

电力线路短路与接地故障快速诊断方法研究

周鹏程 罗 巍

国家管网集团北京管道有限公司河北输油气分公司 河北 衡水 052160

摘要: 电力线路短路与接地故障严重影响电力系统稳定运行。本文详细阐述电力线路短路与接地故障核心类型,包括短路故障的三相、两相等多种类型及接地故障的单相、谐振等类型,并分析核心特征。探讨线路自身参数、运行环境干扰、诊断设备性能等对故障快速诊断的影响。介绍基于电气量分析、信号处理、智能算法及复合诊断等核心方法,提出诊断精度、速度、抗干扰能力优化方向,为电力线路故障快速准确诊断提供全面参考。

关键词: 电力线路; 短路故障; 接地故障; 快速诊断; 优化方向

引言: 电力线路作为电力系统的关键组成部分,其安全稳定运行至关重要。短路与接地故障是电力线路常见故障,一旦发生,会破坏系统正常运行,影响供电质量,甚至造成设备损坏和大规模停电事故。快速准确地诊断故障类型与位置,对于及时排除故障、恢复供电、保障电力系统安全稳定意义重大。然而,受线路自身参数、运行环境干扰及诊断设备性能等多种因素影响,故障诊断面临诸多挑战。因此,深入研究电力线路短路与接地故障快速诊断方法具有重要的现实意义。

1 电力线路短路与接地故障核心类型

1.1 短路故障类型

电力线路短路故障是电力系统中最常见的故障形式之一,按故障发生时线路导体连接方式可划分为明确类型。三相短路是指线路三相导体之间发生直接连接,故障发生时线路阻抗急剧减小,短路电流达到最大值,对电力系统稳定性影响最为严重,易导致系统电压大幅下降、设备损坏^[1]。两相短路指线路任意两相导体之间发生连接,短路电流幅值仅次于三相短路,故障发生后破坏线路三相电流平衡,影响供电质量与系统正常运行。单相短路多发生在中性点接地系统中,指线路某一相导体与大地之间发生连接,短路电流大小与系统接地方式密切相关,易引发线路保护装置动作,造成供电中断。此外,两相接地短路属于复合型短路故障,指线路任意两相导体同时与大地发生连接,故障特征兼具两相短路与单相接地短路的特点,诊断难度相对较高,对系统运行的危害同样显著。

1.2 接地故障类型

接地故障是电力线路导体与大地或接地体意外接触形成的故障,其发生与线路绝缘性能下降、杆塔接地不良、恶劣天气影响等因素相关,不同接地方式对应不同故障类型。中性点有效接地系统中,接地故障主要表现

为单相接地短路,故障电流较大,线路保护装置可快速检测并触发跳闸动作,避免故障扩大。中性点非有效接地系统中,接地故障以单相接地为主,故障电流较小,部分情况下故障线路可短时运行,但长期运行易引发相间短路等次生故障,增加故障诊断难度。间歇性接地故障是较为特殊的接地类型,故障点接触状态不稳定,呈现时断时续的导通特征,故障信号具有随机性和波动性,给快速诊断带来极大挑战。此外,电弧接地故障多发生在中性点不接地系统中,故障点形成的电弧难以熄灭,易产生过电压,损坏线路设备并影响电力系统稳定运行,其故障特征与稳态接地故障存在显著差异。

1.3 故障核心特征

电力线路短路与接地故障均具备明确且可识别的核心电气特征,是故障快速诊断的重要依据。短路故障的核心电气特征体现为线路阻抗急剧下降,短路电流大幅增大,远超线路正常运行电流,同时系统电压会出现骤降,三相电压平衡被打破,故障相电压趋近于零,非故障相电压可能出现升高现象。短路故障发生时还会伴随电流相位突变,形成明显的故障暂态信号,这类信号包含丰富的故障信息,是故障类型识别的关键。接地故障的核心电气特征主要表现为零序电流与零序电压的产生,正常运行状态下系统零序电流近似为零,接地故障发生后,零序电流会显著增大,零序电压也会随之升高,且零序电流与零序电压的相位关系具有明确规律。此外,接地故障可能伴随线路绝缘电阻下降,部分接地故障还会出现电弧放电现象,产生特征性暂态信号,不同类型接地故障的零序参数变化存在差异,可作为故障类型区分的重要依据。

2 电力线路故障快速诊断核心影响因素

2.1 线路自身参数影响

线路自身参数是影响故障快速诊断准确性与及时性

的基础因素, 直接决定故障信号的特征表现与传播规律^[2]。线路电阻、电感、电容等核心参数会随线路长度、导线材质、架设方式变化而改变, 进而影响故障电流、电压的幅值与相位特征, 干扰故障信号识别。线路老化会导致电阻增大、绝缘性能下降, 使故障信号特征发生畸变, 增加诊断难度。线路分支结构、接头连接质量也会影响故障信号的传播路径, 接头接触不良会产生额外阻抗, 导致故障信号衰减或失真, 延缓诊断响应速度。线路分布参数的不均匀性会导致故障特征信号在不同区段呈现差异, 不利于故障位置与类型的快速判断, 需在诊断过程中充分考虑参数变化规律。

