

用电管理培训教材 安全用电



用电管理培训教材

安全 用电

水利电力部电力生产司 组编

水利电力出版社

YONGDIAN GUANLI PEIXUN JIAOCAI

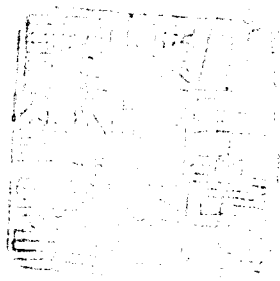


71192

用电管理培训教材

安 全 用 电

水利电力部电力生产司 组编



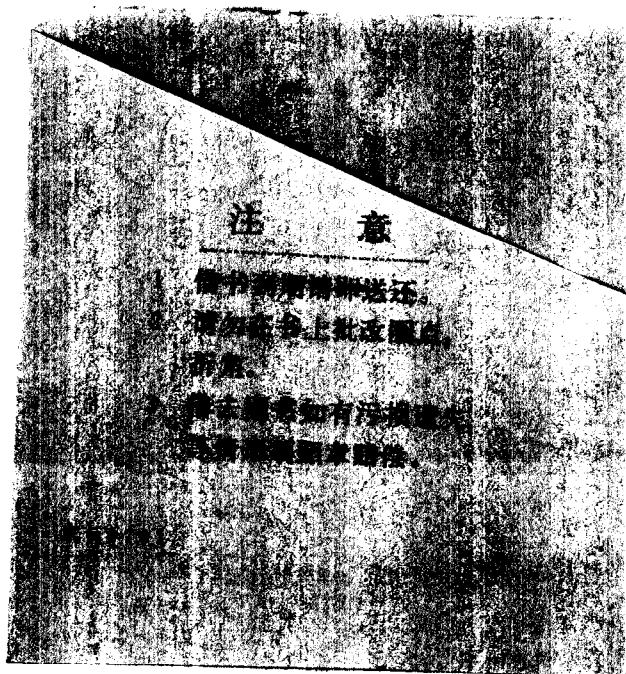
水利电力出版社

期 限

内 容 提 要

本书是用电管理培训教材之一，主要介绍电气设备事故和人身触电事故的规律性及其防止对策；保证电气安全工作的技术措施和组织措施；电气装置的防火和防爆；电气安全用具种类以及触电紧急救护方法等。

本书系用电管理专业人员在岗培训教材，也可供中等专业学校、电力技工学校有关专业师生和工业主管部门、厂矿企业用电单位电能管理专业人员参考。



用电管理培训教材

安全用电

水利电力部电力生产司 组编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 10.25印张 231千字

1984年12月第一版 1984年12月北京第一次印刷

印数00001—35520册 定价1.65元

书号 15143·5560

261664

7M92
7

257/61

前 言

在现代社会里,电力已成为国民经济和人民生活必不可少的二次能源。但是,电力作为电力工业的一种产品,具有与其他任何产品不同的特点,这就是它的生产、输送和使用(即产、供、销)是在同一时间内完成的,三个环节互相依存、互相制约。电力工业部门的生产、用电单位的生产以及人民生活能否正常进行,不仅决定于电力生产部门本身,同时还决定于广大的用电单位。因此搞好用电管理工作,做到安全、经济、合理用电,提高社会的经济效益,是保证电力安全生产和向用电单位正常供电的必要条件。

用电管理是电力工业部门经营管理工作的一个重要环节,涉及社会各个方面,因此它具有社会性很广、政策性很强、技术业务性也很强的特点。

建国以来,我们培养了一批用电管理人员,建立起一支用电管理队伍,积累了一些用电管理工作经验。但是从实现我国四个现代化的要求来看,这支队伍还有待加强,用电管理人员需要充实专业技术知识。

为了发展和壮大这支队伍,提高用电管理专业的水平,我们组织编写了一套用电管理培训教材,即《计划用电》、《节约用电》、《安全用电》、《营业管理》、《电能计量》、《电气设备》、《继电保护》等共计七册,作为用电管理专业人员的在职培训教材,也可作为中等专业学校、电业技工学校用电管理专业的专业课试用教材,还可供大专院校用电管理专业师生和工业主管部门、厂矿企业用电单位的电能管理专业人员参考。

这套用电管理专业教材的编写,限于经验和水平,加之成书时间仓促,书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

《安全用电》阐述了与用电安全有关的技术理论与实践知识,以保证用电人身安全和设备安全为重点,介绍在电气装置、安全用具使用上以及电气工作中防止人身触电的基本措施,在设计、安装及运行管理上保证电气装置安全的基本要求,过电压保护的原理及防雷措施,电气装置的防火与防爆,电气绝缘的理论及电气试验的方法等;考虑到电业部门开展和做好用电监察工作对促进用电安全的重要作用,所以对用电监察在安全用电方面的技术业务内容、制度与办法及用电事故的调查处理也做了必要的叙述;此外,为便于在实际工作中运用,还简要地介绍了触电急救的方法。

