

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材

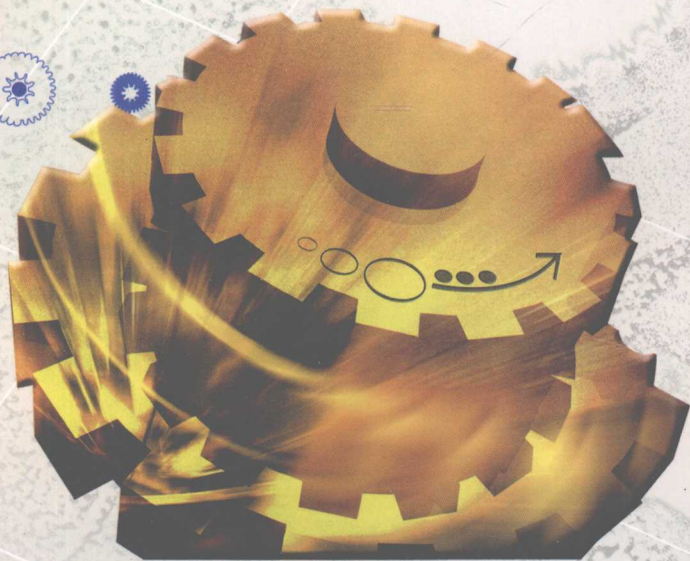


机电传动控制及实训

蔡文斐 主编
张安全 主审



DIAN CHUANDONG KONGZHI JI SHIXUN



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高等职业教育“十一五”规划教材
21世纪高职高专机电类规划教材



机电传动控制及实训

蔡文斐 主 编
劳泽锋 杨 兰 副主编
黄政辉 尹 久 参 编
张安全 主 审

A large, stylized, cursive letter 'J' that serves as a logo for the book. It is surrounded by several small gear icons of varying sizes and orientations, scattered across the page.

J

IDIAN CHUANDONG KONGZHI JI SHIXUN

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制及实训/蔡文斐 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008年9月
ISBN 978-7-5609-4895-9

I. 机… II. 蔡… III. 电力传动控制设备-高等学校-教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 147052 号

机电传动控制及实训

蔡文斐 主编

策划编辑:张毅

责任编辑:张毅

责任校对:刘竣

封面设计:刘卉

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

印刷:仙桃市新华印务有限责任公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:18 插页:2

字数:425 000

版次:2008年9月第1版

印次:2008年9月第1次印刷

定价:29.00元

ISBN 978-7-5609-4895-9/TM·106

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

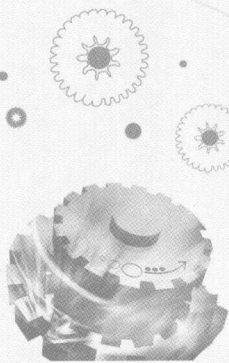
高等职业教育“十一五”规划教材 21世纪高职高专机电类规划教材 编审委员会

顾 问 陈吉红（教授，华中科技大学博导）

委 员 （以姓氏笔画为序）

丁原廉 王 瑞 尹玉珍 刘合群 牟应华 许小明
李传军 李正峰 李振斌 余小燕 苏 明 吴水萍
陆全龙 陈新耘 张晓娟 张 健 张安全 邱文萍
杨继宏 杨晓光 林承全 明志新 周卫东 娄 琳
俞礼钧 洪 霞 贺 剑 郭建农 徐国洪 游英杰
崔梁萍 盛国林 熊裕文 熊光荣 熊建云 管 剑

秘 书 张 毅



内 容 简 介

为适应普通高等职业技术教育需要,促进我国国民经济的发展,造就一批机电一体化的复合型人才,本书彻底改变了传统的以“理论教学为核心,以实训教学来支撑理论教学”的教学理念和教学设计,提出了“以专业岗位素质培养为目的,以专业技术应用能力培养为核心,以实训训练项目为主体,以实践教学为主线,以理论教学为支撑”的教材建设思路。为适应机电一体化专业及非电类专业学生尽快掌握机电方面的综合知识,本书从机电一体化技术需要出发,重新调整了理论教学内容,它是集电动机、电机拖动、自动控制器件、工厂供电于一体的多门课程内容的结合。通过本课程的学习,使学生能掌握电动机、电器、拖动控制等必备的基础理论,了解电动机调速控制系统的基本工作原理、方法、类型及最新控制技术在机械设备的应用。

