



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）



普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）

工厂电器与供电

（第三版）

胡光甲 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

工厂电器与供电

第三版

王先明 主编



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）



普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）

工厂电器与供电

（第三版）

编著 胡光甲

主审 侯国强 王艳华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书密切联系工业生产实际,系统阐述了电器和电工材料、电气制图、工厂供电和电气安全工程的理论和实践问题,主要内容包括电器概论、开关电器、非开关电器、组合电器和成套装置、电工材料、电气制图基本规范、电气制图基本方法、工厂电力负荷计算、短路电流计算、一次系统、保护装置和二次系统、用电管理、电气事故的防护、过电压、静电和电磁辐射防护、电气防火、防爆和触电救护。本书在考虑系统性的前提下,力求选材高效、实用,叙述简洁明了,突出基本原理和技能训练。每章附有习题,便于学习。

本书可作为高职高专院校电气技术专业相关课程教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工厂电器与供电/胡光甲编著. —3版. —北京:中国电力出版社, 2012.5

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育 普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-3020-7

I. ①工… II. ①胡… III. ①工厂—电气设备—高等职业教育—教材 ②工厂—供电—高等职业教育—教材 IV. ①TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 095166 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 2 月第一版

2012 年 8 月第三版 2012 年 8 月北京第五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 489 千字

定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

本书于2004年2月作为高职高专“十五”规划教材出版,2007年4月作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材出版第二版,这次出版又进行了较大幅度的修订,形成第三版。

这是一本体系全新的整合式教材。编著者结合多年从事电气技术和教学工作的经验,针对传统教材体系中的薄弱环节,密切联系大工业生产实际,本着“以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为教学重点”的原则,构建了电器和电工材料、电气制图、工厂供电、电气安全工程四个模块,内容前后关联,又各具独立性。对用电类各专业的学生来说,这些内容是必需和适度的。

本教材在考虑系统性的前提下,力求高效、实用。其主要特色为:

(1) 电器部分,先讲电器的稳定性、电器的灭弧、电器的触点、电器的电磁机构等共性问题,再讲具体电器时此类问题就无需赘述。

(2) 具体电器的叙述,采用开关电器和非开关电器分类编写的方法,有助于加强对各种电器本质的认识,加强高、低压电器的对比研究,提高学习效率。

(3) 学生在已学工程制图、电器和电工材料的基础上学习电气制图,将无需耗费过多学时。

(4) 工厂供电部分,减少了理论推导,突出运用公式解题的技能训练。有多种计算方法的,要求学生掌握一种最实用的方法;对保护装置的讲解,重点突出带时限的过电流保护和电流速断保护,其他保护则作定性讲解,引导学生掌握原理和实质。

(5) 电气安全工程内容充实,对各项电气安全生产规程的介绍完全结合工厂实际。

(6) 叙述简洁,重要概念均给出定义,便于自学和复习。

(7) 取材新颖,力争反映新产品、新技术。

(8) 资料全面,以利查询。

本课程教学建议72学时,其中理论教学60学时,实践教学12学时。

本书由侯国强教授、王艳华教授担任主审,昆明工业职业技术学院和中国电力出版社的同志提出了宝贵意见,书中引用了一些专家的研究成果,在此一并表示感谢。不足之处,诚望读者批评指正。

编著者

2012年2月

第三版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。编著者结合多年从事电气技术和教学工作的经验,本着“以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为教学重点”的原则,充分考虑当代高新技术的发展,密切联系大工业生产实际,整合了《电器学》、《工厂常用电气设备》、《电气制图》、《工厂供电》等课程的内容,构建成电器和电工材料、电气制图、工厂供电、电气安全工程四个模块,内容前后关联,又各具独立性。对用电类各专业的学生来说,这些内容是必需和适度的。

本教材在考虑系统性的前提下,力求高效、实用。其主要特色为:①电器部分,先讲电器的稳定性、电器的灭弧、电器的触点、电器的电磁机构等共性问题,再讲具体电器时此类问题就无须赘述。②具体电器的叙述,采用开关电器和非开关电器分类编写的方法,有助于加强对各种电器本质的认识,加强高、低压电器的对比研究,提高学习效率。③学生在已学工程制图、电器和电工材料的基础上学习电气制图,将无须耗费过多学时。④工厂供电部分,减少了理论推导,突出运用公式解题的技能训练,有多种计算方法的,要求学生掌握一种最实用的方法;对保护装置的讲解,重点突出带时限的过电流保护和电流速断保护,其他保护则作定性讲解,引导学生掌握原理和实质。⑤叙述力求简洁,重要概念均给出定义,对各项电气安全生产规程的介绍完全结合工厂实际。⑥取材新颖,力争反映新产品、新技术;资料充实,以利查询。本课程教学建议72学时,其中理论教学60学时,实践教学12学时。

