



高等职业教育
机电类课程规划教材

电气控制技术

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 马宏骞 刘佳鲁 主审 葛廷友

大连理工大学出版社



高等职业教育机电类课程规划教材

电气控制技术

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主 审 葛廷友
主 编 马宏骞 刘佳鲁 副主编 李 军 杨庆堂

DIANQI KONGZHI JISHU

大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2005

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术 / 马宏骞, 刘佳鲁主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2005.6
高等职业教育机电类课程规划教材
ISBN 7-5611-2752-9

I. 电… II. ①马… ②刘… III. 电气控制—高等学校—教材 IV. TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 116106 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市凌水河 邮政编码: 116024

电话: 0411-84708842 传真: 0411-84701466 邮购: 0411-84707961

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 14.75 字数: 326 千字

印数: 1 - 6 000

2005 年 6 月第 1 版

2005 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 赵晓艳 姜楠

责任校对: 刘芸

封面设计: 波朗

定 价: 22.00 元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员:

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序):

马必学 武汉职业技术学院院长 教授
王大任 辽阳职业技术学院院长 教授
刘兰明 邯郸职业技术学院副院长 教授 博士
刘长声 天津对外经济贸易职业学院副院长 副教授
李竹林 河北建材职业技术学院院长 教授
李长禄 黑龙江工商职业技术学院副院长 副研究员
陈 礼 广东顺德职业技术学院副院长 教授
金长义 广西工业职业技术学院院长 副教授
赵居礼 陕西工业职业技术学院副院长 副教授
徐晓平 盘锦职业技术学院院长 教授
高树德 吉林交通职业技术学院副院长 教授
戴裕崴 天津轻工业职业技术学院副院长 副研究员 博士

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序):

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
张化疆 黑龙江生态工程职业学院副院长 教授
周 强 齐齐哈尔大学职业技术学院副院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序):

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
栗景妆 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位(略):

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



新华社

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

《电气控制技术》是新世纪高等职业教育教材编审委员会组编的机电类课程规划教材之一。

《工厂电气控制技术》、《可编程控制器》及《变频调速技术》是高职电类专业技术要素关系密切的专业课程。继电器-接触器控制或 PLC 控制的对象通常是电动机或其他执行电器,而现在这些对象在连续状态下的运行往往是通过变频器来实现的。因此,将上述三部分内容有机地整合在一起可以充分满足专业课教学的需要。

本教材在知识结构的安排上充分体现高职特色。以突出实践技能为主线,以典型线路为分析对象,全面介绍电气控制技术的方法和思路,并结合作者的实践经验对一些实际工程项目作了介绍。在 PLC 选型时,确定了工程上应用最多、技术最先进的主流机型 S7-200 为参考背景。为提高学生的学习兴趣,在章首设置导言,用生动的语言将学生引入本章的学习。每章精选了练习题作为本章知识内容的深化。

本教材可作为高职院校的工业电气自动化、电气技术、机电一体化及相关专业的教材使用,在内容的编写上结合了职业技能鉴定考核的有关内容,使本教材成为职业技能考核的重要参考书之一,也可以作为工程技术书籍供技术人员参考。

本教材内容共分 11 章。其中第 1~4 章,介绍继电器-接触器控制系统,主要内容包括常用低压电器、继电器-接触器控制电路、典型生产机械电气控制分析、电气控制装置设计基础。第 5~9 章,介绍 PLC 控制系统,主要内容包括可编程序控制器(PLC)概述、PLC 程序设计基础、PLC 基本指令、开关量控制系统梯形图程序设计方法、PLC 在工业应用中的一些问题。第 10~11 章,介绍变频器控制系统,主要内容包括变频器及变频调速概述、变速调速应用实例。

本教材由辽宁机电职业技术学院马宏骞、黑龙江工商职业技术学院刘佳鲁任主编,哈尔滨职业技术学院李军、渤



6 / 电气控制技术 □

海船舶职业学院杨庆堂任副主编。具体编写分工如下:杨庆堂编写第1、2章;李军编写第3、4章、第5章5.2节、5.3节、第7章;刘佳鲁编写第6、8、9章;马宏骞编写绪论、第5.1节、第10章、11章。本教材由马宏骞老师组稿和定稿。大连水产学院职业技术学院葛廷友老师、湖南商务职业技术学院童成意老师、辽宁机电职业技术学院王成安老师、黑龙江工商职业技术学院谭有广老师审阅了全书并提出许多宝贵的意见和建议。

