



普通高等教育“十二五”规划教材

GONGCHANG DIANQI YU PLC KONGZHI JISHU

# 工厂电气与PLC 控制技术

张振国 方承远 主编

第4版



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

# 工厂电气与 PLC 控制技术

第 4 版

主编 张振国 方承远

参编 王楠 蒋明琴

机械工业出版社

为培养对电气控制电路的阅读分析能力和电气控制装置的开发与设计能力,本书介绍了传统继电器接触器控制元件的组成结构、工作原理、用途及使用方法,控制电路的组成原理、电路分析和系统设计的基本方法。为培养可编程序控制器(PLC)的应用能力,本书系统地介绍了PLC的基本组成、工作原理、编程方法及其应用技术,并以三菱公司、西门子公司小型PLC为例,深入介绍了PLC的内部结构、工作方式、编程软件和I/O系统、特殊功能I/O模块及其应用;编程语言和指令系统、编程方法和编程工具、PLC的网络与通信技术以及PLC控制系统的设计方法等内容。同时结合作者多年来在PLC技术应用开发中取得的经验与成果,并应用实例进一步说明上述内容的应用方法。全书共分九章,其中前八章为理论教学内容,第九章为实践教学内容。从教育规律和工程应用能力培养的需要出发,将理论教学、课堂练习、课程设计、实验及工程实践融为一体。

本书主要为普通高等工科院校工业自动化、电气工程及其自动化、机械工程及其自动化、机电一体化及与控制相关专业的教材,也可供高专、高职相关专业及其他专业的研究生选用,并可作为电气技术人员的培训教材和参考书。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册下载。

## 图书在版编目(CIP)数据

工厂电气与PLC控制技术/张振国,方承运主编.—4版.  
—北京:机械工业出版社,2011.8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-111-34502-2

I. ①工… II. ①张… ②方… III. ①工厂-电气控制-高等学校-教材②可编程序控制器-控制系统-高等学校-教材  
IV. ①TM571

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第129882号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤  
版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽  
封面设计:陈沛 责任印制:杨曦  
北京京丰印刷厂印刷  
2011年10月第4版·第1次印刷  
184mm×260mm·26.25印张·647千字  
标准书号:ISBN 978-7-111-34502-2  
定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是在“九五”规划教材的基础上，经过几次修订而成的，至今仍受到许多高校和广大读者的关心和支持，在此表示衷心感谢。为适应相关专业教学改革和电气控制新技术的发展，特别是可编程序控制器（PLC）及其应用技术迅速发展的需要，编者结合近几年的科研应用成果和教学经验对本书再次进行修订。修订中对内容进行了一定幅度的修改，进一步增强了 PLC 新网络技术知识的介绍，注重 PLC 应用能力的培养。修订后继续保持精选内容力求结合实际、突出应用和通俗易懂便于自学的特点。

全书共九章，其中第一章继电接触逻辑控制基础，简要介绍了常用控制电器、电气控制基本电路、电气系统图的标准及其阅读分析方法，是 PLC 和其他各种电气自动控制技术的基础。第二~八章系统地介绍了 PLC 的基本组成、工作原理与应用技术，并以三菱公司、西门子公司小型 PLC 为例，深入介绍了 PLC 的由来与发展、组成与工作原理、编程软件与 I/O 系统、特殊功能转换及其应用、编程语言与指令系统、编程方法与编程工具、PLC 的网络与通信技术、电气控制装置与 PLC 网络控制系统的设计和应用方法等内容。第九章主要介绍课程设计、电气实验与工程实践的要求、内容与实施方法。本教材理论教学（第一~八章）建议为 64 学时左右，不同专业根据教学需要可适当增减。实践教学（第九章）可集中进行，包含两周课程设计和两周左右的电气工程项目实训。

在本书第 4 版出版之际，编者特别要感谢在前 3 版编写中作出重要贡献的王炳勋、方宗达、刘建华、张明华、公利滨和闵锋等老师，他们在教材建设中倾注了大量心血，不少由他们编写的精炼内容仍保留在本书中。同时还要感谢在本书审定过程中提供很大帮助的孔凡才教授、方君川教授、刘迪吉教授、马国琳教授和陈昌国高级工程师。

在本次修订中，方承远教授负责制订编写提纲、各章编写内容并负责全书的最后审定，由张振国副教授主持完成并担任统稿工作。其中第一、二、三章由方承远教授编写；第六、七章及第八章的四、五、六、七节由张振国副教授编写；第四、五章由王楠老师编写；第八章的一、二、三节及第九章由蒋明琴老师编写。

