

压敏电阻选用的基本知识

一、什么是压敏电阻器及其分类与参数？

压敏电阻器简称 VSR，是一种对电压敏感的非线性过电压保护半导体元件。它在电路中用文字符号“RV”或“R”表示，图 1-21 是其电路图形符号。

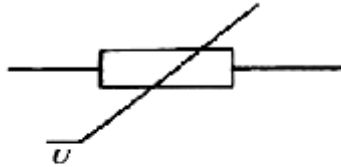


图 1-21 压敏电阻器的电路图形符号

（一）压敏电阻器的种类

压敏电阻器可以按结构、制造过程、使用材料和伏安特性分类。

1. 按结构分类：压敏电阻器按其结构可分为结型压敏电阻器、体型压敏电阻器、单颗粒层压敏电阻器和薄膜压敏电阻器等。

结型压敏电阻器是因为电阻体与金属电极之间的特殊接触，才具有了非线性特性，而体型压敏电阻器的非线性是由电阻体本身的半导体性质决定的。

2. 按使用材料分类：压敏电阻器按其使用材料的不同可分为氧化锌压敏电阻器、碳化硅压敏电阻器、金属氧化物压敏电阻器、锗（硅）压敏电阻器、钛酸钡压敏电阻器等多种。

3. 按其伏安特性分类：压敏电阻器按其伏安特性可分为对称型压敏电阻器（无极性）和非对称型压敏电阻器（有极性）。

（二）压敏电阻器的结构特性与作用

1. 压敏电阻器的结构特性，压敏电阻器与普通电阻器不同，它是根据半导体材料的非线性特性制成的。

图 1-22 是压敏电阻器外形，其内部结构如图 1-23 所示。

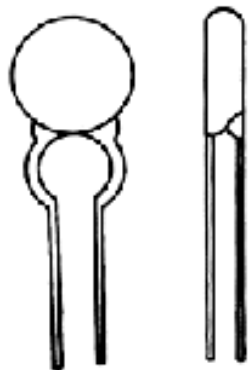


图 1-22 压敏电阻器外形

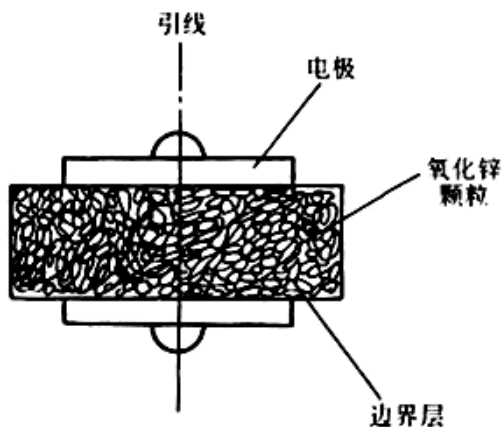


图 1-23 压敏电阻器的内部结构

普通电阻器遵守欧姆定律，而压敏电阻器的电压与电流则呈特殊的非线性关系。当压敏电阻器两端所加电压低于标称额定电压值时，压敏电阻器的电阻值接近无穷大，内部几乎无电流流过。当压敏电阻器两端电压略高于标称额定电压时，压敏电阻器将迅速击穿导通，并由高阻状态变为低阻状态，工作电流也急剧增大。当其两端电压低于标称额定电压时，压敏电阻器又能恢复为高阻状态。当压敏电阻器两端电压超过其最大限制电压时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。

2. 压敏电阻器的作用与应用，压敏电阻器广泛地应用在家用电器及其它电子产品中，起过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

