



普通高等学校
电类规划教材

电子产品 工艺与实训教程

◎付蔚 主编

◎童世华 刘丹 王炳鹏 巩莉 副主编

非外借



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



普通高等学校
电类规划教材

电子产品 工艺与实训教程



◎付蔚 主编

◎童世华 刘丹 王炳鹏 巩莉 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电子产品工艺与实训教程 / 付蔚主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2017.8
ISBN 978-7-115-46309-8

I. ①电… II. ①付… III. ①电子产品—生产工艺—
教材 IV. ①TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第190564号

内 容 提 要

本书以电子产品的工艺流程为主线,系统介绍了电子产品设计需要掌握的理论知识、设计方法及步骤,同时介绍了典型电子工艺实训案例,具有很强的操作性。

本书共分6章,包括常用电子元器件、常用电子测试仪器及其应用、绘图原理及PCB制板工艺、元器件的焊接工艺、电子装配工艺、典型电子工艺实训案例。

本书内容全面,实例丰富,可作为高等院校电子产品工艺与实训类实验课程教材,也可作为自学参考书。

◆ 主 编 付 蔚
副 主 编 童世华 刘 丹 王炳鹏 巩 莉
责任编辑 李 召
责任印制 陈 犇

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 http://www.ptpress.com.cn
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5 2017年8月第1版
字数: 378千字 2017年8月北京第1次印刷

定价: 46.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

随着经济的全球化发展,我国电子行业规模迅速扩大,企业对高技能应用型人才的需求日益旺盛。为社会输送合格的人才,就成为高等院校的重要任务。电子产品工艺与实训教学是以学生自己动手,掌握一定操作技能并亲手制作实际电子产品为特色,让学生将基本技能培养、基本工艺知识和创新启蒙有机结合,为学生的实际动手能力和创新能力构建了一个良好平台的实践类课程。

在重庆邮电大学执教的这些年里,编者深刻认识到电子产品工艺与实训教学不仅能帮助学生掌握电子产品设计的基本技能,激发学生的学习兴趣,加大学生对本专业理论知识的进一步掌握,而且有助于学生动手能力、创新能力的培养和提升,对其进入工作岗位后的发展也大有裨益。

鉴于这种情况,编者根据多年从事电子产品工艺与实训教学的经验,结合相关理论知识,编写了本书。本书共分6章,以电子产品的工艺流程为主线,介绍了电子产品设计需要掌握的理论知识、设计方法及步骤,同时介绍了典型电子工艺实训案例,内容全面,实例丰富。详细内容如下。

☆ 第1章:常用电子元器件。主要介绍了电阻、电容、电感、变压器等常用元器件的分类、性能参数等基础知识。

☆ 第2章:常用电子测试仪器及其应用。介绍了实验室一些常用仪器的基本原理和使用方法,如万用表、示波器、信号发生器等。

☆ 第3章:绘图原理及PCB制板工艺。首先结合Altium Designer平台介绍了基本的电路原理图绘制以及PCB设计的基本技巧,其次介绍了基本元器件的封装形式,最后介绍了PCB的制板工艺以及制板流程。

☆ 第4章:元器件的焊接工艺。对元器件的手工焊接的基础知识、基本技巧以及表面安装技术(SMT)进行了详细的介绍。

☆ 第5章:电子装配工艺。着重对印制电路板的插装、连接工艺以及产品的测试进行了详细的介绍。

☆ 第6章:典型电子工艺实训案例。介绍了3个典型的电装实训的案例,包括半导体收音机、万用表以及51单片机开发板的设计与制作,使读者能更加容易地掌握电子产品工艺设计与制作的基本技巧。

