

国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

# 电子工程训练与创新实践

## (第2版)

叶懋 唐宁 魏德强 主编  
许金 李珊 李姮 副主编

清华大学出版社

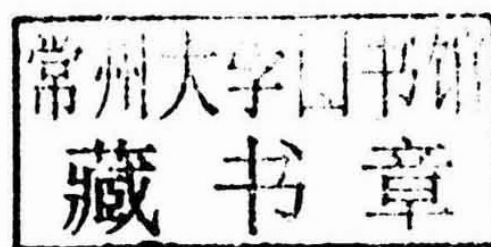


国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

# 电子工程训练与创新实践

## (第2版)

叶懋 唐宁 魏德强 主编  
许金 李珊 李姮 副主编



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以满足本科高校开设综合性、设计性、创新性电子技术课程为目标,以基本生产工艺知识和有关设计要求为基础,以现代电子产品的设计周期为主线贯穿全书,根据电子信息类应用人才的培养要求,突出“实用性”与“实践性”,全书分为9章,涵盖常用元器件的识别与测量、PCB的设计与制作、开源硬件Arduino的入门、THT和SMT工艺、电路装配与调试等内容。除此之外,还涵盖了如何从电子元件厂商的官方网站查询所需的器件、如何根据器件的数据手册获得设计所需的相应信息、如何根据器件数据手册中的封装信息设计元件的PCB封装等工程应用性较强的内容。

本书既可作为高等院校工科专业学生电子工程训练、电工电子实训的教材,也可供电子爱好者,电子产品开发、设计及大专院校相关专业的师生阅读参考。

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

电子工程训练与创新实践/叶懋,唐宁,魏德强主编.—2版.—北京:清华大学出版社,2019  
(国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材)  
ISBN 978-7-302-53374-0

I. ①电… II. ①叶… ②唐… ③魏… III. ①电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第169858号

责任编辑:冯 昕

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:宋 林

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:10.5

插 页:2

字 数:257千字

版 次:2016年9月第1版 2019年6月第2版

印 次:2019年6月第1次印刷

定 价:30.00元

产品编号:083599-01

国家级工程训练示范中心“十三五”规划教材

## 编审委员会

顾问

傅水根

主任

梁延德 孙康宁

委员(以姓氏首字母为序)

陈君若 贾建援 李双寿 刘胜青 刘舜尧

邢忠文 严绍华 杨玉虎 张远明 朱华炳

秘书

庄红权

# 前言



## FOREWORD

经过多年的探索,桂林电子科技大学教学实践部在思考创新创业教育的过程中逐渐得出了:“创新之根在实践,创业之根在创新”的教学理念,因此将实践的要求提高到一个较高的层次。对于工科高等院校来说,工程训练类课程是一个极佳的实践环节,是培养具有创新意识和工程素质人才的一个重要的教学环节。学生在工程训练类课程中,结合所学理论知识,通过大量的实践性操作和训练,培养了分析和解决现实工程问题的能力,是理论课程的有益补充。同时,对于实践中碰到的一些问题或疑惑,学生可以从书本上寻找答案,从而能够加深对理论知识的理解。这样,理论知识和实践训练实现了互动,符合知识积累的法则,就能够培养出真正具备大工程素质和创新精神的高素质人才。因此,继续深化工程训练内容体系的教学改革,探索如何使工程训练中心在“大众创业、万众创新”大环境下更加切实地开展创新教育,更加有效地培养学生创新思维,无疑将是新形势下高校工程训练中心面临的紧迫任务。

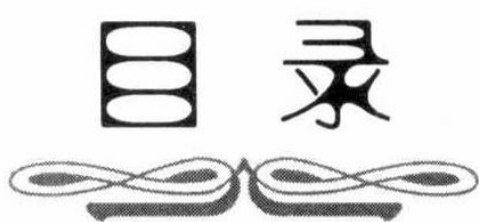
本书在上一版的基础上,根据教学改革的最新成果与实验设备的更新进行了相应的改编,具体为:新增了基于开源硬件跨专业设计系统的内容;利用激光成形系统制板替换了原有的基于化学腐蚀的制板工艺的内容,以满足课程需求与日益剧增环保需求;根据上一版使用情况的反馈进行了相应的修改。

与上一版一样,本书以电子基本工艺知识为基础,以现代电子产品的设计周期为主线贯穿全书,对电子产品工艺设计制造过程做了全面介绍,是电子工艺技术领域比较系统而全面的参考书。除常见内容外还涵盖了如何从电子元件厂商的官方网站查询所需的器件、如何根据器件的数据手册获得相应信息、如何根据器件数据手册中的封装信息设计元件的 PCB 封装等工程应用性较强的内容。

本书由桂林电子科技大学教学实践部电子工程训练中心组织编写,由叶懋、唐宁、魏德强担任主编,许金、李珊、李姮担任副主编。参加编写工作的有陈震华、盘资春、覃阳、李辉、廖秋丽。全书由唐宁副教授统稿;清华大学出版社苗庆波老师对本书提出许多宝贵意见,正是大家的共同努力才促成了本书的出版。

尽管作者在电子工程训练的教材建设方面作了许多努力,但由于水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者  
2019年5月



