



“十三五”普通高等教育规划教材
工程教育创新系列教材

电气控制技术 与综合实践

主 编 焦玉成

副主编 杜逸鸣 杨 洁 黄石红 徐行健

主 审 郁汉琪

- 资源丰富 形式多样
- 随时随地 想学就学



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



配套微课
扫码观看
重点难点
轻松掌握



“十三五”普通高等教育规划教材
工程教育创新系列教材

电气控制技术 与综合实践

主 编 焦玉成

副主编 杜逸鸣 杨 洁 黄石红 徐行健

编 写 俞 娟 项桂萍 黄 捷 路 明

丁 宇 王 平 徐 智

主 审 郁汉琪

常州大学图书馆
藏书章



扫一扫

重点难点
轻松掌握

温馨提示：免费购物码见封二。

扫码

输入免费
购物码

观看
资源



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为工程教育创新系列教材。

第一篇入门篇，电气控制基础入门。本篇共三章，第一章主要介绍安全用电常识与常用工具的选择及使用；第二章主要介绍用于电力拖动及自动控制系统中常用的一些低压电器以及低压电器元件选择；第三章主要介绍由继电器—接触器实现的常见基本控制电路。

第二篇基础篇，电气控制实现智能控制器控制。本篇共两章，第四章主要介绍可编程控制器的硬件结构、工作原理、逻辑控制指令及简单的算术运算指令、梯形图与顺序控制图的编写；第五章主要介绍 PLC 电气控制系统实例，一是继电器—接触器控制系统的 PLC 改造范例，二是 PLC 控制系统设计范例，包括硬件接线、地址分配、软件编程与调试。

第三篇提高篇，电气控制综合设计。本篇共三章，第六章主要介绍变频器工作原理和结构、分类，并详细说明变频器的操作与应用；第七章主要介绍基于 PLC 与变频器的电气控制综合应用设计与实践；第八章主要介绍由 PLC、变频器控制的电路原理、故障分析与排除。

为辅助教学，本书配套 16 个微课，详细讲解相关电气控制器件的结构、工作原理、动作过程，以及典型电路的控制原理和实际 PLC 控制程序的仿真调试。

本书可作为普通高等院校电气控制技术课程教材，也可作为高职院校学生教材，同时可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制技术与综合实践 / 焦玉成主编. —北京: 中国电力出版社, 2018. 2

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-1532-5

I. ①电… II. ①焦… III. ①电气控制—高等学校—教材 IV. ① TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 324349 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 乔 莉 (010-63412535)

责任校对: 王小鹏

装帧设计: 张 娟

责任印制: 吴 迪

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2018 年 2 月第一版

印 次: 2018 年 2 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 15.75

字 数: 381 千字

定 价: 45.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

序

近年来,计算机、通信、智能控制等前沿技术的日新月异为高等教育的发展注入了新活力,也带来了新挑战。而随着中国工程教育正式加入《华盛顿协议》,高等学校工程教育和人才培养模式开始了新一轮的变革。高校教材,作为教学改革成果和教学经验的结晶,也必须与时俱进、开拓创新,在内容质量和出版质量上有新的突破。

教育部高等学校电气类专业教学指导委员会按照教育部的要求,致力于制定专业规范或教学质量标准,组织师资培训、教学研讨和信息交流等工作,并且重视与出版社合作编著、审核和推荐高水平的电气类专业课程教材,特别是“电机学”、“电力电子技术”、“电气工程基础”、“继电保护”、“供用电技术”等一系列电气类专业核心课程教材和重要专业课程教材。

因此,2014年教育部高等学校电气类专业教学指导委员会与中国电力出版社合作,成立了电气类专业工程教育创新课程研究与教材建设委员会,并在多轮委员会讨论后,确定了“十三五”普通高等教育本科规划教材(工程教育创新系列)的组织、编写和出版工作。这套教材主要适用于以教学为主的工程型院校及应用技术型院校电气类专业的师生,按照工程教育认证和国家质量标准的要求编排内容,参照电网、化工、石油、煤矿、设备制造等一般企业对毕业生素质的实际需求选材,围绕“实、新、精、宽、全”的主旨来编写,力图引起学生学习、探索的兴趣,帮助其建立起完整的工程理论体系,引导其使用工程理念思考,培养其解决复杂工程问题的能力。

优秀的专业教材是培养高质量人才的基本保证之一。此次教材的尝试是大胆和富有创造力的,参与讨论、编写和审阅的专家和老师们均贡献出了自己的聪明才智和经验知识,引入了“互联网+”时代的数字化出版新技术,也希望最终的呈现效果能令大家耳目一新,实现宜教易学。

