

全国职业教育通用教材  
机械制造与电子技术专业

Quanguozhiyejiaoyutongyongjiaocai  
JIXIEZHIZAOYUDIANZIJISHUZHUYAN

# 电工技能 与实训

DIANGONG  
JINENG  
YU SHIXUN

李国萍 杨加国 / 主编



- 电工安全知识 · 电工基本操作技术
- 常用电工仪表及测量 · 变压器与电动机 · 变配电装置与电力线路
- 常用机械电器控制线路 · 可编程控制器简介



电子科技大学出版社

全国职业教育通用教材

机械制造与电子技术专业

Quanguozhiyejiaoyutongyongjiaocai  
JIXIEZHIZAOYUDIANZIJISHUZHUANYE

# 电工技能 与实训

DIANGONG JINENG  
YU SHIXUN

江苏工业学院图书馆  
藏书章

李国萍 杨加国 / 主编



电子科技大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技能与实训 / 李国萍, 杨加国主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2009. 1

全国职业教育通用教材(机械制造与电子技术专业)

ISBN 978-7-81114-992-0

I. 电… II. ①李… ②杨… III. 电工技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 141740 号

## 内 容 提 要

本书是“电工技能”课程的实训教材,可以配合“电子技术基础”、“电工技术基础”课程的理论教学进行实际操作技能的训练,从而培养学生正确使用常用配电设备、电工仪表、电工工具;正确进行导线的连接和绝缘,正确进行照明灯具、开关及插座的安全;初步学会识读一般电气原理图、电器布置图和电气安装接线图;掌握电工基本操作技能和基本安全知识;了解电能的生产、输送和分配;了解常用低压电器元件和一般设备的型号、规格与功能;掌握与电工技能相关的技术规范等知识。本书内容包括电工安全知识、电工基本操作技术、常用电工仪表及测量、变压器及电动机、高压变配电与低压供电、常用机械电气控制线路、可编程控制器技术简介等。

本书可以作为中等职业学校、中等专科学校、高等职业学校、高等专科学校、成人高校以及民办高校相关专业的通用教材,也可供电工技能方面的爱好者及从业人员作为参考书。

## 全国职业教育通用教材(机械制造与电子技术专业)

# 电工技能与实训

李国萍 杨加国 主编

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)

责任编辑: 张 鹏

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川省南方印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 12.25 字数 290 千字

版 次: 2009 年 1 月第一版

印 次: 2009 年 1 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-992-0

定 价: 20.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误,请寄回印刷厂调换。

# 总 导 言

进入 21 世纪以来,机械制造与电子信息技术更为广泛和深入地应用于人们日常的生活、学习、工作,乃至休闲和娱乐中,电子与信息产品和电视、冰箱、空调、电脑、手机、DVD、MP3、MP4 等比比皆是。

由电子与信息技术产品形成的信息产业,已经成为我国国民经济的支柱产业,其工业增长率每年以 30% 以上的速度递增,工业总产值已经占全国工业总产值的 40% 以上,个别行业甚至高达 60%。

随着产业的发展,必然带来人才需求的增长,而技术的进步又必然要求人员素质的提高。从总体上来说,机械制造技术与电子技术是一门高技术产业,且对人才的需求具有明显的两极特点,一方面需要具有高学历的开发、研究、创造性人才。但同时更多地、更为广泛地需要在机械制造与电子信息产品的整机生产、装配、调试、维修和检验等各个工种,以及通信网络的安装、管理、使用、维护工作甚至专业性的采购和市场营销等领域的“蓝领”人才。所谓“蓝领”人才,是具有高职、中职学历的具有综合职业能力的实用性、复合型人才。

为了满足我国高速经济发展的需要,成千上万的生产企业和经营单位渴求人才,在教育部《面向 21 世纪教育振兴行动计划》的指导下,为贯彻落实《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,并以“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划”为指南,我们汇集了在电子信息技术与机械制造教育一线从教的优秀教师,由有关电子与信息技术专家、教授领衔,组成了阵容强大的“教材编写组”,及时地推出了职业教育“机械制造与电子技术专业”最新版的专业教材。首批面市的有:《电工基础》《数字电路基础》《电工技能与实训》《电子技能与实训》《机械基础》《机械制图》等。接着还将推出《电子整机原理》《电子设计自动化技术》《单片机原理与应用》《电子产品测试与检测》《电子产品结构工艺》《移动通信设备》《电子测量仪器》等更多层次的教材。

