



高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专电子信息类系列教材

电子工艺与实训简明教程

王成安 龙立钦 主 编



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书按照现代电子产品的生产工艺顺序进行编写,内容包括电子元器件检测、电子材料选用、电子测量仪器、电子产品装配前的准备、电子元件焊接、印制电路板制作工艺、电子产品安装、电子产品调试、表面元件安装、电子产品的检验与包装等全部生产工艺,在每章后面都安排有相应的实训环节。为了提高生产管理水平和电子工艺操作技能,书中还增加了电子工艺文件的识读和电子产品工艺综合训练两章。

本书在选材上具有先进性和实用性,是现代电子产品实际生产步骤的仿真,可作为高职院校电子信息和应用电子技术专业的教材,对从事电子产品工艺的技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺与实训简明教程/王成安,龙立钦主编. —北京:科学出版社, 2007

(高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专电子信息类系列教材)

ISBN 978-7-03-019032-1

I. 电… II. ①王…②龙… III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 076673 号

责任编辑:赵卫江 许 进/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:东方人华平面设计部

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007年6月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—3 000 字数:373 000

定价:23.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138017 (V101)

出版说明

进入 21 世纪,国际竞争日趋激烈,竞争的焦点是人才的竞争,是全民素质的竞争。人力资源在增强国家综合国力方面发挥着越来越重要的作用,而人力资源的状况归根结底取决于教育发展的整体水平。

温家宝总理在主持召开教育工作座谈会时提出,职业教育是面向人人的教育,要把发展职业教育放在更加重要、更加突出的位置来抓。国家大力发展职业教育,使得职业教育进入了蓬勃发展时期,驶入了高速发展的快车道。

高等职业教育要面向地区经济建设和社会发展,适应就业市场的实际需要,培养生产、建设、服务、管理第一线需要的实用人才,真正办出特色。因此,不能以本科压缩和变形的形式组织高等职业教育,必须按照高等职业教育的自身规律组织教学体系。

为此,我社本着“高水平、高质量、高层次”的“三高”精神和“严肃、严密、严格”的“三严”作风,集中电子信息大类相关专业的专家、各职业院校“双师型”教师,编写了高职高专层次系列教材。这些教材以普通高等教育“十一五”国家级规划教材和中国科学院获奖教材为主体,包括如下两个部分:

- 高职高专计算机类系列教材,又分

- 计算机专业基础系列教材
- 计算机应用技术系列教材
- 网络工程系列教材
- 软件工程系列教材

- 高职高专电子信息类系列教材

本套教材建设的宗旨是以学校的选择为依据,以方便教师授课为标准,以应用型职业岗位需求为中心,以素质教育、创新教育为基础,以学生能力培养为本位,力求突出以下特色。

1. 理念创新:秉承“教学改革与学科创新引路,科技进步与教材创新同步”的理念,根据新时代对高等职业教育人才的需求,出版一系列体现教学改革最新理念、内容领先、思路创新、突出实训、成系列配套的高职高专教材。

2. 方法创新:摒弃“借用教材、压缩内容”的滞后方法,专门开发符合高职特点的“对口教材”。

3. 特色创新:加大实训教材的开发力度,填补空白,突出热点。保证所有教材都配有“课件”、“教学资源支持库”等立体化的教学资源,以方便教师教学与学生学习。对于部分专业,组织编写“双证”教材,注意将教材内容与职业资格、技能证书进行衔接。

4. 内容创新:在教材的编写过程中,力求反映知识更新和科技发展的最新动态,将新知识、新技术、新内容、新工艺、新案例及时反映到教材中,体现了高职教育专业紧密联系生产、建设、服务、管理第一线的实际要求。

