



全国高等职业教育规划教材

电子工艺实训教程

第3版

孙惠康 冯增水 编著



电子教案下载网址

www.cmpedu.com

- 内容体现一个“新”字，介绍了现代最新第五代电子组装技术等。
- 密切与生产实际结合，突出了应用能力培养，例举集成电路AM/FM收音机典型产品，配以全套工艺文件，具有很强的可操作性。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电子工艺实训教程

第3版

孙惠康 冯增水 编著



机械工业出版社

本书是为高等职业技术教育的学生编写的工艺基础教材。书中以无线电整机生产中的基本工艺、基本技能为重点,并辅以必要的理论分析。内容包括:常用电子元器件、常用材料、电子线路及印制电路板计算机辅助设计、焊接工艺、表面安装技术(SMT)、电子装配工艺、调试工艺基础、整机装配实例等。

本书可作为高职高专电子类、机电类学生的工艺教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺实训教程/孙惠康,冯增水编著. —3版. —北京:机械工业出版社,2009.4(2011.6重印)

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-08302-3

I. 电… II. ①孙…②冯… 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(2009)第003005号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王颖 责任编辑:王颖 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2011年6月第3版第4次印刷

184mm×260mm·15.25印张·374千字

10001—14000册

标准书号:ISBN 978-7-111-08302-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子技术专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

教育部在《关于以就业为导向,深化高等职业教育改革的若干意见》中提出:高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进对学生专业技能的培养,教材内容要紧密结合生产实际,并及时跟踪先进生产技术的发展等指导精神。

近些年来,一些经济发达国家在反思高等工程教育的发展趋势中,也提出“回归工程”的教育观。所谓“回归工程”教育,其重要论点之一就是比较重视理论教育到加强工程实践能力的培养。可见对高等工科院校学生加强工艺技能、实践能力、创新能力的培养已成为世界各国教育界的共识。

随着电子信息行业的新元器件、新技术、新工艺日新月异的发展,本书的原版本已暴露出不少不足之处。为跟上我国电子信息产业的飞速发展,适应电子信息行业对第一线工艺型、技能型、懂理论、会动手的人才的需求,本书在对原版本修订过程中特别注意了以下几个方面:

1) 体现一个“新”字。注重对新元器件、新工艺、新技术的介绍和应用,让学生了解本专业、本领域的最新发展。例如,书中介绍了多种敏感电阻器;液晶(LCD)、等离子(PDP)显示器;表面安装技术(SMT);微组装技术(MAT)等。

2) 紧密与生产实际相结合。根据企业产品开发实际,介绍了产品研制及试生产过程中手工 SMT 装配、焊接工艺的全过程。

3) 强调可操作性。在第 3 章中应用了 Protel 99 SE 软件,通过实例,深入浅出地讲述了操作步骤,使每个学生都能真正学会运用 Protel 99 SE 软件进行 PCB 的设计。

4) 使学生学会工艺文件的编写。通过集成电路 AM/FM 收音机这个典型产品的整机装配实例,配以全套工艺文件,以培养学生独立执行工艺文件参加生产的能力,并学会产品生产工艺文件的编写。

为培养高职学生的实践能力,提高动手操作技能,根据编者近 20 年电子实训教学实践摸索出的“以小型电子作品为轴心,以工艺、技能为重点,配以灵活多样的教学方法”的电子工艺实训教学模式。让学生在自己动手制作小型电子作品的过程中,从简单到复杂,逐步涉及多种电子操作工艺。要使大多数学生能制作成功,在获得成功的喜悦中激发学生的学习兴趣,和主动学习的积极性。必要的工艺理论知识只有在实践中才能理解,操作技能只有在动手实践中才能提高,学习积极性只有在激发学习兴趣的前提下才能调动。决不要将本课程变成一门新的理论课。

本书由孙惠康、冯增水编著,孙惠康统稿,第 3 章、第 6 章、第 7 章由曾担任电子整机产品企业总工程师的冯增水修订、编写,第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章、第 8 章由孙惠康修订、编写。

由于编者水平有限,书中存在的缺点和错误,请广大读者批评指正。

为了配合教学,本书为读者提供了电子教案,可在机械工业出版社网站 www.cmpedu.com 下载。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 常用电子元器件	1
1.1 电阻器与电位器	1
1.1.1 电阻器与电位器的作用及单位	1
1.1.2 固定电阻器、电位器、敏感电阻器的命名方法	1
1.1.3 电阻器参数	2
1.1.4 常见电阻器	5
1.1.5 特种电阻器与敏感电阻器	6
1.1.6 电位器	12
1.1.7 电阻器参数在工艺文件上的填写方法	13
1.1.8 固定电阻、电位器、敏感电阻的性能检测	13
1.2 电容器	14
1.2.1 常见电容器外形、电路符号以及单位	14
1.2.2 电容器性能参数	15
1.2.3 常见的几种电容器的特点	17
1.2.4 电容器的选用	18
1.2.5 电容器的质量判别	18
1.3 电感器和变压器	19
1.3.1 电感器	19
1.3.2 变压器	21
1.4 半导体器件	23
1.4.1 半导体器件的命名方法	23
1.4.2 二极管	24
1.4.3 三极管	26
1.4.4 场效应管	29
1.4.5 晶闸管	30
1.4.6 单结晶体管	31
1.4.7 集成电路	31
1.5 电声器件	32

