



中等职业教育“十二五”规划教材

电工基础

主编 李 琴

DIAN GONG
CHU

航空工业出版社

中等职业教育“十二五”规划教材

电 工 基 础

主编 李 琴

航空工业出版社

北 京

内 容 简 介

本书采用项目式教学法编排,共分四个项目,内容包括安全用电、万用表的组装与调试、低压照明电路的设计与安装、低压配电板的设计与安装。每个项目又以多个教学单元的形式展开,将相关技能与知识点同步推进,帮助学生“先会后懂,分步实施”。

本书以应用为主线,加强技能训练,图文并茂,生动活泼,突出了“做中学、做中教”的职业教学特色,可以作为中等职业学校电子信息类、电气电力类等专业的教学用书,也可作为相关行业的岗位培训教材或自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础 / 李琴主编. -- 北京 : 航空工业出版社,
2014.2
ISBN 978-7-5165-0443-7

I. ①电… II. ①李… III. ①电工学—中等专业学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第026999号

电工基础 Diangong Jichu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话: 010-84934379 010-84936343

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2014年2月第1版

2014年2月第1次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 13.25

字数: 306千字

印数: 1—3000

定价: 28.00元

编者 的话



当前,我国正处于职业教育快速发展的阶段,作为职教体系中的重要组成部分,中等职业教育也得到了迅速发展。但与此同时也出现了许多有待解决的问题,其中最根本的问题就是:人才培养系统性的偏差,即人才培养的效果与市场需求之间的不一致性。而导致这一偏差的最直接原因就是课程。

因此,探索中职教育的课程改革,缩短人才培养与市场需求之间的差距成为了中职教育工作者关注的焦点。如何从课程教学设计的层面上缩短这个差距,提高学生的关键能力就是本研究中需要解决的核心问题,也是本书研究的重点。

行动导向作为一种课程和教学的理念,注重培养学生的关键能力,符合现今市场和企业对人才的要求,在职业教育课程,特别是专业课中得到了广泛应用。故本书在编写过程中借鉴了行动导向的课程理念,按照教学设计过程的一般模式,对中职学校电子专业《电工基础》课程进行了整体的教学设计,力求探讨出符合市场和企业需求,同时兼顾国家及学校的教育目标,注重培养学生关键能力的中职《电工基础》课程教学方案。

在编写过程中,本书努力体现中等职业教育“以服务为宗旨,以就业为导向”的教学方针,力求做到知识够用,技能实用,基本概念和原理叙述准确,引用数据科学可靠,体现电工基本理论在生产生活中的实际应用。以项目为导向的同时,在每一项目的教学单元中穿插与学习内容相关的实训,将相关技能与知识点同步推进。

本书结构合理、知识实用、重点突出、通俗易懂、教学适用性强,并配有内容丰富的教学资源包,读者可登录北京金企鹅文化发展中心网站(<http://www.bjjqe.com>)下载。

在全书编写过程中,编者参阅了大量的相关专业书籍和资料,在此向各位原著作者表示衷心的感谢。同时得到了北京师范大学教育学部庄榕霞副教授的诸多指导和帮助,正是她的悉心指导使编者能以新的态度和方式重新认识职业教育的本质。在编写工作即将告罄之时,编者向庄老师深切地道一声——谢谢!

由于编者水平有限,书中难免出现不足和错漏之处,恳请广大读者批评指正!

编者
2014年1月



目 录

项目一 安全用电	1
教学单元一 触电的基本常识	1
一、触电对人体的伤害	2
二、人体的触电方式	3
三、触电原因	5
四、安全防护措施	5
教学单元二 触电急救常识	11
一、脱离电源	11
二、判断触电者伤害程度	13
三、现场救治	13
四、人工呼吸法和胸外心脏按压法	14
实训 触电急救	15
教学单元三 电气火灾	16
一、电气火灾的分类	16
二、电气火灾的预防措施	17
三、电气火灾的灭火方法	18
实训 电气火灾的预防与处理	18
思考与练习	20
一、课余自我学习	20
二、练习	20
项目二 万用表的组装与调试	23
教学单元一 常用电工工具	24
一、通用电工工具	24
二、线路装修工具	30
三、设备装修工具	33
实训 常用电工工具的使用	38
教学单元二 常用电工仪表	38
一、常用电工仪表的分类	38
二、电工仪表常用面板符号	39



