



高职高专“十二五”规划教材

中国大学出版社协会第二届优秀教材二等奖

电气控制与PLC应用技术 (第3版)

主 编 刘永华 姜秀玲
副主编 孙佳海 孔德志

- “模块+专题(题目)”形式
- “教学做”一体化教学模式
- 丰富典型案例, 结合工程实际
- 培养职业能力, 突出技术应用

配有课件、
习题答案



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



高职高专“十二五”规划教材
中国大学出版社协会第二届优秀教材二等奖

电气控制与 PLC 应用技术

(第 3 版)

主 编 刘永华 姜秀玲

副主编 孙佳海 孔德志

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以“模块+专题(项目)”的形式讲解电气控制技术与 PLC 应用技术。全书共 10 个模块,每个模块由相应的专题或项目组成。模块 1~3 为继电器-接触器控制系统方面的知识,介绍了常用低压电器的基本结构和选用方法、电气控制系统的基本控制环节、典型机械设备电气控制系统的电气识图及故障检修等方面的知识。模块 4~10 为可编程序控制器部分,通过丰富的应用示例介绍了可编程序控制器的结构组成、工作原理,PLC 的基本指令和功能指令的应用,PLC 控制系统的常用设计方法以及应用实例分析等知识。

本书可作为高职高专院校机电类、电气自动化类专业的教材,或职业技术培训教材,也可作为从事机电、自动化技术的工程技术人员的参考用书。

本书配有教学课件和习题答案,请发送邮件至 goodtextbook@126.com 或致电 010-82317037 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术 / 刘永华,姜秀玲主编. —3 版. —
北京:北京航空航天大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5124-1469-3

I. ①电… II. ①刘… ②姜… III. ①电气控制②plc 技术
IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 025371 号

版权所有,侵权必究。

电气控制与 PLC 应用技术(第 3 版)

主 编 刘永华 姜秀玲

副主编 孙佳海 孔德志

责任编辑 陈守平

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:21.25 字数:544 千字

2014 年 2 月第 3 版 2014 年 2 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1469-3 定价:38.00 元

前 言

“电气控制与 PLC 应用技术”是高职高专机电类、电气自动化类专业的主干课程。全书根据高职高专人才培养目标,结合专业教育教学改革与实践经验,本着“工学结合、项目导向、‘教学做’一体化”的原则而编写。

本书以模块为单元,采用专题(项目)的形式,将知识点贯穿于各个项目中。紧紧围绕培养学生的职业能力这条主线,合理安排基础知识和实践知识的比例,力求结合工程实际、突出技术应用。在内容编排上兼顾继电器-接触器控制技术与可编程序控制器的知识连贯性,使两者有机结合。其中可编程控制器主要介绍当今比较流行的西门子 S7-200 和松下 FP1 两种系列,包括 PLC 的硬件组成、工作原理、基本指令和功能指令,以及 PLC 的常用设计方法和工程应用实例分析等。内容由浅入深,层次分明,通俗易懂,便于自学。本书参考学时为 60~90 课时。

全书共 10 个模块。模块 1~3 为继电器-接触器控制系统,主要讲述了常用低压电器的结构及工作原理、低压电器的选用、电气控制系统的基本环节、典型机械设备电气控制系统;模块 4 和模块 5 为 PLC 的基础知识;模块 6~8 为西门子 S7-200 系列 PLC 基本指令和功能指令的应用,以及模拟量的编程示例;模块 9 为松下 FP1 系列 PLC 基本指令与功能指令的应用;模块 10 为 PLC 的常用设计方法及工程应用实例分析。

本书由刘永华、姜秀玲担任主编,孙佳海、孙德志任副主编。书中模块 1、模块 8 由孔德志编写,模块 2、模块 3 由孙佳海编写,模块 4、模块 5、模块 6、模块 7 和模块 10 由刘永华编写,模块 9 由姜秀玲编写。全书由刘永华负责统稿,由南京跃进汽车集团研究员级高级工程师朱校主审。朱校老师认真审阅了全书并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。另外,张廷强、吴玉娟、孙昌权、徐荣丽、闫润等老师认真阅读了全书并对相关程序进行了验证、校对,在此一并表示诚挚的谢意!

