

高等职业技术教育

房屋设备安装专业系列教材

FANGWU SHEBEI ANZHUANG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

# 建筑电气控制

(第二版)

主 编 赵宏家  
副主编 徐 静  
侯志伟

J  
ianzhu  
ianqi  
D  
ongzhi  
K



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

高等职业技术教育

房屋设备安装专业系列教材

FANGWU SHEBEI ANZHUANG ZHUANYE XILIE JIAOCAI

# 建筑电气控制

(第二版)

主 编 赵宏家  
副主编 徐 静  
侯志伟

J  
ianzhu  
ianqi

ongzhi  
K

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分9章。第1~2章主要介绍常用控制电器的基本结构、工作原理及性能;继电器、接触器控制的基本环节及设计和调试内容;第3~7章主要介绍水泵与消防设备、空调与制冷设备、锅炉、电梯和建筑机械等设备的控制系统分析;第8~9章主要从应用方面介绍可编程序控制器的的工作原理、特点、编程语言和编程方法,并结合建筑设备的控制介绍应用及设计实例。

本书为房屋设备安装和建筑电气技术专业的教材,也可作为建筑智能化、楼宇智能化、物业管理等专业相关课程的教材,以及从事建筑设备制造、安装、调试、运行管理的工程技术人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑电气控制/赵宏家主编.—2版.—重庆:重庆大学出版社,2009.9  
(房屋设备安装专业系列教材)  
ISBN 978-7-5624-2587-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 152258 号

## 建筑电气控制 (第2版)

主 编 赵宏家  
副主编 徐 静 侯志伟  
责任编辑:林青山 版式设计:王 勇  
责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行  
出版人:张鸽盛  
社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内  
邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781  
传真:(023)65103686 65105565  
网址:<http://www.cqup.com.cn>  
邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn)(营销中心)

全国新华书店经销  
重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:480千  
2002年9月第1版 2009年9月第2版 2009年9月第3次印刷  
印数:6 501—9 501  
ISBN 978-7-5624-2587-8 定价:29.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究

## 系列教材编委会名单

名誉主任 赵月望  
主任 张健  
副主任 侯志伟 郁勋  
编委 (以姓氏笔画为序)  
王明昌 王新阳 冯芳碧  
刘健 刘武坤 杨露露  
苏祥茂 张健 张华玲  
郁勋 赵月望 赵宏家  
侯志伟 莫章金 黄声武  
谢安

# 序

为进一步推进高等工程专科的建设、改革和发展,我校在全体教职员工的共同努力下,于1997年成功地跻身于全国示范性高等工程专科重点建设学校。在1997年底至1998年初,学校根据原国家教委教高司[1997]128号文“关于做好高等工程专科教育第四批专业教学改革试点工作的意见”的精神,将“房屋设备安装”专业申报为教学改革试点专业,并顺利地通过了原国家教委的资格审查和专家组的实地考察、遴选。国家教育部1998年7月正式批准“房屋设备安装”专业为高等工程专科教学改革试点专业。我校教改专业亦增至为3个。

遵照教高司[1997]128号文关于“这次启动的第四批试点专业确定为以技术岗位型、工程设备型和工程产品型专业为主。这些专业一般具有针对性强、对专业知识和工程实践能力要求较高、知识和能力往往覆盖几个学科等特点”的要求,房屋设备安装专业的教学改革,就是使该专业的专业知识覆盖(或称涉及)了“给水排水工程”、“供热通风与空调”和“建筑电气技术”3个学科,但又不是3个学科的简单组合,而是有所侧重、各有取舍、有机地结合,着重培养和训练能够同时从事建筑内水、暖、电等设备的施工安装、运行管理和维护工作的应用性高等工程技术复合型人才。房屋设备安装专业教学改革的主要特点在于:拓宽知识面,加强实践教学,即对房屋建筑内水、暖、电、气各种设备的安装知识和技术都进行学习和训练,在建安或建筑企业中能够以1个人顶原单一专业的2个或3个人使用,适应在施工安装、管理维护过程中减少人员、提高效益的需要。该专业的知识结构比较新颖,克服了以往专业知识面与工作适应面较窄的问题,顺应了当前教育改革与专业调整的趋势,适应了施工企业对一专多能的人才的需要。

