

电阻电容生产实践讲义

華中工學院

四 大 队 十 八 連 編

一九七二年二月

毛主席语录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

绪 论

电容器和电阻器是电子设备中使用量最大的元件，一般要占50~90%（如表0-1所示）。因此，绝大多数产品都按系列制造。如电容器按工作电压和电容量排列，电阻器按功率和电阻值排列，形成一个系列供电路设计人员选择采用。

表 0-1

类 别	无线电定位 及导航设备	接收和发射 通讯设备	计算机	导 弹
电 容 器	20~30%	37~60%	12~15%	25~30%
电 阻 器	37~50%	16~30%	20~26%	40~58%

电阻器、电容器在电子设备中起什么作用呢？电子设备中各个电路需要合适的电流才能工作。不同阻值的电阻器在电路中可以使电路获得大小不同的电流（或电压）。但是这还不够，因为电路除要求电流有一定的大小数值之外，还要求电流有一定的频率数值。使电流具有合适的频率数值的任务则靠电容器来完成。电容器一般能够让交流电流通过，截断直流电流，或者让频率较高的交流电流通过而截断频率较低的电流，就像一个筛子能够把大小不同的石子分开一样。因此，电阻器和电容器在电子设备中的综合作用就是使电子设备中各个电路分别获得有合适频率、大小数值的电流和电压。此外，电容器还可以用来贮存电量，将直流电逐渐充入电容器，然后进行放电，可以在瞬时放出很大的电能。例如汽车、飞机发动机和爆炸物的点火器就用着电容器。

电阻器在电路中改变电流大小的能力取决于该电阻器电阻值的大小。由于各电路需要的电流很不相同，其大小往往相差很大，因此，需要电阻器有一个很宽的阻值范围，即需要电阻器有从小于1

欧直至几百兆兆欧的各种阻值的产品。电容器贮存电量或让交流电流通过的能力都取决于电容器的电容量。电容量愈大，则电容器对交流电流通过的阻力就愈小。在电路中选用于某一电容量的电容器就可以让高于某一频率的电流通过而截断低于此频率的电流。由于电子设备中使用的频率范围很广，因此，电容器的电容量范围也需耍很大才能适应要求。电容器要有从几个微微法直至上万个微法的各种容量的产品。

但是，解放以前在国民党反动派统治下的旧中国是一个半封建半殖民地性质的国家，电子工业近于空白，仅有几个小型工厂生产质量低劣且品种很少的炭质合成实心电阻器、线绕电阻器、纸介电容器和铝电解电容器等阻容元件，几乎所有的无线电元件和设备都依赖进口。“我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。”1949年党和毛主席领导全国人民解放了全中国，建立了伟大的中华人民共和国。新民主主义革命的伟大胜利充分激发了我国无产阶级和劳动人民的积极性，推动着我国社会主义革命和社会主义建设事业的蓬勃发展，我国各项工业都建立并发展起来了，迅速地改变了我国一穷二白的旧面貌。在伟大领袖毛主席“自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。”的伟大方针指引下，在党和毛主席的正确领导下，我国电子工业也建立起来了并且有了很大的发展。目前我国几乎每个省都建立了生产元件和整机的成套电子工业，不仅能够生产一般的电子设备及其元件，许多地方和单位还能够生产像厚膜电路、固体电路这类先进元件及采用这些元件的先进的电子设备。1970年我国第一颗人造地球卫星的发射成功标志着我国科学技术的先进水平，也反映了我国电子工业的辉煌成就。我国的电子工业正以惊人的速度向前发展着，创造出了西方资产阶级望尘莫及的奇蹟。为了适应我国社会主义革命和社会主义建设事业特别是国防建设迅速发展的需要，也是为了更好地支援世界各国人民的革命斗争，今后我国阻容元件发展的主要方向是：

- (1) 高可靠性；
- (2) 小型化及微型化；
- (3) 高精密度和高稳定性；
- (4) 耐恶劣环境（如耐高温、耐核辐射、耐严寒，耐低气压，耐潮湿、抗海水腐蚀、耐机械振动和冲击等）。

“历史的经验值得注意。”和其他各行各业一样，解放后我国的电子工业也是在两条路线的激烈斗争中，在毛主席的无产阶级革命路

线的胜利指引下迅速发展起来的。刘少奇一类骗子极力宣扬的“电子工业神秘论”，贩卖的专家路线，买办洋奴哲学，爬行主义等黑货压制了劳动人民的积极性，阻碍了我国电子工业的发展。在无产阶级文化大革命中广大人民群众运用马列主义、毛泽东思想这个强大的思想武器起来革命，摧毁了它们的资产阶级司令部，夺回了被他们篡夺的一部分权利并批判了他们那套“电子工业神秘论”的谬论后，他们又打出了“电子工业中心论”的破旗，公开对抗毛主席工业以钢为纲的伟大指本，颠倒基础（钢铁和机械）工业和电子工业的关系，破坏钢铁和机械工业的飞速发展，妄图以釜底抽薪的恶劣手法来破坏电子工业的迅猛发展。因此，我们必须牢记毛主席

