

普通高等工科教育机电类规划教材

# 工厂电气控制技术

第 2 版

方承远 主编



TM921.5  
8=2

普通高等工科教育机电类规划教材

# 工厂电气控制技术

第 2 版

|     |       |     |
|-----|-------|-----|
| 主 编 | 方 承 远 |     |
| 副主编 | 王炳勋   | 方宗达 |
| 参 编 | 公利滨   | 闵 锋 |
| 主 审 | 刘迪吉   |     |



机械工业出版社

为培养学生电气控制线路与程序的阅读分析能力和电气控制系统与装置的设计能力,本书系统地介绍了传统继电接触控制线路的组成原理、线路分析及控制系统装置的硬件和软件设计的基本方法。同时又介绍了可编程程序控制器(PC)的原理与应用技术,以20世纪90年代新型PC为例,系统介绍了三菱公司FX2系列及欧姆龙公司C系列小型PC的组成、基本原理、控制系统,各种功能模块,PC网络与通信以及系统与程序设计基本方法,并有较多的应用举例。全书分为四篇十章,从教育规律和工程应用能力培养的需要出发,将理论教育、课程设计、实验及电气工程实践融为一体。

本书可作为普通高等工科院校电气工程及自动化相关专业的教材,也可以作为电气技术人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术/方承运主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2000.10 (2006.5重印)  
普通高等工科教育机电类规划教材  
ISBN 7-111-03274-8

I.工… II.方… III.工厂-电气设备-自动控制-高等教育-教材 IV.TM762

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第07394号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华

责任校对:韩晶

责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006年5月第2版·第12次印刷

184mm×260mm·24.75印张·608千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线(010)88379711

封面无防伪标均为盗版

## 前 言

为适应电气控制新技术的发展,特别是可编程序控制器(PC)及其应用技术的迅速发展,编者在多年教学应用的基础上,对《工厂电气控制技术》教材进行了必要的修改、充实和提高。适当压缩传统控制技术,增强并提高PC技术的应用水平,强化应用能力的培养。修订中继续保持精选内容,力求结合生产实际,突出应用,吸取近年来教改成功经验,尽可能做到通俗易懂,便于自学。

全书内容分为四篇:

第一篇 电气控制原理(第一章至第三章)。在介绍常用低压控制电器的基础上,主要介绍继电器逻辑控制基本线路以及由此组成的各种典型继电接触控制线路的基本原理及分析方法。本部分内容的教学目的在于培养对电气图纸的阅读分析和继电接触控制线路的基本设计能力。

第二篇 可编程序控制器(PC)(第四章至第六章)。以20世纪90年代高功能小型PC为例,介绍了PC的基本原理、硬件和软件构成、指令系统、程序设计与调试的基本方法。为提高PC应用水平,还介绍了PC网络与通信技术以及PC控制系统的设计和各种类型应用举例。

第三篇 电气控制装置设计基础(第七、八章)。介绍电控装置设计的基本要求、设计内容、电气原理图以及各类工艺图纸的设计方法与步骤。在此基础上集中一段时间进行课程设计练习,以便初步了解并掌握电控装置的设计内容与方法。

第四篇 电气控制实验与工程实践(第九、十章)。配合理论教学,进一步巩固电气控制基本线路分析及PC程序设计与调试能力。在此基础上再集中一段时间,以特定工程项目为对象进行PC控制系统的工程实践,深入掌握PC控制系统的设计、调试以及故障分析方法。

本书第一、二篇为理论教学内容,第三、四篇为实践教学内容,两部分宜独立集中安排,单独考核。

在此,编者特别要感谢在《工厂电气控制技术》第1版编写中作出重要贡献的刘建华、张明华老师以及在本教材建设中提供很大帮助的孔凡才教授、马国林教授以及陈昌国高级工程师。

本书由方承远教授主编并编写绪论与第三、四、七、八、十章,王炳勋副教授任副主编并编写第二、九章,方宗达高级工程师任副主编并编写第六章。第一章及第九章的PC实验部分由公利滨工程师编写,第五章由闵锋工程师(硕士)编写。

本书由博士生导师刘迪吉教授主审,他对本教材的内容取舍、与其它专业及专业基础课程关系、各章编写内容、前后关系、语言修饰等方面提出了许多中肯的建设性意见。参加审稿的还有方君川副教授、王芳卿高级工程师、蒋明琴工程师。他们都做了大量工作,也提出了许多宝贵意见,在此一并表示诚挚的感谢。

