



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专规划教材

电工电子技术 基础实训

徐咏冬 主编



第2版

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专规划教材

电工电子技术基础实训

第2版

主 编 徐咏冬
副主编 李留格
参 编 杨 敏 李浩哲
主 审 林 钢



机械工业出版社

本书是电工电子技术课程的实训教材,可以配合电工电子技术课程的理论教学进行实际操作技能的训练,加深对所学理论知识的理解,培养学生的操作能力。

全书分为四部分:第一部分是基础知识,介绍了电气测量、常用电工材料、电气安全等方面的内容;第二部分是电工基础实训,介绍了电工测量基础、电路基本定律的验证、电工安装训练等内容;第三部分是电子技术实训,介绍了电子元器件的识别检测、电子线路的焊接安装、各种常用电子线路的测试、电子线路的读图训练等内容;第四部分是电气控制实训,介绍了常用控制电器的识别与检测、控制电路的识图、电动机的测试和应用、常用电气控制线路的安装配线等实训内容。

本书可作为高职、高专非电类专业的实训教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术基础实训/徐咏冬主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2007.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-12217-3

I. 电… II. 徐… III. ①电工技术—高等学校:技术学校—教材②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第067167号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张双国 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:饶薇 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2007年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·270千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-12217-3

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是电工电子技术基础课程的实训教材,适用于高职、高专非电类专业。

在编写内容上,注意突出职业教育的特点,注重实践技能的培养,选择具有代表性和实用性的实训项目,训练目的明确,实训相关理论和技能的介绍详实、具体,设计了合理的操作步骤,列有实训记录和评分标准,实训项目的编写结构充分考虑了实训教学的可操作性。

本书的第一部分是基础知识。介绍了电气测量、常用电工材料、电气安全等方面的内容。在电工电子实训操作的过程中,经常会用到测量方法的选择、数据处理、电工材料的选择和电气安全等方面的知识,第一部分可以为读者提供这方面的内容。

第二部分是电工基础实训。按照由浅入深的原则,先介绍电工测量基础和仪器仪表的使用,再针对电工基础课程的经典内容,选择了电路基本定律的验证等实训项目。通过这些项目的实训,可以加深理解电路基本理论和基本分析方法,初步学会一般电路的连接,进一步熟悉电工仪器仪表的使用。为进一步提高学生的实际操作能力,编者还编写了几个具有工程实用价值的电工安装类实训项目。通过这些项目的训练,可以将所学理论知识应用于实际工作中,提高学习兴趣,培养严谨的工作作风。

第三部分是电子技术实训。首先选择了电子元器件的识别、检测、焊接技能的训练,仪器仪表的使用等内容,让学生学会电子技术中常用的基本技能。然后是常用模拟电子线路和数字电路的测试和应用,通过这些实训内容可掌握电子线路的基本组成和测试方法。电子技术实训的最后部分是电子线路的读图训练和综合安装,这两个项目在内容选用上具有一定联系,可以合并成一个为期一周左右的综合性实训项目。

第四部分是电气控制实训。主要内容是控制电器的认识及测试、电气控制线路图的识图制图训练、电动机的测试和应用、基本控制电路的安装配线等。通过这些实训项目的训练,可以掌握电气控制线路的检测、安装、调试等技能,了解电气控制在生产实际中的应用,培养分析问题和解决问题的能力。

本书第一部分分为三节,后三个部分的实训项目按统一顺序排列。第一部分、实训一、二、三、四、五、六、七、八、九由李留格编写;实训十二、十

三由李浩哲编写；实训十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一由杨敏编写；实训十、十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九及附录由徐咏冬编写。徐咏冬任主编，李留格任副主编，全书由林钢主审。

在编写过程中，河南工业大学化学工业职业学院的赵玉奇副院长给予了大力的支持，无锡商业职业技术学院的林钢副教授在审稿过程中付出了大量的劳动，提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

编 者

目

录

前言

第一部分

基础知识 1

- 第一节 电气测量基本知识 1
- 第二节 常用电工材料 4
- 第三节 电气安全基础 11

第二部分

电工基础实训 18

- 实训一 直流测量基础 18
- 实训二 基尔霍夫定律和叠加定理 24
- 实训三 戴维南定理 28
- 实训四 交流测量基础 32
- 实训五 荧光灯的安装及功率因数的提高 36
- 实训六 三相交流电路的测试 40
- 实训七 电工安装基础 46
- 实训八 电能表的安装与使用 56
- 实训九 照明电路的安装 61

