

5G 专网在风电集群调度通信中的应用

汤 义

国投云南新能源有限公司 云南 昆明 650000

【摘 要】：风电集群调度通信的传统方案面临着高时延、低可靠性等难题，本文聚焦 5G 专网，探究其在该领域的应用价值。风电集群调度通信现状与升级需求被纳入分析，NB/T31069-2015 标准下的通信指标要求随之明确。5G 专网依托边缘计算、网络切片等技术，低时延与高可靠特性得以充分释放。结合广宁、桂山等风场实践，从状态监测、协同调度、智能运维三方面，落地路径得到详细阐述。

【关键词】：5G 专网；风电集群；调度通信

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.083

引言

风电是新能源的重要支柱，装机规模稳步扩张，集群化运营已成常态。调度通信是风电集群高效运转的核心保障。NB/T31069-2015 标准明确了数据传输时延与可靠性要求，而深山、近海风场环境复杂，传统工业以太网与 4G 公网难以适配，不仅造成数据孤岛问题突出，还导致故障响应迟缓。5G 专网依托定制化架构，为破解这些难题开辟新路径。本文聚焦其在风电集群调度中的应用，探寻技术落地与价值实现的有效途径。

1 风电集群调度通信的现状与升级需求

风电集群调度通信的核心是保障风机运行参数实时回传与调度指令精准下发，NB/T31069-2015 标准明确要求关键数据传输时延不超过 200ms，控制指令总时延需低于 500ms。当前 60%以上风场分布在深山、近海等偏远区域，调度通信却面临多重现实阻碍。传统方案中，工业以太网铺设成本达每公里万元以上，且易受山洪、台风破坏；4G 公网在集群场景下难以兼顾高频振动数据与高清视频传输，某 150MW 风场曾因协议不兼容导致数据延迟达 220ms，故障诊断耗时超 18 分钟。不同厂商设备的私有协议残留更造成数据孤岛，跨系统集成成本居高不下。随着 2024 年风电新增装机突破 60GW，集群规模从数十台向数百台跃升，风机变桨控制对 20ms 以内时延的需求愈发迫切，而传统通信的 1 秒链路切换时间与 20%以上数据中断率，已无法满足新能源并网稳定性要求。这种供需矛盾在海上风电盐雾腐蚀环境下更为突出，普通设备平均无故障时间不足 3 个月，直接制约调度效率与运维安全，通信系统升级已成为风电集群发展的刚需^[1]。

2 5G 专网支撑风电集群调度的核心技术优势

5G 专网以定制化网络架构，破解风电集群调度通信核心难题。超低时延得益于边缘计算与 UPF 下沉部署，核心网功能就近落地风场汇聚点，风机变桨控制等关键指令传输时延压至 15ms 内，较 NB/T31069-2015 标准要求缩减 90%以上。数百台风机同步传输高频振动数据，调度响应依旧即时。高可靠性依

靠网络切片与双活冗余设计达成，为调度通信开辟专属逻辑切片，与其他业务物理隔离。主备双链路同步部署，深山风场暴雨致单链路中断时，切换耗时不足 20ms，数据中断率低于 0.001%，远超传统通信 20%的抗风险水平。广连接能力适配集群规模扩张，每平方公里支持百万级设备接入，可同时承载风机控制器、叶片监测传感器、巡检无人机等多类型终端数据。协议转换网关兼容不同厂商设备接口，打破传统私有协议造成的数据孤岛，某 200MW 风场应用后，跨系统数据集成效率提升 70%，单风场接入设备数量较 4G 时期增加 3 倍仍维持稳定通信。

3 5G 专网在风电集群调度中的应用实践与价值

3.1 集群运行状态的实时监测与反馈

集群运行状态的实时监测与反馈，需搭建“感知-传输-分析-响应”全链路闭环体系。依托 5G 专网实现监测数据无死角采集与即时处理，正是这一体系的核心支撑^[2]。见图 1

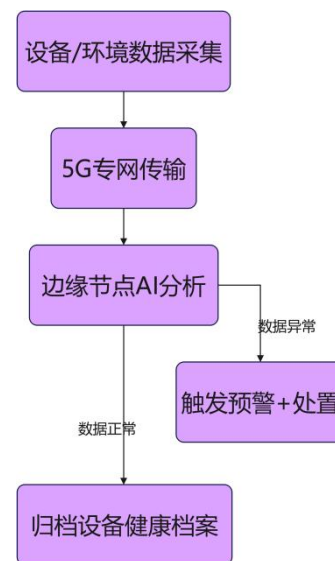


图 1 5G 专网风电集群运行状态实时监测流程图

感知层部署需贴合风机不同部件特性，定制差异化监测方案。叶片易受气流冲击，属关键部位，可组合部署光纤光栅传

传感器与高清摄像头。光纤传感器沿叶片长度方向嵌入式安装，每米设一个监测点，实时捕捉形变与应力变化；摄像头固定于塔筒中部平台，搭配红外热成像功能，让叶片表面裂纹与温度异常实现可视化监测。齿轮箱、发电机等转动部件，其轴承与壳体关键位置需安装振动及温度传感器。传感器采用工业级防护设计，适配机舱高温、高振动环境，100Hz的采样频率足以捕捉细微运行异常。环境监测需全面覆盖，风场制高点部署风速风向、温湿度及气压传感器；海上风场则额外增设盐雾浓度传感器，完整采集影响风机运行的各类环境参数。

