

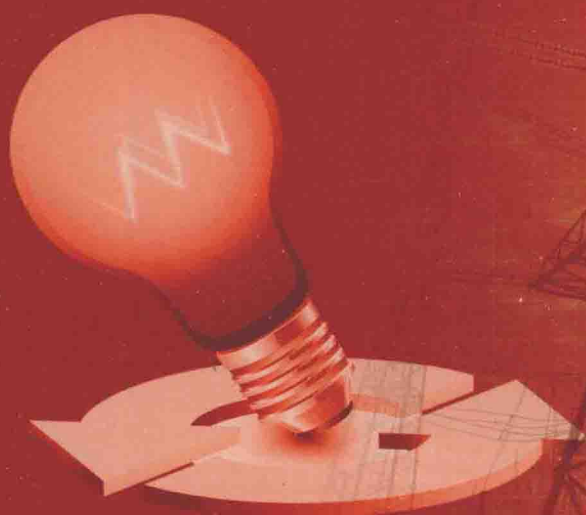


北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

供配电技术

高压运行维修取证

全程指导



程晓辉 纪娜 ◎ 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

北京劳动保障职业学院国家骨干校建设资助项目

供配电技术 ——高压运行维修取证全程指导

程晓辉 纪娜 万捷 李广军 编著
王伟民 蒙娟 宁玉红 兰振平



机械工业出版社

本书包括理论篇和实操篇,理论篇有9个项目,具体包括高压运行维修安全基本知识、安全用具与仪器仪表的使用、学习电力系统与电力网的基本知识、配电变压器的运行与维护、高压电气设备的运行与维护、仪用互感器的运行与维护、供配电系统的保护、变配电所的安全管理与运行维护、倒闸操作,每个项目按其工作过程又分为2~7个学习任务。实操篇有操作、安装和巡视检查3个项目24个取证考试模块。通过本书的学习,能考取“高压运行维修”证书,掌握高压电网和高压设备的检修技术。

本书适用于高职高专学校电气自动化、工业生产自动化、应用电子技术、电子信息工程、机电一体化、仪表自动化、电力系统自动化等相关专业的教材和短期培训的教材,也可作为广大工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术:高压运行维修取证全程指导/程晓辉等编著. —北京:机械工业出版社,2013.11

ISBN 978-7-111-43918-9

I. ①供… II. ①程… III. ①高电压-供电②高电压-配电系统 IV. ①TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第208727号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:赵颖喆 责任印制:李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2014年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 20.25印张 · 499千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43918-9

定价:60.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书为北京劳动保障职业学院国家高职骨干校建设资助项目。

教材内容以职业能力培养为核心,仔细剖析“高压电工作业人员安全技术(即高压运行维修取证)”培训大纲及考核标准,在广泛调研学生就业岗位、岗位工作任务、岗位任职要求的基础上,聘请企业行业中的高级技术人员参与基于“课程融合”的课程开发与设计,分析在人才培养中所具备的能力结构、知识结构和素质结构,确定“供配电技术”课程在专业人才培养中的定位——培养学生对1kV及以上的高压电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试、试验及绝缘工、器具进行试验的作业。紧紧围绕高压运行维修取证培训的要求,理论与实际相结合,突出安全操作技能的培训,实际操作训练中,应采取相应的安全防范措施,注重对职业道德、安全意识、基本理论和实际操作能力的综合培养。

本课程以项目为载体、以工作过程为导向的学习思路,理论篇安排了高压运行维修安全基本知识、安全用具与仪器仪表的使用、学习电力系统与电力网的基本知识、配电变压器的运行与维护、高压电气设备的运行与维护、仪用互感器的运行与维护供配电系统的保护、变配电所的安全管理与运行维护、倒闸操作9个教学项目,每个项目按其工作过程又分为2~7个学习任务。实操篇有操作、安装和巡视检查3个项目24个取证考试模块。新的课程内容体系以学生为主体,课程的施教过程,也就是高压设备操作、运行与检修的工作过程,教与学在工作过程中实施,旨在培养学生的独立操作能力和创新精神。

本书的特色:与职业资格证书考试内容融为一体。目前高压运行维修取证的教材一般理论、实践、题库是相分离的,本书将电工特种作业——高压运行维修考试内容完全融入,在实践中学习理论,用理论指导实践。

本书由北京劳动保障职业学院机电工程系教师团队编写。机电工程系程晓辉编写了项目一、项目二和实操篇,纪娜编写了项目三、项目四,李广军编写了项目五,万捷编写了项目六,蒙娟编写了项目七,宁玉红编写了项目八,兰振平编写了项目九,高级工程师王伟民老师对整本书作了统筹修改。

