

低压配电系统、电信、网络系统电涌保护器（SPD）的性能要求试验方法及在安装应用应注意的问题

低压配电系统的电涌保护器（SPD）

一、用于低压配电系统的电涌保护器（SPD）的正常使用条件和异常使用条件

1、正常使用条件：

- (1)、 频率：电源的交流频率在 48Hz 和 50Hz 之间。
- (2)、 电压：持续施加在 SPD 的接线端子之间的电压不应超过其最大持续工作的电压。
- (3)、 海拔：海拔不应超过 2000m。
- (4)、 使用和存储温度：——正常范围：-5⁰C~+40⁰C；
——极限范围：-40⁰C~+70⁰C。
- (5)、 湿度—相对湿度：在室温下应在 30%和 90%之间。

2、异常使用条件：

对置于异常使用条件下的（SPD），在设计和使用中可能需要作特殊考虑，并引起制造厂的重视。

对置于阳光或其他射线下的户外型 SPD，必须附加技术要求。

二、SPD 常用技术参数定义

1、电涌保护器（Surge Protective Devices）

用于限制瞬时过电压和泻放电涌电流的电器，它至少包含一

个非线性的元件。

2、 电压开关型 SPD

没有电涌时具有高阻抗，有浪涌电压时能立即转变成低阻抗的 SPD。常用元件有放电间隙、气体放电管、闸流管和三端双向可控硅开关元件。也称作“短路型 SPD”

3、 电压限制型 SPD

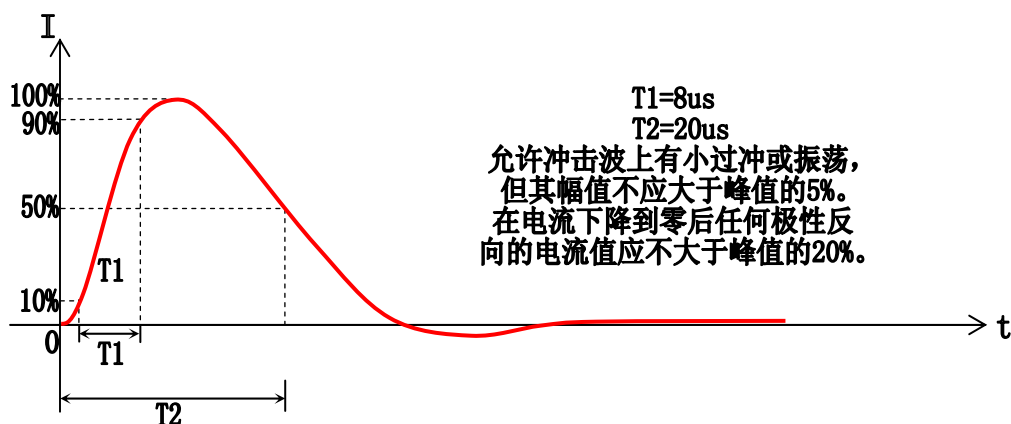
没有电涌时具有高阻抗，但随着电涌电流和电压的上升，其阻抗将持续地减小的 SPD。常用的非线性元件是：压敏电阻和瞬态二极管。也称作“箝位型 SPD”

4、 复合型 SPD

由电压开关型元件和电压限制型元件组成的 SPD。其特性随所加电压的特性可以表现为电压开关型、电压限制型或两者皆有。

5、 标称放电电流 I_n

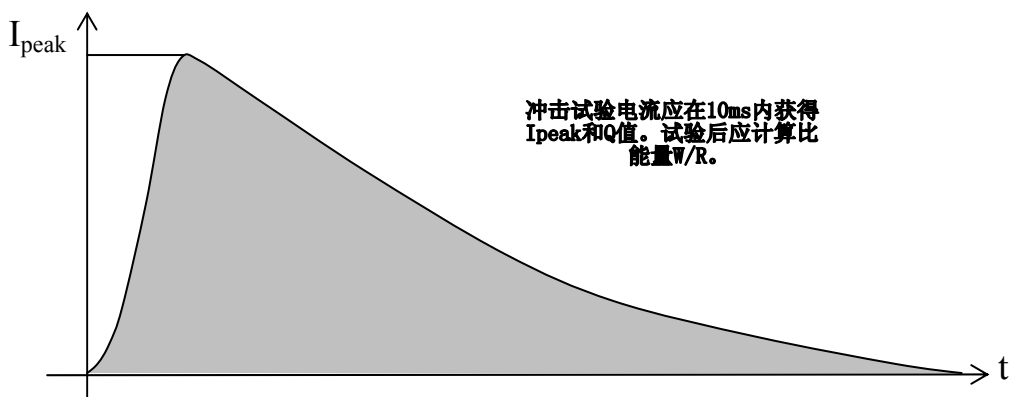
流过 SPD 具有 $8/20 \mu s$ 波形的电流峰值。



该波形主要用于二级试验。

6、 冲击电流 I_{imp}

它由电流峰值 I_{peak} 和电荷量确定。



该波形主要用于一级试验。

7、 最大放电电流 I_{max}

一般情况 $I_{max} = 2I_n$ ，特殊时 $I_{max} = 1.2I_n$

8、 最大持续交流工作电压 U_C

允许持久地施加在 SPD 上的最大交流电压有效值。

9、 最大连续直流工作电压 U_{dc}

允许持久地施加在 SPD 上的最大直流电压。是最大持续交流工作电压 U_C 的 1.3 倍。（主要用于氧化锌压敏电阻）

10、 续流 I_f

主要出现在电压开关型 SPD，当冲击放电电流后，由电源系统流入 SPD 的工频电流称为续流。

11、 暂态过电压（TOV）故障

IEC60364-4-442（GB16895.11-2001）中明确指出：由于高压系统接地故障引起用户电气装置中低压设备的工频应力电压，它的量值和持续时间下表规定的值。

低压电气装置中允许的交流应力电压，V	切断时间，s
U ₀ +250V	>5
U ₀ +1200V	≤5
注 1、由于特殊原因（例如系统中有一根相导体接地）低压系统对地的（最高）标称电压不足 U₀ 时，应力电压另行规定。 2、表中第一行数值用于较长切断时间的系统，例如阻抗接地的高压系统；第二行值用于较短切断时间的系统，例如直接接地的高压系统。上述两行数值是低压配电设备考虑了暂态过电压因素进行适当的绝缘设计的准则。（见 GB/T16935.1-1997 的 1.3.7.1）。 3、当低压设备接入一个其中性导体与变电所的高压系统的保护接地极相连的 TN 系统，且在总等电位联结影响区域外使用时，它的基本、双重性和加强绝缘会出现交流暂态过电压。当低压设备在总等电位联结区域内使用时，该总电位联结到建筑物装置电源进线端的 TN 系统的保护导体上，则不会出现这些过电压。	

12、 限制电压 **measured limiting voltage**

施加规定波形和幅值的冲击电压时，在 SPD 接线端子间测得的最大电压峰值。

13、 电压保护水平 **U_p**

表征 SPD 限制接线端子间电压的性能参数。该值应大于限制电压的最高值。

14、 残压 **U_{rse}**

放电电流流过 SPD 时，在其端子间的电压峰值。

15、 劣化 **degradation**

由于电涌、使用或不利环境的影响，造成 S P D 原始性能参数的变化。

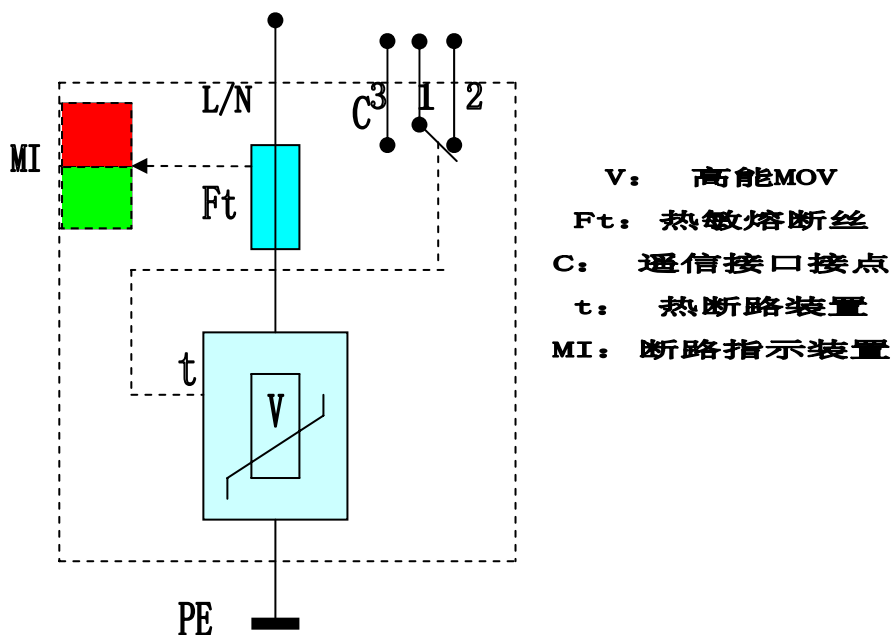
三、 SPD 主要技术参数选取和试验方法

（一）、电压限制型 SPD（核心元件：氧化锌压敏电阻器）

压敏电阻器主要技术参数的定义：

- 1、 **压敏电压：**是压敏电阻由“绝缘到导通”的转折点，通常是以 1mA 电流流过时的电压来表示，称为“压敏电压”。
- 2、 **最大持续交流工作电压 U_C ：**允许持久地施加在 SPD 上的最大交流电压有效值。 U_C 的取值范围基本上是压敏电压的 60%~65% 。
- 3、 **漏电流：**当在压敏电阻两端施加最大直流工作电压 U_{dc} 时，流过压敏电阻的电流值。其值应 $\leq 40 \mu A$ 。
- 4、 **残压：**当在压敏电阻两端施加的电压值达到使压敏电阻由开路状态转为短路状态后，由于短路内阻 R_0 的存在，流过压敏电阻的电流在内阻 R_0 上产生的电压降。其值应在几百伏至几千伏之间。
- 5、 **响应时间：**当施加在压敏电阻两端的电涌电压使压敏电阻从一个状态到另一个状态所需用的时间，其值应在 ns 量级。一般情况下，在低压配电线路上，作为第一级的 SPD，响应时间应 $\leq 100ns$ ；作为第二级的 SPD，响应时间应 $\leq 25ns$ 。（注意：目前 SPD 上标称的响应时间数值应为核心元器件本身的特性，SPD 结构中的引线、接线端子等产生的分布参数造成的响应时间延时并未计算在内。）

