



21世纪高职高专规划教材·机电系列

电工技能实训指导

陆建遵 主 编



清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

内 容 简 介

本书是为了落实教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神，以我国高职教育培养面向生产第一线的实用型、技术型人才为目标编写而成的。

全书共分4章，包括电工测量与仪表基础知识、基础实验、基础实训、综合实训等内容。

本书力求内容和编排的可选择性，适合不同学时要求的高职高专强电、弱电、计算机及机电一体化等专业选用。同时可作为非电类专业电工学一体化教学的教材，同样适用于中职学校选用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电工技能实训指导 / 陆建遵主编. — 北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2010.8

(21世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 978-7-5121-0240-8

I. ①电… II. ①陆… III. ①电工技术-高等学校：技术学校-教学参考资料 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第161641号

策划编辑：解坤 刘辉

责任编辑：解坤

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414

印刷者：北京东光印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：11 字数：275千字

版 次：2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-5121-0240-8/TM·28

印 数：1~4 000册 定价：22.00元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@bjtu.edu.cn。

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，它的根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基本知识和职业技能，因而与其对应的教材也必须有自己的体系和特色。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教学改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全国范围内组织并成立了“21世纪高职高专教育教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员单位皆为教学改革成效较大、办学特色鲜明、办学实力强的高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“21世纪高职高专规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师或生产第一线的专家。“教材编审委员会”组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对所列选教材进行审定。

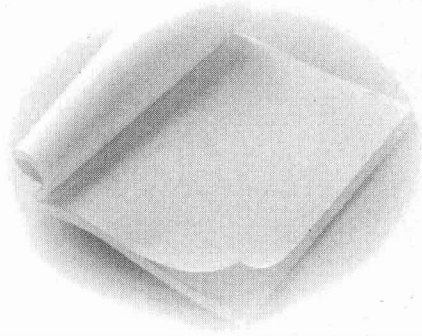
目前，“教材研究与编审委员会”计划用2~3年的时间出版各类高职高专教材200种，范围覆盖计算机应用、电子电气、财会与管理、商务英语等专业的主要课程。此次规划教材全部按教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”编写，其中部分教材是教育部《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》的研究成果。此次规划教材按照突出应用性、实践性和针对性的原则编写并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；适应“实践的要求和岗位的需要”，不依照“学科”体系，即贴近岗位，淡化学科；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必要、够用为度；尽量体现新知识、新技术、新工艺、新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来，推荐“教材编审委员会”成员和有特色的、有创新的教材。同时，希望将教学实践中的意见与建议，及时反馈给我们，以便对已出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有规划教材由全国重点大学出版社——清华大学出版社与北京交通大学出版社联合出版，适合于各类高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

21世纪高职高专教育教材研究与编审委员会

2010年8月



前 言

为了落实教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神，适应我国高职教育培养面向生产第一线的实用型、技术型人才的需要，编者根据多年的教学实践和职业技能培训经验编写了本教材。

本教材立足高职高专教育培养目标，遵循社会和发展需求，突出职业岗位应用性和针对性的职业教育特色，注重电工测量基本知识、基本方法、基本技能等实践能力培养。

本书以国家维修电工技能鉴定标准为依据，减少验证性实验内容，立足于低压、内线敷设及配套电气的安装与维修，既注重实用技术的传授，以动手能力的培养为主线，重点突出电工操作技能，培养学生分析和解决实际问题的能力，又遵循循序渐进的原则。由基础技能到综合技能，由浅入深，深入浅出地培训，并辅以行进式的考评方式，确保实训的质量。

本课程教学时数为120~160学时。教材对实验仪器设备及实训场所等未作特殊、统一要求，各校各专业可按自身条件和实际情况取舍实训内容。教学方式可采用独立设课，每周用两学时进行基础知识及基础实验教学，学期前后各设两周的集中实训，分别进行基础和综合实训；也可作为《电工技术基础》课程的配套辅助教材，理论课和实训课穿插进行，最后进行两周的综合实训。

本书第1、2章由陆建遵编写。第3、4章由叶琴编写。陆建遵担任主编，负责内容的组织和统稿工作。

由于时间仓促和编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年7月

目 录

第1章 电工测量与仪表基础知识	(1)
1.1 电路实验预备知识	(1)
1.1.1 实验电源的分类和电源的参数	(1)
1.1.2 实验操作须知	(2)
1.1.3 实验报告书写要求	(3)
1.2 安全技术基础知识	(3)
1.2.1 触电与安全用电	(3)
1.2.2 安全用电的措施	(5)
1.2.3 电气事故急救处理	(8)
1.2.4 记录作业	(10)
1.3 电工测量基础知识、电工测量仪表的分类和表面标记	(11)
1.3.1 测量基本知识	(11)
1.3.2 指示仪表的分类	(12)
1.3.3 指示仪表的表面标记	(12)
1.3.4 指示仪表的主要技术要求	(14)
1.3.5 记录作业	(14)
1.4 常用电工仪表的工作原理	(14)
1.4.1 磁电系仪表	(14)
1.4.2 电磁系仪表	(17)
1.4.3 电动系仪表	(19)
1.4.4 感应系仪表的工作原理	(22)
1.4.5 测量技术	(22)
1.4.6 记录作业	(26)
1.5 常用电工材料	(26)
1.5.1 导电材料	(26)
1.5.2 电力线及其选用	(28)
1.5.3 绝缘材料	(33)
1.5.4 磁性材料	(34)
1.5.5 记录作业	(34)
第2章 基础实验	(36)
2.1 元件认识、伏安法测电阻(实验一)	(36)
2.2 电阻、电源的电压与电流关系测试(实验二)	(41)
2.3 电阻测量(实验三)	(44)

