

电气控制技术 及实训教程

姚融融 张帆 周争鸣 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电气控制技术 及实训教程

姚融融 张帆 周争鸣 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以培养读者电气控制技术能力为主要目的,理论与实践相辅相成,重点突出理论与实践相结合。

本书共分7章,包含22个实训项目。基础理论方面:本书主要介绍常用的低压电器、电气控制系统的基本环节、电气控制线路的分析方法、电气控制的基本线路。实践教学方面:主要介绍电动机、电器的拆装及检修,电气控制线路基本环节及检修,常用机床电气控制线路及常见故障的排除。

本书的特点:集教学、实验、实训、实习为一体,以电气控制技术的应用能力、设计能力和创新能力培养为目的。

本书可作为普通高等工科院校工业自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业教材,也可供高职高专等相关专业选用,并可作为电气技术人员的培训和参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术及实训教程/姚融融,张帆,周争鸣编著. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8729-1

I. 电… II. ①姚…②张…③周… 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(2009)第058845号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年6月第一版 2009年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.25印张 315千字

定价 25.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

电气控制技术及实训教程共分两部分 7 章, 内容包括常用低压电器、控制线路的基本环节、通用机床的电气控制、专用机床的电气控制、生产机械电力装备的线路设计、生产电力装备的工艺设计、电气控制技术的基本实训案例和生产实际的案例。

本书的指导思想: 着重于基础理论、着重于实践应用。

本书的编辑思路: 每章前有内容提要, 每章后有本章小结。每一章节后设有思考与练习, 着重于多练多思。最后还有应用部分。

本书的编写特点:

(1) 体现“以能力培养为核心, 以理论教学和实践教学相结合”的教学新思路, 加强理论与实践的结合。本书的理论部分以章节编排, 符合实践技能的学习规律。理论与实践的结合遵循了递进式和模块式的教学原则。

(2) 站在电气控制技术发展的前沿, 注重对学生新技术应用能力的培养, 以实现学校和企业的无缝连接。让学生在学校的实训基地中学习新技术、应用新技术。学生毕业之后即可上岗, 实现学校与企业的零距离接轨。

(3) 实践部分实现三级递进(全指导、半指导、零指导), 使教、学、练紧密结合。每一个实践课题一般安排两、三个实训项目。特别在零指导中, 教师只给出一个控制要求, 让学生能自行完成设计, 举一反三、触类旁通以培养学生的设计能力、创新意识和创新能力。

(4) 全书采用最新国家标准, 大量搜集了更新换代的低压电器产品。

(5) 容易记忆。全书在电气控制线路原理叙述之后, 用“符号法”或“阶梯法”予以总结, 这种方法使教师容易讲解, 方便教学; 学生容易理解, 容易记忆。

本书由上海第二工业大学姚融融老师主编、上海第二工业大学张帆老师任副主编、上海应用技术学院周争鸣老师参编。书中的第 1~4 章由姚融融老师编写; 第 5~7 章由张帆老师编写; 第 4 章第 6 节由周争鸣老师编写。全书由姚融融老师统稿。

本书初稿由上海第二工业大学电气化专业和上海应用技术学院电工教研室组织会审, 作为本科教材使用过两年, 并由贵州师范大学王良模老师、湖北电视大学大冶有色金属公司分校戴光世老师共同审核。上海第二工业大学周政新教授、顾永杰副教授对本书初稿提出了许多宝贵的意见, 在此表示衷心的感谢, 同时感谢对文稿的校对做了大量工作的上海第二工业大学 05 级自动化专业蔡英明等多位同学。

