

高职高专 电子信息专业教材

电子生产工艺 实践教程

解相吾 解文博 胡望波 等 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专电子信息专业教材

电子生产工艺实践教程

解相吾 解文博 胡望波 等编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

电子生产工艺实践教程 / 解相吾等编著. —北京:
人民邮电出版社, 2008.7
高职高专电子信息专业教材
ISBN 978-7-115-17730-8

I. 电… II. 解… III. 电子产品—生产工艺: 高等学
校: 技术学校—教材 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 027122 号

内 容 简 介

本书全面而系统地介绍了电子生产工艺知识。全书内容共 8 章, 对电子元器件的性能和封装形式、焊接安装工艺、印刷电路板制作、表面组装 (SMT) 技术、无铅焊料和工艺技术等进行了详细介绍, 同时对电子产品的检测与调试、品质检验与 ISO9000 认证以及电子产品的技术文件管理进行了详尽的阐述, 此外, 还就电子产品的工艺结构与防护作了深入的探讨和分析。本书内容丰富, 涉及面广, 高职高专院校的不同专业可以根据各自的要求灵活选用。

本书是一本综合性实践教材, 具有很高的实用价值。适合高职高专院校电类各专业作为教材使用, 也可供生产企业的电子工程技术人员和广大电子爱好者参考。

高职高专电子信息专业教材

电子生产工艺实践教程

-
- ◆ 编 著 解相吾 解文博 胡望波 等
责任编辑 梁 凝
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京通州大中印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.25
字数: 465 千字
印数: 1—3 000 册
- 2008 年 7 月第 1 版
2008 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17730-8/TN

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

当前电子信息产业已成为国民经济的支柱产业,成为其他行业发展的助推器。作为高职高专院校电子类专业的学生,不仅要掌握扎实的专业理论知识,同时还必须掌握本专业的实践技能。

“电子生产工艺”是一门实践性很强的技术基础课,是高职高专院校电子类各专业学生必修的一门重要课程。根据教育部关于应用型人才培养目标的要求,本着“学以致用”的指导原则,为更好地适应学科发展的需要,特地编写了本教材。

电子生产工艺实践是电子类专业综合技能的一个重要方面,本专业的高职高专学生不仅要掌握电子产品生产操作的基本技能,同时还要了解生产工艺在产品制造过程中的重要地位和管理实施方法。通过工艺实践,不但可以掌握实际操作技能,提高动手能力,还可以为同学们以后的课程学习和毕业设计提供帮助,激发创新意识,为从事电子产品开发打下良好的基础。

随着教学改革的不深入,各大专院校都相继实施“双证”制度,即毕业证和专业技能合格证。为了配合“双证”制教学的开展,本书系统介绍了电子元器件的识别与检测、焊接技能、电子测量仪器的操作使用、印刷电路板的设计与制作、电子产品的调试与检测以及电子工艺质量管理等方面的理论知识和专业技能操作,为学生顺利通过电子技能等级证的考核做好了充分的知识准备。

本书是作者在总结了多年电子生产工艺实践经验和参考国内外有关资料的基础上编写的,在内容上注重了先进性和新颖性,对当前电子生产中采用的新工艺和新技术进行了详细介绍;在语言上力求通俗易懂、简明扼要、形象直观。本书既可作为高等职业院校电子应用技术类、电子信息类、通信技术类、电气工程类、自动化类、计算机类等电类专业的课程设计和专业综合技能训练教材,同时还可以作为电子设计竞赛的参考书,也是电子产品生产企业的有关工程技术人员和电子爱好者案头必备的重要参考资料。

全书共分为8章,参考学时数为60~80学时,教师可根据不同专业的需要对学时和内容侧重点进行调整。本书可作为高等、职业技术学院、成人教育及专业培训的教材,通过本教材的学习,使学生全面掌握专业基础知识在实际应用中的作用,为广大电类专业学生在工程实践中施展才华打下坚实的基础。

在本书编写过程中,参考了书后所列的有关文献及有关网站的最新资料,在此特向这些文献和资料作者表示衷心的感谢。同时向为本书出版付出了大量心血和劳动的编辑同志们表示衷心的感谢!

