

[雷电防护]

电涌保护器两端引线问题探讨

文/湖北省化学工业研究设计院 李长启

电涌保护器（SPD）是雷电保护中一种不可缺少的装置。分析SPD两端引线的长度、截面积与感应电压的关系，在SPD的不同接入方式中，说明引线残压对保护设备的影响。根据相关规范，给出选用SPD接入方式的建议，供相关人士参考。

电涌保护器（Surge Protective Device, SPD）是雷电保护中一种不可缺少的装置。SPD的作用是把窜入线路的瞬时过电压限制在设备或系统所能承受的电压范围内，将强大的雷电流引入大地，使被保护的设备或系统不受冲击而损坏。电涌保护器保护原理图如图1所示。

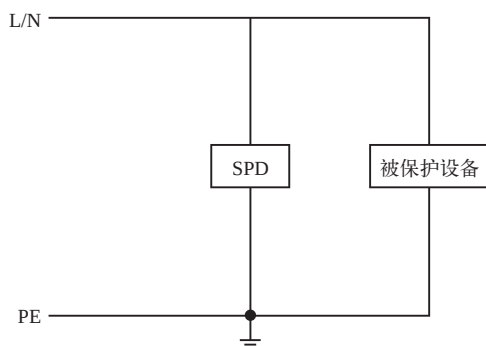


图1 电涌保护器保护原理

在SPD安装过程中，SPD两端引线的长度、截面积会影响SPD的保护功能。当雷电电流通过时，SPD及其两端引线的残压会叠加于被保护的用电设备上，过长的两端引线会使叠加残压超过用电设备的设备绝缘耐冲击电压，从而使被保护设备失去SPD的有效保护。GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》第6.4.6条规定：为取得较小的电涌保护器有效电压保护水平，应选用有较小电压保护水平值的电涌保护器，并应采用合理的接线，同时应缩短连接电涌保护器的导体长度。GB/T 21431—2015《建筑物防雷装置检测技术规

范》第5.8.1.8条规定，SPD两端的引线长度之和不宜大于0.5 m。

SPD两端引线的电压分析

基于电路角度，引线具有电阻、电感及电容等特性。在交变电路中，电感部分的电压降占引线电压降的主要部分，且引线的电感随长度的增加而快速增长（大于线性增长）。每米长的直导线（直径在0.5~2 mm范围）电感约为一到几个微亨。虽电感数值很小，但因雷电暂态电流的波动很大，将会在SPD两端引线上产生较强的电压降。此时，SPD的有效保护电压水平为SPD保护电压与两端引线电压降之和，如图2所示。

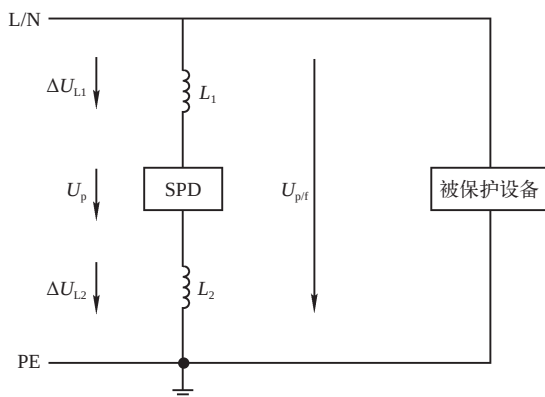


图2 电涌保护器示意图

$$U_{p/f} = U_p + \Delta U = U_p + \Delta U_{L1} + \Delta U_{L2} \quad (1)$$

式中， $U_{p/f}$ 是电涌保护器的有效保护水平，kV； U_p 是电涌保护器的保护水平，kV； ΔU 是电涌保

护器两端引线的电压降，即 $(L_1+L_2) \times (di/dt)$ 。

导线电感 L 的计算公式为

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - 0.75 \right) = 0.21 \left(\ln \frac{2l}{r} - 0.75 \right) \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中， L 是圆截面直导线电感，H； l 是导线长度，m； μ_0 是真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ； r 是导线半径，m。

两端引线电感产生的电压取决于引线电感 $L(L = L_1 + L_2)$ 和电流变化率 di/dt 。假设通过SPD导线的雷电流为 $(8/20 \mu\text{s}, 20 \text{kA})$ ，其电流陡度为 $di/dt = 2.5 \text{kA}/\mu\text{s}$ ，不同长度和截面积的铜导线的电感和相应的电压降如下表所示。