本书特别感谢北京劳动保障职业学院的资助。同时还要感谢大连工业大学的兰振平老师对本书提出了宝贵的意见和建议。

本书适用于高职高专学校电气自动化、工业生产自动化、应用电子技术、电子信息工程、机电一体化、仪表自动化、电力系统自动化等相关专业的教材和短期培训的教材,也可作为广大工程技术人员的学习参考用书。

由于作者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请读者不吝指教。

作 者

目 录

前言

第一部分 理论篇 1

项目一 高压运行维修安全基本知识 2

任务一 安全生产管理 2

任务二 触电事故及现场救护 5

任务三 防触电技术 11

任务四 电气防火与防爆 15

任务五 防雷与防静电 19

项目二 安全用具与仪器仪表的使用 24

任务一 电工仪表及测量 24

任务二 认识和使用电气安全用具与安全标识 33

习题 44

项目三 学习电力系统与电力网的基本

知识 49

任务一 认识电力系统 49

任务二 了解供电关系与电能质量指标 54

任务三 学习电力系统中性点运行方式 58

任务四 认识变、配电主结线 59

任务五 认识电气线路 64

习题 79

项目四 配电变压器的运行与维护 85

任务一 认识变压器 85

任务二 变压器的铭牌 99

任务三 变压器的安装 102

任务四 变压器的运行 105

习题 111

项目五 高压电气设备的运行与维护 117

任务一 电弧的产生及灭弧方法 117

任务二 高压隔离开关 120

任务三 高压负荷开关 126

任务四 高压熔断器 129

任务五 高压断路器 133

任务六 高压电器的操动机构 142

任务七 高压成套配电设备 148

习题 165

项目六 仪用互感器的运行与维护 169

任务一 电流互感器 169

任务二 电压互感器 179

习题 190

项目七 供配电系统的保护 193

任务一 了解继电保护装置 193

任务二 10kV 配(变)电所的继电保护 198

任务三 继电保护装置的运行与维护 205

习题 208

项目八 变配电所的安全管理与运行维护 211

任务一 变(配)电所安全管理 211

任务二 变(配)电所的运行维护 219

习题 221

项目九 倒闸操作 224

任务一 学习倒闸操作的概念、原则 224

任务二 规范化倒闸操作技术 229

习题 242

第二部分 实操篇 245

项目一 操作 246

模块一 触电急救 246

模块二 绝缘安全用具使用 249

模块三 检修安全用具的检查与使用(Ⅰ) 251

模块四 检修安全用具的检查与使用(Ⅱ) 253

模块五 检修安全用具的检查与使用(Ⅲ) 255

模块六 变压器绝缘电阻测量 256

模块七 变压器分接开关操作 259

模块八 断路器的停、送电操作 261

模块九 跌落式熔断器的操作 263

模块十 电压互感器高压熔丝更换 265

模块十一 电力电缆绝缘电阻的测量 268

模块十二 倒闸操作 270

项目二 安装 287

模块十三 户外变压器的安装要求 287

模块十四 变电室硬母线安装 (I)	289	检查	304
模块十五 变电室硬母线安装 (II)	291	模块二十一 运行中的高压负荷开关的巡视	
项目三 巡视检查	294	检查	306
模块十六 运行中的油浸自冷式配电变压器的巡视检查	294	模块二十二 运行中的高压隔离开关的巡视	
模块十七 运行中的电流互感器的巡视检查	297	检查	309
模块十八 运行中的电压互感器的巡视检查	299	模块二十三 反时限过电流保护的运行与	
模块十九 少油断路器巡视检查	302	检查	311
模块二十 运行的阀型避雷器的巡视		模块二十四 定时限过电流保护的运行与	
		检查	313
		参考文献	317

第一部分

理论篇

项目一 高压运行维修安全基本知识

安全生产管理必须坚持“安全第一、预防为主、综合治理”的方针。为促进安全生产，防止人员伤亡事故，作为特种作业的电工必须学习、熟悉相关法律、法规，主要包括《中华人民共和国安全生产法》、《北京市安全生产条例》、《中华人民共和国刑法》、《生产安全事故报告和调查处理条例》、《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》、《关于特种作业人员安全技术培训考核工作的意见》等。

《中华人民共和国安全生产法》已由中华人民共和国第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议于2002年6月29日通过，自2002年11月1日起实施，共七章九十七条，对生产经营单位的安全生产保障、从业人员的权利和义务、安全生产的监督管理、生产安全事故的应急救援与调查处理、法律责任等都有明确规定。

第二十一条 生产经营单位应当对从业人员进行安全生产教育和培训，保证从业人员具备必要的安全生产知识，熟悉有关的安全生产规章制度和安全操作规程，掌握本岗位的安全操作技能。未经安全生产教育和培训合格的从业人员，不得上岗作业。

