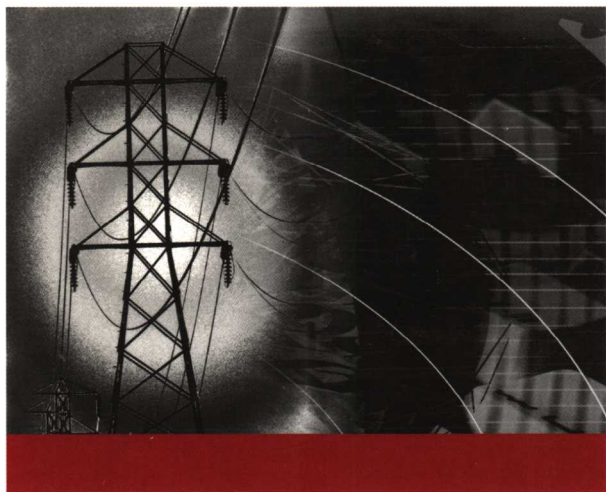


高等职业技能操作与实训教材

电力线路操作实训

刘法治 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
教材出版中心

高等职业技能操作与实训教材

电力线路操作实训

刘法治 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电力线路操作实训/刘法治主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11

高等职业技能操作与实训教材

ISBN 7-5025-7880-3

I. 电… II. 刘… III. 输配电线路-高等学校: 技术学院-教学参考资料 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 133653 号

高等职业技能操作与实训教材

电力线路操作实训

刘法治 主编

责任编辑: 张建茹 陈 丽

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 12½ 字数 364 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7880-3

定 价: 21.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司新颁布的《各类技术工种电类等级考试大纲》及近年来新技术应用对电类专业提出的新要求而编写的。主要内容包括安全用电技术, 电力线路操作技术和安全措施, 常用电工工具、登高工具及电工材料, 配电设备和配电装置的安装, 架空线路的安装, 电缆敷设与连接, 常用低压电器安装及基本控制线路, 室内配线, 电气照明, 接地与防雷等方面的理论知识和技能操作知识。书中内容翔实, 图文并茂, 通俗易懂, 实用性强。

本书既可作为全国各类高等院校电气类及相关专业的教材, 也可作为从事电力线路施工人员技能操作的教材, 还可作为技能培训考核部门人员及电气技术人员的参考书。

前言

本书根据劳动和社会保障部培训就业司新颁布的《各类技术工种电类等级考试大纲》以及近年来新技术应用对电类专业提出的新要求而编写。主要包括安全用电技术、电力线路操作技术和安全措施、常用电工工具、登高工具及电工材料、配电设备和配电装置、低压架空线、电缆敷设与连接、常用低压电器及基本线路、室内配线、电气照明、接地与防雷等方面的技能操作内容。

本书在编写过程中充分考虑了新世纪电类专业人才必须具备的文化、技术基础及对应用型人才培养的要求，具有以下主要特点。

1. 根据电气类专业人才所从事职业的实际需要，确定了电力线路操作专业人才应具有的知识结构和能力结构。采用由浅入深、深入浅出的教学训练方法。

2. 贯彻精炼理论，注重培养工程实践能力的原则，立足于应用型人才培养目标；突出实用性，强调实践性。

3. 突出人才的创新素质和创新能力的培养。教材内容的安排有利于扩展学生的思维空间和发挥学生自主学习的积极性，培养和提高学生的综合素质，促进学生的个性发展。

4. 教材内容吸收和借鉴国内外同类教材中的精华部分，适当增加了新器件、新技术，并融入了编者多年的教学经验。体现了内容的先进性和选材灵活性。

本书由刘法治任主编并负责全书的统稿工作，其中刘法治编写第1、2、9章并与史中生合编第3章，宋守云编写第4、7章，徐君鹏编写第5、6、10章，王先伦编写第8章。

在本书编写过程中，编者曾得到许多有实践经验同志的帮助；参考了大量的书刊和有关资料，在此一并表示衷心感谢。

本书既可以作为全国各类高等院校相关专业的教材及教学参考书，也可作为从事电力线路施工人员技能操作教材等。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2004年10月