尽管我们在教材建设的特色方面做出了许多的努力,但由于编者的水平有限,教材中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提一些宝贵的意见和建议,以便下次修订时改进。

所有意见、建议请寄往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707604 13352244668

编 者

2005年6月

目 录

绪论	1	3.4 Z3040 型摇臂钻床电气控制电路 分析	69
第 1 章 常用低压电器	3	3.5 起重机械电气控制电路分析 ...	73
1.1 低压电器的基本知识	3	本章小结	85
1.2 刀开关	8	练习题	85
1.3 断路器	11	第 4 章 电气控制装置设计基础	87
1.4 熔断器	14	4.1 电气控制装置设计的一般原则 ...	87
1.5 接触器	16	4.2 电气控制装置设计方法	90
1.6 继电器	19	4.3 常用电气元器件的选择	93
1.7 主令电器	25	4.4 电气控制系统设计应用举例 ...	96
本章小结	31	本章小结	101
练习题	31	练习题	101
第 2 章 继电器 - 接触器控制电路	33	第 5 章 可编程序控制器 (PLC) 概述	102
2.1 电气控制系统技术规范 and 有关规定	33	5.1 可编程序控制器基础知识	102
2.2 三相笼型异步电动机全压起动控制 电路	34	5.2 可编程序控制器的硬件结构	105
2.3 三相笼型异步电动机减压控制电路	38	5.3 可编程序控制器的工作原理	109
2.4 三相笼型异步电动机制动控制电路	43	本章小结	113
2.5 三相笼型异步电动机调速	48	练习题	113
2.6 电气装配的工艺要求	52	第 6 章 PLC 程序设计基础	114
本章小结	54	6.1 S7-200 系列 PLC 的编程语言与 程序结构	114
练习题	54	6.2 存储器的数据类型与寻址方式	117
第 3 章 典型生产机械电气控制分析	55	本章小结	120
3.1 CM6132 型普通车床电气控制电路 的分析	55	练习题	121
3.2 X62W 型卧式万能铣床电气控制 电路分析	58	第 7 章 PLC 基本指令	122
3.3 M7130 型平面磨床的电气控制电 路分析	65	7.1 位逻辑指令	122
		7.2 运算指令	130

7.3 数据处理	132	练习题	170
7.4 程序控制类指令	135	第 10 章 变频器及变频调速概述	171
7.5 特殊指令	140	10.1 通用变频器基础知识	171
本章小结	143	10.2 通用变频器的基本工作原理	175
练习题	144	10.3 通用变频器的接线与端子功能	180
第 8 章 开关量控制系统梯形图程序设计方法	145	10.4 通用变频器的操作与运行功能	184
8.1 梯形图的经验设计方法	145	10.5 通用变频器的其他功能	193
8.2 根据继电器电路图设计梯形图的方法	149	10.6 变频器的基本控制电路	196
8.3 顺序控制设计法与顺序功能图	152	10.7 变频调速系统的调试及故障分析	203
8.4 使用 SCR 指令的顺序控制梯形图设计方法	157	本章小结	206
本章小结	161	练习题	206
练习题	162	第 11 章 变频调速应用实例	207
第 9 章 PLC 在工业应用中的一些问题	165	11.1 节能系的变频调速	207
9.1 PLC 控制系统的设计与调试步骤	165	11.2 桥式起重机的变频调速	213
9.2 节省 PLC 输入输出点数的方法	166	11.3 涂层机的变频调速	216
9.3 提高 PLC 控制系统可靠性的措施	168	11.4 变频调速在家用电器上的应用	217
本章小结	169	本章小结	218
		练习题	218
		附录	219
		参考文献	226