第三部分

电子技术实训 71

- 实训十 电子元器件的识别、检测和焊接 71
- 实训十一 常用电子仪器的使用 78
- 实训十二 二极管和整流、滤波电路 83
- 实训十三 晶体管的特性和单管交流放大电路 87
- 实训十四 负反馈放大电路 94
- 实训十五 功率放大器 98

- 实训十六 集成运算放大器的应用 103
- 实训十七 组合逻辑电路 107
- 实训十八 触发器 113
- 实训十九 计数显示电路 117
- 实训二十 电子线路读图训练 121
- 实训二十一 电子线路的综合安装 125

第四部分

电气控制实训 134

- 实训二十二 常用控制电器的认识及测试 134
- 实训二十三 电气控制线路识图 139
- 实训二十四 电器的安装与配线 143
- 实训二十五 三相异步电动机的测试及拆装 147
- 实训二十六 单相异步电动机的测试及应用 151
- 实训二十七 三相异步电动机的正反转控制 155
- 实训二十八 三相异步电动机的延时起动控制 158
- 实训二十九 可编程序控制器的认识 162

附录 168

- 附录 A 常用电子元器件的型号命名 168
- 附录 B SR—8 型双踪示波器面板简介 170
- 附录 C 电气设备常用文字符号 172

参考文献 179

第一部分 基础知识

第一节 电气测量基本知识

一、测量与测量误差

1. 测量方法

电工测量就是利用电工测量仪表对电路中物理量（如电压、电流、磁通量等）的数值进行测量。

测量方法有两种：一种是直接测量法，即利用仪表直接测量出被测参数的大小；另一种是间接测量法，就是按一定的关系式，通过对直接测量参数进行计算而得出被测参数的大小，如伏安法测电阻。直接测量法又分为直接读数法（如用电流表测电流、电压表测电压）和比较测量法（如用电桥测电阻）。

2. 测量误差的表示方法

在实际测量中由于测量仪器、工具的不准确、测量方法的不完善以及各种因素的影响，实验中测得的值和它的真实值并不完全相同，这就是测量误差。测量误差是测量仪表本身的误差以及测量辅助设备、测量方法、测量环境、操作技术等误差因素共同作用的结果。随着科学技术水平的提高和人们的经验、技巧和专门知识的丰富，误差可以被控制得越来越小，但是不能使误差降为零，这就是所谓的误差公理：一切实验结果都有误差，误差自始至终存在于一切科学实验过程中。

(1) 绝对误差 测量值 X 与真值 X_0 之差，也称为真误差，用 ΔX 表示，即

$$\Delta X = X - X_0$$

式中 X ——被测量的测量值；

X_0 ——被测量的真值；

ΔX ——测量的绝对误差。

一般来说，除理论真值及计量学约定真值外，真值是未知的，因此绝对误差也是未知的。在实际测量中，常用高精度等级的标准仪表读数来作为真值进行计算。

(2) 相对误差 绝对误差 ΔX 与被测量值真值 X_0 之比，又称为误差率，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

式中 γ ——相对误差。

相对误差通常用于衡量测量结果（或量具及测量仪器）的准确度。相对误差越小，准确度越高。

(3) 引用误差 绝对误差与测量仪器量程 X_N 的百分比，用 γ_N 表示，即

$$\gamma_N = \frac{\Delta X}{X_N} \times 100\%$$

式中 γ_N ——引用误差;

X_N ——测量仪表的量程 (仪表测量上限—仪表测量下限)。

通常电工仪表的精度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。如果仪表为 α 级则说明该仪表的最大引用误差不超过 $\alpha\%$, 而不能认为它在各分度点上的示值误差都具有 $\alpha\%$ 。测量值越接近仪表上限, 测量精度越高。在选择仪表量程时, 应尽可能使测量值在仪表量程的 $2/3$ 以上, 以减小测量误差。

二、电气测量仪表

1. 电工测量仪表的分类

测量各种电量和磁量的仪表统称为电工测量仪表 (简称电工仪表)。在电工技术的应用中, 电工仪表被广泛应用于安装、调试和维修过程中。在进行电工实训时, 也必须使用这些仪表获得检测数据。电工仪表种类很多, 最常见的是测量基本电量的仪表, 其他电磁量可以通过基本电量值进行推算, 或通过变换电路将它们转换成基本电量后进行测量。