本书由侯国强教授、王艳华教授担任主审,中国电力出版社的同志提出了宝贵意见,书中引用了一些专家的研究成果,在此一并表示感谢。不足之处,诚望读者批评指正。

编著者

2006年12月

目 录

前言

第二版前言

第一篇 电器和电工材料

第一章 电器概论	1
第一节 电器的基本概念	1
第二节 电器的电动稳定性和热稳定性	3
第三节 电器的灭弧	5
第四节 电器的触点	10
第五节 电器的电磁机构	14
习题	17
第二章 开关电器	19
第一节 隔离开关	19
第二节 负荷开关	24
第三节 断路器概述和低压断路器	27
第四节 高压断路器	31
第五节 接触器	39
习题	42
第三章 非开关电器	44
第一节 主令电器	44
第二节 控制电器和电流型继电器	47
第三节 非电流型继电器	53
第四节 保护电器	59
第五节 测量电器	65
第六节 调节电器与信号电器	74
习题	78
第四章 组合电器和成套装置	81
第一节 组合电器	81
第二节 电力成套配电装置	85
习题	88
第五章 电工材料	89
第一节 绝缘材料	89
第二节 绝缘子	92

第三节 导电材料	96
第四节 电线和电缆	98
第五节 导磁材料、半导体材料和超导材料	101
习题	105

第二篇 电 气 制 图

第六章 电气制图基本规范	107
第一节 电气图与电气图用图形符号	107
第二节 电气图的项目代号	110
第三节 电气制图的一般规则	117
习题	122
第七章 电气制图基本方法	123
第一节 系统框图	123
第二节 电路图（电气原理图）	126
第三节 安装接线图	134
第四节 电气安装平面图	140
习题	144

第三篇 工 厂 供 电

第八章 工厂电力负荷计算	146
第一节 工厂供电的基本概念	146
第二节 用需要系数法确定计算负荷	152
第三节 全厂计算负荷的确定和无功功率补偿	159
第四节 尖峰电流计算	162
习题	163
第九章 短路电流计算	166
第一节 电力系统短路的基本分析	166
第二节 用欧姆法计算短路电流	168
习题	172
第十章 一次系统	174
第一节 变配电站一次系统	174
第二节 变配电站一次系统设备的选择	179
第三节 工厂电力线路	184
第四节 线缆截面的选择	190
习题	196
第十一章 保护装置和二次系统	199
第一节 保护装置和二次系统的基本概念	199

第二节	熔断器保护和自动开关保护	201
第三节	继电保护原理、分类和操作电源	207
第四节	高压电力线路的继电保护	211
第五节	电力变压器的继电保护	216
第六节	高压电动机的继电保护	219
第七节	小接地电流系统的单相接地保护	221
第八节	供电系统的自动装置	223
	习题	227
第十二章	用电管理	229
第一节	电力负荷管理	229
第二节	节约用电	232
第三节	电力营销管理	240
	习题	241

第四篇 电气安全工程

第十三章	电气事故的防护	243
第一节	电气事故的规律和预防原则	243
第二节	防止电气事故的安全技术措施	245
第三节	倒闸操作和值班巡视	250
第四节	电气检修的安全保障	252
第五节	电气预防性试验	254
第六节	电气设备的安全分类	261
	习题	263
第十四章	过电压、静电和电磁辐射防护	265
第一节	雷电过电压防护	265
第二节	内部过电压防护	268
第三节	静电防护	269
第四节	电磁辐射防护	272
	习题	274
第十五章	电气防火、防爆和触电救护	275
第一节	电气火灾的扑救和预防	275
第二节	电气防爆	278
第三节	触电救护	281
	习题	283
附录		284
参考文献		312

第一篇 电器和电工材料

第一章 电器概论

电器是电力系统中除发电、变电、用电设备以外的其他电气器具的总称。它们的共同性问题主要有:电器的电动稳定性和热稳定性,电器的灭弧,电器的触点,电器的电磁机构,选择电器应遵循的基本原则。