目前教学改革正在不断地深入, 由于编者水平的局限, 本书稿难免存在不妥之处, 热忱欢迎选用本书作教材的同仁和读者提出宝贵的意见, 并批评指正。

编者

目 录

前言

第一部分 基 础 理 论

第1章 常用的低压电器	2
1.1 低压电器的概述	2
1.1.1 低压电器的定义和用途	2
1.1.2 低压电器的分类	2
1.1.3 低压电器的主要技术数据	4
1.1.4 选择低压电器的注意事项	5
1.1.5 低压电器的型号表示法	5
练习与思考	5
1.2 电磁式低压电器的结构与工作原理	6
1.2.1 电磁机构	6
1.2.2 触头系统	8
1.2.3 电弧的产生及灭弧方法	9
练习与思考	11
1.3 开关电器	11
1.3.1 刀开关	11
1.3.2 转换开关与组合开关	14
1.3.3 断路器	15
练习与思考	19
1.4 熔断器	19
1.4.1 熔断器的用途、结构及工作原理	19
1.4.2 熔断器的类型	20
1.4.3 熔断器的选择原则	21
1.4.4 一般熔断器的选择原则	21
练习与思考	22
1.5 主令电器	22
1.5.1 按钮的用途和分类	22
1.5.2 位置开关	24
1.5.3 万能转换开关	26
1.5.4 主令控制器与凸轮控制器	27

练习与思考	28
1.6 接触器	29
1.6.1 交流接触器	29
1.6.2 直流接触器	29
1.6.3 接触器的主要技术参数和类型	30
1.6.4 接触器常见故障分析	32
练习与思考	33
1.7 继电器	33
1.7.1 继电器的基本概念	33
1.7.2 电磁式继电器	34
1.7.3 时间继电器	36
1.7.4 热继电器	39
练习与思考	40
1.8 无触点电器	40
1.8.1 接近开关	40
1.8.2 固态继电器 (SSR)	42
1.8.3 光电继电器	43
练习与思考	44
1.9 交流电动机和直流电动机	44
1.9.1 交流电动机的基本结构	44
1.9.2 三相异步电动机的工作原理及转差率	46
1.9.3 异步电动机的起动、调速与制动	47
1.9.4 直流电动机的基本原理与基本结构	53
1.9.5 直流电动机的拖动特性	56
1.9.6 直流电动机的起动、调速与制动	57
练习与思考	61
本章小结	61
本章习题	62
第2章 电气控制系统的基本环节	64
2.1 电气工程图的绘制与阅读	64
2.1.1 绘制电气原理图的原则	64
2.1.2 电气原理图的阅读方法	65
练习与思考	66
2.2 电气控制系统图的类型及有关规定	66
2.2.1 电气原理图	66
2.2.2 电器元件布置图	67
2.2.3 电气安装接线图	67
练习与思考	67

2.3 电器元件的图形符号和文字符号	68
2.3.1 图形符号	68
2.3.2 文字符号	69
2.3.3 常用低压电器的图形符号和文字符号	70
练习与思考	71
2.4 电气控制线路的保护环节	71
2.4.1 电流型保护	72
2.4.2 电压型保护	73
2.4.3 位置保护及其他保护	73
练习与思考	73
2.5 电气控制系统中的控制原则	73
练习与思考	75
2.6 控制系统的七个基本环节	75
2.6.1 电动机的单向点动控制线路	75
2.6.2 电动机的单向长动(连续)控制线路	76
2.6.3 电动机的长动及点动的控制线路	77
2.6.4 电动机可逆控制线路	77
2.6.5 电动机可逆“自动停止”、“自动往返”与控制线路	79
练习与思考	80
本章小结	80
本章习题	81
第3章 电气控制线路的分析方法	84
3.1 电路的表示方法	84
练习与思考	84
3.2 查线读图法(常用方法)	85
3.2.1 查线读图法的基本原理	85
3.2.2 查线读图法的工作步骤	85
练习与思考	86
3.3 逻辑代数法	86
3.3.1 逻辑代数法的基本原理	86
3.3.2 电路的逻辑表示	86
3.3.3 基本逻辑运算	87
3.3.4 逻辑代数的基本性质及其应用	88
3.3.5 电气控制线路化简的电路逻辑法	89
练习与思考	89
3.4 逻辑代数法的应用	89
练习与思考	90
3.5 电气控制技术设计的一般原则	90