在职业技术教育中,教材占有至关重要的地位,它将起到先进课程体系、教学经验以及新知识、新技术、新工艺的传播和推广作用。本系列教材立足于电子信息技术与机械制造技术的专业特点,准确定位于中、初级人才职业技能和综合能力的培养。在教材的编写中,凸显了理论与实践的高度统一与综合,并充分地为理论教学与实践教学的交叉进行提供了接口,真正做到在理论的指导下进行有效的实践,又在实践中高效地掌握理论,使教与学、理论与实践完美结合。

但是,电子信息与机械制造技术也属于“现代科技”的范畴,其学科的内在机理蕴涵着无穷的奥妙,作为职业学校的教材,没有必要去探究电子信息技术与机械制造中的繁难问题,然而,如何把握教材的深度和难度,又往往成为教材编写中十分棘手的问题。本系列教材应用全新的“教材理念”,本着“够用即止”“深入有度”的取材原则,把教材中必需的知识“重点”“难点”乃至“盲点”进行了有效的整合,不仅使知识基础全面、系统、完整,而且

强化了各类电子信息与机械制造的“共性”与“个性”，从而使每种教材既符合“职业学校重点建设专业教学指导方案”的要求，又紧扣该专业教学大纲的内容，使全套教材光鲜、生动、流畅。

纵观本套教材，具有如下的特点和亮点：

**一、突出特点，统一共性。**本系列教材以知识基础为主线，深刻地阐述和剖析基础知识原理，然后再搭建各类整机（产品）的平台，把抽象变为直观，把散乱变为物化。使读者只要牢固地掌握了基础知识，即使在日后的工作实践中遇到种类繁多、千姿百态的整机（产品），也能自然地应对。

**二、以实践为主，理论跟进。**电子信息与机械制造技术专业是实践性极强的专业，在教材中必须体现实践→理论→再实践的高度融合。

**三、举一反三，知识翻新。**本系列教材在知识体系中，常常采用举一反三、触类旁通的方法去开启新技术的大门，并使技术的发展和延伸浑然一体，使读者在吸收现代技术的同时，触及将来技术应用的发展方向，可以说这是本系列教材的一大亮点。

**四、语言流畅完美。**图书或教材，即便是科技类图书、教材，依然是要使读者和学生们的真情地去阅读和学习。因此，图书或者教材的可读性，往往成为读者是否首选该图书或教材的第一性问题。当读者翻开图书或教材时，第一感觉必然是跃然纸上的文字、插图，如果书中的语言流畅完美，插图规范、翔实、易读，自然会给读者一个赏心悦目的快感，引起购书的冲动。

教材或者图书虽然是特殊的商品，但毕竟是“商品”，任何商品最终都要接受市场的检验，出版者将企盼着千百万读者的回应。

职业教育教材编写委员会

# 前 言

根据职业教育加强实践性教学和提高实际应用能力的要求，我们编写了本书。

本书是“电工技能”课程的实训教材，共有七章，可以配合“电子技术基础”、“电工技术基础”课程的理论教学进行实际操作技能的训练，从而培养学生正确使用常用配电设备、电工仪表、电工工具；正确进行导线的连接和绝缘，正确进行照明灯具、开关及插座的安装；初步学会识读一般电气原理图、电器布置图和电气安装接线图；掌握电工基本操作技能和基本安全知识；了解电能的生产、输送和分配；了解常用低压电器元件和一般设备的型号、规格与功能；与电工技能相关的技术规范。本书主要包括电工安全知识、电工基本操作技术、常用电工仪表及测量、变压器及电动机、高压变配电与低压供电、常用机械电气控制线路、可编程控制器技术简介等内容。

书中提供了针对性较强的复习思考题，每章后都有内容小结及习题，便于读者复习及自检学习效果。

限于编者水平有限，加之时间仓促，书中若有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 电工安全知识 .....         | 1  |
| 1.1 触电的种类和方式 .....       | 1  |
| 1.2 触电的防护 .....          | 3  |
| 1.2.1 绝缘 .....           | 3  |
| 1.2.2 安全电压 .....         | 4  |
| 1.2.3 安全电源 .....         | 5  |
| 1.2.4 电气隔离 .....         | 6  |
| 1.2.5 保护接地与保护接零措施 .....  | 7  |
| 本章小结 .....               | 9  |
| 复习思考题 .....              | 9  |
| 第二章 电工基本操作技术 .....       | 10 |
| 2.1 电工工具 .....           | 10 |
| 2.1.1 测电笔 .....          | 10 |
| 2.1.2 螺丝刀 .....          | 11 |
| 2.1.3 钢丝钳 .....          | 11 |
| 2.1.4 活络扳手 .....         | 11 |
| 2.1.5 电工刀 .....          | 12 |
| 2.1.6 镊子 .....           | 12 |
| 2.1.7 冲击电钻 .....         | 12 |
| 2.1.8 管子钳 .....          | 13 |
| 2.1.9 剥线钳 .....          | 13 |
| 2.2 导线的连接和绝缘 .....       | 13 |
| 2.2.1 铜芯导线的连接 .....      | 14 |
| 2.2.2 铝芯导线的连接 .....      | 16 |
| 2.2.3 线头与接线桩的连接 .....    | 16 |
| 2.2.4 导线绝缘层的恢复 .....     | 17 |
| 2.3 照明灯具的安装 .....        | 17 |
| 2.3.1 照明灯具的布置和安装要求 ..... | 18 |

