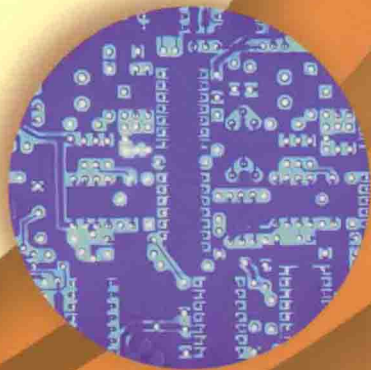
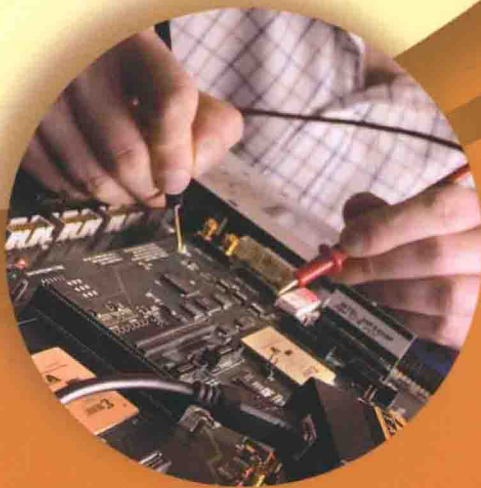




高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

模拟电路设计与实践

● 主 编 罗庚兴 度朝永



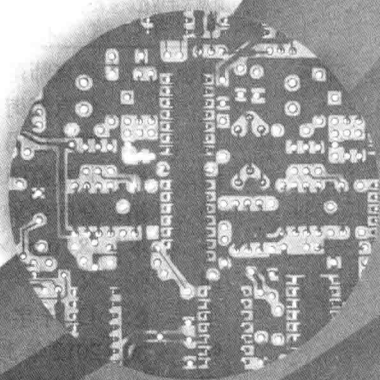
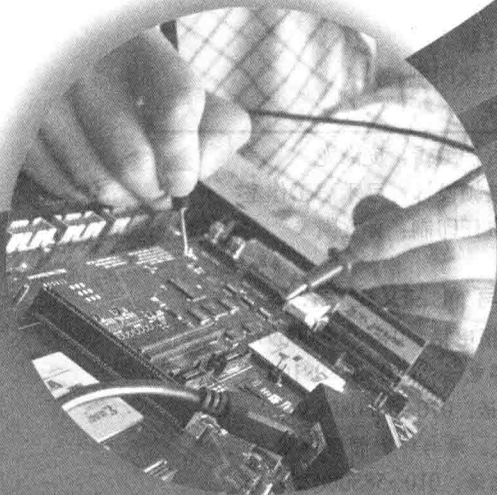
北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

模拟电路设计与实践

- 主 编 罗庚兴 虞朝永
副主编 朱晶波 张 莉
郭海针 曾繁玲



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路设计与实践 / 罗庚兴, 唐朝永主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2012.3
(高等职业教育“十二五”规划教材)
ISBN 978-7-303-14042-8

I. ①模… II. ①罗… III. ①模拟电路—电路设计—高等职业教育—教材 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 018084 号

营销中心电话 010-58802755 58800035
北师大出版社职业教育分社网 <http://zjfs.bnup.com.cn>
电子信箱 bsdzyjy@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn
北京新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印刷: 北京京师印务有限公司
经销: 全国新华书店
开本: 184 mm × 260 mm
印张: 21
字数: 430 千字
版次: 2012 年 3 月第 1 版
印次: 2012 年 3 月第 1 次印刷
定价: 36.00 元

策划编辑: 庞海龙 责任编辑: 庞海龙
美术编辑: 高霞 装帧设计: 弓禾碧工作室
责任校对: 李茵 责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

出版说明

为贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)文件精神,“十二五”期间,北京师范大学出版社将组织出版高等职业教育“十二五”系列规划教材。在组织教材编写的过程中,我们始终坚持科学发展观,紧紧围绕高等职业教育的培养目标,从满足社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需求出发,坚持以就业为导向,以能力为本位,以学生为中心,以工作过程为导向的课程改革与教材建设理念,着力打造反映教学改革最新精神的职业教育教材。为此,我们邀请了全国职业教育的专家、有关高职院校的骨干教师,共同编写了本套系列规划教材。