# CONTENTS

<b>第 1 章 常见电子元器件基本知识</b> .....	1
1.1 电阻 .....	1
1.1.1 电阻的主要性能参数.....	1
1.1.2 电阻的标注与识别.....	2
1.1.3 电阻的选用与测试.....	4
1.1.4 常见定值电阻的 PCB 封装 .....	5
1.1.5 可变电阻.....	7
1.2 电容.....	10
1.2.1 电容的作用 .....	10
1.2.2 无极性电容 .....	11
1.2.3 有极性电容 .....	12
1.3 电感器.....	15
1.3.1 电感器的定义 .....	15
1.3.2 电感的作用 .....	15
1.3.3 常用电感 .....	16
1.4 半导体器件.....	17
1.4.1 仙童与半导体 .....	17
1.4.2 二极管 .....	18
1.4.3 三极管 .....	22
<b>第 2 章 设计 PCB</b> .....	25
2.1 建立工程以及原理图文件.....	25
2.1.1 建立工程 .....	25
2.1.2 原理图绘制环境设定 .....	27
2.1.3 加载元件库与查找元件 .....	28
2.2 自建库和原理图元件.....	30
2.2.1 自建库 .....	30
2.2.2 自建原理图元件 .....	31

2.2.3	为新建原理图元件添加 PCB 封装 .....	34
2.3	自建 PCB 封装库和元件封装 .....	37
2.3.1	建立 PCB Library .....	37
2.3.2	利用向导设计元件的 PCB 封装 .....	38
2.4	绘制原理图 .....	40
2.4.1	查找、放置器件的方法一 .....	41
2.4.2	查找、放置器件的方法二 .....	42
2.4.3	如何调整器件位置 .....	44
2.4.4	连接电路一——导线连接方式 .....	44
2.4.5	连接电路二——Net Label 方式 .....	45
2.5	绘制 PCB .....	46
2.5.1	创建 PCB 文件 .....	47
2.5.2	PCB 设计过程中层的概念简介 .....	47
2.5.3	PCB 规划 .....	47
2.5.4	导入元器件封装及其连接 .....	49
2.5.5	设定 PCB 编辑环境 .....	49
2.5.6	器件的布局 .....	53
2.5.7	布线 .....	56
2.5.8	分层次原理图设计 .....	59
<b>第 3 章</b>	<b>印制电路板的制作工艺 .....</b>	<b>63</b>
3.1	概述 .....	63
3.1.1	PCB 的分类 .....	63
3.1.2	PCB 的制作方法 .....	64
3.2	激光成型制板工艺 .....	64
3.2.1	导出 Gerber 文件 .....	64
3.2.2	导出 NC Drill 钻孔文件 .....	66
3.2.3	生成钻孔文件和锚定孔文件 .....	66
3.2.4	金属化过孔 .....	69
3.2.5	线路激光雕刻操作步骤 .....	70
3.2.6	阻焊层制作步骤 .....	72
3.2.7	字符层制作步骤 .....	73
3.3	多层板制作工艺 .....	73
3.3.1	概述 .....	74
3.3.2	流程 .....	74
<b>第 4 章</b>	<b>电路装配工艺 .....</b>	<b>78</b>
4.1	装配工艺简介 .....	78
4.2	手工焊接工具与焊接材料 .....	79

4.2.1	焊接工具 .....	79
4.2.2	其他焊接辅助工具 .....	80
4.2.3	焊接材料 .....	81
4.3	手工焊接技术 .....	82
4.3.1	握持方法 .....	83
4.3.2	焊接前的焊件准备 .....	83
4.3.3	焊接 5 步法 .....	84
4.3.4	焊接 3 步法 .....	85
4.3.5	焊接注意事项 .....	85
4.3.6	拆焊方法 .....	86
4.3.7	焊接技术要求与质量检查 .....	86
4.4	SMT 工艺 .....	88
4.4.1	SMT 简介 .....	89
4.4.2	SMT 元器件简介 .....	90
4.4.3	SMT 过程与相应设备介绍 .....	92
4.4.4	SMT 焊点质量检测 .....	93
<b>第 5 章</b>	<b>开源硬件 Gduino UNO 入门 .....</b>	<b>95</b>
5.1	Gduino UNO 介绍 .....	95
5.2	Gduino UNO 与 Arduino UNO 的区别 .....	96
5.3	开源硬件 Gduino UNO 使用前的准备 .....	97
5.3.1	开发环境安装 .....	97
5.3.2	更改菜单语言 .....	98
5.3.3	选择板卡和通信端口 .....	99
<b>第 6 章</b>	<b>学习 Arduino 之开发实战 .....</b>	<b>101</b>
6.1	实战 1: LED 闪烁 .....	101
6.2	实战 2: 按键控制 LED 亮灭 .....	103
6.3	实战 3: LCD1602 显示 .....	105
6.4	实战 4: 数字温度计 .....	106
6.5	实战 5: 扩展板使用初探 .....	111
6.6	创新进阶实战: 可见光浊度检测实验 .....	113
<b>第 7 章</b>	<b>收音机原理及组装 .....</b>	<b>118</b>
7.1	超外差式收音机原理 .....	118
7.2	HX203T FM/AM 收音机 .....	119
7.2.1	HX203T 原理分析 .....	120
7.2.2	HX203T 整机装配 .....	122
7.2.3	装配技术要求 .....	125



