



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业



电子技能 与实训

(第2版)

张大彪 主编 康岳屹 王伟东 李冰 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

电子技能与实训

(第 2 版)

张大彪 主 编

康岳屹

王伟东 副主编

李 冰

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据高等职业学校电子工程类专业《电子技能与实训》教学大纲编写的。第2版从内容到形式都有较多创新,突出工程类高等职业教育特色,改革传统实验实习教学模式,以基本操作技能和十大类实用电路的制作、调试为主线,使学生通过电子产品的制作调试过程,学会阅读电原理图和PCB图,熟悉常用电子元器件的选择、测试,掌握焊接和电路组装技能,并能熟练查阅元器件手册。学会使用电子仪器调试电路的方法并能处理安装调试过程中出现的问题,对所制作电路提出改进意见。教材重点放在能力培养上,所选实训电路涵盖开关、音频视频、信号产生、计数、译码、显示、测量、控制等方面。

全书由3部分组成。第1~3章为基本技能训练部分,包括电子元器件使用、常用仪器仪表的使用、电子产品生产工艺、用Protel 99设计制作印制电路板的方法、电路焊接组装调试等基本电子技能训练部分。第4章为电路仿真部分,介绍了Electronics Workbench电路仿真软件的使用。第5章为专业实训部分,提供了10大类30余种实用电路的制作调试资料。本书的核心部分为第5章电子技术实践训练,其主要特点是通过对实际电路的制作调试,获得工程实践能力。

本书内容深入浅出,适合高等职业学校电子工程类专业的学生和广大电子爱好者阅读。

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

电子技能与实训/张大彪主编. —2版. —北京:电子工业出版社, 2007.5

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

ISBN 978-7-121-04150-1

I. 电… II. 张… 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(2007)第042530号

责任编辑:贺志洪

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:16.5 字数:422千字

印 次:2007年6月第1次印刷

印 数:5000册 定价:23.00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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材（第 2 版）

出版说明

2002 年 10 月,电子工业出版社组织 90 余所高职院校的优秀教师编写了“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”4 个专业的高职教材,从 2003 年 7 月第 1 本教材问世截至 2004 年 10 月,已经出版了 70 余种。时至今日已有 2 年多的教材使用时间,这批教材的大部分得到使用者的好评。随着教育的不断深入及社会用人单位对高职毕业生的更高要求,为使教材更好地适应高职毕业生的就业、使教材有益于培养高职毕业生的生产实践技能,2005 年 7 月,我们在杭州组织召开了教材研讨会,针对上述 4 个专业的大部分教材的内容的修订听取了到会老师的意见,明确了修订教材的编写思路和编写原则,确定了修订版教材的编写人员,计划在 2006 年年底~2007 年上半年基本出版齐全修订版教材。为便于读者区分,这批修订版教材均标明“(第 2 版)”。教材的丛书名仍沿用“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”。

第 2 版教材的主要特点如下:

1. 内容更加突出“实用性、技能性、应用性”。
2. 实训内容的选择以技能为要素。
3. 适当拓展了教材的广度,其目的是为方便不同学校、不同专业的学生选用。
4. 专业课以目前企业主要设备为主线进行讲解。
5. 习题尽量避免问答式、叙述式,而多为技能型、解决问题型。
6. 配备电子教案,以便于老师教学和学术交流。

我们的初衷是希望第 2 版教材的问世能够弥补第 1 版教材的不足,使其内容更加贴近企业用人的需求,更加有利于学生就业,让学生能够真正掌握一些实际的生产技能。同时,我们亦深知:高等职业教育的改革不能一蹴而就,编写出适合高职教育的教材也是一个渐进的过程。我们期待和全国高职院校的老师们一同努力,不断改进创新,为出版真正适合高职教育的好教材尽力。