1.5.1 传声器	33
1.5.2 扬声器	34
1.6 开关、继电器	35
1.6.1 开关	35
1.6.2 继电器	37
1.7 显像器件	39
1.7.1 显像管(CRT)	39
1.7.2 点阵式显示器(LED)	40
1.7.3 液晶显示器(LCD)	40
1.7.4 真空荧光显示器(VFD)	41
1.7.5 等离子体显示器(PDP)	41
1.8 习题	42
第2章 常用材料	44
2.1 线材	44
2.1.1 常用线材的种类	44
2.1.2 常用线材的使用条件	45
2.2 绝缘材料	46
2.2.1 常用绝缘材料的性质	46
2.2.2 常用塑料	48
2.3 磁性材料	48
2.3.1 软磁材料	48
2.3.2 硬磁材料	49
2.4 印制电路板	50
2.4.1 印制电路板的特点	50
2.4.2 印制电路板的分类	50
2.4.3 印制电路板的简易制作	52
2.5 习题	53
第3章 电子线路及印制电路板计算机辅助设计	54
3.1 工艺要求	54
3.1.1 元器件排列原则	54
3.1.2 元器件排列方法	55

3.1.3 典型电路元器件布局举例	57	4.6.2 MPT 主要技术	115
3.1.4 印制电路板布线	60	4.6.3 MPT 的发展	116
3.1.5 焊盘和孔的设计	65	4.6.4 微电子焊接技术	116
3.2 Protel 99 SE 印制电路板设计		4.7 习题	118
简介	67	第5章 表面安装技术(SMT)	119
3.2.1 电路原理图绘制流程	67	5.1 表面安装技术概述	119
3.2.2 电路原理图绘制步骤简介	68	5.2 SMT 与通孔基板式 PCB 安装的	
3.2.3 印制电路板设计流程	80	区别	119
3.2.4 印制电路板设计步骤简介	80	5.3 表面安装元器件	120
3.2.5 印制电路板自动布线流程	88	5.3.1 表面安装元件(SMC)	120
3.3 习题	89	5.3.2 表面安装器件(SMD)	124
第4章 焊接工艺	90	5.3.3 片式元器件的发展方向	127
4.1 焊接的基础知识	90	5.4 表面安装印制电路板(SMB)的	
4.1.1 概述	90	设计	127
4.1.2 锡焊的机制	90	5.4.1 基板的选用	127
4.1.3 锡焊的工艺要素	91	5.4.2 元器件的布局	127
4.1.4 焊点的质量要求	91	5.4.3 元器件之间的间距	128
4.2 焊接工具与材料	92	5.4.4 焊盘图形的设计	129
4.2.1 电烙铁	92	5.5 表面安装材料	132
4.2.2 焊料	94	5.5.1 粘合剂	132
4.2.3 助焊剂	96	5.5.2 焊膏	133
4.2.4 阻焊剂	97	5.5.3 助焊剂和清洗剂	134
4.3 手工焊接工艺	97	5.6 表面安装设备	134
4.3.1 焊接准备	98	5.6.1 涂布设备	134
4.3.2 手工焊接的步骤	99	5.6.2 贴片设备	135
4.3.3 手工焊接的分类	99	5.6.3 焊接设备	136
4.3.4 印制电路板的手工焊接	100	5.7 表面安装工艺技术	138
4.3.5 焊接缺陷分析	102	5.7.1 表面安装工艺基本形式	138
4.3.6 焊接后的清洗	103	5.7.2 表面安装手工焊接工艺	138
4.3.7 拆焊技术	104	5.7.3 点胶-波峰焊自动焊接工艺	139
4.4 浸焊与波峰焊	105	5.7.4 涂膏-再流焊自动焊接工艺	139
4.4.1 浸焊	106	5.7.5 表面安装混合焊接工艺	140
4.4.2 波峰焊	107	5.7.6 几种 SMT 工艺简介	140
4.4.3 组焊射流法	110	5.8 习题	142
4.5 无锡焊接技术	111	第6章 电子装配工艺	143
4.5.1 接触焊接	111	6.1 电子设备整机结构特点和装配	
4.5.2 熔焊	113	过程	143
4.6 微组装技术(MPT)	114	6.1.1 电子设备整机结构特点	143
4.6.1 组装技术的新发展	114	6.1.2 电子设备整机组成分析	143

