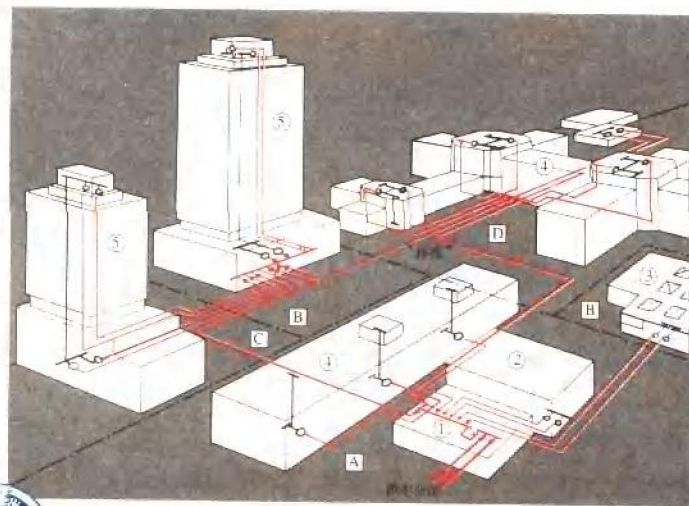


高等学校建筑电气技术系列教材

建筑电气 控制技术

王俭 龙莉莉 编著

● 中国建筑工业出版社



高等学校建筑电气技术系列教材

建筑电气控制技术

王 俭 龙莉莉 编著

ND33 / 28

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电气控制技术/王俭, 龙莉莉编著. -北京: 中国
建筑工业出版社, 1998
高等学校建筑电气技术系列教材
ISBN 7-112-03410-8

I. 建… I. ①王… ②龙… II. 建筑-电气控制装置-
高等学校-教材 N. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22444 号

本书针对建筑行业的特点及实际需要, 在详细阐述一般现场及设备中常用的电控装置的基础上, 对其所构成的电气控制系统的原理、分析、设计及应用等方面的知识进行了介绍。

全书共分八章, 包括常用控制电器、继电接触控制系统的组成规律及典型控制环节、继电接触控制系统的设计、典型生产及施工设备的电气控制线路分析、可编程序控制器的基础知识、OMRONC 系列可编程序控制器、三菱 F1 系列可编程序控制器、可编程序控制器的应用等。

本书可作为建筑类院校电气技术专业的教材, 也可供从事工业电气控制和机电一体化工作的专业技术人员参考。

高等学校建筑电气技术系列教材

建筑电气控制技术

王 俭 龙莉莉 编著

*

中国建筑工业出版社 出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市社科印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 $\frac{3}{4}$ 插页: 2 字数: 481 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第一次印刷

印数: 1-5000 册 定价: 24.10 元

ISBN 7-112-03410-8

TU·2636 (8569)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校建筑电气技术系列教材 编审委员会成员

- 名誉主任:** 谭静文 沈阳建筑工程学院
赵铁凡 中国建设教育协会
- 主任:** 梁延东 沈阳建筑工程学院
- 副主任:** 汪纪锋 重庆建筑大学
孙光伟 哈尔滨建筑大学
贺智修 北京建筑工程学院
- 委员:** (以姓氏笔画为序)
- 王 俭 西北建筑工程学院
邓亦仁 重庆建筑大学
兰瑞生 沈阳建筑工程学院
孙建民 南京建筑工程学院
李 伟 山东建筑工程学院
李尔学 辽宁工学院
朱首明 中国建筑工业出版社
寿大云 北京建筑工程学院
张 重 吉林建筑工程学院
张九根 南京建筑工程学院
张汉杰 哈尔滨建筑大学
张德江 吉林建筑工程学院
武 夫 安徽建筑工业学院
赵安兴 山东建筑工程学院
赵良斌 西北建筑工程学院
赵彦强 安徽建筑工业学院
高延伟 建设部人事教育劳动司
阎 钿 辽宁工学院
- 秘书:** 李文阁 沈阳建筑工程学院

序 言

高等学校建筑电气技术系列教材是根据 1995 年 7 月 31 日至 8 月 2 日在沈阳召开的建设部部分高等学校建筑电气技术系列教材研讨会的会议精神，由高等学校建筑电气技术系列教材编审委员会组织编写的。

本系列教材以适应和满足高等学校电气技术专业（建筑电气技术）教学和科研的需要，培养建筑电气技术专业人才为主要目标，同时也面向从事建筑电气自动化技术的科研、设计、运行及施工单位，提供建筑电气技术标准、规范以及必备的基础理论知识。

本系列教材努力做到内容充实，重点突出，条理清楚，叙述严谨。参加本系列教材编写的教师，均长期工作在电气技术专业的教学、科研、开发与应用的第一线。多年的教学与科研实践，使他们具备了扎实的理论基础及较丰富的实践经验。

我们真诚地希望，使用本系列教材的广大读者提出宝贵的批评意见，以便改进我们的工作。

我们深信，为加速我国建筑电气技术的全面发展，完善与提高我国高等学校建筑电气技术教学与科研工作的建设，高等学校建筑电气技术系列教材的出版将是及时的，也是完全必要的。

