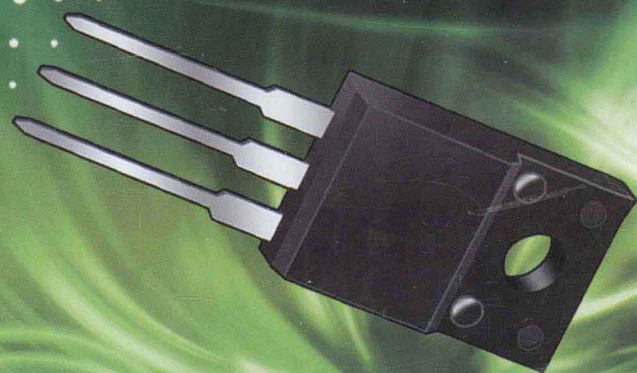


电子元器件 基础及电子 实验实训

王雅芳◎编著



DIANZI YUANQIJIAN
JICHU JI DIANZI SHIYAN SHIXUN



本书附赠学习课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电子元器件基础及电子实验实训

王雅芳 编著



机械工业出版社

电子元器件的识别与检测以及电子电路的故障查找技术是电子电器应用与维修的一项基本功。如何准确有效地检测元器件,判断元器件是否正常,以及电路故障的查找不是一件千篇一律的事,必须根据不同的元器件和不同的电路采用不同的方法。本书主要内容包括:电子元件基础知识及其检测,电子器件基础知识及其检测,选用及检测电声、集成器件,常用测量仪器,电子电路故障查找方法与技巧,电子电路检测,整机故障查找方法及技巧等。

本书可作为高职高专电子与信息技术应用、电子技术、电气技术及相关专业的通用教材,也可作为电子类相关工程技术人员的培训教材及高职电子类实训教师的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件基础及电子实验实训/王雅芳编著. —北京:
机械工业出版社, 2013. 7
ISBN 978-7-111-42645-5

I. ①电… II. ①王… III. ①电子元件 - 基本知识
②电子器件 - 基本知识③电子技术 - 实验 IV. ①TN60
②TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 110663 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 翟天睿

版式设计: 常天培 责任校对: 张 薇

封面设计: 马精明 责任印制: 乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.75 印张 · 463 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42645-5

定价: 45.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

任何一种电子装置都是由电子元器件合理、和谐、巧妙地组合而成的，电子元器件是组成电子产品的最小单元。检修电子产品归根结底就是找出损坏的电子元器件，设计电子产品则是根据需要选择各种电子元器件，然后像搭积木一样将这些电子元器件连接起来，组合成具有实用功能价值的电子产品。在电子产品的生产以及维修环节，都需要对电子元器件及电子电路进行检测，因此准确把握电子元器件及电子电路的检测方法和技巧，是电子行业从业人员必须要掌握的技能。

本书从电子行业从业人员和电子爱好者的实际需要出发，详细介绍了电子元器件的检测方法和技巧，在内容上力求简洁实用、通俗易懂、图文并茂、点面结合，以达到举一反三、融会贯通的目的，不仅能为初学者打下坚实的基础，还可帮助电子行业技术人员快速识别与检测电子元器件，具有极高的实用性、可操作性。

本书还根据电子行业国家职业标准，结合企业生产实际，详细介绍了常见电子电路的故障查找技术与技巧以及故障查找技术在整机电路中的应用等内容。

本书可作为高职高专电子与信息技术应用、电子技术、电气技术及相关专业的通用教材，也可作为电子类相关工程技术人员的培训教材及高职电子类实训教师的技术参考书。

本书由福建水利电力职业技术学院王雅芳编写。由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电子元件基础知识及其检测 1

- 1.1 电阻器的选用及检测 1
- 1.2 电位器的选用及检测 14
- 1.3 其他类型电阻器的选用及检测 21
 - 1.3.1 热敏电阻器 21
 - 1.3.2 压敏电阻器 23
 - 1.3.3 光敏电阻器 25
 - 1.3.4 湿敏电阻器 26
 - 1.3.5 熔断电阻器 28
 - 1.3.6 其他敏感电阻器 29
- 1.4 电容器的选用及检测 29
 - 1.4.1 电容器的基础知识 29
 - 1.4.2 固定电容器 39
 - 1.4.3 电解电容器 41
 - 1.4.4 可调电容器 42
 - 1.4.5 电力电容器 43
 - 1.4.6 电容器的选用及检测 43
- 1.5 电感器、变压器的选用及检测 52
 - 1.5.1 电感器、变压器的基础知识 52
 - 1.5.2 色码电感器 69
 - 1.5.3 中周变压器 71
 - 1.5.4 电源变压器 71
 - 1.5.5 电感器、变压器的检测 72
- 1.6 常用电子元件的认知与检测实训 76

第2章 电子器件基础知识及其检测 78

- 2.1 选用及检测二极管 80
 - 2.1.1 小功率二极管器件 80
 - 2.1.2 整流、稳压二极管器件 87
 - 2.1.3 开关二极管器件 90
 - 2.1.4 发光、红外二极管器件 93
 - 2.1.5 二极管的应用举例 99

- 2.2 选用及检测晶体管 102
 - 2.2.1 普通晶体管 106
 - 2.2.2 特殊晶体管 107
 - 2.2.3 晶体管引脚的判断及质量检测 110
 - 2.2.4 晶体管在电子技术中的应用 116
- 2.3 选用及检测场效应晶体管 117
- 2.4 选用及检测晶闸管 122
- 2.5 选用显示器件 127
- 2.6 选用继电器 136
- 2.7 选用检测传感器 142
- 2.8 常用电子器件的认知与检测实训 150

