



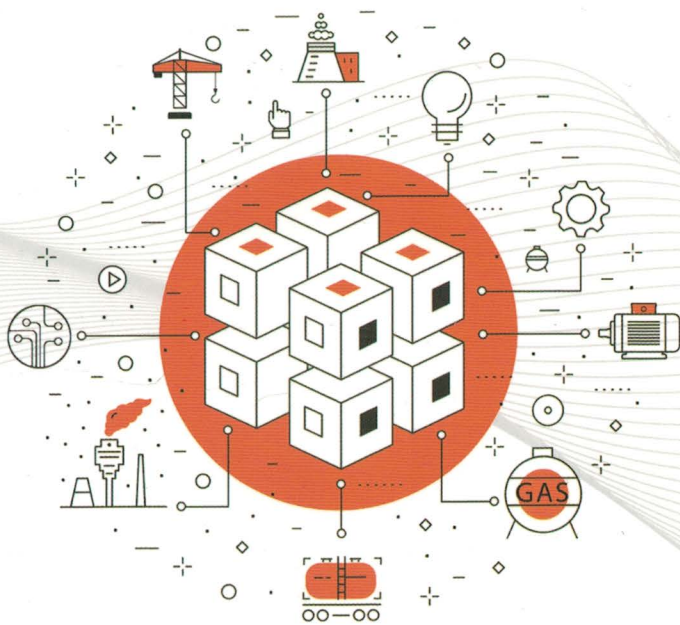
“十三五”江苏省高等学校重点教材  
普通高等教育智能建筑规划教材

# 建筑电气控制技术

Building Electrical Control Technology

第3版

◎ 主编 顾菊平 马小军



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



“十三五”江苏省高等学校重点教材  
普通高等教育智能建筑规划教材

# 建筑电气控制技术

第3版

主 编 顾菊平 马小军  
副主编 赵宏家 王永华  
参 编 刘 瑾 王鑫国  
吴 晓 华 亮  
赵凤申



机械工业出版社

本书的特点是,既讲述电气控制技术的基本原理,又注重介绍电气控制在建筑电气领域中的实际应用。另外,为适应可编程控制器技术的应用需求,本书用了较多篇幅来介绍国内典型可编程控制器的原理、使用技术和一些新的发展成果,突出工程上的实用性。

全书分两篇,共十二章,内容包括:常用控制电器、电气控制的基本环节与规律、电气控制系统的设计、空调与制冷系统的电气控制、水泵与锅炉设备的电气控制、电梯的电气控制、可编程控制器的基础知识、OMRON CPM1A 小型可编程控制器、三菱 FX<sub>2N</sub> 系列可编程控制器、SIEMENS S7-200 可编程控制器、可编程控制器系统设计及辅助设备应用、可编程控制器的应用等。

本书的内容选取遵循“宽编窄用”的原则,以适应不同专业、不同层次的需要,而且各章的论述力求做到原理与应用并重,理论与实际结合,从而达到学以致用的目的。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的教师索取,电子邮箱:3485@njtech.edu.cn。

本书可作为本科电气工程及其自动化专业、建筑电气与智能化专业、高职高专建筑电气、楼宇自动化设备管理等专业教材,也可供工程技术人员自学和作为培训教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑电气控制技术/顾菊平,马小军主编.—3版.—北京:机械工业出版社,2018.7

普通高等教育智能建筑规划教材“十三五”江苏省高等学校重点教材  
ISBN 978-7-111-60468-6

I. ①建… II. ①顾… ②马… III. ①房屋建筑设备—电气控制—高等学校—教材 IV. ①TU85

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第156696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:路乙达 责任编辑:路乙达 刘丽敏

责任校对:王延 封面设计:张静

责任印制:孙炜

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2018年9月第3版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·571千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60468-6

定价:55.00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

## 智能建筑规划教材编委会

主 任 吴启迪

副主任 徐德淦 温伯银 陈瑞藻

委 员 程大章 张公忠 王元恺

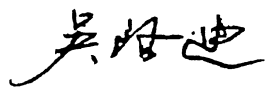
龙惟定 王 忱 张振昭

# 序

20 世纪，电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展，并渗透到各个领域，深刻地影响着人类的生产方式和生活方式，给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外，智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术，并加以研发和整合成智能装备，为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境，并日益成为主导现代建筑的主流。近年来，人们不难发现，凡是按现代化、信息化运作的机构与行业，如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等，他们所建造的新建筑物，都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了广阔的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统，更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用，使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场，促进了社会对智能建筑技术专业人才需求的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求，调整教学计划、更新课程内容、致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才，以适应国民经济高速发展的需要。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现，参加这套建筑电气与智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校，不论是主编者还是主审者，都是这个领域有突出成就的专家。因此，我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题，时代需要协作精神，时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者，是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

