

# 浪涌保护器在防雷设计中的应用

夏世豪

云南省文山壮族苗族自治州气象局, 云南 文山 663000

DOI:10.61369/ME.2026060025

**摘 要：** 随着社会的发展, 各类精密电子设备、智能化控制系统的集成度不断提升, 设备耐压、抗冲击能力却大幅下降, 雷电灾害引发的设备损坏、系统瘫痪等问题越发明显。浪涌保护器 (SPD) 作为低压防雷、过电压保护的重要器件, 能够快速泄放浪涌电流、限制瞬态过电压。本文根据现行防雷规范标准, 首先介绍了浪涌保护器的工作原理及主要结构, 接着深入分析了浪涌保护器在防雷分区、分级防护体系中的设计中的应用, 并指出了安装施工、选型匹配、运维管理中的常见问题, 最后给出优化措施, 为防雷设计的规范化、高质量高效实施提供参考。

**关 键 词：** 浪涌保护器; 防雷设计; 应用

## The Application of Surge Protectors in Lightning Protection Design

Xia Shihao

The Meteorological Bureau of Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture, Yunnan Province, Wenshan, Yunnan 663000

**Abstract：** With the development of society, the integration degree of various precision electronic equipment and intelligent control systems has been continuously enhanced, while the equipment's withstand voltage and shock resistance have significantly decreased. Problems such as equipment damage and system paralysis caused by lightning disasters have become increasingly prominent. Surge protectors (SPD) as important devices for low-voltage lightning protection and overvoltage protection, can quickly discharge surge currents and limit transient overvoltages. Based on the current lightning protection standards, this paper first introduces the working principle and main structure of surge protectors, then deeply analyzes the application of surge protectors in lightning protection zoning and hierarchical protection systems, and points out common problems in installation construction, selection matching, and operation and maintenance management. Finally, it provides optimization measures to provide references for the standardization, high-quality, and efficient implementation of lightning protection design.

**Keywords：** surge protector; lightning protection design; application

## 引言

雷电作为常见的大气放电现象, 单次释放能量巨大, 除直击雷造成物理破坏外, 主要通过电磁感应、静电耦合及线路传导, 在电力、通信、信号网络中产生数万伏瞬态浪涌过电压。该浪涌持续微秒级, 但冲击电流极高, 是低压设备和精密电子元件损坏的主因。据统计, 雷暴中超 90% 的电气雷击事故源于感应浪涌或操作浪涌引发的二次灾害<sup>[1]</sup>。伴随着智慧城市、工业及智能建筑的发展应用, 智能设备低耐受度设备广泛部署, 传统接地与接闪防护已难以满足需求。浪涌保护器 (SPD) 凭借响应快、限压准、通流适配性强, 成为内部防雷与过电压防护的关键, 其和外部防雷共同构成完整防护体系<sup>[2]</sup>。当前防雷设计应用中, 仍存在 SPD 选型不当、分级防护混乱、安装位置偏移、接地工艺不规范及运维缺失等问题, 导致防护效能下降, 甚至引发击穿短路隐患。基于此, 本文从浪涌保护器原理出发, 系统梳理 SPD 在防雷设计中应用的关键要点, 并针对防雷设计应用中常见问题提出优化措施, 从而进一步提升防雷系统整体稳定性以及可靠性。

## 一、浪涌保护器基本工作原理及主要结构

浪涌保护器 (SPD) 是一种非线性被动防护器件, 通常并联

安装于被保护设备前端, 跨接在相线、零线与地线之间<sup>[3]</sup>。系统正常运行时, SPD 呈极高阻抗, 不干扰线路且无功耗; 当雷击感应、开关操作等引发瞬态过电压时, 电压骤升至触发阈值, 内部