结 论

1. 课程的性质与任务

电气控制技术是一门实践性很强的专业课,主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器-接触器控制系统、PLC 控制系统及变频调速控制系统。在每个系统中将详细分析系统的工作原理、典型电路、应用程序及设计方法。电气控制技术的应用范围很广,可以说只要有工厂,有设备控制要求,就会有电气控制技术的应用。继电器-接触器控制系统具有结构简单、维护容易及成本低等特点,现在仍然是工厂设备最常用的电气控制方式,随着低压电器向小型化、模块化、功能化及高可靠性方向的不断发展,继电器-接触器控制系统在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位;PLC 作为工业自动化的核心设备将传统的继电器控制技术和现代计算机技术、通讯技术融为一体,已有许多产品专门为工业控制而设计,具有功能强、可靠性高、编程方便、体积小、重量轻等优点,在工业控制方面的应用极为广泛;随着电力电子技术和微电子技术的迅速发展,现代控制理论向交流电气传动控制领域不断深入,使得通用变频器的性能得到了很大提高,以变频器应用技术为代表的交流传动控制已经成为电气传动技术的主流。本教材从应用角度出发,从典型电路的实例分析入手,讲授电气控制技术,以培养学生对电气控制系统的实际分析能力、工程应用能力和基本设计能力。

本课程的基本任务是:

- (1)熟悉常用低压电器的结构原理、型号参数、应用场合,使学生具有正确使用和选择器件的能力。
- (2)熟练掌握继电器-接触器控制系统的基本环节,使学生具有对一般电气控制线路的独立分析能力。
- (3)熟悉典型生产设备的电气控制系统,使学生具有从事电气设备的安装、调试、运行和维护等技术工作的能力。
- (4)掌握 PLC 的基本知识及编程方法,使学生具有正确选择机型、编写应用程序和设计简单的 PLC 控制系统的能力。
- (5)掌握变频器的基本知识及使用方法,使学生具有将变频器应用于交流传动控制系统的能力。

2. 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是随着科学技术的发展和对生产工艺不断提出新的要求而迅速发展起来的。回顾电气控制技术的发展历程,它已经从手动控制发展到自动控制、从断续控制发

2 / 电气控制技术 □

展到连续控制、从有触点的硬件控制发展到以微处理器为核心的软件控制。随着新的控制理论、新型电器及新型器件的出现,电气控制技术仍将继续发展。

在生产机械电力拖动的早期,主要采用电气控制线路比较简单的集中拖动方式,即一台电动机拖动多台生产设备。后来随着生产机械功能的增多,其机械结构越来越复杂,为简化传动机构也就随之出现了分散拖动方式,即各个传动机构分别由不同的电动机拖动,使电气控制电路复杂化。对于以开关量控制为主的断续控制方式,普遍采用由低压电器组成的继电器-接触器控制系统。这种控制系统的缺点是往往需要在多种低压电器之间进行复杂的硬件接线,才能实现某一固定的逻辑功能。若想改变其控制功能就必须改变继电器控制电路的硬件接线,显然这样的控制电路使用起来不灵活、触点易损坏、可靠性差。

从上世纪中叶开始,企业为了提高生产效率而寻求另外一种全新的控制方式。设想有这样一种控制装置,它既具有计算机控制的功能性、灵活性、通用性,又具有继电器-接触器控制方式的简单性、操作方便性、价廉性,这就是可编程序控制器(PLC),它的出现开创了以微电子技术为核心的数字化电气控制技术的新局面,它用软件手段来实现各种控制功能,这一全新的技术很快得到了飞速的发展。现在的 PLC 不仅具有逻辑控制功能,而且还增加了数据运算、传送与处理等功能,成为具备计算机功能的一种通用工业自动控制装置。目前在国际上,可编程序控制器已作为一种标准化通用设备普遍应用于工业控制领域。

上世纪中叶,电气传动控制领域中进行了一场重要的技术变革,即原来只能用于恒速传动的交流电动机实现了速度控制,而引发这一技术变革的导火索就是变频器。在近 20 年的时间内,变频器经历了由模拟控制到全数字控制和由采用 BJT 器件到采用 IGBT 器件两个大的发展进程。目前从一般要求的小范围调速传动到高精度、快响应、大范围的调速传动,从单机传动到多机协调传动,几乎都可采用交流调速传动。

随着信息时代的到来,电气控制技术相继出现了直接数字控制系统(DDC)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统等高新技术,这些高新技术将电气控制技术推进到了更高的水平。

