

# 电气安全工程

DIANQI ANQUAN GONGCHENG

温卫中 编著



山西科学技术出版社

# 电气安全工程

DIANQI ANQUAN GONGCHENG

温卫中 编著

山西科学技术出版社

.....

图书在版编目 (CIP) 数据

电气安全工程/温卫中编. —太原: 山西科学技术出版社, 2006.4

ISBN 7-5377-2715-5

I. 电... II. 温... III. 电气设备—安全技术  
IV. TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 031115 号

电 气 安 全 工 程

温卫中 编著

\*

山西科学技术出版社出版 (太原建设南路 15 号)  
山西省新华书店发行 山西省建筑科学研究所印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/16 印张: 12 字数: 233 千字  
2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月太原第 1 次印刷  
印数: 1-1000 册

\*

ISBN 7-5377-2715-5  
T·414 定价: 30.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

## 前 言

本书主要介绍与供配电系统和建筑物有关的电气安全问题,重点针对除变电站、开闭所等以外的非电气专业场所。全书共分八章,第一章介绍与电气安全相关的基本知识,第二章介绍供配电系统的直接接触电击防护,第三章介绍间接接触电击防护,第四章介绍供配电系统的双重绝缘、加强绝缘、安全电压和漏电保护,第五章介绍电气设备安全问题,第六章介绍电气防火防爆问题,第七章介绍雷电和静电防护,第八章介绍高压配电设备及其运行。本书主要供有关工程技术人员使用,也可作为高等院校的专业教材或教学参考书,还可作为注册电气工程师考试复习的参考资料。

本书由太原科技大学化学与生物工程学院温卫中编写,太原化工厂仪表分厂厂长、高级工程师石玉川审稿。由于编者水平有限,错误在所难免,欢迎读者在使用过程中批评指正。

# 目 录

绪 论 .....	(1)
第一章 电气安全基础知识 .....	(5)
第一节 电气事故 .....	(5)
第二节 电流对人体的作用 .....	(10)
第三节 工业企业供配电 .....	(17)
第四节 电网安全性分析 .....	(23)
第二章 直接接触电击防护 .....	(30)
第一节 绝缘 .....	(30)
第二节 屏护和间距 .....	(39)
第三章 间接接触电击防护 .....	(44)
第一节 IT 系统 .....	(44)
第二节 TT 系统 .....	(53)
第三节 TN 系统 .....	(55)
第四节 保护导体 .....	(63)
第五节 接地装置 .....	(67)
第四章 双重绝缘、加强绝缘、安全电压和漏电保护 .....	(72)
第一节 双重绝缘和加强绝缘 .....	(72)
第二节 安全电压 .....	(74)
第三节 电气隔离 .....	(78)
第四节 漏电保护 .....	(80)
第五章 电气设备安全 .....	(89)
第一节 用电设备安全 .....	(89)

第二节 低压电器 .....	(93)
<b>第六章 电气防火防爆</b> .....	<b>(98)</b>
第一节 电气火灾的原因 .....	(98)
第二节 危险物质和危险环境 .....	(100)
第三节 电气火灾和爆炸的防护技术 .....	(110)
<b>第七章 雷电和静电防护</b> .....	<b>(123)</b>
第一节 雷电安全 .....	(123)
第二节 静电防护技术 .....	(139)
<b>第八章 高压配电设备及其运行</b> .....	<b>(159)</b>
第一节 电力变压器的保护 .....	(159)
第二节 真空断路器运行及其保护 .....	(161)
第三节 高压开关电器运行 .....	(163)
* * * * *	
<b>附录 中华人民共和国国家标准</b> .....	<b>(167)</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>(185)</b>

## 绪 论

### 一、电气安全工作的任务

(1)研究各种电气事故及其发生的机理、原因、规律、特点和防护措施。

(2)研究运用电气方法,即电气监测、电气检查和电气控制等方法来评价电力系统的安全性和解决生产中用电的安全问题。

### 二、电气安全工作的内容

(1)研究并采取各种有效的安全技术措施。

(2)研究并推广先进的电气安全技术,提高电气安全水平。

(3)制定并贯彻安全技术标准和安全技术规程。

(4)建立并执行各种安全管理制度。

(5)开展有关电气安全思想和电气安全知识的教育工作。

(6)分析事故实例,从中找出事故原因和规律。

### 三、保证用电安全的基本要素

(1)**电气绝缘**。保持配电线路和电气设备的绝缘良好,是保证人身安全和电气设备正常运行的最基本要素。电气绝缘的性能是否良好,可通过测量其绝缘电阻、耐压强度、泄漏电流和介质损耗等参数来衡量。

