



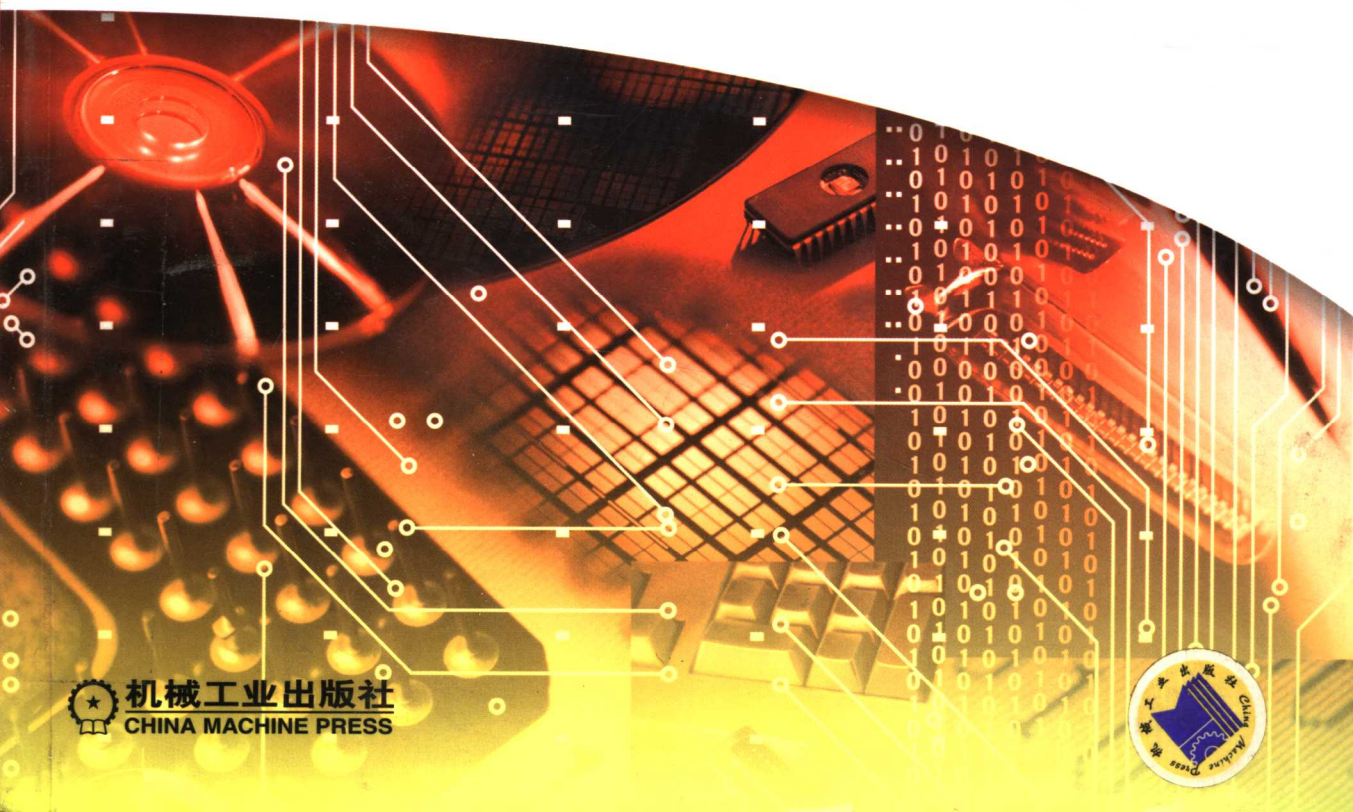
21世纪普通高等教育规划教材

工厂电气控制技术

GONGCHANG DIANQI KONGZHI JISHU

方承远 张振国 编著

第3版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TM921.5/8=3

2006

21 世纪普通高等教育规划教材

工厂电气控制技术

第 3 版

方承远 张振国 编著

机械工业出版社

为培养学生对电气控制线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、接触器控制线路的组成原理、线路分析和装置设计的基本方法。为培养学生可编程序控制器(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 的组成与工作原理、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、编程方法和编程软件、PLC 的网络与通信技术、PLC 控制系统的设计与应用等内容。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,用较多的应用举例进一步说明上述内容的应用方法。全书共分十一章,其中前八章为理论教学内容,后三章为实践教学内容。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。

本书主要作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、机电一体化等相关专业的教材,也可供高专、高职相关专业选用,并可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/方承远,张振国编著. —3版.

