

普通高等教育“十二五”规划教材

工程创新型 电子信息类精品教材

电工电子实训

(第3版)

• 肖俊武 主编 • 肖 飞 李雪莲 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

工程创新型电子信息类精品教材

电工电子实训

(第3版)

肖俊武 主编

肖 飞 李雪莲 副主编

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

电工电子实训是一门实践性、实用性很强的课程。本书以介绍基本工艺知识和电子产品装配技能为主,对电子产品制作过程及工艺做了比较全面的介绍,包括常用电子元器件识别、测量、选用及常见故障的判断与排除;常用仪器仪表的使用方法;印制电路板设计与制作;电子产品的焊接及相关的实训选题、生产安全等。在实训选题一章中,特别介绍了收音机的安装及调试;数字电路制作的电子门铃的安装及调试;集成功放电路制作的音响放大器的安装及调试;无线话筒的安装及调试。为了突出训练学生的实际动手能力与创新思维能力,有关知识点的理论性论述本书予以省略。

本书可作为高等学校电子信息、通信工程、自动化、计算机、机电一体化等专业的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实训 / 肖俊武主编. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2012.7

(工程创新型电子信息类精品教材)

ISBN 978-7-121-17423-0

I. ①电 II. ①肖… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 135752 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.25 字数: 314 千字

印 次: 2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

第3版前言

随着知识经济的深入和信息技术的飞速发展,具备创新精神和实践能力是对新时期高素质人才的基本要求。高等教育必须加强创新意识的培养,必须加强实践技能的培养。特别是电子实践技能的培养,对于当代大学生显得格外重要。电子实践技能的积累,自然会产生创新意识,实践技能增强,创新意识会随之提高。随着教学改革的深入发展,对学生创新能力的培养已成为重中之重,编写高质量教材是保证教学稳定发展的基本建设,也是创新实践的开始和创新精神的启蒙。为达到目前电工电子实训的要求,顺应时代发展的需要,培养和提高学生电工电子技术基本技能,我们编写了这本实用性较强的电工电子实训教材。第3版教材保留了实用性特色,并在实训选题方面做了进一步的精炼。为了方便教师使用本教材,我们特意制作了配套的电子教案。

本书以熟悉和掌握电子信息技术基本技能为目的,结合高等教育的背景,注意吸收目前电工电子理论教学和技能训练的经验。从电子工艺基本知识到电子电路综合训练,内容循序渐进,具有一定的实用性和先进性,语言通俗易懂。

全书共分为五章,包括常用电子元器件,电子工艺的基本常识,综合实训选题,常用仪器的使用和 Protel 2004 实训。

本教材具有以下特点:

1. 突出实训教材的应用性特点,注重动手能力的培养,深入浅出,有利于学生牢固掌握与灵活应用。
2. 体现高等教育教学基本要求,注重电子电路的设计与制作,注重学生创新能力和应用能力的培养。
3. 为培养学生分析问题与解决问题的能力,选择了较多的装配、调试和检测等综合实训内容,以提高学生分析和解决实际问题的能力。
4. 为了方便任课教师使用本教材,编写实训选题一章时,兼顾了低频电子线路、数字电路及高频电子线路的内容。

本书由肖俊武、肖飞、李雪莲、叶红、陈立新共同编写,其中第1章由陈立新编写,第2章由叶红编写,第3章由肖俊武、陈立新、李雪莲、肖飞编写,第4章由肖飞编写,第5章由肖飞、陈立新编写。全书由肖俊武、肖飞负责统稿。在编写过程中得到了石家庄市无线电四厂、合肥元隆电子技术有限公司、宁波中策电子有限公司、深圳市胜利高电子科技有限公司的大力支持和帮助,在此深表感谢。

