

消防管理与消防技术

XiaoFang GuanLi Yu XiaoFang JiShu

(下册)

黄庆华 魏海凡 范世宾 编著

原子能出版社

消防管理与消防技术

XIAOFANG GUANLI YU XIAOFANG JISHU

(下册)

黄庆华 魏海凡 范世宾 编著

原子能出版社

第五篇 电气防火管理

第一章 电的基本知识

第一节 静 电

随着社会的高度发展，电在人们的生产、生活中越来越占有重要的地位。但是，由于人们对电的知识了解不够，在安装、使用电气设备时，往往发生火灾，造成很大的损失。因此消防工作人员应该掌握电的知识，预防电气火灾的发生。

一、摩擦起电

人们在长期实践中发现，用毛皮或呢绒擦过的火漆棒、玻璃棒、硬橡胶棒等物体，都能吸引纸屑、羽毛等轻小物体。物体有了这种吸引轻小物体的性质，我们就说它带了电，或有了电荷。带有电荷的物体叫做带电体。

使物体带电叫起电。用摩擦的方法使物体带电叫摩擦起电。

二、两种电荷

实验表明，两根用毛皮摩擦过的带电的硬橡胶棒相互排斥；两根用丝绸摩擦过的带电的玻璃棒也相互排斥；但用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与丝绸摩擦过的玻璃棒则相互吸引，这表明橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不相同的。

自然界只存在两种电荷，即正电荷和负电荷。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

三、电子学说

物质是由分子组成，分子是由原子组成，原子又是由原子核和核外的电子组成。不同的原子，在核外的电子不同。原子核和电子都是带电的。原子核所带的电是正电（用符号“+”表示），电子所带的电是负电（用符号“-”来表示）。物体在正常情况下，原子中各电子所带负电的总量和原子核所带正电的总量相等，这种状态叫做中和。因此，正常情况下的物体对外界不呈现带电现象。

摩擦起电就是两个物体在摩擦时，由于相互紧密接触，一物体失去电子，而另一物体则获得了多余的电子，所以摩擦的两个物体总是同时带电，失去电子的原子带正电，获得电子的原子带负电。

物体在缺少电子或多余电子时就成为带电体。

四、静电感应

物体摩擦所产生电，聚积在物体的表面上静止不动，这种处于静止状态的电叫静电。如果将带电体靠近与大地绝缘的导体，就在导体上产生静电，这种现象就是静电感应。

静电感应的实质就是电荷间的推斥和吸引。

五、尖端放电

电荷很容易从导体的尖端放出来。从带电体的尖端放出电荷的现象叫尖端放电。

第二节 电 路

一、电路

由电源、导线、用电器和开关组成的闭合回路，叫电路。电路的组成如下：

1. 电源产生电能，如蓄电池、干电池、发电机等。

2. 用电器也叫负载，如电灯、电炉、电动机等。
3. 开关是控制电路断与通的装置。
4. 导线是传导电流用的，可使电流通过用电器再回到电源。用符号画成的电路叫电路图。

二、电流

电子的流动就是电流。电子沿着一定方向移动形成了电流。电流是有方向的，规定正电荷移动的方向为电流的方向。

电流有强有弱，物理学上把电流强度作为衡量电流强弱的物理量，用 I 表示，单位为安培。

三、电阻

导体对电流的阻碍作用叫做电阻，用“ R ”来表示，单位为欧姆。

导体的电阻与导体的材料有关，与导体的长度成正比，与导体截面积成反比，这就叫做电阻定律。

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

R ——导体的电阻 (Ω)

l ——导体的长度 (m)

S ——导体的截面积 (mm²)

ρ ——导体的材料

各种物质可根据电阻大小，分为导体、半导体和绝缘体。

四、电压

电压就是电流流动的动力。电是从高电位沿导体向低电位流动的，高电位与低电位之间的电位差叫电压，用“ V ”来表示，单位是伏特。

五、电流、电压和电阻的关系

(一) 部分电路欧姆定律：导体中的电流强度 (I) 与这段导体两端的电压 (V) 成正比，与导体的电阻 (R) 成反比。这就是部

分电路的欧姆定律。

$$I = \frac{V}{R}$$

I —电流 (A)

V ——电压 (V)

R ——电阻 (Ω)

