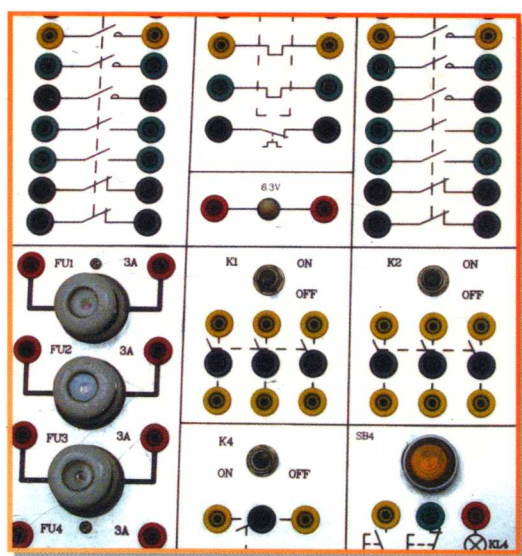


# 电工技术

陈跃安 刘艳云 主编  
 余会煊 侯玉杰 夏春风 副主编  
 吕景泉 主审



DIANGONGJISHU

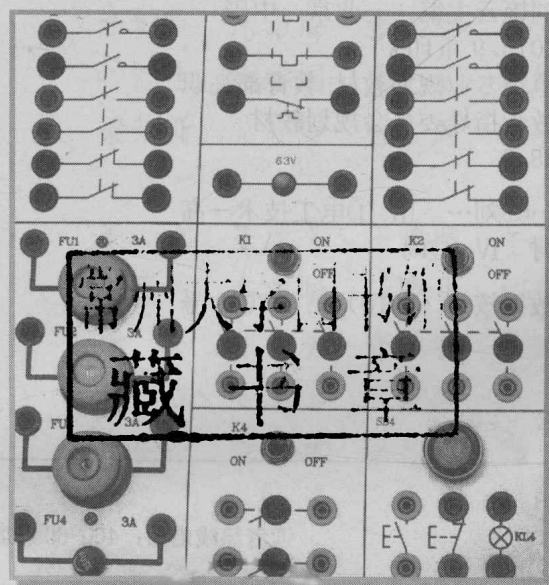
43  
 6  
 (846)

# 电工技术

陈跃安 刘艳云 主编

余会煊 侯玉杰 夏春风 副主编

吕景泉 主审



DIANGONGJISHU

## 内 容 简 介

本套教材为教育部高职高专自动化技术类专业教学指导委员会规划教材,共分三册,分别是《电工技术》、《电工技术习题指导》、《电工技术实训》,可供不同专业组合选用。例如,非电类工科专业选用前两册,电类专业则选用全套。本书为全套教材中的主教材——《电工技术》。

本书主要内容包括“安全用电与触电急救”、“直流电路安装与调试”、“照明电路的安装与测量”、“三相电路的安装与测量”、“常用低压电器的认识与选用”、“交流异步电动机的认识与选用”、“动力头控制线路安装与调试”等七个项目。

本书适合作为高等职业院校电气自动化技术、机电一体化技术等相关专业的基础教材,也可作为成人高校或广播电视大学、维修电工的自学教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工技术 / 陈跃安, 刘艳云主编. —北京: 中国铁道出版社, 2010. 8 (2013. 9 重印)

全国高职高专院校机电类专业规划教材. 教育部高职高专自动化技术类专业教学指导委员会规划教材

ISBN 978-7-113-11468-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 137078 号

书 名: 电工技术

作 者: 陈跃安 刘艳云 主编

策划编辑: 秦绪好 何红艳

责任编辑: 秦绪好

编辑助理: 陈 庆

封面设计: 付 巍

版式设计: 于 洋

读者热线电话: 400-668-0820

封面制作: 李 路

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市西城区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 化学工业出版社印刷厂

版 次: 2010年8月第1版 2013年9月第3次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.75 字数: 324千

印 数: 6 001~8 000册

书 号: ISBN 978-7-113-11468-8

定 价: 24.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

中国铁道出版社

# 全国高职高专院校机电类专业规划教材

## 编审委员会

主任：吕景泉

副主任：严晓舟 史丽萍

委员：（按姓氏笔画排序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王文义 | 刘建超 | 肖方晨 | 李向东 | 狄建雄 |
| 汪敏生 | 宋淑海 | 张耀  | 明立军 | 陈铁牛 |
| 钟江生 | 胡学同 | 凌艺春 | 秦绪好 | 钱逸秋 |
| 梁荣新 | 常晓玲 | 程周  | 谭有广 |     |
| 王立  | 王龙义 | 王建明 | 牛云陞 | 关健  |
| 朱凤芝 | 牟志华 | 汤晓华 | 刘薇娥 | 李文  |
| 李军  | 张文明 | 张永花 | 陆建国 | 陈丽  |
| 林嵩  | 金卫国 | 宝爱群 | 姚吉  | 姚永刚 |
| 祝瑞花 | 徐国林 | 秦益霖 | 韩丽  | 曾照香 |

