



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
(高职高专教育)

# 电气控制与PLC

(第2版)

孙平 主编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
(高职高专教育)

# 电气控制与 PLC

(第2版)

孙 平 主编  
方贵盛 汪志峰 副主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书主要介绍电气控制技术的基本原理、设计基础(含工艺设计)和可编程控制器应用技术等内容。本书从介绍常用电器元件入手,通过典型环节和典型电路分析研究继电器-接触器控制电路工作原理,并结合工程应用实例,全面、系统地介绍了电气接线图等工艺设计思想;可编程控制器应用技术部分以西门子公司的 S7-300 可编程控制器为例,叙述可编程控制器应用的基本方法。

本教材全书电气符号和电路图符合国家标准,适合电类、机电类专业教学使用,可作为电气自动化技术及其他电气、机械、机电及相近专业的教材,也可供电气工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC/孙平主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2009.11

ISBN 978-7-04-027895-8

I. 电... II. 孙... III. ① 电气控制② 可编程序控制器 IV. TM921.5 TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 158764 号

策划编辑 孙 薇 责任编辑 魏 芳 封面设计 张雨微  
版式设计 马敬茹 责任校对 王 超 责任印制 毛斯璐

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 100120

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京嘉实印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 14

字 数 330 000

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004 年 11 月第 1 版

2009 年 11 月第 2 版

印 次 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价 18.40 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

物料号 27895-00

# 前 言

电气控制技术在生产过程中的应用非常普遍,主要包括继电-接触器控制、程序控制和数字控制等内容。其中继电-接触器控制是应用最广泛的控制方式之一。“电气控制与 PLC”课程是一门应用性很强的专业课程。

《电气控制与 PLC》(第2版)是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,本教材以培养综合应用型人才为目标,在注重理论分析的基础上,注重工艺性、实践性的教学环节,力图做到深入浅出、主次分明、详略得当,着重培养学生解决实际问题的能力。

本书在介绍各种控制电路和可编程控制器应用技术时,列举了大量应用实例,每章后面均附有小结,并配置了数量适当的练习题。本课程的参考学时为 60 学时左右,其中课内实验参考学时为 4~6 学时。短学时教学可略去书中打星号的内容。

本次修订在《电气控制与 PLC》第1版的基础上删除了数控技术基础内容,增添了液位控制技术、S7-300 PLC 汉化编程软件、S7-300 PLC 的硬件组态技术、模块化程序设计的应用实例和编程方法。

教材在保留原有教材优点和特色的基础上,根据电气技术的发展方向和 S7-300 PLC 的新技术发展,本着够用为度的原则,适度添加了 S7-300 PLC 的应用技术内容,使其更具有实用性。

第1章~第4章介绍电气控制技术的继电-接触器控制系统,其中第3章重点介绍机床电气控制电路,主要包括车床、摇臂钻床、铣床、卧式镗床、磨床、组合机床、起重机械等设备,具有控制环节和典型设备内容全、可选性强等优点。本书搜集的电器元件新,基本电路多,主要包括交流拖动、直流拖动、电液控制、液位控制等内容。第4章介绍电气接线图的设计思想,使电气设备的工艺设计走进了课堂,缩短了学校的理论课程教学与工程实际的距离。

第5章~第8章以西门子公司的 S7-300 可编程控制器为例,介绍了可编程控制器的原理和指令系统,重点介绍 STEP 7 V5.4 SP3 版本汉化软件的使用方法、用户程序块结构、模块化编程和在线调试方法,并通过 STEP 7 的编程示例讲解程序模块参数设置、用户程序模块化编程的基本方法和步骤,介绍 S7-300 PLC 应用技术。

西门子 PLC 的资料可以在西门子(中国)有限公司工业业务领域工业自动化与驱动技术集团的网站([www.ad.siemens.com.cn](http://www.ad.siemens.com.cn))下载。

本书由浙江水利水电高等专科学校孙平担任主编并编写了绪论、第2章和第3章,浙江水利水电高等专科学校方贵盛编写了第1章、第4章,王红梅编写了第6章、第8章及附录,第5章、第7章由上海第二工业大学汪志峰编写。全书由孙平负责统稿;河南机电高等专科学校赵斌负责图文处理工作,在此谨表谢意。

本书由浙江工业大学南余荣教授审阅,审者提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中疏漏和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正,也热切盼望从事教学的教师、企业专家和我们联系,共同探讨教学方案和教材编写等问题,来信请发至 [sunping@zjwchc.com](mailto:sunping@zjwchc.com)。

编 者

2009年7月

# 绪 论

## 1. 电气控制技术的发展概况

电气控制技术伴随着电机制造技术、数控技术和计算机应用技术同步发展起来。从电力拖动形式来看,在电动机应用的初期,曾采用过一台电动机驱动多台设备的成组拖动系统,后又经历了一台电动机驱动一台设备的单机拖动形式,伴随着工业革命的技术进步,机械设备对电气控制的要求不断提高,现在应用的电力拖动形式除有单机拖动的形式以外,还广泛采用多台电动机驱动一台设备的电力拖动形式,这样既改进了控制性能,又优化了控制方法,提高了生产效率。

作为控制电力拖动系统的电气控制技术,经历了刀开关等电器的手动控制、继电器与接触器的自动控制、可编程控制器的程序控制(也属自动控制)和数控等阶段。通常根据电力拖动形式的复杂程度和控制要求的不同,选择不同的控制方法。