因时间仓促和作者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳望读者批评指正。反馈信息可以通过电子邮件发送至:xwx5918@163.com。

作 者

2008年2月

目 录

第 1 章 常用元器件	1
1.1 常用电子元器件的主要参数	1
1.1.1 元器件的分类	1
1.1.2 元器件的特性参数	1
1.1.3 元器件的质量参数	2
1.1.4 标称值与允许偏差	3
1.1.5 额定值和极限值	4
1.2 阻抗元件	4
1.2.1 电阻器	4
1.2.2 电位器	8
1.2.3 电容器	12
1.2.4 电感器	14
1.3 半导体分立器件	17
1.3.1 二极管	18
1.3.2 三极管	21
1.3.3 单结晶体管	25
1.3.4 晶闸管	26
1.3.5 场效应晶体管	27
1.4 集成电路	29
1.4.1 集成电路的分类	29
1.4.2 集成电路命名与替换	30
1.4.3 模拟集成电路	31
1.4.4 数字集成电路	35
1.4.5 专用集成电路	38
1.4.6 集成电路的封装形式	38
1.5 其他元器件	41
1.5.1 天线	41
1.5.2 开关	42
1.5.3 接插件	42
1.5.4 继电器	44
1.5.5 变压器	46
1.5.6 扬声器与传声器	46
1.5.7 显示器件 (屏)	49

1.6 电子元器件的选用	55
1.6.1 质量控制	55
1.6.2 统筹兼顾	56
1.6.3 合理选择	57
1.6.4 简化设计	57
1.6.5 降额使用	58
1.7 电子元器件检测与筛选	58
1.7.1 外观质量检查	59
1.7.2 电气性能筛选	59
1.7.3 参数性能检测	60
本章小结	61
思考与练习	61
第2章 焊接技术	62
2.1 锡焊基础知识	62
2.1.1 焊接技术及锡焊特点	62
2.1.2 锡焊机理	63
2.1.3 无铅焊接	66
2.2 焊接材料与工具	68
2.2.1 常用焊料	68
2.2.2 无铅焊料	71
2.2.3 焊剂	74
2.2.4 焊接工具	77
2.3 锡焊工艺	80
2.3.1 锡焊的工艺要素	80
2.3.2 锡焊工艺过程	81
2.3.3 锡焊质量检验	81
2.3.4 焊点失效分析	83
2.4 手工焊接技术	85
2.4.1 锡焊的基本条件	85
2.4.2 手工焊的操作要领	86
2.4.3 特殊焊件的焊接	93
2.4.4 拆焊	95
2.5 自动焊接技术	96
2.5.1 浸焊	96
2.5.2 波峰焊	98
2.5.3 再流焊	103
2.5.4 焊接技术的发展	105
本章小结	106

思考与练习	106
第 3 章 表面安装技术	107
3.1 表面安装技术简介	107
3.1.1 SMT 的特点	107
3.1.2 SMT 的发展历程	108
3.2 表面安装元器件	109
3.2.1 分类	109
3.2.2 表面安装元件	110
3.2.3 表面安装器件	115
3.3 表面安装技术	118
3.3.1 表面安装的材料	118
3.3.2 表面安装的焊接工艺	119
3.3.3 手工 SMT	121
3.4 表面安装的工艺流程	122
3.5 表面安装设备	124
3.5.1 涂布设备	124
3.5.2 贴片设备	125
3.5.3 焊接设备	129
3.5.4 检测设备	134
3.6 SMT 常见质量缺陷及解决方法	136
3.6.1 桥连	136
3.6.2 立碑	137
3.6.3 脱焊	138
3.6.4 芯吸	138
3.6.5 元件偏移	138
3.6.6 锡珠	139
3.7 组装技术的新发展	139
本章小结	142
思考与练习	143
第 4 章 印制电路板的制作	144
4.1 电路板的基本知识	144
4.1.1 电路板的结构	144
4.1.2 电路元件封装形式	145
4.1.3 印制板加工技术要求	146
4.2 印刷板的制作	146
4.2.1 制板工艺流程	147
4.2.2 制版底图的绘制	148

