

# 配电网自动化系统中故障定位技术的应用分析

陶 帅

四川能投合江电力有限公司 四川 泸州 646200

**【摘要】**：配电网在复杂负荷变化与广泛线路分布下易出现多类型故障，传统人工巡查方式难以满足对故障快速、精准处理的要求。随着配电网自动化水平不断提升，故障定位技术成为提升系统智能化程度的重要支撑。基于线路参数特征、量测数据与通信信息，故障定位方法能够对故障区域进行快速指认，并在多分支、多馈线结构中保持较高适应性。通过对行波法、电流分布法、阻抗法及融合算法的分析可见，不同技术在定位精度、实现条件与适用场景方面存在差异，但总体均能缩短抢修周期，降低停电范围，提高运行安全性。由此可知，故障定位技术的深入应用是配电网自动化系统实现高效运行的关键环节。

**【关键词】**：配电网自动化；故障定位；行波法；阻抗法；融合算法

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.011

## 引言

配电网结构呈现节点多、线路长、负荷变化频繁等特征，使其在运行中更易遭受外界环境与设备老化带来的故障冲击。随着智能化技术的广泛渗透，配电网运行模式正在向实时监测与快速响应方向演进，其中故障定位技术成为支撑系统高效运行的核心环节。准确而迅速的定位能力不仅关系到故障处理效率，也影响着供电连续性与用户体验。如何在多样化的网络结构中实现高可靠的故障判断，成为推动自动化系统进一步优化的关键议题。通过深入分析不同定位技术的技术机理与应用边界，可更清晰认识其在现代配电网中的实际价值，为后续技术选择与系统建设提供理论基础。

## 1 配电网故障定位需求的提出

在配电网运行过程中，线路分布呈现广域化、节点密集化以及负荷波动显著等特征，使得故障类型呈现高随机性和多源性。单相接地、短路、断线等故障往往伴随电流突变、零序量异常或行波特性改变，若无法及时判定故障区段，系统将面临停电范围扩大与抢修进度延误的风险。不断加剧的供电可靠性要求，使传统依赖人工巡视的方式难以满足复杂情况下的快速判断需求<sup>[1]</sup>。随着配电网规模持续扩大，故障处理亟需更具实时性、精确性和可操作性的技术支撑，使故障定位需求在自动化系统建设中不断提升。线路结构的变化、电气参数的差异以及终端设备布置的多样化，使定位任务在技术上呈现更高挑战，从而推动对高灵敏度算法与多源量测数据的依赖。

为了适应多馈线、多分支网络结构的运行环境，自动化系统中对故障数据的捕获与分析能力正成为影响定位效果的关键因素。馈线自动化终端、智能开关、分布式测控装置等设备能够实时采集电压、电流、相角信息，为故障区段判定提供数据基础。然而，配电网中电气量传播受线路阻抗、负荷分布以及节点切换状态影响较大，使得故障特征呈现不稳定性与复杂性，单一算法难以全面处理多场景需求。为提高定位正确率，系统需要对故障信号进行模式识别、时间序列分析和波形特征

提取，结合行波到达时间差、电压暂降分布规律以及阻抗变化特性构建判断依据，使自动化系统能在短时间内形成有效决策。

随着运行条件逐渐向高可靠、高弹性方向发展，故障定位需求愈加强调快速响应与精准区域划分的能力。电网中分布式电源接入比例上升，使潮流方向更具不确定性，故障电流幅值与相位可能不再符合传统判别经验，使定位算法必须具备适应双向潮流环境的能力。用户侧负荷呈现多变性，对配电系统的稳态与暂态特性造成更复杂影响，也对故障量测与分析提出更高要求。自动化系统在面临这些因素时，需要通过数据融合与动态模型修正提高对异常电气特征的敏感度，以确保故障在最短时间被准确识别。随着智能设备更加普及，配电网对高效故障定位的需求将持续强化，并推动定位技术在系统运行机制中占据更重要位置。

## 2 自动化系统中故障信息特征解析

配电网自动化系统在处理故障事件时依赖对电气量变化的敏锐捕捉，而故障信息的内在特征往往呈现多维度、多时域的复杂性。故障发生后，电压突变、短路电流上升、零序电量偏移等现象会在极短时间内出现，并伴随波形畸变、相量突跳和谐波成分增加<sup>[2]</sup>。不同故障类型在传播路径、暂态响应与稳态恢复方面均表现出区别，使采集装置需要具备宽频带响应能力与高灵敏度量测精度才能有效获取关键特征。自动化系统在面对多种运行工况时，还需识别出由负荷波动、开关操作或电源切换引起的扰动信号，与真实故障信号形成严格区分，以避免误判对系统造成干扰。

