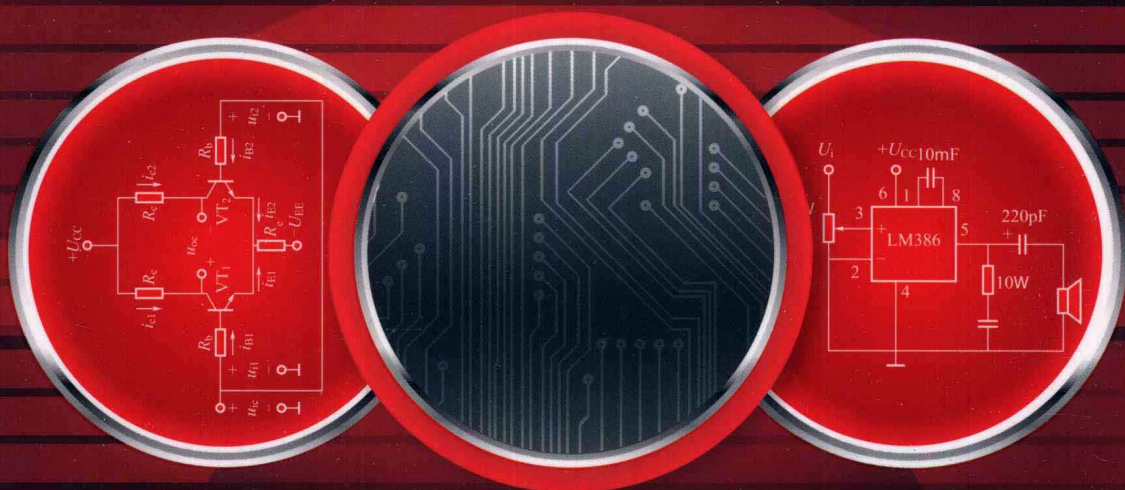


普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电路分析与实践

韩梅 主编 翁正国 副主编

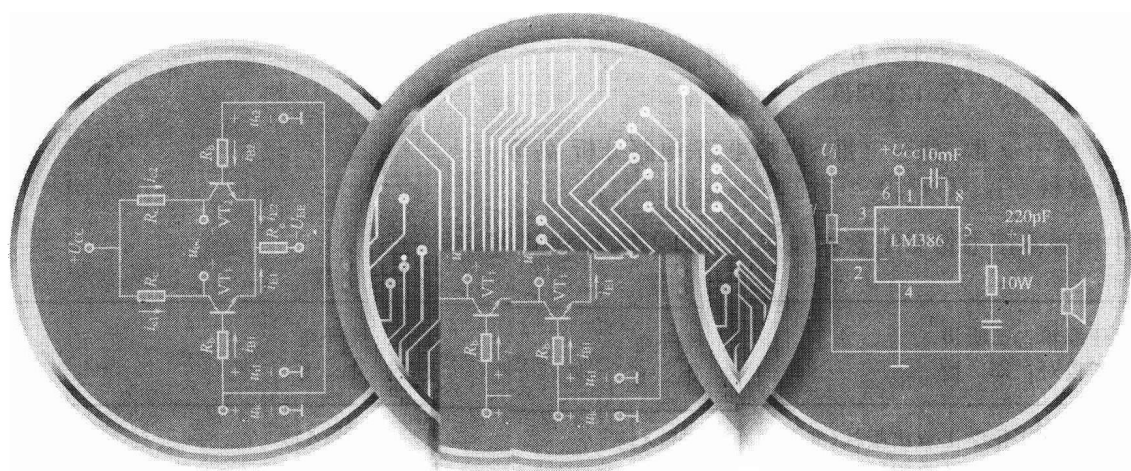


化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电路分析与实践

韩梅 主编 翁正国 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书根据普通高等院校应用型本科和高等职业教育发展需要,弃旧扬新,由多年从事电子技术课程教学改革和实践的教师与企业的工程技术人员合作编写。本书在内容的安排上以学生的“技术应用、能力培养”为主线,以应用为目的,以“必需”和“够用”为度,以讲清概念、强化应用为重点,以实践训练模块的操作引入学习内容,突出了模拟电路的应用性、实践性,强化了实际应用能力的培养。

