



面向21世纪机电及电气类专业高职高专规划教材



# 电气控制与PLC 原理及应用

■ 主编 常文平



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

# 电气控制与 PLC 原理及应用

主 编 常文平

副主编 赵 斌 郭艳萍

参 编 殷兴光 张 敏 王 鹏

西安电子科技大学出版社

2006

## 内 容 简 介

本书从实际应用出发,系统介绍了继电器—接触器控制系统设计,突出介绍了可编程控制器(PLC)控制系统的原理与应用。其主要内容有:常用低压电器的工作原理与选用、机床控制线路的基本环节和典型机床电气控制线路的分析、PLC的工作原理和指令、电气控制系统的设计和应用以及实验指导。

本书可作为高职高专电气类、机电类专业的教材,也可作为职大、电大等相关专业的教材,还可作为其他工程技术人员的参考书。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 原理及应用/常文平主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2006.1

面向 21 世纪机电及电气类专业高职高专规划教材

ISBN 7-5606-1614-3

I. 电… II. 常… III. ①电气设备—自动控制—高等学校:技术学校—教材 ②可编程序控制器—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM762 ②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 148781 号

策 划 马晓娟

责任编辑 阎 彬 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 15

字 数 347 千字

印 数 1~4000 册

定 价 17.00 元

ISBN 7-5606-1614-3/TP·0926

**XDUP 1906001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 前 言

“电气控制与 PLC 原理及应用”是高职高专电气类、机电类专业的主干课程。作为一门重要课程的教材，本书本着培养复合型应用人才的宗旨，在注重基础理论的同时，突出针对性、实用性和先进性，力图做到由简到繁、深入浅出、主次分明，尽可能体现高职高专教育的特点。

随着科学技术日新月异的发展，PLC(Programmable Control)的性价比不断提高，电气控制技术进入新的发展时期。为便于前后承接，既体现电气控制技术的现状，又体现 PLC 控制技术的发展方向，本书在兼顾继电器—接触器控制等内容的同时，还重点讲解了 PLC 控制系统。考虑到西门子公司的 PLC 在我国占有的份额以及其快速发展的趋势，本书以西门子公司 S7-200 系列的 CPU22X 为例，讲述了 PLC 的硬件组成、工作原理和指令系统以及系统设置、调试和使用方法，并通过大量模拟工程实践环节的训练，来培养学生的 PLC 控制系统的应用能力。在教学过程中，可以根据不同专业对本书内容进行适当的删减，参考教学时数为 50~60 学时。

全书共分 8 章，主要内容有：常用低压电器；继电器—接触器控制电路的基本环节；典型机床电气控制电路；可编程控制器简介；S7-200 系列 PLC 基本指令；S7-200 系列 PLC 功能指令；电气控制系统设计；实验指导。

本书由常文平任主编，赵斌、郭艳萍任副主编。河南漯河职业技术学院的郭艳萍编写了第 1 章，西安理工大学高职学院的王鹏编写了第 2 章，陕西国防工业职业技术学院的殷兴光编写了第 3 章和第 4 章，河南机电高等专科学校的张敏编写了第 4 章和附录，赵斌编写了第 5 章和第 6 章，常文平编写了第 7 章和第 8 章。全书由常文平负责统稿。

