

◎刘纪红 沈鸿媛 等 编著



气科技丛书

电子元器件应用

◎刘纪红 沈鸿媛 等 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合课程实践性较强的特点进行内容和章节的设计,采取图文并茂的方式介绍知识点。将大学物理、模拟电子技术和电路分析的概念和理论基础融合在章节内容之中,并利用 Multisim 仿真软件作为电子元器件的应用仿真测试平台,达到理论和实践的有效结合。器件类型分为电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管、场效应管、晶振、声音输出器件、微处理器等,并配有综合设计实例章节。通过本书的学习,使读者了解和掌握各类电子元器件类型、符号、主要参数、工作机理、性能特点、检测方法及典型应用电路。

本书可作为电子科学与技术、电子信息工程及相关专业本科生的教材或教学参考书,同时也可作为相关领域工程技术人员和电子设计爱好者的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件应用/刘纪红等编著. —北京:清华大学出版社,2019

(新视野电子电气科技丛书)

ISBN 978-7-302-51615-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①电子元器件 IV. ①TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 257369 号

责任编辑:文 怡

封面设计:台禹微

责任校对:李建庄

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.25

字 数:441 千字

版 次:2019 年 2 月第 1 版

印 次:2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价:59.00 元

产品编号:067311-01

随着物联网技术和人工智能技术的飞速发展,我们的生活已经离不开智能电子产品。电子元器件的理论和应用技术日益受到重视,相关应用人才的需求也日益增加。本书正是为了适应广大电子信息类专业本科生、研究生和相关电子技术工作者的需求而编写。

本书结合电子元器件应用课程实践性较强的特点进行内容和章节的设计,采取图文并茂的方式介绍知识点。利用 Multisim 仿真软件作为电子元器件的应用仿真测试平台,达到理论和实践的有效结合。本书共分为 11 章,分别介绍了电子元器件的发展、电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管、场效应管、晶振、声音输出器件、微处理器等,并配有综合设计实例章节,重点介绍了各类电子元器件类型、符号、主要参数、工作机理、性能特点、检测方法及典型应用电路。

Multisim 是一种学习和应用电子元器件、设计电子电路的有效和方便的计算机辅助设计平台,因此本书突出了对此平台的应用。读者通过书中各章配套的实例可以更好、更快地掌握电子元器件的理论和计算机辅助设计技术。

本书主要面向电子科学与技术、电子信息工程和相关专业本科生,同时也能供相关领域工程技术人员和电子设计爱好者参考。

本书由刘纪红、沈鸿媛、岳宏宇、张明哲、周晓阳、孙炜翔、徐超、张海峰和郑轶共同完成编写。刘纪红对全书进行了统稿和审阅。

感谢电子科学与信息光学研究所同仁提出的宝贵意见。

限于编者的水平,对书中不妥和错误之处,殷切希望读者不吝指正。

刘纪红

2018 年 11 月

于东北大学

第 1 章 绪论	1
第 2 章 电阻器	2
2.1 概述	2
2.1.1 电阻器的符号以及参数	2
2.1.2 电阻器的分类	5
2.1.3 电阻器阻值标示方法	5
2.1.4 电阻器的作用	8
2.2 可变电阻器	10
2.2.1 电位器的概述以及分类	10
2.2.2 电位器的主要参数	12
2.2.3 电位器的结构和种类	13
2.2.4 电位器的检测	15
2.3 特种电阻器	15
2.3.1 热敏电阻器	15
2.3.2 压敏电阻器	19
2.3.3 其他敏感电阻器	21
2.3.4 熔断电阻器	24
2.4 电阻器在 Multisim 的应用实例	26
2.4.1 电路设计	27
2.4.2 在 Multisim 中输入电路图	27
2.4.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	28
参考文献	30
第 3 章 电容器	31
3.1 概述	31
3.1.1 电容器的电路符号、分类以及参数	31
3.1.2 电容器的参数	34
3.1.3 电容器的标示方法	41
3.2 电容器的分类	43
3.2.1 纸介电容器	44

