



“十三五”普通高等院校规划教材

电工电子 训练

DIANGONG DIANZI
XUNLIAN

训练



主编 黄念庆



电子科技大学出版社

“十三五”普通高等院校规划教材

电工电子

DIANGONG DIANZI
XUNLIAN

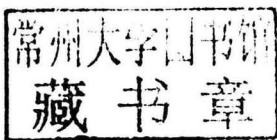
训练



主 编 黄念庆

副主编 贾玉凤 李 玲

马智慧 金 璐



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子训练 / 黄念庆主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5647-4024-5

I. ①电… II. ①黄… III. ①电工技术②电子技术
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 282567 号

电工电子训练

主 编 黄念庆

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编:610051)

策划编辑: 曾 艺

责任编辑: 曾 艺

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 全国新华书店经销

印 刷: 北京好朋友印刷有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 9.75 字数 230 千字

版 次: 2017 年元月第一版

印 次: 2017 年元月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-4024-5

定 价: 29.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话:(028)83202463; 本社邮购电话:(028)83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。



当前，电工、电子技术的发展趋势是有目共睹的，它们已经渗透到社会的各个领域，比如工业、农业、金融、国防、医疗卫生、教育、家庭等等，可以说是无处不在。为适应时代发展对人才知识结构的需要，我们结合普通高等学校电工电子训练指导意见，编写了该书，目的在于为普通高等学校学生提供一个参与工程性电工、电子实际训练的习惯资料，并通过实践训练较深入、全面地介入电工、电子工程的各个实践环节，从而系统地掌握工程实践技能。

本教材以满足电工电子训练教学的需要为出发点，根据电工、电子实训教学大纲编写。本教材共分为七章，主要内容为：安全用电及防护、常用电工材料的选用、常用电工工具及仪表、导线的敷设与安装、常用低压电器及电动机控制、常用电子元件和电子仪器、电子电路的安装与制作。其中第1、2章由黄念庆编写，第3、4由李玲编写，第5、6章由马智慧编写，第7章金璐编写。最后由黄念庆统稿、审定并担任主编。

本教材在编写过程中，注意体现了理工科院校的特点和现实能力要求，力求做到图文并茂、深入浅出、简明扼要。本教材突出实际操作内容的编排，注重培养学生的动手操作能力。就此机会，向在本书编写过程中给予关心和支持的贵州理工学院相关部门领导及工程训练中心全体老师表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有欠妥或不足之处，敬请批评指正。

编者

2016年11月



第一章	安全用电及防护	
第一节	触电的有关知识及急救	1
第二节	设备安全与保护	6
第三节	训练课题	14
第二章	常用电工材料的选用	
第一节	绝缘材料	16
第二节	导电材料	20
第三节	磁性材料	22
第四节	训练课题	24
第三章	电工工具及电气测量 仪器仪表的使用	
第一节	常用的电工工具及使用	25
第二节	常用电气测量仪器仪表的使用	30
第三节	实调课题	41
第四章	导线的敷设与安装	
第一节	电气布线	43
第二节	训练课题	61
第五章	常用低压电器及电动机控制	
第一节	低压电器的基本知识	70
第二节	接触器	72
第三节	继电器	75

第四节	熔断器	82
第五节	低压开关和低压断路器	85
第六节	主令电器	89
第七节	三相异步电动机	92
第八节	THWD—2A 型电工技能操作台	94
第九节	训练课题三相异步电动机的控制	99
第六章	常用电子元件和电子仪器	
第一节	常用电子元件	111
第二节	常用电子仪器	126
第三节	训练课题	132
第七章	电子电路的安装与制作	
第一节	常用集成电路	133
第二节	焊接技术	136
第三节	训练课题	145
参考文献	150



第一章

安全用电及防护

安全用电包括用电时的人身安全和设备安全。随着经济社会的不断发展，电气化程度越来越高，人们的生产、生活都离不开电，电给人类带来了光明和欢乐，但使用不当或违章用电，也会给人类造成灾难和不幸。因此要重视安全用电。



第一节 触电的有关知识及急救

一、人体触电原因和形式

(一) 触电原因

不同的场合引起人体触电的原因也不一样，根据日常用电情况，触电原因主要有：

1. “安全第一”的思想重视程度不够

思想上存在侥幸心理，违章作业，没有遵守相应的安全操作规程。

2. 线路架设不符合要求

如采用一线一地制的违章线路架设，当接地线被拔出、线路发生短路或接地端接地不良；室内导线破旧、绝缘损坏或敷设不合规格；无线电设备的天线、广播线、通信线与电力线距离过近或同杆架设；电气修理工作台布线不合理，绝缘线被电烙铁烫坏等。