经过众多专家、老师的努力,本套教材在教材体系、内容组织、图文表现等各方面都有所创新与发展,形成了鲜明的编写风格:

1. 目标驱动。关注的焦点放在通过任务的完成所获得的成果上面。通过成果的获得,激发学生学习的兴趣,激励学生勇于探索,不断进步。

2. 任务引领。每个项目分为若干个子任务,在任务的完成中学习相关知识、技能,实现学生的全面发展。

3. 学生为本。教材的设计以学生为中心,在教材组织的各个环节突出学生的主体地位,引导学生明确应该怎么做、做到什么程度。

4. 图文并茂。考虑到高等职业学院学生的心理和生理特点,本套教材尽量采用图形化、表格化和步骤化的呈现方式,便于学生学习。

5. 立体化开发。在组织教材编写的过程中,配套研发与教材相应的电子教案、课件、实训指导材料等助教、助学资源库,以便教师授课和学生学习使用。

当然,任何事物的发展都有一个过程,职业教育的改革与发展也有一个过程,同样,我们组织出版的本套系列规划教材也需要在教学实践的过程中不断完善,因此,衷心希望各位读者能提出宝贵的意见和建议,并积极参与到我们进一步的教材研发中来,共同为我国的高等职业教育教学改革和教材建设作出贡献。

北京师范大学出版社职教分社

内 容 简 介

本书是根据《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)等文件精神而编写的。它充分考虑高职教育的特点,内容选取上强调以应用为目的,以“必需”、“够用”为度,突出教学内容的“职业性”和“针对性”。通过创设学习情境来编排教学内容和工作任务,任务引入了4个实用产品小制作、设计了13个计算机仿真实践项目,按照工作过程导向的理念,实现“做中学、学中做”教学模式。

主要内容包括常用电子元器件的识别、测试及其装配工艺,电压放大电路的设计与仿真,功率放大器的设计与制作,集成运放电路的设计与仿真,波形发生器的设计与仿真,直流稳压电源的设计与制作,场效应管、晶闸管和单晶体管的识别与检测7个学习情境。

本书适于作为高职教育工科电类各专业的教科书,也可供成人高等教育相关专业选用,以及供社会电子爱好者阅读。

前言

“模拟电路设计与实践”课程是高职院校电类各专业必修的一门重要的专业技术基础课，是一门实践性很强的课程。为了适应我国高职教育的需要，我们根据《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2002]2号)、《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)等文件精神，以及综合了电类主要专业人才培养方案的要求组织编写了本教材。它适于作为高职教育工科电类各专业的教科书，也可供成人高等教育相关专业选用，以及供社会电子爱好者阅读。

本书讲述了模拟电子技术的基本概念、基本电路、典型电路仿真分析和实用电子产品制作。主要内容包括常用电子元器件的识别、测试及其装配工艺，电压放大电路的设计与仿真，功率放大器的设计与制作，集成运放电路的设计与仿真，波形发生器的设计与仿真，直流稳压电源的设计与制作，场效应管、晶闸管和单结晶体管的识别与检测7个学习情境。

本书充分考虑高职教育的特点，基于职业能力分析，以模拟电路为载体，配合 Multisim 10 仿真软件，培养学生进行模拟电路设计与实践的能力，初步建立与实际工程相结合的能力，培养学生分析问题和解决问题的能力。内容选取方面，强调以应用为目的，以“必需”、“够用”为度，突出教学内容的“职业性”和“针对性”。因而，书中以典型模拟电路为主线，以模拟电路设计与实践任务为载体编排教学内容，使读者在完成工作任务的过程中获取专业技能。为了帮助读者更有效地学习知识和技能，创设学习情境来编排教学内容和工作任务。学习情境以常规教学和基本能力训练为主，引入实用小制作激发学生的学习兴趣；按照工作过程导向的理念，完善“做中学、学中做”教学模式，通过实践加深对理论知识的理解。

为了便于自学，在各学习情境后设计了4个具有实用性、可操作性、可评价性的电子产品小制作项目，还设计了13个计算机仿真实践项目，各学习情境均配备足够数量的习题，附录部分列出了一些常用管子的型号和参数，以利于学生分析问题和解决问题的能力、综合应用能力和创新意识的培养。

