 2-37 电磁式继电器的图形和文字符号

## 二、时间继电器

从得到信号开始经过一定延时才输出信号的继电器称为时间继电器。它被广泛用来控制生产过程中按时间原则制定的工艺程序。时间继电器的种类很多,按其工作原理可分为空气阻尼式、电动式、电子式、电磁式等;按延时方式可分为通电延时型和断电延时型两种。常用的时间继电器外形如图 2-38 所示。

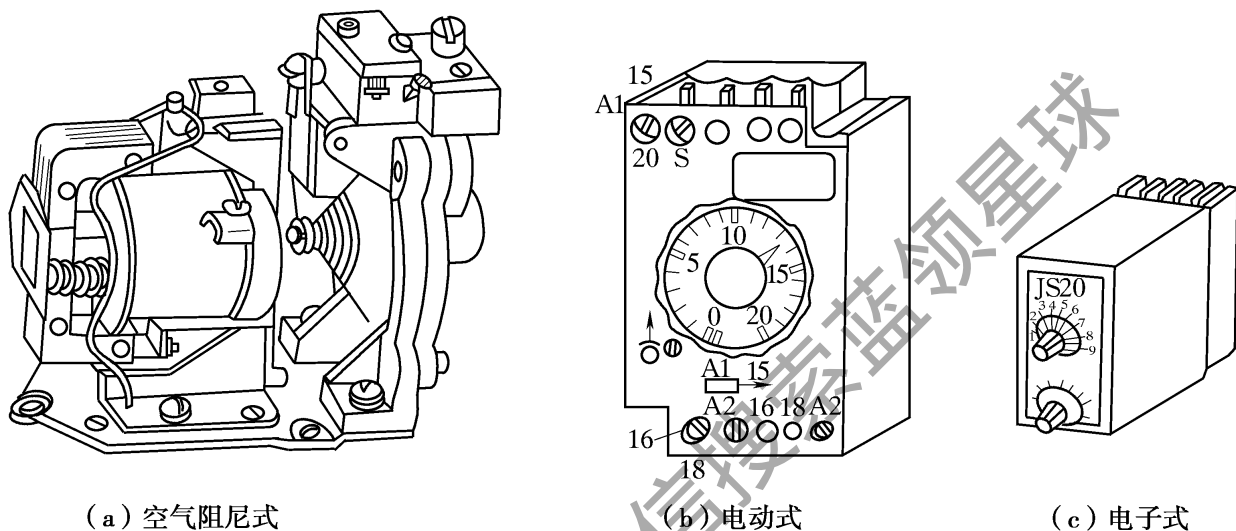


图 2-38 常用的时间继电器外形

### 1. 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器又称气囊式时间继电器,它是利用气囊中的空气通过小孔节流的原理来获得延时动作的。常用的是 JS7-A 系列,其动作原理如图 2-39 所示。

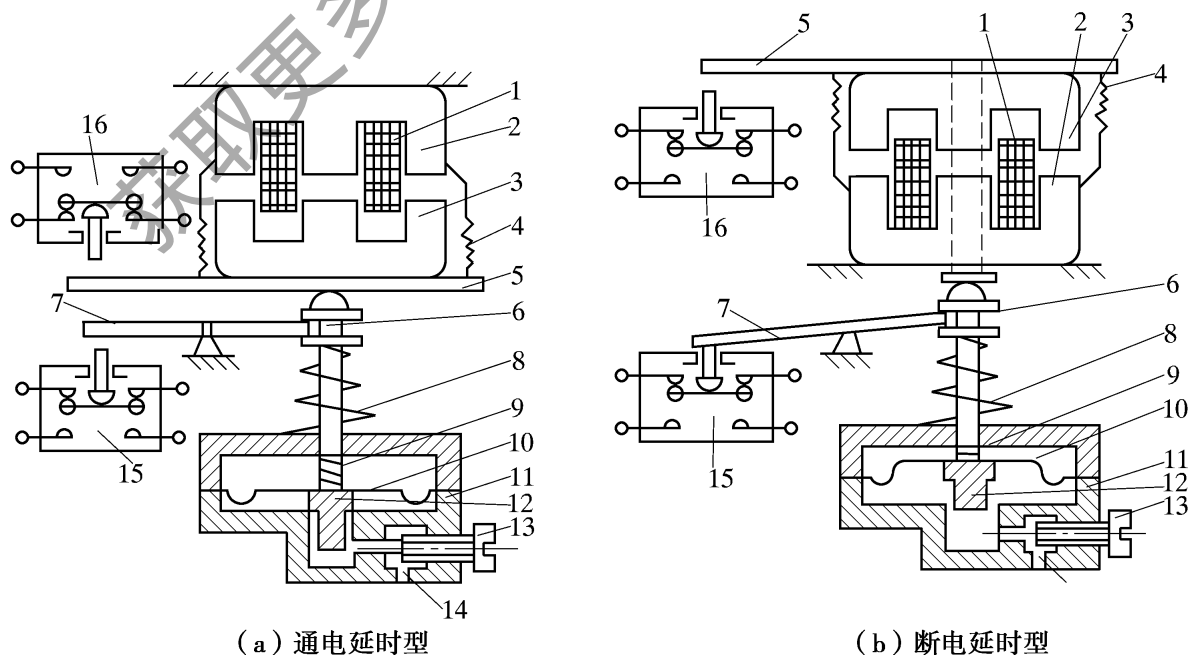


图 2-39 空气阻尼式时间继电器的动作原理

1—线圈; 2—铁心; 3—衔铁; 4—恢复弹簧; 5—推板; 6—活塞杆; 7—杠杆; 8—塔形弹簧; 9—弹簧;  
10—橡皮膜; 11—气室; 12—活塞; 13—调节螺钉; 14—进气孔; 15、16—微动开关

通电延时与断电延时两种时间继电器的组成元件是通用的,只要改变电磁机构的安装方向,便可获得两种不同的延时方式。当衔铁位于静铁心和延时机构中间时为通电延时型;当静铁心位于衔铁和延时机构中间时为断电延时型。

现以通电延时型为例说明其工作原理,当线圈通电后,衔铁吸合,活塞杆在塔形弹簧作用下带动活塞及橡皮膜向上移动,橡皮膜下方空气室内的空气变得稀薄,形成负压,活塞杆只能缓慢移动,其移动速度由进气孔的气隙大小来决定。经过一段延时后,活塞杆通过杠杆压动微动开关,使其触点动作,起到通电延时作用。由线圈通电到触点动作的一段时间即为时间继电器的延时时间,其长短可以通过调节螺钉调节进气孔的气隙大小来改变。

当线圈断电时,衔铁释放,橡皮膜下方的空气通过活塞肩部所形成的单向阀迅速地排出,使活塞杆、杠杆、微动开关等迅速复位。

断电延时型的工作原理与通电延时型相似,只是由于电磁铁的安装方向不同,当衔铁吸合时推动活塞复位,排出空气,触点迅速复位;当衔铁释放时,在空气阻尼作用下,实现断电延时。

在线圈通电和断电时,微动开关在推板的作用下都能瞬时动作,其触点即为时间继电器的瞬动触点。

空气阻尼式时间继电器的优点是:延时范围较大(0.4 s~180 s),且不受电压和频率波动的影响,可以做成通电和断电两种延时形式,结构简单,寿命长,价格低廉。其缺点是:延时误差大(±10%~20%),无调节刻度指示难以精确的整定延时值,延时值易受周围环境温度、尘埃的影响,对延时精度要求较高的场合,不宜采用这种时间继电器。

## 2. 电动式时间继电器

电动式时间继电器是由同步电机带动减速齿轮以获得延时的时间继电器。目前应用较普遍的为JS17系列。它适用于交流50 Hz、额定电压500 V及以下的自动控制线路中。JS17系列通电延时型电动式时间继电器的结构示意图如图2-40所示。

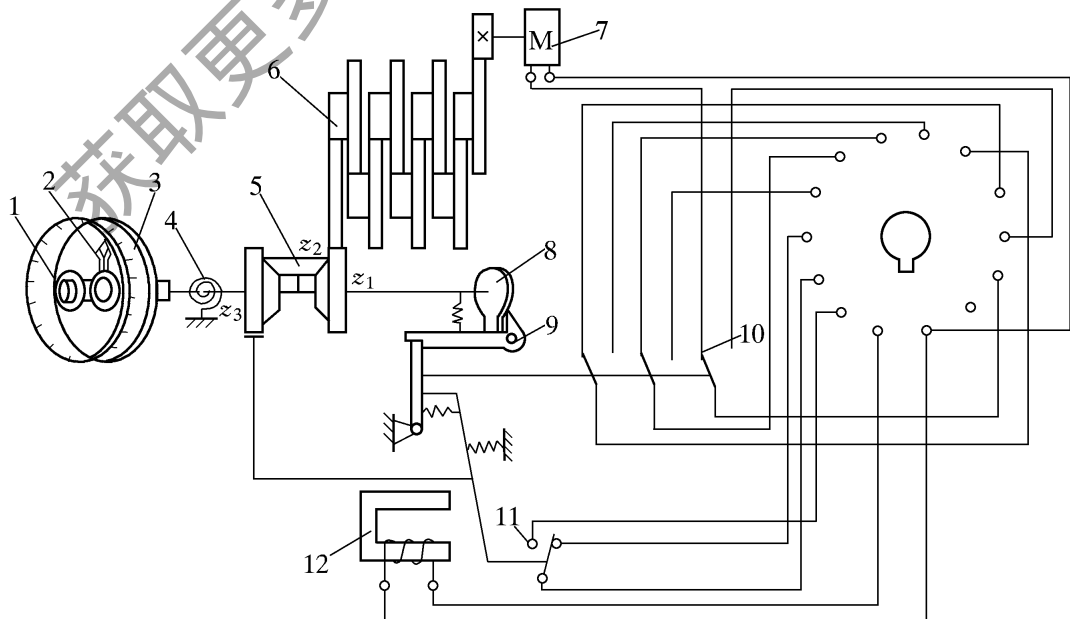


图 2-40 JS17 系列通电延时型电动式时间继电器的结构示意图

- 1—延时调整处; 2—指针; 3—刻度盘; 4—复位游丝; 5—差动轮系; 6—减速齿轮;  
7—同步电机; 8—凸轮; 9—脱扣机构; 10—延时触点; 11—瞬动触点; 12—离合电磁铁

当同步电动机接通电源后,经减速齿轮带动齿轮  $z_2$ 、 $z_3$  绕轴空转,但轴并不转动。若需延



时,接通离合电磁铁的线圈回路,使离合电磁铁动作,将齿轮  $z_3$  刹住,这样,齿轮  $z_2$  在继续转动过程中,还同时沿着齿轮  $z_3$  的伞形齿,以轴为圆心同轴一起作圆周运动,一旦固定在轴上的凸轮随轴转动到适当位置时,即预先延时整定的位置,将推动脱扣机构,使延时触点动作,并用一动断触点来切断同步电动机的电源。当需继电器复位时,可将离合电磁铁的线圈电源切断,这时所有机构将在复位游丝的作用下返回到动作前的状态,为下次延时作准备。

延时长短可通过改变整定装置中定位指针的位置,即改变凸轮的初始位置来实现,但定位指针的调整对于通电延时型时间继电器应在离合电磁铁线圈断电情况下进行。

由于电动式时间继电器应用的是机械延时原理,所以延时范围宽,其延时时间可在  $0\sim 72$  h 范围内调整,并且延时值不受电源电压波动及环境温度变化的影响,而且延时的整定偏差较小,一般在最大整定值的  $\pm 1\%$  范围内,这些是它的优点。其主要缺点是:机械机构复杂,成本高,不适宜频繁操作等。

### 3. 电子式时间继电器

电子式时间继电器也称为晶体管式时间继电器或半导体式时间继电器,除了执行继电器外,均由电子元件组成,具有机械结构简单、延时范围广、精度高、返回时间短、消耗功率小、耐冲击、调节方便和寿命长等优点。

电子式时间继电器种类很多,常用的是阻容式时间继电器。它利用电容对电压变化的阻尼作用来实现延时。其代表产品为 JS20 系列,JS20 系列有单晶体管电路及场效应管电路两种。图 2-41 为由单晶体管组成的通电延时型时间继电器的电路图。

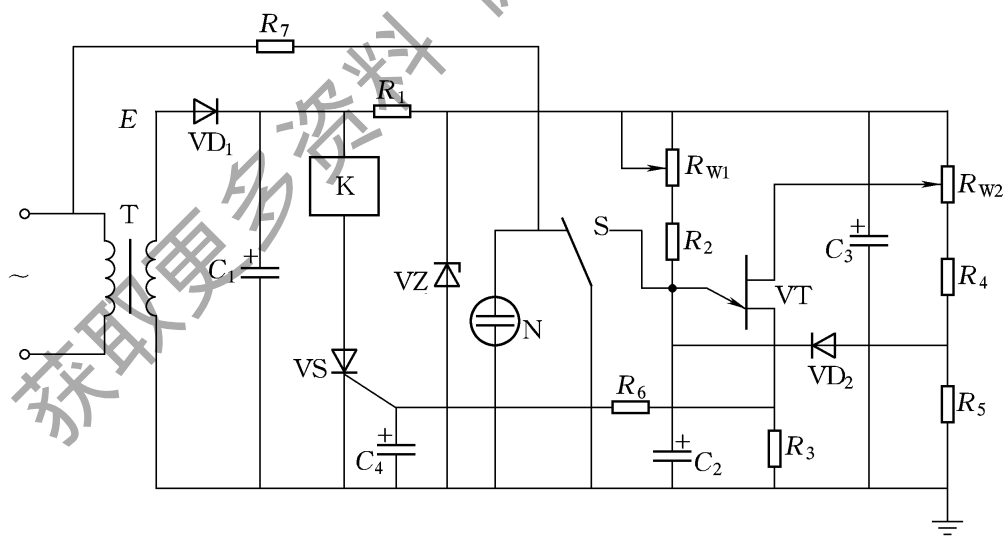


图 2-41 JS20 系列单晶体管时间继电器电路

全部电路由延时环节、鉴幅器、输出电路、电源和指示灯五部分组成。电源的稳压部分由  $R_1$  和稳压管  $VZ$  构成,供给延时和鉴幅电路;输出电路中的晶闸管  $VS$  和继电器  $K$  则由整流电路直接供电。电容  $C_2$  的充电回路有两条:一条是通过电阻  $R_{w1}$  和  $R_2$ ;另一条是通过由低阻值电阻  $R_{w2}$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  组成的分压器经二极管  $VD_2$  向电容  $C_2$  提供的预充电路。

电路的工作原理:当接通电源后,经二极管  $VD_1$  整流、电容  $C_1$  滤波以及稳压管  $VZ$  稳压的直流电压通过  $R_{w2}$ 、 $R_4$ 、 $VD_2$  向电容  $C_2$  以极低的时间常数快速充电。与此同时,也通过  $R_{w1}$  和  $R_2$  向该电容充电。电容上电压按指数规律逐渐上升,当此电压大于单晶体管的峰点电压  $U_p$

时,单晶体管导通,输出电压脉冲触发晶闸管 VS。VS 导通后使继电器 K 吸合,除用其触点来接通或分断外电路外,还利用其另一对动合触点将  $C_2$  短路,使之迅速放电,为下一次使用做准备。此时氖指示灯 N 起辉,晶闸管仍保持导通,除非切断电源,使电路恢复到原来状态,继电器 K 才释放。

由上可知,从时间继电器接通电源,  $C_2$  开始被充电,到继电器 K 动作为止的这段时间就是通电延时动作时间,只要调节  $R_{w1}$  和  $R_{w2}$  改变  $C_2$  的充电速度,就可调整延时时间。

JS20 系列电子式时间继电器产品品种齐全,具有延时时间长(用  $100\mu\text{F}$  的电容可获得 1 h 延时)、线路较简单、延时调节方便、性能较稳定、延时误差小、触点容量较大等优点。但也存在延时易受温度与电源波动的影响、抗干扰能力差、修理不便、价格高等缺点。时间继电器在电气原理图中的符号如图 2-42 所示。

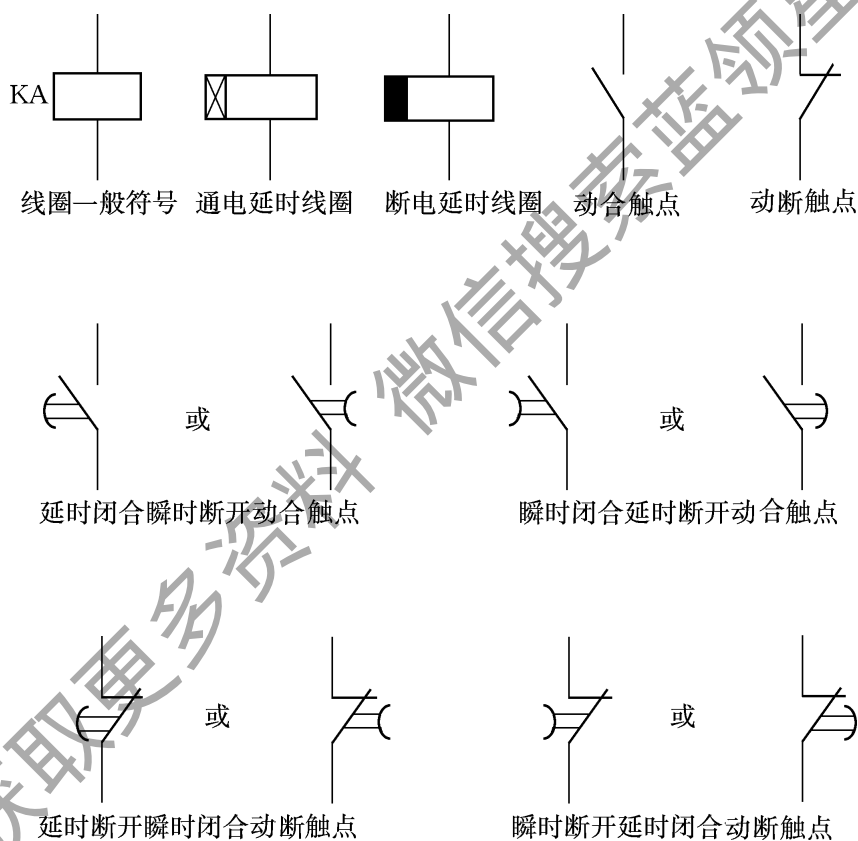


图 2-42 时间继电器在电气原理图中的符号

### 三、热继电器

在电力拖动系统中,当三相电动机出现长时间过载运行、缺相运行时,会导致电动机绕组严重过热乃至烧坏。因此,当电动机出现以上情况时,应立即切断电源,从而保护电动机。热继电器在电路中主要就是对三相交流电动机进行过载保护、断相保护、电流不平衡保护及其他电气设备发热状态的控制。常用的热继电器有 JR0 和 JR16 系列。

热继电器的形式有许多种,其中以双金属片式用得最多。双金属片式热继电器的基本结构由加热元件、主双金属片、温度补偿机构、动作机构、触点系统、电流整定装置和复位机构组成。

加热元件一般用康铜、镍铬合金材料制成,使用时将加热元件串联在被保护电路中,利用电流通过时产生的热量,促使主双金属片受热弯曲。主双金属片的加热方式有直接加热式、间接加

热式和复合加热式三种,其中间接加热式应用最普遍。

主双金属片是由两层热膨胀系数不同的金属片通过机械碾压方式成为一体,主动层材料采用较高膨胀系数的铁镍铬合金,被动层材料采用膨胀系数很小的铁镍合金。因此,双金属片在受热后将向被动层方向弯曲。

温度补偿机构也为双金属片,它能使热继电器的动作性能在 $-30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内基本上不受周围介质温度变化的影响,其受热弯曲方向与主双金属片的弯曲方向相同。

动作机构大多利用杠杆传递及弹簧跳跃式机构完成触点的动作。触点系统多为弓簧跳跃式动作。电流整定装置是通过调整推杆间隙,改变推杆移动距离,达到电流整定的调节。复位机构有手动和自动两种形式,可根据使用要求自由调整选择。

图 2-43 是双金属片式热继电器的工作原理示意图。

发热元件串联接入被保护电路中,在正常情况下,热元件产生的热量虽能使主双金属片弯曲,但还不足以使继电器动作。当电动机过载时,热元件产生的热量增大,使主双金属片弯曲位移增大,经过一定时间后,主双金属片向左弯曲到一定程度,推动导板,并通过补偿双金属片与推杆向右推动片簧,推到一定位置后,弓簧的作用方向改变,使片簧向左移动,将触点迅速分断。触点串接于接触器的线圈回路,断开后使接触器的线圈失电,接触器的动断主触点断开电动机的电源,从而保护了电动机。

凸轮是热继电器的电流整定装置,它是一个偏心轮,旋动调节凸轮的位置,将使杠杆的位置改变,同时使补偿双金属片与导板的距离改变,也就改变了使继电器动作所需要的主双金属片的挠度,即调整了热继电器的动作电流。

补偿双金属片是用来补偿周围介质温度的变化。如果没有它,当周围介质温度变化时,主双金属片的起始挠度随之改变,导板的推动距离也随之改变。有了补偿双金属片后,当周围介质温度变化时,主双金属片与补偿双金属片同时向一个方向弯曲,使导板与补偿双金属片之间的推动距离保持不变,这样继电器的动作特性将不受周围介质温度变化的影响。

热继电器可用调节螺钉将触点调成自动复位或手动复位。若要手动复位时,则将调节螺钉向左拧出,此时触点动作后就不会自动恢复原位,必须将手动复位按钮下按,迫使片簧退回原位,片簧立即向右动作,使触点闭合。若需自动复位时,则将调节螺钉向右旋入一定位置即可。

三相电动机缺相运行是造成三相异步电动机绕组烧坏的主要原因之一。如果热继电器保护的电动机是星形联结,当线路发生一相断电时,另外两相电流将增大很多,由于线电流等于相电流,流过热继电器的电流和流过电动机绕组的电流同样增大,普通的三相热继电器可以对此作出保护。但如果电动机绕组是三角形联结,发生断相时,由于电动机的线电流和相电流不等,流过

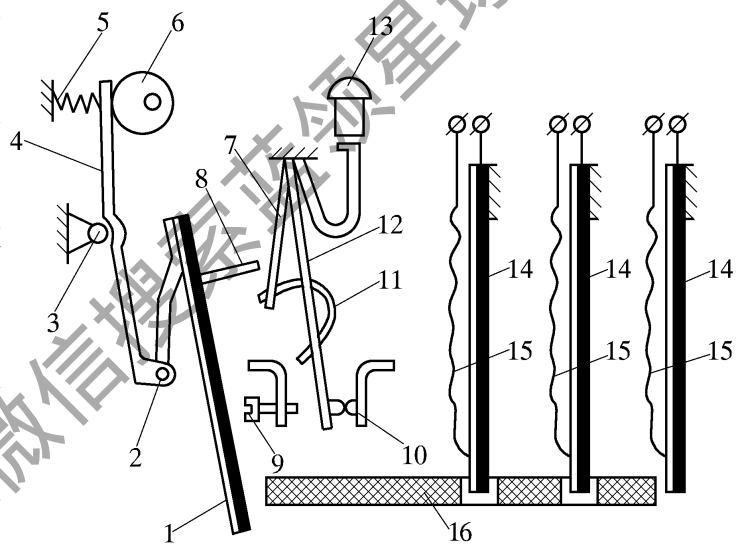


图 2-43 热继电器的工作原理示意图

- 1—补偿双金属片；2—销子；3—支承；4—杠杆；5—弹簧；  
6—凸轮；7、12—片簧；8—推杆；9—调节螺钉；10—触点；  
11—弓簧；13—复位按钮；14—主双金属片；15—发热元件；  
16—导板

热继电器的电流与流过电动机绕组的电流增加比例不同,而热继电器的发热元件是串联在电动机的电源进线中,是按电动机的额定线电流来整定的,整定值较大。当故障线电流还未达到动作电流,热继电器未动作时,在电动机绕组内部,电流较大的那一相绕组的故障电流已经超过它的额定电流,便有过热烧坏的危险,所以三角形接法的电动机必须采用带断相保护的热继电器。

热继电器的型号意义以及在电气原理图中的符号如图 2-44 所示。

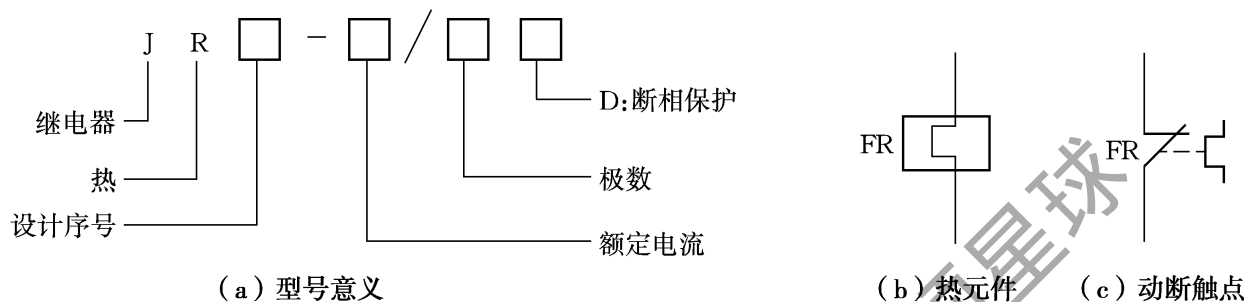


图 2-44 热继电器的型号和符号

#### 四、速度继电器

速度继电器又称为反接制动继电器,它的主要作用是与接触器配合,实现对电动机反接制动的控制。目前机床线路中常用的速度继电器为 JY1 系列和 JFZ0 系列,其外形及结构如图 2-45 所示。

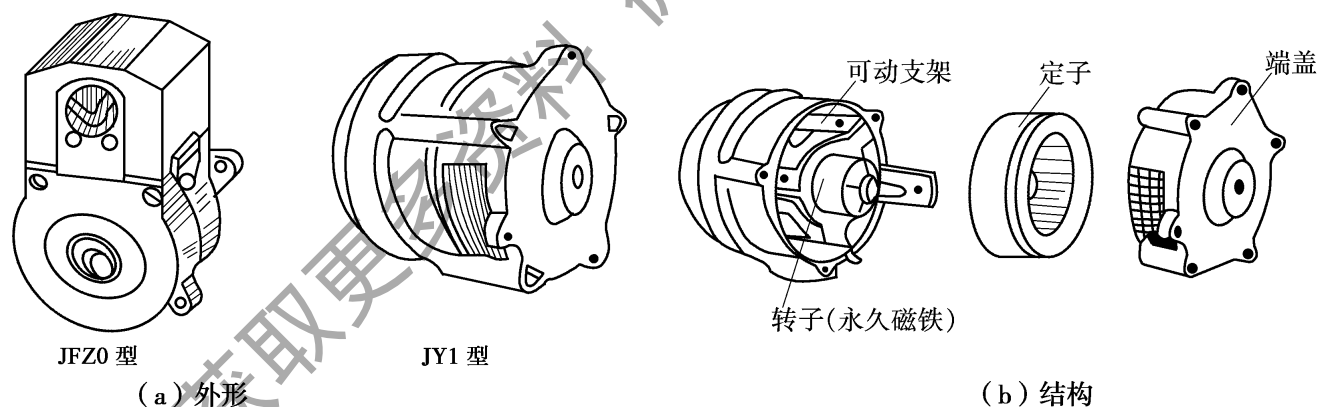


图 2-45 速度继电器外形及结构

速度继电器是靠电磁感应原理实现触点动作的。因此,从结构上看,与交流电动机相似,速度继电器主要由定子、转子、可动支架、触点系统、端盖等组成。定子由硅钢片叠成并装有笼形的短路绕组(与笼型式电动机的转子绕组相似);转子用一块永久磁铁制成。图 2-46 是感应式速度继电器的工作原理图。

速度继电器的轴与被控电动机的轴通过联轴器连在一起,当电动机旋转时,速度继电器转子也随同转轴一起转动,这样,永久磁铁制成的转子就会在转子周围的气隙中产生旋转磁场。此时,定子中嵌装的笼形绕组因切割磁力线而产生感应电动势和感应电流,载流短路绕组与旋转磁场相互作用产生与转子转向同方向的转矩,于是定子便沿着转轴的转动方向而偏转。定子的偏转带动与其固定在一起的支架偏转,支架的另一端通过轴带动顶块一起偏转,当定子偏转到一定程度时,顶块推动动触点弹簧片,使动断触点断开,继而动合触点闭合,电路正常工作。当电动机

进行反接制动时,转速开始下降,速度继电器转子转速也随之下下降,定子绕组中产生的感应电流也相应减小,从而使电磁转矩减小,顶块对动触点簧片的作用力也减小。当转子速度下降到一定数值时,顶块的作用力小于动触点簧片的反作用力,顶块返回到原始位置,对应的触点也复位,动合触点断开,切断电机电源,避免电动机反向起动。安装接线时,正、反触点不能接错,否则不能起到控制的目的。

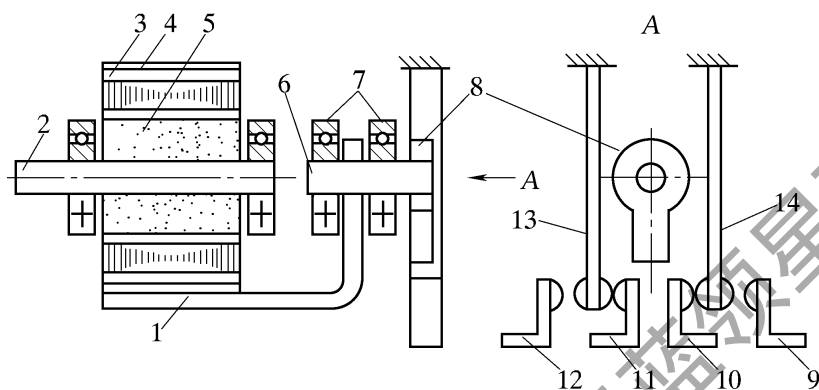


图 2-46 感应式速度继电器的工作原理图

1—支架; 2、6—轴; 3—笼型绕组; 4—定子; 5—转子; 7—轴承;  
8—顶块; 9、12—动合触点; 10、11—动断触点; 13、14—动触点簧片

JY1 系列能以 3 600 r/min 的转速可靠工作; 在 JFZ0 系列中, JFZ0-1 型适用于转速 300~1 000 r/min 的情况, JFZ0-2 型适用于转速 1 000~3 600 r/min 的情况。一般速度继电器转轴转速达到 120 r/min 以上时,触点即动作,当转轴速度低于 100 r/min 时,触点即复位。速度继电器在电气原理图中的符号如图 2-47 所示。

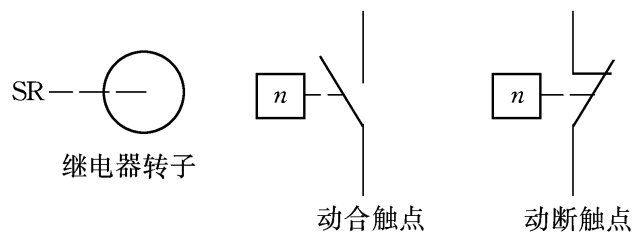


图 2-47 速度继电器电气符号

## 五、各种继电器的常见故障及排除方法

电磁式继电器的结构与接触器相似,出现的故障也基本与接触器相同。

机床控制系统中常用的时间继电器多为空气阻尼式,空气阻尼式时间继电器的主要故障是延时不准确。其原因一是在使用一段时间或经过拆卸后,空气室密封不严,或者橡皮膜老化,以及弹簧疲劳等,这样会使动作延时缩短,甚至不产生延时;二是有灰尘进入空气室,使空气通道受到阻塞,甚至堵塞了进气孔,则延时就会变得很长。出现以上故障时应拆开空气室进行清洗,或更换零件即可。

热继电器的常见故障及排除方法如表 2-7 所示。

表 2-7 热继电器的常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
热元件烧断	负载侧短路,电流过大	排除故障,更换热继电器
	操作频率过高	更换合适参数的热继电器

续表

故障现象	原因分析	排除方法
热继电器不动作	额定电流值选用不合适	按保护容量合理选择
	整定值偏大	合理调整整定值
	动作触点接触不良	消除接触不良因素
	热元件烧断或脱焊	更换热继电器
	动作机构卡阻	消除卡阻因素
	导板脱出	重新放入并调试
热继电器动作不稳定,时快时慢	内部机构某些部件松动	将这些部件紧固
	在检修中弯折了双金属片	用两倍电流预试几次,或将双金属片拆下来热处理(一般约 240°C),以去除内应力
	通电电流波动太大	检查电源电压
热继电器动作太快	整定值偏小	合理调整整定值
	连接导线太细	选用标准导线
	操作频率太高	更换合适的型号
	使用场合有强烈的冲击和振动	选用防振动的或采取防振措施
主电路不通	热元件烧断	更换热元件或热继电器
	接线螺钉松动或脱落	紧固接线螺钉
控制电路不通	触点烧坏或动触点簧片弹性消失	更换触点或簧片
	热继电器动作后未复位	按动复位按钮

速度继电器常见故障及排除方法如表 2-8 所示。

表 2-8 速度继电器常见故障及排除方法

故障现象	原因分析	排除方法
速度继电器转速较高时,动合触点也不闭合	速度继电器胶木柄断裂	调换胶木柄,或用环氧树脂黏合
	动合触点接触不良	修复触点,清洁触点表面,调整簧片位置与压力
	弹性动触片断裂	更换动触片
	正、反触点接错	调换正、反触点
	转子永久磁铁失磁	更换转子或充磁
动作值不正常	反力弹簧调整不当	重新调节调整螺钉位置
	部件松动	紧固各相关部件
	触点接触不良	擦拭修理触点
	安装不牢有滑动现象	重新安装

## 第五节 可编程序控制器 (PLC)

早期的控制系统是用导线将各种继电器、接触器及其触点按一定的逻辑关系连接起来的。由于它简单易懂、使用方便、价格低廉,在一定范围内能满足控制要求,因而,在工业控制领域中得到广泛应用,并曾占主导地位。但是这种继电器接触器控制系统采用的是固定接线方式,是一种

专用控制装置,一旦生产过程有所变动,就得重新设计线路并连接安装。因此,这种控制系统的通用性和灵活性较差,不利于产品的迅速更新换代。

可编程序控制器最初主要由分立元件和中小规模集成电路组成,它采用了一些计算机技术,但简化了计算机的内部电路,一般只具有逻辑运算功能。随着微电子技术,特别是微型计算机的迅速发展,微处理器被应用到可编程序控制器中,使可编程序控制器更多地具有计算机的功能,真正成为一种工业控制用的计算机。这种采用了计算机技术的工业控制装置,被命名为可编程序控制器(Programmable Controller),缩写为PC,为了和个人计算机相区别,把它缩写为PLC。

PLC的类型多,型号各异,各生产厂家的规格也各不相同,通常按以下两种情况分类:

### 1. 根据容量分类

PLC的容量主要是指PLC的输入/输出(I/O)点数。按照PLC的输入/输出点数可将PLC分为微型(64点及以下)、小型(64~256点)、中型(256~2 048点)、大型(2 048点以上)四种。

### 2. 按结构形式分类

按结构形式不同,PLC可分为箱体式结构和模块式结构两类。

箱体式结构,又称整体式结构,它是将PLC的基本部件,如CPU板、输入板、输出板、电源板等很紧凑的安装在—个标准机壳内,构成一个整体,组成PLC的一个基本单元,基本单元上设有扩展端子,通过扩展电缆与其他扩展单元相连,以构成PLC的不同配置。箱体式结构的PLC体积小、成本低、安装方便,微型和小型PLC采用这种结构形式的比较多。

模块式结构的PLC由一些标准模块单元构成。将这些标准模块如CPU模块、输入模块、输出模块、电源模块等,插在框架上或基板上即可组装而成。各模块功能是独立的,外形尺寸是统一的,插入什么模块可根据需要灵活配置。目前中、大型PLC多采用这种结构形式。

## 一、可编程序控制器(PLC)和单片机控制的区别

可编程序控制器(PLC)和单片机均可用于工业控制中,单片机具有结构简单、使用方便、价格比较低等优点,但由于单片机不是专门针对工业现场的自动化控制而设计的,因此与PLC相比有以下缺点:

### 1. 单片机不如PLC容易掌握

单片机一般要用机器指令或助记符编程,这就要求设计人员具有一定的计算机硬件和软件知识,对于只熟悉机电控制的技术人员来说,需要一段时间的学习才能掌握。PLC本身虽是微机系统,但提供给用户使用的是电控人员熟悉的梯形图语言,使用的术语仍然是“继电器”一类的术语,大部分指令与继电器触点的串、并联相对应,这就使熟悉机电控制的工程人员一目了然。对于使用者来说,不必去关心微机的一些技术问题,而只要用较短的时间去熟悉PLC的指令系统及操作方法,就能熟练使用。

### 2. 单片机不如PLC使用简单

用单片机来实现自动控制,一般要在I/O接口上做大量工作,例如要考虑现场与单片机的连接、接口的扩展、I/O信号的处理、接口的工作方式等问题,除了要设计控制程序,还要在单片机的外围做很多软件和硬件方面的工作,调试起来也比较麻烦。而PLC的I/O接口已经做好,输入接口可以与输入信号直接连线,非常方便。输出接口具有一定的驱动能力,例如继电器输出,其输出触点容量可达220 V、2 A。且I/O接口均有光电耦合环节,抗干扰能力强。

### 3. 单片机不如 PLC 可靠

用单片机做工业控制,突出问题就是抗干扰性能差。而 PLC 是专门应用于工业现场的自动控制装置,在系统硬件和软件上都采取了抗干扰措施,例如光电耦合、自诊断、多个 CPU 并行操作、冗余控制技术等。

当然 PLC 在数据采集、数据处理等方面不如单片机。今后 PLC 与单片机将继续共存,在一个控制系统中,使 PLC 集中在功能控制上,而单片机集中在数据采集和信息处理上,两者相辅相成,共同发展。

## 二、可编程序控制器 (PLC) 的基本结构

PLC 实质是一种工业控制计算机,它的组成基本上与微机系统相同,从硬件结构上看,一般由中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出 (I/O) 接口、电源、编程器等五部分组成。

### 1. 中央处理器 (CPU)

中央处理器是 PLC 的大脑,其主要用途是处理和运行用户程序,针对外部输入信号做出正确的逻辑判断,并将结果输出给有关部分,以控制生产机械按既定程序工作。另外,CPU 还对其内部工作进行自动检测,并协调 PLC 各部分工作,如有差错,它能立即停止运行。

不同型号 PLC 的 CPU 芯片是不同的,有的采用通用的 MCS-51 系列单片机,如 8031、8051、8751 等;也有采用厂家自行设计的专用 CPU 芯片(如西门子公司 S7-200 系列 PLC 均采用其自行研制的专用芯片)。CPU 芯片的性能关系到 PLC 处理信号的能力与速度,随着芯片技术的不断发展,PLC 所用的 CPU 芯片也越来越高档。

### 2. 存储器

有了存储器,PLC 才有了记忆功能,才能预先把待解决问题的一步操作指令的形式编成程序保存起来。PLC 的存储器包括系统存储器和用户存储器两部分。

系统存储器用来存放由 PLC 厂家编写的系统程序,并固化在 ROM 内,作为机器的一部分提供给用户,用户不能更改。它使 PLC 具有基本智能,能够完成设计者规定的各项任务。系统程序主要包括三部分:第一部分为系统管理程序,它主管控制 PLC 的运行,使整个 PLC 按部就班地工作;第二部分为用户指令解释程序,通过它将 PLC 的编程语言变为机器语言指令,再由 CPU 执行这些指令;第三部分为标准程序模块与系统调用,它包括许多不同功能的子程序及其调用管理程序。

用户程序存储器用来存放用户针对具体控制任务,用规定的编程语言编写的各种用户控制程序。可以是 RAM 或 EPROM,其内容可以由用户任意修改或增删。

### 3. 输入/输出 (I/O) 接口

输入/输出 (I/O) 接口是 PLC 与外界连接的接口。输入接口用来采集两种类型的输入信号,一类是由按钮、选择开关、行程开关、继电器触点等输入的开关信号量;另一类是由电位器、测速发电机和各种变送器等输入的模拟信号量。输出接口用来连接被控对象中各种执行元件,如接触器、电磁阀、指示灯、调节阀、调速装置等。

### 4. 电源

PLC 内有一个开关式稳压电源,此电源一方面可为 CPU 板、I/O 板及扩展单元提供工作电源 (5 VDC),另一方面可为外部输入元件提供 24 VDC 的电压。PLC 一般采用锂电池作停电时



的后备电源。

### 5. 编程器

编程器的作用是供用户进行程序的编制、编辑、调试和监视。编程器有简易型和智能型两类。简易型的编程器只能联机编程,且往往需要将梯形图转化为机器语言助记符(指令)表后,才能输入。它一般由简易键盘和发光二极管或其他显示器件组成。智能型的编程器又称图形编程器,它可以联机编程,也可以脱机编程,具有 LCD 或 CRT 图形显示功能,可以直接输入梯形图和通过屏幕对话,也可以利用普通微机(如 IBM-PC)作为编程器,这时微机应配有相应的软件包,若要直接与编程器通信,还要配有相应的通信电缆。

## 三、可编程序控制器(PLC)的工作原理

PLC 是一个执行逻辑功能的工业控制装置,可以把其组成的控制电路画成类似于我们熟悉的继电器接触器控制的等效电路,如图 2-48 所示。

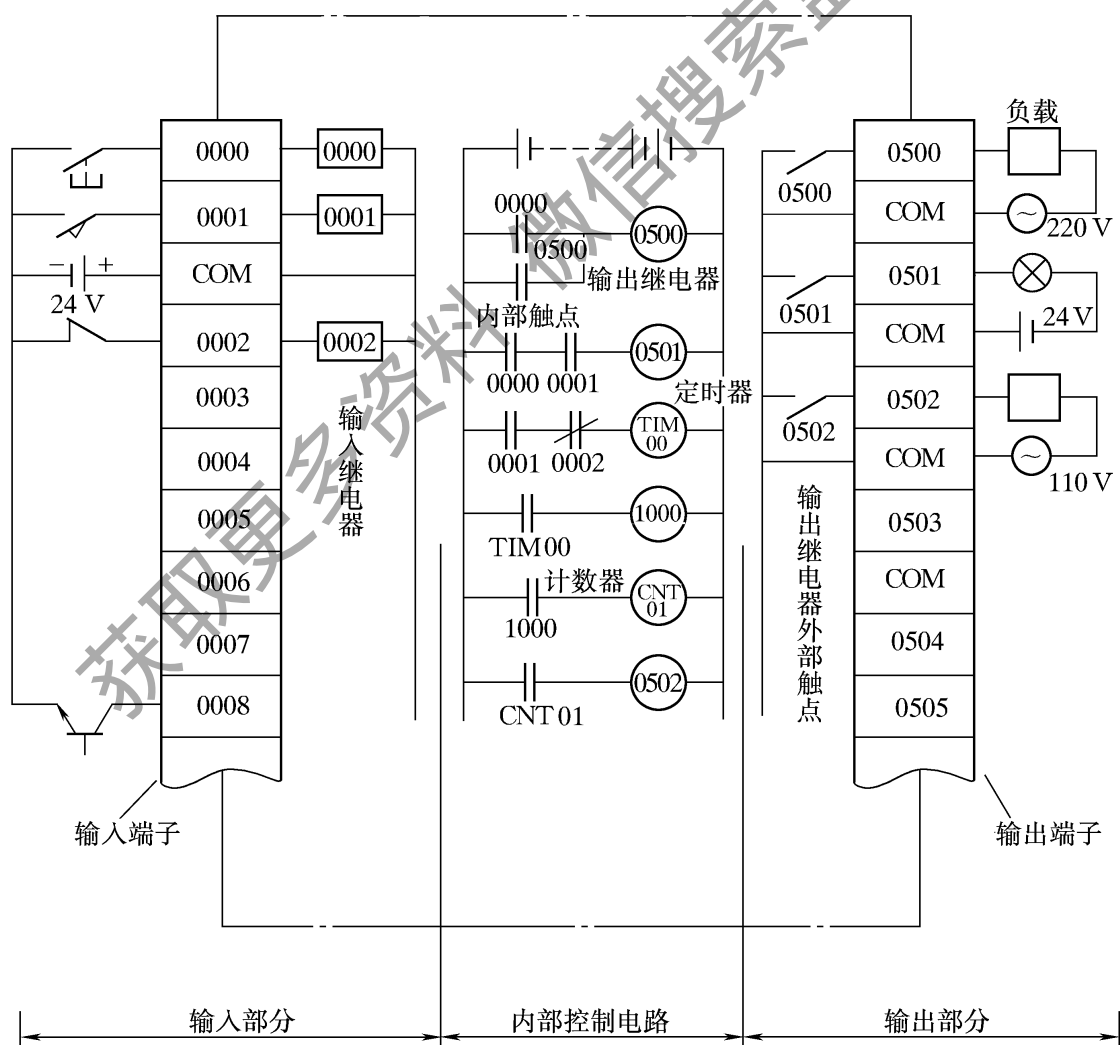


图 2-48 PLC 的等效电路

PLC 的等效电路可分为三部分：输入部分、内部控制电路、输出部分。

#### 1. 输入部分

输入部分的等效电路如图 2-49 所示,按钮、行程开关等为输入信号。例如按下按钮,PLC 内部电源经过按钮、RC 滤波器至光电耦合器形成回路。VL1 为发光二极管 LED,在 VL1 发光的激励下,光电晶体管导通,驱动内部电路接通或断开。VL2 亦是 LED,装在主机面板上,用以指示信号输入状态。发光二极管和光电晶体管的导通相当于继电器线圈接通,内部线路的通断相当于继电器动合、动断触点的通断。因此,每一个输入单元电路都可以等效成一个输入继电器,这样的继电器称为软继电器,软继电器的线圈、动合、动断触点的符号如图 2-50 所示。

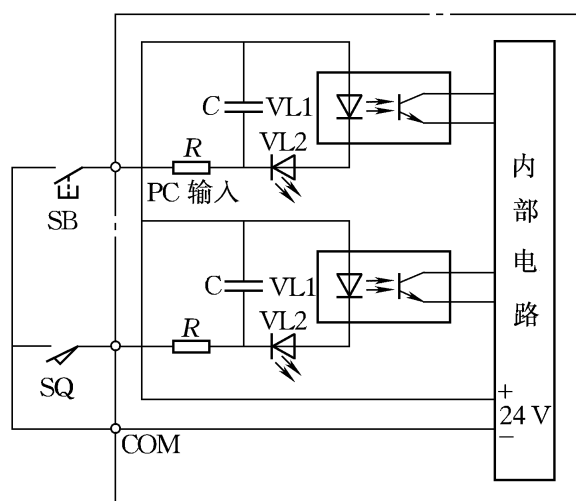


图 2-49 输入部分的等效电路

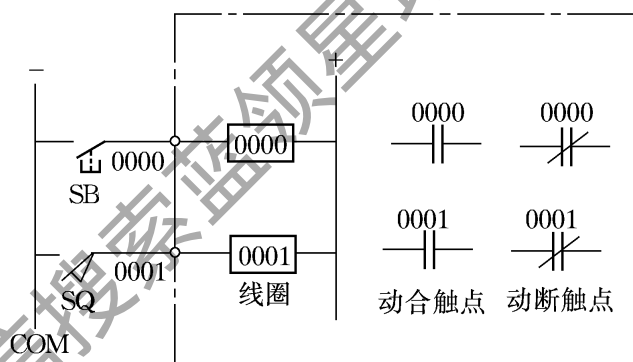


图 2-50 输入继电器等效电路

输入继电器只能由外部输入信号驱动,而不能由程序中的指令来驱动,其触点也不能直接输出带动负载。由于软继电器动合、动断触点代表内部电路通断,因而其动合、动断触点可以多次被使用,没有数量限制。等效电路中的一个输入继电器,实际对应于 PLC 输入端的一个输入点,例如一个 PLC 有 16 点输入,那么它相当于有 16 个微型输入继电器,它们在 PLC 内部与输入端子相连,并提供 PLC 编程时使用的许多动合和动断触点。

## 2. 内部控制电路

内部控制电路由用户根据控制要求编制的程序组成。PLC 内部有许多类型的内部继电器供编程使用,常用的有通用辅助继电器、定时器、计数器等,这些器件也都是软器件。编写的程序(如梯形图)就是将这些软器件按照一定的控制要求进行内部软连线。

(1) 通用辅助继电器(如图 2-48 中的 1000) 它如同中间继电器一样,在 PLC 内部起传递信号的作用。

(2) 定时器(如图 2-48 中的 TIM00) 相当于时间继电器,延时时间可用程序设定,当定时器线圈接收到输入信号后,按数值递减的方式进行延时,当前数值减为 0 时,定时器触点动作,即动合触点闭合,动断触点断开。当定时器的输入信号取消时,定时器复位,所谓复位即动合触点断开,动断触点闭合,定时器的数值复原到设定值。

(3) 计数器(如图 2-48 中的 CNT01) 计数器的计数值根据程序需要由程序设定。计数器有一个时钟脉冲端,每收到一个脉冲信号,就将当前值减 1,直到计数器当前值为 0 时,计数器线圈通电,它的多对动合触点闭合,动断触点断开,可以在 PLC 内被选择使用。计数器通过复位端输入复位信号,使计数器线圈断电,触点复位。

### 3. 输出部分

输出部分的作用是驱动外部负载。PLC 输出电路有继电器输出、晶体管输出及晶闸管输出等,因为晶体管输出只有直流输出,晶闸管输出只有交流输出,所以在实际使用中继电器输出用的较多。图 2-51 为继电器输出电路,当晶体管 VT 被执行的程序激励后导通,则在主机面板上的发光二极管 VL 发光,作为输出信号指示用。同时继电器 0500 线圈接通,其动合触点闭合,接通负载  $R_L$  电路,负载电源根据负载性质配置,在公共输出端 COM 必须串有熔丝 FU,防止负载短路后损坏 PLC。

图 2-51 中每一输出单元 0500、0501 都可当作一个输出继电器,其等效电路见图 2-52 所示。PLC 每一个输出端子对应一个输出继电器,假设一个 PLC 输出点数为 40 点,那么其内部就相当于有 40 个输出软继电器。每个输出软继电器可提供无数对供编程使用的内部动合和动断触点。

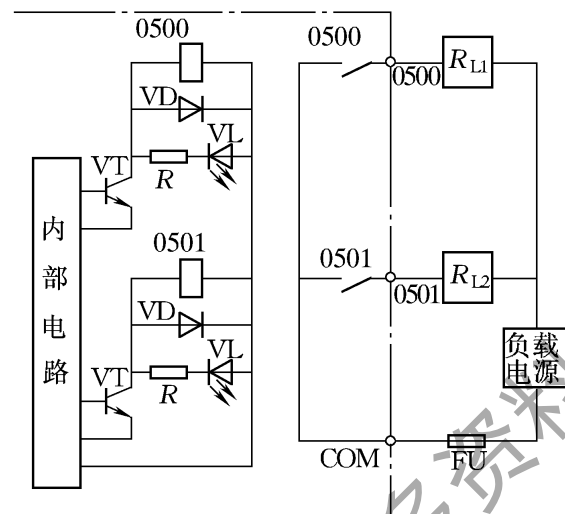


图 2-51 继电器输出电路

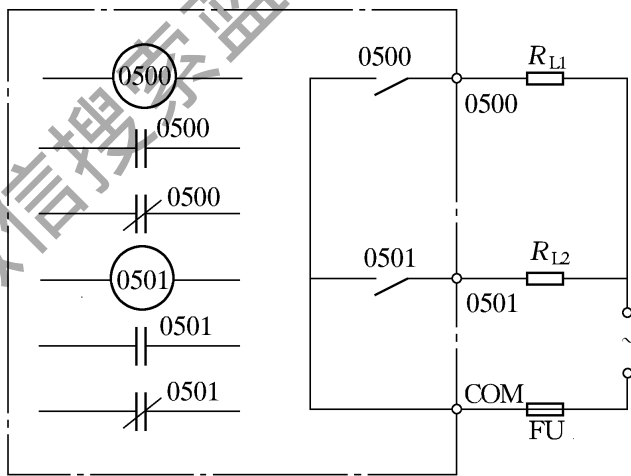


图 2-52 输出继电器等效电路

现以简单的三相笼型式异步电动机起动、停止控制电路为例,来看 PLC 构成控制系统的基本过程,以加深对上述等效电路的理解。图 2-53 给出了电动机的继电接触器控制电路,当按下起动按钮 SB1 时,交流接触器 KM 的线圈通电,其主触点闭合,电动机运行,同时 KM 的另一辅助触点也闭合,使接触器自锁。当按下停止按钮 SB2 时,KM 线圈断开,电动机停转。

采用 PLC 组成的电动机起动、停止控制电路的硬件接线如图 2-54 (a) 所示。其电气线路的主电路仍如图 2-53 (a) 所示。在 PLC 的输入端 0000 接起动按钮 SB1,0001 接停止按钮 SB2,在 PLC 的输出端 0500 接接触器线圈 KM,输入、输出公共端 (COM) 分别接电源。将图 2-54 (b) 所示的梯形图程序键入 PLC 内,PLC 即可按照这一控制程序工作。

当按下 SB1 时,输入继电器 0000 线圈接通,内部控制电路中的动合触点 0000 闭合,输出继电器 0500 线圈通电,输出端的 0500 动合触点闭合,接触器 KM 线圈通电,主触点闭合,电动机运转。同时内部控制电路中的动合触点 0500 也闭合,完成自锁。当按下按钮 SB2 时输入继电器 0001 线圈接通,在内部控制电路的动断触点 0001 断开,输出继电器 0500 线圈断电,其动合触点断开,KM 线圈断电,电动机停转。

从此例可以看到,继电接触器控制是将各自独立的器件及其触点以固定接线方式来实现控

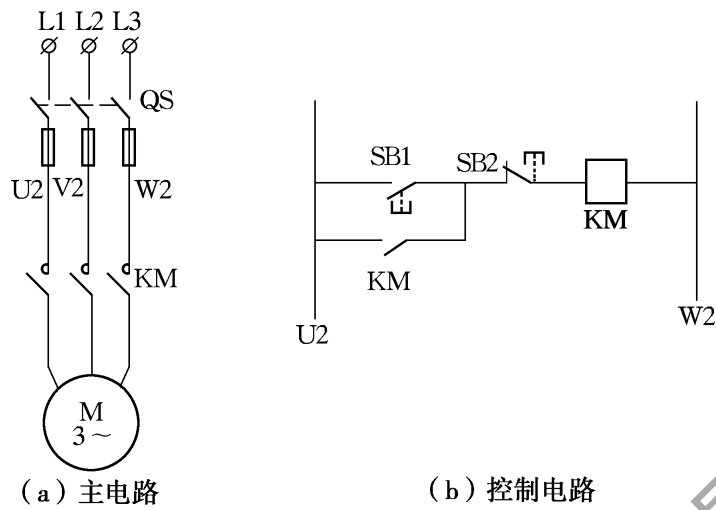


图 2-53 继电器接触器组成的三相电动机起/停控制线路

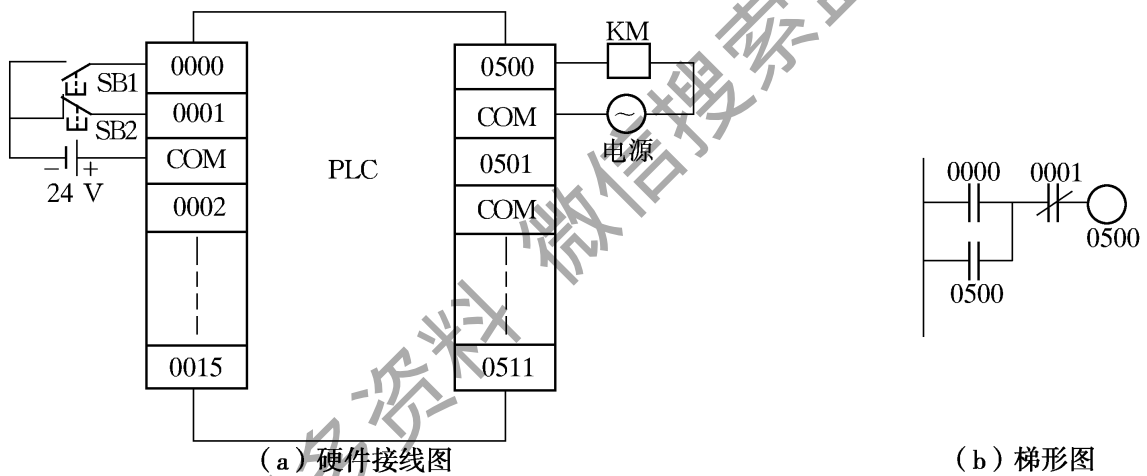


图 2-54 PLC 组成的三相电动机起/停控制线路

制要求的；而 PLC 将控制要求以程序形式（软件连接）存储在其内部，送入存储器中的程序内容就相当于继电器接触器控制的各种线圈、触点和接线。这种存储程序的控制，当需要改变控制要求时，只需修改程序，而不用改变接线，因而增加了控制的灵活性和通用性。

PLC 与继电器接触器控制的重要区别之一就是工作方式不同，继电器接触器控制是按“并行”方式工作的，也就是说同时执行方式工作的，只要形成电流通路，就可能有几个电器同时动作。而 PLC 是反复扫描的工作方式，它是循环地、顺序逐条执行程序，任一时刻它只能执行一条指令，这就是说 PLC 是以“串行”方式工作。

#### 四、可编程序控制器 (PLC) 的常见故障及原因

PLC 的优点之一是具有高度可靠性，机器无故障时间可达 4~5 万小时。但是，PLC 的本质是以弱电工作的电子设备，也就不可避免地存在着适应环境差的固有弱点，如果使用不当和环境条件恶化，仍会增加故障率。PLC 常见故障及原因如表 2-9 所示。

表 2-9 PLC 常见故障及原因

故障部位	故障现象	故障原因
CPU 单元	误运算	噪声干扰 电源电压剧烈变化 CPU 故障
	运算滞后	CPU 故障 存储器故障 程序语法错误 语句过长 噪声引起的 CPU 误动作
存储器单元	程序消失	RAM 性能不良或插座接触不良 电池电压降低或接触不良 写入错误
	部分程序变化	噪声干扰或电源异常引起 CPU 误动作 外部设备误操作
电源单元	过电流造成熔丝熔断或产生过电压	金属屑落入, 引起短路 电源单元内的稳压控制电路故障 CPU、I/O 单元内部器件故障, 产生过电流
输入单元	输入全部不接通	外部输入电源未接通或电源电压过低。 接线端子螺丝松动 输入回路接触不良
	输入信号不稳定	印制电路板焊接不良 输入单元的器件故障 连接器、电缆接触不良 输入信号设备的输出配线故障
输出单元	全部无输出	CPU 单元上的输出器件故障 扩展电缆、机架故障 输出电源故障、断线
	特定的输出部分无输出	输出单元器件故障 印制电路板上线路断裂 输出继电器故障 输出侧配线断线、脱线
	特定输出不关断	输出继电器不良 存在漏电流和残余电压 程序 OUT 指令的继电器编号重复使用

## 复习思考题

### 一、填空题

1. 常用的低压开关主要类型有 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 等。

2. 刀开关安装时,手柄要\_\_\_\_\_,不得倒装或平装,否则在分断状态下,手柄有可能松动落下引起误合闸,造成人身安全事故。接线时进线和出线不能接反,\_\_\_\_\_接在上端,\_\_\_\_\_接在熔丝下端,否则在更换熔丝时会发生触电事故。
3. 组合开关按操作机构可分为\_\_\_\_\_型和\_\_\_\_\_型两种。
4. 低压断路器集\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_于一身,除能完成\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_电路外,还能对电路或电气设备发生的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_及\_\_\_\_\_等故障进行保护。
5. 按钮开关按静态时触点的分合状况可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
6. 为了便于识别各个按钮的作用,一般常以\_\_\_\_\_色代表停止,\_\_\_\_\_色或\_\_\_\_\_色代表起动。
7. 行程开关按其动作及结构可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
8. 接近开关的功能是当有某种物体与之接近到一定距离时就发出\_\_\_\_\_,从而控制\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_,而不像机械式行程开关那样需要施加机械力。
9. 熔断器在电力拖动系统中是用来作\_\_\_\_\_的器件。在使用时,熔断器\_\_\_\_\_在所保护的电路中。在机床控制线路中,通常采用螺旋式熔断器,为保证维修安全,在装接使用时,电源线应接在\_\_\_\_\_,负载线应接在\_\_\_\_\_。
10. 接触器按主触点通过电流的种类,可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
11. 交流接触器的铁心及衔铁一般用硅钢片叠压铆成,以减小\_\_\_\_\_在铁心中产生的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_,防止铁心过热。
12. 继电器与接触器比较,继电器触点的\_\_\_\_\_很小,一般不设\_\_\_\_\_。
13. 中间继电器与接触器所不同的是:触点对数较多,并且没有\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_之分,各对触点允许通过的额定电流一般为\_\_\_\_\_。
14. 根据实际应用的要求,电流继电器有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
15. 热继电器的主双金属片是由两种\_\_\_\_\_的金属片制成,材料多为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_合金。
16. 空气阻尼式时间继电器又称\_\_\_\_\_时间继电器。它是利用\_\_\_\_\_通过\_\_\_\_\_原理来获得延时动作的。
17. 一般速度继电器转轴转速达到\_\_\_\_\_ r/min 以上时,触点即动作,当转轴速度低于\_\_\_\_\_ r/min 时,触点即复位。
18. 微型计算机系统由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两部分组成。
19. MCS-51 系列单片机都是双列直插式\_\_\_\_\_脚封装,其中第 9 脚是\_\_\_\_\_引脚。
20. 继电接触器控制装置,采用的是\_\_\_\_\_接线方式,一旦生产过程有所变动,就得重新设计线路并连接安装。因此,这种控制系统的\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_较差。而 PLC 组成的控制系统是通过存放在\_\_\_\_\_内的\_\_\_\_\_来实现控制的,

当需要改变控制要求时,只需要修改\_\_\_\_\_就行,而不用改变接线。

## 二、选择题

1. 低压开关一般为\_\_\_\_\_。  
A. 非自动切换电器      B. 自动切换电器      C. 半自动切换电器
2. 有限位型组合开关只能在\_\_\_\_\_范围内旋转。  
A. 45°      B. 90°      C. 180°
3. DZ5-20 型低压断路器的电磁脱扣器用作\_\_\_\_\_。  
A. 过载保护      B. 短路保护      C. 欠压保护
4. 按下复合按钮时\_\_\_\_\_。  
A. 动断先闭合      B. 动合先断开      C. 动断、动合同时动作
5. 微动型行程开关的触点动作速度与操作速度\_\_\_\_\_。  
A. 成正比      B. 成反比      C. 无关
6. 最常用的接近开关为\_\_\_\_\_。  
A. 光电型      B. 电磁感应型      C. 高频振荡型
7. RL1 系列熔断器的熔管内填充石英砂是为了\_\_\_\_\_。  
A. 绝缘      B. 防护      C. 灭弧
8. 硅半导体元件的短路保护应采用\_\_\_\_\_。  
A. 一般熔断器      B. 快速熔断器      C. 自复式熔断器
9. 交流接触器短路环的作用是\_\_\_\_\_。  
A. 消除铁心振动      B. 增大铁心磁通      C. 减缓铁心冲击
10. 交流接触器线圈电压过低将导致\_\_\_\_\_。  
A. 线圈电流显著增大      B. 线圈电流显著减小      C. 涡流显著减小
11. 直流接触器一般采用\_\_\_\_\_灭弧装置。  
A. 双断点电动力      B. 栅片      C. 磁吹式
12. 热继电器主要用于保护电动机的\_\_\_\_\_。  
A. 短路      B. 过载      C. 欠压
13. JS7-A 系列时间继电器从结构上说,只要改变\_\_\_\_\_的安装方向,便可获得两种不同的延时方式。  
A. 触点系统      B. 电磁机构      C. 气室
14. 速度继电器的主要作用是\_\_\_\_\_。  
A. 调速      B. 速度计量      C. 反接制动

## 三、判断题

1. 低压开关可以用来直接控制电动机的起动、停止和正反转。 ( )
2. DZ5-20 型低压断路器不设专门的灭弧装置。 ( )
3. 按钮开关可通过手动操作完成主电路的接通和分断。 ( )
4. 晶体管无触点行程开关又称接近开关。 ( )
5. 在装接 RL1 系列熔断器时,电源线应接在上接线座。 ( )
6. 接触器除通断电路外,还具有短路和过载保护的功能。 ( )

7. 所谓触点的动断和动合,是指电磁系统通电动作后的触点状态。 ( )
8. 交流接触器线圈的电压过高或过低都会造成线圈过热。 ( )
9. 在相同电参数下,直流电弧要比交流电弧容易熄灭。 ( )
10. 中间继电器的输入信号为触点系统的通电和断电。 ( )
11. 温度补偿元件也为双金属片,其弯曲方向与主双金属片的弯曲方向相反。 ( )
12. 在修磨触点时可用砂布或砂轮进行。 ( )

#### 四、试画出下列电器或部件的图形符号,并标明文字符号

- (1) 组合开关
- (2) 复合按钮
- (3) 行程开关的动合触点
- (4) 熔断器
- (5) 接触器线圈、辅助动合触点、辅助动断触点、主触点
- (6) 中间继电器线圈、动合触点、动断触点
- (7) 过电流继电器线圈
- (8) 欠电压继电器线圈
- (9) 热继电器热元件、动断触点
- (10) 时间继电器延时闭合动合触点、延时断开动断触点

#### 五、问答题

1. 组合开关与按钮开关的作用有何区别?
2. 在电动机控制电路中,能否用熔断器起过载保护作用?
3. 在电动机控制电路中,能否用热继电器起短路保护作用?
4. 试解释动合触点、动断触点的意义?
5. 中间继电器和交流接触器有何异同?在什么情况下,可以用中间继电器代替接触器起电动机?
6. 什么是指令?MCS-51 系列单片机指令系统中的每条指令一般由几部分组成?
7. 从硬件结构来看,PLC 有哪几部分组成?各部分有什么作用?

## 技能训练 2—1 交流接触器的修理和调整

### 一、训练目的

1. 了解交流接触器的内部结构。
2. 掌握交流接触器常见故障的调整与维修。

### 二、仪器设备

交流接触器 (CJ10-20 型) 一只;电工工具一套;万用表 (MF-50 型) 一只;校验板一块 (配有“3×25 W” Y 型接法的灯箱、组合开关、熔断器、按钮等);导线若干。

### 三、训练内容

1. 触点系统的故障维修及调整
  - (1) 松去灭弧罩紧固螺钉,取下灭弧罩。检查触点表面的氧化情况和有无污垢。铜质触点



如有氧化层,可用油光锉锉平或用小刀轻轻地刮去其表面的氧化层。触点有污垢,要用汽油或四氯化碳清洗干净。

(2) 观察触点表面有无灼伤烧毛,铜触点烧毛可用油光锉或小刀整修毛面。整修触点表面不必过分光滑,因为过分光滑会减小接触面积,更不允许用纱布或砂纸来整修,以免残留沙粒在触点上,闭合时造成接触不良。

(3) 检查触点有无熔焊,若有熔焊应更换触点。若是因触点容量不够而造成的,则应选容量大一级的接触器。

(4) 检查触点的磨损情况,一般磨损到超过原厚度的 1/2 时应更换触点。

(5) 检查触点有无机械损伤使弹簧变形,若有造成触点压力不够的情况,应调整压力,使触点接触良好。

## 2. 电磁系统的故障维修

### (1) 衔铁噪声过大的检修

松去接触器底部的盖板螺钉,取下盖板(在松盖板螺钉时,要用手按住盖板,并慢慢放松),取下静铁心、线圈、动铁心等。检查动、静铁心之间的接触面是否平整,有无油污。若不平整应锉平或磨平;若有油污要用汽油进行清洗。

若动铁心歪斜或松动,应加以校正或紧固。

检查短路环有无断裂,如断裂应按原尺寸用铜板重新制作一个并更换上,或将粗铜丝敲打成方截面,按原尺寸制好,在接口处用气焊修平即可。

### (2) 线圈断电后衔铁不立即释放的检修

产生这种故障的主要原因有:运动部分被卡住;铁心气隙太小,剩磁太大;弹簧疲劳变形弹力不够和铁心截面有油污等。可通过拆卸后清洗、整修,使铁心中柱端面与底端面间留有 0.02~0.05 mm 的气隙,或更换弹簧。

### (3) 线圈通电后衔铁吸不上的检修

若线圈通电后无振动和噪声,要检查线圈引出线连接处有无脱落,用万用表检查线圈是否断线或烧毁;通电后如有振动和噪声,应检查活动部分是否被卡住,动、静铁心之间是否有异物,电源电压是否过低。要区别情况分别对待,及时处理。

### (4) 线圈故障的检修

线圈的故障主要是由于所通过的电流过大以至过热或烧毁。这类故障通常是由于线圈绝缘损坏,或受机械损伤形成匝间短路或接地,电源电压过低,动、静铁心接触不紧密造成的。

若线圈已烧毁,应重新绕制。重绕时可以从烧坏的线圈中测得导线线径和匝数,也可以从名牌或手册上查出线圈的线径和匝数。按铁心中心柱截面制作线模,线圈绕好后先放在 105~110 °C 的烘箱中烘 3 h,冷却至 60~70 °C,并浸 1010 沥青漆,也可以用其他绝缘漆。滴尽余漆后再在温度为 110~120 °C 的烘箱中烘干,冷却至常温后即可使用。

如果线圈烧毁的匝数不多,烧毁部分又接近线圈的端头处,其余部分均完好,可将损坏的几圈拆去,经包扎后线圈可继续使用。

## 3. 装配

检修结束后,按拆卸的逆顺序进行装配。

## 4. 自检

用万用表欧姆挡检查线圈及各触点是否良好,并用手按住触点检查运动部分是否灵活,防止产生接触不良和有振动及噪声。

#### 5. 通电校验

(1) 校验时可按图 2-55 接线。

(2) 通电校验时,必须在 1 min 时间内,连续进行 10 次分、合试验,如 10 次试验全部成功则为合格。

#### 四、注意事项

1. 拆卸时,应备有盛放零件的容器,以免失落零件。

2. 拆卸过程中不允许硬撬,以免损坏电器。

3. 用锉刀修正铁心端面时,应沿与铁心硅钢片相平行的方向进行锉削,以减小涡流损耗。

4. 通电校验时,接触器应固定在校验板上,并有教师监护,以确保用电安全。

#### 五、分析与思考

1. 交流接触器有哪些部分组成? 各部分有什么作用?
2. 什么是电弧? 它有哪些危害? 接触器中常用的灭弧方法有哪些?

