



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

# 电气设备检修实训

刘丽 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

# 电气设备检修实训

编 著 刘 丽  
主 审 梁清华



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

本书从实用角度出发，根据高职高专教育的特点，参照电力行业职业技能鉴定及中级技术工人等级考核标准进行编写，注重培养学生的实际应用能力。全书共分六个项目，主要包括电工安全用电知识、电工检修操作技能、照明线路的安装、变压器、电动机的安装与维修、常用低压电器及应用等。

本书可作为高职高专院校电力技术类及自动化类电气自动化技术专业实训教材，也可作为相关工程技术人员的培训教材和参考书。

## 图书在版编目（CIP）数据

电气设备检修实训/刘丽编著. —北京：中国电力出版社，  
2009

普通高等教育实验实训规划教材·电力技术类

ISBN 978-7-5083-9077-2

I. 电… II. 刘… III. 电气设备—检修—高等学校：技  
术学校—教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 116164 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 302 千字

定价 20.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

本书结合高职高专教育主要培养学生的基本技能和应用能力这一特点，参照电力行业职业技能鉴定及技术工人等级考核标准进行编写，重点培养学生实际应用能力。本书在内容安排上力求循序渐进、由浅入深，更多的应用图文、图表使文字表达尽量通俗易懂，便于学生将跨学科内容有机联系、相互贯通。本书在编写过程中打破传统教材的编写模式，以实际的工作任务为驱动，将传统教材中的不同知识点分解在每个真实项目中。

全书内容共分为六个项目，即电工安全用电知识、电工检修操作技能、照明电路的安装、变压器、电动机的安装与维修、常用低压电器及应用。六个项目教学内容覆盖了从基本知识到专业技能培养的全过程。所编写内容以够用为度，强调基本技能的训练，力求增强学生的实践动手能力，从而培养具有工程师素质的实用型人才。

本书由沈阳职业技术学院电气工程系刘丽副教授编著。在本书的编写过程中，米其林（沈阳）轮胎有限公司胡乃宏、沈阳机床集团刘刚、沈阳职业技术学院高级实验师金世红三位专家给予作者大量的企业基本素材和宝贵意见，辽宁工业大学软件学院院长梁清华教授对全书进行了审定并提出了宝贵意见，编者深表感谢。

本书在编写的角度及侧重方向上难免有疏失之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2009年7月

## 目 录

## 前言

<b>项目 1 电工安全用电知识</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 触电的危害与急救方法 .....	3
1.3 电气设备安全运行操作 .....	8
1.4 技能训练 .....	11
思考题 .....	12
<b>项目 2 电工检修操作技能</b> .....	13
2.1 电工工具及使用方法 .....	13
2.2 常用电工仪表的使用 .....	21
2.3 起重搬运 .....	32
2.4 技能训练 .....	38
思考题 .....	40
<b>项目 3 照明线路的安装</b> .....	41
3.1 导线连接及线路敷设 .....	41
3.2 导线和熔断器的选择模块 .....	50
3.3 常用照明附件和白炽灯的安装 .....	53
3.4 荧光灯照明线路 .....	57
3.5 车间电力线路、照明线路的检修 .....	61
3.6 技能训练 .....	63
思考题 .....	66
<b>项目 4 变压器</b> .....	67
4.1 常用变压器的有关知识 .....	67
4.2 小型单相变压器的设计与制作 .....	72
4.3 木芯、线圈骨架与层间绝缘的制作 .....	78
4.4 小型单相变压器绕组的绕制及质量检测 .....	80
4.5 小型单相变压器同名端的判别 .....	84
4.6 小型变压器故障检修 .....	86
4.7 技能训练 .....	87
思考题 .....	95
<b>项目 5 电动机的安装与维修</b> .....	96
5.1 三相交流异步电动机简介 .....	96
5.2 三相交流异步电动机的拆装 .....	100
5.3 三相异步电动机定子绕组 .....	104

5.4	三相异步电动机定子绕组的重绕 .....	129
5.5	三相异步电动机的常见故障处理 .....	135
5.6	其他常用电动机的修理 .....	143
5.7	技能训练 .....	149
	思考题 .....	150
<b>项目 6</b>	<b>常用低压电器及应用 .....</b>	<b>151</b>
6.1	常用低压电器 .....	151
6.2	电气识图 .....	173
6.3	低压电器基本控制线路 .....	179
6.4	技能训练 .....	187
	思考题 .....	192
	<b>参考文献 .....</b>	<b>193</b>

## 项目1 电工安全用电知识

### 【教学目标】

掌握常用的电工安全知识，能处理一般的安全事故。

掌握常用的急救方法。

掌握电气设备安全运行操作的方法。

### 1.1 概 述

安全用电包括供电系统的安全、用电设备的安全及人身安全三个方面，它们之间又是紧密联系的。供电系统的故障可能导致用电设备损坏或人身伤亡事故，而用电事故也可能导致局部或大范围停电，甚至造成严重的社会灾难。