电压限制型 SPD 的原理图：



图中：

1、V：高能压敏电阻（MOV）

压敏电阻是一种以氧化锌为主体、添加多种金属氧化物、经典型的电子陶瓷工艺制成的多晶半导体陶瓷元件，

2、Ft：热敏熔断丝

它实际上是一种过流、过温保险丝，当有长时间的大电流流过 Ft 时，Ft 的温度急剧上升，当 Ft 的温度达到 120°C 左右时，Ft 熔断。

3、t：热断路装置和 C：遥信接口接点

当热敏熔断丝 Ft 断路后，热断路装置 t 动作，控制遥信接口接点 C 的 1、2 常闭端由短路转为开路、1、3 常开端由开路转为短路，触发声、光、显示报警装置，发出 SPD 故障报警信号。

4、MI：热断路指示装置

它是由热敏熔断丝 Ft 通过机械连动杆控制的故障报警指

示装置，当热敏熔断丝 Ft 断路后，热断路指示装置由绿色变为红色。绿色代表 SPD 工作正常，红色代表 SPD 出现故障。

电压限制型 SPD 主要技术参数选取对应关系

- 1、 U_c 最大持续工作电压的选择应考虑正常工作状态和失效状态。
- 2、 U_c 值选取的高，压敏电压值和 **SPD** 限制电压值也同时提高，导致电压保护水平 U_p 值增高，有时难以满足工程设计要求。（其优点是 SPD 的漏电流小。）
- 3、 U_c 值选取的低，压敏电压值和 **SPD** 限制电压值也同时降低，导致电压保护水平 U_p 值降低，容易满足工程设计要求。但 SPD 的漏电流随之增大，SPD 易受操作过电压和供电电网波动的影响而造成损坏。

因此，在选取参数时要关联考虑。

氧化锌压敏电阻器的参数选择

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} 。一般选择的原则为：

对于直流回路： $V_{1mA} \geq 2.0 V_{DC}$

对于交流回路： $V_{1mA} \geq 2.2 V_{\text{有效值}}$

如果电器设备的耐压水平 V_O 较低，而电涌能量又比较大，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_O 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，又能延长压敏电阻器的使用寿命。

脱离装置

单个脱离装置应具有 3 个基本功能：热保护、短路保护、非直接接触保护。脱离装置可以装在 SPD 内部，也可以单独设置而 与 SPD 相连。某些功能可通过系统的后备保护来实现，且安装于 SPD 限定距离之内。同一环路上的脱离装置或与电源系统相连的脱离装置，它们和其它电流保护设备的协调性相关，同时与供电系统的连续性保护需要相关。

在出现高压暂态过电压时，脱离装置应具有相关的功能。

压敏电阻三电压参数对照表

压敏电压 V	最大连续交流电压 U_C V	最大连续直流电压 U_{CD} V
82	50	65 (65)
100	60	85 (78)
120	75	100 (97.5)
150	95	125 (123.5)
200	130	170 (169)
220	140	180 (182)
240	150	200 (195)
270	175	225 (227.5)
360	230	300 (299)
390	250	320 (325)
430	275	350 (357.5)
470	300	385 (390)
500	320	410 (416)
620	385	505 (500.5)
680	420	560 (546)
750	460	615 (598)
780	485	640 (630.5)
820	510	670 (663)
910	550	745 (715)

注：本表依据 SJ/T10349-93 制作，括号内为 $U_{dc}=1.3U_C$ 实际计算值。

电压限制型 SPD 的测试项目和方法如下：

1. 依据 GB18802.1-2002 中 7.2.1 ； 7.2.2 节要求：进行标识和标志试验；标志的耐久性试验：

① 标识（部分或全部）：

- i. 制造厂名或商标和规格型号；
- ii. 最大持续工作电压 U_C 和标称额定频率（额定频率可选）；
- iii. 制造厂规定的试验类别和标称放电电流 I_n 、最大放电电流 I_{max} ；
- iv. 电压保护水平 U_P ；

② 标志：

标识必须位于 SPD 的本体上，或持久地标贴在 SPD 本体上。

③ 标志的耐久性试验：

除了用压印、模压和雕刻方法制造外，应对所有型式的标志进行本试验。试验时，用一块浸湿水的棉花来回擦 15s，接着再用一块浸湿脂族已烷溶剂的棉花擦 15s。试验后，标志应清晰可见。

2、依据 GB18802.1-2002 中 7.5.1 节、7.5.2 和 7.5.3 节要求：用 8/20 μs 冲击电流、1.2/50 μs 冲击电压或 8/20 μs & 1.2/50 μs 复合波测量电压限制型 SPD 限制电压。

3、依据 GB18802.1-2002 中 7.7.4 和 7.7.4 节要求：用三只未做过任何试验的新试品做暂态过电压（TOV）故障和暂态过电压（TOV）特性试验。

4、依据 GB18802.1-2002 中 7.6.2、 7.6.4、7.6.5 和 7.6.4 节要求：用三只未做过任何试验的新试品做动作预试验（续流）、预处理试验和动作负载试验。

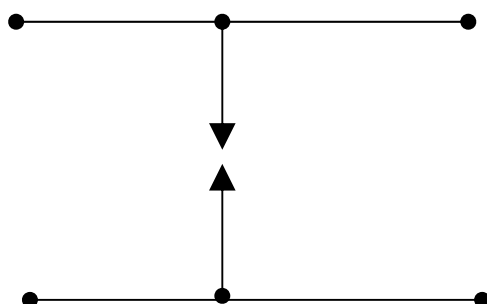
（二）、电压开关型 SPD（核心元件：放电间隙、气体放电管等）

主要技术参数的定义：

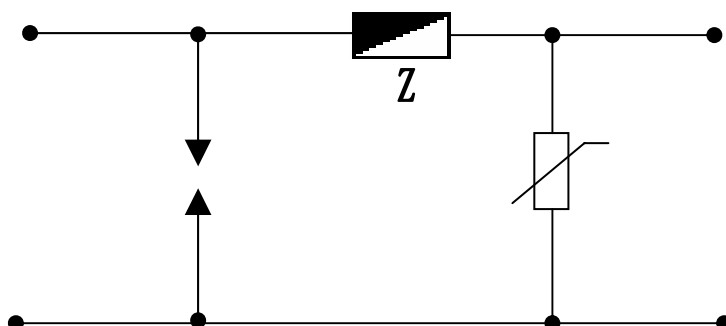
- 1、 **放电电压：**在 SPD 的间隙电极之间，发生击穿放电前的最大电压值。
- 2、 **续流：**当冲击放电电流后，由电源系统流入 SPD 的工频电流称为续流。（续流值应在几千安培，持续时间应小于或等于工频周波的半周。）
- 3、 **冲击试验电流：**冲击试验电流 I_{imp} 应在 10ms 内获得电流峰值 I_{peak} 和电荷量 Q 值。（电流峰值 I_{peak} 和电荷量 Q 值的关系应由公式 $Q/As=0.5I_{peak}/kA$ 给出。）
- 4、 电压保护水平 Up 值的设计范围：IEC60364-5-534 中明确规定，当按要求装设用于防护直接雷击引起过电压的电涌保护器时，其电压保护水平（ Up ）应符合 $Up \leq 2.5kV$ 的规定。
- 5、 当按规定装设用于防护直接雷击引起过电压的电涌保护器（SPD）时，如果电流值无法确定，则每一保护模式通路的雷击冲击电流 I_{imp} 值不应小于 $12.5kA \ 10/350 \mu s$ 。
- 6、 当接线为(三加一)形式装设电涌保护器（SPD）时，在中性线和 PE 线间的电涌保护器（SPD）的雷击冲击电流 I_{imp} 值应根据上述相同的标准计算。如果电流值无法确定，则对于三相系统 I_{imp} 不应小于 $50kA \ 10/350 \mu s$ ，对于单相系统 I_{imp} 不应小于 $25kA \ 10/350 \mu s$ 。
- 7、 当接线为(三加一)形式装设电涌保护器（SPD）时，接于相线与 PE 线之间的电涌保护器（SPD）的总保护水平也要符合 $Up \leq 2.5kV$ 的规定。

- 8、 若用一套电涌保护器（SPD）达不到所要求的保护水平时，应采用附加的配合协调的电涌保护器（SPD）或复合型电涌保护器（SPD），以确保达到要求的保护水平 $U_p \leq 2.5kV$ 的规定。

电压开关型 SPD 的原理图：



电压开关型 SPD 与电压限制型 SPD 配合协调的原理图：



电压开关型 SPD 的测试项目和方法如下：

1. 依据 GB18802.1-2002 中 7.2.1 ； 7.2.2 节要求：进行标识和标志试验；标志的耐久性试验：

① 标识（部分或全部）：

- v. 制造厂名或商标和规格型号；
- vi. 最大持续工作电压 U_c 和标称额定频率（额定频率可选）；
- vii. 制造厂规定的试验类别和标称放电电流 I_n 、最大放电电流 I_{max} ；
- viii. 电压保护水平 U_p ；

