



工厂常用电器与工厂供电

■ 章世清 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



工厂常用电器与工厂供电

章世清 主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书包含工厂电器和工厂供电两部分内容, 主要内容包括电器基础知识、常用低压电器、常用高压电器、组合电器与成套装置、电工材料、工厂供电基本概念、工厂电力负荷计算、短路电流及计算、工厂供电一次系统、继电保护及二次系统、工厂供电自动化技术、电力事故的防护、节约用电及该课程的实验等内容。

本书可作为高等院校自动化类专业相关课程的教材, 也可作为相关工程技术人员资格认证及职工培训用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂常用电器与工厂供电/章世清主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2442 - 0

I. 工… II. 章… III. ①工厂 - 电气设备②工厂 - 供电 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 112524 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 18.25

字 数 / 370 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 36.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

《工厂常用电器与工厂供电》是高等院校自动化类专业的一门主干课程用书。

本书充分考虑到新设备、新技术的发展，密切联系生产实际，整合了“工厂常用电气设备”与“工厂供电”等课程的内容，构建电器与供电两个知识内容，既前后关联又相互独立，对于自动化类的学生来说，这些知识是必需和适度的。

本书内容由浅入深，较全面地介绍了工厂常用电器和供电的基础知识，侧重应用，力求做到知识面广，实用性强。教师在使用过程中可以根据专业特点，适当取舍。全书分为 13 章及工厂电器与供电课程实验，每章书后面附有一定量的习题，书后附有常用电器的技术参数及部分工厂的全厂需要系数和常用设备的需要系数，供师生查阅。

本书由章世清负责全书的统稿并任主编，徐金雄任副主编。其中章世清编写第 1、第 2、第 3、第 4 章及附录，徐金雄编写第 6、第 7、第 8、第 9 章，贾小兵编写第 10、第 11、第 12、第 13 章，陈红梅编写第 5 章和实验部分。

全书由李道霖和王晓敏主审，在编写过程中得到了葛洲坝集团电力有限公司、机械船舶有限公司的倾力协助，北京理工大学出版社的同志给予了大力支持，书中引用了一些专家的观点，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免存在一些错误和疏漏，希望读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电器基础知识	1
§ 1.1 电器的基本概念	1
§ 1.2 电磁式电器的电磁机构	4
§ 1.3 电器的触点系统	9
§ 1.4 电器的灭弧系统	12
习题	16
第 2 章 常用低压电器	17
§ 2.1 低压断路器	17
§ 2.2 低压熔断器	24
§ 2.3 接触器	29
§ 2.4 继电器	34
§ 2.5 主令电器	43
习题	47
第 3 章 常用高压电器	49
§ 3.1 高压熔断器、隔离开关和负荷开关	49
§ 3.2 高压断路器	54
§ 3.3 互感器	64
§ 3.4 避雷器和其他常用电力电器	74
习题	78
第 4 章 组合电器与成套装置	80
§ 4.1 低压刀开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器	80
§ 4.2 启动器与控制器	88
§ 4.3 电力成套配电装置	93
习题	97
第 5 章 电工材料	99
§ 5.1 导电材料	99
§ 5.2 绝缘材料	107
§ 5.3 磁性材料	114
§ 5.4 电工新材料简介	117



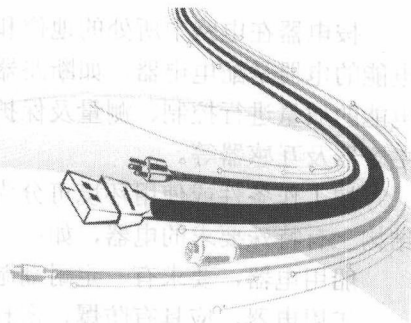
习题	120
第6章 工厂供电系统概述	121
§ 6.1 工厂供电系统的基本知识	121
§ 6.2 电力系统的额定电压	126
§ 6.3 电力系统中性点运行方式	129
习题	132
第7章 工厂电力负荷计算	134
§ 7.1 电力负荷和负荷曲线	134
§ 7.2 工厂电力负荷的确定	137
§ 7.3 尖峰电流的计算	143
习题	144
第8章 短路电流及计算	147
§ 8.1 短路电流的基本概念	147
§ 8.2 短路电流计算	149
§ 8.3 短路电流效应	158
习题	161
第9章 一次系统	163
§ 9.1 工厂变、配电所电气主接线	163
§ 9.2 工厂电力线路	171
§ 9.3 导线和电缆截面的选择	180
习题	183
第10章 继电保护及二次系统	185
§ 10.1 继电保护的基本知识	185
§ 10.2 高压供电线路的继电保护	193
§ 10.3 电力变压器的继电保护	202
§ 10.4 绝缘监察装置和电气测量仪表	208
习题	211
第11章 工厂供电自动化技术	213
§ 11.1 供电线路自动重合闸装置	213
§ 11.2 备用电源自动投入装置	216
习题	221
第12章 电力事故的防护	222
§ 12.1 电力事故的规律和预防原则	222
§ 12.2 防止电力事故的安全技术措施	224



