

维修电工职业技能培训丛书

电气安全

戴绍基 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

维修电工职业技能培训丛书

电气安全

戴绍基 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是电工电子类职业技能培训丛书之一,是根据最新颁布的“维修电工”和相关工种国家职业标准及职业技能鉴定规范编写的。

本书内容包括:概论、接地和等电位联结、直接接触电击防护、间接接触电击防护、建筑物的防雷、电气环境安全、电气设备及供电系统的电气安全、电气作业的安全规程及制度。本书通过生活中的实例讲述用电安全,通俗易懂,简明实用。

本书可作为维修电工及相关工种职业技能鉴定培训用书和职业院校电工类专业技能训练教材,也可为相关工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气安全/戴绍基主编. —北京:高等教育出版社,
2005. 11

ISBN 7-04-018024-3

I. 电… II. 戴… III. 电气设备-安全技术-技
术培训-教材 IV. TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第120766号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 曲文利 封面设计 王 睢
版式设计 王艳红 责任校对 俞声佳 责任印制 孔 源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 河北新华印刷一厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19.5
字 数 470 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2005年11月第1版
印 次 2005年11月第1次印刷
定 价 29.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18024-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

出版说明

为了适应当前经济社会的发展和科学技术的进步,配合最新颁布的维修电工及相关行业国家职业标准与职业技能鉴定规范,高等教育出版社组织有关中等职业学校专家及行业企业工程技术人员对维修电工国家职业标准及职业技能鉴定规范进行了认真的研究与再认识,并进行了广泛的调研。在此基础上,组织编写维修电工职业技能培训丛书。

本次推出的有:《实用电工手册》、《实用电工问答》、《电工常识》、《电气安全》、《电工材料》、《电气照明》、《实用电气线路》、《电气控制与实训》、《电子技术技能训练》、《安装电工实用技术》、《建筑电工实用技术》、《维修电工技能训练》、《电工考级指南》、《维修电工考级指南》、《维修电工技能鉴定考核试题库》等。

维修电工职业技能培训丛书在编写中体现以下特点:

- 贴近岗位。本系列丛书以企业需求为基本依据,加强实践性教学环节,以满足企业的岗位需求作为课程开发的出发点,紧扣国家最新颁布的相关行业岗位的国家职业标准和职业技能鉴定规范,使丛书内容与岗位相衔接。特别注意吸收近年来国内外的最新科技成果,充分体现时代性,努力培养企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。

- 突出技能。本系列丛书立足于实际运用,突出“以就业为导向”、“以能力为本位”的思想,精选从行业岗位提炼出来的案例进行分析训练,并结合行业需要,设计多个综合训练,以培养学生的实践能力和操作技能,适应行业技术发展。

- 理论联系实际。本系列丛书力图使教学内容与企业生产现状相符,理论联系实际,讲练结合,学以致用,有利于学习者主动参与到教学活动中,提高学习主动性和操作技能,提高解决实际问题的能力。同时注意深入浅出,图文并茂,加大了实物图和工作流程图比例。

- 适用范围广。本系列丛书可作为培训部门、各级职业技能鉴定机构、再就业培训中心的有关岗位培训教材,也可作为各类职业院校、中专、技工学校、短期培训班的培训教材,还可作为相关行业工程技术人员的实用手册。

维修电工职业技能培训丛书将于2006年春季陆续出版。不足之处,敬请广大读者批评指正。

高等教育出版社

2005年7月

前 言

电气安全是安全领域内与电气有关的科学技术与管理工程。电气安全包括人身安全和电气设备安全两个方面。电气安全是一个基础性、综合性极强的技术领域。

电能是现代化的能源,电能已经广泛应用于国民经济的各个部门并深入人们的日常生活中。“电”既被人们用作能源,又被用作信息的载体,因而电气安全是电力、通信、计算机等诸多领域共同面临的问题,具有广泛性的特征。同时,电气安全又涉及材料选用、设备制造、设计施工和运行维护等诸多环节,具有综合性的特征。再者,电气安全的问题往往发生在人们预期以外的电磁过程,具有随机性和统计规律的特征。因此,电气安全问题具有丰富的学术内涵和广阔的应用范围,应该得到足够的关注。

本书讨论的电气安全包括以下两方面的内容:其一是专业人员(例如电工)在专业场所中(例如工厂)的电气安全;其二是非专业人员(例如居民)在非专业场所中(例如民用建筑)的电气安全。前者主要应依靠专业知识和一些安全规章制度来保障人身和设备的安全;后者则主要应依靠一些技术措施来保障人身的安全。

本书内容分为八章,分别介绍电气安全的基本概念、接地与等电位联结、直接接触电击防护、间接接触电击防护、建筑物的防雷、电气环境安全、电气设备及供电系统的电气安全、电气作业的安全规程及制度等。

本书由戴绍基任主编,第一、三、四章由河南工业职业技术学院戴绍基编写,第二、六章由河南工业职业技术学院张季萌编写,第七、八章由河南工业职业技术学院冯硕编写,第五章由厦门鹭江大学江安编写。

