

EMC 设计

目 录

EMC 设计	1
第一篇 防雷技术.....	3
1. 浪涌	3
2. 压敏电阻	6
2.1. 压敏电阻的用途 -----	6
2.2. 压敏电阻的特性 -----	7
2.3. 压敏电阻的参数 -----	7
2.4. 压敏电阻的安全性问题 -----	8
2.4.1. 压敏电阻的串联使用.....	9
2.4.2. 压敏电阻的并联使用.....	9
2.4.3. 压敏电阻与气体放电管的串联	9
3. 气体放电管	10
3.1. 气体放电管的构造及原理-----	10
3.2. 气体放电管的主要参数 -----	10
3.3. 气体放电管与压敏电阻配合使用-----	11
3.3.1. 串联使用	11
3.3.2. 并联使用	11
3.4. 各种 SPD 在浪涌 (8/20 μ s) 下响应曲线 -----	12

第一篇 防雷技术

1. 浪涌

1.1. 浪涌的产生和抑制原理

在电子系统和网络线路上，经常会受到外界瞬时过电压干扰，这些干扰源主要包括：由于通断感性负载或启停大功率负载，线路故障等产生的操作过电压；由于雷电等自然现象引起的雷电浪涌。这种过电压（或过电流）称为浪涌电压（或浪涌电流），是一种瞬变干扰。浪涌会严重危害电子系统的安全工作。消除浪涌噪声干扰，防止浪涌危害一直是关系电子设备安全可靠运行的核心问题。

为了避免浪涌损害电子设备，一般采用分流防御措施，即将浪涌电压在非常短的时间内与大地短接，使浪涌电流分流入地，达到削弱和消除过电压、过电流的目的，从而起到保护电子设备安全运行的作用。

1.2. 浪涌抑制器件分类

SPD (Surge Protective Device) 是国际电工委员会 (IEC) 标准中对电涌保护器的英文缩写。其定义为：**用以限制瞬态过电压和引导电涌电流的一种器具（限压/泄流）。**

按照浪涌抑制器件的特性，其基本上可以分为两大类型。

- **第一类型为撬棒 (crow bar) 器件。其主要特点是器件击穿后的残压很低，**因此不仅有利于浪涌电压的迅速泄放，而且也使功耗大大降低。另外该类型器件的漏电流小，器件极间电容量小，所以对线路影响很小。常用的撬棒器件包括气体放电管、气隙型浪涌保护器、硅双向对称开关 (CSSPD) 等；
- **另一种类型为箝位保护器，即保护器件在击穿后，其两端电压维持在击穿电压上不再上升，以箝位的方式起到保护作用。**常用的箝位保护器是氧化锌压敏电阻 (MOV)，瞬态电压抑制器 (TVS) 等。