本书以理论知识为基础,注重培养学生的实训技能,培养学生严肃认真的科学作风,树立理论联系实际的观点,提高分析、解决实际问题的能力和实践动手能力。

前

言

根据教育部组织制定的《高职高专教育专业课课程基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，以及《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》等基本精神，结合“双元制”教学理念及“4+2”课程体系的特征，经过教学实践与收集毕业生就业的信息反馈后，我们认真整理、编写了这本《机电传动控制及实训》。

在本书编写中，我们注重了内容和体系的改革，重新调整能力训练与理论教学的主从关系，坚持理论知识以“必需、够用”为度，更加突出培养综合应用能力这一核心指导原则，明确理论知识对能力培养的支撑作用。以机电装置原动机驱动系统为主线，着重讲解机电结合、机电控制，把“电机与电机拖动”、“工厂电气技术”、“工厂供电”、“机电控制系统”等多门课程的内容用一种新的体系组织起来，在讲述了机电测量与控制所需的最基本、最适用的电学知识的基础上，力图以掌握基本概念、强化实际应用为重点，对电动机调速系统中的一些复杂的理论知识作了删除处理，使学生在规定的学时内掌握机电传动控制、工厂电气控制与工厂供电等所需要的最基本、最适用的电学知识，以培养学生专业实践适应能力和应变能力。

本书可作为高等职业教育工科院校机电类、数控专业及非电类等相关专业的机电传动控制技术教材，也可作为成人教育的电气控制与工厂供电相关课程教材，还可以供机电行业的工程技术人员用作参考书或电工考证培训教材。

本书由蔡文斐主编并统稿，劳泽锋、杨兰任副主编，黄政辉、尹久任参编，由张安全主审。限于编者知识水平，加之教学改革的成果的认同性，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。本书在编写过程中，参阅了多种同类教材和著作，特向其编著者致以衷心感谢。此外，本书在编写过程中得到了李锋的大力帮助，在此表示感谢。

编者

第1章 绪论	(1)
1.1 机电传动控制的性质和要求	(1)
1.2 机电传动控制的目的和任务	(2)
1.3 机电传动控制系统的发展概况	(3)
1.4 控制系统的基本概念	(4)
思考题与习题 1	(5)
第2章 常用低压电器	(6)
2.1 电器的基本知识	(6)
2.2 主电路中的低压电器	(11)
2.3 控制电路中常用的低压电器元件	(25)
思考题与习题 2	(44)
第3章 机电传动控制系统的动力学基础	(47)
3.1 机电传动系统的运动方程式	(47)
3.2 生产机械的机械特性	(48)
3.3 机电传动系统的稳定运行条件	(50)
思考题与习题 3	(52)
第4章 交流电动机及传动控制系统	(53)
4.1 三相异步电动机的基本结构和工作原理	(53)
4.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	(60)
4.3 电气控制系统的基本知识	(66)
4.4 三相异步电动机启动特性及直接启动控制线路	(69)
4.5 三相鼠笼式异步电动机的降压启动控制线路	(78)
4.6 三相异步电动机的制动控制线路	(84)
4.7 三相异步电动机的调速控制	(90)
思考题与习题 4	(103)
第5章 直流电动机及传动控制系统	(107)
5.1 直流电动机的结构和工作原理	(107)
5.2 直流电动机的机械特性	(111)



5.3	他励直流电动机的启动特性	(117)
5.4	他励直流电动机的调速特性	(119)
5.5	他励直流电动机启动、正反转及调速控制线路	(123)
5.6	他励直流电动机的制动特性及控制线路	(126)
	思考题与习题 5	(132)
第6章	控制电机	(135)
6.1	伺服电动机	(135)
6.2	步进电动机	(141)
6.3	直线电动机	(149)
6.4	测速发电机	(151)
6.5	力矩电动机	(154)
6.6	步进电动机控制系统	(157)
	思考题与习题 6	(162)
第7章	机床电气控制线路分析与设计	(163)
7.1	电气控制线路分析基础	(163)
7.2	C650 车床电气控制线路	(165)
7.3	X62W 卧式万能铣床电气控制线路	(169)
7.4	机床电气控制设计	(177)
7.5	机床电气控制线路原理图的设计	(180)
7.6	电气控制装置的工艺设计	(188)
	思考题与习题 7	(193)
第8章	工厂配电的基本知识	(196)
8.1	电力系统概述	(196)
8.2	工厂供配电系统	(198)
8.3	电力线路结构与敷设	(201)
	思考题与习题 8	(205)
第9章	工厂配电系统	(206)
9.1	供配电系统中常用的电器	(206)
9.2	工厂变配电所的主接线方案	(213)
9.3	工厂变配电所的二次回路	(218)
9.4	工厂电力线路	(220)
9.5	导线和电缆截面的选择	(222)
	思考题与习题 9	(223)
第10章	工厂的电气照明、安全及节能技术	(225)
10.1	工厂电气照明技术	(225)
10.2	防雷与触电	(230)
10.3	接地与触电防护	(235)
10.4	电能节约的常用措施	(241)
	思考题与习题 10	(243)