为了实现上述人才的培养目标,我校在教学模式、课程设备、教学内容和教材建设等方面进行全面、系统、深入的研究与改革试验,在研究专业知识、能力与素质结构,改革专业课程设置体系,建立新的教学模式,应用现代化教学手段的同时,着力进行与之相适应的专业教材建设。在学校教改领导小组的具体指导下,成立了系列教材编审委员会,组织编写了“房屋设备

安装专业系列教材”——《工程制图与 Auto CAD 基础》、《电工与电子技术》、《建筑给水排水工程》、《建筑安装工程预算与管理》、《建筑供电与照明》、《建筑弱电技术》、《建筑电气控制》、《电子技术与有线电视实验》、《热工学理论基础》、《供热工程》、《制冷与空调工程》、《流体力学泵与风机》等 12 本主干课程教材。

“房屋设备安装专业系列教材”是在没有较为成熟的经验可以借鉴的情况下,对相关课程内容进行了较大幅度的增删、整合与创新而形成,强调基础理论的应用性,突出专业课程的实用性和针对性,力求体现出高专(高职)的特色。为了获得较好的效果,编委会组织了专业教改试点过程中理论基础扎实、实践经验丰富、且具有多年教学经验的授课教师参加教材的编写,并由编委会中相关学科具有高级职称的骨干教师担任主审。

我们虽然有好的主观愿望,但限于编者的业务水平,加之时间仓促,教材整合过程中其取舍难免失当,错漏之处在所难免,敬请广大读者与同行专家批评指正。

房屋设备安装专业  
系列教材编委会  
1997 年 12 月

# 第二版前言

本书是在第一版的基础上进行修改的,由于本教材主要是通过讲解电气控制电路来了解电气控制电路的分析方法,所以重点是基本控制电路的分析。随着电子技术、控制技术的高速发展,电气设备的实际控制电路已经发生了很大变化,比如锅炉的控制、电梯的控制、制冷机组的控制、塔式起重机的控制等都已经应用 DDC、PC 等进行控制了,但是,其基本的逻辑分析方法是相同的,只有了解了控制电路基本的分析方法,才能应用 DDC、PC 等进行编制程序。而 DDC、PC 等仅仅是代替了时间继电器、中间继电器等,有触点的接触器还不能大量的取代,因此该部分电路还是应用原始的继电器、接触器控制的电路进行讲解和分析,为今后的 DDC、PC 等程序分析或编制程序奠定基础。

参加本书编写的有重庆大学赵宏家、徐静、侯志伟、魏明、王明昌、唐琰年、施毛第等。由于作者水平有限,书中不妥和错误之处,敬请读者提出批评指正。

编者

2009年6月

# 前 言

本书是根据房屋设备安装和建筑电气技术专业《建筑电气控制》课程教学大纲的要求编写的。我国自改革开放以来,经济建设得到迅猛发展,人民生活水平不断提高,人们对建筑环境的要求也越来越高,因此建筑设备所占的比重也越来越大。但目前有关建筑设备电气控制内容的书较少,因此,本书的重点是阐述建筑设备的电气控制。

本书编写的主导思想是:既要适应建筑行业电气控制现状的实际需要,又应反映电气控制技术的新发展。编写中注意精选内容,力求结合生产实际,突出应用,着重于生产机械或设备控制电路的工作原理和分析方法,尽可能做到通俗易懂,便于自学。

本书的内容分为3大部分:第1部分为传统的基础部分(1~2章),主要介绍常用控制电器的基本结构、工作原理及性能;继电器、接触器控制的基本环节及设计和调试内容。第2部分为生产机械和设备的电气控制实例分析(3~7章),主要介绍水泵与消防设备、空调与制冷设备、锅炉、电梯等设备的控制系统分析;作为建筑行业的工程技术人员需要有较宽的知识面,因此,也介绍了有关建筑机械控制等内容。第3部分为可编程序控制器(8~9章),主要从应用方面介绍可编程序控制器的工作原理、特点、编程语言和编程方法,并结合建筑设备的控制介绍应用及设计实例。

本书由重庆大学赵宏家任主编,徐静、侯志伟任副主编。其中第1,2章由侯志伟和唐琰年编写;第2.7,2.8,3,4,5,6章由赵宏家编写;第7章由霍四敏编写;第8,9章及部分附录由徐静编写;书中的部分插图由张铁刚绘制。全书由赵宏家统稿。