3.2.2	云母电容器	45
3.2.3	瓷介电容器	46
3.2.4	玻璃釉电容器	47
3.2.5	涤纶电容器	47
3.2.6	有机薄膜电容器	48
3.2.7	电解质电容器	50
3.2.8	可调电容器	53
3.3	贴片电容器	58
3.3.1	概述	58
3.3.2	贴片电容器的尺寸	58
3.3.3	贴片电容器的命名	58
3.3.4	贴片电容器的分类	60
3.3.5	贴片电容器的应用	63
3.4	电容器的应用	64
3.4.1	无极性电容器的应用	68
3.4.2	电解质电容器的应用	69
3.4.3	可调电容器的应用	69
3.5	电容器的检测与选用	70
3.5.1	无极性电容器的检测与选用	72
3.5.2	电解质电容器的检测与选用	74
3.5.3	可调电容器的检测	76
3.6	电容器在 Multisim 的应用实例	77
3.6.1	电路设计	77
3.6.2	在 Multisim 中输入电路图	77
3.6.3	在 Multisim 中进行电路功能仿真	79
	参考文献	80

第 4 章	电感器	81
4.1	概述	81
4.1.1	电感器的结构	83
4.1.2	电感器的主要特性、参数及标识方法	84
4.2	变压器简述	87
4.3	电感器的分类及应用	89
4.3.1	电感器的分类	89
4.3.2	电感器的应用	93
4.3.3	电感器的常见故障、检测与选用	96
4.4	电感器在 Multisim 的应用实例	99
4.4.1	电路设计	99
4.4.2	在 Multisim 中输入电路图	99

4.4.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	99
参考文献	101
第 5 章 二极管	102
5.1 半导体物理基本知识	102
5.1.1 半导体材料	102
5.1.2 本征半导体及本征激发	103
5.1.3 杂质半导体	104
5.1.4 PN 结	105
5.2 二极管	110
5.2.1 半导体二极管的结构	110
5.2.2 二极管的伏安特性	111
5.2.3 半导体二极管的参数	112
5.3 二极管的分类	112
5.3.1 整流二极管	113
5.3.2 稳压二极管	115
5.3.3 检波二极管	118
5.3.4 变容二极管	120
5.3.5 开关二极管	122
5.3.6 发光二极管	123
5.3.7 双向触发二极管	127
5.3.8 肖特基二极管	127
5.4 二极管主要应用以及检测	129
5.4.1 二极管的应用	129
5.4.2 二极管的检测	131
5.5 二极管在 Multisim 的应用实例	133
5.5.1 电路设计	133
5.5.2 在 Multisim 中输入电路图	133
5.5.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	134
第 6 章 晶体三极管	136
6.1 概述	136
6.1.1 晶体管的结构和类型	137
6.1.2 晶体管的电流分配关系和放大作用	138
6.1.3 晶体管的特性曲线	141
6.1.4 晶体管的主要参数	144
6.1.5 温度对晶体管参数的影响	148
6.2 晶体三极管的选用和检测	149
6.2.1 晶体三极管的选用	149

6.2.2	晶体三极管的检测	151
6.3	典型的晶体三极管	152
6.3.1	开关三极管	152
6.3.2	高频三极管	155
6.3.3	光敏三极管	158
6.3.4	大功率三极管	161
6.3.5	贴片三极管	163
6.4	达林顿开关三极管(复合管)	165
6.5	三极管在 Multisim 的应用实例	166
6.5.1	电路设计	166
6.5.2	在 Multisim 中输入电路图	167
6.5.3	在 Multisim 中进行电路功能仿真	169
第 7 章	场效应管	170
7.1	概述	170
7.2	场效应管的结构和符号	171
7.2.1	绝缘栅场效应管	171
7.2.2	结型场效应管	173
7.2.3	VMOS 场效应管	176
7.3	场效应管的参数和使用特点	177
7.3.1	场效应管的参数	177
7.3.2	场效应管的使用特点	178
7.3.3	场效应管放大器应用	179
7.3.4	场效应管的检测	180
7.4	场效应管在 Multisim 的应用实例	184
7.4.1	电路设计	184
7.4.2	在 Multisim 中输入电路图	184
7.4.3	在 Multisim 中进行电路功能仿真	185
第 8 章	晶振	186
8.1	晶振简述	186
8.1.1	晶振的发展	186
8.1.2	晶振的发展趋势	187
8.2	晶振分类	188
8.2.1	无源晶振	188
8.2.2	有源晶振	190
8.3	晶振在 Multisim 的应用实例	192
8.3.1	电路设计	192
8.3.2	在 Multisim 中输入电路图	193