第11章 实训与技能训练	(244)
11.1 低压电器的认知	(244)
11.2 常用低压电器的拆装与维修	(245)
11.3 低压电器与电器控制线路的安装调试	(247)
11.4 异步电动机的点、长动控制线路的接线与调试	(251)
11.5 异步电动机正、反转控制线路的接线与调试	(253)
11.6 Y— Δ 降压启动控制线路的接线与调试	(254)
11.7 电动机顺序启动控制线路的接线与调试	(256)
11.8 电动机的自动往复控制线路的接线与调试	(257)
11.9 异步电动机的多地控制线路的接线与调试	(259)
11.10 异步电动机反接制动控制线路的接线与调试	(260)
11.11 直流电动机的检修和保养训练	(262)
11.12 X62W 卧式万能铣床故障的分析与排除	(264)
11.13 参观学校配电房	(267)
附录	(269)
附录 A 中级维修电工考试大纲	(269)
附录 B 中级维修电工鉴定要求	(271)
附录 C 中级维修电工技能试卷及评分标准	(274)
附录 D 电气图常用图形与文字符号新旧标准对照表	(276)
参考文献	(281)

第 1 章 绪 论

本章要求:了解机电传动控制的目的和任务;了解机电传动控制系统的发展;熟悉和掌握自动控制系统的分类及其应用。

1.1 机电传动控制的性质和要求

1.1.1 机电传动控制的性质

“机电传动控制”是一门应用性很强的机电一体化专业基础课程,本课程实践性强,与生产实际联系紧密,知识覆盖面较宽,不仅是强电与弱电的结合,也是机、电、液的结合。机电传动控制技术在生产、科学研究和其他领域有着十分广泛的应用。

本课程的主要内容是以电动机和其他执行电器为主要对象,重点介绍,交流、直流电动机,控制电机,常用低压控制电器的基本结构、原理与选用,基本电气控制线路的原理与应用,机床电气控制线路,电气控制线路的设计,电力系统的基本概念,工厂供配电系统,工厂电气照明、安全及节能技术。

1.1.2 机电传动控制的基本要求

- ① 掌握交流、直流电动机,控制电动机的结构原理、种类、用途及型号、机械特性,能正确使用和选用。
- ② 熟悉常用低压控制电器的基本原理、用途及型号,能正确使用和选用。
- ③ 掌握基本电气控制线路的工作原理和分析方法,具有电气控制线路的故障排查能力。
- ④ 熟悉和掌握典型生产机械电气控制线路,具有从事机电传动设备的安装、调试、运行和维护等技术工作能力。
- ⑤ 熟悉和掌握工厂供配电系统,了解电力系统的基本概念和工厂电气照明、安全及节能技术,具有一定的工厂供配电知识。
- ⑥ 具有设计、改造、革新一般生产机械控制系统的初步能力。
- ⑦ 配合电工考证。

1.2 机电传动控制的目的和任务

1.2.1 机电传动控制的目的

① 从广义上讲,机电传动控制的目的就是要使生产设备、生产线、车间乃至整个工厂都实现自动化。

② 从狭义上讲,是指控制电动机驱动生产机械,实现生产产品数量的增加(效率)、质量的提高(精度)、生产成本的降低、工人劳动条件的改善以及能量的合理利用等。

③ 随着生产工艺的发展,不同生产领域对机电传动控制系统的要求越来越高。例如:

◆ 重型镗床为保证加工精度和粗糙度,要求在极慢的稳速下进给,即要求系统有很宽的调速范围;

◆ 轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械,操作频繁,要求在不到 1 s 的时间内完成从正转到反转的过程,即要求系统能迅速启动、制动和反向;

◆ 对于电梯和升降机,则要求启动和制动平稳,并能准确地停止在给定的位置上;