## 第3版前言

本书第2版自2012年出版发行以来，深受社会的认可，国内数十所高校选用。随着社会进步和科学技术的发展，经过5年的使用，需要做较大的修改，因此再次决定修订和编写。在删除书中陈旧内容的基础上，更换、增加新内容，以满足读者需要。

本次修订由顾菊平、马小军任主编，负责全书的编写组织及整体统稿工作；赵宏家、王永华任副主编。扬州大学王永华编写第一章、第十一章第一至四节；重庆大学赵宏家编写第四、五章，第六章第一节；上海工程技术大学刘瑾编写第七、八章；南通大学顾菊平、吴晓、华亮编写第九、第十二章第一节和第二节，赵凤申编写第六章第二节；南京工业大学马小军、王鑫国编写第二、三、十章、第十一章第五至七节以及第十二章第三节。

本书编写过程中，作者参考了近年来许多专家学者的文献资料，在此一并表示衷心感谢。感谢南通大学程天宇、周伯俊参与部分文字及绘图工作。

本书可作为本科电气工程及其自动化专业、建筑电气与智能化专业、高职高专建筑电气、楼宇自动化设备管理等专业的教材使用。建议总学时数为48~56，两部分内容可各占一半学时，或有侧重。对于第一篇可重点讲授前三章，选讲后三章。第二篇的内容较多，各院校可根据自身实际情况，选讲其中一种型号的内容，其他型号可进行一般性介绍。实践环节建议安排1/4的学时数。

由于作者学识有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

## 第2版前言

本书第1版自2003年出版发行以来，受到社会的认可，先后6次重印，国内数十所高校选用。随着科学技术的发展，本书经过多年的使用，需要做较大的修改，因此决定修订和编写。删除书中原有陈旧的内容，更换、增加新内容，以满足读者需要。

本次修订由马小军任主编，负责全书的编写组织及整体统稿工作；顾菊平、赵宏家、王永华任副主编。扬州大学王永华编写第一、十一章；重庆大学赵宏家编写第四至第六章；上海工程技术大学刘瑾编写第七、八章；南通大学顾菊平、华亮、吴晓编写第九章和第十三章的部分章节；南京工业大学马小军、王鑫国编写第二、三、十、十二章和第十三章的部分章节。

本书由北京建筑工程学院陈志新教授主审，他提出了许多有益的建议和意见。此外，本书编写过程中，作者参考了近年来许多专家学者的文献资料，在此一并表示衷心感谢。

本书可作为本科电气工程及其自动化专业、建筑电气与智能化专业，高职高专建筑电气、楼宇自动化设备管理等专业的教材。建议总学时数为48~56，两篇内容可各占一半学时，或有侧重。对于第一篇可重点讲授前三章，选讲后三章。对于第二篇可编程序控制器的内容较多，各院校可根据自身实际情况，选讲其中一种型号的内容，其他型号可进行一般性介绍。实践环节建议安排1/4的学时数。

由于作者学识有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

# 第1版前言

本书是建筑电气及智能建筑系列教材之一，由电气工程与自动化类本科建筑电气技术系列教材及高职高专智能化建筑系列教材编审委员会组织编写。

电气控制是一门成熟的技术，但还在不断地完善和发展。楼宇电气控制和可编程控制器的联网应用已有不少的专著和资料，但作为专业教材还不多见。本书编写的指导思想是，将讲授传统的电气控制技术与楼宇电气控制应用相结合，把介绍典型可编程控制器与其通信联网应用相结合，使学生在理论与实践结合、动手能力方面得到训练，以适应社会发展的需要。

本书内容涉及电器、控制、计算机、通信等领域，并紧密联系实际，面向工程，内容综合。在编写过程中，编者查阅了大量公开或内部发行的工程技术专著和教材资料，吸取了许多有益知识，借用了其中一些内容，并下载了一些软件程序，在此向本书所列主要参考文献的作者致以衷心的感谢。