(二) 全电路欧姆定律：全电路包括电源、开关、导线、负载四个部分。

在全电路里，使用电子移动的力是电源的电动势 (E)，电流经过的电阻除线路电阻 ($R_{\text{线}}$) 和负载电阻 ($R_{\text{负}}$) 以外，还有电源的内阻 ($R_{\text{内}}$)。所以，全电路的总电阻 ($R_{\text{总}}$) 是：

$$R_{\text{总}} = R_{\text{线}} + R_{\text{负}} + R_{\text{内}}$$

在全电路里，电压、电流、电阻之间的关系是：电路中的电流强度与电路的电动势成正比，与电路中的总电阻成反比。这个结论叫全电路欧姆定律。

$$I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$$

I ——电流 (A)

E ——电动势 (V)

$R_{\text{总}}$ ——电路中的总电阻 (Ω)

六、串联和并联

(一) 串联电路的特点：串联电路是负载首尾相接的电路，其特点是：①串联电路的总电流与负载上的分流相等；②串联电路的总电压是各负载上的电压之和；③串联电路的总电阻是各负载分电阻之和。

(二) 并联电路的特点：并联电路是负载的两端与线路相接，其特点是：①并联电路的总电流等于各支路分电流之和；②并联电路的总电压与各支路两端的电压相同；③并联电路的总电阻小

于任何一个支路的电阻；总电阻的倒数，等于各支路电阻的倒数之和。

七、电功和电功率

电流做的功就叫电功，用“ W ”表示，单位为焦耳。

$$W = IVt$$

1 焦耳 = 1 安培 × 1 伏特 × 1 秒

单位时间内电流所做的功叫做电功率，用（ P ）表示，单位为瓦特。

$$P = \frac{A}{t} \quad 1 \text{ 瓦特} = \frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 秒}}$$

八、电流的热效应

电流通过导体时，由于电子在导体中不断发生碰撞，因此，电能就转变为热能，使导体温度升高，这种现象叫做电流的热效应。

俄国科学家楞次和英国科学家焦耳对电流通过导体时产生的热量进行实验，得到同一结论，即电流通过导体时产生的热量，与电流的平方、这一段电路导体的电阻以及通过电流的时间成正比，这就是焦耳—楞次定律，即：

$$Q = 0.24I^2Rt$$

Q ——热量 (cal)

I ——电流强度 (A)

R ——电阻 (Ω)

t ——通过电流的时间 (s)

0.24——系数，表示 1 欧姆电阻的导体，通过 1 安培的电流，在 1 秒钟内所产生的热量等于 0.24 卡。

第三节 交流电

若电流的强度和方向不随时间而改变就叫做直流电。如手电筒使用的干电池等。

交流电是指电流的大小和方向随着时间作周期性变化。如白炽灯使用的电。

一、单相交流电

发电机如果只有一组产生交流电流的线圈，称单相交流发电机，它所发出的电称单相交流电。

二、三相交流电

如果发电机内有三组相同的线圈，彼此相隔 120° 的角，放在磁场中，转动时每组线圈都产生交流电，各组线圈中电流强度达到最大值的时间有先有后，这样发出的电称三相交流电。

第二章 电气线路和电气设备 火灾原因及预防

第一节 短路

近年来，我国电气火灾与年俱增，已接近火灾总数的 30%，居火灾的首位。电气火灾中又以线路短路火灾居多，约占电气火灾的 40%。一般认为，电气线路往往由于短路，过负荷运行，接触电阻过大，漏电等原因，产生电火花、电弧或引起绝缘导线、电缆过热，都会造成火灾。

一、短路起火主要是接地短路起火

1. 长期以来,我国在电气防火中认为如图 5.1 所示的电气导线间的一般短路(相间短路、单相短路)的短路电流大,起火的危险性大,而如图 5.2 所示的设备外壳的接地短路的短路电流小,起火的危险性小。而国外文献对此持相反观点,在实际火灾现场的分析中发现所谓短路起火大部分是接地短路起火。国际标准 IEC364 中将接地短路称作接地故障 (earthfault),以区别于一般短路。它是指相线和大地、接地的金属管道结构以及设备外壳间的短路。接地短路起火危险大正是因为他的短路电流比较小。如图 5.3 所示的低压公用电网通常采用的 TT 系统(接地系统),在发生相线与外壳或管道等短路时,短路电流 I_d 都通过两个接地电阻 R_a 和 R_b 返回电源。假设 R_a 为 10Ω , R_b 为 4Ω ,则接地短路电流约为 $I_d = U_0 / (R_a + R_b) = 220 / (10 + 4) = 15.7\text{A}$ 。如此小的电流不足以使过流保护电器(熔断器、断路器)及时动作切断电源,它也不能使短路点熔焊,往往引起打火或拉弧,其局部高温却足以引燃近旁可燃物。