4.2.3 手工制板	149
4.2.4 工业制板	151
4.2.5 质量检验	155
本章小结	156
思考与练习	157
第5章 整机装配与检测调试	158
5.1 安装技术	158
5.1.1 安装技术基础	158
5.1.2 装配工具	160
5.1.3 导线配置	161
5.1.4 紧固安装	171
5.2 整机装配	174
5.2.1 装配的内容和方法	174
5.2.2 装配的工艺过程	176
5.2.3 典型零部件装配技术	178
5.2.4 整机总装	180
5.3 装配检验	181
5.3.1 原材料入库前的检验	182
5.3.2 生产过程中的检验	182
5.3.3 整机检验	183
5.4 电子产品的调试与检测	185
5.4.1 调试与检测基础	185
5.4.2 调试与检测的安全检查	191
5.4.3 调试的一般顺序与步骤	193
5.4.4 调试技术	196
5.4.5 几种典型电路的调试方法	199
5.4.6 故障检测方法	202
本章小结	205
思考与练习	206
第6章 工艺结构与防护	207
6.1 电子产品的工艺结构	207
6.1.1 体积和重量	207
6.1.2 操作与控制	209
6.1.3 产品维护	209
6.2 电子产品的生产要求	210
6.2.1 电子产品的生产条件	210
6.2.2 电子产品的经济性	211

6.3 电子产品的散热	211
6.3.1 工作温度的影响	211
6.3.2 热的传导方式	213
6.3.3 整机的散热与防热	215
6.3.4 安装散热器的注意事项	219
6.4 电子产品的气候防护	223
6.4.1 气候防护的三要素	223
6.4.2 潮湿的防护	224
6.4.3 盐雾的防护	227
6.4.4 霉菌的防护	228
6.4.5 金属构件的防腐蚀	229
6.4.6 压力防护和密封	231
6.5 电子产品的抗干扰设计	232
6.5.1 电磁干扰与电磁兼容问题	232
6.5.2 干扰的类型	233
6.5.3 干扰传播的途径	234
6.5.4 抗干扰设计方法	234
6.6 电子产品的减振设计	241
6.6.1 机械环境的影响	241
6.6.2 振动和冲击对电子产品的危害	242
6.6.3 防护措施	243
6.6.4 减振器的设计	244
6.7 电子产品的可靠性设计	246
6.7.1 可靠性的概念	246
6.7.2 可靠性的主要指标	247
6.7.3 可靠性设计的基本原则	248
6.7.4 可靠性的技术措施	252
本章小结	255
思考与练习	255
第7章 技术文件	257
7.1 技术文件的分类和组成	257
7.1.1 设计文件的分类	258
7.1.2 设计文件的组成	258
7.1.3 整机装配常用文件	260
7.2 电子产品的设计文件	261
7.2.1 技术任务书	262
7.2.2 技术设计书	263
7.3 电子产品的工艺文件	263

7.3.1 工艺	263
7.3.2 工艺文件	264
7.3.3 工艺文件的编制	268
7.4 产品图样设计文件	269
7.4.1 图样设计文件的编号	269
7.4.2 标题栏与技术说明	271
7.4.3 图形符号及说明	274
本章小结	276
思考与练习	276
第8章 生产技术管理	277
8.1 生产管理	277
8.1.1 文明生产	277
8.1.2 生产作业管理	278
8.2 工艺管理	279
8.2.1 工艺资料的归档	279
8.2.2 工艺资料的保管	279
8.3 设备管理	279
8.3.1 设备运行管理	280
8.3.2 设备维护管理	281
8.4 产品质量管理	283
8.4.1 质量检验与质量管理	283
8.4.2 产品质量检验的程序	286
8.4.3 对产品质量检验的控制	288
8.4.4 对不合格品的控制	290
8.4.5 ISO9000 族标准与质量认证	291
本章小结	296
思考与练习	296
参考文献	297

