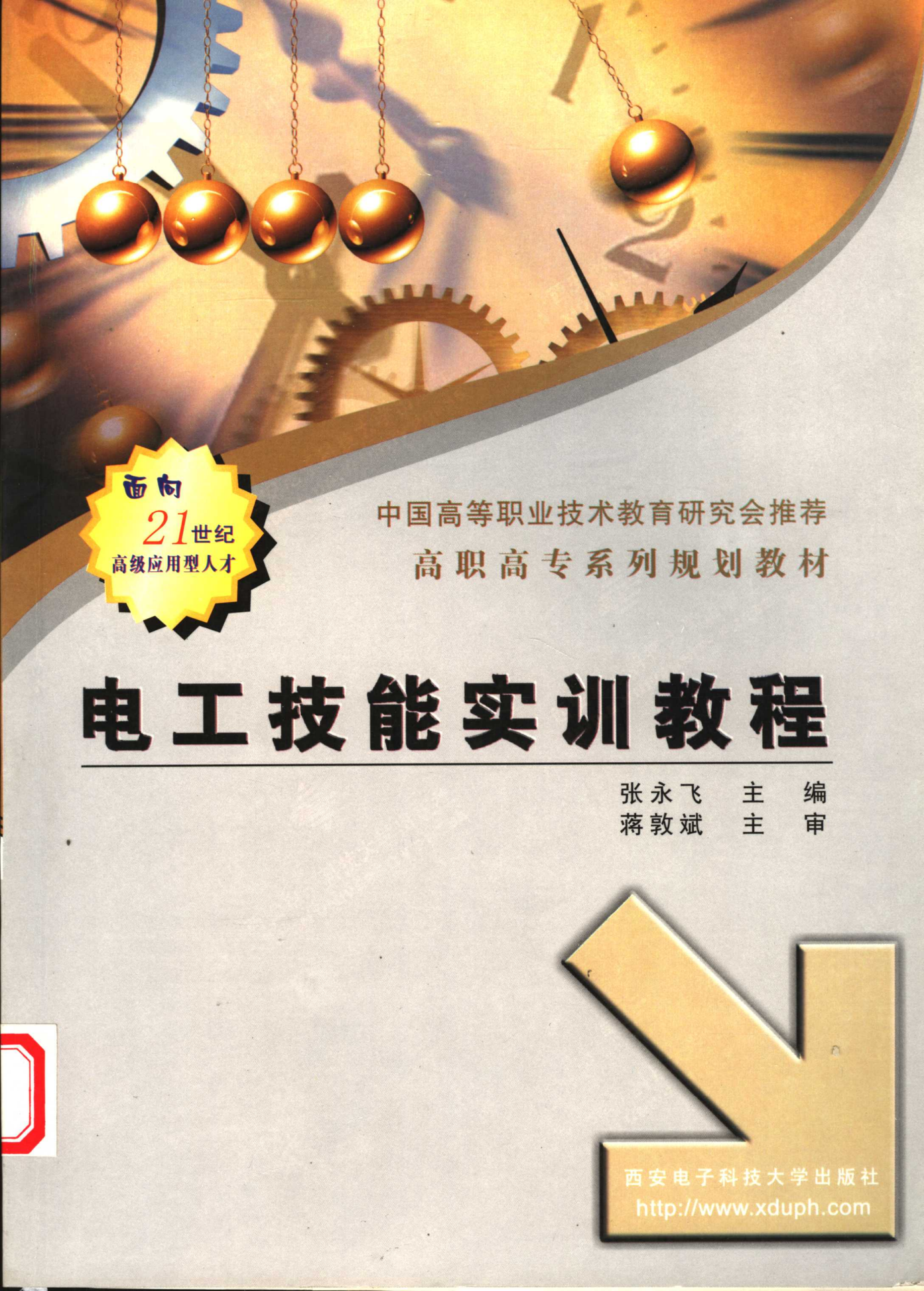




面向
21世纪
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐
高职高专系列规划教材

电工技能实训教程

张永飞 主 编
蒋敦斌 主 审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

□中国高等职业技术教育研究会推荐

高职高专系列规划教材

电工技能实训教程

主 编 张永飞

副主编 于 丽 孟 岩

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书从实用的角度出发,介绍电工技能涉及的理论和实际操作,主要包括:电工材料、常用电工仪表及测量、变压器与电动机、电工常用工具及电动工具、常用机械电气控制线路、高压变配电与低压供电、照明装置、电工安全知识、电气综合实训等内容。

