



全国电力职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业培训用书

# 电工技术

杨宏军 主编  
余柏林 高建华 章 章 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材  
职业教育电力技术类专业培训用书

# 电工技术

|     |     |     |     |  |
|-----|-----|-----|-----|--|
| 主 编 | 杨宏军 |     |     |  |
| 副主编 | 余柏林 | 高 建 | 华 章 |  |
| 编 写 | 王玉婷 | 徐艺榕 | 刘 源 |  |
|     | 李亚平 | 周雪莲 |     |  |
| 主 审 | 曾照香 | 张晓伟 |     |  |



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

全书共分为八章，主要内容有电力安全基础知识、电工工具的使用、电工仪表与测量、导线连接与常用低压电器、室内配线与电气照明、配电线路、三相异步电动机和现场紧急救护。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业教材，也可作为中职教材和工程技术人员的培训教材或参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/杨宏军主编. —北京: 中国电力出版社, 2010.5

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-0344-7

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术-职业教育-教材

IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 071495 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2010年7月第一版 2010年7月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 10.5印张 252千字

定价 16.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前言

---

本教材根据教育部《关于全面推进素质教育、深化职业教育教学改革的意见》，结合当前高等职业教育和企业员工培训的实际情况，力求体现以下特色。

(1) 浅。内容浅显、通俗易懂、便于施教，适合当前及今后一段时期高等职业技术教育和电力系统在岗人员培训的实际。

(2) 宽。适当拓宽课程涉及的知识面，在有限的教学时间内融入相关的知识和能力，力求通过本课程的学习达到既形成熟练的职业技能，又具备一定的适应职业变化的能力。

(3) 新。第一，体现在为了与当前生产力发展和科学技术水平相适应，本教材对新技术、新材料、新产品、新工艺的吸收上；第二，体现在采用新的教材体系以及用新的体系去开发学生的创新意识和创新能力上；第三，本教材是在新的教学思想和新的教学模式的指导下组织教学内容的。

(4) 实。作为一门实践性很强的课程。本教材是在认真分析高职学校毕业生未来就业岗位的基础上，将实际工作中最常见、最实用的职业技能选作训练项目，以便学生走上工作岗位后能尽快进入角色。

(5) 活。第一，本教材编写灵活，适用于不同学校的教学实际情况；第二，体现在可以灵活的适用于不同知识和能力基础，存在个体差异的学生，通过选择模块及第二课堂对第一课堂的补充等方式，便于实现起点不同，基本目标一致的教学效果；第三，体现在可以灵活适用于不同的教学组织形式和不同的教学时数安排；第四，体现在教材图文并茂、形式活泼。通过大量的图、表，使学生对教材产生兴趣，从而调动学生学习的主动性，强化训练效果。

(6) 精。精选教材内容，精减教材篇幅，编者认真筛选了素材，反复提炼了文字，使本教材做到薄而不减少内容，精而不弱化能力。

本书第一章由成都电业局徐艺榕编写，第二章由四川电力职业技术学院王玉婷编写，第三章由四川电力职业技术学院李亚平和周雪莲共同编写，第四章由四川电力职业技术学院高建编写，第五章由四川电力职业技术学院杨宏军编写，第六章由四川电力职业技术学院华章编写，第七章由成都电业局刘源编写，第八章由成都电业局余柏林编写，最后由杨宏军完成统稿，并任主编。淄博职业学院曾照香和四川电力职业技术学院张晓伟任主审。

由于编者水平所限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2010年5月

# 目 录

## 前言

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第一章 电力安全基础知识      | 1   |
| 第一节 安全教育          | 1   |
| 第二节 安全用电常识        | 4   |
| 习题                | 13  |
| 第二章 电工工具的使用       | 14  |
| 第一节 常用电工工具        | 14  |
| 第二节 专用电工工具        | 23  |
| 第三节 防护用具          | 27  |
| 习题                | 32  |
| 第三章 电工仪表与测量       | 33  |
| 第一节 电工仪表的基本知识     | 33  |
| 第二节 数字式仪表         | 35  |
| 第三节 电能表与测量        | 41  |
| 习题                | 47  |
| 第四章 导线连接与常用低压电器   | 48  |
| 第一节 常用导线连接        | 48  |
| 第二节 低压电器的基本知识     | 54  |
| 第三节 常用低压电器        | 61  |
| 习题                | 73  |
| 第五章 室内配线与电气照明     | 75  |
| 第一节 室内配线          | 75  |
| 第二节 照明安装          | 82  |
| 习题                | 90  |
| 第六章 配电线路          | 91  |
| 第一节 线路构成          | 91  |
| 第二节 登杆操作          | 98  |
| 第三节 配电线路材料选择及安装   | 102 |
| 第四节 导线故障及其防止措施    | 125 |
| 第五节 接地装置          | 130 |
| 习题                | 133 |
| 第七章 三相异步电动机       | 135 |
| 第一节 三相异步电动机的分类与结构 | 135 |
| 第二节 三相异步电动机的选择与安装 | 140 |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| 第三节 电动机的运行与维护.....     | 145        |
| 习题.....                | 150        |
| <b>第八章 现场紧急救护.....</b> | <b>151</b> |
| 第一节 触电急救.....          | 151        |
| 第二节 骨折急救.....          | 156        |
| 第三节 烧伤或烫伤急救.....       | 158        |
| 第四节 煤气中毒急救.....        | 159        |
| 习题.....                | 159        |
| <b>参考文献.....</b>       | <b>161</b> |