2.2 运行环境干扰影响

运行环境干扰是故障快速诊断过程中的主要外部影响因素, 会破坏故障信号的完整性, 影响诊断精度。自然环境中的雷电、暴雨、大风等天气现象, 会产生瞬时电磁干扰, 干扰故障信号的采集与分析, 导致信号出现杂波, 掩盖真实故障特征。高温、低温、高湿度环境会影响线路绝缘性能与诊断设备工作状态, 加速线路参数变化, 同时降低诊断设备的信号识别能力。工业环境中的电磁辐射、谐波干扰, 会与故障信号叠加, 导致故障特征模糊, 难以准确提取有效信号。环境中的粉尘、腐蚀介质会损坏线路接头与诊断设备接口, 影响信号传输稳定性, 进一步制约故障快速诊断的效果。

2.3 诊断设备性能影响

诊断设备性能直接决定故障快速诊断的速度与准确性, 是故障诊断工作的核心支撑。信号采集设备的采样频率、精度的不足, 会导致故障暂态信号采集不完整, 无法捕捉关键故障特征, 影响故障类型判断。诊断设备的信号处理能力有限, 难以有效过滤干扰信号, 会导致故障特征提取偏差, 降低诊断准确性。设备的响应速度不足, 会延缓故障诊断进程, 无法实现故障快速定位与识别。诊断设备的稳定性与可靠性不足, 长期运行易出现故障, 导致诊断工作中断, 同时设备校准不及时会加剧测量误差, 进一步影响诊断效果^[3]。设备接口兼容性不佳, 无法实现与线路监测系统的高效衔接, 会影响故障信息的传递与整合, 制约诊断效率提升。

3 电力线路短路与接地故障快速诊断核心方法

3.1 基于电气量分析的诊断方法

基于电气量分析的诊断方法是故障诊断体系的基础核心, 依托故障发生前后线路电流、电压、阻抗等电气参数的剧烈变化实现故障识别。该方法通过实时监测线路各相电流、电压的幅值与相位变化, 捕捉故障发生时电气量的突变特征, 构建故障类型与故障位置的判断依

据。线路阻抗的显著变化是短路故障的核心标识, 诊断过程聚焦于阻抗值的快速判定, 结合不同短路故障对应的阻抗变化规律, 实现故障类型的区分。接地故障则通过零序电气量的变化实现识别, 重点关注零序电流、零序电压的幅值与相位关系, 通过分析零序分量的变化趋势, 确认接地故障的发生并区分不同接地故障类型。电气量分析方法依赖于高精度的测量装置, 保障采集数据的准确性是实现有效诊断的前提, 通过对电气量变化趋势的持续跟踪, 提升故障识别的及时性与可靠性。

3.2 基于信号处理的诊断方法

基于信号处理的诊断方法聚焦于故障信号的有效提取与特征解析, 旨在从复杂的运行信号中分离并识别包含故障信息的有效成分。该方法针对故障发生时产生的暂态信号与稳态信号, 采用多种信号处理技术进行分析, 实现故障特征的清晰提取。通过小波变换、傅里叶变换等核心信号处理手段, 对采集到的电流、电压信号进行分解与重构, 滤除环境干扰与系统噪声带来的杂波, 凸显故障信号的本质特征。信号处理过程中, 重点提取信号的时域、频域及时频域特征, 这些特征是区分短路故障与接地故障、判断故障严重程度的关键依据。方法的核心价值在于提升信号的信噪比, 强化故障特征的可识别性, 为后续故障类型判断与定位提供高质量的数据支持, 在干扰环境复杂的场景中具备较强的适应性。

3.3 基于智能算法的诊断方法

基于智能算法的诊断方法依托机器学习、深度学习等先进算法模型, 实现故障诊断的自动化与智能化, 是提升诊断效率与准确性的重要技术路径。该方法通过构建大规模的故障特征数据集, 训练智能算法模型, 使模型学习不同故障类型对应的特征模式, 具备自主识别与分类能力。算法模型能够自动提取故障信号的深层特征, 有效克服传统方法在处理复杂、非线性故障特征时的局限性, 提升故障诊断的智能化水平。在故障诊断应用中, 智能算法可实现故障类型的快速判断、故障位置的精准定位以及故障发展趋势的预测, 通过不断迭代优化模型参数, 增强算法的泛化能力与适应能力。该方法显著降低对人工经验的依赖, 提升故障诊断的客观性与一致性, 为实现快速、准确的故障诊断提供技术保障。