第一节 电器的基本概念

一、电工产品

电能是现代社会最重要的能源之一。由发电厂电气部分、输配电系统和用电设备构成了电能的生产、传输和使用的统一体——电力系统。电工产品是电力系统中所有电气设备和电工材料的总称。具体说来,电工产品包含电能转换设备、电器和电工材料三大类。

1. 电能转换设备

电能转换设备是指在电力系统中实现电能和其他形式的能量相互转换或不同规格的电能相互转换的电气设备。包括:把机械能、光能转换为电能的发电设备,改变电压等级的变电设备,改变电流形态的变流设备,把电能转换为机械能、光能、热能、化学能的用电设备。其中,运用电磁感应原理的发电机、变压器和电动机称为电机。

2. 电器

电器是指在电力系统中起控制、保护、监测、调节等作用的各种电气器具的总称,如控制电路开闭的各种开关、监测电网各项参数的电气仪表、对电力系统和设备的非正常运行予以限制的电气保护设备、调节电路参数或设备运行状况的有关电气设施。

3. 电工材料

电工材料是指在电力设施或电气设备制造中起导电、导磁、绝缘等作用的各类制品,如电线、电缆、铁心、绝缘子等。

二、电器的分类

电器可以从多个方面进行分类。

按电器适用的电源性质分,可分为交流电器和直流电器。**交流电器**是适用于交流电路的电器,**直流电器**则是适用于直流电路的电器。应该指出,对于电磁系列和电动系列的自动电器,不能依据输入该电器的操作电源性质来确定其是交流电器还是直流电器,而应依据该电器所作用的电路性质来确定。例如:一台主触点用来开闭交流电路的交流接触器,其电磁机构的励磁电源可以设计成直流的;一台主触点用来开闭直流电路的直流电动式断路器,其操作电源可能是交流的。

按电器适用的电路电压等级来分,可分为高压电器和低压电器。高压和低压是一个相对概念:通常把 1kV 以下称为低压,1~10kV 称为中压,10~330kV 称为高压,330~1000kV 称为超高压,1000kV 及以上称为特高压。按国家标准关于电网额定电压等级的规

定,我们把额定电压在 3kV 及以上的电压称为高压,有 3、6、10、35、63、110、220、330、500、800kV 各电压等级;额定电压交流 1200V 及以下、直流 1500V 及以下的电压称为低压,有交流 36、220、380、660、1140V 各电压等级,直流 36、48、110、220、440、800、1000、1500V 各电压等级。**高压电器**是适用于高压电路中的电器,**低压电器**则是应用于低压电路的电器。同样,对电磁系列和电动系列的自动电器,其额定电压是指作用于电路的主控部件(如主触点)的额定电压,而不是指操作电源的额定电压。

按电器的功能来分,可分为开关电器和非开关电器。**开关电器**是指直接用于开(开断)闭(闭合)主电路的电器,如各种隔离开关、负荷开关、断路器和接触器。**非开关电器**则是指执行其他功能的电器,主要有控制电器(如各种继电器)、保护电器(如各种熔断器、避雷器)、主令电器(如各种按钮开关、行程开关)、测量电器(如各种电工仪表、互感器)、调节电器(如各种变阻器、调压器、限流器)和信号电器(如各种灯光音响装置)。这是我们对电器进行分类研究的主线和重点。

任何电器都是根据接收到的某种信号来执行某种功能的。根据电器执行机构的动作方式不同,可分为手动电器和自动电器。**手动电器**是由手力直接操动执行机构的电器,如手柄操动的刀开关、凸轮控制器。**自动电器**则是由感测机构接受到某种控制信号后自动操动执行机构的电器,如接触器、继电器。

按工作条件来分,可分为普通电器和特种电器。**普通电器**是适用于一般环境、结构上无特殊要求的电器;**特种电器**是适应特殊环境、结构上有特殊要求的电器,如矿山、化工、船舶、航空、高原、农用电器。

按有无触点来分,可分为有触点电器和无触点电器。**有触点电器**是通过触点开闭电路的电器,它能完全切断电流、隔离电源。**无触点电器**是通过改变阻抗值开闭电路的电器,它无触点结构,不能完全切断电流,如饱和电抗器、晶闸管接触器。有触点电器的主要问题是由于电弧和磨损而影响其使用寿命,无触点电器的主要问题是压降大和温升高,若将二者结合构成混合式电器,则可取长补短,提高电器性能。