全书共分6个项目,内容覆盖面较广,安排灵活,主要内容包括:常用元器件及仪器仪表的使用、小信号基本放大电路的分析与实践、集成运算放大电路的分析与实践、功率放大电路的分析与实践、信号产生电路的分析与实践、直流稳压电路的分析与实践,每个项目都有实践训练模块和习题,供读者实践操作和练习。

本书可作为普通高等院校本、专科电子、通信、计算机、自控、电气等专业的教材,还可作为中等专业学校相关专业的教材,也可作为自学考试或从事电子技术的工程人员的学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路分析与实践/韩梅主编. —北京:化学工业出版社, 2011. 10

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-12202-5

I. 模… II. 韩… III. 模拟电路-电路分析-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第178432号

责任编辑:王听讲
责任校对:郑捷

文字编辑:吴开亮
装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数352千字 2011年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是由多年从事电子技术课程教学改革和实践的教师和教学管理人员及合作企业的工程技术人员共同开发的，是为普通高等院校应用型本科和高等职业教育电子、通信、计算机、自控、电气等专业编写的教材，也可作为中等专业学校有关专业的提高教材，还可作为自学考试自学或从事电子技术的工程人员学习用书。

本书的每个项目和每个任务都罗列出了重点部分、基础知识和能力要求。在教材编写过程中，我们遵循以下原则。

第一，从实践分析入手，精选教材内容，切实落实“必需、够用、适用”的教学指导思想。

第二，以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路来处理理论教学与实践训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、训练技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学生的认知规律，合理编排教材内容，提高学生的学习兴趣，降低学习难度。

第四，在教一学一做过程中突出学生在完成任务过程中的敬业精神、专业能力、实践能力、社会能力等及各方面的评价：采取学生自评、组内互评、教师对个人评价以及教师对小组评价相结合的方式，全面、公正地对学生们的学习效果进行评价。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书由韩梅主编并统稿，翁正国为副主编，王育红、韩英、李睿参编。本书在编写过程中，得到了一些高等职业技术学院的大力支持，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

编 者
2011年8月

目 录

项目 1 常用元器件及仪器仪表的使用	1
任务 1 常用仪器仪表的识别和使用	1
任务 2 常用电子电路元器件	4
模块 1 电阻器	4
模块 2 电容器	11
模块 3 电感器	17
模块 4 二极管	21
模块 5 三极管和场效应管	26
任务 3 常用仪器仪表	34
模块 1 万用表	34
模块 2 示波器	38
模块 3 信号发生器	39
习题一	40
项目 2 小信号基本放大电路的分析与实践	45
任务 1 放大电路的基本知识	45
模块 1 放大电路的基本概念	46
模块 2 放大电路的工作状态分析	52
模块 3 放大电路的失真现象分析	58
任务 2 共发射极放大电路的分析与实践	59
模块 1 扩音机项目中话筒放大器的分析与实践	59
模块 2 共发射极放大电路的工作状态分析	62
任务 3 共集电极放大电路和共基极放大电路	67
模块 1 电压跟随器的分析与实践	67
模块 2 共集电极放大电路的工作状态分析	70
模块 3 共基极放大电路的工作状态分析	72
模块 4 三种基本放大电路的性能比较	73
任务 4 场效应管及其放大电路	74
模块 1 场效应管基础知识	75
模块 2 场效应管放大电路的分析	78
任务 5 多级放大电路的分析与实践	80
模块 1 多级放大电路的分析与实践	80
模块 2 多级放大电路的工作状态分析	83
模块 3 多级放大电路的性能指标估算	85
模块 4 放大电路的频率特性	85
习题二	89