本书由河南工业职业技术学院赵德申主审,他对本书提出了不少宝贵意见,特此致谢。

本书编写过程中得到了河南工业职业技术学院领导的大力支持。在此一并表示诚挚的谢意。

本书可作为高职、高专院校电气工程与自动化及相关专业的教材,也可供有关工程技术人员培训和参考使用。

本书在编写中参考了一些有关的书籍和资料,均在书末的主要参考文献中列出,在此表示诚挚的谢意。

限于水平和时间,书中难免存在疏漏之处,希望使用本书的读者批评指正。

编者

2005年5月

目 录

第一章 概论	1	第一节 雷电基本知识	131
第一节 电气危害	1	第二节 建筑物直击雷防护	137
第二节 电流对人体的作用	4	第三节 雷电感应过电压的防护	156
第三节 触电急救	7	第四节 高层建筑的防雷	170
第四节 低压系统按接地形式分类	17	思考题	173
第五节 电气设备按电击防护方式分类	22	第六章 电气环境安全	174
第六节 电气设备外壳的防护等级	24	第一节 电气防火	174
思考题	26	第二节 电气防爆	183
第二章 接地和等电位联结	27	第三节 防静电	189
第一节 接地的基本要求	27	第四节 电磁污染与电磁兼容	196
第二节 接地电阻的计算	35	思考题	203
第三节 等电位联结	42	第七章 电气设备及供电系统的	
第四节 接地系统的敷设	51	电气安全	204
第五节 接地电阻的测量	57	第一节 供电系统的安全措施	204
思考题	59	第二节 主要电气设备选择	213
第三章 直接接触电击防护	60	第三节 导体的选择	218
第一节 绝缘	60	第四节 变配电所的安全	231
第二节 加强绝缘	70	第五节 布线的安全	242
第三节 屏护和间距	74	第六节 常用电气设备的安全	255
第四节 安全特低电压	80	思考题	266
第五节 电气隔离	83	第八章 电气作业的安全规程及	
第六节 剩余电流保护	85	制度	267
思考题	96	第一节 电工用具的正确使用	267
第四章 间接接触电击防护	97	第二节 倒闸操作及操作票制度	278
第一节 概述	97	第三节 停电作业的安全技术措施	286
第二节 TN 系统内自动切断电源的防电击		第四节 低压带电作业的安全规定	289
措施	101	第五节 值班与巡线工作的安全要求	290
第三节 TT 系统内自动切断电源的防电击		第六节 在二次回路上工作的安全规定	292
措施	107	第七节 线路施工及其他作业的安全	
第四节 IT 系统内自动切断电源的防电击		措施	294
措施	108	第八节 在电气设备(或线路)上作业的工作	
第五节 电击防护措施的综合应用示例	111	制度	297
思考题	130	思考题	304
第五章 建筑物的防雷	131	参考文献	305

第一章

概 论

本书讨论的电气安全包括以下两方面的内容:其一是专业人员(例如电工)在专业场所中(例如工厂)的电气安全;其二是非专业人员(例如居民)在非专业场所中(例如民用建筑中)的电气安全。前者主要应依靠专业知识和一些安全规章制度来保障人身和设备的安全;后者则主要应靠一些技术措施来保障人身的安全。由于历史的原因,我国以前在电气安全方面偏重于电气设备的安全和生产过程中的劳动保护,而对一般民用场所中的电气安全问题重视不够。我国触电和电气火灾等事故的发生率长期居高不下,单位用电量的电击伤亡事故比发达国家高出数十倍以上,而电气火灾占火灾总数的比例高达30%以上,也比发达国家高出数倍,且绝大多数的电气火灾是发生在非专业场所,造成的损失极为巨大。改革开放以来,我国在学习国际先进技术、等效或等同采用国际先进标准等方面做了大量工作,在电气安全的工程实践上有了长足的进步,但与发达国家相比,差距仍然很大。

一般说来,一门学科在发展初期,大多以研究其规律并利用这些规律为人类造福为主攻方向,而当与此学科相关的工程技术高度发展和广泛应用之后,由于负面效应日益凸显,如何抑制其危害又会成为研究的重点之一。这一规律在汽车、石油化工、煤矿和电气等行业都得到了验证。

我国经济持续快速发展,促使城市化进程加快,城市居民家庭的电气化水平迅速提高,使得电气安全问题显得更为迫切。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一些模糊认识,以科学的态度去认识它,用工程的手段去应对它,是一项十分有意义的工作。

基于以上认识,本书将对电击防护、雷电防护以及电气环境安全等问题进行讨论。

顺便指出,本书中“安全”一词的含义更多的是指为了提高安全性所做的努力,并不代表能够绝对“保证安全”。一个满足了诸多安全条件的系统,也不一定能够绝对避免电击伤害事故的发生。但可以肯定,这些安全措施可以大大降低电击伤害的可能性。

第一节 电气危害

一、概论

人类在认识和改造自然的过程中创造了辉煌的文明,同时也付出了极大的代价。科学技术是一把双刃剑,它在给人类带来便利的同时,也带来对人类的危害,电气工程领域的情况也不例外。而且,由于电气工程对现代社会的作用是广泛而深刻的,以至电气工程领域中所产生的负面效应也是广泛而深刻的。

