

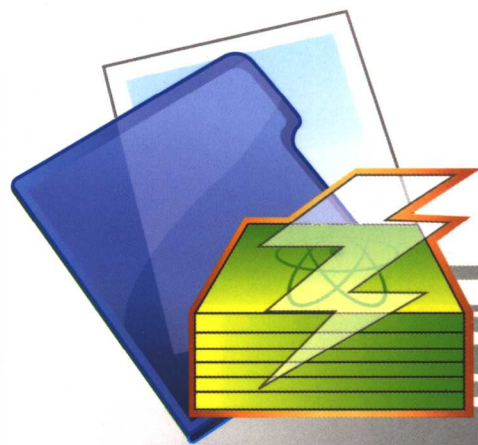


21st CENTURY

十一五规划教材

21世纪全国高等院校

自动化系列 实用规划教材



电气控制技术

主 编 韩顺杰 吕树清
副主编 张根宝 张克明

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

电气控制技术

主 编	韩顺杰	吕树清
副主编	张根宝	张克明
参 编	张改莲	蔡长青

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书在介绍传统的低压电器、典型的控制电路及其设计方法的基础上,系统地介绍了电气控制系统的构成、特点及分析方法。内容包括常用低压(电磁式)电器、电气控制系统的基本电气控制线路、继电—接触器电气控制线路设计、典型的机床电气控制线路分析、可编程控制器原理及应用、通用变频器及其应用。本书既保留了传统的电气控制内容,又介绍了当今先进的电气控制技术。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、工业自动化、机电一体化等专业的教材,也可供工程技术人员自学和作为培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术/韩顺杰,吕树清主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社,2006.8
(21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4404-3

I. 电… II. ①韩… ②吕… III. 电气控制—高等学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090052 号

书 名: 电气控制技术

著作责任者: 韩顺杰 吕树清 主编

策 划 编 辑: 李 虎

责 任 编 辑: 李娉婷 曹 岚 张 敏

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4404-3

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同7号 邮编:100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 总编室 66180373 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路205号 邮编:100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

电话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 13.5印张 300千字

2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

定 价: 22.00元

《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任委员 张德江

副主任委员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈 静 丁坚勇 侯媛彬

纪志成 任庆昌 吴 斌

秘书长 于微波

委 员 (按姓氏拼音顺序排名)

陈志新 戴文进 段晨旭 樊立萍

范立南 公茂法 关根志 嵇启春

蒋 中 雷 霞 刘德辉 刘永信

刘 原 马永翔 孟祥萍 孟彦京

聂诗良 王忠庆 吴旭云 燕庆明

杨新华 尤 文 张桂青 张井岗

总 序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学技术的迅速发展和广泛应用,深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学技术的发展。自动化科学技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面,是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中,工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标,党和国家提出走新型工业化道路的战略决策,这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化,就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中,自动化科学技术起着不可替代的重要作用,高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%~40%,其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天,人才培养模式多样化已成为必然的趋势,其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养,发挥院校之间相互合作的优势,北京大学出版社组织了此套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者,由此确定了教材的使用范围,也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点:

(1) 注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型,对这一大类人才的培养要注重面向工程实践,培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发,本系列教材注重实用性,注意引用工程中的实例,培养学生的工程意识和工程应用能力,因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2) 体现新颖性。更新教材内容,跟进时代,加入一些新的先进实用的知识,同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3) 院校间合作交流的果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会,来自各院校的教师比较充分地交流了情况,在相互借鉴、取长补短的基础上,形成了编写大纲,确定了编写原则。因此,这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和做法。

(4) 这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程,到目前为止,列入计划的已有 30 多门,教材门数多,参与的院校多,参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用，将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性，在审纲会上强调了“质量第一，明确责任，统筹兼顾，严格把关”的原则，要求各位主编加强协调，认真负责，努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责，密切合作，努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此，由于院校之间、编者之间的差异性，教材中还是难免会出现一些问题和不足，欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006年1月