第3章 选用及检测电声、集成器件 152

- 3.1 选用及检测电声器件 152
 - 3.1.1 选用及检测扬声器 152
 - 3.1.2 选用及检测耳机 159
 - 3.1.3 选用及检测驻极体传声器 160
- 3.2 选用及检测集成芯片 167
 - 3.2.1 集成电路芯片 167
 - 3.2.2 集成运算放大器 181
 - 3.2.3 集成稳压器 185
 - 3.2.4 集成时基电路 190
 - 3.2.5 音乐集成电路的应用 192
- 3.3 贴片式器件的选用及检测 194
- 3.4 电子模块的识别技巧与检测 197
- 3.5 常用电声、集成器件的认知与检测实训 200

第4章 常用测量仪器 202

- 4.1 低频信号发生器的使用 202
- 4.2 万用表的使用 205
 - 4.2.1 模拟式万用表的使用 206
 - 4.2.2 数字式万用表的使用 208
- 4.3 示波器的使用 209

4.3.1 示波器的组成	209	6.2.1 集成逻辑门电路常见故障及查找 方法与技巧	256
4.3.2 示波器的测试应用	214	6.2.2 1 位数值比较器电路故障查找 方法与技巧	258
4.3.3 ST-16 型单踪示波器的使用	219	6.2.3 触发电路故障查找方法与技巧 ...	259
4.3.4 SR-8 型双踪示波器的使用	223	6.2.4 时序电路故障查找方法与技巧 ...	262
第 5 章 电子电路故障查找 方法与技巧	228	6.2.5 显示电路故障查找方法与技巧 ...	267
5.1 故障查找处理的基本步骤	228	第 7 章 整机故障查找方法及技巧	272
5.2 故障查找的方法	229	7.1 整机电路故障查找处理的一般程序 ...	272
第 6 章 电子电路检测	237	7.1.1 电子产品整机电路故障的产生 ...	272
6.1 单元模拟电路故障查找方法与技巧 ...	237	7.1.2 整机电路故障查找处理 的一般步骤	273
6.1.1 基本放大电路故障查找 方法与技巧	237	7.1.3 整机电路故障查找常用方法	275
6.1.2 反馈放大电路的故障查找 方法与技巧	240	7.2 整机设备故障查找的注意事项	276
6.1.3 选频放大电路的故障查找 方法与技巧	242	7.3 整机电路故障查找处理实例	277
6.1.4 集成电路功率放大器故障 查找方法与技巧	244	7.3.1 简易音频信号发生器故障 查找方法	277
6.1.5 直流稳压电源故障查找 方法与技巧	246	7.3.2 遮光式计数器故障查找方法	280
6.1.6 现代模拟集成电路故障查找 方法与技巧	252	7.3.3 电话机电路故障查找方法	283
6.2 单元数字电路故障查找方法与技巧 ...	255	7.3.4 开关电源故障查找方法	287
		7.4 整机电路故障查找实训	291
		参考文献	292

第1章 电子元件基础知识及其检测

电子元器件是组成电子产品的基础。所有的电子产品都是由各种各样的电子元件和器件组成的，正确选择、使用电子元器件是保证产品的质量和可靠性的关键。了解电子元器件的分类、用途，以及规格型号、性能参数，对所有从事电子行业的人员来说都是十分重要的。

电阻器和电容器、电感器等都是最常用、最基本的电子元件。

1.1 电阻器的选用及检测

电阻器是最常用最基本的电子元件，电阻器在电子产品中用得最多，约占元器件总数的35%以上，因此其工作性能和可靠性对产品的质量具有十分重要的影响。

电子在物体内部作定向运动时会受到阻力，这种阻力称为电阻。在电路中具有电阻性能的实体元件称为电阻器，用 R 表示，单位为 Ω （欧姆），习惯简称电阻。

在实验中，物体电阻的大小与其长度 L 成正比，与其横截面积 S 成反比，用公式表示为 $R = \rho L / S$ ，式中的比例系数 ρ 叫做物体的电阻系数或电阻率，它与物体材料的性质有关，在数值上等于单位长度、单位面积的物体在 20°C 时所具有的电阻值。相同材料做成的导体，直径越大则电阻越小，长度越长则电阻越大。

此外导体电阻大小还与温度有关，对金属材料，其电阻随着温度的升高而增大；对石墨和碳等非金属材料，其电阻随着温度的升高而减小。

电阻器利用电阻对电能的吸收作用，可使电路中各元件按需要分配电能，稳定和调节电路中的电流和电压。电阻器也是一个限流元件，将电阻器接在电路中后，它可限制通过它所在支路的电流大小。

电阻器在电路中，主要用来稳定和调节电流、电压，组成分流器和分压器，在电路中起到限流、降压、去耦、偏置、负载、匹配、取样、能量转换等作用。

1. 电阻器的主要技术参数

电阻器的电阻值是固定的。它的主要技术参数有：标称电阻、允许偏差、额定功率等。了解了电阻的质量参数，可以合理地选用电阻器。

(1) 标称阻值

标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值。电阻值的基本单位是欧姆（简称欧），用“ Ω ”表示。在实际应用中，还常用到千欧（ $\text{k}\Omega$ ）和兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）。兆欧、千欧、欧姆之间的换算关系是： $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$ ， $1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$ 。

