



国家职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库配套教材
新形态一体化教材

电力安全生产 及防护

▶▶ 朱 鹏 主编

学生

随扫随学，
学习中享受过程

教师

资源立体，
备课中不断创造

配套资源

现场视频、微课、实景图片、
实训工单、动画演示等



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国家职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库配套教材
新形态一体化教材

电力安全生产及防护

主 编 朱 鹏

内 容 简 介

本书主要从人身触电伤害的防护、电力安全工器具的使用与管理、电气防火防爆及灭火装置使用、现场伤员紧急救治与搬运、电力安全生产事故处理等方面进行阐述,包含作为电力作业人员必须掌握和认知的知识面。本书力求内容系统完整,讲解深入浅出,通过对本书的学习,使学生更好地掌握电力安全生产及防护的知识。

本书编写语言通俗易懂,知识体系深浅适度,适用于高职高专电力电气类、安全类、自动化类专业,也可作为供电企业生产技能人员的安全用电培训教材。

为方便读者使用,本书配套有国家级职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库相关资源。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电力安全生产及防护 / 朱鹏主编. —北京:北京理工大学出版社, 2020.6
(2020.9重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 8565 - 0

I. ①电… II. ①朱… III. ①电力工业 - 安全生产 IV. ①TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第102404号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 255千字

版 次 / 2020年6月第1版 2020年9月第2次印刷

定 价 / 35.00元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

本书数字资源获取说明

方法一

用微信等手机软件“扫一扫”功能，扫描本书中二维码，直接观看相关知识点视频。

方法二

Step1: 扫描下方二维码，下载安装“微知库”APP。

Step2: 打开“微知库”APP，点击页面中的“电力系统自动化技术”专业。

Step3: 点击“课程中心”选择相应课程。

Step4: 点击“报名”图标，随后图标会变成“学习”，点击“学习”即可使用“微知库”APP进行学习。



安卓客户端



IOS 客户端

前 言

安全生产事关人民群众生命财产安全和社会稳定大局。近年来，在党中央、国务院的正确领导下，在各地区、各部门的共同努力下，全国安全生产状况保持了总体稳定、持续好转的发展态势，但安全生产形势依然严峻。在中国共产党第十九次全国代表大会的报告中，习近平总书记提出“树立安全发展理念，弘扬生命至上、安全第一的思想，健全公共安全体系，完善安全生产责任制，坚决遏制重特大安全事故，提升防灾减灾救灾能力”的新要求。

本书是国家级职业教育电力系统自动化技术专业教学资源库标准化课程“电力安全生产及防护”的配套教材。为使本书更加实用、更加贴近行业，编写人员前往各类发电厂、变电所、供电公司、工厂变配电所及施工现场进行了大量的现场考察和实地调研，广泛征求电力从业人员对课程建设、教材编写的意见，与此同时结合电力系统工程技术人员对岗位技能、安全技术的要求，和他们进行了多次广泛而深入的讨论。同时，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性和实用性，并涵盖了电力行业最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺。

本书主要从人身触电伤害的防护、电力安全工器具的使用与管理，电气防火与防爆措施，现场伤员紧急救治与搬运，电力安全生产事故处理等方面进行阐述，包含作为电力作业人员必须掌握和认知的知识面。

本书的主要特点如下：

(1) 以“加强基础，拓展知识”为主线，在知识体系上围绕电力安全的基本知识、基本理论等进行论述，并配有相关国家级职业教育教学资源库配套资源，希望对读者有所启迪和帮助。

(2) 以“强化应用、培养技能”为重点，通过案例分析，注重培养学生电力安全实际工作技术，注重培养分析问题、解决问题的能力，注重培养学生从事该专业领域所必需的安全专业知识与技能，以及良好的团队协作精神。

本书由天津轻工职业技术学院朱鹏老师担任主编，进行全书的设计、选例和统稿工作。其中，项目一、项目三由天津轻工职业技术学院王义贵老师撰写，项目二由天津轻工职业技术学院翟永君老师撰写，项目四及附录由朱鹏老师撰写，项目五由内蒙古机电职业技术学院任晓丹老师撰写。

