

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业

电气控制与 PLC 原理及应用

李道霖 主 编

张仕军

李彦梅 副主编

李雪梅

程传红 主 审

印 数：5 000 册 定价：26.80 元

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了常用的低压电器, 继电器接触器系统的基本电路, PLC 的概述及工作原理, 西门子 S7-200 系列 PLC 的构成、基本指令、功能指令、编程软件的使用方法, PLC 的网络通信以及控制系统、应用程序的设计方法和应用举例。

本书可作为工业电气及自动化、机电一体化、计算机应用等相关专业的教学用书。对于广大的电气工程技术人员, 则是一本非常有价值的参考书和技术手册。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 原理及应用. 西门子系列/李道霖主编. —北京: 电子工业出版社, 2004.8
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材. 电气自动化技术专业
ISBN 7-121-00296-5

. 电... . 李... . 电气设备, 西门子系列—自动控制—高等学校: 技术学校—教材 可编程序控制器, 西门子系列—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 . TM571.2 TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 088659 号

责任编辑: 陈晓明 特约编辑: 高文勇

印 刷:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 14.5 字数: 371 千字

印 次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

在生产过程、科学研究和其他产业领域中,电气控制技术的应用都是十分广泛的。在机械设备的控制中,电气控制亦比其他的控制方法使用得更为普遍。随着科学技术的发展,特别是大规模集成电路的问世和微处理机技术的应用,出现了可编程序控制器(PLC),它不仅可取代传统的继电器接触器控制系统,还可以进行复杂的过程控制和构成分布式自动化系统,使电气控制技术进入了一个崭新的阶段。目前 PLC 在我国的应用相当广泛,尤其是小型 PLC,采用类似继电器逻辑的过程操作语言,使用十分方便,备受电气工程技术人员欢迎,因此,了解和学习这些重要的技术对机电类专业的高职高专学生来说是必不可少的。

本书根据高校已普遍将“低压电气控制技术”和“可编程序控制器原理及应用”两门课程合并为“电气控制与可编程序控制器原理及应用”一门课程的情况,并充分考虑到电气控制技术的实际运用和发展情况而编写。

在编写本书的过程中,我们根据高职教材应以培养综合型实用型人才为目标,在注重基础理论教育的同时,突出实践性教学环节。力图做到深入浅出,层次分明,详略得当,尽可能体现高职教育的特点。

本书从内容上讲分为两部分:第一部分主要介绍常用低压电器及其控制电路,在基本控制电路这一章中,增加了并励直流电动机控制电路,异步电动机软启动控制电路,变频调速控制电路,而对异步电动机控制电路只作了部分介绍。第二部分主要介绍了西门子 S7—200 CPU 22X 系列 PLC 的基本构成、内部元件、基本指令、功能指令、软件应用、网络通信、梯形图的编程方法和实际应用系统的设计方法等。本课程的参考教学时数为 74~90 学时(包括实验课)。

本书适用于高职高专机电一体化专业,工业自动化专业,电气专业及其他相关专业。本书对与机电相关专业的本科生和工程技术人员来说也是一本较好的参考书和自学教材。

本书由三峡大学职业技术学院李道霖主编,并编写了前言、绪论和第 5、7、8、9 章内容;张仕军、李彦梅和李雪梅为副主编,张仕军编写了第 1、2 章;李彦梅编写了第 3、4 章、第 7 章部分内容和附录 A、B,李雪梅编写了第 6 章和第 8、9 章的部分内容,本书由程传红主审。在编写本书的过程中得到了张斌、胡谦、王辉等同志的大力帮助,书中部分章节的编写参考了有关资料(见参考文献),在此我们对这些同志和参考文献的作者们表示衷心的感谢。

限于编者水平有限,书中疏漏、错误之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 4 月

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高技术应用型人才。近年来，高等职业教育发展迅猛，其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要，高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革，高职教材也必须与之相适应，进行重新调整与定位，突出自身的特色。为此，在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下，电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”，下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月，“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是：

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向，摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导，采用阶跃式、有选择的编写模式，强调实践和实践属性，精炼理论，突出实用技能，内容体系更加合理；