在组织高职电子信息类教材的编写全过程近 4 年的时间内,我们结交了全国的许多优秀教师,他们的人品德行、人格魅力、学识水平平均达到很高的水准。与他们的交往让我们受益匪浅,并且给我们以启迪:学校确是藏龙卧虎之地。我们愿意继续结交新的朋友,目的只有一个,那就是共同为高等职业教育的发展贡献我们大家的力量,在这个目标下达到学校、老师、出版社多赢。

我们亦衷心欢迎各高职院校有意愿、有能力的老师参加我们的教材编写。具体专业范围如下:

机电一体化技术,电气自动化技术,数控技术,模具技术,应用电子技术,通信技术。

电子工业出版社高等职业教育教材事业部

2006 年 3 月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院

三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州经贸职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

前 言

本教材是根据高等职业学校电子工程类专业《电子技能与实训》教学大纲编写的。电子技术技能与实训是高等职业学校电子工程类专业的一门重要实践课，它以培养现代化产业需要的、高素质的中高级电子工程专门人才为目的，既着眼于电子技术的基本技能的训练，又努力培养新技术、新器件的应用能力。

教材内容和形式都有所创新，突出工程类高等职业教育特色，改革传统实验实习教学模式，以基本操作技能和十大类实用电路的制作、调试为主线，使学生通过电子产品的制作调试过程，学会阅读电原理图和 PCB 图，熟悉常用电子元器件的选择、测试，掌握焊接和电路组装技能，并能熟练查阅元器件手册。学会使用电子仪器调试电路的方法并能处理安装调试过程中出现的问题，对所制作电路提出改进意见。教材重点放在能力培养上，所选实训电路涵盖线性、开关、音频、信号产生、计数、译码、显示、测量、控制等领域。

全书由 3 部分组成。第 1~3 章为基本技能训练部分，包括电子元器件使用、常用仪器仪表的使用、电子产品生产工艺、用 Protel 99 设计制作印制电路板的方法、电路焊接组装调试等基本电子技能训练部分。第 4 章为电路仿真部分，介绍 Electronics Workbench 电路仿真软件的使用。第 5 章为专业实训部分，提供 10 大类 30 余种实用电路的制作调试资料。本书的核心部分为第 5 章电子技术实践训练，其主要特点是通过在实际电路的制作调试，获得工程实践能力。

本书适用于电子工程、控制、检测及相关专业。整体方案按 70 学时设计，实际教学过程中可根据专业特点做适当调整。

本书由河北师范大学职业技术学院张大彪担任主编并编写第 2 章、第 5 章(5.6~5.10 节)，河北师范大学职业技术学院康岳屹担任副主编并编写第 3 章、第 5 章(5.1~5.5 节)，保定职业技术学院王伟东担任副主编并编写第 1 章，保定职业技术学院李冰担任副主编并编写第 4 章。王薇担任本教材主审，杜海莲、赵华参加了本书部分章节的编写、电路实验及文稿整理工作。

由于时间仓促，教材尚有许多待改进之处，恳切希望各位老师提出批评指正。

编 者

2007 年 1 月

目 录

第 1 章 电子元器件	1
1.1 电阻器	1
1.1.1 电阻器的分类	1
1.1.2 电阻器的主要技术指标及标志方法	2
1.1.3 几种常用电阻器的结构与特点	5
1.1.4 电阻器常用标注方法	8
1.1.5 电阻器的正确选用与质量判别	9
1.2 电容器	10
1.2.1 电容器的技术参数	10
1.2.2 电容器的命名与标注方法	12
1.2.3 几种常用电容器	13
1.2.4 电容器的合理选用	17
1.2.5 利用万用表判断电容器的质量	18
1.3 电感器	19
1.3.1 电感器的基本参数	19
1.3.2 几种常用电感器	20
1.3.3 电感器的测试	22
1.4 接插件和开关	22
1.4.1 接插件的分类和几种常用接插件	22
1.4.2 开关	26
1.4.3 其他连接元件	28
1.4.4 正确选用接插件和开关	28
1.5 半导体分立器件	29
1.5.1 常用半导体分立器件及其分类	29
1.5.2 半导体分立器件的型号命名	31
1.5.3 半导体分立器件的封装及管脚	34
1.5.4 选用半导体分立器件的注意事项	35
1.6 集成电路	36
1.6.1 集成电路的基本类别	36
1.6.2 集成电路的封装	40
1.6.3 使用集成电路的注意事项	41
本章小结	43
习题 1	43
第 2 章 常用仪器仪表	45
2.1 万用表	45