本书在编写过程中参考了有关文献和资料,在此,对参考文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,错误和疏漏之处恳请读者批评指正。

编 者
2013 年 12 月

目 录

上篇 继电器-接触器控制系统

模块 1 常用低压电器的认识与选用	3
专题 1.1 低压电器的基本知识	3
一、电气控制系统的初步知识	3
二、低压电器的概念及分类	4
三、电磁式低压电器的基本结构	5
专题 1.2 熔断器的认识与选用	8
一、熔断器的结构及工作原理	8
二、熔断器的保护特性	9
三、常用熔断器	9
四、熔断器的型号和主要技术参数	10
五、熔断器的选用	11
专题 1.3 接触器的认识与选用	12
一、接触器的概念及分类	12
二、交流接触器的结构和工作原理	12
三、接触器的主要技术参数及型号	13
四、接触器的符号及选用	15
专题 1.4 继电器的认识	15
一、电压继电器	16
二、电流继电器	16
三、中间继电器	16
四、时间继电器	17
五、热继电器	19
六、其他继电器	21
专题 1.5 开关电器的认识与选用	23
一、刀开关	23
二、负荷开关	25
三、低压断路器	26
四、晶闸管开关	27
五、接近开关	28
六、按钮开关	29
七、行程开关	30
八、万能转换开关	32

九、主令控制器	33
专题 1.6 其他常用低压电器的认识	34
一、漏电保护断路器	34
二、电磁铁	35
三、电磁阀	35
四、电磁离合器	35
思考题与习题	37
模块 2 电气控制系统的基本环节	38
专题 2.1 电气控制系统图的识读	38
一、电气控制系统图概述	38
二、电气图形符号和文字符号	38
三、电气原理图	39
四、电器元件布置图	41
五、电气安装接线图	41
六、阅读和分析电气原理图的方法	42
项目 2.2 三相异步电动机直接启动控制	43
一、项目简介	43
二、项目相关知识	43
三、项目的实现	46
项目 2.3 三相异步电动机可逆运转控制	48
一、项目简介	48
二、项目相关知识	48
三、项目的实现	51
项目 2.4 三相笼型异步电动机降压启动控制	53
一、项目简介	53
二、项目相关知识	53
三、项目的实现	56
专题 2.5 三相绕线式异步电动机的启动控制	57
一、转子绕组串电阻启动控制线路	57
二、转子绕组串频敏变阻器启动控制线路	59
专题 2.6 三相异步电动机的制动控制	60
一、电磁抱闸制动控制线路	60
二、电气制动控制线路	61
专题 2.7 三相异步电动机的调速控制	62
一、三相笼型异步电动机变极调速控制线路	63
二、三相绕线式异步电动机转子串电阻调速控制线路	63
三、调压调速	64
四、变频调速	65
思考题与习题	65

模块 3 典型机械设备电气控制系统	67
项目 3.1 CA6140 车床电气故障检修	67
一、项目简介	67
二、项目相关知识	67
三、项目的实现	71
项目 3.2 M7130 平面磨床电气故障检修	73
一、项目简介	73
二、项目相关知识	73
三、项目的实现	78
项目 3.3 Z3040 摇臂钻床电气故障检修	78
一、项目简介	79
二、项目相关知识	79
三、项目的实现	84
项目 3.4 X62W 型万能铣床电气故障检修	84
一、项目简介	84
二、项目相关知识	84
三、项目的实现	90
思考题与习题	91

下篇 可编程序控制器

模块 4 PLC 的基础知识	95
专题 4.1 PLC 概述	95
一、PLC 的产生	95
二、PLC 的定义	96
三、PLC 的发展	96
专题 4.2 PLC 的特点及应用	97
一、PLC 的主要特点	97
二、PLC 的主要应用	97
专题 4.3 PLC 的分类、主要技术指标及生产厂家	98
一、PLC 的分类	98
二、PLC 的主要技术性能指标	100
三、PLC 的主要生产厂家	101
专题 4.4 可编程控制器的结构组成和工作原理	101
一、PLC 的结构组成	101
二、PLC 的工作原理	104
专题 4.5 PLC 的软件及编程语言	105
一、系统软件	105
二、PLC 的编程语言	105
思考题与习题	107