本书有相应的多媒体 CAI 教学课件，欢迎选用本书作教材的老师登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册下载。限于作者水平，书中难免存在错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

绪论	1
<b>第一章 继电接触逻辑控制基础</b>	<b>3</b>
第一节 电器的基本知识	3
第二节 常用低压电器	8
第三节 电气控制系统图的类型及有关规定	31
第四节 电气控制的基本电路	32
第五节 电气控制电路分析基础	46
本章小结	50
思考题与练习题	51
<b>第二章 可编程序控制器的组成与工作原理</b>	<b>52</b>
第一节 PLC 概述	52
第二节 PLC 的基本组成	57
第三节 PLC 的基本工作原理	69
第四节 PLC 的 I/O 系统	77
第五节 PLC 的定时器与计数器	81
本章小结	84
思考题与练习题	85
<b>第三章 PLC 的编程语言与指令系统</b>	<b>86</b>
第一节 PLC 的编程语言	86
第二节 PLC 的基本指令及其编程应用	89
第三节 PLC 的步进指令及其编程应用	101
第四节 PLC 的功能指令及其编程应用	110
本章小结	143
思考题与练习题	143
<b>第四章 PLC 的特殊功能 I/O 模块</b>	<b>146</b>
第一节 模拟量输入、输出处理模块	146
第二节 高速处理模块	156
第三节 联网与通信模块	160
第四节 其他特殊功能模块	166
本章小结	168
思考题与练习题	168
<b>第五章 西门子 (SIEMENS) 电气 S7 类型 PLC</b>	<b>169</b>
第一节 S7-200 型 PLC 的硬件组成	169

第二节 西门子 PLC 基本编程指令 .....	174
第三节 S7-300/400 型 PLC 的特点及应用 .....	208
第四节 S7-300/400 型 PLC 的编程语言与指令系统 .....	210
本章小结 .....	213
思考题与练习题 .....	213
<b>第六章 编程器、编程软件及其使用 .....</b>	<b>215</b>
第一节 手持式简易编程器 .....	215
第二节 三菱公司的各种编程软件 .....	216
第三节 STEP 7-Micro/WIN、STEP7 编程软件 .....	227
第四节 组态王、WinCC 组态软件 .....	230
本章小结 .....	236
思考题与练习题 .....	236
<b>第七章 PLC 的联网与通信技术 .....</b>	<b>237</b>
第一节 网络的基本概念与特点 .....	237
第二节 串行通信基础 .....	248
第三节 PLC 网络的组成与特点 .....	257
第四节 PLC 的通信模块 .....	258
第五节 主从式全 PLC 网络 .....	262
第六节 专用 PLC 网络 .....	264
第七节 以个人计算机作为操作站的 PLC 网络 .....	272
第八节 系统设计实例 .....	276
本章小结 .....	283
思考题与练习题 .....	283
<b>第八章 电气控制装置与 PLC 控制系统设计 .....</b>	<b>284</b>
第一节 电气控制装置设计的一般原则、内容、方法、步骤和设计程序 .....	284
第二节 电气保护类型、实现方法及主要参数计算 .....	296
第三节 电气控制装置工艺设计 .....	304
第四节 PLC 控制系统的设计方法、主机及其模块的选用 .....	307
第五节 PLC 典型应用程序设计方法 .....	324
第六节 PLC 控制系统的安装与布局 .....	330
第七节 PLC 控制系统应用举例 .....	333
本章小结 .....	349
思考题与练习题 .....	350
<b>第九章 电气实验、课程设计与工程实践 .....</b>	<b>354</b>
第一节 电气实验 .....	354
第二节 课程设计 .....	389
第三节 电气工程实践 .....	405
<b>参考文献 .....</b>	<b>412</b>

# 绪 论

## 一、“工厂电气控制技术”课程的性质和任务

“工厂电气控制技术”是一门理论与实践结合较强的专业课。电气控制技术的应用遍及生产过程、科学研究及其他广泛领域。本课程主要内容是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、电路、编程及控制装置的设计方法。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、基本电路、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。随着大规模集成电路及微型计算机技术的发展，使电气控制技术与可编程序控制器（PLC）结合，为控制技术的发展开辟了新的前景。PLC 将计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电器系统的控制简单、使用方便、抗干扰力强、价格便宜等优点结合起来，而其本身又具有体积小、重量轻、耗电省、编程及修改程序灵活等特点，因此在工业生产过程及各种控制领域中的应用越来越广泛。作为一名电气技术人员必须掌握 PLC 的基本原理与应用技术。

