

新世纪电气及自动化类实践系列教材

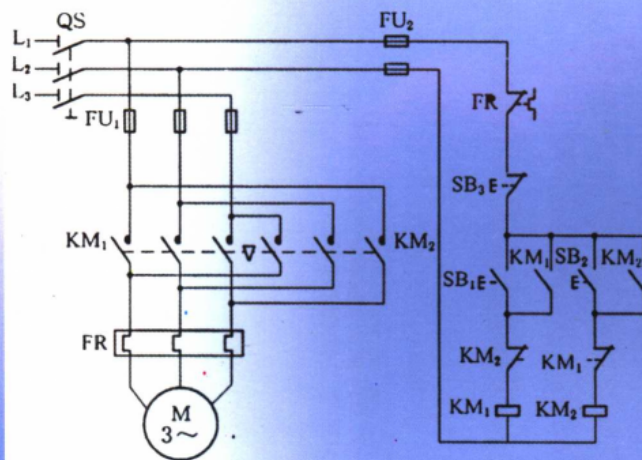
DIANQIKONGZHI

XINSHIJIDIANQIJIZIDONGHUALEI
SHIJIANXILIEJIAOCAI

电气控制实训教程

DIANQIKONGZHISHIXUNJIAOCHENG

◎ 主编 / 杜逸鸣 王 平



东南大学出版社
Southeast University Press

XINSHIJIDIANQI
JIZIDONGHUALEISHIJIANXILIEJIAOCAI

新世纪电气及自动
化类实践系列教材

DIAN QI KONG ZHI SHI XUN JIAO CHENG

电 气 控 制 实 训 教 程

电子技术实践

模拟电子技术实践

数字电子技术实践

电力电子技术实践

电机控制实践教程

电机实验教程

自控原理实践——MATLAB仿真

PLC应用实践

单片机应用实践

传感与检测实践教程

◆ 电气控制实训教程

电力工程课程设计指导书

责任编辑：施 恩 朱 珉

封面设计：余小莉

ISBN 7-5641-0595-X



9 787564 105952 >

ISBN 7-5641-0595-X

TM·6 定价：32.00元

新世纪电气及自动化类实践系列教材

电气控制实训教程

主编 杜逸鸣 王 平

参编 杨 栋 陈海霞

焦玉成 王 欣

东南大学出版社

内 容 提 要

本书从传统的低压电气组成的典型控制线路的设计、安装入手,从易到难,循序渐进,引入现代电气控制系统,且重点突出,层次分明,重实践性,便于自学。全书共分为8章,第1章介绍电工用电常识;第2章介绍电工工艺;第3章介绍常用低压电器、常见故障诊断及维修;第4章详细地讲解电动机控制课程设计内容,从电气图的绘制、控制线路的设计到安装调试,并详细地介绍了控制线路的故障检测方法;第5章介绍常用的F1系列PLC和西门子S7-200PLC的应用及其实例;第6章介绍EWB软件及仿真;第7章主要介绍了一些新技术的应用;第8章给出综合测试与考核题库。

本书可作为本科院校及高职、高专“电气工程及其自动化”、“工业自动化”和“机电一体化”等专业的电动机控制课程设计及实训教程,也可作为工程技术人员、中高级维修电工和技师培训教材和参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制实训教程/杜逸鸣,王平主编. —南京:东南大学出版社, 2006. 11

(新世纪电气及自动化类实践系列教材)

ISBN 7-5641-0595-X

I. 电... II. ①杜... ②王... III. 电气控制—高等学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126694 号

东南大学出版社出版发行

(南京市四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 溧阳市晨明印刷有限公司印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:20.5 字数:512千字

2006年11月第1版 2006年11月第1次印刷

印数:1—4000册 定价:32.00元

(凡因印装质量问题,可直接向读者服务部调换。电话:025-83792328)

新世纪电气及自动化类实践 系列教材编委会

主 任 三江学院 周泽存

副 主 任 苏州大学 张茂青

江苏大学 赵德安

扬州大学 陈 虹

南京工业大学 马小军

常州工学院 张立臣

盐城工学院 陈 荣

徐州师范大学 张彩荣

泰州科技学院 陆汉栋

成贤学院 计有为

三江学院 王 尧

执行编委 施 恩 朱 珉

编 委(按姓氏笔画排列)

