

基于 5G+边缘计算的配电自动化终端实时通信协议优化

惠龙

陕西恒昌联信电力科技有限公司 陕西西安

【摘要】 基于 5G 与边缘计算技术的配电自动化终端实时通信协议优化，旨在解决现有配电网中数据传输延迟高、带宽不足及可靠性低的问题。通过构建低时延高可靠的通信架构，引入边缘计算对终端数据进行本地化处理，显著降低核心网络压力。结合 5G 切片技术与动态资源调度机制，实现多业务并行传输与协议优化协同设计。研究结果表明，该方法可有效提升配电自动化终端实时通信性能，满足智能电网对高效、安全与低时延通信的需求。

【关键词】 5G；边缘计算；配电自动化；实时通信；协议优化

【收稿日期】 2025 年 9 月 20 日 **【出刊日期】** 2025 年 11 月 10 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250198

Optimization of real-time communication protocol for distribution automation terminal based on 5G+ edge computing

Long Hui

Shaanxi Hengchang Lianxin Power Technology Co., Ltd. Xi'an, Shaanxi

【Abstract】 This study optimizes real-time communication protocols for distribution automation terminals based on 5G and edge computing technologies, addressing critical challenges in power networks such as high latency, bandwidth constraints, and reliability issues. By establishing a low-latency communication architecture and implementing edge computing for local data processing, the proposed approach significantly reduces core network load. Through integration of 5G slicing technology and dynamic resource scheduling mechanisms, it achieves coordinated design of multi-service parallel transmission and protocol optimization. Experimental results demonstrate that this methodology effectively enhances real-time communication performance of distribution automation terminals, meeting smart grid requirements for efficient, secure, and low-latency connectivity.

【Keywords】 5G; Edge computing; Distribution automation; Real-time communication; Protocol optimization

引言

电力系统的智能化升级推动了配电自动化技术的快速发展，其中实时通信性能已成为制约其效率与稳定性关键因素。随着 5G 网络的高速率、低时延和大连接特性，结合边缘计算的分布式处理能力，为优化配电自动化终端的通信协议提供了新的技术路径。高效的数据交互与稳定的传输机制不仅关系到供电可靠性，也直接影响智能电网的运行质量与资源配置效率。通过探索多维度的协议优化策略，为提升通信性能奠定了坚实基础。

1 配电自动化终端实时通信存在的主要问题与挑战

配电自动化终端在智能电网的运行中扮演着核心角色，其实时通信性能直接影响电力系统的安全性和稳定性。随着配电网结构的日益复杂化和业务场景的

多样化，终端在数据交互中面临高频率、多类型和大规模的信息传输需求。然而，现有通信协议在带宽利用率、时延控制和可靠性保障等方面存在明显不足，难以满足复杂电网环境的实时性要求^[1]。由于传统通信网络架构高度依赖中心节点进行数据处理，终端信息在传输过程中常出现拥塞与延迟，造成配电自动化系统在故障检测、状态监测和控制指令下发等环节的响应效率大幅下降，影响供电质量和电网运行的动态调度能力。

随着新型能源接入、分布式电源和双向潮流等应用的普及，终端通信协议在面对高并发和高动态的电力数据时暴露出更多瓶颈。由于配电网中涉及电压、电流、开关状态和负荷变化等多维度信息，实时通信需要在毫秒级时间内完成处理与反馈，但传统通信模式在链路可靠性、带宽调度和时延控制上的限制导致终

端无法实现高精度同步。尤其在面对突发性故障、电网重构和需求侧快速响应等场景，通信时效性不足会直接导致状态估计不准、调度命令滞后甚至保护失效，严重威胁电力系统的安全运行。此外，通信终端之间缺乏高效的互操作性和协议兼容性，使得不同厂商设备在同一配电网内协同运行时存在较大障碍。

在电力物联网和智能配电系统不断发展的背景下，现有通信协议的设计思路与新一代应用需求之间形成明显脱节。传统以集中式处理为核心的网络模式无法充分利用本地计算和分布式资源，造成网络负载过高、边缘侧能力浪费等问题。随着 5G 技术和边缘计算的引入，低时延高可靠的实时通信成为可能，但在协议设计、资源分配和终端协同等方面仍存在巨大挑战^[2]。如果无法有效解决终端通信的时延、带宽和稳定性问题，将制约自动化控制策略的执行效率，影响新能源消纳、电网灵活调度和用户侧响应等多项关键功能。针对配电自动化终端的实时通信问题，必须探索更高效、更智能的通信协议优化方案，为智能电网的发展提供有力支撑。