2.1.1	模拟式万用表	45
2.1.2	数字式万用表	47
2.2	信号发生器	48
2.2.1	函数信号发生器	48
2.2.2	高频信号发生器	50
2.3	模拟式电子电压表	52
2.3.1	SH2172 型交流毫伏表	52
2.3.2	DA22B 超高频毫伏表	54
2.4	示波器	56
2.4.1	SS-5702 型双踪示波器旋钮和开关的作用	56
2.4.2	SS-5702 型示波器的基本操作方法	58
2.4.3	SS-5702 型示波器的测量方法	59
2.5	晶体管特性图示仪	62
2.5.1	XJ4810 型晶体管特性图示仪	62
2.5.2	晶体管测试举例	66
2.6	数字频率计	69
2.6.1	面板介绍	69
2.6.2	技术参数及使用说明	70
2.6.3	指数显示示例	71
2.6.4	使用说明	72
	本章小结	72
	习题 2	73
第 3 章	电子产品设计组装与调试	75
3.1	电子产品的设计与生产的一般步骤	75
3.1.1	电子产品的生产过程	75
3.1.2	电路设计的一般方法和步骤	76
3.2	整机工艺设计	78
3.2.1	结构设计	78
3.2.2	保护设计	79
3.2.3	外观及装潢设计	80
3.2.4	整机装配工艺	81
3.2.5	印制电路板组装工艺	81
3.3	印制电路板的设计	81
3.3.1	印制电路板设计的一般步骤	81
3.3.2	用 Protel 99 设计电路板	83
3.4	焊接技术	94
3.4.1	焊接工具	94
3.4.2	焊接材料	98
3.4.3	手工焊接工艺与质量标准	98

3.5	电路调试技术	105
3.5.1	检查电路接线	105
3.5.2	调试用的仪器	106
3.5.3	调试方法	106
3.5.4	调试步骤	107
3.6	电路故障分析及排除方法	108
3.6.1	常用检查方法	108
3.6.2	故障分析与排除	110
3.6.3	故障举例——超外差式收音机无声故障的分析与排除	111
	本章小结	111
	习题 3	111
第 4 章	EDA 技术在电子线路设计中的应用	113
4.1	概述	113
4.1.1	电子工作平台 (EWB) 简介	113
4.1.2	电子工作平台 (EWB) 的主窗口界面	114
4.2	电路设计与编辑的基本操作方法	132
4.3	虚拟仪表	135
4.3.1	电压表和电流表	135
4.3.2	数字万用表	135
4.3.3	函数信号发生器	136
4.3.4	示波器	137
4.3.5	波特图仪	138
4.3.6	字信号发生器	139
4.3.7	逻辑分析仪	141
4.3.8	逻辑转换仪	142
4.4	EWB 分析方法	143
4.4.1	直流工作点分析 (DC Operating Point Analysis)	143
4.4.2	交流频率分析 (AC Frequency Analysis)	144
4.4.3	瞬态分析 (Transient Analysis)	145
4.4.4	傅里叶分析 (Fourier Analysis)	146
4.4.5	噪声分析 (Noise Analysis)	147
4.4.6	失真分析 (Distortion Analysis)	148
4.4.7	参数扫描分析 (Parameter Sweep Analysis)	150
4.4.8	温度扫描分析 (Temperature Sweep Analysis)	151
4.4.9	极—零点分析 (Pole-Zero Analysis)	152
4.4.10	传递函数分析 (Transfer Function Analysis)	153
4.4.11	直流和交流灵敏度分析 (DC And AC Sensitivity Analysis)	154
4.4.12	最坏情况分析 (Worst Case Analysis)	155
4.4.13	蒙特卡罗分析 (Monte Carlo Analysis)	156