由于作者水平有限，书中不妥、疏漏或错误之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

作 者  
2006 年 1 月

# 目 录

绪论 .....	1
第 1 章 常用低压电器 .....	3
1.1 低压电器的基本知识 .....	3
1.1.1 低压电器的分类 .....	3
1.1.2 低压电器的基本结构 .....	4
1.1.3 灭弧系统 .....	6
1.2 熔断器 .....	8
1.2.1 熔断器的结构和工作原理 .....	8
1.2.2 熔断器的分类 .....	8
1.2.3 熔断器的选择 .....	10
1.3 刀开关 .....	11
1.3.1 刀开关的结构和安装 .....	11
1.3.2 常用刀开关 .....	12
1.4 低压断路器 .....	13
1.4.1 低压断路器的结构和工作原理 .....	13
1.4.2 低压断路器的分类 .....	15
1.4.3 低压断路器的主要技术参数 .....	16
1.4.4 低压断路器的选择 .....	18
1.4.5 智能化低压断路器 .....	18
1.5 接触器 .....	19
1.5.1 电磁式交流接触器的结构和工作原理 .....	19
1.5.2 直流接触器 .....	20
1.5.3 接触器的主要技术参数和选择 .....	20
1.5.4 真空交流接触器 .....	21
1.6 继电器 .....	22
1.6.1 概述 .....	22
1.6.2 电磁式电流、电压及中间继电器 .....	22
1.6.3 时间继电器 .....	24
1.6.4 热继电器 .....	27
1.6.5 速度继电器 .....	28
1.6.6 固态继电器 .....	29
1.7 主令电器 .....	31
1.7.1 控制按钮 .....	31
1.7.2 行程开关 .....	32
1.7.3 接近开关 .....	33
1.7.4 万能转换开关 .....	35

小结 .....	36
思考题 .....	36
<b>第 2 章 继电器—接触器控制电路的基本环节 .....</b>	<b>37</b>
2.1 电气控制系统图 .....	37
2.1.1 电气原理图 .....	37
2.1.2 电器元件布置图 .....	39
2.1.3 电气接线图 .....	40
2.2 电路的逻辑表示及逻辑运算 .....	40
2.2.1 电器元件的逻辑表示 .....	41
2.2.2 电路状态的逻辑表示 .....	41
2.2.3 电路化简的逻辑法 .....	42
2.3 三相异步电动机的启动控制电路 .....	42
2.3.1 全压启动控制电路 .....	43
2.3.2 点动控制电路 .....	44
2.3.3 笼形异步电动机 Y- $\Delta$ 减压启动控制电路 .....	45
2.3.4 自耦变压器(补偿器)减压启动控制电路 .....	46
2.4 三相异步电动机的运行控制电路 .....	48
2.4.1 多地点控制电路 .....	48
2.4.2 多台电动机顺序启、停控制电路 .....	48
2.4.3 三相异步电动机的正、反转控制电路 .....	50
2.4.4 双速异步电动机的控制电路 .....	52
2.5 三相异步电动机的制动控制电路 .....	54
2.5.1 电磁式机械制动控制电路 .....	54
2.5.2 电气制动控制电路 .....	55
2.6 电液控制电路 .....	58
小结 .....	60
思考题 .....	60
<b>第 3 章 典型机床电气控制电路 .....</b>	<b>62</b>
3.1 电气控制电路分析基础 .....	62
3.1.1 电气控制电路分析的内容 .....	62
3.1.2 电气控制原理图的阅读和分析方法 .....	63
3.2 C650 卧式车床电气控制电路 .....	63
3.2.1 结构、运动形式和控制要求 .....	63
3.2.2 主电路分析 .....	64
3.2.3 控制电路分析 .....	66
3.2.4 辅助电路分析 .....	67
3.3 X62W 卧式万能铣床电气控制电路 .....	67
3.3.1 结构、运动形式和控制要求 .....	67
3.3.2 主电路分析 .....	68
3.3.3 控制电路分析 .....	68
3.3.4 辅助电路分析 .....	72
3.4 T68 卧式镗床电气控制电路 .....	72

3.4.1	结构、运动形式和控制要求	72
3.4.2	主电路分析	73
3.4.3	控制电路分析	75
3.4.4	辅助电路分析	76
3.5	M7130 平面磨床电气控制电路	76
3.5.1	结构、运动形式和控制要求	76
3.5.2	主电路分析	77
3.5.3	控制电路分析	77
3.5.4	辅助电路分析	77
3.6	组合机床电气控制电路	79
3.6.1	机械动力滑台的电气控制	79
3.6.2	液压回转工作台的电气控制	81
	小结	83
	思考题	83
<b>第 4 章</b>	<b>可编程控制器简介</b>	<b>84</b>
4.1	概述	84
4.1.1	可编程控制器的产生与发展	84
4.1.2	可编程控制器的特点和分类	85
4.2	S7-200 系列 PLC 的组成和工作原理	87
4.2.1	CPU226 型 PLC 的组成	87
4.2.2	工作原理	91
4.3	S7-200 系列 PLC 内部元器件	93
4.3.1	数据存储类型及寻址方式	93
4.3.2	S7-200 数据存储区及元件功能	96
4.3.3	S7-200 PLC 的有效编程范围	101
4.4	输入、输出及扩展	103
4.4.1	本机及扩展 I/O 编址	104
4.4.2	扩展模块的安装与连接	105
4.4.3	S7-200 系统块配置	106
4.5	S7-200 系列 PLC 的编程语言	107
4.5.1	梯形图编辑器	107
4.5.2	语句表编辑器	107
4.5.3	功能块图编辑器	108
	小结	108
	思考题	109
<b>第 5 章</b>	<b>S7-200 系列 PLC 基本指令</b>	<b>110</b>
5.1	基本逻辑指令	110
5.1.1	基本位操作指令	110
5.1.2	取非和空操作指令	114
5.1.3	置位、复位指令	115
5.1.4	边沿触发指令(脉冲生成)	116
5.1.5	定时器指令	117

