



建筑电气专业系列教材

# 建筑电气安全技术




王悦 黄民德 郭福雁◎主编

建筑电气专业系列教材

# 建筑电气安全技术

主编 王 悦 黄民德 郭福雁

 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书主要讨论电气事故、供配电系统和建筑物的雷击防护等电气安全问题,重点围绕建筑电气环境的安全问题进行了阐述。全书分为三章,第一章主要论述电气安全的基本知识,第二章主要论述建筑供配电系统的电气安全防护,第三章主要论述建筑物的雷击防护。

本书可作为建筑电气专业(或专业方面)和安全工程专业的教科书,也可作为相关专业教学及培训等参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑电气安全技术/王悦,黄民德,郭福雁主编.

—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5661-0851-7

I. 建… II. ①王… ②黄… ③郭… III. 房屋建筑设备-电气设备-安全技术-教材 IV. TU85

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第176114号

选题策划 张植朴

责任编辑 史大伟

封面设计 徐 波

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区东大直街124号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11

字 数 280千字

版 次 2015年9月第1版

印 次 2015年9月第1次印刷

定 价 25.00元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前 言

人类在认识和改造自然的过程中创造了辉煌的文明,但文明的代价也是巨大的,这就是一直与这一过程相伴随的对人类自身的危害及对人类生存环境的破坏。随着科学技术的迅猛发展,这种负面效应更是急剧上升,其涉及面之广几乎渗透到每个技术领域,程度之严重已威胁到人类自身的存在。这有悖于人类认识和改造自然的初衷。作为现代社会一个极为重要的技术领域,电气工程领域的情况也不例外,它所产生的负面效果也是广泛而深刻的,电气安全问题就是这种负面效应的一个重要组成部分。

作为一个物理现象,“电”被人们利用的途径主要有两条:一是被用作能源,二是被用作信息的载体。因此电气安全问题是电力、通信、计算机、自动控制等诸多领域所共同面临的问题,这使得它具有了广泛性和基础性的特征。同时,电气安全又涉及材料的选用、设备制造、设计施工及运行维护等诸多环节,这又使得它具有了系统性和综合性的特征。再者,电气安全问题通常发生在人们预料外的电磁过程中,如雷电、静电、宇宙电磁辐射等,这些自然现象也时刻影响着人类的正常活动,自然界的这些电磁现象可能造成很大的危害,这使得它具有随机性和统计性的特征。

在发达国家,社会对电气安全问题极为重视,尤其对涉及用户人身安全和公共环境安全的问题,更是予以严格规范。在我国,过去由于观念和体制的原因,对电气安全问题更多侧重于电网本身的安全和生产过程的劳动保护,而对一般民用场所的电气安全问题和电气环境安全问题较为忽视,以致电击伤害和电气火灾事故的发生率长期居高不下,单位用电量的电击伤亡事故远远高于发达国家。最近20年来,我国在学习国际先进技术,借鉴采用国际先进技术标准等方面做了大量工作,在电气安全的工程上有了很大的进展,但与发达国家相比,差距仍然很大。由于我国经济持续、快速地发展,我国城市居民家庭的电气化水平迅速提高,住宅和其他民用建筑的建设蓬勃发展,使得电气安全问题显得十分现实和迫切。因此将电气安全问题作为电气工程一个重要的专业方向进行研究,消除长期以来对电气安全问题的模糊认识,以科学的态度认识它,用工程的手段去应对它,是一项十分有意义的重要工作。