第 1 章 常用元器件

本章导读

本章介绍了常用元器件的外形结构、标识符号和有关参数，同时也介绍了电子元器件的筛选与检测方法。通过本章的学习，应掌握正确选用元器件的准则，熟悉各种元器件的电气参数、性能用途，为设计时合理选择元器件打好基础，并为在生产实际中进行质量检测做好准备。

1.1 常用电子元器件的主要参数

1.1.1 元器件的分类

电子元器件是组成电子产品的基础。所有的电子产品都是由各种各样的电子元器件组成的，正确选择、使用电子元器件是保证产品的质量和可靠性的关键。了解电子元器件的分类和用途，以及规格型号、性能参数，对所有从事电子技术工作的人员都是十分重要的。

电子元器件的种类繁多，传统的元器件引脚较长，必须穿过印制电路板上的通孔安装（THT）。随着电子产品的微型化和集成化发展，元器件的引脚很短或者没有引脚，这就是表面安装元件（SMC）和表面安装器件（SMD）。无论是有引脚还是无引脚，元件的性质并没有发生改变，通常分成以下几类。

（1）阻抗元件

阻抗元件属于线性元件，在电子产品中应用非常广泛，它们是电阻器、电位器、电容器和电感器等。

（2）I/O 接口硬件

在电子产品中，输入和输出接口部分所用的元器件最为复杂，名目繁多，常见的有天线、开关、接插件、继电器、扬声器、传声器和显示器件（含触摸屏）等。

（3）半导体分立器件

半导体分立器件包括二极管、三极管、单结晶体管、晶闸管以及场效应晶体管等。随着集成电路的发展，分立器件的使用量较过去有所减少，但仍然是电子产品中不可或缺的主要器件。

（4）集成电路

集成电路是当今电子产品中的核心元器件，根据其电路性质的不同，可以分为模拟集成电路、数字集成电路和专用集成电路。

1.1.2 元器件的特性参数

特性参数描述电子器件在电路中的电气功能，通常用该元件的名称来表示，例如电阻特

性、电容特性、二极管的伏安特性、三极管的输入及输出特性等。这些元件又可分为线性元件和非线性元件。在一般情况下，线性元件的阻值是一个常量，不随外加电压的大小而变化，符合欧姆定律，大多数常用的电阻属于这一类（热敏电阻、光敏电阻及压敏电阻属于非线性电阻）；非线性元件的阻值不是常量，如半导体元件的伏安特性曲线随外加电压或某些非电量的变化而变化，不符合欧姆定律。

需要说明的是，人们常说的线性元件，它们的伏安特性不一定是直线（电容充放电），而非线性元件的伏安特性也不一定是曲线。例如，某些放大器叫做线性放大器，是指输出信号 Y 与输入信号 X 之比，其函数关系为：

$$Y=kX$$

其放大倍数 k 在一定工作条件下为一常量。不同种类电子元件具有不同的特性参数，可根据电路的实际需要选用之。

1.1.3 元器件的质量参数

元器件的质量参数有温度系数、噪声电动势、高频特性以及可靠性等。从电子设备制造工艺方面考虑，主要有机械强度和可焊性。

1. 温度系数

温度每变化 1°C ，电子元件的电参数数值产生的相对变化叫做温度系数，单位为 $1/^{\circ}\text{C}$ 。温度系数描述了元器件在环境温度变化条件下的特性参数的稳定性。温度系数越小，说明电子元件的参数越稳定。温度系数有正、负之分，分别表示当环境温度升高时，元器件参数数值变化的趋势是增加还是减小。温度系数取决于电子元件的制造材料、结构和生产条件等因素。

在设计那些要求长期稳定工作或工作环境温度变化较大的电子产品时，应尽可能选用温度系数较小的元器件，也可以根据工作条件考虑产品的通风、降温，以便采取相应的恒温措施。

2. 噪声电动势和噪声系数

噪声分外部噪声和内部噪声。从设备外部来的，如雷电干扰、宇宙干扰和工业干扰等有害信号为外部噪声；从机内产生的，如收音机发出的“沙沙”声、无信号输入时电视机屏幕上出现雨雾状的斑点等，这类噪声叫做内部噪声。内部噪声主要由各种电子元件产生。在一般情况下，有用信号比内部噪声大得多，噪声产生的有害影响很小，可以不予考虑；但当有用信号非常微弱时，噪声就可能把有用信号“淹没”掉，其有害作用不可忽视。