由于编者水平有限,教材中难免会有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 常用电子元器件	(1)
1.1 电阻器和电位器	(1)
1.1.1 电阻器和电位器的命名、分类及参数	(1)
1.1.2 电阻器和电位器的测量	(10)
1.1.3 电阻器和电位器的选用与代用	(12)
1.1.4 电阻器与电位器的常见故障	(14)
1.2 电容器	(14)
1.2.1 电容器的命名、分类及参数	(14)
1.2.2 电容器的测量	(20)
1.2.3 电容器的选用与代用	(22)
1.2.4 电容器的常见故障	(23)
1.3 电感线圈和变压器	(24)
1.3.1 电感线圈的命名、种类及参数	(24)
1.3.2 电感线圈的测量	(27)
1.3.3 电感线圈的选用	(28)
1.3.4 电感线圈的常见故障	(28)
1.3.5 变压器	(28)
1.4 晶体管	(31)
1.4.1 晶体管的型号命名法	(31)
1.4.2 晶体二极管的分类及参数	(32)
1.4.3 晶体二极管的测量	(36)
1.4.4 晶体三极管的分类及参数	(39)
1.4.5 晶体三极管的测量	(40)
1.4.6 单向晶闸管	(43)
1.4.7 单向晶闸管的测量	(45)
1.4.8 晶体管的代用	(46)
1.5 集成电路	(46)
1.5.1 集成电路的命名、分类	(47)
1.5.2 集成电路的选用	(49)
1.5.3 常用集成电路芯片 555 定时器	(50)
1.5.4 集成电路应用须知	(52)
第 2 章 电子工艺的基本常识	(53)
2.1 焊接工艺	(53)
2.1.1 焊接基本知识	(53)
2.1.2 焊接工具	(56)

2.1.3	焊接材料	(62)
2.1.4	焊接技术	(66)
2.1.5	典型焊接方法和工艺	(75)
2.1.6	焊接质量和缺陷检查	(78)
2.2	印制电路板	(82)
2.2.1	印制电路板的设计	(82)
2.2.2	印制电路板的制造工艺	(89)
第3章	综合实训选题	(102)
3.1	电子产品的生产安全	(102)
3.1.1	触电伤害	(102)
3.1.2	预防触电	(103)
3.1.3	电子装配安全操作	(104)
3.1.4	电气消防与触电急救	(105)
3.2	电子产品生产的基本知识	(105)
3.2.1	生产工艺的重要性	(105)
3.2.2	电子产品的装配	(105)
3.2.3	电子产品的调试	(109)
3.3	收音机的基础知识——无线电波	(109)
3.3.1	无线电波的概念	(109)
3.3.2	无线电波的传播	(110)
3.3.3	无线电波的发射	(112)
3.4	实训选题1——收音机的安装与调试	(113)
3.4.1	超外差收音机工作原理	(113)
3.4.2	安装方法与静态调整	(116)
3.4.3	整机交流信号的调整	(119)
3.5	实训选题2——电子门铃的安装与调试	(122)
3.5.1	电子门铃的工作原理	(122)
3.5.2	电子门铃的安装方法	(123)
3.5.3	电子门铃的调试方法	(124)
3.6	实训选题3——功率放大器的安装与调试	(124)
3.6.1	功率放大器的工作原理	(124)
3.6.2	功率放大器的安装方法	(127)
3.6.3	功率放大器的调试方法	(127)
3.7	实训选题4——无线话筒的安装与调试	(128)
3.7.1	无线话筒的工作原理	(128)
3.7.2	无线话筒的安装方法	(129)
3.7.3	无线话筒的调试方法	(129)
第4章	常用仪器的使用	(130)
4.1	稳压电源(DF1731SB3A)	(130)
4.1.1	工作原理	(130)

4.1.2	使用方法	(132)
4.1.3	使用练习	(135)
4.2	数字式万用表 (VC9807A)	(135)
4.3	交流毫伏表 (DF2170A)	(138)
4.3.1	工作原理	(139)
4.3.2	使用方法	(139)
4.3.3	技术参数	(140)
4.3.4	注意事项	(140)
4.3.5	测量练习	(141)
4.4	DDS 函数信号发生器 (TFG2015V)	(141)
4.4.1	工作原理	(141)
4.4.2	使用说明	(142)
4.4.3	技术特性	(146)
4.5	双踪通用示波器 (VD4330)	(147)
4.5.1	工作原理	(148)
4.5.2	示波器的使用	(150)
4.5.3	注意事项	(150)
4.5.4	使用练习	(151)
第 5 章	Protel 2004 实训	(152)
5.1	Protel 2004 简介及 PCB 设计流程	(152)
5.2	Protel 2004 安装、启动和工作界面	(152)
5.3	Protel 2004 的项目创建	(155)
5.4	Protel 2004 项目的原理图设计	(157)
5.4.1	创建项目的原理图图纸	(157)
5.4.2	设置项目的原理图选项	(158)
5.4.3	绘制项目的原理图	(158)
5.4.4	设置项目的项目选项	(166)
5.4.5	编辑调试项目	(167)
5.5	Protel 2004 项目的 PCB 图设计	(167)
5.5.1	创建项目的 PCB 文件	(167)
5.5.2	更新项目的 PCB 文件	(171)
5.5.3	设置项目的 PCB 工作区参数	(172)
5.5.4	绘制项目的 PCB 图	(176)
5.6	Protel 2004 项目的仿真	(177)
5.6.1	设置项目的仿真参数	(177)
5.6.2	运行项目的瞬态特性分析	(180)
5.7	Protel 2004 的进阶	(181)
参考文献		(186)