② 标志：

标识必须位于 SPD 的本体上，或持久地标贴在 SPD 本体上。

③ 标志的耐久性试验：

除了用压印、模压和雕刻方法制造外，应对所有型式的标志进行本试验。试验时，用一块浸湿水的棉花来回擦 15s，接着再用一块浸湿脂肪族已烷溶剂的棉花擦 15s。试验后，标志应清晰可见。

2. 依据 GB18802.1-2002 中 7.9.7 节要求：对试品进行绝缘电阻试验。

(1) 试验按以下要求准备：

试品如有附加的进线孔，则全部打开；如有敲落孔，则打开其中一个。把不借助工具就能拆卸的盖和其他部件取下，如有必要同时进行耐湿热试验。潮湿处理应在相对湿度为 91%~95%的潮湿箱中进行。放置试品处的空气温度保持在 20℃~30℃ 之间的任何合适的温度 $T \pm 1^\circ\text{C}$ 内。试品在放入潮湿箱之前，应预热至 T 和 (T+4) 温度之间。试品应在潮湿箱中保持 2 天（48 小时）。

(2) 潮湿试验后取出试品，经 30min~60min 后，施加 500V 的直流电压 60s 后测量绝缘电阻。

把被拆下的部件重新装好后，在潮湿箱或在使试品达到规定温度的房间里进行测量。

按下列要求进行测量：

① 在所有互相连接的带电部件和 SPD 易偶尔接触的壳体之间。

本试验术语“壳体”包括：

—— 所有容易触及的金属部件和按正常使用安装后可触及的绝缘材料表面覆盖的金属箔。

—— 安装 SPD 的平面，如有必要该表面可覆盖金属箔。

—— 把 SPD 固定在支架上的螺钉和其他工件。

② 在 SPD 主电路的带电部件和辅助电路的带电部件（如果有的话）之间。

绝缘电阻应不小于：

5M Ω —— 对于①项测试结果，

2M Ω —— 对于②项测试结果。

3. 依据 GB18802.1-2002 中 7.5.3 节要求：使用标准 1.2/50 μ s 冲击电压进行平均限制电压试验：

- i. 以每个冲击电压幅值对 SPD 施加 10 次冲击，正负极性各 5 次。
- ii. 每次冲击的间隔时间应足以使试品冷却到环境温度。
- iii. 在预备试验中，发生器输出电压以大约 10%的幅度分级增加，直到观察到放电为止。
- iv. 从发生器最后一次没有发生放电的设定值重新开始试验，发生器输出电压以 5%的幅值分级增加，直至所有 10 次施加的冲击都发生放电。用示波器记录 SPD 接线端子间的电压。

限制电压是 10 次测量峰值（绝对值）的平均值。**确定电压开关型 SPD 的保护水平 U_p 。**依据企业标准判断该项是否合格。

4. 依据 GB18802.1-2002 中 7.1.1 节要求：用冲击试验电流 I_{imp} （10/350 μ s）对试品进行冲击试验。

冲击试验电流 I_{imp} 由其峰值电流 I_{peak} 和电荷量的参数来确定。冲击试验电流应在 10ms 内获得峰值电流 I_{peak} 和电荷量 Q 值。试验后应计算比能量 W/R ，依据企业标准判断该项是否合格。

5. 依据 GB18802.1-2002 中 7.6.2 节要求：用三只未做过任何试验的新试品做确定续流大小的试验。

该项试验是用来确定 SPD 续流的峰值是大于还是小于 500A。

a)、试品预期短路电流 I_p 应大于等于 1.5kA，功率因数 $\cos\Phi=0.95_{-0.05}$ 。

b)、试品连接到一个具有正弦交流电压的工频电源。在接线端子间测量工频电压的最大值，应等于持续最大工作电压 $U_{C-5}\%$ 。交流电源的频率应符合 SPD 的额定频率。

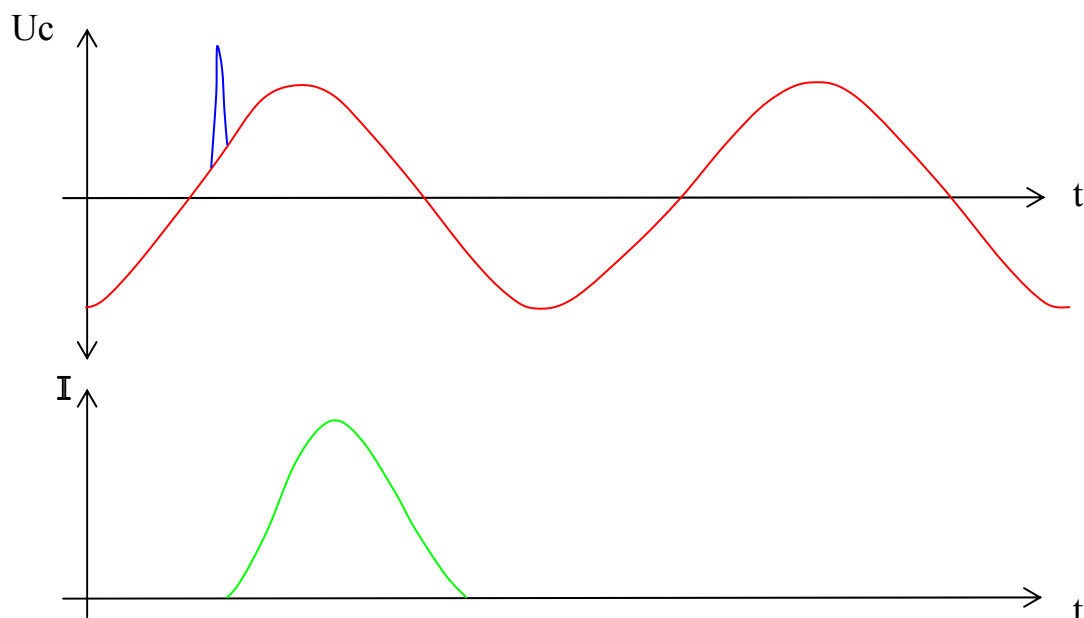
c)、应用 $8/20\mu s$ 冲击电流触发续流。

d)、峰值应相当于 I_{max} 或 I_{peak} 。

e)、冲击电流的起使位置是在工频电压峰值前 60° 。它的极性应于冲击电流产生时工频电压半波的极性相同。

f)、如果在此同步点没有产生续流，为了确定续流是否产生，则必须每滞后 10° 施加 $8/20\mu s$ 冲击电流，以确定是否产生续流。

根据企业标准规定的额定断开续流值判断该项是否合格。



6. 依据 GB18802.1-2002 中 7.7.4 节要求：用三只未做过任何试验的新试品做暂态过电压（TOV）故障试验。

本试验使用于连接在相线和地之间的 SPD，制造厂说明这种 SPD 在 IEC60364-4-442 所叙述的非正常的 TOV 条件下具有安全故障模式。

试品被放置在正方形木盒内，木盒侧面离 SPD 外表面 $500mm \pm 50mm$ 。盒内的表面覆盖薄纸或纱布。盒的一面（不是底面）保持打

开，以便按制造厂要求连接测试电缆。

SPD 的带电端子应全部连接在一起，然后再和接地端子间加暂态过电压，暂态短路时过电压等于 IEC60364-4-442 中规定的值（取决于系统），持续时间 200ms，试验电流限制到 300A（有效值）。

判定：

——试验时薄纸或类似物体不应着火，如着火，则判断该项为不合格。试后，SPD 可以损坏。

——IP 等级大于 IP2X 的 SPD 外壳不应损坏到使用标准试指可触及带电部件。

——如果脱离器动作，SPD 上应有明显的有效和永久断开的迹象。为了检查这一要求，在 SPD 两端施加等于 U_c 的工频电压 1min，流过 SPD 的电流不应超过 0.5mA 有效值。

7. 依据 GB18802.1-2002 中 7.7.6 节要求：用三只未做过任何试验的新试品做暂态过电压（TOV）特性试验。

试品被放置在正方形木盒内，木盒侧面离 SPD 外表面 $500\text{mm} \pm 50\text{mm}$ 。盒内的表面覆盖薄纸或纱布。盒的一面（不是底面）保持打开，以便按制造厂要求连接测试电缆。

试品应连接到 U_T （ $\leq 5\%$ ）的工频电压，持续时间 $t_T=5\text{s}$ （ $\leq 5\%$ ）。试验电源应能确保试验过程中 SPD 端子上的电压不会跌落到 U_T 的 95%以下。