3. 用电设备不符合要求

如家用电器绝缘损坏、漏电及外壳无保护接地或保护接地接触不良；开关、插座外壳破损或相线绝缘老化；照明电路或家用电器接线错误致使灯具或机壳带电等。

4. 电工操作制度不严格、不健全

如带电操作、冒险修理或盲目修理、且未采取正确的安全措施；停电检修电路时，刀开关上未挂“警告牌”，其他人员误合刀开关；使用不合格的安全工具进行操作等。

5. 缺乏安全用电知识，用电不谨慎

如违反布线规程、在室内乱拉电线；未切断电源就去移动灯具或家用电器；用水冲刷电线和电器或用湿布擦拭，引起绝缘性能降低；随意加大熔丝规格或任意用铜丝代替，使电路失去保护作用等。

(二) 触电形式

常见的触电方式主要分单相触电、两相触电及跨步电压触电等3种。

1. 单相触电

人体某一部位触及一相带电体，电流通过人体流入大地（流回中性线），称为单相触电，如图 1.1.1 所示。单相触电时人体承受的最大电压为相电压。单相触电的危险程度与电网运行的方式有关。在电源中性点接地系统中，由于人体电阻远大于中性点接地电阻，电压几乎全部加在人体上；而在中性点不直接接地系统中，正常情况下电源设备对地绝缘电阻较大，通过人体的电流较小。所以，一般情况下，中性点直接接地电网的单相触电比中性点不直接接地的电网危险性大。

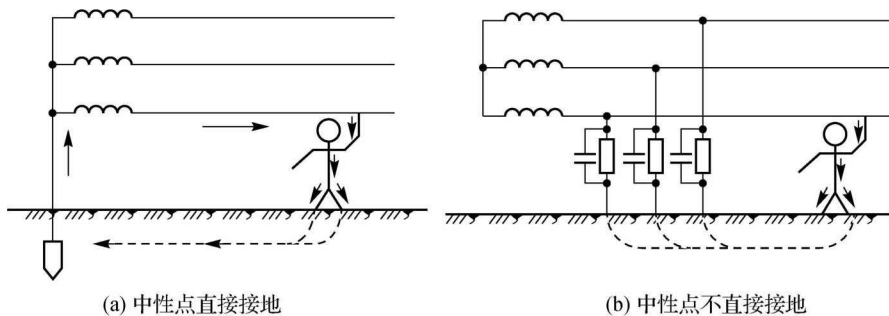


图 1.1.1 单相触电

由图 1.1.1 (a) 可知，中性点接地时事故电流经相线→人体→大地→中性点接地体→中性点形成闭合回路。通过人体电流为

$$I = \frac{U_{\text{ph}}}{R_{\text{人}} + R_{\text{地}}}$$

其中， U_{ph} 为相电压， $R_{\text{人}}$ 为人体电阻，人体电阻取 1000Ω ； $R_{\text{地}}$ 为接地体电阻，通常小于 4Ω ； $R_{\text{地}}$ 比 $R_{\text{人}}$ 小很多，通常忽略不计，则

$$I = \frac{U_{\text{ph}}}{R_{\text{人}} + R_{\text{地}}} \approx \frac{U_{\text{ph}}}{R_{\text{人}}} = \frac{220}{1000} = 220\text{mA}$$

显然这个电流值对人体是十分危险的。

对于中性点不接地的单相触电，由图 1.1.1 (b) 可知，触电电流经相线→人体→大地→线路对地绝缘电阻（空气）和分布电容→中性点分别形成两条闭合回路。如果线路绝缘良好，空气阻抗、容抗很大，人体承受的电流就比较小，一般不发生危险；如果绝缘性不好，则危险性就增大。

2. 两相触电

人体两处同时触及两相带电体称为两相触电，如图 1.1.2 所示。两相触电加在人体上的电压为线电压，其危险性最大。

3. 跨步电压触电

当电气设备发生接地故障，接地电流通过接地体向大地流散，在地面上形成电位分布时，若人在接地短路点周围行走，（一般高压接地点周围 $15\sim 20\text{m}$ ），其两脚之间的电位差，就是跨步电压。由跨步电压引起的人体触电，称为跨步电压触电。如图 1.1.3 所示。

