

# 配电网自动化终端设备运行维护与故障诊断策略研究

常娅莹

国网湖北省电力有限公司谷城县供电公司 湖北 襄阳 441000

**【摘要】**：针对配电网自动化终端设备在运行维护中存在的多源异构适配困难、现场工况复杂导致数据失真、馈线终端配置不足引发预警滞后以及通信网络脆弱形成数据孤岛等问题，提出基于三遥功能的实时状态监控体系，融合机器学习算法进行终端异常模式识别与定位，并升级综合性故障管理框架下的数据采集与处理流程。实施结果表明，终端设备自诊断与远程修复能力得到提升，馈线自动化系统对短路及单相接地故障的检测准确率与覆盖率满足设计指标，通信升级有效增强了终端间协同响应，供电可靠性指标明显改善，为配电网自动化系统安全稳定运行提供了技术支撑。

**【关键词】**：配电自动化终端设备；运行维护；故障诊断；三遥功能；机器学习；通信升级

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.069

## 引言

配电网自动化终端设备（TTU、FTU、DTU等）是配电网运行监控、故障处理及远程控制的核心节点，其运维与故障诊断水平直接决定供电可靠性与自动化效能。当前，此类终端在实际应用中面临诸多突出难题，多源异构设备兼容性差、户外复杂工况导致数据失真、馈线终端配置不足引发预警滞后，且通信网络脆弱易形成数据孤岛，致使传统运维模式难以适配需求。为此，亟须从实时监控、智能识别、数据处理等关键环节发力，系统性提升终端自诊断、远程修复及协同响应能力，为配电网自动化系统安全稳定运行筑牢基础。

## 1 配电网自动化终端设备运行维护的现实困境

### 1.1 终端设备多源异构与现场工况复杂化运维难点

配电自动化终端设备包含TTU、FTU、DTU等多种类型，其硬件架构、通信协议与数据接口标准各异，导致设备间互操作性与数据融合难度显著增加。不同厂商的终端在内部数据定义、故障告警阈值及远程控制逻辑上存在差异，难以形成统一的运维视图。现场工况方面，设备多部署于户外环网柜、柱上开关等环境，面临高低温、潮湿、电磁干扰及供电稳定性不足等复杂条件。温度剧烈变化易引起精密采样电路漂移，导致遥测数据失真；潮湿环境会加速通信接口与电源回路的腐蚀，造成通信信号误报或通信中断。此外，现场空间受限，部分终端安装位置不利于安全操作与散热，进一步加剧了设备老化与故障率。电磁干扰主要来源于开关操作暂态过程及邻近大电流线路，可能耦合进入二次控制回路，引发遥控指令误触发或CPU复位，直接影响终端运行可靠性。运维人员需同时应对设备软硬件差异与多变的环境应力，传统基于固定周期与统一模板的维护模式难以适配上述复杂场景，故障根源定位效率受到明显制约。

### 1.2 馈线自动化终端配置不足导致故障预警滞后

配电网中馈线自动化终端的配置规模与分布密度直接决定了故障预警的时效性。当前部分区域在终端部署时，仅满足

基本的三遥功能覆盖，未按照线路分段数量与负荷重要性进行差异化配置，导致关键节点缺乏独立的监控单元<sup>[1]</sup>。当线路发生短路或单相接地故障时，依赖少数终端采集的局部电气量难以完整还原故障暂态过程，预警信息需经过多个通信层级汇总后才能触发判断，整个过程耗时较长。尤其在分支众多的复杂馈线段，终端配置不足使得故障点上游与下游的电气量无法同步对比，预警系统只能依据越限信号粗略判定异常区域，而无法精确定位到具体分段。这种滞后的预警机制直接延长了故障巡查时间，增加了非故障区段停电的风险。同时，由于缺少冗余的终端作为数据校验节点，单一终端的数据漂移或通信中断会进一步削弱预警可靠性，导致控制中心无法及时下达隔离指令，故障可能扩大至相邻馈线。