在施加 U_T 后 100ms 或更短的时间内，应在试品上施加等于 U_c （ $\leq 5\%$ ）并具有同样电流能力的工频电压 30min。

判定：

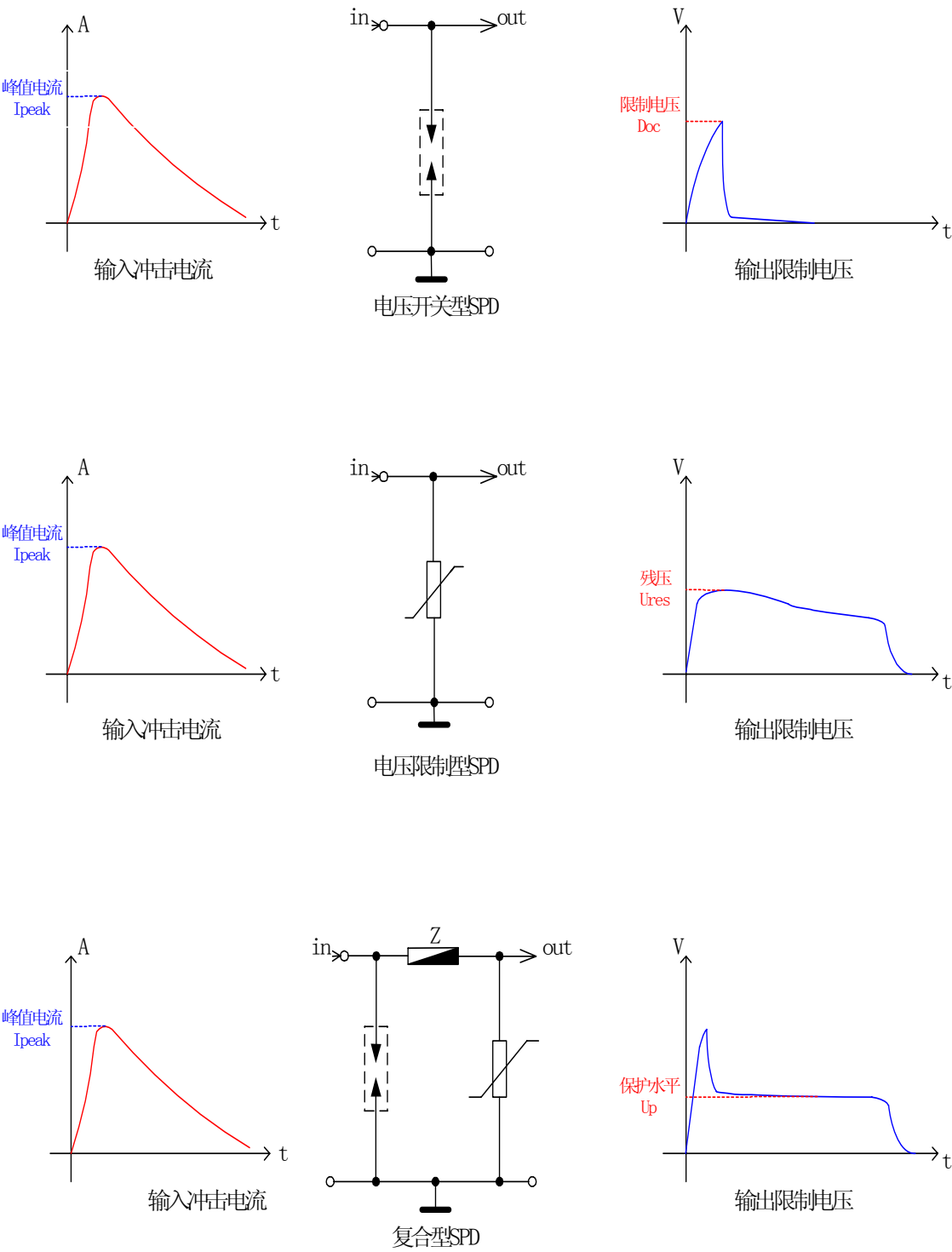
——在施加 U_c 期间，SPD 具有热稳定性。如果在施加电压 U_c 的最后 15min I_C 阻性分量的峰值或功耗不再增加，则认为 SPD 是热稳定的。

——试品冷却到接近环境温度后，用规定的试验（ I_n 或 U_{oc} ）确定限制电压，以检查是否保持制造厂规定的电压保护水平。

——辅助电路，如状态指示器，应正常工作。

——目测检查试品，不应发现任何损坏迹象。

低压配电系统常用的 SPD 三种保护模式和输入、输出波形



电信、网络系统的电涌保护器（SPD）

一、用于电信、网络系统的电涌保护器（SPD）的正常使用条件和非正常使用条件

1、 正常使用条件：

(1)、 大气压力：80kPa~160kPa，这些大气压力代表的海拔高度为-50m~+2000m。

(2)、 温度和湿度：

对于不受控的环境，温度范围为：-40⁰C~+70⁰C

相对湿度范围：5%~96%

对于受控的环境， 温度范围为：-5⁰C~+40⁰C

相对湿度范围：10%~80%

2、 非正常使用条件：

对置于非正常使用条件下的（SPD），在设计和使用中可能需要作特殊考虑，并引起制造厂的重视。

对置于阳光或其他射线下的户外型 SPD，必须附加技术要求。

二、SPD 常用技术参数定义

1、 回波损耗 **return loss**

在高频工作条件下，前向波在 SPD 插入点产生反射的能量与输入能量之比，它是衡量 SPD 与被保护系统波阻抗匹配程度的一个重要参数。一般以分贝（dB）来表示。

2、 插入损耗 **insertion loss**

由于在传输系统中插入一个 SPD 所引起的损耗。它是在 SPD 插入前传递到后面的系统部分的功率与 SPD 插入后传递到同一部分的功率之比。通常以分贝（dB）来表示。

3、 码率（BER） **bit error ratio**

在给定时间内，误码数与所传输的总码数之比。

4、 近端串扰（NEXT）

串扰在被干扰的通道中传输，其方向与该通道中电流传输的方向相反。被干扰通道的端部基本上靠近产生干扰的通道的激励端，或与之重合。

5、 最大持续运行电压 **Uc maximum continuous operating voltage Uc**

可连续施加在 SPD 端子上，且不致引起 SPD 传输特性降低的最大电压（直流或均方根值）。

6、 限压 **voltage limiting**

SPD 降低所有超过预定电压值的一种功能。

7、 限流 **current limiting**

至少包含有一个非线性限流元件的 SPD 降低所有超过预定电流值的一种功能。

8、 盲点 **blind spot**

高于最大持续运行电压 U_c ，但可引起 SPD 不完全动作的工作点。

所谓 SPD 的不完全动作是指一个多级 SPD 在冲击试验时不是所有各级都能动作。这可造成 SPD 中的一些元件遭受过载。

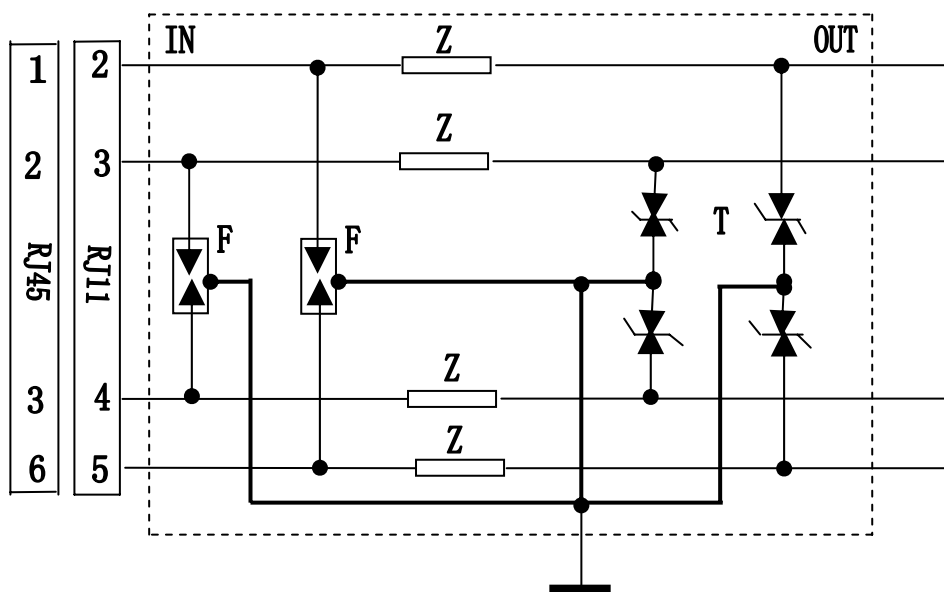
9、 冲击耐受能力 impulse durability

表征 SPD 容许通过规定的波形和峰值的冲击电流，并耐受规定次数的特性。

10、 绝缘电阻

SPD 指定的端子之间施加最大持续运行电压 U_c 时呈现的电阻。

三、常用电信、网络系统线路 SPD 的工作原理



信息系统线路 SPD 的工作原理图(RJ11/45)

1、 F：放电管

放电管是一种密封充有惰性气体的开关元件，有两极和三级放电管。作为信息系统线路 SPD 的第一级电涌保护元件，主要的优点其一是能够在瞬间泻放交大的电涌电流（5KA、8/20 μ s）；其二是

体积小，在较小的空间易于安装。因此，广域网的接口经常应用，称为粗保护。

2、 Z：阻抗

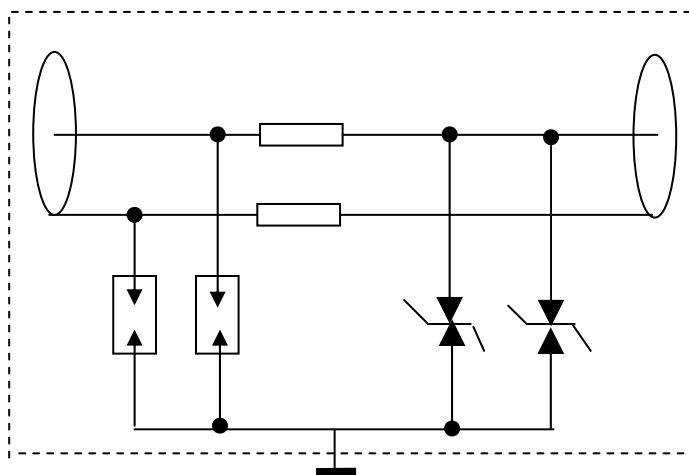
阻抗 Z 在信息系统线路 SPD 具有两级防护功能的装置中是必不可少的，它安装在第一级和第二级之间，起到延时和线路特性阻抗匹配作用。按照线路通信速率的不同，使用电阻 R 或电感 L 。

3、 T：瞬态二极管（TVS）

瞬态二极管（TVS）是近期转为高速通信线路电涌保护研制的一种非线性元件。它具有稳压二极管的特性，但它的反向导通时间在 1ns 左右，反向导通导通后，通过电流在 300A 至 500A 。但由于瞬态二极管 PN 结具有的分布电容 C_0 作用，将会影响线路的通信速率，这是我们在选用 SPD 时要重点考虑的一个指标。