按使用领域来分,可分为电力系统用的电力电器、电力拖动系统用的电拖电器、自动化及通信用的弱电电器。对不同领域的电器性能有不同的要求:对**电力电器**要求通断能力强、限流效应好、电动稳定性和热稳定性高、操作过电压低、保护性能完善;对**电拖电器**要求有一定通断能力、操作频率高、寿命长,对**弱电电器**则要求动作时间短、灵敏度高、抗干扰能力强、误差小、工作可靠。

三、对电器的基本要求

电器种类繁多,结构迥异,体积、质量相差悬殊。一只刀开关可能只有几个零件、几十克质量,可置于掌上;一具高压断路器则可能有数百千克、成百个零件、几米高。但不论差异如何,下面四点基本要求是共同的。

(1) 能长期胜任电路正常状态下的工作。电器的各项额定值,如额定电压、额定电流、额定频率等,应与电网相符合。

(2) 在电力系统发生非正常状态时,短时不会损坏。从电力系统线路、设备发生过负荷、短路、过电压等非正常状态的时刻刻起,到相应的保护装置动作切断电源为止的这一过程中,事故网络中的电器处于非正常运行状态,要保证不被破坏。

(3) 电器的结构要适应工作和控制的要求。如一具开关电器,是手动还是自动,手动的

是手柄操作还是杠杆操作、是正面操作还是侧面操作，自动的是电动机操作还是电磁铁操作，其触点结构和其他电磁机构是否满足控制方案的要求等。

(4) 电器的结构要适应环境的要求。特殊的环境要使用相应的特种电器，即使是普通电器，也还有户内安装和户外安装之分。

上述要求，是我们在选择电器时必须考虑的基本原则。

四、电器的学习方法

学习本篇，要求掌握各类电器的工作原理、用途、典型产品、电路符号和使用注意事项，要求掌握归类对比的方法。尽管高压电器和低压电器的结构差异很大，但二者往往具有对应的相同功能的产品。本教材采用按功能分类进行学习的安排，有助于加强对各类电器本质的认识，加强对高、低压电器的对比研究，可提高学习效率。

第二节 电器的电动稳定性和热稳定性

一、电动力的破坏作用

电动力是载导体在磁场中所受的力。电器的载流部分必然要受到电动力的作用，尤其当系统发生短路时，其电路电流远远大于额定电流，电器会承受由短路电流所产生的巨大电动力，所以电器必须有足够的机械强度，以免遭受电动力的破坏。这种破坏作用表现在以下几方面：

(1) 使线圈“散包”。当线圈通有电流时，根据右手法则很容易确定线圈内外磁力线的方向。显然，线圈内部磁力线密度大而外部磁力线密度小，无论电流流向如何，线圈各方均受一向外的张力，如图 1-1 所示。当电流足够大时，这一张力超过线圈的机械强度，就会使线圈“散包”。

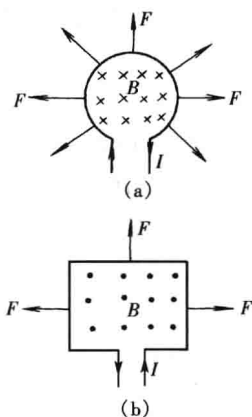


图 1-1 通电线圈所受的电动力

(a) 圆形线圈；(b) 矩形线圈

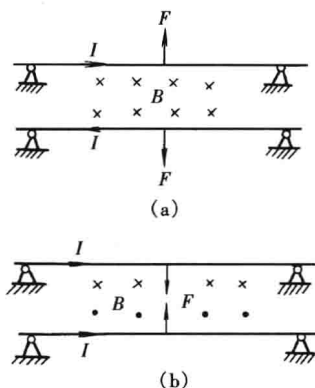


图 1-2 通电平行导体所受的电动力

(a) 电流异向；(b) 电流同向

(2) 使平行导体变形或连接处松脱。当平行导体通有电流时，所受电动力为电流同向时相吸、电流异向时相斥，如图 1-2 所示。如果平行导体是电器中的平行触点或闸刀，则过大的电动力会使它们变形或造成连接处松脱；如果平行导体是相邻二线圈，则过大的电动力

