



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**E**lectrical Control and PLC Technology

# 电气控制 及 PLC 应用技术

董海棠 周志文 主编

彭珍瑞 主审

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

**E**lectrical Control and PLC Technology

# 电气控制 及 PLC 应用技术

董海荣 周志文 主编

彭珍瑞 主审



人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

电气控制及PLC应用技术 / 董海棠, 周志文主编. —  
北京: 人民邮电出版社, 2013. 5  
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材  
ISBN 978-7-115-30792-7

I. ①电… II. ①董… ②周… III. ①电气控制—高等学校—教材②plc技术—高等学校—教材 IV.  
①TM571. 2②TM571. 6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025085号

## 内 容 提 要

本书以大学本科教育工科类专业为背景, 内容以电气控制系统和 PLC 应用技术为主, 系统且有重点地介绍常用低压电器的使用方法, 电气控制线路分析方法以及 S7-300 PLC 在电气控制系统中的应用。

全书共分 8 章, 内容包括常用低压电器、电气控制线路基础、典型生产机械电气控制线路分析、可编程控制器概述、S7-300 PLC 的硬件与组态、S7-300 PLC 的指令系统与应用、S7-300 PLC 程序设计方法、S7-300 PLC 的通信与网络等。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化、测控技术与仪器、电力系统自动化、机械设计制造及其自动化等相关专业教材, 也可作为电力系统领域的广大工程技术人员和科技工作者的学习参考书。

21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

### 电气控制及 PLC 应用技术

- 
- ◆ 主 编 董海棠 周志文  
主 审 彭珍瑞  
责任编辑 刘盛平
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
三河市海波印务有限公司印刷
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 13.5 2013 年 5 月第 1 版  
字数: 333 千字 2013 年 5 月河北第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-30792-7

定价: 29.80 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

本书以大学本科教育工科类专业为背景，内容以电气控制系统和 PLC 应用技术为主，系统且有重点地介绍了常用低压电器，电气控制线路分析方法以及 S7-300 PLC 在电气控制系统中的应用。

全书共分 8 章，内容概括如下：第一章介绍了常用低压电器；第二章介绍了三相异步电动机的启动、制动以及保护；第三章对常见生产机械的电气控制线路进行了分析；第四章介绍了 PLC 的结构和工作原理；第五章详细介绍了 S7-300 PLC 系统结构和 STEP 7 编程软件的使用；第六章详细介绍了 S7-300 PLC 的指令系统及应用；第七章介绍了 S7-300 PLC 程序结构及应用系统的设计；第八章介绍了 S7-300 PLC 的通信与网络通信技术。

本书注重实际，强调应用，是一本工程性较强的应用类教材，可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化、测控技术与仪器、电力系统自动化、机械设计制造及其自动化等相关专业的教材，也可作为电力系统领域的广大工程技术人员和科技工作者的学习参考书。

本书 S7-300 PLC 应用部分的绝大多数例题都有仿真练习，读者可按书中的叙述生成项目、组态硬件、编写程序和做仿真实验。同时在学习例题的基础上，做类似的或进一步的操作和练习，以巩固所学的知识。

本书由董海棠、周志文主编，彭珍瑞教授主审，由董海棠、周志文、万国峰和李雪共同编写，最后由董海棠统稿、定稿。在本书的编写过程中得到孟建军、祁文哲等教授的大力支持，李辉、岳艳红、侯飞、张淑梅、敖可、王强能等也做了许多具体工作，在此一并表示感谢。此外，在本书编写过程中参考了一些相关的优秀教材，使我们受益匪浅，特此表示谢意。

由于编者水平有限，书中难免会有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。我们的邮箱是：dhaitang@yahoo.cn。