图 1-24 是压敏电阻器的典型应用电路。

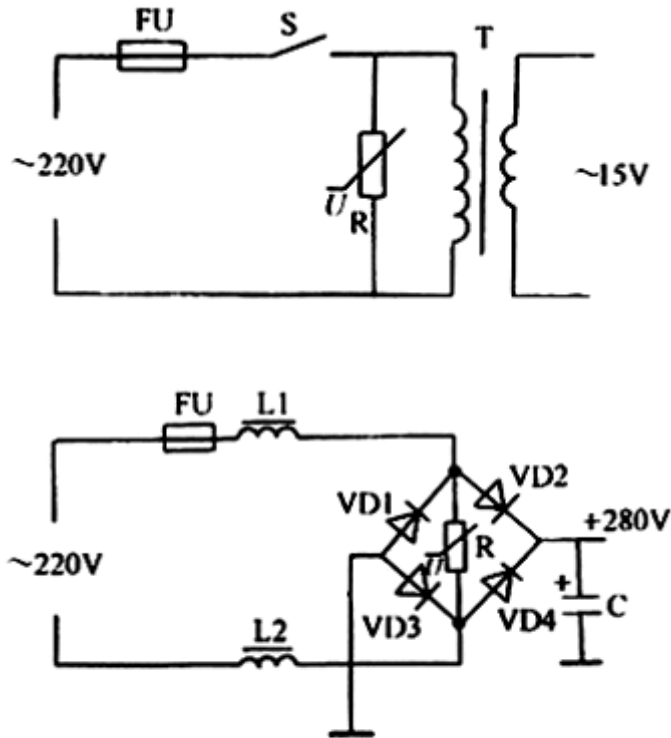


图 1-24 压敏电阻器的典型应用电路

(三) 压敏电阻器的主要参数

压敏电阻器的主要参数有标称电压、电压比、最大控制电压、残压比、通流容量、漏电流、电压温度系数、电流温度系数、电压非线性系数、绝缘电阻、静态电容等。

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。可根据具体需要正确选用。一般 $V_{1mA}=1.5V_p=2.2V_{AC}$ ，式中， V_p 为电路额定电压的峰值。 V_{AC} 为额定交流电压的有效值。 ZnO 压敏电阻的电压值选择是至关重要的，它关系到保护效果与使用寿命。如一台用电器的额定电源电压为 220V，则压敏电阻电压值 $V_{1mA}=1.5V_p=1.5 \times 1.414 \times 220V=476V$ ， $V_{1mA}=2.2V_{AC}=2.2 \times 220V=484V$ ，因此压敏电阻的击穿电压可选在 470—480V 之间。

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 AC_{rms} 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 V_{1mA} 与 AC_{rms} 间彼此是相互关联的，知道了前者也就知道了后者，不过 AC_{rms} 对使用者更直接，使用者可根据电路工作电压，可以直接按 AC_{rms} 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 U_{ac} 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 U_{dc} 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 U_{ac} 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 U_{max} 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. 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 ±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 8/20 μs 波,即通常所说的波头为 8 μs 波尾时间为 20 μs 的脉冲波,另外一种为 2ms 的方波,如下图所示:

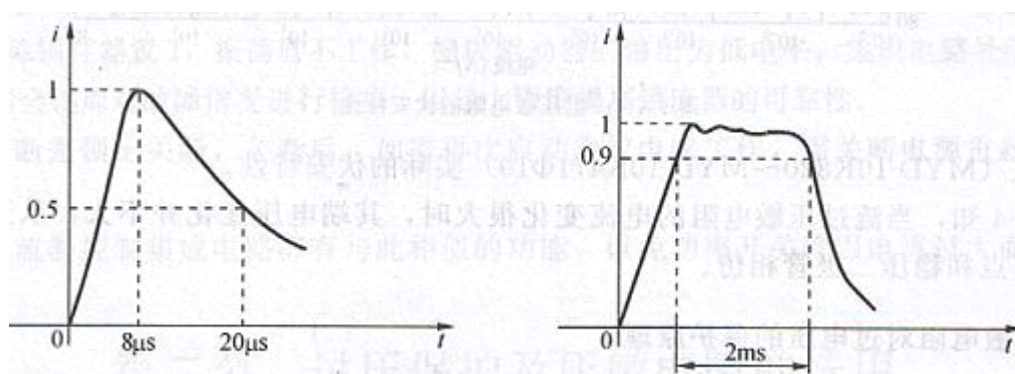


图 9-7 试验压敏电阻所用的冲击电流波形

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)。

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——流过压敏电阻的峰值

V——在电流 I 流过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 $k=1$; 对 8/20 μs 波 $k=1.4$; 对 10/1000 μs 波 $k=1.4$

压敏电阻对 2ms 方波,吸收能量可达 330J 每平方厘米;对 8/20 μs 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。