随着我国高等职业教育改革的不断深入,我国高等职业教育的发展进入了一个新的阶段。教育部下发的《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》教高[2006]16号文件,旨在阐述社会发展对高素质技能型人才的需求,以及如何推进高职人才培养模式改革,提高人才培养质量。

教材的出版工作是整个高等职业院校教育教学工作中的重要组成部分,教材是课程内容和课程体系的载体,对课程改革和建设具有推动作用,所以提高课程教学水平和教学质量的关键在于出版高水平、高质量的教材。

出版面向高等职业教育的“以就业为导向,以能力为本位”的优质教材一直是中国铁道出版社的一项重要工作。我社本着“依靠专家、研究先行、服务为本、打造精品”的出版理念,于2007年成立了“中国铁道出版社高职机电类课程建设研究组”,并经过两年的充分调查研究,策划编写、出版了本系列教材。

本系列教材主要涵盖高职高专机电类的、专业基础课,以及电气自动化专业、机电一体化专业、生产过程自动化专业、数控技术专业、模具设计与制造专业、数控设备应用与维护专业等六个专业的专业课。本系列教材作者包括高职高专自动化教指委委员、国家级教学名师、国家级和省级精品课负责人、知名专家教授、职教专家、一线骨干教师。他们针对相关专业的课程,结合多年教学中的实践经验,同时吸取了高等职业教育改革的最新成果,因此无论教学理念的导向、教学标准的开发、教学体系的确立、教材内容的筛选、教材结构的设计,还是教材素材的选择都极具特色和先进性。

本系列教材的特点归纳如下:

(1) 围绕培养学生的职业技能这条主线设计教材的结构,理论联系实际,从应用的角度组织编写内容,突出实用性,并同时注意将新技术、新成果纳入教材。

(2) 根据机电类课程的特点,对基本理论和方法的讲述力求简单、易于理解,以缓解繁多的知识内容与偏少的学时之间的矛盾。同时,增加了相关技术在实际生产、生活中的应用实例,从而激发学生的学习热情。

(3) 将“问题引导式”、“案例式”、“任务驱动式”、“项目驱动式”等多种教学方法引入教材体例的设计中,融入启发式的教学方法,力求好教、好学、爱学。

(4) 注重立体化教材的建设。本系列教材通过主教材、配套光盘、电子教案等教学资源的有机结合,来提高教学服务水平。

总之,本系列教材在策划出版过程中得到了教育部高职高专自动化技术专业教学指导委员会以及广大专家的指导和帮助,在此表示深深的感谢。希望本系列丛书的出版能为我国高等职业院校教育改革起到良好的推动作用,欢迎使用本系列教材的老师和同学们提出宝贵的意见和建议。书中如有不妥之处,敬请批评指正。

中国铁道出版社

2010年8月

“电工技术”课程是自动化类专业的一门重要的技术基础课程。

在当下的高等职业教育教学改革中,以工作过程知识为课程内容,将理论知识与实践技能相

结合。高职教育改革进入了一个新阶段。

教学资源建设、“双师型”教师队伍建设和实践教学基地建设是办好高职教育、办出高职特色的三大基本建设,也是实现高职人才培养的重要保证。相对而言,教材建设是当前高职教育中最薄弱的环节。

教材改革是高等职业教育教学改革的核心,教育思想和职教理念、专业建设和课程体系、教学方法和学法的改革最终必须通过教学内容,即教材的改革才能落实。我国目前高职教材建设存在的主要问题是:

- (1) 缺乏适合现代高职教育特色的教材,更缺乏“精品”教材;
- (2) 教材内容交叉重复,脱离实际,针对性不强;
- (3) 教材内容、体系、结构陈旧;
- (4) 新教学技术、教学方法的体现不够;
- (5) 具有高职特色的实践教材严重缺乏。

高职教材建设应该依据的五原则:

- (1) 体现高职教育特色原则;
- (2) 体现现代教法与学法原则;
- (3) 体现理论与实践的紧密结合原则;
- (4) 体现编写形式创新原则;
- (5) 体现国际化原则。

2006年以来,教育部高职高专自动化技术类专业教学指导委员会相继成立了专业建设工作组和课程建设工作组,加强专业建设规范、教学标准、专业课程体系和课程教学内容的交流研讨,形成了相关建设成果。

