

论风电机组振动监测与故障诊断技术

梁劲龙

广西大唐桂冠新能源有限公司博白分公司 广西玉林 537000

摘要：风电机组作为可再生能源发展的重要支撑，其运行安全性直接关系到发电效率与设备寿命。振动是风电机组故障的关键前兆之一，建立科学有效的振动监测与故障诊断系统对于实现风电场智能化运维具有重要意义。本文围绕风电机组振动监测技术展开分析，重点探讨状态监测数据的获取、传感器配置、采集系统选型及诊断算法的设计与应用。结合工程需求，提出基于多源传感融合与数据驱动算法的诊断系统架构，提升故障识别准确率与响应速度，为风电设备可靠运行提供技术支撑。

关键词：风电机组；振动监测；故障诊断；传感器；数据采集系统

近年来，风电在中国能源结构中占据越来越重要的位置，风电场的规模化建设推动了对风电机组运行状态监测与故障预警技术的需求。风电机组长时间处于复杂工况环境中，其核心部件如主轴、齿轮箱、发电机极易因振动异常而出现磨损或故障。传统的人工巡检方式效率低、误差大，难以满足现代风电运维的智能化、实时化需求。因此，建立一套高效、精准的振动监测与故障诊断系统，成为风电设备运维中的关键技术课题。本文从技术架构、传感部署、采集系统选型和算法设计等角度出发，系统阐述风电机组振动状态感知与故障智能分析的实现路径，助力行业提升运维水平与设备可靠性。

1 风电机组状态监测与故障诊断关键技术

1.1 风电机组运行数据集

风电机组的状态监测与故障诊断依赖于多维度、实时性的运行数据，这些数据构成了整个分析系统的基础。风电机组运行环境复杂，受风速波动、叶片载荷、气温湿度等因素影响，设备本体如主轴、齿轮箱、发电机等关键部位长期处于重载或变载状态，因此需要高频、精准的数据支持。常见的数据类型包括：加速度传感器采集的振动数据、温度传感器反馈的轴承和齿轮温度、电流与电压的瞬时波动、转速变化、风速和风向参数，以及 SCADA 系统提供的故障告警记录等。这些数据的获取方式多样，部分通过本地边缘设备采集，部分通过集中式控制系统定期上传。为了提高分析准确率，数据还需进行去噪、时间对齐、缺失值补全等预处理操作，确保数据质量。在实际应用中，部分风电场已建立本

地数据仓库，并引入云平台对海量运行数据进行归档和分级管理。比如，某沿海某风电场建立了包含 3 年历史运行数据的结构化数据集，涵盖 300 余台风机的上亿条状态数据，为模型训练与故障追溯提供了坚实数据基础。因此，系统化的数据采集、存储和管理能力，是实现风电机组智能运维的前提条件。

1.2 状态监测与故障诊断算法框架

风电机组作为新能源发电的重要设备，其安全运行和高效维护依赖于科学的状态监测与故障诊断技术。在众多技术环节中，状态监测与故障诊断算法框架是实现设备智能化管理的核心。合理的算法框架不仅能够高效处理复杂的振动信号数据，还能准确识别和定位故障，提升风电机组的可靠性和维护效率。

状态监测与故障诊断算法框架通常由数据采集、信号预处理、特征提取、特征选择、故障识别及决策支持几个关键模块组成。数据采集模块负责获取风电机组运行过程中的振动信号及相关物理量。采集的信号往往受到环境噪声影响，因此信号预处理模块至关重要。该模块通过滤波、去噪、归一化等技术，提升信号质量，去除无关干扰，确保后续分析的准确性。

特征提取是算法框架的基础环节。风电机组的振动信号复杂多变，涉及机械部件多样，故障类型繁多，单一的特征难以全面反映设备状态。时域、频域以及时频域特征相结合的提取方法被广泛采用。时域特征如峰值、均方根值和峭度能够反映振动信号的能量和波形变化；频域特征则通过傅

里叶变换揭示信号的频率成分,识别特定故障频率;时频域分析如小波变换和经验模态分解,更适合捕捉信号的非平稳特征,增强故障诊断的灵敏度和准确率。特征选择环节旨在从大量提取的特征中筛选出最具代表性且冗余度低的指标,减少计算复杂度,提升算法效率。常用方法包括主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)以及基于信息熵的特征选择等。这一步骤对提高故障识别的准确性和模型的泛化能力具有重要意义。