安全操作规程是安全用电的技术措施，是电业人员的从业守则，是生命、财产的安全守护神。

电气安全操作规程的种类很多，主要包括高压电气设备及线路的操作规程、低压电气设备及线路的操作规程、家用电器操作规程、特殊场所电气设备及线路操作规程、弱电系统电气设备及线路操作规程等。

#### 1.1.1 安全电压

交流工频安全电压的上限值，即在任何情况下两导体间或任一导体与地之间都不得超过50V。我国的安全电压的额定值为42、36、24、12、6V。例如手提照明灯、危险环境的携带式电动工具，应采用36V安全电压；金属容器、隧道、矿井等工作场合，狭窄、行动不便及周围有大面积接地导体的环境，应采用24V或12V安全电压，以防止因触电而造成的人身伤害。

#### 1.1.2 安全距离

为了保护电气工作人员在电气设备运行操作、维护检修时不致误碰带电体，规定了工作人员离带电体的安全距离；为了保护电气设备在正常运行时不会出现击穿短路事故，规定了带电体离附近接地物体和不同相带电体之间的安全距离。安全距离主要有以下几个方面内容：

(1) 设备带电部分到接地部分和设备不同相带电部分之间的安全距离，见表1-1。

表1-1 设备带电部分到接地部分和设备不同相带电部分之间的安全距离

设备额定电压 (kV)		1~3	6	10	35	60	110 <sup>①</sup>	220 <sup>①</sup>	330 <sup>①</sup>	500 <sup>①</sup>
带电部分到接地部分 (mm)	屋内	75	100	125	300	550	850	1800	2600	3800
	屋外	200	200	200	400	650	900	1800	2600	3800
不同相带电部分之间	屋内	75	100	125	300	550	900			
	屋外	200	200	200	400	650	1000	2000	2800	4200

① 中性点直接接地系统。

(2) 设备带电部分到各种遮栏间的安全距离, 见表 1-2。

表 1-2 设备带电部分到各种遮栏间的安全距离

设备额定电压 (kV)		1~3	6	10	35	60	110 <sup>①</sup>	220 <sup>①</sup>	330 <sup>①</sup>	500 <sup>①</sup>
带电部分到遮栏 (mm)	屋内	825	850	875	1050	1300	1600			
	屋外	950	950	950	1150	1350	1650	2550	3350	4500
带电部分到网状遮栏 (mm)	屋内	175	200	225	400	650	950			
	屋外	300	300	300	500	700	1000	1900	2700	500
带电部分到板状遮栏 (mm)	屋内	105	130	155	330	580	880			

① 中性点直接接地系统。

(3) 无遮栏裸导体到地面间的安全距离, 见表 1-3。

表 1-3 无遮栏裸导体到地面间的安全距离

设备额定电压 (kV)		1~3	6	10	35	60	110 <sup>①</sup>	220 <sup>①</sup>	330 <sup>①</sup>	500 <sup>①</sup>
无遮栏裸导体到地面间的安全距离 (mm)	屋内	2375	2400	2425	2600	2850	3150			
	屋外	2700	2700	2700	2900	3100	3400	4300	5100	7500

① 中性点直接接地系统。

(4) 电气工作人员在设备维修时与设备带电部分间的安全距离, 见表 1-4。

表 1-4 电气工作人员与带电设备间的安全距离

设备额定电压 (kV)	10 及以下	20~35	44	60	110	220	330
设备不停电时的安全距离 (mm)	700	1000	1200	1500	1500	3000	4000
工作人员工作时正常活动范围与带电设备的安全距离 (mm)	350	600	900	1500	1500	3000	4000
带电作业人员与带电体之间的安全距离 (mm)	400	600	600	700	1000	1800	2600

### 1.1.3 绝缘安全用具

绝缘安全用具是保证作业人员安全操作带电体及人体带电体安全距离不够时所采取的绝缘防护工具。绝缘安全用具按使用功能可分为以下几种。

#### 一、绝缘操作用具

绝缘操作用具主要用来进行带电操作、测量及其他需要直接接触电气设备的特定工作。常用的绝缘操作用具一般有绝缘操作杆 (见图 1-1)、绝缘夹钳 (见图 1-2) 等。这些绝缘操作用具均由绝缘材料制成。