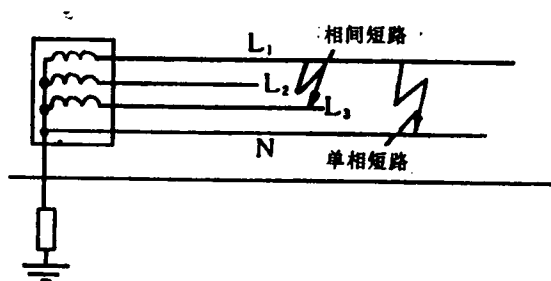


图 5.1 一般短路

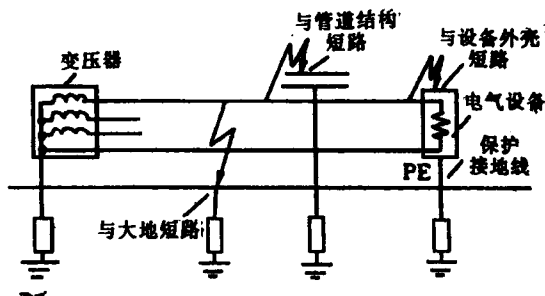


图 5.2 接地短路

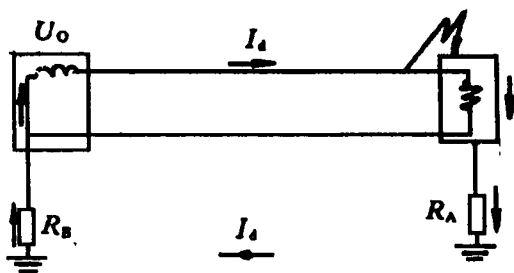


图 5.3 TT 系统接地短路电流以大地为返回通路

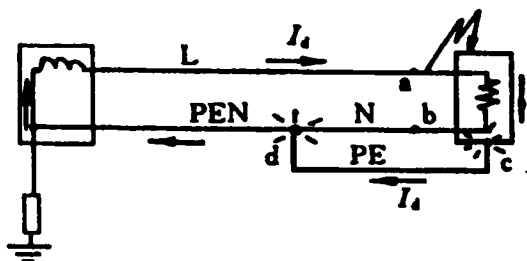


图 5.4 TN 系统 PE 线连接不易察觉

图 5.4 所示的 TN 系统（接零系统），接地短路电流虽不以大地为通路，也容易发生接地短路起火。途中相线和中性线的端子和接头（a、b 两点）的导线总是良好的。而设备接地线（PE 线）的端子和接头（c、d 两点）若导电不良，不影响设备运转而不易被发觉，一旦发生外壳接地短路，将迸发高阻抗的电火花或电弧，它限制了短路电流使过流保护电器不能及时动作，而电弧、电火花的局部高温却足以引燃可燃物造成起火。

从以上分析可知接地短路比一般短路的发生概率和起火危险大得多。其原因是导线对地绝缘总比导线间的绝缘差，有机械磨损的原因，也有电效应的原因。因此，防范短路起火的重点应是防接地短路起火。

2. 由于城市中压电缆线路的增多，国外早已将中压网络（例如我国的 10kV 网络）从不接地系统改为经小电阻接地系统，这就增大了接地故障电流。为保证用户安全，国外将中压变电所分设两个接地。我国现在也已开始了改造 10kV 网络为接地系统的过程，但变电所没有分设两个接地，这对 TT 系统用户而言增加了短路起火的风险，如图 5.5 所示。