综上所述,电气控制技术的发展总是和社会生产力的发展状况息息相关。社会生产规模的扩大、生产水平的提高要求电气控制技术不断地发展创新,而电气控制技术的进步又促进了社会生产力的发展。可以相信在 21 世纪电气控制技术必将给人类带来更加美好的明天。

第 1 章

常用低压电器

本章导言

在科学技术高度发达的现代化社会中,电能被广泛地应用于人类的生活、工作、学习、娱乐等各个方面,可以说,现代文明社会几乎一时一刻也离不开电能。作为一名电气技术人员,要想合理地使用好电能,就必须全面认识低压电器,掌握低压电器的基本知识。低压电器是电气控制系统的基本组成元件,本章主要介绍常用低压电器的规格、型号、结构、工作原理及用途。掌握了上述知识,就能正确地选择、使用及维护各种低压电器。

1.1 低压电器的基本知识

1.1.1 低压电器的定义和分类

1. 低压电器的定义

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,实现断续或连续地改变电路参数,以达到对电路或非电对象的控制、切换、保护、检测、变换和调节作用的电气设备。

低压电器通常是指工作在交流电压小于 1200 V、直流电压小于 1500 V 电路中的电气控制设备。

2. 低压电器的分类

按用途和控制对象的不同,可将低压电器分为低压配电电器和低压控制电器两大类。

低压配电电器:主要用于低压配电系统中,包括刀开关、转换开关、熔断器、自动开关等。主要技术要求是工作可靠,有足够的热稳定性和动稳定性,在系统发生故障的情况下动作保护准确。

低压控制电器:主要用于电气传动系统中,包括接触器、控制继电器、起动器、主令电器、电磁铁等。主要技术要求是工作可靠、寿命长、操作频率高等。

按操作方式的不同,可将低压电器分为自动电器和手动电器两大类。

自动电器:依靠本身参数的变化或外来信号的作用自动完成电路的接通、分断等动作,如常见的接触器、继电器等。

手动电器:依靠外力(如人力)直接操作来完成电路的接通、分断等动作,如各种按钮、

刀开关、转换开关等。

1.1.2 电磁式电器的工作原理和特点

从结构上看,电器一般都有两个基本组成部分:感受部分和执行部分。感受部分接受从外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,做出相应反应使执行部分动作,实现控制的目的。电磁式电器的感受部分为电磁机构,执行部分为触头系统。

电磁机构由线圈、铁芯(静铁芯)和衔铁(动铁芯)三部分组成,如图 1-1 所示。它的作用是将电磁能转换成机械能并带动触头闭合或断开。

电磁机构按线圈工作电源的不同可分为直流电磁机构和交流电磁机构。

电磁机构的工作原理是当电流通过线圈时,电流产生的磁通 Φ 通过铁芯、衔铁和工作气隙形成闭合回路,如图 1-1 中虚线所示。衔铁受到电磁吸力,被吸向铁芯,但衔铁的运动将受到弹簧的拉力,只有当电磁力大于弹簧拉力时,衔铁才能可靠地被铁芯吸住。但电磁吸力不宜过大,否则在吸合时,衔铁与铁芯会发生严重冲撞。

电磁铁(铁芯和衔铁)的结构主要有如图 1-2 所示的几种形式。衔铁的动作方式有直动式和转动式(拍合式)。

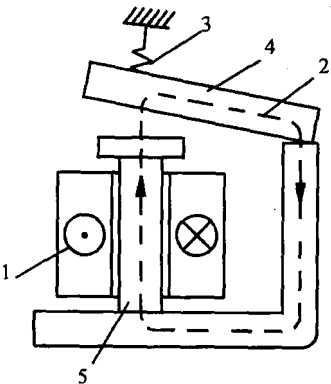
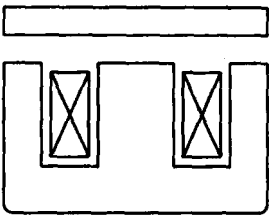
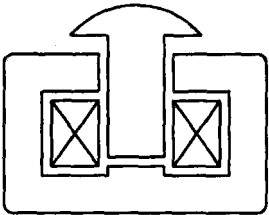