三、电工仪表的误差和准确度等级	40
四、电工仪表的测量方法	40
五、常用电工仪表的结构形式及其特点	41
六、常用电工仪表	42
实训1 钳形电流表和万用表的使用	57
实训2 直流单臂电桥的使用	58
教学单元三 直流电路及其电路组成	59
一、常见的几个电量	60
二、直流电路的计算	61
三、电路中常见的电子元器件	66
四、电路的状态	79
实训1 基尔霍夫定律的验证	80
实训2 电容的检测	81
实训3 利用兆欧表测量小型单相变压器的绝缘电阻	82
教学单元四 串、并联电路	83
一、电阻器串、并、混联电路	83
二、电容器的串、并联	87
教学单元五 万用表的组装与调试	89
一、项目实施过程	89
二、项目学习资料（万用表的测量电路、组装与调试）	93
三、项目任务书及项目安装评价表	99
项目三 低压照明电路的设计与安装	108
教学单元一 导线的电气连接	109
一、导线绝缘层的剖削	109
二、导线线头的连接	111
三、导线线头绝缘的恢复	113
四、导线线头与接线桩的连接	114
实训 导线的电气连接	115
教学单元二 电磁感应	116
一、磁场与磁力线	117
二、电流的磁场	118
三、磁感应强度	120
四、磁通量	121
五、安培力	122



六、电磁感应现象	123
七、楞次定律	125
八、法拉第电磁感应定律	127
九、磁场的应用	128
教学单元三 单相正弦交流电	129
一、正弦交流电的产生	130
二、正弦交流电的波形图	130
三、表征正弦交流电的物理量	131
四、正弦交流电的表示方法	132
五、三相正弦交流电路	133
实训 观察正弦交流电的波形	135
教学单元四 RLC 电路	135
一、 RLC 串联电路	135
二、 RLC 并联电路	138
三、谐振电路	139
实训 RLC 串联谐振电路的研究	141
教学单元五 常用照明电路的设计与安装	143
一、项目实施过程	143
二、项目学习资料(常用电光源与照明灯具安装)	146
三、项目任务书及项目安装评价表	161
项目四 低压配电板的设计与安装	171
教学单元一 电功和电功率	172
一、电功	173
二、电功率	174
三、电热	175
四、热功率	176
巩固练习题	176
教学单元二 室内配电线路的布线	178
一、室内布线的技术要求	178
二、室内布线的工艺步骤	179
三、室内线管布线工艺	180
四、室内线槽配线工艺	183
实训 室内线槽配线训练	184
教学单元三 配电板及其容量设计	184



一、电能表	185
二、低压断路器	188
三、导线	189
四、配电板的容量设计	190
教学单元四 低压配电板的设计与安装	191
一、项目实施过程	191
二、项目学习资料（低压电器与配电板）	195
三、项目任务书及项目安装评价表	197

项目一 安全用电

【引子】

当今社会随着科技的发展,无论是工农业生产,还是日常生活,对电的需求越来越广泛,人们接触或使用电气设备的机会越来越多。为了防止触电事故的发生,安全用电常识的普及教育显得越来越重要,尤其对于从事电类工作的人员,更是必须掌握安全用电常识,树立安全重于泰山的观念,避免触电事故的发生,确保人身和设备的安全。

【项目目标】

- ◆ 了解触电的基本常识,知道其对人体的危害。
- ◆ 熟悉引发触电事故的原因、方式及常用的防护措施。
- ◆ 掌握触电事故的急救措施。
- ◆ 了解电气火灾的防范及扑救常识,能正确选择处理方法。