前 言

电气控制技术是高等工科院校自动化、电气工程及其自动化专业中应用性很强的一门专业课。随着计算机技术、电力电子技术、自动控制技术的发展,电气控制技术已由继电—接触器硬接线的常规控制转向以计算机为核心的软件控制。PLC 和变频器是典型的现代电气控制装置。它们具有抗干扰能力强、可靠性和性能价格比高、编程方便、结构模块化、易于网络化等技术特点,易于与多种智能化电气传动产品相连接,实现各种生产设备或工业生产制造过程的自动化控制,近年来在工业控制系统中得到广泛的应用。

为了适应新技术发展对电气控制技术课程的教学需要,我们遵循结合工程实际、突出技术应用原则编写了这本教材。本书通过继电控制、可编程控制器、变频调速器三大部分,介绍现代工业自动化实用技术,以实际应用为重点,给出适量的应用实例。

本书共分 6 章。第 1 章为传统的低压电器;第 2 章介绍传统的低压电器组成的基本控制环节;第 3 章在介绍基本控制环节的基础上,着重介绍继电—接触器电气控制系统的设计思想与方法;第 4 章通过对典型机床的电气控制线路的实例分析,总结电气控制系统分析的基本内容和一般规律;第 5 章为可编程控制器的内容,在介绍可编程控制器的基本原理基础上,强调新的控制器带来新的控制理念,并从应用角度出发,力图展现可编程控制器的强大功能;第 6 章介绍目前应用极为普遍的变频器,重点在变频器的功能和应用上,略去了繁琐的理论推导。

本书由长春工业大学韩顺杰、南昌工程学院吕树清担任主编,陕西科技大学张根宝、西安外事学院张克明担任副主编;西安外事学院张改莲、长春工程学院蔡长青参加编写。具体分工为:第 1 章由张根宝编写;第 2 章由张改莲编写;第 3 章由张克明编写;第 4 章由吕树清编写;第 5 章由蔡长青编写;韩顺杰负责第 6 章的编写和全书的统稿、定稿工作。

本书在编写过程中得到长春工业大学电气与电子工程学院部分师生的支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平及编写时间所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者
2006 年 6 月

《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

联合编写学校名单 (按拼音顺序排名)

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 安徽建筑工业学院 | 30 南昌工程学院 |
| 2 安徽科技学院 | 31 平顶山工学院 |
| 3 北华大学 | 32 平顶山学院 |
| 4 北京工商大学 | 33 青岛科技大学 |
| 5 北京建筑工程学院 | 34 山东建筑工程学院 |
| 6 长春大学 | 35 山东科技大学 |
| 7 长春工程学院 | 36 陕西科技大学 |
| 8 长春工业大学 | 37 陕西理工学院 |
| 9 长春理工大学 | 38 沈阳大学 |
| 10 成都理工大学 | 39 沈阳工程学院 |
| 11 东北电力学院 | 40 沈阳工业大学 |
| 12 福州大学 | 41 沈阳化工学院 |
| 13 广东工业大学 | 42 四川理工学院 |
| 14 桂林工学院 | 43 太原科技大学 |
| 15 合肥工业大学 | 44 潍坊学院 |
| 16 河南工业大学 | 45 武汉大学 |
| 17 河南科技学院 | 46 武汉理工大学 |
| 18 河南农业大学 | 47 西安工程科技学院 |
| 19 华东交通大学 | 48 西安建筑科技大学 |
| 20 黄石理工学院 | 49 西安科技大学 |
| 21 吉林工程技术师范学院 | 50 西安理工大学 |
| 22 吉林化工学院 | 51 西安石油大学 |
| 23 吉林建筑工程学院 | 52 西安外事学院 |
| 24 江南大学 | 53 西安邮电学院 |
| 25 焦作大学 | 54 西南大学 |
| 26 兰州理工大学 | 55 西南科技大学 |
| 27 聊城大学 | 56 浙江大学 |
| 28 辽宁大学 | 57 中北大学 |
| 29 内蒙古大学 | 58 中北大学分校 |