本书是建筑电气技术系列教材之一,主要供电气工程专业和安全工程专业本科生使用,也可供相关专业的学生和工程技术人员参考。

本书由天津城建大学的王悦主编,全书共3章,其中第1章、附录B、C及F由黄民德编写,第2章及附录E由王悦编写,其中第3章、附录A、D及E由郭福雁编

写,全书由王悦统稿。在编写过程中得到了天津城建大学龚威教授的指教,并得到胡林芳、乔蕾、陈建伟、齐利晓、任月清、高瑞等同志的协助,在此表示感谢。

由于编者水平,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者和同行批评指正。

编 者

2015年5月

# 目 录

<b>第一章 概 述</b> .....	1
第一节 电气事故.....	1
第二节 电流的人体效应和安全电压.....	8
第三节 电气绝缘 .....	13
第四节 电气设备外壳的防护等级 .....	21
思考题 .....	23
<b>第二章 供配电系统的电气安全防护</b> .....	24
第一节 电气系统接地概述 .....	24
第二节 低压系统电击防护 .....	32
第三节 建筑物的电击防护 .....	56
第四节 特殊环境下对电力装置的要求 .....	65
思考题 .....	81
<b>第三章 建筑物的雷击防护</b> .....	83
第一节 概述 .....	83
第二节 防雷设施 .....	94
第三节 建筑物防雷.....	104
第四节 室内信息系统的雷电防护.....	109
思考题.....	122
<b>附 录</b> .....	124
附录 A 《低压用电设计规范——电气装置的电击防护》 .....	124
附录 B 《民用建筑电气设计规范——民用建筑物防雷》 .....	131
附录 C 《民用建筑电气设计规范——地和特殊场所的安全防护》 .....	145
附录 D 浴室区域的划分.....	158
附录 E 游泳池和戏水池区域的划分.....	160
附录 F 电涌保护器 .....	161
<b>参考文献</b> .....	168

# 第一章 概述

## 第一节 电气事故

电能的开发和应用给人类的生产和生活带来了巨大的变革,大大促进社会的进步和文明。在现代社会中,电能已被广泛应用于工农业生产和人民生活等各个领域。然而在用电的同时,如果对电能可能产生的危害认识不足,控制和管理不当,防护措施不利,在电能的传递和转换的过程中,将会发生异常情况,造成电气事故。

### 一、电气事故的类型

根据能量转移理论的观点,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、电磁场危害和电气系统故障危害事故等。

#### 1. 触电事故

##### (1) 触电

①电击 这是电流通过人体,刺激机体组织,使肌肉非自主地发生全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。

电击对人体的效应是由通过的电流决定的,而电流对人体的伤害程度与通过人体电流的强度、种类、持续时间、通过途径及人体状况等多种因素有关。电击是触电事故中最危险的一种,绝大部分触电死亡事故都是由电击造成的。

②电伤 这是电流的热效应、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,常与电击同时发生。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,它包括电烧伤、电烙印、皮肤金属化、机械损伤、电光眼等多种伤害。

##### a. 电烧伤

电烧伤是最为常见的电伤,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。

电流灼伤是人体同带电体接触,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,而皮肤电阻又比较高,因而在皮肤与带电体接触部位产生的热量就较多,因此使皮肤受到的灼伤比体内严重得多。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,有可能发生皮肤仅轻度灼伤而内部组织却被严重灼伤的情况。

电弧烧伤是由弧光放电造成的烧伤。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,带负荷(尤其是感性负荷)拉开裸露的刀开关时,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,炽热的金属微粒发生飞溅会造成灼伤;因误操作引起短路也会导致电弧烧伤。在高压系统,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。

#### b. 电烙印

电烙印发生在人体与带电体有一定接触的情况下。此时在皮肤表面将留下与被接触带电体形状相似的肿块痕迹。电烙印有时在触电后并不马上出现,而是隔一段时间后才不会出现。电烙印一般不发炎或化脓,但往往造成局部麻木或失去知觉。

#### c. 皮肤金属化

由于电弧的温度极高(中心温度可达 $6\,000\sim 10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),可使周围的金属熔化、蒸发并飞溅到皮肤表面,令皮肤表面变得粗糙坚硬,其色泽与金属种类有关,如灰黄色(铅)、绿色(紫铜)、蓝绿色(黄铜)等。金属化后的皮肤经过一段时间后会自动脱落,一般不会留下不良后果。

#### d. 机械损伤

机械损伤多数是由于电流作用于人体,使肌肉产生非自主地剧烈收缩所造成的。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。

#### e. 电光眼

电光性眼炎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,紫外线是引起电光性眼炎的主要原因。

### (2) 触电方式

按照人体触及带电体的方式,主要分为直接接触触电和间接接触触电两种。此外,还有高压电场、高频电磁场、静电感应、雷击等对人体造成的伤害。

#### ① 直接接触触电

人体直接接触及过分靠近电气设备及线路的带电导体而发生的触电现象称为直接接触触电。单相触电、两相触电、电弧伤害都属于直接接触触电。

##### a. 单相触电

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。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。