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 2.3.2 | 白炽灯的安装.....           | 20 |
| 2.3.3 | 荧光灯的安装.....           | 22 |
| 2.3.4 | 高压汞灯的安装.....          | 25 |
| 2.3.5 | 碘钨灯.....              | 27 |
| 2.3.6 | 霓虹灯.....              | 28 |
| 2.3.7 | 照明电路故障的检修.....        | 29 |
| 2.4   | 开关及插座的安装.....         | 30 |
| 2.4.1 | 灯用开关及其安装.....         | 30 |
| 2.4.2 | 插座及其安装.....           | 34 |
|       | 本章小结.....             | 36 |
|       | 复习思考题.....            | 37 |
| 第三章   | 常用电工仪表及测量.....        | 38 |
| 3.1   | 电工仪表的基本知识.....        | 38 |
| 3.1.1 | 常用电工仪表的分类.....        | 38 |
| 3.1.2 | 电工仪表常用面板符号.....       | 39 |
| 3.1.3 | 电工仪表的精确度.....         | 39 |
| 3.1.4 | 常用电工仪表的基本结构.....      | 39 |
| 3.1.5 | 电工仪表的保养.....          | 39 |
| 3.2   | 电流表与电压表.....          | 41 |
| 3.2.1 | 电流表与电压表的工作原理.....     | 41 |
| 3.2.2 | 电流的测量.....            | 41 |
| 3.2.3 | 电压的测量.....            | 45 |
| 3.3   | 指针式万用表.....           | 46 |
| 3.3.1 | 基本结构.....             | 46 |
| 3.3.2 | MF-47 型万用表标度尺的读法..... | 49 |
| 3.3.3 | 指针式万用表的选择和使用注意事项..... | 49 |
| 3.3.4 | 万用表的基本使用方法.....       | 49 |
| 3.4   | DT-890B+型数字万用表.....   | 51 |
| 3.4.1 | 测量范围.....             | 51 |
| 3.4.2 | 基本使用方法.....           | 52 |
| 3.5   | 兆欧表.....              | 54 |
| 3.5.1 | 兆欧表的结构.....           | 55 |
| 3.5.2 | 兆欧表的选用.....           | 55 |
| 3.5.3 | 兆欧表的使用方法.....         | 55 |
| 3.6   | 直流电桥.....             | 57 |