目 录

第1章 常用(电磁式)低压电器1	2.2 基本电气控制方法38
1.1 低压电器的作用与分类.....1	2.2.1 异步电动机简单的起、保、 停电气控制电路.....38
1.1.1 低压电器的定义与作用.....1	2.2.2 多地点与多条件控制线路.....40
1.1.2 低压电器的分类.....1	2.2.3 连续工作与点动控制.....40
1.2 电磁机构及触点系统.....2	2.2.4 三相异步电动机的正反转 控制线路.....41
1.2.1 电磁机构.....2	2.2.5 顺序控制线路.....43
1.2.2 触点系统.....4	2.3 异步电动机的基本电气控制线路45
1.3 接触器.....6	2.3.1 起动控制电路.....45
1.3.1 接触器的结构及工作原理.....7	2.3.2 三相异步电动机制动控制 线路.....48
1.3.2 接触器的型号及主要技术 数据.....8	2.3.3 双速异步电动机调速控制 线路.....52
1.3.3 接触器的图形符号和文字 符号.....9	2.3.4 位置控制电路.....54
1.3.4 接触器的选择与使用.....9	本章小结.....55
1.4 继电器.....10	习题与思考题.....55
1.4.1 继电器的继电特性.....10	第3章 电气控制线路设计基础57
1.4.2 电磁式继电器.....11	3.1 电气控制设计的主要内容.....57
1.4.3 时间继电器.....13	3.1.1 电气控制线路设计的基本 要求.....57
1.5 其他常用电器.....18	3.1.2 电气控制系统设计的基本 内容.....57
1.5.1 低压开关.....18	3.1.3 电气控制设备的设计步骤.....58
1.5.2 低压断路器.....19	3.2 电力拖动方案的确定、电动机的 选择59
1.5.3 熔断器.....22	3.2.1 确定拖动方式.....59
1.5.4 热继电器.....24	3.2.2 确定调速方案.....59
1.5.5 速度继电器.....29	3.2.3 电动机的选择和电动机的 起动、制动和反向要求.....60
1.5.6 主令电器.....29	3.3 电气控制方案的确定及控制方式 的选择60
本章小结.....33	3.3.1 电气控制方案的可靠性.....61
习题与思考题.....33	
第2章 电气控制系统的基本控制电路35	
2.1 电气控制线路的绘制及国家标准.....35	
2.1.1 电气图中的图形符号和文字 符号的国家标准.....35	
2.1.2 电气控制原理图的绘制原则.....36	
2.1.3 图形区域的划分及读图方法.....37	

3.3.2 电气控制方案的确定.....61	4.1.3 C650 卧式车床的电气控制 线路分析86
3.4 电气设计的一般原则61	4.2 摇臂钻床的电气控制线路89
3.4.1 应最大限度地实现生产机械 和工艺的要求.....62	4.2.1 概述89
3.4.2 控制线路应简单经济.....62	4.2.2 Z3040 摇臂钻床的电气控制 线路分析91
3.4.3 保证控制线路工作的可靠和 安全.....64	4.3 卧式铣床的电气控制线路95
3.5 保护环节66	4.3.1 概述95
3.5.1 短路保护.....66	4.3.2 X62W 卧式万能铣床的 电气控制线路分析97
3.5.2 过载保护.....66	4.4 组合机床的电气控制线路102
3.5.3 过流保护.....66	4.4.1 概述102
3.5.4 零电压与欠电压保护.....67	4.4.2 机械动力滑台控制线路 分析104
3.6 电气控制系统的一般设计方法68	4.4.3 液动力滑台控制线路 分析106
3.7 电气控制线路的逻辑设计方法70	本章小结107
3.7.1 电气控制线路的逻辑代数 分析方法.....71	习题与思考题108
3.7.2 逻辑代数的基本性质及其 应用.....72	第 5 章 可编程控制器109
3.7.3 逻辑设计法举例.....73	5.1 可编程控制器的概述109
3.8 常用电气元器件的选择74	5.1.1 可编程控制器的产生及 发展109
3.8.1 常用电气元器件的选择 原则.....74	5.1.2 可编程控制器系统的特点110
3.8.2 电气元器件的选用.....74	5.1.3 可编程控制器的用途111
3.9 电气控制的工艺设计77	5.2 可编程控制器的组成与工作原理112
3.9.1 电气设备总体配置设计.....77	5.2.1 可编程控制器的基本结构112
3.9.2 元器件布置图的设计及电器 部件接线图的绘制.....78	5.2.2 可编程控制器的工作过程114
3.9.3 电气箱及非标准零件图 的设计.....79	5.3 OMRON 公司的 CPM2A 介绍117
3.9.4 已填清单汇总和说明书的 编写.....80	5.3.1 常用 PLC 简介117
本章小结80	5.3.2 CPM2A 介绍118
习题与思考题81	5.3.3 CPM2A 的通道分配120
第 4 章 典型机床电气控制线路分析84	5.3.4 安装和接线122
4.1 C650 卧式车床的电气控制线路.....84	5.4 可编程控制器基本指令系统及 编程.....127
4.1.1 概述.....84	5.4.1 可编程控制器的编程语言127
4.1.2 机床电气控制线路分析 基础.....85	5.4.2 基本指令与编程规则128
	5.4.3 功能编程指令143
	5.5 PLC 控制器应用系统的设计147