胡敏强

教育部高等学校电气类专业教学指导委员会主任委员

2018年1月于南京师范大学

前言

本书根据高等工程教育人才培养的目标而编写,旨在促进工程教育的改革,培养创新型工程技术人才。

本书从实际应用的角度出发,特别强调学生工程实践能力和创新精神的培养。本书详细介绍了电气控制基础知识和应用技术,以三菱可编程控制器(PLC)工作原理在实践中的应用为基础,通过大量范例进行深入浅出的讲解,内容全面、语言简捷、通俗易懂,易入门、易上手、易操作、适应性强、使用方便。同时,本书还结合了维修电工技师和高级技师的培训和技能考核内容,可通过动手实践逐步提高实践技能。通过本书的学习,读者可以从易到难,循序渐进,更好地掌握三菱可编程控制器在各个生产领域中的应用。

本书由三江学院焦玉成任主编,并编写第1、3、4章部分内容;三江学院杜逸鸣编写第2、3、4、7章部分内容,东南大学黄石红和三菱电机上海有限公司徐行健编写第5章;南京正德职业技术学院杨洁编写第1、6章部分内容;南京技师学院项桂萍编写第8章;三江学院俞娟参与了第6章部分内容的编写;江苏城市职业技术学院王平参与第1、2章部分内容的编写;南京浩德公司丁宇编写第7章部分内容。

本书由南京工程学院郁汉琪教授主审,提出了很多建设性意见,在此致以衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了一些书刊内容,并引用了其中的一些资料,难以一一列举,在此一并向有关作者表示衷心的感谢。

限于编者水平,加之时间仓促,书中难免出现不妥与错误之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2017年12月

第4章 可编程控制器 PLC 入门	85
4.1 PLC 的结构与工作原理	85
4.2 PLC 分类与选型	90
4.3 PLC 常用逻辑指令系统	92
4.4 顺序功能图(SFC)	107
第5章 基于 PLC 的电气控制电路	110
5.1 基础编程案例	110
5.2 PLC 改造传统继电器-接触器控制电路	117
5.3 PLC 控制电路的设计与流程	122

目 录

人 门 篇

序	1
前言	1
第 1 章 安全用电与电工工艺	3
1.1 有关人体触电的知识	3
1.2 安全电压	5
1.3 触电原因及保护措施	7
1.4 常用工具与使用	11
第 2 章 常用低压电器	18
2.1 低压电器的基本知识	18
2.2 开关电器	19
2.3 接触器	26
2.4 继电器	33
2.5 主令电器	41
2.6 熔断器	43
第 3 章 电动机控制的基本电路	51
3.1 电气制图标准	51
3.2 启动控制电路	55
3.3 制动控制电路	68
3.4 其他控制电路	77
3.5 安装调试实例	79

基 础 篇

第 4 章 可编程控制器 PLC 入门	85
4.1 PLC 的结构与工作原理	85
4.2 PLC 分类与选型	90
4.3 PLC 常用逻辑指令系统	92
4.4 顺序功能图 (SFC)	107
第 5 章 基于 PLC 的电气控制电路	110
5.1 基础编程举例	110
5.2 PLC 改造传统继电器—接触器控制电路	117
5.3 PLC 控制电路的设计与编程	122

提 高 篇

第 6 章 变频器及基本应用	141
6.1 变频器的工作原理和结构	141
6.2 变频器的分类与特点	146
6.3 变频器应用操作	147
第 7 章 PLC 与变频器的综合应用实践	178
7.1 PLC 与变频器基础应用	178
7.2 综合应用	181
7.3 综合应用设计	194
第 8 章 电梯的电气控制与故障分析	202
8.1 电梯的机械和电气结构	202
8.2 电梯的电气控制电路	213
8.3 电梯故障分析与排除	221
附录 A 四层电梯 PLC 控制原理及接线	227
附录 B 编程软件 (GX-Works2)	229
参考文献	242

微课目录

微课 1 交流接触器工作原理与动作过程	30	微课 10 顺序控制电路动作过程	68
微课 2 热继电器结构与工作原理	37	微课 11 多地控制电路控制过程	79
微课 3 通电延时时间继电器工作原理	38	微课 12 继电器—接触器控制的星形—三角形 降压启动调试	82
微课 4 断电延时时间继电器工作原理	39	微课 13 PLC 控制运料小车程序仿真调试	126
微课 5 速度继电器工作原理	40	微课 14 PLC 控制上料爬斗程序仿真调试	129
微课 6 行程开关结构与工作原理	43	微课 15 多种液体自动混合程序仿真调试	134
微课 7 点动控制电路工作原理与动作过程	55	微课 16 机床控制程序仿真调试	137
微课 8 接触器自锁正转控制电路动作过程	56		
微课 9 正反转控制电路工作原理与动作过程	61		