项目 3 集成运算放大电路的分析与实践	96
任务 1 集成运算放大器的基础知识	96
模块 1 集成运算放大器的组成	97
模块 2 集成运算放大器分类方法	99
模块 3 集成运算放大器参数选择	100
任务 2 差动放大电路的分析与实践	103
模块 1 差动放大电路的分析与实践	104
模块 2 差动放大电路的工作状态分析	108
任务 3 负反馈放大电路的分析与实践	112
模块 1 反馈的基本概念	112
模块 2 负反馈对放大器性能的影响	115
模块 3 深度负反馈放大电路的分析	117
任务 4 集成运算放大器基本应用电路的分析与实践	118
模块 1 基本运算电路分析	119
模块 2 基本运算电路设计	124
模块 3 电压比较电路分析	127
模块 4 温度控制器中的电压比较电路的设计	129
习题三	133
项目 4 功率放大电路的分析与实践	140
任务 1 功率放大电路的基础知识	140
任务 2 功率放大电路的分析与实践	144
模块 1 功率放大电路的设计	145
模块 2 无输出电容互补对称功率放大电路分析	147
模块 3 单电源互补对称功率放大电路分析	150
任务 3 集成功率放大器的分析与实践	152
习题四	158
项目 5 信号发生电路的分析与实践	161
任务 1 正弦波振荡电路分析与实践	161
模块 1 正弦波振荡电路分析	162
模块 2 RC 正弦波振荡电路设计	164
模块 3 RC 正弦波振荡电路分析	165
模块 4 LC 正弦波振荡电路分析	168
模块 5 石英晶体振荡电路设计	170
模块 6 石英晶体振荡电路分析	172
任务 2 非正弦波振荡电路的分析与实践	173
模块 1 矩形波发生电路分析	174
模块 2 三角波发生电路分析	175
模块 3 锯齿波发生电路分析	176
模块 4 函数信号发生电路的设计	177
习题五	180

项目 6 直流稳压电路的分析与实践	183
任务 1 直流稳压电路的基础知识	183
任务 2 整流滤波电路的分析与实践	185
模块 1 整流电路分析	186
模块 2 滤波电路分析	190
模块 3 整流滤波电路的设计	193
任务 3 稳压管稳压电路的分析与实践	195
模块 1 稳压管稳压电路分析	195
模块 2 并联型稳压电路的设计	197
任务 4 串联型直流稳压电路的分析与实践	197
模块 1 串联型直流稳压电路分析	198
模块 2 串联型直流稳压电路设计	199
任务 5 集成稳压器的分析与实践	202
模块 1 集成稳压电路分析	202
模块 2 连续可调直流稳压电源设计	206
任务 6 开关型直流稳压电路的分析与实践	208
模块 1 开关型直流稳压电路分析	208
模块 2 开关型直流稳压电源的设计（升压）	210
习题六	212
参考文献	220

项目 1 常用元器件及仪器仪表的使用

项目要求

电子电路是由各种电子元件和导线组成的。通过本项目的学习，读者将掌握常用的电子元件的测量和常用仪器仪表的使用方法，这在电子技术应用中尤为重要。

知识要求

- ① 掌握万用表、直流稳压电源的组成、结构和面板结构。
- ② 掌握函数信号发生器、双踪示波器的组成、特点。
- ③ 掌握使用万用表判别二极管极性和三极管管脚方法。
- ④ 掌握利用常用仪器仪表判断二极管和三极管的质量。
- ⑤ 掌握利用常用仪器仪表测试电路中各种电信号的方法。
- ⑥ 掌握利用常用仪器仪表检测电路故障的方法。

能力要求

- ① 会测量电阻的阻值；会测量电解电容的正负极。
- ② 会测量二极管和三极管。
- ③ 会使用常用的仪器仪表测量电子电路中的各种电信号。
- ④ 会利用常用仪器仪表检测电路故障。

任务 1 常用仪器仪表的识别和使用

【学习目标】

根据学习过的理论知识掌握用示波器观察低频信号发生器产生的信号和直流稳压电源输出的信号；利用万用表测量电阻、电容、电感、二极管和三极管；通过元器件的测试训练，了解万用表、直流稳压电源、示波器和信号发生器的正确使用方法和主要技术指标性能；能用信号发生器和示波器测量波形；初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法；了解仪器的操作要领与注意事项。

【相关理论知识】

- 常用电子电路元器件的识别与测试方法。
- 常用仪器仪表的使用方法。

【相关实践知识】

- 电阻器、电容器、电感器和变压器的测量方法。

② 用万用表测量实验台上各电容器的容值，将实测电容值与估测电容值列表比较，分析哪些电容器的实测值与实际值相近（表 1-2）。

表 1-2 电容器测试记录表

电容器型号	电容量	充放电分析	质量判别

③ 识别常用半导体二极管（表 1-3）。

表 1-3 二极管检测与查阅参数记录表

标志符号	万用表量程	正向电阻值	反向电阻值	类型判别	质量判别	最大正向电流	最高反向工作电压	反向电流
1N4007								
1N4148								
发光二极管								