5.5.1 PLC 应用系统的设计方法和步骤.....	147	6.1.2 变频调速的基本原理	171
5.5.2 PLC 应用中的可靠性设计	148	6.1.3 变频调速的控制方式	173
5.5.3 PLC 控制系统设计技巧	151	6.2 通用变频器的基本构成及其分类	173
5.5.4 可编程控制器系统的一般设计方法和应用实例.....	154	6.2.1 变频器的基本构成	174
5.6 编程软件 CX-P 使用	161	6.2.2 变频器的分类	174
5.6.1 CX-P 简介	161	6.3 通用变频器内部结构和主要功能	179
5.6.2 CX-P 的设置与新建工程	162	6.3.1 通用变频器的内部结构	179
5.6.3 新建工程的操作说明.....	164	6.3.2 通用变频器的主要功能	181
5.6.4 PLC 菜单说明	164	6.4 变频器的应用	182
5.6.5 使用 CX-P 开发 PLC 程序的步骤.....	166	6.4.1 通用变频器标准接线	183
5.6.6 CX-P 使用实例	167	6.4.2 变频器与 PLC 的连接	189
本章小结	168	6.4.3 变频器在恒压供水系统中的应用	193
习题与思考题	168	6.4.4 变频器在电梯控制系统中的应用	197
第 6 章 变频调速器	171	本章小结	199
6.1 变频调速简介	171	习题与思考题	200
6.1.1 概述.....	171	参考文献	201

第1章 常用(电磁式)低压电器

本章主要介绍在电力拖动系统和自动控制系统中常用的且发挥重要作用的一些低压电器,如接触器、继电器、主令电器等的工作原理、选用原则等内容,以便为学习和设计可编程序控制器控制系统打下基础。

1.1 低压电器的作用与分类

电能工农业生产、国防、交通及人们日常生活等各个领域起着十分重要的作用,而低压电的产生、输送、分配和应用均离不开低压电器。低压电器中最典型、应用最广泛的一类就是电磁式低压电器,本章主要介绍电磁式低压电器的结构、工作原理等。

1.1.1 低压电器的定义与作用

所谓低压电器指工作在交流 1200V、直流 1500V 额定电压以下的电路中,能根据外界信号(机械力、电动力和其他物理量),自动或手动接通和断开电路的电器。其作用是实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节。低压电器可分为手动低压电器和自动低压电器。随着电子技术、自动控制技术和计算机技术的飞速发展,自动电器越来越多,不少传统低压电器将被电子线路所取代。然而,即使是在以计算机为主的工业控制系统中,继电—接触器控制技术仍占有相当重要的地位,因此低压电器是不可能完全被替代的。