7.2.4	HX203FM/AM 收音机调试 .....	125
7.3	2031 收音机原理与装配 .....	128
7.3.1	2031 收音机原理 .....	128
7.3.2	2031 收音机装配 .....	130
7.3.3	调试 .....	132
7.3.4	总装 .....	133
<b>第 8 章</b>	<b>液晶电视机的制作与调试</b> .....	<b>134</b>
8.1	液晶电视机基本原理 .....	134
8.2	液晶电视机实训系统简介 .....	136
8.3	基于液晶电视机实训系统的电子工程训练 .....	137
8.4	液晶电视参数的调试 .....	138
8.4.1	电源的测试 .....	138
8.4.2	电视机中频放大电路的测试 .....	140
8.4.3	伴音低放特性的测试 .....	141
8.4.4	视频解码电路及液晶驱动测试 .....	142
<b>第 9 章</b>	<b>常见仪器使用方法</b> .....	<b>144</b>
9.1	DF2175A 交流毫伏表 .....	144
9.1.1	DF2175A 交流毫伏表性能指标 .....	144
9.1.2	仪器面板布局及操作说明 .....	144
9.2	SA1080C 数字频率特性测试仪 .....	145
9.2.1	DDS(直接数字合成)工作原理 .....	145
9.2.2	仪器面板布局及显示屏说明 .....	145
9.2.3	功能菜单与操作介绍 .....	147
9.3	SA3602 失真度测量仪 .....	153
9.3.1	SA3602 失真度测量仪面板布局及操作说明 .....	153
9.3.2	使用方法 .....	153
9.3.3	测试操作 .....	154
<b>附录 A</b>	<b>元器件更换表</b> .....	<b>155</b>
<b>附录 B</b>	.....	插页



# 常见电子元器件基本知识

## 1.1 电 阻

电阻(resistance,通常用 $R$ 表示)在物理学中表示一个物体对流过自身电流的阻碍能力的大小,方程定义为

$$R = U/I$$

其中 $U$ 是加在导体两端的电压, $I$ 是通过导体的电流。

国际单位制中,电阻的单位为欧姆( $\Omega$ ),其定义为:在一个无电动势导体的两端加上1 V电压,若导体可产生1 A电流,则这个导体两端的电阻值大小为1  $\Omega$ 。生活中很多物体都存在一定的电阻,例如在一般环境下,人体的电阻为2 k $\Omega$ ~20 M $\Omega$ 。

电阻器(resistor)是电子电路中常见的一种耗能元件,其主要物理特征是将电能转化成热能。电阻器在电路中的主要功能是阻碍电流流过,常用来限流、降压、分流、分压或与电容组合为滤波器以及阻抗匹配等。实际的电阻器可以由薄膜、水泥、高电阻系数的镍铬合金等不同的材质组成。电阻器按其阻值特性可以分为定值电阻、可变电阻和特殊电阻等。(在本书后文中一般将电阻器简称为电阻,而某一器件的电阻大小用阻值来表示,而不直接使用电阻)。

定值电阻是电路中最常见的元件,其特点是电阻值在一般情况下不会发生改变,保持额定阻值。这类电阻主要有碳膜电阻、金属膜电阻、绕线电阻以及水泥电阻等。电阻的主要参数有阻值、额定功率、误差、最高工作电压和温度系数等。一般情况下,选择电阻的时候主要考虑电阻的阻值与额定功率两个参数。

### 1.1.1 电阻的主要性能参数

#### 1. 阻值

电子元件的生产厂商为了便于元件规格的管理、选用并符合大规模生产的要求,同时也为了控制电阻的规格种类不致太多,协商采用了统一的标准组成电阻的数值。标准的原则是宽容一定的误差,并以指数间距为标准规格。这种标准已在国际上被广泛采用,这些系列的阻值就叫作电阻的标称阻值。

电阻的标称阻值分为E6、E12、E24、E48、E96、E192等系列,分别适用于允许偏差为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 0.5\%$ 的电阻器,其中E24系列最为常用。其标称

值如表 1.1 所示, E24 系列电阻的阻值为标称值的  $10^n$  倍( $n=0,1,2,3,\dots$ )。

表 1.1 E24 系列电阻标称值

电阻标称值							
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	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

从表 1.1 中可以看出, 该系列是以 1.1 为公比的等比数列近似而得, 而 1.1 这个公比是  $\sqrt[24]{10}$  的近似值。另外 E6、E12、E48 等这些系列分别是以  $\sqrt[6]{10}$ 、 $\sqrt[12]{10}$ 、 $\sqrt[48]{10}$  的近似值为公比的等比数列。

## 2. 额定功率

电阻的额定功率是指电阻在一定的环境温度和湿度条件下长期连续工作所允许承受的最大功率。当功率一旦超过额定功率, 电阻阻值将发生改变, 严重时甚至烧毁。常用电阻的额定功率有  $\frac{1}{8}$  W、 $\frac{1}{4}$  W、 $\frac{1}{2}$  W、1 W、2 W、4 W 等, 其中又以  $\frac{1}{4}$  W 最为常见。

### 1.1.2 电阻的标注与识别

电阻的标注有两种较为常见的方式: 数字标注法和色环标注法。

#### 1. 数字标注法

数字标注法常用于贴片电阻上, 根据电阻的系列、阻值大小以及阻值精度误差的不同, 常见的数字标注方法分为: 常规 3 位数标注法、常规 4 位数标注法、3 位数乘数代码标注法、R 表示小数点位置与 m 表示小数点位置。