## 技能训练 2-2 可编程序控制器实验

### 一、训练目的

1. 熟悉可编程序控制器硬件线路的连接方法。
2. 了解可编程序控制器的指令系统和应用程序的编制方法。

### 二、仪器设备

可编程序控制器(日本 OMRON 公司的 C 系列)一台;电工工具一套;万用表一只;控制板一块(包括组合开关、熔断器、接触器、热继电器、按钮等);电动机一台。

### 三、训练内容

1. 根据图 2-56 (a) 所示,在控制板上连接主电路。
2. 根据图 2-56 (b) 所示的控制电路设计梯形图,并进行 I/O 分配。[可参考图 2-57 (a)、(b) 所示的梯形图和接线图。]
3. 根据图 2-57 (b) 所示的 PLC 硬件接线图连接控制线路。
4. 将图 2-57 (a) 所示梯形图写入 PLC 中,或根据梯形图,写出程序清单(参考表 2-10),通过编程器将表中的程序指令写入到 PLC 中。
5. 对程序进行模拟试运行,发现错误及时纠正。
6. 对整个控制系统进行通电调试。

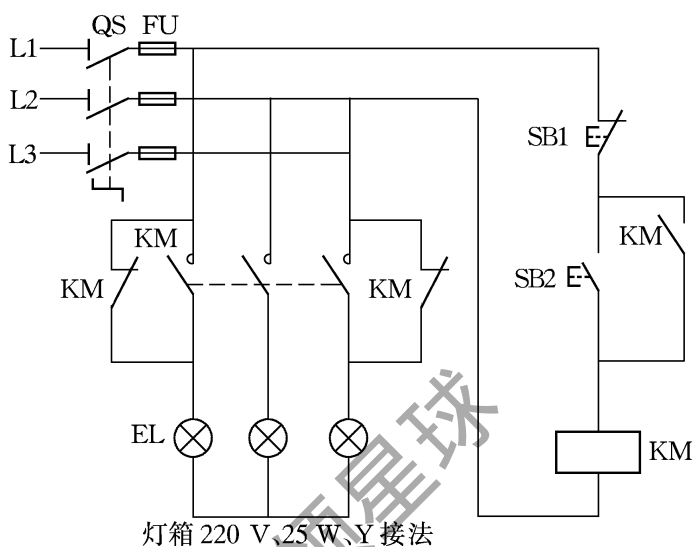


图 2-55

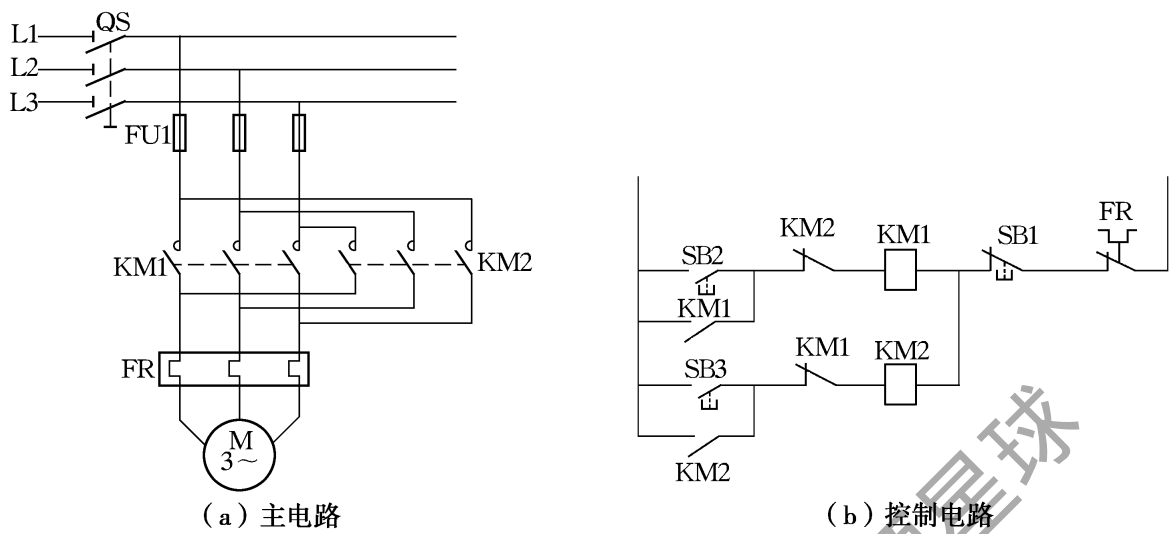


图 2-56 三相异步电动机正反转控制线路

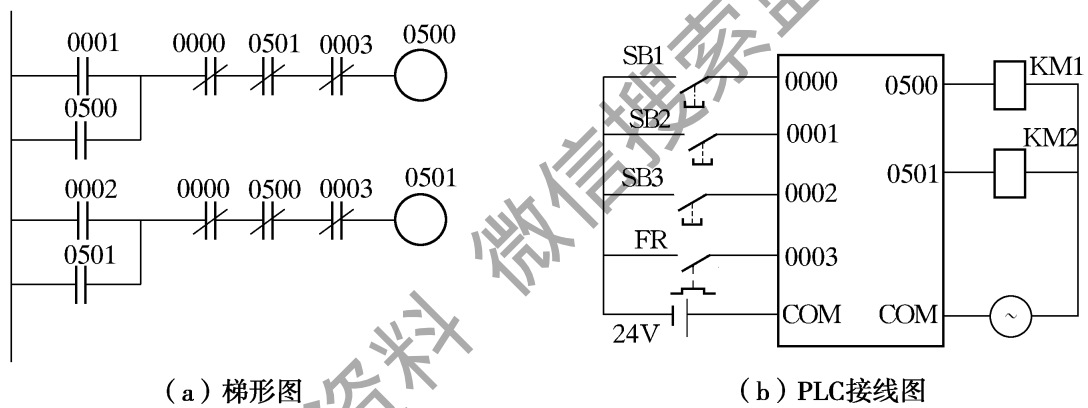


图 2-57 电动机正反转控制的梯形图和接线图

表 2-10 程序清单

序号	指令	器件号	序号	指令	器件号
1	LD	0001	8	OR	0501
2	OR	0500	9	AND NOT	0000
3	AND NOT	0000	10	AND NOT	0500
4	AND NOT	0501	11	AND NOT	0003
5	AND NOT	0003	12	OUT	0501
6	OUT	0500	13	END	
7	LD	0002	14		

#### 四、注意事项

1. 线路连接要认真仔细,最好对每根线作好编号标记。线路连接完毕必须先用万用表进行未通电检查。
2. 操作时要注意安全。
3. 试车时必须要有老师在场,出现故障必须立即切断电源,找出原因,排除故障后,方可再次试车。

## 五、分析与思考

1. 根据梯形图分析该控制电路的工作原理。
2. 设计出的梯形图是唯一的吗？

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

## 第三章

# 电动机与变压器

## 第一节 直流电动机

直流电动机是将直流电能转换为机械能并输出机械转矩的设备。与交流电动机相比,直流电动机结构复杂,使用、维护麻烦,成本高,运行可靠性差,但其调速性能好,起动转矩大。因此,在高炉卷扬机、起重运输机械、冶金机械等工作负载变化较大,要求频繁地起动、反转、平滑调速的机电设备上得到了广泛的应用。

### 一、直流电动机的结构

直流电动机是借助电刷和换向器的作用,把电源的直流电转变为电枢绕组中的交流电,保持电磁转矩的方向不变,确保直流电动机朝一定的方向连续旋转。直流电动机的外形如图 3-1 所示。直流电动机的结构可以分为定子和转子两大部分,定子和转子之间有空气隙。

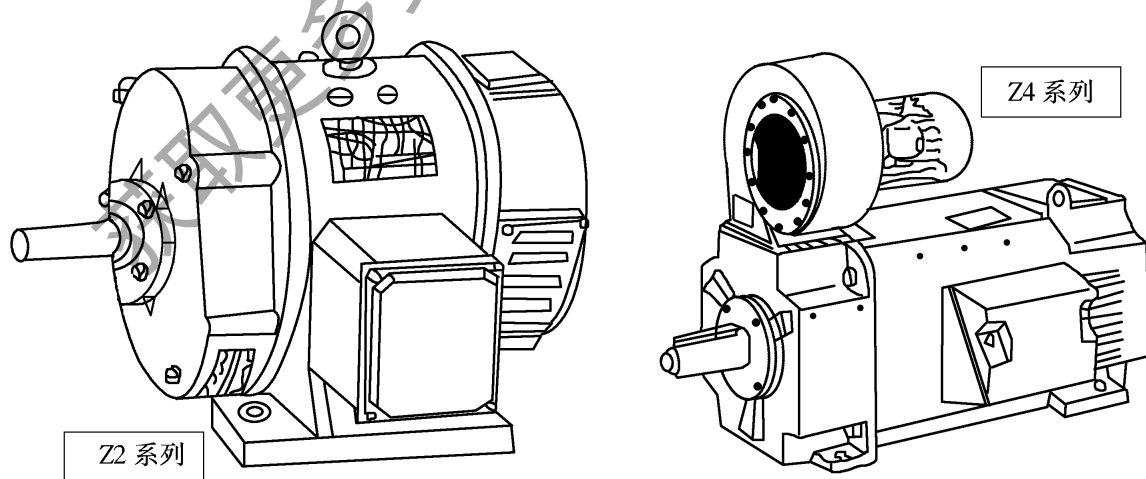


图 3-1 直流电动机的外形图

#### 1. 定子

电动机中静止不动的部分称为定子,它的主要作用是产生主磁场和作为机械部分的支撑。定子包括机座、前端盖、后端盖、主磁极、换向磁极和电刷装置等部分,如图 3-2 所示。

(1) 机座 机座有两方面的作用:一方面起导磁作用,作为电动机磁路的一部分;另一方面起支撑作用,用来安装主磁极、换向磁极,并通过端盖支撑转子部分。机座一般用导磁性能较好

的铸钢或钢板焊接而成,也可直接用无缝钢管加工而成。

(2) 主磁极 主磁极用来产生电动机工作的主磁场,永磁电动机的主磁极直接由不同极性的永久磁体组成,励磁电动机的主磁极由主磁极铁心和主磁极绕组两部分组成。

主磁极铁心为电动机铁心,是电动机磁路的一部分,为减少涡流损耗,一般采用厚 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 的钢板冲制后叠装制成,用铆钉铆紧成为一个整体,最后用螺钉固定在机座上。

主磁极绕组的作用是通入直流电产生励磁磁场,小型电动机用电磁线绕制,大中型电动机则用扁铜线制造。绕组在专用设备上绕好,经过绝缘处理后,安装在主磁极铁心上,整个主磁极再用螺栓紧固在机座上。

(3) 换向磁极 换向磁极是位于两个主磁极之间的小磁极,又称为附加磁极。其作用是产生换向磁场,改善电动机的换向。它由换向磁极铁心和换向磁极绕组组成。

换向磁极铁心一般用整块钢或钢板制成。在大型电动机和用晶闸管供电的大功率电动机中,为了能更好地改善电动机的换向,换向磁极铁心也采用硅钢片结构。换向磁极绕组套装在换向磁极铁心上,它应当与电枢绕组串联,而且极性不能接反。小型直流电动机换向不困难,一般不用换向磁极。

(4) 电刷装置 电刷的作用是通过电刷与换向器之间的滑动接触,把旋转的电枢电路与静止的外电路相连接。电刷装置由刷握、刷杆、刷杆座和压力弹簧等组成。

电刷要有良好的导电性和耐磨性,因此,电刷一般用石墨粉压制而成。电刷放置在电刷盒内,并用弹簧把电刷压紧在换向器上。电刷盒是刷握的主要部分,刷握固定在刷杆上,借铜丝辫把电流从电刷引到刷杆上,再用导线接到接线盒中的端子上。通常刷杆是用绝缘材料制成的,刷握固定在刷杆上,刷杆固定在刷杆座上,成为一个相互绝缘的整体部件。

## 2. 转子

转子是电动机的旋转部分,通称为电枢,它是产生感应电动势和电磁转矩,实现能量转换的部件,由电枢铁心、电枢绕组、换向器、转轴、风扇等部分组成,如图3-3所示。

(1) 电枢铁心 电枢铁心用来嵌放电枢绕组,是直流电动机主磁路的一部分。电枢转动时,铁心中的磁通方向不断变化,会产生涡流损耗。为了减少损耗,电枢铁心一般采用厚度为 $0.5\text{ mm}$ 的表面有绝缘层的硅钢片叠压而成,在硅钢片的外圆冲有均匀分布的铁心槽,用以嵌放电枢绕组,铁心轴向有轴孔和通风孔。

(2) 电枢绕组 电枢绕组的作用是通过电流产生感生电动势和电磁转矩,是直流电动机进

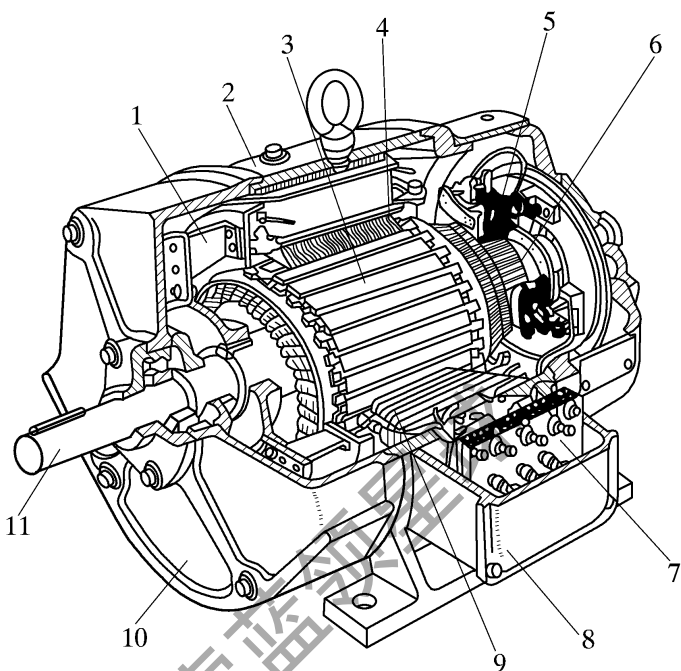


图3-2 直流电动机的结构图

1—风扇; 2—机座; 3—电枢; 4—主磁极; 5—刷架; 6—换向器;  
7—接线板; 8—出线盒; 9—换向磁极; 10—端盖; 11—转轴

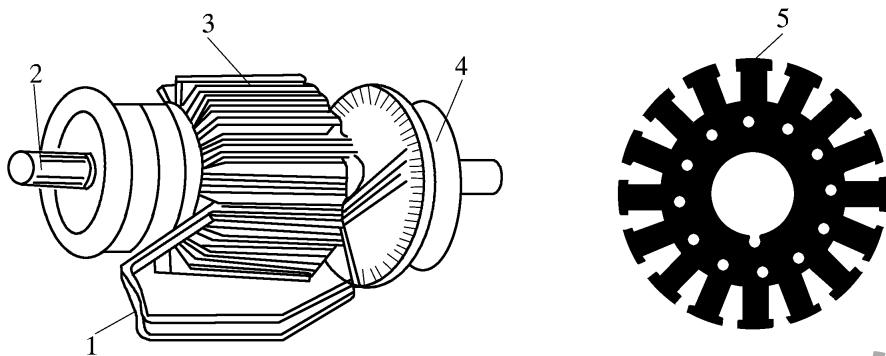


图 3-3 电枢

1—电枢绕组；2—转轴；3—电枢铁心；4—换向器；5—铁心冲片

行机电能量转换的关键部件。它通常用圆形（用于小容量电动机）或矩形（用于大、中容量电动机）截面的导线绕制而成，再按一定的规律嵌放在电枢铁心槽内，每个线圈的线头都连到换向器上。利用绝缘材料进行电枢绕组和铁心之间的绝缘处理，并对绕组采取紧固措施，以防旋转时被离心力抛出。

(3) 换向器 换向器的作用是将电枢中的交流电动势和电流转换成电刷间的直流电动势和电流，从而保证所有导体上产生的转矩方向一致。换向器由许多铜片和云母片一片隔一片均匀地排成圆形，再压装成圆柱体。

(4) 转轴 转轴的作用是用来传递转矩。为了使电动机能安全、可靠地运行，转轴一般用合金钢锻压而成。

(5) 风扇 风扇用来降低运行中电动机的温升。

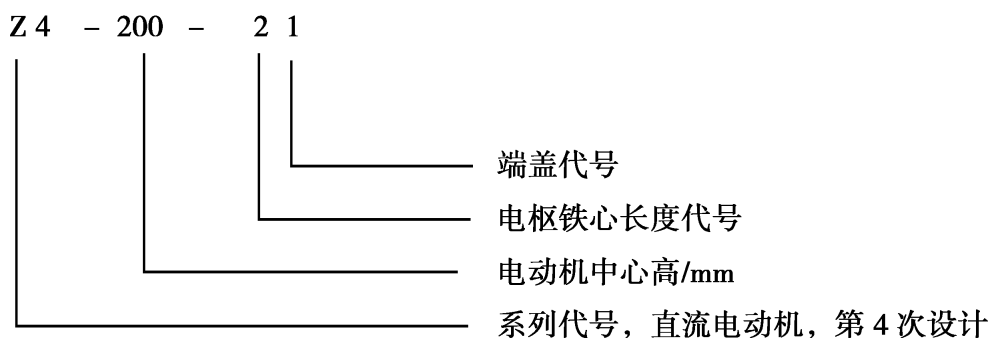
### 3. 铭牌与额定值

每台直流电动机的机座上都有一块铭牌，如图 3-4 所示。铭牌上标明的数据称为额定值，是正确使用直流电动机的依据。

直流电动机		
型号 Z4-200-21	功率 75 kW	电压 440 V
电流 188 A	额定转速 1500 r/min	励磁方式 他励
励磁功率 1170 W		
绝缘等级 F	定额 S1	重量 515 kg
产品编号	生产日期	
××电机厂		

图 3-4 直流电动机的铭牌

#### (1) 型号



(2) 额定功率  $P_N$  额定功率是指在额定情况下,电动机轴上输出的机械功率,单位为 W 或 kW。

(3) 额定电压  $U_N$  额定电压是指电动机额定运行时,加在电动机上的电源电压,单位为 V 或 kV。

(4) 额定电流  $I_N$  额定电流是指电动机轴上带有额定负载时从电源输入的电流,单位为 A。额定功率 (kW)、额定电压 (V) 和额定电流 (A) 之间的关系如下:

$$P_N = U_N I_N \eta_N \times 10^{-3}$$

(5) 额定转速  $n_N$  额定转速是指电压、电流和输出功率均为额定值时转子旋转的速度,单位为 r/min。

(6) 励磁方式 励磁方式是指直流电动机主磁场产生的方式。主磁场产生的方式有两种:一种是由永久磁铁产生;另一种是由主磁极绕组通入直流电产生。根据励磁绕组与电枢绕组连接方式的不同,可分为他励、串励、并励、复励等。

(7) 定额 (工作方式) 定额是指电动机在额定状态下运行时能持续工作的时间和顺序。电动机定额分为连续、短时和断续三种,分别用  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  表示。

连续定额 ( $S_1$ ) ——表示电动机在额定工作状态下可以长期连续地运行。

短时定额 ( $S_2$ ) ——表示电动机在额定工作状态时只能在规定的时间内短期运行,我国规定的短期运行时间 10 min、30 min、60 min、90 min 四种。

断续定额 ( $S_3$ ) ——表示电动机不能连续运行,在运行一段时间后,就要停止一段时间,每一周期为 10 min。我国规定的负载持续率有 15%、25%、40%、60% 四种。例如,持续率为 40% 时,4 min 为工作时间,6 min 为停车时间。

(8) 绝缘等级 表示电动机绕组及其他绝缘部分所用绝缘材料的等级。常用的绝缘等级第一章已经介绍过了。

除了上述额定值外,还有一些其他数据,如额定转矩、额定效率、额定励磁电压、额定励磁电流和额定温升等,可查阅产品说明书或由铭牌数据计算得到。

**例 3-1** 一台他励直流电动机的额定值为  $P_N = 145 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $n_N = 1450 \text{ r/min}$ ,  $\eta_N = 90\%$ , 求该电动机额定运行时的输入功率  $P_1$  和电流  $I_N$ 。

**解** 额定输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{145}{0.9} \text{ kW} \approx 161 \text{ kW}$$

额定电流



$$I_N = \frac{P_1 \times 10^3}{U_N} = \frac{145 \times 10^3}{220} \text{ A} \approx 659.1 \text{ A}$$

## 二、直流电动机的运行特性

直流电动机在稳态运行下的运行特性主要包括工作特性和机械特性。

### 1. 工作特性

直流电动机的工作特性主要是指转速特性和转矩特性。

(1) 转速特性  $n = f(I_a)$  所谓转速特性是指当加在直流电动机两端的电压  $U$  不变时, 电枢电流与转速之间的相互关系。当电源电压  $U$  不变, 励磁电流  $I_f$  也不变时, 转速  $n$  与电枢电流  $I_a$  之间的相互关系即为转速特性。用公式表示为

$$n = \frac{U - R_a I_a}{C_e \Phi} \quad (3-1)$$

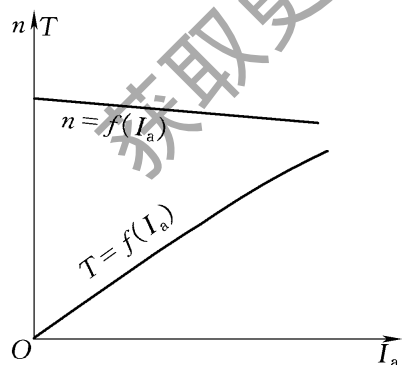
式中:  $R_a$  ——电枢回路总电阻;

$I_a$  ——电枢电流;

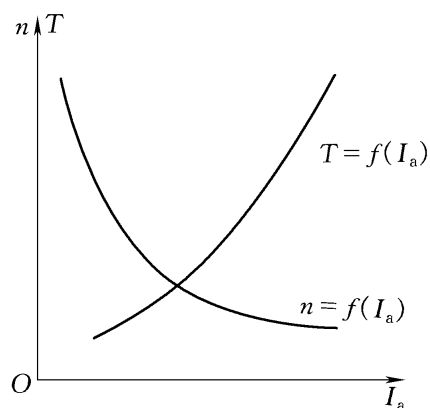
$C_e$  ——电动势常数, 对制造好的电动机是一个定数;

$\Phi$  ——主磁通。

式(3-1)就是电动机转速特性的关系式。对于并励电动机, 转速随电枢电流的增加稍有下降, 如图3-5(a)所示。对于串励电动机, 当电动机轻载时, 对应的电枢电流  $I_a$  比较小,  $\Phi$  也比较小, 电动机的转速  $n$  与电枢电流  $I_a$  成反比, 特性曲线为双曲线; 当电动机负荷较重, 即  $I_a$  较大时,  $\Phi$  基本不变, 串励电动机转速特性与并励电动机相似, 其特征是从空载到满载, 电动机转速变化很大, 如图3-5(b)所示。值得注意的是, 当电动机空载时, 空载电流很小, 电动机转速将相当高, 可能造成机械事故, 因此串励电动机决不允许空载运行。



(a) 并励电动机转速及转矩特性曲线



(b) 串励电动机转速及转矩特性曲线

图3-5 并励直流电动机电路图

(2) 转矩特性  $T = f(I_a)$  转矩特性是指当加在直流电动机两端的电压  $U$  不变, 励磁电流  $I_f$  也不变时, 电磁转矩  $T$  与电枢电流  $I_a$  之间的相互关系。由公式  $T = C_M \Phi I_a$  可知, 对于并励电动机, 由于  $\Phi$  基本不变,  $T$  与  $I_a$  近似为成正比关系, 如图3-5(a)所示。对于串励电动机, 当电枢电流  $I_a$  较小时, 磁通正比于电枢电流  $I_a$ , 故有

$$T = C_M \Phi I_a = K I_a^2 \quad (3-2)$$

式中： $C_M$ ——电动机转矩常数，对制造好的电动机是一个常数。

由式(3-2)可知，电磁转矩正比于电枢电流的平方，即当电枢电流较大，电动机磁路饱和时， $\Phi$ 为常数，则电磁转矩与电枢电流成正比，其特性曲线如图3-5(b)所示。

## 2. 机械特性 $n = f(T)$

机械特性是指当电源电压和励磁电流(即磁通)保持不变时，电动机的转速  $n$  和电磁转矩  $T$  之间的关系。它是电动机机械性能的主要表现，是电动机的重要特性。直流电动机的机械特性方程式如下：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_{sa}}{C_e C_M \Phi^2} T \quad (3-3)$$

式中： $R_{sa}$ ——电枢回路串接的附加电阻

当电动机的励磁方式不同时，主磁通  $\Phi$  随负载电流  $I_a$  的变化而变动的情况不同，导致不同励磁方式的直流电动机机械特性有很大差别，下面分别加以讨论。

(1) 并励(他励)电动机的机械特性 对于并励和他励电动机，其  $\Phi$  值基本恒定不变，电磁转矩  $T$  正比于  $I_a$ ，而电动机转速  $n$  随  $I_a$  的增加稍有下降，故电动机转速  $n$  随电磁转矩  $T$  增加而稍有下降，是一条略为向下倾斜的直线，如图3-6曲线1所示。当负载变化时，电动机的转速变化不大，这是电动机的固有机械特性，称为硬特性。这种特性适用于在负载变化时，要求转速比较稳定的场合，经常用于金属切削机床、造纸机械等要求恒速的地方。

如果改变电压  $U$ 、磁通  $\Phi$  或串接电阻  $R_{sa}$ ，就会改变电动机的固有机械特性，得到电动机的人为机械特性。电枢串接电阻  $R_{sa}$  后，可得到一组放射性的直线，如图3-6曲线2所示；降低电压后，可得到一组平行的直线，如图3-6曲线3所示；减弱磁通后，可得到一组如图3-6曲线4所示的直线。

(2) 串励电动机的机械特性 由于串励电动机的励磁绕组与电枢绕组串联，励磁电流等于电枢电流，故当电枢电流  $I_a$  很小时， $\Phi$  也很小，电磁转矩  $T$  也很小，转速  $n$  很大；当电枢电流  $I_a$  较大时， $\Phi$  也较大，电磁转矩  $T$  也较大，而转速  $n$  则较小。其机械特性与并励电动机有明显的不同，形状如一条双曲线，如图3-7曲线1所示。

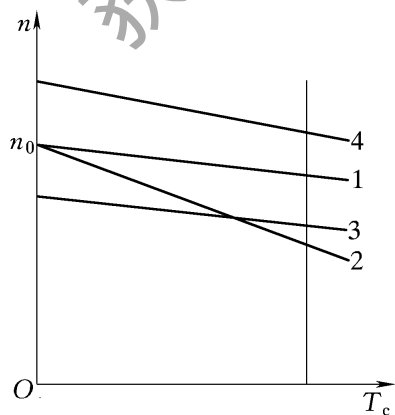


图3-6 并励直流电动机的机械特性曲线

1—固有机械特性；2—电枢串电阻；

3—降低电压；4—减弱磁通

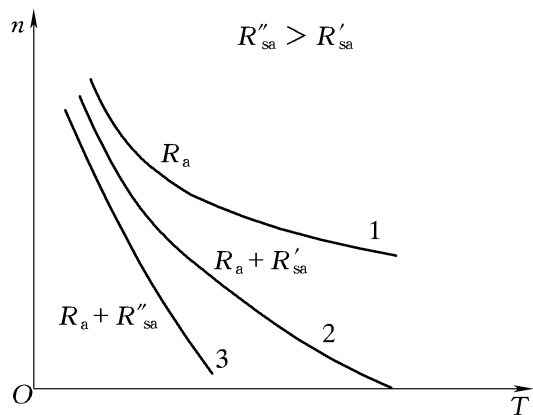


图3-7 串励直流电动机的机械特性曲线

从机械特性曲线可知，串励电动机具有以下特性：转速随转矩变化而剧烈变化，其机械特性

为软特性,即在轻载时,转速很快,负载转矩增加时,转速较慢。由于电动机空载时转速极高,因此串励电动机不允许空载或轻载运行;由于起动转矩与电流平方成正比,因此电动机起动转矩大,过载能力强;串励电动机也可以通过电枢串接电阻,改变电源电压,改变磁通达到人为机械特性,以适应负载和工艺的要求,电枢串接电阻后的人为机械特性如图 3-7 曲线 2、3 所示。串励电动机适用于负载变化比较大,且不可能空转的场合,如电车、铲车、起重机、电力机车、挖掘机等。

### 三、直流电动机的起动、调速、反转与制动

#### 1. 直流电动机的起动

直流电动机由静止状态加速达到正常运转的过程称为起动过程。电动机在起动瞬间,转速  $n=0$ ,反电动势  $E_a=0$ ,电枢电压  $U$  全部降落在电枢绕组的电阻  $R_a$  上。由于电阻  $R_a$  一般很小,故起动电流  $I_{st} = \frac{U}{R_a}$  必然很大,通常可达到额定电流的 10~20 倍,起动转矩可达额定转矩的 10~20 倍。

过大的起动电流将会使电刷与换向器之间产生强烈的电火花或环火,导致电刷与换向器表面烧损,造成换向困难;还会使电网电压波动,影响供电的稳定性。过大的起动转矩会使机械传动机构受到强烈的冲击。因此,除小容量的电动机以外,直流电动机一般不允许直接起动。通常采用降低电源电压起动和在电枢回路中串接电阻起动。

(1) 降低电源电压起动(降压起动) 在直流电动机开始起动时,给电枢绕组加上较低的直流电压,随着转速的上升,逐渐升高电枢电压,直到额定电压,起动完毕。起动初始的最小电压为

$$U_{st} = R_a I_{st} \quad (3-4)$$

式中:  $R_a$  ——电枢回路的总电阻;

$I_{st}$  ——起动电流。

采用降压起动时,必须给励磁绕组加上额定的励磁电压,否则会因起动转矩较小,造成电动机无法起动。降压起动只能在电动机有专用电源时才能采用。目前,经常采用晶闸管可控整流电路作为直流电动机的可调电压电源。

降压起动的优点是起动过程平滑,电能浪费少;缺点是设备成本较高,控制系统较复杂。适用于经常起动的电动机,如起重机、运输机械上的电动机。

(2) 电枢回路中串接电阻起动 并励电动机及串励电动机的串接电阻起动电路分别如图 3-8 及 3-9 所示。当电动机起动时,在电枢回路中串入起动电阻  $R_{st}$ ,适当选择起动电阻的大小,将电枢电流限制在 1.5~2.5 倍额定电流的范围内,此时起动电阻  $R_{st}$  的计算为

$$R_{st} = \frac{U_N}{I_{st}} - R_a \quad (3-5)$$

式中:  $U_N$  ——电动机的额定电压;

$I_{st}$  ——电动机的起动电流。

随着电动机转速的上升,反电动势增大,电枢电流减小,再逐步减少起动电阻阻值,直到电动机稳定运行,起动电阻全部切除。

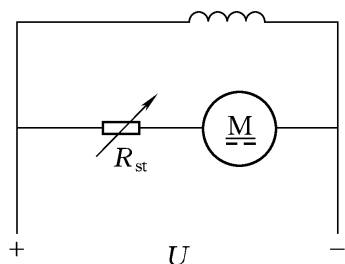


图 3-8 并励电动机串接电阻起动原理图

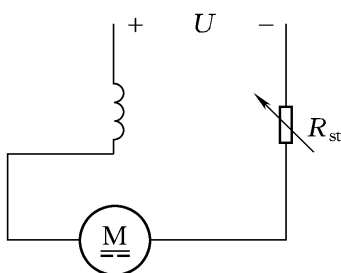


图 3-9 串励电动机串接电阻起动原理图

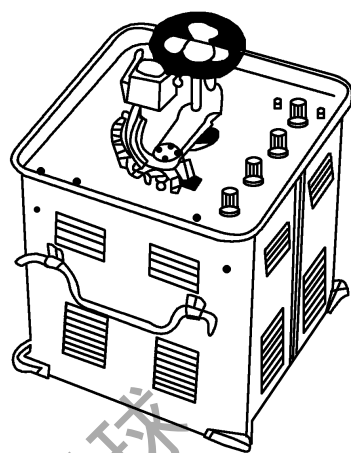


图 3-10 起动变阻器外形

目前,小容量的直流电动机常用手动变阻器来起动,手动变阻器的外形如图 3-10 所示。开始起动时,起动手轮置于图中所示位置,全部电阻  $R_t$  串入电枢回路,起动电流被限制在允许的范围内,随着手轮的逐步旋转,电动机转速不断升高,直到手轮旋转到头,此时  $R_t = 0$ ,电动机起动结束。

电枢串接电阻的起动的设备简单,成本低,但电阻上的能量浪费多。一般应用于小功率直流电动机的起动,容量稍大,但不需要经常起动的电动机也可用此方法起动。

**例 3-2** 一台并励直流电动机,已知  $P_N = 10 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $n_N = 1\ 000 \text{ r/min}$ ,  $I_N = 50 \text{ A}$ ,  $R_a = 0.4 \ \Omega$ ,试计算:

- (1) 直接起动时的电流是额定电流的几倍?
- (2) 若限制起动电流是额定电流的 2 倍,当采用降压起动时,起始电压  $U_{st}$  应为多少?
- (3) 当采用电枢串电阻起动时,电枢回路应串入的电阻  $R_t$  为多少?

解: (1)  $I_{st} = \frac{U_N}{R_a} = \frac{220}{0.4} \text{ A} = 550 \text{ A}$

$$\frac{I_{st}}{I_N} = \frac{550}{50} = 11$$

- (2) 降压起动时的初始电压

$$U_{st} = R_a I_{st} = (0.4 \times 50 \times 2) \text{ V} = 40 \text{ V}$$

- (3) 电枢串接电阻起动时串联的初始电阻

$$R_t = \frac{U_N}{I_{st}} - R_a = \frac{220}{50 \times 2} - 0.4 \ \Omega = 1.8 \ \Omega$$

## 2. 直流电动机的调速

直流电动机的调速就是人为地改变电动机的参数,使工作点从一条机械特性转移到另一条机械特性上,从而在同一负载下得到不同的转速。根据机械特性方程式可以看出:当负载不变时,电动机可以通过改变  $U$ 、 $R_a$  及  $\Phi$  这三种方法进行调速。

- (1) 降压调速 若直流电动机原来工作在固有机械特性上,带额定负载,转速为  $n_N$ 。在其

他参数不变时,改变直流电动机的电枢电压  $U$ ,其工作点将从固有机械特性移到降压的人工机械特性上,在图 3-6 中将从特性曲线 1 转移到特性曲线 3,对应的转速随之下降。由于直流电动机的电枢电压一般不允许超过额定值,因此电枢电压只能往下调,图 3-11 所示是他励(并励)电动机降压调速的人工机械特性,从图中可见,在负载相同的情况下,不同的电枢电压,所对应的转速是不同的,电压越低,转速越低。

降压调速的优点是机械特性硬,转速稳定性好,调速范围大,电能损耗小,可实现无级调速。缺点是需要专用的调速直流电源,成本较高,其应用在前一段时间内受到限制。随着晶闸管交流技术的飞速发展,降压调速已经越来越得到广泛的应用。

(2) 电枢串电阻调速 在其他参数不变的条件下,在电枢回路串接电阻  $R_a$  后,工作点将从固有特性转移到电枢串电阻的人为特性上,在图 3-6 中将从特性曲线 1 转移到特性曲线 2,从而得到较低的转速。保持空载转速  $n_0$  不变,改变电枢回路串接电阻  $R_a$ ,使特性曲线的斜率改变,得到图 3-12 所示的人工机械特性曲线。由图可知,在负载相同的情况下,电枢串入的电阻值越大,电动机转速就越低。需要注意:起动变阻器不能作为调速变阻器使用(因为起动变阻器只能用于短时间工作),但调速变阻器可以作为起动变阻器使用。

这种调速方法的优点是设备成本低;缺点是低速时机械特性软,效率低,调速级数有限,一般用于小容量的电动机中。目前此方法已逐步被晶闸管可调直流电源调速代替。

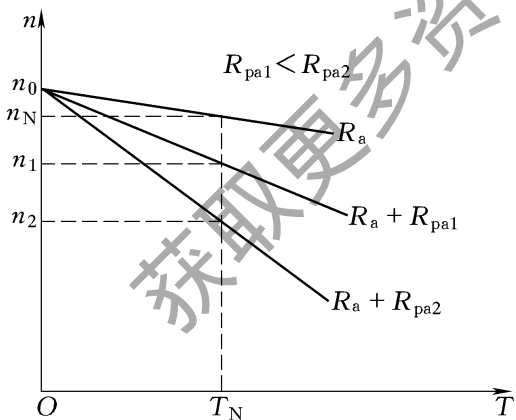


图 3-12 他励(并励)电动机改变电枢电阻调速的人工机械特性

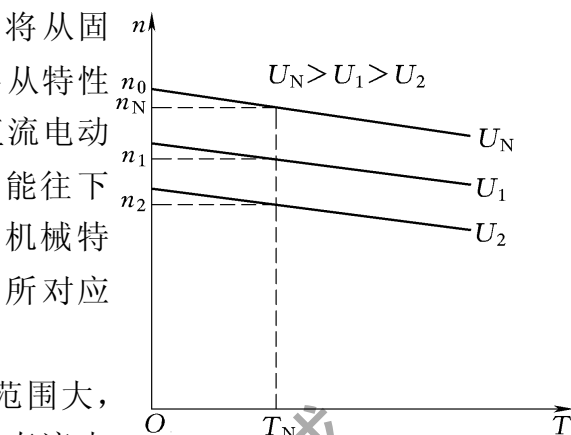


图 3-11 他励(并励)电动机降压调速的人工机械特性

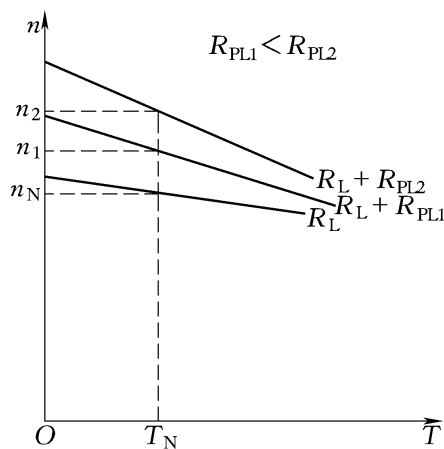


图 3-13 他励(并励)电动机弱磁调速的人工机械特性

(3) 弱磁调速 在其他参数不变的条件下,在励磁回路中串入调节电阻  $R_{pL}$ ,改变  $R_{pL}$  的大小,就可以改变电动机主磁通  $\Phi$  的大小。图 3-13 所示是他励(并励)电动机改变主磁通  $\Phi$  调速的人为机械特性。从图中可见,在励磁回路中串入的电阻值越大,电动机的转速就越高。

弱磁调速时,转速只能往上调,因受电动机最高转速和机械强度的限制,调速范围小。由于调速回路功率小,电能损耗小,控制方便,可以做到无级调速。该方法适用于需要向上调速的电力拖动系统。

**例 3-3** 一台他励直流电动机  $P_N = 10 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $n_N = 1\ 000 \text{ r/min}$ ,  $I_N = 50 \text{ A}$ ,  $R_a = 0.4 \ \Omega$ ,  $T_L = T_N$ , 试计算:

(1) 电枢串入电阻  $R_{sa} = 0.8 \ \Omega$  时的转速  $n_1$ ;

(2) 电枢电压降为  $110 \text{ V}$  时的转速  $n_2$ 。

$$\text{解: } C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.4 \times 50}{1\ 000} = 0.2$$

$$(1) \ n_1 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_{sa}}{C_e \Phi_N} I_N = \frac{220}{0.2} - \frac{0.4 + 0.8}{0.2} \times 50 \text{ r/min} = 800 \text{ r/min}$$

$$(2) \ n_2 = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_N = \frac{110}{0.2} - \frac{0.4}{0.2} \times 50 \text{ r/min} = 450 \text{ r/min}$$

### 3. 直流电动机的反转

直流电动机有两种反转方法,一种是改变磁通(励磁电流)的方向;另一种是改变电枢电流的方向。对于并励电动机,励磁绕组匝数多,电感大,在进行反接时,会产生很大的自感电动势,危及电动机和电器的绝缘安全,因此一般采用电枢反接法(即改变电源电压的极性)。串励电动机的反转,改变电源端电压的方向是不行的,必须改变励磁电流的方向或电枢电流的方向(即将励磁绕组或电枢绕组两线端对调),才能实现电动机的反转。

### 4. 直流电动机的制动

所谓制动就是加上一个与电动机转向相反的转矩,使电动机迅速停转或限制电动机的转速。在实际应用中当起重机械下放重物,电车、电传动机车下坡时,需要对电动机实施制动,以免发生危险。直流电动机的制动可以分为机械制动和电气制动,其中电气制动又可分为再生制动、能耗制动和反接制动等。

(1) 再生制动 再生制动又称回馈制动或发电制动,就是使电动机在发电状态下运行,将发出的电能反送回电网。电动机在运行时,由于某种原因,可能会出现电动机的转速  $n$  超过它的空载转速  $n_0$ ,电枢电流  $I_a$  与  $U$  方向相反,电动机向电网输送电能,这时电动机的电磁转矩  $T$  也因  $I_a$  的反向而改变方向,起制动转矩的作用。串励电动机不能直接进行再生制动。

再生制动的优点是产生的电能可以反馈回电网中去,使电能获得利用,简便可靠且经济。缺点是再生制动只能发生在  $n > n_0$  的场合,限制了它的应用范围。

(2) 能耗制动 把电动机的电枢绕组从电源上切除后,立即接到制动电阻  $R$  上,电动机靠惯性将继续转动,此时主磁通仍接在电源上,产生恒定的主磁通  $\Phi$ ,电枢绕组切割主磁通  $\Phi$  而产生感应电动势  $E_a$ ,电动机处于发电运行状态,但不能将电能反送回电网,而是转换成热能消耗在制动电阻  $R$  上。在图 3-14 所示电路中,制动时,只需将开关  $S$  由 1 位推到 2 位即可,此时电枢电流  $I_a$  与电动机运行时的电流方向相反,产生的电磁转矩为制动转矩,对电动机实行制动。

能耗制动的优点是所需设备简单,成本低,制动减速平稳可靠。缺点是能量白白消耗在电阻上,无法利用,且制动时间长。这种制动

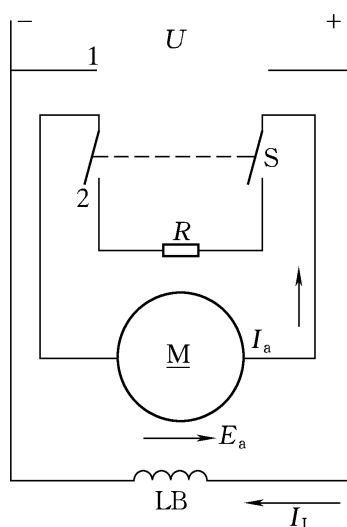


图 3-14 并励电动机的能耗制动原理

方法在运输、起重设备上应用较广。

(3) 反接制动 改变加在电枢绕组上的电压方向(使  $I_a$  反向)或改变励磁电流的方向(使  $\Phi$  反向),从而使电磁转矩  $T$  反向成为制动转矩,起到制动作用,当电动机的旋转速度接近零时,立即切断电源,防止反转,实现直流电动机的反接制动。

当电枢绕组反接时,一定要在电枢回路中串接电阻,限制电枢电流  $I_a$  的数值。在反接的瞬间,反电动势数值未变,而外接电压与  $E_a$  同方向,电枢绕组上的电压接近两倍的端电压,若不串接电阻,电枢电流会过大,从而导致电刷与换向器表面产生强烈电火花而损坏。

反接制动的优点是制动转矩比较恒定,制动较迅速,操作比较方便。缺点是需要从电网吸取大量的电能,且对机械负载有较强的冲击作用。它一般应用在要求制动或迅速反转的场合,通常在小功率直流电动机上采用。

#### 四、直流电动机的使用、维护及故障处理

##### 1. 直流电动机的正确使用

(1) 根据负载合理选用直流电动机 首先应根据负载的大小,正确选择电动机的额定容量;再根据负载运行的实际情况,正确选择电动机的额定转速;最后根据负载的特点,确定电动机的结构型式。要求转速恒定、需大范围调速的负载,应采用并励电动机;要求起动过载能力强的负载,应采用串励电动机。

(2) 直流电动机使用前的检查 首先检查电动机的铭牌数据,接线、起动设备是否符合规定,转动部件是否灵活;再检查绝缘电阻是否符合要求;最后通电空转,观察转向是否正确,振动和噪声是否正常。上述检查都合格后,方可带负载起动。

(3) 直流电动机运行中的监视 对运行中的电动机进行监视,其目的是及时发现故障隐患并进行处理。随时检查电动机的温度,防止过热而烧坏;监视电动机的电枢电流,不要超过额定值;监视电刷换向器的火花大小,正常工作时只允许有少量蓝色的火花;监视电动机的运行情况,发现异常情况应立即停车检查。

##### 2. 直流电动机的定期维护

及时清除电动机外壳上的灰尘和油泥,检查接线端子是否良好;检查传动装置有无破裂损坏,安装是否牢固;经常检查电动机的绝缘电阻,定期检查机壳接地是否可靠,检查、清洗电动机轴承,更换润滑油;定期清洁电刷与换向器表面,检查电刷与换向器是否良好。

##### 3. 直流电动机的常见故障及其处理

###### (1) 电动机不能起动

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
电流表无指示	电源未能真正接通	检查线路是否完好,起动设备接线是否正确,电刷接触是否良好,熔断器是否熔断
电流表读数很大	起动时负载过大或传动机构卡死	减小负载或排除机械故障
通电后电动机稍微动一下	起动电流太小	检查电源电压是否太低,起动电阻是否太大

###### (2) 电动机转速不正常

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
转速快、线电流大、电刷上火花大	电枢绕组匝间短路	拆开修理或更换绕组
	并励绕组极性接错或部分断线	测试极性,重新接线或找出故障点予以排除
	串励电动机轻载或空载	增大负载
转速过快、过慢或不稳	电源电压过高、过低或波动过大	调节电压至额定值,并设法稳定电压
	电刷接触不良或位置不正确	调整电刷位置,将刷架调在几何中线处

### (3) 电动机温升过高

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
电动机温升过高	长期过载或未按规定运行	减轻负载或按规定“短时”、“断续”运行
	通风不良	检查风扇是否正常,风道是否畅通
电动机电枢过热	电枢绕组或换向器片短路	测定、排除短路点,若短路严重应更换
	定、转子相擦	检查磁极固定螺栓是否松动,轴承是否磨损
	电压过低或过高	恢复电压额定值
电动机轴承过热	轴承磨损或润滑不良	更换轴承或加入适量润滑油

### (4) 电动机电刷火花过大

可能的原因	检查和排除方法
电刷磨损过量或型号不符合要求	更换新电刷
电刷与换向器接触不良或压力不均匀	研磨电刷与换向器或调整电刷上的弹簧压力
电刷表面不清洁	清洁换向器
电动机长期过载	减轻负载至额定值
电枢绕组或换向器短路	检查云母槽中是否有铜屑或用毫伏表查出的短路处
换向极绕组短路或极性接反	查出衬垫绝缘不好或重新绕制,接反极性则需重新接线

### (5) 电动机机壳漏电

可能的原因	检查和排除方法
内部进水或有其他导电杂质	清洗烘干或重新浸漆处理
引出线与电动机外壳接触	对引出线进行绝缘处理或更换
接地线断路或与外壳绝缘电阻太小	用多股铜线接地或浸漆处理
绕组绝缘老化	重新对绕组浸漆处理

## 第二节 三相异步电动机

三相异步电动机是由三相交流电源供电,把交流电能转换为机械能输出的设备。它具有结构简单,价格低廉,使用、维护方便,效率高等优点。在机械工业上可用于拖动中、小型轧钢设备,金属切削机械,起重运输机械等,是目前使用最广泛的电动机。

### 一、三相异步电动机的结构及分类

#### 1. 三相异步电动机的分类



按电动机转子的结构可分为笼型和绕线型两类,图3-15为绕线型异步电动机外形图,图3-16为笼型异步电动机外形图。

按电动机外壳的防护形式可分为开启式、防护式、封闭式等,其中封闭式结构是目前使用最广泛的结构形式。

按电动机的容量可以分为小型电动机(容量0.55~100 kW)、中型电动机(容量100~1 250 kW)和大型电动机(容量1 250 kW以上)。

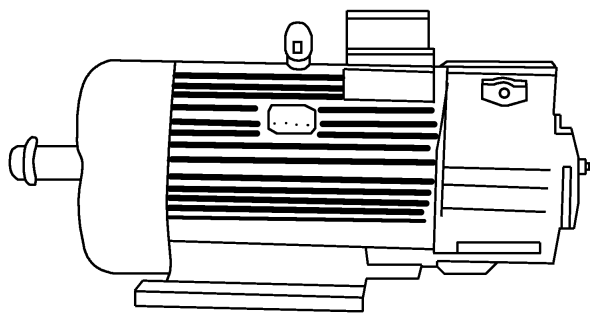


图3-15 绕线型异步电动机外形图

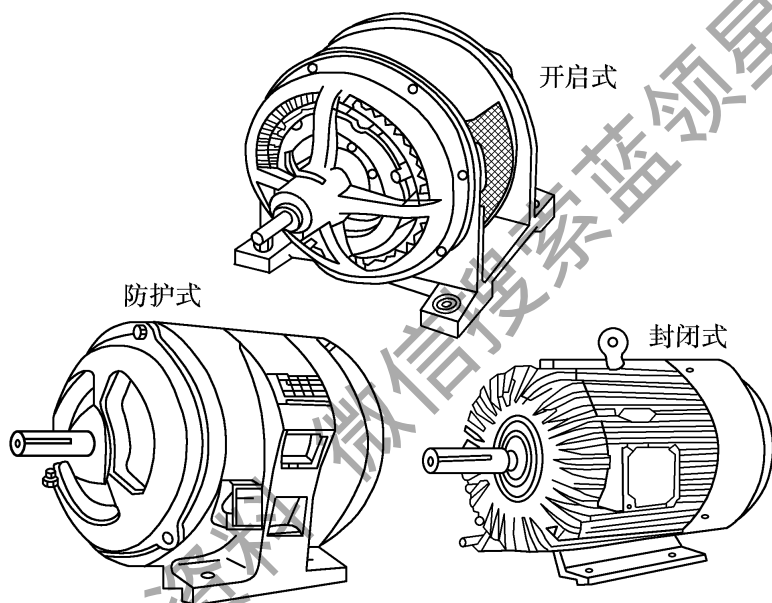


图3-16 三相笼型异步电动机外形图

## 2. 三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机虽然种类繁多,但其基本结构均由定子和转子两部分组成,静止部分称为定子,旋转部分称为转子,如图3-17所示。

(1) 定子 定子的最外面是机座,机座内装定子铁心,定子铁心槽内安放三相定子绕组。为了降低定子铁心里的损耗,铁心一般用厚度为0.5 mm的硅钢片冲制、叠压而成,并紧紧地固定在机座的内部。在定子铁心的内圆上冲有均匀分布的槽,用以放置定子绕组。

定子绕组是电动机的电路部分,其作用是通入三相对称交流电,产生旋转磁场。定子绕组嵌放在定子铁心槽中的线圈按一定规律连接而成。小型三相异步电动机定子绕组通常用高强度漆包线绕制而成;大中型异步电动机则用漆包扁铜线或玻璃丝包扁铜线绕制而成。三相异步电动机的定子绕组为三相对称绕组,一般有6个出线端,置于机座外部的接线盒内,根据需要接成星形(Y)或三角形( $\Delta$ )联结,如图3-18所示。

机座的作用是固定定子铁心,并通过两侧的端盖和轴承来支承电动机转子。中小型电动机的机座通常采用铸铁制成,而大型电动机的机座则由钢板焊接而成。

(2) 转子 转子的基本组成部分是转轴,还有压在转轴上的转子铁心和放在铁心槽内的转子绕组。转子铁心也是电动机磁路的一部分,用0.5 mm厚的硅钢片叠压而成。转子铁心与定

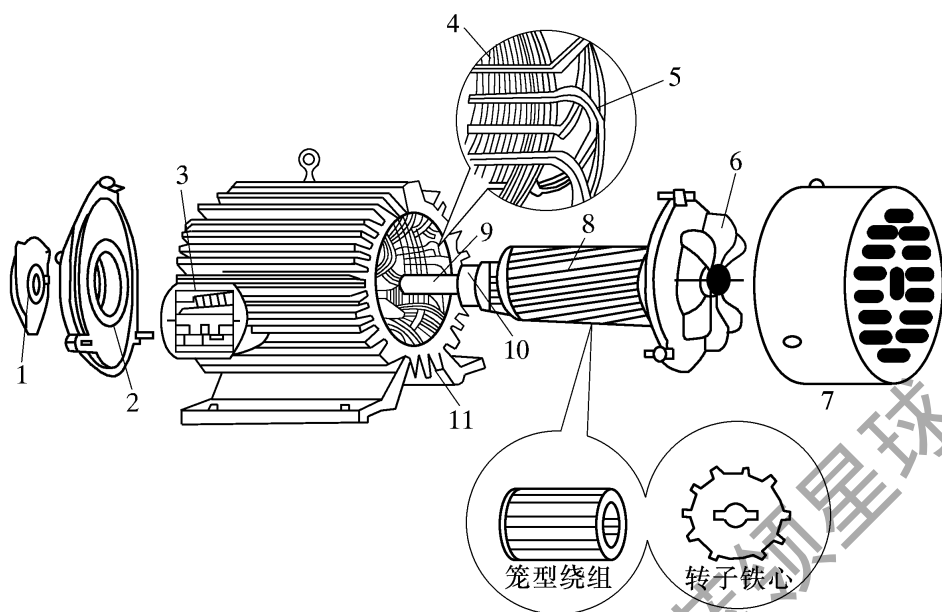


图 3—17 三相笼型异步电动机的组成

1—轴承盖；2—端盖；3—接线盒；4—定子铁心；5—定子绕组；  
6—风扇；7—罩壳；8—转子；9—转轴；10—轴承；11—机座

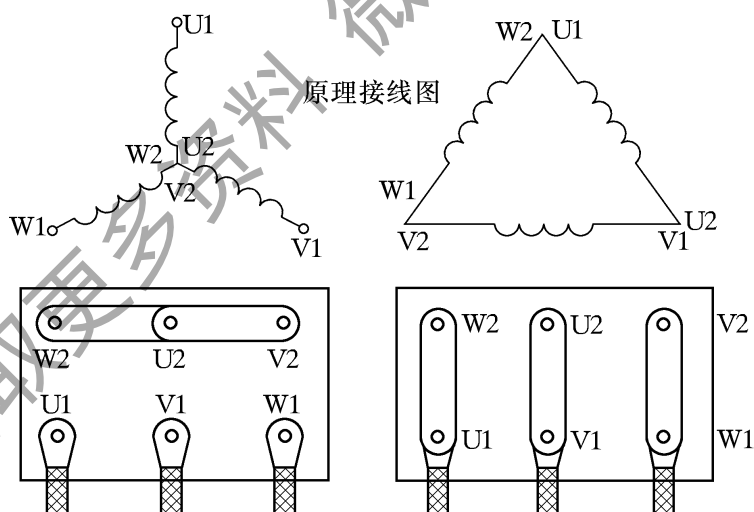
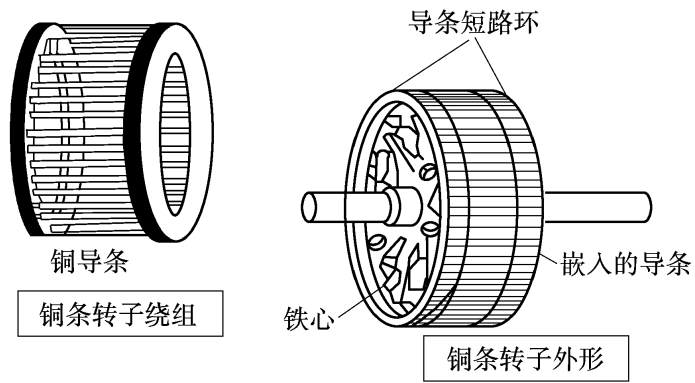


图 3—18 三相笼型异步电动机出线端

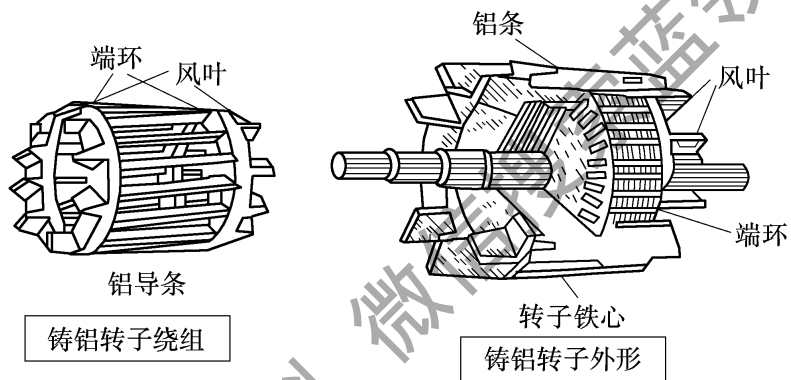
子铁心之间有一个很小的气隙。在转子铁心的外圆上冲有均匀的槽，用来放置转子绕组。

转子绕组的作用是产生电流，并在旋转磁场的作用下产生电磁力矩而使转子转动。根据结构的不同，转子绕组分为笼型和绕线型两大类。笼型转子结构可分为铸铝转子和铜条转子两大类，其中，使用最多的是铸铝转子，它是将熔化的铝用离心铸铝法或压力铸铝法制造而成，而铜条转子则是在每个槽内都有一根裸铜条，在伸出铁心两端的槽口处，两个端环把所有的铜条都短路起来，其结构形式如图 3—19 所示。

绕线型转子绕组与定子绕组相似，也是三相对称绕组，一般接成星形。三相绕组的三根引出线接到转轴的三个滑环上，通过电刷与外电路相连，如图 3—20 所示。

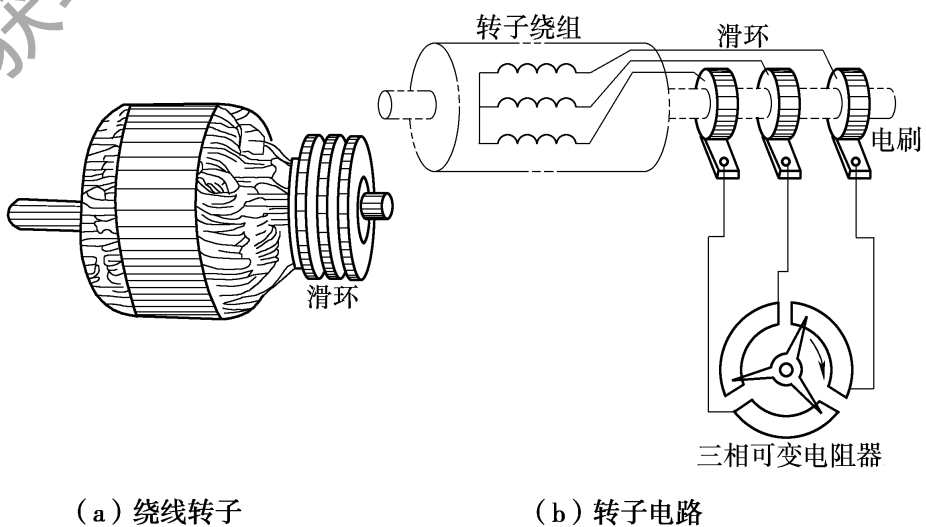


(a) 铜条转子结构



(b) 铸铝转子结构

图 3-19 笼型异步电动机转子



(a) 绕线转子

(b) 转子电路

图 3-20 绕线型转子及其电路

### 3. 三相异步电动机的铭牌和额定值

在三相异步电动机的机座上均装有一块铭牌,铭牌上标出了该电动机的型号及主要技术数据,供正确使用电动机时参考,如图 3-21 所示。

三相异步电动机			
型号 Y2-132S-4		功率 5.5 kW	电流 11.7 A
频率 50 Hz	电压 380 V	接法 $\Delta$	转速 1440 r/min
防护等级 IP44	重量 68 kg	工作制 SI	F 级绝缘
××电机厂			

图 3-21 Y2 系列三相异步电动机铭牌

Y2 系列三相异步电动机是我国在 Y 系列基础上更新设计的。它与 Y 系列相比具有效率高、起动转矩大、噪声低、结构合理、体积小、重量轻、外形新颖美观等优点。

#### (1) 型号



(2) 额定功率 (5.5 kW) 指电动机在额定工作状态下运行时,转轴上输出的机械功率。

(3) 额定电压 (380 V) 指电动机在额定工作状态下,加到定子绕组上的线电压。

(4) 额定电流 (11.7 A) 指电动机在额定电压下,输出额定功率时,定子绕组中的线电流。

(5) 接法 ( $\Delta$ ) 表示电动机定子三相绕组与交流电源的连接方法,对 J02、Y 及 Y2 系列电动机,国家标准规定 3 kW 及以下者均采用星形联结;4 kW 及以上者均采用三角形联结。

(6) 防护等级 (IP44) 电动机外壳防护的方式,IP11 是开启式;IP22、IP33 是防护式;IP44 是封闭式。

关于额定转速、绝缘等级、定额的含义可参看直流电动机铭牌中的说明。

## 二、三相异步电动机的工作原理

当三相定子绕组通入三相交流电时,在定子、转子与空气隙中就会产生一个沿定子内圆旋转的磁场,该磁场称为旋转磁场。旋转磁场的旋转方向决定于通入定子绕组的三相交流电源的相序,且与电源的相序一致。只要任意对调电动机两相绕组与交流电源的接线,旋转磁场即反转。

当三相异步电动机有  $p$  对磁极时,旋转磁场的转速为

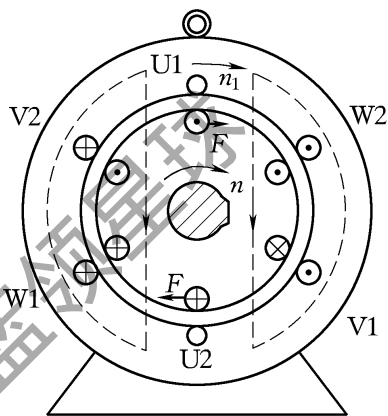
$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

式中： $f_1$ ——三相交流电的频率；

$p$ ——定子绕组的磁极对数；

$n_1$ ——旋转磁场的转速，又称同步转速，r/min。

图 3-22 是三相笼型异步电动机的定子与转子剖面图。转子上的 6 个小圆圈表示自成闭合回路的转子导体。当三相定子绕组通入三相对称交流电后，将产生一个同步转速为  $n_1$ 、在空间按顺时针方向旋转的磁场。开始时转子不动，这样转子导体就会切割磁感应线而产生感应电动势，由于转子导体自成闭合回路，所以转子导体中就有电流通过，其电流方向可用右手定则判定。该瞬间转子导体中的电流方向如图 3-22 所示。因为转子导体中的电动势、电流是从定子电路中感应而来，所以又称感应电动机。



有电流流过的转子导体将在旋转磁场中受电磁力  $F$  的作用，其方向用左手定则判定，如图中箭头所示。该电磁力  $F$  在转子轴上形成电磁转矩，使异步电动机的转子以转速  $n$  旋转。电动机转子的转向与磁场的旋转方向一致，因此，要改变三相异步电动机的旋转方向，只需改变旋转磁场的转向即可。

三相异步电动机工作时，如果其转速增加到旋转磁场的转速，则转子导体与旋转磁场间的相对运动消失，转子中的电磁转矩等于零。转子的实际转速  $n$  总是小于旋转磁场的同步转速  $n_1$ ，它们之间有一个转速差，反映了转子导体切割磁感应线的快慢程度。因此，常用这个转速差  $n_1 - n$  与旋转磁场同步转速  $n_1$  的比值来表示异步电动机的性能，称为转差率，通常用  $s$  表示，即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (3-6)$$

在电动机起动的瞬间， $n=0$ ， $s=1$ ，转差率最大；随着转速的上升，转差率逐渐减小，当  $n=n_1$  时， $s=0$ 。即， $s$  在  $0\sim 1$  之间变化。在额定负载时，中小型异步电动机转差率的范围一般在  $0.02\sim 0.06$  之间。

**例 3-4** 已知 Y2-112M-4 三相异步电动机的同步转速  $n_1 = 1\,500$  r/min，额定转差率  $s_N = 0.04$ ，求该电动机的额定转速。

**解：**由  $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$  得

$$n_N = (1 - s_N) n_1 = (1 - 0.04) \times 1\,500 \text{ r/min} = 1\,440 \text{ r/min}$$

### 三、三相异步电动机的运行特性

#### 1. 工作特性

三相异步电动机的工作特性是指在额定电压和额定频率下，电动机的转速  $n$ 、定子电流  $I_1$ 、定子功率因数  $\cos \phi$ 、电磁转矩  $T$ 、效率  $\eta$  等与输出功率  $P_2$  的关系。图 3-23 是三相异步电动机

的特性曲线。

(1) 转速特性 三相异步电动机空载时,转子的转速  $n$  接近于同步转速  $n_1$ 。随着负载的增加,转速  $n$  要略微降低,这时转子产生的感应电动势增大,转子电流增大,以产生大的电磁转矩来平衡负载转矩。因此,随着  $P_2$  增加,转子转速  $n$  下降,转差率  $s$  增大。

(2) 定子电流特性 当电动机空载时,转子电流差不多为零,定子电流等于励磁电流。随着负载的增加,转速下降,转子电流增大。

(3) 定子功率因数 三相异步电动机运行时必须从电网中吸取无功功率,它的功率因数永远小于 1。

空载时,定子功率因数很低,不超过 0.2;当负载增大时,定子电流中的有功电流增加,使  $\cos \phi$  提高了,接近额定负载时  $\cos \phi$  最高;如果负载进一步增大, $\cos \phi$  又开始减小,在 80%  $P_N$  附近有一个最大值。

(4) 电磁转矩  $T$  电动机的转矩一般是指轴上输出的转矩  $T_2$ ,当稳定运行时,电动机的电磁转矩  $T$  等于负载转矩  $T_2$  加上电动机的空载转矩  $T_0$ ,用公式表示为

$$T = 9550 \frac{P_2}{n} + T_0 \quad (3-7)$$

式中:  $T$ ——电动机的电磁转矩 ( $N \cdot m$ );

$P_2$ ——电动机的额定输出功率, kW;

$n$ ——电动机的额定转速, r/min;

$T_0$ ——电动机的空载转矩(指空载时电动机本身的摩擦力矩),  $N \cdot m$ 。

当电动机空载时,电磁转矩  $T = T_0$ ,随着负载增加, $P_2$  增大,转速  $n$  变化不大,电磁转矩  $T$  随  $P_2$  的变化近似为一条直线。

由此可见,输出功率相同的异步电动机,如极数多,则转速低,输出转矩就大;极数少,转速高,则输出的转矩就小,在选用电动机时必须掌握这个规律。

(5) 效率特性 异步电动机将电能转换成机械能,在转换过程中总有能量损耗,异步电动机在运行中的功率损耗  $\Sigma P$  包括:电流在定子和转子绕组上的铜损耗  $\Delta P_{cu}$ ,它与流过定、转子绕组电流的平方成正比,因此与负载大小有关;交变磁通在电动机铁心中产生的磁滞损耗和涡流损耗,统称为铁损耗  $\Delta P_{Fe}$ ,它与定子上所加电压的平方成正比;电动机的机械摩擦、风阻力等,统称为机械损耗  $\Delta P_t$ ,它与电动机转速的平方成正比。

电动机的效率  $\eta$  等于输出功率  $P_2$  与输入功率  $P_1$  之比,即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (3-8)$$

根据式 (3-8) 可知,当电动机空载时, $P_2 = 0$ ,  $\eta = 0$ ,随着输出功率  $P_2$  的增加,效率  $\eta$  也在增加。在正常范围内电压和转速变化很小,铁损耗和机械损耗变化也很小,叫不变损耗。定、转子铜损耗变化很大,叫可变损耗。当不变损耗等于可变损耗时,电动机的效率达到最大。对中、

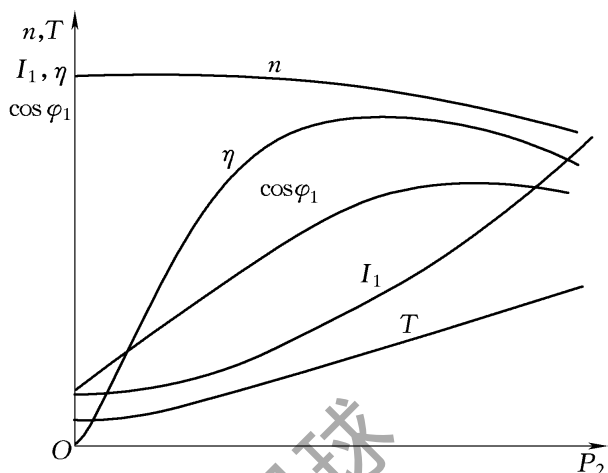


图 3-23 三相异步电动机的工作特性

小型异步电动机,大约  $P_2=0.75 P_N$  时效率最高。如果负载继续增大,效率反而要降低。满载时的效率为 75%~93% 左右,所以电动机应尽可能工作在略小于额定功率的状态。一般来说,电动机容量越大,效率越高。

## 2. 机械特性

三相异步电动机的机械特性是指定子电压和频率为常数时,转速  $n$  与电磁转矩  $T$  之间的关系。由于异步电动机的转矩是由载流导体在磁场中受电磁力的作用而产生的,因此,电磁转矩的大小与旋转磁场的磁通  $\Phi_M$ 、转子导体中的电流  $I_2$  及转子功率因数  $\cos \phi_2$  有关。又因为  $I_2$  和  $\cos \phi_2$  都随转差率  $s$  变化,所以电磁转矩也随转差率而变化,它们之间的关系可用  $T-s$  曲线来表示,如图 3-24 所示。由于转速  $n$  与转差率  $s$  之间存在一一对应的关系,因此,把图 3-24 顺时针转过  $90^\circ$ ,并把转差率  $s$  变换成转速  $n$ ,即得到如图 3-25 所示的机械特性曲  $n=f(T)$ 。

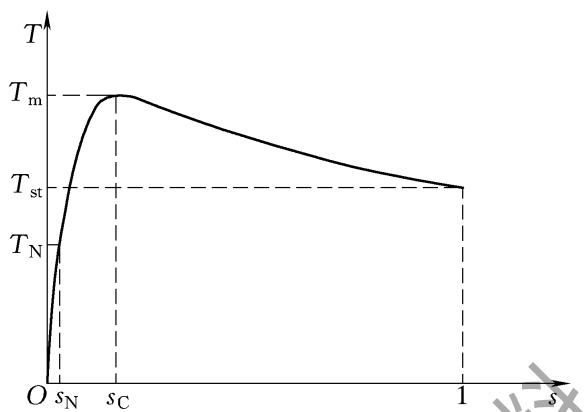


图 3-24 三相异步电动机的  $T-s$  曲线

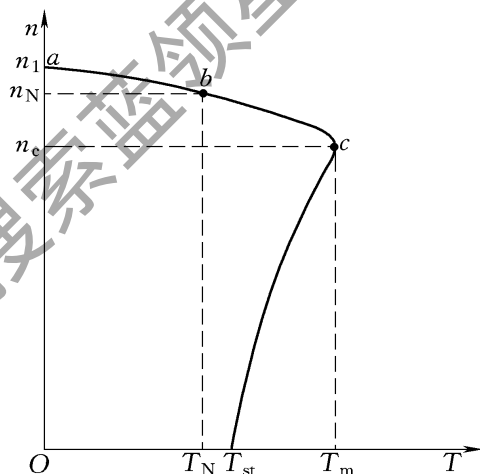


图 3-25 三相异步电动机的机械特性

异步电动机运行时,额定转矩  $T_N$  不能太接近最大转矩  $T_m$ ,使电动机有一定的过载能力,以提高运行的稳定性。电动机产生的最大转矩  $T_m$  与额定转矩  $T_N$  之比称为电动机的过载能力  $\lambda$ ,一般三相异步电动机的  $\lambda$  在 1.6~2.2 之间,起重、冶金用的异步电动机的  $\lambda$  在 2.2~2.8 之间。应用于不同场合的三相异步电动机都要有足够大的过载能力。

通常异步电动机稳定运行在机械特性曲线的 a、b、c 段上,即在  $0 < s < s_c$  范围内,在这段范围内随  $s$  的增加(转速下降),转矩  $T$  相应增加,这个转速范围称为异步电动机的稳定运行区。在稳定运行区内,负载变化时电动机转速变化很小,属于硬机械特性。

在机械特性曲线的 c、 $T_{st}$  段,随着转速的减小,电动机产生的转矩也随之减小,为不稳定运行区。异步电动机一般不能在该区域内正常稳定运行。只有电风扇、通风机等风机型负载在这个区域内能稳定运行,因为随转速的下降电动机转矩减小,风机型负载转矩也急剧地减小,从而使电动机驱动转矩与风机型负载转矩达到新的平衡。

电源电压的波动对电动机的运行影响很大。如当电源电压降为额定电压的 90% 时,电动机的转矩降为额定值的 81%。因此当电源电压过低时,电动机就有可能拖不动负载而被迫停转,这一点在使用电动机时必须注意。

## 四、三相异步电动机的控制

三相异步电动机的控制主要包括起动、调速、反转和制动。

### 1. 三相异步电动机的起动

三相异步电动机起动时转子电流很大,反映到电动机的定子侧,使电动机的起动电流可达到额定电流的5~7倍。如此大的起动电流会使电网电压产生波动,影响其他电气设备的正常工作,而电动机本身的起动转矩只有额定转矩的1.5倍左右。因此,异步电动机的起动问题就是如何减小起动电流,而又产生合适的起动转矩。

(1) 笼型异步电动机的直接起动 直接起动又称全压起动,是将电动机的三相定子绕组直接接到电压为额定电压的电网上起动。其优点是操作和起动设备简单,缺点是起动电流大。因此,直接起动法只用于小容量笼型异步电动机的起动,一般情况下,功率在7.5 kW以下的异步电动机可以直接起动。

(2) 笼型异步电动机的降压起动 降压起动是指在起动时降低加在电动机定子绕组上的电压,起动结束后再加额定电压运行。常用的降压起动方法有以下几种:

1) 自耦变压器(补偿器)降压起动 这种起动方法是利用自耦变压器降低加在定子绕组上的电压,其线路原理如图3-26所示。起动时,先将开关S2合向起动位置,这时自耦变压器将电源电压降低后加到电动机上,待电动机转速升高后,再将开关合向运行位置,使自耦变压器从电路中切除,电动机在额定电压下运行。实际的自耦变压器备有抽头,可以选择不同的起动电压,以满足生产设备对不同起动转矩的要求。在实际使用中,都把自耦变压器与开关触头、操作手把等组合在一起构成自耦减压起动器(又称为起动补偿器)使用。

自耦补偿起动的优点是能很好地限制起动电流,还可以根据不同负载的起动要求选择起动电压,但起动转矩有所下降,因此广泛应用于大、中容量的三相异步电动机空载或轻载起动的场合。其缺点是起动设备体积大,价格高,质量重。

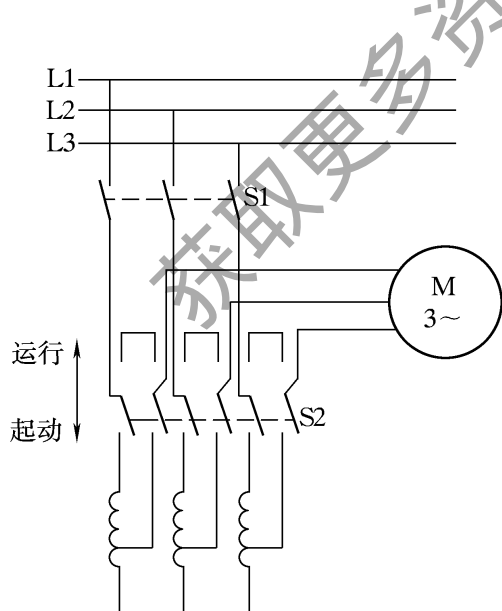


图 3-26 自耦变压器降压起动

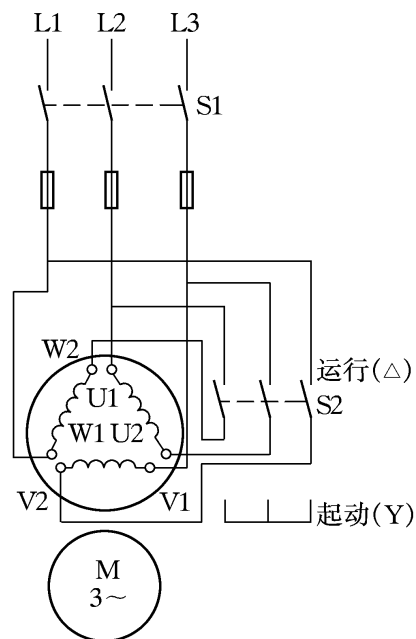


图 3-27 Y— $\Delta$  降压起动

2) 星—三角(Y— $\Delta$ )起动 将定子绕组三角形联结的电动机在起动时改接成星形联结,起动结束后恢复成三角形联结。Y— $\Delta$  起动接线原理如图3-27所示。起动时先把开关投向“起动”位置,定子绕组成Y形联结,待起动结束后,再把开关投向“运行”位置即可。



将定子绕组三角形联结改为星形联结后,起动转矩和电流都要降低到原来的  $1/3$ , 因此,该起动方法只能适用于空载或轻载起动的场合,并且只能用于正常工作时定子绕组为三角形联结的电动机中。Y— $\Delta$ 起动的优点是设备简单、价格低,一般做成自动切换,应用极为广泛。

3) 串电阻(电抗)降压起动 图 3-28 是在定子回路中串电阻降压起动电路。起动时先合上 QS, 电流经电阻流入定子绕组,从而降低了加在定子绕组上的电压。当电动机转速接近额定转速时,再合上开关 S, 将电阻器短接,电动机全压运行。由于串电阻起动时,在电阻上有能量损耗而使电阻发热,故一般常用铸铁电阻片。有时为了减小能量损耗,也可用电抗器代替。串电阻降压起动具有设备线路简单,起动平稳,工作可靠,起动时功率因数高等优点。缺点是电阻的功率损耗大、温升高,所以一般不宜用于频繁起动。

