

智能监测技术在提高风电机组利用率及增强可靠性中的应用

马斌

国华(宁夏)新能源有限公司 宁夏 吴忠 751100

摘要: 智能监测技术通过集成传感器、大数据分析及机器学习算法，实时监测风电机组运行状态，精准预测故障并实现快速响应。该技术不仅提高了风电机组的发电效率与利用率，通过优化调度与功率预测减少能源浪费；还显著增强了机组可靠性，通过早期预警与故障诊断降低停机时间，延长设备寿命。智能监测技术已成为风电运维管理的重要工具，为风电产业的可持续发展注入了强劲动力。

关键词: 智能监测技术；提高风电机组；利用率；增强可靠性；应用

引言：风电机组作为新能源发电的关键设备，其利用率和可靠性直接关系到风电场的经济效益和能源供应稳定。智能监测技术的引入，为优化风电机组运维管理提供了创新手段。该技术通过实时监控、数据分析与智能预警，旨在提升机组利用率，减少故障停机时间，增强运行可靠性。本文聚焦于智能监测技术在风电机组管理中的应用，探讨其对提升风电运营效率与保障能源安全的积极影响。

1 风电机组工作原理及主要构成

1.1 风电机组的基本构成

(1) 核心部件是能量转换的核心载体。风力机通过叶片捕捉风能，其气动设计直接决定风能捕获效率；齿轮箱作为变速装置，将风力机的低转速机械能转化为适配发电机的高转速输出；发电机则通过电磁感应原理，将输入的机械能转化为电能，常见类型包括异步发电机和同步发电机，分别适用于不同的电网接入需求。

(2) 辅助系统保障机组稳定运行。变频器负责调节发电机输出电能的频率与电压，使其符合电网标准；控制系统作为“神经中枢”，通过传感器实时采集风速、转速、温度等参数，动态调整叶片角度和机组运行状态，平衡发电效率与设备安全。

(3) 储能系统用于能量缓冲与调度。电池储能（如锂电池）可储存富余电能，在风速过低时释放以维持供电稳定；超级电容凭借快速充放电特性，应对短时功率波动，提升电网接入的稳定性。

1.2 风电机组的工作原理

(1) 能量转换过程遵循“风能-机械能-电能”的路径。气流作用于风力机叶片产生升力，驱动叶片旋转实现风能到机械能的初次转换；叶片旋转通过传动轴带动

齿轮箱增速，将机械能传递至发电机，最终通过电磁感应生成电能，完成二次转换。

(2) 部件协同原理体现为动态联动机制。控制系统根据风速信号调节叶片桨距角：低风速时增大迎角以捕获更多风能，高风速时减小迎角避免过载；齿轮箱匹配转速确保发电机高效运行；变频器实时调节电能参数，保障电网接入稳定性；储能系统在电能过剩时储存、不足时补充，形成“捕能-转换-调蓄”的闭环工作模式，确保机组持续稳定运行^[1]。

2 智能监测技术的原理与方法

2.1 智能监测技术的基本概念

(1) 数据采集与传输是智能监测的基础环节。通过在风电机组关键部位部署各类传感器，实时采集振动、温度、转速等运行参数，采集频率可达毫秒级。数据传输采用工业以太网、LoRa等无线通信技术，结合边缘计算节点进行本地预处理，确保数据在复杂电磁环境下的稳定传输，为后续分析提供高质量原始数据。

(2) 数据处理与分析是技术核心。利用滤波、降噪等预处理手段剔除干扰信息，再通过时序分析、特征提取等方法挖掘数据规律。例如，对振动信号进行傅里叶变换获取频谱特征，结合统计学模型识别异常波动，将海量数据转化为可用于决策的有效信息。

(3) 故障预警与诊断是最终目标。基于处理后的数据分析结果，通过构建故障模型，设定动态阈值，当参数超出正常范围时触发预警。同时，结合专家系统与历史案例，对故障类型、位置及严重程度进行精准诊断，为运维提供明确指引。

2.2 关键技术应用

(1) 传感器技术是信息获取的关键。采用压电式振

动传感器监测齿轮箱、轴承等旋转部件的振动状态，红外温度传感器实时追踪电机绕组温度变化，压力传感器监控液压系统压力波动，形成全方位监测网络，确保机组状态信息的全面捕捉。

(2) 机器学习技术助力智能预测。通过收集海量历史运行数据，训练神经网络、随机森林等模型，建立风机正常运行状态基准。当实时数据与模型偏差超过阈值时，自动预测潜在故障，如利用长短期记忆网络（LSTM）预测发电机性能退化趋势。