2.4	基尔霍夫定律的验证 (实验四)	(48)
2.5	验证叠加原理 (实验五)	(49)
2.6	验证戴维南定律 (实验六)	(51)
2.7	电阻性电路的故障检查 (实验七)	(53)
2.8	正弦交流电路认识实验 (实验八)	(55)
2.9	示波器、信号发生器的使用 (实验九)	(57)
2.10	RLC 串联电路 (实验十)	(62)
2.11	日光灯的安装及功率因数的提高 (实验十一)	(64)
2.12	串联谐振电路 (实验十二)	(67)
2.13	三相负载的星形连接 (实验十三)	(70)
2.14	三相负载的三角形连接及三相电路功率的测量 (实验十四)	(74)
2.15	互感 (实验十五)	(77)
2.16	交流元件频率特性的测试 (实验十六)	(80)
2.17	并联谐振电路 (实验十七)	(82)
2.18	单相电度表 (实验十八)	(84)
2.19	变压器、耦合线圈的串联 (实验十九)	(86)
2.20	线性电路的过渡过程 (实验二十)	(88)
2.21	三相异步电动机的降压启动实验 (实验二十一)	(93)
第3章	基础实训	(96)
3.1	常用电工工具、仪表的使用 (实训一)	(96)
3.2	焊接技能初步知识 (实训二)	(107)
3.3	常用电器认识 (实训三)	(117)
第4章	综合实训	(135)
4.1	配电板和电度表的安装及使用 (实训四)	(135)
4.2	线管照明线路的安装 (实训五)	(138)
4.3	护套线照明电路的安装 (实训六)	(142)
4.4	电工基本技能及配盘实训 (实训七)	(145)
4.5	低压电器整修 (实训八)	(154)
4.6	三相异步电动机综合测试 (实训九)	(159)
4.7	三相异步电动机的点动、单向连续运转控制电路实验 (实训十)	(164)
4.8	三相异步电动机的正、反转控制电路实验 (实训十一)	(167)
参考文献	参考文献	(170)

第 1 章 电工测量与仪表基础知识

1.1 电路实验预备知识

1.1.1 实验电源的分类和电源的参数

1. 实验电源的常用种类

(1) 直流电源

常用的直流电源有干电池、蓄电池、直流发电机、直流稳压电源及用交流电源整流后获得的直流电源等。实验室所用的直流电源一是通过直流稳压电源获得，二是可从实验原理箱或实验台上的直流电源获得。

(2) 交流电源

常用的交流电源是从供电网络经电力变压器而获得的工频（50 Hz）交流电源，也可从实验台上的信号发生器获得各种频率的交流电源。

2. 直流电源的额定电压、额定电流简介

(1) 干电池

1 号干电池的电压为 1.5 V，电流约为 300 mA；2 号干电池和 5 号干电池的电压都是 1.5 V，电流比 1 号干电池小。仪表用电池 6F22 的电压为 9 V，10F20 的电压为 15 V，其工作电流只有十几毫安到几十毫安。

(2) 直流发电机

直流发电机的电压有 6 V、12 V、24 V、36 V、110 V、220 V 等多种，它们所提供的电流值有大有小，随用途而异。

(3) 整流电源

整流电源的电压和电流随用途而定，电压可高可低、电流可大可小。如实验室的双路直流稳压电源，额定电压可在 0 ~ 30 V 内调节，额定电流可提供 1 ~ 3 A 范围内的任意值。

3. 交流电源的额定电压、额定电流简介

(1) 工频交流电源

利用实验室中的单相调压器或三相调压器可将电网供给的线电压为 380 V、相电压为 220 V 的工频交流电调节至 0 ~ 230 V 的相电压和 0 ~ 400 V 的线电压，其电流的大小由变压器的容量及负载共同决定。

(2) 中频交流电源

中频交流电源电压一般为 220 V/380 V，电流的大小根据中频交流发电机的容量而定。

(3) 音频交流电源

音频交流电源电压可以在 0 ~ 160 V 的范围内调节，但其最大输出功率只有 4 ~ 5 W。一般可用低频信号发生器产生。

1.1.2 实验操作须知

生产现场中的设备,都制定有严格的安全操作规程。在电工电子实验中,各种仪表、仪器也要遵照一定的操作规程去使用。例如,调节电压用的单相和三相自耦调压器,在接通电源之前,调节手轮一定要放置在输出电压为零的位置。接通电源以后再调节手轮逐渐升高电压向负载输出电能;断开电源时,应先将手轮调节到零位再断开电源。再如,电桥上的电源按钮开关和检流计按钮开关,在测量时应先按电源按钮开关后再按检流计按钮开关,测量完毕后应先断开检流计按钮开关再断开电源按钮开关。诸如此类的种种规则,在实验过程中必须要严格遵守。实验时要严肃认真、小心谨慎,任何轻率举动或松懈麻痹都可能导致人身事故及仪器、仪表设备的损坏。

