



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

GONGCHANG DIANQI
YUGONGDIAN

工厂电器 与供电

(第二版)

胡光甲 编著



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology



普通高等教育“十一五”国家级规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUOJIAJI GUIHUA JIAOCAI

GONGCHANG DIANQI
YUGONGDIAN

工厂电器 与供电

(第二版)

编 著 胡光甲
主 审 侯国强 王艳华



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electric Power Technology

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专教育）。

全书共分为4篇15章，主要包括电器的基本概念、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、过电压和静电防护、电气防火与触电救护。书后附有电气图用图形符号表，便于对照学习。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业相关课程教材，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. —2版. —北京：中国电力出版社，2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5083-5209-1

I. 工... II. 胡... III. ①工厂—电气设备—高等学校：技术学校—教材②工厂—供电—高等学校：技术学校—教材
IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 018036 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007年4月第二版 2007年4月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.25印张 443千字

印数 3001—6000册 定价 27.60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

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，以利查寻。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	13
习题	16
第二章 开关电器	18
第一节 隔离开关和负荷开关	18
第二节 断路器	25
第三节 接触器	37
习题	40
第三章 非开关电器	43
第一节 主令电器	43
第二节 控制电器	46
第三节 保护电器	58
第四节 测量电器	64
第五节 调节电器与信号电器	71
习题	75
第四章 组合电器和成套装置	78
第一节 组合电器	78
第二节 电力成套配电装置	81
习题	85
第五章 电工材料	86
第一节 绝缘材料和电瓷	86
第二节 导电材料和线缆	92
第三节 导磁材料、半导体材料和超导材料	96
习题	100

第二篇 电气制图

第六章 电气制图基本规范	102
第一节 电气图与电气图用图形符号	102
第二节 电气图的项目代号	105
第三节 电气制图的一般规则	111
习题	115
第七章 电气制图基本方法	117
第一节 系统框图	117
第二节 电路图(电气原理图)	119
第三节 安装接线图	127
第四节 其他电气图	132
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 尖峰电流计算	161
习题	162
第九章 短路电流计算	165
第一节 电力系统短路的基本分析	165
第二节 用欧姆法计算短路电流	167
习题	171
第十章 一次系统	172
第一节 变配电站一次系统	172
第二节 工厂电力线路	182
第三节 线缆截面的选择	188
习题	194
第十一章 保护装置和二次系统	197
第一节 保护装置和二次系统的基本概念	197
第二节 熔断器保护和自动开关保护	199
第三节 继电保护原理、分类和操作电源	205
第四节 高压电力线路的继电保护	209

第五节 电力变压器的继电保护	214
第六节 小接地电流系统的单相接地保护	216
第七节 供电系统的自动装置	218
习题	222
第十二章 用电管理	224
第一节 电力负荷管理	224
第二节 节约用电	227
第三节 电力营销管理	233
习题	235

第四篇 电气安全工程

第十三章 电气事故的防护	236
第一节 电气事故的规律和预防原则	236
第二节 防止电气事故的安全技术措施	238
习题	242
第十四章 过电压和静电防护	243
第一节 过电压防护	243
第二节 静电防护	247
习题	250
第十五章 电气防火与触电救护	251
第一节 电气防火	251
第二节 触电急救	252
习题	253
附录	254
参考文献	282

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，电工产品包含三大类。

(1) 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。例如：运用电磁感应原理实现电能和机械能的相互转换以及不同规格电能的相互转换，由发电机、电动机和变压器组成的电机系列产品；运用电热、电光、电解等原理把电能转换为其他各种形式能量的用电设备。

(2) 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：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成品，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。应当指出，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