本课程的基本任务是：

- 1) 熟练掌握常用控制电器、电气控制基本电路的构成、原理与用途，具备对一般电气控制电路的独立分析和设计的能力。
- 2) 掌握可编程序控制器（PLC）的基本构成、工作原理、特点及其应用发展情况。
- 3) 掌握小型 PLC 的硬件构成、工作原理、编程语言、指令系统与编程方法。
- 4) 掌握 PLC 控制系统的设计方法，包括系统设计过程与步骤、PLC 及其模块选用方法、应用程序设计与调试方法等。

## 二、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，对生产工艺不断提出新的要求而迅速发展的。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到复杂；在操作方式上由笨重到轻巧；从控制原理上，由单一的有触点硬接线继电器控制系统转向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器件的出现，将不断推动电气控制技术的继续发展。

生产机械电力拖动的初期，常以一台电动机拖动多台设备，或使一台机床的多个动作由同一台电动机拖动，称为集中拖动，相应的电气控制电路比较简单。随着生产机械功能增多和自动化程度的提高，其机械传动系统也就更加复杂。为了简化传动机构而出现分散拖动形式，即各个运动机构分别由不同电动机拖动，使电气控制电路复杂化。此外，在生产过程中，对影响产品质量的各种参数都要求能自动调整（例如温度、压力、时间、流量、速度、

转矩、功率等的自动调节), 因而促使电气自动控制技术迅速向前发展, 控制系统日趋完善。

在实际生产中, 由于存在大量用开关量控制的简单的程序控制过程, 而实际生产工艺和流程又是经常变化的, 因而传统的继电器接触控制系统常不能满足这种要求。PLC 的出现, 提高了电气控制的灵活性和通用性, 其控制功能和控制精度都得到很大提高。PLC 完全能够适应恶劣的工业环境。由于它兼备了计算机控制和继电器控制系统两方面的优点, 故目前在世界各国已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制。

为了解决占机械加工总量 80% 左右的单件和小批生产的自动化, 以提高劳动生产率, 提高产品质量和降低劳动强度, 在 20 世纪 50 年代就出现了数控机床。它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床, 它综合应用了电子技术、检测技术、计算技术、自动控制和机床结构设计等各个技术领域的最新技术成就。日前仍然广泛应用, 并且在一般数控机床的基础上发展成为附带自动换刀, 自适应等功能的复杂数控系列产品, 称为加工中心。它可对多道工序的工件进行连续加工, 节省了夹具, 缩短了装夹定位、对刀等辅助时间, 提高了工效和产品质量, 成功地取代了以往依靠模板、凸轮、专用夹具、刀具和定程挡块来实现顺序加工的自动机床、组合机床及专用机床。

PLC 采用计算机技术来实现对不同控制对象或机床的控制, 其控制核心实质是一台专用计算机。用软件方法来增加或改变控制系统的功能, 具有很大的灵活性和柔性。专用计算机控制系统程序中还设置了各种诊断程序, 进行故障预检及自动查找, 提高了设备可靠性并便于维修。

目前, 全世界 PLC 生产厂家约 200 多家, 生产 300 多种产品。国内 PLC 市场仍以国外产品为主, 如 SIEMENS、MODICON、A-B、OMRON、三菱、GE 的产品。国内 PLC 生产厂家约有三十多家。我国在 PLC 技术的应用、研制和生产方面也有 50 多年的历史, 通过技术、设备的引进、消化、吸收和应用推广, 逐步走向独立研制与开发。同时加强了对专门人才的培养, 不断提高 PLC 的应用水平, 扩大应用范围, 为的是迅速跟上世界潮流。



# 第一章 继电接触逻辑控制基础

传统的继电器、接触器控制技术是近代先进电气控制的基础，且仍被广泛应用。本章将从应用方面介绍常用低压电器的用途、基本结构、工作原理、主要技术参数和选用方法，并介绍由这些器件组成的电气控制基本电路的组成与工作原理。在此基础上，举例说明电气控制电路的阅读分析方法。本章内容是正确选择和合理使用电器与培养电气控制电路分析与设计基本能力的基础。