目前，电阻器几乎都是根据IEC国际标准系列来制造的。我国也规定了一系列值作为电阻器的阻值标准，即标称阻值系列。

常用的标称阻值系列有E6、E12、E24等系列，其标称值如表1-1所示。

表 1-1 电阻器的标称值系列

系列	E24	E12	E6	E24	E12	E6
允许偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
标称值	1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	3.3
	1.1			3.6		
	1.2	1.2		3.9	3.9	
	1.3			4.3		
	1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
	1.6			5.1		
	1.8	1.8		5.6	5.6	
	2.0			6.2		
	2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
	2.4			7.5		
	2.7	2.7		8.2	8.2	
	3.0			9.1		

任何固定式电阻器的标称阻值都应符合表 1-1 中的列数值或列数值乘以 10^n ，其中 n 为正整数或负整数。例如，表中的“1.5”包括 0.15Ω 、 1.5Ω 、 15Ω 、 150Ω 、 $1.5k\Omega$ 、 $15k\Omega$ 、 $150k\Omega$ 、 $1.5M\Omega$ 等阻值。在应用中选用电阻器应尽量按标称值系列选取，不在标称系列内应选允许偏差范围内的相近值。不同偏差等级的电阻器有不同数目的标称值。

偏差越小，电阻器的标称值越大。其标称值计算公式分别是：

$$\text{E6 系列标称值} = \sqrt[6]{10^n} (n = 1 \sim 6)$$

$$\text{E12 系列标称值} = \sqrt[12]{10^n} (n = 1 \sim 12)$$

$$\text{E24 系列标称值} = \sqrt[24]{10^n} (n = 1 \sim 24)$$

(2) 允许偏差

电阻器的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，偏差允许范围称为电阻器的允许偏差。标称阻值和实际阻值的差值与标称阻值之比的百分数称作阻值偏差，它表示电阻器的精度。实际生产出来的电阻器的阻值无法做到与标称值完全一样，即阻值具有一定的离散性。

$$\text{电阻值允许偏差} = \frac{\text{电阻实际值} - \text{电阻标称值}}{\text{电阻标称值}} \times 100\%$$

E24、E12、E6 标称阻值系列所对应的允许偏差（即电阻精度）分别为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，如表 1-2 所示。精密电阻器允许偏差要求更高，如 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\cdots$ 、 $\pm 0.001\%$ 等。允许偏差越小的电阻器，其阻值精度就越高，稳定性越好，但生产成本相对较高。

表 1-2 常用电阻器的允许偏差等级

允许偏差	0.5%	1%	5%	10%	20%
等级	005	01	I	II	III
文字符号	D	F	J	K	M

(3) 额定功率

当电流通过电阻器的时候，电阻器便会发热。负荷的功率越大，发热越厉害。如果功率过大，电阻器就可能承受不了而烧坏。在正常大气压及在规定的环境温度和湿度下，假设周围空气不流通，电阻器在交、直流电路中长期连续工作而不损坏或基本不显著改变其性能时所允许消耗的最大功率为额定功率。对于同一类电阻器，额定功率的大小取决于它的几何尺寸和表面面积，额定功率越大，电阻器的体积越大，如表 1-3 所示。

表 1-3 碳膜电阻器和金属膜电阻器的长度、直径与额定功率关系表

参数	碳膜电阻器 (RT)		金属膜电阻器 (RJ)	
	长度/mm	直径/mm	长度/mm	直径/mm
额定功率/W				
1/8	11	3.9	6 ~ 7	2 ~ 2.5
1/4	18.5	5.5	7 ~ 8.3	2.5 ~ 2.9
1/2	28.5	5.5	10.8	4.2
1	30.5	7.2	13	6.6
2	48.5	9.5	18.5	8.6

不同类型的电阻器有不同系列的额定功率。共分为 19 个等级，如表 1-4 所示。常用的额定功率有 1/20W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W 和 20W 等，通常为 0.05 ~ 500W。如图 1-1 所示为各额定功率值的电阻器在电路图上的符号。

表 1-4 电阻器额定功率系列

种 类	电阻器额定功率系列/W												
	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10	16	25	40
线绕电阻器	50	75	100	150	250	500							
非线绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100		

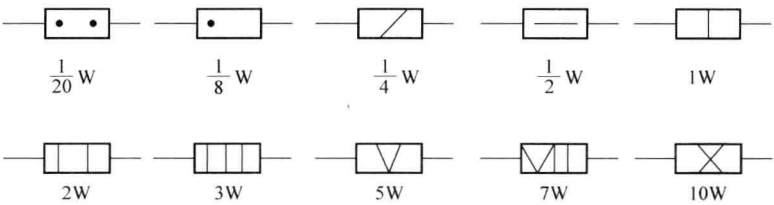


图 1-1 固定电阻器额定功率的符号表示

电阻器上的负荷功率可由公式 $P = I^2 R = U^2 / R$ 算出，式中， I 为电流， R 为电阻， U 为电压。

选择电阻器功率时，应使额定功率值高于电路中实际功率值的 1.5 ~ 2 倍以上。一般电子电路中多采用 1/8W、1/4W、1/2W 电阻器；少数大电流场合则采用 1W、2W、5W 甚至更大功率的电阻器。

如果实际使用过程中功率超过额定值，电阻器的阻值会发生改变，会造成电阻器过热而烧坏。

(4) 额定电压

电阻器两端电压高到一定程度时，会发生电击穿现象，电阻器的工作电压不应超过额定工作电压，否则电阻器承受的功率将超过其额定功率而导致电阻器损坏。根据电阻器的额定功率可算出电阻器的额定电压。