(3) 绕线转子异步电动机的起动 绕线转子异步电动机的转子采用三相对称绕组,且均为星形联结。起动时通常在三相绕组中串接可变电阻起动,也有部分用频敏变阻器起动。

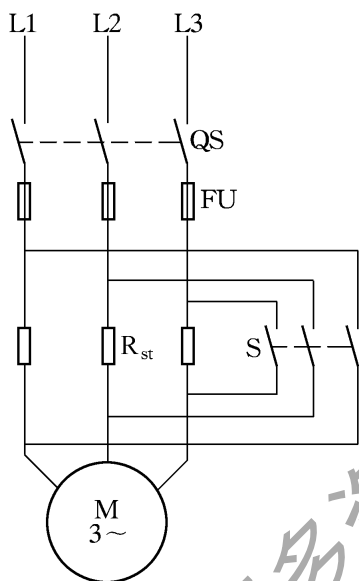


图 3-28 串电阻降压起动

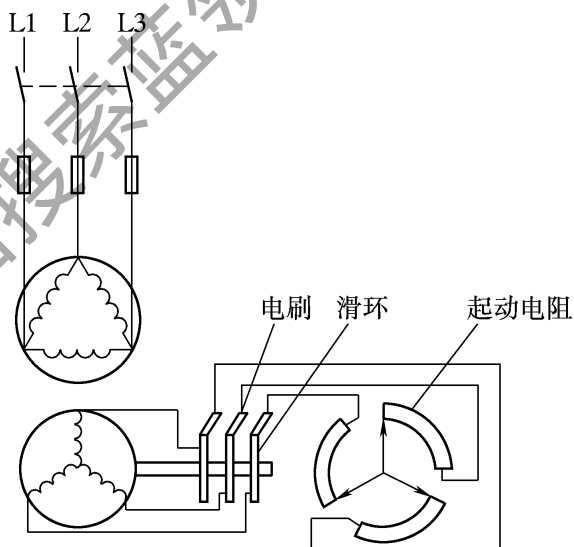


图 3-29 绕线转子电动机串电阻起动

绕线转子异步电动机串接电阻起动电路如图 3-29 所示。起动时,手柄置于图中所示位置,起动变阻器的电阻值最大,随着电动机转速的升高,手柄顺时针方向转动,串入转子电路的电阻值逐渐减小,当电阻被全部切除(即电阻值为零)时,转子回路直接短路,电动机起动结束。此方法一般适用于小容量的绕线转子电动机。当电动机容量稍大时,则采用图 3-30 所示的电路,此时电阻值不是均匀地减小,而是通过接触器触点或凸轮控制器触点的开闭有级地切除电阻,电动机转速逐步增加,一直到起动过程结束。电动机在整个起动过程中,起动转矩较大,适合于重载起动,主要用于桥式起重机、卷扬机、龙门吊车等。其缺点是所需起动设备较多,有一部分能量消耗在起动电阻上。

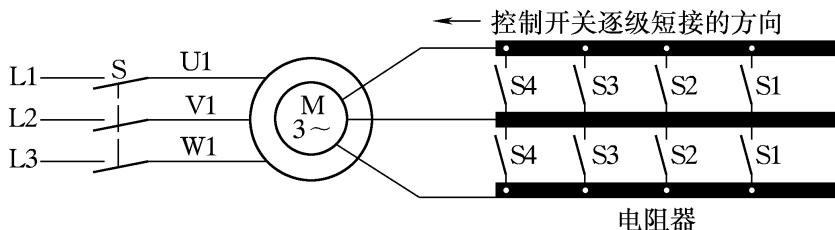


图 3-30 绕线转子电动机串电阻有极起动

## 2. 三相异步电动机的调速

所谓调速就是在负载不变的情况下,用人为的方法来改变电动机的转速,以满足不同生产机械的要求。其公式表示为

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{60 f_1}{p} (1 - s) \quad (3-9)$$

从式(3-9)可以看出,三相异步电动机有以下有三种调速方法:

(1) 变极调速 变极调速是通过改变定子旋转磁场的极数来达到改变电动机转速的目的。由  $n_1 = 60 f_1 / p$  可知,当电源频率一定时,改变定子绕组的接法如图 3-31 所示,将每相定子绕组的两部分由串联改成并联,使极对数减少一半,则同步转速  $n_1$  提高一倍,转子转速也将随之提高一倍,从而达到调速的目的,这就是变极调速的原理。某些磨床、铣床和镗床上常用的多速电动机就是通过改变极对数来实现的。

变极调速只用于笼型异步电动机,其优点是设备简单,操作方便,效率高;缺点是调速级数少。国产 YD 系列双速电动机常采用的变极方法是  $\Delta/YY$  接法,属恒功率调速方式,用于金属切削机床上;也有部分采用 Y/YY 接法,属于恒转矩调速,适用于起重、运输等机械。

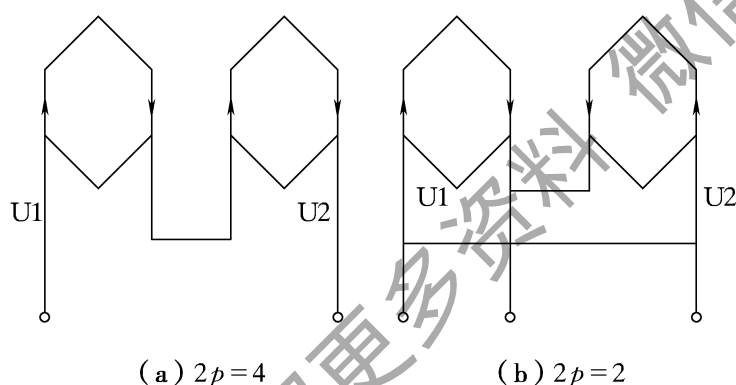


图 3-31 三相异步电动机变极调速的原理

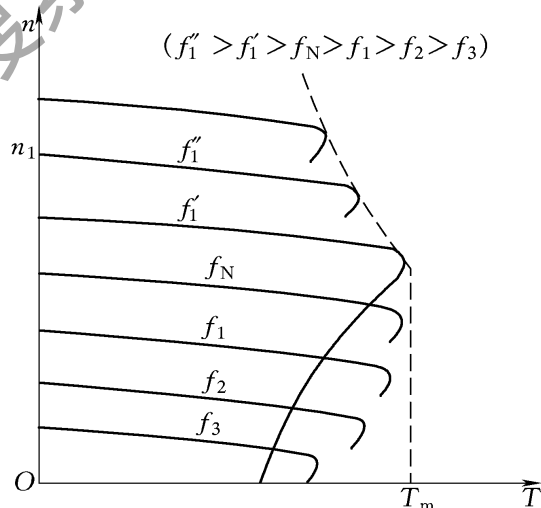


图 3-32 变频调速的机械特

(2) 变频调速 由于三相异步电动机的同步转速  $n_1$  与电源频率  $f_1$  成正比,连续地改变电源的频率,就可以连续平滑地调节异步电动机的转速。变频调速的机械特性如图 3-32 所示。在额定频率以下,电压与频率成正比减小,  $\Phi_m$  基本不变,与他励直流电动机降低电源电压调速相似,机械特性较硬,调速范围宽且稳定性好,属恒转矩调速方式。在额定频率以上,频率升高,电压不变,  $\Phi_m$  减小,类似他励直流电动机弱磁升速情况,属恒功率调速方式。

变频调速为无级调速,其调速范围大、平滑性好、效率高,能适应不同负载的要求。不足之处是调速系统较复杂,成本较高。近些年来,随着电力电子技术的发展,变频装置性能的提高及价格的降低,变频调速已在各个领域得到了广泛应用。

(3) 变转差率调速 常用的改变转差率调速方法有变阻调速和变压调速。

1) 变阻调速 变阻调速是通过改变电动机转子电路的外接电阻来实现的,因此只适用于绕线转子电动机。对应于一定的负载转矩,在转子电阻不同时,就有不同的转速,且电动机的转速随转子电阻值的增加而下降。其原理与转子串接电阻起动是一样的,但起动时用的转子外接电

阻功率较小,不能用于调速;而调速用的外接电阻功率较大,可用作起动。变阻调速的优点是所需设备简单,并可在一定范围内进行调速。缺点是调速电阻上有一定的能量损耗,使电动机效率较低;转速随负载的变化较大;空载和轻载时调速范围很窄。它主要用于运输、起重机械的调速。

2) 变压调速 变压调速是通过改变电动机定子绕组上的电压来实现的,适用于笼型异步电动机的调速。当加在定子绕组上的电压发生改变时,它的机械特性如图 3-33 所示。这是一组临界转速不变,但最大转矩随电压的平方而下降的曲线。对于一般性负载,转速变化很小,实用价值不大。但对于风机型负载,其负载转矩与转速的平方成正比。如图中虚线所示,其调速范围较宽,调速作用明显,但机械特性很软,为此常采用带有转速负载反馈的控制系统来解决速度稳定性问题。目前,大多数电扇都采用串电抗器或晶闸管调压调速。

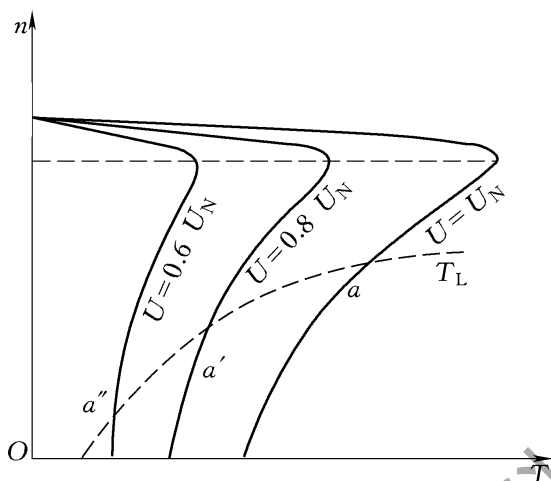


图 3-33 笼型异步电动机改变定子电压调速

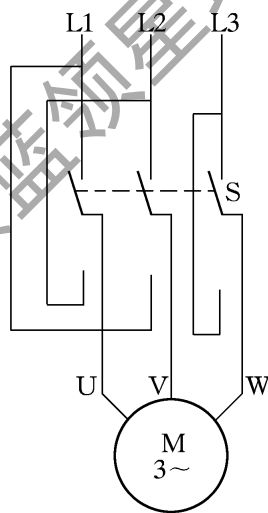


图 3-34 三相异步电动机正反转电路图

### 3. 三相异步电动机的反转

三相异步电动机转子的转向与旋转磁场的转向相同,而旋转磁场的转向取决于定子绕组通电电流的相序,因此,要使电动机反转只要将接在定子绕组上的任意两根相线对调即可。图 3-34 是利用倒顺开关来实现电动机正反转的原理电路图。当开关向上合时,假定电动机正转,当开关向下合时,电动机反转。

### 4. 三相异步电动机的制动

为了使电动机迅速、准确地停转,必须对电动机实行制动。根据制动转矩产生的方法不同,可将其分为机械制动和电气制动两类。

机械制动通常是靠摩擦产生制动转矩,最常用的装置是电磁抱闸,如图 3-35 所示。断电制动型电磁抱闸的原理是:电动机通电运行时,制动器的线圈通电产生电磁力,通过杠杆将闸瓦拉开使电动机的转轴可自由转动,当电动机断电停转时,电磁线圈与电动机同步断电,电磁吸力消失,在弹簧的作用下闸瓦将电动机的转轴紧紧抱住,

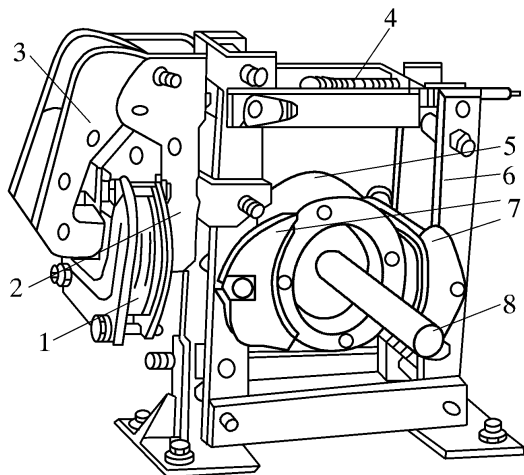


图 3-35 电磁抱闸装置

1—电磁铁线圈; 2—铁心; 3—衔铁; 4—弹簧; 5—闸轮;  
6—杠杆; 7—闸瓦; 8—轴

使电动机迅速停止转动。起重机械,如桥式起重机、提升机、电梯等,经常使用电磁抱闸,当电动机断电停转时保证定位准确,并避免重物自行下坠而造成事故。

电气制动是使异步电动机产生与转动方向相反的电磁转矩,使电力拖动系统迅速停转或限制转速。常用的电气制动方法有反接制动、能耗制动和再生制动三种。

(1) 反接制动 反接制动的原理与电动机反转是一样的,改变正在转动的电动机定子绕组中任意两相的接线,使磁场反转,从而使转子导体中产生与转向相反的电磁转矩,使转速很快下降到零。当电动机转速接近于零时,立即切断电源,避免电动机反转。在开始制动的瞬间,电动机的转子电流比起动时电流还大( $s > 1$ ),为限制电流的冲击往往在定子绕组中串入限流电阻器  $R$ 。这种制动的优点是停车迅速,设备简单;缺点是对电动机及负载冲击大,一般只用于小型电动机且不经常停车制动的场合。

(2) 能耗制动 能耗制动是在断开定子绕组交流电源的同时,立即给两相定子绕组通入直流电,使定子产生恒定磁场。由于惯性的作用,此时转子仍沿着顺时针方向旋转,切割定子磁场产生感应电动势和电流(用右手定则判断),从而起到制动作用。制动转矩的大小与直流电流的大小有关,直流电流一般为电动机额定电流的  $0.5 \sim 1$  倍。其制动过程如图 3-36 所示。这种制动方法是利用转子的惯性转动切割磁通而产生制动转矩,把转子的动能消耗在转子回路的电阻上,所以称为能耗制动。能耗制动的优点是制动力较强,制动过程平稳,对电网影响小。缺点是需要直流电源,低速时制动效果差,一般用于要求迅速停车的场合。

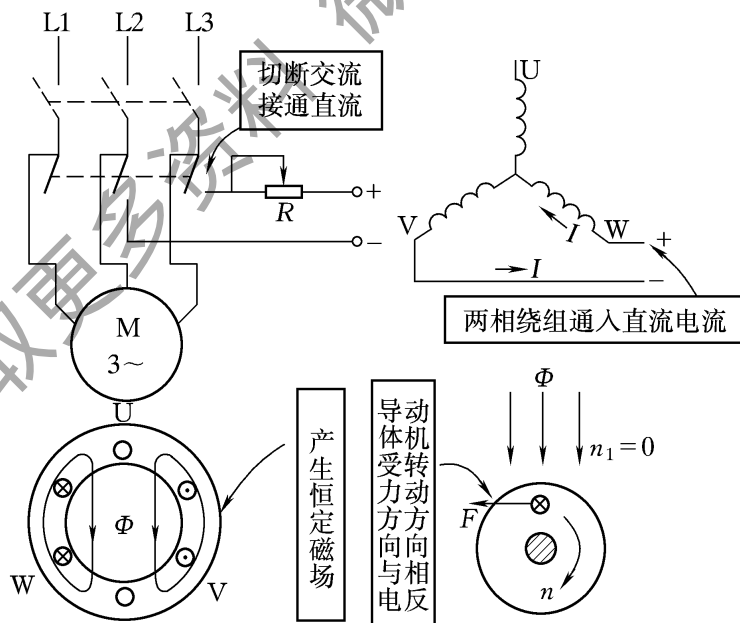


图 3-36 异步电动机的能耗制动

(3) 再生制动 再生制动又称回馈制动或发电制动,它是指由于外力的作用(一般指势能负荷,如起重机在下放重物时),电动机的转速  $n$  超过了同步转速  $n_1$  ( $s < 0$ ),转子导体切割磁场的方向与电动机运行的状态相反,转子电流与产生的电磁转矩改变了方向,驱动力矩变为制动力矩,电动机在制动状态下运行,即电动机是将机械能转化为电能,向电网反送电,故称为再生制动,又称回馈制动或发电制动。再生制动可向电网回馈电能,所以经济性能好,但应用范围很窄,

只有在  $n > n_1$  时才能实现。它常用于起重机、电力机车和多速电动机中,而且只能限制电动机转速,不能制停。

## 五、三相异步电动机的使用、维护及故障处理

### 1. 三相异步电动机起动前的检查

(1) 对照电动机的铭牌数据中所规定的额定值与要求,检查电源、起动设备的容量、规格是否与电动机配套。

(2) 检查配线大小是否合适,电动机的接线是否正确,端子有无松动。

(3) 测试绝缘电阻,检查电动机的起动方法。

(4) 用手转动电动机转轴,检查是否灵活,确定电动机的转向。

(5) 电动机起动设备是否良好,所带负载是否正常。

### 2. 三相异步电动机起动和运行中的注意事项

(1) 电动机的转向是否正确。

(2) 在起动和加速过程中,是否有异常的声响和振动。

(3) 起动电流是否正常,电压降的大小是否影响周围电气设备的正常运行。

(4) 电动机的三相电压、电流是否正常,起动时间是否符合要求。

(5) 起动装置的动作是否正常,冷却系统、控制系统的动作是否正常。

### 3. 三相异步电动机的维护

三相异步电动机的维护可分为日常维护、每月或定期维护、每年维护三种。

在日常维护中,主要是检查电动机的润滑系统、外观、温度、噪声、振动等是否有异常情况,以及通风系统、滑动摩擦状况和紧固情况,认真做好记录。

在每月或定期维护中,主要检查开关、配线、接地装置等有无松动、破损现象,并及时进行修理或更换;检查粉尘堆积的情况,及时清扫;检查引线和配线有无损伤和老化。

每年维护的内容除上述项目外,还要检查和更换润滑剂,必要时,要拆解电动机,进行抽心检查、清扫或清洗油垢,检查绝缘电阻并进行干燥处理,检查零部件生锈和腐蚀情况。

### 4. 三相异步电动机的常见故障及其处理方法

#### (1) 电动机无法起动

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
无任何声响	电源未能真正接通	检查电源线路是否完好,熔断器是否熔断,起动设备、控制线路、过载保护是否正确
有开关动作声或电动机嗡嗡声	电源缺相或电压过低	检查线路,恢复三相或查找电压过低原因并排除
	定子绕组接线错误	对照铭牌检查接线,纠正错误
	定子或绕线电动机转子绕组断路	找出断路点接好,若已烧坏则需重新绕制
	负载过大或传动机构卡死	减小负载或排除机械故障
	绕线式电动机转子回路开路	找出开路点,加以修复

## (2) 电动机转速不正常

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
三相电流不平衡	匝间短路或某相绕组内部接反	拆开修理或更换绕组,调整接线
空载时电流偏大	电源电压过高	查找原因并排除
	轴承损坏或装配不良	调整或更换轴承
带负载后转速过低	电源电压过低	调节电压至额定值并设法稳定电压
	负载过大	核对负载,调整为额定负载
	笼型转子绕组松动或断条	更换转子
	绕线电动机转子绕组一相接触不良或断开	检查电刷压力,电刷与滑环接触情况及转子绕组

## (3) 电动机温升过高或冒烟

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
温升过高	负载过重或起动过于频繁	减轻负载或减少起动次数
	通风不良	检查风扇是否正常,风道是否畅通
	定子绕组接线错误	对照铭牌检查接线,纠正错误
电枢过热	定子绕组接地或匝间、相间短路	查找接地或短路部位,加以修复
	定、转子相擦	检查轴承、转子是否变形,并修理或更换
	电压过高、过低或缺相	检查恢复三相电压,并稳定电压为额定值
轴承过热	轴承磨损或润滑不良	更换轴承或加入适量润滑油

## (4) 电动机噪声和振动过大

辅助故障现象	可能的原因	检查和排除方法
振动过大	电动机安装不妥	检查电动机安装情况及地脚螺丝是否拧紧
	转动部分不平衡	校正转子、转轴等部位的平衡
	负载突然过重	减轻负载
有异常响声	电源缺相	检查线路,恢复三相电压
	轴承损坏或润滑不良	更换轴承或清洗并润滑轴承
	定、转子相擦	检查轴承、转子是否变形,并修理或更换
	有异物进入或风扇碰机壳	清除异物或调整扇叶

### 第三节 单相异步电动机

单相异步电动机是利用单相电源供电的一种小容量交流电动机。由于它结构简单、成本低廉、运行可靠、维修方便等优点,在电动工具等方面得到了广泛的应用。与同容量的三相异步电动机相比,单相异步电动机的不足之处是体积较大,运行能力较差,效率较低。单相异步电动机的容量一般在几瓦到几百瓦之间。

#### 一、单相异步电动机的结构和工作特点

##### 1. 单相异步电动机的结构

单相异步电动机的结构原理和三相异步电动机的原理大体相似,即它的转子为笼型结构,定子采用在定子铁心槽内嵌放单相定子绕组,如图 3-37 所示。

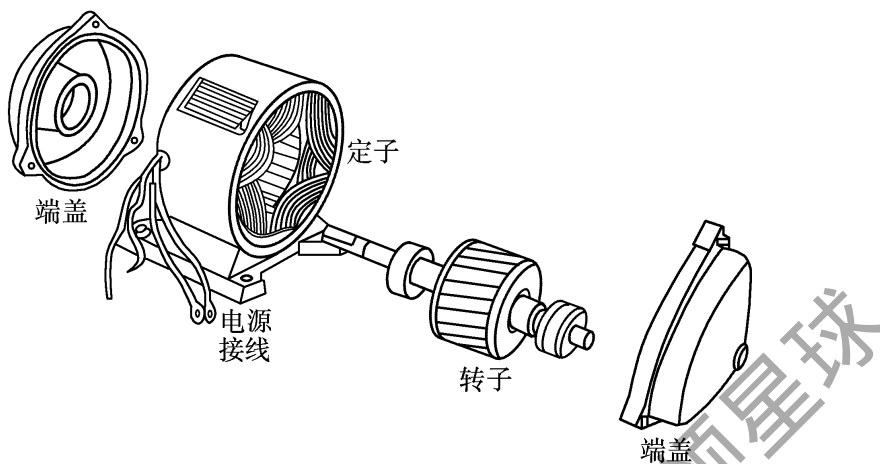


图 3-37 单相异步电动机的结构

## 2. 单相异步电动机的工作特点

在单相定子绕组中通入单相交流电后,产生的磁场不是旋转磁场,而是脉动磁场。一个脉动磁场可以分解为两个大小相等、方向相反的旋转磁场,单相异步电动机的电磁转矩  $T$  等于在正、反转磁场分别作用下产生的电磁转矩  $T^+$  和  $T^-$  之叠加。如果单相异步电动机定子上只有主绕组,当转速  $n=0$  时,电磁转矩  $T=0$ ,无起动转矩,电动机不能起动。但电动机一旦获得初速度起动后,  $T^+$  和  $T^-$  不再相等,电动机就能继续运转,且运转方向取决于初速度的方向。

## 3. 单相异步电动机的起动

为了解决单相异步电动机的起动问题,在单相定子上安装两套绕组,一套是工作绕组(或称主绕组),长期接通电源工作;另一套是起动绕组(称为副绕组或辅助绕组)。如果工作绕组与起动绕组对称(匝数相等、空间互差  $90^\circ$ ),通入相位差  $90^\circ$  的两相交流电,则可产生旋转磁场,转子便能自行起动。转动后的单相异步电动机,切除起动绕组后仍可以继续运行。这种把单相交流电变为两相交流电的起动方法称为单相异步电动机的分相起动。

## 二、单相异步电动机的分类

单相异步电动机根据分相的方法可分为单相电阻起动异步电动机、单相电容起动异步电动机、单相电容运行异步电动机、单相电容起动与运行异步电动机和单相罩极式异步电动机等。

### 1. 单相电阻起动异步电动机

单相电阻起动异步电动机的起动绕组通过一个起动开关和工作绕组并接到单相电源上,如图 3-38 (a) 所示。起动开关的作用是:当转子转速上升到一定大小(一般为  $75\% \sim 80\%$  的同步转速)时,

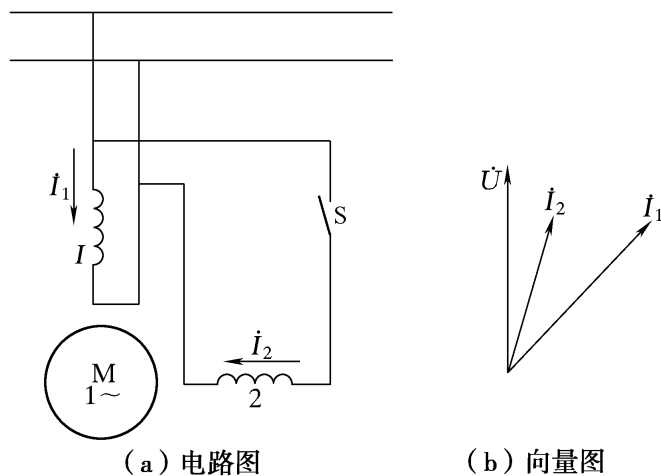


图 3-38 单相电阻起动异步电动机

断开起动绕组电路,使电动机运行在只有主绕组通电的情况下。为了使起动时工作绕组中的电

流与起动绕组中的电流之间有相位差,工作绕组匝数多,导线粗,起动绕组匝数少,导线细。当两个绕组并联接在同一个电源时,会流过不同相位的电流,起动绕组电流  $I_1$  超前于工作绕组  $I_2$  一个角度,如图 3-38 (b) 所示,从而产生旋转磁场,获得起动转矩。

这种电动机起动转矩不大(一般为额定转矩的 1.2~2 倍),但起动电流较大,在电冰箱中得到了广泛的应用。

## 2. 单相电容起动异步电动机

在起动绕组中串入一个电容器,就构成单相电容起动异步电动机。由于电容器的作用,使起动绕组中的电流  $I_2$  超前于工作绕组中电流  $I_1$  一定的相位差。当电容量合适时,可使相位差接近  $90^\circ$ ,从而产生一个接近圆形的旋转磁场,获得较大的起动转矩。

单相电容起动异步电动机在起动绕组中也串接了一个起动开关,其结构如图 3-39 所示。离心开关的旋转部分安装于电动机转轴上,与电动机一起旋转;静止部分则安装在端盖或机座上,静止部分由两个相互绝缘的半圆形铜环组成,其中一个接电源,另一个接起动绕组。电动机静止时,安装在旋转部分的三个指形铜触片在拉力弹簧的作用下,分别压在两个半圆形铜环的侧面,由于三个指形铜触片本身是连通的,这样使起动绕组与电源接通,电动机开始起动。当电动机转速达到一定数值后,指形铜触片由于离心力的作用向外张开,使铜触片与半圆形铜环分离,即将起动绕组从电源上切除,电动机起动结束,进入正常运行。

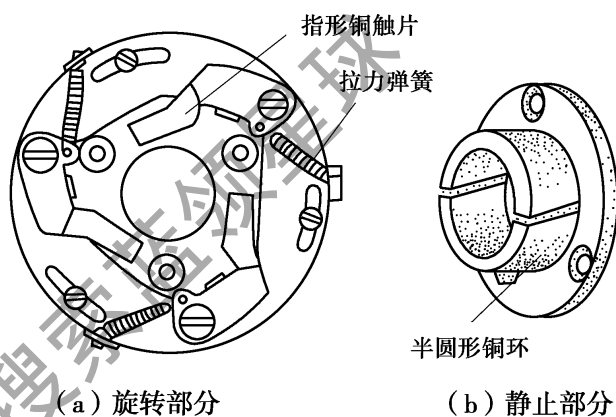


图 3-39 离心开关结构

单相电容起动异步电动机的起动转矩大,起动电流小,起动性能好,适用于各种满载起动的机械,如小型空气压缩机、木工机械等。

## 3. 单相电容运行异步电动机

将单相电容起动异步电动机中的起动开关去掉,起动绕组的导线加粗,就组成了单相电容运行异步电动机,如图 3-40 所示。这种电动机的起动绕组和电容不仅在起动时起作用,运行时也起作用,实际上是两相电动机,适当选择电容器的容量,可使两电流相位差接近  $90^\circ$ ,如图 3-40 (b) 所示,这样运行时能产生较强的旋转磁场,可以提高电动机的功率因数和效率,改善工作性能。

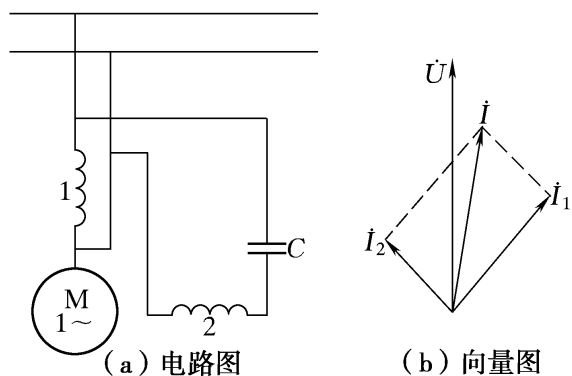


图 3-40 单相电容运行异步电动机

单相电容运行异步电动机的电容量较小,其起动性能不如单相电容起动异步电动机,但由于这种电动机结构简单,价格低,工作可靠,运行性能好,所以广泛用于电风扇、空调、电子仪表等用电设备中。

## 4. 单相电容起动与运行异步电动机

为了使电动机在起动和运行时都能得到比较好的性能,在起动绕组中采用了两个并联的电容器,如图 3-41 所示。电容器  $C_1$  容量较小是运行时长期使用的,电容器  $C_2$  容量较大是在起动时使用的。起动时,两个并联电容同时作用,电容量较大,电动机有较好的起动性能。当转速



上升到一定程度时,开关自动断开,保留一个小电容参与运行,以确保运行时也有较好的性能。

单相电容起动与运行异步电动机虽然结构复杂,成本高,但起动与运行性能都有改善,因此主要用于要求起动转矩大,功率因数较高的设备上,如电冰箱、水泵、小型机车等。

### 5. 单相罩极式异步电动机

单相罩极式异步电动机是结构最简单的一种单相异步电动机,它的定子铁心通常用 0.5 mm 厚的硅钢片叠压而成,按磁极形式的不同可分为凸极式和隐极式两种,它们的原理完全一样,只是凸极式结构简单,更为常见。凸极式按励磁绕组布置的位置不同,又分为集中励磁和单独励磁两种,励磁绕组均称为定子绕组,转子都采用笼型结构,如图 3-42 所示。

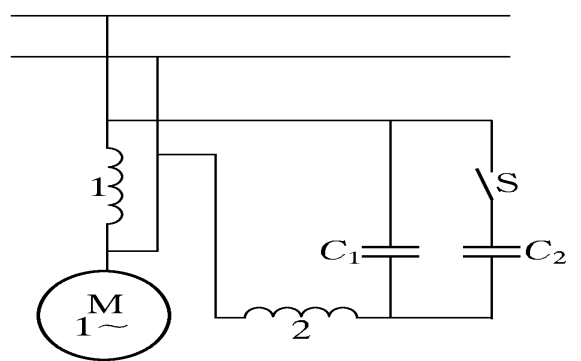
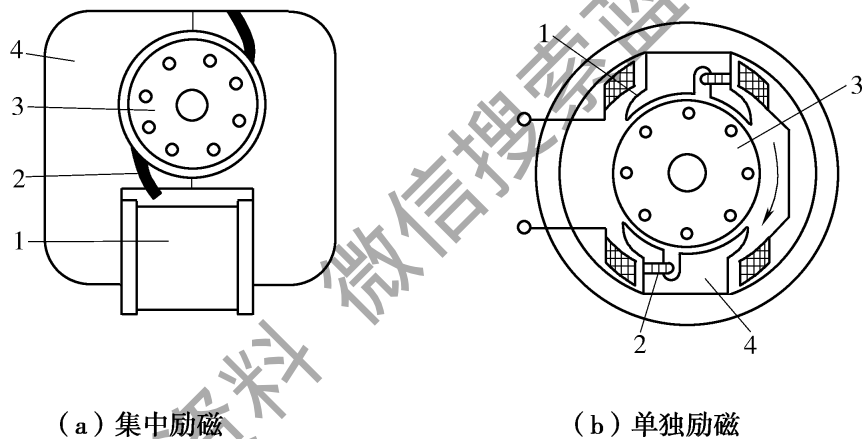


图 3-41 单相电容起动与运行异步电动机



(a) 集中励磁

(b) 单独励磁

图 3-42 凸极式罩极电动机

1—定子绕组; 2—罩极; 3—转子; 4—凸极式定子铁心

在单相罩极式电动机每个磁极极面的  $1/3 \sim 1/4$  处开有小槽,将磁极分成两部分。在极面较小的部分套装铜制的短路环,就好像把这部分磁极罩起来一样,所以称为罩极式电动机。

当罩极式电动机和定子绕组通入单相交流电后,在定子绕组与短路铜环的共同作用下,磁极之间形成一个连续移动的磁场,好似旋转磁场一样,从而使笼型转子受力而旋转。

在交流电流增大过程中,磁通量增加,短路环中产生感应电动势和电流,阻止磁通进入短路环,这时的磁通主要集中在磁极的未罩部分,如图 3-43 (a) 所示。

当交流电流到达最大值时,电流和磁通量基本不变,短路环中的电动势和电流很小,基本上不起作用,磁通在整个磁极中均匀分布,如图 3-43 (b) 所示。

在交流电流减小过程中,磁通量减少,短路环中的电动势和电流阻止磁通量减少,使每个磁极中的磁通集中在被罩部分,如图 3-43 (c) 所示。

交流电流方向改变后,磁通同样由未罩部分向被罩部分移动。这样,罩极电动机的磁极就形成了分布在空间的移动的磁通,有规律地从未罩部分向被罩部分移动,好像磁场旋转一样,从而使笼型结构的转子获得起动转矩,也由未罩部分向被罩部分旋转,即使改变电源的接法,也不能改变它的转向。

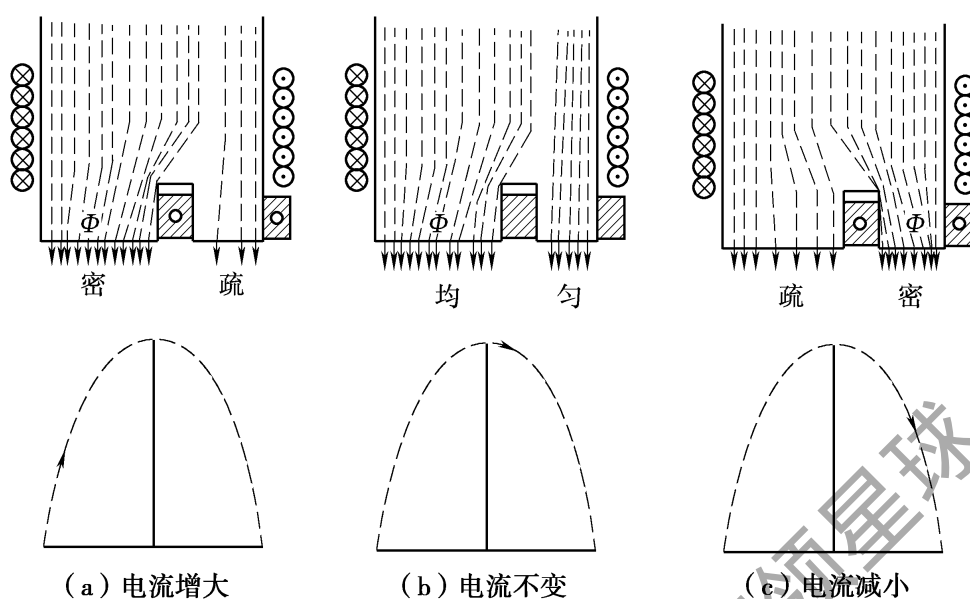


图 3-43 罩极电动机中磁场的移动原理

罩极式电动机的主要优点是结构简单,制造方便,成本低,运行时噪声小,维护方便。缺点是起动和运行性能较差,转向只能由未罩部分向被罩部分旋转,主要用于小功率空载起动的场合,如计算机的散热风扇、各种微型电扇等。

### 三、单相异步电动机的反转与调速

#### 1. 单相异步电动机的反转

与三相异步电动机一样,要使单相异步电动机反转必须使旋转磁场反转,因为异步电动机的转向是从电流相位超前的绕组向电流相位落后的绕组旋转的,如果把其中绕组反接,旋转磁场的方向必将随之改变。一般是把工作绕组或起动绕组的首端和末端与电源的接线对调,也有电容运行单相电动机采用将电容器从一组绕组中改接到另一组绕组中的方法实现反转。

#### 2. 单相异步电动机的调速

单相异步电动机和三相异步电动机一样,恒转矩负载的转速调节是较困难的。对容量较小的通风机类负载,如吊扇、台扇等,一般采用电容运行单相异步电动机,为了达到控制其风量和风速的目的,大多带有调速装置,而且大多采用改变定子绕组电压的方法来调速。

(1) 串电抗器调速 将电抗器与电动机定子绕组串联,利用电抗器上产生的电压降,使加到电动机定子绕组上的电压下降,使电动机转速由额定转速往下调。通过调节抽头改变电抗器上的电压降,可以使电动机获得不同的转速。其电路如图 3-44 所示。

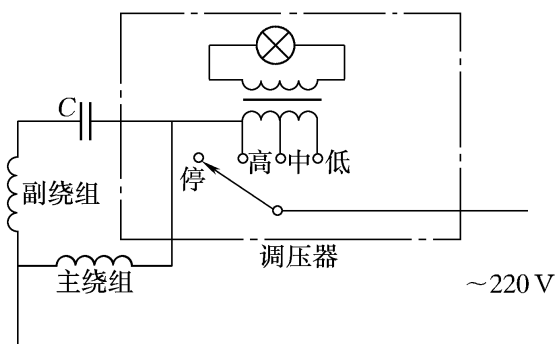


图 3-44 串电抗器调速电路

这种调速方法简单,操作方便,但只能有级调速,且电抗器上消耗电能,现已很少使用。

(2) 采用 PTC 元件调速 所谓微风,是指电扇转速在 500 r/min 以下送出的风,如果采用一般的调速方法,风扇电动机在这样低的转速下很难起动。在图 3-44 所示电路的基础上设置微

风挡,并在此挡上串联 PTC 元件,利用 PTC 元件在常温下电阻很小的特点,使电动机能够在微风挡直接起动;起动后由于电流的热效应,PTC 元件的电阻迅速增大,使电动机进入微风挡运行。

(3) 晶闸管调速 晶闸管调速是通过改变晶闸管的导通角,来改变加在电动机上的交流电压,从而调节电动机的转速,如图 3-45 所示。整个吊扇晶闸管调压调速电路只用了双向晶闸管、双向二极管、带电源开关的电位器、电阻和电容等 5 个元件,电路结构简单,调速、节能效果好,可以做到无级调速;但会产生一些电磁干扰,大量用于风扇调速。

除以上介绍的几种调速方法外,还有采用自耦变压器调速、串电容器调速、变极调速和变频调速等方法。滚筒洗衣机就是采用变极调速,通过改变定子旋转磁场的磁极对数改变电动机的转速,从而获得两种转速。变频调速可适合各种类型的负载,随着交流变频调速技术的发展,单相变频调速已在家用电器上应用,如变频空调等,它是交流调速控制的发展方向。

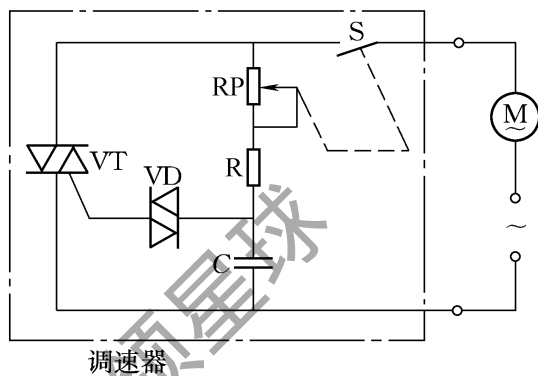


图 3-45 吊扇晶闸管调压调速电路

#### 四、单相异步电动机的使用与检修

单相异步电动机的使用大体上与三相异步电动机相仿。在电动机的运行过程中也要注意电动机转速是否正常起动,温升是否过高,是否有焦臭味,在运行中是否有杂音和振动等。

电动机的检修,可根据故障症状推断故障可能部位,并通过一定的检查方法,找出损坏的地方,以使故障排除。

##### 1. 通电后电动机不能起动

可能的原因	检查和排除方法
通电即断熔丝,电路或电动机可能有短路	检查电路及电动机,查找熔断原因并更换合格熔丝
电源不通或电源电压不正常	检查电源和控制电器
电动机定子绕组,起动绕组开路或损坏	用万用表检查,修理或更换绕组
电容器损坏或断开	用万用表检查并更换同规格的电容器
离心开关触点接触不良	修理或更换
转子卡住	转子负载应能用手平滑转动,检查轴承是否灵活,定转子是否相碰,传动机构是否受阻
过载	检查所带负载是否正常

##### 2. 电动机通电起动慢,转速过低

可能的原因	检查和排除方法
电源电压偏低	找出原因并设法提高电源电压
绕组有局部短路	排除短路故障或更换绕组
电容器规格不符或容量变小	调换合格电容器
转子笼条或端环断裂	修理或更换转子
电动机负载过重	检查轴承及负载情况

### 3. 电动机通电后不转动,但可按拨动方向转动

可能的原因		检查和排除方法
分相式电动机	起动绕组短路	应逐一检查,排除故障点
	电容器损坏	
	起动开关坏	
	起动电路接触不良	
罩极式电动机	一般是短路铜环断路	拆开电动机检查

### 4. 电动机运行时温升过高

可能的原因	检查和排除方法
工作绕组或起动绕组匝间短路或接地	找出故障处,修理或更换
工作绕组与起动绕组相互接线	改正接线
起动开关无法断开,使起动绕组长期运行	检修或更换起动开关
轴承内润滑油干涸	清洗轴承并加新的润滑油

### 5. 电动机运转中响声异常

可能的原因	检查和排除方法
绕组短路或接地	找出故障点,修理或更换
轴承损坏或缺少润滑油	更换轴承或加润滑油
定子与转子之间有硬杂物	清除杂物
离心开关损坏	修理或更换
电扇风叶变形	修理或更换

## 第四节 伺服电动机

伺服电动机又称执行电动机,在自动控制系统中作为执行元件使用。它具有服从控制信号的要求而动作的功能,在信号到来之前,转子静止不动;信号到来之后,转子立即转动;一旦信号消失,转子能快速控制停转;若信号改变方向,转子则立即反转。由于这种“伺服”性能,才称之为伺服电动机。它的作用是把所输入的电信号转换为电动机转轴的角位移或角速度输出,以驱动控制对象。伺服电动机按使用电源的不同,可分为交流伺服电动机和直流伺服电动机两大类。

随着电子技术的发展和自动化程度的不断提高,伺服电动机的应用范围日益扩大,对其要求也不断提高,出现了许多新结构形式的电动机。伺服控制系统对它的基本要求可归结为:可控性好,响应快,稳定性好,调速范围大,控制功率小,重量轻,体积小,耗电省。

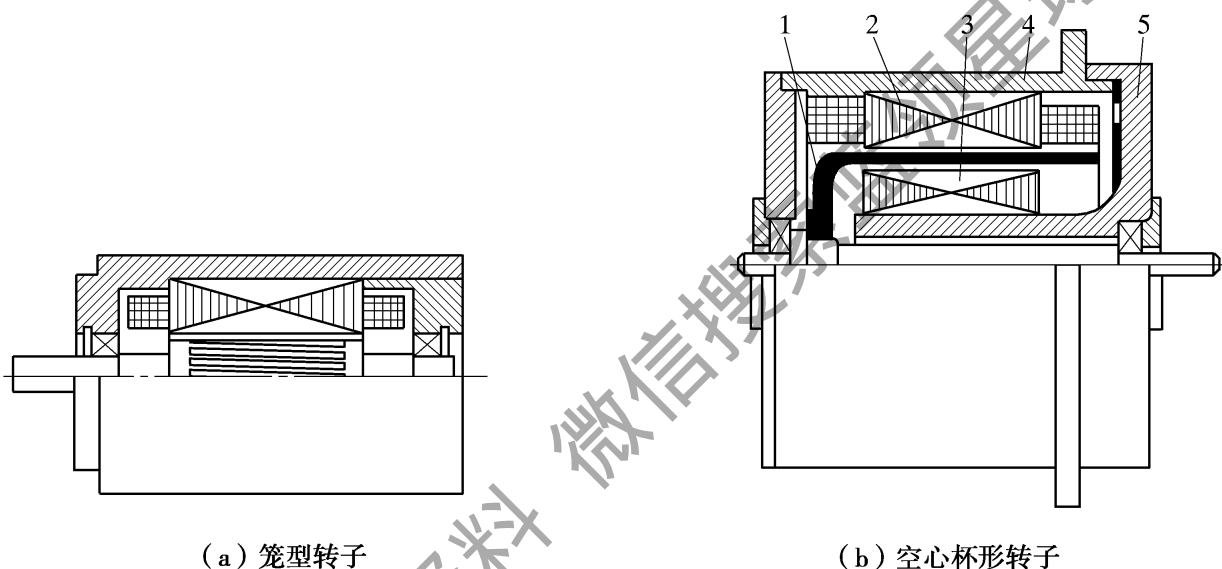
### 一、交流伺服电动机

#### 1. 基本结构

交流伺服电动机实际上是一种小型的两相交流异步电动机。定子的结构和单相异步电动机的相似,在定子铁心上放置着空间相差 $90^\circ$ 角的两相绕组,即励磁绕组和控制绕组。运行时励磁绕组始终加上额定的交流励磁电压,控制绕组上则加大小或相位随信号变化的控制电压。

转子的结构形式有笼型和空心杯型两种。笼型转子的结构与一般三相笼型异步电动机的相同,但是为了减小转子的转动惯量,增加起动转矩和对输入信号的快速反应,克服自转现象,需要做得细而长,且转子导体用高电阻率的材料(如青铜)制成,如图3-46(a)所示。

空心杯型转子交流伺服电动机的结构如图3-46(b)所示,它的定子分为外定子和内定子两部分。外定子的结构与笼型交流伺服电动机的定子相同,铁心槽内放有两相绕组。内定子由环形硅钢片叠成,一般不放绕组,只是代替笼型转子的铁心,作为磁路的一部分,以减少磁路的磁阻。空心杯型转子是由导电的非磁性材料(如铜或铝)制成的一个薄壁圆筒(或称空心杯),放在内外定子之间。杯子底部固定于转轴上,杯壁薄而轻,厚度一般在 $0.2\sim 0.8\text{ mm}$ ,因而转动惯量小,动作快速敏捷。



(a) 笼型转子

(b) 空心杯形转子

图3-46 交流伺服电动机结构

1—杯形转子; 2—外定子; 3—内定子; 4—机壳; 5—端盖

## 2. 工作原理

交流伺服电动机的工作原理和单相异步电动机的相似,当两相绕组处于对称状态时,在气隙中产生的合成磁场为一旋转磁场,转速为同步转速。交流伺服电动机将顺着磁场旋转方向,以转速 $n$ ( $s$ 转差率)稳定旋转。

实际运行过程中,通常是改变加在控制绕组上电流的大小或相位差,使电动机工作在不对称状态,圆形旋转磁场变为椭圆形旋转磁场,使电动机的转速下降。椭圆形旋转磁场的圆度随控制电压的大小或相位而变化,旋转磁场的圆度不同,电动机的转速就不同。

## 3. 交流伺服电动机的工作特性

伺服电动机的工作特性以机械特性和调节特性为表征。交流伺服电动机的机械特性是指在一定的控制电压 $U_c$ 时,电动机的转矩 $T$ 与转速 $n$ 之间的关系,如图3-47所示。在控制电压一定时,负载增加,转速下降。调节特性是指当负载转矩一定的情况下,控制电压与电动机转速之间的关系,如图3-48所示。图中负载转矩 $T_3 > T_2 > T_1$ ,在负载一定时,控

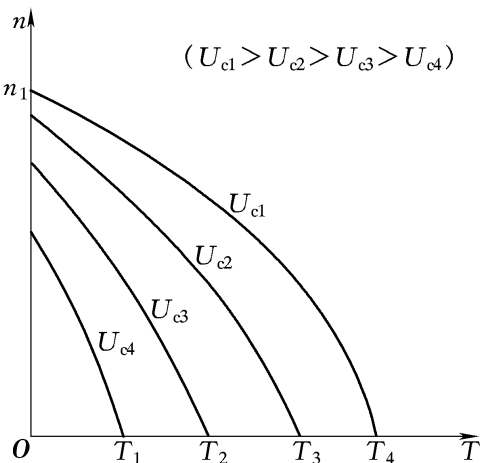


图3-47 伺服电动机的机械特性图

制电压越高,转速也越高。

伺服电动机有三个显著特点:

- (1) 起动转矩大 由于转子导体电阻很大,定子加上控制电压,转子立即起动运转。
- (2) 运行范围宽 在转差率从 0~1 的范围内都能稳定运转。
- (3) 无自转现象 由于转子导体电阻足够大,使它在单相运行时合成转矩为负值,即为制动转矩,因此当失去控制电压后,交流伺服电动机处于单相运行状态时,不会产生自转现象,可以自行制动。这是交流伺服电动机与异步电动机的重要区别。

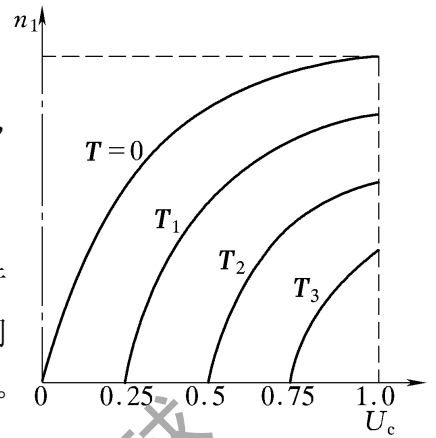


图 3-48 伺服电动机的调节特性

不同类型的交流伺服电动机有不同的特点。笼型转子交流伺服电动机有励磁电流小、体积小、机械强度高优点;但是低速运行不够平稳,有抖动现象。空心杯型转子交流伺服电动机具有结构简单、维护方便、转动惯性小、运行平滑、噪声小、没有无线电干扰、无抖动现象等优点;但是励磁电流较大、体积也较大、转子易变形,性能上不及直流伺服电动机。

#### 4. 交流伺服电动机的控制方式

当负载转矩一定时,可以通过调节加在控制绕组上的信号电压的大小及相位,达到改变交流伺服电动机的转矩和转速的目的,因此交流伺服电动机的控制方式有以下几种:

- (1) 幅值控制 控制电压与励磁电压的相位差保持 90° 不变,改变控制电压的大小。
- (2) 相位控制 控制电压与励磁电压的大小保持额定值不变,改变控制电压的相位。
- (3) 幅值—相位控制 同时改变控制电压的幅值和相位。这是最常用的一种控制方式。

伺服电动机反转是通过改变加在控制绕组上的控制电压的相位来实现的,当加在控制绕组上的电压反相时(保持励磁电压不变),由于旋转磁场的转向改变,则电动机反转。

#### 5. 交流伺服电动机的应用

交流伺服电动机适用于 0.1~100 W 小功率自动控制系统中,频率有 50 Hz、400 Hz 等多种。笼型转子交流伺服电动机产品为 SL 系列,空心杯型转子交流伺服电动机为 SK 系列,用于要求运行平滑的系统中,通常作为随动系统,遥测和遥控系统的主传动元件。

在伺服系统中,通常采用速度控制和位置控制两种方式,原理方框图如图 3-49 所示。

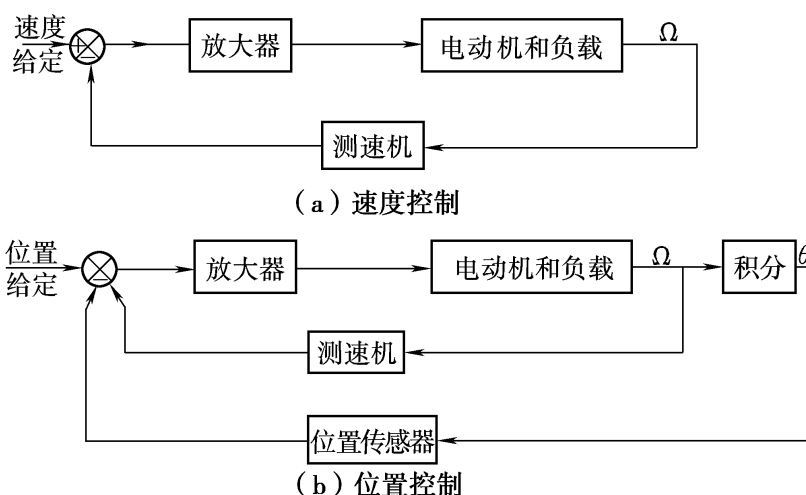


图 3-49 伺服电动机控制系统方框图

## 二、直流伺服电动机

### 1. 基本结构

#### (1) 普通型直流伺服电动机

其基本结构与普通小型直流电动机相同,所不同的是由于直流伺服电动机的电枢电流很小,换向并不困难,因此都不装换向磁极,并且转子做得细长,气隙较小,磁路不饱和,电枢电阻较大。按励磁方式不同,可分为电磁式和永磁式两种。电磁式直流伺服电动机的磁场由励磁绕组产生,一般用他励式;永磁式直流伺服电动机的磁场由永久磁铁产生,无需励磁绕组和励磁电流,可减小体积和损耗,其结构简单,特别适合于小功率的场合。转子铁心与普通电动机的一样,用硅钢片冲制叠压而成,在表面开有槽,用以嵌放电枢绕组,经换向器和电刷连通内外电路。

#### (2) 低惯量型直流伺服电动机

这类伺服电动机除具有一般直流伺服电动机的特点外,还具有转动惯小、机电时间常数小,换向良好、低速运行性能好等性能特点。

1) 无槽电枢直流伺服电动机 产品型号为 SWC,两种励磁方式都可采用,其电枢铁心上不开槽,为光滑圆柱体,电枢绕组用环氧树脂粘在电枢铁心表面,气隙较大,如图 3-50 所示。广泛应用于需要快速动作、功率较大的直流伺服系统。

2) 空心杯型电枢直流伺服电动机 产品型号为 SYK,励磁方式为永磁式。它的电枢绕组用环氧树脂浇注成杯形,置于内、外定子之间,内、外定子分别用软磁材料制成,如图 3-51 所示。它可用于需要快速动作的直流伺服系统。

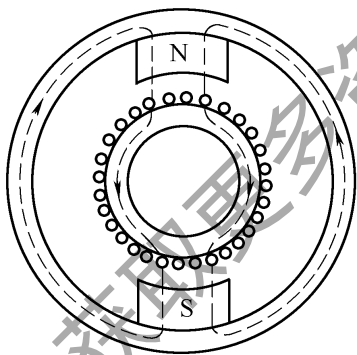


图 3-50 无槽电枢直流伺服电动机结构

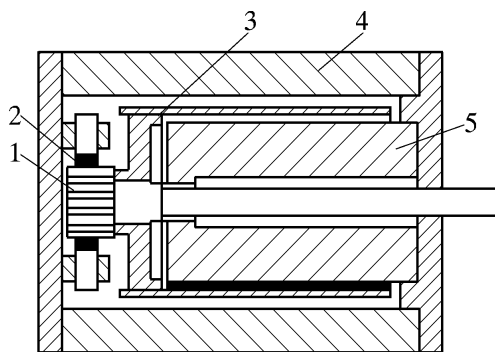


图 3-51 空心杯形电枢直流伺服电动机结构

1—换向器; 2—电刷; 3—空心杯形电枢;  
4—外定子; 5—内定子

3) 印制绕组直流伺服电动机 产品型号为 SN,电枢是在圆盘形绝缘薄板上印制裸露的绕组,磁极为永磁式,是轴向安装,如图 3-52 所示。它适用于低速和起动、反转频繁的控制系統。

4) 无刷直流伺服电动机 产品型号为 SW,励磁方式为永磁式,它的转子由永久磁铁制成,电枢绕组在定子上,且做成多相式,如图 3-53 所示。它由晶体管开关电路和位置传感器代替电刷和换向器,既保持了一般直流伺服电动机的优点,又克服了换向器和电刷带来的缺点,寿命长,噪声低,一般用于要求噪声低,对无线电不产生干扰的控制系統中。

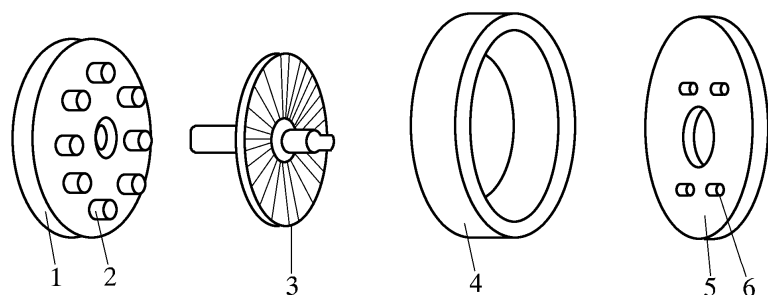


图 3-52 印制绕组直流伺服电动机

1—磁轭 (端盖); 2—永久磁钢; 3—印刷绕组; 4—机壳; 5—磁轭 (端盖); 6—电刷

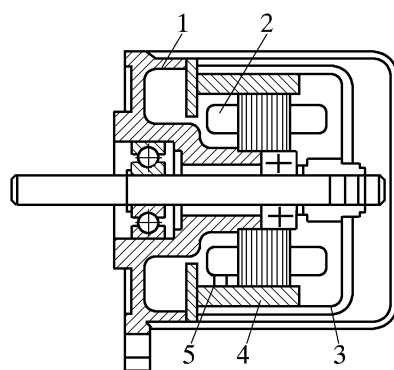


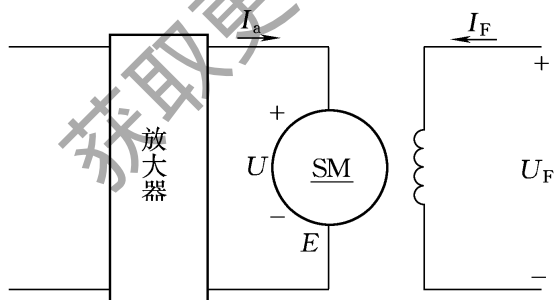
图 3-53 无刷直流伺服电动机

1—机壳; 2—电枢; 3—外转子; 4—外定子; 5—内定子

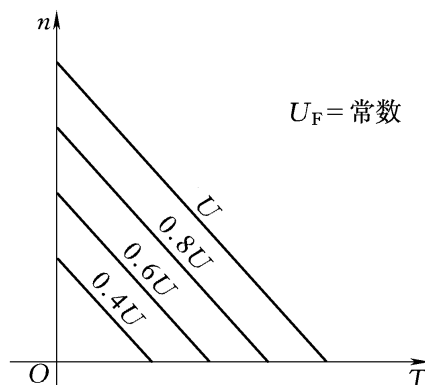
## 2. 直流伺服电动机的工作原理及特性

直流伺服电动机的工作原理与普通小型他励直流电动机相同,其转速由信号电压控制。信号电压若加在电枢绕组两端,称为电枢控制。若加在励磁绕组两端,则称为磁场控制。由于电枢控制的直流伺服电动机具有机械特性好、精度高、响应速度快等优点,所以一般都采用电枢控制方式。直流伺服电动机的机械特性与他励直流电动机的一样。

采用电枢控制时接线原理如图 3-54 (a) 所示。当励磁不变时,对不同的电枢电压 (即信号电压)  $U$  有一组平行的机械特性,如图 3-54 (b) 所示。从负载特性可以看出,负载转矩一定 (即电磁转矩一定) 时,转速与控制信号电压成正比。当控制信号电压消失时,电动机工作在能耗制动状态,能迅速停转。对应不同的负载转矩,电动机开始转动的电压也不相等。显然转矩越大,始动电压也越大。低于始动电压的区间,电动机转不起来,称为失灵区或死区。直流伺服电动机的转向随控制电压的极性改变而改变。



(a) 电枢控制接线原理图



(b) 电枢控制机械特性

图 3-54 直流伺服电动机

直流伺服电动机具有线性的机械特性,起动转矩大,调速范围宽且平滑,无自转现象,与同容量交流伺服电动机相比,重量轻,体积小。缺点是转动惯量大,反应灵敏度较差。

## 3. 直流伺服电动机的应用

直流伺服电动机适用于功率稍大 (1~600 W) 的自动控制系统中,主要用于数控机床等设备的控制系统中。



### 三、伺服电动机的使用和维修

#### 1. 伺服电动机的使用注意事项

1) 使用他励式电枢控制的直流伺服电动机时,要先接通励磁电源,然后再加上电枢电压。在工作过程中,一定要防止励磁绕组断电,以免因电枢电流过大而造成电枢超速。

2) 当用晶闸管整流电源时,最好采用三相全波桥式电路。若选用其他形式的整流电路时,应用良好的滤波装置,否则直流伺服电动机只能在降低容量的情况下使用。

#### 2. 伺服电动机的维修

1) 直流伺服电动机的检修及修理后的试验与普通直流电动机相同。

2) 拆装交流伺服电动机时环境要清洁、整齐,避免任何机械碰撞和冲击,以免引起零件的变形,丧失精度,引起质量下降。在装配过程中,还应注意接触导电部分的质量。例如在具有电刷和滑环的电动机中,应注意它们的相对位置、接触的可靠和电刷的压力正确。

3) 在绕组重绕时应注意根据不同条件,正确选用绝缘材料,避免匝间短路,并保证绕组匝数的准确性,以保证线圈质量。

## 第五节 特殊电动机

特殊电动机是指具有某种特殊功能和作用的电动机。除了在某些特殊场合做动力使用外,大多数是在自动控制系统和计算机装置中做检测、放大、执行、校正和解算等元件使用。特种电动机的品种繁多,本章仅对常用电动机作简要的介绍。

### 一、电磁调速异步电动机

电磁调速异步电动机又名滑差电动机,由三相异步电动机、测速发电机、转差离合器和控制装置组成。它是一种交流无级变速电动机。

#### 1. 电磁调速电动机的结构

目前国产的电磁调速异步电动机的结构有两种,一种为组合式结构的中小型电动机(国产型号JZ、TZ);另一种则为整体式结构(国产型号JZ、TT),即将异步电动机和电磁转差离合器组装在一个壳内成为一个整体的电动机。

电磁调速异步电动机的结构特点是除了一台普通异步电动机外,还有一个电磁转差离合器。离合器实质上是一台电动机,借磁场作用将主动轴的转矩传递到从动轴,即输出轴。转差离合器的结构示意图如图3-55所示,它由主动部分和从动部分组成。

##### (1) 主动部分

转差离合器的主动部分是电枢(外转子),它与异步电动机的转轴硬连接并一起旋转。电枢用铁磁性材料做成,形状是圆筒形,有实心钢体和铝合金杯形等结构。驱动动力多是笼型异步电动机。

##### (2) 从动部分

转差离合器的从动部分由励磁绕组、磁极、滑环和输出轴等组成。磁极(内转子)结构有凸极式、爪式、感应式三种形式,爪式结构较多。

## 2. 电磁调速电动机的工作原理

电磁调速电动机的接线如图 3-56 所示,电磁调速电动机的无级调速主要是通过转差离合器来实现的。离合器的工作原理以结构较简单的爪形磁极、圆筒形刚体电枢组成的转差离合器为例来说明。

电枢由异步电动机带动旋转,如果没有给励磁绕组供电,从动部分不会旋转。如果通过电刷和滑环向磁极上的励磁绕组通入直流电流,磁极上即产生磁通;经过爪极—气隙—电枢—气隙—爪极而闭合。在原动机起动后,离合器的电枢就会随电动机在磁场中以转速  $n$  旋转,于是电枢与磁极便有相对运动。根据电磁感应定律可知,电枢切割

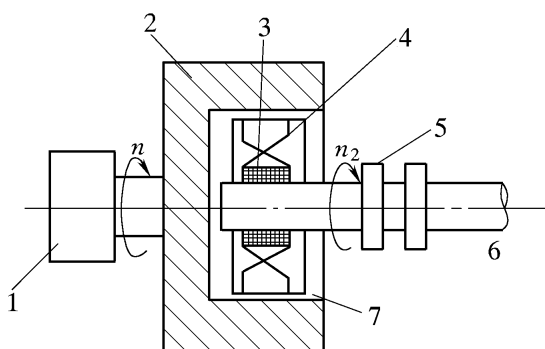


图 3-55 转差离合器的结构示意图  
1—异步电动机; 2—电枢; 3—励磁线圈; 4—爪形磁极; 5—集电环; 6—输出轴; 7—气隙

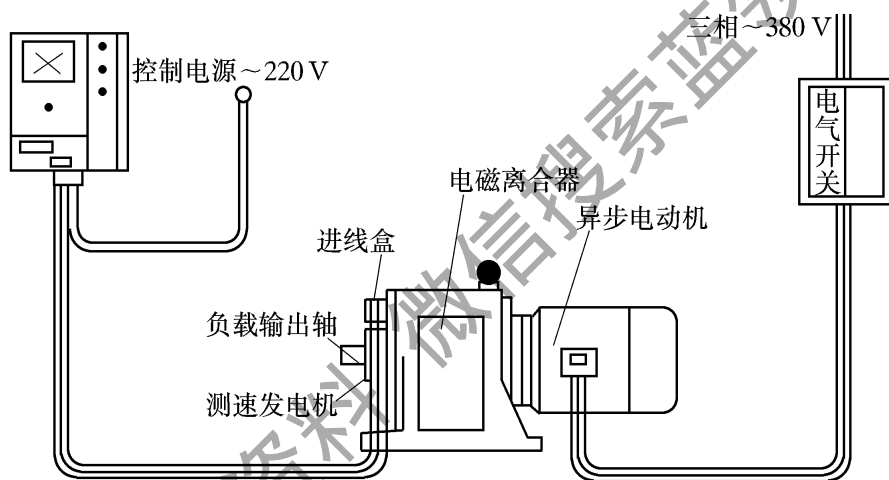


图 3-56 电磁调速电动机的接线

磁场将产生电动势。由于电枢由整体铸钢做成,就会产生涡流。涡流与磁场互相作用产生转矩,迫使磁极作为从动部分随之旋转,转矩通过输出轴拖动负荷运行。与异步电动机的工作原理相似,从动部分的转速  $n_2$  必定小于主动部分的转速  $n$ ,只有这样才能产生转矩,所以叫做转差离合器。转差离合器的磁场由直流电流产生,依靠电枢的转动才起着旋转磁场的作用。

当离合器的从动轴上带有一定负载时,励磁电流的大小就决定了从动部分转速的高低,励磁电流愈大,磁场愈强,电枢感应电动势和涡流愈大,电磁转矩愈高。所以,通过控制装置改变励磁线圈中的电流的大小,就可以改变输出轴转速的高低。

## 3. 电磁调速电动机的特点

1) 电磁调速电动机的机械特性曲线很软,在一定的励磁电流下,负载稍有波动,转速变化就很大,为了达到平滑稳定调速的目的,需要装置测速发电机,使调速系统具有速度负反馈环节,以提高电动机的运行性能。

2) 转差离合器是依靠涡流工作的,而涡流使电枢发热,所以电磁调速异步电动机效率较低,特别是低速运行时,电枢的涡流发热更大,因此电磁调速异步电动机不能长时间低速运行。

3) 若要改变输出轴的转动方向,必须改变异步电动机的转动方向。

## 4. 电磁调速电动机的应用

电磁调速电动机的调速范围可达 1:10 (120~1 200 r/min), 功率为 0.6~100 kW。这种电动机调速范围广, 速度调节平滑, 起动转矩大, 结构简单、方便, 适用于纺织、化工、食品等工业。缺点是机械特性软, 稳定性差, 在低速时离合器的效率和输出功率比较低。

#### 5. 电磁调速电动机的维护和保养

1) 检查 在使用电磁调速电动机时要经常清洁处理, 随时注意有无不正常现象产生, 每月至少停车检查清洁一次。

2) 润滑 要给电磁调速电动机定期注油和加润滑油。

3) 更换轴承 如果电动机轴承磨损, 将会影响运行性能。因此若发现相擦、电动机过分发热, 应及时修理调换新轴承, 更换润滑油。

4) 测试测速机 应经常测试电磁调速电动机的测速发电机。若发现电压不足, 应拆下并对转子充磁。

5) 绝缘检查 要防止绝缘物受潮使用, 特别是控制器, 在长期停运再使用前, 应检查绝缘电阻, 其阻值不应低于 1 MΩ, 否则需干燥处理。

6) 校准转速表 要定期校准转速表。

#### 6. 电磁调速电动机的故障判断及修理

##### (1) 接通电源后指示灯不亮

产生原因	排除方法
插头座或印制线路板插脚接触不良	用酒精擦拭插头座及印制线路板插座
指示灯损坏	更换灯泡
熔丝未装入或未旋紧	装入熔丝并旋紧
电源开关接触不良	更换开关

##### (2) 通电后熔丝烧断

产生原因	排除方法
励磁绕组通地、短路	测试励磁绕组的绝缘情况及直流电阻值, 检查接线是否正确
测速机断线	更换接线
晶闸管、续流管击穿	检查或更换元器件

##### (3) 电动机运转时有摆动

产生原因	排除方法
离合器励磁绕组极性接反	将接线头对调

##### (4) 轴承发响, 声音异常, 温升过高

产生原因	排除方法
轴承损坏或不良, 润滑脂过少或变质	清洗, 更换轴承, 添加新润滑油

##### (5) 不能调速

产生原因	排除方法
负载过小	把负载加到 10% 以上
控制器损坏	检修控制器

## (6) 负载转速变化率很大

产生原因	排除方法
控制器未接电源	检查电源接线状况
测速发电机电压低	测量测速发电机电压,当速度为 1 000 r/min 时,不低于 20 V
测速发电机绕组或线路断路	测量电阻,找出断线处,更换新线
控制器损坏	检修控制器

## 二、步进电动机

步进电动机是一种将电动机脉冲信号变换成角位移或直线位移的执行元件。每输入一个电脉冲,电动机就转动一个角度或前进一步,所以称步进电动机,又称脉冲电动机。它的种类很多,但基本上为反应式(国产为 BF 系列)和永磁式(国产为 BYF 系列)两种。反应式步进电动机具有惯性小,反应快和速度高等优点,应用较广。

## 1. 基本结构

反应式步进电动机的定子相数一般为 2~6 相,定子极数为相数的 2 倍。图 3-57 为三相反应式步进电动机的示意图,其定子上装有 6 个均匀分布的磁极,每个磁极上都装有控制绕组,并接成星形联结,其中每两个相对的磁极组成一相;定子铁心由硅钢片叠成。转子上没有绕组,有 4 个均匀分布的齿,齿宽与定子磁极宽度相等。转子由硅钢片或软磁材料叠成。

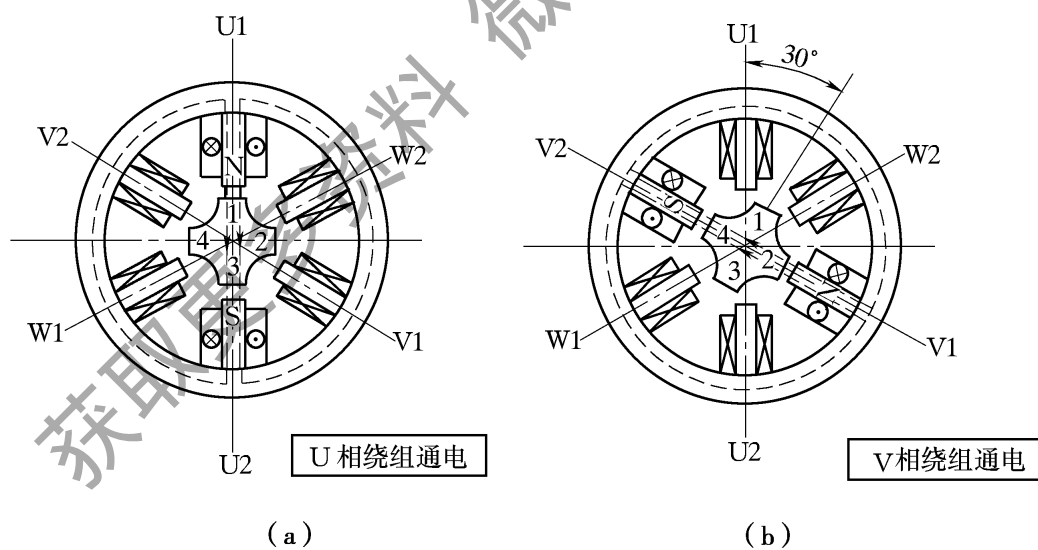


图 3-57 反应式步进电动机三相单三拍运行原理图

## 2. 工作原理

反应式步进电动机是利用磁阻转矩使转子转动的,其他形式的电动机原理与它相似。

## (1) 三相单三拍控制

步进电动机工作时,定子各相绕组轮流通电(即轮流输入脉冲电压),当 U 相绕组通入电脉冲时,气隙中产生一个沿 U1U2 轴线方向的磁场。由于磁通总是沿磁阻最小的路径闭合,于是产生磁拉力,使转子铁心齿 1、3 与 U 相绕组轴线 U1U2 对齐,如图 3-57 (a) 所示。此时,转子只受沿 U1U2 轴线上的拉力作用而具有自锁能力。要使步进电动机继续转动,必须立即将电流从 U 相换到 V 相绕组,由于这样的原因,转子铁心齿 2、4 与 V 相绕组 V1V2 对齐,即转子顺时针转

过  $30^\circ$ ，如图 3-57 (b) 所示。当 W 相绕组通电而 V 相绕组断电时，同样转子又将按顺时针方向转过  $30^\circ$  电角度。由此可知，若定子绕组按  $U \rightarrow V \rightarrow W \rightarrow U \rightarrow \dots$  的顺序轮流通电，则转子就按顺时针方向一步一步地转动，每一步转过  $30^\circ$  电角度。每一步转过的角度称为步距角  $\theta$ 。从一相通电换接到另一相通电称作一拍，每一拍转过一个步距角。若定子绕组按  $U \rightarrow W \rightarrow V \rightarrow U \rightarrow \dots$  顺序通电，转子必沿逆时针方向一步一步转动。步进电动机的转速取决于脉冲频率，频率越高，转速越快。

上述通电方式称为三相单三拍运行。“单”是指每次只有一相绕组通电，“三相”是指一个循环只换接三次。这种运行方式，在一相控制绕组断电而另一相控制绕组通电的交替时刻容易造成失步，另外由单一控制绕组通电吸引转子也容易造成转子在平衡位置附近产生振荡，因此运行稳定性较差，很少采用。

### (2) 三相双三拍控制

为了克服三相单三拍控制的缺点，通常可改为三相双三拍控制，即按  $UV \rightarrow VW \rightarrow WU \rightarrow UV \rightarrow \dots$  的顺序通电，每次有两相绕组同时通电，如图 3-58 (a)、(c) 所示。双三拍控制与单三拍运行的原理相同，步距角仍为  $30^\circ$  角，但工作更稳定。