亦会使它们脱离相对位置或“散包”；如果平行导体是相邻的母线或线缆，则过大的电动力会使它们变形或使固定点遭受破坏。

(3) 使开关误动作造成事故。图 1-3 所示为处于合闸位置的开关构成 U 形通电回路，根据图 1-1 的分析，闸刀将受一电磁张力。当流过开关的电流足够大时，该张力可能使闸刀脱离静插座而断开电路，造成误动作。若刀开关无灭弧装置，断口处的巨大电弧会使系统发生短路。

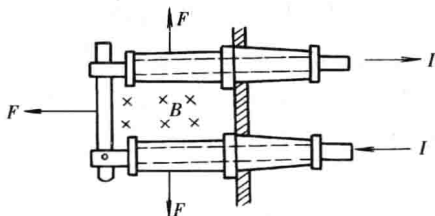


图 1-3 通电闸刀所受的电动力

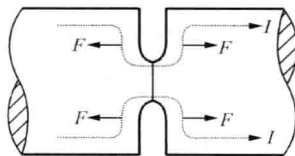


图 1-4 通电触点所受的收缩电动力

(4) 使触点间产生斥力而引起电弧。触点之间的接触，不可能是百分之百的面接触，只可能是若干个点接触。触点的实际接触面积小于触点的标称面积，好像触点在接触处的面积突然“收缩”了。在接触点处电流密度加大，相当于电流线先收缩后又散开，如图 1-4 所示。紧靠接触点两侧的许多电流线接近平行，而电流流向相反，故而产生电动斥力，力图使触点分开，但触点压紧装置又强迫触点闭合，由此会造成触点振动，在其间产生电弧，使触点烧坏。这种由于触点间截面“收缩”而产生的电动斥力，称为收缩电动力。

二、电器的电动稳定性

电器在电动力作用下，其有关部分能够不损坏或不发生永久变形的性能，称为电器的**电动稳定性**。电器出厂前，必须经过抽样试验来确定其电动稳定性这一技术指标。这一技术指标，通常用动稳定电流 i_{es} 表示。**动稳定电流**又称峰值耐受电流，是指电器在规定的使用条件下、时限范围内和在闭合位置上所能承受的最大电流峰值。它是电器的一个重要技术参数。

电器的动稳定电流能否满足实际工程应用的需要，必须要根据实际系统可能产生的最大电流峰值来进行比较，这就是所谓电器动稳定性的校验问题。电网中以三相短路时的短路电流最严重，我们选择电器所在线路进行最大三相短路电流计算，算出短路电流第一周波的最大瞬时值，称为三相短路冲击峰值电流 $i_{sh}^{(3)}$ 。显然，必须满足

$$i_{es} \geq i_{sh}^{(3)}$$

就是说，只有电器的动稳定电流不小于所在电力系统的三相短路冲击峰值电流时，该电器的电动稳定性才是合格的，否则该电器用于该系统就有被电动力损坏的可能。

交流电动力的交变频率为电流频率的 2 倍，若电动力频率与导体系统的固有振荡频率相等，就会产生谐振，对导体系统产生很大的破坏力。因此，设计时应使承受交流电动力的导体系统的固有振荡频率不等于电动力的频率，最好比电动力频率低，以免与电动力发生谐振。

三、电器的热稳定性

运行中的电器，会因产生铜损耗、铁损耗、介质损耗而发热，如发热超过电器的极限允

许温度,则会使电器导体的机械强度急剧下降、触点及导线连接部位的接触电阻剧增、绝缘材料的绝缘能力下降,直接影响电器的寿命,甚至烧毁电器。正常情况下,电器一方面由于电流的通过而产生热量的积累,另一方面又以传导、对流、辐射的方式向周围介质散热,当发热和散热等量时,电器的温升达恒定值,称为热稳定状态,这时电器的温度总是小于极限允许温度。但在短路情形下,一方面由于电流剧增而使发热量剧增,另一方面由于时间极短而来不及散热,电器处于绝热升温状态。在故障未消除前,电器必须能承受短路电流的热效应。电器在规定的使用条件下,短时通过某一最大电流不致因发热而损坏的性能,称为**电器的热稳定性**。