在我们周围存在着各种各样的能量。这些能量大部分以其自然的形态存在,小部分被人类有控制地使用。能量是人类赖以生存的一种物质形式,但能量也会对人类的生存条件造成破坏。电能是能量的一种存在形式,它存在于人为制造的电力系统中,也存在于雷电、静电等自然现象中。电气危害总是源于电能的非期望分配,而电气安全则正是要研究这些非期望分配的特性及产生的原因,并提出有效的防护措施。

“电”既被人们用作能源,又被用作信息的载体,因而电气安全是电力、通信、计算机等诸多领域共同面临的问题,具有广泛性的特征。同时,电气安全又涉及到材料选用、设备制造、设计施工和运行维护等诸多环节,具有综合性的特征。再者,电气安全的问题往往发生在人们预期以外的电磁过程,具有随机性和统计规律的特征。因此,电气安全问题具有丰富的学术内涵和广阔的应用范围,应该得到足够的关注。

表 1-1 列出了电气危害的种类及原因。

表 1-1 电气危害的种类及原因

类 型		原因及举例	
电 气 事 故	故障型	电击	1. 绝缘损坏,造成非导电部分带电 2. 爬电距离或电气间隙被导电物短接,造成非带电部分带电 3. 机械性原因,如线路断落,带电部件滑出等 4. 雷击 5. 各种因素造成的系统中性点电位升高,使 PE 线或 PEN 线带上危险的高电压
		电气火灾和电气引爆	1. 过电流产生高温引燃 2. 电火花、电弧引燃、引爆 3. 雷电引燃、引爆
		设备损坏	1. 过载或缺相运行 2. 电解和电蚀作用 3. 静电或雷击 4. 过电压或电涌
		电击	1. 直接事故:误入带电区、人为超越安全屏障、携带过长金属工具等 2. 间接事故:因触碰感应电或低压电等非致命带电体引起的惊吓、坠落或摔倒等
	非故障型	电气火灾	高温:溶液、溶渣的滴落、流淌、积聚,使附近的物体燃烧、爆炸
		设备损坏和质量事故	1. 长期电蚀作用使设备、线路受损 2. 工业静电引起的吸附作用,影响产品质量
电磁污染	电磁骚扰	工作产生的电磁场对别的设备或系统产生的干扰等	
	职业病	强电磁场对人体器官的损伤(例如微波),或使人体某一部分功能失调等	

由表 1-1 可见,从电气危害发生的特征来分类,可将电气危害划分为电气事故和电磁污染两大类。电气事故是指由电流、雷电、静电和某些电路故障等直接或间接造成人员伤亡,建筑设施或电气设备毁坏,以及引起火灾和爆炸等后果的事故。电磁污染则是指电磁场对其他设备造成的干扰和使人体产生的功能性或器质性损伤。电气事故具有偶然性和突发性。电磁污染则具有必然性和持续性。

大多数电气危害是在故障时发生的;而在非故障时发生的电气危害,多数是因缺乏电气知识和违反安全操作规程所致。因此,在工厂、变电所等专业场所,应以加强安全管理措施为主;而在非专业场所,则主要应依赖技术措施来防止电气危害。

二、电力系统产生的电气危害

电力系统产生的电气危害包括两个方面:其一是对电力系统自身的危害,例如绝缘老化、短路、过电压等;其二是对人员、设备和环境的危害,例如电击、电气火灾、电压异常升高造成用电设备损坏等。

电击伤害是最严重的电气危害之一,它可直接导致人员伤亡。因此,对电击伤害的研究是电气安全中极为重要的组成部分。特别应该指出,针对非专业场所和非专业人员的电击防护措施应被置于重要的地位。过去那种主要依赖管理措施来进行电击防护的观念和做法,不一定适应于非专业人员和场所。

电气火灾是近 20 年来在我国迅速蔓延的一种电气灾害。我国电气火灾在火灾总数中所占比例已高达 30% 左右。据国家公安消防总局 2003 年年度报告,2003 年全国由于电气火灾事故造成的直接经济损失高达 131.7 亿元,国家用于防止电气火灾发生的消防经费亦高达 60 多亿元。

电气火灾的发生多与供配电系统的过负荷或电气设备质量低劣、施工安装不规范等有关。例如,造成北京某大型商厦火灾的原因是把荧光灯镇流器直接固定在木板上了,镇流器发热,烤燃了木板,引发了电气火灾。

三、雷电和静电产生的电气危害

雷电产生的电气危害是广泛而巨大的。雷电可使人、畜遭受电击死亡,可使建筑物受到损坏,可使电气系统、信息系统遭到破坏,还可能引发火灾。例如,黄岛大型油库特大火灾就是雷击引发的。我国历史上许多珍贵的古建筑都不幸毁于“天火”。例如,曲阜的孔庙在 1742 年被雷火全部烧毁,重建时耗银十六万七千余两。据《光绪政要》记载,北京天坛院内就遭受雷击 5 次,其中最严重的一次是“光绪 15 年(1889 年)8 月 24 日寅刻雷击祈年殿额,未刻殿内火起……”,致使整个祈年殿化为灰烬。仅 1952 年以后,北京故宫博物院内有 10 次雷击事故。