|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 3.6.1 直流单臂电桥.....                  | 57        |
| 3.6.2 直流双臂电桥.....                  | 59        |
| 本章小结.....                          | 60        |
| 复习思考题.....                         | 60        |
| <b>第四章 变压器与电动机.....</b>            | <b>62</b> |
| 4.1 变压器.....                       | 62        |
| 4.1.1 变压器的用途.....                  | 62        |
| 4.1.2 变压器的结构与原理.....               | 62        |
| 4.1.3 变压器的分类.....                  | 65        |
| 4.1.4 变压器的故障与排除.....               | 65        |
| 4.2 交流电动机.....                     | 67        |
| 4.2.1 交流电动机的分类及用途.....             | 67        |
| 4.2.2 三相异步电动机.....                 | 68        |
| 4.2.3 单相异步电动机.....                 | 74        |
| 4.3 直流电动机.....                     | 82        |
| 4.3.1 直流电动机的用途.....                | 82        |
| 4.3.2 直流电动机的工作原理.....              | 82        |
| 4.3.3 直流电动机的分类.....                | 82        |
| 4.3.4 直流电动机的主要技术参数.....            | 84        |
| 4.3.5 直流电动机的维护与保养.....             | 85        |
| 4.3.6 直流电机常见故障诊断及排除.....           | 86        |
| 本章小结.....                          | 87        |
| 思考题.....                           | 88        |
| <b>第五章 变配电装置与电力线路.....</b>         | <b>89</b> |
| 5.1 变配电装置安装、运行与维护.....             | 89        |
| 5.1.1 电力系统组成.....                  | 89        |
| 5.1.2 配电变压器所需容量确定.....             | 90        |
| 5.1.3 供电方式与电能计量方式.....             | 91        |
| 5.1.4 10/0.4kV 变配电站电气接线图及设备选择..... | 92        |
| 5.1.5 变配电站站址选择与配电变压器安装.....        | 94        |
| 5.1.6 高压电气设备安装.....                | 95        |
| 5.1.7 防雷与接地装置安装.....               | 96        |
| 5.1.8 电能计量装置安装.....                | 97        |
| 5.1.9 低压配电装置安装.....                | 98        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 5.1.10 漏电保护装置选配、安装与运行维护 .....             | 100        |
| 5.1.11 无功补偿容量选配与电力电容器安装、维护 .....          | 101        |
| 5.1.12 配电变压器运行维护 .....                    | 103        |
| 5.2 电力线路 .....                            | 104        |
| 5.2.1 电力线路分类 .....                        | 104        |
| 5.2.2 导线截面的选择 .....                       | 105        |
| 5.2.3 架空配电线路 .....                        | 107        |
| 本章小结 .....                                | 114        |
| 复习思考题 .....                               | 114        |
| <b>第六章 常用机械电器控制线路 .....</b>               | <b>115</b> |
| 6.1 常用低压电器 .....                          | 115        |
| 6.1.1 开关类电器 .....                         | 116        |
| 6.1.2 低压熔断器 .....                         | 123        |
| 6.1.3 交流接触器 .....                         | 126        |
| 6.1.4 常用继电器 .....                         | 128        |
| 6.1.5 常用启动器 .....                         | 131        |
| 6.2 三相电动机全压启动控制线路 .....                   | 134        |
| 6.2.1 电动机单向运转的控制电路 .....                  | 134        |
| 6.2.2 电动机可逆运转控制电路 .....                   | 137        |
| 6.3 三相电动机降压启动控制电路 .....                   | 141        |
| 6.3.1 接触器自动控制的 Y- $\Delta$ 降压启动电路 .....   | 142        |
| 6.3.2 时间继电器自动控制的 Y- $\Delta$ 降压启动电路 ..... | 143        |
| 6.3.3 自耦补偿启动器降压启动电路 .....                 | 144        |
| 6.4 三相电动机制动控制电路 .....                     | 146        |
| 6.4.1 机械制动 .....                          | 146        |
| 6.4.2 电力制动 .....                          | 148        |
| 6.5 三相电动机调速控制电路 .....                     | 152        |
| 6.5.1 笼型异步电动机变极调速原理 .....                 | 152        |
| 6.5.2 双速电动机自动控制电路 .....                   | 154        |
| 6.6 电动葫芦控制电路 .....                        | 155        |
| 6.7 单相电动机的控制电路 .....                      | 157        |
| 6.7.1 单相异步电动机的正反转控制 .....                 | 157        |
| 6.7.2 单相异步电动机的调运控制 .....                  | 158        |
| 6.8 直流电动机的控制 .....                        | 159        |
| 6.8.1 直流电动机的启动控制 .....                    | 159        |

---

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 6.8.2 直流电动机的调速控制.....      | 160        |
| 6.8.3 直流电动机的制动控制.....      | 161        |
| 6.8.4 直流电动机的反转控制.....      | 162        |
| 本章小结.....                  | 162        |
| 复习思考题.....                 | 162        |
| <b>第七章 可编程控制器简介 .....</b>  | <b>164</b> |
| 7.1 概述.....                | 164        |
| 7.1.1 可编程控制器的定义、分类及特点..... | 164        |
| 7.1.2 可编程控制器的应用 .....      | 166        |
| 7.2 可编程控制器的组成与基本结构.....    | 167        |
| 7.2.1 可编程控制器的硬件系统.....     | 167        |
| 7.2.2 可编程控制器的软件系统.....     | 173        |
| 7.3 可编程控制器的工作过程与工作原理.....  | 173        |
| 7.3.1 可编程控制器的工作过程.....     | 173        |
| 7.3.2 可编程控制器的输入/输出过程.....  | 176        |
| 7.3.3 可编程控制器的中断输入处理过程..... | 176        |
| 7.3.4 PLC 的 I/O 滞后现象.....  | 177        |
| 7.3.5 可编程控制器的工作原理.....     | 177        |
| 7.4 可编程控制器的编程语言和程序结构.....  | 177        |
| 7.4.1 可编程控制器的编程语言.....     | 177        |
| 7.4.2 可编程控制器的程序结构.....     | 180        |
| 7.5 可编程控制器的技术与性能指标.....    | 180        |
| 本章小结.....                  | 182        |
| 复习思考题.....                 | 183        |
| <b>参考文献.....</b>           | <b>184</b> |