电器出厂前,往往要用试验的方法确定其热稳定电流。所谓**热稳定电流** I_t ,是指电器在规定的使用条件下和时限范围内、在闭合位置上保证不超过极限允许温度的最大电流(有效值)。通电时间 t 一般选择 2、4 与 10s,分别称为 2s 热稳定电流 I_2 、4s 热稳定电流 I_4 和 10s 热稳定电流 I_{10} 。按照发热相等的原则,它们之间的换算关系为

$$I_2^2 \times 2 = I_4^2 \times 4 = I_{10}^2 \times 10$$

电器的热稳定电流能否满足实际应用的需要,亦须进行热稳定性的校验。通常的工程校验方法为

$$I_t^2 t \geq I_k^{(3)2} (t_k + 0.05)$$

式中: $I_k^{(3)}$ 为最严重点的三相短路电流有效值; t_k 为短路发生时刻起到自动装置切断短路电流时刻止的短路电流通过时间。

只有满足上式,该电器的热稳定性才是合格的,否则该电器用于该系统就有被短路电流烧坏的可能。

第三节 电器的灭弧

一、电弧的形成

电弧是在电场中存在的气体放电现象。此时,物质呈现固、液、气三态之外的第四态——等离子态。电弧产生的机理十分复杂,但总起来说,在气体放电的过程中,存在着游离作用和去游离作用这样一对矛盾。**游离作用**是指加速气体电离的机制,**去游离作用**则是指抑制气体电离的机制。显然,当游离作用大于去游离作用时,电弧会愈燃愈烈;当游离作用和去游离作用相当时,电弧会稳定燃烧;当游离作用小于去游离作用时,电弧会逐渐熄灭。

电弧形成过程中的游离作用包含表面发射和空间游离两个方面。表面发射,即由电极表面向空间发射电子以增加气隙导电粒子的游离机制,主要有热发射、高电场发射、二次发射、光发射等几种形式;空间游离,是指气隙中的中性粒子电离为正离子并释放电子的游离机制,主要有撞击游离、热游离、光游离等几种形式,现分别说明如下。

(1) 高电场发射 [见图 1-5 (a)]: 触点间的电场强度,与极间电压成正比、与极间距离成反比,即 $E \propto U/d$ 。触点分开瞬间,开距 d 很小,触点间电场强度的数值很大,部分电子在强电场力作用下,从阴极高速发射到两极之间的空间,形成导电电子流。

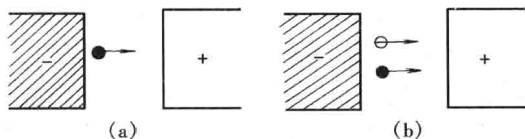


图 1-5 高电场发射与初始热发射

(a) 高电场发射; (b) 初始热发射

(2) 初始热发射 [见图 1-5 (b)]: 触点分断时, 随着触点间接触压力的减小, 触点接触面积逐渐缩小, 接触点的电流密度不断增大, 接触处剧烈发热, 使金属熔化, 形成液态金属桥。随着液桥拉断, 部分电子从赤热的阴极发射到空间。