编 者

2013 年 1 月

# 目 录

绪 论 .....	1	一、电气图中的图形符号、文字 符号和接线端子标记 .....	27
第一章 常用低压电器 .....	3	二、电气控制原理图 .....	28
第一节 电器的基本知识 .....	3	三、电器元件布置图 .....	30
一、电器的定义和分类 .....	3	四、电气元件接线图 .....	31
二、电磁式电器 .....	4	第二节 三相笼型异步电动机 全压启动控制 .....	32
三、电器的触点系统 .....	7	一、全压启动控制线路 .....	32
四、电弧的产生及灭弧方法 .....	8	二、点动控制与连续控制线路 .....	34
第二节 开关电器 .....	10	三、正反转控制线路 .....	35
一、刀开关 .....	10	四、自动往复控制电路 .....	36
二、低压断路器 .....	11	五、多点控制系统 .....	37
第三节 熔断器 .....	12	六、顺序控制电路 .....	37
一、熔断器的结构 .....	13	第三节 三相笼型异步电动机 降压启动控制 .....	39
二、熔断器的分类 .....	14	第四节 三相笼型异步电动机 速度控制线路 .....	43
三、熔断器的选择 .....	14	第五节 三相异步电动机的制动控制 .....	45
第四节 主令电器 .....	15	一、反接制动控制线路 .....	45
一、控制按钮 .....	15	二、能耗制动控制线路 .....	48
二、行程开关 .....	16	第六节 电动机控制的保护环节 .....	50
三、接近开关 .....	17	一、短路保护 .....	50
四、组合开关 .....	17	二、过载保护 .....	50
第五节 接触器 .....	18	三、过电流保护 .....	51
一、接触器的结构及工作原理 .....	18	四、零电压和欠电压保护 .....	51
二、直流接触器 .....	19	第七节 电气控制线路的简单设计法 .....	52
三、交流接触器的技术参数 .....	19	一、简单设计法介绍 .....	52
四、接触器选择 .....	20	二、简单设计法设计举例 .....	56
五、接触器常见故障分析 .....	20	习题与思考题 .....	57
第六节 继电器 .....	20	第三章 典型生产机械电气控制 线路分析 .....	59
一、电磁式继电器 .....	21	第一节 电气控制线路分析基础 .....	59
二、时间继电器 .....	22	一、电气控制线路分析的 内容与要求 .....	59
三、热继电器 .....	23		
四、速度继电器 .....	24		
五、液位继电器 .....	25		
习题与思考题 .....	26		
第二章 电气控制线路基础 .....	27		
第一节 电气控制系统图 .....	27		

二、电气原理图阅读分析的方法与步骤.....	60	二、S7-300 PLC 的模块简介.....	87
第二节 C650 卧式车床的电气控制线路分析.....	63	三、将模拟量输入模块的输出值转换为实际的物理值.....	91
一、机床的主要结构和运动形式.....	63	四、I/O 模块的地址分配.....	92
二、电力拖动及控制要求.....	64	第二节 STEP 7 编程软件的使用.....	94
三、电气控制线路分析.....	64	一、SIMATIC 管理器.....	94
四、C650 卧式车床电气控制线路的特点.....	66	二、项目的创建.....	95
第三节 T68 型卧式镗床电气控制线路分析.....	66	三、STEP 7 与 PLC 通信连接的组态.....	97
一、主要结构和运动形式.....	66	四、硬件组态.....	98
二、电力拖动形式和控制要求.....	67	五、生成梯形图.....	100
三、电气控制线路分析.....	67	六、用 PLCSIM 调试程序.....	103
四、T68 型卧式镗床电气控制线路的特点.....	70	习题与思考题.....	108
第四节 X62W 型卧式万能铣床电气控制线路分析.....	70	第六章 S7-300 PLC 的指令系统与应用.....	109
一、主要结构与运动分析.....	71	第一节 S7-300 编程基础.....	109
二、电力拖动和控制要求.....	72	一、数制.....	109
三、电气控制线路分析.....	72	二、数据类型.....	110
四、X62W 卧式万能铣床电气控制线路的特点.....	78	三、S7-300 PLC 的存储区.....	112
习题与思考题.....	78	四、CPU 中的寄存器.....	113
第四章 可编程控制器概述.....	79	五、寻址方式.....	115
第一节 PLC 的概念.....	79	第二节 位逻辑指令.....	117
一、PLC 的产生和定义.....	79	一、触点与线圈指令.....	117
二、PLC 的特点.....	80	二、置位和复位指令.....	120
三、PLC 的分类.....	81	三、RLO 边沿检测指令.....	121
四、PLC 的应用.....	81	四、RS 与 SR 触发器指令.....	123
第二节 PLC 的结构和工作原理.....	82	五、触点信号边沿检测指令.....	124
一、PLC 的结构.....	82	第三节 定时器和计数器指令.....	126
二、PLC 的工作原理.....	84	一、定时器.....	126
第三节 PLC 的编程语言.....	84	二、定时器指令.....	128
习题与思考题.....	85	三、计数器指令.....	136
第五章 S7-300 PLC 的硬件与组态.....	86	第四节 数据处理功能指令.....	138
第一节 S7-300 PLC 的系统结构.....	86	一、传送指令.....	139
一、S7-300 PLC 的系统组成.....	86	二、比较指令.....	139
		三、转换指令.....	141
		四、数学运算指令.....	142
		五、移位指令.....	144
		六、字逻辑运算指令.....	145