本书由重庆大学杨光臣副教授任主审,侯士英副教授任副主审,他们对本书提出了大量的宝贵意见,在此谨表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处,敬请读者提出批评指正。

编 者  
2002年5月



# 目 录

---

绪论	1
1 常用低压控制电器	4
1.1 控制电器的基础知识	4
1.2 接触器	9
1.3 继电器	14
1.4 开关电器	20
1.5 主令电器	26
1.6 熔断器	31
小结 1	33
复习思考题 1	34
2 电气控制电路的基本环节	36
2.1 电气控制系统中图的作用和绘图原则	36
2.2 三相鼠笼式异步电动机直接启动的控制	47
2.3 三相鼠笼式异步电动机降压启动控制	52
2.4 三相鼠笼式电动机的制动控制	58
2.5 三相鼠笼式电动机的变极调速控制	61
2.6 三相绕线式异步电动机的启动控制	63
2.7 继电器接触式控制系统的电路设计	66
2.8 电气控制系统的调试与检修方法	78
2.9 生产机械的电气控制实例	83
小结 2	91
复习思考题 2	91
3 水泵与消防设备的控制	99
3.1 生活水泵的控制	99
3.2 消防水泵的控制	107
3.3 防、排烟设备的控制	110

小结 3	114
复习思考题 3	114
<b>4 空调与制冷系统的电气控制</b>	<b>115</b>
4.1 空调系统的分类与设备组成	115
4.2 空调系统常用的调节装置	117
4.3 分散式空调系统的电气控制实例	124
4.4 半集中式空调系统的电气控制实例	128
4.5 集中式空调系统的电气控制实例	134
4.6 制冷系统的电气控制实例	140
小结 4	149
复习思考题 4	149
<b>5 锅炉房设备的电气控制</b>	<b>151</b>
5.1 锅炉房设备的组成	151
5.2 锅炉的自动控制任务	153
5.3 锅炉的电气控制实例	157
小结 5	166
复习思考题 5	167
<b>6 电梯的电气控制</b>	<b>168</b>
6.1 电梯的分类和基本结构	168
6.2 电梯的电力拖动	174
6.3 电梯的控制电路实例	177
小结 6	190
复习思考题 6	190
<b>7 建筑机械设备的电气控制</b>	<b>193</b>
7.1 塔式起重机的电气控制	193
7.2 混凝土搅拌机的电气控制	201
小结 7	202
复习思考题 7	202
<b>8 可编程序控制器基本知识</b>	<b>203</b>
8.1 概述	203
8.2 可编程序控制器的硬件与工作原理	207
8.3 可编程序控制器的编程语言	214
8.4 FX 系列可编程序控制器梯形图中的编程元件	217
8.5 FX 系列可编程序控制器的基本逻辑指令	223
小结 8	229
复习思考题 8	231
<b>9 梯形图的程序设计方法</b>	<b>234</b>
9.1 梯形图的经验设计方法	234
9.2 梯形图的顺序控制设计方法	239
9.3 顺序控制梯形图的编程方式	246
9.4 PLC 在搅拌系统控制中的应用	256
9.5 PLC 在水塔供水系统控制中的应用	259

---

9.6 PLC 在空调机组控制中的应用 .....	264
小结 9 .....	267
复习思考题 9 .....	268
<b>附 录</b> .....	271
附录 1  国产低压电器产品型号编制方法 .....	271
附录 2  常用低压电器技术数据 .....	274
附录 3  常用电器的电气符号(摘自 GB 4728) .....	278
附录 4  FX-20P-E 型简易编程器 .....	282
<b>参考文献</b> .....	294

# 绪 论

---

## 1) 电气控制的基本概念

电气即“电的”意思,电气控制即电的控制。电气控制是以电为控制能源,通过控制装置(设备)和控制线路,对电气设备的运动方式或工作状态进行自动控制的综合技术。电气设备包括发、配电设备和用电设备(电气传动),也包括通过电的器件去控制其他设备的物理量,进而产生状态变化的设备。

控制装置:控制装置(控制设备)是能使用电系统正常运行的设备总称。它主要由控制、测量、保护、监视和调节用电设备运行的装置以及与这些装置有关的附件、外壳和支持件等组成。控制装置主要有3大功能,即监视、控制和保护功能。由于控制方式的不同,控制装置的功能和设备组成也不同,随着电子技术的大量应用,控制装置的效能也得到迅速提高。