☆ 附录A:HX108-2型7管半导体收音机焊接、装配、调试实例。

☆ 附录 B: TF2010 型手机万能充电器焊接、装配、调试实例。

☆ 附录 C: 51 单片机开发板原理图、完整 PCB 图、51 单片机开发板代码示例以及 51 单片机开发板元器件清单。

☆ 附录 D: 常用电工与电子学图形符号。

本书在编写过程中,参阅了相关同类教材和资料,在此向其编者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏与不妥之处,欢迎读者批评指正,编者将不胜感激。

编者

2017 年 6 月

目 录

第 1 章 常用电子元器件	1	1.7.3 光电倍增管	44
1.1 电阻元件	1	1.8 机电元件	44
1.1.1 电阻的分类	1	1.8.1 继电器	44
1.1.2 电阻的命名方法及符号	3	1.8.2 开关	48
1.1.3 电阻的性能参数	4	1.9 集成电路	51
1.1.4 阻值和误差的标注方法	7	1.9.1 集成电路的分类	52
1.1.5 常用电阻器	8	1.9.2 集成电路的命名	52
1.1.6 电阻的选用	12	1.9.3 常用集成电路介绍	53
1.2 电容元件	13	1.9.4 集成电路的检测方法	58
1.2.1 电容的分类	14	1.10 微处理器	59
1.2.2 电容器的命名及符号	16	1.10.1 常用单片机	59
1.2.3 电容器的标示方法	17	1.10.2 ARM 系列单片机	60
1.2.4 电容器的性能参数	18	1.10.3 看门狗电路	61
1.2.5 常用电容器的特性	21	思考题	61
1.2.6 电容器的选用	23	第 2 章 常用电子测试仪器及其应用	63
1.3 电感元件	24	2.1 万用表及其应用	63
1.3.1 电感的符号、单位及命名方法	24	2.1.1 指针式万用表	63
1.3.2 电感的作用及分类	25	2.1.2 数字万用表	65
1.3.3 电感的主要特性参数	26	2.2 示波器及其应用	66
1.3.4 常用电感线圈	27	2.2.1 模拟示波器	67
1.3.5 常用电感的型号、规格	27	2.2.2 数字示波器	69
1.3.6 电感的选用	29	2.3 信号发生器及其应用	74
1.4 变压器	29	2.3.1 信号发生器的分类	74
1.4.1 变压器的分类	29	2.3.2 信号发生器的使用	75
1.4.2 变压器的特性参数	30	2.4 直流稳压电源及其应用	80
1.5 半导体分立元件	30	2.4.1 直流稳压电源简介	80
1.5.1 二极管	31	2.4.2 直流稳压电源的使用	81
1.5.2 三极管	35	2.5 逻辑笔及其应用	84
1.5.3 场效应管	39	思考题	85
1.6 光耦	43	第 3 章 绘图原理及 PCB 制板工艺	86
1.7 光电管	43	3.1 Altium Designer 简介	86
1.7.1 真空光电管	43	3.2 Altium Designer 简明使用方法	87
1.7.2 充气光电管	44	3.2.1 Altium Designer 的安装	87
		3.2.2 新建和保存 PCB 工程	87