本书依照机电类、电类及相关专业培养目标对电工技能的要求,以及国家职业技能鉴定(维修电工中、高级)考核标准,将“理论与实践”、“知识与技能”有机地融于一体。每章在介绍必要的理论知识的同时,还给出相关的训练课题。考虑到国家职业技能鉴定(高级)知识与技能体系的要求,本书将可编程控制器应用的内容作为可选章放在最后,各校可根据教学要求选用。

本书可作为电类、机电一体化、控制类及其他相近专业的电工实训教材,也可作为电工、维修电工职业技能鉴定培训教材,以及其他工程技术人员从事电气操作与维修的参考书。

★本书配有电子教案,需要的老师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

电工技能实训教程/张永飞主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2005. 1
(高职高专系列规划教材)

ISBN 7-5606-1449-3

I. 电... I. 张... II. 电工技术—高等学校:技术学校—教材 N. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 096194 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张晓燕 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http: //www. xduph. com

E-mail: xdupfxb@pub. xaonline. com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 25. 75 插图 1

字 数 610 千字

印 数 1~4000 册

定 价 26. 00 元

ISBN 7-5606-1449-3/TN·0283(课)

XDUP 1720001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

序

1999 年以来,随着高等教育大众化步伐的加快,高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展,出台了一系列相关的法律、法规、文件等,规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时,社会对高等职业技术教育的认识在不断加强,高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前,高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山,成为高等教育的重要组成部分,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时,也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求,培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师;编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材;创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题,西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中,对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式,以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上,召开系列教材专家编委会,评审教材编写大纲,并对中标大纲提出修改、完善意见,确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则,结合目标定位,注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破,体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种,已于 2001 年全部出齐,从使用情况看,比较适合高等职业院校的需要,普遍受到各学校的欢迎,一再重印,其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次,并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一,是教学内容改革的重要基础。为此,有关高职院校都十分重视教材建设,组织教师积极参加教材编写,为高职教材从无到有,从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长,还需要做艰苦的工作,我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师,在教书育人的同时,组织起来,共同努力,编写出一批高职教材的精品,为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长 李宗尧

机电类专业系列高职高专教材

编审专家委员会名单

主 任：刘跃南（深圳职业技术学院教务长，教授）

副主任：方 新（北京联合大学机电学院副院长，教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑，教授）

成 员：（按姓氏笔画排列）

刘守义（深圳职业技术学院工业中心主任，副教授）

李七一（南京工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

李望云（武汉职业技术学院机械系主任，副教授）

宋文学（西安航空技术高等专科学校机械系副主任，副教授）

邱士安（成都电子机械高等专科学校机电工程系副主任，副教授）

胡德淦（郑州工业高等专科学校机械工程系副教授）

高鸿庭（上海电机技术高等专科学校机械系副教授）

郭再泉（无锡职业技术学院自控与电子工程系副主任，副教授）

蒋敦斌（天津职业大学机电工程系主任，教授）

董建国（湖南工业职业技术学院机械工程系主任，副教授）

翟 轰（陕西工业职业技术学院院长，教授）

项目总策划：梁家新

项目策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

前 言

本书依照高等职业教育机电类、电类及相关专业培养计划对电工技能的要求,以及国家职业技能鉴定(维修电工中、高级)考核标准,将“理论与实践”、“知识与技能”有机地融为一体,以培养能力为主,突出使用维修、安装调试及故障判断,从实用的角度出发,介绍了电工技能涉及的理论和实际操作,主要包括:电工材料、常用电工仪表及测量、变压器与电动机、电工常用工具及电动工具、常用机械电气控制线路、高压变配电与低压供电、照明装置、电工安全知识、电气综合实训等内容。

本书作为实训教材,每章在介绍必要的理论知识的同时,还给出相关的训练课题,具有很强的通用性、针对性和实用性。全书的编写充分考虑电工技能的要求和知识体系,在层次安排上既有针对性的训练,又有综合的选题,所涉及知识面广,内容丰富;遵循由浅入深、由易到难、由简单到复杂,循序渐进的教学规律,突出工艺要领与操作技能,注重新技术、新知识、新工艺和新标准的讲授,重在解决“会做和做好”的问题,使学生在具有一定理论知识的同时,又具备较强的解决实际工程问题的能力。

电工技能实训是一门实践性很强、覆盖面较广的技术基础课,在教学过程中建议加强对学生的指导,特别是安全用电的教育,避免发生意外事故。

本书共10章,参考学时数为90学时,其中可编程控制器内容作为可选章放在最后,各校可根据教学要求选用。

本书可作为电类、机电一体化、控制类及其他相近专业的电工实训教材,也可作为电工、维修电工职业技能鉴定培训教材,以及其他工程技术人员从事电气操作与维修的参考书。

本书由天津职业大学张永飞、天津师范大学于丽、天津轻工业职业技术学院孟岩共同编写,其中张永飞编写第1、5、10章和附录部分,于丽编写第2、6、8、9章,孟岩编写第3、4、7章。张永飞任主编,负责全书的统稿工作;于丽、孟岩任副主编。