本套教材是在此基础上,以陈跃安老师为团队牵头人,遴选了相关院校的专业带头人和骨干教师,充分利用积累的课程建设实践经验成果编撰成立体化教材。本套教材建设团队在教材建设“五项”原则方面进行了有益的探索,在引进行业、企业标准嵌入教学体系进行有机融合方面进行了探索,在建设数字化课程资源方面进行了探索,对于高等职业教育机电类专业平台类课程的教学改革和实施提供了很好的载体。

吕景泉

2010年7月

“电工技术”课程是自动化类专业的一门重要的技术基础课程。

在当下的高等职业教育教学改革中,以工作过程知识为课程内容,将理论知识与实践技能相结合的项目课程成为高职教育课程改革的一个亮点。项目课程改革亟需配套项目化教材及考核方案。以常州纺织服装职业技术学院(以下简称常州纺院)项目组为主体的老师们,与兄弟院校合作,通过课程整合,选取切实有效的载体,设置教学情景、引入拓展知识,将枯燥的电工技术理论知识融入到项目教学之中,历经数载,终于编写出了该套改革版教材。

该教材具有以下鲜明特色:

(1)突出行动特色。在编写体例上不再以传统的学科逻辑结构划分篇章,而是以项目的形式划分全书的结构,在项目标题特别是具体任务题目的叙述上采用行动性语言,突出行动特色。

(2)符合认知规律。在教材编写上体现“亲身体验+动脑设计+动手验证”这种经实践检验符合职教学生首选的教学形态,注重教学情景的设计以及理论、实践一体化,让学生边做边学、在兴趣中学习和探究。

(3)优化知识结构。通过项目小结,提炼知识重点;通过知识拓展,指明应用方向;通过习题指导,融合相关知识。从而较好地解决了项目化教材在编写中易造成的知识点分散、系统性差的缺陷。

(4)方便选材选项。教材采取组合式选材,读者可根据专业选择合适的教材组合模式。如非电类工科专业可选择《电工技术》+《电工技术习题指导》;电类专业可选择《电工技术》+《电工技术习题指导》+《电工技术实训》。而在内容上采取项目式,教师可根据教学计划及学生的生源素质按下页“学习指南”(项目任务、主要知识点、学习目标、学时分配)选取相关项目进行教学。本书在主编学校试用两届,效果良好。

(5)创新考核方案。教材提供了习题指导和试题库及标准答案,为实现教考分离和分项目考核提供了条件。考核内容紧密结合维修电工技能考工中的应知、应会内容,考核文档分别附在相关教材的书末,便于存档。这样既减轻了学生期末大考复习的压力,也减轻了学校期末考务工作负担,且考核方案中还增加了团队自选项目,可使学生充分施展创新能力和综合运用能力。

本书由常州纺院副教授、高级技师陈跃安,刘艳云担任主编,常州建东职业技术学院侯玉杰、苏州农业职业技术学院夏春风、常州铁道高等职业技术学校余会煊担任副主编,吕景泉担任主审。参加编写的还有常州工程职业技术学院朱正芳及常州纺院贺刚、陆卫良、陈贤、付华良、尹金花、金花、蒋建伟等教师。