电工仪表分类方法很多, 但主要有以下几种。

(1) 按电工仪表的工作原理来分 电工仪表按工作原理的分类情况见表 0-1。

表 0-1 电工仪表按工作原理分类表

类 别	工 作 原 理	典 型 应 用
磁电系仪表	通电导体在永久磁铁的磁场中产生电磁力	直流电流表、直流电压表、万用表
电磁系仪表	铁磁物质在磁场中被磁化后产生电磁吸力 (或斥力)	交流电流表、交流电压表
电动系仪表	两个通电线圈之间产生电力	功率表
感应系仪表	交变磁场中导体感应涡流与磁场产生电磁力	电能表

(2) 按被测电工量的性质来分 电工仪表按被测电工量的性质分类, 有电流表 (安培表、毫安表、微安表)、电压表 (伏特表、毫伏表)、功率表 (单相功率表、三相功率表)、电能表 (单相电能表、三相电能表)、相位表、绝缘电阻表、频率表等类型。

(3) 按准确度等级来分 电工仪表按准确度等级不同分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 5.0 级共七级。其中:

0.1 级、0.2 级——标准表 (误差为 0.1%、0.2%)。

0.5 级、1.0 级——实验测量表 (误差为 0.5%、1.0%)。

1.5 级、2.5 级和 5.0 级——工程测量表 (误差为 1.5%、2.5% 和 5.0%)。

(4) 按使用方法来分 电工仪表按使用方法分类, 有安装式和便携式仪表。安装式仪表固定安装在开关板上或电气设备的面板上, 其准确度较低, 但过载能力较强、造价较低, 一般用于工业测量。便携式仪表不固定安装, 可供实验室使用, 其准确度较高, 但过载能力较差、造价较高。

2. 电工仪表的标志

电工仪表的种类不同, 就会有不同的技术特性。为了便于选择和使用这些仪表, 在仪表面板上都标有各种符号, 这些符号叫做仪表的标志。根据国家标准, 每个仪表应有测量

对象的单位、准确度等级、电表类别、相数、工作原理的类型、使用条件、绝缘强度、试验电压的大小、仪表型号以及各种额定值的标志。仪表面板上的标志见表 0-2。

表 0-2 仪表面板上的标志

分类	名称	符号	分类	名称	符号
结构和 工作原理	磁电式仪表		工作位置	倾斜 60°放置	
	电磁式仪表			准确度等级	1.5
	电动式仪表		准确度等级	准确度等级以 标度尺长度计	
	感应式仪表			准确度等级以 示值百分数计	
	整流式仪表			2kV 耐压试验	
电流种类	直流表		绝缘试验	500V 耐压试验	
	单相交流表			不进行绝缘 强度试验	
	交直流二用表		防御性能	二级防御 磁场和电场	
	对称三相交流表		环境识别		
	不对称三相 交流表		端钮	公共端钮	
	不对称三相 四线交流表			接地端钮	
	电流表			正端钮	+
测量对象	电压表			负端钮	-
	功率表			接外壳端钮	
	电能表			屏幕端钮	
	水平放置			与可动线圈 相连的端钮	
工作位置	垂直放置		调零器	调零器	

(续)

分类	名称	符号	分类	名称	符号
止动器	止动器	止	仪表组别 (文字 符号)	感应	G
	止动方向	↑		整流	L
仪表组别 (文字 符号)	名称	文字符号		补偿	P
	谐振	B		静电	Q
	磁电	C		双金属	S
	电动	D		电磁	T
				光电	U
				电子	Z

第二节 常用电工材料

电工材料的种类很多,新型材料也不断涌现。电气工程上常将电工材料作如下分类。

(1) 导电材料 包括普通导电材料(如铜、铝及其合金材料)和特殊导电材料(如熔体材料、电阻材料、电热材料、电触头材料、热双金属等)。

(2) 绝缘材料 包括固态绝缘材料(如绝缘纤维制品、橡胶、塑料、玻璃、陶瓷等)、气态绝缘材料(如空气、六氟化硫等)和液体绝缘材料(如绝缘油、绝缘漆和胶等)。

(3) 磁性材料 如铁、硅钢、稀土钴、钴、镍等。

(4) 半导体材料 如硅、锗、硒等。

(5) 超导材料 如铌-钛-铜合金,铋、锿、钙和铜的氧化物等。

一、常用导线及其材料

1. 铜和铝

铜在常温下具有足够的机械强度,延展性能良好,化学性能稳定,便于加工,不易氧化和腐蚀,易焊接。铜的电阻率为 $1.724 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,导电性能良好。铜材料容易提纯,价格比较便宜。常用导电铜是含铜量在 99.9% 以上的工业纯铜。电机、变压器上使用的是含铜量在 99.5% ~ 99.95% 之间的纯铜,俗称为紫铜。影响铜性能的主要因素是杂质、冷形变、温度和耐蚀性等。