欢迎广大教师、学生在使用本系列教材后提出宝贵意见,以便我们进一步做好修订工作,出版更多的精品教材。

科学出版社

2007 年 1 月

前 言

《电子工艺与实训简明教程》是为高职院校电子信息工程技术专业和通信技术专业编写的一本电子技能实训的教材,也可供电类其他专业使用。

电子技术的飞速发展,使得各种新器件、新电路、新技术、新工艺如雨后春笋般涌现,电子工艺实训教材必须及时反映这些新进展,与时俱进,才能胜任现代电子技术对高职教育的要求。特别是在大规模集成电路被广泛应用的今天,电子技术正朝着专用电子集成电路(ASIC)方向、硬件和软件合为一体的电子系统(CPLD和FPGA)方向发展,以硬件电路设计为主的传统设计方法,正向着充分利用器件内部资源和外部引脚功能的设计方法转化。电子产品的生产也由传统的手工装配向全自动化装配方向迈进,SMT技术在大批量电子产品的装配上已经基本普及。正是为了适应社会的实际需要,我们编写了这本教材,力图反映电子技术的新工艺和新技术,介绍电子产品的新器件和新电路,体现电子技术实训教学的新模式和新方法,更好地为高职教育服务。

根据高等教育培养目标的要求,高职层次培养的人才必须具有大学专科的理论基础,并有较强的本专业职业技能。高职教育培养的人才是面向生产第一线的技术型人才。这类人才不同于将学科体系转化为图纸和设计方案的工程技术人员,而主要是如何把方案和图纸转化为实物和产品的实施型高级技术人才。因此电子工艺实训课程的教学内容必须要按照社会生产的实际情况来制定,再也不能只教一些学而无用的知识和已经落后的技能了。

我们编写本书的目标是:

(1) 电子工艺与实训是一门专业技能性质的课程,既要有技能的基础性,又要有技能的先进性,所以在实训内容的安排上,除了包含有电子技术技能训练的基本内容,还把先进的电子工艺,如SMT技术和计算机制作印刷电路板等工艺作为训练内容,使电子工艺实训教材的内容跟上时代的发展步伐。

(2) 在技能的训练上,以“必须”和“够用”为原则。对基本技能进行训练时,不做过于繁杂的理论讲解,重点放在基本技能的训练上;对先进的电子工艺进行训练,重在进行设备的认识和操作上,因为先进的电子工艺已经基本上实现了自动化操作。

(3) 在实训内容的安排上,以单项技能训练为主,最后再进行综合技能训练,以便更好地配合教学的进度。配合每项技能训练都精心设计了自测题,以方便教师和学生对该项技能训练的效果进行检查;更有特色的是,结合各项技能训练,精心安排了“技能与技巧”内容,为学生提供了有实用价值的技能技巧训练,相信会对提高学生的电子技术技能和开拓学生的视野有所帮助。

本书由辽宁省2003年高等教育专业精品课主讲人——辽宁机电职业技术学院王成安教授和贵州电子信息职业技术学院龙立钦实验师担任主编。王成安制定了编写大纲,撰写了前言、绪论、第5章、第7章、第10章和附录,并对全书进行统稿。龙立钦编写了第6章和第8章,广东科学技术职业学院祝常红高级讲师编写了第4章和第11章,

辽东学院李晓焱副教授编写了第 12 章, 山东商业职业技术学院李亚平副教授编写了第 3 章和第 9 章, 沈阳师范大学职业技术学院马岩老师编写了第 1 章和第 2 章。无锡商业职业技术学院童建华教授从高职教育的角度出发, 仔细审阅了全书, 对全书提出了很多宝贵的意见和建议。对书后所列参考书籍的各位作者, 编者表示深深的感谢。

尽管我们在电子工艺实训教材的建设方面做了许多努力, 但由于编者水平所限, 书中不妥之处在所难免, 敬请广大师生给予批评和指正。请把对本书的建议告诉我们, 以便修订时改进。所有意见和建议请寄往: E-mail:wang-ca420@sohu.com。

编 者

2007 年 4 月

目 录

绪论	1
第1章 电子元器件的检测工艺	3
1.1 电阻器的识别与检测	3
1.1.1 电阻器的主要参数	4
1.1.2 电位器	7
1.1.3 电阻(位)器的测试	8
1.2 电容器的识别与检测	9
1.2.1 电容器的型号命名法	10
1.2.2 电容器的主要参数	11
1.2.3 常见电容器的类型与选用原则	12
1.2.4 电容器的检测	14
1.3 电感器的识别与检测	15
1.3.1 电感器	16
1.3.2 变压器	17
1.3.3 电感线圈和变压器的型号及命名方法	17
1.3.4 电感器的主要参数	19
1.3.5 电感器和变压器的选用及测量	20
1.4 半导体分立器件的识别与检测	21
1.4.1 国产半导体器件型号命名法	22
1.4.2 半导体二极管	22
1.4.3 半导体三极管	24
1.5 集成电路的测量	26
1.5.1 数字集成电路	27
1.5.2 模拟集成电路	28
1.5.3 音乐集成电路	30
1.6 电声器件与光电器件的检测	32
1.6.1 电声器件的检测	32
1.6.2 光电器件	35
1.7 开关、接插件和继电器的检测	37
1.7.1 开关器件	37
1.7.2 接插件	38
1.7.3 继电器	39
1.8 半导体传感器	42
1.8.1 热敏传感器	42
1.8.2 磁敏传感器	44
1.8.3 力敏传感器	44

