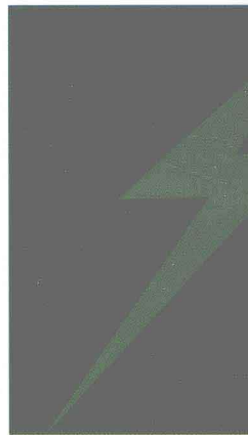
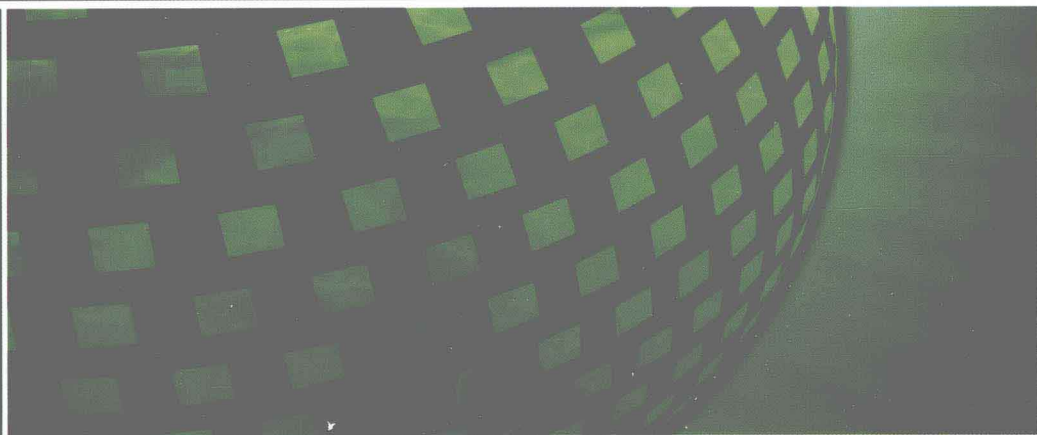


高职高专电类专业基础课规划教材

DIANGONG DIANZI JISHU YU SHIJIAN



电工电子技术与实践

王为民 袁建军 主 编
黄 志 主 审



化学工业出版社

高职高专电类专业基础课规划教材

电工电子技术与实践

王为民	袁建军	主 编
张秋妍	王云汉	副主编
黄 志	主 审	



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书分两篇共9章。上篇：电工技术与实践，包括安全用电、直流电路、单相正弦交流电路和三相交流电路。下篇：电子技术与实践，包括半导体器件、放大电路、正弦波振荡器及集成运算放大器、直流稳压电源和数字电路。

本书由浅入深，重点突出，适用性强，可作为高职高专院校、中等职业技术学校、技工学校电工电子类专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术与实践/王为民，袁建军主编. —北京：
化学工业出版社，2010.7
高职高专电类专业基础课规划教材
ISBN 978-7-122-08874-1

I. 电… II. ①王…②袁… III. ①电工技术-高等
学校：技术学校-教材②电子技术-高等学校：技术学校-
教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 117562 号

责任编辑：张建茹 鲍晓娟
责任校对：周梦华

装帧设计：王晓宇

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：北京永鑫印刷有限责任公司

装订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14½ 字数376千字 2010年9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：27.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

“电工电子技术与实践”课程是机电类各专业重要的专业技术理论课程，是机电类各专业培养高技能人才必须具备的基础知识。通过对“电工电子技术与实践”课程的学习，使学生获得必需的电工电子基础理论、电工电子电路分析计算能力及电工电子测量、电力拖动等基本知识与实践技能，为学习后续专业课程，树立理论联系实际的观点，培养实践能力、创新意识和创新能力，打下坚实的基础。

本书以现代电工电子技术的基本理论为主线，以实践应用为目标，在保证科学性的前提下，删繁就简，避免“难、繁、偏、细”的内容，使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强。将理论知识的讲授、课内讨论、作业与实践技能训练有机结合，根据学生的认知规律，较好地处理了理论和实践、知识和能力之间的关系，让学生能够轻松掌握电工电子技术的基本知识和技能。

全书分为两篇，上篇主要内容包括：安全用电、直流电路、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路；下篇主要内容包括：半导体器件、放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、数字电路。建议本书理论课时 118 学时，实践课时 42 学时。

本书由王为民、袁建军任主编；黄志主审；张秋妍、王云汉任副主编；张志芳、谢志平、张国良也参加了编写。本书还得到黄存足、徐思平、成百辆、白云生、李永忠、黄晚青和王风的大力协助和支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见和建议，以便修订时加以完善。

编者

2010 年 4 月

目 录

CONTENTS

上篇 电工技术与实践

第1章 安全用电	1	本章小结	45
1.1 电能的生产、输送、变换和分配 简介	1	思考与习题	46
1.2 电流对人体的作用	3	第3章 单相正弦交流电路分析与实践	49
1.3 触电方式	6	3.1 单相正弦交流电	49
1.4 触电急救常识	10	3.2 电阻、电感、电容元件电路	55
1.5 安全电压	13	实践任务1 家用照明电路的安装与 检测	67
1.6 电工安全操作规程	14	3.3 磁场与电场	68
1.7 电气防火	14	实践任务2 电风扇电路的安装与检测	77
实践任务 参观变配电所	16	本章小结	79
本章小结	17	思考与习题	80
思考与习题	17	第4章 三相交流电路分析与实践	82
第2章 直流电路分析与实践	18	4.1 三相正弦交流电路	82
2.1 电路的概念	18	4.2 三相电度表	86
实践任务1 万用表的使用	25	4.3 三相异步电动机的控制线路	86
实践任务2 简单照明电路的安装	26	实践任务 三相异步电动机接触器联锁的 正反转控制线路安装	104
2.2 简单电路的分析	27	本章小结	106
2.3 复杂电路的分析	34	思考与习题	106
实践任务3 自制简易万用表	42		

