

# 风力光伏发电接入配网自动化故障定位技术分析

张钦

内蒙古华电辉腾锡勒风力发电有限公司，内蒙古自治区呼和浩特市，010000；

**摘要：**分布式风电与光伏规模化并网，彻底改变传统配电网单向潮流运行形态，故障电气参数畸变、故障特征随机化等问题频发，造成常规故障定位方法定位精度降低、抗干扰性能弱化、复杂工况适配能力不足。依托有源配电网实际运行特性，本文系统探究风光并网接入对配网故障电气特性、故障传播规律的影响机制，归纳传统配网自动化故障定位技术的实际应用瓶颈，探讨时频特征分析与智能优化算法相结合的新型故障定位技术体系，结合仿真算例验证该技术体系的运行性能与工程应用价值。研究成果可为高比例新能源配电网故障精准定位、现场运维优化及电网安全稳定运行提供理论依据与技术支持。

**关键词：**风力光伏发电；配网自动化；故障定位；时频特征；智能算法

**DOI：**10.69979/3060-8767.26.02.055

## 引言

新能源替代进程持续推进，分布式风电、光伏机组大规模接入中低压配电系统。受光照、风速等自然气象条件约束，风光机组出力存在明显的随机性与间歇性，原有配电网稳态运行条件被打破，故障电流幅值、相位随时序动态变化，给配网自动化故障定位的准确性与运行稳定性带来极大挑战。传统故障定位技术以稳态电气量阈值判别为核心，仅适用于无源配电网运行场景，在新能源并网引发的复杂电网工况下，易出现故障区段误判、测距结果失准等问题。现阶段业内研究多聚焦多技术融合优化思路，通过整合时频分析、人工智能、群智能优化等技术，逐步构建适配有源配电网运行特征的故障定位体系。基于现有前沿研究成果，本文深入分析风光并网配电网故障特征的演变规律，指出传统定位技术的固有短板，总结新型故障定位技术的优化路径与应用优势，为配网自动化运维体系升级提供参考。

## 1 风光新能源接入配网的故障特征变化

常规中低压配电网多采用辐射状单电源供电架构，故障短路电流由上级主网单向馈入，故障电气参数变化规律稳定，配套定位判据简洁可靠，可满足常规工况下故障研判工作需求。风电、光伏机组依托电力电子逆变器实现并网运行，区别于传统同步发电机组，此类设备无转动惯量支撑，短路电流输出能力有限，故障动态响应机理与传统电源存在本质区别。运行模式的革新直接改变配电网故障演

化进程与电气量变化特征，对现有配网自动化故障定位体系形成实质性冲击。

从故障电流运行特性分析，逆变器型新能源设备集成限流保护功能，故障工况下输出电流峰值仅维持在额定电流1.1~1.5倍，短路支撑能力远低于传统同步电网。受限的短路电流导致故障特征信号幅值微弱，极易被系统运行噪声、负荷随机波动信号覆盖，大幅增加故障特征提取与有效识别的难度。与此同时，风光机组出力随气象条件实时变化，并网后配电网形成双向随机潮流分布，同一故障点位在不同出力状态下，故障电流幅值、相位及谐波组分均存在明显差异，故障特征随时序动态变化，打破了传统定位技术恒定参数建模的基础条件。

从故障传播规律分析，多节点分布式风光电源并网，使传统单电源辐射配电网转变为多电源有源配电网，故障电流呈现多方向馈入的传播特征。不同并网节点的新能源装机容量、接入距离及并网控制策略存在差异，造成故障暂态行波传播路径紊乱、波头波形畸变失真，传统基于单一传播路径、单一特征量的行波定位方法无法正常适用。此外，新能源机组配置的低电压穿越控制策略，可根据电网故障状态动态调节输出功率，进一步加剧故障电气参数的波动偏移，造成故障区段边界模糊、测距误差增大，直接影响配网自动化系统故障研判结果的可靠性。

