



教育部 高职高专规划教材

电气控制技术

● 周庆贵 主编
黄章 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电气控制技术

周庆贵 主编
黄章 主审

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制技术/周庆贵主编. —北京: 化学工业出版社, 2001.8
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-3304-4

I. 电… II. 周… III. 电气控制-高等学校: 技术学校-教材 IV. TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 039891 号

教育部高职高专规划教材

电气控制技术

周庆贵 主编

黄章 主审

责任编辑: 张建茹 王丽娜

责任校对: 马燕珠

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11 $\frac{1}{4}$ 字数 275 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-3304-4/G·867

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神，为满足高职高专电类相关专业教学基本建设的需要，在教育部高教司和教育部高职教育教学指导委员会的关心和指导下，全国石油和化工高职教育教学指导委员会广泛开展调研，召开多次高职高专电类教材研讨会，组织编写了20本面向21世纪的高职高专电类专业系列教材，供工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、应用电子技术、机电应用技术及工业仪表自动化、计算机应用技术等相关专业使用。

本套教材立足高职高专教育人才培养目标，遵循主动适应社会发展需要、突出应用性和针对性、加强实践能力培养的原则，组织编写了专业基础课程的理论教材和与之配套的实训教材。实训教材集实验、设计与实习、技能训练与应用能力培养为一体，体系新颖，内容可选择性强。同时提出实训硬件的标准配置和最低配置，以方便各校选用。

由于本套教材的整体策划，从而保证了专业基础课与专业课内容的衔接，理论教材与实训教材的配套，体现了专业的系统性和完整性。力求每本教材的讲述深入浅出，将知识点与能力点紧密结合，注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本教材内容面向工程实际，面向当今控制技术，突出了加强应用技能、拓宽知识面、理论知识适度的特点。叙述方法上注重简明扼要，深入浅出，详略得当，举一些实例，使读者容易理解电气控制技术的理论。内容安排上由浅入深，前四章介绍传统的继电器接触式控制系统的基本原理，后三章介绍当今在机床中广泛使用的数字控制技术方面的相关知识。

教材内容简洁，选材合理，结构严谨。具有如下特点：①根据面向具体读者的思想，组织编写内容；②常用低压电器中增加了诸如无触点限位开关、固态继电器、漏电保护开关、光电开关、电子式热继电器等新型电器；③介绍了数控机床的加工原理，数控系统的构成及工作原理。主要内容有常用低压电器，控制线路的基本环节，典型设备的控制线路，电气控制线路设计基础，数控机床的加工控制原理，数控机床的伺服驱动及位置检测，典型数控机床电气控制系统。

本书由周庆贵任主编，并编写第五、六章和第七章第三节，王立宪编写第一、四章，孙琴梅编写第二章，许玮编写第三章第一、二节，第七章第一、二节，陈惠荣编写第三章第三、四、五、六节，全书由周庆贵统稿。

本书由黄章教授主审。在本书的编写过程中，还参考了部分兄弟院校的教材和相关厂家的资料。武红军老师对本书提出了许多宝贵意见。在此一并表示衷心感谢

由于编者水平所限和编写时间比较仓促，书中疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2001年4月

内 容 提 要

本书共分七章。内容有：“常用低压电器、电气控制线路的基本环节、典型机械设备的电气控制线路分析、电气控制线路设计基础、数控机床的加工控制原理及其伺服系统及位置检测、典型数控机床电气控制系统等。本书内容简洁，选材合理，结构严谨，增加了如无触点限位开关、光电开关等新型电器的介绍，重点介绍了数控机床的有关知识。