### (3) 三相六拍控制

三相六拍控制的通电顺序为  $U \rightarrow UV \rightarrow V \rightarrow VW \rightarrow W \rightarrow WU \rightarrow U \rightarrow \dots$ ，每一循环共六拍，其中三拍为单相通电，三拍为两相通电。其运行的工作原理如图 3-58 所示，三相六拍通电时步距角为  $15^\circ$  电角度。

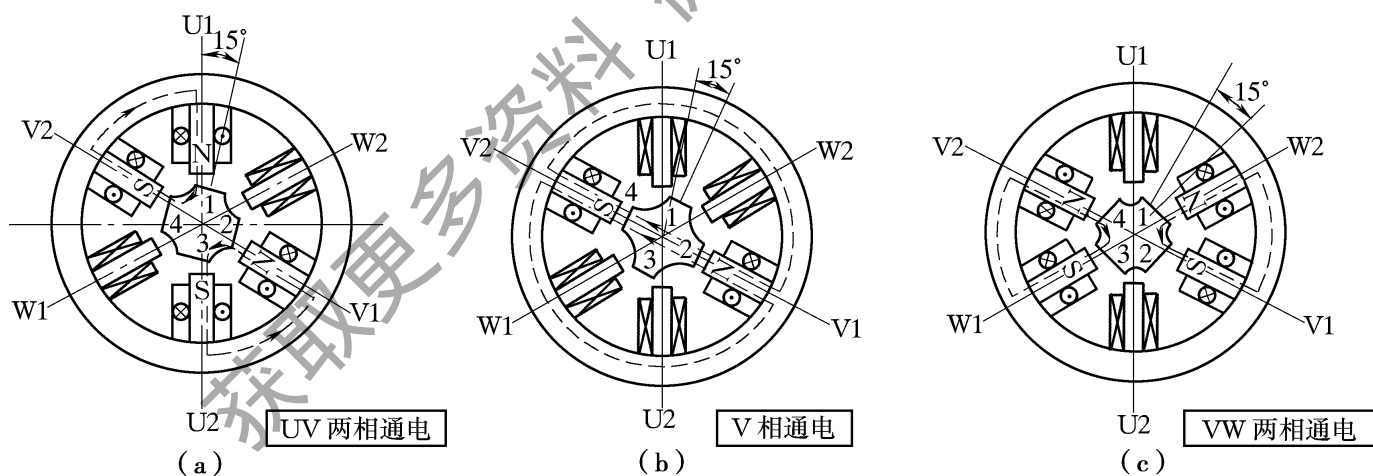


图 3-58 反应式步进电动机三相六拍运行原理图

如果步进电动机输入电脉冲的频率很低，则每输入一个脉冲，转子都转过一个步距角，这种控制方式称为角度控制。三相三拍通电方式的步距角为  $30^\circ$ 。三相六拍通电方式的步距角为  $15^\circ$ ，其步距角都比较大，不能满足数控系统对精度的要求，因此，实际应用中常做成特性较好的小步距角结构。

步进电动机除了三拍的以外，也可以制成两相、四相、五相或更多相，相数越多，步距角越小，但脉冲电源复杂，成本也越高。

## 3. 步进电动机的应用及控制系统

步进电动机具有结构简单，维护方便，工作可靠，调速范围大，起动、制动、反转灵敏等特点，其步距角不受电压波动、负载变化的影响，在不丢步的情况下，其角位移（或直线位移）误差不会

长期积累,故而精确度高,且其转速只决定于电源频率,因此广泛应用于数控机床、自动记录仪、数—模交换和计算机外部设备的自动控制系统中。

步进电动机本体与其驱动电源构成了步进电动机实际应用的系统,如图 3—59 所示。系统运行性能不仅与步进电动机本身有关,还与驱动电源密切相关。驱动电源一般由可变频的脉冲发生器、脉冲分配器和功率放大器三个主要部分组成。为了实现对步进电动机的正反转、调速、启动、制动等控制要求,还必须加入控制环节及其保护线路,从而构成一个开环或闭环的控制系统。

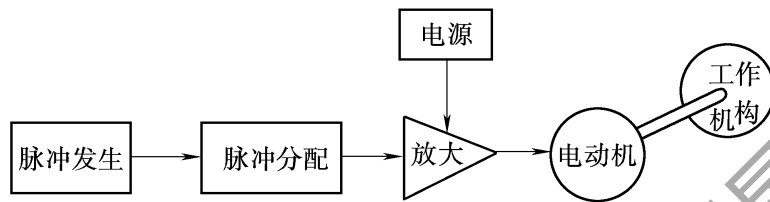


图 3—59 步进电动机系统原理图

### 三、永磁电动机

永磁电动机是在永磁磁场中,通过电磁原理实现机电能量和机电信号的转换。自铁氧体永磁材料在电动机上大量应用以后,永磁电动机有了很大发展。特别是在 20 世纪 80 年代出现了钕铁硼稀土永磁材料后,永磁电动机的性能大大提高。目前,永磁电动机的输出功率也可以做小至毫瓦级,大至 1 000 kW 以上,已成为电动机中的新兴一族。

#### 1. 永磁直流电动机

##### (1) 永磁直流电动机的结构

永磁直流电动机主磁场的励磁部分是永久磁钢,其他结构与小功率电磁式直流电动机基本相同。永磁直流电动机结构如图 3—60 所示,其结构解体如图 3—61 所示。永磁体主要由磁钢和导磁体组成,磁钢采用铝镍钴、铁氧体和稀土(包括钕铁硼)三类永磁材料。不同永磁体决定了电动机不同的结构、性能、成本和使用场合,永磁体的各种典型结构如图 3—62 所示。

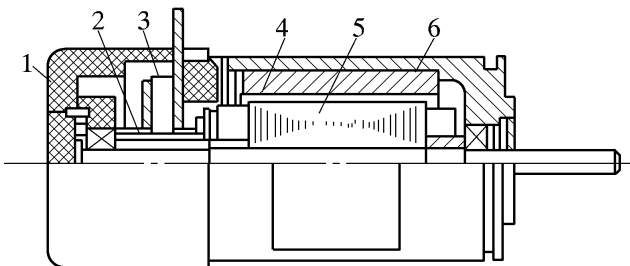


图 3—60 永磁直流电动机结构

1—端盖；2—换向器；3—电刷；4—磁钢；  
5—电枢；6—机壳

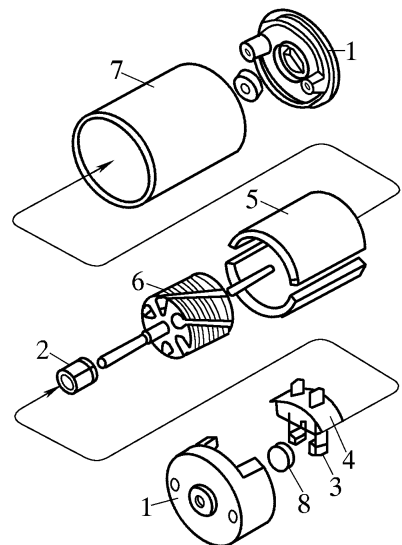


图 3—61 永磁直流电动机的解体结构

1—端盖；2—换向器；3—电刷；4—电刷架；  
5—磁钢；6—电枢；7—机壳；8—轴承

## (2) 永磁直流电动机的性能

磁钢充磁后才能成为磁源。充磁质量对电动机性能影响很大。铝镍钴磁钢永磁电动机,应在电动机装配好后再充磁,或者单独先将磁钢充好磁,再在短路状态下装入电动机。这类电动机维修时,若将拆卸的转子取出,也会使磁钢处在外电路为空气的状态而去磁,因此,应待转子重新装入定子后再重新充磁。铁氧体和稀土磁钢永磁直流电动机,可对磁钢单独充磁,不做磁短路,让磁钢处于外磁路为空气的状态,然后再装入电动机,维修时拆卸后也无需再重新充磁。环境因素(温度、冲击、振动等)会影响磁钢本身的性能,电动机运行状态(瞬时堵转和突然正、反转等)会引起磁钢工作点的变化,为此,应对磁钢进行针对性的稳定性处理,即稳磁处理。

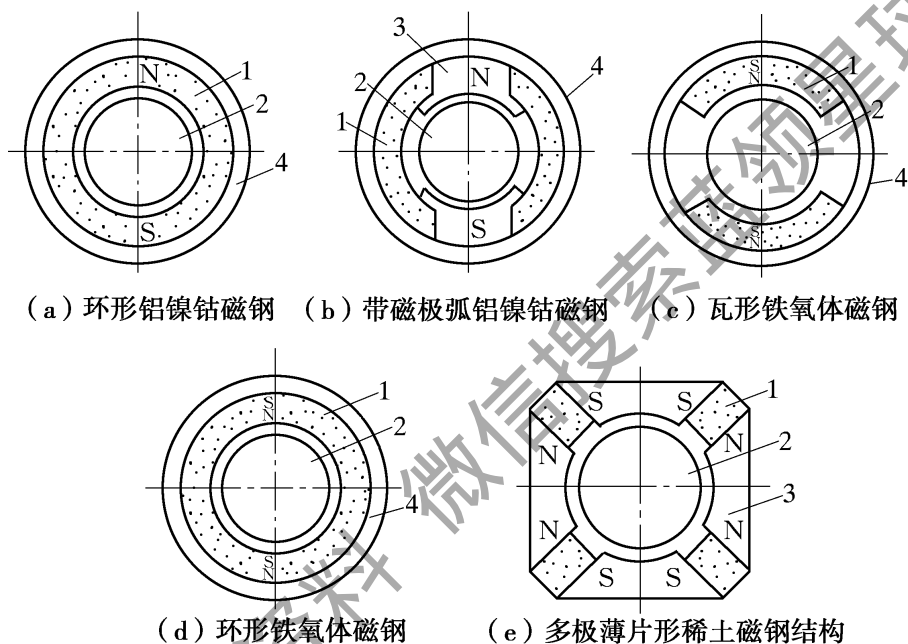


图 3-62 典型永磁体结构原理图

1—磁钢; 2—电枢; 3—磁极; 4—机壳

## 2. 永磁无刷直流电动机

永磁无刷直流电动机由电动机本体、传感器和电子换向控制线路三部分组成。它没有电刷换向器,又称为电子电动机。它的发展与电子技术的发展紧密相关。该电动机本体由定子和转子组成。定子上多相绕组放置在铁心槽内,转子上有磁钢产生励磁磁场。位置传感器检测旋转转子的位置,与电子换向线路一起实现电子换向。借助反映电动机定、转子相对位置的传感器输出信号,通过电子换向线路去驱动与电枢绕组连接的功率器件,使定子电枢绕组依次通电,在电动机定子上产生一个跳跃式旋转磁场,拖动永磁转子旋转。永磁无刷直流电动机具有结构简单、质量轻、体积小、噪声低、效率高、调速范围宽、起动转矩高等优点,又没有电刷换向器的缺点,因此在汽车、电动自行车、空调器中应用非常广泛。

## 3. 永磁交流同步电动机

永磁交流同步电动机可分为异步起动同步电动机、磁滞起动永磁同步电动机、爪极永磁同步电动机等多种。异步起动同步电动机的定子结构与异步电动机相同,由定子铁心和定子绕组组成,定子绕组分为三相或单相绕组。转子结构比较复杂,除了由磁钢和极靴组成的磁极外,还有笼条组成的起动绕组。图 3-63 所示是几种常用的转子结构形式,图 3-63 (a) 和 (b) 为星形磁路结构,通常图 3-63 (a) 所示结构采用铝镍钴磁钢,图 3-63 (b) 所示结构采用钕铁硼磁钢;极靴

由导磁材料制成,其作用是改善气隙磁场,提高电动机性能;在极靴上装置了笼型铜条或铸铝条作为起动绕组,使电动机异步起动。图 3-63 (c) 和 (d) 为并联磁路结构,磁钢为薄片形状;在极靴上同样装置了笼型起动绕组。图 3-63 (e) 为分段结构,将磁钢和笼型起动绕组轴向分段;为了减小漏磁,转子大多采用非磁性钢,或在转轴和转子铁心间加非磁性轴套。

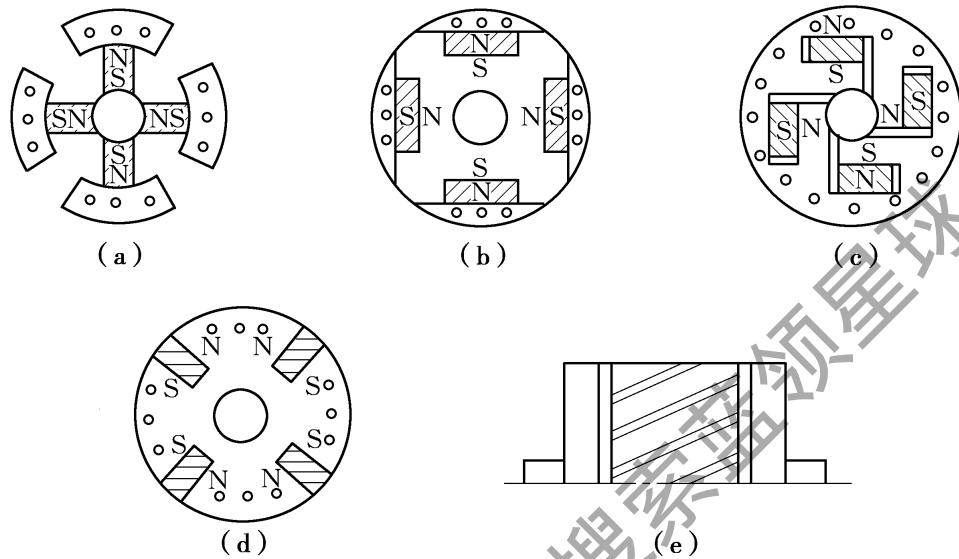


图 3-63 永磁同步电动机转子结构形式

交流永磁同步电动机具有优良的电气性能和调频、调速特性,使其广泛应用于纺织、印染、针织或化纤机械中。较大容量电动机采用磁性能更为优越的钕铁硼永磁材料;小容量电动机中仍保持采用价值相对低廉的铁氧体磁钢,使永磁电动机在价格上与异步电动机保持较小的差距。

#### 四、直线电动机

以上介绍的电动机都是旋转电动机,旋转电动机能将电能转变为旋转运动的机械能输出,而直线电动机则能将电能转化为直线运动的机械能输出。它可以省去大量中间传动机构,使整个系统简化并能加快系统响应速度,提高系统精确度,所以在电动机械上得到了广泛应用。

直线电动机按工作原理可分为直线直流电动机、直线异步电动机、直线同步电动机。下面仅对结构简单、使用方便、运行可靠的直线异步电动机做简单介绍。

##### 1. 直线异步电动机的结构

直线异步电动机主要有平板型和管型两种结构形式。平板形结构可以看成是将一台普通的旋转异步电动机沿径向剖开,并将定子、转子圆周展开成直线而演变得到的。由定子演变来的部分称为初级;由转子演变而来的部分叫做次级或“滑子”,它是直线电动机中作直线运动的部件。要使滑子作直线运动后,初级和滑子之间的相互作用力仍能保持不变,就必须把初级和次级做成长度不等的结构。根据初级与次级之间相对长度的不同,平板型电动机可分为短初级和短次级两类,如图 3-64 所示。由于短初级结构比较简单,制造和运行成本较低,故一般均采用短初级结构。图 3-64 所示的直线异步电动机,在初级的一边装有线圈的为单边型,如果在次级的两边都装上线圈,就形成了

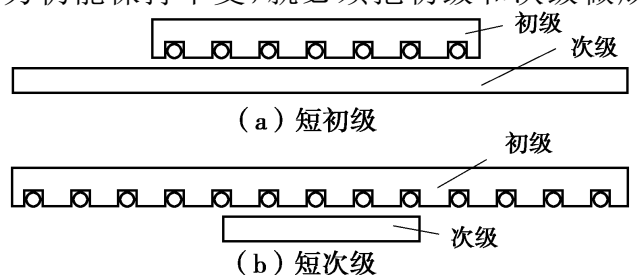


图 3-64 平板型直线电动机



双边型直线电动机。在工作性能上,双边型结构优于单边型结构。

直线电动机与旋转电动机一样,初级铁心也是由硅钢片叠成,表面开有槽,槽内嵌放三相或单相绕组,次级通常制成一片导体,由整块钢板或铜板制作。

将短初级平板型直线电动机沿次级长度方向卷起来,就形成了管形直线异步电动机,如图3-65(b)所示。它的定子三相绕组是绕在空心圆筒表面上的圆形线圈,而次级通常由一根表面包有铜皮或铝皮的钢管构成。

## 2. 基本工作原理

直线异步电动机的初级三相绕组通入三相交流电后,就会在气隙中产生一个沿直线移动的正弦波磁场,其移动方向由三相交流电源的相序决定。由于该磁场不是旋转的,而是平移的,因此称为行波磁场,如图3-66所示。行波磁场的移动速度与旋转磁场在定子内圆表面上的线速度相等,称为同步速度,它与电源的频率及磁极的距离有关。行波磁场在移动时将切割滑子导体,从而在导体中产生感应电动势及电流。感应电流与气隙中的行波磁场相互作用产生电磁力,使滑子沿行波磁场移动的方向作直线运动,运动速度小于同步速度。

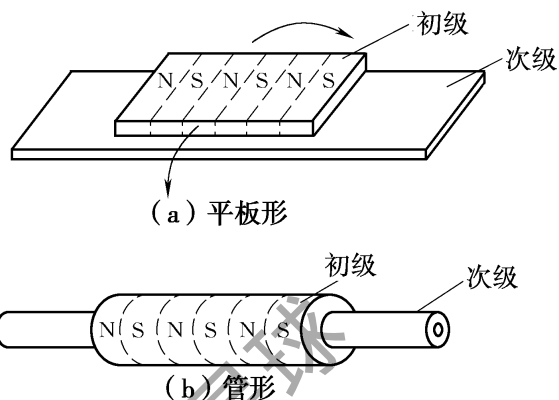


图 3-65 管形直线异步电动机

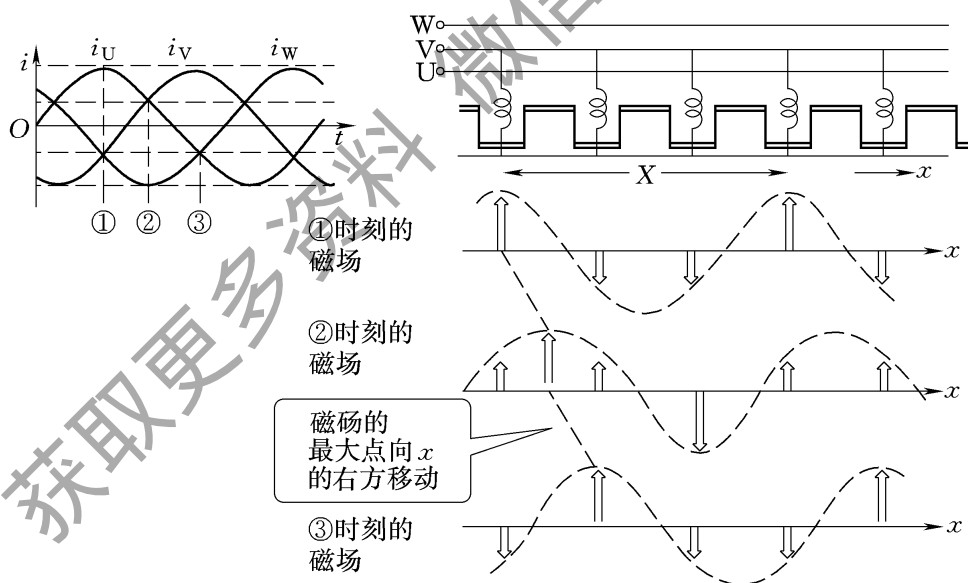


图 3-66 直线异步电动机工作原理

直线异步电动机的速度与电源的频率成正比,所以改变电源频率即可改变电动机的速度,如果改变直线电动机初级绕组的通电相序,即可改变电动机的运行方向。因此直线电动机可实现往返直线运动。

## 3. 直线电动机的应用

直线电动机主要用于要求机械直线运动的场合,如工业自动控制装置中的执行元件,自动生产线上的传送带、机械手,铁路高速列车,各种自动阀、数控定位机构等。

## 第六节 变 压 器

变压器是一种传递电能的静止器,它能把某一电压值的交流电转换成同频率的所需电压值的交流电,以满足高压输电、低压配电及其他用途的需要。变压器的基本作用是变电压,也可用于变电流、变阻抗、变相位及产生脉冲等。

变压器的种类繁多,按用途可分为电力变压器和特种变压器;按绕组数目可分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器等。

### 一、变压器的结构

变压器的主要部分是绕组和铁心,称为器身。为了解决散热、绝缘、密封、安全等问题,还需油箱、绝缘套管等其他附件,图 3-67 所示为油浸式电力变压器的外形。

#### 1. 铁心

铁心是变压器的磁路部分,是器身的骨架。为了提高铁心导磁能力,减少铁心内部的涡流损耗和磁滞损耗,铁心一般用 0.35 mm 厚的表面绝缘的冷轧硅钢片叠成,冷轧硅钢片表面有氧化膜绝缘,不涂绝缘漆。根据变压器铁心的位置不同,可分成芯式和壳式两类。

#### 2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,小型变压器一般采用漆包圆铜线绕制,容量稍大的变压器则用扁铜线或扁铝线绕制。变压器中接电源的绕组称一次绕组(或原绕组、原边或次级);接负载的绕组称为二次绕组(副绕组、副边或次级)。按绕组绕制的方式不同,可分为同心绕组和交叠绕组两种类型。

#### 3. 油箱和其他附件

油箱既是变压器的外壳,又是变压器油的容器,里面安装整个器身,它既保护铁心和绕组不受潮,又有绝缘和散热的作用。较大容量的变压器一般还有储油柜、安全气道、气体继电器、绝缘套管、分接开关、测温装置等附件。

储油柜也称为油枕,它与油箱连通,当油因热胀冷缩而引起油面上、下变化时,油枕中的油面就会随之升、降,不至于油箱被挤破或油面下降使空气进入油箱。

气体继电器是装在油箱与储油柜之间的管道。当变压器发生故障时,器身就会过热使油分解产生气体,气体进入继电器内,使其开关接通,发出报警信号。若采用全密封变压器可省去储油柜。

分接开关是用来控制输出电压在允许范围内保持相对稳定的。当变压器的输出电压因负载和一次侧电压的变化而变化时,分接开关将通过改变一次线圈的匝数来调节输出电压。

绝缘套管穿过油箱盖,将油箱中变压器绕组的输入、输出线从箱内引到箱外与电网相接。

安全气道又称防爆管,装在油箱顶盖上,当变压器内部发生严重故障时,油和气体冲破防爆

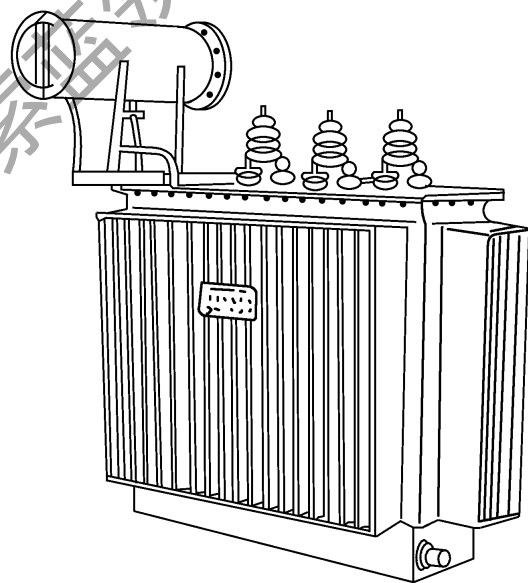


图 3-67 油浸式电力变压器的外形

玻璃喷出,避免油箱爆炸。现在这种防爆管已用压力释放阀代替。

测温装置就是保护装置。箱盖上设置计量精确的酒精温度计;器身上装有信号温度计便于观察;为了便于远距离监测,在箱盖上装有电阻式温度计。

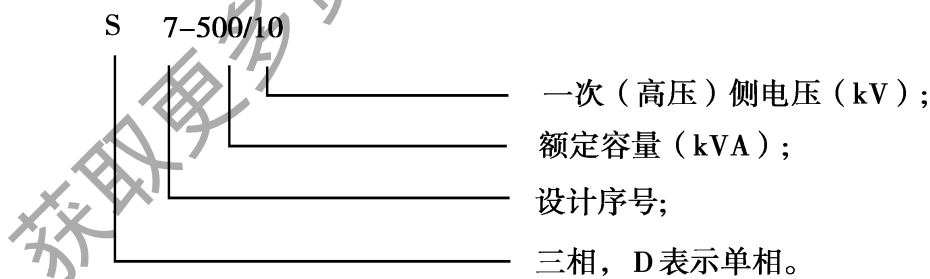
## 二、变压器的铭牌与额定值

每个变压器都有铭牌,它是了解和使用变压器的依据。铭牌上记载了变压器的型号及各种额定数据,如图 3-68 所示。

电力变压器							
产品型号	S7-500/10	标准代号	××××				
额定容量	500 kV·A	产品代号	××××				
额定电压	10 kV	出厂序号	××××				
额定频率	50 Hz 3 相	开关位置	高压		低压		
联结组标号	Y,yn0		电压/V	电流/A	电压/V	电流/A	
阻抗电压	4%		I	10 500	27.5		
冷却方式	油冷		II	10 000	28.9	400	721.7
使用条件	户外	III	9 500	30.4			
			××变压器厂		××年××月		

图 3-68 电力变压器铭牌

### 1. 型号



### 2. 额定电压 $U_{1N}$ 和 $U_{2N}$

$U_{1N}$  是指变压器正常工作时加在一次绕组上的电压;  $U_{2N}$  是指一次侧加  $U_{1N}$ , 变压器空载时二次绕组的电压值, 即  $U_{20}$ 。在三相变压器中, 额定电压是指线电压, 单位是 V 或 kV。

### 3. 额定电流 $I_{1N}$ 和 $I_{2N}$

$I_{1N}$  和  $I_{2N}$  分别是指变压器一次绕组、二次绕组连续运行所允许通过的电流。在三相变压器中, 额定电流是指线电流。

### 4. 额定容量 $S_N$

$S_N$  是指变压器在额定状态下二次绕组的视在功率, 即设计功率通常称为容量。在三相变压器中,  $S_N$  是指三相总容量。单位为  $\text{kV}\cdot\text{A}$

单相变压器 
$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

三相变压器  $S_N = 3 U_{1N} I_{1N} = 3 U_{2N} I_{2N}$

### 5. 联结组标号

指三相变压器一次绕组、二次绕组的连接方式。

Y: 高压绕组作星形联结;

y: 低压绕组作星形联结;

D: 高压绕组作三角形联结;

d: 低压绕组作三角形联结;

N: 高压绕组作星形联结时的中性线;

n: 低压绕组作星形联结时的中性线。

### 6. 阻抗电压

阻抗电压又称短路电压,它标志在额定电流时变压器阻抗压降的大小。通常用它与额定电压  $U_{1N}$  的百分比来表示。

除了上述额定值和主要参数外,有些变压器的铭牌上还标有额定频率、效率、温升等。

**例 3—5** 有一台单相变压器,额定容量  $S_N = 500 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ,额定电压  $U_{1N}/U_{2N} = 10/0.4 \text{ kV}$ ,求额定运行时的一次、二次电流。

$$\text{解: } I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{500}{10} \text{ A} = 50 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{500}{0.4} \text{ A} = 1\,250 \text{ A}$$

## 三、单相变压器

### 1. 单相变压器的工作原理

图 3—69 为变压器的原理示意图。变压器的输入端加上交流电压  $U_1$  后,一次绕组中便产生一次电流  $I_1$  和交变磁通  $\Phi_m$ 。通过铁心的磁通  $\Phi$  为主磁通,铁心外的磁通为漏磁通,可忽略不计。由于一次、二次绕组套在同一铁心柱上,  $\Phi$  同时穿过一、二次绕组,根据电磁感应定律,在一次绕组中产生自感电动势  $E_1$ ,在二次绕组中产生互感电动势  $E_2$ 。其大小分别正比于一次、二次绕组的匝数。在二次绕组中有了电动势  $E_2$ ,便在输出端形成电压  $U_2$ ,接上负载后,产生二次电流  $I_2$ ,向负载供电,实现了电能的传递。只要改变一次、二次绕组的匝数,就可以改变一次、二次绕组感应电动势的大小,从而达到改变电压的目的。这就是变压器利用电磁感应作用来变压的原理。

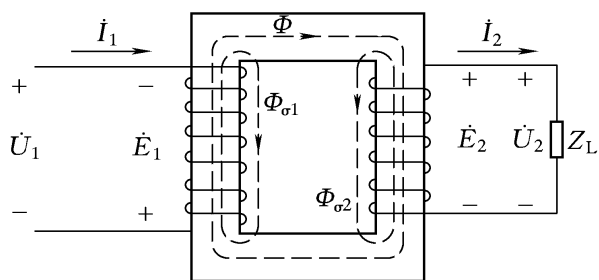


图 3—69 单相变压器的工作原理

变压器工作时,内部存在电流、磁通、感应电动势以及电压等多个物理量,这些物理量的大小和方向都随时间在不断地变化,为了正确地表示它们之间的相位关系,必须先规定它们的参考方向。依照习惯,应选择电压、电动势与电流的参考方向一致;磁通的方向与电流、感应电动势的方向符合右手螺旋法则。实际变压器的情况是比较复杂的,通常可忽略一次、二次绕组的电阻、漏

磁通及铁心的功率损耗。理想变压器变电压、变电流、变换阻抗的公式分别为：

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (3-10)$$

$$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{U_1} \approx \frac{1}{K} \quad (3-11)$$

$$|Z| = \frac{U_1}{I_1} = K^2 \frac{U_2}{I_2} = K^2 |Z_L| \quad (3-12)$$

**例 3-6** 某晶体管收音机输出电路的输出阻抗为  $|Z| = 392 \Omega$ ，接入的扬声器阻抗为  $|Z_L| = 8 \Omega$ ，现需要一个输出变压器使两者实现阻抗匹配。求该变压器的变比  $K$ ；若该变压器一次绕组匝数  $N_1 = 560$  匝，问二次绕组匝数  $N_2$  为多少？

解：  $K = \frac{|Z|}{|Z_L|} = \frac{392}{8} = 7$

$$N_2 = \frac{N_1}{K} = \frac{560}{7} \text{匝} = 80 \text{匝}$$

## 2. 单相变压器绕组的同名端

同名端是指在同一变化磁通作用下，感应电动势极性相同的两个端点。同名端也称为同极性端。感应电动势极性相反的两个端点称为异名端。两个绕组中，对应两个端点的感应电动势的极性是相同还是相反，取决于绕组的绕向，因此同名端反映绕组的绕向。在电路图中，常用黑“·”或星号“\*”表示绕组的同名端，如图 3-70 所示。u1 端与 U1 端是同名端。

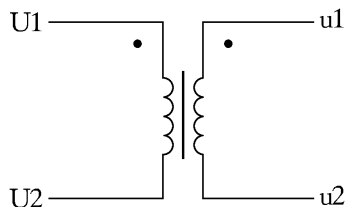


图 3-70 同名端的标记

在工程技术中同名端是非常重要的。在多绕组变压器中，为了得到不同的电压，往往需要把几个绕组串联或并联。连接时，必须注意同名端。若要把两个绕组串联，应把它们的一组异名端相接；若要把两个绕组并联，应分别把同名端相接。若把同名端接错，设备就不能正常工作，甚至会造成严重事故。

## 四、变压器的运行特性

变压器对于电网来说相当于用电设备，因此希望损耗小、效率高；但对负载来说，它又相当于一个电源，因此要求供电电压稳定。变压器在运行时的主要特性有外特性和效率特性，因此表征变压器运行特性的主要指标有两个：一是电压变化率；二是效率。

### 1. 电压变化率和外特性

实际变压器的一次、二次绕组中，总存在着电阻和漏抗，负载电流通过这些阻抗必然产生内部电压降，和实际的电压源一样，其输出电压将随着负载电流的变化而变化，其变化的程度常用电压变化率来描述。

电压变化率是指一次侧加额定电压，负载的功率因数一定，空载与负载时二次侧端电压之差  $\Delta U = U_{2N} - U_2$  与二次侧额定电压  $U_{2N}$  的百分值，用  $\Delta U\%$  来表示。

$$\Delta U\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% \quad (3-13)$$

电压变化率是变压器的一个重要性能指标，它反映了变压器输出电压的稳定性。 $\Delta U\%$  越

小,变压器二次绕组输出电压越稳定。常用的电力变压器从空载到满载,电压变化率约为3%~5%,并且提高负载的功率因数可以减小电压变化率。

变压器的外特性是指一次侧为额定值  $U_{1N}$ ,负载功率因数  $\cos \phi_2$  一定时,二次侧端电压  $U_2$  随负载电流  $I_2$  变化的关系曲线即  $U_2 = f(I_2)$ ,如图3-71所示。从图中看出,变压器的外特性与负载的大小和性质有关。随着负载的增大,对于纯电阻负载,端电压下降较少;对于电感性负载,端电压下降较多;对于电容性负载,端电压却上升。

## 2. 变压器的效率和损耗

变压器在传输功率时,存在着以下两种损耗:其一是铜损耗  $P_{Cu}$ ,它是一次、二次绕组中的电流流过相应的电阻产生的,其值与电流的平方成正比,大小随负载的变化而变化,称为可变损耗;另一种损耗是铁损耗  $P_{Fe}$ ,其值与铁心中磁通量的最大值有关。当电源电压不变时,变压器铁心中的磁通量最大值基本不变,铁损耗也基本不变,因此,铁损耗称为不变损耗。变压器的总损耗  $\Delta P$  为上述两种损耗之和。

变压器的效率  $\eta$  是它的输出有功功率  $P_2$  与输入有功功率  $P_1$  的比值。由于变压器没有旋转部分,不像电动机那样有机械损耗存在,因此变压器的效率一般都比较高。中、小型电力变压器的效率在95%以上,大型电力变压器的效率可达99%以上。

当负载的功率因数一定时,变压器的效率随负载变化的关系曲线  $\eta = f(I_2)$  称为变压器的效率特性,如图3-72所示。从变压器的效率特性曲线可知,当负载从零开始增大时,效率很快升高到最大值,然后又逐渐下降。通过数学分析可知,当变压器的不变损耗等于可变损耗时,变压器的效率最高。

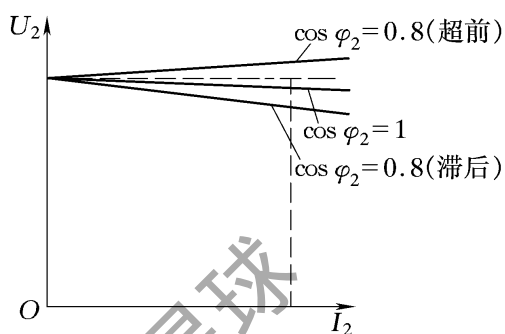


图3-71 变压器的外特性

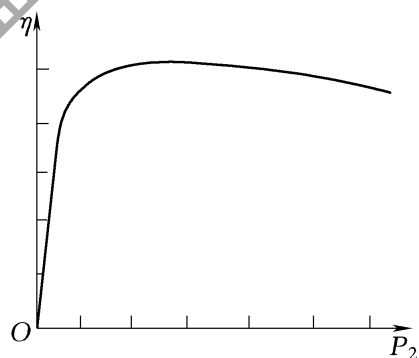


图3-72 变压器的效率特性

## 五、三相变压器

机械生产中所用的电力系统大多采用三相变压器来实现电压的转换。三相变压器可由三台同容量的单相变压器组成,再按需要将一次绕组及二次绕组分别接成星形或三角形联结,称为三相变压器组。但大部分三相变压器采用三相共有一个铁心的三相变压器。

### 1. 三相变压器的磁路系统

三相变压器组的电路系统与单相变压器的完全一样,各相独立。而三相变压器的磁路是互相联系的,由三个独立的磁路演变而来,如图3-73所示。这样三相磁路之间就有相互联系了,每相磁路都以其他两相的铁心柱作为闭合电路。

### 2. 三相变压器绕组的接法

三相电力变压器的输出电压不仅与一次、二次绕组的匝数有关,还与绕组的接法有关。三相变压器的一次、二次绕组均可以接成Y形或 $\Delta$ 形。新的国家标准规定:高压绕组星形联结用Y表示,有中性线时用  $Y_N$  表示,三角形联结用D表示。低压绕组星形联结用y表示,有中性线时用  $y_n$  表示,三角形联结用d表示。变压器一次、二次绕组的首端分别用  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  和  $u_1$ 、 $v_1$ 、 $w_1$  表示。

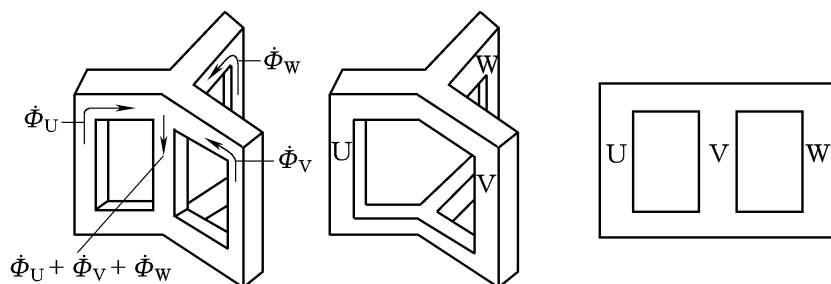


图 3-73 三相变压器的磁路系统

w1 标记,末端分别用 U2、V2、W2 和 u2、v2、w2 标记,星形接法中性点分别用 N、n 标记。图 3-74 是三相变压器的不同联结方法。电力变压器及三相交流电动机中的 $\Delta$ 形联结大多采用逆序联结。

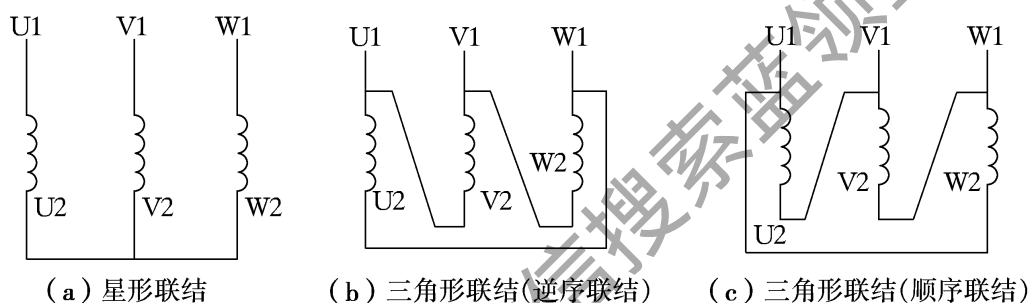


图 3-74 三相绕组的联结方法

三相变压器一、二次绕组不同接法的组合形式有多种,其中最常用的组合形式有三种,即 Y、 $y_n$ ;  $Y_N$ 、d 和 Y、d。不同形式的组合各有优缺点。以上各种接法中,一次绕组线电压与二次绕组线电压之间的相位关系是不同的,这就是三相变压器的联结组别。

### 3. 电力变压器的检查和保养

(1) 负载检查 变压器控制盘上的仪表如电流表、电压表、功率表等指示变压器带负荷运行的情况,因此必须经常性地监视,观察和检查变压器是否超负荷;观测三相电流,检查是否平衡;测量和记录变压器的运行电压,避免过高或过低。

(2) 外部检查 电力变压器应定期进行检查,至少每月检查一次。在有特殊情况或气温突变时,应增加检查次数或进行即时检查。其检查内容有:

- 1) 检查瓷套管是否清洁,有无裂纹与放电痕迹,螺纹有无损坏及其他异常现象。
- 2) 检查储油柜油位高度及油色是否正常,一般应在油位表指示的  $1/4 \sim 3/4$  处。油色应是透明略带黄色。
- 3) 检查上层油温是否正常(小于  $85^\circ\text{C}$ ),对照负载情况,检查是否有因为变压器内部故障而引起的过热现象。
- 4) 注意用耳测法听电力变压器声音是否正常。声音应轻且平稳。
- 5) 检查防爆管的玻璃膜是否完整,或压力释放阀的膜片是否顶开,有无漏油现象。
- 6) 观察瓷管引出排及电缆头接头处有无发热变色,火花放电变色;
- 7) 检查冷却系统的运转是否正常,散热管的温度是否均匀。
- 8) 检查各密封处有无渗油和漏油现象。

9) 吸湿器的干燥剂是否失效。

10) 变压器外壳的接地、室内的通风情况及保护设备是否良好。

(3) 变压器投入运行前的检查 新装或经大修的变压器在投入运行前必须对其进行检查,这是保证变压器安全运行的重要工作。

1) 检查变压器的试验合格证和变压器油的化验合格证,不合格者不许使用。

2) 检查变压器的油箱的油阀是否完好,有无渗油情况。

3) 检查变压器的额定电压的容量是否符合要求。

4) 检查变压器的油位是否达到油标指示范围,无储油柜时油面应高于分接头 25 mm,且超过变压器散热管的上管口。

5) 检查分接头调压板是否安装牢固,分接头的选定是否与安装点的电压相适应。

6) 检查高、低压引线有无破裂或断股现象,绝缘是否良好,检查变压器的密封是否严密。

7) 检查变压器内、外部是否清洁整齐;套管有无污垢、破裂、松动,各部螺钉是否完整、牢固。

8) 用 1 000~2 500 V 兆欧表测量变压器高、低压绕组间对地的绝缘电阻。

9) 检查高、低压接线及相序是否正确。

10) 外壳接地是否连接完好,防雷装置是否齐备。

运行前的检查工作结束后,进行冲击合闸试验,无问题后,即可合闸供电。合闸供电时,先合上高压跌落开关,在变压器电压合乎标准后,再合上低压开关,向用电线路供电。在拉闸断电时,与合闸时相反,先将低压开关断开后,再断开高压开关。操作时必须牢记操作顺序,以免造成设备损坏,甚至烧伤操作人员。

(4) 电力变压器的保养

1) 电力变压器运行的环境,要求防雨、通风、清洁。

2) 清扫瓷套管及有关附属设备。

3) 检查母线联结情况,保证联结紧密。

4) 用兆欧表定期测量绕组间及各绕组对地的绝缘电阻,并记录测量值。

## 六、电焊变压器

电焊变压器是交流弧焊机的主要组成部分,它实质上是一台特殊的降压变压器。为了保证焊接质量和电弧燃烧的稳定性,电焊变压器应满足以下条件:

1) 电焊变压器空载时,要有足够大的空载引弧电压,一般为 60~75 V;

2) 有负载(即焊接)时,输出电压要求急剧下降,在额定负载时约为 30 V。

3) 在二次侧短路(焊条碰在工件上而不引弧)时,短路电流不能过大,以免损坏电焊机。

4) 为适应不同的加工材料、工件大小和焊条,焊接电流应能在一定范围内调节。

为了满足上述要求,电焊变压器的结构必须具有两个基本特征:其一,变压器绕组的漏抗应较大,这样在二次侧负载增大甚至短路时,由于漏抗压降增大而使输出电压下降;其二,一次或二次绕组的匝数可以改变,并分装在不同的铁心柱上,以便调节电流。常用电焊变压器的基本类型有磁分路动铁式电焊变压器,动圈式电焊变压器和二次侧带电抗器的电焊变压器等。

### 1. 磁分路动铁式电焊变压器

磁分路动铁式弧焊机是较具代表性的一种交流弧焊机,磁分路动铁式变压器是此种弧焊机



的主要组成部件,其工作原理如图 3-75 所示。磁分路动铁式电焊变压器是有三个铁心柱,两边是主铁心,中间为动铁心。一次侧绕组在左边铁心柱上,而二次侧绕组分两部分,一部分在左边与一次侧同在一个铁心柱上;另一部分在右边铁心柱上。由于中间铁心是可动的,两边都有气隙,这样就大大地增加了变压器的漏抗(并且可以调节),从而获得如图 3-75c 所示的输出电压很陡的外特性。

焊接电流的调节由粗调和细调两部分组成。粗调是靠更换一次侧输入端接线板上的连接片改变一次绕组的匝数来改变输出电流,如图 3-75b 所示,接法 I 用于焊接电流小的场合,接法 II 用于焊接电流大的场合。细调是通过手柄移动铁心位置,以改变漏抗,从而得到可以调节的输出电流。

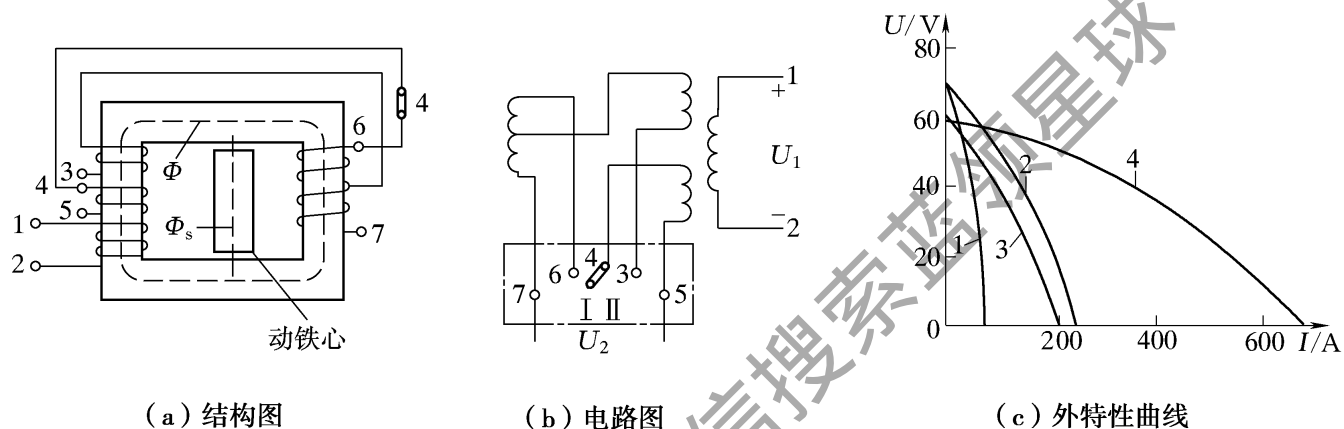


图 3-75 动铁式电焊变压器

焊接时,先将焊条与焊件接触,相当于电焊变压器的输出端短路,这时因受绕组漏阻抗的限制,短路电流不会太大,以图 3-75c 中特性曲线 2 为例,电流约为 240 A。然后迅速将焊条提起,焊条与焊件之间产生电弧。电弧就其性质来说,相当于一个电阻。电弧上的电压降大致就是二次绕组的输出电压,约在 30 V 左右。这时的输出电流(焊接电流)是 165 A。当焊条与焊件的距离发生变化而使电弧长度变化时,电弧压降也要上下变化,同时输出电流也要作相应变化。由于电焊变压器的外特性曲线很陡,所以当电弧压降随着电弧的拉长而变化时,焊接电流的变化并不显著,故电弧比较稳定。

当通过手柄调节动铁心位置时,漏抗随气隙的变化而变化,输出电流也会改变,曲线 2 慢慢向曲线 1 靠近,从而达到微调焊接电流的目的。

## 2. 二次侧带电抗器的电焊变压器

二次侧带电抗器的电焊变压器是在一台降压变压器的二次绕组中串联一个可变电抗器,电路如图 3-76 所示。电抗器的气隙可以用螺杆调节,从而调节焊接电流。当气隙减小时,电抗增大,电焊机输出外特性下降陡度增大,焊接电流就减小;反之,当气隙增大时,焊接工作电流增大。

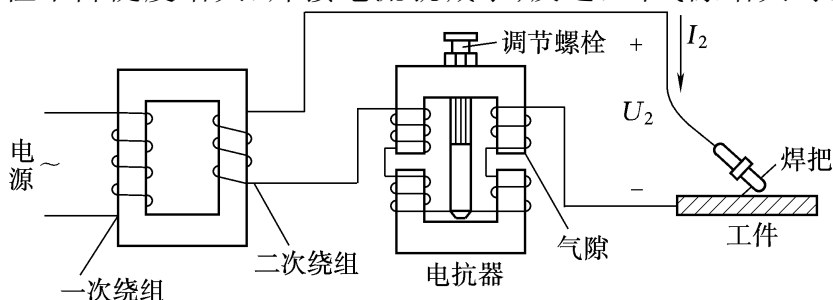


图 3-76 带电抗器的电焊变压器电气原理图

二次侧带电抗器电焊变压器原理与动铁式电焊变压器的基本上一样。

## 七、互感器

互感器是仪表用互感器的简称,是专门用于测量的变压器。使用互感器可以使测量仪表与高电压或大电流回路隔离,保证仪表和人身的安全;还可扩大仪表量程,便于仪表的标准化。

互感器的应用相当广泛,除用于交流电流、电压的测量外,还用于各种继电保护装置的测量系统。根据用途不同,互感器可分为电流互感器和电压互感器两大类。

### 1. 电流互感器

电流互感器用于大电流的测量,可以将一次回路中的大电流按比例变小,相当于一台升压变压器,其结构形式及工作原理与单相变压器相似,也由铁心和两个绕组组成,但它的一次绕组匝数很少,只有一匝到几匝,导线很粗,使用时串联在被测的交流电路中,流过的是被测电流  $I_1$ ,二次绕组匝数较多,它与电流表或功率表串联成为闭合电路,如图 3-77 所示。由变压器工作原理可得:  $I_1 = K_i I_2$ 。

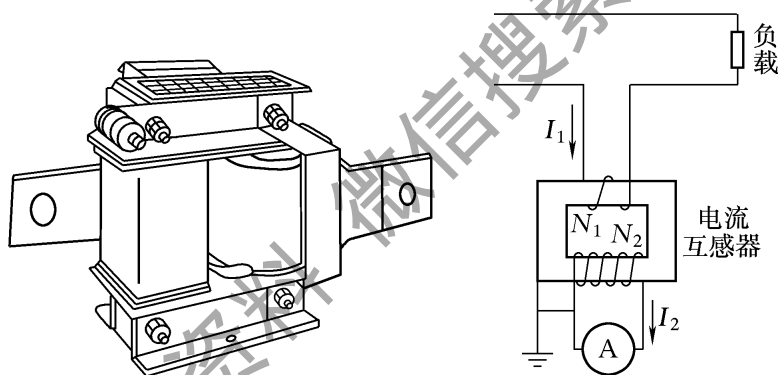


图 3-77 电流互感器

$K_i$  称为电流互感器的电流变比,电流变比的范围为  $1 \sim 5\,000$ ,标在电流互感器的铭牌上。 $I_2$  为二次侧所接电流表的读数,乘以  $K_i$  就是一次侧被测大电流的数值。一般二次侧的额定电流为  $5\text{ A}$ ,故所接电流表的量程为  $5\text{ A}$ ,改变接入电流互感器的变流比,就可测量大小不同的电流。在实际应用中,与电流互感器配套使用的电流表已换算成一次侧电流,其标度尺按一次侧电流分度,可以直接读数,不必再进行换算。

使用电流互感器时,必须注意下列事项:

- 1) 运行中二次侧电流不允许开路,否则会产生高压,危及仪表和人身安全。
- 2) 铁心和二次绕组的一端必须可靠接地,以免在绝缘损坏时带电,危及仪表和人身安全。

### 2. 电压互感器

电压互感器相当于一台降压变压器,它的结构和工作原理基本上和普通变压器一样。它的一次绕组匝数为  $N_1$  与被测线路并联;二次绕组匝数为  $N_2$  与测量仪表或继电保护装置的电压绕组并联;其连接电路如图 3-78 所示。

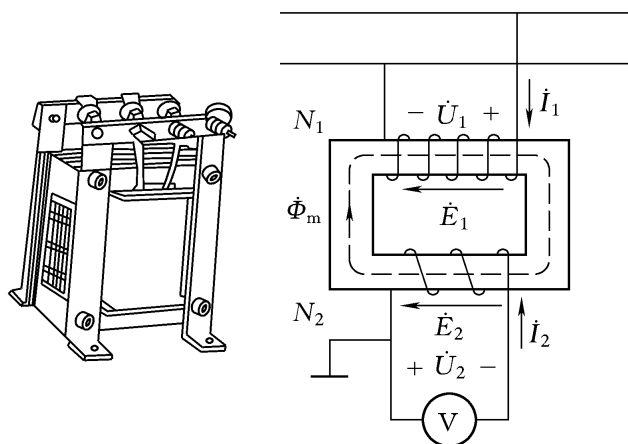


图 3-78 电压互感器

一次绕组匝数较多,二次绕组匝数较少,这样就可以将一次侧的高电压变成二次侧的低电压。其变压比  $K_u$  为

$$K_u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3-14)$$

$K_u$  为电压互感器的电压变比,电压变比的范围为  $1 \sim 5\,000$ ,标在电压互感器的铭牌上。电压互感器二次绕组的额定电压一般为  $100\text{ V}$ ,改变其变比就可以测量高低不同的电压,最高可以测量  $500\,000\text{ V}$  的电压。实际应用中,与电压互感器配套使用的电压表也可以直接读数,不必再进行换算。

使用电压互感器时必须注意下列事项:

- 1) 二次绕组使用时,绝不允许短路,否则会导致电压互感器烧坏。
- 2) 铁心及二次绕组的一端必须可靠接地,以保证工作人员及设备的安全。
- 3) 二次绕组上不宜接入过多的仪表,以免影响测量精度。

## 复习思考题

### 一、填空题

1. 直流电动机是将\_\_\_\_\_转换成\_\_\_\_\_的设备。
2. 直流电动机中的电刷和换向器的作用是\_\_\_\_\_。
3. 直流电动机一般不允许\_\_\_\_\_起动,通常采用\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_方法起动。
4. 直流电动机根据励磁绕组与电枢绕组的连接方式不同可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
5. 三相异步电动机按电动机转子的结构可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两类。
6. 三相对称交流电通过三相对称绕组时,将产生一个\_\_\_\_\_磁场。
7. 异步电动机是利用\_\_\_\_\_原理进行能量转换的设备。它的基本结构由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大部分组成。
8. 三相异步电动机的三种调速方法是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
9. 一台三相六极异步电动机,当负载由空载增至满载时,电动机的转差率由  $0.005$  增至  $0.04$ ,则转速由\_\_\_\_\_ r/min 降至\_\_\_\_\_ r/min (电源频率为  $50\text{ Hz}$ )。
10. 三相异步电动机定子绕组接法为\_\_\_\_\_,才有可能采用  $Y-\Delta$  起动。
11. 两相定子绕组通入两相交流电,产生的磁场不是\_\_\_\_\_磁场,而是\_\_\_\_\_磁场。起动时,无\_\_\_\_\_,电动机不能起动。
12. 在电源频率一定的情况下,交流电动机定子绕组的磁极对数增加,则旋转磁场的同步转速\_\_\_\_\_。
13. 单相罩极式电动机的转动方向总是由\_\_\_\_\_部分转向\_\_\_\_\_部分。
14. 改变电容分相式单相异步电动机转向的方法是\_\_\_\_\_。
15. 单相异步电动机根据分相方法不同可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等。
16. 伺服电动机的作用是把输入的\_\_\_\_\_转换为\_\_\_\_\_输出,来驱动控制对象。

17. 伺服电动机按使用电源的不同,可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大类。

18. 直流伺服电动机的控制方式有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种,一般采用\_\_\_\_\_。

19. 电磁调速异步电动机又名\_\_\_\_\_,由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_组成。它是一种\_\_\_\_\_电动机。

20. 离合器实质上是\_\_\_\_\_,作用是\_\_\_\_\_。其结构由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_组成。

21. 步进电动机是一种将电动机\_\_\_\_\_变换成\_\_\_\_\_的执行元件。它的种类很多,但基本上分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种,应用较广的是\_\_\_\_\_。

22. 永磁电动机是在\_\_\_\_\_磁场中,通过电磁原理实现\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的转换。

23. 直线异步电动机的初级三相绕组通入三相交流电后,就会在气隙中产生\_\_\_\_\_的磁场,其方向由\_\_\_\_\_决定。

24. 直线异步电动机的速度与\_\_\_\_\_成正比,所以改变\_\_\_\_\_可以改变电动机的速度。

25. 变压器主要由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两部分组成的,其中\_\_\_\_\_是磁场部分,\_\_\_\_\_是电路部分,变压器是按照\_\_\_\_\_原理工作的。

26. 变压器的铁心,一般由\_\_\_\_\_叠制而成的。变压器的损耗主要有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。对制造好的变压器,其\_\_\_\_\_损耗由电源电压及频率决定,与负载无关;\_\_\_\_\_损耗随负载电流增加而很快增加。

27. 为了保证安全,\_\_\_\_\_互感器的二次绕组严禁开路运行,\_\_\_\_\_互感器的二次绕组严禁短路运行,它们的铁心和二次绕组的一端,要可靠地\_\_\_\_\_。

28. 三相电力变压器的绕组有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种联结方式。

29. 常用电焊变压器的基本类型有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

1. 在直流电动机中,转速随负载转矩的变化而迅速变化的是( )。

- A. 他励式                      B. 串励式                      C. 并励式

2. 使并励直流电动机反转的最佳方法是( )。

- A. 改变电源电压的极性                      B. 将励磁绕组两线端对调  
C. 将励磁绕组和电枢绕组的两线端同时对调

3. 具有较软的机械特性的直流电动机是( )。

- A. 永磁式                      B. 串励式                      C. 他励(并励)式

4. 直流电动机的转矩与磁通和( )成正比。

- A. 电枢回路总电阻                      B. 电枢电流                      C. 电动机的转速

5. 三相异步电动机的转向是由( )决定的。

- A. 交流电源的频率                      B. 旋转磁场的转向                      C. 转差率的大小

6. 三相异步电动机的转速在( )时最高。

- A. 空载                      B. 额定负载                      C. 超载

7. 三相异步电动机的电磁转矩在( )时最高。

- A. 起动时                      B. 起动后某时刻                      C. 达到额定转速时
8. 旋转磁场的转速与( )。
- A. 电源电压成正比      B. 频率和磁极对数成正比      C. 频率成正比, 磁极对数成反比
9. 某三相异步电动机的铭牌上标明  $f=50\text{ Hz}$ , 转速  $n=1\ 460\text{ r/min}$ , 则该电动机的磁极数是( )。
- A. 2 极                      B. 4 极                      C. 6 极
10. 单相异步电动机的转速( )旋转磁场的同步转速。
- A. 大于                      B. 等于                      C. 小于
11. 单相异步电动机在起动后, 若起动绕组断线, 则电动机的转速会( )。
- A. 加快                      B. 减慢                      C. 不变
12. 单相异步电动机不能自行起动的根本原因是( )。
- A. 电源为单相                      B. 磁场是脉动磁场                      C. 磁极数太少
13. 异步电动机采用降压方法调速, 在转速降低的同时转矩( )。
- A. 增大                      B. 减小                      C. 不变
14. 采用( )的方法可以连续调节单相异步电动机的转速。
- A. 串电抗器                      B. 定子绕组抽头                      C. 晶闸管
15. 在数控机床控制系统中使用的伺服电动机为( )。
- A. 直流伺服电动机      B. 交流伺服电动机                      C. 单相异步电动机
16. 下列说法中属于伺服电动机工作特点的是( )。
- A. 起动电流小                      B. 无自转现象                      C. 运行范围窄
17. 下列说法中不属于笼型转子交流伺服电动机特点的是( )。
- A. 励磁电流小                      B. 机械强度高                      C. 无抖动现象
18. 用理想变压器给电阻供电, 变压器的输入电压不变, 要使变压器的输入功率增加, 则应该( )。
- A. 增加变压器一次绕组的匝数, 而二次绕组的匝数和负载电阻不变  
B. 增加变压器二次绕组的匝数, 而一次绕组的匝数和负载电阻不变  
C. 减小变压器一次绕组的匝数, 而二次绕组的匝数和负载电阻不变
19. 下列条件符合降压变压器的是( )。
- A.  $I_1 > I_2$                       B.  $K < 1$                       C.  $I_1 < I_2$
20. 变压器的铁心用表面绝缘的薄硅钢片制成, 目的是( )。
- A. 绕制线圈方便                      B. 减小铜损耗                      C. 减小铁心损耗
21. 电流互感器二次绕组开路的后果是( )。
- A. 二次绕组的电压为零                      B. 二次绕组产生危险高压, 铁心过热  
C. 二次绕组电流为零, 使一次绕组的电流也为零
22. 有一台 380/220 V 的变压器, 在使用时不慎将高压侧和低压侧互相接错, 当低压侧加上 380 V 的交流电压后, 则( )。
- A. 高压侧有 380 V 的电压输出                      B. 高压侧没有电压输出, 绕组严重过热  
C. 高压侧有电压输出, 绕组严重过热

### 三、判断题

1. 直流电动机比交流异步电动机有更好的起动和运行性能。( )
2. 串励式直流电动机允许空载或轻载运行。( )
3. 直流电动机使用时,可以直接带负载起动。( )
4. 电动机内部进水或其他导电杂质,会导致机壳带电。( )
5. 他励直流电动机降低电源电压调速与减小磁通升速,都可以做到无级调速。( )
6. 交流电动机通入的是交流电,因此它的转速是不断变化的。( )
7. 转差率是分析异步电动机性能的一个重要参数,故电动机转速越高,则转差率越大。( )
8. 三相笼型异步电动机直接起动时,起动电流很大,为了避免起动过程中因电流过大而烧毁电动机,轻载时需要采取降压起动。( )
9. 电动机拖动的负载越重,电流则越大,因此只要是空载,三相异步电动机就可以直接起动了。( )
10. 三相绕线转子异步电动机转子回路串入电阻可以增大起动转矩,串入电阻值越大,起动转矩也就越大。( )
11. 在输出功率一定的情况下,电动机的转速越高,转矩就越小。( )
12. 电源电压下降一般不会影响异步电动机的电磁转矩。( )
13. 单相电容运转异步电动机,其工作绕组和起动绕组中的电流是同相位的。( )
14. 同时改变工作绕组和起动绕组的电流方向,可以使单相异步电动机反转。( )
15. 改变定子绕组的接法就可以改变罩极式电动机的转向。( )
16. 交流伺服电动机实际上是一种两相交流异步电动机,当处于单相运行状态时,会产生自转现象,不能自行制动。( )
17. 交流伺服电动机工作时,对调控制绕组的接线,就可以使电动机反转。( )
18. 对于已绕好的变压器,其同名端是确定的。( )
19. 变压器可以改变各种电源的电压。( )
20. 变压器的一次绕组的输入功率是由二次绕组的输出功率决定的。( )
21. 变压器输出电压的大小决定于输入电压的大小,与一次、二次绕组的匝数成正比。( )
22. 电压互感器和电流互感器可以互换使用。( )
23. 双绕组变压器的高压绕组匝数多,线径细;低压侧绕组匝数少,线径粗。( )
24. 变压器的额定容量是指在额定工作情况下,二次绕组边满载时输出的有功功率。( )

### 四、简答题

1. 选一台直流电动机时,要考虑的铭牌参数主要有哪些?
2. 并励直流电动机和串励直流电动机的机械特性有什么主要的区别?
3. 直流电动机的起动方法有哪几种?试说明其适用范围。
4. 直流电动机的调速方法有哪几种?分别比较其优缺点。
5. 直流电动机的电气制动方法有哪几种?比较它们的优缺点。
6. 直流电动机铭牌上的额定功率是指什么功率?
7. 并励式直流电动机在使用中决不允许励磁绕组开路,如果开路会产生什么后果?

8. 三相笼型异步电动机主要由哪些部分组成? 各部分的作用是什么?
9. 三相异步电动机的铭牌有什么用途? 说明铭牌上最重要的数据是哪几个?
10. 三相异步电动机当转子电路的电阻增大时会对电动机的起动电流、起动转矩和功率因数带来什么影响?
11. 为什么三相异步电动机的起动电流会很大? 起动转矩和起动电流大会会有什么危害?
12. 三相笼型异步电动机的降压起动方法有哪几种? 试分别比较它们的优缺点。
13. 根据获得两相电流方法的不同,分相式单相异步电动机可分为哪几类? 各自起动的原理是什么? 各有什么特点?
14. 罩极式异步电动机是如何获得起动转矩的? 其特点是什么?
15. 单相异步电动机为什么不能自行起动?
16. 简单总结五类单相异步电动机的起动性能。
17. 单相异步电动机主要有几种调速方法? 各有什么特点?
18. 交流伺服电动机的转速控制方式有哪几种?
19. 电枢控制的直流伺服电动机运行上有哪些特点?
20. 伺服控制系统对伺服电动机有哪些要求?
21. 低惯量直流伺服电动机的电枢结构有哪几种形式? 它们的共同特点是什么?
22. 电磁调速异步电动机有哪些特点?
23. 什么是步进电动机? 为什么它能在许多装置上被采用?
24. 三相反应式步进电动机有哪几种控制方式?
25. 常用的永磁电动机有哪几种?
26. 双速三相异步电动机是如何实现调速的?
27. 什么是变压器的同极性端? 将变压器中的两个绕组串联或并联时,其同极性端应怎样相连?
28. 电焊变压器应满足哪些条件?
29. 变压器的器身由哪几部分组成?
30. 磁分路动铁式电焊变压器是如何来调节电流的?

### 五、计算题

1. 一台额定电压为 160 V 的直流电动机,其额定电流为 18 A,电枢电阻为 1.22  $\Omega$ 。求: (1) 直接起动的起动电流; (2) 若要限制起动电流为额定电流的 1.5 倍,应串入多大的起动电阻?
2. 一台并励直流电动机在额定状态下运转时,  $P_N = 12 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $I_N = 64 \text{ A}$ ,求该电动机的输入功率  $P_1$  和效率  $\eta_N$ 。
3. 一台他励直流电动机,  $P_N = 7.5 \text{ kW}$ ,  $U_N = 220 \text{ V}$ ,  $I_N = 41 \text{ A}$ ,  $n_N = 1\ 500 \text{ r/min}$ ,  $R_a = 0.376 \Omega$ ,  $T_L = T_N$ ,求: (1) 当电源电压降到 150 V 时的转速  $n_1$ ; (2) 电枢串入电阻  $R_{sa} = 0.624 \Omega$  时的转速  $n_2$ 。
4. Y-160M-2 型三相电动机的额定转速  $n_N = 2\ 930 \text{ r/min}$ ,  $f_1 = 50 \text{ Hz}$ ,  $p = 1$ ,求转差率。
5. 一台单相变压器,已知  $S_N = 1\ 000 \text{ V}\cdot\text{A}$ ,  $U_{1N} / U_{2N} = 220 \text{ V} / 110 \text{ V}$ ,  $N_1 = 110$  匝,求变压器一次绕组、二次绕组的额定电流  $I_{1N}$  和  $I_{2N}$ ;计算变压器的变比  $K$  和二次绕组的匝数  $N_2$ 。

6. 有一台收音机的输出变压器(理想),一次绕组匝数  $N_1 = 180$ ,二次绕组的匝数  $N_2 = 75$ ,原接有阻抗  $Z_2 = 8 \Omega$  的扬声器,现改为  $Z_2 = 4 \Omega$  扬声器,问次级匝数应如何改动?

7. 有一台容量  $S_N = 5 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ,电压为  $10\ 000 \text{ V}/230 \text{ V}$  的单相变压器,额定工作时,  $U_2 = 223 \text{ V}$ 。求该变压器的  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$ 。

8. 一台三相变压器,  $S_N = 3 \text{ kV}\cdot\text{A}$ ,  $U_{1N}/U_{2N} = 380 \text{ V}/220 \text{ V}$ ,D、y 接法,分别计算一次绕组、二次绕组的额定电流  $I_{1N}$ 、 $I_{2N}$ 。

9. 用变压比为  $10\ 000 \text{ V}/100 \text{ V}$  的电压互感器测量时,电压表读数为  $90 \text{ V}$ ,问被测电压应为多大?

## 技能训练 3-1 三相异步电动机的拆装及简易测试

### 一、训练目的

1. 掌握三相交流异步电动机拆卸与装配的方法、步骤,能够清洗零部件,换装轴承等。
2. 学习三相异步电动机定子绕组直流电阻的测量、绝缘电阻的测量、三相定子绕组首末端的判别等简单测试方法。

### 二、仪器器材

Y 系列小型笼型三相交流异步电动机、 $500 \text{ V}$  的兆欧表、500 型万用表、QJ123 型单臂电桥、 $0 \sim 250 \text{ V}$  自耦调压器、 $0 \sim 300 \text{ V}$  交流电压表;电动机修理工具 1 套(特别是拉具、套筒、铜棒等专用工具);辅助材料若干。

### 三、训练内容

#### 1. 三相交流异步电动机的拆卸

##### (1) 拆卸前的准备

用压缩空气将电动机表面灰尘吹净,并将表面污垢擦拭干净。拆卸外部接线,作好标记并记录。

##### (2) 拆卸端盖、抽出转子的步骤

- 1) 若电动机转轴上有连接件(联轴器、齿轮或皮带轮),要先用拉具拆下。
- 2) 拆下风扇罩。
- 3) 拆除外风扇:先松掉风扇轴键上的压紧螺钉,用手取下风扇。若风扇固定较紧,也不得用撬棍硬撬,要用压板顶出风扇或用螺钉拉出。
- 4) 在机座两侧和端盖与机座配合处作上不同的标志。
- 5) 拆除轴伸端端盖螺钉,取出轴伸端端盖。
- 6) 用木块将转子轴伸端垫起呈水平状,使转子不要和定子接触。
- 7) 拆除非轴伸端端盖:拧出端盖螺钉后,可用顶丝将端盖从定子机座止口中均匀顶出,一直到端盖完全脱离机座止口为止。若不具备拆卸端盖用的顶丝孔,可用手锤沿端盖圆周均匀地敲打,或用撬棍将端盖撬出,但不可用力过猛。
- 8) 抽出转子:小型电动机的转子可直接用手托住主轴慢慢抽出,切勿碰到绕组;大中型电动机的则需在转轴上外套钢管,用起重设备吊住抽出。



- 9) 用压缩空气吹净转子表面灰尘,并检查转子是否有碰伤。
- 10) 用压缩空气吹净定子铁心、线圈、槽楔、端部绑扎等处的灰尘。

### (3) 拆卸轴承

轴承一般不拆,在需要拆卸时,可采用以下两种方法:

1) 用专用拉具拆卸 从轴上拆下轴承时,注意拉具的抓钩应尽量扣住轴承的内圈且使其均匀受力,以免拉坏轴承。

2) 用铜棒拆卸 将铜棒对准轴承内圆,用锤子敲打铜棒,把轴承敲出。敲打时要在轴承内圈四周两侧相对轮流敲打,且用力不要过猛。注意热套装的轴承应采用热拆法。

## 2. 三相交流异步电动机的装配

(1) 装配前一定要注意下列问题:

- 1) 电动机装配前要把转子内外表面尘垢打扫干净,再用沾汽油的棉布擦拭干净。
- 2) 清除定子内部的异物。
- 3) 将机座和端盖止口上的污垢用刮刀和铲刀铲除干净。
- 4) 检查槽楔、绕组端部绑扎等部件是否松动,槽楔和绑扎的无纬带或绑绳是否高出铁心表面。
- 5) 注意检查绕组绝缘、引线绝缘及出线盒绝缘状况,不得有损伤。
- 6) 检查各相定子绕组的冷态直流电阻是否基本相同,各相绕组对地的绝缘电阻和相间绝缘电阻是否符合要求。

7) 滚动轴承的装配。如轴承已拆下,不需更换,应将其在机油中清洗干净后装在轴上,再按要求加入合格的润滑脂。若需更换,应将新的轴承装在轴上再按要求加入合格的润滑脂。

8) 用压缩空气将端盖、风扇、风扇罩上的灰尘吹净,并将表面污垢擦拭干净。

9) 检查零部件是否齐全。

### (2) 装配

做好上述工作后,就可进行装配了。电动机的装配顺序大致与拆卸相反:将转子小心装入定子内腔,按照标记将两边端盖定位并用螺钉拧紧,拧紧螺钉时应均匀交替进行,并用榔头敲击端盖,使端盖与机座止口吻合,以保证电动机转子不偏心,最后装上轴承盖、风扇、风扇罩等零件。

## 3. 三相交流异步电动机的简单测试

(1) 定子绕组冷态直流电阻测定

将三相定子绕组出线端的连接点拆开,用万用表欧姆挡测量定子三相绕组的通断情况,若三相绕组正常,则测出的电阻值应基本一致,以万用表测得的电阻值为参考,将单臂电桥两支表笔中的一支接到电动机某相绕组的接线端上(如 U1),另一支表笔接于同一相绕组的另一接线端上(如 U2),精确测量 U 相直流电阻值,读取数据。然后按以上方法测量 V1 与 V2, W1 与 W2 之间的直流电阻。将测量结果记录到表 3-1 中。

表 3-1 三相定子绕组在实际冷却状态下直流电阻的测量值

测量内容	U 相绕组直流电阻 $R_U/\Omega$	V 相绕组直流电阻 $R_V/\Omega$	W 相绕组直流电阻 $R_W/\Omega$
万用表测量			
单臂电桥测量			

## (2) 定子绕组对地的绝缘电阻和相间绝缘电阻测量

在测量各相绕组对地绝缘电阻时,将兆欧表的接线柱“L”接被测相绕组一端,接线柱“E”接电动机机座上没有油漆的部位,分别测量三相绕组的绝缘电阻,记录在表 3-2 中。

在测量相间绝缘电阻时,将兆欧表的接线柱“L”和接线柱“E”分别接在不同的两相绕组出线端,将测量值分别记录在表 3-2 中。

表 3-2 三相定子绕组的绝缘电阻

对地的绝缘电阻 $R_e/M\Omega$			相间绝缘电阻 $R_l/M\Omega$		
U 相对地	V 相对地	W 相对地	U 相与 V 相	V 相与 W 相	W 相与 U 相

若测量值在  $0.5 M\Omega$  以上,说明该电动机绝缘尚好,可继续使用。

## (3) 三相定子绕组首末端的判别

将三相定子绕组的六个出线端暂定标记为  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $W_1$ 、 $W_2$ ,然后按图 3-79 (a) 所示把任意两相绕组串联(图中为 U 相及 V 相)后再与交流电压表连接,第三相绕组(图中为 W 相)通过单相自耦调压器输入一个低压交流电(约  $36 V$  左右)。通电后,若电压表有读数,则说明连接在一起的两个端点一个为首端,另一个为末端。若电压表

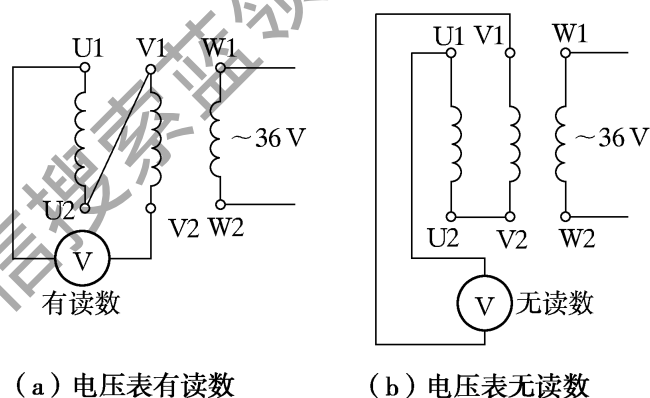


图 3-79 三相异步电动机拆装试验

无读数,则说明连接在一起的两个端点同为首端或同为末端,如图 3-79 (b) 所示。然后任定一端为已知首端,用同样方法可定出第三相的首端和末端。最后将所有首末端作好标记。

## (4) 通电空载检查

将自耦变压器的输出电压调至零位,闭合开关,逐渐升高电压,起动电动机。让电动机在额定电压  $U_N$  下运行几分钟,检查电动机空载时的转动情况,响声及轴承等装置的运行情况,并将检查结果记入表 3-3 中。

表 3-3 空载检查记录表

额定电压 / V	外施电压/V	时间/min	振动	响声

## 四、分析与思考

1. 在三相笼型异步电动机的拆卸中,是否有特别难拆卸的部件?你是怎样解决的?
2. 分析三相定子绕组直流电阻值的测量结果是否符合要求?测量中是否存在问题?要求三相电阻值相差不超过  $\pm 5\%$ 。

3. 通过测试,判断该三相异步电动机的绝缘电阻是否满足通电使用要求? 如不满足,应如何解决?