4.5 基本电路的分析与设计	158
4.5.1 单管共发射极放大电路	158
4.5.2 两级放大电路	160
4.5.3 负反馈放大电路	162
4.5.4 译码器	163
4.5.5 基本 RS 触发器	166
本章小结	168
习题 4	168
第 5 章 电子技术实践训练	169
5.1 电源电路	169
5.1.1 整流滤波电路	169
5.1.2 稳压电源电路	170
5.1.3 电池充电电路	171
5.2 音频电路	174
5.2.1 音频功率放大电路	174
5.2.2 语音录放电路	176
5.3 高频电路	178
5.3.1 无线话筒	178
5.3.2 接收机电路	180
5.3.3 发射机电路	182
5.4 万用表	184
5.4.1 模拟万用表	184
5.4.2 数字万用表	190
5.5 信号产生电路	205
5.5.1 低频函数信号发生器	205
5.5.2 高频函数信号发生器	208
5.6 遥控电路	213
5.6.1 红外遥控电路	213
5.6.2 无线遥控电路	217
5.7 数字频率计	219
5.7.1 数字频率计的性能指标	219
5.7.2 数字频率计的工作原理	219
5.7.3 数字频率计的制作与调试	221
5.8 555 时基电路	222
5.8.1 555 时基电路的组成和基本工作原理	223
5.8.2 555 时基电路的几种工作方式	224
5.8.3 555 时基电路的实际应用举例	226
5.9 开关控制电路	228
5.9.1 光控开关电路	228

5.9.2 声控开关电路	231
5.10 自动控制和检测电路的制作	234
5.10.1 电话自动报警器的制作	234
5.10.2 交通信号灯控制电路的制作	240
5.10.3 袖珍式气体检漏仪	242
5.10.4 用温度传感器制作的电风扇温控开关	244
5.10.5 双向超温报警器	246
本章小结	247
参考文献	249

第 1 章 电子元器件

内容提要：电子元器件是构成电子电路的基础，也是一个电子产品的重要组成部分。对于电子工程技术人员来说，熟悉各类电子器件的性能、特点和用途，对设计、安装和调试电子线路十分重要。本章按类别、性能、用途等方面对常用的电子元器件进行详细的介绍，力求使读者对各种各样的电子元器件有一个概括性的了解，以便在设计和研制电子产品中能够正确地选用电子元器件。

1.1 电阻器

在电子线路中，具有电阻性的实体元件称为电阻器，习惯上称为电阻，是电子线路中使用最多的元件之一。常见电阻器的外形如图 1.1 所示。

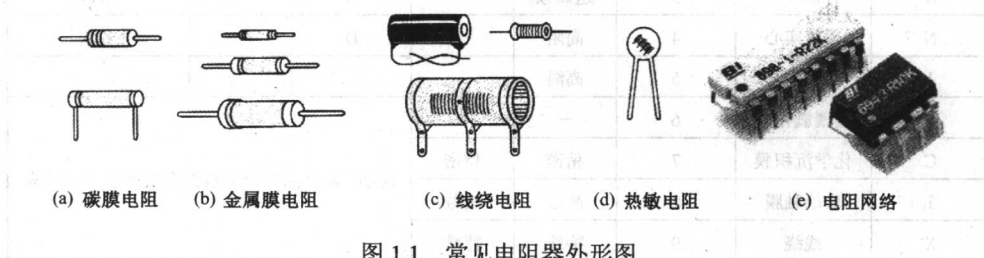


图 1.1 常见电阻器外形图

1.1.1 电阻器的分类

电阻器的品种繁多，按材料可分为 3 类：薄膜类电阻器（金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、碳膜电阻器等）、合成类电阻器（金属玻璃釉电阻器、实心电阻器、合成膜电阻器）。