限于编者水平,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 |
|----------|---|

## 第一篇 电气控制原理

|                     |    |                         |     |
|---------------------|----|-------------------------|-----|
| 第一章 常用低压电器 .....    | 3  | 线路 .....                | 53  |
| 第一节 电器的基本知识 .....   | 3  | 第六节 三相异步电动机的制动控制        |     |
| 第二节 开关电器 .....      | 8  | 线路 .....                | 55  |
| 第三节 熔断器 .....       | 12 | 第七节 直流电动机的控制线路 .....    | 60  |
| 第四节 主令电器 .....      | 14 | 第八节 电气控制的保护环节 .....     | 66  |
| 第五节 接触器 .....       | 18 | 本章小结 .....              | 68  |
| 第六节 继电器 .....       | 21 | 思考题与练习题 .....           | 68  |
| 第七节 其他控制器件 .....    | 29 | 第三章 典型生产机械电气控制线路        |     |
| 本章小结 .....          | 30 | 分析 .....                | 70  |
| 思考题与练习题 .....       | 31 | 第一节 电气控制线路分析基础 .....    | 70  |
| 第二章 电气控制的基本线路 ..... | 32 | 第二节 T68 型卧式镗床电气控制线路     |     |
| 第一节 电气控制系统图的类型及有关   |    | 分析 .....                | 74  |
| 规定 .....            | 32 | 第三节 X62W 型卧式万能铣床电气控制    |     |
| 第二节 三相笼型异步电动机全压起动   |    | 线路分析 .....              | 78  |
| 控制线路 .....          | 43 | 第四节 B2012A 系列龙门刨床电气控制   |     |
| 第三节 三相笼型异步电动机减压起动   |    | 线路分析 .....              | 84  |
| 控制线路 .....          | 47 | 第五节 组合机床的电气控制线路分析 ..... | 105 |
| 第四节 三相绕线转子异步电动机起动   |    | 第六节 起重机械电气控制线路分析 .....  | 113 |
| 控制线路 .....          | 51 | 本章小结 .....              | 123 |
| 第五节 三相异步电动机的调速控制    |    | 思考题与练习题 .....           | 123 |

## 第二篇 可编程序控制器 (PC)

|                           |     |                         |     |
|---------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第四章 可编程序控制器 (PC) 的构成、     |     | 第一节 串行通信基础 .....        | 224 |
| 原理与应用 .....               | 125 | 第二节 PC 联网通信技术概述 .....   | 226 |
| 第一节 可编程序控制器概述 .....       | 125 | 第三节 通信模块及通信软件 .....     | 227 |
| 第二节 PC 的基本组成与工作原理 .....   | 130 | 第四节 主从式全 PC 网络 .....    | 233 |
| 第三节 三菱小型 PC 的硬件与软件 .....  | 153 | 第五节 专用 PC 网络 .....      | 235 |
| 第四节 欧姆龙小型 PC 的硬件与软件 ..... | 187 | 第六节 以个人计算机作为操作站的 PC     |     |
| 第五节 编程器、编程软件及其使用 .....    | 202 | 网络 .....                | 240 |
| 本章小结 .....                | 222 | 第七节 系统设计实例 .....        | 245 |
| 思考题与练习题 .....             | 222 | 本章小结 .....              | 252 |
| 第五章 PC 网络与通信技术 .....      | 224 | 思考题与练习题 .....           | 252 |
|                           |     | 第六章 PC 控制系统的设计与应用 ..... | 253 |

|     |                 |     |               |     |
|-----|-----------------|-----|---------------|-----|
| 第一节 | 概述 .....        | 253 | 本章小结 .....    | 289 |
| 第二节 | PC 应用举例分析 ..... | 267 | 思考题与练习题 ..... | 289 |
| 第三节 | PC 控制系统布局 ..... | 287 |               |     |