## 电力安全基础知识

### 第一节 安全教育

#### 一、安全生产的重要性

安全生产是社会主义企业经营管理的的基本原则之一，也是电力生产、基建的基本方针。安全促进生产，生产必须安全。安全生产的重要性表现在以下几个方面。

(1) 电力工业必须坚持“安全第一，预防为主，综合治理”的方针。这是由社会主义企业性质和电力工业的客观规律所决定的，是多年实践经验的积累，甚至是用血的教训总结出来的。

(2) 安全工作是企业经营机制的基础和重要组成部分。当前在深化改革、转换企业经营机制的过程中，一定要进一步健全、完善安全工作机制，在安全上要增强企业的自我约束机制和激励机制。

(3) 搞好安全工作不仅是上级部门和领导的要求，也是各企业对社会发展应承担的责任，更是企业自我发展，提高企业经济效益和社会效益，保证职工生命财产安全的需要。

(4) 安全是企业改革和发展的重要保证，是提高企业经济效益的前提，没有安全就谈不上效益。从电力事故对企业经济效益和社会效益的影响程度上看，安全就是最大的效益。

(5) 就基建安全、质量和速度三者关系看，基建必须在保证安全、质量的基础上，争取缩短工期，做到安全、优质、高效，求得最大的经济效益。当三者发生矛盾时，要坚持一安全、二质量、三速度，即始终应把安全摆在第一位，切不可为了抢进度而忽视安全。

以上几点说明安全对国家、企业和个人都是十分重要的，安全生产可以说是电力工业的生命，是职工及其家庭幸福常乐的保证，是电力工业效益稳步增长的重要条件，是促进电力工业迅速发展，从而最大限度地满足国民经济高速发展的重要手段。

党和各级政府历来都十分重视安全工作，一直把安全生产放在各项工作的首位。现已建立了一整套有关安全生产的法令法规，这对提高电力生产安全、防止发生各类事故起了积极作用，使电力安全生产水平不断提高。

但是，有的单位领导对安全工作的认识水平还不够高，把安全工作的位置摆得不够正，甚至还没有把安全工作纳入重要议事日程；有的单位抓劳动纪律的工作不能做到经常化、制度化，致使规章制度和安全措施得不到很好的执行；有的职工文化素质低，安全意识淡薄，违章指挥、违章作业，甚至蛮干等，以致伤亡事故和误操作事故时有发生。

为了加速四化建设，搞好电力生产、基建各项工作，保障国家财产和人身安全，广大电业职工，一定要牢固树立“安全第一，预防为主，综合治理”的思想，扎实的把安全生产搞好。

#### 二、安全责任

电力生产、基建部门必须依靠各级领导和全体职工的共同努力才能实现安全生产，上下左右之间，哪个环节衔接不上，都会妨碍安全生产，所以生产过程中的每个人员都要对安全负责，这已经形成一种制度，即安全生产责任制。

### 1. 安全生产责任制

安全生产责任制是生产经营单位岗位责任制和经济责任制的重要组成部分，是生产经营单位各项安全生产规章制度的核心，同时也是生产经营单位最基本的安全管理制度。

(1) 建立安全生产责任的意义。建立安全生产责任制的重要意义主要体现在两个方面：一是落实我国安全生产方针和有关安全生产法规和政策的具体要求，《安全生产法》第四条明确规定：“生产经营单位必须建立、健全安全生产责任制”；二是通过明确责任使各级各类人员真正重视安全生产工作，对预防事故和减少损失、进行事故调查处理、建立和谐社会等均具有重要作用。

(2) 安全生产责任制的主要内容。安全生产责任制的主要内容包括两个方面：一是横向到边，即各职能部门（包括党、政、工、团）的安全生产职责。在建立责任制时，可按照本单位职能部门的设置（如安全、设备、计划、技术、生产、基建、人事、财务、设计、档案、培训、党办、宣传、工会、团委等部门），分别对其在安全生产中应承担的职责作出规定。二是纵向到底，即从上到下所有类型人员的安全生产职责。在建立责任制时，可首先将本单位从主要负责人一直到岗位工人分成相应的层级，然后结合本单位的实际工作，对不同层级的人员在安全生产中应承担的职责作出规定。

### 2. 《电力法》有关责任事故惩处的条文

《电力法》中针对电力管理部门工作人员玩忽职守以及电力企业职工违反规章制度造成责任事故者，制定了以下有关依法惩处的条文：

第七十三条 电力管理部门的工作人员滥用职权，玩忽职守、徇私舞弊，构成犯罪的，依法追究刑事责任；尚不构成犯罪的，依法给予行政处分。

第七十四条 电力企业职工违反规章制度、违章调度或者不服从调度指令，造成重大事故的，比照《刑法》第一百一十四条的规定追究刑事责任。

电力企业职工故意延误电力设施抢修或者抢险救灾供电，造成严重后果的，比照《刑法》第一百一十四条的规定追究刑事责任。

电力企业的管理人员和查电人员、抄表收费人员勒索用户、以电谋私，构成犯罪的，依法追究刑事责任；尚不构成犯罪的给予行政处分。

上述法律文件的条款表明国家将安全生产纳入了法制的范畴，一旦发生责任事故，无论是否造成人身伤亡或设备损坏等，都视情节严重程度给予法律制裁或行政纪律惩处。

## 三、安全生产法律体系与工伤保险条例

### (一) 安全生产法律体系

安全生产法律体系的构建尚在研究和探索之中，现从法的不同层级（上位法与下位法）上来认识我国安全生产法律体系的基本框架。

#### 1. 法律

法律是安全生产法律体系中的上位法，居于整个体系的最高层级，其法律地位和法律效力高于行政法规、地方性法规、部门规章、地方政府规章等下位法。国家现行的有关安全生产的专门法律主要有《安全生产法》、《消防法》等；与安全生产相关的法律主要有《劳动法》、《职业病防治法》、《电力法》等。