衷心感谢教育部高职高专自动化技术专业教学指导委员会主任吕景泉教授、常州纺院教务处成丙炎处长及机电系张文明主任为本书提出指导意见。

由于编者水平有限,书中若有不当之处,敬请指正。

编者

2010年6月

学习指南

| 项目序号 | 项目名称          | 项目内容                             | 主要教学知识点                                                                            | 学习目标                                                                                                                                                     | 学时    | 备注          |
|------|---------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|
| 1    | 安全用电与触电急救     | 安全用电与触电急救的方法与技巧, 电工工具仪表的使用       | 1. 触电急救与电路保护<br>2. 安全用电与电气消防<br>3. 常用电工仪表的使用                                       | 1. 会进行触电急救<br>2. 能归纳出安全用电主要内容<br>3. 会识别与选用常用电工仪表<br>4. 会使用万用表                                                                                            | 4/6   | 少学时的仪表部分简讲  |
| 2    | 直流电路安装与调试     | 万用表的组装与调试、直流电路测量与分析              | 1. 组装与调试万用表<br>2. 安装、测量直流电路<br>3. 分析直流电路                                           | 1. 会组装及调试指针式万用表<br>2. 能看图连接电路并会测量电路电量<br>3. 能概述电路的组成及基本物理量<br>4. 识别电路中电源、电阻、电容、电感等元器件<br>5. 能说出基本元器件的特点<br>6. 会运用直流电路的分析方法及基本定律分析计算典型电路                  | 10/40 | 少学时的不组装万用表  |
| 3    | 照明电路的安装与测量    | 照明电路安装与调试, 单相交流电路测量、分析与应用        | 1. 安装照明电路<br>2. 测量荧光灯电路<br>3. 正弦交流电的相量表示<br>4. 正弦交流电路的分析方法<br>5. 交流电路的功率、功率因数及典型应用 | 1. 会安装照明电路<br>2. 会测量荧光灯电路中的电量<br>3. 能根据测量结果质疑、探究电路的基本定律在交流电路中的表现形式<br>4. 知道正弦电量可用相量表示和运算<br>5. 熟记纯电阻、电感、电容的电压与电流的相位关系, 会运用相量图分析交流电路<br>6. 知道提高功率因数的实际意义  | 8/14  | 少学时的不安装照明电路 |
| 4    | 三相电路的安装与测量    | 电力系统与三相电路, 三相灯组负载电路的安装、测量及分析     | 1. 认识三相电路<br>2. 安装调试与测量灯组负载<br>3. 三相电源与三相负载<br>4. 对称与不对称三相电路<br>5. 三相电路的分析计算       | 1. 能概述电力系统, 知道三相交流电优越性<br>2. 会安装、测量由灯泡组接的三相电路<br>3. 能区别三相对称电源与三相对称负载<br>4. 知道三相不对称负载电路中性线作用<br>5. 能归纳对称负载作不同连接方式的相、线电压关系, 相、线电流关系<br>6. 会计算三相电路的功率       | 4/6   | 少学时的不参观配电房  |
| 5    | 常用低压电器的认识与选用  | 绕制小型变压器或拆装接触器、学习电磁基本知识, 认识常用低压电器 | 1. 绕制小型变压器或拆装交流接触器<br>2. 了解电磁系统的作用<br>3. 学习电磁感应及其应用<br>4. 学习常用的低压电器                | 1. 知道变压器是如何绕制的<br>2. 会拆装交流接触器, 说出各部件名称<br>3. 能解释接触器衔铁动作的原因<br>4. 能概述磁路及铁磁材料的特性<br>5. 能列举电磁感应的典型应用<br>6. 知道变压器能变压、变流、变阻抗<br>7. 会选用常用的低压电器, 并能用图形及文字符号正确表示 | 6/14  | 少学时的不绕制变压器  |
| 6    | 交流异步电动机的认识与选用 | 三相异步电动机的拆装、电动机认识实验, 学习电动机的基本知识   | 1. 三相异步电动机的拆装<br>2. 电动机电气测量<br>3. 三相异步电动机工作特性及启动、调速和制动方法<br>4. 三相异步电动机的选用          | 1. 能辨认三相笼型和绕线式异步电动机<br>2. 能判断电动机定子三相绕组的首末端<br>3. 能解释三相异步电动机旋转磁场的形成及其与转速、转向的关系<br>4. 能理解三相异步电动机的机械特性曲线及特点<br>5. 能说出铭牌上各参数的含义<br>6. 会选择电动机                 | 6/14  | 少学时的不拆装电动机  |

| 项目序号                               | 项目名称         | 项目内容                      | 主要教学知识点                                                                                  | 学习目标                                                                                                                                                    | 学时     | 备注      |
|------------------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|
| 7                                  | 动力头控制线路安装与调试 | 学习电动机基本控制方法,动力头电气线路的安装与调试 | 1. 三相异步电动机点动、长动、点动兼长动、异地起停控制<br>2. 三相异步电动机正反转控制、自动往返控制<br>3. 顺序控制,时间控制<br>4. 电路板前明线安装与调试 | 1. 知道对电动机的控制实质是对接触器的控制<br>2. 能说出电动机控制电路中失压保护的意义和方法<br>3. 能辨认出短路保护、失压保护、过载保护及互锁保护的元器件,并概述其工作原理<br>4. 知道典型控制电路的设计思想<br>5. 知道电路原理图的绘制原则<br>6. 会按工艺要求正确安装电路 | 6/28   | 少学时的不安装 |
| 项目汇报(以小组为单位结合本专业完成一个实际应用项目并进行汇报展示) |              |                           |                                                                                          |                                                                                                                                                         | 2      |         |
| 合计                                 |              |                           |                                                                                          |                                                                                                                                                         | 46/124 |         |