本书由广东松山职业技术学院罗庚兴、湖南机电职业技术学院庾朝永任主编，长春职业技术学院朱晶波、广东松山职业技术学院张莉、郭海针、曾繁玲任副主编。

在编写过程中得到了松山职业技术学院詹训进副教授、冯伯翰、李嫒等老师的大力

支持，编者在此一并致以谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不尽如人意的地方，敬请各位读者批评指正。

编者
2012年3月

目 录

学习情景 1 常用电子元器件的识别测试及其装配工艺	1
1.1 电阻、电容、电感的基本知识	1
1.1.1 电阻	1
1.1.2 电容	6
1.1.3 电感	11
1.2 半导体及 PN 结	14
1.2.1 本征半导体	14
1.2.2 杂质半导体	16
1.2.3 PN 结	17
1.3 半导体二极管	19
1.3.1 二极管的结构和符号	19
1.3.2 二极管的特性	21
1.3.3 二极管的主要参数	22
1.3.4 特殊二极管	22
1.3.5 半导体器件的型号命名	25
1.3.6 二极管的检测	27
1.4 半导体三极管	30
1.4.1 三极管的结构和符号	30
1.4.2 三极管的特性	31
1.4.3 三极管的主要参数	33
1.4.4 三极管的检测与选用	35
1.5 其他常用电子器件	38
1.5.1 话筒和扬声器	38
1.5.2 电源变压器	40
1.5.3 电池与电源	41
1.5.4 开关	42
1.5.5 熔断器件	42
1.5.6 接插件	42

1.5.7 散热器	43
1.6 电烙铁	43
1.7 电子元器件实训项目	45
任务1 电阻、电容、电感的识别与测试	45
任务2 常用半导体器件的识别与测试	49
任务3 手工焊接与电子装配工艺	55
学习情景2 电压放大电路的设计与仿真	67
2.1 放大电路的基本概念和性能指标	67
2.1.1 放大电路的基本概念	67
2.1.2 放大电路的主要性能指标	68
2.1.3 基本放大电路的种类	69
2.2 固定偏置共射放大电路	70
2.2.1 电路组成及各元件作用	70
2.2.2 放大电路的静态分析	71
2.2.3 放大电路的动态分析	73
2.2.4 波形失真和静态工作点的调整	77
2.3 分压式共射放大电路	79
2.3.1 温度对Q点的影响	79
2.3.2 分压式共射放大电路的组成及分析计算	79
2.4 三极管放大电路的三种接法	83
2.4.1 共集放大电路和共基放大电路的组成形式	83
2.4.2 共集放大电路的分析与计算	83
2.4.3 基本放大电路三种接法的比较	85
2.5 多级放大电路	86
2.5.1 多级放大电路的组成	86
2.5.2 多级放大电路的耦合方式	87
2.5.3 多级放大电路的性能指标	88
2.6 负反馈的基本概念及反馈的判别	89
2.6.1 什么是反馈	89
2.6.2 负反馈放大电路的基本类型及判别方法	89
2.6.3 负反馈放大电路的四种组态	92
2.7 负反馈放大电路的表示方法	95
2.7.1 负反馈放大电路的方框图表示法	95
2.7.2 负反馈放大电路的一般表达式	95
2.8 负反馈对放大电路性能的影响	96
2.8.1 提高了放大倍数的稳定性	96

2.8.2	改变输入电阻和输出电阻	97
2.8.3	减小非线性失真及抑制内部噪声干扰	97
2.8.4	展宽频带	98
2.8.5	自激振荡	98
2.9	Multisim 10 仿真软件的基本使用	100
2.9.1	Multisim 10 简介	100
2.9.2	Multisim 10 的基本界面	101
2.9.3	电路仿真实例介绍	106
2.10	电压放大电路实训项目	116
	任务 1 分压式共射放大电路的仿真设计与测试	116
	任务 2 两级负反馈放大电路的仿真设计与测试	121
学习情景 3 功率放大器的设计与制作		131
3.1	差分放大电路	131
3.1.1	差分放大电路的工作原理	131
3.1.2	差分放大电路的四种输入输出方式	135
3.1.3	复合管差分放大电路	137
3.2	电流源	138
3.2.1	几种常用的电流源电路	139
3.2.2	电流源的应用	140
3.3	功率放大电路	142
3.3.1	功率放大电路的特点和分类	142
3.3.2	OCL 互补对称功放	144
3.3.3	OTL 互补对称功放	147
3.3.4	集成功放	148
3.4	功率放大器制作实训	151
	任务 1 OCL 分立式功放电路的制作	151
	任务 2 迷你低音炮的制作	157
学习情景 4 集成运放电路的设计与仿真		166
4.1	集成运放的组成及主要技术指标	166
4.1.1	集成运放概述	166
4.1.2	集成运放的主要技术指标	167
4.1.3	集成运放的保护措施	169
4.2	集成运放的两个工作区域	170
4.2.1	理想运放	170
4.2.2	理想运放的线性工作区	170
4.2.3	理想运放的非线性工作区	171