高等学校建筑电气技术系列教材
编审委员会

1996 年 10 月 6 日

前 言

本书是根据1996年3月在北京召开的建设部系统院校电气技术专业教材编审工作会议上审定的编写大纲进行编写的。

随着现代化建设的发展,自动化技术在建筑业及建筑物中起的作用越来越重要。各种控制方式下的自控系统都广泛地得到了应用。其中具有开环性质的逻辑控制和顺序控制在建筑行业的各类现场和设备中应用的尤为普遍。能够正确、合理地分析、设计和实现这类控制系统,是从事建筑电气工作的专业技术人员必须具备的一个基本技能。因此,在建筑类院校电气技术专业的课程体系中,除了开设有关反馈控制和计算机控制的课程外,还针对建筑行业的特点,专门开设上述面向设备和现场控制的技术基础课,以加强学生这方面能力的训练。本书就是为此而编写的教材。

本书编写的主要指导思想是,既要适应目前建筑行业电气控制的现状,满足实际需要;又应反映电气控制技术的新内容,跟上发展趋势。因此本书内容体系可以分为两大部分:第一部分(第一、二、三、四章)系统介绍有关传统逻辑控制的知识,主要包括各种低压控制电器的结构、原理及选用方法;继电器接触控制系统的组成规律及典型控制环节;继电器接触控制系统的设计方法;典型生产及施工设备电气控制线路的分析等。由于近年来以可编程程序控制器(PC)为代表的新型电控装置发展迅速,在建筑电气控制中的应用势头越来越强,为适应这一发展,本书的第二部分(第五、六、七、八章)从应用角度介绍了可编程程序控制器的结构、原理及特点,结合目前使用广泛、功能较强的两种小型PC,详细阐述其性能特点、指令系统、编程技术及用它实现电气控制的基本方法,并以建筑设备的控制为背景介绍了它在实际中的应用。

本书所涉及的电气控制内容与实际联系密切,因此在教学过程中除了课堂讲授有关原理及分析、设计、应用方法外,还应重视实践环节,通过实验、实习、参观等方式使学生加深感性认识,有些与设备及现场关系密切的章节可放在生产实习中进行介绍,以获得更好的教学效果。

本书虽针对建筑电气控制的特点和要求而编写,但其中涉及到的装置及控制技术具有一定的普遍性,因此对各类从事工业现场电气控制和机电一体化工作的技术人员而言,也是一本实用的参考书。

本书由西北建筑工程学院王俭和重庆建筑大学龙莉莉合编。其中第一、二、三、四章由龙莉莉编写,第五、六、七、八章及绪论由王俭编写。全书的整理及统编工作由王俭完成。

西安理工大学张成乾教授担任本书主审,承蒙提出宝贵意见,谨表示衷心感谢。

本书在编写过程中,参考了有关文献资料及兄弟院校的教材,在此也向他们的作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限,书中缺点错误一定不少,恳请读者给以批评指正。

目 录

绪论	1
第一章 常用控制电器	3
第一节 控制电器的作用与分类	3
第二节 电磁式低压电器的基础知识	4
第三节 接触器	13
第四节 常用电磁式继电器	17
第五节 常用非电磁类继电器	29
第六节 熔断器及刀开关	37
第七节 低压断路器	40
第八节 主令电器	46
思考题与习题	50
第二章 继电接触控制系统的组成规律及典型控制环节	51
第一节 电气控制线路的绘图规则及常用符号	51
第二节 组成电气控制线路的一般规律	55
第三节 常用的典型控制环节	69
第四节 电气控制安装接线图	73
思考题与习题	77
第三章 继电接触式控制系统的设计	79
第一节 继电接触式控制系统的一般设计方法	79
第二节 继电接触式控制系统经验设计实例	87
第三节 电气控制系统的逻辑设计方法	96
第四节 继电接触式控制系统逻辑设计实例	102
思考题与习题	108
第四章 典型生产及施工设备的电气控制线路分析	110
第一节 桥式起重机的电气控制	110
第二节 塔式起重机的电气控制	122
第三节 摇臂钻床的电气控制	127
第四节 电梯的继电接触控制系统	129
思考题与习题	145
第五章 可编程序控制器基础知识	146
第一节 可编程序控制器的一般概念	146
第二节 可编程序控制器的基本组成及各部分的作用	150
第三节 可编程序控制器的工作原理	156
第四节 可编程序控制器的编程语言	160
第五节 可编程序控制器的性能指标	162
思考题与习题	163