# 第一章 电工安全知识

## 【内容提要】

总的说来触电的原因主要有：缺乏安全用电知识、电气设备不符合安全规程以及没有推行安全工作制度三个方面。因此学习安全用电知识，按照标准安装和维修电气设备，严格执行安全操作规则，对于预防触电都是十分重要的。

为搞好安全用电，必须采取防护措施防止接触带电体。

## 1.1 触电的种类和方式

触电情况是很复杂的。有些是有意或无意地与正常带电的部分接触而触电；有些是有意或无意地与漏电部分接触而触电，这些漏电部分在正常情况下是不应该带电的；有些甚至并没有和电气设备接触也触电了。

尽管触电事故多种多样，我们还是可以找出在各种情况下触电的原因，进而采取相应的预防方法，尽量避免触电的危险。总的说来，触电的原因不外乎缺乏安全用电知识、电气设备不符合安全规程以及没有推行安全工作制度三个方面。因此，学习安全用电知识，按照标准安装和维修电气设备，严格执行安全操作规则，对于预防触电都是十分重要的。

直接与电气装置的带电部分接触有触电危险，其程度和可能性又取决于触电的方式。低压电力网一般由三相四线制中性点接地的系统供电，其触电方式又分为两相触电和单相触电两种。

### 1. 两相触电

两相触电是指人体同时接触带电的两根相线（火线）的触电。这时人体同时接触带电设备或线路中的两相导体，或人体在高压系统中同时接近不同相的两相带电导体，从而发生电弧放电，电流从一相导体通过人体流入另一相导体，构成一个闭合回路。

发生两相触电时，作用于人体的电压等于线电压，理论上这种触电是最危险的。这时人体受到线电压  $U$  的作用，通过人体的电流  $I$  为：

$$I = \frac{U}{R_t} \quad (1.1)$$

事故分析表明，发生两相触电死亡的现象较少，这是因为用电装置的两根相线相隔较近，触电电流局限于人体的某一小部分，并不危及生命。但也不能排除两根相线相隔很远时的触电，大多数情况是在检修设备时误通电造成的。这种情况的触电是最危险的，因为没有任何绝缘保护。对于通常的 380V 线电压，两相触电要产生大约 268mA 的人体电流。这样大的电流只要经过  $T=50/268=0.186s$  就可能致死。

## 2. 单相触电

单相触电是指人体接触带电的电气装置的一相的触电。这时电流通过人体流入大地。对于高压带电体，人体虽未直接接触，由于超过了安全距离，高电压对人体放电，造成单相接地而引起的触电，也属于单相触电。低压电网通常采用变压器低压侧中性点直接接地和中性点不直接接地（通过保护间隙接地）的接线方式。单相触电危险程度取决于电网中性点是否接地和触电环境。

在中性点接地的情况如图 1.1 (a) 所示，通过人体的电流

$$I_r = \frac{U}{R_r + R_0} \quad (1.2)$$

式中， $U$  为电气设备的相电压； $R_0$  为中性点接地电阻，一般为几欧姆，较  $R_r$  小得多，可略去； $R_r$  为人体电阻，随电压及人体状况而变。

若人体电阻按照  $1000\Omega$  计算，则在 220V 中性点接地的电网中发生单相触电时，流过人体的电流达到 220mA，已大大超过人体的承受能力；即使在 110V 系统中触电，通过人体的电流也达到 110mA，仍可能危及生命。

在低压中性点直接接地的电网中，单相触电事故在地面潮湿时易于发生。如果触电者穿有鞋袜并站在干燥的地板上，就要把这些电阻附加到人体电阻上，触电的危险程度也就小得多了。这就是为什么要绝对禁止赤脚站在地面上接触电气设备的原因。

