



高等院校自动化新编系列教材

现代电气控制技术

XIANDAI DIANQI KONGZHI JISHU

顾德英 罗长杰 等编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

高等院校自动化新编系列教材

现代电气控制技术

编著 顾德英 罗长杰等

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍常用低压电器基本的工作原理,继电器接触式电气控制系统、可编程控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。

本书的特点:(1)本着专业技术课程结合工程应用的教学原则,层次清晰地构建了电气控制技术从常规控制到 PLC 控制的完整体系,注重理论联系实际,突出现代电气控制的新技术和新产品;(2)对传统的电气控制系统部分的内容进行了精简,重点介绍继电器接触式电气控制系统的控制原则、基本控制环节、分析和设计方法;(3)系统介绍了 Rockwell 公司的 MicroLogix 系列和松下公司的 FP 系列两种可编程控制器的工作原理及应用;(4)系统介绍了两种可编程控制器的指令和编程方法,网络通信功能与应用方法;(5)系统介绍了两种可编程控制器的编程软件;(6)各章均有丰富的设计实例与习题,有利于学生掌握电气控制原理和工程设计方法。

本教材可作为高等工科院校电类、机电类专业的现代电气控制技术教材,还可以供机电行业的工程技术人员用作参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制技术/顾德英,罗长杰等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1125-3

I. 现... II. ①顾...②罗... III. 电气控制 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084608 号

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心:电话 010-62282185 传真 010-62283578

南方营销中心:电话 010-62282902 传真 010-62282735

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京通州皇家印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.75

字 数:372 千字

印 数:1—5 000 册

版 次:2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1125-3/TP·209

定价:25.00 元

·如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系·

高等院校自动化新编系列教材

编委会

主 任 汪晋宽

副主任 金海明 罗云林 张美金 崔光照

委 员 (排名不分先后)

于丁文 王凤文 王建国 马淑华 石云霞

齐世清 任彦硕 张家生 张 健 杨建忠

柳明丽 罗长杰 金 伟 赵宏才 赵一丁

顾德英 舒冬梅 藏小杰 郑安平

秘 书 顾德英(兼) 马淑华(兼)

编写说明

一本好的教材和一本好的书不同,一本好的书在于其内容的吸引力和情节的魅力,而一本好的教材不仅要对所介绍的科学知识表达清楚、准确,更重要的是在写作手法上能站在读者的立场上,帮助读者对教材的理解,形成知识链条,进而学会举一反三。基于这种考虑在充分理解自动化专业培养目标和人才需求的前提下,我们规划了这套《高等院校自动化新编系列教材》。

本套系列教材共包括 21 册,在内容取舍划分上,认真分析了各门课程内容的相互关系和衔接,避免了不必要的重复,增加了一些新的内容。在知识结构设计上,保证专业知识完整性的同时,考虑了学生综合能力的培养,并为学生继续学习留有空间。在课程体系规划上,注意了前后知识的贯通,尽可能做到先开的课程为后续的课程提供基础和帮助,后续的课程为先开的课程提供应用的案例,以便于学生对自动化专业的理解。

《高等院校自动化新编系列教材》编委会

2005 年 8 月

前 言

电气控制与可编程控制器(PLC)是高等工科院校电类、机电类专业中应用性很强的专业课。近年来随着计算机技术、自动控制技术、现代制造技术的迅速发展,电气控制技术已由继电器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 控制系统具有抗干扰能力强、可靠性和性价比高、编程方便、结构模块化、易于网络化等技术特点,可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过程的自动控制。

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、突出技术应用的原则编写了这本教材。其主要特点是:

(1) 精简了常规电气控制电路分析的内容,但仍包含常用低压电器、电气线路的基本控制原则和基本控制环节、典型生产机械的电气控制系统和电气控制系统设计等基本教学内容;

(2) 重点培养学生熟练使用低压电器、掌握常规电气控制方法、分析和设计电气控制系统的能力;

(3) 重点介绍 PLC 的工作原理、应用,并选择 Rockwell 和松下电器两个系列 PLC 产品,详细阐述它们的硬件组成、软件编程和实际应用;