1.3. 过电压的概念

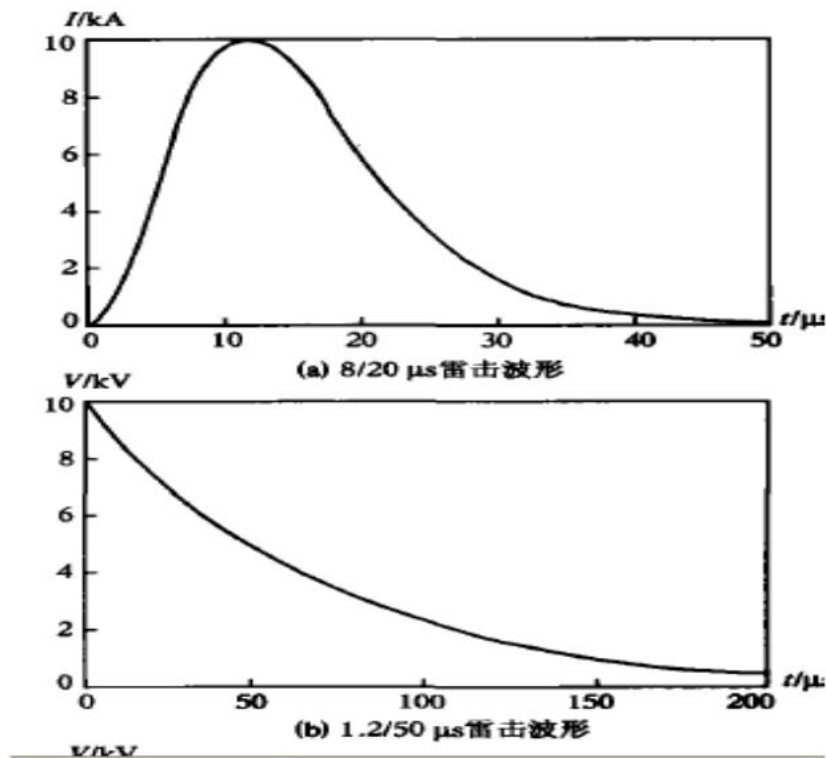
在 IEC60664-1 《低压系统内设备的绝缘配合》标准中，过电压 (overvoltage) 定义如下：“峰值大于正常运行下最大稳态电压的相应峰值的任何电压”。过电压一般分为短时过电压（或暂态过电压）(temporary overvoltage) 和瞬态过电压 (transient overvoltage)。这两种过电压的区分是短时过电压是持续时间较长的工频过电压，而瞬态过电压则是振荡的或非振荡的，通常为高阻尼，持续时间只有几毫秒 (ms) 或更短的短时间过电压。雷击过电压便属瞬态过电压。由于特定通断操作或故障通断，在系统中的任何位置出现的瞬态过电压又称投切过电压（操作、通断过电压）(switching overvoltage)。SPD 应具备抑制瞬态过电压的功能，含防护雷电过电压和投切过电压。

1.4. 雷电冲击的模拟波形

雷电冲击的主要参数包括：

- 电流幅值：雷电流幅值的变化范围很大，其典型值为 18kA，变化范围为 2~300kA；
- 雷电流陡度：雷电流随时间的变化率。它决定了闪电的电磁感应和电磁辐射的强弱，是防雷技术中应特别重视的一个参量。其典型值为 10kA/ μ s，变化范围为 1~80kA/ μ s；
- 雷电流波头：雷电流上升至最大值的时间。其典型值为 2 μ s，变化范围为 1~30 μ s；
- 雷电流波长：雷电流减少到幅值的一半时的时间。其典型值为 40 μ s，变化范围为 10~250 μ s；

电子设备在进行浪涌测试时，通常使用信号发生器来模拟雷击的瞬态现象。对交直流电源端口，通常采用的是 1.2/50 μ s(8/20 μ s)组合波信号发生器（发生器输出端开路时，形成电压浪涌波；发生器输出端短路时，形成电流浪涌波），其波形如下图所示：



- 1.2/50 μ s 电压脉冲：一个电压脉冲，其波头时间(从 10%峰值上升到 90%峰值的时间)为 1.2 μ s；半峰值时间为 50 μ s。
- 8/20 μ s 电流脉冲：一个电流脉冲，其波头时间为 8 μ s，半峰值时间为 20 μ s。

1.5. 浪涌测试等级

表 2-1 试验等级

等级	开路试验电压 ($\pm 10\%$), kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
X	特定

注: X 是一个开放等级, 可以在产品要求中加以规定。

1.6. 浪涌测试项目

- 横向试验: 冲击电压施加在被测设备的信号线或电源线的输入(出)端子之间;
- 纵向试验: 冲击电压施加于被测设备的信号线或电源线的输入(出)端与地之间;

1.7. 交流电源的相位

目前我们接触到作为能源的电, 有直流 (DC) 及交流 (AC) 两种。对于直流电源 (DC), 它的极性是不变的: 正端永远是正端, 负端永远是负端。另一种我们家里各种电器使用的电源, 一般叫市电, 电压很高, 中国是 220V, 而它的极性不断改变的, 即电线的一端不断地正负交替, 也因为这样, 这种供电方式叫交流电 (AC), 交流电极性每秒钟内变化若干次, 这次数便被称为频率, 中国市电的频率是 50Hz, 就是说它每秒钟正负交替 50 次。