5.1.6	计数器指令	120
5.1.7	比较指令	122
5.2	算术、逻辑运算指令	123
5.2.1	算术运算指令	123
5.2.2	数学函数变换指令	127
5.2.3	增1/减1计数	129
5.2.4	逻辑运算指令	130
5.3	数据处理指令	131
5.3.1	数据传送	131
5.3.2	字节交换/填充指令	133
5.3.3	移位指令	134
5.4	程序控制类指令	136
5.4.1	系统控制类指令	136
5.4.2	跳转、循环指令	137
5.4.3	顺序控制指令	140
	小结	142
	思考题	142
<b>第6章 S7-200 系列 PLC 功能指令</b>		144
6.1	表功能指令	144
6.1.1	填表指令(ATT)	144
6.1.2	表取数指令	146
6.1.3	表查找指令	147
6.2	转换指令	148
6.2.1	数据的类型转换	148
6.2.2	数据的编码和译码指令	151
6.3	中断指令	154
6.3.1	中断源	154
6.3.2	中断控制	155
6.3.3	中断程序	156
6.4	高速处理指令	157
6.4.1	高速计数指令	157
6.4.2	高速脉冲输出	159
6.4.3	立即类指令	161
6.5	其他功能指令	162
6.5.1	时钟指令	162
6.5.2	通信指令	162
6.5.3	PID 指令	163
	小结	163
	思考题	163
<b>第7章 电气控制系统设计</b>		165
7.1	电气控制系统设计的内容	165
7.1.1	电气控制系统设计的基本原则	165

7.1.2 电气控制系统设计的基本内容 .....	165
7.2 电气接线图的设计方法 .....	166
7.3 继电器—接触器控制线路的设计方法 .....	168
7.4 PLC 控制系统设计的内容和方法 .....	170
7.4.1 设计原则 .....	170
7.4.2 设计内容和方法 .....	170
7.5 应用示例 .....	176
7.5.1 继电器—接触器控制系统设计应用示例 .....	176
7.5.2 PLC 控制系统设计应用示例 .....	180
小结 .....	187
思考题 .....	187
<b>第 8 章 实验指导</b> .....	<b>189</b>
实验一 三相异步电动机 Y- $\Delta$ 降压启动控制 .....	189
实验二 三相异步电动机的能耗制动和反接制动 .....	192
实验三 SIMATIC 的使用方法和 PLC 的应用练习 .....	193
实验四 由 PLC 控制电动机的正、反向 Y- $\Delta$ 降压启动 .....	195
实验五 工作台的 PLC 自动循环控制 .....	196
实验六 交通灯的 PLC 控制 .....	197
实验七 多种液体自动混合 PLC 控制 .....	199
实验八 水塔水位 PLC 控制 .....	200
实验九 循环显示 PLC 控制 .....	201
实验十 电梯 PLC 控制 .....	202
<b>附录 A 电气图常用文字、图形符号</b> .....	<b>205</b>
<b>附录 B SIMATIC 软件介绍</b> .....	<b>210</b>
B.1 SIMATIC S7-200 编程软件 .....	210
B.1.1 STEP7-Micro/WIN32 软件 .....	210
B.1.2 编程软件的安装 .....	210
B.1.3 建立 S7-200 CPU 的通讯 .....	210
B.2 STEP7-Micro/WIN32 软件介绍 .....	212
B.2.1 STEP7 软件的基本功能 .....	212
B.2.2 STEP7-Micro/WIN32 窗口组件及功能 .....	212
B.2.3 系统模块的设置原理及系统块配置(CPU 组态)方法 .....	215
B.3 程序编制及运行 .....	219
B.3.1 建立项目(用户程序) .....	219
B.3.2 梯形图编辑器 .....	219
B.3.3 程序的监视、运行、调试及其他 .....	224
<b>附录 C PLC 特殊标志存储器和错误信息</b> .....	<b>226</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>228</b>