故障识别模块是算法框架的核心。传统基于阈值的方法适合简单故障判断,但面对风电机组多样化和复杂化的故障模式,智能化算法成为趋势。机器学习方法如支持向量机(SVM)、随机森林和k近邻算法(KNN)被广泛应用,通过训练模型识别不同故障类别。近年来,深度学习技术,尤其是卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN),在自动特征提取和复杂模式识别方面展现出强大能力,为故障诊断提供了新的思路 and 工具。

决策支持模块结合诊断结果,辅助运维人员制定维护计划。该模块通常集成专家系统和风险评估模型,根据故障类型和严重程度提供科学的维修建议,实现预防性维护,降低突发停机风险。风电机组状态监测与故障诊断算法框架强调多模块协同工作,注重数据质量和算法智能化。随着大数据和人工智能技术的发展,未来算法框架将更趋复杂和精准,融合云计算和边缘计算,实现实时、高效、智能的风电机组健康管理。完善的算法框架不仅提升设备运行安全性,更推动风电产业的技术进步和可持续发展。

2 总体设计

在风电机组振动监测与故障诊断系统的建设中,科学合理的总体设计是实现系统稳定运行和精准诊断的基础。风电机组运行环境复杂、空间有限,设备分布分散,因此系统设计需遵循“分布式采集、集中式处理、远程化运维”的基本原则。总体架构主要包括前端感知层、数据采集层、边缘处理层与后台分析平台四大部分。前端感知层由加速度传感器、温度传感器、转速传感器等组成,安装在主轴、齿轮箱、发电机等关键部位,实时感知设备状态;采集层通过高精度采集模块对传感信号进行采样、数字化处理,并初步进行数据缓存和压缩,常采用工业总线或无线传输方式上报至边缘设备;边缘处理层具备一定的预处理和异常初筛能力,可降低通信负担,提高响应速度;最终所有数据汇总至后台平台,由诊断算法完成特征分析、故障识别与趋势预测。平台支持

图形化界面,展示各风机状态及故障报警记录,并具备模型更新、远程维护等功能。整体设计注重模块化、可扩展性与高可靠性,满足风电场分布式、高并发、实时化的应用场景需求,是实现风电智能运维的核心基础。

3 传感器的选择和安装

在风电机组振动监测系统中,传感器的选择与安装质量直接影响故障诊断的准确性与系统运行的稳定性。由于风电机组工作环境多变,常处于高湿、高风压及振动强度大的状态下,传感器必须具备高灵敏度、良好耐候性及抗干扰能力。常用的振动传感器包括IEPE型加速度传感器、电荷型传感器及三轴向传感器等,选型时应根据被监测部位的频率范围和动态响应要求来确定。主轴承、齿轮箱输入输出端、发电机轴承是振动监测的关键点位,安装时应确保传感器牢固固定,方向准确,避免因松动或角度偏差影响信号采集质量。安装方式通常采用螺栓固定或磁吸安装,并对传感器线缆进行屏蔽处理,防止电磁干扰。此外,为保证长期运行稳定,安装区域应保持清洁干燥,防止油污、水汽进入接线口。通过科学合理的传感器布设,能有效提升系统的采集精度和故障识别能力,是保障整个监测系统可靠运行的关键环节。

4 采集系统的选择

风电机组振动监测与故障诊断技术中,采集系统的选择至关重要,直接影响到数据的准确性和故障诊断的可靠性。采集系统作为振动信号的“眼睛”和“耳朵”,承担着将机械振动信号转换为可供分析的数字信号的任务,其性能优劣直接关系到后续处理的效果和维护决策的科学性。

采集系统必须具备高精度和高分辨率的特点。风电机组运行环境复杂,振动信号通常包含丰富的频率成分,且信号幅值变化范围较大。若采集系统分辨率不足,容易导致细微的异常信号被忽略,影响故障早期预警能力。同时,采样率必须足够高,以保证对振动信号中高频成分的捕捉。根据奈奎斯特采样定理,采样频率应至少为信号最高频率的两倍,实际应用中通常选择更高的采样率,以提高分析的精度。

采集系统需具备良好的抗干扰能力。风电机组通常安装在户外,环境恶劣且电磁干扰较多。采集系统中的硬件设计应充分考虑信号屏蔽和滤波措施,防止外部干扰导致数据失真。此外,信号的传输线路也需选择低噪声电缆,并采取合理的接地措施,以保障采集数据的真实性。

系统的实时性和稳定性同样重要。风电机组的振动监测需要连续、实时地采集数据,及时发现异常振动信号。采

集系统应支持多通道同步采样,确保各传感器数据时间一致性,便于多点振动特征的联合分析。此外,系统硬件和软件应具备高稳定性,能在长期运行中保持性能不变,避免频繁故障带来的监测中断。