模块 5 西门子 S7-200 系列 PLC 的组成与编程基础	108
专题 5.1 S7-200 系列 PLC 的组成及性能	108
一、S7-200 系列 PLC 的组成	108
二、S7-200 可编程控制器的主要技术指标	111
专题 5.2 S7-200 PLC 的内部元器件和寻址方式	111
一、存储器中的数据类型	111
二、数据存储区	113
三、寻址方式	117
专题 5.3 STEP 7-Micro/WIN 编程软件的使用	119
一、编程软件安装	119
二、STEP 7-Micro/WIN 编程软件功能介绍	121
三、程序编制及运行	124
四、程序的调试及运行监控	127
思考题与习题	130
模块 6 S7-200 PLC 基本逻辑指令及应用	131
项目 6.1 三相异步电动机的单向运行控制	131
一、项目内容	131
二、项目相关知识	131
三、项目的实现	137
四、应用示例:工作台自动往返控制	139
项目 6.2 电动机 Y- Δ 减压启动控制设计	141
一、项目简介	141
二、项目相关知识点析	141
三、项目的实现	144
四、应用示例	145
项目 6.3 组合吊灯亮度控制设计	150
一、项目简介	150
二、项目相关知识点析	151
三、项目的实现	152
四、应用示例	154
项目 6.4 自动门控制设计	158
一、项目简介	158
二、项目相关知识点析	158
三、项目的实现	164
四、应用示例	166
项目 6.5 密码锁控制系统设计	169
一、项目简介	169
二、项目相关知识	169
三、项目实现	170

四、应用示例:昼夜报时器 PLC 控制系统	172
思考题与习题	173
模块 7 S7-200 PLC 基本功能指令及应用	176
项目 7.1 循环彩灯的 PLC 控制系统	176
一、项目内容	176
二、项目相关知识	176
三、项目的实现	185
四、应用示例:利用传送指令实现 Y- Δ 降压启动控制	188
项目 7.2 多台电动机手动与自动运行方式的 PLC 控制系统	190
一、项目内容	190
二、项目相关知识	190
三、项目实现	198
项目 7.3 钻孔动力头的 PLC 控制	199
一、项目内容	199
二、项目相关知识	200
三、项目的实现	206
四、应用示例:剪板机的控制	207
思考题与习题	210
模块 8 S7-200 PLC 模拟量控制	211
项目 8.1 油压装置的控制	211
一、项目内容	211
二、项目相关知识	211
三、项目的实现	217
项目 8.2 水箱水位控制	222
一、项目内容	222
二、项目相关知识	222
三、项目的实现	224
思考题与习题	226
模块 9 松下 FP1 系列 PLC 编程及应用	228
项目 9.1 松下 FP1 系列 PLC 基本逻辑指令及应用	228
一、项目内容	228
二、项目相关知识	230
三、项目的实现	240
四、应用示例	247
五、知识拓展	248
项目 9.2 松下 FP1 系列 PLC 定时器、计数器指令及应用	251
一、项目内容	251

二、项目相关知识	252
三、项目的实现	255
四、应用示例	259
五、知识拓展	261
项目 9.3 松下 FP1 系列 PLC 比较指令、高级指令及应用	269
一、项目内容	269
二、项目相关知识	269
三、项目的实现	280
四、应用示例	281
五、知识拓展	286
思考题与习题	290
模块 10 PLC 控制系统的设计及应用实例	293
专题 10.1 PLC 控制系统设计的基本知识	293
一、PLC 控制系统的设计内容和设计步骤	293
二、PLC 程序设计方法	294
项目 10.2 Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制	300
一、项目内容	300
二、项目的实现	300
项目 10.3 自动往返小车的 PLC 控制	302
一、项目内容	302
二、项目的实现	303
项目 10.4 机械手的 PLC 控制	308
一、项目内容	308
二、项目的实现	309
思考题与习题	314
附 录	315
附录 A 常用低压电器技术数据	315
附录 B S7-200 系列 PLC 部分特殊存储器(SM)标志位	320
附录 C S7-200 的 SIMATIC 指令集简表	321
附录 D 松下 FP1 系列 PLC 的特殊内部继电器	326
参 考 文 献	328

上 篇

继电器-接触器控制系统

- 模块 1 常用低压电器的认识与选用
- 模块 2 电气控制系统的基本环节
- 模块 3 典型机械设备电气控制系统

模块 1 常用低压电器的认识与选用

本模块主要介绍各种常用低压电器的结构、工作原理、用途及电气符号等知识。通过本模块的学习和训练,重点要掌握低压电器的结构、工作原理,学会电气符号的表示方法,从而能够正确选择、合理安装和维修常用低压电器,为后续模块的学习以及技能培养打下基础。