导体内的自由电子在一定温度下总是处于“无规则”的热运动状态之中，从而在导体内部形成了方向及大小都随时间不断变化的“无规则”电流，并在导体的等效电阻两端产生噪声电动势。噪声电动势是随机变化的，在很宽的频率范围内起作用。

通常用信噪比来描述电阻、电容、电感这类无源器件的噪声指标。信噪比定义为元件两端的外加信号功率与其内部产生的噪声功率之比，即：

$$\text{信噪比} = \text{外加信号功率} / \text{噪声功率}$$

对于晶体管或集成电路这一类有源器件的噪声，则用噪声系数来衡量：

$$\text{噪声系数} = \text{输入端信噪比} / \text{输出端信噪比}$$

噪声指标是一项重要的质量参数。在设计高增益放大器时,应尽量采用低噪声的电子元件。

3. 高频特性

当工作频率不同时,电子元件会表现出不同的电路响应,这是由制造元件时所使用的材料及工艺结构决定的。元件工作在高频状态下,将表现出电抗特性,即使一段很短的导线,其电感、电容也会对电路的频率响应产生不可忽略的影响。电子元件的这种性质,称为高频特性。在设计制作高频电路时,必须考虑元件的频率响应,应选择那些高频特性较好,分布电容、分布电感较小的元件。

4. 机械强度和可焊性

人们希望电子设备工作在无振动、无机械冲击的理想环境中,然而事实上设备遭受振动和冲击是无法避免的。如选用的元件的机械强度不高,就会在振动时发生断裂,造成损坏,使电子设备失效。常见的机械性故障表现为:电阻器的陶瓷骨架断裂、电阻体两端的金属帽脱落、电容体开裂以及各种元件的引线折断、开焊等。

电子元件的机械强度是重要的质量参数之一。在设计制作电子产品时,应该选用机械强度高的元件,并从整体结构方面考虑抗振动、耐冲击的措施。

元件引线的可焊性也是主要工艺质量参数之一。可焊性差,会产生“虚焊”,这是引起整机失效的常见故障。为减少虚焊,操作者要不断练习,提高焊接技术水平,积累发现虚焊点的经验,同时,在应用时应选用那些可焊性良好的元件。

5. 可靠性和失效率

可靠性是指元件的有效工作寿命,即它能够正常完成某一特定电气功能的时间。

电子元件的工作寿命结束,叫做失效,失效是随时间的推移、工作环境的变化、元件的规格参数从“量变到质变”而产生的。

度量电子产品可靠性的基本参数是时间,即用有效工作寿命的长短来评价它的可靠性。电子元件的可靠性用失效率来表示。即:

$$\text{失效率 } \lambda(t) = \frac{\text{失效数}}{\text{运用总数} \times \text{运用时间}}$$

失效率的常用单位是“菲特”(fit), $1\text{fit}=10^{-9}/\text{h}$ 。即 100 万元件运用 1 000h, 每发生 1 次失效,就叫做 1fit。失效率越低,说明元件的可靠性越高。

1.1.4 标称值与允许偏差

电子元件在生产过程中,不可避免存在元件参数数值的离散性,为了便于大批量生产,又能满足使用者在一定范围选用合适电子元件的要求,规定一系列的数值作为产品的标准值,称为标称值。

电子元件的标称值分为特性标称值和尺寸标称值,分别用于描述它的电气功能和机械结构。例如,一只电阻器的特性标称值包括阻值、额定功率、精度等;尺寸标称值包括电阻体及引线的直径、长度等。