单相触电是危险的。如果高压架空线断线，人体碰及断落的导线往往会导致触电事故。此外，在高压线路周围施工但未采取安全措施，碰及高压导线触电的事故也时有发生。

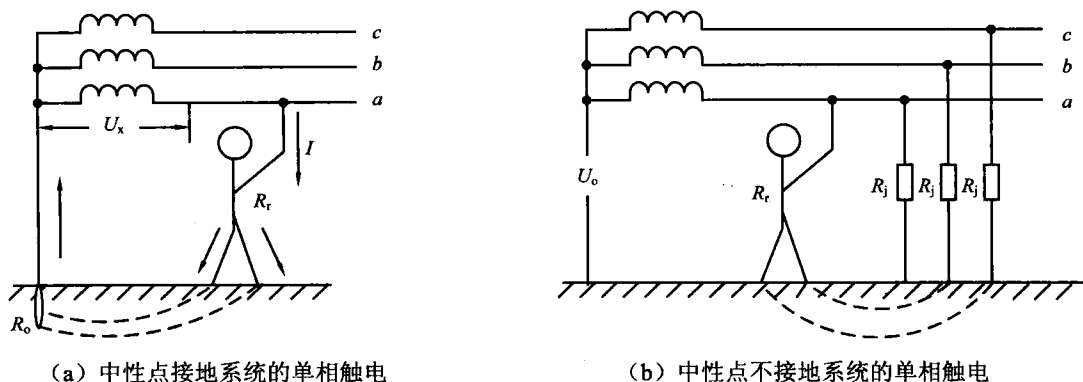


图 1.1 单相触电示意图

对中性点绝缘的情况如图 1.1 (b) 所示，各相导线对地有绝缘电阻和对地电容。一般低压架空线路，为计算简单，只讨论绝缘电阻的影响而忽略电容。

在中性点不接地系统中的单相触电电流要比中性点接地系统中的小，因为增加了系统绝缘电阻。中性点不接地系统的这个优点只有在系统的规模较小，即电网布线较短，并经常监视绝缘状况的条件下才显露出来，但是非接地系统容易产生过电压，例如大气过电压、操作过电压、高压侵入低压、静电过电压等。遇到这种情况将会发生触电伤亡，以及大量击穿低压设备的绝缘，从而引起火灾。为避免这种事故的发生，低压对地绝缘系统应装击穿保险器。因此，低压对地绝缘系统只在特殊场合才被采用，例如游泳池、矿下等。

### 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,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。

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因素的影响。

下列情况和部位可能发生跨步电压电击: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。

## 1.2 触电的防护

为搞好安全用电,必须采取防护措施防止接触带电体。绝缘、遮拦和阻挡物、电气间隙和安全距离、安全电压和安全电源、漏电保护等都是防止直接接触电击的防护措施。

### 1.2.1 绝缘

用绝缘材料将带电体封闭起来的措施叫做绝缘措施。绝缘材料只有在遭到破坏时才可能除去。良好的绝缘是设备和线路正常运行的必要条件,也是防止触电事故的重要措施。

#### 1. 绝缘材料

电工绝缘材料的电阻率一般在  $109\Omega \cdot m$  以上。瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、胶木、塑料、布、纸、矿物油等都是常用的绝缘材料。绝缘材料按其正常运行条件下容许的最高工作温度分为若干级,称为耐热等级。绝缘材料的耐热等级如下:

**C 级** (极限工作温度  $180^{\circ}$  以上): 耐高温有机黏合剂和浸渍剂,无机物如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等。

**H 级** (极限工作温度  $180^{\circ}$ ): 加厚的 F 级材料、无补强或以无机材料为补强的云母制品、复合云母和有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等。

**F 级** (极限工作温度  $155^{\circ}$ ): 以有机纤维材料补强和石棉带补强的云母片制品、玻璃丝和石棉、玻璃漆布、以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品、以无机材料作补强和石棉、带补强的云母粉制品、化学热稳定性较好的酯和醇类材料、复合硅有机聚酯漆。

**B 级** (极限工作温度  $130^{\circ}$ ): 聚酯薄膜、经合适树脂浸渍涂的云母、玻璃纤维、石棉制品、聚酯漆、聚酯漆包线。

**E 级** (极限工作温度  $120^{\circ}$ ): 聚酯薄膜和 A 级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线。

**A 级** (极限工作温度  $105^{\circ}$ ): 工作于矿物油中和用油或油树脂复合胶浸过的 Y 级材料、

漆包线、漆布、漆丝及油性漆、沥青等。

Y级（极限工作温度 90°）：木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品，以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品，以及易于热分解和熔化点较低的塑料。

## 2. 绝缘电阻

绝缘电阻是最基本的绝缘性能指标。足够的绝缘电阻能把电气设备的泄漏电流限制在很小的范围内，防止由漏电引起的触电事故。

不同的线路或设备对绝缘电阻有不同的要求。一般来说，高压较低压要求高，新设备较老设备要求高，移动的较固定的要求高等。下面列出几种主要线路和设备应当达到的绝缘电阻值。

低压线路和设备要求的绝缘电阻不低于  $0.5\text{M}\Omega$ 。设备的绝缘电阻值可以随着温升的变化而变化，运行中的线路和设备要求可以降低为每伏工作电压不低于  $1000\Omega$ 。在潮湿的环境中，要求可以降低为每伏工作电压  $500\Omega$ 。