## 第一节 电器的基本知识

### 一、电器的定义及分类

#### (一) 电器的定义

凡是自动或手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气元件统称为电器。

#### (二) 电器的分类

电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，构造各异，其分类方法很多。从使用角度常分为：

##### 1. 按工作电压等级分类

(1) 低压电器 工作电压在交流 1200V 或直流 1500V 以下的各种电器。例如接触器、继电器、刀开关、按钮等。

(2) 高压电器 工作电压高于交流 1200V 或直流 1500V 以上的各种电器。例如高压熔断器、高压隔离开关、高压断路器等。

##### 2. 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、各类继电器、起动器等。

(2) 主令电器 用于自动控制系统中发送控制指令的电器。如控制按钮、主令开关、行程开关等。

(3) 保护电器 用于保护电路及电气设备的电器。如熔断器、热继电器、断路器、避雷器等。

(4) 配电电器 用于电能的输送和分配的电器。如各类刀开关、断路器等。

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

##### 3. 按工作原理分类

(1) 电磁式电器 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、电磁阀等。

(2) 非电量控制电器 这类电器是靠外力或某种非电物理量的变化而动作的。如行程开关、按钮、压力继电器、温度继电器等。

## 二、电磁式电器的工作原理与结构特点

电磁式电器在电气自动化控制电路中使用最多，类型也很多，其工作原理和构造基本相同。就其结构而言，大都由电磁机构和触头系统两个主要部分组成。

### (一) 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的信号检测部分。它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量并带动触头动作，从而完成电路的接通或分断。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

1. 常用的磁路结构 常用的磁路结构可分三种形式如图 1-1 所示。

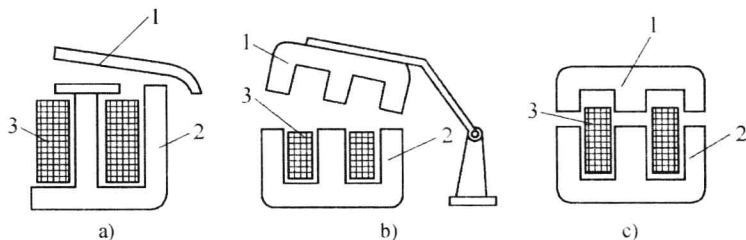


图 1-1 常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心，如图 1-1a 所示。这种形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 1-1b 所示。其铁心形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触头容量较大的交流电器中。

3) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心，如图 1-1c 所示，多用于交流接触器、继电器中。

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制成。通常直流电磁铁的铁心是用整块钢材或工程纯铁制成，而交流电磁铁的铁心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。按通入电流种类不同，可分为直流和交流线圈。

对于直流电磁铁，因其铁心不发热，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长形且不设线圈骨架，使线圈与铁心直接接触，易于散热。

对于交流电磁铁，由于其铁心存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁心都发热，所以交流电磁铁的吸引线圈有骨架，使铁心与线圈隔离并将线圈制成短而厚的矮胖形，这样有利于铁心和线圈的散热。

### (二) 电磁吸力与吸力特性

电磁式电器采用交直流电磁铁的基本原理，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：

$$F_{at} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-1)$$

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

在固定铁心与衔铁之间的气隙值  $\delta$  及外加电压值  $U$  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

$$F_{at} = \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t$$

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

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。

另一方面, 交直流电磁铁在吸动或释放过程中, 由于气隙  $\delta$  值是变化的, 因此电磁吸力又随  $\delta$  值变化而变化。通常交流电磁铁的吸力是指它的平均吸力。所谓吸力特性, 是指吸动过程中电磁吸力  $F_{at}$  随衔铁与铁心间气隙  $\delta$  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 表示电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁, 其励磁电流的大小与气隙无关。动作过程中为恒磁动势工作, 其吸力随气隙的减小而增大, 所以吸力特性曲线比较陡峭, 如图 1-2 中的 1 所示。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比。动作过程中为近似恒磁通工作, 其吸力随气隙的减小略有增大, 所以吸力特性比较平坦, 如图 1-2 中的 2 所示。