通过本项目的学习,使学生了解有关人体触电的知识,懂得引起触电的原因及常用安全预防措施,发生触电后能够进行及时的抢救,尽量减小触电事故对人体的伤害。了解一定的电气火灾防范知识,能够对其防患于未然。对于已发生的电气火灾事故能及时采取各种处理方法进行扑救。

教学单元一 触电的基本常识

电是人们日常生活中必不可少的资源,它在带来光明及便利的同时,却也有一定的危险性,如果操作不当,可能酿成大祸。因此,如何安全用电是每个人都必须关注的头等大事。只有安全用电,才能使电能为我们所用。

安全用电包括人身安全和设备安全。人身安全是指防止人接触带电物体受到电击或电弧灼伤而导致生命危险;设备安全是指防止因用电事故引起的设备损坏或电气火灾、爆炸等危险。

人体本身就是一个导体,一般来说,人体电阻为 $1\sim 2\text{ k}\Omega$ 。当电压加在人体上时就会有电流流过。人体与带电体相接触而有电流流过人体,或者有较大的电弧烧伤人体,都称之为触电。



一、触电对人体的伤害

触电伤害主要可分为电击和电伤两类。

- **电击**：是指电流通过人体内部器官，破坏心脏、呼吸系统、神经系统等，导致人出现痉挛、呼吸窒息、心室纤维性颤动、心搏骤停甚至死亡的触电事故。电击多发生在人们日常生活中易接触到的 220 V 低压线路或电气设备上。
- **电伤**：是指电流通过人体表面时，电流的热效应、化学效应、机械效应以及磁效应，对人体外部组织或器官造成伤害的触电事故，如电击伤、金属溅伤、电烙印等。

在触电事故中，电击和电伤往往是同步发生的，但是大部分触电伤亡事故都是由电击造成的，所以电击是最严重的触电事故。

触电对人体的伤害程度与很多因素有关，如电流大小、触电时间、流经途径、电流频率、电压大小及触电者的身体状况等，如表 1-1 所示。

表 1-1 触电因素及其对人体的伤害程度

触电因素	伤害程度说明
电流大小	流过人体的电流大小是决定人体受到伤害程度最主要的原因之一。当较小的电流流过人体时，人没有知觉；当电流稍大，人会感觉到有点“麻刺”；超过 30 mA 的电流会对人体造成危险，超过 50 mA 的电流甚至会导致人体死亡
触电时间	电流流过人体的持续时间越长，对人体伤害程度就越大。触电时间越长，电流通过心脏引起心室纤维颤动的可能性就越大，同时对人体器官及组织的破坏也越严重
电流途径	电流通过人体任何一个部位都可能会导致死亡，电流通过头部会使人昏迷，电流通过脊髓会使人瘫痪，电流通过中枢神经会引起神经系统严重失调而导致死亡。其中从左手到前胸是最危险的途径，因为心脏、呼吸系统、中枢神经都处于这条路径中，很容易引起心室颤动和中枢神经失调而导致死亡
电流频率	一般来说交流电比直流电更危险，频率很低或者很高的电流触电危险性比较小些。对人体而言，最危险的电流频率范围是 20~300 Hz。超过 100 kHz 的电流对人体不会造成大的伤害，故在医学范畴中可以利用高频电流做理疗
电压大小	触电电压越高，对人体的危害越大。根据欧姆定律可知，加在人体上的电压越高，会导致流过人体的电流越大，造成的危险就越大，并且高压触电往往会造成极大的弧光放电，强烈的弧光会导致人体灼伤或致残
身体状况	患有心脏病、呼吸系统、神经系统等疾病的人在触电时受到的伤害会比健康人严重；妇女、小孩比成年男性更严重。另外，人体电阻本身不是固定值，它会随着皮肤干燥程度等因素变化。一般来说，在工频电压下，人体电阻会随接触面积增大、电压增高而减小