# 绪 论

## 1. 电气控制技术的发展状况

在现代工业中,为了实现各种生产工艺过程的要求,需要使用各种各样的生产机械。驱动生产机械的工作机构运动的电气机械装置称为电力拖动。在电力拖动中,电动机是生产机械的原动机,必须根据生产工艺的要求,通过各种控制电器,自动实现其启动、制动、反转及调速等控制,从而产生了电气自动控制技术。

20世纪20~30年代,人们采用继电器及接触器等元器件控制电动机的运行,这种控制系统称为继电器—接触器控制系统。这类系统结构简单、价格低廉、维护方便,因此被广泛应用于各类机床和机械设备中。采用这种系统不但可以方便地实现生产过程自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,我国的大部分机床和其他机械设备仍旧采用继电器—接触器控制系统。由于该系统是固定接线形式,故在改变生产工艺时需要重新布线,控制的灵活性较差。另外,该系统采用有触点元件控制,动作频率低,触点易损坏,系统的可靠性差。

20世纪40年代,世界上出现了交磁放大机—电动机控制,这是一种闭环反馈系统,它利用输出量与给定量的偏差进行自动控制,其控制精度和快速性都有了提高。20世纪60年代出现了晶体管—晶闸管控制,到了70年代发展成为集成电路放大器—晶闸管控制。由晶闸管供电的直流调速系统和交流调速系统不仅调速性能大为改善,而且减少了机电设备和占地面积,耗电少、效率高,已完全取代了交磁放大机—电动机系统。

在实际生产中,由于大量存在一些由开关量控制的简单程序控制过程,而实际生产工艺和流程又是经常变化的,因此需要一种能灵活改变程序的新型控制器。于是,在20世纪60年代出现了一种能够根据生产需要方便地改变控制程序,而又比电子计算机结构简单、价格低廉的自动化装置——顺序控制器。它是通过组合逻辑元件插接或编程来实现继电器—接触器控制线路功能的装置,能满足程序经常改变的控制要求,使控制系统具有较大的灵活性和通用性,但它使用的依然是硬件手段,装置体积大,功能也受到一定限制。随着大规模集成电路和微处理器技术的发展和应用,上述控制技术也发生了根本变化,在20世纪70年代出现了以微处理器为核心的、用软件手段来实现各种控制功能的新颖工业控制器——可编程序控制器(PLC)。它不仅充分利用了微处理器的优点来满足各种工业领域的实时控制要求,而且还照顾到了现场电气操作维护人员的技能和习惯,摒弃了微机常用的计算机编程语言的表达形式,独具风格地形成了一套以继电器梯形图为基础的形象编程语言和模块化的软件结构,使用户程序的编制清晰直观,方便易学,更容易调试和查错。它已经取代了继电器—接触器控制系统,被广泛应用于大规模的生产过程控制中,具有通用性强、程序可变、编程容易、可靠性高、使用维护方便等优点,故目前世界各国已将它作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制中。

电气控制技术是随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断提高而迅速发展的。在控制方法上,它是从手动控制到自动控制;在控制功能上,它是从简单到复杂;在操作上,它是从笨重到轻巧;在控制原理上,它是由单一的有触点硬接线的继电器—接触器控制系统到以微处理器为中心的软件控制系统。随着新的控制理论和新型电器及电子元件的出现,电气控制技术还将不断得到发展。