1.8.4 气敏传感器	44
1.8.5 湿敏传感器	44
1.9 压电元件和霍尔元件的检测	45
1.9.1 压电元件	45
1.9.2 霍尔元件	47
自测题	49
实训1 电子元器件的识别与检测	49
第2章 电子材料的选择与使用工艺	51
2.1 一般安装导线的选择与使用	51
2.1.1 电气因素	52
2.1.2 环境因素	52
2.1.3 装配工艺因素	53
2.2 绝缘材料的选择与使用	53
2.2.1 绝缘材料的分类	53
2.2.2 绝缘材料的性能指标	53
2.2.3 常用电工绝缘材料的选择	54
2.3 印制电路板的使用	55
2.3.1 PCB基本知识	56
2.3.2 PCB的分类	57
2.3.3 导线的印制	57
2.3.4 PCB的对外连接	57
2.4 焊接材料的选择与使用	58
2.4.1 焊料的种类	58
2.4.2 焊接电子产品时焊料的选择	58
2.4.3 助焊剂的种类	59
2.4.4 助焊剂的选用	60
2.5 磁性材料的选择与使用	61
2.5.1 常用磁性材料的分类及特点	61
2.5.2 磁性材料的应用范围	62
2.6 粘接材料的选择与使用	63
2.6.1 粘合剂简介	64
2.6.2 粘合机理与粘合面表面的处理	65
自测题	66
实训2 电子材料的认识与检测	66
第3章 电子测量仪器的使用	68
3.1 指针万用表和数字万用表的使用	68
3.1.1 MF-47型万用表	68
3.1.2 DT-830型数字万用表	69
3.2 双踪示波器和信号发生器的使用	70
3.2.1 示波器	70
3.2.2 低频信号发生器	74

3.2.3 高频信号发生器	78
3.3 电子电压表的使用	81
3.4 直流稳压电源的使用	83
3.4.1 SG1731 型直流稳压电源的技术指标	83
3.4.2 SG1731 型直流稳压电源面板上的各按键和旋钮	84
3.4.3 SG1731 型直流稳压电源的使用方法	85
3.5 万用电桥和 Q 表的使用	85
3.5.1 QS18A 型万用电桥的使用	86
3.5.2 QBG-3D 高频 Q 表的使用	88
自测题	88
实训 3 示波器、信号发生器和毫伏表的使用	91
第 4 章 电子产品装配前的准备工艺	91
4.1 导线加工的方法	91
4.1.1 绝缘导线的加工方法	92
4.1.2 屏蔽导线端头的加工	94
4.2 线扎的制作	97
4.3 电子元器件装配前的加工	97
4.3.1 元器件引线的成形要求	97
4.3.2 元器件引线成形的方法	98
4.3.3 元器件引线的浸锡	99
自测题	99
实训 4 导线加工与线扎的制作	100
第 5 章 电子元器件的焊接工艺	100
5.1 手工焊接工具的使用和操作方法	100
5.1.1 手工焊接工具	101
5.1.2 手工焊接的方法	103
5.2 手工锡焊的操作技巧	103
5.2.1 手工焊接的诀窍	104
5.2.2 具体焊件的锡焊操作技巧	108
5.3 手工拆焊方法与技巧	108
5.3.1 拆焊操作的原则与工具	108
5.3.2 具体元件的拆焊操作	110
5.4 工厂焊接设备与工艺	110
5.4.1 浸焊与浸焊设备	110
5.4.2 波峰焊与波峰焊接的工艺流程	111
自测题	111
实训 5 手工焊接技能训练	113
第 6 章 印制电路板的制作工艺	113
6.1 印制电路板的种类和特点	113
6.1.1 印制电路板的类型	114
6.1.2 印制电路板的材料	114