为了保证实验的顺利进行和人身与设备的安全,必须遵守以下实验操作规程。

① 实验前认真预习实验指导书,学习实验室的有关规则。按时到达实验室,不得迟到、早退,未经主管部门同意,不得随意更改已定的实验时间。

② 按学号建立实验小组,实验中要合理分工。每次实验均以小组为单位进行。每组2人,其中选1人负责。

③ 实验前应首先检查实验仪器设备的型号、规格、数量等,看是否与实验要求的设备相符,然后检查各仪器设备是否完好,如有问题,及时向教师提出以便处理。

④ 实验必须以严肃的态度进行,严格遵守实验室规定和仪器设备的操作规程,出现问题应立即报告指导老师,不得自行处理,不得随意挪用与本次实验无关的设备及实验室的其他仪器设备。

⑤ 实验电路走线、布线应简洁明了,便于检查和测量。接线原则一般是先接串联支路或主回路,再接并联支路或辅助回路。导线的长短粗细要合适、尽量短、少交叉、防止连线短路。接线处不宜过于集中于某一点,一般在一个连接点上尽量不超过3条线。

⑥ 所有的实验仪器设备和仪表,都要严格按照规定的接法正确接入电路(例如,电流表及功率表的电流线圈一定要串接在电路中,电压表及功率表的电压线圈一定要并接在电路中)。实验中要正确选择测量仪表的量程,一般使指针处在量程的 $1/3$ 或 $1/2$ 以上。正确选择各个仪器设备的电流、电压的额定值,否则会造成严重事故。实验中提倡一个同学把电路接好后,同组另一位同学仔细复查,确定无误后,方可进行实验。有些实验还必须经过指导教师的检查和批准后才能将电路与电源接通。

⑦ 实验操作时同组人员要注意配合,尤其做强电实验时要注意:手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据。将可调电源电压缓慢上调到所需数值,发现异常现象(例如,有声响、冒烟、打火、焦臭味及设备发烫等)应立即切断电源,分析原因,查找故障。

⑧ 读数前要调整好仪表的量程及刻度,读数时注意姿势正确,要求“眼、针、影成一线”。注意仪表指针位置,及时变换量程使指针指示于误差最小的范围内。变换量程时一般要在切断电源情况下操作。

⑨ 所有实验测量数据应记在原始记录表上,数据记录尽量完整、清晰,力求表格化,使阅读者能够一目了然。在严格尊重原始记录的情况下合理取舍有效数字,实验报告上不得随意涂改,绘制表格和曲线要求用尺子或绘图工具,锻炼自己的技术报告书写能力,培养工程意识。

⑩ 完成实验后，要在实验室核对实验数据是否完整、合理，确定完整和合理后，交指导教师审阅后才能拆除实验线路（注意要先切断电源，后拆线），并将仪器设备、导线、实验用具整理归位，做好台面及实验环境的清洁和整理工作。

1.1.3 实验报告书写要求

实验报告是实验者将自己所进行的实验及实验结果用文字做的综合性表述，也是工程上技术报告的能力训练。实验报告要用简明的形式将实验结果完整和真实地表达出来，要求文理通顺，简明扼要、字迹工整、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。实验报告采用实验指导书上的规定格式或统一规格的报告纸，一般包括以下几项：

- ① 实验题目；
- ② 实验目的；
- ③ 实验仪器及设备；
- ④ 实验原理及实验电路图（或加连线图）；
- ⑤ 实验步骤、数据图表及计算分析结果；
- ⑥ 实验思考题和实验体会。

对实验数据的处理，要合理取舍有效数字。报告中的所有图表、曲线均按工程化要求绘制。波形曲线一律画在坐标纸上，比例要适中，坐标轴上应注明物理量的符号和单位。

实验报告一定要遵照教师规定的时间按时上交，经教师批改、登记后，统一放在实验室进行保管，以便于教学评估检查或有关人员查询。学生需要参考时，可向实验室提出借用。

1.2 安全技术基础知识

随着科学技术的迅猛发展，现代人类在日常生活和工农业生产中，越来越多地使用着品种繁多的家用电器和电气设备，这些给人们的生活和生产带来了极大的便利。但在使用电能的过程中，仍存在着许许多多不注意安全用电的问题，极易造成人身触电伤亡或电气设备的损坏，甚至影响到电力系统的正常运行，造成大面积停电及电火灾等事故，使人民和国家财产遭受极大的损失。