一组有序排列的标称值叫做标称值系列。

元件的特性数值标称系列大多为两位有效数字(精密元件的特性数值一般是三位或四位有效数字)。电子元件的标称值应符合系列规定的数值,并用系列数值乘以倍率来表示一个

元件的参数。

在机械设计中规定了长度尺寸标称值系列，并且分为首选系列和可选系列（也叫第一系列、第二系列）。对元件的外形尺寸也规定了标准系列。例如，元器件的封装外壳可分为圆形、扁平型、双列直插型等几个系列；元件的引线有轴向和径向两个系列等。又如，大多数小功率元器件的引线直径标称值为 0.5mm 或 0.6mm，双列和单列直插式集成电路的引脚间距一般是 2.54mm 或 5.08mm 等。在使用元器件时，不仅要考虑它的电气功能是否符合要求，还要考虑其外形尺寸是否规范、是否符合标准。

市场上销售的元器件，由于生产工艺的原因，其数值不可能与标称值完全一样，总会有一定的偏差。一般用百分数表示实际数值和标称数值的相对偏差，来反映元器件的精密程度。在实际应用中，为这些实际数值规定了一个可以接受的范围，即为相对偏差规定了允许的最大范围，叫做数值的允许偏差（简称允差）。不同的允许偏差也叫做数值的精度等级（简称精度）。例如，常用电阻允许偏差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 3 种，分别用 J、K、M 标志它们的精度等级；精密电阻的允许偏差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ ，分别用 G、F、D 标志其精度等级。

精度等级越高，其数值允许的偏差范围越小，元器件就越精密，同时，它的生产成本及销售价格也越高。在设计电路选择元件的过程中，应根据实际电路的要求，合理选用不同精度等级的电子元器件。

1.1.5 额定值和极限值

电子元器件在工作时，要受到电压、电流的作用，要消耗功率。工作电压过高，会使元器件的绝缘材料被击穿；电流过大，会引起消耗功率过大而发热，导致元器件被烧坏。为此，规定了元器件的额定值，并定义为：电子元器件能够长期工作的最大电压、电流、功率消耗值和环境温度。另外，还规定了电子元器件的工作极限值，即最大值，表示元器件能够保证正常工作的最大限度。额定值的最大值和极限值是不相等的。

需要说明几点：

- ① 元器件额定值与极限值并不相等；
- ② 元器件的各个额定值或极限值之间没有固定的关系，等功耗规律并不成立；
- ③ 当电子元器件的工作条件超过某一额定值时，其他参数指标就要相应降低；
- ④ 对于不同种类元器件，根据元器件自身的特点和需要定义额定值和极限值，例如，同是工作电压上限，电阻器是按最大工作电压定义的，而电容器是按额定电压来定义的。

除上述参数外，对于特征频率 f_T 、截止频率 f_a 和 f_β 、线性集成电路的开环放大倍数 K_o 以及数字集成电路的扇出系数 N_o 等参数，在选用元器件时，也应该予以考虑。

1.2 阻 抗 元 件

1.2.1 电 阻 器

电阻器在电子产品中用得最多，约占元器件总数的 35% 以上，因此其工作性能和可靠性

对产品的质量具有十分重要的影响。电阻器在电路中主要是用来控制电流、分配电压的。

1. 电阻器的分类

电阻器简称电阻，它是电子电路中应用最多的元件之一。

电阻器的种类有很多，常用的电阻器按照导电体的结构特征分为实芯电阻器、薄膜电阻器和线绕电阻器；按电阻器的材料、结构又分为碳膜电阻器、金属氧化膜电阻器、线绕电阻器、热敏电阻器和压敏电阻器等。

(1) 碳膜电阻器

碳膜电阻器阻值的稳定性好、噪声低、阻值范围宽、价格较便宜，广泛应用于直流、交流和脉冲电路中。是我国目前生产量最大，用途最广的通用电阻器。这种电阻可在 $-77^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 环境温度范围内正常工作。其外形如图 1-1 所示。

碳膜电阻器阻值范围为 $0.75\Omega\sim10\text{M}\Omega$ ，额定功率有 0.1W、0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、5W 和 10W 等，少数做成 25W、50W 和 100W。

(2) 金属膜电阻器与金属氧化膜电阻器

金属膜电阻器与金属氧化膜电阻器的外形和结构与碳膜电阻器相似，不同的是它采用合金粉真空蒸发制成。它是以金属膜作导电层，表面涂以红色或棕色保护漆。其外形如图 1-2 所示。