§ 12.3 雷电防护	227
§ 12.4 静电防护	229
习题	233
第 13 章 节约用电	234
§ 13.1 节约用电的意义和措施	234
§ 13.2 提高自然功率因数的方法	237
§ 13.3 采用人工补偿装置提高功率因数	238
习题	245
工厂常用电器与供电课程实验	246
实验须知	246
实验一 低压电器的认识实验	247
实验二 高压电器的认识实验	249
实验三 定时限过电流保护实验	250
实验四 反时限过电流保护实验	252
实验五 电力电缆绝缘电阻的测量及故障探测	254
附录	257
附录一 常用低压断路器主要技术参数	257
附录二 常用低压熔断器主要技术参数	259
附录三 常用接触器主要技术参数	261
附录四 常用继电器主要技术参数	262
附录五 常用主令电器的主要技术参数	266
附录六 常用高压熔断器、隔离开关、负荷开关主要技术参数	268
附录七 常用高压断路器主要技术参数	271
附录八 常用互感器主要技术参数	273
附录九 常用刀开关、隔离器的主要技术参数	274
附录十 常用的电气设备图形符号和文字符号	276
附录十一 部分工厂的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参考值	278
附录十二 部分用电设备的需要系数、二项式系数及功率因数	279
附录十三 绝缘导线线芯的最小截面	280
参考文献	281

第 1 章

电器基础知识



电器是电力系统中重要的组成部分，本章主要介绍电器基础知识，电弧的产生及熄灭方法；电磁式电器的电磁机构，电器的触点系统。

§ 1.1 电器的基本概念

1.1.1 电器的定义与分类

电器是电力系统中除发电、变电、用电设备以外的其他电气具的总称，以实现电路或非电路对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节为目的的电气设备。

电器种类繁多，结构各异，功能多样，用途广泛，其分类方法也很多。

按电器适用的电路电压等级来分，可以分为高压电器和低压电器。高压和低压是一个相对的概念，按国家标准关于电网额定电压等级的规定，把额定电压在 3 kV 及以上的电压称为高压，有 3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、63 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV、1 000 kV 等各电压等级；额定电压交流 1.2 kV 及以下，直流 1.5 kV 及以下的电压称为低压，有交流 36 V、220 V、380 V、660 V、1 140 V 等电压等级，直流 36 V、48 V、110 V、220 V、440 V、800 V 等电压等级。适用于高压电路中的电器称为高压电器，应用于低压电路中的电器就是低压电器。电器的额定电压，是指作用于电路的主控部件的额定电压，而不是指操作电源的额定电压。高压电器与低压电器虽然在功能上有一些相似之处，但是二者在结构特征上有较大的差异。

按电器适用的电源性质分，可分为交流电器与直流电器。应用于交流电路的电器是交流电器，应用于直流电路的电器则是直流电器。对于电磁系列和电动系列的电器，同样依据该电器所作用的电路性质来确定，而不能以输入该电器的操作电源的性质来确定其是交流电器还是直流电器。



按电器在电路中所处的地位和作用分,可以分为配电电器和控制电器,用来分配和传输电能的电器是配电电器,如断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器等,控制电器是对电路和电能的质量进行控制、测量及保护作用的电器,如接触器、启动器、控制继电器、控制器、主令器及互感器等。

按工作条件或使用环境可分为普通电器和特种电器,所谓特种电器是适应特殊环境,在结构上有特殊要求的电器,如:

船用电器,要求有一定耐潮湿、耐腐蚀和抗冲击、抗震性能,主要用于船舶和舰艇。

矿用电器,应具有防爆、密封、耐潮湿、抗冲击的性能。

化工电器,具有耐腐蚀、耐潮湿和防爆性能。

热带型电器,具有抗高温、抗盐雾、耐潮湿、耐腐蚀性能。

高原型电器,具有抗低气压、抗盐碱、防风沙、结构稳定、耐寒等特性。

按其工作方式可分为自动电器、手动电器两类。自动电器是依据外来信号和自身参数的变化,通过电磁机构或压缩空气来完成接通、分断、启动等动作,如接触器、继电器等;而手动电器则是由手力操纵手柄带动执行机构完成上述动作的,如刀开关、主令器、凸轮控制器等。

按有无触点可分为有触点电器和无触点电器。有触点电器是通过触点的开闭完成对电路的接通与分断,或达到切换电路的目的,它最显著的特点是能完全切断电流,隔离电源,有良好的分断能力,但由于电弧和机械磨损会影响其使用寿命。无触点电器是通过改变电路的参数达到上述目的,这种电器的特点是无触点系统,不会产生电弧,没有机械噪声,但是压降大,温升高,一般不能完全隔离电源。

1.1.2 对电器的基本要求

电器种类繁多,结构千差万别,但不论其差异如何,对电器的基本要求都是相同的,这也是设计和使用电器的基本原则。应该根据本地区的供、配电条件,用电容量、负荷性质和类别,做到合理选型,从而保障供电可靠,技术先进,经济合理。

(1) 安全性。所有的电器不但能正常地满足负荷电流做功的需要,还能承受住故障时短路电流的热效应、电磁效应产生的破坏力,满足热稳定性和动稳定性的要求。这就要求电器的额定电压、额定电流、额定频率都应与电网相符合,以满足电器在正常状态下的稳定工作要求。而且当电力系统发生故障,如短路、过载、过压等非正常状态时,要求电器从发生故障到保护装置将故障线路切除这一段时间内,不会损坏。

电器的热稳定性是指电器在运行过程中,会有各种损耗而发热,如果发热超过电器的极限允许温度,则电器的性能就会受到极大的影响,甚至损毁电器。在正常情况下,电器一方面由于有电流通过而发热产生热量积累,另一方面电器又通过传导、对流和辐射向周围散热,当二者达到平衡时,电器的温度达到稳定值。但是在短路时,由于电流剧增而电器又来不及与周围介质发生热交换,电器在这种状态时,温度快速上升。在故障未排除前,电器必须能



承受短路电流所产生的热效应。电器在规定使用条件下，短时间内通过最大电流而不损坏的性能，称为电器的热稳定性。

热稳定电流 I_t 是指电器在规定的使用条件和时限范围 t 内，在闭合位置上保证不超过极限允许温度的最大电流。 t 分别取 2 s、4 s、10 s，称为 2 s、4 s、10 s 热稳定电流。电器的热稳定电流是否满足实际需要，必须进行热稳定性校验。其条件为

$$I_{\infty}^2 t_{dz} \leq I_t^2 t \quad (1-1)$$

式中 I_{∞} ——短路电流的最大值，一般按三相短路电流计算；

t_{dz} ——短路开始至自动切除为止的时间；

I_t 、 t —— t s 热稳定电流。

电器在通过电流时，在其周围空间会产生磁场，磁场反过来又对电流产生作用力，人们把这种安培力称为电动力。电动力对电器有很强的破坏力。如载流线圈受到向外的张力，会使线圈散包，如图 1-1 所示；也会使载流平行导体变形或使电气连接处松脱，如图 1-2 所示。当平行导体通以同方向电流时相互吸引，通以反方向电流时相互排斥。

电器的动稳定性是指导体和电器承受短路电流电动力作用的能力，一般称为动稳定。电器的动稳定是否满足实际要求，也要进行校验，其条件是

$$\begin{aligned} I_{chm} &\leq I_{dwm} \\ I_{ch} &\leq I_{dw} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 I_{chm} 、 I_{dwm} ——三相短路冲击电流的幅值及有效值；