第 1 章 常用电子元器件

电子元器件是电子制作中最基本的“零件”。电子电路中具有某些独立功能的单元，如放大电路、振荡电路、检波电路等，都是由许多电子元器件构成的，通常可以分为无源元件（习惯上称为元件）和有源元件（习惯上称为器件）两类。前者包括电阻器、电容器、电感器、电声器件等，后者包括晶体二极管、晶体三极管、集成电路等。本章着重学习这些电子元器件的基本知识。

1.1 电阻器和电位器

电阻器简称电阻，是电子电路中应用最多的元件之一。电阻器在电路中用于分压、分流、滤波（与电容器组合）、耦合、阻抗匹配、负载等。电阻器在电路中常用符号“R”表示，电阻值的国际单位为欧姆，简称欧（ Ω ）。1 Ω 是电阻的基本单位，在实际电路中，常用的单位还有千欧（k Ω ）和兆欧（M Ω ）。三者的换算关系为

$$1\text{M}\Omega=1000\text{k}\Omega; \quad 1\text{k}\Omega=1000\Omega$$

电位器是由一个电阻体和一个转动或滑动系统组成的。在家用电器和其他电子设备电路中，电位器用来分压、分流和用来作为变阻器。在晶体管收音机、CD 唱机、电视机等电子设备中电位器用于调节音量、音调、亮度、对比度、色饱和度等。当它作为分压器时，是一个四端电子元件；当它作为变阻器时，是一个两端电子元件。

1.1.1 电阻器和电位器的命名、分类及参数

1.1.1.1 电阻器和电位器的型号命名

国产电阻器、电位器的型号一般由下列五部分组成。

第一部分：主称，用字母表示，R 表示电阻器，W 表示电位器。

第二部分：导电材料，用字母表示，具体含义见表 1-1。

表 1-1 电阻器、电位器及其材料字母表示

类 别	名 称	符 号	字 母 顺 序
主 称	电阻器	R	第一字母
	电位器	W	
材 料	碳膜	T	第二字母
	金属膜	J	
	氧化膜	Y	
	合成碳膜	H	
	有机实心	S	
	无机实心	N	
	沉积膜	C	
	玻璃釉	I	
	线绕	X	

第三部分：一般用数字表示分类，个别类型用字母表示，见表 1-2。

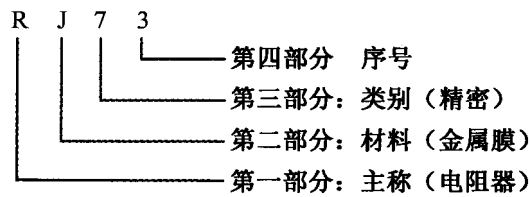
表 1-2 电阻器与电位器的代号

数字代号	意 义		字母代号	意 义	
	电 阻 器	电 位 器		电 阻 器	电 位 器
1	普通	普通	G	高功率	高功率
2	普通	普通	T	可调	—
3	超高频	—	W	—	微调
4	高阻	—	D	—	多圈
5	高温	—	X	小型	小型
6	—	—	J	精密	精密
7	精密	精密	L	测量用	—
8	高压	特种函数	Y	被釉	—
9	特殊	特殊	C	防潮	—

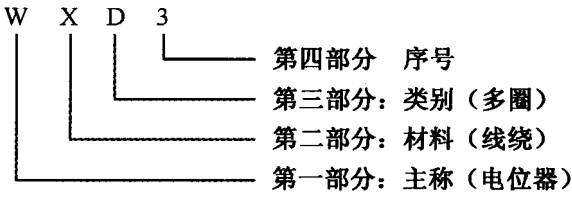
第四部分：序号，用数字表示。对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有差别，但基本不影响互换使用的产品，给予同一序号；若性能指标、尺寸大小明显影响互换时，则在序号后面用大写字母作为区别代号。

第五部分：区别代号，用字母表示。区别代号是当电阻器（电位器）的主称、材料特征相同，而尺寸、性能指标有差别时，在序号后用 A、B、C、D 等字母予以区别。举例如下。