### 第三篇 电气控制装置设计

|     |                                     |     |                                |     |
|-----|-------------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 第七章 | 电气控制装置设计基础 .....                    | 291 | 本章小结 .....                     | 314 |
| 第一节 | 电气控制装置设计的一般原则、<br>基本内容和设计程序 .....   | 291 | 思考题与练习题 .....                  | 315 |
| 第二节 | 电气控制原理线路设计的方法与<br>步骤 .....          | 294 | 第八章 课程设计要求、设计方法及<br>参考题选 ..... | 317 |
| 第三节 | 电气保护类型及实现方法 .....                   | 303 | 第一节 概述 .....                   | 317 |
| 第四节 | 电气控制线路设计中的主要参数<br>计算及常用电器元件选择 ..... | 306 | 第二节 课程设计的目的和要求 .....           | 317 |
| 第五节 | 电气控制装置工艺设计 .....                    | 311 | 第三节 课程设计任务与设计方法 .....          | 318 |
|     |                                     |     | 第四节 设计举例 .....                 | 320 |
|     |                                     |     | 第五节 课程设计参考题选 .....             | 331 |

### 第四篇 电气控制实验与工程实践

|     |                    |     |                                    |     |
|-----|--------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 第九章 | 电气控制实验 .....       | 342 | 第一节 电气控制系统工程实践的目的<br>和任务 .....     | 371 |
| 第一节 | 电气控制实验的目的和任务 ..... | 342 | 第二节 工程实践训练的方法与步骤 .....             | 371 |
| 第二节 | 实验方法 .....         | 342 | 第三节 电气控制工程实践参考项目、<br>实训内容及要求 ..... | 372 |
| 第三节 | 实验报告及要求 .....      | 343 |                                    |     |
| 第四节 | 参考实验项目、内容及要求 ..... | 344 | 参考文献 .....                         | 387 |
| 第十章 | 电气控制系统工程实践 .....   | 371 |                                    |     |

# 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”是一门实践性较强的专业课。电气控制技术在生产过程、科学研究及其他各领域的应用十分广泛。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、线路、程序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,给电气控制技术开辟了新的前景。可编程控制器(PC)是近几十年发展起来的一种新型工业控制器,由于它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、耗电省等特点,因此在工业生产过程控制中的应用越来越广泛。作为一名电气技术人员必须掌握PC的基本原理与应用技术。

本课程的基本任务是:

1. 熟悉常用控制电器的结构原理、用途及型号,达到能正确使用和选用的目的。
2. 熟练掌握电气控制的基本线路,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能力。
4. 具有设计和改进一般生产设备电气控制线路的基本能力。
5. 掌握可编程序控制器的基本原理及应用发展情况,做到能根据工艺过程和控制要求正确选用PC、设计控制系统、编制用户程序,经调试应用于生产过程控制。

## 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,相应的电气控制线路比较简单。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,使电气控制线路复杂化。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),促使电气自动控制技术迅速向前发展,控制线路日趋完善。

在实际生产中,由于大量存在一些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,因而传统的继电接触控制系统常不能满足这种要求。电子计算机控制系统的出现,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。然而在其初期,存在着系统复杂,使用不便,抗干扰能力差,成本高等缺陷,尤其对上述简单的过程控制有大材小用和不经济等问题。因而,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,而又远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接触控制线路功能的装置。它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,但它还是使用硬件手段,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年代出现了用软件手段来实现各种控制功能,以微处理器为核心的新型工业控制器——可编程序控制器(PC),这种器件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。目前仍然广泛应用,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。它能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。

以小型通用计算机去控制某一特定对象时,要依靠事前开发并存放在存储器内的系统管理程序和针对特定对象的用户程序。可编程序控制器(PC)和数控装置都是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。

上述各种先进控制设备的应用,促进了电气控制技术的发展。然而,无论是PC系统或是数控加工中心的推广和应用,都是以性能价格比的进一步提高为前提的。目前我国在这些方面的研制水平与世界上工业先进国家尚存在较大差距,某些方面还是以引进国外技术和产品为主。为了改变这种情况,当前亟待解决的主要问题是国产化、降低成本和人员培训,以便迅速跟上世界潮流。

# 第一篇 电气控制原理

## 第一章 常用低压电器

低压电器是电力拖动自动控制系统的基本组成元件，控制系统的可靠性、先进性、经济性与所用的低压电器有着直接的关系，作为电气技术人员必须熟练掌握低压电器的结构、原理，并能正确选用和维护。本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理、型号、规格、用途及使用方法等有关知识，为正确选择和合理使用打下基础，同时根据目前电器发展状况，对新型电器元件予以简单地介绍。

### 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、变换和调节目的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、控制器、起动器、刀开关、断路器、熔断器、继电器、电阻器、主令电器等。