此外,在某些场所,静电产生的危害也不可忽视。静电产生的强电场和高电压是引发电气火灾的原因之一,静电对电子设备的危害也是十分严重的。

四、电气危害的特点及规律

1. 电气危害的特点

电气危害具有以下一些特点。

(1) 非直观性 电是一种看不见、听不到、嗅不着的东西,不易为人们直观地识别,其潜在的危险也就不易为人们所察觉。

(2) 危害途径广 以电击伤害为例,其原因有电气设备漏电,有 PEN 线断线造成设备金属外壳带电,还可能是带电体接触到电气装置以外的导体(如水管、暖气管等)。由于供配电系统分布很广,且所处环境复杂,电气危害产生和传递的途径也极为多样,致使对电气危害的防护十分困难和复杂。

(3) 作用时间长短不一,差异很大 短者如雷电,作用时间仅为微秒级;长者如间隙性电弧短路,可能持续数分钟至数小时才引发火灾;而电气设备的轻度过负荷,则可能经数月以至数年之后,才使绝缘加速老化,最终导致绝缘损坏而漏电或短路,引起电击或火灾。

(4) 能量范围广泛 例如,雷电流可达数百千安,且具有高频和直流的成分,此时,合理控制能量的泄放是主要的防护手段。而电击电流仅几十毫安就能致人死命,此时,能否灵敏地感知则是防护的关键。

(5) 不同危害之间的关联性 例如,绝缘损坏可导致短路,而短路又可能引发绝缘燃烧,扩大故障范围,甚至引发电气火灾。

2. 电气危害的规律

(1) 电气危害总是伴随着能量的非期望分配 例如,本应传送给用电设备的能量部分地传到了人体,这就是电击伤害。因此,在研究防护措施时,应密切关注能量的分配问题。

(2) 电气危害总是伴随着电气参数或特性的变化 例如,短路往往伴随着电流增大和电压降低,发生电击时可能会有剩余电流产生等。因此,捕捉电气危害时电气参数的明显变化,是进行电气危害防护的有效途径。

此外,不同类型的电气危害,还具有各自的特殊性。例如电击事故的规律可归纳为:低压触电居多,夏季居多,移动式 and 手握式设备居多,农村触电事故居多,特殊场所如施工现场、矿山巷道、狭窄场所、潮湿场所等居多。

第二节 电流对人体的作用

一、直接接触电击与间接接触电击

“电击”即通常所说的“触电”,一般指人体因接触带电部位而受到生理伤害的事件。按接触带电部位的途径,电击可分为直接接触电击和间接接触电击两大类。

1. 直接接触电击

指因接触到正常工作时带电的导体而产生的电击。例如电工在检修时不小心触及带电的导体,或人们在插拔电源插头时触及尚未脱离电接触的插头金属片等。

2. 间接接触电击

正常工作时不带电的部位,因任何原因(主要是故障)带上危险电压后被人触及而产生的电击,称为间接接触电击。一般电气设备正常运行时,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或短路故障(俗称“碰壳”或“漏电”)时,其金属外壳便带有危险电压,人体触及时便会触电。

发生间接接触电击的情况远远多于直接接触电击,且电击强度差异较大,防护措施也较为复杂。

下面各章介绍的防电击措施,有的是属于防直接接触电击,例如绝缘、罩盖、屏护与间距等;有的是属于防间接接触电击,例如自动切断电源(包括过电流保护和剩余电流保护)、等电位联结等;还有的是兼有防直接接触电击与防间接接触电击的功能,例如非导电场所、电气隔离、采用Ⅱ类设备、特低电压、剩余电流动作保护等。

二、有关电气安全的电流效应阈值

国际电工委员会 IEC 60479《电流通过人体时的效应》标准规定了电压不大于 1 000 V, 频率不大于 100 Hz 的交流电流通过人体时的几个主要的效应阈值。

1. 感知阈值

使人体产生触电感觉的最小电流值, 一般可取为 0.5 mA。此值与电流通过的持续时间长短无关, 但与频率有关, 频率越高, 感知阈值越大。

2. 摆脱阈值

手持带电导体, 人体受刺激的肌肉尚能自主摆脱带电体时, 人所能承受的最大电流值。此值因人而异, 一般取通用值为 10 mA。

3. 心室纤维性颤动阈值

通过人体能引起心室纤维性颤动(以下简称心室纤颤)的最小电流值, 简称室颤阈值。电流通过人体时引起心室纤颤是电击致死的主要原因。此值与通电时间长短有关, 也与人的身体条件、心脏功能状况及电流在人体内通过的路径等有关。

