

电气安全技术

知识目标

- (1) 了解电气危害因素种类和事故类型及其特点。
- (2) 了解间接接触电击防护基本措施的原理。
- (3) 了解漏电保护装置、等电位连接、静电起电的基本原理。
- (4) 了解危险物质分类、分组和危险环境分区、雷电种类、防雷建筑物分类。

技能目标

- (1) 掌握触电事故的种类及其危害和电流效应的影响因素。
- (2) 掌握直接接触电击防护技术、IT/TT/TN 应用范围及连线方法、双重绝缘/加强绝缘的应用、安全电压的应用、漏电保护装置应用及安装。
- (3) 掌握防爆电气设备类型和结构形式、符号以及防爆电气线路要求。
- (4) 熟悉防雷装置、防雷技术措施应用、防静电技术措施应用。
- (5) 熟悉配电箱(柜)、主要变配电设备、常用单相电气设备的安全技术。

第一节 电气危害因素及事故种类

电在造福于人类的同时,也会给人类带来灾难。统计资料表明,在工伤事故中,电气事故占的比例相当大。以建筑施工死亡人数为例,2005 年全国建筑施工触电死亡人数占其全部事故死亡人数的 6.54%。我国约每用 1.5 亿度电,触电死亡人数 1 人,而美、日等国约每用 20 亿~40 亿度电,触电死亡人数才 1 人。据统计,电气火灾约占全部火灾的 20%,造成了巨大的人员伤亡和经济损失。例如,去年北京市发生的 5000 多起火灾中,电气火灾居首位,已成为最大的火灾隐患。

电气危害因素及事故是电气安全工程主要研究和管理的对象。掌握电气危害因素及事故的特点和分类情况,对做好电气安全工作具有重要的意义。严重的电气事故不仅会带来重大的经济损失,甚至还可能造成人员的伤亡。发生事故时,电能直接作用于人体,会造成电击;电能转换为热能作用于人体,会造成烧伤或烫伤;

电能脱离正常的通道,会形成漏电、接地或短路,构成火灾、爆炸的起因。电气事故具有危害大、危险直观识别难、涉及领域广、防护研究综合性强等特点。

一、电气危害因素及事故的种类

根据能量转移论的观点,电气危害因素是由于电能非正常状态形成的,分为触电危害、电气火灾爆炸危害、静电危害、雷电危害、射频电磁辐射危害和电气系统故障危害等;电气事故是由于电能非正常地作用于人体或系统所造成的,根据电能的形态及不同作用形式,可将电气事故分为触电事故、静电危害事故、雷电灾害事故、射频电磁场危害事故和电气系统故障危害事故等。

(一) 触电事故

触电事故分为电击和电伤两种形式。

1. 电击

电击是指电流通过人体,刺激机体组织,使肌肉非自主地发生痉挛性收缩而造成的伤害,严重时破坏人的心脏、肺部、神经系统的正常工作,形成危及生命的伤害。

(1) 根据电击时所触及的带电体是否为正常带电状态,电击分为直接接触电击和间接接触电击。

① 直接接触电击。直接接触电击是指触及正常状态下带电的物体导致的触电。

② 间接接触电击。间接接触电击是指触及正常状态下不带电,而在故障下意外带电的物体导致的触电。例如,电气设备的金属外壳在正常情况下不应该带电,但是因为漏电而带电,如果人触及这样的带电体,就会导致间接接触触电。

(2) 按照人体触及带电体的方式,电击可分为以下几种情况。

① 单相触电。这是指人体接触到地面或其他接地导体的同时,人体另一部位触及某一相带电体所引起的电击。参见图 3-1。发生电击时,所触及的带电体为正常运行的带电体时,称为直接接触电击。而当电气设备发生事故(例如绝缘损坏,造成设备外壳意外带电的情况下),人体触及意外带电体所发生的电击称为间接接触电击。根据国内外的统计资料,单相触电事故占全部触电事故的 70% 以上。因此,防止触电事故的技术措施应将单相触电作为重点。