铝的导热性及耐蚀性好,易于加工,导电性能、机械强度均稍逊于铜。铝的电阻率为 $2.864 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,但铝的密度比铜小(仅为铜的 33%)。铝材料资源丰富,价格低廉,是目前推广使用的导电材料。架空线路、照明线路、动力线路、汇流排、变压器和中小型电机的线圈都已广泛使用铝线。但铝的焊接工艺复杂,影响铝性能的主要因素也是杂质、冷形变、温度和耐蚀性等。

2. 电线与电缆

电线电缆是用以传送电能、传输信息和实现电磁能量转换的线材产品。电线电缆一般由线芯、绝缘层、保护层三部分构成。电线电缆的品种很多,按照性能结构、制造工艺及使用特点,可分为裸导线和裸导体制品、电磁线、电气装备用电线电缆、电力电缆和通信电线电缆 5 类。

(1) 裸导线和裸导体制品 裸导线是指仅有金属导体而无绝缘层的电线, 主要用于电力、交通、通信工程与电机、变压器和电器制造。主要有圆线、软接线、型线、裸绞线等。圆线包括硬圆铜线 (TY)、软圆铜线 (TR)、硬圆铝线 (LY)、软圆铝线 (LR); 软接线包括裸铜电刷线 (TS)、软裸铜编织线 (TRZ)、软铜编织蓄电池线 (QC); 型线包括扁线 (TBY、TBR、LBY、LBR)、铜带 (TDY、TDR)、铜排 (TPT)、钢铝电车线 (GLC)、铝合金电车线 (HLC); 裸绞线包括铝绞线 (LJ)、铝包钢绞线 (HLJ)、铝合金绞线 (LGJF)、钢芯铝绞线 (LGJ) 等。

(2) 电磁线 电磁线是专门用于实现电能与磁能相互转换的有绝缘层的导线, 常用于制造电机、变压器及电器线圈。为了减小绕组的体积, 电磁线的绝缘层一般都很薄。电磁线的选用一般应考虑耐热性、电性能、相容性、环境条件等因素。常用电磁线有漆包线、绕包线、无机绝缘线和特种电磁线 4 类。

1) 漆包线 漆包线的绝缘层为漆膜。特点是漆膜薄而牢固, 均匀光滑。广泛用于制造中、小型电机、变压器和电器线圈。常用的有缩醛漆包线、聚脂漆包线、聚酯亚胺漆包线、聚酰胺漆包线和聚酰亚胺漆包线等 5 类。

2) 绕包线 用玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等做绝缘层, 紧密绕包在导线上制成, 也有在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外, 其他的绝缘层均需经胶粘绝缘浸渍处理。一般应用于大中型电工产品中。绕包线一般分为纸包线、薄膜绕包线、玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线 4 类。

3) 无机绝缘线和特种电磁线 无机绝缘电磁线有铜线和铝线。形状有圆、扁、带 (箔)。其绝缘层有氧化膜或氧化膜外涂漆、陶瓷、玻璃。突出优点是耐高温、耐辐射。

(3) 电气装备用电线电缆 由铜或铝制线芯、塑料或橡胶绝缘层及护层三部分组成。电气装备用电线电缆包括各种电气设备内部及外部的安装连接用电线电缆、低压电力配电系统用的绝缘电线、信号控制系统用的电线电缆等。常用的电气装备用电线电缆通常称为电力线。

3. 电热材料

电热材料主要用于电阻加热设备中的发热体, 作为电阻接入电路中, 将电能转换为热能。因此, 电热材料必须具有高的电阻率、耐高温、抗氧化性好、电阻温度系数小、便于加工成型等优点。如镍铬合金、铁铬铝合金等。