本书由水利电力部委托湖北电力局组织武汉供电局侯健民编写第一、二、四、六、九章,黄石供电局胡天民编写第三、五、七、八章;北京供电局王霁宗、陈淑芳分别对第一、二章作了改写;上海供电局戚国彬为第二、四、六、九章提供了资料。初稿完成后,曾由水利电力部组织汪又雄、罗炳耀、戚国彬、王金根、王世煜、余义甫、张思云、刘承祐、肖运新、蒋开元等同志审稿。王霁宗、胡天民担任主编并对全书进行了修改、整理和补充,陈淑芳也参加了修改,由王霁宗定稿。

书稿最后由水利电力部电力生产司汪又雄审定。

水利电力部电力生产司

一九八四年三月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 安全用电的意义	1
第二节 防止发生用电事故的主要对策	2
第三节 对用电监察人员的基本要求	3
第二章 防止人身触电的基本措施	5
第一节 人身触电的危害及触电方式	5
第二节 防止人身触电的技术措施	11
第三节 电气工作的安全措施	24
第四节 电气安全用具	29
第三章 保证电气装置安全运行的基本要求	34
第一节 对设计的要求	34
第二节 对安装的要求	50
第三节 对运行维护的要求	65
第四章 过电压及保护	68
第一节 雷电基本知识	68
第二节 变配电所的防雷保护	72
第三节 旋转电机的防雷保护	83
第四节 配电线路的防雷保护	88
第五节 内部过电压	91
第五章 电气绝缘试验	94
第一节 电介质在电场作用下的物理现象	94
第二节 绝缘介质的击穿放电	97
第三节 绝缘电阻和吸收比试验	102
第四节 泄漏电流试验	105
第五节 介质损失角试验	107
第六节 工频交流和直流耐压试验	110
第七节 绝缘油的试验	112
第六章 电气装置的防火和防爆	115
第一节 火灾和爆炸的有关概念	115
第二节 电气火灾和爆炸的原因	116
第三节 电气防火和防爆的措施	117
第四节 扑灭电气火灾的常识	118
第五节 静电的危害和防护	121

第七章 安全用电的监察	124
第一节 设计文件审核	124
第二节 中间检查	126
第三节 竣工检查	130
第四节 定期检查	140
第五节 安全用电宣传和电工管理	147
第八章 用电事故的调查处理	151
第一节 用电事故的分类	151
第二节 用电事故的调查和分析	152
第三节 用电事故的处理	154
第九章 触电急救	155
第一节 脱离电源	155
第二节 现场救护	156
第三节 人工呼吸法和胸外心脏挤压法	157
第四节 外伤处理	159

第一章 概 述

解放以前，我国电力工业的基础十分薄弱，1949年全国发电机总装机容量仅为185万千瓦，全年发电量为43亿度。新中国成立以后，电力工业得到了迅速的发展。到目前为止，全国已经拥有一百万千瓦以上的大电网十一个，总装机容量已超过6000万千瓦，比1949年增长了32倍。现在全国每五天的发电量就相当于1949年全年的发电量。

随着工业的迅速发展，电力已成为工农业生产、市政、交通和人民生活不可缺少的二次能源。但是，随之而来的安全用电的矛盾却愈来愈突出。这是因为电力生产和使用有它的特殊性，在生产和使用过程中，如果不注意安全，则会造成人身伤亡事故和国家财产的巨大损失。因此，随着电力事业的发展，“安全用电”的重要性日益突出。“安全用电”的研究对象主要是电气设备事故和人身触电事故的规律性及其防止对策；保证电气安全工作的技术措施和组织措施；电气装置的防火和防爆；电气安全用具以及触电紧急救护等。

第一节 安全用电的意义

安全生产是社会主义企业经营管理的基本原则之一。安全促进生产，生产必须安全。由于电力生产的特点以及电气事故的特殊规律性，安全用电就更具有特殊的重大意义。

电力系统是由发电厂、电力网和用户组成的统一整体。由于目前电能尚不能大规模的储存，因此，发电、供电和用电是同时进行的。正因如此，用电事故发生后，除可能造成全厂停电，引起设备损坏、人身伤亡事故外，还可能波及到电力系统，进而造成系统大面积停电，给工农业生产和人民生活造成很大的影响。对有些重要负荷，可能会产生更严重的后果。例如，对电解铝厂，停电时间超过15分钟，电解槽就会损坏；高炉停电时间超过30分钟，铁水就要凝固；矿井下停电，会影响井下通风，使空气中的瓦斯含量增加，可能引起人员窒息和瓦斯爆炸。此外，对医院以及易燃易爆的危险场所等，突然停电往往会发生更大的人身伤亡事故。