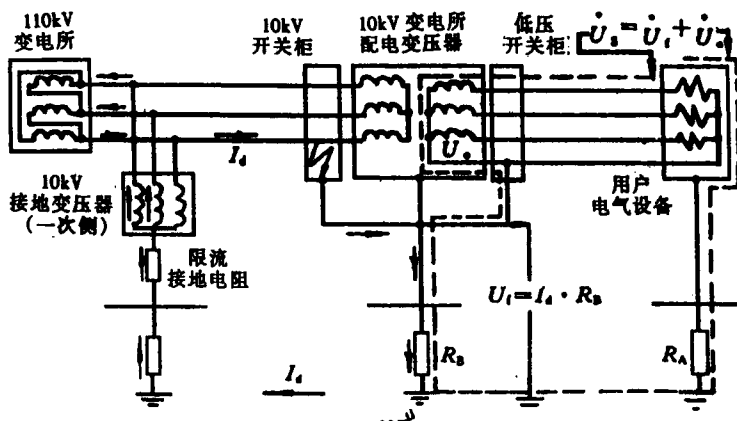


图 5.5 变电所内接地短路引起用户电气火灾电路分析

图中 10kV 网络电源经电阻接地，当 10kV 变电所 10kV 测发生接地短路时，短路电流 I_d 流动路径如箭头所示，它在变电所接地电阻 R_B 上产生电压降 $U_f = I_d \cdot R_B$ ，北京地区 I_d 值较小，为 600A，现取 $R_B = 4\Omega$ ，则 $U_f = 2400V$ 。此暂态工频过电压持续时间约 0.5s 至 1s，直至 10kV 开关跳闸，他沿图中虚线所示与变压器低压绕组电压向量相加传导至 TT 系统用户，使其设备绝缘承受暂态工频过电压 $U_s = U_f + U_0$ 。其值为 2180~2620V。按 IEC364—4—442 标准的规定，过电压持续时间小于 5s 时，设备绝缘允许承受的工频过电压不得超过 $U_0 + 1200V$ ，即 $220V + 1200V = 1420V$ ，否则绝缘有被击穿的危险。为避免用户设备损坏和短路起火危险，国外供电公司按 IEC364—4—442 规定，将中压配电变电所的设备外壳保护接地和低压中性点的工作接地分开设置，如图 5.6 所示，从而切断 U_f 传导至用户的路径。我国变电所的接地未采取此措施，因此在一些低压 TT 系统用户内就出现一新的短路

起火危险——变电所高压侧接地短路引起低压用户的设备绝缘击穿短路起火。在绝缘老化建筑物内这种起火危险性更大。

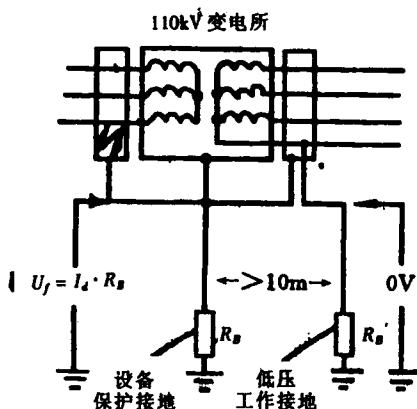


图 5.6 变电所分设两个接地消除了用户火灾危险的电路分析

二、线路过载是电气短路的原因

国际电工标准 IEC364—4—43 将短路的后果定义为导体和连接处的热效应和机械效应引起的危险；而将过载的后果定义为对绝缘、接头端子或周围物体造成损害（不是危险），过载不能直接起火，它只是引起短路起火的原因之一。

导线如持续靠近热源将使绝缘下降而导致短路起火，导线如持续过载也能使绝缘下降导致短路起火，所不同的是前者是由外部热源引起，后者是由导线内部热源引起，将前者称作短路起火，后者称作过载起火，显然是不全面的。

国际电工标准 IEC364—4—43 对线路的过载保护有如下要求：

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1.45 I_Z \quad (2)$$

式中, I_B 、 I_N 、 I_Z 、 I_2 分别为线路负载电流、过载保护整定电流、线路允许载流量和保护电器的有效动作电流。按上式, 线路允许短时间少量过载, 但对持续的少量过载必须适量增大线路截面。按以上公式现时线路的过载保护中存在以下一些隐患。

(一) 设计线路的载流量取之偏大

为满足上式要求, 前提是正确选用线路载流量值和负载电流值, 并留有适当裕量。但我国电器设计中此二值的选用往往失当而偏于不安全, 为此常导致线路过载。国际上权威的线路载流量数值是 IEC364—5—523 标准, 但我国还没有线路载流量的国家标准, 一般电气设计资料的载流量数值偏大, 因此选用的线路截面往往过小, 留下线路过载的隐患。例如, 在墙上明敷一单相线路, 采用常用的 2.5mm^2 铜芯塑料绝缘电线配电, 按 IEC364—5—523 标准, 此回路的载流量应为 26A, 而按我国的设计资料, 这一回路的载流量却为 32A, 高出 23%。没有正确的线路载流量数据, 何以保证线路没有过载的危险。因此我国应尽快制定等效采用国际标准的线路载流量标准。

(二) 线路负荷估算偏小

我国长期存在线路负荷估算偏小, 而导致线路过载短路起火的问题。这一问题尚未得到充分认识, 现就以住宅为例说明这一问题。住宅用电的特点之一是负荷难以估算, 随着生活水平的迅速提高, 我国住宅用电还将持续增长。根据国外经验, 必须对住宅用电增长给予充分的估计, 留有足够发展裕量, 否则将给电气消防安全留下无穷后患。

表 5.1

	我国内地	香港	美国 1	美国 2
每户计算负荷 kW	2.5—4	13.2	18.5	25
分支线路回路数	3—5	7	9	13

通过表 5.1 可以看出我国住宅电气设计标准与香港和美国的相比较, 明显偏低。国际上电气安全技术不断完善和提高, 而一些行之有效的电气安全基本要求在我国一些地区新建和改建线路规定中却未见到, 这些都将在我国新住宅线路和旧住宅改造线路中留下一些不安全因素。