本书可作为高职、高专、成教、电大电类《电气控制技术》、《工厂电气控制设备》等课程的教材。中职学校相关专业也可选用，同时可供工程技术人员参考。

目 录

第一章 常用低压电器	1	第一节 设计的基本内容和一般原则	73
第一节 低压电器的基本知识	1	第二节 电气控制线路的设计方法	75
第二节 低压电器的电磁机构及执行机构	3	第三节 电气控制线路设计中的元器件选择	79
第三节 熔断器	7	第四节 电气控制系统中的保护环节	83
第四节 低压开关	10	第五节 电气控制电路设计举例	85
第五节 主令电器	13	思考题与习题	87
第六节 接触器	15	第五章 数控机床的加工控制原理	89
第七节 继电器	17	第一节 数控的基本知识	89
第八节 新型低压电器介绍	21	第二节 数控机床的特点及发展	91
思考题与习题	26	第三节 轨迹插补原理	96
第二章 电气控制线路的基本环节	27	第四节 数控加工程序的编制	102
第一节 电气制图及电路图分类	27	思考题与习题	111
第二节 电气控制线路的逻辑代数分析方法	29	第六章 数控机床的伺服系统及位置检测	112
第三节 三相笼型异步电动机起动控制电路	31	第一节 概述	112
第四节 三相异步电动机制动控制电路	37	第二节 步进电动机伺服系统	114
第五节 笼型多速异步电动机控制电路	40	第三节 直流电动机伺服系统	121
第六节 直流电动机控制电路	41	第四节 交流电动机的伺服系统	128
第七节 同步电动机控制电路	44	第五节 位置检测元件	131
第八节 电气控制线路的其他典型环节	47	第六节 位置控制原理	144
思考题与习题	49	思考题与习题	146
第三章 典型机械设备的电气控制线路分析	51	第七章 典型数控机床电气控制系统	147
第一节 车床电气控制线路	52	第一节 数控系统的构成	147
第二节 钻床电气控制线路	53	第二节 数控车床电气控制系统分析	153
第三节 铣床电气控制线路	57	第三节 数控线切割机床电气控制系统分析	159
第四节 磨床电气控制线路	61	思考题与习题	165
第五节 锻压机械电气控制线路	64	附录	166
第六节 起重机电气控制线路	67	参考文献	172
思考题与习题	72		
第四章 电气控制线路设计基础	73		

第一章

常用低压电器

电器是所有电工器械的简称。凡是根据外界特定的信号和要求,自动或手动接通和断开电路,断续或连续改变电路参数,实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节作用的电气设备统称为电器。随着科学技术的飞速发展,自动化程度的不断提高,电器的应用范围日益扩大,品种不断增加。尤其是随着电子技术在电器中的广泛应用,近年来出现了许多新型电器。按照我国现行标准规定,低压电器通常是指工作在交流 1200V 或直流 1500V 以下的电器。本章主要介绍机械设备电气控制系统中常用的几种低压电器。

第一节 低压电器的基本知识

一、低压电器的分类

低压电器的品种规格繁多,构造及工作原理各异,有多种分类方法。

1. 按用途分

(1) 低压配电电器 这类电器包括刀开关、转换开关、熔断器和断路器等,主要用于低压配电系统中,实现电能的输送和分配,以及系统保护,要求这类电器动作准确、工作可靠、稳定性能良好。

(2) 低压控制电器 这类电器包括接触器、继电器及各种主令电器等,主要用于电气控制系统,要求这类电器工作准确可靠、操作频率高、寿命长、而且体积小、质量轻。

2. 按动作性质分

(1) 自动电器 这类电器依靠电器本身的参数变化或外来信号(如电流、电压、温度、压力、速度、热量等)而自动接通、分断电路或使电动机进行正转、反转及停止等动作,如接触器及各种继电器等。

(2) 手动电器 这类电器依靠外力(人工)直接操作来进行接通、分断电路等动作,如各种开关、按钮等。

3. 按低压电器的执行机理分

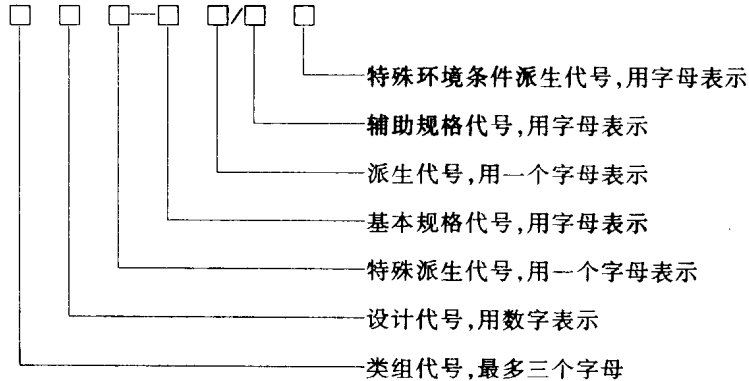
(1) 有触点电器 这类电器具有动触点和静触点,利用触点的接触和分离来实现电路的

通断。

(2) 无触点电器 这类电器没有触点，主要利用晶体管的开关效应，即导通或截止来实现电路的通断。

二、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：



三、低压电器的主要技术参数

1. 额定电压

(1) 额定工作电压 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 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 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。

2. 额定电流

(1) 额定工作电流 在规定条件下，保证开关电器正常工作的电流值。

(2) 约定发热电流 在规定条件下试验时，电器处于非封闭状态下，开关电器在 8h 工作制下，各部件温升不超过极限值时所能承载的最大电流。

(3) 约定封闭发热电流 电器处于封闭状态下，在所规定的最小外壳内，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 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。

3. 操作频率与通电持续率

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有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。

对于有触点的电器，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磨损。因而，电器的电寿命一般小于其机械寿命。设计电器时，要求其电寿命为机械寿命的 20% ~ 50%。

