

电力信息通信网络在新能源并网调度中的数据交互机制研究

杨 涛

鄂州电力勘察设计院有限责任公司 湖北鄂州 436000

摘要: 本文立足电力信息通信专业视角,分析新能源并网调度中数据交互的核心需求与现存问题,构建“分层传输-动态适配-安全防护”三位一体的数据交互机制。通过融合SDN(软件定义网络)、边缘计算、区块链等技术,实现新能源发电数据、调度指令、设备状态信息的高效传输与交互,并结合实际应用场景验证机制可行性。研究表明,该机制可降低数据传输时延至50ms以内,数据丢包率控制在0.1%以下,为新能源高效并网调度提供技术支撑。

关键词: 电力信息通信网络; 新能源并网调度; 数据交互机制; SDN; 安全防护

引言

“双碳”目标下,风电、光伏等新能源装机规模持续扩大,2025年我国新能源发电量占比预计突破30%。其间歇性、波动性使电网调度转向“源网荷储协同调度”,需实时获取多维度数据,通过精准指令平抑功率波动,保障电网稳定。^[1]

电力信息通信网络是数据交互关键支撑,但其交互效率、可靠性与安全性直接影响调度成效。当前传统电力通信网络存在路径固定、带宽适配弱、跨域时延高、安全防护不完善等问题,难以满足“毫秒级响应”“海量传输”“端到端安全”需求,如场站与调度中心数据传输时延超100ms,易致指令滞后。

在此背景下,研究适配需求的数据交互机制成为核心课题。本文结合电力信息通信技术特性与并网调度业务需求,构建高效可靠安全的数据交互机制,明确技术路径,提供通信解决方案。

一、新能源并网调度中数据交互的核心需求与现存问题

(一) 核心需求分析

1. 实时性需求

新能源出力波动频繁(如风电功率分钟级变化幅度可达20%),要求电网调度中心实时获取发电数据并下发调整指令,数据传输时延需控制在50ms以内,确保调度指令及时响应功率波动。例如,当光伏电站因云层遮挡

导致功率骤降时,调度中心需在30ms内接收功率异常数据,同步向储能电站下发充放电指令,避免电网频率波动。

2. 可靠性需求

新能源并网调度涉及多环节数据交互(如发电预测数据、设备故障信息、调度指令),数据丢包或传输错误会导致调度决策偏差。需确保数据传输可靠性,丢包率低于0.1%,误码率低于 10^{-9} ,尤其在极端天气(如台风、暴雪)导致通信链路不稳定时,需具备链路冗余切换能力,保障数据传输不中断。^[2]

3. 安全性需求

新能源并网调度数据包含电网运行参数、调度策略等敏感信息,数据交互过程需防范非法入侵、数据篡改与泄露。例如,若储能电站控制指令被篡改,可能导致储能系统异常充放电,引发电网电压越限;新能源场站发电数据泄露可能影响电力市场交易公平性,需建立端到端加密与身份认证机制。

4. 兼容性需求

新能源并网涉及不同类型场站(风电、光伏、储能)、不同设备厂商(逆变器、监控系统)与不同调度层级(场站级、区域级、国家级),数据格式(如IEC 61850、MQTT)与通信协议差异大,需实现多协议兼容与数据格式统一转换,避免“数据孤岛”问题。

(二) 现存问题

1. 传输时延高,动态适配能力不足

传统电力通信网络采用静态路由规划,数据传输路径固定,难以根据新能源数据流量变化动态调整带宽与路由。例如,新能源场站在午间光伏出力高峰时,数据传输量较平段增长3-5倍,固定带宽链路易出现拥堵,

作者简介: 杨涛(1988.01-),女,汉,本科,湖北鄂州人,电气工程师,中级职称,研究方向:电力系统规划或者电力信息通信方面。

导致传输时延升至150ms以上；跨区域调度中心间的数据交互需经过多级路由转发，进一步增加时延，无法满足实时调度需求。^[3]

2. 跨域数据交互标准不统一

不同新能源场站采用的通信协议（如部分场站用 IEC 61850，部分用 Modbus）与数据格式差异大，区域调度中心需部署多套协议转换设备，增加系统复杂度与维护成本。同时，电网公司、新能源场站、储能运营商分属不同主体，数据交互缺乏统一接口标准，导致调度中心难以高效整合多源数据，影响调度决策效率。

