



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工厂电气与PLC

控制技术

第5版

Factory Electrical and
PLC Control Technology

张振国 编



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

工厂电气与 PLC 控制技术

第 5 版

张振国 编
方承远 审



机械工业出版社

本书以传统继电器接触器控制器件为基础,详细地介绍了传统继电器接触器控制器件的组成结构、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;PLC的内部结构、工作过程、编程软件和I/O接口、特殊功能I/O模块及其应用、编程语言及编程方法、指令系统和网络与通信技术及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,用应用举例进一步说明上述内容的应用方法。

本书的特色是以基本电器元件为基础,介绍电气控制的工作原理和方法。以三菱公司及西门子公司小型PLC为例介绍不同类型PLC的编程方法。通过举一反三可以容易地扩展和很快适应各种类型PLC的学习和应用。

本书为普通高等工科院校自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、机械设计制造及其自动化、机电一体化及与控制相关专业的教材,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

工厂电气与PLC控制技术/张振国编. —5版. —北京:机械工业出版社, 2016.12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-55179-9

I. ①工… II. ①张… III. ①工厂—电气控制—高等学校—教材②plc技术—高等学校—教材 IV. ①TM571

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第248089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

责任校对:刘 岚 封面设计:马精明

责任印制:常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2017年1月第5版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·530千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55179-9

定价:45.00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

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书前四版自出版至今，在多所高校教师和广大读者的关心和支持下，有幸被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。为适应电气控制新技术的发展，特别是可编程程序控制器（PLC）及其网络应用技术迅速发展的需要，编者结合近十几年的应用成果和教学经验对原书进行修订。内容进行了较大幅度的修改、充实和更新，进一步增强 PLC 新网络技术理论和应用知识的介绍。为使读者通过本书的学习而提高各种 PLC 应用能力，书中以 FX_{2N} 系列 PLC 作为主线介绍了其全部指令应用方法。同时介绍了西门子 S7-200 型 PLC 的指令应用，以便于读者对不同系列 PLC 的相同点和区别加以区分及理解，为学习各种类型的 PLC 技术打下良好基础。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及便于自学的特点。

全书共分九章，前两章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，电气控制装置系统设计方法，包含设计的原则、内容、方法、步骤和设计程序、电气保护类型、实现方法及主要参数计算。为学习 PLC 和各种电气自动控制技术建立基础。第三章至第九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、编程软器件与 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、电气控制装置及 PLC 控制系统的设计方法与应用等内容。本书理论教学建议为 48 学时左右，不同专业根据教学需要可适当增减。

本书有相应的多媒体 CAI 教学课件，欢迎使用。

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
第一章 继电器—接触器逻辑控制基础	3
第一节 电器的基本知识	3
第二节 常用低压电器	9
第三节 电气控制系统图的类型及有关规定	34
第四节 电气控制的基本电路	37
第五节 电气控制电路分析基础	53
小结	57
思考题与练习题	57
第二章 电气控制装置系统设计方法	59
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	59
第二节 电气保护类型、实现方法及主要参数计算	70
第三节 电气控制装置工艺设计	76
小结	78
思考题与练习题	79
第三章 可编程序控制器的组成与工作原理	80
第一节 PLC 概述	80
第二节 PLC 的基本组成	84
第三节 PLC 的基本工作原理	97
第四节 PLC 的 I/O 系统	105
第五节 PLC 的定时器与计数器	109
小结	112
思考题与练习题	113
第四章 PLC 的编程语言与指令系统	114
第一节 PLC 的编程语言	114
第二节 PLC 的基本指令及其编程应用	117
第三节 PLC 的步进指令及其编程应用	130
第四节 PLC 的功能指令及其编程应用	139
小结	221
思考题与练习题	222
第五章 PLC 的特殊功能 I/O 模块	225
第一节 模拟量输入/输出处理模块	225