四、低压电器的选用原则

目前,国产低压电器大约有130多个系列,品种规格繁多。在对低压电器的设计和制造上,国家规定有严格的标准。选用的一般原则如下。

1. 安全原则

安全可靠是对任何电器的基本要求,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。例如用手操作的低压电器要确保人身安全;金属外壳要有明显接地标志等等。

2. 经济原则

经济性包括电器本身的经济价值和使用该种电器产生的价值。前者要求合理适用,后者必须保证运行可靠,不能因故障而引起各类经济损失。

3. 选用低压电器的注意事项

① 明确控制对象的分类和使用环境。

② 明确有关的技术数据,如控制对象的额定电压、额定功率、操作特性、起动电流倍数和工作制等。

③ 了解电器的正常工作条件,如周围温度、湿度、海拔高度、震动和防御有害气体等方面的能力。

④ 了解电器的主要技术性能,如用途、种类、控制能力、通断能力和使用寿命等。

第二节 低压电器的电磁机构及执行机构

低压电器一般都有两个基本部分,即感受部分和执行部分。感受部分感受外界信号,并做出反应。自控电器中,感受部分大多由电磁机构组成;手控电器中,感受部分通常为电器的操作手柄。执行部分根据指令,执行接通、切断电路等任务,如触点及灭弧系统。

一、电磁机构

电磁机构是各种自动化电磁式电器的感测部件,由线圈、铁心和衔铁组成,如图1-1所示。当线圈通入电流之后,铁心和衔铁的端面上出现了不同极性的磁极,彼此相吸,使衔铁向铁心运动,由连动机构带动触头动作。电磁机构实质上是电磁铁的一种。

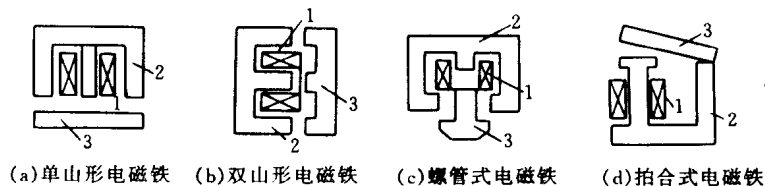


图 1-1 电磁机构的几种结构形式

1—线圈; 2—铁心; 3—衔铁

(一) 铁心和衔铁的结构形式

常用的铁心和衔铁的结构形式有山字形、螺管式和拍合式几种。

(1) 山字形电磁铁 山字形电磁铁有单山字形和双山字形之分。这种结构形式的电磁铁多用于交流继电器、交流接触器以及其他交流电磁机构的电磁系统。

(2) 螺管式电磁铁 多用作牵引电磁铁和自动开关的操作电磁铁,但也有少数过电流继

电器采用这种形式的电磁铁。

(3) 拍合式电磁铁 广泛用于直流继电器和直流接触器，有时也用于交流继电器。

(二) 线圈

线圈是电磁铁的心脏，是产生磁通的源泉。按通入线圈电源的种类不同，可分为直流线圈和交流线圈。根据励磁的需要，线圈可分串联和并联两种，前者称为电流线圈，后者称为电压线圈。电流线圈串接在主电路中，电流较大，所以常用扁铜条或粗铜线绕制，匝数也较少；电压线圈并接在电源上，匝数多，阻抗也大，但电流却较小，所以常用绝缘较好的电磁线绕制。

从结构上来看，线圈可分为有骨架的和无骨架的两种。交流电磁铁的线圈多为有骨架式，因为考虑到铁心中有磁滞损耗和涡流损耗，不仅很难帮助线圈散热，而且有可能把热量传给线圈。直流电磁铁的线圈则多是无骨架的。

(三) 电磁吸力与吸力特性

电磁铁线圈通电后，铁心吸引衔铁的力称为电磁吸力，用 F 表示。吸力的大小与气隙的截面积及气隙中的磁感应强度的平方成正比，其基本公式为

$$F = \frac{S_0 B_0^2}{2\mu_0} \quad (1-1)$$

式中 B_0 ——气隙中的磁感应强度，T；

S_0 ——磁极截面积， m^2 ；

μ_0 ——真空磁导率，H/m；

F ——电磁吸力，N。

1. 直流电磁铁的吸力特性

直流电磁铁在衔铁被吸合前后，其电磁吸力是不相同的。因为直流电磁铁励磁电流的大小只与所加电源电压 U 及线圈电阻 R 有关。在 U 与 R 均不变时，电流 I 是定值。电磁铁未吸合时，磁路中有空气隙，磁路中的磁阻变大，使得磁通 Φ 减小；电磁铁吸合后，气隙减小了，磁路中的磁阻减小了，则磁通 Φ 增大。由式(1-1)可知，在直流电磁铁吸合过程中，电磁吸力是不断地增大，完全吸合时的电磁吸力最大。