3.2.3 原理图设计	88	5.1.2 工艺文件的编制方法和要求	134
3.2.4 PCB 设计	93	5.1.3 工艺文件格式填写方法	134
3.2.5 快捷键说明	95	5.2 电子设备组装工艺	135
3.3 PCB 设计规则	97	5.2.1 概述	135
3.3.1 PCB 设计的一般原则	97	5.2.2 电子设备组装的特点和方法	136
3.3.2 PCB 设计中应注意的问题	100	5.2.3 组装工艺技术的发展	136
3.3.3 PCB 及电路抗干扰措施	102	5.2.4 整机装配工艺过程	137
3.4 元器件的封装	103	5.3 印制电路板的插装	137
3.4.1 定义	103	5.3.1 元器件加工(成形)	137
3.4.2 元器件的封装形式	103	5.3.2 印制电路板装配图	139
3.4.3 Altium Designer 元器件封装库总结	105	5.3.3 印制电路板组装工艺流程	139
3.5 PCB 制板工艺	106	5.4 连接工艺	139
3.5.1 PCB 的发展历史	107	5.5 整机总装	141
3.5.2 PCB 的特点	107	思考题	143
3.5.3 PCB 的种类	108	第 6 章 典型电子工艺实训案例	144
3.5.4 PCB 的制造方法	108	6.1 半导体收音机	144
3.5.5 PCB 的制造工艺	109	6.1.1 无线电波基础知识	144
3.5.6 小型工业制板流程	110	6.1.2 无线电信号的传送与接收	145
思考题	116	6.1.3 收音机的工作原理和结构组成	148
第 4 章 元器件的焊接工艺	117	6.1.4 ZX-921 型超外差式收音机的装调	153
4.1 元器件的手工焊接技术	117	6.1.5 常见故障的检修	165
4.1.1 手工焊接原理	117	6.2 万用表	168
4.1.2 助焊剂的功能	118	6.2.1 万用表原理与安装实训的目的与意义	168
4.1.3 焊锡丝的组成与结构	119	6.2.2 指针式万用表的结构与特征	168
4.1.4 电烙铁	119	6.2.3 指针式万用表的工作原理	170
4.1.5 手工焊接	120	6.2.4 MF47 型万用表的安装	173
4.2 SMT 流程	124	6.2.5 万用表的使用	188
4.2.1 焊膏印刷	124	6.3 51 单片机开发板	189
4.2.2 贴片	125	6.3.1 51 单片机简介	190
4.2.3 回流焊	126	6.3.2 单片机开发板简介	192
4.2.4 SMT 生产中的静电防护技术	127	6.3.3 硬件设计	193
思考题	132	6.3.4 软件编程设计	199
第 5 章 电子装配工艺	133		
5.1 工艺文件	133		
5.1.1 工艺文件的作用	133		

近年来,随着电子产品的飞速发展,智能手机、PC机等高端电子产品走进了千家万户,日益充实着我们的生活,影响和改变着我们的生活方式。电子产品的设计制作离不开基本的电子元器件,本章重点对常用的电子元器件进行介绍,主要包括以下内容。

- 电阻元件的识别与检测,包括电阻的分类、命名、性能参数、选用等。
- 电容元件的识别与检测,包括电容的作用、分类、命名、性能参数、选用等。
- 电感元件的识别与检测,包括电感的作用、分类、命名、性能参数、选用等。
- 变压器的分类及特性参数。
- 半导体分立元件的识别与检测,包括二极管、三极管及场效应管的识别与检测。
- 电位器的分类及检测。
- 驱动继电器的芯片、光耦、光电管、光敏电阻、机电元件的认识。
- 集成电路的识别与检测,主要包括其分类、命名、封装与引脚识别等。
- 微处理器简介,包括常用的单片机以及看门狗电路简介。

通过本章的学习,读者可以了解和熟悉基本元器件的识别、性能与选用。

1.1 电阻元件

1.1.1 电阻的分类

(1) 按电阻的阻值特性分类:固定电阻、可调电阻和特种电阻。

固定电阻的电阻值是固定不变的,阻值的大小就是它的标称值,固定电阻器的文字符号常用字母“R”表示。阻值可变的电阻为可调电阻。特种电阻包括敏感电阻和熔断电阻,敏感电阻的阻值会随着一些外界因素的变化而变化,如受光影响的称为光敏电阻,受外界压力影响的称为压敏电阻,还有热敏电阻、气敏电阻、湿敏电阻等。

(2) 按制造材料分类:金属膜电阻、碳膜电阻、水泥电阻、绕线电阻、薄膜电阻等。

(3) 按用途分类:限流电阻、降压电阻、分压电阻、保护电阻、启动电阻、取样电阻、去耦电阻、信号衰减电阻等。

(4) 按安装方式分类:插件电阻、贴片电阻。贴片电阻根据其封装尺寸又分为很多类型,如0201、0402、0603、0805、1206、1210、1812、2010、2512等。