七、状态位指令 .....	145	一、数据通信的概念 .....	184
第五节 控制指令 .....	146	二、数据传送方式 .....	184
一、逻辑控制指令 .....	146	三、串行通信 .....	185
二、程序控制指令 .....	148	四、网络通信协议 .....	187
三、主控继电器指令 .....	152	五、工业局域网 .....	188
四、数据块指令 .....	153	第二节 西门子 PLC 的通信网络 .....	188
习题与思考题 .....	154	一、西门子 PLC 网络概述 .....	188
<b>第七章 S7-300 PLC 程序设计方法</b> .....	<b>156</b>	二、网络通信方法 .....	189
第一节 STEP 7 的程序结构 .....	156	第三节 MPI 网络通信技术 .....	190
一、S7 CPU 中的程序 .....	156	第四节 工业以太网通信技术 .....	193
二、STEP 7 用户程序结构 .....	158	第五节 PROFIBUS 通信技术 .....	200
第二节 S7-300 PLC 的应用		一、现场总线的主要类型与特点 .....	200
系统设计 .....	158	二、PROFIBUS (过程	
一、PLC 应用系统设计的		现场总线) .....	200
内容和步骤 .....	158	三、PROFIBUS 的物理结构 .....	201
二、应用实例设计 .....	159	四、CPU31x-2DP 之间的 DP	
习题与思考题 .....	182	主从通信 .....	201
<b>第八章 S7-300 PLC 的</b>		习题与思考题 .....	206
<b>通信与网络</b> .....	<b>184</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>207</b>
第一节 数据通信 .....	184		

控制是日常生活中经常接触到的问题，可以说，现代生活到处都离不开控制。虽然有些控制是由人直接实现的，有些是通过简单的电器元件来实现的，有些是通过微处理器及其附件甚至是通过网络来实现的，但它们都称为控制系统。这里主要研究的是在工业生产过程中遇到的控制问题及其解决方案、实现控制的设备和系统、人为干预的方式和策略以及在实施控制系统的过程中将会遇到的问题和如何解决这些问题的方法等。

### 1. 电气控制系统的发展概况

电气控制技术是随着计算机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。在控制方法上，主要是从手动控制到自动控制；在控制功能上，是从简单的控制设备到复杂的控制系统；在操作方式上，由笨重到轻巧；在控制原理上，从有触点的继电器接触式控制系统到以计算机为核心的“软”控制系统。随着新的控制理论、新型电器及电子器件的出现以及计算机技术的发展，电气控制技术也在持续发展。现代电气控制技术正是综合了计算机、自动控制、电子技术和精密测量等许多先进科学技术成果，并得到飞速发展。

从广义的方面来说，一个控制系统主要由被控对象、控制装置和参与控制的人等三个必不可少的部分组成。在这三部分中，生产过程是被控制对象，要使生产过程效率高，产品质量好，产品灵活性大，采取的措施之一就是采用功能强大的控制装置。控制装置是控制系统的核心。控制装置的性能好坏决定了控制目标是否可以实现。而人是整个控制系统的灵魂，主要体现在两个方面：一是控制系统的思想是由人赋予的；二是人直接干预控制系统的运行。

控制系统的发展经历了过程控制、离散控制和计算机控制等阶段，其中最先得到发展的是用于过程控制的控制装置，它的主要功能是进行回路控制。过程控制装置的主要发展经历了机械控制器、基地式仪表、气动单元组合仪表、电动单元组合仪表、数字式回路调节器、芯片控制的控制单元及分布式控制系统。离散控制装置的主要功能是进行逻辑顺序控制。离散控制装置的发展主要经历了继电器逻辑控制器、电子逻辑控制器、可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）三个阶段。计算机控制将各个单元的控制功能集中起来，借助计算机强大的运算处理功能来实现各种复杂的控制。其主要发展过程经历了计算机监督控制系统和计算机直接数字控制系统两个阶段。它是通过传感器、变送器、A/D（D/A）转换器、电子开关（执行器）等与控制对象进行连接的。



从上面的发展过程可以看出,无论是过程控制、离散控制还是计算机控制,它们都扮演着控制装置的角色。随着通信网络技术的发展,各个功能单元不再只是完成自身的功能,而是与其他单元组成一个整体来完成更强大、更复杂的控制功能。

在控制系统的发展过程中,为了满足控制系统对实时性、可靠性方面的要求及系统规模的扩展和性能的提高,在网络技术的支持下,经过多年的探索,诞生了分布式控制系统(DCS),它较好地解决了各功能单元之间的相互关系问题。

可以肯定的是,无论是哪一种类型的控制装置,今后的发展趋势一定是功能越来越强,体积越来越小,既可独立工作,又可以与其他单元组成功能更强的系统,不同种类的控制装置能相互渗透发展,在一种体系结构下协同工作,完成更复杂的控制功能。

需要特别指出的是,PLC只是众多控制装置中的一种,它既可以单独组成系统,也可与其他装置协同工作,控制系统的结构依赖于控制理论的发展。

### 2. 本课程的性质、内容和任务

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,介绍继电接触式控制系统和可编程控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。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,但就其工作原理、基本线路、设计基础而言是类似的。本课程从应用角度出发,以方法论为手段,讲授上述几方面的内容,以培养学生对电气控制系统的分析和设计的基本能力。