2. 注重现实社会发展和就业需求，以培养职业岗位群的综合能力为目标，充实训练模块的内容，强化应用，有针对性地培养学生较强的职业技能；

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习；着力于培养和提高学生的综合素质，使学生具有较强的创新能力，促进学生的个性发展；

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法，具有超前性、先进性。

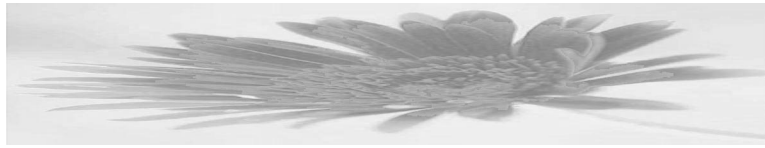
首批教材共有60余种，将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望：希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力，使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意，突出高等职业教育的特点，满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务，不会一蹴而就，而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世，还有许多不尽人意之处。随着教育的不断深化，我国经济和科学技术的不断发展，高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下，我们将一如既往地依靠本行业的专家，与科研、教学第一线的教研人员紧密联系，加强合作，与时俱进，不断开拓，逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材，为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿，提出选题建议，并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外，我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务，为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社



1. 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的不断发展及生产工艺不断提出新的要求而得到飞速发展的。从最早的手动控制发展到自动控制，从简单的控制设备发展到复杂的控制系统，从有触点的硬接线继电器控制系统发展到以计算机为中心的软件控制系统。随着新的电器元件的不断出现和计算机技术的发展，电气控制技术也在持续发展。现代电气控制技术正是综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等许多先进的科学技术成果而迅速发展起来的。

作为生产机械动力的电机拖动，已由最早的采用成组拖动方式 单独拖动方式 生产机械的不同运动部件分别由不同电机拖动的多电动机拖动方式，发展成今天无论是自动化功能还是生产安全性方面都相当完善的电气自动化系统。

继电器接触式控制系统主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成，其控制方式是断续的，所以又称为断续控制系统。由于这种系统具有结构简单，价格低廉，维护容易，抗干扰能力强等优点，至今仍是机床和其他许多机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。这种控制系统的缺点是采用固定接线方式，灵活性差，工作频率低，触点易损坏，可靠性差。

从 20 世纪 30 年代开始，机械加工企业为了提高生产效率，采用机械化流水作业的生产方式，对不同类型的零件分别组成自动生产线。随着产品机型的更新换代，生产线承担的加工对象也随之改变，这就需要改变控制程序，使生产线的机械设备按新的工艺过程运行，而继电器接触器控制系统是采用固定接线的，很难适应这个要求。大型自动生产线的控制系统使用的继电器数量很多，这种有触点的电器工作频率较低，在频繁动作情况下寿命较短，从而造成系统故障，使生产线的运行可靠性降低。为了解决这个问题，20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电器接触器控制系统，对复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制，由于这些控制装置本身存在某些不足，均未能获得广泛应用。1968 年美国最大的汽车制造商——通用汽车（GM）公司为适应汽车型号不断更新，提出把计算机的完备功能以及灵活性、通用性好等优点和继电器接触器控制系统的简单易懂、操作方便、价格低廉等优点结合起来，做成一种能适应工业环境的通用控制装置，并把编程方法和程序输入方式加以简化，使得不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用技术。根据这一设想，美国数字设备公司（DEC）于 1969 年率先研制出第一台可编程控制器（简称 PLC），在通用汽车公司的自动装配线上试用获得成功。从此以后，许多国家的著名厂商竞相研制，各自形成系列，而且品种更新很快，功能不断增强，从最初的逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制，具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 另一个突出优点是可靠性很高，平均无故障运行时间可达 10 万小时以上，可以大大减小设备维修费用和停产造成的经济损失。当前 PLC 已经成为电气自动控制系统中应用最为广泛的核心装置，在工业自动控制领域占有十分重要的地位。

数控技术也是电气自动控制的一个重要分支，它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就。最近 20 多年来，机电一体化、机电光仪一体化等交叉学科的发展，使得数控技术进入了一个崭新的阶段。随着微电子技术的发展，由小型或微型计算机再加上通用或专用大规模集成电路组成的计算机数控装置（CNC）性能更为完善，在机械制造、电气控制及自动化领域相继出现了直接数字控制（DDC）系统，柔性制造系统（FMS），计算机集成制造系统（CIMS），综合运用计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、智能机器人、集散控制系统（DCS）、现场总线控制系统等多项高新技术，形成了从产品设计与制造和生产管理的智能化生产的完整体系，将自动制造技术推进到更高的水平。