8.3.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	194
参考文献	195
第 9 章 声音输出器件	197
9.1 声音输出器件简述	197
9.2 声音输出器件分类	197
9.2.1 扬声器	197
9.2.2 蜂鸣器	200
9.2.3 耳机	201
9.3 声音输出器件在 Multisim 的应用	203
9.3.1 电路设计	203
9.3.2 在 Multisim 中输入电路图	204
9.3.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	205
参考文献	208
第 10 章 微处理器	209
10.1 微处理器简述	209
10.2 微处理器分类	210
10.2.1 单片机	210
10.2.2 ARM 微处理器	213
10.2.3 DSP	215
10.2.4 集成电路的封装	217
10.3 微处理器在 Multisim 的应用实例之交通灯控制器设计	219
10.3.1 交通灯控制器的需求分析	219
10.3.2 在 Multisim 中输入电路图	219
10.3.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	231
10.4 微处理器在 Multisim 的应用实例之计算器设计	233
10.4.1 计算器的设计与分析	233
10.4.2 在 Multisim 中输入电路图	234
10.4.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	239
参考文献	244
第 11 章 综合应用实例	245
11.1 集成运算放大器在 Multisim 的应用实例	245
11.1.1 电路设计	245
11.1.2 在 Multisim 中输入电路图	245
11.1.3 在 Multisim 中进行电路功能仿真	247
11.2 继电器在 Multisim 的应用实例	248
11.2.1 电路设计	249

11.2.2	继电器在 Multisim 中输入电路图	249
11.2.3	在 Multisim 中进行电路功能仿真	251
11.3	心电信号放大滤波系统在 Multisim 的实现	251
11.3.1	系统设计要求	251
11.3.2	子功能模块的仿真实现	251
11.3.3	系统整合与仿真	255
附录 A	10.4 节代码	258
附录 B	各国晶体三极管型号命名方法	277

Multisim 平台提供了非常丰富的元器件,给电路设计和仿真实验带来了极大的便利。元件库分为两大类:虚拟元件库和真实元件库。虚拟元件库用蓝绿色图标,元件的参数可以随意调整;真实元件库用黑色图标,元件的参数已经确定,是不可以改变的。虚拟元器件分 10 族,真实元器件分 13 族,每一族又分若干系列。单击某元件库的图标,即可打开该元件库,如图 1.1 所示。

电 阻 器

电阻(Resistance,通常用字母 R 表示)是一个物理量,在物理学中表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大,表示导体对电流的阻碍作用越大。不同的导体,电阻一般不同,电阻是导体本身的一种特性。电阻会导致电子流通量的变化,电阻越小,电子流通量越大,反之亦然,而超导体则没有电阻。在物理学中,加在电阻器两端的电压(U)与电流(I)有确定函数关系,体现电能转化为其他形式能量的二端器件,单位为欧姆(Ω),实际器件如灯泡、电热丝等均可表示为电阻器元件。

电阻器元件的电阻值大小一般与温度、材料、长度以及横截面积有关,衡量电阻器受温度影响大小的物理量是温度系数,其定义为温度每升高 1°C 时电阻值发生变化的百分数。电阻器的主要物理特征是变电能为热能,也可说它是一个耗能元件,电流经过电阻器就产生内能。电阻器在电路中通常起分压、分流的作用。对信号来说,交流与直流信号都可以通过电阻器。

电阻器根据阻值的变化可以分为固定电阻器和可变电阻器;根据电阻器的功能可以分成通用型、精密型、高压型、高频型、高阻型、功率型和敏感型电阻器等。

本章主要介绍电阻器的电路符号、参数、型号、命名、识别方法、特点及测量与替换以及具体分类下不同电阻器的结构特点、主要参数、检测和应用。

2.1 概述

2.1.1 电阻器的符号以及参数

1. 电阻器的电路符号

具有一定的阻值、几何形状、性能参数,在电路中起电阻作用的实体元件称为电阻器。在电路中,它的主要作用是稳定和调节电路中的电流和电压,作为分流器、分压器和消耗电能的负载使用。大部分电阻器的引出线为轴向引线,一小部分为径向引线,为了适应现代表面组装技术(SMT)的需要,还有无引出线的片状电阻器(或称无脚零件)。片状电阻器像米粒般大小、形状扁平,一般用自动贴片机摆放。电阻器是非极性元件,其阻值可在元件体通过色环或工程编码来鉴别。