1.1.2 低压电器的分类

低压电器的用途广泛、种类繁多、功能多样,其规格、工作原理也各不相同。低压电器可按工作电压和按用途等方法分类,按用途可分为以下几类:

(1) 控制电器。用于各种控制电路和控制系统的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,操作频率要高,电器的机械寿命要长。如接触器、继电器、启动器和各种控制器等。

(2) 主令电器。用于发送控制指令的电器。对这类电器的主要技术要求是操作频率要高,抗冲击,电器的机械寿命要长。如按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。

(3) 保护电器。用于对电路和用电设备进行保护的电器。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力,可靠性要高,反应要灵敏。如熔断器、热继电器、电压继电器和电流继电器等。

(4) 执行电器。用于完成某种动作和传动功能的电器。如电磁铁、电磁离合器等。

(5) 配电电器。在供电系统中进行电能的输送和分配的电器。对这类电器的主要技术要求是分断能力强,限流效果好,动稳定性能及热稳定性能好。如低压断路器、隔离开关、刀开关、自动开关等。

低压电器还可按使用场合分为一般工业用电器、特殊工矿用电器、安全电器、农用电

器和牵引电器等；按操作方式可分为手动电器和自动电器；按工作原理分为电磁式电器、非电量控制电器等。电磁式低压电器是采用电磁现象完成信号检测及工作状态转换的。电磁式低压电器是低压电器中应用最广泛、结构最典型的一类。

1.2 电磁机构及触点系统

各类电磁式低压电器在结构和工作原理上基本相同。从结构上来看，主要由两部分组成，电磁机构(检测部分)、触点系统(执行部分)。

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式低压电器的关键部分，其作用是将电磁能转换成机械能。

1. 电磁机构的组成与分类

电磁机构由线圈、铁心和衔铁组成，其作用是通过电磁感应原理将电磁能转换成机械能，带动触点动作，完成接通或断开电路。电磁式低压电器的触点在线圈未通电状态时有常开(动合)和常闭(动断)两种状态，分别称为常开(动合)触点和常闭(动断)触点。当电磁线圈有电流通过，电磁机构动作时，触点改变原来的状态，常开(动合)触点将闭合，使与其相连电路接通；常闭(动断)触点将断开，使与其相连电路断开。根据衔铁相对铁心的运动方式，电磁机构可分为直动式和拍合式两种，如图 1.1 所示为直动式电磁机构，图 1.2 所示为拍合式电磁机构，拍合式电磁机构又包括衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

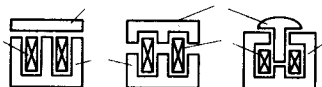


图 1.1 直动式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈



图 1.2 拍合式电磁机构

1—衔铁 2—铁心 3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁场能，按通入电流种类不同可分为直流和交流线圈。直流线圈一般做成无骨架、高而薄的瘦高型，使线圈与铁心直接接触，以便散热。交流线圈由于铁心存在涡流和磁滞损耗，铁心也会发热，为了改善线圈和铁心的散热条件，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。另外，根据线圈在电路中的连接形式，可分为串联型和并联型。串联型主要用于电流检测类电磁式电器中，大多数电磁式低压电器线圈都按照并联接入方式设计。为了减少对电路的分压作用，串联线圈采用粗导线制造，匝数少，线圈的阻抗较小。并联型为了减少电路的分流作用，需要较大的阻抗，一般线圈的导线细，而匝数多。

2. 电磁吸力与反力特性

电磁线圈通电以后，铁心吸引衔铁带动触点改变原来状态进而接通或断开电路的力称为电磁吸力。电磁式低压电器在吸合或释放过程中，气隙是变化的，电磁吸力也将随气隙的变化而变化，这种特性称为吸力特性。电磁吸力是反映电磁式电器工作可靠性的一个非

常的重要参数,电磁吸力可按式(1-1)计算,即

$$F = \frac{B^2 S \times 10^7}{8\pi} \quad (1-1)$$

式中 F ——电磁吸力(N);

