

低压配电电缆接地故障定位技术应用分析

李 浩 肖智斌

湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司江垅水电站 湖南 张家界 427221

【摘要】：低压配电电缆接地故障定位精准性直接影响水电站供电可靠性与运行安全性。针对水电站特殊运行环境下该类故障定位难度大、误判率高的问题，明确故障定位技术优化适配是提升定位效能的核心方向。通过梳理故障定位技术的应用逻辑，剖析不同技术在水电站场景的适配特性，探究技术应用中的关键影响因素与优化路径，为故障的快速排查与精准处置提供技术支撑，保障水电站低压配电系统稳定运行，助力电力供应持续可靠。

【关键词】：水电站；低压配电电缆；接地故障定位；故障处置；供电可靠性

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.069

引言

低压配电系统是水电站稳定运行的核心支撑，电缆作为电能传输关键载体，其接地故障易引发供电中断、设备损毁等连锁问题，直接威胁核心机组运行安全。故障定位作为处置前提，其效率与精准度直接决定损失控制效果。但水电站配电环境复杂、电缆敷设路径多样，受潮湿、振动等环境因素影响，传统定位技术难以精准锁定故障点，导致处置滞后。深入探究适配该场景的故障定位技术，厘清应用核心要点与优化方向，对提升故障处置能力、保障电站持续稳定运行具有重要现实价值。

1 水电站低压配电电缆接地故障的危害及定位难点解析

低压配电电缆接地故障会破坏电站配电系统电压平衡，引发三相电压偏移，影响辅助设备正常运行；接地处产生的高温电弧易引燃周边材料引发火灾，电能泄漏不仅增加损耗，还会干扰控制信号系统，导致机组调节、闸门控制等核心操作失真，未及时处置易扩大为相间短路，造成设备损毁与大面积供电中断^[1]。水电站电缆敷设方式复杂、环境湿度高、配电系统设备多且负荷多变，叠加部分老旧电站电缆型号混杂、资料缺失等问题，大幅提升故障定位难度，定位滞后会加速设备老化、影响保护系统可靠性，引发严重供电事故，增加维修成本并降低运行效益。如图 1：



图 1 低压配电电缆接地故障隐患分析

2 低压配电电缆接地故障定位核心技术原理及特性

(1) 阻抗法故障定位技术的核心原理及适用场景：阻抗法故障定位技术以电缆线路的阻抗特性为核心依据，通过测量故障电缆两端的电压与电流参数，结合电缆的单位长度阻抗，计算得出故障点与测量端的距离。该技术利用欧姆定律构建故障定位数学模型，通过精准测量电路参数实现故障点定位，其核心优势在于设备结构简单、操作便捷，无需复杂的信号处理流程。该技术适用于电缆路径相对简单、故障点电阻较小的低阻接地故障场景，在短距离低压配电电缆故障定位中具有较好的适用性。但在高阻接地故障场景下，由于故障点电流较小，电压与电流参数测量误差会增大，导致定位精度下降，同时对于多分支电缆线路，该技术难以准确区分故障分支，定位效果受限。

(2) 行波法故障定位技术的工作机制及技术优势：行波法故障定位技术基于故障发生时产生的暂态行波信号进行定位，故障发生瞬间会产生向电缆两端传播的暂态电压行波与电流行波，通过安装在行波检测装置捕捉行波信号的传播时间，结合行波在电缆中的传播速度，计算得出故障点位置。根据行波信号的检测与分析方式，可分为传统行波法与现代行波法，现代行波法引入了小波分析、傅里叶变换等信号处理技术，能够有效提取微弱行波信号，提升信号识别精度^[2]。该技术的核心优势在于定位精度高，不受故障点电阻大小的影响，适用于高阻接地故障、长距离电缆及多分支电缆线路的故障定位。在水电站复杂的配电环境中，行波法能够有效应对高阻故障与多分支线路的定位难题，具有较强的环境适应性。(3) 信号注入法故障定位技术的实现逻辑及局限：信号注入法故障定位技术通过向故障电缆线路中注入特定频率的检测信号，利用故障点与正常线路的阻抗差异，通过检测装置追踪信号的传播路径与衰减特性，从而锁定故障点

位置。根据注入信号的类型，可分为正弦波信号注入法、脉冲信号注入法等，不同类型的信号适用于不同的故障场景。该技术能够有效应对部分高阻接地故障与间歇性接地故障，在传统技术定位困难的场景中具有一定的补充作用。但该技术的定位效果易受电缆线路分布电容、电感及周边电磁环境的影响，在复杂的水电站配电系统中，周边大量的电力设备与电子元件会对注入信号产生干扰，导致信号衰减过快或传播路径畸变，影响定位精度。该技术的操作流程相对复杂，需要专业的信号生成与检测设备，应用成本较高。