第六章 OMRON C 系列小型可编程序控制器	165
第一节 概述	165
第二节 OMRON C 系列 P 型机的性能及特点	165
第三节 OMRON C 系列 P 型机的指令系统	175
第四节 OMRON C 系列 PC 机编程器的使用	196
第五节 P 型机编程举例	203
思考题与习题	209
第七章 三菱 F1 系列可编程序控制器	213
第一节 三菱 F1 系列 PC 机概况	213
第二节 F1 系列 PC 编程元件及编号	214
第三节 基本指令及编程方法	217
第四节 步进指令及编程方法	228
第五节 F1 系列 PC 的数据操作指令	236
第六节 算术运算指令	248
第七节 F1 系列 PC 的模拟量处理方法	254
第八节 F1-20P-E 编程器使用简介	259
思考题与习题	262
第八章 可编程序控制器的应用	265
第一节 PC 控制系统设计的基本内容	265
第二节 PC 控制系统设计中应注意的几个问题	268
第三节 PC 在水塔、供水系统控制中的应用	275
第四节 可编程序控制器在电梯控制中的应用	283
第五节 PC 在空调机组控制中的应用	294
第六节 PC 在搅拌系统控制中的应用	301
思考题与习题	307
参考文献	308

绪 论

1. 建筑电气控制的基本概念

电气控制是以电能为控制能源，通过控制装置和控制线路，对工业设备的运动方式或工作状态实现自动控制的综合技术，在工业生产和其它各行业中都起着十分重要的作用。

电气控制技术无论是从控制内容本身还是从专业知识方面所涉及的范围都很广，但由于不同行业有各自的特点，对电气控制的要求和侧重也有所不同，本课程主要讨论它在建筑领域自动控制中的应用，因此称为建筑电气控制技术。

随着经济建设的发展，越来越多的大中型设备在与建筑密切相关场合中使用。高层建筑的兴起，使大楼内需要用电梯作为垂直交通工具、用空调设备改善环境空气的舒适性、用自动供水系统保证生活用水、由自动消防系统扑灭可能出现的火灾等等。实现这些功能所使用的设备大都要求在无人直接干预下自动地按预定的规律工作，电气控制系统则是达到这一目的的关键环节。在建筑领域的另一方面，建筑施工部门不断的引进先进的技术装备，大量的以电动机为驱动部件的施工机械和工程设备在提高工效、保证施工质量、改善劳动强度等方面起着重要的作用，电气控制系统则通过控制电动机的各种运行状态来保证上述机械设备的正常工作。伴随现代化建设的发展，建筑服务设备和施工设备的种类日益增多，技术越来越先进，必将促使建筑电气控制技术向更高的层次发展。

2. 建筑电气控制技术的现状与发展

根据目前大多数建筑设备和建筑机械的工作特点，在建筑电气控制中，大量遇到的是开关量的逻辑控制问题。开关量控制虽然最终只能靠控制电路的“通”、“断”完成控制任务，属于比较简单的控制方式，但它却能满足现场控制信号多，各信号之间存在不同逻辑关系的控制要求，很适合建筑设备的特点。例如：在以电梯为代表的运动设备控制中，控制系统要接受大量的外部控制指令和井道位置信号，将这些信号按一定的逻辑关系进行组合，从而控制电梯自动完成选择运行方向、起动、加速、平层、停靠、开关门等一系列动作；又例如：建筑物中的静止设备，大都要求能在几个不同的地点远距离控制其运行，并能方便地进行自动、手动、试验、测量等多种工作方式的互相切换，有的还要求设备各部分动作之间有一定的时间顺序及联动关系等。类似这些控制要求在建筑设备中是十分普遍的。事实上，不仅在建筑设备中，在其它场合特别是工业现场，开关量控制也是数量最多、应用最广的基本控制形式，任何从事电气技术工作的人员，都应该熟练的掌握它。

实现逻辑控制最常见的方法是用各种控制电器组成控制线路，称为继电接触控制系统。这种系统具有原理简单、容易实现、抗干扰性好，经济实用等优点、在各种场合被广泛的使用，尤其在建筑设备控制中，目前还占有相当大的数量。由于这种系统是靠互相连接在一起的电器触点断开与闭合来传递控制信号，因此它存在动作频率低、线路连接复杂、检修维护工作量大的缺点。特别是这种系统采用固定结线方式，使其只适应于一个固定不变的控制要求，当被控设备或其工艺要求发生变化时，必须对原系统重新结线，导致人力和

时间的浪费，因此这种系统的灵活性很差。

针对传统继电接触控制系统的上述缺点，近年来在电气控制领域广泛地采用新一代的控制装置，即以可编程序控制器（简称 PC）为核心的控制系统。PC 是继电接触控制思想与计算机控制技术相结合的产物，它保留了前者的优点，例如采用了类似继电接触控制线路形式的梯形图语言进行编程，使现场的电气技术人员能迅速地掌握其编程技术；它采取了完善的抗干扰措施，使得它可以像继电器系统那样在恶劣的环境下使用。同时 PC 又充分体现了计算机控制系统体积小、功能强、灵活性高的特点，通过软件实现控制逻辑，可以省去大量的控制电器及线路连接，又能容易地实现继电接触系统难于完成的控制功能。当改变控制要求和参数时只需改动程序中的相应部分，外部线路基本上不用改动，因而节省了资源。目前 PC 的配置越来越完善，功能也越来越强，既可控制开关量，又可控制模拟量；既可以用单机进行控制，又可以在同级或上级 PC 之间通讯联网，实现规模较大的集散控制。在建筑设备的控制中，PC 已经在类似于电梯、起重设备、泵类设备、传输系统及空调等设备中得到成功的应用，充分显示出在建筑领域中良好的应用前景。