下篇 电子技术与实践

第5章 半导体器件分析与实践	107	6.6 功率放大器	141
5.1 半导体基础知识	107	实践任务 OTL功率放大电路的安装与 调试	146
5.2 半导体二极管	109	本章小结	149
5.3 二极管的应用	111	思考与习题	150
5.4 三极管(BJT)	114	第7章 正弦波振荡器及集成运算放大器 分析与实践	151
5.5 场效应管	121	7.1 RC正弦波振荡器	151
实践任务 半导体元件的识别与检测	123	7.2 LC正弦波振荡器	153
本章小结	125	7.3 集成运算放大器的组成、特点	155
思考与习题	126	7.4 集成运算放大器的主要技术 指标	159
第6章 放大电路的分析与实践	127	7.5 集成运算放大器及应用	160
6.1 放大电路概述	127	实践任务1 红绿灯闪烁器制作与调试	161
6.2 单管共发射极电路	128	实践任务2 电子琴的制作与调试	163
6.3 静态工作点稳定的放大电路	133		
6.4 多级放大器	135		
6.5 反馈放大电路	138		

本章小结	165	9.3 时序逻辑电路	196
思考与习题	165	实践任务 3 轻触双稳态开关	200
第 8 章 直流稳压电源分析与实践	168	实践任务 4 24 进制计数器的制作与 调试	201
8.1 RC 充放电电路	168	实践任务 5 60 进制计数器的制作与 调试	203
8.2 滤波电路的组成与工作原理	169	9.4 555 时基电路与石英晶体多谐振 荡器	203
8.3 稳压二极管与稳压电路	171	实践任务 6 数字钟的制作	207
8.4 串联型直流稳压电源的工作原理	172	9.5 数/模与模/数转换	212
8.5 集成稳压器	175	实践任务 7 手提数字显示电子秤	216
实践任务 1 串联型直流稳压电源安装	177	本章小结	221
实践任务 2 三端集成稳压电路安装	179	思考与习题	221
本章小结	180	附录一 常用二极管参数表	223
思考与习题	181	附录二 常用稳压二极管参数表	223
第 9 章 数字电路与实践	182	附录三 常用三极管参数表	223
9.1 数字逻辑基础	182	参考文献	225
实践任务 1 TTL 集成逻辑门电路功能 测试	190		
实践任务 2 声光控延时开关电路	191		
9.2 组合逻辑门电路	193		

上篇

电工技术与实践

第 1 章 安全用电

知识目标：

1. 了解电能的产生、输送、变换和分配；
2. 了解电流对人体的作用；
3. 了解各种常见的触电方式；
4. 掌握触电急救常识；
5. 了解安全电压；
6. 了解电气消防知识；
7. 了解相关的注意事项。