(3) 撞击游离 [见图 1-6 (a)]: 空间气体分子在电子流撞击下, 释放电子变为正离子, 空间导电粒子数急剧增加。

(4) 二次发射 [见图 1-6 (b)]: 质量远大于电子的正离子向阴极运动, 轰击阴极表面产生二次电子发射。

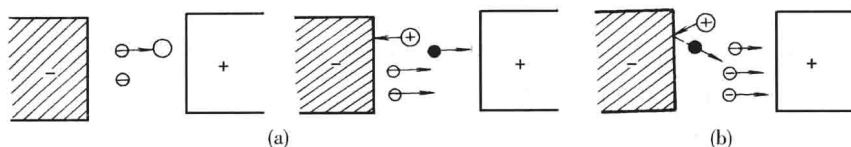


图 1-6 撞击游离与二次发射

(a) 撞击游离; (b) 二次发射

(5) 继续热发射 [见图 1-7 (a)]: 正离子撞击阴极, 阴极温度升高, 形成 1500°C 左右的阴极斑, 产生更多电子的热发射。

(6) 热游离 [见图 1-7 (b)]: 空间粒子碰撞时不断交换能量, 产生高温与辉光。高温使空间粒子动能增加, 撞击出更多的电子和正离子。

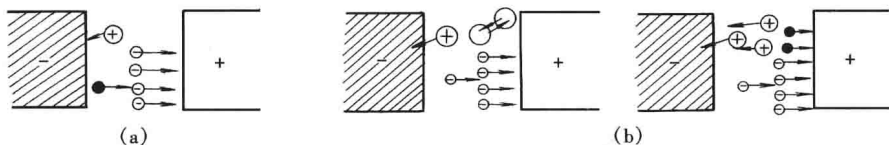


图 1-7 继续热发射与热游离

(a) 继续热发射; (b) 热游离

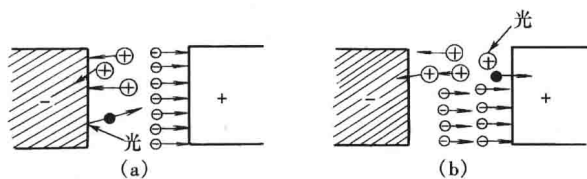


图 1-8 光发射与光游离

(a) 光发射; (b) 光游离

(7) 光发射与光游离 (见图 1-8): 当短波光线照射到触点金属表面时, 进一步激励电子从电极表面逸出; 这些光线照射到气体分子上, 也可以使气体分子释放电子而电离。

上述游离过程, 是一个使空间电荷剧增的过程。起弧前, 高电场发射和电场撞击游离是主要的游离形式; 空隙介质击穿起弧后, 热发射和热游离则成为主要的游离形式。

电弧形成过程中的去游离作用主要表现在空间电荷的复合和扩散两个方面 (见图 1-9)。两个带有异性电荷的粒子相遇后, 互相作用而消失电荷形成中性粒子的现象叫复合。复合的方式有空间复合和电极表面复合。电荷的复合总伴随着以光和热为主要形式的能量释放。弧柱中的带电粒子由于热运动, 从高浓度区域移动到弧柱外低浓度区域的现象叫扩散, 扩散的速率与电弧直径成反比。

上述去游离作用是使空间电荷减少的过程, 有助于电弧的熄灭。

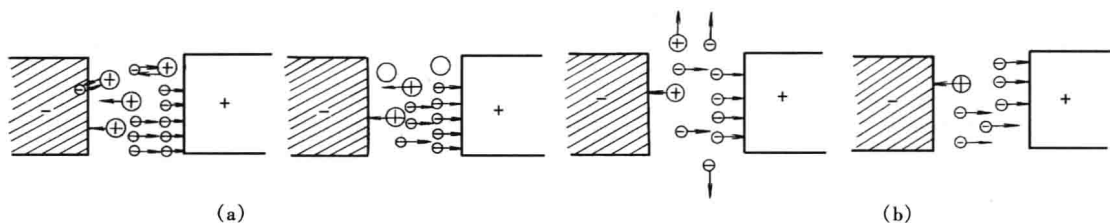


图 1-9 电荷的复合与扩散
(a) 电荷的复合; (b) 电荷的扩散

二、电弧的分类

电弧按照电弧电流的性质可分为直流电弧和交流电弧。**直流电弧**的电流大小及方向是不变的,因而比较稳定;**交流电弧**的电流是交变的,由于有过零状态,因而比较容易熄灭。

按照电弧的长度,可以分为长弧和短弧。**长弧**是需要较高电压才能维持、长度为厘米级以上的电弧。由于两极相距甚远,两极的热过程并不相互影响,弧柱中发生的过程起主导作用。长弧的电阻率较小,单位长度的压降较小。**短弧**是较低电压就能维持、长度在毫米级以下的电弧。由于两极相距很近,强烈地出现两极的相互热作用,近极区发生的过程起主导作用。短弧的电阻率较大,单位长度的压降较大。

按有无灭弧措施,可分为开弧和闭弧。**开弧**是没有灭弧措施、敞露在大气中的电弧;**闭弧**则是采取了灭弧措施的电弧。

三、电弧的危害

电弧在焊接、照明、加热、冶炼、航天等诸多领域有广泛的应用,但在电器中却是有害的,其主要危害如下:

(1) 不能及时开断电路。触点分开后,电流通过电弧继续流通,一直要到触点分开足够的距离、电弧熄灭后,电路才能开断。

(2) 引起短路事故。电弧质量极轻,容易变形,开关电器的开弧长度往往可达数米,极易通过电弧引起相间、对地短路事故。

(3) 烧坏设备。电弧是一种能量集中的气体放电现象,开关电器的电弧功率可达上万瓦,这样大的能量在极短时间内几乎全部变成热能,可使弧区温度高达 $4000\sim 8000^{\circ}\text{C}$,造成弧区及近弧区强烈的物理、化学变化,烧损设备。