2. 本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课，主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍继电器接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及电气控制系统的设计方法。当前 PLC 控制系统应用十分普遍，已经成为实现工业自动化的主要手段，是教学的重点所在。但是，一方面，根据我国当前情况，继电器接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式，而且低压电器正在向小型化、长寿命发展，出现了功能多样的电子式电器，使继电器接触器控制系统性能不断提高，因此它在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位；另一方面，PLC 是计算机技术与继电器接触器控制技术相结合的产物，而且 PLC 的输入、输出仍然与低压电器密切相关，因此掌握继电器接触器控制技术也是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

本课程的目标是培养学生的实际应用能力，具体要求是：

- (1) 熟悉常用控制电器的结构原理、用途，具有合理选择、使用主要控制电器的能力。
- (2) 熟练掌握继电器接触器控制线路的基本环节，具有阅读和分析电气控制线路的工作原理的能力。
- (3) 熟悉典型设备的电气控制系统，具有从事电气设备安装、调试、维修和管理等知识。
- (4) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法，能够根据工艺过程和控制要求进行简单控制系统的设计和编写应用程序。
- (5) 了解 PLC 的网络和通信原理。



Contents

绪论	(1)
第1章 常用低压电器	(3)
1.1 概述	(3)
1.1.1 电器的定义	(3)
1.1.2 常用低压电器分类	(3)
1.1.3 低压电器发展概况	(4)
1.2 低压电器的电磁机构及执行机构	(4)
1.2.1 电磁机构	(4)
1.2.2 触点系统	(5)
1.2.3 灭弧系统	(6)
1.3 接触器	(7)
1.3.1 接触器结构和工作原理	(7)
1.3.2 接触器的型号及主要技术参数	(8)
1.4 继电器	(10)
1.4.1 电流继电器和电压继电器	(10)
1.4.2 中间继电器	(11)
1.4.3 热继电器	(12)
1.4.4 时间继电器	(13)
1.4.5 速度继电器	(15)
1.4.6 液位继电器	(15)
1.4.7 干簧继电器	(16)
1.5 熔断器	(16)
1.5.1 熔断器的分类	(17)
1.5.2 熔断器型号及主要性能参数	(18)
1.6 低压断路器	(18)
1.6.1 低压断路器结构及工作原理	(18)
1.6.2 低压断路器类型及主要参数	(19)
1.7 低压隔离器	(20)
1.7.1 刀开关	(20)
1.7.2 组合开关	(20)
1.8 主令器	(21)
1.8.1 按钮	(21)



1.8.2 行程开关与接近开关	(22)
1.8.3 转换开关	(23)
本章小结	(24)
思考题与习题	(24)
第 2 章 继电器接触器控制系统的基本电路	(25)
2.1 电气控制线路的图形、文字符号及绘制原则	(25)
2.1.1 常用电气设备图形符号及文字符号	(25)
2.1.2 电气控制图绘制原则	(28)
2.1.3 电气原理图	(29)
2.1.4 电气元件布置图	(31)
2.1.5 电气安装接线图	(31)
2.2 并励直流电动机的基本控制电路	(32)
2.2.1 启动控制电路	(32)
2.2.2 正反转控制电路	(32)
2.2.3 能耗制动控制电路	(33)
2.2.4 调速控制电路	(34)
2.3 三相笼型异步电动机的控制电路	(34)
2.3.1 三相异步电动机的基本控制电路	(35)
2.3.2 三相异步电动机的启动控制电路	(39)
2.3.3 异步电动机的制动控制电路	(42)
2.3.4 异步电动机的调速控制电路	(44)
本章小结	(50)
思考题与习题	(50)
第 3 章 PLC 概述及构成原理	(52)
3.1 PLC 的产生及定义	(52)
3.1.1 PLC 的产生	(52)
3.1.2 PLC 的定义	(53)
3.2 PLC 的特点及分类	(53)
3.2.1 PLC 的特点	(53)
3.2.2 PLC 的分类	(54)
3.3 PLC 的应用范围	(55)
3.4 PLC 的发展趋势	(56)
3.5 PLC 的基本组成	(57)
3.5.1 PLC 的组成	(57)
3.5.2 PLC 系统的等效电路	(60)
3.5.3 PLC 与继电器-接触器控制系统的区别	(61)
3.6 PLC 的工作原理	(62)
3.6.1 PLC 的工作过程	(62)