1.2.1 触电与安全用电

1. 电流对人体的作用

接触了低压带电体或接近、接触了高压带电体称为触电。人体触电时，电流通过人体，就会产生伤害，按伤害程度不同可分为电击和电伤两种。

电击是指人体接触带电体后，电流使人体的内部器官受到伤害。触电时肌肉发生收缩，如果触电者不能迅速摆脱带电体，电流将持续通过人体，最后因神经系统受到损害，使心脏和呼吸器官停止工作而趋于死亡。这是最危险的触电事故，是造成触电死亡的主要原因，也是经常遇到的一种伤害。

电伤是指电对人体外部造成的局部伤害，如电弧灼伤、电烙印、熔化的金属沫溅入皮肤造成伤害等，电伤严重时也可致命。

2. 安全电压

人体触电的伤害程度与通过人体的电流大小、频率、时间长短、触电部位及触电者的生理素质等情况有关。通常低频电流对人体的伤害甚于高频电流，而电流通过心脏和中枢神经系统则最为危险。当通过人体（心脏）的电流在 1 mA 时，就会引起人的感觉，称为感知电流，如若到 50 mA 以上，就会有生命危险，而达 100 mA 时只要很短时间就足以致命。触电时间越长，危害就越大。

人体电阻通常在 $1 \sim 100 \text{ k}\Omega$ 之间，在潮湿及出汗的情况下会降至 800Ω 左右。接触 36 V 以下电压时，通过人体电流一般不超过 50 mA，故我国规定安全电压的等级为 36 V、24 V、12 V、6 V，通常规定为 36 V 以下；但在潮湿及地面能导电的厂房，安全电压则定为 24 V；在潮湿、多导电尘埃、金属容器内等工作环境时，安全电压取为 6 V；而在环境不十分恶劣的条件下可取 12 V。

3. 常见触电方式

触电大致可归纳为单线触电、双线触电及跨步电压触电 3 种。

(1) 单线触电

人体接触三相电源中的某一根相线，而其他部位同时和大地相接触，就形成了单线触电。此时电流自相线经人体、大地、接地极、中性线形成回路，如图 1-1 所示。因现在广泛采用三相四线制供电。且中性线一般都接地，所以发生单线触电的机会也最多。此时人体承受的电压是相电压，在低压动力线路中为 220 V。图 1-2 是单线触电的另一种形式，即使人站在绝缘的木凳上，因灯泡或其他用电设备的电阻小于人体电阻，人体承受的电压与相电压相差不太大，故这种触电也很危险。

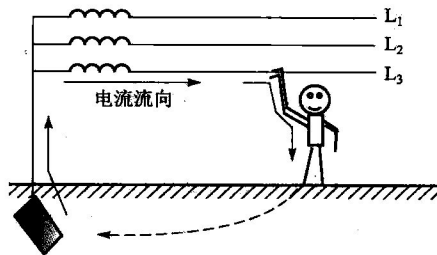


图 1-1 单线触电

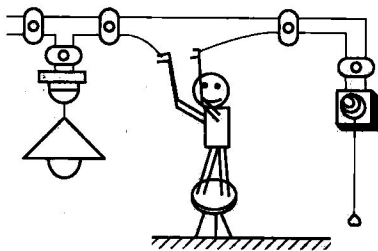


图 1-2 另一形式的单线触电

(2) 双线触电

如图 1-3 所示，人体同时接触三相电源中的某两根相线就形成了双线触电。人体承受的电压是线电压，在低压动力线路中为 380 V。此时通过人体的电流将更大，而且电流的大部分流经心脏，所以比单线触电更危险。

(3) 跨步电压触电

高压电线接触地面时，电流在接地点周围 $15 \sim 20 \text{ m}$ 的范围内将产生电压降。当人体接近此区域时，两脚之间承受一定的电压，此电压称为跨步电压。由跨步电压引起的触电称为跨步电压触电，如图 1-4 所示。

跨步电压一般发生于高压设备附近，人体离接地体越近，跨步电压越大。因此在遇到高压设备时应慎重对待，避免受到电击。

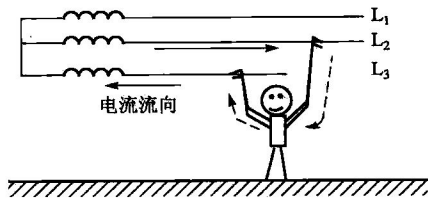


图 1-3 双线触电

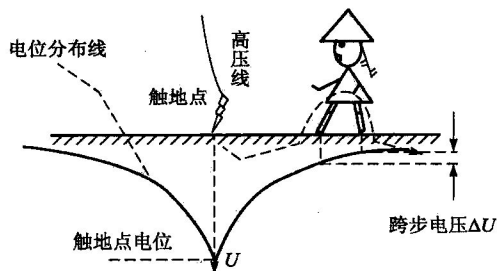


图 1-4 跨步电压触电

4. 常见触电原因

触电原因很多，一般是有以下4种。

- ① 违章作业，不遵守有关安全操作规程和电气设备安装及检修规程等规章制度。
- ② 误接触到裸露的带电导体。
- ③ 接触到因接地线断路而使金属外壳带电的电气设备。
- ④ 偶然性事故，如电线断落触及人体。