##### b. 两相触电

是指人体的两个部位同时触及两相带电体所引起的电击。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。



### c. 电弧伤害

电弧是气体间隙被强电场击穿时的一种现象。人体过分接近高压带电体会引起电弧放电,带负荷拉,合刀闸会造成弧光短路。电弧不仅使人受电击,而且使人受电伤,对人体的危害往往是致命的。

#### ②间接接触触电

电气设备在正常运行时,其金属外壳或结构是不带电的。但当电气设备绝缘损坏而发生接地短路故障时(俗称“碰壳”或“漏电”),其金属外壳或结构便带有电压,此时人体触及就会发生触电,这称为间接接触触电。最常见的就是跨步电压触电和接触电压触电。

##### a. 跨步电压触电

电气设备发生接地故障时,在接地电流入地点周围电位分布区(以电流入地点为圆心,半径20 m范围内)行走的人,两脚之间所承受的电位差称跨步电压,其值随人体离接地点的距离和跨步的大小而改变。离得越近或跨步越大,跨步电压就越高,反之则越小。一般人的跨步为0.8 m。

人体受到跨步电压作用时,电流将从一只脚到另一只脚与大地形成回路。触电者的症状是脚发麻、抽筋并会发生跌倒现象。跌倒后,电流可能改变路径(如从头到脚或手)而流经人体重要器官,使人致命。

跨步电压触电还可以发生在其他一些场合,如架空导线接地故障点附近或导线断落点附近、防雷接地装置附近等。

跨步电压的大小与接地电流的大小、土壤电阻率、设备接地电阻及人体位置等因素有关。当人穿有靴鞋时,由于地面和靴鞋的绝缘电阻上有压降,人体受到的接触电压和跨步电压将显著降低,因此严禁裸臂赤脚去操作电气设备。

##### b. 接触电压触电

电气设备的金属外壳带电时,人若碰到带电外壳,造成触电,这种触电称之为接触电压触电。

接触电压是指人站在带电金属外壳旁,人手触及外壳时,其手、脚间承受的电位差。

有时触电摔跌,更甚者是从高空摔跌,会引起更严重的后果,这种事故时有发生。

## 2. 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。

(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、可能引起二次事故,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)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。

## 3. 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。

(1) 直击雷放电、二次放电、雷电流的热量会引发火灾和爆炸。

(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,可导致大规模停电事故。雷击可直接毁坏建筑物、构筑物。

#### 4. 射频电磁场危害

射频指无线电波的频率或者相应的电磁振荡频率,泛指 100 kHz 以上的频率。射频伤害是由电磁场的能量造成的。

(1) 在射频电磁场作用下,人体会吸收辐射能量并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,受电磁场作用感应出的电压较高时,会给人以明显的电击。

#### 5. 电气系统故障危害

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。

(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、电动机等均可能引起火灾和爆炸;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 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;排出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、电气事故的特征

### 1. 非直观性

由于电既看不到、听不到,又嗅不着,其本身不具备人们直观所识别的特征,因此其潜在危险就不易为人们所察觉。比如若水容器出现破裂,水就会漏出,直观上就可知道容器出现了破

损,但若电气设备的绝缘发生了破坏,有电压加在设备外壳上,这时凭人的感官是无法知道设备发生了漏电的,这就给电击事故的发生创造了条件。

## 2. 途径广

比如电击伤害,大的方面可分为直接电击与间接电击,再细分下去,有设备漏电产生的电击,也有带电体接触到电气装置以外的导体(如水管等)而发生的电击,还有可能因 PE 线断线造成设备外壳带电而发生电击。再比如雷电危害,可能因闪电产生的机械能损坏建筑物,也可能因闪电的热能引发火灾,还可能因雷电流下泄产生的电磁感应过电压损坏设备或产生火花击穿,或者接地体散流场产生跨步电压造成电击伤害等。由于供配电系统所处环境复杂,电气危害产生和传递的途径也极为多样,这就使得对电气危害的防护十分困难和复杂,需要周密、细致和全面的考虑。