对用户停电造成的经济损失很难具体统计。一般可估算为少送电量所折合电费的数十倍。

随着电气化的发展，生活用电的日益广泛，发生人身触电事故的机会也相应增加。据我国近年来的统计，全国农村每年触电死亡的人数均在数千人左右。1977年，全年农村触电死亡人数高达7199人。工业和城市居民触电死亡的人数约为农村触电死亡人数的15%左右。这些数字都是相当惊人的。

因此，要搞好安全用电的宣传，提高安全用电技术理论水平，落实保证安全工作的技术措施和组织措施，以防止各种用电设备事故和人身触电事故的发生。

第二节 防止发生用电事故的主要对策

人们在长期的生产和生活实践中，逐渐的积累了丰富的安全用电和反事故斗争的经验。各种安全工作规程以及有关保证安全的各种规章制度，都是这些丰富经验的总结。只要我们在工作中认真遵守规章制度，依照客观规律办事，用电事故是可以避免的。

防止发生用电事故的主要对策，概括地讲，就是要做到思想重视、措施落实、组织保证。

1. 思想重视

思想重视就是要牢固地树立安全第一的思想。这就要求提高安全用电的自觉性，认真贯彻预防为主方针，积极开展安全用电的宣传和教育，推广反事故斗争的经验，做到防患于未然。

在所有的用电事故中，无法预料、不可抗拒的事故总是极少数，而大量的用电事故都是重复性的、频发性的。例如，错误操作事故，外力破坏事故，以及由于运行维护不当造成的事故等等。因此，只要我们思想重视，认真吸取教训，采取切实措施，用电事故是可以避免的。例如，在外力破坏的事故中，有些是由于小动物进入配电室引起母线短路或接地而造成的。对这些事故，只要我们将配电室的门窗关严，堵塞通往室外的所有电缆沟和其它孔洞，这类事故是完全可以避免的。又如，只要我们严格执行规章制度，遵守操作规程，对设备采取有效的联锁等，人为的错误操作事故也是可以避免的。

树立安全第一的思想，还要努力克服“安全用电说起来重要、做起来次要、忙起来不要”的不良作风。坚持做到把安全工作贯穿于各项生产任务的始终。

2. 措施落实

贯彻和执行保证安全用电的各项技术措施和组织措施，是搞好安全用电工作的关键。

针对当前存在的问题，做好安全用电工作，防止发生用电事故的主要措施可概括如下：

(1) 坚决贯彻执行水利电力部颁布的《电业安全工作规程》以及各地区电力部门颁布的有关规程（如《电气工程安装标准》、《电气设备运行管理规程》以及《电气安全工作规程》等）。

各用电企业应依据上述规程来制订现场规程。

(2) 严格执行有关电气设备的检修、试验和清扫周期的规定，对发现的各种缺陷要及时消除。

(3) 通过技术培训、现场练兵和反事故演习等方式，提高电工的技术、业务水平。

(4) 大力开展安全用电的宣传，普及安全用电的基本知识，组织安全大检查（特别是季节性的安全用电检查）和现场经验交流会，推动群众性的安全用电活动。

(5) 积极研究、推广、采用安全用电的先进技术、新工艺、新材料和新设备。

3. 组织保证

防止用电事故还必须有切实的组织保证。

电力部门应根据国家经委批准的“用电监察条例”加强用电监察机构，充实用电监察力量，不断提高用电监察人员技术业务水平。用电监察人员应根据国家和水利电力部颁发的各种规章制度以及地区规程，监督、检查、指导和帮助用电单位搞好安全用电工作。

各用电单位则应设立安全用电管理机构并配备专门管理人员，在电力部门的指导下开展安全用电工作。

此外，各地区还应根据具体情况，由电力和劳动部门联合成立电工管理委员会，组织对电工人员的培训与考核工作。

第三节 对用电监察人员的基本要求

为了贯彻执行供用电规章制度，使电力更好的为发展国民经济和改善人民生活服务，根据电力生产发、供、用电同时完成的特点，国家规定各级电力部门必须配备用电监察人员，开展用电监察工作。用电监察工作的主要内容是监督、检查、指导、帮助用电单位进行有关安全、经济、合理用电的各项工作，加强供用电双方互相协作的密切关系，以达到保证安全供用电和提高电能利用整体经济效益的目的。