目 录

第 1 章 安全用电技术	1
1.1 人体触电的危害及触电方式	1
1.2 触电急救	8
1.3 触电原因与预防措施	14
第 2 章 电力线路操作技术和安全措施	17
2.1 电力线路安装操作的一般程序	17
2.2 电力线路安装操作的技术规程	21
2.3 电力线路维修操作的安全措施	24
2.4 变配电所的运行操作制度	37
第 3 章 常用电工工具、登高工具及电工材料	41
3.1 常用电工工具	41
3.2 登高工具和登高训练	52
3.3 线路安装工具	57
3.4 常用导电材料及其应用	68
3.5 常用绝缘材料及其应用	85
第 4 章 配电设备和配电装置的安装	94
4.1 成套配电柜的安装	94
4.2 母线装置的安装	125
4.3 隔离开关及负荷开关的安装	133
4.4 仪用互感器的安装	144
4.5 二次线路的安装与检查	154
4.6 配电箱和开关箱的制作、安装与维护	164
第 5 章 架空线路的安装	175
5.1 架空线路的结构	175
5.2 架空线路的施工工艺要求	189
5.3 架空线路的施工	193
5.4 进户线及配电板的安装	214
第 6 章 电缆的敷设和连接	219

6.1	直埋电缆的敷设	219
6.2	电缆沟敷设	226
6.3	油浸纸绝缘电缆环氧树脂中间接头的制作	228
6.4	户内环氧树脂电缆终端头的制作	233
6.5	热缩和冷缩电缆头的制作	239
第7章	常用低压电器安装及基本控制线路	247
7.1	低压电器的识别	247
7.2	低压开关	250
7.3	低压熔断器	260
7.4	主令电器	267
7.5	接触器	276
7.6	继电器	279
7.7	磁力启动器和综合启动器	292
7.8	低压电器基本控制电路	294
第8章	室内配线	301
8.1	室内配线的基本要求和配线工序	301
8.2	绝缘子配线	305
8.3	塑料护套线配线	312
8.4	槽板配线	314
8.5	线管配线	316
8.6	钢索配线	323
8.7	滑触线安装	327
8.8	导线的连接与封端	337
第9章	电气照明	343
9.1	电气照明的基本概念	343
9.2	照明灯具与照明灯安装要求	345
9.3	照明灯具、开关和插座的安装与维修	347
9.4	工矿照明灯具的选用、安装	353
9.5	临时照明装置和特殊用电场所照明装置的安装	359
第10章	接地与防雷	362
10.1	接地装置的分类和技术要求	362
10.2	接地与接零	366
10.3	接地体和接地线的安装	372
10.4	接地电阻的测量方法	378
10.5	防雷装置及防雷保护	381
	参考文献	392

第 1 章 安全用电技术

由发电厂、电力网和用户组成的电力系统，是依靠电力线路将其连接为统一整体，具有发电、供电、用电同时进行的特点，一旦用电设备或线路发生事故，就可能造成电源中断、设备损坏，甚至波及供电系统安全运行，造成大面积停电和人身伤亡事故。因此，作为电力线路及设备的操作与施工人员，掌握安全用电技术具有特殊重大的意义。

1.1 人体触电的危害及触电方式

触电事故是指人体触及带电体，导致电流通过人体的电气事故。由于触电的种类、方式及条件不同，人体受伤害的程度也不一样。

1.1.1 人体触电的种类

人体触电时电流对人体的伤害有两种类型：一是电击，二是电伤。

电击是指电流通过人体内部时对人体所造成的伤害。电击致伤的主要部位在人体内部，它可使肌肉抽搐或内部组织损伤，造成发热、发麻、神经麻痹等，严重时会引起昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动、血液循环中止等而导致死亡。绝大部分触电事故都是电击造成的，通常所说的触电，基本上就是指电击。

电伤是电流的热效应，化学效应或机械效应对人体造成的伤害。电伤多见于肌体外部，往往会在人体皮肤表面留下明显的伤痕。常见的电伤有灼伤、电烙印和皮肤金属化等。灼伤由电流的热效应引起，主要是电弧灼伤，造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；电烙印是在人体与带电部分紧密接触时，由于电流的化学效应和机械效应，使接触部位的皮肤变硬，形成肿块，使皮肤变色等；