非线性元件迅即响应，阻值陡降，形成低阻泄放通道，将冲击电流导入大地，同时将过电压钳位于设备耐受值以下。浪涌消退后，SPD自动恢复高阻待机状态，全过程响应达纳秒级，可捕捉微秒级瞬态冲击，弥补传统保护装置响应滞后的缺陷，是低压系统瞬态浪涌防护的重要器件。常规低压SPD由非线性元件、脱扣机构、散热件、外壳及接线端构成，其中非线性元件决定性能等级。常用元件包括压敏电阻、气体放电管、瞬态抑制二极管等：压敏电阻通流大、成本适中、响应较快，适用于一至三级防护<sup>[4]</sup>；气体放电管绝缘强、残压低、无漏流，适合高频信号线路，但通流能力有限，多用于末端精细保护；瞬态抑制二极管响应最快、钳位最准，可守护芯片等精密器件，但通流极小，仅适于三级末端。脱扣装置作为安全冗余，在SPD老化击穿或持续漏电时自动切断通路，并通过视窗指示故障，防止短路起火，确保系统运行安全。

## 二、浪涌保护器在防雷设计中的应用

### （一）雷电防护分区划分逻辑

现代防雷设计按照“分区防护、层层衰减”的原则，根据GB 50057《建筑物防雷设计规范》，将建筑物及周边区域划分为LPZ0、LPZ1、LPZ2、LPZ3四个雷电防护区域，不同区域的雷电电磁环境以及浪涌能量强度具备明显的差异，对应不同等级的浪涌保护器（SPD）防护方案。

LPZ0区属于室外无防护区，主要涵盖建筑外墙外侧、室外线路、屋顶设备区域，该区域直接暴露在雷电环境中，会承受直击雷、全强度雷电电磁脉冲冲击，浪涌能量最大，没有任何屏蔽衰减效果。LPZ1区属于建筑内部首层防护区域，即总配电房、建筑进线内侧，经过建筑外墙、屋面屏蔽结构衰减后，雷电能量有所降低，但是依旧存在高能量浪涌，需要配置一级SPD进行主力泄能。LPZ2区为楼层配电、车间内部区域，经过一级防护以及线路屏蔽后，浪涌能量大幅衰减，仅存在中低强度残余浪涌，适配二级SPD防护。LPZ3区为属于设备末端、机房关键区域，需要精细化防护，浪涌能量微弱但对精密设备危害特别大，需依托三级SPD进行精准限压防护。

防雷分区的精准划分是SPD分级设计的基础，只有结合不同区域的电磁环境匹配对应防护等级的设备，才能实现浪涌能量的逐级衰减，避免单级防护压力过大、防护失效的问题。

### （二）三级分级防护设计要点

一级防护作为防雷系统的第一道防线，其根本作用在于泄放雷击产生的高能量浪涌，安装位置必须严格部署在建筑物电源总进线处及低压配电系统的起始端，并且覆盖三相火线、零线及地线。在器件选型上，应重点考核10/350 $\mu$ s波形下的直击雷放电电流参数，以满足一类、二类防雷建筑对直击雷的防护指标，同时须强化等电位连接，将SPD接地端可靠接至建筑总接地网，并尽可能缩短接地引线路径，以降低引线电感造成的残压抬升效应。在工程实践中，一类防雷建筑必须强制性配置一级SPD，而三类防雷建筑则可依据雷电风险评估结论灵活决定是否增设。

二级防护承接前级泄放后的残余能量，起到承上启下的过渡

作用，其主要功能是进一步削减一级动作后剩余的浪涌电压以及电流，并且兼顾电网操作过电压及近场感应雷的抑制需求。二级SPD一般部署于各楼层的配电箱或区域分配电柜内，且与前级SPD之间必须维持足够的线缆间距。按防雷设计规范要求，连接导线长度最好不小于5米，从而保障两级间形成清晰的能量衰减梯度。如果现场条件受限、无法满足该距离要求，则需要加装退耦器，以避免两级保护器件因动作时序紊乱而导致防护失效。二级SPD选型以8/20 $\mu$ s感应雷波形为依据，兼顾通流容量与电压保护水平，以适配大部分建筑内部配电场景。