—北京:机械工业出版社,2006.7

21世纪普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-03274-8

I.工… II.①方…②张… III.工厂-电气控制

-高等学校-教材 IV.TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 022843 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:霍永明 责任校对:张莉娟

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 6 月第 3 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·27 印张·671 千字

定价:37.00 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

编辑热线电话:88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书第2版作为“九五”规划教材，多年来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21世纪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，作者结合近几年的科研应用成果和教学经验对本书进行了第3版的修订。全书内容进行了大幅度的修改、充实和提高，进一步增强PLC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，突出应用和通俗易懂便于自学的特点。

全书共十一章，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、电气控制基本线路、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可编程序控制器（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、特殊功能模块及其应用、编程语言与指令系统、编程方法与编程软件、PLC的网络与通信技术以及PLC控制系统的设计与应用等内容。第九~十一章主要介绍电气控制装置的设计内容与设计方法、课程设计、电气实验与工程实践的要求、内容与实施方法。本教材理论教学在64学时左右，不同专业根据教学需要可适当增减。实践教学包含集中进行的两周课程设计和二周左右的电气工程项目实训。

在此作者特别要感谢在前两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教材中。同时还要感谢在教材审定过程中提供了很大帮助的孔凡才教授、刘迪吉教授、马国琳教授和陈昌国高级工程师。

本书由方承远教授统稿并编写了绪论与第一、二、三、四、五、九、十章内容，张振国副教授编写了第六、七、八、十一章内容。参加本书审稿的有上海理工大学居滋培教授、上海大学王兆义教授、东华大学方君川教授和上海工程技术大学魏炳贵教授。专家们认为教材内容更新幅度大、概念清晰、文字精炼、逻辑性强，不仅保持了教材原有的优点和特色，同时增加了更多的应用举例，进一步增强了实践应用能力的培养，是应用型电气技术人才培养的一本好教材。同时，专家们又提出了许多供进一步修改的宝贵意见，为教材的完善与提高起了重要作用，在此一并表示诚挚的感谢。

另外，本书有相应的多媒体CAI教学课件，欢迎使用。

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。

作 者



方承远

上海理工大学教授，生于1938年9月。1962年毕业于南京航空学院，曾任电气工程系系主任、高教研究所副所长、兼任全国电气技术专业教学委员会副主任、全国高工专电类专业教学指导委员会委员等职。获得普通高校优秀教学成果国家级二等奖、上海市一等奖、二等奖及上海市优秀产学研工程项目三等奖等多项成果。主编教材有《电气控制原理与设计》《工厂电气控制技术》（第1版、第2版，机械工业出版社出版）。主持完成多项科研项目如YSR系列耐氟电动机的设计与研制、仪表数控机床的设计与研制、沥青混凝土拌和生产线控制系统的设计与研制等。发表多篇论文如《PLC在沥青混凝土拌和机上的应用》（《电气传动》杂志）PLC控制I/O端口使用技巧（《电工技术杂志》、作为优秀论文收录于科学技术文库）《海底电缆铺设监控系统中监控软件及通信系统的设计研究》（《电气传动》杂志）等。

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一章 继电接触逻辑控制基础	3
----------------	---

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	30
第四节 电气控制的基本线路	32
第五节 电气控制线路分析基础	46
第六节 X62W 型卧式万能铣床电气控制线路分析	50
本章小结	58
思考题与练习题	58

