



高职高专通用系列规划教材

GAOZHI GAOZHUAN TONGYONG XILIE GUIHUA JIAOCAI

# 电工基础技能实训指导

DIANGONG JICHU JINENG SHIXUN ZHIDAO

主编 赵虎利

HEUP 哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press





高职高专通用系列规划教材

GAOZHI GAOZHUAN TONGYONG XILIE GUIHUA JIAOCAI

# 电工基础技能实训指导

主 编 赵虎利

副主编 王凌强 张 玲

**HEUP** 哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

## 内 容 简 介

本书针对高等职业技术教育的特点,以国家职业技能鉴定标准为依据,根据教育部高职高专电类专业电工基础课程的教学基本要求编写而成。本书以突出实用,强调能力,循序渐进,具有很强的可操作性为特点。全书共5章,第1章电工基础知识;第2章常用电工工具、电工仪表与电气元器件;第3章电工基础实验;第4章电工基本操作技能实训;第5章电工基础综合实训。

本书可作为高职高专电类专业电工基础、电路分析课程的实验实训教材,也可作为职业培训教材或供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工基础技能实训指导/赵虎利主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工程大学出版社,2010.7  
ISBN 978-7-81133-433-3

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工学-高等学校:技  
术学校-教学参考资料 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 160207 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451-82519328  
传 真 0451-82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂  
开 本 787mm×1 092mm 1/16  
印 张 11.5  
字 数 275 千字  
版 次 2010 年 7 月第 1 版  
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 19.80 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: [heupress@hrbeu.edu.cn](mailto:heupress@hrbeu.edu.cn)

---



电工基础技能实训是实践教学的重要环节,它对学生掌握电路基本理论、训练基本操作技能、提高工程素养、培养创新精神和创业能力具有重要作用。本书按照教育部高职高专电类专业电工基础课程的教学基本要求,并参考国家电工职业技能鉴定标准编写而成。

作为实训教材,本书编写力求适合高职教育特点,具有通用性、针对性和实用性。每个实训项目中都包含实训目的、实训原理、实训仪器与设备、实训内容与步骤以及实训报告与问题讨论。将知识点与能力点紧密结合,深入浅出,侧重于培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本书力求内容和编排的可选择性,淡化强、弱电专业的界限,使本书对电类各专业都适用。在实施过程中采用“教、学、做”合一的模式,将讲解、示范、实操训练与讨论等有机结合,提高实训效果。

全书共5章,第1章电工基础知识,包括供电系统简介、电工安全作业知识和电工测量基本知识;第2章常用电工工具、电工仪表与电气元器件,包括常用电工工具及其使用、常用电工仪器仪表、常用电气元器件以及相应的基本实训练习;第3章电工基础实验,包含13个典型电路实验和1个综合实训,供教学选用;第4章电工基本操作技能实训,包括常用电工材料、导线的连接、电工识图、常用低压电器和室内线路的安装等基础知识介绍,并选编了4个实训项目;第5章电工基础综合实训,共6个实训项目,这部分是为提升学生的综合素质,培养工程创新能力和解决工程实际问题而编写的。

本书可作为高职高专电类专业电工基础、电路分析课程的实验实训教材,又可作为独立设课的实训教学用书,也可作为职业培训教材或供有关工程技术人员参考。

本书由甘肃工业职业技术学院电子工程系组织编写,由赵虎利任主编。由王凌强编写第1章、第2章,张玲编写第4章、第5章,赵虎利编写第3章并负责全书的统稿工作,并对部分章节进行了修订。

本书在编写过程中参考和借鉴了不少同行们编写的优秀教材和杂志,由于篇幅有限,书后参考文献中只列举了部分书目,在此表示衷心地感谢!

由于编者水平有限,且时间仓促,书中难免有疏漏、错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

最后,还要感谢为本书的出版付出辛勤劳动的哈尔滨工程大学出版社的同志们!

编者  
2010年6月



绪论 .....	1
第1章 电工基础知识 .....	3
1.1 供配电系统简介 .....	3
1.2 电工安全作业知识 .....	4
1.3 电工测量基本知识 .....	13
实训一 学校(或工厂)变配电所参观实训 .....	19
实训二 现场触电急救与常用灭火器的使用 .....	19
第2章 常用电工工具、电工仪表与电气元器件 .....	22
2.1 常用电工工具及其使用 .....	22
2.2 常用电工仪器仪表 .....	30
2.3 常用的电气元器件 .....	49
实训三 常用电工工具使用练习 .....	55
实训四 手工锡焊技术训练 .....	56
实训五 万用表使用练习——直流电阻、电压与电流测量 .....	57
实训六 钳形电流表使用练习 .....	58
实训七 直流电桥的使用练习——电阻测量 .....	59
实训八 兆欧表的使用练习 .....	59
实训九 电气元件的识别 .....	60
第3章 电工基础实验 .....	62
实训十 直流电路中电位、电压与电流关系的研究 .....	62
实训十一 线性与非线性元件伏安特性的测定 .....	64
实训十二 基尔霍夫定律的验证 .....	67
实训十三 叠加原理的验证 .....	70
实训十四 戴维南定理和诺顿定理的实验研究 .....	71
实训十五 最大功率传输定理的验证 .....	74
实训十六 示波器、信号发生器和交流毫伏表的使用 .....	75
实训十七 $RC$ 电路的过渡过程及其应用 .....	78
实训十八 $RLC$ 串联电路的特性研究 .....	83
实训十九 日光灯的安装及功率因数的提高 .....	87
实训二十 串联谐振电路的特性研究 .....	89
实训二十一 三相电路及功率测量 .....	91
实训二十二 互感电路与变压器 .....	96
实训二十三 综合实训——交流元件参数的测定 .....	100
第4章 电工基本操作技能实训 .....	103
4.1 常用电工材料 .....	103
4.2 导线的连接 .....	112