IEC 60479 标准给出的导致心室纤颤的交流电流 I_b 与通电时间 t 的关系曲线如图 1-1 所示。

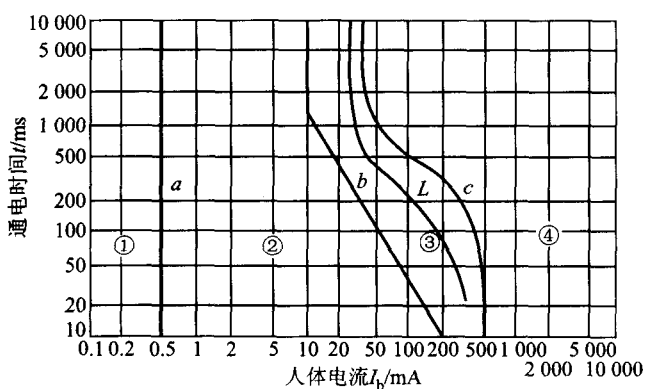


图 1-1 交流电流通过人体时的效应

图中各区域的含义:

- ① 区——直线 a 左侧的区域, 通常无感觉;
- ② 区——直线 a 与折线 b 之间的区域, 有电的感觉, 但无病理反应;
- ③ 区——折线 b 至曲线 c 之间的区域, 通常无器官损伤, 但可能出现肌肉收缩、呼吸困难、心房纤颤、无心室纤颤的短暂心脏停跳, 此等病理反应随电流和时间的增大而加剧;
- ④ 区——曲线 c 右侧的区域, 除出现③区的病理反应外, 还出现导致死亡的心室纤颤以及心脏停跳、呼吸停止、严重烧伤等反应, 且随电流和时间的增大而加剧。

从图 1-1 可知, 如果电击电流及其持续时间在④区内, 人体就有死亡危险。在制定电气安全措施时, 尚需为其他一些外界影响条件留出一些裕量, 通常以③区内离曲线 c 一段距离的曲线 L 作为人体是否安全的界限。从图 1-1 中曲线 L 可知, 只要 I_b 小于 30 mA, 人体就不致因发生心室纤颤而电击致死。据此, 国际上将防电击的高灵敏度剩余电流动作保护器(Residual Current

Operated Protective Devices, 简称 RCD) 的额定动作电流值取为 30 mA。

三、不同环境下的接触电压限值

人体阻抗由皮肤阻抗和体内阻抗构成, 其总阻抗呈阻容性, 其等效电路如图 1-2 所示。

在正常环境下, 人体阻抗的典型值可取为 1 000 Ω 。而在人体接触电压出现的瞬间, 由于电容尚未充电, 皮肤阻抗可忽略不计, 这时的人体总阻抗称为初始电阻, 其值约等于人体内阻抗 Z_i , 典型取值为 500 Ω 。

电流 I_b 因施加于人体阻抗 Z_T 上的接触电压而产生。接触电压越大, I_b 也越大。但在设计电气装置时计算 I_b 很困难, 而计算接触电压比较方便。为此, IEC 又提出在干燥和潮湿环境条件下相应的预期接触电压 U_i -时间 t 曲线 L_1 和 L_2 , 如图 1-3 所示。应该说明, 图 1-3 曲线的 L_1 和 L_2 不是由图 1-1 曲线 L 按欧姆定律推算求得的, 因为人体阻抗是随接触电压的增大而减小的, 此曲线为测试求得的。另外, 在防电击的计算中求出的是预期接触电压 U_i , 对于从手到足的电击电流通路而言, 它是施加于人体、鞋袜、地面等阻抗之和上的电压, 故人体实际接触电压常小于预期接触电压 U_i 。但在诸如赤足和导电地面之类的情况下, 鞋袜和地面电阻可不计, 这时实际接触电压即为预期接触电压, 故预期接触电压为最大的接触电压。为确保电气安全和简化计算, 在实际应用中接触电压都采用预期接触电压 U_i 。

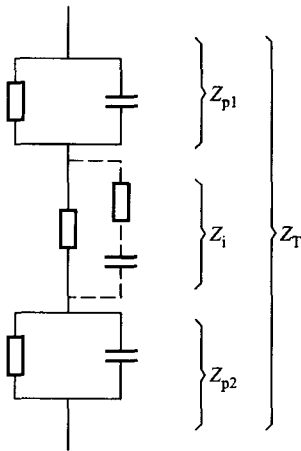


图 1-2 人体阻抗的等效电路
 Z_i —体内阻抗, Z_{p1} , Z_{p2} —皮肤
 阻抗 Z_T —总阻抗

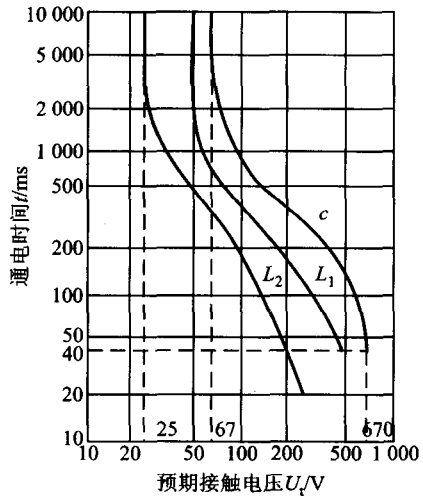


图 1-3 干燥和潮湿条件下预期接触电压 U_i 和允许最大持续时间 t 的关系曲线

由图 1-3 可知, 在干燥条件下, 当 U_i 不大于 50 V 时, 人体接触此电压不致发生心室纤颤, 所以在干燥环境条件下将预期接触电压限值 U_L 取为 50 V。据此, IEC 将干燥环境条件下特低电压设备的额定电压定为 48 V (我国现仍沿用过去的 36 V)。在潮湿环境条件下, 例如在施工现场、地下坑道等处, 由于人体皮肤阻抗降低, 大于 25 V 的接触电压即可导致引起心室纤颤的 30 mA 以上的接触电流 I_b 。据此, IEC 将潮湿环境条件下的 U_L 值规定为 25 V, 而特低电压设备的额定