数据传输需充分激活 5G 专网的频段优势与架构特性。陆上风场优先采用 700MHz 黄金频段组网，该频段穿透力突出，能有效覆盖深山峡谷等复杂地形。广宁广北风场的实践中，中国广电借助 700MHz 频段实现风场全范围无死角覆盖，网络上行均值速率达 22.09Mbps，足以支撑多类型传感器数据并发传输。海上风场则推行“海底光缆+PAD RRU 设备”方案，珠海桂山海上风电场便是典型，每座风机塔筒内部均部署 5G 基站，通过海底光缆衔接岸基核心网，彻底解决远海信号传输困境。为保障实时性，边缘计算节点被部署在风场汇聚站，传感器采集的数据经 5G 终端接入后，直接传送至边缘节点预处理。筛选出转速、振动频率、温度等关键指标后，仅将异常数据与统计数据上传区域调度中心，大幅降低传输冗余。

分析与响应机制的落地，依赖软硬件协同发力。边缘节点部署轻量化 AI 算法模型，实时解析振动频谱与温度变化曲线，监测数据一旦超出预设阈值，分级响应便即时启动。一级响应聚焦设备微调，系统自动生成变桨角度调整、转速优化等控制指令，经 5G 专网超低时延链路下发至风机控制器，全过程压缩在 20ms 以内。二级响应针对故障预警，异常数据、传感器位置及现场视频画面会立即推送至调度中心与运维人员手机终端，故障类型也随之自动标记——齿轮箱异常振动或指向轴承磨损，叶片温度异常则可能是结冰或裂纹的信号。图布盛运维中心的实践给出了有力证明，这套实时监测与反馈机制将风机故障识别准确率提至 90% 以上，成功阻拦小故障向大事故的演变。监测数据的历史追溯体系同步建立，每台风机的运行数据按小时归档，形成完整设备健康档案，为后续运维优化与设备升级筑牢数据根基。

3.2 多风电场协同调度的高效实现

多风电场协同调度的核心是打破单一场站管理壁垒，5G 专网支撑构建“统一网络、统一平台、统一策略”的调度体系，实现区域风电资源最优配置。网络层面需搭建专属调度切片，在 5G 核心网中为协同调度业务开辟独立逻辑通道。切片内采用硬隔离技术，调度指令与其他业务数据互不干扰。参数按调度场景定制，风机启停、功率调节等控制类业务，配置高可靠低时延参数保障指令稳定；负荷预测、风光互补协调等数据类业务，配置大带宽参数满足海量数据传输。中国广电在广宁风

场部署的 5G 专网，全量核心网下沉本地，为协同调度筑牢安全可靠的网络基础，该模式已成为风电行业 5G 建设的可复制范例^[3]。

调度平台搭建采用“云边协同”架构，省级层面打造区域调度云平台，归集管辖范围内所有风场的运行数据——实时出力、设备状态、负荷需求等均在其中。各风场部署边缘调度节点，承担本地实时调度指令的执行任务，同时将关键数据上传至云平台。平台功能模块紧扣协同需求设置，资源监控模块实时呈现各风场有功功率、无功功率输出情况，以及电网接入点的电压、频率参数。负荷预测模块融合气象数据与历史负荷曲线，借助机器学习算法推算未来 24 小时区域用电负荷。优化调度模块立足“源网荷储”协同理念，统筹各风场风能资源、设备健康状况及电网约束条件，输出最优功率分配方案。分散式风电集中区域，平台还需接入储能电站与配电网数据，达成风电与储能的联动调度。风电出力过剩时，指令储能系统充电；出力不足时，调度储能系统放电补能，有效平抑功率波动。

协同调度策略落地需按场景制定具体流程。日常运行时，每日清晨区域云平台发布当日调度计划，各风场边缘节点按计划调整风机运行参数，实时反馈执行情况。某风场设备故障致出力下降，平台即刻启动协同补能机制，核算周边风场可调容量，向出力富余风场下发功率提升指令，同步调度就近储能电站释能，保障区域总出力稳定。电网调峰场景下，电网发出降负荷指令后，平台采取“阶梯式调节”，优先下调设备健康度低或风能资源差的风场出力，减少频繁调节对风机的损耗。“三北”地区弃风问题可通过协同调度破解，实现风电跨省区消纳，西北风场富余电能经特高压通道输送至中东部负荷中心，5G 专网保障跨区域调度指令实时同步，执行状态反馈精准。国家能源集团实践该模式，有效提升风电利用效率，降低弃风损失^[4]。