四、 常用天馈线路 SPD 的工作原理

天馈线路 SPD 的工作原理图（BNC 接口）

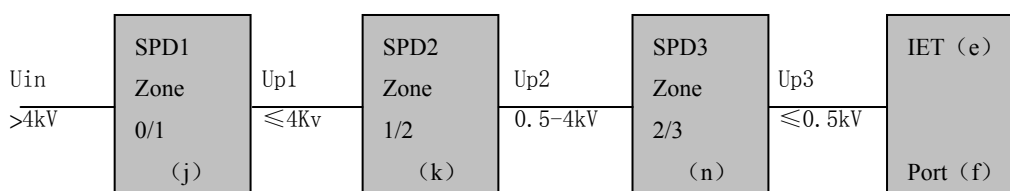


工作原理与信息系统线路 SPD 的工作原理相似。天馈线路 SPD

的应用中要特别注意下列技术指标：

- 1、 插入损耗 $\leq 0.5\text{db}$ ；很多产品可以作到 0.2db
- 2、 驻波比 ≤ 1.5 ；很多产品可以作到 1.2
- 3、 工作频带宽度：一定要覆盖被保护通讯系统的频带宽度。
- 4、 通过功率：特别是在发射机输出端口，如果通过功率小于发射功率，SPD 将会被击穿。

五、电信、网络系统电涌保护器 U_p 值的确定：



上图中：

(j)：根据 GB18802.21-2004 中 6.2.1.3 节表 3 中分类 D1 设置电涌保护器

(k)：根据 GB18802.21-2004 中 6.2.1.3 节表 3 中分类 C1 或 C2 设置电涌保护器

(n)：根据 GB18802.21-2004 中 6.2.1.3 节表 3 中分类 C1 或 C2 设置电涌保护器

表 3：冲击限制电压试验用的电压波形和电流波形

类别	试验类型	开路电压 ^a	短路电流	最小试验次数	被试验的端子
A1	很慢的上升率	≥1kV 上升率 0.1 kV /s—100 kV /s	10A 0.1A/μ s—2A/μ s, ≥1000 μ s（持续时间）	不适用	X ₁ —C X ₂ —C X ₁ —X ₂ ^b
A2	AC	从表 5 中选择试验项目	从表 5 中选择试验项目	单次循环	
B1	慢的上升率	1kV, 10/1000	100A 10/1000	300	
B2		1kV 或 4kV, 10/700	25A 或 100A, 5/300	300	
B3		≥1kV 100V/μ s	10A, 25A 或 100A, 10/1000	300	
C1	快的上升率	0.5kV 或 1kV, 1.2/50	0.25 kA 或 0.5 kA, 8/20	300	
C2		2kV, 4kV 或 10kV, 1.2/50	1 kA, 2 kA 或 5 kA, 8/20	10	
C3		≥1kV 1kV/μ s	10A, 25A 或 100A 10/1000	300	
D1	高能量	≥1kV	0.5 kA, 1 kA 或 2.5 kA 10/350	2	
D2		≥1kV	1 kA 或 2.5 kA, 10/250	5	
a: 使用的开路电压可与 1kV 不同。但应足以使被试的 SPD 动作					
b: 如有要求时才试验 X1—X2 端子。					

六、电信、网络系统电涌保护器的试验

1、绝缘电阻试验（GB18802.21-2004 中 6.2.1.2）

应按两种极性分别测一次一对端子的绝缘电阻。试验电压应等于最大持续运行电压 Uc。应测量流过被测端子间的电流。把试验电压除以测量电流得到绝缘电阻。绝缘电阻应等于或高于制造商给定的值。

2、 冲击限制电压试验（GB18802.21-2004 中 6.2.1.3）

试验 SPD 时，应把从表 3 中 C 类选取的冲击电压施加到适当的端子上，应根据冲击耐受试验确定的 SPD 通流容量选择电流水平。应使用相同的冲击进行冲击限制电压和冲击耐受试验。

可用从 A1、B、C 和 D 类中选取的波形以及在 SPD 文件中列出的波形进行附加的试验。然而，这些试验是任选的，宜根据 SPD 应用情况而定。应根据制造商指出的 SPD 的通流容量选择电流水平。

除非另有规定，每个冲击试验要施加正、负极性冲击各五次。

在不带负载的情况下，测量每次冲击的限制电压。在适当的端子上测得的最大电压不应超过规定的电压保护水平 U_p 。

3、 冲击耐受试验（GB18802.21-2004 中 6.2.1.6）

应使用从表 3 中 C 类选取的冲击对 SPD 进行试验，并施加到从表 3 选取的合适的端子上。施加冲击电流要达到表 3 所规定的最少次数。对一种极性的试验次数应为规定次数的一半，接着对相反的极性做剩下的一半次数的试验。或者，对一半试品做一种极性的试验，而另一半试品做相反极性的试验。在试验前和完成规定的试验之后，SPD 应满足绝缘电阻特性和浪涌限制电压特性。

七、 常用防雷产品的安装使用应注意的问题

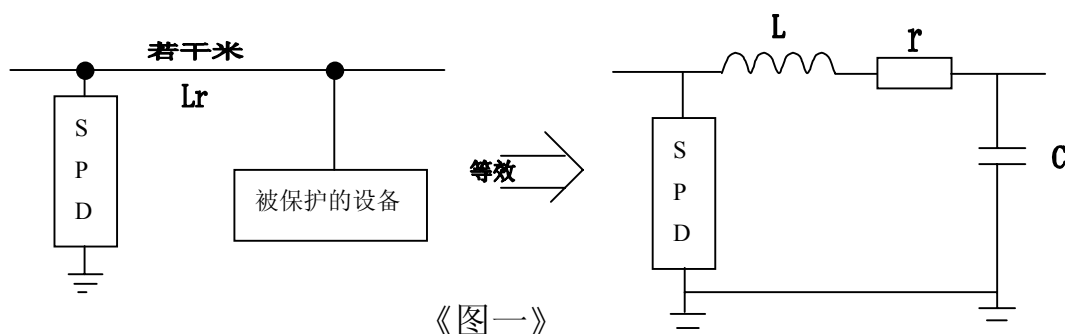
1、 防护距离有关的振荡效应

①、问题的提出：

根据 IEC61643-12 《Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems-Part 12:selection and application principles》标准中第 6.1.2 节提出与防护距离有关的振荡效应问题，我们通过试验得到了进一步的验证。

当 SPD 用来保护设备或安装在输入端配电盘上，如果距离被保护的设

备太远，由于电缆分布电容和自身电感的存在，组成一 LC 谐振电路，电涌保护器的保护电压 U_p 传输到这时，LC 谐振电路由于它激而起振。SPD 的电压保护水平 U_p 值将会随着传输距离的延长而提高，可能会在终端设备上产生 2 倍于 U_p 甚至更高的振荡电压，尽管对设备使用了 SPD 保护，但这个振荡电压仍会使设备发生损坏。如图一所示



②、问题分析：

1、 试验一：

为了验证振荡效应的存在，我们提取一根长为 22.5 米；8mm² 的四芯多股电缆。并利用 HIKI 3532-50 测试仪对该电缆在长度为：5 米、10.5 米、22.5 米时的分布参数进行了测试，详见下表：

表一： 电缆线间分布电容

	电缆长度：22.5 米		电缆长度：10.5 米		电缆长度：5.0 米	
	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V
芯线颜色						
红～黄	640 pF	721 pF	323 pF	352 pF	150 pF	248 pF

表二： 电缆线自身电感

	电缆长度：22.5 米		电缆长度：10.5 米		电缆长度：5.0 米	
	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V
芯线颜色						
黄	282 μH	236 μH	9.8 μH	10.6 μH	5.0 μH	5.2 μH
红	274 μH	236 μH	9.8 μH	10.6 μH	5.0 μH	5.2 μH

表三： 电缆线自身电阻

	电缆长度：22.5 米		电缆长度：10.5 米		电缆长度：5.0 米	
芯线颜色						
黄	0.16 Ω		20 mΩ		9.6 mΩ	
红	0.15 Ω		20 mΩ		9.4 mΩ	

分布参数在电缆芯线之间形成的阻尼振荡频率：

$$f_0 = (1/2 \pi) \times ((1/LC) - (R^2/4L^2))^{1/2}$$

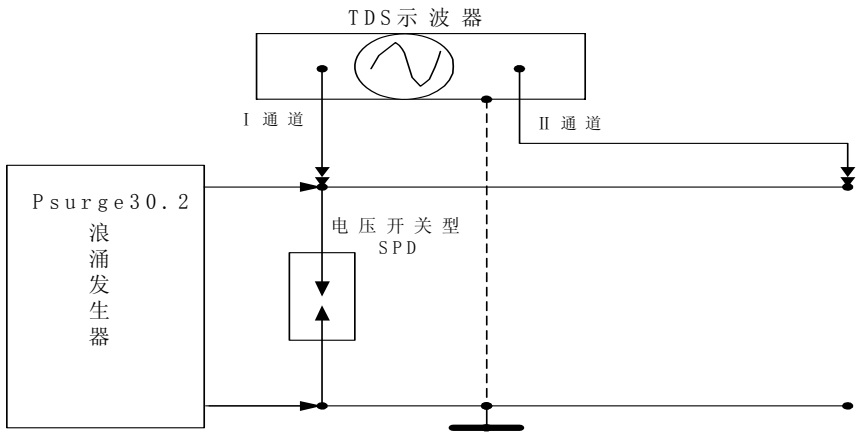
表四： 计算用电感量为单芯线自身电感量；电容量为两芯线之间分布电容。

	电缆长度：22.5 米		电缆长度：10.5 米		电缆长度：5.0 米	
	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V	125kHz 5V	1kHz 5V
芯线颜色						
红～黄	0.37MHz	0.39M kHz	2.83 MHz	2.61 MHz	5.81 MHz	4.43 MHz