6.1.3 电子设备的生产过程	144	7.1.4 常用仪器仪表简介	183
6.2 工艺文件	144	7.2 静态测试与调整	184
6.2.1 工艺管理工作	144	7.2.1 静态测试内容	184
6.2.2 工艺文件的编制方法	148	7.2.2 电路调整方法	186
6.2.3 工艺文件格式填写方法	150	7.3 动态测试与调整	186
6.3 装配准备工艺	151	7.3.1 测试电路动态工作电压	186
6.3.1 绝缘导线的加工	151	7.3.2 测试电路重要波形及其幅度和 频率	187
6.3.2 加工整机的“线扎”	155	7.3.3 频率特性的测试与调整	188
6.3.3 屏蔽导线端头的加工	158	7.3.4 大批量生产的调试方法	188
6.3.4 电缆加工	160	7.4 整机性能测试与调整	189
6.4 印制电路板部件装配工艺	161	7.4.1 一般的整机调试	189
6.4.1 一般工艺流程	161	7.4.2 I ² C 总线的整机调试技术	190
6.4.2 批量生产	165	7.5 习题	194
6.5 SMB 部件的装配工艺	167	第8章 整机装配实例——集成电路	
6.5.1 一般工艺流程	167	AM/FM 收音机装配	195
6.5.2 生产过程	168	8.1 电原理分析	195
6.6 整机装配工艺(总装工艺)	168	8.1.1 CXA1019 集成电路介绍	195
6.6.1 常用连接方法	168	8.1.2 本机电原理分析	195
6.6.2 整机装配的一般工艺流程	172	8.2 收音机整机装配	197
6.6.3 批量生产	175	8.2.1 元器件检验	197
6.7 电子设备组装级别、方法和 工艺技术的发展	176	8.2.2 执行工艺文件、完成整机装配	197
6.7.1 电子设备组装的内容和方法	176	8.3 收音机调试工艺	223
6.7.2 组装工艺技术的发展	177	8.3.1 调试用设备	223
6.8 习题	179	8.3.2 调试项目及方法	223
第7章 调试工艺基础	180	8.4 习题	224
7.1 调试工艺过程	180	附录	225
7.1.1 研制阶段调试	180	附录 A 电子系列小制作目录	225
7.1.2 调试工艺方案设计	180	附录 B 电气图形符号国家标准	225
7.1.3 生产阶段调试	182	参考文献	234

第 1 章 常用电子元器件

电阻器、电容器、电感器、半导体器件、电声器件、开关、继电器等都是整机电路常用的元器件。学习和掌握常用元器件性能、用途、质量判别方法,对提高电子设备的装配质量及可靠性将起重要保证作用。

1.1 电阻器与电位器

1.1.1 电阻器与电位器的作用及单位

固定电阻器是用电阻率较大的材料制成,它在电路中起限流、分压、耦合、负载等作用。电位器即可调电阻器,在电路中常用来调节各种电压或信号大小。电阻器单位为:欧[姆](Ω)、千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)、吉欧($G\Omega$), $1G = 10^3M\Omega = 10^6k\Omega = 10^9\Omega$ 。各种电阻器、电位器的图形和符号,如图 1-1 所示。

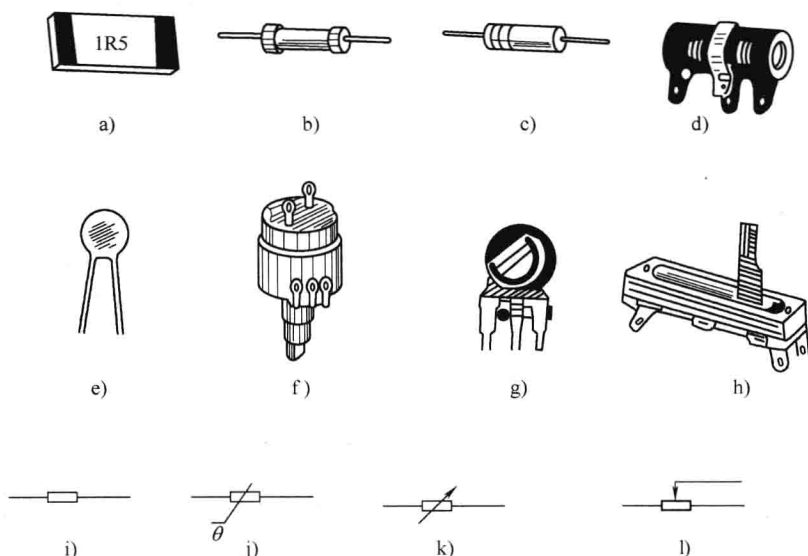


图 1-1 各种电阻器、电位器图形和符号

- a) 片状电阻 b) 金属膜电阻器 c) 碳膜电阻器 d) 线绕电阻器 e) 热敏电阻器
f) 带开关电位器 g) 微调电位器 h) 直滑式电位器 i) 固定电阻 j) 热敏电阻
k) 可变电阻 l) 电位器