扫一扫

重点难点
轻松掌握

温馨提示：免费购物码见封二。

扫码

输入免费
购物码

观看
资源

第1章 安全用电与电工工具

本章主要介绍安全用电常识与常用工具的选择及使用。

1.1 有关人体触电的知识

人体触电分为直接接触触电和间接接触触电。

(1) 直接接触触电。是指人体直接接触带电体或带电设备中带电的部分。如：人体直接接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体直接接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体直接接触带电体或带电设备中带电的部分。

(2) 间接接触触电。是指人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分。

(3) 跨步电压触电。是指人体两脚站在带电体或带电设备中带电的部分，或人体两脚站在带电体或带电设备中带电的部分，或人体两脚站在带电体或带电设备中带电的部分。

(4) 接触电压触电。是指人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分。

(5) 电弧烧伤。是指人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分，或人体接触带电体或带电设备中带电的部分。

1. 人体触电的方式

(1) 单相触电。这是常见的触电方式。当人体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流入地（或中性线）形成回路，这种触电称为单相触电，如图1-1所示。在接触电气线路了或设备时，若不采用防护措施，一旦电气线路或设备绝缘损坏漏电，将引起间接的单相触电，若站在地上，但接触带电体的裸露金属部分，将造成直接的单相触电。

(2) 两相触电。人体的不同部位同时接触到两相带电体而引起的触电称为两相触电，如图1-1所示。对于这种情况，无论电网中线路是否接地，人体所承受的线电压将比单相触电时高，危险性更大。

(3) 跨步电压触电。当电流入地时或或电力线（特别是高压线）断落触地时，会在导线落地点及周围形成电场，其电位分布以接地点为圆心的周圈扩散，在步距范围内不同位置形成电位差（电压），人、畜跨进这个区域，双脚之间将存在电压，

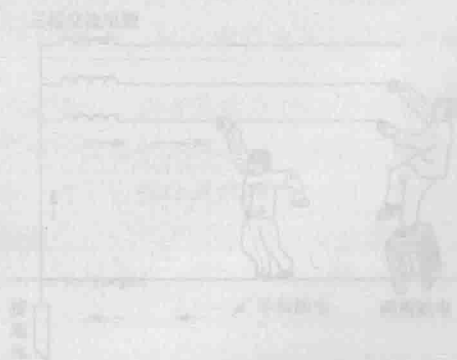


图1-1 单相触电示意图

第 1 章 安全用电与电工工艺

本章主要介绍安全用电常识与常用工具的选择及使用。

1.1 有关人体触电的知识

1.1.1 触电的种类和方式

1. 人体触电的种类

人体触电分电击和电伤两类。

(1) 电击。电击是指电流通过人体时所造成的内伤。它可使肌肉抽搐、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、血液循环中止而死亡。通常说的触电，多是指电击。触电死亡中绝大部分系电击造成。

(2) 电伤。电伤是在电流的热效应、化学效应、机械效应以及电流本身作用下造成的人体外伤。常见的有灼伤、烙伤和皮肤金属化等现象。

1) 灼伤是由电流的热效应引起，主要是指电弧灼伤，造成皮肤红肿、烧焦或皮下组织损伤；

2) 烙伤亦是由电流的热效应引起，是指皮肤被电气发热部分烫伤或由于人体与带电体紧密接触而留下肿块、硬块，使皮肤变色等；

3) 皮肤金属化是指由电流热效应和化学效应导致熔化的金属微粒渗入皮肤表层，使受伤部位皮肤带金属颜色且留下硬块。

2. 人体触电的方式

(1) 单相触电。这是常见的触电方式。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）相接，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。在接触电气线路（或设备）时，若不采用防护措施，一旦电气线路或设备绝缘损坏漏电，将引起间接的单相触电。若站在地上，误接触带电体的裸露金属部分，将造成直接的单相触电。

(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 1-1 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，危险性更大。

(3) 跨步电压触电。雷电流入地时或载流电力线（特别是高压线）断落触地时，会在导线接地点及周围形成强电场。其电位分布以接地点为圆心向周围扩散，逐步降低而在不同位置形成电位差（电压），人、畜跨进这个区域，两脚之间将存在电压，