携带式电气设备的绝缘电阻不低于  $2\text{M}\Omega$ 。

配电盘二次线路的绝缘电阻不应低于  $1\text{M}\Omega$ ，在潮湿环境中可以降低为  $0.5\text{M}\Omega$ 。

高压线路和设备的绝缘电阻一般不应低于  $1000\text{M}\Omega$ 。

$10\text{kV}$  架空线路每个悬式绝缘子的绝缘电阻不应低于  $300\text{M}\Omega$ ； $35\text{kV}$  以上不应低于  $300\text{M}\Omega$ 。

电力变压器投入运行前，绝缘电阻不应低于出厂时的 70%，运行中可以适当降低。

运行中电缆线路的绝缘电阻如表 1.1 所示。表中，干燥季节应取较大的数值，潮湿季节可取较小的数值。

表 1.1 电缆线路的绝缘电阻

| 额定电压 (kV)                 | 3       | 6~10     | 20~35    |
|---------------------------|---------|----------|----------|
| 绝缘电阻 ( $\text{M}\Omega$ ) | 300~750 | 400~1000 | 600~1500 |

## 1.2.2 安全电压

根据欧姆定律可知：电压越高电流也就越大。因此，把可能加在人身上的电压限制在某一范围之内，使得在这种电压下通过人体的电流不超过允许的范围，这一电压就叫做安全电压。应当指出，任何情况下都不要把安全电压理解为绝对没有危险的电压。

### 1. 安全电压限值

安全电压限值为任何运行情况下，任何两导体间不可能出现的最高电压值。我国标准规定工频电压有效值的限值为  $50\text{V}$ 、直流电压的限值为  $120\text{V}$ 。

一般情况下，人体允许电流可按摆脱电流考虑。在装有防止电击的速断保护装置的场合，人体允许电流可按  $30\text{mA}$  考虑。我国规定工频电压  $50\text{V}$  的限值是根据人体允许电流  $30\text{mA}$  和人体电阻  $1700\Omega$  的条件确定的。

我国标准还推荐：当接触面积大于  $1\text{cm}^2$ 、接触时间超过  $1\text{s}$  时，干燥环境中工频电压有效值的限值为  $33\text{V}$ 、直流电压限值为  $70\text{V}$ ；潮湿环境中工频电压有效值的限值为  $16\text{V}$ 、直流电压限值为  $35\text{V}$ 。

## 2. 安全电压额定值

安全电压的应用范围很小,因为工作电压降低后,必然要增大电流,从而增大供电线的横截面,即增大它们的尺寸和重量,并且需要专用电源。因此安全电压只用于小容量的设备,如行灯、机床局部照明灯,危险和高度危险的场所使用的手持电动工具等。

我国规定工频有效值的额定值有 42V、36V、24V、12V 和 6V。

特别危险的环境中使用的手持电动工具应采用 42V 安全电压;有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压;在湿度大、狭窄、行动不便、周围有大面积接地导体的场所(如金属容器内、矿井内、隧道内等)等特别危险的环境中使用的提携照明灯,应采用 12V 安全电压;水下作业等场所应采用 6V 安全电压。当电气设备采用 24V 以上安全电压时,必须采取直接接触电击的防护措施。

### 1.2.3 安全电源

通常采用安全隔离变压器作为安全电压的电源,其接线如图 1.2 所示。除隔离变压器外,具有同等隔离能力的发电机、蓄电池、电子装置等均可以做成安全电压电源。不论采用什么电源,安全电压边均应与高压边保持加强绝缘的水平。

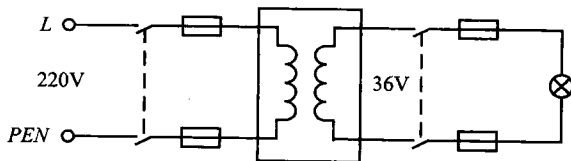


图 1.2 安全隔离变压器接线图

采用安全隔离变压器作安全电压的电源时,变压器一次与二次之间要有良好的绝缘;其间还可用地屏蔽隔离开来。安全隔离变压器各部绝缘电阻不得低于下列数值:带电部分与壳体之间的工作绝缘  $2\text{M}\Omega$ ;带电部分与壳体之间的加强绝缘  $7\text{M}\Omega$ ;输入回路 with 输出回路之间  $5\text{M}\Omega$ ;输入回路 with 输入回路之间  $2\text{M}\Omega$ ;输出回路 with 输出回路之间  $2\text{M}\Omega$ ;I 类变压器的带电部分与金属物件之间  $2\text{M}\Omega$ ;II 类变压器的金属物件与壳体之间  $5\text{M}\Omega$ ;绝缘壳体上内外金属物件之间  $2\text{M}\Omega$ 。