(1) 精密金属膜电阻器



(2) 多圈线绕电位器



1.1.1.2 电阻器和电位器的分类

1. 电阻器的分类

电阻器的种类很多，通常有固定电阻器、可变电阻器和敏感电阻器。按电阻器结构形状和材料不同，可分为线绕电阻器和非线绕电阻器。线绕电阻器有通用线绕电阻器、精密

线绕电阻器、功率型线绕电阻器等；非线绕电阻器有碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、合成碳膜电阻器、棒状电阻器、管状电阻器、片状电阻器、纽扣状电阻器、金属玻璃釉电阻器、有机合成实心电阻器、无机合成实心电阻器等。

下面分别叙述几类常用电阻器的性能及结构。

(1) 碳膜电阻器

碳膜电阻器是通过真空高温热分解的结晶碳沉积在柱状或管状的陶瓷骨架上制成的。碳膜电阻器稳定性好、噪声低、阻值范围较宽，既可制成小至几欧的低值电阻器，也可制成几十兆欧的高值电阻器，且生产成本低廉，应用广泛。在 $-55^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 的环境温度中，可按 100% 的额定功率使用。碳膜电阻器的外形与结构如图 1-1 所示。

(2) 金属膜电阻器与金属氧化膜电阻器

金属膜电阻器的外形和结构与碳膜电阻器相似，如图 1-2 所示。它多采用合金粉真空蒸发制成。

金属膜电阻器的性能比碳膜电阻器更为优越，它稳定性好，耐热性能好，温度系数小，在同样的功率条件下，体积比碳膜电阻器小很多，但其脉冲负荷稳定性比较差。金属膜电阻器的阻值范围一般在 $1\Omega\sim200\text{M}\Omega$ 之间，可在 $-55^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 的环境温度中，按 100% 的额定功率使用。这类电阻器常用在质量要求较高的电路中，金属氧化膜电阻器的性能与金属膜电阻器相似，但它不适用于长期工作的电路中。因为它长期工作的稳定性较差，但耐热性很好。阻值范围在 $1\Omega\sim100\text{k}\Omega$ 之间。

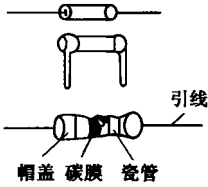


图 1-1 碳膜电阻器的外形与结构图

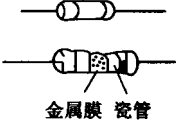


图 1-2 金属膜电阻器的外形与结构图

(3) 线绕电阻器

线绕电阻器是用高密度电阻材料镍铬丝或锰铜丝、康铜丝绕在瓷管上制成的，分固定式和可调式两种。表面覆盖一层玻璃釉的为釉线绕电阻器；表面覆盖保护有机漆或清漆的为涂漆线绕电阻器；绕制没有保护的裸线的为裸式线绕电阻器。图 1-3 所示为线绕电阻器的外形与结构。

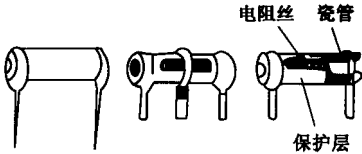


图 1-3 线绕电阻器的外形与结构图

线绕电阻器的特点是噪声小，甚至无电流噪声；温度系数小、热稳定性好、耐高温，工作温度可以达到 315°C 。但它体积大、阻值较低，大多在十万欧以下。同时线绕电阻器

由于结构上的原因，分布电容和电感系数都比较大，不能在高频电路中使用。这类电阻器通常在大功率电路中作为降压或负载等使用，阻值范围在 $0.1\Omega\sim 5M\Omega$ 之间。

(4) 片状电阻器

片状电阻器是一种表面安装元件，是随着电子技术的发展而产生的新型元件。片状电阻器是由陶瓷基片、电阻膜、玻璃釉保护层和端头电极组成的无引线结构电阻元件。它体积小、重量轻、性能优良、温度系数小、阻值稳定、可靠性强，但其功率一般不大。阻值范围在 $10\Omega\sim 10M\Omega$ 之间，低阻值范围在 $0.02\sim 10\Omega$ 之间。

(5) 热敏电阻器

热敏电阻器是用一种对温度极为敏感的半导体材料制成的非线性元件。电阻值随温度升高而变小的为负温度系数热敏电阻器；随温度升高而增大的为正温度系数热敏电阻器。目前使用较多的为负温度系数的电阻器。图 1-4 所示为部分直热式热敏电阻器的外形结构图。