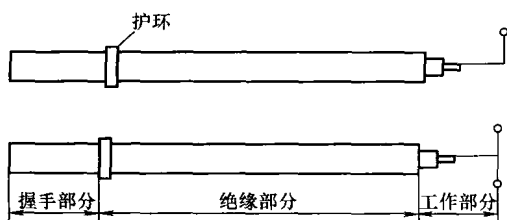


图 1-1 绝缘操作杆

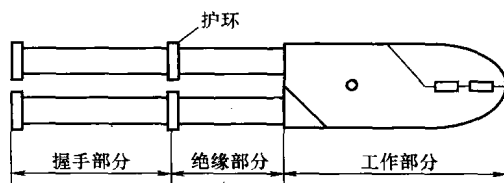


图 1-2 绝缘夹钳



正确使用绝缘操作用具，应注意以下两点：

- (1) 绝缘操作用具本身必须具备合格的绝缘性能和机械强度；
- (2) 只能在和其绝缘性能相适应的电气设备上使用。

## 二、绝缘防护用具

绝缘防护用具则对可能发生的有关电气伤害起到防护作用。它主要用于对泄漏电流、接触电压、跨步电压和其他接近电气设备存在的危险等进行防护。常用的绝缘防护用具具有绝缘手套、绝缘靴、绝缘隔板、绝缘垫、绝缘站台等，如图 1-3 所示。当绝缘防护用具的绝缘强度足以承受设备的运行电压时，才可以用来直接接触运行的电气设备，一般不直接接触带电设备。使用绝缘防护用具时，必须做到使用合格的绝缘防护用具，并掌握正确的使用方法。

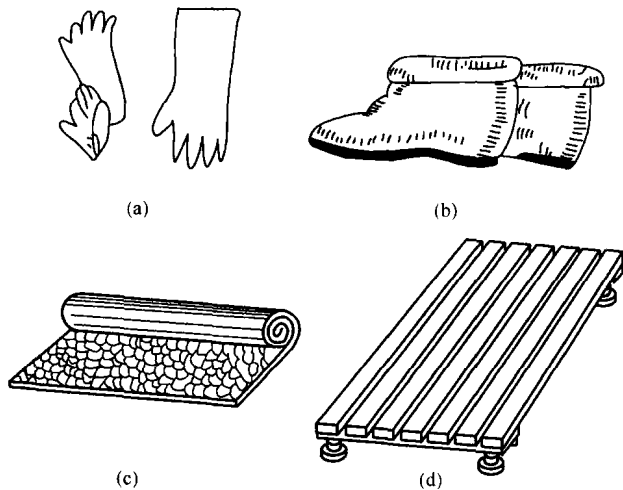


图 1-3 绝缘防护用具

(a) 绝缘手套；(b) 绝缘靴；(c) 绝缘垫；(d) 绝缘站台

### 1.1.4 认清安全标志

常用的安区标志有禁止类、警告类、指令类和提示类。图 1-4 为两种安全标志的图形。

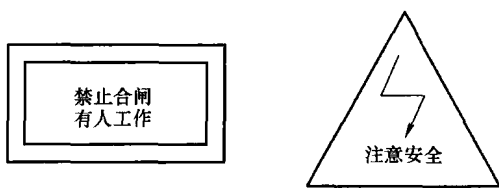


图 1-4 安全标志图形

安全标志应安装在管线充足且明显之处，高度略高于人的视线，使人容易发现，严禁误动电气开关，以保安全。

### 1.1.5 电气设备的安全防护

为保护电气设备和操作人员的安全，必须参照不同的供电网络系统，对电气设备采取相应的保护接地或保护接零措施；定期检查用电设备，进行耐压试验，若发现电源插座、开关、导线等器件损坏，应及时更换，使电气设备安全可靠地运行。

## 1.2 触电的危害与急救方法

人体是导体，一旦有电流通过时，将会受到不同程度的伤害。由于触电的种类、方式及条件的不同，受伤害的后果也不一样。

### 1.2.1 触电的种类

人体触电有电击和电伤两类。

(1) 电击是指电流通过人体时所造成的内伤。它可以使肌肉抽搐，内部组织损伤，造成发热发麻，神经麻痹等。严重时将引起昏迷、窒息，甚至心脏停止跳动而死亡。通常说的触电就是电击。触电死亡大部分由电击造成。

(2) 电伤是指电流的热效应、化学效应、机械效应及电流本身作用下造成的人体外伤，常见的有烧伤、烙伤和皮肤金属化等现象。

## 1.2.2 触电方式

### 一、单相触电

单相触电是常见的触电方式。发生单相触电时，人体的某一部分接触带电体的同时，另一部分又与大地或中性线相接，电流从带电体流经人体到大地（或中性线）形成回路，如图 1-5 所示。