1.1.2 固定电阻器、电位器、敏感电阻器的命名方法

固定电阻器、电位器、敏感电阻器命名方法主要由 5 个部分组成。第一部分用字母表示产品主称。R——电阻器, W——电位器, M——敏感电阻器。第二部分用字母表示产品的

材料或类别，如表 1-1 所示。第三部分用数字或字母表示电阻器、电位器、敏感电阻器特性、用途、类别，如表 1-2 所示。第四部分用数字表示生产序号。第五部分用字母表示同一序号但性能又有一定差异的产品区别代号。

表 1-1 固定电阻器、电位器、敏感电阻的材料或类别

电阻器 电位器				敏 感 电 阻			
字母	材 料	字母	材 料	字母	材 料	字母	材 料
T	碳膜	Y	氧化膜	Z	正温度系数 热敏材料	S	湿敏材料
H	合成膜	C	沉积膜			Q	气敏材料
S	有机实芯	I	玻璃釉膜	F	负温度系数 热敏材料	G	光敏材料
N	无机实芯	X	线绕			C	磁敏材料
J	金属膜			Y	压敏材料		

表 1-2 电阻器、电位器、敏感电阻器的特性、用途、类别

电阻器 电位器				敏 感 电 阻							
数字	意义	数字	意义	数字	热敏电阻	光敏电阻	力敏电阻	字母	压敏电阻	字母	湿敏电阻
					用途	用途	用途		用途		用途
1	普通	G	高功率	1	普通用	紫外光	硅应变片	W	稳压用	C	测湿用
2	普通	T	可调	2	稳压用	紫外光	硅应变梁	G	高压保护	K	控温用
3	超高频	X	小型	3	微波测量	紫外光	硅柱	P	高频用	字母	气敏电阻
4	高阻	L	测量用	4	旁热式	可见光		N	高能用		用途
5	高温	W	微调	5	测量用	可见光		K	高可靠	Y	烟敏
7	精密	D	多圈	6	控温用	可见光		L	防雷用	K	可燃性
8	电阻：			7	消磁用	红外光		H	灭弧用	字母	磁敏电阻
	电压			8	线性用	红外光		Z	消噪用		用途
	电位器：			9	恒温用	红外光		B	补偿用	Z	电阻器
	特殊			0	特殊用	特殊用		C	消磁用	W	电位器
9	特殊										

【例 1-1】 RJ21 “R”表示主称为电阻，“J”表示材料为金属膜，“2”表示分类为普通，“1”表示序号。

【例 1-2】 WSW1A 第一个“W”表示主称为电位器，“S”表示材料为有机实芯，第二个“W”表示分类为微调，“1”表示序号，“A”表示区别代号。

【例 1-3】 MF41 “M”表示主称为敏感电阻，“F”表示材料为负温度系数热敏材料，“4”表示分类为旁热式，“1”表示序号。

1.1.3 电阻器参数

1. 标称值和允许偏差

一般电阻器标称值系列如表 1-3 所示，表中所有数值都可以乘以 10ⁿ，单位为 Ω，n 为

整数。该表也适用电位器、电容器标称值系列，在表示电容容量标称值系列时单位为 pF。

表 1-3 电阻器、电容器标称值系列

系列	偏 差	标 称 值
E24	Ⅰ级 ±5%	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 ±10%	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	Ⅲ级 ±20%	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

电阻器的标称值和偏差一般都以各种方法标注在电阻体上，其标注方法有以下几种。

(1) 直标法

用具体数字、单位或偏差符号直接把阻值和偏差标注在电阻体上，如图 1-2a 所示，一般用“Ⅰ”表示 ±5%， “Ⅱ”表示 ±10%， “Ⅲ”表示 ±20%。

(2) 文字符号法

将标称阻值及允许偏差用文字和数字有规律的组合来表示，如图 1-2b 所示，例如，2R2K 表示 $(2.2 \pm 0.22)\Omega$ ，R33J 表示 $(0.33 \pm 0.0165)\Omega$ ，1K5M 表示 $(1.5 \pm 0.3)\text{k}\Omega$ ，末尾字母表示为偏差。一般常用字母来表示偏差，允许偏差的文字符号表示如表 1-4 所示，不标记表示偏差未定。

(3) 数码表示法

如图 1-2c 所示，例如，103K，“10”表示两位有效数字，“3”表示倍乘 10^3 ，“K”表示偏差 ±10%，即阻值为 $10 \times 10^3\Omega = 10\text{k}\Omega$ ；又如 222J 阻值为 $22 \times 10^2\Omega = 2.2\text{k}\Omega$ ，J 表示偏差 ±5%，偏差表示方法与文字符号法相同。10Ω 以下的小数点也与文字符号法相同用 R 表示。例如 2.2Ω，也用 2R2 表示。