本书由蒋敦斌教授主审,他对本书提出了许多宝贵意见;西安电子科技大学出版社的编辑对本书的编写工作也给予了大力支持,在此对他们深表谢意。张瑞清、孙景文、张瑞华、何金龙、杨舒然、贾明竹、王惠炎、于海龙、安志辉等对本书的文字录入和插图绘制做了大量工作,本书在编写过程中参考了兄弟院校的有关教材及资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加上电工技术不断发展,教学内容不断更新,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者予以指正或提出修改意见。

编 者
2004年8月

目 录

第 1 章 电工材料	1	3.1.4 变压器的型号	47
1.1 常用导电材料	1	3.1.5 变压器的技术指标	48
1.1.1 铜、铝和电线电缆	1	3.1.6 中小型电力变压器	48
1.1.2 电热材料	4	3.1.7 变压器的检修	52
1.1.3 电阻合金	5	3.1.8 变压器检修后的组装	59
1.1.4 电机用电刷	5	3.1.9 热虹吸过滤器	60
1.2 常用绝缘材料	6	3.1.10 变压器油	60
1.2.1 绝缘材料的主要性能、种类和 型号	6	3.1.11 特种变压器及变压器类产品	62
1.2.2 绝缘漆	8	3.1.12 变压器的故障与排除	71
1.2.3 其他绝缘制品	8	3.2 交流电动机	76
1.2.4 绝缘子	10	3.2.1 交流电动机的用途及分类	76
1.3 常用磁性材料	10	3.2.2 三相异步电动机	76
1.3.1 软磁材料	10	3.2.3 各种常用电动机的运行与维护	88
1.3.2 硬磁材料	11	3.2.4 电动机常见故障及处理方法	91
1.4 其他材料	11	3.2.5 定子绕组故障的检查及排除	92
1.4.1 润滑脂	11	3.2.6 转子故障的检查及排除	97
1.4.2 滚动轴承	11	3.2.7 机轴的检查 and 修理	99
课题 1-1 常用电工材料的识别	14	3.2.8 轴承的检查 and 更换	100
第 2 章 常用电工仪表及测量	15	3.2.9 多速异步电动机的拆装	102
2.1 电工测量的基本知识	15	3.2.10 电磁调速电动机	106
2.1.1 常用名词术语	15	3.3 直流电机	107
2.1.2 常用电工仪表的种类、特点及 用途	15	3.3.1 直流电机的用途	107
2.1.3 测量的准确性及误差分析	17	3.3.2 直流电动机工作原理	107
2.2 电气参数的测量	17	3.3.3 直流电机的分类	108
2.2.1 测量仪表的结构及工作原理	17	3.3.4 直流电机的主要系列	109
2.2.2 测量仪表的选用	19	3.3.5 直流电机的型号	109
课题 2-1 常用电工仪表的使用	41	3.3.6 直流电机的主要技术参数	111
第 3 章 变压器与电动机	44	3.3.7 直流电机的维护与保养	112
3.1 变压器	44	3.3.8 直流电机的试验	115
3.1.1 变压器的用途	44	3.3.9 直流电机常见故障诊断及排除	118
3.1.2 变压器的结构	44	课题 3-1 变压器空载实验	120
3.1.3 变压器的分类	45	课题 3-2 交流电动机的拆装	120
		课题 3-3 交流多速电动机的拆装	120
		第 4 章 电工常用工具及电动工具	121
		4.1 电工常用工具	121

4.1.1 通用工具	121
4.1.2 登高用具	125
4.1.3 常用防护用具	126
4.1.4 常用专用工具	127
4.1.5 其他器具	131
4.2 电钻	132
4.2.1 电钻的基本结构	133
4.2.2 电钻的性能	135
4.2.3 使用方法	135
4.3 电动刮刀	136
4.3.1 结构原理	136
4.3.2 技术性能	138
4.3.3 使用方法	138
4.4 电剪刀	138
4.4.1 结构原理	138
4.4.2 技术性能	139
4.4.3 使用方法	139
4.4.4 维护和检修	139
4.5 电冲剪	140
4.5.1 结构原理	140
4.5.2 技术性能	141
4.5.3 使用方法	141
4.5.4 维护和检修	141
4.6 电动曲线锯	141
4.6.1 结构原理	141
4.6.2 技术性能	142
4.6.3 使用方法	143
4.6.4 维护和检修	143
4.7 电动锯管机	143
4.7.1 结构原理	144
4.7.2 技术性能	144
4.7.3 使用方法	144
4.7.4 维护和检修	145
4.8 无齿锯	145
4.8.1 结构原理	145
4.8.2 技术性能	146
4.8.3 使用方法	146
4.8.4 维护和检修	146
课题4-1 常用电工工具的使用	147
课题4-2 常用电动工具的使用	147