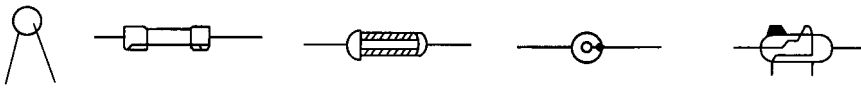


图 1-4 直热式热敏电阻器的外形结构图

(6) 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至某一临界值时，它的阻值会急剧变小。在电子电路中，它常用做过压保护和稳压元件。压敏电阻器按伏安特性可分为对称型（无极性）压敏电阻器和非对称型（有极性）压敏电阻器两种；按结构可分为体型压敏电阻器和结型压敏电阻器两种。

2. 电位器的分类

电位器的种类较多，按所使用的电阻材料分为碳膜电位器、碳质实心电位器、金属膜电位器、玻璃釉电位器、线绕电位器等。

下面介绍几种常用的电位器。

(1) 碳膜电位器

碳膜电位器的电阻体是用碳黑、石墨、石英粉、有机黏合剂等配成悬浮液，并喷涂在玻璃纤维板或者胶纸板上制成的。电阻片上两端焊片间的电阻值是电位器的最大阻值，滑动臂与两端焊片之间的阻值随触点位置改变而变化。改变滑动臂在碳膜片上的位置，就可以达到调节电阻阻值大小的目的。碳膜电位器的结构简单、阻值范围宽、寿命长、价格低、型号多，但功率不太高，一般小于 $2W$ 。图 1-5 所示为其外形结构图。

(2) 线绕电位器

线绕电位器的电阻体是由电阻体和带滑动触点的转动系统组成的。它的耐热性好，温度系数小；噪声很低、精度高、有较大的功率。在同样的功率下，线绕电位器的体积最小，但它的分辨率低，高频特性差。图 1-6 所示为其外形结构图。

(3) 单圈式电位器

单圈式电位器是线绕电位器的一种。它的滑动臂只能在 360° 范围内旋转。图 1-5、图 1-6 所示的都属于单圈式电位器。



图 1-5 碳膜电位器的外形结构图

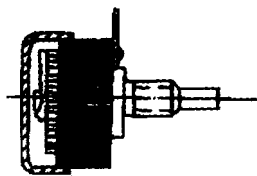


图 1-6 线绕电位器的外形结构图

(4) 多圈式电位器

多圈式电位器的滑动臂从一个极端位置滑动到另一个极端位置，它的轴要转动一圈以上。这种电位器的电阻丝紧紧地绕在外有绝缘层的粗金属线上，金属线圈绕成螺旋形，装在有内螺纹的壳体内。电位器的滑动臂由转轴带动，能沿着螺旋形的金属线移动。多圈式电位器的转轴每旋转一周，其滑动臂仅移动一个螺距，因此用它可对电阻值进行细微的调节。多圈式电位器适用于需精密微调的电路。

(5) 多圈微调电位器

多圈微调电位器用涡轮、蜗杆结构调节电阻，涡轮上装有滑动臂，旋转蜗杆时涡轮随着转动。蜗杆转动一周，涡轮转动一齿，滑动臂便在电阻体上进行圆周运动，对电阻值进行细微调节。图 1-7 所示为其外形结构图。

(6) 单联、双联和多联电位器

单联电位器有自身独立的转轴，前面介绍的电位器都属于单联电位器。

多联电位器是将两个或两个以上电位器装在同一根轴上构成的。多个电位器可公用一个旋轴，以达到简化结构节省零件的效果。此类电位器大部分用在低频衰减器或需同步的电路中。图 1-8 所示为其外形结构图。



图 1-7 多圈微调电位器外形结构图

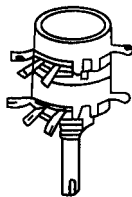


图 1-8 多联电位器外形结构图

(7) 锁紧型电位器

锁紧型电位器的轴套为圆锥形，并开有槽口。当螺帽向下旋紧时，轴套将锁紧，转轴位置不变，以防止调好的电阻值变化。该电位器的阻值处于固定状态，比较适用于需经常移动的电子仪器。图 1-9 所示为其外形剖面图。

(8) 带电源开关电位器

带电源开关电位器即在电位器上附带有开关装置。开关和电位器虽然同轴相连，但又彼此独立。电位器能起到控制电路开断的作用。其开关既可做成单刀单掷、双刀双掷、单刀双掷等，也可做成推拉或旋转开关，既节省元件，又美化面板，常用于收音机、电视机内作为音量控制兼电源开关。图 1-10 所示为其外形结构图。