专题 1.1 低压电器的基本知识

教学目标

- 1) 了解低压电器的概念及分类;
- 2) 掌握常用低压电器电磁机构的基本结构和工作原理。

一、电气控制系统的初步知识

在工业农业、交通运输等部门中,广泛使用着各种生产机械,它们大多以电动机为动力进行拖动。为了保证电动机运行的可靠与安全,需要有许多辅助电气设备为之服务,能够实现某项控制功能的若干个电器组件的组合,称为电气控制系统。图 1-1 是一电气控制系统实物图。

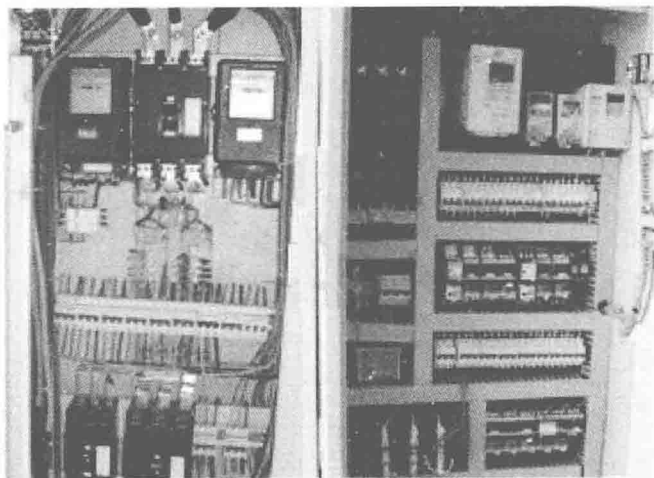


图 1-1 电气控制系统实物图

这些设备一般具有以下功能:

① 自动控制功能。一些电压较高和电流大的开关设备的体积是很大的,一般都采用操作系统来控制分、合闸。特别是当设备出了故障时,需要开关自动切断电路,因而要有一套自动控制的电气操作设备,对供电设备进行自动控制。

② 保护功能。电气设备与线路在运行过程中会发生故障,电流(或电压)会超过设备与线路允许工作的范围与限度,例如短路、电动机过载等,这就需要一套检测这些故障信号并对设备和线路进行自动调整(断开、切换等)的保护设备。

③ 监视功能。电是眼睛看不见的,一台设备是否带电或断电,从外表是无法分辨的,这就需要设置各种视听信号,如灯光和音响信号等,对设备进行电气监视。

④ 测量功能。灯光和音响信号只能定性地表明设备的工作状态(通电或断电),如果想定量地知道电气设备的工作情况,还需要有各种仪表及测量设备测量线路的各种参数,如电压、电流、频率和功率等。

在后续课程中会接触到大量的电气控制系统,要能够掌握此类系统,需要从低压电器讲起。

二、低压电器的概念及分类

这里的电器是指根据特定的信号和控制要求,能通断电路,改变电路参数,实现对电路的控制、切换、保护、监视和测量等功能的电气设备。电器可分为高压电器和低压电器两大类,我国现行标准是将工作在交流 1 200 V(50 Hz)以下、直流 1 500 V 以下的电器设备称为低压电器。

低压电器的种类繁多,按其用途可分为配电电器、保护电器、主令电器、控制电器和执行电器等,具体分类及用途如表 1-1 所列。

表 1-1 常用低压电器的分类及用途

类 别	电 器 名 称		主 要 品 种	用 途
配 电 电 器	刀 开 关		大电流刀开关	主要用于低压供电系统。对这类电器的主要技术要求是分断能力强,限流效果好,动稳定性和热稳定性好
			熔断器式刀开关	
			开关板用刀开关	
			封闭式负荷铁壳开关	
	熔 断 器		磁插式熔断器	
			螺旋式熔断器	
			密封式熔断器	
			快速熔断器	
			自复式熔断器	
保 护 电 器	断 路 器			主要用于对电路和电气设备安全保护的电器。对这类电器的主要技术要求是具有一定的通断能力,反应灵敏度高,可靠性高
	热继电器			
	电 流 继 电 器		过电流继电器	
			欠电流继电器	
	电 压 继 电 器		过电压继电器	
			欠电压继电器	
	漏 电 保 护 断 路 器			
	固 态 保 护 继 电 器			

续表 1-1

类 别	电器名称	主要品种	用 途
主令电器	行程开关	直动式行程开关	主要用于发送控制指令的电器。对这类电器的技术要求是操作频率要高,抗冲击,电气和机械寿命要长
		滚轮式行程开关	
		微动开关	
	凸轮控制器		
	晶闸管开关		
	接近开关		
控制电器	接触器	交流接触器	主要用于电力拖动系统的控制。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,操作频率要高,电气和机械寿命要长
		直流接触器	
	时间继电器	空气阻尼式时间继电器	
		晶体管式时间继电器	
	速度继电器		
	中间继电器		
	固态继电器		
	光电继电器		
执行电器	电磁铁		主要用于执行某种动作和实现传动功能
	电磁阀		
	电磁离合器		