(3) 大数据与云计算技术实现全局优化。借助云计算平台整合风电场多机组数据，通过分布式计算分析不同机组的关联性，制定统筹运维策略。例如，利用大数据分析各机组故障规律，优化备件库存与维护资源配置，降低整体运营成本。

3 智能监测技术在提高风电机组利用率中的应用

3.1 功率预测与调度优化

(1) 风能预测的准确性直接影响风电机组的发电效率与电网调度适配性。智能监测系统通过整合风电场10年以上的历史发电数据（涵盖不同季节、气候条件下的机组表现）与实时气象信息（包括风速、风向、气压、湿度等分钟级监测数据），构建多维度预测模型。借助机器学习算法（如随机森林、长短期记忆网络），系统能识别气象参数与发电量的非线性关系，将短期（0-48小时）预测误差控制在7%以内，中期（3-7天）预测误差降至10%以下。例如，某陆上风电场通过引入卫星遥感气象数据与地面监测站的联动分析，极端天气下的预测准确率提升了23%，为后续调度优化奠定了数据基础^[2]。

(2) 基于精准的功率预测结果，智能调度系统可实现风电机组的动态协同运行。系统通过建立多目标优化算法（兼顾发电效率、设备损耗、电网稳定性），实时调整不同机组的运行参数：对处于风速优势区域的机组优先分配高负载，对临近维护周期的机组降低负荷以减少磨损，对电网需求高峰时段提前储备发电能力。某海上风电场应用该技术后，机组调度响应时间从30分钟缩短至5分钟，单日发电效率提升了18%，年增发电量达420万千瓦时，同时减少了因调度失衡导致的设备故障风险。

3.2 智能运维与故障预警

(1) 智能监测技术通过在风电机组关键部件（齿轮箱、发电机、叶片、变流器等）部署物联网传感器网络（包括振动、温度、压力、声纹传感器），实现运行状态的实时感知。传感器以10Hz的频率采集数据，通过边缘计算节点初步处理后传输至云端平台，利用故障特征提取算法（如小波变换、傅里叶分析）识别异常信号：

齿轮箱的异常振动频谱可提前6个月预警齿面磨损，发电机绕组温度的微小波动能提示绝缘老化，叶片表面的声纹变化可判断雷击损伤。某风电场通过该系统，成功在故障发生前预警了17起关键部件隐患，避免了重大停机事故。

(2) 实时故障预警机制大幅缩短了机组的故障停机时间。传统运维模式下，风电机组平均故障修复时长为56小时，而智能监测系统可通过故障定位导航（结合三维模型与实时数据）指引维修人员快速锁定问题点，同时提前调度备件与维修设备。某风电场数据显示，应用该技术后，故障响应时间从24小时压缩至4小时，平均修复时长缩短至18小时，机组可用率从82%提升至93%，年减少停机损失约380万元。

3.3 数据驱动的运维决策支持

(1) 智能监测系统积累的海量运行数据（累计超100TB）为运维计划提供了科学依据。通过构建设备健康度评估模型，系统可分析各部件的寿命损耗曲线（如叶片疲劳损伤、轴承运行小时数、液压油劣化程度），动态生成个性化维护计划：对健康度低于70%的部件提前安排检修，对高负荷运行的机组增加检查频次，对低故障率区域的设备延长维护周期。某风电场据此优化维护计划后，年度运维成本降低了27%，同时避免了15%的过度维护资源浪费。

(2) 在故障诊断环节，数据驱动技术实现了故障点的精准定位。系统通过历史故障案例库（包含5000+故障类型）与实时监测数据的比对分析，采用知识图谱算法匹配故障特征：当机组出现功率骤降时，结合变桨角度偏差、液压系统压力曲线、电网电压数据，可在10分钟内判定是变桨机构卡涩还是电网侧波动。某运维团队应用该技术后，故障诊断准确率从65%提升至92%，维修人员的无效作业时间减少了60%，单次维修效率提升了45%。

4 智能监测技术在增强风电机组可靠性中的应用

4.1 可靠性评估与预测

(1) 构建系统可用性评估模型，评估机组潜在风险。构建系统可用性评估模型是增强风电机组可靠性的基础环节。该模型以风电机组的整体结构和运行机理为依据，整合了历史故障数据、设备参数、环境因素等多维度信息。通过运用故障树分析、马尔可夫链等方法，对机组各部件的可靠性进行量化评估，进而确定整个系统的可用性指标。例如，针对风电机组的齿轮箱、叶片、发电机等关键部件，模型会分析其在不同风速、温度、湿度等环境条件下的故障概率，识别出潜在的薄弱

