

电阻器基础知识介绍

一、电阻器基础知识

电阻器是用电阻材料制成的、有一定结构形式、能在电路中起限制电流通过作用的二端电子元件。电阻器的阻值大小一般与温度，材料，长度，还有横截面积有关。阻值不能改变的称为固定电阻器。阻值可变的称为电位器或可变电阻器。理想的电阻器是线性的，即通过电阻器的瞬时电流与外加瞬时电压成正比。一些特殊电阻器，如热敏电阻器、压敏电阻器和敏感元件，其电压与电流的关系是非线性的。

电阻器是电子电路中应用数量最多的元件，在电子设备中约占元件总数的30%以上，通常按功率和阻值形成不同系列，供电路设计者选用。电阻器在电路中主要用来调节和稳定电流与电压，可作为分流器和分压器，也可作电路匹配负载。根据电路要求,还可用于放大电路的负反馈或正反馈、电压-电流转换、输入过载时的电压或电流保护元件，又可组成RC电路作为振荡、滤波、旁路、微分、积分和时间常数元件等。由于电阻器在电路中的广泛应用，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。

电阻通常用字母 **R** 表示，电阻的单位是欧姆(ohm)，简称欧，符号是 Ω (希腊字母，读作 **Omega**)， $1\Omega=1V/A$ 。比较常用的单位有千欧 (k Ω)、兆欧 (M Ω) (兆=百万，即 100 万) 和毫欧 (m Ω)，他们的换算关系是：1M Ω =1000K Ω ；1K Ω =1000 Ω ；1 Ω =1000m Ω 。

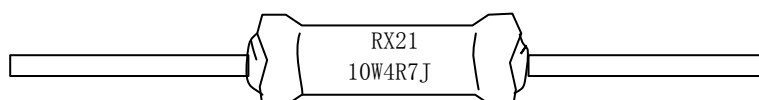
二、电阻器的分类

按制作材料、工艺和应用不同，固定式电阻器可分为：

- 1、膜层电阻——RT碳膜电阻器、RJ金属膜电阻器、RY氧化膜电阻器、RI40玻璃釉电阻器、RI80高压玻璃釉电阻器、RF10金属膜保险电阻器
- 2、线绕电阻——RX21被漆线绕电阻器、RX20被釉线绕电阻器、RXF线绕保险电阻器
- 3、水泥电阻——RX27水泥电阻器、RGC金属板水泥电阻器、TF温度保险丝水泥电阻器
- 4、铝壳电阻——RX24铝壳电阻器、RXLG铝壳电阻器、RXLB超薄铝壳电阻器
- 5、热敏电阻——MF71型NTC热敏电阻器、MF52型NTC热敏电阻器、MF58型NTC热敏电阻器
- 6、压敏电阻——MYG型压敏电阻器

三、电阻器的标志

(1) 文字符号直标法：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，额定功率、允许误差等级等。



编码可表示4种特性：

- a.类别 b.功率 c.阻值 d.误差

a.类别：类别是由两个英文字母与跟着的两个数字标注。字母“RX”表示线绕电阻，两个数字“21”标注了电阻的物理结构为涂覆型。

b.功率：功率用数字和字母表示，10W读作10瓦特。

c.阻值：对于误差大于±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：253表示25000Ω或25kΩ

字母“R”代表小数点，后面跟着有效数字。

例如：R10=0.10Ω

对于误差小于±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26700Ω或26.7可kΩ.

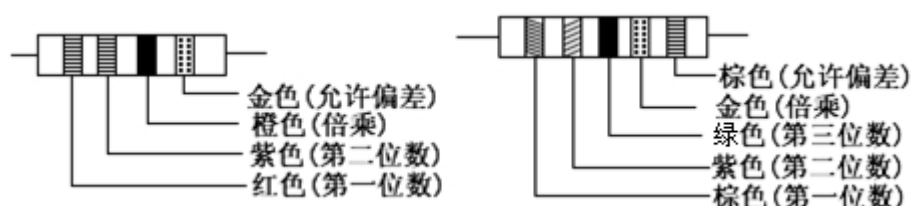
d.误差：误差用一单独字母表示，具体见下表：

字母	C	D	F	G	J	K	M
误差(±%)	0.25	0.5	1	2	5	10	20

(2) 色标法：色标法是将电阻器的类别及主要技术参数的数值用颜色（色环）标注在它的外表面上。色标电阻（色环电阻）器可分为三环、四环、五环三种标法。常见的四色环电阻误差是±5%，为普通电阻；五色环电阻误差是±1%，为精密电阻。