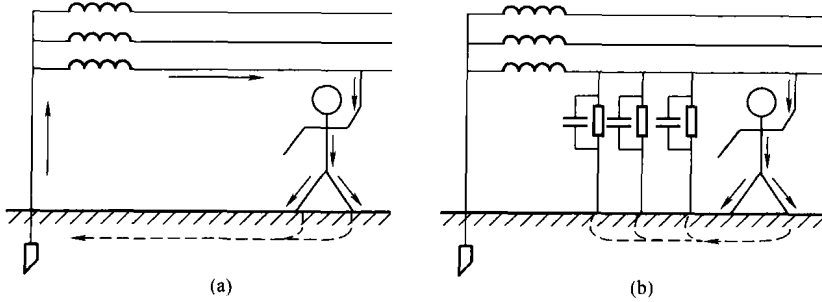


图 1-5 单相触电

(a) 中性点直接接地；(b) 中性点不直接接地

### 二、两相触电

两相触电是指人体的不同部分同时接触两相电源时造成的触电，如图 1-6 所示。对于这种情况，无论电网中性点是否接地，人体所承受的线电压将比单相触电时高，危险更大。

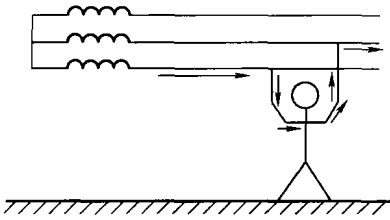


图 1-6 两相触电

### 三、跨步电压触电

雷电流入地或电力线（特别是高压线）断散到地时，会在导线接地点及其周围形成强电场。当人畜跨进这个区域，两脚之间出现的电位差称为跨步电压  $U_{st}$ 。在这种电压的作用下，电流从接触高电位的脚流进，从接触低电位的脚流出，从而形成触电，如图 1-7 (a) 所示。跨步电压的大小取决于人体站立点与接地点的距离，距离越小，其跨步电压越大；当距离超过 20m（理论上为无穷远处）时可认为跨步电压为零，不会发生触电危险。

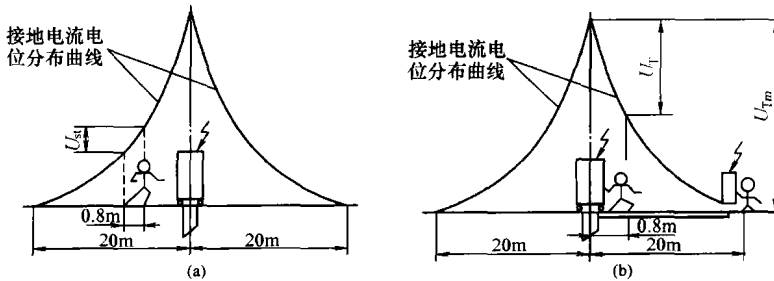


图 1-7 跨步电压触电和接触电压触电

(a) 跨步电压触电；(b) 接触电压触电

### 四、接触电压触电

电气设备由于绝缘损坏或其他原因造成接地故障时，若人体两个部分（手和脚）同时接

触设备外壳和地面，人体两部分会处于不同的电位，其电位差即为接触电压。由接触电压造成的触电事故称为接触电压触电。在电气安全技术中，接触电压是以站立在距漏电设备接地点水平距离为0.8m处的人，手触及的漏电设备外壳距地1.8m高时，手脚间的电位差 $U_T$ 作为衡量基准，如图1-7(b)所示。接触电压值的大小取决于人体站立点与接地点的距离，距离越远，则接触电压值越大；当距离超过20m时，接触电压值最大，即等于漏电设备上的电压 $U_{Tm}$ ；当人体站在接地点与漏电设备接触时，接触电压为零。

### 五、感应电压触电

感应电压触电是指当人触及带有感应电压的设备和线路时所造成的触电事故。一些不带电的线路由于大气变化（如雷电活动），会产生感应电荷，停电后一些可能感应电压的设备和线路如果未及时接地，这些设备和线路对地均存在感应电压。

### 六、剩余电荷触电

剩余电荷触电是指当人体触及带有剩余电荷的设备时，对人体放电造成的触电事故。带有剩余电荷的设备统称储能元件，如并联电容器、电力电缆、电力变压器及大容量电动机等，在退出运行和对其进行类似兆欧表测量等检修后，会带上剩余电荷，因此要及时对其放电。

## 1.2.3 影响电流对人体危害程度的主要因素

电流对人体伤害的程度与通过人体电流的大小、频率、持续时间、通过人体的路径及人体电阻的大小等多种因素有关。

### 一、电流大小

通过人体的电流越大，人体的生理反应就越明显，感应越强烈，引起心室颤动所需的时间越短，致命的危险越大。

对于工频交流电，按照通过人体电流的大小和人体所呈现的不同状态，电流大致分为下列三种：

(1) 感觉电流。感觉电流是指引起人体感觉的最小电流。实验表明，成年男性的平均感觉电流约为1.1mA，成年女性为0.7mA。感觉电流不会对人体造成伤害，但电流增大时人体反应的强烈，可能造成间接事故。

(2) 摆脱电流。摆脱电流是指人体触电后能自主摆脱电源的最大电流。实验表明，成年男性的平均摆脱电流约为16mA，成年女性的约为10mA。

(3) 致命电流。致命电流是指在较短的时间内危及生命的最小电流。实验表明，当通过人体的电流达到50mA以上时，心脏会停止跳动，可能导致死亡。

### 二、电流频率

一般认为40~60Hz的交流电对人体最危险。随着频率的增高，危险性将降低。高频电流不仅不伤害人体，还能治病。

### 三、通电时间

通电时间越长，电流使人体发热和人体组织的电解液成分增加，导致人体电阻降低，这样又使通过人体的电流增加，触电的危险亦随之增加。

### 四、电流路径

电流通过头部可使人昏迷；通过脊髓可能导致瘫痪；通过心脏会造成心跳停止，血液循环中断；通过呼吸系统会造成窒息。因此，从左手到胸部是最危险的电流路径，从手到手、从手到脚也是危险的电流路径，从脚到脚是危险性较小的电流路径。