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。

7. 额定功率：在规定的环境温度下所能消耗的最大功率。

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。

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。

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。

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。

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 $^{\circ}$ C 时，流压敏电阻器电流的相对变化。

$$\frac{V_c (+85^{\circ}\text{C}) - V_c (+25^{\circ}\text{C})}{V_c (+25^{\circ}\text{C})} \times \frac{1}{60} \times 100\%$$

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。

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。

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。

2 压敏电阻器的应用原理

压敏电阻器是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，可以用来代替瞬态抑制二极管、齐纳二极管和电容器的组合。压敏电阻器可以对 IC 及其它设备的电路进行保护，防止因静电放电、浪涌及其它瞬态电流（如雷击等）而造成对它们的损坏。使用时只需将压敏电阻器并接于被保护的 IC 或设备电路上，当电压瞬间高

于某一数值时，压敏电阻器阻值迅速下降，导通大电流，从而保护 IC 或电器设备；当电压低于压敏电阻器工作电压值时，压敏电阻器阻值极高，近乎开路，因而不会影响器件或电器设备的正常工作。

压敏电阻器的应用广泛，压敏电阻主要可用于直流电源、交流电源、低频信号线路、带馈电的天馈线路。从手持式电子产品到工业设备，其规格与尺寸多种多样。随着手持式电子产品的广泛使用，尤其是手机、手提电脑、PDA、数字相机、医疗仪器等，其电路系统的速度要求更高，并且要求工作电压更低，这就对压敏电阻器提出了体积更小、性能更高的要求。因此，表面组装的压敏电阻器元

四、压敏电阻的选用

1、氧化锌压敏电阻器应用原理

压敏电阻是一种限压型保护器件。利用压敏电阻的非线性特性，当过电压出现在压敏电阻的两极间，压敏电阻可以将电压钳位到一个相对固定的电压值，从而实现对后续电路的保护。压敏电阻的主要参数有：压敏电压、通流容量、结电容、响应时间等。

压敏电阻的响应时间为 ns 级，比空气放电管快，比 TVS 管稍慢一些，一般情况下用于电子电路的过电压保护其响应速度可以满足要求。压敏电阻的结电容一般在几百到几千 pF 的数量级范围，很多情况下不宜直接应用在高频信号线路的保护中，应用在交流电路的保护中时，因为其结电容较大会增加漏电流，在设计防护电路时需要充分考虑。压敏电阻的通流容量较大，但比气体放电管小。

压敏电阻器与被保护的电器设备或元器件并联使用。当电路中出现雷电过电压或瞬态操作过电压 V_s 时，压敏电阻器和被保护的设备及元器件同时承受 V_s ，由于压敏电阻器响应速度很快，它以纳秒级时间迅速呈现优良非线性导电特性（见图 3 中击穿区），此时压敏电阻器两端电压迅速下降，远远小于 V_s ，这样被保护的设备及元器件上实际承受的电压就远低于过电压 V_s ，从而使设备及元器件免遭过电压的冲击。

2、氧化锌压敏电阻器压敏电压的选择

根据被保护电源电压选择压敏电阻器的规定电流下的电压 V_{1mA} 。一般选择原则为：

对于直流回路： $V_{1mA} \geq 2.0V_{DC}$

对于交流回路： $V_{1mA} \geq 2.2V_{有效值}$

特别指出对于压敏电阻压敏电压的选择标准是要高于供电电压，在能够满足可以保护需要保护器件的同时，尽可能选择压敏电压高的压敏电阻，这样不仅可以保护器件，也能提高压敏电阻的使用寿命。比如要保护的器件耐压为 $V_{dc}=550V_{dc}$ ，器件的工作电压 $V=300V_{dc}$ ，那么我们选择压敏电阻就应该是压敏电压为 470V 的压敏电阻，压敏电压范围是 (423-517)，压敏电压最大负误差 $470-47=423V_{dc}$ 大于器件的供电电压 $300V_{ac}$ ，最大正误差为 $470+47=517V_{dc}$ 小于器件的耐压 $550V_{dc}$ 。

选用时还必须注意：

(1) 必须保证在电压波动最大时，连续工作电压也不会超过最大允许值，否则将缩短压敏电阻的使用寿命；

(2) 在电源线与大地间使用压敏电阻时，有时由于接地不良而使线与地之间电压上升，所以通常采用比线与线间使用场合更高标称电压的压敏电阻器。

3、通流量的选取

通常产品给出的通流量是按产品标准给定的波形、冲击次数和间隙时间进行脉冲试验时产品所能承受的最大电流值。而产品所能承受的冲击数是波形、幅值和间隙时间的函数，当电流波形幅值降低 50% 时冲击次数可增加一倍，所以在实际应用中，压敏电阻所吸收的浪涌电流应小于产品的最大通流量。

