小电阻接地系统单相接地故障处理与电能质量改善研究

裴新胜
国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司　甘肃　天水　741000

摘　要：小电阻接地系统单相接地故障易引发电网运行异常、设备损坏及电能质量劣化等问题，是配电系统运维的重点难题。本文研究小电阻接地系统单相接地故障与电能质量优化问题，分析该故障的危害、成因与电气量、暂态、行波三类运行特征，提出故障隔离、供电恢复、隐患防控及策略优化的完整故障处理方案。针对系统存在的谐波、电压波动、三相不平衡等问题，制定对应的治理措施，并构建电能质量综合管理体系，可为配电系统故障处置与电能质量提升提供参考。

关键词：小电阻接地系统；单相接地故障；故障处理；电能质量改善

引言

小电阻接地系统易发生单相接地故障，易造成设备损坏、安全事故及电能质量下降，影响配电系统安全稳定运行。本文围绕该系统单相接地故障处理与电能质量改善展开研究，分析故障危害、成因与运行特征，制定故障处理及优化策略，有针对性提出多项电能质量治理措施，为配电系统安全运维与电能质量提升提供技术参考。

1 小电阻接地系统单相接地故障分析

1.1 单相接地故障危害

小电阻接地系统发生单相接地故障后，会直接打破电力系统原有三相电压平衡状态，造成三相电压参数偏移，各类电力用电设备无法在额定电压工况下稳定运行。设备长期处于异常电压运行状态，内部电气元件会持续损耗，整体运行性能下降，设备正常使用周期大幅缩短，增加电力设备更换与运维成本。故障发生过程中，故障点极易产生持续性或间歇性电弧，电弧温度极高，可引燃周边电缆、绝缘材料等易燃电力设施，严重时会引发火灾、设备爆炸等恶性安全事故，直接威胁现场作业人员人身安全，同时造成电力设备、配套设施损毁，带来直接经济损失。与此同时，单相接地故障会扰乱系统正常供电参数，引发电网电压频繁波动，催生大量谐波干扰，直接恶化电网电能质量。劣质电能不仅会影响普通用户的正常用电体验，还会干扰工业精密用电设备的稳定运行，造成生产数据偏差、设备运行异常，对民用及工业用电场景均会造成不良影响。

1.2 单相接地故障原因

（1）外力破坏是引发单相接地故障的常见人为因素，电力电缆线路敷设区域常会出现施工挖掘、车辆碰撞等外力作业及意外情况，这类外部作用力会直接造成电缆本体破损、线路结构受损，破坏线路正常运行状态，直接触发单相接地故障，也是户外线路故障的主要诱因之一。（2）设备老化是线路长期运行产生的基础性故障原因，电力设备及线路长期投入使用后，绝缘子会出现老化失效问题，整体绝缘性能持续降低，同时电缆绝缘层会出现开裂、破损等老化缺陷，线路绝缘防护能力大幅下降，无法有效隔绝导电部分与接地部位，大幅提升单相接地故障的发生概率[1]。（3）恶劣天气是诱发单相接地故障的自然因素，雷击、大风、暴雨等极端天气会对户外电力线路造成直接影响，大风会引发线路大幅舞动、偏移，暴雨伴随的气流及环境变化易造成周边树木倒伏压线，雷击会击穿线路绝缘结构，各类自然影响最终都会破坏线路运行状态，引发单相接地故障。

1.3 单相接地故障特征

一是电气量特征，系统发生单相接地故障后，电气运行参数会出现明显异变，故障相电压会出现显著降低，同时非故障相电压对应升高，打破系统正常电压平衡状态。与此同时，故障回路中的故障电流数值明显增大，电流波形不再保持规整状态，内部包含大量且明显的谐波成分，成为判别故障的基础电气依据。二是暂态特征，故障发生的瞬间系统会产生高频暂态分量，该分量不会固定不变，其频率大小、幅值高低均不恒定，主要受电力系统自身参数、故障发生的具体位置等多种客观因素影响，故障初始阶段暂态现象最为明显，后续会逐步趋于稳定。三是行波特征，单相接地故障发生后会产生故障行波，该行波可在电力系统线路中持续传播，依托行波传播特性，通过精准检测故障行波抵达系统不同测量点位的时间差值，能够精准推算故障点位，实现单相接地故障的有效定位，为故障排查和检修提供关键依据。