下列情况和部位可能发生跨步电压电击：

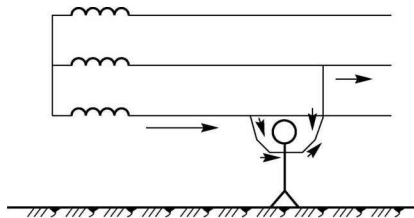


图 1.1.2 两相触电

带电导体，特别是高压导体故障接地处，流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击；

接地装置流过故障电流时，流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击；

正常时有较大工作电流流过的接地装置附近，流散电流在地面各点产生的电位差造成跨步电压电击；

防雷装置接受雷击时，极大的流散电流在其接地装置附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击；

高大设施或高大树木遭受雷击时，极大的流散电流在附近地面各点产生的电位差造成跨步电压电击。

跨步电压的大小受接地电流大小、鞋和地面特征、两脚之间的跨距、两脚的方位以及离接地点的远近等很多因素的影响。人的跨距一般按 0.8m 考虑。

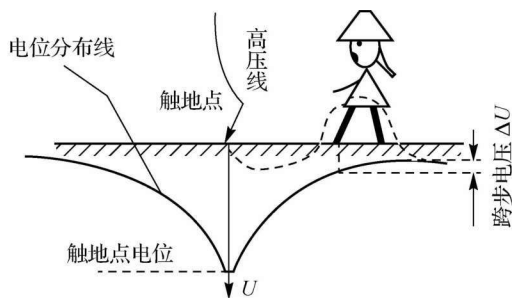


图 1.1.3 跨步电压触电

二、触电急救措施

一旦发生触电事故，有效的急救在于迅速处理并抢救得法。

(一) 切断电源

首先应就近断开开关或切断电源，也可用干燥的绝缘物作为工具使触电者与电源分离。若触电者紧握电线，可用绝缘物（如干燥的木板等）插垫入其身下，以隔断触电电流，也可用带绝缘柄的电工钳或有干燥木把的斧头切断电源线。同时要注意自身安全，避免发生新的触电事故。

(二) 现场急救

1. 触电者尚未失去知觉，感觉心慌、四肢麻木、全身无力或一度昏迷，但很快恢复知觉，则应让其静卧，注意观察，并请医生前来诊治。

2. 呼吸停止，但有心跳，应该用人工呼吸法抢救，方法如下。

(1) 首先把触电者移到空气流通的地方，最好放在平直的木板上，使其仰卧，不可用枕头。然后把头侧向一边，掰开嘴，清除口腔中的杂物、假牙等。如果舌根下陷应将其拉出，使呼吸道畅通。同时解开衣领，松开上身的紧身衣服，使胸部可以自由扩张。

(2) 抢救者位于触电者一边，用一只手紧捏触电者的鼻孔，并用手掌的外缘部压住其外部，扶正头部使鼻孔朝天。另一只手托住触电者的颈后，将颈部略向上抬，以便接受吹气。

(3) 抢救者做深呼吸，然后紧贴触电者的口腔，对口吹气约 2s。同时观察其胸部有否扩张，以判断吹气是否有效和是否合适。

(4) 吹气完毕后，立即离开触电者的口腔，并放松其鼻孔，使触电者胸部自然回复，时间约 3s，以利其呼气。

按上述步骤不断进行，每 5s 一次，如图 1.1.4 所示。如果触电者张口有困难，可

用口对准其鼻孔吹气，效果与上面方法相近。

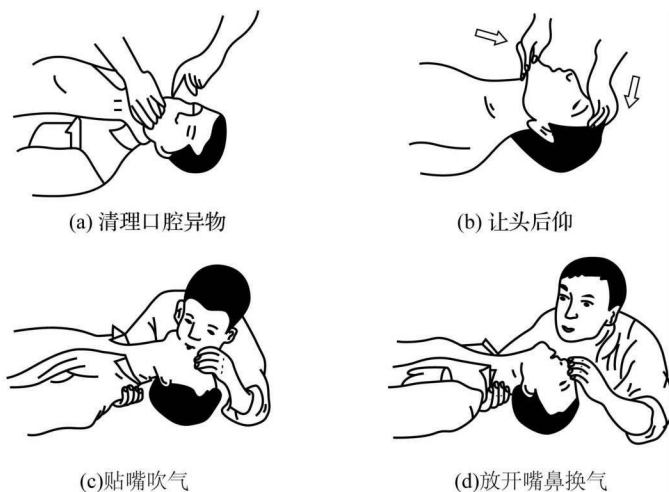


图 1.1.4 口对口人工呼吸法

3. 若触电者心跳停止但有呼吸，应用人工胸外心脏按压法抢救，方法如下。

(1) 使触电者仰卧，姿势与人工口对口呼吸法相同，但后背着地处应结实。

(2) 抢救者骑在触电者的腰部，两手相叠，用掌跟置于触电者胸骨下端部位，即中指指尖置于其颈部凹陷的边缘，掌跟所在的位置即为正确按压区。然后自上而下直线均衡地用力向脊柱方向挤压，使其胸部下陷 3~4cm 左右，可以压迫心脏使其达到排血的作用。