协同调度的高效落地，离不开跨主体沟通机制的支撑。调度平台为电网公司、风场运营方、储能企业配置专属操作端口，各方借此实时共享数据与调度需求。电网出现频率波动时，电网公司可通过平台直接下发紧急调度指令；风场运营方依据设备维护计划，向平台提交停机申请后，平台会统筹调整其他风场出力完成补偿。这种透明化、协同化的调度模式，打破了以往各主体间的信息壁垒，推动区域能源系统实现整体优化。

3.3 运维管理智能化的提质增效路径

运维管理智能化，核心是依托 5G 专网将传统“人工巡检+事后维修”升级为“无人巡检+预测性维护”。技术手段加持下，运维成本降低，作业安全也随之提升。无人巡检体系搭建聚焦“无人机+机器人+固定监测点”立体网络，陆上风场优先用多旋翼无人机开展风机外观与集电线路巡检。机身配备高清云台相机与红外热成像仪，搭载 5G 工业级 CPE，巡检数据得

以实时回传。中国大唐图布盛运维中心的“双管立式台架”设计值得借鉴,风场关键位置设无人机起降平台,实现自动起降、充电与数据交接,支持多机协同。这样的配置下,每日可完成10基杆塔或5支叶片的巡检任务,巡检效率显著提升。

风机内部巡检由专用巡检机器人承担,机身搭载激光雷达、声纹传感器与高清摄像头。沿塔筒内部轨道自主移动,轻松完成弯道爬坡与多维度监测,即便机舱剧烈晃动仍能稳定运行,精准采集发电机、齿轮箱等设备的温度、振动及声音数据。通过5G专网与边缘节点建立连接,实时接收巡检路径指令,同步将声纹与振动数据上传至AI分析平台。平台对比设备正常运行时的声纹、振动模型,自动识别齿轮磨损、轴承松动等潜在故障。珠海桂山海上风电场的应用给出了答案,这种无人巡检模式彻底取代了传统人工攀爬塔筒巡检,单次巡检时间从4小时压缩至1小时,高空作业风险也随之消除。

预测性维护体系落地,依赖数据积累与模型优化支撑。先构建设备健康数据库,纳入每台风机的设计参数、出厂数据、运行历史及维修记录,结合5G专网传输的实时监测数据,形成完整设备健康档案。基于数据库搭建故障预测模型,针对不同故障类型训练专属算法:齿轮箱故障用振动频谱分析算法,发电机故障则采用温度趋势预测算法。模型定期分析设备运行数据,生成健康度评分,低于预设阈值便自动触发维护预警,明确故障位置、类型及建议维护时间。中国电科院《5G在风电监测中的应用研究》证实,该模式可将风机非计划停机时间缩短40%以上。

运维流程优化需打通“预警-派单-维修-验收”全链路数字化通道。预测性维护系统发出预警后,区域运维管理平台即刻

生成维修工单,故障详情、所需备件、推荐维修方案及历史维修记录一应俱全,经5G专网推送至对应运维人员的移动终端。遭遇复杂故障可启动远程专家会诊,运维人员通过手机终端实时上传现场视频与设备数据,专家依托后台高清视频直接指导现场作业。广东移动在桂山风场的应用中,这种模式将故障处理时间压缩50%。维修结束后,运维人员通过终端上传维修记录与设备测试数据,平台自动验收维修效果,同步更新设备健康档案,完整闭环就此形成^[5]。

依托5G专网构建人员管理系统,可实现运维作业安全管控。风场入口部署人脸识别与定位设备,外来作业人员需提前在系统上传资质证明,审核通过方可进入作业区域。系统通过5G定位实时追踪人员位置,进入危险区域即发出声光报警。中国广电在广宁风场部署的外来人员作业管理功能,有效规范作业流程,降低安全风险。运维数据经统计分析,能优化备件库存管理,依据不同故障发生频率合理调配,减少积压与运维成本。中国广电广宁风场项目借这些智能化运维手段,每月可减少一到两次长停故障,一年为风电场带来近50万间接效益,数据来源为DVBCN行业报道。

4 结语

5G专网凭低时延、高可靠、广连接的技术优势,精准契合风电集群调度通信的升级需求。集群状态实时监测、多风场协同调度、运维智能化转型,这些场景中其应用已在多个风场实践里彰显显著价值,有效降低故障风险与运维成本。技术持续优化推动下,5G专网与风电调度的融合将更深入,为风电行业高效安全发展注入动力,助力新能源并网稳定性进一步提升。

参考文献:

- [1] 陈聪.超高带宽5G电力无线专网通信流量调度算法[J].自动化与仪器仪表,2024(9):73-77.
- [2] 杨锐.铁路5G专网集群通信技术方案研究[J].铁道通信信号,2021,57(6):21-26.
- [3] 李佳,宋得龙.基于集群专网的宽窄带融合技术研究[J].信息通信技术与政策,2025,51(6):73-79.
- [4] 林基锋.铁路5G专网集群通信技术方案设计[J].无线互联科技,2022,19(16):7-9.
- [5] 李辉,郭强亮,王开锋.铁路5G专网宽带集群通信MC设备组网技术研究[J].铁道标准设计,2023,67(11):165-170.