第二章 可编程序控制器的组成与工作原理	60
---------------------	----

第一节 PLC 概述	60
第二节 PLC 的基本组成	66
第三节 PLC 的基本工作原理	79
第四节 PLC 的 I/O 系统	88
第五节 PLC 的定时器与计数器	92
本章小结	95
思考题与练习题	96

第三章 PLC 的编程语言与指令系统	97
--------------------	----

第一节 PLC 的编程语言	97
第二节 PLC 的基本指令及其编程应用	100
第三节 PLC 的步进指令及其编程应用	111
第四节 PLC 的功能指令及其编程应用	120
本章小结	153
思考题与练习题	153

第四章 PLC 的特殊功能 I/O 模块	156
----------------------	-----

第一节 模拟量输入、输出处理模块	156
第二节 高速处理模块	166
第三节 联网与通信模块	170
第四节 其他特殊功能模块	176
本章小结	178
思考题与练习题	178

第五章 编程器、编程软件及其应用	179
第一节 手持式简易编程器及其应用	179
第二节 带 CRT 编程器、编程软件及其应用	190
本章小结	197
思考题与练习题	197
第六章 西门子电气 (SIEMENS) S7-200 型可编程序控制器 (PLC)	198
第一节 概述	198
第二节 S7-200 型 PLC 的硬件组成	199
第三节 S7-200 型 PLC 的指令系统	203
本章小结	233
思考题与练习题	233
第七章 PLC 的联网与通信技术	234
第一节 网络的基本概念与特点	234
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	264
第六节 专用 PLC 网络	266
第七节 以个人计算机作为操作站的 PLC 网络	271
第八节 系统设计实例	276
本章小结	283
思考题与练习题	284
第八章 PLC 控制系统的设计与应用	285
第一节 PLC 控制系统的设计方法	285
第二节 PLC 主机及其模块的选用	302
第三节 PLC 应用程序设计方法	304
第四节 PLC 控制系统的安装与布局	310
第五节 PLC 控制系统应用举例	313
本章小结	331
思考题与练习题	332
第九章 电气控制装置设计基础	334
第一节 电气控制装置设计的一般原则、基本内容和设计程序	334
第二节 电气控制原理线路设计的方法与步骤	337
第三节 电气保护类型及实现方法	346
第四节 电气控制线路设计中的主要参数计算及常用电器元件选择	349
第五节 电气控制装置工艺设计	354
本章小结	357
思考题与练习题	358

第十章 课程设计要求、设计方法及参考题选	360
第一节 概述	360
第二节 课程设计的目的和要求	360
第三节 课程设计任务与设计方法	361
第四节 设计举例	363
第五节 课程设计参考题选	380
第十一章 电气控制实验与工程实践	397
第一节 电气实验内容、要求与参考项目	397
第二节 电气工程实践目的、任务、实施方法与步骤	417
第三节 电气工程实践参考项目、实训内容 with 要求	418
参考文献	426

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。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。可编程序控制器（PLC）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 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、电气控制基本线路的构成、原理与用途，具备一般电气控制线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。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，相应地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,控制系统日趋完善

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(PLC),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%左右的单件和小批量生产的自动化,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。

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(PLC)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。无论是PLC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提高为前提的。我国PLC技术的应用、研制和生产已有30多年的历史,通过技术、设备的引进、消化、吸收、应用推广逐步走向独立研制与开发。目前国产PLC已具相当规模,据统计在上世纪末国内PLC生产厂家已达30余家,品种已有20多个,如无锡光洋电子有限公司的PLC产品有超小型PL系列、小型SN、SM、SZ、SR等系列、中型DL350、SU系列等,其最大I/O点数可达2048点;大连组合机床研究所的S系列;杭州机床电器厂生产的DKK及D系列PLC都具有一定规模,并获得了广泛应用。但与工业发达国家相比尚存在较大差距,某些方面还是以引进国外先进技术和产品为主,为此必须迅速提高软、硬件的自主开发和研制能力,形成产品系列。同时要加强专门人才的培养,不断提高PLC的应用水平,扩大应用范围,以便迅速跟上世界潮流。