#### 2. 法规

安全生产法规分为行政法规和地方性法规。



(1) 行政法规。行政法规的法律地位和法律效力低于有关的法律，高于地方性法规、地方政府规章等下位法。

(2) 地方性法规。地方性法规的法律地位和法律效力低于有关法律、行政法规，高于地方政府规章。

### 3. 规章

安全生产行政规章分为部门规章和地方政府规章。

(1) 部门规章。国务院有关部门依照安全生产法律、行政法规的规定或国务院的授权制定发布的安全生产规章的法律地位和法律效力和法律效力低于法律、行政法规，高于地方政府规章。

(2) 地方政府规章。地方政府安全生产规章是最底层级的安全生产立法，其法律地位和效力低于其他上位法，不得与上位法相抵触。

### 4. 法定安全生产标准

法定安全生产标准主要指强制性的安全生产标准，包括国家标准和行业标准。

(1) 国家标准。安全生产国家标准是指国家标准化行政主管部门依照《标准化法》制定的在全国范围内适用的安全生产技术规范。

(2) 行业标准。安全生产行业标准是指国务院有关部门和直属机构依照《标准化法》制定的在安全生产领域适用的安全技术规范。

## (二) 工伤保险条例

2003年4月27日国务院第375号令公布《工伤保险条例》，自2004年1月1日起施行。《工伤保险条例》的立法目的是保障因工作遭受事故伤害或者患职业病的职工获得医疗救治和经济补偿，促进工伤预防和职业康复，分散用人单位的工伤风险。

### 1. 工伤保险的适用范围

《工伤保险条例》第二条规定，中华人民共和国境内的各类企业、有雇工的个体工商户必须依照本条例规定参加工伤保险，为本单位全部职工或者雇工缴纳工伤保险费。中华人民共和国境内的各类企业的职工和个体工商户的雇工，均有依照本条例享受各项工伤保险待遇的权利。

工伤保险适用于中华人民共和国境内各类企业和有雇工的个体工商户从事生产经营的场所及其相关场所。工伤保险的主体中的各类企业不仅包括中国企业，也包括外国在华开办的“三资企业”。凡是在工作时间和工作场所内工作、从事与本职工作及其有关的其他工作时受到事故伤害、意外伤害，因公外出受到伤害和上下班途中受到机动车伤害以及患职业病的全体职工和雇工，依法享有获得工伤保险补偿的权利。工伤保险适用的地域范围只限于因公活动所及的场所，超出这些场所得范围所受到的人身伤害，不属于工伤保险的范围。

### 2. 工伤和劳动能力鉴定的规定

(1) 工伤范围。《工伤保险条例》第十四条规定，职工有下列情形之一的，应当认定为工伤：

1) 在工作时间和工作场所内，因工作原因受到事故伤害的。

2) 在工作时间前后和工作场所内，从事与工作有关的预备性或者收尾性工作受到事故伤害的。

3) 在工作时间和工作场所内，因履行工作职责受到暴力等意外伤害的。

- 4) 患职业病的。
- 5) 因工外出期间, 由于工作原因受到伤害或者发生事故下落不明的。
- 6) 在上下班途中, 受到机动车事故伤害的。
- 7) 法律、行政法规规定应当认定为工伤的其他情形。

(2) 视同工伤。《工伤保险条例》第十五条规定, 职工有下列情形之一的, 视同工伤:

- 1) 在工作时间和工作岗位, 突发疾病死亡或者在 48h 之内经抢救无效死亡的。
- 2) 在抢险救灾等维护国家利益和公共利益活动中受到伤害的。

3) 职工原在军队服役, 因战、因工负伤致残, 已取得革命伤残军人证, 到用人单位后旧伤复发的。

职工有前款第一项、第二项情形的, 按照本条例的有关规定享受工伤保险待遇; 职工有前款第三项情形的, 按照本条例的有关规定享受一次性伤残补助金以外的工伤保险待遇。

《工伤保险条例》规定, 因犯罪或者违反治安管理伤亡的、醉酒导致伤亡的、自残或者自杀的等情形, 不得认定为工伤或者视同工伤。

(3) 工伤认定申请。职工发生事故或者按职业病防治法规定被诊断、鉴定为职业病, 所在单位应当自事故发生之日或被诊断、鉴定职业病之日起 30 日内, 向统筹地区劳动保障行政部门提出工伤认定申请。遇有特殊情况, 经报劳动保障部门同意, 申请时限可以适当延长。用人单位未按上述规定提出工伤认定申请的, 工伤职工或者其直系亲属、工会组织在事故发生之日或被诊断、鉴定职业病之日起 1 年内, 可以直接向用人单位所在统筹地区劳动保障行政部门提出工伤认定申请。