6.2 印制电路板的设计基础	115
6.2.1 印制电路板的设计内容及要求	115
6.2.2 印制电路板的布局	115
6.2.3 印制电路板的具体设计过程及方法	121
6.3 印制电路板的制造与检验	124
6.3.1 印制电路板的制造工艺	124
6.3.2 印制电路板的质量检验	125
6.3.3 印制电路板的手工制作方法	126
6.4 印制电路板的计算机设计	127
6.4.1 计算机辅助设计印制电路板软件	127
6.4.2 CAD与EDA	130
6.5 印制电路板技术的发展趋势	131
6.5.1 多层印制电路板	131
6.5.2 特殊印制电路板	132
自测题	134
实训6 手工制作印制电路板技能训练	135
第7章 电子产品安装工艺	136
7.1 电子产品紧固工具及紧固件的选用	136
7.1.1 紧固工具及紧固方法	136
7.1.2 常用紧固件的选用	137
7.2 电子产品元部件的安装	138
7.2.1 陶瓷零件、胶木零件和塑料件的安装	138
7.2.2 仪器面板零件的安装	138
7.2.3 大功率器件的安装	138
7.2.4 集成电路的安装	139
7.2.5 扁平电缆线的安装	140
7.2.6 屏蔽线缆的安装	140
7.2.7 一般电子元件的安装方法	141
7.3 电子产品的其他安装方法	142
7.3.1 压接	142
7.3.2 绕接	143
7.4 电子产品的整机安装	144
7.4.1 整机安装的内容	144
7.4.2 整机安装的方式	144
7.4.3 整机安装的原则	145
自测题	145
实训7 元件安装和整机装配训练	145
第8章 电子产品的调试工艺	147
8.1 电子产品的调试内容与设备	147
8.1.1 电子产品的调试设备配置与调试内容	147
8.1.2 电子产品样机的调试工作	150

8.1.3 电子产品批量生产的调试工作	151
8.2 电子产品的检测方法	153
8.2.1 观察法	153
8.2.2 测量电阻法	154
8.2.3 测量电压法	154
8.2.4 替代法	155
8.2.5 波形观察法	155
8.2.6 信号注入法	155
8.3 电子产品的调整方法	156
8.3.1 电路静态工作点的调整	156
8.3.2 动态特性调整	157
8.4 实际电子产品的调试	158
自测题	161
实训 8 电子产品调试训练	162
第 9 章 电子产品的检验与包装工艺	164
9.1 电子产品的检验工艺	164
9.1.1 电子产品的检验项目	164
9.1.2 电子产品的检验时间	164
9.1.3 电子产品的样品试验	165
9.2 电子产品的包装工艺	166
9.2.1 电子产品的包装要求	166
9.2.2 电子产品的包装材料	166
9.2.3 电子产品包装的防伪要求	167
9.2.4 电子产品的整机包装工艺	167
自测题	169
实训 9 电子产品的检验与包装工艺认识	169
第 10 章 电子元件表面安装工艺	170
10.1 表面安装技术	170
10.1.1 表面安装技术的优点和存在的问题	171
10.1.2 表面安装技术的基本工艺	171
10.1.3 安装技术的发展	173
10.2 表面安装元器件和材料	173
10.2.1 表面安装元器件	173
10.2.2 表面安装的其他材料	180
10.3 表面安装设备与手工操作 SMT	181
10.3.1 表面安装设备	181
10.3.2 手工 SMT 的基本操作	182
自测题	183
实训 10 工业表面贴装设备的认识训练	184
第 11 章 电子工艺文件的识读	185
11.1 电子工艺文件的内容	185



11.1.1 电子工艺文件的种类	185
11.1.2 电子工艺文件的内容	185
11.1.3 工艺文件的格式	186
11.2 实际电子产品工艺文件示例	187
自测题	192
第12章 电子工艺综合训练	193
12.1 超外差式收音机的装调实训	193
12.2 数字万用表的装调实训	205
12.3 充电器和稳压电源两用电路的装调实训	208
12.4 集成电路扩音机的装调实训	215
12.5 集成时基电路 555 的应用设计实训	220
12.6 多路竞赛抢答器的装调实训	222
12.7 交通信号控制系统的装调实训	227
12.8 数字电子钟的装调实训	234
12.9 数字调谐式收音机 (SMT) 的装调实训	238
附录	245
附录1 电子电路中常用的二极管和三极管	245
附录2 74LS 系列集成电路逻辑功能速查表	246
附录3 Protel 99 的元件库名中英文对照表	250
参考文献	251