继电-接触器控制具有自动控制方法简单、工作可靠、成本低等特点。多属于有触点控制系统,适用于固定动作要求的控制设备,一旦工作程序发生变化,就需要重新配线,不适用于较复杂和控制要求经常改变的设备。可编程控制器(Programmable Controller)是在计算机技术基础上发展起来的一种工业自动控制装置。可编程控制器具有编程简单、动作可靠且动作顺序变更容易等优点,被广泛应用于较复杂生产设备的自动控制。程序控制技术和数控技术的发展是电力拖动技术的一个新的发展标志,也是生产过程自动化的发展方向。

## 2. 本课程的性质和任务

“电气控制技术”课程是一门实践性很强的专业课。电气控制技术应用领域广泛,在“电机拖动”课程的基础上,对电动机的各种起动、制动、调速方法所对应的控制电路进行分析、研究,除此以外,还对电液控制、典型机床和起重机械控制电路进行详细分析和讲解。本教材从基本器件、基本环节入手,由浅入深、循序渐进地分析电气控制电路,用实例讲述了电气原理图、电气接线图等设计方法,尤其是电气接线图的二维标注法的设计思想,抓住了电气接线图的设计特点,浅显易懂,非常实用。

教材的可编程控制器部分,要求通过对 S7-300 型可编程控制器结构原理、指令系统、编程软件的使用方法等内容学习,逐步掌握程序控制的基本方法和应用技术。

本课程的学习应与参观实物及电气安装技术的实践操作相结合,与设备故障分析相结合,重在学生实践技能的培养和锻炼。

# 目 录

绪论 .....	1	2.2.1 三相交流异步电动机起-停控制 电路 .....	27
<b>第1章 常用低压电器</b> .....	<b>2</b>	2.2.2 三相交流异步电动机正、反转控制 电路 .....	28
1.1 电磁式低压电器 .....	2	2.2.3 三相交流异步电动机的其他典型 控制环节 .....	30
1.1.1 电磁机构 .....	2	2.3 三相交流异步电动机降压启动 控制电路 .....	35
1.1.2 触点系统 .....	3	2.4 笼型交流异步电动机制动控制 电路 .....	38
1.1.3 灭弧系统 .....	4	2.4.1 机械制动 .....	38
1.2 接触器 .....	4	2.4.2 电气制动控制 .....	39
1.3 低压断路器和低压隔离器 .....	6	2.5 三相交流异步电动机变极调速控 制电路 .....	41
1.3.1 刀开关 .....	7	2.5.1 双速电动机的控制 .....	41
1.3.2 组合开关 .....	7	*2.5.2 三速电动机的控制 .....	42
1.3.3 低压断路器 .....	8	2.6 绕线转子三相交流异步电动机 控制电路 .....	43
1.4 控制继电器 .....	9	2.6.1 绕线转子三相交流异步电动机的 启动控制 .....	43
1.4.1 中间继电器 .....	9	*2.6.2 绕线转子三相交流异步电动机的 能耗制动 .....	46
1.4.2 电流、电压继电器 .....	10	2.7 电液控制技术 .....	48
1.4.3 时间继电器 .....	11	*2.8 直流电动机基本控制电路 .....	51
1.4.4 热继电器 .....	13	小结 .....	53
1.4.5 速度继电器 .....	15	习题 .....	54
1.4.6 液位继电器 .....	15	<b>第3章 典型生产机械电气控制系统</b> .....	<b>55</b>
1.4.7 固态继电器 .....	17	3.1 C650 卧式车床电气控制电路 .....	55
1.5 熔断器 .....	18	3.1.1 C650 车床电力拖动的控制要求及 特点 .....	55
1.6 主令电器 .....	20	3.1.2 C650 车床主电路分析 .....	56
1.6.1 控制按钮和指示灯 .....	20	3.1.3 控制电路分析 .....	56
1.6.2 位置开关 .....	21		
1.6.3 万能转换开关和主令控制器 .....	22		
1.6.4 凸轮控制器 .....	23		
小结 .....	24		
习题 .....	24		
<b>第2章 拖动系统基本控制电路</b> .....	<b>25</b>		
2.1 电气控制电路的绘制及分析 .....	25		
2.1.1 电气原理图的绘制原则 .....	25		
2.1.2 电气原理图的阅读和分析方法 .....	26		
2.2 三相交流异步电动机全压启动 .....	27		

* 3.2	摇臂钻床电气控制系统	59
3.2.1	摇臂钻床的主要结构及运动情况	59
3.2.2	摇臂钻床的主电路	60
3.2.3	摇臂钻床的控制电路	60
3.3	万能铣床电气控制系统	62
3.3.1	XA6132型卧式万能铣床的结构和运动形式	62
3.3.2	铣床控制电路分析	63
* 3.4	T68卧式镗床	67
3.4.1	主要结构、运动形式及控制要求	67
3.4.2	主电路分析	68
3.4.3	控制电路分析	68
* 3.5	磨床电气控制系统	71
3.5.1	M7130平面磨床的主要结构及运动形式	71
3.5.2	电力拖动及控制要求	71
3.5.3	M7130型平面磨床电气控制电路分析	72
3.6	组合机床电气控制电路分析	74
3.6.1	机械动力滑台控制电路	74
3.6.2	组合机床控制	76
3.7	桥式起重机电气控制电路	78
3.7.1	桥式起重机的主要技术参数	78
3.7.2	提升机构对电力拖动的要求	79
3.7.3	10 t桥式起重机典型电路分析	79
	小结	84
	习题	84
<b>第4章</b>	<b>电气控制系统设计</b>	<b>85</b>
4.1	电气控制系统设计的基本原则和内容	85
4.1.1	电气控制系统设计的基本原则	85
4.1.2	电气控制系统设计的基本内容	85
4.2	电气控制原理设计	86
4.2.1	电气控制原理设计的一般规律	86
4.2.2	电气控制原理设计的基本方法	88
* 4.3	电气接线图的设计基础	91
* 4.4	电气控制系统设计的应用举例	92