## 2. 本课程的内容与任务

“电气控制与 PLC 原理及应用”课程作为电气类、机电类等专业的基础课,在整个专业的课程体系中起着承上启下的作用。明确它在专业中的性质和地位,正确处理它与先行课程及后续课程的关系,是学好该课程的首要问题。在整个课程体系中,与它密切相关的先行课程是“电路基础”和“电力拖动基础”,它所服务的后续课程是“电力电子变流技术”、“工厂供电”、“自动控制原理与系统”等课程。

“电气控制与 PLC 原理及应用”是一门实践性较强的课程,它以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍电气控制的基本原理、典型控制线路及设计。电气控制技术涉及面很广,各种电气控制设备种类繁多、功能各异,但就其控制原理、基本线路、设计基础而言是相似的。本书从应用角度出发,以方法论为手段,讲授上述几方面内容,以培养电气控制系统的分析及设计的基本能力。

本课程的任务是:

- (1) 熟悉常用低压电器的结构、工作原理、用途及型号,达到能正确使用和选用的目的。
- (2) 熟练掌握电气控制线路的基本环节,具有对一般电气控制线路的独立分析能力。
- (3) 熟悉典型生产设备的电气控制系统,具有从事电气设备的安装、调试、运行和维护等技术工作的能力。
- (4) 了解可编程控制器的工作原理及应用发展情况,熟练掌握可编程控制器的指令系统和编程方法。
- (5) 具有设计和改进电气控制系统的基本能力。

# 第 1 章 常用低压电器

## 1.1 低压电器的基本知识

在我国的经济建设和人民生活中,电能的应用越来越广泛。要实现工业、农业、国防和科学技术的现代化,就更离不开电气化。为了安全、可靠地使用电能,电路中就必须装有各种起调节、分配、控制和保护作用的电气设备,这些电气设备统称为电器。从生产或使用的角度来看,电器可分为高压电器和低压电器两大类。我国的现行标准是将工作电压交流 1200 V 以下、直流 1500 V 以下的电气线路中的电气设备称为低压电器。

### 1.1.1 低压电器的分类

低压电器的种类繁多,按其结构、用途及所控制的对象的不同,可以有不同的分类方式,以下介绍三种分类方式。

#### 1. 按用途和控制对象分

按用途和控制对象的不同,可将低压电器分为配电电器和控制电器。

(1) 用于低压电力网的配电电器。这类电器包括刀开关、转换开关、空气断路器和熔断器等。对配电电器的主要技术要求是断流能力强,限流效果好,在系统发生故障时保护动作准确,工作可靠,有足够的热稳定性和动稳定性。

(2) 用于电力拖动及自动控制系统的控制电器。这类电器包括接触器、启动器和各种控制继电器等。对控制电器的主要技术要求是操作频率高,寿命长,有相应的转换能力。

#### 2. 按操作方式分

按操作方式的不同,可将低压电器分为自动电器和手动电器。

(1) 自动电器。通过电磁(或压缩空气)做功来完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为自动电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

(2) 手动电器。通过人力做功来完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为手动电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

#### 3. 按工作原理分

按工作原理的不同,可将低压电器分为电磁式电器和非电量控制电器。

电磁式电器是依据电磁感应原理来工作的电器,如接触器、各类电磁式继电器等。非电量控制电器是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器,如行程开关、速度继电器等。

另外,低压电器按工作条件还可划分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电

器、牵引电器及航空电器等几类。对应于不同类型低压电器的防护型式，对其耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求是不同的。

### 1.1.2 低压电器的基本结构

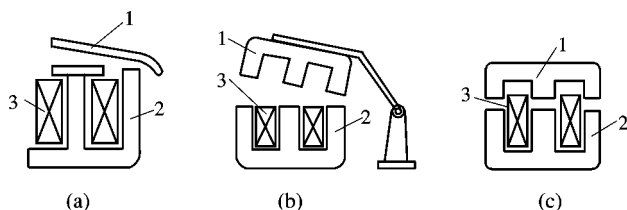
电磁式低压电器大都由两个主要部分组成，即感测部分——电磁机构和执行部分——触头系统。

#### 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，带动触头动作，从而接通或分断电路。

电磁机构由吸引线圈、铁心和衔铁三个基本部分组成。

常用的电磁机构可分为三种型式，如图 1-1 所示。



1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

图 1-1 常见的电磁机构

(1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，如图 1-1(a)所示。这种型式广泛应用于直流电器中。