皮肤金属化是在人体与带电部分接触时，被电流熔化和蒸发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。

1.1.2 人体触电方式

(1) 单相触电

人体的一部分在接触一根带电相线的同时，另一部分又与大地（或零线）接触，电流从相线流经人体到地（或零线）形成回路，称为单相触电，如图 1-1 所示。在触电事故中，大部分属于单相触电事故。

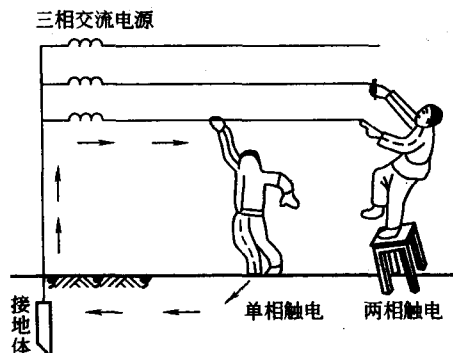


图 1-1 单相触电和两相触电

(2) 两相触电

人体的不同部位同时接触电气设备的两相带电体而引起的触电事故，称为两相触电，如图 1-1 所示。这种情况下，不管电网中性点是否接地，人体都将受到线电压的作用。触电的危险性比单相触电时要大。

(3) 跨步电压触电

雷电流入地、载流电力线（特别是高压线）断落到地以及电器故障接地时，会在接地点周围形成强电场，其电位分布以接地点为中心向周围扩散，电位值逐步降低，在不同位置间形成电位差（电压）。当人畜跨进这个区域时，分开的两脚间所承受的电压，称为跨步电压。在跨步电压作用下，电流从人畜的一只脚流进，从另一只脚流出，造成触电，这就是跨步电压触电，如图 1-2 所示。图中坐标原点表示带电体接地点，横坐标表示位置，纵坐标表示电位分

布。跨步电压大小与人距接地点的距离远近有关。人距接地点越近，跨步电压越高，反之，人距接地点越远，跨步电压越低。一般在距接地体 20m 以外处，跨步电压接近于零。跨步电压还与分开的两脚之间的跨距有关，由图中可以看出，由于马的两脚跨距大，故承受的跨步电压 U_2 要大于人所承受的跨步电压 U_1 。

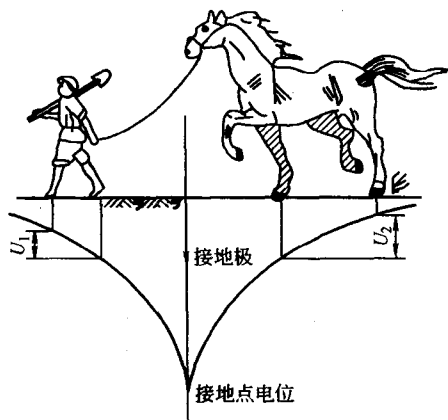


图 1-2 跨步电压触电

(4) 接触电压触电

运行中的电气设备由于绝缘损坏或其他原因，可造成接地短路故障。接地电流通过接地点向大地流散，从而在地面上距接地点不同的地方呈现出不同的电位。若有人用手触及漏电设备外壳时，将有一电压加在人的手和脚之间，称接触电压。接触电压值的大小随人体站立点的位置而异，当人体距离接地短路故障点越远时，接触电压值越大，当人体站在距接地短路故障点在 20m 以外的地方，

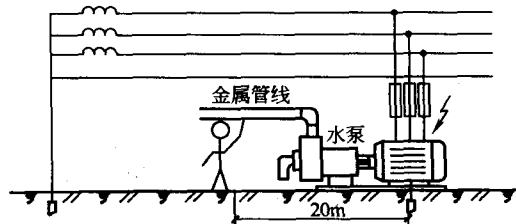


图 1-3 接触电压与人体位置

触及漏电设备外壳时，接触电压达到最大值，等于漏电设备的对地电压。如图 1-3 所示。

此外，由于触电者穿的靴、鞋及所站处的地板，都有一定的电阻，可减小人所承受的接触电压。为此，严禁裸臂、赤脚去操作电气设备，在操作电气设备时，应穿长袖工作服，使用辅助安全用具，在专人监护下进行。