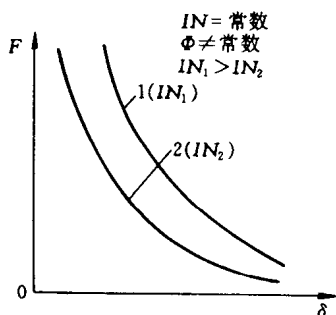


图 1-2 直流线圈的电磁铁的吸力特性

根据以上分析，可以绘出电磁铁的吸力特性——电磁吸力 F 与气隙 δ 的关系，如图 1-2 所示，它是在电磁线圈的安匝数 IN （励磁电流与匝数的乘积）为恒值的情况下得到的。其特点为电磁吸力与气隙大小的平方成反比，气隙越大，电磁吸力越小；反之，气隙越小，电磁吸力越大。显然，当气隙 δ 相同时，安匝数大的电磁铁，其电磁吸力也大。即其吸力特性（图 1-2 中的曲线 1）位于匝数少者（图 1-2 中的曲线 2）的上方。

由电磁铁的吸力特性可知，电磁线圈的励磁电压的升高和降低，即励磁电流的增大和减小以及衔铁行程的增大和变小，都将影响到电磁铁的吸力特性，从而影响电磁铁的工作性能。

2. 交流电磁铁的吸力特性

交流电磁铁的线圈电压是按正弦规律变化的，因而气隙中的磁感应强度也按正弦规律变化。即 $B_0 = B_m \sin \omega t$ ，将此式代入 (1-1) 式，可得交流电磁铁吸力瞬时值的表达式为

$$F' = \frac{1}{2} F_m - \frac{1}{2} F_m \cos 2\omega t \quad (1-2)$$

其中， $F_m = B_m^2 S_0 / 2\mu_0$ 是电磁吸力的最大值。电磁吸力大小取决于电流变化的一个周期内电磁吸力的平均值。若以 F 表示，则

$$F = \frac{1}{T} \int_0^T F' dt = \frac{B_m^2}{4\mu_0} S_0 \quad (1-3)$$

从式 (1-3) 可知，交流电磁铁的电磁吸力与磁感应强度最大值的平方成正比，与气隙截面积成正比。

由式 (1-2) 可知，交流电磁铁电磁吸力的大小是随时间而变化的，可用图 1-3 的曲线表示。当磁通为零时，电磁吸力也为零；当磁通 Φ 为最大值时，电磁吸力达最大值。当电磁吸力小于作用在衔铁上弹簧的反作用力时，衔铁将从与铁心闭合处被拉开；当电磁吸力大于弹簧反作用力时，衔铁又被吸合。随着电磁吸力的脉动，使衔铁产生了振动。衔铁频繁振动，既产生了噪音，又使铁心的接触处有磨损，降低了电磁铁的使用寿命。为了消除衔铁的振动，在电磁铁铁心的某一端，装一短路铜环，如图 1-4 所示。短路环将铁心中的磁通分成两个部分，即穿过短路环的 Φ_1 和不穿过短路环的 Φ_2 。 Φ_1 使铜环产生感应电动势和电流，阻止 Φ_1 的变化，使铁心中的两部分磁通所产生的电磁吸力就不会为零，从而消除了衔铁的振动。

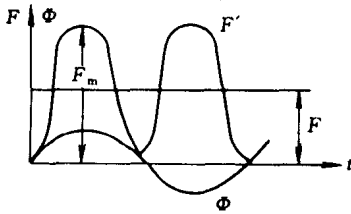


图 1-3 交流电磁铁的电磁吸力曲线

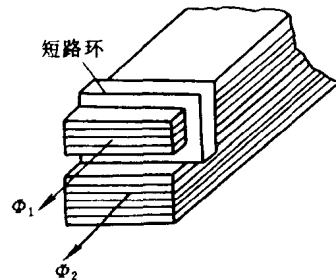


图 1-4 短路环

交流电磁铁 $\Phi_m = U / (4.44fN)$ ，磁通 Φ_m 与电源电压 U 成正比，与电源频率 f 、线圈匝数 N 成反比。当 f 、 N 为定值时， Φ_m 只取决于电压 U 。电源电压 U 一定时，磁通几乎是不变的，也就是说交流电磁铁在吸合前后的 Φ_m 值是不变的，所以电磁吸力也不变。考虑到漏磁通的影响，其吸力随气隙的减小略有增加。交流电磁铁的吸力特性如图 1-5 所示。