(2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心，如图 1-1(b)所示。其铁心形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

(3) 衔铁沿直线运动的双 E 型直动式铁心，如图 1-1(c)所示。此种结构多用于交流接触器、继电器中。

#### 1) 直流电磁铁和交流电磁铁

按吸引线圈所通电流性质的不同，电磁铁可分为直流电磁铁和交流电磁铁。

直流电磁铁由于通入的是直流电，其铁心不发热，只有线圈发热，因此，线圈与铁心接触有利于散热，线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型，可以改善线圈自身的散热。铁心和衔铁由软钢和工程纯铁制成。

交流电磁铁由于通入的是交流电，铁心中存在磁滞损耗和涡流损耗，这样会使线圈和铁心都发热，因此，交流电磁铁的吸引线圈设有骨架，使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型，这样有利于铁心和线圈的散热。铁心用硅钢片叠加而成，以减小涡流损耗。

电磁铁工作时，线圈产生的磁通作用于衔铁，产生电磁吸力，并使衔铁产生机械位移。衔铁在复位弹簧的作用下复位。因此，作用在衔铁上的力有两个：电磁吸力与反力。电磁吸力由电磁机构产生，反力则由复位弹簧和触头弹簧产生。铁心吸合时要求电磁吸力大于反力，即衔铁位移的方向与电磁吸力方向相同；衔铁复位时要求反力大于电磁吸力。直流电磁铁的电磁吸力公式为

$$F = 4B^2 S \times 10^5 \quad (1-1)$$

式中： $F$ ——电磁吸力(单位为 N)；  
 $B$ ——气隙磁感应强度(单位为 T)；  
 $S$ ——磁极截面积(单位为  $m^2$ )。

由式(1-1)可知：当线圈中通以直流电时， $B$  不变， $F$  为恒值；当线圈中通以交流电时，磁感应强度为交变量，即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-2)$$

由式(1-1)和式(1-2)可得：

$$\begin{aligned} F &= 4B^2 S \times 10^5 \\ &= 4S \times 10^5 B_m^2 \sin^2 \omega t \\ &= 2B_m^2 S (1 - \cos 2\omega t) \times 10^5 \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \times 10^5 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-3)$$

由式(1-3)可知：交流电磁铁的电磁吸力在 0(最小值)~ $F_m$ (最大值)之间变化，其吸力曲线如图 1-2 所示。在一个周期内，当电磁吸力的瞬时值大于反力时，铁心吸合；当电磁吸力的瞬时值小于反力时，铁心释放。当电源电压变化一个周期时，电磁铁吸合两次、释放两次，使电磁机构产生剧烈的振动和噪音，因而不能正常工作。

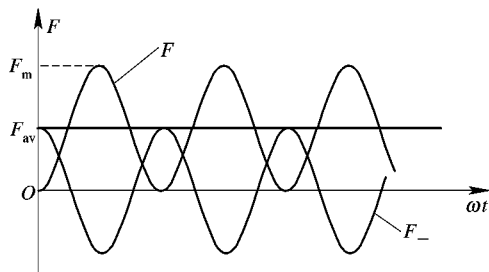
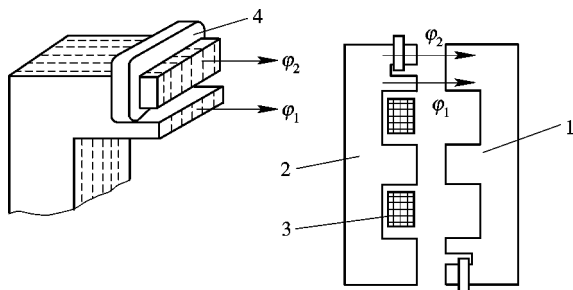


图 1-2 交流电磁铁吸力变化情况

## 2) 短路环的作用

为了消除交流电磁铁产生的振动和噪音，可在铁心的端面开一小槽，在槽内嵌入铜制短路环，如图 1-3 所示。加上短路环后，磁通被分成大小相近、相位相差约  $90^\circ$  的两相磁通  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ ，因此两相磁通不会同时为零。由于电磁吸力与磁通的平方成正比，因此由两相磁通产生的合成电磁吸力较为平坦，在电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力，使铁心牢牢吸合，从而可消除振动和噪音。