第二十三条 生产经营单位的特种作业人员必须按照国家有关规定经专门的安全作业培训，取得特种作业操作资格证书，方可上岗作业。

《北京市安全生产条例》规定，生产经营单位的安全生产责任制应当明确各岗位责任人员、责任内容和考核要求，形成包括全体人员和全部生产经营活动的责任体系。

任务一 安全生产管理

一、电工作业——特种作业

容易发生人员伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施的安全有重大危害因素的作业，叫做特种作业。其作业范围包括：电工作业（指对电气设备进行运行、维护、安装、检修、改造、施工、调试等作业（不含电力系统进网作业））；焊接与热切割作业；登高架设作业；制冷与空调作业；煤矿安全作业；金属非金属矿山安全作业；石油天然气安全作业；危险化学品安全作业；烟花爆竹安全作业；以及国家安全生产监督管理总局认定的其他作业。

对于特种作业人员，必须进行专业的安全作业培训，经考试合格后，才能允许其上岗操作。

1. 电工作业人员条件

- 1) 经县级以上医疗机构鉴定，身体健康、无妨碍工作的病症（体检两年一次）；
- 2) 具备必要的电气知识，熟悉本规程及其有关规程、规定，并经考试合格；
- 3) 掌握紧急救护法；

4) 电气工作人员中断电气工作连续三个月以上者, 必须重新学习有关规程, 经考试合格后方能恢复工作;

5) 电气工作人员应熟悉所管辖的电气设备。

2. 电工职业道德规范

职业道德是人在履行职业职责时所必须遵循的行为准则。作为一名电工, 其工作性质就是为生产、生活服务的。为了维护正常的生产秩序其必须遵守的职业道德规范为:

1) 忠于职业责任;

2) 遵守职业纪律: 严禁以电谋私; 窃电或指导他人窃电; 故意制造故障; 以电击作为取笑手段或以电击作为某种防范措施;

3) 掌握电工专业技术和安全操作技术;

4) 团结协作。

3. 电工岗位安全职责

1) 严格遵守有关的规章制度, 遵守劳动纪律;

2) 努力学习电工的专业技术和安全操作技术, 提高预防事故和职业危害的能力;

3) 正确使用及保管好安全防护用具及劳动保护用品;

4) 善于采纳有利于安全作业的意见, 对违章指挥作业的应及时予以指出, 必要时应向有关领导部门报告;

5) 认真执行本单位、本部门为所在岗位制定的岗位职责。

4. 变配电站值班长和值班员的岗位职责

值班长的职责: 负责本值的安全、运行、维护工作。

值班员的职责: 在值班长领导下, 做好本职的安全、运行、维护工作。在值班长不在时, 代理值班长执行必要的业务工作。

5. 关于实习人员参加电气工作的规定

1) 凡新参加电气工作的人员, 在参加工作前, 必须经过培训。培训内容: 电气基本理论知识、电气工作安全知识、有关安全工作规程及相关的操作方法。

2) 凡新参加电气工作的人员, 经过培训、考核合格后, 在有经验的工作人员带领和指导下, 进行工作实习。实习期间指导人员应固定。实习期至少三个月。

3) 实习人员在有电气工作经验人员的带领下, 可以参加一些简单的技术工作和操作任务, 但不能担任主要操作任务和监护人。实习人员进行的工作必须经过检查验收。

4) 在现场工作时, 实习人员必须认真遵守安全工作规程, 听从指导人员指挥, 否则现场负责人有权停止其工作。

5) 实习人员在实习期满, 应经过考试合格后, 允许其正式参加电气工作, 并可在停电范围内独立工作, 但其工作质量应经专人检查。

二、电业安全工作制度

国家、行业制定的安全工作规程是确保工作安全的基本依据, 只有严格执行安全工作规程以及相关的安装规程、运行规程才可确保单位安全生产所必需的正常生产秩序, 确保人身、设备的安全。

1. 一般要求

1) 在供用电中,必须特别注意电气安全。坚决贯彻“安全第一、预防为主、综合治理”的方针。加强电气安全教育,使从业人员有“我要安全”的安全意识和“我会安全”的能力,确保人身安全、设备安全、系统安全。

2) 电业工作人员必须严格执行国家、行业制定的安全工作规程以及单位制定的现场安全工作规程,完善安全生产责任制,切实保证安全生产、安全运行、安全用电。

3) 国家制定的设计、施工及验收规范是保证设计、建设、安装质量的根本依据,在电业工作中必须严格遵循相关的规范,合格的设计、安装质量是安全运行的前提。

4) 用电单位应据有关规程,结合本单位具体情况制定本单位运行规程和运行管理制度。一般要求单位应建立以下运行管理制度:值班制度、交接班制度、巡视检查制度、设备验收制度、设备缺陷管理制度、运行维护管理制度、运行分析制度、设备预防性试验制度、事故处理及汇报制度、培训管理制度、场地环境管理制度、门禁制度等。各级领导应对制度贯彻执行情况进行检查和指导,还应完善必要的技术管理,要有相应图样、图表、记录、档案、用具和材料。