环节。同时，结合实时采集的运行数据，动态更新评估结果，及时发现机组可能面临的风险，如部件磨损加剧、性能退化等，为后续的维护工作提供早期预警^[3]。

(2) 利用智能监测数据进行可靠性预测，指导维护策略。智能监测系统会持续采集风电机组的振动、温度、压力、转速等海量运行数据。借助大数据分析和机器学习算法，对这些数据进行深度挖掘，建立可靠性预测模型。该模型能够基于历史数据和当前运行状态，预测出各部件未来一段时间内的可靠性趋势，如剩余使用寿命、故障发生概率等。根据预测结果，运维人员可以制定出更加科学合理的维护策略。例如，对于预测出可能在近期发生故障的部件，提前安排停机检修，避免故障扩大导致更大的损失；对于可靠性较高的部件，则可以适当延长维护周期，减少不必要的维护成本。

4.2 设备状态在线监测与诊断

(1) 实时监控设备状态，及时发现并处理异常。设备状态在线监测系统通过在风电机组关键部位安装传感器，实现对设备运行状态的实时监控。传感器能够实时采集振动、温度、油液质量、电流、电压等参数，并将这些参数传输到数据处理中心。数据处理中心对采集到的参数进行实时分析和处理，与预设的正常阈值进行对比。当发现参数超出正常范围时，系统会立即发出警报，通知运维人员及时处理。例如，当齿轮箱的振动值突然增大时，系统会迅速报警，运维人员可以及时到现场检查，判断是否存在齿轮磨损、轴承损坏等问题，并采取相应的措施进行处理，防止故障进一步恶化。

(2) 利用数据分析技术，准确诊断故障原因。在实时监控发现设备异常后，需要利用数据分析技术对异常数据进行深入分析，以准确诊断故障原因。通过运用数据挖掘、模式识别、人工智能等技术，对历史故障数据和当前异常数据进行关联分析，建立故障诊断模型。该模型能够根据异常参数的特征，识别出故障的类型和具体位置。例如，当发电机出现温度异常升高时，系统可以通过分析温度变化曲线、电流电压波动情况等数据，结合历史上类似故障的案例，诊断出故障原因可能是发电机绕组短路、冷却系统故障等，并为运维人员提供详细的故障诊断报告，指导其进行精准维修^[4]。

4.3 智能化运维管理系统的构建

(1) 集成数据采集、处理、分析与预警功能。智能化运维管理系统是一个集数据采集、处理、分析与预警

于一体的综合性平台。该系统通过统一的数据接口，将风电机组各个监测点的传感器数据、控制系统数据、气象数据等进行集中采集。采集到的数据经过预处理，去除噪声和冗余信息后，进入数据存储模块进行分类存储。随后，系统运用专业的分析算法对数据进行深度分析，挖掘出数据中隐藏的设备运行规律和潜在故障信息。当分析发现设备存在异常或潜在故障时，系统会自动发出预警信息，以短信、邮件、声光报警等多种方式通知相关人员，确保运维人员能够及时掌握设备状态。

(2) 实现远程监控、智能调度与自动化运维。智能化运维管理系统支持远程监控功能，运维人员可以通过电脑、手机等终端随时随地查看风电机组的运行状态、实时数据和预警信息，无需到现场即可了解机组的整体情况。基于实时监控数据和可靠性预测结果，系统能够实现智能调度，根据机组的运行状态和故障情况，合理安排运维人员和维修设备的调度，提高运维效率。同时，系统还可以与自动化控制设备相结合，实现部分运维工作的自动化。例如，对于一些简单的故障，如滤网堵塞、小部件松动等，系统可以通过远程控制自动启动相应的处理程序，进行自动修复，减少人工干预，降低运维成本。

结束语

综上所述，智能监测技术在风电机组管理中的应用，显著提高了机组的利用率和增强了其运行可靠性。通过实时监测与数据分析，该技术不仅优化了运维策略，降低了运维成本，还有效预防了重大故障的发生，延长了机组的使用寿命。未来，随着技术的不断进步与创新，智能监测将在风电领域发挥更加关键的作用，为风电产业的可持续发展贡献力量，助力全球能源转型的顺利推进。

参考文献

- [1] 秦玉磊.风力发电场中的电气可靠性分析与优化研究[J].电工技术,2024,(S1):384-387.
- [2] 庞金鹏,王文杰,张巍,等.提高风力发电可靠性的风电机组运维管理研究[J].中国新技术新产品,2024,(09):71-73.
- [3] 乔中亚.风力发电可靠性评估研究[J].电气技术与经济,2024,(03):48-50.
- [4] 彭凌云,韩虎.关于风电机组检修维护的要点讨论[J].机电产品开发与创新,2022,35(06):173-176.