2 小电阻接地系统单相接地故障处理策略

2.1 故障隔离

小电阻接地系统发生单相接地故障时，需落实故障隔离相关处理措施。系统运行过程中，保护装置实时监测线路运行状态，一旦检测到单相接地故障信号，将立即触发动作机制，跳开故障线路的断路器，直接切断故障线路，完成故障区域的快速隔离。该操作能够有效阻断故障蔓延路径，防止故障范围进一步扩大，规避故障对系统内其他正常运行线路、电力设备造成干扰和损坏，保障配电系统整体运行的稳定性。在故障隔离设备选型与应用方面，系统可配套使用智能开关设备，这类设备具备高效分断、稳定动作的基础性能，可满足单相接地故障快速隔离的作业要求[2]。同时，智能开关设备搭载通信功能，可与上级保护装置建立数据联动与协同作业机制，实现故障信号实时传输、保护动作精准配合，摒弃传统故障处理的滞后性与局限性，提升小电阻接地系统单相接地故障隔离作业的智能化、高效化水平，优化系统故障应急处理能力。

2.2 恢复供电

电力系统发生线路故障后，需通过对应的技术手段完成非故障区域的供电恢复工作，主要包含备用电源自动投入和网络重构两种核心方式。故障线路完成切除操作后，备用电源自动投入装置（BZT）可自主完成备用电源的投切运行操作，及时为未发生故障的供电区域恢复供电，该运行模式能够有效压缩停电时长，缩小停电覆盖范围，降低线路故障对区域供电的影响，保障基础供电连续性。网络重构是供电恢复的重要辅助手段，相关操作需依托电力系统实时运行状态、故障点位、故障影响范围等实际情况开展，通过调整电网整体网络拓扑结构，更改电力输送路径，以此达成非故障区域快速复电的目标。在开展网络重构作业与参数调整工作时，工作人员需全面兼顾多项核心指标，严格考量电网运行的安全稳定性、经济运行成本以及整体供电可靠性，在满足故障复电基本需求的前提下，规避二次供电风险，优化电网运行模式，保障复电后电网能够安全、稳定、长效运行，兼顾供电质量与电网运行综合效益。

2.3 故障预防措施

一是强化设备巡检与维护工作，制定标准化、常态化的电力设备巡检计划，按周期开展全方位设备巡检作业，精准排查设备运行过程中存在的各类安全隐患，对发现的隐患问题及时整改处置。同时严格落实设备定期维护保养制度，持续保障电力设备绝缘性能达标、运行状态良好，从设备运行层面有效防止单相接地故障的发生概率。二是规范安装运维防雷装置，针对雷电活动频繁的区域，统一配套安装避雷器等合规防雷设备，规避雷击因素引发的单相接地故障。常态化开展防雷装置检测、校验与维护工作，及时排查防雷设备失效、损坏等问题，确保防雷装置时刻处于正常投运状态，发挥防雷防护作用[3]。三是完善现场警示与环境管控，在所有电缆线路沿线规范设置警示标识，明确警示范围与防护要求，杜绝施工挖掘等外力作业破坏电缆线路。定期排查清理线路周边的树木、杂物等障碍物，做好线路周边环境常态化管理，消除外力及环境因素造成的故障隐患。

2.4 故障处理策略优化

结合故障发生概率、故障影响范围以及故障处理成本等多类要素开展故障处理策略优化工作，构建故障处理决策模型，依托仿真分析手段与现场实际运行数据完成模型验证，筛选最优故障处理方案，提升故障处理效率与项目经济效益。在优化过程中，梳理各类故障对应的基础参数，量化评估不同故障的发生概率与影响范围，核算各类处置方案对应的处理成本，明确各项评估指标的权重关系，以此搭建故障处理决策模型。利用仿真工具模拟不同故障场景下各类处置方案的执行过程，获取不同方案的处置耗时、资源投入等数据，再结合系统历史实际运行数据校验模型输出结果的可靠性，对比多种处置方案的综合表现，确定适配不同故障场景的最优处理方案。通过这套优化方式减少故障处置过程中的资源浪费，缩短故障响应与处置时长，降低故障带来的损失，实现故障处理效率与经济效益同步提升。

3 小电阻接地系统电能质量改善方案

3.1 谐波抑制

为改善小电阻接地系统谐波超标引发的电能质量问题，可通过设备加装和运行优化两种方式开展谐波治理工作。首先可通过加装滤波装置治理系统谐波，在系统谐波源周边配套安装无源滤波器或有源滤波器，有效滤除线路中的谐波电流，削弱谐波扰动对系统电能质量的负面影响。其中无源滤波器整体结构简单、建设及运维成本较低，适配多数常规治理场景，但滤波性能会随系统运行参数变化产生波动，稳定性有限；有源滤波器谐波过滤精度高、动态响应速度快，适配复杂谐波工况，整体治理效果优异，唯一短板是设备购置与投入成本偏高。同时需优化现场设备运行模式，结合系统运行工况，科学规划各类谐波源设备的投运时间与启停顺序，规避多台谐波设备同步运行造成的谐波叠加问题，降低系统谐波峰值[4]。此外，可逐步完成老旧谐波源设备的迭代升级，全面替换为低谐波新型设备，从源头控制谐波生成量，实现系统谐波的根本性治理。