电压则规定为 24 V。在水下或特别潮湿环境条件下,例如在浴室或游泳池等场所,由于皮肤湿透,IEC 规定特低电压设备的额定电压仅为 12 V 或 6 V。

需要注意,尽管不同潮湿环境条件下的接触电压限值各不相同,但导致人体心室纤颤的电流阈值都为 30 mA。这正是在不同潮湿环境条件下,IEC 都规定装用额定动作电流不大于 30 mA 的瞬动型 RCD 的原因。

四、电流通过人体的效应与防护电器选用的关系

从图 1-1 可知,人体遭受电击时发生心室纤颤致死的危险程度,是与通过人体电流的大小及其持续时间的长短有关的。由此可知,手握式设备(例如手电钻)和移动式设备(例如落地灯)比固定式设备具有更大的电击致死的危险性。因为,在持握这类绝缘损坏的设备时,如通过人体的电流大于 30 mA,因为已超过摆脱电流阈值 10 mA,所以人体不能脱离与电的接触。若切断电源的等待时间较长,超过图 1-1 发生心室纤颤的阈值,即有可能电击致死。因此,对于手握式和移动式设备,必须在图 1-1 曲线 L 左侧的相应时间内切断电源。固定式设备和配电线路不存在手掌紧握故障设备不能摆脱的问题,可在 5 s 内切断电源。这也正是要求在接用手握式和移动式设备的插座上装设瞬动型 RCD 的原因。

第三节 触电急救

电气事故可分为人身事故和设备事故两大类,本节先介绍人身事故。当然,这两类事故是有因果联系的。例如人触及漏电设备的金属外壳引起的触电死亡就是设备事故引发的人身事故。电线过载或短路引起火灾并烧死人,也是设备事故引发的人身事故。

一、触电事故实例

在介绍触电急救的具体方法之前,先来看一看下列不幸发生的 28 例典型触电事故。由这些活生生的实际例子可见,触电事故给人们带来了多么惨重的灾难!给国家、集体和个人造成了多么巨大的损失!经常学习并掌握好电气安全技术和触电急救方法,又该是何等重要!希望大家认真阅读与思考,务必牢牢记取这些血的教训。

1. 缺乏电气安全常识的事故实例

(1) 跨步电压电击 1980 年 6 月,湖南某县郊区电杆上的电线被大风刮断掉在水田中。早晨有一个小学生把一群鸭子赶进水田,当鸭子游到断线落地附近时,一只只死去,小学生便下田去看鸭子,未跨几步被电击倒。随后哥哥赶到田边并下田拉弟弟,也被电击倒。爷爷赶到田边,急忙跳入水田拉孙子,也被电击倒。小学生的父亲闻讯赶到,见鸭死人工亡,下田抢救也被电击倒。一家三代 4 人均死在水田中。

主要原因:①低压线(常用的 380/220 V 系统)一相断落碰地形成单相接地短路,尤其在水田中,落地处附近的跨步电压很高;②缺乏电气安全常识,未立即切断电源,造成多人触电死亡的恶性事故。

(2) 电机无可靠保护装置 1982 年 7 月一个炎热的中午,有 5 个小学生来到某化肥厂的工业循环水池游泳。水池长 40 m、宽 10 m、深 5 m,露天安装了 1 台水泵,配有 1 台 17 kW 交流电动

机,从水池内抽水供循环水系统。当他们游到进水管附近时,竟全部触电死亡。

主要原因:①对学生的电气安全教育不够,儿童缺乏电气安全常识;②在穿有输电线的保护钢管内有电线接头,因被水长期浸湿而松动脱落,其裸线接头触及钢管,然后使水泵、电动机外壳、水泵外壳、水管及其附近的水均带电;③电动机未采取可靠的保护措施。

(3) 电动机外壳带电 1985年8月某日,某供销社豆制品厂1名职工在磨豆腐时,因磨豆粉机的电动机外壳带电而触电死亡;1986年8月某日,某县商业总店1名女营业员,在豆腐店使用电磨加工米粉时,因380V电磨外壳带电而触电死亡。

主要原因:①管理混乱,设备陈旧,未定期检修;②缺乏电气安全常识;③电气设备外壳未采取保护接地措施。

(4) 带电作业 1979年8月3日15时左右,某工厂机动科1名电工(男,26岁)和另一人安装荧光灯。他站在七档人字梯的最高档,带电接荧光灯电源线。在拆开相线上的绝缘胶布后,不慎碰上附近的接地铁丝引起触电,并从2.3m高处的梯子上摔下,头部后脑着地,经抢救无效于当日死亡。