(4) 根据 PLC 技术的发展趋势,增加了 PLC 网络通信方面的内容。

在 PLC 系统设计实例中,扼要介绍了与 PLC 产品关系密切的工业控制组态软件、工业及人机界面的使用方法,以增加学生对工控新产品的认识。

全书共分 11 章。第 1 章介绍常用低压电器的结构、工作原理、主要技术参数及选用、安装、维护方法;第 2 章介绍常规电气线路的基本控制原则和基本控制环节;第 3 章介绍电气控制系统的分析与设计方法;第 4 章介绍 PLC 的基本组成和工作原理;第 5、6、7 章讲述 Rockwell 系列可编程控制器的性能规格、指令系统及编程应用方法;第 8、9、10 章介绍松下电器系列可编程控制器的性能规格、指令系统及编程应用方法;第 11 章介绍 PLC 控制系统的设计方法和应用实例。

本书由顾德英、罗长杰、刘云静、高原、蔡凌、赵雅娟编写,顾德英负责统稿。教材编写过程中得到了东北大学秦皇岛分校、中国民用航空学院、郑州轻工学院等院校的大力支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。本书的编写过程中参阅了多种同类教材和著作,特向其编、著者致谢。

作 者

2006 年 3 月

目 录

第 1 章 常用低压电器

1.1 低压电器的分类	1
1.2 低压电器的电磁机构及执行机构	2
1.2.1 电磁机构	2
1.2.2 执行机构	6
1.3 接触器	10
1.3.1 接触器的用途及分类	10
1.3.2 接触器的结构及工作原理	10
1.3.3 接触器的技术参数	11
1.3.4 接触器的选择	12
1.4 继电器	13
1.4.1 电磁式继电器	13
1.4.2 热继电器	14
1.4.3 时间继电器	15
1.4.4 速度继电器	16
1.4.5 温度继电器	17
1.4.6 固态继电器	18
1.5 熔断器	18
1.5.1 熔断器的结构和分类	19
1.5.2 熔断器的保护特性	19
1.5.3 熔断器的技术参数	20
1.5.4 熔断器的选择	20
1.6 低压隔离器	20
1.7 低压断路器	21
1.7.1 低压断路器的结构及工作原理	21
1.7.2 低压断路器的类型及主要参数	22
1.7.3 低压断路器的选择及使用注意事项	22
1.8 主令电器	22
1.8.1 控制按钮	22
1.8.2 转换开关	23

1.8.3 行程开关·····	24
1.8.4 接近开关·····	24
1.8.5 指示灯·····	25
1.9 智能电器·····	25
1.9.1 智能型断路器·····	25
1.9.2 智能型接触器·····	26
1.9.3 智能型继电器·····	27
思考题与习题·····	28

第2章 电气控制线路的基本控制规律

2.1 电气控制线路图的绘制原则·····	29
2.1.1 电气控制线路常用的图形、文字符号·····	29
2.1.2 电气控制线路的绘制原则·····	33
2.2 电气控制的基本线路·····	36
2.2.1 电动机启动和自锁环节·····	36
2.2.2 互锁控制和顺序控制·····	37
2.2.3 多地点控制·····	39
2.2.4 自动循环控制·····	39
2.3 异步电动机的启动和正反转控制·····	40
2.3.1 异步电动机的全压启动控制·····	40
2.3.2 异步电动机的降压启动控制·····	41
2.3.3 异步电动机的正反转控制·····	43
2.4 异步电动机的制动控制·····	44
2.4.1 异步电动机的反接制动控制·····	45
2.4.2 异步电动机的能耗制动控制·····	46
思考题与习题·····	47

第3章 电气控制系统分析与设计

3.1 电气控制系统分析·····	48
3.1.1 电气控制线路分析·····	48
3.1.2 卧式车床的电气控制电路分析·····	50
3.1.3 X62W型万能升降台铣床的电气控制电路分析·····	53
3.2 电气控制系统的设计·····	57
3.2.1 电气控制系统设计的一般原则、基本内容和设计程序·····	58
3.2.2 电气控制原理电路设计的方法与步骤·····	59
3.2.3 电气控制装置的工艺设计·····	60
思考题与习题·····	61