## 3. 能量范围广,能量谱密度分布也多种多样

大的如雷电能量,雷电流可达数百千安,高频且直流成分大;小的如电击电流,以工频电流为主,电流仅为毫安级。对于大能量的危害,合理控制能量的泄放是主要的防护手段,因此泄放能量的能力大小是保护设施的重要指标;而对小能量的危害,能否灵敏地感知这种危害是防护的关键,因此保护设施的灵敏性又成了重要的技术指标。

## 4. 作用时间长短不一

短者如雷电过程,持续时间仅为微秒级;长者如导线间的间歇性电弧短路,通常要持续数分钟至数小时才会引发火灾;而电气设备的轻度过载,持续时间可达若干年,使绝缘的寿命缩短,最终才因绝缘损坏而产生漏电、短路或火灾。对不同持续时间的电气危害,其保护设施的响应速度和方式也应有所不同。

## 5. 不同危害之间的关联性

如绝缘损坏导致短路,而短路又可能引发绝缘燃烧;又如建筑物防雷装置可极大地减小雷击产生的破坏,但雷电流在防雷装置中通过时又可能产生反击、感应过电压、低压配电系统中性点电位升高等新的危害。因此电气危害的防护应该是全面的,不能只顾一点而不及其余。

# 三、触电事故的规律

大量的统计资料表明,触电事故的分布是有规律性的。触电事故的分布规律为制定安全措施、最大限度地减少触电事故发生率提供了有效依据。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如下规律。

### (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 6~9 月份最为集中。首先,其原因主要是这段时间正值炎热季节,人体穿着单薄且皮肤多汗,相应增大了触电的危险性。其次,这段时间潮湿多雨,电气设备的绝缘性能有所降低。再次,这段时间许多地区处于农忙季节,用电量增加,农村触电事故也随之增加。

### (2) 低压设备触电事故多

低压触电事故远多于高压触电事故,其原因主要是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,因此应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。另外在使用时需要手紧

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

这主要是因为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

这主要是由于防止误操作的技术措施和管理措施不完备造成的。

触电事故的分布规律并不是一成不变的,在一定条件下,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,而且通过在低压系统推广漏电保护装置,使低压触电事故大大降低,可使低压触电事故与高压触电事故的比例发生变化。上述规律对于电气安全检查、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。

## 四、触电防护措施

### 1. 直接接触防护

直接接触是指人体与正常工作中的裸露带电部分直接接触而遭受电击,其主要防护措施如下。

(1) 将裸露带电部分包以适合的绝缘。

(2) 设置遮拦或外护物以防止人体与裸露带电部分接触。

(3) 设置阻挡物以防止人体无意识地触及裸露带电部分。

阻挡物可不用钥匙或工具就能移动,但必须固定住,以防无意识的移动。这一措施只适用于专业人员。

(4) 将裸露带电部分置于人的伸臂范围以外。

伸臂范围从预计有人的场所的站立面算起,直到人能用手打到的界限为止。置于伸臂范围之外的防护,就是严禁在伸臂范围以内存在具有不同电位的且能同时被人触及的部分。

如图 1-1 所示为极限伸臂范围。这个极限是按人体测量学给出的人体统计尺寸,并考虑了适当的安全裕度规定的。图中  $S$  为人的站立面,当人站立处前方有阻挡物时,伸臂范围应从阻挡物算起。从  $S$  面算起的向上的伸臂范围为 2.5 m,在常有人手持长或大的物体的场所,伸臂范围尚应适当加大。图中 1.25 m 和 0.75 m 分别为平伸、蹲坐、屈膝、跪、俯卧等姿势的伸臂范围极限。