### 1.2.4 触电急救

触电急救的要点是要动作迅速，救护得法，切不可惊慌失措、束手无策。

#### 一、尽快地使触电者脱离电源

人触电以后，可能由于痉挛或失去知觉等原因而紧抓带电体，不能自行摆脱电源。这时，使触电者尽快脱离电源是救活触电者的首要因素。

##### (一) 低压触电事故

对于低压触电事故，可采取下列方法使触电者脱离电源：

(1) 触电地点附近有电源开关或插头，可立即断开开关或拔掉电源插头，切断电源。

(2) 电源开关远离触电地点，可用有绝缘柄的电工钳或有干燥木柄的斧头分相切断电线，断开电源；或用干燥木板等绝缘物插入触电者身下，以隔断电流。

(3) 电线搭落在触电者身上或被压在身下时，可用干燥的衣服、手套、绳索、木板、木棒等绝缘物作为工具，拉开触电者或挑开电线，使触电者脱离电源。

##### (二) 高压触电事故

对于高压触电事故，可以采用下列方法使触电者脱离电源：

(1) 立即通知有关部门停电。

(2) 戴上绝缘手套，穿上绝缘靴，用相应电压等级的绝缘工具断开开关。

(3) 抛掷裸金属线使线路短路接地，迫使保护装置动作，断开电源。注意在抛掷金属线前，应将金属线的一端可靠地接地，然后抛掷另一端。

##### (三) 脱离电源的注意事项

(1) 救护人员不可以直接用手或其他金属及潮湿的物件作为救护工具，且必须采用适当的绝缘工具且单手操作，以防止自身触电。

(2) 防止触电者脱离电源后，可能造成的摔伤。

(3) 如果触电事故发生在夜间，应当迅速解决临时照明问题，以利于抢救，并避免扩大事故。

#### 二、现场急救方法

当触电者脱离电源后，应当根据触电者的具体情况，迅速地对症进行救护。现场应用的主要救护方法是人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

##### (一) 对症进行救护

触电者需要救治时，大体上按照以下三种情况分别处理：

(1) 如果触电者伤势不重、神志清醒，但是心慌、四肢发麻、全身无力；或者触电者在触电的过程中曾经一度昏迷，但已经恢复清醒。在这种情况下，应当使触电者安静休息，不要走动，严密观察，并请医生前来诊治或送往医院。

(2) 如果触电者伤势比较严重，已经失去知觉，但仍有心跳和呼吸，这时应当使触电者舒适、安静地平卧，保持空气流通；同时揭开触电者的衣服，以利于呼吸；如果天气寒冷，要注意保温，并要立即请医生诊治或送往医院。

(3) 如果触电者伤势严重，呼吸停止或心脏停止跳动或两者都已停止时，则应立即实行人工呼吸和胸外心脏挤压，并迅速请医生诊治或送往医院。

应当注意，急救要尽快地进行，不能等候医生的到来；在送往医院的途中，也不能中止急救。

## (二) 口对口人工呼吸法

口对口人工呼吸法是在触电者呼吸停止后应用的急救方法。其具体步骤如下：

(1) 触电者仰卧，迅速解开其衣领和腰带。

(2) 触电者头偏向一侧，清除口腔中的异物，使其呼吸畅通，见图 1-8 (a)。必要时可用金属匙柄由口角伸入，使口张开。

(3) 救护者站在触电者的一边，一只手托在触电者颈后，使触电者颈部上抬，头部后仰，见图 1-8 (b)。捏紧触电者鼻子，然后深吸一口气，用嘴紧贴触电者嘴，大口吹气，见图 1-8 (c)。接着放松触电者的鼻子，让气体从触电者肺部排出，见图 1-8 (d)。每 5s 吸气一次，不断重复地进行，直到触电者苏醒为止。

