

风电机组状态监测与预测性维护在无人值守模式中的实践

林子尧

大唐山东发电有限公司新能源分公司 山东 济南 250000

【摘要】：在风电场无人值守运行模式快速推广的背景下，传统定期维护模式已难以满足风电机组安全稳定与高效运维需求。本文围绕风电机组状态监测与预测性维护技术，阐述其在无人值守场景中的实际应用路径，重点分析机组运行状态实时感知、故障特征提取、健康状态评估及剩余寿命预测等关键环节。通过将状态监测数据与预测模型相结合，可提前识别潜在故障、优化运维策略，减少人工现场巡检频次，降低运维成本与停机损失，提升风电场自动化与智能化水平。实践表明，状态监测与预测性维护是支撑风电机组无人值守模式稳定运行的重要技术保障，对推动风电行业规模化、集约化发展具有重要现实意义。

【关键词】：风电机组；状态监测；预测性维护；无人值守；风电运维

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.018

引言

随着我国风电产业持续向规模化、集约化方向发展，无人值守已成为现代风电场运行管理的重要趋势。在无人值守模式下，风电机组长期处于远程集中监控、现场少人甚至无人维护的状态，对设备运行可靠性与早期故障预判能力提出了更高要求。传统以事后维修、定期检修为主的运维模式，存在故障响应滞后、维护成本偏高、设备风险管控不足等问题，已难以适配无人值守风电场的实际运行需求。风电机组状态监测与预测性维护技术，可实时感知设备运行状态，精准识别潜在异常趋势，为远程运维决策提供科学依据。本文结合无人值守运行特点，探讨状态监测与预测性维护的应用实践，旨在提升风电场智能化运维水平，为机组安全、稳定、高效运行提供参考。

1 风电机组无人值守模式及状态监测与预测性维护应用背景

近年来，我国风电产业持续朝着规模化、集约化方向快速发展，风电场建设范围不断拓展，大量风场布局在山地、草原、沿海等地形复杂、位置偏远的区域，现场运维环境与作业条件相对艰苦。为进一步提升风电场管理效率、降低长期运营成本，以远程集中管控为核心的无人值守模式，逐步成为现代风电场运行管理的主流选择。无人值守模式通过精简现场值守人员，依托自动化监测设备与信息化管理平台完成日常运行监管、数据采集与状态监控，有效缓解偏远地区人员值守压力，推动风电场从传统人工巡检向智能化、少人化、高效化运行方式转型，为风电行业高质量发展提供了重要的管理支撑。

无人值守模式的广泛应用，对风电机组的长期稳定运行与设备可靠保障提出了更高、更严苛的要求。机组常年处于不间断运行状态，长期经受复杂多变的自然环境侵蚀、交变载荷的持续冲击以及部件自然老化等多重影响，齿轮箱、发电机、轴承等核心关键部件极易出现性能衰减与隐蔽性异常，这类早期隐患仅凭人工肉眼几乎无法识别^[1]。在无人值守场景下，现场无专人实时值守，传统依赖人工定期巡检、计划性停机检修的方式，已无法实时、全面、精准地掌握机组真实运行状态，极

易出现异常发现滞后、隐患处置不及时、故障定位耗时较长等问题，不仅会直接降低机组发电效率，还可能让微小隐患持续发展扩大，给风电场的长期运行安全与稳定生产带来显著的潜在风险。

状态监测与预测性维护为无人值守风电场提供了关键且实用的技术支撑。状态监测可实时采集机组振动、温度、转速、电流等关键运行参数，实现全天候、全过程跟踪设备工作状态，精准捕捉早期细微异常；预测性维护则基于实时状态数据与长期运行规律，智能识别故障发展趋势，科学预判风险并提前制定针对性维护方案。两者协同配合，有效弥补了无人值守模式下现场监管不足、故障响应滞后的短板，推动运维模式从被动维修向主动预判、从定期检修向精准维护转型，为风电场安全、稳定、高效运行提供坚实保障，也为风电行业智能化、数字化升级提供了稳定可行的技术路径。

2 无人值守模式下风电机组状态监测与维护存在的问题

无人值守模式在降低现场人工成本、提升风电场整体管理效率的同时，也对风电机组状态监测与远程维护提出了更为严苛的技术要求。风电机组多布局在地形复杂、气候多变的偏远区域，长期处于恶劣运行环境中，传统远程监控系统虽能完成基础数据采集与传输，但易受野外环境干扰、通信信号波动、设备安装布局等因素影响，部分关键部件的监测信号常会出现延迟、衰减甚至丢失，无法完整、真实、稳定地反映机组实时运行状态。数据采集与传输环节的不稳定，直接降低了远程端对设备异常的识别精度，容易造成漏判、误判、预警滞后等问题，大幅增加了无人值守场景下机组故障扩散与运行失控的风险，也对更可靠的监测手段提出了迫切需求。

