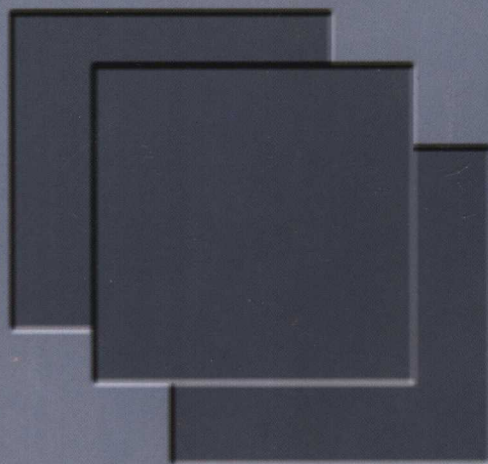




全国高职高专电气类精品规划教材

电工技术技能实训

主编 肖华中 刘文胜



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专电气类精品规划教材

电工技术技能实训

主 编 肖华中 刘文胜

副主编 邱燕雷 姜久超



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材以国家电工职业技能考核标准为依据,主要内容有:安全用电;常用电工工具以及电工仪表的使用;电工基本技能训练;常用低压电器;电机知识;电子技术训练;电动机基本控制线路的安装、调试与维修;常用生产机械电气控制线路的故障分析与处理等。本教材的特点是着重实用技术的传授和动手能力的培养,突出电工操作技能训练,以培养学生在实践中分析问题和处理问题的能力。

本教材内容丰富、深入浅出、实用性强,既可作为电类相关专业的电工技术技能实训教材,也可作为非电类的电工技术培训班教材以及广大电工自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术技能实训/肖华中,刘文胜主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2004
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 7-5084-2316-X

I. 电... II. ①肖...②刘... III. 电工技术—高等
学校:技术学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 079127 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 电工技术技能实训
作 者	主编 肖华中 刘文胜
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16开本 14.25印张 278千字
版 次	2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	24.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

本教材是根据 2003 年 12 月全国高职高专电气类精品规划教材编审会议精神编写的。

电工技术技能实训是高职高专电类和非电类专业中掌握电工技术的重要实践性教学环节。它对学生掌握基本理论,运用基本知识,训练基本技能,增强实际动手能力,达到高职高专的培养目标和要求有十分重要的意义和作用。本教材在编写时注意实用性和扩展知识面,也参考了电工行业的有关职业技能鉴定规范和标准,同时避免了复杂的理论计算和推导,使学生在过程中,既学到了实用的动手技能,又能丰富自己的知识。

本教材由广西水利电力职业技术学院肖华中和长江工程职业技术学院刘文胜主编,肖华中编写了第 1 章和第 5 章,刘文胜编写了第 3 章、第 4 章和第 7 章,河北工程技术高等专科学校姜久超编写了第 8 章,福建水利电力职业技术学院邱燕雷编写了第 2 章和第 6 章。

全教材由肖华中和谭社平统稿。谭社平做了大量的工作,在此表示衷心的感谢。

本教材在编写过程中,由于时间仓促,加之编者水平和经验有限,书中的错误、缺点在所难免,敬请读者提出宝贵意见并批评指正。

编 者

2004 年 8 月

目 录

序

前言

第1章 安全用电	1
1.1 电工安全操作规程	1
1.2 触电事故种类和急救基本知识	6
1.3 直接接触和间接接触电防护	16
复习思考题	31
第2章 常用电工工具以及电工仪表的使用	32
2.1 常用电工工具	32
2.2 交直流电流、电压表的使用及量程的扩大	38
2.3 电阻的测量和万用表	42
2.4 钳形表和兆欧表的使用	52
2.5 功率的测量	55
2.6 电能的测量	58
复习思考题	64
第3章 电工基本技能训练	65
3.1 导线的选择与线径的测量	65
3.2 导线的连接	73
3.3 白炽灯的安装	83
3.4 日光灯的安装	93
3.5 低压配电板(箱)的安装	99
复习思考题	108
第4章 常用低压电器	109
4.1 配电类电器	109
4.2 控制类电器	117
复习思考题	132