3.6.2 PLC 对输入/输出的处理原理	(65)
3.7 PLC 的编程语言	(65)
3.7.1 PLC 的编程语言	(65)
3.7.2 PLC 的程序结构	(67)
本章小结	(68)
思考题与习题	(68)
第 4 章 S7-200 系列的 PLC 构成	(69)
4.1 概述	(69)
4.2 S7-200 系列 PLC 系统的构成	(69)
4.2.1 S7-200 系列 PLC 系统结构	(70)
4.2.2 主机结构	(70)
4.2.3 输入/输出的扩展	(73)
4.2.4 主机性能指标	(75)
4.3 S7-200 系列 PLC 的内部资源	(76)
4.3.1 软元件的功能	(76)
4.3.2 CPU 存储器区域的直接寻址	(76)
4.3.3 CPU 存储器区域的间接寻址	(81)
本章小结	(83)
思考题与习题	(83)
第 5 章 S7-200 系列 PLC 的基本指令	(85)
5.1 基本逻辑指令	(85)
5.1.1 基本位操作指令	(85)
5.1.2 置位 S (Set)、复位 R (Reset) 指令	(88)
5.1.3 立即指令 I (Immediate)	(89)
5.1.4 边沿脉冲指令	(90)
5.1.5 逻辑堆栈指令	(91)
5.1.6 定时器	(92)
5.1.7 计数器	(95)
5.1.8 比较指令	(96)
5.1.9 取非和空操作指令	(97)
5.2 程序控制指令	(98)
5.2.1 暂停、结束指令	(98)
5.2.2 跳转指令	(99)
5.2.3 循环指令 FOR 和 NEXT	(100)
5.2.4 子程序	(101)
5.2.5 与 ENO 指令	(104)
5.2.6 顺序控制指令	(105)
5.3 定时器/计数器简单电路编程	(108)



5.3.1	扩展定时器	(108)
5.3.2	扩展计数器	(108)
5.3.3	延时接通/延时断开电路	(110)
5.3.4	脉冲宽度可控制电路	(110)
5.3.5	闪烁电路	(110)
5.3.6	报警电路	(112)
	本章小结	(112)
	思考题与习题	(113)
第 6 章	S7-200 PLC 编程软件的使用	(115)
6.1	编程软件系统概述	(115)
6.1.1	系统要求	(115)
6.1.2	软件安装	(116)
6.1.3	硬件连接	(116)
6.1.4	参数设置	(116)
6.1.5	建立在线联系	(118)
6.1.6	建立修改 PLC 通讯参数	(118)
6.2	STEP 7-Micro/WIN32 软件功能	(118)
6.2.1	编程软件功能简介	(118)
6.2.2	窗口组件及功能	(119)
6.2.3	系统组态	(123)
6.3	编程及运行	(123)
6.3.1	程序文件操作	(123)
6.3.2	编辑程序	(124)
6.4	调试及运行监控	(129)
6.4.1	选择扫描次数	(129)
6.4.2	模拟程序条件, 状态图表监控	(130)
6.4.3	运行模式下编辑	(132)
6.4.4	程序监视	(133)
	本章小结	(135)
第 7 章	S7-200 系列 PLC 功能指令	(136)
7.1	数据处理指令	(136)
7.1.1	数据传送	(136)
7.1.2	移位指令	(138)
7.1.3	字节交换/填充指令	(139)
7.2	算术、逻辑运算指令	(140)
7.2.1	算术运算指令	(141)
7.2.2	数学函数指令	(144)
7.2.3	增 1/减 1 计数	(146)