(2)**安全距离**。电气安全距离,是指人体、物体等接近带电体而不发生危险的安全可靠距离。如带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与人体之间、带电体与其他和设备之间,均应保持一定距离。通常,在配电线路和变、配电装置附近工作时,应考虑线路安全距离、变、配电装置安全距离、检修安全距离和操作安全距离等。

(3)**安全载流量**。导体的安全载流量,是指允许持续通过导体内部的电流量。持续通过导体的电流如果超过安全载流量,导体的发热将超过允许值,导致绝缘损坏,甚至引起漏电和发生火灾。因此,根据导体的安全载流量确定导体截面和选择设备是十分重要的。

(4)**标志**。明显、准确、统一的标志是保证用电安全的重要因素。标志一般有颜色标志、标示牌标志和型号标志等。颜色标志表示不同性质、不同用途的导线;标示牌标志一般作为危险场所的标志;型号标志作为设备特殊结构的标志。

### 四、安全技术方面对电气设备的基本要求

电气事故统计资料表明,由于电气设备的结构有缺陷,安装质量不佳,不能满足安全要求而造成的事故所占比例很大。因此,为了确保人身和设备安全,在安全技术方面对电气设备有以下要求:

- (1)对裸露于地面和人身容易触及的带电设备,应采取可靠的防护措施。
- (2)设备的带电部分与地面及其他带电部分应保持一定的安全距离。
- (3)易产生过电压的电力系统,应有避雷针、避雷线、避雷器、保护间隙等过程电压保护装置。
- (4)低压电力系统应有接地、接零保护装置。
- (5)对各种高压用电设备应采取装设高压熔断器和断路器等不同类型的保护措施;对低压用电设备应采用相应的低电器保护措施进行保护。
- (6)在电气设备的安装地点应设安全标志。
- (7)根据某些电气设备的特性和要求,应采取特殊的安全措施。

### 五、电气事故的分类及基本原因的分类

电气事故按发生灾害的形式,可以分为人身事故、设备事故、电气火灾和爆炸事故等;按发生事故时的电路状况,可以分为短路事故、断线事故、接地事故、漏电事故等;按事故的严重性,可以分为特大性事故、重大事故、一般事故等;按伤害的程度,可以分为死亡、重伤、轻伤三种。

如果按事故的基本原因,电气事故可分为以下几类:

(1)**触电事故**。人身触及带电体(或过分接近高压带电体)时,由于电流流过人体而造成的人身伤害事故。触电事故是由于电流能量施于人体而造成的。触电又可分为单相触电、两相触电和跨步电压触电三种。

(2)**雷电和静电事故**。局部范围内暂时失去平衡的正、负电荷,在一定条件下将电荷的能量释放出来,对人体造成的伤害或引发的其他事故。雷击常可摧毁建筑物,伤及人、畜,还可能引起火灾;静电放电的最大威胁是引起火灾或爆炸事故,也可能造成对人体的伤害。

(3)**射频伤害**。电磁场的能量对人体造成的伤害,亦即电磁场伤害。在高频电磁场的作用下,人体因吸收辐射能量,各器官会受到不同程度的伤害,从而引起各种疾病。除高频电磁场外,超高压的高强度工频电磁场也会对人体造成一定的伤害。

(4)**电路故障**。电能在传递、分配、转换过程中,由于失去控制而造成的事故。线路和设备故障不但威胁人身安全,而且也会严重损坏电气设备。

以上四种电气事故,以触电事故最为常见。但无论哪种事故,都是由于各种类型的电流、电荷、电磁场的能量不适当释放或转移而造成的。

### 六、用电单位的电气事故分类

根据我国电气事故调查规程的规定,用电单位的电气事故一般分为以下四类:

(1)**用电单位影响系统事故**。当某一用电单位内部发生事故时,其他用电单位受牵连而突然断电或电力系统受影响而不量减负荷。



(2)全厂停电事故。由于用电单位内部事故造成的全厂停电。

(3)重大设备损坏事故。多指大工业企业(大用电户)的一次设备损坏,如受电主变压器以及变压器前的断路和避雷器等的损坏。

(4)人身触电伤亡事故。由于用电单位的电气设备或电气线路发生故障(如绝缘损坏)等,造成人身触电,出现重伤或死亡事故。

#### 七、用电单位发生电气事故的处理方法

(1)用电单位一旦发生人身触电伤亡或电气火灾,以及发生导致电力系统跳闸、高压供电的用户生产中断、一次用电设备损坏等重大电气事故,应及时向当地供电部门报告,并尽可能保护好现场,以便供电部门组织人力及时进行调查处理,迅速恢复供电。