本书的出版得到机械工业出版社教材编辑室的重视和关心，得到中国电工技术学会电气工程教育委员会的具体指导。编写大纲由本系列教材编委会委员、著名的建筑电气及智能建筑专家同济大学程大章教授审定。南京工业大学马小军任主编，负责全书的编写组织及整体统稿工作，并编写第二、三章，第九、十二、十三章的部分章节及附录A、C；重庆大学赵宏家任副主编，并编写第四至六章；上海工程技术大学季子荣编写第七、八章及附录B；扬州大学王永华编写第一、十一章；广东工业大学龚仕伟硕士编写第十章，第十二、十三章的部分章节，江苏嘉华公司的余宁晖编写第九章的部分章节。北京建筑工程学院陈志新教授任本书主审。

本书在编写过程中得到南京工业大学、北京建筑工程学院、扬州大学相关院、系领导及同志们的大力支持，得到张九根副院长、陈虹主任的关心和帮助。南京工业大学王连春等同学参与部分绘图工作。特别是陈志新教授，通审全文，并提出了极好的意见。在此向他们表示真诚的感谢！

本书作为电气工程与自动化类专业本科、高职高专的“电气控制技术”“可编程序控制器”等课程使用。建议总学时数为48~56，两部分内容可各占一半学时，或有侧重。对于第二篇可编程序控制器的内容较多，各院校可根据自身实际情况，选讲其中一种型号的内容，其他型号可进行一般性介绍。实践环节应安排1/4的学时数。

由于编者水平有限，加之受教材篇幅限制，书中难免存在缺漏和不当之处，敬请各位专家和广大读者批评指正。

编者

# 目 录

序	
第 3 版前言	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
<b>第一篇 电气控制技术</b>	
<b>第一章 常用控制电器</b>	2
第一节 概述	2
第二节 电磁式电器的工作原理	4
第三节 接触器	9
第四节 电磁式继电器	13
第五节 常用非电磁式继电器	17
第六节 刀开关与低压断路器	20
第七节 熔断器	23
第八节 主令电器	26
第九节 智能电器	29
习题与思考题	31
<b>第二章 电气控制的基本环节与规律</b>	33
第一节 电气控制系统的电路图及绘制原则	33
第二节 电气控制的基本环节	36
第三节 电气控制的基本控制规律	37
第四节 三相异步电动机的控制电路	43
第五节 三相异步电动机的调速电路	49
习题与思考题	53
<b>第三章 电气控制系统的设计</b>	54
第一节 电气控制系统设计的基本原则	54
第二节 电气控制系统电路设计	56
习题与思考题	60
<b>第四章 空调与制冷系统的电气控制</b>	62
第一节 空调系统的分类与调节装置	62
第二节 分散式空调系统的电气控制实例	68
第三节 半集中式空调系统的电气控制实例	72
第四节 集中式空调系统的电气控制实例	77
第五节 制冷系统的电气控制实例	82
习题与思考题	87
<b>第五章 水泵与锅炉设备的电气控制</b>	88
第一节 生活水泵的控制	88
第二节 消防水泵的控制	94
第三节 防、排烟设备的控制	97
第四节 锅炉房设备的组成及控制任务	101
第五节 锅炉的电气控制实例	105
习题与思考题	113
<b>第六章 电梯的电气控制</b>	114
第一节 电梯的分类和基本结构	114
第二节 自动扶梯的结构与电气控制	119
习题与思考题	133
<b>第二篇 可编程序控制器及其应用</b>	
<b>第七章 可编程序控制器的基础知识</b>	135
第一节 可编程序控制器简介	135
第二节 可编程序控制器的基本组成及各模块的功能	137
第三节 可编程序控制器的基本工作原理	145
第四节 可编程序控制器的性能指标及其特点	148
第五节 可编程序控制器的编程语言	149
习题与思考题	151
<b>第八章 OMRON CPM1A 小型可编程序控制器</b>	153
第一节 OMRON 可编程序控制器概述	153
第二节 CPM1A 小型 PLC 的组成及特点	155
第三节 指令系统	165
第四节 在编程中应注意的基本原则	186
第五节 基本电路的梯形图编程举例	191
习题与思考题	196
<b>第九章 三菱 FX<sub>2N</sub> 系列可编程序控制器</b>	199
第一节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程序控制器概述	199
第二节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程序控制器的	