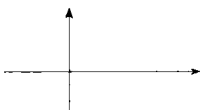
④ 识别常用半导体三极管，用万用表检测三极管（表 1-4）。

表 1-4 三极管检测与查阅参数记录表

标志符号	万用表量程	导电类型	管脚判别	放大能力	质量判别	最大集电极耗散功率 P_{CM}	U_{CEO}	f_T
9012								
9013								
9014								
BD135								
BD136								
8050								
8550								

⑤ 示波器的使用方法。调整示波器本机校准信号，观察波形，并测量信号的幅度与周期（表 1-5）。

表 1-5 示波器本机校准信号记录表

输入信号	波形	周期 T	峰-峰值 V_{P-P}	有效值
本机校准信号				

⑥ 函数信号发生器的使用方法。

调节函数信号发生器有关旋钮，使输出频率分别为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz，有效值均为 1V（交流毫伏表测量值）的正弦波信号。

改变示波器“扫速”开关及“Y轴灵敏度”开关等位置，测量信号源输出电压频率及峰-峰值，记入表 1-6。

表 1-6 信号源与示波器的使用记录表

信号电压频率	示波器测量值		信号电压 毫伏表读数/V	示波器测量值	
	周期/ms	频率/Hz		峰-峰值/V	有效值/V
100Hz					
1kHz					
10kHz					
100kHz					

4. 评分标准

- ① 电阻器、电容器检测操作；二极管、三极管检测操作（30%）。
- ② 万用表使用操作；信号源和示波器的使用操作（30%）。
- ③ 项目公共评价点（20%）。
- ④ 撰写理实一体化学习报告（20%）。

任务 2 常用电子电路元器件

【学习目标】

掌握电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管的工作特性；掌握利用万用表判别电阻、电容的测试，二极管极性和三极管管脚的识别；掌握判别二极管和三极管质量的方法。

【相关理论知识】

- 电阻器、电容器和电感器的结构及特性。
- 二极管的结构及特性。
- 三极管的三个工作区及其外部条件。

【相关实践知识】

- 电阻器、电容器、二极管、三极管的特性判别。
- 电阻器、电容器的测试。
- 二极管极性和三极管管脚的识别方法。
- 二极管和三极管质量判别。

模块 1 电 阻 器

任何电子电路都是由电子元器件组成。常用的电子元器件有电阻器、电容器、电感器（包括线圈和变压器）、开关、插接件、继电器、各种半导体器件（如二极管、三极管、集成电路），以及电声、电光等各种传感器件等。要正确地选择和使用这些元器件，就必须掌握它们的性能、结构及其主要参数等相关知识。

一、电阻器的基本概念

物质对电流通过的阻碍作用称为电阻（resistance）。电阻是反映物质限制电流通过的一种性质。利用这种阻碍作用做成的元件称为电阻器（resistor），简称电阻。若在电阻（以 R 表示）的两端加上 1 伏 [特]（V）的电压（以 u 表示），当通过该电阻的电流强度（以 i 表示）为 1 安 [培]（A）时，则称该电阻的阻值为 1 欧 [姆]（ Ω ）。

在实际使用中,比欧 [姆] 更大的单位有千欧 [姆] ($k\Omega$)、兆欧 [姆] ($M\Omega$) 等。例如,

$$1M\Omega = 1000k\Omega; 1k\Omega = 1000\Omega.$$

在各种电路中,电阻器一般有以下用途。

- ① 限制流过发光二极管、晶体管等电子元件上的电流大小。
- ② 用作分压器,如图 1-1 所示。

图 1-1 中, R_1 和 R_2 是电阻器, R_1 和 R_2 串联,电路电流为 $I = U_{CC} / (R_1 + R_2) = 2\text{mA}$,所以 A 点对地电压值为 $U_A = I \times R_2 = 2 \times 2 = 4$ (V)。