## 技能训练 3—2 直流电动机的起动、反转与调速

### 一、训练目的

1. 学习并掌握直流电动机的起动方法,掌握起动器的使用方法;
2. 学会直流电动机反转的方法;
3. 掌握直流电动机的调速方法。

### 二、仪器器材

直流电动机 (0.8 kW, 220 V) 1 台、与电动机配套的起动器 1 台、变阻器  $R_f$  (1 k $\Omega$ , 0.5 A) 1 个、变阻器  $R_{sa}$  (95  $\Omega$ , 6 A) 1 个、直流电压表 (300 V) 1 块、直流电流表 (0.5 A) 1 块、转速表 1 块。

### 三、训练内容

#### 1. 直流电动机的起动与反转

按图 3—80 接线,经指导教师检查确认无误后,按如下步骤操作:

- 1) 将励磁回路电阻  $R_f$  短接,电枢回路电阻  $R_{sa}$  调至最大值。
- 2) 在断开 S1 时,检查起动器手柄是否处于起始位置,如果位置正确则可闭合 S1。
- 3) 缓慢转动起动手柄,起动直流电动机。观察电动机的转向,直至起动器处于运行位置,起动器手柄被电磁铁锁住,即起动完毕。
- 4) 断开 S1,则电动机停转。观察起动器失电后自动复位的过程。
- 5) 起动器复位后,调换电动机励磁绕组两个接头的接线。
- 6) 再闭合 S1,转动起动器手柄,起动直流电动机,观察电动机的转向是否改变。

#### 2. 直流电动机电枢串电阻调速和弱磁调速

实验电路与图 3—80 相同,操作步骤如下:

- 1) 重复前面操作步骤上述的 1) ~ 3), 起动直流电动机。
  - 2) 逐渐减小电枢回路电阻  $R_{sa}$ ,使电动机转速上升,直至  $R_{sa}$  被短接。
- 记录  $R_{sa}$  改变时的转速  $n$  和电枢电压  $U_a$ ,将各数据记入表 3—4 中。

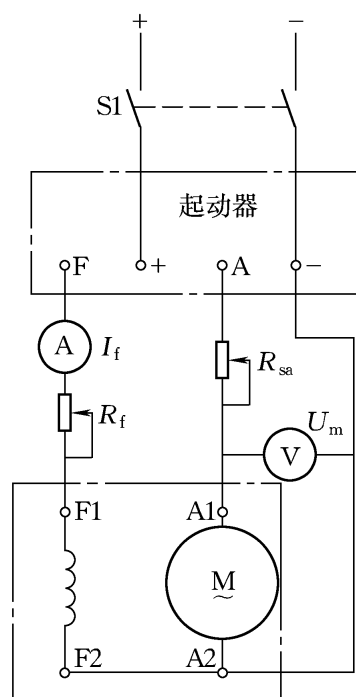


图 3—80 直流电动机的起动与反转

表 3—4 直流电动机电枢串电阻调速

$R_{sa}$	100% $R_{sa}$	75% $R_{sa}$	50% $R_{sa}$	25% $R_{sa}$	0
$n$ / (r/min)					
$U_a$ / V					

3) 电枢串电阻调速测试结束后,不要停车,要非常缓慢地增大励磁回路电阻  $R_f$ ,使电动机转速继续上升,直至 1.2  $n_n$  左右。记录  $R_f$  改变时的转速  $n$  和励磁电流  $I_f$ ,将各数据记入表 3—5 中。

表 3-5 直流电动机弱磁调速

n/ (r/min)					
$I_f/A$					

4) 绘制直流电动机电枢串电阻调速和弱磁调速的特性曲线  $n=f(U_a)$  和  $n=f(I_f)$ 。

#### 四、分析与思考

1. 起动直流电动机时,为什么要将励磁回路电阻  $R_f$  调至最小值,电枢回路电阻  $R_a$  调至最大值? 起动和运行时,若励磁回路断线,将会发生什么危险?

2. 如果同时调换直流电动机励磁绕组和电枢绕组的正负极性,电动机转向能否改变?

### 技能训练 3-3 小型变压器的测试

#### 一、训练目的

学会用较简单的设备测试小型变压器的常用参数。

#### 二、仪器器材

小型电源变压器、0~250 V 自耦调压器、万用表、交流电压表、交流电流表、功率表、开关、负载电阻。

#### 三、训练内容

##### 1. 变压器一次、二次绕组直流电阻的检测

根据待测绕组直流电阻值的大体范围(可先用万用表初测),10  $\Omega$  以上用万用表,1~10  $\Omega$  用单臂电桥,1  $\Omega$  以下用双臂电桥,将所测阻值记入表 3-6 中。

表 3-6 变压器绕组直流电阻检测记录

测试用仪器仪表类别	型号规格	测试结果/ $\Omega$		
		一次绕组	二次绕组 I	二次绕组 II

##### 2. 变压器绝缘电阻的检测

用兆欧表检测各绕组对地绝缘电阻(绕组对铁心)和绕组之间的绝缘电阻,将所测阻值记入表 3-7 中。

表 3-7 变压器绕组绝缘电阻测试记录

兆欧表型号规格	对地绝缘电阻/ $M\Omega$			绕组间绝缘电阻/ $M\Omega$		

##### 3. 测试空载电流和空载输出电压

将待测变压器 T2、变压器 T1、电流表、电压表、功率表、开关及负载电阻按图 3-81 所示连接成测试电路。

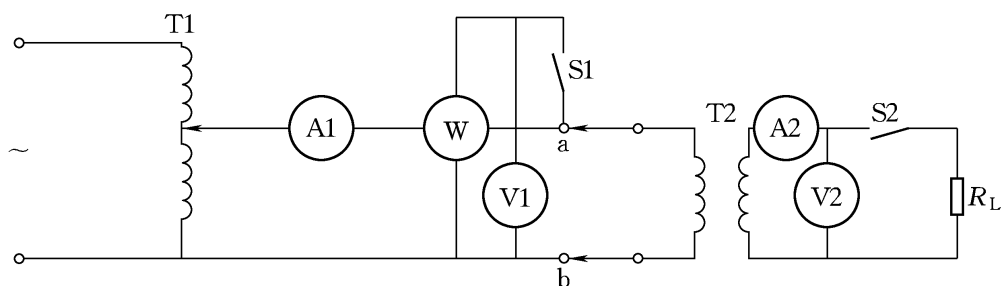


图 3-81 变压器通电测试电路

闭合 S1, 向待测变压器输入 220 V 交流电压。分断 S2, 使变压器处于空载状态, 将电流表 A1 所示空载电流数填入表 3-8 中, 算出它与额定电流的比值。同时在电压表 V2 上读出空载输出电压并记入该表中, 也算出它与额定电压的比值。

表 3-8 变压器空载电流和空载输出电压测试记录

测试仪表型号规格		空载电流/A		空载输出电压/V	
电流表	电压表	实测值	与额定电流的比值%	实测值	与额定电压的比值%

#### 4. 变压器额定输出电压, 额定输入、输出电流及电压调整率的测试

在上述测试电路中, 闭合 S2 使变压器带额定负载  $R_L$ , 调节调压器, 使输出电压 V1 读数为 220 V, V2 读数为额定输出电压, 电流表 A1 读数为额定输入电流, A2 读数为额定输出电流, 空载输出电压与额定输出电压之差再与空载输出电压之比称为电压调整率  $\Delta U\%$ , 将它们及相关数据记入表 3-9 中。

表 3-9 变压器额定输出电压, 额定输入、输出电流测试记录

额定输出电压/V		额定输入电流/A		额定输出电流/A		电压调整率 $\Delta U\%$
实测值	与标称值的差值	实测值	与标称值的差值	实测值	与标称值的差值	

#### 5. 变压器空载损耗功率的测试

在上述测试电路中, 断开待测变压器 T2 的 a、b 两点, 闭合 S1, 调节 T1 使其输出 220 V 电压, 此时功率表 W 读数为 V1 线圈和 W 电压线圈损耗功率  $P_1$ 。将待测变压器接入 a、b 两端, 仍使 S2 分断, 重调 T1, 使 V1 读数为 220 V。这时 W 读数则为变压器空载损耗功率与 V1、W 两只表损耗功率之和  $P_2$ 。将这些数值记入表 3-10 中, 即可算出该变压器空载损耗功率  $P_0$ 。

表 3-10 变压器空载损耗功率测试记录

V1、W 两表损耗功率 $P_1$	T2、V1、W 三者损耗功率 $P_2$	T2 空载损耗功率 $P_0 = P_2 - P_1$	
		实际计算值	与标称值差值

#### 四、分析与思考

1. 通过测试该变压器的绝缘电阻是否能满足通电使用要求？如不行，是什么原因造成的？
2. 变压器额定输出电压和输出电流与标称值有多大差异？为什么？这只变压器能否正常使用？

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

## 第四章

# 机床电气控制基本环节

### 第一节 电气控制系统图

电气控制系统在机械设备中起着中枢作用,为了便于分析系统的工作原理,便于安装、调试及检修,采用统一的电气符号、图线来表示系统中各电气设备、装置、元器件的相互连接关系,这样绘制出的图称为电气控制系统图。电气控制系统图主要包括:电气控制原理图和电气设备安装图。

#### 一、电气控制原理图

电气控制原理图是根据电路的工作原理,遵循便于阅读、分析的原则,采用电器元件展开的形式绘制成的表示电气控制电路工作原理的图形。电气控制原理图一般分为主电路和辅助电

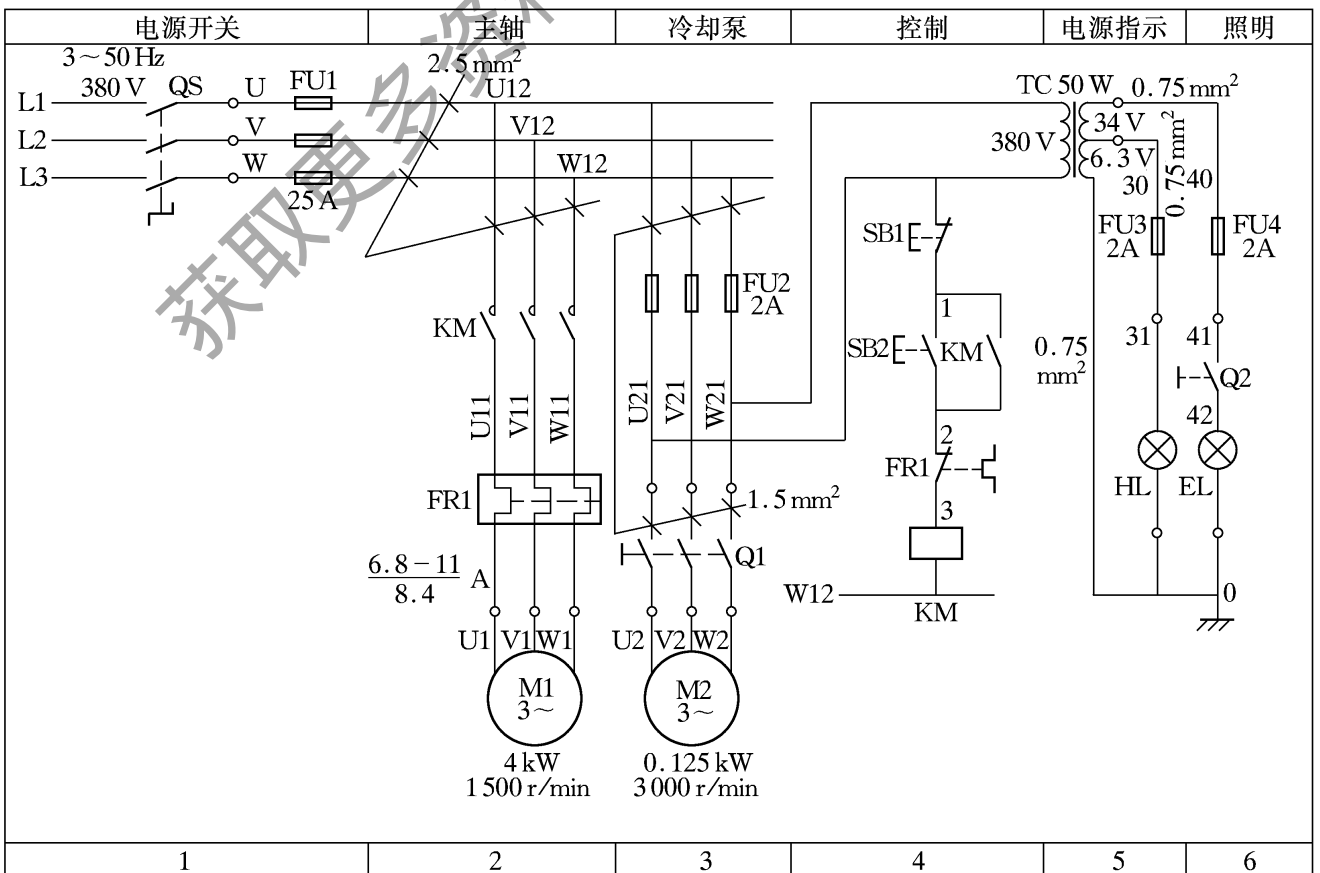


图 4-1 CW6132 型卧式机床的电气控制原理图

路。图 4-1 所示为 CW6132 型卧式机床的电气控制原理图。

### 1. 电气控制原理图组成

电气控制原理图包括主电路和辅助电路两大部分。主电路是指从电源到电动机的大电流通过的电路。辅助电路包括控制电路、照明电路以及保护电路。它们主要由接触器或继电器的线圈、触点、按钮、照明灯及控制变压器等电器元件组成。

### 2. 电气控制原理图绘制基本原则

在分析和设计电气控制系统图时,应遵循一定的规则,只有掌握了这些绘图的规则,才能快速、准确地识图。

(1) 在电气控制原理图中,各电器元件不画实际的外形图,而采用国家规定的统一标准图形符号来画,其文字符号也要符合国家标准。

(2) 电气控制原理图一般分为主电路和控制电路两部分画出。一般主电路画在左边,控制电路画在右边。

(3) 电气控制原理图中,各电器元件的导电部件如线圈和触点的位置,应根据便于阅读和分析的原则来安排,绘在它们完成作用的地方。同一电器元件的各个部件可以不画在一起。

(4) 电气控制原理图中所有电器元件的触点,都按没有通电或不受外力作用时的断开或闭合状态画出。如继电器、接触器的触点,按线圈未得电时状态画;按钮、行程开关的触点,按不受到外力作用时的状态画;主令控制电器元件,按手柄处于“零位”时的状态画。

(5) 电气控制原理图中,有直接联系的交叉导线的连接点,要用黑圆点表示;否则,不能画黑圆点。

(6) 电气控制原理图中,无论是主电路还是辅助电路,各电器元件一般应按动作顺序从上到下或从左到右依次排列。

## 二、电气设备安装图

对较复杂的电气控制电路,可画出电气设备安装图来表示电气控制系统中各种电气设备的

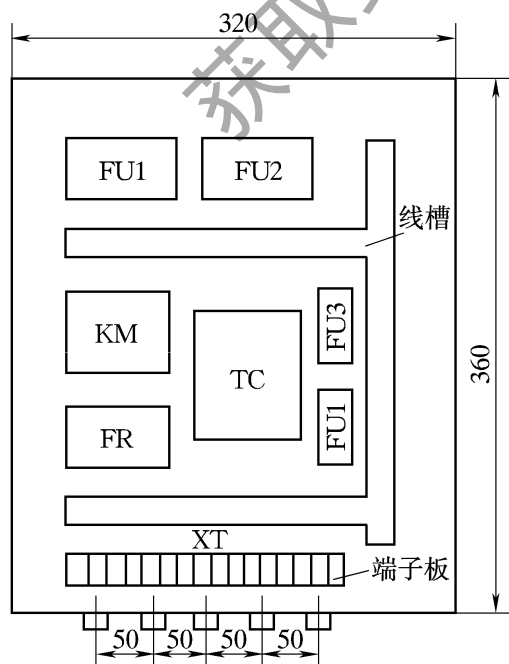


图 4-2 CW6132 型卧式机床电器布置图

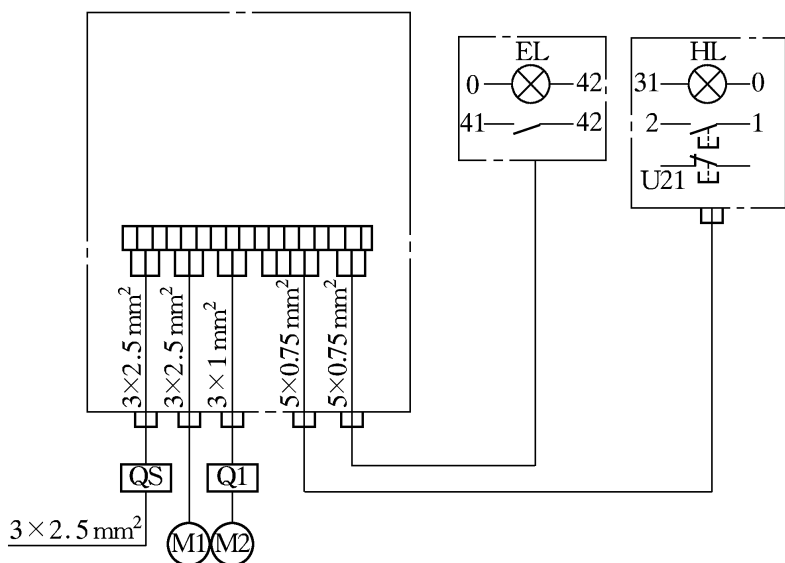


图 4-3 CW6132 型卧式机床电气安装接线图



实际安装位置和接线情况。电气设备安装图包括电器布置图和电气安装接线图两种,图 4-2 和图 4-3 所示分别为 CW6132 型卧式机床的电器布置图和电气安装接线图。

### 1. 电器布置图

电器布置图主要用来表示电动机和电器元件的实际位置,图中各电器元件的符号和相关电器原理控制图上的符号保持一致,各电器元件之间留有导线槽的位置。

### 2. 电气安装接线图

电气安装接线图主要用来表示各电器元件之间的接线关系,是实际安装接线、线路检查、线路维修和故障处理的重要依据,是遵循布置合理、经济的原则来安排的。

## 第二节 三相异步电动机的点动、长动电气控制

三相笼型异步电动机具有结构简单、坚固耐用、价格便宜和维修方便等优点,在生产实际中获得了广泛的应用。在自动控制系统中,大约 90% 的电力拖动都采用这种电动机。因此,今后若不特别说明,电动机均指三相笼型异步电动机。电动机的起动控制一般有直接起动和降压起动两种方式。

额定电压直接加到电动机的定子绕组上而使电动机起动的过程称为直接起动或全压起动。三相笼型异步电动机的直接起动是一种简单、经济、可靠的起动方法,这种方法的优点是电路简单,所需电气设备少;但是起动电流过大会造成电网电压显著下降,影响到在同一电网工作的其他电动机,甚至会导致它们停止转动或无法起动;而起动电流的大小又与电动机的额定功率近似成正比,故直接起动时电动机的容量应受到一定的限制,一般规定,功率小于 10 kW 的电动机可以采用直接起动的方式。

### 一、电动机的点动控制电路

所谓点动,即按下按钮时电动机起动工作,松开按钮时电动机停止工作。点动控制多用于机床刀架、横梁、立柱等快速移动和机床对刀等场合。最基本的电动机点动控制电路如图 4-4 所示。

#### 1. 主电路

主电路由电源开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM 的主触点及电动机 M 组成。

#### 2. 控制电路

控制电路由熔断器 FU2、点动按钮 SB、接触器 KM 的线圈组成。

#### 3. 工作原理

(1) 合上电源开关 QS,按下点动按钮 SB,接触器 KM 的线圈得电,其动合主触点闭合,电动机 M 通电起动旋转。

(2) 松开点动按钮 SB,点动按钮 SB 即在反力弹簧的作用下复位断开,接触器 KM 的线圈失电,点动控制电路的动合主触点断开,电动机 M 断电停止转动。

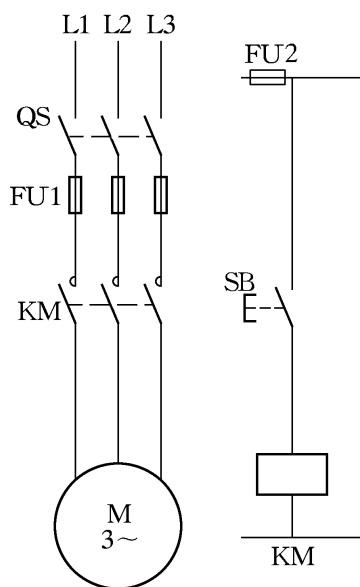


图 4-4 电动机点动控制电路

## 二、电动机的长动控制电路

如果要求电动机在起动后能连续地运行,这时采用点动控制电路就不合理了,因为操作人员的手始终不能离开点动按钮,否则,电动机立即断电停转。为克服这种现象,我们采用了另一种具有自锁环节的控制电路,即电动机的长动控制电路。最基本的电动机长动控制电路如图 4-5 所示。

### 1. 主电路与控制电路

长动控制电路的主电路与点动控制电路的主电路相同,控制电路在原来的基础上增加了一个停止按钮 SB1,使电动机可以停止运转;同时在动合按钮的两端并联接触器 KM 的动合辅助触点,形成“自锁”控制,该触点称为自锁触点。

### 2. 工作原理

(1) 合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,交流接触器 KM 的线圈得电,其动合主触点闭合,电动机 M 通电起动旋转。同时与起动按钮 SB2 并联的自锁触点 KM 也闭合。

(2) 松开起动按钮 SB2 后,SB2 复位断开,接触器 KM 的线圈通过其自锁触点继续保持得电,从而保证电动机 M 能连续长时间的运转。

(3) 当电动机需要停车时,可以按下停止按钮 SB1,使得接触器 KM 线圈失电,其动合主触点和自锁触点也都复位断开,电动机 M 断电停止运转。

### 3. 电路的保护环节

(1) 过载保护 电动机在运行过程中,如果由于过载或其他原因使电流超过额定值,经过一定时间,串接在主电路中的热继电器 FR 的热元件因受热弯曲,使串在控制电路中的 FR 动断触点断开,切断控制电路,接触器 KM 的线圈失电,其主触点断开,电动机 M 便停止转动。

(2) 欠压和失压保护 当电源电压突然严重下降(欠压)或消失(失压)时,接触器 KM 线圈电磁吸力不足,动铁心(衔铁)在反作用弹簧的作用下释放,其自锁触点断开,失去自锁;同时主触点也断开,使电动机停转,得到保护。而且由于接触器 KM 的自锁触点和主触点在停电时均已断开,所以在恢复供电时,控制电路和主电路不会自行接通,电动机不会自行起动,预防了事故的发生。

(3) 短路保护 电动机的短路保护采用熔断器。熔断器 FU1、FU2 分别实现主电路和控制电路的短路保护。

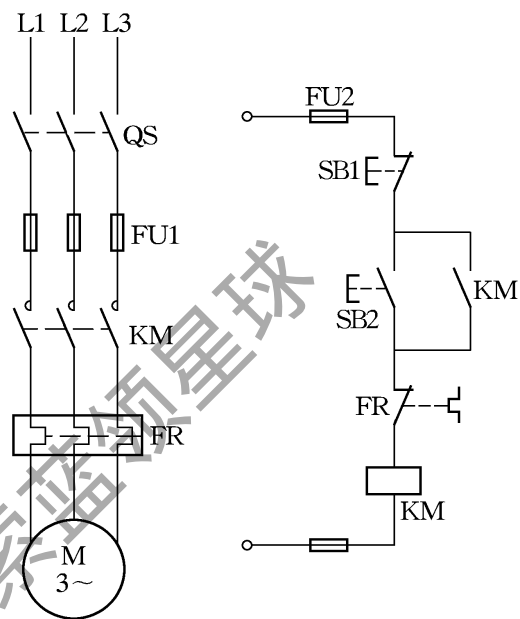


图 4-5 电动机长动控制电路

## 三、电动机的点动与长动控制电路

在实际工作中,机床既要点动调整,也需要长期工作(即长动控制),可通过点动与长动控制电路实现。点动与长动控制电路如图 4-6 (a) 所示。

### 1. 主电路与控制电路



### 第三节 三相异步电动机的正、反转电气控制

在机械加工中,许多生产机械的运动部件都有正、反向运动的要求,如机床的主轴要求能改变方向旋转,工作台要求能往返运动等,这些要求都可以通过电动机的正、反转来实现。从电动机的原理可知,若将接到电动机的三相电源进线中的任意两相对调,就可以改变电动机的旋转方向。电动机正、反转控制电路正是利用这一原理而设计的。常见的正、反转控制电路有倒顺开关正、反转控制电路,接触器互锁正、反转控制电路,接触器、按钮双重互锁的正、反转电路。

#### 一、倒顺开关正、反转控制电路

##### 1. 工作原理

倒顺开关正、反转控制电路如图 4-8 所示。倒顺开关可以直接控制电动机的正、反转,它是通过手动完成正、反转操作的,有“正转”、“反转”和“停止”三种操作位置。倒顺开关处于“正转”和“反转”两种位置时,电动机的电源接入线相反,电源相序相反,分别对应了电动机的正转和反转。

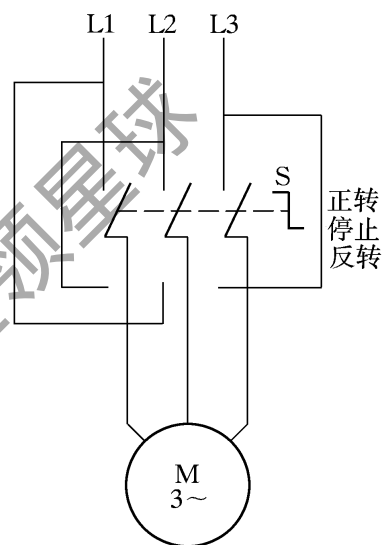


图 4-8 倒顺开关正、反转控制电路

##### 2. 工作特点

此控制电路的优点是电路较简单,电器元件少;缺点是改变电动机的运转方向必须先把手柄扳到停止位置,然后再扳到反转位置,导致频繁换向时,操作不方便;同时,因电路中没有欠电压和零电压保护,因此这种方式只在被控电动机的容量小于 5 kW 的场合使用。

#### 二、接触器互锁正、反转控制电路

##### 1. 工作原理

图 4-9 所示为接触器互锁的正、反转控制电路。控制电路中用接触器 KM1 和 KM2 分别控制电动机的正转和反转。正转接触器 KM1 和反转接触器 KM2 接通的电源相序相反,所以当两个接触器分别工作时,可实现电动机正转和反转。正转接触器 KM1 和反转接触器 KM2 的主触点不可同时接通,否则将形成电源短路,引起事故。为此,分别在正转和反转的控制回路中接入了对方接触器的动断辅助触点,从而保证一个回路工作时另一个回路不能工作。这种互相制约的控制关系称为“互锁”,其工作原理如下:

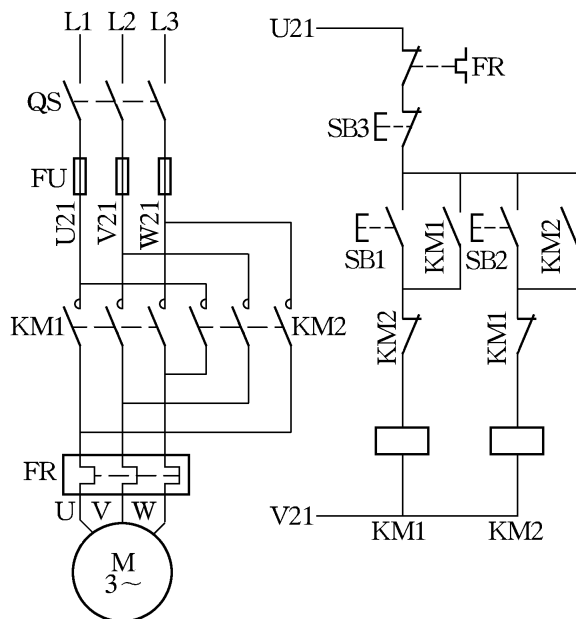


图 4-9 接触器互锁的正、反转控制电路

1) 合上开关 QS。

2) 按下按钮 SB1,接触器 KM1 线圈得电,其主触点闭合,自锁动合触点闭合,联锁动断触点断开(切断

反转控制电路), 电动机 M 正转。

3) 按下按钮 SB3, 接触器 KM1 线圈失电, 其主触点断开, 自锁动合触点断开, 联锁动断触点闭合 (为接通反转控制电路做好准备), 电动机 M 停转。

4) 按下按钮 SB2, 接触器 KM2 线圈得电, 其主触点闭合, 自锁触点闭合, 联锁触点断开 (切断正转控制电路, 使接触器 KM1 线圈不能得电), 电动机 M 反转。

## 2. 工作特点

接触器互锁的正、反转控制电路的优点是利用“互锁”关系, 保证正、反转的接触器 KM1、KM2 的主触点不可同时接通, 避免了电源短路事故; 缺点是改变电动机的运转方向必须先按停止按钮, 然后再按反向起动按钮, 所以频繁改变转向的场合不宜采用。

## 三、按钮联锁正、反转控制电路

### 1. 工作原理

为了尽量缩短操作辅助时间, 可以把接触器联锁正、反转控制电路中接触器 KM1、KM2 的动断联锁触点去掉, 换上按钮 SB1、SB2 的动断触点, 形成按钮联锁的正、反转控制电路, 同样能起到防止线圈 KM1 和 KM2 同时通电的作用。图 4-10 所示为按钮联锁的正、反转控制电路其工作原理如下:

- 1) 合上开关 QS。
- 2) 按下正转按钮 SB1, 接触器 KM1 线圈得电, 其主触点闭合, 自锁动合触点闭合, 联锁动断触点断开 (切断反转控制电路), 电动机 M 正转。
- 3) 按下反转按钮 SB2, 其串在 KM1 线圈回路中的联锁触点断开, 接触器 KM1 线圈失电, 切断正转控制电路, 电动机 M 断电; 随后, 反转按钮 SB2 的动合触点闭合, 接触器 KM2 线圈得电, 其主触点闭合, 电动机 M 反转。

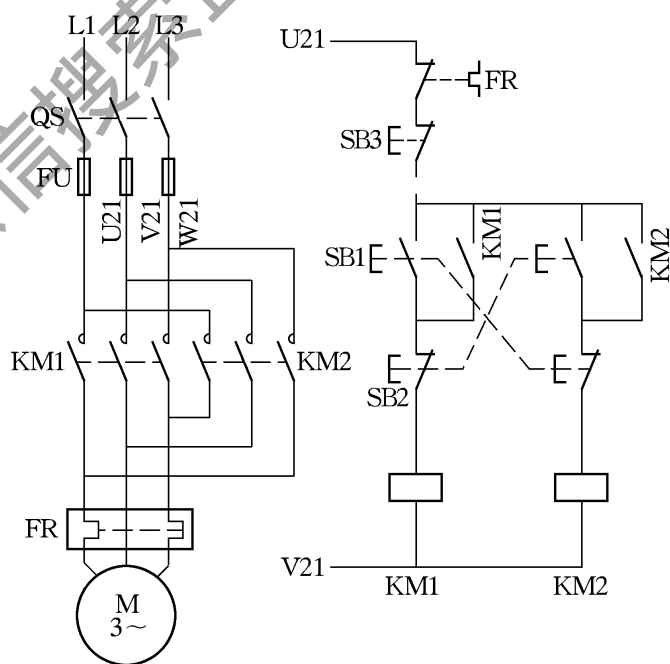


图 4-10 按钮联锁的正、反转控制电路

## 2. 工作特点

此控制电路的优点是操作方便, 当需要改变电动机转向时, 不必先按停止按钮 SB3, 只要直接按一下反转按钮 SB2 即可。缺点是容易产生短路故障, 控制正、反转的接触器 KM1、KM2 的主触点可能同时接通, 从而导致电源短路事故。

## 四、接触器、按钮双重互锁正、反转控制电路

### 1. 工作原理

图 4-11 所示为接触器、按钮互锁的正、反转控制电路。SB1、SB2 为复合按钮, 按下按钮时, 动断触点先断开, 经过一段机械延时后 (按钮从起始位置至按到底的时间), 动合触点才接通, 这样就保证了接触器 KM1 和 KM2 不会同时动作。其工作原理如下:

- 1) 合上 QS。

2) 按下正转按钮 SB1,其动断触点先切断接触器 KM2 反转控制电路,经过机械延时后动合触点接通 KM1 正转控制电路,电动机正转。

3) 若按下反转按钮 SB2,其动断触点先切断接触器 KM1 正转控制电路,KM1 主触点断开,电动机断电,然后其动合触点接通反转控制电路,使电动机反转。

### 2. 工作特点

这种控制电路克服了前面两种控制电路的缺点,兼有接触器联锁和按钮联锁的优点,操作方便、安全、可靠且反转迅速,因此在机床中得到广泛应用。

**例题 4—2** 如图 4—12 所示为某学生设计的正、反转控制电路,要求实现: (1) 正、反转控制; (2) 两方向运转时都有过载保护。试分析该控制电路有何错误?

分析:

(1) 两接触器 KM1 和 KM2 线圈支路中串联的联锁触点应是对方的而不是自身的动断触点,因此联锁的 KM1 和 KM2 动断触点的位置应对换。

(2) 两接触器 KM1 和 KM2 应用自身的辅助触点自锁,而不能用于对方的动合辅助触点作为自锁触点,因此 KM1 和 KM2 自锁触点的位置应对换。

(3) 热继电器 FR 的动断触点只对正转运行起过载保护作用,反转时不起过载保护作用。为使正、反转时都有过载保护,应将热继电器 FR 的动合触点改接在接触器 KM1 和 KM2 线圈的公共支路上。

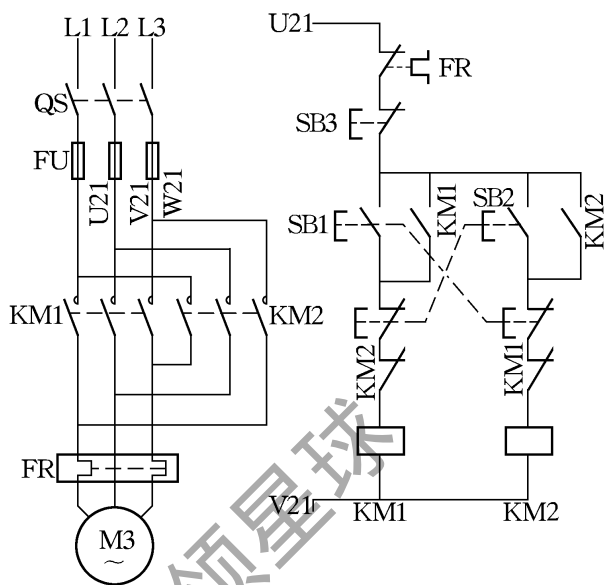


图 4—11 接触器、按钮互锁的正、反转控制电路

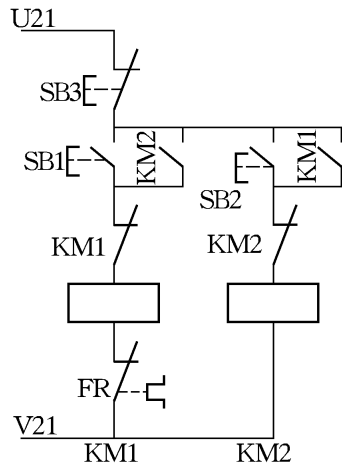


图 4—12 正、反转控制电路

## 第四节 工作台的自动往复循环电气控制

在生产过程中,经常需要对生产机械运动部件的行程进行控制,并使其在一定的范围内自动往复循环运动,如龙门刨床、导轨磨床的工作台等。实现这类控制主要是依靠行程开关这一电器元件。

### 一、行程控制电路

行程控制电路是按照工作机械的某一运动部件的行程或位置的变化来进行控制的电路。行程控制依靠行程开关来实现,行程开关安装在床身固定的位置上,反映加工过程的始点与终点,在行程中撞块撞上行程开关,代替人按按钮,实现运动控制。

## 二、工作台自动往复控制

### 1. 工作原理

由行程开关控制的工作台自动往复控制电路如图 4-13 所示。两只行程开关 SQ1 和 SQ2 分别用来实现工作台的自动往返, SQ1 放在左端需要反向的位置, SQ2 放在右端需要反向的位置。在工作台边上装有撞块,且撞块 1 与行程开关 SQ1 处于同一平面,撞块 2 与行程开关 SQ2 处于同一平面。因此,撞块 1 只能和行程开关 SQ1 碰撞,撞块 2 只能和行程开关 SQ2 碰撞。撞块每一次碰上行程开关后,工作台都停止前进,随后反向运行,这样就使得工作台能够进行自动往复运动。其工作原理如下:

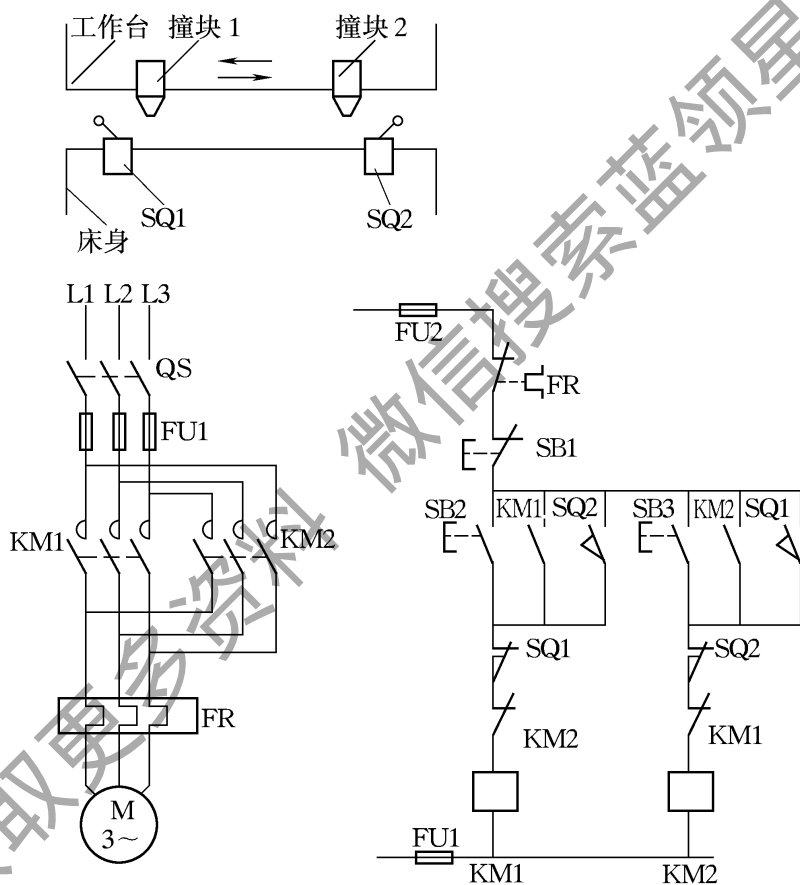


图 4-13 自动往复控制电路

1) 合上 QS。

2) 按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 得电吸合并自锁,电动机正向旋转,带动机床运动部件左移。

3) 当运动部件移至左端碰到并按下行程开关 SQ1,其动断触点断开,切断接触器 KM1 线圈电路,电动机停转;同时,行程开关 SQ1 动合触点闭合,接通接触器 KM2 线圈电路, KM2 得电吸合并自锁,此时电动机由正向旋转变为反向旋转,带动机床运动部件右移。上述过程可依次循环下去。

### 2. 工作特点

工作台自动往复控制电路和前面讲述的接触器、按钮双重互锁的正、反转控制电路相似,它们的主电路相同,在控制电路中用行程开关 SQ1 和 SQ2 取代了图 4-10 中的正转和反转复合按

钮,并在行程开关 SQ1 和 SQ2 动合触点的两端分别并联起动按钮 SB2 和 SB3 的动合触点,作正向或反向起动用。此外,工作台的往返行程可通过移动撞块在工作台上的位置来调节,撞块间的距离增大,行程就缩短;反之,行程就变长。

## 第五节 三相异步电动机的降压起动控制

当电动机容量较大(10 kW 以上)时,为减小起动电流,一般采用降压起动的方式来起动;但是,由于降压起动在减小起动电流的同时也会导致起动转矩的下降,因此只适用于在空载或轻载状态下的起动。常用的降压起动方式有星形—三角形降压起动和自耦变压器降压起动两种。

### 一、星形—三角形降压起动控制

所谓星形—三角形降压起动控制,即电动机起动时把定子绕组连接成星形,起动即将完成时再恢复成三角形。图 4-14 所示为星形—三角形降压起动控制电路。

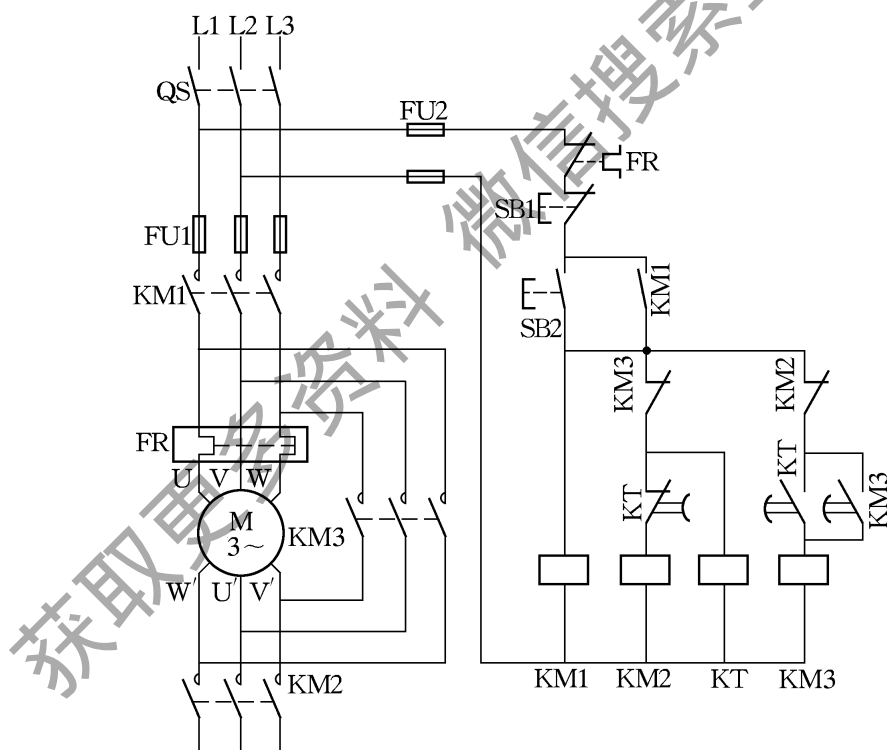


图 4-14 星形—三角形降压起动控制电路

#### 1. 工作原理

1) 合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1、KM3 和时间继电器 KT 的线圈同时得电,其触点闭合并自锁,此时电动机星形起动。

2) 随着转速的提高,电动机电流下降,时间继电器 KT 延时动断触点断开,接触器 KM3 失电,断开星形联结;KT 延时动合触点闭合,接触器 KM2 得电闭合并自锁,电动机 M 换接成三角形联结运行。

3) 需停止时,按下停止按钮 SB1,接触器 KM1、KM2 失电,电动机 M 停止运行。

#### 2. 工作特点



星形—三角形降压起动方式电路简单,使用方便,但起动转矩小,只适用于空载或轻载状态下的起动,且只能用于正常运转时定子绕组接成三角形的异步电动机。

## 二、自耦变压器起动控制

自耦变压器降压起动是利用自耦变压器来降低起动时加在电动机定子绕组上的电压,达到限制起动电流的目的。电动机起动时,定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压,一旦起动完毕,自耦变压器便被切除,额定电压直接加于定子绕组,电动机进入全电压正常工作状态。自耦变压器降压起动控制电路如图 4-15 所示。

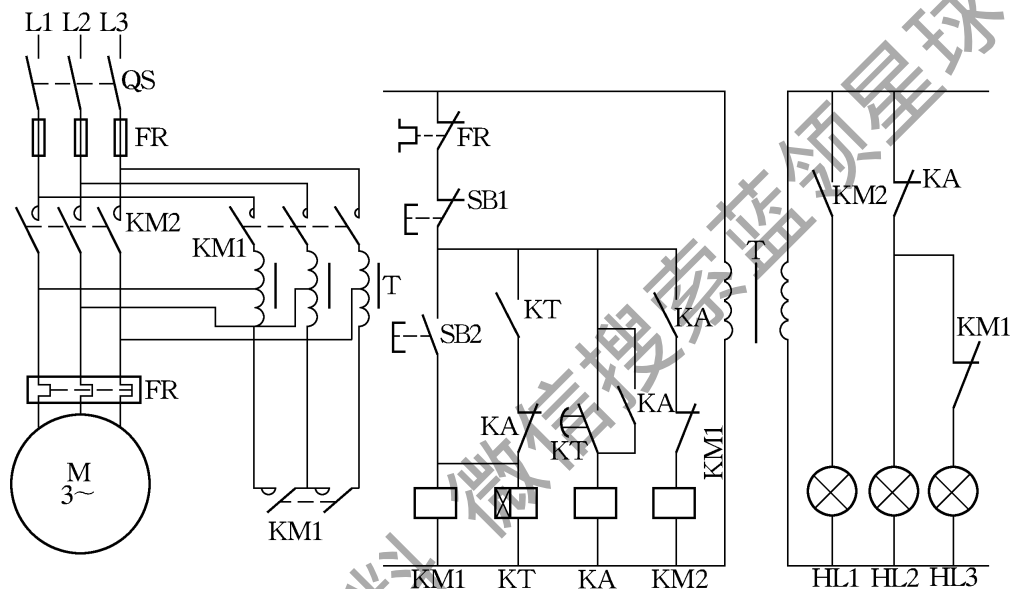


图 4-15 自耦变压器降压起动控制电路

### 1. 工作原理

1) 合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 和时间继电器 KT 的线圈同时得电,KT 瞬时动作触点闭合并自锁,接触器 KM1 主触点闭合,电动机定子绕组经自耦变压器接至电源,通过自耦变压器降压起动。

2) 经一段时间延时后,时间继电器 KT 延时断开的动断触点断开,接触器 KM1 失电,KM1 主触点断开,自耦变压器被从电路中切除;同时,KT 延时闭合的动合触点闭合,接触器 KM2 得电,电动机 M 全压运行。

3) 停止时,按下停止按钮 SB1,接触器 KM2 失电,电动机 M 停止运行。

### 2. 工作特点

自耦变压器降压起动方式可用于正常工作时定子绕组接成星形或三角形的电动机,但自耦变压器价格较高,亦不允许频繁起动,一般用于电动机容量较大的场合。

## 第六节 三相异步电动机制动控制

许多机床,如万能铣床、卧式镗床、组合机床,都要求迅速停车和准确定位,而运行中的电动机在切断电源后,由于惯性作用,需要一定的时间才能停止运转,这时就要对电动机进行强迫停车,即制动。目前广泛应用的制动方式有机械制动和电气制动两大类。机械制动一般采用机械

抱闸或液压装置制动,机械制动中应用较普遍的是电磁式机械制动;电气制动实质上是使电动机产生一个与原来转子的转动方向相反的转矩来实现制动,机床中经常应用的电气制动是能耗制动和反接制动。

## 一、电磁式机械制动控制电路

切断电源以后,利用机械装置使电动机迅速停转的方法称为机械制动。电磁抱闸和电磁离合器两种机械制动装置应用较普遍,下面以电磁抱闸制动为例说明机械制动原理。电磁抱闸制动控制电路有断电制动和通电制动两种。

### 1. 断电制动控制电路

#### (1) 工作原理

电磁抱闸断电制动控制电路如图 4-16 所示,电磁抱闸装置可参看图 3-35,其工作原理如下:

- 1) 合上电源开关 QS。
- 2) 按下起动按钮 SB1,接触器 KM 得电吸合,电磁抱闸线圈 YA 得电,使抱闸的闸瓦与闸轮分开,电动机起动。
- 3) 需制动时,按下停止按钮 SB2,接触器 KM 线圈失电,电动机的电源被切断,电磁抱闸线圈 YA 失电,在弹簧的作用下,闸瓦与闸轮紧紧抱住,电动机被迅速制动而停转。

#### (2) 工作特点

采用电磁抱闸断电制动,不会因中途断电或电气故障的影响而造成事故,比较安全可靠。缺点是电源切断后,电动机的轴就被制动刹住不能转动,不便调整。因此,在电梯、起重、卷扬机等一类升降机械上应用较多。

### 2. 通电制动控制电路

#### (1) 工作原理

电磁抱闸通电制动控制电路如图 4-17 所示,该控制电路与断电制动电路不同,制动装置的结构也有所不同。在主电路有电流流过时,电磁抱闸线圈两端没有电压,闸瓦与闸轮松开。其工作原理如下:

- 1) 合上电源开关 QS。
- 2) 需制动时,按下停止按钮 SB2,主电路断电,复合按钮 SB2 动合触点闭合,接触器 KM2 得电,电磁抱闸线圈 YA 得电,闸瓦与闸轮抱紧制动。
- 3) 松开复合按钮 SB2,接触器 KM2 失电释放,电动机的电源被切断,电磁抱闸线圈 YA 失电,抱闸松开。

#### (2) 工作特点

采用电磁抱闸通电制动,在电动机不运转的情况下,

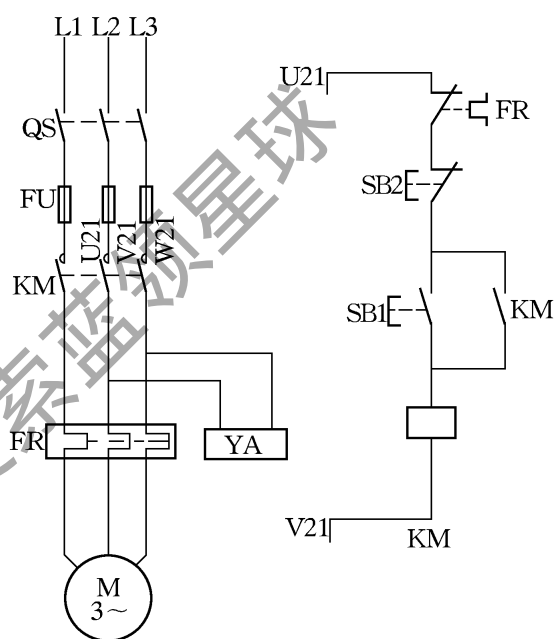


图 4-16 电磁抱闸断电制动控制电路

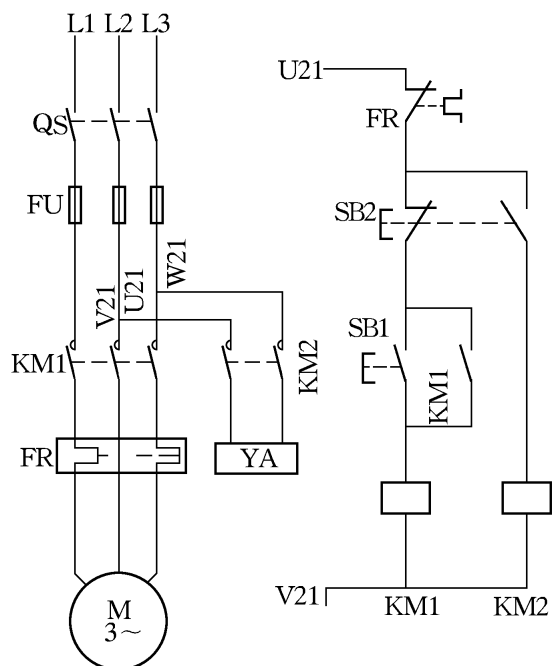


图 4-17 电磁抱闸通电制动控制电路

电磁抱闸处于“松开”状态,在电动机未通电时,便于用手扳动主轴进行调整和对刀。因此,像机床一类经常需要调整加工工件位置的机械设备,多采用这种制动方式。

## 二、能耗制动

能耗制动是在电动机要停车时,切断交流电源的同时给定子绕组接通直流电源,产生静止磁场,等转速为零时再切断直流电源。其制动实质是把转子储备的机械能转变为电能,再消耗在转子的制动上。

### 1. 工作原理

能耗制动控制电路如图 4-18 所示。图中 KM1 为单向旋转接触器, KM2 为能耗制动接触器, KT 为时间继电器, T 为整流变压器, VC 为桥式整流电路, R 为可调电阻。其工作原理如下:

- 1) 合上电源开关 QS。
- 2) 按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 得电闭合并自锁,电动机 M 直接起动运行。

3) 需制动时,按下停止按钮 SB1,其动断触点打开,接触器 KM1 线圈失电,电动机断电;将复合按钮 SB1 按到底,其动合触点闭合,接触器 KM2 线圈得电,电动机接通直流电源,进入能耗制动状态;同时,时间继电器 KT 线圈得电,延时一段时间后(当电动机转子的速度接近零时),KT 延时打开的动断触点动作,使能耗制动接触器 KM2 以及时间继电器 KT 线圈失电,能耗制动完成。

### 2. 工作特点

能耗制动具有制动准确、平稳、能量消耗小等优点。但是,这种制动方式制动力较弱,特别是在低速时尤为突出;此外还需要直流电源,故适用于要求制动准确、平稳的场合,如磨床、龙门刨床及组合机床的主轴定位等。

## 三、反接制动

反接制动的实质是当电动机需制动时,改变电动机绕组中的三相电源相序,产生与原转动方向相反的转矩,从而起到制动作用。

当电动机正方向运行时,如果把电源反接,电动机转速由正转急速下降到零。如果反接电源不及时切除,则电动机又要从零速反向起动运行。所以我们必须在电动机制动接近零速时,将反接电源切断,电动机才能真正停下来。控制电路中通常采用速度继电器检测接近零速度的信号,以直接反映控制过程的转速,“判断”电动机的停与转。一般情况下,当转速在 120~3 000 r/min 范围内时,速度继电器触点动作,当转速低于 120 r/min 时,速度继电器触点恢复原位。

### 1. 工作原理

反接制动控制电路如图 4-19 所示,图中 KM1 为单向旋转接触器, KM2 为反接制动接触器, KS 为速度继电器, R 为反接制动电阻。其工作原理如下:

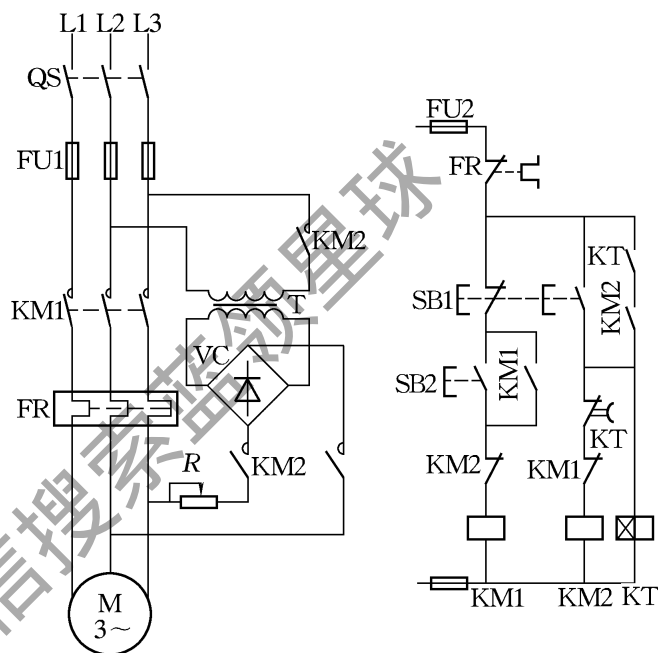


图 4-18 能耗制动控制电路

1) 合上电源开关 QS。

2) 按下起动按钮 SB2, 接触器 KM1 线圈得电并自锁, 电动机带电旋转; 此时, 与电动机同轴相连的速度继电器 KS 也一起旋转, 当转速达到 120 r/min 时, 其动合触点闭合, 为反接制动做好准备。

3) 需制动时, 按下复合按钮 SB1, 其动断触点打开, 接触器 KM1 线圈失电, 电动机定子绕组断电, 但电动机因惯性仍高速旋转; 将复合按钮 SB1 按到底, 其动合触点闭合, 接触器 KM2 线圈得电并自锁, 电动机定子绕组接上反序电源, 电动机进入制动状态, 用电阻  $R$  来限制反接制动时的电流冲击。当电动机转速下降低于 120 r/min 时, 速度继电器 KS 触点恢复原位, 自动切断接触器 KM2 线圈, 电动机脱离反序电源, 自然停车至速度为零。

## 2. 工作特点

反接制动的优点是旋转磁场的相对速度很大, 定子电流也很大, 因此制动效果显著。但是, 在制动过程中有冲击, 对传动部件有害, 能量损耗大。故适用于不经常起动、制动的设备中, 如铣床、中型车床等主轴的制动。能耗制动和反接制动这两种方法在机床中都有较为广泛的应用。

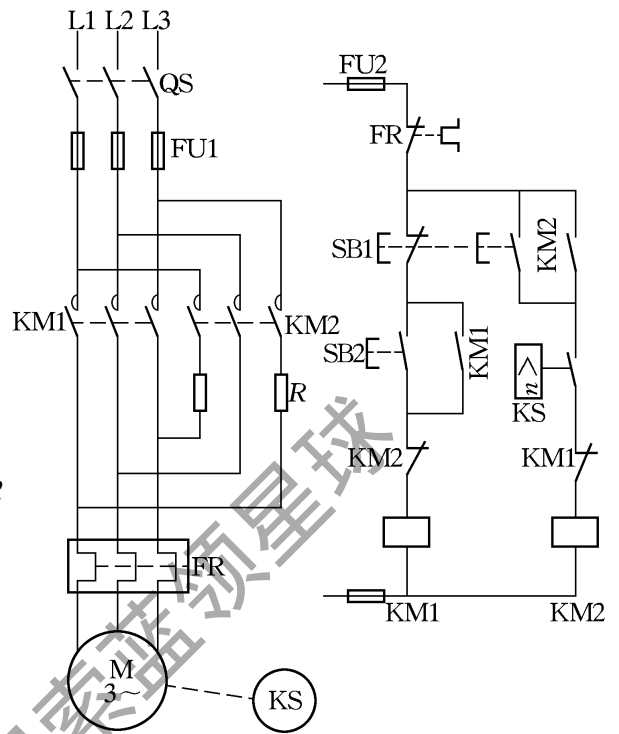


图 4-19 反接制动控制电路

## 第七节 直流电动机的控制电路

直流电动机的突出优点是有很大的起动转矩和能在很大的范围内平滑地调速。直流电动机的控制包括直流电动机的起动、正反转、调速及制动的控制。按励磁方式可分为他励、并励、串励和复励四种。并励及他励直流电动机的性能及控制电路相近, 它们多用在机床等设备中; 在牵引设备中, 则以串励直流电动机应用较多。

### 一、直流电动机的起动控制电路

直流电动机在起动最初的一瞬间, 因为电动机的转速等于零, 则反电动势为零, 所以电源电压全部施加在电枢绕组的电阻及线路电阻上。通常这些电阻都是极小的, 所以这时流过电枢的电流很大, 起动电流可达额定电流的 10~20 倍。这样大的起动电流将导致电动机换向器和电枢绕组的损坏, 同时大电流产生的转矩和加速度对其他传动部件也将产生强烈的冲击。若外加的是恒定电压, 则必须在电枢回路中串入附加电阻来起动, 以限制起动电流。

#### 1. 并励直流电动机的起动控制电路

##### (1) 工作原理

图 4-20 所示为并励直流电动机的起动控制电路。图中电枢回路的电阻  $R$  为降压起动电阻, 其工作原理如下:

1) 合上电源开关 QS。

2) 按下起动按钮 SB1, 接触器 KM 得电吸合并自锁, 直流电动机电枢回路串入电阻  $R$  起动, 随着转速逐渐上升, 通过电动机的电流减小, 电阻  $R$  上电压下降, 接在电枢两端的电压继电器 KA 线圈两端电压逐渐上升。当 KA 线圈的电压上升到一定值时, KA 动合触点闭合, 短接电阻  $R$ , 电动机在额定电压下运行。

3) 按下停止按钮 SB2, 接触器 KM 断电释放, 电动机 M 停止转动。

## (2) 工作特点

并励直流电动机在起动时需先施加电枢电压之前, 先接上额定励磁电压, 以保证起动过程中产生足够大的反电动势, 迅速减小起动电流和保证足够大的起动转矩, 加速起动过程。因此, 常被转速需要保持恒定或需要在广泛范围内进行调速的生产机械所采用。

## 2. 他励直流电动机的起动控制电路

### (1) 工作原理

他励直流电动机起动控制电路如图 4-21 所示, 这是一个用时间继电器控制二级电阻起动的电路。其工作原理如下:

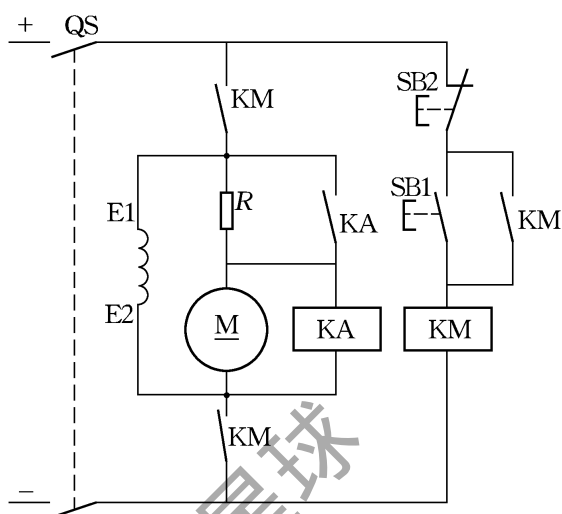


图 4-20 并励直流电动机的起动控制电路

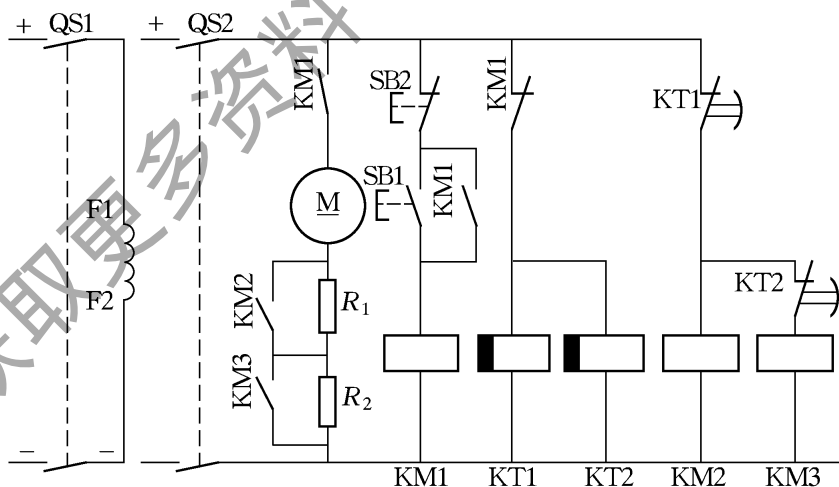


图 4-21 他励直流电动机起动控制电路

1) 合上开关 QS1 和 QS2, 励磁绕组 F1F2 首先得到励磁电流; 同时, 时间继电器 KT1 和 KT2 的线圈也得电, 其动断触点断开, 接触器 KM2 和 KM3 线圈断电, 并联在起动电阻  $R_1$  和  $R_2$  上的接触器动合触点 KM2 和 KM3 处于断开状态, 从而保证了电动机在起动时电阻全部串入电枢回路中。

2) 按下起动按钮 SB1, 接触器 KM1 线圈得电吸合并自锁, 电动机在串入全部起动电阻的情况下降压起动。同时, 由于接触器 KM1 的动断触点断开, 时间继电器 KT1 和 KT2 线圈断电。KT1 延时闭合的动断触点首先延时闭合, 接触器 KM2 线圈通电, 其动合触点闭合, 将起动电阻  $R_1$  短接, 电动机继续加速。然后, KT2 延时闭合的动断触点延时闭合, 接触器 KM3 通电吸合,

将电阻  $R_2$  短接,电动机起动完毕,正常运行。

## (2) 工作特点

他励直流电动机控制电路的工作特点与并励直流电动机控制电路的工作特点相近。

## 3. 串励直流电动机的起动控制电路

### (1) 工作原理

串励直流电动机起动控制电路如图 4-22 所示,这也是一个用时间继电器控制二级电阻起动的电路。其工作原理如下:

1) 合上电源开关 QS,时间继电器 KT1 线圈得电,KT1 闭合触点立即断开。

2) 按下起动按钮 SB1,接触器 KM1 通电吸合并自锁,KM1 主触点接通主回路,电动机串电阻  $R_1$  和  $R_2$  降压起动。 $R_1$  两端的电压开始时较高,时间继电器 KT2 动作,KT2 动断触点瞬时断开。同时,由于 KM1 动断触点断开,KT1 线圈断电,KT1 延时闭合的动断触点延时闭合,接触器 KM2 通电吸合,其动合触点闭合,起动电阻  $R_1$  短接。这时,时间继电器 KT2 线圈断电,KT2 延时闭合的动断触点延时闭合,接触器 KM3 通电吸合,将电阻  $R_2$  短接,电动机全压运行。

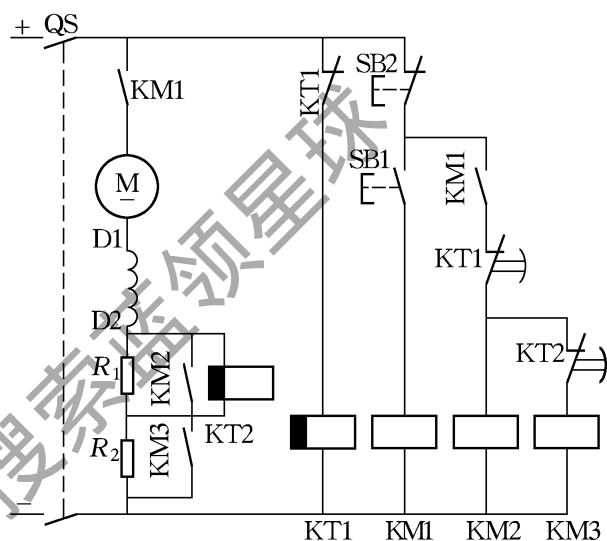


图 4-22 串励直流电动机控制电路

## (2) 工作特点

并励、他励直流电动机的电磁转矩与电枢电流成正比,而串励电动机的电磁转矩  $T$  与电枢电流的平方成正比。也就是说在同样大的起动电流下,串励电动机的起动转矩要比并励或他励电动机的起动转矩大得多。所以,在带大负载起动或起动很困难的场合,如电力机车、起重机等宜采用串励直流电动机拖动。串励电动机不能在空载或轻载的情况下起动,应在至少带有 20%~30% 负载的情况下起动。否则,电动机的转速极高,会使电枢受到极大的离心力而损坏。

## 二、直流电动机的正、反转控制电路

要改变直流电动机的旋转方向,只要改变它的电磁转矩方向即可。直流电动机电磁转矩的方向取决于主磁通和电枢电流的方向,所以电动机的励磁绕组的端电压极性不变,改变电枢绕组端电压的极性;或电枢绕组电压极性不变,改变励磁绕组端电压的极性,都可以改变电动机的旋转方向。因此,改变直流电动机的旋转方向有以下两种方法:一是改变电枢电流方向;二是改变励磁电流的方向,但是不能同时改变这两个电流的方向。

### 1. 改变电枢绕组中的电流方向

这种方法常用于并励和他励直流电动机中。因为并励和他励直流电动机励磁绕组的电感量大,若要使励磁电流改变方向,一方面,将励磁绕组从电源上断开时会产生较大的自感电动势,很容易把励磁绕组的绝缘层击穿;另一方面,改变励磁电流方向时,由于中间有一段时间励磁电流为零,容易出现“飞车”现象,使电动机的转速超过允许的程度,为此,通常还需要用接触器在改变励磁电流方向的同时切断电枢回路电流。由于以上这些原因,一般情况下,并励和他励直流电动

机多采用改变电枢绕组中电流的方向来改变电动机的旋转方向。

并励直流电动机正、反转控制电路如图 4-23 所示。控制电路部分与交流异步电动机正、反转控制电路相同,工作原理可自行分析。

## 2. 改变励磁绕组中的电流方向

这种方法常用于串励直流电动机。因为串励电动机励磁绕组两端的电压较低,反接较容易,电力机车等的反转都采用这种方法。其控制电路的部分原理图如图 4-24 所示,其余部分与图 4-23 完全相同。

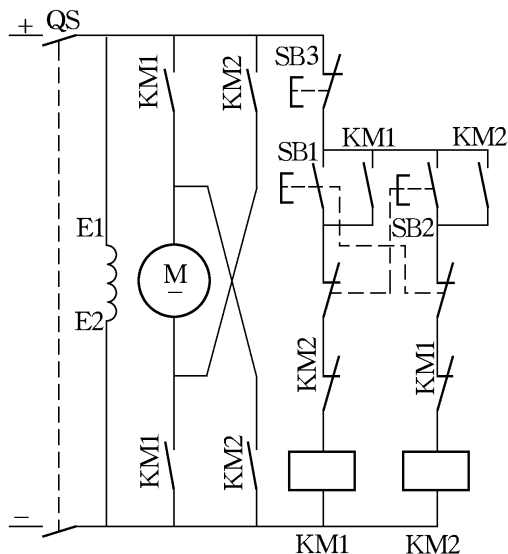


图 4-23 并励直流电动机正、反转控制电路

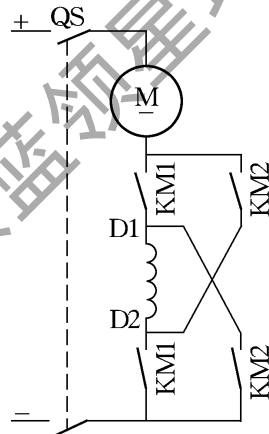


图 4-24 串励直流电动机正、反转控制电路

## 三、直流电动机的制动控制电路

直流电动机的制动方法也有机械制动和电气制动两种。由于电气制动的制动转矩大,操作方便,无噪声,所以应用较广。直流电动机的电气制动有能耗制动和反接制动等。

### 1. 能耗制动

能耗制动是把正在运转的直流电动机的电枢从电源上断开,接上一个外加电阻  $R_z$  组成回路,将机械动能变为热能消耗在电枢和  $R_z$  上。

(1) 他励直流电动机的能耗制动 他励直流电动机能耗制动的部分原理图如图 4-25 所示。图中虚线箭头表示电动机处于电动状态时的电枢电流  $I$  和电磁转矩  $T$  的方向。电动机制动时,其励磁的大小和方向维持不变,接触器 KM 释放, KM 的动合主触点断开,使电枢脱离直流电源;同时, KM 的动断触点闭合,把电枢接到外加制动电阻  $R_z$  上去。这时,电动机由于惯性仍按原方向继续旋转,因而反电动势  $E_a$  的方向不变,并成为电枢回路的电源,所以制动电流  $I_z$  的方向与原来的方向相反。电磁转矩的方向也随着电流的反向而改变方向,即与转子旋转方向相

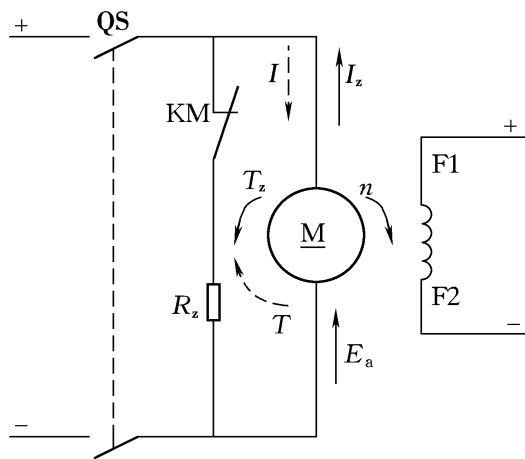


图 4-25 他励直流电动机能耗制动原理图

反,成为制动转矩  $T_z$ ,这就促使电动机迅速减速直至停止转动。

应注意选择大小适当的制动电阻  $R_z$ ,  $R_z$  过大,制动缓慢;  $R_z$  过小,电枢中的电流将超过电枢电流允许值。一般可按最大制动电流不大于二倍电枢额定电流来计算。

(2) 串励直流电动机的能耗制动 串励直流电动机能耗制动有自励式和他励式两种。他励式能耗制动的原理如图 4-26 所示,与他励交流电动机能耗制动原理类似。自励式能耗制动在制动时必须将励磁绕组与电枢绕组反向串联,否则无法产生制动转矩(仅电枢电流与励磁电流同时反向,转矩方向将不变),其原理如图 4-27 所示。

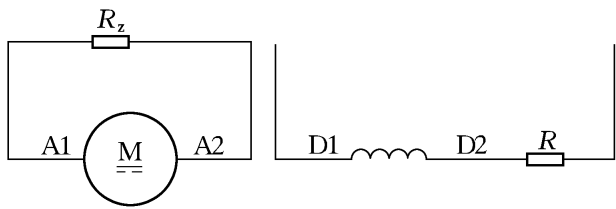


图 4-26 他励式能耗制动的原理图

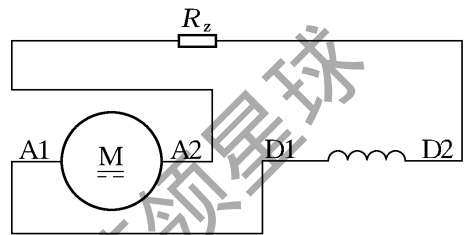


图 4-27 自励式能耗制动的原理图

## 2. 反接制动

反接制动是把正在运转的直流电动机的电枢两端突然反接,并维持其励磁电流方向不变的制动方法。

(1) 他励直流电动机的反接制动 图 4-28 为他励直流电动机反接制动的部分原理图。在反接制动时,断开正转接触器 KM1 的主触点,闭合反转接触器 KM2 的主触点,直流电源反接到电枢两端。由于电枢电流的方向发生了变化,转矩也因之反向,电动机因惯性仍按原方向旋转,转矩与转向相反成为制动转矩,使电动机处于制动状态。

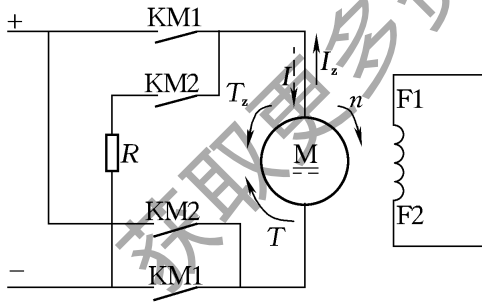


图 4-28 他励直流电动机反接制动原理图

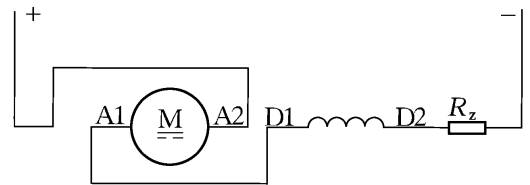


图 4-29 串励直流电动机反接制动原理图

(2) 串励电动机的反接制动 串励电动机的反接制动工作原理如图 4-29 所示。对于串励直流电动机,由于励磁电流就是它的电枢电流,在采用电枢反接的方法来实现反接制动时,必须注意,通过电枢绕组的电流和励磁绕组中的励磁电流不能同时反向。如果直接将电源极性反接,则由于电枢电流和励磁电流同时反向,由它们建立的电磁转矩  $T$  的方向却不改变,不能实现反接制动。所以,一般只将电枢反接。

与异步电动机反接制动时相似,直流电动机反接制动应注意两个问题:一是因为反接制动时,电枢的电流值是由电枢电压与反电动势共同作用的缘故,反接制动的电流极大。这是为了限制反接制动电流,必须在制动回路中串入限流电阻。二是反接制动时,要防止电动机反向起动。



在手动操作按钮时,要及时松开制动按钮;在自动操作时,则可采用速度继电器来自动断开反极性电源。

## 复习思考题

4-1 三相交流异步电动机在什么情况下可以全压启动?什么情况下必须降压启动?这两种启动方法各有什么优缺点?