我们使用的家用市电, 大部份是单相的 (single phase), 当然小部份也有用上三相的 (3 phase)。以目前的用电安全条例规限, 一般电器都要用上三脚插, 我们把三脚插或座拿来研究, 不难发现, 三脚中在品字形上方的有 E 的标记, E 代表地线 EARTH, 是和大地相连接, 作用是在电器万一漏电时对使用者起安全保护。另一脚是 L (LIVE), 是带电的, 叫活线, 也有俗称火线, 在国外也有称之为热 (Hot) 端, 它一般带标称的 220V 电压, 我们现在使用的入墙开关都是开关活线的。另一脚是 N (NEUTRAL), 正名是回路线, 国外也有人称它为冷 (Cold) 端。回路线一般和地线间不带有电压, 但实际上由於感应作用, 我们还可以量出几伏, 十几伏甚至几十伏的电压。L 线和 N 线不难分别, 只要用测电笔 (俗称他笔) 分别接触它们, 测电笔亮起氖胆的就是 L 线。

2. 压敏电阻

压敏电阻相应的英文名称叫“Voltage Dependent Resistor”，简称为“VDR”。在IEC关于压敏电阻器的标准中，对压敏电阻器所下的定义是：**压敏电阻器是在一定温度下，其电导值随施加电压的增加而急剧增大的元件。**压敏电阻器的电阻材料是半导体，所以它是半导体电阻器的一个品种。现在，大量使用的是氧化锌压敏电阻器。

氧化锌压敏电阻是一种多功能新型陶瓷材料，它是以氧化锌为主体，添加若干其它氧化物改性的烧结体材料。由于它具有造价低廉、非欧姆特性优良、响应时间快、漏电流小、通流容量大等优点，因此被广泛应用于电子设备和电力系统以及其它领域。

压敏电阻用字母“MY”表示，如加J为家用，后面的字母W、G、P、L、H、Z、B、C、N、K分别用于稳压、过压保护、高频电路、防雷、灭弧、消噪、补偿、消磁、高能或高可靠等方面。

2.1. 压敏电阻的用途

压敏电阻器是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，可以对 IC 或电子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）对它们造成损坏。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。

根据使用目的的不同。可将压敏电阻器区分为两大类：保护用压敏电阻和电路功能用压敏电阻。做为保护用压敏电阻，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。

根据压敏电阻承受的异常过电压特性的不同，可将压敏电阻区分为**浪涌抑制型、高功率型和高能型三种类型。**

- 浪涌抑制型：是指用于抑制雷电过电压和操作过电压等瞬态过电压的压敏电阻器。这种瞬态过电压的出现是随机的、非周期的，电流电压的峰值可能很大。绝大多数压敏电阻器都属于这一类；
- 高功率型：是指用于吸收周期性出现的连续脉冲群的压敏电阻器。例如并联在开关电源变换器上的压敏电阻，这里冲击电压周期出现，且周期可知，能量值一般可以计算出来，电压的峰值并不大，单一出现频率高，其平均功率相当大；
- 高能型：指用于吸收发电机励磁线圈，起重电磁铁线圈等大型电感线圈中的磁能

的压敏电压器。对这类应用，主要技术指标是能量吸收能力。

2.2. 压敏电阻的特性

压敏电阻器的电压与电流不遵守欧姆定律，而成特殊的非线性关系。当两端所加电压低于**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；当两端所加电压略高于标称额定电压值时，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；当两端所加电压再次低于标称额定电压值时，压敏电阻器又恢复为高阻状态。**但是，当两端所加电压超过最大限制电压值时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。**