(5) 噪声

电阻器的噪声包括热噪声和电流噪声。热噪声是由于电阻器中自由电子的不规则热运动而使电阻器内任意两点间产生随机电压。电流噪声是当电流通过电阻器时，导电颗粒之间以及非导电颗粒之间不断发生碰撞，使颗粒之间的接触电阻不断变化产生的，因而电阻器两端除直流电压之外还有一个不规则的交变电压分量。

降低电阻器的工作温度，可以减小热噪声；而电流噪声则与电阻器微观结构有关，合金型电阻器基本上无电流噪声。金属膜电阻器和碳膜电阻器的噪声较小，合成膜电阻器和实心电阻器的噪声最大。在选用电阻器时，应根据电路对噪声的要求，合理选用电阻器。

(6) 电阻器的温度系数

电阻器的电阻值随温度的变化略有改变。温度每变化一度所引起电阻值的相对变化的欧姆数与原来的欧姆数之比称为电阻器的温度系数。温度系数可正可负，如果温度升高，电阻值增大，则该电阻器具有正的温度系数，如果温度升高，电阻值减小，则该电阻器具有负的温度系数，温度系数越小，电阻器越稳定，碳膜电阻器比较稳定。在实际运用中，应根据不同要求来选用不同温度系数的电阻器。

(7) 电阻器的频率特性

实际上，电阻器中都还存在着分布电感和分布电容。在直流和低频交流电路中，它们的影响可以忽略不计，但在频率比较高的交流电路中，这些分布参数的影响即不能忽视，其交流等效电阻将随频率而变化。

2. 电阻器的型号命名和标志

(1) 电阻器的型号命名法

根据国标 GB2470-81 的规定，国产电阻器的型号由四个部分组成，如表 1-5 所示。

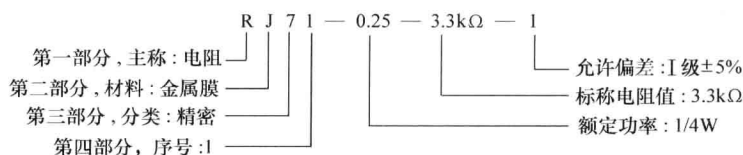
表 1-5 电阻器和电位器的型号命名方法

第一部分：主称		第二部分：电阻体材料		第三部分：类别		第四部分：序号
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	0		包括：额定功率、阻值、 允许偏差、精度等级
W	电位器	H	合成碳膜	1	普通	
M	敏感电阻器	S	有机实心	2	普通	
		N	无机实心	3	超高频	
		J	金属膜	4	高阻	
		Y	氧化膜	5	高温	
		C	沉积膜	6	—	
		I	玻璃釉膜	7	精密	
		X	线绕	8	高压	
		R	热敏	9	特殊	
		G	光敏	G	高功率	
		M	压敏	W	微调	
				T	可调	
				D	多圈可调	
				X	小型	

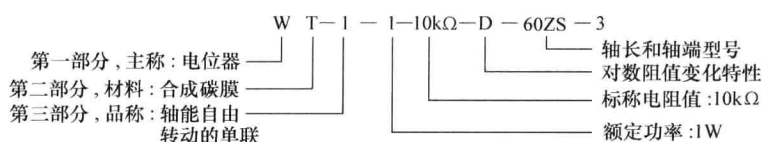
例如: RJ71 为精密金属膜固定电阻器; RT12 为普通碳膜固定电阻器; RXG1 为高功率线绕固定电阻器; WXT3 为线绕电位器。

型号命名实例说明:

如型号为 RJ71—0.25—3.3k Ω —I 的精密金属膜电阻器。



如 10 k Ω 单联合成碳膜电位器。



敏感电阻器的型号命名方法中包括了电阻器的材料等含义, 如表 1-6 所示。

表 1-6 敏感电阻器型号命名方法中材料、分类的含义

材 料		分 类				
符号	意 义	符号	意 义			
F	负温度系数热敏材料		负温度系数	正温度系数	光敏电阻器	压敏电阻器
Z	正温度系数热敏材料	1	普通	普通		碳化硅
G	光敏材料	2	稳压	稳压		氧化锌
Y	压敏材料	3	微波			氧化锌
S	湿敏材料	4	旁热		可见光	
C	磁敏材料	5	测温	测温	可见光	
L	力敏材料	6	微波		可见光	
Q	气敏材料	7	测量			

(2) 电阻器的标识法

通常在电阻器上标注有电阻器的主要参数, 如标称阻值、允许偏差等, 以便在使用中能识别。电阻器的标识方法主要有直标法、数码表示法、文字符号法和色标法。

1) 直标法。就是将电阻器的类别、标称阻值、允许偏差及额定功率等直接标注在电阻器的外表面上。直标法一般用数字和单位符号直接地标称电阻值并标志在电阻器上, 还有的用数字和单位符号组合在一起表示, 文字符号前面的数字表示整数阻值, 文字符号后面的数字表示小数点后面的小数阻值, 其允许偏差直接用百分数表示, 如图 1-2 所示。例如, 电阻器上标志符号“R33”表示 0.33 Ω , “6k8”表示 6.8k Ω 。文字符号组合标志电阻器标称阻值实例如表 1-7、表 1-8 所示。