4.3	基本运算电路	171
4.3.1	比例运算电路	171
4.3.2	加减运算电路	173
4.3.3	积分运算电路和微分运算电路	175
4.4	有源滤波器	177
4.4.1	滤波电路基础知识	177
4.4.2	有源低通滤波器	178
4.4.3	有源高通滤波器	180
4.4.4	有源带通滤波器	180
4.4.5	有源带阻滤波器	181
4.5	电压比较器	183
4.5.1	电压比较器概述	183
4.5.2	单限比较器	184
4.5.3	滞回比较器	186
4.5.4	窗口比较器	189
4.6	集成运算放大电路实训项目	189
	任务1 比例运算电路的仿真和测试	189
	任务2 加减运算电路的仿真和测试	194
	任务3 电压比较电路的仿真和测试	197
学习情景5 波形发生器的设计与仿真		209
5.1	正弦波振荡的条件和电路组成	209
5.1.1	正弦波振荡的条件	209
5.1.2	正弦波振荡电路的组成	210
5.2	RC振荡电路	211
5.2.1	RC串并联选频网络的选频特性	211
5.2.2	文氏桥正弦波振荡电路	212
5.3	LC振荡电路	213
5.3.1	LC并联谐振电路	213
5.3.2	变压器反馈式LC正弦波振荡电路	214
5.3.3	电感三点式正弦波振荡电路	215
5.3.4	电容三点式正弦波振荡电路	216
5.4	石英晶体振荡电路	217
5.4.1	石英晶体的基本特性与等效电路	217
5.4.2	石英晶体振荡电路	218
5.5	非正弦波发生电路	219
5.5.1	矩形波发生电路	219

5.5.2	三角波发生电路	222
5.5.3	锯齿波发生电路	223
5.6	波形发生电路实训项目	224
任务 1	文氏桥正弦波振荡电路的仿真和测试	224
任务 2	电容三点式 LC 正弦波振荡电路的仿真和测试	227
任务 3	方波和三角波发生电路的仿真和测试	232
学习情景 6 直流稳压电源的设计与制作		238
6.1	直流稳压电源的组成	238
6.2	单相整流电路	239
6.2.1	半波整流电路	239
6.2.2	桥式整流电路	240
6.3	滤波电路	242
6.3.1	电容滤波电路	242
6.3.2	其他滤波电路	244
6.4	稳压管稳压电路	246
6.5	串联型稳压电源	248
6.6	集成稳压电源	250
6.6.1	固定三端稳压器	251
6.6.2	可调三端稳压器	253
6.7	开关型稳压电源	255
6.7.1	开关型稳压电源的特点和种类	255
6.7.2	串联开关型稳压电源	255
6.8	直流稳压电源实训项目	258
任务 1	桥式整流滤波电路的仿真和测试	258
任务 2	串联型可调稳压电路的仿真测试与制作	260
任务 3	手机万能充电器的制作	266
学习情景 7 场效应管、晶闸管和单晶体管的识别与检测		274
7.1	场效应管的识别与检测	274
7.1.1	结型场效应管	274
7.1.2	绝缘栅型场效应管	277
7.1.3	场效应管的主要参数	281
7.1.4	场效应管的检测与选用	281
7.2	晶闸管的识别与检测	284
7.2.1	晶闸管的分类和工作原理	285
7.2.2	晶闸管整流电路	288
7.2.3	晶闸管的检测	291