表 1-4 允许偏差的文字符号表示

	W	B	C	D	F	G	J	K	M	N	R	S	Z
偏差 (%)	±0.05	±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20	±30	+100 -10	+50 -20	+80 -20

(4) 色标法

用不同颜色表示电阻数值和偏差或其他参数时的色标符号规定，如表 1-5 所示。该表也适合于用色标法表示电容、电感的数值和偏差，它们单位分别是：用于电阻为 Ω，用于电容为 pF，用于电感为 μH，表示额定电压只限于电容。

表 1-5 色标符号规定

	银	金	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	
有效数字	/	/	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	/
乘数	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	/
偏差 (%)	±10	±5	/	±1	±2	/	/	±0.5	±0.25	±0.1	/	+50 -20	±20
额定电压/V	/	/	4	6.3	10	16	25	32	40	50	63	/	/

用色标法表示电阻数值和偏差如图 1-2d, e 所示, 普通电阻常用两位有效数字表示, 精密电阻常用 3 位有效数字表示。图 1-2d 所示的阻值为 $27 \times 10^3 = 27\text{k}\Omega$, 偏差 $\pm 5\%$ 。图 1-2e 所示的阻值为 $332 \times 10^2 = 33.2\text{k}\Omega$, 偏差 $\pm 1\%$ 。

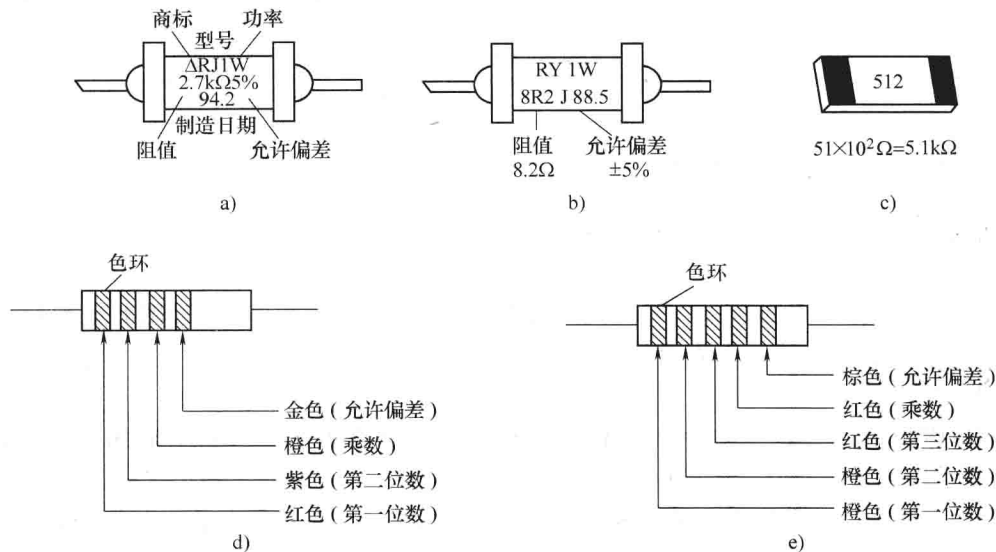


图 1-2 电阻器标称值表示方法

a) 直标法 b) 文字符号法 c) 数码表示法
d) 二位有效数字色标法 e) 三位有效数字色标法

第一色环即第一位数值识别方法：第一色环一般是靠最左边，偏差色环常稍远离前面几个色环，还有金、银色环不可能是第一色环，若色环完全是均匀分布且又没有金银色环时，只能通过用万用表测试来帮助判断。若色环颜色分不清楚时，也可利用电阻标称值系列来帮助判断，这样可大大减少颜色可选择种类。如电阻：蓝□红金从表 1-3 所知，其中□颜色只有 3 个可能：红色、黄色或紫色，而这三种颜色较容易区分。

2. 电阻器的额定功率

电阻器的额定功率是指在正常条件下，电阻器长期连续工作并满足规定的性能要求时，所允许消耗的最大功率。电阻器额定功率系列如表 1-6 所示。

表 1-6 电阻器额定功率系列 (单位:W)

非线性电阻	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100
线绕电阻	0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500

额定功率 2W 以下电阻一般不在电阻器上标出，额定功率 2W 以上电阻才在电阻器上用数字标出，而在线路图上的电阻符号没有特别标记，则一般指 1/8W 电阻，电阻器额定功率符号如图 1-3 所示，大于额定功率 1W 的电阻都直接标出。