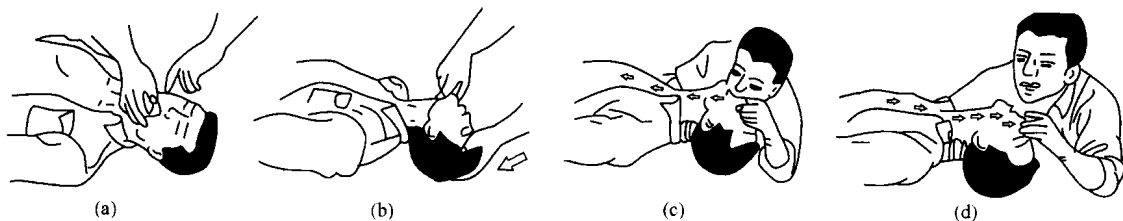


图 1-8 口对口人工呼吸法

(a) 清理口腔异物；(b) 让头后仰；(c) 贴嘴吹气；(d) 放开嘴鼻换气

对儿童施行此法时，不必捏鼻，开口困难时可以使其嘴唇紧闭，对准鼻孔吹气（即口对鼻人工呼吸），效果相似。

## (三) 胸外心脏挤压法

胸外心脏挤压法是触电者心脏跳动停止后采用的急救方法。其操作步骤如图 1-9 所示。

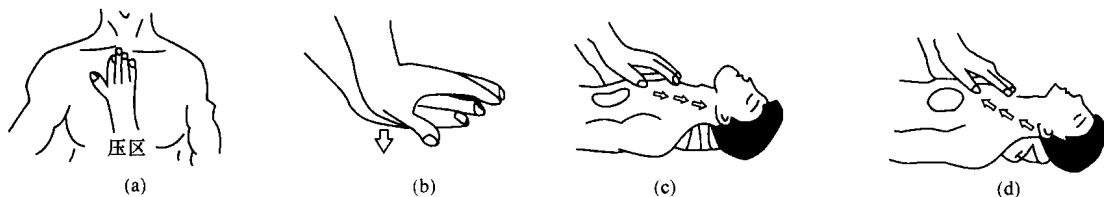


图 1-9 胸外心脏挤压法

(a) 手掌的位置；(b) 左手掌压在右手背上；(c) 掌根用力下压；(d) 突然松开

(1) 触电者仰卧在结实的平地或木板上，松开衣领和腰带，使其头部稍后仰（颈部可枕垫软物），抢救者跪跨在触电者腰部两侧。

(2) 抢救者将右手掌放在触电者胸骨处，中指指尖对准其颈部凹陷的下端，左手掌复压在右手背上（对儿童可用一只手）。

(3) 抢救者借身体重量向下用力挤压，压下 3~4cm，突然松开，积压和放松动作要有节奏，每秒宜挤压 60 次左右，不可中断，直至触电者苏醒为止。要求挤压定位准确，用力要适当，防止用力过猛给触电者造成内伤和用力过小挤压无效。对儿童用力要适当小些。

(4) 触电者呼吸和心跳都停止时，允许同时采用口对口人工呼吸法和胸外心脏挤压法。如图 1-10 所示，单人救护时，可先吹气 2~3 次，再挤压 10~15 次，交替进行；双人救护

时，每 5s 吹气一次，每秒钟挤压一次，两人同时进行操作。

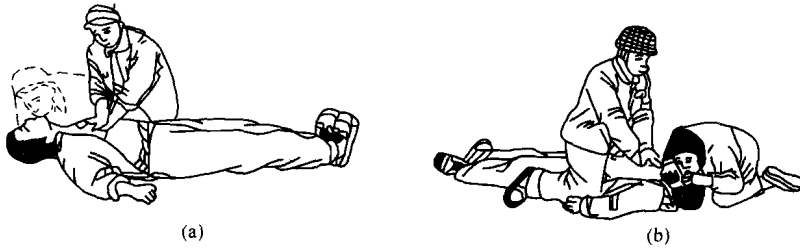


图 1-10 无心跳无呼吸触电者急救

(a) 单人操作；(b) 双人操作

抢救既要迅速又要有耐心，即使在送往医院途中也不能停止急救。此外，注意不能给触电者打强心针、泼冷水或压木板等。

## 1.3 电气设备安全运行操作

### 1.3.1 接地

#### 一、接地的基本概念

接地是将电气设备或装置的某一点（接地端）与大地之间做符合技术要求的电气连接。其目的是利用大地为正常运行、绝缘损坏或遭受雷击等情况下的电气设备等，提供对地电流流通回路，保证电气设备和人身安全。

#### 二、接地装置

接地装置由接地体和接地线两部分组成，如图 1-11 所示。接地体是埋入大地中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。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。人工接地体是用型钢，如角钢、钢管、扁钢、圆钢制成的。人工接地体一般有水平敷设和垂直敷设两种。电气设备或装置的接地端与接地体相连的金属导线称为接地线。

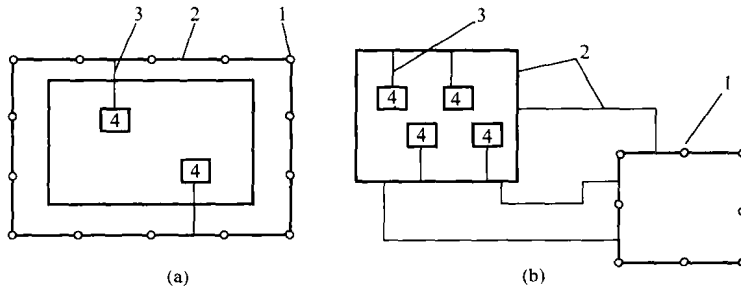


图 1-11 接地装置示意图

(a) 回路式；(b) 外引式

1—接地体；2—接地干线；3—接地支线；4—电气设备

#### 三、中性点与中性线

星形连接的三相电路中，三相电源或负载连在一起的点称为三相电路的中性点。由中性

点引出的线称为中性线，用N表示，如图1-12所示。

### 1.3.2 电气设备接地的种类

#### 一、工作接地

为保证电气设备能可靠运行，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为工作接地，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1-13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或自动断路器跳闸，从而起到保护作用。