电气传动:用于实现生产过程机械设备电气化及其自动化的电气设备及系统的技术总称。由于生产过程的机械设备绝大多数为电动机驱动,因此,电气传动(电力传动)主要是研究电动机的控制技术。

随着电子技术和自动控制技术的高速发展,电气传动技术也取得了令人惊叹不已的发展,首先体现在作为驱动力发生装置的电动机本身有了进步。在新型绝缘材料和硅钢片等材质方面发展的基础上,改进了电动机的设计技术,研制出体积小、重量轻、可靠性高、快速响应性好的电动机,还研制出一些新型及适用于不同用途的特殊电动机,例如直线电动机、无换向器电动机、磁滞电动机等。

其次,控制技术方面也有了显著的进步,除了传统的继电接触控制以外,晶体管、晶闸管、集成电路等新型电子开关和控制、调节器件也得到了广泛地应用,使控制装置和控制技术发生了根本性的变化。例如,虽然无换向器电动机的理论很早就有,但只是在晶闸管出现之后,才开始得到实际应用。如今,一向被认为难以改善调速性能的交流异步电动机,也已作为调速性

能优良的电动机而受到用户欢迎,特别是在电梯、水泵、风机等传动中得到广泛的应用,大有取代直流电动机之势。

再有,随着可编程控制器(PC 或 PLC)和计算机在控制方面的大量应用,不仅可以实现快速而精密的控制,而且还催生了许多新技术。例如:机床上的仿形控制和数字控制;生产加工线上的自动程序控制;电梯上的集中管理控制;制冷机组的直接数字控制(DDC)等。由于新技术发展迅速,并且花样繁多,对其选择也就不是一件轻而易举之事,必须对其操作性能、控制性能、可靠性、经济性、装置的体积等进行综合评判后,才能优选出最佳的控制方案。

**可编程控制器:**能用专用或高级语言编程,并在工业环境条件下能可靠运行的实时控制器。一般以顺序或程序控制等逻辑判断和开关量控制为主,但高档的可编程序控制器亦能进行较复杂的直接数字控制。目前 PC 的配置越来越完善,功能也越来越强,既能控制开关量,又能控制模拟量;既可以进行单机控制,又可以在同级和上级 PC 之间通讯联网,实现规模较大的集散控制。特别是如果在建筑设备中应用 PC 进行控制,就能使楼宇设备的智能化管理成为现实。

**直接数字控制:**接受上级计算机或人工的设定值,对生产机械过程的某些参数(速度、位置、压力、温度等)直接进行数字闭环控制的系统(DDC)。该系统多用微处理机或可编程序控制器构成,通常是多级计算机控制系统的最低一级。

## 2) 建筑设备的概念

为了给人们创造一个安全、方便、舒适和清洁的环境,建筑物中会装设各种各样的设备,这些设备统称为建筑设备。电既是这些设备的能源,也是这些设备各种信号的传输手段。没有电,建筑物所具有的各种效能便不能充分发挥。

建筑物的用途繁多,有办公楼、商店、旅馆、医院、学校、公寓、住宅、仓库等,虽然建筑设备要根据各类建筑物的用途来设计,但一般由各种通用设备组成,从用电性质方面看,可以分为电力设备、动力设备和弱电设备。

**电力设备:**主要有受电设备、变电设备、配电设备、备用电源设备、照明设备等。

**动力设备:**主要有空气调节设备、制冷设备、制热设备、给水设备、排水设备、卫生处理设备、电梯、自动扶梯、救灾防灾设备等。

**弱电设备:**主要有防灾报警设备、防盗报警设备、通信与网络设备、广播音响设备、有线电视设备等。

## 3) 建筑设备对电气传动的要求

建筑物的动力设备是以电气传动(电力传动)的应用形式存在于空调、上下水、电梯等各种设备中。建筑物的空气调节是用空调设备将冷、热源设备制造的冷、热水与室外或室内的空气进行热交换,使室内温度保持在某一设定值。为此,需用电气传动给制冷机、给水泵、通风机等。给水、排水设备是将建筑物的上水和下水分成若干区,以便对整个建筑物供水和排水,其动力设备以水泵为主。在消防设备中,则有向灭火栓、喷水车、自动喷水装置供水以及发生火灾时切断烟路、排出烟雾等用的泵和风机。