(5) 采用漏电电流动作保护器的附加防护。

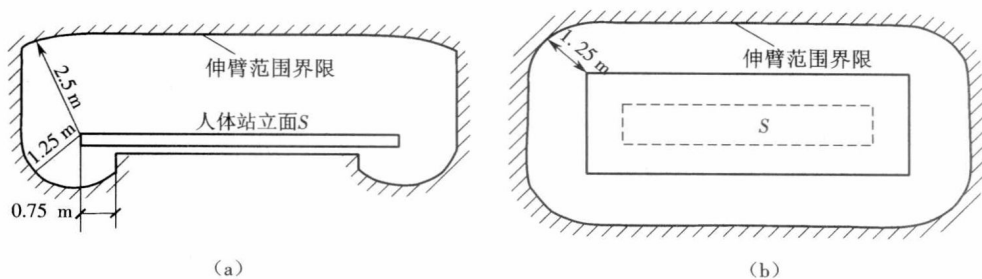


图 1-1 伸臂范围的规定距离

(a) 俯视图; (b) 顶视图

漏电电流动作保护器又称剩余电流动作保护器,它是一种在规定条件下当漏电电流达到或超过给定值时,能自动切断供电开关电器或组合电器,通常用于故障情况下自动切断供电的防护。

将保护器的动作电流限定在 30 mA 以内,是考虑到该电流在正常环境条件下,短时间内通过人体不会造成器官的损害。

应特别指出,正常工作条件下的直接接触防护不能单独用漏电电流动作保护替代,这种保护只能作为上述(1)~(4)项防直接接触电保护措施的后备措施。

## 2. 间接触电防护

因绝缘损坏,致使相线与 PE 线、外露可导电部分、装置外可导电部分以及大地间的短路称为接地故障。这时原来不带电压的电气装置外露可导电部分或装置外可导电部分将呈现故障电压。人体与之接触而招致的电击称之为间接触电,其主要的防护措施如下。

- (1) 用自动切断电源的保护(包括漏电电流动作保护),并辅以总等电位连接。
- (2) 使工作人员不致同时触及两个不同电位点的保护。
- (3) 使用双重绝缘或者加强绝缘的保护。
- (4) 用不接地的局部等电位连接的保护。
- (5) 采用电气隔离。

## 五、用电安全的基本要求

- (1) 电气装置在使用前,应确认其已经国家指定的检验机构检验合格或认可。
- (2) 电气装置在使用前,应确认其符合相应环境要求和使用等级要求。
- (3) 电气装置在使用前,应认真阅读产品使用说明书,了解使用可能出现的危险以及相应的预防措施,并按产品使用说明书的要求正确使用。
- (4) 用电单位或个人应掌握所使用的电气装置的额定容量、保护方式和要求、保护装置的整定值和保护元件的规格。不得擅自更改电气装置或延长电气线路。不得擅自增大电气装置的额定容量,不得任意改动保护装置的整定值和保护元件的规格。
- (5) 任何电气装置都不应超负荷运行或带故障使用。
- (6) 用电设备和电气线路的周围应留有足够的安全通道和工作空间。电气装置附近不应堆放易燃、易爆和腐蚀性物品。禁止在架空线上放置或悬挂物品。
- (7) 使用的电气线路须具有足够的绝缘强度、机械强度和导电能力并应定期检查。禁止

使用绝缘老化或失去绝缘性能的电气线路。

(8) 软电缆或软线中的绿/黄双色线在任何情况下只能用作保护线。

(9) 移动使用的配电箱(板)应采用完整的、带保护线的多股铜芯橡皮护套软电缆或护套软线作为电源线,同时应装设漏电保护器。

(10) 插头与插座应按规定正确接线,插座的保护接地极在任何情况下都必须单独与保护线可靠连接。严禁在插头(座)内将保护接地极与工作中性线连接在一起。

(11) 在儿童活动的场所,不应使用低位置插座,否则应采取防护措施。

(12) 浴室、蒸汽房、游泳池等潮湿场所内不应使用可移动的插座。

(13) 在使用移动式的 I 类设备时,应先确认其金属外壳或构架已可靠接地,使用带保护接地极的插座,同时宜装设漏电保护器,禁止使用无保护线插头插座。

(14) 正常使用时会产生飞溅火花、灼热飞屑或外壳表面温度较高的用电设备,应远离易燃物质或采取相应的密闭、隔离措施。

(15) 手提式和局部照明灯具应选用安全电压或双重绝缘结构。在使用螺口灯头时,灯头螺纹端应接至电源的工作中性线。

(16) 用电设备在暂停或停止使用、发生故障或遇突然停电时均应及时切断电源,必要时应采取相应技术措施。

(17) 当保护装置动作或熔断器的熔体熔断后,应先查明原因、排除故障,并确认电气装置已恢复正常后才能重新接通电源、继续使用。更换熔体时不应任意改变熔断器的熔体规格或其他导线代替。