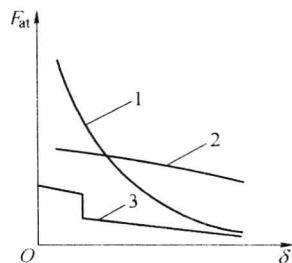


图 1-2 电磁铁的吸力特性

- 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

### (三) 反力特性和返回系数

所谓反力特性是指吸动过程中反作用力  $F_r$  与气隙  $\delta$  的关系曲线, 如图 1-2 中的 3 所示。

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。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  $U_{re}$  (或电流  $I_{re}$ ) 与吸合电压  $U_{at}$  (或电流  $I_{at}$ ) 的比值。用  $\beta$  表示, 即

$$\beta_U = \frac{U_{re}}{U_{at}} \text{ 或 } \beta_I = \frac{I_{re}}{I_{at}}$$

返回系数是反映电磁式电器动作灵敏度的一个参数, 对电器工作的控制要求, 保护特性和可靠性有一定影响。

### (四) 交流电磁机构上短路环的作用

根据交流电磁吸力公式可知, 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  $F_-$ ， $F_- = F_0 \cos 2\omega t$ ，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。

电磁机构在工作中，衔铁始终受到反作用弹簧、触头弹簧等反作用力  $F_r$  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。

具体办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称阻尼环）的铜环，如图 1-4 所示。短路环把铁心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  $\Phi_2$ ，且  $\Phi_2$  滞后于  $\Phi_1$ ，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

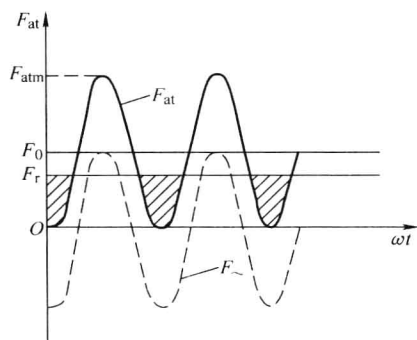


图 1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

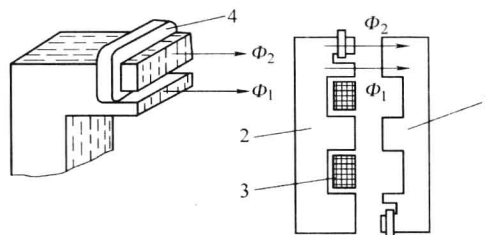


图 1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

短路环通常包围 2/3 的铁心截面，一般用铜、锰白铜（亦称康铜）或镍铬合金等材料制成。

### 三、电器的触头系统和电弧

#### （一）电器的触头系统

触头是电器的执行部分，起接通和分断电路的作用。因此，要求触头导电、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，将增大触头的接触电阻，使触头的损耗增大，温度上升。所以有些电器，如继电器和小容量的电器，其触头常采用银质材料，这不仅在于其导电和导热性能均优于铜质触头，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十余倍以上），而且要在较高的温度下才会形成，同时又容易粉化。因此，银触头具有较小和稳定的接触电阻。对于大中容量的低压电器，在结构设计上，触头采用滚动接触，可将氧化膜去掉，这种结构的触头，也常采用铜质材料。

触头主要有以下几种结构形式：

1. 桥式触头 图 1-5a 是两个点接触的桥式触头，图 1-5b 是两个面接触的桥式触头，两个触头串于同一条电路中，电路的接通与断开由两个触头共同完成。点接触形式适用于电流不大且触头压力小的场合；面接触形式适用于大电流的场合。

2. 指形触头 图 1-5c 所示为指形触头, 其接触面为一直线, 触头接通或分断时产生滚动摩擦, 以利于去掉氧化膜。此种形式适用于通电次数多、电流大的场合。

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, 在触头上装有接触弹簧, 在刚刚接触时产生初压力, 并且随着触头闭合增大触头压力。

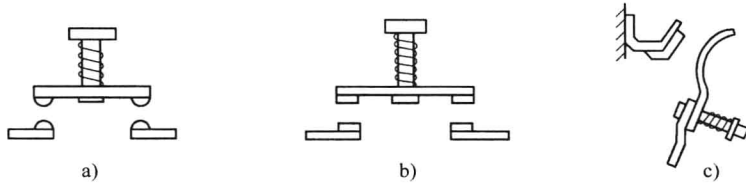


图 1-5 触头的结构形式

## (二) 电弧的产生及灭弧方法

在大气中断开电路时, 如果被断开电路的电流超过某一数值, 断开后加在触头间隙两端电压超过某一数值 (在  $12 \sim 20\text{V}$  之间) 时, 触头间隙中就会产生电弧。电弧实际上是触头间气体在强电场作用下产生的电离放电现象, 即当触头间刚出现分断时, 两触头间距离极小, 电场强度极大, 在高热和强电场作用下, 金属内部的自由电子从阴极表面逸出, 奔向阳极, 这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子, 使之激励和游离, 产生正离子和电子。因此, 在触头间隙中产生大量的带电粒子, 使气体导电形成了炽热的电子流, 即电弧。