3.5.1	控制线路应最大限度地实现生产机械和工艺要求	90
3.5.2	电气控制线路的设计应该简单经济	91
3.5.3	要保证电气控制线路工作的可靠性和安全性	91
3.5.4	控制电路电源种类与电压数值的要求	94
	练习与思考	94
	本章小结	94
	本章习题	95
第4章	电气控制的基本线路	97
4.1	交流电动机直接起动的控制线路	97
4.1.1	单向控制线路	98
4.1.2	可逆控制线路	99
	练习与思考	100
4.2	交流电动机降压起动控制线路	101
4.2.1	定子回路串电阻降压起动	101
4.2.2	定子回路星形—三角形 (Y/ Δ) 降压起动	103
	练习与思考	105
4.3	交流电动机的制动控制线路	105
4.3.1	交流异步电动机的机械制动	105
4.3.2	交流异步电动机的电气制动	106
	练习与思考	108
4.4	交流异步电动机的调整控制线路	109
4.4.1	单绕组双速异步电动机的控制线路	109
4.4.2	三相绕线转子异步电动机转子回路串电阻调速控制线路	110
4.4.3	电磁调速异步电动机控制线路	111
	练习与思考	111
4.5	直流电动机的控制线路	112
4.5.1	直流电动机单向运转起动控制线路	112
4.5.2	直流电动机可逆运转起动控制线路	113
4.5.3	直流电动机反接制动控制线路	113
4.5.4	直流电动机能耗制动控制线路	115
	练习与思考	116
4.6	典型的机床电气控制线路	116
4.6.1	C620-1 卧式车床的电气控制线路	116
4.6.2	M7130 型平面磨床的电气控制线路	119
4.6.3	Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路	123
4.6.4	X62W 型卧式万能铣床的电气控制线路	129
	本章小结	136
	本章习题	137

第二部分 实训课题

第5章 电动机、电器的拆装及检修	140
5.1 小型三相笼型异步电动机的测试及检修	140
5.1.1 培训要求	140
5.1.2 相关知识	140
5.1.3 小型三相笼型异步电动机测试及检修实例培训	141
5.2 交流接触器的拆装、测试及检修	143
5.2.1 培训要求	143
5.2.2 相关知识	144
5.2.3 交流接触器拆装、测试与检修实例培训	144
5.3 空气式时间继电器的拆装、测试及检修	146
5.3.1 培训要求	146
5.3.2 相关知识	147
5.3.3 空气式时间继电器拆装、测试与检修实例培训	147
本章小结	149
本章特征	149
第6章 电气控制线路基本环节及检修	150
6.1 三相笼型异步电动机全压起动控制	150
6.1.1 单向全压起动控制线路	150
6.1.2 点动控制线路	151
6.1.3 正反转控制线路	151
6.1.4 自动循环控制	152
6.1.5 多点控制	153
6.1.6 顺序控制	153
6.2 三相笼型异步电动机降压起动控制	154
6.3 三相笼型异步电动机制动控制	156
6.3.1 能耗制动控制	156
6.3.2 反接制动控制	158
6.4 电气控制线路的检修	159
6.4.1 电气控制线路的检修步骤	159
6.4.2 电气控制线路的检修方法	160
6.5 电气控制线路基本环节应用实例的安装调试	162
本章小结	166
本章特征	166
第7章 常用机床电气控制线路及常见故障的排除	167
7.1 普通车床电气控制	167
7.1.1 车床的主要结构及运动形式	167

