

[SPD]

电源SPD在线检测方法探讨

文/无锡市气象局 李晶晶 高云鹏 赵成磊 王颖 章程

介绍了电源SPD的使用现状；依据相关技术规范，结合实际工作经验，从检查和测试两方面对电源SPD的在线检测方法进行了探讨。

电涌保护器（SPD）是现代雷电防护中一种非常重要的装置。SPD的作用是把线路中的瞬时过电压限制在设备或系统所能承受的范围内，并将浪涌电流以合适的路径导入大地。近年来随着社会的快速发展，低压线路中电源SPD的使用规模也在逐步增加。目前市场上投入运行的产品质量参差不齐，SPD是否正常运行一直没有一套科学合理、方便实用的判定方法。目前，检测过程中仅对其登记相关参数，检查安装工艺并查看SPD自身的指示窗口，这并不足以判断其是否能达到预期的保护效果。所以，依据相关检测规范，结合实际工作经验，从检查和测试两方面对在线运行的电源SPD的检测方法进行了探讨。

检查项目

1. SPD指示窗口的检查

针对有运行指示窗口的SPD，如果显示运行正常，或者SPD没有运行指示窗口，则进行后续的各项操作；如果显示已损坏，则后面的检查与测试项目均可省略；本项检查应当放在所有检查项目的首位。

2. SPD两端引线长度、线径和安装工艺等方面的检查

SPD两端的引线长度之和不宜大于0.5 m（对于自身不带过电流保护装置的SPD，其前端引线还应包括后备保护装置到主电路的部分）。安装在户外线路进入建筑物处，线路的总配电箱或转接箱处以及直击雷非防护区（LPZ0A区）或直击雷

防护区（LPZ0B区）与第一防护区（LPZ1区）界面处的SPD，还应考虑其两端引线上的感应电压降，因为SPD的有效电压保护水平是其铭牌上标识的电压保护水平与两端引线上的感应电压降之和，其值不能超过被保护设备及线路的耐冲击电压额定值。以上位置安装的SPD两端引线长度之和越小越好。

SPD两端引线线径的选择，可参考表1。

表1 电源SPD两端引线的最小截面积
(单位: mm²)

SPD类型	引线材质	截面积
I级试验的电涌保护器	Cu (铜)	6
II级试验的电涌保护器	Cu (铜)	2.5
III级试验的电涌保护器	Cu (铜)	1.5

SPD两端引线应安装牢固，对于自身不带过电流保护装置的SPD，其前端宜安装后备保护装置。例如熔断器，其额定电流值不能大于主电路上安装的熔断器或者断路器额定电流值，并且要结合SPD制造商推荐的额定电流值来综合考虑。

3. SPD最大持续运行电压 U_c 的选择

最大持续运行电压 U_c 值是根据配电系统的制式以及SPD的安装模式来决定的，以平时最常见的TN配电系统为例，SPD不同的安装形式下 U_c 最小值的选择可参考表2。

表2中的“253 V”是在相线对中性线的标称电压值（220 V）的基础上增加了15%的安全裕量后计算得出的。在TN-S配电系统中，对于“3+1”安装模式（即3片安装在相线和中性线之间，

同时1片安装在中性线和PE线之间)以及“4+0”安装模式(即3片安装在相线和PE线之间,同时1片安装在中性线和PE线之间)的SPD而言, U_c 最小值分别为253 V和220 V。在TN-C配电系统中,对于“3+0”安装模式(即3片均安装在相线和PEN线之间)的SPD而言, U_c 最小值为253 V。

表2 TN系统电源SPD最大持续运行电压的最小值
(单位: V)

SPD安装位置	TN-S系统	TN-C系统
相线与中性线之间	253	—
相线与PE线之间	253	—
相线与PEN线之间	—	253
中性线与PE线之间	220	—

4. SPD电压保护水平 U_p 的选择

SPD有效的电压保护水平($U_{p/f}$)应低于被保护设备的耐冲击过电压额定值 U_w ,一般应加上20%的安全裕量;即 $U_{p/f}$ 应低于0.8倍的 U_w 。对于最常见的限压型SPD,其 $U_{p/f}$ 的构成为