当流过人体的电流在 1.5 mA 以下时，人体会有轻微的麻刺感；当电流达到 5 mA 时，人体会发生肌肉痉挛；当达到 10 mA 时，人体会感觉到剧痛，但仍可摆脱电流束缚，此时触电者很容易由于肌肉痉挛而摔倒，如在高空作业则易发生坠落事故。这些由于触电引起的其他伤害称为触电的二次事故。

二、人体的触电方式

触电给人体带来的危害极大,因此必须安全用电,预防为主。为了尽可能地减少触电事故的发生,应该对触电的方式和触电原因有所了解,以便针对不同情况采取预防措施。

人体的触电方式一般分为直接接触电和间接触电两种。直接接触电主要包括单相触电和两相触电,间接触电主要包括跨步电压触电和悬浮电路触电。

1. 单相触电

人体的一部分接触带电体的同时,另一部分又与大地或中性线(零线)接触,电流从带电体流经人体到大地(或中性线)形成回路,这种触电称为单相触电,如图 1-1 所示。

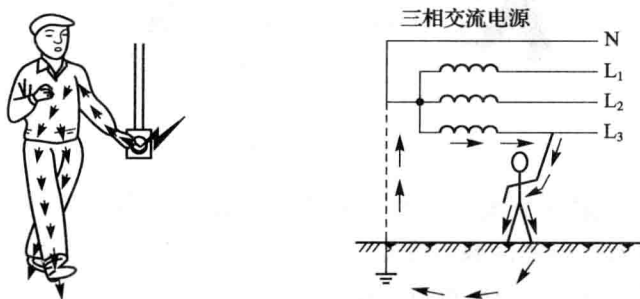


图 1-1 单相触电

在我国的低压三相四线制供电系统中,单相电压为 220 V。一般来说,人体电阻为 $1 \sim 2 \text{ k}\Omega$,若有 220 V 的电压加在人体上,将会产生近 110 mA 的电流,远远大于人体的安全电流 30 mA,所以单相触电是很危险的。

此时若人站在干燥的绝缘物体上单手操作,就不会有触电的危险。例如,人站在一块绝缘电阻为 $2 \text{ M}\Omega$ 的干燥木板上去接触 220 V 的电压,流过人体的电流仅为 0.11 mA,这对人体来说是安全的。

2. 两相触电

人体的不同部位同时接触两相电源带电体而引起的触电称为两相触电,如图 1-2 所示。当发生两相触电时,无论电网中性点是否接地,人体所承受的电压都为 380 V,比单相触电时的 220 V 更高,危险性更大。

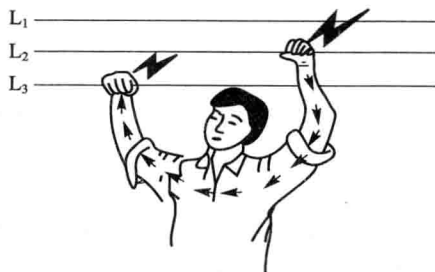


图 1-2 两相触电

3. 跨步电压触电

当有雷电流流入大地时,或载流电力线(特别是高压线)断落接地时,电流接地点及周围会形成强电场,



其电位分布以接地点为圆心向周围扩散,其中以接地点电位最高,距离越远电位越低,在该强电场的不同位置形成电位差(电压),一旦人、畜跨入该区域,下肢之间将存在电压,该电压称为跨步电压。在跨步电压作用下,电流从接触高电位的脚流进,从接触低电位的脚流出,这就是跨步电压触电,如图 1-3 所示。



图 1-3 跨步电压触电

跨步电压的大小取决于距离高压接地点的远近以及两脚相对接地点的跨步间距。在距离高压线落地点 20 m 以外的区域,跨步电压很小,可视为安全区域。一旦误入高压线落地点 20 m 以内的区域,应采用单脚跳或双脚并拢蹦离,切勿摔倒。

4. 悬浮电路触电

220 V 交流电流通过变压器的一次绕组时,与一次绕组相互隔离的二次绕组将会产生感应电动势,且相对于大地处于悬浮状态。若此时人站在地上接触其中一根带电导线,不会构成电流回路,即不会触电。但如果人体一部分接触二次绕组的一根导线,另一部分接触该绕组的另一根导线,则会造成触电,称为悬浮电路触电,如图 1-4 所示。