2.3. 压敏电阻的参数

压敏电阻虽然能吸收很大的浪涌电能量，但不能承受毫安级以上的持续电流。在用作过压保护时必须考虑到这一点。

在选择压敏电阻时，主要有两个参数需要注意：**标称压敏电压 (V_{1mA})** 和**通流容量**。

- **所谓压敏电压，即击穿电压、阈值电压 (Varistor Voltage) 或标称电压。指在规定的电流下的电压值，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。一般地， $V_{1mA}=1.5V_p=2.2VAC$ (式中， V_p 为电路额定电压的峰值。VAC 为额定交流电压的有效值)。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；
- **所谓通流容量，即最大脉冲电流的峰值 (Maximum Peak Current)。**是环境温度温度为 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，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，则选用 2—20KA 的产品。如手头产品的通流量不能满足使用要求时，可将几只单个的压敏电阻并联使用，并联后的压敏电不变，其通流量为各单只压敏电阻数值之和。要求并联的压敏电阻伏安特性尽量相同，否则易引起分流不均匀而损坏压敏电阻；

另外，由于压敏电阻在应用时通常是与被保护设备或器件并联使用。在正常情况下，即使电源发生波动，压敏电阻器两端的直流或交流电压也不应高于压敏电阻的**最大连续工作电压 (Maximum Allowable Voltage)**，否则将缩短压敏电阻的使用寿命。

压敏电阻的其它参数包括：

- **通流容量 (最大冲击电流)：**一次：在压敏电压变化率不超过 ± 10%，冲击电流

波形为 $8/20\mu\text{s}$ 的条件下，压敏电阻器所能承受的最大电流。两次：指同一方向冲击两次(间隔 5 分钟),在压敏电压变化率不超过 $\pm 10\%$,冲击电流波形为 $8/20\mu\text{s}$ 的条件下，压敏电阻器所能承受的最大电流；

- 最大连续工作电压 (Maximum Allowable Voltage): 在规定环境温度下，能长期持续加在压敏电阻器两端的最大正弦交流电压有效值或最大直流电压值；
- 最大限制电压(Clamping Voltage): 指在压敏电阻器中通过规定大小的冲击电流 ($8/20\mu\text{s}$) 时，其两端的最大电压峰值；
- 额定功率：指在规定的环境温度下，可施加给压敏电阻器的最大平均冲击功率；
- 最大能量：在压敏电压变化不超过 $\pm 10\%$,冲击电流波形为 $10/1000\mu\text{s}$ 或 2ms 的条件下，可施加给压敏电阻的最大一次冲击能量；
- 残压比：通过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的残压。残压比则是残压与标称电压之比；
- 漏电流(mA)：指在规定的温度下，施加最大连续直流电压（或实际压敏电压的 75% ）时，压敏电阻器中流过的电流值；
- 电压温度系数：指在规定的温度范围（温度为 $20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ）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°C 时，压敏电阻器两端电压的相对变化；
- 电流温度系数：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；
- 静态电容量 (PF)：指压敏电阻器本身所固有的电容量，它是在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中，施加以 1KHZ ，最大为 1Vrms 信号所测得的；

2.4. 压敏电阻的安全性问题

在以往的应用中，跨接在电源线上的压敏电阻器出现过起火燃烧，危机临近其它元器件的事故。压敏电阻起火燃烧的表观现象，大体上可分为老化失效和暂态过电压破坏两种类型：

- 老化失效：这是指电阻体的低阻线性化逐步加剧，漏电流恶性增加且集中流入薄弱点，薄弱点材料融化，形成 $1\text{k}\Omega$ 左右的短路孔后，电源继续推动一个较大的电流灌入短路点，形成高热而起火。这种事故通常可以通过一个与压敏电阻串联的热熔接点来避免。热熔接点应与电阻体有良好的热耦合，当最大冲击电流流过时不会断开，但当温度超过电阻体上限工作温度时即断开。研究表明，若压敏电阻存在着制造缺陷，易发生早期失效，强度不大的电冲击的多次作用，也会加速老化过程，使老化失效提早出现；
- 暂态过电压破坏：这是指较强的暂态过电压使电阻体穿孔，导致更大的电流而高

热起火。整个过程在较短时间内发生，以至电阻体上设置的热熔接点来不及熔断。在三相电源保护中，N-PE 线之间的压敏电阻器烧坏起火事故概率较高，多数是属于这一种情况。相应的对策集中在压敏电阻损坏后不起火。一些压敏电阻的应用技术资料中，推荐与压敏电阻串联电流熔丝（保险丝）进行保护。