应当指出，在三相四线制中性点直接接地的低压系统中，有时漏电设备外壳与接地点距离较远，虽采用了保护接地，但仍有触电的危险。

所以，应考虑每一个车间、每一个变电站的所有被保护设备，均应装设接地体，或在地面下装设接地网，这是防止接触电压触电的有效措施。

(5) 悬浮电路上的触电

市电通过变压器相互隔离的原、副绕组后，若副边输出电压的零线不接地，那么副边相对于大地就处于悬浮状态。这时，人站在地面上接触其中一根带电导线，不能构成电流回路，人不会触电。但是，如果人体的不同部分同时接触副边绕组的两根导线，就会造成触电。例如电子管扩音机等设备，它们的金属底板是悬浮电路的公共接地点，在检修时，如果操作者一只手接触电路的高电位点，另一只手接触低电位点，电流就会通过人体形成回路，造成人体触电，这就是悬浮电路触电。在检修这类电子设备时，一般要求单手操作，特别是电位比较高时尤其应如此。

(6) 感应电压触电

由于大气变化（如雷电活动），会产生感应电荷，还有一些停

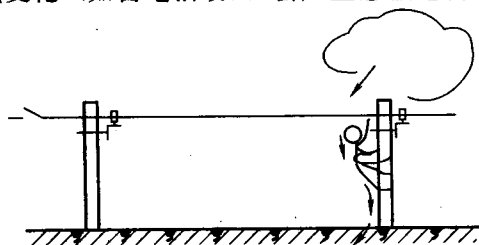


图 1-4 感应电压触电

电后可能产生感应电压的设备未挂临时地线，这些设备和线路对地都存在感应电压。人触及这些带有感应电压的设备和线路时会造成触电事故，这种触电称为感应电压触电，如图 1-4 所示。

电气安全工作规程中规定，在停电线路上工作，遇有危及工作人员人身安全的气候变化（如雷雨、闪电）时，全体工作人员应离开工作现场，对于停电后可能产生感应电压的设备和线路应悬挂临时接地线后方可进行工作。

（7）剩余电荷触电

检修人员在检修或摇测停电后的并联电容器、电力电缆电路、电力变压器及大容量电动机等设备时，由于检修、摇测前或摇测后没有对其充分放电，这些设备的导体上留有一定数量的剩余电荷。另外并联电容器因其放电电路故障而不能及时放电，电容器退出运行后又未进行人工放电，电容器的极板上将带有大量的剩余电荷。此时如触及这些带有剩余电荷的设备，带有电荷的设备将通过人体放电，造成触电事故。这种触电称为剩余电荷触电。为了防止这类触电事故发生，对于停电后的并联电容器、电力电缆、电力变压器及大容量的交流电动机等设备，必须充分进行人工放电后，才能进行检修工作，在摇测这些电气设备的绝缘后，还必须及时进行充分的人工放电，以防止发生剩余电荷触电事故。

1.1.3 电流对人体的危害

电流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

通过人体的电流强度越大，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要的时间越短，致命的危险程度就越大。按照电流通过人体时的不同生理反应，可将电流大致分为以下 3 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 1.1mA（工频），成年女性约为 0.7mA（工频），对直流而言，约为 5mA。

感觉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 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 16mA（工频）以下，成年女性约为 10mA（工频）以下，对直流而言约为 50mA，儿童的摆脱电流较成人小些。

摆脱电流是人体可以忍受，一般尚不致造成不良后果的电流。电流超过摆脱电流以后，会感到异常痛苦、恐慌和难以忍受，如时间过长，则可能昏迷、窒息，甚至死亡。因此，可以认为摆脱电流是有较大危险的界限。

③ 致命电流（室颤电流） 在较短的时间内，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，例如，高压触电事故中，可能因为强电弧或很大的电流导致的烧伤使人致命；低压触电事故中，可能因为心室颤动，也可能因为窒息时间过长使人致命。一旦发生心室颤动，数分钟内即可导致死亡。因此，在小电流（超过 50mA 小于数百毫安）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。

（2）电流的持续时间对人体的影响

电击持续时间越长，则电击危险性越大。其原因如下。

① 电流持续时间越长，则体内积累局外电能越多，伤害越严重，表现为室颤电流减小。

② 心电图上心脏收缩与舒张之间约 0.2s 的 T 波（特别是 T 波的前半部），是对电流最为敏感的心脏易损期（易激期）。电击持续时间延长，必然重合心脏易损期，电击危险性增大。