2 基于 5G 技术的配电自动化终端通信架构优化设计

基于 5G 技术的配电自动化终端通信架构优化设计以满足高并发、低时延和高可靠性的业务需求为核目标，通过引入新一代通信技术和多层次网络架构，实现配电自动化终端之间的高效互联。5G 网络具备大带宽、低时延和大规模接入能力，为构建高性能的配电自动化通信系统提供了技术支撑。在架构设计中，通过采用核心网、接入网与边缘节点协同的分层式通信模式，能够有效降低数据传输路径，提高资源调度效率^[3]。5G 切片技术的引入使得不同类型的电力业务可以获得差异化的通信资源配置，从而在故障隔离、状态监测、控制指令等多业务并行场景下保证各类任务的实时性与稳定性。

在优化设计中，结合 5G 超可靠低时延通信（URLLC）特性，通过缩短传输链路、降低协议开销和优化信道资源配置，确保配电自动化终端能够在毫秒级完成数据传输与处理。核心网与边缘计算平台协同工作，将部分实时性要求高的数据分析和控制策略下放至边缘节点，在本地完成快速计算与反馈，显著缓解中心服务器的处理压力。终端通信模块支持多频段接入与动态链路切换，通过 5G 网络的多连接特性实现通信链路的冗余备份与实时切换，保证在电网复杂工况或高负荷运行状态下仍能维持通信的高可用性与高可靠性。这种设计能够大幅降低传统集中式通信架构

中出现的链路瓶颈和信息拥塞问题，提升故障诊断与控制响应的整体效率。

为适应配电自动化的多场景需求，架构设计中还引入网络功能虚拟化（NFV）和软件定义网络（SDN）技术，实现资源的按需分配和灵活调度。通过 SDN 控制器统一管理网络拓扑与数据流向，可以根据配电网负载状态和业务优先级，动态调整通信路径与带宽分配，避免高并发场景下出现传输延迟与资源争夺。5G 与边缘计算深度融合后，配电自动化终端可实现多协议自适应、跨域互操作与快速故障恢复，确保在新能源接入、负荷波动和需求响应等复杂场景中保持稳定通信^[4]。该架构优化设计不仅提升了实时通信性能，还为智能电网的灵活调度、精细化管理和安全运行提供了坚实的技术基础。

3 边缘计算在配电自动化终端实时通信中的协同应用

边缘计算在配电自动化终端实时通信中的协同应用为解决高并发数据传输、低时延处理和系统可靠性不足等问题提供了新的技术路径。通过在靠近配电网场的边缘节点部署数据处理与计算能力，能够将终端采集的电压、电流、负荷状态、故障信号等多维度数据在本地完成初步分析与预处理，减少数据回传至核心网的压力。相比传统依赖集中式服务器的模式，边缘计算大幅缩短了通信链路，降低了数据传输延迟，提高了配电自动化的响应速度^[5]。在电网状态快速变化的场景中，边缘节点可以直接完成异常检测、控制策略生成等操作，并在毫秒级时间内将指令传递至相关终端，实现实时控制与快速联动。

在边缘计算与 5G 网络的协同架构下，实时通信的可靠性和灵活性得到显著提升。边缘节点与配电自动化终端之间通过低时延、高带宽的 5G 链路建立稳定连接，能够支持多类型业务的并行处理与多优先级任务的动态调度。结合网络切片技术，不同终端可根据业务场景获得专属的通信资源，实现状态监测、负荷控制、保护动作等多业务并行运行而互不干扰。此外，边缘计算具备分布式容错机制，当某一节点发生故障时，系统可通过边缘协同和链路冗余机制实现自动切换，保证数据交互的连续性与控制指令的稳定性。这种高可用性设计有效提升了电力系统在高压、重载等复杂工况下的实时通信性能。