由于用电监察工作的内容广泛，政策性强，技术业务也比较复杂，所以用电监察人员，特别是从事安全用电监察的人员，必须掌握国家有关电力生产的方针、政策、指令和各种规定，具备一定的技术业务和管理水平，这样才能胜任此项工作。

1. 应具备的电气专业知识

主要包括应知和应会两个方面。

1) 应知部分 ①电工基础理论及知识；②各种电机的原理、构造、性能及启动方法；③各种变压器的原理、构造、性能；④各种高低压开关及操作机构的原理、构造、性能；⑤避雷器、电力电容器的原理、构造、性能；⑥一般通用的用电设备如电焊机、电弧炉、机床等的用电特性；⑦一般继电保护的原理；⑧电度表、互感器的原理、构造、接线及倍率计算；⑨安全用电（包括人身安全和设备安全）的基本知识；⑩合理与节约用电的一般途径、改善功率因数的方法、单位产品电耗的计算等。

2) 应会部分 ①能检查发现高、低压电气设备缺陷及不安全因素；②能现场处理电气事故、并能分析判断电气事故的原因和指出防止事故的对策；③能讲解一般的电气理论知识；④能正确配备用户的电能计量装置、并能发现误接线及倍率计算错误；⑤能看懂用户电气设计图纸，包括原理图、展开图、安装图等；⑥能给出所分工管理的用户的一次系统接线图；⑦会使用万能表、各种摇表、电流表和电桥等常用电工仪表，会使用秒表测算负荷；⑧能指导用户开展安全、合理与节约用电及提高功率因数的工作；⑨能发现用户的违章用电和窃电；⑩能签订供用电协议、合同及写出有关用电监察的报告。

2. 熟悉国家有关用电工作的方针、政策

主要包括：①国家的能源政策；②电力分配政策；③电价政策。

3. 通晓水利电力部有关的技术标准、规程、条例

主要包括：①供、用电规则；②单位产品电耗定额导则；③计划用电包干办法；④电

力工业技术管理法规有关部分；⑤电业安全工作规程（发电厂和变电所的电气部分，电力线路部分）；⑥电力建设施工及验收暂行技术规范（电气装置篇）；⑦全国电、热价格及说明；⑧电能计量装置管理规程；⑨电力定量装置管理办法；⑩电力系统电压和无功电力管理条例。

4. 掌握电网结构和保护方式

主要包括：①组成电网的各种电压及容量的变电站，和各种不同电压等级及长度的电力线路的情况；②电力系统接线；③电网与用户的设备分界点；④电网采用的主要保护方式及所分工管理的用户继电保护和自动装置的配置方案和整定值等。

5. 了解主要用电行业的生产过程和用电特点

1) 生产过程 ①产品概念和生产工艺流程；②主要的物理、化学反应过程；③原材料及其用途；④主要设备的规格、容量等。

2) 用电特性 ①各生产工序用电比例；②用电规律性，包括负荷曲线、负荷率及用电连续性等；③主要设备用电情况，包括电能利用效率等；④单位产品电耗及有关参数；⑤主要节电技术措施。

第二章 防止人身触电的基本措施

防止人身触电是安全用电工作的主要内容之一，为此，必须研究电流对人体的危害，触电方式及防止触电的安全措施，以杜绝人身触电事故的发生。

第一节 人身触电的危害及触电方式

一、电流对人体的危害

电流对人体的危害是多方面的，电流通过人体时，它的热效应会造成电灼伤；它的化学效应会造成电烙印和皮肤金属化；电磁场能量对人体的辐射作用，会导致头晕、乏力和神经衰弱等症。

当电流流经人体时，会产生不同程度的刺痛和麻木，并伴随不自觉的肌肉收缩。肌肉收缩时往往使触电者紧握带电体，而不能自主摆脱电源。此外，肌肉收缩时，胸肌、膈肌和声门肌的强烈收缩会阻碍呼吸，而使触电者窒息死亡。

电流通过中枢神经系统的呼吸控制中心可使呼吸停止。电流通过心脏造成心脏功能紊乱，即室性纤颤，会使触电者因大脑缺氧而迅速死亡。

电流对人体危害的程度与通过人体的电流强度、持续时间、电压、频率、通过人体的途径，以及人体的健康状况等因素有关。下面对各种不同因素的影响加以讨论。

1. 不同电流强度对人体的影响

通过人体的电流越大，人体的生理反应越明显，感觉越强烈，从而引起心室颤动所需的时间越短，致命的危险就越大。

按照不同电流通过人体时的生理反映，可将电流大致分为以下三种：

1) 感觉电流 使人体有感觉的最小电流，称为感觉电流。实验表明，平均感觉电流，成年男性约为1.1毫安（工频），成年女性约为0.7毫安（工频）；对直流而言，约为5毫安。