应当指出，虽然用先进的控制装置可以完成传统继电接触控制所能实现的任何功能，但在实际工作中应根据被控对象的具体情况选择采用控制装置。对于那些功能相对简单、控制要求固定不变、被控对象功率较大及现场环境特别差的情况，选择继电接触控制系统往往显得更加合理。因此，在今后相当长的时间里，继电接触控制与其它类型的电气控制装置共同存在与发展，并在电气控制领域中起重要作用。

除了开关量逻辑控制外，随着技术的发展，一些针对模拟量、采用数字方法处理的先进控制在建筑设备中的应用也逐渐增多。现代电梯及恒压供水设备的电气传动系统已经开始采用以变压变频调速为代表的交流调速技术，相应的控制系统则采用了矢量控制、直接转矩控制等现代控制方法；有的空调系统中已经采用了自适应控制和智能控制技术。这些都说明自动化科学的发展必将促使先进的建筑设备不断出现，从而给建筑电气控制技术增添新的内容。

3. 本课程的性质、范围和任务

本课程是建筑类院校电气技术专业的一门技术基础课。

从建筑行业的特点和实际需要出发，课程的内容可分为两大部分：第一部分主要介绍有关继电接触控制系统的分析设计方法及其在建筑设备控制中的应用；第二部分则以可编程序控制器为核心，介绍其基本结构与原理、编程指令与编程方法，以及用它组成电气控制系统等方面的知识，并针对建筑设备 PC 控制实例介绍其应用。

本课程的主要任务是通过学习，掌握继电接触控制系统的分析、设计方法；熟悉常见的建筑设备电气控制线路的工作原理及特点；深入理解可编程序控制器的原理及性能、掌握编程方法和技能，并能够设计和组成 PC 控制系统实现各种常见机电设备的逻辑控制功能。

本课程在课堂教学的同时强调基本技能和动手能力的培养，因此，在教学中应特别注意理论联系实际，与实验、实习、课程设计等实践环节相结合，以达到巩固和加深对课堂教学及教材内容的理解，增强学生对实际工作适应能力的目的。

第一章 常用控制电器

第一节 控制电器的作用与分类

控制电器就是电能的控制器具。它能对电能进行分配、控制和调节。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，简称继电接触式控制系统。

控制电器的种类繁多，结构各异，通常按其工作电压以 1200V 为界，划分为高压电器和低压电器两大类。本章主要介绍用于电力拖动及控制系统领域中的低压电器，即所谓“控制电器”。控制电器的作用就是接通或断开电路中的电流，因此，“开”和“关”是其最典型、最基本的功能。

按操作方式的不同，控制电器可分为非自动切换电器和自动切换电器两类。前者是用手或依靠机械力进行操作的，如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。自动切换电器则主要是借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的，如接触器及各种类型的继电器等。