马小军 王 尧 王其生 车长宝 计有为

许必熙 孙宇新 孙宪君 杜逸鸣 杨建宁

杨 栋 张立臣 张茂青 张俊芳 张家海

张彩荣 张植保 陆汉栋 陈劲操 陈 荣

陈 虹 罗慧芳 周泽存 周淑阁 赵德安

胡国文 都洪基 钱显毅 郭建江 谢秉正

前 言

《电气控制实训教程》是配合电气工程并满足维修电工技能鉴定的培训的参考教程及其自动化、工业自动化和机电一体化等专业基础课的实践性教学环节,由三江学院杜逸鸣、王平、杨栋、陈海霞等教师编著。

众所周知,理论知识是一种认知知识,而实践知识是一种理论知识在技能中的体现。理论知识是重要的,它能指导实践,为社会的科学进步创造出巨大财富。但是,理论一旦离开了实践,那将是空洞的理论,没有丝毫的实际价值。只有将认知理论与操作技能实践相结合,才能更好地丰富理论知识,发展理论知识,所以理论知识与实践知识两者是相辅相成的,既相互独立又紧密关联,缺一不可。

工科院校和职业技术学院等担负着培养工程技术人员的重要任务,学生毕业后要从事各项科学研究和各种工程技术工作,这就要求他们不仅应具有深厚扎实的理论基础,同时应具备较强的动手能力和技能素养,以及严谨求实的作风。因此,工科院校必须重视加强实践教学,注重应用型人才的培养。

电气控制的目的是为了强化学生的实践能力与设计能力、拓宽其知识面和适应社会需求。通过该课程的学习,要求学生达到对电气设备的安装、维护及故障检测等方面所具备的必备知识和必要的操作技能,并掌握控制电路的基本知识,了解常用低压电器的基本性能及培养布线操作技能。在此基础上应循序渐进,由浅入深逐步掌握现代电气控制技术。

此外,本书部分章节的编写参考了有关资料(详见参考文献),在此,我们对参考文献部分中引用书的作者一并表示衷心的感谢。由于编写时间仓促及编者的学识水平和编写经验不足,本书难免有缺点和错误之处,恳请读者积极提出批评和改进意见,以便在内容和细节等方面做到更加完善和改进。

编 者
2006 年 10 月

目 录

前 言	(1)
1 安全用电常识	(1)
1.1 有关人体触电的知识	(1)
1.1.1 触电的种类和方式	(1)
1.1.2 影响伤害人体电流的因素	(2)
1.2 安全电压	(4)
1.2.1 人体电阻的电气参数	(4)
1.2.2 人体允许电流	(5)
1.2.3 安全电压值	(5)
1.3 触电原因及保护措施	(5)
1.3.1 触电的常见原因	(5)
1.3.2 接地与接零保护措施	(6)
1.3.3 漏电保护装置	(8)
1.3.4 其他保护措施	(9)
1.4 触电急救	(10)
1.4.1 触电的现场抢救措施	(10)
1.4.2 口对口人工呼吸法	(12)
1.4.3 胸外心脏压挤法	(13)
1.5 防雷常识	(14)
1.5.1 雷电的形成与活动规律	(14)
1.5.2 雷电的种类与危害	(14)
1.5.3 防雷常识	(15)
2 电工工艺	(17)
2.1 常用工具	(17)
2.1.1 验电器	(17)
2.1.2 螺丝刀	(19)
2.1.3 钢丝钳	(20)
2.1.4 尖嘴钳及断线钳	(21)
2.1.5 剥线钳	(21)
2.1.6 电工刀	(22)
2.1.7 活络扳手和其他常用扳手	(22)

2.2	导线的连接	(23)
2.3	导线绝缘层的恢复	(28)
3	常用低压电器	(30)
3.1	电器基本知识	(30)
3.1.1	电器的分类	(30)
3.1.2	低压电器产品标准	(31)
3.1.3	常用术语	(31)
3.1.4	低压电器产品型号类组代号	(31)
3.2	低压开关	(32)
3.2.1	刀开关	(32)
3.2.2	转换开关	(35)
3.2.3	自动空气开关	(37)
3.3	主令电器	(40)
3.3.1	按钮开关	(40)
3.3.2	位置开关	(43)
3.4	熔断器	(46)
3.4.1	熔断器的结构与主要技术参数	(47)
3.4.2	常用的低压熔断器	(48)
3.4.3	熔断器的选用	(52)
3.5	接触器	(53)
3.5.1	交流接触器	(53)
3.5.2	直流接触器	(60)
3.5.3	接触器的选择	(62)
3.6	继电器	(63)
3.6.1	电磁式继电器	(64)
3.6.2	热继电器	(67)
3.6.3	时间继电器	(72)
3.6.4	速度继电器	(78)
3.6.5	压力继电器	(79)
3.7	电磁铁	(80)
3.7.1	电磁铁的特性	(80)
3.7.2	常用电磁铁的类型及选用	(82)
3.8	低压电器的常见故障及维修	(85)
3.8.1	电器共性元件的故障及维修	(86)
3.8.2	几种常用电器的故障和维修	(90)
4	电动机的基本控制线路	(92)
4.1	三相异步电动机的正转控制线路	(92)
4.1.1	手动正转控制线路	(92)