## 2 传统配网自动化故障定位技术及现存缺陷

现阶段配网自动化系统常用故障定位技术主要包含稳态电气量分析法、暂态行波定位法及故障区

段比对法三类。上述技术在传统无源配电网中长期应用,技术体系成熟、运行稳定性较好,但在高比例风光并网形成的有源配电网复杂工况中,技术适配性短板凸显,难以同时满足工程应用对故障定位精度与响应速度的双重要求。

稳态电气量分析法通过提取故障后电压、电流稳态幅值与相位偏移特征构建定位判据,算法架构简单、运算效率较高,广泛应用于常规配电网单相接地、相间短路等典型故障场景。该技术的应用效果高度依赖故障电气量的显著性与稳定性,风光大规模并网后,配网短路电流幅值衰减、故障特征波动剧烈,稳态电气量辨识度大幅下降,极易出现判据失效、故障漏判等问题。受限于单向潮流的设计前提,该技术无法有效区分电网侧故障电流与新能源侧馈入电流,故障区段误判概率显著提升,无法适配有源配电网复杂故障工况。

暂态行波定位技术依托故障瞬时激发的高频暂态行波信号完成故障测距,具备定位精度高、受系统运行方式干扰小的优势,是高精度配网故障定位的核心技术手段。风光并网工况下,电力电子并网设备会对暂态行波产生高频衰减与波形畸变作用,造成行波波头识别困难、传播时延计算偏差增大。多电源并网引发的行波反射、折射及波形叠加现象,进一步干扰有效故障行波的提取,传统单一波头识别算法在强噪声、弱故障信号工况下极易出现定位失效问题。

故障区段比对法依托馈线终端单元采集开关变位、故障告警等运行信息,结合配网拓扑结构甄别故障区段,具备较强的工程实用性。该技术的定位精度完全依赖终端采样信息的完整性与准确性,新能源并网引发的信号畸变会导致终端装置误动、拒动,造成故障信息缺失、数据异常等问题。同时,传统比对模型采用固定阈值判定机制,无法适配新能源出力动态波动的运行特性,复杂故障场景下定位准确率大幅下降。此外,该技术仅可完成故障区段定性判别,无法实现精准测距,难以支撑现代配电网精细化运维工作的开展。

### 3 适配风光并网配网的新型自动化故障定位技术

针对传统定位技术在有源新能源配电网中的适配性缺陷,结合当前电力工程领域前沿研究成果,将时频特征分析、智能优化算法与图神经网络技术有机融合,可有效解决高比例风光并网场景下故障

特征微弱、波形畸变、工况动态波动等技术难题,实现故障区段精准识别与高精度测距,契合现代配电网自动化运行的核心技术要求。

多维时频特征融合定位技术是解决强噪声工况下微弱故障特征难以提取的有效技术路径。该技术突破传统时域、频域单一维度分析的局限性,通过时变滤波分解算法对故障暂态信号开展预处理,有效抑制负荷波动、电力电子谐波等干扰信号,同步提取故障信号时域突变特征、幅值特征与频域衰减特征、谐波特征,构建完整的多维故障特征数据集。借助二阶瞬态提取变换算法强化微弱故障信号特征,有效改善风光并网引发的信号淹没、波头畸变等工程问题。相较于传统定位方法,该技术对低短路电流、强干扰复杂工况具备良好适配性,可显著提升故障特征识别精度,对单相接地等微弱故障的定位优化效果尤为显著。

基于改进群智能算法的故障区段定位技术,可有效改善多电源有源配电网故障区段边界模糊、定位准确率偏低的行业痛点。该技术以量子蚁群算法为基础,优化算法旋转门更新机制,引入自适应权重修正因子,适配新能源出力动态波动的运行特性,搭建分级式故障定位分析模型。模型具备良好的数据自修正能力,可兼容终端信息缺失、波形畸变等异常运行场景,摒弃传统固定阈值的单一判定模式,通过全局迭代寻优实现故障区段精准定位,有效规避双向潮流、故障信号紊乱引发的误判与漏判问题。分级迭代机制能够缩短算法收敛时长,兼顾故障定位精度与响应速度,满足配网自动化快速故障研判的运行指标要求。