B ——气隙中磁感应强度(T);

S ——铁心截面积(m²)。

因磁感应强度 B 与气隙 δ 及外加电压大小有关,所以,对于直流电磁机构,外加电压恒定时,电磁吸力的大小只与气隙有关,即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

$$\Phi = \frac{IN}{R_m} \quad (1-3)$$

式中 I ——线圈电流(A);

U ——外加电压(V);

R ——直流电阻(Ω);

N ——线圈匝数(匝);

Φ ——磁通(Wb);

R_m ——磁阻(H⁻¹)。

可见,对直流电磁机构 $F \propto \Phi^2 \propto 1/R_m \propto 1/\delta^2$,其励磁电流的大小与气隙无关,衔铁动作过程中为恒磁动作,电磁吸力随气隙的减小而增加,所以吸力特性曲线比较陡峭,如图 1.3 中曲线 1 所示。

但对于交流电磁机构,由于外加正弦交流电压,在气隙一定时,其气隙磁感应强度也按正弦规律变化,即 $B=B_m \sin \alpha$ 。所以,吸力公式为

$$F = 10^7 S B_m^2 \sin^2 \frac{\omega t}{8\pi} \quad (1-4)$$

电磁吸力也按正弦规律变化,最小值为零,最大值为

$$F_m = \frac{10^7 S B_m^2}{8\pi} \quad (1-5)$$

对交流电磁机构其励磁电流与气隙成正比,在动作过程中为恒磁通工作,但考虑到漏磁通的影响,其吸力随气隙的减小略有增加,所以吸力特性比较平坦,吸力特性曲线如图 1.3 中曲线 2 所示。

所谓反力特性是指反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线,如图 1.3 中曲线 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配合必须得当。在衔铁吸合过程中,其吸力特性必须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,吸力特性必须位于反力特性下方,即反力要大于吸力(此时的吸力是由剩磁产生的)。在吸合过程中还须注意吸力特性位于反力特性上方不能太高,否则会因吸力过大而影响到电磁机构寿命。

3. 交流电磁机构上短路环的作用

电磁吸力由电磁机构产生,当电磁线圈断电时使触点恢复常态的力称为反力,电磁式电器中反力由复位弹簧和触点产生,衔铁吸合时要求电磁吸力大于反力,衔铁复位时要求

反力大于电磁吸力(此时是剩磁产生的电磁吸力)。当电磁吸力的瞬时值大于反力时,铁心吸合;当电磁吸力的瞬时值小于反力时,铁心释放。所以交流电磁机构在电源电压变化一个周期中电磁铁将吸合两次,释放两次,电磁机构会产生剧烈的振动和噪声,因而不能正常工作。为此必须采取有效措施,以消除振动与噪声。

解决的具体办法是在铁心端面开一小槽,在槽内嵌入铜质短路环,如图 1.4 所示。加上短路环后,磁通被分为大小接近、相位相差约 90° 电角度的两相磁通 Φ_1 和 Φ_2 , 因两相磁通不会同时过零,又由于电磁吸力与磁通的二次方成正比,故由两相磁通产生的合成电磁吸力变化较为平坦,使电磁铁通电期间电磁吸力始终大于反力,铁心牢牢吸合,这样就消除了振动和噪声,一般短路环包围 $2/3$ 的铁心端面。