5) 加强运行维护和检修试验工作对保证供用电系统、电气设备的正常运行起着重要的保证作用。单位应根据单位的工作内容、设备状况、职责分工建立必要的设备巡视检查、维护保养、检测检验制度,维护、保养、检测要作出记录,记录要保存一定期限。消除设备的不安全状态。

6) 国家规定单位应为从业人员无偿提供符合国家标准或行业标准的劳动防护用品,从业人员要正确佩戴和使用劳动防护用品。电气工作人员在电气工作时必须使用电气安全用具。对于容易触电及有触电危险的场所,应按规定采用相应的特低电压。涉及爆炸和火灾危险环境的设计、安装、使用要按相关规定执行。

7) 要科技兴安,要不断提高安全技术水平来保证安全。另一方面,电工作业人员也要不断提高自身专业技术和安全操作技能,提高防止事故的能力以及缺陷、事故处理能力。不要过分依赖供货厂家售后服务,懈怠专业技术的学习,特别是对安全技术的学习提高。

2. 电工作业中一些安全要求

电工作业的安全要求有其行业特点,特别配电值班人员和电气检修人员在工作中有一些特定的安全要求必须熟悉和遵守。比如:

运行中的高压电气设备绝缘部分应视为带电体,不可触摸。

停电的电气设备在未装设地线前应视为带电设备。

用电单位不得在本单位所不能控制的电气设备上装设地线,进行工作。

用电单位严禁约时停送电。

用电单位在发生严重威胁设备或人身安全的紧急情况下,值班人员应立即断开有关设备的电源,但事后必须报告上级。

巡视检查可由一个人做,但不得做与巡视检查无关的工作。不论高压设备带电与否,值班人员不得单独移开或越过遮拦进行工作。

雷雨天巡视检查,距避雷针和避雷器 5m 以上。

交接班工作必须做到交接两清。

补充知识：在电力线路安全工作技术措施中有使用个人保安线。

工作地段如有邻近、平行、交叉、跨越及同杆架设线路，为防止感应电压伤人，在需要接触或接近导线工作时，应使用个人保安线。个人保安线在杆塔上接触或接近导线的作业开始时挂接，作业结束脱离导线后拆除。个人保安线应使用带有透明护套的多股软铜线，截面积不得小于 16mm^2 ，且应带有绝缘手柄或绝缘部件。个人保安线由个人保管，工作中随挂随拆。

任务二 触电事故及现场救护

随着电能应用的不断拓展，以电能为介质的各种电气设备广泛进入企业、社会和家庭生活中，与此同时，使用电气设备所带来的不安全事故也不断发生。为了实现电气安全，对电网本身的安全进行保护的同时，更要重视用电的安全问题。因此，学习安全用电基本知识，掌握常规触电防护技术，这是保证用电安全的有效途径。

虽然我们可以通过电的种种效应知道它的存在，但它看不见、摸不到，更由于电力系统运行的很多现象是动态平衡，往往是同时、等量、瞬时发生的，电气作业又具有群体作业特征，而大范围的系统又使系统内层层的安全环节相扣、息息相关。这些电力生产活动的特点，更使得电气安全隐患一旦发生，它的影响范围更广、危险性更大、后果更严重。故我们要了解电气安全的特点和电气事故的危险性、提高防止事故发生的能力更显得尤为重要。

电气危害有两个方面：一方面是对系统自身的危害，如短路、过电压、绝缘加速老化等；另一方面是对用电设备、环境和人员的危害，如触电、电气火灾、电压异常升高造成用电设备损坏等，其中尤以触电和电气火灾危害最为严重。触电可直接导致人员的伤残、死亡。另外，静电产生的危害也不能忽视，它是电气火灾的原因之一，对电子设备的危害也很大。

一、影响触电危险程度的因素

触电的危险程度与流过人体的电流大小、电流类型、持续的时间、电流通过人体的途径、人体的状况（性别、健康、年龄）等因素有关。具体来说，影响触电危险程度的因素有以下几点：

1. 通过人体电流的大小

一般通过人体的电流越大，人的生理反应越明显、越强烈，死亡危险性也越大。通过人体的电流大小取决于触电电压和人体电阻。人体电阻主要由表皮电阻和体内电阻构成，体内电阻一般较为稳定，约为 500Ω 左右，表皮电阻则与表皮湿度、粗糙程度、触电面积等有关。一般人体电阻在 $1 \sim 3\text{k}\Omega$ 之间。

通过人体的电流越大，人体的生理反应就越明显，感应就越强烈，引起心室颤动所需的时间就越短，致命的危害就越大。对于工频交流电，按照人体对所通过大小不同的电流所呈现的反应，通常可将电流划分为三级。