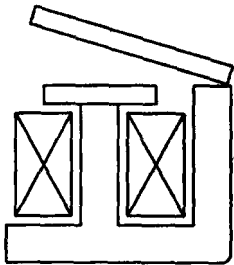
图 1-1 电磁机构示意图
1-线圈;2-磁力线;3-反力弹簧;
4-衔铁;5-铁芯



(a) E形电磁铁



(b) 螺管式电磁铁



(c) 拍合式电磁铁

图 1-2 电磁铁结构的几种形式

1. 直流电磁机构

凡是线圈通以直流电的电磁机构都称为直流电磁机构。通常,直流电磁机构的衔铁和铁芯均由软钢或工程纯铁制成。因为线圈中通的是直流电,铁芯中不会产生涡流,所以铁芯可以用整块铸铁或铸钢制成。由于线圈的匝数较多,为使线圈散热良好,通常将线圈绕成长而薄的圆筒状。当线圈中通过直流电时,磁路中就会产生磁通,该磁通产生的吸力使衔铁吸合做功。直流电磁机构的电磁吸力为

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S$$

式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$;

B ——气隙磁感应强度;

S ——衔铁端面面积,当 S 为常数时, F 与 B^2 成正比。

由于外加直流电压和线圈的电阻不变,所以流过线圈的电流为常数,它与磁路系统的气隙大小无关。

根据磁路定律,磁通可表示为

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m}$$

式中 Φ ——磁通;

IN ——直流安匝数;

R_m ——磁阻。

$$\text{可知: } F \propto B^2 \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{R_m}\right)^2$$

而气隙 δ 与磁阻 R_m 之间的关系为: $\delta \propto R_m$

$$\text{所以: } F \propto \left(\frac{1}{\delta}\right)^2 \quad (1-3)$$

结论:电磁机构的吸力与磁阻的平方成反比,与气隙的平方成反比。直流电磁机构的吸力特性如图1-3所示,它表明衔铁闭合前后吸力的变化很大,而线圈的电流不变。

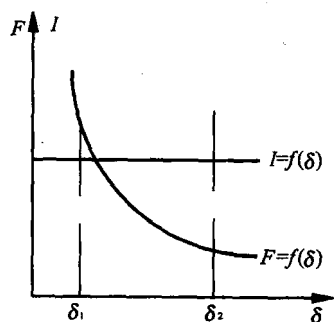
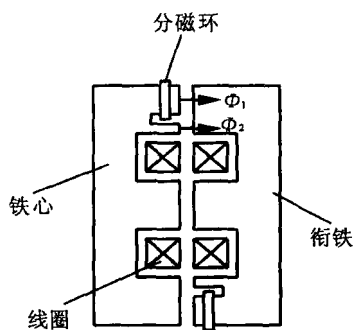


图 1-3 直流电磁机构吸力特性
 δ_1 —线圈刚一得电时的气隙
 δ_2 —电磁机构刚一吸合时的气隙

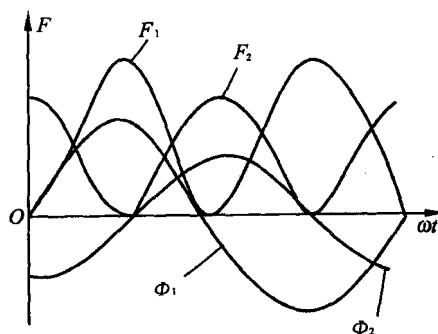
2. 交流电磁机构

凡是线圈通以交流电的电磁机构都称为交流电磁机构。通常,交流电磁机构的衔铁和铁芯均由硅钢片叠制而成,以减少交变磁场在铁芯中产生涡流与磁滞损耗,防止铁芯过热。线圈的电阻值较小,故铜损引起的发热较小。为增加铁芯的散热面积,线圈一般做成短粗的圆筒状。

短路环的作用:当线圈中通过交流电时,铁芯中的磁通及其产生的电磁吸力也随时间在 $0 \sim F_m$ 之间变化,其结果将使衔铁发生每秒100次的振动,这个振动不但产生很大的噪音,而且很容易损坏电磁铁。为消除这个振动,在交流电磁铁铁芯的端面上装设一个短路铜环即分磁环(短路环),如图1-4所示,这样交变磁通 Φ_1 的一部分通过分磁环,在环中产生感应电流,这一感应电流产生磁通,因而环内的磁通为 Φ_2 。 Φ_1 与 Φ_2 的相位不同,这样两者产生的电磁力就不同时为零,因而能使衔铁的振动和噪音显著减小。