主要原因:①低压带电作业未采取相应安全措施;②缺乏高处作业的电气安全常识,也没有使用安全带;③对周围环境未仔细观察,误碰接地铁丝线,形成单相经人体接地短路。

(5) 安全距离不够 1984年1月31日下午4点,某县3名职工在4楼平台上安装电视机室外天线时,金属天线不慎倾倒在附近的10kV高压线上,3人同时触电倒下。经抢救,2人脱险,1人死亡。

主要原因:①缺乏电气安全常识;②装设电视机室外天线时,未考虑到万一倾倒时天线可能碰触架空线;③高压线距楼台建筑距离仅1.5m,不符合安全距离规定。

(6) 线路老化 1985年9月7日,某市某建筑工程公司1名混凝土工(男,39岁),在操纵蛙式打夯机时,因开关处电线破损漏电而触电死亡。

主要原因:①橡皮电缆软线陈旧老化,没有定期检查更换且施工用电混乱;②开关上未采取保护接地措施,又未采用漏电保护装置;③缺乏电气安全常识。

(7) 静电火花 某工厂用管道输送高压液化石油气时发现漏气,检修时发生了爆炸事故,并导致5人伤亡。

主要原因:①缺乏有关静电的安全知识;②检修时泵内残留的 137.3×10^4 Pa压力的液化气高速喷出,产生了高压静电,并由静电火花引起液化气爆炸,造成人员伤亡。

2. 电气安装不合格导致的事故实例

(1) 带电移动电器 1986年8月25日9时40分,某县水利建筑安装公司实习电工2人,在某工地帮助打夯时,由于打夯机移位,电缆线被压破,打夯机外壳带电,致使2人均触电。经抢救,结果1人获救,1人死亡。

主要原因:①电气安装不合要求,设备外壳没有采取保护接地措施,也未装设漏电保护装置;②施工现场管理混乱;③带电移动电器时未注意安全工作事项。

(2) 晒衣铁丝触电 1970年9月的一天早晨,我海军某通信站1位守机员,执勤后在狂风暴雨中归来,将湿衣服往门外晒衣服的铁丝上搭去。由于铁丝与被大风刮断的电线相接,顿时被电击倒,呼吸停止,心脏也停止了跳动。随即施行心肺复苏法抢救并同时送往附近海军医院,经紧急抢救,终于恢复了心脏跳动,挽救了触电假死者的生命。

主要原因:①电力线路安装不合要求,晒衣铁丝离得过近,又未装设漏电保护装置;②及时而正确地采取了触电急救措施,并坚持进行抢救取得了成效。

(3) 未装避雷器 某年7月,某县一青年将收音机天线挂在20 m高的大树上。有一天,忽然雷声大作,正在天线引下线处收衣服的女青年当场被击死,且雷电沿引线进入室内将收音机击毁,墙边的水缸打穿,天线也被熔化。

主要原因:①未安装避雷器,引线对地也未留放电间隙;②天线过高,超出常规;③雷雨期间,天线未与PE线相连(此措施只能防感应雷,对直击雷仍不安全)。

(4) 三孔插座接错线 1982年5月,某厂1名女工买来400 mm的台扇,插上电源试运转。当手触碰电扇底座时,竟惨叫一声并将风扇从桌上带甩下来,且压在自身胸部,造成触电死亡。

主要原因:①电源相线误接在三孔插座内的PE桩头上,从而使外壳带有220 V相电压;②未装设漏电保护器;③未施行触电急救。

(5) 中性线烧红 1984年某日,某厂变电所值班电工正在值班。忽然室内照明灯熄灭,接着外面有人叫喊:“变压器起火了,变压器起火了!”。当值班电工奔出来时,只见10/0.4 kV变压器平台上一片烟火,燃烧不停,酿成了电气火灾。

主要原因:①电气设备漏油;②发生事故时断路器过电流保护装置失灵,使短路电流得以持续而导致中性线烧红;③烧红的中性线又燃着了漏油,酿成了电气火灾。

(6) 中性线断线 某厂因外部电源停电,便启用自备柴油发电机发电,各个部门便相继合闸用电。每开一盏灯,白炽灯或荧光灯只闪烁一下便烧毁。30 min内共烧毁荧光灯16只,白炽灯82只,损坏数占全部灯具的60%以上。

主要原因:①中性线安装不合要求、发生断裂,且三相负荷不平衡,负荷小的一相电压值升高到线电压(380 V),使该相所带灯具及设备被烧毁;而另外两相上的灯具或设备则串接在380 V上,负荷小的一相其灯具或设备承受的电压会高于220 V,也可能被烧毁;②安装时未实施重复接地。

3. 设备有缺陷或故障的事故实例

(1) 电线漏电 1982年7月12日,某市人防一公司机电队沙某(男,34岁,钳工班长)在工地的更衣室内换衣时,发现挂衣服的铁丝麻手(由于铁丝磨破了行灯电源线);铁丝的另一端落在墙壁的竹扫把上。沙某在挂衣服时,下肢又误碰到竹扫把那端的铁丝,“哎呀!”一声便倒在积水的地面上,当即触电身亡。