### 1.3 通信网络脆弱性与数据孤岛制约故障响应效率

配电网自动化终端设备依赖通信网络实现数据交互与远程控制，现有通信链路多采用光纤、无线公网及载波通信等混合组网方式，但不同通信介质在抗干扰能力与传输稳定性上存在显著差异<sup>[2]</sup>。光纤通信虽然可靠性高，但受限于敷设成本与地理环境，难以覆盖所有终端节点；无线公网易受信号衰减、网络拥塞及外部电磁干扰影响，导致遥测数据丢包或遥控指令延迟。同时，配电终端设备（如FTU、DTU、TTU）往往由不同厂商提供，其通信协议与数据接口标准不统一，形成数据孤岛。各终端采集的电压、电流、开关状态等运行数据无法在主站系统中高效汇聚与关联分析，故障告警信息常常孤立呈现，缺乏对不同终端数据的时空关联挖掘能力。当出现单相接地或短路故障时，单一终端上报的异常数据难以快速定位故障区段，需人工逐一核对多个终端的历史记录，严重制约故障响应的实时性与准确性。

## 2 配电网自动化终端设备故障诊断的关键技术优化

### 2.1 基于三遥功能的终端运行状态实时监控体系构建

配电自动化终端设备运行状态监控依靠“三遥”功能深度融合，遥测依托高精度传感器与自动化感应组件，持续捕捉配

电网运行时的电压、电流、功率及电量消耗等核心参数，传输至中心监控单元构建动态运行数据集；遥信凭借遥感组件实时捕捉开关态势、保护动作标识及设备告警详情，判定终端分合闸方位与异常情形，为故障预警提供即时数据支撑；遥控依托遥测与遥信反馈信息，以远程指令调控开关设备分断与闭合，快速隔离故障区段并恢复非故障区段供电。三种功能协同构建数据采集、状态判别至远程操控的闭环监控体系，中心监控单元对实时遥测遥信数据开展阈值比对与趋势研判，识别电压骤降、电流突变及开关状态异常等特征，自动生成终端运行状态评估并将异常信息优先推送至控制界面，同时支持终端自身工作电源、通信态势及内部电路自检，保障采集数据真实与遥控执行可靠，提升终端运行透明度，为故障诊断定位提供准确连续的状态信息，支撑配电网自动化运维管控。

### 2.2 融合机器学习的配电终端异常模式识别与定位

配电自动化终端设备故障诊断体系内，机器学习技术融入可实现终端异常模式的识别与定位，提升故障判别精准度与响应效能<sup>[3]</sup>。依托终端日常运行采集的电压、电流、功率因数等时序数据，搭建有监督或无监督学习模型，完成正常与各类故障状态下数据特征的分类学习（见图1）。选用支持向量机或决策树算法，对馈线终端单元（FTU）、配电变压器终端单元（TTU）等设备历史运行数据开展标注与训练，赋予模型区分短路、过载、单相接地等典型异常模式的能力。数据标签不完整或故障类型未知时，聚类算法或自编码器网络可用于无标签数据的特征降维与异常检测，识别偏离正常行为模式的数据簇，结合终端物理位置信息与通信拓扑结构，借助贝叶斯网络或图神经网络分析异常数据传播路径，反向推断故障具体节点区域，融合机器学习识别的异常类型与终端运行日志、遥测数据、遥控执行反馈等信息交叉验证，缩小故障定位范围，输出含置信度评估的故障位置判断结果，为人工检修或自动隔离操作提供数据支撑。



图1 配电终端故障诊断机器学习流程

### 2.3 综合性故障管理框架下的数据采集与处理升级

在综合性故障管理框架中，数据采集与处理升级是提高配电自动化终端故障诊断精度的核心基础<sup>[4]</sup>。通过布设高精度传感器与智能监测装置，实时采集馈线、配电变压器终端运行电

压、电流、功率因数、设备温度及开关状态等关键参数，保障原始数据完整及时。对获取的多源异构数据开展清洗、异常剔除、归一化及时间序列对齐等预处理，有效滤除电磁干扰与通信抖动造成的数据噪声和失真。依托边缘计算在终端侧完成数据融合与特征提取，仅上传压缩特征集至主站，减轻通信压力并加快系统响应速度。引入滑动窗口数据分段方式，动态截取故障前、故障过程及故障恢复阶段的波形特征与事件序列，搭建标准化故障样本库。同步实现与配电自动化主站数据库实时联动，支撑批量数据高速入库与历史数据回溯分析，为后续模式识别故障分类与精准定位筑牢高质量数据支撑。