现代化生产的水平、产品质量和经济效益等各项性能指标,在很大程度上取决于生产设备的先进性和电气自动化程度。可编程控制器的飞速发展及其强大的功能使它已成为实现工业自动化的主要工具之一。本课程的重点是可编程控制器,但这并不意味着继电接触式系统就不重要了。这是因为:首先,继电接触式控制系统在小型电气控制系统中还普遍使用,而且它是组成电气控制系统的基础;其次,尽管可编程控制器取代了继电器,但它所取代的主要是逻辑控制部分,而电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍然要由电气元器件及控制电路来完成。所以对继电接触式控制系统的学习是非常必要的。

本课程的基本任务如下。

(1) 熟悉常用控制电器的基本原理和用途,达到正确使用和选用的目的,同时了解一些新型元器件的用途。

(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,使之能设计简单的电气控制线路,较好地掌握电气控制线路的简单设计方法。

(3) 熟悉可编程控制器的基本概况,深刻领会可编程控制器的工作原理。

(4) 熟练掌握可编程控制器的基本指令系统和典型电路的编程,熟练掌握可编程控制器的程序设计方法,做到能根据工艺流程和控制要求正确选用可编程控制器编制程序,经调试应用于生产过程控制。

(5) 掌握和了解可编程控制器的网络和通信原理,会编制简单的通信程序。

(6) 了解可编程控制器的实际应用程序的设计步骤和方法。

在各种生产机械上，电力拖动的自动控制或者手动控制设备被广泛使用，其中大多数运动部件是由电动机来驱动的。所以，要保证生产过程中各生产机械部件按照生产要求进行顺序动作，满足生产工艺和生产过程的要求，就需要对电动机进行顺序启动、停止、正反转、调速和制动等控制。这些控制系统很多是由低压电器组成的，如继电器、接触器和按钮等，通常称为继电器-接触器控制系统。

本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格、用途等有关知识，同时介绍它们的图形符号及文字符号，为正确选择和合理使用这些低压电器打下基础。

## 第一节 电器的基本知识

### 一、电器的定义和分类

电器就是根据外界施加的信号和要求，能手动或自动地断开或接通电路，断续或连续地改变电路参数，以实现对电或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电工器械。

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异。其分类方法也很多，常见的分类方法如下。

#### 1. 按工作电压等级分

##### (1) 低压电器

工作电压在交流 1 200V 或直流 1 500V 以下的各种电器称为低压电器。如接触器、控制器、启动器、刀开关、自动开关、熔断器、继电器、电阻器、主令电器等。

##### (2) 高压电器

工作电压在交流 1 200V 或直流 1 500V 以上的各种电器称为高压电器。

#### 2. 按动作原理分

##### (1) 手动电器

需要人工直接操作才能完成指令任务的电器称为手动电器。如刀开关、控制器、转换开关、控制按钮等。

##### (2) 自动电器

不需要人工操作，而是按照电的或非电的信号自动完成指令任务的电器称为自动电器。

如自动开关、接触器、继电器等。

### 3. 按用途分

#### (1) 控制电器

用于各种控制电路和控制系统的电器称为控制电器。如接触器、控制器、启动器等。

#### (2) 主令电器

用于自动控制系统中发送控制指令的电器称为主令电器。如控制按钮、行程开关、万能转换开关等。

#### (3) 保护电器

用于保护电路及用电设备的电器称为保护电器。如熔断器、热继电器等。

#### (4) 配电电器

用于电能的输送和分配的电器称为配电电器。如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

#### (5) 执行电器

用于完成某种动作或传动功能的电器称为执行电器。如电磁铁、电磁离合器等。

### 4. 按工作原理分

#### (1) 电磁式电器

依据电磁感应原理来工作的电器称为电磁式电器。如交直流接触器、各种电磁式继电器等。

#### (2) 非电量控制电器

电器的工作是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器称为非电量控制电器。如刀开关、行程开关、按钮、压力继电器、温度继电器等。

### 5. 其他分类方法

电器还有其他的分类方法。如按使用场合来分，可分为一般工业用电器，特殊工业矿用电器，农用电器等。按有无触点来分，可分为有触点电器，无触点电器。按电气组合来分，可分为单个电器，组合电器。按使用系统来分，可分为电力拖动自动控制系统用电器，电力系统用电器，自动化通信系统用电器。

## 二、电磁式电器

电磁式电器在电气控制线路中使用量最大，其类型也很多，各类电磁式电器在工作原理和构造上亦基本相同。就其结构而言，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（触点系统）。

### 1. 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分，它的主要作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，从而完成接通或分断电路。