电弧产生后, 伴随高温产生并发出强光, 将触头烧损, 并使电路的切断时间延长, 严重时还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 如图 1-6 所示, 它是一种桥式结构双断口触头。当触头打开时, 在断口中产生电弧, 在电动力  $F$  的作用下, 使电弧向外运动并拉长, 加快冷却并熄灭。这种灭弧方法一般用于交流接触器中。

2. 磁吹灭弧 其原理示意图如图 1-7 所示。在触头电路中串入一个磁吹线圈, 负载电流产生的磁场方向如图 1-7 所示。当触头开断产生电弧后, 同样原理在电动力作用下, 电弧被拉长并吹入灭弧罩 6 中使电弧冷却熄灭。

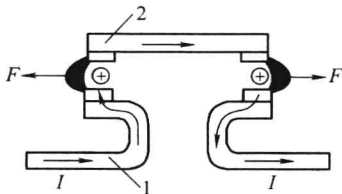


图 1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头

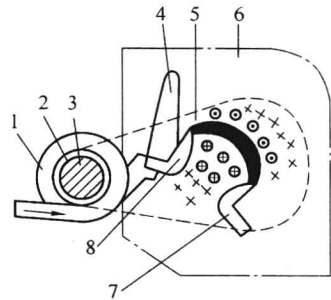


图 1-7 磁吹灭弧原理示意图

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—动触头 8—静触头

这种灭弧装置是利用电弧电流灭弧，电流越大，吹弧能力也越强。它广泛应用于直流接触器中。

3. 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 1-8 所示。当触头断开时，电弧在电动力作用下进入缝内，窄缝可将电弧弧柱直径压缩，使电弧同缝壁紧密接触，加强冷却和消电离作用，使电弧熄灭加快。窄缝灭弧常用于交流和直流接触器上。

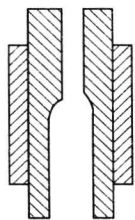


图 1-8 窄缝灭弧装置

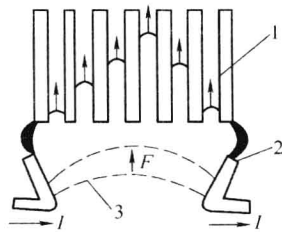


图 1-9 栅片灭弧示意图  
1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

4. 栅片灭弧 图 1-9 为栅片灭弧示意图。灭弧栅由多片镀铜薄钢片（称为栅片）组成，它们安放在电器触头上方的灭弧栅内，彼此之间互相绝缘。当电弧产生时，在电动力作用下，电弧被拉入灭弧栅而被分割成数段串联的短弧，增强消电离能力并使电弧迅速冷却而很快熄灭。栅片灭弧常用于大电流的刀开关与大容量交流接触器中。

## 第二节 常用低压电器

常用低压电器主要有开关电器、熔断器、主令电器、接触器和各类继电器等。下面就这些电器的用途、基本结构、主要类型与产品型号、图形符号和文字符号以及使用和选用的注意事项作简要介绍。

### 一、开关电器

开关电器广泛应用于配电线路作电源的隔离、通断控制以及电源与负载的保护。

常用开关电器有以下几种类型：

#### （一）刀开关

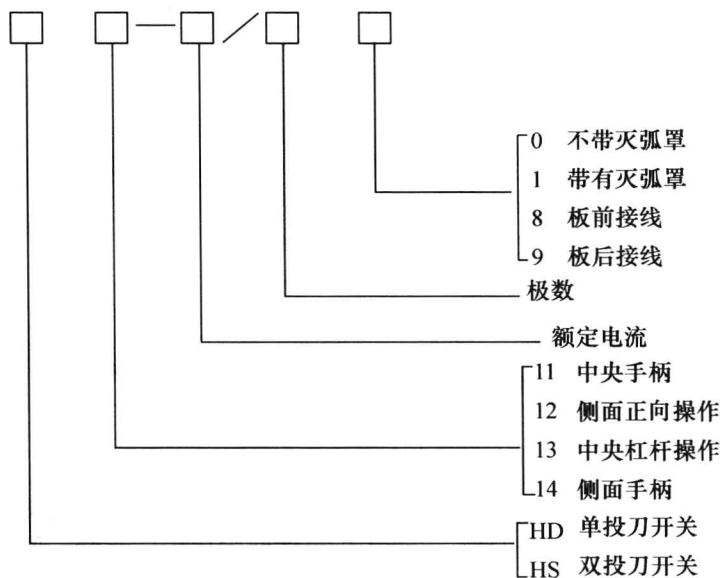
刀开关是结构最简单、应用最广泛的一种手动电器。在低压电路中作不频繁接通和分断电路或用于电路与电源的隔离。