第 4 章 可编程控制器基础

4.1 可编程控制器的产生背景、发展历程和定义	62
4.1.1 可编程控制器的产生背景	62
4.1.2 可编程控制器的发展历程	63
4.1.3 可编程控制器的定义	64
4.2 可编程控制器的特点和分类	64
4.2.1 可编程控制器的特点	64
4.2.2 可编程控制器的分类	65
4.3 可编程控制器的应用领域和当前流行的可编程控制器	66
4.3.1 可编程控制器的应用领域	66
4.3.2 当前流行的可编程控制器	67
4.4 可编程控制器的基本结构	68
4.4.1 可编程控制器的硬件结构	69
4.4.2 可编程控制器的软件结构	72
4.5 可编程控制器的工作原理	73
4.5.1 可编程控制器的工作方式	73
4.5.2 可编程控制器的中断处理	75
4.6 可编程控制器的基本性能指标和编程语言	76
4.6.1 可编程控制器的基本性能指标	76
4.6.2 可编程控制器的编程语言	77
4.7 可编程控制器与其他工业控制系统的比较	79
4.7.1 可编程控制器与继电器控制系统的比较	79
4.7.2 可编程控制器与计算机控制系统的比较	80
4.7.3 可编程控制器与集散控制系统的比较	81
思考题与习题	81

第 5 章 Rockwell 公司可编程控制器产品介绍

5.1 Micrologix 可编程控制器	82
5.1.1 MicroLogix 1000 可编程控制器	82
5.1.2 MicroLogix 1200 可编程控制器	87
5.1.3 MicroLogix 1500 可编程控制器	88
5.2 SLC500 可编程控制器	88
5.3 MicroLogix 可编程控制器的网络应用	89
5.3.1 NetLinx 网络体系架构介绍	89
5.3.2 MicroLogix1000 可编程控制器的联网应用	91
思考题与习题	92

第 6 章 MicroLogix1000 可编程控制器编程

6.1 可编程序控制器的内存组织	93
6.1.1 数据文件	93
6.1.2 数据文件的寻址方式	98
6.1.3 程序文件	98
6.2 基本指令与编程	99
6.2.1 位指令	99
6.2.2 计时器指令	101
6.2.3 计数器指令	105
6.2.4 数字比较指令	108
6.2.5 算术与逻辑转换指令	112
6.2.6 传送指令	119
6.2.7 移位和顺序进出指令	122
6.2.8 程序流程指令	128
6.2.9 高速计数指令	131
6.2.10 通信指令	133
6.2.11 比例、积分和微分指令	134
思考题与习题	136

第 7 章 应用程序设计与应用软件

7.1 梯形图程序设计方法	138
7.1.1 经验设计法	138
7.1.2 逻辑流程图法	138
7.1.3 时序波形图设计法	138
7.1.4 顺序控制系统梯形图的编程方法	140
7.2 RSLogix500 编程/调试软件	144
7.2.1 RSLogix500 编程软件	144
7.2.2 RSLogix500 工作界面	144
7.2.3 系统要求	146
7.2.4 RSLogix500 软件基本操作	146
7.3 RSLinx 通信软件	150
7.3.1 RSLinx 通信软件简介	150
7.3.2 RSLinx 使用简介	151
思考题与习题	153

第 8 章 FP0 PLC 的系统构成

8.1 FP0 系列 PLC 的构成及特性	155
-----------------------	-----

8.1.1 主控单元	155
8.1.2 扩展单元	156
8.1.3 编程工具	156
8.2 FP0 的内部寄存器及 I/O 配置	158
8.2.1 FP0 的 I/O 配置	158
8.2.2 FP0 的 RAM 配置	159
8.3 FP0 的端子接线	160
8.3.1 I/O 接线	160
8.3.2 检查事项	160
8.4 故障诊断	161
思考题与习题	162

第 9 章 FP0 指令系统

9.1 指令系统概述	163
9.1.1 PLC 编程中的两个基本概念	163
9.1.2 梯形图编程规则	163
9.1.3 梯形图编程基本符号	164
9.2 基本顺序指令	165
9.2.1 基本指令	165
9.2.2 顺序控制	165
9.2.3 基本顺序控制指令	166
9.3 基本功能指令	174
9.3.1 定时器	174
9.3.2 计数器	177
9.3.3 加/减计数器(F118)	178
9.3.4 左移寄存器	179
9.3.5 左/右移寄存器(F119)	180
9.4 控制指令	180
9.4.1 MC 指令和 MCE 指令	181
9.4.2 跳转指令	181
9.4.3 循环指令和标号指令	182
9.4.4 结束指令	183
9.4.5 步进指令	183
9.4.6 子程序	184
9.4.7 中断指令	185
9.5 比较指令	186
9.5.1 单字节比较	187
9.5.2 双字节比较	189