(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、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、各种控制继电器、控制器、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、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。如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

(4) 配电电器 用于电能的输送和分配的电器。例如高压断路器、隔离开关、刀开关、断路器等。

(5) 执行电器 指用于完成某种动作或传动功能的电器。如电磁铁、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。例如交直流接触器、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。例如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、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控制电路中使用最多，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——触头系统。

### (一) 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为机械能量，带动触头动作，从而完成接通或分断电路。

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 常用的磁路结构如图 1-1 所示，可分为三种型式。

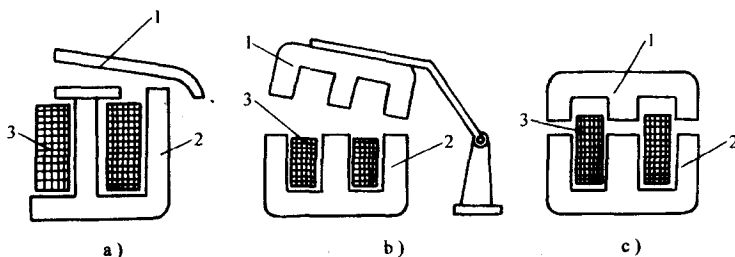


图 1-1 常用的磁路结构

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 1-1b 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型，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，这样做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  $F_{at}$ ——电磁吸力, 单位为 N;

$B$ ——气隙中磁感应强度, 单位为 T;

$S$ ——磁极截面积, 单位为  $m^2$ 。

在固定铁心与衔铁之间的气隙值  $\delta$  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:

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

式中  $F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$ ——电磁吸力最大值;

$$F_0 = \frac{F_{atm}}{2} \text{——电磁吸力平均值。}$$

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。

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, 动作过程中为恒磁通势工作, 其吸力随气隙的减小而增大, 所以吸力特性曲线比较陡峭。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比, 在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。

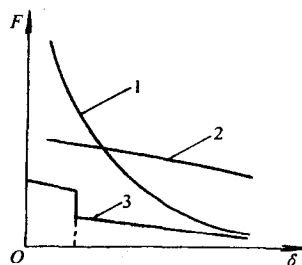


图 1-2 电磁铁的吸力特性

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

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

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

$F_{\sim}$ ,  $F_{\sim} = F_0 \cos 2\omega t$ , 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  $F_{at}$  在从 0 到  $F_{atm}$  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  $F_r$  (如图 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

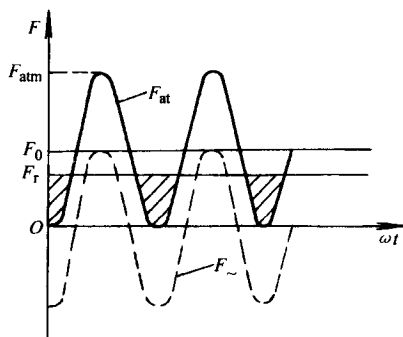


图 1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

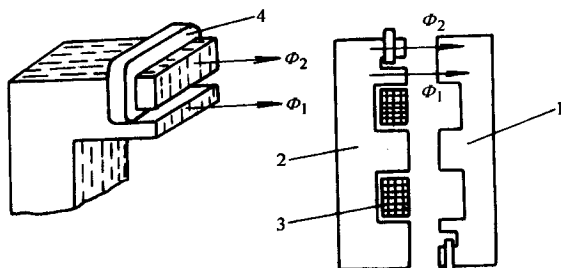


图 1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

路环的  $\Phi_2$ , 且  $\Phi_2$  滞后  $\Phi_1$ , 使合成吸力始终大于反作用力, 从而消除了振动和噪声。

### 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, 银质触头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型式:

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、且触头压力小的场合; 面接触型式适用于大电流的场合。

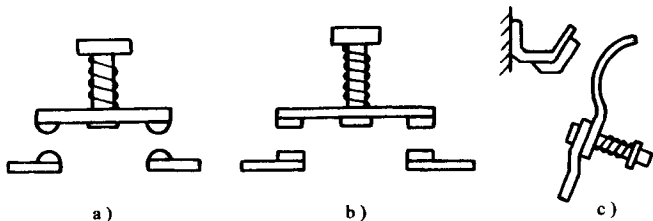


图 1-5 触头的结构型式

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

为了使触头接触的更加紧密，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。

## (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 12~20V 之间）时，则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，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等交流电器中。