第5章 常用机械电气控制线路 148

5.1 电气控制线路图的识读	148
----------------------	-----

5.1.1 电路图	148
5.1.2 电气控制线路图	149
5.2 常用低压电器	152
5.2.1 低压电器分类及产品型号	152
5.2.2 低压电器的电磁机构及执行机构	153
5.2.3 开关电器	154
5.2.4 接触器	157
5.2.5 继电器	160
5.2.6 主令电器	165
5.2.7 熔断器	168
5.2.8 新型器件	170
5.3 电气控制线路基本环节	174
5.3.1 三相笼型异步电动机全压启动控制	174
5.3.2 三相笼型异步电动机降压启动控制	178
5.3.3 三相笼型异步电动机制动控制	179
5.4 电气控制系统设计	181
5.4.1 电气控制线路的工艺设计	181
5.4.2 电气配线工艺	184
5.5 电气控制线路的检修	189
5.5.1 电气控制线路的检修步骤	189
5.5.2 电气控制线路的检修方法	191
课题5-1 电气控制线路的安装和配线	195
课题5-2 C620—1型车床电气线路的安装与调试	196
课题5-3 X62W型卧式万能铣床电气线路的安装与调试	200

第6章 高压变配电与低压供电 207

6.1 高、低压供配电系统	207
6.2 高压配电装置	208
6.2.1 高压配电装置的最小安全净距	208
6.2.2 高压配电装置的安装	209
6.3 继电保护装置	209
6.3.1 串联脱扣器保护装置	210
6.3.2 感应型继电器过电流保护装置	210
6.4 低压进户装置	210
6.4.1 供电相数的选择	210
6.4.2 进户方式	210
6.4.3 进户杆	210
6.4.4 进户线和进户管	211

6.4.5 总配电装置	211	第9章 电气综合实训	266
6.5 低压线路	212	9.1 晶闸管整流电路的安装与调整	266
6.5.1 低压线路的一般要求	212	9.1.1 晶闸管整流元件和单结晶体管的 简易测试	266
6.5.2 户内、外明线	213	9.1.2 晶闸管整流电路的装接	269
课题6-1 低压架空线路安装的基本操作	214	9.1.3 单相半控桥式晶闸管整流电路的 调试	274
课题6-2 槽板敷设与线卡敷设	216	9.1.4 单相半控桥式晶闸管整流电路的 故障诊断与排除	279
课题6-3 线管加工	218	9.2 电弧炉	281
第7章 照明装置	220	9.2.1 主回路控制电路	282
7.1 照明常用电光源	220	9.2.2 KSD型晶闸管-交流双电机式 电弧炉电极自动调节系统的 分析、调试与维修	284
7.1.1 电光源的分类	220	9.3 B2012A型龙门刨床电气控制设备	298
7.1.2 照明灯具	223	9.3.1 电气控制线路分析	298
7.2 常用照明附件及照明装置电气线路	228	9.3.2 常见故障分析	311
7.2.1 灯具的布置	228	* 第10章 可编程控制器应用	320
7.2.2 照明要求	229	10.1 可编程控制器的结构及工作原理	320
7.2.3 照明线路的简介	230	10.1.1 可编程控制器的产生及发展	320
7.2.4 照明器具的选用和安装	233	10.1.2 可编程控制器的结构	322
7.2.5 室内配线	235	10.1.3 PLC工作原理	330
7.3 照明电路及灯具的常见故障与检测	239	10.1.4 PLC基本性能指标	331
7.3.1 照明电路常见故障及修理	239	10.1.5 关于PLC的内存分配及 I/O点数	332
7.3.2 各种常用灯的故障与检测	242	10.2 可编程控制器指令系统	337
课题7-1 白炽灯线路的安装	248	10.2.1 基本顺序指令	337
课题7-2 日光灯线路的安装	248	10.2.2 基本功能指令	342
第8章 电工安全知识	250	10.2.3 控制指令	348
8.1 安全用电	250	10.2.4 比较指令	353
8.1.1 电流对人体的危害	250	10.2.5 高级指令	357
8.1.2 人体电阻及安全电压	251	10.3 PLC的编程指导	364
8.1.3 有关触电的基本知识	252	10.3.1 PLC的编程方法	364
8.1.4 触电急救方法	256	10.3.2 常用基本环节编程	366
8.2 保护接地与保护接零	258	10.3.3 PLC程序设计步骤	373
8.2.1 保护接地和保护接零的方式及 作用范围	258	10.3.4 PLC的编程软件	375
8.2.2 电气设备的接地范围	260	10.4 可编程控制器应用举例	378
8.2.3 接地装置	260	10.4.1 定子磁极冲片自动生产线 控制系统	378
8.3 防雷保护	261	10.4.2 可编程控制器在自动机床上的 应用	382
8.3.1 雷电的危害及种类	261		
8.3.2 防雷措施	262		
8.3.3 接闪器	263		
课题8-1 触电急救	264		
课题8-2 消防训练	264		