绪 论

世纪交替，风云际会。世界正在受到新科技革命浪潮的冲击，科学技术正处在历史上最伟大的变革时期。在 20 世纪为人类生产和生活条件的改善做出巨大贡献的电子技术，仍然充当着新世纪高新技术的领头羊。电子技术的发展历史很短，迄今不过百年，却从根本上改变了世界的面貌。纵观电子技术的发展历程，炎黄子孙将感到振兴中华的责任重大而迫切，中国要强大，就必须有先进的科学技术，中国正面临着世界的挑战，面临着 21 世纪的挑战。

电子技术的发展大致可分为三个阶段。20 世纪 20 年代到 40 年代为第一阶段，以电子管为标志，由此促使了电子工业的诞生，发展了无线电广播和通信产业。1946 年诞生的世界上第一台电子计算机（美国制造，名为 ENIAC）可以认为是这个阶段的典型代表和终极产品。虽然它的运算速度只有 5000 次/秒，却是一个重为 28 吨、体积为 85 立方米、占地 170 平方米的庞然大物。它由 18000 个电子管组成，耗电 150 千瓦，其内部的连线总长可以绕地球 20 圈。

1948 年，第一只半导体三极管的问世，标志着电子技术第二阶段的开始，掀起了电子产品向小型化、大众化和高可靠性、低成本进军的革命风暴，半导体进入电子领域，促进了无线广播电视和移动通信的高度发展，使得计算机的小型化变为现实，导致了人造地球卫星遨游太空。电子产品逐渐由科研和军用领域向民用领域普及，极大地改善了人们的生活质量。

到 20 世纪 70 年代，集成电路的使用已经不再新奇，电子技术步入了第三个发展阶段。正是在这个阶段，电子技术飞速发展，各种电子产品如雨后春笋般涌现，世界进入了空前繁荣的电子时代。电子计算机朝着大型化和微型化发展，其使用领域由科研转向工业及各个行业，自动控制、智能控制得以真正实现，航天工业得到从未有过的发展。随着制造工艺的提高，在一块 36 平方毫米的硅片上制造 100 万个三极管已经不是梦想。1999 年美国英特尔公司宣布，其生产的奔腾 4 CPU，在一块芯片上集成了 2975 万个三极管，使微型机的运算速度远远超过以往的大型计算机。掌上电脑已经问世，移动通信已发展到全球通，数字式 CDMA 通信技术已非常成熟，手机已不再是奢侈品。笔记本电脑正在把人们的工作地点从办公室里解放出来。家用电器基本普及，人们的生活质量大幅提高，中国古代传说中的“千里眼”和“顺风耳”都在电子技术的发展过程中变成现实。人们可以“上九天揽月”，能够“下五洋捉鳖”。2003 年，人类将高度智能化的火星探测器送上火星，研制成功了可用于修补大脑的集成电路芯片，量子计算机的基本电路也研制成功。这一切都有赖于电子技术的巨大成就。可以预料，在新的世纪里，电子技术仍将高速发展，其所能达到的水平和发展速度无论怎样想象都不过分。

我国的电子工业在解放前基本上是空白。新中国成立后，在一批归国科学家的引领下，于 1956 年自主生产出第一只半导体三极管，1965 年生产出第一块集成电路，1983 年研制出银河 I 型亿次机，标志着中国的计算机业迈入了巨型机的行列。1992 年我国

又研制出 10 亿次银河计算机, 1995 年研制成功曙光 1000 型并行处理计算机, 其运行速度可达 25 亿次/秒。2004 年, 曙光超级服务器研制成功, 每秒峰值速度达到 12 万亿次。我国自己研制的神州 5 号和神州 6 号载人飞船已经成功地进行了航天飞行, 正朝着登陆月球的目标迈进。我国的电子工业从无到有, 从小到大, 虽然起步晚, 但起点高, 现在我国家用电器的产量已居世界第一, 质量提高也很快。这些成就的取得电子技术功不可没。尽管如此, 我国在电子核心元器件的生产和高级电子产品等方面, 与发达国家相比还有较大差距。努力缩小差距, 赶超世界先进水平, 这正是历史赋予我们这一代人的光荣使命。