衡量电阻器的两个最基本的参数是阻值和功率。阻值用来表示电阻器对电流阻碍作用的大小,用欧姆表示。除基本单位欧姆(Ω)外,还有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)、吉欧(G Ω)、太欧(T Ω)等,它们的关系如下:

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

电阻器的常用符号如图 2.1 所示,图 2.1(a)为我国国标电阻器符号,图 2.1(b)为国际常用电阻器符号。



图 2.1 电阻器的常用符号

2. 电阻器的型号命名方法

国产电阻器的型号由四部分组成(不适用敏感电阻器)。

第一部分：主称,用字母表示,表示产品的名字。例如,R 表示电阻,W 表示电位器。

第二部分：材料,用字母表示,表示电阻体用什么材料组成。例如,T-碳膜,H-合成碳膜,S-有机实心,N-无机实心,J-金属膜,Y-氧化膜,C-沉积膜,I-玻璃釉膜,X-线绕。

第三部分：分类,一般用数字表示,个别类型用字母表示,表示产品属于什么类型。例如,1-普通,2-普通,3-超高频,4-高阻,5-高温,6-精密,7-精密,8-高压,9-特殊,G-高功率,T-可调。

第四部分：序列号,用数字表示,表示同类产品中的不同品种,以区分产品的外形尺寸和性能指标等。

根据 GB2470-81 规定,具体的国产电阻器的命名方法如表 2.1 所列。

表 2.1 国产电阻器型号命名方法

第一部分：主称		第二部分：电阻器材料		第三部分：产品分类		第四部分：序列号
字母	含义	字母	含义	符号	产品类型	用数字表示
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	
		H	合成碳膜	2	普通	
		I	玻璃釉膜	3	超高频	
		J	金属膜	4	高阻	
		N	无机实心	5	高温	
W	电位器	S	有机实心	6	精密	
		X	绕线	7	精密	
		Y	氧化膜	8	高压	
		C	沉积膜	9	特殊	
				G	高功率	
				T	可调	
				W	微调	
				D	多圈可调	

例如,RT11 为普通碳膜电阻器。

3. 主要特性参数

(1) 标称阻值：电阻器上面所标示的阻值。为了便于工业上大量生产和使用者在一定范围内选用，国家规定了一系列值作为电阻器的阻值标准，即标称阻值系列。

我国电阻器的标称阻值有 E6、E12、E24、E48、E96、E192 系列，其中 E6、E12、E24 比较常用，如表 2.2 所列。标称值不连续分布，若将表中各数乘 10^n ，可得到不同阻值的电阻器，如 1.1×10^3 为 1.1kΩ 电阻器。

表 2.2 电阻器标称阻值参数表

系列	允许误差	标 称 值	精度等级
E6	±20%	1.0,1.5,2.2,3.3,4.7,6.8	Ⅲ
E12	±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	Ⅱ
E24	±5%	1.1,1.2,1.3,1.5,1.6,1.8,2.0,2.2,2.4,2.7,3.0 3.3,3.6,3.9,4.3,4.7,5.1,5.6,6.2,6.8,7.5,8.2,9.1	I

(2) 允许误差：实际阻值与标称阻值的差值跟标称阻值之比的百分数，也称为阻值偏差，它表示电阻器的精度。在电阻器的生产过程中，由于技术原因实际阻值与标称阻值之间难免存在偏差，因而规定了一个允许误差参数，也称为精度。

电阻器的允许误差 = $\frac{\text{电阻器的实际阻值} - \text{电阻器标称阻值}}{\text{电阻器标称阻值}} \times 100\%$

允许误差与精度等级对应关系如下。

精度等级	0.05	0.1(或 00)	0.2(或 0)	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级
允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

(3) 额定功率：在正常的大气压力为 90~106.6kPa 及环境温度为 -55~+70℃ 的条件下，电阻器长期工作所允许耗散的最大功率。额定功率的大小也称瓦(W)数的大小，如 1/2W、1W、2W 等，一般用数字印在电阻器的表面上，如图 2.2 所示。如果无此标识，则可由电阻器的体积大致判断其额定功率的大小，例如，1/8W 电阻器的外形长为 8mm、直径为 2.5mm；1/4W 电阻器的外形长为 12mm、直径为 2.5mm。