（1）感知电流 是指电流流过人体时可引起感觉的最小电流。一般认为是 1mA 。成年

男性平均感知电流约为 1.1mA；成年女性约为 0.7mA。

(2) 摆脱电流 是指人在触电后能够自行摆脱带电体的最大电流。一般认为是 10mA（有效值，下同），成年男性平均摆脱电流约为 16mA；成年女性平均摆脱电流约为 10.5mA。

(3) 致命电流 在较短时间内危及生命的电流，称为致命电流。电流达到 50mA 以上，就会引起心室颤动，有生命危险，100mA 以上的电流，足以致死。而接触 30mA 以下的电流通常不致有生命危险，但也有可能引起二次伤害，造成严重后果。考虑到可能造成严重二次事故的场合，人体允许的工频电流应按不引起强烈痉挛的 5mA 考虑。

2. 电流的类型

工频交流电的危害性大于直流电，因为交流电主要是麻痹破坏神经系统，往往难以自主摆脱。常用的 50~60Hz 的工频交流电对人体的伤害最严重。低于 20Hz 时，危险性相对减小；2000Hz 以上时死亡危险性降低，但容易引起皮肤灼伤。

电流的类型不同对人体的损伤也不同。直流电危险性比交流电小很多。直流电一般引起电伤，而交流电则电伤与电击同时发生。

3. 电流持续的时间

电流对人体的伤害同作用时间密切相关。可以用电流与时间乘积（也称电击强度）来表示电流对人体的危害。人体触电，通过人体电流的持续时间愈长，愈容易引起心室颤动，危险性就愈大。这主要是因为：通电时间越长，触电面要发热出汗，而且电流对人体组织有电解作用，使人体电阻降低，后果严重；另一方面，心脏收缩扩张的间歇对电流最敏感，人的一个心脏搏动周期（约为 750ms）中，有一个 100ms 的易损伤期，若电流在这一瞬间通过心脏，与电伤期相重合即使电流较小，也会引起伤害以及颤动，造成很大的危险。

据调查统计，触电 1~5min 内急救，90% 有良好的效果，10min 内 60% 救生率，超过 15min 希望甚微。

4. 人体的状况

触电伤害程度与人的身体状况有密切关系。除了人体电阻各有区别外，女性比男性对电流敏感性高；遭电击时小孩要比成年人严重；身体患心脏病、结核病、精神病、内分泌器官疾病或醉酒的人，由于抵抗能力差，触电后果更为严重。另外，对触电有心理准备的，触电伤害轻。

皮肤电阻是决定人体电阻的主要因素。人体电阻是不确定的电阻，皮肤干燥时一般为几千欧左右，而一旦潮湿可降到 1000Ω 以下（冬季及皮肤干燥时，人体电阻可达 1.5~7kΩ；皮肤裂开或破损时，电阻可降至 300~500Ω）。

人体阻抗与皮肤状态的关系：

- ① 角质层损伤，将使人体阻抗大大下降；
- ② 皮肤潮湿将使人体阻抗下降；
- ③ 汗液将使人体阻抗下降；
- ④ 皮肤受到污染，尤其是导电性物质的污染将会使人体阻抗下降。

人体并非纯电阻，而是由电阻与电容组成的阻抗（因人体为一有机体，因此存在少量的电容分量）。人体电容只有数皮法至数微法，工频条件下可以忽略不计，将人体阻抗看作纯电阻。

人体电阻是皮肤电阻与体内电阻之和。皮肤由外层的表皮和表皮下面的真皮组成。表皮

最外层的角质层是由鳞状死细胞紧密排列成的膜状物，厚度一般不超过 0.05 ~ 0.2mm。在干燥和干净的状态下，角质层的电阻率可达 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \Omega \cdot m$ ，表皮电阻高达数万欧。但表皮有很多微孔保持内外相通，而且容易受到机械破坏和电击穿，计算人体电阻时一般不予考虑。体内电阻约为数百欧。

在通电瞬间，人体各部分电容由于尚未充电而相当于短路状态。此时的人体电阻近似等于体内电阻。人体阻抗主要由电流通过人体的路径、接触电压大小、电流持续时间、电源频率、皮肤潮湿程度、接触面积、施加的压力、温度等因素决定。接触电压在 50V 以下时，人体总阻抗有很大的变化，随着接触电压的增加，人体总阻抗与皮肤阻抗的关系越来越小，皮肤被击穿后人体总阻抗接近人体内阻抗。同样的条件下，直流时人体所呈现的总阻抗高于交流时的总阻抗，也就是说人体总阻抗会随着电流频率的上升而减小。

5. 电流通过人体的途径

电流由一手流入，另一手或一足流出，电流通过心脏，即可立即引起室颤；通过左手触电比通过右手触电严重，因为这时心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电路内；电流自一足流入经另一足流出，通过心脏很少，造成局部烧伤，对全身影响较轻；电流通过头部会使人昏迷；电流通过脊髓会使人截瘫，电流通过中枢神经会引起中枢神经系统严重失调而导致死亡。