	小结	96
	习题	96
<b>第5章</b>	<b>可编程控制器简介</b>	<b>98</b>
5.1	概述	98
5.1.1	可编程控制器的定义、分类及特点	98
5.1.2	可编程控制器的应用	99
5.2	可编程控制器的组成与基本结构	100
5.2.1	可编程控制器的硬件系统	100
5.2.2	可编程控制器的软件系统	103
5.3	可编程控制器的工作过程与工作原理	103
5.3.1	可编程控制器的工作过程	103
5.3.2	可编程控制器的输入输出过程	105
5.3.3	可编程控制器的中断输入处理过程	105
5.3.4	可编程控制器的工作原理	105
5.4	可编程控制器的编程语言和程序结构	105
5.4.1	可编程控制器的编程语言	105
5.4.2	可编程控制器的程序结构	107
5.5	SIMATIC S7-300系列PLC的硬件构成	108
5.5.1	SIMATIC S7-300系列PLC的硬件系统	108
5.5.2	SIMATIC S7-300系列PLC模块性能简介	110
	小结	113
	习题	113
<b>第6章</b>	<b>STEP 7编程软件</b>	<b>115</b>
6.1	STEP 7 V5.4 SP3的安装	115
6.2	使用STEP 7完成一项自动化任务的基本步骤	119
6.3	STEP 7硬件组态及仿真	120
6.3.1	创建一个项目	120
6.3.2	硬件组态过程	124
6.3.3	STEP 7的仿真运行	128

小结 .....	130	7.5 数据运算指令 .....	165
习题 .....	130	7.5.1 算术运算指令 .....	165
<b>第7章 S7-300 系列 PLC 基本指令与 程序设计 .....</b>	<b>131</b>	7.5.2 字逻辑运算指令 .....	167
7.1 指令及其结构 .....	131	7.5.3 数据运算指令应用举例 .....	168
7.1.1 指令的组成 .....	131	7.6 控制指令 .....	169
7.1.2 操作数 .....	132	7.6.1 逻辑控制指令 .....	169
7.1.3 寻址方式 .....	134	7.6.2 程序控制指令 .....	172
7.1.4 状态字 .....	135	小结 .....	173
7.2 位逻辑指令 .....	136	习题 .....	174
7.2.1 位逻辑运算指令 .....	137	<b>第8章 S7-300 PLC 应用程序设计 .....</b>	<b>175</b>
7.2.2 位操作指令 .....	138	8.1 程序的块结构和在线测试 .....	175
7.2.3 位测试指令 .....	141	8.1.1 STEP 7 中程序的块结构 .....	175
7.2.4 位逻辑指令编程举例 .....	143	8.1.2 用户程序的结构化、符号表和功能 块编程 .....	177
7.3 定时器与计数器指令 .....	144	8.1.3 STEP 7 的在线测试 .....	182
7.3.1 定时器指令 .....	144	8.2 S7-300 设计实例 .....	186
7.3.2 计数器指令 .....	151	8.2.1 灌装线控制 STEP 7 编程(LAD) 示例 .....	186
7.3.3 应用举例 .....	154	8.2.2 物料搬运机械手设计实例 .....	196
7.4 数据处理功能指令 .....	154	小结 .....	204
7.4.1 装入和传送指令 .....	154	习题 .....	204
7.4.2 转换指令 .....	155	附录 .....	205
7.4.3 比较指令 .....	158	参考文献 .....	215
7.4.4 移位和循环移位指令 .....	161		
7.4.5 累加器操作和地址寄存器指令 .....	163		



# 绪 论

## 1. 电气控制技术的发展概况

电气控制技术伴随着电机制造技术、数控技术和计算机应用技术同步发展起来。从电力拖动的形式来看,在电动机应用的初期,曾采用过一台电动机驱动多台设备的成组拖动系统,后又经历了一台电动机驱动一台设备的单机拖动形式,伴随着工业革命的技术进步,机械设备对电气控制的要求不断提高,现在应用的电力拖动形式除有单机拖动的形式以外,还广泛采用多台电动机驱动一台设备的电力拖动形式,这样既改进了控制性能,又优化了控制方法,提高了生产效率。

作为控制电力拖动系统的电气控制技术,经历了刀开关等电器的手动控制、继电器与接触器的自动控制、可编程控制器的程序控制(也属自动控制)和数控等阶段。通常根据电力拖动形式的复杂程度和控制要求的不同,选择不同的控制方法。

继电-接触器控制具有自动控制方法简单、工作可靠、成本低等特点。多属于有触点控制系统,适用于固定动作要求的控制设备,一旦工作程序发生变化,就需要重新配线,不适用于较复杂和控制要求经常改变的设备。可编程控制器(Programmable Controller)是在计算机技术基础上发展起来的一种工业自动控制装置。可编程控制器具有编程简单、动作可靠且动作顺序变更容易等优点,被广泛应用于较复杂生产设备的自动控制。程序控制技术和数控技术的发展是电力拖动技术的一个新的发展标志,也是生产过程自动化的发展方向。