i_{dw} 、 I_{dw} ——电器允许通过动稳定电流的峰值和有效值。

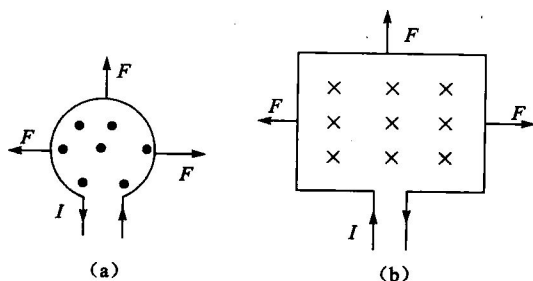


图 1-1 载流线圈受到的电动力

(a) 圆形线圈；(b) 矩形线圈

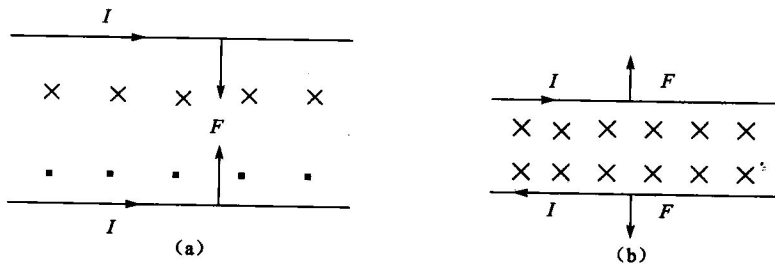


图 1-2 载流平行导体受到的电动力

(a) 同方向电流；(b) 反方向电流

(2) 可靠性。所有的电器不但在正常状态下能可靠地工作，还在线路和设备发生故障时，能够利用电器具备的功能迅速地对故障线路或设备有效地切除、隔离，迅速恢复非故障区的供电，而且要求误动作少。

(3) 适应性。电器的结构要适应工作环境和控制的要求，特殊环境要使用特种电器，普通环境也要考虑其结构与工作条件的关系，如，是室内还是室外、是自动还是手动等。

1.1.3 电器的学习方法

学习本篇，要求掌握工厂常用电器的工作原理，主要产品的结构、用途、电路符号和运行特点。可以采用类比的方法学习，高压电器和低压电器在功能上有许多相似之处，也有相对应功能的产品，本教材采用按适用电压等级分类方法安排章节，这样把复杂问题简单化，有利于类比学习。

§ 1.2 电磁式电器的电磁机构

电磁式电器在电气控制系统中使用量是最大的，类型也最多。各类电磁式电器的工作原理基本相同，其结构也大同小异，就结构而言，主要由检测部分（电磁机构）和执行部分（触点系统）及灭弧系统和缓冲机构等几部分组成。

1.2.1 电磁机构的组成和分类

电磁机构是电磁式电器的主要部件之一，它的作用是将电磁能转化为机械能，带动执行机构动作。

1. 电磁机构的组成

电磁机构由铁芯（包括衔铁）、线圈、返回系统三部分组成。

(1) 铁芯的作用是构成磁路，并通过衔铁的运动带动触点动作。铁芯有 U 形、E 形、筒形等基本形式，衔铁有条形、U 形、E 形、圆柱形等基本形式。衔铁的运动有转动式和直动式。

(2) 线圈是电磁式电器的励磁系统，其作用是将电能转化为磁能，产生磁场，衔铁在电磁力的作用下发生机械位移与之吸合。通以直流电的线圈称为直流线圈，通以交流电的线圈称为交流线圈。对于直流线圈，其铁芯通常由软钢或工程纯铁制成，铁芯不发热，只有线圈发热，因此直流线圈做成高而薄的瘦高型，而且不设骨架，线圈直接与铁芯接触，有利于散热。对于交流线圈，由于其铁芯中有磁滞和涡流损耗，所以铁芯和线圈都发热，交流线圈一般都设有骨架，使铁芯与线圈隔离，并将线圈设计成短而厚的矮胖型，而且铁芯通常由电工钢片叠压而成，在端口处还加有分磁环，也叫短路环，以减小涡流损耗和电磁振动。

(3) 返回系统的作用是使被吸合的衔铁在线圈断电后能够复原的重要装置。电磁式电器



的返回系统通常利用弹簧的弹力或衔铁自身的重力作用，既简单又灵敏。

2. 电磁机构的分类

(1) 按衔铁的运动方式可分为拍合式和直动式，常用的结构形式有以下几种，如图 1-3 所示。

① 衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，如图 1-3 (a) 所示，这种结构的磁路气隙可以有 1~3 个，返回系统多用弹簧返回，该结构广泛应用于直流电器中。

② 衔铁沿轴转动的拍合式铁芯，如图 1-3 (b) 所示，其铁芯的形状有 E 形和 U 形两种，磁路气隙 1~3 个，返回系统可以用弹簧也可以用自身重力返回，该结构多用于触点容量较大的交流电器中。