## CONTENTS

4.3 电工识图 .....	117
4.4 常用低压电器 .....	120
4.5 室内线路的安装 .....	136
实训二十四 导线的连接及绝缘的恢复 .....	144
实训二十五 常用电器的识别 .....	145
实训二十六 常用低压电器的拆装 .....	146
实训二十七 单相电度表的安装与使用 .....	147
<b>第5章 电工基础综合实训 .....</b>	<b>149</b>
实训二十八 万用表的设计、组装与调试 .....	149
实训二十九 护套线照明电路的安装 .....	157
实训三十 三相异步电动机的绝缘测试 .....	160
实训三十一 三相异步电动机的拆装 .....	162
实训三十二 直流电动机的拆装 .....	165
实训三十三 三相异步电动机控制线路的安装(一)——三相异步电动机 单向连续运行控制线路 .....	167
实训三十四 三相异步电动机控制线路的安装(二)——三相异步电动机 正反转运行的控制线路 .....	170
实训三十五 三相异步电动机控制线路的安装(三)——三相异步电动机 Y- $\Delta$ 降压启动的控制线路 .....	173
<b>参考文献 .....</b>	<b>176</b>



## 绪 论

实训教学是工程技术教育活动中的一个重要环节,是理论联系实际的重要途径。在教学活动中加强专业技能训练,提高学生的工程实践能力,是当前教学改革的迫切任务,必须予以足够的重视。

### 1. 课程的性质和基本要求

电工基础技能实训指导是一门独立开设的以基本技能训练为主的技术基础课。通过本课程的学习,学生能够掌握中高等电子技术人员所必须具备的电工测量的基本知识、电路实训的基本技能和实用电工操作技能,从而达到下列基本要求。

(1)能够熟练掌握交直流电流表、电压表及万用表、单臂电桥的使用,并了解其结构、原理和主要技术特征。同时还要求熟练掌握电路中电流、电压、电阻等电量的测试技术和可变电阻器、单相调压器、三相调压器、直流稳压电源的使用方法。

(2)学会使用信号发生器、电子电压表、示波器等常用电子仪器,熟练掌握常用电工工具的使用。

(3)能够根据实训要求,正确选择电路元件,正确连接电路,观察实验现象,正确分析并排除电路故障。

(4)了解测量误差基本知识,学会正确处理数据,绘制实验图线,分析实验结果,撰写实训报告。

(5)验证、巩固并加深理解电路基础课程中的基本概念和基本定律。认真研究实验现象,积极思考和讨论实验问题,培养创新精神;同时要有严肃科学的态度,团结协作的团队精神和爱护实验设备设施的良好品德。

(6)掌握电工基本操作技能,会进行室内外供电线路敷设,会进行简单家用电器的维修,会制作简单实用的电工电路。

(7)掌握电工实训操作规范要领,培养实训操作的规范化,懂得安全用电的基本常识,牢固树立安全意识。

### 2. 课程的进行方式

本教材中的教学内容可按下列顺序进行。

(1)课前预习和准备 课前要认真预习实训中涉及的有关理论知识,明确实训目的和要求,了解实训原理和实训内容。如果实训中要求事先计算或自拟电路和实训步骤的,也应在预习时完成。为了使实训工作顺利进行,同组人员要做好接线、操作和记录等工作的分工。

(2)实训课进行的一般方式 课程采用“学做合一”的形式。

①由指导教师讲清要求与注意事项;

②实训器材领取(材料出库) 按实训设备清单领取实训材料;

③检查实训仪器设备;

④检查实训元器件;

⑤实训电路搭接 在断电状态下进行线路搭接,要求布局合理,连线可靠,线路清楚有序,各分支、结点易辨别;

⑥实训电路检查 应由同组未参加接线的人员核对线路,检查连接是否正确,所接仪表及旋钮位置是否符合要求,初次连接实训的线路或较复杂的实训线路,还必须经指导教师检查合格后,方能接通电源;

⑦接通电源 电源开关闭合前,必须通知在场人员,以免发生设备或人身事故,接通电源后,应立即注意仪表和仪表设备的工作是否正常,如发现异常现象,要立即切断电源,检查原因,排除故障;

⑧读取数据和审查数据 正确读取仪表数据,观察得到的现象,并作记录,测量和记录完毕后,切断电源,暂不拆除线路;对于记录下来的数据、现象和图线等进行分析和判断,然后送指导教师审查;

⑨拆除线路 数据经审查合格后,拆除线路,整理仪表和仪器设备,清理元器件和导线;