3.4 复合诊断方法

复合诊断方法是整合多种单一诊断技术优势形成的综合诊断体系, 旨在克服单一方法的局限性, 实现故障诊断的全面性与高效性。该方法将电气量分析、信号处理、智能算法等核心诊断方法进行有机融合, 构建多维度、多层次的诊断框架。诊断过程中, 先通过电气量分

析快速捕捉故障的发生并进行初步分类,再利用信号处理技术提取故障特征信号,最后输入智能算法模型进行精准识别与定位。复合诊断方法充分发挥各技术的互补效应,电气量分析提供故障发生的基础依据,信号处理优化特征提取质量,智能算法实现复杂故障的精准判断,形成从故障发现到定位识别的完整技术链条^[4]。通过融合不同诊断技术的优势,复合诊断方法能有效应对复杂运行环境与多样故障类型带来的挑战,提升故障诊断的整体性能与可靠性。

4 故障快速诊断方法优化方向

4.1 诊断精度优化方向

诊断精度优化是提升故障诊断可靠性的核心方向,核心在于减少诊断误差、强化故障特征识别的准确性。优化过程需聚焦电气量采集精度提升,升级信号采集设备的测量性能,降低采集过程中的系统误差与随机误差,确保故障信号数据的真实性与完整性。针对故障特征提取环节,优化特征筛选算法,精准捕捉与故障类型强相关的核心特征,剔除无效特征与干扰特征,提升特征识别的针对性。结合线路参数变化规律,动态调整诊断判断标准,适配不同线路工况下的故障特征差异,避免固定判断标准导致的诊断偏差。通过优化诊断模型的参数配置,提升模型对复杂故障特征的解析能力,减少故障类型误判、位置误判等问题,推动诊断精度向更高水平提升,为故障精准处置提供可靠支撑。

4.2 诊断速度优化方向

诊断速度优化聚焦于缩短故障识别与定位的响应时间,满足电力线路故障快速处置的实际需求。优化信号采集与传输流程,简化冗余环节,提升信号采集的实时性,加快故障信号从采集端到处理端的传输效率,减少信号传输延迟。升级信号处理算法,简化计算流程,降低算法运算复杂度,在保证处理效果的前提下,提升故障特征提取与分析的速度。优化诊断模型的运行效率,采用轻量化模型设计思路,减少模型运算耗时,实现故障特征的快速匹配与识别。建立故障信号的优先处理机制,针对故障暂态信号等关键信息进行优先分析,缩短故障初步识别时间,同时优化诊断流程的衔接环节,实现从信号采集到故障判断的高效衔接,进一步提升整体

诊断速度。

4.3 抗干扰能力优化方向

抗干扰能力优化旨在提升诊断方法在复杂干扰环境中的适应性,确保故障诊断工作稳定可靠。优化信号滤波技术,采用高性能滤波算法,有效滤除自然环境、工业环境带来的电磁干扰、杂波干扰,保留真实故障信号特征,减少干扰信号对诊断结果的影响。强化诊断设备的抗干扰设计,提升设备自身的电磁兼容性,避免外部干扰导致设备运行异常,保障信号采集与处理的稳定性。优化故障特征识别逻辑,增强特征识别的鲁棒性,使诊断方法能够适应不同干扰强度下的故障特征变化,即使在强干扰环境中,也能准确提取故障特征^[5]。结合干扰类型与干扰规律,构建干扰预测与补偿机制,提前预判可能出现的干扰,通过主动补偿方式抵消干扰影响,进一步提升诊断方法的抗干扰能力,确保复杂工况下故障诊断的准确性与及时性。

结束语

电力线路短路与接地故障快速诊断是保障电网能够安全稳定运行的关键环节。通过对故障类型、特征及影响因素的剖析,明确了诊断关键要点。多种核心诊断方法各有优势,复合诊断方法整合多种技术,提升了诊断的全面性与高效性。针对诊断精度、速度及抗干扰能力的优化方向,为提升故障诊断性能提供了具体路径。实际应用中,需结合具体线路工况与需求,合理选择并持续优化诊断方法,以实现电力线路故障的快速准确诊断,保障电力系统可靠运行。

参考文献

- [1]詹广振.高速铁路10kV电力贯通线路短路故障自动隔离系统研究[J].铁道技术监督,2026,54(2):59-62.
- [2]陆广遥.输电线路在线监测与故障诊断技术研究[J].通信电源技术,2023,40(7):218-220.
- [3]冯永周.基于5G的高压输电线路不对称故障诊断方法设计与验证[J].通信电源技术,2025,42(14):212-214.
- [4]王欢.铁路10kV电力线路故障在线监测技术研究[J].中国设备工程,2025,(11):199-201.
- [5]朱大伟.基于人工智能的电力线路故障诊断与预测方法分析[J].电子技术,2024,53(11):176-177.