课题 10-1 三相异步电动机的 PLC 控制	387	附录 2 维修电工操作技能模拟	
课题 10-2 铣床的 PLC 控制	387	考核试题	395
附录 1 中华人民共和国职业技能		附录 3 常用电气文字符号	398
鉴定规范(维修电工)	389	附录 4 常用电气图形符号	399
		参考文献	401

第 1 章 电 工 材 料



1.1 常用导电材料

导电材料大部分是金属，其特点是导电性好，有一定的机械强度，不易氧化和腐蚀，容易加工和焊接。金属中导电性能最佳的是银，其次是铜、铝。由于银的价格比较昂贵，因此只在比较特殊的场合才使用，一般都将铜和铝用作主要的导电金属材料。

常用金属材料的电阻率及电阻温度系数如表 1-1 所示。

表 1-1 常用金属材料的电阻率及电阻温度系数

材 料 名 称	20℃时的电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	电阻温度系数/ $^{\circ}\text{C}^{-1}$
银	1.6×10^{-8}	0.003 61
铜	1.72×10^{-8}	0.0041
金	2.2×10^{-8}	0.003 65
铝	2.9×10^{-8}	0.004 23
铝	4.77×10^{-8}	0.004 78
钨	5.3×10^{-8}	0.005
铁	9.78×10^{-8}	0.006 25
康铜(铜 54%，镍 46%)	50×10^{-8}	0.000 04

1.1.1 铜、铝和电线电缆

1. 铜

铜的导电性能好，在常温时有足够的机械强度，具有良好的延展性，便于加工，化学性能稳定，不易氧化和腐蚀，容易焊接，因此广泛用于制造变压器、电机和各种电器的线圈。纯铜俗称紫铜，含铜量高，根据材料的软硬程度可分为硬铜和软铜两种。铜材经过压延、拉制等工序加工后硬度增加，称作硬铜，通常用作机械强度要求较高的导电零部件。硬铜经过退火处理后硬度降低，即为软铜。软铜的电阻系数比硬铜小，适宜做电机、变压器和各类电器的线圈。在产品型号中，铜线的标志是“T”，“TV”表示硬铜，“TR”表示软铜。

2. 铝

铝的导电系数虽比铜大，但它密度小。同样长度的两根导线，若要求它们的电阻值一

样，则铝导线的截面积约是铜导线的 1.69 倍。铝资源较丰富，价格便宜，在铜材紧缺时，铝材是最好的代用品。铝导线的焊接比较困难，必须采取特殊的焊接工艺。电机和变压器上使用的铝是纯铝。由于加工方法不同，铝也有硬铝和软铝之分。用作电机、变压器线圈的大部分是软铝。在产品型号中，铝线的标志是“L”，“LV”表示硬铝，“LR”表示软铝。

3. 电线电缆

电线电缆的品种很多，按照它们的性能、结构、制造工艺及使用特点可分为裸线、电磁线、绝缘电线电缆和通信电缆四种。因其品种很多，这里仅介绍常用的几种。

1) 裸线

裸线只有导体部分，没有绝缘和护层结构。按产品的形状和结构不同，裸线分为圆单线、软接线、型线和裸绞线四种。修理电机电器时经常用到的是软接线和型线。

(1) 软接线。软接线是由多股铜线或镀锡铜线绞合编织而成的，其特点是柔软，耐振动，耐弯曲。常用软接线的品种见表 1-2。

表 1-2 常用软接线品种

名 称	型 号	主 要 用 途
裸铜电刷线 软裸铜电刷线	TS TS	供电机、电器线路电刷用
裸铜软绞线	TRJ TRJ—3 TRJ—4	移动式电器设备连接线，如开关等 要求较柔软的电器设备连接线，如接地线、引出线等 供要求特别柔软的电器设备连接线用，如晶闸管的引线等
软裸铜编织线	TRZ	移动式电器设备和小型电炉连接线