从结构上看，控制电器一般都具有感测和执行等两个基本组成部分。感测部分接受外界输入的信号并通过转换、放大、比较（判断），作出有规律的反应，使执行部分动作，输

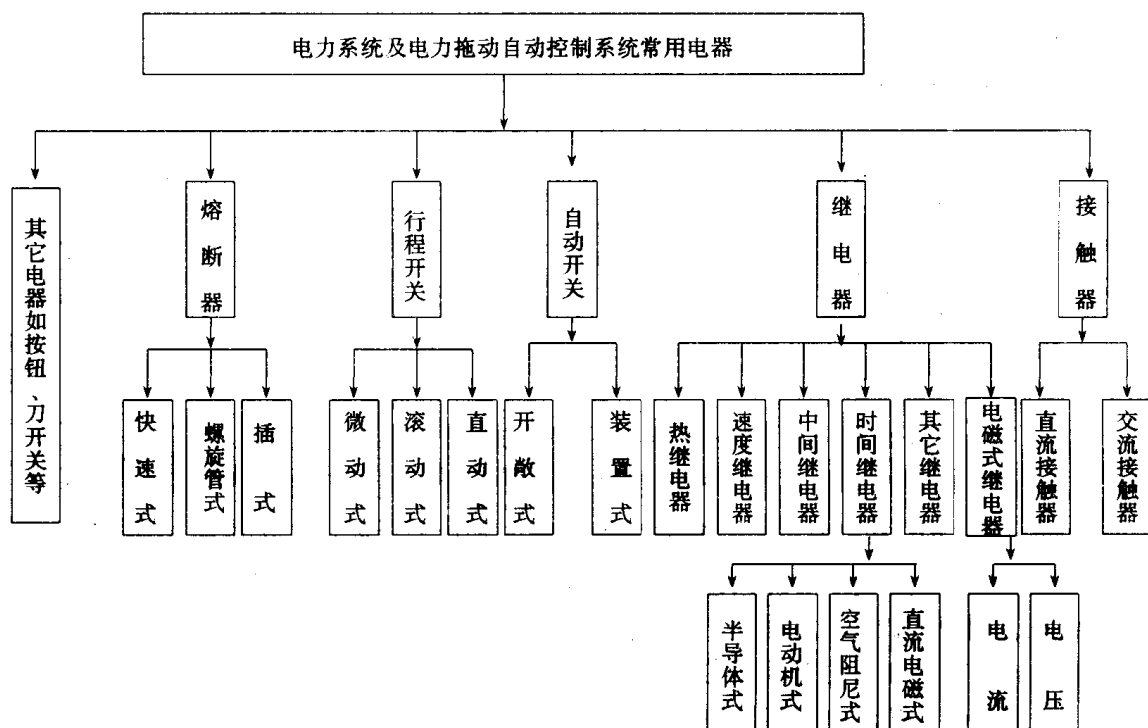


图 1-1 常用低压控制电器框图

出相应的通、断指令，从而实现控制目的。对于有触点的电磁式电器，感测元件大都是电磁机构，执行元件则是触点。对于非电磁式的控制电器，感测元件因其工作原理的不同而不同，但执行元件仍是触点。对于自动空气断路器一类的配电电器，还具有中间部分，它把感受和执行部分联系起来，使它们协同一致按一定的控制规律动作。

由于低压电器的职能、品种和规格的多样化，工作原理也各不相同，因而分类的方法很多。按使用系统分类时，习惯上可分为两大类：

①电力拖动自动控制系统用电器，主要用于电力拖动自动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器及主令电器等。

②电力系统用电器，主要用于低压供配电系统。这类电器有刀开关、自动开关、转换开关及熔断器等。

按使用场合的不同，控制电器还可分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、农用电器、船舶用电器、航空用电器等。

常用的低压控制电器见图 1-1。

第二节 电磁式低压电器的基础知识

采用电磁原理完成对电路的切换、控制、检测和调节，连续或断续地自动改变电路的参数电工器械叫电磁式低压电器。

一、电磁式低压电器的基本组成

电磁式低压电器的结构组成示意图及其在电路中的作用如图 1-2 所示。

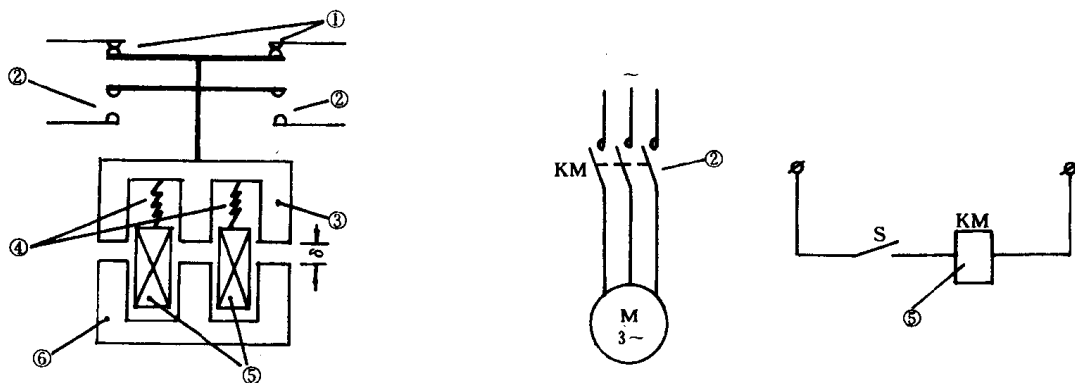


图 1-2 电磁式低压电器的结构及其在线路中的作用示意图

①—常闭触点；②—常开触点；③—衔铁；④—反力弹簧；⑤—线圈；⑥—静铁芯

当线圈⑤通电时，在静铁芯⑥和衔铁③及气隙 δ 组成的磁路中产生磁通 ϕ ，从而产生电磁吸力。此电磁吸力克服反力弹簧④的反力使衔铁吸合，于是带动触点机构向下运动，使得常闭触点打开同时常开触点闭合，三相交流电动机 M 接通电源起动运行。当开关 S 打开时，线圈失电，衔铁在反力弹簧的作用下复位（即返回至原开启位置），动触点向上运动（复位），常开触点分开，电动机断电，停止运行。

