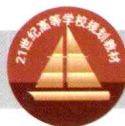


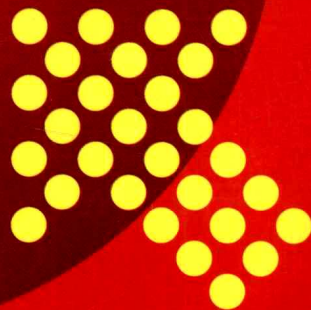
21世纪高等学校规划教材



DIANQI KONGZHI YU PLC YINGYONG JISHU

电气控制与 PLC应用技术

崔继仁 主 编
王越男 张艳丽 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

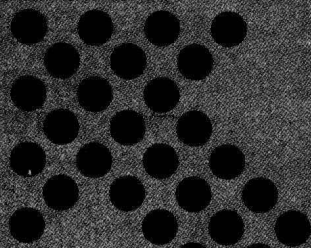
21世纪高等学校规划教材



DIANQI KONGZHI YU PLC YINGYONG JISHU

电气控制与 PLC应用技术

主 编 崔继仁
副主编 王越男 张艳丽
编 写 迟天阳 李建辉 李凤霞
主 审 周美兰



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书内容主要包括常用低压电器、电气控制线路的基本规律、可编程序控制器介绍、S7-200 系列可编程序控制器基本指令及程序设计、功能指令及设计方法、可编程序控制器系统设计与应用。本书侧重应用技术, 主要培养学生分析和设计电气控制线路的能力, 掌握 PLC 编程指令和 PLC 程序设计方法, 具备在实际工程中应用 PLC 控制系统的能力。

本书可作为大专院校电气工程及其自动化、工业自动化、应用电子、计算机应用、机电一体化及其他有关专业的教材, 可供从事相关领域工作的工程技术人员参考和作为培训教材使用, 也可对 S7-200 系列 PLC 的用户提供指导及参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 PLC 应用技术 / 崔继仁主编. —北京: 中国电力出版社, 2010.2

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-9946-1

I. ①电… II. ①崔… III. ①电气控制—高等学校—教材 ②可编程序控制器—高等学校—教材 IV. ①TM921.5 ②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 240870 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 3 月第一版 2010 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 25 印张 422 千字

定价 28.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为了贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育 21 世纪教材规划,以适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

随着计算机技术及通信技术的发展,电器元件的功能逐渐增强,不断向电子化、智能化和可通信化方向发展,继电接触式控制系统也在不断变化、丰富和完善。

由于计算机技术和微电子技术的迅猛发展,可编程序控制器(PLC)作为以计算机技术为核心的通用自动控制器,已经广泛地应用于工业控制中。它通过用户存储的应用程序来控制生产过程,具有可靠性和稳定性高以及实时处理能力强的优点。PLC 是计算机技术与继电器控制技术的有机结合,目前它已经成为当代工业自动化技术的三大支柱之一。

继电接触式控制系统和可编程序控制器是互相联系、密不可分的,同属于电气控制系统这一体系范畴。为了进一步推广先进的电气控制新技术,编者以常用低压电器及其基本控制线路为基础,以现在最流行的、有较高性能价格比的西门子(SIEMENS)S7-200 系列 PLC 的应用技术为主要内容,编写了本书。

本书是参照最新的有关教学大纲,并依据本课程应遵循的电气控制技术的特点和发展趋势等因素而精心编写的。继电接触式控制系统部分以低压电器和基本控制环节为基础,着重介绍了继电接触式控制系统的设计思想与设计方法;可编程序控制器部分以西门子 S7-200 系列 PLC 为例,深入浅出地介绍了各种编程方法,比较详细介绍了利用可编程序控制器对典型控制电路的编程设计及应用实例,比较全面地介绍了 PLC 在工业设计与应用方面的理论知识和实践知识。

为了方便教学,各章配有习题与思考题,并附有实验指导书,以利于教学的深化。在附录中提供了有关特殊存储器、错误代码以及 S7-200 CPU 接线规范的内容,以便于在教学和学习中参考。

本书由崔继仁主编,负责全书的组织、统稿工作,并编写了绪论、第 10 章及附录部分。第 3 章和第 6 章由王越男编写,第 2 章和第 5 章由张艳丽编写,第 8 章和第 9 章由迟天阳编写,第 1 章和第 4 章由李建辉编写,第 7 章由李凤霞编写。