(1) 常规 3 位数标注法: 在电阻上标注 3 位数“ $X_1 X_2 Y$ ”, 前两位“ $X_1 X_2$ ”为有效数, 第三位“ $Y$ ”代表 10 的  $Y$  次幂, 则该电阻的阻值为  $X_1 X_2 \times 10^Y (\Omega)$ , 这种标注法常用于  $\pm 5\%$  精度的电阻标注。例如: 电阻标示为“181”, 则该电阻阻值为  $180 \Omega$ 。

(2) 常规 4 位数标注法: 在电阻上标注 4 位数“ $X_1 X_2 X_3 Y$ ”, 前三位“ $X_1 X_2 X_3$ ”表示有效数, 第四位表示 10 的  $Y$  次幂, 电阻值为  $X_1 X_2 X_3 \times 10^Y (\Omega)$ , 这种标注法常用于  $\pm 1\%$  精度的电阻标注。

(3) 3 位数乘数代码标注法: 在电阻上标注 3 位数“ $X_1 X_2 Y$ ”, 前两位“ $X_1 X_2$ ”指有效数的代码, 具体的有效值需通过该代码查询代码表得到, 转换的相应阻值为“XXX”; 后一位“ $Y$ ”指 10 的几次幂的转换代码, 具体值可从乘数代码表中查找。这种标注法通常用于 E-96 系列电阻。E-96 乘数代码如表 1.2 所示, E-96 阻值代码如表 1.3 所示。

表 1.2 乘数代码表

代码	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
乘数	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$

表 1.3 E-96 阻值代码表

代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值
01	100	25	178	49	316	73	562
02	102	26	182	50	324	74	576
03	105	27	187	51	332	75	590
04	107	28	191	52	340	76	604
05	110	29	196	53	348	77	619
06	113	30	200	54	357	78	634
07	115	31	205	55	365	79	649
08	118	32	210	56	374	80	665
09	121	33	215	57	383	81	681
10	124	34	221	58	392	82	698
11	127	35	226	59	402	83	715
12	130	36	232	60	412	84	732
13	133	37	237	61	422	85	750
14	137	38	243	62	432	86	768
15	140	39	249	63	442	87	787
16	143	40	255	64	453	88	806
17	147	41	261	65	464	89	825
18	150	42	267	66	475	90	845
19	154	43	274	67	487	91	866
20	158	44	280	68	499	92	887
21	162	45	287	69	511	93	909
22	165	46	294	70	523	94	931
23	169	47	301	71	536	95	953
24	174	48	309	72	549	96	976

例如：一个贴片电阻表面标注为“51X”，通过查表可知代码“51”对应的有效数为 332，“X”对应的乘数为  $10^{-1}$ ，由此可知该电阻阻值  $R = 332 \times 10^{-1} \Omega = 33.2 \Omega$ 。

(4) R 表示小数点位置与 m 表示小数点位置：通常分别用来表示单位为欧姆( $\Omega$ )和毫欧姆( $m\Omega$ )的电阻。

例如：标注为 4R7 电阻阻值为  $4.7 \Omega$ ；标注为 5m1 电阻阻值为  $5.1 m\Omega$ 。

## 2. 色环标注法

色环标注法一般用于直插电阻上，现在常见的色环标注法为五道色环和四道色环电阻标注法，掌握根据色环读出电阻阻值的方法可以使电路装配、调试以及维修达到事半功倍的效果，是从事电子相关产业研发和维修人员必备的技能。

色环标注法中，色环的位置和颜色决定了电阻阻值，五道色环标注的前 3 道色环表示电阻阻值的有效值，第 4 道色环表示  $10$  的幂数(可称为倍乘/倍率)，第 5 道色环为误差，如图 1.1 所示。

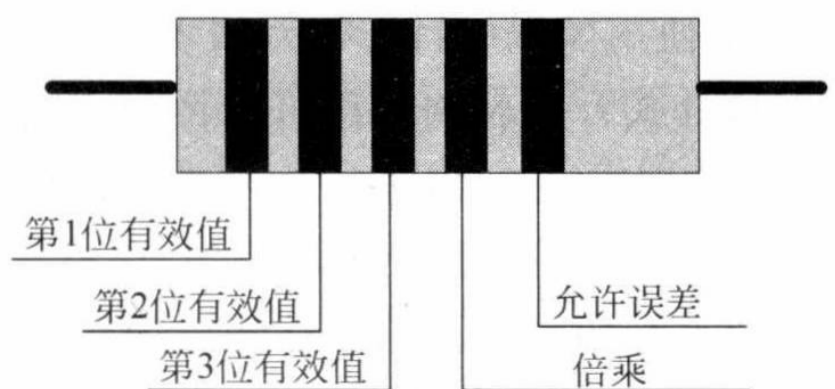


图 1.1 五道色环电阻示意图

在色环标示法中,色环颜色的意义如表 1.4 所示。

表 1.4 电阻色环颜色的意义

颜色	有效值	倍乘	误差
黑	0	$10^0$	
棕	1	$10^1$	$\pm 1\%$
红	2	$10^2$	$\pm 2\%$
橙	3	$10^3$	
黄	4	$10^4$	
绿	5	$10^5$	$\pm 0.5\%$
蓝	6	$10^6$	$\pm 0.25\%$
紫	7	$10^7$	0.1%
灰	8	$10^8$	
白	9	$10^9$	
金		$10^{-1}$	$\pm 5\%$
银		$10^{-2}$	$\pm 10\%$