电磁机构由吸引线圈、铁芯、衔铁等几部分组成。

#### (1) 常用的磁路结构

常用的磁路结构如图 1-1 所示，可分为如下 3 种形式。

① 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，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芯，如图 1-1 (b) 所示。其铁芯形状有 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 型直动式铁芯, 如图 1-1 (c) 所示。多用于交流接触器、继电器中。

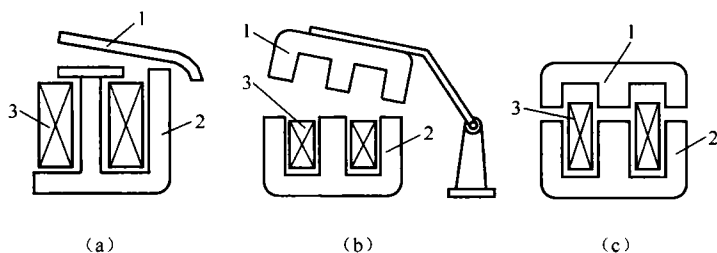


图 1-1 常用的磁路结构

1—衔铁; 2—铁芯; 3—吸引线圈

电磁式电器分为直流与交流两大类, 都是利用电磁铁的原理而制成。通常直流电磁铁的铁芯是用整块钢材或工程纯铁制成, 而交流电磁铁的铁芯则用硅钢片叠铆而成。

## (2) 吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入吸引线圈的电流种类不同, 可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁铁, 因其铁芯不发热, 只有线圈发热, 所以直流电磁铁的吸引线圈做成高而薄的瘦高型, 且不设线圈骨架, 使线圈与铁芯直接接触, 易于散热。

对于交流电磁铁, 因其铁芯存在磁滞和涡流损耗, 这样线圈和铁芯都发热, 所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架, 使铁芯与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖型, 这样做有利于铁芯和线圈的散热。

## 2. 电磁吸力与吸力特性

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理设计的, 电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。电磁铁的吸力可按下式求得

$$F_{at} = \frac{10^7}{\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

式中,  $F_{at}$  为电磁吸力 (N),  $B$  为气隙中磁感应强度 (T),  $S$  为磁极截面积 ( $m^2$ )。

在气隙值  $\delta$  及外加电压值一定时, 对于直流电磁铁, 电磁吸力是一个恒定值, 但对于交流电磁铁, 由于外加正弦交流电压, 其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化, 即

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

将式 (1-2) 代入式 (1-1) 整理得

$$\begin{aligned} F_{at} &= \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t \\ &= F_0 - F_0 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中,  $F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$  为电磁吸力最大值;  $F_0 = \frac{F_{atm}}{2}$  为电磁吸力平均值。

因此, 交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。交流电磁铁在工作过程中, 决定其能否将衔铁吸住的是平均吸力  $F_0$  的大小。所以我们通常说的交流电磁铁的吸力, 就是指它

的平均吸力。

电磁式电器在衔铁吸合或释放过程中，气隙  $\delta$  是变化的，因而，电磁吸力也将随  $\delta$  的变化而变化。

所谓吸力特性，是指电磁吸力  $F_{at}$  随衔铁与铁芯间气隙  $\delta$  变化的关系曲线。不同的电磁机构，有不同的吸力特性。图 1-2 所示为一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁，其励磁电流的大小与气隙无关，动作过程中为恒磁势工作，其吸力随气隙的减小而增加，所以吸力特性曲线比较陡峭。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比，在动作过程中为恒磁通工作，但考虑到漏磁通的影响，其吸力随气隙的减小略有增加，所以吸力特性比较平坦。

### 3. 反力特性和返回系数

所谓反力特性是指反作用力  $F_r$  与气隙  $\delta$  的关系曲线，如图 1-2 中的曲线 3 所示。

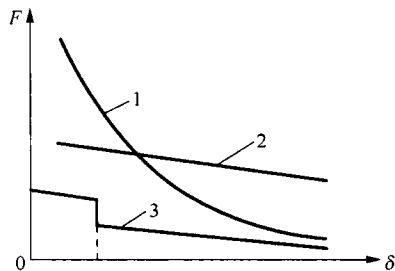


图 1-2 电磁铁的吸力特性

1—直流电磁铁吸力特性；2—交流电磁铁吸力特性；3—反力特性

为了使电磁机构能正常工作，其吸力特性与反力特性配合必须得当。在衔铁吸合过程中，其吸力特性必须始终处于反力特性上方，即吸力要大于反力，但也不能过大，否则衔铁吸合时运动速度过大，会产生很大的冲击力，使衔铁与铁芯柱端面造成严重的机械磨损。此外，过大的冲击力有可能使触点产生弹跳现象，导致触点的熔焊或磨损，降低触点的使用寿命。反之衔铁释放时，吸力特性必须位于反力特性下方，即反力要大于吸力。

