

高职高专“十二五”规划教材

DIANGONG JISHU YU YIBIAO

电工技术与仪表

陈忠仁 主编



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

电工技术与仪表

	陈忠仁	主 编	
杜维玲	晏华成	曾小波	副主编
	王连圭	主 审	



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书遵循“教、学、做”一体化的编写思路,全书由6个项目26个任务组成,每个任务都由任务引入、任务实施、相关知识、知识拓展与习题5部分组成。所选项目包括:触电急救与电工安全操作、直流电路的安装与测试、单相交流电路的安装与测试、三相交流电路的安装与测试、变压器、互感器的安装与测试、动态电路的分析与观测。在项目和任务的编排上,注重理论联系实际,选用贴近生产、生活实际的素材。同时将电路原理与电工仪表的使用通过各种电路的安装与测试等诸如此类的任务揉合在一起,形成有机的整体,以达到任务驱动、项目教学之目的。

本书可作为高职高专院校电气自动化技术专业、机电一体化专业、电子信息工程技术专业及相关专业的教材和参考书,也可作为相关技术培训的教材及参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术与仪表/陈忠仁主编. —北京:化学工业出版社,2013.7

高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-17315-7

I. ①电… II. ①陈… III. ①电工技术-高等职业教育-教材②电工仪表-高等职业教育-教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第097043号

责任编辑:王听讲
责任校对:陈静

文字编辑:云雷
装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 $\frac{3}{4}$ 字数406千字 2013年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:30.00元

版权所有 违者必究

前 言

电工基础是高职高专电气类、机电类、自动化类相关专业学生必修的一门专业基础课。长期以来，高职高专的电工基础教材的编写仍沿袭以往的学科体系结构，以理论知识讲授为主，实验验证为辅，已经大大落后于教学改革实践。此外，传统的教学实践中，常常把电工基础和电工仪表分作两门课程，电工基础的讲授在先，电工仪表的学习在后，这就存在割裂和脱节。实际上，电工基础的实训要用到电工仪表，在讲授电工仪表的原理和结构的时候也要用到电工基础理论，因此我们将这两门课程合并为电工技术与仪表，以解决存在的上述问题。

本书以当前高职高专院校流行的任务驱动、项目式教学法为主线，遵循“教、学、做”一体化的编写思路。本书由六大项目组成，每个项目下有若干任务。在任务编排的顺序上，先以实际的工作情境将任务引入，接着是任务的实施，然后介绍和任务相关的知识，最后是知识的拓展。任务实施主要训练学生的动手实践能力、理论的应用能力，因而是教学的重点；知识拓展和各任务有一定的联系，内容简练，主要用于开拓学生的视野，激发学生的学习兴趣，学有余力的学生可以藉此进行更进一步的探索学习。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案和教学资源，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书由中山职业技术学院陈忠仁任主编，中山火炬职业技术学院晏华成、中山职业技术学院杜维玲和湖南理工职业技术学院曾小波任副主编，中山职业技术学院徐平凡、黄健和济源职业技术学院牛鑫，南方电网公司中山供电局陈劲游等参与了本书的编写工作。本书由电子科技大学中山学院王连圭教授主审，王教授对本书提出了许多宝贵意见和建议，在此表示感谢。

由于时间仓促，加之编者的水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

项目一 触电急救与电工安全操作	1
任务一 触电及触电急救	1
一、任务引入	1
二、任务实施	2
三、相关知识	3
(一) 触电及影响人体触电危害程度的因素	3
(二) 触电原因及触电类型	5
(三) 触电急救	7
四、知识拓展——防雷技术	8
习题	10
任务二 电工安全操作	11
一、任务引入	11
二、任务实施	12
三、相关知识	13
(一) 电力系统	13
(二) 安全电压及其用电安全措施	16
(三) 电工安全操作规程	18
四、知识拓展——电气火灾及其电气防爆知识	19
(一) 电气火灾及其处理措施	19
(二) 电气防爆及其预防措施	20
习题	21
任务三 电工安全用具操作	22
一、任务引入	22
二、任务实施	22
三、相关知识	24
四、知识拓展——居民用电安全知识	29
习题	30
项目二 直流电路的安装与测试	31
任务一 电源的电压输出及测量	31
一、任务引入	31
二、任务实施	31
三、相关知识	33
(一) 双路直流稳压电源	33
(二) 万用表	34
(三) 测量基本知识	36
(四) 测量误差的表示方法及其分类	36
(五) 电工测量仪表分类	38
四、知识拓展——磁电系仪表	39
习题	41
任务二 电路元器件的识读及测量	42
一、任务引入	42
二、任务实施	42
三、相关知识	46
(一) 电阻元器件 R	46
(二) 电容元器件 C	48
(三) 电感元器件 L	50
(四) 电源	51
四、知识拓展——温度变化对电阻的影响	54
习题	55
任务三 简单直流电路的安装及测试	55
一、任务引入	55
二、任务实施	56
三、相关知识	57
(一) 直流电基本知识	57
(二) 电路基本变量及其测量	59
(三) 电路的工作状态	64
四、知识拓展——汽车电路	65
习题	66
任务四 基尔霍夫定律的应用	67
一、任务引入	67
二、任务实施	67
三、相关知识	69
(一) 电阻元器件欧姆定律修正	69
(二) 基尔霍夫定律	69
(三) 基尔霍夫定律的应用	71
四、知识拓展——测量结果的评定	73
习题	74
任务五 电阻串并联电路的安装与测试	75
一、任务引入	76