## 第二节 安全用电常识

电流对人体会造成多种伤害, 如伤害呼吸、心脏和神经系统, 使人体内部组织破坏, 乃至最后死亡。当电流流经人体时, 人体会产生不同程度的刺痛和麻木, 并伴随不自觉的肌肉收缩。

### 一、电流对人体的伤害

电流通过人体时, 对人体伤害的严重程度与通过人体电流的大小、频率、流经途径以及人体状况等多种因素有关, 而且各种因素之间有着十分密切的关系。

#### 1. 危害程度与电流大小的关系

电流通过人体, 人体会有麻、痛等感觉, 更严重者会引起颤抖、痉挛、心脏停止跳动乃至死亡。通过人体的电流越大, 人体的生理反应越明显, 人的感觉越强烈。

对于工频交流电, 按照通过人体电流大小的不同以及人体所呈现的不同状态, 可将电流分为以下三级。

(1) 感知电流。感知电流是人能感觉到的最小电流。实验资料表明, 对不同的人感知电流也不同: 成年男性平均感知电流为 1.1mA; 成年女性约为 0.7mA。

(2) 摆脱电流。摆脱电流是人触电以后能自主摆脱电源的最大电流。实验资料表明, 对于不同的人, 摆脱电流也不相同: 成年男性的平均摆脱电流约为 16mA; 成年女性约为 10.5mA。成年男性的最小摆脱电流约为 9mA; 成年女性的最小摆脱电流约为 6mA (最小摆脱电流是按 0.5% 的概率考虑的)。

(3) 致命电流。致命电流是指在较短的时间内危及生命的最小电流。在电流不超过数百毫安的情况下, 电击致死的主要原因是电流引起心室颤动或窒息造成的。因此, 可以认为引起心室颤动的电流即是致命电流。

心室颤动电流与通过时间有关, 如通电时间超过心脏搏动周期时, 心室颤动电流仅数十毫安(一般认为是 50mA 以上)。如通电时间小于心脏搏动周期, 但超过 10ms, 并发生在心脏搏动周期的特定时刻(即易激期)时, 心室颤动电流在数百毫安以上。

#### 2. 伤害程度与通电时间的关系

通电时间越长, 越容易引起心室颤动, 电击危险性也越大, 其原因如下。

(1) 通电时间越长, 能量的积累增加, 引起心室颤动的电流减小。

(2) 通电时间短促时, 只在心脏搏动的特定时刻才可能引起心室颤动。因此通电时间越长, 与该时刻重合的可能性越大, 亦即电击的危险性也越大。

(3) 通电时间越长, 人体电阻因出汗等原因而降低, 导致通过人体的电流进一步增加, 电击危险性亦随之增加。

#### 3. 伤害程度与电流途径的关系

(1) 电流通过心脏会引起心室颤动, 促使心脏停止跳动, 中断血液循环, 导致死亡。

(2) 电流通过中枢神经或有关部位, 会引起中枢神经严重失调而导致死亡。

(3) 电流通过脊髓, 可导致半截肢体瘫痪。

(4) 从左手到胸部, 电流途经心脏而且途径也最短, 是最危险的电流途径; 从手到手, 电流也途经心脏, 因此也是很危险的电流途径; 从脚到脚的电流是危险性较小的电流途径, 但可能因痉挛而摔倒, 并可能导致电流通过全身或摔伤、坠落等二次事故。

#### 4. 伤害程度与电流种类的关系

以上介绍的是工频电流对人体的伤害作用。直流电流、高频电流、冲击电流和静电电荷对人体的伤害程度, 一般较工频电流为轻。以下着重介绍此 4 种电流对人体伤害的情况。

(1) 直流电流对人体的作用。直流电流的最小感知电流男性约为 5.2mA, 女性约为 3.5mA; 平均摆脱电流男性约为 76mA, 女性约为 51mA; 可能引起心室颤动的电流, 通电时间 0.03s 时约为 1300mA, 通电时间 3s 时约为 500mA。

(2) 高频电流对人体的作用。由于电流的频率不同, 对人体的伤害也不同, 25~300Hz 交流电对人体的伤害最严重, 1000Hz 以上时, 其伤害程度将明显减轻, 但是高压高频电流也有电击致命的危险。10 000Hz 高频交流电, 最小感知电流对于男性约为 12mA, 对女性约为 8mA; 平均摆脱电流, 对于男性约为 75mA, 女性约为 50mA; 可能引起心室颤动的电流, 通电时间 0.03s 时约为 1000mA, 通电时间 3s 时约为 500mA。

(3) 冲击电流和静电电荷对人体的伤害。雷电和静电都能产生冲击电流, 冲击电流能引起强烈的肌肉收缩, 给人以冲击的感觉, 使人有冲击感觉的最小电流为数十毫安以上; 而静电电荷对人体的伤害随着静电能量的增大而加剧。

#### 5. 伤害程度与人体状况的关系

随着人体条件的不同, 不同的人对电流的敏感程度以及不同的人在遭受同样电流的电击时其危险程度都不完全相同: 女性对电流较男性敏感, 女性的感知电流和摆脱电流约比男性低 1/3; 小孩的摆脱电流较低, 遭受电击时比成人危险; 人体患有心脏病时, 受电击伤害比健康人严重。