例如:五道色环电阻的色环排列为白、棕、黑、棕、棕,表示该电阻为  $9.1\text{ k}\Omega$ ,有  $\pm 1\%$  的误差。

四道色环电阻的色环意义同表 1.4,与五道色环电阻不同的是四道色环电阻只有前两环为有效值,第 3 环表示 10 的幂数,第 4 环表示误差。

**注意:**现在市场上有些厂商生产的电阻色环颜色不易分辨,在有测试条件的时候均应测试阻值后才可使用。

### 1.1.3 电阻的选用与测试

#### 1. 电阻的选用

电阻选型时应根据电路特点选择合适功率与材质的电阻。一般情况下,选择电阻时应保证额定功率大于它在电路中消耗功率的 1 倍以上,当电阻的功率大于  $10\text{ W}$  时要考虑电阻的散热问题。若电路系统是高频电路,一般不宜选用绕线电阻,因为绕线电阻的分布参数(即电阻的分布电感和分布电容)较大,此时应选用碳膜电阻、金属膜电阻等分布参数较小的电阻。

#### 2. 电阻的测试

##### 1) 使用模拟(指针式)万用表

指针式万用表欧姆挡可以测量导体的电阻。欧姆挡用“ $\Omega$ ”表示,分为  $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1\text{ k}$  以及  $R \times 10\text{ k}$  挡。使用指针式万用表欧姆挡测电阻,应遵循以下步骤。

(1) 将选择开关置于电阻挡,将两表笔短接,调整电阻零位调整旋钮,使表针指向电阻刻度线右端的零位。若指针无法调到零点,说明表内电池电压不足,应更换电池。

(2) 用红黑表笔分别接触被测电阻两引脚进行测量。正确读出指针所指电阻的数值,再乘以倍率(如选择  $R \times 100$  挡应将读数乘以 100),所得结果就是被测电阻的阻值。

(3) 为使测量较为准确,测量时应使指针指在刻度线中心位置附近。若指针偏角较小,应调高挡位;若指针偏角较大,应调低挡位。每次换挡后,应再次将两表笔短接,调整电阻零位调整旋钮后再进行测量。

(4) 测量结束后,应拔出表笔,将选择开关置于 OFF 挡或交流电压最大挡位。收好万用表。

## 2) 使用数字万用表

使用数字万用表测量电阻较为方便,只需在测量前预判待测电阻阻值的大概范围再选择相应量程去测量即可。如不知大概范围,则应将挡位打到最大量程后依次减小量程测量。注意读数时的单位:在“200”挡时单位是“ $\Omega$ ”,在“2 k”到“200 k”挡时单位为“ $k\Omega$ ”,“2M”挡及以上的单位是“ $M\Omega$ ”

**注意:** ①被测电阻应从电路中拆下后再测量;②两只表笔不要长时间碰在一起;③两只手不能同时接触两根表笔的金属杆或被测电阻两根引脚。

## 1.1.4 常见定值电阻的 PCB 封装

为了实现具有一定功能的电路系统,需要将各个元器件之间引脚有机地连接起来,也就是要将电路图中器件引脚之间的连线转化成实际的物理连线,这些实际的物理连线就是印制电路板(printed circuit board, PCB)上的印制导线,而器件 PCB 封装(后文简称封装)的焊盘,又是真实器件的引脚与 PCB 上印制导线连接的桥梁。在设计 PCB 的过程中,器件封装的正确与否直接关系到最终电路系统是否能正确装配与正常工作。

### 1. 色环电阻的额定功率与封装

直插色环电阻的体积往往与其额定功率成正比。图 1.2 所示为直插色环电阻的外形,其中体积较大电阻的额定功率为 0.5 W,体积较小电阻的额定功率为 0.25 W。

在设计 PCB 时,需要根据设计需求来确定电阻的额定功率,进而确定电阻的封装。电路设计软件有很多,本书中使用 Altium Designer (DXP)讲解 PCB 电路设计相关内容。图 1.3 所示为色环电阻在 DXP 软件中的电路符号。在设计 PCB 的时候,对于色环电阻,目前业界一般采用卧式装配。如图 1.4 所示为一个色环电阻的封装,它有两个分别标有 1、2 序号的圆形通孔焊盘,该封装在 DXP 软件中的名称是 AXIAL-X.Y,其中 X.Y 可能为 0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1.0。此封装名称中包含了两层意思:其一,AXIAL 是轴向,即卧式装配;其二,X.Y 的数值则表示两个焊盘圆心间的距离。例如,AXIAL-0.3 中的 0.3 指的是两个焊盘圆心间的距离为 0.3 in(1 in=25.4 mm)。因此,从色环电阻额定功率的大小可以得出其与封装的对应关系。一般额定功率为 0.5 W 的电阻除引脚外的长度约为 0.35 in,额定功率为 0.25 W 的电阻的长度约为 0.25 in,考虑到弯折引脚的长度,分别选用 AXIAL-0.5 和 AXIAL-0.4 封装,其他功率的电阻封装选择可参考表 1.5。