第 5 章 电机知识	134
5.1 变压器	134
5.2 互感器	142
5.3 异步电动机.....	146
复习思考题	156
第 6 章 电子技术训练	158
6.1 电子元器件识别	158
6.2 单管放大电路的焊接与测试.....	173
6.3 单相整流电路焊接与调试、单相可控整流电路组装与调试	177
6.4 单结晶体管宽脉冲触发晶闸管调光电路的焊接与调试	180
复习思考题	182
第 7 章 电动机基本控制电路的安装、调试与维修	183
7.1 直接起动的电动机单向运转控制线路的安装.....	183
7.2 电动机可逆运转控制线路的安装	187
7.3 电动机 Y— Δ 降压起动控制线路的安装	191
7.4 电动机制动控制线路的安装.....	194
7.5 双速电动机变速控制线路的安装	198
7.6 工作台自动往返控制电路的安装	203
复习思考题	205
第 8 章 常用生产机械电气控制线路的故障分析与处理	207
8.1 电气控制线路的故障检查分析方法	207
8.2 M7130 型平面磨床电气控制线路常见故障分析及处理	209
8.3 Z3040 摇臂钻床电气控制线路常见故障分析及处理	211
8.4 X62W 万能铣床电气控制线路常见故障分析及处理	214
8.5 T68 卧式镗床电气控制线路常见故障分析及处理	216
8.6 起重机电气控制线路常见故障分析及处理	218
复习思考题	219

安 全 用 电

1.1 电工安全操作规程

1.1.1 电气安全工作基本要求

电气安全工作基本要求的内容很多，归纳起来主要有以下几个方面。

1.1.1.1 建立健全规章制度

合理的规章制度是从人们长期生产实践中总结出来的，是保证安全生产的有效措施。安全操作规程、电气安装规程、运行管理和维护检修制度及其他规章制度都与安全有直接关系。

1.1.1.2 配备管理机构和管理人员

应当根据本部门电气设备的构成和状态，根据本部门电气专业人员实际情况以及根据本部门的用电、操作特点，建立相应的管理机构，并确定管理人员和管理方式，各部门必须互相配合，安排专人负责这项工作。专职管理人员应具备必须的电工知识和电气安全知识，并要根据实际情况制定安全措施计划，使安全工作有计划地进行，不断提高电气安全水平。

1.1.1.3 进行安全检查

电气安全检查包括检查电气设备的绝缘有无损坏、绝缘电阻是否合格、设备裸露带电部分是否有防护设施；保护接零或保护接地是否正确、可靠，保护装置是否符合要求；手提灯和局部照明灯电压是否为安全电压或是否采取了其他安全措施；安全用具和电气灭火器材是否齐全；电气设备安装是否合格，安装位置是否合理；制度是否健全等内容。对变压器等重要电气设备要坚持巡视，并作必要的记录；对新安装设备，特别是自制设备的验收工作要坚持原则，一丝不苟；对使用中的电气设备，应定期测定其绝缘电阻对各种接地装置，应定期测定其接地电阻；对安全用具、避雷器、



变压器油及其他保护电器，也应定期检查测定或进行耐压试验。

1.1.1.4 加强安全教育

主要是为了使工作人员懂得电的基本知识，认识安全用电的重要性，掌握安全用电的基本方法。一般职工要懂得电和安全用电的一般知识；使用电气设备的一般生产工人除懂得一般知识外，还应懂得有关安全规程；独立工作的电工，更应懂得电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求，熟知电工安全操作规程，会扑灭电气火灾的方法，掌握触电急救的技能，要遵守职业道德，忠于职业责任，遵守职业纪律，团结协作、做好安全供用电工作，还要通过考试，取得合格证等。

1.1.1.5 组织事故分析

通过事故分析，能吸取教训。应深入现场，召开事故分析座谈会。分析发生事故的原因，制定防止事故的措施。

1.1.1.6 建立安全资料

安全技术资料是做好安全工作的重要依据，应该注意收集和保存。为了工作方便和便于检查，应建立高压系统图、低压布线图、全厂架空线路和电缆线路布置图及其他图纸、说明、记录资料。对重要设备应单独建立资料，如技术规格、出厂试验记录、安装试车记录等。每次检修和试验记录应作为资料保存，以便查对。设备事故和人身事故的记录也应作为资料保存。