7.1.2 电气线路分析	167
7.1.3 电气线路安装步骤	170
7.1.4 常见电气故障的排除	171
7.2 磨床的电气控制	173
7.2.1 磨床的主要结构及运动形式	173
7.2.2 磨床电气线路分析	173
7.2.3 磨床电气线路安装步骤	177
7.2.4 常见电气故障的排除	178
7.3 摇臂钻床的电气控制	179
7.3.1 摇臂钻床的主要结构和运动形式	180
7.3.2 Z3040 摇臂钻床电气线路分析	180
7.4 C620-1 型车床的电气控制	185
7.4.1 主要结构及对电气线路的要求	185
7.4.2 电气线路的安装	185
7.5 铣床的电气控制	188
7.5.1 万能铣床的主要结构与运动形式	188
7.5.2 X62W 万能铣床电气线路分析	188
7.5.3 万能铣床电气线路常见故障的排除	192
7.6 镗床的电气控制	194
7.6.1 镗床主要结构与运动形式	194
7.6.2 镗床电气线路分析	195
7.6.3 T68 镗床的电气故障与检修	199
本章小结	200
本章特征	200
参考文献	201

第一部分

基础理论

第1章 常用的低压电器

【本章内容提要】

在电路中起通断、保护、控制或调节等作用的电气器件统称为电器，如开关、熔断器、继电器等，用于交流电压为 1200V、直流电压为 1500V 及以下的电器统称为低压电器。常用的低压电器有许多种，如开关、熔断器、继电器、接触器、主令开关、起动器、控制器等。按电器的动作方式可以分为控制电器和保护电器。

低压电器是组成低压控制线路的基本元器件。在工矿企业中常用按钮、开关、继电器、接触器等电器组成电动机的起动、停止、反转和制动等控制线路。本章将对各种常用电器的构造、原理、型号和选用作一个详细的介绍。并介绍无触点电器：接近开关、固态继电器（SSR）和光电继电器。

研究控制对象：电动机。本章介绍三相异步电动机的起动、调速方法和制动；他励直流电动机的起动、调速方法与制动。

1.1 低压电器的概述

当前，在我国工农业生产和人们的日常生活中，电能的应用越来越广泛。因此，为了安全可靠地使用电能，电路中就必须装有各种起控制、保护等作用的电气设备。凡是对电能的生产、输送、分配和使用起控制、调节、检测、转换及保护等的电气器件都可以称为电器。电器从生产和使用的角度，可分为高压电器和低压电器两大类。

1.1.1 低压电器的定义和用途

低压电器通常是指用于交流 50Hz、额定电压 1200V 及以下的和直流 1500V 及以下的电器。

低压电器在电路中的用途是根据外界施加的信号或要求，自动或手动接通或分断电路，从而连续或断续地改变电路的参数或状态，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节。

低压电器的特点是品种多、用量大和用途广泛。

1.1.2 低压电器的分类

低压电器的种类、规格很多，作用、构造及工作原理各不相同，因而有多种分类的方法。以下介绍四种分类方式：

1. 按用途分类

低压电器按它在电路中所处的地位和作用可以分成低压配电电器和低压控制电器。

(1) 配电电器。

配电电器主要用于低压供电系统，包括刀开关、转换开关、熔断器、断路器等。对配电电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果和保护性能好，有良好的动稳定性和热稳定性。

(2) 控制电器。

控制电器主要用于电力拖动控制系统,包括接触器、继电器、起动器和主令电器等。控制电器的主要技术要求是有相应的转换能力、操作频率高、电气寿命和机械寿命长。低压电器按用途分类的详细类型和用途见表1-1。