- ③ 可与电容相结合,用以控制电容器充放电的时间。

电阻器在电子电路中应用最为广泛,其质量的优劣对电路的稳定性影响极大。

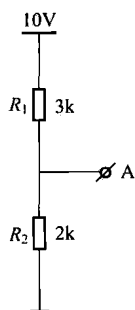


图 1-1 用电阻分压电路

二、电阻器的分类

电阻器按结构可分为固定电阻器和可变电阻器两大类。固定电阻器的阻值是固定的,一经制成后不再改变。可调电阻器的阻值可以在一定范围内调整。

1. 固定电阻器

固定电阻器一般也简称为“电阻”。由于制作材料和工艺不同,固定电阻器又可分为薄膜电阻器、实心电阻器、金属线绕电阻器 (R_X) 和特殊电阻器四种类型。

图 1-2 给出了几种固定电阻器的实物图。

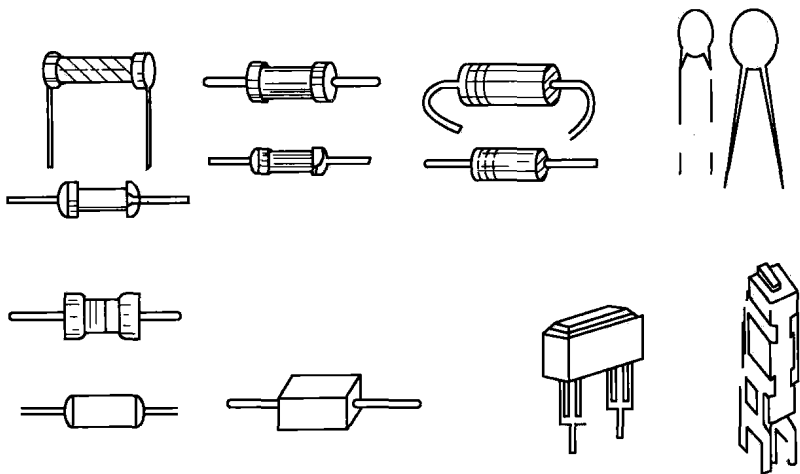


图 1-2 固定电阻器实物图

2. 可调电阻器

可调电阻器是一种阻值在一定范围内连续可调的电阻器,它主要用在阻值需要调整的电路中。

一般的可调电阻器有三个接头,通常也把它称为电位器。

按电位器调节机构的运动方式分,电位器有旋转式和直滑式两种。

按结构分,电位器还可分为单联、多联、带开关、不带开关等;开关形式又有旋转式、推拉式、按键式等。

按用途分,有普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

图 1-3 给出了几种可调电阻器的实物图。

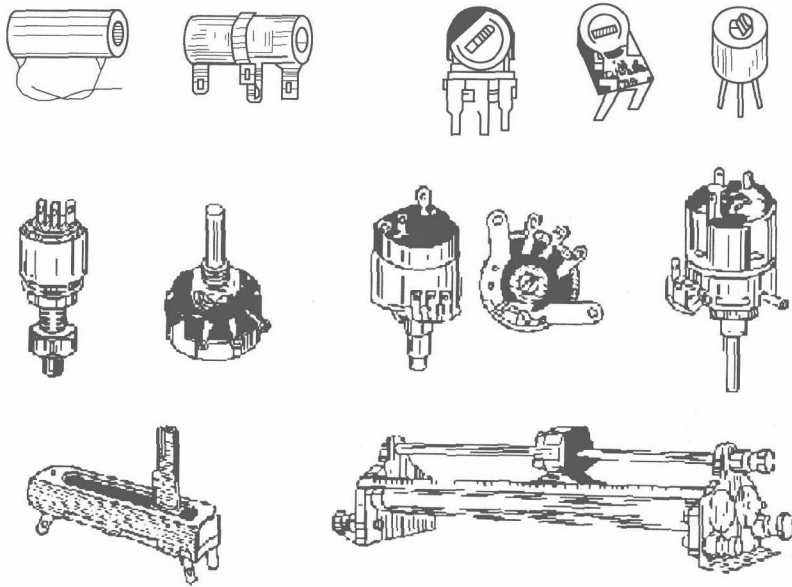


图 1-3 可调电阻器实物图

三、电阻器的型号命名

国产电阻器的型号命名方法见表 1-7 所示。

表 1-7 国产电阻器的型号命名

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:额定功率、阻值、允许误差的精度、等级
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1,2	普通	
W	电位器	P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压	
		J	金属膜(箔)		电位器—特殊函数	
		Y	氧化膜	9	特殊	
		S	有机实心	G	高功率	
		N	无机实心	T	可调	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	W	微调	
		M	压敏	D	多圈	