(3) 使挤压到位的手掌突然放松，但手掌不要离开胸壁，依靠胸部的弹性自动恢复原状，使心脏自然扩张，大静脉中的血液就能回流到心脏中来。

按照上述步骤不断地进行，每秒一次，每分钟约 60 次，如图 1.1.5 所示。按压时定位要准确，压力要适中，不要用力过猛，避免造成肋骨骨折、气胸、血胸等危险。但也不能用力过小，达不到按压目的。

4. 若触电者心跳、呼吸都已停止时，需同时进行胸外心脏按压法与口对口人工呼吸，配合的方法是：做一次口对口人工呼吸后，再做四次胸外心脏按压。

在抢救过程中，要不停顿地进行，使触电者恢复心跳和呼吸。同时要注意，切勿滥用药物或搬动、运送，应立即请医生前来指导抢救。

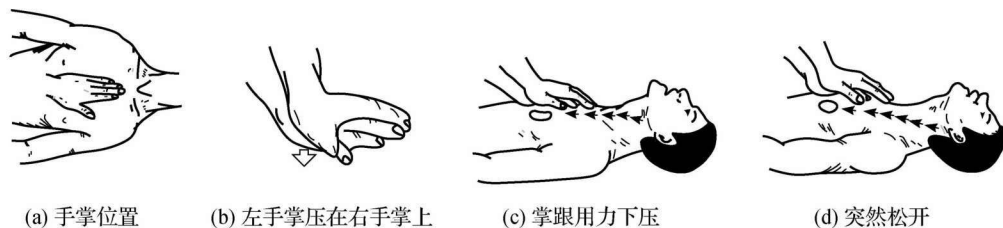


图 1.1.5 胸外心脏按压法

三、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等措施，防止因电气事故引起的人身伤害事故和火灾的发生。

1. 基本安全措施

(a) 合理选用开关、导线和熔丝 各种导线和熔丝的额定电流值可以从电工手册中查得。在选用导线时应使其载流能力大于实际输电电流。开关和熔丝额定电流应与最大实际输电电流相符，熔丝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。

(b) 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。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。

(c) 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。以便在开关断开状态下维修及更换电器，从而减少触电的可能。

(d) 合理选择电器电压 在不同的电路环境下按规定选用相应的电器电压，如 380V、220V 以及机床照明灯具电压为 36V，移动灯具等电源电压为 24V，特殊环境下照明灯电压为 12V 或 6V。

表 1-1 依电路选择导线的颜色

电路及导线名称		标 记		颜 色
		电源导线	电器端子	
交流三相电路	1 相	L1	U	黄色
	2 相	L2	V	绿色
	3 相	L3	W	红色
零线或中性线		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

(e) 防止跨步电压触电 应远离断落地面的高压线 8~10m，不得随意触摸高压电气设备。

2. 电工安全操作规程

①电气操作人员应思想集中，电器线路在未经测电笔确定无电前，应一律视为“有电”，不可用手触摸，不可绝对相信绝缘体，应认为有电操作。

②工作前应详细检查自己所用工具是否安全可靠，穿戴好必需的防护用品，以防工作时发生意外。

③维修线路要采取必要的措施，在开关手把上或线路上悬挂“有人工作、禁止合闸”的警告牌，防止他人中途送电。

④使用测电笔时要注意测试电压范围，禁止超出范围使用，电工人员一般使用的电笔，只许在五百伏以下电压使用。

⑤工作中所有拆除的电线要处理好，带电线头包好，以防发生触电。

⑥所用导线及保险丝，其容量大小必须合乎规定标准，选择开关时必须大于所控制设备的总容量。

⑦工作完毕后，必须拆除临时地线，并检查是否有工具等物漏忘在电器设备上。

⑧检查完工后，送电前必须认真检查，看是否合乎要求并和有关人员联系好，方能送电。

⑨发生火警时，应立即切断电源，用四氯化碳粉质灭火器或黄砂扑救，严禁用水扑救。

⑩工作结束后，必须撤离全部工作人员工作地段，拆除警告牌，所有材料、工具、仪表等随之撤离，原有防护装置及时安装好。



第二节 设备安全与保护

一、安全电压

按照人体的最小电阻（800~1000 Ω ）和工频致命电流（30~50mA），可求得对人的最小危险电压为24~50V，据此我国规定的安全电压为42、36、24、12、6V五个等级供不同场合选用。凡是裸露的带电设备和移动的电气用具都应使用安全电压。在一般建筑物中可使用36V或24V；在特别危险的生产场地，如潮湿、有辐射性气体或有导电尘埃及能导电的地面和狭窄的工作场所等，则要用12V和6V的安全电压。安全电压的电源必须采用独立的双绕组隔离变压器，严禁用自耦变压器提供电压。