“千万不要忘记阶级斗争”和“思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。”的伟大教导，不断提高我们的阶级斗争和两条路线斗争的觉悟。只有这样，才能保证我国的电子工业沿着毛主席的革命路线胜利前进，取得更大的成绩，得到更迅猛的发展。

革命在发展，人民在前进。无产阶级文化大革命的伟大胜利推动着我国社会主义革命和社会主义建设的飞跃发展。一个空前高涨的“抓革命，促生产，促工作，促战备”的革命高潮已经到来。国内外形势一片大好。“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”我们一定要认真读马、列的书，读毛主席的著作，不断提高自己的阶级斗争、路线斗争和继续革命的觉悟，树立起无产阶级的雄心壮志，努力搞好本职工作，敢于攀登前人没有攀登过的高峰，来加速我国电子工业的发展，以便为祖国的社会主义革命和社会主义建设事业作出自己应有的贡献。

遵照伟大领袖毛主席“教育要革命”、“教材要彻底改革”的伟大指本，我们为配合工农兵学员入学后参加校外的专业劳动而编写了这本《电阻电容生产实践讲义》，目的是帮助学员把生产劳动中得到的感性认识加以系统化、条理化并使之上升到理论，使学员对本专业有个初步了解，以增强学习基础课程时的目的性和针对性。但是，由于我们的思想水平和业务水平都还不高，《讲义》中肯定会有不少不妥甚至错误的地方，望学员及其他读者广泛地提出批评意见，以便今后修改，使教材更好地为工农兵服务，为祖国的社会主义革命和社会主义建设事业服务。

毛主席语录

知识的问题是一个科学问题，来不得半点的虚伪和骄傲，决定地需要的倒是其反面——诚实和谦虚的态度。你要有知识，你就得参加变革现实的实践。

第一章 电阻器的基本知识

§1-1 电阻、电阻率及其单位

什么叫电阻？简单地讲，电阻就是电流在物体中通过时所受的阻力。不同材料的物体对电流通过的阻力大小是不同的，并且电流在物体中通过时电流的能量会转换为热能而使该物体发热。因此，所谓“电阻”，乃是某种材料的物体在一定程度上阻碍电流的通过，并将电流的能量转换为热能的一种物理性质。所谓“电阻器”，就是专门利用了某些导体在一定程度上有阻碍电流流通的性质的一种无线电元件。在另一些场合下，也有专门利用电阻将电流的能量转换为热能这种性质的，如电炉、电烙铁等，这时它们就不叫做电阻器了。

一个物体的电阻究竟有多大？可以用仪表测量出来。测量电阻常用的仪表有：欧姆表、万用表、惠斯登电桥、高阻表等。

一个物体的电阻为什么会有哪么大？这是同许多因素有关系的。在生产实践中，人们发现了如下的一些情况：不同材料的物体，即使形状和尺寸相同，其电阻值也是不相同的；材料相同的两个物体，若形状和尺寸（统称为几何尺寸）不同，其电阻值也是不相同的，长度愈大者，其电阻值就愈大，横截面积愈大（即愈粗）者，其电阻值就愈小。于是，人们就总结出这样一个普遍的规律，即：一个物体的电阻决定于它的几何尺寸和该物体材料的性质。用公式表示则为（参阅图1-1）：

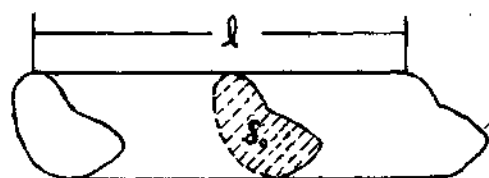


图1-1 物体的电阻与几何尺寸的关系

$$R = \rho \frac{l}{S_0} \dots \dots \dots (1-1)$$

式中 l —— 物体的长度 [厘米];

S_0 —— 物体的横截面积 [厘米²];

R —— 物体的电阻值 [欧姆];

ρ —— 表征该物体材料电阻性质 (导体导电性的好坏) 的一个物理量。称为电阻率 (或称电阻系数, 或称比体积电阻, 或称比电阻)。

由公式 (1-1) 可以得到电阻率 (ρ) 的计算公式:

$$\rho = R \frac{S_0}{l} \dots \dots \dots (1-2)$$

在此, 电阻率 (ρ) 的单位是 [欧姆·厘米]。电阻率 (ρ) 在数值上就等于长度 (l) 为 1 厘米, 横截面积 (S_0) 为 1 厘米² 的这种材料的物体在温度为 ~~20°C~~ 时的电阻值。在实际工作中, 为方便起见, 人们还采用了另一种电阻率的单位, 即 [$\frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$]。

$$\left. \begin{aligned} 1 \frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}} &= 10^{-4} \text{ 欧姆} \cdot \text{厘米} \\ 1 \text{ 欧姆} \cdot \text{厘米} &= 10^4 \frac{\text{欧姆} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}} \end{aligned} \right\} \dots \dots (1-3)$$