③ 衔铁做直线运动的双 E 形直动式铁芯，也称为提篮式，如图 1-3 (c) 所示，磁路气隙至少两个，返回系统可以用弹簧也可以用重力返回，该结构多用于交流接触器、继电器以及其他交流电磁机构的电磁系统中。

④ 衔铁做直线运动的管形直动式铁芯，也称为螺管式，如图 1-3 (d) 所示，其衔铁为圆柱形，只有一个气隙，返回系统可以用弹簧也可以用重力返回，该种结构最为紧凑，灵敏度较高，但是电磁功率较小。

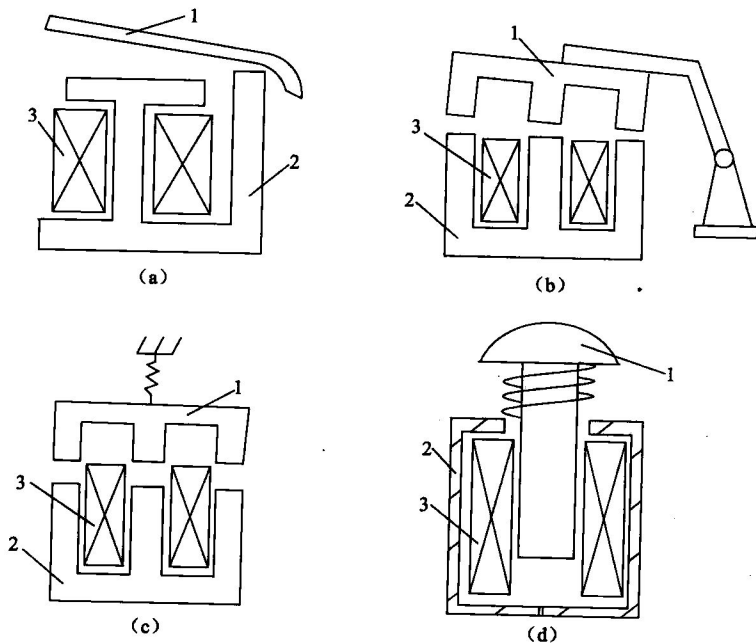


图 1-3 电磁机构的典型结构形式

1—衔铁；2—铁芯；3—电磁线圈

(2) 按线圈与电路的连接方式可分为电流型电磁机构和电压型电磁机构。

① 电流型电磁机构的线圈串联接入电路中，如图 1-4 (a) 所示，流过线圈的电流较大，为了减小其对电路的分压作用，线圈所用的导线粗，匝数少，线圈的阻抗小，该线圈被称为电流量圈。

② 电压型电磁机构的线圈并联接入电路中，如图 1-4 (b) 所示，为了减小线圈对电路的分流作用，降低对电路的影响，线圈的阻抗要求较大，所以线圈的线径细，匝数多，该线圈被称为电压线圈。

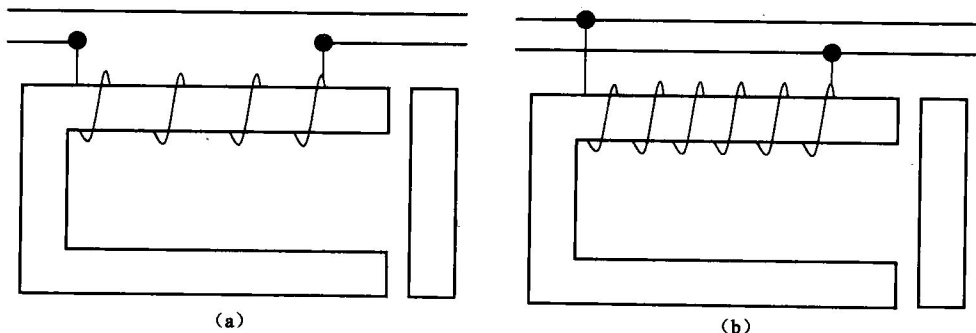


图 1-4 电磁机构

(a) 电流型；(b) 电压型

(3) 按励磁电源的种类，可分为直流电磁机构和交流电磁机构。

1.2.2 电磁机构的吸力特性与反力特性

电磁式电器的基本工作原理如图 1-5 所示，当线圈中通以电流时，线圈中产生的磁场作用于衔铁，衔铁受到力的作用而产生机械位移，带动触点动作。当线圈断电后，衔铁失去电磁吸引力，由复位弹簧将其拉回原位，从而带动触点复位。因此作用于衔铁的力有两个，即电磁吸力与反力，电磁吸力由电磁机构产生，而反力由复位弹簧和触点弹簧产生。