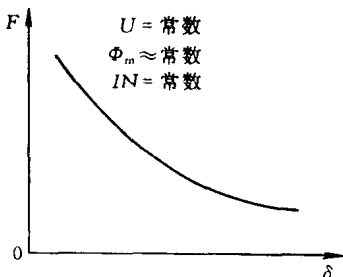


图 1-5 交流电磁铁的吸力特性

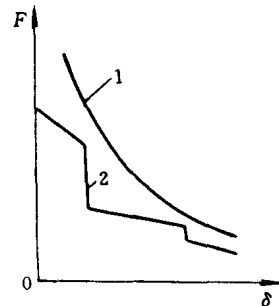


图 1-6 吸力特性与反力特性的配合

由于交流电磁铁在吸合前磁路的磁阻大，而吸合后磁路的磁阻小，因此使得吸合前的磁电动势比吸合后的磁电动势要大。所以吸合前的励磁电流大，吸合后的励磁电流小。

(四) 吸力特性和反力特性的配合

电磁铁中的衔铁除受到电磁吸力的作用外，还受到系统阻力的作用。阻力包括使衔铁返回到原位的恢复弹簧的反力、触头弹簧的反力以及可动部分的质量等。这些统称为反力。

吸力特性是电磁铁产生的电磁力与其气隙值之间的关系（图 1-6 中的曲线 1），反力特性则是作用于衔铁的反力与气隙值之间的关系（图 1-6 中的曲线 2）。

为了使电磁机构工作正常，其吸力特性与反力特性必须配合得当。即在衔铁吸合过程中，吸力应大于反力；反之在衔铁释放时，反力应大于吸力。

二、电器的触头系统和灭弧方法

(一) 电器的触头系统

触头是用来接通或断开电路的，其结构形式很多。按其接触形式有点接触、线接触和面接触三种。如图 1-7 所示。

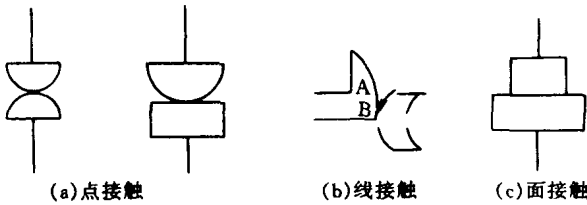


图 1-7 触头的三种接触形式

点接触允许通过的电流较小，常用于继电器电路或辅助触点。线接触和面接触允许通过的电流较大，常用于大电流场合，如刀开关、接触器的主触点等。为减少接触电阻，使接触更加可靠，需在触点间施加一定的压力。压力

一般是靠反作用弹簧或触点本身的弹性变形而得。

图 1-8 分别为不同接触形式的触头结构形式。图 (a) 为采用点接触的桥式触头，图 (b) 为采用面接触的桥式触头，图 (c) 为采用线接触的指形触头。

图 1-8 分别为不同接触形式的触头结构形式。图 (a) 为采用点接触的桥式触头，图 (b) 为采用面接触的桥式触头，图 (c) 为采用线接触的指形触头。

(二) 灭弧方法

1. 电弧的产生

电弧的形成过程：当触头间刚出现断口时，两触头间距离极小，电场强度极大，在高热和强电场作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极，这些自由电子在电场中运动时撞击

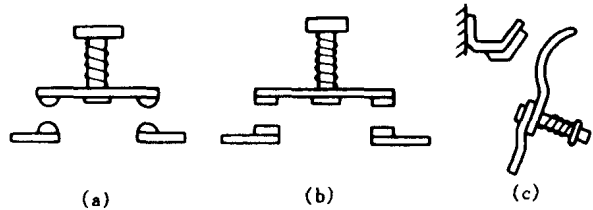


图 1-8 触头的结构形式

中性气体分子，使之激励和游离，产生正离子和电子，这些电子在强电场作用下继续向阳极移动时还要撞击其他中性分子。因此，在触头间隙中产生了大量的带电粒子，使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。电弧产生高温并发出强光，将触头烧损，并使电路的切断时间延长，严重时会引起火灾或其他事故，因此应采取灭弧措施。

2. 常用灭弧方法

(1) 电动力吹弧 一般用于交流接触器等交流电器。图 1-9 是一种桥式结构双断口触头系统，双断口就是在一个回路中有两个产生和断开电弧的间隙。当触点打开时，在断口中产生电弧。触头 1 和 2 在弧区内产生图中所示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用而向外运动，迅速离开触点而熄灭。电弧的这种运动，一是会使电弧本身被拉长，二是电弧穿越冷却介质时要受到较强的冷却作用，这都有助于熄灭电弧。最主