技能目标：

掌握触电急救常识。

在电力与人类生活越来越密不可分的今天，清楚地了解电、掌握安全用电的相关知识是非常必要的。本章将简单介绍电能的相关知识和安全用电的基本常识。

1.1 电能的生产、输送、变换和分配简介

在电力系统中，电力从生产到供给用户使用之前，通常都要经过发电、输电、变电和配电等环节，电力系统图如图 1-1 所示。

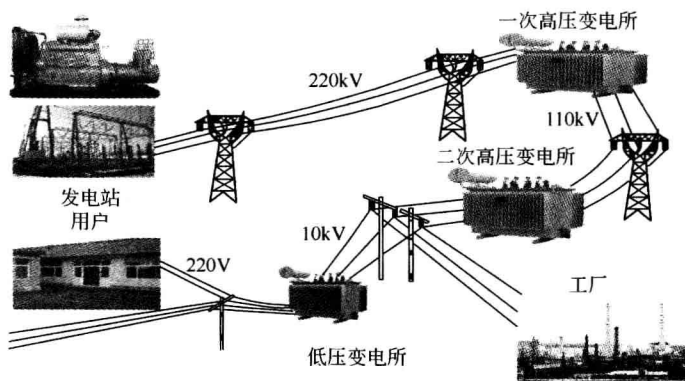


图 1-1 电力系统图

(1) 电能的生产——发电

① 发电 电能的生产过程称为发电。生产电能的工厂称为发电厂，又叫发电站，简称

电厂或电站。按发电所用的能源,可分为火力发电、水力发电、核能发电、风力发电、太阳能发电、潮汐能发电、地热能发电、沼气发电等多种,如图 1-2 所示。

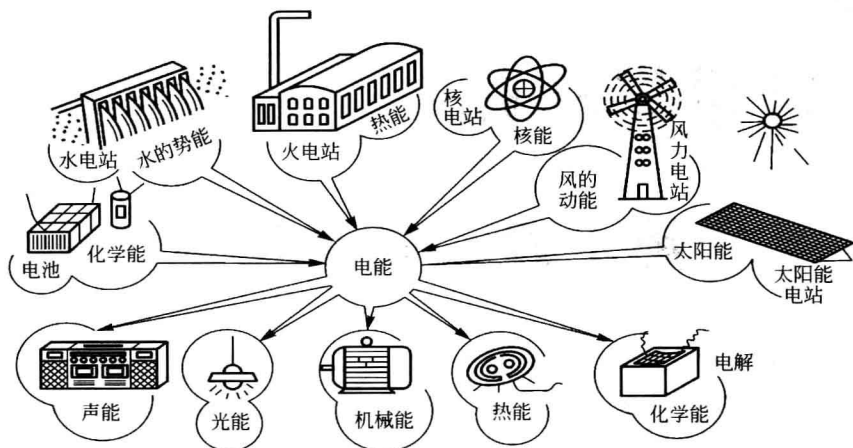


图 1-2 发电与用电

② 电力的集中输出和并车 一个电厂的装机容量是电力生产规模大小的标志,用 kW (千瓦)或 MW (兆瓦)表示。装机容量是一个电厂拥有发电机组的总功率。一般中、大型电厂,往往由多台机组构成,为了便于电力的集中输出和集中控制,一个电厂所有机组发出的电力通常都并联起来,形成集中的电力输出,把每台发电机发出的电力进行联并,这个技术操作叫做并车。

(2) 电能的输送——输电

① 输电 将发电厂发出的电能通过不同电压的线路输送到用户的过程称为输电。

② 高压输送 通常把发电和用电之间属于输送和分配的中间环节称为电力网。电力网都采用高电压、小电流输送电力。根据焦耳-楞次定律 ($Q=I^2Rt$) 可知,电流通过导体所产生的热量 Q ,是与通过导体的电流 I 的平方成正比的,所以采用低电压、大电流输送电力是很不经济的,因此电力系统的容量越大、输电距离越长,就要求把输电电压升得越高。

③ 输电线路 电力网的输电线路按电压等级分为高压级和超高压级两种。中国高压输电的标准电压为 35kV。超高压输电电压有 110kV、220kV、330kV、500kV 和 750kV 等多种。

(3) 电能的变换——变电

① 变电 即变换电力网的电压等级。要使不同电压等级的线路联成整个网络,需要通过变电设备统一电压等级来进行衔接。在大型电力系统中,通常设有一个或几个变电中心,称为中心变电站。变电中心是指指挥、调度和监视整个电力网(或一大区域)的电力运行,进行有效的保护,并有效地控制故障的蔓延,以确保整个电力网的运行稳定与安全。

② 变电的分类 变电分为输电电压的变换和配电电压的变换。电力从电厂到用户要经过多级变换。经过变电而把电压升高的,称为升压;把电压降低的,称为降压。用来升降电压的变压器称为电力变压器。

(4) 电能的分配——配电

① 配电 是指电力的分配,简称配电。配电分有电业系统对用户的电力分配和用户内部对用电设备的电力分配两种。电业系统的配电是围绕着电力供应这一中心目的的,故也可把配电称为供电。

② 高压配电和低压配电 配电电压的高低,通常决定于用户的分布、用电性质、负载

密度和特殊要求等情况。常用的高压配电电压有 10kV 和 6kV 两种, 低压配电电压为 380/220V。用电量大的用户, 也有需要 35kV 高压或 110kV 超高压直接供电的。大多数用户是由 10kV 或 6kV 高压供电, 或 380/220V 低压供电。前者称为高压用户, 后者称为低压用户。

1.2 电流对人体的作用

1.2.1 电流对人体的危害

触电是指电流流过人体时对人体产生的生理和病理伤害。这种伤害是多方面的, 可分为电击和电伤两种类型。

(1) 电击

电击是由于电流流过人体内而造成的内部器官在生理上的反应和病变。例如刺痛、灼热感、痉挛、麻痹、昏迷、心室颤动或停止跳动、呼吸困难或停止等现象。

(2) 电伤

电伤是电流对人体造成的外伤。如电灼伤、电烙印、皮肤金属化等。

① 电灼伤 电灼伤有接触灼伤和电弧灼伤两种。接触灼伤发生在高压触电事故时, 在电流流过人体皮肤的进出口处造成的灼伤。一般进口处比出口处灼伤严重。接触灼伤面积虽然较小, 但是深度可达三度。灼伤处皮肤呈黄褐色, 可波及皮下组织、肌肉、神经和血管, 甚至使骨骼炭化。由于伤及人体组织深层, 伤口难以愈合, 有的甚至需要几年才能结痂。

电弧灼伤发生在误操作或人体过分接近高压带电体而产生电弧放电时, 这时高温电弧将如火焰一样把皮肤烧伤。被烧伤的皮肤将发红、起疱、烧焦、坏死。电弧还会使眼睛受到严重损害。

② 电烙印 电烙印发生在人体与带电体有良好的接触的情况下, 在皮肤表面将留下和被接触带电体形状相似的肿块痕迹。有时触电后并不立即出现, 而是相隔一段时间后才出现。电烙印一般不发炎或化脓, 但往往造成局部麻木和失去知觉。

③ 皮肤金属化 由于电弧的温度极高 (中心温度可达 $6000\sim 10000^{\circ}\text{C}$), 可使其周围的金属熔化、蒸发并飞溅到皮肤表层而使皮肤金属化。金属化后的皮肤表面变得粗糙坚硬, 肤色与金属种类有关, 或灰黄 (铅), 或绿 (紫铜), 或蓝绿 (黄铜)。金属化后的皮肤经过一段时间会自行脱落, 一般不会留下不良后果。

必须指出, 人身触电事故往往伴随着高空坠落或摔跌等机械性创伤。这类创伤虽起因于触电, 但不属于电流对人体的直接伤害, 可谓之触电引起的二次事故, 亦应列入电气事故的范畴。