二、任务实施	76	一、任务引入	91
三、相关知识	78	二、任务实施	91
(一) 电阻的串联连接	78	三、相关知识	93
(二) 电阻的并联连接	79	(一) 线性电路	93
(三) 电阻的混联	80	(二) 结点电位法	93
四、知识拓展——电工仪表量程的扩大	80	(三) 线性叠加定理	94
习题	81	(四) 线性电路的齐次性定理	96
任务六 电桥的安装测试与使用	82	四、知识拓展——非线性电路	96
一、任务引入	82	习题	97
二、任务实施	83	任务八 等效电源电路的安装与测试	97
三、相关知识	84	一、任务引入	98
(一) 平衡电桥	84	二、任务实施	98
(二) 直流单臂电桥	86	三、相关知识	100
(三) 电阻的星形、三角形连接及其等效变换	87	(一) 二端网络	100
四、知识拓展——不平衡电桥及其在测量技术中的应用	89	(二) 戴维宁定理	101
习题	90	(三) 诺顿定理	104
任务七 多电源电路的安装与测试	90	(四) 最大功率传输定理	104
		四、知识拓展——电能的无线传输方式	106
		习题	106
项目三 单相交流电路的安装与测试	108		
任务一 白炽灯照明电路的安装与测试	108	(三) RLC 串联的交流电路分析	132
一、任务引入	108	(四) 功率	133
二、任务实施	108	四、知识拓展——漏电保护的原理和应用	134
三、相关知识	111	习题	135
(一) 正弦交流电的三要素	111	任务四 日光灯照明电路的安装与测试	136
(二) 电磁系仪表的工作原理	113	一、任务引入	136
四、知识拓展——电光源照明的发光方法	114	二、任务实施	136
习题	114	三、相关知识	139
任务二 机床照明电路的安装与测试	115	(一) 功率因数	139
一、任务引入	115	(二) 功率因数表的原理和接线方法	140
二、任务实施	116	(三) 无功补偿及其移相电容器容量的计算	142
三、相关知识	119	四、知识拓展——电动系仪表的原理和结构	143
(一) 复数与相量	119	习题	143
(二) 纯电阻性单相交流电路	121	任务五 谐振电路的安装与测试	144
(三) 数字示波器	122	一、任务引入	144
四、知识拓展——数字仪表	124	二、任务实施	144
习题	125	三、相关知识	149
任务三 RLC 交流电路波形观测	126	(一) 串联谐振	149
一、任务引入	126	(二) 并联谐振	150
二、任务实施	127	四、知识拓展——谐振在电子整流器电路中的应用	152
三、相关知识	128		
(一) 纯电感正弦交流电路分析	128		
(二) 纯电容正弦交流电路分析	130		

习题	153	(一) 电能表概述	162
任务六 家用配电板的设计安装与测试	154	(二) 单相电能表的结构及工作原理	163
一、任务引入	154	(三) 单相电能表的使用	165
二、任务实施	155	四、知识拓展——电能计量与自动抄表	166
三、相关知识	162	习题	167
项目四 三相交流电路的安装与测试	168		
任务一 工厂用配电板的设计安装与测试	168	安装与测试	181
一、任务引入	168	一、任务引入	181
二、任务实施	169	二、任务实施	182
三、相关知识	171	三、相关知识	183
(一) 对称三相交流电的产生及表示		(一) 三相电源的三角形(Δ)连接	183
方法	171	(二) 三相负载的三角形(Δ)连接	184
(二) 对称三相交流电的特点及相序	171	(三) 实际负载接入三相电源的原则	185
(三) 三相有功电能表	172	四、知识拓展——PT 开口三角测量	
四、知识拓展——相序指示器	174	零序电压	187
习题	174	习题	187
任务二 星形连接的三相交流电路的安装		任务四 三相交流电路的有功功率计算	
与测试	175	与测量	188
一、任务引入	175	一、任务引入	188
二、任务实施	175	二、任务实施	188
三、相关知识	177	三、相关知识	192
(一) 三相电源的星形(Y)连接	177	(一) 三相电路的功率	192
(二) 三相负载的星形(Y)连接	178	(二) 电动系功率表	193
四、知识拓展——三相不对称电路	180	(三) 三相有功功率的测量	195
习题	181	四、知识拓展——三相无功电能表	196
任务三 三角形连接的三相交流电路的		习题	197
项目五 变压器、互感器的安装与测试	198		
任务一 变压器的安装与测试	198	(一) 互感器	213
一、任务引入	198	(二) 电流互感器	214
二、任务实施	199	(三) 电压互感器	218
三、相关知识	200	四、知识拓展——钳形电流表	220
(一) 磁路	200	习题	222
(二) 磁路的基本定律	202	任务三 电气设备的故障检测	222
(三) 铁磁材料的磁性能	203	一、任务引入	222
(四) 变压器	206	二、任务实施	223
四、知识拓展——变压器故障分析及		三、相关知识	224
解决方案	208	(一) 绝缘和匝间短路	224
习题	209	(二) 兆欧表的结构、工作原理和绝缘	
任务二 互感器在交流电路中的安装与		测试方法	225
测试	210	(三) 直流双臂电桥	227
一、任务引入	210	四、知识拓展——电气设备预防性试验	229
二、任务实施	211	习题	230
三、相关知识	213		