## 二、安全电压的规定

安全电压是制定安全措施的依据，安全电压决定于人体允许的电流和人体电阻。

### 1. 人体允许电流

在装有防止触电的速断保护装置の場合，人体允许电流可按 30mA 考虑；在空中、水面可能因电击造成二次事故の場合，则按 5mA 考虑。但这里所指的人体允许电流，并不是人体长时间能够承受的电流。

### 2. 人体电阻

人体电阻主要由体内电阻、皮肤电阻组成。体内电阻基本上不受外界因素的影响，其数值约为  $500\Omega$ ；皮肤电阻随着条件的不同，可在很大范围内变化，使得人体电阻也在很大范围内变化。在计算人体电阻时，一般按不低于  $1000\Omega$  考虑。

影响人体电阻的因素很多，下列情况都将引起人体电阻值的降低：皮肤角质层薄，皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电粉尘，接触面积加大，接触压力增加，通过的电流增大，通电的时间加长，接触电压增高等。

### 3. 安全电压值

我国规定的安全电压值过去多采用 36V 和 12V，1983 年我国已正式颁布 GB 3805—1983《安全电压标准》（已废止）。为有力贯彻执行这一标准，以下就有关内容进行介绍。

（1）安全电压的定义。为了防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压系列。这个电压系列的上限值，在正常和故障情况下，任何两导体间或任一导体与地之间均不得超过交流（50～500Hz）有效值 50V。

1) 除采用独立电源外，安全电压的供电电源的输入电路与输出电路必须实行电路上的隔离。

2) 工作在安全电压下的电路，必须与其他电气系统、任何无关的可导电部分实行电气上的隔离。

（2）安全电压的等级及选用举例，见表 1-1。

表 1-1 安全电压的等级及选用举例

| 安全电压（交流有效值） |          | 选用举例                 |
|-------------|----------|----------------------|
| 额定值（V）      | 空载上限值（V） |                      |
| 42          | 50       | 在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等 |
| 36          | 43       | 在矿井、多导电粉尘等场所使用的照明灯等  |
| 24          | 29       | 可供某些人可能偶然触及的带电体的设备选用 |
| 12          | 15       |                      |
| 6           | 8        |                      |

（3）对《安全电压标准》做几点说明。

1) 该标准不适用于水下等特殊场所和有带电部分能伸入人体的医疗设备。

2) 当电气设备采用 24V 以上安全电压时，必须采取防止直接接触带电体的保护措施，其电路必须与大地绝缘。

3) 安全电压的选用及使用条件，由各主管部门根据实际情况予以具体规定。

4) 该标准只规定交流电的安全电压，而直流电的安全电压待以后补充制定。

这里简要介绍一下国际电工委员会有关安全电压的规定。国际电工委员会曾规定接触电压的限定值为 50V 和 25V, 该规定是以人体允许电流与人体电阻的乘积为依据的。50V 一级大体相应于人体允许电流 30mA、人体电阻 1700Ω 的情况, 即相应于危险环境的安全电压。25V 一级大体相应于人体允许电流 30mA、人体电阻 650Ω 的情况, 即相应于特殊环境的安全电压。此后, 则又取消 25V 一级, 并规定 25V 以下者不需要考虑其他防止电击的措施。此外, 有的国家还规定有 2.5V 一级安全电压, 这一级大体相应于人体允许电流 5mA、人体电阻 500Ω 的情况, 即相应于大部浸入水中、且不能摆脱带电体或强烈痉挛导致的二次事故。

### 三、电气安全距离

#### 1. 电气安全距离的制定

为了防止人体过分接近带电体而造成触电, 以及带电体之间发生放电和短路现象, 均需在带电导体与附近接地的物体、地面、不同相带电导体以及人体之间, 保持一定的距离, 当上述各实际距离大于这个距离时, 人体及设备才是安全的, 这个距离称为安全距离。安全距离的大小决定于电压的高低、设备的类型、安装的方式等因素。

安全距离不仅要保证在各种可能的最大工作电压或过电压的作用下不发生闪络放电, 还应保证工作人员在对设备巡视、操作、维护时的绝对安全。

根据《高压配电装置设计技术规程》和《电业安全工作规程》介绍 4 个方面的安全距离的规定。

(1) 设备带电部分至接地部分和设备不同相带电部分间的安全距离 (A)。上述安全距离, 随电压等级不同而异, 其具体数值见表 1-2。

表 1-2 各种不同电压等级的 A 值 (cm)

| 设备额定电压 (kV)               |    | 1~3 | 10   | 35 | 60 | 110 | 220j* | 330j* | 500j* |
|---------------------------|----|-----|------|----|----|-----|-------|-------|-------|
| 带电部分至接地部分 A <sub>1</sub>  | 屋内 | 7.5 | 12.5 | 30 | 55 | 95  | 180   | 260   | 380   |
|                           | 屋外 | 20  | 20   | 40 | 60 | 100 | 180   | 260   | 380   |
| 不同相的带电部分之间 A <sub>2</sub> | 屋内 | 7.5 | 12.5 | 30 | 55 | 100 |       |       |       |
|                           | 屋外 | 20  | 20   | 40 | 60 | 110 | 200   | 280   | 420   |