刀开关由操作手柄、触刀、静插座和绝缘底板组成。依靠手动来实现触刀插入插座或脱离插座，完成电接通与分断控制。

刀开关的主要技术参数有额定电压、额定电流、通断能力、动稳定电流、热稳定电流等。

刀开关的主要类型有：大电流隔离开关、负荷开关、熔断器式刀开关。

刀开关型号含义：



刀开关的符号如图 1-10 所示。

使用刀开关时应注意：安装时应使手柄向上，不得倒装或平装，避免由于重力自动下落引起的误动作合闸。接线时应将电源线接在上端，负载线接在下端，这样在拉闸后刀片与电源隔离，可防止意外事故。

## (二) 转换开关

转换开关又称组合开关，一般用于电气设备中非频繁地通断电路、换接电源和负载、测量三相电压以及直接控制小容量异步电动机的运行状态。

转换开关由动触头（动触片）、静触头（静触片）、转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成。其动静触头分别叠装于数层绝缘壳内，其结构示意图如图 1-11 所示。当转动手柄时，每层的动触片随方形转轴一起转动。

转换开关有单极、双极和多极之分。普通类型的转换开关各极是同时通断的，特殊类型的转换开关各极交替通断（一个操作位置其触头一部分接通，另一部分断开），以满足不同的控制要求。其表示方法类似于万能转换开关。

转换开关的结构示意图如图 1-12 所示。

刀开关与转换开关选用时主要考虑以下几方面：

- 1) 根据使用场合去选择合适的产品型号和操作方式。
- 2) 应使其额定电压等于或大于电路的额定电压，其额定电流应等于或大于电路的额定电流。
- 3) 安装方式、外形尺寸与定位尺寸。

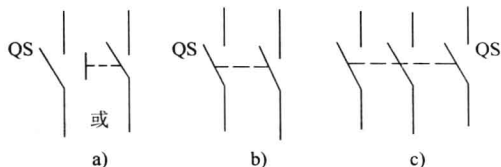


图 1-10 刀开关的符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极

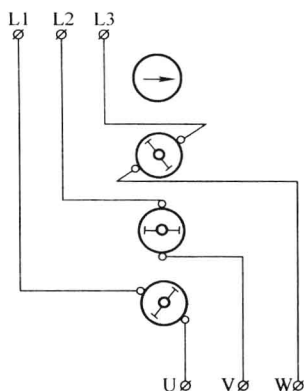


图 1-11 转换开关的结构示意图

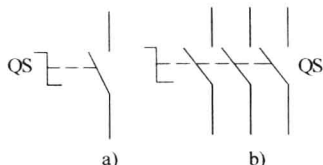


图 1-12 转换开关的符号

a) 单极 b) 三极

### (三) 断路器

断路器俗称自动开关，是用于低压配电电路不频繁通断控制，在电路发生短路、过载或欠电压等故障时，能自动分断故障电路，是低压配电线路中应用广泛的一种保护电器。

断路器的种类繁多，按其用途和结构特点可分为框架式断路器、塑料外壳式断路器、直流快速断路器和限流式断路器等。框架式断路器主要用作配电网络的保护开关，而塑料外壳式断路器除可用作配电网络的保护开关外还可用作电动机、照明电路及电热电路的控制开关。

下面以塑壳断路器为例简单介绍断路器的结构、工作原理、图形符号与文字符号、使用与选用方法。

1. 断路器的结构和工作原理 断路器主要由 3 个基本部分组成：触头、灭弧系统和各种脱扣器，包括过电流脱扣器、欠电压（失压）脱扣器、热脱扣器、分励脱扣器和自由脱扣器。

图 1-13 是断路器工作原理示意图。开关是靠操作机构手动或电动合闸的，触头闭合后自由脱扣机构将触头锁在合闸位置上。当电路发生上述故障时，通过各自的脱扣器使自由脱扣机构动作，自动跳闸实现保护作用。分励脱扣器则作为远距离控制分断电路之用。

