

# 馈线终端故障电流采样精度对配电网故障定位准确性的影响分析

孟国霞<sup>1</sup> 郝孟杨<sup>2</sup> 孔令强<sup>3</sup>

1.河南平高通用电气有限公司 河南 平顶山 467000

2.河南平高电气股份有限公司 河南 平顶山 467001

3.河南平高通用电气有限公司 河南 平顶山 467000

**【摘要】**：馈线终端故障电流采样精度是决定配电网故障定位准确性的核心因素，其偏差会直接导致故障距离计算出现误差、定位判据失效。通过剖析采样精度与故障定位逻辑的内在关联，明确采样误差的来源及传导路径，发现采样精度不足会引发故障特征提取失真，进而降低定位算法的可靠性。优化采样精度可有效提升故障定位的时效性与准确性，为配电网快速故障隔离和恢复供电提供技术支撑，对保障配电网安全稳定运行具有重要意义。

**【关键词】**：馈线终端；采样精度；配电网；故障定位；定位准确性

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.084

## 引言

配电网作为电力系统与用户连接的关键环节，其故障定位的准确性直接关系到供电可靠性与供电质量。故障电流作为故障定位的核心数据来源，其采样质量由馈线终端的采样精度决定，采样过程中的微小偏差都可能通过定位算法被放大，导致故障定位结果出现偏差。准确的故障定位依赖于真实可靠的故障电流数据，而采样精度不足会使得故障特征信息丢失或失真，增加故障排查难度，延长停电时间。深入探究馈线终端故障电流采样精度对配电网故障定位准确性的影响，厘清二者之间的作用机制，能够为提升配电网故障处理能力提供关键思路，助力配电网运维水平的优化升级。

## 1 馈线终端故障电流采样精度的核心影响要素

### 1.1 采样硬件性能对采样精度的基础作用

采样硬件是保障故障电流采样精度的物质基础，其性能参数直接决定采样数据的原始质量。采样芯片的分辨率、转换速率以及温漂特性，会影响电流信号转换为数字信号的精准度，分辨率不足会导致微弱故障电流信号无法被准确捕捉，转换速率偏低则可能遗漏故障电流的峰值信息。信号调理电路的滤波性能、抗干扰能力也至关重要，电路中的噪声干扰会叠加在故障电流信号上，若滤波效果不佳，会使采样数据出现杂波，进而影响后续信号分析的准确性。硬件设备的老化、接线松动等问题，会导致采样回路接触不良，引发采样数据的波动，进一步降低采样精度。

### 1.2 采样频率与同步性对采样精度的关键影响

采样频率的选择必须与故障电流信号的复杂频率特性精准匹配，故障电流信号不仅包含 50Hz 基波分量，还叠加了不同频次的谐波分量及突变性强的暂态分量，这些成分共同构成了故障诊断的关键信息。若采样频率设定过低，远未达到奈奎斯特采样定理要求，会引发严重的频率混叠现象，导致高频分量被误判为低频信号，无法完整还原故障电流的峰值、陡降/

陡升等核心波形特征，使得采样数据与真实故障状态出现偏差，失去故障分析的参考价值<sup>[1]</sup>。采样同步性直接决定多端馈线终端采样数据的一致性，配电网故障定位常需整合多个监测点的电流数据进行交叉验证，若各终端采样时钟不同步，会造成数据时序错位，导致故障相位差、幅值比例等关键信息对比失真，直接干扰故障距离计算的精度，最终显著降低整体定位效果。如图 1：



图 1 馈线终端故障定位现场试验

### 1.3 外部环境干扰对采样精度的客观作用

馈线终端多安装于户外环境，复杂的外部条件会对采样精度产生不可忽视的影响。高温、低温、湿度变化等气候因素会影响硬件设备的工作稳定性，导致采样芯片性能漂移，采样误差增大。电力系统中的电磁干扰是另一重要因素，附近高压设备的操作、雷电冲击等会产生强电磁辐射，干扰采样回路的信号传输，造成采样数据失真。安装环境中的振动、粉尘等也可能影响终端设备的机械结构和电气连接，间接降低采样精度，给故障电流采样带来不利影响。

## 2 故障电流采样精度偏差引发的定位问题表征

### 2.1 故障距离计算误差的扩大化表现

故障距离计算是配电网故障定位的核心环节，其结果直接

依赖于准确的故障电流采样数据。当采样精度不足时，故障电流的幅值、相位等关键参数会出现偏差，这些偏差代入定位算法后，会通过公式运算被放大，导致故障距离计算结果与实际故障点存在显著差距。在阻抗法定位中，采样电流的误差会直接影响故障阻抗的计算精度，进而使得基于阻抗值推导的故障距离出现偏差，偏差程度会随采样精度的降低而逐渐增大，严重时可能导致定位结果偏离实际故障点数百米。