二、接地和接零

电气设备的金属外壳在正常情况下是不带电的，一旦绝缘损坏，外壳便会带电，人触及外壳就会触电。接地和接零是防止这类事故的有效措施。

（一）工作接地

为保证电气设备在正常或发生事故情况下能可靠运行，将电路中的某一点通过接地装置与大地可靠地连接起来称工作接地。如：电源变压器中性点接地、三相四线制系统中性线接地、电压互感器和电流互感器二次侧某点接地等。如图1.2.1所示。实行工作接地后，当单相对地发生短路故障时，短路电流可使熔断器熔丝熔断或自动断路器跳闸，从而起到安全保护作用。

(二) 保护接地

保护接地就是将电器设备正常情况下不带电的金属外壳通过保护接地线与接地体相连，宜用于中性点不接地的电网中，如图 1.2.2 所示。采取了保护接地后，当一相绝缘损坏碰壳时可使通过人体的电流很小不会有危险。

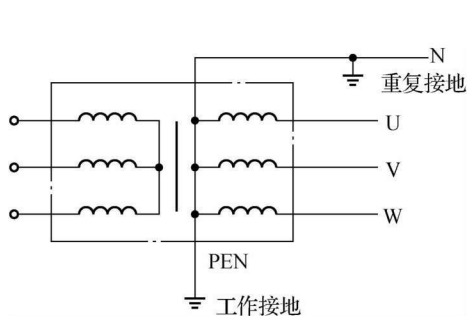


图 1.2.1 工作接地

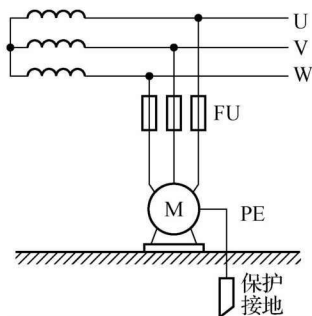


图 1.2.2 保护接地

(三) 保护接零

保护接零是目前我国应用最广泛的一种安全措施，即将电气设备的金属外壳接到中性线上，宜用于中性点接地的电网中，如图 1.2.3 所示。当一相绝缘损坏碰到电气设备外壳时，形成单相短路，使此相上的保护装置迅速动作，切断电源，避免触电的危险。

注意：在中性点接地系统中，宜采用保护接零，而不采用保护接地。为确保安全，中性线和接零线必须连接牢固，开关和熔断器不允许装在中性线上。

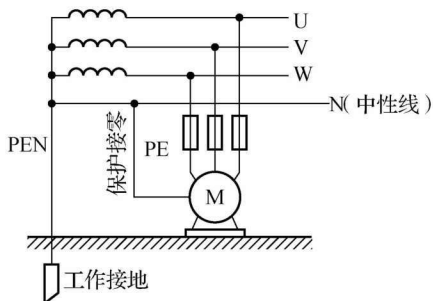


图 1.2.3 保护接零

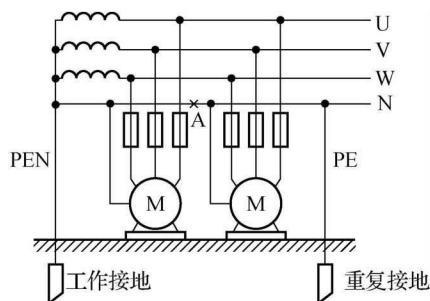


图 1.2.4 保护接地

(四) 重复接地

在中性点接地系统中为提高接零保护的安全性能，除采用保护接零外，还要采用重复接地，即将零线相隔一定距离多处进行接地，如图 1.2.4 所示。采取重复接地后可减轻零线断线时的危险、降低漏电设备外壳的对地电压、缩短故障持续时间和改善配电线路的防雷性能。