表1-1 低压电器按用途分类的详细类型和用途表

电器名称	电器名称	主要品种	用 途
配电电器	刀开关	刀开关、熔断器式刀开关、开启式负荷开关、熔断器式刀开关	主要用于电路隔离,也能接通和分断额定电流
	转换开关	组合开关、换向开关	用于两种以上电源或负载的转换和通断电路
	断路器	万能式断路器、塑料外壳式断路器、限流式断路器、漏电保护断路器	主要用于线路过载、短路或欠电压保护,也可用作不频繁接通和分断电路
	熔断器	半封闭插入式熔断器、无填料熔断器、有填料熔断器、快速熔断器、自复熔断器	用于线路或电气设备的短路和过载保护
控制电器	接触器	交流接触器、直流接触器	主要用于远距离频繁起动或控制电动机,以及接通和分断正常工作的电路
	继电器	电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、热继电器	主要用于控制系统中,控制其他电器或作主电路的保护
	起动器	电磁起动器、减压起动器	主要用于电动机的起动和正反向控制
	控制器	凸轮控制器、平面控制器、鼓形控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法,以达到电动机起功、换向和调速的目的
	主令电器	按钮、行程开关、主令控制器万能转换开关	主要用于接通和分断控制电路
	电阻器	铁基合金电阻	主要用于改变电路的电压、电流等参数或变电能为热能
	变阻器	励磁变阻器、起动变阻器、频敏变阻器	主要用于发电机调压及电动机的减压起动和调速
	电磁铁	起重电磁铁、牵引电磁铁、制动电磁铁	主要用于起重、操纵或牵引机械装置

2. 按操作方式分类

低压电器按它的操作方式可分成自动切换电器和手动切换电器。前者是依靠本身参数的变化或外来信号的作用,自动完成接通或分断等动作。后者主要是用手动直接操作来进行切换等动作。

(1) 自动切换电器。

自动切换电器是指通过电磁或气功机构动作来完成接通、分断、起动和停止等动作的电器。它主要包括接触器、断路器、继电器等。

(2) 手动切换电器。

手动切换电器是指通过人力来完成接通、分断、起动和停止等动作的电器,是一种非自

动切换的电器。主要包括刀开关、转换开关和主令电器等。

3. 按执行机理分类

低压电器按它有无触头可分为有触头电器和无触头电器两大类。

(1) 有触头电器。

有触头电器有动触头和静触头之分,利用触头的合与分来实现电路的接通或分断,目前有触头的电器仍占多数。

(2) 无触头电器。

无触头电器没有触头,主要利用晶体管的开关效应,即导通与截止来实现电路的接通或分断。

4. 按工作原理分类

低压电器按它的工作原理可分成电磁式电器和非电量控制电器。

(1) 电磁式电器。

电磁式电器的感测元件接受的是电流或电压等电量信号。

(2) 非电量控制电器。

非电量控制电器的感测元件接受的信号是热量、温度、转速、机械力等非电量信号。

1.1.3 低压电器的主要技术数据

1. 额定电流

(1) 额定工作电流。

额定工作电流是指在规定的条件下,保证开关电器正常工作的电流值。

(2) 额定发热电流。

额定发热电流是指在规定的条件下,电器处于非封闭状态,开关电器在8h工作制下,各部件的温升不超过极限能承受的最大电流。

(3) 额定封闭发热电流。

额定封闭发热电流是指在规定的条件下,电器处于封闭状态,在规定的最小外壳内开关电器在8h工作制下,各部件的温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

(4) 额定持续电流。

额定持续电流是指在规定的条件下,开关电器在长期工作制下,各部件的温升不超过规定极限值时所能承载的最大电流值。

2. 额定电压

(1) 额定工作电压。

额定工作电压是指在规定条件下,保证电器正常工作的工作电压值。

(2) 额定绝缘电压。

额定绝缘电压是指在规定条件下,用来度量电器及其部件的绝缘强度、电气间隙和漏电距离的标称电压值。除非另有规定,一般为电器最大额定工作电压。

(3) 额定脉冲耐受电压。

额定脉冲耐受电压是指反映电器当其所在系统发生最大过电压时所能耐受的能力。额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

3. 操作频率及通电持续率

开关电器每小时内可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。

通电持续率是电器工作于断续周期工作制时负载时间与工作周期之比,通常以百分数表示。

4. 机械寿命和电气寿命

机械寿命:机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数,称为机械寿命。在正常工作条件下,机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数称为电寿命。