(2)事故发生后,用电单位和有关部门应组织事故调查组,对事故进行详细的调查分析,找出事故发生的原因,制定出善后处理方案和采取防止再发生类似事故的措施,并按有关规定写出事故报告,报送供电部门和有关单位。

(3)对有人员触电死亡的事故和电气火灾事故,还应同时报告当地劳动部门和公安机关,以便共同调查处理。

#### 八、对用电中的电气事故原因进行调查时的分类统计

在用电电气事故的调查统计中,对事故原因要分类统计,以便有针对性地制订反事故措施。对工业企业中日常发生的电气事故分类如下:

(1)误操作事故:指操作人员违反规程操作或操作失误造成的事故。

(2)设备维修不善事故:指由于工作人员的过失或管理制度不严造成设备维修不善而引起的事故。

(3)设备制造不良或选择不当事故:指由于电气设备选择不当或设备有先天缺陷而造成的事故。如选用的设备不能胜任所担负的负载或与使用环境不符,产品质量不合格,选用了已淘汰的产品或有先天工艺缺陷的产品等。

(4)外力破坏事故:外力对电气设备的破坏,有自然因素和人为因素两种。自然因素如落雷、飓风、大雾等自然气候引起的事故;人为因素如汽车撞断电杆、构筑物倒砸线路等事故。此外,操作维修时措施不当造成的事故也属于这类事故。

#### 九、电工人员应具备的基本条件

(1)事业心、责任心强,工作认真负责,踏实肯干。

(2)年满十八周岁,身体健康,精神正常,无癫痫、精神病、高血压、心脏病、实发性昏厥及其他妨碍电工作业的病症和生理缺陷。

(3)熟悉电气安全规程和设备运行操作规程。

(4)能熟练掌握和运用触电急救法和人工呼吸法。

(5)具有初中以上文化程度,掌握相应的电工作业安全技术、电工基础理论和专业技

术知识,并具有一定的实践经验。通过安全技术培训考试合格后已取得《特别作业人员安全技术操作证》,并经定期复审合格,才能从事允许作业类范围内的电工工作。

#### 十、电工作业人员在电气安全方面应自觉履行的职责

(1)无证不准上岗操作;如果发现非电工人员从事电气操作,应及时制止,并报告领导。

(2)严格遵守有关安全法规、规程和制度,不得违章作业。

(3)对管辖区电气设备和线路的安全负责。

(4)认真做好巡视、检查和消除隐患的工作,并及时、准确地填写工作记录和规定的表格。

(5)架设临时线路和进行其他危险作业时,应完备审批手续,否则应拒绝施工。

(6)积极宣传电气安全知识,有权制止违章作业和拒绝违章指挥。

# 第一章 电气安全基础知识

## 第一节 电气事故

电气事故是电气安全工程主要研究和管理的对象。掌握电气事故的特点和事故的分类情况,对做好电气安全工作具有重要的意义。

### 一、电气事故概述

众所周知,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,大大促进了社会的进步和文明。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。电气事故具有以下特点:

#### 1. 电气事故危害大

电气事故的发生伴随着危害和损失,严重的电气事故不仅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。

电气事故在工伤事故中占有不小的比例,据有关部门统计,我国触电死亡人数占全部事故死亡人数的5%左右。

#### 2. 电气事故危险直观识别难

由于电既看不见、听不见,又嗅不着,其本身不具备为人们直观识别的特征。由电所引发的危险不易为人们所察觉、识别和理解。因此,电气事故往往来得猝不及防、潜移默化。也正因为此,给电气事故的防护以及人员的教育和培训带来难度。

#### 3. 电气事故涉及领域广

这个特点主要表现在两个方面。首先,电气事故并不仅仅局限在用电领域的触电、设备和线路故障等,在一些非用电场所,因电能的释放也会造成灾害或伤害。例如,雷电、静电和电磁场危害等,都属于电气事故的范畴。另一方面,电能的使用极为广泛,不论是生产还是生活,不论是工业还是农业,不论是科研还是教育文化部门,不论是政府机关还是娱乐休闲场所,都广泛使用电。哪里使用电,哪里就有可能发生电气事故,哪里就必须考