7.3 单晶体管的识别与检测	292
7.3.1 单晶体管的结构和工作原理	292
7.3.2 单晶体管的触发电路	294
7.3.3 单晶体管的检测	295
7.4 场效应管、晶闸管和单晶体管实训项目	295
任务1 场效应管放大电路的仿真与测试	295
任务2 单相可控整流电路的仿真与测试	302
任务3 调光电路的仿真与测试	306
附录 常用晶体管、晶闸管的主要参数	312
参考文献	319

常用电子元器件的识别、 测试及其装配工艺

1.1 电阻、电容、电感的基本知识

常用电子元件有电阻、电容、电感、二极管、三极管、晶闸管等。

1.1.1 电阻

电阻器简称电阻，是所有电子电路中使用最多的元件。我们经常在电子电路中使用电阻来进行限流、分流、降压、分压、与电容配合滤波及阻抗匹配等工作，数字电路中还有上拉电阻和下拉电阻。

1. 电阻的符号

电阻通常用字母 R 表示，电阻的国际单位是“欧姆”，简称欧，符号是 Ω 。 $1\Omega=1\text{V}/\text{A}$ 。比欧大的单位有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)。不同的导体，电阻一般不同，电阻是导体本身的一种特性，电阻值大小与导体的尺寸、材料、温度有关。

电阻在电子线路中的图形符号如图 1.1 所示。图(a)是国内常用的符号，图(b)是国外表示电阻的符号，图(c)是滑线电阻的符号，图(d)是可变电阻的符号。

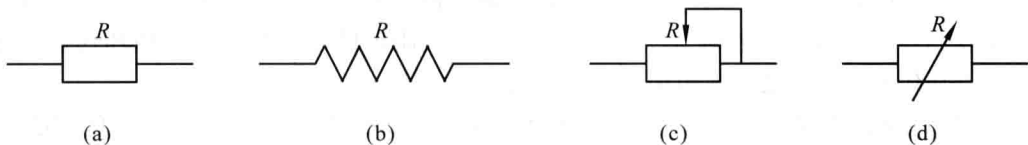


图 1.1 电阻的图形符号

衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数 α ，其定义为温度每升高 1°C 时电阻值发生变化的百分数。正温度系数电阻，其电阻值随着温度的升高而增大；负温度系数电阻，其电阻值随着温度的升高而减小。显然 α 的绝对值越大，表明电阻受温度的影响也越大。有些物质在低温条件下电阻为零，被称为超导体。

2. 电阻的主要参数

电阻的主要参数指标有标称阻值、允许误差和额定功率。

(1) 标称阻值。标称在电阻器上的电阻值称为标称阻值。单位： Ω 、 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 。标称阻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，也不是所有阻值的电阻器都存在标称阻值。

(2)允许误差。电阻器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围称为允许误差。误差代码有 A、B、C、D、F、G、J 等，常见的误差范围是 $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.25\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 。

(3)额定功率。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称为额定功率。常见的额定功率有 $1/8\text{ W}$ 、 $1/4\text{ W}$ 、 $1/2\text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 、 5 W 等，其图形符号如图 1.2 所示。大于 5 W 的电阻器直接用数字注明。

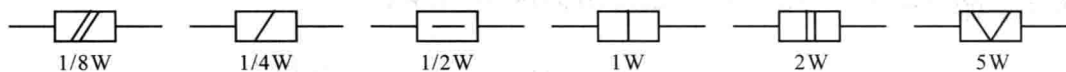


图 1.2 不同功率的电阻器图形符号

3. 阻值的标注方法

(1)直标法：将电阻器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。例如： $5.1\text{ k}\Omega\text{J}$ 表示 $5.1(\pm 5\%)\text{ k}\Omega$ 。

(2)文字符号法：将文字、数字两者有规律组合起来表示电阻器的主要参数。例如， $0.1\ \Omega = \Omega 1 = 0R1$ ， $3.3\ \Omega = 3\Omega 3 = 3R3$ ， $3k3 = 3.3\text{ k}\Omega$ 。

(3)色标法：用不同颜色的色环来表示电阻器的阻值及误差等级。普通电阻一般用 4 环表示，精密电阻用 5 环表示。色标法在一般的电阻上比较常见。

电子产品广泛采用色环电阻，其优点是在装配、调试和修理过程中，不用拨动元件，即可在任意角度看清色环，读出阻值，使用方便。电阻色环数值的读取方法、颜色与数值的对应关系如图 1.3 所示。