按照制造工艺或材料，电阻器可分为以下几类：

- (1) 合金型。用块状电阻合金拉制成合金线或碾压成合金箔制成的电阻，如绕线电阻、精密合金箔电阻等。
- (2) 薄膜型。在玻璃或陶瓷基体上沉积一层电阻薄膜，膜的厚度一般在几微米以下，薄膜材料有碳膜、金属膜、化学沉积膜及金属氧化膜等。
- (3) 合成型。电阻由导电颗粒和化学黏结剂混合而成，可以制成薄膜或实心两种类型，常见的有合成膜电阻和实心电阻。

按照使用范围及用途，电阻器可以分类如下：

- (1) 普通型。指能适应一般技术要求的电阻，额定功率范围为 0.05~2W，阻值为 1Ω~22MΩ，允许偏差±5%、±10%、±20%等。
- (2) 精密型。有较高精密度及稳定性，功率一般不大于 2W，标称阻值在 0.01Ω~20MΩ，

允许偏差在 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$ 之间分挡。

(3) 高频型。电阻自身电感量极小，常称为无感电阻。用于高频电路，阻值小于 $1\text{k}\Omega$ ，功率范围宽，最大可达 100W 。

(4) 高压型。用于高压装置中，功率在 $0.5 \sim 15\text{W}$ 之间，额定电压可达 35kV 以上，标称阻值可达 $1\text{G}\Omega$ 。

(5) 高阻型。阻值在 $10\text{M}\Omega$ 以上，最高可达 $10^{14}\Omega$ 。

(6) 集成电阻（电阻排）。这是一种电阻网络，它体积小、规整化及精密度高等特点，特别适用于电子仪器仪表及计算机产品中。

电阻器的材料、分类代号及意义如表 1.1 所示。

表 1.1 电阻器的材料、分类代号及意义

材 料		分 类					
字母代号	意义	数字代号	意义		字母代号	意义	
			电阻器	电位器		电阻器	电位器
T	碳膜	1	普通	普通	G	高功率	
H	合成膜	2	普通	普通	T	可调	
S	有机实心	3	超高频	—	W	—	微调
N	无机实心	4	高阻	—	D	—	多调
J	金属膜	5	高温	—			
Y	金属氧化膜	6	—	—	说明：新产品的分类根据发展状况予以补充		
C	化学沉积膜	7	精密	精密			
I	玻璃釉膜	8	高压	函数			
X	线绕	9	特殊	特殊			

1.1.2 电阻器的主要技术指标及标志方法

电阻器的主要技术指标有额定功率、标称阻值、允许偏差（精度等级）、温度系数、非线性度及噪声系数等项。由于电阻器的表面积有限以及对参数关心的程度，一般只标明阻值、精度、材料和额定功率几项；对于额定功率小于 0.5W 的小电阻，通常只标注阻值和精度，其材料及额定功率通常由外形尺寸和颜色判断。电阻器的主要技术参数通常用文字或文字符号标出。

(1) 额定功率。电阻器在电路中长时间连续工作不损坏，或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率，称为电阻器的额定功率。电阻器的额定功率并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率，而是电阻器在电路中工作时，允许所消耗功率的限额。

电阻实质上是把吸收的电能转换成热能的能量消耗元件。不同类型的电阻有不同的额定功率系列。通常的功率系列值可以有 $0.05 \sim 500\text{W}$ 之间的数十种规格。选择电阻的额定功率，应该判断它在电路中的实际功率，一般使额定功率是实际功率的 $1.5 \sim 2$ 倍以上。

电阻器的额定功率系列如表 1.2 所示。

表 1.2 电阻器的额定功率系列

单位: W

线绕电阻器的额定功率系列	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、10、25、40、50、75、100、150、250、500
非线性电阻器额定功率系列	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、10、25、50、100

在电路图中，电阻器的额定功率标注在电阻器的图形符号上，如图 1.2 所示。

额定功率在 2W 以下的小型电阻，其额定功率值通常不在电阻器上标出，观察外形尺寸即可确定；额定功率在 2W 以上的电阻，因为体积比较大，其功率值均在电阻器上用数字标出。电阻器的额定功率主要取决于电阻体的材料、外形尺寸和散热面积。一般来说，额定功率大的电阻器，其体积也比较大。因此，可以通过比较同类的电阻器的尺寸，判断电阻器的额定功率。常用电阻器的额定功率及外形尺寸如表 1.3 所示。