⑩实训器材回收(材料入库) 将实训仪器设备和元器件交回,经指导教师允许后,离开实训场所。

### 3. 实训报告的撰写

实训报告应在整理与计算实训数据的基础上写出,是实训结果的总结和反映。一个实训项目的价值,很大程度上取决于实训报告质量的高低。

撰写实训报告时,必须实事求是,不得任意更改或杜撰数据。实训数据与实训结果是对实训电路进行分析研究的依据。如因操作错误使数据违背规律,应当重做,重新取得数据。实训报告应以实训目的和实训要求为中心内容,语言准确,文字流畅,书写清楚、整齐。图形、表格绘制清晰、准确。

实训过程是培养技能,积累实践经验的过程。学生应重视总结实训过程中的经验与不足,整理记录在实训报告中,以对以后工作提供帮助。



# 第 1 章 电工基础知识

## 1.1 供配电系统简介

工厂供配电,就是指工厂所需电能的供应和分配问题。工厂供配电系统是指从电源进厂起到用电设备输入端止的整个电路系统。

从供电的角度来说,凡总供电容量不超过  $1\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$  的工厂,可视为小型工厂;超过  $1\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$  而小于  $10\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$  的工厂,可视为中型工厂。下面以工厂电源进线电压不超过  $10\text{ kV}$  的中小型工厂的供配电系统为例,简要介绍工厂供配电系统。

工厂供配电系统主要由工厂(车间)变配电所、高低压配电线路等组成。工厂变电所是整个工厂供电枢纽,它由降压变压器、高压( $6\sim 10\text{ kV}$ )配电装置和低压( $220/380\text{ V}$ )配电装置等组成。所谓配电装置,就是由母线、开关电器、保护电器、测量仪表等组成的受电和配电的整体。

对于一般的中小型工厂,工厂变电所的作用是将电力网中的  $6\sim 10\text{ kV}$  的高电压降为  $220/380\text{ V}$  的低电压,由低压配电装置通过低压配电线路将电能送到各车间低压配电室(箱),然后再分送给各用电设备。在一些供电容量较大的中型工厂中,电能先经过高压配电所集中,再由高压配电装置通过高压配电线路将电能分送到各车间降压变电所;而某些高压用电设备(如高压电动机)则由高压配电所直接配电。当工厂所需容量不大于  $160\text{ kV}\cdot\text{A}$  时,通常采用  $220/380\text{ V}$  低压电源进线,因此只需设置一个低压配电所,即经低压配电装置用低压配电线路直接向各车间配电。图 1-1 所示的是一般中小型工厂供配电系统图。

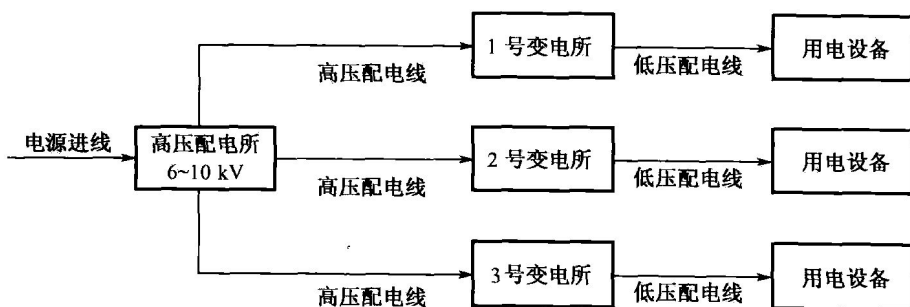


图 1-1 中小型工厂供配电系统框图

对低压配电系统来说,我国广泛采用  $220/380\text{ V}$  的三相四线制系统。如果从电源中性点不仅引出中性线(N线),而且还引出保护线(PE线,功能为防触电),则称此系统为 TN 系统,图 1-2 所示的 TN-C-S 系统就是其中的一种形式。若系统中的中性线和保护线完全共用一根导线——保护中性线(PEN线),则称为 TN-C 系统。这种系统目前在我国应用最为普遍。若系统中的中性线与保护线完全分开,则称为 TN-S 系统。在 TN 系统中,线电压

380 V 接三相动力设备及 380 V 的单相设备,相电压 220 V 接一般 220 V 的照明灯具及其他 220 V 的单相设备。

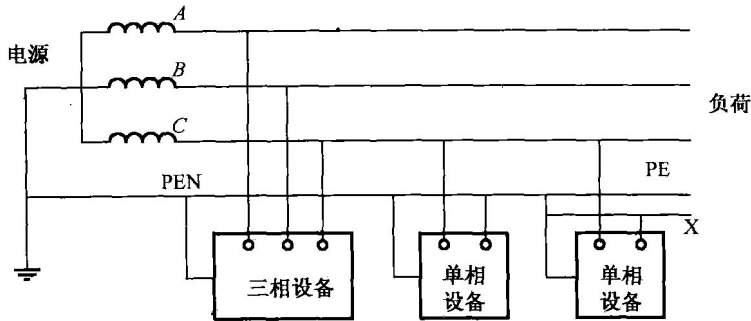


图 1-2 TN-C-S 低压配电系统

## 1.2 电工安全作业知识

在现代化工业、农业、国防、科学研究及实验室中都离不开电,在日常生活中也离不开电,很难想象没有电会是什么情景。用电,就必须注意人身安全和设备安全,否则可能会出现各种事故或故障。本章将简要地介绍安全用电知识,分析几种触电状况和预防触电的措施。