在复杂网络结构中，故障特征的传播规律会受到线路阻抗、分支拓扑以及潮流方向的共同影响，使信息呈现明显的不对称性与衰减性。当行波信号沿线路传播时，节点位置、接地方式及线路材料均会引起反射、折射或阻尼变化，使到达时间差与幅值分布呈现空间差异。电流分布变化受不同分支负荷与电源位置影响，使得同类故障在不同区段呈现不同电流特征。这类多样化的响应模式，使自动化系统在提取故障特征时必须

综合暂态与稳态信息，并对采集到的数据进行滤波、特征增强与模式识别处理，以获得可用于定位的精确参数。尤其在含分布式电源的环境中，故障电流可能呈现反向流动，使传统判断依据失去适用性，进一步增加了故障信息解析的复杂度。

在快速定位的需求驱动下，对故障信息特征的深度解析不仅依赖电压、电流量测，还需要结合相量测量单元、智能开关和馈线终端形成的数据链路。高分辨率的同步量测能够构建时序一致的故障特征序列，使故障点附近的波形畸变、频率漂移以及相角突变得以被精确锁定。对于多分支线路，还需结合通信信号、拓扑模型与实时运行状态进行关联分析，以识别故障传播的特定路径与区段特征。通过对频域特征、时域突变量、相量偏差以及行波初始特征的综合挖掘，自动化系统能够建立适应多场景的特征表达方式，从而为后续定位算法提供稳定且可依赖的数据基础，使复杂配电网环境中的故障信息得以被清晰解析并转化为有效判断依据。

### 3 典型故障定位方法的技术路径

故障定位方法在配电网自动化系统中的构建依赖对电气量变化规律的准确刻画，各类技术路径围绕行波特性、阻抗特征与电流分布规律展开。行波法基于故障产生瞬间形成的高频行波信号，通过分析行波到达时间差、波头极性以及反射与折射特性推断故障位置<sup>[3]</sup>。由于行波信号传播速度快、响应迅速，能够适应需要毫秒级判断的场景，但对采样精度、同步精度与线路噪声敏感，在信道受损或多节点复杂结构下，需要结合数字滤波与特征增强策略提升稳定性。自动化系统应用行波法时往往依赖高带宽测量装置、GPS同步系统以及快速触发算法，使其能在暂态信息尚未完全衰减前形成有效判断。

阻抗型定位方法建立在线路模型与故障等值电路基础上，根据测得的电压、电流参数计算线路等效阻抗变化，并以此估计故障距离。该方法实现条件相对成熟，应用范围广，能够在稳态量测条件下运行，对设备同步要求较低。然而，阻抗计算易受接地电阻、负荷变化和分支结构影响，在分布式电源接入或潮流反向条件下会出现区段判断偏移。为了降低误差，系统需要通过相量校正、模型修正与分段等效技术提升计算精度，使阻抗型方法在复杂网络中仍保持可用性。

电流分布型定位方法则利用多节点电流突变量的分布规律，通过分析故障点前后电流方向、幅值变化与短路电流路径推断故障区段。其优势在于能够适应多分支结构，对通信带宽要求较低，并可与馈线自动化装置形成协同判断机制，在定位速度上具有明显优势。在电源结构多变的配电网中，该方法可通过电流特征矩阵、突变量对比与智能判别模型提升判断准确度。此外，为解决单一算法在特定场景下的局限性，自动化系统逐渐采用行波、阻抗与电流分布技术的融合路径，通过多源量测数据叠加与特征互补机制构建复合型定位方案，使定位

结果在不同工况下保持稳定与可信。

### 4 定位技术在配电网自动化中的应用优化

配电网自动化系统在构建高效故障处理机制时，需要针对不同运行场景优化定位技术的应用方式，使算法、装置与网络结构之间形成协调的技术体系。在多分支、多节点的线路环境中，定位精度往往受到量测密度不足、数据时标不统一以及信号衰减等因素影响<sup>[4]</sup>。为提升稳定性，系统通过提高采样率、增强同步性能以及扩展量测点布局，使故障特征的时域与频域细节得到更完整的捕获。数据链路的可靠性得到提升后，算法可基于更真实的信号形态展开判断，有助于减少误差累积与参数偏移带来的影响，使定位技术在复杂环境中的适应能力得以增强。