1.2.2 安全用电的措施

安全用电的基本方针是“安全第一，预防为主”。为使人身不受伤害，电气设备能正常运行，必须采取必要的各种安全措施，严格遵守电工基本操作规程，电气设备采用保护接地或保护接零，防止因电气事故引起的火灾发生。

1. 基本安全措施

(1) 合理选用导线和熔丝

各种导线和熔丝的额定电流值可以从手册中查得。在选用导线时应使其载流能力大于实际输电电流。熔丝额定电流应与最大实际输电电流相符，切不可用导线或铜丝代替，并按表1-1规定依电路选择导线的颜色。

表 1-1 特定导线的标记及规定

电路及导线的名称		标 记		颜 色
		电源导线	电器端子	
交流三相电路	1相	L ₁	U	黄色
	2相	L ₂	V	绿色
	3相	L ₃	W	红色
零线和中性线		N		淡蓝色
直流电路	正极	L+		棕色
	负极	L-		蓝色
	接地中间线	M		淡蓝色
接地线		E		黄和绿双色
保护接地线		PE		
保护接地线和中性线共用一线		PEN		
整个装置及设备的内部布线一般推荐				黑色

(2) 正确安装和使用电气设备

认真阅读使用说明书,按规程使用安装电气设备。例如,严禁带电部分外露、注意保护绝缘层、防止绝缘电阻降低而产生漏电、按规定进行接地保护等。

(3) 开关必须接相线

单相电器的开关应接在相线(俗称火线)上,切不可接在零线上。以便在开关关断状态下维修及更换电器,从而减少触电的可能。

(4) 合理选择照明灯电压

在不同的环境下按规定选用安全电压,在工矿企业一般机床照明灯的电压为36 V,移动灯具等电源的电压为24 V,特殊环境下照明灯电压还有12 V或6 V。

(5) 防止跨步电压触电

应远离断落地面的高压线8~10 m,不得随意触摸高压电气设备。

2. 安全操作规程

国家级有关部门颁布了一系列的电工安全规程规范,各地区电业部门及各单位主管部门也对电气安全有明确规定,电工必须认真学习,严格遵守。为避免违章作业引起触电,首先应熟悉以下电工基本的安全操作要点。

① 上岗时必须穿戴好规定的防护用具。不同岗位的安全用具及防护用具有所不同。

② 一般不允许带电作业。如确需带电作业,应采取必要的安全措施,如尽可能单手操作、穿绝缘靴、与导体及接地体用橡胶毡隔离等,并需专人监护。

③ 在线路、设备上工作时,要切断电源,经试电笔测试无电并挂上警告牌(如有人操作、严禁合闸)后方可进行工作。任何电气设备在未确认无电以前,均作为有电状态处理。

④ 按规定搭接临时线,敷设时应先接地线,拆除时应先拆相线,拆除的电线要及时处理好,带电的线头需用绝缘带包扎好。严禁乱拉临时线。

⑤ 使用电烙铁时,安放位置不得有易燃物或靠近电气设备,用完后要及时拔掉电源插头。

⑥ 高空作业时,应系好安全带。扶梯应有防滑措施。

3. 接地与接零

触电的原因可能是人体直接接触带电体,也可能是人体触及漏电设备(因绝缘损坏而使金属外壳带电的设备)所造成的。大多数事故发生在后者。为确保人身安全,防止这类触电事故的发生,必须采取一定的防范措施。

(1) 保护接地

在中性点不接地的低压(1 kV以下)供电系统中,将电气设备的金属外壳或构架与接地体良好的连接,这种保护方式称为保护接地。通常接地体是钢管和角铁,接地电阻不允许超过 $4\ \Omega$ 。如图1-5所示,当人体触及带电设备的外壳时,漏电流自外壳经接地体电阻 R_{PE} 与人体电阻 R_p 并联分流后流入大地,因 $R_p \gg R_{PE}$,所以流经人体的电流非常小。接地电阻越小,流进人体的电流就越小,越安全。

(2) 保护接零

在中性点已接地的三相四线制供电系统中,将电气设备的金属外壳或构架与电网的零线相连接,这种保护方式称为保护接零。如图1-6所示,当电气设备电线一相碰壳发生漏电时,该相就通过金属外壳与接零线形成单相短路,此短路电流足以使线路上的保护装置迅速动作,以切断故障设备的电源,消除了人体触及外壳时的触电危险。