要的还是两断口处的每一电极近旁，在交流过零时都能出现 150 ~ 250V 的介质绝缘强度。

(2) 窄缝灭弧室 磁吹灭弧装置一般都带灭弧罩，灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。其作用有二：一是引导电弧纵向吹出，借此防止发生相间短路；二是使电弧与灭弧室的绝缘壁接触，从而迅速冷却，增强去游离作用，迫使电弧熄灭。如图 1-10 所示，灭弧罩的绝缘壁之间的缝隙有大有小，凡是宽度比电弧直径小的缝（图中缝宽 δ_1 小于电弧直径 d_2 处）称为窄缝；反之，宽度比电弧直径大的缝（图中缝宽 δ_2 大于电弧直径 d_2 处）称为宽缝。窄缝可将电弧弧柱直径压缩（如压缩为 d_1 ），使电弧同缝壁紧密接触，加强冷却和降低游离作用，同时，也加大了电弧运动的阻力，使其运动速度下降，缝壁温度上升，并在壁面产生表面放电。总之，缝宽的大小需要综合考虑。目前，有采用数个窄缝的多纵缝灭弧室，它将电弧引入纵缝，分劈成若干股直径较小的电弧，以增强灭弧作用。

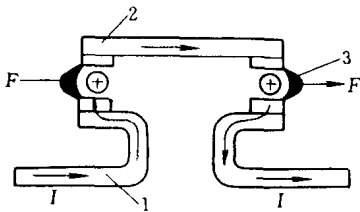


图 1-9 双断口结构的电动力吹弧效应

1—静触头；2—动触头；3—电弧

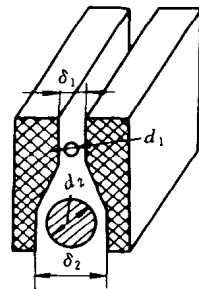


图 1-10 窄缝灭弧室的断面

(3) 栅片灭弧 触头分断时产生的电弧在磁吹力和电动力作用下被拉长后，推向一组静止的金属片，这组金属片称为栅片，它们彼此间是互相绝缘的。电弧进入栅片后，被分割成一段段串联的电弧，而每一栅片又相当于一个电极，使每段短弧上的电压达不到燃弧电压，同时栅片还具有冷却作用，致使电弧迅速熄灭，如图 1-11 所示。

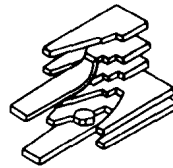


图 1-11 栅片灭弧

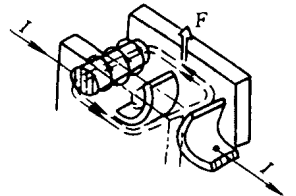


图 1-12 磁吹灭弧

(4) 磁吹灭弧 灭弧装置设有与触点串联的磁吹线圈，电弧在吹弧线圈的作用下受力拉长，从触点间吹离，加速了冷却而熄灭，如图 1-12 所示。

为了加强灭弧效果，往往要同时采取几种灭弧措施。

第三节 熔断器

一、熔断器的工作原理及特性

熔断器是一种最简单有效的保护电器。主要由熔体和安装熔体的熔管两部分组成。熔体是熔断器的核心部分，常作成丝状或片状，其材料有两类：一类为低熔点材料，如铅锡合金、锌等；另一类材料为高熔点材料，如银、铜、铝等。

熔断器使用时，串联在所保护的电路中。当电路正常工作时，熔体允许通过一定大小的

电流而不熔断；当电路发生短路或严重过载时，熔体中流过很大的故障电流，当电流产生的热量使熔体温度上升到熔点时，熔体熔断切断电路，从而达到保护电气设备的目的。

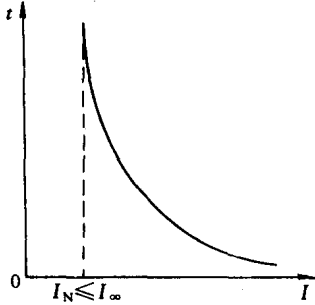


图 1-13 熔断器的安秒特性

电气设备的电流保护主要有过载延时保护和短路瞬时保护。过载延时保护与短路瞬时保护不仅电流倍数不同，两者的差异也很大。从特性上看，过载延时保护需要反时限保护特性，短路瞬时保护则需要瞬动保护特性。从参数要求方面看，过载延时保护要求熔化系数小，发热时间常数大；短路瞬时保护则要求较大的限流系数、较小的发热时间常数、较高的分断能力和较低过电压。从工作原理看，过载延时保护动作的物理过程主要是熔化过程，而短路瞬时保护则主要是电弧的熄灭过程。

熔断器的主要特性为熔断器的安秒特性，即熔断器的熔断时间 t 与熔断电流 I 的关系曲线。因 $t \propto 1/I^2$ ，熔断器安秒特性如图 1-13 所示。图中 I_∞ 为最小熔化电流或称临界电流，即通过熔体的电流小于此电流时不会熔断。所以选择的熔体额定电流 I_N 应小于 I_∞ 。通常 $I_\infty / I_N = 1.5 \sim 2$ ，称为熔化系数。该系数反映熔断器在过载时的保护特性。要使熔断器能保护较小过载电流，熔化系数应低些。为避免电动机起动时的短时过电流，熔体熔化系数应高些。