3 水电站场景下故障定位技术的适配性应用实践

(1) 基于水电站电缆敷设特点的技术选型原则：技术选型需充分结合水电站电缆的敷设方式、路径长度、分支情况等核心特征，形成针对性的选型逻辑。对于地下敷设的长距离电缆线路，由于高阻故障发生率较高，且路径相对固定，可优先选用行波法定位技术，利用其高定位精度与不受故障电阻影响的特性提升定位效能；对于桥架敷设的短距离电缆线路，故障多以低阻接地为主，可选用阻抗法定位技术，兼顾定位效率与成本控制。对于多分支电缆线路，需选用具备分支识别功能的现代行波法技术，或结合信号注入法进行辅助定位，避免因分支干扰导致定位偏差。选型过程中还需考虑电站的运行环境湿度、电磁干扰强度等因素，选择抗干扰能力强、环境适应性好的定位技术与设备。(2) 复杂环境下定位技术的优化应用方案：针对水电站潮湿、多电磁干扰的复杂环境，需对定位技术进行针对性优化以提升应用稳定性。在信号处理层面，引入先进的信号滤波技术，通过构建自适应滤波模型，有效滤除环境中的电磁干扰信号与谐波信号，提升故障信号的识别精度^[3]。在设备防护层面，对定位设备进行防潮、防腐蚀处理，选用密封性能优良的设备外壳，避免水汽侵入设备内部影响元件性能，同时加强设备的电磁屏蔽设计，降低周边电磁环境对设备运行的干扰。在定位流程层面，建立环境参数联动调整机制，根据实时监测的环境湿度、温度等参数，动态调整定位技术的参数设置，确保定位技术在不同环境条件下均能稳定发挥效能。(3) 多技术融合的故障定位应用模式构建：多技术融合的故障定位应用模式通过整合不同定位技术的优势，形成互补协同的定位体系，提升复杂场景下的故障定位能力。该模式以行波法为核心定位技术，利用其高精度定位优势锁定故障大致范围，再通过阻抗法对故障范围进行精准细化，提升定位精度。对于间歇性接地故障与高阻接地故障，引入信号注入法进行辅助检测，通过多类型信

号的协同监测，捕捉故障发生的瞬时特征，实现故障点的精准定位。在技术融合过程中，构建统一的信号处理与数据融合平台，实现不同定位技术数据的互联互通与协同分析，通过数据校准与交叉验证，降低单一技术的定位误差。建立技术应用联动机制，根据故障类型与环境条件，自动切换与组合不同的定位技术，提升故障定位的智能化水平。

4 故障定位技术应用中的关键问题及解决策略

(1) 定位信号受干扰问题的防控及应对措施：定位信号受干扰是影响定位精度的核心问题之一，需从干扰源头防控与信号抗干扰强化两方面构建应对体系。在干扰源头防控层面，对水电站低压配电系统中的干扰源进行梳理排查，对产生强电磁干扰的设备进行屏蔽处理，优化电缆敷设路径，避免信号传输电缆与干扰源电缆平行敷设，减少电磁耦合干扰。在信号抗干扰强化层面，选用抗干扰能力强的信号传输介质，采用屏蔽电缆与差分信号传输方式，降低信号传输过程中的干扰影响；在信号接收端，采用高灵敏度的信号接收装置，结合信号放大技术与滤波技术，有效提取微弱的故障信号。建立干扰监测与预警机制，通过实时监测信号干扰强度，及时调整信号处理参数，当干扰强度超过阈值时，启动备用定位通道，确保定位工作的持续稳定进行。

(2) 老旧电缆线路故障定位的技术适配方案：老旧电缆线路普遍存在绝缘层老化、参数漂移、敷设资料缺失等问题，需针对性制定技术适配方案以提升定位有效性。对于绝缘层老化导致的高阻接地故障频发问题，选用行波法与信号注入法相结合的定位技术，提升高阻故障定位精度；针对电缆参数漂移问题，在定位前对电缆的实际参数进行重新测量校准，修正定位模型中的参数数据，避免因参数偏差导致定位误差^[4]。对于敷设资料缺失的问题，引入电缆路径探测技术，通过电磁感应探测、地质雷达探测等方式，梳理清楚电缆的实际敷设路径与分支情况，为故障定位提供准确的路径依据。对老旧电缆线路进行分段监测，在关键节点安装监测装置，实时掌握电缆运行状态，为故障定位提供辅助数据支撑。如图2：