第二节 高速处理模块	233
第三节 联网与通信模块	234
第四节 其他特殊功能模块	239
小结	240
思考题与练习题	241
第六章 西门子电气 (SIEMENS) S7 系列 PLC	242
第一节 S7-200 型 PLC 的硬件组成	242
第二节 西门子 PLC 基本编程指令	247
第三节 S7-300/400 型 PLC 的硬件组成	261
小结	263
思考题与练习题	263
第七章 编程器、编程软件及其使用	264
第一节 手持式简易编程器	264
第二节 三菱公司的各种编程软件	265
第三节 STEP 7-Micro/WIN、STEP7 编程软件	272
第四节 组态王、WinCC 组态软件	275
小结	279
思考题与练习题	279
第八章 PLC 的联网与通信技术	281
第一节 网络的基本概念与特点	281
第二节 串行通信基础	285
第三节 PLC 网络的组成与特点	292
第四节 PLC 的通信模块	293
第五节 主从式全 PLC 网络	295
第六节 专用 PLC 网络	296
第七节 以个人计算机作为操作站的 PLC 网络	299
第八节 系统设计实例	303
小结	305
思考题与练习题	305
第九章 PLC 控制系统设计	306
第一节 PLC 控制系统的设计方法、主机及其模块的选用	306
第二节 PLC 典型应用程序设计方法	316
第三节 PLC 控制系统的安装与布局	320
第四节 PLC 控制系统应用举例	321
小结	338
思考题与练习题	339
参考文献	340

绪 论

一、“工厂电气与 PLC 控制技术”课程的性质和任务

“工厂电气与 PLC 控制技术”是一门理论与实践结合较强的专业课。电气控制技术遍及生产过程、科学研究及其他广泛领域的应用。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）的结合，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、耗电少、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、编程语言、指令系统、网络构成与设计方法。
- 4) 掌握 PLC 电气控制系统的设计方法，包括电气与 PLC 组成系统的设计过程与步骤、PLC 及其模块选用方法、应用程序设计与调试方法等。

二、电气控制与 PLC 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接触器控制系统转向以微处理器为中心的软件控制系统；在控制系统组成上，由单机控制系统转向总线网络主从控制系统。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),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,由于存在大量的用开关量控制的简单的程序控制过程,且实际生产工艺和流程又经常变化,因而传统的继电接触控制系统已不能满足这种要求。采用 PLC 控制技术,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。专用的 PLC 完全能够适应恶劣的工业环境。它兼备了计算机控制和继电器接触器控制系统两方面的优点,目前在世界各国已作为一种标准化和不可缺少的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、计算机技术、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。

PLC 采用微处理器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微处理器。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。PLC 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 生产厂家有 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 生产厂家约有三十家。其中台达公司生产的 ES/EX/SS 系列 PLC 占有国内较大市场。我国在 PLC 技术的应用、研制和生产也有 50 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。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 继电器—接触器逻辑控制基础

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（根据外部信号）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。

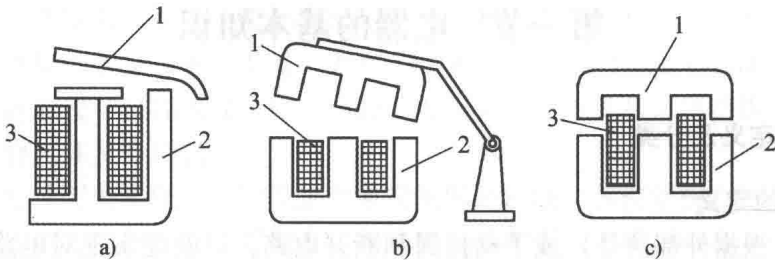


图 1-1 常用的磁路结构

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，可分为直流线圈和交流线圈。

在磁场中磁路的欧姆定律磁通密度 Φ 的大小为：

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \quad (1-1)$$

式中， Φ 为铁心中的磁通密度 (Wb)； I 为线圈中的电流 (A)； N 为线圈圈数 (圈)； R_m 为磁阻 (1/H)。

直流线圈其稳态电流为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

式中， U 为线圈中的电压 (V)； R 为线圈中的电阻 (Ω)。

交流线圈其稳态电流为

$$i = \frac{u}{z} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + (X_L)^2}} \quad (1-3)$$