### 1.2.1 安全用电

#### 1. 人身安全

(1) 在进行电气设备安装和维修操作时,必须严格遵守各种安全操作规程,不得玩忽职守。

(2) 操作时要严格遵守停送电操作规定,要切实作好突然送电时的各项安全措施,如挂上“有人工作,禁止合闸”的标示牌,锁上刀开关或取下电源熔断器等。不准约时送电。

(3) 任何电气设备在未确认无电以前应该一律认为有电,不要随便接触电气设备,不要盲目信赖开关或控制装置,不要依赖绝缘来防范触电。

(4) 尽量避免带电操作,手湿时禁止带电操作,在必须进行带电操作时,尽量用一只手工作,并应有人监护。

(5) 若发现电线、插头等损坏应立即更换,禁止乱拉临时电线。如需拉临时电线,应采用绝缘线,且离地不低于 2.5 m,用完后应及时拆除。

(6) 广播线、电话线应与电力线分杆架设,广播线、电话线在电力线下面穿过时,与电力线的垂直距离不得小于 1.25 m。

(7) 电线上不能晾晒衣物,晾晒衣物的铁丝也不能靠近电线,更不能与电线交叉搭接或缠绕在一起。

(8) 不能在架空线路和室外变电所附近放风筝;不得用鸟枪或弹弓来打电线上的鸟;不许爬电杆,不要在电杆、拉线附近挖土,不要玩弄电线、开关、灯头等电气设备。



(9)当带有金属外壳的电气设备移至外壳不带电的移动电气设备处时,应先安装好地线,检查设备完好后,才能使用。

(10)可移动电气的插座一般要带保护接地插孔。不要用湿手去摸灯头、开关和插座。

(11)当电线落在地上时,不可走近。对落地的高压电线应离开落地点 8~10 m 以上,以免跨步电压伤人,更不能用手去捡。应立即禁止他人通行,派人看守,并通知供电部门前来处理。

(12)当电气设备起火时,应立即切断电源,并用干沙覆盖灭火,或者用四氯化碳或二氧化碳灭火器来灭火,绝不能用水或一般酸性泡沫灭火器灭火,否则有触电危险。救火时不要随便与电线或电气设备接触,特别要留心地上的导线。

## 2. 设备安全

(1)严禁用一线(相线)一地(大地)连接用电器具。

(2)在一个电源插座上不允许引接过多或功率过大的用电器具和设备。

(3)未掌握有关电气设备和电气线路知识及技术的人员,不可安装和拆卸电气设备及其线路。

(4)严禁用金属丝(如铝丝)绑扎电源线。

(5)不可用潮湿的手去接触开关、插座及具有金属外壳的电气设备,不可用湿抹布去揩抹带电的电气设备。

(6)堆放物资,安装其他设备或迁移物体时,必须与带电设备或带电体保持一定的距离。

(7)严禁在电动机和各种电气设备上放置衣物,不可在电动机上坐立,不可将雨具等物悬挂在电动机或电气设备上方。

(8)在搬运电焊机、鼓风机、电风扇、洗衣机、电视机、电炉和电钻等可移动电器时,要先切断电源,严禁拖拉电源线来搬运电器。

(9)在潮湿环境使用可移动电器时,必须采用额定电压 36 V 及以下的低压电器。若采用 220 V 的电气设备时,必须使用隔离变压器。如在金属容器(如锅炉)及管道内使用移动电器,则应使用 12 V 的低压电器,同时安装临时开关,指定专人在该电器外监视。对低电压的可移动设备应安装特殊型号的插头,以防止将其误插入 220 V 或 380 V 的插座内。

(10)在雷雨天气,不可走近高压电杆、铁塔和避雷针的接地导线周围,以防雷电伤人。切勿走近断落在地面的高压电线,万一进入跨步电压危险区,要立即单脚或双脚并拢迅速跳到距离接地点 10 m 以外的区域,切不可奔跑,以防跨步电压伤人。

## 3. 电气防火与防爆

工业企业电气设备的绝缘,大多数是由易燃物质组成的(如绝缘纸、绝缘油)。在运行中导体通过电流要发热,开关切断电源要产生电弧,由于短路或接地事故、设备损坏等原因可能产生电弧及电火花,可将周围易燃物引燃,发生火灾或爆炸。尤其是石油化学工业,在生产、贮存、运输过程中,极易形成易燃、易爆的环境。在这种场所使用的电气设备,由于选型不当、绝缘损坏等原因产生电火花时,就可能引起火灾或爆炸,所以应进一步了解电气火灾发生的原因,采取预防措施,并在火灾发生后采用正确的抢救方法,防止发生人身触电及爆炸事故。

(1)电气火灾和爆炸的原因 发生电气火灾和爆炸要具备两个条件:首先有易燃易爆物质和环境,其次有引燃条件。

①易燃易爆物质和环境 在生产和生活场所中,广泛存在着易燃易爆易挥发物质,其中

煤炭、石油、化工和军工等生产部门尤为突出。煤矿中产生的瓦斯气体,军工企业中的火药,石油企业中的石油、天然气,化工企业中的原料产品,纺织、食品企业生产场所的可燃气体、粉尘或纤维等均为易燃易爆易挥发物质,并容易在生产、储存、运输和使用过程中与空气混合,形成爆炸性混合物。在一些生活场所,乱堆乱放杂物,木结构房屋铺设的电气线路等,都形成了易燃易爆环境。