色 别	第一色环 第一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 第三位数字	第四色环 应乘的倍率	第五色环 阻值允许误差
棕	1	1	1	10	F(±1%)
红	2	2	2	100	G(±2%)
橙	3	3	3	1000	
黄	4	4	4	10000	
绿	5	5	5	100000	D(±0.5%)
蓝	6	6	6	1000000	C(±0.25%)
紫	7	7	7	10000000	B(±0.1%)
灰	8	8	8	100000000	
白	9	9	9	1000000000	
黑	0	0	0	1	
金				0.1	J(±5%)
银				0.01	K(±10%)
无色					M(±20%)

示例：



1) 在电阻体的一端标以彩色环，电阻的色标是由左向右排列的，图 1 的电阻为 $27000\Omega \pm 5\%$ 。

2) 精密度电阻器的色环标志用五个色环表示。第一至第 3 色环表示电阻的有效数字，第 4 色环表示倍乘数，第 5 色环表示容许偏差，图 2 的电阻为 $17.5\Omega \pm 1\%$ 阻值在 1 千欧到 100 千欧之间，标注单位 k。比如 5.1 千欧，标注 5.1k；68 千欧，标注 68k。

阻值在 100 千欧到 1 兆欧之间，可以标注单位 k，也可以标注单位 M。比如 360 千欧，可以标注 360k，也可以标注 0.36M。

阻值在 1 千欧以下，可以标注单位 Ω ，也可以不标注。比如 5.1 欧，可以标注 5.1 Ω 或者 5.1；680 欧，可以标注 680 Ω 或者 680。

四、电阻器的阻值系列

允许误差	系列代号	标称阻值系列											
1%	E96	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30
		1.33	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
		1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32
		2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01	3.09
		3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
		4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
		5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
		7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76
5%	E24	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
10%	E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
20%	E6	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						

说明：电阻器的标称阻值系列及其允许误差应符合表列数值之一，或表列数值再乘以 10^n ，其中幂指数 n 为正整数或负整数。

五、电阻器的允许误差

允许误差	0.1%	0.25%	0.5%	1%	2%	3%	5%	10%	15%	20%
符号	B	C	D	F	G	H	J	K	L	M
色环颜色	紫色	蓝色	绿色	棕色	红色		金色	银色		

六、电阻器的参数

1、普通电阻器的电性能参数：

1.1 标称阻值：电阻器设计所确定的、通常在电阻器上标出的阻值。

1.2 允许误差：标称阻值与实际阻值的差值跟标称阻值之比的百分数称阻值偏差，它表示电阻的精度。

1.3 额定功耗：在 70℃环境温度下进行 70℃耐久性试验，而且阻值变化不超过该试验的允许值时所允许的最大功耗。

1.4 温度系数：两个规定温度之间的阻值相对变化除以产生这个变化的温度之差。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。

1.5 额定电压：用标称阻值和额定功耗乘积的平方根计算出来的直流电压或交流电压有效值。（注：由于电阻器的尺寸和结构上的原因，在高阻时不允许施加额定电压。）

1.6 元件极限电压：可以连续施加在电阻器两个引出端上的最大直流电压或交流电压有效值。（注：当阻值大于或等于临界阻值时，只对电阻器施加元件极限电压。）

1.7 临界阻值：额定电压等于元件极限电压时的阻值。（注：在 70℃的环境温度下，允许加在电阻器两个引出端上的最大电压：当阻值小于临界阻值时是计算出的额定电压，当阻值大于或等于临界阻值时则是元件极限电压，当温度不是 70℃时，计算施加的电压应考虑降功耗曲线和元件极限电压。）

1.8 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。

1.9 绝缘电压：在连续工作的条件下，在电阻器的各个引出端与任何导电安装面之间可以施加的最大峰值电压。

1.10 噪声：产生于电阻中的一种不规则的电压起伏。主要由热噪声、接触噪声和散粒噪声。热噪声是由导体内部不规则的电子自由运动所形成。电阻的噪声在一般电路中可以不考虑，但是在弱信号系统中不可忽视。

对于低噪声设计可以采取的措施是：1、使用低阻值。2、电阻类型的考虑优先顺序为线绕电阻，其次是金属膜电阻、金属氧化膜电阻、碳膜电阻。但是需要注意的是大阻值的线绕电阻不多见，而且附带电感，在某些情况下它会导致设计的不稳定。

2、NTC 热敏电阻的电性能参数：

2.1 零功率电阻值 R_T (Ω)

R_T 指在规定温度 T 时，采用引起电阻值变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计的测量功率测得的电阻值。

电阻值和温度变化的关系式为：

$$R_T = R_N \exp B(1/T - 1/T_N)$$

R_T ：在温度 T (K) 时的 NTC 热敏电阻阻值。

R_N ：在额定温度 T_N (K) 时的 NTC 热敏电阻阻值。

T ：规定温度 (K)。

B ：NTC 热敏电阻的材料常数，又叫热敏指数。

exp: 以自然数 e 为底的指数 ($e = 2.71828 \dots$)。

该关系式是经验公式, 只在额定温度 T_N 或额定电阻阻值 R_N 的有限范围内才具有一定的精确度, 因为材料常数 B 本身也是温度 T 的函数。

2.2 额定零功率电阻值 R_{25} (Ω)

根据国标规定, 额定零功率电阻值是 NTC 热敏电阻在基准温度 25°C 时测得的电阻值 R_{25} , 这个电阻值就是 NTC 热敏电阻的标称电阻值。通常所说 NTC 热敏电阻多少阻值, 亦指该值。

2.3 材料常数 (热敏指数) B 值 (K)

B 值被定义为:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T1}}{R_{T2}}$$

R_{T1} : 温度 T_1 (K) 时的零功率电阻值。

R_{T2} : 温度 T_2 (K) 时的零功率电阻值。

T_1 、 T_2 : 两个被指定的温度 (K)。

对于常用的 NTC 热敏电阻, B 值范围一般在 $2000\text{K} \sim 6000\text{K}$ 之间。

2.4 零功率电阻温度系数 (α_T)

在规定温度下, NTC 热敏电阻零功率电阻值的相对变化与引起该变化的温度变化值之比值。

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR_T}{dT} = \frac{B}{T^2}$$

α_T : 温度 T (K) 时的零功率电阻温度系数。

R_T : 温度 T (K) 时的零功率电阻值。

T: 温度 (T)。

B: 材料常数。

2.5 耗散系数 (δ)

在规定环境温度下, NTC 热敏电阻耗散系数是电阻中耗散的功率变化与电阻体相应的温度变化之比值。

$$\delta = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

δ : NTC 热敏电阻耗散系数, (mW/K)。

ΔP : NTC 热敏电阻消耗的功率 (mW)。

ΔT : NTC 热敏电阻消耗功率 ΔP 时, 电阻体相应的温度变化 (K)。

2.6 热时间常数(τ)

在零功率条件下, 当温度突变时, 热敏电阻的温度变化了始末两个温度差的 63.2% 时所需的时间, 热时间常数与 NTC 热敏电阻的热容量成正比, 与其耗散系数成反比。

$$\tau = \frac{C}{\delta}$$

τ : 热时间常数 (S)。

C: NTC 热敏电阻的热容量。

δ : NTC 热敏电阻的耗散系数。

2.7 额定功率 P_n

在规定的技术条件下, 热敏电阻器长期连续工作所允许消耗的功率。在此功率下, 电阻体自身温度不超过其最高工作温度。

2.8 最高工作温度 T_{max}

在规定的技术条件下, 热敏电阻器能长期连续工作所允许的最高温度。即:

$$T_{max} = T_0 + \frac{P_n}{\delta}$$

T_0 -环境温度。

2.9 测量功率 P_m

热敏电阻在规定的环境温度下, 阻体受测量电流加热引起的阻值变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计时所消耗的功率。

一般要求阻值变化大于 0.1%, 则这时的测量功率 P_m 为:

2.10 电阻温度特性

NTC 热敏电阻的温度特性可用下式近似表示:

$$P_m = \frac{\delta}{1000\alpha}$$

式中:

RT: 温度 T 时零功率电阻值。

A: 与热敏电阻器材料物理特性及几何尺寸有关的系数。

B: B 值。

T: 温度 (K)。

更精确的表达式为:

$$R_T = \exp \left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3} \right)$$

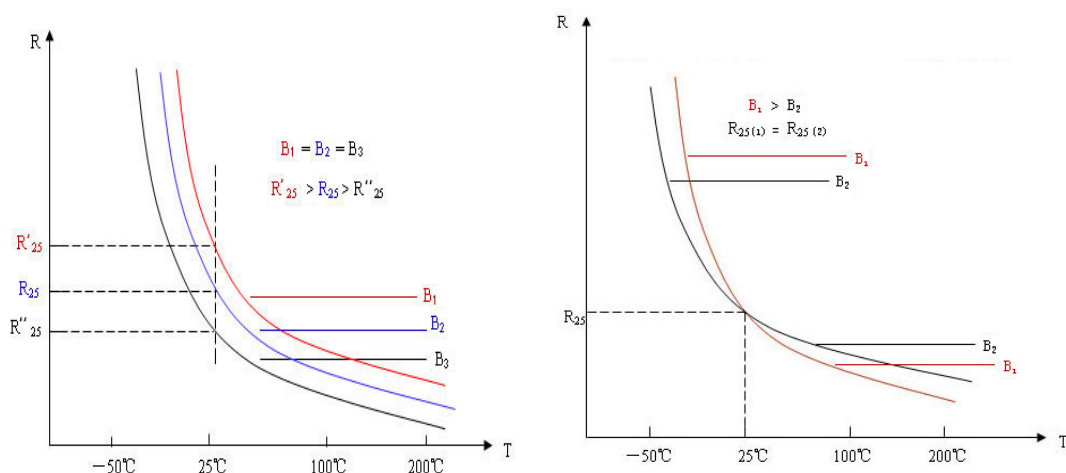
式中:

RT: 热敏电阻器在温度 T 时的零功率电阻值。

T: 为绝对温度值, K;

A、B、C、D: 为特定的常数。

2.11 NTC 负温度系数热敏电阻 R-T 特性



B 值相同，阻值不同的 R-T 特性曲线示意图 相同阻值，不同 B 值的 NTC 热敏电阻 R-T 特性曲线示意图

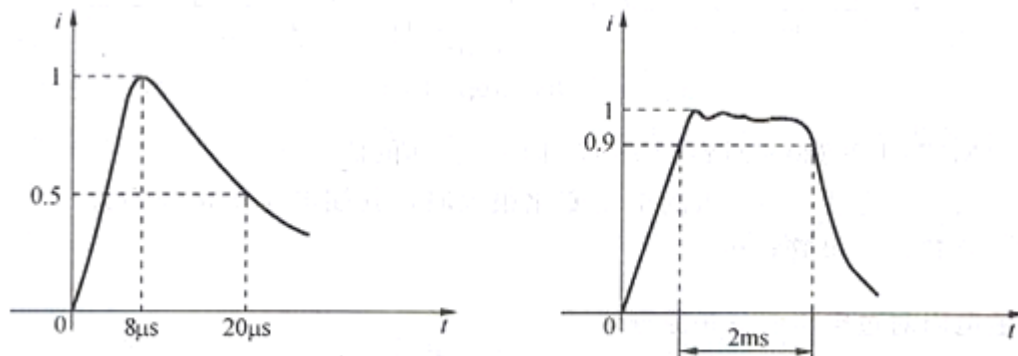
3、压敏电阻器的电性能参数：

3.1 压敏电压： 所谓压敏电压，即击穿电压或阈值电压。指在规定电流下的电压值，大多数情况下用 **1mA** 直流电流通入压敏电阻器时测得的电压值，其产品的压敏电压范围可以从 **10—9000V** 不等。MYG05K 规定通过的电流为 **0.1mA**，MYG07K、MYG10K、MYG14K、MYG20K 标称电压是指通过 **1mA** 直流电流时，压敏电阻器两端的电压值。

3.2 最大允许电压（最大限制电压）： 此电压分交流和直流两种情况，如为交流，则指的是该压敏电阻所允许加的交流电压的有效值，以 **ACrms** 表示，所以在该交流电压有效值作用下应该选用具有该最大允许电压的压敏电阻，实际上 **V1mA** 与 **ACrms** 间彼此是相互关联的，知道了前者也就知道了后者，不过 **ACrms** 对使用者更直接，使用者可根据电路工作电压，可以直接按 **ACrms** 来选取合适的压敏电阻。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 **Uac** 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。对直流而言在直流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.6 \sim 2)U_{dc}$ ，式中 **Udc** 为回路中的直流额定工作电压。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 **Uac** 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{max}$ ，式中 **Umax** 为信号回路的峰值电压。压敏电阻的通流容量应根据防雷电路的设计指标来定。一般而言，压敏电阻的通流容量要大于等于防雷电路设计的通流容量。

3.3 通流容量： 所谓通流容量，即最大脉冲电流的峰值是环境温度为 **25℃** 情况下，对于规定的冲击电流波形和规定的冲击电流次数而言，压敏电压的变化不超过 $\pm 10\%$ 时的最大脉冲电流值。为了延长器件的使用寿命，**ZnO** 压敏电阻所吸收的浪涌电流幅值应小于手册中给出的产品最大通流量。然而从保护效果出发，要求所选用的通流量大一些好。在许多情况下，实际发生的通流量是很难精确计算的。简单的讲-通流容量也称通流量，是指在规定的条件（以规定的时间间隔和次数，施加标准的冲击电流）下，允许通过压敏电阻器上的最大脉冲（峰值）电流值。一般过压是一个或一系列的脉冲波。实验压敏电阻所用的冲击波有两种，一种是为 **8/20μs** 波，即通常所说的波头为 **8μs** 波尾时间为 **20μs** 的脉冲波，另外一种为 **2ms** 的方波，如下图所示：

3.4 最大限制电压：最大限制电压是指压敏电阻器两端所能承受的最高电压值，它表示在规定的冲击电流 I_p 通过压敏电阻时两端所产生的电压此电压又称为残压，所以选用的压敏电阻的残压一定要小于被保护物的耐压水平 V_0 ，否则便达不到可靠的保护目的，通常冲击电流 I_p 值较大，例如 2.5A 或者 10A，因而压敏电阻对应的最大限制电压 V_c 相当大，例如 MYG7K471 其 $V_c=775(I_p=10A)$ 时)。



试验压敏电阻所用的冲击电流波形

3.5 最大能量(能量耐量)：压敏电阻所吸收的能量通常按下式计算 $W=kIVT(J)$

其中 I ——流压敏电阻的峰值 V ——在电流 I 流压敏电阻时压敏电阻两端的电压

T ——电流持续时间

k ——电流 I 的波形系数

对：2ms 的方波 $k=1$

8/20 μ s 波 $k=1.4$

10/1000 μ s $k=1.4$

压敏电阻对 2ms 方波，吸收能量可达 330J 每平方厘米；对 8/20 μ s 波，电流密度可达 2000A 每立方厘米，这表明他的通流能力及能量耐量都是很大的一般来说压敏电阻的片径越大，它的能量耐量越大，耐冲击电流也越大，选用压敏电阻时还应当考虑经常遇到能量较小、但出现频率次数较高的过电压，如几十秒、一两分钟出现一次或多次的过电压，这时就应该考虑压敏电阻所能吸收的平均功率。

3.6 电压比：电压比是指压敏电阻器的电流为 1mA 时产生的电压值与压敏电阻器的电流为 0.1mA 时产生的电压值之比。

3.7 额定功率：在规定的环境温度下所能消耗的最大功率。

3.8 最大峰值电流 一次：以 8/20 μ s 标准波形的电流作一次冲击的最大电流值，此时压敏电压变化率仍在 $\pm 10\%$ 以内。**2 次：**以 8/20 μ s 标准波形的电流作两次冲击的最大电流值，两次冲击时间间隔为 5 分钟，此时压敏电压变化率仍在 $\pm 10\%$ 以内。

3.9 残压比：流压敏电阻器的电流为某一值时，在它两端所产生的电压称为这一电流值为残压。残压比则的残压与标称电压之比。

3.10 漏电流：漏电流又称等待电流，是指压敏电阻器在规定的温度和最大直流电压下，流压敏电阻器的电流。

3.11 电压温度系数：电压温度系数是指在规定的温度范围（温度为 20~70 $^{\circ}C$ ）内，压敏电阻器标称电压的变化率，即在通过压敏电阻器的电流保持恒定时，温度改变 1 $^{\circ}C$ 时压敏电阻两端的相

对变化。

3.12 电流温度系数： 电流温度系数是指在压敏电阻器的两端电压保持恒定时，温度改变 1°C 时，流过压敏电阻器电流的相对变化。

3.13 电压非线性系数： 电压非线性系数是指压敏电阻器在给定的外加电压作用下，其静态电阻值与动态电阻值之比。

3.14 绝缘电阻： 绝缘电阻是指压敏电阻器的引出线（引脚）与电阻体绝缘表面之间的电阻值。

3.15 静态电容： 静态电容是指压敏电阻器本身固有的电容容量。