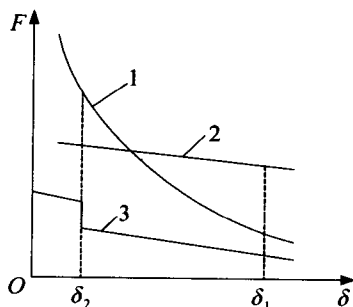


图 1.3 电磁铁吸力特性与反力特性

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

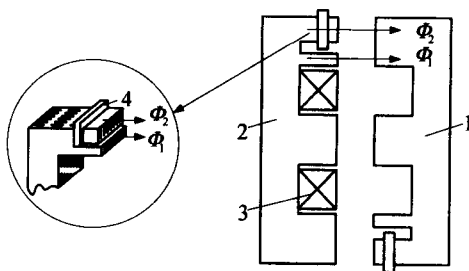


图 1.4 交流电磁铁的短路环

1—衔铁 2—铁心 3—线圈 4—短路环

1.2.2 触点系统

触点是电磁式电器的执行机构,电器就是通过触点的动作来接通或断开被控制电路的,所以要求触点导电导热性能要好。电接触状态就是触点闭合并有工作电流通过时的状态,这时触点的接触电阻大小将影响其工作情况。接触电阻大时触点易发热,温度升高,从而使触点易产生熔焊现象,这样既影响工作的可靠性,又降低了触点的寿命。触点接触电阻的大小主要与触点的接触形式、接触压力、触点材料及触点的表面状况有关。触点的结构形式主要有两种:桥式触点和指形触点。触点的接触形式有点接触、线接触和面接触 3 种。

1. 触点的结构形式

如图 1.5 所示为桥式触点,图 1.5(a)、图 1.5(b)为桥式常开(动合)触点的结构。电磁式电器通常同时具有常开(动合)和常闭(动断)两种触点,桥式常闭(动断)触点与桥式常开触点结构及动作对称,一般在常开触点闭合时,常闭触点断开。图中静触点的两个触点串于同一条电路中,当衔铁被吸向铁心时,与衔铁固定在一起的动触点也随着移动,当与静触点接触时,便使与静触点相连的电路接通。电路的接通与断开由两个触点共同完成,触点的接触形式多为点接触和面接触形式。

如图 1.5(c)所示为指形触点,触点接通或断开时产生滚动摩擦,能去掉触点表面的氧化膜。触点的接触形式一般为线接触。

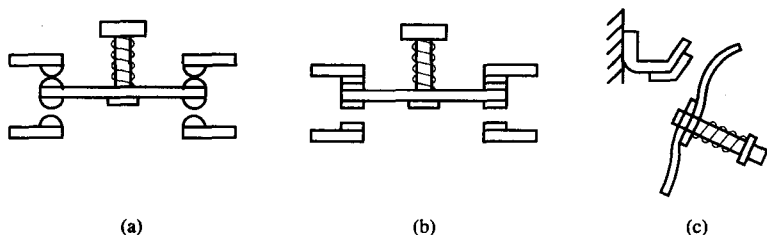


图 1.5 桥式触点的结构形式

2. 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 3 种,如图 1.6 所示。点接触适用于电流不大,触点压力小的场合;线接触适用于接通次数多,电流大的场合;面接触适用于大电流的场合。

为了减小接触电阻,可使触点的接触面积增加,从而减小接触电阻。一般在动触点上安装一个触点弹簧。选择电阻系数小的材料,材料的电阻系数越小,接触电阻也越小。改善触点的表面状况,尽量避免或减少触点表面氧化物形成,注意保持触点表面清洁,避免聚集尘埃。

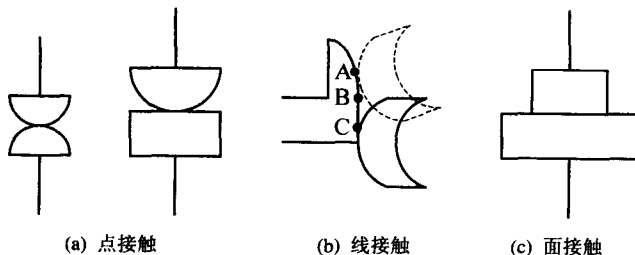


图 1.6 触点的接触形式

3. 灭弧原理及装置

触点在通电状态下动、静触点脱离接触时,由于电场的存在,使触点表面的自由电子大量溢出,在强电场的作用下,电子运动撞击空气分子,使之电离,阴阳离子的加速运动使触点温度升高而产生热游离,进而产生电弧。电弧的存在既使触点金属表面氧化,降低电气寿命,又延长电路的断开时间,所以必须迅速熄灭电弧。