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

式中, $U_{p/f}$ 为电涌保护器的有效电压保护水平,单位为kV; U_p 为电涌保护器的电压保护水平,单位为kV; ΔU 为电涌保护器两端引线上的感应电压降,单位为kV,对于线路入户处、总配电箱或转接箱处以及LPZ0A区或LPZ0B区与LPZ1区界面处安装的SPD可按1 kV/m计算,后续线路上只是感应电涌时 ΔU 可略去不计。

U_p 的选择应根据被保护设备及系统的 U_w 值以及SPD所处位置、两端引线长度等方面因素具体分析计算。无法计算的情况下,安装在线路入户处、总配电箱或转接箱处以及LPZ0A区或LPZ0B区与LPZ1区界面处SPD的 U_p 值一般不应大于2.5 kV;安装在设备前端或者后续防雷区交界处SPD的 U_p 值可以结合下表设备的 U_w 值来确定。

对于比较复杂的设备或系统,选择 U_p 值时要根据其所包含的各种子设备或系统的 U_w 值来综合考虑,按照其中的最低者来确定。

表3 常见设备的耐冲击电压额定值
(单位: kV)

设备名称	电气计量 仪表	配电盘、 固定工业 设备	家用电器	计算机等 含有电子电路 的设备
耐冲击电 压额定值	6	4	2.5	1.5

5. SPD冲击电流 I_{imp} 以及标称放电电流 I_n 的选择

在线路入户处、总配电箱或转接箱处以及

LPZ0A区或LPZ0B区与LPZ1区界面处安装的SPD,应首选Ⅰ级试验(用标称放电电流 I_n 、1.2/50 μ s冲击电压和最大冲击电流 I_{imp} 做试验)的SPD,其冲击电流 I_{imp} 在有计算条件时要依据GB 50057—2010《建筑物防雷设计规范》中相关条文的规定计算得出,在没有计算条件时 I_{imp} 值应取不小于12.5 kA,若选择Ⅱ级试验(用标称放电电流 I_n 、1.2/50 μ s冲击电压和8/20 μ s电流波以及最大放电电流 I_{max} 做试验)的SPD,与其对应的 I_n 值应不小于50 kA;在总配电箱之后的线路上以及LPZ1区与后续防雷区的界面处以及靠近被保护的设设备前端所安装的SPD,应优先考虑采用Ⅱ级试验或Ⅲ级试验(由2 Ω 组合波发生器产生1.2/50 μ s开路电压 U_{oc} 和8/20 μ s短路电流 I_{sc} 做试验)的SPD,其标称放电电流 I_n 的选择一般要按照制造商所提供的技术参数保证其与在同一线路上游所安装的SPD在能量上的协调配合,这一点是至关重要的。同一线路上安装的各级SPD在品牌型号不同且无法确定其制造商给出的能量配合参数的情况下,Ⅱ级试验的SPD,其标称放电电流不应小于5 kA;Ⅲ级试验的SPD,其标称放电电流不应小于3 kA。

6. SPD接地连接及泄流通道的检查

SPD合理的泄流通道应该是直接或间接的将浪涌电流以最短的路径泄放至大地,而不是泄放至配电系统变压器的中性点。实际工作中发现最常见的不合理的接地连接方式就是SPD虽实现了其接地端与配电箱、配电柜接地排之间的连接,但接地排却没有与防雷系统中的等电位连接带做进一步的连接,或者有的配电柜所处的位置根本找不到从建筑物基础引上来的等电位联结端子(MEB或LEB)。这种不合理的连接方式极易因雷击以及操作不当等原因而导致PE接地线上流过千安级的电涌电流,该部分电流将有很大可能沿着配电系统PE接地线流入其他分支线路中,导致接地线上形成暂态过电压,并有可能形成对其他设备的地电位反击。所以,一定要注意检查SPD的接地端是否直接或者间接的与建筑物基础引上来的等电位联结端子进行了连接。

测试项目

SPD运行期间,会发生老化,或者因受雷击电涌而引起性能下降、失效等故障。因此需要定期进行测试。在线运行SPD主要的损坏模式有短路、开路和老化3种,当SPD短路或者开路时,其自身