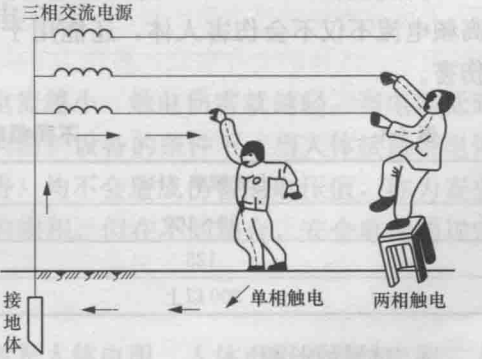


图 1-1 单相触电和两相触电

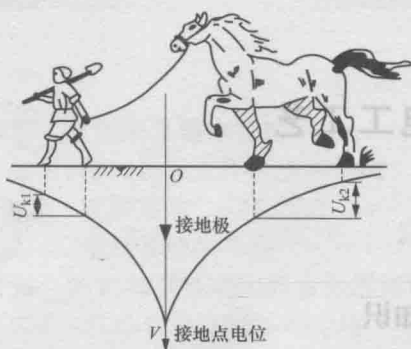


图 1-2 跨步电压触电

该电压称为跨步电压。在这种电压作用下，电流从接触高电位的脚流进，从接触低电位的脚流出，这就导致跨步电压触电，如图 1-2 所示。图中坐标原点表示带电体接地点，横坐标表示位置，纵坐标负方向表示电位分布， U_{k1} 为人两脚间的跨步电压， U_{k2} 为马两脚之间的跨步电压。

(4) 悬浮电路上的触电。220V 工频电压通过变压器相互隔离的一次侧、二次侧绕组后，从二次侧输出的电压中性线不接地，变压器绕组间不漏电时，即相对于大地处于悬浮状态。若人站在地上接触其中一根带电导线，不会构成电流回路，没有触电感觉。如果人体一部分接触二次侧绕组的一根导线，另一部分接触该绕组的另一根导线，则会造成触电。例如电子管收音机、电子管扩音机、部分彩色电视机，它们的金属底板是悬浮电路的公共接地点，在接触或检修这类电器的电路时，如果一只手接触电路的高电位点，另一只手接触低电位点，即用人体将电路连通而造成触电，便是悬浮电路触电。在检修这类电器时，一般要求单手操作，特别是电位比较高时更应如此。

1.1.2 影响电流伤害人体的因素

1. 电流的大小

人体对电流的反应非常敏感，触电时电流对人体的伤害程度与电流的大小有关。

触电时，流过人体的电流是造成损伤的直接因素。人们通过大量实验，证明流过人体的电流越大，对人体的损伤越严重。

2. 电压的高低

人体接触的电压越高，流过人体的电流就越大，对人体的伤害也就越严重。但在触电案例的分析统计中，70%以上的死亡者是在对地电压为 250V 低压下触电的。如以触电者人体电阻为 $1k\Omega$ 计，在 220V 电压作用下，通过人体的电流是 220mA，能迅速使人致死。对地 250V 以上的高压，危险性更大，但由于人们接触少，且对它警惕性较高，所以触高压电死亡案例约在 30% 以下。

3. 频率的高低

实践证明，40~60Hz 的交流电对人最危险，随着频率的增高，触电危险程度将下降，高频电流不仅不会伤害人体，还能用于治疗疾病。表 1-1 表明不同频率电流对人体的不同伤害。

表 1-1

不同频率的电流对人体的伤害

电流频率 (Hz)	对人体的伤害
50~100	有 45% 的死亡率
125	有 25% 的死亡率
200 以上	基本上消除了触电的危险

4. 时间的长短

技术上，常用触电电流与触电持续时间的乘积（称为电击能量）来衡量电流对人体的伤

害程度。触电电流越大，触电时间越长，则电击能量越大，对人体的伤害越严重。若电击能量超过 $150\text{mA} \cdot \text{s}$ ，触电者就有生命危险。

5. 电流通过的路径

电流通过头部可使人昏迷，通过脊髓可能导致肢体瘫痪，通过心脏可造成心跳停止、血液循环中断，通过呼吸系统会造成窒息。可见，电流通过心脏时，最容易导致死亡。

表 1-2 表明了电流在人体中流经不同路径时，通过心脏的电流占通过人体总电流的百分比。

表 1-2 电流通过不同的路径对人体的伤害	
电流通过人体的路径	通过心脏的电流占通过人体总电流的百分数 (%)
从一只手到另一只手	3.3
从右手到右脚	3.7
从右手到左脚	6.7
从一只脚到另一只脚	0.4

从表中可以看出，电流从右手到左脚危险性最大，同时可参见图 1-3。

6. 人体状况

人的性别、健康状况、精神状态等与触电伤害程度有着密切关系。女性比男性触电伤害程度约严重 30%，小孩与成人相比，触电伤害程度也要严重得多。体弱多病者比健康人容易受电流伤害。另外，人的精神状况，对接触电器有无思想准备，对电流反应的灵敏程度，都影响触电的伤害程度。醉酒、过度疲劳等都可能增加触电事故的发生次数并加重受电流伤害的程度。

7. 人体电阻的大小

人体电阻越大，受电流伤害越轻。通常人体电阻可按 $1\sim 2\text{k}\Omega$ 考虑，这个数值主要由皮肤表面的电阻值决定。如果皮肤表面角质层损伤、皮肤潮湿、流汗、带着导电粉尘等，将会大幅度降低人体电阻，增加触电伤害程度。