#### 二、保护接地

如图1-14所示，保护接地就是将电气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。采取了保护接地后，当一相绝缘损坏碰壳时，由于人体与接地电阻并联，人体电阻远大于接地电阻，可使通过人体的电流很小不会有危险。

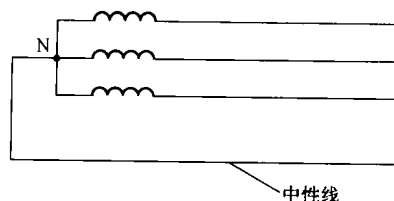


图1-12 中性点和中性线

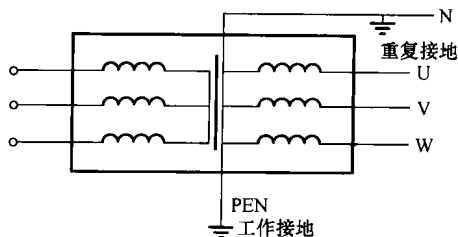


图1-13 工作接地

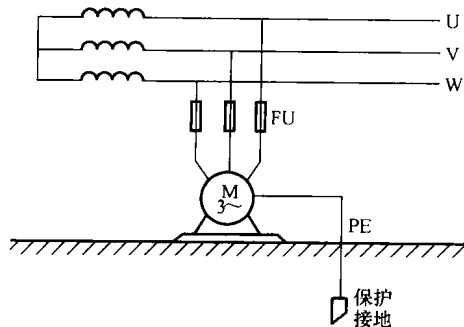


图1-14 保护接地

#### 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，如图1-15所示。当一相绝缘损坏碰壳时，形成单相短路，短路电流从事故相→外壳→中性线→中性点而形成回路，使此相上的保护装置迅速动作，切断电源，避免人体触电及设备损坏。

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。因为若采用保护接地，设接地电阻为  $R'_0$ ，工作接地电阻为  $R_0$ ，且  $R_0 = R'_0 = 4\Omega$ ，当发生绝缘损坏而漏电时，机壳上的电压  $U = [220/(R_0 + R'_0)] \times R'_0 = 110V$ ，这个电压对人体来说也是极其危险的，

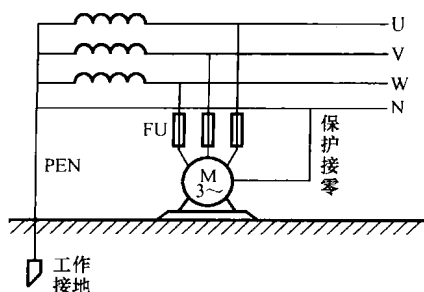


图1-15 保护接零

同时相线碰壳时形成的短路电流  $I = 220/(4 + 4) = 27.5A$ 。这个电流只能引起 18.3A 以下的自动开关（掉闸按 1.5 倍额定电流考虑）掉闸，或引起 6.9A 以下的熔断器（熔断器按 4 倍额定电流考虑）熔断，这显然是不安全的。

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，但引入室内的一根相线和一根中性线一般都装有熔断器，以增加短路

时的熔断机会。

#### 四、重复接地

在中性点接地系统中为提高安全性能，除采用保护接零外，还要采用重复接地，即将

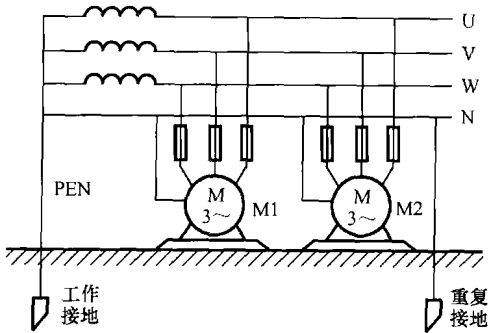


图 1-16 重复接地

中性线相隔一定距离多处进行接地，如图 1-16 所示。采取重复接地后，减轻了中性线断线时的危险，降低了漏电设备外壳的对地电压，缩短了故障持续时间，改善了配电线路的防雷性能。

重复接地的接地点一般有：

- (1) 电源端、架空线路的干线和分支终端的沿线每隔 1km 处；
- (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、低压交流电力保护接地系统类型

##### (一) 接地系统类型及符号

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

第一位：T——电力系统一点（一般为中性线）直接接地；

I——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——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——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——中性线 N 和保护接地线 PE 分开；