## 2. 本课程的性质和任务

“电气控制技术”课程是一门实践性很强的专业课。电气控制技术应用领域广泛,在“电机拖动”课程的基础上,对电动机的各种起动、制动、调速方法所对应的控制电路进行分析、研究,除此以外,还对电液控制、典型机床和起重机械控制电路进行详细分析和讲解。本教材从基本器件、基本环节入手,由浅入深、循序渐进地分析电气控制电路,用实例讲述了电气原理图、电气接线图等设计方法,尤其是电气接线图的二维标注法的设计思想,抓住了电气接线图的设计特点,浅显易懂,非常实用。

教材的可编程控制器部分,要求通过对 S7-300 型可编程控制器结构原理、指令系统、编程软件的使用方法等内容学习,逐步掌握程序控制的基本方法和应用技术。

本课程的学习应与参观实物及电气安装技术的实践操作相结合,与设备故障分析相结合,重在学生实践技能的培养和锻炼。

# 第1章

## 常用低压电器

---

凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护作用的电工器械均可称为电器。用于交流电压1 200 V以下、直流电压1 500 V以下电路,起通断、保护和控制作用的电器称为低压电器。低压电器的品种规格繁多,构造各异,按其用途可分为低压配电电器和低压控制电器;按照操作方式可分为自动电器和非自动电器;按照输出触点的工作形式可分为有触点和无触点系统。综合考虑各种电器的功能和结构特点,正确选用各种电气元件,可以组成具有各种控制功能的控制电路,满足不同设备的控制要求。

自改革开放以来,我国低压电器产品发展很快,通过从国外著名厂家引进技术自行设计产品和合资、独资企业电器产品的生产制造,电器产品的品种不断增多,性能和质量都有明显的提高,符合新国家标准和达到国际电工委员会(IEC)标准的产品也在不断增加。从1982年至1990年,机械工业部相继颁布了12批能耗高、性能落后应予淘汰的产品目录,其中也包括了某些低压电器产品,严格禁止生产厂家继续生产、销售,禁止使用单位购买淘汰产品,对选用淘汰产品的工程设计视为劣质设计。国家制定这些“扶优限劣”的政策对我国低压电器产品的技术进步和提高电气控制系统的可靠性有着十分重要的作用。

当前,低压电器产品继续沿着体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的方向发展,主要途径是利用微电子技术提高传统产品的性能;在产品品种方面,大力发展电子化的新型控制电器,如接近开关、光电开关、电子式时间继电器、固态继电器与接触器、漏电保护器、电子式电动机综合保护器和半导体起动机等,以适应控制系统迅速电子化的需要。

本章主要介绍机械设备电气控制系统中经常用到的低压电器器件,着重介绍部分技术先进、符合IEC标准的电器产品,为阅读和理解电气控制电路和正确使用及选择这些器件打下良好基础。

---

### 1.1 电磁式低压电器

电磁式电器在低压电器中占有十分重要的地位,在电气控制系统中应用最为普遍。各种类型的电磁式电器主要由电磁机构、执行机构和灭弧装置组成。电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种,电磁线圈还有电流线圈和电压线圈的区分;低压电器的执行机构是指由触点构成的触点系统;大功率(大电流)低压电器通常还配有灭弧装置。

#### 1.1.1 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量,将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力,带动触点动作,完成通、断电路的控制作用。

电磁机构由铁心、衔铁和线圈等几部分组成,其作用原理是当线圈中有工作电流通过时,产生足够的磁动势,从而在磁路中形成磁通,衔铁获得足够的电磁吸力,克服弹簧的反作用力与静铁心吸合,由衔铁连接机构带动相应的执行机构产生输出(触点动作)。电磁吸力  $F=4\times 10^5 B^2 A$ ,单位为 N,式中, $B$  为气隙磁感应强度,单位为 T; $A$  为铁心截面积,单位为  $m^2$ 。

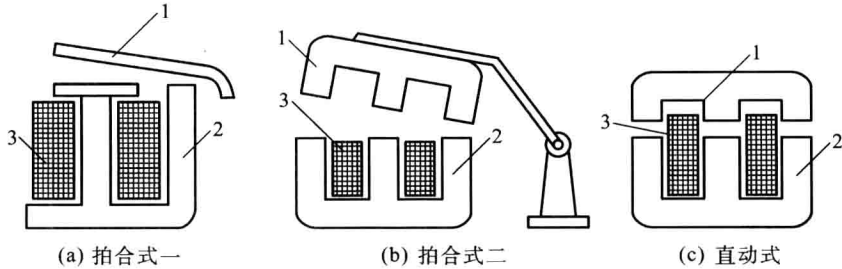


图 1.1.1 磁路结构

1—衔铁;2—铁心;3—吸引线圈

从电磁机构的衔铁运动形式来看,铁心主要可分为拍合式和直动式两大类,图 1.1.1(a)为衔铁沿棱角转动的拍合式铁心,其铁心材料由电工软铁制成,它广泛用于直流电器中。图 1.1.1(b)为衔铁沿轴转动的拍合式铁心,铁心形状有 E 形和 U 形两种,其铁心材料由硅钢片叠成,多用于触点容量较大的交流电器中;图 1.1.1(c)为衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心,它也是由硅钢片叠制而成的,多用于触点为中、小容量的交流接触器和继电器中。