2) 摆脱电流 人体触电后能自主摆脱电源的最大电流称为摆脱电流。实验表明，平均摆脱电流，成年男性约为16毫安（工频）以下；成年女性约为10毫安（工频）以下；对直流而言，约为50毫安；儿童的摆脱电流较成人为小。

3) 致命电流 在较短的时间内，危及生命的最小电流称为致命电流。即在工频电流作用下，引起心室颤动或窒息的最小电流。一般情况下，通过人体的工频电流超过50毫安时，心脏就会停止跳动、发生昏迷，并出现致命的电灼伤。工频100毫安的电流通过人体时，很快使人致命。

不同电流强度对人体的影响如表2-1所示。

表 2-1

不同电流强度对人体的影响

电 流 强 度 (毫安)	对 人 体 的 影 响	
	交 流 电 (50赫)	直 流 电
0.6~1.5	开始感觉,手指麻刺	无 感 觉
2~3	手指强烈麻刺、颤抖	无 感 觉
5~7	手部痉挛	热 感 感
8~10	手部剧痛,勉强可以摆脱电源	热感增多
20~25	手迅速麻痹,不能自立,呼吸困难	手部轻微痉挛
50~80	呼吸麻痹,心室开始颤动	手部痉挛呼吸困难
90~100	呼吸麻痹,心室经3秒钟及以上颤动即发生麻痹,停止跳动	呼吸麻痹

2. 电流通过人体的持续时间对人体的影响

电流对人体的伤害与电流作用于人体时间的长短有密切的关系。一方面,电流通过人体时间越长,由于人体发热出汗和电流对人体组织的电解作用,使人体电阻逐渐降低,在电源电压一定的情况下,会使电流增大,对人体组织的破坏更加厉害,后果更为严重。另一方面,人的心脏每收缩、扩张一次,中间约有0.1秒的间隙,在这0.1秒过程中,心脏对电流最敏感,若电流在这一瞬间通过心脏,即使电流很小(只有几十毫安),也会引起心脏颤动。如果电流不在这一瞬间通过心脏,即使电流较大,也不会引起心脏麻痹。为此当电流持续时间超过一秒钟,则必然与心脏最敏感的间隙重合,将造成很大危险。

3. 作用于人体的电压对人体的影响

当人体电阻一定时,作用于人体的电压越高,通过人体的电流则越大。实际上,通过人体的电流强度,并不与作用在人体上的电压成正比。这是因为随着作用于人体的电压的升高,人体电阻急剧下降,致使电流迅速增加,而对人体的伤害更为严重。

当220~1000伏工频电压作用于人体时,通过人体的电流可同时影响心脏和呼吸中枢,引起呼吸中枢麻痹,使呼吸和心脏停止跳动。更高的电压还可能引起心肌纤维透明性变,甚至引起心肌纤维断裂和凝固性变。

4. 电源频率对人体的影响

常用50~60赫的工频交流电对人体的伤害最为严重,频率偏离工频越远,交流电对人体的伤害越轻。在直流和高频情况下,人体可以耐受更大的电流值,但高压高频电流对人体依然是十分危险的。各种频率的死亡率如表2-2所示。

表 2-2

各种频率的死亡率

频 率 (赫)	10	25	50	60	80	100	120	200	500	1000
死 亡 率 (%)	21	70	95	91	43	34	31	22	14	11

5. 人体电阻的影响

人体触电时,流过人体的电流(当接触电压一定时),由人体的电阻值决定,人体电阻越小,流过人体的电流越大,也就越危险。

人体电阻不是固定不变的，它的数值随着接触电压的升高而下降，并且和皮肤的干湿程度有关。

人体电阻主要包括人体内部电阻和皮肤电阻，而人体内部电阻是固定不变的，并与接触电压和外界条件无关，约为500欧左右。皮肤电阻一般是指手和脚的表面电阻，它随皮肤表面干湿程度及接触电压而变化。

不同类型的人，皮肤电阻差异很大，因而使人体电阻差别也大。一般认为，人体电阻可按1000~2000欧姆考虑。

影响人体电阻的因素很多，除皮肤厚薄外，皮肤潮湿、多汗、有损伤，或带有导电性粉尘等，都会降低人体电阻，接触面积加大、接触压力增加也会降低人体电阻。不同条件下的人体电阻如表2-3所示。

表 2-3 不 同 条 件 下 的 人 体 电 阻

接 触 电 压 (伏)	人 体 电 阻 (欧)			
	皮肤干燥①	皮肤潮湿②	皮肤湿润③	皮肤浸入水中④
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