四、电阻器的主要参数

1. 额定功率

电阻器的额定功率是指在规定的环境温度和湿度下,假定周围空气不流通,在长期连续负载而不损坏或基本不改变性能的情况下电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时,电阻器的阻值将发生变化,甚至发热烧毁。为保证安全使用,一般选择其额定功率比它在电路中所消耗的功率高 1~2 倍的电阻器。

额定功率分为 19 个等级,常用的有 1/20W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、4W、5W……实际应用较多的电阻器是 1/4W、1/2W、1W、2W。线绕电位器应用较多的有 2W、3W、5W、10W 等。

2. 标称阻值

标称阻值是产品标志的“名义”阻值,其单位为欧(Ω)、千欧(kΩ)、兆欧(MΩ)。标称阻值系列可以查阅相关电子器件手册。

对常用的阻容元件进行标注,一般省略其基本单位,采用实用单位或辅助单位。电阻的基本单位 Ω 一般不出现在元器件的标注中。如果出现表示单位的字符,则是用它代替小数点,如 0.56Ω、5.6Ω、56Ω、560Ω、5.6kΩ、56kΩ、560kΩ 和 5.6MΩ,在型号中分别被标注为 Ω56、5Ω6、56、560、5k6、56k、560k 和 5M6。

3. 允许误差

允许误差是指电阻器或电位器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围,表示产品的精度。允许误差为 $\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$ 。式中,δ 为允许误差;R 为电阻器的实际阻值;R_R 为电阻器的标称值。

电阻器的允许误差等级(表 1-8)可以查阅相关电子元器件手册。

表 1-8 电阻器允许误差等级

级别	B	C	D(005)	F(01)	G(02)	J(I)	K(II)	M(III)
允许误差%	±0.1	±0.25	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20

电阻器的阻值和误差,一般都用数字标印在电阻器上。体积较小的一些电阻器,其阻值和误差常用色环来表示。从靠近电阻器边缘的一端开始印有四道或五道(精密电阻)色环。其中,第一、第二以及精密电阻的第三道色环,都表示其相应位数的数字;其后的一道色环表示倍率,即前面数字再乘以 10 的方幂,最后一道色环则表示阻值的允许误差。各种颜色所代表的意义见表 1-9。

表 1-9 电阻器色环颜色的意义

颜色项目	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
倍率		10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁻¹	10 ⁻²	
允许误差级别		F	G			D	C	B			J	K	M

例如,某四色环电阻器的第一、二、三、四道色环分别为棕、绿、红、金色,则该电阻器的阻值和误差分别为:

$R=15 \times 10^2 = 1500\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$

该电阻器的阻值为 $1.5k \pm 5\% \Omega$ 。

4. 最高工作电压

最高工作电压是指由电阻器、电位器的最大电流密度、电阻体击穿及其结构等因素所规定的工作电压限度。对阻值较大的电阻器，当工作电压过高时，虽然功率不会超过规定值，但其内部会发生电弧火花放电，导致电阻器变质损坏。一般 $1/8W$ 碳膜电阻器或金属膜电阻器，最高工作电压分别不能超过 $150V$ 或 $200V$ 。

五、电阻器的简单测试

测量电阻器的方法很多，可用欧姆表、电阻电桥和数字欧姆表直接测量，也可根据欧姆定律 $R=U/I$ ，通过测量流过电阻器的电流 I 及电阻器上的压降 U 来间接测量电阻值。

当测量精度要求较高时，通常采用电阻电桥来测量电阻。电阻电桥有单臂电桥（惠斯登电桥）和双臂电桥（凯尔文电桥）两种，这里不进行详细介绍。

当测量精度要求不高时，可直接用欧姆表测量电阻。现以MF-500型万用表为例，首先将万用表的功能选择开关置“ Ω ”挡相应量程，将红、黑表笔短接，指针应指在刻度线零点，若不在零点，则要调节“ Ω ”调零旋钮使指针回零。调回零后即可把被测电阻器串接于两根测试笔之间，此时表头指针偏转，待稳定后可从“ Ω ”刻度线上直接读出所示数值，再乘以事先所选择的量程，即可得到被测电阻器的阻值。当换另一量程时，必须再次短接两测试笔，重新进行“ Ω ”调零。注意每换一量程挡，都必须调零一次。