4-2 在正、反转控制电路中,正、反转接触器为什么要进行互锁控制?互锁控制的方法有哪几种?

4-3 既有点动又有长动的控制电路有哪些实现方法?

4-4 试设计可以两处操作的对一台电动机实现长动和点动控制的控制电路。

4-5 试分析图 4-30 所示控制电路各有什么错误?运行时可能出现何种故障?应如何加以改进?

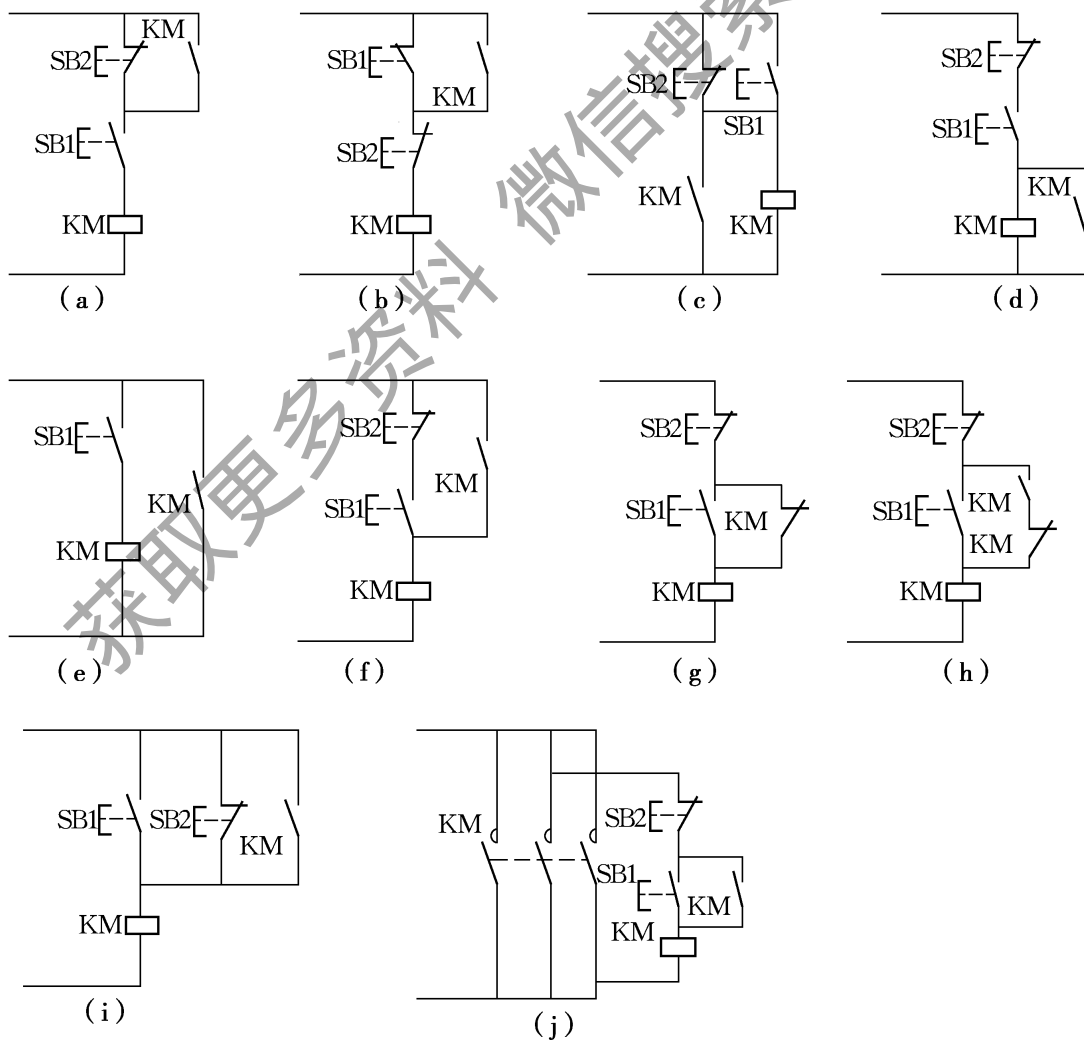


图 4-30

4-6 三相笼型异步电动机的制动方法有哪几种?试说明它们的工作原理、工作特点及分别适用的场合。

4-7 试设计一满足如下要求的控制电路图：

- (1) 电动机 M1 和 M2 可分别起动；
- (2) 电动机 M2 停车后 M1 才能停车。

4-8 为两台异步电动机设计一个满足如下要求的控制电路：

- (1) 电动机 M1 先起动,经过 5 s 后电动机 M2 才起动；
- (2) 电动机 M2 起动后,电动机 M1 立即停转。

4-9 某机床电动机因过载而自动停车后,按下起动按钮,仍不能起动。试分析故障产生原因。

4-10 某机床在工作中按下停止按钮,仍不能停车。试分析故障产生原因。

## 技能训练 4-1 三相异步电动机的点动、长动控制

### 一、训练目的

熟悉三相异步电动机的点动、长动及具有热过载保护控制电路的接线方法,加深对自锁、联锁概念的理解。

### 二、训练设备

继电器接触器控制台、万用表、电笔等。

### 三、训练线路

控制电路如图 4-31、图 4-32 所示。

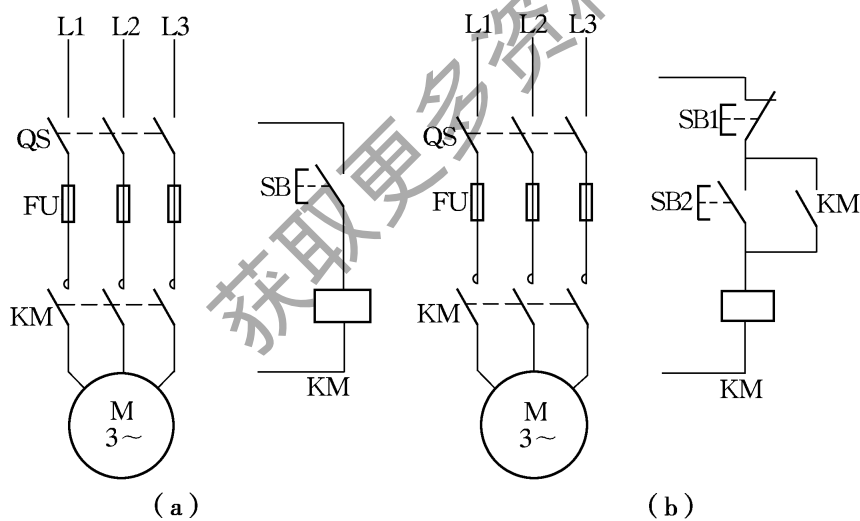


图 4-31 电动机的点动和长动控制电路

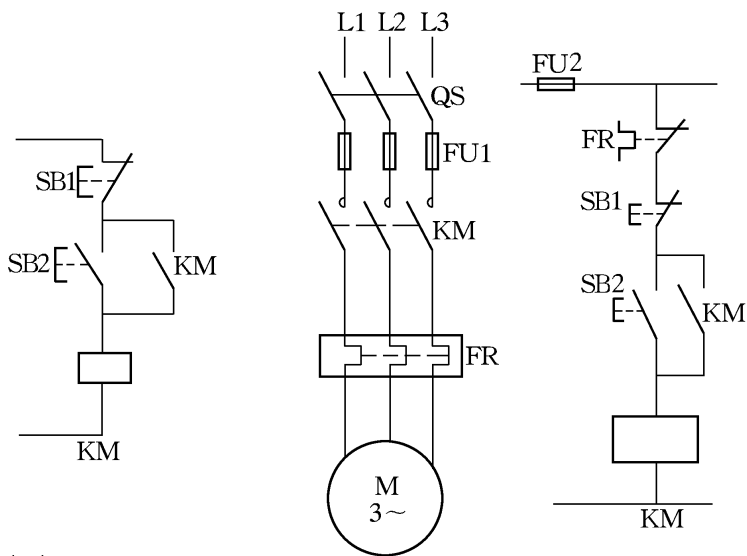


图 4-32 具有过载保护的长动控制电路

### 四、训练方法及步骤

#### 1. 点动控制电路

- (1) 断开电源,按图 4-31 (a) 接线,先接主电路,后接控制电路,接线顺序从上到下。
- (2) 经检查无误后,合上电源开关 QS,分别按下和松开点动按钮 SB,观察电动机 M 的运转情况。

#### 2. 长动控制电路

(1) 断开电源,按图 4-31 (b) 接线。

(2) 经检查无误后,合上电源开关 QS,分别按下起动按钮 SB2 和停止按钮 SB1,观察电动机 M 的运转情况。

### 3. 具有过载保护的长动控制电路

(1) 断开电源,按图 4-32 接线。

(2) 检查无误后,合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,使电动机 M 运转。

(3) 拨动继电器 FR 导板,使继电器 FR 动作,电动机 M 停转。

(4) 按下继电器 FR 复位按钮,重新起动电动机,按下停止按钮 SB1,使电动机 M 停转。

## 五、思考题

1. 如果按图 4-31 (b) 接线,按下起动按钮 SB2,电动机 M 旋转;松开起动按钮 SB2,电动机 M 停转,试分析其故障所在?

2. 若按图 4-32 接线,按下起动按钮 SB2,接触器 KM 不能吸合,经检查发现接线无误,试分析产生故障的原因何在?

## 技能训练 4-2 三相异步电动机的正、反转控制

### 一、训练目的

1. 熟悉三相异步电动机的正、反转控制电路及接线方法。

2. 了解电气、机械联锁的工作原理和方法。

### 二、训练设备

继电器接触器控制台、万用表、交流电流表、电笔等。

### 三、训练线路

控制电路如图 4-33、图 4-34 及图 4-35 所示。

### 四、方法及步骤

#### 1. 接触器互锁正、反转控制电路

(1) 按图 4-33 接线,先接主电路,后接控制电路,接线顺序从上到下。

(2) 经检查无误后,合上电源开关 QS,分别按下和松开点动按钮 SB1、SB2 和 SB3,观察电动机 M 的运转情况。

#### 2. 按钮互锁正、反转控制电路

(1) 按图 4-34 接线,先接主电路,后接控制电路,接线顺序从上到下。

(2) 经检查无误后,合上电源开关 QS,分别按下和松开按钮 SB1、SB2 和 SB3,观察电动机 M 的运转情况。

#### 3. 接触器、按钮互锁正、反转控制电路

(1) 按图 4-35 接线,先接主电路,后接控制电路,接线顺序从上到下。

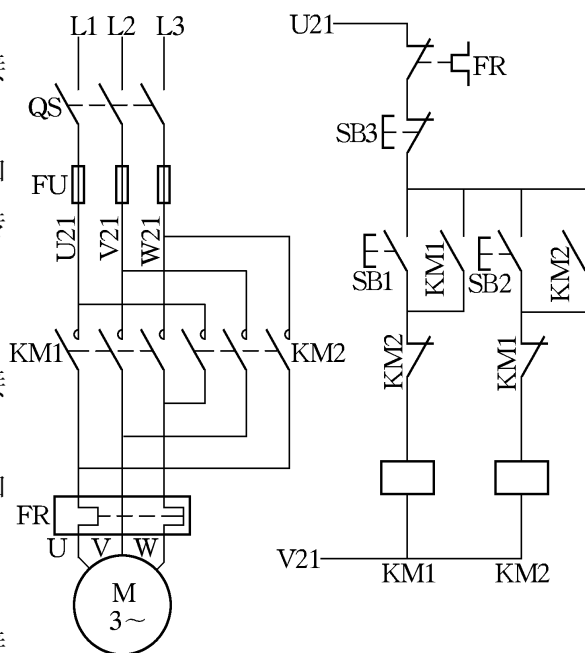


图 4-33 接触器互锁正、反转控制电路

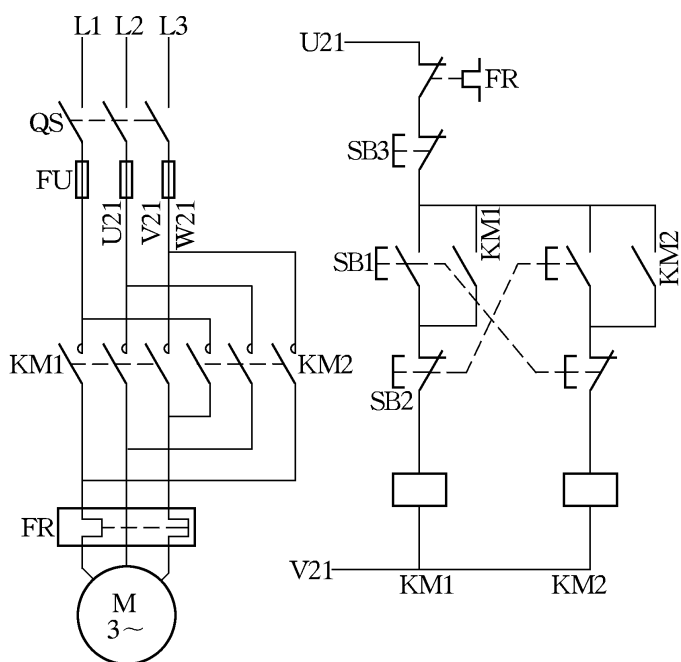


图 4-34 按钮互锁正、反转控制电路

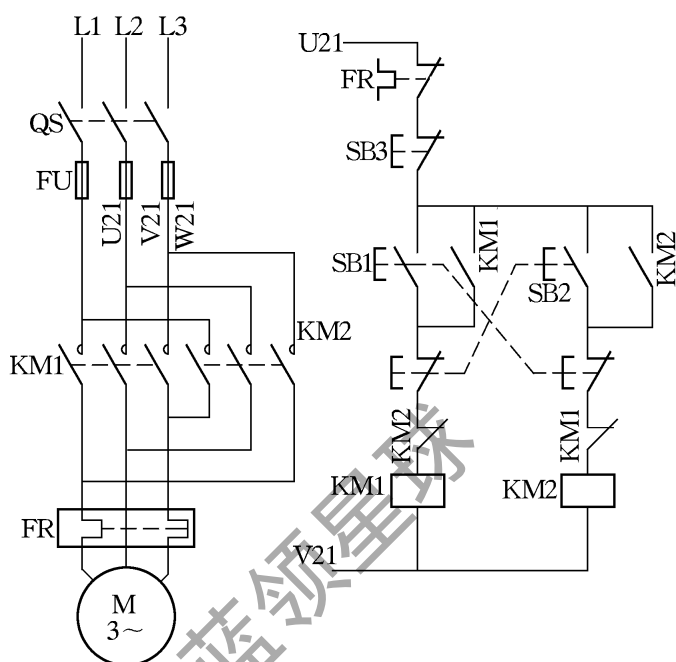


图 4-35 接触器、按钮互锁正、反转控制电路

(2) 经检查无误后,合上电源开关 QS,分别按下和放开点动按钮 SB1、SB2 和 SB3,观察电动机 M 的运转情况。

### 五、思考题

分析本训练中三种互锁控制有何不同?各具有什么工作特点。

## 技能训练 4-3 自动往复循环控制

### 一、训练目的

1. 掌握行程开关的结构、工作原理与应用。
2. 熟悉自动往复循环控制电路及接线方法。

### 二、训练设备

继电器接触器控制台、万用表、行程开关板、电笔等。

### 三、训练线路

自动往复循环控制电路如图 4-36 所示。

### 四、训练方法及步骤

1. 观察行程开关的内部结构。
2. 按图 4-36 接线。
3. 经检查无误后,合上电源开关 QS,按下点动按钮 SB2,电动机 M 正转,若干秒后,扳动行程开关 SQ2,使电动机反转;再经若干秒后,扳动行程开关 SQ1,使电动机正转。观察电动机 M 的运转情况。

### 五、思考题

当电动机正转时,若扳动行程开关 SQ1,将会出现什么现象?试分析其产生原因。

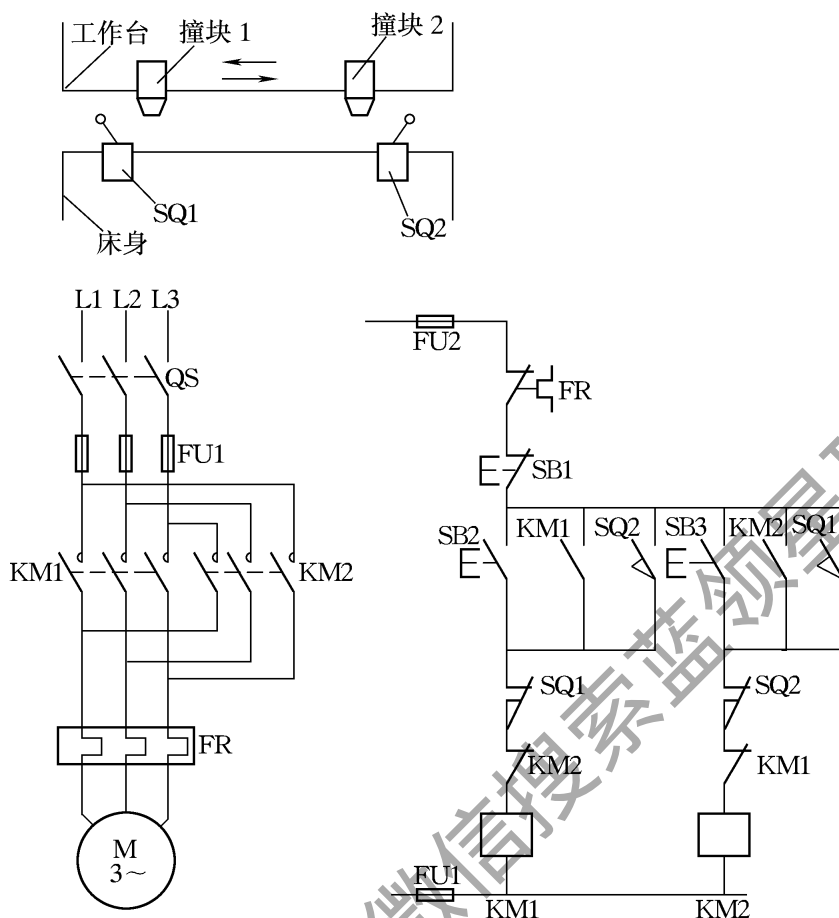


图 4-36 自动往复循环控制电路

## 技能训练 4-4 星形—三角形降压起动控制

### 一、训练目的

1. 掌握星形—三角形降压起动的条件。
2. 熟悉星形—三角形降压起动控制电路与接线方法。

### 二、训练设备

继电器接触器控制台、万用表、交流电流表、电笔等。

### 三、训练线路

星形—三角形降压起动控制电路如图 4-37 所示。

### 四、训练方法及步骤

1. 观察时间继电器的结构。
2. 按图 4-37 接线。
3. 经检查无误后,合上电源开关 QS,按下点动按钮 SB2,让电动机 M 起动,观察电动机 M 的运转情况,再使电动机 M 停转。
4. 调节时间继电器的延时时间,重新起动电动机 M,记录起动的时间值。

### 五、思考题

星形—三角形降压起动控制电路中时间继电器的作用是什么? 时间继电器延时时间的长短

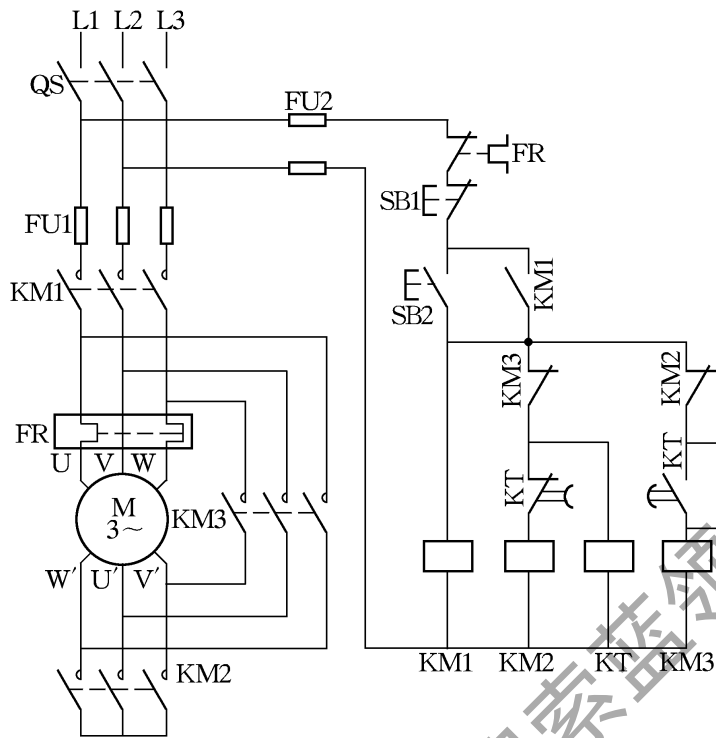


图 4—37 星形—三角形降压起动控制电路

对电动机的起动有何影响？

## 技能训练 4—5 自耦变压器降压起动控制

### 一、训练目的

1. 了解自耦变压器、时间继电器在降压起动控制中的作用。
2. 熟悉自耦变压器降压起动控制电路与接线方法。

### 二、训练设备

继电器接触器控制盒、万用表、交流电流表、电笔等。

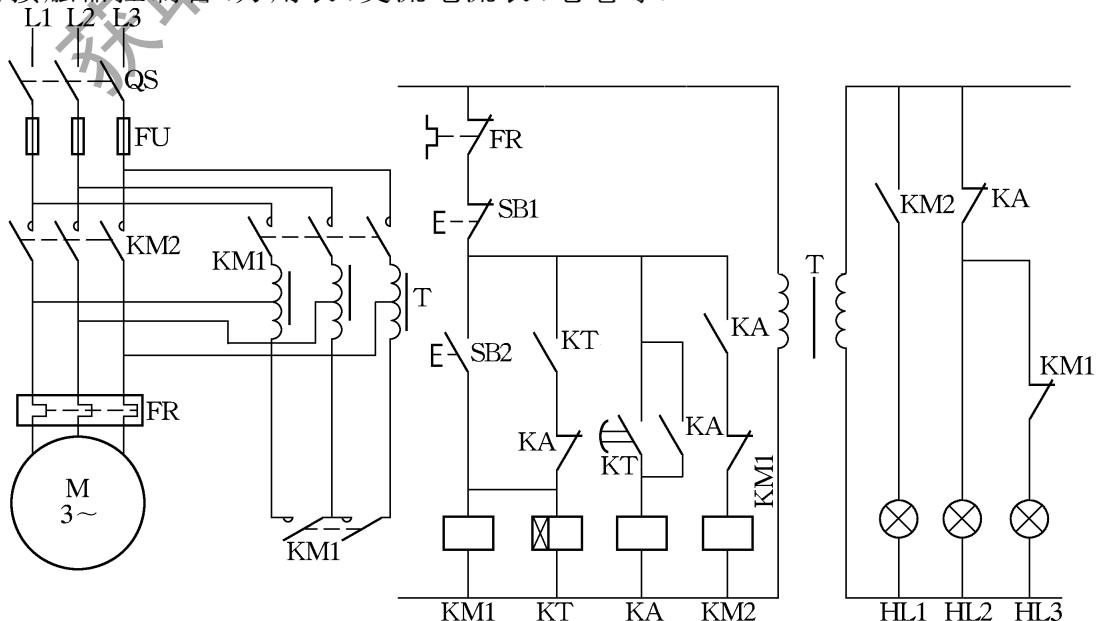


图 4—38 自耦变压器降压起动控制电路

### 三、训练线路

自耦变压器降压起动控制电路如图 4-38 所示。

### 四、训练方法及步骤

1. 按图 4-38 接线。

2. 经检查无误后,合上电源开关 QS,按下点动按钮 SB2,让电动机 M 起动,观察电动机 M 的运转情况。

### 五、思考题

1. 自耦变压器降压起动控制电路中时间继电器 KT 的作用是什么?

2. 自耦变压器降压起动控制电路中中间继电器 KA 的作用是什么?

## 技能训练 4-6 电动机的能耗制动控制

### 一、训练目的

1. 掌握三相异步电动机能耗制动的原理与方法。

2. 熟悉能耗制动控制电路与接线。

### 二、训练设备

继电器接触器控制训练台、直流电桥、直流电流表、万用表、电笔等。

### 三、训练线路

能耗制动控制电路如图 4-39 所示。

### 四、训练方法及步骤

1. 按图 4-39 接线。

2. 经检查无误后,合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,让电动机 M 正常运转,按下停止按钮 SB1,使电动机在能耗制动下迅速停车,记录下制动时间。

3. 调节时间继电器的延时时间,观察记录。

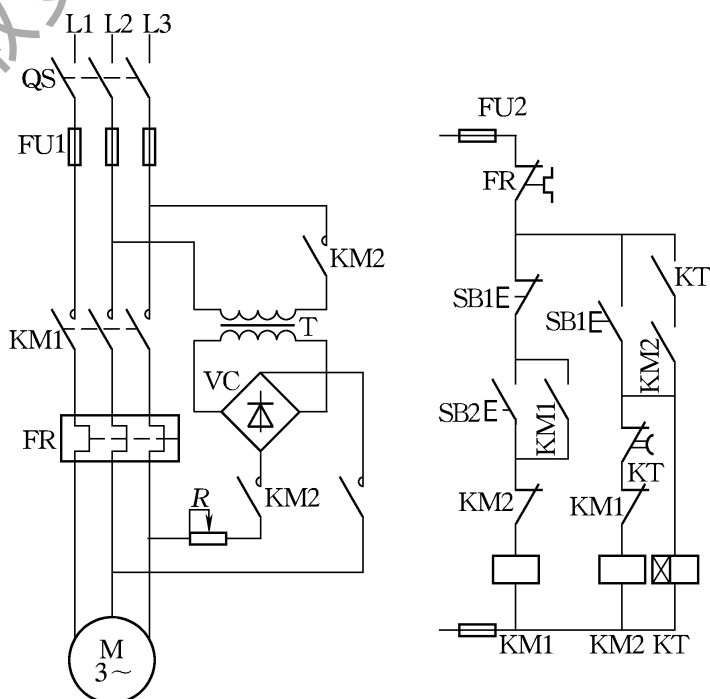


图 4-39 能耗制动控制电路

## 五、思考题

1. 分析本训练中时间继电器的作用。其延时时间的长短对制动有什么影响？
2. 在能耗制动时，将电路中的时间继电器换为速度继电器，对制动有何影响？

## 技能训练 4-7 反接制动控制

### 一、训练目的

1. 熟悉速度继电器的结构、工作原理与应用。
2. 熟悉反接制动控制方法与控制电路。

### 二、训练设备

继电器接触器控制训练台、速度继电器等。

### 三、训练线路

反接制动控制电路如图 4-40 所示。

### 四、训练内容及步骤

1. 观察速度继电器的结构。
2. 按图 4-40 接线。
3. 经检查无误后，合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB2，让电动机 M 正常运转，按下停止按钮 SB1，使电动机在反接制动下迅速停车，记录制动时间。

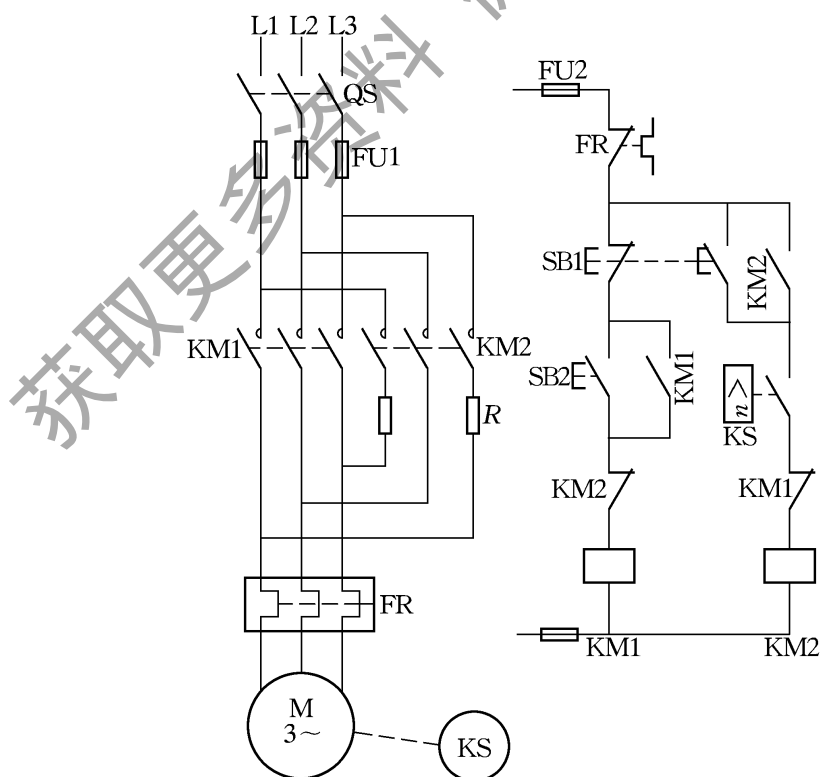


图 4-40 反接制动控制电路

## 五、思考题

1. 分析反接制动控制电路中速度继电器的作用。
2. 若将速度继电器换为时间继电器，对制动会有什么影响？



## 第五章

# 典型机床电气控制

在机床设备中,电气控制系统起着至关重要的作用,它可以根据生产要求的不同,使生产机械实现各种运行状态。不同机械设备的工作方式、工艺要求各不相同,因此它们的电气控制系统也具备不同的特点。本章将介绍 CA6140 型卧式车床、M7130 型平面磨床、Z3040 型摇臂钻床、X62W 型万能铣床等典型机床的电气控制系统。

机床的种类很多,有的机床的控制电路比较简单,有的则比较复杂。但无论多复杂的电路,几乎都是由若干基本控制电路所组成的。因此,熟悉各种典型电路,在识图时就能迅速地分清主次环节,抓住主要矛盾,从而看懂较复杂的控制电路图。机床电路控制的一般分析方法如下:

(1) 先看主电路 首先,从主电路入手,看该机床由几台电动机来拖动,根据各电器元件的组合判断电动机的起、停、正转、反转、制动等工作状况。其次,搞清楚各电动机拖动机床的哪一个部件,这些电动机分别用哪些接触器或开关控制,有没有正、反转或降压起动,有没有电气制动。第三,分清各电动机由哪些电器元件进行短路保护,由哪些电器元件进行过载保护,等等。

(2) 再看控制电路 看控制电路一般分为几个部分,每个部分一般主要控制一台电动机。可将主电路中接触器的文字符号和控制电路中的相同文字符号一一对照,分清控制电路中哪一部分电路控制哪一台电动机,如何控制。要特别注意各环节之间的联系和制约关系,以及与机械、液压部件的动作关系,同时搞清楚它们之间的联锁是怎样的,机械操作手柄和行程开关之间有什么联系,各个电器线圈得电后它们的触点如何动作。

(3) 最后看其他电路 如照明与信号等电路,一般较为简单,很容易分析。

## 第一节 CA6140 型卧式车床的电气控制

车床是机械加工中应用最广泛的一种机床,它可用来车削工件的内圆、外圆、端面、螺纹等。除使用车刀以外,还可使用钻头、绞刀和镗刀等刀具对工件进行加工。

车床的种类很多,按结构形式的不同可分为卧式车床、立式车床等,其中 CA6140 型卧式车床是实际应用最多的车床之一,本节以 CA6140 型卧式车床为例进行车床电气控制分析。

### 一、CA6140 型卧式车床的主要结构和运动形式

#### 1. CA6140 型卧式车床的主要结构

CA6140 型卧式车床外形结构如图 5-1 所示,它主要由主轴箱、车身、刀架及溜板、尾座、溜板箱、进给箱、丝杠和光杠等部件组成。电动机的动力是由一台 7.5 kW 笼型异步电动机通过 V

带传动,由主轴箱传到主轴,再由主轴通过卡盘或顶尖带动工件旋转,变换主轴变速箱外手柄的位置,可以改变主轴的转速。进给运动也由主轴电动机拖动,主轴电动机传来的动力,经主轴箱,再由光杠或丝杠传至溜板箱,带动刀架作纵、横向进给运动。

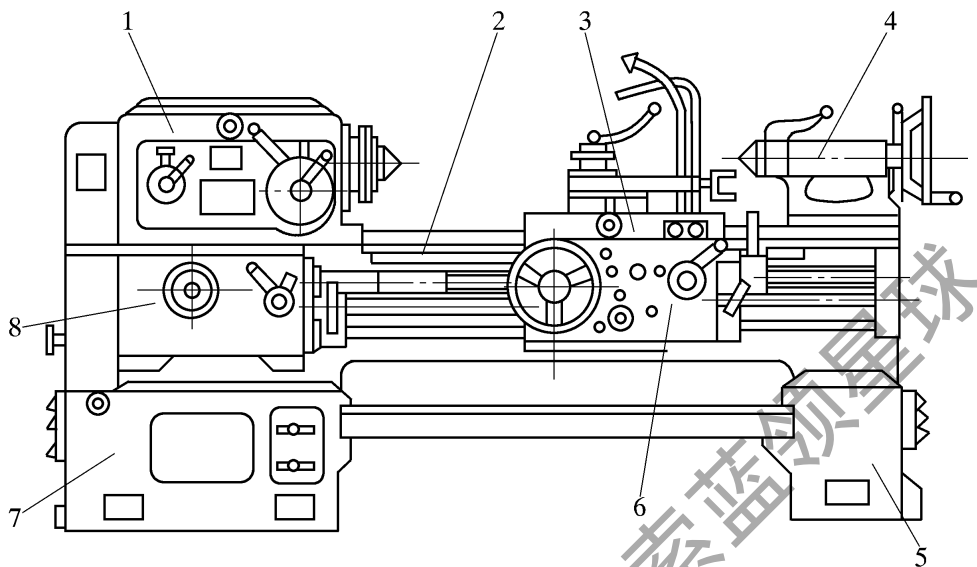


图 5-1 CA6140 型车床外形结构图

1—主轴箱；2、5、7—车身；3—刀架及溜板；4—尾座；6—溜板箱；8—进给箱

## 2. CA6140 型卧式车床的运动形式

- (1) 主运动 车床的主运动是工件的旋转运动。
- (2) 进给运动 车床的进给运动是刀具的直线运动。
- (3) 辅助运动 车床的辅助运动是刀具的快速直线移动。

## 二、CA6140 型卧式车床电力拖动特点及要求

- (1) 主轴电动机,拖动车床的主运动和进给运动,CA6140 型卧式车床主轴的正、反转是通过双向片式摩擦离合器来实现的,因此,一般只要求主轴电动机单向旋转。
- (2) 液泵电动机,不断地向工件和刀具输送切削液,进行冷却,只需正向起动。
- (3) 刀架快速移动电动机,拖动车床的辅助运动。
- (4) 电路中应设置过载保护、短路保护、欠压及失压保护。

## 三、CA6140 型卧式车床电气控制电路分析

CA6140 型卧式车床的电气控制电路由主电路、控制电路、照明电路三部分组成,其电气控制电路如图 5-2 所示。CA6140 型卧式车床电器元件明细表见表 5-1。

### 1. 主电路

- (1) 电源由转换开关 QS1 引入。
- (2) 主电路有三台电动机: M1 为主轴电动机,拖动车床的主运动和进给运动,它的运转和停止由接触器 KM1 控制,由于电动机的容量不大,故可采用直接起动; M2 为切削液泵电动机,它的作用是不断地向工件和刀具输送切削液,以降低它们在切削过程中产生的高温,它由中间继电器 KA1 控制,切削液泵电动机在主轴电动机起动后才可接通,当主轴电动机停止时,切削液泵电

动机应立即停止; M3 为刀架快速移动电动机, 它由中间继电器 KA2 控制。

(3) 热继电器 FR1 和 FR2 分别对主轴电动机 M1 和切削液泵电动机 M2 进行过载保护。由于刀架快速移动电动机 M3 是短期工作, 所以未设过载保护; 进入车床前的电源处已装有熔断器 FU, 因此主轴电动机没有加熔断器作短路保护; 熔断器 FU1 对切削液泵电动机和刀架快速移动电动机及控制电路等作短路保护。

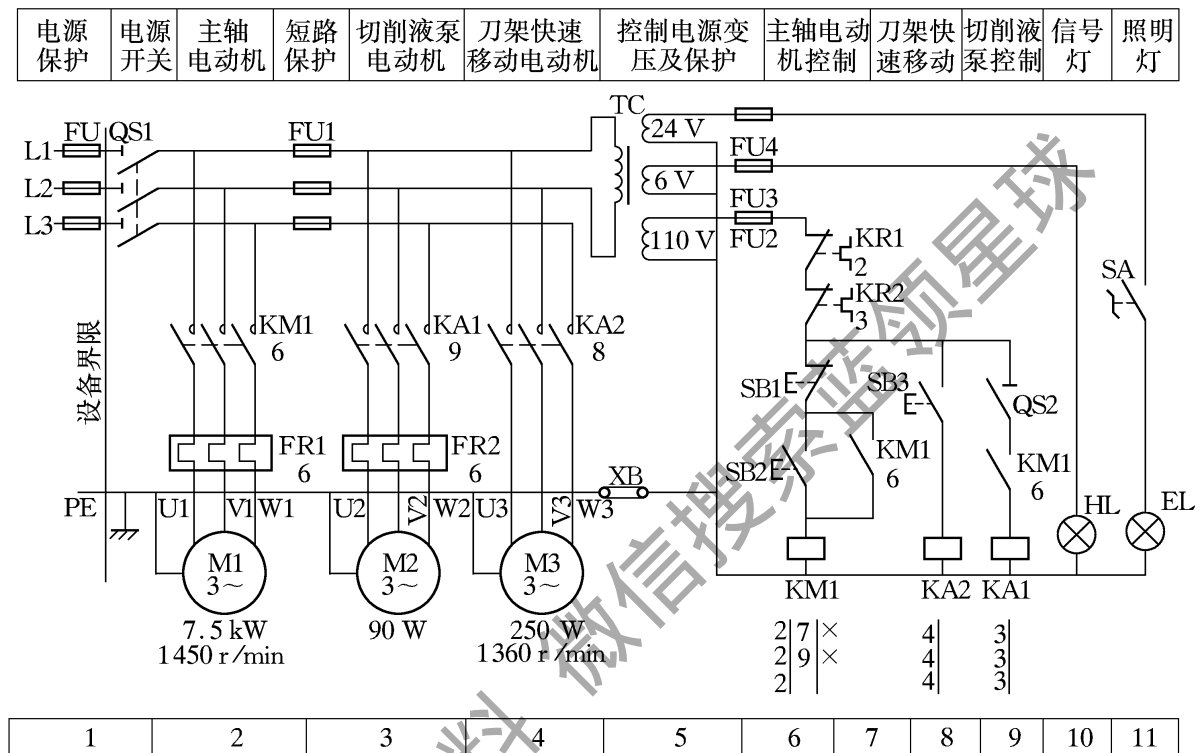


图 5-2 CA6140 型卧式车床的电气控制电路

表 5-1 CA6140 型卧式车床电器元件明细表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
M1	三相异步电机	Y2-15-4 7.5 kW	1	主轴拖动
M2	冷却泵电机	AOB-25 90 W	1	带动冷却泵
M3	三相异步电机	AOS5634 250 W	1	带动工作台快速移动
FR1	热继电器	JR16-20/3D 15.1 A	1	M1 过载保护
FR2	热继电器	JR16-20/3D 0.32 A	1	M2 过载保护
KM1	交流接触器	CJ10-20B 线圈电压 110 V	1	控制 M1
KA1	中间继电器	JZ7-44 线圈电压 110 V	1	控制 M2
KA2	中间继电器	JZ7-44 线圈电压 110 V	1	控制 M3
FU1	螺旋式熔断器	RL1-15 熔芯 6 A	3	M2、M3 短路保护
FU2	螺旋式熔断器	RL1-15 熔芯 2 A	1	控制电路短路保护
FU3	螺旋式熔断器	RL1-15 熔芯 4 A	1	信号灯短路保护
FU4	螺旋式熔断器	RL1-15 熔芯 4 A	1	照明灯短路保护
SB1	按钮	LA19-11 红色	1	M1 停止
SB2	按钮	LA19-11 绿色	1	M1 起动
SB3	按钮	LA9 绿色或黑色	1	M3 起动
QS1	组合开关	HZ2-25/3 25 A	1	机床电源总开关
QS2	组合开关	HZ2-10/1 10 A	1	控制 M2
SA	组子开关		1	照明灯开关
TC	控制变压器	BK-150 380 V/110 V/124 V/6.3 V	1	控制、照明、指示

## 2. 控制电路

控制电路的电源由控制变压器 TC 将 380 V 降为 110 V 供电,并由熔断器 FU2 作短路保护。热继电器 FR1 和 FR2 的动断触点串联在控制电路中,电动机过载时,其动断触点断开,控制电路断电,电动机停止。

(1) 主轴电动机控制 主轴电动机控制电路如图 5-3 所示,按下起动按钮 SB2,使接触器 KM1 得电自锁,KM1 主触点闭合,主轴电动机 M1 起动;按下停止按钮 SB1,使接触器 KM1 失电,主触点 KM1 断开,使主轴电动机 M1 停止。

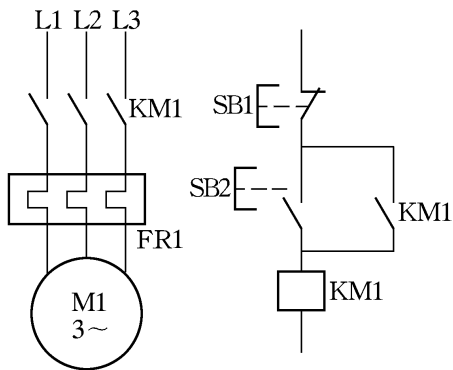


图 5-3 主轴电动机控制电路

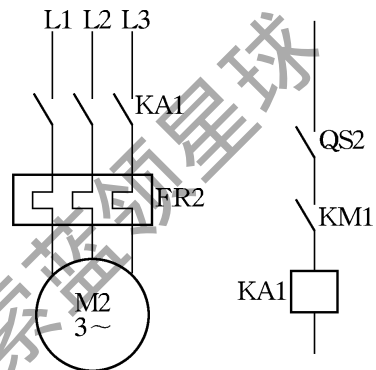


图 5-4 切削液泵电动机控制电路

(2) 切削液泵电动机控制 切削液泵电动机控制电路如图 5-4 所示,当主轴电动机 M1 起动后(触点 KM1 已闭合),合上起停开关 QS2,接触器 KA1 得电,其触点 KA1 闭合,切削液泵电动机 M2 起动;主轴电动机 M1 停止时,切削液泵电动机应立即停止,因此当按下停止按钮 SB1 时,接触器 KM1 失电,其动合触点 KM1 由原来闭合状态转为断开状态(可参照图 5-3、5-4),切断电路,使接触器 KA1 失电,其动合触点 KA1 断开,切削液泵电动机 M2 停止。

(3) 刀架快速移动电动机的控制 刀架快速移动电动机控制电路如图 5-5 所示,按下起动按钮 SB3,接触器 KA2 得电,其动合触点闭合,刀架快速移动电动机 M3 起动;松开 SB3,接触器 KA2 失电,其动合触点断开,刀架快速移动电动机 M3 停止。

## 3. 照明、信号电路和保护环节

这一部分控制电路比较简单,可参照图 5-2 进行分析。照明灯 EL 由控制变压器 TC 二次侧电压 24 V 供电,通断由开关 SA 控制,熔断器 FU4 作短路保护;指示灯 HL 由二次侧电压 6 V 供电,熔断器 FU3 作短路保护。当电源开关 QS1 合上后,指示灯 HL 亮,表示车床已开始工作。

当电动机出现故障使其外壳带电或控制变压器 TC 的一次绕组和二次绕组发生短路时,可通过公共端 XB 接地,保护操作人员的人身安全。

## 四、CA6140 型卧式车床常见电气故障分析

### 1. 主轴电动机不能起动

- (1) 熔断器 FU 的熔丝熔断,应更换新的熔丝;
- (2) 起动按钮 SB2 没吸合或触点接触不良,应修理或更换;

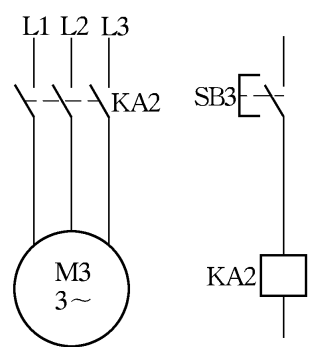


图 5-5 刀架快速移动电动机控制电路

- (3) 控制电路的熔断器 FU2 熔丝已断,应更换新的熔丝;
- (4) 接触器 KM1 线圈已损坏,应修理或更换新的接触器。

## 2. 切削液泵电动机不能起动

- (1) 主轴电动机 M1 尚未起动,应先起动主轴电动机 M1;
- (2) 熔断器 FU1 的熔丝已断,应更换熔丝;
- (3) 起停开关 QS2 已损坏,应更换新的开关;
- (4) 切削液泵电动机 M2 已损坏,应修理或更换新的。

## 3. 按下起动按钮,电动机发出嗡嗡声,不能起动

- (1) 接触器有一对主触点接触不良,应修复触点;
- (2) 熔断器有一相熔丝烧断,应更换熔丝;
- (3) 电动机接线有一处断线,应修理或更换新的。

## 4. 按下停止按钮,主轴电动机不停

- (1) 停止按钮动断触点被卡住,不能断开,应更换停止按钮;
- (2) 接触器主触点虚焊或被卡住无法复位,应修复或更换接触器。

## 5. 照明灯不亮

- (1) 照明灯已损坏,应更换新的;
- (2) 照明灯开关 SA 未按下或已损坏,应按下开关 SA 或更换新的开关;
- (3) 熔断器 FU4 的熔丝已断,应更换新的熔丝;
- (4) 变压器 TC 的一次绕组或二次绕组已损坏,应更换新的变压器。

## 第二节 M7130 型平面磨床的电气控制

磨床是一种利用砂轮的周边或端面对工件进行加工的精密机床。磨床的种类很多,按其工作性质可以分为:平面磨床、外圆磨床、内圆磨床、工具磨床及专用磨床等。其中平面磨床是用砂轮来磨削加工各种工件平面的, M7130 型平面磨床是磨床中应用最普遍的一种机床。下面以 M7130 型平面磨床为例进行分析和讨论。

### 一、M7130 型平面磨床的主要结构及运动形式

#### 1. M7130 型平面磨床的主要结构

M7130 型平面磨床的外形结构如图 5-6 所示。

M7130 型平面磨床主要由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱、滑座和立柱等部分组成。在床身上固定有立柱,沿立柱的导轨上装有滑座,在滑座内部装有液压传动机构,以实现横向进给。滑座可在立柱导轨上作上下移动,并可由垂直进刀手轮操纵,砂轮箱

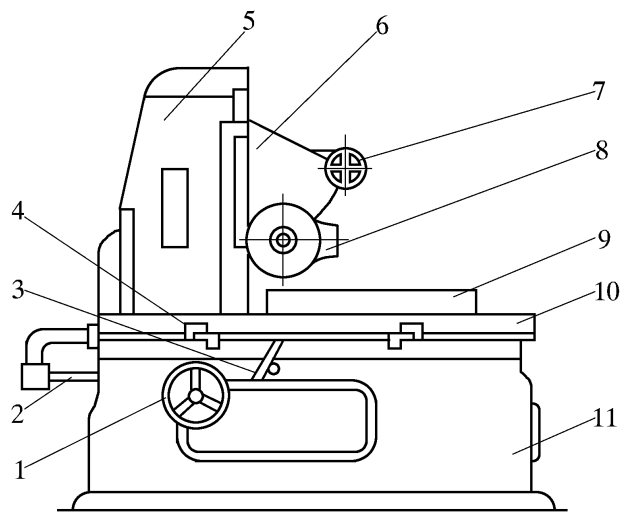


图 5-6 M7130 型平面磨床  
的外形结构图

- 1—垂直进刀手轮; 2—活塞杆; 3—换向手柄;
- 4—撞块; 5—立柱; 6—滑座; 7—横向移动手轮;
- 8—砂轮箱; 9—电磁吸盘; 10—工作台

能沿滑座水平导轨作横向移动。在床身中装有液压传动装置,以使矩形工作台在床身导轨上通过压力油推动活塞杆作纵向往复运动。

## 2. M7130 型平面磨床的运动形式

(1) 主运动 平面磨床的主运动是指砂轮的旋转运动。

(2) 进给运动 平面磨床的进给运动有垂直进给、横向进给、纵向进给三种形式,垂直进给即滑座沿立柱上的垂直导轨的垂直移动;横向进给即砂轮箱在滑座上的水平移动;纵向进给即工作台沿床身的往复运动。工作台每完成一次纵向进给时,砂轮箱便自动作一次间断性的横向进给,当加工完整个平面后,砂轮箱连同滑座作一次间断性的垂直进给。

(3) 辅助运动 平面磨床的辅助运动包括砂轮箱在滑座水平导轨上的快速横向移动;滑座沿立柱上垂直导轨的快速垂直移动;工作台往复运动速度的调整等。

## 二、M7130 型平面磨床电力拖动特点及要求

(1) 平面磨床是一种精密机床,为了使磨床具有最简单的机械传动,M7130 型平面磨床采用了三台电动机拖动:

1) 砂轮电动机 拖动砂轮旋转,只要求单向旋转,无调速要求。

2) 液压泵电动机 拖动液压泵供出压力油,实现工作台的纵向往复运动、砂轮箱的横向自动进给,并承担工作台导轨的润滑。

3) 冷却泵电动机 拖动冷却泵,提供磨削加工时需要的冷却液。

(2) 为了适应磨削小工件的需要,并保证工件在磨削过程中受热可自由伸缩,采用电磁吸盘来吸持工件。

(3) 应具备照明电路和完善的保护环节,如电动机的短路保护、过载保护、零压保护及电磁吸盘的欠电流保护等。

## 三、M7130 型平面磨床的电气控制电路分析

M7130 型平面磨床的电气控制电路由主电路、控制电路、电磁吸盘控制电路和机床照明电路四个部分组成,其电气控制原理图如图 5-7 所示。M7130 型平面磨床电器元件明细表见表 5-2。

### 1. 主电路

(1) 电源由转换开关 QS1 引入。

(2) 主电路中共有三台电动机,分别为砂轮电动机 M1、冷却泵电动机 M2 和液压泵电动机 M3。电动机 M1 和电动机 M2 同时由接触器 KM1 的主触点控制;冷却泵电动机 M2 接在接触器 KM1 的主触点下方,通过 XP1 插座实现单独控制;液压泵电动机 M3 由接触器 KM2 的主触点控制。

(3) 三台电动机共用熔断器 FU1 作短路保护,电动机 M1 和电动机 M2 由热继电器 FR1 作长期过载保护。电动机 M3 由热继电器 FR2 作长期过载保护。

### 2. 控制电路

控制电路的电源由熔断器 FU2 作短路保护。热继电器 FR1 和 FR2 的动断触点串联在控制电路中,电动机过载时,其动断触点断开,控制电路断电,电动机停止。

(1) 砂轮电动机 M1 的控制 由控制按钮 SB1、SB2 和接触器 KM1 的线圈构成砂轮电动机 M1 单方向旋转的起动、停止控制电路。当转换开关 QS2 闭合时,按下起动按钮 SB1,接触器 KM1 得电自锁,其主触点闭合,主轴电动机 M1 起动;按下停止按钮 SB2,接触器 KM1 失电,其主触点断开,砂轮电动机 M1 停止转动。

(2) 冷却泵电动机 M2 的控制 冷却泵电动机 M2 只有在砂轮电动机 M1 起动后才能起动,加工过程中只需将插头插入插座 XP1,冷却泵电动机 M2 就起动运转,供给冷却液;需停止时只需将插头拔出插座即可。

(3) 液压泵电动机 M3 的控制 由控制按钮 SB3、SB4 和接触器 KM2 的线圈构成液压泵电动机 M3 单方向旋转的起动、停止控制电路。液压泵电动机 M3 可独立操作控制。液压泵电动机的控制原理与砂轮电动机 M1 基本相同。

表 5-2 M7130 型平面磨床电器元件明细表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
QS1	开关	HZ10-25/3	1	电源总开关
QS2	开关	HZ10-10P/3	1	充磁退磁转换开关
FU1	熔断器	PL1-60/10	3	电源总短路保护
FU2	熔断器	PL1-15/5	2	控制电路总短路保护
FU3	熔断器	小型玻璃管式 1 A	1	电磁吸盘短路保护
FU4	熔断器	RL1-15/2	1	工作照明短路保护
KM1	交流接触器	CJ10-10	1	控制砂轮电动机
KM2	交流接触器	CJ10-10	1	控制液压泵电动机
FR1	热继电器	JR10-10 整定电流 9.5 A	1	砂轮电动机过载保护
FR2	热继电器	JR10-10 整定电流 6.1 A	1	液压泵电动机过载保护
M1	砂轮电动机	4.5 kW、4 极装入式电机	1	驱动砂轮
M2	冷却泵电动机	JCB-22 125 W	1	驱动冷却泵
M3	液压泵电动机	JC42-4 2.8 kW	1	驱动液压泵
TC1	工作照明变压器	BK-50 380 V/36 V	1	提供工作照明电源
TC2	电磁吸盘电源变压器	BK-400 220 V/145 V	1	提供电磁吸盘电源
KA	欠电流继电器	JT3-11L 1.5 A	1	欠电流保护
SB1	按钮	LA2	1	砂轮起动
SB2	按钮	LA2	1	砂轮停止
SB3	按钮	LA2	1	液压泵起动
SB4	按钮	LA2	1	液压泵停止
XP1	接插件		1	连接冷却泵
XP2	接插件		1	连接电磁吸盘
YH	电磁吸盘	110 V 1.45 A	1	吸合工件
VC	桥式整流器	GZH 1/200	4	整流
R <sub>1</sub>	电阻	GF 型 50 W/500 Ω	1	放电保护
R <sub>2</sub>	电阻	6 W/125 Ω	1	限流
R <sub>3</sub>	电阻	GF 型 50 W/100 Ω	1	放电保护
C	电容	5 μF/600 V	1	放电保护
EL	照明灯	40 W/36 V	1	工作照明
SA	照明灯开关		1	工作照明开关

(4) 联锁保护环节 M7130 型平面磨床的联锁保护环节如下:

1) 欠磁联锁保护 为确保人身和设备的安全,当平面磨床在加工过程中出现电磁吸盘吸力不足或吸力消失时,不允许继续工作。因此,应在两台电动机 M1、M3 的控制电路中串入欠电流继电器 KA 的动合触点,以实现欠磁联锁保护。

2) 过载保护 为了在电磁吸盘不工作时,仍然能控制电动机 M1 与 M3 的运行,在控制电路中欠电流继电器 KA 的动合触点两端并联转换开关 QS2,在其处于“去磁”位置时,欠电流继电器 KA 的动合触点接通。热继电器 FR1、FR2 的动断触点串联在控制电路中,只要有一台电动机过载停车,则其余电动机也都停车。

### 3. 电磁吸盘控制电路

电磁吸盘是一种用来固定被加工工件的夹具,具有夹紧迅速、不损伤工件、工件发热可自由延伸以及能同时吸持多个小工件和加工精度高等优点。但因其夹紧力不如机械夹紧装置的大,因此多用于小工件的固定。

电磁吸盘的控制电路由整流装置、控制装置和保护装置三个部分组成。电磁吸盘 YH 的整流装置由整流变压器 TC2 和桥式全波整流器 VC 组成,输出 110 V 直流电压给电磁吸盘 YH 供电。接点 18 为桥式全波整流器 VC 的正极,接点 17 为电源负极。电磁吸盘 YH 由转换开关 QS2 来控制。转换开关 QS2 有“充磁”、“断电”和“去磁”三个位置。其工作原理如下:

(1) 当转换开关 QS2 置于“充磁”位置时(即 QS2 扳向“2”位),VC 的正极经 18—19—KA—22—23—YH—24—21—VC 的负极 17,接通电磁吸盘 YH,经整流器 VC 获得 110 V 直流电压,欠电流继电器 KA 的线圈通过插座 XP2 与电磁吸盘 YH 串联。若电磁吸盘电流足够大,则欠电流继电器 KA 动作,其动合触点闭合,电磁吸盘吸力足以将工件吸牢,这时才可以分别操作控制按钮 SB1 和 SB3,起动砂轮电动机 M1 与液压泵电动机 M3 进行磨削加工。

(2) 加工结束后,分别按下停止按钮 SB2 和 SB4,则砂轮电动机 M1 与液压泵电动机 M3 停止旋转。为了便于从电磁吸盘上取下工件,还需对工件进行去磁,其方法是将转换开关 QS2 扳至“去磁”位置(即 QS2 扳向“1”位),VC 的正极经 18—21—24—YH—23—22—KA—19—20—VC 的负极 17,电磁吸盘 YH 中通入反方向电流,并在电路中串入可变电阻  $R_2$ ,用以限制并调节反向去磁电流的大小,达到既去磁又不致反向磁化的目的。

(3) 去磁结束后,将插头从插座 XP2 中拔下,电路断开,便可取下工件。

(4) 电磁吸盘具有过电压保护、欠电流保护及短路保护等保护环节。

1) 过电压保护 由于电磁吸盘的线圈匝数多、电感性大,在得电工作时储有大量的磁场能。所以,当电磁吸盘线圈断电时,其线圈两端将产生高电压,易使线圈绝缘及其他电器设备损坏。因此,应在电磁吸盘线圈两端设置放电回路(在电磁吸盘的两端并联放电电阻  $R_3$ ,以吸收断开电源后它所释放出的磁场能。此外,在整流装置中还设有  $R_1$ 、 $C$  串联支路并联在 TC2 的二次侧,用以吸收交流电路产生的过电压,实现整流装置的过电压保护。

2) 欠电流保护 为防止平面磨床在磨削过程中出现电磁吸盘电流减小或断电,致使电磁吸盘吸力减小或消失,造成工件飞出,引起工件损坏或人身伤害事故,因此,在电磁吸盘线圈电路中串入欠电流继电器 KA 作欠电流保护。若在磨削加工过程中,电磁吸盘的线圈电流过小或消失,则欠电流继电器 KA 将因此而释放,其动合触点断开,接触器 KM1、KM2 线圈失电,电动机 M1、M3 立即停止旋转,避免事故发生。只有当直流电流符合设计要求,电磁吸盘具有足够的吸力时,欠电流继电器 KA 的动合触点才闭合,为起动砂轮电动机 M1、冷却泵电动机 M2 和液压泵电动机 M3 进行磨削加工做好准备。

3) 短路保护 在整流变压器 TC2 的二次侧或整流装置输出端装有熔断器 FU3 作短路保护。



#### 4. 照明电路

由照明控制变压器 TC1 将电压从 380 V 降为 36 V,并由开关 SA 控制照明灯 EL 的亮灭。

### 四、M7130 型平面磨床的常见电气故障分析

#### 1. 电动机无法起动

- (1) 电源总开关 QS1 接触不良,需调整或更换;
- (2) 熔断器 FU1、FU2 或 FU3 的熔丝已断,应更换熔丝;
- (3) 欠电流继电器 KA 或转换开关 QS2 接触不良,需调整或更换;
- (4) 控制按钮 SB1、SB2、SB3 或 SB4 接触不良,需调整或更换。

#### 2. 电磁吸盘无吸力

- (1) 电源接触不良或损坏,需调整或更换;
- (2) 熔断器 FU1、FU2 及 FU3 的熔丝已断,应更换熔丝;
- (3) 插座 XP2 接触不良,需调整或更换;
- (4) 欠电流继电器 KA 的线圈或电磁吸盘的线圈断开,需调整或更换。

#### 3. 电磁吸盘吸力不足

- (1) 交流电源的电压较低导致直流电压降低,造成电磁吸盘吸力不足;
- (2) 桥式整流电路发生断路或短路故障,造成过电流致使电磁吸力不足甚至吸力消失;
- (3) 插座 XP2 的接触不良,需调整或更换。

#### 4. 电磁吸盘的退磁效果差

这一故障将会造成被加工的工件难以从电磁吸盘上取下,其原因可能是由于:

- (1) 去磁电压过高或去磁回路断路造成无法去磁,需调整电路;
- (2) 去磁时间过长或过短,应调整去磁时间。

#### 5. 照明灯不亮

- (1) 照明灯已损坏,应更换新的;
- (2) 照明灯开关 SA 未按下或已损坏,应按下开关 SA 或更换新的开关;
- (3) 变压器 TC1 绕组已损坏,应更换新的变压器。

## 第三节 Z3040 型摇臂钻床的电气控制

钻床是一种加工孔的机床。它可用于钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻丝及修刮端面等多种形式的加工。钻床的种类很多,按其用途和结构可分为台式钻床、立式钻床、卧式钻床、摇臂钻床、多轴钻床及其他专用钻床等。Z3040 型摇臂钻床具有操作方便、灵活、适用范围广等特点,特别适用于生产中带有多孔的大型零件的孔加工,是钻床中应用最广泛的一种机床。下面以 Z3040 型摇臂钻床为例进行分析。

### 一、Z3040 型摇臂钻床的主要结构及运动形式

#### 1. Z3040 型摇臂钻床的主要结构

Z3040 型摇臂钻床的外形结构如图 5-8 所示。它主要由内立柱、外立柱、主轴箱、摇臂、工

作台和底座等部分组成。主轴箱由主传动电动机、主轴和主轴传动机构、进给和变速机构以及机床的操作机构等部分组成,主轴箱安装在摇臂的水平导轨上,内立柱固定在底座的一端,外立柱套在它的外面,并可绕内立柱回转  $360^\circ$ ,摇臂的一端为套筒,套装在外立柱上,不能绕外立柱转动,而只能与外立柱一起绕内立柱回转,还可借助丝杠的正、反转沿外立柱作上下垂直移动。

## 2. 摇臂钻床的运动形式

钻削加工时,钻头一边进行旋转切削,一边进行纵向进给。其运动形式如下:

- (1) 主运动 摇臂钻床的主运动是指主轴的旋转运动。
- (2) 进给运动 摇臂钻床的进给运动是指主轴的纵向进给运动。
- (3) 辅助运动 摇臂钻床的辅助运动是指:
  - 1) 摇臂与外立柱一起绕内立柱的回转运动;
  - 2) 摇臂沿外立柱上导轨的上下垂直移动;
  - 3) 主轴箱沿摇臂长度方向的左右移动。

## 二、Z3040 型摇臂钻床的电力拖动特点及控制要求

(1) 为了简化机械传动装置,摇臂钻床采用直接起动的方式起动四台电动机进行拖动:主轴电动机,带动主轴旋转;摇臂升降电动机,带动摇臂进行升降;液压泵电动机,拖动液压泵供出压力油,使液压系统的夹紧机构实现夹紧与放松;冷却泵电动机,驱动冷却泵供给机床冷却液。

(2) 摇臂钻床的主运动和进给运动均为主轴的运动,可由一台主轴电动机拖动,并通过传动机构分别实现主轴的旋转和进给。

(3) 主轴电动机和冷却泵电动机只需要正向旋转,摇臂升降电动机和液压泵电动机,因需分别实现升降和夹紧与放松,要求能正反向旋转。

(4) 应具备完善的保护环节和照明电路。

## 三、Z3040 型摇臂钻床的电气控制电路分析

Z3040 型摇臂钻床的电气控制原理如图 5-9 所示,表 5-3 所示为 Z3040 型摇臂钻床电器元件明细表。

### 1. 主电路

(1) 电源由转换开关 QS 引入。

(2) 主电路有四台电动机: M1 为主轴电动机,带动主轴作钻孔圆周运动,它的运转和停止由接触器 KM1 控制; M2 为摇臂升降电动机,可进行正、反转,其运转和停止由接触器 KM2、KM3 控制; M3 为液压泵电动机,也可进行正、反转,其运转和停止由接触器 KM4、KM5 控制; M4 为冷却泵电动机,它的作用是不断地向工件和刀具输送切削液,以降低它们在切削过程中产生的高温,它由转换开关 SA1 控制。

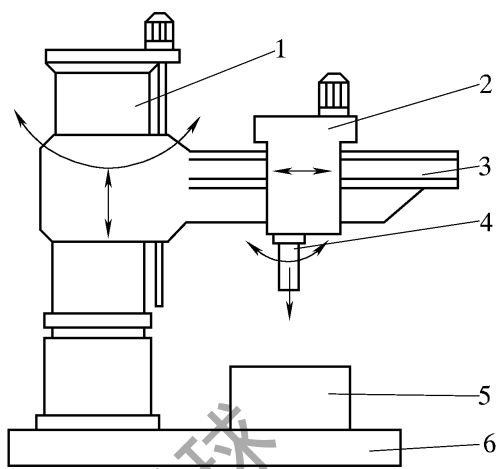


图 5-8 Z3040 型摇臂钻床的外形结构

1—内、外立柱; 2—主轴箱; 3—摇臂;  
4—主轴; 5—工作台; 6—底座

(3) 热继电器 FR1 对主轴电动机 M1 进行过载保护;摇臂升降电动机 M2 短时工作,所以不用设长期过载保护;热继电器 FR2 对液压泵电动机 M3 进行过载保护。

## 2. 控制电路

(1) 主轴电动机 M1 的控制 合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 的线圈得电,动合触点 KM1 闭合自锁,主轴电动机起动,同时支路中的指示灯 HL4 亮,表示电动机正常起动。按下停止按钮 SB8,接触器 KM1 的线圈失电,其主触点和自锁触点断开,主轴电动机停止,同时指示灯 HL3 熄灭。

(2) 摇臂升降控制 摇臂的升降不仅需要摇臂升降电动机 M2 的转动,而且还需要液压泵电动机 M3 拖动液压泵,使液压夹紧系统协调配合才能实现。现在对摇臂的上升和下降进行分析:

1) 摇臂上升 按下上升点动按钮 SB3,时间继电器 KT 线圈得电,其动合触点 KT 闭合,接触器线圈 KM4 得电,其主触点 KM4 闭合,液压泵电动机 M3 正转;同时,支路 22 中延时闭合触点 KT 闭合,电磁阀 YV 得电,摇臂开始松开。当摇臂松开后,行程开关 SQ2 释放,其动断触点 SQ2 断开,接触器 KM4 失电,液压泵电动机 M3 停转,液压泵停止供油;同时,其动合触点 SQ2 闭合,接触器 KM2 得电,摇臂升降电动机 M2 正转,带动摇臂上升。

表 5-3 Z3040 型摇臂钻床电器元件明细表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
M1	主轴电动机	Y2-31-4 3 kW	1	带动主轴旋转
M2	摇臂升降电动机	Y3-802-4 1.1 kW	1	带动摇臂升降
M3	液压泵电动机	A1-7134 0.55 kW	1	驱动液压泵
M4	冷却泵电动机	DB-25B 120 W	1	驱动冷却泵
KM1	接触器	CJ10-10 110 V	1	控制主轴电动机 M1
KM2	接触器	CJ10-10 110 V	1	控制 M2 正转
KM3	接触器	CJ10-10 110 V	1	控制 M2 反转
KM4	接触器	CJ10-10 110 V	1	控制 M3 正转
KM5	接触器	CJ10-10 110 V	1	控制 M3 反转
KT	时间继电器	JS7-A 110	1	摇臂升降时间继电器
SQ1-1	行程开关	HZ4-22	1	液压分配转换开关
SQ1-2	行程开关			
SQ2	行程开关	LX5-11	1	摇臂松夹限位
SQ3	行程开关	LX5-11	1	摇臂松夹限位
QF1	低压断路器	DZ5-20/330 10 A	1	电源总开关和 M1 短路保护
QF2	低压断路器	DZ5-20/330 6.5 A	1	M2、M3、M4 短路保护
QF3	低压断路器	DZ5-20/330 6.5 A	1	控制电路电路保护
QF4	低压断路器	DZ5-20/330 2 A	1	信号灯电路短路保护
QF5	低压断路器	DZ5-20/330 2 A	1	工作照明开关
YV	电磁铁	MFJ1-3 110 V	1	摇臂夹紧放松
KV	继电器	JZ7-44 110 V	1	欠压保护
SA1	转换开关	HZ5-10	1	冷却泵电动机 M4 控制

续表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
FR1	热继电器	JR0-20-3 整定电流 6.5 A	1	M1 过载保护
FR2	热继电器	JR0-20-3 整定电流 1.3 A	1	M3 过载保护
TC	控制变压器	LAY3-11D	1	控制、指示灯、照明电路
SB1	按钮	LAY3-11	1	控制电路起动按钮
SB2	按钮	LAY3-11	1	主轴电动机 M1 起动按钮
SB3	按钮	LAY3-11	1	摇臂上升按钮
SB4	按钮	LAY3-11	1	摇臂下降按钮
SB5	按钮	LAY3-11	1	主轴箱立柱松夹按钮
SB6	按钮	LAY3-11	1	主轴箱立柱松夹按钮
SB7	按钮	LAY3-112S/1	1	控制电源电路停止按钮
SB8	按钮	LAY3-11D	1	主轴电机停止按钮

当摇臂上升到所需位置时,松开 SB3,接触器 KM2 和时间继电器 KT 的线圈失电,其主触点和动合触点断开,摇臂升降电动机 M2 停止转动,摇臂停止上升。时间继电器 KT 的线圈失电后,支路 22 中延时闭合触点 KT 延时 1~3 s 后闭合,接触器 KM5 的线圈得电,液压泵电动机 M3 反转;同时,支路 26 中触点 KT 虽亦延时断开,但由于 SQ3 已闭合,所以电磁阀 YV 仍得电,摇臂开始夹紧。当摇臂夹紧后,行程开关 SQ2 释放,行程开关 SQ3 动作,其动断触点断开,使接触器 KM5 的线圈失电,液压泵电动机 M3 停转,电磁阀 YV 失电复位。

2) 摇臂下降 按下下降点动按钮 SB4,时间继电器 KT 线圈得电。其工作原理与摇臂上升基本相同,大家可对照分析一下。

(3) 主轴箱和立柱的夹紧与放松的控制 主轴箱和立柱的松开和夹紧是同时进行的,其控制电路是正、反转点动控制电路。利用主轴箱和立柱的夹紧、放松,还可以检查电源相序正确与否,以确保摇臂升降电动机 M2 的正、反转接线正确。

1) 主轴箱、立柱的松开 按下松开按钮 SB5,接触器 KM4 的线圈得电,液压泵电动机 M3 正转,拖动液压泵,液压油液进入主轴箱、立柱的松开油腔,推动活塞,使主轴箱、立柱松开。此时,按钮 SQ4 不受压,动断触点 SQ4 闭合,指示灯 HL2 亮,表示松开。

2) 主轴箱、立柱的夹紧 到达需要位置后,按下夹紧按钮 SB6,接触器 KM5 的线圈得电,液压泵电动机 M3 反转,拖动液压泵,液压油液进入主轴箱、立柱的夹紧油腔,推动活塞,使主轴箱、立柱夹紧;同时,按钮 SQ4 受压,动断触点 SQ4 断开,动合触点 SQ4 闭合,夹紧指示灯 HL3 亮。

(4) 保护环节 低压断路器 QF1 对主轴电动机 M1 进行短路保护;低压断路器 QF2 对摇臂升降电动机 M2、液压泵电动机 M3 以及冷却泵电动机 M4 进行短路保护;低压断路器 QF3 对控制电路进行短路保护。热继电器 FR1 对主轴电动机 M1 进行过载保护,热继电器 FR2 对液压泵电动机 M3 进行过载保护。

摇臂升降的极限位置通过行程开关 SQ1 来实现。当摇臂上升或下降到极限位置时相应触点动作,切断与其对应的上升接触器 KM2 或下降接触器 KM3,使摇臂升降电动机 M2 停转,摇臂停止升降,实现极限位置保护。

### 3. 照明、指示电路

机床照明和信号灯电路的电源,都由变压器 TC 供给,通过控制变压器降压,分别得到照明电路安全电压 36 V、指示灯电路电压 63 V 和控制电路电压 220 V。指示灯回路中,指示灯 HL1 灯亮表示电源接通;指示灯 HL2 灯亮表示主轴箱和立柱同时处于放松状态;指示灯 HL3 灯亮表示主轴箱和立柱同时处于夹紧状态;指示灯 HL4 灯亮表示主轴电动机带动主轴旋转工作。