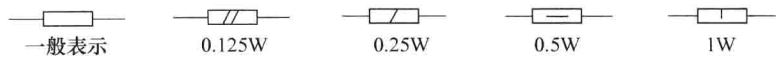


图 1-3 电阻器额定功率符号

3. 电阻器的温度系数

电阻器的温度系数是表示电阻器热稳定性随温度变化的物理量。温度系数用 α_T 表示, 它表示温度每变化 1 度($^{\circ}\text{C}$), 电阻值的相对变化量, 即

$$\alpha_T = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} (1/^{\circ}\text{C})$$

式中, α_T 为电阻温度系数($1/^{\circ}\text{C}$); R_1 、 R_2 分别是温度在 T_1 、 T_2 时的阻值(单位为 Ω), 从上式可以看出, 温度系数越大, 电阻器的热稳定性越差。

金属膜、合成膜等电阻具有较小的正温度系数, 碳膜电阻具有负温度系数。

4. 电阻器的电压系数

电阻器的阻值与其所加的电压有关, 这种关系可用电压系数(K_U)表示。电压系数是指外加电压每改变 1V 时, 电阻值相对变化量, 即

$$K_U = (R_2 - R_1)/R_1 (U_2 - U_1) \times 100\%$$

式中, U_2 、 U_1 为外加电压; R_2 、 R_1 为 U_2 和 U_1 相对应的电阻值。

电压系数表示了电阻器对外加电压的稳定程度。电压系数越大, 电阻器的阻值对电压的依赖性越强; 反之则弱。通常情况下, 线绕电阻器的电压系数最小, 合成芯电阻器的最大。

5. 电阻器的噪声

电阻器的噪声是电阻器中产生的一种不规则的电压起伏, 它包括热噪声和电流噪声两种。任何电阻都有热噪声, 降低电阻的工作温度, 可以减小热噪声; 电流噪声与电阻内的微观结构有关, 合金型电阻器无电流噪声, 薄膜型电阻器较小, 合成型电阻器最大。

6. 电阻器的最大工作电压

电阻器的最大工作电压是指电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏现象的电压。从电阻器的发热状态来考虑, 允许加到电阻器的最大电压数值等于它的额定电压 U_n , 即

$$P = U^2/R_n \quad U_n = \sqrt{P_n \times R_n}$$

式中, P_n 为额定功率;

R_n 为标称阻值。

最大工作电压受电阻尺寸及结构的限制。在使用电阻器时, 实际工作电压不应超过最大工作电压。一般常用电阻器功率与最大工作电压关系如下:

$$0.25\text{W} \quad 250\text{V} \quad 0.5\text{W} \quad 500\text{V} \quad 1 \sim 2\text{W} \quad 700\text{V}$$

1.1.4 常见电阻器

1) 碳膜电阻(型号 RT)特点: 阻值范围($1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$), 各项性能参数都一般, 但其价格低廉, 广泛用于各种电子产品中。

2) 金属膜电阻(型号 RJ)特点: 阻值范围($1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$), 温度系数小, 稳定性好, 噪声低, 同功率下与碳膜电阻相比, 体积较小, 但价格稍贵, 常用于要求低噪、高稳定性的电路中。

3) 金属氧化膜电阻(型号 RY)特点: 有极好的脉冲高频过负荷性能, 机械性能好, 化学性能稳定, 但其阻值范围窄($1\Omega \sim 200\text{k}\Omega$)温度系数比金属膜电阻差, 常用于一些在恶劣环境中工作的电路上。

4) 线绕电阻(型号 RX)特点: 阻值范围($0.01\Omega \sim 10M\Omega$)可以制成精密型和功率型电阻, 所以常在高精度或大功率电路中使用, 但不适合在高频电路中工作。

5) 金属玻璃釉电阻(型号 RI)特点: 耐高温, 功率大, 阻值宽 $5.1\Omega \sim 200M\Omega$, 温度系数小, 耐湿性好, 常用它制成小型化贴片电阻。

6) 实芯电阻(型号 RS)特点: 过负荷能力强, 不易损坏, 可靠性高, 价廉, 但其他性能参数都较差, 阻值范围($4.7\Omega \sim 22M\Omega$)常用在要求高可靠性电路中(如宇航工业)使用。

7) 合成碳膜电阻(型号 RH)特点: 阻值范围 $10 \sim 10^6 M\Omega$ 主要用来制造高压高阻电阻器。

1.1.5 特种电阻器与敏感电阻器

1. 排电阻器的结构和特点

排电阻器也称集成电阻器或电阻器网络。它是一种按一定规律排列方式集多只分立电阻器于一体的组合式电阻器件。常见排电阻器分为单列式(SIP)和双列直插式(DIP)两种类型, 其外形如图 1-4 所示。排电阻器的内部电路结构有多种形式, 常见排电阻器的几种电路结构如图 1-5 所示。