电动力是载流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”。

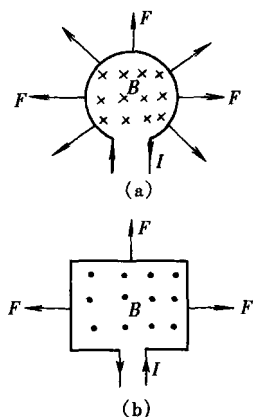


图 1-1 通电线圈所受的电动力
(a) 圆形线圈; (b) 矩形线圈

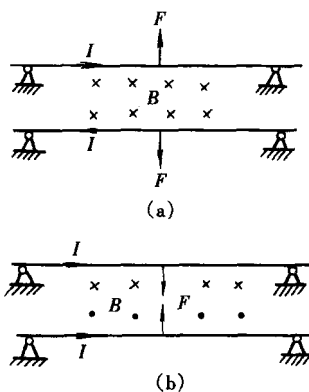


图 1-2 通电平行导体所受的电动力
(a) 电流异向; (b) 电流同向

(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。

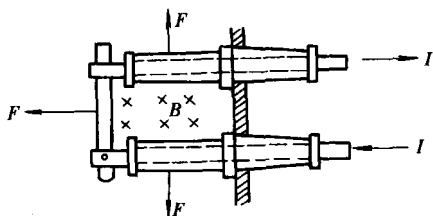


图 1-3 通电闸刀所受的电动力



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，就会产生共振，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，以免与电动力发生共振。

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是

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

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 $E=U/d$ 。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。

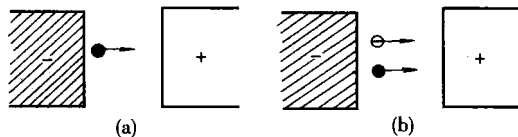


图 1-5 高电场发射与初始热发射

(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

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。

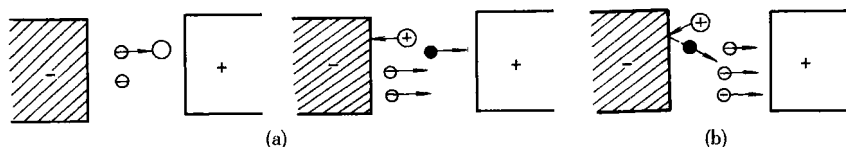


图 1-6 撞击游离与二次发射

(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。

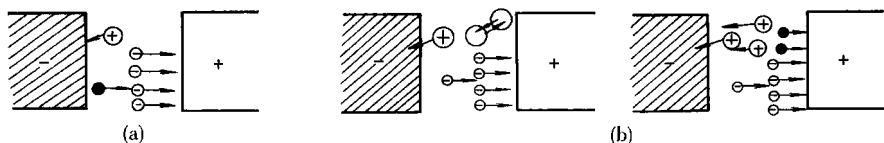


图 1-7 继续热发射与热游离

(a) 继续热发射; (b) 热游离

(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。

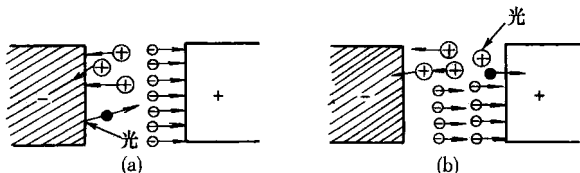


图 1-8 光发射与光游离

(a) 光发射; (b) 光游离

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。

应当指出, 上述诸现象是交叉并存的, 不可机械理解。

二、电弧的分类和危害

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。

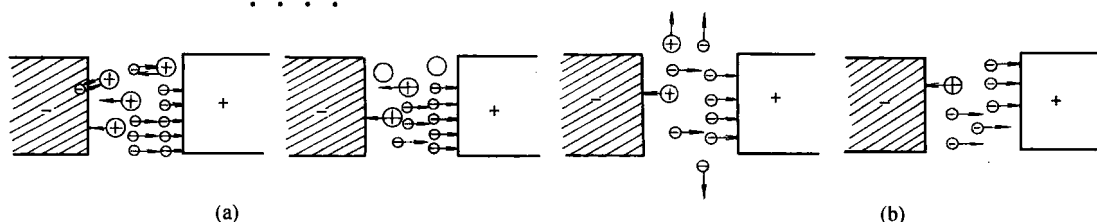


图 1-9 电荷的复合与扩散

(a) 电荷的复合; (b) 电荷的扩散

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。

电弧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。

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。其主要危害有:

(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万千瓦, 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。

三、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。

在电器中常用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。其主要方法有以下几种。

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。

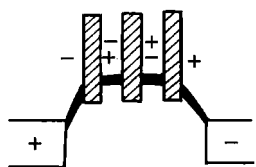


图 1-10 栅片灭弧

实现上述设想的具体方案有:

(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。

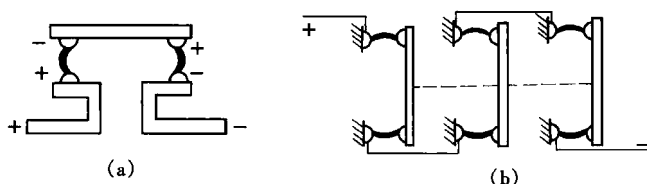


图 1-11 多断口串联灭弧

(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

其实施方案有:

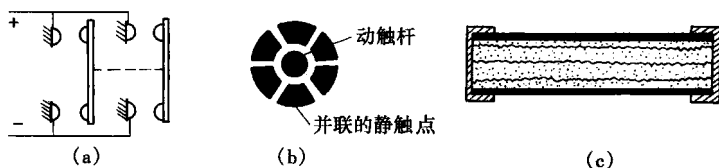


图 1-12 多断口并联灭弧

(a) 两组桥式触点并联; (b) 瓣形静触点; (c) 多根熔丝并联

(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。

(2) 人工限流灭弧。采用晶闸管与触点串联, 如图 1-13 所示。断开电路前先关断电路中的晶闸管, 再分开触点。

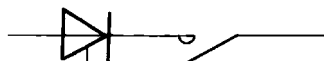


图 1-13 人工限流灭弧

3. 降低极间温度

冷却对于电弧具有明显的抑制作用。根据冷却介质的不同,可以分为:

(1) 固体冷却灭弧。常用方法有: 窄缝灭弧,即在绝缘灭弧罩(耐弧陶土、石棉水泥、耐弧塑料等)中作若干窄缝,如图 1-14 所示,将电弧引入窄缝中,使之与灭弧罩有最大的接触面积,从而受到冷却;石英砂灭弧,如在熔断器的熔管中填充石英砂,熔丝熔断时产生的电弧与石英砂接触受到冷却而熄灭。

(2) 液体冷却灭弧。对充当冷却介质的液体同时要求又是绝缘介质,以保证开关设备的正常运行,变压器油就成为首选对象。变压器油在电弧的高温下分解产生以氢气为主的气体,氢气具有优良的导热性能,对冷却电弧起决定作用。此外,这种气体形成的气泡有一定压力,可以使电弧拉长,对灭弧也起了一定作用。变压器油灭弧在高压开关电器中得到了广泛应用。

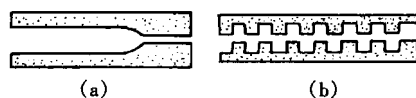


图 1-14 窄缝灭弧
(a) 直缝式; (b) 迷宫式

(3) 气体冷却灭弧。其方法有: 压缩空气灭弧,空气的绝缘强度随压力增大而增加,6 个大气压的压缩空气的绝缘性能相当于变压器油。我国规定高压开关设备使用的压缩空气为 20 个大气压。一方面,高压风对电弧有强烈的冷却作用,另一方面又使电弧吹散和吹长,所以灭弧效果明显。六氟化硫灭弧,六氟化硫(SF_6)为无色、无味、无毒、不可燃、透明、稳定的气体,比空气重 5 倍,它与氧气、氢气及其他许多物质都不发生反应,不溶于水和变压器油,500℃不分解。常压下的绝缘性能为空气的 2~3 倍,3 个大气压下的绝缘性能与变压器油相当,但压力超过一定限度时将被液化。六氟化硫的灭弧能力比空气强 100 倍,优于压缩空气。其主要原因有两个:一是它在电弧高温下分解时有极强的导热能力,对弧柱的冷却作用明显;二是它具有捕捉电子形成负离子的负电性效应,由于负离子的运动速度远较电子慢,有助于加强电荷复合的去游离作用。采用六氟化硫灭弧,可以有效地缩小电器的体积。