因此，从左手到胸部是最危险的电流路径；从手到脚（尤其是从左手至右脚）也是很危险的电流路径；从脚到脚是危险性较小的电流路径。总之，流过心脏的电流越大，越危险。

二、触电事故种类

电流伤害事故俗称触电，即当人体触及带电体承受过高的电压而导致死亡或局部受伤的现象。按照触电事故的构成方式，触电事故可分为电击和电伤。

1. 电击

电击是电流流过人体，直接对人体的器官和神经系统造成的伤害。它是最危险的触电事故。绝大多数（大约 85% 以上）的触电死亡事故都是由电击造成的。电击会使肌肉发生痉挛，如果不能立刻脱离电源，电流将伤害到神经中枢，引起呼吸困难、心脏麻痹，以致死亡。

电击多发生在对地电压为 220V 的低压线路或带电设备上，因为这些带电体是人们日常工作和生活中易接触到的。调查表明，绝大部分的触电事故都是由电击造成的。

电击的主要特征：伤害人体内部，造成人体生理性伤害；在人体的外表没有显著的痕迹；致命电流较小。

2. 电伤

电伤是电能转化为其他形式的能量对人体造成的伤害。人体与高压带电体距离近到一定程度，使这个间隙空气电离，产生弧光放电对人体造成伤害，温度可达 3000℃，不仅直接作用于人体可造成使皮肤灼伤甚至穿孔，而且在电弧的作用下导体金属蒸发附着在皮肤上或渗透到皮肤内，造成皮肤金属化。

由于电流的热效应、化学效应、机械效应以及在电流的作用下使熔化或蒸发的金属微粒等侵入人体皮肤，使皮肤局部发红、起泡、烧焦或组织破坏，严重时危及生命。电伤多发生

在 1000V 及 1000V 以上的高压带电体上。

电灼伤是由电流的热效应引起，只要是电弧灼伤，就会造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；电烙印由电流热效应或力效应引起，是皮肤被电气发热部分烫伤或由于人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块，使皮肤变色等；皮肤金属化是由电流热效应和化学效应导致融化的金属微粒渗入皮肤表层，使受伤部位皮肤带金属颜色且留下硬块。电灼伤、电烙印、皮肤金属化，也可能一次触电后同时出现。

触电伤亡事故中，纯电伤性质的及带有电伤性质的约占 75%（电烧伤约占 40%）。电击伤中约 70% 含有电伤成分。

注意：触电事故伴随着高空坠落或摔跌等机械性创伤，这类创伤起因是触电，不属于电流对人体的直接伤害，称为触电的二次事故。

三、人体触电的方式

按照发生触电时电气设备的状态，触电可分为直接接触（单相触电、两相触电）和间接触电（跨步电压触电、其他触电形式）两种方式。

直接接触——指人体直接接触或过分靠近运行着的电气设备及线路的带电导体而发生的触电。

间接触电——指人体触及了在正常运行时不带电，而在意外情况下带电的金属部分的触电以及其他触电形式触电（感应电压触电、剩余电荷触电、静电触电、雷电电击等）。

1. 直接接触

（1）单相（线）触电 是指人在地面上或其他接地导体上，人体某一部分触及一相带电体的触电事故。对于高压，人体虽然没有触及，但因超过了安全距离，高电压对人体产生电弧放电，也属于单相触电。单相触电分为电源中性点接地的单相触电（占多数）和电源中性点不接地的单相触电。

① 电源中性点接地的单相触电，如图 1-2-1 所示。

这时人体处于相电压下，危险较大。

通过人体的电流：

$$I_b = \frac{U_p}{R_0 + R_b} = 219\text{mA} \gg 50\text{mA}$$

式中 U_p ——电源相电压（220V）；

R_0 ——接地电阻， $\leq 4\Omega$ ；

R_b ——人体电阻， 1000Ω 。

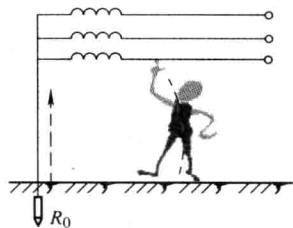


图 1-2-1 电源中性点接地的单相触电

② 电源中性点不接地系统的单相触电，如图 1-2-2 所示。

人体接触某一相时，通过人体的电流取决于人体电阻 R_b 与输电线对地绝缘电阻 R' 的大小。若输电线绝缘良好，绝缘电阻 R' 较大，对人体的危害性就减小。但导线与地面间的绝缘可能不良（ R' 较小），甚至有一相接地，这时人体中就有电流通过。

（2）两线触电 两线触电也叫相间触电，如图 1-2-3 所示。这是指在人体与大地绝缘的情况下，同时接触到两根不同的相线，或者人体同时触及到电气设备的两个不同相的带电部位时，电流由一根相线经过人体到另一根相线，形成闭合回路。人体承受的线电压将比单相触电时高，危险性更大。