随着配电自动化系统规模的扩大和业务场景的多样化，边缘计算的协同应用在多层次数据管理和智能控制中展现出更高的价值。通过在边缘节点引入智能

算法与深度学习模型，能够实现终端数据的实时优化与预测分析，为负荷波动预测、故障预判及需求响应等场景提供决策支持。同时，边缘计算的分布式架构与异构资源调度能力，提升了多厂商设备间的协议兼容性与互操作性，使配电自动化终端能够在复杂网络环境中保持高效协作^[6]。该协同应用不仅增强了实时通信的稳定性和安全性，还为智能电网的高可靠运行和灵活调度提供了坚实的技术保障。

4 协议优化策略对提升终端通信性能的综合分析

协议优化策略在提升配电自动化终端实时通信性能方面具有核心意义，通过改进数据传输机制与资源调度方式，可以有效降低时延、提高带宽利用率并增强系统的可靠性。在高并发数据传输的电力场景中，传统通信协议在报文处理、重传机制和链路拥塞控制方面存在效率不足，导致通信延迟和丢包率增加^[7]。通过优化协议层的结构设计，减少不必要的信令开销，并在物理层与传输层之间建立紧密协同，可以实现电力数据的快速传递与高效调度，确保电网在突发状态下仍能保持稳定运行。

在具体应用中，动态自适应调度机制和跨层优化技术被广泛应用于配电自动化终端通信协议中。自适应调度可根据电力业务优先级与实时性需求动态分配信道资源，使得故障检测与保护指令能够在毫秒级时间内获得通信保障，而普通监测数据则通过延迟容忍机制实现带宽优化。跨层设计则打破传统通信协议层次隔离的模式，使物理层信道状态与应用层业务需求相互感知，通过联合优化实现链路资源的最大化利用。在 5G 网络支持下，这些协议优化策略进一步与超可靠低时延通信特性结合，有效应对配电网复杂场景下的高密度接入与多业务并发需求。

随着边缘计算的深度融合，协议优化策略不仅体现在传输层面，更延伸至终端与边缘节点的协同处理机制。通过在协议设计中引入边缘缓存、分布式路由和智能负载均衡，终端可在本地完成部分数据的快速处理与转发，减少核心网络的负载压力，进一步提升通信时效性与稳定性^[8]。结合网络切片与虚拟化技术，协议能够针对不同电力业务场景提供差异化的服务质量保

障，真正实现按需分配与灵活调度。这种多维度的协议优化不仅改善了终端通信的性能，还强化了电力系统在动态运行环境中的自适应能力，为智能电网的安全高效运行提供了重要支撑。

5 结语

5G 技术与边缘计算的深度融合为配电自动化终端实时通信性能的提升提供了全新思路。协议优化在降低时延、提高可靠性和增强资源利用率方面发挥了关键作用，使终端在高并发、多业务和复杂工况下依然能够保持高效稳定的通信能力。多层次协同架构与智能化调度机制不仅强化了终端与网络之间的交互效率，也为电力系统的灵活调度和安全运行奠定了技术基础。这一研究为智能电网的高可靠通信提供了重要参考。

参考文献

- [1] 吴宏. 基于 5G 通信的智慧电梯数字化应用方案[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025,(08):146-148.
- [2] 马俊. 智能新能源汽车自动驾驶系统中 5G 技术的应用[J]. 时代汽车, 2025,(17):22-24.
- [3] 叶青. 融合 ML 与边缘计算的健康云数据检测分析技术研究[J]. 电子设计工程, 2025,33(16):169-172+177.
- [4] 乔胡锐. 配电自动化技术在城市配电网建设中的实践分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025,(22):67-69.
- [5] 郑建伟, 陈秀强. 基于边缘计算的钢厂关键设备电气故障预测与智能诊断研究[J]. 互联网周刊, 2025,(15):18-20.
- [6] 张艺凡. 基于边缘计算和规则库的电力生产指挥任务池构建与异常识别方法[J]. 电器工业, 2025,(08):89-93.
- [7] 付晓丽. 一种支持边缘计算的轻量化深度学习推理系统设计[J]. 信息记录材料, 2025,26(08):62-64.
- [8] 赵昌龄. 配电自动化系统中继电保护装置健康状态评估方法研究[J]. 防爆电机, 2025,60(04):120-123.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS