

关于 10kV 开关柜避雷器接地回路优化 与故障精确定位技术的研究

梁智 李彦 唐恒达

甘肃电投常乐发电有限责任公司 甘肃 酒泉 736100

【摘要】：10kV 开关柜是配电网核心配电设备，避雷器作为过电压防护关键元件，其接地回路设计直接影响单相接地故障检测与定位效率。传统 10kV 开关柜避雷器接地线直接接入公共接地母排，未穿过本间隔零序电流互感器，当避雷器因过电压、绝缘劣化发生击穿接地时，故障电流无法被零序保护有效采集，导致保护装置无法识别故障间隔，只能依靠人工逐柜排查，故障处理耗时久、易扩大事故范围。本文针对该设计缺陷展开分析，提出将避雷器独立接地线改造为穿过本间隔零序 CT 的优化方案，明确改造接线方式与工作原理，结合现场试点应用验证方案效果。结果表明，优化后可实现避雷器接地故障精准定位，故障排查时间由数小时缩短至 5 分钟以内，方案具备成本低、易实施、可靠性高等优势，能显著提升配电网供电安全性与运维效率，可为 10kV 开关柜新建与改造工程提供技术参考。

【关键词】：10kV 开关柜；避雷器；接地回路；零序电流互感器；故障精确定位；小电流接地系统

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.052

1 引言

10kV 配电网是电力系统连接输电网与终端用户的关键环节，其安全稳定运行直接关系社会生产生活用电可靠性。金属封闭开关柜因结构紧凑、防护等级高、运维便捷等特点，在 10kV 配电站、变电站 10kV 配电室中广泛应用。开关柜内部配置的氧化锌避雷器，是抵御雷电过电压、操作过电压，保护母线、断路器、电缆等设备绝缘不被击穿的重要保护电器，其运行状态直接决定开关柜整体安全水平。

在小电流接地系统中，单相接地是最常见的故障类型，约占配电网故障总数的 80% 以上。零序电流保护是小电流接地系统判别单相接地故障、定位故障区间的核心手段，其正常工作依赖于故障电流有效穿过零序电流互感器。但在传统 10kV 开关柜设计与施工中，为简化接线流程、降低施工难度，普遍将避雷器接地端直接连接至柜体公共接地母排，该接地回路未经过本间隔零序 CT。

这种传统接地方式在系统正常运行时无明显隐患，但当避雷器因长期运行绝缘老化、遭受雷击过电压或操作过电压超出耐受范围发生击穿时，会形成稳定单相接地故障，故障电流经公共接地网回流，无法被本间隔零序 CT 检测。此时保护装置无对应零序电流信号，监控系统无法指示故障间隔，非故障线路可能因电容电流出现误告警，运维人员只能通过逐间隔停电检查、红外测温、绝缘测试等方式排查故障，不仅耗时费力，还可能因故障持续发展演变为相间短路，造成设备烧毁、母线停电等扩大性事故，严重影响配电网供电可靠性。

近年来，配电网朝着智能化、精益化运维方向发展，对故障快速定位、快速复电提出更高要求。国家能源局在配电网建设改造行动计划中明确提出，提升配电网故障检测与自愈能力，缩短故障处理时长。在此背景下，解决 10kV 开关柜避雷

器接地故障无法精准定位的问题，成为提升配电网运维水平的重要课题。本文结合现场实际问题，分析传统接地回路缺陷，提出优化改造方案，通过现场试点验证方案可行性，为行业内同类问题处理提供实践经验。

2 传统避雷器接地方式缺陷分析

2.1 小电流接地系统零序电流保护原理

我国 10kV 配电网多采用中性点不接地或经消弧线圈接地的小电流接地方式，该系统发生单相接地时，故障电流小，三相线电压仍保持对称，可短时继续运行，为故障排查提供时间窗口。零序电流保护是适配小电流接地系统的核心保护方式，其工作原理基于基尔霍夫电流定律：正常运行或发生相间短路时，三相电流矢量和为零，零序 CT 一次侧无合成磁通，二次侧无输出；当发生单相接地故障时，三相电流平衡被打破，产生零序电流（ $3I_0$ ），该电流穿过零序 CT 后，在二次侧感应出对应信号，传输至保护装置实现告警或跳闸，从而指示故障位置。