三级防护主要是为了末端精细化保护，专门面向服务器机房、监控中心、精密测量仪器及自动化控制终端等敏感负载，安装位置直接部署在设备电源入口端及信号线路进线端口。经过前两道防护后，线路上浪涌能量虽然已大幅削减，然而残余的微小瞬态过电压依然会击穿精密电子芯片或干扰信号完整性。三级SPD凭借极低的电压保护水平以及高度精准的钳位特性，可将最终残压严格约束在设备耐受阈值以内，并且同时覆盖直流供电线路与弱电信号通道的防护盲区，有效弥补强电防护体系对弱电系统覆盖不足的问题。

### （三）等电位配合设计

等电位连接与可靠接地是浪涌保护器（SPD）发挥效用的根本前提，也是防雷设计中极易被疏忽的关键环节。浪涌保护所泄放的浪涌电流最终需经由接地装置散逸至大地，假如接地电阻值偏高或等电位连接施工不规范，接地回路上将带来过高的残余电压，这不但会导致防护作用失效，还可能引致设备金属外壳带电、系统参考电位失衡，进而酿成安全事故。在防雷系统设计中，需要将所有浪涌保护器（SPD）接地端、设备外露导电部件、各类金属管道、屏蔽层以及建筑主体钢结构，全部可靠接至总等电位联结端子板，以此构建统一的接地等电位面，从而消除不同线路与设备间的电位差，杜绝浪涌侵袭时发生电位反击现象。与此同时，须严格把控接地电阻值：第一类、第二类防雷建筑物的接地电阻应小于1 $\Omega$ ，第三类防雷建筑物则不宜超过4 $\Omega$ ，以保证浪涌电流能够迅速、通畅地泄入大地。另外，浪涌保护器（SPD）的接地引下线应遵循短、直、粗的布线原则，防止出现弯折或缠绕，以减小引线电感与阻抗，最大限度降低残压损耗。

## 三、浪涌保护器在防雷设计中应用的常见问题

### （一）选型匹配不合理

选型不合理是防雷系统设计中的常见问题，主要表现为：防护等级和风险区域不匹配，高风险区选用低通流容量的浪涌保护器（SPD）易被击穿，低风险区过度配置则增加成本；将配电浪涌保护器（SPD）误用于信号线路，易致信号异常或接口损坏；持续运行电压选取偏差，过低时电网波动引起误动作，过高则无法有效钳位浪涌，失去保护效果。合理选型需综合考量防雷等级、线路类型和设备参数，避免盲目或低价决策。

### （二）安装施工工艺不规范

浪涌保护器（SPD）的实际防护效能，不但取决于产品本身

的质量，更和现场安装工艺密切相关。一旦施工操作不符合规范，即便选用优质设备，其保护功能也难以有效发挥。从防雷系统工程实践来看，常见的施工问题主要体现在以下几个方面：一是没有严格按照防雷分区要求确定浪涌保护器的安装点，导致一级、二级、三级保护级之间的电气间距不符合设计标准，级间配合失效。二是接地引线处理不当，引线过长、缠绕成圈或弯折角度太大，会显著增大线路电感，影响浪涌电流的顺畅泄放。三是接线相位混乱，导致电流路径紊乱，干扰正常泄流通道。四是等电位连接缺失，当发生雷击时易产生电位差，引发反击事故。四是未按规定加装脱扣器或熔断器等过流保护装置，一旦浪涌保护器内部损坏，无法自动切断故障回路，可能诱发短路甚至火灾风险。

### （三）运维检测机制不完善

浪涌保护器（SPD）作为易损件，受雷击浪涌以及电压波动影响，性能会逐渐劣化。当前防雷工程普遍“重设计、轻维护”，竣工后缺少定期巡检与更换制度，老化 SPD 持续运行，雷雨时难以有效保护，形成隐患。同时，部分 SPD 故障指示器失效，异常状态不易察觉，使设备长期处于无防护状态，亟待完善检测以及更新流程