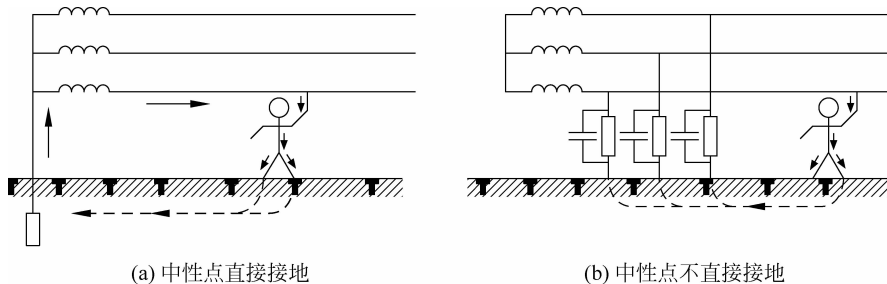


图 3-1 单相触电示意图

② 两相触电。这是指人体的两个部位同时触及两相带电体所引起的电击。参见图 3-2。在此情况下,人体所承受的电压为三相系统中的线电压,因电压相对较大,其危险性也较大。

③ 跨步电压触电。这是指站立或行走的人体,受到出现于人体两脚之间的电压,即跨步电压作用所引起的电击。跨步电压是当带电体接地,电流自接地的带电体流入地下时,在接地点周围的土壤中产生的电压降形成的。如图 3-3 所示。接地电阻分布在接地体的周围,由于大地是很好的导体,大地一般是指

比较大的半球壳,也就是离开接地体比较远的地方,大概是 20m 以外。可见,从漏电点到 20m 外的大地,电压是逐渐降低的。对于集中式接地体,离接地体 20m 处的对地电压接近于零。

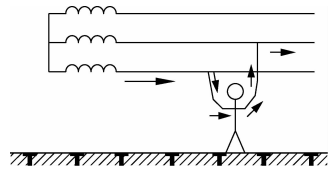


图 3-2 两相触电示意图

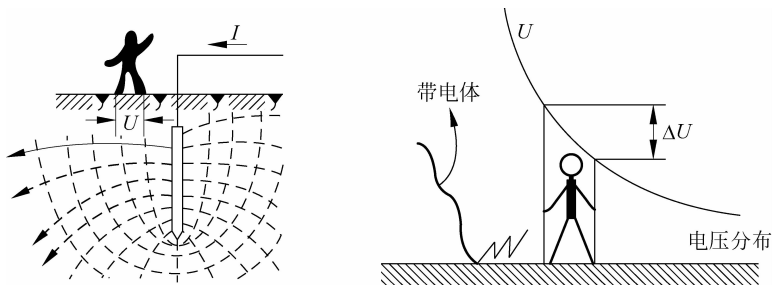


图 3-3 跨步电压示意图

2. 电伤

电伤是电流的热效应、化学效应、机械效应等对人体所造成的伤害。此伤害多见于机体的外部,往往在机体表面留下伤痕。能够形成电伤的电流通常比较大。电伤属于局部伤害,其危险程度决定于受伤面积、受伤深度、受伤部位等。

电伤包括电烧伤、电烙印、皮肤金属化、机械损伤、电光眼等多种伤害。

(1) 电烧伤。它是最为常见的电伤,大部分触电事故都含有电烧伤成分。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。

① 电流灼伤。它是指人体同带电体接触,电流通过人体时,因电能转换成的热能引起的伤害。由于人体与带电体的接触面积一般都不大,且皮肤电阻又比较高,因而产生在皮肤与带电体接触部位的热量就较多,因此,使皮肤受到比体内严重得多的灼伤。电流越大、通电时间越长、电流途径上的电阻越大,则电流灼伤越严重。由于接近高压带电体时会发生击穿放电,因此,电流灼伤一般发生在低压电气设备上。因电压较低,形成电流灼伤的电流不太大。但数百毫安的电流即可造成灼伤,数安的电流则会形成严重的灼伤。在高频电流下,因皮肤电容的旁路作用,有可能发生皮肤仅有轻度灼伤而内部组织却被严重灼伤的情况。