## 四、Z3040 型摇臂钻床的常见电气故障分析

### 1. 主轴电动机无法起动

- (1) 电源总开关 QS 接触不良,需调整或更换;
- (2) 控制按钮 SB1 或 SB2 接触不良,需调整或更换;
- (3) 接触器 KM1 线圈断线或触点接触不良,需重接或更换;
- (4) 低压断路器的熔丝已断,应更换熔丝。

### 2. 摇臂不能升降

- (1) 行程开关 SQ2 的位置移动,使摇臂松开后没有压下 SQ2;
- (2) 电动机的电源相序接反,导致行程开关 SQ2 无法压下;
- (3) 液压系统出现故障,摇臂不能完全松开;
- (4) 控制按钮 SB3 或 SB4 接触不良,需调整或更换;
- (5) 接触器 KM2、KM3 线圈断线或触点接触不良,重接或更换。

### 3. 摇臂升降后不能夹紧

- (1) 行程开关 SQ3 的安装位置不当,需进行调整;
- (2) 行程开关 SQ3 发生松动而过早地动作,液压泵电动机 M3 在摇臂还未充分夹紧时就停止了旋转。

### 4. 液压系统的故障

电磁阀芯卡住或油路堵塞,将造成液压控制系统失灵,需检查疏通。

## 第四节 X62W 型卧式万能铣床电气控制

铣床在机械加工中用途非常广泛,其使用数量仅次于车床。铣床可以用来加工工件各种形式的表面,如平面、成形面及各种类型的沟槽等;装上分度头之后,可以加工直齿轮或螺旋面;如果装上回转圆工作台,还可以加工凸轮和弧形槽。铣床的种类有很多,按其结构形式和加工性能的不同,一般可以分为卧式铣床、立式铣床、龙门铣床、仿形铣床以及各种专用铣床,其中 X62W 型卧式万能铣床是实际应用最多的铣床之一。下面以 X62W 型卧式万能铣床为例进行分析。

### 一、X62W 型卧式万能铣床的主要结构及运动形式

#### 1. X62W 型卧式万能铣床的主要结构

X62W 型卧式万能铣床外形结构如图 5-10 所示,它主要由底座、床身、主轴、悬梁、刀杆支架、工作台、手柄、溜板和升降台等部分组成。床身固定在底座上,其内装有主轴的传动机构和变速操纵机构,床身的顶部安装带有刀杆支架的悬梁,悬梁可沿水平导轨移动,以调整铣刀的位置。

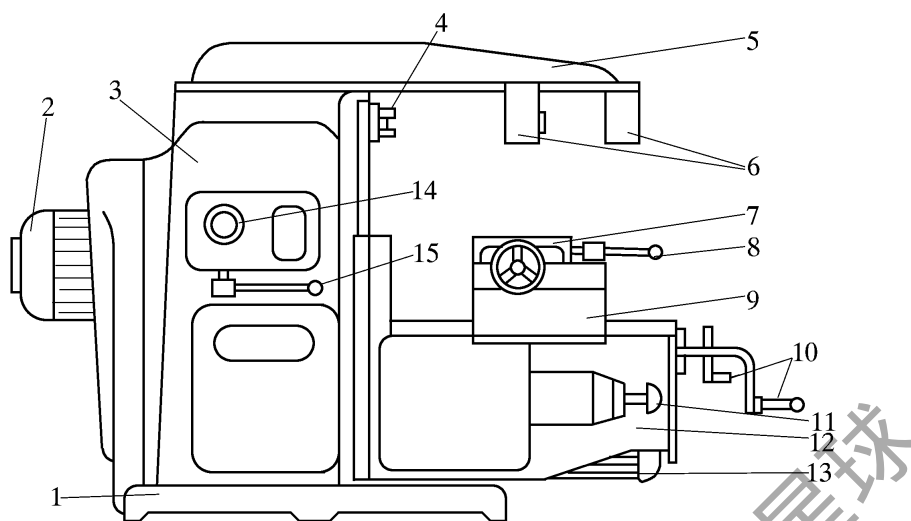


图 5-10 X62W 型卧式万能铣床外形结构

- 1—底座；2、13—电动机；3—床身；4—主轴；5—悬梁；  
6—刀杆支架；7—工作台；8、10、11、15—手柄；  
9—溜板；12—升降台；14—主轴变速盘

床身的前方(右侧面)装有垂直导轨,升降台可沿导轨作上、下垂直移动。在升降台上的水平导轨上,装有可在平行于主轴线方向(横向或前后)移动的溜板。溜板上面是可以转动的回转台,工作台就装在回转台的导轨上,它可以作垂直于主轴线方向(纵向或左右)的移动。在工作台上有固定工件的 T 形槽。这样,安装在工作台上的工件,可以作上、下、左、右、前和后六个方向的位置调整或工作进给。此外,该机床还可以安装圆形工作台,溜板也可以绕垂直轴线方向左右旋转  $45^\circ$ ,便于工作台在倾斜方向进行进给,完成螺旋槽的加工。

## 2. 铣床的运动形式

X62W 型卧式万能铣床的三种运动形式分别如下:

- (1) 主运动 铣床的主运动是指主轴带动铣刀的旋转运动。
- (2) 进给运动 铣床的进给运动是指工作台带动工件在相互垂直的三个方向上的直线运动。
- (3) 辅助运动 铣床的辅助运动是指工作台带动工件在相互垂直的三个方向上的快速移动。

## 二、X62W 型卧式万能铣床的电力拖动特点及控制要求

X62W 型卧式万能铣床由三台电动机分别进行拖动:主轴电动机、工作台进给电动机、冷却泵电动机。

### 1. 主轴电动机

主轴是由主轴电动机经弹性联轴器和变速机构的齿轮传动链来拖动的。

- (1) 铣削加工有顺铣和逆铣两种方式,要求主轴能正、反转,但又不能在加工过程中转换铣削方式,须在加工前选好转向,故采用倒顺开关即正、反转转换开关控制主轴电动机的转向。
- (2) 为使主轴迅速停车,对主轴电动机采用速度继电器测速的串电阻反接制动。
- (3) 主轴转速要求调速范围广,采用变速孔盘机构选择转速。为使变速箱内齿轮易于啮合,减少齿轮端面的冲击,要求主轴电动机在主轴变速时稍微转动一下,称为变速冲动。这时也利用

限流电阻,以限制主轴电动机的起动电流和起动转矩,减小齿轮间的冲击。

为此,主轴电动机有三种控制:正反转起动、反接制动和变速冲动。

## 2. 工作台进给电动机

工作台进给分机动和手动两种方式。手动进给是通过操作手轮或手柄实现的,机动进给是由工作台进给电动机配合有关手柄实现的。

(1) 工作台在各个方向上能往返,要求工作台进给电动机能正、反转。

(2) 进给速度的转换,亦采用速度孔盘机构,要求工作台进给电动机也能变速冲动。

(3) 为缩短辅助工时,工作台的各个方向上均有快速移动。由工作台进给电动机拖动,用牵引电磁铁使摩擦离合器合上,减少中间传动装置,达到快速移动。

为此,工作台进给电动机有三种控制:进给、快速移动和变速冲动。

## 3. 冷却泵电动机

冷却泵电动机拖动冷却泵提供冷却液,对工件、刀具进行冷却润滑,只需正向旋转。

## 4. 两地控制

为了能及时实现控制,机床设置了两套操纵系统,在机床正面及左侧面,都安装了相同的按钮、手柄和手轮,使操作方便。

## 5. 联锁

为了保证安全,防止事故,机床有顺序的动作,采用了联锁。

(1) 要求主轴电动机起动后(铣刀旋转),才能进行工作台的进给运动,即工作台进给电动机才能起动,进行铣削加工。而主轴电动机和工作台进给电动机需同时停止,采用接触器联锁。

(2) 工作台六个方向的进给也需要联锁,即在任何时候工作台只能有一个方向的运动,是采用机械和电气的共同联锁实现的。

(3) 如将圆工作台装在工作台上,其传动机构与纵向进给机构耦合,经机械和电气的联锁,在六个方向的进给和快速移动都停止的情况下,可使圆工作台由工作台进给电动机拖动,只能沿一个方向作回转运动。

## 6. 保护环节

(1) 三台电动机均设有过载保护。

(2) 控制电路设有短路保护。

(3) 工作台的六个方向运动,都设有终端保护。当运动到极限位置时,终端撞块碰到相应手柄使其回到中间位置,行程开关复位,工作台进给电动机停转,工作台停止运动。

# 三、X62W 型卧式万能铣床的电气控制电路分析

X62W 型卧式万能铣床的电气控制电路如图 5-11 所示,可分为主电路、控制电路、照明电路三个部分。X62W 型卧式万能铣床电器元件明细表见表 5-4。

## 1. 主电路

(1) 电源由转换开关 QS1 引入。

(2) 主电路有三台电动机: M1 为主轴电动机,带动主轴旋转,它的运转和停止由接触器 KM1 控制,其旋转方向由转换开关 SA1 预先设置; M2 为进给电动机,由接触器 KM3、KM4 进行正、反转控制; M3 为冷却泵电动机,由转换开关 QS2 控制,不断地向工件和刀具输送切削液,

降低切削过程中产生的高温,只有在接触器 KM1 闭合后,才能扳动 QS2 起动运行。

## 2. 控制电路

控制电路的电源由控制变压器 TC1 将 380 V 的三相交流电降为 110 V 三相交流电,并由熔断器 FU4 作短路保护。热继电器 FR1、FR2 和 FR3 的动断触点串联在控制电路中,电动机过载时,其动断触点断开,控制电路断电,电动机停止。

(1) 主轴电动机 M1 的控制 电动机 M1 的控制包括以下几方面:

1) 主轴电动机的起动及制动控制 接通电源,将转换开关 SA1 扳到正转位置(如需反转,将转换开关 SA1 扳到反转位置即可),按下起动按钮 SB1 或 SB2,接触器 KM1 的线圈得电,其动合触点闭合自锁,主轴电动机 M1 正向起动;需停车时,按下停止按钮 SB5-1 或 SB6-1,接触器 KM1 的线圈失电,停止按钮 SB5-2 或 SB6-2 的动合触点闭合,电磁离合器 YC1 得电闭合,对主轴电动机 M1 制动,电动机停转。

2) 主轴变速冲动控制 主轴变速时,先将变速手柄拉开,然后调整主轴变速盘至所需要的转速,再将变速手柄推回原处。手柄通过机械装置压下行程开关 SQ1 又松开,使其动断触点瞬时断开,动合触点瞬时闭合,接触器 KM1 瞬时得电,主轴电动机 M1 瞬时起动,保证主轴变速时变速齿轮顺利啮合。

3) 主轴换刀制动 为保证安全,换刀时主轴不能转动。换刀时,将转换开关 SA1 扳至“换刀”位置,SA1-2 触点断开,断开控制电路电源回路;SA1-1 动合触点闭合,接通主轴制动电磁离合器 YC1 的电源回路,主轴制动。换刀完成后,将转换开关 SA1 扳回原位,机床恢复正常工作。

表 5-4 XG2W 型卧式万能铣床电器元件明细表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
M1	主轴电动机	Y2-51-4 7.5 kW	1	带动主轴转动
M2	进给电动机	Y2-22-4 1.5 kW	1	工作台六个方向进给
M3	冷却泵电动机	JCB-22 125 W	1	带动冷却泵旋转
QS1	转换开关	HZ1-60/3J 500 V	1	电源总开关
QS2	转换开关	HZ1-10/3J 500 V	1	冷却泵电动机 M2 控制
SA1	转换开关	HZ1-10/3J 500 V	1	换刀制动开关
SA2	转换开关	HZ1-10/3J 500 V	1	圆工作台开关
SA3	转换开关	HZ1-10/3J 500 V	1	照明电路转换开关
FR1	热继电器	JR0-60/3 整定电流 16 A	1	主轴电动机 M1 过载保护
FR2	热继电器	JR0-20/3 整定电流 0.5 A	1	冷却泵电动机 M2 过载保护
FR3	热继电器	JR0-20/3 整定电流 1.5 A	1	进给电动机 M3 过载保护
FU1	熔断器	RL1-60/60	3	主轴电动机 M1 短路保护
FU2	熔断器	RL1-15/5	1	整流电源短路保护
FU3	熔断器	RL1-15/5	1	电磁铁电路短路保护
FU4	熔断器	RL1-15/5	1	控制电路短路保护
FU5	熔断器	RL1-15/1	1	工作照明短路保护
TC1	变压器	BK-150 380 V/110 V	1	控制电路电源
TC2	变压器	BK-50 380 V/24 V	1	照明电路电源



续表

代号	名称	规格或型号	数量	用途
TC3	变压器	BK-100 380 V/36 V	1	整流变压器
VC	整流器	2CZ	4	整流器
KM1	接触器	CJ10-20 线圈电压 110 V	1	控制主轴电动机 M1
KM2	接触器	CJ10-10 线圈电压 110 V	1	快速进给控制
KM3	接触器	CJ10-20 线圈电压 110 V	1	进给电动机 M2 正转控制
KM4	接触器	CJ10-20 线圈电压 110 V	1	进给电动机 M2 反转控制
SB1	按钮	LA2	1	主轴电动机 M1 起动按钮
SB2	按钮	LA2	1	
SB3	按钮	LA2	1	快速进给起动按钮
SB4	按钮	LA2	1	
SB5	按钮	LA2	1	主轴电动机停止、制动按钮
SB6	按钮	LA2	1	
YC1	电磁铁		1	主轴制动
YC2	电磁铁		1	正常制动
YC3	电磁铁		1	快速进给
SQ1	行程开关	LX3-11K	1	主轴冲动
SQ2	行程开关	LX3-11K	1	进给冲动
SQ3	行程开关	LX3-11K	1	向前、向下进给
SQ4	行程开关	LX3-11K	1	向后、向上进给
SQ5	行程开关	LX3-11K	1	向左进给
SQ6	行程开关	LX3-11K	1	向右进给

(2) 工作台进给电动机 M2 的控制 根据联锁要求,工作台的进给运动需在主轴电动机 M1 起动之后才能进行。主轴电动机 M1 正向起动后,接触器 KM1 线圈得电并自锁,为工作台的进给电动机起动做好准备。机床纵向、横向、垂直进给以及圆形或矩形工作台的选择由转换开关 SA2 控制,采用矩形工作台时,触点 SA2-1 闭合,SA2-2 断开,SA2-3 闭合。机床纵向、横向、垂直进给的控制原理如下:

1) 工作台的纵向(前后)进给运动控制 工作台的纵向(左右)进给运动由纵向操纵手柄控制,操纵手柄有左、中、右三个位置。操纵手柄处于左位时,纵向进给离合器挂上,压下向左进给行程开关 SQ5,触点 SQ5-1 闭合,接触器 KM3 得电,进给电动机 M2 正转,拖动工作台向左运动;需要停止时,将操纵手柄扳到中间位置,纵向进给离合器脱开,行程开关 SQ5 不再受压,触点 SQ5-1 断开,接触器 KM3 失电,进给电动机 M2 停转,工作台停止向左运动。操纵手柄处于右位时,压下向右进给行程开关 SQ6,触点 SQ6-1 闭合,接触器 KM4 得电,进给电动机 M2 反转,拖动工作台向右运动;需要停止时,将操纵手柄扳到中间位置,纵向进给离合器脱开,行程开关 SQ6 不再受压,触点 SQ6-1 断开,接触器 KM4 失电,进给电动机 M2 停转,工作台停止向右运动。

2) 工作台的横向(前后)运动和垂直(上下)进给运动控制 工作台的横向(前后)运动和垂

直(上下)进给运动操纵手柄有前、后、上、下、中五个位置。扳动操纵手柄处于不同位置,挂上离合器,压下对应行程开关 SQ3 或 SQ4 进行控制(行程开关 SQ3 在操纵手柄向前或向下时被压下,SQ4 在操纵手柄向后或向上时被压下),其控制过程与纵向进给类似,大家可试着分析一下。

3) 工作台的快速移动控制 工作台的纵向、横向和垂直方向的快速移动也是由进给电动机拖动的。按下快速移动按钮 SB3 或 SB4,接触器 KM2 得电,接通快速移动电磁离合器 YC3,合上摩擦离合器,可减少中间传动,使工作台实现快速移动。

(3) 冷却泵电动机 M3 的控制 它是通过转换开关 QS2 控制电源的通断,来实现冷却泵电动机 M3 的起动和停止。当转换开关 QS2 扳至“接通”位置时,冷却泵电动机 M3 起动,拖动冷却泵送出冷却液;转换开关 QS2 扳至“断开”位置时,冷却泵电动机 M3 停止转动。

(4) 保护环节 主轴电动机 M1 采用热继电器 FR1 进行过载保护,采用熔断器 FU1 实现短路保护;工作台进给电动机 M2 采用热继电器 FR2 进行过载保护,冷却泵电动机 M3 采用热继电器 FR3 进行过载保护。

### 3. 照明电路

机床的照明电路由变压器 TC2 提供 24 V 交流电压,通过转换开关 SA3 控制照明灯 EL。

## 四、X62W 型卧式万能铣床的常见电气故障分析

### 1. 主轴电动机无法起动

- (1) 电源总开关 QS 接触不良,需调整或更换;
- (2) 控制按钮 SB1 或 SB2 接触不良,需调整或更换;
- (3) 接触器 KM1 线圈断线或触点接触不良,需重接或更换;
- (4) 控制电路中熔断器 FU3 的熔丝已断,应更换熔丝。

### 2. 主轴停车无制动或制动效果不明显

- (1) 停止按钮 SB5-1 或 SB6-1 接触不良,需调整或更换;
- (2) 停止按钮 SB5-2 或 SB6-2 触点接触不良,需重接或更换;
- (3) 电磁离合器 YC1 线圈断线或触点接触不良,需重接或更换。

### 3. 工作台无法进给

- (1) 转换开关 SA2 损坏或接触不良;需调整或更换;
- (2) 行程开关 SQ3、SQ4、SQ5 或 SQ6 损坏或接触不良,需调整或更换;
- (3) 接触器 KM3 或 KM4 线圈断线或触点接触不良,需重接或更换;
- (4) 控制电路中热继电器动作。

### 4. 工作台不能快速移动

- (1) 快速移动按钮 SB3 或 SB4 接触不良或接线脱落,需调整或更换;
- (2) 接触器 KM2 线圈断线或触点接触不良,需重接或更换;
- (3) 快速移动电磁阀 Y C3 损坏。

## 第五节 常用机床控制电路的维护和电气故障诊断

机床电气设备产生的故障将影响正常生产,有时甚至造成设备事故和人身事故。为此,应注

意电气设备的经常维护,防止故障的产生。

## 一、机床电气设备的日常维护

机床电气设备的日常维护一般包括以下三个方面:

### 1. 整机设备的日常维护

(1) 机床加工时,金属碎屑和油垢容易进入电气设备中,造成短路、接地或接触不良等故障。所以,应该注意经常清除切屑,擦干净油污,保持设备的整洁。

(2) 在高温和梅雨的季节注意对设备的检查。

(3) 检查电气设备的接地或接零是否可靠。

(4) 经常检查保护导线的软管和接头有无损坏,特别注意电气柜、按钮盒、操纵台和电动机等处的接头是否完好,有无松动。及时拧紧紧固接线的螺钉。

(5) 日常的维护工作中,做到“四勤”,发现异常现象时应立即停机检查和修理。

1) 勤巡视 经常观察有没有金属切屑、油污和水滴等落入电气设备内部,观察有没有冒火、冒烟和变色等反常现象。观察电气设备的电器和接线有没有松动的地方,电气柜的门有没有关好。

2) 勤听 经常听一下电动机转动的声音是否正常,各电器动作时响声是否正常。

3) 勤闻 经常闻一下电气设备有没有烧焦等不正常的异味。

4) 勤摸 经常用手背摸一下电动机或变压器等有没有过热现象。

### 2. 电动机的日常维护

(1) 经常检查电动机的绝缘电阻,三相 380 V 电动机的绝缘电阻一般不小于 0.5 MΩ, 否则应进行烘干或浸漆等。

(2) 应经常保持清洁,不允许有金属切屑、油垢或水滴等进入电动机的内部。如果发现有杂物落入内部,可用压缩空气吹干净。

(3) 用钳形电流表经常检查是否过载,三相电流是否一致,三相电压是否平衡。

(4) 检查电动机的接地装置是否牢靠。

(5) 注意电动机的起动是否灵活,运转中有没有不正常的摩擦声、尖锐噪声或其他杂声。

(6) 检查电动机的温升有没有过高。

(7) 检查轴承有没有过热和漏油现象。轴承的润滑油脂一般一年左右应进行清洗和更换。

(8) 检查电动机的通风是否良好。

### 3. 电器的日常维护

在维护时不得随意改变热继电器、过电流继电器和自动开关等的整定值。更换熔断器的熔丝时必须按要求选配,不得选得过大或过小。

## 二、机床电气故障的诊断方法

机床电气设备产生的故障将影响正常生产,机床出现故障后,可按下列步骤进行诊断:

### 1. 向操作工人调查故障产生的情况

机床电气设备出现故障后,应先向操作者了解故障的情况。例如,询问故障发生在机床的哪个部分,现象是怎样的(如响声、冒火、冒烟、异味或无法起动等),故障前曾按压过哪些按钮,故障

发生后有没有人动过,这类故障是否经常发生等。

## 2. 进行外表检查

在了解到故障的范围后,应进一步对这范围内的电器进行外观检查。检查熔断器、继电器、接触器和行程开关等的紧固螺丝和接线螺丝是否松动,有没有断线的地方,有没有线圈烧坏或触点熔焊等现象,电器的活动机构是否灵活等。为了安全起见,外表检查一般是在电源断电下进行。

## 3. 断电检查法

断开电源开关,一般用万用表的电阻挡检查故障区域的电气元件有没有开路、短路或接地现象。断电检查如果找不到故障原因,则进行通电检查。

## 4. 通电检查法

通用检查应在不带负载下进行,以免发生事故。有下列情况之一时不能通电检查:

- (1) 通电时会烧坏电器或电动机。
- (2) 因短路烧坏熔断器的熔丝,未查明原因。
- (3) 发生飞车和打坏传动机构等。
- (4) 尚未确定相序是否正确,因为有的机床(如 Z35 摇臂钻床)的相序要求不能接反。

通电检查时应根据动作顺序来检查有故障的线路。操作一只开关或按钮时,观察线路中的有关继电器和接触器有没有按要求顺序进行工作。一般用万用表的电压挡检查电路有没有开路的地方,但注意不能转到电流挡或电阻挡,以免烧坏电表。有时怀疑某触点接触不良,则可用导线短接该触点进行试验。有时也可用验电笔或钳形电流表等进行检查。

通电检查时应注意以下几点:

- (1) 随时注意停车按钮和电源总开关在什么地方,发现不正常情况应立即停车检查。
- (2) 不要随意触动带电电器。
- (3) 养成单手操作的习惯。
- (4) 一般可断开主电路(断开主电路熔断器的熔丝或开关),检查控制电路。

## 5. 认真分析故障产生的原因或范围

了解故障的情况以后,再对照机床电气控制原理图进行分析。如果电气线路比较简单,则可以很快找到故障的原因。例如,电动机可以正向起动而不能反向起动,则故障的原因必然是反向起动接触器线圈的有关线路不通;如果按下起动按钮,电动机嗡嗡响而不转,一般是缺相运行,可检查电源的熔断器有没有一相熔丝烧断;如果是因热继电器动作而无法起动,则是机床过载,应减小进刀量,按下热继电器的复位按钮,再重新进行起动。如果线路较复杂,则要根据故障的现象分析故障的范围可能发生在控制原理图中的哪个单元,以使进一步进行诊断;如果有信号灯,则可借助信号灯的工作情况分析故障的范围。

每次排除故障后应及时总结,做好记录。这样可以积累经验,使得再次发生类似故障时能迅速检查出来。同时,由于引起故障的因素是多方面的,有些故障是机械故障或液压故障,因此,诊断电气故障时应与机械修理人员同时配合进行。

## 复习思考题

5-1 CA6140 型卧式车床是如何实现正、反转控制的？

5-2 若一台 CA6140 型卧式车床只能实现点动，试分析故障原因。

5-3 若 M7130 型平面磨床电气控制电路中的热继电器 FR1、FR2 保护触点分别串接在接触器 KM1、KM2 线圈电路中，这有何缺点？该电路具有哪些保护环节？

5-4 M7130 型平面磨床为什么采用电磁吸盘来夹持工件？试叙述将工件从电磁吸盘上取下时的操作步骤及电路工作情况。

5-5 Z3040 型摇臂钻床控制电路中的时间继电器与电磁阀在什么时候动作？电磁阀的动作时间比时间继电器长还是短？电磁阀在什么时候不动作？

5-6 Z3040 型摇臂钻床控制电路中的转换开关 SQ1、SQ2、SQ3 以及 SQ4 的作用是什么？

5-7 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路中有哪些联锁与保护？为什么要有这些保护环节？

5-8 X62W 型卧式万能铣床控制电路具有哪些联锁与保护？为什么要有这些联锁与保护？它们是如何实现的？

## 技能训练 5-1 X62W 型卧式万能铣床的故障分析与排除

### 一、训练目的

1. 熟悉 X62W 型卧式万能铣床的电气控制原理以及常见故障。
2. 学会分析铣床的电气控制电路和常见故障的方法。

### 二、训练设备

继电器、接触器控制台，万用表，电笔，螺丝刀，钢丝钳等。

### 三、训练线路

X62W 型卧式万能铣床的电气控制原理如图 5-11 所示。

### 四、训练方法及步骤

1. 观察 X62W 型卧式万能铣床的外形结构。
2. 根据图 5-11 X62W 型卧式万能铣床电气控制原理所示绘出主电路以及控制电路，并进行控制原理分析。
3. 按照 X62W 型卧式万能铣床的电气控制原理图接线。
4. 接通电源进行各控制功能的测试。
5. 设置故障(如：控制按钮、转换开关、接触器、熔断器、速度继电器等接触不良或各种中断)，进行故障分析，并作好纪录。

## 第六章

# 数控机床电气控制

数控机床是机械加工领域中典型的机电一体化产品,是将机床本体、电力电子、自动化控制、计算机、液压和气动等技术集于一体的自动化加工设备。目前数控机床种类很多,应用最普遍的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床等。图 6-1 所示为 CK7815 型数控车床,图 6-2 所示为 XK5040A 型数控铣床,它们和传统的通用机床的工艺用途相似,但是生产率和自动化程度比传统机床高,适合加工单件、小批量和形状复杂的工件。

数控机床由机床本体(包括液压、气动、润滑装置等)和电气控制系统两大部分组成。机床本体包括主轴箱、导轨、丝杠等机械部件以及液压和气动装置。数控机床电气控制系统由数控系统(CNC 系统)、电源装置、伺服驱动系统及可编程控制器(PLC)等部分组成。CNC 系统利用专用计算机通过执行其存储器内的程序来实现部分或全部数控功能;伺服驱动系统带动主轴和进给工作台完成相应的主运动和进给运动;电源装置由数控机床强电线路中的电源控制电路构成,

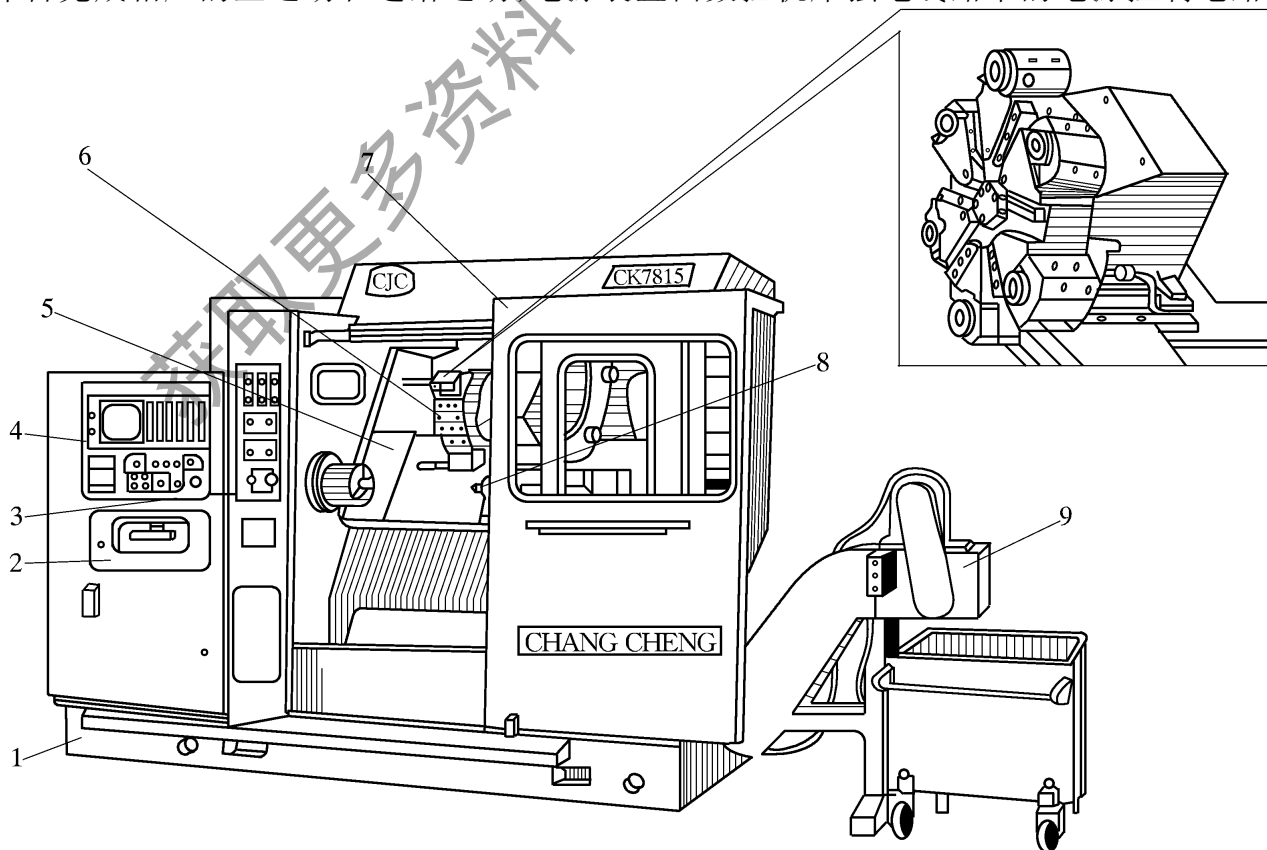


图 6-1 CK7815 型数控车床

- 1—床体; 2—纸带阅读机; 3—机床操作台; 4—数控系统操作面板; 5—倾斜 60° 导轨;  
6—刀盘; 7—防护门; 8—尾座; 9—排屑装置

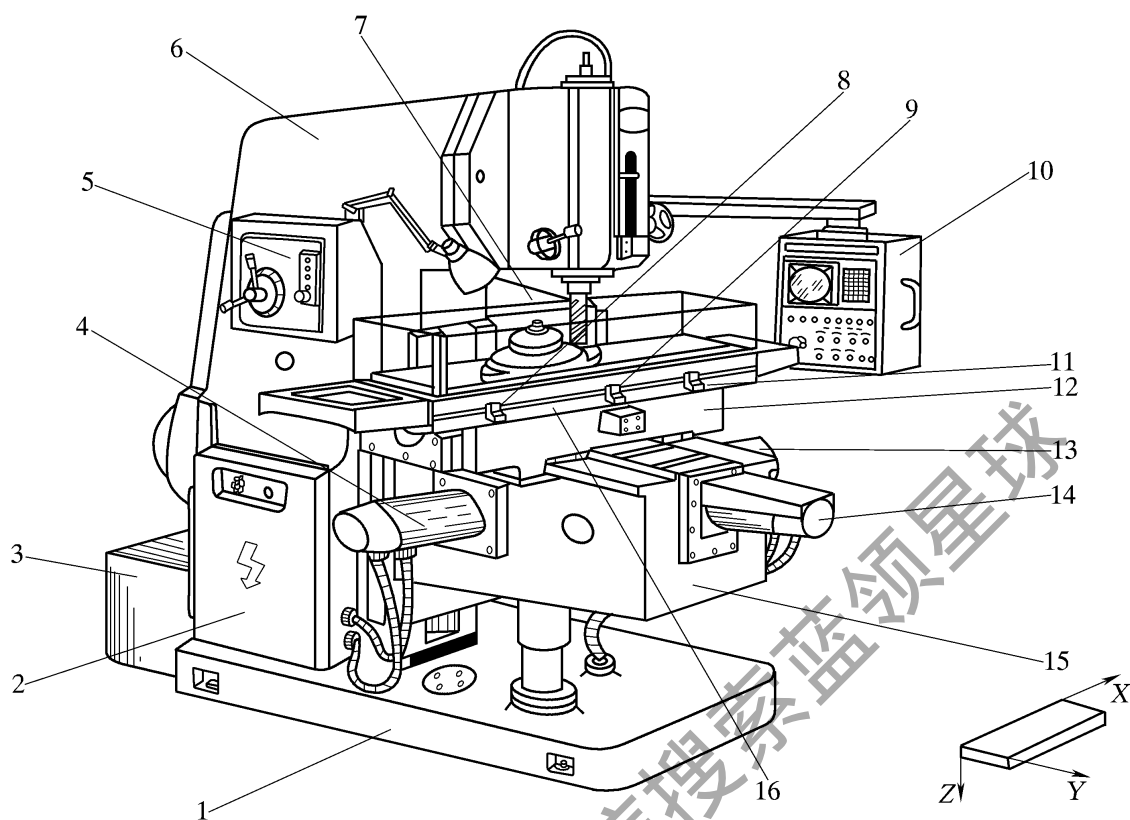


图 6-2 XK5040A 型数控铣床

1—底座；2—强电柜；3—变压器箱；4—升降电机；5—变速手柄；6—立柱；7—数控柜；  
8、11—限位开关；9—撞块；10—操纵台；12—横向溜板；13、14—纵横向电动机；  
15—升降台；16—纵向工作台

为交流电动机 (如液压泵电动机、冷却泵电动机及润滑油电动机等)、电磁铁、离合器和电磁阀等功率执行元件供电；同时，数控机床采用 PLC 替代了普通机床强电柜中大部分的机床电器，从而实现了换刀、液压和气动、润滑等辅助动作的控制。

## 第一节 数控系统 (CNC 系统)

### 一、CNC 系统的基本构成

CNC 系统是一种用计算机执行其存储器内的程序来实现部分或全部数控功能的数字控制系统。由于采用了计算机，使许多过去难以实现的功能可以通过软件来实现，大大提高了 CNC 系统的性能和可靠性。CNC 系统的控制过程是根据输入的信息，进行数据处理、插补运算，获得理想的运动轨迹信息，然后输出到执行部件，加工出所需要的工件。CNC 系统由硬件和软件组成，软件和硬件各有不同的特点。软件设计灵活，适应性强，但处理速度慢；硬件处理速度快，但成本高。CNC 的工作是在硬件的支持下，由软件来实现部分或大部分的数控功能。

### 二、CNC 系统的硬件结构

CNC 系统的硬件结构可分为单微处理器结构和多微处理器结构两大类。早期的 CNC 系统和现有的一些经济型 CNC 系统采用单微处理器结构。随着 CNC 系统功能的增加，机床切削速

度的提高,单微处理器结构已不能满足要求,因此许多 CNC 系统采用了多微处理器结构,以适应机床向高精度、高速度和智能化方向的发展,以及适应计算机网络化及形成 FMS 和 CIMS 的更高要求,使 CNC 系统向更高层次发展。

### 1. 单微处理器结构

所谓单微处理器结构,即采用一个微处理器来集中控制,分时处理 CNC 系统的各个任务。某些 CNC 系统虽然采用了两个以上的微处理器,但能够控制系统总线的只是其中的一个微处理器,它占有总线资源,其他微处理器作为专用的智能部件,不能控制系统总线,也不能访问存储器,是一种主从结构,故也被归入单微处理器结构中。单微处理器结构的 CNC 系统由计算机部分(CPU 及存储器)、位置控制部分、数据输入/输出等各种接口及外围设备组成。CNC 系统硬件的组成框图可参见图 6-3。

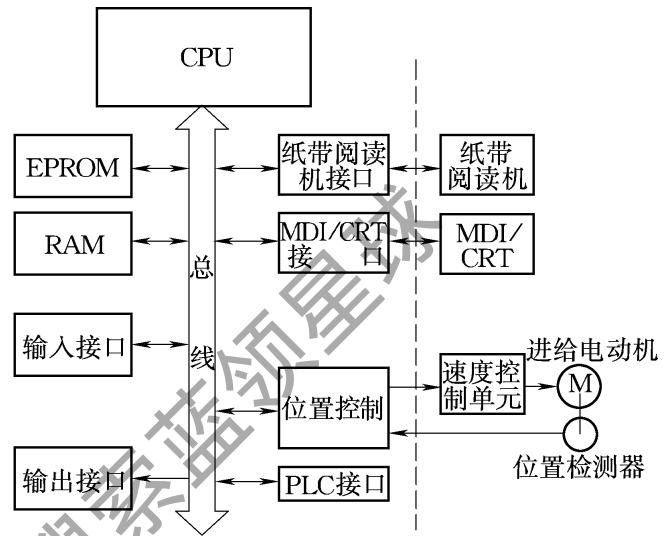


图 6-3 CNC 系统硬件的组成框图

(1) 计算机部分 计算机部分由微处理器 CPU 及存储器 (EPROM、RAM) 等组成。微处理器执行系统程序,首先读取加工程序,对加工程序段进行译码、预处理计算等,然后根据处理后得到的指令,对该加工程序段进行实时插补和对机床进行位置伺服控制;它还将辅助动作指令通过可编程控制器 (PLC) 发给机床,同时接收由 PLC 返回的机床各部分信息并予以处理,以决定下一步的操作。

(2) 位置控制部分 位置控制部分又分为位置控制和速度控制两大单元。位置控制单元接收经插补运算得到的每一个坐标轴在单位时间间隔内的位移量,并产生伺服电动机速度指令发往速度控制单元。速度控制单元还接收速度反馈信号,用速度指令与反馈信号的差值来控制伺服电动机,使其以恒定速度运转。位置控制单元根据接收到的实际位置反馈信号,来修正速度指令,实现机床运动的准确控制。

(3) 数据输入/输出接口与外围设备 数据输入/输出接口与外围设备是数控系统与操作者之间信息交换的桥梁。例如,通过纸带阅读机或 MDI 设备,可以将零件加工程序送入系统,并可实现其他手动操作;通过 CRT 显示器或穿孔机可得到零件加工程序或其他信息。

### 2. 多微处理器结构

在多微处理器结构中,由两个或两个以上的微处理器来构成处理部件。各处理部件之间通过一组公用地址和数据总线进行连接,每个微处理器共享系统的公用存储器或 I/O 接口,分担系统的一部分工作,从而将在单微处理器结构的 CNC 系统中顺序完成的工作转变为多微处理器的并行、同时完成的工作,因而大大提高了整个系统的处理速度。多微处理器结构的 CNC 系统大都采用模块化结构,微处理器、存储器、输入输出控制等可分别做成硬件模块,相应的软件也是模块化结构,固化在硬件中。软硬件模块形成一个具有特定功能的单元,称为功能模块。功能模块之间有明确定义的固定接口,按工厂或工业标准制造,于是可以组成积木式的 CNC 系统。如果某一个模块出了故障,其他模块仍能照常工作,可靠性高。CNC 系统一般有 6 种基本功能模块,若需要扩充功能,还可以再增加相应的功能模块。



(1) CNC 管理模块 该功能模块执行管理和组织整个 CNC 系统工作过程的职能,例如,系统的初始化、中断管理、总线裁决、系统出错的识别和处理、系统软硬件故障诊断等。

(2) CNC 插补模块 这个模块对零件加工程序进行译码、刀具补偿、坐标位移量计算等插补前的预处理工作,然后按规定的插补类型的轨迹坐标,通过插补计算为各个坐标轴提供位置给定值。

(3) 位置控制模块 该模块将插补后的坐标位置指令值与位置检测单元反馈回来的位置实际值进行比较,并进行自动加减速、回基准点、伺服驱动系统滞后量的监视和漂移补偿,最后得到速度控制的模拟电压,去驱动进给电动机。

(4) PLC 模块 该模块对零件加工程序中的开关功能和由机床送来的信号进行逻辑处理,实现各功能和操作方式之间的联锁,例如,机床电器的起/停、刀具交换、回转台分度等。

(5) 数据输入/输出和显示模块 这里包含零件加工程序、参数和数据、各种操作命令的输入(如通过纸带阅读机、键盘或上级计算机等)和输出(如通过穿孔机、打印机)、显示(如通过 CRT 显示器、液晶显示器等)所需要的各种接口电路。

(6) 存储器模块 这是程序和数据的主存储器,也可以是功能模块间传递数据用的共享存储器。

图 6-4 是一个具有多微处理器结构 CNC 系统的典型框图。其中有四个微处理模块,在主处理器的统一管理下分担不同的控制任务。每个微处理器都有各自的存储器及控制程序,当需要占用总线及其他公共资源(如存储器、I/O 设备)时,需申请占用总线,由主处理器按各个微处理器的优先级决定谁有权使用系统总线。图中微处理器均为 16 位的 8086CPU。

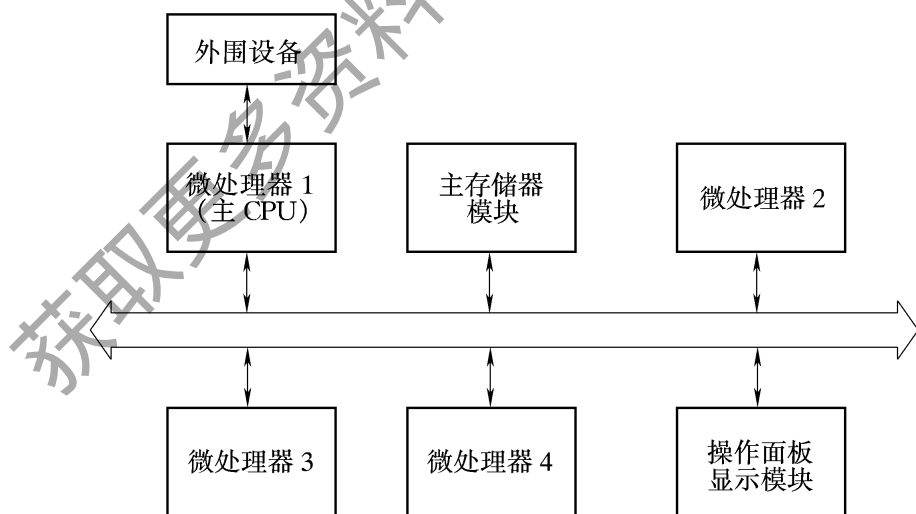


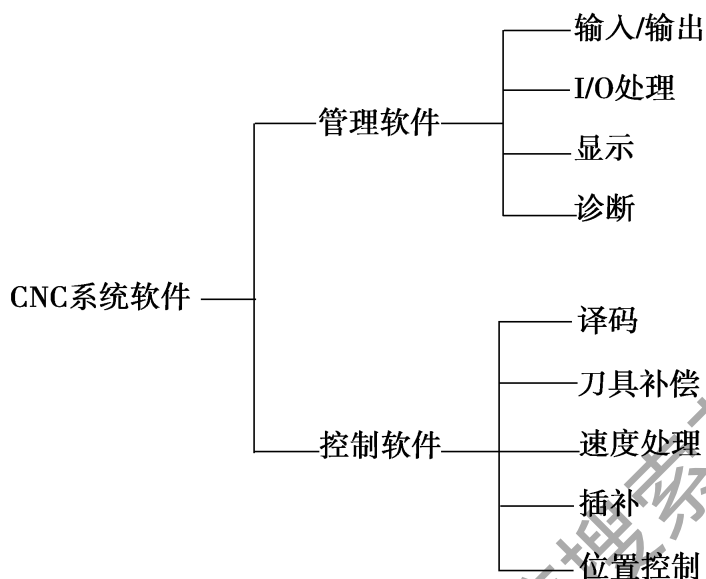
图 6-4 多微处理器结构 CNC 系统的典型框图

微处理器 1 为主处理器,主要处理与外围设备之间的输入/输出,同时负责系统总线的管理和任务调配。微处理器 2 完成零件加工程序的译码、预处理计算,负责刀具补偿、工作循环和子程序的管理工作。微处理器 3 完成直线和圆弧插补以及位置控制。微处理器 4 实现可编程序控制器的功能。此外,还有主存储器模块、操作面板显示模块等。

### 三、CNC 系统的软件结构

CNC 系统的软件是为了实现 CNC 系统各项功能而编制的专用软件,称为系统软件。在系

统软件的控制下,CNC 系统对输入的加工程序自动进行处理并发出相应的控制指令。系统软件由管理软件和控制软件两部分组成。管理软件包括零件加工程序的输入/输出、I/O 处理、系统的显示和诊断;控制软件可完成从译码、刀具补偿、速度处理到插补运算和位置控制等方面的工作。这两大部分通常是同时工作的。



CNC 系统是一个大的多重中断系统,其中断管理主要由硬件完成,而系统软件的结构则取决于系统的中断结构。CNC 系统的中断来源有多种,主要有外部中断、内部中断、硬件故障中断、程序性中断等。CNC 有两种类型的软件结构,一种是前后台型结构,一种是中断型结构。

### 1. 前后台型结构

#### (1) 工作原理

在前后台型结构的 CNC 系统中,整个系统软件分为两大部分,即前台程序和后台程序。前台程序是一个实时中断服务程序,承担了几乎全部的实时功能,实现与机床动作直接相关的功能,如插补、位置控制、机床相关逻辑和监控等,就好像是前台表演的演员。后台程序是一个循环执行程序,一些实时性要求不高的功能,如输入译码、数据处理等插补准备和管理工作等均由后台程序承担,就好像配合演员演出的舞台背景,因此又称背景程序。在背景程序循环运行的过程中前台的实时中断程序不断定时插入,二者密切配合,共同完成零件加工任务。

#### (2) 工作特点

前后台型结构对微处理器的运行速度和指令功能要求较高,一般适合单微处理器集中式控制的数控系统。

### 2. 中断型结构

#### (1) 工作原理

图 6-5 所示为中断型 CNC 系统软件结构原理图。中断型 CNC 系统软件结构中,除了初始化程序外,整个系统是一个中断控制系统。所有各种功能的子程序(如工件程序的输入、编辑、译码、数据处理、插补和伺服控制等功能)均被安排成优先级别不同的中断服务程序。

#### (2) 工作特点

中断型软件结构采用模块化结构,便于修改和扩充,编制较为方便。更重要的是这种结构便于向多微处理器数控系统发展。

## 四、CNC 系统可执行的功能及其特点

### 1. CNC 系统可执行的功能

CNC 系统的功能通常包括基本功能和选择功能。基本功能是必备的数控功能;选择功能是可供用户根据机床特点和工作用途进行选择的功能。

(1) 基本功能 CNC 系统的基本功能有以下几方面:

1) 控制功能 控制功能主要反映 CNC 系统能够控制以及能够同时控制的轴数(即联动轴数)。如数控车床一般为两根联动轴(X轴、Z轴),数控铣床以及加工中心一般需要3根或3根以上的控制轴。控制轴数越多,特别是联动轴数越多,CNC 系统就越复杂,编制其系统软件也越复杂。

2) 准备功能 准备功能(G 功能)是指指定机床动作方式的功能。主要有基本移动、程序暂停、坐标平面选择、坐标设定、刀具补偿、固定循环、基准点返回、公英制转换和绝对值增量值转换等指令。G 代码的使用有模态(续效)和非模态(一次性)两种。

3) 插补功能 插补功能指 CNC 系统可以实现的插补加工线型的能力,如直线插补、圆弧插补和其他二次曲线与多坐标插补能力。

4) 进给功能 进给功能包括切削进给、同步进给、快速进给、进给倍率等。它反映刀具进给速度,一般用 F 代码直接指定各轴的进给速度。

5) 刀具功能 刀具功能用来选择刀具,用 T 和它后面的 2 位或 4 位数字表示。

6) 主轴功能 主轴功能就是指定主轴转速、转向的功能,用 S 代码指定转速,例如 2 000 r/min 可表示为 S2000。主轴的转向要用 M03(正向)、M04(反向)指定。

7) 辅助功能 辅助功能也称 M 功能,用来规定主轴的起停和转向、切削液的接通和断开、刀库的起停、刀具的更换、工件的夹紧或松开等。

8) 字符显示功能 CNC 系统可通过软件和接口在 CRT 显示器上实现字符显示,如显示程序、参数、各种补偿量、坐标位置和故障信息等。

9) 自诊断功能 CNC 系统有各种诊断程序,在故障出现后可迅速查明故障类型和部位,减少因故障引起的停机时间。

(2) 选择功能 CNC 系统的选择功能有以下几方面:

1) 补偿功能 CNC 系统可以备有补偿功能,对加工过程中由于刀具磨损或更换以及机械传动的丝杠螺距误差和反向间隙所引起的加工误差予以补偿。CNC 系统的存储器中存放着刀具长度或半径的相应补偿量,加工时按补偿量重新计算刀具的运动轨迹和坐标尺寸,从而加工出符合要求的零件。

2) 固定循环功能 该功能是指 CNC 系统为常见的加工工艺所编制的、可以多次循环加工的功能。固定循环使用前,要由用户选择合适的切削用量和重复次数等参数,然后按固定循环约定的功能进行加工。用户若需编制适用于自己的固定循环,可借助用户宏程序功能。

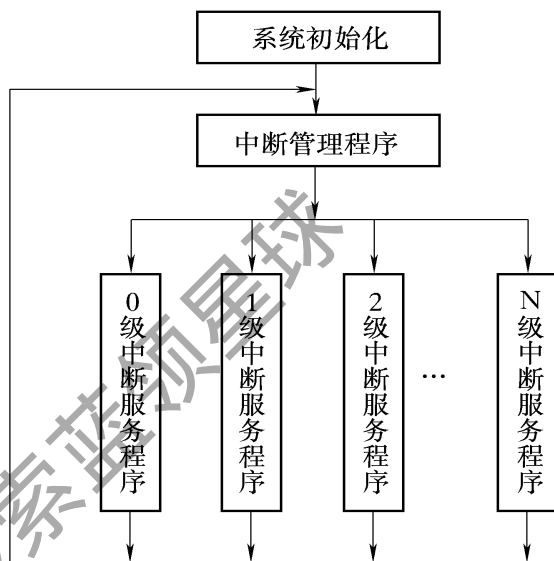


图 6-5 中断型 CNC 系统软件结构原理图

3) 图形显示功能 图形显示功能一般需要高分辨率的 CRT 显示器。某些 CNC 系统可配置 14 英寸彩色 CRT 显示器,能显示人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具轨迹等。

4) 通信功能 CNC 系统通常备有 RS-232C 接口,有的还备有 DNC 接口,设有缓冲存储器,可以按数控格式输入,也可以按二进制格式输入,进行高速传输。有的 CNC 系统还能与制造自动协议 MAP 相连,进入工厂通信网络,以适应 FMS、CIMS 的要求。

5) 人机对话编程功能 人机对话编程功能不但有助于编制复杂零件的程序,而且可以方便编程。如蓝图编程只要输入图样上简单表示几何尺寸的命令,就能自动生成加工程序。对话式编程可根据引导图和说明的显示编制,并具有工序、刀具、切削条件等的自动选择的智能功能;用户宏编程使未受过 CNC 训练的人也能很快进行编程。

## 2. CNC 系统的特点

(1) 灵活通用 CNC 系统硬件多数采用模块化结构,易于扩展,通过变换软件还可以满足被控设备的各种不同要求。接口电路的标准化大大方便了生产厂家和用户,用一种 CNC 系统就可以满足多种数控设备的要求。

(2) 数控功能多样化 CNC 系统利用计算机很强的运算能力,可以实现许多复杂的数控功能。如在线自动编程、加工过程的图形模拟、故障诊断、机器人控制以及使数控机床并入计算机网络等。

(3) 使用可靠、维修方便 由于采用大容量存储器存放零件程序,无需纸带阅读机直接参与加工,大大减少了故障率。另外,因为许多功能由软件实现,硬件所需元器件数目大为减少,提高了系统的性能和可靠性,特别是采用大规模和超大规模集成电路,集成度提高,硬件所需元器件数目进一步减少,系统的可靠性更为提高。CNC 系统的诊断程序可以提示故障部位,从而减少了维修的停机时间。其零件编辑功能对于编制程序十分方便,零件程序编好后能够显示程序,甚至可以通过空运行显示出刀具轨迹,检验程序的正确性。

(4) 易于实现机电一体化 由于 CNC 系统具有很强的通信功能,便于与 DNC、FMS 和 CIMS 系统进行通信联络。同时硬件元器件数目的减少及大规模集成电路的采用,使 CNC 系统结构更加紧凑,可与机床结合在一起。

## 五、CNC 系统常见故障分析

### 1. 电源接通后,LED 灯常亮,CNC 系统不能被起动

CNC 系统操作面板上的 LED 指示灯是 CNC 系统与操作者之间最直接的交流媒介,CNC 系统的工作状态可通过 LED 指示灯直接反映出来,观察 LED 指示灯是判断 CNC 系统正常运行和是否有故障的最直接手段。正常情况下,按下系统起动按钮的最初 6~7s 内,LED 指示灯频繁闪亮,然后熄灭,系统起动完成。如果 LED 指示灯常亮,则系统不能被起动,CRT 显示器也往往没有显示。可以考虑下述几方面原因:

- (1) CPU 硬件模块故障,需更换模块;
- (2) 模块中有跨接棒接错,需重接到正确位置;
- (3) 存储器模块故障,需更换模块;
- (4) 印刷总线板损坏,需更换总线板;
- (5) 机床数据错误,需调整数据;

(6) 起动芯片用错或损坏,需更换起动芯片。

## 2. 电源接通后 CRT 显示器无显示

CRT 显示器无画面显示多数由下面几方面原因导致:

- (1) 与 CRT 显示器有关的电缆连接不良,需重新检查电缆连接;
- (2) CRT 显示器输入电压不正常,需校正电压;
- (3) CRT 显示器显示单元或调节器损坏,需检查更换;
- (4) CRT 显示器本身有故障,需维修或更换 CRT 显示器;
- (5) 印刷总线板损坏,无视频信号输入,需更换总线板。

## 3. 机床不动作

导致机床不动作故障的原因很多,从 CNC 系统方面考虑,可能有下面几方面原因:

- (1) CNC 系统处于报警状态或急停状态,需解除故障后复位;
- (2) 参数设定错误,需更改参数;
- (3) CNC 系统复位按钮处于接通状态,需进行初始化。

## 第二节 电源装置

从电气角度看,数控机床最明显的特征就是用电气驱动替代了普通机床的机械传动,相应的主运动和进给运动由主轴电动机和伺服电动机带动完成,而电动机的驱动必须有相应的驱动装置及电源配置。数控机床的电源装置通常由电源变压器、机床控制变压器、断路器、熔断器和开关电源等组成。通过电源配置提供给数控机床各种电源,以满足不同负载的要求。

### 一、电源配置

#### 1. 工作原理

数控机床从供电线路上取得电源后,在电气控制柜中进行再分配,根据不同负载的性质和要求,为其提供不同容量的交、直流电压。图 6-6 为三菱 MELDAS 50 系列 CNC 系统及伺服驱动的电源配置。

动力电网的三相交流(380 V, 50 Hz)电源经断路器 QF1 引入,分别转换成驱动部分电源、冷却泵电源、控制变压器电源、直流电源和照明电源。由于三菱伺服驱动(包括主轴和进给)的驱动电压为三相交流 200 V,经断路器 QF2 和变压器 TC1 将三相交流 380 V 变换为三相交流 200 V。变压器 TC2 一是将单相 220 V 电源变换为单相 110 V 电源,用于交流接触器的线圈电压;二是变换为单相 100 V 电源,用于 CNC 系统 CRT 显示器的电源;三是变换为交流 24 V 电源,经整流器 UC1 和 UC2 输出直流 +24 V,分别用于机床操作面板上带灯显示按钮的电源和 CNC 系统的 I/O 单元电源。I/O 单元电源一方面用于中间继电器的线圈电压,另一方面用于接近开关电源和各类按钮及行程开关的对地电压。

#### 2. 保护环节

(1) 断路器 断路器相当于刀开关、熔断器、热继电器和欠电压继电器的组合,是一种既有手动开关作用又能自动进行欠电压、失电压、过载和短路保护的电器。在机床线路中,常用塑壳式断路器作为电源开关及控制和保护电动机频繁起动、停止的开关,其操作方式多为手动操作,

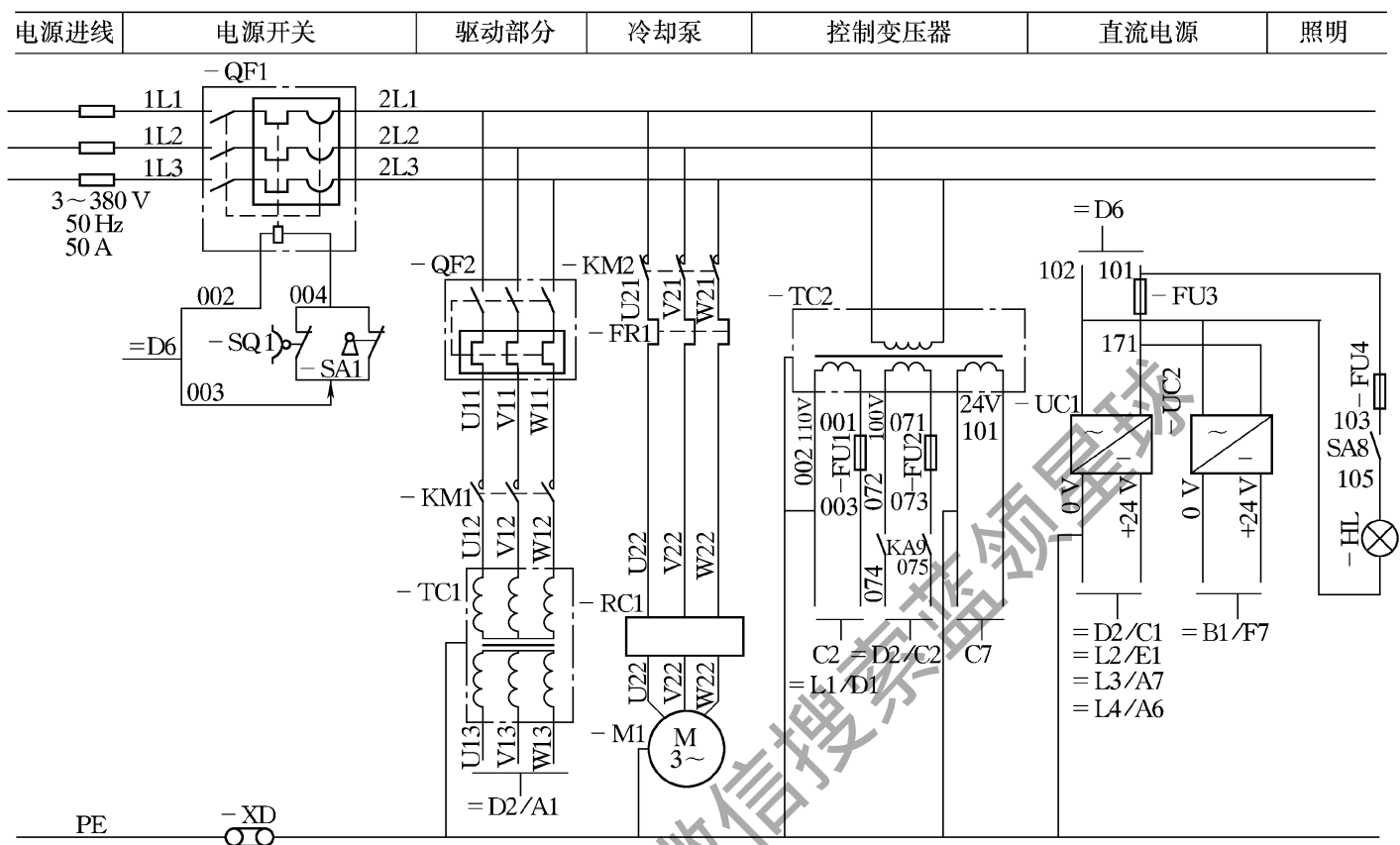


图 6-6 三菱 MELDAS 50 系列 CNC 系统及伺服驱动的电源配置示意图

主要有扳动式和按钮式两种。

(2) 熔断器 熔断器在配电线路中作为短路保护之用,当通过熔断器的电流大于规定值时,以它本身产生的热量使熔体熔化而自动分断电路,在数控机床的配电线路中常用螺旋式熔断器和扳动式熔断器。螺旋式熔断器有熔体熔断的信号指示装置,熔体熔断后,带色标的指示器弹出,便于发现更换。扳动式熔断器中的熔丝是否熔断可用万用表来检验。

## 二、电源装置常见故障分析

电网的电压波动、负载的对地短路等均会影响到电源的正常供给。当机床出现电源故障时,首先要查看熔断器、断路器等保护装置是否熔断或跳闸,找出故障的原因,如短路、过载等。另外,电源配置中接地的好坏直接影响到机床的正常运行和安全性,要检查接地排上接地端子连接是否紧固,接触是否良好。

### 1. 机床运行中停电或无法起动

从电源装置方面来看,故障原因多为电源指标没有达到而进行的自我保护。可通过电气原理图分析。

**例题 6-1** 图 6-7 为配备 FANUC 7 系统的数控机床直流稳压电源的监控原理图,在运行过程中产生丢电故障,试分析其故障原因。

分析:

按下电源起动按钮 SB10,交流接触器 KM10 吸合后,动合触点 KM11、KM12 闭合自锁,整机起动供电。接触器 KM11、KM12 通电的条件是:电源盘上的继电器 KA31 通电,使并接在

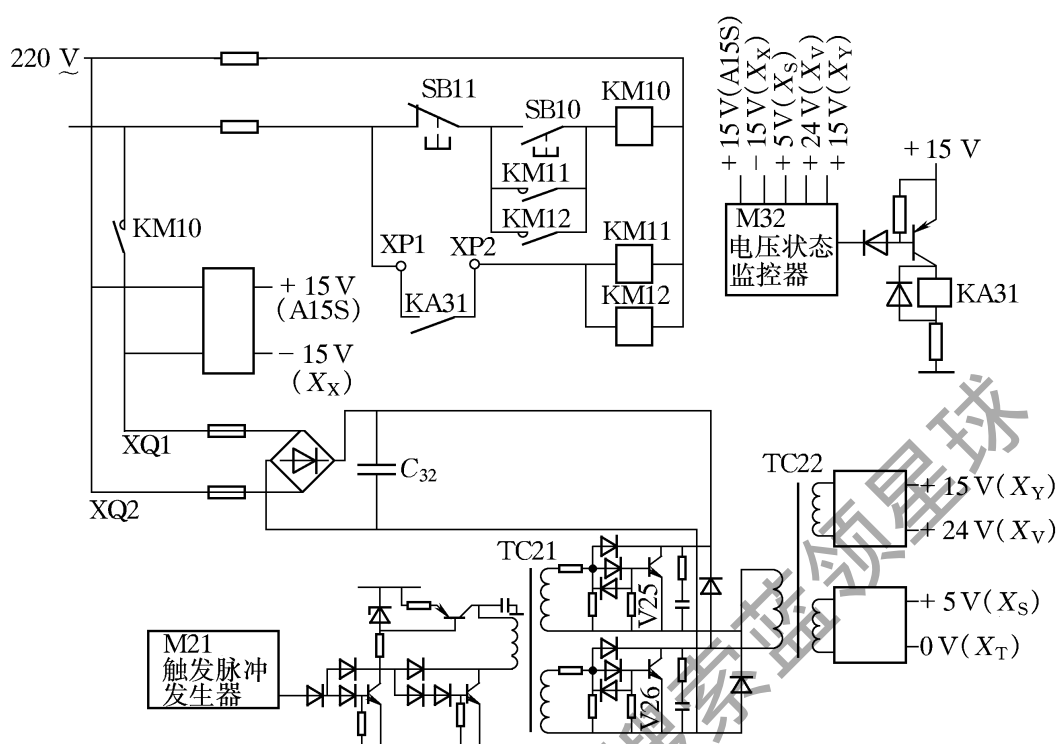


图 6-7 FANUC 7 系统直流稳压电源的监控原理图

XP2、XP1 端子上的动合触点 KA31 闭合后,才能使主触点 KM10 吸合后自锁。从图中看出,开关电源进电端 XQ1、XQ2 是通过主接触器 KM10 动合触点闭合后,接到交流 220 V 电源上的。继电器 KA31 受电压状态监控器 M32 控制,当电源板上输出直流电压 +15 V、-15 V、+5 V 及 +24 V 均正常时,KA31 继电器吸合正常,一旦有任何一项电压不正常时,KA31 继电器即释放,使主接触器 KM10 丢电释放,从而引起丢电故障。

要消除该故障,就要查找引起直流电压不正常的原因:

- (1) 检查输出端 A15S 的 +15 V、X<sub>x</sub> 的 -15 V、X<sub>v</sub> 的 +15 V、X<sub>v</sub> 的 +24 V 及 X<sub>s</sub> 的 +5 V 直流电压是否正常。
- (2) 检查电容器 C<sub>32</sub> 两端电压是否为 310 V,以说明供电电源是否正常。
- (3) 用示波器检查脉冲发生器 M21 是否有 20 kHz 触发脉冲输出。
- (4) 在变压器 TC21 一次线圈上能否测到波形。
- (5) 开关管 V25、V26 能否正常工作。

## 2. 负载对地短路

当一个电源同时供几个负载使用时,若其中一个负载发生短路,就可能引起其他负载的失电故障,这是电源装置最容易发生的故障之一。

**例题 6-2** 一台配备 SINUMERIK 810 系统的数控机床,当按下 CNC 系统起动按钮时,系统开始自检,在 CRT 显示器上出现基本画面时,CNC 系统马上失电,试分析其故障原因。

分析:

这种现象与 CNC 系统 +24 V 直流电压有关,当 +24 V 直流电压下降到一定数值时,CNC 系统采取保护措施,自动切断系统电源。由稳压电源输出的 +24 V 直流电压除了供 CNC 系统外,还作为行程开关的外部电源、中间继电器线圈及伺服电动机中电磁制动器线圈的驱动电源,

因此它们中的任何一个短路,均可使其他元件失电。在不通电的情况下,经测量确认 CNC 系统的电源模块、中间继电器线圈无短路或漏电现象。逐个断开 X、Y 和 Z 轴各两个行程开关共同的电源线时,CNC 系统供电正常,测量行程开关,确认没有对地短路现象。为进一步确认故障,将 6 个开关逐一接到电源上,处于工作状态。其中 X 轴和 Y 轴的行程开关接上电源后,CNC 系统供电正常。但 Z 轴的两个行程开关接到电源后,出现:

- (1) 主轴箱没有到达 +Z 和 -Z 方向的限位位置时,CNC 系统就供不上电。
- (2) 当主轴箱到达 +Z 或 -Z 限位位置并压上其中一个行程开关时,系统就能供上电。

本例机床 Z 轴伺服电动机配有电磁制动器,如图 6-8 所示。电磁制动器具有得电松开,失电制动的特性。分析 Z 轴的伺服条件,在正常运行的情况下,+Z 或 -Z 行程开关均未压上,PLC 的 I/O 模块输出 Q3-4 为“1”,中间继电器 KA3-4 线圈得电,KA3-4 触点闭合,电磁制动器 YB3-4 线圈得电,抱闸松开,Z 轴伺服电动机驱动。当碰到 +Z 或 -Z 其中一个行程开关时,Q3-4 为“0”,中间继电器 KA3-4 线圈失电,KA3-4 触点释放,电磁制动器 YB3-4 线圈失电,Z 轴伺服电动机制动。现 Z 轴两个行程开关未压上,YB3-4 线圈应得电,但 CNC 系统失电,而其中一个行程开关压上时,YB3-4 线圈应失电,但 CNC 系统供电正常,分析和故障现象相吻合。很显然,电磁制动器 YB3-4 线圈 +24 V 短路,从而引起 CNC 系统的失电,经测量 YB3-4 线圈对地电阻后,证实判断的正确性。

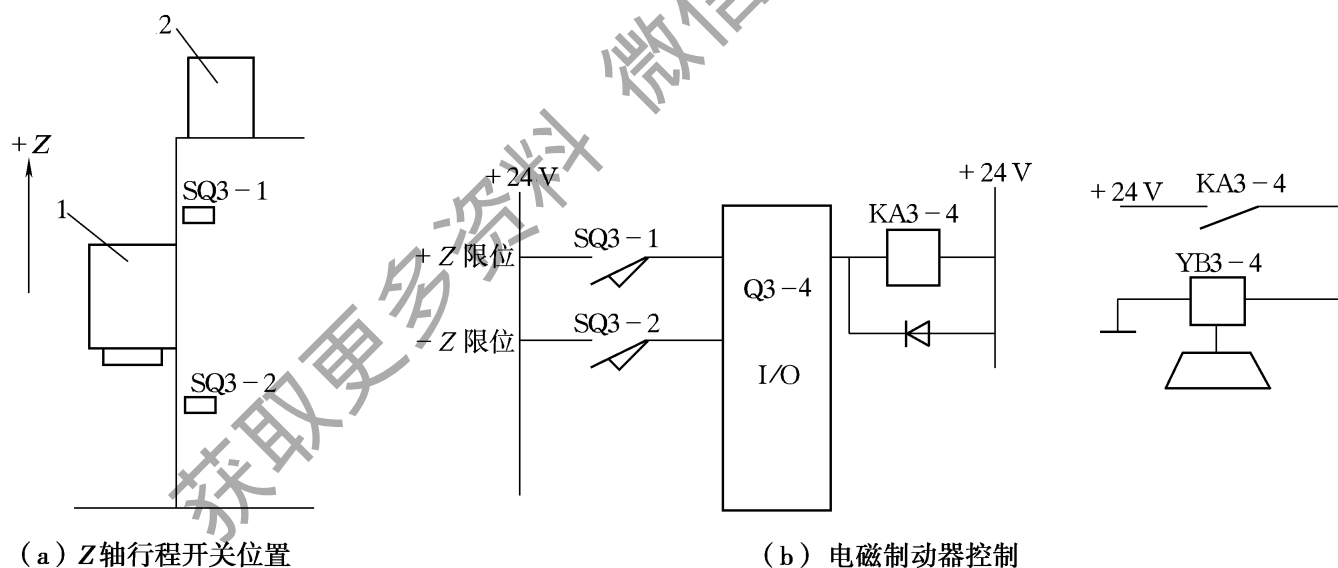


图 6-8 Z 轴伺服电动机电磁制动器的控制

1—主轴箱; 2—带电磁制动器的 Z 轴伺服电动机

### 第三节 伺服驱动系统

数控机床中的伺服驱动系统取代了传统机床的机械传动,是数控机床的重要特征之一,因此在一定意义上,伺服驱动系统的性能和可靠性决定了整台数控机床的性能和可靠性。位置伺服驱动系统是由驱动系统与 CNC 系统中的位置控制部分构成的。数控机床的驱动系统主要有两种:主轴驱动系统和进给驱动系统。从作用看,前者控制机床主轴旋转运动,后者控制机床各坐标的进给运动。不论是主轴驱动系统还是进给驱动系统,从电气控制原理来分都可分为直流驱



动和交流驱动系统。直流驱动系统在 20 世纪 70 年代初至 80 年代中期占据主导地位,这是由于直流电动机具有良好的调速性能,输出力矩大,过载能力强,精度高,控制原理简单,易于调整等。随着微电子技术的迅速发展,加之交流伺服电动机材料、结构及控制理论有了突破性的进展,又推出了交流驱动系统,标志着新一代驱动系统的开始。由于交流驱动系统保持了直流驱动系统的优越性,而且交流电动机维护简单,便于制造,不受恶劣环境影响,所以目前直流驱动系统已逐步被交流驱动系统所取代。

## 一、主轴驱动系统

数控机床要求主轴在很宽的范围内转速连续可调,恒功率范围宽。当要求机床有螺纹加工功能、准停功能和恒线速加工等功能时,就要对主轴提出相应的速度控制和位置控制要求。

### 1. 直流主轴驱动系统

由于直流调速性能的优越性,直流主轴电动机在数控机床的主轴驱动中得到广泛应用,主轴电动机驱动多采用晶闸管调速的方式。

#### (1) 工作原理

数控机床直流主轴电动机由于功率较大,且要求正、反转及停止迅速,故驱动装置通常采用三相桥式反并联逻辑无环流可逆调速系统,这样在制动时,除了缩短制动时间外,还能将主轴旋转的机械能转换成电能送回电网。

1) 主电路 图 6-9 为三相桥式反并联逻辑无环流可逆调速系统的主电路,逻辑无环流可逆系统是利用逻辑电路,使一组晶闸管在工作时,另一组晶闸管的触发脉冲被封锁,从而切断正、反两组晶闸管之间流通的电流。图 6-10 为逻辑无环流可逆系统的四象限运行示意图。其工作原理如下:

正组晶闸管 VT1 提供电动机顺时针驱动(正转)的电枢电流  $I_d$ ,若速度指令由正变负,即电动机由正转到反转过程中,正组晶闸管进入有源逆变状态,将电感储能逆变回送电网。由于此时逆变是发生在原来工作着的桥路上,故称为本桥逆变,此时仍处于电动机运行状态,因而电枢电流迅速衰减。当  $I_d$  回到零时,命令级电路使正组晶闸管 VT1 完全封锁,此时正、反组晶闸管均被封锁,电动机作惯性运转。在一个安全周期后,反组晶闸管 VT2 接通,进入有源逆变状态,电动势  $E$  大于电枢电压  $U_d$ ,通过反组晶闸管 VT2,机械能由电动机送回电网,电动机运行在发电制动状态,转速很快下降至零。由于此时逆变发生在原来封锁的桥路上,因而称为它桥逆变。如果反组在开放时处于整流状态,其整流电压与电动机电动势串联,形成电动机的电源反接制动,电流冲击很大。为此在反组开放前,在电流调节器的输入端加上一个从逻辑电路来的电压,习惯上称为推  $\beta$  环节,加入推  $\beta$  环节后,反组一开始就是发电制动,从而避免了反接制动造成的电流冲击,保证电动机从正转到反转过程中,电枢电流正向平稳下降至零再反向平稳上升。

当逆时针驱动(反转)时,晶闸管 VT2 作为整流器,晶闸管 VT1 作为逆变器,运行情况同正转,因此可四象限运行。

命令级电路的作用是防止正、反向两组晶闸管同时导通,它要检测电枢电路的电流是否到达零值,判别旋转方向命令,向逻辑电路提供正组或反组晶闸管允许开通信号,这两个信号是互斥的,由逻辑电路保证不同时出现。逻辑电路必须保证系统满足下述条件:

- ① 只允许向一组晶闸管提供触发脉冲。

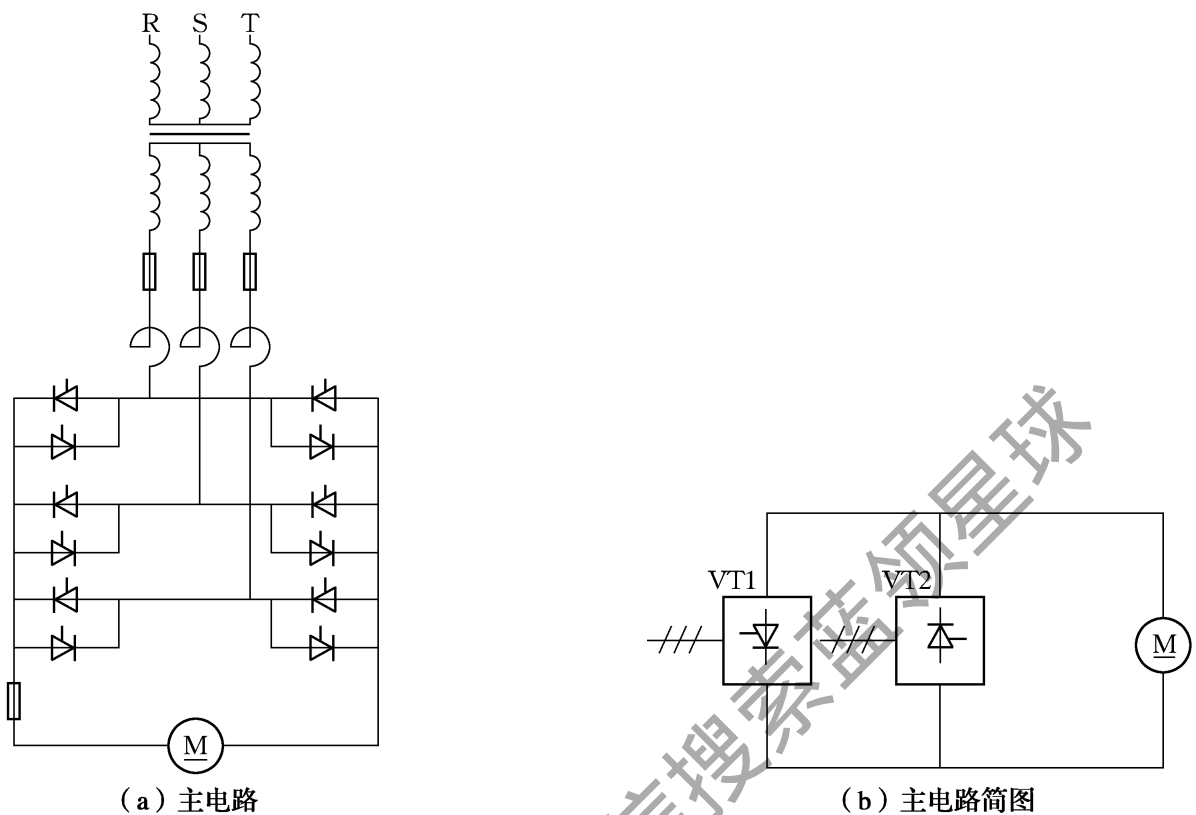


图 6-9 三相桥式反并联逻辑无环流可逆调速系统主电路

② 只有当工作的那一组晶闸管断流后才能撤销其触发脉冲,以防止晶闸管处于逆变状态时,未断流就撤销触发脉冲,以致出现逆变颠覆现象,造成故障。

③ 只有当原先工作的那一组晶闸管完全关断后,才能向另一组晶闸管提供触发脉冲,以防止出现过大的电流。

④ 任何一组晶闸管导通时,要防止晶闸管输出电压与电动机电势方向一致,导致电压相加,使瞬时电流过大。

逻辑无环流可逆调速系统除了用于数控机床直流主轴电动机的驱动外,还可用于功率较大的直流进给伺服电动机。

2) 控制电路 直流主轴电动机控制电路采用电流反馈和速度反馈的双闭环调速系统,其中内环是电流环,外环是速度环。主轴电动机为他励式直流电动机,励磁绕组与电枢绕组无连接关系,由另一路直流电源供电。图 6-11 为 FANUC 直流主轴电动机驱动控制示意图。

磁场控制电路由励磁电流设定回路、电枢电压反馈回路及励磁电流反馈回路组成,电枢电压与电枢电压经比较后控制励磁电流。以 FANUC 直流主轴电动机为例,当电枢电压低于 210 V,电枢反馈电压低于 6.2 V 时,磁场控制回路中电枢电压反馈相当于开路不起作用,只有励磁电流反馈起作用,维持励磁电流不变,实现调压调速;当电枢电压高于 210 V,电枢反馈电压高于 6.2 V 时,励磁电流反馈相当于开路不起作用,而引入电枢反馈电压。随着电枢电压的稍许提高,调节器对磁场电流进行弱磁升速,使转速上升。这样,通过速度指令,电动机转速从最小值到额定值对应电动机电枢的调压调速,实现恒转矩控制;从额定值到最大值对应电动机励磁电流减小的调磁调速,实现恒功率控制。

## (2) 工作特点

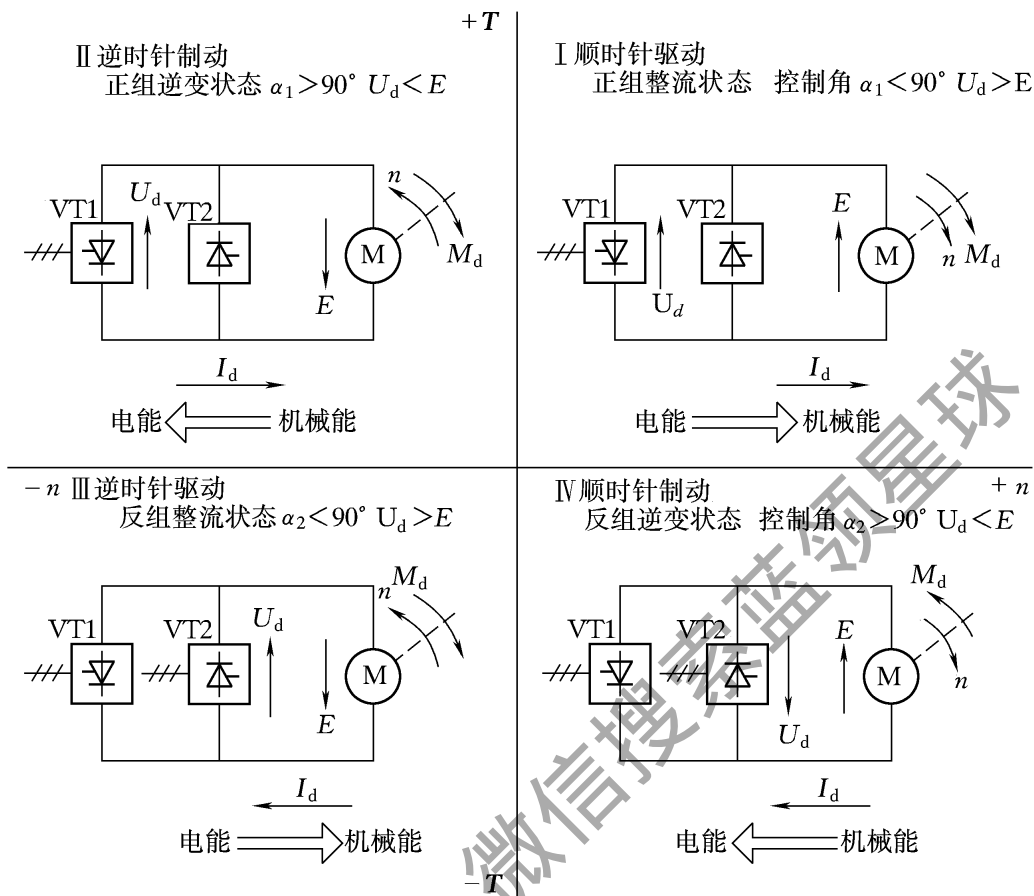


图 6-10 逻辑无环流可逆系统的四象限运行示意图

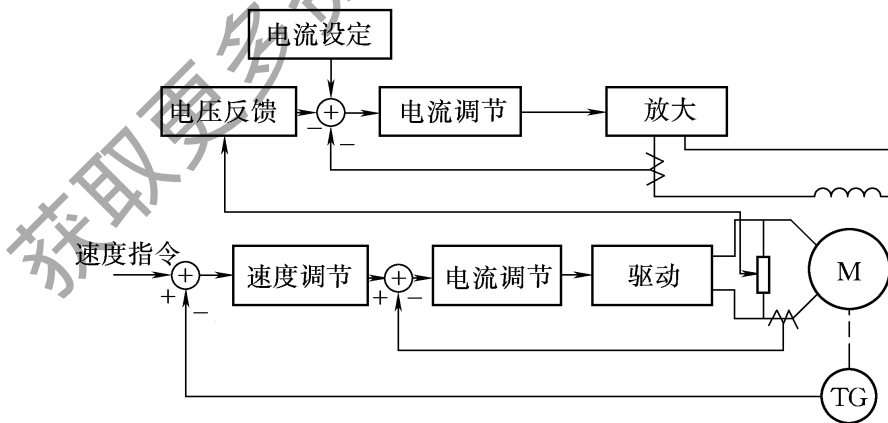


图 6-11 FANUC 直流主轴电动机驱动控制示意图

直流主轴驱动装置双闭环调速系统以速度调节器的输出作为电流调节器的给定信号来控制电动机的电流和转矩。其优点在于：可以根据速度指令的模拟电压信号与实际转速反馈电压的差值及时控制电动机的转矩，以便尽快地使电动机的转速达到给定值；而当转速接近给定值时，又能使电动机的转矩自动地减小，这样可以避免过大的超调，保证转速稳态无静差。当系统受到外界干扰时，电流环能迅速做出抑制干扰的响应，保证系统具有最佳的加速和制动的特性。另外，双闭环调速系统以速度调节器的输出作为电流调节器的输入给定值，速度调节器的输出限幅值就限定了电流环中的电流。在电动机起动或制动过程中，电动机转矩和电枢电流急剧增加，

使电动机以最大转矩加速,转速直线上升。当电动机的转速达到给定值时,速度调节器的输出从限幅值降下来,作为电流调节器的输入给定值使电枢电流降下来,随之电动机的转矩也将下降,开始减速。当电动机的转速小于负载转矩时,电动机又会加速直到重新回到速度给定值。因此双闭环直流调速系统对主轴的快速起停、保持稳定运行等功能是很重要的。

**例题 6—3** 某加工中心采用直流主轴电动机、逻辑无环流可逆调速系统。起动时有“咔、咔”的冲击声,电动机换向片上有轻微的火花,起动后,无明显的异常现象;用 M05 指令使主轴停止运转时,换向片上出现强烈的火花,同时伴有“叭、叭”的放电声,随即交流回路的保险丝熔断。火花的强烈程度与电动机的转速有关,转速越高,火花越大,起动时的冲击声也越明显。用急停方式停止主轴,换向片上没有任何火花。

分析:

该机床的主轴电动机有两种制动方式:

(1) 电阻能耗制动,只用于急停。

(2) 回馈制动用于正常停机。主轴直流电动机驱动系统是一个逻辑无环流可逆控制系统,任何时候不允许正、反两组晶闸管同时工作,制动过程为“本桥逆变—电流为零—它桥逆变制动”。

根据故障特点,急停时无火花,而用 M05 指令时有火花,说明故障与逆变电路有关。它桥逆变时,电动机运行在发电机状态,导通的晶闸管始终承受着正向电压,这时晶闸管触发控制电路必须在适当时刻使导通的晶闸管受到反压而被迫关断。若是漏发或延迟了触发脉冲,已导通的晶闸管就会因得不到反压而继续导通,并逐渐进入整流状态,其输出电压与电动势成顺极性串联,造成短路,引起换向片上出现火花、熔丝熔断的故障。同理,起动过程中的整流状态,若漏发触发脉冲,已导通的晶闸管会在经过自然换向点后自行关断,这将导致晶闸管输出断续,造成电动机起动时的冲击,因此,本故障是由晶闸管的触发电路故障引起的。

**例题 6—4** 某加工中心主轴在运转时抖动,主轴箱噪声增大,影响加工质量。经检查,主轴箱和直流主轴电动机正常,为此把检查转移到主轴电动机的控制系统上来。

分析:

经测试,速度指令信号正常,而速度反馈信号出现不应有的脉冲信号,问题出在速度检测元件即测速发电机上。

当主轴电动机运转时,带动测速发电机转子一起运转,这样测速发电机输出功率正比于主轴电动机的直流反馈电压。经检查,测速发电机碳刷完好,但换向器因碳粉堵塞,而造成一绕组断路,使得测速反馈信号出现规律性的脉冲,导致速度调节系统调节不平稳,使驱动系统输出的电流忽大忽小,从而造成电动机轴的抖动。用酒精清洗换向器,彻底消除碳粉,即可排除故障。

## 2. 交流主轴驱动系统

随着交流调速技术的发展,目前数控机床的主轴驱动多采用交流主轴电动机配变频器控制的方式。变频器的控制方式从最初的电压空间矢量控制(磁通轨迹法)到矢量控制(磁场定向控制),发展至今为直接转矩控制,从而能方便地实现无速度传感器化;脉宽调制(PWM)技术从正弦 PWM 发展至优化 PWM 技术和随机 PWM 技术;功率器件由 GTO、GTR、IGBT 发展到智能模块 IPM,功能得到进一步完善。

(1) 工作原理

以西门子 6SC650 系列交流主轴驱动系统为例进行分析。西门子 6SC650 系列交流主轴驱动装置由 1PH5、1PH6 系列交流主轴电动机与晶体管脉宽调制变频器组成数控机床的主轴驱动系统,可实现主轴自动变速、主轴定位控制和主轴 C 轴进给。图 6-12 为西门子 6SC650 系列交流主轴驱动装置原理图。图 6-13 所示为 6SC650 系列主轴驱动系统组成。

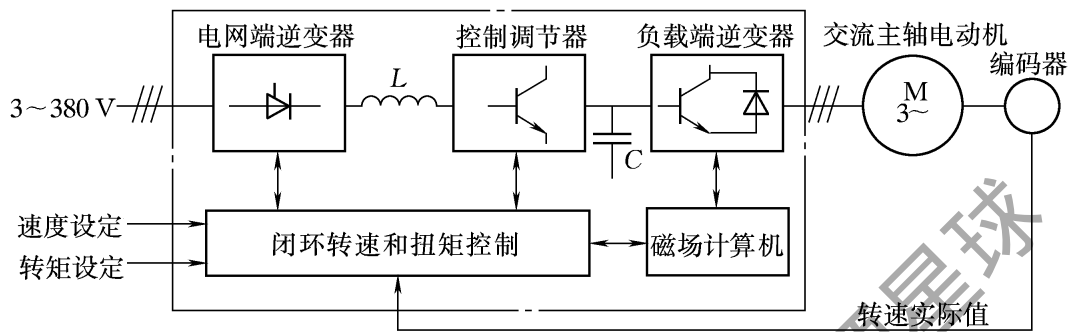


图 6-12 西门子 6SC650 系列交流主轴驱动装置原理图

1) 电网端逆变器 电网端逆变器是由六只晶闸管组成的三相桥式全控整流电路,通过对晶闸管导通角的控制,既可工作在整流方式,向中间电路直接供电,也可工作于逆变方式,完成能量反馈电网的任务。

2) 控制调节器 控制调节器将整流电压从 535 V 上调到  $575 \text{ V} \pm 575 \text{ V} \times 2\%$ ,并在变流器逆变工作方式时,完成电容器 C 对整流电路的极性变换。

3) 负载端逆变器 负载端逆变器由带反并联续流二极管的 6 只功率晶体管组成。通过磁场计算机的控制,负载端逆变器输出三相正弦脉宽调制 (SPWM) 电压,使电动机获得所需的转矩电流和励磁电流。输出的三相 SPWM 电压幅值控制范围为  $0 \sim 430 \text{ V}$ ,频率控制范围为  $0 \sim 300 \text{ Hz}$ 。在回馈制动时,电动机能量通过交流器的 6 只续流二极管向电容器 C 充电,当电容器 C 上的电压超过 600 V 时,就通过控制调节器和电网端交流器把电容器 C 上的电能经过逆变器回馈给电网。6 只功率晶体管有 6 个互相独立的驱动级,通过对各功率晶体管的监控,可以防止电动机过载以及对电动机绕组匝间进行短路保护。

4) 编码器 电动机的实际转速是通过装在电动机轴上的编码器进行测量的。

5) 闭环转速和扭矩控制 闭环转速和扭矩控制以及磁场计算机是由两片 16 位分数处理器 (80186) 所组成的控制组件完成的。

## (2) 组件

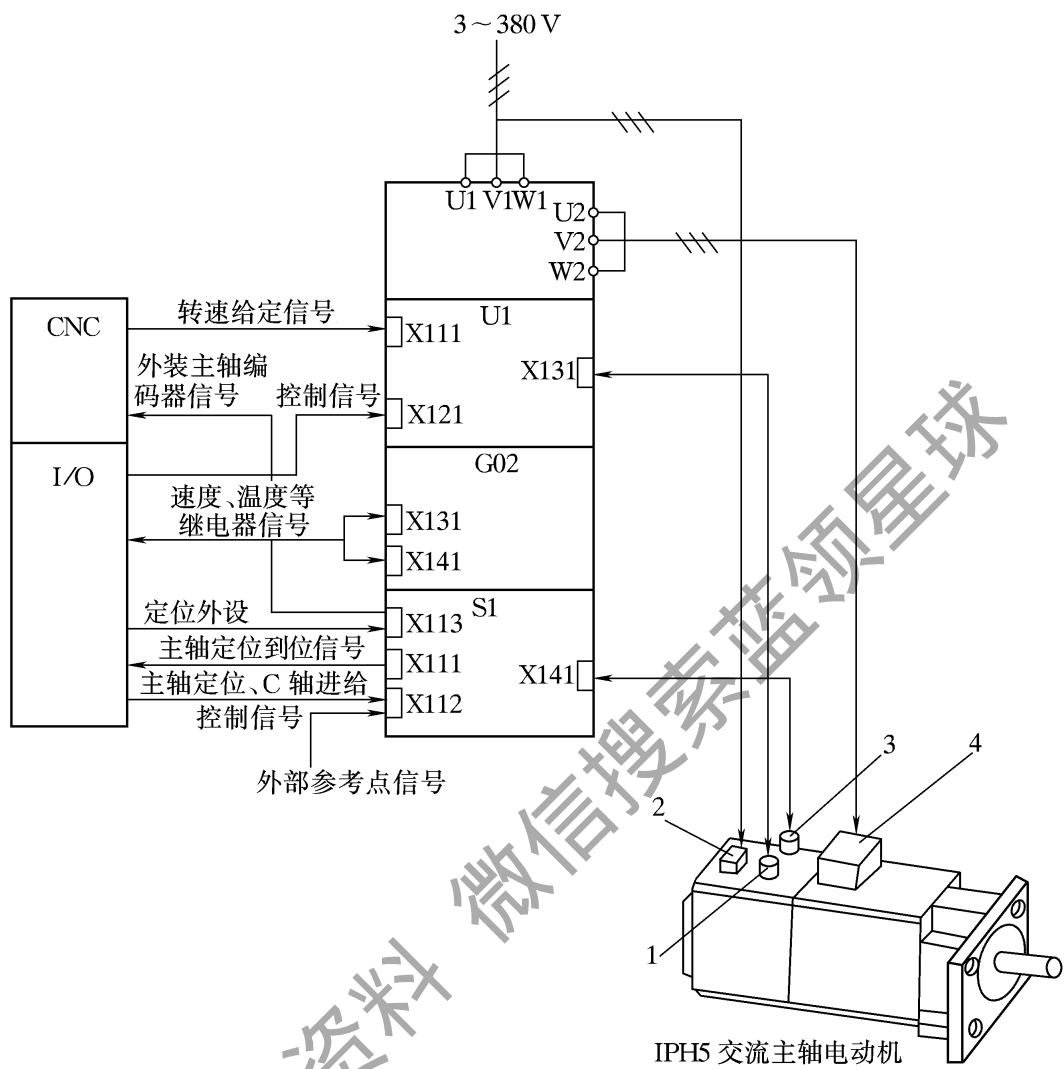
对于大功率的 6SC6504 至 6SC6520 变频器 (输出电流 40/200 A),其功率部件是安装在散热器上的;对于较小功率的 6SC650 系列交流主轴驱动变频器 (输出电流 20/30 A),其功率部件是安装在印制线路板 A1 上的,如图 6-13 (b) 所示,主要组件如下:

1) 控制模块 (N1) 控制模块 (N1) 包括两片 80186,五片 EPROM。完成电网端逆变器的触发脉冲控制、矢量变换计算以及对变频器进行 PWM 调制。

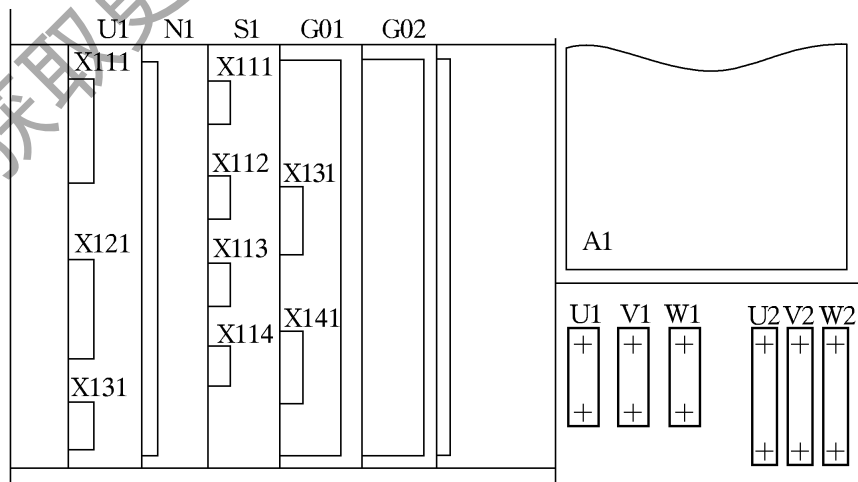
2) I/O 模块 (U1) I/O 模块 (U1) 通过  $U/f$  变换器为 N1 组件处理各种 I/O 模拟信号。

3) 电源模块 (G01) 电源模块 (G01) 和中央控制模块 (G02) 除供给控制电路所需的各种电源外,在中央控制模块 (G02) 上还输出各种继电器信号至数控系统进行控制。

4) 选件 (S1) 选件 (S1) 配置主轴定位电路板或 C 轴进给控制电路板,通过内装轴端编码器



(a) 接线图



(b) 组件

图 6-13 6SC650 系列主轴驱动系统组成

1—用于测速的编码器及电动机温控插座；2—风扇接线盒；  
3—用于定位的轴端编码器；4—主轴电动机三相电源接线盒

或外装轴端编码器对主轴进行定位或 C 轴控制。

### (3) 工作特点

西门子 6SC650 系列交流主轴驱动系统具备开关速度快、驱动电流小、控制驱动简单、效率高、噪声小、故障率低、有效控制干扰等优点。

## 3. 常用主轴驱动系统介绍

### (1) FANUC 公司主轴驱动系统

从 1980 年开始,该公司已使用了交流主轴驱动系统,直流驱动系统已被交流驱动系统所取代。目前三个系列交流主轴电动机为:S 系列电动机,额定输出功率范围 1.5~37 kW;H 系列电动机,额定输出功率范围 1.5~22 kW;P 系列电动机,额定输出功率范围 3.7~37 kW。该公司交流主轴驱动系统的特点为:

- ① 采用微处理器控制技术,进行矢量计算,从而实现最佳控制。
- ② 主电路采用晶体管 PWM 逆变器,使电动机电流非常接近正弦波形。
- ③ 具有主轴定向控制、数字和模拟输入接口等功能。

### (2) SIEMENS 公司主轴驱动系统

SIEMENS 公司生产的直流主轴电动机有 IGG5、IGE5、IGL5 和 IGH5 四个系列,与上述四个系列电动机配套的 6RA24、6RA27 系列驱动装置采用晶闸管控制。20 世纪 80 年代初期,该公司又推出了 1PH5 和 1PH6 两个系列的交流主轴电动机,功率范围为 3~100 kW。驱动装置为 6SC650 系列交流主轴驱动装置或 6SC611A 主轴驱动模块,主电路采用晶体管 SPWM 变频控制的方式,具有能量再生制动功能。另外,采用微处理器 80186 可进行闭环转速、转矩控制及磁场计算,从而完成矢量控制。通过选件可实现 C 轴进给控制,在不需要 CNC 系统的帮助下,实现主轴的定位控制。

## 二、进给驱动系统

### 1. 工作原理

数控机床进给驱动系统由各坐标轴的进给驱动装置、位置检测装置及机床进给传动链等组成,进给驱动系统的任务就是要完成各坐标轴的位置控制。CNC 系统根据输入的程序指令及数据,经插补运算后得到位置控制指令,同时,位置检测装置将实际位置检测信号反馈至 CNC 系统,构成全闭环或半闭环的位置控制。经位置比较后,数控系统输出速度控制指令至各坐标轴的驱动装置,经速度控制单元伺服驱动电机带动滚珠丝杠传动实现进给运动。

### 2. 常用进给驱动系统介绍

#### (1) FANUC 公司进给驱动系统

从 1980 年开始,FANUC 公司陆续推出了小惯量 L 系列、中惯量 M 系列和大惯量 H 系列直流伺服电动机。FANUC 公司在 20 世纪 80 年代中期推出了晶体管 PWM 控制的交流驱动单元和永磁式交流同步电动机,驱动装置有  $\alpha$  系列交流驱动单元等,电动机有 S 系列电动机、H 系列电动机、SP 系列电动机和 T 系列电动机。

#### (2) SIEMENS 公司进给驱动系统

SIEMENS 公司在 20 世纪 70 年代推出了 1HU 系列永磁式直流伺服电动机,与其配套的速度控制单元有 6RA20 和 6RA26 两个系列,前者采用晶体管 PWM 控制,后者采用晶闸管控制。之后,该公司又推出了交流驱动装置,由 6SC610 系列驱动装置和 6SC611A 系列驱动模块、1FT5

和 1FT6 系列永磁式交流同步电动机组成。

### 三、伺服驱动系统的常见故障分析

当伺服驱动系统发生故障时,通常有三种表现形式:一是在 CRT 显示器或操作面板上显示报警内容或报警信息;二是在驱动装置上用报警灯或数码管显示驱动装置的故障;三是主轴工作不正常,但无任何报警信息。伺服驱动系统常见故障分析如下:

#### 1. 主轴电动机不转

- (1) 主轴电动机故障,需维修或更换;
- (2) 主轴驱动装置故障,需维修或更换;
- (3) CNC 系统无速度控制信号输出,需检查接口及 CNC 系统排除故障;
- (4) 润滑、冷却等主轴的起动条件不满足,需维修或更换油液。

#### 2. 主轴驱动出现随机和无规律性的波动

- (1) 外界电磁干扰使主轴转速指令信号或反馈信号受到干扰,需消除电磁干扰源;
- (2) 屏蔽和接地措施不良,需检查并调整;
- (3) 零点漂移,需调整零速平衡和漂移补偿。

#### 3. 主轴异常噪声及振动

首先要区别异常噪声及振动发生在主轴机械部分还是在电气驱动部分。如为电气驱动部分故障,可能由以下原因导致:

- (1) 交流驱动装置电路故障,需检查电路并维修;
- (2) 主轴驱动装置未调整好,需重新调整;
- (3) 测速装置故障,需维修或更换。

#### 4. 主轴定位抖动

主轴准停用于刀具交换、精镗退刀及齿轮换挡等场合,有机械准停控制、磁性传感器的电气准停控制及编码器型的准停控制三种实现方式。主轴定位抖动可能由以下原因导致:

- (1) 减速或增益等参数设置不当,需重新设置参数;
- (2) 定位液压缸活塞移动的限位开关失灵,需更换限位开关;
- (3) 发磁体和磁传感器之间的间隙发生变化,需调整间隙;
- (4) 磁传感器失灵,需更换磁传感器。

#### 5. 进给运动停止,主轴仍继续运转

当进行螺纹切削或用每转进给指令切削时,会出现这样的故障。可能由以下原因导致:

- (1) 主轴编码器故障,需检查和维修;
- (2) 脉冲的反馈信号丢失,需检查输入/输出接口;
- (3) 增益等参数设置不当,需重新设置参数。

#### 6. 转速偏离指令值

(1) 电动机过载,需调整切削用量或更换电动机;

(2) CNC 系统输出的主轴转速模拟量没有达到与转速指令对应的值,需调整 CNC 系统输出电压;

- (3) 测速装置有故障或速度反馈信号断线,需检查更换或重接;



(4) 主轴驱动装置故障,需检查定位并维修。

## 7. 电动机过载

(1) 切削用量过大,需调整或重新设置切削用量;

(2) 频繁正、反转引起主轴电动机过热,需停机使电动机冷却。

## 第四节 位置检测装置

驱动系统与位置检测装置构成位置伺服驱动系统。伺服驱动系统如果离开了高精度的位置检测装置,就满足不了数控机床的要求。位置精度要求不高的数控机床,开环系统即可满足要求,位置精度要求较高时,一般采用闭环系统。位置闭环控制系统采用一个或多个检测装置(常称传感器)测出工作机构的实际位置,并将实际位置输入 CNC 系统,和预先给定的理想位置相比较得到一个差值,根据差值,CNC 系统向伺服驱动系统发出相应的控制指令。伺服电机带动工作机构向理想位置趋近,直到差值为零时,工作机构停止动作。可见,位置检测元件是闭环控制系统中的重要组成元件。数控机床全部采用电传感器性质的位置检测元件,即能将被测对象的位置变化量转化成电信号,经数字化处理后再送入计算机。位置检测包括直线位置检测和旋转位置检测。常用的旋转位置检测元件有旋转变压器、光电盘和光电编码器等。常用的直线位置检测元件有光栅、磁尺和感应同步器等。

### 一、旋转变压器

#### 1. 工作原理

旋转变压器是一种旋转式的交流电机,其工作原理如图 6-14 所示。

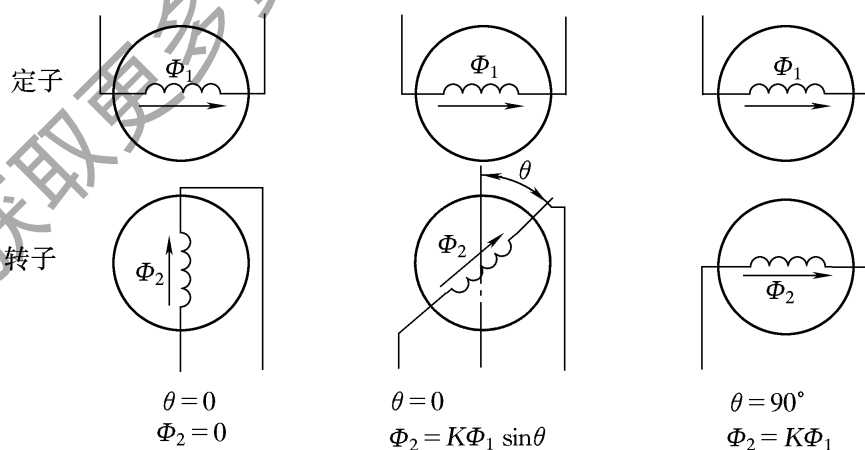


图 6-14 旋转变压器工作原理

旋转变压器由定子和转子组成。定子绕组为变压器的一次侧,转子绕组为变压器的二次侧。旋转变压器二次侧的输出电压随转子转角的位置不同而变化。励磁电压  $U_1$  接在变压器的二次侧,励磁频率通常为 400 Hz、500 Hz、1 000 Hz、2 000 Hz 或 5 000 Hz。当励磁电压加在定子绕组上时,通过电磁耦合,在转子绕组中产生感应电动势。转子的位置不同,产生的感应电动势值也不同。转子绕组与定子绕组互相垂直,即转子的偏转角为零时,转子绕组感应电动势为零;转子绕组转到与定子绕组平行时,转子绕组中产生的感应电动势最大。

## 2. 工作特点

旋转变压器的输出电压与转子的角位移有固定的正弦或余弦函数关系,只要检测出其输出电压的大小,即可测得转子转过的角度,因此旋转变压器是一种角位移检测装置。一般用于精度要求不高或大型机床的粗测及中测系统。

## 二、光电盘

### 1. 工作原理

光电盘结构如图 6-15 所示,其工作原理如下:

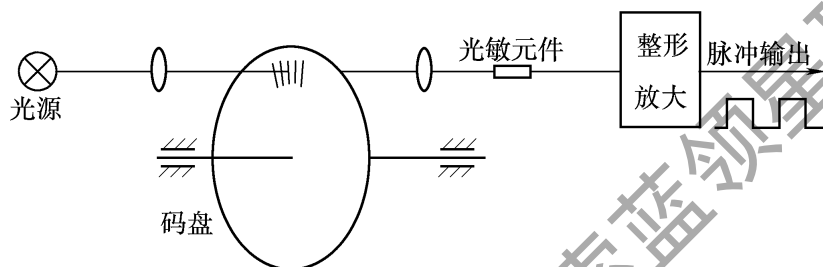


图 6-15 光电盘结构示意图

在码盘的边缘上开有间距相等的透光窄缝隙,在码盘的两侧分别安装光源与光敏元件。当码盘随被测工作轴一起旋转时,每转过一个缝隙就发生一次光线的明暗变化,使光敏元件的电阻值改变,这样就把光线的明暗变化转变成电信号的强弱变化。然后,经放大、整形处理后,光电盘输出脉冲信号。脉冲的个数等于转过的缝隙数。如果将脉冲信号送到计数器中计数,计数显示就反映了码盘转过的角度。为了判别旋转方向,可在码盘两侧再装一套光电转换装置。两套光电转换装置的相对位置应能保证两者所产生的电信号在相位上相差  $1/4$  周期,经辨向逻辑电路处理,可判别旋转方向。

### 2. 工作特点

光电盘是一种角位移检测装置,光电盘读数方法测得的角度值都是相对于上一次读数的增量值,而不能反映工作轴的绝对位置,所以还属于一种增量式角位移检测装置。

## 三、光电编码器

### 1. 工作原理

光电编码器的结构原理如图 6-16 (a) 所示,图 (b) 为其结构图。

在 6-16 图 (a) 中,码盘上有 4 条码道。所谓码道就是码盘上的同心圆。按照二进制分布规律,把每条码道加工成透明和不透明相间的形式。码盘的一侧安装光源,另一侧安装一排径向排列的光电管,每个光电管对准一条码道。当光源照射码盘时,如果是透明区,则光线被光电管接收,并转变成电信号,输出信号为“1”;如果是不透明区,光电管不能接收光线,输出信号为“0”。被测工作轴带动码盘旋转时,光电管输出的信息即代表了轴的对应位置。

### 2. 工作特点

光电编码器是目前使用最广泛的角位移检测装置,码盘采用绝对值编码。码道越多,能分辨的最小角度越小。4 位二进制码盘能分辨的最小角度为  $22.5^\circ$ ,目前,码盘码道可做到 18 条,能

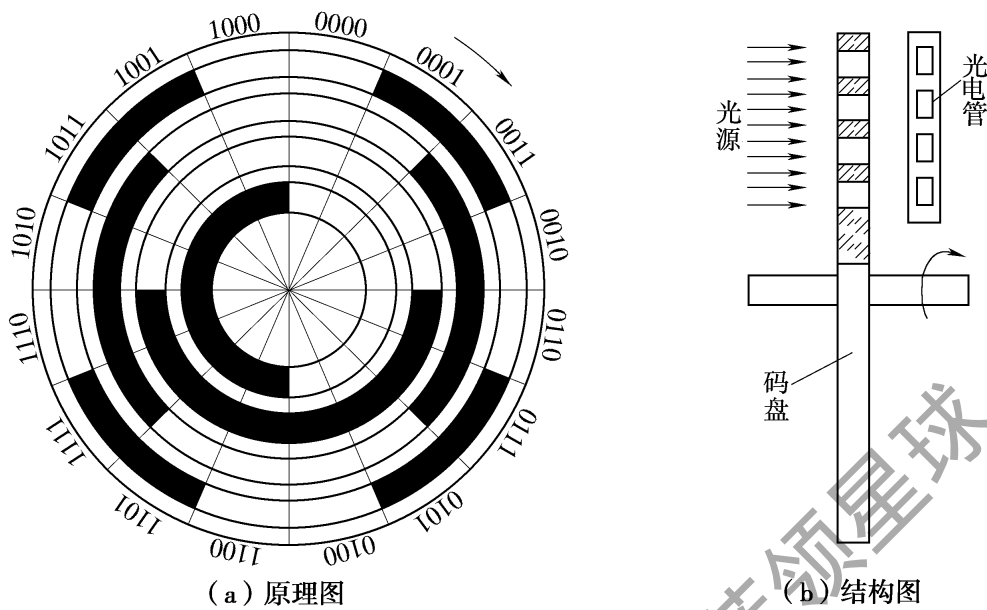


图 6-16 光电编码器的结构原理图

分辨的最小角度可达到  $0.001^\circ$  左右。

#### 四、光栅尺

##### 1. 工作原理

光栅尺是利用光的透射、衍射现象制成的光电检测元件,也称光电脉冲发生器。它主要由标尺光栅和光栅读数头两部分组成。光栅读数头是由光源、透镜、指示光栅、光敏元件和检测电路组成的。

(1) 标尺光栅和指示光栅 标尺光栅和指示光栅是刻有均匀密集线纹的透明玻璃片或长条形金属镜面,通常,标尺光栅固定在机床活动部件上(如工作台或丝杠上)。同一光栅检测装置,其标尺光栅和指示光栅的线纹密度必须相等。这些线纹相互平行,线纹之间的距离相等,该间距称为栅距,栅距是决定光栅性质的基本参数。常用的透射光栅尺条纹密度有 25 条/mm、50 条/mm、100 条/mm 和 250 条/mm 四种,某些特殊用途的光栅可达 1 000 条/mm。

(2) 光栅读数头 光栅读数头装在机床的固定部件上(如机床底座上)。图 6-17 为光栅读数头的组成原理图。

当工作台移动时,标尺光栅和光栅读数头产生相对移动。读数头光源采用白炽灯泡,白炽灯泡发出辐射光线,经过透镜后变为平行光束,照射光栅尺。光敏元件接收透过光栅尺的光强信号,并将其转换成相应的电压信号。由于光敏元件产生的电压信号比较微弱,在长距离传递时,很容易被各种干扰信号淹没,造成传递失真,所以,首先应将电压信号进行电压和功率放大。电子细分电路的作用就是对光敏元件输出的信号进行电压和功率放大。

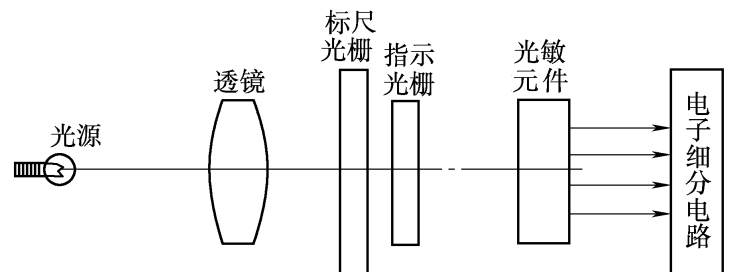


图 6-17 光栅读数头的组成原理图

由于光敏元件产生的电压信号比较微弱,在长距离传递时,很容易被各种干扰信号淹没,造成传递失真,所以,首先应将电压信号进行电压和功率放大。电子细分电路的作用就是对光敏元件输出的信号进行电压和功率放大。

(3) 摩尔条纹 光栅读数是利用摩尔条纹的形成原理进行的。摩尔条纹形成原理如图

6—18所示。

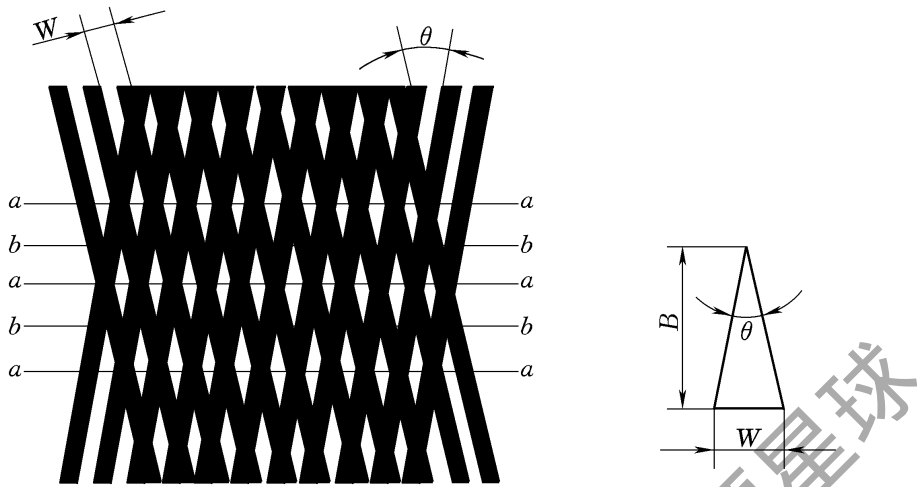


图 6—18 摩尔条纹形成原理

将指示光栅和标尺光栅叠合在一起,中间保持 0.01~0.1 mm 的间隙,并使指示光栅和标尺光栅的线纹相互交叉保持一个很小的夹角  $\theta$ ,如图所示。当光源照射光栅时,在  $a-a$  线上,两块光栅的线纹彼此重合,形成一条横向透光亮带;在  $b-b$  线上,两块光栅的线纹彼此错开,形成一条不透光的暗带。这些横向明暗相间出现的亮带和暗带就是摩尔条纹。两条暗带或两条亮带之间的距离叫摩尔条纹的间距  $B$ ,设光栅的栅距为  $W$ ,两光栅线纹的夹角为  $\theta$ ,因为夹角  $\theta$  很小,所以可近似认为  $\sin(\theta/2) = \theta/2$ ,则摩尔条纹的间距  $B$ 、光栅的栅距  $W$  以及两光栅线纹的夹角  $\theta$  三者之间的关系为:

$$B = \frac{W}{\theta}$$

由上式可知,  $\theta$  越小,  $B$  越大,相当于把栅距  $W$  扩大了  $1/\theta$  倍后,转化为摩尔条纹间距  $B$ 。例如:栅距  $W=0.01$  mm, 夹角  $\theta=0.001$  rad, 则摩尔条纹的间距  $B=10$  mm。这说明,不需要复杂的光学系统和电子系统处理,就可以把光栅的栅距  $W$  放大 1 000 倍并转变成横向移动的摩尔条纹。不难理解,如果两块光栅相对移动一个栅距,则光栅某一固定点的光强按明—暗—明规律变化一个周期,即摩尔条纹移动了一个摩尔条纹的间距。因此,光电元件只要读出移动的摩尔条纹数目,就可以知道光栅移动了多少栅距,也就知道了运动部件的准确位移量。

## 2. 工作特点

光栅尺是数控机床常用的检测元件,具有精度高、响应速度较快等优点,是一种非接触式检测装置。但它对外界环境条件要求高,使用时应注意加强维护和保养。

## 五、磁尺测量装置

### 1. 工作原理

磁尺测量装置是将一定波长的方波和正弦波信号用记录磁头记录在用磁性材料制成的磁性标尺上,作为测量基准。磁尺测量装置由磁性标尺、拾磁磁头和检测电路组成。磁性标尺由磁性标尺基体和磁性膜两部分构成,磁性膜上有用录磁方法录制的波长为  $A$  的磁波;拾磁磁头是进行磁电转换的元件,它将反映位置变化的磁化信号测出来,转换成电信号送给检测电路。在测量时,拾磁磁头相对磁性标尺移动,将磁性标尺上的磁化信号转换成电信号,再送到检测电路中

去,把拾磁磁头相对于磁性标尺的位置或位移量用数字显示出来或转换成控制信号输送到 CNC 系统。

### 2. 工作特点

磁尺测量装置的磁性标尺和拾磁磁头容易受到磁场的影响,使用时应避免撞击和外界电磁干扰,防止其磁性减弱,影响测量。

## 六、感应同步器

### 1. 工作原理

感应同步器是一种电磁式位置检测元件。按其结构特点一般可分为直线式和旋转式两种。直线式感应同步器由定尺和滑尺组成,用于直线位移量的检测;旋转式感应同步器由转子和定子组成,用于角度位移量的检测。下面以直线式感应同步器为例,介绍其工作原理。

感应同步器的结构如图 6-19 所示,其定尺和滑尺的基极采用与机床热膨胀系数相近的钢板制成,钢板上用绝缘粘结剂贴有铜箔,并利用腐蚀的办法做成图示矩形绕组。长尺叫定尺,短尺叫滑尺。标准感应同步器定尺长度为 250 mm,滑尺长度为 100 mm。使用时定尺安装在固定部件上(如机床床身上),滑尺装在运动部件上。如果测量长度超过 170 mm 时,可将几根定尺接长使用。

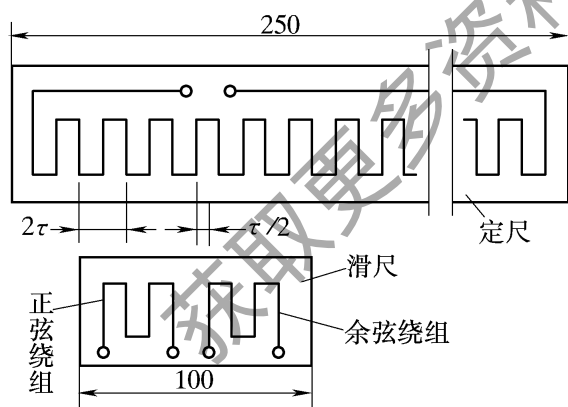


图 6-19 感应同步器结构

定尺		
滑尺位置	A 点	
	B 点	1/4 →
	C 点	1/2 →
	D 点	3/4 →
	E 点	1 节距 →
感应电动势		

图 6-20 滑尺相对定尺移动时定尺绕组感应电动势变化

由图 6-19 可以看出,定尺绕组是连续的,而滑尺上分布两个励磁绕组,分别称为正弦绕组(sin 绕组)和余弦绕组(cos 绕组)。感应同步器的定尺和滑尺上矩形绕组的节距相等,均为  $2\tau$ ;但是,滑尺上正弦绕组和余弦绕组在长度方向上相差  $1/4$  节距,即  $\tau/2$ 。当滑尺的两个绕组中任一组通有励磁电流时,由于电磁感应作用,在定尺绕组中必然产生感应电动势。定尺绕组中感应的总电动势是滑尺上正弦绕组和余弦绕组所产生的感应电动势的相量和。

图 6-20 表示滑尺绕组相对定尺绕组移动时定尺绕组感应电动势的变化情况。A 点表示滑尺绕组与定尺绕组重合,这时定尺绕组中感应电动势最大;当滑尺从 A 点向右平移,感应电动

势相应逐渐减小,到两绕组刚好错开  $1/4$  节距位置即图中  $B$  点时,感应电动势为零;继续移动到  $1/2$  节距的位置  $C$  点时,得到的感应电动势与  $A$  点位置相同,但极性相反;再移动到  $3/4$  节距即图中  $D$  点时,感应电动势又为零;当移动到一个节距,到达  $E$  点时,情况与  $A$  点相同。可见,滑尺在移动一个节距的过程中,定子绕组中的感应电动势按余弦函数变化了一个周期。只要测量出感应电动势的幅值,便可求出定尺和滑尺的相对位置。

## 2. 工作特点

感应同步器具有检测精度高、抗干扰性强、寿命长、维护方便、成本低、工艺性好等优点,广泛应用于高精度数控机床。

## 七、位置检测装置的常见故障分析

位置检测装置属于精密装置,其常见故障主要有两类:一是由于直接安装于工作台与机床床身上,位置检测装置极易受到冷却液的污染,从而造成信号的丢失,影响位置控制精度;二是拆装和使用容易出现测量元件的损坏和连接的松动,影响检测。位置检测装置常见故障分析如下:

### 1. 光栅尺输出脉冲信号丢失

- (1) 数控系统接线板损坏,测量装置未接收到 CNC 系统输送的信号,需更换接线板;
- (2) 连接器接触不良,需检查并重接;
- (3) 电缆断线或接地,需检查接地位置并重接;
- (4) 光栅测量系统光源亮度下降,需更换光源;
- (5) 光栅尺脏污,需对光栅尺进行清洗。

### 2. 数控机床进给轴失控

导致数控机床进给轴失控的原因很多,如已排除数控系统、驱动装置故障,将故障定位于位置检测装置,则可能有以下原因:

- (1) 光电编码器输出电缆断线,需重新接通;
- (2) 连接器接触不良,需检查并重接;
- (3) 光电编码器或连接器损坏或松动,需更换;
- (4) 电源短路,需检查接地位置并重接。

## 第五节 数控机床 PLC

在数控机床中,除了对各坐标轴的位置进行连续控制外,还需要对诸如主轴正、反转启动和停止,刀库及换刀机械手控制,工件夹紧、松开,工作台交换,气液压,冷却和润滑等辅助动作进行顺序控制。顺序控制的信息主要是输入/输出(I/O)控制,如控制开关、行程开关、压力开关和温度开关等输入元件控制,继电器、接触器和电磁阀等输出元件控制;同时还包括主轴驱动和进给伺服驱动的使能控制和机床报警处理等。现代数控机床均采用可编程逻辑控制器(PLC)来完成上述功能。

### 一、数控机床 PLC 的功能

#### 1. 与外部信息的交换

PLC、CNC 和机床部件三者之间的信息交换包括如下四部分：

(1) 机床部件至 PLC 机床侧的开关量信号通过 I/O 单元接口输入至 PLC 中,除极少数信号外,绝大多数信号的含义及所占用 PLC 的地址均可由 PLC 程序设计者自行定义。

(2) PLC 至机床部件 PLC 控制机床的信号通过 PLC 的开关量输出接口送到机床侧,所有开关量输出信号的含义及所占用 PLC 的地址均可由 PLC 程序设计者自行定义。如在西门子 SINUMERIK 810 数控系统中,机床侧某电磁阀的动作由 PLC 的输出信号来控制,该信号通过 I/O 模块和 I/O 端子板输出至中间继电器线圈,继电器的触点使电磁阀的线圈得电,从而控制电磁阀的动作。

(3) CNC 系统至 PLC CNC 系统送至 PLC 的信息可由 CNC 系统直接送入 PLC 的寄存器中,所有 CNC 系统送至 PLC 的信号含义和地址(开关量地址或寄存器地址)均由 CNC 厂家确定,PLC 编程者只可使用,不可改变和增删。如数控指令的 M、S、T 功能,通过 CNC 系统译码后直接送入 PLC 相应的寄存器中。

(4) PLC 至 CNC 系统 PLC 送至 CNC 系统的信息也由开关量信号或寄存器完成,所有 PLC 送至 CNC 系统的信号地址与含义由 CNC 厂家确定,PLC 编程者只可使用,不可改变和增删。

## 2. 数控机床 PLC 控制

数控机床 PLC 的形式有两种:一是采用 CNC 系统与 PLC 合用一个 CPU 的方法,PLC 在 CNC 内部,称为内装式 PLC;二是采用单独的 CPU 完成 PLC 功能,即配有专门的 PLC,PLC 在 CNC 外部,称为外装式 PLC。目前,世界著名的 CNC 厂家生产的 CNC 产品中大多开发了内装型 PLC。常用的外装式 PLC 有 FANUC 公司的 PMC-J 系列产品;SIEMENS 公司的 SIMATIC-CS6 系列产品等。内装式 PLC 输入/输出控制如图 6-21 所示。

(1) 机床操作面板控制 机床操作面板上的控制信号直接送入 PLC,以控制 CNC 系统的运行。

(2) 机床外部开关输入信号控制 机床侧的开关信号送入 PLC 经逻辑运算后,输出给控制对象。这些控制开关包括各类控制开关、行程开关、接近开关、压力开关和温控开关等。

(3) 输出信号控制 PLC 输出的信号经强电柜中的继电器、接触器,通过机床侧的液压或气动电磁阀,对刀库、机械手和回转工作台等装置进行控制,另外还对冷却泵电动机、润滑泵电动机及电磁制动器等装置进行控制。

(4) 伺服控制 控制主轴和伺服进给驱动装置的使能信号,以满足伺服驱动的条件,通过驱动装置,驱动主轴电动机、伺服进给电动机和冷却泵电动机等。

(5) 报警处理控制 PLC 收集强电柜、机床侧和伺服驱动装置的故障信号,CNC 系统便显示报警号及报警文本以方便故障诊断。

(6) 软盘驱动装置控制 有些数控机床用计算机软盘取代了传统的光电阅读机。通过控制软盘驱动装置,实现与 CNC 系统进行零件程序、机床参数、零点偏置和刀具补偿等数据的传输。

(7) 转换控制 有些加工中心的主轴可以立/卧转换,当进行立/卧转换时,PLC 完成下述工作:①切换主轴控制接触器。②通过 PLC 的内部功能,在线自动修改有关机床数据位。③切换伺服驱动系统进给模块,并切换用于坐标轴控制的各种开关。

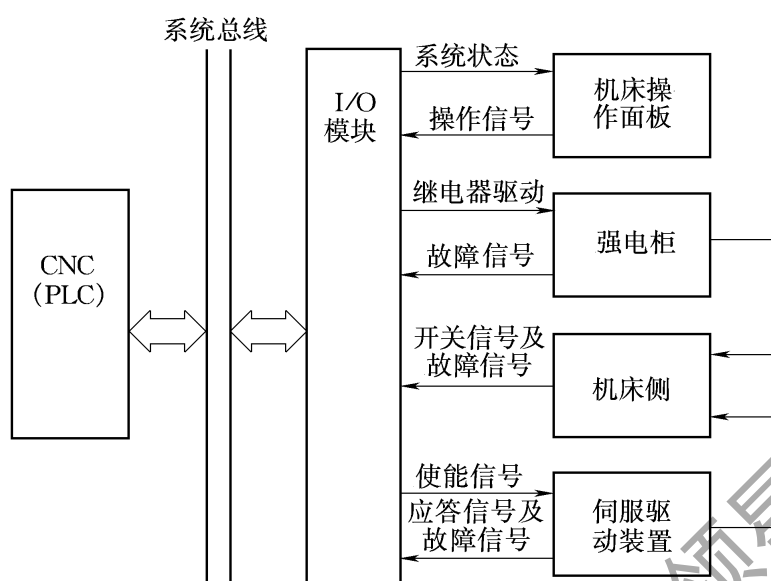


图 6-21 内装式 PLC 输入/输出控制示意图

## 二、数控机床 PLC 的输入/输出元件

内装式 PLC 输入/输出元件及连接方式如图 6-22 所示。输入端子板的作用是将机床外部开关的端子连接转换成 I/O 模块的针型插座连接,从而使外部控制信号输入至 PLC 中;同样,输出端子板的作用是将 PLC 的输出信号经针型插座转换成外部执行元件的端子连接。每个接线端子的编号与外型插座的针脚编号相对应,从而使每个输入/输出信号在 PLC 中均有规定的地址。

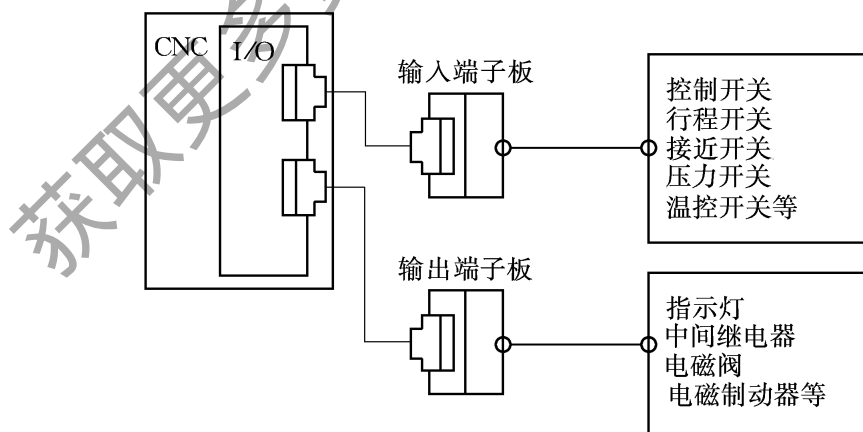


图 6-22 内装式 PLC 输入/输出元件及连接方式

### 1. 输入元件

#### (1) 控制开关

在数控机床的操作面板上,常见的控制开关有:

1) 用于主轴、冷却、润滑及换刀等控制的按钮,这些按钮往往内装有信号灯,一般绿色用于起动,红色用于停止。

2) 用于程序保护,钥匙插入方可旋转操作的旋钮式可锁开关。



- 3) 用于紧急停止,装有突出蘑菇形扭帽的红色急停开关。
- 4) 用于坐标轴选择、工作方式选择和倍率选择等手动旋转操作的转换开关。
- 5) 数控车床中用于控制卡盘夹紧、放松,尾架顶尖前进、后退的脚踏开关等。

### (2) 行程开关

行程开关又称限位开关,它将机械位移转变为电信号,以控制机械运动。按其结构可分为直动式行程开关、滚动式行程开关和微动式行程开关。

1) 直动式行程开关 直动式行程开关的动作过程与控制按钮类似,只是用运动部件上的撞块来碰撞行程开关的推杆,这类行程开关在机床上主要用于坐标轴的限位、减速或执行机构如液压缸、气缸活塞的行程控制。

2) 滚动式行程开关 滚动式行程开关在机床上常用于各类防护门的限位控制。

3) 微动式行程开关 微动式行程开关的体积小,动作灵敏,在数控机床上常用于回转工作台和托盘交换等装置的位置控制。

### (3) 接近开关

接近开关是一种在一定的距离(几毫米至几十毫米内)检测物体有无的传感器。它给出的是高电平或低电平的开关信号,有的还具有较大的负载能力,可直接驱动继电器工作。许多接近开关将检测头与测量转换电路及信号处理电路做在一个壳体内,壳体上多带有螺纹,以便安装和调整距离,同时在外壳有指示灯,以指示传感器的通断状态。接近开关具有灵敏度高、频率响应快、重复定位精度高、工作稳定可靠及使用寿命长等优点。常用的接近开关有电感式接近开关、电容式接近开关、磁感式接近开关、光电式接近开关及霍尔式接近开关等。

1) 电感式接近开关 电感式接近开关内部大多由一个高频振荡器和一个整形放大器组成。振荡器振荡后,在开关的感应面上产生交变磁场,当金属物体接近感应面时,金属体产生涡流,吸收了振荡器的能量,使振荡减弱以致停振。振荡和停振两种不同的状态,由整形放大器转换成开关信号,从而达到检测位置的目的。在数控机床中,电感式接近开关常用于刀库、机械手及工作台的位置检测。

2) 电容式接近开关 电容式接近开关的外形与电感式接近开关类似,除了对金属材料的无接触式检测外,还可以对非导电性材料进行无接触式检测。

3) 磁感式接近开关 磁感式接近开关又称磁敏开关,主要对气缸内活塞位置进行非接触式检测。固定在活塞上的永久磁铁由于其磁场的作用,使传感器内振荡线圈的电流发生变化,内部放大器将电流转换成输出开关信号。

4) 光电式接近开关 光电式接近开关有遮断型和反射型两类。当被测物从发射器和接收器中间通过时,红外光束被遮断或反射,接收器产生一个电脉冲信号。在数控机床中,光电式接近开关常用于刀架的刀位检测和柔性制造系统中物料传送的位置控制等。

5) 霍尔式接近开关 霍尔式接近开关是将霍尔元件、稳压电路、放大器、施密特触发器和OC门等电路做在同一个芯片上的集成电路,因此,有时称霍尔式接近开关为霍尔集成电路。当外加磁场强度超过规定的工作点时,OC门由高电阻态变为导通状态,输出低电平;当外加磁场强度低于释放点时,OC门重新变为高阻态,输出高电平。霍尔式接近开关在数控车床的刀架结构中得到广泛应用。

### (4) 压力开关

压力开关是利用被控介质,如液压油在波纹管或橡皮膜上产生的压力与弹簧的反力相平衡的原理所制成的一种开关。

#### (5) 温控开关

温控开关是一种利用温度敏感元的电阻值随被测温度变化而改变的原理所制成的开关。在伺服电动机中,将突变型热敏电阻埋在电动机定子中,并与继电器串联,当电动机温度升到某一定数值时,电路中的电流可以由十分之几毫安突变为几十毫安,使继电器动作,从而实现温度控制和过热保护。

### 2. 输出元件

#### (1) 接触器

在数控机床的电气控制中,接触器用来控制如油泵电动机、冷却泵电动机、润滑泵电动机等的频繁起停及驱动装置的电源接通和切断等。它由触点、电磁机构、弹簧、灭弧装置和支架底座等组成,通常分为交流接触器和直流接触器两类。

#### (2) 继电器

继电器是一种根据外界输入的信号来控制电路中电流“通”与“断”的自动切换电器。它主要用来反映各种控制信号,其触点通常接在控制电路中。继电器和接触器在结构和动作原理上大致相同,但前者在体积小,动作灵敏,没有灭弧装置,触点的种类和数量也较多。数控机床常采用线圈电压为直流+24 V 的中间继电器。中间继电器实质上是一种电压继电器,主要在电路中起信号传递与转换作用。由于中间继电器触点多,可实现多路控制,将小功率的控制信号转换为各触点动作,以扩充其他电器的控制作用。

#### (3) 其他输出元件

数控机床中,还有各类指示灯、液压和气动系统中的电磁阀、伺服电动机的电磁制动器等 PLC 输出开关。

### 三、数控机床 PLC 的常见故障分析

PLC 输入/输出故障是数控机床运行过程中最常见的故障,这是因为组成输入/输出的各类开关元件长期暴露在外,受到机械磨损、油气侵蚀等因素的影响,造成开关可靠性下降以至失灵,引起机床动作障碍。数控机床的输入/输出由 PLC 控制完成,因此熟悉数控机床中的输入/输出开关元件,明确数控机床 PLC 控制的对象及状态信号的表示,有助于输入/输出故障的诊断。数控机床 PLC 输入/输出常见故障分析如下:

#### 1. 某数控机床换刀系统执行指令时不工作

- (1) 刀库接近开关失灵,应更换接近开关;
- (2) 换刀装置机械臂中接近开关失灵,应更换接近开关;
- (3) PLC 输入接口无信号,需检查输入端子板;
- (4) PLC 内部损坏或操作不当,需更换 PLC。

#### 2. 脚踏尾座开关使顶尖顶紧工件时报警

- (1) PLC 输入信号丢失,需检查接线和 PLC;
- (2) 压力继电器触点开关损坏,需更换压力继电器;
- (3) 电磁阀损坏,需更换电磁阀。

### 3. 电感式接近开关无信号输出

- (1) 电感式接近开关损坏,需更换开关;
- (2) 外部电源短路,需检查电源接地并重接;
- (3) 感应块和开关之间的间隙过大,使开关的灵敏度下降导致无信号输出,需合理调整感应块和开关之间间隙。

## 第六节 数控机床的维护和电气故障诊断

数控机床的故障诊断及维护在内容、手段和方法上与传统机床的故障诊断及维护有很大的区别,且内容多,涉及面广。学习和掌握数控机床故障诊断及维护的技术,已越来越引起相关企业和工程技术人员的关注。CNC 系统大多已模块化,其可靠性较高;电源配置及伺服驱动系统,由于受切削状态、温度及各种干扰因素的影响,使伺服性能、电气参数发生变化或电气元件失效,容易引起故障;可编程控制器(PLC)替代了普通机床强电柜中大部分的机床电器,从而实现对主轴、进给、换刀、润滑、冷却、液压和气动等系统的逻辑控制;机床上各部位上的控制开关、行程开关、接近开关及继电器、电磁阀等机床电器开关作为可编程控制器的输入和输出控制;其可靠性将直接影响到机床能否正确执行动作,这类故障是数控机床常见的故障。一般情况下,数控机床操作、保养和调整不当大约占有所有故障的 57%,伺服驱动系统、电源配置及 PLC 控制部分的故障大约占整个故障的 37.5%,而 CNC 系统的故障只占 5.5%左右。

### 一、数控机床电气设备的日常维护

#### 1. 机床电气柜的散热通风

通常安装于电气柜门上的热交换器或轴流风扇,能使电气柜的内外进行空气循环,促使电气柜内的发热装置或电器元件,如驱动装置等进行散热。应定期检查电气柜上的热交换器或轴流风扇的工作状况,风道是否畅通,防止引起柜内温度过高而使系统不能可靠运行,甚至引起过热报警。

#### 2. 尽量少开电气柜门

加工车间漂浮的灰尘、油雾和金属粉末落在电气柜上容易造成元器件间绝缘电阻下降,从而出现故障。因此,除了定期维护和维修外,平时应尽量少开电气柜门。

### 二、数控机床电气故障的发生特点

按照故障频率发生的高低,数控机床整个使用寿命期大致可分为三个阶段,即初始使用期、相对稳定运行期以及寿命终了期。

#### 1. 初始使用期

从数控机床安装调试后,开始运行半年至一年期间,故障发生频率较高,一般无规律可循。从电气角度看,数控机床控制系统及执行部件使用了大量的电力电子器件,这些电气元件在制造厂虽然经过严格筛选,但在实际运行时,由于交变负荷及电路开、关的瞬时“浪涌”电流和反电动势等的冲击,某些电器元件经受不起初期考验,因电流或电压击穿而失效,致使整个设备出现故障。总之,在这个时期故障发生频率很高,为此,要加强对机床的监测,勤记录,定期对机床进行

机电调整,以保证设备各种运行参数处于技术规范之内。

## 2. 相对稳定运行期

相对稳定运行期较长,一般为7~10年。设备在经历了初期的各种磨合和调整,开始进入相对稳定的正常运行期,此时各类电器元件器质性的故障较为少见,但不排除偶发性故障的产生,所以,在这个时期内要坚持做好设备运行记录,以备排除故障时参考。另外,要坚持每隔6个月对设备作一次机电综合检测和复校。这个时期内的电气故障大多数可以排除。

## 3. 寿命终了期

机床进入寿命终了期后,各类电器元件开始加速磨损和老化,故障发生频率开始逐年递增,这个时期内故障性质多属于渐发性和器质性的。例如行程开关接触灵敏度以及某些电器元件品质因素开始下降等。大多数渐发性故障具有规律性,在这个时期内,同样要坚持做好设备运行记录。

# 三、数控机床故障诊断方法

数控机床的故障诊断有故障检测、故障判断及隔离和故障定位三个阶段。第一阶段的故障检测就是对数控机床进行测试,判断是否存在故障;第二阶段是判定故障性质,并分离出故障的部件或模块;第三阶段是将故障定位到可以更换的模块或印制线路板,以缩短修理时间。为了及时发现系统出现的故障,快速确定故障所在部位并能及时排除,要求故障诊断应尽可能少且简便,故障诊断所需的时间应尽可能短。为此,可以采用以下的诊断方法:

## 1. 直观法

利用感觉器官,注意发生故障时的各种现象,如故障时有无火花、亮光产生,有无异常响声、何处异常发热及有无焦糊味等。仔细观察可能发生故障的每块印制线路板的表面状况,有无烧毁和损伤痕迹,以进一步缩小检查范围,这是一种最基本、最常用的方法。

## 2. CNC系统的自诊断功能

依靠CNC系统快速处理数据的能力,对出错部位进行多路、快速的信号采集和处理,然后由诊断程序进行逻辑分析判断,以确定系统是否存在故障,及时对故障进行定位。现代CNC系统自诊断功能可以分为以下两类:

(1) 开机自诊断 开机自诊断是指从每次通电开始至进入正常的运行准备状态为止,系统内部的诊断程序自动执行对CPU、存储器、总线、I/O单元等模块、印制线路板、CRT单元、光电阅读机及软盘驱动器等设备运行前的功能测试,确认系统的主要硬件是否可以正常工作。

(2) 故障信息提示 当机床运行中发生故障时,在CRT显示器上会显示编号和内容。根据提示,查阅有关维修手册,确认引起故障的原因及排除方法。一般来说,数控机床诊断功能提示的故障信息越丰富,越能给故障诊断带来方便。但要注意的是,有些故障根据故障内容提示和查阅手册可直接确认故障原因;而有些故障的真正原因与故障内容提示不相符,或一个故障显示有多个故障原因,这就要求维修人员必须找出它们之间的内在联系,间接地确认故障原因。

## 3. 数据和状态检查

CNC系统的自诊断不但能在CRT显示器上显示故障报警信息,而且能以多页的“诊断地址”和“诊断数据”的形式提供机床参数和状态信息,常见的数据和状态检查有参数检查和接口检查两种。

(1) 参数检查 数控机床的机床数据是经过一系列试验和调整而获得的重要参数,是机床正常运行的保证。这些数据包括增益、加速度、轮廓监控允差、反向间隙补偿值和丝杠螺距补偿值等。当受到外部干扰时,会使数据丢失或发生混乱,机床不能正常工作。

(2) 接口检查 CNC系统与机床之间的输入/输出接口信号包括CNC系统与PLC、PLC与机床之间接口输入/输出信号。数控系统的输入/输出接口诊断能将所有开关量信号的状态显示在CRT显示器上,用“1”或“0”表示信号的有无,利用状态显示可以检查CNC系统是否已将信号输出到机床侧,机床侧的开关量等信号是否已输入到CNC系统,从而可将故障定位在机床侧或是在CNC系统。

#### 4. 报警指示灯显示故障

现代数控机床的CNC系统内部,除了上述的自诊断功能和状态显示等“软件”报警外,还有许多“硬件”报警指示灯,它们分布在电源、伺服驱动和输入/输出等装置上,根据这些报警灯的指示可判断故障的原因。

#### 5. 备板置换法

利用备用的电路板来替换有故障疑点的模板,是一种快速而简便的判断故障原因的方法,常用于CNC系统的功能模块,如CRT模块、存储器模块等。需要注意的是,备板置换前,应检查有关电路,以免由于短路而造成好板损坏,同时,还应检查试验板上的选择开关和跨接线是否与原模板一致,有些模板还要注意模板上电位器的调整。置换存储器板后,应根据系统的要求,对存储器进行初始化操作,否则系统仍不能正常工作。

#### 6. 交换法

在数控机床中,常有功能相同的模块或单元,将相同模块或单元互相交换,观察故障转移的情况,就能快速确定故障的部位。这种方法常用于伺服进给驱动装置的故障检查,也可用于CNC系统内相同模块的互换。

#### 7. 敲击法

CNC系统由各种电路板组成,每块电路板上会有很多焊点,任何虚焊或接触不良都可能出现故障。用绝缘物轻轻敲打有故障疑点的电路板、接插件或电器元件时,若故障出现,则故障很可能就在敲击的部位。

#### 8. 测量比较法

为检测方便,模块或单元上设有检测端子,利用万用表、示波器等仪器仪表,通过这些端子检测到的电平或波形,将正常值与故障时的值相比较,可以分析出故障的原因及故障的所在位置。

由于数控机床具有综合性和复杂性的特点,引起故障的因素是多方面的。上述故障诊断方法有时要几种同时应用,对故障进行综合分析,快速诊断出故障的部位,从而排除故障。同时,有些故障现象是电气方面的,但引起的原因是机械方面的;反之,也可能故障现象是机械方面的,但引起的原因是电气方面的;或者二者兼而有之。因此,对它的故障诊断往往不能单纯地归因于电气方面或机械方面,而必须加以综合,全方位地进行考虑。

## 复习思考题

6-1 数控机床由哪几部分组成?它如何进行加工?

6-2 简述 CNC 系统的工作原理。

6-3 单微处理器结构的 CNC 系统主要由哪几部分组成？多微处理器结构的 CNC 系统主要由哪几部分组成？各自具备什么特点？

6-4 CNC 系统的系统软件主要由哪两部分组成？

6-5 CNC 系统的系统软件有哪几种常见结构？试分析其区别。

6-6 数控机床电源配置包含哪几方面？

6-7 什么是伺服驱动系统？直流驱动系统和交流驱动系统的特点是什么？

6-8 伺服驱动系统中，常用的位置检测装置有哪几种？各有什么特点？

6-9 数控机床 PLC 有哪些控制对象？

6-10 数控机床 PLC 的输入开关和输出开关有哪些形式？

6-11 简述电感式接近开关的工作原理。

6-12 简述数控机床电气故障的发生规律。

6-13 数控机床故障诊断分哪三个阶段？数控机床常见故障诊断方法有哪些？

获取更多资料 微信搜索 蓝领星球

## 参考文献

- 1 杜德昌主编. 电工基本操作技能训练. 北京:高等教育出版社,1998
- 2 杜德昌,许传清主编. 电工电子技术及应用. 北京:高等教育出版社,2002
- 3 毕承恩主编. 现代数控机床. 北京:机械工业出版社,1991
- 4 贺哲荣主编. 实用机床电气控制线路故障维修. 北京:电子工业出版社,2003
- 5 尚艳华主编. 电力拖动. 北京:电子工业出版社,2002
- 6 曾祥福,邓朝平主编. 电工技能与实训. 北京:高等教育出版社,2002
- 7 赵承荻主编. 电机与电气控制技术. 北京:高等教育出版社,2002
- 8 李学炎主编. 电机与变压器. 北京:中国劳动社会保障出版社,2001
- 9 李发海,王岩主编. 电机与拖动基础. 北京:清华大学出版社,1993
- 10 曹承志主编. 电机、拖动与控制. 北京:机械工业出版社,2000
- 11 张延英主编. 工厂电气控制设备. 北京:中国轻工业出版社,1999
- 12 谭维瑜主编. 电机与电气控制. 北京:机械工业出版社,1999
- 13 李超主编. 设备控制技术. 北京:机械工业出版社,2002
- 14 许建俊主编. 设备电气控制与维修. 北京:电子工业出版社,2002
- 15 吴寅生主编. 机床电气. 北京:机械工业出版社,2001
- 16 贾铎,邓汝刚,杜德昌编. 农村实用电工技术. 北京:高等教育出版社,1993
- 17 李善术主编. 数控机床及其应用. 北京:机械工业出版社,2002
- 18 陈伟人编. 单片微型计算机原理及其应用. 北京:清华大学出版社,1990
- 19 刘跃南主编. 机床计算机数控及其应用. 北京:机械工业出版社,1999
- 20 赵仁良主编. 电力拖动控制线路. 北京:中国劳动出版社,1994
- 21 陈立定主编. 电气控制与可编程控制器. 广州:华南理工大学出版社,2001
- 22 赵明主编. 工厂电气控制设备. 北京:机械工业出版社,2001
- 23 王侃夫主编. 数控机床故障诊断及维护. 北京:机械工业出版社,2000