

配网终端防雷接地与二次回路共地干扰抑制技术研究

党琳

国家能源（山东）新能源有限公司，山东 济南 250014

DOI:10.61369/EPTSM.2025110016

摘要：配网终端作为配电网络运行监控与控制的核心节点，其运行稳定性直接决定配网供电可靠性。雷电冲击与二次回路共地干扰是导致配网终端误动、拒动甚至硬件损坏的主要诱因，二者在接地系统中相互关联、相互影响，需系统性研究解决。本文从配网终端防雷接地的技术原理出发，分析雷电过电压在接地系统中的传播路径及对二次回路的耦合机制，通过实际应用案例验证，该方案可有效降低雷电冲击对配网终端的影响，将共地干扰导致的终端故障发生率控制在0.5%以下，为配网终端的安全稳定运行提供技术支撑。

关键词：配网终端；防雷接地；共地干扰；等电位连接；干扰抑制

Research on Lightning Protection Grounding and Secondary Circuit Common Ground Interference Suppression Technology for Distribution Network Terminals

Dang Lin

CHN Energy(Shandong) New Energy Co.,Ltd, Jinan, Shandong 250014

Abstract : As the core nodes for monitoring and controlling distribution network operations, the stability of distribution network terminals directly determines power supply reliability. Lightning strikes and common ground interference in secondary circuits are primary causes of terminal malfunctions, failures, or hardware damage. These two factors are interrelated and mutually influential within grounding systems, requiring systematic research and solutions. This paper analyzes the propagation path of lightning overvoltage in grounding systems and its coupling mechanism with secondary circuits, based on the technical principles of lightning protection grounding for distribution network terminals. Practical case studies demonstrate that this solution effectively mitigates lightning impacts on terminals, reducing common ground interference-induced failure rates to below 0.5%, thereby providing technical support for the safe and stable operation of distribution network terminals.

Keywords : distribution network terminal; lightning protection grounding; common ground interference; equipotential bonding; interference suppression

引言

配电网络作为电力系统与用户直接连接的关键环节，其运行可靠性直接影响社会生产生活用电质量。配网终端作为配网自动化系统的核心组成部分，承担着遥测、遥信、遥控等重要功能，是实现配网故障快速定位、隔离及供电恢复的关键设备^[1]。然而，配网终端通常安装于户外配电房、环网柜等场所，易遭受雷电冲击影响；同时，终端二次回路与一次设备接地系统存在共地关联，易产生共地干扰问题，二者共同导致配网终端故障频发，严重影响配网自动化水平提升。当前，配网终端防雷接地多采用常规接地网设计，未充分考虑终端设备的抗冲击特性，雷电过电压易通过接地系统侵入二次回路；共地干扰抑制则多依赖单一的屏蔽措施，未形成与防雷接地协同的技术体系，导致干扰抑制效果不佳。现有研究多单独针对防雷接地或干扰抑制展开，缺乏对二者关联性的深入分析，技术方案存在泛化问题，难以适应复杂配网环境的实际需求。基于此，本文深入研究配网终端防雷接地与二次回路共地干扰的内在关联，提出针对性的协同抑制技术方案，对提升配网终端运行稳定性具有重要现实意义。

一、配网终端防雷接地与共地干扰的关联机制

(一) 配网终端雷电冲击的传播路径

雷电对配网终端的影响主要通过直接雷击和感应雷击两种形式，其中感应雷击因发生概率高、影响范围广，成为导致终端故障的主要原因。当雷电击中配网线路或附近物体时，会在空间形成强电磁场，通过静电感应和电磁感应在终端二次回路中产生感应过电压；同时，雷电冲击电流通过配网线路的接地装置流入大地时，会在接地网中形成暂态电位升高，通过共地连接侵入二次回路。具体传播路径主要包括三条：一是雷电感应过电压通过终端电源线路、信号线路侵入，损坏终端电源模块和信号接口；二是接地网暂态电位升高导致终端外壳与内部电路形成电位差，引发内部绝缘击穿；三是雷电冲击电流在接地体间产生电位差，通过二次回路的共地节点形成干扰电流，导致终端逻辑电路误动作。三条路径中，接地系统的暂态响应特性直接决定雷电冲击的传播效率，也为共地干扰的产生提供了条件^[2]。