图 1-2a 表示标称阻值为 1k Ω 、允许偏差为 $\pm 10\%$ 、额定功率为 1W 的碳膜电阻器; 图

1-2b 表示标称阻值为 510Ω 、额定功率为 $10W$ 的线绕电阻器；图 1-2c 表示标称阻值为 $3.6k\Omega$ 、允许偏差为 $\pm 5\%$ 、额定功率为 $2W$ 的金属膜电阻器；图 1-2d 表示标称阻值为 10Ω 、额定功率为 $5W$ 的水泥电阻器。

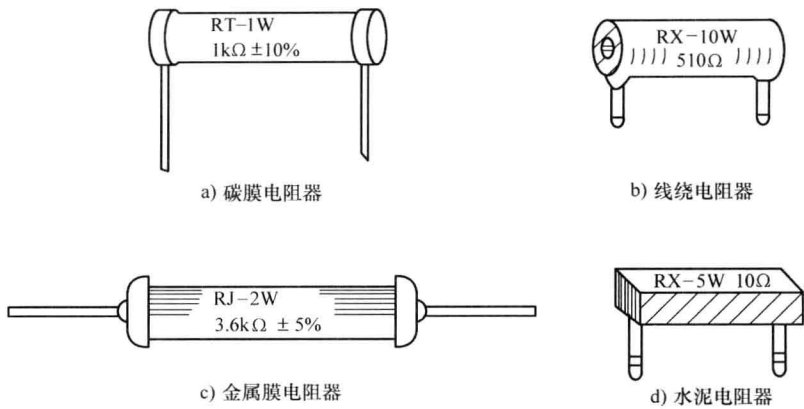


图 1-2 直标法

表 1-7 标志电阻值单位的文字符号

文字符号	单位及进位数	文字符号	单位及进位数
R	Ω ($10^0\Omega$)	G	$G\Omega$ ($10^9\Omega$)
K	$k\Omega$ ($10^3\Omega$)	T	$T\Omega$ ($10^{12}\Omega$)
M	$M\Omega$ ($10^6\Omega$)	—	—

表 1-8 表示允许偏差的文字符号

文字符号	B	C	D	F	G	J	K	M	N
允许偏差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$

2) 数码表示法。用三位数码表示电阻阻值、用相应字母表示电阻允许偏差的方法。数码按从左到右的顺序，第一、第二位为电阻的有效值，第三位为乘数（即零的个数），电阻的单位是 Ω 。

例如：数码表示法的电阻器 103J，其标称阻值为 $10 \times 10^3 = 10k\Omega$ ，J 表示该电阻器的允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

注：0.47 Ω 文字符号表示为 R47；4.7 Ω 文字符号表示为 4R7。

3) 文字符号法。表示电阻器的主要参数时，用文字符号表示电阻的单位，电阻值的整数部分写在阻值单位的前面，小数部分写在阻值单位的后面。文字符号法是将需要标出的主要参数与技术性能指标用文字、数字符号两者有规律地组合起来标志在电阻器上，其允许偏差用文字符号表示。其优点是识读方便、直观，多数用在大功率电阻器上。如 0.1 Ω 标注为 $\Omega 1$ ，3.3 Ω 标为 3 $\Omega 3$ ，4.7k Ω 标为 4k7，10M Ω 标注为 10M 等，如图 1-3 所示。RJ-0.5-5K1J 即阻值 5.1k Ω ，

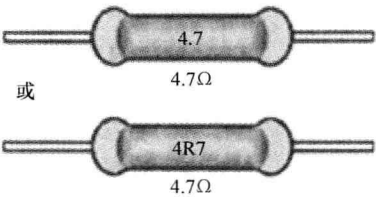


图 1-3 文字符号法

偏差为±5%，额定功率为0.5W的金属膜电阻器。欧姆用Ω表示；千欧（10³Ω）用k表示；兆欧（10⁶Ω）用M表示；吉欧（10⁹Ω）用G表示；太欧（10¹²Ω）用T表示。

4）色标法。对于1/8~1/2W的小功率电阻器，一般都采用国际通用的色标表示法。材料及功率通常由外形、尺寸及颜色判断，电阻材料根据国际惯例一般可以从颜色上来区分品种：金属膜电阻器为淡蓝底色，碳膜电阻器为淡黄底色，合成膜电阻器为淡绿底色。对于2W以上电阻器的阻值、精度、功率及材料，则通常以数字、字母和符号标出。

色标法是用色环、色点或色带在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差，电阻器色环标志的基本颜色定义如表1-9所示。它具有标志清晰，各个角度都能看到的特点，标称电阻的色环表示一般有四色环、五色环等几种表示法。

表 1-9 电阻器的色环标志的基本颜色定义

颜色	有效数字	倍率	允许偏差（%）	颜色	有效数字	倍率	允许偏差（%）
棕色	1	10 ¹	±1%	灰色	8	10 ⁸	—
红色	2	10 ²	±2%	白色	9	10 ⁹	±50%~±20%
橙色	3	10 ³	—	黑色	0	10 ⁰	—
黄色	4	10 ⁴	—	金色	—	10 ⁻¹	±5%
绿色	5	10 ⁵	±0.5%	银色	—	10 ⁻²	±10%
蓝色	6	10 ⁶	±0.2%	无色	—	—	±20%
紫色	7	10 ⁷	±0.1%				

四色环色标法：普通电阻器大多采用四色环色标法来标注。四色环中的第1、2条色环分别表示阻值第一、第二两位数字，第3条色环表示阻值倍率（即乘以10的方次），第4条色环表示阻值的允许偏差范围。四色环电阻器如图1-4所示。

五色环色标法：精密电阻器大多用五色环色标法来标注。五色环中的前3条色环分别表示阻值第一、第二、第三位数字，第4条色环表示阻值倍率，第5条色环表示允许偏差范围。如图1-5所示。