由于编者水平有限，书中难免存在一些错漏等不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 人身触电防护	1
任务一 人身触电伤害事故类型及原因分析	2
任务二 人身触电方式	7
任务三 直接接触电防触电措施	11
任务四 间接触电防触电措施	22
项目二 电力安全工器具的使用与管理	42
任务一 10 kV 跌落式开关的操作	42
任务二 登杆作业专用器具的使用	59
任务三 电力安全工器具的管理	67
项目三 电气防火防爆及灭火装置使用	76
任务一 电气火灾爆炸事故基本知识	77
任务二 电气火灾爆炸事故的原因分析	83
任务三 防火防爆基本措施	85
任务四 场所防火防爆措施制定	91
任务五 灭火器类型及原理	93
任务六 灭火器的性能指标及适用范围	97
任务七 灭火器的使用及检查维护	100
任务八 消火栓的使用及管理	103
项目四 现场伤员紧急救治与搬运	107
任务一 作业者触电后急救	108
任务二 作业者受外伤后急救	116
任务三 心搏呼吸骤停伤员急救	127
任务四 现场伤员骨折固定	136
任务五 现场伤员搬运	141
项目五 电力安全生产事故处理	146
任务一 电力安全生产事故案例分析	146
任务二 电力安全生产事故调查与处理	160
附录	184
附录 1 接触触电技术措施任务评价表	184
附录 2 电力安全生产技能任务评价表	186
附录 3 电力安全工具检查、使用与保管任务评价表	188

附录 4 登杆作业任务评价表	189
附录 5 灭火器使用任务评价表	191
附录 6 电气防火措施任务评价表	193
附录 7 触电急救任务评价表	194
附录 8 电力生产典型事故分析任务评价表	196
附录 9 外出血救护实操考核表	197
附录 10 成人心肺复苏实操考核表	198
附录 11 四肢骨折救护实操考核表	199
参考文献	200

人身触电防护



项目引入

2018年6月1日，×××电力输变电工程有限公司安排代维班组对某社区10 kV横岗线杜林支线变电站电线杆进行高扳移位作业。

8时许，代维班组长刘某某带领4名工人鲁某某、陈某某、张某某、万某某来到作业现场开始进行高扳移位作业，辅助工陈某某攀爬至10 kV 011横岗线杜林支线电线杆顶端（距离地面约12 m）安装临时拉线作业。随后，陈某某一直留在电线杆顶端等着线杆移位拉线作业完毕后，再将临时拉线拆除。

11时许，10 kV 011横岗线杜林支线电线杆高扳移位作业完成后，陈某某从电线杆顶端下移至变压器上方时，身体失衡，引起高压熔断器金属部分对陈某某左手臂放电，造成其触电从电线杆上6 m处跌落地面致电击伤，经送医院抢救无效，于当日14时30分许死亡。

直接原因：辅助工陈某某无证从事特种作业，在作业中未能与高压熔断器保持0.7 m的安全距离，导致高压熔断器金属部分对其身体放电，造成其触电死亡。



知识准备

学习人身触电伤害事故类型，让学生了解电击和电伤的相关知识，熟悉影响触电危险程度的因素，包括电流大小、电压大小、人体电阻、电源频率及电流流经人体的途径等。

在实际作业场所中，接触带电设备或线路时，为防止直接接触发生触电事故，确保操作人员的安全，需要采取相应的应对措施，可采用的措施包括绝缘、安全距离、屏护。针对高压和低压电线线路，要求有完善的技术措施。

现场作业环境中存在漏电线路或设备，容易发生间接触电事故，为减少人员伤亡和事故损失，应采取相应的安全技术措施，可采用的措施包括接地、安装漏电保护装置等。通过相关任务的学习，加强间接触电措施的理解和实际应用。



项目目标

(1) 了解电流对人体的伤害类型，掌握影响触电危险程度的因素及人体电流阈值和安全电压等内容。

(2) 掌握直接接触触电的方式和间接接触触电的方式，能够进行具体的分析和应用。

(3) 掌握直接接触防触电措施的类型，包括绝缘、安全距离、屏护的原理和相关要求。

(4) 掌握间接触电防触电措施，能够理解接地防触电的原理，能够针对具体的工作场所采取相应的防触电措施。



知识链接

任务一 人身触电伤害事故类型及原因分析

人体是导体，当人体接触到具有不同电位的两点时，由于电位差的作用，就会在人体内形成电流，这种现象就是触电。电流可能对人体构成多种伤害。例如，电流通过人体时，人体由于直接接受电流能量从而遭到电击，电能转换为热能作用于人体，致使人体受到烧伤或灼伤。人在电磁场照射下，吸收电磁场的能量也会受到伤害等。诸多伤害中，电击的伤害是最基本的形式。电流对人体构成的伤害与其他一些伤害不同，电流对人体的伤害事先没有任何预兆，伤害往往发生在瞬息之间，而且受伤害的人体一旦遭受电击后，防卫能力迅速降低。这两个特点都增加了电流伤害的危险性。