(18) 当电气装置的绝缘或外壳损坏,可能导致人体触及带电部分时,应立即停止使用,并及时修复或更换。

(19) 禁止擅自设电网、电围栏或用电具捕鱼。

(20) 露天使用的用电设备、配电装置应采取防雨、防雪、防雾和防尘的措施。

(21) 禁止利用大地作为工作中性线。

(22) 禁止将暖气管、煤气管、自来水管作为保护线使用。

(23) 用电单位的自备发电装置应采取与供电电网隔离的措施,不得擅自并入电网。

(24) 当发生人身触电事故时,应立即断开电源,使触电人员与带电部分脱离,并立即进行急救。在切断电源之前禁止其他人员直接接触触电人员。

## 第二节 电流的人体效应和安全电压

### 一、电流通过人体时的效应

电对人的伤害主要是电流流经人体后产生的,因此研究电流通过人体时所产生的效应,是电气安全方面的一个基础性课题。

经过各国科学家几十年的努力,目前在电流通过人体的效应的研究方面已取得了显著的成果。本节着重阐述 15 ~ 100 Hz 交流电通过人体时的效应,专家们提出了三个不同性质的效应阈。一是“感觉阈”,即人对电流开始有所觉察;二是“摆脱阈”,即人对所握持的电极能自主摆脱;三是“室颤阈”,即会发生致命的心室纤维性颤动(以下简称室颤)。这三个效应阈阈值