(5) 按功率分类:1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W等。

图 1-1 为电阻分类列表，表 1-1 为常用电阻的外形和特点。



图 1-1 电阻的分类

表 1-1 常用电阻的外形和特点

名称	碳膜电阻 (RT)	金属膜电阻 (RJ)	绕线电阻 (RX)	金属氧化膜电阻 (RY)	水泥电阻	片状电阻	集成电阻
外形							

续表

名称	碳膜电阻 (RT)	金属膜电阻 (RJ)	绕线电阻 (RX)	金属氧化膜 电阻 (RY)	水泥电阻	片状电阻	集成电阻
结构	陶瓷管架上高温沉积碳氧化合物电阻材料,通过厚度和刻槽控制阻值,表面涂有保护漆	陶瓷管架上用真空蒸发或烧渗法形成金属膜(镍铬合金),表面涂有保护漆	合金丝(康铜、锰铜或镍铬合金)绕在陶瓷管支架上,表面涂有保护漆	金属盐溶液在陶瓷管架上水解沉积成膜而成	将电阻线绕在耐热瓷片上,或用氧化膜电阻等,用特殊不燃性耐热水泥填充密封而成	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发而成	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发或溅射而成的高精度网络
阻值及功率	1Ω~10MΩ 0.125~10W	1Ω~620MΩ 0.125~5W	0.1Ω~5MΩ 0.125~500W	1Ω~1MΩ 25~50kW	1Ω~200kΩ 0.5~50W	1Ω~1MΩ 1/32~3W	51Ω~33kΩ
特点	稳定,电压频率影响小,负温度系数,价廉	耐热,稳定性和温度系数都优于碳膜电阻,体积小,精度高,可达 0.5%~0.05%	低噪声,高线性度,温度系数小,稳定性高,工作温度可达 315℃	抗氧化,耐高温,高温下热稳定性优于金属膜电阻	耐高功率,散热性好,稳定性高	体积小,精度高,稳定性高,温度系数小,高频特性好	精度高,稳定性高,噪声低,温度系数小,高频特性好
应用	用于民用低档电子产品	用于要求较高的电子产品	用于大功率、高稳定性、高温工作场合	补充金属膜电阻大功率及低阻值部分	用于电源和功率电路中的分流和降压	用于计算机、通信及家用电器、精密仪器仪表等	用于计算机、仪器、仪表及特殊要求电路

1.1.2 电阻的命名方法及符号

根据国家标准 GB/T 2470—1995《电子设备用固定电阻器固定电容器型号命名方法》的规定,电阻器及电位器的型号由 4 个部分组成,如表 1-2 所示。

表 1-2 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		用数字表示序号	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	无 固 定 标 识	额定功率
		H	合成膜	3	超高频		
W	电位器	P	硼碳膜	4	高阻		阻值
		U	硅碳膜	5	高温		允许误差
		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		精度等级等

续表

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		用数字表示序号	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
W	电位器	Y	氧化膜	G	高功率		
		S	有机实芯	T	可调		
		N	无机实芯	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				

例 1 有一电阻器为 RJ71-0.25-4.7k I 型，则其表示含义如下。

R—主称为电阻；J—材料为金属膜；7—特征为精密型；1—序号为 1；0.25—额定功率为 0.25W；4.7k—标称阻值为 4.7kΩ；I—允许误差为 I 级±5%。

例 2 有一电位器为 WSW-1-0.5-4.7kΩ±10%型，则其表示含义如下。

W—主称为电位器；S—材料为有机实芯；W—特征为微调型；1—品种为非紧锁型；0.5—额定功率为 0.5W；4.7kΩ—标称阻值；±10%—允许误差。

常用电阻器的图形符号如图 1-3 所示，更多符号见附录 D。

表 1-3 常用电阻器的图形符号

图 形 符 号	名 称	图 形 符 号	名 称
	固定电阻		可调电位器
	带抽头的固定电阻		微调电位器
	可调电阻（变阻器）		热敏电阻
	微调电阻		光敏电阻