一、 电流对人体的伤害类型

在日常生活中，一些电器使用不当，容易出现漏电的情况，然而，人体接触到电流时，会带来一定的伤害，伤害有哪些类型呢？电流对人体的伤害可分为电击和电伤（包括电灼伤、电烙印和皮肤金属化等）两大类。

（一） 电击

电击就是通常所说的触电，绝大部分的触电死亡事故都是电击造成的。电击是电流通过人体时，机体组织受到刺激，肌肉不由自主地发生痉挛性收缩造成的伤害。严重的电击是指人的心脏、肺部神经系统的正常工作受到破坏，乃至危及生命的伤害，数十毫安的工频电流即可使人遭到致命的电击。电击致伤的部位主要在人体内部，而在人体外部不会留下明显痕迹。当人体在触及带电导体、漏电设备的金属外壳或距离高压电太近以及遭遇雷击、电容器放电等情况下，都可以导致电击。

50 mA（有效值）以上的工频交流电流通过人体时，一般既可能引起心室颤动或心脏停止跳动，也可能导致呼吸中止。如果通过人体的电流只有20~25 mA，一般不会直接引起心室颤动或心脏停止跳动，但如时间较长，仍可导致心脏停止跳动。心室颤动或心脏停止跳动，主要是由于呼吸中止，导致机体缺氧引起的，但当通过人体的电流超过数安时，由于刺激强烈，也可能先使呼吸中止；数安的电流流过人体，还可能导致严重烧伤甚至死亡。电休克是机体受到电流的强烈刺激，发生强烈的神经系统反射，使血液循环、呼吸及其他新陈代谢都发生障碍，以致神经系统受到抑制，出现血压急剧下降、脉搏减弱、呼吸衰竭、神志昏迷的现象。电休克状态可以延续数十分钟到数天，其后果既可能会得到有效的治疗而痊愈，也可能由于重要生命机能完全丧失而死亡。

（二）电伤

电伤是指触电时电流的热效应、化学效应以及电刺激对人体造成的伤害。造成电伤的电流都比较大，电伤多见于肌肉外部，而且在肌体上往往留下难以愈合的伤痕，但其伤害作用可能深入体内。与电击相比，电伤属局部性伤害。电伤的危险程度决定于受伤面积、受伤深度、受伤部位等因素。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

电烧伤是最常见的电伤。大部分电击事故都会造成电烧伤。电烧伤可分为电流灼伤和电弧烧伤。电流越大、通电时间越长，电流途径的电阻越小，则电流灼伤越严重。由于人体与带电体接触的面积一般都不大，加之皮肤电阻又比较高，使得皮肤与带电体的接触部位产生较多的热量，受到严重的灼伤。当电流较大时，可能灼伤皮下组织。因为接近高压带电体时会发生击穿放电，所以，电流灼伤一般发生在低压电气设备上，往往数百毫安的电流即可导致灼伤，数安的电流将造成严重的灼伤。

2. 电烙印

电烙印是电流通过人体后，在皮肤表面接触部位留下与带电体形状相似的斑痕，如同烙印。斑痕处皮肤硬变，失去原有弹性和色泽，表层坏死，失去知觉。

3. 皮肤金属化

皮肤金属化是金属微粒渗入皮肤造成的，受伤部位变得粗糙而张紧。皮肤金属化多在弧光放电时发生，而且一般都伤在人体的裸露部位。当发生弧光放电时，与电弧烧伤相比，皮肤金属化不是主要伤害。

4. 机械损伤

机械损伤多数是由于电流作用于人体，使肌肉产生非自主的剧烈收缩造成的。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

电光眼表现为角膜和结膜发炎。在弧光放电时，红外线、可见光、紫外线都可能损伤眼睛。对于短暂的照射，紫外线是引起电光眼的主要原因。



“飞”来横祸之人身防护-课程思政
(微课)(视频文件)