二、电力线及其选用

1. 电力线

(1) 线芯 有铜芯和铝芯两种, 固定敷设的电力线一般采用铝芯线, 移动使用的电力线主要采用铜芯线。线芯的根数分单芯和多芯, 多芯的根数最多可达几千根。

(2) 绝缘层 主要起电绝缘作用, 还可起机械保护作用。绝缘层大多数采用橡胶和塑料材质, 其耐热等级决定电力线的允许工作温度。

(3) 保护层 主要起机械保护作用, 对电力线的使用寿命影响很大。保护层大多数采用橡胶和塑料材质, 也有使用玻璃丝编织成的。

2. 电力线的系列及应用范围

电力线分三个系列: B (B 表示绝缘)、R (R 表示软线)、Y (Y 表示移动电缆)。

(1) B 系列橡胶塑料绝缘电线 该系列电线结构简单、重量轻、价格较低,适用于各种动力、配电和照明电路以及大中型电气设备的安装线。交流工作电压为 500V,直流工作电压为 1000V,常用品种如表 0-3 所示。

表 0-3 B 系列橡胶塑料绝缘电线常用品种

产品名称	型 号		长期最高 工作温度/ ℃	用途及使用条件
	铜芯	铝芯		
橡胶绝缘电线	BX	BLX	65	固定敷设于室内(明敷、暗敷或穿管),也可用于室外或作设备内部安装用线
氯丁橡胶绝缘电线	BXF	BLXF	65	耐气候性好,适用于室外
橡胶绝缘软电线	BXR		65	同 BX 型。仅用于安装时要求柔软的场所
橡胶绝缘和护套电线	BXHF	BLXHF	65	同 BX 型。适用于较潮湿的场所和作室外进户线
聚氯乙烯绝缘电线	BV	BLV	65	同 BX 型。但耐湿性和耐气候性较好
聚氯乙烯绝缘软导线	BVR		65	同 BV 型。仅用于安装时要求柔软的场所
聚氯乙烯绝缘和护套电线	BVV	BLVV	65	同 BV 型。用于潮湿和机械防护要求较高的场合,可直埋土壤中
耐热聚氯乙烯绝缘电线	BV-105		105	同 BV 型。用于 45℃ 及以上高温环境中
耐热聚氯乙烯绝缘软电线	BVR-105		105	同 BVR 型。用于 45℃ 及以上高温环境中

注: X—橡胶绝缘; XF—氯丁橡胶绝缘; HF—非燃性橡胶; V—聚氯乙烯绝缘; VV—聚氯乙烯绝缘和护套; 105—耐热 105℃。

(2) R 系列橡胶塑料软电线 其线芯由多根细铜线绞合而成,除具有 B 系列绝缘线的特点外,其线体较柔软,有较好的移动使用性。该系列电线可用作日用电器、仪器仪表的电源线、小型电气设备和仪器仪表内部安装线,以及照明线路中的灯头、灯管线。交流工作电压为 500V,直流工作电压为 1000V,常用品种如表 0-4 所示。

表 0-4 R 系列橡胶塑料软线品种

产品名称	型号	工作电压 /V	长期最高 工作温度 /℃	用途及使用条件
聚氯乙烯绝缘软线	RV RVB RVS	交流 250 直流 500	65	供各种移动的电气设备、仪表电信设备、自动化装置接线用,也可用作内部安装线,安装时环境温度不低于 -15℃
耐热聚氯乙烯绝缘软线	RV-105	交流 250 直流 500	105	同 RV 型。用于 45℃ 及以上高温环境中
聚氯乙烯绝缘和护套软线	RVV	交流 500 直流 1000	65	同 RV 型。用于潮湿和机械防护要求较高以及经常移动弯曲的场合
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘软线	RFB RFS	交流 250 直流 500	70	同 RVB、RVS 型。低温柔软性较好

(续)

产品名称	型号	工作电压 /V	长期最高 工作温度 /℃	用途及使用条件
棉纱编织橡胶绝缘双绞 软线、棉纱编织橡胶绝缘 软线	RXS RX	交流 250 直流 500	65	室内日用电器、照明用电源线
棉纱编织橡胶绝缘平型 软线	RXB	交流 250 直流 500	65	室内日用电器、照明用电源线

注：B—两芯平型；S—两芯绞型；F—复合物绝缘。

(3) Y 系列通用橡套电缆 它以硫化橡胶作绝缘层，以非燃氯丁橡胶作护套，具有抗砸、抗拉和能承受较大的机械应力的作用，同时还具有很好的移动使用性。该系列电缆适用于在一般场合下作各种电气设备、电动工具仪器和照明电器等的移动式电源线。长期最高工作温度均为 65℃。常用移动电缆的品种见表 0-5。