注 设备额定电压数字后面的 \* 指中性点直接接地系统。

(2) 设备带电部分至各种遮栏间的安全距离 (B)。因为一般现场遮栏有 3 种, 即遮栏、网状遮栏和板状遮栏, 故安全距离也规定了 3 种, 见表 1-3。

表 1-3 设备带电部分至各种遮栏的安全距离 B 值 (cm)

| 设备额定电压 (kV)              |    | 1~3  | 6  | 10   | 35  | 60  | 110 | 220j* | 330j | 500j |
|--------------------------|----|------|----|------|-----|-----|-----|-------|------|------|
| 带电部分至遮栏 B <sub>1</sub>   | 屋内 | 82.5 | 85 | 87.5 | 105 | 130 | 170 |       |      |      |
|                          | 屋外 | 95   | 95 | 95   | 115 | 135 | 175 | 255   | 335  | 450  |
| 带电部分至网状遮栏 B <sub>2</sub> | 屋内 | 17.5 | 20 | 22.5 | 40  | 65  | 105 |       |      |      |
|                          | 屋外 | 30   | 30 | 30   | 50  | 70  | 110 | 190   | 270  | 500  |
| 带电部分至板状遮栏 B <sub>3</sub> | 屋内 | 10.5 | 13 | 15.5 | 33  | 58  | 98  |       |      |      |

注 设备额定电压数字后面的 \* 指中性点直接接地系统。

(3) 无遮栏裸导体至地面间的安全距离 C 见表 1-4。

表 1-4 无遮栏裸导体至地面间的安全距离  $C$  值 (cm)

| 设备额定电压 (kV)       |    | 1~3   | 6   | 10    | 35  | 60  | 110 | 220j | 330j | 500j |
|-------------------|----|-------|-----|-------|-----|-----|-----|------|------|------|
| 无遮栏裸导体至地面间的距离 $C$ | 屋内 | 237.5 | 240 | 242.5 | 260 | 285 | 325 |      |      |      |
|                   | 屋外 | 270   | 270 | 270   | 290 | 310 | 350 | 430  | 510  | 750  |

(4) 工作人员在设备维护检修时与设备带电部分间的距离。考虑到对设备维护检修时的下述 3 种情况:

- 1) 设备不停电的情况下, 仅对设备进行一般性的检查维护。
- 2) 部分设备停电检修, 而邻近设备带电运行。
- 3) 在设备上带电作业。规定了 3 种安全距离  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ , 具体数值见表 1-5。

表 1-5 工作人员在设备维护检修时与带电部分间的安全距离  $D$  (cm)

| 设备额定电压 (kV)                   | 10 及以下 | 20~35 | 44  | 60  | 110 | 154 | 220 | 330 |
|-------------------------------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 设备不停电时的安全距离 $D_1$             | 70     | 100   | 120 | 150 | 150 | 200 | 300 | 400 |
| 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离 $D_2$ | 35     | 60    | 90  | 150 | 150 | 200 | 300 | 400 |
| 带电作业时人体与带电导体间的安全距离 $D_3$      | 40     | 60    | 60  | 70  | 100 | 140 | 180 | 260 |

所谓一般性的检查维护是指清扫设备基础, 在已接地的注油设备上取油样, 用钳形电流表测量电流等; 检查系指巡视检查, 在设备的固定遮栏外进行。

在高压设备部分停电检修时, 为了保证人身安全, 规定了一个基本的安全距离  $D_2$ , 要求检修时工作人员正常活动范围与设备带电部分的距离不允许小于  $D_2$ , 否则必须将设备全部停电。

由于在带电作业时采取了一系列措施, 所以在保证工作人员安全的基础上, 安全裕度可适当减小一些, 安全距离减小了, 作业范围扩大了, 过去必须停电才能检修的工作, 有的在带电情况下也可以进行, 因而大大减少了停电次数。

## 2. 电力线路间距

(1) 架空线路。架空线路所用导线可以是裸线, 也可以是绝缘线, 但是即使是绝缘线, 如露天架设, 导线绝缘也会因导线发热和经风吹日晒老化损坏。因此, 架空线路的导线与地面、各种工程设施、建筑物、树木、其他线路之间以及同一线路的导线与导线之间均应保持一定的安全距离。除新安装的线路或大修后的线路外, 运行中的旧线路也应保持足够的安全距离。

- 1) 架空线路导线与地面 (或水面) 的安全距离, 不得低于表 1-6 的数值。

表 1-6 导线与地面 (或水面) 的最小距离 (m)

| 线路经过地区           | 线路电压 (kV) |     |     |
|------------------|-----------|-----|-----|
|                  | 1 及以下     | 10  | 35  |
| 居民区              | 6         | 6.5 | 7   |
| 非居民区             | 5         | 5.5 | 6   |
| 不能通航的河、湖 (至冬季水面) | 5         | 5   | 5.5 |
| 交通困难地区           | 4         | 4.5 | 5   |

2) 架空线路导线与建筑物的安全距离。架空线路应尽量避免跨越建筑物, 尤其不应跨越用燃烧材料作屋顶的建筑物。如架空线路必须跨越建筑物时, 应与有关主管部门取得联系并征得同意。架空线路与建筑物的距离不应低于表 1-7 的数值。