7.2.4 逻辑运算指令.....	(147)
7.3 表功能指令.....	(149)
7.3.1 填表指令 ATT (Add To Table)	(149)
7.3.2 表取数指令	(150)
7.3.3 表查找指令 TBL FIND (Table Find)	(151)
7.4 转换指令.....	(152)
7.4.1 数据类型转换指令.....	(152)
7.4.2 数据的编码和译码指令.....	(154)
7.5 中断指令.....	(157)
7.5.1 中断源	(158)
7.5.2 中断控制	(158)
7.5.3 中断程序	(159)
7.6 高速处理指令.....	(160)
7.6.1 高速计数指令.....	(160)
7.6.2 高速脉冲输出.....	(162)
本章小结	(164)
思考题与习题.....	(164)
第 8 章 PLC 控制系统的应用设计	(166)
8.1 PLC 控制系统的总体设计.....	(166)
8.1.1 PLC 控制系统的类型	(166)
8.1.2 PLC 控制系统设计的基本原则.....	(168)
8.1.3 PLC 控制系统的设计步骤	(169)
8.2 减少 PLC 输入和输出点数的方法.....	(171)
8.2.1 减少 PLC 输入点数的方法	(171)
8.2.3 减少 PLC 输出点数的方法	(172)
8.3 提高 PLC 控制系统可靠性的措施.....	(173)
8.3.1 PLC 的工作环境	(173)
8.3.2 对电源的处理.....	(174)
8.3.3 对感性负载的处理.....	(175)
8.3.4 安装与布线的注意事项.....	(176)
8.3.5 PLC 的接地.....	(177)
8.3.6 冗余系统与热备用系统.....	(177)
8.3.7 故障的检测与诊断.....	(178)
8.4 机械手控制系统的应用设计.....	(179)
8.4.1 机械手控制系统.....	(179)
8.4.2 操作面板布置.....	(180)
8.4.3 输入/输出端子地址分配.....	(181)
8.4.4 整体程序结构.....	(181)
8.4.5 实现单操作工作的程序.....	(182)



8.4.6 自动操作程序.....	(182)
本章小结	(186)
思考题与习题.....	(186)
第 9 章 PLC 的梯形图程序设计方法及应用实例.....	(188)
9.1 PLC 梯形图的经验设计法及应用	(188)
9.1.1 启动、保持和停止电路.....	(189)
9.1.2 运货小车的自动控制.....	(189)
9.1.3 混合液体装置的控制.....	(191)
9.1.4 交通指挥信号灯的控制.....	(193)
9.2 梯形图的逻辑设计法及应用	(195)
9.2.1 深孔钻床的自动控制.....	(195)
9.3 PLC 梯形图的“翻译”设计法及应用.....	(198)
9.3.1 三速异步电动机启动和自动加速的控制.....	(198)
9.4 PLC 梯形图的顺序控制设计法及应用.....	(200)
9.4.1 电动机顺序启动和停止控制.....	(201)
9.4.2 大小球分检机械臂装置的控制.....	(203)
本章小结	(206)
思考题与习题.....	(206)
附录 A 实验指导书.....	(208)
实验 1 异步电动机可逆运行实验.....	(208)
实验 2 S7-200 PLC 编程软件使用实验	(209)
实验 3 抢答器程序设计实验.....	(210)
实验 4 人行道按钮控制交通灯程序设计实验	(211)
实验 5 水位控制程序设计实验.....	(212)
实验 6 彩灯控制程序设计实验.....	(213)
附录 B S7-200 PLC 快速参考信息.....	(214)
参考文献.....	(218)



本章主要讲述了接触器、继电器、熔断器、低压断路器、低压隔离器、主令器等低压电器的用途、基本结构、工作原理及其主要参数和图形符号。

学习要求：

- 掌握常用低压电器的工作原理，图形符号及用途。
- 了解各低压电器的技术参数，以便正确选取电器。
- 随着电器技术不断发展，为提高系统的可靠性，应尽量选用新型的电器元件。

1.1 概述

1.1.1 电器的定义

电器是根据外界特定的信号和要求，自动或手动接通和断开电路，断续或连续地改变电路参数，实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。

电器的种类繁多，构造各异。根据其工作电压高低，电器可分为高压电器和低压电器。工作在交流额定电压 1200V 及以下，直流额定电压 1500V 及以下的电器称为低压电器。

1.1.2 常用低压电器分类

由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，工作原理也各异，因而有不同的分类方法。根据其使用系统间的关系，习惯上按用途可分为以下几类。