按工作原理的不同,低压电器可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。如交、直流接触器,各种电磁式继电器等。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。如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

三、电磁式低压电器的基本结构

电磁式电器在电气控制线路中使用量最大,其类型也很多,各类电磁式电器的工作原理和构造基本相同,就其结构而言,大都由两个主要部分组成,即检测部分(电磁机构)和执行部分(触头系统)。另外,为了快速熄灭电弧,部分低压电器还具有灭弧装置。

1. 电磁机构

(1) 交流电磁机构

电磁机构是低压电器的主要组成部分之一,它将电磁能转换成机械能,带动触点动作,使电路接通或断开。电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁 3 个基本部分组成。其结构形式大致有如下几种:

① 衔铁绕棱角转动的拍合式铁芯。如图 1-2(a)所示,衔铁绕铁轭的棱角而转动,磨损较小;铁芯用整块铸铁或铸钢制成。这种形式广泛应用于直流电器中。

② 衔铁绕轴转动的拍合式铁芯。如图 1-2(b)所示,衔铁绕轴转动,铁芯用硅钢片叠成,其形状有 E 型和 U 型两种。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 1-2(c)所示,衔铁在线圈内作直线运动。

此类结构多用于交流接触器、继电器中。

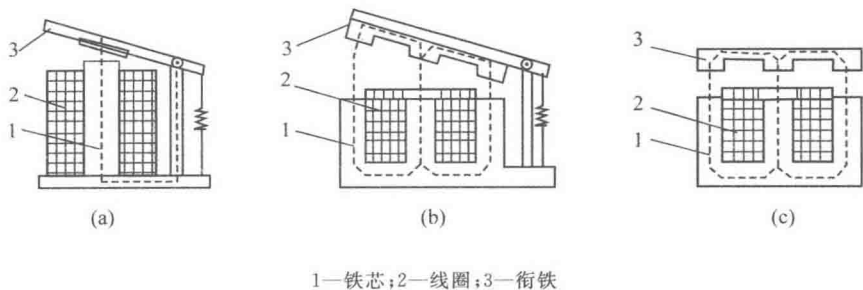


图 1-2 常用电磁机构的结构形式

对于单相交流电磁机构,由于磁通是交变的,当磁通过零时吸力也为零,此时的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开;磁通过零点后吸力又重新增大,当吸力大于反力时,衔铁又吸合。由于交流电源频率的变化,衔铁的吸力随之每个周期二次过零,致使衔铁产生强烈振动与噪声,甚至使铁芯松散。解决的办法是在铁芯端面安装一个铜制的短路环(或称分磁环),如图 1-3(a)所示。图中穿过短路环的交变磁通在环中产生感应电流,根据电磁感应定律,此感应电流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于主磁通 Φ_1 一定角度(如合理设计可达到 90°),即短路环起到磁通分相的作用。由 Φ_1 、 Φ_2 产生的吸力 F_1 、 F_2 间也有一个相位差,如图 1-3(b)所示,作用在衔铁上的合力是 $F_1 + F_2$ 。这样,在一个周期内两部分吸力合成不会有零值,只要此合力在任一时刻都大于弹簧的反力,衔铁就始终吸合,消除了衔铁的振动和噪声。

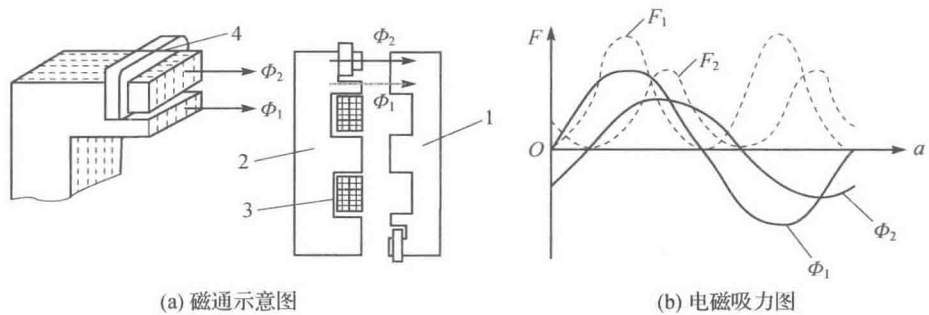


图 1-3 交流电磁铁的短路环

此外,交流线圈除线圈发热外,铁芯中还有涡流和磁滞损耗,铁芯也要发热。为了改善线圈和铁芯的散热情况,铁芯与线圈之间留有散热间隙,并且把线圈做成有骨架的矮胖型。铁芯用硅钢片叠成,以减少涡流。