现有状态监测手段与实际维护模式之间存在明显衔接不足的问题。多数风电场仅依靠固定点位的传感器采集基础运行信息，对齿轮箱、发电机、轴承等核心部件的早期微弱故障特征识别能力有限，难以在故障初期发现潜在隐患，容易造成异常情况漏判。当监测数据出现异常波动时，现场缺少成熟的分

级判断机制与标准化处置流程,远程管理人员无法快速界定问题严重程度,也不能及时生成精准可行的维护指令^[2]。监测分析结果与维护决策不能有效联动,信息传递不顺畅、响应不及时,会直接导致故障处置滞后,轻微隐患逐步扩大,进而影响风电机组正常发电与稳定运行。

维护资源配置与无人值守的运行特点难以实现高效匹配,在实际应用中存在较为突出的适配短板。无人值守模式下现场运维人员数量有限,日常检修多依赖统一调度与集中处理,缺少灵活快速的故障响应机制,遇到突发异常时往往无法第一时间到场处置。部分风电场仍延续传统定期维护思路,维护策略与机组真实运行状态结合不足,容易出现过度维护或关键部件维护缺位的问题。同时,远程诊断与现场检修之间存在信息传递不畅、数据对接不精准等问题,故障定位周期较长,工具与备件准备缺乏针对性,进一步延长检修时长、降低整体维护效率,导致无人值守本应具备的成本与效率优势难以充分释放,现有运维体系仍存在较大优化与提升空间。

3 无人值守模式下风电机组状态监测与预测性维护的实施方法

针对无人值守场景下设备远程监管与快速运维响应的实际需求,可通过构建全面、稳定、多维度的一体化状态监测体系,为风电场远程集中管控提供坚实可靠的数据支撑。在风电机组齿轮箱、发电机、主轴承、叶片、变桨系统等关键易损部件位置合理布设高精度传感采集装置,持续采集振动、温度、转速、电流、电压、压力等多项关键运行参数,依托稳定可靠的数据传输方式,确保各类运行信息实时、完整、准确地上传至远程监控平台,有效避免因传输波动、环境干扰造成的数据中断或异常^[3]。监控平台对多源、多类型、多测点的数据进行统一整合、分类处理、深度分析与可视化展示,形成覆盖机组全部件、全工况、全运行周期的一体化状态感知能力,切实改善数据缺失、信号延迟、信息失真等问题,显著提升远程状态判断的准确性、及时性与可靠性,为无人值守模式下的设备安全运行、早期异常预警与智能监管提供扎实稳定的技术基础。

依托完整可靠的监测数据,可建立更加贴合风电机组实际运行工况的故障识别与趋势预判机制,推动运维模式从被动事后抢修向主动事前预防平稳转型。在长期、连续采集的运行参数基础上,对数据变化趋势进行深度跟踪与特征提取,能够精准区分机组正常工况与异常波动特征,有效捕捉早期微弱故障信号,显著提升潜在隐患的识别精度与响应速度。结合机组历史运行数据与核心部件损耗规律,构建适配复杂现场环境的预测判断模型,对故障发展过程进行科学推演,并按照风险等级划分多级预警,明确相应处置时机与处置方式。所有诊断结果与预警信息实时同步至远程监控管理平台,自动生成清晰、可直接执行的运维指令,高效打通监测分析、智能诊断与维护决策之间的衔接环节,确保设备异常快速定位、及时处置,为无

人值守模式下风电机组持续安全稳定运行提供坚实可靠的智能诊断支撑。

在明确机组实时运行状态与故障发展趋势的基础上,进一步优化与无人值守运行模式高度适配的维护执行流程,全面提升风电场整体运维效率与规范化管理水平。结合预测性维护结果制定精准化、差异化的维护方案,使维护任务与设备实际健康状况紧密匹配,逐步替代传统固定周期的粗放式维护模式,有效减少冗余现场作业与盲目检修带来的资源消耗。远程监控平台统一统筹调度运维人员、备品备件、专用工具等关键资源,清晰明确维修内容、作业标准、安全规范与操作步骤,大幅降低现场人员故障定位难度与前期准备时间,提升维护工作的针对性与时效性^[4]。通过构建远程监测、智能预判、指令下发、现场执行、结果反馈的闭环运维体系,保障信息传递顺畅、任务分工明确、执行流程规范,让状态监测与预测性维护真正落地见效,为无人值守风电场长期安全、稳定、高效运行提供坚实可靠的技术与管理支撑。

