

# Research on the Application of Intelligent Monitoring Technology for Wind Power Operation and Maintenance

Qinyao Hu

Datang Liangshan New Energy Co., Ltd., Liangshan, Sichuan, 615000, China

## Abstract

With the large-scale and remote development of the wind power industry, the traditional operation and maintenance mode has many drawbacks, such as low, high safety risks, and rising costs. Intelligent monitoring technology has become an important reliance to solve industry problems. This article takes the application of intelligent monitoring technology in wind power operation and maintenance as the research object, sorts out the development status of intelligent monitoring technology in wind power operation and maintenance, analyzes the application significance of intelligent monitoring technology in wind power operation and maintenance, and mainly studies the core strategy for the implementation of intelligent monitoring technology in wind power operation and maintenance. It is hoped that the operation cost can be reduced and the equipment safety be guaranteed. The research results of this article can provide reference for the intelligent operation and maintenance transformation of the wind power industry and help the wind power industry to achieve sustainable development in the of high quality and green.

## Keywords

wind power operation and maintenance; intelligent monitoring; technology application

## 风电运维智能监测技术应用研究

胡勤谣

大唐凉山新能源有限公司, 中国·四川凉山 615000

## 摘要

随着风电产业规模化、偏远化的发展,传统的运维模式存在着效率低、安全风险高、成本上升等诸多弊端,智能监测技术成了破解行业难题的重要依靠。本文以风电运维智能监测技术应用为研究对象,对风电运维智能监测技术的发展现状进行梳理,分析风电运维智能监测技术的应用意义,主要研究风电运维智能监测技术落地的核心策略,希望削减运营成本,保证设备安全。本文研究成果可给风电行业智能化运维转型提供借鉴,助力风电产业实现高质量、绿色化方向可持续发展。

## 关键词

风电运维; 智能监测; 技术应用

## 1 引言

在“双碳”目标的指引下,我国风电产业飞速发展,装机容量不断攀升,风电场也开始向西北“沙戈荒”等偏远地区发展。但是传统的风电运维依靠人工巡检,存在人员依赖性强、招工留人难、故障响应滞后等问题,严重制约了产业的发展质量。政策层面有推进“人工智能”能源高质量发展的实施意见等文件,对能源装备数字化智能化升级作出明确规定,给风电运维智能监测技术的应用提供政策保障。在此背景下,对风电运维智能监测技术的应用进行深入研究,探寻其在实际场景中的落地方式,对于冲破传统运维瓶颈,改进风电场运作效能,助力新型能源体系创建有着十分重要的现实意义,也成了当下风电产业发展的重要课题。

【作者简介】胡勤谣(1996-),男,中国湖南临湘人,本科,助理工程师,从事风力发电研究。

## 2 风电运维智能监测技术应用意义

### 2.1 提升运维效率, 破解人力依赖困境

在传统的风电运维模式之下,一个10万千瓦装机量的风电场要配备8到9名检修人员,偏远地区的风电场会存在招人难、留人难、培训难的问题。智能监测技术利用无人机巡检、机器人作业、远程集控三者互相配合的方式,极大地提高了运维效率。三峡能源宁夏同利第三风电场使用智能巡检无人机,15分钟就可以完成上百个点位的巡检,以往两周的巡检任务现在只需要一周的时间就可以完成。智能系统可以自动采集数据、分析、预警故障,把一线工作人员从繁琐的人工检修中解脱出来,变成精细化管理,极大降低人工依赖,解决偏远地区风电场运维人力短缺的问题<sup>[1]</sup>。

### 2.2 降低运营成本, 提升产业经济效益

智能监测技术依靠预测性维护、资源优化配置等方式大幅度降低风电的运行成本。传统的运维是被动响应式的检

修, 紧急抢修费用高、设备非计划停机损失大。智能监测系统依靠多源数据与算法模型, 可在设备发生故障之前 72 小时发出预警, 从而把被动维修转变为主动预防, 可以减少 30% 以上紧急抢修的费用。另外 L3 级智能运维的 5 个风电场共可节约人工成本 20 人。智能系统优化的运维路径和备件调配策略提高了资源利用率, 使风电产业由规模扩张向质量提升转变, 提高产业经济效能<sup>[2]</sup>。

### 2.3 保障设备安全, 强化生产运行可靠性

风电机组结构复杂, 核心部件齿轮箱、发电机等长期处在高负荷下运行, 故障风险高, 人工巡检难以准确发现早期隐患。智能监测技术依靠多维度感知以及精准分析, 对设备安全状态实施全过程管控。部署在机组内的振动、温度传感器可采集数据的精度为  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  的温度传感器可以及时发现部件过热, 采用频谱分析振动传感器可以发现齿形不正导致的超过  $0.2\text{mm/s}$  的异常振动并找出齿轮箱、轴承等部分的故障。智能系统设置了三级报警阈值, 当风速大于  $25\text{m/s}$  等危险工况时就会触发停机动作, 防止设备损坏, 大大提高风电场生产运行的可靠性、安全性<sup>[3]</sup>。