图2 配电线路故障定位与应急处置

(3) 极端工况下故障定位的可靠性保障手段：极端工况包括暴雨、洪水、地震等自然灾害工况，以及设备满负荷运行、突发负荷冲击等电力工况，此类工况下需构建多维度的可靠性保障手段。在设备保障层面，选用具备抗极端环境能力的定位设备，提升设备的抗震、防水、抗冲击性能，同时配备备用定位设备与应急供电装置，确保极端工况下定位设备能够正常启动运行。在技术保障层面，建立极端工况定位算法模型，针对极端工况下的信号特征与电缆参数变化，优化定位算法，提升算法的适应性与稳定性。在流程保障层面，制定极端工况故障定位应急预案，明确应急定位流程、人员职责与协同机制，定期开展应急演练，提升极端工况下的故障定位响应速度与处置能力。加强与电站整体应急体系的协同联动，实现故障定位与故障修复的高效衔接。

5 水电站低压配电网电缆接地故障定位技术应用效能提升路径

(1) 基于全生命周期管理的电缆故障预防体系构建：基于全生命周期管理的电缆故障预防体系贯穿电缆选型、敷设、运行、维护全流程，通过源头管控与过程管控降低故障发生率，为定位技术应用效能提升奠定基础。在电缆选型阶段，结合水电站环境特性与运行需求，选用耐潮湿、抗腐蚀、绝缘性能优良的电缆产品，确保电缆质量符合运行要求；在敷设阶段，严格按照规范要求施工，优化敷设路径，避免电缆受到机械损伤，做好电缆接头的密封与绝缘处理。在运行阶段，建立电缆运行状态实时监测系统，实时监测电缆的温度、绝缘电阻、电流等参数，及时发现潜在故障隐患；在维护阶段，制定定期维护计划，对电缆进行绝缘测试、局部放电检测等，及时更换老化破损的电缆部件，从源头减少接地故障的发生。

(2) 定位技术与智能监测系统的协同融合应用：定位技术与智能监测系统的协同融合能够实现故障的提前预警与快速定位，大幅提升应用效能。通过将故

障定位设备与电站智能监测系统对接，实现数据共享与联动控制，智能监测系统实时采集的电缆运行参数可为故障定位提供基础数据支撑，帮助定位技术快速判断故障类型与大致范围。智能监测系统能够实时监测电缆的异常状态，在故障发生前发出预警信号，提前启动定位设备进行预定位，缩短故障发生后的定位时间^[5]。融合应用过程中，构建智能分析决策平台，通过大数据分析 with 人工智能算法，对监测数据与定位数据进行深度挖掘，实现故障的精准预判、快速定位与智能处置，形成“监测-预警-定位-处置”的闭环管理模式，提升低压配电网电缆运行管理的智能化水平。

(3) 技术应用能力提升的保障机制建设：技术应用能力提升的保障机制从技术研发、人员培养、管理规范三个维度构建，确保定位技术能够有效落地应用。在技术研发层面，加强与科研机构、设备厂商的合作，针对水电站特殊场景需求，开展定位技术的专项研发与升级，提升技术的针对性与先进性；在人员培养层面，建立专业的技术培训体系，定期开展定位技术操作、设备维护、故障处置等方面的培训，提升技术人员的专业素养与实操能力，同时建立技术交流机制，促进技术人员之间的经验分享与技能提升。在管理规范层面，制定完善的定位技术应用管理规程，明确技术应用流程、设备维护标准、故障处置规范等，加强对技术应用过程的监督与考核，确保各项技术措施能够严格落实到位，充分发挥定位技术的应用效能。

6 结语

本文围绕水电站低压配电网电缆接地故障定位技术应用展开分析，明确技术适配优化对保障电站供电稳定的核心意义。通过剖析故障定位难点、梳理技术特性、探索场景化应用路径及解决关键问题，形成系统的技术应用思路。精准高效的故障定位技术是提升水电站配电网系统可靠性的关键支撑。未来需持续推动技术与场景深度融合，强化创新与管理保障。

参考文献：

[1] 沈伟,徐力. 配电网金属性接地故障及其查找方法分析[J]. 光源与照明, 2025, (07): 117-119.
 [2] 戈贞玲,张丽,张闯. 基于改进决策树算法的低压配电网电缆故障测距研究[J]. 信息技术与信息化, 2025, (02): 179-182.
 [3] 徐新雄,徐嘉文,张煜,等. 低压配电网不停电作业绝缘隔离装置的研发与应用[J]. 自动化应用, 2025, 66(01): 167-169.
 [4] 纪良,徐军,管亚,等. 基于折反射行波相关性分析的配电网单相接地故障测距[J]. 电气传动, 2025, 55(07): 70-77.
 [5] 李若寒,蔡亚楠. 配电网弧光接地故障辨识系统的设计与应用研究[J]. 光源与照明, 2024, (08): 78-80.