电磁吸力可以由式 (1-3) 表示，即

$$F = \frac{10^7}{8\pi} B^2 S \quad (1-3)$$

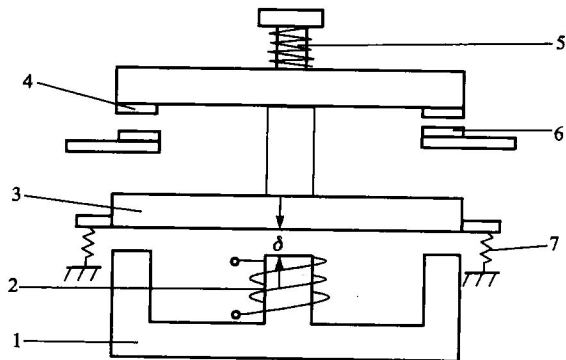


图 1-5 电磁式电器工作原理

1—铁芯；2—线圈；3—衔铁；4—动触点；5—触点弹簧；
6—静触点；7—释放弹簧



式中 F ——电磁吸力, N;
 B ——气隙的磁感应强度, T;
 S ——磁极横截面积, m^2 。

当线圈中通以直流电时, F 为一恒定值。当线圈中通以正弦交流电时, 其气隙的磁感应强度也按正弦规律变化, 即

$$B = B_m \sin \omega t \quad (1-4)$$

代入式 (1-3) 得电磁吸力的瞬时值

$$F = \frac{10^7}{8\pi} SB_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{10^7}{8\pi} SB_m^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 知, 电磁吸力的最大值为

$$F_{\max} = \frac{10^7}{8\pi} SB_m^2 \quad (1-6)$$

电磁吸力的最小值为

$$F_{\min} = 0 \quad (1-7)$$

吸力特性是指电磁吸力 F 随衔铁与铁芯间气隙 δ 变化的关系曲线。气隙越大, 吸力越小, F 与 δ 成反比例关系。不同的电磁机构, 有不同的吸力特性, 实验表明, 螺管式的吸力 F 随 δ 变化较小, 拍合式的吸力 F 随 δ 变化最大。图 1-6 所示为电磁机构的吸力与反力最典型的特性曲线。

对于直流通圈, 其励磁电流的大小与气隙无关, 衔铁运动过程中是恒磁势工作, 所以吸力特性曲线比较陡峭 (如图 1-6 中的 1 所示)。而交流线圈的励磁电流与气隙成正比, 衔铁在运动过程中为恒磁通工作, 但考虑到漏磁和线圈电阻的影响, 其吸力平均值随气隙的增大而略有减小, 所以吸力特性曲线比较平坦, 如图 1-6 中的 2 所示。

其反力特性是指反力 F_r 随气隙 δ 变化的关系曲线, 如图 1-6 中的 3 所示, 由电磁机构的吸力与反力特性曲线可知, 电磁机构要正常工作, 其吸力特性与反力特性必须配合得当; 否则, 电磁机构就会动作混乱。在衔铁吸合的全过程中, 其吸力特性曲线必须在反力特性曲线上方, 即吸力大于反力, 如图 1-7 (a) 所示。而在衔铁释放的全过程中, 其反力特性曲线必

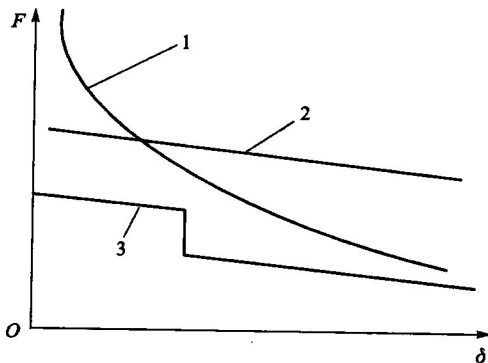


图 1-6 吸力特性与反力特性曲线
 1—直流通圈电磁机构的吸力特性曲线; 2—交流电磁机构的吸力特性曲线; 3—反力特性曲线



须在吸力特性曲线的上方，亦反力大于吸力，如图 1-7 (b) 所示。在吸合的过程中同时还必须注意吸力特性曲线位于反力特性曲线上方不能太高，一方面会无谓浪费能量，另一方面会由于衔铁对铁芯的碰撞而产生振动甚至影响到电器的机械寿命，合理配合的基本原则是：在满足吸力特性曲线在反力特性曲线上方的原则下，应使二者尽量靠近，甚至允许有少量交叉。