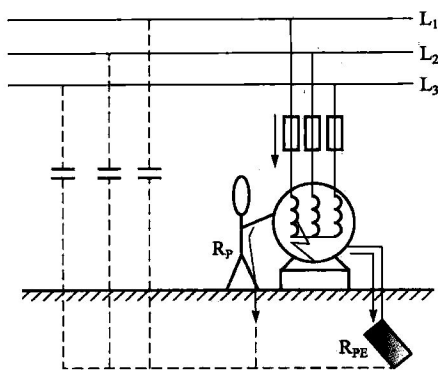


图 1-5 保护接地原理

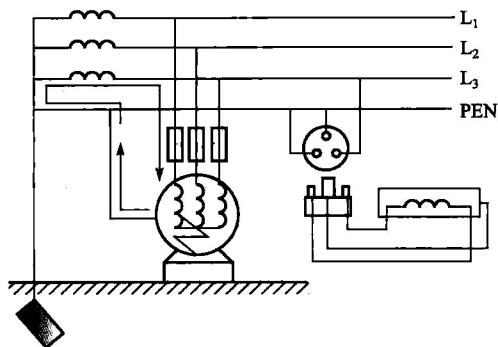


图 1-6 保护接零原理

(3) 实施保护接零的注意事项

① 中性点未接地的供电系统，绝不允许采用接零保护。因为此时接零不但不起任何保护作用，在电器发生漏电时，反而会使所有接在零线上的电气设备的金属外壳带电，而导致触电。

② 单相电器的接零线不允许加接开关及熔断器等。否则万一零线断开或熔断器熔丝熔断，即使不漏电的设备，其外壳也将存在相电压，造成触电危险。确需在零线上装熔断器或开关，则可用作工作零线，绝不允许再用于保护接零，保护线必须在电网的零干线上直接引向电器的接零端。

③ 在同一供电系统中，不允许设备接地和接零并存。因此时若接地设备产生漏电，而漏电流不足以切断电源，就会使电网中性线的电位升高，而接零电器的外壳与零线等电位，故人若触及接零电气设备的外壳，就会触电。

(4) 接地的种类

低压电网的接地方式有 3 种、5 类。

(5) 系统符号的含义

第一个字母表示低压电源系统可接地点（三相供电系统通常是发电机或变压器的中性点）对地的关系。T——表示直接接地；I——表示不接地（所有带电部分与大地绝缘）或经人工中性点接地。

第二个字母表示电气装置的外露可导电部分对地的关系。T——表示直接接地，与低压供电系统的接地点无关；N——表示与低压供电系统的接地点进行连接。

后面的字母表示中性线与保护线的组合情况，S——表示分开的；C——表示公用的；C-S——表示部分是公共的。

① TN 系统：电源系统有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分通过保护线（导体）接到此接地点上，如图 1-7 所示。

② TT 系统：供电网接地点与电气装置的外露可导电部分分别直接接地，如图 1-8 所示。

③ IT 系统：电源系统可接地点不接地或通过电阻器（或电抗器）接地，电气装置的外露可导电部分单独直接接地，如图 1-9 所示。

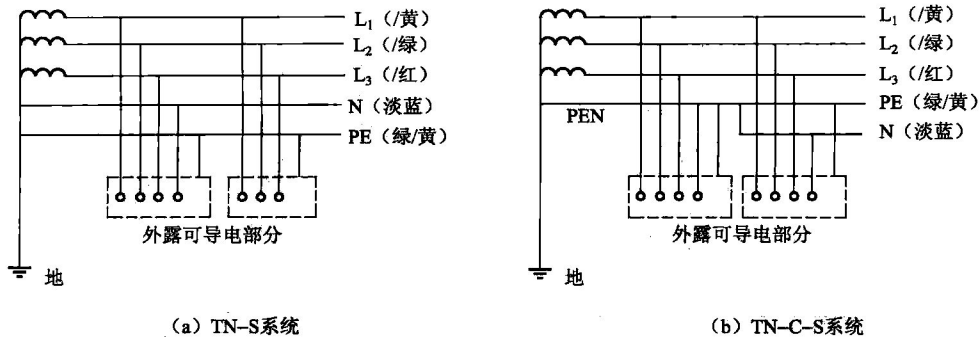


图 1-7 低压电网 TN 系统接线方式

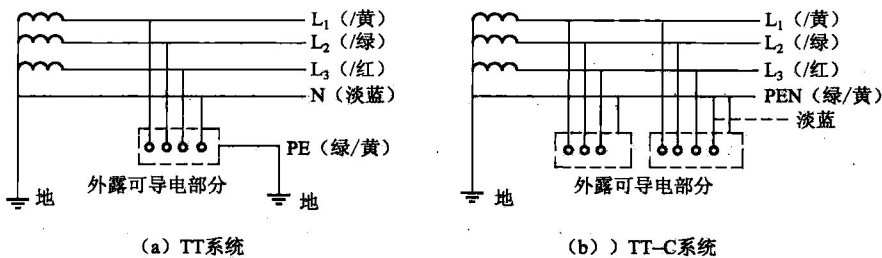


图 1-8 低压电网 TT 系统接线方式

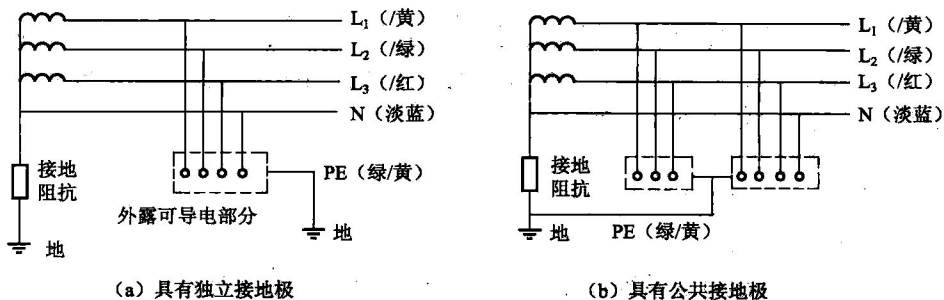


图 1-9 低压电网 IT 系统接线方式

1.2.3 电气事故急救处理

1. 触电急救

发生触电事故现场人员应当机立断以最快的速度采用安全、正确的方法使触电者脱离电源，因为电流通过人体的时间越长，伤害就越重。但切不可用手直接去拉触电者，以防触电。然后视临床表现对触电者进行现场急救。