如下：“感觉阈”0.5 mA，与通电时间长短无关；“摆脱阈”约 10 mA；“室颤阈”与通电时间密切相关，以曲线形式表达(图 1-2 曲线 c)。

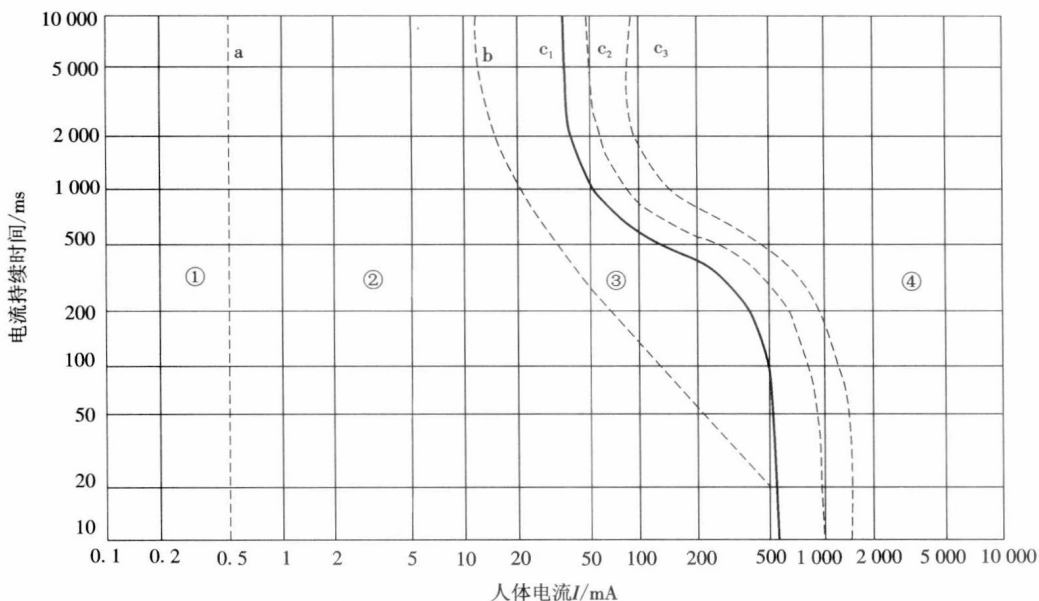


图 1-2 15 ~ 100 Hz 交流电流流过人体时的电流—时间—效应分区图

### 1. 电流、通电时间与电流的效应关系

图 1-2 是 15 ~ 100 Hz 交流电通过人体时的电流—时间—效应分区图，它反映了电流、通电时间与电流的效应这三者的关系。图中分为四个区域，区域①是无效应区，在这个区域内人对电流通常无感觉，线条 a 即为“感觉阈”；区域②为无有害生理效应区，“摆脱阈”处在这个区域中；区域③为有病态生理效应而无器质性损伤的区域，但可能出现肌肉痉挛、呼吸困难和可逆性的心房纤维性颤动，随着电流和通电时间的增加，可引起非室颤的短暂的心脏停搏；区域④除了有区域③的病态生理效应外，还可能出现室颤。曲线 c 反映的就是“室颤阈”。曲线  $c_1$  与  $c_2$  之间的区域，室颤的发生概率约为 5%；曲线  $c_2$  与  $c_3$  之间的区域，室颤的发生概率约为 50%；曲线  $c_3$  以右的区域，室颤的发生概率在 50% 以上。随着电流和通电时间的增加，可能出现心脏停搏、呼吸停止和严重灼伤。

图 1-2 中的曲线 c 呈现阶梯形，它反映的是国际上在这个领域里的最新研究成果，即室颤阈值与通电时间的密切相关性，而且以一个心跳周期(人的心跳周期约为 750 ms)为中心，呈现出两个不同水平的“台阶”。通电时间短于一个心跳周期时，室颤阈值处于高水平台阶上，两个台阶之间差值较大。

触电时，通过人体的电流的大小是决定人体伤害程度的主要原因之一。通过人体的电流越大，人体的生理反应越强烈，对人体的伤害就越大。按照人体对电流的生理反应强弱和电流对人体的伤害程度，可将电流分为感知电流、摆脱电流和致命电流三种。

#### (1) 感知电流

感知电流又称感觉电流，是指引起人体感觉但无生理反应的最小电流值。感知电流流过人体时，对人体不会有伤害。实验表明：对于不同的人、不同性别的人感知电流是不同的。一

一般来说,成年男性的平均感知电流:交流(工频)为 1.1 mA;直流为 5.2 mA。成年女性的平均感知电流:交流(工频)为 0.7 mA;直流为 3.5 mA。

感知电流还与电流的频率有关,随着频率的增加,感知电流的数值也相应增加。例如当频率从 50 Hz 增加到 5 000 Hz 时,成年男性的平均感知电流将从 1.1 mA 增加到 7 mA。

### (2) 摆脱电流

摆脱电流是指人体触电后,在不需要任何外来帮助的情况下,能自主摆脱电源的最大电流。实验表明,在摆脱电流作用下,由于触电者能自行脱离电源,所以不会有触电的危险。成年男性的平均摆脱电流:交流(工频)为 16 mA;直流为 76 mA。成年女性的平均摆脱电流:交流(工频)为 10.5 mA;直流为 51 mA。

### (3) 致命电流

心室颤动电流是指人体触电后,引起心室颤动概率大于 5% 的极限电流。当触电时间小于 5 s 时,心室颤动电流的计算式为

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

式中  $I$ ——心室颤动电流, mA;

$t$ ——触电持续时间, s。

该式所允许的时间范围是 0.01 ~ 0.5 s。当触电持续时间大于 5 s 时,则以 30 mA 作为心室颤动的极限电流。这个数值是通过大量的试验结果得出来的。因为当流过人体的电流大于 30 mA 时,才会有发生心室颤动的危险。