1.2.2 影响触电后果的因素

电流对人体的危害程度与流过人体的电流强度、通电持续时间、电流的频率、电流流过人体的部位 (途径) 以及触电者的人体状况等多种因素有关。

(1) 电流强度

流过人体的电流强度大小是触电伤害的首要因素, 不同强度的电流对人体的作用情况如表 1-1 所示。

表 1-1 电流对人体的作用

电流强度/mA	作用程度		备 注
	交流 50~60Hz	直流	
1.0~3.5	有感觉,但不疼痛	没感觉	感知电流:使人感觉到有电流通过的最小电流。男性一般为 2.5mA 左右;女性一般为 1mA
3.5~4.5	触电部位疼痛,手指肌肉轻微痉挛抽搐	感觉痒和热	摆脱电流:人本能按自身的意识摆脱的最大电流。男性一般为 16mA 左右;女性一般为 10mA 左右
4.5~10	全手疼痛,失去活动能力,手臂抽搐,肌肉痉挛	热感增加	
11~14	剧烈疼痛,剧烈抽搐,难于自主摆脱电源,但头脑尚清醒	热感更强	安全电流:指电流通过人体时,对人体不产生有害的生理效应,并且人体能自动摆脱带电体的最大电流值。交流 50~60Hz、10mA,直流 50mA
15~20	不能控制的动作,不能自主摆脱电源,剧疼,麻痹	强烈的热感,手部肌肉开始收缩	
20~50	呼吸困难,呼吸麻痹,心室震颤,昏迷,心跳停止,死亡	强烈的灼痛,手部肌肉痉挛,呼吸困难	致命电流:在较短时间内危及生命的最小电流
50 以上		呼吸困难,呼吸麻痹,心室震颤,心跳停止	

(2) 电流通过人体的持续时间

电流对人体的伤害与电流作用于人体的时间长短有密切关系。通电时间越长,由于人体发热出汗和电流对人体的电解作用,人体电阻逐渐降低,流过人体的电流也就越大,对人体组织的破坏越加厉害,后果也就越严重。通常可用触电电流大小与触电时间的乘积来反映触电的危害程度。人体允许电流与持续时间的关系如图 1-3 所示。

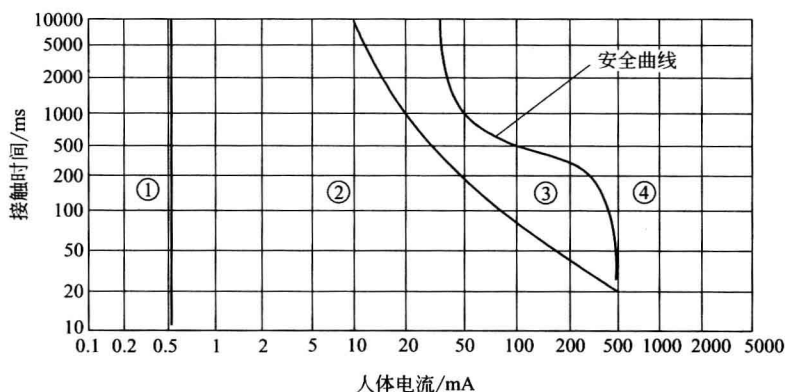


图 1-3 人体允许电流与持续时间的关系

图中,①区为人体无反应区,②区为人体一般无病理性反应区,③区为人体一般无心室纤维性颤动和器质性损伤区,④区为人体可能发生心室纤维性颤动。

(3) 电流频率

电流频率不同对人体的伤害也不同。一般来说,常用的 50~60Hz 的工频交流电对人体的伤害最严重,交流电的频率偏离工频越远,对人体伤害的危险性越低。不同频率的电流对人体的危害程度如表 1-2 所示。

表 1-2 电流对人体的危害程度

电流频率/Hz	对人体的危害程度	电流频率/Hz	对人体的危害程度
10~25	有 50% 的死亡率	120	有 31% 的死亡率
50	有 95% 的死亡率	200	有 22% 的死亡率
50~100	有 45% 的死亡率	500	有 14% 的死亡率

(4) 电流通过人体的途径

电流通过人体的途径不同，对人体的伤害程度也不同，电流通过心脏会引起心室颤动，甚至心跳停止。电流通过中枢神经系统会引起中枢神经强烈失调而导致死亡。电流流经人体不同部位所造成的伤害中，以大脑和心脏最为严重。电流通过人体的途径与流经心脏的电流比例如表 1-3 所示。

表 1-3 电流对人体的危害程度

电流通过人体的途径	从左手到脚	从右手到脚	从手到手	从脚到脚
流经心脏电流与通过人体总电流比例数的关系/%	6.7	3.7	3.3	0.4

(5) 人体状况

试验研究表明，触电危险性与人体状况有关。触电者的性别、年龄、健康状况、精神状态等都会对触电后果发生影响。不同人体状况受到的危害程度如表 1-4 所示。

表 1-4 不同人体状况受到的危害程度

比较项目	区 别
性别	女性对电的敏感性比男性高,女性的感知电流和摆脱电流约比男性低 1/3,因此在同等触电电流下,女性比男性更难以摆脱
年龄	在遭受电击后,小孩的伤害程度要比成年人重
健康状况	患有心脏病、神经系统疾病、肺病等严重疾病或体弱多病者,由于自身抵抗能力较差,故比健康人更易受电伤害
心理、精神状态	有无思想准备,对电的敏感程度是有差异的,酒醉、疲劳过度、心情欠佳等情况会增加触电伤害程度