本书的编写得到了西门子公司的大力支持,借鉴和参考了西门子公司提供的大量的资料、编程软件和硬件;哈尔滨理工大学电气与电子工程学院的周美兰教授对本书的编写提出了诸多的宝贵意见,并对本书大纲及全书进行了审定;在本书的编写过程中还得到了诸多同仁的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 电磁式低压电器	3
第一节 低压电器分类及电磁式电器的结构和工作原理	3
第二节 电磁式接触器	10
第三节 电磁式继电器	13
习题与思考题	17
第二章 其他常用低压电器	18
第一节 低压开关与断路器	18
第二节 熔断器	21
第三节 热继电器	23
第四节 信号继电器	26
第五节 主令电器	30
习题与思考题	35
第三章 电气控制线路	36
第一节 电气控制线路图的图形、文字符号及绘制原则	36
第二节 三相异步电动机的基本控制规律	38
第三节 三相异步电动机的启动控制线路	44
第四节 三相异步电动机的制动控制线路	50
第五节 三相异步电动机的转速控制线路	54
第六节 电气控制线路的设计方法	59
习题与思考题	64
第四章 可编程序控制器介绍	66
第一节 PLC 的产生、发展与用途	66
第二节 PLC 的组成和工作原理	69
第三节 PLC 的特点及分类	75
第四节 PLC 的编程语言	79
第五节 S7-200 系列 PLC 的硬件系统	80
第六节 S7-200 系列 PLC 的存储器区域及寻址方式	83
习题与思考题	87
第五章 PLC 的基本指令及程序设计	88
第一节 PLC 的基本逻辑指令及举例	88
第二节 梯形图的编辑方法	101
第三节 典型电路及应用举例	103
习题与思考题	115

第六章 顺序控制指令	117
第一节 功能图及顺序控制指令简介	117
第二节 功能图的主要类型	120
第三节 顺序控制指令应用举例	123
习题与思考题	129
第七章 功能指令	131
第一节 功能指令的一般特点	131
第二节 S7-200 系列 PLC 基本功能指令	132
第三节 跳转指令	151
第四节 循环指令	152
第五节 子程序	153
第六节 中断指令	156
第七节 其他指令	161
第八节 功能指令应用举例	163
习题与思考题	168
第八章 特殊功能指令	169
第一节 高速计数器指令	169
第二节 脉冲输出指令	178
第三节 PID 指令	190
第四节 特殊指令应用	197
习题与思考题	201
第九章 通信指令	203
第一节 通信协议及通信指令	203
第二节 通信指令应用	208
习题与思考题	214
第十章 可编程序控制器系统设计与应用	215
第一节 系统设计	215
第二节 S7-200 PLC 程序设计	220
第三节 S7-200 PLC 用于开关量控制系统	222
第四节 S7-200 PLC 用于模拟量控制系统	242
附录 A 实验指导书	250
附录 B S7-200 的特殊存储器	254
附录 C S7-200 错误代码	262
附录 D S7-200 CPU 接线规范	265
参考文献	270

绪 论

本书适用于电气类专业,是一本实用性很强的专业课教材。其主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍了继电接触式控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型的电气控制线路、电气控制系统的设计方法和实际应用。

可编程序控制器在生产过程和其他各个领域的应用十分广泛,目前它已成为工业自动化的三大支柱之一。因此,本书以可编程序控制器作为重点内容,但这并不意味着继电接触式控制系统就不重要了,因为根据我国当前情况,继电接触式控制系统在小型电气系统中还普遍使用,而且低压电器出现了功能多样的电子式电器,使继电接触式控制系统在今后还将占有相当重要的地位;另外,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,是学习和掌握可编程序控制器的基础。

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。它结合了计算机、自动控制、电子技术等许多先进的技术。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,从有触点的继电接触式控制系统到以计算机为核心的“软”控制系统。

继电接触式控制系统主要是由继电器、接触器、按钮等组成。这种控制系统具有结构简单、价格低廉、维护容易、抗干扰能力强等优点,是机床和其他机械设备广泛采用的基本电气控制形式,是可编程序控制器的基础。但是,它的缺点是灵活性差、工作频率低、触点易损坏、可靠性差。

机械加工企业为了提高生产效率和市场竞争力,采用了机械化流水线作业的生产方式,对不同的产品零件分别组成自动流水线。产品不断地更新换代,也同时要求相应的控制系统随之改变,这样继电接触式控制系统就不能满足经常更新的要求了。由于大型生产线控制系统使用的电器数目多,工作频率低,在频繁操作下寿命很短,容易出现故障,使生产线的可靠性较低。20 世纪 60 年代出现的矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统取代过继电接触式控制系统,由于这些控制装置仍是硬连接,装置体积大,功能少,本身存在某些不足,虽然提高了控制系统的通用性和灵活性,但均未得到广泛的应用。

1968 年,美国通用汽车公司为适应汽车型号的不断更新,提出把计算机的灵活性、通用性好和继电接触式控制系统的简单易懂、操作方便、价格低等优点结合起来,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简化,使得不熟悉计算机的人员也能很快掌握它的使用方法。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序控制器,在通用汽车公司的自动装配线上得到成功。

从此,许多国家的厂家竞相研制,使可编程序控制器品种更新很快,功能也不断增强,从最初的逻辑顺序控制发展到模拟量控制,具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。可编程序控制器具有可靠性高、抗干扰能力强、适应性强、易于使用等优点,在工业自动控制领域占有十分重要的地位。