由图 1-2 可知，电磁式低压电器的结构有三个基本组成部分，即：

1. 电磁机构：由线圈、衔铁（动铁芯）、静铁芯和气隙组成。这是电磁式低压电器的感

测部分。当线圈接受一定的电信号时，在电磁吸力的作用下，衔铁克服弹簧反力吸合，从而把电能转变为机械能。

2. 触点系统：由动、静触点所构成的常开触点、常闭触点组成，是电磁式低压电器的执行部分。即其作用是通断电路、实现控制目的。

3. 反力弹簧：由释放弹簧和触点弹簧组成。其作用是当线圈失电时，利用弹簧储能将衔铁和触点复位。

二、电磁机构

1. 电磁机构的分类

电磁机构中的线圈、铁芯和静触点是固定的，只有衔铁是可动的。根据由铁芯和衔铁所构成的磁路形状及衔铁运动方式的不同，可对电磁机构作如下分类：

(1) 按衔铁的运动方式分类

1) 衔铁绕棱角转动：如图 1-3 (a) 所示。衔铁的一端绕棱角转动作拍合运动，磨损较小。铁芯用软铁制成，适用于直流电磁式电器。

2) 衔铁绕转轴转动：如图 1-3 (b) 所示。铁芯用硅钢片叠成，适用于交流电磁式电器。

3) 衔铁直线运动：如图 1-3 (c) 所示。衔铁在线圈内作直线运动，多用于交流电磁式电器。

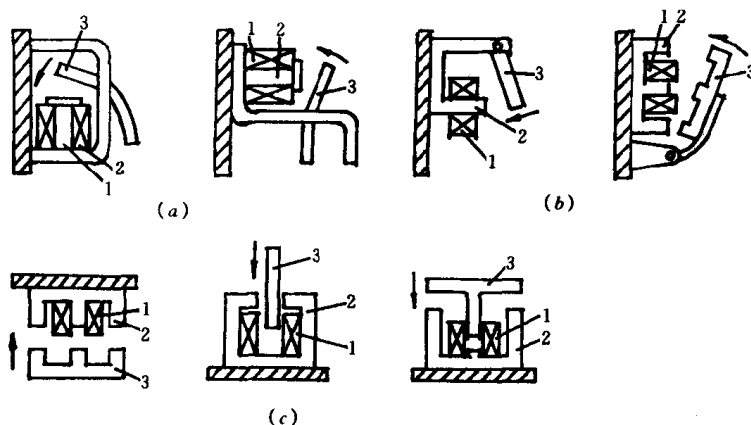


图 1-3 常用电磁机构的形式

1—线圈；2—静铁芯；3—衔铁

(2) 按磁系统形状分类 电磁机构可分为 U 形和 E 形，如图 1-3 所示。

(3) 按线圈接入电路方式分类 可分为并联和串联电磁机构，如图 1-4 所示。

1) 电压线圈并联接入电路（并联电磁机构）。并联电磁机构的衔铁动作与否取决于线圈两端电压的大小，具有这种电磁机构的电器均属于电压型电器。

2) 电流线圈串联接入电路（串联电磁机构）。串联电磁机构的衔铁动作与否取决于线圈中流过的电流的大小，具有这种电磁机构的电器属于电流型电器。为了不影响负载的电压和电流，串联电磁机构的线圈导线粗而匝数少，正好与电压线圈相反。

通常，串联电磁机构感测线路电流，用于电流继电器；并联电磁机构用于感测线路电压，用于除电流继电器外的其它类电磁式低压控制电器。

2. 电磁机构的特性

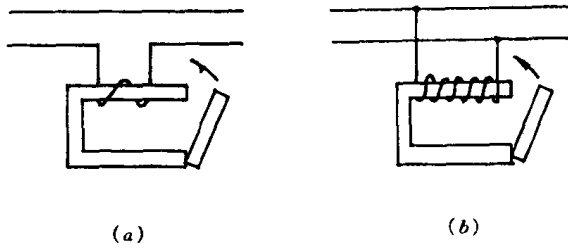


图 1-4 电磁机构中线圈接入电路的方式
(a) 串联电磁机构; (b) 并联电磁机构

电磁机构的工作情况常用吸力特性与反力特性来表征。电磁吸力与气隙长度的关系曲线叫电磁机构的吸力特性; 电磁机构运动部分的静阻力与气隙的关系曲线叫反力特性。静阻力的大小与反力弹簧、摩擦力及衔铁的重量等有关。

(1) 电磁机构的吸力特性

线圈通电时, 磁路中产生磁势 ($F = IW$), 在此磁势的作用下, 磁路中产生磁通 ($\phi = IW/R_m$), 由麦克斯韦公式可近似

求得此磁通所产生的电磁吸力的大小, 此电磁吸力克服弹簧反力使得衔铁吸合。

电磁吸力可近似表示为:

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

- 式中 ϕ ——气隙磁通 (Wb);
- S ——气隙截面积 (m^2);
- μ_0 ——空气导磁系数, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (H/m);
- F_x ——电磁吸力 (N)。

对于已制造好的电磁机构, $S = \text{常数}$, 即: $F \propto \phi^2$ 。

由磁路欧姆定律:

$$\phi = \frac{IW}{R_m} = \frac{IW}{\delta} \mu_0 S \quad (1-2)$$

将 (1-2) 代入 (1-1) 得:

$$F_x = \frac{(IW)^2 \mu_0 S}{2\delta^2} \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可对电磁吸力作以下讨论:

1) 对于直流电磁机构, 当外施电压一定时, $I = U/R = \text{常数}$, 此时

$$F_x = \frac{(IW)^2 \mu_0 S}{2} \cdot \frac{1}{\delta^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$$

此式表明, 对于直流电磁机构, 当外施电压为常数时, 电磁吸力与气隙长度的平方成反比, 吸力特性为二次曲线, 吸合电流与气隙长度无关。吸力特性曲线见图 1-5 (a)。