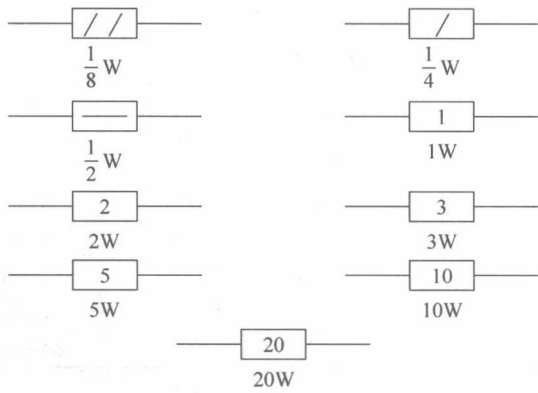


图 2.2 标有额定功率的电阻器^[1]

线绕电阻器额定功率系列为(W): 1/20, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500。

非线绕电阻器额定功率系列为(W): 1/20, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100。

(4) 额定电压: 由阻值和额定功率换算出的电压。

(5) 最高工作电压: 允许的最大连续工作电压。在低气压工作时, 最高工作电压较低。

(6) 温度系数: 温度每变化 1°C 所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小, 电阻的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数, 反之为负温度系数。

(7) 老化系数: 电阻器在额定功率长期负荷下, 阻值相对变化的百分数, 它是表示电阻器寿命长短的参数。

(8) 电压系数: 在规定的电压范围内, 电压每变化 1V, 电阻器阻值的相对变化量。

(9) 噪声: 产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏, 包括热噪声和电流噪声两部分。热噪声是由于导体内部不规则的电子自由运动, 使导体任意两点的电压产生不规则变化。

此外, 电阻器的参数还有最高工作温度、稳定性、绝缘电阻、绝缘耐压、高频特性和机械强度等。

2.1.2 电阻器的分类

电阻器的分类多种多样, 通常分为三大类: 固定电阻器、可变电阻器、特种电阻器。

按用途分类有限流电阻器、降压电阻器、分压电阻器、保护电阻器、启动电阻器、取样电阻器、去耦电阻器、信号衰减电阻器等。

按外形及制作材料分类有碳膜电阻器、硼碳膜电阻器、硅碳膜电阻器、合成膜电阻器、金属膜电阻器、氧化膜电阻器、实心(包括有机和无机)电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器、热敏电阻器、水泥电阻器、拉线电阻器、贴片电阻器等类型。

按其制造材料和结构的不同, 可有不同的分类方式。不同类型的电阻器, 其特点、用途不同。阻值可变电阻器是指阻值可以人工地进行调节或随外界环境的变化而变化, 常见的阻值可变电阻器有可调电阻器、压敏电阻器、热敏电阻器、湿敏电阻器、光敏电阻器、气敏电阻器等。

2.1.3 电阻器阻值标示方法

电阻器的主要参数(标称阻值和允许误差)可标在电阻器上, 以供识别。固定电阻器的常用标示方法有以下五种。

1. 直接标示法

直接标示法是指将电阻器的主要参数和技术性能指标直接印制在电阻器表面上, 其允许误差直接用百分数表示, 若电阻上未注偏差, 则均为 $\pm 20\%$ 。使用时, 可以从电阻器表面直接读出其电阻值及允许误差, 如图 2.3 所示。



图 2.3 直接标示法示意图

2. 文字符号法

文字符号法是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,其允许偏差也用文字符号表示。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。

表示允许误差的文字符号如下。

文字符号	D	F	G	J	K	M
允许偏差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

3. 数码法

数码法是在电阻器上用三位数码表示标称值的标示方法。数码从左到右,第一、二位为有效值,第三位为指数,即零的个数,单位为欧(Ω)。偏差通常采用文字符号表示。

4. 色标法

目前国标上普遍流行色环标示电阻,色环在电阻器上有不同的含义,它具有简单、直观、方便等特点。色环电阻中最常见的是四环电阻和五环电阻。

国外电阻大部分采用色标法,用不同颜色的带或点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差,黑-0、棕-1、红-2、橙-3、黄-4、绿-5、蓝-6、紫-7、灰-8、白-9、金- $\pm 5\%$ 、银- $\pm 10\%$ 、无色- $\pm 20\%$ 。当电阻为四环时,最后一环必为金色或银色,前两位为有效数字,第三位为乘方数,第四位为偏差。当电阻为五环时,最后一环与前面四环距离较大,前三位为有效数字,第四位为乘方数,第五位为偏差。