电子技术的范围很广, 其分支也很多, 有些分支已发展成为一门独立的学科, 如计算机、单片机、晶闸管、可编程控制器等。但这些学科的知识基础仍然是电子技术。

从对信号的处理方式上来分, 电子技术可分成模拟电子技术和数字电子技术。模拟电子技术是研究用硅、锗等半导体材料做成的电子器件组成的电子电路, 对连续变化的电信号(如正弦波)进行控制、处理的应用科学技术。比如我们日常生活中使用的固定电话、收音机、电视机等都属于模拟电子技术应用的产品。数字电子技术是研究处理二值数值信号的应用科学技术。像 VCD 机、DVD 机、数码照相机、数码摄像机和计算机都是数字电子技术应用的典型产品。现代电子技术的发展, 已经将模拟电子技术和数字电子技术融为一体, 在一个电路中, 甚至是一个芯片中, 模拟信号和数字信号将同时进行处理, 比如移动通信所使用的手机就是将语音这样的模拟信号进行数字化处理后再发射出去。

从电子技术所包含的内容上来分, 电子技术可以分成电子元件和电子电路两部分。电子元件主要研究各种电子元件的结构、特点、主要参数和生产工艺, 其设计和制造属于电子技术的一个重要领域, 其使用、装配和检测在电子技术工艺中是要着重训练的课题; 电子电路是把电子元件按照对电信号处理的要求进行一定的连接, 以实现预定的功能。这是模拟电子技术和数字电子技术理论教材要着重介绍的内容。

高等职业技术学院电类专业的学生都必须学习电子工艺, 要进行电子技能方面的训练, 这是学习电子技术的必由之路。通过电子技能方面的训练, 对电子工艺的基本过程和基本方法进行了解, 对电子新电路和电子新器件进行掌握, 更要熟练掌握电子技术中的基本技能, 以适应就业岗位对高职学生的要求。通过实际技能的学习和训练, 了解现代电子工艺的新思想和新方法, 掌握现代电子技术的新工艺和新技术, 以及新型电子器件的使用和检测, 为直接上岗打下良好的基础。

电子技术工艺是一门实践性很强的课程, 其实践性充分体现在对电子技术基本技能的训练之中。我们要在学习基本理论的基础上, 多参与实践, 通过参加电子工艺实训, 做到会认识和检测常用电子元件, 会焊接和安装小型电子电器产品, 会调试和维护小型电子系统, 会操作现代电子工艺设备。通过实践就会发现, 电子技术应用在生活中随处可见, 从而激起对电子技术的极大兴趣, 享受电子技术带来的无穷欢乐。让我们共同遨游在电子世界的海洋里, 为社会的发展和进步, 为人类生活的更加美好, 做一名合格的建设者, 当然也会分享到社会进步带给你的幸福。

1

第 1 章

电子元器件的检测工艺

1.1 电阻器的识别与检测

电阻器（简称电阻）是在电子电路中最用得最多的元件之一，其在电路中的作用可以简单记为：串联分压，并联分流。即电阻用在串联电路中起着限流和分压的作用，在并联电路中起着分流的作用。电阻的作用还有许多，要根据其在电路中的位置具体分析。

电阻器的文字符号用大写字母 R 表示。电阻的单位是欧姆（ Ω ），常用的单位还有千欧姆（ $k\Omega$ ）、兆欧姆（ $M\Omega$ ）。它们之间的换算关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