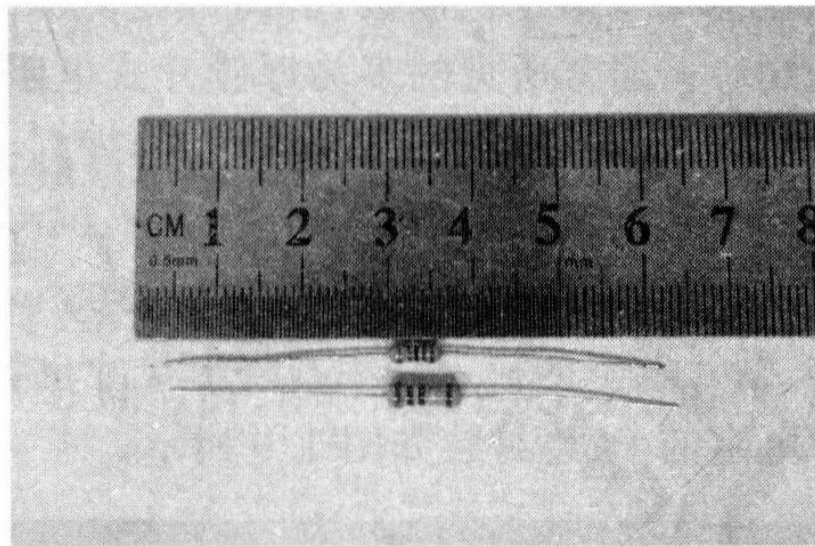


图 1.2 直插色环电阻

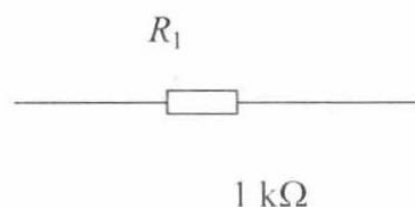


图 1.3 DXP 软件中电阻的电路符号



图 1.4 DXP 软件中直插色环电阻的封装

表 1.5 色环电阻额定功率与封装参考表

额定功率/W	1/8	1/4	1/2	1	2	3	5
封装名称	AXIAL-0.3	AXIAL-0.4	AXIAL-0.5	AXIAL-0.6	AXIAL-0.8	AXIAL-1.0	AXIAL-1.2

## 2. 贴片电阻的封装与尺寸

随着电子技术的发展,原来常用的色环直插电阻已经满足不了电子产品对功耗、体积的需求,因此外形小、精度高、耐潮湿、耐高温的贴片电阻(SMD resistor)应用越来越广泛。贴片电阻外形如图 1.5 所示。贴片电阻又叫作片式固定电阻器(chip fixed resistor)或矩形片状电阻(rectangular chip resistors),是由 ROHM 公司发明并最早推向市场的。贴片电阻(chip resistors)按生产工艺可分为厚膜贴片(thick film)电阻和薄膜贴片(thin film)电阻两种。厚膜贴片电阻是将电阻性材料通过丝网印刷使其淀积在绝缘基体(例如玻璃或氧化铝陶瓷)上,然后烧结而成。薄膜贴片电阻是在真空中采用蒸发和溅射等工艺将电阻性材料淀积在绝缘基体工艺制成,其特点是具有低温度系数( $\pm 5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )和高精度( $\pm 0.01\% \sim \pm 1\%$ )。通常所见到的多为厚膜片式电阻,温度系数为  $\pm 50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim \pm 400 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,精度范围为  $\pm 0.5\% \sim \pm 10\%$ 。

贴片电阻的封装有 0201、0402、0603、0805 等。这些封装名称来源于器件的长和宽,比如 0805 封装的贴片电阻的长为 0.08 in(2 mm),宽为 0.05 in(1.25 mm)。与色环电阻一样,贴片电阻的额定功率与外形尺寸也有对应关系,具体如表 1.6 所示。在 DXP 软件中贴片电阻的 PCB 封装如图 1.6 所示。