9.6 高级指令	189
9.6.1 高级指令的构成	189
9.6.2 高级指令详解	191
9.7 特殊继电器与寄存器	194
9.7.1 特殊继电器	194
9.7.2 特殊寄存器	196
思考题与习题	197

第10章 编程软件 Control FFWIN GR

10.1 Control FFWIN GR 简介与安装	199
10.2 Control FFWIN GR 的基本操作	204
10.2.1 Control FFWIN GR 的启动与退出	204
10.2.2 FFWIN GR 的基本操作	206
10.2.3 程序转换(PG 转换)	210
10.2.4 在线编辑与离线编辑	211
10.3 编程和监控运行	212
10.3.1 编程之前的准备工作	212
10.3.2 程序的生成	212
10.3.3 程序的修改	214
10.3.4 程序的传输	215
10.3.5 输入注释	215
10.4 使用时的注意事项	216
思考题与习题	217

第11章 PLC 应用系统设计与实例

11.1 PLC 应用系统设计方法	218
11.1.1 分析评估及控制任务	218
11.1.2 PLC 的选型	219
11.1.3 I/O 地址分配	220
11.1.4 系统设计	220
11.1.5 系统调试	221
11.2 PLC 应用系统设计实例	221
11.2.1 PLC 在电镀生产线上的应用	221
11.2.2 PLC 在电梯控制系统中的应用	227
11.2.3 PLC 在抢答器中的应用	232
11.2.4 PLC 在喷泉中的应用	234
思考题与习题	238
参考文献	240

第 1 章 常用低压电器

低压电器是组成各种电气控制成套设备的基础配套组件,它的合理选择和正确使用是低压电力系统可靠、安全运行的前提和重要保障。本章主要介绍常用低压电器的分类、结构、工作原理、用途及其图形符号和文字符号,是正确选择和合理使用低压电器的基础。

1.1 低压电器的分类

低压电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通、断开电路,以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。

总的来说,低压电器可以分为配电电器和控制电器两大类,是成套电气设备的基本组成元件。在工业、农业、交通、国防以及人们生活等一切用电部门中,大多数采用低压供电,因此电器元件的质量将直接影响到低压供电系统的可靠性。

电器的分类方法很多,且相互交叉、覆盖。即某一电器按不同的分类方法,分属不同的种类。如工作电压为 380 V 的交流接触器,按不同的分类方法,分属低压电器、有触点电器和电气控制系统用电器。

控制电器按动力的不同,可分为自动控制电器和非自动控制电器两类。例如,刀开关由人力直接操作,属于非自动控制电器;接触器由电磁力操作,则属于自动控制电器。

控制电器按其工作电压的高低,以交流 1 200 V、直流 1 500 V 为界,可划分为高压控制电器和低压控制电器两大类。

控制电器按其输出形式,可分为有触点控制电器和无触点控制电器。

有触点控制电器:电器通断电路的功能由触点来实现,如刀开关、接触器等。

无触点控制电器:电器通断电路的功能不是通过接触,而是根据输出信号的高低电平来实现的,如可控硅的导通与截止等。

控制电器按其控制对象不同,可分为电气控制系统用控制电器和电力系统用控制电器。本书叙述的是电气控制系统用电器。

从控制电器在电气控制系统中的作用来看,可以把控制电器分为信号元件和控制元件两大类。

低压电器的发展,取决于国民经济的发展和现代工业自动化发展的需要,以及新技术、新工艺、新材料研究与应用,目前正朝着高性能、高可靠性、小型化、模数化、模块化、组合化和零部件通用化的方向发展。

1.2 低压电器的电磁机构及执行机构

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式继电器和接触器等的重要组成部分之一,其工作原理是将电磁能转换为机械能,从而带动触头使之闭合或断开。

1. 电磁机构的结构形式

电磁机构由吸引线圈(励磁线圈)、铁芯、铁轭、衔铁和空气隙等部分组成。吸引线圈的作用是将电能转换为磁能,即产生磁通,衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移,完成触点的断开或闭合。图 1-1 是常用电磁机构示意图,从图中可以看出,衔铁既可以直动,也可以绕某一支点转动。

