

智能运维技术在风电场发电效率中的应用

张凯旋

国家能源集团科技环保有限公司赤峰风电公司 内蒙古 赤峰 024000

【摘要】：当前全球能源革命持续推进，我国能源结构转型进程加快，风电作为清洁能源的核心力量，其发电效率提升成为行业高质量发展的关键，而传统运维模式的滞后问题，严重制约风电场发电效能的释放。本文结合风电场实际运行痛点，提出依托智能运维技术优化设备管理、完善监测预警、强化数据应用的相关策略，通过技术与运维工作的深度融合，破解行业发展瓶颈，实现风电场降本增效，推动风电产业朝着规模化、精细化方向稳步发展，助力国家绿色能源战略落地实施。

【关键词】：智能运维；风电场；发电效率

DOI:10.12417/3083-5526.26.02.035

引言

在“双碳”目标引领与能源结构转型的大背景下，风电产业迎来规模化发展机遇，但其发展过程中仍面临诸多困境，多数风电场选址偏远、环境恶劣，传统运维模式依赖人工操作，存在响应滞后、管控精准度低等弊端，直接影响发电效率提升。智能运维技术依托前沿技术打破传统运维局限，其在风电场的应用，不仅能破解设备运维难题、减少故障损耗，更能推动风电产业从规模扩张向质量提升转型，对落实国家绿色能源发展战略、提升能源利用效率、推动清洁能源产业升级具有重要现实意义。

1 风电场发电效率核心制约因素

1.1 设备性能衰减，核心部件损耗加剧发电损耗

设备性能衰减是制约风电场发电效率的关键因素之一，风机运行过程中，核心部件长期处于高负荷运转状态，受环境侵蚀以及机械磨损的影响，其性能会逐步下降^[1]。叶片、齿轮箱、发电机等核心部件的损耗会直接影响风机的能量转换效率，导致风能利用率降低，并且会增加设备运行过程中的能量损耗，进而拉低整个风电场的发电效率。

1.2 运维模式滞后，人工管控难以适配规模化发展

运维模式滞后对风电场发电效率的制约作用不容忽视，当前不少风电场仍沿用传统运维模式，过度依赖人工管控，这种模式已难以适配风电场规模化、集约化的发展趋势。人工管控存在响应速度慢、管控精度低的弊端，运维人员难以全面覆盖所有风机设备，并且无法实时掌握设备运行的细微变化，容易出现管控盲区，同时人工管控的效率较低，难以满足大规模风电场高效运维的实际需求。

1.3 环境因素干扰，极端天气与地形影响发电稳定性

环境因素的干扰是影响风电场发电效率的重要外部制约条件，风电场大多选址于偏远区域，这些区域的地形复杂且气候条件多变，极端天气以及复杂地形都会直接影响风机发电的稳定性。强风、暴雨、暴雪、低温等极端天气会导致风机无法正常运行；复杂地形会导致风速分布不均，使得风机接收的风

能总量减少，并且会增加风机运行的负荷，间接降低发电效率，导致风电场整体发电水平波动较大。

2 风电场运维及发电效率现存问题

2.1 设备监测不精准，故障隐患难以及时发现

设备监测不精准是风电场运维及发电效率提升过程中面临的突出问题，当前部分风电场所采用的监测方式较为传统，监测范围有限且监测精度不足，无法全面捕捉风机各部件的运行状态细节。监测数据的偏差以及滞后性，会导致风机运行过程中产生的故障隐患无法被及时捕捉，这些隐患会在设备长期运行中逐步扩大，进而影响设备的正常运转，间接导致发电效率出现波动，甚至会引发更为严重的设备故障，给风电场造成不必要的发电损失，且这种隐患的隐蔽性往往会增加后续管控的难度。

2.2 运维调度不合理，人力物力资源浪费严重

运维调度不合理是当前风电场运维工作中普遍存在的问题，调度工作缺乏科学的统筹规划，往往是根据经验开展调度，未结合风电场各区域设备的运行状态、故障情况以及运维人员的工作能力进行合理分配。这种不合理的调度方式会导致部分区域运维人员过于集中，而部分偏远区域或故障高发区域却出现运维人员短缺的情况，同时物力资源的调配也缺乏针对性，部分常用运维物资堆积闲置，而急需的物资却无法及时供应，最终造成人力物力资源的严重浪费，间接影响风电场的整体运维效率以及发电效率。