(a) 结构图



(b) 电磁力图

图 1-4 交流电磁机构铁芯的短路环

1.1.3 电器的触头系统和电弧

1. 触头及触头系统

触头是直接用来接通或断开被控电路的部件。在非激励(吸引线圈不带电)状态下,处于断开状态的触头称为常开(动合)触头,反之称为常闭(动分)触头。还可以把触头分为静触头和动触头,在线圈通断电时保持静止不动的为静触头;而随着衔铁运动,实现闭合与分断的为动触头。

触头的结构有以下三种形式,即点接触、面接触和线接触,如图 1-5 所示。

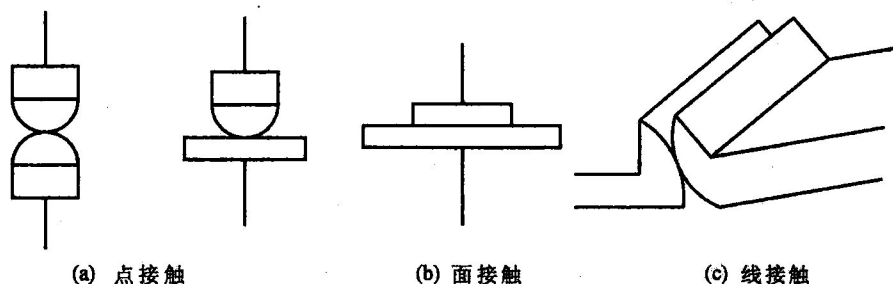


图 1-5 触头的三种结构形式

图 1-5(a)所示为点接触结构,它由两个半球形触头或一个半球形和一个平面触头构成,触头通断过程为直线运动,接触区域为一个点。点接触型触头常用于通断小电流。

图 1-5(b)所示为面接触结构,它由两个圆柱体组成,其接触区域是一个平面。触头的通断过程为直线运动。面接触型触头多用于大容量电流的场合。

图 1-5(c)所示为线接触结构,该触头又称为指形触头,其接触区域是一条直线,触头在闭合或打开的过程中靠弹簧的压力实现滚动接触,其接触过程如图 1-6 所示。触头闭合过程中,动、静触头先在 A 点接触,靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点并在 C 点正常工作。触头打开时,动触头做相反运动,并在 A 点脱离开。这种滚动接触形式可以靠弹簧压力自动碾碎并清除触头表面的氧化层以保持触头良好的接触性能。同时,其长期工作位置不是在断开电路时易烧灼的 A 点而是 C 点,保证了触头接触良好。线接触型触头多用于中等容量电流的场合。

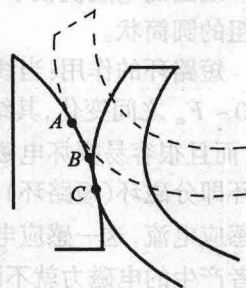


图 1-6 指形触头滚动接触过程

触头系统的运动过程如图 1-7 所示。

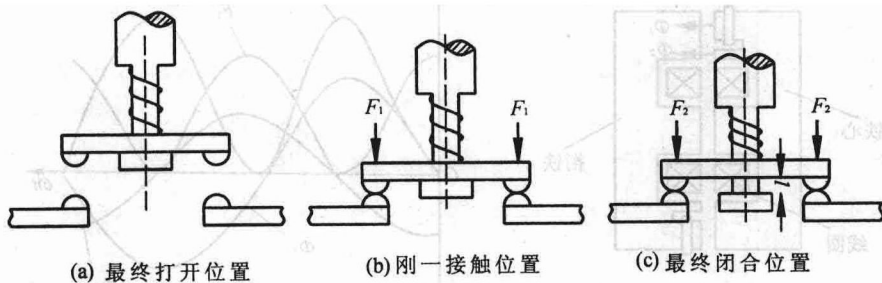


图 1-7 触头系统的运动过程示意图

由于触头表面的不平滑和氧化层的存在,两触头的接触处总有一定的接触电阻。为了

减小接触电阻并保证触头可靠接触,必须在触头间施加一定的压力。在装配时,使弹簧对动触头先施以一定的压力 F_1 (称初压力);当动触头刚刚与静触头接触,就将初压力传递到静触头上;当衔铁与铁芯完全闭合后,动触头进一步运动并最终与静触头闭合。触头在这一段的运动距离称为触头的超行程(用 l 表示)。在超行程内弹簧继续受压变形而产生的压力称为终压力 F_2 。超行程可以保证当触头有振动或有些磨损的情况下仍能可靠接触。