◆ 对于冷、热连轧机以及造纸机的机架或分部,则要求各机架或各分部的转速保持一定的比例关系进行协调运转;

◆ 为了提高效率,由数台或十几台设备组成的自动生产线,要求统一控制或管理;

◆ 一些精密机床要求加工精度达到百分之几毫米,甚至百分之几微米。

1.2.2 机电传动控制的任务

① 将电能转换为机械能;

② 实现生产机械的启动、停止以及速度的调节;

③ 完成各种生产工艺过程的要求;

④ 保证生产过程的正常进行。

1.2.3 机电传动控制的特点和学好本课程的方法

学习时首先了解问题是如何提出的,特别注意对基本概念、原理、公式的理解和掌握,相互联系,了解其应用。做有关的习题、思考题及自测练习。坚持“老师为主导、学生为主体”的思想。

根据学科的发展与其内在规律,以伺服驱动系统和步进驱动系统为主导,以控制为线索,学习和掌握机电一体化技术所需的强电控制知识。

重视实训,加强动手能力的培养,特别是电气控制线路的接线和故障的排查,注意理论联系实际。



1.3 机电传动控制系统的发展概况

原始的机械设备由工作机构、传动机构和原动机组成,其控制方式由工作机构和传动机构的机械配合实现。随着电气元件和自动控制系统的发展和设备性能的不断提高,机电传动及其控制系统也在不断的发展。机电传动控制的发展可从机电传动和控制系统两方面来说明。

1.3.1 机电传动的发展

1. 成组拖动

一台电动机拖动一根天轴(或地轴),然后再由天轴(或地轴)通过皮带轮和皮带分别拖动多台生产机械。这种拖动方式的特点是生产效率低、劳动条件差、一旦电动机出现故障,将造成成组的生产机械停车。

2. 单电动机拖动

一台电动机拖动一台生产机械的各运动部件。这种拖动方式较成组拖动前进了一步,但当一台生产机械的运动部件较多时,其传动机构仍十分复杂。

3. 多电机拖动

一台生产机械的各个运动部件分别由不同的电动机来拖动。

1.3.2 机电传动控制系统的发展

控制系统的发展伴随控制器件的发展而发展。随着功率器件、放大器件的不断更新,机电传动控制系统的发展日新月异,它主要经历了四个阶段。

1. 继电器-接触器控制

继电器-接触器控制出现在20世纪初,它仅借助于简单的接触器与继电器,实现对控制对象的启动、停车、反转以及有级调速等控制。其特点是简单、易掌握、价格低、易维修,许多通用设备至今仍采用这种控制系统。它的缺点是控制速度慢、控制精度差且体积大、功耗大。

2. 电动机放大机控制

电动机放大机控制是20世纪30年代出现的一种控制系统,它使控制系统从断续控制发展到连续控制。减少了电路的触点,提高了可靠性并使生产效率得到提高。



3. 磁放大器控制和大功率可控整流器控制

磁放大器控制和大功率可控整流器控制是 20 世纪四五十年代出现的一种控制系统,其最后的主流代表是大功率晶闸管、晶体管控制,它开辟了机电传动自动控制系统的新时代,同时在控制理论中出现了采样控制,工业控制中出现了单片机和 PLC 控制。晶闸管、晶体管控制特点是效率高、控制特性好、反应快、寿命长、易维护、体积小、重量轻。

4. 计算机数字控制

计算机数字控制(CNC)是 20 世纪 70 年代初出现的一种控制系统,主要应用于数控机床和加工中心。它加强了自动化程度,提高了机床的通用性和加工效率并为机械加工的全部自动化创造了物质基础。20 世纪 80 年代,由于数控机床、工业机器人和计算机的应用,出现了机械加工自动线——柔性制造系统(FMS),它成为了实现自动化车间和自动化工厂的重要组成部分。

机械制造自动化高级阶段是设计、制造一体化,即利用计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)形成产品设计和制造过程的完整系统。使用计算机集成制造系统(CIMS)可以实现制造过程的高效率、高柔性、高质量。研制计算机集成制造系统是人们今后的任务。

1.4 控制系统的基本概念

1.4.1 系统及控制系统

系统是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。在机电传动控制中,将与控制设备的运动、控制参数有关的部分组成的具有控制能力的整体称为系统。对于采用控制信号(输入量)通过系统的诸多环节来控制被控制量(输出量),使其按规定的方式和要求来变化的系统称为控制系统。而对用某种装置代替人,按照人的意愿自动完成一系列控制过程称为自动控制。