### 2.4 助力绿色转型, 支撑新型能源体系构建

风电属于清洁能源的重要组成, 风电的高效稳定运行是推进能源绿色低碳转型、构建新型能源体系的重要环节。智能监测技术可以提高风电场发电效率、减少弃风率来提高风电能源供应量。智能监控可以减少弃风率 15% 到 20%, 增加年发电量 5%, 根据 8000 台装机容量来计算的话, 规模化的应用可以支撑年新增发电量约 8 亿度, 减排二氧化碳 25 万吨。智能运维模式促使风电产业朝着数字化、智能化方向升级, 产生的标准化技术范式可以推广到整个行业, 改善清洁能源产业的总体发展水平, 给“双碳”目标的达成赋予强有力的技术支撑, 助力新型能源体系高效搭建。

## 3 风电运维智能监测技术应用现状

### 3.1 技术架构逐步成熟, “云边端”协同模式落地推广

风电运维智能监测技术形成了比较成熟的一套云边端三级架构体系, 并在许多风电场中已经得到应用。端层利用无人机、机器狗以及各类传感器等设备来构成一个多模态感知网络, 完成运行参数、环境数据等各方面信息的采集; 边层依靠风电场边缘计算节点, 来完成数据的实时处理与快速响应, 减少云端传输压力; 云层利用总部数据中心将全国各地风电场的数据汇聚起来, 利用先进的算法进行全局决策与经验积累。三峡能源宁夏同利第三风电场采用该架构完成全智能化试运行, 大唐阿拉善图布盛运维中心的“5G+ 智慧化巡检项目”依赖此结构达到全方位无人化巡查的目的, 表明该架构可行可靠, 经验在智能场站规范化建设推广白皮书中被列入行业内推广使用<sup>[4]</sup>。

### 3.2 核心技术多点突破, 智能算法应用日益深化

风电运维智能监测技术在数据采集、分析诊断等关键

技术领域取得了重要突破。数据采集上形成结构化、非结构化数据并存的采集方式, SCADA 系统以  $5\text{Hz}$  采样率采集 328 个主要参数, 无人机携带 2000 万像素光学镜头和红外热像仪, 对叶片进行毫米级三维建模及缺陷识别。数据处理部分用 Flink 流式数据清洗框架解决了数据乱序问题, 保证了时序的完整性, 分析算法部分采用 LSTM 与注意力机制相结合的方式对设备健康状况做出精确的评价, 用 YOLOv7 优化算法对叶片上的 17 种缺陷做了准确的识别, 定位精度  $\pm 3\text{cm}$ , 故障识别准确率大于 90%。这些技术突破是智能监测的精准性、高效性的关键支持。

### 3.3 政策驱动力度加大, 行业标准化进程提速

国家出台多项政策来推进风电运维智能化升级, 给技术的应用创造良好的政策环境。2027 年能源领域科技创新模式将被形成, 根据《关于推进能源装备高质量发展指导意见》的要求能源装备要实现数字化智能化的发展。在政策驱动下, 行业标准化的进程被加速推进, 2025 年 7 月三峡能源发布了第一部智能场站规范化建设推广白皮书, 对智能场站建设转型需求、架构方案和实施路径做了系统的阐述, 给行业指明了一条清晰的发展路径。各地的能源企业按照国家有关政策的要求, 在宁夏、甘肃、青海等新能源基地开展无人化场站的推广和智能监测技术的应用。

### 3.4 应用场景不断拓展, 仍存差异化适配难题

智能监测技术的应用场景已经从陆上风电场扩展到了海上风电场, 从单一设备监测扩展到风电场全生命周期管理。陆上场景中无人机、机器人协同巡检实现风机、集电线路等全区域覆盖, 海上场景中结合船舶调度、海况预测数据的智能方案正在解决海上风场运维成本高、排程效率低的问题。技术应用还存在差异化的适配难题, 不同的风电场设备型号、地理环境、管理侧重点存在差异, 目前还没有统一的标准模板。设备可靠性较高的风电场与偏远地区的风电场的智能化需求不同, 盲目追求无人化会造成资源浪费, 根据场景差异进行定制化部署是技术规模化推广的主要难题<sup>[5]</sup>。

## 4 风电运维智能监测技术应用策略

### 4.1 构建定制化技术架构, 适配多元应用场景

根据不同的风电场场景来制定出“云边端”架构的部署方案。对新建的规模化风电场采用全流程智能化架构, 用 5G 专网来保证重要的控制信号有低延时的传输, 用无人机巢和巡检机器人群组实现全区域的无人化巡检, 建立智能调度平台来达成运维资源的动态优化配置, 对老旧风电场采取“渐进式改造”的策略, 先给齿轮箱、发电机等核心部件加装高精度传感器和工业级通信模块, 接入边缘计算节点, 对关键参数进行实时监测并发出异常预警, 然后根据设备的老化程度逐步推进到全系统的智能化升级。根据风电场所在位置来优化通信方案, 偏远地区使用 5G、LoRa、卫星通信三路备用链路, 极端天气时数据传输不会受影响, 近城区风电场可以利用现有的光纤网络来创建有线通信体系, 再借助