图 1-3 电流通过人体的路径

1.2 安全电压

触电时，人体所承受的电压越低，通过人体的电流越小，触电伤害就越轻。当电压低到某一定值以后，对人体就不会造成伤害。在不带任何防护设备的条件下，当人体接触带电体时对各部分组织（如皮肤、神经、心脏、呼吸器官等）均不会造成伤害的电压值，称为安全电压。它通常等于通过人体的允许电流与人体电阻的乘积，但在不同场合，安全电压的规定是不相同的。

1.2.1 人体电阻的电气参数

当电流通过人体时，也会遇到阻力，这个阻力就是人体电阻。人体电阻不是纯电阻，人体电阻主要由体内电阻、皮肤电阻和皮肤电容组成。皮肤电容很小，一般可以忽略不计。

体内电阻基本上不受外界因素的影响，其数值约为 500Ω 。皮肤电阻随着不同的条件在很大的范围内变化，使得人体电阻也在很大的范围内变化。皮肤表面 $0.05\sim0.2\text{mm}$ 厚的角质层的电阻高达 $10\sim100\text{k}\Omega$ 。但角质层不是一张完整的薄膜，而且很容易遭到破坏，计算人体电阻时不宜考虑在内。除去角质层，人体电阻一般不低于 $1\text{k}\Omega$ 。

不同条件下的人体电阻可按表 1-3 考虑。一般情况下，人体电阻可按 $1\sim3\text{k}\Omega$ 考虑。

表 1-3 不同条件下的人体电阻 (Ω)

接触电压 (V)	人体电阻			
	皮肤干燥 ^①	皮肤潮湿 ^②	皮肤湿润 ^③	皮肤浸入水中 ^④
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

- ① 干燥场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ② 潮湿场所的皮肤，电流途径为单手至双足。
- ③ 有水蒸气的等特别潮湿场所的皮肤，电流途径为双手至双足。
- ④ 游泳池或浴池中的情况，基本为体内电阻。

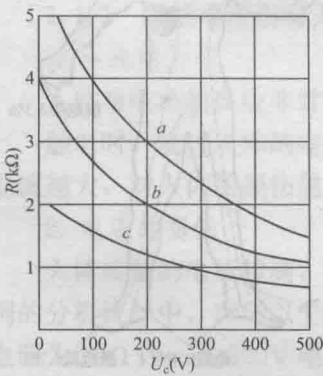


图 1-4 人体电阻与接触电压的关系

影响人体电阻的因素很多。除皮肤厚薄外，皮肤潮湿、多汗、有损伤、带有导电性粉尘等都会降低人体电阻，接触面积加大、接触压力增加也会降低人体电阻，通过人体的电流加大，通电时间加长，会增加发热出汗，也会降低人体电阻，接触电压增高会击穿角质层，并增强机体电解，也会降低人体电阻，包括体内电阻、皮肤电阻和皮肤电容。

人体电阻还与接触电压有关，接触电压升高，人体电阻将按非线性规律下降，如图 1-4 所示。图中，曲线 a 表示人体电阻的上限，曲线 c 表示人体电阻的下限，曲线 b 表示人体电阻的平均值， a 、 b 之间相应于干燥皮肤， b 、 c 之间相应于潮湿皮肤。

1.2.2 人体允许电流

人体允许电流是指发生触电后触电者能自行摆脱电源，解除触电危害的最大电流。在通常情况下，人体的允许电流，男性为 9mA ，女性为 6mA 。一般情况下，人体允许电流应按不引起强烈痉挛的 5mA 考虑。在设备和线路装有触电保护设施的条件下，人体允许电流可达 30mA 。在容器中，在高空、水面上等场所，可能因电击造成二次事故（再次触电、摔死、溺死），应尤为注意。

必须指出，这里所说的人体允许电流不是人体长时间能承受的电流。

1.2.3 安全电压值

我国有关标准规定， 12 、 24V 和 36V 三个电压等级为安全电压等级。不同场所选用的电压等级也不同。

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)并使用手提照明灯,应采用12V安全电压。

凡手提照明器具、在危险环境或特别危险环境的局部照明灯、高度不足2.5m的一般照明灯、携带式电动工具等,若无特殊的安全防护装置或安全措施,均应采用24V或36V安全电压。安全电压的规定是从总体上考虑的,对于某些特殊情况或某些人也不一定绝对安全。是否安全与人的当时状况,主要是人体电阻、触电时间长短、工作环境、人与带电体的接触面积和接触压力等都有关系。所以,即便在规定的安全电压下工作,也不可粗心大意。