特别要指出的是，在测量电阻器时，不能用双手同时捏住电阻器或测试笔，因为那样会使人体电阻与被测电阻并联在一起，表头上所指示的数值就不单纯是被测电阻器的阻值了。

六、电阻器的选用

1. 型号的选取

作为民用或一般用途，可选择通用型电阻器，其价格便宜，货源充足。军用和特殊场合使用的电阻器，则应选择专用型电阻器，以保证电路所需的高性能指标和高稳定性。即使采用无感绕法的线绕电阻器，其分布电感也比非线绕电阻器大得多，因此不宜用在高频电路中。

2. 阻值和精度的选取

电阻值应根据电路实际需要选择系列表中近似的标称值。若有高精度要求的，则应选择精密电阻器。在某些场合，高精度电阻也可从I、II、III级电阻器中认真挑选，还可采用串、并联方式来满足阻值和精度的要求。

3. 额定功率的选择

电阻器的额定功率应选得比计算的耗散功率（ I^2R ）大，一般情况下，额定功率选择为实际耗散功率的两倍以上。若功率较大，应选用功率电阻器。在某些场合，也可将小功率电阻器串、并联使用，以满足功率的要求。当电阻器在脉冲状态下工作时，只要其脉冲平均功率不大于额定功率即可。

4. 注意事项

① 注意最高工作电压的限制：每个电阻器都有一定的耐压限制。超过这个电压，电阻器就会击穿、烧坏或产生飞弧现象。在高压下使用的电阻器以及高阻值电阻器，尤其要注意这种情况。

② 为了减少电阻器因使用时间增长而发生阻值变化的不稳定性，在使用电阻器前，应先对其进行人工老化。

③ 较大功率的电阻器应采用螺钉和支架固定，以防折断引线或造成短路。

④ 电阻器的引线不要从根部折弯，否则容易断开。

⑤ 焊接电阻器时动作要快，不要使电阻器长期受热，以免引起阻值变化。

⑥ 电阻器的功率大于10W时，应保证其有足够的散热空间。

⑦ 电阻器在存放和使用过程中，要保持漆膜的完整，一般不允许用锉、刮电阻膜的方法来改变电阻器的阻值。因为漆膜脱落后，电阻器的防潮性能变坏，无法保证其正常工作。

七、电阻器的串联和并联

1. 电阻器的串联使用

两个或两个以上的电阻器，将它们用首尾相连的方法一个个连接起来的方法称为电阻器的串联。串联后的等效电阻等于各个电阻阻值之和。

串联后等效电阻的总耗散功率也等于各个电阻实际耗散功率之和。要注意各个电阻的实际耗散功率在串联时并不一定等于其额定功率，一般会出现小于其额定功率的情况。

例如一个 500Ω 、1W的电阻和一个 $1k\Omega$ 、1W的电阻串联，其等效电阻为 $1.5k\Omega$ 。但在计算其等效额定功率时，不能简单地加为2W。注意到流过串联电路的电流相等：由于流过 $1k\Omega$ 、1W电阻器的最大额定电流是1mA，因此流过 500Ω 、1W电阻器上的电流也不能超过1mA。此时，在 500Ω 、1W电阻器上的实际功率消耗为 $1mA \times 500\Omega = 0.5W$ ，因此其等效额定功率只能是 $1W + 0.5W = 1.5W$ 。

2. 电阻器的并联使用

两个或两个以上的电阻器，将它们的一端连接在一起，其另一端也连接在一起的方法称为电阻器的并联。并联后的等效电阻的倒数等于各个电阻器阻值的倒数之和。并联后等效电阻器的总耗散功率也等于各个电阻器实际耗散功率之和，但要注意各个电阻器的实际耗散功率在并联后并不一定等于其额定功率，一般也会出现小于其额定功率的情况。

例如一个 300Ω 、1W的电阻器和一个 100Ω 、1W的电阻器并联，其等效电阻为 75Ω 。但在计算其等效额定功率时，不能简单地加为2W，要注意到并联电路两端的电压相等，由于在 100Ω 、1W电阻器两端的最大电压只能是10V，因此 300Ω 、1W电阻器两端的电压也不能超过10V，此时，在 300Ω 、1W电阻器上的实际功率消耗为 $(10V)^2/300\Omega$ 等于 $0.33W$ ，因此其等效额定功率是 $1W + 0.33W = 1.33W$ 。