编程元件及其编号 .....	201	第一节 可编程序控制器系统设计的	
第三节 基本指令功能 .....	211	内容和步骤 .....	293
第四节 步进指令及编程方法 .....	220	第二节 可编程序控制器系统的硬件	
第五节 功能指令的基本知识 .....	228	设计 .....	295
第六节 常用环节编程与技巧 .....	235	第三节 可编程序控制器系统的软件	
第七节 编程实例 .....	243	设计 .....	306
习题与思考题 .....	247	第四节 基本程序的编制 .....	308
<b>第十章 SIEMENS S7-200 可编程序</b>		第五节 可编程序控制器与文本显示器的	
<b>控制器</b> .....	250	编程应用 .....	312
第一节 S7 系列可编程序控制器概述 .....	250	第六节 可编程序控制器与组态软件的	
第二节 S7-200 CPU 存储器的数据类型及		集成应用 .....	318
寻址方式 .....	253	第七节 可编程序控制器与变频器的	
第三节 S7-200 可编程序控制器的		配合应用 .....	329
指令系统 .....	259	习题与思考题 .....	337
第四节 S7-200 可编程序控制器的		<b>第十二章 可编程序控制器的应用</b> .....	339
程序设计 .....	279	第一节 PLC 在多电动机变频恒压供水	
第五节 常用环节编程与实例 .....	281	系统中的应用 .....	339
第六节 S7-200 可编程序控制器模拟量		第二节 PLC 在电梯控制系统中的应用 .....	348
处理方法 .....	288	第三节 PLC 在洁净空调中央监控	
习题与思考题 .....	291	系统中的应用 .....	355
<b>第十一章 可编程序控制器系统设计</b>		<b>参考文献</b> .....	361
<b>及辅助设备应用</b> .....	293		



# 第一篇 电气控制技术

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象，以实现生产过程自动化的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分，在国民经济各行业中的许多部门都得到了广泛应用，是实现工业自动化的重要手段。

作为生产机械动力的电机拖动，经历了漫长的发展过程。20世纪初，电动机直接取代蒸汽机。开始是成组拖动，用一台电动机通过中间传动机构实现能量分配与传递，拖动多台生产机械。这种拖动方式电气控制电路简单，但机构复杂，能量损耗大，生产灵活性也差，不适应现代化生产的需要。20世纪20年代，出现了单电机拖动，即由一台电动机拖动一台生产机械。单电机拖动相对于成组拖动，机械设备结构简单，传动效率提高，灵活性增大，这种拖动方式在一些机床中至今仍在使用。随着生产发展及自动化程度的提高，又出现了多台电动机分别拖动各运动机构的多电机拖动方式，进一步简化了机械结构，提高了传动效率，而且使机械的各运动部分能够选择最合理的运动速度，缩短了工时，也便于分别控制。

继电器-接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成，由于其控制方式是断续的，故称为断续控制系统。这种控制系统具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但其接线方式固定，灵活性差，难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要，且工作频率低，触点易损坏，可靠性差。

随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断改进，特别是计算机技术的应用，新型控制策略的出现，电气控制技术的面貌也在改变。在控制方法上，从手动控制发展到自动控制；在控制功能上，从简单控制发展到智能化控制；在操作上，从笨重发展到信息化处理；在控制原理上，从单一的有触点硬接线继电器逻辑控制系统发展到以微处理器或微型计算机为中心的网络化自动控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机技术、微电子技术、检测技术、自动控制技术、智能技术、通信技术、网络技术等先进的科学技术成果。

本篇主要论述控制电器及电气控制系统的基本构成、工作原理，以及简单电气控制系统设计及实际应用等。本篇还详细介绍了建筑行业的典型电气控制技术，读者可根据自己实际情况选择学习使用。

# 第一章 常用控制电器

## 第一节 概 述

随着科技进步与经济发展，电能的应用日益普及。电器对电能的生产、输送、分配与应用起着控制、调节、检测和保护的作用，在电力输配电系统和电力拖动自动控制系统中应用极为广泛。

电器是接通、断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。由控制电器组成的自动控制系统，称为继电器-接触器控制系统，简称继电接触器控制系统。