2. 电磁机构的分类

电磁机构的分类方法有以下几种。

(1) 按衔铁的运动方式分为以下 3 种:

① 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯

如图 1-1(a)和图 1-1(b)所示,其衔铁绕铁轭的棱角转动,磨损较小,铁芯用软铁制成,适用于直流继电器和接触器。

② 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯

如图 1-1(c)和图 1-1(d)所示,其衔铁绕轴而转动,用于交流接触器,铁芯用硅钢片制成。

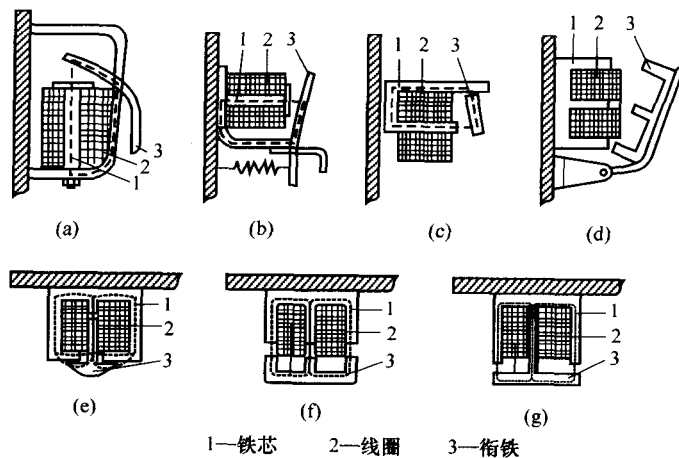


图 1-1 常用电磁机构示意图

③ 衔铁作直线运动的直动式铁芯

如图 1-1(e)、图 1-1(f)和图 1-1(g)所示,衔铁在线圈内成直线运动,较多用于交流继电器和接触器中。

(2) 按磁系统形状可分为2种:图1-1(c)所示的U形和图1-1(d)所示的E形。

(3) 按励磁线圈的种类可分为2种:交流线圈和直流线圈。

(4) 按励磁线圈的联结方式可分为2种:并联(电压线圈)和串联(电流线圈)。

对于交流励磁线圈,为了减小因涡流造成的能量损失和温升,铁芯和衔铁用硅钢片叠成;对于直流励磁线圈,铁芯和衔铁可以用整块电工软钢做成。并联于电路工作的线圈称为电压线圈,特点是匝数多,线径较细;串联于电路工作的线圈称为电流线圈,特点是匝数少,线径较粗。

3. 电磁机构的工作原理

电磁铁工作时,线圈产生的磁通作用于衔铁,产生电磁吸力,并使衔铁产生机械位移,衔铁复位时,复位弹簧将衔铁拉回原位。故作用在衔铁上的力有2个:电磁吸力和反力。电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力特性来表达。电磁机构使衔铁吸合的力与气隙的关系曲线称为吸力特性,电磁机构使衔铁释放(复位)的力与气隙的关系曲线称为反力特性。

(1) 反力特性

电磁机构使衔铁释放的力一般有2种:一种是利用弹簧的反力,如图1-1(b)所示;另一种是利用衔铁的自身重力,如图1-1(d)所示。

弹簧的反力与其形变的位移 x 成正比,其反力特性可写成

$$F_{\text{反}1} = K_1 x \quad (1-1)$$

自重的反力与气隙大小无关,如果气隙方向与重力一致,如图1-1(e)、(f)和(g)所示,其反力特性可写成

$$F_{\text{反}2} = K_2 x \quad (1-2)$$

考虑到常开触点闭合时超行程机构的弹力作用,上述2种反力特性曲线,如图1-2所示。图中, δ_1 为电磁机构气隙的初始值; δ_2 为动、静触点开始接触时的气隙长度。由于超行程机构的弹力作用,反力特性在 δ_2 处有一突变。