通过本教材的学习,应使学生达到掌握电气控制与 PLC 应用技术的能力,具体要求是:

(1) 熟悉常用控制电器的结构原理和用途,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,具备阅读和分析电气控制线路及设计简单的电气控制线路的能力,并且能较好地掌握电气控制线路的简单设计法。

(3) 熟悉可编程序控制器的基本组成和工作原理;熟练掌握可编程序控制器编程指令及编程方法,能够编制简单的控制程序。

(4) 掌握可编程序控制器控制系统的设计步骤和方法。

第一章 电磁式低压电器

电器是根据外界施加的信号和要求,用来接通和断开电路,实现对电或非电信号进行检测、变换、调节、控制和保护的电气设备。根据我国对电压等级的划分,用于交流额定电压为 1500V 以下、直流额定电压为 1200V 及以下的电路中的电器称为低压电器,高于这个电压范围的称为高压电器。

低压电器是电力拖动控制系统和低压供配电系统的基础元件,是电气控制系统的基础。因此,必须要掌握低压电器的结构、工作原理,并能正确选择和使用。

第一节 低压电器分类及电磁式电器的结构和工作原理

电气控制线路是由许多电器元件按一定的控制要求连接起来的。在图中用不同的图形符号表示各种电器元件,用不同的文字符号说明图形符号所代表的电器元件的基本名称、用途、编号等信息。电气控制线路应该遵循简明易懂的原则,采用国家规定的标准,用统一规定的图形符号、文字符号和标准画法进行绘制。

一、分类

电器的用途广泛,功能多样,种类繁多,结构各异,分类方法也很多。

(一) 按动作原理分类

(1) 手动电器。用手或依靠机械力进行操作的电器,如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

(2) 自动电器。借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器,如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

(二) 按用途分类

(1) 控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器,例如接触器、继电器、电动机启动器等。

(2) 主令电器。用于自动控制系统中发送动作指令的电器,例如按钮、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,例如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

(4) 执行电器。用于完成某种动作或传动功能的电器,例如电磁铁、电磁离合器等。

(5) 配电电器。用于电能的输送和分配的电器,例如断路器、隔离开关、刀开关等。

(三) 按工作原理分类

(1) 电磁式电器。依据电磁感应原理来工作,例如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

(2) 电子式电器。采用集成电路或电子元件构成的低压电器,例如电子式时间继电器等。

(3) 非电量控制电器。依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。

二、电磁式低压电器的结构和工作原理

电磁式低压电器在电气控制线路中使用广泛，其类型也很多，各类电磁式低压电器在工作原理和结构上基本相同。从结构上看，电磁式低压电器一般都具有两个基本组成部分：感测元件和执行元件。感测元件用来接收外界输入的信号，并作出相应的反应，使执行元件作出相应的输出，从而实现控制的目的。

（一）电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的感测元件，它的作用是将电磁能量转换成机械能量，带动触点动作，从而实现电路的接通或分断。

电磁机构由吸引线圈（励磁线圈）和磁路两部分组成。磁路包括铁心、衔铁和空气隙。当吸引线圈通入电流后，产生磁场，磁通经铁心、衔铁和空气隙形成闭合回路，产生电磁吸力，将衔铁吸向铁心。与此同时，衔铁还要受到弹簧的反作用力，只有当电磁吸力大于弹簧反作用力时，衔铁才能可靠地被铁心吸住。按衔铁相对铁心的动作方式分为直动式、拍合式；按铁心形式分为 E 型、U 型等。其形式如图 1-1 所示。

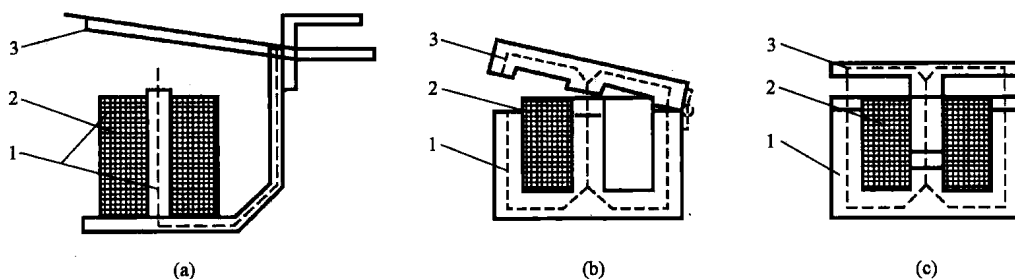


图 1-1 电磁机构的几种形式

(a) 拍合式，U 型；(b) 拍合式，E 型；(c) 直动式，E 型

1—铁心；2—吸引线圈；3—衔铁

按照通入吸引线圈的电流种类的不同，可分为直流线圈和交流线圈，与之对应的就是直流电磁机构和交流电磁机构。

当交流线圈通入交流电源时，铁心中存在磁滞损失和涡流损失，这样铁心和线圈都要发热。为了减小由此造成的能量损失和温升，将交流电磁机构的铁心用硅钢片叠成，并且吸引线圈设有骨架，使铁心与线圈相互隔离，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。