例：红紫橙金 $27 \times 10^3 (1 \pm 5\%) \Omega = 27 (1 \pm 5\%) \text{ k}\Omega$

棕紫绿金银 $175 \times 10^{-1} (1 \pm 10\%) \Omega = 17.5 (1 \pm 10\%) \Omega$

注：金银在最后一环即偏差，黑色环为端头则为倒数第二环，其后为偏差无色，紫灰白一般不会是倍率色环，既不会是倒数第二环。第三环颜色从数量级来看，大体上可把它们划分为三个大的等级，即：金、黑、棕色是欧姆级的；红、橙、黄色是千欧级的；绿、蓝色则是兆欧级的。

(3) 片状固定电阻器的标志

当片状电阻器阻值精度为±5%时，采用3个数字表示。

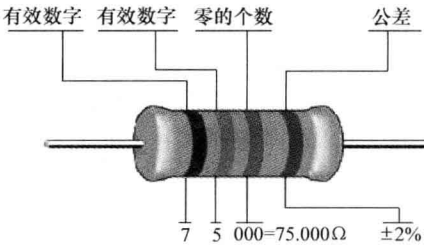


图 1-4 四色环电阻器



图 1-5 五色环电阻器

跨接线记为 000（专门作跨接线用的电阻器也叫片状跨接线电阻器或零阻值电阻）。阻值小于 10Ω 的，在两个数字之间补加“R”；阻值在 10Ω 以上的，则最后一数值表示增加的零的个数。

注： 100Ω 记为 101； $10k\Omega$ 记为 103。

当片状电阻器阻值精度为 $\pm 1\%$ 时，则采用 4 个数字表示。

前面 3 个数字为有效数，第四位表示增加的零的个数；阻值小于 10Ω 的，仍在第二位补加“R”；阻值为 100Ω ，则在第四位补 0。

注： 4.7Ω 记为 4R70； 100Ω 记为 1000； $1M\Omega$ 记为 1004； 10Ω 记为 10R0。

3. 常用的固定电阻器及特点

(1) 薄膜电阻器

薄膜电阻器是在圆柱形陶瓷或硬玻璃基体上，用沉积、真空溅射或蒸发的方法涂覆一层薄导电层，便形成了薄膜电阻器。薄膜电阻器导电层的厚度一般为 $0.001 \sim 20\mu\text{m}$ 。在电阻膜上刻螺纹槽以调整电阻值，然后在两端装上帽盖，焊上引线，并在表面加涂保护漆，最后在漆膜表面印上标志。

1) 碳膜电阻器（型号 RT）气态碳氢化合物在高温和真空中分解，碳沉积在瓷棒或者瓷管上，形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度，可以得到不同的阻值，如图 1-6 所示。

碳膜电阻器稳定性好，电压的改变对阻值影响小，高频特性好，噪声电动势较小，脉冲负荷稳定，阻值范围宽（几十欧姆～几十兆欧），负温度系数，体积比金属膜电阻器大，制作成本低，价格便宜。

碳膜电阻器可分为普通碳膜电阻器、测量型碳膜电阻器、高频碳膜电阻器、精密碳膜电阻器和硅碳膜电阻器等。它是目前使用最多的一种电阻器，在精度要求不高的电路中得到广泛应用。

2) 金属膜电阻器（型号 RJ）在真空中加热合金，合金蒸发，使瓷棒表面形成一层导电金属膜。它是用高真空加热蒸发（或者高温分解、化学沉积、烧渗等）技术，将合金材料（有高阻、中阻、低阻三种）蒸镀在陶瓷骨架上的，刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值，如图 1-7 所示。

金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似，它除了具有碳膜电阻器的特征外，比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，使用温度范围广，另外还有温度系数小、噪声低、体积小、阻值范围宽等特点，最明显的是耐热性能超过碳膜电阻器。金属膜电阻器主要用于对稳定性要求较高的电路中。

金属膜电阻器其外形结构与普通碳膜电阻器相同。

3) 金属氧化膜电阻器（型号 RY）是用铈和锡等金属盐溶液喷雾到炽热（约 550°C ）的绝缘瓷棒表面上沉积后制成的，如图 1-8 所示。金属氧化膜

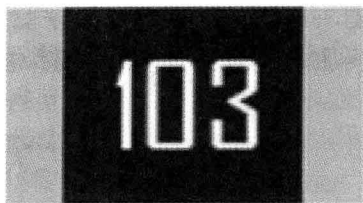


图 1-6 碳膜电阻器



图 1-7 金属膜电阻器

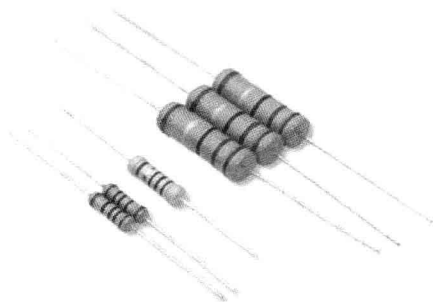


图 1-8 金属氧化膜电阻器

电阻器的外形与性能均与金属膜电阻器相同,金属氧化膜电阻器具有极好的脉冲、高频和过负荷性,机械性能好、坚硬、耐磨,且制造工艺简单,成本较低。它比金属膜电阻器抗氧化能力强,抗酸、抗盐的能力强,耐热性能好。但阻值范围窄,温度系数比金属膜电阻器大。在精度要求不太高时可以替代金属膜电阻器使用。

(2) 线绕电阻器(RX)

线绕电阻器是用电阻系数较大的锰钢或镍铬合金电阻丝绕制在陶瓷管等绝缘基棒的骨架上制成的,它的外层涂有耐热的绝缘层,两端有引线或装有金属引脚,如图1-9所示。



图1-9 线绕电阻器

线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大,一般可承受3~100W的额定功率,而且耐高温,可以在150℃高温下正常工作。但由于它体积大,阻值不高(10MΩ以下),因此适用于大功率电路中。此外,精密的线绕电阻器可用于标准电阻箱、测量仪器等场合。由于线绕电阻器的固有电感较大,因而不适宜在高频电路中使用。

有一种陶瓷绝缘功率型线绕电阻器俗称水泥电阻器,它是将线绕电阻体装在陶瓷绝缘壳中,其型号标志也为RX,水泥电阻器的额定功率在2W以上,最大功率可达200W。阻值范围0.15Ω~几百千欧,精度等级±5%~±20%。由于水泥电阻器采用工业高频电子陶瓷外壳,因此具有优良的阻燃、防爆和绝缘性能(绝缘电阻达100MΩ),同时它具有散热性好、功率大,引脚很长,可避免发热时对印制电路板的影响等特点。水泥电阻器的电阻丝同焊脚引线之间采用压接方式,在负载短路的情况下,可迅速在压接处熔断,以保护电路。

水泥电阻器具有多种外形和安装方式,可直接安装在印制电路板上,也可利用金属支架独立安装焊接。

(3) 合成型电阻器

合成型电阻器是将导电材料(例如石墨或炭墨)与非导电材料按不同比例合成不同电阻率的材料,将其涂覆在绝缘骨架上再加热聚合制成电阻器。尽管它的电性能较差,但可靠性很高,仍在一些特殊领域内使用。

1) 实心电阻器(型号RS)把石墨或炭墨、树脂、黏土等混合物压制后经过热处理制成,实心电阻器不使用绝缘瓷棒和引线帽,而是实心的,引线从内部引出。

实心电阻器具有成本低、价格便宜、过负载能力强、有很高的可靠性等特点。但其固有噪声高,分布电容及分布电感影响大,电压和温度稳定性差,相同功率下体积与金属膜电阻器相当。只可作为普通电阻器使用,不能用在要求较高的电路中。

2) 高阻合成膜电阻器(型号RH)阻值范围在10~10⁶MΩ之间。整个电阻体密封,以提高阻值的稳定性。

3) 金属玻璃釉电阻器(型号RI)由金属氧化物和玻璃釉黏合剂混合后涂覆在陶瓷骨架上,再经高温烧制而成。这类电阻器具有较高的耐热性和耐潮性,常制成小型化片状。

(4) 敏感电阻器

根据不同材料和制作工艺,通常有热敏、压敏、光敏、温敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的电阻器,广泛用作测试技术和自动化技术等各个领域中的传感器中。

4. 固定电阻器的简单测试

(1) 从外表颜色和外壳识别电阻器的技巧

电阻器外表颜色是红色,是金属膜电阻器;呈米黄色,是小功率碳膜电阻器;呈绿色或深灰色(柱形),是大功率的碳膜电阻器;呈黑色、白色或绿色,是热敏电阻器(长方形或扁圆形);呈浅灰色,是线绕式保险电阻器;电阻器外壳顶部有透明感光的玻璃层,则是光敏电阻器;电阻器从外表可看到氧化膜的,是氧化膜电阻器;外表是用白色水泥封装(矩形或扁长方形),则是大功率水泥电阻器;外壳是白色金属,是线绕滑线可变电阻器。

(2) 用万用表检测电阻器的方法

1) 调零:

① 机械调零。万用表的红、黑表笔未短接时,看表的指针是否对准表盘左边刻度线零点位置,如不在零点位置,则需用小起子调节表头中间的机械调零螺丝将表针调至零点位置。

② 欧姆调零。将万用表的红、黑表笔短接时,看表的指针是否对准表盘右边 Ω 刻度线零点位置,如不在零点位置,则需要调节调零旋钮,使表针调至 Ω 刻度线零点位置。每换一次挡位应重新欧姆调零,如图 1-10 所示。

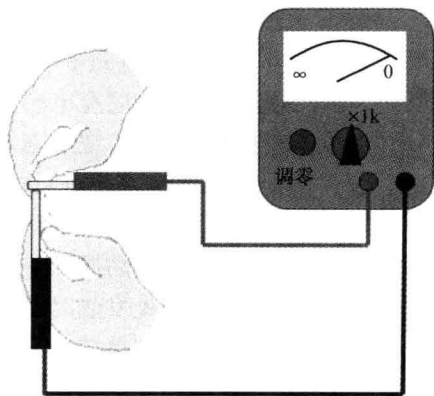


图 1-10 欧姆调零

2) 选择电阻挡的技巧。将两表笔不分正负分别与电阻器的两端引脚相接即可测出实际电阻值。为了提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。选择电阻挡的依据是被测电阻器的阻值与电阻挡倍率相吻合,由于电阻挡刻度的非线性关系,它的中间一段分度较为精细,因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置,即全刻度起始的 20% ~ 80% 弧度范围内,以使测量更准确。如果测量时万用表指针摆动幅度太小,则可继续加大量程,直到指针指示在表盘刻度的中间位置,此时读出阻值,测量结束,这样测出的电阻值精度高。根据电阻偏差等级不同,读数与标称阻值之间分别允许有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 的偏差。如不相符,超出偏差范围,则说明该电阻值变值了。