建筑电气动力设备大多数用交流异步电动机传动,因为动力设备的用途和规模各不相同,故电动机的功率和台数也不一样,功率从数 kW 至数十 kW,台数少则几十台,多至几百台或数千台。30 kW 以下时,广泛应用鼠笼式或特殊鼠笼式电动机传动,大容量则用绕线式电动机,除高速电梯和特殊用途外,几乎不用直流电动机。

建筑电气动力设备传动电动机的启动、停止操作,有的在机旁手动操作,也有将几台以至几十台电动机作为一组,彼此关联地按时间顺序远距离操作,这些电动机的控制装置分散地放在设备及电动机附近,所以,机房往往遍布于建筑物的各个角落。

随着电子技术的飞跃发展,从电能的控制开始到建筑设备中的通信、图像、信息处理等,电子设备的比重正日益增加,并且采用了控制计算机来合理地运用和管理建筑设备。目前,在一个场所对建筑设备进行集中监控已是发展的趋势,遥控及用计算机进行自动控制和管理(BAS)的智能化建筑正在日益普及。随着动力设备的运行、监视、控制和记录等自动化技术的完善,为了减少信号联线,已采用遥测和遥控装置、数据通道装置等来和中央控制室建立信息传输关系。

#### 4) 本课程的性质和任务

本课程的内容既有传统的继电器、接触器部分,又有现代的可编程序控制器部分,既有基本的控制环节部分,又有建筑设备中的各种动力设备的电气控制系统实例分析。动力设备是建筑设备的三大支柱之一,是水、暖、机、电多学科的结合点,也是建筑设备管理(BA)最核心的部分。因此,本课程是建筑类电气专业的主要专业课,也是建筑设备类专业的专业技术基础(或专业)课。

本课程的主要任务是通过学习和实践,了解常用低压电器的用途和性能;掌握传统的继电器、接触器典型控制系统的分析、设计方法及在不同的建筑动力设备的应用;了解可编程序控制器的工作原理、特点及性能;掌握可编程序控制器的编程语言、编程方法、使用技能及在建筑动力设备中的应用实例。由于本课程是为水、暖、机各学科的动力设备服务的,所以,必须了解水、暖、机的动力设备的运行工艺(工况),为分析和设计动力设备的控制电路奠定基础。

本课程应强调基本技能和动手能力的培养,因此,在学习中应特别注意理论联系实际,与实验、实习、实训、课程设计等实践环节相结合,在实验或实训中,应特别加强调试和故障判断能力的培养,以达到巩固和加深对课堂教学及教材内容的理解,增加学生的学习兴趣和培养更快适应实际工作能力的目的。

# 1

## 常用低压控制电器

---

本章主要介绍常用低压控制电器的结构、工作原理、型号、规格及用途等有关知识,同时介绍它们的图形符号及文字符号,为正确选择和合理使用这些电器打下基础。

### 1.1 控制电器的基础知识

#### 1.1.1 控制电器的作用与分类

控制电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节用的电气设备。简言之,控制电器就是一种能控制电的工具。

控制电器的种类很多,分类方法也很多,例如:按工作电压在 AC 1 000 V 或 DC 1 200 V 以下为界的低压控制电器和高压控制电器;按使用系统分的电力拖动自动控制系统用控制电器,电力系统用控制电器,自动化通讯系统用控制电器;按动作原理分的手动控制电器和自动控制电器;按工作原理分的电磁式控制电器和非电量控制电器等。我国低压控制电器产品型号命名分为刀开关和转换开关、熔断器、自动开关、控制器、接触器、启动器、控制继电器、主令电器、电阻器、变阻器、调整器、电磁铁以及其他控制电器共 13 类。关于低压控制电器产品型号编制方法、产品型号类组代号以及派生字母对照表参见附表 1.1, 1.2。通过表中内容可以了解低压控制电器现有的种类。另外,近几年通过引进技术或合资生产的控制电器产品的型号没有按其类组代号进行编制,一般为控制电器产品引进前所在国的型号,因此,同类控制电器产品的型号比较多。

### 1.1.2 电磁式控制电器

电磁式控制电器在电气控制电路中使用量最大,其类型也很多,常用的接触器和继电器大多数为电磁式控制电器。各类电磁式控制电器在工作原理和构造上亦基本相同。就其结构而言,一般都由感测和执行2个主要部分组成。感测部分是电磁机构,也是耗能元件;执行部分是触头系统,起开关作用。