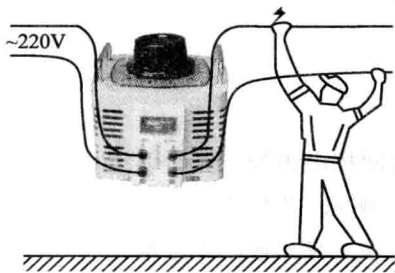


图 1-4 悬浮电路触电

一些电子产品如音响设备中的电子管功率放大器和彩色电视机,它们的金属底板是悬浮电路的公共接地点,维修时若一手接触高电位,另一手接触低电位,就容易造成悬浮电路触电,所以维修时应尽量单手操作。



三、触电原因

不同的触电场合，引发触电的原因也不一样。常见的触电原因包括线路架设不合格、用电设备不合格、电工操作不合要求和使用电器不谨慎四种。

1. 线路架设不合格

线路架设时，擅自采用一线一地制（即用一根导线送电，并以大地作为回路的交流供电方式）的违章线路架设方法，当接地零线被拔出、线路发生短路或接地不良时，均会导致触电或区域电压不稳。

室内导线破旧、绝缘损坏或铺设电路不合格时，容易造成触电或短路引起火灾；无线电设备的天线、广播线或通信线与电力线距离过近或同杆架设时，若发生断线或碰线，电力线电压就会传到这些设备上而引起触电；电器修理工作台布线不合理，导致绝缘线被磨损或被烙铁烫坏而引起触电等。

2. 用电设备不合格

用电设备的绝缘老化损坏造成漏电，或外壳无保护接地线或保护接地线接触不良而引起触电。开关和插座的外壳破损或导线绝缘老化，失去保护作用，一旦人体触及就会引起触电；线路或用电器具接线错误，致使外壳带电而引发人体触电等。

3. 电工操作不合要求

电工操作时未采取切实的安全措施，带电操作、冒险修理或盲目修理等，均可能引起触电。使用不合格的安全工具进行操作，如使用绝缘层损坏的工具，用竹竿代替高压绝缘棒，用普通胶鞋代替绝缘靴等，均会引起触电。停电检修线路时，闸刀开关上未挂警告牌，其他人员误合开关而造成触电等。

4. 使用电器不谨慎

在室内违规乱拉电线，乱接用电器具，使用中不慎而造成触电。移动灯具或电器时未切断电源，若电器漏电就会造成触电。更换保险丝时，随意加大规格或用其他金属丝代替熔丝，使之失去保险作用而造成触电或引起火灾。用湿布擦拭或用水冲刷电线和电器，导致绝缘性能降低而造成触电等。

四、安全防护措施

只要技术措施和管理措施得当，防护到位，可有效避免触电事故的发生。因此，采用合理可靠的安全防护措施是非常重要的。根据触电形式的不同，触电安全防护措施可分为



预防直接接触电的措施和预防间接接触电的措施。

1. 预防直接接触电的措施

(1) 绝缘措施

良好的绝缘是预防触电事故的重要措施。根据绝缘材料的不同,可分为气体绝缘、液体绝缘和固体绝缘。高压线在空气中是裸线架设,绝缘材料为气体;油浸式变压器中注满了变压器油,绝缘材料为液体;日常生活中常用的电工工具手柄一般用橡胶或木头制成,绝缘材料为固体。

(2) 屏护措施

采用屏护装置将带电体与外界隔绝开来,以杜绝不安全因素的措施称为屏护措施,如图 1-5 所示。常用的屏护装置有遮栏、护罩、护盖、栅栏等。

如常用电器的绝缘外壳、金属网罩、金属外壳,变压器的遮栏、栅栏等都属于屏护装置。应当注意的是,凡是金属材料制作的屏护装置,应妥善接地或接零。栅栏等屏护装置上应有如“止步”、“高压危险”等明显标志,必要时可上锁或装配监控设备。