1.1.2 保证安全的技术措施

在全部停电或部分停电的电气设备上工作，必须完成停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏后，方能开始工作，上述安全措施由值班员实施，无值班人员的电气设备，由断开电源人执行，并应有监护人在场。

1.1.2.1 停电

工作地点必须停电的设备如下：

- (1) 待检修的设备。
- (2) 与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于表 1-1 规定的设备。
- (3) 在 44kV 以下的设备上工作，上述安全距离虽大于表 1-1 的规定，但小于表 1-2 的规定，同时又无安全遮栏的设备。
- (4) 带电部分在工作人员后面或两侧无可靠安全措施的设备。将检修设备停电，必须把各方面的电源完全断开（任何运行中的星形接线设备的中性点，必须视为带电设备）。必须拉开电闸，使各方面至少有一个明显的断开点，与停电设备有关的变压器和电压互感器，必须从高、低压两侧断开，防止向停电检修设备反送电。禁止在只





经开关断开电源的设备上工作，断开开关和刀闸的操作电源，刀闸操作把手必须锁住。

表 1-1 工作人员工作中正常活动范围与带设备的安全距离

电 压 等 级 (kV)	安全距离 (m)
10 kV 及以下 (0.38)	0.35
20~35	0.60
44	0.90
60~110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00

表 1-2 设备不停电时的安全距离

电 压 等 级 (kV)	安全距离 (m)
10 kV 及以下 (0.38)	0.7
20~35	1.00
44	1.20
60~110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00

1.1.2.2 验电

验电时，必须用电压等级合适而且合格的验电器。在检修设备的进出线两侧分别验电。验电前，应先在有电设备上上进行试验，以确认验电器良好，如果在木杆、木梯或木架上验电，不接地线不能指示者，可在验电器上接地线，但必须经值班负责人许可。高压验电必须戴绝缘手套。35kV 以上的电气设备，在没有专用验电器的特殊情况下，可以使用绝缘棒代替验电器，根据绝缘棒端有无火花和放电声来判断有无电压。

1.1.2.3 装设接地线

当验明确无电压后，应立即将检修设备三相短路并接地。所装接地线与带电部分应符合规定的安全距离。装设接地线必须两人进行。若为单人值班，只允许使用接地刀闸接地，或使用绝缘棒合接地刀闸。装设接地线必须先接接地端，后接导体端，并应接触良好。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒或戴绝缘手套。接地线应用多股软裸铜线，其截面应符合短路电流的要求，但不得小于 25mm^2 。

1.1.2.4 悬挂标示牌和装设遮栏

在工作地点、施工设备和一经合闸即可送电到工作地点或施工设备的开关和刀闸的操作把手上，均应悬挂“禁止合闸，线路上有人工作！”的标示牌。标示牌的悬挂和拆除，应按调度员的命令执行。

严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌。



1.1.2.5 在高压设备上工作的安全措施

在运行中的高压设备上工作，有以下三种情况：

(1) 全部停电后工作。室内高压设备（包括架空线路与电缆引入线在内）全部停电，通至邻接高压室的门全部闭锁，室外高压设备（包括架空线路与电缆引入线在内）全部停电。

(2) 部分停电后工作。高压设备部分停电，或室内虽全部停电，但通至邻接高压室的门并未全部闭锁。

(3) 不停电工作。包括不需要停电和没有偶然触及导电部分危险的工作，允许在带电设备外壳上或导电部分上进行的工作。

在高压设备上工作，必须遵守：填用工作票或口头、电话命令；至少应2人在一起工作；完成保证工作人员安全的组织措施和技术措施。

1.1.3 电气安全用具与安全标识

1.1.3.1 绝缘安全用具

绝缘安全用具分为两种：一是基本绝缘安全用具；二是辅助绝缘安全用具。

1. 基本绝缘安全用具

绝缘强度足以抵抗电气设备运行电压的安全用具。高压设备的基本绝缘安全用具具有绝缘棒、绝缘夹钳和高压试电笔等。低压设备的基本绝缘安全用具具有绝缘手套、装有绝缘柄的工具和低压试电笔等。

2. 辅助绝缘安全用具

绝缘强度不足以抵抗电气设备运行电压的安全用具。高压设备的辅助绝缘安全用具具有绝缘手套、绝缘鞋、绝缘垫及绝缘台等。低压设备的辅助绝缘安全用具具有绝缘台、绝缘垫及绝缘鞋（靴）等。