四环电阻的其中第一、二环分别代表阻值的前两位数；第三环代表 10 的幂；第四环代表误差。五环电阻的其中第一、二、三环分别代表阻值的前三位数；第四环代表 10 的幂；第五环代表误差。色环电阻第一环的确定方法如下。

①四环电阻：因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环。

②五环电阻：此为精密电阻。一方面，从阻值范围判断，因为一般电阻范围是 $0\sim 10\text{ M}\Omega$ ，如果读出的阻值超过这个范围，可能是第一环选错了。另一方面，从误差环的颜色判断，表示误差的色环颜色有银、金、灰、紫、蓝、绿、红、棕，如里靠近电阻器端头的色环不是误差颜色，则可确定为第一环。

(4)数码法：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} 。 $0\sim 10\ \Omega$ 带小数点电阻值表示为 $\text{XR}\times$ 、 $\text{R}\times\text{X}$ (R 表示小数点位置)。例如， $471=470\ \Omega$ ， $105=1\text{ M}\Omega$ ， $2R2=2.2\ \Omega$ 。

片状电阻多用数码法标示，如 512 表示 $5.1\text{ k}\Omega$ 。数码法标示时，电阻单位为 Ω ，电容单位为 pF ，电感一般不用数码法标示。

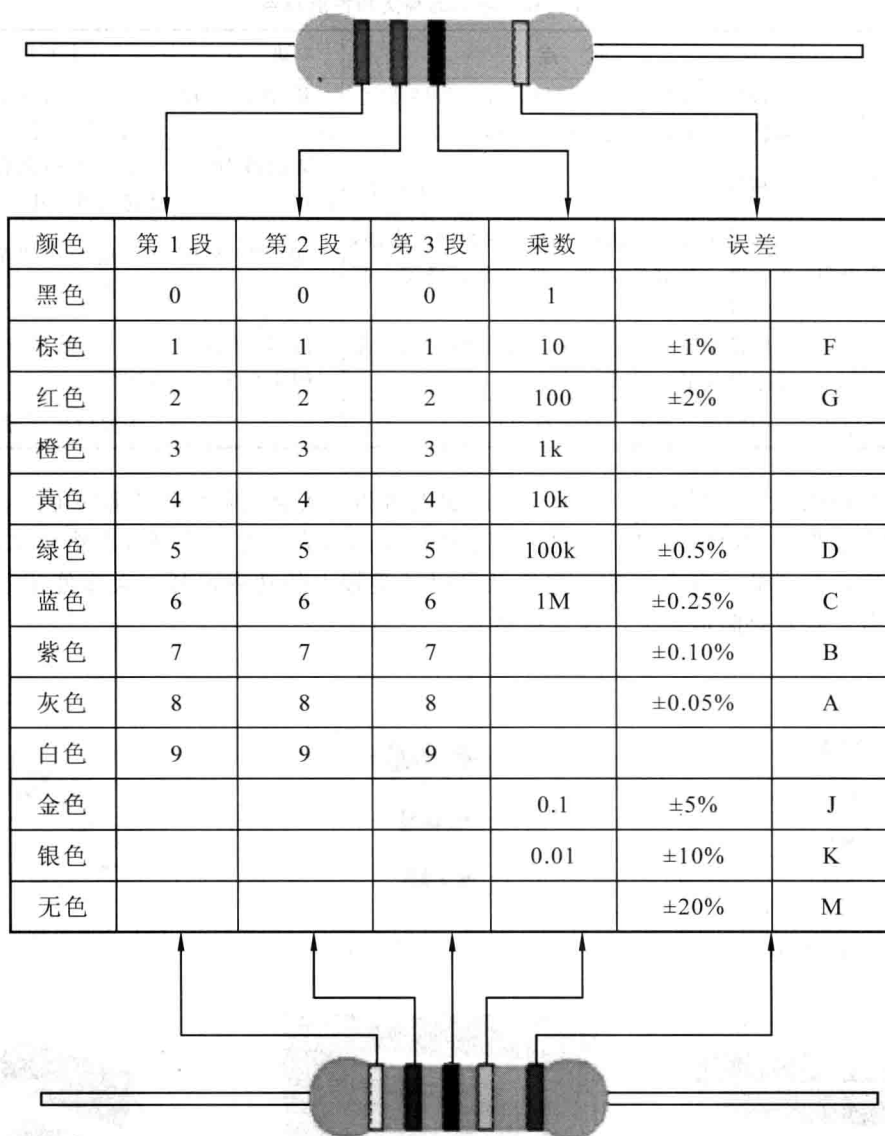


图 1.3 电阻色环的读取方法

4. 电阻的种类

1) 按照电阻制作的材料不同分类

按照电阻制作的材料不同可分为碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻和线绕电阻等，如表 1.1 所示。