2.3 故障处置不及时，非计划停机时长居高不下

故障处置不及时直接导致风电场非计划停机时长居高不下，进而严重影响发电效率^[2]。风机设备出现故障后，由于运维响应不及时、故障排查流程繁琐以及运维人员到达现场的时间较长等原因，故障无法在短时间内得到有效处置。非计划停机不仅会直接减少风电场的发电时长，还会导致设备故障进一步恶化，增加后续维修的难度以及成本，同时频繁的非计划停机还会破坏风电场发电的连续性，导致整体发电效率大幅下降，给风电场带来显著的经济损失，这种情况在偏远区域的风

电场中表现得更为突出。

2.4 数据利用不充分，运维决策缺乏科学支撑

数据利用不充分是制约风电场运维决策科学性的关键问题，风电场运行过程中会产生大量的设备运行数据、环境数据以及运维数据，这些数据涵盖了风机运行状态、故障情况以及环境影响等多个方面，具有极高的利用价值。但当前部分风电场缺乏完善的数据处理机制，无法对这些海量数据进行有效的筛选、分析以及挖掘，导致数据的价值无法得到充分发挥，运维决策只能依靠工作人员的经验判断，缺乏科学的数据支撑，进而导致决策的合理性不足，无法精准解决运维过程中的问题，间接影响风电场发电效率的提升。

2.5 技术适配性不足，老旧风电场升级难度较大

技术适配性不足给老旧风电场的升级工作带来了较大难度，从而影响发电效率的提升^[3]。部分老旧风电场建设年限较长，设备型号较为陈旧，其硬件配置以及运行系统与当前的智能运维相关技术难以适配。老旧设备的接口、运行参数与新型智能运维技术的要求存在较大差异，无法直接对接相关技术设备，且改造升级需要投入大量的资金以及人力，同时改造过程中还会影响风电场的正常发电，导致部分老旧风电场只能维持传统运维模式，无法通过技术升级提升运维效率，进而难以实现发电效率的优化提升，逐步落后于行业发展水平。

3 智能运维技术在风电场的应用要点

3.1 构建智能监测体系，实现设备状态实时感知

构建智能监测体系需立足风电场风机设备全生命周期运行需求，依托物联网技术搭建全域覆盖的监测网络，在风机叶片、齿轮箱、发电机、变流器等核心部件均部署高精度传感器，同时在风电场全域布设风速、风向、温度、湿度等环境监测设备，确保监测无死角。传感器实时采集设备运行参数以及环境数据，采集频率精准控制在每10秒1次，数据传输采用低延迟无线传输技术，避免数据丢失以及传输滞后问题，传输过程中同步完成数据加密处理，保障数据安全性。监测系统内置智能数据校验模块，能够自动识别异常数据并剔除无效信息，对采集到的原始数据进行实时解析，将设备运行状态拆解为电压、电流、振动频率、温度变化等具体指标，转化为可视化监测图表，运维人员可通过终端实时查看各设备运行细节，精准捕捉部件运行的细微波动，真正实现设备状态的实时感知与动态追踪，为后续运维工作提供精准的数据支撑。

3.2 运用 AI 故障预警，降低非计划停机概率

运用 AI 故障预警需先搭建专属的故障预警模型，模型训练依托风电场历史运行数据、故障案例数据以及设备出厂参数，筛选出不同故障类型对应的特征指标，比如齿轮箱故障对应的振动频率阈值、发电机故障对应的温度变化范围等，通过机器学习算法持续优化模型参数，提升预警精准度。预警系统

实时接收智能监测体系传输的设备运行数据，将实时数据与模型预设的正常参数范围进行对比，同时结合环境因素的影响进行动态调整，避免因环境波动导致的误预警。当监测数据超出正常范围时，系统会自动触发分级预警机制，根据故障隐患的严重程度划分预警等级，分别推送至不同层级的运维人员终端，同时标注隐患所在部件、异常数据具体数值以及可能引发的故障类型。运维人员可根据预警信息精准定位隐患位置，提前介入排查，在故障未发生或未扩大前完成处理，从源头上减少设备故障停机，切实降低非计划停机概率，保障风电场发电连续性。