#### 1) 电磁机构

电磁机构的主要作用是将电磁能量转换成机械能量(消耗电能),带动触头动作,从而实现接通或分断电路的功能。

电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。吸引线圈是用于通电产生电磁能量的电路部分;铁心是固定用的磁路部分;衔铁是可动的磁路部分,触头是由衔铁带动其动作而实现接通或分断电路的电路部分。

#### (1) 常用的磁路结构

常用的磁路结构如图1.1所示,可分为3种形式。

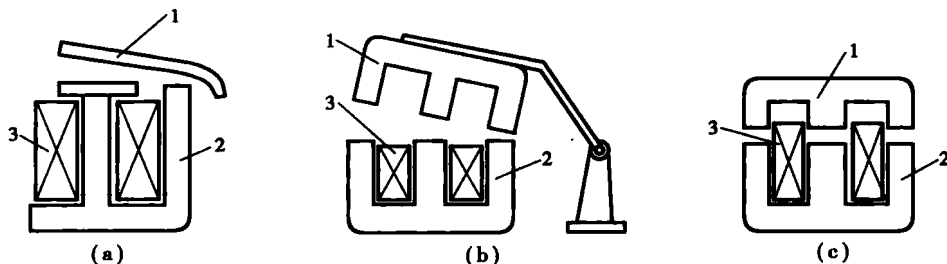


图 1.1 常用的磁路结构

(a) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心; (b) 衔铁沿轴移动的拍合式铁心; (c) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心

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1.1(a)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1.1(b)所示。其铁心形状有 E 形和 U 形 2 种。这种结构多用于触点容量较大的交流接触器中。

③ 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心,如图1.1(c)所示。这种形式多用于中小型交流接触器和继电器中。

电磁式控制电器的吸引线圈分为直流励磁与交流励磁 2 种,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制成,而交流电磁铁的铁心是用硅钢片叠铆而成。

#### (2) 吸引线圈

吸引(励磁)线圈的作用是将电能转换成磁能。按通入吸引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。

对于交流电磁铁,由于其铁心存在磁滞损耗和涡流损耗,线圈和铁心都发热,所以交流电磁铁的吸引线圈设有骨架,使铁心与线圈制成短而厚的矮胖型,这样做有利于铁心和线圈的散热。



## 2) 电磁吸力与吸力特性

电磁式控制电器是根据电磁铁的基本原理而设计,电磁吸力是影响其工作可靠性的一个重要参数。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, N;  
 $B$ ——气隙中的磁感应强度, T;  
 $S$ ——磁极截面积,  $m^2$ 。

在气隙值  $\sigma$  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,由于外加的是正弦交流电压,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

$$F_{at} = \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t \quad (1.3)$$

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

因此,交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。由于交流电磁铁在工作过程中,能否将衔铁吸住将取决于平均吸力  $F_0$  的大小,所以通常所说的交流电磁铁的吸力,就是指它的平均吸力。

电磁式控制电器在衔铁吸合或释放过程中,气隙  $\sigma$  是变化的,因而,电磁吸力也将随  $\sigma$  的变化而变化。

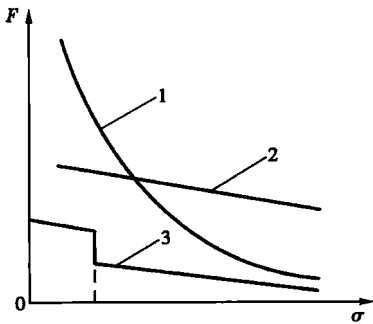


图 1.2 电磁铁的吸力特性曲线

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

所谓吸力特性,是指电磁吸力  $F_{at}$  随衔铁与铁心间气隙  $\sigma$  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 为一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁,其电阻的大小与气隙无关,励磁电流与电压的大小有关,接上电压后,衔铁动作过程为恒磁势工作,其吸力随气隙的减小而增加,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(阻抗随气隙变化),动作过程为恒磁通工作,但考虑到漏磁通的影响,其吸力随气隙的减少略有增加,所以吸力特性比较平坦。

## 3) 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  $\sigma$  的关系曲线,如图 1.2 中的曲线 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必须配合得当。当衔铁吸合过程中,其吸力特性应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,吸力特性则应位于反力特性下方,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。