表 1.1 常用电阻的种类和性能特点

种类	优点	缺点	主要用途
碳膜电阻	较好的稳定性和适应性，并且价格便宜，阻值范围宽，温度系数和电压系数低	阻值误差较高	广泛应用在电子产品和电气设备中
金属膜电阻	精度高，稳定性好，噪声、温度系数小	阻值范围窄，价格高	常用于精密仪器仪表及通信设备中
金属氧化膜电阻	高温下稳定，耐热冲击，耐酸碱能力强，抗盐雾，负载能力强，低杂音、稳定、高频特性好	电阻值范围窄	适用于在恶劣的环境下工作
线绕电阻	阻值精确，稳定性好，耐热耐腐蚀，温度系数较低，承受功率大	高频性能差，时间常数大	主要做精密大功率电阻
金属玻璃釉电阻	耐潮湿、高温，温度系数小		主要应用于厚膜电阻

不同材料电阻的外观如图 1.4 所示。碳膜电阻和金属膜电阻都属于薄膜电阻，它们是用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成。方形线绕电阻俗称水泥电阻，其阻值精确，杂音低，有良好的散热性及可以承受较大的功率消耗，大多使用于放大器功率级部分，缺点是阻值不大，成本较高。

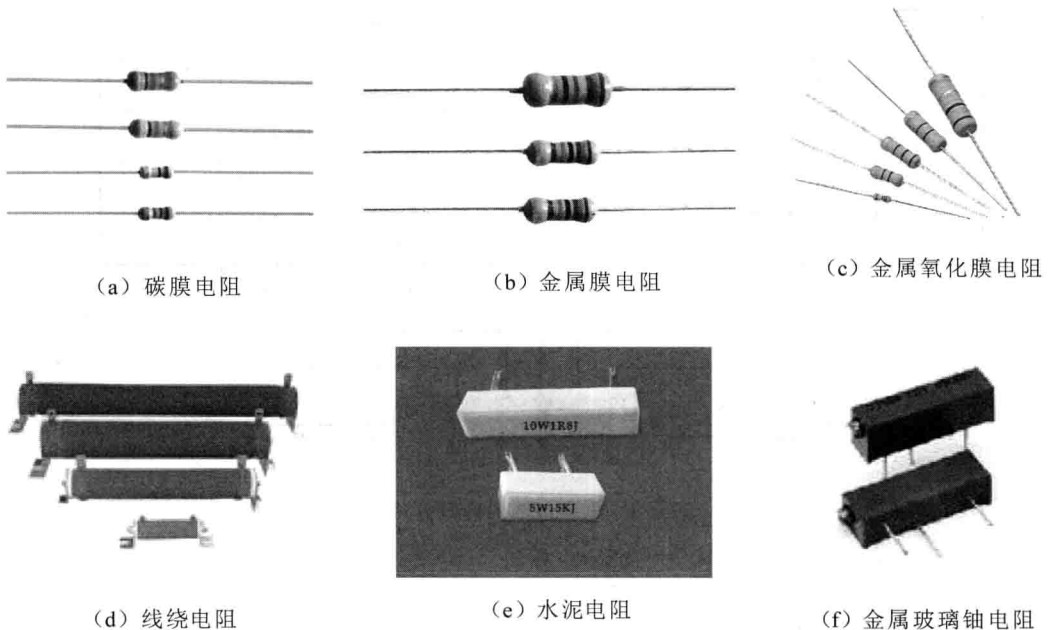


图 1.4 电阻按制作材料分类

2) 按照电阻的阻值特性分类

按照电阻的阻值特性可分为固定电阻、可调电阻和特种电阻(也叫敏感电阻)。阻值不能调节的，我们称为定值电阻或固定电阻；而阻值可以调节的，我们称为可调电阻。常见的可调电阻是滑动变阻器，如收音机音量调节的装置是一个圆形的滑动变阻器；主