(4) 伤害人员。开弧能灼伤操作人员,强烈的弧光可刺伤人眼。

四、灭弧的方法

电器中的灭弧是一个十分重要的问题,要找到有效的灭弧方法,应首先分析影响电弧的因素。

电弧的强弱与下列因素有关:

(1) 与电流大小有关。起弧电流为 $80\sim 100\text{mA}$,电流越大,电弧越强。

(2) 与电压高低有关。起弧电压为 $10\sim 20\text{V}$,电压越高,电弧越强。

(3) 与电流性质有关。同容量的直流电弧比交流电弧强,前已述及。

(4) 与温度有关。温度越高,电弧越强。

(5) 与弧隙间可游离的气体分子数有关。易游离的粒子越多,电弧越强。

(6) 与触点的开距有关。开距越小, 电弧越强。

(7) 与电路负载性质有关。在交流电路中, 同容量的电抗性负载比电阻性负载的电弧强。

电器的灭弧方法多种多样, 但总的原则是想方设法减小游离作用, 增大去游离作用。主要有以下一些方法。

1. 长弧割短, 降低电弧极间电压

将长弧分割成若干个串联的短弧, 由于所有短弧电阻之和比同长度长弧的电阻大得多, 有利于电弧的熄灭。尤其是交流电弧过零换向时, 由于电子能瞬间换向而正离子不能瞬间换向, 在 $0.1 \sim 1\mu\text{s}$ 的极短时间内, 气隙将出现 200V 左右的介质绝缘强度 (这一现象称为近阴极效应), 各短弧弧隙同时出现的这一介质绝缘强度更有助于电弧的熄灭。

实现上述设想的具体方案有以下两种:

(1) **栅片灭弧**。如图 1-10 所示, 剖面线所示部件为固定在绝缘灭弧罩上的钢片, 电弧引入灭弧栅片中后, 将被切割为若干串联的短弧。同时, 栅片对电弧还具有冷却作用。

(2) **多断口串联灭弧**。图 1-11 (a) 所示为双断口桥式触点, 把一般触点的单断口变成了串联的双断口, 每个断口的电压降低了 $1/2$ 。若需更多的断口, 可用串联的方式把同步运动的多断口桥式触点串联起来, 如图 1-11 (b) 所示。

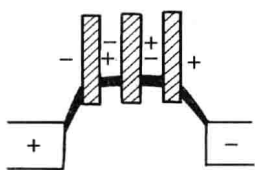


图 1-10 栅片灭弧

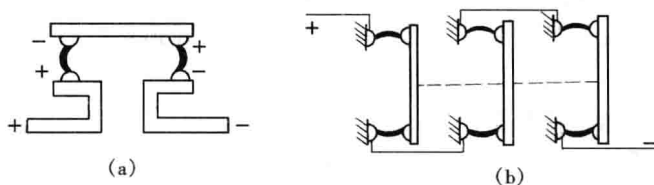


图 1-11 多断口串联灭弧

(a) 双断口桥式触点; (b) 多断口桥式触点

上述灭弧方法, 在低压交、直流系统中应用比较普遍。栅片灭弧对低压交流开关电器效果尤佳。为充分利用近阴极效应, 有时将直流转换为交流后再行断开。

2. 减小电弧电流

减小电弧电流的实施方案有以下两种:

(1) **多断口并联灭弧**。多断口并联, 将粗弧割细。如图 1-12 (a) 所示是将两组同步运动的桥式触点并联, 流经每组触点的电流只有总电流的 $1/2$; 图 1-12 (b) 是瓣形触点, 静触点分为六瓣, 经动触杆流过每一静触点的电流只有总电流的 $1/6$; 图 1-13 (c) 为采用多根熔丝并联的熔断器。

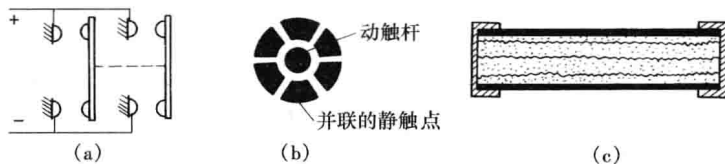


图 1-12 多断口并联灭弧

(a) 两组桥式触点并联; (b) 瓣形静触点; (c) 多根熔丝并联