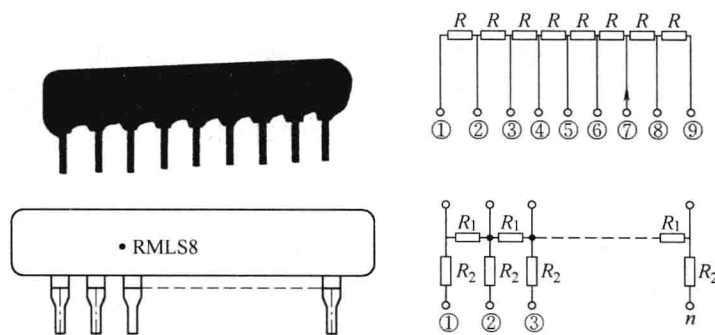


图 1-4 排电阻器的外形

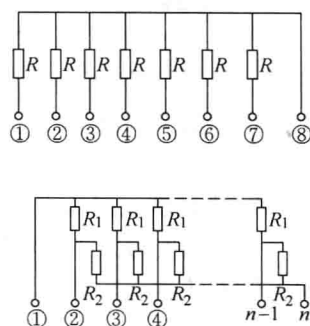


图 1-5 常见排电阻器的内部电路

排电阻器具有体积小、安装方便、阻值一致性好等突出优点, 被广泛应用于各类电子电路及电子计算机中。

2. 熔断电阻器

1) 熔断电阻器的特点。熔断电阻器又称为保险电阻器。由于它能在过流、过负荷时自动熔断, 从而起到保护电子元器件的作用, 且又有普通电阻的功能, 故又称为双功能电阻器。

常用的熔断电阻器有: RF10、RF11 型不燃性金属膜系列熔断电阻器, RJ90—A、RJ90—B 系列熔断电阻器。每个系列又可分为 $0.5W$, $1W$, $2W$, $3W$ 四个规格。熔断电阻器的外形如图 1-6 所示。熔断电阻器的电路图形符号如图 1-7 所示。

2) 熔断电阻器的应用。熔断电阻器被广泛用于彩色电视机、录像机、复印机及各种过载、过压、过流时要求断路保护的电路中。

3. 热敏电阻器

热敏电阻器是一种对温度极为敏感的电阻器。该种电阻器在温度发生变化时其阻值也随之变化。

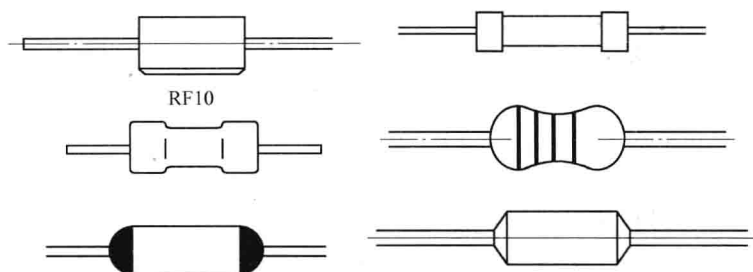


图 1-6 熔断电阻器的外形

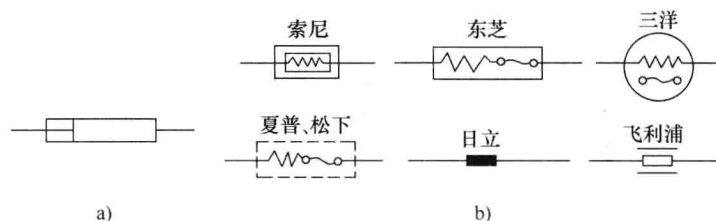


图 1-7 熔断电阻器的电路图形符号

a) 图形符号 b) 常见的国外图形符号

1) 热敏电阻器的种类。热敏电阻器按其结构及形状，可分为球形、杆状、圆片形、管形、圆圈形等；按其受热方式的不同，可分为直热式热敏电阻器和旁热式热敏电阻器；按温度系数，可分为正温度系数热敏电阻器和负温度系数热敏电阻器；按工作温度范围，可分为常温、高温、超低温热敏电阻器。目前应用最广泛的是负温度系数热敏电阻器，其又可分为测温型、稳压型、普通型 3 种。

热敏电阻器的标称电阻值是指环境温度为 25°C 时的电阻值。用万用表测其阻值时，其阻值不一定和标称阻值相符。热敏电阻器的电路图形符号及外形如图 1-8 所示。

2) 正温度系数热敏电阻器。正温度系数热敏电阻器又称 PTC 热敏电阻器，温度升高时该电阻器电阻值也随之增大，而且阻值的变化与温度的变化成正比关系；但当电阻器的温度超过一个定值时，其阻值将急剧增大，当增大到最大值时，其阻值将随温度的增加而开始下降。正温度系数热敏电阻器主要用于温度控制和温度测量电路，还大量应用于彩色电视机的消磁电路、电冰箱、电驱蚊器、电熨斗等家用电器中。