对于直流电磁机构，当吸引线圈中通入直流电源时，铁心中不存在磁滞损失和涡流损失，只有线圈本身的铜损，所以通常直流电磁机构的铁心用整块钢材或工程纯铁制成，而且它的吸引线圈做成高而薄的瘦高型，且不设线圈骨架，使线圈与铁心直接接触，易于散热。

根据吸引线圈在电路中的连接方式的不同，可分为并联线圈和串联线圈。并联线圈就是将吸引线圈并接在电源电压两端，因此它的特点是线圈匝数多，线径细，阻抗大。而将吸引线圈串接在电路中，便能反映电路中的电流情况。这时需要吸引线圈对电路中电流的影响要小，所以串联线圈匝数要少，线径粗，这样阻抗比较小。

(二) 电磁机构的工作原理

电磁机构的工作原理常用吸力特性和反力特性来表征。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙长度的关系曲线称为吸力特性，它随励磁电流种类（交流或直流）、线圈连接方式（串联或并联）的不同而有所差异。电磁机构使衔铁释放（复位）的力与气隙长度的关系曲线称为反力特性。

1. 反力特性

电磁机构使衔铁释放的力主要是弹簧的反力（忽略衔铁自身质量），弹簧的反力与其形变的位移 X 成正比，其反力特性可写成

$$F_t = K_1 X \quad (1-1)$$

考虑到动合触点闭合时超程机构的弹力作用，上述反力特性如图 1-2 中曲线 3 所示，其中 δ_1 为电磁机构气隙的初始值， δ_2 为动、静触头开始接触时的气隙长度。由于超程机构的弹力作用，反力特性在 δ_2 处有一突变。

2. 吸力特性

电磁吸引力可根据麦克斯韦公式计算得到，即

$$F = 4B^2 S \times 10^5 = \frac{B^2 S \times 10^7}{8\pi} \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-2)$$

式中 F ——电磁铁磁极的表面吸力，N；

B ——工作气隙磁感应强度，T；

S ——铁心截面积， m^2 ；

Φ ——气隙磁通，Wb；

δ ——磁路空气隙。

从式 (1-2) 中可以看出，电磁机构的吸力特性反映的是电磁吸力与气隙长短的关系。

(1) 交流电磁机构的吸力特性。

吸引线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗（电阻相对很小），则

$$U \approx E = 4.44 f \Phi \quad (1-3)$$

$$\Phi = U / 4.44 f N \quad (1-4)$$

式中 U ——线圈电压，V；

E ——线圈感应电动势，V；

f ——线圈外加电压的频率，Hz；

Φ ——气隙磁通，Wb；

N ——线圈匝数。

当频率 f 、匝数 N 和外加电压 U 都为常数时，由式 (1-4) 可知磁通也为常数。根据式 (1-2)，此时电磁吸力 F 为常数（因为交流励磁时，电压、磁通都随时间作周期性变化，其电磁吸力也作周期变化，此处 F 为常数是指电磁吸力的幅值不变）。由于线圈外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关，所以其吸力 F 也与气隙 δ 的大小无关。实际上，考虑到漏磁通的影响，吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加。其吸力特性如图 1-2 中曲线 2 所示，可以看出特性曲线比较平坦。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变，但气隙磁阻 R_m 随气隙 δ 而变化。由磁路定律可知，交流励磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比，即

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} = \frac{IN}{\frac{\delta}{\mu_0 S}} = \frac{(IN) \times (\mu_0 S)}{\delta} \quad (1-5)$$

一般 E 型交流电磁机构, 励磁线圈通电而衔铁尚未动作时, δ 最大, 其电流可达到吸合后额定电流的 10~15 倍。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作, 交流线圈很可能烧毁。所以在可靠性要求高或操作频繁的场所, 一般不采用交流电磁机构。

(2) 直流电磁机构的吸力特性。直流电磁机构由直流电流励磁。若外加电压恒定, 电磁吸力的大小只与气隙有关, 此时

$$F \propto \Phi^2 \propto \frac{1}{\delta^2} \quad (1-6)$$

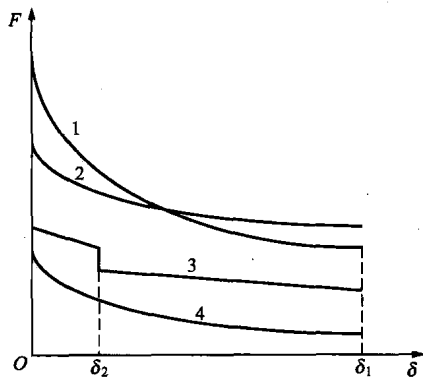


图 1-2 吸力特性和反力特性

- 1—直流电磁机构吸力特性;
2—交流电磁机构吸力特性;
3—反力特性; 4—剩磁吸力特性

3. 吸力特性与反力特性的配合

电磁机构欲使衔铁吸合, 在整个吸合过程中, 吸力都必须大于反力。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, 使衔铁与铁心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。