二、影响触电危险程度的因素

(一) 电流大小

不同的电流会引起人体不同的反应，按习惯，人们通常把电击电流分为感知电流、摆脱电流和室颤电流等。不同电流对人体的影响，如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 不同电流对人体的影响

电流/mA	交流电 (50 Hz)	直流电
0.6	开始有感觉，手指有麻感	无感觉
2	手指强烈麻痹，颤抖	无感觉
5	手指痉挛，手部剧痛，勉强可以摆脱带电体	感觉痒、刺痛、灼热
20	手迅速麻痹，不能摆脱带电体，剧痛，呼吸困难	手部轻微痉挛
50	呼吸麻痹，心室开始颤动	手部痉挛，呼吸困难
90	呼吸麻痹，持续 3 s 或更长时间后则心脏麻痹、心室颤动	呼吸麻痹

1. 感知电流

在一定概率下，通过人体引起人的任何感觉的最小电流称为感知电流。感知电流是不相同的。感知电流与个体生理特征、人体与电极的接触面积等因素有关。对应于概率为 50% 的感知电流，成年男子约为 1.1 mA，成年女子约为 0.7 mA。

2. 摆脱电流

摆脱电流是指能自主摆脱带电体的最大电流，是人体可以忍受而一般不致造成不良后果的电流。摆脱电流值与个体生理特征、电极形状、电极尺寸等因素有关。对于不同的人，摆脱电流也不相同，成年男性平均摆脱电流约为 16 mA，成年女性约为 10.5 mA；成年男性最小摆脱电流约为

9 mA, 成年女性约为 6 mA。摆脱电源的能力是随着触电时间的延长而减弱的, 也就是说, 一旦触电后不能及时摆脱电源时, 后果将是十分严重的。

电流大小超过摆脱电流值以后, 触电者会感到异常痛苦、恐慌和难以忍受; 如时间过长, 则可能造成昏迷、窒息, 甚至死亡。当触电电流略大于摆脱电流, 触电者中枢神经麻痹及呼吸停止时, 若立即切断电源, 即可恢复呼吸并无不良影响。通过人体的电流超过感知电流时, 肌肉收缩增加, 刺痛感觉增强, 感觉部位扩展, 至电流增大到一定程度时, 触电者将因肌肉收缩、产生痉挛而紧抓带电体, 不能自行摆脱电极。

3. 室颤电流

室颤电流是指通过人体引起心室发生纤维性颤动的最小电流。人的室颤电流约为 50 mA。在心室颤动状态, 心脏每分钟颤动 800 ~ 1 000 次以上, 但幅值很小, 而且没有规则, 血液实际上中止了循环, 一旦发生心室颤动, 数分钟内即可导致死亡。

(1) 人的体重越重, 发生心室颤动的电流值就越大。

(2) 一般来说, 电流作用于人体的时间越长, 发生心室颤动的电流就越小。

(3) 当通电时间超过心脏搏动周期 (人体的心脏搏动周期为 0.75 s, 是心脏完成收缩、舒张全过程一次所需要的时间) 时, 心室颤动的电流值急剧下降, 也就是说, 触电时间超过心脏搏动周期时, 危险性急剧增加。可能引起心室颤动的直流电流通电时间为 0.03 s 时约为 1 300 mA, 3 s 时约为 500 mA。当电流频率不同时, 对人体的伤害程度也不同, 频率为 25 ~ 300 Hz 的交流电流, 对人体的伤害最严重, 频率为 1 000 Hz 以上时, 对人体的伤害程度明显减轻。人体电流阈值, 如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 人体电流阈值

项目	工频电流/mA		直流电流/mA	
	男性	女性	男性	女性
感知电流	1.1	0.7	5.2	3.5
摆脱电流	16	10.5	76	51
室颤电流	50		500 (3 s), 1 300 (0.03 s)	

提示: 女性较男性敏感, 儿童较成人敏感, 体重小的较体重大的敏感, 患有心脏等疾病的人员, 遭受电击的危险性较大。

(二) 电压大小

当人体电阻一定时, 作用于人体的电压越高, 通过人体的电流越大。实际上, 通过人体的电流大小并不与作用于人体上的电压成正比。这正是因为随着电压的升高, 人体电阻因皮肤破损而下降, 导致通过人体的电流