4.1.2 点动正转控制线路	(93)
4.1.3 绘制、识读电气控制线路原理图的原则	(94)
4.1.4 接触器自锁正转控制线路	(94)
4.1.5 具有过载保护的自锁正转控制线路	(96)
4.1.6 连续点动混合控制的正转控制线路	(97)
4.2 三相异步电动机的正、反转控制线路	(98)
4.2.1 倒顺开关正、反转控制线路	(98)
4.2.2 接触器联锁的正、反转控制线路	(98)
4.2.3 按钮联锁的正、反转控制线路	(100)
4.2.4 按钮和接触器双重联锁的正、反转控制线路	(100)
4.3 星形-三角形(Y- Δ)降压启动控制线路	(101)
4.4 位置控制与自动往返控制线路	(105)
4.4.1 位置控制(又称行程控制或限位控制)线路	(105)
4.4.2 自动往返行程控制线路	(106)
4.5 顺序控制线路	(107)
4.5.1 主电路实现顺序控制	(107)
4.5.2 控制电路实现顺序控制	(108)
4.6 三相异步电动机能耗制动控制线路	(109)
4.6.1 机械制动	(109)
4.6.2 电力制动	(111)
4.7 电动机控制的一般原则	(116)
4.7.1 行程控制原则	(117)
4.7.2 时间控制原则	(117)
4.7.3 速度控制原则	(117)
4.7.4 电流控制原则	(117)
4.8 电动机的保护	(119)
4.8.1 短路保护	(119)
4.8.2 过载保护	(119)
4.8.3 欠压保护	(119)
4.8.4 失压保护(零压保护)	(120)
4.8.5 过流保护	(120)
4.8.6 弱磁保护	(120)
4.9 电动机的选择	(120)
4.9.1 电动机额定功率的选择	(121)
4.9.2 电动机额定转速的选择	(123)
4.9.3 电动机额定电压的选择	(123)
4.9.4 电动机种类的选择	(124)
4.9.5 电动机型式的选择	(124)
4.10 车、钻床控制线路	(125)

4.10.1	车床控制线路	(125)
4.10.2	钻床控制线路	(129)
5	可程序控制器(PLC)	(135)
5.1	概 述	(135)
5.1.1	PLC 及其特点	(135)
5.1.2	PLC 的基本结构	(135)
5.1.3	PLC 的工作原理	(137)
5.1.4	PLC 的编程语言	(139)
5.1.5	PLC 的发展趋势	(140)
5.2	F1 系列 PLC 简介	(140)
5.2.1	F1 系列 PLC 的型号和基本技术性能	(140)
5.2.2	F1 系列 PLC 内部的可编程元件	(141)
5.2.3	F1 系列 PLC 的指令系统	(143)
5.3	PLC 的程序设计及实例	(153)
5.3.1	PLC 程序设计的基本规则	(153)
5.3.2	PLC 程序设计的一般步骤与方法	(154)
5.3.3	PLC 程序设计实例	(154)
5.4	西门子 S7-200 系列 PLC	(172)
5.4.1	S7-200 系列 PLC 型号和基本技术性能	(172)
5.4.2	S7-200 系列 PLC 内部可编程的软元件	(173)
5.4.3	S7-200 系列 PLC 的寻址	(174)
5.4.4	S7-200 系列 PLC 的指令系统	(175)
5.4.5	S7-200 系列 PLC 程序设计实例	(179)
5.5	顺序功能图	(185)
5.5.1	顺序控制设计法和顺序功能图基本概念	(185)
5.5.2	顺序功能图的编程方法	(189)
6	EWB 软件及仿真	(194)
6.1	电子工作台(EWB)简述	(194)
6.2	EWB 工作界面介绍	(194)
6.2.1	EWB 的主窗口	(194)
6.2.2	工具栏	(195)
6.2.3	元器件与仪器库栏	(196)
6.2.4	元件库中的常用元件	(198)
6.3	EWB 基本操作方法	(199)
6.3.1	电路构建	(199)
6.3.2	仪器使用	(200)
6.3.3	元器件库和元器件的创建与删除	(206)
6.3.4	子电路的生成与使用	(206)