不同的材料, 有不同的物理性质。我们可以根据材料的电阻性质 (即电阻率值) 而把所有的材料大致地分为如下三大类别:

(1) 导体, 是传导电流能力强 (即电阻小, 导电性能好) 的材料, 其电阻率值约为 $10^{-6} \sim 10^{-2}$ 欧姆·厘米;

(2) 半导体, 是导电性能介于导体与绝缘体之间的材料, 其电阻率值约为 $10^{-2} \sim 10^9$ 欧姆·厘米;

(3) 绝缘体 (也称为电介质), 是不导电 (或导电性能很不好) 的材料, 其电阻率值约为 $10^9 \sim 10^{12}$ 以上欧姆·厘米。

表 1-1 中列举了几种导电材料的电阻率值。

一个物体的电阻还可以根据下列公式计算出来:

表 1-1 几种导电材料的电阻率

材料名称	ρ (欧姆·厘米)	材料名称	ρ (欧姆·厘米)
铜	1.7×10^{-6}	康 铜	5×10^{-5}
铝	3×10^{-6}	镍铬合金	1×10^{-4}
镍	8×10^{-6}	铍	1.2×10^{-4}
铁	11×10^{-5}	热分解炭	1.5×10^{-3}
铂	1.3×10^{-5}	RJ 电阻合金	$1 \sim 3 \times 10^{-2}$
铈	4×10^{-5}		

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-4)$$

式中 U —— 加在物体两端的电压值 [伏特]。
 I —— 加电压后在物体中通过的电流值 [安培]
 R —— 被测物体的电阻值 [欧姆]

这个式子也就是电学中常用的欧姆定律公式。

§ 1-2 电阻器的分类和型号

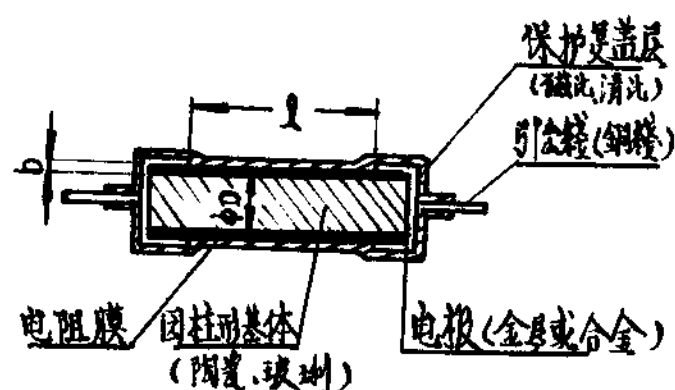
“马克思主义者看问题，不但要看到部分，而且要看全体。”

如图 1-2 所示，电阻器一般是由电阻体（导体或半导体）、基体（绝缘体）、保护层（绝缘体）和电极引出线（导体）等多种材料构成的。其中，电阻体为电阻器提供了“电阻”，基体是用来承载电阻（或电阻体）的，电极引出线是用来把电阻体的“电阻”引接出来，便于人们接入电路中使用，保护层是用来防止电阻体受外界因素影响（例如防止受潮、防止受机械损伤、防止汗斑、油污的污染等）和提高电阻器在工作时的绝缘性能（保证电阻器在工作期间，同其他元件或元件接触时不产生短路情况）。因此，严格地讲，电阻器的电阻值不是全部由其电阻体提供，电阻器的电阻值应该是电阻体、基体、保护层及电极引出线等多种材料的电阻值的集总值（不是代数和）。严格地讲，上述具有集总电阻这种物理性质的无线电元件才称为“电阻器”。习惯上也常把“电阻器”简称为“电阻”。

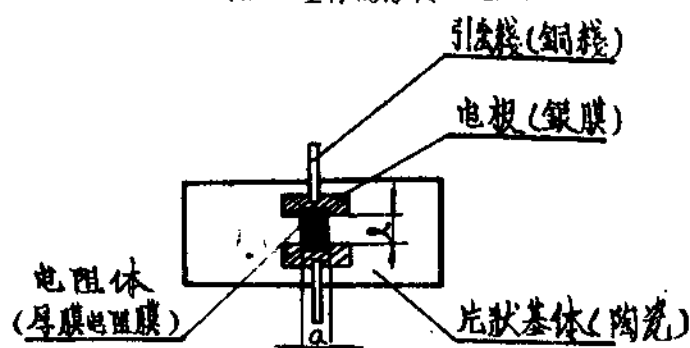
“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性”

