

The Application of Surge Protector and Residual Current Protector in Distribution System

Huahai Lin

Shenzhen Mingzhihui Intelligent Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

With the continuous growth of electricity demand in modern society, the safe and stable operation of power distribution systems has become increasingly crucial. Surge Protectors (SPDs) and Residual Current Devices (RCDs), as key safety devices in power distribution systems, serve distinct protective functions: SPDs effectively resist external overvoltage surges to prevent equipment damage, while RCDs monitor leakage currents in real-time and promptly cut off power to prevent electric shock accidents. Through coordinated operation and interlocking mechanisms, these devices form a complementary protection system that significantly enhances equipment safeguards and overall system safety. Given the foundational role of reliable power distribution in modern production and daily life, proper configuration and standardized use of SPDs and RCDs carry substantial practical significance for ensuring stable electricity supply.

Keywords

power distribution system; surge protector; residual current protector; interlocked protection

配电系统中浪涌保护器与剩余电流保护器配合使用

林华海

深圳市明之辉智慧科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

随着现代社会对电力需求的持续增长, 配电系统的安全稳定运行愈发凸显其重要性。浪涌保护器 (SPD) 与剩余电流保护器 (RCD) 作为配电系统中的关键安全防护装置, 分别承担着不同的核心防护职能: 浪涌保护器可有效抵御外部过电压冲击, 避免电气设备因过电压损坏; 剩余电流保护器则能实时监测电路漏电情况, 及时切断电源以防范触电事故。二者通过科学的配合使用与联动机制, 可形成优势互补的全面防护体系, 显著提升电气设备的保护效果与系统整体安全性能。鉴于配电系统安全稳定运行对现代社会生产生活的基础性保障作用, 合理配置并规范使用浪涌保护器与剩余电流保护器, 对保障电力供应可靠性具有重要现实意义。

关键词

配电系统; 浪涌保护器; 剩余电流保护器; 联动防护

1 引言

在电力系统向智能化、多元化发展的背景下, 配电系统作为连接供电端与终端用户的关键环节, 其安全运行直接关系到工业生产连续性、商业运营稳定性及居民生活用电安全性。浪涌保护器与剩余电流保护器是配电系统安全防护体系中的两大核心装置, 二者防护侧重点不同但存在协同互补性: 浪涌保护器针对雷击、开关操作等引发的过电压故障, 实现设备硬件防护; 剩余电流保护器针对线路绝缘破损、设备漏电等引发的触电风险, 实现人身与设备安全防护。实践表明, 单一使用某类保护器难以实现全面安全防护, 二者的科学配合使用可形成“过电压防护+漏电防护”的双重保

障体系。本文围绕浪涌保护器与剩余电流保护器的基本特性、联动机制及配合使用要点展开研究, 为配电系统安全防护设计与优化提供技术参考。

2 配电系统中浪涌保护器与剩余电流保护器的核心特性

2.1 配电系统的核心功能与安全要求

配电系统是电力系统的末端执行环节, 主要由配电变压器、配电柜、输电线路及保护装置等组成, 承担着电压变换、电能分配、故障隔离等核心功能。其运行质量直接决定终端用户的供电可靠性与电能质量, 对工业领域的精密设备运行、数据中心的持续供电等关键场景尤为重要。随着电力电子设备的广泛应用, 配电系统面临的故障类型日益复杂, 既包括雷击、电网波动等外部干扰引发的过电压故障, 也包括线路老化、设备故障等内部问题引发的漏电故障。因此,

【作者简介】林华海 (1984-), 男, 中国广东茂名, 工程师, 从事城市照明控制与供配电智能化研究。

现代配电系统对安全防护的要求已从“故障后修复”转向“故障前预防+故障中快速响应”，浪涌保护器与剩余电流保护器的协同配置正是满足这一要求的关键技术手段。

2.2 浪涌保护器的工作原理与核心作用

浪涌保护器（Surge Protective Device, SPD）又称电涌保护器，是专门用于抑制瞬态过电压、保护电气设备的关键装置。其核心工作原理是利用非线性元件（如氧化锌压敏电阻、气体放电管、TVS二极管等）的伏安特性，在电路中构建“常态高阻、过压低阻”的防护机制：在系统正常运行时，浪涌保护器呈高阻状态，不影响电路正常供电；当雷击感应、开关操作、电网故障等引发的过电压峰值超过设定阈值时，非线性元件迅速击穿导通，将过电压产生的巨大能量通过接地回路泄放，同时将被保护设备两端的电压钳位在安全范围内；当过电压消失后，元件自动恢复高阻状态，电路恢复正常运行。