6.3.5 帮助功能的使用	(206)
6.3.6 基本分析方法	(207)
6.4 EWB 的主要分析方法	(207)
6.4.1 直流工作点分析	(207)
6.4.2 交流频响分析	(208)
6.4.3 瞬态分析	(208)
6.4.4 参数扫描分析	(209)
6.5 EWB 电路仿真	(210)
6.5.1 用虚拟工作台仿真电路的步骤	(210)
6.5.2 电路仿真举例	(210)
6.6 EWB 的仿真练习题	(218)
7 电气控制技术课程设计	(221)
7.1 电气图的绘制	(221)
7.1.1 理论基础	(221)
7.1.2 实习要求	(223)
7.1.3 实习过程及记录	(223)
7.1.4 实习考核及成绩评定	(224)
7.1.5 实习报告要求	(224)
7.2 电气基本控制电路的安装与调试	(224)
7.3 控制线路中的故障检修方法	(234)
7.3.1 理论基础	(234)
7.3.2 实习要求	(237)
7.3.3 实习过程及记录	(237)
7.3.4 实习考核及成绩评定	(237)
7.3.5 实习报告要求	(238)
7.4 Z3040 型摇臂钻床的电气控制的检修	(238)
7.4.1 理论基础	(238)
7.4.2 实习要求	(242)
7.4.3 实习过程及记录	(242)
7.4.4 实习考核及成绩评定	(243)
7.4.5 实习报告要求	(243)
7.5 电气控制线路设计	(244)
7.5.1 实习理论基础	(244)
7.5.2 实习要求	(249)
7.5.3 实习设计	(249)
7.5.4 实习报告要求	(251)
7.6 电气控制线路的工艺设计训练	(251)
7.6.1 理论基础	(251)
7.6.2 实习要求	(253)

7.6.3 实习考核及成绩评定	(253)
7.6.4 实习报告要求	(254)
7.7 电气控制线路的安装及调试	(254)
7.7.1 实习要求	(258)
7.7.2 实习考核及成绩评定	(258)
8 综合测试与考核题库	(260)
8.1 理论基础测试与考核	(260)
8.1.1 判断(正确的在括号内打“T”,错误的打“F”,每题 1 分,共 266 题)	(260)
8.1.2 选择(把正确答案的代号填入括号内,每题 1 分,共 525 题)	(268)
8.2 电子技术模块测试与考核	(304)
8.2.1 技师职业技能:维修电工操作技能(可编程控制器模块)考核	(304)
8.2.2 高级技工职业技能:维修电工操作技能(电子技术模块)考核	(310)
8.2.3 中级技工职业技能:维修电工操作技能考核	(315)
参考文献	(318)

1

安全用电常识

随着科学技术的发展,无论是工农业生产,还是人民生活,对电能的应用越来越广泛。从事电类工作的人员,必须懂得安全用电常识,树立安全责任重于泰山的观念,避免发生触电事故,以保护人身和设备的安全。

通过本章学习,使读者了解有关人体触电的知识,懂得引起触电的原因及常用预防措施,能够进行人体触电后的及时抢救,并了解日常用电和生活中的一些防雷常识。

1.1 有关人体触电的知识

人体是导体,当发生“触电”导致电流通过人体时,会使人体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。

1.1.1 触电的种类和方式

1) 人体触电的种类

(1) 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 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。

灼伤——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。

烙伤——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。

皮肤金属化——是指由电流的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零线(中性线)相接,电流从带电体流经人体到大地(或零线)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。