(6) 人体电阻

流过人体的电流与人体电阻有关，人体电阻越小，通过人体的电流就越大，也就越危险。人体电阻不是固定不变的，它因接触电压和环境条件的不同而在很大范围内变动。随电压变化的人体电阻及不同条件下的人体电阻如表 1-5 所示。

表 1-5 人体电阻随电压变化的情况

接触电压/V	12.5	31.3	62.5	125	220	250	380	500	1000
人体电阻/ Ω	16500	11000	6240	3530	2222	2000	1417	1130	640

不同条件下的人体电阻

接触电压/V	人体电阻/ Ω			
	皮肤干燥	皮肤潮湿	皮肤湿润	皮肤浸入水中
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

(7) 作用于人体电压

触电伤亡的直接原因在于电流在人体内引起的生理病变。显然,此电流的大小与作用于人体的电压高低有关。一般来说当人体电阻一定时,人体接触的电压越高,通过人体的电流越大,通过人体的电流与电压的关系如图 1-4 所示。

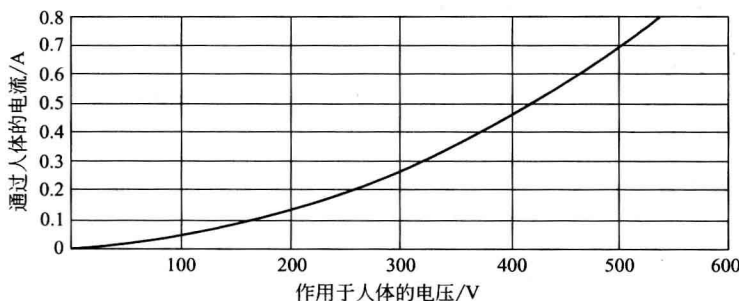


图 1-4 人体电流与电压的关系

1.3 触电方式

人身触电的方式多种多样,一般可分为直接接触触电(即人体直接接触及或过分靠近正常带电体导致的触电)和间接接触触电(指人体及正常情况下不带电而故障情况下变为带电的设备外露导体引起的触电)两种主要触电方式。此外,还有高压电场、高频电磁场、静电感应、雷击等对人体造成的伤害。

1.3.1 直接接触触电

人体直接接触及或过分靠近电气设备及线路的带电体而发生的触电现象称为直接接触触电。单相触电、两相触电、电弧伤害都属于直接接触触电。

(1) 单相触电

当人体直接碰触带电设备或线路的一相导体时,电流流过人体而发生的触电现象称为单相触电。这种触电事故的规律及后果与电网中性点运行方式有关。

① 在中性点直接接地的电网中发生单相触电的情况如图 1-5(a) 所示。设人体与大地接触良好,土壤电阻忽略不计,由于人体电阻比中性点工作接地电阻大得多,加于人体的电压几乎等于电网的相电压,这时流过人体的电流为

$$I_b = \frac{U_p}{R_b + R_o}$$

式中 U_p ——电网相电压, V;

R_o ——电网中性点工作接地电阻, Ω ;

R_b ——人体电阻, Ω ;

I_b ——流过人体电流, A。

对于 380/220V 三相四线制电网, $U_p = 220V$, $R_o = 4\Omega$, 若取人体电阻 $R_b = 1700\Omega$, 则由上式可算出流过人体的电流 $I_b = 129mA$, 远大于安全电流 30mA, 足以危及触电者的生命。

显然,单相触电的后果与人体和大地间的接触状况有关。如果人体站在干燥的绝缘地板上,由于人体与大地间有很大的绝缘电阻,通过人体的电流就很小,则不会出现危险;但如

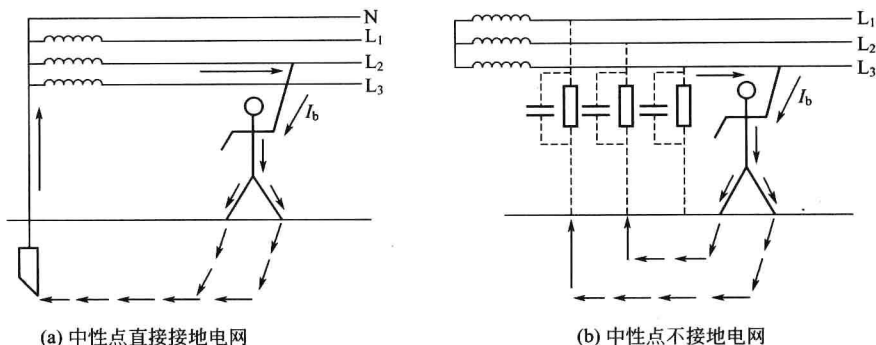


图 1-5 单相触电

果地板潮湿，那就有触电危险。

② 在中性点不接地的电网中发生单相触电的情况如图 1-5(b) 所示。这时电流将从电源火线经人体、其他两相的对地阻抗（由线路的绝缘电阻和对地电容构成）回到电源的中性点形成回路。此时，流过人体的电流与线路的绝缘电阻和对地电容的数值有关。在低压电网中，对地电容量很小，流过人体的电流主要取决于线路绝缘电阻。正常情况下，设备的绝缘电阻相当大，流过人体的电流很小，一般不至于造成对人体的伤害。但当线路绝缘电阻下降时，单相触电对人体的危害仍然存在。而在高压中性点不接地电网中（特别在对地电容较大的电缆线路上）线路对地电容较大，流过人体的电容电流，将危及触电者的安全。