表 0-5 通用橡套电缆常用品种

产品名称	型号	交流工作电压/V	特点和用途
轻型橡套电缆	YQ	250	轻型移动电气设备和日用电器电源线
	YQW		同 YQ 型。具有耐气候和一定的耐油性能
中型橡套电缆	YZ	500	各种移动电气设备和农用机械电源线
	YZW		同 YQ 型。具有耐气候和一定的耐油性能
重型橡套电缆	YC	500	同 YZ 型。能承受较大的机械外力作用
	YCW		同 YQ 型。具有耐气候和一定的耐油性能

注：Q—轻型；W—户外型；Z—中型；C—重型。

仅了解电力线的系列和应用范围是无法准确选用导线的，要准确选用导线，首先要通过负载的大小得出负载电流值，然后根据应用范围选出电力线的系列，最后由电力线的安全载流量表，获得电力线的规格。

3. 电力线的安全载流量

电力线的安全载流量见表 0-6、表 0-7、表 0-8。

表 0-6 塑料绝缘线安全载流量 (单位：A)

导线截 面积 /mm ²	芯线股数 /(单股直 径/mm)	明线		穿钢管（一管）安装						穿塑料管（一管）安装					
		安装		二线		三线		四线		二线		三线		四线	
		铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.0	1/1.13	17		12		11		10		10		10		9	
1.5	1/1.37	21	16	17	13	15	11	14	10	14	11	13	10	11	9
2.5	1/1.76	28	22	23	17	21	16	19	13	21	16	18	14	17	12

(续)

导线截 面积 /mm ²	芯线股数 /(单股直 径/mm)	明线		穿钢管(一管)安装						穿塑料管(一管)安装					
		安装		二线		三线		四线		二线		三线		四线	
		铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
4	1/2.24	35	28	30	23	27	21	24	19	27	21	24	19	22	17
6	1/2.73	48	37	41	30	36	28	32	24	36	27	31	23	28	22
10	7/1.33	65	51	56	42	49	38	43	33	49	36	42	33	38	29
16	7/1.70	91	69	71	55	64	49	56	43	62	48	56	42	49	38
25	7/2.12	120	91	93	70	82	61	74	57	82	63	74	56	65	50
35	7/2.50	147	113	115	87	100	78	91	70	104	78	91	69	81	61
50	19/1.83	187	143	143	108	127	96	113	87	130	99	114	88	102	78
70	19/2.14	230	178	178	135	159	124	143	110	160	126	145	113	128	100
95	19/2.50	282	216	216	165	195	148	173	132	199	151	178	137	160	121

表 0-7 橡胶绝缘线安全载流量

(单位: A)

导线 截面积 /mm ²	芯线股数 /(单股直径 /mm)	明线		穿钢管(一管)安装						穿塑料管(一管)安装					
		安装		二线		三线		四线		二线		三线		四线	
		铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.0	1/1.13	18		13		12		10		11		10		10	
1.5	1/1.37	23	16	17	13	16	12	15	10	15	12	14	11	12	10
2.5	1/1.76	30	24	24	18	21	16	20	14	22	17	19	15	17	13
4	1/2.24	32	32	32	24	28	21	26	20	29	22	26	20	23	17
6	1/2.73	50	42	43	32	37	29	33	25	37	29	33	25	30	23
10	7/1.33	74	57	59	45	52	40	45	34	51	38	45	35	30	30
16	7/1.70	95	74	75	57	67	51	59	44	66	50	59	45	52	40
25	7/2.12	126	96	98	75	87	66	77	58	87	67	78	59	69	52
35	7/2.50	156	120	121	92	106	82	95	71	109	83	96	73	85	64
50	19/1.83	200	152	151	115	134	102	119	91	139	104	121	94	107	82
70	19/2.14	247	191	186	143	167	130	150	115	169	133	152	117	135	104
95	19/2.50	300	230	225	174	203	156	182	139	208	160	186	143	169	130
120	37/2.00	346	268	260	200	233	182	212	165	242	182	217	165	197	147

(续)