2. 磁吹灭弧 其原理如图 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。

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。

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。

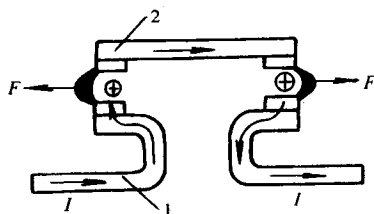


图 1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头

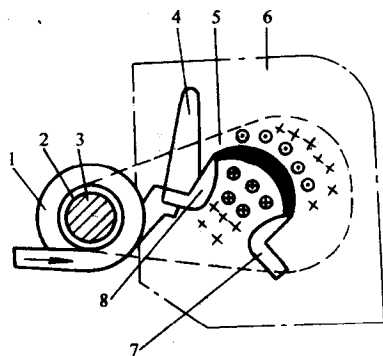


图 1-7 磁吹灭弧示意图

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

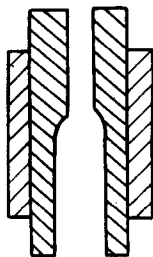


图 1-8 窄缝  
灭弧装置

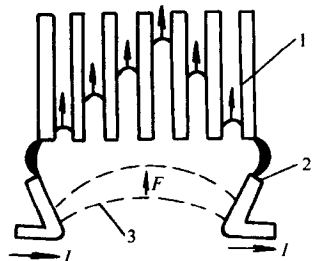


图 1-9 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

## 第二节 开关电器

开关电器广泛应用于配电线路作电源的隔离、保护与控制。

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，作为不频繁接通和分断电路用，或用来将电路与电源隔离。

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与脱离插座的控制。按刀数可分为单极、双极和三极。

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。

通断能力是指在规定条件下，能在额定电压下接通和分断的电流值。

动稳定电流是电路发生短路故障时，刀开关并不因短路电流产生的电动力作用而发生变形、损坏或触刀自动弹出之类的现象，这一短路电流（峰值）即称为刀开关的动稳定电流。

热稳定电流是电路发生短路故障时，刀开关在一定时间内（通常为 1s）通过某一短路电流，并不会因温度急骤升高而发生熔焊现象，这一最大短路电流称为刀开关的热稳定电流。

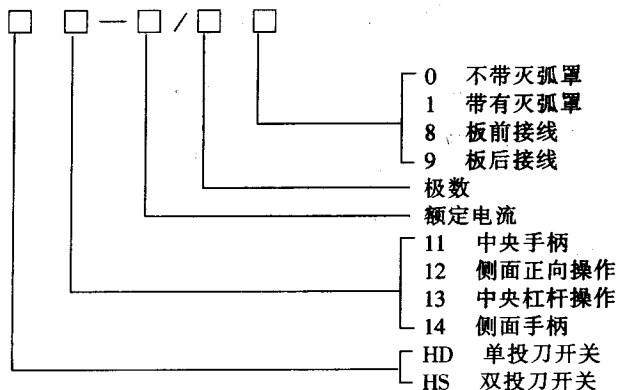
刀开关在选择时，应使其额定电压等于或大于电路的额定电压；其电流应等于或大于电路的额定电流；可根据刀开关的使用场合，选择其操作方式，如开关柜内使用选择杠杆操作或直接手动操作等。

刀开关的使用注意事项：刀开关在安装时，手柄要向上，不得倒装或平装，避免由于重力自动下落，而引起误动作合闸。接线时，应将电源线接在上端，负载线接在下端，这样拉闸后刀片与电源隔离，防止可能发生的意外事故。

刀开关的主要类型有：大电流刀开关、负荷开关、熔断器式刀开关。

常用的产品有：HD<sub>14</sub>、HD<sub>17</sub>、HS<sub>13</sub> 系列刀开关，其中 HD<sub>17</sub> 为新型换代产品。HK<sub>2</sub>、HD<sub>13 BX</sub> 系列开启式负荷开关，HD<sub>13 BX</sub> 为较先进开启式负荷开关，其操作方式为旋转型。HH<sub>4</sub> 系列为封闭式负荷开关。HR<sub>3</sub>、HR<sub>5</sub> 系列为熔断器式刀开关，其中 HR<sub>5</sub> 刀开关中的熔断器采用 NT 型低压高分断型，并且结构紧凑，其分断能力高达 100kA。