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线路的组成与工作原理。在此基础上，举例说明电气控制线路的阅读分析方法。本章内容是正确选择和合理使用电器与培养电气控制线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、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。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。

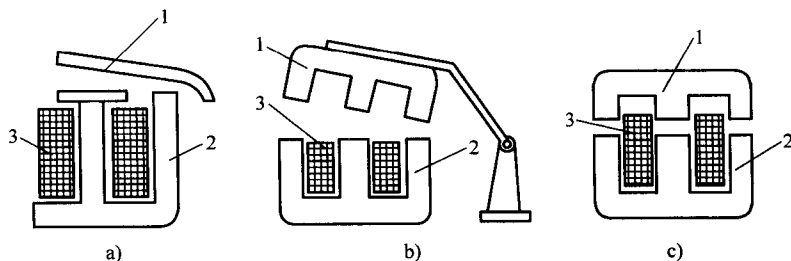


图 1-1 常用的磁路结构

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 δ 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 δ 值是变化的, 因此电磁吸力又随 δ 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 δ 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。

(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 δ 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 β 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

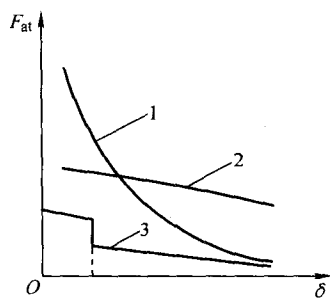


图 1-2 电磁铁的吸力特性

- 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

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 中画有斜线部分所示）。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。

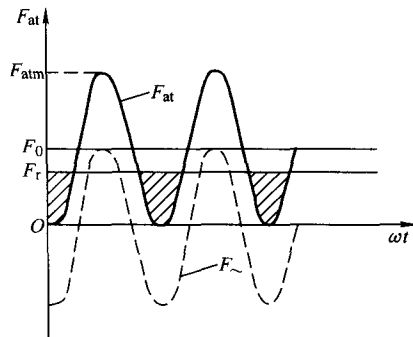


图 1-3 交流电磁机构实际吸力曲线

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 Φ_1 和穿过短路环的 Φ_2 ，且 Φ_2 滞后于 Φ_1 ，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

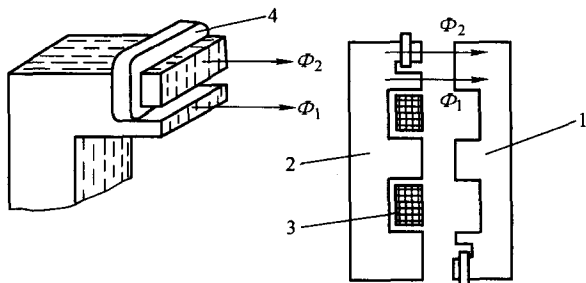


图 1-4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

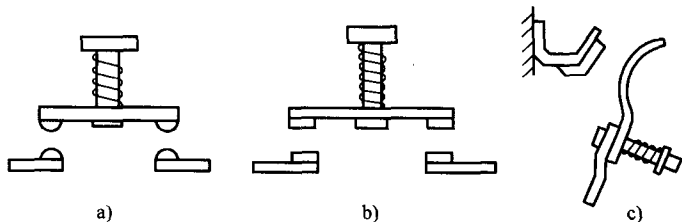


图 1-5 触头的结构形式

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。

(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，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。