② 电弧烧伤。它是指由弧光放电造成的烧伤,是最严重的电伤。电弧发生在带电体与人体之间,有电流通过人体的烧伤称为直接电弧烧伤;电弧发生在人体附近,对人体形

成的烧伤以及被熔化金属溅落的烫伤称为间接电弧烧伤。弧光放电时电流很大,能量也很大,电弧温度高达数千摄氏度,可造成大面积的深度烧伤,严重时能将机体组织烘干、烧焦。电弧烧伤既可以发生在高压系统,也可以发生在低压系统。在低压系统中,带负荷(尤其是感性负荷)拉开裸露的闸刀开关时,产生的电弧会烧伤操作者的手部和面部;当线路发生短路,开启式熔断器熔断时,炽热的金属微粒飞溅出来会造成灼伤;因误操作引起短路也会导致电弧烧伤等。在高压系统中,由于误操作,会产生强烈的电弧,造成严重的烧伤;人体过分接近带电体,其间距小于放电距离时,直接产生强烈的电弧,造成电弧烧伤,严重时会同因电弧烧伤而死亡。

在全部电烧伤的事故当中,大部分事故发生在电气维修人员身上。

(2) 电烙印。它是指电流通过人体后,在皮肤表面接触部位留下与接触带电体形状相似的斑痕,如同烙印。斑痕处皮肤呈现硬变,表层坏死,失去知觉。

(3) 皮肤金属化。它是指由高温电弧使周围金属熔化、蒸发并飞溅渗透到皮肤表层内部所造成的。受伤部位呈现粗糙、张紧。

(4) 机械损伤。多数是由于电流作用于人体,使肌肉产生非自主的剧烈收缩所造成的。其损伤包括肌腱、皮肤、血管、神经组织断裂以及关节脱位乃至骨折等。

(5) 电光眼。其表现为角膜和结膜发炎。弧光放电时辐射的红外线、可见光、紫外线都会损伤眼睛。在短暂照射的情况下,引起电光眼的主要原因是紫外线。

(二) 静电危害事故

静电危害事故是由静电电荷或静电场能量引起的。在生产工艺过程中以及操作人员的操作过程中,某些材料的相对运动、接触与分离等原因导致了相对静止的正电荷和负电荷的积累,即产生了静电。由此产生的静电其能量不大,不会直接使人致命。但是,其电压可能高达数十千伏乃至数百千伏,发生放电,产生放电火花。静电危害事故主要有以下几个方面。

(1) 在有爆炸和火灾危险的场所,静电放电火花会成为可燃性物质的点火源,造成爆炸和火灾事故。

(2) 人体因受到静电电击的刺激,可能引发二次事故,如坠落、跌伤等。此外,对静电电击的恐惧心理还对工作效率产生不利影响。

(3) 在某些生产过程中,静电的物理现象会对生产产生妨碍,导致产品质量不良,电子设备损坏,造成生产故障,乃至停工。

(三) 雷电灾害事故

雷电是大气中的一种放电现象。雷电放电具有电流大、电压高的特点。其能量释放出来可能形成极大的破坏力。其破坏作用主要有以下几个方面。

(1) 直击雷放电、二次放电、雷电流的热量会引起火灾和爆炸。

(2) 雷电的直接击中、金属导体的二次放电、跨步电压的作用及火灾与爆炸的间接作用,均会造成人员的伤亡。

(3) 强大的雷电流、高电压可导致电气设备击穿或烧毁。发电机、变压器、电力线路等遭受雷击,可导致大规模的停电事故。雷击可直接毁坏建筑物、构筑物。

（四）射频电磁场危害事故

射频是指无线电波的频率或者相应的电磁振荡频率,泛指 100kHz 以上的频率。射频伤害是由电磁场的能量造成的。射频电磁场的危害主要有以下几方面。

(1) 在射频电磁场作用下,人体因吸收辐射能量会受到不同程度的伤害。过量的辐射可引起中枢神经系统的机能障碍,出现神经衰弱症候群等临床症状;可造成植物神经紊乱,出现心率或血压异常,如心动过缓、血压下降或心动过速、高血压等;可引起眼睛损伤,造成晶体浑浊,严重时导致白内障;可使睾丸发生功能失常,造成暂时或永久的不育症,并可能使后代产生疾患;可造成皮肤表层灼伤或深度灼伤等。

(2) 在高强度的射频电磁场作用下,可能产生感应放电,会造成电引爆器件发生意外引爆。感应放电对具有爆炸、火灾危险的场所来说是一个不容忽视的危险因素。此外,当受电磁场作用感应出的感应电压较高时,会给人以明显的电击。