项目六 动态电路的分析与观测	231
任务一 电容电路动态过程的观测	231
一、任务引入	231
二、任务实施	231
三、相关知识	232
(一) 电容电路换路产生的原因	232
(二) 电容电路换路定律	233
(三) 电容电路初始值的确定	233
(四) RC 电路	233
四、知识拓展——一阶电路的三要素法	235
习题	236
任务二 电感电路动态过程的观测	236
一、任务引入	237
二、任务实施	237
三、相关知识	238
(一) 电感电路换路产生的原因	238
(二) 电感电路换路定律	238
(三) 电感电路初始值的确定	238
(四) RL 电路	239
四、知识拓展——一阶电路的全响应	240
习题	240
参考文献	242

项目一 触电急救与电工安全操作

任务一 触电及触电急救

【能力目标】

1. 能对触电者的触电类型进行正确的判断。
2. 能对触电者采取正确的触电急救处理。
3. 能进行正确的人工呼吸和胸外心脏挤压急救。

【知识目标】

1. 掌握影响人体触电危害程度的各种因素。
2. 熟悉触电事故的种类及其触电类型。
3. 掌握人工呼吸触电急救的方法。
4. 掌握人体胸外心脏挤压急救的方法。

一、任务引入

如图 1-1 所示电路，电动机边上的人发生了什么事呢？噢，这应该就是人们常说的触电事故吧。碰触了电机外壳就会触电吗？触电到底是怎么回事呀？触电有危险吗？发生触电事故后又该如何办呢？

众多疑问，引发思考。日常生活中，人身触电情况时有发生，触电事故是极其危险的。

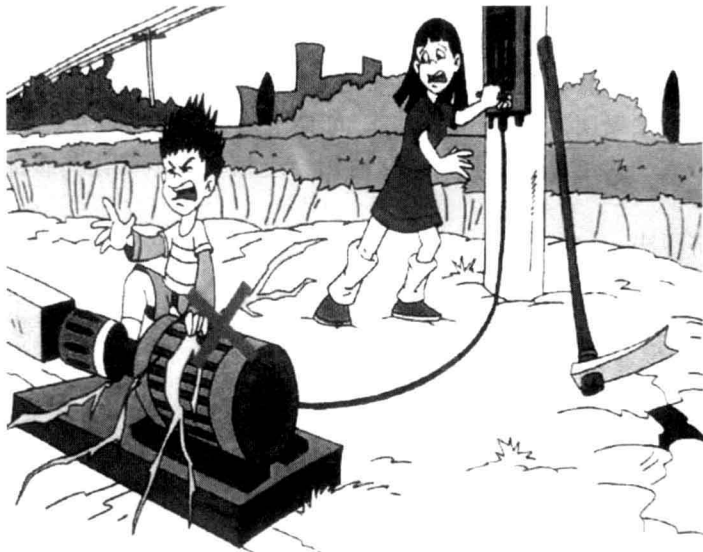


图 1-1 触电事故

人体发生触电后，如果没能被及时发现或者发现而没能得到及时的抢救，对触电者的身体而言将会有一定的危害，严重时将有生命危险。

假设你是工厂里的一名电工，现某车间发生了一起人身触电事故，需要对触电者开展急救，并处理事故现场，那么你将如何去做呢？

二、任务实施

步骤 1 —— 分组学习、讨论触电急救方法

1. 口对口人工呼吸法

口对口人工呼吸是针对呼吸停止的触电者采用的急救方法，如图 1-2 所示。

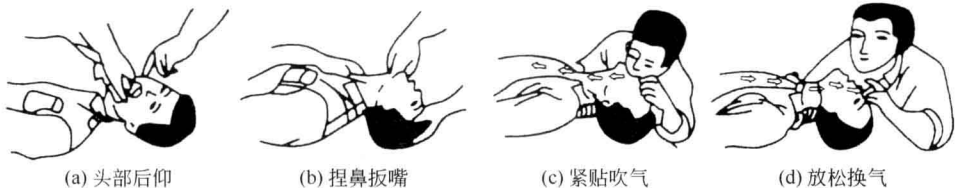


图 1-2 口对口人工呼吸法救护

口对口人工呼吸具体操作步骤如下。

(1) 使触电者仰卧，迅速解开触电者的衣领、围巾、紧身衣服等，使其胸部能自由扩张。

(2) 将触电者的头部偏向一侧，除去口腔中的杂物，如黏液、血液、食物、假牙等，使其呼吸通畅。必要时可用金属勺柄由口角伸入，使其口张开。

(3) 将触电者的头部尽量后仰，鼻孔朝天，颈部伸直。救护者蹲在触电者的一侧，一只手捏紧患者的鼻子，另一只手托在触电者的后颈，使其嘴巴张开，救护者深深的吸气后，紧贴患者的嘴巴，并进行大口的吹气，时间约 2s，促使其胸部膨胀；