1.3 触电原因及保护措施

本节首先分析触电的常见原因,从而提出几种预防措施。详细讨论保护接地、保护接零、家用电器的接零与接地和漏电保护装置的应用。

1.3.1 触电的常见原因

触电的场合不同,引起触电的原因也不同,下面根据在工农业生产、日常生活中所发生的不同触电事例,将常见触电原因归纳如下。

1. 线路架设不合格

室内外线路对地距离及导线之间的距离小于允许值;通信线、广播线与电力线间隔距离过近或同杆架设;线路绝缘破损;有的地区为节省电线而采用一线一地制送电等。

2. 电气操作制度不严格、不健全

带电操作时,不采取可靠的保护措施;不熟悉电路和电器而盲目修理;救护已触电的人时,自身不采取安全保护措施;停电检修时,不挂警告牌;检修电路和电器时,使用不合格的保护工具;人体与带电体过分接近而又无绝缘措施或屏护措施;在架空线上操作时,不在相线上加临时接地线(中性线);无可靠的防高空坠落措施等。

3. 用电设备不合要求

电器设备内部绝缘损坏,金属外壳又未加保护接地措施或保护接地线太短、接地电阻太大;开关设备、灯具、携带式电器绝缘外壳破损,失去防护作用;开关、熔断器误装在中性线上,一旦断开,就使整个线路带电。

4. 用电不谨慎

违反布线规程,在室内乱拉电线;随意加大熔断器熔丝规格;在电线上或电线附近晾晒衣物;在电杆上拴牲口;在电线(特别是高压线)附近打鸟、放风筝;未断电源移动家用电器;打扫卫生时,用水冲洗或用湿布擦拭带电电器或线路等。

1.3.2 接地与接零保护措施

电气设备漏电或击穿碰壳时,平时不带电的金属外壳、支架及其相连的金属部分就会呈现电压,人若触及这些意外带电部分,就会发生触电事故。为防止意外事故的发生,应采取保护措施。

在低压配电系统中采用的保护措施有两种。当低压配电系统变压器中性点不接地时,采用接地保护;当低压配电系统变压器中性点接地时,采用接零保护。

1. 保护接地

为防止触电事故而装设的接地,称为保护接地。如电气设备不带电的金属外壳、支架及相连的金属部分的接地就是保护接地。设备接地后将会起到保护作用。如图1-5(a)所示三

相电源，中性点不接地，如果接在这个电源上的电动机的外壳没接地而发生一相漏电或碰壳时，它的外壳就带有较高的对地电压，这时如果有人接触到电动机外壳，就有电流流过人体和大地，并经线路与大地之间的分布电容构成回路，这是很危险的。

如果电动机外壳接了地，由于人体电阻与接地电阻并联，而人体电阻又远大于接地电阻，大部分电流经接地装置流入大地，通过人体的电流就很小，保护了人的安全，如图 1-5 (b) 所示。保护接地仅适用于中性点不接地的电网，凡接在这个电网中的电气设备的金属外壳、支架及相连的金属部分均应接地。

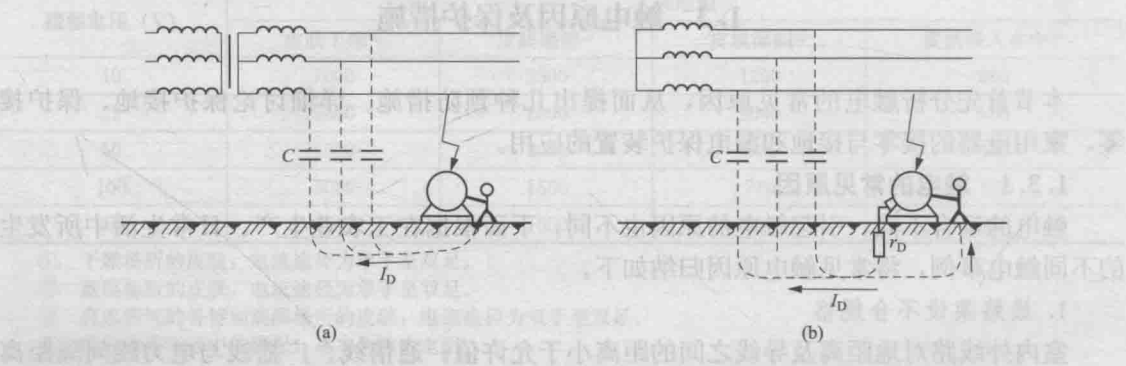


图 1-5 保护接地原理图
(a) 未保护接地；(b) 有保护接地

2. 保护接零

在中性点直接接地的三相四线制电网中，电气设备应采用保护接零（即保护接中性线）。将电气设备正常运行时，不带电的金属外壳与电网的中性线连接起来。当一相发生漏电或碰壳时，由于金属外壳与中性线相连，形成单相短路；当电流很大时，能使电路保护装置迅速动作，切断电源。这时，外壳不带电，保护了人身安全和电网其他部分的正常运行，如图 1-6 所示。