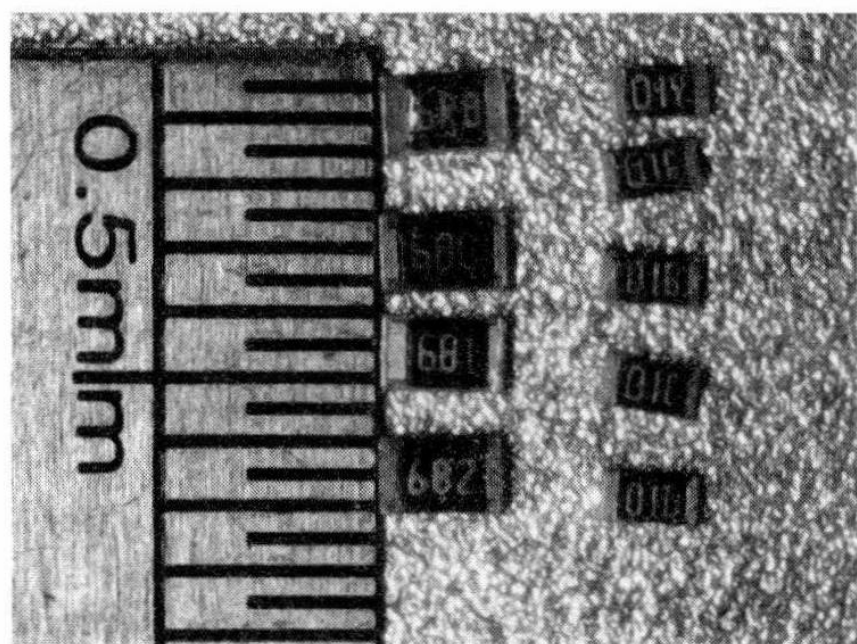


图 1.5 贴片电阻外形

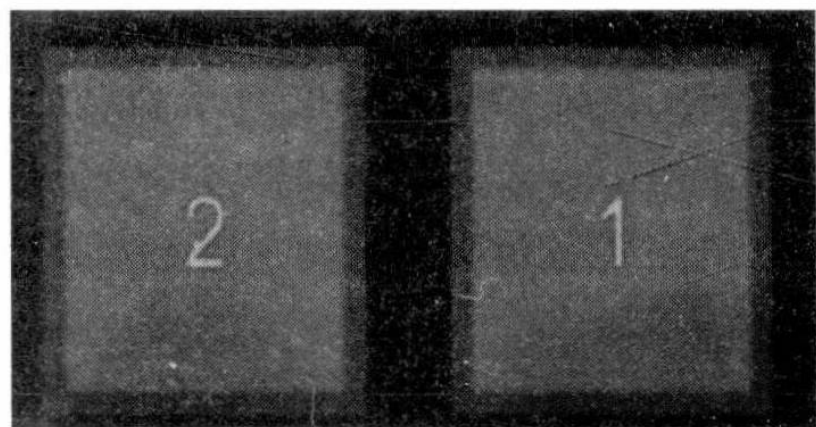


图 1.6 DXP 软件中贴片电阻的 PCB 封装

表 1.6 贴片电阻额定功率与封装

封装	额定功率/W	最高电压/V
0201	1/20	15
0402	1/16	50
0603	1/10	50
0805	1/8	150
1206	1/4	200
2010	1/2	200
2512	1	200

### 1.1.5 可变电阻

与定值电阻不同,可变电阻是在工作过程中,其阻值可以变化的一类电阻的总称。根据引起改变的原因大致可分为两大类:其一是由人为调节改变阻值,这类一般称为电位器(potentiometer, Pot),也叫作可变电阻器(variable resistor, VR);其二是阻值受环境影响而改变,这类中根据引起阻值改变的因素又可分为很多种,常见的有热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻等。

#### 1. 电位器

电位器是一种可以方便地改变自身阻值的电子器件,因为具有方便改变阻值的特点,使得其在电子电路的早期阶段得到了广泛使用。电位器可方便地调节放大器的偏移电压或增益、调谐滤波器、控制音量以及屏幕亮度等。目前电位器可以简单分为两个类型:传统的机械式电位器和数字电位器。

机械式电位器的外形千变万化,但是其结构和工作原理基本一致。如图 1.7 所示,机械式电位器一般由一个阻值很大的电阻体作为主体,电阻体通常由碳膜或多圈电阻丝构成,在外部有两个固定端(A、B)分别与电阻体的两端相连接,第 3 个端子(C)通常与内部的滑动臂相连接。通过改变滑动触点在电阻体上的位置,调节 C 端与 A、B 端之间的电阻阻值,从而达到改变电阻的目的。

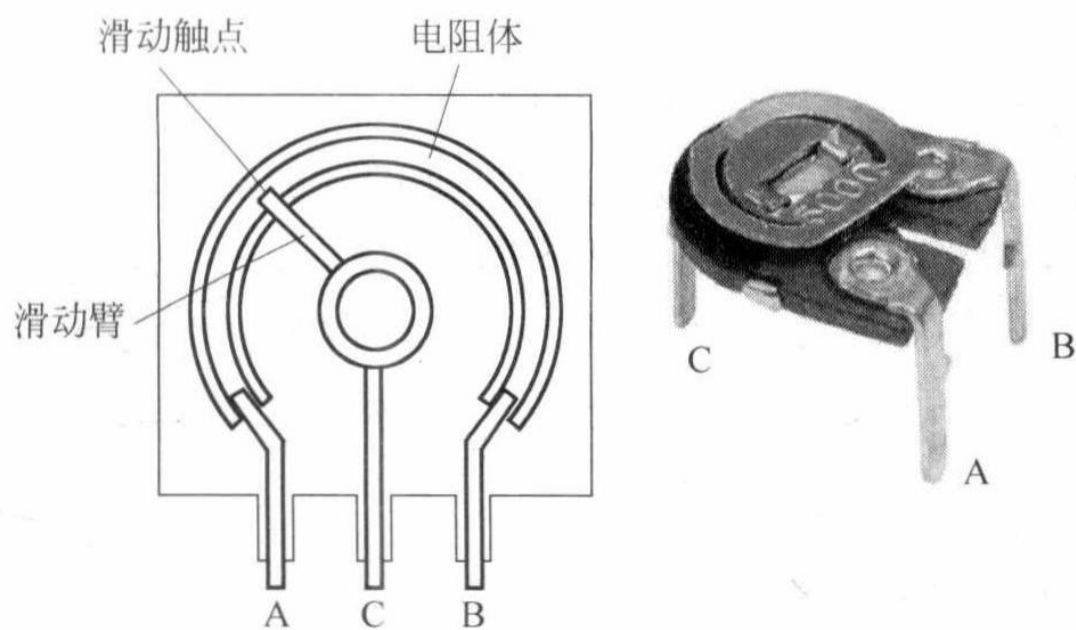


图 1.7 电位器结构示意图与简单电位器外形

常见的电位器的标识有两种：一种是直接标出该电阻的最大阻值；另外一种是采用“常规3位数标注法”，详见1.1.2节。

机械式电位器的测量与判断：在实际的电路调试过程中经常需要判断一个电位器是否工作正常。判断方法：首先根据电位器的标称阻值选择相应的量程，测试A、B端的电阻是否与标称值相符，如果不相符则说明电位器已经损坏，如果相符则将表笔分别与A、C两端或者分别与B、C两端相连接，同时改变滑动臂，看A、C端或B、C端阻值是否随着滑动臂的改变而线性变化，如果线性变化则说明该电位器能够正常工作，否则就应该更换电位器。