3.2 电压波动与闪变控制

在无功补偿调控方面，可在电网系统中配置静止无功补偿器、静止同步补偿器等主流无功补偿设备，这类设备能够快速响应电网运行状态变化，实时调节电力系统的无功功率数值，抑制电网电压的异常起伏，稳住系统整体电压运行水平，从设备调控层面降低电压波动与闪变问题的发生概率。同时，此类无功补偿设备具备自动化调控能力，可依托电网电压的实时波动数据，自主调整无功补偿容量，适配电网不同运行工况，持续改善电网电压运行质量。在电网结构优化方面，需结合区域供电需求科学规划电网整体布局，合理调整供电范围，缩短电网供电半径，有效降低输电线路阻抗，减少电力传输过程中的电压损耗。通过强化各区域电网的互联建设，完善电网架构体系，能够提升电网运行的灵活性与抗干扰能力，增强电网运行稳定性，全方位实现对电压波动与闪变问题的有效控制，保障电网平稳运行。

3.3 三相不平衡治理

三相不平衡治理主要通过设备调节与负荷优化两种方式开展。现场可安装三相不平衡自动调节装置，设备可实时监测电力系统运行过程中的三相电流数据，精准测算三相电流不平衡度，依据监测数据自动调整装置的输出电流，针对性补偿系统中存在的三相不平衡电流，抵消三相电流差值，逐步修正系统运行状态，让三相电流数值保持基本一致，实现三相电流平衡运行。同时做好系统负荷分配优化工作，全面梳理系统整体负荷分布情况，杜绝单相负荷集中堆积的问题，将各类单相负荷均匀分配至三相线路中，从源头降低三相电流不平衡度。严格管控系统内大容量单相负荷，规范这类负荷的接入方式与运行模式，通过专项管控手段削弱大容量单相负荷运行对三相平衡状态造成的干扰，双向结合设备调节与负荷管控方式，有效解决电力系统三相不平衡问题，保障电网稳定运行。

3.4 电能质量综合管理

开展电能质量综合管理工作，需搭建完善的电能质量监测与评估系统，对电力系统运行过程中的各项电能质量相关指标开展常态化实时监测工作，全面采集各项运行数据。依托系统采集的实时监测数据，对整体电能质量状况开展系统性评估与专业分析，精准排查电力系统运行中存在的电能质量问题及隐患。结合监测分析得出的结果，立足电力系统运行实际情况，制定科学合理、针对性强的电能质量整改措施，有序推进各项优化整治工作落地落实，全方位落实电能质量综合管控工作[5]。同时，常态化推进与用电用户的沟通对接及工作协调，主动向用户普及安全、规范用电相关知识，引导用户树立科学用电意识，规范日常用电行为、做到合理用电。通过政企双向配合、协同发力，从电力系统运维和用户用电两端同步优化，持续改善整体供电用电环境，稳步提升区域整体电能质量水平，保障电力系统安全稳定合规运行。

结语

综上所述，小电阻接地系统单相接地故障会危害电网运行、设备安全与供电质量，故障多由外力破坏、设备老化、恶劣天气引发，具备鲜明的电气、暂态与行波特征。通过落实故障隔离、供电恢复、隐患防控及策略优化措施，可有效处置接地故障。结合谐波抑制、电压调控、三相不平衡治理及综合管控手段，可全方位改善电网电能质量，保障配电系统安全、稳定、高效运行。

参考文献

[1]田凤兰,王俊诚,李景丽,等.基于周期差分能量与波形自相似度的小电阻接地系统高阻接地故障检测方法[J].电气工程学报,2026,21(2):242-256.

[2]朱文贺,仉志华,李广,等.基于零序电压分布的小电阻接地系统单相故障测距方法[J].电力工程技术,2026,45(8):36-45.

[3]高云波,陈斌,雷宇通,等.计及CT极性的小电阻接地系统接地故障检测[J].计算机仿真,2026,43(2):508-513.

[4]汤向华,蔡成伟,陆未,等.基于改进聚类算法的通用小电阻接地系统高阻接地故障保护方法[J].自动化应用,2025,66(10):218-222+227.

[5]刘萃萃,刘晓,薛永端,等.灵活接地系统中性点接地电阻投入暂态特征分析[J].电力系统自动化,2025,49(1):172-182.