1. 低压配电电器

主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、自动开关、隔离开关、转换开关以及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性要好。

2. 低压控制电器

主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率高，电器和机械寿命要长。

3. 低压主令器

主要用于发送控制指令的电器。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高,抗冲击,电器和机械寿命要长。

4. 低压保护电器

主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。这类低压电器有熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,反应要灵敏,可靠性要高。

5. 低压执行电器

主要用于执行某种动作和传动功能的电器。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。

1.1.3 低压电器发展概况

低压电器的生产和发展是和电的发明和广泛应用分不开的,从按钮、刀开关、熔断器等简单的低压电器开始,到各种规格的低压断路器、接触器以及由它们组成的成套电气控制设备,都是随着生产的需要而发展的。

自建国以来,随着国民经济的恢复和大规模经济建设的进行,国民经济各部门对低压电器的种类、品种、质量提出了越来越高的要求。低压电器的品种也从少到多,产品质量从低到高逐渐发展。但产品与电工行业的国际标准 IEC 仍有一定的差距。

改革开放以后,我国低压电器制造工业有了飞速发展。一方面,国产产品如 CJ20 系列接触器, RJ20 系列热继电器, DZ20 系列塑料外壳式断路器都是国内 20 世纪 80 年代更新换代产品,符合国家新标准(参考 IEC 标准制定),有的甚至符合 IEC 标准。另一方面,积极从德国 BBC 公司、AEC 公司及西门子公司,美国西屋公司、日本寺崎公司等引进了接触器、热继电器、启动器、断路器等先进的产品制造技术,并基本实现国产化,使我国低压电器的产品质量有了较大的提高。

当前,我国低压电器的发展总是不断提高其技术参数的性能指标,并在其经济性能上下功夫。其间,使用新材料、新工艺、新技术对产品质量的提高、性能的改善有着十分重要的作用。同时我国大力开发新产品,特别是多功能化产品及机电一体化产品,如电子化的新型控制电器(接近开关、光电开关、固态继电器与接触器、电子式电机保护器等)正不断研制、开发出来。总之,低压电器正向高性能、高可靠性、多功能、小型化、使用方便等方向发展。

1.2 低压电器的电磁机构及执行机构

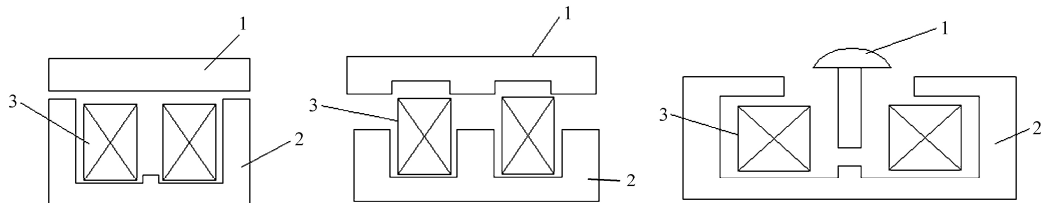
1.2.1 电磁机构

电磁机构的作用是将电磁能转换成为机械能并带动触点的闭合或断开,完成通断电路的控制作用。

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁组成,其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式,图 1.1 和图 1.2 是直动式和拍合式电磁机构的常用结构形式。图中,吸引线圈的作

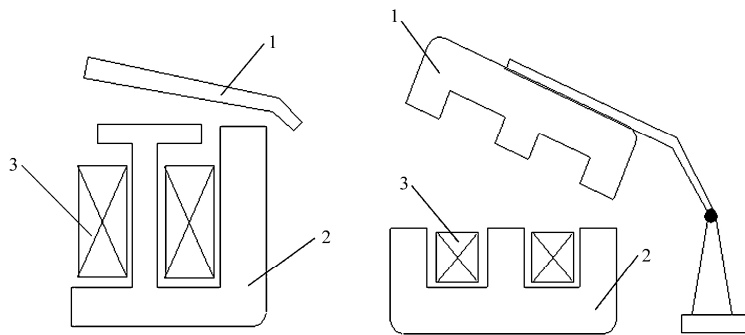


用是将电能转换为磁能，即产生磁通，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁心吸合。通入直流电的线圈称直流线圈，通入交流电的线圈称交流线圈。