4、应用

图 1 所示是采用压敏电压器进行电路浪涌和瞬变防护时的电路连接图。对于压敏电阻的应用连接，大致可分为四种类型：

第一种类型是电源线之间或电源线和大地之间的连接，如图 1 (a) 所示。作为压敏电阻器，最具有代表性的使用场合是在电源线及长距离传输的信号线遇到雷击而使导线存在浪涌脉冲等情况下对电子产品起保护作用。一般在线间接入压敏电阻器可对线间的感应脉冲有效，而在线与地间接入压敏电阻则对传输线和大地间的感应脉冲有效。若进一步将线间连接与线地连接两种形式组合起来，则可对浪涌脉冲有更好的吸收作用。

第二种类型为负荷中的连接，见图 1 (b)。它主要用于对感性负载突然开闭引起的感应脉冲进行吸收，以防止元件受到破坏。一般来说，只要并联在感性负载上就可以了，但根据电流种类和能量大小的不同，可以考虑与 R-C 串联吸收电路合用。

第三种类型是接点间的连接，见图 1 (c)。这种连接主要是为了防止感应电荷开关接点被电弧烧坏的情况发生，一般与接点并联接入压敏电阻器即可。

第四种类型主要用于半导体器件的保护连接，见图 1 (d)。这种连接方式主要用于可控硅、大功率三极管等半导体器件，一般采用与保护器件并联的方式，以限制电压低于被保护器件的耐压等级，这对半导体器件是一种有效的保护。



图 1 采用压敏电阻的防护连接

5、选型原则

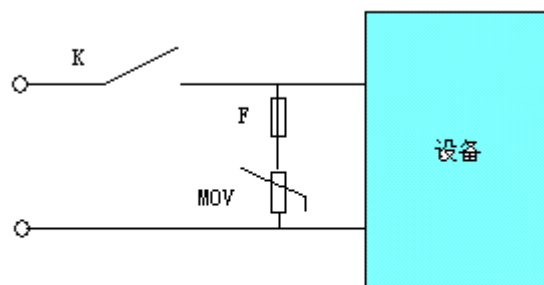
如果电器设备耐压水平 V_0 较低，而浪涌能量又比较大，则可选择压敏电压 V_{1mA} 较低、片径较大的压敏电阻器；如果 V_0 较高，则可选择压敏电压 V_{1mA} 较

高的压敏电阻器，这样既可以保护电器设备，又能延长压敏电阻使用寿命。

压敏电阻器主要应用于各种电子产品的过电压保护电路中，它有多种型号和规格。所选压敏电阻器的主要参数（包括标称电压、最大连续工作电压、最大限制电压、通流容量等）必须符合应用电路的要求，尤其是标称电压要准确。标称电压过高，压敏电阻器起不到过电压保护作用，标称电压过低，压敏电阻器容易误动作或被击穿。

6、氧化锌压敏电阻器的使用方法

压敏电阻器是一种无极性过电压保护元件，无论是交流还是直流电路，只需将压敏电阻器与被保护电器设备或元器件并联即可达到保护设备的目的(如图 4 所示)



F-熔断器FUSE
图4 压敏电阻器接线图
FIG4. THE WIRING DIAGRAM

当过电压幅值高于规定电流下的电压，过电流幅值小于压敏电阻器的最大峰值电流时(若无压敏电阻器足以使设备元器件破坏)，压敏电阻器处于击穿区，可将过电压瞬时限制在很低的幅值上，此时通过压敏电阻器的浪涌电流幅值不大 ($<100A/cm^2$)，不足以对压敏电阻器产生劣化；当过电压幅值很高时，压敏电阻器将过电压限制在较低的水平上(小于设备的耐压水平)，同时通过压敏电阻器的冲击电流很大，使压敏电阻器性能劣化即将失效，这时通过熔断器的电流很大，熔断器断开，这样既可使电器设备、元器件免受过电压冲击，也可避免由于压敏电阻器的劣化击穿造成线路 L-N、L-PE 之间短路(推荐的熔断器规格见表 1)。