2. 电弧及灭弧系统

电弧的形成过程是这样的:在高热和强电场(当触头间刚出现断口时,由于两触头间的距离很小,故产生很大的电场强度)的作用下,金属内的自由电子从阴极表面逸出,奔向阳极;同时,这些自由电子在电场中高速运动时要撞击中性气体分子,使之激励或游离,产生离子和电子,而后者在强电场作用下继续向阳极移动并撞击其他中性分子。这样,在触头间隙中产生了大量的带电粒子,从而使气体导电形成了炽热的电子流(电弧)。

电弧的存在对电器和电路都会造成不良的后果。如果在触点打开时产生电弧,就会使要断开的电路实际上并没有及时断开而影响控制的准确性;电弧产生的高温会使触头氧化和烧灼;严重的时候,电弧向四周喷溅也会损坏电器和其他设备,甚至造成短路事故。

游离作用产生电弧的同时,也存在去游离现象。这主要是复合与扩散的作用。因为已游离的正负离子和自由电子在空间相遇时要复合,重新形成中性气体分子,而高度密集的高温离子和自由电子,也要向其周围密度小、温度低的介质方向扩散,结果,弧隙内离子和自由电子的浓度降低,电弧电阻增大,电弧电流减小,游离大为削弱。所以电弧是游离与去游离的统一体。要想熄灭电弧,就必须抑制游离因素、加强去游离作用。

常用的灭弧装置有:

(1) 磁吹式灭弧装置

磁吹式灭弧装置的原理如图 1-8 所示。这种灭弧装置由磁吹线圈 1、灭弧角 6 和灭弧罩 5 等部分组成。磁吹线圈由扁铜条弯成并串联在负载电路中,中间装有铁芯 2,它们之间有绝缘套筒 3,铁芯两端装有两片铁质的导磁夹板 4,放在灭弧罩内的触头就处在夹板之间。磁吹线圈和触头串联,流过触头的负载电流也流过磁吹线圈。负载电流的方向如图所示。触头刚一打开时产生电弧,电弧电流在电弧四周形成一个磁场,其方向可以用右手螺旋法则来确定。在电弧上方磁通方向是 $\odot$;电弧下方磁通方向是 $\otimes$ 。流过磁吹线圈的电流在铁芯 2 中产生磁通并经过一边夹板,穿过夹板的间隙进入另一边夹板而形成闭合磁路,其方向如图所示,用 $+$ 表示。这样,两个磁场在电弧上方方向相反而被削弱,在电弧下方方向相同而被增强。受磁场力 F 的作用,电弧将被向上拉长。灭弧角 6 与静触头相连,引导电弧向上快速运动。电弧被拉长并与空气相对运动,相当于降低了电场强度和电弧温度。当电源电压不足以维持电弧燃烧时,电弧就熄灭了。这种灭弧方式被广泛地应用在直流电路中。

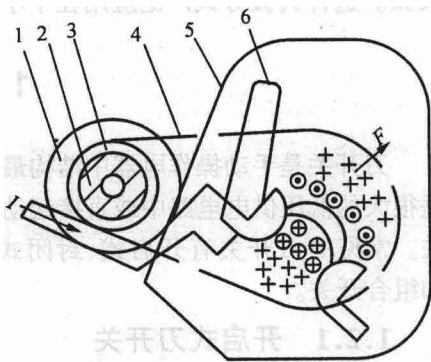


图 1-8 磁吹式灭弧装置原理示意图

1-磁吹线圈;2-铁芯;3-绝缘套筒;
4-导磁夹板;5-灭弧罩;6-灭弧角