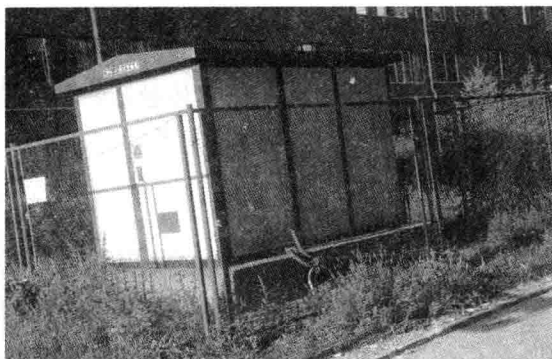


图 1-5 屏护装置

(3) 间距措施

为防止人体或车辆触及或过分接近带电体而引发触电事故,在带电体与人畜之间、带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间采取保持一定安全间距的措施,称为间距措施。

安全间距的大小取决于电压高低、设备类型和安装方式等因素。例如,1 kV 以下的带电线路与建筑物之间,水平距离不小于 1.0 m,垂直距离不小于 2.5 m;10 kV 以下的带电线路与建筑物之间,水平距离不小于 1.5 m,垂直距离不小于 3.0 m;35 kV 以下的带电线路与建筑物之间,水平距离不小于 3.0 m,垂直距离不小于 4.0 m。

(4) 安全标志

在有触电危险的区域,应设置明显的安全标志,使人警惕,防止触电事故的发生,如图 1-6 所示。



图 1-6 安全标志

2. 预防间接触电的措施

(1) 加强绝缘措施

对电气线路或设备采取双重绝缘、加强绝缘,以及对组合电气设备采用共同绝缘的预防触电措施称为加强绝缘措施。这样,即使工作绝缘损坏后,还有一层加强绝缘保护,不易发生触电事故。

(2) 电气隔离措施

采用隔离变压器或具有同等隔离作用的发电机,使电气线路和设备的带电部分处于悬浮状态的预防触电措施称为电气隔离措施。

这样,即使该线路或设备工作绝缘损坏,人站在地面上与之接触也不易触电。应注意的是,变压器的二次电压不得超过 500 V,且其带电部分不得与其他电气回路或大地相连,以此才能保证其隔离要求。

(3) 自动断电保护措施

当带电线路或设备上发生触电事故或其他事故(短路、过载等)时,在规定时间内能自动切断电源而起到保护作用的措施称为自动断电保护措施。如漏电保护、过流保护、过压或欠压保护、短路保护、接零保护等均属自动断电保护措施。其中漏电保护器是最常用的自动保护装置。

漏电保护器俗称漏电开关,是一种防止漏电事故发生的保护装置,如图 1-7 所示。当用电线路或设备因漏电而出现对地电压或产生漏电电流时,它能够在规定时间内,迅速切断电源,保证人身安全。

漏电保护器的主要技术参数是额定漏电动作电流,它是保证漏电保护器必须动作的漏电流值。

根据动作灵敏度的不同,常用的漏电保护器可分为高灵敏度(漏电动作电流在 30 mA 以下)、中灵敏度(漏电动作电流在 30~1 000 mA)、低灵敏度(漏电动作电流在 1 000 mA 以上)三种。日常生活用电,最主要的目的是为了防止人身触电,故应该选择小于或者等于 30 mA 的高灵敏度动作产品。