式中, i 为线圈中的电流 (A); u 为线圈中的电压 (V); z 为线圈中的阻抗 (Ω); R 为电阻 (Ω); X_L 为感抗 (Ω)。

为保证电磁铁正常工作, 在其通电工作过程中应避免电流产生的热效应烧毁线圈。考虑在直流和交流电磁铁中热量产生的不同方式。因而对于直流电磁铁, 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。

在磁铁中磁通量为

$$\Phi = B \cdot S \quad (1-4)$$

式中, B 为气隙中磁感应强度 (T); S 为磁极截面积 (m^2)。电磁铁的吸力大小可按下式求得:

$$F_{\text{at}} = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-5)$$

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

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-6)$$

将式 (1-6) 代入式 (1-5) 整理得电磁吸力 F_{at} 大小为

$$F_{\text{at}} = \frac{F_{\text{atm}}}{2} - \frac{F_{\text{atm}}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t \quad (1-7)$$

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

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。

直流电磁机构的吸力特性见图 1-2。交流电磁机构的吸力特性见图 1-3。电磁铁的吸力特性见图 1-4。

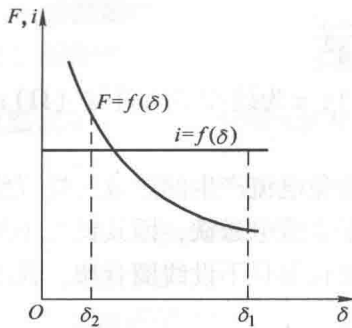


图 1-2 直流电磁机构的吸力特性

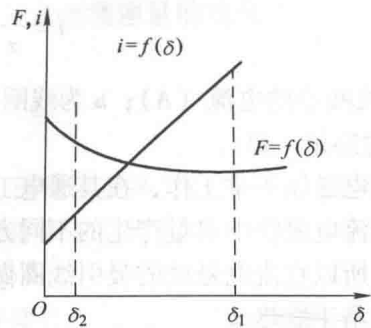


图 1-3 交流电磁机构的吸力特性

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 1-4 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 1-4 中的 2 所示。

图 1-4 中的 3 表示电磁机构中的弹簧及触点的簧片反力特性曲线。电磁铁在释放过程中的静态吸力特性曲线位于反力特性曲线的下方，如图 1-4 中的 4 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 1-4 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

$$\beta_U = \frac{U_{re}}{U_{at}} \quad \text{或} \quad \beta_I = \frac{I_{re}}{I_{at}} \quad (1-8)$$

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 $0 \sim F_{atm}$ 的范围内变化，其吸力曲线如图 1-5 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 1-5 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

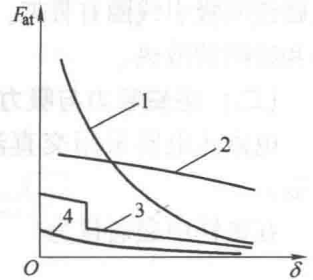


图 1-4 电磁铁的吸力特性

- 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
- 4—释放过程中静态吸力特性

1-6 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 的相位角为 θ ，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