2.4.1. 压敏电阻的串联使用

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，其压敏电压、持续工作电压和限制电压相加，而通流量指标不变。

2.4.2. 压敏电阻的并联使用

从保护可靠性的角度来看，采用几个压敏电阻并联要比仅采用单个压敏电阻可靠得多，这是因为如果只采用单个压敏电阻进行保护，一旦该压敏电阻受到损坏，则被保护电子设备就将失去保护，而当采用几个压敏电阻并联保护后，在压敏电阻并联体中，如果其中一、两个被损坏，其它完好者仍可担负起保护任务。

就一般情况而言，**当应用于较大暂态过电流（冲击电流）的保护场合时**，采用多个压敏电阻并联具有明显的优势，与单个压敏电阻相比，多个压敏电阻并联可以给出较低的箝位电压，可以提高泄放暂态过电流的能力，还可减缓其中各压敏电阻的性能退化。但是，多个压敏电阻的并联将会增大整个并联支路的总寄生电容，这对于工作频率较高的电子系统保护来说是十分不利的。在暂态过电流不大的保护场合，采用多个压敏电阻并联一般没有明显优势，反而会增加保护设施的投资，因此宜采用单个压敏电阻。

2.4.3. 压敏电阻与气体放电管的串联

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。这个串联组合的正常工作要满足两个基本条件：

- 系统电压上限值应低于气体放电器件的直流击穿电压；
- 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。

3. 气体放电管

3.1. 气体放电管的构造及原理

气体放电管 (Gas discharge tube) 多采用陶瓷密闭封装，内部由两个或数个带间隙的金属电极，充以惰性气体（氩气或氖气）构成。加到两电极的电压达到使气体放电管内的气体击穿时，气体放电管便开始放电，并由高阻变成低阻，两电极近似短路，从而将过压旁路。

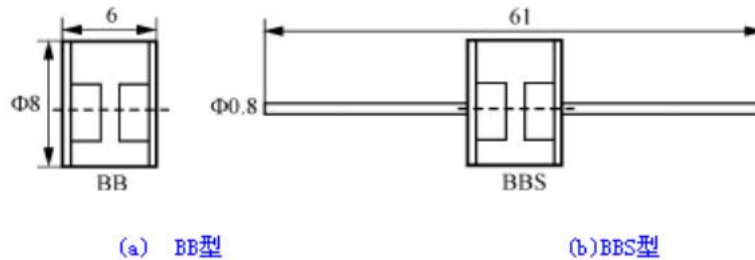
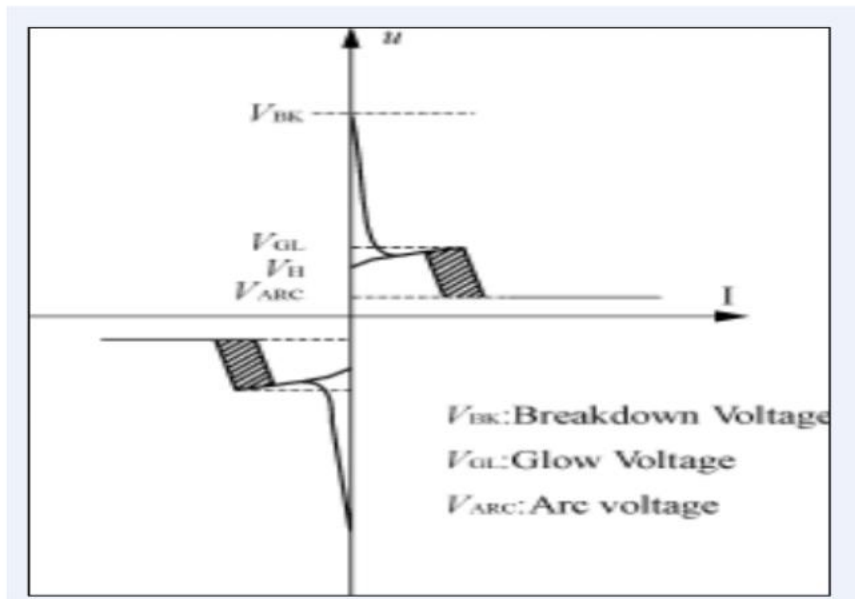