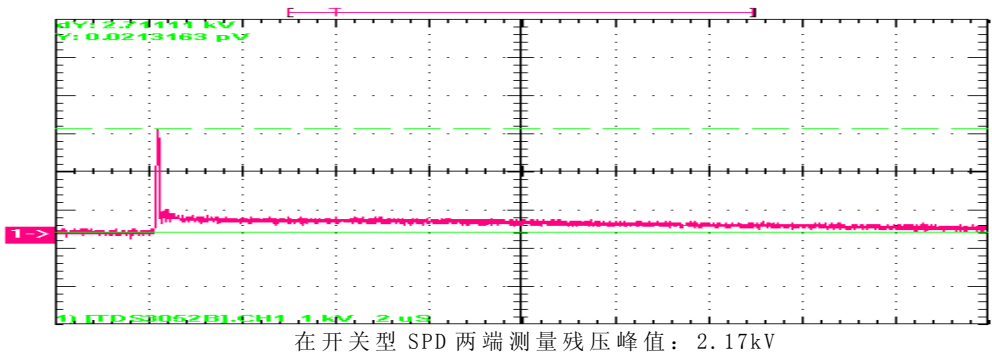
2、 试验二：

根据试验一得出的结论，我们分别在提取电缆的一端安装不同类型的 SPD，在距 SPD 十米处选择安装承阻性、容性或感性的终端负载。利用 P surge30.2 型浪涌发生器在 SPD 两端产生 8/20 μ s 10kA 脉冲冲击电流，在 SPD 两端和距其十米处用 TDS3052B 双通道示波器同时采样，得到如下两组残压波形。

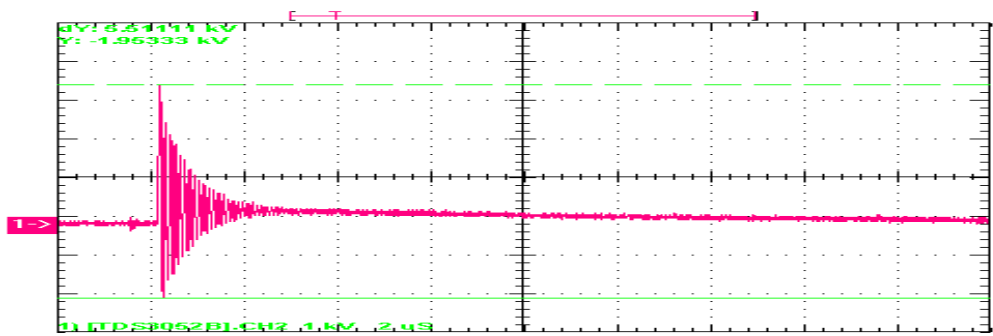
(1)、 安装的 SPD 为开关型：



《图三》 （冲击电流：8/20 μ s 10kA）

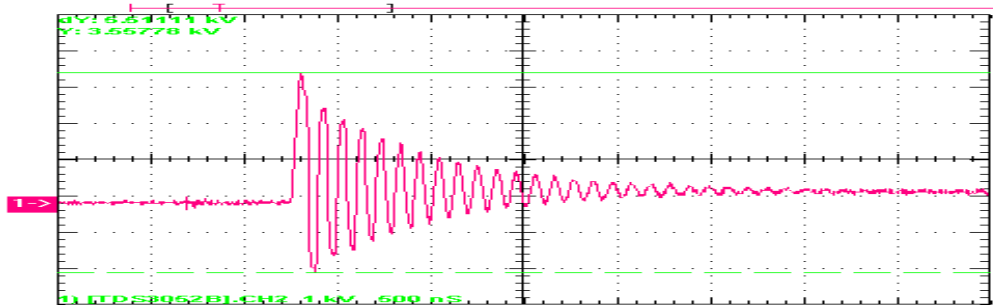


《图四》 （冲击电流：8/20μs 10kA）



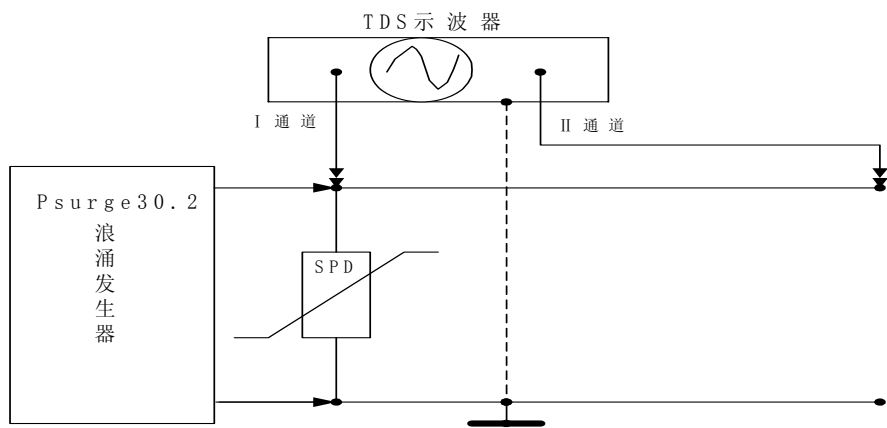
在连接电缆线距开关型 SPD 10 米处，测量线间残压峰值：5.51kV
波形为阻尼振荡波