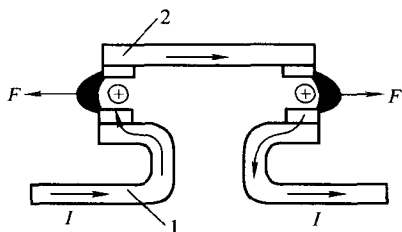


图 1-6 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头

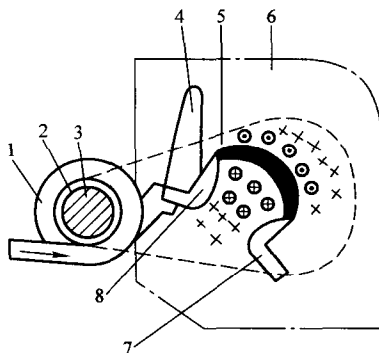


图 1-7 磁吹灭弧示意图

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。

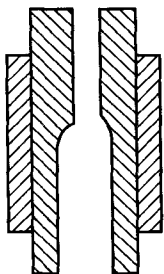


图 1-8 窄缝灭弧装置

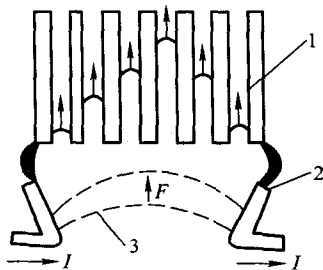


图 1-9 栅片灭弧示意图

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。

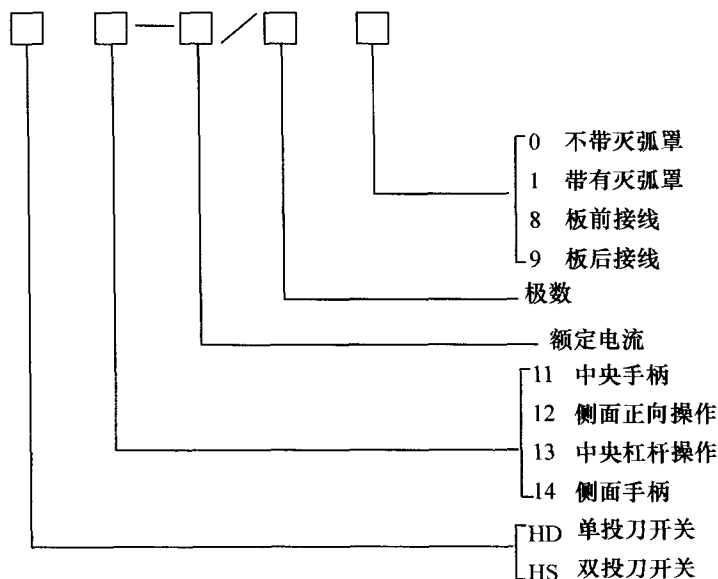
刀开关由操作手柄、触刀、静插座和绝缘底板组成。依靠手动来实现触刀插入插座或脱离插座,完成电接通与分断控制。

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。

常用的产品有 HD₁₄、HD₁₇、HS₁₃系列刀开关,其中 HD₁₇为新型换代产品。HK₂、HD_{13BX}系列开启式负荷开关,HD_{13BX}为较先进开启式负荷开关,其操作方式为旋转型。HH₄系列为封闭式负荷开关。HR₃、HR₅系列为熔断器式刀开关,其中 HR₅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。

刀开关型号含义:



刀开关的图形符号与文字符号如图 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感应电动机的运行状态。

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，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。

常用产品有：HZ₅、HZ₁₀和 HZ₁₅ 系列。HZ₅ 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；HZ₁₀ 为早期全国统一设计产品；HZ₁₅ 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。

刀开关与转换开关选用时主要考虑以下几方面：

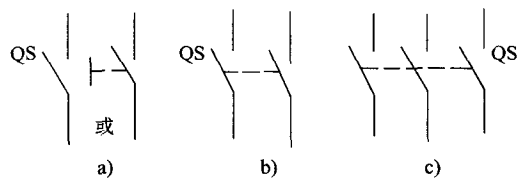


图 1-10 刀开关的符号

a) 单极 b) 双极 c) 三极

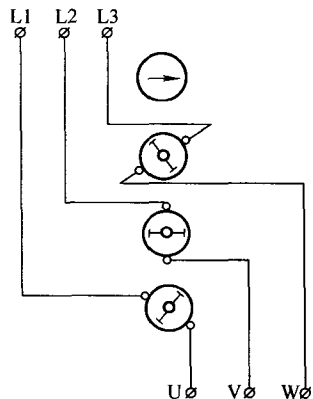


图 1-11 转换开关结构示意图