(2) 型线。型线是非圆形截面的裸电线，其常用品种见表 1-3。

表 1-3 常用型线品种

类 别	名 称	型 号	主 要 用 途
扁 线	硬扁铜线 软扁铜线 硬扁铝线 软扁铝线	TBV TBR LBV LBR	适用于电机电器、安装配电设备及其他电工制品
母 线	硬铜母线 软铜母线 硬铝母线 软铝母线	TMV TMR LMV LMR	适用于电机电器、安装配电设备及其他电工制品，也可用于输配电的汇流排
铜 带	硬铜带 软铜带	TDV TDR	适用于电机电器、安装配电设备及其他电工制品
铜 排	梯形铜排	TPT	制造直流电动机换向器用

2) 电磁线

电磁线应用于电机电器及电工仪表中，作为绕组或元件的绝缘导线。常用电磁线的导

电线芯有圆线和扁线两种，目前大多采用铜线，很少采用铝线。由于导线外面有绝缘材料，因此电磁线有不同的耐热等级。常用的电磁线有漆包线和绕包线两类。

(1) 漆包线。漆包线的绝缘层是漆膜，广泛应用于中小型电机及微电机、干式变压器和其他电工产品中。常用的漆包线有缩醛漆包线、聚酰漆包线、聚脂亚胺漆包线、聚酰胺酰亚胺漆包线和聚酰亚胺漆包线等五类。

(2) 绕包线。绕包线用玻璃丝、绝缘纸或合成树脂薄膜等紧密绕包在导电线芯上，形成绝缘层；也有在漆包线上再绕包绝缘层的。除薄膜绝缘层外，其他绝缘层均须经过胶粘绝缘漆浸渍处理，以提高其绝缘性能、力学性能和防潮性能，因此它们实际上是组合绝缘。绕包线一般用于大、中型电工产品。根据绕包线的绝缘结构可将其分为纸包线、薄膜绕包线、玻璃丝包线及玻璃丝包漆包线四类。

3) 电机电器用绝缘电线

常用的绝缘电线型号、名称和用途见表 1-4。

表 1-4 常用绝缘电线

型 号	名 称	用 途
BLXF BXF BLX BX BXR	铝芯氯丁橡胶线 铜芯氯丁橡胶线 铝芯橡胶线 铜芯橡胶线 铜芯橡胶软线	适用于交流额定电压 500 V 以下或直流 1000 V 以下的电气设备及照明装置
BV BLV BVR BVV BLVV BVVB BLVVB VB-105	铜芯聚氯乙烯绝缘电线 铝芯聚氯乙烯绝缘电线 铜芯聚氯乙烯绝缘软电线 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆型电线 铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平型电线 铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平型电线 铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘电线	适用于各种交流、直流电器装置，电工仪器仪表，电信设备、动力及照明线路固定敷设
RV RVB RVS RVV RVVB RV-105	铜芯聚氯乙烯绝缘软线 铜芯聚氯乙烯绝缘平行软线 铜芯聚氯乙烯绝缘绞型软线 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套圆型连接软电线 铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套平型连接软电线 铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘连接软电线	适用于各种交流、直流电器，电工仪器，家用电器，小型电动工具，动力及照明装置等的连接
RFB RFS	复合物绝缘平型软线 复合物绝缘绞型软线	适用于交流额定电压 250 V 以下或直流 500 V 以下的各种移动电器、无线电设备和照明灯座接线
RXS RX	橡胶绝缘棉纱编织软电线	适用于交流额定电压 300 V 以下的电器、仪表、家用电器及照明装置

1.1.2 电热材料

电热材料用于制造各种电阻加热设备中的发热元件,可作为电阻接到电路中,把电能转变为热能,使加热设备的温度升高。对电热材料的基本要求是电阻系数高,加工性能好,特别是能长期处于高温状态下工作,因此要求电热材料在高温时具有足够的机械强度和良好的抗氧化性能。目前工业上常用的电热材料可分为金属电热材料和非金属电热材料两大类,如表 1-5 所示。

表 1-5 常用电热材料的种类和特性

类 别	品 种	最高使用 温度/℃	应 用 范 围	特 点
金属 电热材料	铁基合金 Cr13AL4 Cr25AL5 Cr13AL6Mo2 Cr21AL6Nb Cr27AL17Mo2	950 1250 1250 1350 1400	应用广泛,适用于大部分中、高温工业电阻炉	电阻率比镍基类高,抗氧化性好,比重轻,价格较低,有磁性,高温强度不如镍基合金
	镍基合金 Cr15Ni60 Cr20Ni80 Cr30Ni70	1150 1200 1250	适用于 1000℃ 以下的中温电阻炉	高温强度高,加工性好,无磁性,价格较高,耐温较低
	重金属 钨 W 钼 Mo	2400 1800	适用于较高温度的工业炉	价格较高,须在惰性气体或真空条件下使用
	贵金属 铂	1600	适用于特殊高温要求的加热炉	价格高,可在空气中使用
	石墨 C	3000	广泛应用于真空炉等高温设备	电阻温度系数大,需配调压器,在真空中使用
非金属 电热材料	碳化硅 SiC	1450	常制成器件使用	高温强度高,硬而脆,易老化
	二硅化钼 MoSi ₂	1700	常制成器件使用	抗老化性好,不易老化,耐急冷、急热性差