① 脱离电源有以下几种方法可据具体情况选择。

- ✎ 拉断电源开关或刀闸开关。
- ✎ 拔去电源插头或熔断器的插芯。
- ✎ 用电工钳或有干燥木柄的斧子、铁锹等切断电源线。

④ 用干燥的木棒、竹竿、塑料杆、皮带等不导电的物品拉或挑开导线。

⑤ 救护者可带绝缘手套或站在绝缘物上手拉触电者脱离电源。

以上通常适用于脱离额定电压 500 V 以下的低压电源。如发生高压触电，应立即告知有关部门停电。紧急时可抛掷裸金属软导线，造成线路短路，迫使保护装置动作以切断电源。

② 触电者脱离电源后，应立即进行现场紧急救护，触电者受伤不太严重时，应保持空气畅通，解开衣服以利呼吸，静卧休息，勿走动，同时请医生或送医院诊治。触电者失去知觉，呼吸和心跳不正常，甚至出现无呼吸、心脏停跳的假死现象时，应立即进行人工呼吸和胸外心脏挤压。此工作应做到医生来前不等待，送医院途中不中断，否则伤者可能会很快死亡。具体方法如下。

④ 口对口人工呼吸法（适用无呼吸但有心跳的触电者），如图 1-10 所示。病人仰卧平地上，鼻孔朝天头后仰；首先清理口鼻腔，然后松扣解衣裳；捏鼻吹气要适量，排气应让口鼻畅；吹 2 秒来停 3 秒，5 秒一次最恰当。

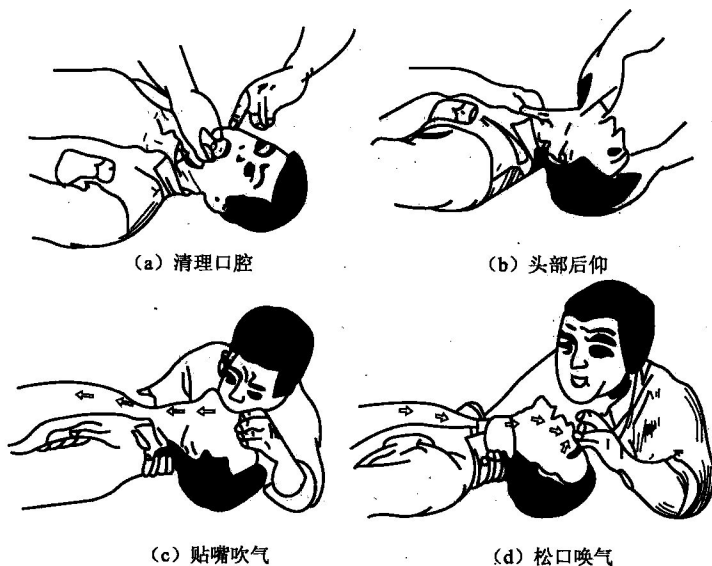


图 1-10 口对口人工呼吸法

④ 胸外挤压法（适用有呼吸但无心跳的触电者），如图 1-11 所示。病人仰卧硬地上，松开领扣解衣裳；当胸放掌不鲁莽，中指应该对凹膛；掌根用力向下压，压下一寸至半寸；压力轻重要适当，过分用力会压伤；慢慢压下突然放，一秒一次最恰当。

④ 对既无呼吸又无心跳的触电者应人工呼吸、胸外挤压并用。先吹气 2 次（约 5 秒内完成），再做胸外挤压 15 次（约 10 秒内完成），以后交替进行。

2. 电火警紧急处理

由于电气设备的绝缘老化、接头松动等因素，以及过载或短路原因致使导线发热，引燃周围的可燃物，而造成电火灾，尤其是易燃易爆场所造成的危害更大。为防止电气火灾事故的发生，必须采取必要的防火措施。例如，经常检查电气设备的运行情况，看接头是否松动、有无电火花发生、过载和短路保护装置是否可靠、设备绝缘是否良好、接地是否可靠等。对易燃易爆场所应按规定等级选用防爆电气设备；保持良好通风以降低爆炸性混合物浓