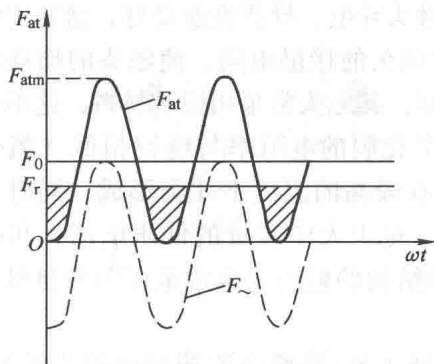


图 1-5 交流电磁机构实际吸力曲线

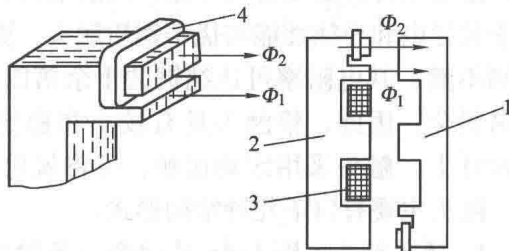


图 1-6 交流电磁铁的短路环

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。加短路环后实际吸力及磁通变化曲线如图 1-7 所示。

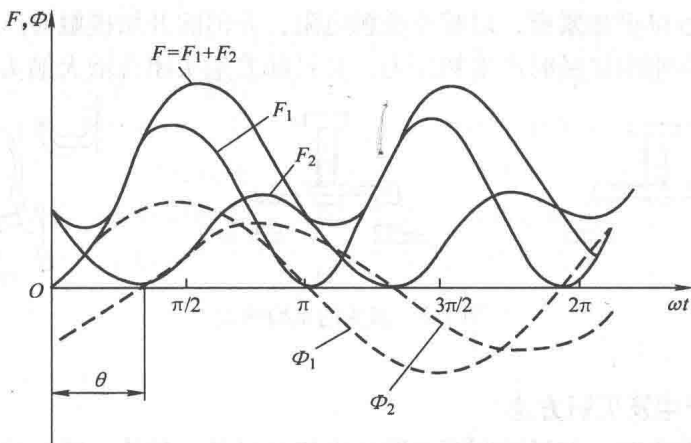


图 1-7 加短路环后实际吸力及磁通变化曲线

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。触头在工作中，由于通以电流其本身存在电阻，因此电流通过触头就会产生能量损耗，损耗表现的形式主要为电阻损耗或称焦耳损耗，在交直流系统中这个损耗均存在。其量值为：

$$P = K_f I^2 R \quad (1-9)$$

式中， P 为损耗功率； K_f 为交流附加损耗系数； I 为触头通过的电流； R 为触头导体与接触电阻。

触头损耗功率对触头材料表现的是热量，其热量关系为：

$$Q \propto I^2 R t \quad (1-10)$$

式中， Q 为热量； t 为通电时间。

当触头产生的热量大于绝缘体燃烧温度或大于触头的熔化温度后,就会产生燃烧或烧毁触头系统。

因此,为了使触头系统正常工作和避免过热,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 1-8a 是两个点接触的桥式触头,图 1-8b 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 1-8c 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。

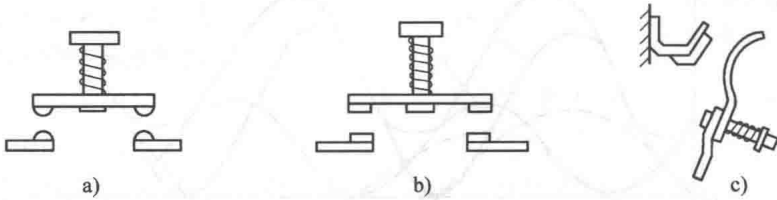


图 1-8 触头的结构形式

(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(12~20V)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,即当两触头刚分断时,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 1-9 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 1-10 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 1-10 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。

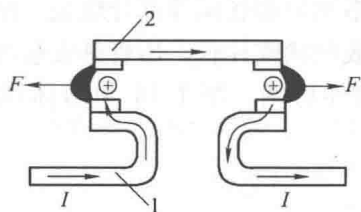


图 1-9 电动力灭弧示意图

1—静触头 2—动触头

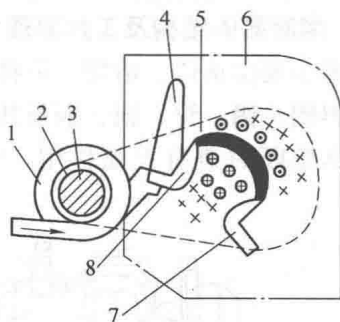


图 1-10 磁吹灭弧原理示意图

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 1-11 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 1-12 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。