注:1. 以上课时分配仅供参考,任课教师可根据生源、专业等情况进行适当调整。

2. 少学时的相关内容可作为选修课。

# 目 录

## CONTENTS

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>项目一 安全用电与触电急救 .....</b>     | <b>1</b>   |
| 任务 1 触电急救与电路保护 .....           | 1          |
| 任务 2 安全用电与电气消防 .....           | 9          |
| 任务 3 认识常用工具和仪表 .....           | 16         |
| 小结 .....                       | 28         |
| <b>项目二 直流电路安装与调试 .....</b>     | <b>29</b>  |
| 任务 1 组装调试万用表 .....             | 29         |
| 任务 2 安装、测量直流电路 .....           | 42         |
| 任务 3 分析直流电路 .....              | 61         |
| 小结 .....                       | 75         |
| <b>项目三 照明电路的安装与测量 .....</b>    | <b>78</b>  |
| 任务 1 安装照明电路 .....              | 78         |
| 任务 2 测量荧光灯电路 .....             | 83         |
| 任务 3 分析交流电路 .....              | 85         |
| 小结 .....                       | 100        |
| <b>项目四 三相电路的安装与测量 .....</b>    | <b>103</b> |
| 任务 1 认识三相电路 .....              | 103        |
| 任务 2 分析三相电路 .....              | 109        |
| 小结 .....                       | 117        |
| <b>项目五 常用低压电器的认识与选用 .....</b>  | <b>118</b> |
| 任务 1 绕制小型变压器 .....             | 118        |
| 任务 2 认识常用低压电器 .....            | 130        |
| 小结 .....                       | 144        |
| <b>项目六 交流异步电动机的认识与选用 .....</b> | <b>146</b> |
| 任务 1 拆装三相异步电动机 .....           | 146        |
| 任务 2 测量三相异步电动机直接起动电路 .....     | 151        |
| 小结 .....                       | 167        |
| <b>项目七 动力头控制线路安装与调试 .....</b>  | <b>168</b> |
| 任务 1 实践三相异步电动机的基本控制 .....      | 168        |
| 任务 2 动力头控制线路安装与调试 .....        | 174        |
| 小结 .....                       | 185        |

|      |             |     |
|------|-------------|-----|
| 附录 A | 电气图形符号及文字符号 | 186 |
| 附录 B | 常见非正弦波形及表达式 | 188 |
| 项目考核 |             | 189 |
| 参考文献 |             | 208 |

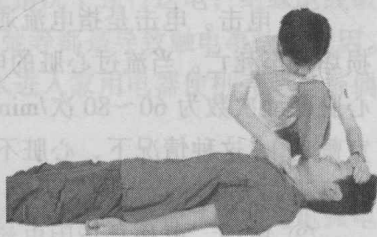
# 项目一

## 安全用电与触电急救

### 任务1 触电急救与电路保护

#### 任务导入

在科学技术蓬勃发展的今天,电能已经成为经济建设和日常生活中不可缺少的能源,但是在使用电的过程中必须注意安全。为了防止和减少触电事故,用电部门采取了许多安全措施,然而,无论措施如何完善都不能从根本上杜绝触电事故的发生。本任务将通过多媒体方式演示常见的触电形式及其相应的急救、预防措施。



#### 学习目标

- 概述触电及其对人体的危害。
- 了解触电的主要原因。
- 能列举常见的触电事故。
- 掌握触电急救措施。
- 能区分保护接地与保护接零。

#### 任务情境

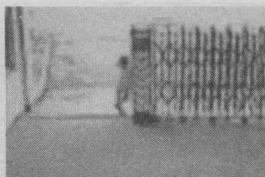
本任务的教学建议在具有网络资源及具有三相五线制电源的实训室进行,实训室应配有棕垫、人体模型、木棒、电话机、绝缘手套、绝缘靴、秒表、消毒酒精、药棉、钢丝钳、导线、电器柜、灭火器、万用表等。对触电急救的教学宜采用视频教学模式,可从互联网上下载与安全用电及触电急救相关的视频。教师在实训平台上现场演示用万用表测试动力电及照明电。

#### 相关知识

##### 1. 触电

观看触电事故视频,学习触电知识。

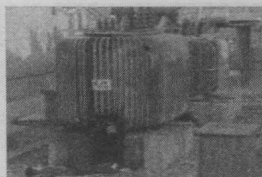
图 1-1-1 所示为一组触电事故案例。



(a)某女孩在玩电动伸缩门时手触及绝缘破损的电缆,且蹦跳时将塑料凉鞋甩掉,发生触电事故



(b)某女孩光脚在浴室里,因手触摸地线漏电而带电的喷淋头发生触电事故(小区未装任何漏电保护器)



(c)某男孩因靠近高压电源而触电



(d)某先生因触摸到漏电的开关而触电(鞋子的绝缘性能不好且未装漏电保护器)