（五）电气系统故障危害事故

电气系统故障危害是由于电能输送、分配、转换过程中失去控制而产生的。断线、短路、异常接地、漏电、误合闸、误掉闸、电气设备或电气元件损坏、电子设备受电磁干扰而发生误动作等都属于电路故障。系统中电气线路或电气设备的故障也会导致人员伤亡及重大财产损失。电气系统故障危害主要体现在以下几方面。

(1) 引起火灾和爆炸。线路、开关、熔断器、插座、照明器具、电热器具、电动机等均可引起火灾和爆炸;电力变压器、多油断路器等电气设备不仅有较大的火灾危险,还有爆炸的危险。在火灾和爆炸事故中,电气火灾和爆炸事故占有很大的比例。就引起火灾的原因而言,电气原因仅次于一般明火而位居第二。

(2) 异常带电。在电气系统中,原本不带电的部分因电路故障而异常带电,可导致触电事故发生。例如,电气设备因绝缘不良产生漏电,使其金属外壳带电;高压电路故障接地时,在接地处附近呈现出较高的跨步电压,形成触电的危险条件。

(3) 异常停电。在某些特定场合,异常停电会造成设备损坏和人身伤亡。如正在浇注钢水的吊车,因骤然停电而失控,导致钢水洒出,引起人身伤亡事故;医院手术室可能因异常停电而被迫停止手术,无法正常施救而危及病人生命;排放有毒气体的风机因异常停电而停转,致使有毒气体超过允许浓度而危及人身安全等;公共场所发生异常停电,会引起妨碍公共安全的事故;异常停电还可能引起电子计算机系统的故障,造成难以挽回的损失。

二、电流对人体的作用

人本身如同一种电气设备,因为人的整个神经系统对电信号和电化学反应较为敏感,而电信号和电化学反应所涉及的能量是非常小的。人体只需要非常小的电能,一旦电能偏大,系统功能很容易被破坏。电流通过人体,会引起人体的生理反应及机体的损坏。

（一）电流效应的影响因素

电流对人体伤害的程度与通过人体电流的大小、电流通过人体的持续时间、电流通过人体的途径、电流的种类、个体特征等多种因素有关。而且,上述各个影响因素相互之间,

尤其是电流大小与通电时间之间也有着密切的联系。

1. 伤害程度与电流大小的关系

通过人体的电流越大,人体的生理反应越明显,伤害越严重。对于工频交流电,按通过人体的电流强度的不同以及人体呈现的反应不同,将作用于人体的电流划分为三级。

(1) 感知电流和感知阈值。感知电流是指电流流过人体时可引起感觉的最小电流。感知电流的最小值称为感知阈值。不同的人,感知电流及感知阈值是不同的。成年男性平均感知电流约为 1.1mA(有效值,下同),成年女性约为 0.7mA。对于正常人体,感知阈值平均为 0.5mA,并与时间因素无关。感知电流一般不会对人体造成伤害,但可能因不自主反应而导致由高处跌落等二次事故。

(2) 摆脱电流和摆脱阈值。摆脱电流是指人在触电后能够自行摆脱带电体的最大电流。摆脱电流的最小值称为摆脱阈值。成年男性平均摆脱电流约为 16mA,成年女性平均摆脱电流约为 10.5mA;成年男性最小摆脱电流约为 9mA,成年女性最小摆脱电流约为 6mA;儿童的摆脱电流较成人要小。对于正常人体,摆脱阈值平均为 10mA,与时间无关。

(3) 室颤电流和室颤阈值。室颤电流是指引起心室颤动的最小电流,其最小电流即室颤阈值。由于心室颤动几乎终将导致死亡,因此,可以认为,室颤电流即致命电流。室颤电流与电流持续时间关系密切。当电流持续时间超过心脏周期时,室颤电流仅为 50mA 左右;当电流持续时间短于心脏周期时,室颤电流为数百毫安。当电流持续时间小于 0.1s 时,只有电击发生在心脏易损期,500mA 以上乃至数安的电流才能够引起心室颤动。室颤电流与电流持续时间的关系大致如图 3-4 所示。