导线 截面积 /mm ²	芯线股数 /(单股直径 /mm)	明线		穿钢管 (一管) 安装						穿塑料管 (一管) 安装					
		安装		二线		三线		四线		二线		三线		四线	
		铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
150	37/2.24	407	312	294	226	268	208	243	191	277	217	252	197	230	178
185	37/2.25	468	365												
240	61/2.24	570	442												
300	61/2.50	668	520												
400	61/2.85	815	632												
500	91/2.62	950	738												

表 0-8 护套线和软导线安全载流量 (单位: A)

导线截面积 /mm ²	护套线								软导线 (芯线)		
	双根芯线				三根或四根芯线				单根	双根	双根
	塑料绝缘		橡胶绝缘		塑料绝缘		橡胶绝缘		塑料绝缘		橡胶绝缘
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铜	铜
0.5	7		7		4		4		8	7	7
0.75									13	10.5	9.5
0.8	11		10		9		9		14	11	10
1.0	13		11		9.6		10		17	13	11
1.5	17	13	14	12	10	8	10	8	21	17	14
2.0	19		17		13		12	12	25	18	17
2.5	23	17	18	14	17	14	16	16	29	21	18
4.0	30	23	28	21	18	19	21				
6.0	37	29		28	28	22					

表 0-6 中所列的安全载流量是根据线芯最高允许温度为 65℃、周围空气温度为 35℃ 而定的。当实际空气温度超过 35℃ 时 (指当地最热月份的平均最高温度), 导线的安全载流量应乘以表 0-9 所列的校正系数。表 0-7、表 0-8 也应考虑校正系数。

表 0-9 绝缘线安全载流量的温度校正系数

环境最高平均温度/℃	35	40	45	50	55
校正系数	1.0	0.91	0.82	0.71	0.58

4. 电力线的选用

选用电力线时, 先根据用途选定导线的系列及型号, 再由负载的性质及大小确定负载的电流值, 最后选定导线的规格。

三、常用绝缘材料

绝缘材料又称电介质,是电气工程中用途最广、用量最大、品种最多的一种电工材料,其电导率极低。它在直流电压作用下,除有极微小的泄漏电流通过外,可认为它是不导电的。绝缘材料主要用于隔离带电的或不同电位的导体,使电流能按预定的方向流动;在某些情况下,还能起支撑固定、灭弧、防潮、防霉及保护导体等作用。影响绝缘材料电导率的主要因素是杂质、温度和湿度。按绝缘材料的化学成分可将其分为无机绝缘材料、有机绝缘材料和混合绝缘材料三种;按绝缘材料的物理状态可将其分为气体绝缘材料、液体绝缘材料和固体绝缘材料三种。

1. 常用的绝缘材料

(1) 绝缘漆 绝缘漆是以高分子聚合物为基础,能在一定条件下固化成绝缘硬膜或绝缘整体的重要绝缘材料。绝缘漆包括浸渍漆和涂覆漆两大类。浸渍漆主要用于浸渍电机、电器的线圈,可以填充其间隙,提高绝缘结构的耐潮性、导热性、击穿强度和力学性能,分为有溶剂浸渍漆和无溶剂浸渍漆两类。涂覆漆包括覆盖漆、硅钢片漆、漆包线漆、放电晕漆等。应当注意,电气设备的喷漆及其他类似涂层可能具有很高的绝缘电阻,但都不能单独当作防止电击的技术措施。

(2) 绝缘胶 绝缘胶也是以高分子聚合物为基础,能在一定条件下固化成绝缘硬膜或绝缘整体的重要绝缘材料,广泛用于浇注电缆接头、电器套管、20kV 及以下电流互感器、10kV 及以下电压互感器等,有绝缘、防潮、密封和堵油作用。常用的绝缘胶有黄电缆胶、黑电缆胶、环氧电缆胶、环氧树脂胶、环氧聚酯胶等。

(3) 绝缘油 绝缘油有天然矿物油、天然植物油和合成油。天然矿物油有变压器油、开关油、电容器油、电缆油等;天然植物油有蓖麻油、大豆油等;合成油有氯化联苯、甲基硅油、苯甲基硅油等。其中矿物油使用最为广泛。绝缘油主要用于电气绝缘、冷却、灭弧、填充绝缘间隙等。空气中的氧和温度是引起绝缘油老化的主要因素,而许多金属对绝缘油的老化有催化作用。