1.1.3 电阻的性能参数

在电阻的使用中，必须正确应用电阻的参数。电阻的性能参数包括标称阻值、允许偏差、额定功率、极限工作电压、电阻温度系数、频率特性和噪声电动势等。普通电阻最常用的参数是标称阻值、允许偏差和额定功率。

1. 标称阻值

标称在电阻器上的电阻值称为标称值。单位：Ω，kΩ，MΩ。标称值是根据国家制定的标准系列标注的，不是生产者任意标定的，不是所有阻值的电阻都存在。

标称阻值组成的系列称为标称系列，表 1-4 所示为固定电阻的标称阻值系列，电阻的标称阻值应符合表列数值之一（或表列数值再乘以 10ⁿ，其中 n 为正整数或负整数）。

表 1-4 常用固定电阻的标称阻值系列

系列代号	允许误差	电阻系列标称值													
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	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								

2. 允许误差

电阻器的实际阻值对于标称值的最大允许偏差范围称为允许误差，它直接以允许偏差的百分数表示。常用电阻的允许误差有 5 个等级，如表 1-5 所示。

表 1-5 常用电阻允许误差等级

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
系列代号	E192	E96	E24	E12	E6

目前生产的固定电阻多为 I 级或 II 级，III 级已甚少见，一般电子线路采用 I 级或 II 级电阻已能满足要求，某些要求高的线路（如分压器、测试仪表）则应采用精度更高的电阻。

3. 额定功率

电阻的额定功率指在规定的环境温度下，假设周围空气不流通，在长期连续工作而不损坏或基本不改变电阻器性能的情况下，电阻器上允许的消耗功率，常见的有 1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W。在电阻的使用中，电阻的额定功率应大于电阻在电路中实际功率值的 1.5 倍。

电路图中，若不作说明，电阻的额定功率一般为 1/16~1/8W。较大功率时用文字标注或用符号表示，表 1-6 所示为电阻额定功率系列，电阻额定功率的符号表示如图 1-2 所示。

表 1-6 电阻额定功率系列

种 类	电阻额定功率系列/W																		
绕线电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10	16	25	40	50	75	100	150	250	500
非绕线电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100								

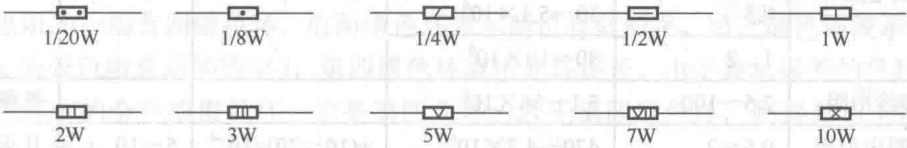


图 1-2 电阻额定功率的符号表示

4. 电阻的温度系数

当温度每变化 1℃时，阻值的相对变化叫作电阻的温度系数。一般在手册上给出的电阻温

度系数是在使用条件下，某一温度范围内的平均值，即

$$\rho_{\text{IR}} = \frac{R_1 - R_2}{R_1(t_1 - t_2)} \quad (1/^\circ\text{C})$$

式中， ρ_{IR} 是电阻的平均温度系数； t_1 、 t_2 是规定的两个温度； R_1 、 R_2 分别是对应于 t_1 、 t_2 温度时的阻值。温度系数与阻值大小有关，阻值越大， ρ_{IR} 也越大，碳膜电阻有负的温度系数，温度升高，阻值减小，而其他类型电阻的温度系数有些为正，有些为负。