## 四、浪涌保护器在防雷设计中应用的优化措施

### （一）精准选型，满足防护需求

针对具体雷电防护需求，应在防雷设计初期就完成现场雷电风险排查，并综合建筑所属防雷等级、使用环境、线路类型以及设备自身的耐压指标，来确定最合适的浪涌保护器（SPD）型号及保护级别。对于一类、二类高防雷等级建筑，必须建立三级完整防护架构<sup>[4]</sup>；三类普通建筑则可依据风险评估结果适当简化，通常采用两级防护即可。在选型时，电力配电线路应使用专为电力系统设计的 SPD，而信号及弱电线路则需要选用插入损耗较小的信号专用 SPD，两者不可混用。此外，还需逐项校验关键电气参数，保证最大持续运行电压和电网额定电压相符，同时确保电压保护水平低于被保护设备的耐受电压，从而在源头筑牢防护屏障。

### （二）规范施工，严控安装工艺标准

严格参照防雷规范与设备安装要求，高标准完成浪涌保护器（SPD）施工安装。依据防雷分区明确各级 SPD 安装位置，一级 SPD 通常在总配电进线端应用，二级 SPD 通常部署于楼层分配电柜，三级 SPD 靠近设备前端安装；确保各级 SPD 线路间距不低于 5 米，间距不充分的时候需要加装退耦器优化时序<sup>[5]</sup>。优化接地工艺，接地引线选择短、直以及粗敷设方式，杜绝盘绕弯曲，缩短泄放通路，降低线路阻抗；全域落实等电位连接，统一接地电位，消除电位反击风险。全部浪涌保护器（SPD）需要配套安装后备熔断器、脱扣保护装置，实现故障自动切断以及可视化报警，保障系统安全性。

### （三）建立常态化运维检测机制

建立常态化运维体系，每年雷雨季前开展一次全面的防雷检测，重点对浪涌保护器（SPD）漏电流、残压、通流容量、接地电阻以及接线状态等参数进行检查，对于老化、衰减、失效的设备需要及时更换。日常巡检中还需要关注 SPD 故障指示窗口，一旦存在异常需要及时停机检修，排查故障原因。此外，还需要建立设备运维台账，认真记录浪涌保护器（SPD）的检修和更换记录，实现精细化管理。同时加强现场人员专业培训，提升运维人员对浪涌防护（SPD）的原理、故障判断以及日常维护的专业能力，杜绝人为因素造成的防护失效。

## 五、结语

综上所述，浪涌保护器是现代防雷设计中内部过电压防护的重要设备，全方位保障电气设备、精密电子系统的安全稳定运行。当前工程防雷设计中，选型不当、施工不规范、运维不完善等问题，是造成浪涌防护失效的主要因素。在后续的防雷设计以及工程应用中，应严格遵循国家规范标准，结合现场实际工况精准选型、规范施工，同时建立常态化运维检测机制，实现防雷系统的长效稳定运行，为各类电气系统的安全运行提供强有力的保障。

## 参考文献

- [1] 王玉珏，黄特. 浪涌保护器在低压配电系统中的选择策略与应用研究 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2025(2): 169-172.
- [2] 张志胜. 低压配电系统浪涌保护器设计中相关问题的探讨 [J]. 电器工业, 2011(2): 51-54.
- [3] 赵元华，张彬. 电源浪涌保护器在线监测与劣化方法研究 [J]. 智能建筑电气技术, 2026, 2: 91-93, 128.
- [4] 王肃. 信号线路浪涌保护器防雷设计 [J]. 机电信息, 2017(9): 75-77
- [5] 林潇霄. 某超高层民用建筑电气系统浪涌保护器分级防护设计与施工效果研究 [J]. 江西建材, 2025(9): 220-223.
- [6] 朱成烈. 浪涌保护器在民用建筑电气设计中的选用 [J]. 城市住宅, 2021, 7(7): 191-192.