我国一些住宅电气线路选用过小, 除对远期负荷估计不足外, 还有以下一些原因:

1. 我国迄今没有载流量标准, 而一些制造商提供的载流量则偏大, 较国际电工标准的载流量约大 20%, 而设计中又多未考虑多回线路并列暗敷时相互发热影响, 导致载流量的降低, 使所选的线路截面更为偏小。

2. 电器中产生谐波的非线性负荷(如微波炉、气体放电灯、电子镇流器等)日益增多, 消除谐波危害的有效措施是减少回路阻抗, 国外采用较大截面线路可以减少回路阻抗。我国家庭中非线性负荷家用电器的应用较晚, 不够普及, 经验不多, 尚未充分认识谐波在住宅用电中的危害。(谐波的问题将在第二节中详细阐述)

3. 对住宅线路截面过小, 阻抗增大, 影响电压质量的问题注意不够, 这个问题在高层建筑内尤为突出。线路截面过小的后果是电线发热加剧, 绝缘层老化加速, 易导致线间短路和接地故障,

引起电气火灾事故。而负载电流中谐波分量过大又使一些对谐波敏感的家用电器（例如家用电脑和某些电子设备）损坏或工作不正常，也能使家用电器内的电动机、变压器等发热加剧而缩短寿命，它还能使电气线路上的断路器频繁跳闸、熔断器不时熔断，极易引发火灾。

根据《住宅设计标准》规定，一般两居室住宅用电负荷不能低于 2.5kW，三居室及四居室不能低于 4.5kW。专家认为，如果考虑到今后用电量的增加，现在住宅用电负荷设计应高于 6~8kW。《商品住宅性能评定方法和指标体系》中 3A 级标准就要求用电负荷设计应达到 20kW。从电气安全的角度考虑，建议住宅入户导线截面为 16mm²。分支回路截面不小于 2.5mm²，空调等大功率电器最好单独走一条 4mm² 的线路。如果考虑到将来厨房及卫生间电器种类和数量的增加厨房和卫生间的回路最好也用 4mm² 的铜线。因此在选购住房时，一定要向开发商询问清楚所购住宅的设计用电负荷及导线状况，以解后顾之忧。

三、装有带漏电保护功能的断路器能有效防止接地短路

防范接地短路起火灾技术上并不困难，通常是在建筑物电源进线处装设带漏电保护功能的断路器，它只是在一般断路器内增加一零序电流互感器和一脱扣器。当发生接地短路时，接地短路电流经大地或 PE 线而不经零序电流互感器返回电源，是互感器检测出回路剩余电流（也称漏电电流），由脱扣器使断路器动作切断电源，从而防止了火灾的发生。他除原有的防短路、过载功能外，还增加了防电器接地短路火灾的功能，即使接地电弧小至几十、几百毫安，也能及时动作，有效地消除了最常见多发的接地短路电气火灾。

国际电工标准 IEC364—4—482 和 IEC364—5—53 对这一防

电气火灾措施早有规定。为了防电气火灾，国外的供电公司对电源进线不装设这种能防接地短路断路器的用户是不予接电的，我国消防规范对此未作规定。

上述断路器是指一般塑壳断路器和微型断路器。千安以上的框架式(万能式)断路器内用4个互感器组成的剩余电流保护，由于互感器变比过大和其铁芯磁饱和等原因，其动作电流最小为 $0.2I_n$ (I_n 为断路器额定电流)，即1600A的断路器当剩余电流大于320A时才能动作，因而，它只能防止接地短路引起的过流危害，不能防止接地电弧引起的电气火灾。

第二节 谐 波

过去认为三相负荷平衡时中性线上电流相互抵消而接近于零，但我们在电气防火检查中，经常会发现这样一些问题，有些单位三相四线制配电系统中，中性线电流大于相线电流，有的超过一倍、二倍甚至三倍多，从而出现中性线过载，给电气火灾的发生埋下了事故隐患。这种隐患的存在，与电器设备高次谐波的产生有着直接的关系。

一、高次谐波的产生

在理想、“干净”的电源系统中，电流和电压波形是纯正弦波。在一个简单的，只含有线性元件(即电阻、电感和电容)的线路中，电流与电压成正比关系。因而，如果所加的电压是一定频率的正弦波形，那么线路中的电流也是正弦波形的(见图5.7)。但当电压加到非线性负载上时，就产生了非正弦波形的电流(见图5.8)。