另外,随着智能风电运维的发展,采集系统还应支持与数据处理平台的无缝对接,具备灵活的数据传输接口(如以太网、无线通信等),方便远程监控与云端分析。同时,系统应具备扩展性,能够适应未来更多传感器接入及更复杂诊断算法的需求。风电机组振动监测与故障诊断的采集系统选择,应综合考虑高精度采样、抗干扰设计、实时稳定运行及良好的兼容扩展能力。只有在采集阶段确保数据质量,后续的故障诊断才能做到精准可靠,从而提高风电机组的运行安全性和维护效率。

5 软件设计

风电机组振动监测与故障诊断技术中的软件设计,是实现设备状态智能化管理的关键环节。优秀的软件设计不仅能有效处理采集到的海量振动数据,还能精准提取故障特征,辅助运维人员及时作出科学判断,从而保障风电机组的安全稳定运行。软件设计需具备强大的数据处理能力。风电机组振动信号往往包含多种复杂成分,且数据量大、更新频繁。软件应能支持多通道、多维度数据的同步处理,对原始信号进行预处理,如去噪、滤波和归一化等,确保后续分析的准确性。此外,应设计高效的特征提取模块,结合时域、频域及时频域分析方法,提取包括峰值、均方根值、频谱分量及小波包能量等多种特征参数,以全面反映设备振动状态。故障诊断算法是软件设计的核心。传统的阈值判断方法已难满足现代风电机组复杂故障诊断需求,因而软件应集成多种先进的诊断算法,如机器学习、神经网络、支持向量机等,通过训练模型实现对不同故障模式的智能识别。软件设计中需要考虑算法的泛化能力和实时响应性,确保在实际运行环境下具备较高的诊断准确率和较快的反应速度。同时,支持算法的在线更新和升级,也是提升系统适应性的重要设计要素。软件界面与交互设计直接影响用户体验。运维人员多为非专业软件开发人员,软件应采用简洁直观的界面设计,提供清晰的状态监控视图和报警提示,便于快速识别异常状况。支持多层次数据显示与切换,既满足宏观运行监测,也能深入分析局部异常,增强软件的实用性和灵活性。此外,软件应具备多终端适配能力,支持PC端、移动端甚至云端访问,方便远程监控与管理。软件设计还需注重系统的稳定

性与安全性。风电机组多位于偏远地区,软件应能在复杂网络环境下稳定运行,具备容错和自动恢复功能,避免因软件异常导致监测中断。同时,应加强数据安全管控,采用加密传输、权限控制等手段,防止数据泄露和非法篡改,保障风电机组运行数据的真实性和完整性。

最后,随着物联网和大数据技术的发展,现代风电机组振动监测软件设计应融入智能化和云计算理念。通过云平台集中管理多台风电机组的监测数据,实现数据共享与深度挖掘,提升故障预测的准确度和运维效率。结合边缘计算,软件还能实现部分实时数据的本地处理,降低数据传输延迟,增强系统响应速度。风电机组振动监测与故障诊断技术的软件设计,必须在数据处理、故障诊断、用户交互、系统稳定与安全及智能化应用等方面统筹兼顾。只有构建功能完善、运行稳定、操作便捷的软件系统,才能为风电机组的健康管理提供坚实保障,推动风电产业的可持续发展。

6 结语

由此可见,风电机组振动监测与故障诊断技术是保障设备安全运行、延长使用寿命和提升发电效率的重要手段。随着智能化技术的发展,基于多源传感与数据分析的诊断系统已逐步替代传统人工检修模式。本文从数据获取、传感配置、采集系统与软件设计等方面系统阐述了振动监测系统的构建思路,并结合现有算法提出了优化路径。在今后的风电机组运行的实践中,该领域将进一步向边缘智能、云计算融合、故障预测预警方向发展,为风电行业智能运维提供强有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 潘丛虎,李建东.风电机组振动监测与故障诊断技术研究[J].电力设备管理,2025(3):109-111
- [2] 赵洪山,徐樊浩,徐文岐,高奇.风电机组振动监测与故障预测系统[J].陕西电力,2016,44(7):10-14
- [3] 吉庆昌,刘文贵,李爱宁.风电机组振动监测与故障预测系统[J].科技风,2018(8):105-105107
- [4] 李仕成.关于风电机组振动监测与故障诊断探究[J].电子测试,2020,31(2):106-107
- [5] 赵飞.风电机组振动监测与故障诊断研究[J].科技与创新,2015(8):140-140

作者简介:

梁劲龙(1995—),男,汉族,广西玉林人,初级职称,本科学历,研究方向:专业为能源与动力工程。