在现代工业中，不同的电子设备对电阻器有着不同的要求，有的希望阻值特别精确、稳定，有的希望功率要大，耐压要高，有的则对体积小，重量轻特别感兴趣，也有的对电性能没有太高的要求，只希望价格便宜一些，等等。针对这些不同的要求，就试制和生产出各种类型的电阻器，以供选用。电阻器可以根据多种方式给予分类。但是，一般是根据如下两种方式进行分类，即：

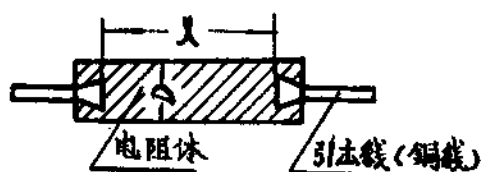
1. 按电阻体材料和结构特征分类。由此电阻器首先可以分为线绕电阻器和非线绕电阻器两大类。线绕电阻器是由一些合金导线绕在绝缘基体上而制成的。通常使用的合金导线是铜锰镍合金（典型成分是：86% 的铜，12% 锰和 2% 镍），铜镍合金（即康铜，典型成分是 60% 铜和 40% 镍）和镍铬合金。这类电阻器的优点是：阻值精确，耐热性好，功率大，电性能最稳定。缺点是：不易获得高阻，不宜在较高频率条件下使用；体积大；价格贵且可靠性较差。因此，目前线绕电阻器多用于精密电阻器或者用于耗散功率比较



(甲) 圆柱形(或管形)基体的薄膜型电阻器

电阻膜宽 a 长 l 厚 b

(乙) 片状基体的薄膜型电阻器



(丙) 实心合成电阻器



(丁) 圆柱形基体单层平绕线绕电阻器

图1-2 几种典型的电阻器结构

大的地方。

除了线绕电阻器之外, 其它各种电阻器都称为非线绕电阻器。非线绕电阻器又可分为薄膜型电阻器和合成型电阻器两类。

薄膜型电阻器的

电阻体是用某种方法将导电材料淀积(或涂敷后焙烧)在绝缘基体表面上的一层极薄的膜。常见的薄膜型电阻器有炭膜电阻器、金属膜电阻器和氧化膜电阻器等三种产品。这类电阻器由于具有电性能稳定(还能在高频条件下工作)、阻值范围广、精确度高, 有利于小型化等优点, 因此应用非常广泛。特别是金属膜电阻器, 其各方面的优点比炭膜电阻器和氧化膜电阻器更突出一些, 因此, 在薄膜集成电路中也得到了应用和发展。然而, 炭膜电阻器价格便宜, 氧化膜电阻器易于获得低阻(尤其是30欧以下的阻值), 这些则是金属膜电阻器所不及的。

合成型电阻器的电阻体是由颗粒状的导电材料（例如极细的炭黑粉末）和一些不导电的材料（例如树脂、石英砂等）混合粘结在一起而制成的。这种合成物的电阻体可以经涂敷焙烧制成附着在绝缘基体表面上的电阻膜（例如漆膜合成电阻器），也可以压塑成实心的圆柱状导电体（例如实心合成电阻器）。由于合成型电阻器的制造不需要复杂的设备和贵重材料，所以产品价格便宜。另外，由于其电阻膜的阻值很高，可以由漆膜合成电阻器制得高阻电阻器和大功率高压电阻器；由于其实心电阻体的横截面积很大而使实心合成电阻器具有功率大和可靠性最好的优点。所以，虽然合成型电阻器的电性能各方面都比不上薄膜型的，但却至今未被淘汰而在继续生产。

2. 按用途分类。则可以把电阻器分为通用电阻器、高兆欧电阻器、高压电阻器、高频电阻器、精密和半精密电阻器和小型电阻器等。

除此以外电阻器还可以分为固定电阻器（即电阻值是某一固定值的电阻器）和可变电阻器（即电阻值能够根据人们的需要而在一定范围内任意变动的电阻器）两大类。电位器实际上就是一种可变电阻器。电位器的（电阻体）导电材料基本上与上述电阻器的一样，也是合金导线、金属膜、氧化膜、合成漆膜和合成实心等。因此，电位器也分成线绕电位器和非线绕电位器两大类。在非线绕电位器中也分为薄膜型电位器、合成漆膜型电位器和合成实心型电位器三类。我们只要对同种导电材料的电阻器比较熟悉，则对电位器的电性能也会有大致的了解，故对电位器就不再详细介绍了。

为了用户选用方便起见，各类电阻器都根据一定的原则命名并规定一定的型号。我国制定了以汉语拼音字母（即拉丁字母）为基础的型号命名方案。现将我国生产的电阻器、电位器中的主要产品及其型号、命名列于表1-2。

