

配电网自动化终端设备通信可靠性分析

王 猛

中色赤峰富邦铜业有限责任公司 内蒙古 赤峰 025250

【摘要】：配电网作为电力系统与用户连接的关键环节，其自动化水平直接影响供电可靠性与供电质量。终端设备通信系统是配电网自动化的核心支撑，其可靠性决定了自动化控制指令的传输效率、数据采集的准确性以及故障处理的及时性。本文基于配电网自动化终端设备通信系统的组成架构，系统分析了影响通信可靠性的关键因素，构建了科学的可靠性评估指标体系与评估方法，结合实际应用场景提出了针对性的提升措施，为配电网自动化系统的稳定运行提供技术参考。

【关键词】：配电网自动化；终端设备；通信可靠性；评估指标；提升措施

DOI:10.12417/2705-0998.26.01.015

1 引言

随着电力体制改革的不断深入以及智能电网建设的持续推进，配电网的功能定位已从传统的电力输送转变为兼具供电保障、资源优化配置与互动服务的综合载体。配电网自动化终端设备作为感知配电网运行状态、执行控制指令的核心单元，广泛分布于配电线路、开关站、环网柜等关键节点，其通信链路的稳定与否直接关系到配电网故障定位、隔离与恢复供电的效率，更影响着电网调度中心对配电网运行状态的精准把控。当前，配电网自动化终端设备的通信方式呈现多元化特征，包括光纤通信、无线专网通信、公网通信等多种形式，不同通信方式在传输速率、抗干扰能力、成本投入等方面存在显著差异。在实际运行过程中，终端设备通信系统易受设备自身性能、外部环境干扰、通信链路质量等多重因素影响，出现通信延迟、数据丢包甚至通信中断等问题，严重制约了配电网自动化功能的充分发挥。因此，深入分析配电网自动化终端设备通信可靠性的影响因素，构建科学的评估体系，提出切实可行的提升措施，对于提升配电网自动化水平、保障电力系统安全稳定运行具有重要的理论价值与实际意义。

2 配电网自动化终端设备通信系统组成

配电网自动化终端设备通信系统是一个涵盖终端节点、通信链路、主站系统的完整闭环系统，各部分协同工作实现数据传输与指令交互。其核心组成部分主要包括三个方面。

2.1 终端设备层

终端设备层是通信系统的基础数据源与指令执行单元，主要包括馈线终端单元、配变终端单元、环网柜终端单元等。该层级设备负责采集配电网运行过程中的电压、电流、功率等电气参数，以及设备开关状态、故障告警等信息，并接收主站系统下发的远程控制指令，完成开关分合、参数调整等操作。终端设备的通信接口性能、数据处理能力以及抗干扰能力直接决定了原始数据的传输质量。

2.2 通信链路层

通信链路层是连接终端设备与主站系统的关键通道，根据

传输介质的不同可分为有线通信与无线通信两大类。有线通信以光纤通信为主，具有传输速率高、抗干扰能力强、传输距离远等优势，广泛应用于城市核心区域配电网；无线通信包括无线专网、公网等，其中无线专网适用于偏远区域、复杂地形等有线通信铺设困难的场景，公网则凭借覆盖范围广、建设成本低的特点在部分配电网终端中应用。通信链路的带宽、稳定性以及抗干扰能力是影响通信可靠性的核心环节。

2.3 主站系统层

主站系统层是通信系统的核心控制中心，负责接收终端设备上传的各类数据，进行分析处理、存储展示，并根据配电网运行状态下发控制指令。主站系统的通信协议兼容性、数据处理效率以及冗余备份能力，直接影响整个通信系统的协同运行效率与容错能力。

3 配电网自动化终端设备通信可靠性影响因素分析

3.1 终端设备自身性能因素

终端设备自身的硬件质量与软件性能是影响通信可靠性的基础因素。硬件方面，通信模块、电源模块、接口电路等核心部件的质量直接决定了设备的运行稳定性。部分低成本终端设备采用劣质通信芯片，在长期运行过程中易出现信号衰减、接口松动等问题，导致通信中断；电源模块稳定性不足则会引发设备重启、数据丢失等故障，尤其在配电网电压波动较大的场景下，该问题更为突出。软件方面，终端设备的通信协议兼容性、数据加密算法以及程序稳定性对通信可靠性影响显著。不同厂家生产的终端设备若采用不兼容的通信协议，会导致数据传输格式不统一，出现数据解析错误；部分终端设备缺乏完善的数据加密机制，在数据传输过程中易受恶意攻击，影响通信安全；程序设计存在漏洞则可能导致设备死机、通信链路阻塞等问题。

