

风力发电机预测性维护技术及应用效果分析

张振锋

白银景泰发展新能源有限公司 甘肃 白银 730400

摘要：风力发电机核心部件维护需求存在差异，预测性维护依托状态监测等技术，提前识别故障隐患。与传统维护模式相比更具优势，关键技术涵盖状态监测、故障诊断等方面。应用流程包括前期准备、数据采集等环节。技术优化方向有监测精度提升、算法优化等。本文深入剖析风力发电机预测性维护技术及应用，为提升风力发电机维护水平、保障稳定运行提供参考，助力风力发电行业高质量发展。

关键词：风力发电机；预测性维护；关键技术；应用流程；技术优化

引言：在全球能源结构加速转型背景下，风力发电作为清洁能源的关键力量，发展势头迅猛。风力发电机长期处于复杂户外环境，核心部件易出现磨损、老化等问题，影响设备可靠性与发电效率。传统维护模式存在滞后性与局限性，难以满足实际需求。预测性维护凭借提前识别故障隐患、优化维护资源等优势，成为保障风力发电机稳定运行的关键技术手段，对推动风力发电行业可持续发展意义重大。

1 风力发电机预测性维护基础

1.1 风力发电机核心部件维护需求

风力发电机核心部件的运行状态直接决定了设备整体可靠性。叶片长期暴露于户外复杂环境，承受风载荷、温度变化及环境侵蚀等多重影响，易出现磨损、开裂等问题，对状态监测与维护干预提出较高要求^[1]。齿轮箱作为动力传递核心，内部齿轮、轴承等部件承受高频载荷，磨损与疲劳损伤风险较高，维护工作需聚焦于状态监测与损伤防控。发电机承担电能转换任务，电气回路与机械结构的稳定运行是维护重点，需密切关注电气参数变化与机械部件损耗情况。主轴与轴承作为关键传动部件，受力复杂且易出现磨损、卡滞，维护需求集中于状态监测与损耗控制。这些核心部件维护需求相互关联，共同构成风力发电机维护工作核心导向，确保设备在复杂环境下稳定运行。

1.2 预测性维护内涵与目标

预测性维护依托设备状态监测、数据处理与故障诊断技术，提前识别潜在故障隐患，制定针对性维护策略，打破传统维护模式被动性。以设备运行状态数据为核心，通过系统化监测与分析，预判故障发生趋势，实现维护工作主动开展。维护目标聚焦于提前防控故障发生，降低设备停机概率，延长核心部件使用寿命，优化维护资源配置，降低维护成本。通过预测性维护，保障

风力发电机长期稳定高效运行，为设备安全可靠运行提供坚实技术支撑，契合风力发电设备维护技术发展趋势与实际作业需求。

1.3 预测性维护与传统维护模式的差异

预测性维护与传统预防性维护、事后维护存在本质区别。传统事后维护在设备发生故障后开展维修，易造成停机损失，维护成本偏高，且无法提前规避故障风险。传统预防性维护多依据固定周期开展，缺乏针对性，易出现过度维护或维护不及时问题，造成维护资源浪费与设备隐患遗漏。预测性维护以设备实时运行数据为依据，结合技术分析预判故障隐患，灵活调整维护时机与策略，实现按需维护。既避免过度维护带来资源浪费，又防止维护不及时引发设备故障，相较于传统维护模式，更具针对性、科学性与高效性，适配风力发电机户外复杂运行环境下的维护需求。

2 风力发电机预测性维护关键技术

2.1 状态监测技术

状态监测技术是风力发电机预测性维护的核心支撑，依托风电设备状态监测技术规范，实现对机组运行状态的实时捕捉与动态跟踪，为后续故障诊断和寿命预测提供可靠数据支撑。振动监测技术通过在机组关键旋转部件布设传感器，捕捉运行过程中振动信号，通过信号分析捕捉部件磨损、失衡等异常迹象，精准反映轴承、齿轮箱等核心部件运行状态。温度监测技术聚焦机组易发热部件，通过精准测温设备实时捕捉温度变化，规避温度异常导致的部件老化、性能衰减，及时捕捉潜在故障隐患^[2]。油液分析技术针对机组润滑系统，通过检测油液中金属颗粒、水分等指标，判断润滑系统运行状态及相关部件磨损程度，为润滑系统维护提供科学依据。电气参数监测技术实时采集电压、电流、功率等关键电气参数，跟踪参数波动规律，及时发现电气系统接触

不良、绝缘老化等问题,保障机组电气系统稳定运行。

2.2 故障诊断技术

故障诊断技术是预测性维护的核心环节,通过对监测数据的深度分析,实现机组故障的精准识别与定位,为维护决策提供技术支撑。信号处理与特征提取技术对监测获取的振动、温度等原始信号进行处理,剔除干扰信号,提取能够反映设备状态的特征参数,为故障识别提供清晰数据依据。故障模式识别技术依托风电设备常见故障类型,结合提取的特征参数,通过相关算法实现故障类型的精准判断,明确故障表现形式与发展趋势。故障溯源技术通过对故障特征的系统分析,梳理故障产生的根本原因,理清故障传播路径,为后续维护实施和故障预防提供方向,减少同类故障重复发生。

2.3 剩余寿命预测技术

剩余寿命预测技术通过对设备运行状态数据的系统分析,预判核心部件剩余运行时间,为维护计划制定提供科学支撑。基于数据驱动的预测技术依托大量机组运行数据,通过机器学习等算法构建预测模型,挖掘数据与部件寿命的内在关联,实现剩余寿命的精准预判。基于模型驱动的预测技术结合部件结构特性与运行机理,构建物理模型,结合实时运行数据调整模型参数,提升寿命预测的合理性与可靠性。多源信息融合预测技术整合振动、温度、油液等多维度监测数据,弥补单一数据预测的局限性,提升剩余寿命预测的精度,适配风力发电机复杂运行环境下的预测需求。

2.4 预测性维护数据处理技术

数据处理技术是预测性维护技术落地的重要保障,实现监测数据的高效处理与合理应用,支撑后续技术环节有序推进。数据采集与传输技术通过布设的各类传感器完成多维度数据采集,依托无线通信技术实现数据高效传输,确保数据及时送达处理终端,保障数据时效性。数据清洗与降噪技术对采集的原始数据进行处理,剔除异常数据、冗余数据,降低环境干扰对数据的影响,确保数据真实性与准确性。数据存储与管理技术依托专用存储设备与管理系统,实现海量监测数据的安全存储与有序管理,便于数据的查询、调用与分析,为预测性维护各项技术的有序开展提供数据支撑。

3 风力发电机预测性维护技术应用流程

3.1 前期准备与监测方案设计

前期准备与监测方案设计是预测性维护技术有序落地的首要环节,需结合风力发电机运行特性与运维实际需求,依托风电设备维护技术规范,完成全方位准备工作。需全面梳理机组核心部件运行参数、历史运行记

录,明确维护重点与潜在风险点,为方案设计提供数据支撑。监测方案设计需适配机组运行环境与部件特性,合理布设监测传感器,确定监测参数、监测频率及数据传输方式,明确各环节操作标准与责任分工,确保监测方案科学可行,能够精准捕捉机组运行状态,为后续维护环节开展奠定坚实基础。

3.2 设备状态数据采集与预处理

设备状态数据采集与预处理是衔接监测方案与后续分析环节的关键,直接影响维护分析的精准度。数据采集依托前期布设的各类传感器,按照预设频率实时采集机组振动、温度、油液、电气参数等多维度运行数据,依托专用传输技术将数据同步送达处理终端,保障数据采集的全面性与时效性^[3]。数据预处理需对采集的原始数据进行系统处理,剔除异常、冗余数据,降低环境干扰、设备误差带来的影响,对缺失数据进行合理补全,通过数据标准化处理,将各类数据转化为统一格式,确保数据真实、准确,为后续状态分析与故障诊断提供可靠支撑。

3.3 状态分析与故障诊断实施

状态分析与故障诊断实施聚焦预处理后的监测数据,结合风力发电机部件运行机理与故障演化规律,开展系统分析工作。通过专业分析方法梳理数据变化规律,对比正常运行参数阈值,识别数据异常波动,捕捉潜在故障迹象。依托故障诊断技术,结合数据特征提取结果,精准判断故障类型、故障位置,梳理故障发展趋势,追溯故障产生的根本原因,明确故障对机组运行的影响范围,为后续剩余寿命预测与维护决策提供精准的技术依据,避免故障进一步扩大。

3.4 剩余寿命预测与维护决策制定

剩余寿命预测与维护决策制定需基于状态分析与故障诊断结果,结合机组核心部件特性与运行数据,运用剩余寿命预测技术,预判部件剩余运行时间与性能衰减趋势。结合预测结果,综合考量机组运行需求、维护成本与安全风险,制定针对性维护决策,明确维护内容、维护时机、维护方式及所需资源,区分紧急维护与常规维护,优化维护优先级,确保维护决策科学合理,既能及时处置故障隐患,又能避免过度维护造成的资源浪费,实现维护效益最大化。

3.5 维护实施与过程管控

维护实施与过程管控是预测性维护技术落地的最终环节,需严格按照制定的维护决策开展维护作业,遵循风电设备维护操作规范,规范操作流程,把控维护质量。维护过程中需做好各项操作记录,详细记录维护内