迅速增加，从而对人体产生严重的伤害。

（三）人体电阻

人体电阻的大小是影响触电后人体受到伤害程度的重要物理因素。在一定的电流作用下，流经人体的电流大小和人体电阻成反比，因此人体电阻的大小与电击后果有一定的关系。人体电阻有表面电阻和体积电阻之分。对电击者来说，体积电阻的影响最为显著，但表面电阻有时却能对电击后果产生一定的抑制作用，使其转化为电伤。这是由于人体皮肤潮湿，表面电阻较小，使电流大部分从皮肤表面通过。过去认为，人体越潮湿，电击危害性越大，这种说法不是十分准确，因为表面电阻对电击后果的影响是比较复杂的，只有当总的表面电阻较低时，才有可能抑制电击。反之，当人体局部潮湿时，特别是如果只有触及带电部分的皮肤潮湿时，那就会大大增加电击的危险性。这是因为人体局部潮湿，对表面电阻值不产生很大的影响，电击电流不会大量从人体表面分流，将会使人体体积电阻下降，使电击的危害性增大。

人体电阻由体内电阻和皮肤组成，体内电阻基本稳定，约为 $500\ \Omega$ 。接触电压为 $220\ \text{V}$ 时，人体电阻的平均值为 $1\ 900\ \Omega$ ；接触电压为 $380\ \text{V}$ 时，人体电阻降为 $1\ 200\ \Omega$ 。经过对大量试验数据的分析研究确定，人体电阻的平均值一般为 $2\ 000\ \Omega$ 左右，而在计算和分析时，通常取下限值 $1\ 700\ \Omega$ 。

一般在干燥环境中，人体电阻在 $2\ 000\ \Omega \sim 20\ \text{M}\Omega$ 范围内；皮肤出汗时，为 $1\ 000\ \Omega$ 左右；皮肤有伤口时，为 $800\ \Omega$ 左右。人体触电时，皮肤与带电体的接触面积越大，人体电阻越小。当人体接触带电体时，人体就被当作电路元件接入回路。人体阻抗通常包括外部阻抗（与触电当时所穿衣服、鞋袜以及身体的潮湿情况有关，从几千欧至几十兆欧不等）和内部阻抗（与触电者的皮肤阻抗和体内阻抗有关）。

一般认为，接触到真皮里，一只手臂或一条腿的电阻大约为 $500\ \Omega$ 。因此，由一只手臂到另一只手臂或由一条腿到另一条腿的通路相当于一只 $1\ 000\ \Omega$ 的电阻。假定一个人用双手紧握带电体，双脚站在水坑里而形成导电回路，这时人体电阻基本上就是体内电阻，约为 $500\ \Omega$ 。一般情况下，人体电阻可按 $1\ 000 \sim 2\ 000\ \Omega$ 考虑。

（四）电源频率

触电的伤害程度与电流的频率相关，各种频率触电死亡率统计数据如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 各种频率触电死亡率

频率/Hz	10	25	50	60	80	100	120	200	500
死亡率/%	21	70	95	91	43	34	31	22	14

可见，频率为 30 ~ 60 Hz 的交流电易引起人体心室颤动，常用的 50 Hz 的工频电流对人体的伤害程度最为严重。当电源的频率偏离工频越远，对人体的伤害程度越低。不过高频电流对人体依然是十分危险的。

（五）电流通过人体的途径

电流通过人体头部会使人昏迷而死亡；通过脊髓会导致截瘫及严重损伤；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残疾；通过心脏会造成心脏停止跳动而死亡；通过呼吸系统会造成窒息。实践证明，从左手至脚是最危险的电流路径，从右手到脚、从手到手也是很危险的路径，从脚到脚是危险较小的路径。电流途径与通过心脏电流的百分数如表 1.1.4 所示。

表 1.1.4 电流途径与通过心脏电流的百分数

电流通过人体的途径	通过心脏电流的百分数/%
从一只手到另一只手	3.3
从右手到脚	3.7
从左手到脚	6.4
从一只脚到另一只脚	0.4



人身触电防范措施（视频文件）

任务二 人身触电方式

发生触电的情况是多种多样的，一般将发生触电的情况大体分为直接接触触电和间接接触触电两大类。

一、直接接触触电

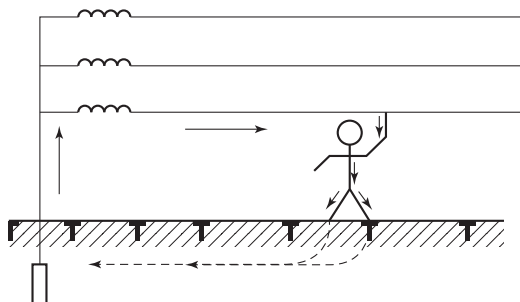
直接接触触电是触及设备和线路正常运行时的带电体时所发生的触电，也称为正常状态下的触电，直接接触触电分为单相触电和两相触电。