3) 架空线路导线与街道或厂区树木的安全距离不应低于表 1-8 的数值。

表 1-7 导线与建筑物的最小距离 (m)

| 线路电压 (kV) | 1 及以下 | 10  | 35  |
|-----------|-------|-----|-----|
| 垂直距离      | 2.5   | 3.0 | 4.0 |
| 水平距离      | 1.0   | 1.5 | 3.0 |

表 1-8 导线与树木的最小距离 (m)

| 线路电压 (kV) | 1 及以下 | 10  | 35  |
|-----------|-------|-----|-----|
| 垂直距离      | 1.0   | 1.5 | 3.0 |
| 水平距离      | 1.0   | 2.0 | —   |

4) 线路导线间的最小安全距离不得低于表 1-9 所列数值。

表 1-9 架空线路导线间最小距离 (m)

| 档距 (m)    | 40 及以下 | 50   | 60   | 70   | 80   | 90  | 100 | 110  | 120  |
|-----------|--------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| 线距电压 (kV) |        |      |      |      |      |     |     |      |      |
| 高压        | 0.6    | 0.65 | 0.7  | 0.75 | 0.85 | 0.9 | 1.0 | 1.05 | 1.15 |
| 低压        | 0.3    | 0.4  | 0.45 | 0.5  |      |     |     |      |      |

注 1. 表中所列数值适用于导线的各类排列方式。

2. 靠近电杆的两导线间的水平距离, 不应小于 0.5m。

5) 同杆线路的导线间最小安全距离。几种线路同杆架设时应与有关主管部门联系并取得同意, 而且必须保证电力线路在通信线路上方, 高压线路在低压线路上方, 其线路间距不应低于表 1-10 所列数值。

表 1-10 同杆线路的最小距离 (m)

| 项目          | 直线杆 | 分支 (或转角) 杆             | 项目    | 直线杆 | 分支 (或转角) 杆 |
|-------------|-----|------------------------|-------|-----|------------|
| 10kV 与 10kV | 0.8 | 0.45/0.60 <sup>①</sup> | 低压与低压 | 0.6 | 0.3        |
| 10kV 与低压    | 1.2 | 1.0                    | 低压与弱压 | 1.5 | 1.2        |

① 转角或分支线横担距上面的横担采用 0.45m, 距下面的横担采用 0.6m。

(2) 接户线和进户线。接户线是指从配电网到用户进线处第一个支持物之间的一段导线; 进户线系指从接户线引入到室内之间的一段导线, 其安全距离分述如下:

- 1) 10kV 接户线对地距离不应小于 4.5m。
- 2) 低压接户线对地距离不应小于 2.75m。
- 3) 低压接户线跨越通车街道时, 对地距离不应小于 6m; 跨越通车困难的街道或人行道时, 不得小于 3.5m。
- 4) 低压接户线与建筑物有关部分的距离, 不应小于下列数值:
  - a. 与接户线下方窗户的垂直距离 30cm。
  - b. 与接户线上方阳台或窗台的垂直距离 80cm。
  - c. 与窗户或阳台的水平距离 75cm。
  - d. 与墙壁、构架的距离 5cm。
 另外, 低压接户线的档距不宜越过 25m, 档距超过 25m 时宜设接户杆。
- 5) 低压接户线的线间距离不应小于表 1-11 所列数值。

表 1-11

低压接户线的线间距离 (m)

| 架设方式   | 档距 (m) | 线间距离 (m) | 架设方式 | 档距 (m) | 线间距离 (m) |
|--------|--------|----------|------|--------|----------|
| 自电杆上到下 | 25 及以下 | 15       | 沿墙敷设 | 6 及以下  | 10       |
|        | 25 以上  | 20       |      | 6 以上   | 15       |

6) 低压进户线管口对地面距离不应小于 2.75m, 高压一般不应小于 4.5m, 进户线进线管口与接户线端头之间的距离一般不应超过 0.5m。

#### 四、人体触电方式

人体触电的基础方式有单相触电、两相触电、跨步电压触电、接触电压触电。此外, 还有人体接近高压触电和雷击触电等。单相与两相触电都是人体与带电体的直接接触触电。

##### 1. 单相触电

单相触电是指人体站在地面或其他接地体上, 人体的某一部分触及一相带电体所引起的触电。单相触电的危险程度与电压的高低、电网的中性点是否接地、每相对地电容量的大小有关, 单相触电是较常见的一种触电事故。

(1) 中性点接地对触电程度的影响。中性点接地系统里的单相触电比中性点不接地系统的危险性大, 在中性点接地时, 如图 1-1 所示, 当人体触及 U 相导线时, 电流将通过人体、大地、接地装置回到中性点, 此时通过人体的电流为

$$I_r = \frac{U_x}{R_g + R_r} \approx \frac{U_x}{R_r} \quad (R_r \gg R_g)$$

式中  $U_x$ ——相电压, V;

$R_g$ ——电网中性点接地电阻,  $\Omega$ ;

$R_r$ ——人体电阻,  $\Omega$ 。

一般  $R_g$  只有几欧, 比  $R_r$  小得多, 故相电压几乎全部加在触电人体上, 对人体造成严重后果。

在日常工作和生活中, 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, 如果绝缘损坏, 带电部分裸露而使外壳、外皮带电, 当人体碰触这些设备时, 就会发生单相触电情况。如果此时人体站在绝缘板上或穿绝缘鞋, 人体与大地间的电阻就会很大, 通过人体的电流将很小, 这时不会发生触电危险。