型号中各字母代表的意义是：

(1) 第一个字母代表产品的主要称呼，如：

R — 电阻器， W — 电位器

(2) 第二个字母表本产品的（电阻体）导电材料的类型，如：

J — 金属膜 Y — 氧化膜

T — 炭膜 U — 硅炭膜

P(或TP) — 碳膜 H — 合成膜

S — 实心 X — 线绕

表 1-2 各类电阻器 电位器的型号

型号	名称	类型	型号	名称	类型
RJ	金属膜电阻器	薄 膜 电 阻 器	RHY	高压合成电阻器	合成型电阻器
RJJ	精密金属膜电阻器		RHQ	全保护高功耗膜电阻器	
RJX	小型金属膜电阻器		RHZ	真空密封高功耗膜电阻器	
RY	氧化膜电阻器		RS	实心电阻器	线 绕 电 阻 器
RT	炭膜电阻器		RXT	精密线绕电阻器	
RTL	测量用炭膜电阻器		RXY	玻璃釉线绕电阻器	
RTX	小型炭膜电阻器		RXYC	玻璃釉耐潮线绕电阻器	
RTZ	高阻炭膜电阻器		RXY-T	带有可移动抽头引出线的 玻璃釉线绕电阻器	
RTCP	超高频炭膜电阻器		WX	线绕电位器	电 位 器
RTCP-Q	垫圈式超高频炭膜电阻器		WT	微调金属膜电位器	
RTS	高频水冷式炭膜电阻器		WTH	合成炭膜电位器	
RU	硅炭膜电阻器		WS	实心电位器	
RPJ	精密硼炭膜电阻器				

(3) 后面的字母则表示产品的结构、用途、形状和大小等，如

结构	Y — 被釉	Z — 真空
用途	J — 精密	L — 测量
	P — 高频	CP — 超高频
	Z — 高阻	CZ — 超高阻
	Y — 高电压	C — 耐潮
	R — 耐热	
形状	Q — 垫圈式	G — 管形
	Y — 圆片形	
大小	X — 小型	C — 超小型
	W — 微型	

§1-3 电阻器的主要性能要求

人们对任何产品都有一定的数量和质量的要求，对电阻器也是如此。所谓电阻器的质量，是指它的性能是否符合要求。尽管电阻器的类型很多，不同类型的电阻器，人们对它的性能有不同的要求，但是，一般说来，人们对各类固定电阻器的性能要求可以归结有如下四个方面：

(1) 电阻器要有人们需要的某一电阻值；

(2) 电阻器在电路中工作时能够负载（即承受）一定的电功率；

(3) 电阻器在预定的环境条件（如温度、湿度、气压、机械振动和冲击等）和工作条件（如电压、电流等）下应该有一定的阻值稳定性；

(4) 电阻器在预定的环境和工作条件下工作时应该有一定的可靠性。

下面我们分别给予叙述。

1. 电阻器的电阻值

虽然电阻器是由电阻体、基体、保护层和电极引出线等多种材料构成的无源元件，构成电阻器的各个材料的性能都会或大或小的影响电阻器的性能，但是，电阻器既是利用某些导体在一定程度上能够阻碍电流流通的性质的一种元件，因此，电阻体便是电阻器的主要组成部分，电阻器的“电阻”也主要地是由其电阻体提供的。
“捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了。”

在一般情况下，基体、保护层和电极引出线等辅助材料对电阻器电阻值大小的影响可以忽略不计，可以近似地认为电阻器的“电阻”完全是由电阻器的电阻体提供的。因此，在一般情况下，电阻器的电阻值仍可以用下列公式进行计算（参阅图1-2）：

$$R = \rho \frac{l}{S_0} \dots \dots \dots (1-5)$$

式中 R —— 电阻器的电阻值 [欧姆]；

ρ —— 电阻器导电材料（即电阻体材料）的电阻率 [欧姆·厘米]；

S_0 —— 电阻器导电材料的横截面积 [厘米²]；

l —— 电阻器导电材料的工作长度 [厘米]。

对于片状基体的薄膜型电阻器，其电阻值的计算公式则是：

$$\left. \begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{S_0} = \rho \frac{l}{ba} \\ S_0 &= ba \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1-6)$$

式中 R —— 电阻器的电阻值 [欧姆]；

ρ —— 电阻器导电膜（即电阻膜）材料的电阻率 [欧姆·厘米]；

S_0 —— 电阻器电阻膜的横截面积 [厘米²]；

l —— 电阻器电阻膜的工作长度 [厘米]；

a —— 电阻器电阻膜的宽度 [厘米]；

b —— 电阻器电阻膜的厚度 [厘米]。

对于圆柱形基体的薄膜（如合成漆膜）电阻器，由于它们的电阻膜厚度（ b ）与基体直径（ D ）相比是很小很小的， $D+b$ 可以近似地看成是 D ，电阻膜的横截面积 $S_0 = \pi(D+b)b \approx \pi Db$ ，所以可以用下列公式计算它们的电阻值而不会有什么明显的误差：

$$R = \rho \frac{l}{S_0} = \rho \frac{l}{\pi Db} \quad \left. \begin{array}{l} S_0 = \pi Db \end{array} \right\} \dots \dots (1-7)$$