（一）单相触电

单相触电是指当人体接触带电设备或线路中的某一相导体时，一相电流通过人体经大地回到中性点，这种触电形式称为单相触电。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。

1. 中性点接地系统中的单相触电

当人体触及单相导线，或者触及连在电网中的电气设备的任何一根带电导线时，电流便通过相线—人体—大地—变压器接地装置—变压器中性点—相线构成回路。这时人体所承受的电压接近相电压（视鞋至地的电阻而异）。通过人体的电流大小决定于上述电流回路的电阻，即决定于人体与带电体的接触电阻、人体电阻、人体与地面的接触电阻以及变压器接地装置的电阻。中性点接地系统中的单相触电电流回路如图 1.2.1 所示。



触电防护安全小卫士
(微课)(视频文件)

图 1.2.1 中性点接地系统中的单相触电

通过人体的电流为

$$I_r = \frac{U_p}{R_r + R_0}$$

式中 U_p ——系统相电压，V；
 R_0 ——系统的接地电阻， Ω ；
 R_r ——人体电阻， Ω 。

由于 R_0 比 R_r 小得多，可忽略不计。可见，中性点直接接地系统中发生单相触电时，通过人体的电流取决于系统相电压及人体电阻。例如，对于 380/220 V 三相四线制系统， $U_p = 220$ V， $R_0 = 4$ Ω ， $R_r = 1\ 000$ Ω ，则

$$I_r = \frac{U_p}{R_r + R_0} = 219 \text{ (mA)}$$

该值已远超过人体能够承受的电流值，足以致命。

针对上述，最主要的防范措施是增大 R_r 。如人体站在干燥的木质地板、绝缘垫上或是穿绝缘鞋，这些材料的电阻值很高，高达 0.5 ~ 1 M Ω ，通过这样就能把流经人体的电流限制在 0.22 ~ 0.44 mA。因此，对于存在误触低压电部分的操作人员，在工作时，一定要按要求穿戴防护用品。

2. 中性点不接地系统中的单相触电

在这种系统中，供电系统的导线与大地之间存在着分布电容和漏电阻，所以电流将经过人体和另外两相导线的对地电容和漏电阻构成回路。该电流也可以危及人身安全，只是程度较轻。如果线路对地的绝缘电阻非常大，人又穿着胶鞋，则不致发生危险。因为电流的通路被隔断，泄漏电流（即通过人体的电流）非常小。但是，如果中性点不接地系统中发生一相接地故障而又未及时发现和处理，该系统就成了类似“两线一地”系统。这时人体触及不接地的一相导线时，便会承受接近线电压（即

380 V) 的电压,如同两相触电,是非常危险的。中性点不接地系统中的单相触电电流通路如图 1.2.2 所示。

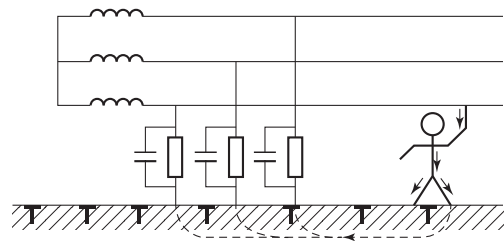


图 1.2.2 中性点不接地系统中的单相触电



人身触电事故
原因分析(微课)

在高压系统中,人体虽未直接接触带电体,但因安全距离不够,高压系统电弧对人体放电,也将形成单相触电。

(二) 两相触电

两相触电即人体的两处同时触及两相带电体的触电事故,这时人体承受的是 380 V 的线电压,其危险性一般比单相触电大。人体一旦接触两相带电体时电流比较大,轻微的会引起触电烧伤或导致残疾,严重的可以导致触电死亡事故,而且两相触电使人触电身亡的时间只有 1~2 s。人体的触电方式中,以两相触电最为危险。发生两相触电时,电流由一根导线通过人体流至另一根导线,作用于人体上的电压等于线电压。若 $U_L = 380 \text{ V}$, $R_r = 1000 \Omega$,则通过人体的电流为 380 mA。在高压系统中,人体同时接近不同相的任意两相带电体时,若发生电弧放电,两相电流经人体形成回路,由此形成的触电也属于两相触电。两相触电电流通路如图 1.2.3 所示。