(2) 两相触电

人体同时触及带电设备或线路中的两相导体而发生的触电方式称为两相触电，如图 1-6 所示。两相触电时，作用于人体上的电压为线电压，电流从一相导体经人体流入另一相导体，这种情况是很危险的。以 380/220V 三相四线制为例，这时加于人体的电压 380V，若取人体电阻按 1700Ω 考虑，则流过人体内部的电流将达到 224mA，足以致人死亡。因此，两相触电要比单相触电严重得多。

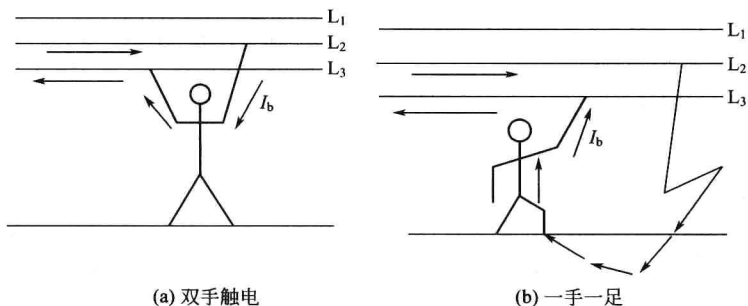


图 1-6 两相触电

(3) 电弧伤害

电弧是气体间隙被强电场击穿时电流流过气体的一种现象。之所以将电弧伤害视为直接接触触电，是因为弧隙被游离的带电气态导体，被电弧“烧”着的人，将同时遭受电击和电伤。在引发电弧的种种情形中，人体过分接近高压带电体所引起的电弧以及带负荷拉、合刀闸造成的弧光短路，对人体危害往往是致命的。电弧不仅使人受电击，而且由于弧焰温度极高（中心温度可达 $6000\sim 10000^{\circ}\text{C}$ ），将对人体造成严重烧伤，烧伤部位多见于手部、胳膊、脸部及眼睛。电弧辐射对眼睛的刺伤，后果更为严重。此外，被电弧熔化了金属颗粒侵蚀

皮肤还会使皮肤组织金属化, 这种伤疤往往经久不愈。

1.3.2 间接接触触电

电气设备在正常运行时, 其金属外壳或结构是不带电的。当电气设备绝缘损坏而发生接地短路故障(俗称“碰壳”或“漏电”)时, 其金属外壳便带有电压, 人体触及便会发生触电, 此谓间接接触触电。通常所称的接触电压触电即是间接接触触电。

(1) 接地故障电流入地点附近地面电位分布

当电气设备发生碰壳故障、导线断裂落地或线路绝缘击穿而导致单相接地故障时, 电流便经接地体或导线落地点呈半球形向地中流散, 如图 1-7(a) 所示。由于接近电流入地点的土层具有最小的流散截面, 呈现出较大的流散电阻, 接地电流将在流散途径的单位长度上产生较大的电压降, 而远离电流入地点土层处电流流散的半球形截面随该处与电流入地点的距离增大而增大, 相应的流散电阻随之逐渐减小, 接地电流在流散电阻上的压降也随之逐渐降低。于是, 在电流入地点周围的土壤中和地表面各点便具有不同的电位分布, 如图 1-7(b) 电位分布曲线所示。曲线表明, 在电流入地点处电位最高, 随着离此点的距离增大, 地面电位呈先急后缓的趋势下降, 在离电流入地点 10m 处, 电位已下降至电流入地点电位的 8%。在离电流入地点 20m 以外的地面, 流散半球的截面已经相当大, 相应的流散电阻可以忽略不计, 或者说地中电流不再于此产生电压降, 可以认为该处地面电位为零。电工技术上所谓的“地”就是指零电位处的地(而非电流入地点周围 20m 之内的地)。通常所说的电气设备对地电压也是指带电体对此零电位点的电位差。

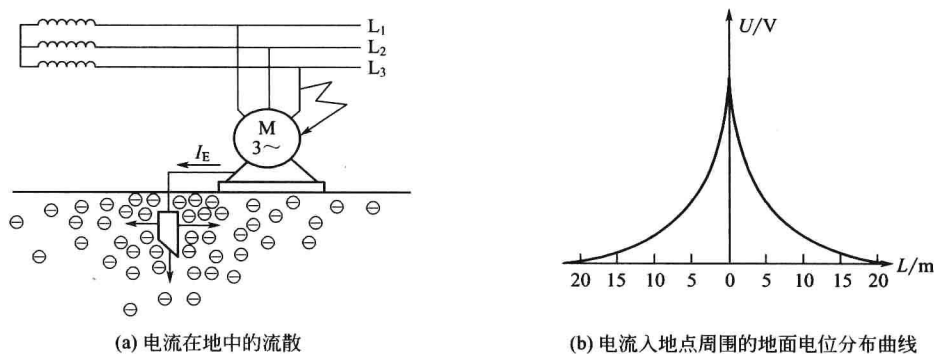


图 1-7 接地故障电流入地点附近地面电位分布

(2) 接触电压及接触电压触电

当电气设备因绝缘损坏而发生接地故障时, 如果人体的两个部位(通常是手和脚)同时触及漏电设备的外壳和地面时, 人体所承受的电位差称为接触电压。如图 1-8 所示的触电者手和脚之间的电位差 $U_{t1} = U_1 - U_2$ 便是该触电者承受的接触电压。在电气安全技术中是以站立在离漏电设备水平方向 0.8m 的人, 手触及漏电设备外壳距离地面 1.8m 处时, 其手和脚两点间的电位差为接触电压计算。由于受接触电压作用而导致的触电现象称为接触电压触电。