5. 电阻的噪声

由于电阻器本身的结构和热效应作用，通过电流时，电阻器两端会产生一定的噪声电压。当信号很微弱时，噪声电压将产生显著的干扰。绕线电阻器的噪声只决定于热噪声；它仅与阻值、温度、外界电压的频率有关，可用公式表示为

$$U^2 = 4kT\Delta fR$$

式中， U 为热噪声有效电压，单位为 V； T 为绝对温度，单位为 K； $k=1.38\times10^{-23}\text{J/K}$ ，称为玻耳兹曼常数； Δf 为外界电压的频带，单位为 Hz； R 为电阻，单位为 Ω 。

非绕线电阻除了热噪声外，还有电流噪声。这是由于在外加电压作用下，导电微粒间产生不规则的振动，使阻值起伏变化，对电流起了调制作用。这种噪声与外加电压成正比。

常用电阻器的温度系数和噪声电势如表 1-7 所示。

表 1-7 常用电阻器技术特性表

名称和型号	额定功率 /W	标称阻值范围 / Ω	温度系数 /($1/^\circ\text{C}$)	噪声电势 /($\mu\text{V/V}$)	运用频率
RT 型碳膜电阻	0.05	$10\sim100\times10^3$	$-(6\sim20)\times10^{-4}$	1~5	10MHz 以下
	0.125	$5.1\sim510\times10^3$			
	0.25	$5.1\sim910\times10^3$			
	0.5	$5.1\sim2\times10^6$			
	1、2	$5.1\sim5.1\times10^6$			
RU 型硅碳膜电阻	0.125、0.25	$5.1\sim510\times10^3$	$\pm(7\sim12)\times10^{-4}$	1~5	10MHz 以下
	0.5	$10\sim1\times10^6$			
	1、2	$10\sim10\times10^6$			
RJ 型金属膜电阻	0.125	$30\sim510\times10^3$	$\pm(6\sim10)\times10^{-4}$	1~4	10MHz 以下
	0.25	$30\sim1\times10^6$			
	0.5	$30\sim5.1\times10^6$			
	1、2	$30\sim10\times10^6$			
RXYC 型绕线电阻	2.5~100	$5.1\sim56\times10^6$			低频
WTH 型碳膜电位器	0.5~2	$470\sim4.7\times10^6$	$\pm(10\sim20)\times10^{-4}$	5~10	几百 kHz 以下
WX 型线绕电位器	1~3	$10\sim20\times10^3$			低频

当运用频率为 10MHz 以上时，电阻的分布参数对电路特性的影响更加显著。

6. 电阻器的极限工作电压

电阻器两端的耐压也是有限度的,当加于电阻器的电压超过极限工作电压时,即使没有超过它的额定功率,也会因产生击穿和表面飞弧现象而损坏。一般说来,极限工作电压 U 由阻值 R 和额定功率 P 决定,即

$$U=\sqrt{PR}$$

对于阻值较高的电阻,手册中给出的极限工作电压小于上式的计算值,使用时必须注意。

1.1.4 阻值和误差的标注方法

1. 直标法

直标法是将电阻的主要参数和技术性能用数字或字母直接标注在电阻体上。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 级或 II 级,III 级不标明。直标法示例如图 1-3 所示。

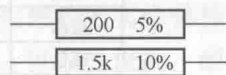


图 1-3 直标法

2. 文字符号法

文字符号法是将数字与特殊符号两者有规律组合起来表示电阻的主要参数。常见符号有 M 、 k 、 R 。如 $4k7$ ($4.7k\Omega$), $3R3$ (3.3Ω)。文字符号法示例如图 1-4 所示。

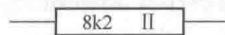


图 1-4 文字符号法

3. 数码法

数码法是用三位数字表示元件的标称值。从左至右,前两位表示有效数位,第三位表示 10^n ($n=0\sim 8$)。当 $n=9$ 时为特例,表示 10^{-1} 。而标注是 0 或 000 的电阻器,表示是跳线,阻值为 0Ω 。贴片电阻多用数码法标示,数码法标示时,电阻单位为 Ω 。