电气寿命:对于有触头的电器,其触头在工作中除机械磨损外,尚有比机械磨损更为严重的电气磨损。因而,电器的电气寿命一般小于其机械寿命。

设计电器时,要求其电气寿命为机械寿命的20%~50%。

1.1.4 选择低压电器的注意事项

我国生产的低压电器品种规格较多,在选择时首先考虑安全原则,安全可靠是对电器的基本要求,保证电路和用电设备的可靠运行是正常生活与生产的前提。其次是经济性,即电器本身的经济价值和使用该电器产生的价值。另外,在选择低压电器时还应注意以下几点。

(1) 了解电器的正常工作条件,如环境温度、湿度、海拔高度、振动和防御有害气体等方面的能力。

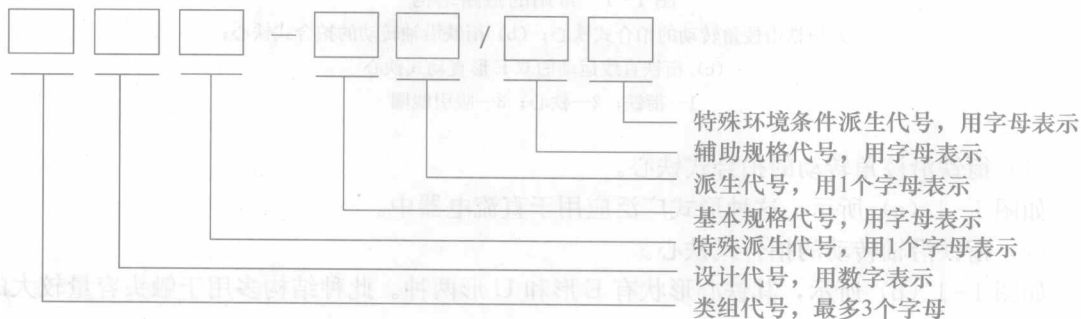
(2) 了解电器的主要技术性能,如用途、种类、通断能力和使用寿命等。

(3) 明确控制对象及使用环境。

(4) 明确相关的技术数据,如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、起动电流及工作制度等。

1.1.5 低压电器的型号表示法

国产常用低压电器的全型号组成形式如下:



练习与思考

1-1-1 从结构特征上如何区分交流电磁机构和直流电磁机构?如何区分电压线圈和电流线圈?电压线圈和电流线圈应该如何接入电源回路?

1-1-2 三相交流电磁铁的铁心上是否也装有短路环?为什么?

1-1-3 低压电器可以分成低压配电电器和低压控制电器。哪些低压电器属于配电电器?哪些低压电器属于控制电器?

1-1-4 低压电器的主要技术数据包括哪几个参数?

1-1-5 叙述电气设备的寿命是指什么寿命?

1.2 电磁式低压电器的结构与工作原理

低压电器在一般都有两个基本部分：一个是感受部分，它是感受外界的信号，做出有规律的反应，在自动切换电器中感受部分大都由电磁机构组成。另一个是执行部分，如触头，执行部分根据指令，执行电路的接通、断开任务。

电磁式电器在电气自动化控制电路中使用最多，类型也很多，其工作原理和构造基本相同。就其结构而言，大都由电磁机构和触头系统两个主要部分组成。

1.2.1 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的信号检测部分。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。电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁等几部分组成。

1. 常用的磁路结构

常用的磁路结构可分三种形式，如图 1-1 所示。

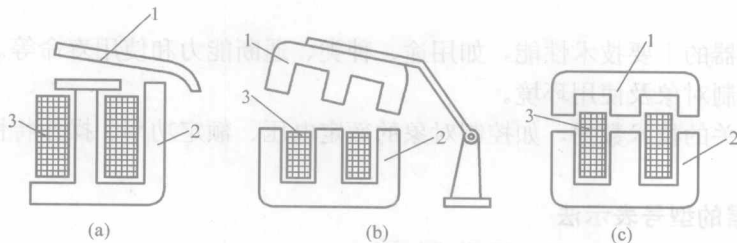


图 1-1 常用的磁路结构

(a) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心；(b) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心；