1.4.2 控制系统的分类

控制系统的分类的方法有很多,机床设备的控制系统通常按系统的组成原理分为开环控制、半闭环控制和闭环控制三大类。

1. 开环控制系统

开环控制系统:输出量仅受输入量控制的系统,其框图如图 1.1 所示。

开环控制系统的特点:输入量和输出量不参与比较,结构简单,控制对象按照控制指令工作,但不能根据输出结果自动调节,精准性差,仅用于对控制精度要求不高的场合。

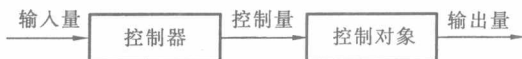


图 1.1 开环控制系统框图

2. 闭环控制系统

闭环控制系统:输出量同时受输入量和输出量控制,即输出量对系统有控制作用,这种存在反馈的控制系统称为闭环控制系统,也称为反馈控制系统,其框图如图 1.2 所示。



图 1.2 闭环控制系统框图

闭环控制系统的特点:容易调整、稳定性好、精确性好,但结构比较复杂。

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统:位置量(角位移)为直接输出量,反馈量采用位置量控制,将这种控制系统称为半闭环控制系统,其框图如图 1.3 所示。



图 1.3 半闭环控制系统框图

例如,数控机床的坐标驱动系统一般以坐标位置量为直接输出量,即在工作台上安装长光栅、磁栅、接近开关等位移测量元件作为反馈元件的系统称为闭环控制系统,而以交流、直流伺服电动机的角位移作为输出量,用圆光栅作为反馈元件的系统则称为半闭环控制系统。目前大多数数控机床都是采用半闭环控制系统。

半闭环控制系统的特点:系统容易调整、稳定性好、整体造价低。

思考题与习题 1

1. 简要说明机电传动系统的发展。
2. 什么是控制系统?按组成原理控制系统分为哪几类?
3. 画出半闭环控制系统的组成框图,它有哪些特点?应用情况如何?

第2章 常用低压电器

本章要求:了解低压电器的定义与分类;掌握常用低压电器的类型、用途、基本结构、工作原理;熟悉常用低压电器的型号、主要技术参数及表示的文字符号和图形符号,并能正确的选用和使用它们。

传统的继电器、接触器控制技术是近代电气控制的基础,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。

2.1 电器的基本知识

2.1.1 电器的定义及分类

1. 电器的定义

电器是能自动或手动接通和断开电路,以及对电路或非电路现象能进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件的总称。

2. 电器的分类

电器的用途广泛、功能多样,构造各异,其分类方法很多。

(1) 按工作电压等级分类

① 高压电器:工作电压在交流 1 200 V 或直流 1 500 V 及以上的各种电器。例如,高压熔断器、高压隔离开关、高压断路器等。

② 低压电器:工作电压在交流 1 200 V 或直流 1 500 V 及以下各种电器。例如,接触器、继电器、刀开关、按钮等。

(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、各种继电器、启动器等。

② 保护电器:用于保护电动机,使其安全运行,以及保护生产机械使其不受损坏的电器。例如,熔断器、热继电器等。

③ 执行电器:用于操作带动生产机械和支承、保持机械装置在固定位置上的一种执行



元器件。例如,电磁铁、电磁阀、电磁离合器等。

④ 配电电器:用于电能的输送与分配的电器。例如,各类刀开关、断路器等。

⑤ 主令电器:用于自动控制系统中发送动作指令的电器。例如,控制按钮、主令开关、行程开关等。

(3) 按动作性质分类

① 非自动电器:无动力机构,靠人力或外力来接通或切断电路的电器。例如,各类刀开等。

② 自动电器:依靠指令或物理量(如电流、电压、时间、速度等)变化而自动动作的电器。例如,接触器、继电器等。

(4) 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。例如,交直流接触器、电磁式继电器、电磁阀等。

② 非电量控制电器:靠外力或某种非电物理量的变化而动作的电器。例如,行程开关、按钮、时间继电器、温度继电器、压力继电器等。

2.1.2 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系统中使用最多、种类也很多,其工作原理和构造基本相同。就其构造而言,主要由电磁机构和触头系统两大部分组成。

1. 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的信号感测部分。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。它通常采用电磁铁的形式,由电磁线圈、静铁心(铁心)、动铁心(衔铁)等组成,其中动铁心与动触点支架相连,如图 2.1 所示。