②引燃条件 在生产场所的动力、照明、控制、保护、测量等系统和生活场所中的各种电气设备和线路,在正常工作或事故中常常会产生电弧、电火花和危险的高温,这就具备了引燃或引爆条件。

a.有些电气设备在正常工作情况下就能产生电火花、电弧和危险高温,如电气开关的分合,运行中发电机和直流电机电刷和整流子间,交流绕线电机电刷与滑环间总有或大或小的火花、电弧产生;弧焊机就是靠电弧工作的;电灯和电炉直接利用电流发热,工作温度相当高,100 W 白炽灯泡的表面温度为 150 ~ 190 °C,100 W 荧光灯管表面温度也在 100 ~ 120 °C,而碘钨灯管温度高达 500 ~ 700 °C。

b.电气设备和线路,由于绝缘老化、积污、受潮、化学腐蚀或机械损伤等原因会造成绝缘强度降低或破坏,导致相间或对地短路,熔断器熔体熔断,联结点接触不良,铁芯铁损过大。电气设备和线路由于过负荷或通风不良等原因都可能产生火花、电弧或危险高温。另外,静电、内部过高电压和大气过电压也会产生火花和电弧。

如果在生产或生活场所中存在着可燃易爆物质,当其在空气中的含量超过其危险浓度或在电气设备和线路正常或事故状态下产生的火花、电弧或在危险高温的作用下,就会造成电气火灾和爆炸。

(2)电气防火防爆措施 防火防爆措施是综合性的措施,包括选用合理的电气设备,保持必要的防火间距,电气设备正常运行并有良好的通风,采用耐火设施,有完善的继电保护装置等技术措施。

①应根据场所特点,选择适当形式的电气设备。

②保持防火间距。为防止电火花或危险温度引起火灾,开关、插销、熔断器、电热器具、照明器具、电焊器具、电动机等均应根据需要,适当避开易燃易爆建筑构件。天车滑触线的下方,不应堆放易燃易爆物品。

③保持电气设备正常运行。电气设备运行中产生的火花和危险高温是引起火灾的重要原因。因此,保持电气设备的正常运行对防火防爆有着重要意义。保持电气设备的正常运行包括保持电气设备的电压、电流、温升等参数不超过允许值,保持电气设备足够的绝缘能力,保持电气连接良好等。

④通风。在爆炸危险场所,如有良好的通风装置能降低爆炸性混合物的浓度,达到不致引起火灾和爆炸的限度,这样还有利于降低环境温度。这对可燃易燃物质的生产、储存、使用及对电气装置的正常运行都是必要的。

⑤接地。爆炸和火灾危险场所内的电气设备的金属外壳应可靠地接地(或接零),以便在发生相线碰壳时迅速切断电源,防止短路电流长时间通过设备而产生高温发热。

⑥其他方面的措施。爆炸危险场所,不准使用非防爆手电筒。在爆炸危险场所内,因条件限制,如必须使用非防爆型电气设备时,应采取临时防爆措施。如安装电气设备的房间,应用非燃烧体的实体墙与爆炸危险场所隔开,只允许一面隔墙与爆炸危险场所贴邻,且不得在隔墙上直接开设门洞;采用通过隔墙的机械传动装置,应在传动轴穿墙处采用填料密封或



有同等密封效果的密封措施;安装电气设备的房间出口,应通向非爆炸危险区域和非火灾危险区环境,当安装电气设备的房间必须与爆炸危险场所相通时,应保持相对的正向,并有可靠的保证措施。密封也是一种有效的防爆措施,密封有两个含义:一是把危险物质尽量装在密闭的容器内,限制爆炸性物质的产生和逸散;二是把电气设备或电气设备可能引爆的部件密封起来,消除引爆的因素。变、配电室建筑的耐火等级不应低于二级,油浸电变压室应采用一级耐火等级。

### 1.2.2 触电及急救方法

#### 1. 人体触电状况

当人体由于不慎而触及带电导体时,电流通过人体时对人体组织的作用是比较复杂的,有热烧伤作用、化学作用、生物学作用等,因而造成的危害性也是多种多样的,根据人体遭受伤害的状况不同,触电一般分为电击和电伤。

(1)电击 电流通过人体组织及内部器官时称为电击。电击会伤害人的心脏,破坏人体的生理机能,因而电击是很危险的,极易造成人身死亡。

(2)电伤 电流通过人体皮肤造成灼伤时称为电伤。电伤大多是局部受伤,但受伤的面积过大也会导致死亡。电伤的另一种为“电烙印”或“金属化”,它是触电后在皮肤上留有圆形或椭圆形痕迹的硬肿块,受伤部分往往麻木甚至丧失知觉。这种“电烙印”如果波及全身,也能引起全身僵死状态。