电器的种类繁多，结构各异。本章主要介绍用于电力拖动及控制系统领域中的常用低压电器（即所谓“控制电器”）的结构、工作原理、图形符号、型号、规格及用途等相关知识，为正确选择和合理使用这些电器打下基础。

### 一、低压电器的分类

低压电器是指额定电压等级在交流 1200V、直流 1500V 以下的电器。我国工业控制电路中最常用的三相交流电压等级为 380V，只有在特定行业环境下才用其他电压等级，如煤矿井下的电钻用 127V、运输机用 660V、采煤机用 1140V 等。

单相交流电压等级最常见的为 220V，机床、热工仪表和矿井照明等采用 127V 电压等级，其他电压等级如 6V、12V、24V、36V 和 42V 等一般用于安全场所的照明、信号灯以及作为控制电压。

直流常用电压等级有很多，其中 110V、220V 和 440V 主要用于动力；6V、12V、24V 和 36V 主要用于控制；在电子电路中还有 5V、9V 和 15V 等电压等级。

低压电器种类繁多，功能各异，构造各异，用途广泛，工作原理各不相同，常用低压电器的分类方法也很多。

#### 1. 按用途或控制对象分类

(1) 配电电器 主要用于低压配电系统中。要求系统发生故障时能够准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的动稳定性与热稳定性，使电器不会被损坏。常用的配电电器有刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。

(2) 控制电器 主要用于电气传动系统中。要求寿命长、体积小、重量轻且动作迅速、准确、可靠。常用的控制电器有接触器、继电器、起动机、主令电器、电磁铁等。

#### 2. 按动作原理分

(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。

### 3. 按工作原理分

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

(2) 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、低压电器的作用

低压电器能够依据操作信号或外界现场信号的要求,自动或手动地改变电路的状态、参数,实现对电路或被控对象的控制、保护、测量、指示、调节。它的工作过程是将一些非电信号或电量信号转变为非通即断的开关信号或随信号变化的模拟量信号,实现对被控对象的控制。低压电器的作用如下。

(1) 控制作用 如电梯的上下移动、快慢速自动切换与自动停层等。

(2) 保护作用 能根据设备的特点,对设备、环境以及人身实行自动保护,如电机的过热保护、电网的短路保护、漏电保护等。

(3) 测量作用 利用仪表及与之相适应的电器,对设备、电网或其他非电参数进行测量,如电流、电压、功率、转速、温度、湿度等。

(4) 调节作用 低压电器可对一些电气量和非电量进行调整,以满足用户的要求,如柴油机油门的调整、房间温湿度的调节、照度的自动调节等。

(5) 指示作用 利用低压电器的控制、保护等功能,检测出设备运行状况与电气电路工作情况,如绝缘监测、保护掉牌指示等。

(6) 转换作用 在用电设备之间转换或对低压电器、控制电路分时投入运行,以实现功能切换,如励磁装置手动与自动的转换,供电的市电与自备电的切换等。

当然,低压电器作用远不止这些,随着科学技术的发展,新功能、新设备会不断出现,常见的低压电器的主要种类及用途见表 1-1。

表 1-1 常见的低压电器的主要种类及用途

序号	类别	主要品种	用途
1	断路器	塑料外壳式断路器	主要用于电路的过负荷保护、短路、欠电压、漏电压保护,也可用于不频繁接通和断开的电路
		框架式断路器	
		限流式断路器	
		漏电保护式断路器	
		直流快速断路器	
2	刀开关	开关板用刀开关	主要用于电路的隔离,有时也能分断负荷
		负荷开关	
		熔断器式刀开关	
3	转换开关	组合开关	主要用于电源切换,也可用于负荷通断或电路的切换
		换向开关	
4	主令电器	按钮	主要用于发布命令或程序控制
		限位开关	
		微动开关	
		接近开关	
		万能转换开关	
5	接触器	交流接触器	主要用于远距离频繁控制负荷,切断带负荷电路
		直流接触器	

(续)