1—衔铁；2—铁心；3—线圈；4—短路环

图 1-3 交流电磁铁的短路环

## 2. 触头系统

触头是电器的执行部分，起接通和分断电路的作用。触头通常用铜制成。由于铜制触头表面易产生氧化膜，使触头的接触电阻增大，从而使触头的损耗也增大，因此，有些小容量电器的触头采用银制材料，以减小接触电阻。

触头主要有两种结构形式：桥式触头和指形触头，如图 1-4 所示。

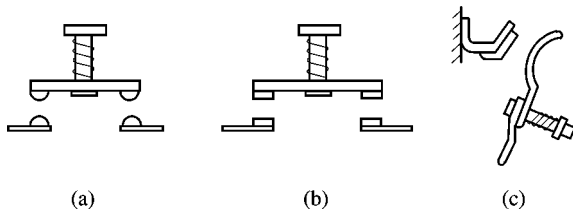


图 1-4 触头的结构形式

桥式触头(见图 1-4(a)和图 1-4(b))的两个触点串于同一条电路中，电路的通断由两个触头共同完成。桥式触头多为面接触，常用于大容量电器中。

指形触头(见图 1-4(c))的接触区为一直线，触头接通或分断时将产生滚动摩擦，以利于去掉氧化膜，同时也可缓冲触头闭合时的撞击能量，改善触头的电气性能。

为了使触头接触得更加紧密，以减小接触电阻，并消除开始接触时产生的振动，可在触头上安装接触弹簧。

### 1.1.3 灭弧系统

在大气中分断电路时，由于电场的存在，触头表面的大量电子溢出会产生电弧。电弧一经产生，就会产生大量热能。电弧的存在既烧蚀了触头的金属表面，降低了电器的使用寿命，又延长了电路的分断时间，所以必须迅速把电弧熄灭。

为使电弧熄灭，可采用将电弧拉长、使弧柱冷却、把电弧分成若干短弧等方法。灭弧装置就是基于这些原理来设计的。

#### 1. 电动力灭弧

图 1-5 所示是一种桥式结构双断点触头系统。当触头分断时，在断口处将产生电弧。电弧电流在两电弧之间产生如图 1-5 所示的磁场。根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的电动力  $F$  的作用，使电弧向外运动并拉长，同时也使电弧温度降低，有助于熄灭电弧。

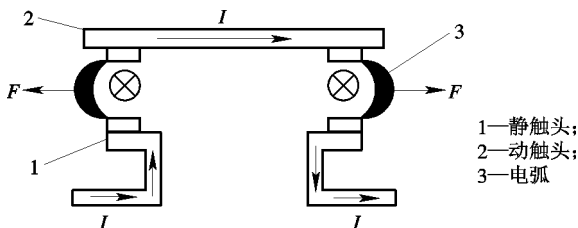


图 1-5 双断点触头的电动力灭弧

这种灭弧方法简单，无需专门的灭弧装置，一般用于接触器等交流电器。当交流电弧电流过零时，触头间隙的介质强度迅速恢复，将电弧熄灭。

## 2. 磁吹灭弧

磁吹灭弧的原理如图 1-6 所示。在触头电路中串入一个磁吹线圈，该线圈产生的磁通经过导磁夹板引向触头周围，如图 1-6 所示。由图可见，在弧柱下方，两个磁通是相加的，而在弧柱上方是彼此相减的，因此，在下强上弱的磁场作用下，电弧被拉长并吹入灭弧罩中。引弧角与静触头相连接，其作用是引导电弧向上运动，将热量传递给罩壁，使电弧冷却熄灭。