与碳膜电阻器相比，金属膜电阻器耐热特性及阻值的稳定性较好，温度系数小，潮湿系数小，噪声小，可工作于 120°C 的温度条件，且体积小。它的阻值范围为 $1\Omega\sim600\text{M}\Omega$ ，精度可达 0.5%，额定功率一般不超过 2W。

(3) 线绕电阻器

线绕电阻器是用镍铬丝或锰铜丝、康铜丝绕在瓷管上制成的，分固定式和可调式两种。

图 1-3 所示为线绕电阻器的外形。

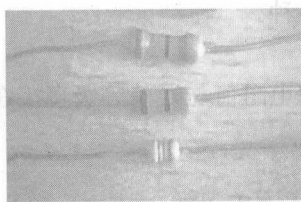


图 1-1 碳膜电阻

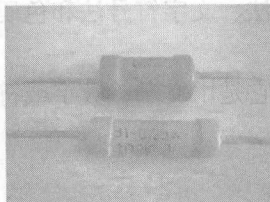


图 1-2 金属膜电阻

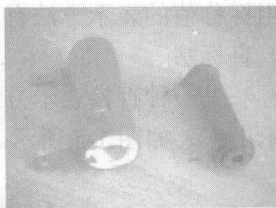


图 1-3 线绕电阻

线绕电阻器的特点是阻值精度极高，工作时噪声小、稳定可靠，能承受高温，在环境温度 170°C 下仍能正常工作。但它体积大、阻值较低，大多在 $100\text{k}\Omega$ 以下。另外，由于结构上的原因，其分布电容和电感系数都比较大，不能在高频电路中使用。这类电阻通常在大功率电路中作降压或负载等用。

(4) 敏感型电阻器

① 热敏电阻器

热敏电阻是用一种对温度极为敏感的半导体材料制成的电阻值随温度变化的非线性元件。其中，阻值随温度升高而变小的叫负温度系数热敏电阻器（NTC 型）；随温度升高而增大的为正温度系数热敏电阻器（PTC 型），常用来做彩电的消磁电阻、冰箱的启动电阻以及空调器的感温探头。图 1-4 所示为热敏电阻器的外形。

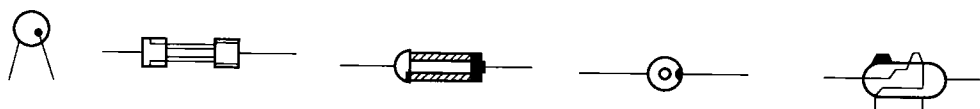


图 1-4 敏感型电阻

② 压敏电阻器

压敏电阻器是一种特殊的非线性电阻器，当加在压敏电阻器两端的电压达到一定值时，它的阻值会急剧变小。压敏电阻器按伏安特性可分为对称型（无极性）和非对称型（有极性）两种。它们都具有电压范围宽、非线性特性好、电压温度系数小、耐浪涌能力强、体积小、寿命长的特点，在电子线路中，常用作过压保护和稳压元件。

③ 光敏电阻器

光敏电阻器是一种光敏元件，主要材料为硫化镉。无光照时，其阻值一般很大，可达数兆欧。感受光照后，阻值急剧减小，常为几千欧到几十千欧。主要用在传感器电路中。

2. 电阻器的标称值

标示在电阻器上的阻值称为标称值。按规定，电阻器的阻值不是无穷多个连续数值，而是按一定的阻值系列排列的，如表 1-1 所示，阻值通常标示在电阻器上。

表 1-1 普通电阻器的标称阻值系列

标称值系列	允许误差	标称阻值系列
E24	$\pm 5\%$	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	$\pm 10\%$	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	$\pm 20\%$	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