另外强烈的电磁场对人体的辐射作用会导致人头晕、乏力、神经衰弱等。

#### 2. 电流对人体的伤害作用

经过大量研究,导致人身死亡的电流与下列几种条件有密切关系。

(1)电流大小和种类 电流的大小和种类不同,对人体的伤害程度也不同。对 1 mA 左右的电流人体有感觉。对 60~70 mA 的直流电,虽然人体出现难以忍受的疼痛感,但人能自主地摆脱电源。对 15~20 mA 的工频交流电,人尚能自主摆脱;当工频电流达到 20~50 mA 时,人体的神经系统受伤难以自主摆脱,这是比较危险的电流值,因而 50 mA 为致命电流。当工频电流达到 100 mA 时是极其危险的,称为死亡电流。根据实验得知,工频电流对人体的危害最大。但在频率增高时,由于趋肤效应的作用,其对人体的作用反而减小,如当频率达到 2 000 Hz 以上时,电流虽然达到 100 mA,但对人体没有什么危害。

(2)电流作用的时间 在通过人体电流相同的情况下,通电时间越长,危害性越大。例如 20~50 mA 的工频电流作用于人体的时间稍长,同样有致命的危险。通过心脏的允许极限电流与时间的关系为  $I = \frac{116}{\sqrt{T}}$  mA,式中  $T$  为允许电流的作用时间,其范围为 0.01~5 s。

(3)电流流过人体的路径 电流通过人体会引起心室颤动甚至使心脏停止跳动。电流通过人体时会引起中枢神经失调,电流通过头部会使人脑严重损害甚至死亡,可见电流通过心脏、大脑及中枢神经是很危险的。也就是说从左手到胸是最危险的电流路径;从手到手、从手到脚也是较危险的电流流通过路。

#### 3. 常见的触电方式

按照人体触及带电体的方式和电流流过人体的路径,触电方式包括单相触电、两相触电、跨步电压触电以及接触电压触电。

(1)单相触电 人体的某部分在地面或其他接地导体上,另一部分触及一相带电体的触

电事故称为单相触电。这种触电的危险程度决定于三相电网的中性点是否接地,一般情况下,中性点接地电网的单相触电比中性点不接地电网的单相触电危险性大。

图 1-3 表示供电电网中性点接地时的单相触电,此时人体承受电源相电压;图 1-4 表示供电电网无中线或中性点不接地时的单相触电,此时电流通过人体进入大地,再经过其他两相对地电容或绝缘电阻流回电源,当绝缘不良时,也有危险。在工厂和农村,一般接地系统多为 6~10 kV,若在该系统单相触电,由于电压过高,因此触电电流大,几乎是致命的。

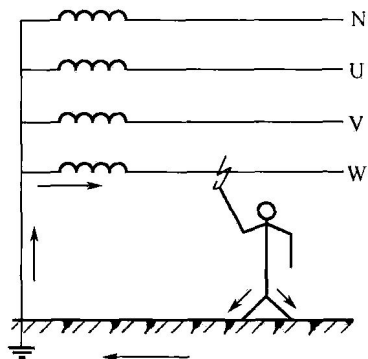


图 1-3 中性点接地时的单相触电

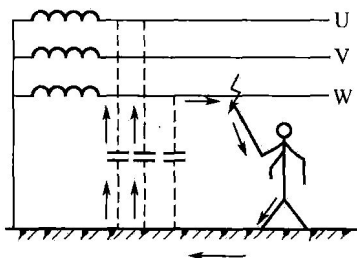


图 1-4 中性点不接地时的单相触电

(2)两相触电 人体的不同部分同时分别触及同一电源的任何两相导线称为两相触电,这时电流从一根导线经过人体流至另一根导线,人体承受电源的线电压,这种触电方式比单相触电更危险,如图 1-5 所示。

(3)跨步电压触电 当带电体接地有电流流入地下时(如架空导线的一根落在地上时),在地面上以接地点为中心形成不同的电位,人在接地点周围,两脚之间出现的电位差即为跨步电压。线路电压越高,离落地点越近,触电危险性越大,如图 1-6 所示。

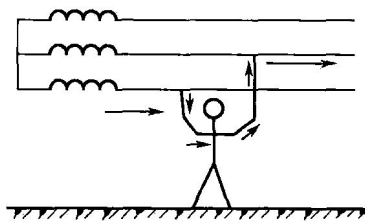


图 1-5 两相触电

(4)接触电压触电 人体与带电设备的带电外壳接触而引起的触电称为接触电压触电。人体触及带电体外壳,会产生接触电压触电,人体站立点离接地点越近,接触电压越小,如图 1-7 所示。

#### 4. 触电急救常识

当我们发现有人触电时,首先要尽快地使触电者脱离电源,然后再根据具体情况,采取相应的急救措施。

触电者的现场急救,是抢救过程的关键,触电后会出现呼吸中断、神经麻痹、心脏停止跳动等症状,外表看起来昏迷不醒,此时一定要把触电者看作是“假死”。所以应立即对触电者进行抢救;反之,必然带来不可弥补的后果。

(1)脱离电源 触电者触电后,可能因为失去知觉等原因而紧抓带电体,不能自行摆脱电源,因此使触电者尽快脱离电源是抢救触电者的第一步,也是最重要的一步,它是采取其他急救措施的前提,正确的脱离电源的方法有以下几种。