3) 负温度系数热敏电阻器。负温度系数热敏电阻器又称 NTC 热敏电阻器，其图形符号与 PTC 热敏电阻器相同。负温度系数热敏电阻器的种类很多且形状各异，常见的有管状、圆片形等，如图 1-8 所示。NTC 热敏电阻器的最大特点是电阻值与温度的变化成反比，即电阻值随温度的升高而降低，当温度大幅升高时，其电阻值大幅下降。

负温度系数热敏电阻器的应用范围很广，如用于家电类的温度控制、温度测量、温度补偿等。空调器、电冰箱、电烤箱、复印机的电路中普遍采用了负温度系数热敏电阻器。

4. 光敏电阻器

光敏电阻器是利用半导体光导效应制成的一种特殊电阻器。光敏电阻器的突出特点是对光线非常敏感。无光线照射时光敏电阻器呈高阻状态，当有光线照射时，其电阻值迅速减小。

光敏电阻器的外形、结构和电路符号如图 1-9 所示。光敏电阻器由玻璃基片、光敏层、电极等部分组成。为了利于吸收更多的光能，光敏电阻器通常都制成薄片结构。

根据制作光敏层所用的材料来区分，光敏电阻器可分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器。根据光敏电阻器的光谱特性来区分，又可分为紫外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器以及红外光光敏电阻器。

紫外光光敏电阻器对紫外线十分敏感，可用于探测紫外线。比较常见的有硫化镉和硒化镉光敏电阻器。

可见光光敏电阻器有硒、硫化镉、硒化镉、碲化镉和碲化铋、碲化镓、硅、锗、硫化锌光敏电阻器等，可用于各种光电自动控制系统、照度计、电子照相机、光报警等装置中。

红外光光敏电阻器有硫化铅、碲化铅、硒化铅、碲化铋、碲化汞、碲化锡、锗掺汞、锗掺金等光敏电阻器。它广泛地应用于导弹制造、卫星姿态监测、天文探测、非接触测量、气体分析和无损探伤等领域。

此外，硫化镉光敏电阻器对 X 射线、 γ 射线、 α 和 β 射线都很敏感，可用于探测各种射线强度的计量仪器中。

5. 压敏电阻器

压敏电阻器简称 VSR，是一种过压保护器件，它是用陶瓷工艺加工制作而成的。图 1-10 所示是压敏电阻器的外形与电路符号。

压敏电阻器的种类很多，按其制造材料划分，有碳化硅压敏电阻器、硅锗压敏电阻器、氧化锌压敏电

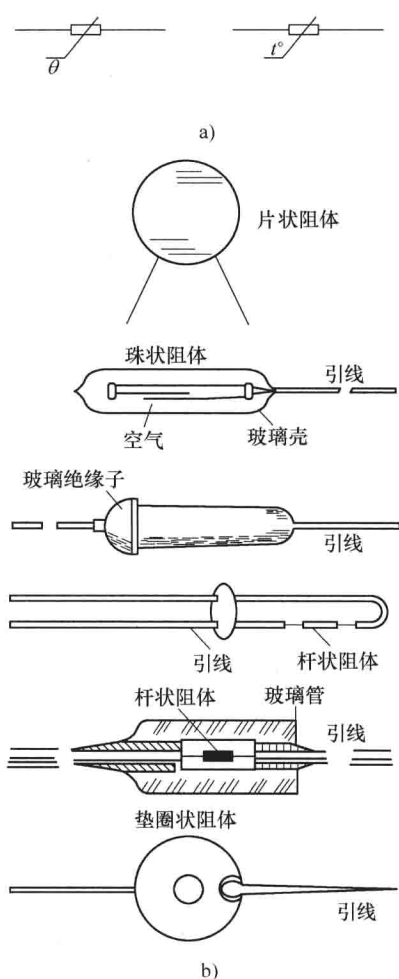


图 1-8 热敏电阻器的电路图形符号及外形
a) 新旧图形符号 b) 外形

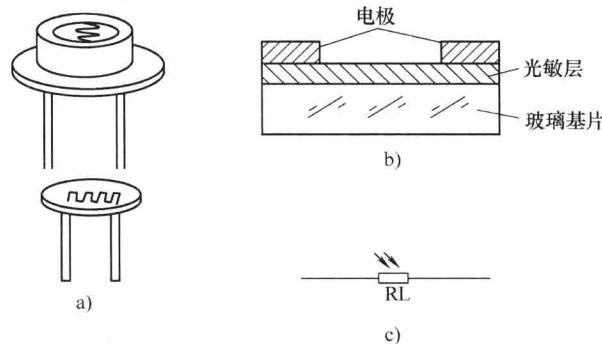


图 1-9 光敏电阻器的外形、结构和电路符号
a) 外形 b) 结构 c) 电路符号