《图五》 （冲击电流：8/20μs 10kA）



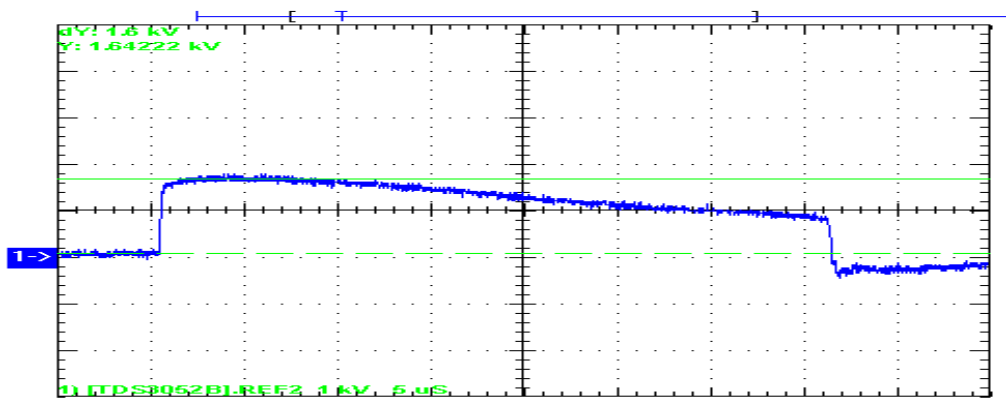
测量线间阻尼振荡周期：297.77ns

(2)、 安装的 SPD 为电压限制型：



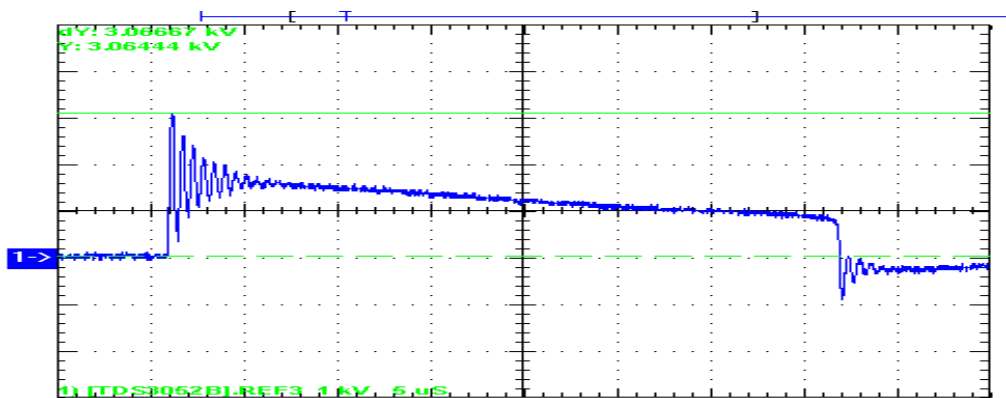
《图六》

《图七》（冲击电流：8/20 μ s 10kA）



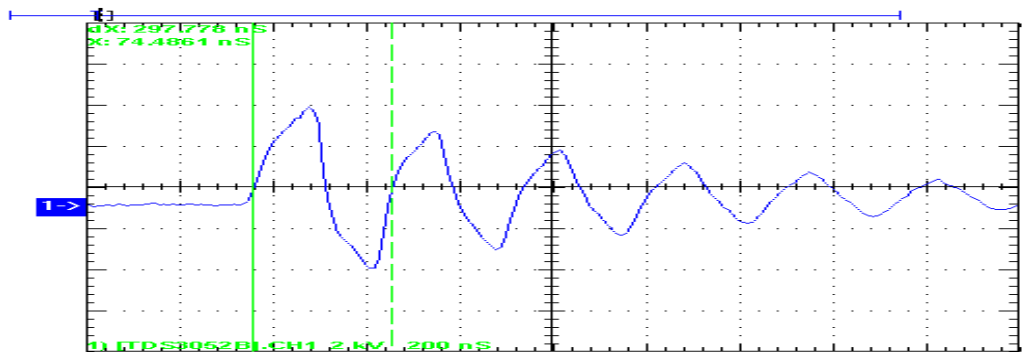
在限压型 SPD 两端测量残压峰值：1.60kV

《图八》（冲击电流：8/20 μ s 10kA）



在连接电缆线距限压型 SPD 10 米处，测量线间残压峰值：3.07kV
残压波前沿产生阻尼振荡

《图九》（冲击电流：8/20 μ s 10kA）



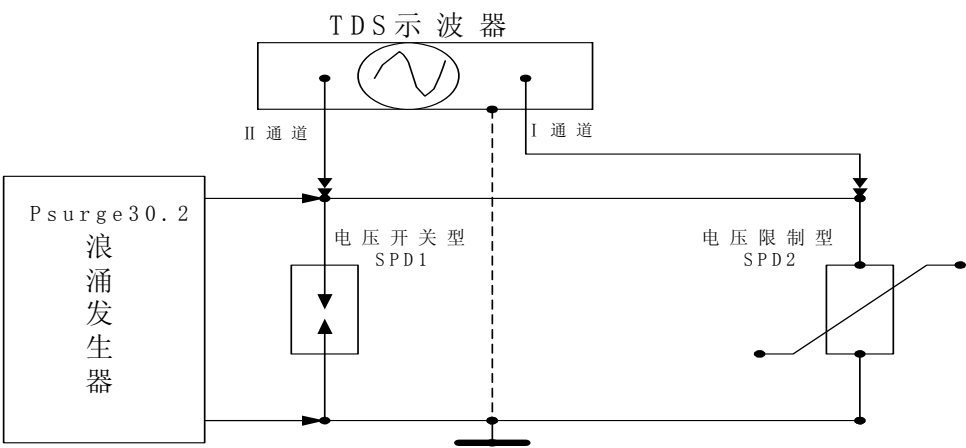
测量线间阻尼振荡周期：297.77ns

3、 试验三：

试验二的结论验证了由于引线间和引线自身的分布参数的存

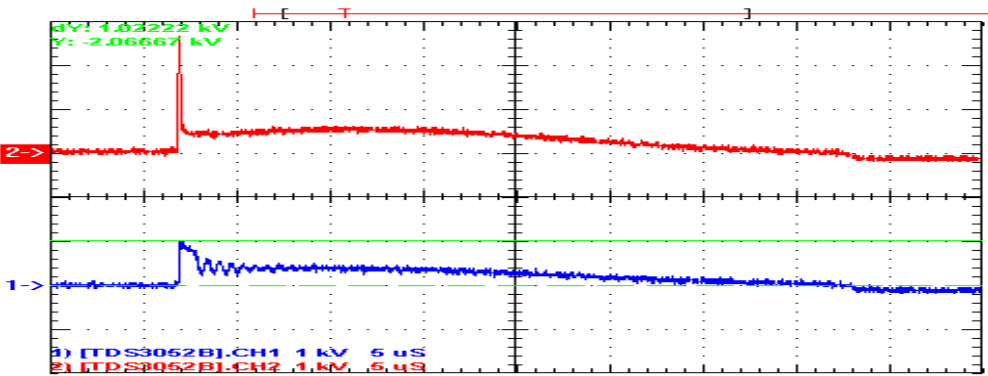
在，当有浪涌电压通过时，在线路中将产生振荡。试验三是在电缆的两端安装 SPD₁ 和 SPD₂。见《图十》和《图十二》，当 SPD₁ 用来保护设备或安装在输入端配电盘上却不能对某些设备提供可靠的保护时，SPD₂ 的安装位置应尽可能的靠近被保护的设备。

(1)、 SPD₁ 为开关型，SPD₂ 为电压限制型。两 SPD 间距 10 米：



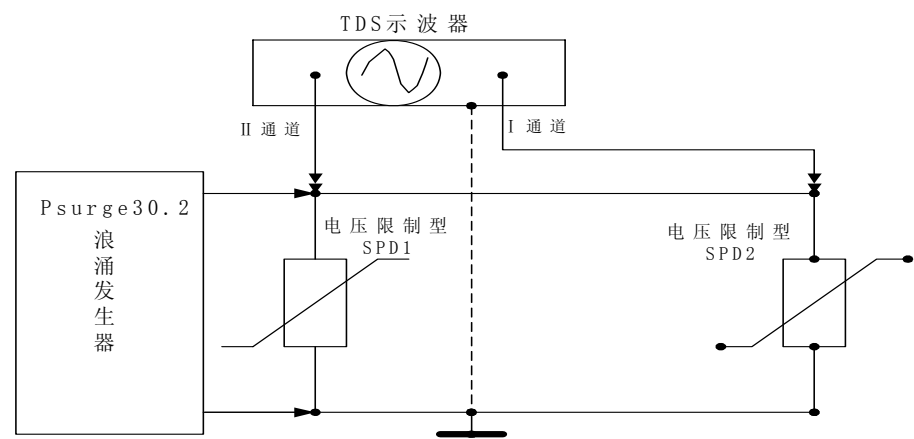
《图十》

《图十一》 (冲击电流：8/20 μs 10kA)



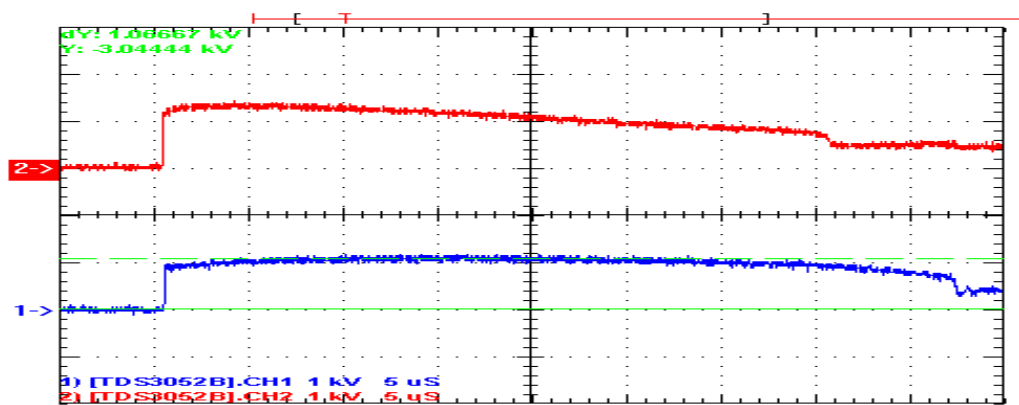
示波器 2 通道测量点在 SPD ₁ 两端，	L-PE 之间残压峰值：	2.64kV
示波器 1 通道测量点在 SPD ₂ 两端，	L-PE 之间残压峰值：	1.02kV

(2)、SPD₁和SPD₂都是电压限制型。两SPD间距10米：



《图十二》

《图十三》 (冲击电流：8/20μs 10kA)



示波器 2 通道测量点在 SPD₁ 两端，L-PE 之间残压峰值 1.29kV
示波器 1 通道测量点在 SPD₂ 两端，L-PE 之间残压峰值 1.07kV

三、结论

从以上三个试验结果分析，在脉冲电压波的冲击下，由于传输线路分布参数的存在，引起的阻尼振荡是不可避免的，它将使实际的电压保护水平 U_p 比原设计值提高两倍甚至更高，造成被保护设备损坏。因此，SPD 设计应用在合理的距离（又称防护距离）与 SPD 的类型、

系统的类型、浪涌源的陡度和波形及相连的负载有关。特别是设备相当于高阻负载或设备内部发生脱离时，可能出现电压倍增。

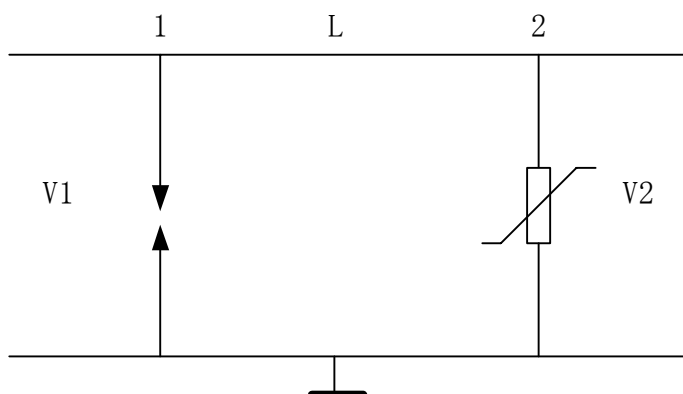
一般来说，仅在靠近被保护设备处安装一个 SPD 是不够的。为了避免电涌电压产生的干扰，避免导线之间的闪络，最好在入口处进行分流，安装 SPD。

2、 能量法则

为了确保两个 SPD 之间很好地协调，必须满足能量法则：当出现的电涌小于 SPD_1 最大承受能量 ($E_{\max 1}$) 时，由 SPD_2 耗散的能量应小于或等于 SPD_2 的最大承受能量 ($E_{\max 2}$)。

最大承受能量 ($E_{\max}$) 定义为 SPD 未退化时能承受的最大能量。两个协调好的 SPD 的最大能量承受能力至少应等于两个 SPD 中最低的能量承受能力。当使用了一个 SPD，但随后又需连接一个新的 SPD，必须保证恰当的协调。

关于火花间隙与氧化锌压敏电阻的协调



当 SPD_1 为火花间隙； SPD_2 为氧化锌压敏电阻，在 SPD 承受大的浪

涌时，通过火花放电获得协调。

在火花放电前： $U_1 = U_{res2} + L \times di/dt$

一旦 U_1 值大于火花间隙的点火电压 (U_{doc})，由于第二个 SPD 的脱离，从而得到协调。这仅与氧化锌压敏电阻的特性、火花间隙的点火电压、进入浪涌的陡度和幅值及 SPD 间（感抗 L ）的间隔距离有关。

感抗 L 取值：

设：

- 1、 装有火花间隙的 SPD 额定电流为 5kA；
- 2、 火花放电电压为 3-3.5kV，为了保证正常工作，允许计算值为 4kV；
- 1、 di/dt 的值应根据预计发生雷击事件的 95%（EMC 准则）
- 2、 正极性雷击的时间值为 100 μs ，负极性雷击的时间值为 20 μs ；
- 3、 电流为 5kA 时压敏电阻的残压为 2kV。