电热材料是制造电热元器件及设备的基础。电热材料选用的恰当与否直接关系到电热设备的技术参数及应用规范,选用时必须综合考虑各项因素,并遵循如下原则:

(1) 具有高的电阻系数。这样在相同功率下耗材最省且可减小元件占据的空间;当流过的电流一定时,能产生较高的热量。

(2) 电阻温度系数要小。这样可提高高温下功率的稳定性。具有负电阻温度系数的材料还可减少材料在高温下因缺陷部分而引起的烧断事故。

(3) 具有足够的耐热性,包括在高温下有足够的力学性能,以保证在高温下不变形;同时还应具有高温下的化学稳定性,要不易挥发,不与炉衬和炉内气氛发生化学反应等。

(4) 热膨胀系数不能太大,否则高温下尺寸变化太大,易引起短路等。

(5) 应具有良好的加工性能,以保证能加工成各种需要的形状,同时也要保证钎焊容易。

(6) 材料来源及价格也是应考虑的因素。

我国的电热材料已形成了完整的体系。纯金属及非金属材料的使用温度虽高于合金型材料,但纯金属材料大部分需在保护气氛中使用,以防止氧化。纯金属与非金属材料的电阻温度系数大,电阻率低,使用时还需配以低电压大电流的调压装置,使设备费用增大,因此其使用受到局限。合金材料的使用范围较广,使用简便。铁、铬、铝系列电热合金的工作温度可达 1400℃,能满足大部分工业热处理设备的需要,是我国电热材料的主体。

1.1.3 电阻合金

电阻合金是制造电阻元件的主要材料之一,广泛用于电机、电器、仪器及电子等设备中。电阻合金除了必须具备电热材料的基本要求以外,还要求电阻的温度系数低,阻值稳定。电阻合金按其主要用途可分为调节元件用、电位器用、精密元件用及传感元件用四种,这里仅介绍前面两种。

(1) 调节元件用电阻合金主要用于电流(电压)调节与控制元件的绕组,常用的有康铜、新康铜、镍铬、镍铬铝等,它们都具有机械强度高、抗氧化性好及工作温度高等特点。

(2) 电位器用电阻合金主要用于各种电位器及滑线电阻,一般采用康铜、镍铬基合金和滑线锰铜。滑线锰铜具有抗氧化性好、焊接性能好、电阻温度系数低等特点。

1.1.4 电机用电刷

电刷是用石墨粉末或石墨粉末与金属粉末混合压制而成的,按其材质不同可分为石墨电刷、电化石墨电刷、金属石墨电刷三类。

常用电刷的主要技术特性及运行条件见表 1-6。

表 1-6 常用电刷的主要技术特性及运行条件

型 号	一对电刷接触 电压降/V	摩擦系数 (不大于)	额定电流密度 /A·cm ⁻²	最大圆周速度 /m·s ⁻¹	使用时允许的 单位压力/Pa
S-3	1.9	0.25	11	25	2.0×10 ⁴ ~2.5×10 ⁴
S-6	2.6	0.28	12	70	2.2×10 ⁴ ~2.4×10 ⁴
D104	2.5	0.20	12	40	1.5×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴
D172	2.9	0.25	12	70	1.5×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴
D207	2.0	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D213	3.0	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D214	2.5	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D215	2.9	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D252	2.6	0.23	15	45	2.0×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴
D308	2.4	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D309	2.9	0.25	10	40	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
D374	3.8	0.25	12	50	2.0×10 ⁴ ~4.0×10 ⁴
J102	0.5	0.20	20	20	1.8×10 ⁴ ~2.3×10 ⁴
J164	0.2	0.20	20	20	1.8×10 ⁴ ~2.3×10 ⁴
J201	1.5	0.25	15	25	1.5×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴
J204	1.1	0.20	15	20	2.0×10 ⁴ ~2.5×10 ⁴
J205	2.0	0.25	15	35	1.5×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴
J203	1.9	0.25	12	20	1.5×10 ⁴ ~2.0×10 ⁴

1.2 常用绝缘材料

由电阻系数大于 $10^7 \Omega \cdot \text{m}$ 的物质所构成的材料在电工技术上叫做绝缘材料。

1.2.1 绝缘材料的主要性能、种类和型号

1. 绝缘材料的主要性能

绝缘材料的主要作用是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。绝缘材料大部分是有机材料,其耐热性、机械强度和寿命比金属材料低得多。因此,绝缘材料是电工产品最薄弱的环节,许多故障发生在绝缘部分。各种绝缘材料都具有不同的特性,在修理电机和电器时必须合理选用。固体绝缘材料的主要性能指标有以下几项:

(1) 击穿强度。绝缘材料在高于某一数值的电场强度的作用下,会被损坏而失去绝缘性能,这种现象称为击穿。绝缘材料被击穿时的电场强度称为击穿强度,单位为 kV/mm 。

(2) 绝缘电阻。绝缘材料的电阻率虽然很高,但在一定的电压作用下总有微小电流通过,这种电流称为泄漏电流。泄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。为了更清楚地表明材料的绝缘性能,通常用表面电阻率和体积电阻率两项指标对各种不同的绝缘材料进行比较。同一种绝缘材料,由于温度不同或表面状态(水分、污物等)不同,绝缘电阻值也会有很大的差异。随着温度的升高,体积电阻值将下降。绝缘材料受潮后,体积电阻值和表面电阻值都会降低。绝缘材料表面积污后,其表面电阻值也要下降。

(3) 耐热性。电机电器在运行过程中,其内部的绝缘材料长期在热态下工作,因此所选用的绝缘材料必须具有一定的耐热性能。根据各种绝缘材料的耐热性能,规定了它们在使用过程中的最高温度,以保证电工产品的使用寿命,避免使用时因温度过高而加速绝缘材料老化。电工绝缘材料按其允许最高温度分为 7 个耐热等级,见表 1-7。

表 1-7 绝缘材料的耐热等级

等级代号	耐热等级	绝 缘 材 料	允许最高温度/ $^{\circ}\text{C}$
0	Y	木材、棉纱、天然丝、纸及纸制品、纤维等天然纺织品;以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品;易于热分解和熔点较低的塑料(脲醛树脂)	90
1	A	工作于矿物油中的 Y 级材料;用油或油树脂复合胶浸过的 Y 级材料;漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆、沥青漆等	105
2	E	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	120
3	B	聚酯薄膜;经合适树脂粘合或浸渍、涂覆的云母;玻璃纤维、石棉等制品;聚酯漆、聚酯漆包线	130

续表

等级代号	耐热等级	绝 缘 材 料	允许最高温度/℃
4	F	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；化学稳定性较好的聚酯和醇酸类材料、复合硅有机聚酯漆	155
5	H	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的F级材料、复合云母、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	180
6	C	不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物，如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	180 以上

(4) 粘度、固体含量、酸值、干燥时间及胶化时间。绝缘漆是以高分子化合物为基础，能在一定条件下固化成膜或把其他材料粘结成整体的绝缘材料，因此也被列入固体绝缘材料的范围。绝缘漆分为有溶剂漆和无溶剂漆两类。有溶剂漆一般是以合成或天然树脂等为漆基，掺入适量的溶剂、稀释剂、颜料和填料等制成的。烘干或气干后，绝缘漆中的溶剂和稀释剂必须全部挥发，剩下的漆基、颜料和填料固化并附着在有关物体表面上，形成坚韧的漆膜。无溶剂漆是由合成树脂、固化剂和活性稀释剂等组成的，活性稀释剂参与固化的化学反应，是漆基的组成部分，因此固化过程挥发物少。对于有溶剂绝缘漆，除了规定其固化后的性能指标以外，还对粘度、固体含量、酸值和干燥时间作出具体规定。对于无溶剂绝缘漆要规定其粘度及胶化时间。1.2.2节将具体介绍绝缘漆。

(5) 机械强度。根据各种绝缘材料的具体要求，相应规定抗张、抗压、抗弯、抗剪、抗撕、抗冲击等各种强度指标。各种不同的绝缘材料还有各种不同的性能指标，如渗透性、耐油性、伸长率、收缩率、耐溶剂性和耐电弧等。

2. 绝缘材料的种类和型号

电工绝缘材料分气体、液体和固体三大类。固体绝缘材料按其应用或工艺特征又可划分为6类，见表1-8。

表 1-8 固体绝缘材料的分类

分类代号	分类名称	分类代号	分类名称
1	漆、树脂和胶类	4	压塑料类
2	浸渍纤维制品类	5	云母制品类
3	层压制品类	6	薄膜、粘带和复合制品类

为了全面表示固体电工绝缘材料的类别、品种和耐热等级，用四位数字表示绝缘材料的型号：

第一位数字为分类代号，以表1-8中的分类代号表示；

第二位数字表示同一分类中的不同品种；

第三位数字为耐热等级代号；