电磁线圈由漆包线绕制而成,根据流过线圈的电流种类,电磁线圈有交流和直流两类。在交流电流产生的交变磁场中,为避免因线圈中交流电流过零时,磁通过零,造成衔铁的抖动,需在交流电磁机构铁心的端部开槽,嵌入一个铜短路环(相当于另一相绕组),使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零,线圈通电时电磁吸力  $F$  总是大于弹簧的反作用力,因而可以消除交流铁心的抖动,确保衔铁的可靠吸合。

还应指出,对电磁式电器而言,电磁机构的作用是实现自动化操作,电磁机构实质上是电磁铁的一种。电磁铁还有很多其他用途,例如,牵引电磁铁(拉动式和推动式)可以用来远距离控制和操作各种机械机构;阀用电磁铁可以远距离控制各种气动阀、液压阀,以实现液压系统的自动控制;制动电磁铁则用来控制抱闸制动装置,实现快速停车制动;起重电磁铁用于起重和搬运铁磁物质等。

### 1.1.2 触点系统

触点系统是电磁式电器的执行机构,由机械连接部件、静触点和动触点等部件构成,其作用是通过衔铁的动作使触点接通或分断电路,因此要求触点具有良好的接触性能。

触点的结构形式有桥式和指式两类,图 1.1.2 为桥式、指式触点结构。桥式触点有点接触式和面接触式两种结构,点接触式适用于电流不大的场合,面接触式适用于电流较大的场合。桥式触点通常采用含银材料作触点,这是因为银的氧化膜电阻率与纯银近似,可以避免触点表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良,延长器件的使用寿命。指式触点在接通与分断时产生滚动摩擦,可以自动去除氧化膜,故其触点可以用黄铜制成,特别适合于触点分合次数多、电流大的场合。

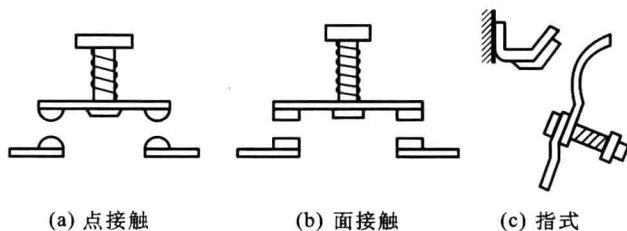


图 1.1.2 触点结构示意图

### 1.1.3 灭弧系统

触点在分断电流瞬间,触点间的气隙中就会产生电弧,电弧的高温能将触点烧损,并可能造成其他事故,因此,应采用适当措施迅速熄灭电弧。

熄灭电弧的主要措施有:

① 迅速增加电弧长度(拉长电弧),使得单位长度内维持电弧燃烧的电场强度不够,熄灭电弧。

② 使电弧与流体介质或固体介质相接触,加强冷却和去游离作用,使电弧加快熄灭。电弧有直流电弧和交流电弧两类,交流电流存在电流的自然过零点,故其电弧较易熄灭。

低压控制电器常用的灭弧方法有:

① 机械灭弧 通过机械装置将电弧迅速拉长,这种方法多用于开关电器中。

② 窄缝(纵缝)灭弧 在电弧所形成的磁场电动力作用下,可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄(纵)缝中,几条纵缝可将电弧分割成数段且与固体介质相接触,电弧便迅速熄灭。这种结构多用于交流接触器上。

③ 栅片灭弧 当触点分开时,产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段,彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极,因而就有许多个阴阳极压降。对交流电弧来说,在电流的过零点,电弧无法继续维持燃烧而熄灭。交流电器常常采用栅片灭弧法灭弧,栅片灭弧示意如图 1.1.3 所示。

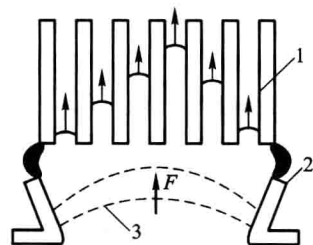


图 1.1.3 栅片灭弧

1—金属栅片;2—触点;3—电弧受力

④ 磁吹灭弧 在一个与触点串联的磁吹线圈产生的磁场作用下,电弧受电磁力的作用而被拉长,吹入由固体介质构成的灭弧罩内,与固体介质相接触,电弧被冷却而熄灭。这种灭弧方法灭弧效果明显,广泛用于熄灭直流电弧。

## 1.2 接 触 器

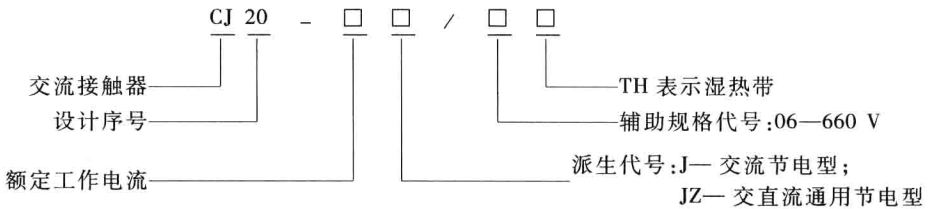
接触器是一种应用非常广泛的电磁式电器,可以频繁地接通和分断交、直流主电路,并可以实现远距离控制,主要用来控制电动机,也可以控制电容器、电阻炉和照明器具等电力负载。