当发生正极性雷击时， $di/dt = 5kA / 100 \mu s = 50A / \mu s$

当发生负极性雷击时， $di/dt = 5kA / 20 \mu s = 250A / \mu s$

通过退耦电感的电压值： $U_L = L \times di/dt$

$$L = U_L / (di/dt) \quad U_L = 4kV - 2kV$$

正极性雷击时： $L = 2kV / 50A / \mu s = 2 \times 10^3 / 50 / 10^{-6} = 40 \mu H$

负极性雷击时： $L = 2kV / 250A / \mu s = 2 \times 10^3 / 250 / 10^{-6} = 8 \mu H$

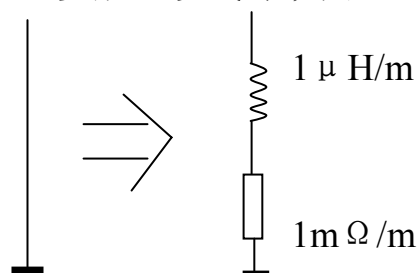
结论：当 SPD1 为火花间隙；SPD2 为氧化锌压敏电阻，在多数情况下，必须满足： $U_{dun} < U_{res2} (I_{imp2}) + L \times (di/dt)$

一旦浪涌电流 I 超过了 I_{imp2} 值，将引起火花放电，减少 SPD₂ 上的浪

涌电流。满足能量法则。

3、 50Cm 法则

<16mm² 多股电缆线等效图>

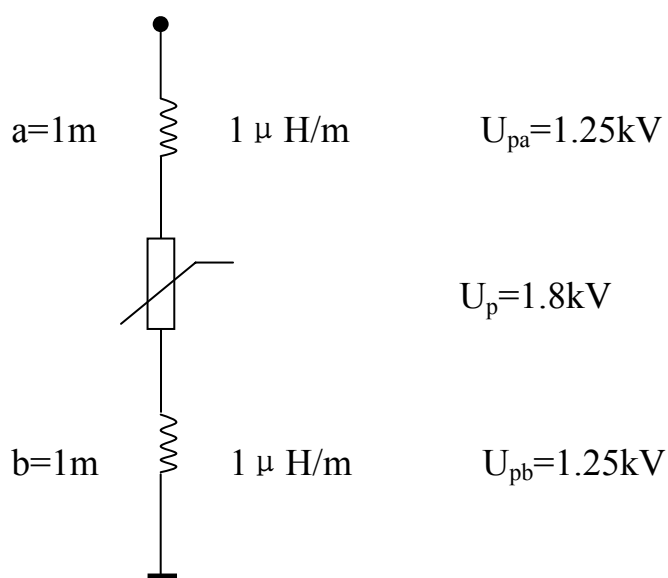


当线路流过 10KA 直流电流时，按照欧姆定律
线路压降为： $V=I \cdot R=10V$

当线路流过 10KA

8/20 μs 脉冲电流时，线路压降为：

$$L \cdot di/dt = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^3 / 8 \cdot 10^{-6} = 1.25kV$$

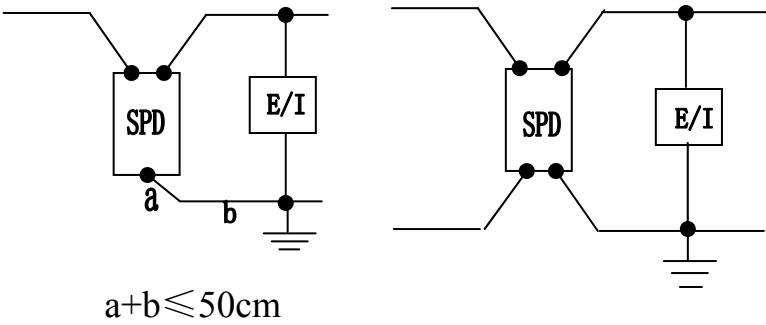


$$U_{p0} = U_{pa} + U_p + U_{pb} = 4.3kV$$

大于设备绝缘要求。因此，要求 SPD 上下引线 a+b 小于 50Cm。

4、 凯文式接线端子

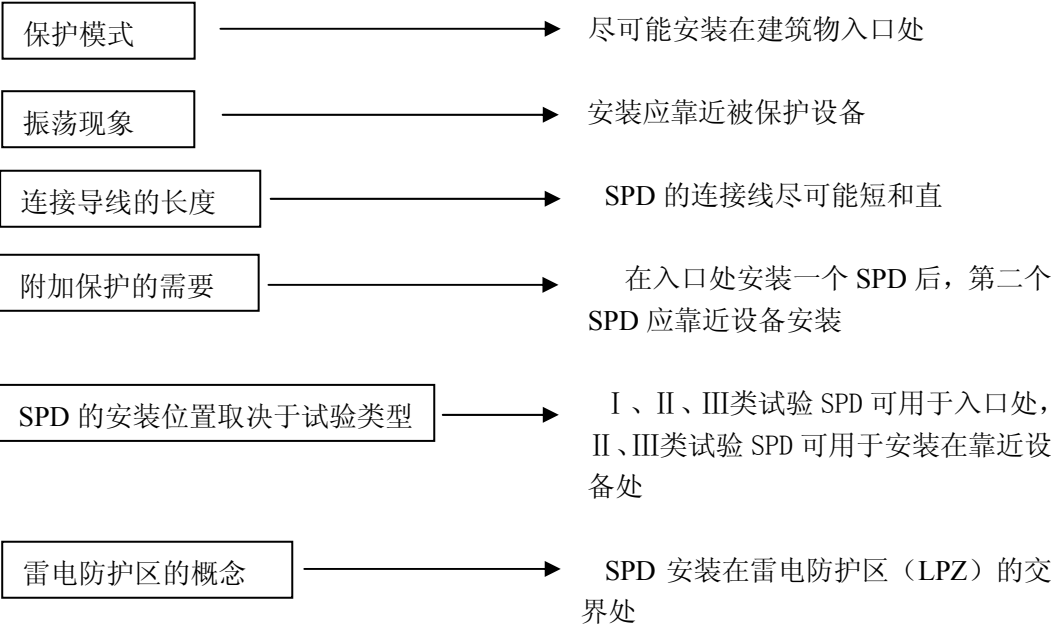
实际工程施工中，大多数情况很难严格的按照 50Cm 法则实施，解决的方法是按照凯文式接线端子形式施工。见下图



《图 A》

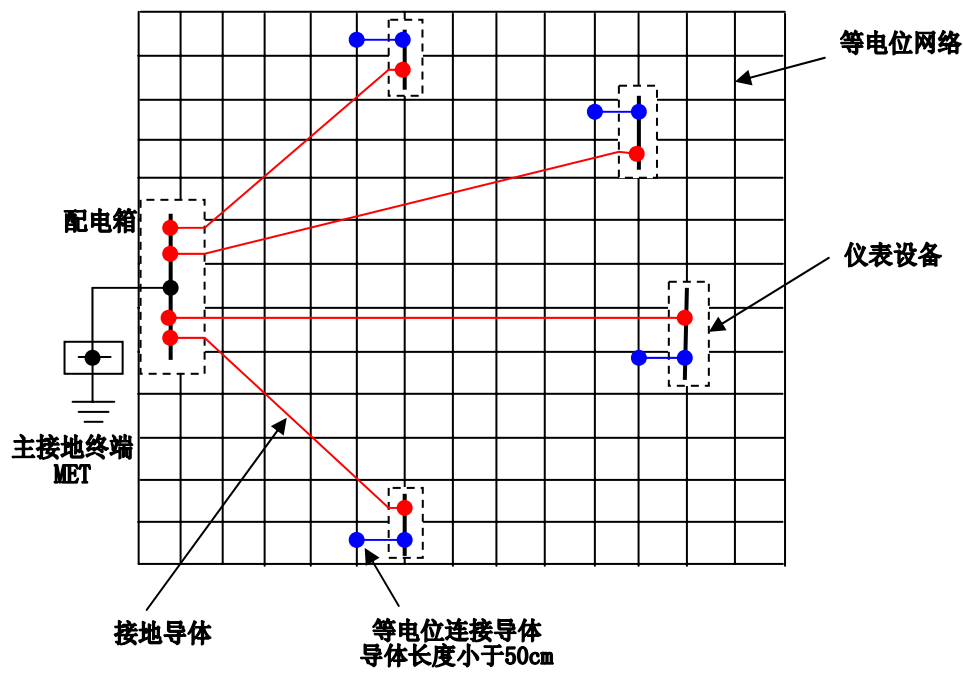
《图 B》

5、 SPD 的安装位置及其所提供的保护



6、 星型公共接地网络（IEC60364-4-44）

该网络适用与高密度的计算机房和通信机房设备接地系统。等电位网络的要求应小于 0.6m x 0.6m，网格的大小取决于机房内设备的工作频率、通信速率和设备本身的抗干扰能力，避免设备间相互的电磁干扰。（见下图）



7、 低压配电系统中的感应过电压

在雷电发生过程中，由于电磁场的影响，在距闪击点一定距离内会产生感应过电压，线路中的预期过电压，可近似由下式计算：

$$U=30*K*I*h/x$$

式中：I 雷电流；

h 导线距地面的高度；

K 系数，由闪击回程速度决定的量（变化范围很小：1.0-1.3）；

x 导线与闪击点的距离。

假设：I=30kA，h=5m，x=1km，K=1.2， 则 $U \geq 5\text{kV}$ 。

同样：当 x=10km 时，对 100kA 的雷击电流， $U \geq 1.8\text{kV}$ 。