刀开关的型号含义：



刀开关的图形符号及文字符号如图 1-10 所示。

## 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，测量三相电压以及控制小容量感应电动机。

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，结构示

意如图 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。

常用产品有：HZ<sub>5</sub>、HZ<sub>10</sub>和 HZ<sub>15</sub>系列。HZ<sub>5</sub> 系列是类似万能转换开关的产品，其结构与一般转换开关有所不同；HZ<sub>10</sub>为早期全国统一设计产品；HZ<sub>15</sub>为新型的全国统一设计的更新换代产品。

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。

转换开关的图形符号和文字符号如图 1-12 所示。

## 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的保护开关，而塑料外壳式断路器除可用作配电网的保护开关外，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、使用与选用方法。

### （一）断路器的结构和工作原理

断路器主要由三个基本部分组成：即触头、灭弧系统和各种脱扣器，包括过电流脱扣器、失压（欠电压）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。

### （二）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。

常用的塑料外壳式断路器有 DZ<sub>10</sub>、DZ<sub>15</sub>、DZ<sub>20</sub>、DZ<sub>X19</sub>、DZ<sub>36-20</sub>、C45N、S060 等系列产

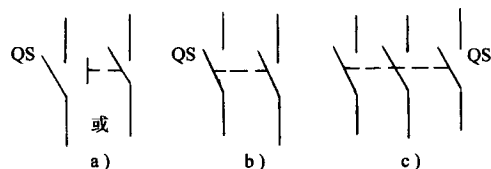


图 1-10 刀开关的符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极

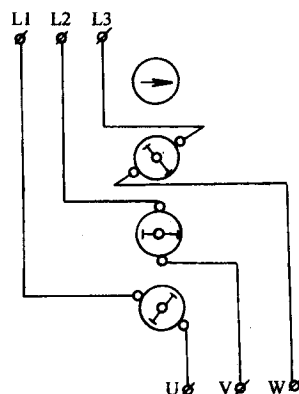


图 1-11 转换开关  
结构示意图

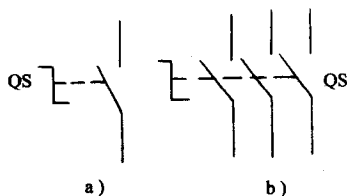


图 1-12 转换开关的符号

a) 单极 b) 三极

品。其中 DZ<sub>20</sub> 系列为 20 世纪 90 年代更新换代产品, 该产品具有较高的分断能力, 可达 50kA, 而 DZ<sub>10</sub> 一般只有 10kA。同时 DZ<sub>20</sub> 的附件较多, 除了具有欠电压脱扣器、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<sub>X19</sub> 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, 限制了网络上可能出现的最大的短路电流, 适用于要求分断能力较高的场合。DZ<sub>36-20</sub> 系列作为小容量电动机及配电电网的过载和短路保护, 其主要技术指标及外形安装尺寸, 与西门子公司的 3VE<sub>1</sub> 系列相同, 可取代同类的进口产品。C45N 系列是天津梅兰日兰公司生产的小电流等级的塑料外壳式断路器, 体积小, 动作灵敏, 采用卡轨式安装方式, 普遍应用于低压电网, 作为短路和过载保护。S 060 系列是北京低压电器厂生产的导线保护塑料外壳式断路器。