注 ①干燥场所的皮肤，电流途径为单手至双脚。

②潮湿场所的皮肤，电流途径为单手至双脚。

③有水蒸汽，特别潮湿场所的皮肤，电流途径为双手至双脚。

④游泳池或浴池中的情况，基本为体内电阻。

随电压而变化的人体电阻如表2-4所示。

表 2-4 随 电 压 而 变 化 的 人 体 电 阻

U(伏)	12.5	31.3	62.5	125	220	250	380	500	1000
R(欧)	16500	11000	6240	3530	2222	2000	1417	1130	640
I(毫安)	0.8	2.84	10	35.2	99	125	268	443	1560

6. 电流通过不同途径的影响

电流通过人体的头部会使人立即昏迷，甚至醒不过来而死亡；电流通过脊髓，会使人半截肢体瘫痪；电流通过中枢神经或有关部位，会引起中枢神经系统强烈失调而导致死亡；电流通过心脏会引起心室颤动，致使心脏停止跳动，造成死亡。因此，电流通过心脏、呼吸系统和中枢神经时，危险性最大。实践证明，从左手到脚是最危险的电流途径，因为在这种情况下，心脏直接处在电路内，电流通过心脏，肺部、脊髓等重要器官。从右手到脚的途径的危险性较小，但一般也容易引起剧烈痉挛而摔倒，导致电流通过全身或摔伤。

电流途径与通过心脏电流的百分数关系如表2-5所示。

表 2-5

电流途径与通过人体心脏电流的百分数

电 流 的 途 径	左手至双脚	右手至双脚	右手至左手	左脚至右脚
通过心脏电流的百分数 (%)	6.7	3.7	3.3	0.4

7. 人体的健康状态

人体的健康状态和精神正常与否，是决定触电伤害程度的内在因素，一个患有心脏病、结核病、精神病、内分泌器官疾病或酒醉的人，由于自身的抵抗能力较差，并可能诱发原病，而使触电后果更为严重。相反，一个身体健康、经常从事体力劳动和体育锻炼的人，由触电引起的后果相对来说会轻一些。

二、电流对人体的伤害分类

电流对人体的伤害类别主要分为电击伤和电伤（包括电灼伤和电烙印及皮肤金属化）两种。

（一）电击伤

人体触电后由于电流通过人体的各部位而造成的内部器官在生理上的变化，如呼吸中枢麻痹、肌肉痉挛、心室颤动、呼吸停止等，称为电击伤。

（二）电伤

当人体触电时，电流对人体外部造成的伤害，称为电伤。如电灼伤、电烙印、皮肤金属化等。

1. 电灼伤

一般有接触灼伤和电弧灼伤两种，接触灼伤发生在高电压触电事故时，电流通过人体皮肤的进出口处，一般进口处比出口处的接触灼伤严重，接触灼伤面积较小，但深度深，大多为三度灼伤。灼伤处呈黄色或褐黑色，并可累及皮下组织，肌腱肌肉神经和血管，甚至使骨骼显碳化状态，一般治疗期较长。

当发生带负荷拉、合刀闸、带地线合刀闸时，所发生的强烈电弧都可能引起电弧灼伤，其情况与火焰烧伤相似，会使皮肤发红、起泡、烧焦组织，并使其坏死。

2. 电烙印

它发生在人体与带电体有良好的接触，但人体不被电击穿的情况下，在皮肤表面留下和接触带电体形状相似的肿块痕迹。电烙印边缘明显，颜色多呈灰黄色，有时在触电后，电烙印并不立即出现，而相隔一段时间才呈现。电烙印一般不发炎或化脓，但往往造成局部麻木和失去知觉。

3. 皮肤金属化

由于高温电弧使周围金属熔化、蒸发并飞溅渗透到皮肤表层所形成的。皮肤金属化后，表面粗糙，坚硬。根据接触的金属不同，呈现特殊颜色，一般铅呈现灰黄色，红铜呈现绿色，黄铜呈现兰绿色。金属化后的皮肤经过一段时间能自行脱离，不会有不良后果。

此外，发生触电事故时，常常伴随着高空摔跌，或由于其它原因所造成的纯机械性创

伤，这虽与触电有关，但不属于电流对人体的直接伤害。

三、人体触电的方式

人体触电一般有与带电体直接接触触电、跨步电压触电、接触电压触电等几种形式。

(一) 人体与带电体接触触电

人体与电气设备的带电部分接触发生的触电又可分为单相触电和两相触电。

1. 单相触电

当人体直接碰触带电设备的其中一相时，电流通过人体流入大地，这种触电现象称为单相触电。对于高压带电体，人体虽未直接接触，但由于超过了安全距离，高电压对人体放电，造成单相接地引起的触电，也属于单相触电。