$0\sim 10\Omega$ 带小数点电阻值表示为 XRX 、 RXX 。例如, $2R2=2.2\Omega$, $471=470\Omega$, $105=1M\Omega$, $512=5.1k\Omega$ 。

4. 色环标志法

对体积很小的电阻和一些合成电阻,其阻值和误差常用不同颜色的色环来标注。色环标志法有四环和五环两种。普通电阻一般用四环表示,精密电阻用五环表示。

四环电阻的一端有四道色环,前两道色环表示两位有效数字,第三道色环表示 10 的乘方数 (10^n , n 为颜色所表示的数字),第四道色环表示允许误差。由于表示误差的色环只有金色或银色,色环中的金色或银色环一定是第四色环。若无第四道色环,则误差为 $\pm 20\%$ 。色环电阻的单位一律为 Ω 。

五环电阻用五道色环标注,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,如图 1-5 所示。

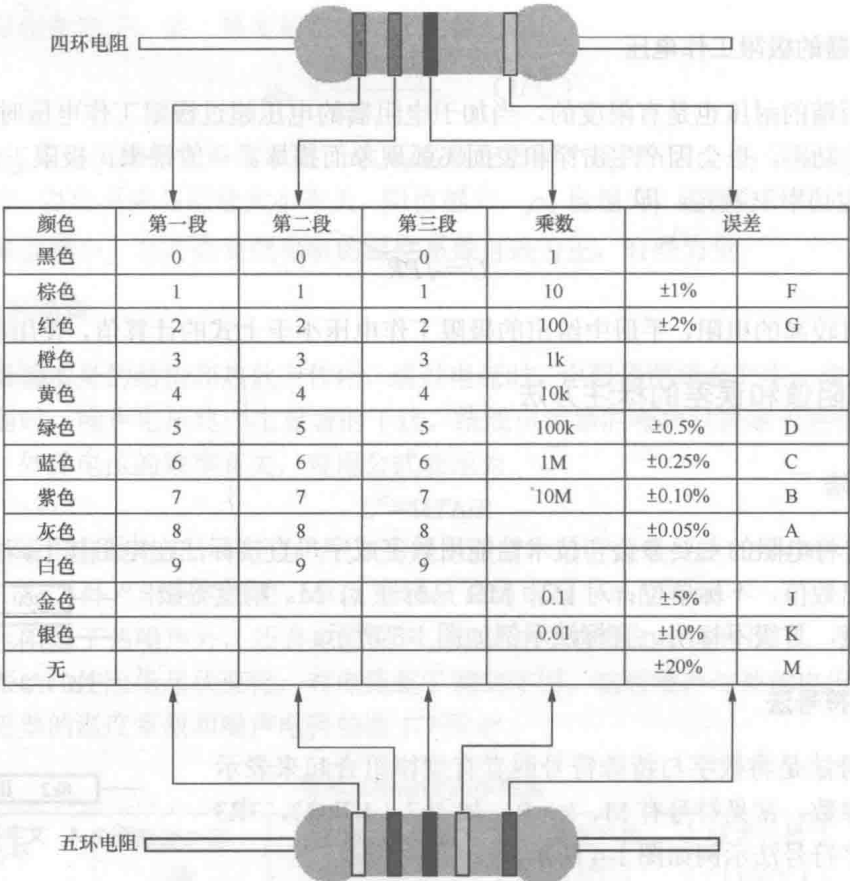


图 1-5 色环颜色所表示的有效数字和允许误差

在读色环电阻时，应正确识别第一色环，一般第一色环距电阻头较近。

阻值=有效数字×倍率；允许误差直接由允许误差环读出。

注：有的电阻表面只有 3 条色环，这个电阻其实用的是 4 位色环表示法，只不过它的允许误差环为无色，即允许误差为±20%。

固定电阻的色标举例如下。

标称阻值为 27000Ω，允许误差±5%，其表示为红紫橙金。

标称阻值为 17.5Ω，允许误差±1%，其表示为棕紫绿金棕。

标称阻值为 47000Ω，允许误差±20%，其表示为黄紫橙。

1.1.5 常用电阻器

1. 电位器

电位器是一种机电元件，它靠电刷在电阻体上的滑动，取得与电刷位移成一定关系的输出电压。常用的电位器有以下几种。

(1) 合成碳膜电位器：电阻体是用经过研磨的碳黑、石墨、石英等材料涂敷于基体表面而成。合成碳膜电位器工艺简单，是目前应用最广泛的电位器。特点是分辨力高，耐磨性好，寿命较长。缺点是电流噪声和非线性大，耐潮性以及阻值稳定性差。

(2) 有机实心电位器：这是一种新型电位器，它是用加热塑压的方法，将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内。有机实心电位器与碳膜电位器相比，具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但其温度系数大，动噪声大，耐潮性能差，制造工艺复杂，阻值精度较差。其在小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中用作调节电压、电流。