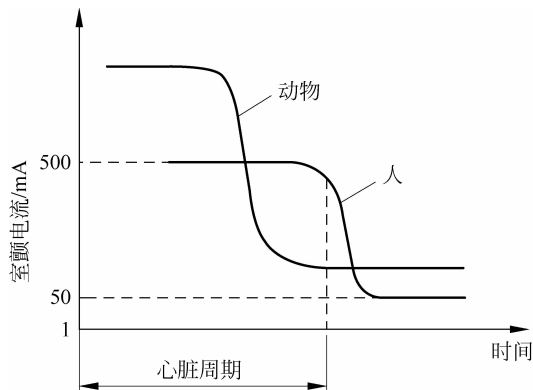


图 3-4 室颤电流与时间曲线

2. 伤害程度与电流持续时间的关系

通过人体电流的持续时间越长,越容易引起心室颤动,危险性就越大。这主要是因为以下几个原因。

(1) 能量积累。电流持续时间越长,能量积累越多,心室颤动电流减小,使危险性增加。当持续时间在 0.01~5s 范围内时,心室颤动电流和电流持续时间的关系可用下式表达:

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}} \quad (3-1)$$

式中, I 为心室颤动电流, mA; t 为电流持续时间, s。或者, 用下式表达:

当 $t \geq 1\text{s}$ 时:

$$I = 50\text{mA} \quad (3-2)$$

当 $t < 1\text{s}$ 时:

$$I \cdot t = 50\text{mA} \cdot \text{s} \quad (3-3)$$

(2) 与易损期重合的可能性增大。在心脏周期中, 相应于心电图上约 0.2s 的 T 波这一特定时间对电流最为敏感, 被称为易损期, 电流持续时间越长, 与易损期重合的可能性就越大, 电击的危险性就越大。

(3) 人体电阻下降。电流持续时间越长, 人体电阻因出汗等原因而降低, 使通过人体的电流进一步增加, 危险性也随之增加。

3. 伤害程度与电流途径的关系

电流通过心脏会引起心室颤动, 电流较大时会使心脏停止跳动, 从而导致血液循环中断而死亡。电流通过中枢神经或有关部位, 会引起中枢神经严重失调而导致死亡。电流通过头部会使人昏迷, 或对脑组织产生严重损坏而导致死亡。电流通过脊髓, 会使人瘫痪等。在上述伤害中, 以心脏伤害的危险性为最大。因此, 流经心脏的电流多、电流路线短的途径是危险性最大的途径。

利用心脏电流因数可以粗略估计不同电流途径下心室颤动的危险性。心脏电流因数是某一路径的心脏内电场强度与从左手到脚流过相同大小电流时的心脏内电场强度的比值。表 3-1 列出了各种电流途径的心脏电流因数。

表 3-1 各种电流途径的心脏电流因数

电 流 途 径	心脏电流因数
左手→左脚、右脚或双脚	1.0
双手→双脚	1.0
左手→右手	0.4
右手→左脚、右脚或双脚	0.8
右手→背	0.3
左手→背	0.7
胸→右手	1.3
胸→左手	1.5
臀部→左手、右手或双手	0.7

例如, 从左手到右手流过 150mA 电流, 由表 3-1 可知, 左手到右手的心脏电流因数为 0.4 , 因此, 其 150mA 电流引起心室颤动的危险性与左手到双脚电流途径下 60mA 电流的危险性大致相同。

如果通过人体某一电流途径的电流为 I , 通过左手到脚途径的电流为 I_o , 且两者引起心室颤动的危险程度相同, 则心脏电流因数 K 可按下式计算:

$$K = \frac{I_o}{I} \quad (3-4)$$

4. 伤害程度与电流种类的关系

100Hz 以上的交流电流、直流电流、特殊波形电流也都对人体具有伤害作用,其伤害程度一般比工频电流要轻。

(1) 100Hz 以上的交流电流的效应。100Hz 以上的频率在飞机(400Hz)、电动工具及电焊(可达 450Hz)、电疗(4~5kHz)、开关方式供电(20kHz~1MHz)等方面被使用。高频电流的危险性可以用频率因数来评价。频率因数是指某频率与工频有相应生理效应时的电流阈值之比。某频率下的感知、摆脱、室颤频率因数是各不相同的。