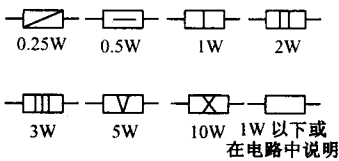


图 1.2 标有额定功率的电阻器

表 1.3 常用电阻器的额定功率及其外形尺寸

种 类	型 号	额定功率/W	最大直径/mm	最大长度/mm
超小型碳膜电阻	RT13	0.125	1.8	4.1
小型碳膜电阻	RTX	0.125	2.5	6.4
碳膜电阻	RT	0.25	2.5	18.5
		0.5	5.5	28.0
		1	7.2	30.5
		2	9.5	48.5
金属膜电阻	RJ	0.125	2.2	7.0
		0.25	2.8	8.0
		0.5	4.2	10.8
		1	6.6	13.0
		2	8.6	18.5

(2) 标称阻值。阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同；不同精度的电阻器，其阻值系列也不相同。在设计电路时，应该尽可能选用阻值符合标称系列的电阻。电阻器的标称阻值，用色环或文字标注在电阻的表面上。

(3) 阻值精度（允许偏差）。实际阻值与标称阻值的相对误差为电阻精度。允许相对误差的范围叫做允许偏差（简称允差，也称为精度等级）。普通电阻的允许偏差可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等，精密电阻的允许偏差可分为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\cdots \pm 0.001\%$ 等十多个等级。一般说来，精度等级高的电阻，价格也高。在电子产品设计中，应该根据电路的不同要求，选用不同精度的电阻。

电阻的精度等级可以用符号标明如表 1.4 所示。

表 1.4 电阻的精度等级符号

%	±0.001	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1
符号	E	X	Y	H	U	W	B
%	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20
符号	C	D	F	G	J	K	M

(4) 温度系数。所有材料的电阻率都会随温度发生变化，电阻的阻值同样如此。在衡量电阻器的温度稳定性时，使用温度系数：

$$\alpha_r = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

式中， α_r 是电阻的温度系数，单位为 $1/^\circ\text{C}$ ； R_1 和 R_2 分别是温度为 t_1 和 t_2 时的阻值，单位为 Ω 。

一般情况下，应该采用温度系数较小的电阻；而在某些特殊情况下，则需要使用温度系数大的热敏电阻器，这种电阻器的阻值会随着环境和工作电路的温度敏感地发生变化。它有两种类型：一种是正温度系数型，另一种是负温度系数型。热敏电阻一般在电路中用做温度补偿或测量调节元件。

金属膜、合成膜电阻具有较小的正温度系数，碳膜电阻具有负温度系数。适当控制材料及加工工艺，可以制成温度稳定性很高的电阻。

(5) 非线性。通过电阻的电流与加在其两端的电压不成正比关系时，叫做电阻的非线性。如图 1.3 所示为电阻的非线性变化曲线。电阻的非线性用电压系数表示，即在规定的范围内，电压每改变 1V，电阻值的平均相对变化量：

$$K = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\%$$

式中， U_1 为额定电压， U_2 为测试电压，单位为 V； R_1 、 R_2 分别是在 U_1 、 U_2 条件下测得的电阻值，单位为 Ω 。

一般来说，金属型电阻的线性度很好，非金属型电阻常会出现非线性。

(6) 噪声。噪声是产生于电阻中的一种不规则的电压起伏，如图 1.4 所示。噪声包括热噪声和电流噪声两种。

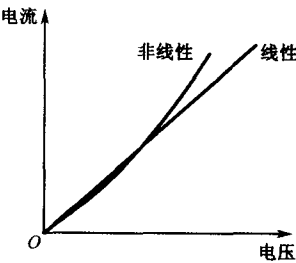


图 1.3 电阻的非线性

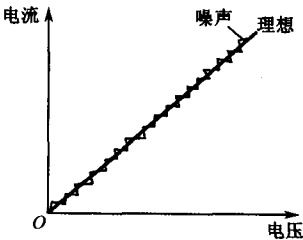


图 1.4 电阻的噪声

热噪声是由于电子在导体中的不规则运动而引起的，它既不决定于材料，也不决定于导体的形状，仅与温度和电阻的阻值有关。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。