在测量中,如果万用表指针停在无穷大处静止不动,则有可能是所选量程太小,此时应把万用表的量程开关拨到更大的量程上,并重新调零后再进行测量。

如果在测量过程中发现在最高量程时万用表指针仍停留在无穷大处不摆动,这就表明被测电阻器内部开路,不可再用。反之,在万用表的最低量程时,指针指在零处,则说明被测电阻器内部短路,也是不能使用的。

3) 测量方法与技巧。测量时不能用双手同时捏住电阻器的两个引线,这样,可避免人体电阻与被测电阻并联,影响测量准确性。具体做法是一只手拿电阻器,另一只手像拿筷子一样拿住红、黑表笔进行测量。此类方法称为单手测量法。

用万用表测量固定电阻器,即是对独立的电阻元件进行测量,方法如图 1-11 所示。

这种测量方法又叫开路测量法。测量前应先将万用表调零,即把万用表的红表笔与黑表笔相碰,调整调零旋钮,使万用表指针准确地指零,如图 1-11a 所示。

万用表的电阻量程分为几挡,其指针所指数值与量程数相乘即为被测电阻器的实测阻值。例如,把万用表的量程开关拨至“ $R \times 1k\Omega$ ”挡(也可记作 $\times 1k$ 挡)时,把红、黑表笔如图

1-11a 所示进行短接, 调整调零旋钮使指针指零, 然后如图 1-11b 所示将表笔并联在被测电阻器的两个引脚上, 此时若万用表指针指示在“7”上, 则该电阻器的阻值为 $7 \times 1\text{k}\Omega = 7\text{k}\Omega$ 。

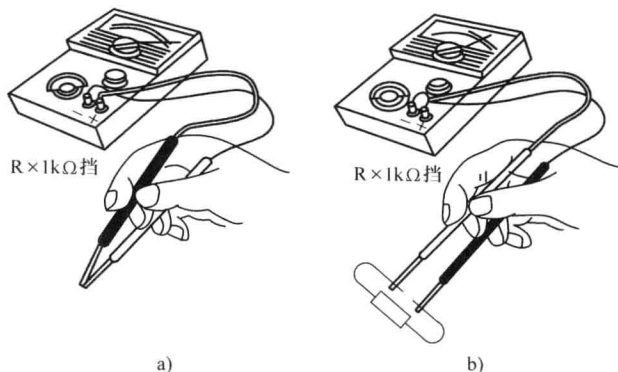


图 1-11 用万用表测量固定电阻器

注意: 测试时, 特别是在测几十千欧以上阻值的电阻器时, 手不要触及表笔和电阻器的导电部分; 被检测的电阻器从电路中焊下来, 至少要焊开一个头, 以免电路中的其他元件对测量产生影响, 造成测量偏差; 色环电阻器的阻值虽然能以色环标志来确定, 但在使用时最好还是用万用表测试一下其实际阻值。

用万用表测试电阻器的在线测量方法与技巧:

电子电路故障检查时, 总是要碰到在线测量的问题, 所谓在线测量就是在印制电路板上测量。在线测量电阻器性能时应注意两点: 第一, 测量时要切断电源; 第二, 测量时防止短路。在线测量电阻器性能好坏的技巧是: 用万用表电阻挡“ $R \times 1\Omega$ ”挡或“ $R \times 10\text{k}\Omega$ ”挡, 测量在线印制电路板上电阻器的电阻值, 看测得阻值是否接近标称值, 如测得电阻值偏离标称值时, 不能立即断定电阻器已损坏, 还要结合它周围的元器件, 综合考虑分析, 来断定这个电阻器性能是否损坏, 如图 1-12 所示。

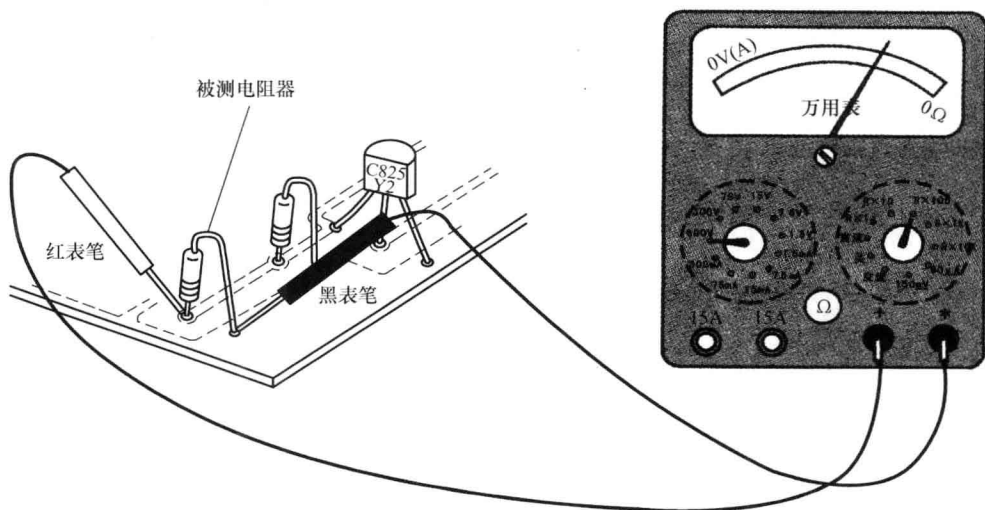


图 1-12 电阻器的在线测量