安全隔离变压器的额定容量,单相变压器不得超过  $10\text{kV}\cdot\text{A}$ 、三相变压器不得超过  $16\text{kV}\cdot\text{A}$ 、电铃用变压器的额定容量不得超过  $100\text{V}\cdot\text{A}$ 、玩具用变压器的额定容量不得超过  $200\text{V}\cdot\text{A}$ 。

安全隔离变压器的额定电压,交流电压有效值不得超过 50V、电铃用变压器不得超过 24V、玩具用变压器不得超过 33V。

变压器的输入导线和输出导线应有各自的通道。固定式变压器的输入电路中不得采用插接件。可移动式变压器(带插销者除外)应带有 2~4m 的电源线。导线进、出变压器处应有护套。

此外,安全隔离变压器各部分的最高温升不得超过允许限值。例如:金属握持部分的温升不得超过  $20^{\circ}\text{C}$ ;非金属握持部分的温升不得超过  $40^{\circ}\text{C}$ ;金属非握持部分的外壳,其温升不得超过  $25^{\circ}\text{C}$ ;非金属非握持部分的外壳,其温升不得超过  $50^{\circ}\text{C}$ ;接线端的温升不得超过  $35^{\circ}\text{C}$ ;橡皮绝缘的温升不得超过  $35^{\circ}\text{C}$ ;聚氯乙烯绝缘的温升不得超过  $40^{\circ}\text{C}$ 。



## 1.2.4 电气隔离

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叫做电气隔离措施。即使该线路或设备绝缘损坏,人站在地面上与之接触也不易触电。应该注意的是,被隔离回路的电压不得超过 500V,其带电部分不得与其他电气回路或大地相连,方能保证其隔离要求。

### 1. 电气隔离安全原理

电气隔离是采用电压比为 1:1,即一次边、二次边电压相等的隔离变压器实现工作回路与其他电气回路电器上的隔离,如图 1.3 所示。可见,电气隔离实质是将接地的电网转换成范围很小的不接地电网。在正常情况下,图中  $a$ 、 $b$  两人受触电危害程度是大不相同的。由于  $N$  线(或  $PEN$  线)是直接接地的,流经  $a$  的电流将沿系统的工作接地和重复接地形成回路, $a$  的危险性很大。而流经  $b$  的电流只能沿绝缘电阻和分布电容构成回路,电击危险性可以得到控制。

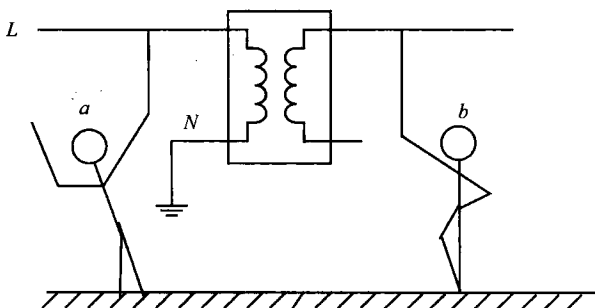


图 1.3 电气隔离原理图

### 2. 电气隔离的安全条件

应用电气隔离必须满足以下安全条件:

- (1) 隔离变压器必须具有加强绝缘的结构,其温升和绝缘电阻要求与安全隔离变压器相同。
- (2) 二次边保持独立,即:不接大地、不接保护导体、不接其他电气回路。

如图 1.4 所示,如果变压器的二次边接地,则当有人在二次边单相电击时,电流很容易流经人体和二次边接地点构成回路。因此,凡采用电气隔离作为安全措施者,还必须有防止二次回路故障接地及串联其他回路的措施。因为一旦二次边发生接地故障,这种措施将完全失去安全作用。对于二次边回路线路较长者,还应装设绝缘监视装置。

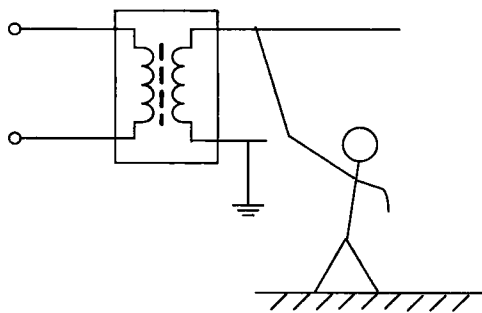


图 1.4 变压器二次边接地的危险