电阻标称值的表示方法有直标法、文字符号法和色码法 3 种。

(1) 直标法

直标法是一种直接表示方法，它是用文字、数字或符号把电阻值与误差等级直接在电阻器上标示出来，如图 1-5 所示。

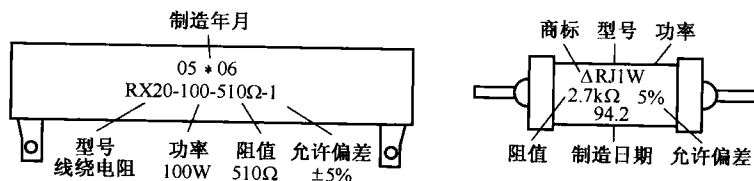


图 1-5 直标法

(2) 文字符号法

文字符号法用 R 或 k 与数字结合在一起表示元件的标称值，如图 1-6 所示。R 与所表示的含义见表 1-2。

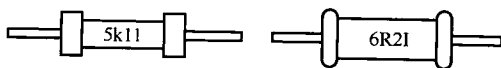


图 1-6 文字符号表示法

(3) 色标法

色标法是一种间接表示法，它是采用色环表示电阻值的大小和允许误差。在电阻器上—

般涂有 4 道色环或 5 道色环，偏向电阻器的一端。如果电阻体积较小，色环均匀分布，由误差色环来区分首尾，如图 1-7 所示。对 4 环电阻而言，前两道色环为有效数字，色环第 1 圈 A 表示电阻值的最高位数字，第 2 圈 B 表示电阻值的第二位数字，第 3 圈 C 表示再乘以 10^C （零的个数），第 4 圈 D 表示阻值的允许误差。对 5 环电阻来说，前三道色环表示有效数字，色环第 1 圈 A 表示电阻值的最高位数字，第 2 圈 B 表示电阻值的第 2 位有效数字，第 3 圈 C 表示电阻值的第 3 位有效数字，第 4 圈 D 表示再乘以 10^D （零的个数），第 5 圈 E 表示阻值的允许误差。电阻的单位为欧姆（ Ω ）。

表 1-2 电阻的文字符号及其标称值

文字符号	电阻标称值	文字符号	电阻标称值
R10	0.1Ω	10k	10 k Ω
R232	0.232Ω	33k2	33.2 k Ω
1R0	1Ω	1M0	1M Ω
3R32	3.32Ω	33M2	33.2M Ω

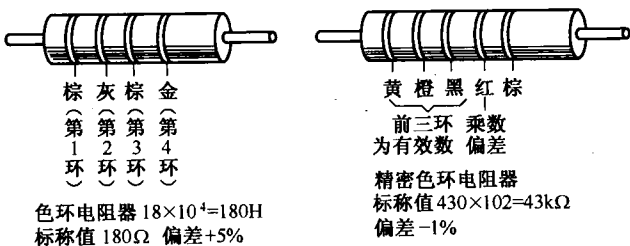


图 1-7 色环表示法

色环颜色的表示值如表 1-3 所示。

表 1-3 色环颜色的表示值

颜 色	有 效 数 字	倍 率	允许误差(%)	颜 色	有 效 数 字	倍 率	允许误差(%)
黑	0	10^0		蓝	6	10^6	± 0.25
棕	1	10^1	± 1	紫	7	10^7	± 0.1
红	2	10^2	± 2	灰	8	10^8	
橙	3	10^3		白	9	10^9	$-20\sim+50$
黄	4	10^4		金		10^{-1}	± 5
绿	5	10^5	± 0.5	银		10^{-2}	± 10

例如，4 个色环分别为：红（第 1 位数）、紫（第 2 位数）、橙（乘数）、金（允许误差），则电阻值为 $R=(2\times 10+7)\times 10^3\pm 5\%(\Omega)=27\pm 5\%(k\Omega)$ 。

若 5 个色环分别为：橙（第 1 位数）、橙（第 2 位数）、红（第 3 位数）、棕（乘数）、蓝（允许误差），则电阻值为 $R=(3\times 100+3\times 10+2)\times 10^1\pm 0.25\%(\Omega)=3.320\pm 0.25\%(k\Omega)$ 。

在贴片电阻元件（SMT）上不使用色环表示阻值的大小，改用数字表示，一般 3~4 位，前 2~3 位为有效数字，最后一位为阻值倍率（0~8 分别表示 $10^0\sim 10^8$ ，9 表示 10^{-1} ）。例如：

$120=12\Omega$ $121=120\Omega$ $122=1.2k\Omega$ $129=1.2\Omega$