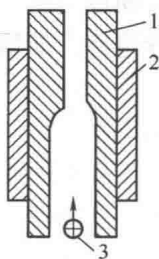


图 1-11 窄缝灭弧装置

1—灭弧栅片 2—铜夹片 3—电弧

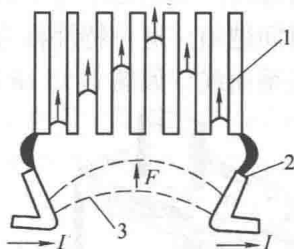


图 1-12 栅片灭弧示意图

1—灭弧栅片 2—触头 3—电弧

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做简要介绍。

一、熔断器

(一) 熔断器的用途

熔断器是用于配电线路的严重过载和短路保护。由于结构简单、体积小、使用维护方便

并具有较高的分断能力和良好的限流性能等优点，因而获得广泛的应用。

(二) 熔断器的结构及工作原理

熔断器主要由熔体、熔管、填料、盖板、接线端、指示器和底座等部分组成。熔体由易熔金属材料铝、锡、锌、银、铜及其合金制成，通常制成丝状或片状。熔管是安装熔体的外壳，在熔体熔断时兼有灭弧作用。图 1-13 为熔断器的外形图。图 1-14 为熔体结构的示意图。

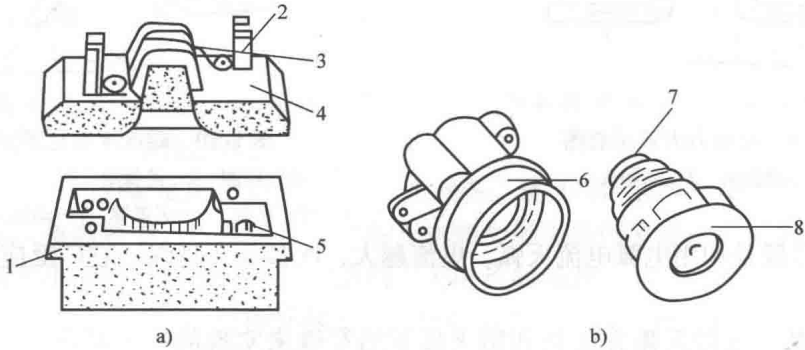


图 1-13 熔断器的外形图

a) RCI 型 b) RLI 型

1—瓷底座 2—动触头 3—熔体 4—瓷插件 5—静触头 6—底座 7—熔体 8—瓷帽

熔断器串接在被保护的电路中，当电路正常工作时，熔断器允许通过一定大小的电流其熔体不熔化，主电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量达到熔体的熔点时，熔体熔化，电路自动切断，从而达到保护的目的。

电流通过熔体时产生的热量与电流的二次方和电流通过的时间成正比。因此，电流越大则熔体熔断的时间越短。这一特性称为熔断器的保护特性或安秒特性，即熔断器的熔断时间与熔断电流的关系曲线，如图 1-15 所示。

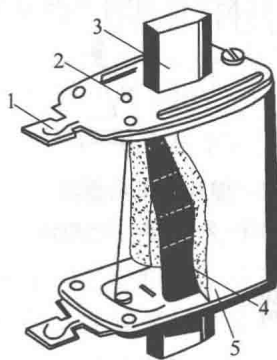


图 1-14 熔体结构的示意图

1—盖板 2—指示器 3—触角 4—熔体 5—熔管

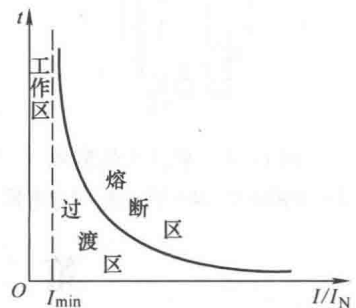


图 1-15 熔断器的安秒特性曲线

图中 I_{\min} 为最小熔化电流，即通过熔断器电流小于此电流时不会熔断。所以选择的熔体额定电流 I_N 应小于 I_{\min} ， $I_{\min}/I_N = 1.5 \sim 2$ 称为熔化系数，它反映过载时的保护特性。熔断器安秒特性数值关系见表 1-1。