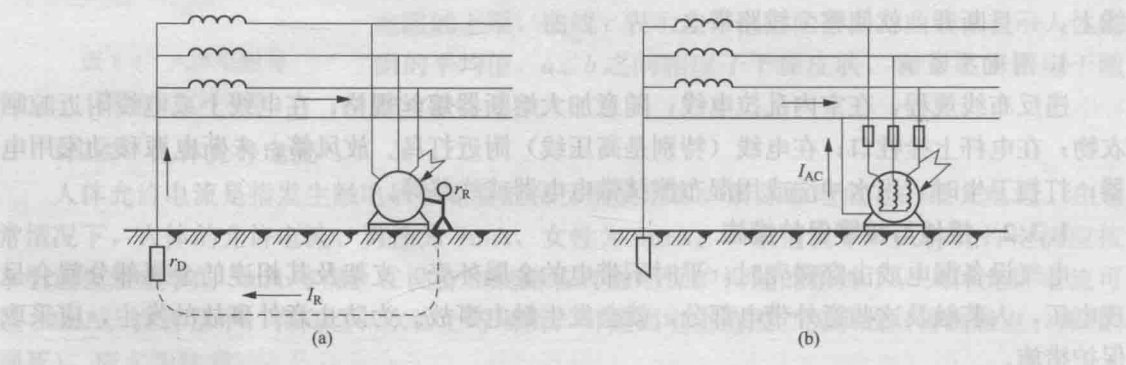


图 1-6 保护接零原理图
(a) 未保护接零；(b) 有保护接零

在采用保护接零时，电源中性线不允许断开，如果中性线断开，则保护失效。所以，在电源中性线上不允许安装开关和熔断器。在实际应用中，用户端常将电源中性线再重复接地，以防止中性线断线，如图 1-7 所示，重复接地电阻一般小于 10Ω 。

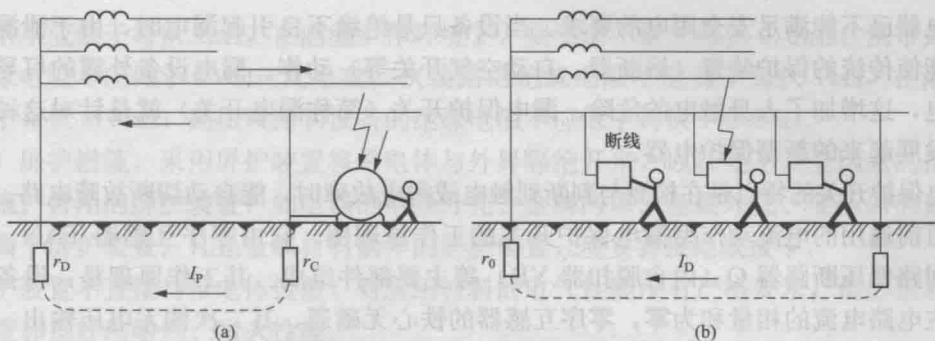


图 1-7 重复接地

(a) 设备零处加重复接地；(b) 有重复接地时中性线断线示意图

在中性点接地的电源上使用的电气设备，必须采用保护接零，而不能采用保护接地。如果将设备的金属外壳接地，如图 1-8 所示，一旦发生漏电或碰壳事故，通过短路相的熔丝电流 I_D 并不是很大，熔丝如果不动作，设备的外壳将出现 $U = U_{ph} r_C / (r_C + r_D)$ 这样的电压，如果 $r_0 = r_C$ ， $U_{ph} = 220V$ ， $U = 110V$ ，保护中性线对地的电压也为 110V。

也就是说，不仅这台设备的外壳带有危险的电压，而且使接在这个电网中的所有接零设备的外壳，全部带有危险的电压。

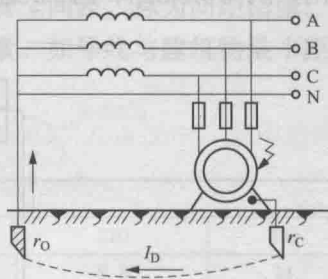


图 1-8 错误的接地保护

3. 家用电器的接零与接地

如果居民区供电变压器低压输出的三相四线电源中性点不接地，家用电器须采用保护接地作为保安措施。

如三相四线电源中性点接地，应采用保护接零。居民住宅一般是单相供电，即一根相线，一根中性线。家用电器多采用三脚插头和三眼插座。图 1-9 为三眼插座的接法，接三眼插座时，不准将插座上接电源中性线的孔与接地线的孔连接，如图 1-9 (a) 所示。三眼插座的正确接法，是将插座上接中性线的孔同接地的孔分别用导线并联到中性线上，如图 1-9 (c) 所示。