(二) 二次回路共地干扰的产生根源

共地干扰的本质是不同设备或回路通过公共接地系统形成的电位差干扰。配网终端二次回路包含电源回路、信号采集回路、控制输出回路等，各回路与一次设备（如断路器、隔离开关）共用接地网，当接地网存在阻抗时，不同回路的电流在接地网中产生的电压降会形成共模干扰和差模干扰。从根源上看，共地干扰的产生主要源于三个方面：一是接地网结构不合理，接地体布置不均导致不同区域接地电阻存在差异，在雷电冲击或负荷电流流过时形成明显电位差；二是二次回路布线不规范，信号线路与电源线路平行敷设，且未采取有效的屏蔽接地措施，易通过电磁耦合拾取接地网中的干扰信号；三是终端设备自身接地设计缺陷，如外壳接地与信号接地未分开，导致设备内部形成干扰电流回路。此外，防雷接地系统在泄放雷电电流时产生的暂态过电压，会显著加剧共地干扰的强度，形成“防雷接地—共地干扰”的连锁影响^[3]。

二、配网终端防雷接地系统的优化设计

(一) 接地网结构的参数优化

接地网的散流能力直接决定雷电冲击电流的泄放效率，传统的网格状接地网存在散流不均、暂态接地电阻偏高的问题。针对配网终端的安装场景，需结合终端设备的布局特点优化接地网结构参数。在接地体材料选择上，采用铜包钢接地体替代传统的镀锌角钢，利用铜的低电阻率和钢的高强度特性，提升接地体的导电性能和抗腐蚀能力。在结构设计上，采用“主接地网+局部接地网”的分层结构：主接地网采用不等距网格设计，在终端设备附近缩小网格间距，提升设备周边的散流密度；局部接地网针对终端电源模块、信号接口等敏感部位单独设置环形接地体，通过4根以上的引下线与主接地网连接，形成多点散流通道。同时，合理控制接地网的埋深，在土壤电阻率较高的区域，采用换土法降低接地电阻，确保主接地网的工频接地电阻不大于 4Ω ，局部接地

网的工频接地电阻不大于 1Ω ，有效降低暂态电位升高幅度^[4]。

(二) 等电位连接技术的应用

等电位连接是消除接地网电位差、抑制共地干扰的核心技术手段。针对配网终端的二次回路，需构建全方位的等电位连接体系，包括设备间等电位、回路间等电位和屏蔽层等电位三个层面。设备间等电位通过铜排将终端柜体、电源屏、信号屏等设备的外壳连接成一个等电位体，确保雷电冲击时各设备外壳电位同步升高，避免外壳与内部电路形成电位差。回路间等电位针对二次回路的不同类型采取差异化措施：电源回路采用独立的接地铜排，与信号接地铜排保持一定间距（不小于30cm），避免电源电流干扰信号回路；信号采集回路的屏蔽层采用两端接地方式，屏蔽层接地电阻不大于 1Ω ，通过屏蔽层将感应的干扰信号直接泄放入地。同时，在终端柜体内部设置等电位连接端子排，将二次回路的所有接地节点集中连接至端子排，再通过单根引下线与局部接地网连接，避免形成多点接地导致的干扰电流回路^[5]。

(三) 防雷接地与设备接地的协同设计

避免防雷接地与设备接地的相互干扰，需明确二者的连接方式和泄流路径。采用“共地不共线”的设计原则，防雷接地的引下线与终端设备的接地引下线分开布置，引下线间距不小于1.5m，防止雷电冲击电流在引下线间产生电磁耦合。在接地网的连接点选择上，将防雷接地引下线与主接地网的连接点设置在远离终端设备的一侧，通过主接地网的散流作用降低设备附近的电位升高。针对终端电源模块等敏感部件，在其电源输入端配置浪涌保护器（SPD），SPD的接地端直接连接至局部接地网，形成独立的雷电冲击泄放通道。同时，SPD的选型需与终端设备的抗冲击能力匹配，第一级SPD采用大通流容量的开关型器件，用于泄放大部分雷电冲击电流；第二级SPD采用限压型器件，用于抑制剩余的过电压，确保进入终端设备的电压幅值控制在安全范围内。

三、二次回路共地干扰的抑制技术措施

(一) 专用接地隔离装置的配置

针对共地干扰中的共模干扰问题，采用接地隔离装置实现不同回路的接地隔离。在终端信号采集回路中，配置隔离变压器和光电耦合器，通过电磁隔离和光电隔离两种方式切断干扰电流的传播路径。隔离变压器的变比选择1:1，确保信号的无失真传输，其铁芯采用高导磁率材料，提升对低频干扰的抑制能力；光电耦合器选用高速型器件，确保信号传输的实时性，满足配网终端对遥信、遥测信号的响应速度要求。在电源回路中，采用隔离式开关电源替代传统的线性电源，开关电源的输入接地与输出接地完全隔离，避免电源侧的干扰通过接地系统渗入终端内部。同时，在终端的信号接口处配置信号浪涌抑制器，该抑制器集成了接地隔离功能，既能抑制雷电感应过电压，又能隔离共地干扰信号，实现防雷与抗干扰的协同防护。