(3) 金属玻璃釉电位器：用丝网印刷法按照一定图形，将金属玻璃釉电阻浆料涂覆在陶瓷基体上，经高温烧结而成。优点是阻值范围宽，耐热性好，过载能力强，耐潮，耐磨，是很有前途的电位器品种；缺点是接触电阻和电流噪声大。

(4) 绕线电位器：将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体，并把它绕在绝缘骨架上制成。优点是接触电阻小，精度高，温度系数小；缺点是分辨力差，阻值偏低，高频特性差。其主要用作分压器、变阻器、仪器中调零和工作点等。

(5) 金属膜电位器：其电阻体可由合金膜、金属氧化膜、金属箔等分别组成。特点是分辨力高，耐高温，温度系数小，动噪声小，平滑性好。

(6) 导电塑料电位器：用特殊工艺将 DAP（邻苯二甲酸二烯丙酯）电阻浆料覆在绝缘机体上，加热聚合成电阻膜，或将 DAP 电阻粉热塑压在绝缘基体的凹槽内形成的实心体作为电阻体。特点是平滑性好，分辨力优异，耐磨性好，寿命长，动噪声小，可靠性极高，耐化学腐蚀。其主要用于宇宙装置、导弹、飞机雷达天线的伺服系统等。

(7) 带开关的电位器：有旋转式开关电位器、推拉式开关电位器、推推开关式电位器。

(8) 预调式电位器：在电路中一旦调试好，用蜡封住调节位置，一般情况下不再调节。

(9) 直滑式电位器：采用直滑方式改变电阻值。

(10) 双连电位器：有异轴双连电位器和同轴双连电位器。

(11) 无触点电位器：消除了机械接触，寿命长、可靠性高，分光电式电位器、磁敏式电位器等。

2. 排阻

排阻又称厚膜网络电阻，是将若干个参数完全相同的电阻集中封装在一起，组合制成的。排阻通过在陶瓷基片上丝网印刷形成电极和电阻并印有玻璃保护层，有坚硬的钢夹接线柱，用环氧树脂包封，适用于密集度高的电路装配。

排阻型号的命名方法示例如表 1-8 所示。

表 1-8		排阻型号命名方法示例		
RP	A	08	472	J
产品型号	电路类型	针数	阻值代号	误差代号
网络排阻	A, B, C, D, E, F, G	4~14 针		$F=\pm 1\%$, $G=\pm 2\%$, $J=\pm 5\%$

电路类型中各符号的意义				
A: 多个电阻公用一端，公用端左端引出				
B: 每个电阻各自引出，且彼此没有相连				
C: 各个电阻首尾相连，各个端都有引出				
D: 所有电阻公用一端，公用端中间引出				
E: 所有电阻公用一端，公用端两端都有引出				
F 和 G 比较复杂，这里从略				