(4) 吹气完毕，放松触电者的口鼻，使气体从触电者肺部自动排出，时间约 3s。整个吹气、放松的循环过程，每 5s 进行一次，反复进行，直至触电者苏醒并能自行呼吸。

采用口对口人工呼吸急救时应该注意：

- ① 吹气时，一定要捏紧鼻孔，紧贴嘴巴，不能有漏气。放松时应能使触电者自动呼气。
- ② 如果触电者牙关紧闭，一时无法撬开，可采用口对鼻吹气的方法。
- ③ 如果是体弱者和儿童触电急救，吹气时用力应稍轻，不可让其腹部过分膨胀，以免肺泡破裂。

2. 胸外心脏挤压法

胸外心脏挤压法是对心脏停止跳动的触电者恢复心跳采用的急救方法，如图 1-3 所示。

胸外心脏挤压法具体操作步骤如下。

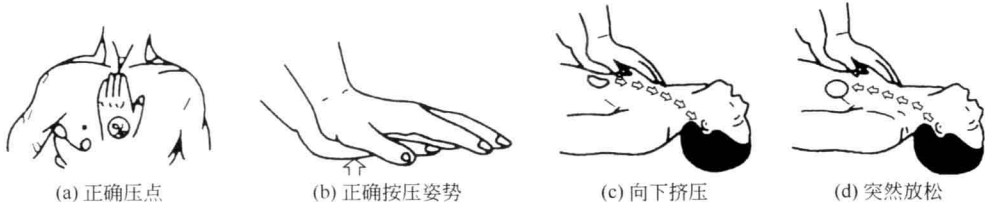


图 1-3 胸外心脏挤压法救护

(1) 压点寻找：将触电者衣服解开，使其仰卧在硬板上或平整在地板上，找到正确的挤压点。根据经验，救护者伸开手掌，中指指尖抵住触电者颈部凹陷的下边缘，手掌的根部就是正确的压点。

(2) 挤压手法：救护人员跪跨在触电者腰部两侧位置的地上，身体前倾，两手相叠，以手掌根部放置在正确的压点上。

(3) 正确挤压操作：挤压操作时，掌跟均衡用力，连同身体的重量向下挤压，压出心室血液，使其流至触电者的全身各部位。挤压深度通常成人为 3~5cm，对儿童要用力轻些。太快太慢或用力过重，都不能有好的效果。

(4) 挤压后应掌跟突然抬起，依靠胸廓自身的弹性，使胸腔复位，血液流回心室。重复步骤 (3)、(4)，以每秒钟一次为宜。

总之，使用胸外挤压法时应注意：压点正确、下压均衡、放松迅速、用力和速度适宜，要坚持做到使触电者的心跳完全恢复为止。

如果触电者心跳和呼吸都已停止，则以上两种方法应同时用来进行救护，如图 1-4 所示。一人救护时，可先吹气 2~3 次，再挤压 10~15 次，两种方法交替进行；两人救护时，每 5s 吹气一次，每 1s 挤压一次，两人应同时进行操作，但必须配合好。



图 1-4 人工呼吸与胸外心脏挤压法共同救护

步骤 2 —— 以人体模型为对象，实施“口对口人工呼吸”触电急救训练

以每 2 人为一组，在工位上以“人体模拟人”为急救对象，按照要求进行“口对口人工呼吸”急救操作训练，认真体会急救操作要领。

步骤 3 —— 以人体模型为对象，实施“胸外挤压法”触电急救训练

以每 2 人为一组，在工位上以“人体模型”为急救对象，按照要求进行“胸外心脏挤压法”急救操作训练，认真体会急救操作要领。

步骤 4 —— 总结

实训结束后，总结触电急救的具体操作方法及步骤。

三、相关知识

(一) 触电及影响人体触电危害程度的因素

1. 人体触电

众所周知，人体是良导体。当人体直接接触或部分接近带电体时，通过人体和大地就形成一个回路，这样就会有一定数值的电流流经人体，也就发生了所谓的“触电”事故。

2. 电流对人体的作用

人体触电后,流过人体的电流对人体会产生作用。流经人体肌体组织的电流将对人体造成不同程度的损伤,导致人体局部受伤或者死亡。

电流对人体造成的伤害主要有电击和电伤两种。

(1) 电击:指的是“电流通过人体时,对触电者的体内肌体器官造成伤害的形式”。由于电流的大小有所不同,所以电击对人体造成的伤害也有所不同。其表现有刺痛、灼热感、人体肌肉抽搐、痉挛、昏迷、心室颤动、严重时出现呼吸困难、心跳停止、甚至死亡等。

电击又分“直接电击”和“间接电击”。直接电击指人体直接接触及正常运行的带电体发生的触电;间接电击指电气设备发生故障时,人体意外触及带电部分所造成的触电。总之,电击是一种比较危险的触电类型,触电死亡者中的绝大多数都是电击造成的。

(2) 电伤:指的是由于电流的热效应、化学效应或机械效应等对人体外表肌体造成的外伤,表现有灼伤、烙伤及皮肤金属老化等。

人体触电时,电击与电伤两者经常是同时发生的。

3. 影响人体触电危害程度的因素

发生触电后,电流对人体的影响程度,主要决定于流经人体的电流大小、电流通过人体持续的时间、人体阻抗大小、电流路径、电流种类、电流频率以及触电者的体重、性别、年龄、健康情况和精神状态等多种因素。