假设两端引线采用截面积为 16mm^2 的导线， $L_1 = 0.5 \text{m}$ ， $L_2 = 1 \text{m}$ ，SPD的保护电压 U_p 为 1.5kV 。则SPD的有效保护水平电压 $U_{p/f} = 1.5 + 1.336 + 3.018 = 5.854 \text{kV}$ ，很容易超过被保护设备的设备绝缘耐冲击电压，结果失去了雷电防护的效果，被保护设备也会在雷击时损坏。

另根据GB/T 21431—2015《建筑物防雷装置检测技术规范》第5.8.1.5条规定：户外线进入建筑物处SPD两端引线的电压可按 1kV/m 计算 $(8/20 \mu\text{s}, 20 \text{kA})$ 时。若以此来估算，则SPD的有效保护水平电压为 3kV ，远大于SPD的钳位电压。

表 不同长度、截面导线上的压降

l/m	S/mm^2	$L/\mu\text{H}$	U_L/kV
0.5	2.5	0.627	1.568
0.5	6	0.583	1.459
0.5	16	0.534	1.336
1	2.5	1.393	3.483
1	6	1.305	3.264
1	16	1.207	3.018
5	2.5	8.575	21.436
5	6	8.137	20.342
5	16	7.646	19.116

由上表可知：①导线的感抗随长度的增长而明显增大，同时压降也明显增大。②增加导线的截面积可以一定程度上减小压降，但效果有限（例如当截面积由 2.5mm^2 增大到 16mm^2 时，截面积增加6.4倍，而压降仅减小15%）。

根据以上所述，安装SPD时，选择安装位置和布线方式要尽量使其两端引线最短，其目的是为了减少因过长的导线而引入的额外的残压对设备的危害，避免降低SPD对设备的保护效果。

凯文式接线法

当实际工程中遇到由于现场条件的限制无法满足规范提出的长度要求时，可用凯文式接线法来减小SPD两端引线残压的影响。凯文式接线法示意图如图3所示。

SPD的进线端（相线和中性线）和出线端（PE）分别有两个接线端子，其宗旨就是通过合理地延伸系统线路来缩短SPD两端引线的导线长度。从图3可知，理想的凯文式接线方式中， $L_1 = 0 \text{m}$ ， $L_2 = 0 \text{m}$ ，SPD的有效保护水平电压 $U_{p/f} = U_p = 1.5 \text{kV}$ ，此种方式可最大限度地消除雷电流通过时在SPD两端引线上的产生的电压降。

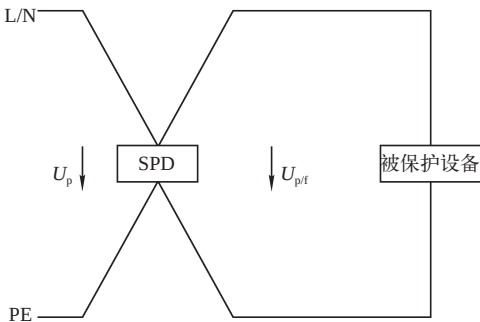


图3 凯文式接线法示意图

在SPD安装过程中采用凯文式接线法，可以使SPD的有效保护水平电压基本等于SPD的电压保护水平，使设备得到有效保护，特别时当SPD在线路最前端时，可以保护后面所有负载。但此种接线方式也有其局限性：①不适用于大容量配电系统。因母线线径较大，而SPD的接线端子容量有限，无法作此种连接方式；②由于SPD上增加了两个接头，同时也增加了出线线路故障的概率。接线端子如处理不当，例如接点氧化、接触不良和松脱等，在电流较大时就可能引起接线端子发热，轻者导致供电中断，严重的还会造成电气火灾等事故的发生。若选用凯文式接线法，安装必须牢固、可靠。

在实际工程中，可根据工程的实际情况尽量减小SPD两端引线的长度。因此SPD最好直接安装在配电箱带电导体母排和PE排之间，使连接线长度为最小。现在一些SPD产品已按配电箱内微型断路器的模数来制作，以便直接安装在配电箱内，这对缩短SPD连接线的长度十分有利。在雷电防护工程中如果忽视具体应用环境，一味强调采用凯文式接线，也是不切实际的做法。EA

（收稿日期：2020.03.03）

（编辑：朱金凤）