返回系数是指释放电压（或电流）与吸合电压（或电流）的比值，用  $\beta$  表示。

具有电压线圈的电磁机构，则有

$$\beta_v = \frac{U_{re}}{U_{at}} \quad (1-4)$$

对于具有电流线圈的电磁机构，则有

$$\beta_i = \frac{I_{re}}{I_{at}} \quad (1-5)$$

返回系数是反映电磁式电器灵敏度的一个参数， $\beta$  值大，电器灵敏度就高，反之，则灵敏度低。

根据交流电磁吸力公式 (1-3) 可知，交流电磁机构的电磁吸力是一个两倍电源频率的周期性变量。它有两个分量：一个是恒定分量  $F_0$ ，其值为最大吸力值的一半；另一个是交变分量  $F_2$ ， $F_2 = F_0 \cos 2\omega t$ ，其幅值为最大吸力值的一半，并以两倍电源频率变化，总的电磁吸力  $F_{at}$  在  $0 \sim F_{atm}$  的范围内变化，其吸力曲线如图 1-3 所示。

#### 4. 交流电磁机构上短路环的作用

电磁机构在工作中，衔铁始终受到反作用弹簧、触点弹簧等反作用力  $F_r$  的作用。尽管电磁吸力的平均值  $F_0$  大于  $F_r$ ，但在某些时候  $F_{at}$  仍将小于  $F_r$ （见图 1-3 中画有斜线部分）。当  $F_{at} < F_r$  时，衔铁开始释放，当  $F_{at} > F_r$  时，衔铁又被吸合，如此周而复始，从而使衔铁产生振动，发出噪声。为此，必须采取有效措施，消除振动和噪声。

具体办法是在铁芯端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称分磁环）的铜环，如图 1-4 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。短路环把铁芯中的磁通分为两部分，即不穿过短路环的  $\Phi_1$  和穿过短路环的  $\Phi_2$ 。由于短路环的作用，使  $\Phi_1$  与  $\Phi_2$  产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。短路环通常包围 2/3 的铁芯截面，它一般用铜、康铜或镍铬合金等材料制成。

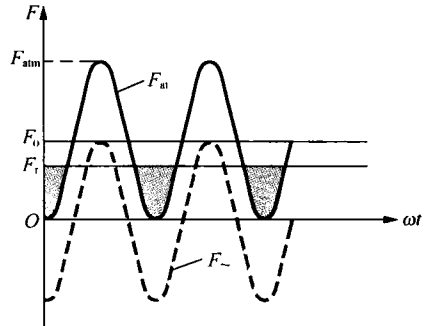


图 1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

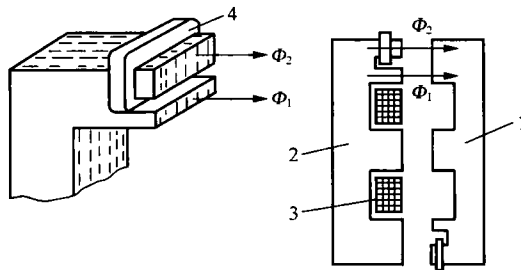


图 1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁；2—铁芯；3—线圈；4—短路环

#### 5. 电磁式电器的工作原理

电磁式电器的工作原理可以用图 1-5 来说明。图中虚线部分所示为一个交流电磁机构，合上开关 SA 后，线圈通电，其衔铁吸合，从而带动其常开触点动作，使得指示灯 PG 通电点亮；打开开关 SA 后，线圈断电，在反力作用下，衔铁释放，其常开触点打开，指示灯 PG 断电熄灭。所有的电磁式电器基本上都是按这样的工作原理进行工作的。

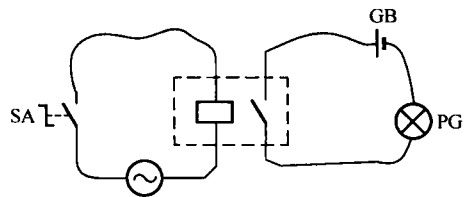


图 1-5 电磁式电器工作原理的实质

### 三、电器的触点系统

触点是电器的执行部分，起通断电路的作用。因此，要求触点导电、导热性能良好，通常用铜制成。但铜的表面容易氧化而生成一层氧化铜，将增大触点的接触电阻，使触点的损耗增大，温度上升。所以有些电器，如继电器和小容量的电器，其触点常采用银质材料，这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触点，更主要的是其氧化膜的电阻率与纯银相似

(氧化铜则不然, 其电阻率可达纯铜的 10 余倍以上), 而且要在较高的温度下才会形成, 同时又容易粉化。因此, 银质触点具有较低和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器, 在结构设计上, 触点采用滚动接触, 可将氧化膜去掉, 这种结构的触点, 也常采用铜质材料。