八、特种电阻器

1. 熔断电阻器

熔断电阻器又称为保险丝电阻器，是一种新型的双功能元件。它在正常情况下使用时，具有普通电阻器的电气特性；一旦发生电路失调、电源变化或者某种元器件失效等故障时，熔断电阻器超过负荷，就会在规定的时间内熔断开路，从而起到保护元器件作用。

2. 热敏电阻器

热敏电阻器具有体积小、重量轻、灵敏度高等特点。随着温度的变化，其阻值有明显改变。随着温度升高阻值变大的热敏电阻器是正温度系数变化的热敏电阻器，随着温度升高阻值变小的热敏电阻器是负温度系数变化的热敏电阻器。热敏电阻器可以用来测量温度的变化。

3. NTC 功率热敏电阻器

NTC 功率热敏电阻器是一种可以通过 1~10A 强电流的热敏元件。NTC 功率热敏电阻器呈负温度系数变化特性：这种电阻在常温下电阻值较大（大于 10℃），但当温度升高后，其电阻值会下降到接近为 0。

NTC 功率元件非常适于用在家用电器（如电视机、音响设备等），车、船专用低压电器以及其他仪器上。因为这些电器内往往装有大容量电解电容器，在开机瞬间，大容量电容器对电源几乎是短路状态，其冲击电流很大，容易造成变压器、整流堆或保险管的过载。所以在设备的整流输出端可以串接上 NTC 功率元件，这样在开机瞬间，NTC 功率元件就会分压而减小流过电容器的充电电流；经过 14~60s 后，NTC 功率元件由于升温，其上的分压也逐步降至零点几伏，这样小的压降，可视作此种元件在完成软启动功能后为短接状态，不会影响电器的正常工作。

4. 湿敏电阻器

湿敏电阻器具有体积小、重量轻、灵敏度高、量程宽、温度系数小、耐高温、使用寿命长等特点。有些湿敏电阻器的外壳采用耐高温塑料制成，价格较便宜，适用于家用电器（干衣机、加湿器、去湿机、空调机、录像机）作湿度测量和控制用。还有些湿敏电阻器的外壳用铜材制成，可在各种仓库、蔬菜大棚、纺织车间，以及电力开关中作测湿及控湿用。

5. 光敏电阻器

光敏电阻器大多数用半导体材料制成，它利用半导体的光导电特性，使电阻器的电阻值随入射光线的强弱发生变化：当入射光线增强时，其阻值会明显减小；当入射光线减弱时，其阻值会显著增大。

光敏电阻器的种类很多。由于所用导体材料不同，可分为单晶光敏电阻器和多晶光敏电阻器；根据光敏电阻的光谱特性，又可分为红外光光敏电阻器、可见光光敏电阻器及紫外光光敏电阻器等。光敏电阻器由玻璃基片、光敏层和电极组成。

6. 磁敏电阻器

磁敏电阻器是利用磁电效应的原理制成的，磁敏电阻器的阻值会随着穿过它的磁通量密度的变化而变化。其显著特点是，在弱磁场中的阻值与磁场的关系呈平方律增加，并有很高的灵敏度。磁敏电阻器多为片形，外形尺寸较小，在室温下初始电阻值为 10~500Ω。

磁敏电阻器是用锑化钢、砷化钢等半导体材料制成，它主要应用于磁场强度、频率和功率的测量技术、运算技术、自动控制技术及信息处理技术中，也可用于制成无触点开关和可变的无接触电阻器。

7. 气敏电阻器

气敏电阻器是一种新型半导体元件，利用金属氧化物半导体表面吸收某种气体分子时会发生氧化反应或还原反应的特性制成。气敏电阻器可分为 N 型、P 型和结合型，N 型气敏电阻器是由 N 型半导体材料制成，P 型气敏电阻器是由 P 型半导体制成。

气敏电阻器按结构可以分为直热式气敏电阻器（加热器已埋入气敏体内）和旁热式气敏电阻器（外带有与气敏体绝缘的加热器）。

8. 压敏电阻器

压敏电阻器是一种伏安特性呈非线性的敏感元件。在正常电压条件下，它相当于一只小电容器，而当电路出现过压时，其内阻急剧下降并迅速导通，这时其工作电流可增加几个数量级，从而有效保护了电路中其他元件不致过压而损坏。