重复接地的地点一般在：

- (1) 电源端、架空线路的干线和分支终端及其沿线每隔 1km 处的工作零线。
- (2) 电缆或架空线在引入车间或大型建筑物内的配电柜处。

(五) 工作零线与保护零线

为了改善和提高三相四线低压电网的安全程度，提出了三相五线制，即增加一根保护零线（PE），而原三相四线制中的中性线称工作零线（N），如图 1.2.5 所示。这一点对于家用电器的保护接零特别重要。因为目前单相电源的进线（相线和中性线）上都安装有熔断器，此时的中性线（工作零线）就不能作为保护接零用了。所有的接零设备都要通过三孔插座接到保护零线上（三孔插座中间粗大的孔为保护接零，其余两孔为电源线），如图 1.2.6 所示。这样工作零线只通过单相负载的工作电流和三相不平衡电流，保护零线只作为保护接零使用，并通过短路电流。三相五线制大大加强了供电的安全性和可靠性，是应积极推广的。

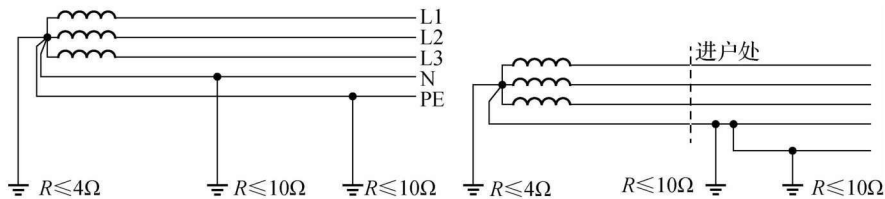


图 1.2.5 三相五线制的设置

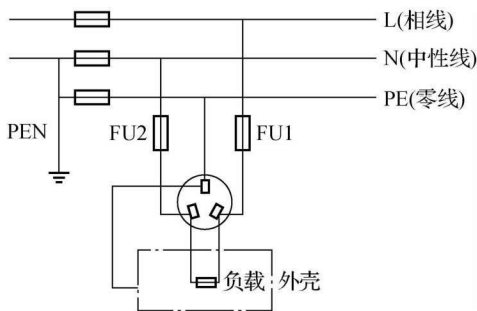


图 1.2.6 单相三眼插座的正确接线

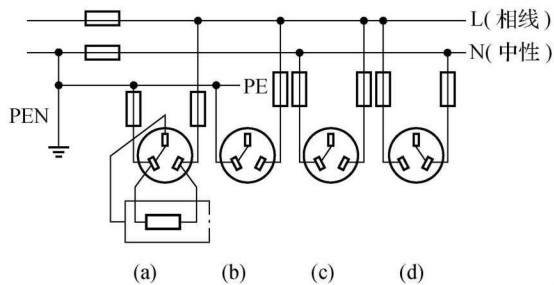


图 1.2.7 单相三眼插座的错误接线

若不慎将三眼插座接错，则带来触电危险。如图 1.2.7 所示。其中：

(a) (b) 一将保护接零和电源中性线同时接于保护零线上，即将保护零线作为工作零线，则其负荷电流会产生零序电压。

(c) 一将保护接零和电源中性线同时接于工作零线上，即将工作零线作为保护零线，如中性线因故断开或熔断器断路，其相电压会通过插座内连线使用电设备外壳带电。

(d) 一相线与中性线接反，则使用电设备外壳带电，很不安全。

同时要注意不要忽视接零。

(六) 低压交流电力保护接地系统类型

1. 接地系统类型及符号

按系统及电气设备的外露导体所连接的接地状况分类，接地系统类型符号由三位字母构成，意义如下：

第一位：T—表示电力系统一点（一般为中性线）直接接地。

I—表示电力系统所有带电部分与地绝缘或一点通过阻抗接地。

第二位：T—表示电气设备外露导体可直接接地，而与电力系统任何接地点无关。

N—表示电气设备外露导体与电力系统的中性线直接连接。

第三位：S—表示中性线 N 和零线 PE 分开。

C—表示中性线 N 和零线 PE 合二为一为 PEN 线（保护中性线）。

2. 各种保护接地系统的形式和特点

保护接地系统的形式如图 1.2.8 所示。

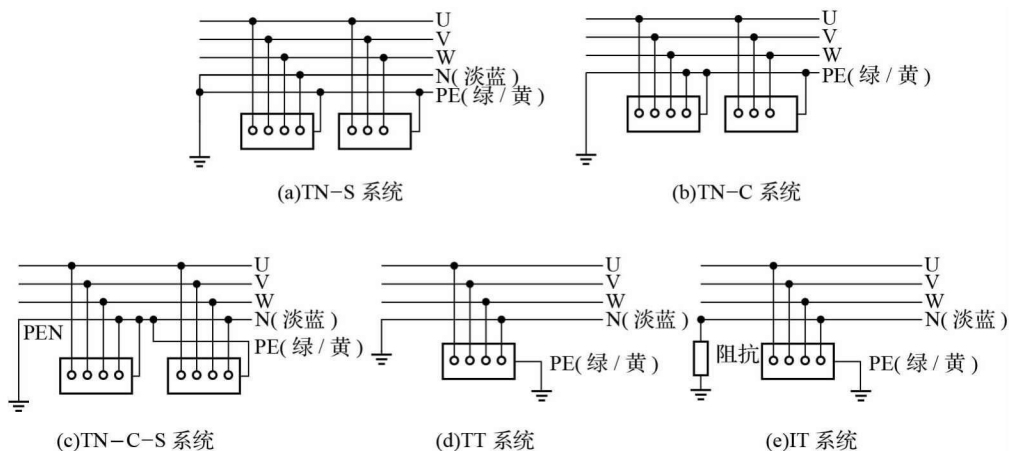


图 1.2.8 保护接地系统的形式

(1) TN—S 系统 电力系统有一个直接接地点，电气设备外露导体与中性线直接连接，PE 和 N 线分开。故障时易切断电源，安全性高。适用于精密仪器、数据处理系统或环境较差的场合的电气装置。如图 1.2.8 (a) 所示。