3.2 通信链路质量因素

通信链路是数据传输的核心通道，其质量直接决定通信可靠性。对于光纤通信而言，光纤线路的接头损耗、光纤老化以及外部施工破坏是主要影响因素。光纤接头若熔接质量不佳，

会导致信号衰减,影响传输距离与传输质量;长期运行过程中,光纤受环境湿度、温度变化影响易出现老化开裂,导致通信中断;城市道路施工、绿化作业等外部活动易误挖、挂断光纤线路,造成大面积通信故障。

对于无线通信而言,信号干扰、覆盖范围以及传输带宽是关键影响因素。工业电磁环境中的变频器、电焊机等设备会产生强电磁干扰,影响无线信号的传输质量;偏远山区、高层建筑密集区域易出现无线信号覆盖盲区,导致终端设备与主站系统通信中断;配电网自动化终端设备上传的数据量不断增加,若无线通信带宽不足,会出现数据传输延迟、丢包等问题。

3.3 外部环境干扰因素

配电网自动化终端设备多安装于户外环境,高温、低温、暴雨、雷电、沙尘等恶劣天气会直接影响设备通信性能。高温环境会导致终端设备通信模块过热,降低其运行稳定性;低温环境则会影响电池性能与接口接触效果,导致通信链路不稳定;暴雨、沙尘会侵蚀设备接口与线路接头,造成接触不良;雷电冲击则可能直接损坏通信模块与终端设备,引发严重通信故障。此外,人为破坏也是不可忽视的外部因素。部分区域的终端设备、通信线路易遭盗窃、恶意损坏,尤其是偏远区域的设备,维护响应不及时,会导致通信中断时间延长。

3.4 管理维护水平因素

完善的管理维护机制是保障通信系统稳定运行的重要支撑。当前,部分供电企业缺乏专业的配电网自动化终端通信维护团队,维护人员技术水平不足,无法及时排查与处理通信故障;设备台账管理不规范,导致终端设备的型号、运行年限、通信方式等关键信息不明确,影响维护工作的针对性;维护周期不科学,过度维护会增加运维成本,维护不足则会导致设备隐患积累,最终引发通信故障。

4 配电网自动化终端设备通信可靠性评估

4.1 评估指标体系构建

结合配电网自动化终端设备通信系统的运行特性,从可用性、稳定性、安全性三个维度构建可靠性评估指标体系,具体指标如下表所示。

表 1 具体指标

评估维度	评估指标	指标定义	计算方法
可用性	平均无故障时间	终端设备通信系统两次相邻故障之间的平均运行时间	总运行时间/故障次数
	平均修复时	通信故障发生后至故	总故障修复时间/故

	间	障排除、通信恢复正常 的平均时间	障次数
稳定性	通信成功率	终端设备与主站系统 之间成功传输数据的 次数占总传输次数的 比例	成功传输次数/总传 输次数×100%
	数据传输延 迟	数据从终端设备发出 至主站系统接收并确 认的平均时间	总传输延迟时间/传 输次数
安全性	安全攻击抵 御率	系统成功抵御恶意攻 击的次数占总攻击次 数的比例	成功抵御次数/总攻 击次数×100%
	数据完整性 率	主站系统接收的完整 数据量占终端设备发 送数据量的比例	完整接收数据量/发 送数据量×100%

4.2 评估方法选择

采用层次分析法与模糊综合评价法相结合的评估方法,实现对通信可靠性的科学评估。首先,通过层次分析法确定各评估指标的权重,结合配电网运行实际,邀请行业专家对各指标的重要性进行打分,构建判断矩阵,计算各指标权重并进行一致性检验;其次,采用模糊综合评价法,建立评估指标的模糊评价矩阵,结合指标权重计算综合评价结果,根据评价结果将通信可靠性划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级,为后续可靠性提升提供依据。

5 配电网自动化终端设备通信可靠性提升措施

5.1 优化终端设备选型与质量管控

严格把控终端设备准入门槛,优先选择具备国家相关认证、市场口碑良好的厂家产品。在设备选型过程中,重点关注通信模块的性能,选择采用工业级芯片、支持多通信协议兼容的设备;加强电源模块的稳定性检测,确保设备在宽电压波动范围内能够稳定运行;完善设备出厂前的质量检测流程,对通信性能、抗干扰能力等进行全面测试,杜绝劣质设备投入运行。同时,建立设备全生命周期管理机制,定期对运行设备进行性能检测,对接近使用年限、性能下降的设备及时更换。