考虑电气事故的防护问题。

#### 4. 电气事故的防护研究综合性强

一方面,电气事故的机理除了电学之外,还涉及许多学科。因此,电气事故的研究,不仅要研究电学,还要同力学、化学、生物学、医学等许多其他学科的知识综合起来进行研究。另一方面,在电气事故的预防上,既有技术上的措施,又有管理上的措施,这两方面是相辅相成、缺一不可的。在技术方面,预防电气事故主要是进一步完善传统的电气安全技术,研究新出现电气事故的机理及其对策,开发电气安全领域的新技术等。在管理方面,主要是健全和完善各种电气安全组织管理措施。一般来说,电气事故的共同原因是安全组织措施不健全和安全技术措施不完善。实践表明,即使有完善的技术措施,如果没有相适应的组织措施,仍然会发生电气事故。因此,必须重视防止电气事故的综合措施。

电气事故是具有规律性的,且其规律是可以被人们认识和掌握的。在电气事故中,大量的事故都具有重复性和频发性,无法预料、不可抗拒的事故毕竟是极少数。人们在长期的生产和生活实践中,已经积累了同电气事故作斗争的丰富经验,各种技术措施、各种安全工作规程及有关电气安全规章制度,都是这些经验和成果的体现,只要依照客观规律办事,不断完善电气安全技术措施和管理措施,电气事故是可以避免的。

## 二、电气事故的类型

根据能量转移论的观点,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、射频电磁场危害和电气系统故障危害事故等。

### 1. 触电事故

(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是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。

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。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),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。

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。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。

(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。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,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。电流愈大、通电时间愈长、电流途径上的电阻愈大,则电流灼伤愈严重。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。

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,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,严重时会使因电弧烧伤而死亡。

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电烙印是电流通过人体后,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皮肤金属化是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电光眼的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。

## 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。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)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。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. 射频电磁场危害事故

射频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:

(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。

### 5. 电气系统故障危害事故

电气系统故障危害是由于电能 在输送、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。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。

### 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。触电事故的分布规律为制订安全措施和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。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。另外，这段时间潮湿多雨，电气设备的绝缘性能有所降低。再有，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. 青年人、中年人以及非电工人员触电事故多

这主要是因为这些人都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。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。

## 第二节 电流对人体的作用

电流通过人体,会引起人体的生理反应及机体的损坏。有关电流人体效应的理论和数据对于制订防触电技术的标准,鉴定安全型电气设备,设计安全措施,分析电气事故,评价安全水平等是必不可少的。

### 一、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 1-1 所示。



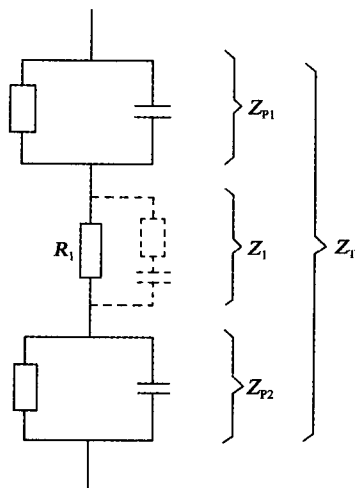


图 1-1 人体阻抗等效电路

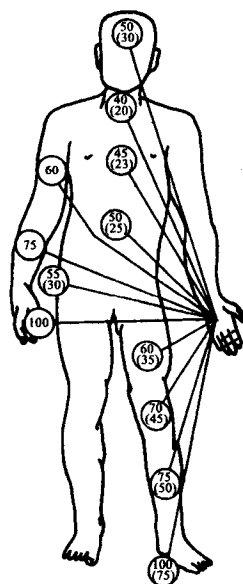


图 1-2 不同电流途径的体内阻抗

### 1. 皮肤阻抗 $Z_p$

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,其电阻很大,在干燥和清洁的状态下,其电阻率可达  $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \Omega \cdot m$ 。

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 50~100V 时,皮肤阻抗明显下降;当皮肤被击穿后,其阻抗可忽略不计。

### 2. 体内阻抗 $Z_i$

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。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。

图 1-2 所示为不同电流途径的体内阻抗值,图中数值是用与手—手内阻抗比值的百分数表示的。无括号的数值为单手至所示部位的数值;括号内的数值为双手至相应部位的数值。如电流途径为单手至双脚,数值将降至图上所标明的 75%;如电流途径为双手至双脚,数值将降至图上所标明的 50%。

### 3. 人体总阻抗 $Z_T$

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,