接触器主要由电磁机构、主触点、辅助触点和灭弧装置组成。根据电源的种类,接触器可分为直流和交流两种。交流接触器通常有 3 对主触点,直流接触器有 2 对主触点。接触器的动、静

触点一般置于灭弧罩内；有一种真空接触器则是将动触点密闭于真空泡中，它具有分断能力强、寿命长、操作频率高、体积小及重量轻等优点。CJ20 系列交流接触器结构示意图如图 1.2.1 所示。

常用的交流接触器型号有 CJ20、CJ24（对应老产品型号为 CJ10、CJ12 系列）、CJ40、CJX1、CJX2、CJX5 等系列，引进技术生产和国外独资、合资生产的交流接触器有德国西门子的 3TB、3TF 系列，法国 TE 公司的 LC1、LC2 系列，德国 BBC 公司的 B 系列等接触器产品及派生系列的接触器产品，许多引进产品采用积木式结构，可以根据需要加装辅助触点、空气延时触点、热继电器及机械连锁附件。接触器的安装方式有螺钉固定和快速卡装式（卡装在标准导轨上）两种。

下面以 CJ20 系列为例，介绍其技术规格和型号表示的方法：



接触器的主要技术参数有主触点额定电流、吸引线圈额定电压等，部分交流接触器的主要技术参数见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 CJ20 系列交流接触器主要技术参数

型号	辅助触点额定电流/A	吸引线圈额定电压/V (AC)	主触点额定电流/A (AC-3)	额定电压/V	可控制电动机最大功率/kW (AC-3)	操作频率/(次/h) (AC-3)	
CJ20-10	5	36 127 220 380	10	380/220	4/2.2	1 200	
CJ20-16			16	380/220	7.5/4.5		
CJ20-25			25	380/220	11/5.5		
CJ20-40			40	380/220	22/11		
CJ20-63			63	380/220	30/18		
CJ20-100			100	380/220	50/28		
CJ20-160			160	380/220	85/48		
CJ20-250			250	380/220	132/80		600
CJ20-250/06			250	660	190		
CJ20-400			400	380/220	220/115		
CJ20-630	630	380/220	300/175				
CJ20-630/06	630	600	350				

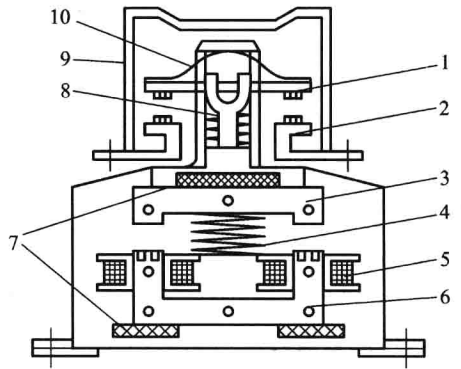


图 1.2.1 CJ20 交流接触器结构

- 1—动触点；2—静触点；3—衔铁；4—缓冲弹簧；  
5—电磁线圈；6—铁心；7—垫毡；8—触点弹簧；  
9—灭弧罩；10—触点压力弹簧片

表 1-2 CJ24 系列交流接触器主要技术参数

型号	额定电流/A AC-1,2,4	极数	额定电压 /V(AC)	辅助触点		线圈额定电压 /V(AC)
				容量	对数	
CJ24-100	100/63(660 V)	2,3,4,5	380/660	AC-15 1 000 V·A DC-13 90 W	6 对动合 与动断点 任意组合	36 127 220 380
CJ24-160	160/100(660 V)					
CJ24-250	250/160(660 V)					
CJ24-400	400/250(660 V)					
CJ24-630	600/400(660 V) /315(AC-4)					

选择接触器时应从其工作条件出发,主要考虑下列因素:

- ① 根据负载的性质,控制交流负载选用交流接触器,控制直流负载选用直流接触器。
- ② 接触器的工作任务类别应与负载的类别相一致。
- ③ 主触点的额定工作电压应大于或等于负载电路的电压。

④ 主触点的额定工作电流应大于或等于负载的电流。还要注意的是接触器主触点的额定工作电流是在规定条件下(额定工作电压、使用类别、操作频率等)能够正常工作的电流值,当实际使用条件不同时,这个电流值也将随之改变。

对于电动机负载,接触器主触点额定电流常按下面的经验公式计算:

$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{K U_N}$$

式中,经验系数  $K$  为 1 ~ 1.4;  $P_N$  为电动机额定功率,单位为 kW;  $U_N$  为额定电压,单位为 V。

⑤ 吸引线圈的额定电压应与控制回路电压相一致,接触器在线圈额定电压 85% ~ 105% 时应能可靠吸合。

⑥ 主触点和辅助触点的数量应能满足控制系统的需要。接触器线圈、主触点和辅助触点的电气图形符号及文字符号如图 1.2.2 所示,图中辅助触点有动合触点和动断触点两大类,其图形符号除如图所示以外,还可与主触点符号一致(带半圆标志)。