1) 四环电阻(碳膜电阻)

四环电阻有 2 条重要数据环、1 条倍乘环和 1 条误差环,如图 2.4 所示。

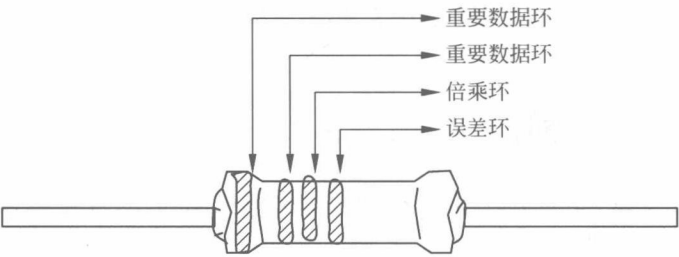


图 2.4 四环电阻标示法示意图

第一道色环印在电阻的金属帽上,表示电阻有效数字的最高位,也表示电阻值色标法读数的方向;第二道色环表示电阻有效数字的次高位;第三道色环表示相乘的倍率;第四道色环表示误差,金色为 $\pm 5\%$,银色为 $\pm 10\%$ 。

值得注意的是,第四道色环的位置国内外的标法有异,国外有些厂家把第四道色环也标在另一端的金属帽上,遇此情况切记:金色或银色的一端不是第一环。第一环是离元件体端部最近的一环。

例如,某电阻的色环依次为黄、紫、红、银,则该电阻的阻值为 $4700\Omega=4.7\text{k}\Omega$,误差为 $\pm 10\%$ 。具体电阻器用色环标示的种类及含义见表 2.3。

表 2.3 电阻器用色环标示的种类及含义

颜 色	color	有 效 数 字	乘 数	精度/%
棕色	brown	1	10^1	± 1
红色	red	2	10^2	± 2
橙色	orange	3	10^3	—
黄色	yellow	4	10^4	—
绿色	green	5	10^5	± 0.5
蓝色	blue	6	10^6	± 0.2
紫色	violet	7	10^7	± 0.1
灰色	gray	8	10^8	—
白色	white	9	10^9	—
黑色	black	0	10^0	—
金色	gold	—	10^{-1}	± 5
银色	silver	—	10^{-2}	± 10

2) 五环电阻(精密电阻)

五环电阻的标示与四环电阻基本相同,只不过它多了一条数据环和多了一些误差,五环电阻的误差在 $\pm 2\%$ 以下。

例如,某电阻的色环依次为黄、紫、黑、棕、棕,则该电阻的阻值为 $4.7\text{k}\Omega$,误差为 $\pm 1\%$ 。

除了四环电阻和五环电阻,还有六环电阻,阻值读法与五环电阻一样,最后一环表示温度系数。

5. 工程编码

大多数的电阻用色环标示,而功率电阻和线绕电阻用工程编码来标示,如图 2.5 所示。



图 2.5 工程编码标示法示意

工程编码可表示 5 种特性: 形式、种类、阻值、误差、功率。

(1) 形式: 由两个英文字母与跟着的两个数据标示。字母 RW 表示功率电阻,两个字母标示了电阻的物理结构。

(2) 种类: 电阻的种类由一个单独的字母表示。

(3) 阻值: 对于误差大于 $\pm 2\%$ 的电阻,用三位数字表示,前两位数字代表重要数据,最后一位数字表示加零的个数。例如,253 表示 $25\,000\Omega$ 或 $25\text{k}\Omega$ 。

字母 R 代表小数点,后面跟着有效数字。例如,R10 表示 0.10Ω 。

对于误差小于 $\pm 2\%$ 的电阻,阻值用四位数字表示,前三位数字代表重要数据,最后一位表示加零的个数。例如,2672 表示 $26\,700\Omega$ 或 $26.7\text{k}\Omega$ 。

字母 R 表示小数点,连接重要的数据。例如,1R37 表示 1.37Ω 。