主要原因:①违反国务院《工厂安全卫生规程》中第44条:“行灯电压不能超过36 V,在金属容器内或潮湿场所不得超过12 V”的规定而采用了220 V电源;②设备有缺陷,发现漏电又未及时采取相应的防范措施;③安全措施检查不细不严。

(2) 闸刀爆炸 1982年12月18日上午,某厂打井时,使用一台3 kW水泵抽水(用380 V、15 A闸刀开关直接起动),并已运转多时。当水泵停机后再开时,不料闸刀发生炸裂,烧伤操作人员并使右手致残。

主要原因:①设备有缺陷,闸刀开关动触头螺丝松动,合闸时三相不能同时接触而引起电弧放电;②由电弧而造成相间短路,产生高温后引起闸刀爆炸。

(3) 配电柜起火 1984年4月10日下午1时,淮南矿务局某厂铸造车间清砂房内的1号配电柜弧光一闪,一声巨响,配电柜起火。接着室外低压架空线路有1根线断落,碰到其余3根架空线上,顿时弧光大起,响声如鞭炮,4根架空线全部熔断掉落,造成全厂局部停电8 h,以及部分

车间停产的事故。

主要原因:①灭弧罩上有豆粒大的缺损,当交流接触器切断电路时,主触头产生的电弧通过灭弧罩缺损处引起相间短路;②配电柜本来采用 RM1 型熔断器做短路保护,而现场实际是用裸铝丝代替熔丝,使熔断时间延长不能立即切断故障电流。

(4) 导线短路 1988 年 1 月 21 日凌晨,某无线电插件房发生重大火灾。后出动 17 部消防车,经 2 h 后方才扑灭,直接经济损失达 18 万余元!

主要原因:①室内照明线路短路;②安装时未穿管敷设,导线受潮、受热老化,切断开关时仍带电;③该插件房吊顶和隔墙均为可燃材料,吊顶内潮湿、闷热,不符合防火安全要求。

(5) 变压器爆炸 某厂有一台 320 kV·A 车间变压器,因故障导致变压器油剧烈分解、气化,油箱内部压力剧增而发生爆炸,箱盖螺栓拉断,喷油燃烧,竟使 8 m 外的工作人员面部也被烧伤。燃油又点燃了下面的电缆及其他可燃物,并沿电缆燃烧,以致将整个配电室和控制室烧毁。

主要原因:①变压器内部出现短路故障,产生电弧,引起爆炸;②变压器下面无储油措施卵石层,致使燃油外流,引起重大火灾。

(6) 变电站起火 1984 年 2 月 1 日下午 4 时,某矿变电所内变压器 10 kV 的电缆头发热、冒烟,片刻电弧燃着了喷油,大火由室内烧到屋顶,使整个变电所烧毁。

主要原因:①变压器 10 kV 电缆头过热,烧断电缆,造成三相弧光短路,且油断路器受热后绝缘油向外喷出,遇电弧即燃烧;②变电所继电保护装置在系统出现故障(电压下降)时,保护动作失灵(操作电源未能采取由独立于系统的电源供电)。

(7) 互感器爆炸 1987 年 7 月 25 日,上海某变电站内的电流互感器发生爆炸,引起两台大容量 220 kV 变压器跳闸。中断了上海某化工厂电源,致使该厂电解槽内的氯气压力增加,使氯气外逸,导致附近居民百余人中毒。

主要原因:①互感器电容芯子绝缘内部有气泡,在运行电压下发生了局部放电;②产品有缺陷,对局部放电量大的电容式电流互感器、制造时未能进行长时间高真空处理以消除气泡。

4. 违反操作规程或规定的事故实例

(1) 误触高压 1986 年 6 月 27 日,某厂电工(男,30 岁)在变电所拆计量柜上的电度表时,被相邻的 10 kV 高压母线放电击中,并被电弧烧伤,经抢救无效而死亡。

主要原因:①邻近高压开关柜(10 kV)带电操作时,安全距离不足 0.7 m,严重违反了安全操作规程;②没有严格执行工作票制度和监护制度。

(2) 擅自合闸 1980 年 1 月 23 日,某市电机厂停电整修厂房,并悬挂了“禁止合闸!”的标志牌。但组长周某为移动行车而擅自合闸,此时房梁上的木工梁某(男,27 岁)正扶着行车的硬母排导线,引起触电。当周某发现并立即切断电源时,梁双手也随即脱离母排并从 3.4 m 高处摔下,经送医院抢救无效,于当夜死亡。

主要原因:①严重违反操作规程,擅自合闸通电;②有关高处作业的安全措施不落实,检查不严;③违反了高处触电急救的安全注意事项。

(3) 交接不清 1979 年 2 月 7 日,某县水泥厂检修工周某(男,34 岁,3 级钳工)正在维修熟料提升机,操作工潘某午饭后回来打扫清洁,不问检修情况,便按动按钮清料,致使正在检修的周某被提升机挤死。

主要原因:①交接不清,管理混乱,劳动纪律松懈,违反安全规定;②开关处未悬挂“禁止合