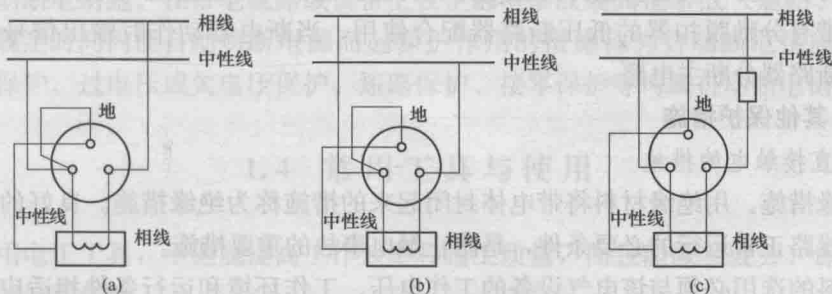


图 1-9 三眼插座的接法

(a) 中性线与接地线连接图；(b) 中性线与相线接反时连接图；(c) 正确接法

1.3.3 漏电保护装置

普通民用住宅的配电箱大多数采用熔断器作为保护装置。随着家用电器的日益增多，这

类保护电器已不能满足安全用电的要求。当设备只是绝缘不良引起漏电时,由于泄漏电流很小,不能使传统的保护装置(熔断器、自动空气开关等)动作。漏电设备外露的可导电部分长期带电,这增加了人身触电的危险。漏电保护开关(简称漏电开关)就是针对这种情况在近年来发展起来的新型保护电器。

漏电保护开关的特点是在检测与判断到触电或漏电故障时,能自动切断故障电路。图 1-10 所示为目前通用的电流动作型漏电保护开关的工作原理图。它由零序互感器 TAN、放大器 A 和主回路低压断路器 Q(内含脱扣器 YR)等主要部件组成。其工作原理是:设备正常运行时,主电路电流的相量和为零,零序互感器的铁心无磁通,其二次侧无电压输出。如设备发生漏电或单相接地故障时,由于主电路电流的相量和不再为零,零序互感器的铁心有零序磁通,其二次侧有电压输出,经放大器 A 判断、放大后,输入脱扣器 YR,令低压断路器 Q 跳闸,从而切除故障电路,避免人员发生触电事故。

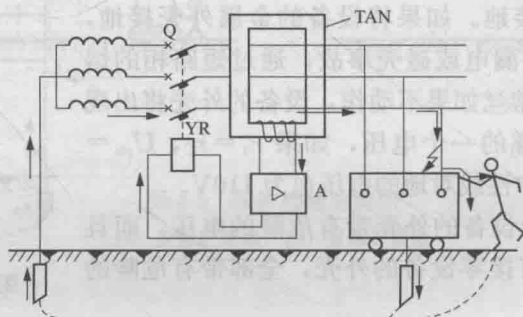


图 1-10 电流工作型漏电保护开关工作原理图

TAN—零序互感器; A—放大器;

YR—脱扣器; Q—低压断路器

按保护功能分,漏电保护开关有两种。一种是带过电流保护的,它除具备漏电保护功能外,还兼有过载和短路保护功能,使用这种开关,电路上一般不需再配用熔断器。另一种是不带过电流保护的,它在使用时还需配用相应的过电流保护装置(如熔断器)。

漏电保护继电器也是一种漏电保护装置,与漏电保护开关稍有不同,它只具有检测与判断漏电的能力,本身不具备直接开闭主电路的功能。它由零序互感器、放大器和控制触点组成。通常与带有分励脱扣器的低压断路器配合使用,当断电器动作时输出信号至低压断路器,由低压断路器分断主电路。

1.3.4 其他保护措施

1. 预防直接接触的措施

(1) 绝缘措施。用绝缘材料将带电体封闭起来的措施称为绝缘措施。良好的绝缘是保证电气设备和线路正常运行的必要条件,是防止触电事故的重要措施。

绝缘材料的选用必须与该电气设备的工作电压、工作环境和运行条件相适应,否则容易造成击穿。常用的电工绝缘材料有瓷、玻璃、云母、橡胶、木材、塑料、布、纸、矿物油等。其电阻率多在 $10^7 \Omega/\text{m}$ 以上。但应注意,有些绝缘材料如果受潮,会降低甚至丧失绝缘性能。绝缘材料的绝缘性能往往用绝缘电阻表示。不同的设备或电路对绝缘电阻的要求不同。新装或大修后的低压设备和线路的绝缘电阻不应低于 $0.5 \text{ M}\Omega$;运行中的线路和设备的