二、熔断器的常用类型及适用场合

常用熔断器的主要类型有 RC1A 系列瓷插式熔断器、RL1 系列螺旋式熔断器、RM10 系列无填料封闭管式熔断器、RT0 系列有填料封闭管式熔断器等。

RC1A 系列瓷插式熔断器的结构如图 1-14 所示，一般适用于交流 50Hz、额定电压 380V、额定电流 200A 以下的低压线路末端或分支电路中，作为电气设备的短路保护及一定程度上的过载保护之用。

RL1 系列螺旋式熔断器的外形及结构如图 1-15 所示，主要适用于控制箱、配电屏、机

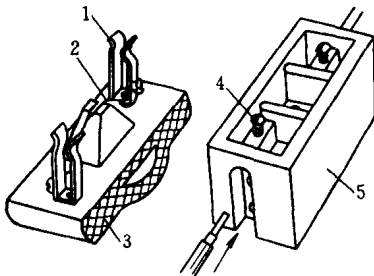
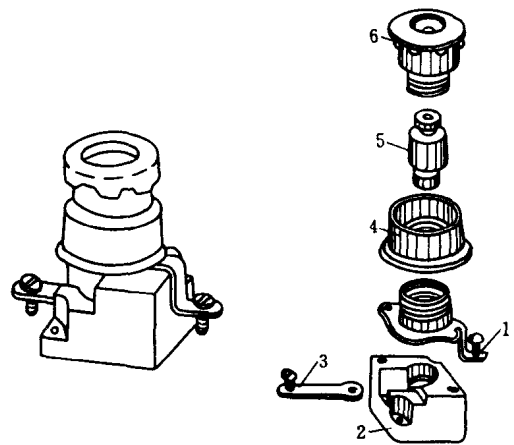


图 1-14 RC1A 系列瓷插式熔断器

1—动触头；2—熔丝；3—瓷盖；
4—静触头；5—瓷底



(a) 外形

(b) 结构

图 1-15 RL1 系列螺旋式熔断器

1—上接线端；2—瓷底；3—下接线端；
4—瓷套；5—熔断器；6—瓷帽

床设备及振动较大的场所，作为短路保护元件。

RM10 系列无填料封闭管式熔断器的外形及结构如图 1-16 所示，一般适用于低压电网和成套配电装置中，作为导线、电缆及较大容量电气设备的短路或连续过载时的保护。