③ 随着电击持续时间的延长，人体电阻由于出汗、击穿、电解而下降，如接触电压不变，流经人体的电流必然增加，电击危险性随之增大。

④ 电击持续时间越长，中枢神经反射越强烈，电击危险性越大。

（3）作用于人体的电压对人体的影响

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，并不与作用于人体上的电压成正比。这是因为随

着作用于人体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。

(4) 电流种类对人体的影响

不同种类电流对人体伤害的构成不同，危险程度也不同，但各种电流对人体都有致命危险。

① 直流电流的作用 在接通和断开瞬间，直流平均感知电流约为 2mA。300mA 以下的直流电流没有确定的摆脱电流值；300mA 以上的直流电流将导致不能摆脱或数秒至数分钟以后才能摆脱带电体。电流持续时间超过心脏搏动周期时，直流室颤电流为交流的数倍；电流持续时间 200ms 以下时，直流室颤电流与交流大致相同。

② 交流电流的作用 实验表明，电流频率不同，对人体的危害程度也不同。常用 50~60Hz 的工频交流电对人体的伤害程度最为严重，频率偏离工频越远，交流电流对人体的伤害程度越轻。在直流和高频的情况下，人体可以承受更大的电流值，但高压高频电流对人体依然是十分危险的。表 1-1 表明了不同频率的电流对人体的危害程度。

表 1-1 不同频率的电流对人体的危害

频率/Hz	10	25	50	60	80	100	120	200	500	1000
死亡率/%	21	70	95	91	43	34	31	22	14	11

③ 冲击电流的作用 冲击电流指作用时间不超过 0.1~10ms 的电流，包括方脉冲波电流、正弦脉冲波电流和电容放电脉冲波电流。冲击电流对人体的作用有感知界限、疼痛界限和室颤界限，没有摆脱界限。冲击电流的疼痛界限常用比能量 I^2t 表示。

(5) 人体电阻的影响

人体电阻基本上按表皮角质层电阻大小而定。但由于皮肤状况、触电时与带电体的接触情况不同，故电阻值亦有所不同。如皮肤厚薄不同、皮肤是否潮湿多汗、有无损伤、有无导电粉尘、触电时皮肤与带电体的接触面积及接触压力大小等因素均会影响人体电阻值的大小。

人体电阻主要包括人体内部电阻和皮肤电阻。人体内部电阻与

接触电压和外部条件无关，约为 500Ω 左右，皮肤电阻一般是指手和脚的表面电阻，它随皮肤的清洁、干燥程度及接触电压等而变化。

(6) 电流通过人体不同部位的影响

电流通过人体的头部会使人昏迷而死亡；电流通过脊髓，导致截瘫及严重损伤；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路径，因为在这种情况下，心脏直接处在电流通路中，电流通过心脏、肺部、脊髓等重要器官。从右手到脚的路径的危险性较小，但一般也能够引起剧烈痉挛而摔倒，导致电流通过人体的全身或造成摔伤。电流路径与通过心脏电流的百分数关系如表 1-2 所示。

表 1-2 电流路径与通过人体心脏电流的百分数关系

电流的路径	左手至双脚	右手至双脚	右手至左手	左脚至右脚
通过电流的百分数/%	0.7	3.7	3.3	0.4

(7) 人体的健康状况

人体的健康状况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差，并可能诱发原来的疾病，在同一条件下触电，比一个身体健康，经常从事体力劳动或体育锻炼的人触电后果更为严重。女性的感知电流和摆脱电流约为男性的 $2/3$ 。儿童遭受电击后的危险性较大。