(2) 直流电流的效应。直流电流与交流电流相比,容易摆脱,其室颤电流也比较高,因而,直流电击事故很少。就感觉电流和感觉阈值而言,只有在接通和断开电流时才会引起感觉,其阈值取决于接触面积、接触状态(潮湿、温度、压力等)、电流持续时间以及个体的生理特征。正常人在正常条件下的感觉阈值约为 2mA。就摆脱电流而言,在 300mA 及以下时,没有可确定的摆脱阈值,仅在电流接通和断开时引起疼痛和肌肉收缩;大于 300mA 时将导致不能摆脱。就室颤阈值而言,根据动物实验资料和电气事故资料的分析结果,脚部为负极的向下电流的室颤阈值是脚部为正极的向上电流的 2 倍;而对于从左手到右手的电流途径,不大可能发生心室颤动。当电流持续时间超过心脏周期时,直流室颤阈值为交流的数倍。电流持续时间小于 200ms 时,直流室颤阈值大致与交流相同。

当 300mA 的直流电流通过人体时,人体四肢有暖热感觉。电流途径为从左手到右手的情况下,电流为 300mA 及以下时,随持续时间的延长和电流的增长,可能产生可逆性心律不齐、电流伤痕、烧伤、晕眩乃至失去知觉等病理效应;而当电流为 300mA 以上时,则经常出现失去知觉的情况。

(3) 特殊波形电流的效应。特殊波形电流最常见的有带直流成分的正弦电流、相控电流和多周期控制正弦电流等。特殊波形电流的室颤阈值是按其具有相同电击危险性的等效正弦电流有效值 I_{ev} 考虑的。

(4) 电容放电电流的效应。这里讨论的电容放电电流是指持续时间(即电容放电时间常数 τ 的 3 倍)小于 10ms 的短持续时间脉冲电流。由于作用时间短暂,不存在摆脱阈值问题,但有一个疼痛阈值。电容放电电流的感觉阈值和疼痛阈值决定于电极形状、冲击电量和电流峰值。

5. 个体特征

电流对人体的作用也因人而异,与个人的健康状况、健壮程度、性别、年龄等有关。

(二) 人体阻抗

人体阻抗是定量分析人体电流的重要参数之一,也是处理许多电气安全问题所必须考虑的基本因素。人体皮肤、血液、肌肉、细胞组织及其结合部等构成了含有电阻和电容的阻抗。其中,皮肤电阻在人体阻抗中占有很大的比例。人体阻抗包括皮肤阻抗和体内阻抗,其等效电路如图 3-5 所示。在图 3-5 中, R_{S1} 、 R_{S2} 指皮肤电阻(皮肤外面的电极与真皮之间的电阻); C_{S1} 、 C_{S2} 指皮肤电容(皮肤外面的电极与真皮之间的电容,数 pF~数 μ F); R_i 指体内电阻。

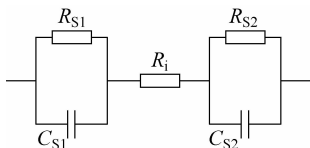


图 3-5 人体阻抗等效电路

1. 皮肤阻抗

皮肤由外层的表皮和表皮下面的真皮组成。表皮最外层的角质层,其厚度一般不超过 $0.05\sim 0.2\text{mm}$,其电阻率很大,在干燥和清洁的状态下,其电阻率可达 $1\times 10^5\sim 1\times 10^6\Omega\cdot\text{m}$ 。

皮肤阻抗是指表皮阻抗,即皮肤上电极与真皮之间的电阻抗,以皮肤电阻和皮肤电容并联来表示。皮肤电容是指皮肤上电极与真皮之间的电容。皮肤阻抗值与接触电压、电流幅值和持续时间、频率、皮肤潮湿程度、接触面积和施加压力等因素有关。

当接触电压小于 50V 时,皮肤阻抗随接触电压、温度、呼吸条件等因素影响有显著的变化,但其值还是比较高的;当接触电压在 $50\sim 100\text{V}$ 时,皮肤阻抗明显下降,当皮肤击穿后,其阻抗可忽略不计,使人体阻抗急剧下降。

2. 体内阻抗

体内阻抗是除去表皮之后的人体阻抗,虽存在少量电容,但可以忽略不计。因此,体内阻抗基本上可以视为纯电阻,变化很小,大概为 500Ω 。体内阻抗主要决定于电流途径。当接触面积过小,例如仅数平方毫米时,体内阻抗将会增大。