(1) 流经人体电流的大小

根据电击事故分析可知:当工频电流为 $0.5\sim 1\text{mA}$ 时,人就有手指、手腕麻或痛的感觉,称感觉电流;当电流增至 $8\sim 10\text{mA}$ 时,针刺感、疼痛感增强,发生痉挛,但终能摆脱带电体,称摆脱电流;当接触电流达到 $20\sim 30\text{mA}$ 时,会使人迅速麻痹不能摆脱带电体,而且血压升高,呼吸困难;电流为 50mA 时,就会使人呼吸麻痹,心脏开始颤动,持续时间稍长,即有生命危险,称为致命电流;如果电流大于 50ms 时,数秒钟后就可致命。总之,通过人体的电流越大,人体的生理反应越强烈,病理状态越严重,致命的时间就越短。另外,触电的电压越高,流经人体的电流就越大,对人体的伤害也就越严重。

(2) 电流流经人体时间的长短

电流通过人体的时间越长,后果越严重。这是因为时间越长,人体的电阻就会降低,电流就会增大。同时,人的心脏每收缩、扩张一次,中间有 0.1s 的时间间隙期。在这个间隙期内,人体对电流作用最敏感。所以,触电时间越长,与这个间隙期重合的次数就越多,从而造成的危险也就越大。

技术上,常用触电电流与触电持续时间的乘积(称“电击能量”)来衡量电流对人体的伤害程度。若电击能量超过 $150\text{mA}\cdot\text{s}$ 时,触电者就有生命危险。

(3) 电流通过人体的途径

电流通过人体的路径和危险情况见图 1-5 所示。当触电电流通过人体内部的重要器官时,后果就是非常严重的。例如通过头部,会破坏脑神经,使人昏迷;通过脊髓,会破坏中枢神经,使人瘫痪;通过肺部会使人呼吸困难;通过心脏,会引起心脏颤动、血液循环中断或心跳停止而死亡。

根据事故统计得出:电流通过人体时最危险的是从左手到脚,其次是从手到手,危险最小的是从脚到脚,另外,电流经过人体时还可能導致二次事故的发生,如救援时出现触电者烧伤、跌落摔伤、死亡等。

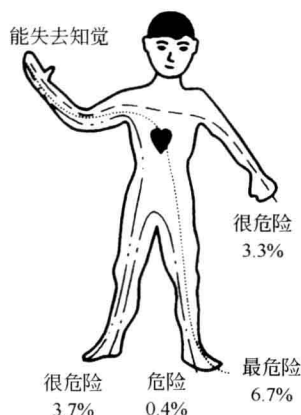


图 1-5 电流通过人体路径及其危害

(4) 电流的频率高低

电流分为直流电、交流电。交流电又分为工频交流电和高频交流电。这些电流对人体都有伤害，但伤害程度各有不同。

经研究数据表明：人体忍受直流电和高频电的能力比忍受工频电的能力要强。根据触电者的案例结果分析得出：40~60Hz 的交流电对人体造成的危害最大，随着频率的增高，危险性将降低。所以说，日常接触的“工频电”是最危险的，应该引起注意。

(5) 触电者的健康状况

根据资料分析，电击对患有心脏病、肺病、内分泌失调及精神病等患者最危险。他们的触电死亡率最高。另外，对触电有心理准备的，触电伤害轻。人体电阻大的，遭受电流伤害的程度轻些；肌肉发达者、成年人比儿童摆脱电流的能力强；男性比女性摆脱电流的能力强。对应于概率 50% 的摆脱电流，成年男子约为 16mA，成年女子约为 10.5mA，对应于概率 99.5% 的摆脱电流则分别为 9mA 和 6mA，儿童的摆脱阈值较小。

(二) 触电原因及触电类型

1. 触电原因

触电是指人体直接接触了带电体或间接地承受了一定的电压而造成电流通过人体而引起人身的不适、伤害或死亡事件的情况。

常见的触电原因有：用电者缺少电气安全知识；用电者违反安全操作规程；电气设备不合格；电气设备进行电气维护、维修不善；偶然原因（如刮风）造成电线跌落等。

2. 触电类型

常见的人体触电形式有单相触电、两相触电、跨步电压触电、弧光触电、接触电压触电，此外还有感应电压、剩余电压、高压电厂静电、雷击等引起的触电。

(1) 单相触电：是指由单相 220V 交流电（民用电）引起的触电，如图 1-6 所示。

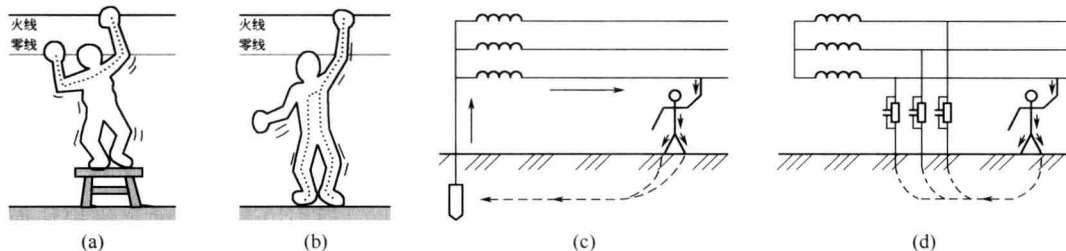


图 1-6 单相触电

在低压电力系统中，当人体的某一部分直接碰触带电体中的单相电源相线（俗语“火线”）或三相电源中的一根相线，使得相线、人体与大地或中性线构成回路，造成电流通过人体而产生的触电。