图 1-1-1 触电事故案例

### (1) 触电的危害

当人体触及带电体、带电体与人体之间闪击放电、电弧波及人体时,电流通过人体进入大地或其他导体形成导电回路,这种情况就叫触电。人体触电时,电流会对人体造成两种伤害:电击和电伤。

① 电击。电击是指电流通过人体,影响人体呼吸、心脏和神经系统,造成人体内部组织损坏甚至死亡。当流过心脏的电流超过 50mA 时,人体就会有致命危险。这是因为正常的人体心脏跳动次数为 60~80 次/min。由于电流对心脏的刺激,使心脏跳动达 300~400 次/min(心室颤动),这种情况下,心脏不可能正常供血,从而造成大脑缺氧,若缺氧超过 3~5min 时,容易引起人体死亡。

② 电伤。电伤是指因电流的热效应造成皮肤的烫伤、灼伤,这种伤害严重时也可能造成死亡。

电击和电伤可能同时发生,常见的例如高压触电事故。调查表明,绝大部分触电事故是电击造成的。

### (2) 触电的主要原因

#### ① 违章操作:

- 不遵守安全工作制度。如工作人员在检修用电设备时,违反规程,不办理工作票、操作票,擅自拉合刀开关;在没有确认现场情况下,用电话通知、约时停送电;在工作现场和配电室不验电、不装设接地线、不挂标示牌等。
- 违章救护触电人员,造成救护者一起触电。
- 对有高压电容的线路检修时未进行放电处理导致触电。
- 带电移动电气设备。

#### ② 施工不规范:

- 导线间的交叉跨越距离不符合规范要求;电力线路与弱电线路同杆架设;导线与建筑物的水平或垂直距离不够;拉线不加装绝缘子等。
- 施工中未对电气设备进行接地保护处理或用电设备的接地不良造成漏电。
- 电灯开关未控制火线。
- 误将电源保护接地与零线相接,且插座相线、零线位置接反使机壳带电。
- 插头接线不合理,造成电源线外露,导致触电。
- 照明电路的中线接触不良或在中性线上安装保险,造成中性线断开,导致家电损坏。
- 随意加大熔断器(保险丝)的规格,使熔断器失去短路保护作用。

### ③ 产品质量不合格:

- 电气设备缺少保护设施造成电器在正常情况下损坏和维修人员触电。
- 带电作业时,使用不合格的工具或绝缘设施造成维修人员触电。
- 产品使用劣质材料,使绝缘等级、抗老化能力很低造成触电。
- 生产工艺粗制滥造造成漏电。
- 电热器具使用塑料电源线。

### ④ 缺乏安全用电意识:

- 在线路下盖房、打井。
- 在电线上晾晒衣服。
- 用电捕鱼。
- 带电维修开关、安装灯泡等。
- 用水冲洗或用湿布擦拭电气设备。

⑤ 对电气设备维护不及时,故障运行。如触电保护器失灵情况下强行送电;绝缘电线破损露芯;电机受潮,绝缘能力降低,致使机壳带电;导线老化松弛等都是导致触电事故的诱因。

⑥ 偶然因素。狂风吹断树枝将电线砸断使行人触电;雨水进入家用电器使机壳漏电等偶然事件均会造成触电事故。

### (3) 常见的触电事故

触电事故有多种,多数是由于人体直接接触带电体、发生故障的电气设备,或者是电弧电压、跨步电压触电。

① 人体直接接触带电体。当人体在地面或其他接地导体上,身体的某一部位触及三相导线的任何一相引起的触电称为单相触电,如图 1-1-2 (a)、(b) 所示。单相触电对人体的危害与电压高低、电网中性点接地方式等有关。单相触电事故的次数占总触电事故次数的 95% 以上。除了单相触电外,还有两相触电,指人体两个部位同时接触不同相的带电体而引起的触电事故,如图 1-1-2 (c) 所示。



图 1-1-2 直接接触带电体触电

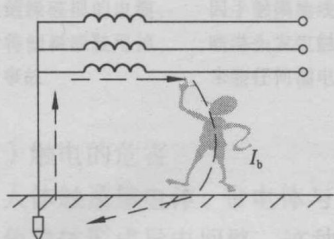
对于电源中性点接地的单相触电,这时人体处于相电压下,危险较大。通过人体电流如图 1-1-3 (a) 所示,其值

$$I_b = \frac{U_p}{R_0 + R_p} = 219\text{mA} > 50\text{mA}$$

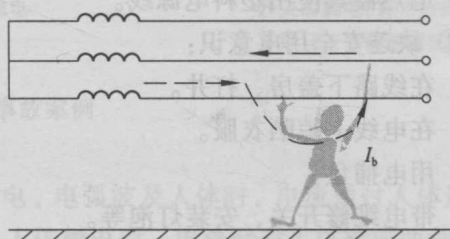
式中:  $U_p$  为电源相电压 (220V),  $R_o$  为接地电阻 ( $\leq 4\Omega$ ),  $R_p$  为人体电阻 ( $1000\Omega$ )