## 2.2 故障类型判别失误的常见情形

不同类型的配电网故障（如单相接地、相间短路等）对应不同的故障电流特征，采样精度不足会导致这些特征信息模糊或失真，进而影响故障类型的判别准确性。单相接地故障的故障电流幅值相对较小，若采样精度不足，可能无法准确捕捉到这一微弱信号，或将其误判为正常负荷电流波动；相间短路故障的故障电流含有丰富的谐波分量，采样误差可能导致谐波特征提取不全，使得定位系统误判故障类型，进而采用错误的定位逻辑，导致定位失败。

## 2.3 多端数据协同定位失效的问题

配电网复杂结构下，故障定位常需多个馈线终端的采样数据协同分析，通过对比不同监测点的电流变化特征确定故障范围。采样精度偏差会导致各终端的采样数据缺乏一致性，即使微小的个体偏差，在多端数据协同运算中也会被放大，造成数据冲突<sup>[2]</sup>。某一终端的采样电流幅值偏高，而另一终端的采样电流幅值偏低，会使得故障前后的电流变化趋势分析出现矛盾，无法形成统一的故障判据，导致多端协同定位系统无法准确锁定故障区域，延长故障排查时间。

# 3 采样精度影响定位准确性的内在作用机制

## 3.1 故障特征提取环节的失真传导路径

故障定位的前提是准确提取故障电流中的特征信息，包括幅值突变、相位偏移、谐波含量等，这些特征是定位算法的核心输入依据<sup>[3]</sup>。采样精度不足会直接导致特征提取环节出现失真，其传导路径呈现链式反应：采样误差使得原始电流信号的关键特征参数偏离真实值；特征提取算法基于失真数据进行运算，无法准确识别故障发生的时间节点、持续时长等关键信息；最后，失真的特征数据传入定位模型，导致模型输出的定位结果与实际情况不符。这种失真传导会贯穿整个定位流程，从数据采集到结果输出形成误差累积，严重影响定位准确性。

## 3.2 定位算法参数适配性的破坏作用

各类故障定位算法均是基于理想采样数据设计，其参数设置与采样精度存在特定的适配关系。采样精度不足会破坏这种适配性，导致算法参数无法有效发挥作用。基于小波变换的定位算法对采样数据的完整性要求较高，采样误差会导致小波系数计算出现偏差，使得故障奇点检测不准确；基于行波法的定位算法依赖故障电流行波的传播速度和时间差计算故障距离，

采样精度不足会导致行波到达时间识别错误，进而影响距离计算精度。算法参数与采样精度的不匹配，会使得原本适用于理想场景的定位算法在实际应用中性能大幅下降。

## 3.3 定位判据阈值的失效影响

故障定位系统通过设定特定的判据阈值，判断是否发生故障及故障位置，这些阈值是基于正常采样精度下的故障电流特征统计得出。采样精度不足会导致故障电流的实际特征参数超出阈值设定范围，或落在非故障区域的阈值区间内，造成判据阈值失效。设定某一电流幅值阈值作为故障判定标准，采样精度不足可能导致实际故障电流幅值被低估，低于设定阈值，使得定位系统无法识别故障；或正常负荷电流因采样误差被高估，高于阈值，导致系统误判故障，引发不必要的故障排查操作，同时降低定位系统的可信度。

# 4 提升采样精度优化定位效果的实践路径

## 4.1 采样硬件配置的升级与优化方案

提升采样精度需从硬件配置入手，选择高性能的采样芯片和信号调理电路，优先采用高分辨率、高转换速率且温漂系数小的 ADC 芯片，确保微弱故障电流信号能够被精准转换。优化信号调理电路设计，增加多级滤波模块，抑制电磁干扰和电路噪声，同时采用屏蔽技术减少外部干扰对采样回路的影响。定期对馈线终端硬件设备进行维护与校准，及时更换老化部件，检查接线紧固性，避免因设备损耗导致采样精度下降，从硬件层面为采样精度提供保障。

## 4.2 采样策略与同步技术的改进措施

科学制定采样策略需以配电网故障电流的频率特性与暂态特征为核心依据，结合不同故障场景下电流信号的变化规律，精准设定采样频率：既要覆盖故障电流基波与谐波的频率范围，又要匹配暂态分量的突变特性，确保完整捕捉电流波形的峰值、过零点等关键信息，从源头上避免频率混叠导致的信号失真<sup>[4]</sup>。通过引入 GPS 同步或 IEEE1588 精确时间同步协议等高精度时钟同步技术，实现多端馈线终端采样时间的微秒级对齐，大幅减小多端数据的时序偏差，为协同定位提供一致的数据基础。同时采用自适应采样模式，正常运行时以较低采样频率平衡精度与功耗，故障发生瞬间自动切换至高频采样模式，强化微弱暂态特征的捕捉能力，通过动态调整采样参数，全面提升故障电流采样的数据质量与可用性。如图 2：