容、操作步骤、维护结果,便于后续追溯与复盘。过程管控需聚焦维护关键环节,排查操作不规范、维护不到位等问题,及时纠正偏差,确保维护作业符合标准。维护完成后,需对机组运行状态进行再次监测,确认维护效果,梳理维护过程中存在的不足,优化后续维护流程,持续提升预测性维护应用的规范性与有效性。

4 风力发电机预测性维护技术优化方向

4.1 监测技术精度提升

监测技术精度提升是预测性维护技术优化的基础方向,依托风电设备状态监测技术发展规划,聚焦现有监测技术短板,通过技术升级与设备改良,提升数据采集的精准度与稳定性。优化监测传感器性能,选用高精度、抗干扰能力强的传感器型号,优化传感器布设位置,减少环境因素对监测信号的干扰,提升振动、温度、油液等关键参数的采集精度^[4]。完善监测信号传输链路,优化信号传输协议,降低信号衰减与失真概率,确保监测数据能够真实反映机组运行状态。优化监测频率调节机制,根据机组不同部件运行特性与老化规律,动态调整监测频率,既保障监测数据的全面性,又避免无效数据采集造成的资源浪费,推动监测技术向精准化、高效化升级。

4.2 故障诊断与寿命预测算法优化

故障诊断与寿命预测算法优化是提升预测性维护可靠性的核心方向,结合风电设备故障演化规律与运行数据特性,对现有算法进行迭代升级。优化故障诊断算法,引入先进信号处理技术,提升故障特征提取的精准度,增强对微小故障、潜在故障的识别能力,减少故障误判、漏判现象。升级剩余寿命预测算法,整合多维度运行数据,优化算法模型参数,弥补单一算法预测的局限性,提升寿命预测的精准度与合理性。结合机组运行环境的复杂性,优化算法的抗干扰能力,确保算法在复杂工况下能够稳定运行,为维护决策提供更可靠的技术支撑,推动故障诊断与寿命预测向精准化、智能化发展。

4.3 多技术融合应用探索

多技术融合应用探索是拓展预测性维护应用场景、提升维护效能的重要方向,依托风电运维多技术融合发展趋势,推动不同领域技术与预测性维护技术深度融合。推动状态监测技术与故障诊断技术深度融合,实现监测数据与诊断分析的无缝衔接,提升故障识别与定位的效率。探索物联网技术与预测性维护技术的融合应

用,搭建一体化运维平台,实现机组运行状态的远程监测与集中管理,打破时空限制,提升运维便捷性。推动大数据技术与预测性维护技术融合,挖掘海量运行数据的内在关联,为故障预判、寿命预测提供更全面的数据支撑,丰富维护技术应用维度,提升预测性维护的综合效能。

4.4 智能化维护模式升级

智能化维护模式升级是预测性维护技术发展的必然趋势,依托人工智能、自动化技术的发展,推动维护模式从被动响应向主动预判、智能运维转型^[5]。搭建智能化维护管理平台,整合监测数据、诊断结果、维护记录等多类信息,实现维护流程的自动化管控与智能化决策。引入自动化维护设备,替代人工完成高空、高危环境下的常规维护作业,降低人工操作强度,提升维护作业的安全性与效率。优化维护决策智能化水平,通过智能算法自动分析机组运行状态,生成个性化维护计划,实现维护时机、维护内容的精准匹配,减少人工干预,推动预测性维护模式向智能化、高效化、集约化升级,适配大规模风电基地运维需求。

结束语

风力发电机预测性维护技术通过状态监测、故障诊断等关键技术,结合科学的应用流程,有效提升了设备维护的精准性与及时性。在技术优化方向上,监测精度提升、算法优化、多技术融合及智能化维护模式升级等举措,将进一步增强预测性维护的效能。随着技术的持续进步,预测性维护将为风力发电机的稳定运行提供更坚实保障,推动风力发电行业朝着更高效、更可靠的方向发展,在能源领域发挥更大作用。

参考文献

- [1]高俊峰.海上风力发电机组电气系统维护及故障诊断技术[J].电力系统装备,2025(5):116-117,136.
- [2]常昌辉,苗博,董鲁峰,等.风力发电机组全生命周期智慧运维技术探析[J].电力设备管理,2025(20):141-143.
- [3]胡超波.风电场中风力发电机组运行故障及维护[J].仪器仪表用户,2023,30(09):110-112+31.
- [4]刁帅.风电机组检修维护中的安全管理工作探讨[J].新疆有色金属,2024,47(01):71-72.
- [5]张轶东.风电场中风力发电机组运行故障与维护[J].电气技术与经济,2024,(06):328-329+337.