(2) 吸力特性

电磁机构的电磁吸力可近似地按下式求得。

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S \quad (1-3)$$

式中, B 为气隙磁通密度(T); S 为吸力处端面积(m^2); F 为电磁吸力(N)。

当端面积 S 为常数时,吸力 F 与磁密 B^2 成正比,也可以认为 F 与磁通 Φ^2 成正比,即

$$F \propto \Phi^2 \quad (1-4)$$

电磁机构的吸力特性反映的是其电磁吸力与气隙的关系。由于激磁电流的种类对吸力特性的影响很大,所以要对交、直流电磁机构的吸力特性分别进行讨论。

① 交流电磁机构的吸力特性

交流电磁机构激磁线圈的阻抗主要取决于线圈的电抗(电阻相对很小),则

$$U \approx E = \frac{4.44}{f\Phi N} \quad (1-5)$$

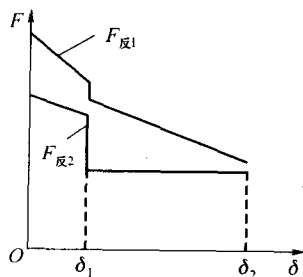


图1-2 反力特性

$$\Phi = \frac{U}{4.44fN} \quad (1-6)$$

式中, U 为线圈电压(V); E 为线圈感应电势(V); f 为线圈外加电压的频率(Hz); Φ 为气隙磁通(Wb); N 为线圈匝数。

当频率 f 、匝数 N 和外加电压 U 都为常数时, 由式(1-6)可知, 磁通 Φ 亦为常数。由式(1-4)又可知, 此时电磁吸力 F 为常数(因为交流激磁时, 电压、磁通都随时间作周期性变化, 其电磁吸力也作周期性变化。此处 F 为常数是指电磁吸力的幅值不变)。由于线圈外加电压 U 与气隙 δ 的变化无关, 所以其吸力 F 亦与气隙 δ 的大小无关。实际上, 考虑到漏磁通的影响, 吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加。其交流吸力特性如图 1-3 所示。

虽然交流电磁机构的气隙磁通 Φ 近似不变, 但气隙磁阻随气隙长度 δ 而变化。根据磁路定律可知, 交流激磁线圈的电流 I 与气隙 δ 成正比, 如图 1-3 所示。一般 U 形交流电磁机构, 激磁线圈通电而衔铁尚未动作时, 其电流达到吸合后额定电流的 5~6 倍, E 形电磁机构则达到 10~15 倍额定电流。如果衔铁卡住不能吸合或者频繁动作, 交流激磁线圈很可能烧毁。因此, 在可靠性要求高或操作频繁的场所, 一般不采用交流电磁机构。

② 直流电磁机构的吸力特性

直流电磁机构由直流电流激磁。稳态时, 磁路对电路无影响, 可认为其激磁电流不受气隙变化的影响。即其磁势 NI 不受气隙变化的影响。

由式(1-3)和式(1-4)可知, 此时

$$F \propto \Phi^2 \propto \left(\frac{1}{\delta}\right)^2 \quad (1-7)$$

即直流电磁机构的吸力 F 与气隙 δ 的平方成反比, 其吸力特性如图 1-4 所示。它表明衔铁闭合前后吸力变化很大, 气隙越小, 吸力越大。

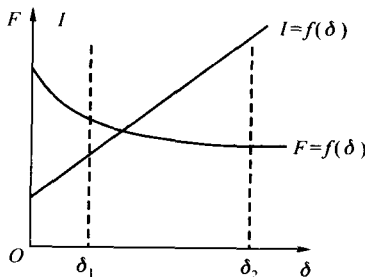


图 1-3 交流吸力特性

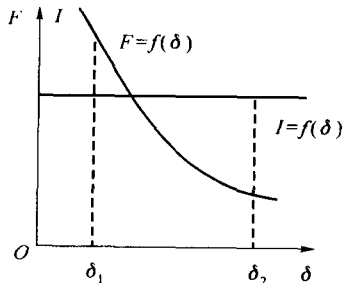


图 1-4 直流电磁机构的吸力特性

由于衔铁闭合前后激磁线圈的电流不变, 所以直流电磁机构适于动作频繁的场所, 且吸合后电磁吸力大, 工作可靠性好。

需要指出的是, 当直流电磁机构的激磁线圈断电时, 磁势就由 NI 急速变为接近于 0。电磁机构的磁通也发生相应的急速变化, 因而就会在激磁线圈中感生很大反电势。此反电势可达线圈额定电压的 10~20 倍, 易使线圈因过电压而损坏。为减小此反电势, 可在激磁线圈上并联一个放电电阻 R 。这样, 在线圈断电时, 该电阻与线圈形成一个放电电路, 使原先贮于磁场中的能量得以转换成热能消耗在电阻上, 而不致产生过电压。从降低