触电事故中的大部分都属于单相触电事故。

(2) 两相触电：是指由三相交流的 380V 线电压引起的触电，如图 1-7 所示。

当人体（或其附属物品）的两处同时触及三相电源中的两根相线时，人体就会承受相线之间的 380V 线电压。可见，两相触电产生的电流比较大，其危险性比单相触电要大。两相触电轻微的会引起触电烧伤或导致残疾，严重的可以导致触电者死亡，而且两相触电使人触电身亡的时间仅有 1~2s。

(3) 跨步电压触电：由于火灾、狂风、地震等使高压线断落在地上时，接地点会出现很大的故障电流。电流就会从电线的落地点流入大地，并以导线落地点为中心以同心圆方式向

四周扩散，在导线及周围形成很强的电场。当有人进入此电场圈内，又有一定的步距时，因两点之间有不同的电势值，那么就会使人体两脚间承受很高的跨步电压，并有电流通过人体而造成触电，称其为跨步电压触电，如图 1-8 所示。经验数据和大量实例结果表明，一般在距离电线落地点 8~10m 以内，其接地电流较大。在落地导线着地点的 20m 远处时电位基本降为零。

跨步电压的大小与接地电流、土壤电阻率、设备接地电阻及人体体位等有关系。

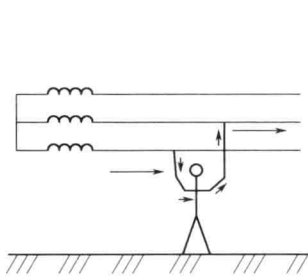


图 1-7 两相触电

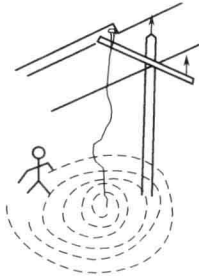


图 1-8 跨步电压触电

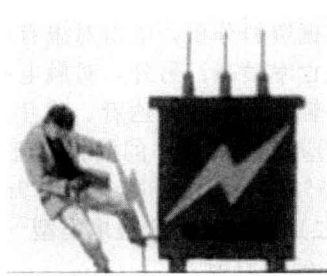
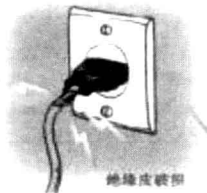


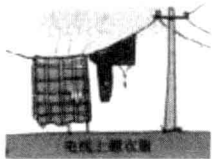
图 1-9 弧光触电

(4) 弧光触电：当人体过于接近高压电网时，虽然人未直接接触高压线，但高压可以击穿高压线与人体之间的绝缘空气，而产生电弧将人体烧伤，严重时可致死，如图 1-9 所示。

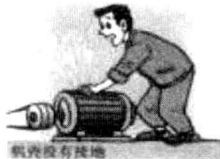
(5) 接触电压触电：是指人体触及到平时不带电而在故障状态下发生带电的电气设备而造成的触电事故，如图 1-10 所示。



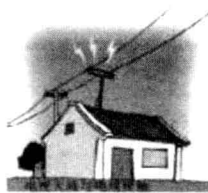
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-10 故障状态可能发生的接触电压触电

电气设备在正常运行时，其外壳和整体结构是不带电的，但当电气设备的绝缘损坏而又发生接地短路故障时，就产生了“漏电”或称“碰壳”现象，其金属外壳和结构便带有了电压。如果人体触及到此漏电设备，就是发生了所谓的接触电压触电事故。

(6) 感应电压触电：人体触及带有感应电压的线路和设备时，所造成的触电事故，如图 1-11 所示。

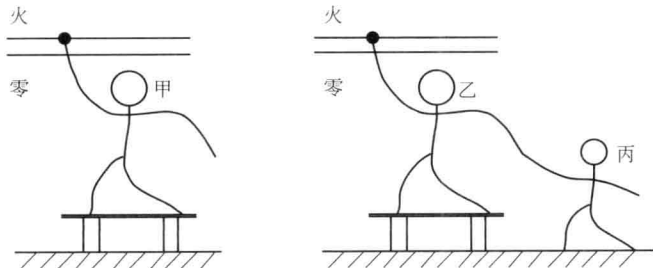


图 1-11 电源外壳会有感应电压

(7) 剩余电压触电：指人体碰触到具有储能特性的电气设备，而设备又带有剩余电压时发生的触电事故。通常是由于检修人员在使用摇表（或绝缘电阻测试仪）对停电后的并联电容器、电力电缆、电力变压器及大容量电动机等设备进行检测前，没有对其设备做充分的放电所造成的。