提示

在实际使用中，通常把低压断路器（参见项目四）与漏电保护器组合在一起，即带漏电保护功能的低压断路器，简称漏电断路器，如图 1-8 所示。

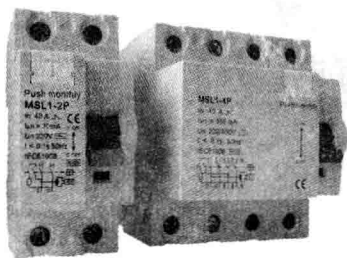


图 1-7 漏电保护器

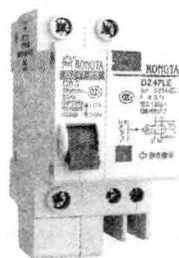


图 1-8 带漏电保护的低压断路器

漏电保护器的接法如图 1-9 所示，应注意零相线的接法。

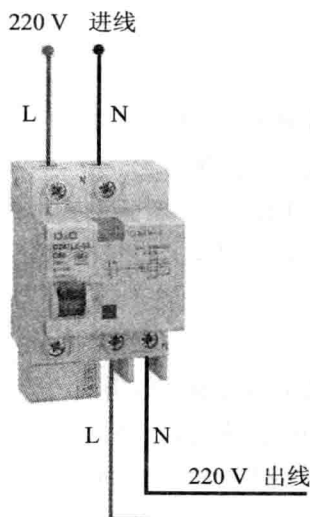


图 1-9 漏电保护器的接法

2005 年国家质量监督检验检疫总局发布的国标 GB13955—2005《剩余电流动作保护装置安装和运行》，对全国剩余电流动作保护装置做出统一规定，在下列场所或设备必须安装剩余电流动作保护装置。

- ① 属于工类的移动式电气设备及手持式电动工具。
- ② 生产用的电气设备。
- ③ 施工工地的电气机械设备。
- ④ 安装在户外的电气装置。



- ⑤ 临时用电的电气设备。
- ⑥ 机关、学校、宾馆、饭店、企事业单位和住宅等除壁挂式空调电源插座外的其他电源插座或插座回路。
- ⑦ 游泳池、喷水池、浴池的电气设备。
- ⑧ 安装在水中的供电线路和设备。
- ⑨ 医院中可能直接接触人体的电气医用设备。
- ⑩ 其他需要安装剩余电流保护装置的场所。

3. 保护接地与保护接零

(1) 保护接地

保护接地简称接地,是指在电源中性点不接地的供电系统中,将电气设备的金属外壳与埋入地下且接触大地良好的接地装置(接地体)进行可靠连接。保护接地原理如图 1-10 所示。

若设备漏电,外壳和大地之间的电压将通过接地装置将电流导入大地。此时如果有人接触漏电设备外壳,由于人体与漏电设备并联,且人体电阻 R_b 远大于接地装置的对地电阻 R_e ,即 $R_b \gg R_e$,通过人体的电流非常微弱,从而消除了触电危险。电压在 100 V 以下的任何形式的电网,均需采用保护接地作为安保技术措施。接地装置通常采用厚壁钢管或角钢,接地电阻以小于 $4\ \Omega$ 为宜。

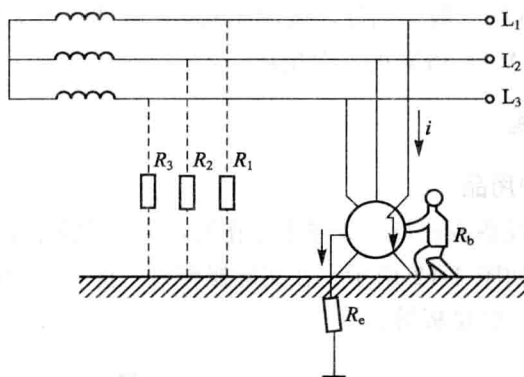


图 1-10 保护接地

(2) 保护接零

保护接零简称接零,是指在电源中性点接地的供电系统中,将电气设备的金属外壳与电源零线(中性线)可靠连接。保护接零原理如图 1-11 所示。

当电气设备漏电致使其金属外壳带电时,设备外壳将与零线之间形成良好的电流通路。此时如果有人接触设备金属外壳,由于人体电阻 R_b 远大于设备外壳与零线之间的接触电阻 R_c ,即 $R_b \gg R_c$,通过人体的电流很小,从而消除了触电危险。

采用保护接零措施后,零线绝对不允许断开,所以零线上不能安装熔断器或开关。另