5.2 构建多元化通信链路冗余架构

结合配电网不同区域的运行环境与通信需求,构建“光纤为主、无线为辅、多链路冗余”的通信网络架构。在城市核心

区域、工业园区等重点区域，优先采用光纤通信，优化光纤线路铺设路径，加强线路接头的熔接质量管控，定期对光纤线路进行巡检，及时处理线路老化、破损等问题；在偏远山区、农村等有线通信铺设困难的区域，采用无线专网通信，并搭配公网通信作为备用链路；对于关键终端设备，采用双通信模块设计，实现不同通信链路之间的自动切换，当主链路出现故障时，备用链路能够快速投入使用，降低通信中断风险。此外，合理规划通信带宽，根据终端设备的数据传输需求动态分配带宽资源，避免带宽不足导致的通信延迟与丢包问题。

5.3 强化外部环境防护与抗干扰设计

针对户外终端设备的安装环境，优化设备防护设计，采用具备 IP65 及以上防护等级的设备外壳，增强设备的防水、防尘、防腐能力；在高温区域为设备配备散热装置，在低温区域安装保温装置，确保设备在极端温度环境下正常运行；加强雷电防护设计，在终端设备与通信线路上安装防雷器，优化接地系统，降低雷电冲击对设备的损坏。同时，合理规划设备安装位置，远离变频器、电焊机等强电磁干扰源，对于无法避开的干扰源，采用屏蔽电缆、电磁屏蔽罩等措施增强抗干扰能力。

5.4 完善管理维护与故障应急机制

组建专业的通信维护团队，加强维护人员的技术培训，提升其对不同通信方式、不同品牌终端设备的故障排查与处理能力；建立完善的设备台账管理系统，详细记录设备的型号、安装位置、通信方式、运行状态等信息，实现设备全生命周期可追溯；制定科学的维护周期计划，定期对终端设备、通信线路进行巡检，及时排查设备隐患。同时，建立快速故障应急响应机制，明确故障排查流程与责任分工，配备充足的应急抢修物资，借助远程监控系统实时监测通信状态，当出现通信故障时，

能够快速定位故障位置，缩短故障修复时间。

5.5 加强通信安全防护体系建设

构建多层次通信安全防护体系，加强终端设备与主站系统之间的数据加密传输，采用 AES 加密算法对传输数据进行加密处理，防止数据被窃取与篡改；在主站系统中部署防火墙、入侵检测系统等安全设备，实时监测网络攻击行为，及时阻断恶意攻击；定期对通信系统进行安全漏洞扫描，及时修复软件漏洞，更新病毒库；加强安全管理，规范维护人员的操作流程，设置不同等级的操作权限，防止人为操作失误引发的安全风险。建立健全安全审计机制，对终端设备与主站系统之间的所有通信行为、操作记录进行实时监测与日志留存，便于后续安全事件的追溯与分析。同时，强化终端设备接入认证管理，采用密钥认证、身份识别等多重认证方式，杜绝非法设备接入通信网络。此外，定期开展通信安全应急演练，提升维护团队对网络攻击、数据泄露等安全事件的快速响应与处置能力，确保通信系统在安全风险发生时能够快速恢复稳定运行。

6 结论

配电网自动化终端设备通信可靠性是保障配电网自动化功能有效发挥的核心基础，其受设备性能、通信链路、外部环境、管理维护等多重因素影响。本文通过构建科学的可靠性评估指标体系与评估方法，能够精准判断通信系统的运行状态，为可靠性提升提供依据。通过优化设备选型、构建冗余通信链路、强化环境保护、完善管理维护机制以及加强安全防护等措施，可有效提升配电网自动化终端设备通信可靠性。未来，随着 5G、物联网等新技术的发展，应进一步探索新技术在配电网终端通信中的应用，持续提升配电网自动化水平，为智能电网建设提供更坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 李劲玲.配电网自动化终端设备现场调试关键技术及标准化流程[J].电力设备管理,2025,(21):145-147.
- [2] 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.
- [3] 李聪晓.基于网格管理的农村电网自动化运维系统分析[J].集成电路应用,2025,42(10):202-203.
- [4] 张耀文.配电网自动化系统的分散式无功控制研究[J].电气开关,2025,63(03):65-67+71.
- [5] 黄建中,倪杰.配电网模拟断路器的设计[J].农村电气化,2025,(06):78-82+91.