表 1 推荐熔断器规格

| 品种 | 5K | 7K | 10K | 14K | 20K |
|---------|----|----|-----|-----|-----|
| 推荐熔断器规格 | 3A | 5A | 7A | 10A | 10A |

压敏电阻器在电路的过电压防护中，如果正常工作在图 3 的预击穿区和击穿区，理论上是不会损坏的。但由于压敏电阻器要长期承受电源电压，电路中暂态过电压、超能量过电压随机的不断冲击及吸收电路储能元件释放能量，因此，压敏电阻器也是会损坏的，它的寿命根据所在电路经受的过电压幅值和能量的不同而不同。

在电子镇流器和节能灯过压保护的压敏电阻,一般小于 20W 选用 MYG07K 系列, 30W-40W 一般选用 MYG10 系列的压敏电阻做过压保护

一、压敏电阻的连接线问题

将压敏电阻接入电路的连接线要足够粗, 推荐的连接线的尺寸注: 接地线为 5.5 mm² 以上连接线要尽可能短, 且走直线, 因为冲击电流会在连接线电感上产生附加电压, 使被保护设备两端的限制电压升高。

| | | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 压敏电阻通流量 | ≤600A | (600~2500)A | (2500~4000)A | (4000~20K)A |
| 导线截面积 | ≥ 0.3 mm ² | ≥ 0.5 mm ² | ≥ 0.8 mm ² | ≥ 2 mm ² |

例如: 若压敏电阻 MY 两端各有 3cm 长的接线, 它的电感量 L 大体为 18nH, 若有 10 KA 的 8/20 冲击电流流入压敏电阻, 把电流的升速看作 10KA/8ms, 则引线电感上的附加电压 UL1、UL2 大体为

$$UL1= UL2=L(di/dt)=18\times 10^{-9}(10\times 10^3/8\times 10^{-6})=22.5V$$

这就使限制电压增高了 45V。

二、压敏电阻的串联和配对

压敏电阻可以很简单地串联使用。将两只电阻体直径相同 (通流量相同) 的压敏电阻串联后, 漆压敏电压、持续工作电压和限制电压相加, 而通流量指标不变。例如在高压电力避雷器中, 要求持续工作电压高达数千伏, 数万伏, 就是将多个 ZnO 压敏电阻阀片迭和起来 (串联) 而得到的。

压敏电阻可以并联, 目的是获得更大的通流量, 或者在冲击电流峰值一定的条件下减小电阻体中的电流密度, 以降低限制电压。

当要求获得极大的通流量 [例如 8/20, (50~200) KA], 且压敏电压又比较低 (例如低于 200V) 时, 电阻体的直径 / 厚度比太大, 在制造技术上有困难, 且随着电阻体直径的加大, 电阻体的微观均匀性变差, 因此通流量不可能随电阻体面积成比例地增大。这时用较小直径的电阻片并联可能是个更合理的方法。

由于高非线性, 压敏电阻片的并联需要特别小心谨慎, 只有经过仔细配对, 参数相同的电阻片相并联, 才能保证电流在各电阻片之间均匀分配。针对这种需求, 本公司专门为用户提供配对的电阻片。

此外, 纵向连结的几个压敏电阻器, 使用经过配对的参数一致的压敏电阻器后, 当冲击侵入时, 出现在横向的电压差可以很小。在这种情况下, 配对也是有意义的。

三、压敏电阻与气体放电器件的串联和并联

压敏电阻可以与气体放电管、空气隙、微放电间隙等气体放电器件相串联 (图 10.5a), 这个串联组合的正常工作要满足两个基本条件: ①、系统电压上限值应低于气体放电器件 G 的直流击穿电压; ②、G 点火后在系统电压上限值下, 压敏电阻 MY 中的电流应小于 G 的电弧维持电流, 以保证 G 的熄弧。

这种串联组合具有电容量小, 工作频率高; 漏电流极小安全性好; 以及不存在压敏电阻 MY 在系统电压下老化的问题, 因而可靠性高等优点, 但同时也有气

体放电器件相应慢所引起的“让通电压”问题。

压敏电阻也可与气体放电管并联，以降低气体放电管的冲击点火电压。