在应用优化过程中，融合多源数据的策略逐渐成为核心方向，自动化系统通过集成行波量测、相量测量、断路器状态量以及边缘装置采集信息，构建可互补的故障特征体系。当传统行波分析因噪声干扰导致准确度下降时，可由阻抗型判断进行校正；当阻抗法在潮流反向运行条件下出现偏差时，可由电流突变量分析进行约束。通过多算法交互验证、特征矩阵比对以及智能判别模型的引入，定位路径不再依赖单一特征，而是以更高维度的规律进行综合估计，使系统能够在不同工况下保持稳定判断能力。这种融合模式使配电网在面对分布式电源接入、负荷快速波动和拓扑频繁变化时仍具备较高的故障识别能力。

在工程应用层面，定位技术优化还包括提升装置协同水平与通信链路的实时性。自动化设备通过区域化部署，使馈线终端、智能开关与站端系统之间形成响应快速的指挥链路，缩短故障信息上传与处理的延迟。通信协议的改进与边缘计算的引入，使部分判断过程能够在现场装置完成，加速故障区段的识别。对于电气参数变化较快的区域，可采用动态阈值、自适应模型与实时特征更新机制，使定位算法能够随运行状态变化进行参数修正，从而增强在非稳态条件下的可靠性。随着系统架构更加智能化，故障定位技术的应用优化不断推动配电网自动化朝更高效、更强鲁棒性方向发展。

### 5 故障定位技术在系统运行中的综合成效

故障定位技术在配电网自动化系统中的应用，使运行过程呈现出更加高效、可控与稳定的特征。随着量测装置精度提升与多源数据融合机制的形成，故障区段能够在短时间内被识别，停电范围因而得到有效压缩。快速定位带来的响应加速作用，使运维队伍能够在较短时间内展开处理，从而降低因故障停电造成的负荷损失。系统运行的连续性在这种精确化处理机制下得到明显增强，供电可靠性指标较以往具备显著提升<sup>[5]</sup>。基于行波特征、阻抗变化以及电流分布规律构建的技术体系，使自动化系统能够从不同维度捕获异常电气量，实现对故障起

点方向、传播路径与影响区域的全面分析，使复杂结构下的运行状态更加明晰。

随着定位技术逐渐与智能分析平台深度结合，故障处理过程呈现出更强的自主性与实时性。自动化系统能够在接收到突变量信息的瞬间触发判断机制，通过对历史运行数据、同步量测序列及拓扑模型的联动分析，形成对故障区段的精准锁定。高频暂态信号、相量变化趋势和时序相关特征在系统内部形成量化的数据链路，使判断过程不再依赖单点信息，而是依托多节点、多参数的协同计算得到结果。分布式电源的接入使潮流特性更加复杂，但定位技术通过引入动态模型与智能算法，使系统能够在双向潮流、复杂短路电流环境中依然保持稳定识别能力。自动化系统的整体运行逻辑因此更加清晰，各类设备之间的联动效率得到增强。

在实际运行中，故障定位技术对系统整体性能的提升也体现在设备保护协调性与资源配置效率的改善上。由于故障区段能够在短时间内被识别，保护装置的动作选择更具针对性，避免因误动作造成的重复跳闸或大范围停电。调度系统能够根据

实时定位结果优化隔离策略，减少不必要的线路切换和负荷转移，使电网的运行方式更加稳定。随着边缘计算、自适应模型与智能终端在系统中的普及，故障定位结果还能够反向促进配电网结构优化与运维策略调整，使自动化系统具备更强的可控性与学习能力。在这种闭环运行机制中，定位技术不仅推动故障处理效率的提升，也进一步强化了系统整体的运行质量与安全水平。

## 6 结语

故障定位技术在配电网自动化系统中的深入应用，使复杂电气环境中的异常特征能够被更迅速、更准确地识别。多源量测数据、智能分析模型与高性能终端的协同，使定位过程具备更高的可靠性与实时性。随着行波分析、阻抗计算、电流分布判断及融合算法不断完善，配电网在面对多样化运行工况时呈现出更强的适应能力。定位结果在缩短抢修时间、减少停电范围、提升供电连续性方面展现出显著成效，也为系统结构调整与运行策略优化提供了关键支持，使自动化体系整体性能得以稳步提升。

## 参考文献：

- [1] 苟亮,朱帕尔·努尔兰,杨霞,等.基于组合算法的配电网工程线路降损自动化测试[J].自动化与仪器仪表,2025,(12):151-154.
- [2] 朱浩洋.配电网自动化技术在电力系统运维中的深度应用[J].电气时代,2025,(12):108-111+152.
- [3] 姚开源,于子恒.智能电网环境下配电网自动化标准化技术研究[J].标准生活,2025,(08):344-346.
- [4] 周翔宇,李冲.分布式光伏接入下配电网自动化电压调控技术研究与应用[J].中国高新科技,2025,(22):72-74.
- [5] 张弛.配电网自动化与继电保护一体化方法及低碳效益研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(10):179-181.