从公式 (1-5)，(1-6) 和 (1-7) 都可以看出，(1) 研究试制和选用具有不同电阻率（ ρ ）值的电阻体材料就可以使电阻器有不同的电阻值，(2) 在结构设计和生产工艺中改变电阻器电阻体的几何尺寸（即长度和横截面积或者长度、宽度和厚度）也可以改变电阻器的电阻值。这两种办法结合使用就可以使电阻器产品具有我们需要的某一电阻值。例如金属膜电阻器的制造，就是用 24 号、23 号和 11 号三种合金粉分别进行真空蒸发，使电阻器分别获得低阻、中阻和高阻的合金电阻膜，然后通过刻槽工序增长电阻膜的长度、缩小电阻膜的横截面积来提高和调整电阻器的电阻值，就可以生产出从几十欧到 10 兆欧（即一千万欧）的各种阻值的金属膜电阻器产品。

还应该指出的是：大块材料的电阻率（ ρ ）值是一个固定不变的常数，即每一种材料就对应有一个固定不变的电阻率（ ρ ）值；薄膜材料的情况却有所不同。当薄膜厚度小于一定数值时，便不能把此薄膜看成是均匀和完整的了，这时薄膜的电阻率（ ρ ）值就不再像大块材料那样是一个不变的常数而与薄膜的厚度有密切的关系，即薄膜材料虽然相同，当薄膜厚度小于一定数值后，不同厚度的薄膜却有不同电阻率值。另外，由于薄膜厚度很小，测量薄膜厚度也比较困难。因此，对于大块材料我们是用电阻率（ ρ ）值来表征材料的电阻性质的，但是，对于薄膜材料，我们则往往是使用比值 $\frac{\rho}{b}$ 来表征薄膜材料的电阻性质。从公式 (1-6) 中我们可以知道，当电阻薄膜的长度（ l ）和宽度（ a ）相等时，比值 $\frac{\rho}{b}$ 就等于电阻器（也就是电阻膜）的电阻值。因此，比值 $\frac{\rho}{b}$ 实际上是代表长、宽相等的一块正方形的电阻薄膜，当电流由一边流向对边时所具有的电阻值（参阅图 1-3）。于是，我们就把比值 $\frac{\rho}{b}$ 称为“方电阻”（或称“膜电阻”或称“面积电阻”）并用符号 R_s 表示。

以 $R_s = \frac{\rho}{b}$ 代入公式 (1-6) 和公式 (1-7) 就可以分别得到下列两个公式：

片状基体的薄膜型电阻器的电阻

$$R = R_s \frac{l}{a} \quad (1-8)$$

圆柱形基体的薄膜型电阻器的电阻

$$R = R_s \frac{l}{\pi D} \dots (1-9)$$

电阻的单位欧姆简称为欧，并以符号 Ω 表示。由于电阻器的电阻值一般较高，为工作方便起见，还采用了下列电阻单位：

千欧 $= 1000$ 欧 $= 10^3$ 欧，以符号 $K\Omega$ 表示，

兆欧 $= 1000000$ 欧 $= 10^6$ 欧，以符号 $M\Omega$ 表示，

十兆欧 $= 10^7$ 欧

兆兆欧 $= 10^{12}$ 欧

在电子设备中对电阻器电阻值的要求是允许有一个误差范围的。因此，工业上大量生产的电阻器，为了达到既能满足使用者对阻值的合理要求，又能使阻值品种简化到最小的限度，除了少数特殊的精密电阻器之外，一般都按标准化的电阻值，即“标称阻值系列”进行生产，如同商店里为了满足不同顾客的需要而出售 80 公分、85 公分、90 公分、95 公分、100 公分……等若干种规格的汗衣的情况差不多。我国采用的“标称阻值系列”与国际上通用的“电阻值和电容量优选系列”是一样的。主要有三个系列：电阻值允许误差为 $\pm 5\%$ 者按 E_{24} 系列的标称阻值（即电阻器出厂时标定的电阻值）进行生产；阻值允许误差为 $\pm 10\%$ 者按 E_{12} 系列的标称阻值进行生产；阻值允许误差为 $\pm 20\%$ 者按 E_6 系列的标称阻值生产（详见表 1-3）。

电阻器的全部标称值系列就是表 1-3 中的系列值乘以 10^{-1} ，1，10， 10^2 ， 10^3 ， 10^4 ……而推演出来的。

阻值的误差是按

$$\frac{\text{实际阻值} - \text{标称阻值}}{\text{标称阻值}} \times 100\% \text{ 的计标。}$$

从表 1-3 可以看出这一个系列的优越性，因为在允许误差范围内的电阻值可以满足任意设计和使用的要求，前一数值的下限与后一数值的上限是依次互相衔接或迭接的，其中只有少数的数值上、下限间略有间隙，也不妨碍实际使用。采用这种合理的优选值系列，