电流噪声是由于电流流过导体时，导电颗粒之间以及非导电颗粒之间不断发生碰撞而产生的机械震动，并使颗粒之间的接触电阻不断发生变化的结果。当直流电压加在电阻两端时，电流将被起伏的噪声电流所调制，这样，电阻两端除了有直流压降外，还会有不规则的交变电压分量，这就是电流噪声。电流噪声与电阻的材料、结构有关，并与外加直流电压成正比。合金型电阻无电流噪声，薄膜型电阻较小，合成型电阻最大。

(7) 极限电压。电阻两端电压加高到一定值时，电阻会发生电击穿而损坏，这个电压值叫做电阻的极限电压。根据电阻的额定功率，可以计算出电阻的额定电压：

$$V = \sqrt{PR}$$

而极限电压无法根据简单的公式计算出来，它取决于电阻的外形尺寸及工艺结构。

1.1.3 几种常用电阻器的结构与特点

几种常用电阻器的外形见图 1.1。其中，图 1.1(a)是碳膜电阻器，图 1.1(b)是金属膜或金属氧化膜电阻器，图 1.1(c)是线绕电阻器，图 1.1(d)是热敏电阻器，图 1.1(e)是电阻网络（集成电阻、电阻排）。

(1) 薄膜型电阻。薄膜型电阻有以下几种。

① 金属膜电阻（型号：RJ）

结构：在陶瓷骨架表面，经真空高温或烧渗工艺蒸发的沉积一层金属膜或合金膜。

特点：工作环境温度范围大（ $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ）、温度系数小、稳定性好、噪声低及体积小（与相同体积的碳膜电阻相比，额定功率要大一倍左右），价格比碳膜电阻稍贵一些。

这种电阻额定功率有 0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、5W 等，标称阻值在 $1\Omega \sim 100\text{M}\Omega$ 之间，精度等级一般为 $\pm 5\%$ ，高精度的金属膜电阻其精度可达 $0.5\% \sim 0.05\%$ 。广泛应用在稳定性及可靠性有较高要求的电路中，可制成精密、高阻、高频、高压、高温的金属膜电阻器和供微波使用的各种不同形状的衰减片。

② 金属氧化膜电阻（型号：RY）

结构：高温条件下，在陶瓷本体的表面上以化学反应形式生成的以二氧化锡为主体的金属氧化层。

特点：其膜层比金属膜和碳膜电阻都厚得多，并与基体附着力强，因而它有极好的脉冲、高频、温度和过负荷性能；机械性能好，坚硬、耐磨；在空气中不会再氧化，因而化学稳定性好；能承受大功率（可高达 $25\text{W} \sim 50\text{kW}$ ），但阻值范围较窄（ $1\Omega \sim 200\text{k}\Omega$ ）。可制成几百千瓦的大功率电阻器。

③ 碳膜电阻（型号：RT）

结构：碳氢化合物在真空中通过高温蒸发分解，在陶瓷骨架表面上沉积成碳结晶导电膜。

特点：这是一种应用最早、最广泛的薄膜型电阻。它的体积比金属膜电阻略大，阻值范围宽（ $1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$ ），温度系数为负值。此外，碳膜电阻的价格特别低廉，因此在低档次的消费类电子产品中被大量使用。额定功率为 $0.125 \sim 10\text{W}$ ，精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 及 $\pm 20\%$ ，外表通常涂成淡绿色。可制成高频电阻器、精密电阻器、大功率电阻器，用于交、直流脉冲电路中。