序号	类别	主要品种	用途
6	起动机	磁力起动机	主要用于电动机的起动
		星-三角起动机	
		自耦减压起动机	
7	控制器	凸轮控制器	主要用于控制回路的切换
		平面控制器	
8	继电器	电流继电器	主要用于控制电路中, 将被控量转换成控制电路所需电量或开关信号
		电压继电器	
		时间继电器	
		中间继电器	
		温度继电器	
		热继电器	
9	熔断器	有填料熔断器	主要用于电路短路保护, 也用于电路的过载保护
		无填料熔断器	
		半封闭插入式熔断器	
		快速熔断器	
		自复熔断器	
10	电磁铁	制动电磁铁	主要用于起重、牵引、制动等
		起重电磁铁	
		牵引电磁铁	

低压电器是构成低压控制电路的最基本元件, 它们性能的优劣、状态的好坏, 将直接影响到控制电路的正常工作。低压配电电器的基本要求是灭弧能力强, 分断能力好, 热稳定性能好, 限流准确等。对低压控制电器, 则要求其动作可靠、操作频率高、寿命长并具有一定的负载能力。

## 第二节 电磁式电器的工作原理

电磁式电器在电气控制电路中使用量最大, 类型也很多, 各类电磁式电器在工作原理和构造上基本相同。就结构而言, 大都由两个主要部分组成: 感测部分——电磁机构; 执行部分——触点系统。

### 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成机械能量, 从而带动触点动作实现接通或分断电路。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, 可分为三种形式。

- 1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心, 如图 1-1a 所示。这种结构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。这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。这种结构多用于交流接触器、

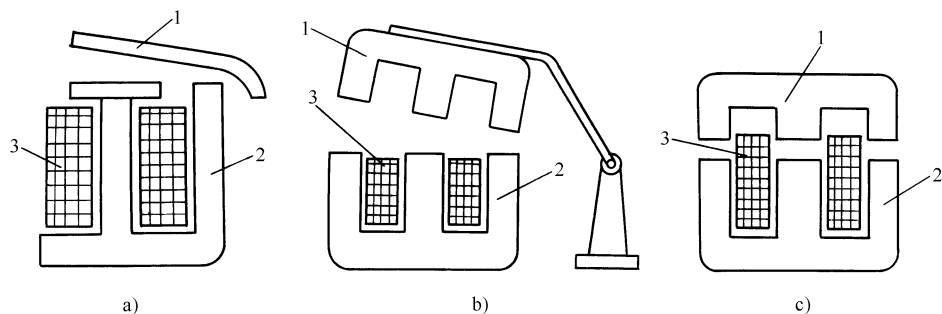


图 1-1 常用的磁路结构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

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而制成。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。按通入线圈的电流种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁式电器，因其铁心不发热，只有线圈发热，所以直流电磁式电器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。

对于交流电磁式电器，由于其铁心存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁心都发热，所以交流电磁式电器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

电磁式电器是根据电磁铁的基本原理而设计，电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数。对于如图 1-2 所示的电磁机构，电磁吸力  $F_x \propto B^2 S$ ，可由式 (1-1) 表示：

$$F_x = \frac{\mu_0 S}{2\delta^2} I^2 N^2 \quad (1-1)$$

式中， $I$  为圈中通过的电流 (A)； $N$  为线圈匝数 (匝)； $S$  为气隙截面积 ( $\text{m}^2$ )； $\delta$  为气隙宽度 (m)； $F_x$  为电磁吸力 (N)； $\mu_0$  为真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。

### 1. 直流电磁机构的电磁吸力特性

从式 (1-1) 可以看出，对于固定线圈通以恒定的直流电流时，其电磁力仅与气隙  $\delta^2$  成反比，吸力特性为二次曲线。当外施电压为常数和线圈电阻不变时，吸合电流 ( $I = U/R$ ) 与气隙长度无关。吸力特性曲线如图 1-3 所示。

直流电磁机构在吸合时，气隙较小，吸力也就较大，因此对于依靠弹簧复位的电磁铁来说，在线圈断电时，由于剩磁产生的吸力，使复位比较困难，会造成一些保护用继电器的性能不能满足要求。如在吸力较小的直流电压型电器中，衔铁上一般都装有一片 0.1mm 厚的非磁性磷铜片，增加在吸合时的空气间隙；在吸力较大的直流电压型电器中，如直流接触器，其铁心的端面上加有极靴，减小在闭合状态下的吸力，使衔铁复位自如。