反映在特性图上就是保持吸力特性在反力特性的上方且彼此靠近。对于直流电磁机构, 当切断励磁电流以释放衔铁时, 其反力特性必须大于剩磁吸力, 才能保证衔铁可靠释放。

4. 短路环的作用

交流电磁铁的电磁吸力公式为

$$\begin{aligned} F &= 4B^2 S \times 10^5 \\ &= 4S \times 10^5 B_m^2 \sin^2 \alpha t \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 (1 - \cos^2 \alpha t) \\ &= 2B_m^2 S \times 10^5 - 2B_m^2 S \times 10^5 \cos^2 \alpha t \\ &= F_{av} - F_{av} \cos^2 \alpha t \end{aligned} \quad (1-7)$$

即直流电磁机构的吸力 F 与气隙的平方成反比。其吸力特性如图 1-2 中曲线 1 所示。可以看出特性曲线比较陡峭, 它表明衔铁闭合前后吸力变化很大, 气隙越小吸力越大。

由于衔铁闭合前后吸引线圈的电流不变, 所以直流电磁机构适合于动作频繁的场所, 且吸合后电磁吸力大, 工作可靠性高。

需要指出的是, 当直流电磁机构的吸引线圈断电时, 磁势急速变为接近于零。电磁机构的磁通也发生相应的急剧变化, 这会在励磁线圈中感生很大的反电势。此反电势可达线圈额定电压的 10~20 倍, 易使线圈因过压而损坏。为此必须增加线圈放电回路, 一般采用反并联二极管并加限流电阻来实现, 如图 1-3 所示。

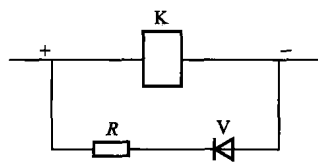


图 1-3 直流线圈并联放电电路

从式(1-7)中可以看出,对于单相交流电磁机构,电磁吸力是一个两倍于电源频率的周期性变量,并且交流电磁吸力是在最大值为 $2F_{av}$ 和最小值为0的范围内以两倍于电源频率周期地变化的。因此在每一个周期内,必然有某一段时刻的吸力小于弹簧产生的反作用力。这时衔铁在反力作用下将开始释放,而当吸力再次大于反力时,衔铁又被吸合。如此周而复始,衔铁会产生振动。这种振动对电器工作十分不利,同时还会发出噪声。为此,必须采取措施消除振动。

解决这一问题的办法就是在铁心端面上开一个槽,槽内嵌入一个铜质的短路环。这样铁心中的磁通被分为两部分 Φ_1 和 Φ_2 ,相对应的面积为 S_1 和 S_2 ,如图1-4所示。 Φ_2 是原磁通与短路环中感生电流产生的磁通的叠加,并且相位上 Φ_2 滞后 Φ_1 ,则两部分磁通所产生的电磁吸力也有一个相位差,而电磁机构的吸力 F 为它们产生的吸力 F_1 、 F_2 的合力。这样,虽然 F_1 、 F_2 都有到达零值的时刻,但二者合成后的吸力却无零值的时刻。如果合成吸力在任一时刻都大于反力,就可消除振动和噪声。加短路环的电磁吸力如图1-5中的 F 所示。