触点主要有以下几种结构型式。

### 1. 桥式触点

图 1-6 (a) 所示为两个点接触的桥式触点, 图 1-6 (b) 所示为两个面接触的桥式触点, 两个触点串于同一条电路中, 电路的接通与断开由两个触点共同完成。点接触型式适用于电流不大, 且触点压力小的场合; 面接触型式适用于大电流的场合。

### 2. 指形触点

图 1-6 (c) 所示为指形触点, 其接触区为一直线, 触点接通或分断时产生滚动摩擦, 以利于去掉氧化膜。此种型式适用于接电次数多、电流大的场合。

为了使触点接触的更加紧密, 以减小接触电阻, 并消除开始接触时产生的振动, 在触点上装有接触弹簧, 在刚刚接触时产生初压力, 并且随着触点闭合增大触点互压力。

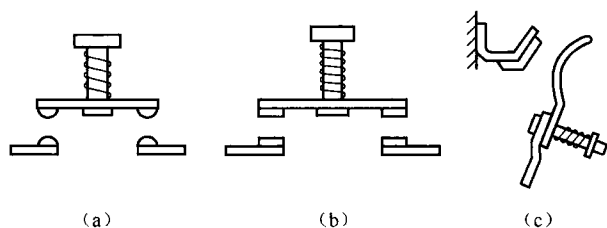


图 1-6 触点的结构形式

## 四、电弧的产生及灭弧方法

在大气中开断电路时, 如果被开断电路的电流超过某一数值 (根据触点材料的不同, 其值为  $0.25 \sim 1\text{A}$ ), 开断后加在触点间隙 (或称弧隙) 两端电压超过某一数值 (根据触点材料的不同, 其值为  $12 \sim 20\text{V}$ ) 时, 则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触点间气体在强电场作用下产生的放电现象, 产生高温并发出强光, 将触点烧损, 并使电路的切断时间延长, 严重时会引起火灾或其他事故, 因此, 在电器中应采取适当措施熄灭电弧。

常用的灭弧方法有以下几种。

### 1. 电动力灭弧

图 1-7 所示为一种桥式结构双断口触点, 当触点打开时, 在断口中产生电弧。电弧电流在两电弧之间产生图中以  $\oplus$  表示的磁场, 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, 让它迅速穿越冷却介质而加快冷却并熄灭。这种灭弧方法一般用于交流接触器等交流电器中。

### 2. 磁吹灭弧

其原理如图 1-8 所示。在触点电路中串入一个磁吹线圈, 它产生的磁通经过导磁夹板 5 引向触点周围, 如图中的 “ $\times$ ”

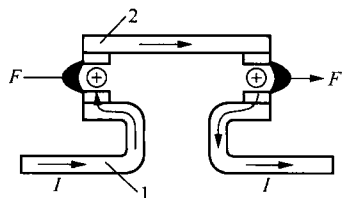


图 1-7 电动力灭弧示意图

1—静触点; 2—动触点

符号所示；当触点断开产生电弧后，电弧电流产生的磁通如图中 $\otimes$ 和 $\odot$ 符号所示。可见在弧柱下方两个磁通是相加的，而在弧柱上方却是彼此相减的，因此，电弧在下强上弱的磁场作用下，被拉长并吹入灭弧罩6中，引弧角与静触点相连接，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。

由于这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，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。

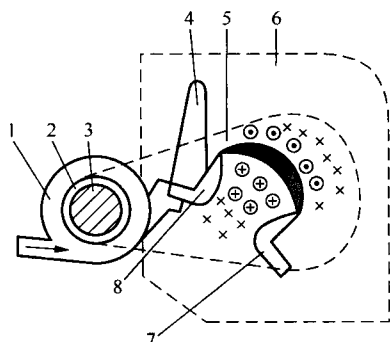


图 1-8 磁吹灭弧示意图

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

### 3. 窄缝灭弧

这种灭弧方法是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内只有一个纵缝，缝的下部宽些上部窄些，如图 1-9 所示。当触点断开时，电弧在电动力的作用下进入缝内，窄缝可将电弧弧柱直径压缩，使电弧同缝壁紧密接触，加强冷却和去游离作用，使电弧熄灭加快。灭弧罩通常用耐高温的陶土、石棉水泥等材料制成。目前有采用数个窄缝的多纵缝灭弧室，它将电弧引入纵缝，分劈成若干段直径较小的电弧，以增强去游离作用。窄缝灭弧常用于交流和直流接触器上。