1.2 触电急救

1.2.1 触电后的临床表现

人体的健康状况、触电方式、触电电压、电源频率、触电时间不同，触电对人体造成的损害也不同。一般触电后触电者的状况分为以下几种。

(1) 全身表现

① 轻型 精神紧张、面色苍白、表情呆滞、呼吸与心跳加快、甚至出现短暂的神志丧失，恢复后有肌肉疼痛、疲乏无力、头痛等症状。

② 中型 惊恐、心慌、神志丧失、肌肉痉挛、呼吸加快、心跳加速、心律不齐、血压下降等。

③ 重型 神志丧失、颈动脉搏动消失、心音消失、呼吸不规则或停止，面部及口唇苍白或紫红、瞳孔散大且固定、对光反射消失。心跳、呼吸停止超过 4~6min，则脑组织出现不可逆的损伤。有的人触电后，肌肉强烈痉挛，特别是喉部肌肉痉挛，可导致窒息而死亡。

(2) 局部表现

① 电灼伤 因电压高低等情况不同可造成不同程度的电灼伤。一般低压电流的电灼伤伤面小；高压电电灼伤伤面大、伤口深，多呈干性伤面，有时可见电伤烙印。

② 外伤 触电后跌倒或高空坠落造成颅脑、胸、腹部及脊柱、四肢等处的损伤，内脏损伤、出血、骨折等。

1.2.2 触电急救安全注意事项及使触电者脱离电源的方法

(1) 触电急救安全注意事项

① 救护人不得使用金属或其他潮湿物品作为救护工具。

② 在未采取任何绝缘措施的情况下，救护人不得直接接触触电者的皮肤和潮湿衣服。

③ 在使触电者脱离电源的过程中，救护人最好单手操作以防救护人触电。

④ 要防止触电者脱离电源后可能出现的摔伤、碰伤。

⑤ 夜间发生触电事故，应迅速解决照明问题，以便救护并防止出现其他事故。

⑥ 对呼吸停止、心脏停跳的触电者要迅速进行人工呼吸和胸外心脏按压，就地进行抢救。

⑦ 对触电者用药或注射针剂要慎重，必须经有经验的医生诊断后方可用药或注射。

(2) 使触电者脱离电源的方法

① 断开与触电者有关的电源。在有刀闸、开关的电路中将刀

闸、开关拉开，或拔掉插销等。

② 用带有绝缘柄的钢丝钳或有干燥木柄的斧头、铁锹等切断电源线。

③ 用干燥的木棍、竹竿等挑开导线。

④ 救护人可用一只手抓住触电者干燥的衣物将其拉离电源。

⑤ 救护人可用一只戴手套或垫上干燥衣物的手拉开触电者。

⑥ 救护人可站在干燥木板、木凳上或绝缘胶垫上，用一只手将触电者拉开。

1.2.3 针对触电者各种不同情况的处理方法

① 触电者神志清醒，能回答问题，只是感觉头昏、乏力、心悸、出冷汗、恶心、呕吐、四肢发麻，属于症状较轻，应让其就地静卧休息一段时间，以减轻心脏负担，加快恢复。同时，应迅速请医生到现场观察、诊断，做好一切抢救准备，一旦需要，立即开始抢救。

② 触电者神志断续清醒，出现一度昏迷，对这种情况，一方面要请医生救治，一方面应让其静卧休息；随时观察伤情的变化，做好万一恶化的施救准备。

③ 触电者神志不清或失去知觉，但呼吸、心跳尚存，这时，应将其抬到附近通风、干燥、空气清爽的地方平卧，解开衣服，进一步观察，同时立即请医生到现场诊治。

④ 对失去知觉、呼吸困难或呼吸逐渐微弱的触电者，要立即进行人工呼吸，同时立即请医生到现场急救，并迅速做好送触电者到医院的准备，即使在送往医院的途中，也不能停止人工呼吸。

⑤ 如果触电者呼吸、脉搏和心跳均已停止，出现假死现象，应立即进行口对口人工呼吸和胸外心脏挤压进行抢救；凡呼吸停止，且口鼻均受伤的触电者应采用牵手人工呼吸法进行抢救，千万不能为了量血压、听心音等耽误抢救时间。同时，要立即请医生到现场救治，并尽快把触电者转送到医院抢救。在送往医院的途中，不能停止人工呼吸和胸外心脏挤压。

1.2.4 现场急救方法

口对口人工呼吸法、胸外心脏挤压法是现场主要的急救方法。对重症触电者，如果呼吸停止，应采用口对口人工呼吸法，迫使其体内外气体交换得以维持；如果心脏停止跳动，应采用胸外心脏