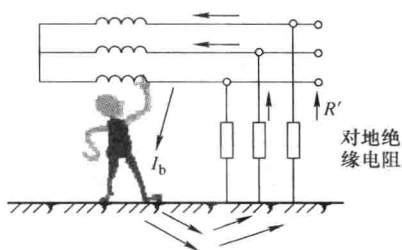


图 1-2-2 电源中性点不接地系统的单相触电

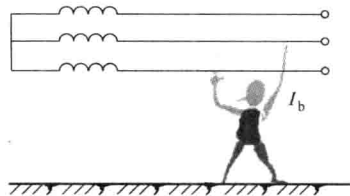


图 1-2-3 相间触电

这时人体处于线电压下，通过人体的电流：

$$R_b = \frac{U_1}{R_b} = \frac{380V}{1000\Omega} = 0.38A = 380mA \gg 50mA, \text{ 触电后果更为严重}$$

式中 U_1 ——电源线电压 (380V)；

R_b ——人体电阻，1000Ω。

防止触电的措施：从安全防护的角度而言，为防止直接接触电，在带电作业中，应穿绝缘靴，并站在绝缘台、垫上工作（提高人体与大地间的电阻）；使用带绝缘柄的工具操作，还应戴手套、穿长袖工作服，以不使人体有裸露的部位直接接触及带电体。

实例解析：人体接触 220V 裸线触电，而小鸟儿两脚站在高压裸线上却无事，这是为什么？（ ）

- A. 鸟儿电阻小
- B. 鸟儿干燥不导电
- C. 鸟儿两只脚在同一根线上
- D. 鸟儿体积小

分析：人和鸟都是导体，人站在地上和 220V 相线接触造成触电事故，高压电线上的电压是指两根高压线之间或高压线与地面之间的电压，鸟儿两只脚站在同一根高压线上且靠得很近，电压差很小，通过鸟儿身体的电流也就很小，故无触电感觉。

在电线与接地的金属器件之间安装驱鸟器，防止鸟将两者短路，既保护鸟，又保护线路，如图 1-2-4 所示。

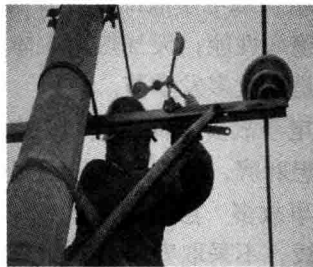
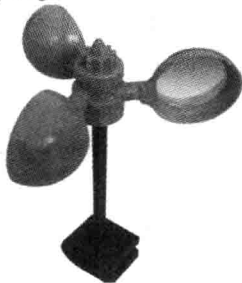


图 1-2-4 驱鸟器及其安装

2. 间接触电

(1) 接触正常不带电的金属体 当电气设备内部绝缘损坏而与外壳接触，将使其外壳

带电。当人触及带电设备的外壳时，相当于单相触电。大多数触电事故属于这一种。

(2) 跨步电压触电 跨步电压触电是指高压电网接地点或防雷接地点及高压相线断落或绝缘损坏处，有电流流入地下时，强大的电流在接地点周围的土壤中产生电压降。如图 1-2-5 所示，接地点的电位即导线电位，地表面也形成以接地点为圆心的径向电位差以指数曲线分布，在离接地点 20m 以外又回到零电位。距离接地点越近，人体承受的跨步电压越大；离接地点越远，电位越低。如果人行走时前后两脚间（一般按 0.8m 计算）电位差达到危险电压而造成触电，称为跨步电压触电。理论上，在离导线落地点 20m 以外的地方，由于半径 20m 的半球面面积极大，土壤电阻近似为零，地面的电位近似等于零。所以，当有 10kV 导线落地时，人距接地点，在室外应不少于 8m，在室内应不少于 4m，雷雨天气还应适当加大距离（该范围外到 20m 间，还有跨步电压，但较小了）。

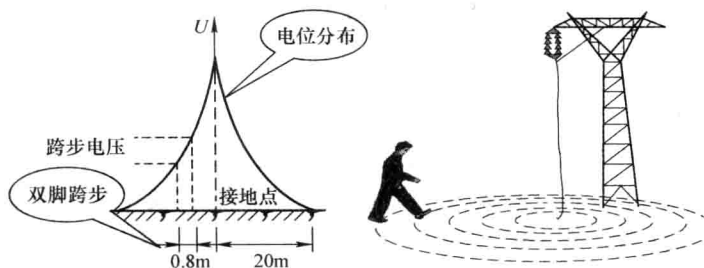


图 1-2-5 跨步电压触电

如果误入接地点附近，应双脚并拢或单脚跳出危险区。从安全防护的角度而言，在查找接地故障点时，应穿绝缘靴，以防遭受跨步电压的电击。如还要接触金属构架、设备外壳时，还必须戴绝缘手套。