对于双相触电, 这时人体处于线电压下 ( $U_L=380V$ ), 危险更大。通过人体电流如图 1-1-3 (b) 所示, 其值

$$I_b = \frac{U_L}{R_p} = \frac{380}{1000} = 380\text{mA}$$



(a) 对电源中性点接地的单相触电



(b) 双相触电

图 1-1-3 触电分析

② 人体接触发生故障的电气设备。在正常情况下, 电气设备的外壳是不带电的。但当电气设备发生故障或绝缘破损时, 人体接触因漏电而带电的外壳时, 就会发生触电危险, 触电情况和直接接触带电体一样。大部分触电事故属于这一类间接触电事故。

③ 电弧电压触电。当人体与带电体的距离过小时, 虽然未与带电体相接触, 但由于空气的绝缘强度小于电场强度而被击穿, 亦可能发生触电事故, 图 1-1-4 (a) 所示为一只狗熊在攀爬高压电线杆时发生电弧触电的照片。因此, 电气安全规程中, 对不同电压等级的电气设备, 都规定了最小允许安全间距。

④ 跨步电压触电。由于外力 (如雷电、大风) 破坏等原因, 电气设备、避雷针的接地点, 或者断落电线断头着地点附近, 会有大量的扩散电流流向大地, 使周围地面上分布着不同电位。当人的脚与脚之间同时踩在地表面不同电位的两点时, 会引起跨步电压触电, 如图 1-1-4 (b) 所示。一般在电线落地点 20m 之外, 跨步电压就降为零。如果误入接地点附近, 应双脚并拢或单脚跳出危险区。



(a) 电弧电压触电



(b) 跨步电压触电

图 1-1-4 电弧电压与跨步电压触电

#### (4) 决定触电者所受伤害程度的因素

调查表明, 触电伤害程度的主要因素是流过人体电流的大小、途径、持续时间等, 次要因素有电流频率、触电者的年龄、体形、健康状况等。

① 流过人体的电流大小, 以毫安 (mA) 计量。它决定于外加电压以及电流流入和流出身体两点间的人体阻抗。流过身体的电流越大, 人体的生理反映越强烈, 对人体伤害越大。人体

允许的安全工频电流值为 30mA，危险工频电流（致命电流）值为 50mA。

② 电流流经心脏会导致触电者神经失常、心跳停止、血液循环中断，危险性最大。其中，电流从右手流到左脚是最危险的，从一只脚到另一只脚危险性较小。电流纵向通过人体比横向通过人体时更易发生心室颤动，危险性更大。

③ 电流通过人体的持续时间，以毫秒（ms）计量。人体通电时间越长，人体电阻值因出汗等原因而下降，导致电流增大，后果严重。

④ 电流的频率。在同样电压下，交流比直流更为危险，实验证明频率为 25~300Hz 的交流电最易引起人体心室颤动，因此工频（50Hz）对人体的伤害很大。医学实验证明，高频电流不仅没有危害还可以用于医疗保健等。表 1-1-1 列出了人体对电流的反应实验数据。

表 1-1-1 人体对电流的反应

| 通过人体电流的性质  | 直流(mA) |     | 交流 50Hz(mA) |      | 交流 10kHz(mA) |    |
|------------|--------|-----|-------------|------|--------------|----|
| 性别         | 男      | 女   | 男           | 女    | 男            | 女  |
| 有感觉，不太痛苦   | 5.2    | 3.5 | 1.1         | 0.6  | 12           | 8  |
| 有痛苦感觉      | 62     | 41  | 9           | 6    | 55           | 8  |
| 痛苦难忍，肌肉不自由 | 74     | 50  | 16          | 10.5 | 75           | 50 |
| 呼吸困难，肌肉收缩  | 90     | 60  | 23          | 15   | 94           | 63 |

⑤ 电击电流取决于人体电阻和电压（ $I=U/R_p$ ）。

- 人体电阻越小通过人体的电流越大。人体电阻因人而异，正常情况下人体电阻阻值根据皮肤的潮湿情况处于 1000~3000Ω 之间。当人体角质外层破坏时，人体电阻则会明显降低。一般情况下，女性和小孩的人体电阻比成年男子低。
- 触电电压越高，通过人体的电流越大。安全电压 50V 的限值就是根据人体电阻为 1700Ω、安全电流为 30mA 计算出来的。用户应根据作业场所、操作员条件、使用方式、供电方式、线路状况等因素选用。通常把 36 V 以下的电压定为安全电压。工厂机床照明一般采用 24V 电压供电。