低压电网通常采用变压器低压侧中性点直接接地和中性点不直接接地（通过保护间隙接地）的接线方式，这两种接线方式中发生单相触电的情况如图2-1(a)和(b)所示。

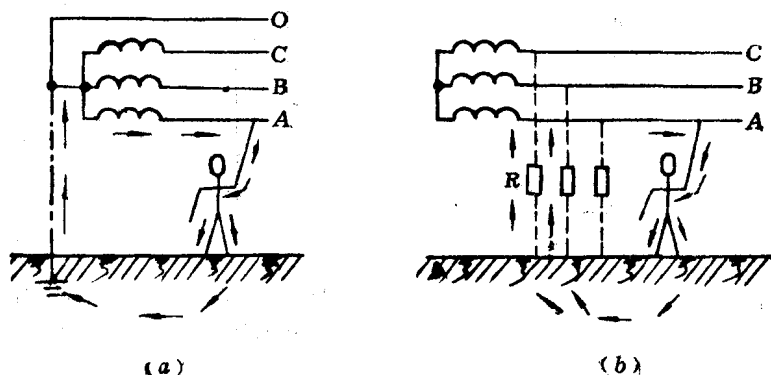


图 2-1 单相触电示意图

(a) 中性点接地系统的单相触电；(b) 中性点不接地系统的单相触电

1) 在低压中性点直接接地的电网中 低压用电设备的开关、插销和灯头以及电动机、电熨斗、洗衣机等家用电器，由于绝缘损坏，带电部分裸露而使外壳、外皮带电，当人体碰触这些设备时，一相电流通过人体，经大地回到中性点，由于人体电阻比中性点直接接地的电阻大得多，所以相电压几乎全部加在人体上，此时，若人体站在绝缘地板上，则人体与大地间的电阻很大，通过人体的电流就很小，则不会造成触电危险。

低压中性点直接接地的电网中，单相触电事故的一般规律是：地板潮湿比干燥时易于发生，夏季潮湿比冬季干燥时易于发生，无接地保护的移动电器更易发生。如每年夏季因手电钻无保护地线，相线漏电致使外壳带电时，往往发生人身触电死亡事故。

2) 在中性点不接地电网中 电气设备对地具有相当大的绝缘电阻，当在低压系统中发生单相触电时，电流通过人体流入大地，此时，通过人体的电流就很小，一般不致造成对人体的伤害，但当一相接地绝缘破坏或降低时，单相触电对人体的危害仍然存在。在高压中性点不接地系统中，由于系统对地电容电流较大，特别在较长的电缆线路上，另外两相对地的电容电流可以通过单相触电危及人体。而一般单相触电时，单相接地电流在30安以下时，继电保护不能动作，使触电的伤害程度更为严重。因此在高压中性点不接地电网

中，单相触电仍然是危险的。如高压架空线断线，人体碰及断落的导线往往会导致人身触电事故。此外，高压线路周围施工，未采取安全措施，碰及高压导线触电的事故也时有发生，如常见的吊车在高压线路下起吊时，未采取安全措施，吊臂碰触高压导线，致使站在吊车旁手扶吊车的工作人员发生单相触电而死亡。

2. 两相触电

人体同时接触带电设备或线路中的两相导体，或在高压系统中，人体同时接近不同相的两相带电导体，而发生电弧放电，电流从一相导体通过人体流入另一相导体，构成一个闭合回路，这种触电方式称为两相触电，如图2-2所示。

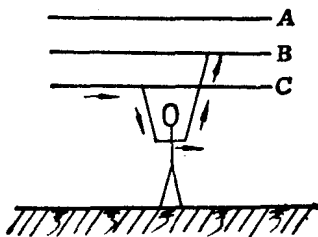


图 2-2 两相触电示意图

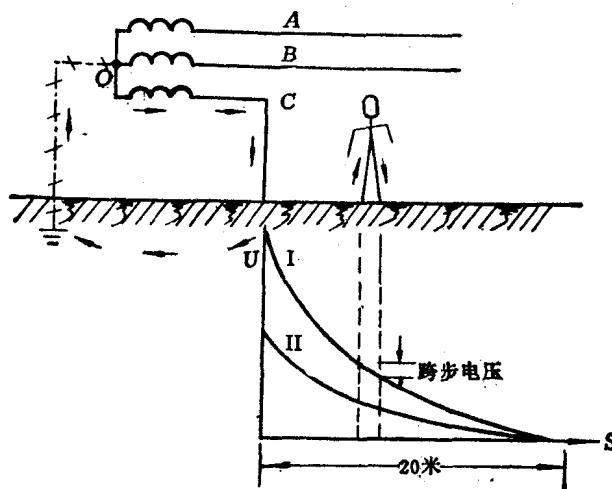


图 2-3 跨步电压触电示意图

I—电位分布，II—跨步电压

发生两相触电时，作用于人体上的电压等于线电压，这种触电是最危险的，因为没有任何绝缘保护，对于380伏的线电压，两相触电后人体内部流过268毫安电流（如表2-4），这样大的电流只要经过 $T = \frac{50}{268} = 0.186$ 秒就会死亡，因此，两相触电的危险比单相触电要严重得多。