(c) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心

1—衔铁；2—铁心；3—吸引线圈

(1) 衔铁沿棱角转动的拍合式铁心。

如图 1-1 (a) 所示，这种形式广泛应用于直流电器中。

(2) 衔铁沿轴转动的拍合式铁心。

如图 1-1 (b) 所示，其铁心形状有 E 形和 U 形两种。此种结构多用于触头容量较大的交流电器中。

(3) 衔铁直线运动的双 E 形直动式铁心。

如图 1-1 (c) 所示，这种结构大都用于交流接触器、继电器中。

电磁式电器分为直流与交流两大类，都是利用电磁铁的原理制成。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则用硅钢片叠压而成。

2. 吸引线圈

吸引线圈是电磁机构的“心脏”，它的作用是将电能转换成磁场能量。按通入电流种类不同，吸引线圈可分为直流线圈和交流线圈。

根据励磁的不同，线圈可以分为串联和并联两种，串联线圈为电流线圈，并联线圈为电压线圈。

从结构上区分,线圈可分为有骨架和无骨架两种。交流电磁机构的线圈多为有骨架结构,主要用来散发铁心中的涡流与磁滞损耗所产生的热量;直流电磁机构的线圈多为无骨架结构。

3. 电磁吸力与吸力特性

电磁式电器采用交直流电磁铁的基本原理,电磁吸力是影响其可靠工作的一个重要参数,电磁铁的吸力可按下式求得

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

式中 F_{at} ——电磁吸力, N;

B ——气隙中的磁感应强度, T;

S ——磁极截面积, m^2 。

在固定铁心与衔铁之间的气隙值 δ 及外加电压值 U 一定时,对于直流电磁铁,电磁吸力是一个恒定值。但对于交流电磁铁,由于外加正弦交流电压,其气隙磁感应强度亦按正弦规律变化,即

$$B = B_m \sin \omega t$$

将上式代入式 (1-1) 整理得

$$F_{at} = \frac{F_{atm}}{2} - \frac{F_{atm}}{2} \cos 2\omega t = F_0 - F_0 \cos 2\omega t \quad (1-2)$$

$$F_{atm} = \frac{10^7}{8\pi} B_m^2 S$$

$$F_0 = \frac{F_{atm}}{2}$$

式中 F_{atm} ——电磁吸力最大值;

F_0 ——电磁吸力平均值。

因此交流电磁铁的电磁吸力是随时间变化而变化的。

另一方面,交、直流电磁铁在吸动或释放过程中,由于气隙 δ 值是变化的,因此电磁吸力又随 δ 值变化而变化。通常交流电磁铁的吸力是指它的平均吸力。所谓吸力特性,是指吸力过程中电磁吸力 F_{at} 随衔铁与铁心间气隙 δ 变化的关系曲线。不同的电磁机构有不同的吸力特性。图 1-2 所示为一般电磁铁的吸力特性。

对于直流电磁铁,其励磁电流的大小与气隙 δ 无关。动作过程中为恒磁动势工作,其吸力随气隙的减小而增大,所以吸力特性曲线比较陡峭,如图 1-2 中的 1 所示。而交流电磁铁的励磁电流与气隙成正比。动作过程中为近似恒磁通工作,其吸力随气隙的减小略有增大,所以吸力特性比较平坦,如图 1-2 中的 2 所示。

4. 反力特性和返回系数

所谓反力特性,是指吸动过程中反作用力 F_r 与气隙 δ 的关系曲线,如图 1-2 中的 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的上方,即吸力要大于反力。反之衔铁释放

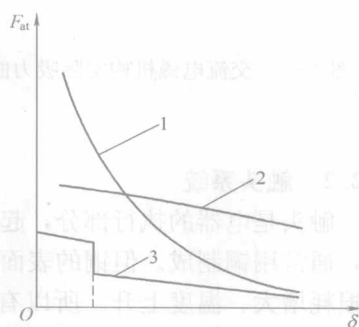


图 1-2 电磁铁的吸力特性

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