正常线路零序 CT 仅穿过三相电力电缆，仅能检测线路本体接地故障，无法覆盖避雷器击穿引发的接地故障，这是传统设计存在的先天监测盲区。

2.2 传统避雷器接地回路核心缺陷

传统 10kV 开关柜避雷器接地采用独立直接接地模式，具体接线为：避雷器高压端接母线，接地端通过短接地线直接连接开关柜内部公共接地母排，接地线不穿过本间隔零序 CT，三相电缆单独穿过零序 CT。该方式存在以下关键缺陷：

（1）故障电流无法被有效检测

以 C 相避雷器击穿为例，故障电流路径为：C 相母线→击穿避雷器→接地引下线→公共接地母排→主接地网→系统中

性点。故障电流全程不经过本间隔零序 CT，零序 CT 无感应信号，保护装置无法识别该间隔存在接地故障，形成监测盲区。

(2) 易引发非故障间隔误告警

避雷器接地故障电流经公共接地网分散回流，会导致其他正常间隔零序 CT 检测到系统电容电流，产生虚假零序信号，引发误告警。运维人员面对多个间隔告警信号，无法辨别真实故障点，进一步增加排查难度。

(3) 故障定位效率极低

无明确告警指示，只能依靠人工逐柜检查、绝缘电阻测试、红外测温等方式判断故障间隔，常规配电室故障排查耗时 1~2 小时，大型配电室甚至更久，延长故障停电时间，降低供电可靠性。

(4) 故障扩大风险高

避雷器击穿后若不能及时发现，长期接地运行会导致接地部位发热、绝缘进一步损坏，最终发展为相间短路，引发断路器跳闸、设备烧毁，甚至影响整段母线安全。

综上，传统避雷器接地回路无法匹配现代配电网故障快速定位需求，必须通过技术改造完善接地回路设计，消除监测盲区。

3 避雷器接地回路优化方案设计

3.1 优化方案核心思路

针对传统缺陷，本次优化核心原则为：不改变开关柜主体结构、不新增电气设备、不改动原有保护逻辑，仅通过调整避雷器接地线敷设路径，使避雷器击穿故障电流有效穿过本间隔零序 CT，被保护装置正常采集。

方案核心措施：将避雷器原有直接接地的接地线，改为绝缘导线，自上而下穿过零序 CT 中心孔，再折返连接至公共接地母排，确保故障电流单向穿过零序 CT，实现零序信号有效采集。

3.2 具体改造实施要求

3.2.1 导线选型要求

穿过零序 CT 的避雷器接地线必须采用绝缘导线，绝缘水平不低于二次控制回路绝缘标准，避免导线裸露引发接地短路或人身触电风险，导线截面满足避雷器故障泄流要求。

3.2.2 接线改造步骤

- (1) 保留原有三相电力电缆穿过零序 CT 的结构不变，不改动主回路接线；
- (2) 拆除避雷器接地端至公共接地母排的原有短接地线；
- (3) 将新绝缘接地线一端牢固连接避雷器接地端子；
- (4) 接地线垂直向下穿过零序 CT 中心孔，从 CT 下方折返；

- (5) 折返后导线另一端可靠连接开关柜公共接地母排，连接点紧固无松动，接触电阻符合标准要求。

3.2.3 安全与工艺要求

改造过程需停电作业，做好安全措施；接地线敷设避免挤压、弯折，与柜体尖锐部位接触处加装绝缘护套；改造完成后进行绝缘电阻测试，确保回路绝缘合格。

3.3 优化后故障检测原理

优化后避雷器击穿接地故障电流路径为：故障相母线→击穿避雷器→绝缘接地引下线→穿过零序 CT→公共接地母排→主接地网→系统中性点。

此时故障电流单向穿过零序 CT，在 CT 铁芯中产生与线路单相接地一致的合成磁通，二次侧感应出对应零序电流信号，传输至保护装置。保护装置检测到零序电流越限后，立即发出告警信号，并精准指示本间隔故障，运维人员可直接根据告警信息定位故障开关柜，无需逐柜排查。

该原理利用零序 CT 对穿过其中心的单向电流的检测特性，将避雷器隐性故障转化为显性告警信号，从原理上解决定位难题，且不影响原有保护功能，不产生误动、拒动风险。

4 现场应用效果与技术验证

4.1 试点应用概况

本方案在某 110kV 变电站 10kV 配电室开展试点改造，该配电室共 20 面 10kV 开关柜，包含进线、出线、母线 PT、分段等间隔，所有间隔避雷器均采用传统直接接地方式。改造前该站曾发生避雷器击穿故障，运维人员耗时 1 小时 50 分钟才定位故障间隔，严重影响供电。