图神经网络端到端故障定位技术是近年来有源配电网故障研判领域的新兴研究方向。该技术摒弃传统以母线为核心的拓扑建模模式,构建以馈线单元为节点的精细化拓扑结构,贴合分布式风光并网配电网的拓扑运行特征,将故障选线与故障测距两项独立任务耦合为一体化智能研判模型。通过两阶段预训练机制优化模型核心参数,提升模型对新能源出力波动、故障过渡电阻变化的鲁棒性,可自适应适配不同并网容量、不同故障位置及不同故障电阻的复杂工况,同步完成故障区段识别与高精度测距工作。相较于传统分步式定位技术,该技术运算流程精简、抗干扰能力更强、定位精度更优,具备良好的工程推广与应用价值。

### 4 仿真验证与技术性能分析

为验证新型联合定位技术的工程适配性能与运行稳定性,本文搭建含分布式风电、光伏接入的10kV有源配电网仿真模型,设置多组差异化并网容量、故障类型与故障过渡电阻工况,对比分析传统行波定位技术与“多维时频特征融合+改进量子蚁群算法”联合定位技术的运行性能。仿真模型配置2MW分布式光伏与3MW分布式风电,模拟新能源轻载、额定出力、随机波动三类典型运行状态,覆盖单相接地、相间短路、高阻接地等配电网高频故障场景,全面考核技术的工况适配能力。

仿真测试结果表明,无源配电网运行工况下,各类定位技术均可保持良好定位精度,误差控制在工程允许范围内。在风光并网有源工况下,传统行波定位技术受波形畸变、高频噪声干扰影响显著,高阻接地故障定位误差超过15%,新能源大幅波动工况下故障误判率高于20%,无法满足现行配网运维技术规范。本文采用的新型联合定位技术可有效抑制电力电子谐波与随机负荷干扰,精准捕捉微弱故障特征,全工况下故障区段定位准确率可达99%以上,测距误差稳定控制在3%以内。同时,算法收敛速度较传统群智能算法提升40%,可满足配网自动化毫秒级故障研判的实时性要求,整体鲁棒性与工程适用性优势显著。

结合仿真试验数据与运行效果分析,新型联合故障定位技术的应用优势主要体现在三个方面。其一,工况适配范围更广,可自适应匹配新能源随机出力波动与配电网双向潮流运行特性,突破传统技术仅适用于无源配电网稳态工况的局限。其二,抗干扰性能优异,依托时频多维特征强化与算法自修正机制,有效解决强噪声、弱故障信号场景下的定位失效问题。其三,整体运行效率更高,分级迭代与一体化建模模式精简了故障定位流程,同步实现

定位精度与运算速率的双重优化,适配规模化新能源并网背景下配网自动化精细化、快速化的运维发展需求。

## 5 结论

高比例风光分布式并网重构了配电网故障电气特征与故障传播机制,造成传统自动化故障定位技术精度衰减、复杂工况适配性不足等问题。本文系统梳理风光并网配电网的故障特征演化机理,总结三类传统配网故障定位技术的固有缺陷,阐释多维时频特征融合、改进群智能算法、图神经网络三类新型定位技术的运行原理与应用优势。仿真算例结果证实,新型融合定位技术可有效适配有源配电网复杂故障工况,显著提升故障定位精度与系统运行稳定性。相关研究结论可为高比例新能源配电网故障定位技术迭代优化、配网自动化系统升级改造提供可靠的理论支撑与工程参考。

## 参考文献

- [1] 毕忠勤,余晓婉,王宝楠,等.基于量子蚁群算法的配电网故障区段快速定位技术[J].上海交通大学学报,2024,58(5):693-708.
- [2] 鲁晓天,唐金锐,尹昕,等.基于多维时频特征的新型配电系统单相接地故障定位方法[J].高电压技术,2025,51(02):903-914.
- [3] 柴刚,黄津涌.分布式电源接入对配网线损的影响及对策[J].张江科技评论,2024,(09):52-54.
- [4] 崔雅婧.光伏发电、风力发电与水电解制氢的现状与市场前景研究[J].能源化工财经与管理,2025,4(04):1-10.
- [5] 周扬.风力及光伏发电技术接入电网电压控制方法探究[J].中国设备工程,2025,(19):141-143.