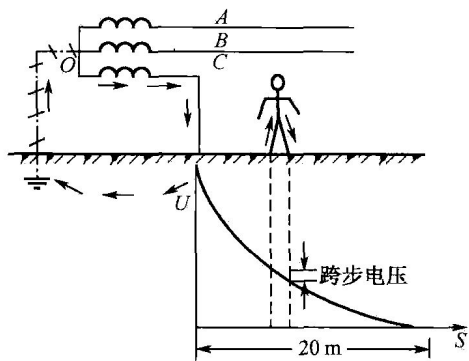


图 1-6 跨步电压触电

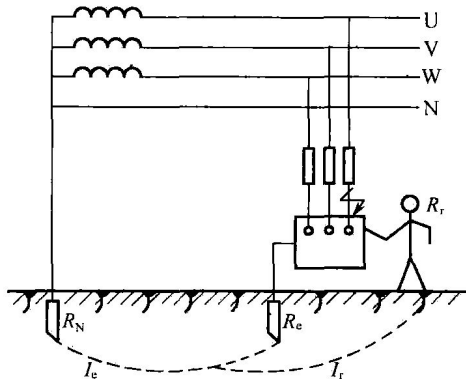


图 1-7 接触电压触电

①如果电源插头或开关离触电地点很近,可以迅速地拉开开关,切断电源。但是要注意一般开关或拉线开关不一定控制相线,因此还要拉开前一级的刀开关。

②当开关离触电地点较远,不能立即断开时,应视具体情况采取相应措施:

a.用绝缘手钳或装有干燥木柄的物件切断电线,或用干燥的木板等绝缘物体插入触电者身下。切断电源时要防止被切断的电线触及人体,以免使触电事故扩大。

b.如果电线是搭在触电者身上或压在身下,可用干燥的木板、竹竿、木棒或带有绝缘柄的其他工具,迅速把电线挑开,但不能用手、金属及潮湿的物件去挑电线,以防救护人员触电。

c.如果触电者的衣物是干燥的,又不紧缠在身上,救护人员可站在干燥的木板上用一只手拉住触电者的衣服使他脱离带电体,这只适用于低压触电急救,并且在拖时要注意不能用两只手,不能触及触电者的皮肤,也不可拉脚。

d.如果是高空触电,还应采取措施,以防触电者从高空摔下。

③高压线路触电的脱离:在高压线路或设备上触电应立即通知有关部门停电,为使触电者脱离电源应该带上绝缘手套,穿绝缘靴,使用适合该挡电压的绝缘工具,按顺序切断电源。也可用一根合适长度的裸金属软线,先将一端绑在金属棒上打入地下做好可靠接地,另一端绑上重物掷到带电体上,使金属软线与高压线路短路,迫使保护装置动作,以切断电源。

④脱离电源注意事项:

a.救护人员不能直接用手、金属及潮湿的物体作为救护工具,救护人员最好一只手操作,以防自身触电。

b.防止高空触电者脱离电源后发生摔伤事故。即使触电者处于平地上,也要注意触电者脱离电源后倒下的方向,避免触电者头部摔伤。

c.如果事故发生在晚上,应立即解决临时照明,以便触电急救。

(2)急救处理 当触电者脱离电源后,根据具体情况应就地迅速进行救护,同时赶快派人请医生前来抢救,触电者需要急救的大体情况有以下几种。

①触电不太严重,触电者神志清醒,但有些心慌、四肢发麻、全身无力,或触电者曾一度昏迷,但已清醒过来,应使触电者安静休息,不要走动,严密观察并请医生诊治。

②触电较严重,触电者已失去知觉,但有心跳,有呼吸,应使触电者在空气流通的地方舒

适、安静地平躺,解开衣扣和腰带以便呼吸;如天气寒冷应注意保暖,并迅速请医生诊治或送往医院。

③触电相当严重,触电者已停止呼吸,应立即进行人工呼吸;如果触电者心跳和呼吸都已停止,人完全失去知觉,应进行人工呼吸和心脏挤压。

人工呼吸和胸外挤压心脏,应尽可能地进行,即使在送往医院的途中也不能停止急救。在抢救过程中不能乱打强心针,否则会增加对心脏的刺激,加快死亡。

(3)人工呼吸和胸外心脏挤压 人工呼吸是在触电者呼吸停止但有心跳时的急救方法;心脏挤压适用于有呼吸但无心脏跳动的触电者;而当触电者一旦出现“假死”现象,应迅速进行人工呼吸或心脏挤压,具体方法如下。

①口对口吹气法 将触电者移至通风处,仰卧平地上,鼻孔朝天,头后仰并解开衣扣和腰带,头不可垫枕头,以便呼吸道畅通,清理口鼻腔,紧捏鼻孔,紧贴触电者的口吹气 2 s 使其胸部扩张,接着放松鼻孔,使其胸部自然缩回排气约 3 s,如此不断进行,直至好转,吹气时用力要适当,如果掰不开触电者的嘴可用口对鼻吹气。