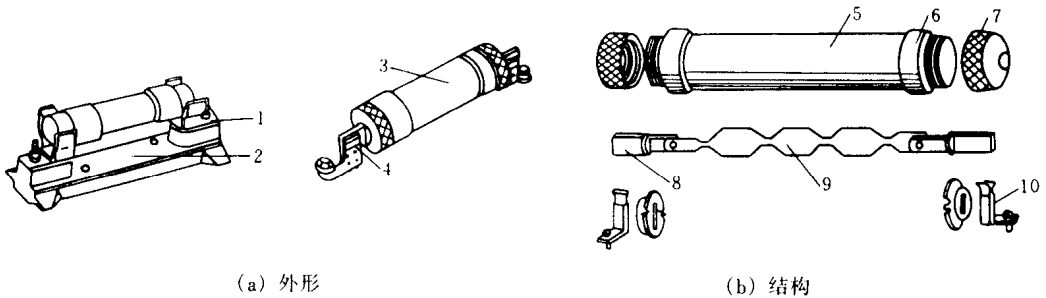


图 1-16 RM10 系列无填料封闭管式熔断器

- 1—夹座；2—底座；3—熔断管；4—夹座；5—硬质绝缘管；6—黄铜套管；7—黄铜帽；8—插刀；9—熔体；10—夹座

RTO 系列有填料封闭管式熔断器的外形及结构如图 1-17 所示，主要适用于短路电流很大的电力网络或低压配电装置中。

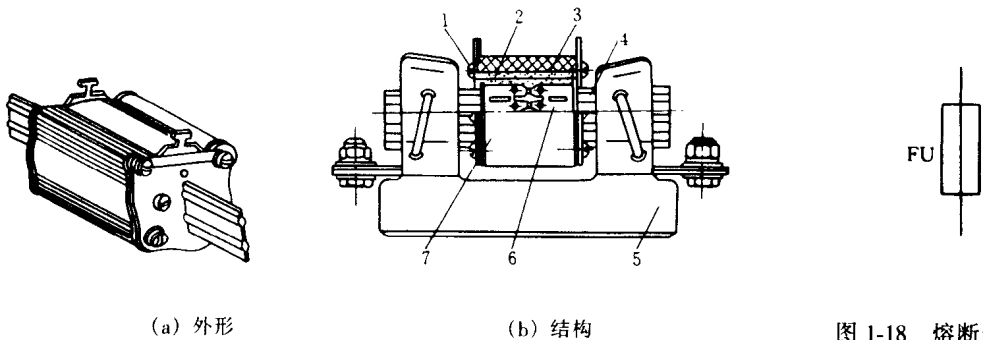


图 1-17 RTO 有填料封闭管熔断器

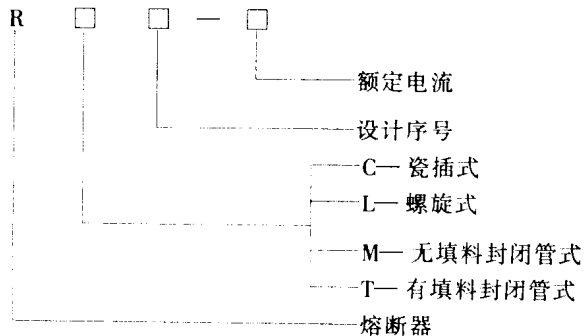
- 1—熔断指示器；2—石英砂填料；3—指示器熔丝；4—插刀；5—底座；6—熔体；7—熔管

图 1-18 熔断器的图形及文字符号

三、熔断器的符号及型号含义

图形及文字符号如图 1-18 所示。

型号含义



四、熔断器的使用

对于瓷插式，电源线和负载线分别接在瓷底两端的静触头上，熔体接在瓷盖两端的动触头上，并经过瓷盖中间的凸起部分。插入瓷盖时要保证动、静触头接触良好，而且熔体不能受到机械损伤。对于螺旋式，将带色标的熔断管一端插入瓷帽，再将瓷帽连同熔管一起拧入瓷套，负载线接到连接金属螺纹壳的上接线端，电源线接到瓷座上的下接线端，并保证各处接触良好。另外，铅、锡、锌为低熔点材料，所制成的熔体不易熄弧，一般用在小电流电路中；银、铜、铝为高熔点材料，所制成的熔体易熄弧，一般用在大电流电路中。当熔体已熔断或已严重氧化，需要更换熔体时，还应注意使新换熔体和原来熔体的规格保持一致，以保证动作的可靠性。

第四节 低压开关

低压开关是一种用来隔离、转换以及接通和分断电路的控制电器。

一、低压开关的常用类型及适用场合

常用低压开关的主要类型有 HK2 系列开启式负荷开关、HZ10 系列组合开关、DZ20 系列自动空气开关等。

HK2 系列开启式负荷开关（又称瓷底胶盖刀开关）的结构如图 1-19 所示，主要适用于一般的照明电路和功率小于 5.5kW 电动机的控制电路中。

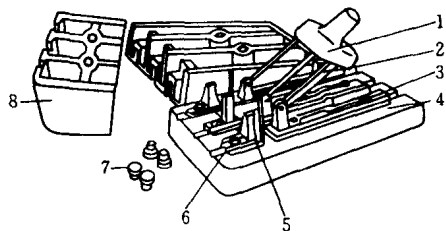


图 1-19 HK2 系列瓷底胶盖刀开关

1—瓷柄；2—动触头；3—出线座；4—瓷底座；
5—静触头；6—进线座；7—胶盖紧固螺钉；8—胶盖

HZ10 系列组合开关（又称转换开关）的外形及结构如图 1-20 所示，一般适用于机床电气控制线路中作为电源的引入开关，也可以用来不频繁地接通和断开电路、通断电源和负载以及控制 5kW 以下的小容量异步电动机的正反转和星三角起动。

DZ20 系列自动空气开关（又称自动空气断路器）的动作原理示意如图 1-21 所示，图

中 1、2 为自动空气开关的三副主触头（1 为动触头、2 为静触头），它们串联在被控制的三相电路中。当按下接通按钮 14 时，外力使锁扣 3 克服反力弹簧 16 的斥力，将固定在锁扣上的动触头 1 与静触头 2 闭合，并由锁扣锁住搭钩 4，使开关处于接通状态。当开关接通电源后，电磁脱扣器、热脱扣器及欠电压脱扣器若无异常反应，开关运行正常。

当线路发生短路或严重过载电流时，短路电流超过瞬时脱扣整定值，电磁脱扣器 6 产生足够大的吸力，将衔铁 8 吸合并撞击杠杆 7，使搭钩 4 绕转轴座 5 向上转动与锁扣 3 脱开，锁扣在反弹簧 16 的作用下，将三副主触头分断，切断电源。

当线路发生一般性过载时，过载电流虽不能使电磁脱扣器动作，但能使热元件 13 产生一定的热量，促使双金属片 12 受热向上弯曲，推动杠杆 7 使搭钩与锁扣脱开将主触头分断。

欠电压脱扣器 11 的工作过程与电磁脱扣器恰恰相反，当线路电压正常时，电压脱扣器