所以, 当电动机 M_2 碰壳时, 触及电动机 M_1 的人所承受的接触电压为 $U_{t1} = U_1 - U_2$, 而若触及电动机 M_3 , 则接触电压为 $U_{t3} = U_1 - U_3$ 。显然 $U_{t3} > U_{t1}$ 。

(3) 跨步电压及跨步电压触电

电气设备发生接地故障时, 在接地电流入地点周围电位分布区(以电流入地点为圆心, 半径 20m 的范围内)行走的人, 两脚之间所承受的电位差称跨步电压, 其值随人体离接地

点的距离和跨步的大小而改变。若离接地点的距离越近或跨步越大，跨步电压就越高，反之则越小，如图 1-9 所示。一般人的跨步约为 0.8m。

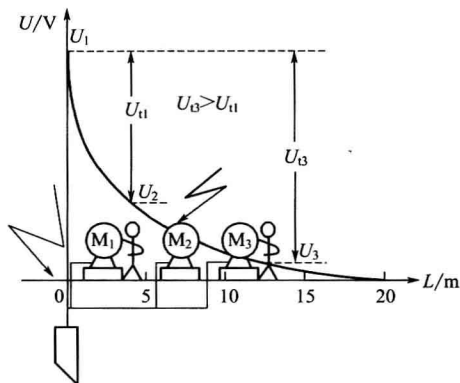


图 1-8 接触电压触电

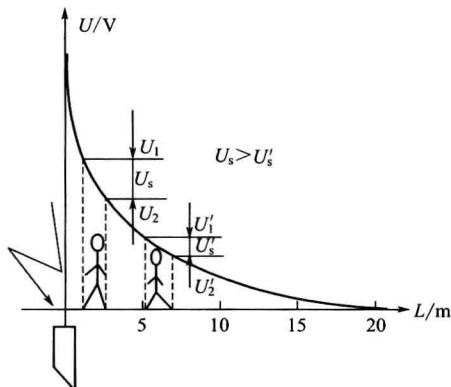


图 1-9 跨步电压触电

人体受到跨步电压作用时，电流从一只脚到另一只脚与大地形成回路。触电者的症状是脚发麻，抽筋并伴有跌倒在地。跌倒后，电流可能改变路径（如从头到脚或手）而流经人体重要器官，使人致命。

跨步电压触电还可发生在其他一些场合，如架空导线接地故障点附近或导线断落点附近、防雷接地装置附近等。

接触电压和跨步电压的大小与接地电流的大小、土壤电阻率、设备接地电阻及人体位置等因素有关。当人穿有靴鞋时，由于地面和靴鞋的绝缘电阻上有电压降，人体受到的接触电压和跨步电压将显著降低。因此，严禁裸臂赤脚去操作电气设备。

1.3.3 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作用而带有电压。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入地而可能受到伤害。研究表明，人体对高压电场下静电感应电流的反应更加灵敏，0.1~0.2mA 的感应电流通过人体时，人便会有明显的刺痛感。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，精神紧张，毛发耸立，皮肤有刺痛的感觉，甚至还会在头与帽子间、脚与鞋之间产生火花。例如中国某地在 330kV 线路跨越汽车站处曾经发生过乘客上下车时有发麻类似触电的感觉；有些地方的居民在高压线路附近用铁丝晾晒衣服，也发生过触电的现象。

1.3.4 高频电磁场的危害

频率超过 0.1MHz 的电磁场称为高频电磁场，人体吸收高频电磁场辐射的能量后，器官组织及其功能将受到损伤。主要表现为神经系统功能失调，其次是出现较明显的心血管症状。电磁场对人体的伤害是积累的，脱离接触后，症状会逐渐消失，但在高强度电磁场作用下长期工作，一些症状可能成痼疾，甚至遗传给后代。

1.3.5 静电对人体的伤害

金属物体受到静电感应及绝缘体间的摩擦起电是产生静电的主要原因。例如输油管道中油与金属壁摩擦、皮带与皮带轮间的摩擦会产生静电，运行过的电缆或电容器绝缘物中会积

聚静电。静电的特点是电压高,有时可高达数万伏,但能量不大。发生静电电击时,静电电流往往瞬间即逝,一般不至于有生命危险。但受静电瞬间电击会使触电者从高处坠落或摔倒,造成二次事故。静电的主要危害是其放电火花或电弧引燃周围物质,引起火灾或爆炸事故。石油、化工、橡胶、印刷、染织、造纸等行业的静电事故较多,应严加防护。

1.3.6 雷电的危害

雷击是一种自然灾害。其特点是电压高、电流大、但作用时间短。雷击除了能毁坏建筑设施及引起人畜伤亡外,在易产生火花和爆炸的场所,还可能引起火灾和爆炸事故。

1.4 触电急救常识

1.4.1 触电事故的特点

触电事故的特点是多发性、突发性、季节性、高死亡率并具有行业特征。

触电事故具有多发性。根据统计,中国每年因触电死亡人数占全部事故死亡人数的5%左右,约每用1.5亿度电就触电死亡1人。随着电气化的发展,生活用电的日益广泛,发生人身触电事故的机会也相应增多。

触电事故具有季节性。从统计资料分析来看,6~9月份触电事故较多。这是因为夏秋季节多雨潮湿,降低了设备的绝缘性能,加之人体多汗,皮肤电阻下降,绝缘鞋和绝缘手套穿戴不齐,所以触电概率大大增加。