(8) 高压电场对人体的伤害：在超高压输电线路和配电装置周围、存在着强大的电场。处在电场内的物体会因静电感应的作用而带有一定的电压。当人触及这些带有感应电压的物体时，就会有感应电流通过人体，对人身造成伤害。研究表明，人体对高压电场下静电的反应更加灵敏， $0.1\sim 0.2\text{mA}$ 的感应电流通过人体时，人就会有明显的刺痛感。在超高压线路下或设备附近站立或行走的人，往往会感到不舒服，会感到精神紧张，皮肤会有刺痛感，严重时还可能会在头和帽子之间、脚与鞋子之间产生火花。

(9) 雷击：雷电作为一种放电现象，它体现为一种巨大的不可抗拒的自然能量释放的过程。避雷针只能有效地防护直击雷，而由强大电磁场产生的感应雷和电磁脉冲电压，能沿天线、电源线、电话信号线潜入室内，破坏电器设备。雷击灾害造成人身事故每年时有发生，雷电灾害造成的经济损失和人员伤亡事故日益严重，具有发生频次多、范围广、危害严重、社会影响大的特点。发生雷暴时，雷击点周围会有电场产生，进入雷击区的人或牲畜的两脚之间就会有跨步电压形成，就会造成触电事故，如图 1-12 所示。



图 1-12 雷击事件

(三) 触电急救

触电事故的发生具有多发性、突发性、季节性、高死亡性等特点。

- (1) 多发性：统计资料表明，触电事故发生率仅次于交通事故；
- (2) 突发性：触电事故发生都比较突然；
- (3) 季节性：湿热的夏季发生率高；
- (4) 高死亡性：触电事故死亡率较高。

许多实例表明，发生触电事故时，实施触电急救，是减轻触电者痛苦、降低死亡率行之有效的措施。因此，对于电气工作人员和所有用电者来说，掌握触电急救方法是非常重要的。

1. 触电急救步骤

发生触电后，首先使触电者脱离电源，然后进行触电急救。

(1) 使触电者脱离电源：具体使触电者脱离电源的技巧如图 1-13 所示，具体如下。

- ① 拉：拉开电源开关；
- ② 切：用带有绝缘柄的利器切断电源线；
- ③ 挑：用干燥的木杆、竹竿等将导线挑开；
- ④ 拽：救护者可戴上绝缘手套或包缠干燥的衣服、围巾等拖拽触电者使其脱离电源；
- ⑤ 垫：救护者将干燥的木板塞进触电者身下使其与地绝缘。

(2) 触电者脱离电源后的急救措施

对触电者进行现场急救应用的主要方法如下。

- ① 送医院；
- ② 打 120；
- ③ 口对口的人工呼吸法；
- ④ 人工胸外心脏挤压法。

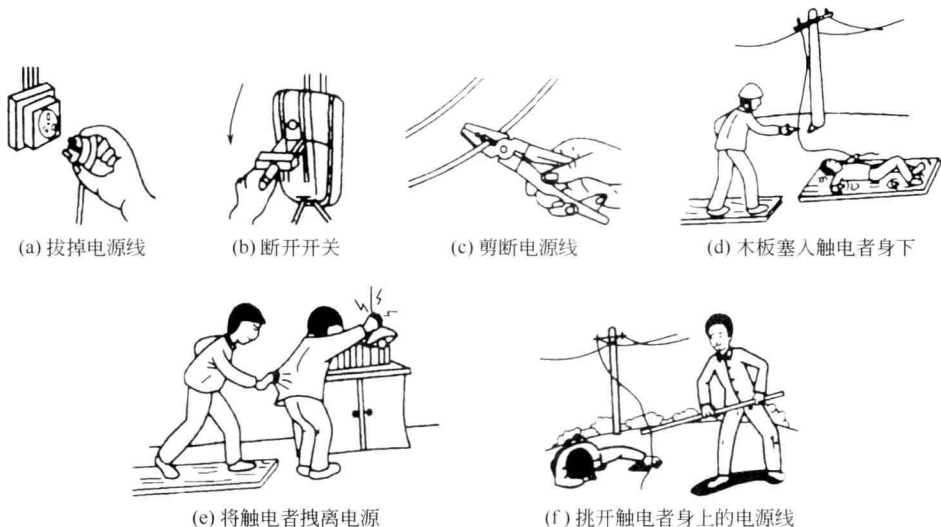


图 1-13 使触电者脱离电源的方法

2. 触电急救的具体方法

当触电者脱离电源后，应该先检查其全身的情况，立即采取正确的救护方法。特别是发现触电者的呼吸和心跳停止时，要迅速进行就地抢救。具体急救情况如下。

(1) 轻症：神志清醒，但感觉头晕、心悸、出冷汗、恶心、呕吐，但呼吸心跳均自主的触电者，应让其就地平卧休息，暂时不要站立或走动，以减轻心脏负担，防止继发性休克或心衰事件。

(2) 呼吸停止，心搏存在的触电者，应让就地平卧，速请医生的同时，解松衣扣，通畅气道，立即进行口对口人工呼吸，有条件的可插气管，加压氧气人工呼吸。亦可针刺人中、涌泉等穴位，或给予呼吸兴奋剂（如山梗菜碱、咖啡因、可拉明）等。