根据电弧产生的机制,迅速使触点间隙增加,拉长电弧长度,降低电场强度,同时增大散热面积,降低电弧温度,使自由电子和空穴复合(即消电离过程)运动加强,可以使电弧快速熄灭。使电弧与冷却介质接触,带走电弧热量,也可使复合运动得以加强,从而使电弧熄灭。常用的灭弧装置有以下几种。

(1) 电动力吹弧。桥式触点在断开时具有电动力吹弧功能。当触点打开时,在断口中产生电弧,同时也产生如图 1.7 所示的磁场。根据左手定则,电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用,使其迅速离开触点而熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

(2) 磁吹灭弧。如图 1.8 所示,在触点电路中串入吹弧线圈。该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围,其方向由右手定则确定(图中 $\times$ 所示),触点间的电弧所产生的磁场,其

方向为 $\oplus$ 和 $\odot$ 所示。在电弧下方两个磁场方向相同(叠加), 在电弧上方方向相反(相减), 所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下, 电弧受力的方向为 F 所指的方向, 在 F 的作用下, 电弧被吹离触点, 经引弧角引进灭弧罩, 使电弧熄灭。

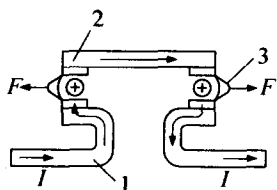


图 1.7 双断口结构的电动力吹弧效应

1—静触点 2—动触点 3—电弧

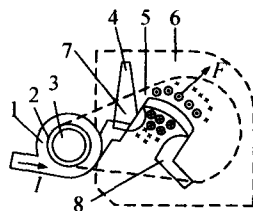


图 1.8 磁吹灭弧示意图

1—磁吹线圈 2—绝缘线圈 3—铁心 4—引弧角
5—导磁夹板 6—灭弧罩 7—静触点 8—动触点

(3) 栅片灭弧。如图 1.9 所示, 灭弧栅是一组薄钢片, 它们彼此间相互绝缘。当电弧进入栅片时被分割成一段一段串联的短弧, 而栅片就是这些短弧的电极, 这样就使每段短弧上的电压达不到燃弧电压。同时每两片灭弧片之间都有 150V~250V 的绝缘强度, 使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强, 以致外加电压无法维持, 电弧迅速熄灭。此外, 栅片还能吸收电弧热量, 使电弧迅速冷却。基于上述原因, 电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在电流为交流时比直流时强得多, 因此在交流电器中常采用栅片灭弧。

(4) 窄缝灭弧。如图 1.10 所示是利用灭弧罩的窄缝来实现的。灭弧罩内有一个或数个纵缝, 缝的下部宽上部窄。当触点断开时, 电弧在电动力的作用下进入缝内, 窄缝可将电弧柱分成若干直径较小的电弧, 同时可将电弧直径压缩, 使电弧同缝紧密接触, 加强冷却和去游离作用, 使加快电弧的熄灭速度。灭弧罩通常用耐热陶土、石棉水泥或耐热塑料制成。

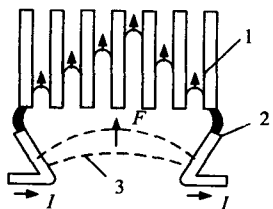


图 1.9 栅片灭弧示意

1—灭弧栅片 2—触点 3—电弧

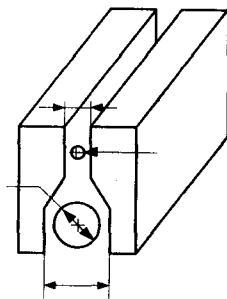


图 1.10 窄缝灭弧室的断面

1.3 接 触 器

接触器是一种用来频繁地接通和断开(交、直流)负荷电流的电磁式自动切换电器, 主要用于控制电动机、电焊机、电容器组等设备, 具有低压释放的保护功能, 适用于频繁操作和远距离控制, 是电力拖动自动控制系统中使用最广泛的电气元器件之一。