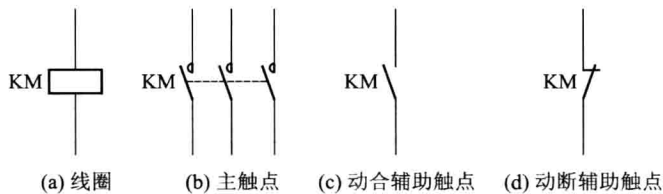


图 1.2.2 接触器电气图形符号及文字符号

### 1.3 低压断路器和低压隔离器

低压大电流开关电器有低压断路器和低压隔离器(刀开关)两大类,主要用于电源的隔离、转换以及接通和分断电路。

### 1.3.1 刀开关

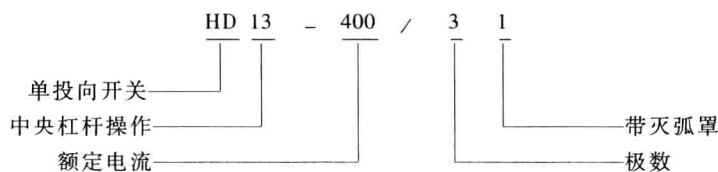
刀开关也称低压隔离器。刀开关是低压电器中结构比较简单、应用十分广泛的一类手动操作电器,品种很多,主要有低压刀开关、胶盖开关、铁壳开关和组合开关等。

刀开关常用于不频繁地接通和切断交流和直流电路,带有灭弧装置的可以切断负荷电流,其他只能做隔离开关使用。隔离是指在设备或电路检修时隔离电源,形成一个可见的、足够的空气间距,以保障检修人员的安全。低压刀开关由操纵手柄、触刀、触点插座和绝缘底板等组成。

刀开关的主要类型有:带灭弧装置的大容量开启式刀开关、熔断器式刀开关、带熔断器的开启式负荷开关(胶盖开关)、带灭弧装置和熔断器的封闭式负荷开关(铁壳开关)等。熔断器式刀开关由刀开关和熔断器组合而成,故兼有电源隔离和电路保护功能;铁壳开关除带有灭弧装置和熔断器外,还有弹簧储能机构可快速分断和接通触点,可用于手动不频繁地接通和分断负载电路,并对电路有过载和短路保护作用。

刀开关的主要产品有:HD11 ~ HD14、HS11 ~ HS13 单、双投开启式刀开关,HD17、HD18、HS17 等系列刀型隔离器和 HD13D 系列电动式大电流刀开关, HG1、HH15、HR3、HR5、HR6、HR17 等系列熔断器式隔离器, HK1、HK2 系列胶盖负荷开关, HH3、HH4 系列负荷(铁壳)开关。

刀开关型号举例:



HD13-400/31 为带灭弧罩中央杠杆操作的三极单投向刀开关,其额定电流为 400 A。刀开关代号 HD 为单投向开关, HS 为双投向开关。

刀开关的主要技术参数:额定电压(长期工作能承受的最大电压)、额定电流(长期通过的最大允许电流)以及分断能力等。选择刀开关时,刀开关的额定电压应大于或等于线路的额定电压,额定电流应大于或等于线路的额定电流。

### 1.3.2 组合开关

组合开关(负荷开关)也是一种刀开关,不过它的刀片是转动式的,操作比较轻巧。它的动触点(刀片)和静触点装在封闭的绝缘件内,采用叠装式结构,其层数由动触点数量决定。动触点装在带操作手柄的转轴上,随转轴旋转而改变对各触点的通断状态。组合开关的结构如图 1.3.1 所示。

由于采用了扭簧储能结构,可使开关快速接通及分断电路,而与手柄操作速度无关,因此可用作手动不频繁地接通、分断电路,换接电源或负载,常用来接通和断开小功率交流异步电动机和交流电焊机等负载。

组合开关的常用产品有 HZ5、HZ10、HZ12、HZ15 等系列。主要参数有额定电压、额定电流和极数等。例如 HZ10 系列组合开关的额定电压为 380 V,额定电流的等级有 10 A、25 A、60 A,极数有 1、2、3、4。

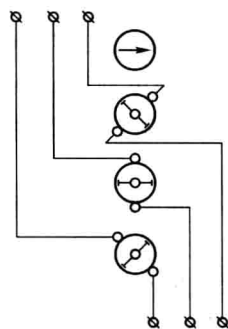


图 1.3.1 组合开关结构示意图

组合开关的选择方法与刀开关相同。刀开关和负荷开关电气图形符号及文字符号如图 1.3.2 所示。旋转操作刀开关的图形符号参见附录表 3。

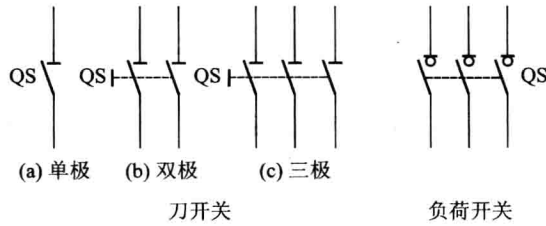


图 1.3.2 刀开关和负荷开关电气图形符号及文字符号

### 1.3.3 低压断路器

低压断路器又称为自动空气开关,主要用于低压动力电路分配电能和不频繁通、断负载电路,并具有故障自动跳闸(自动切断故障电路)功能。常见的故障保护功能有:过流(含短路)保护、欠压保护、过载保护等。在跳闸(脱扣)故障排除后手动复位,一般不需要更换零部件,因而获得了广泛的应用。按照结构型式,低压断路器分为框架式(又称万能式)和塑料外壳式(又称装置式)两大类。框架式断路器为敞开式结构,适用于大容量配电装置;塑料外壳式断路器的特点是外壳用绝缘材料制作,具有良好的安全性,广泛用于电气控制设备及建筑物内作电源线路保护,以及对电动机进行过载和短路保护。