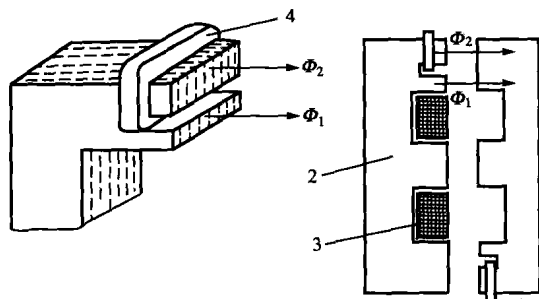


图 1-4 短路环

1—衔铁; 2—铁心; 3—线圈; 4—短路环

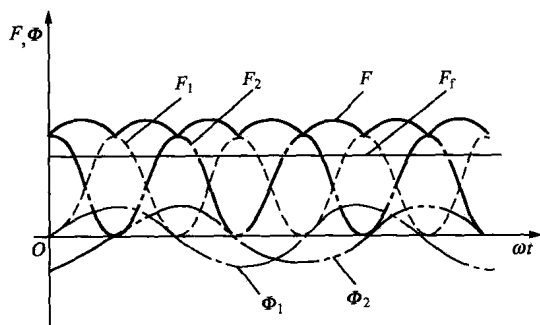


图 1-5 加短路环的电磁吸力

三、触点系统

(一) 接触电阻

触点是一切有触点电器的执行部件,这些电器通过触点的动作来接通或断开被控制电路,所以要求触点的导电、导热性能良好。触点通常由动、静触点组合而成。触点在闭合状态下,动、静触点完全接触,并有工作电流通过时,称为电接触。电接触的情况将影响触点的工作可靠性和使用寿命。影响电接触工作情况的主要因素是触点的接触电阻。从宏观上看,触点在闭合状态下,动、静触点是完全闭合的,但是从微观上看,动、静触点只是表面的凸起点相互接触,这样在动、静触点的表面便形成一个过渡区域,这个过渡区域的电阻称为接触电阻。有些触点的材料是铜,铜的表面容易生成一层氧化膜,它将增大触点的接触电阻。如果触点之间的接触电阻较大,则会在电流流过触点时造成较大的电压降,这对弱电控制系统影响较严重。另外,电流流过触点时电阻损耗大,将使触点发热而导致温度升高,严重时可使触点熔焊,这样既影响了工作可靠性,又降低了触点的寿命。触点的接触电阻不仅和触点接触形式有关,而且还与接触压力、触点材料及表面状况有关。

为了减小接触电阻,要注意以下问题:

(1) 要选择导电性好、耐磨性好的金属材料作触点,并使触点本身的电阻尽量减小。

(2) 要使触头接触得紧密一些。

(3) 在使用过程中尽量保持触头清洁, 在有条件的情况下应定期清理触头表面。

(二) 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)、线接触(如圆柱对平面、圆柱对圆柱等)和面接触(如平面对平面)三种, 如图 1-6 所示。

三种接触形式中, 点接触形式的触点只能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; 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, 这样可以清除触点表面的氧化膜。这种滚动接触多用于中等容量的触点, 如断路器的主触点。面接触形式的触点允许通过较大的电流, 一般在接触表面上镶有合金, 以减小触点接触电阻和提高耐磨性, 多用于较大容量接触器的主要触点。

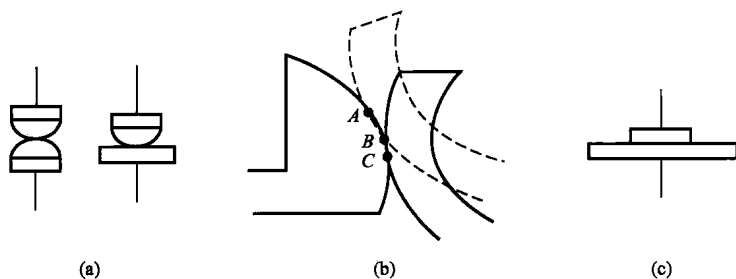


图 1-6 触点接触形式

(a) 点接触; (b) 线接触; (c) 面接触

(三) 触点的结构形式

在常用的继电器和接触器中, 触点的结构形式主要有单断点指形触点和双断点桥式触点两种。图 1-6 (b) 所示为单断点指形触点。其优点是: 闭合、断开过程中有滚滑运动, 能自动清除表面的氧化物, 触点接触压力大, 电动稳定性高。其缺点是: 触点开距大, 从而增大了电器体积; 触点闭合时冲击能量大, 不利于机械寿命的提高。

图 1-7 所示是双断点的桥式触点。两个触点串接在同一条电路中, 构成一个桥路, 电路的接通与断开是由两个触点共同完成的。为了使触点接触紧密以减小接触电阻, 消除刚开始接触时产生的振动, 在触点上装有接触弹簧, 并且在安装时动触点的弹簧已经被预先压缩了一段, 有一个初压力 F_1 。触点闭合后, 弹簧在运动机构的作用下被进一步压缩从而产生一终压力 F_2 。弹簧被进一步压缩的距离 L 就称为触点的超程。桥式触点的优点是: 具有两个有效灭弧区域, 灭弧效果很好; 触点开距小, 使电器结构紧凑、体积小; 触点闭合时冲击能量小, 有利于提高机械寿命。这种触点的缺点是: 触点不能自动净化, 触点材料必须用银或银的合金; 每个触点的接触压力小, 电动稳定性较低。

触点按其原始状态(即线圈未通电)可分为动合触点和动断触点。原始状态时断开, 线圈通电后闭合的触点叫动合触点, 也叫常开触点。原始状态时闭合, 线圈通电后断开的触点叫动断触点, 也叫常闭触点。线圈断电后所有触点复原。按触点控制电路的不同可将其分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路, 允许通过较大的电流; 辅助触点用于接通或断开控制电路, 只能通过较小的电流。