常见电阻器的外形和图形符号如图 1.1 所示。

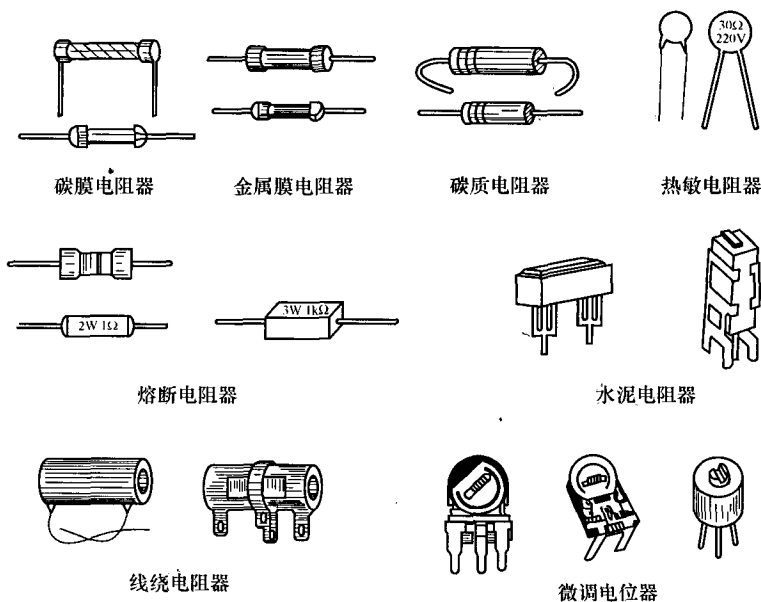


图 1.1 常见电阻器的外形和图形符号

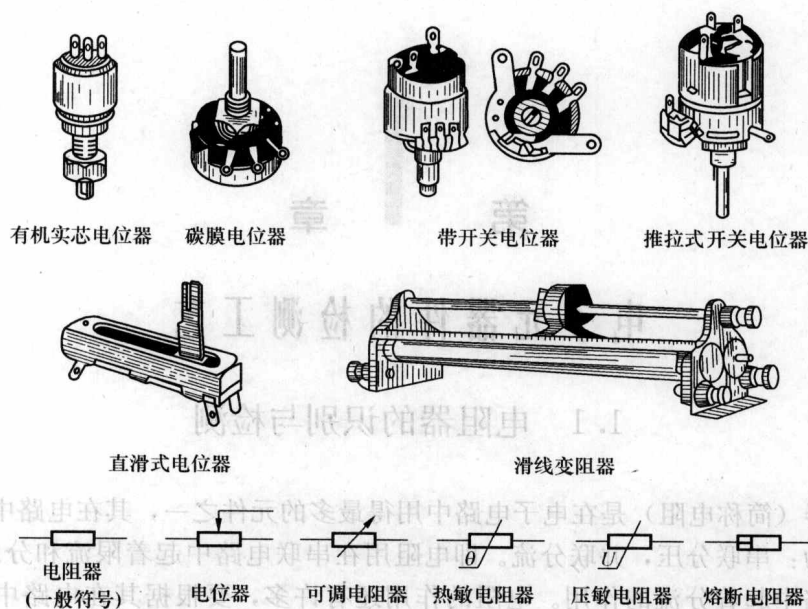


图 1.1 (续)

固定电阻器的阻值是固定不变的，阻值的大小即为它的标称阻值。固定电阻器按其材料的不同可分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器等。

可变电阻器的阻值可以在一定的范围内调整，它的标称阻值是最大值，其滑动端到任意一个固定端的阻值在零和最大值之间连续可调。可变电阻器又有可调电阻器和电位器两种。可调电阻器有立式和卧式之分，分别用于不同的电路安装。电位器有带开关和不带开关之分，在可调电阻器上加上一个开关，做成同轴联动形式，称为开关电位器。如收音机中的音量旋钮和电源开关就是一个同轴联动的开关电位器。

从电阻的使用场合不同可分为：精密电阻器、大功率电阻器、适用于高频电话的高频电阻器、应用于高压电话的高压电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、熔断电阻器等。

根据国家标准 GB2470—1995 的规定，电阻器及电位器的型号由四个部分组成，如表 1.1 所示。例如有个电阻型号为 RT71、10k Ω ，表示这是一个碳膜精密电阻，序号为 1，阻值为 10k Ω ，误差为 $\pm 5\%$ 。

1.1.1 电阻器的主要参数

1. 电阻器的阻值

电阻器上所标的阻值称为标称阻值。电阻器的实际阻值和标称值之差除以标称值得到的百分数，为电阻器的允许误差。误差越小的电阻器，其标称值规格越多。常用固定电阻器的标称阻值系列如表 1.2 所示，允许误差等级如表 1.3 所示。电阻器上的标称阻值是按国家规定的阻值系列标注的，因此在选用时必须按阻值系列去选用，使用时将表中的数值乘以 $10^n \Omega$ (n 为整数)，就成为这一阻值系列。如 E24 系列中的 1.8 就代表