(2) 在中性点不接地 (对地绝缘) 时, 如图 1-2 所示, 此时, 电流经过人体与其他两相

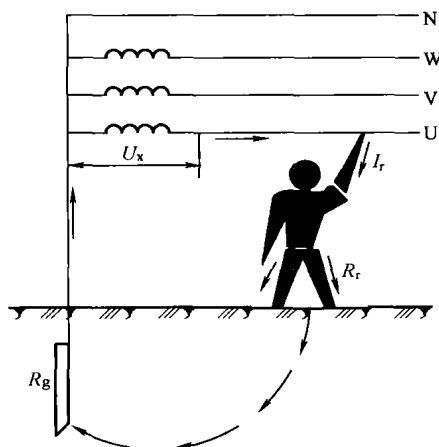


图 1-1 中性点接地的单相触电

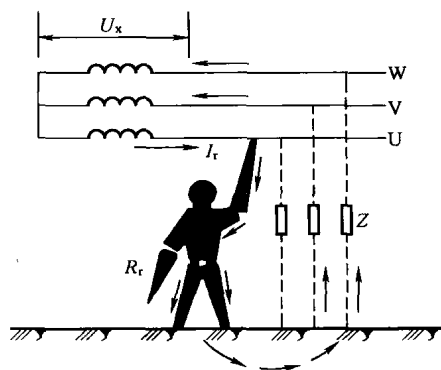


图 1-2 中性点不接地的单相触电



的对地绝缘阻抗  $Z$  而形成回路, 通过人体的电流大小决定于电网电压、人体电阻和导线的对地绝缘阻抗。如果线路的绝缘水平比较高, 绝缘阻抗非常大, 当人体触电以后, 通过人体的电流就较小, 从而降低了人体触电后的危险性。但若线路的绝缘不良时, 则触电后的危险性就较大了。

## 2. 两相触电

两相触电是指人体有两处同时接触带电的任何两相电源时的触电。这时, 无论电网的中性点是否接地、人体与地是否绝缘, 人体都会触电。两相触电情况如图 1-3 所示, 在这种情况下, 电流由一相导线通过人体流至另一相导线, 人体将两相导线短接, 因而处于全部线电压的作用之下, 通过人体的电流为

$$I_r = \frac{U}{R_r} \quad (U \text{ 为线电压})$$

发生两相触电时, 若线电压为 380V, 则流过人体的电流高达 268mA, 这样大的电流只要经过 0.186s 就可能致触电者死亡, 故两相触电比单相触电更危险。

## 3. 跨步电压触电

当电气设备发生接地故障(绝缘损坏)或线路发生一相带电导线断线落在地面时, 故障电流(接地电流)就会从接地或导线落地点向大地流散, 形成如图 1-4 所示的对地电位分布。由图可知, 与电流入地点的距离越小, 点位越高; 反之越低。在远离入地点 20m 以外处, 电位近似为零。如果有人进入 20m 以内区域行走, 其两脚之间(人的跨步一般按 0.8m 考虑)的电位差就是跨步电压, 如图 1-5 所示。由跨步电压引起的触电, 称为跨步电压触电。

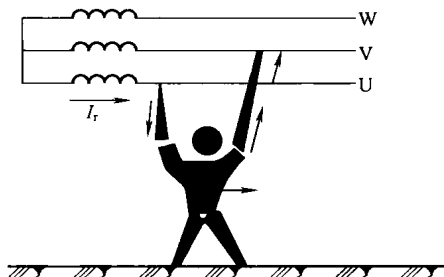


图 1-3 两相触电示意图

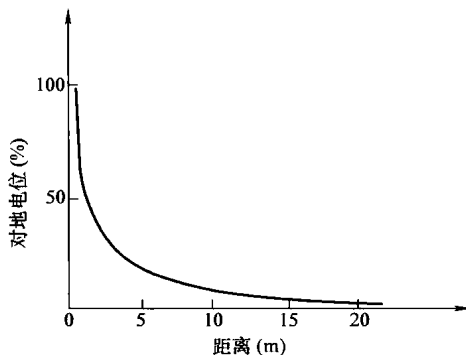


图 1-4 对地电位分布

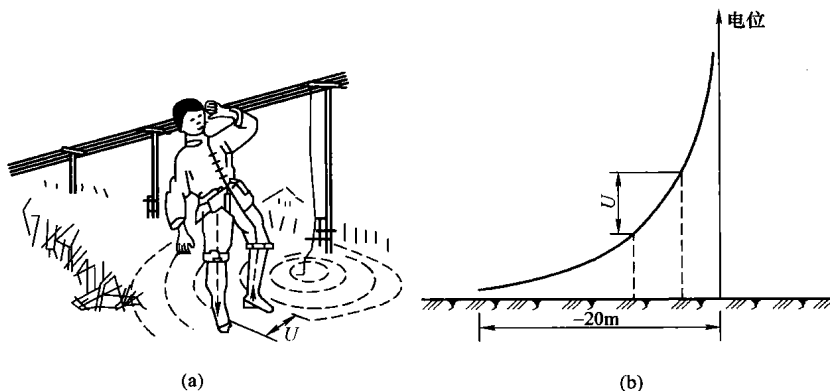


图 1-5 跨步电压示意图

(a) 跨步电压形成; (b) 跨步电压电位分布