(9) 直滑式电位器

直滑式电位器的电阻材料为碳膜，电阻体为直条形，通过调节滑轮柄可改变其阻值。

它工艺简单，可由滑臂的位置大致判断阻值，被广泛地应用在收音机、录音机、电视机和一些电子仪器上。它的外形结构图如图 1-11 所示。



图 1-9 锁紧型电位器的
外形剖面图

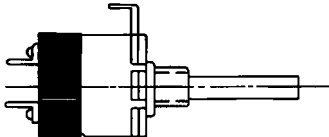


图 1-10 带电源开关电位器的
外形结构图

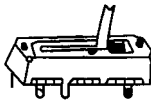


图 1-11 直滑式电位器的
外形结构图

1.1.1.3 电阻器和电位器的主要参数

1. 电阻器的主要参数

(1) 标称阻值与允许误差

标识在电阻器上的阻值称为标称阻值。但电阻的实际值往往与标称阻值有一定差距，即误差。两者之间的偏差允许范围为允许偏差，它标志着电阻器的阻值精度。通常电阻器的阻值精度可由下式计算：

$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$$

式中 δ ——允许误差；

R ——电阻器的实际阻值 (Ω)；

R_R ——电阻器的标称阻值 (Ω)。

按规定，电阻器的标称阻值应符合阻值系列所列数值。常用电阻器标称阻值系列见表 1-3。电阻器的精度等级见表 1-4。

表 1-3 常用电阻器标称阻值

允 许 误 差	标称阻值×10 ⁿ Ω (n为整数)											
±5% (E ₂₄ 系列)	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	6.0	6.8	7.5	8.2	9.1
±10% (E ₁₂ 系列)	1.0	1.2		1.5		1.8		2.2		2.7		
	3.3	3.9		4.7		5.6		6.8		8.2		
±20% (E ₆ 系列)	1.0	1.5				2.2						
	3.3	4.7				6.8						

表 1-4 电阻值的精度等级

精度等级	005	01 (或 00)	02 (或 0)	I	II	III
允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

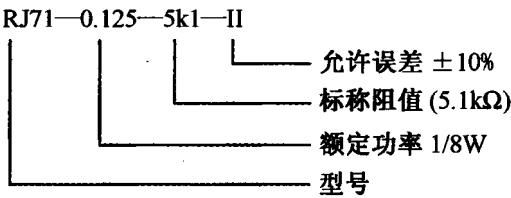
① 文字符号直标法：用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值、额

定功率、允许误差等级等。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值，其文字符号所表示的单位见表 1-5。如 1R5 表示 1.5Ω，2K7 表示 2.7kΩ，

表 1-5 文字符号直标法中文字符号所表示的单位

文字符号	R	K	M	G	T
表示单位	欧姆(Ω)	千欧姆(10 ³ Ω)	兆欧姆(10 ⁶ Ω)	千兆欧姆(10 ⁹ Ω)	兆兆欧姆(10 ¹² Ω)

例如：



由标号可知，它是精密金属膜电阻器，额定功率为 1/8W，标称阻值为 5.1kΩ，允许误差为 ±10%。

② 色标法：色标法将电阻器的类别及主要技术参数的数值用颜色（色环或色点）标注在它的外表面上。色标电阻（色环电阻）器可分为三环、四环、五环三种标法。其含义如图 1-12 和图 1-13 所示。