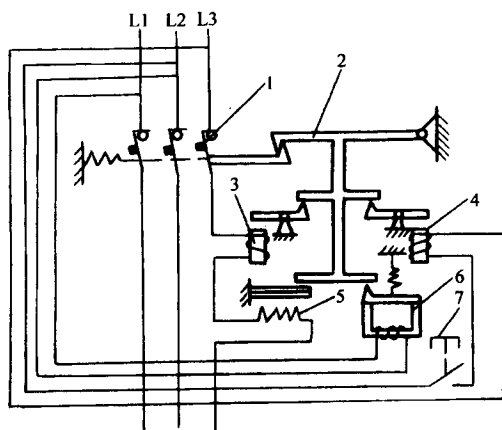


图 1-13 断路器工作原理图

- 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

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 |
| DZ20Y-100  | 100    | 8000   | 4000   | 16, 20, 32, 40, 50, 63, 80, 100 | 380    | 18    | 220  | 10    |
| DZ20Y-200  | 200    | 8000   | 2000   | 100, 125, 160, 180, 200         | 380    | 25    | 220  | 25    |
| DZ20Y-400  | 400    | 5000   | 1000   | 200, 225, 315, 350, 400         | 380    | 30    | 380  | 25    |
| DZ20Y-630  | 630    | 5000   | 1000   | 500, 630                        | 380    | 30    | 380  | 25    |
| DZ20Y-800  | 800    | 3000   | 500    | 500, 600, 700, 800              | 380    | 42    | 380  | 25    |
| DZ20Y-1250 | 1250   | 3000   | 500    | 800, 1000, 1250                 | 380    | 50    | 380  | 30    |

注: 表中 Y 为一般型。

### (三) 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线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. 自动开关的调整

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) 过电流脱扣器整定电流应大于负载的正常工作时尖峰电流, 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。

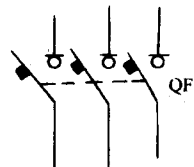


图 1-14 断路器的符号

断路器的图形符号及文字符号如图 1-14 所示。

#### 四、漏电保护断路器

漏电保护断路器是一种安全保护电器, 在电路中作为触电和漏电保护之用。在线路或设备出现对地漏电或人身触电时, 迅速自动断开电路, 能够有效地保证人身和线路安全。

##### (一) 漏电保护断路器的结构与工作原理

1. 结构 电流动作型漏电保护断路器主要由电子线路、零序电流互感器、漏电脱扣器、触头、试验按钮、操作机构及外壳等组成。

2. 工作原理 DZL18-20 型漏电保护断路器的工作原理如图 1-15 所示。

在电路正常工作时, 零序电流互感器二次绕组无输出信号, 保护断路器不动作。当电路发生漏电和触电事故时, 只要漏电或触电电流达到漏电保护断路器的动作电流值时, 零序电流互感器二次绕组输出一个信号, 使电子线路中的晶闸管被触发导通, 整流桥 TC 直流侧经晶闸管被短接, 使得漏电脱扣器线圈中流过一个较大的电流, 脱扣器动作, 自动地断开电路, 起到保护作用。

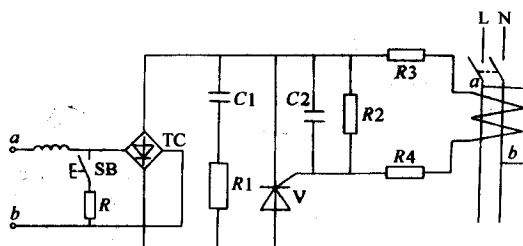


图 1-15 DZL18-20 型漏电保护断路器原理图

##### (二) 漏电保护断路器的型号及技术数据

漏电保护断路器有单相式和三相式等形式, 单相式主要产品有 DZL18-20 型; 三相式有 DZ15L、DZ47L、DS250M 等, 其中 DS250M 采用德国 ABB 公司的技术生产的, 可取代同类进口产品。

漏电保护断路器的额定漏电动作电流为 30 ~ 100mA, 漏电脱扣动作时间小于 0.1s。表 1-2 为 DZ15L 系列漏电保护断路器的技术数据。

表 1-2 DZ15L 系列漏电保护开关的技术数据

| 额定电压/V      | 额定频率/Hz     | 额定电流/A      | 极数  | 过电流脱扣器<br>额定电流/mA | 额定漏电<br>动作电流/mA | 额定漏电<br>不动作电流/mA | 额定漏电<br>动作时间/s |
|-------------|-------------|-------------|-----|-------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 380         | 50 ~ 60     | 40          | 3   | 6, 10, 16,        | 30              | 15               | <0.1           |
|             |             |             |     | 20, 25, 40        | 50              | 25               |                |
|             |             |             | 4   | 40                | 75              | 40               |                |
|             |             |             |     | 50                | 25              |                  |                |
|             |             | 63<br>(100) | 3   | 10, 16, 25,       | 50              | 25               |                |
|             |             |             |     | 32, 40, 50,       | 75              | 40               |                |
| 4           | 63, 80, 100 |             | 100 | 50                |                 |                  |                |
|             | 16, 20, 25, | 50          | 25  |                   |                 |                  |                |
| 32, 40, 50  | 70          | 40          |     |                   |                 |                  |                |
| 63, 80, 100 | 100         | 50          |     |                   |                 |                  |                |