表 1-1 熔断器安秒特性数值关系

熔断电流	$(1.25 \sim 1.30) I_N$	$1.6I_N$	$2I_N$	$2.5I_N$	$3I_N$	$4I_N$
熔断时间	∞	1h	40s	8s	4.5s	2.5s

(三) 熔断器的类型与技术参数

熔断器的类型及常用系列产品有：

1. 插入式熔断器 常用产品有 RC1A 系列，主要用于低压分支电路的短路保护。由于其分断能力较小，故一般多用于民用和工业的照明电路中。

2. 螺旋式熔断器 常用产品有 RL6、RL7、RLS2 等系列，该系列产品的熔管内装有石英砂，用于熄灭电弧，具有较高的分断能力，并带熔断指示器，当熔体熔断时指示器自动弹出。其中 RL6、RL7 多用于机床配线电路中，RLS2 为快速熔断器，主要用于保护硅整流元件和晶闸管等半导体元件。

3. 封闭管式熔断器 该种熔断器分为无填料、有填料和快速三种。RM10 系列为无填料的，在低压电力网络成套配电设备中用作短路保护和连续过载保护。其特点是可拆卸，当熔体熔断后，用户可按要求自行拆开，重新装入新的熔体。RT12、RT14、RT15 系列为有填料的熔断器，技术参数符合国际电工低压熔断器标准，与国外同类产品的外形、安装尺寸相同，具有较大的分断能力，用于较大短路电流的电力输配电系统中，还可以用于熔断器式隔离器、开关熔断器等开关电器中。RS3 系列为快速熔断器，主要用于保护半导体元件。

4. 新型熔断器

(1) 自复式熔断器 自复式熔断器是一种新型熔断器，它利用金属钠做熔体，在常温下，钠的电阻很小，允许通过正常工作电流，当电路发生短路时，短路电流产生高温使钠迅速汽化，气态钠电阻变得很高，从而限制了短路电流。当故障消除后，温度下降，金属钠重新固化，恢复其良好的导电性能。其优点是能重复使用，不必更换熔体，但在线路中只能限制故障电流，而不能切断故障电路，一般与断路器配合使用。常用产品有 RZ1 系列。

(2) 高分断能力熔断器 随着电网供电容量的不断增加，对熔断器的性能指标也提出了更高的要求，如根据德国 AEG 公司制造技术标准生产的 NT 型系列产品为低压高分断能力熔断器，额定电压至 660V，额定电流至 1000A，分断能力可达 120kA，适用于工业电气装置、配电设备的过载和短路保护。NT 型熔断器符合国际电工标准和我国新制定的低压熔断器标准，并且与国外同类产品具有通用性和互换性。NT 型熔断器规格齐全，具有功率损耗低、保护特性稳定、限流性能好、体积小等特点。同时，NT 型熔断器也可作为导线的过载和短路保护。另外引进该公司制造技术还生产了 NGT 型熔断器，该系列为快速熔断器，作为半导体器件保护之用。表 1-2 为 NT 型熔断器的主要技术参数。

(四) 熔断器的选择

熔断器的选择主要考虑以下几方面因素：

1. 熔断器类型 应根据电路要求、使用场合、安装条件和各类熔断器的适用范围来确定。

2. 熔断器额定电压 应大于或等于电路的工作电压。

3. 熔体的额定电流 与负载的大小及性质有关，其选择方法是：