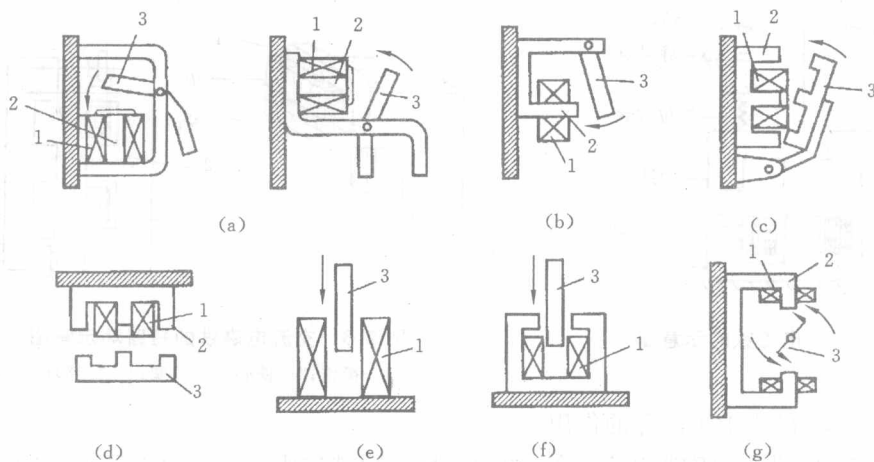


图 2.1 常用电磁机构的形式

1—线圈;2—铁心;3—衔铁

电磁式电器分为直流和交流两大类,都是利用电磁铁的原理制成的。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为了减小涡流损耗则用硅钢片

叠加而成。

2. 吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁场能量。按通入电流的种类不同,可分为直流线圈和交流线圈。

对直流电磁铁,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。

对交流电磁铁,因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,使线圈与铁心隔离并将线圈制成短而厚的“矮胖”形,这样有利于线圈和铁心的散热。

3. 电磁式电器的工作原理

电磁式电器的工作原理与交、直流电磁铁的工作原理基本相同。下面简单介绍一下交流电磁铁的工作原理。

(1) 交流电磁铁的工作原理

电磁线圈通电时产生磁场,使动、静铁心磁化互相吸引,当动铁心被吸引向静铁心运动时,与动铁心相连的动触点也被拉向静触点,令其闭合接通电路。电磁线圈断电后,磁场消失,动铁心在复位弹簧的作用下,回到原位,并牵动动触点,断开电路。图 2.2 为电磁铁的示意图。

(2) 电磁铁的种类

电磁铁按励磁电流的不同可分为直流电磁铁和交流电磁铁两种。其吸引线圈按接入电路方式的不同可分为电压线圈和电流线圈。通常电压线圈采用并联接入,电流线圈采用串联接入。

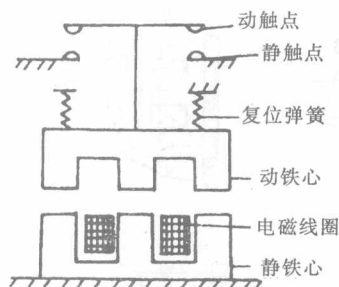


图 2.2 电磁铁的示意图

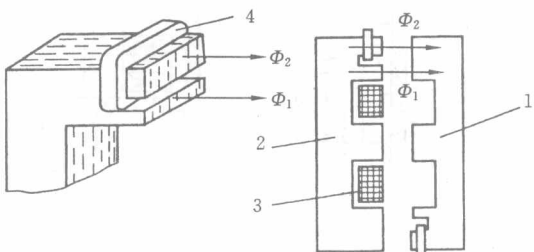


图 2.3 交流电磁铁的短路环示意图

1—衔铁;2—铁心;3—线圈;4—短路环

(3) 交流电磁铁中短路环的作用

由于交流电磁铁的磁通是交变的,线圈磁场对衔铁的吸引力也是交变的。当交流电流过零时,线圈磁通为零,对衔铁的吸引力也为零,衔铁在复位弹簧作用下将产生释放运动,这就使得动、静铁心之间的吸引力随着交流电的变化而变化,从而产生振动和噪音,加速动、静铁心接触面积的磨损,引起结合不良,严重时还会使触点烧蚀。为了消除这一弊端,在铁心柱面的一部分嵌入一只铜环,称为短路环。图 2.3 为交流电磁铁的短路环示意图。