4 风电机组状态监测与预测性维护在无人值守模式中的应用成效

状态监测与预测性维护的实际落地应用,显著提升了无人值守模式下风电机组的整体运行稳定性与设备可靠性。依托全流程、多维度、全覆盖的在线监测手段,机组齿轮箱、发电机、主轴承、叶片等关键部件均可实现全天候、不间断的运行状态实时感知与动态跟踪,能够在故障形成与扩大之前精准捕捉早期微弱异常特征并及时发出预警,从源头阻断微小隐患逐步演变为部件严重损坏、非计划停机停产等风险。这套完整高效的状态感知体系,有效弥补了无人值守场景下现场人员不足、巡检频次有限、覆盖范围不足的监管短板,大幅提升远程管控的实时性、精准性与响应能力。通过对设备状态的持续把控、提前预警与主动干预,风电机组能够长期保持连续、平稳、可靠的工作状态,运行可靠性与设备使用寿命得到同步提升,为无人值守风电场实现安全、稳定、长效、高效运行提供了坚实有力的技术支撑。

状态监测与预测性维护技术的广泛应用,推动风电场运维模式由传统被动事后处置向主动提前预判全面升级,进一步提升了无人值守风电场的整体运维效率与应急响应能力。依托精准可靠的诊断结果,维护工作可依据机组真实运行状态与部件损伤程度灵活开展,摆脱传统定期检修的固定模式,大幅减少无效现场巡检与重复作业,使运维任务更具针对性与科学性。远程监控平台与现场执行环节实现高效联动,异常数据实时传输、故障位置精准定位、维护任务清晰下达,备品备件、运维人员与检修工具实现统一调度与优化配置,显著缩短故障排查与处置周期,降低现场作业强度与管理成本^[5]。优化完善后的运维体系更加贴合无人值守少人化、远程化、智能化的运行特点,实现全流程、闭环式精细化管控,为无人值守风电场长期

安全、稳定、高效、可靠运行提供坚实有力的保障。

状态监测与预测性维护在大幅提升风电机组运行可靠性和运维效率的同时,也为无人值守风电场带来了更为直观的管理提升与综合效益。通过对设备运行状态的实时监测、精准把控与故障超前预警,机组故障发生率得到有效控制,显著减少了维修耗材消耗、备件更换成本以及非计划停机造成的发电损失,运维资源可依据实际需求精准投放与高效配置,避免人力、物力的不必要消耗,进一步降低风电场整体运营成本。在稳定可靠的技术支撑下,无人值守模式得以持续落地与规范运行,风电场管理趋于集约化、智能化与标准化,远程监管能力与整体运行水平得到全面提升。该应用模式实用性强、可复制性高,不仅为单台机组及单个风电场提供了成熟可行的运维方案,也为行业内同类风电场的智能化建设与运行提供重要参考,有力推动风电运维行业朝着更安全、高效、智能的方向持续发展。

参考文献:

- [1] 屈双艳.基于无监督学习的发电机组关键设备预测性维护方法研究[D].华北电力大学(北京),2025.
- [2] 尚宇航.基于数据驱动的风电机组主轴承健康状态监测研究[D].长安大学,2024.
- [3] 陈春宇.基于数据驱动的风电机组智慧运维平台技术与实现[D].河北工业大学,2023.
- [4] 朱娇娇.基于 SCADA 数据的风电机组状态监测与风电功率预测研究[D].燕山大学,2022.
- [5] 吕明珠.风电轴承状态监测与智能维护策略研究[J].电气开关,2021,59(03):35-40.

5 结语

本文围绕风电机组状态监测与预测性维护在无人值守模式中的实践展开研究,明确了风电行业向集约化、智能化发展过程中,无人值守运行对设备管控提出的更高要求。针对现有状态监测与维护工作中存在的数据不稳定、运维与监测脱节、维护响应不及时等问题,提出完善状态感知体系、构建故障预判机制、优化运维执行流程等实施路径。实际应用效果表明,状态监测与预测性维护能够有效提升机组运行稳定性,推动运维模式由被动维修向主动预判转变,提高运维效率、降低运营成本,为无人值守模式的稳定运行提供可靠技术保障。该研究贴合风电场实际应用场景,具有较强的实用价值与推广意义,可为同类风电场提供参考,进一步提升风电行业整体运维水平。