(2) TN—C 系统 电力系统有一个直接接地点，电气设备外露导体与中性线直接连接，PE 和 N 线合并为 PEN 线。当三相负荷不平衡时，此线上有不平衡电流流过，要选用合适的保护装置，加粗 PEN 导线截面，但不能用漏电保护器。这种接地形式属最普及的保护接零方式，应用较广，适用于一般场合。如图 1.2.8 (b) 所示。

(3) TN—C—S 系统 电力系统有一个直接接地点，电气设备外露导体与中性线直接连接，在近电源端，PE 和 N 线合并为 PEN 线，在负荷点较近位置将 PE 和 N 线分开，分开后不能再合并。适用于线路末端环境较差的场合。如图 1.2.8 (c) 所示。

(4) TT 系统 电力系统有一个直接接地点，而电气设备外露导体另外单独接地。故障时其回路电流较小，不易使保护装置动作，安全性较差。一般用于功率不大的电气设备或医疗器械、电子仪器的屏蔽接地。如图 1.2.8 (d) 所示。

(5) IT 系统 电力系统不接地或经阻抗接地，而电气设备外露导体接地。单相故障时其对地短路电流很小，保护装置不会动作，设备继续运行，设备外露导体不会带电，但中性线电位抬高，应另用设备监视。一般用于尽可能少停电的场合，如电厂自用电、矿井等地的供电设备。如图 1.2.8 (e) 所示。

三、接地装置

接地装置由接地体和接地线两部分组成，如图 1.2.9 所示，正确设置接地装置可以保证人员和用电设备的安全。

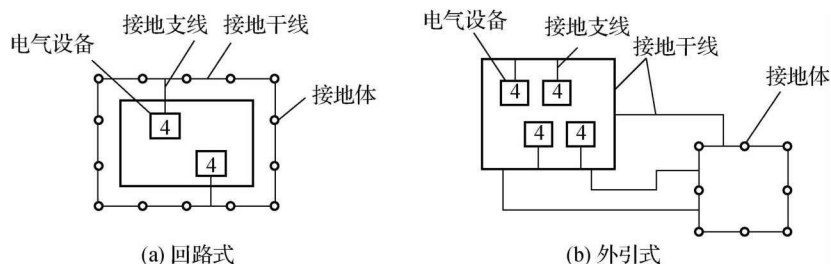


图 1.2.9 接地装置示意图

(一) 接地体

接地体是埋入地下并和大地直接接触的导体组，它分为自然接地体和人工接地体。

1. 自然接地体

自然接地体是利用与大地有可靠连接的金属构件、金属管道、钢筋混凝土建筑物的基础等作为接地体。

装设接地装置时应首先充分利用自然接地体，对螺栓连接的管道、钢结构等采用跨接线焊牢，跨接线采用扁钢或圆钢。扁钢截面积接地支线不小于 48mm^2 、接地干线不小于 100mm^2 ，圆钢直径不小于 6mm 。

2. 人工接地体

人工接地体是用型钢如角钢、钢管、扁钢、圆钢打人地下而成。

人工接地体的设置要求如下。

(1) 垂直埋设的接地体一般采用角钢、钢管和圆钢，水平埋设的接地体一般采用扁钢和圆钢。

(2) 常用的接地体尺寸如下：钢管直径 $40\sim 50\text{mm}$ ，壁厚不小于 3.5mm ；扁钢 $25\text{mm}\times 4\text{mm}$ （室内）或 $40\text{mm}\times 4\text{mm}$ （室外）；角钢 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 4\text{mm}\sim 50\text{mm}\times 50\text{mm}\times 5\text{mm}$ ；圆钢直径 10mm 。长度均为 $2000\sim 3000\text{mm}$ 。