机械式电位器因在使用过程中需经常调整滑动臂，而造成机械磨损，使得机械式电位器的寿命比较短。机械式电位器本身还存在另外一些固有的局限，比如尺寸大小、精度不高、电阻漂移、对振动和湿度敏感以及布局缺乏灵活性等，越来越不能满足现代电路系统的需求。随着半导体工艺的发展，具有使用灵活、调节精度高、无触点、低噪声、不易污损、抗振动、抗干扰、体积小、寿命长等显著优点的数字电位器(digital potentiometer)的应用越来越广泛，成为了传统机械式电位器的最佳替代产品。

数字电位器的内部简化电路如图1.8所示。其内部核心的部分可以看成由 $n$ 个阻值相同的电阻( $R_s$ )以串联的方式组成电阻阵列，电阻阵列的两端同样也由两个端子(A、B)与外部电路相连接，电阻阵列中每两个电阻串联的连接处均通过一个“开关”连接到数字电位器的外部端子(W)，该端子就类似于机械式电位器的滑动臂端。

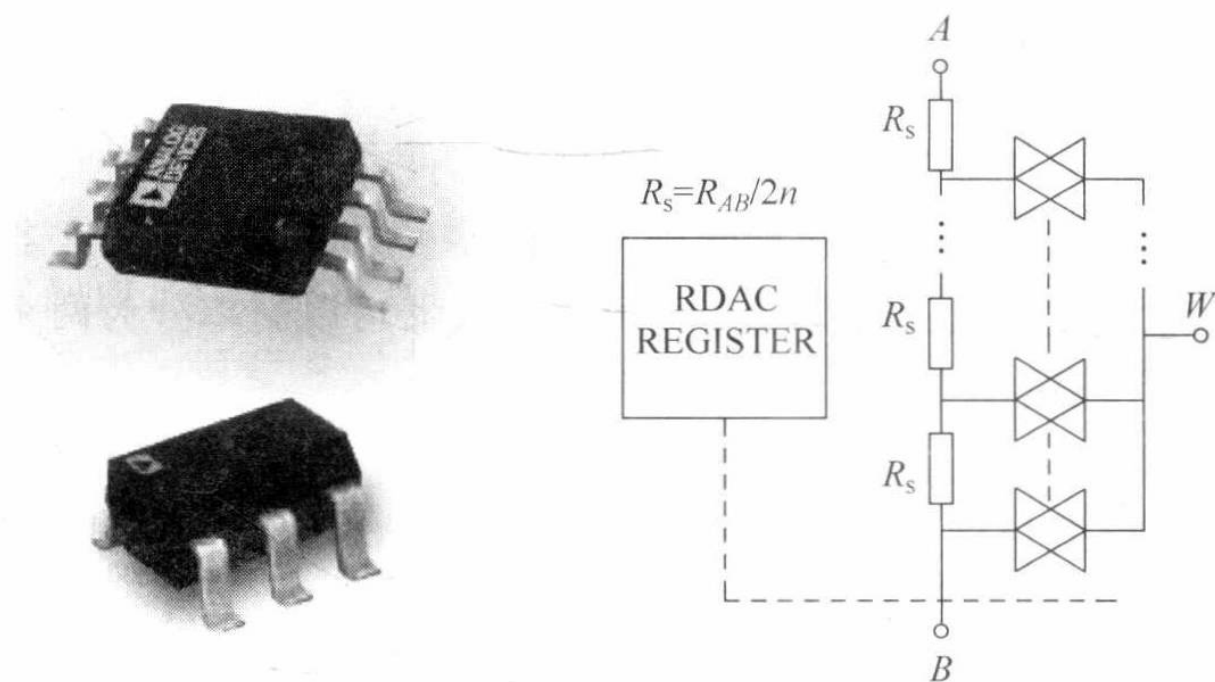


图 1.8 数字电位器的外形与内部结构

数字电位器正常工作时，外部电路将一个数字命令通过接口电路传送到数字电位器内部，经由译码器译码后得到一个 $n$ 位二进制代码，每位代码都唯一控制着1个“开关”断开或闭合，在任何时刻只有一个开关处于闭合状态，其他开关均处于断开状态，这样就达到改变阻值的目的。根据外部电路传递命令的方式不同，常见的数字电位器与外部电路的接口有： $I^2C$ 、SPI以及内部带有计数器的按键接口等。在掉电后能自动保持当前滑动端位置，并在下次通电后能恢复此位置的称作“非易失性数字电位器”；而掉电后不保存当前位置的称为“易失性数字电位器”。

## 2. 其他类型可变电阻器

其他类型可变电阻器，通常意义上已经属于传感器的范畴了，这一类传感器统称为电阻式传感器。