(4) 绝缘制品 绝缘制品的种类很多,主要有纤维制品、浸渍纤维制品、绝缘层压制品、电工用塑料、云母制品、石棉制品、绝缘薄膜及其复合制品、电工玻璃与陶瓷、电工橡胶及电工绝缘包扎带等。

2. 绝缘材料的主要性能指标

绝缘材料大部分是有机材料,其耐热性、力学性能和寿命比金属材料低得多。绝缘材料是电工产品中最薄弱的环节,许多故障都发生在绝缘部分。绝缘材料老化的主要原因:在低压电气设备中是过热,在高压设备中是局部放电。

常用固体绝缘材料的主要性能指标有以下几个:

(1) 击穿强度 当绝缘材料中的电场强度高于某一数值时,绝缘材料会因损坏而失去绝缘性能,这种现象称为击穿。此电场强度称为击穿强度,单位为 kV/mm 。

(2) 耐热性 电工绝缘材料的使用寿命取决于其工作温度。为避免加速材料的老化,绝缘材料按其使用过程中的允许最高温度分为 7 个耐热等级,分别为 Y (极限工作温度为 90°C)、A (极限工作温度为 105°C)、E (极限工作温度为 120°C)、B (极限工作温度为 130°C)、F (极限工作温度为 155°C)、H (极限工作温度为 180°C)、C (极限工作温度为

180℃以上),使用时应注意。

(3) 绝缘电阻 绝缘材料的微小漏电流由两部分组成:一部分流经绝缘材料内部;另一部分沿绝缘材料表面流动。绝缘材料的表面电阻率和体积电阻率是不同的,使用时应加以区别。

(4) 力学性能 各种绝缘材料相应应有抗张、抗压、抗剪、抗撕、抗冲击等各种强度指标,在特殊场合使用时应予以注意。

使用绝缘材料有时还要考虑其耐油性、渗透性、伸长性、收缩率、耐溶剂性和耐电弧性等。

第三节 电气安全基础

一、电流对人体的作用

当人体接触带电体时,电流会对人体造成不同程度的伤害,即发生触电事故。触电事故可分为电击和电伤两种类型。

(1) 电击 电击是指电流通过人体时所造成的身体内部伤害,它会破坏人的心脏、呼吸及神经系统的正常工作,使人出现痉挛、窒息、心颤、心脏骤停等症状,甚至危及生命。绝大部分触电死亡事故都是由电击造成的。通常所说的触电事故基本上是指电击事故。电击后通常会留下较明显的特征:电标、电纹、电流斑。电标是指电流出入口处所产生的炭化标记;电纹是指电流通过皮肤表面,在其出入口间产生的树枝状不规则发红线条;电流斑是指电流在皮肤出入口所产生的大小溃疡。

电击可分为直接电击和间接电击。直接电击是指人体通过直接接触及正常运行的带电体所发生的电击;间接电击则是指电气设备发生故障后,人体触及意外带电部位所发生的电击。直接电击又称为正常情况下的电击,间接电击又称为故障情况下的电击。在触电事故中,直接电击和间接电击都占有相当比例,因此采取安全措施时要全面考虑。

(2) 电伤 电伤是指电流的热效应、化学效应或力学效应对人体造成的伤害。电伤可伤及人体内部,但多见于人体表面,且常会在人体上留下伤痕。电伤可分为以下几种情况。

1) 电弧烧伤,又称为电灼伤,是电伤中最常见也是最严重的一种,多由电流的热效应引起,但与一般的水、火烫伤性质不同。具体症状是皮肤发红、起泡,甚至皮肉组织被破坏或烧焦。通常发生在低压系统带负荷拉开裸露的刀开关时、线路发生短路或误操作引起短路时、开启式熔断器熔断时炙热的金属微粒飞溅出来的、高压系统因误操作产生强烈电弧时(可导致严重烧伤)、人体过分接近带电体(间距小于安全距离或放电距离)而产生强烈电弧时(可造成严重烧伤而致死)。

2) 电烙印,是指电流通过人体后在接触部位留下的斑痕。斑痕处皮肤变硬,失去原有弹性和色泽,表层坏死,失去知觉。

3) 皮肤金属化,是由于电流或电弧作用产生的金属微粒渗入了人体皮肤造成的,受伤部位变得粗糙坚硬并呈特殊颜色(多为青黑色或褐红色)。需要说明的是,皮肤金属化多在弧光放电时发生,而且一般都伤在人体的裸露部位,与电弧烧伤相比,皮肤金属化并