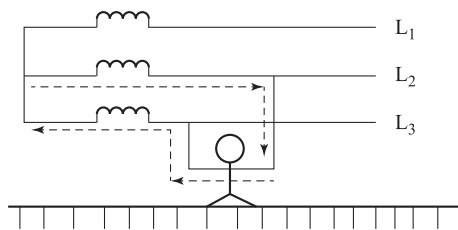


图 1.2.3 两相触电

二、间接接触触电

间接接触触电是由于电气设备(包括各种用电设备)内部的绝缘故障,而造成其外露可导电部分(金属外壳)可能带有危险电压(在设备正常情况下,其外露可导电部分是不会带有电压的),当人员误接触到设备的外露可导电部分时,便可能发生触电。间接接触触电的主要形式有接触电压触电、跨步电压触电、雷电触电等。

(一) 接触电压触电

由于电气设备绝缘损坏,使设备漏电,金属外壳带电,当人员身体某

部分对地绝缘不佳（例如脚踩地），另一部分（例如手）触及外壳而发生的触电，就是接触电压触电。手与脚两点之间呈现的电位差，叫作接触电压。触电伤害的结果与接触电压的大小有着直接关系。

（二）跨步电压触电

人的两脚距离落地电线的距离不等，地面是导体，电流通过不同距离时电阻不等，根据欧姆定律 $U = IR$ ，两脚形成电位差，于是电流通过人体。这时需将两脚并拢方可摆脱危险。当发生带电体碰地、导线断落在地面或雷击避雷针在接地极附近时，会有接地电流或雷击放电电流流入地下，电流在地中呈半球面向外散开。当人走进这一区域时，便有可能遭到电击，这种触电方式称为跨步电压触电。人受到跨步电压作用时，电流从一只脚经过腿、胯部流到另一只脚而使人遭到电击，进而人体可能倒卧在地，使人体与地面接触的部位发生改变，有可能使电流通过人体的重要器官而造成严重后果。离接地点越远，电位越低，遭跨步电压电击的危险越小。一般认为离接地点 20 m 以外，其电位为零。跨步电压触电示意图 1.2.4 所示。

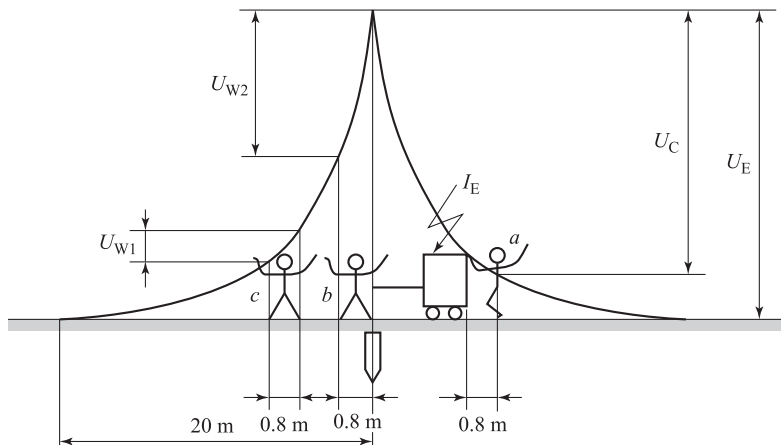


图 1.2.4 跨步电压触电

（三）雷击触电

雷电是自然界中的一种大规模静电放电现象，具有极大的破坏力，其破坏作用是综合的，包括电性质、热性质和机械性质的破坏。可以在瞬间击伤击毙人畜；毁坏发电机、电力变压器等电气设备的绝缘，引起短路导致火灾或爆炸事故。可以在极短的时间内转换成大量的热能，造成易燃物品的燃烧或造成金属熔化飞溅而引起火灾。

1. 雷电的形成和种类

雷电是大气中的放电现象，多形成在积雨云中，积雨云随着温度和气流的变化会不停地运动，运动中摩擦生电，就形成了带电荷的云层。某些云层带有正电荷，另一些云层带有负电荷。另外，由于静电感应常使云层