过电压出发,电阻 R 宜小一些,但这都会导致长期工作时能量的损耗增大。为解决这个矛盾,可以与电阻串联一个二极管,如图 1-5 所示,使正常工作时放电电路不通电。通常,放电电阻的电阻值可取为线圈电阻的 6~8 倍。

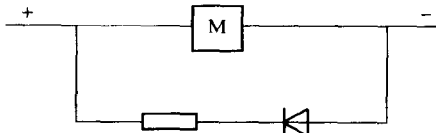


图 1-5 直流线圈的放电电路

③ 剩磁的吸力特性

由于铁磁物质有剩磁,使电磁机构的激磁线圈失电后仍有一定的磁性吸力存在。剩磁的吸力随气隙的增大而减小。剩磁的吸力特性如图 1-6 中的曲线所示。

(3) 吸力特性与反力特性的配合

电磁机构欲使衔铁吸合,在整个吸合过程中,吸力都必须大于反力;但也不能过大,否则会影响电器的机械寿命。反映在特性图上,就是要保证吸力特性在反力特性的上方。当切断电磁机构的激磁电流以释放衔铁时,其反力特性必须大于剩磁吸力,才能保证衔铁可靠释放。因此,在特性图上,电磁机构的反力特性必须介于电磁吸力特性和剩磁吸力特性之间,如图 1-6 所示。在实际使用中,常常调整反力弹簧或触点初压力以改变反力特性,使之与吸力特性有良好的配合。

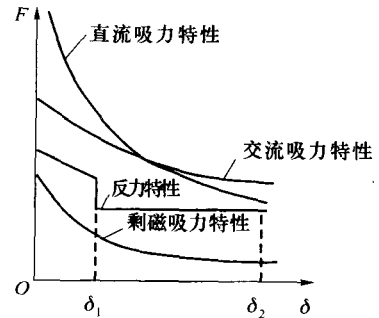


图 1-6 吸力特性和反力特性

对于单相交流电磁机构,由于交流磁通过 0 时吸力也为 0,吸合后的衔铁在反力作用下将被拉开;磁通过 0 后吸力增大,当吸力大于反力时衔铁又吸合。这样,在交流电每周期内衔铁吸力要 2 次过 0,使衔铁产生强烈震动和噪声,甚至使铁芯松散。为了避免衔铁振动,如图 1-7 所示,在铁芯端面上装一个用钢制成的分磁环(或称短路环)。

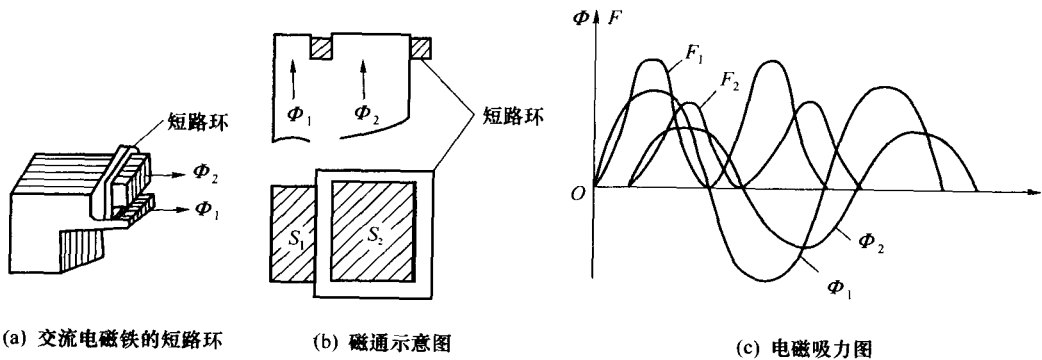


图 1-7 加短路环后的磁通和电磁吸力

当电磁机构的交变磁通穿过短路环所包围的截面 S_2 时,环中产生了涡流。根据电磁感应定律,此涡流产生的磁通 Φ_2 在相位上落后于截面 S_1 中的磁通 Φ_1 。这样,铁芯中有 2 个不同相的磁通 Φ_1 和 Φ_2 ,电磁机构的吸力为它们产生的吸力 F_1 和 F_2 之和。只要此合力始终大于反力,衔铁的振动现象就消除了。