C——中性线 N 和保护接地线 PE 合二为一为保护中性线 PEN。

##### (二) 各种保护接地系统的形式及特点

(1) TN-S 系统。PE 线和 N 线分开，如图 1-17 (a) 所示。故障时易切断电源，安全性高。适用于环境较差的场合或精密仪器、数据处理系统的电气装置。

(2) TN-C 系统。PE 线和 N 线合并为 PEN 线，如图 1-17 (b) 所示。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 线导线截面，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。

(3) TN-C-S 系统。在近电源端，PE 线和 N 线合并为 PEN 线，然后 PE 线和 N 线分开，分开后不能再合并，如图 1-17 (c) 所示，适用于线路末端环境较差的场合。

(4) TT 系统。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，如图 1-17 (d) 所示。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。

(5) IT 系统。系统不接地或经阻抗接地，而电气设备外露导体接地，如图 1-17 (e) 所示。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，而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。



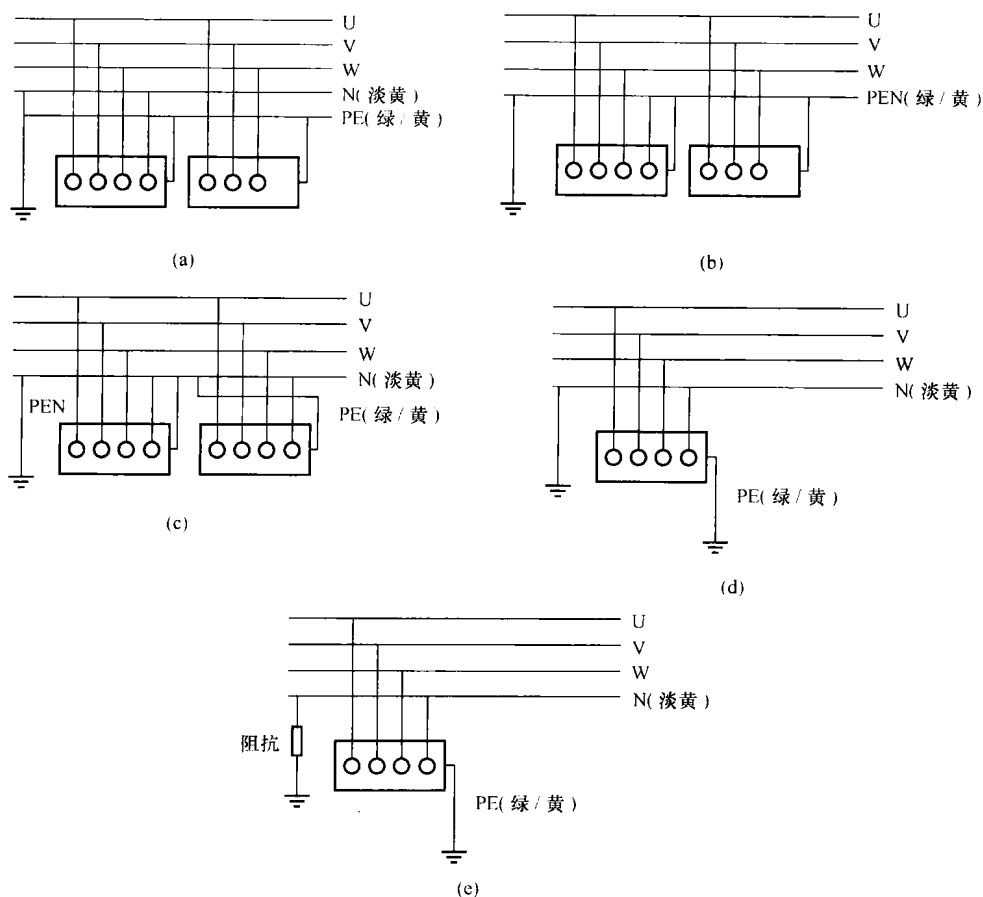


图 1-17 保护接地系统的形式

(a) TN-S 系统；(b) TN-C 系统；(c) TN-C-S 系统；(d) TT 系统；(e) IT 系统

### 1.3.3 电气设备安全运行措施

(1) 必须严格遵守操作规程，合上电流时，先合隔离开关，再合负荷开关；分断电流时，先断负荷开关，再断隔离开关。

(2) 电气设备一般不能受潮，在潮湿场合使用时，要有防雨水的防潮措施。电气设备工作时可能会发热，应有良好的通风散热条件和防火措施。

(3) 所有电气设备的金属外壳应用可靠的保护接地。电气设备运行时可能会出现故障，所以应采用短路保护、过载保护、欠压保护和失压保护等保护措施。

(4) 凡是可能被雷击的电气设备，都要安装防雷措施。

(5) 对电气设备要做好安全运行检查工作，对出现故障的电气设备和线路应及时检修。

## 1.4 技能训练

### 一、训练内容

(1) 学习口对口人工呼吸法的操作要领。

(2) 学习胸外心脏挤压法的操作要领。