触电事故具有部门特征。根据国外资料统计,触电事故的死亡率(触电死亡人数占伤亡人数的百分比),在工业部门为40%,在电业部门为30%,工业部门中又以化工、冶金、矿山、建筑等行业的触电死亡率居高。比较起来,触电事故多发生在非专职电工人员身上,而且城市低于农村,高压低于低压。这种情况显然与安全用电知识的普及程度、组织管理水平及安全措施完善与否有关。

触电事故的发生还具有很大的偶然性和突发性,令人猝不及防。如果延误急救时机,死亡率是很高的。但如防范得当,仍可最大限度地减少事故的发生概率。即使在触电事故发生后,若能及时采取正确的救护措施,死亡率亦可大大地降低。

1.4.2 触电急救

(1) 触电急救的要点

触电急救的要点是:抢救迅速与救护得法。即用最快的速度在现场采取积极措施,保护伤员生命,减轻伤情,减少痛苦,并根据伤情要求,迅速联系医疗部门救治。即便触电者失去知觉、心跳停止,也不能轻率地认定触电者死亡,而应看作是“假死”,施行急救。

发现有人触电后,首先要尽快使其脱离电源,然后根据具体情况,迅速对症救护。有触电后经过5h甚至更长时间的连续抢救而获得成功的先例,这说明触电急救对于减少触电死亡率是有效的。但抢救无效死亡者为数甚多,其原因除了发现过晚外,主要是救护人员没有掌握触电急救的方法。因此,掌握触电急救方法十分重要。

(2) 解救触电者脱离电源的方法

触电急救的第一步是使触电者迅速脱离电源,因为电流对人体的作用时间越长,对生命的威胁越大。具体方法如下。

① 脱离低压电源的方法 脱离低压电源可用“拉”、“切”、“挑”、“拽”、“垫”五个字

来概括。

拉：指就近拉开电源开关、拔出插头或瓷插式熔断器。

切：当电源开关、插座或瓷插式熔断器距离触电现场较远时，可用带有绝缘柄的利器切断电源线。切断时应防止带电导线断落触及周围的人体。多芯胶合线应分相切断，以防短路伤人。

挑：如果导线搭落在触电者身上或压在身下，这时可用干燥的木棒、竹竿等挑开导线，或用干燥的绝缘绳套拉导线或触电者，使触电者脱离电源。

拽：救护人员可戴上手套或在上手包缠干燥的衣服等绝缘物品拖拽触电者，使之脱离电源。如果触电者的衣裤是干燥的，又没有紧缠在身上，救护人可直接用一只手抓住触电者不贴身的衣裤，将其脱离电源，但要注意拖拽时切勿触及触电者的皮肤。也可站在干燥的木板、橡胶垫等绝缘物品上，用一只手将触电者拖拽开来。

垫：如果触电者由于痉挛，手指紧握导线，或导线缠绕在身上，可先用干燥的木板塞进触电者身下，使其与地绝缘，然后再采取其他办法把电源切断。

② 脱离高压电源的方法 由于装置的电压等级高，一般绝缘物品不能保证救护人的安全，而且高压电源开关距离现场较远，不便拉闸。因此，使触电者脱离高压电源的方法与脱离低压电源的方法有所不同。通常的做法如下。

- 立即电话通知有关供电部门拉闸停电。

- 如果电源开关离触电现场不太远，则可戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，拉开高压断路器，或用绝缘棒拉开高压跌落熔断器以切断电源。

- 往架空线路抛挂裸金属软导线，人为造成线路短路，迫使继电保护装置动作，从而使电源开关跳闸。抛挂前，将短路线的一端先固定在铁塔或接地引下线上，另一端系重物。抛掷短路线时，应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全，也要防止重物砸伤人。

- 如果触电者及断落在地上的带电高压导线，且尚未确认线路无电之前，救护人员不可进入断线落地点8~10m的范围内，以防止跨步电压触电。进入该范围内的救护人员应穿上绝缘靴或临时双脚并拢跳跃地接近触电者。触电者脱离带电导线后应迅速将其带至8~10m以外，立即开始触电急救。只有在确认线路已经无电时，才可在触电者离开导线后就地急救。

③ 使触电者脱离电源的注意事项

- 救护人不得采用金属和其他潮湿物品作为救护工具。
- 未采取绝缘措施前，救护人不得直接接触及触电者的皮肤和潮湿的衣服。
- 在拉拽触电者的脱离电源的过程中，救护人宜用单手操作，这样比较安全。
- 当触电者位于高位时，应采取措施预防触电者在脱离电源后坠地摔死。
- 夜间发生触电事故时，应考虑切断电源后的临时照明问题，以利救护。

(3) 现场救护

抢救触电者首先应使其迅速脱离电源，然后立即就地抢救。关键是“判断情况与对症救护”，同时派人通知医务人员到现场。

根据触电者受伤轻重程度，现场救护有以下几种措施。

① 对脱离电源的触电者 进行呼吸和心跳的判断，如图1-10所示。

- 将脱离电源的触电者迅速移至通风、干燥处，将其仰卧，将上衣和裤带放松。
- 观察瞳孔是否放大，当处于假死状态时，大脑细胞严重缺氧，处于死亡边缘瞳孔就自行放大。
- 观察触电者有否呼吸存在，摸一摸颈部的颈动脉有无搏动，听一听有无心跳。