浪涌保护器的核心作用体现在三个方面：一是抵御外部过电压冲击，重点防范直击雷、感应雷等雷击过电压对变压器、配电箱等关键设备的绝缘损坏；二是抑制内部操作过电压，如断路器分合闸、电容器投切等操作产生的瞬态电压波动，避免敏感电子设备误动作；三是延长设备使用寿命，通过减少过电压对设备绝缘层的反复冲击，降低设备绝缘老化速率，提升配电系统整体运行稳定性。

2.3 剩余电流保护器的工作原理与核心作用

剩余电流保护器（Residual Current Device, RCD）又称漏电保护器，是基于电流平衡原理实现漏电故障监测与保护的安全装置。其核心工作原理是通过零序电流互感器实时检测电路中的进出线电流差值：在电路正常运行时，相线与中性线中的电流大小相等、方向相反，零序电流互感器二次侧感应电流为零，保护器处于待命状态；当线路绝缘破损、设备外壳漏电等情况发生时，部分电流通过接地体或人体流入大地，导致相线与中性线电流失衡，产生剩余电流（即漏电电流）；当剩余电流值超过设定动作阈值时，保护器内部的脱扣机构迅速动作，在数十毫秒内切断电源，阻止漏电电流持续作用引发触电事故或电气火灾。

剩余电流保护器的核心作用包括：一是人身安全防护，针对手持电动工具漏电、插座线路破损等常见场景，快速切断电源以避免触电伤亡；二是设备安全防护，及时发现设备内部漏电故障，防止故障扩大导致设备烧毁；三是火灾预防，抑制因线路漏电产生的电弧高温引燃周围可燃物，降低电气火灾发生率。此外，现代剩余电流保护器通常具备灵敏度可调功能，可根据家庭、工业、商业等不同场景的安全需求，精准设定动作阈值，兼顾防护可靠性与供电连续性。

3 浪涌保护器与剩余电流保护器的联动防护机制

浪涌保护器与剩余电流保护器的联动防护，是通过二

者在动作逻辑、参数匹配及故障响应上的协同设计，实现“1+1 > 2”的防护效果。联动机制的核心在于构建“过电压监测-漏电协同检测-故障快速处置”的闭环防护体系，其关键技术要点包括联动逻辑设计、参数匹配调试及故障协同监测三个方面。

在联动逻辑设计方面，通常采用“浪涌优先响应+剩余电流协同确认”的控制模式：当浪涌保护器检测到过电压并动作泄放能量时，其内部的辅助触点会同步发送信号至剩余电流保护器，触发剩余电流保护器进入强化监测状态；若过电压冲击导致线路绝缘破损、设备内部元件击穿等次生漏电故障，剩余电流保护器可在检测到剩余电流超阈值后，立即切断电源，避免过电压故障与漏电故障叠加引发更严重事故。这种联动逻辑既保证了浪涌保护器对过电压的快速响应，又通过剩余电流保护器的协同监测，覆盖了过电压引发的次生故障风险。

参数匹配调试是保障联动机制可靠运行的关键。二者的参数匹配主要包括响应时间匹配与阈值协同设定：响应时间方面，浪涌保护器的动作时间通常在纳秒至微秒级，剩余电流保护器的动作时间在毫秒级，需通过时序协调确保浪涌保护器完成过电压泄放后，剩余电流保护器再进行漏电检测，避免相互干扰；阈值设定方面，需根据配电系统的额定电压、设备绝缘等级、负载特性等，合理设定浪涌保护器的最大通流容量、电压保护水平，以及剩余电流保护器的动作电流阈值，确保既不出现“误动作”影响供电，也不出现“拒动作”导致防护失效。例如，在工业配电系统中，通常将浪涌保护器的电压保护水平设定为系统额定电压的1.8-2.0倍，剩余电流保护器的动作电流阈值设定为300mA；而在家庭配电场景中，剩余电流保护器的动作电流阈值通常设定为30mA，以提升人身防护灵敏度。

在故障协同监测方面，联动机制通过二者的状态信号交互，实现对复合故障的全面感知。浪涌保护器的劣化状态（如漏电流增大、元件老化）可通过辅助信号传输至剩余电流保护器的监测单元，当浪涌保护器性能下降可能导致过电压防护失效时，系统可提前发出预警；剩余电流保护器检测到的持续性漏电信号，也可反向触发浪涌保护器的状态自检，排查是否因过电压冲击导致绝缘损坏。同时，联动系统可通过通信模块将故障信息（如过电压峰值、漏电电流值、故障发生时间）上传至配电监控平台，实现故障定位、原因分析及远程预警，为运维人员提供精准的故障处置依据。

4 浪涌保护器与剩余电流保护器的配合使用要点

4.1 功能互补：构建双重防护体系

浪涌保护器与剩余电流保护器的配合使用，本质是通过功能互补实现对配电系统两类核心故障的全面覆盖。浪涌保护器的核心功能聚焦于“过电压能量泄放”，解决的是瞬

时高压对设备绝缘的破坏问题，其防护对象主要是变压器、变频器、精密电子设备等硬件设施；剩余电流保护器的核心功能聚焦于“漏电故障切断”，解决的是电流异常分流引发的人身安全与火灾风险，其防护对象涵盖人身、设备及环境。

例如，在雷击高发的户外配电场景中，单一使用浪涌保护器可抵御雷击过电压，但若雷击导致线路绝缘破损产生漏电，仍可能引发触电或火灾；单一使用剩余电流保护器虽能检测漏电，但无法抵御雷击过电压对设备的直接损坏。二者配合使用时，浪涌保护器首先泄放雷击能量保护设备绝缘，剩余电流保护器则监测可能产生的次生漏电故障，形成“硬件防护+安全兜底”的双重保障。在工业车间等复杂场景中，这种功能互补可有效覆盖设备启动时的操作过电压、工具使用中的漏电风险等多重隐患，显著提升系统整体防护水平。

4.2 配置优化：提升防护精准性

科学的配置方案是确保二者配合使用效果的基础，需结合配电系统的拓扑结构、应用场景及风险等级，采用“分级防护+分区配置”的优化策略。在分级防护方面，根据GB 50057《建筑物防雷设计规范》要求，浪涌保护器需按第一级（配电进线端）、第二级（配电柜进线端）、第三级（设备前端）分级配置，各级浪涌保护器的通流容量逐级递减，实现过电压的分层泄放；剩余电流保护器则需按“总保护+分路保护”配置，总保护器针对系统整体漏电风险，分路保护器针对各负载回路的精准防护，二者配合可避免单一保护器故障导致的防护失效。

在分区配置方面，需根据不同区域的风险特性差异化配置：在雷击高发的户外配电区，重点强化浪涌保护器的通流容量（如第一级选用100kA以上通流容量的SPD），并匹配高灵敏度剩余电流保护器；在家庭厨房、卫生间等潮湿环境，优先选用防溅型剩余电流保护器，并在插座回路前端配置第三级浪涌保护器，防护家用电器免受电网波动影响；在数据中心等关键负载区，采用“浪涌保护器+带浪涌耐受能力的剩余电流保护器”的集成方案，提升对复合故障的响应速度。

4.3 运维协同：保障长期可靠运行

浪涌保护器与剩余电流保护器的配合使用效果，需通过常态化的运维协同加以保障。在日常巡检中，需同步检查

二者的运行状态：对浪涌保护器，重点检测其漏电流值、外观有无破损、指示状态是否正常，定期进行绝缘测试；对剩余电流保护器，定期开展跳闸试验，检查动作灵敏度与响应速度，确保其在漏电时能可靠动作。

在故障处置方面，需建立“协同排查”机制：当系统出现跳闸故障时，首先通过浪涌保护器的状态记录判断是否存在过电压冲击，再通过剩余电流保护器的故障数据定位漏电回路，避免单一排查导致的故障误判；当浪涌保护器发生劣化更换时，需同步校验剩余电流保护器的参数匹配性，确保联动逻辑不受影响。此外，需建立设备全生命周期管理档案，根据浪涌保护器（通常使用寿命5-8年）与剩余电流保护器（通常使用寿命8-10年）的寿命差异，制定差异化更换计划，避免因设备老化导致防护失效。

5 结语

浪涌保护器与剩余电流保护器作为配电系统安全防护的核心装置，二者的科学配合使用是提升系统安全可靠性的关键技术路径。通过功能互补构建“过电压+漏电”双重防护体系，通过联动机制实现故障的快速响应与次生风险防控，通过优化配置与运维协同保障防护效果的长期稳定，可有效降低电气设备损坏、人身触电及电气火灾等事故发生率。随着配电系统向智能化升级，未来可进一步结合物联网技术，开发具备智能联动、远程监测与故障预警功能的集成防护装置，推动配电系统安全防护从“被动防护”向“主动预警-智能处置”转型，为现代电力系统的安全稳定运行提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 周畅. 剩余电流保护器在道路照明工程中的应用[J]. 电气开关, 2022, 60(05):76-80.
- [2] 罗森文. 开关型浪涌保护器用于信息通信低压配电系统的可行性研究[J]. 广东通信技术, 2021, 41(12):67-71.
- [3] 黄洁, 钱舟浩, 吴义纯. 剩余电流保护器在低压配电系统中的应用分析[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2021, 26(03):20-24.
- [4] 李长启. 电涌保护器在低压配电系统中的应用[J]. 电气时代, 2020(10):70-72.
- [5] 常晨琛, 石伟. 低压配电系统中浪涌保护器的设置位置及技术参数分析[J]. 电气开关, 2019, 57(02):94-96.