2) 对于交流电磁机构, 因交流电磁机构线圈多与电路并联使用, 故以并联电磁机构为例讨论。忽略线圈电阻压降时:

$$U \approx E = 4.44 f \phi W \quad (1-4)$$

即

$$\phi \approx \frac{U}{4.44 f W} \quad (1-5)$$

- 式中 ϕ ——气隙磁通 (Wb);
- U ——交流电磁机构外施电压 (V);
- W ——交流线圈匝数;
- f ——交流电压频率 (Hz)。

由式(1-5)知,对于交流电磁机构,当外施电压 U 及频率 f 为常数时, ϕ 为常数(对于已制造好的线圈,匝数 $W=$ 常数),故电磁吸力 F_x 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 δ 的减小而略有增加)。

$$\text{由式(1-2)可得: } I = \frac{\phi \delta}{W \mu_0 S} \propto \delta$$

即交流电磁机构的吸合电流与气隙长度成正比。吸力特性见图1-5(b)。

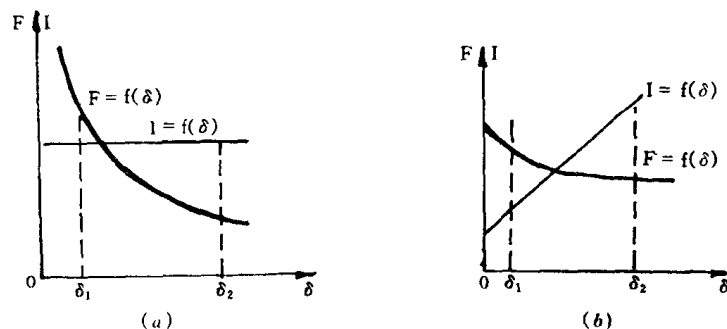


图1-5 电磁机构的吸力特性
(a) 直流电磁机构; (b) 交流电磁机构

由以上结论知,对于并联电磁机构,在线圈通电而衔铁尚未吸合瞬间,吸合电流为衔铁吸合后的吸持电流(额定电流)的很多倍(对于U形电磁机构可达5~6倍,对于E形电磁机构可达10~15倍)。因此,倘若交流电磁机构的衔铁卡住不能吸合或者频繁动作,线圈有可能被烧毁。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。

(2) 电磁机构的反力特性

线圈失电后,动铁芯及动触点在反力弹簧(由释放弹簧和触点弹簧构成)的作用下复位。释放弹簧和触点弹簧对衔铁的作用力方向与电磁吸力的方向相反,故称为电磁机构的反力。反力 F_r 与气隙 δ 之间的关系称为电磁机构的反力特性。

由于在弹性范围内,弹簧的作用力与其长度呈线性关系,所以反力特性为直线段,如图1-6中曲线1所示。在衔铁闭合过程中,当气隙由 δ_{\max} 减小时,反力逐渐增大,如 \overline{ab} 段所示。设在到达气隙 δ_0 位置时,动、静触点刚刚接触,触点弹簧的初压力作用在衔铁上,反力特性曲线突变,由 b 点跃至 c 点,而后电磁吸力克服触点弹簧和释放弹簧的共同作用,使得衔铁和动触点可靠吸合,反力特性如 \overline{cd} 段所示。

- 曲线1: 释放弹簧不变的反力特性;
- 曲线2: 拧紧释放弹簧的反力特性;
- 曲线3: 放松释放弹簧时的反力特性;
- 曲线4: 电磁吸力特性。

改变释放弹簧的松紧,可以改变反力特性曲线的位置;若将释放弹簧拧紧,则反力特性曲线平行上移,反之则平行下移,如图1-6中曲线2、曲线3所示。

(3) 电磁机构的吸力特性与反力特性的配合

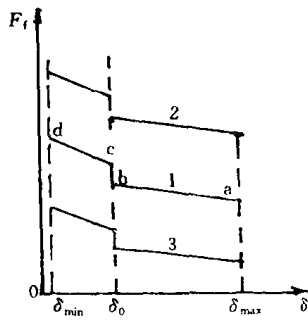


图 1-6 电磁机构的反力特性

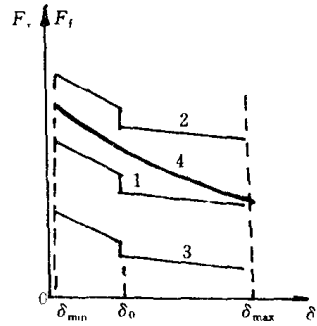


图 1-7 吸力特性与反力特性的配合

吸力特性与反力特性相配合的宗旨是：在保证衔铁产生可靠吸合动作的前提下，尽量减少衔铁和铁芯端面的机械磨损和触点的磨损。因此，反力特性曲线应在吸力特性曲线的下方且彼此靠近。否则，若反力大于吸力，则衔铁不能吸合，触点机构不会动作，对于交流电磁机构，还将因长期过流而烧毁线圈；若反力远小于吸力，则将因吸力过大，衔铁闭合过猛而产生较大的机械磨损。