(3) 心搏停止、呼吸存在的触电者，应立即采用胸外心脏按压法急救。

(4) 呼吸、心跳均停止的触电者，则应在人工呼吸的同时施行胸外心脏按压术，以建立呼吸和循环，恢复全身器官的氧供应。现场抢救最好能两人分别施行口对口人工呼吸及胸外心脏按压，以 1:5 的比例进行，即人工呼吸 1 次，心脏按压 5 次。如现场抢救仅有 1 人，用 15:2 的比例进行胸外心脏按压和人工呼吸，即先作胸外心脏按压 15 次，再进行口对口人工呼吸 2 次，如此交替进行，抢救一定要坚持到底。

(5) 处理电击伤时，应注意有无其他损伤。如触电者脱离电源或自高空跌下时，常并发颅脑外伤、气胸、内脏破裂、四肢和骨盆骨折等。如有外伤、灼伤均需同时处理。

(6) 现场抢救中，不要随意移动伤员，若确需移动时，抢救中断时间不应超过 30s。移动伤员或将其送医院，除应使伤员平躺在担架上并在背部垫以平硬阔木板外，应继续抢救，心跳呼吸停止者要继续人工呼吸和胸外心脏按压，在医院医务人员未接替前救治不能中止。

四、知识拓展——防雷技术

1. 雷电及其危害

雷声和闪电是雷雨云在不断积累过程中，不同性质的正、负电荷在相互碰撞和摩擦过程

中产生的放电现象。

(1) 雷电的种类

按雷电形式的不同分有：直击雷、感应雷、球雷及雷电侵入波等几种形式。

(2) 雷电的危害

雷电的危害是多方面的，包括有电磁效应危害、热效应危害、机械效应危害、反击危害、电位危害等。

① 雷电的静电效应危害：当雷云对地面放电时，在雷击点的主放电过程中，雷击点附近的架空线路、电气设备或架空管道上，由于静电感应产生静电感应过电压，过电压幅值可达几十万伏，使电气设备绝缘击穿，引起火灾或爆炸，造成设备损坏、人身伤亡。

② 雷电的电磁效应危害：当雷云对地放电时，在雷击点的主放电过程中，在雷击点附近的架空线路、电气设备或架空管道上，由于电磁感应产生电磁感应过电压，过电压幅值可达几十万伏，使电气设备绝缘击穿，引起火灾或爆炸，造成设备损坏、人身伤亡事故。

③ 雷电的热效应危害：雷电流通过导体时，由于雷电流很大，雷电流数值可达几十至几百千安，在极短的时间内使导体温度达到几万摄氏度，可使金属熔化，周围易燃物品起火燃烧，烧毁电气设备、烧断导线、烧伤人员、引起火灾。

④ 雷电的机械效应危害：强大的雷电流通过被击物时，被击物缝隙中的水分急剧受热汽化，体积膨胀，使被击物品遭受机械破坏，击毁杆塔、建筑物，劈裂电力线路的电杆和横栏等。

⑤ 雷电的反击危害：当避雷针、避雷带、构架、建筑物等在遭受雷击时，雷电流通过以上物体及接地装置泄入大地，由于以上物体及接地装置具有电阻，在其上将产生很高的冲击电位。当附近有人或其他物体时，可能对人或物体放电，这种放电称为反击。雷击架空线路或空中金属管道时，雷电波可能沿着以上物体侵入室内，对人身及设备放电，造成反击。反击对设备和人身都构成危险。

⑥ 电位危害：当将雷电流引入大地时，在引入处地面上产生很高的冲击电位，人在其周围时，可能遭受冲击接触电压和冲击跨步电压而造成电击伤害。

2. 防雷措施

防雷措施是指通过组成拦截、疏导最后泄放入地的一体化系统方式以防止直击雷或雷电电磁脉冲对建筑物本身或其内部设备造成损害而采取的防护技术。

一套完整的防雷装置包括接闪器、引下线和接地装置。防雷装置从类型上看大体可以分为：电源防雷器、电源保护、防雷器插座、馈线保护器、信号防雷器、防雷测试工具、测量和控制系统防雷器、地极保护器等。

直击雷防护技术以避雷针、避雷带、避雷网、避雷线为主，其中避雷针是最常见的直击雷防护装置，避雷针效应如图 1-14 所示。

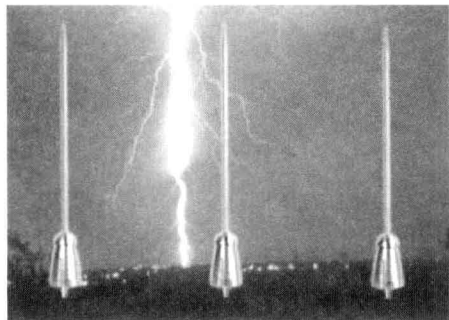


图 1-14 避雷针防雷效应

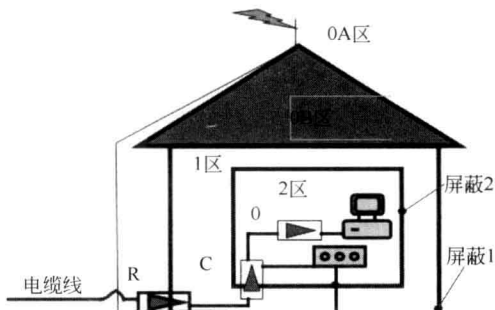


图 1-15 电磁屏蔽防雷技术