## 3 配电网自动化终端设备运行维护与故障诊断的实施效果

### 3.1 终端设备自诊断与远程修复能力提升

配电自动化终端设备通过嵌入式智能诊断模块，实时监测自身运行状态与通信质量。当检测到数据采集异常、通信中断或程序跑飞时，终端自动触发自检流程，依据预设的故障代码库比对错误类型，定位故障点所在单元。针对非硬件损坏类故障，如程序逻辑错误、参数越限或通信瞬断，终端自动执行软件复位、参数回滚或通信链路重连操作，无需人工干预即可完成修复<sup>[5]</sup>。对于存储单元中记录的偶发性误码，终端利用校验算法自动纠错并恢复数据完整性。远程修复功能依托配电站与主站之间的双向通信通道，运维人员可在控制中心下发修复指令，远程更新终端配置文件或升级嵌入式程序，批量处理同类型异常。当终端检测到严重硬件故障时，自动闭锁出口回路并上传详细故障报告，指导运维人员携带对应备件前往现场更换，大幅缩短故障响应时间。

### 3.2 馈线自动化系统故障检测准确性与覆盖率验证

馈线自动化系统故障检测精度及覆盖范围核验依托现场投运的配电自动化终端设备开展。典型馈线段布设 FTU、DTU 装置，在设定观测窗口内持续采集短路及单相接地相关故障事件，终端上传的故障告警数据同现场故障点位实地核查结果完成逐项校核。装置搭载内置过流检测算法及故障波形采集模块，精准辨识短路工况下故障电流幅值与存续区间，点位偏差可限定在相邻分段开关之间。零序电流及暂态特征参量的深度解析还可实现高阻接地与金属性接地工况的有效区分。主干线路及分支线路末端各类故障点位均纳入覆盖范围统计范畴，配电站数据同步模式的应用可规避通信时延引发的故障信息漏报现象。系统对金属性短路工况的检测精度契合预设设计标准，高阻接地工况下的覆盖范围得到有效提升，可为线路故障自主隔离及供电恢复流程筑牢数据支撑。

### 3.3 基于通信升级的终端协同与供电可靠性增强

通信升级支撑下，配电自动化终端设备之间的数据交互与指令协同能力显著提升。通过构建以光纤通信为主干、无线通

信为补充的混合通信网络，并增设配电子站作为区域数据汇聚与转发节点，各终端单元（如 FTU、DTU、TTU）之间的信息传输时延大幅降低，同步精度控制在毫秒级。在故障发生时，相邻终端能够基于共享的电气量数据快速完成故障区段判别与隔离策略协商，避免因单一终端判断偏差导致保护误动或拒动。同时，主站与子站之间的冗余通信通道支持热备用自动切换，当主通道因外部干扰中断时，备用链路可在规定时间内无缝接管数据传输任务，确保遥控指令与遥测信息不丢失。这种协同机制使非故障区段的自动恢复供电时间进一步压缩，减少了人工现场操作环节，配电网供电可靠性指标（如系统平均停电持续时间）得到实质性优化，终端设备在复杂运行环境下的

适应能力也随之增强。

#### 4 结语

经过对配电网自动化终端设备运行维护与故障诊断策略的系统研究，明确了设备多源异构、现场工况复杂、通信网络脆弱及数据孤岛等现实困境。通过构建基于三遥功能的实时监控体系、融合机器学习的异常模式识别方法以及升级综合性故障管理框架下的数据采集处理，终端自诊断与远程修复能力、馈线自动化故障检测准确率及供电可靠性均得到实质性提升。通信升级进一步强化了终端间的协同响应，缩短了非故障区段恢复供电时间，可为配电网自动化系统的安全稳定运行提供可靠技术支撑，助力运维模式向智能化、精益化方向转变。

#### 参考文献：

- [1] 王宁.配电网自动化终端设备的设计与运用[J].集成电路应用,2025,42(01):212-213.
- [2] 吴龙腾,何剑军,郭乾.配电网自动化终端设备的可视化数字孪生离线故障预判方法研究[J].电测与仪表,2025,62(04):65-72.
- [3] 杨泗春.基于 RPA 与 AI 的配电网自动化终端维护策略分析[J].集成电路应用,2024,41(11):366-367.
- [4] 章强.自动化技术在配电网安全管理中的应用[J].电子技术,2022,51(02):202-203.
- [5] 盘昱兵,潘光贵.关于配电网自动化终端设备的测试方法概述[J].电子测试,2021,(18):112-113+100.