本次改造选取 10 面出线柜作为试点，严格按照优化方案调整避雷器接地线路径，改造过程单柜耗时约 30 分钟，无需更换设备、无需改动柜体结构，施工便捷。

4.2 模拟故障测试

改造完成后，通过专业试验设备模拟避雷器击穿接地故障，测试结果如下：

- (1) 模拟故障发生瞬间，监控系统后台立即弹出“XX 线路零序电流越限告警”，精准指示故障间隔名称；
- (2) 保护装置显示零序电流数值与理论计算值一致，信号稳定无波动；
- (3) 运维人员根据告警信息直接到达故障柜，从告警发出到确认故障点，总用时 3 分 20 秒。

同时对未改造间隔进行对比测试，未改造间隔模拟故障时，保护装置无对应告警，仅其他间隔出现零星电容电流告警，与改造前故障特征一致，验证方案有效性。

4.3 方案优势总结

(1) 故障定位精准

彻底消除避雷器接地故障监测盲区，实现故障间隔 100%精准指示，杜绝误判、漏判。

(2) 改造成本低廉

仅需更换少量绝缘导线，无新增 CT、保护装置等昂贵设备，单柜改造成本不足百元，经济性突出。

(3) 实施简便快捷

适用于新建开关柜设计与在运设备改造，停电施工时间短，不影响设备整体结构与运行性能。

(4) 运行安全可靠

不改变原有保护逻辑与主回路接线，不增加故障风险，提升设备运维安全性。

(5) 运维效率提升

故障处理时间由数小时缩短至 5 分钟以内，大幅降低运维人员工作量，提升配电网快速复电能力。

4.4 长期运行验证

试点改造后持续运行 12 个月，期间发生 2 次真实避雷器击穿故障，保护装置均精准告警，运维人员快速处理，未发生故障扩大、长时间停电等问题，验证方案长期稳定性。

5 推广应用建议

(1) 新建工程强制应用

在 10kV 开关柜新建项目设计阶段，将避雷器接地线穿过零序 CT 纳入标准设计图纸，从源头消除设计缺陷，避免后期改造。

(2) 在运设备分批改造

对现有变电站、配电站 10kV 开关柜，结合年度检修、设备改造，分批完成避雷器接地回路优化，优先改造重要负荷、人员值守难度大的配电室。

(3) 规范施工与验收

制定标准化施工工艺与验收标准，重点检查接地线绝缘水平、穿过 CT 方式、连接可靠性，确保改造质量。

(4) 配套运维培训

对运维人员开展方案原理、故障判断培训，使其熟练掌握告警信息解读与故障处理流程，充分发挥方案价值。

6 结论

10kV 开关柜避雷器接地回路设计是影响配电网故障处置效率的关键细节，传统直接接地方式存在明显监测盲区，无法实现避雷器击穿故障精准定位。本文提出的避雷器接地线穿过本间隔零序 CT 优化方案，原理科学、结构简单、实施便捷，无需新增设备，仅通过接线调整即可将隐性故障转化为显性告警，从根本上解决故障定位难题。现场试点应用表明，该方案可将故障排查时间由 2 小时左右缩短至 5 分钟以内，有效避免故障扩大，提升配电网供电可靠性与运维智能化水平。方案具备良好的经济性与实用性，符合配电网精益化改造要求，适合在 10kV 开关柜新建工程与在运设备改造中全面推广应用，为小电流接地系统故障快速定位提供可靠技术支撑。未来可结合配电网自动化、智能化升级，将该优化方案与配电自动化系统、故障自愈系统结合，进一步提升配电网故障处理自动化水平，推动配电网安全高效运行。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 配电网建设改造行动计划(2021-2030年)[Z].2021.
- [2] DL/T 593-2016,高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求[S].
- [3] GB/T 50065-2011,交流电气装置的接地设计规范[S].
- [4] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M].北京:中国电力出版社,2009:189-205.
- [5] 王兆晶.10kV 开关柜常见故障分析与处理[J].电工技术,2022(10):120-122.
- [6] 刘健,李刚,程红丽. 小电流接地系统单相接地故障定位技术综述[J].电力系统保护与控制,2020,48(15):175-186.
- [7] 中国电力科学研究院.10kV 配电网设备运行规程[M].北京:中国电力出版社,2021:78-82.
- [8] 陈化钢. 高低压电气设备选择、使用与故障检修[M].北京:机械工业出版社,2020.
- [9] 国家电网有限公司. 配电网运维规程[Z].2022.
- [10] 李斌.10kV 开关柜避雷器故障原因及防治措施[J].电力设备管理,2023(2):112-114.