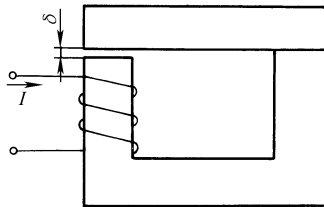


图 1-2 电磁机构

## 2. 交流电磁机构的电磁吸力特性

与直流电磁机构相比，交流电磁机构的吸力特性有较大的不同。对于交流电磁机构多与电路并联使用，当外施电压  $U$  及频率  $f$  为常数时，忽略线圈电阻压降：

$$U \approx E = 4.44f\Phi N \quad (1-2)$$

式中， $\Phi$  为常数（对于固定线圈，匝数  $N = \text{常数}$ ）。

由式 (1-1) 可知电磁吸力  $F_x \propto B^2 S$  亦为常数，即交流电磁机构的吸力特性为一条与气隙长度无关的直线。实际上考虑衔铁吸合前后漏磁的变化时， $F_x$  随  $\delta$  的减小而略有增加。对于并联电磁机构，在线圈通电而衔铁尚未吸合的瞬间，吸合电流 ( $I = \Phi/R_m$ ) 与  $\delta$  的变化成正比，是衔铁吸合后的额定电流的很多倍，如 U 形电磁机构可达 5~6 倍，E 形电磁机构可达 10~15 倍。所以，在可靠性要求较高或要求频繁动作的控制系统中，一般采用直流电磁机构而不采用交流电磁机构。

由于交流电磁机构的磁通是交变的，会在磁心中感应出涡流，使铁心的磁通幅值减小，相位滞后，引起电能损耗与铁心的发热。为解决这一问题，铁心采用较顽力很小的硅钢片叠加在一起制成，硅钢片之间相互绝缘。因此，交流电磁机构的剩磁很小。一般不会产生衔铁被剩磁吸住而不能释放复位的现象。

电磁机构的复位是依靠弹簧的弹力实现的，因此在吸合过程中，电磁吸力  $F_x$  必须克服弹簧的弹力  $F_r$ ，电磁吸力  $F_x$  与弹力  $F_r$  相比应大一些，但不宜相差太大。对于交流电磁机构，由于电流是交变的，吸力也是脉动的，电流为零时，吸力也为零。所以 50Hz 的电源加在线圈上时，吸力为 100Hz 的脉动吸力，当脉动的吸力  $F_x$  小于弹簧的弹力  $F_r$  时，衔铁将在弹簧的作用下移动；而当吸力  $F_x$  大于弹簧的弹力  $F_r$  时，衔铁将克服弹力而吸合。如此周而复始，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。实际吸力曲线如图 1-4 所示。

具体办法是在铁心端部开一个槽，槽内嵌入称为短路环（或称分磁环）的铜环，如图 1-5 所示。当励磁线圈通入交流电后，在短路环中就有感应电流产生，该感应电流又会产生一个磁通。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  $\Phi_2$ ，由于短路环的作用，使  $\Phi_1$  与  $\Phi_2$  产生相移，即不同时为零，使合成吸力始终大于反作用力，从而消除了振动和噪声。

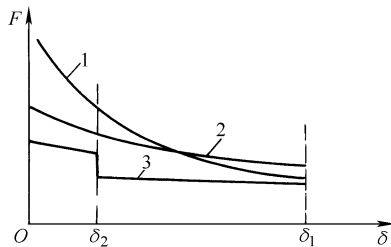


图 1-3 电磁机构的电磁吸力特性  
1—直流电磁机构 2—交流电磁机构  
3—反力特性

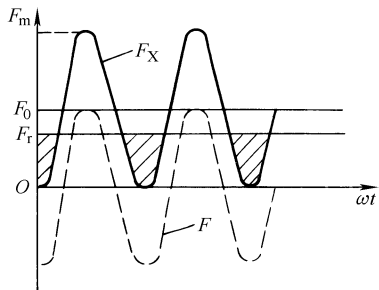


图 1-4 交流电磁机构实际吸力曲线

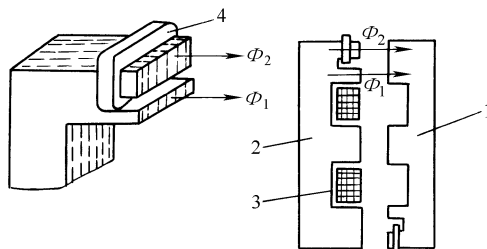


图 1-5 交流电磁铁的短路环  
1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环