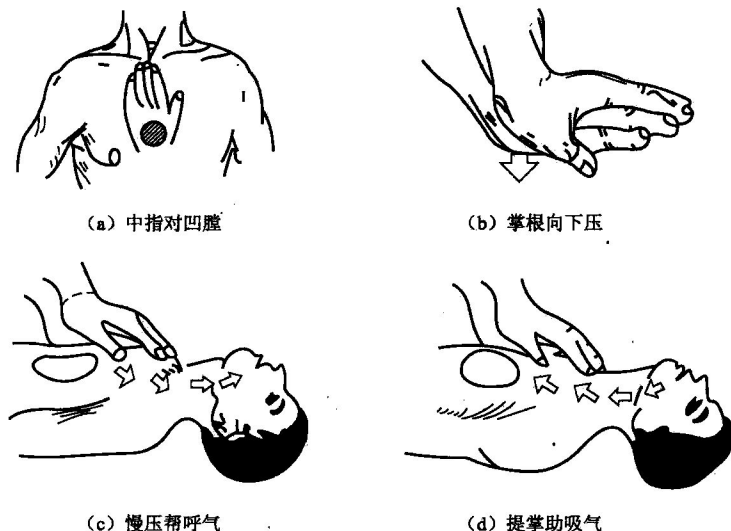


图 1-11 胸外挤压法

度。在能产生电火花和危险高温设备周围不应堆放易燃易爆物品。

一旦发生电火警必须按以下电气设备的灭火规则进行处理。

① 立即切断电源。电气设备发生火灾时，着火的电器、线路可能带电，必须防止火情蔓延和灭火时发生触电事故。

② 切断电源后可用水或普通灭火器（如泡沫灭火器）等灭火。

③ 如必须带电灭火时，救火人员须穿绝缘靴、带绝缘手套并选不导电的灭火剂（如二氧化碳、二氟二溴甲烷灭火器）或黄沙进行灭火，且要注意保持与带电体之间的距离。

1.2.4 记录作业

① 组织参观变电所，了解有关安全技术知识和供电系统常识。

② 触电急救模拟训练。

✎ 使触电者脱离电源。

✎ 将触电者移至通风处静卧，解衣领、宽裤带。

✎ 实施人工呼吸。用毛巾模拟触电者，进行“口对口”人工呼吸，吹2秒、停3秒，按节奏操作若干次。一人模拟触电者，另一人实施胸外挤压心脏法，掌握好力度及频率。

③ 图 1-12 所示的实施保护接零接法，有无问题？错在何处？会造成什么危险？请绘出正确的电气图。

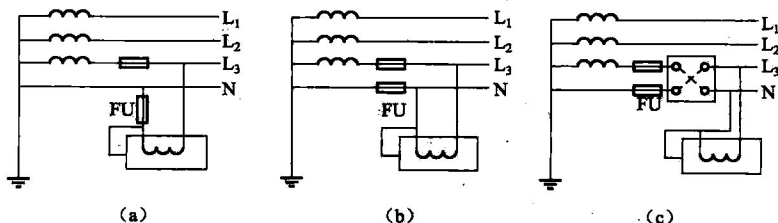


图 1-12 单相电器保护接零的错误接法

1.3 电工测量基础知识、电工测量仪表的分类和表面标记

在自动化技术中，要利用被控对象的电量信号来实施控制，就必须要通过信号测量这一关。电工测量就是利用电工测量仪表对电路中的物理量（如电压、电能、磁通量等）的大小进行测量。所以随着自动化技术的不断提高，电工测量的地位也越来越重要。电工测量是由电工测量仪表和电工测量技术共同完成的。仪表是依据，技术是保证。

1.3.1 测量基本知识

1. 测量方法

测量方法有两种：一种是直接测量法，即利用仪表直接测量出被测量的大小；另一种是间接测量，就是用直接测量法测量后，通过一定的关系式进行计算得出被测量，如伏安法测电阻。而直接测量法又分为直接读数法（如用电流表测电流）和比较测量法，后者即通过比较被测量和标准量来确定被测量的值（如用电桥测电阻）。

2. 测量误差及其处理

无论用什么样的仪表和测量方法，其测量结果与被测量的实际值之间都会有差异，这就是测量误差。测量误差一般可分为三类。

(1) 系统误差

在测量过程中遵循一定的规律且保持不变的误差。造成这种误差的主要原因是仪器本身的误差。另外测量方法和测量依据公式及测量人员感觉器官不够完善也会产生系统误差。可通过引入更正值、采用特殊的测量方法（替代法、正负误差补偿法等）进行处理，来消除系统误差。

(2) 偶然误差

偶然误差是由某种不确定的偶然因素造成的误差。在相同的条件下其表现时而偏大、时而偏小，但在大量重复测量下遵循统计规律。故尽可能多地重复测量，取其平均值可得较准确的结果。

(3) 疏忽误差

疏忽误差是测量者由于疏忽大意而产生的严重歪曲事实测量结果的误差。这类结果应予以摒弃，重新测量。

3. 误差的表示方法

(1) 绝对误差

测量值 X 与真实值 X_0 之差，称为绝对误差，用 ΔX 表示。

即
$$\Delta X = X - X_0$$

绝对误差表征测量结果的偏差，即测量精确程度的高低。其单位与被测量的单位相同。

(2) 相对误差

绝对误差 ΔX 与测量值 X 之比称为相对误差，记作 δX 。

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$