（二）跨步电压触电

当电气设备发生接地故障，接地电流通过接地体向大地流散，在地面上形成分布电位，这时，若人在接地短路点周围行走，其两脚之间（人的跨步一般按0.8米考虑）的电位差，就是跨步电压。由跨步电压引起的人体触电，称为跨步电压触电，如图2-3所示。

人体受到跨步电压作用时，人体虽然没有直接与带电导体接触，也没有放弧现象，但电流是沿着人的下身、从脚经跨部又到脚与大地形成通路。触电时先是脚发麻，后跌倒。当受到较高的跨步电压时，双脚会抽筋，并立即倒在地上。跌倒后，由于头脚之间的距离大，故作用于身体上的电压增高，电流相应增大，而且有可能使电流经过人体的路径改变为经过人体的重要器官，如从头到手或脚。经验证明，人倒地后，即使电压只持续2秒钟，人身就会有致命危险。

跨步电压的大小决定于人体与接地点的距离，距离越远，跨步电压数值越小，越接近接地点，则跨步电压越大。当一脚踏在接地点上，跨步电压将达到最大值。

(三) 接触电压触电

接触电压是指人站在发生接地短路故障设备的旁边, 其手、脚之间所承受的电压, 一般指距离设备水平方向0.8米处, 这时人手触及设备外壳(距地面1.8米的高处), 手与脚两点之间的电位差。由于接触电压而引起的人体触电称为接触电压触电, 如图 2-4 所示。

接触电压的大小, 随人体站立点的位置而异, 当人体距离接地短路设备越远时, 其值越大。当人体站在距接地体20米以外处, 与带电设备外壳相接触时, 接触电压达到最大值, 等于带电设备的对地电压。当人体站在接地点与设备外壳接触时, 接触电压为零, 同时, 接地线与外壳等电位。

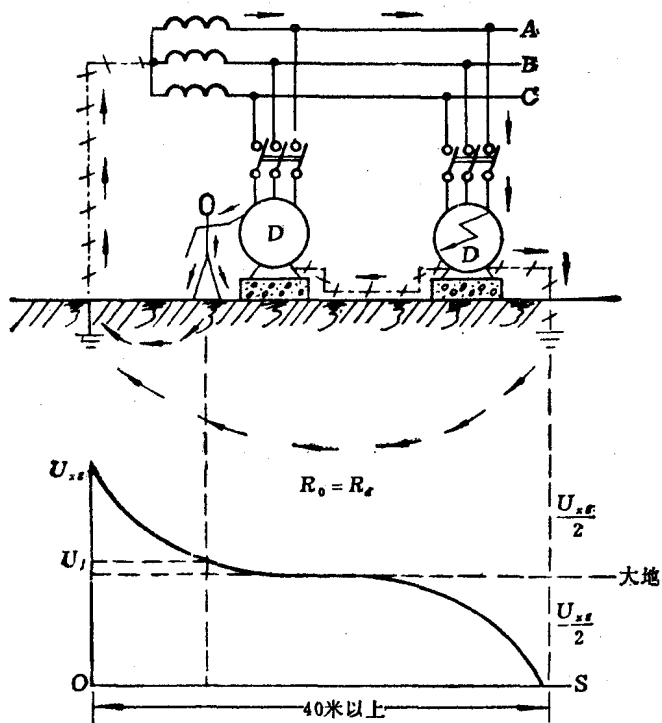


图 2-4 接触电压分布及人体触电示意图

U_{xg} —相电压; R_0 —变压器中性点接地电阻; U_l —作用于人体电压; R_d —电动机保护接地电阻

此外由于地板和鞋靴的压降, 使人体受到的接触电压小于漏电设备的对地电压, 为此, 严禁裸臂赤脚去操作电气设备。

在安装接地网时, 应考虑一个车间、一个变电站的所有设备均埋设接地体, 或在地面下埋设接地网, 这是防止接触电压触电的有效措施。

第二节 防止人身触电的技术措施

人身触电事故的发生, 一般不外乎以下两种情况: 一是人体直接接触及或过分靠近电气设备的带电部分; 二是人体碰触平时不带电, 因绝缘损坏而带电的金属外壳或金属架构。针对这两种人身触电情况, 必须从电气设备本身采取措施和从事电气工作时采取妥善的保