图2 配电网故障电流现场试验

#### 4.3 抗干扰与误差补偿技术的应用手段

强化馈线终端的抗干扰能力，在设备外壳设计中采用电磁屏蔽材料，减少外部电磁辐射的影响；在采样回路中增加浪涌保护器件，抵御雷电冲击等瞬时干扰。引入误差补偿技术，通过建立采样误差模型，根据硬件性能、环境条件等因素动态计算误差值，在数据处理阶段对采样数据进行修正。针对温度变化导致的采样偏差，通过温度传感器实时采集环境温度，代入误差补偿公式对采样数据进行调整，有效抵消环境因素引发的采样误差，提升采样精度。

### 5 采样精度优化后的定位效果提升验证方向

#### 5.1 故障定位误差范围的压缩效果评估

通过实际场景测试，对比优化前后故障定位的误差范围，验证采样精度提升对定位准确性的改善作用。选取不同类型的配电网故障场景，包括不同距离、不同故障类型的故障案例，分别记录优化采样精度前后的定位结果，分析误差变化趋势。重点评估近距离故障、微弱故障电流故障等复杂场景下的误差压缩效果，若优化后定位误差能够控制在预设范围内，且相较于优化前误差幅度显著降低，说明采样精度优化达到预期效果，为故障定位准确性提供直接支撑。

#### 5.2 故障类型判别准确率的提升验证

开展多场景、全维度的故障模拟测试，构建覆盖配电网常见运行工况的测试环境，重点统计优化采样精度后故障类型判

别的准确率变化趋势。测试选取单相接地、两相短路、三相短路及复合故障等典型故障类型，同时兼顾不同负荷水平（轻载、重载、额定负荷）与不同故障电阻（低阻、中阻、高阻接地）的组合条件，全面复刻实际配电网中可能出现的复杂故障场景，系统记录定位系统对各类故障类型的判别结果与响应时效<sup>[5]</sup>。通过深度对比采样精度优化前后的判别数据，重点分析采样精度提升对故障特征提取完整性、准确性的改善作用——若优化后单相接地等各类故障的判别准确率均实现显著跃升，且误判率、漏判率被严格控制在行业认可的低水平区间，则可充分证明采样精度优化能够有效强化故障特征与类型的匹配度，大幅提升故障类型判别能力，为后续精准选用适配的定位算法、降低定位误差提供坚实的数据支撑与技术保障。

#### 5.3 多端协同定位可靠性的强化验证

在复杂配电网环网、辐射网等多元拓扑结构中，搭建涵盖不同电压等级、多分支线路的多端馈线终端协同定位测试平台，将优化后的采样模块集成至各终端，重点验证采样精度提升后多端数据协同工作的可靠性。通过仿真与物理模拟相结合的方式，复现线路中段、分支节点、近电源端等不同区域的故障场景，同步采集各终端的故障电流采样数据，系统分析协同定位系统对故障区域的快速锁定能力与范围界定精度。从多端数据的时序一致性、数值吻合度，协同运算的响应速度，以及多次重复测试中定位结果的波动幅度等维度进行综合评估，若能实现故障点的快速精准锁定且定位稳定性良好，则表明采样精度优化有效化解了多端数据协同中的误差冲突，显著提升了复杂拓扑与多故障场景下配电网故障定位的可靠性。

### 6 结语

本文围绕馈线终端故障电流采样精度对配电网故障定位准确性的影响展开系统分析，明确了采样硬件、策略及环境等核心影响要素，剖析了采样偏差引发的定位误差、类型误判等问题及内在作用机制，提出了硬件升级、策略优化、抗干扰补偿等针对性解决方案，并指明了多维度效果验证方向。采样精度的提升是改善故障定位效果的关键抓手，既能从数据源头保障定位算法的有效运行，又能缩短故障排查时间、提升配电网供电可靠性。未来需结合配电网智能化发展，持续探索采样技术与定位体系的协同创新，进一步挖掘采样精度优化的潜力，为配电网安全、高效、稳定运行筑牢技术根基。

#### 参考文献：

- [1] 李军文,赵威,颜辰凡,等.配电网自动化馈线终端北斗通信模块设计[J].电工技术,2025,(21):219-223.
- [2] 郭兴强,钱敏,胡庆春,等.基于云计算的馈线终端单元插口状态自动识别技术[J].机电产品开发与创新,2025,38(03):182-184.
- [3] 许光,匡军,宋红艳,等.面向低压配电台区拓扑结构采集的馈线终端优化配置方法[J].中国电力,2025,58(03):151-161.
- [4] 詹文,李含天.智能馈线终端航空插头采测装置的研制[J].农村电气化,2025,(03):69-72.
- [5] 郭以贺,高荣森.基于一二次深度融合的数字化单元与馈线终端通信系统研究[J].电子产品世界,2025,32(03):1-4+10.