低压断路器由触点系统、灭弧装置、各种可供选择的脱扣器与操作机构、自由脱扣机构等部分组成。各种脱扣器包括过电流、欠电压(失电压)脱扣器和热脱扣器及试验脱扣器等。

低压断路器的工作原理如图 1.3.3 所示。图中选用了过流、欠压和热脱扣等三种脱扣器。低压断路器的主触点靠操作机构手动或电动合闸,在正常工作状态下能接通和分断工作电流。当电路发生短路或过电流故障时,过电流脱扣器的衔铁被吸合,使自由脱扣机构脱开,低压断路器触点分离,及时有效地切除高达数十倍额定电流的故障电流;若电网电压过低或为零时,衔铁被释放,自由脱扣机构动作使低压断路器触点分离,从而在过电流与零压时保证了电路及电路中设备的安全;当电动机出现过载故障时,热脱扣机构动作使低压断路器触点分离,保证了电动机的安全运行。

低压断路器的主要参数有:额定工作电压、壳架额定电流等级、极数、脱扣器类型及额定电流、短路分断能力等。

常用的低压断路器有 DW15、DW16、DW17、DW15HH 等系列万能式断路器, DZ10、DZ15、DZ20、PX200C、C45、C65 等系列塑壳式断路器。

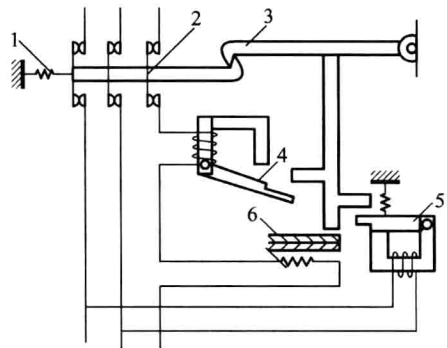
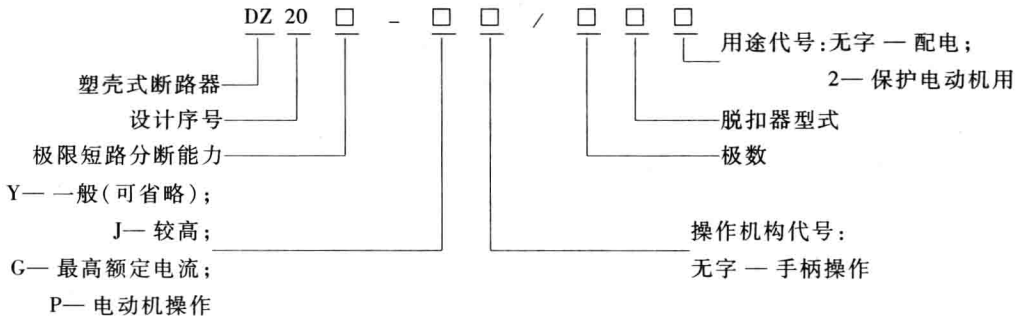


图 1.3.3 低压断路器的工作原理图  
1—弹簧;2—触点;3—搭钩;4—过电流脱扣器;  
5—欠电压脱扣器;6—热脱扣器



例：DZ20-40型低压断路器，断路器为塑壳式结构，设计代号为20，主触点额定电流为40A。DZ20系列低压断路器型号意义如下：



DZ20系列断路器按其极限分断故障电流的能力分为一般型(Y型)、较高型(J型)、最高型(G型)。J型是利用短路电流的巨大电动力使触点斥开，紧接着脱扣器动作，故分断时间在14ms以内；G型可在8~10ms以内分断短路电流。脱扣器型式有电磁脱扣器和复式脱扣器两种。

近年来引进生产的低压断路器有3VE、C45N等系列产品；另外还有电子式、带漏电保护、浪涌保护、高分断的各种小型断路器。我国生产的带漏电保护功能的低压断路器有DZ15LE、DZL18、DZL20、DZL25等系列漏电断路器。

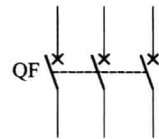


图 1.3.4 低压断路器符号

低压断路器电气图形符号及文字符号如图1.3.4所示。

## 1.4 控制继电器

控制继电器根据某种信号的变化接通或断开控制电路，实现控制目的。主要由输入电路（又称感应元件）和输出电路等组成，输出电路通常是触点。当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时继电器动作，输出触点便接通和断开控制回路。

控制继电器种类繁多。常用的控制继电器，按用途可分为中间继电器、电流继电器、电压继电器、时间继电器、热继电器以及温度、压力、计数、频率、速度继电器等。控制继电器按结构分为电磁式和电子式两大类，其中电磁式继电器结构简单、动作可靠，在机床电路中被广泛应用。

电子元器件的发展应用，推动了各种电子式的小型继电器的出现，这类继电器比传统的继电器灵敏度更高、寿命更长、动作更快、体积更小，一般都采用密封式或封闭式结构，用插座与外电路连接，便于迅速替换，能与电子线路配合使用。

本节主要介绍常用的电磁式（中间、电流、电压）继电器，时间继电器、热继电器和速度继电器等。

### 1.4.1 中间继电器

中间继电器可以将一个输入信号变成多个输出信号，用来增加控制回路或放大信号，因为其在控制电路中起中间控制作用，故称为中间继电器。