## 2. 影响电流对人体伤害程度的其他因素

### (1) 触电电压的高低

一般而言,当人体电阻一定时,触电电压越高,流过人体的电流越大,危险性也就越大。

### (2) 电流通过人体的持续时间

在其他条件都相同的情况下,电流通过人体的持续时间越长,对人体的伤害程度就越高。这是由于以下几种原因造成的。

① 通电时间越长,电流在心脏间隙期内通过心脏的可能性越大,因而引起心室颤动的可能性越大。

② 通电时间越长,对人体组织的破坏越严重,电流的热效应和化学效应将会使人体出汗和组织碳化,从而使得人体电阻逐渐降低,流过人体的电流逐渐增大。

③ 通电时间越长,体内能量的积累越多,因此引起心室颤动所需要的电流也越小。

### (3) 电流流过人体的途径

这种触电伤害程度影响很大。电流通过心脏,会引起心室颤动,较大的电流还会使心脏停止跳动。电流通过中枢神经或脊椎时,会引起有关的生理机能失调,如窒息致死等。电流通过脊椎时,会使人截瘫。电流通过头部时,会使人昏迷,若电流较大时,会对大脑产生严重伤害而致死,所以当电流从左手到胸部、从左手到右手、从颅顶到双脚是最危险的电流途径。从右脚到胸部、从右手到脚、从手到手的电流途径也很危险。从脚到脚的电流途径,一般危险性较小,但不等于没有危险。例如跨步电压触电时,开始电流仅通过两脚,触电后由于双脚剧烈痉挛而摔倒,此时电流就会流经其他要害部位,同样会造成严重后果。另外,即使是两脚触电,也会有一部分电流流经心脏,同样会带来危险。当电流仅通过肌肉、肌腱时,即使造成严重的电灼伤



甚至碳化,对生命也不会造成危险。

#### (4) 电流的种类及频率的高低

实验表明,在同一电压作用下,当电流频率不同时,对人体的伤害程度也不相同。直流电对人体的伤害较轻;20~400 Hz 交流电危害较大,其中又以 50~60 Hz 工频电流的危险性最大。超过 1 000 Hz,其危险性会显著减小。频率在 20 kHz 以上的交流电对人体无伤害,所以在医疗上利用高频电流做理疗,但电压过高的高频电流仍会使人触电致死。且高频电流比工频电流更容易引起电灼伤,千万不可忽视。

直流电的触电危险性比交流电小,除了由于频率因数的影响外(直流电的频率为零),还因为交流电表示的是有效值,它的最大值是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍,而直流电的大小确是恒定不变的。例如 220 V 交流电,它的最大值是 311 V,而 220 V 的直流电却始终是 220 V。

#### (5) 人体的状况

①触电者的性别、年龄、健康状况、精神状态和人体电阻都会对触电后果产生影响。例如患心脏病、结核病、内分泌器官疾病的人,由于自身抵抗力低下,触电后果更为严重。处在精神状态不良、心情忧郁或醉酒中的人,触电危险性较大。相反,一个身心健康、经常锻炼的人,触电的后果相对来说会轻些。妇女、儿童、老年人以及体重较轻的人耐受电流刺激的能力相对弱一些,触电的后果比青壮年男子严重。

②人体电阻的大小是影响触电后果最重要的物理因素。显然,当触电电压一定时,人体电阻越小,流过人体的电流就越大,危险性也就越大。可见,通过人体的电流大小不同,引起的人体生理反应也不同,而通过人体电流的大小,主要与接触电压和电流通路的阻抗有关。对于供电系统来说,容易计算的反映电击危险性的电气参量在大多数情况下是接触电压,因此只有知道了人体阻抗,才能推算出流过人体的电流大小,从而正确地评估电击危险性,这就是研究人体阻抗的原因。

人体阻抗由皮肤阻抗和人体内阻抗构成,其总阻抗呈阻容性,等效电路如图 1-3 所示。皮肤可视为是由半绝缘层和许多小的导体(毛孔)组成的电阻电容网络。当电流增加时皮肤阻抗会降低,皮肤阻抗也会随频率的增加而下降,它与接触面积、湿度、是否受伤等因素关系较

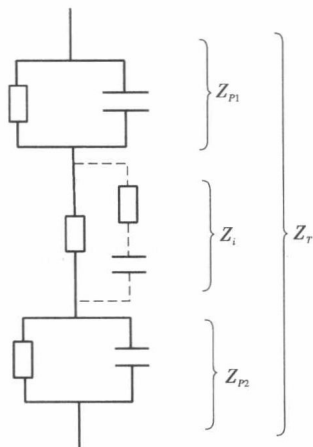


图 1-3 人体阻抗的等效电路

$Z_i$ —体内阻抗; $Z_{p1}$ 、 $Z_{p2}$ —皮肤阻抗; $Z_T$ —总阻抗