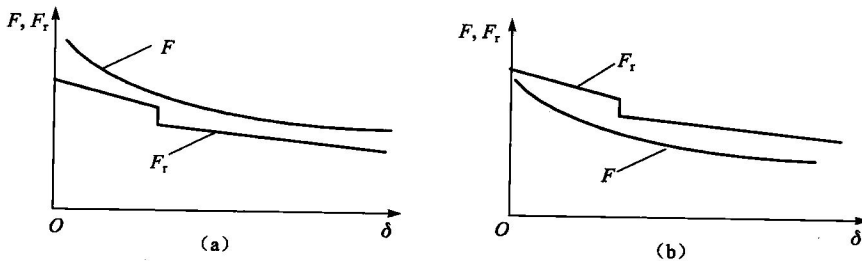


图 1-7 电磁机构的吸合与复位

(a) 吸合；(b) 复位

1.2.3 交流电磁机构上短路环的作用

由式 (1-5) 可知，交流电磁机构的电磁吸力是一个周期性变力，其频率是电源频率的 2 倍，其变化关系如图 1-8 所示。

当电磁吸力的瞬时值大于反力时，衔铁吸合，反之衔铁释放。电源电压变化一个周期，衔铁吸合两次，释放两次，若励磁电源为工频，则衔铁每秒将有 100 次振动，同时也会产生噪声，为此必须采取有效的措施，消除振动与噪声。

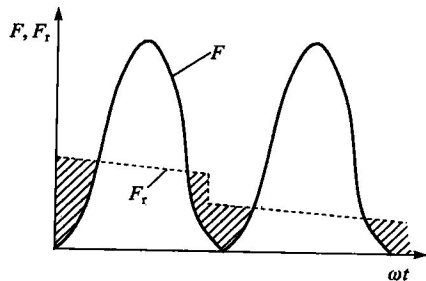


图 1-8 交流电磁机构的吸力

具体的办法就是在铁芯端面的 $2/3$ 处开个小槽，在槽内安装一个铜质的短路环，又称分磁环，如图 1-9 (a) 所示，加了分磁环后，铁芯的磁场被分成两部分，即环外部分 B_1 和环内部分 B_2 ，由于磁场的变化，在铜环内就产生感应电流，该变化的电流产生的磁场阻碍了 B_2 的变化，如果设计合理，可以使 B_2 的相位滞后 B_1 约 90° ，而电磁吸力与 B 的平方成正比，所以使得电磁吸力的合力始终大于反力，使衔铁牢牢被铁芯吸合，这样就消除了振动与噪声。其形成的合力如图 1-9 (b) 所示。