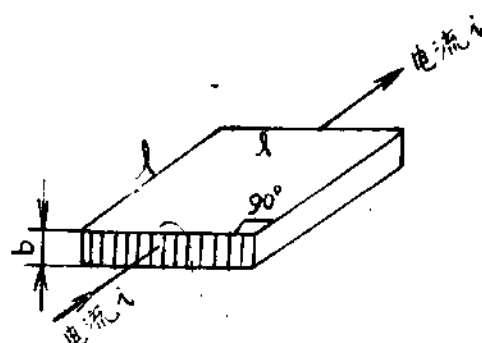


图 1-3 正方形电阻膜的电阻

表 1-3 电阻值、电容量优选值系列表

$E_{24} \pm 5\%$ 系列			$E_{12} \pm 10\%$ 系列			$E_6 \pm 20\%$ 系列		
系列值	上限值	下限值	系列值	上限值	下限值	系列值	上限值	下限值
1.0	0.95	1.05	1.0	0.9	1.1	1.0	0.8	1.2
1.1	1.045	1.155						
1.2	1.14	1.26	1.2	1.08	1.32			
1.3	1.235	1.365						
1.5	1.42	1.575	1.5	1.35	1.65	1.5	1.2	1.8
1.6	1.52	1.68						
1.8	1.71	1.89	1.8	1.62	1.98			
2.0	1.91	2.1						
2.2	2.1	2.3	2.2	1.68	2.42	2.2	1.78	2.64
2.4	2.28	2.52						
2.7	2.565	2.835	2.7	2.43	2.97			
3.0	2.85	3.15						
3.3	3.135	3.465	3.3	2.97	3.63	3.3	2.64	3.96
3.6	3.42	3.78						
3.9	3.705	4.095	3.9	3.51	4.29			
4.3	4.085	4.515						
4.7	4.465	4.935	4.7	4.23	5.17	4.7	3.78	5.64
5.1	4.845	5.355						
5.6	5.32	5.88	5.6	5.04	6.16			
6.2	5.89	6.51						
6.8	6.48	7.14	6.8	6.12	7.48	6.8	5.44	8.16
7.5	7.125	7.878						
8.2	7.79	8.61	8.2	7.38	9.02			
9.1	8.645	9.555						

不仅使产品的品种规格简化到了最少限度，而且还消除了大量生产中，因阻值偏离某一值而使产品成为废品的现象。

电阻器阻值的标称值与实际值的相对误差（如表 1-3 中的 5%、10%、20%）就称为电阻器的精密度（或称为精确度），阻值相对误差（也称公差）愈小，则电阻器的精密度就愈高。精密度也是电阻器的一个重要性能参数。精密薄膜型电阻器的阻值相对误差可达 $\pm 0.5\%$ 至 $\pm 3\%$ ，精密线绕电阻器的阻值相对误差可达 $\pm 2\%$ ， $\pm 1\%$ ， $\pm 0.5\%$ 。

和 $\pm 0.1\%$ 甚至更小。

实心扣漆膜电阻器通常是用色圈标示阻值及其误差的(如图1-4所示)。靠近电阻器一端的前三个色圈表示电阻器标称值的两位数字,以及零的个数。第四圈(金色、银色或无色)表示公差的大小。如表1-4所示,例如:



第一圈	第二圈	第三圈	第四圈
黄	紫	红	金色
橙	橙	橙	银色
红	红	汞	无色

图1-4 涂色圈标示的应用实心电阻的外观

表1-4 电阻标示色码表

颜色	色圈(或点)代表的数字			
	I	II	III	IV
黑	0	0	—	—
棕	1	1	0	—
红	2	2	00	—
橙	3	3	000	—
黄	4	4	0000	—
绿	5	5	00000	—
蓝	6	6	000000	—
紫	7	7	—	—
灰	8	8	—	—
白	9	9	—	—
金	—	—	—	$\pm 5\%$
银	—	—	—	$\pm 10\%$
无色	—	—	—	$\pm 20\%$

电阻值及误差

$4700\Omega \pm 5\%$

$33000\Omega \pm 10\%$

$2.2M\Omega \pm 20\%$

2. 标称功率

所谓“功率”是指单位时间内所做的功。单位时间(1秒钟)内电流所做的功就称为“电功率”,也简称为“功率”。以公式表示则为:

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \dots \dots (1-10)$$

$$\text{即 } V = \frac{P}{I} = \sqrt{PR}$$

式中 P —— 电阻器所负载或消耗的电功率[瓦特];

V —— 加在电阻器上的电压[伏特];

I —— 加电压后在电阻器内流过的电流[安培];

R —— 电阻器的电阻值[欧姆]。

电流流过电阻器时,将使电阻器发热。流过的电流愈大,电阻器发热就愈厉害。电阻器能够承受发热量的能力就以功率表示。

标称功率 电阻器在某一规定的环境温度中工作时允许负载的最大电功率值。当电阻器负载的电功率超过了该值时，电阻器的性能就会发生不允许的变化，电阻器就不能正常工作，甚至会被烧坏。因此，标称功率就是电阻器的额定功率。以公式表示则为：

$$\left. \begin{aligned} P_H &= U_H I_H = I_H^2 R_H = \frac{U_H^2}{R_H} \\ U_H &= \frac{P_H}{I_H} = \sqrt{P_H R_H} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1-11)$$