的运行指示窗口一般会提示已损坏；当SPD处于老化模式时，指示窗口一般不会发生变化，但是实际上SPD的保护性能已经达不到正常水平（可能会造成实际电压保护水平升高，起不到保护作用），而这种情况是比较难发现的，可以通过测试其直流参考电压 U_{1mA} 及泄漏电流 I_{le} 、绝缘电阻等参数来判断。

另外要指出的是，采用组合波发生器或者冲击电流源、电压源进行冲击试验，测试其在规定电压电流波形下的残压与自身电压保护水平相比较，这个方法对SPD是一种损耗破坏性测试，每多测试一次，对SPD自身的伏安特性曲线都会有不可逆转的改变，这种测试会使SPD加速老化。实验室进行的是对送检样本进行的抽样测试，而不是针对所有的产品，此项测试不适合于在线运行SPD的老化判定。

1. U_{1mA} 及 I_{le} 的测试

U_{1mA} 是测量在单片金属氧化物压敏电阻MOV通过1 mA直流电流时，其两端的电压值； I_{le} 是在MOV两端施加 $0.75U_{1mA}$ 电压下测试得到的通过MOV的电流值。两者是限压型SPD老化程度的重要参数指标。此项测试只针对单片金属氧化物压敏电阻（MOV）为限压元件且无其他串并联元件的电压限制型SPD，目前市场上低压线路中安装的SPD基本上都是上述类型，极个别的会采用放电管作为放电间隙与MOV进行串并联组合模式的电压开关型SPD，后面这种SPD制造工艺要求很高，并且制造工艺复杂，目前检测实践中很少碰到过。

对于可以插拔的模块式SPD，一般要拔下来逐片进行测试；对于不可插拔的模块，一般要断开前端线路进行测试。TN系统中，SPD两种安装模式的测试方法如下图所示。对于常见的几种SPD的 U_{1mA} 值的判定，可参考表4。

表4 电源SPD常见的 U_{1mA} 标准范围区间
(单位：V)

U_c 值	U_{1mA} 标准值	最小 U_{1mA}	最大 U_{1mA}
275	430	387	473
385	620	558	682
420	680	612	748

如果 U_{1mA} 偏离了正常值范围的10%，则认为老化，需要更换。 I_{le} 规定一般不应大于20 μA 。超过此值则认为SPD已经老化，会造成SPD有感应电涌时频繁启动，发热并加速老化，应及时更换。

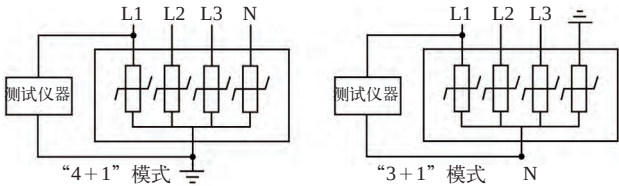


图 SPD各安装模式测试示意图

2. SPD绝缘电阻的测试

SPD的绝缘电阻测试仅对其所有接线端与壳体间进行测量，断开电源接线后，用绝缘电阻测试仪正负极性各测试一次，SPD老化后绝缘电阻会变小，容易发热出现安全隐患；如果测试结果小于50 M Ω ，则认定已经老化，应及时更换。

3. SPD连接线的过渡电阻及接地电阻的测试

SPD两端连接线的过渡电阻不应大于0.2 Ω 。连接线应包括两部分：SPD前端连接主电路与SPD接线端子之间部分（后备保护装置两端各一段），SPD接地端与配电柜PE接地排（或者建筑物等电位联结端子）之间部分，其过渡电阻值应为上述两部分之和。SPD的接地电阻值应与建筑物其他防雷装置的接地电阻值判定标准相同。接地电阻和两端引线的过渡电阻是判断SPD是否真正起到保护作用的重要指标，如果SPD安装工艺不符合规范要求，引线过渡电阻以及接地电阻值偏大，同样会导致其起不到保护作用。

结束语

提出针对在线运行SPD的检测方法，通过对SPD安装工艺和相关参数的检查分析以及对其自身参数的测试，基本上可以判定市场上大多数在线SPD的运行情况以及是否达到预期的保护效果。方法较为科学合理，具有一定的实用性和可操作性，对SPD检测技术的应用与完善有一定的现实意义。EA

(收稿日期：2018.05.29)

(编辑：刘群珏)

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告