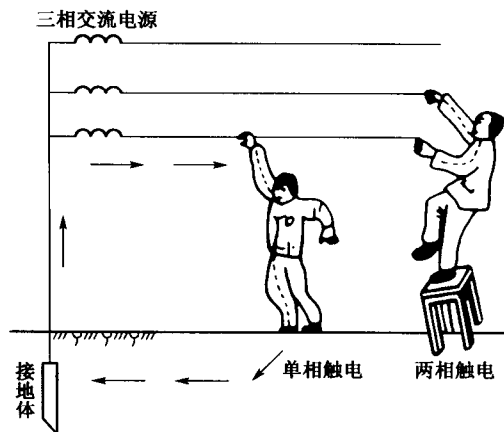


图 1-1 单相触电和两相触电

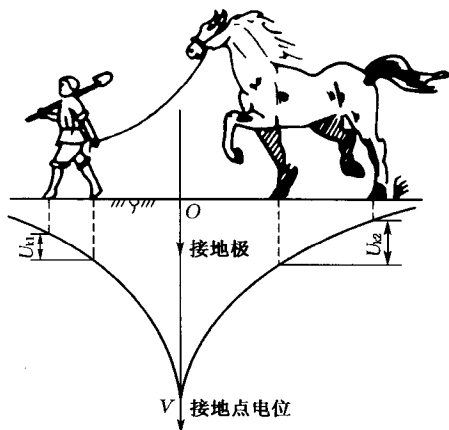


图 1-2 跨步电压触电

(3) 跨步电压触电 雷电流入地或载流电力线(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,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,这就是跨步电压触电,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} 为马两脚间的跨步电压。

(4) 悬浮电路上触电 220 V 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零线不接地,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,即用人体的电路连通造成触电,这就是悬浮电路触电。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 影响伤害人体电流的因素

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以下几个因素有关。

1) 电流的大小

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。但在触电例子的分析统计中,70%以上的死亡者是在对地电压为 250 V 低压下触电的。如以触电者人体电阻为 1 k Ω 计,在 220 V 电压作用下,通过人体的电流是 220 mA,能迅速使人致死。对地 250 V 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

亡事例约在 30% 以下。

3) 频率的高低

实践证明, 40~60 Hz 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 表明了这种关系。

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(叫电击能量)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, 人的精神状态, 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

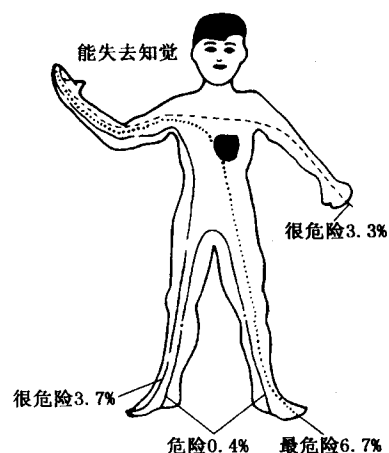


图 1-3 电流通过人体的路径

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。

1.2 安全电压

人体触电时,人体所承受的电压越低,通过人体的电流就越小,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。也就是说,在不带任何防护设备的条件下,当人体接触带电体时对人体各部分组织(如皮肤、神经、心脏、呼吸器官等)均不会造成伤害的电压值,叫安全电压。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 $500\ \Omega$ 。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 $0.05\sim 0.2\text{ mm}$ 厚的角质层的电阻高达 $10\sim 100\text{ k}\Omega$ 。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 $1\sim 3\text{ k}\Omega$ 考虑。

表 1-3 不同条件下的人体电阻

接触电压 (V)	人 体 电 阻(Ω)			
	皮肤干燥 ^①	皮肤潮湿 ^②	皮肤湿润 ^③	皮肤浸入水中 ^④
10	7 000	3 500	1 200	600
25	5 000	2 500	1 000	500
50	4 000	2 000	875	440
100	3 000	1 500	770	375
250	1 500	1 000	650	325

注: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,基本上为体内电阻。

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。因皮肤电容很小,可忽略不计;体内电阻基本上不受外界影响,差不多是定值,约 $0.5\text{ k}\Omega$;皮肤电阻占人体电阻的绝大部分,并且随着外界条件的不同可在很大范围内变化,但皮肤角质层容易遭到破坏,在计算安全电压时不宜考虑在内。

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 c 表示人体电阻的下限,曲线 a 表示人体电阻的上限,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 9 mA,女性为 6 mA。一般情况下,人体允许电流应按不引起强烈痉挛的 5 mA 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 30 mA。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 V、24 V 和 36 V 三个电压等级为安全电压级别。不同场所应选用不同的安全电压等级。

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 12 V 安全电压。

凡手提照明器具、危险环境或特别危险环境的局部照明灯、高度不足 2.5 m 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 24 V 或 36 V 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,即使在规定的安全电压下工作,也不可粗心大意。

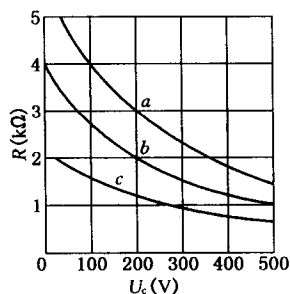


图 1-4 人体电阻与接触电压的关系

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) 线路架设不合规格

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