3. 安全防护体系不完善

当前电力信息通信网络的安全防护多集中在核心调度中心，新能源场站端安全措施薄弱，易遭受网络攻击。例如，部分光伏场站监控系统未部署防火墙，存在非法终端接入风险；数据传输过程中仅采用简单加密（如 DES 算法），易被破解导致数据泄露。此外，缺乏数据完整性校验机制，无法及时发现数据篡改行为，威胁电网调度安全。

二、电力信息通信网络数据交互机制构建

基于新能源并网调度数据交互需求，结合电力信息通信技术发展趋势，构建“分层传输-动态适配-安全防护”三位一体的数据交互机制。

（一）分层传输机制：实现多维度数据高效传输

根据新能源并网调度数据的优先级与传输需求，将电力信息通信网络分为“终端接入层-边缘汇聚层-核心调度层”，实现分层传输：

1. 终端接入层

部署物联网网关（支持 IEC 61850、MQTT 等多协议），接入新能源场站的逆变器、气象传感器、储能 PCS 等设备，完成数据采集与协议转换。采用无线（5G 专网）与有线（光纤）混合接入方式，光纤用于传输高带宽、高可靠性数据（如视频监控、设备状态监测），5G 专网用于移动设备（如巡检机器人）与偏远场站数据传输，确保终端数据全面接入。

2. 边缘汇聚层

在新能源集群区域（如百万千瓦级风电基地）部署边缘计算节点，实现数据本地处理与汇聚。对实时性要求高的数据（如功率波动数据、故障告警），在边缘节点进行预处理（如异常值剔除、数据压缩）后，通过低时延链路传输至核心调度层；对非实时数据（如历史发电统计、设备运维数据），在边缘节点存储并定期上传，减少核心网络数据流量，降低传输时延。例如，边缘节点可实时分析风电功率波动趋势，提前向储能电站下发预

充放电指令，缩短调度响应时间。

3. 核心调度层

部署 SDN 控制器与云平台，实现多区域数据整合与调度指令下发。SDN 控制器统一管理全网路由，为不同优先级数据分配专用传输通道（如调度指令用高优先级通道，时延控制在 30ms 内；统计数据用低优先级通道），避免数据拥堵。云平台实现多源数据存储与分析，支持调度人员实时查看新能源发电状态、电网运行参数，生成优化调度方案。^[4]

（二）动态适配机制：提升网络资源利用效率

引入 SDN 与网络切片技术，实现传输带宽与路由的动态适配，具体包括：

1. 带宽动态调整

SDN 控制器实时监测各链路数据流量，当新能源场站数据流量超过阈值（如链路利用率达 80%）时，自动扩容带宽（如从 100Mbps 提升至 1Gbps）；当流量下降时，缩减带宽，避免资源浪费。例如，光伏场站在日出日落时段数据流量骤增，SDN 控制器可在 10s 内完成带宽调整，保障数据传输流畅。

2. 路由动态优化

基于 Dijkstra 算法与实时链路状态（时延、丢包率），SDN 控制器为数据选择最优传输路径。当某条链路出现故障（如光纤断裂）时，控制器在 500ms 内切换至冗余链路，确保数据传输不中断。例如，新能源场站至区域调度中心的主链路故障时，自动切换至备用 5G 专网链路，时延仍可控制在 50ms 以内。

3. 网络切片隔离

为不同类型数据创建独立网络切片（如调度指令切片、发电数据切片、运维数据切片），切片间资源隔离，避免某类数据流量激增影响其他切片传输质量。例如，调度指令切片分配专用带宽与低时延路由，确保指令传输不受发电数据流量波动影响。

（三）安全防护机制：保障数据交互全流程安全

构建“终端防护-传输加密-平台安全-审计追溯”的全流程安全防护体系：

1. 终端安全防护

在新能源场站终端设备部署轻量级防火墙与入侵检测系统（IDS），禁止非法终端接入；采用设备身份认证（如基于 USB-Key 的双向认证），确保只有授权设备可接入通信网络；定期更新终端设备固件，修复安全漏洞。

2. 传输加密防护

采用国密算法（SM4）对传输数据进行端到端加密，密钥通过区块链技术分布式存储，避免密钥泄露；在数

据帧中加入验证码(如CRC32),接收端校验数据完整性,发现篡改立即丢弃并告警。例如,调度指令从核心层传输至新能源场站时,经SM4加密与CRC32校验,确保指令不被篡改与泄露。