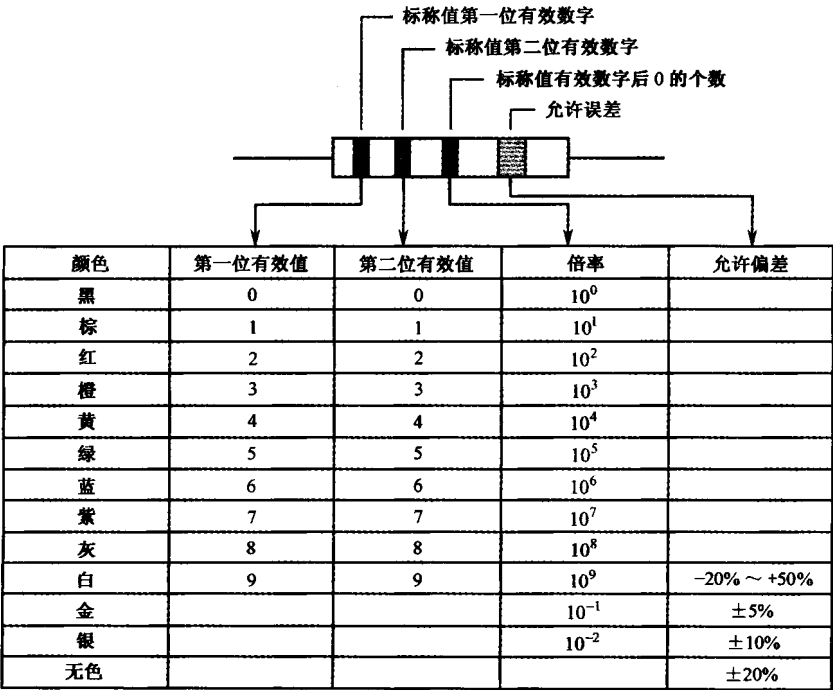


图 1-12 两位有效数字阻值的色环表示法

颜色	第一位有效值	第二位有效值	第三位有效值	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕		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}	

图 1-13 三位有效数字阻值的色环表示法

三色环电阻器的色环表示标称电阻值（允许误差均为 $\pm 20\%$ ）。例如，色环为棕黑红，表示 $10 \times 10^2 = 1.0\text{k}\Omega \pm 20\%$ 的电阻器。

四色环电阻器的色环表示标称值（二位有效数字）及精度。例如，色环为棕绿橙金表示 $15 \times 10^3 = 15\text{k}\Omega \pm 5\%$ 的电阻器。

五色环电阻器的色环表示标称值（三位有效数字）及精度。例如，色环为红紫绿黄棕表示 $275 \times 10^4 = 2.75\text{M}\Omega \pm 1\%$ 的电阻器。

一般四色环和五色环电阻器表示允许误差的色环的特点是该环离其他环的距离较远。较标准的表示应是表示允许误差的色环的宽度是其他色环的（1.5~2）倍。

有些色环电阻器由于厂家生产不规范，无法用上面的特征判断，这时只能借助万用表判断。

（2）电阻器的额定功率

额定功率是指电阻器在交流或者直流电路中，在正常工作情况下，电阻器长期连续工作所允许承受的最大功率。对于同一类电阻器，额定功率的大小取决于它的几何尺寸和表面面积。电阻器的额定功率系列见表 1-6。

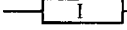
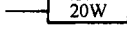
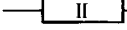
表 1-6 电阻器的额定功率系列

种 类	额定功率系列/W																	
线绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	10	16	25	40	50	75	100	150	250	500
非线性绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100							
线绕电位器	0.25	0.5	1	1.6	2	3	5	10	16	25	40	63	100					
非线性绕电位器	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2	3										

表示电阻功率的通用符号见表 1-7。

如果电阻器符号上没有瓦数的标识，就表明对该电阻器功率要求不严格，我们可以根据其体积大小来判断功率。

表 1-7 电阻功率的通用符号

图 形 符 号	名 称	图 形 符 号	名 称
	1/4W 电阻		5W 电阻
	1/2W 电阻		10W 电阻
	1W 电阻		20W 电阻
	2W 电阻		

说明：功率大于 10W，小于 1/4W 的电阻，用阿拉伯数字标注，例如 20W。

(3) 电阻器的最大工作电压（极限工作电压）

最大工作电压是指电阻器长期工作而不发生过热或击穿损坏等现象的电压。电阻器的最大工作电压用下式计算：

$$U_{\text{MAX}} = \sqrt{P_R \cdot R_L}$$

式中 U_{MAX} ——最大工作电压（V）；

P_R ——额定功率（W）；

R_L ——临界阻值（ Ω ）。

临界阻值由电阻器的额定功率及它的结构、外形尺寸等因素确定。

在实际使用中，当 $R < R_L$ 时，一定要使电阻器在低于额定工作电压下工作。当 $R > R_L$ 时，则必须低于最高工作电压，以免烧坏或产生极间击穿和飞弧现象。

2. 电位器的参数

电位器除与电阻器有相同的参数外，还有以下特定的几个参数。

(1) 最大阻值和最小阻值

电位器的标称阻值是指该电位器的最大阻值。最小阻值又称为零位阻值。由于触点存在接触电阻，因此最小电阻值不可能为零。

(2) 阻值变化特性

它是指阻值随活动触点的旋转角度或滑动行程的变化而变化。这种变化可以是任何函数形式。常用的有直线式、对数式和反对数式，分别用 X、Z、D 表示。它们的变化规律如图 1-14 曲线的所示。