3. 验电器

为能直观地确定设备，线路是否带电，使用验电器检测是一种既方便又简单的方法。验电器按电压分为高压验电器和低压验电器两种。

(1) 高压验电器。高压验电器分发光型、声光型、风车式三类：①发光型高压验电器，一般由指示器部分、绝缘部分、罩护环、握手部分等组成；②声光型高压验电器，一般由检测部分、绝缘部分、握柄部分组成。检测部分由检测头和声光元件组成，当接收到电场信号，能发声光的元件就发出指示信息。此类验电器的特点是在发光型验电器中装入了有电报警器，它是通过电场效应作用音响器发声的原理制成的；③风车式验电器，它是通过电晕放电而产生的电晕风，驱使金属叶片旋转，来检测设备是否带电。风车式验电器由风车指示器和绝缘操作杆组成。



高压验电器是检测 6~35kV 网络中的配电设备、架空线路及电缆等是否带电的专用工具。使用高压验电器必须注意：①使用前应将验电器在确有电源处试测，证明验电器确实良好，方可使用。②验电器绝缘手柄较短，使用时应特别注意手握部位不得超过隔离环。③使用时，应逐渐靠近被测物体，直到氖灯亮；只有氖灯不亮时，才可与被测物体直接接触。④室外使用验电器，必须在气候条件良好的情况下。在雪、雨、雾及湿度较大的情况下，不宜使用。

(2) 低压验电器。低压验电器俗称电笔，其结构与高压验电器大致相同。

验电笔只能在 380V 及以下的电压系统和设备上使用，当用验电笔的笔尖接触低压带电设备时，氖灯即发出红光。电压愈高发光愈亮，电压愈低发光愈暗。因此从氖灯发光的亮度可判断电压高低。

4. 绝缘手套和绝缘靴

(1) 绝缘手套。绝缘手套是用绝缘性能良好的特种橡胶制成，要求薄、柔软，有足够的绝缘强度和机械性能。

(2) 绝缘靴（鞋）。绝缘靴（鞋）的作用是使人体与地面绝缘，防止试验电压范围内的跨步电压触电。绝缘靴（鞋）只能作为辅助安全用具。

5. 绝缘垫和绝缘台

(1) 绝缘垫。绝缘垫是一种辅助安全用具，一般铺在配电室的地面上，以便在带电操作断路器或隔离开关时增强操作人员的对地绝缘，防止接触电压与跨步电压对人体的伤害。也可铺在低压开关附近的地面上，操作时操作人员站在上面，用以代替使用绝缘手套和绝缘靴。绝缘垫应定期进行绝缘试验。

(2) 绝缘台。绝缘台是一种辅助安全用具，可用来代替绝缘垫或绝缘靴。绝缘台的试验电压为 40kV，加压时间为 2min。定期试验一般每 3 年进行一次。

1.1.3.2 安全标识

1. 安全色

安全色是表达安全信息含义的颜色，表示禁止、警告、指令、提示等。国家规定的安全色有红、蓝、黄、绿四种颜色。红色表示禁止、停止，蓝色表示指令、必须遵守的规定；黄色表示警告、注意；绿色表示指示、安全状态、通行。

为使安全色更加醒目的反衬色叫对比色。国家规定的对比色是黑白两种颜色。

安全色与其对应的对比色是：红—白、黄—黑、蓝—白、绿—白。

黑色用于安全标志的文字、图形符号和警告标志的几何图形。白色作为安全标志红、蓝、绿色的背景色，也可用于安全标志的文字和图形符号。

在电气上用黄、绿、红三色分别代表 L_1 、 L_2 、 L_3 三个相序；涂成红色的电器外壳是表示其外壳有电；灰色的电器外壳是表示其外壳接地或接零；线路上黑色代表工



作零线；明敷接地扁钢或圆钢涂黑色。用黄绿双色绝缘导线代表保护零线。直流电中红色代表正极，蓝色代表负极，信号和警告回路用白色。

2. 安全标志

安全标志是提醒人员注意或按标志上注明的要求去执行，保障人身和设施安全的重要措施。安全标志一般设置在光线充足、醒目、稍高于视线的地方。对于隐蔽工程（如埋地电缆）在地面上要有标志桩或依靠永久性建筑挂标志牌，注明工程位置。对于容易被人忽视的电气部位，如封闭的架线槽、设备上的电气盒，要用红漆画上电气箭头。另外在电气工作中还常用标志牌，以提醒工作人员不得接近带电部分、不得随意改变刀闸的位置等。移动使用的标志牌要用硬质绝缘材料制成，上面有明显标志，均应根据规定使用。其有关资料如表 1-3 所示。

表 1-3 标 示 牌 的 资 料

名 称	悬 挂 位 置	尺 寸 (mm)	底 色	字 色
禁止合闸 有人工作	一经合闸即可送电到施工设备的开关和刀闸操作手柄上	200×100 80×50	白底	红字
禁止合闸 线路有人工作	一经合闸即可送电到施工设备的开关和刀闸操作手柄上	200×100 80×50	红底	白字
在此工作	室内和室外工作地点或施工设备上	250×250	绿底中间有直径210mm的白圆圈	黑字位于白圆圈中
止步 高压危险	工作点临近带电设备的遮栏上； 室外工作地点附近带电设备的构架横梁上； 禁止通行的过道上；高压试验地点	250×200	白底红边	黑色字， 有红箭头
从此上下	工作人员上下的铁架梯子上	250×250	绿底中间有直径210mm的白圆圈	黑字位于白圆圈中
禁止攀登 高压危险	工作临近可能上下的铁架上	250×250	白底红边	黑字
已接地	看不到接地线的工作设备上	200×100	绿底	黑字

1.2 触电事故种类和急救基本知识

1.2.1 触电事故种类

众所周知，触电事故是由电流形式的能量造成的事故，其构成方式和伤害方式有很多不同之处，总体上可划分为两类触电事故。





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

电击是电流对人体内部组织的危害，是最危险的一种伤害，绝大多数（大约85%以上）的触电死亡事故都是由电击造成的。

电击的主要特征有：伤害人体内部；在人体的外表没有显著的痕迹；致命电流较小。

按照发生电击时电气设备的状态，电击可分为直接接触电击和间接接触电击：

(1) 直接接触电击：直接接触电击是触及设备和线路正常运行时的带电体发生的电击（如误触接线端子发生的电击），也称为正常状态下的电击。

(2) 间接接触电击：间接接触电击是触及正常状态下不带电，而当设备或线路故障时意外带电的导体发生的电击（如触及漏电设备的外壳发生的电击），也称为故障状态下的电击。

2. 电伤

电伤是由电流的热效应、化学效应、机械效应等效应对人造成的伤害。对专业电工自身的安全而言，预防电伤具有更加重要的意义。

(1) 电烧伤是电流的热效应造成的伤害，分为电流灼伤和电弧烧伤。

(2) 皮肤金属化是在电弧高温的作用下，金属熔化、汽化，金属微粒渗入皮肤，使皮肤粗糙而张紧的伤害。皮肤金属化多与电弧烧伤同时发生。

(3) 电烙印是在人体与带电体接触的部位留下的永久性斑痕。斑痕处皮肤失去原有弹性、色泽，表皮坏死，失去知觉。

(4) 机械性损伤是电流作用于人体时，由于中枢神经反射和肌肉强烈收缩等作用导致的机体组织断裂、骨折等伤害。

(5) 电光眼是发生弧光放电时，由红外线、可见光、紫外线对眼睛的伤害。电光眼表现为角膜炎或结膜炎。

1.2.2 触电方式

按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的途径，电击可分为单相触电，两相触电和跨步电压触电。

1. 单相触电

当人体直接碰触带电设备其中的一相时，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，高压对人体放电，造成单相接地而引起的触电，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，