②胸外挤压法 将触电者仰卧在硬地上,松开领口,解开衣服,清除口腔内异物,救护人员应站在触电者一侧或者跨腰跪在触电者腰部,双手相叠,将下面那只手的手掌根放在触电者心窝稍高、两乳头间略低,即胸骨下三分之一部位,中指对准凹腔,手掌根部即为正确的压点。自上而下,垂直均衡,压力轻重适当地向下挤压。然后,突然放松掌根,但手掌不要离开胸部,如此连续不断地进行。成人每秒钟挤压 1 次,儿童每分钟挤压 100 次左右。挤压时注意挤压位置要准,不可用力过猛,以免将胃中食物挤压出来,堵塞气管,影响呼吸。触电者若是儿童,可只用一只手挤压,用力适中,以免损伤胸骨。

心脏跳动和呼吸是相互关联的,一旦呼吸和心脏跳动都停止,应及时进行口对口吹气和胸外心脏挤压,且心脏挤压和口对口吹气同时进行。如果两人救护可同时分别采用一种方法;如果只有一人急救,可交替采取两种方法。

在进行口对口吹气和心脏挤压时,应坚持不懈,直到触电者复苏或医务人员前来救治为止,在救护过程中,应密切观察触电者的反应。

### 1.2.3 安全用电预防措施

触电往往很突然,最常见的触电事故是偶然触及带电体或触及正常不带电而意外带电的导体。为了防止触电事故,除思想上重视外,还应健全安全措施。安全措施分为安全技术措施和安全组织措施。

安全组织措施是指工作票制度、工作许可制度、工作监护制度、工作间断转移和工作总结制度等。

安全技术措施包括停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮挡等,主要有如下几项。

#### 1. 使用安全电压

安全电压是指人体较长时间接触带电体而不致发生触电危险的电压。我国对安全电压有以下规定:为了防止触电事故而采用由特定电源供电的电压系列。这个电压系列上限值,在任何情况下,两导体间或任意一导体与地之间均不得超过交流(50 ~ 500 Hz)有效值 50 V。安全电压的额定值为 36 V, 24 V, 6 V(工频有效值)。当电气设备采用了超过 24 V 的安全电压时,应采取防止直接接触带电体的保护措施。



注意,安全电压不适用的范围有如下几方面:

- ①水下等特殊场所;
- ②带电体伸入人体内的医疗设备。

## 2. 保护接地

定义:保护接地就是在 1 kV 以下变压器中性点(或一相)不直接接地的电网内,电气设备的金属外壳和接地装置良好接地。

原理:如图 1-8 所示,电气设备绝缘损坏,人体触及带电体外壳时,由于采用了保护接地,人体电阻和接地电阻并联,人体电阻远大于接地体电阻。故流经人体的电流远远小于流经接地体电阻的电流,并在安全范围内,这样就起到了保护人身安全的作用。

## 3. 保护接零

定义:保护接零就是在 1 kV 以下的变压器中性点直接接地的电网中,电气设备金属外壳与零线作可靠连接。

原理:低压系统电气设备采用保护接零后,如有电气设备发生单相碰壳故障时,形成一个单相短路回路。由于短路电流极大,使熔丝快速熔断,保护装置动作,从而迅速切断了电源,防止了触电事故的发生,如图 1-9 所示。

注意事项:

①同一台变压器供电系统的电气设备不允许一部分采用保护接地,另一部分采用保护接零;

②保护零线上不准装设熔断器;

③保护接地或接零不得串联;

④在保护接零方式中,将零线的多处通过接地装置与大地再次连接,叫做重复接地,保护接零回路的重复接地是保证接地系统可靠运行,可防止零线断电失去保护作用。

## 4. 使用漏电保护装置

漏电保护装置按控制原理可分为电压动作型、电流动作型、交流脉冲型和直流型等几种。其中电流动作型的保护性最好,应用最为普遍。

电流动作型漏电保护装置由测量元件、放大元件、执行元件、检测元件组成,如图 1-10 所示。

测量元件是一个高磁导电流互感器,相线和零线从中间穿过,当电源供出的电流经负载使用后又流回到电源,互感器铁芯中合成磁场为零,说明无漏电现象,执行机构不动作;当合成磁场不为零时,表明有漏电现象,执行机构快速动作,切断电源时间一般设定在 0.1 s,保证安全。

注意:单相漏电保护器接线时,工作零线 and 保护零线一定严格分开不能混用,相线和工作零线接漏电保护器,若将保护零线接到漏电保护器时,漏电保护器处于漏电保护状态而切

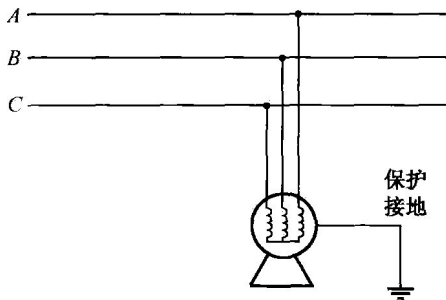


图 1-8 电气保护接地

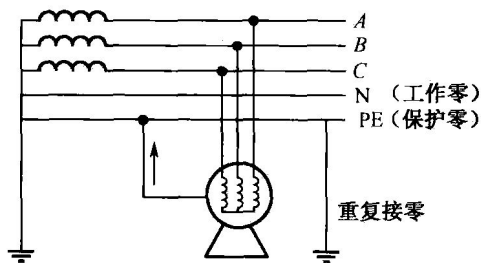


图 1-9 电气保护接零