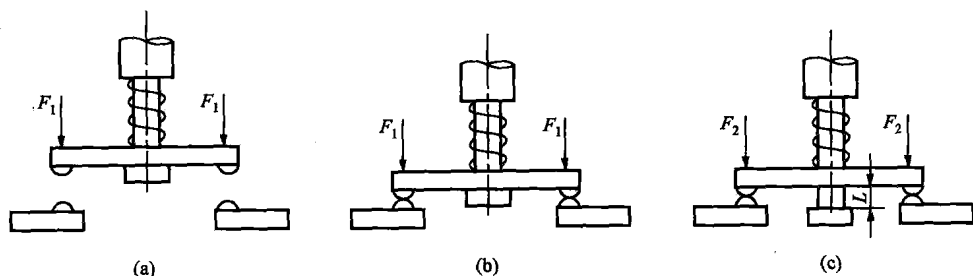


图 1-7 双断点桥式触点的结构

(a) 打开位置；(b) 初接触位置；(c) 最终闭合位置

四、电弧

(一) 电弧的产生

在自然环境中断开电路时，如果被断开电路的电流（电压）超过某一数值，则触点间隙中就会产生电弧。电弧实际上是一种气体放电现象。所谓气体放电，就是气体中有大量的带电粒子作定向运动。当动、静触点于通电状态下脱离接触的瞬间，动、静触点的间隙很小，电路电压几乎全部降落在触点之间，在触点间形成很高的电场强度，以致发生强电场发射。发射的自由电子在电场作用下向阳极加速运动。高速运动的电子撞击气体原子时产生撞击电离。电离出的电子在向阳极运动过程中又将撞击其他原子，又使其他原子电离。撞击电离的正离子则向阴极加速运动，撞在阴极上会使阴极温度逐渐升高，达到一定温度时，会发生热电子发射。热发射的电子又参与撞击电离。这样，在触点间隙中形成了炽热的电子流即电弧。显然，电压越高，电流越大，电弧功率也越大；弧区温度越高，游离程度越激烈，电弧亦越强。

电流通过这个游离区时所消耗的电能转换为热能和光能，产生高温及强光，使触点烧损，并使电路切断时间延长，甚至不能断开，造成严重事故。电弧的存在既烧损触点金属表面，降低电器的寿命，又延长电路的分断时间，所以必须迅速消除。

(二) 电弧的消除

在电离进行的同时，也同样存在着消电离的现象。消电离可以通过正、负带电粒子的复合和扩散实现。通过上述电弧产生的物理过程可知，要想使电弧熄灭，应设法降低电弧温度和电场强度，以增强粒子的复合，来达到增强消电离的作用。

1. 多断点灭弧

图 1-8 中所示是桥式触点，其电流方向如图中所示。在动、静触点断开时，将产生电弧。利用右手定则判断出两电弧之间产生的磁场方向是“ $\odot$ ”，再根据左手定则，电弧电流受到向外侧的电动力，使电弧向外运动并拉长，加快电弧的熄灭。这种灭弧方法效果较弱，一般交流继电器和小电流接触器采用这种方法灭弧。

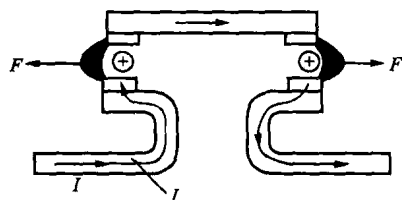


图 1-8 多断点灭弧原理

2. 灭弧栅片

灭弧栅的示意图如图 1-9 所示。灭弧栅一般由多片镀铜薄钢片组成，片间距离约为 2~3mm，彼此之间互相绝缘，安放在触点上方的灭弧室内。当动、静两触点之间产生电弧时，

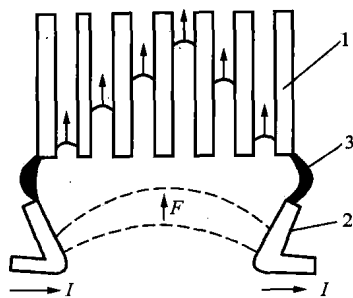


图 1-9 栅片灭弧原理图

1—栅片；2—触点；3—电弧

电弧周围产生磁场，由于钢片磁阻比空气磁阻小得多，因此，电弧被吸入栅片中，被分成多个串联的短电弧。交流电压过零时，电弧自然熄灭。电弧要重燃，每两片栅片之间必须要有 150~250V 电压。这样，电源电压不足以维持电弧，同时，由于栅片的散热作用，电弧自然熄灭后很难重燃。

3. 磁吹式灭弧

磁吹式灭弧原理图如图 1-10 所示。在触点电路中串入了一吹弧线圈，它产生的磁通通过导磁夹片引向触点周围，当电流如图 1-10 所示时，吹弧线圈产生的磁通方向

为“×”，电弧本身产生的磁通方向用“⊙”和“⊕”表示。可见，在电弧下方产生的磁通与吹弧线圈产生的磁通是相加的，而电弧上方的磁通是相抵消的，电弧受到一向上方向的力 F ，将电弧拉长并吹入到灭弧罩中，引弧角和静触点相连接，其作用是引导电弧向上运动，将热量传递给灭弧罩壁，促使电弧熄灭。这种灭弧装置是利用电弧电流本身灭弧，电弧电流越大，吹弧能力越强，且不受电路电流方向影响。它广泛地应用于直流接触器中。