(3) 在腐蚀性较强的土壤中，接地体应采取镀锌等措施。

(4) 接地体顶端应在地面以下 $0.5\text{m}\sim 0.8\text{m}$ 左右。

(5) 接地体根数不应少于两根，两根间距离一般为 5m 。

(6) 接地体与建筑物的距离不小于 3m 。

(二) 接地线

电气设备或装置的接地端与接地体相连的金属导体称为接地线。接地线分接地干线和接地支线。

(1) 工业车间或其他场所如电气设备较多时，应设置接地干线。车间接地干线一般为沿车间四周墙体明设，距地 300mm ，与墙有 15mm 距离。最小截面积铜材不得小

于 25mm^2 ，钢材不得小于 50mm^2 。

(2) 主接地干线与接地体之间应设置可拆装的螺栓线夹连接点以便于检测。

(3) 接地线与接地体、接地线与接地线的连接一般为焊接，采用搭接焊时，搭接部分的长度：①扁钢： \geq 宽度的 2 倍；②圆钢： \geq 直径的 6 倍。埋入地下的连接点应在焊接后涂沥青漆防腐。

(4) 接地线与电气设备可焊接或用螺栓连接，每台设备应用单独的接地线与干线相连，禁止在一条接地线上串联电气设备。

(5) 接地线的截面积 (A) 要求一般为

①有腐蚀保护和机械保护或地上敷设：按 PE 线方法选择。

②无腐蚀保护和机械保护，地下敷设：铜截面积 $A \geq 25\text{mm}^2$ ；钢截面积 $A \geq 50\text{mm}^2$ 。

③有腐蚀保护、无机械保护，地下敷设：铜或钢截面积 $A \geq 25\text{mm}^2$ 。

④TN 或 TT 系统：铜截面积 A 不大于 50mm^2 ；铝截面积 A 不大于 70mm^2 ；钢截面积 A 不大于 80mm^2 。

⑤IT 系统：铜截面积 A 不大于 25mm^2 ；铝截面积 A 不大于 30mm^2 ；钢截面积 A 不大于 100mm^2 。

⑥架空线路塔杆的接地引出线：钢镀锌截面积 $A \geq 50\text{mm}^2$ 。

⑦专用携带式接地线：裸铜软导线截面积 $A \geq 25\text{mm}^2$ 。

(三) 保护接地和保护接零线的选择

1. PE 线的选择

(1) 按相线截面积 A 选择 PE 线截面积 A_p

$$A \leq 16\text{mm}^2: A_p = A$$

$$16 < A \leq 25\text{mm}^2: A_p = 16\text{mm}^2$$

$$A \geq 35\text{mm}^2: A_p = A/2$$

(2) 按机械强度选择 PE 的最小截面积 A_P

①明设裸线：铜最小截面积 $A \geq 4\text{mm}^2$ ；铝最小截面积 $A \geq 6\text{mm}^2$ 。

②绝缘导线：铜最小截面积 $A \geq 1.5\text{mm}^2$ ；铝最小截面积 $A \geq 2.5\text{mm}^2$ 。

③所用相线包含在同一外皮内的多芯导线或电缆芯线：铜最小截面积 $A \geq 1\text{mm}^2$ ；铝最小截面积 $A \geq 1.5\text{mm}^2$ 。

④圆钢直径 D (mm)：建筑物内： $D \geq 6$ ；建筑物外： $D \geq 8$ ；地下： $D \geq 10$ 。

角钢厚度 δ (mm) 建筑物内： $\delta \geq 2$ ；建筑物外： $\delta \geq 2.5$ ；地下： $\delta \geq 4$ 。

扁钢截面积； $A \times$ 厚度 δ ($\text{mm}^2 \times \text{mm}$)：建筑物内： $A \times \delta \geq 24 \times 3$ ；建筑物外： $A \times \delta \geq 48 \times 4$ ；地下： $A \times \delta \geq 48 \times 4$ 。

2. PEN 线的选择

(1) 供电给全装置的干线铜截面积 $A \geq 10\text{mm}^2$ ；铝截面积 $A \geq 16\text{mm}^2$ 。

(2) 供电给插座或单台设备的支线铜截面积 $A \geq 4\text{mm}^2$ 。

(3) PEN 线与相线在同电缆包皮内或同一钢管内铜截面积 $A \geq 4\text{mm}^2$ 。