#### 2. 断路器的主要技术参数和系列产品

断路器的主要技术参数有：额定电压、额定电流、极数、脱扣器类型及其整定电流范围、分断能力、动作时间等。

表 1-1 列出了  $DZ_{20}$  的技术参数。同时  $DZ_{20}$  的附件较多，除具有欠电压脱扣器、分励脱扣器外还具有报警触头和两组辅助触头，使用更加方便。 $DZ_{x19}$  系列为限流型断路器，可利用短路电流所产生的电动力使触头约在 8 ~ 10ms 内迅速断开，限制了电网上可能出现的最大

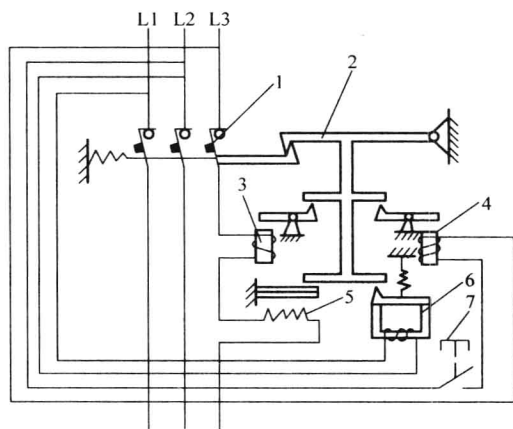


图 1-13 断路器工作原理示意图

1—主触头 2—自由脱扣机构 3—过电流脱扣器 4—分励脱扣器 5—热脱扣器 6—欠电压脱扣器 7—按钮



的短路电流，适用于要求分断能力较高的场合。

表 1-1 DZ<sub>20</sub> 系列塑料外壳式断路器主要技术参数

型号	额定电流 /A	机械寿命 /次	电气寿命 /次	过电流脱扣器范围 /A	短路通断能力			
					交流		直流	
					电压 /V	电流 /kA	电压 /V	电流 /kA
DZ <sub>20Y</sub> -100	100	8000	4000	16, 20, 32, 40, 50, 63, 80, 100	380	18	220	10
DZ <sub>20Y</sub> -200	200	8000	2000	100, 125, 160, 180, 200	380	25	220	25
DZ <sub>20Y</sub> -400	400	5000	1000	200, 225, 315, 350, 400	380	30	380	25
DZ <sub>20Y</sub> -630	630	5000	1000	500, 630	380	30	380	25
DZ <sub>20Y</sub> -800	800	3000	500	500, 600, 700, 800	380	42	380	25
DZ <sub>20Y</sub> -1250	1250	3000	500	800, 1000, 1250	380	50	380	30

注：表中 Y 为一般型。

### 3. 断路器的选用及调整

#### (1) 断路器的选用

1) 额定电压大于或等于电路或设备的额定工作电压，对配电电路来说应注意区别电源端保护还是负载端保护。

2) 额定电流应大于或等于负载工作电流，若使用环境温度高应适当增大选用额定电流。

3) 断路器的通断能力大于或等于电路的最大短路电流。

4) 断路器的类型应根据使用场合和保护要求来选用。例如额定电流 630A，短路电流不太大的可选用 DE 系列塑料外壳式断路器。短路电流相当大可选用限流式断路器。额定电流比较大或有选择性保护要求时，应选择 DW 系列框架式断路器。对控制和保护含半导体器件的直流电路应选择直流快速断路器等。

#### (2) 断路器的调整

1) 过载脱扣器整定电流应与所控制的电动机的额定电流一致，通过 1.05 倍脱扣整定电流，2h 内不动作；通过 1.20 倍时，2h 内动作。

2) 对电流脱扣器整定电流应大于负载正常工作时的尖峰电流，对电动机负载来说，通常按起动电流的 1.7 倍整定。

3) 欠电压脱扣器的额定电压等于主电路的额定电压。

4) 级间保护的配合应满足配电系统选择性保护的要求，以避免越级跳闸，扩大事故范围。

5) 根据线路或设备保护要求，定期复校各脱扣器整定动作值（每年 1~2 次）。

断路器的图形及文字符号如图 1-14 所示。断路器动作（安秒）特性曲线如图 1-15 所示。

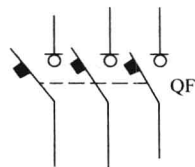


图 1-14 断路器的图形及文字符号