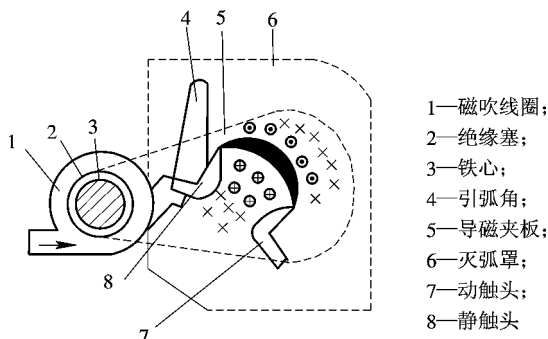


图 1-6 磁吹灭弧示意图

该灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧的，因而电弧电流越大，吹弧能力也越强。它广泛应用于直流接触器中。

## 3. 金属栅片灭弧

图 1-7 所示为金属栅片灭弧装置示意图。灭弧栅是由多片镀铜薄钢片(称为栅片)组成的，它们安放在电器触头上方的灭弧栅内，彼此之间互相绝缘。当电器的触头分离时，所产生的电弧在吹磁电动力作用下被推向灭弧栅内。当电弧进入栅片后被分割成一段段串联的短弧，而栅片就是这些短弧的电极。每两片灭弧栅片之间都有 150~250 V 的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强，以致外加电压无法维持，电弧迅速熄灭。除此之外，栅片还能吸收电弧热量，使电弧吸收冷却。基于上述原因，电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在交流时要比直流时强得多，因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

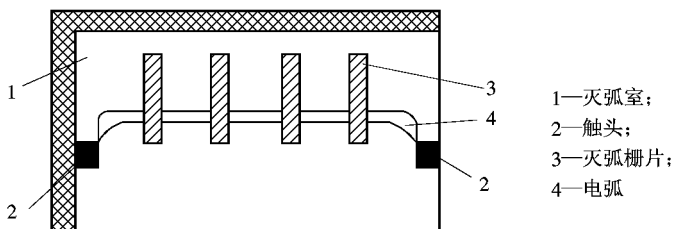


图 1-7 金属栅片灭弧示意图

## 1.2 熔断器

熔断器是一种结构简单、使用方便、价格低廉、控制有效的短路保护电器。它串联在电路中，当电路或用电设备发生短路时，熔体能自身熔断，切断电路，阻止事故蔓延，因而能实现短路保护。无论是在强电系统还是弱电系统中，熔断器都得到了广泛的应用。

### 1.2.1 熔断器的结构和工作原理

熔断器主要由熔体(俗称保险丝)和安装熔体的熔管(或熔座)组成。熔体是熔断器的主要部分，其材料一般由熔点较低、电阻率较高的金属材料铝锡合金丝、铅锡合金丝或铜丝制成。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔断器的熔体与被保护的电路串联，当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的电流而不熔断；当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，一旦电流产生的热量达到熔体的熔点，熔体熔断切断电路，从而达到保护电路的目的。

电流流过熔体时产生的热量与电流的平方和电流通过的时间成正比，因此，电流越大，则熔体熔断的时间越短。这一特性称为熔断器的保护特性(或安秒特性)，如图 1-8 所示。熔断器的安秒特性为反时限特性，即短路电流越大，熔断时间越短，这样就能满足短路保护的要求。由于熔断器对过载反应不灵敏，因此不宜用于过载保护，而主要用于短路保护。表 1-1 表示出某熔体的安秒特性数值关系。

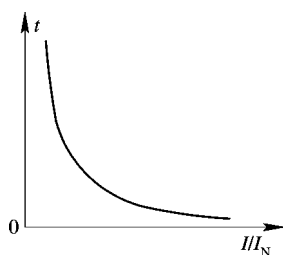


图 1-8 熔断器的安秒特性

表 1-1 某熔体的安秒特性数值关系

熔断电流	$1.25 I_N \sim 1.3 I_N$	$1.6 I_N$	$2 I_N$	$2.5 I_N$	$3 I_N$	$4 I_N$
熔断时间	$\infty$	1 h	40 s	8 s	4.5 s	2.5 s

### 1.2.2 熔断器的分类

熔断器的类型很多，按结构形式可分为插入式熔断器、螺旋式熔断器、封闭管式熔断器、快速熔断器和自复式熔断器等。

#### 1. 插入式熔断器

常用的插入式熔断器有 RC1A 系列，其结构如图 1-9 所示。它由瓷盖、瓷座、触头和