1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

图 1.1 直动式电磁机构



1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

图 1.2 拍合式电磁机构

对于直流线圈，铁心不发热，只是线圈发热，因此线圈与铁心接触以利散热。线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型，以改善线圈自身散热。铁心和衔铁由软钢或工程纯铁制成。

对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁心中有涡流和磁滞损耗，铁心也会发热。为了改善线圈和铁心的散热情况，在铁心与线圈之间留有散热间隙，而且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁心用硅钢片叠成，以减小涡流。当线圈通过工作电流时产生足够的磁动势，从而在磁路中形成磁通，使衔铁获得足够的电磁力，克服反作用力而吸合。在交流电流产生的交变磁场中，为避免因磁通过零点造成衔铁的抖动，需在交流电器铁心的端部开槽，嵌入一铜短路环，使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零，使电磁吸力总是大于弹簧的反作用力，因而可以消除铁心的抖动。

另外，根据线圈在电路中的连接方式可分为串联线圈（即电流线圈）和并联线圈（即电压线圈）。串联（电流）线圈串接在线路中，流过的电流大，为减小对电路的影响，线圈的导线粗，匝数少，线圈的阻抗较小。并联（电压）线圈并联在线路上，为减小分流作用，降低对原电路的影响，需要较大的阻抗，因此线圈的导线细且匝数多。

1.2.2 触点系统

触点的作用是接通或分断电路，因此，要求触点具有良好的接触性能和导电性能，电流容量较小的电器，其触点通常采用银质材料。这是因为银质触点具有较低和较稳定的接触电阻，其氧化膜电阻率与纯银相似，可以避免触点表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触点的结构有桥式和指形两种, 图 1.3 为触点结构形式。

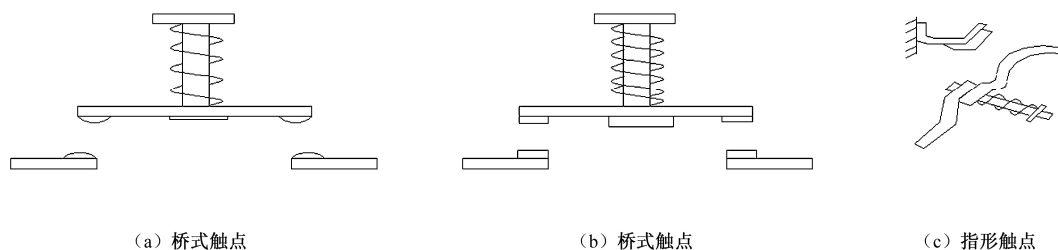


图 1.3 触点结构形式

桥式触点又分为点接触式和面接触式。点接触式适用于电流不大且触点压力小的场合, 面接触式适用于大电流的场合。指形触点在接通与分断时产生滚动摩擦, 可以去掉氧化膜, 故其触点可以用紫铜制造, 它适合于触点分合次数多、电流大的场合。

1.2.3 灭弧系统

触点分断电路时, 由于热电子发射和强电场的作用, 使气体游离, 从而在分断瞬间产生电弧。电弧的高温能将触点烧损, 缩短电气的使用寿命, 又延长了电路的分断时间。因此, 应采用适当措施迅速熄灭电弧。

低压控制电器常用的灭弧方法有以下几种。

1. 电动力吹弧

电动力吹弧示意图如图 1.4 所示, 桥式触点在分断时本身具有电动力吹弧功能, 不用任何附加装置, 便可使电弧迅速熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