(3) 剩余电荷触电 剩余电荷触电是指当人触及带有剩余电荷的设备时，带有电荷的设备对人体放电造成的触电事故。设备带有剩余电荷，通常是由于检修人员在设备退出运行后没有对其充分放电，或在检修中对停电后的并联电容器、电力电缆、电力变压器及大功率电动机等设备进行试验、摇测后没有对其充分放电所造成的。

四、触电事故规律

(1) 季节性 根据触电事故的统计表明二、三季度事故较多，主要是夏秋季天气多雨、潮湿，降低了电气绝缘性能，天气热，人体多汗衣单，降低了人体电阻，这段时间是施工和农忙的好季节，也是事故多发季节。

(2) 低电压触电事故多 低压电网、电气设备分布广，人们接触使用 500V 以下电器较多，由于人们的思想麻痹，缺乏电气安全知识，导致事故多。

(3) 单相触电事故多 触电事故中，单相触电要占 70% 以上，往往是非持证电工或一般人员私拉乱接电线，不采取安全措施而造成事故。

(4) 触电者中青年人居多 这说明安全与技术是紧密相关的，工龄长、工作经验丰富、技术能力强、对安全工作重视，出事故的可能性就小。

(5) 事故多发生在电气设备的连接部位 由于该部位紧固件松动、绝缘老化、环境变化和经常活动，会出现隐患或发生触电事故。

(6) 呈显行业特点 冶金行业的高温和粉尘,机械行业的场地金属占有系数高,化工行业的腐蚀与潮湿,建筑行业的露天分散作业,安装行业的高空移动式用电设备等,由于用电环境的恶劣条件,都是容易发生事故的地方。

(7) 违章操作容易发生事故 这在拉临时线路、易燃易爆场所、带电作业和高压设备上操作等情况下最明显。

任务三 防触电技术

电击预防技术包括直接接触电击预防技术和间接接触电击预防技术。

一、直接接触电击预防技术

直接接触电击预防技术(最常见的安全措施)分为绝缘、屏护和间距3类。

1. 绝缘

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来,防止人体触及带电物体。瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸和矿物油等都是常用的绝缘材料。应当注意:很多绝缘材料受潮后会丧失绝缘性能或在强电场作用下会遭到破坏而丧失绝缘性能。

(1) 绝缘材料的特性 绝缘材料品种很多,通常可分为三种。

① 气体绝缘材料:空气、氮气、氢气、二氧化碳、六氟化硫等。

② 液体绝缘材料:矿物油(如变压器油、开关油、电容器油、电缆油等),硅油,蓖麻油,十二烷基苯、聚丁二烯、三氯联苯等合成油等。

③ 固体绝缘材料:绝缘纤维制品(如纸,纸板)、绝缘浸渍纤维制品(如漆,漆布和绑扎带)、绝缘漆、绝缘胶、熔断粉、绝缘云母制品、电工用薄膜、复合制品和粘带,以及电工用层压制品、电工用塑料和电工用橡胶及玻璃制品等。

绝缘材料所能承受的电压超过某一数值时,在强电场的作用下,会在某些部位发生放电,使其绝缘性能遭到破坏。这种放电现象叫做电击穿。固体绝缘击穿后,一般不能恢复绝缘性能;气体绝缘在击穿电压消失后,绝缘性能还能恢复;液体绝缘一般是沿电极间气泡、固体杂质等连成的“小桥”击穿。液体多次击穿可能导致液体失去绝缘性能。

(2) 绝缘材料的性能指标 绝缘材料的绝缘性能是以绝缘电阻、泄漏电流、击穿强度、介质损耗等指标来衡量的,通过绝缘试验来判定的。绝缘电阻是最基本的绝缘性能指标。绝缘电阻值是直流电压与流经绝缘体表面泄漏电流之比。绝缘电阻越大,绝缘性能越好。不同的电气设备和线路对绝缘电阻有不同要求的指标值。一般来说,高压的比低压的要求高,新设备比老设备要求高。

(3) 加强绝缘的措施 绝缘加强是用于小型电气设备或小容量电气线路防止间接接触电的安全措施,包括双重绝缘、加强绝缘和另加总体绝缘三种绝缘结构形式。

双重绝缘指基本绝缘和保护绝缘。前者是保证设备正常工作和防止触电的基本绝缘,后者是当基本绝缘损坏后用于防止触电的绝缘。单一的加强绝缘应具有双重绝缘同等的绝缘水平,另加总体绝缘是指若干设备在其本身工作绝缘的基础上另外装设一套防止触电的附加绝缘物。具有双重绝缘和加强绝缘设备属于Ⅱ类设备,在其外壳明显部位应有“回”形标志,Ⅱ类设备不必接地或接零。