3.3 优化智能调度机制，提升运维资源利用效率

优化智能调度机制需搭建一体化智能调度平台，平台整合风电场设备运行状态、故障预警信息、运维人员实时位置以及运维物资库存等多方面数据，实现各类信息的集中管理与联动共享^[4]。调度平台内置智能调度算法，能够结合设备故障紧急程度、运维人员技能特长以及运维物资分布位置，自动匹配最优运维方案，避免人力物力资源的无效分配。平台实时更新运维人员的工作进度，当出现突发故障预警时，优先调度距离故障设备最近、且具备对应维修技能的运维人员，同时同步调度所需运维物资，通过路径优化算法规划最优出行路线，缩短运维人员到达现场的时间。调度平台还可根据设备运行规律以及故障高发时段，提前合理分配运维人员与物资，实现运维工作的提前部署与动态调整，避免部分区域运维资源闲置、部分区域资源短缺的情况，最大限度提升运维资源的利用效率，保障运维工作高效推进。

3.4 搭建数据管理平台，强化运维决策科学性

搭建数据管理平台需兼顾数据存储、处理与挖掘的全流程需求，采用分布式存储技术，妥善存储风电场长期运行产生的海量设备数据、环境数据、运维数据以及故障案例数据，确保数据存储的安全性及完整性，同时支持数据的快速调取与查询。平台内置多维度数据处理模块，能够对海量原始数据进行分类筛选、清洗整合，剔除无效数据与冗余信息，同时通过数据挖掘技术挖掘数据背后的关联关系，比如设备运行参数与故障类型的关联、环境因素与发电效率的关联等，提炼出有价值的运维参考信息。平台支持自定义数据分析维度，运维管理人员可根据实际运维需求，生成针对性的数据分析报告，清晰呈现设备运行趋势、故障高发规律以及运维工作短板。依托平台提供的精准数据支撑与数据分析结果，运维决策不再依赖经验判断，而是基于客观数据制定运维计划、优化运维方案，切实强化运维决策的科学性与针对性^[5]。

3.5 推动老旧场站升级，实现运维技术全面适配

推动老旧场站升级需先对老旧风电场的设备现状、运行年限以及硬件配置进行全面排查，精准掌握老旧设备与当前智能

运维技术的适配差距,结合场站实际发电需求以及经济预算,制定个性化的升级改造方案。升级过程中优先对老旧设备的硬件接口进行改造,更换与智能运维技术适配的传感器、数据传输模块等部件,确保老旧设备能够与智能监测、故障预警等系统顺利对接,实现数据的实时传输与共享。针对老旧风电场的运行系统,进行针对性的升级优化,植入智能运维相关的软件模块,确保系统能够兼容智能调度、数据管理等功能,同时对运维人员进行专项培训,提升运维人员对智能运维技术以及升级后设备的操作能力。升级改造后,同步开展试运行调试,根据试运行过程中出现的适配问题,及时调整优化升级方案,确保智能运维技术能够与老旧风电场的设备、系统全面适配,充分发挥智能运维技术的优势,推动老旧风电场运维水平与发电效率同步提升。

4 智能运维技术应用效果验证

智能运维技术应用效果验证需结合风电场实际运行数据,

参考文献:

- [1] 葛建鹏,于婧,谢晖.面向智能运维的风电场“以大代小”改造策略研究[J].中国信息化,2025,(10):106-107.
- [2] 石英钰.基于人工智能的风电智能运维管理系统设计与实现[D].南京邮电大学,2024.
- [3] 王帅.风电场电气设备智能运维技术的应用与优化策略[J].电气应用,2025,44(08):110-114.
- [4] 李洪丁.新能源发电场站智能运维技术研究[J].通讯世界,2025,32(04):121-123.
- [5] 廖福堂,李建东.风电场远程监控与智能运维系统的设计与实现[J].电工技术,2024,(24):116-118.

对比技术应用前后的发电效率差异,重点关注设备运行稳定性、故障发生率以及非计划停机时长等核心指标。以 AI 故障预警为例,应用智能运维技术后,故障预警准确率可达 85%以上,非计划停机时长较传统模式缩短 40%-60%,设备可利用率提升至 98%以上。以某 100MW 在运风场为例,智能运维改造后年发电量提升约 8.7%,折合等效利用小时数增加 176 小时,切实体现出智能运维技术对风电场发电效率的显著提升作用。

5 结语

风电场发电效率与运维水平,推动风电产业实现降本增效,契合国家能源结构转型与绿色发展的核心要求。未来,随着智能技术的持续迭代,智能运维技术将与风电场设备制造、场站管理深度融合,不断优化应用模式、提升技术适配性,逐步覆盖老旧风电场升级改造等场景,进一步释放风电产业发展潜力,为我国清洁可再生能源产业高质量发展注入持久动力。