4. 灭弧罩

灭弧罩通常是用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用是分隔各路电弧，防止发生短路。同时由于电弧与灭弧罩接触，能使电弧迅速冷却而熄灭。上面介绍的磁吹式灭弧和灭弧栅都带有灭弧罩。

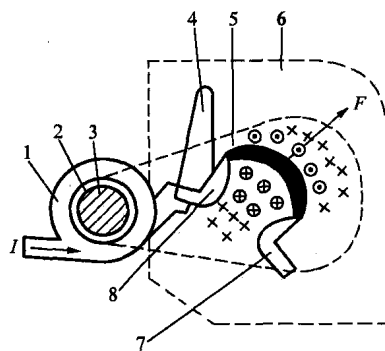


图 1-10 磁吹式灭弧原理图

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

第二节 电磁式接触器

接触器具有体积小、价格低、维修方便等优点，是目前在电力拖动控制系统和自动控制系统中应用十分广泛的一种低压电器。它是用来频繁地接通和分断电动机主电路或其他负载电路的控制电器，可以实现频繁的远距离自动控制。

接触器主要用来实现电动机的启动、制动、调速等功能，也可用于控制电热设备、电焊机、电容器组等其他负载。它有强大的执行机构，具有大容量的主触点，能接通和分断比工作电流大数倍的电流，具有迅速熄灭电弧的能力。它同时具有低压释放的功能。因此，即使在可编程序控制器应用系统中，接触器一般也不能被取代。

接触器种类很多，按驱动力不同可分为电磁式、气动式和液压式，以电磁式应用最广泛；按灭弧介质分，有空气式、油浸式和真空式接触器；按接触器主触点控制的电路中电流种类分，有交流接触器和直流接触器两种；按其主触点的极数（即主触点的个数）来分，有单极、双极、三极、四极和五极等多种。本节介绍电磁式接触器。

一、接触器的结构和工作原理

(一) 接触器的结构

接触器由电磁机构、触点系统、灭弧装置、反力装置和基座等几部分组成。交流接触器结构图如图 1-11 所示。

1. 电磁机构

与所有的电磁式低压电器一样，接触器的电磁机构是由线圈、铁心和衔铁组成的。

2. 触点系统

从图 1-11 中可以看出，接触器包括主触点和辅助触点。主触点通过大电流，直流接触器和 20A 以上的交流接触器均装设灭弧装置。辅助触点用于控制回路，通过的电流比较小。中、小容量的交流接触器的主、辅助触点一般都采用直动式双断点桥式设计，大容量的主触点采用指形触点。

3. 灭弧装置

交流接触器的主触点流过交流主回路电流，产生的电弧是交流电弧，常采用多纵缝灭弧装置灭弧。

4. 反力装置

反力装置部分由释放弹簧和触点弹簧组成，且它们均不能进行弹簧松紧的调节。

5. 基座

基座部分包括支架和底座，用于接触器的固定和安装。

(二) 接触器的工作原理

当交流接触器线圈通电后，在铁心中产生磁通。由此在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁产生闭合动作，主触点在衔铁的带动下闭合，于是接通了主电路。同时衔铁还带动辅助触点动作，使原来断开的辅助动合触点闭合，而原来闭合的辅助动断触点断开。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱，衔铁在释放弹簧作用下打开，主、辅触点又恢复到原来状态。这就是接触器的工作原理。

直流接触器的结构和工作原理与交流接触器基本相同，仅在电磁机构方面不同。直流接触器的主触点流过直流主回路电流，产生的电弧是直流电弧。由于直流电弧比交流电弧难以熄灭，因此直流接触器常采用磁吹式灭弧装置灭弧。

二、接触器的基本参数

(一) 接触器的技术参数

1. 额定电压

接触器的额定电压是指主触点的额定工作电压。常用的额定电压值为 220、380、660V 等。

2. 额定电流

接触器的额定电流是指主触点上的额定工作电流。常用额定电流等级为 5、10、25、40、63、100、160、250、400、630A。

3. 接通和分断能力

接通和分断能力即指最大接通电流和最大分断电流。最大接通电流是指触点闭合时不会

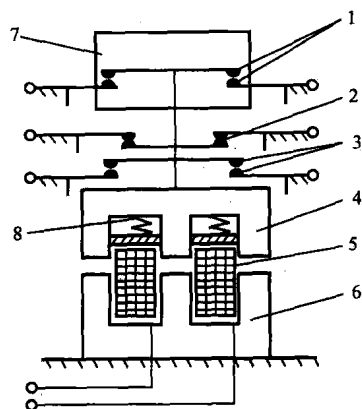


图 1-11 交流接触器结构图

1—主触点；2—动断辅助触点；
3—动合辅助触点；4—衔铁；5—电磁线圈；
6—铁心；7—灭弧罩；8—弹簧