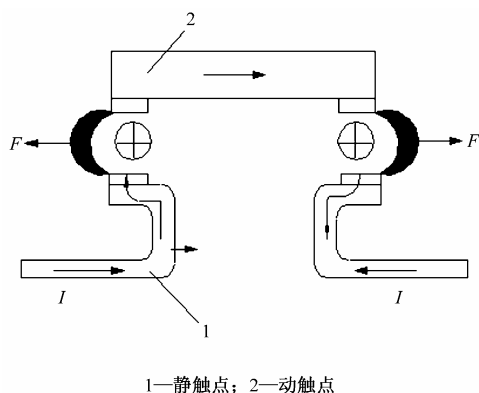


图 1.4 电动力灭弧示意图

2. 磁吹灭弧

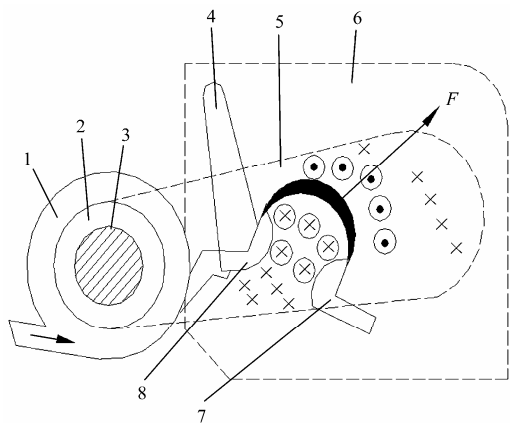
在触点电路中串入吹弧线圈, 如图 1.5 所示, 该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围, 其方向由右手定则确定 (如图中 \times 所示), 触点间的电弧所产生的磁场, 其方向为 \otimes 所示。这两个磁场在电弧下方方向相同 (叠加), 在弧柱上方方向相反 (相减), 所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下, 电弧受力的方向为力 F 所指

的方向, 在力 F 的作用下, 电弧被吹离触点, 经引弧角引进灭弧罩, 使电弧熄灭。

3. 栅片灭弧

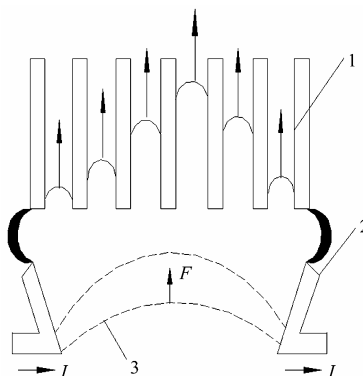
灭弧栅片是一组薄铜片, 它们彼此间相互绝缘, 如图 1.6 所示。当电弧进入栅片被分割成一段段串联的短弧, 而栅片就是这些短弧的电极。每两片电弧之间都有 $150 \sim 250\text{V}$ 的绝缘强度, 使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强, 以至外电压无法维持, 电弧迅速熄灭。由于栅片

灭弧效应在交流时要比直流强得多，所以交流电器常常采用栅片灭弧。



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

图 1.5 磁吹灭弧示意图



1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

图 1.6 栅片灭弧示意图

1.3 接触器

接触器是一种自动的电磁式电器，适用于远距离频繁接通或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，也可用于控制其他负载，如电焊机、电容器、电阻炉等。它不仅能实现远距离自动操作和欠电压释放保护及零电压保护功能，而且控制容量大，工作可靠，操作频率高，使用寿命长。常用的接触器分为交流接触器和直流接触器两类。

1.3.1 接触器结构和工作原理

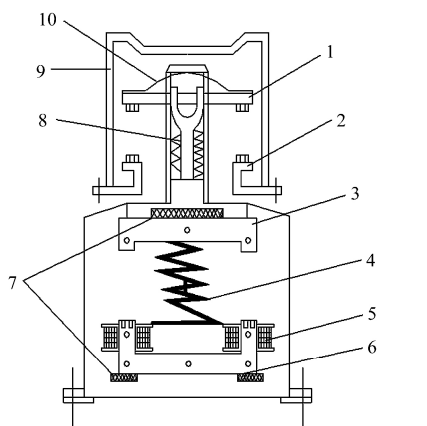
图 1.7 为交流接触器结构示意图，交流接触器由以下四部分组成。

1. 电磁机构

由电磁线圈、铁心和衔铁组成，其功能是操作触点的闭合和断开。

2. 触点系统

触点系统包括主触点和辅助触点。主触点用在通断电流较大的主电路中，一般由三对常开触点组成，体积较大。辅助触点用以通断小电流的控制电路，体积较小，它有“常开”、“常闭”触点（“常开”、“常闭”是指电磁系统未通电动作前触点的状态）。常开触点（又叫动合触点）是指线圈未通电时，其动、静触点是处于断开状态的，当线圈通电后就闭合。常闭触点（又叫动断触点）是指在线圈未通电时，其动、静触点



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

图 1.7 CJ20 交流接触器结构示意图