(二) 二次回路的布线优化

布线方式的合理性直接影响共地干扰的耦合强度，需结合干扰抑制要求制定严格的布线规范。在电缆选型上，信号电缆采用

屏蔽双绞线，利用双绞线的平衡结构抑制差模干扰，屏蔽层采用铜带绕包+铝塑复合带纵包的双层屏蔽结构，提升对共模干扰的屏蔽效果；电源电缆采用铠装电缆，铠装层两端接地，形成电磁屏蔽屏障。在布线布局上，采用“分类布线、分层敷设”的原则：将电源电缆与信号电缆分开敷设，间距不小于50cm，若需交叉敷设则采用垂直交叉方式，减少平行敷设的长度；在电缆沟内设置专用的电缆支架，将不同类型的电缆分层布置，电源电缆布置在最下层，信号电缆布置在上层，避免电源电缆的磁场干扰信号电缆。同时，电缆的敷设路径远离接地网的引下线和接地体，减少雷电冲击时接地网磁场对电缆的感应干扰。

（三）干扰抑制的软件辅助措施

结合硬件措施，采用软件抗干扰技术进一步提升终端的抗干扰能力。在信号采集环节，采用数字滤波算法，对采集到的电压、电流信号进行滑动平均滤波和中位值滤波，滤除共地干扰导致的高频噪声；针对遥信信号，采用防抖处理和延时确认机制，避免干扰信号导致的遥信误报。在控制逻辑设计上，设置干扰检测模块，实时监测终端内部的接地电位差，当电位差超过阈值时，自动触发干扰抑制措施，如切断非关键回路的电源、将控制输出切换至安全状态等。同时，采用冗余设计技术，对核心控制回路的信号进行双重采集和对比，当两路信号的偏差超过允许范围时，自动启动备用回路，确保终端控制功能的可靠性。

四、应用案例分析

为检验本文提出的防雷接地与共地干扰抑制技术方案的有效

性，选取某城市配网中10个户外配电终端作为试点，实施优化后的防雷接地系统和共地干扰抑制措施。此前，试点终端由于雷电冲击和共地干扰问题月均故障次数达2.3次，严重影响配网的稳定运行。将镀锌角钢接地网改为铜包钢不等距网格接地网，增设局部接地网；设置全方位等电位连接体系，设置专用接地隔离装置；优化二次回路布线，配置双层屏蔽信号电缆和隔离式开关电源；在终端软件中增加数字滤波和干扰检测模块。改造完成后，对试点终端实施6个月的运行监测。在雷雨季节10个试点终端均未发生雷电冲击造成的故障，防雷效果明显；共地干扰造成的终端误动、拒动故障仅发生1次，故障发生率为0.17%，远低于改造前的水平。同时，终端的遥测精度提高5%，遥信响应速度提高10%，运行稳定性大大提高。该案例显示，本文所提出的技术方案能够有效地解决配网终端的防雷接地与共地干扰问题，具有良好的应用效果。

五、结论

本文通过对配网终端防雷接地与二次回路共地干扰抑制技术的深入研究，明确了雷电冲击在接地系统的传播路径与共地干扰的产生根源，揭示了二者之间的关联机制。提出的“分层防雷接地+共地干扰隔离”。协同技术方案，通过优化接地网结构、应用等电位连接技术、配置专用接地隔离装置、优化布线方式及采用软件辅助措施等关键手段，实现了防雷与抗干扰的协同防护。实际应用案例验证了该方案的有效性，能够显著降低终端故障发生率，提升运行稳定性。

参考文献

- [1] 李峰,王文伟,凌启民,匡若瑜,樊小朝.多物理量融合驱动的分布式避雷器运行质量在线监测方法[J].电力设备管理,2025,(17):141-143.
- [2] 彭超敏,钟志兵,万方林,郭志云.农村10kV配网线路防雷差异化治理[J].大众用电,2025,40(04):68-69.
- [3] 王奇伟,陈榕清,周俊,吴长江.10kV配网线路防雷综合策略探讨[J].大众用电,2024,39(10):50-51.
- [4] 曾松涛,刘凯,韩云飞,徐雨,王喜军.配网架空线路雷击故障及防雷措施分析[J].机电产品开发与创新,2023,36(06):98-100.
- [5] 曾琳,彭桐棣.10kV配网运行维护及检修探讨[J].电气技术与经济,2023,(09):343-345.