- 直线式电位器，其阻值变化和转角呈线性关系，此类电位器多用在分压电路中。

- 对数式电位器，该类电位器开始转动时阻值变化小，转动角度增加阻值变化大，此类电位器多用在音量控制电路中。

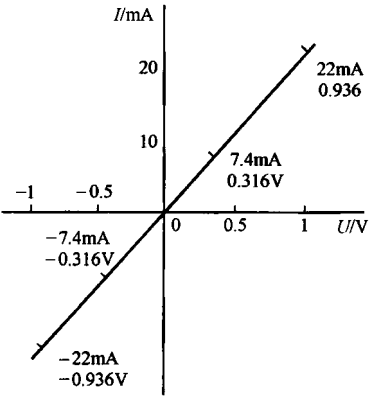


图 1-14 用万用表测得的热敏电阻两端伏安特性曲线

• 反对数式（旧称指数式）电位器，其变化方式与对数式电位器相反，当其转动角度增加时，其阻值反而减小，此类电位器多用于音调控制电路中。

（3）动噪声

当电位器在外加电压作用下，其动接触点在电阻体上滑动时，产生的电噪声称为电位器的动噪声，其对家用电器及其他电子设备，如电视机、CD 唱机等影响很大，选用时宜用动噪声小的电位器。

1.1.2 电阻器和电位器的测量

1.1.2.1 电阻器的测量

1. 机械式万用表测量电阻器

用机械式万用表测量电阻器之前，需对其调零，选择要使用的挡位，将红、黑两只表笔短接，调节调零螺母使表头指针阻值为零，然后用表笔接被测固定电阻器的两个引出端，此时表头指针偏转的指示值，即为被测电阻器的阻值。如果指针不摆动，则可将机械式万用表换到阻值较大挡位，并重新调零后再次测量。如果指针仍不摆动，可能该电阻器内部断路，应进行故障检查。如果指针摆动到指示为零，可将机械式万用表置于阻值较小挡位（每次换挡均需调零后才能进行测量）。在测量时，注意人体手指不要触碰到被测固定电阻器的两个引出端，以免影响测量结果。

如果认为用万用表测量电阻器的阻值精度不够准确，则可以用晶体管特性图示仪来测量，测量方法类似测量普通二极管的方法，但要注意在被测电阻器所允许的最大功耗内进行测量。

对于热敏电阻器，在万用表测量之前先测量室温下的电阻值，检测阻值是否正常。

测量热敏电阻器的阻值时，可通过人体对其加热（如用手拿住），使其温度升高，观察阻值变化。如果体温不足以使其阻值产生较大变化，则可用发热元件（如灯泡、电烙铁等）进行加热。当温度升高时，其阻值增大，则该热敏电阻是正温度系数的热敏电阻；若其阻值降低，则是负温度系数的热敏电阻。

另外，可用万用表测量热敏电阻两端电压来绘制伏安特性曲线，并据此判断热敏电阻的好坏。具体方法如下。

首先要了解机械式万用表各欧姆挡的短路电流和开路电压。例如，500 型万用表，其 $R \times 1\Omega$ 、 $R \times 10\Omega$ 、 $R \times 100\Omega$ 、 $R \times 1k\Omega$ 挡的短路电流分别为 100mA、10mA、1mA、100 μ A（两表笔短接，表针指示到零欧姆时，流过表笔的电流）；它们的开路电压均为 1.2V（指两表笔开路，表针指示为无穷大时，两表笔之间的电压）。

测量时，首先用 $R \times 1\Omega$ 挡，从直流电压和电流刻度上读出通过该电阻的电流为 22mA，两端电压为 0.936V，测得阻值为 42 Ω ；再将机械式万用表置于 $R \times 10\Omega$ 挡，这时短路电流为 7.4mA，开路电压为 0.316V，读出阻值仍为 42 Ω 。再将表笔对调，重复进行上述测量，把 4 组电流和电压值标示在图 1-14 的直角坐标上，绘制出伏安特性曲线。如果特性曲线接近直线，说明该被测热敏电阻特性良好；如果曲线弯曲，则说明该被测热敏电阻特性不好。

2. 数字式万用表测量电阻器

由于本教材选用的数字式万用表型号为 VC9807A，因此后面凡涉及数字万用表的，均