表 1.1 电阻（位）器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字和字母表示序号
符号	意义	符号	意义	数字或符号	意义	意义
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	包括：对主称、材料、特征相同，仅性能指标略有差别，给出同一序号。若相差太大，则给出不同序号或再加字母，以示区别
		H	合成膜	3	超高频	
W	电位器	P	硼碳膜	4	高阻	
		U	硅碳膜	5	高温	
		C	沉积膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压	
		J	金属膜	9	电位器—特殊函数	
		Y	氧化膜	G	高功率	
		S	有机实心	T	可调	
		N	无机实心	X	小型	
		X	线绕	L	测量用	
		R	热敏	W	微调	
		G	光敏	D	多圈	
		M	压敏			

表 1.2 常用固定电阻器的标称阻值系列

系列	允许误差	电阻系列标称值															
E24	Ⅰ级	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	
		4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1							
E12	Ⅱ级	1.0	1.1	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2				
E6	Ⅲ级	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8										

表 1.3 常用电阻器的允许误差等级

允许误差	±0.5%	±1%	±5%	±10%	±20%
等级	005	01	I	Ⅱ	Ⅲ
文字符号	D	F	J	K	M

有 1.8Ω、18Ω、180Ω、1.8kΩ、180kΩ 等系列电阻值。随着电子技术的发展，器件数值的精密度越来越高，所以近年来国家又相继公布了 E48、E96、E192 系列标准，使电阻的系列值得以增加，阻值误差也越来越小。

阻值和允许误差在电阻器上常用的标识方法有下列三种。

(1) 直接标识法

将电阻器的阻值和误差等级直接用数字印在电阻器上。对小于 1000Ω 的阻值只标

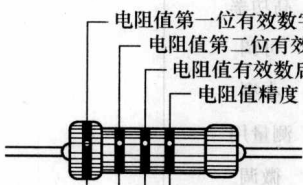
出数值, 不标单位; 对 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 只标注 k、M。精度等级标 I 或 II 级, III 级不标明。

(2) 文字符号法

将需要标识的主要参数与技术指标用文字和数字符号有规律地标注在产品表面上。如: 欧姆用 Ω 表示; 千欧 ($10^3\Omega$) 用 k 表示; 兆欧 ($10^6\Omega$) 用 M 表示; 吉欧 ($10^9\Omega$) 用 G 表示; 太欧 ($10^{12}\Omega$) 用 T 表示。

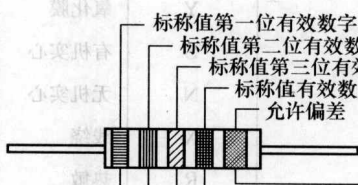
(3) 色环标识法

对体积很小的电阻和一些合成电阻器, 其阻值和误差常用色环来标注, 如图 1.2 所示。色环标识法有四环和五环两种。四环电阻有四道色环, 第一道环 (靠近最边上的为第一色环) 和第二道环分别表示电阻的第一位和第二位有效数字, 第三道环表示 10 的乘方数 (10^n , n 为颜色所表示的数字), 第四道环表示允许误差 (若无第四道色环, 则误差为 $\pm 20\%$)。色环电阻的单位一律为 Ω 。



颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 环倍数	第四色环 环误差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	
红	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	
蓝	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

(a) 普通型



颜色	第一有效数	第二有效数	第三有效数	倍数	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	
银				10^{-2}	

(b) 精密型

图 1.2 电阻的色环标识法

精密电阻器一般用五道色环标注, 它用前三道色环表示三位有效数字, 第四道色环表示 10^n (n 为颜色所代表的数字), 第五道色环表示阻值的允许误差。

采用色环标识的电阻器, 颜色醒目, 标注清晰, 不易褪色, 从不同的角度都能看清阻值和允许偏差。目前在国际上广泛采用色标法。

2. 电阻的额定功率

电阻器在交直流电路中长期连续工作所允许消耗的最大功率, 称为电阻器的额定功率。线绕电阻的额定功率系列如表 1.4 所示, 共分为 19 个等级, 常用的有: $1/20W$,