3. 单相交流电磁机构衔铁的抖动

在电力拖动系统中所用的交流电磁式电器都采用单相交流电磁机构。在单相交流电磁机构中，由于磁通是交变的，当磁通过零时吸力也为零，此时，已吸合的衔铁在反力弹簧的作用下释放打开；磁通过零后，电磁吸力增大，当吸力大于反力时，衔铁又重新吸合。这样，作用在衔铁上的电磁吸力随交流电源的频率而变化，交流电源每个周波两次过零，使衔铁产生剧烈的抖动并产生强烈的噪音，严重时可使铁芯抖散。

消除单相交流电磁铁抖动的方法是使电磁吸力 f_x 在任何时候都大于弹簧反力，从而使衔铁可靠吸合。其具体作法是在交流接触器铁芯端面上嵌入一金属短路环（或称为分磁环），使得铁芯中通过两个相位不同的磁通，如图 1-8 所示。

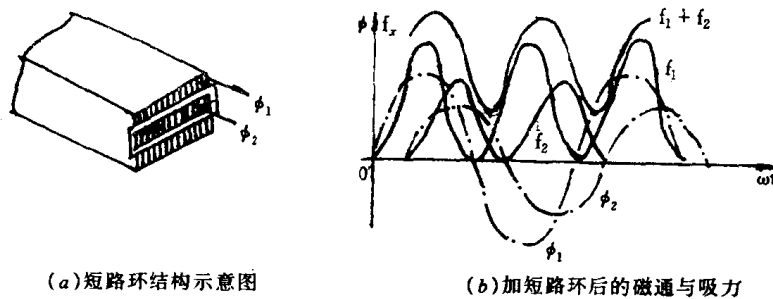


图 1-8 加短路环后的磁通及电磁吸力曲线

具体分析如下：铁芯端面嵌入短路环后，铁芯中的磁通被短路环分为环内环外两个部分。根据电磁感应定律，交变磁通在短路环中产生感应电流，此感应电流产生一磁通 ϕ_2 且滞后于环外磁通 ϕ_1 ，即穿越短路环的磁通滞后于短路环外的磁通。这样，短路环内外的两个不同相的磁通分别产生不同相的电磁吸力 f_{x1} 和 f_{x2} ，由于环内外磁通不同相位，即在任意瞬

间不同时过零,故电磁吸力 $f_x = f_{x1} + f_{x2}$ 恒大于零。适当设计分磁环,使得任意时刻电磁吸力的合力 f_x 恒大于弹簧反力,即可消除单相交流电磁铁的抖动。

三、触点系统

1. 触点的作用

触点也称触头,是电磁式电器的执行部分,其功能是在衔铁的带动下通断被控线路。

2. 触点的分类

根据触点所处的状态及其作用,触点可分为常开触点、常闭触点、主触点和辅助触点等。

常开触点又称动合触点,指电磁机构未动作之前,处于断开状态的触点。

常闭触点又称动断触点,指电磁机构未动作之前,处于闭合状态的触点。

主触点用于通断大电流的主回路。常接于电动机、电磁制动器、电热设备主回路,也常用于短接电动机回路的起、制动及调速电阻,通常为常开触点。

辅助触点用于通断小电流的控制回路和信号回路。常用于控制线路的各种联锁及通断信号,有常开触点和常闭触点两种形式。

一对触点由动、静触点构成。动触点是随衔铁运动而运动的触点,静触点是不作相对运动的触点。

3. 触点的接触形式

触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种,如图 1-9 所示。

点接触是由两个半球面形触点或一半球面触点与一平面形触点构成的。其接触区是二面相切点,允许通过电流较小,因此,用于小电流电器,如继电器触点或接触器的辅助触点。

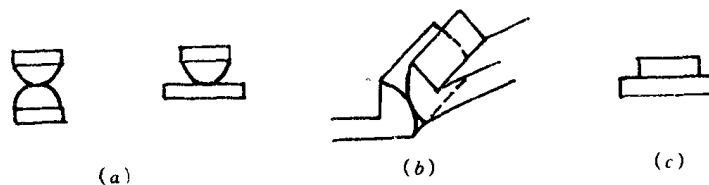


图 1-9 触点的接触形式
(a) 点接触; (b) 线接触; (c) 面接触

线接触是由两个圆柱面形触点构成的,其接触区域为二柱面的切线,允许通过的电流较大,常用于中等容量接触器的主触点。

面接触由两个平面触点构成,其接触区域为二平面的切面,允许通过的电流很大,常用于大容量接触器的主触点。

4. 接触电阻及其减小方法

由于触点表面的不平及氧化层的存在,动静触点的接触处存在着一定的接触电阻。此接触电阻不仅会造成一定的电压损失,还会使铜耗增加,触点温升上升,致使触点烧蚀。导致触点工作不可靠。减少接触电阻的常用方法之一是在触点间加一定的压力,为此,在动触点处安装一个触点弹簧,如图 1-10 所示。

触点弹簧在安装时被预先压缩一段,因而在动触点与静触点刚接触时就有一个初压力