(2) 直流电磁机构

与交流电磁机构相比,直流线圈匝数多,因而电感量大。在断电瞬间,由于磁通的急剧变化,会感应出很高的反电动势,容易使线圈击穿损坏,所以常在线圈的两端反向并联一个由电阻和二极

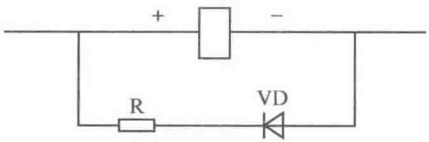


图 1-4 直流线圈的放电回路

由于直流电流恒定,电磁机构中不存在涡流损失,铁芯不会发热,只有线圈发热,因此线圈做成无骨架、高而薄的瘦高型,以改善线圈自身的散热。铁芯和衔铁由软钢或者工程纯铁制造。

2. 触头系统

触头也叫触点,是电器元件的执行部分,用于控制电路的接通与断开。

(1) 触点的接触形式

触点的接触形式有点接触(如球面对球面、球面对平面等)、面接触(如平面对平面)和线接触(如圆柱对平面、圆柱对圆柱)三种。三种接触形式中,点接触形式的触点接触面小,只用于小电流的电器中,如接触器的辅助触点和继电器的触点;面接触形式的触点接触面大,允许通过较大的电流,一般在接触表面镶有银合金,以减小触点接触电阻和提高耐磨性,多用于较大容量电器,如接触器的主触点;线接触形式的触点接触区域是一条直线,其触点在通断过程中有滚动动作,这种滚动接触多用于中等容量的触点,如直流接触器的主触点。

(2) 触头的结构形式

在常用的继电器和接触器中,触头的结构形式主要有单断点指形触头和双断点桥式触头两种,如图1-5所示。

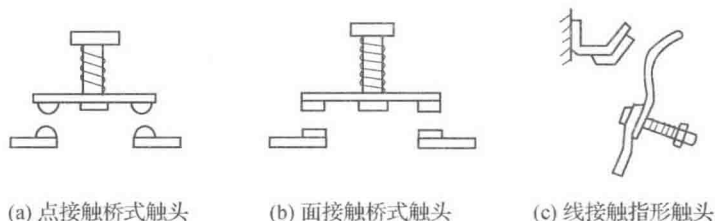


图1-5 触头的结构形式

3. 灭弧系统

(1) 电弧的产生及危害

当触头分断电流时,由于电场的存在,触头间会产生电弧。电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象。电弧的存在既烧蚀触头的金属表面,缩短电器使用寿命,又延长了切断电路的时间,还容易形成飞弧造成电源短路事故,所以必须迅速将电弧熄灭。

(2) 常用的灭弧方法

灭弧的方法有多种,常用的有以下几种:

① 电动力灭弧(双断口灭弧)。如图1-6(a)所示,这是桥式双断口触头系统,在触点分断时,将电弧分成两段以提高电弧的起弧电压;同时利用两段电弧相互间产生的电动力将电弧向外侧拉长,以增大电弧与冷空气的接触面,从而迅速散热而灭弧。

② 灭弧栅片灭弧。灭弧栅片是一组镀铜的薄铜片,它们彼此间相互绝缘,如图1-6(b)所示。电弧在电动力的作用下被推入栅片中分割成数段,而栅片就是这些电弧的电极。每两片栅片间都有150~250 V的绝缘强度,使整个灭弧栅片的绝缘强度大大提高,以致外加电压无法维持,电弧迅速熄灭。此外,栅片还能吸收电弧热量,使电弧冷却。

③ 磁吹灭弧。如图1-6(c)所示,在触头电路中串入一个磁吹线圈,该线圈产生的磁场由导磁板引向触头周围,其方向由右手定则确定。触头间的电弧所产生的磁场,其方向为 $\odot$ + 所示。这两个磁场在电弧下方方向相同(叠加),在电弧上方方向相反(相减),所以电弧下方的磁