式中 P_H —— 电阻器负载的标称功率（或称额定功率）（瓦）；

U_H —— 加在电阻器上的相当于标称功率的电压〔伏〕；

I_H —— 电阻器负载标称功率 P_H （或加电压 U_H ）后在电阻器中流过的电流〔安〕；

R_H —— 电阻器的标称电阻值〔欧〕

电阻器的标称功率一般采用下列的系列，基本上能满足所有电子设备的需要。

0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 瓦。

当然，在雷达等大功率设备中，也需用功率达几百瓦的电阻器，不过，这只是个特殊情况。

当电阻器需要负载 n 倍的标称功率时，以 $P = nP_H$ 、 $U = U_n$ 和 $R = R_H$ 代入公式 (1-10) 中，则可计算出加在该电阻器上的电压 U_n 是：

$$\left. \begin{aligned} nP_H &= \frac{U_n^2}{R_H} \\ U_n &= \sqrt{nP_H R_H} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1-12)$$

电阻器承受发热最的能力取决于其电阻体的耐热性能及其散热条件。电阻体的几何尺寸（对于线绕和薄膜型电阻器是相互的基体的几何尺寸）大者，散热面积就大，散热就快，即散热条件好，因此能承受较大的发热量，即其标称功率就大些。另外，由于金属膜和氧化膜的耐热性能比炭膜好，故标称功率相同时，金属膜和氧化膜电阻器的尺寸可以比炭膜电阻器的小些。

3. 电阻器的稳定性

伟大领袖毛主席教导我们说：“对立统一规律是宇宙的根本规律”“一切事物中包含的矛盾方面的相互依赖和相互斗争，决定一切事物的生命，推动一切事物的发展。”一切事物都是运动的，发展的，电阻器也是如此。由于各种材料在外界因素（如温度、湿度，电压

和电流等等)的影响下,其电阻值会随时间而变化,因此,由多种材料构成的电阻器,在外界因素影响下其电阻值也会随时间而变化。不过,不同的材料具有不同的特性,在同一外界因素作用下,不同的材料其阻值随时间而变化的程度和规律是不相同的。因此,用不同材料(特别是用不同的电阻体材料)和工艺制成的电阻器在外界因素作用下其电阻值随时间变化的程度和规律也是不相同的。所谓电阻器的稳定性就是指电阻器在贮存或使用后,其阻值相对变化的大小。在一般情况下,人们总是希望电阻器的阻值尽可能的变化小些,以保证电子设备能良好的工作,因此,电阻器在贮存或使用中阻值相对变化愈小者,其稳定性就愈高。

表征电阻器稳定性的参数很多,如:电阻温度系数,耐潮(或称潮湿)系数,负载老化系数,加速老化系数,贮存系数,噪声电势等等,我们下面只介绍三个最基本的参数。

(1) 电阻温度系数

各种材料的电阻值都将随温度而变化,几种典型材料的电阻值随温度变化的情况如图1-5所示。由图1-5可以看出:

(a)不同的材料,其电阻值随温度变化的规律是不相同的。例如,金属和合金,其电阻值随温度升高而增大,随温度降低而减小;半导体和薄膜材料则是电阻值随温度升高而减小,随温度降低而增大。

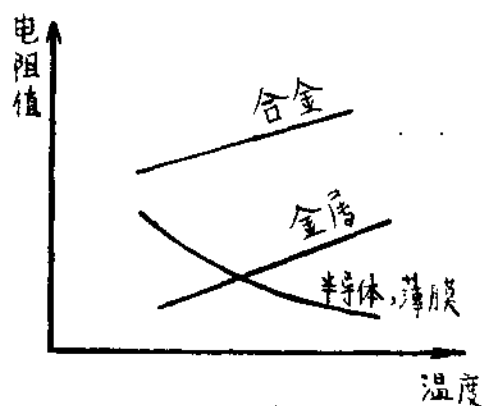


图1-5 几种典型材料的电阻值与温度的关系曲线

(b)不同的材料,其电阻值随温度变化的幅度是不相同的。当温度变化后,有些材料的电阻值变化较大,另一些材料的电阻值则变化很小。例如,温度变化时,合金的电阻变化就比金属的小些,而金属的电阻变化又比半导体或薄膜材料的要小。

电阻器的阻值也将随温度而变化。不同类型的电阻器,其阻值随温度而变化的幅度和规律也是不相同的。为了比较和鉴定电阻器在环境温度变化时的阻值稳定性,人们就取温度每变化一度(即 1°C)时电阻器阻值的相对变化大小的数值作为比较的标准。这个相对变