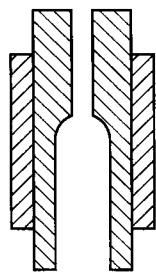


图 1-9 窄缝灭弧装置

### 4. 栅片灭弧

图 1-10 所示为栅片灭弧示意图。灭弧栅是由多片镀铜薄钢片（称为栅片）组成，它们安放在电器触点上方的灭弧栅内，彼此之间互相绝缘。当触点分断电路时，在触点之间产生电弧，电弧电流产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，因此，电弧上方的磁通非常稀疏，而下方的磁通却非常密集，这种上疏下密的磁场将电弧拉入灭弧罩中，当电弧进入灭弧栅后，被分割成数段串联的短弧。这样每两片灭弧栅片可以看做一对电极，而每对电极间都有 150~250V 的绝缘强度，使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强。而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压，同时栅片吸收电弧热量，使电弧迅速冷却，所以电弧进入灭弧栅后就很快地熄灭了。

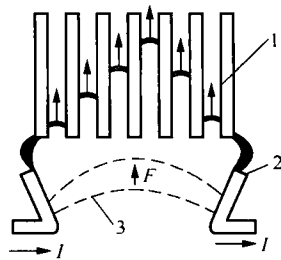


图 1-10 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧



## 第二节 开关电器

### 一、刀开关

刀开关俗称“闸刀”，结构简单，是应用最广泛的一种手控电器，用来接通和断开长期工作设备的电源，或者用来控制不频繁启动和停止、容量小于 7.5kW 的电机。

刀开关主要由操作手柄、触刀、触点座和底座组成。通过对手柄的操作来控制触点的闭合和断开。其形式有单极、双极和三极。

刀开关安装时，手柄要朝上，不得倒装或平装。安装正确，作用在电弧上的电动力和热空气的上升方向一致，就能使电弧迅速拉长而熄灭，反之，两者电弧方向相反将不易熄灭。如果倒装，手柄可能会在重力作用下自动下落而引起误动作合闸。将可能造成人身和设备安全事故。接线时，应将电源线接在上端，负载接在下端，这样拉闸后，刀片和电源隔离，防止意外事故发生。

国内的刀开关主要有 HD 系列板用刀开关和 HS 系列刀形转换开关，其中板用刀开关可以用来接通或者断开负载电路；而刀形转换开关只是用来隔离电流的隔离开关。刀开关的文字符号为 Q 或 QS，图 1-11 所示为 HD 型单投刀开关的结构示意图和图形符号，图 1-12 所示为 HS 型双投刀开关的结构示意图和图形符号。

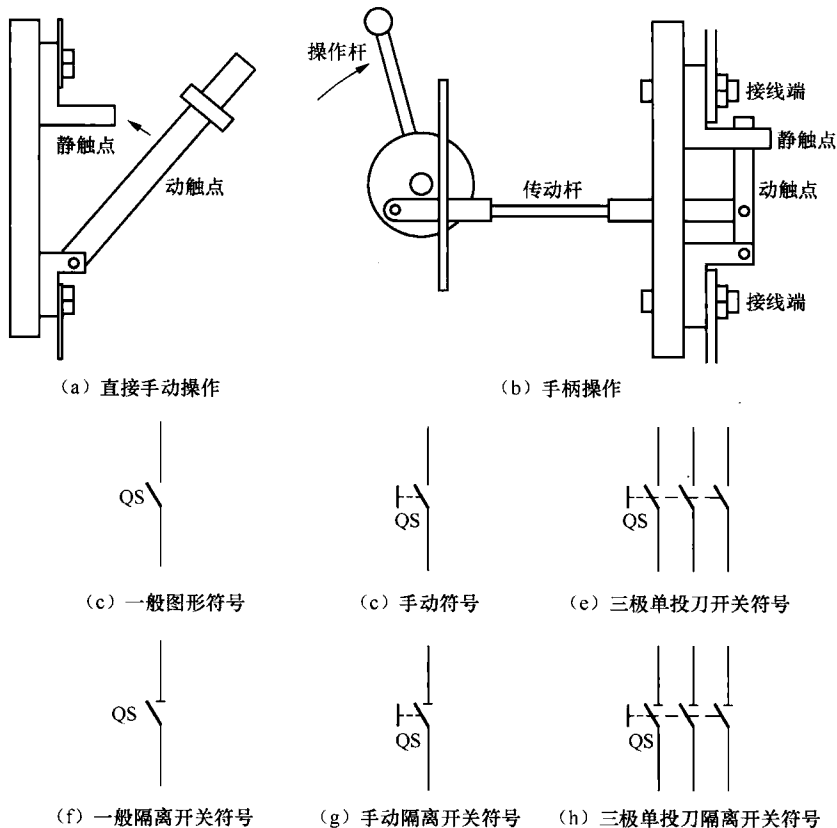


图 1-11 HD 型单投刀开关的结构示意图和图形符号