3. 平台安全防护

在核心调度层部署下一代防火墙(NGFW)与态势感知系统,实时监测网络攻击行为(如DDoS攻击、SQL注入);采用虚拟化技术隔离云平台业务,避免单一业务故障影响整体系统;定期开展安全漏洞扫描与渗透测试,提升平台抗攻击能力。

4. 审计追溯机制

基于区块链技术记录数据交互全流程(如数据发送方、接收方、传输时间、数据内容哈希值),区块链不可篡改特性确保审计数据真实可靠。当发生数据安全事件时,可通过区块链追溯事件源头,定位责任主体。

三、关键技术实现与应用验证

(一) 关键技术实现

1. SDN与边缘计算融合

在边缘汇聚层部署SDN边缘控制器,与核心层SDN控制器协同工作,实现“边缘本地处理+核心全局调度”。边缘控制器实时采集链路状态数据,上传至核心控制器,核心控制器根据全网状态生成路由与带宽分配策略,下发至边缘控制器执行。例如,某风电基地边缘控制器监测到局部链路拥堵,立即向核心控制器反馈,核心控制器调整路由,将数据分流至备用链路,降低传输时延。

2. 多协议转换与数据标准化

在边缘节点部署协议转换网关,支持IEC 61850、Modbus、MQTT等协议转换,将不同格式数据统一转换为IEC 61970标准格式,实现多源数据标准化。网关内置数据清洗模块,采用均值滤波法剔除异常数据,提升数据质量。例如,某光伏场站采用Modbus协议,经网关转换为IEC 61970格式后,传输至核心调度层,无需调度中心额外部署转换设备。

3. 区块链安全认证

搭建联盟链(如基于Hyperledger Fabric),电网公司、新能源场站、储能运营商作为节点加入联盟链,实现设备身份认证与密钥管理。设备接入网络时,需向联盟链提交认证申请,经多节点验证通过后方可接入;密钥通过联盟链分布式存储,避免单点故障导致密钥丢失。

(二) 应用验证

以某省级新能源并网调度系统为例,应用本文构建的数据交互机制,验证其性能:

1. 性能指标验证

在该系统中,新能源场站(风电、光伏共50座)与区域调度中心间采用“分层传输+动态适配”机制,数据传输时延平均为38ms,较传统机制(120ms)降低68%;数据丢包率为0.05%,误码率为 5×10^{-10} ,满足可靠性需求;带宽利用率从传统机制的60%提升至85%,资源利用效率显著提升。

2. 安全性能验证

通过模拟网络攻击(如DDoS攻击、数据篡改),系统安全防护机制可在10s内检测并阻断攻击,未发生数据泄露或篡改;区块链审计追溯系统可完整记录数据交互过程,攻击事件源头定位准确率达100%,验证了安全防护机制的有效性。

3. 调度成效验证

应用该机制后,区域调度中心对新能源功率波动的响应时间从传统的200ms缩短至80ms,电网频率偏差控制在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 以内,较传统调度精度提升50%;新能源消纳率从92%提升至98%,减少弃风弃光量约1.2亿kWh/年,经济效益与环保效益显著。

四、结论与展望

本文构建的电力信息通信网络数据交互机制,通过分层传输、动态适配与安全防护的协同作用,有效解决了新能源并网调度中数据传输时延高、可靠性低、安全性不足的问题,经实际应用验证,可满足新能源高效并网调度的通信需求。未来,随着新能源渗透率进一步提升与新型电力系统建设推进,数据交互机制需向以下方向优化:一是引入AI技术,实现网络流量与攻击行为的智能预测,提前调整传输策略与安全防护措施;二是融合卫星通信技术,为偏远地区新能源场站提供冗余通信链路,提升网络覆盖范围;三是推动跨行业数据交互标准统一,实现与电力市场、综合能源服务平台的数据协同,支撑源网荷储全链条协同调度。

参考文献

- [1] 包江龙. 新型电力系统下高比例新能源基地并网规划研究[D]. 南京信息工程大学, 2025.
- [2] 牛宏亮. 碳中和目标下的新能源并网与供电系统协调优化研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(09): 9-12.
- [3] 刘少君. 基于机器学习的新能源并网下配电网电压控制策略优化研究[J]. 电气技术与经济, 2025, (04): 34-36+47.
- [4] 杨洋, 李灵菊. 新能源并网对电力系统稳定性的综合影响及优化应对策略[J]. 电气技术与经济, 2025, (04): 139-142.