3. 人体总阻抗

人体总阻抗是包括皮肤阻抗及体内阻抗的全部阻抗。接触电压大致在 50V 以下时,由于皮肤阻抗的变化,人体阻抗也在很大的范围内变化;而在接触电压较高时,人体阻抗与皮肤阻抗关系不大。在皮肤被击穿后,近似等于体内阻抗。另外,由于存在皮肤电容,人体的直流电阻高于交流阻抗。

通电瞬间的人体电阻叫做人体初始电阻。在这一瞬间,人体各部分电容尚未充电,相当于短路状态。因此,人体初始电阻近似等于体内阻抗,其影响因素也与体内阻抗相同。根据试验,在电流途径从左手到右手或从单手到单脚、大接触面积的条件下,相应于 5% 概率的人体初始电阻为 500Ω 。

除去角质层,在干燥的情况下,人体电阻为 $1000\sim 3000\Omega$;在潮湿的情况下,人体电阻为 $500\sim 800\Omega$ 。

三、触电事故的分布规律

大量的统计资料表明,触电事故的分布是具有规律性的。根据国内外的触电事故统计资料分析,触电事故的分布具有以下规律。

1. 触电事故季节性明显

一年之中,二、三季度是事故多发期,尤其在 $6\sim 9$ 月份最为集中,约占全年触电事故的 75% 以上。

2. 低压设备触电事故多

由于低压设备远多于高压设备,而且缺乏电气安全知识的人员多是与低压设备接触,低压触电事故远高于高压触电事故,因此,应当将低压方面作为防止触电事故的重点。

3. 携带式设备和移动式设备触电事故多

这主要是因为这些设备经常移动,工作条件较差,容易发生故障。另外在使用时需用手紧握进行操作。

4. 电气连接部位触电事故多

在电气连接部位,机械牢固性较差,电气可靠性也较低,是电气系统的薄弱环节,较易出现故障。

5. 农村触电事故多

这主要是因为农村用电条件较差,设备简陋,技术水平低,管理不严,电气安全知识缺乏等。

6. 冶金、矿业、建筑、机械行业触电事故多

这些行业存在工作现场环境复杂,潮湿、高温,移动式设备和携带式设备多,现场金属设备多等不利因素,使触电事故相对较多。

7. 青年、中年人以及非电工人员触电事故多

这些人员是设备操作人员的主体,他们直接接触电气设备,部分人还缺乏电气安全的知识。

8. 误操作事故多

人为失误造成的触电事故约占整个触电事故的70%以上。

触电事故的分布规律并不是一成不变的,在一定的条件下,也会发生变化。例如,对电气操作人员来说,高压触电事故反而比低压触电事故多。上述规律为电气安全检查、电气安全工作计划、实施电气安全措施以及电气设备的设计、安装和管理等工作提供了重要的依据。

第二节 触电防护技术

一、直接接触电击防护

直接接触电击的基本防护原则是使危险的带电体不会被有意或无意触及,也就是把带电的带电体好好防护起来,不让人轻易接触到,具体包括绝缘、屏护和间距。

1. 绝缘

绝缘是指用绝缘物将带电体封闭起来。例如,导线外部包有绝缘材料。电气设备很多地方都要有绝缘,电气工程师利用绝缘物来约束电流的路径。

电阻率为 $10^9 \sim 10^{22} \Omega \cdot m$ 的物质所构成的材料在电工技术上称为绝缘材料,又称电介质。常用的绝缘材料有瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸、矿物油等。

(1) 绝缘的破坏。绝缘物在强电场(高电压)的作用下,遭到急剧的破坏,丧失绝缘性能,这就是击穿现象,这种击穿叫电击穿,击穿时的电压叫击穿电压。固体绝缘还有热击穿和电化学击穿。

绝缘物除因击穿破坏外,腐蚀性气体、蒸气、潮气、粉尘、机械损伤等,也会降低其绝缘性能,或导致绝缘性能破坏。有时在正常情况下,绝缘物也会逐渐“老化”而失去绝缘性能。

(2) 绝缘性能指标和测定。为了防止绝缘损坏造成事故,应该按照规定检查绝缘性能。绝缘性能用绝缘电阻、耐压强度、泄露电流和介质损耗等指标来测量。绝缘电阻是最