## 2. 触电急救

观看触电急救视频，学习触电急救知识。

① 触电后应采取的措施。实验研究和统计表明，如果从触电后 1min 内开始抢救，有 90% 概率救活触电者；如果从触电后 6min 开始抢救，则仅有 10% 的概率；从触电后 12min 开始抢救，则救活触电者的可能性极小。因此当发现有人触电时，应争分夺秒，牢记“迅速、就地、正确、坚持”八字方针。

发生触电事故时，在保证救护者本身安全的同时，必须首先设法使触电者迅速脱离电源。常用方法是：拉、切、挑、拽、垫。

- 拉开闸盒（而不是开关，因为有的开关安装不规范，接在零线上）。
- 用绝缘利器如电工钳或带绝缘手柄的刀具切断电线（注意要一根一根剪，防止短路）。
- 用绝缘木杆、竹竿等挑开电源线。
- 利用干燥的围巾、毛毯等拽出触电者（注意不要拉鞋）。
- 用木板垫在触电者身下。

迅速对伤害情况做出简单诊断，观察触电者是否存在呼吸，颈部或腹股沟处的大动脉有没

有搏动,瞳孔是否放大,一般可按下述情况处理:

- 病人神态清醒,但有乏力、头昏、心慌、出冷汗、恶心、呕吐等症状,应使病人就地安静休息。症状严重的,应送至医院检查治疗。
- 病人心跳尚存,但神志昏迷,应将病人抬至空气流通处,注意保暖,做好人工呼吸和心脏挤压的准备工作,并立即通知医疗部门或用担架送触电者前往医院抢救。
- 如果病人处于“假死”状态(一般瞳孔放大至 8~10mm 才为真死),应立即对其实施人工呼吸或者心脏挤压或者两种方法同时采用,并迅速拨打 120 急救电话。应特别注意,急救要尽早地进行,不能等待医生的到来,在送往医院的途中,也不能停止急救工作。

② 正确实施口对口人工呼吸救治。口对口人工呼吸是人工呼吸法中最有效的一种,在实施前,应迅速将触电者身上妨碍呼吸的衣领、上衣、裙带等解开,检查触电者的口腔,清理口腔的粘液,如有假牙,则取下。然后使触电者仰卧,头部充分后仰,使鼻孔朝上,如图 1-1-5 所示。

具体操作步骤如下:

- 一手捏紧触电者鼻孔,另一手将其下颌拉向前下方(或托住其颈后),救护人深吸一口气后紧贴触电者的口向内吹气,同时观察胸部是否隆起,以确保吹气有效,持续约 2s。
- 吹气完毕,立即离开触电者的口,并放松捏紧的鼻子,让他自动呼气,注意胸部的复原情况,持续约 3s。

按照上述步骤连续不断地进行操作,直到触电者开始呼吸为止。

触电者如是儿童,只可小口吹气(或不捏紧鼻子,任其自然漏气,以免肺泡破裂;如发现触电者胃部充气膨胀,可一面用手轻轻加压于其上腹部,一面继续吹气和换气,如无法使触电者的嘴张开,可改为口对鼻人工呼吸。

③ 正确实施胸外心脏挤压法进行急救。胸外心脏挤压法是触电者心脏停止跳动后采用的急救方法,其目的是强迫心脏恢复自主跳动。实施胸外心脏挤压法时,应使触电者平躺在坚实、平整、稳固的地方,并保持触电者呼吸道畅通(具体要求同口对口人工呼吸法),抢救者位于触电者一侧。

具体操作步骤如下:

- 救护者用一只手的中指和食指,沿触电者肋弓下缘上滑至两肋弓与胸骨的交界处,把中指横放在交界下,食指放胸骨下端,另一手掌根紧挨着放在胸骨上,然后将第一支手移开叠放在另一只手的手背上,两手掌必须平行,不能十字交叉。两手掌的手指必须上翘,以防压伤胸骨。
- 按压时,救护人稍弯腰,向前倾,双肩位于双手正上方,掌根用力向下压,产生一定的冲击力(而不是缓慢用力),使胸骨下段与相连的肋骨下陷 3~4cm,从而压迫心脏使心脏内血液搏动。如触电者是儿童,可以用一只手挤压,用力要轻一些,以免损伤胸骨,如图 1-1-6 所示。



图 1-1-5 人工呼吸



图 1-1-6 胸外心脏挤压