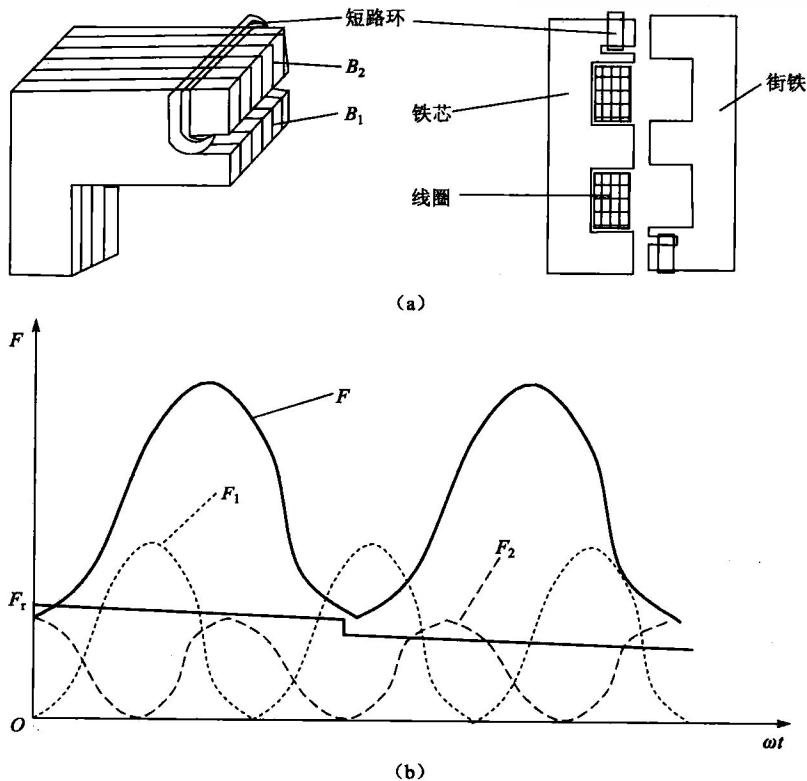


图 1-9 短路环的作用

(a) 短路环的结构；(b) 加短路环后的电磁力

§ 1.3 电器的触点系统

1.3.1 触点的概念和触点材料

触点是电器的执行机构，它在衔铁的带动下起接通和分断电路的作用，触点总是成对出现，其中固定不动的称为静触点，随衔铁运动的称为动触点。根据它在电路中所起的作用，要求触点具有良好的导电和导热性能，同时还要有良好的接触性能。触点通常用铜、银、镍及其合金材料制成，有时也在铜触点的表面电镀银、锡或者镍。铜容易氧化在触点的表面生成氧化铜，它将增大触点的接触电阻，使触点的损耗加大，电器的温度上升。所以有些特殊用途的电器或者电流容量较小的电器的触点常采用银质材料，这不仅因为银质触点的导电、导热性能优于铜质触点，而且银质触点的氧化物的电阻率很低，与纯银的电阻率几乎相同，



银的氧化要在较高的温度下才可进行，而且形成的氧化膜极易粉末化，随触点的运动很容易自洁，这样可以有效地避免因触点表面氧化而引起的接触不良。对于大容量和中等容量的电器，在结构设计上，触点常采用滚动设计，可将氧化膜去掉，一般常采用铜质材料，这样既经济又能满足电器的导电和容量要求。

1.3.2 触点的接触电阻

触点的电阻不仅取决于构成触点的导体电阻，更重要的是取决于触点之间的接触电阻。

触点间的接触电阻包括“表面膜电阻”和“收缩电阻”。“表面膜电阻”是触点接触表面在介质中形成的氧化物、硫化物、有机聚合物、纤尘及油水等所形成的电阻，“表面膜电阻”可能比导体本身的电阻大几十甚至几千倍，导电性能极差，且受环境的影响大。“收缩电阻”是由于触点的接触面并不绝对光滑，在接触时，其实际接触面积总是小于触点的可接触面积，这样有效导电截面积减小，当电流流过触点时，会形成电流收缩现象，从而使电阻增大，导电性能变差，由于这种原因增加的电阻称为“收缩电阻”。

如果触点的接触电阻变大，当电流流过触点时，压降增大，电阻损耗加大，温度升高，这样会导致“表面膜电阻”进一步增大，形成恶性循环，使相邻的绝缘材料老化，严重时会使触点熔焊，造成电力设备和电力系统发生事故。所以减小接触电阻并使之保持稳定是电器对触点的必然要求，接触电阻的大小与接触面的大小、压力、温度、材料、化学性质、接触面的粗糙程度等都有密切关系，通常可以采用以下措施减小接触电阻：

- (1) 触点闭合时保持一定的压力。
- (2) 设计触点时应使其具有自清洁功能。
- (3) 合理选择触点材料的硬度及电化学性能。
- (4) 触点表面镀覆盖层。

1.3.3 触点的分类

按开闭电流的大小，可分为弱电流触点、中电流触点、强电流触点。开闭电流在 10 A 以下的触点称为弱电流触点，10 A 以上 100 A 以下的触点称为中电流触点，100 A 及以上的触点称为强电流触点。中、强电流触点又被称为触头。弱电流触点也被称为接点。

按工作状态，触点可分为动合（常开）触点和动断（常闭）触点，任何触点都有两个状态，即开和闭，而触点的开和闭是由操动机构来实现的，相应的操动机构也有两个状态，即分闸和合闸，人们把操动机构的分闸状态称为自然状态，合闸状态称为操作状态。一般情况下，操动机构的分、合状态与触点的开、闭状态是对应的，但是有时也有相悖的情况出现。在自然状态时断开，在操作状态时闭合的触点称为动合触点；而在自然状态时闭合，在操作状态时断开的触点称为动断触点。在电路图中都应按照其自然状态下的实际情形画出，其图形符号如图 1-10 所示。

按照触点所处电路中的位置，可分为主触点和辅助触点，处在主电路中的触点称为主