图1 气体放电管的基本外形

气体放电管是一种间隙式的防雷保护元件，常用于多级保护电路中的第一级或前两级，起泄放雷电暂态过电流和限制过电压作用。由于放电管的极间绝缘电阻很大，寄生电容很小，对高频电子线路的雷电防护具有明显的优势。放电管保护特性的主要不足之处在于其放电时延较大，动作灵敏度不够理想，对于波头上升陡度较大的雷电波难以有效地抑制

3.2. 气体放电管的主要参数

- 反应时间：指从外加电压超过击穿电压到产生击穿现象的时间，气体放电管反应时间一般在 μs 数量级；
- 功率容量（耐冲击电流）：指气体放电管所能承受及散发的最大能量，其定义为在固定的 $8 \times 20 \mu\text{s}$ 电流波形下，所能承受及散发的电流；
- 电容量：指在特定的 1KHz 频率下测得的气体放电管两极间电容量。气体放电管电容量很小，一般为 $\leq 1\text{pF}$ ；
- 直流击穿电压：当外施电压以 500V/s 的速率上升，放电管产生火花时的电压为击穿电压。气体放电管具有多种不同规格的直流击穿电压，其值取决于气体的种类和电极间的距离等因素。
- 温度范围
- 绝缘电阻：是指在外施 50 或 100V 直流电压时测量的气体放电管电阻，一般 $> 10^{10}\Omega$ 。
- 电流—电压特性曲线：如图 2 所示。



3.3. 气体放电管与压敏电阻配合使用

3.3.1. 串联使用

压敏电阻与放电管的另一种组合是串联。压敏电阻具有较大的寄生电容，当它应用于交流电源系统的保护时，往往会在正常运行状态下产生数值可观的泄漏电流，例如，一个寄生电容为 2nF 的压敏电阻安装在 220V、50Hz 的交流电源系统中，其泄漏电流可达 0.14mA（有效值），这样大的泄漏电流往往会对系统的正常运行产生影响。将压敏电阻与放电管串联之后，由于放电管的寄生电容很小，可使整个串联支路的总电容减到几个微微法。在这种串联组合支路中，放电管起着开关作用，当没有暂态过电压作用时，它能够将压敏电阻与系统隔离开，使压敏电阻中几乎无泄漏电流，这就能降低压敏电阻的参考电压 U_{1mA} ，而不必顾及由此会引起泄漏电流的增大，从而能较为有效地减缓压敏电阻性能的衰退。在暂态过电压作用期间，由于压敏电阻的参考电压 U_{1mA} 可选得较低，只要放电管能迅速放电导通，则串联支路能给出比单个压敏电阻更低的箝位电压。

3.3.2. 并联使用

压敏电阻在通过持续大电流后其自身的性能要退化，将压敏电阻与放电管并联起来，可以克服这一缺点。在放电管尚未放电导通之前，压敏电阻就开始动作，对暂态过电压进行箝位，泄放大电流，当放电管放电导通后，它将与压敏电阻进行并联分流，减小了对压敏电阻的通流压力，从而缩短了压敏电阻通大电流的时间，有助于减缓压敏电阻的性能退化。在这种并联组合中，如果压敏电阻的参考电压 U_{1mA} 选得过低，则放电管将有可能在暂态过电压作用期间内不会放电导通，过电压的能量全由压敏电阻来泄放，这对压敏电阻是不利的，因此 U_{1mA} 的数值必须选得比放电管的直流放电电压要大些才行。必须指出，这种并联组合电路并没有解决放电管可能产生的续流问题，因此，它不宜应用于交流电源系统的保护。

3.4. 各种 SPD 在浪涌 (8/20 μ s) 下响应曲线