这两种接线方式发生单相触电的情况如图 1-1 所示。

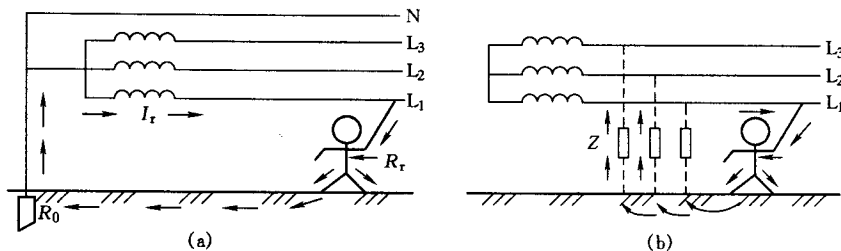


图 1-1 单相触电示意图

在中性点直接接地的电网中，通过人体的电流为

$$I_r = \frac{U}{R_r + R_0} \quad (1-1)$$

式中 U ——电气设备的相电压；

R_0 ——中性点接地电阻；

R_r ——人体电阻。

因为 R_0 和 R_r 相比较， R_0 甚小，可以略去不计，因此

$$I_r = \frac{U}{R_r} \quad (1-2)$$

从式 (1-2) 可以看出，若人体电阻按照 1000Ω 计算，则在 220V 中性点接地的电网中发生单相触电时，流过人体的电流将达 220mA，已大大超过人体的承受能力；即使在 110V 系统中触电，通过人体的电流也达 110mA，仍可能危及生命。

在低压中性点直接接地的电网中，单相触电事故在地面潮湿时易于发生。

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。

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。

1.2.3 电流对人体的危害

电流对人体作用的规律，可定量地分析触电事故，也可运用这些规律，科学地评价一些防触电措施和设施是否完善，科学地评定一些电器产品是否合格等。

1.2.3.1 作用机理和征象

电流通过人体时破坏人体内细胞的正常工作，主要表现为生物学效应。电流作用



于人体还包含有热效应、化学效应和机械效应。

电流的生物学效应主要表现为使人体产生刺激和兴奋行为，使人体活动的组织发生变异，从一种状态变为另外一种状态。电流通过肌肉组织，引起肌肉收缩。由于电流引起神经细胞激动，产生脉冲形式的神经兴奋波，当这兴奋波迅速地传到中枢神经系统后，后者即发出不同的指令，使人体各部作相应的反应，因此，当人体触及带电体时，一些没有电流通过的部位也可能受到刺激，发生强烈的反应，重要器官的工作可能受到破坏。

1.2.3.2 作用影响因素

不同的人于不同的时间、不同的地点与同一根带电导线接触，后果将是千差万别的。这是因为电流对人体的作用受很多因素的影响。

通过人体的电流越大，人的生理反应和病理反应越明显，引起心室颤动所用的时间越短，致命的危险性越大。按照人体呈现的状态，可将预期通过人体的电流分为三个级别。

(1) 感知电流。在一定概率下，通过人体引起人有任何感觉的最小电流（有效值，下同）称为该概率下的感知电流。概率为 50% 时，成年男子平均感知电流约为 1.1mA，成年女子约为 0.7mA。感知电流一般不会对人体构成伤害，但当电流增大时，感觉增强，反应加剧，可能导致坠落等二次事故。

(2) 摆脱电流。当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。当电流增大到一定程度时，由于中枢神经反射和肌肉收缩、痉挛，触电人将不能自行摆脱带电体。在一定概率下，人触电后能自行摆脱带电体的最大电流称为该概率下的摆脱电流。成年男子和成年女子的摆脱电流分别约为 16mA 和 10.5mA；摆脱概率为 99.5% 时，成年男子和成年女子的摆脱电流约为 9mA 和 6mA。摆脱电流是人体可以忍受但一般尚不致造成不良后果的电流。

(3) 室颤电流。通过人体引起心室发生纤维性颤动的最小电流称为室颤电流。电击致死的原因是比较复杂的。一旦发生心室颤动，数分钟内即可导致死亡。因此，在小电流（不超过数百毫安）的作用下，电击致命的主要原因，是电流引起心室颤动。因此，可以认为室颤电流是短时间作用的最小致命电流。当电流持续时间超过心脏搏动周期时，人的室颤电流约为 50mA；当电流持续时间短于心脏搏动周期时，人的室颤电流约为数百毫安。当电流持续时间在 0.1s 以下时，如电击发生在心脏易损期，500mA 以上乃至数安的电流可引起心室颤动；在同样电流下，如果电流持续时间超过心脏跳动周期，可能导致心脏停止跳动。

1.2.3.3 电流途径的影响

人体在电流的作用下，没有绝对安全的途径。电流通过心脏会引起心室颤动及至