4. 减少极间可游离的气体粒子

该方法有:

(1) 真空灭弧。将触点所在的灭弧室抽成气体绝对压力低于 10^{-4} Pa 的真空。

(2) 产气灭弧。某些固体绝缘材料如酚醛纸板、环氧玻璃布板、有机玻璃等,在电弧作用下会迅速气化,一方面这些有机高分子气体粒子难以电离,另一方面这些高压气体有强烈的吹弧作用,有利于电弧熄灭。

5. 拉长电弧,增大极间距离

该方法有:

(1) 速断灭弧。采用弹簧分闸装置,使触点迅速达到最大开距,使极间绝对距离增大,图 1-15 所示即为一例。

(2) 吹弧灭弧。吹长电弧,相对增大极间距离。除气吹灭弧、油吹灭弧外,电器中还广泛采用磁吹灭弧,图 1-16 所示即为一例,由静触点、电弧和动触点构成 U 形回路,通电后电弧承受电动张力而拉长。

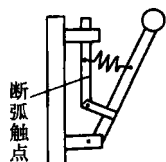


图 1-15 速断灭弧

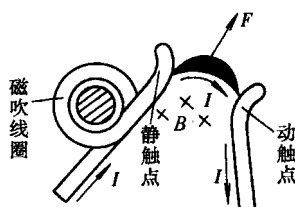


图 1-16 磁吹灭弧

第四节 电器的触点

一、电接触连接与触点的概念

两个导体通过机械方式接触从而可以使电流通过的状态称为电接触连接。电接触连接可分三类：

- (1) 固定电接触：如导线的螺栓连接、压接和绞接。
- (2) 可开闭电接触：实施可开闭电接触的元件称为触点。触点总是成对出现的，其中固定不动的称为静触点，可以运动的称为动触点。
- (3) 滑动或滚动电接触：如电刷与滑环的接触、行车滑线的电接触。

二、触点的分类

按照可开闭电流的大小，可分为弱电流触点、中电流触点和强电流触点。可开闭电流在 10A 以下的触点为弱电流触点，10A 及以上至 100A 以下的为中电流触点，100A 及以上的为强电流触点。中、强电流触点又称触头，弱电流触点又称接点。

按照触点工作状态，可分为动合（常开）触点和动断（常闭）触点。触点都有开、闭两种状态。触点的开闭是通过操动机构实现的，相应地操动机构也有分闸、合闸两个位置或状态，我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。通常操动机构的分、合状态与触点的开、闭状态是对应的，但有时为了控制需要，也会出现相悖的情形。凡

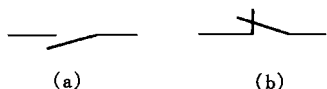


图 1-17 动合触点与动断触点图形符号

(a) 动合触点；(b) 动断触点

在自然状态下开断、操作状态下闭合的触点称为动合触点；凡在自然状态下闭合、操作状态下开断的触点称为动断触点。在电路图中，触点均应按照自然状态下的实际情形画出，其图形符号如图 1-17 所示。

按照触点所处的电路，可分为主触点和辅助触点。处在主电路中的触点称为主触点，处在辅助电路中的触点称为辅助触点。由于主电路是传输电能的通道，功率较大，而辅助电路是控制、指示、保护和测量主电路的，功率很小，所以主触点和辅助触点有下列显著差异。

- (1) 触点容量不同：主触点多为中、强电流触点，辅助触点均为弱电流触点。
- (2) 触点数量不同：主触点数量较少，辅助触点数量较多。
- (3) 触点结构形式不同：主触点要考虑电动稳定性和热稳定性，结构形式多样；辅助触点主要考虑动作灵活，常为桥式结构。
- (4) 灭弧要求不同：主触点有灭弧装置，辅助触点一般没有。

按动、静触点的接触形式，可分为点接触触点（如球面对球面、球面对平面）、线接触