WiFi6 技术来覆盖场内局部区域,大大减少建设与运营成本。

#### 4.2 强化数据治理能力, 夯实智能分析基础

数据是智能监测技术的核心动力,应该建设一个全流程、标准化的数据治理体系来全面提高数据质量。数据采集阶段统一传感器接口标准、数据格式,强制使用 Modbus、OPC UA 等主流工业通信协议,实现 SCADA 系统运行数据、无人机影像数据、气象环境数据等多源数据的时空精准对齐,以 Unix 时间戳、GPS 坐标为统一坐标系,保证数据可追溯、可关联。数据清洗环节使用 Flink 流式清洗框架,用正则表达式转换、孤立森林异常检测算法识别、业务规则校验三级处理链来精准地去除冗余数据、离群值、噪声数据,保证数据的一致性、准确性,数据清洗通过率目标提高到 99% 以上。数据存储上使用“边缘存储+云端备份”分层存储模式,边缘节点通过工业级固态硬盘存储 72 小时实时数据满足本地快速调用需求,云端采用分布式文件存储架构归档历史数据,按装机容量 5GB/MW 配置存储资源并定期进行数据备份和灾备演练,保证数据的安全存储和全生命周期可追溯。

#### 4.3 推进算法模型迭代, 提升智能诊断效能

创建数据、模型、应用、优化闭环迭代体系,不断地改进算法模型的诊断准确度、响应速度以及场景适配性。根据不同的设备故障类型建立专门的、高精度的诊断模型,用 LSTM 网络加上小波变换来处理振动、温度等时序数据,准确预测齿轮箱油液劣化和轴承磨损故障;用 YOLOv7 优化算法结合注意力机制,提高叶片微裂纹、雷击损伤等 17 种缺陷的识别能力,同时优化模型推理速度以满足实时巡检的需求;使用迁移学习技术,解决新建风电场故障样本少造成模型泛化能力差的问题。建设集约化算法训练平台,把各个风电场历史故障样本、运维记录汇总成覆盖 9 类核心部件数万级样本量的故障特征库。利用海量数据训练和超参数优化来调整模型参数,使得早期故障识别准确率能达到 95% 以上。创建“一地创新、全网共享”的经验传承机制,把优秀的运维团队的故障诊断经验转化成算法规则和特征阈值,存入云端算法库并依靠在线更新迅速推广到全行业的风电场,实现技术经验的规模化复用。

#### 4.4 完善标准规范体系, 强化行业协同推广

以目前行业的白皮书为基础,联合行业协会、龙头企

业来完善风电运维智能监测技术的标准规范体系,形成覆盖技术研发、设备选型、部署实施、运维管理全链条的标准框架。确定风电机组各功率等级传感器选型参数、数据传输协议接口、算法性能评价指标等技术标准,统一故障分级标准、预警阈值设定规范、运维流程操作指南等运维规范,给技术应用提供统一权威的执行依据。加强企业、科研机构与高校的深度协同,建立产学研用一体化创新平台,联合攻克极端低温、高温环境下传感器可靠性,海上风场盐雾腐蚀监测,复杂地形数据传输稳定性等行业的共性技术难题。推动创建行业级非涉密运维数据共享平台,制订数据共享安全规范和利益分配机制,促使发电企业、设备制造商开放非涉密运维数据和故障案例,给算法模型优化和技术革新赋予充足的资料支撑。采用试点验证、区域推广、全国普及的阶梯推进方式,在宁夏、甘肃、青海等新能源基地进行智能监测技术的试点,重点对不同场景下智能监测技术的应用效果进行验证,总结出可以复制、可以推广的应用经验和实施模板,加快智能监测技术在全行业的规模化、规范化推广。

## 5 结语

综上所述,风电运维智能监测技术是促使风电产业迈向数字、智能化的主要动力,风电运维智能监测技术的应用对提高运维效率、降低运维成本、保证设备安全具有非常重大的意义。目前该技术已经形成云端协同架构,核心技术取得多项突破,在政策驱动下行业标准化的进程不断加快,但是仍存在场景差异化适配等难题。采用定制化的架构部署、加强数据治理、推进算法迭代、完善标准体系等办法可以解决技术应用的问题,加快其大规模推广。

## 参考文献

- [1] 牛晓栋. 智能化场站照明系统在风电运维管理中的应用实践研究[J].中国照明电器,2025,(12):133-135.
- [2] 赵玉龙. 基于区块链技术的风电运维信息管理方法研究[J].电气技术与经济,2025,(12):264-266.
- [3] 陈旭东. 智能运维破风电环保难题赋能国产风电品牌竞争力[J].中国品牌与防伪,2025,(17):217-219.
- [4] 陈玉,胡升枝. 智能巡检机器人在变电运维工作中的应用研究[J].科技与创新,2025,(23):193-195.
- [5] 齐杰. 智能监控系统在新能源风电机组安全运维中的应用分析[J].电力设备管理,2025,(22):176-178.