

基于动态载荷的风电机组故障诊断技术

谢超善

北京必可测科技股份有限公司, 北京 100000

摘要： 风能是一种可再生能源，具有清洁、低碳等优点，故障诊断是保障风电机组正常运行的重要手段之一。因此，本文结合案例分析了基于动态载荷的风电机组故障诊断技术，旨在提高故障检测的准确性和可靠性。

关键词： 风电机组；故障诊断；案例分析

Dynamic Load-Based Fault Diagnosis Technology for Wind Turbines

Xie Chaoshan

Beijing Bikece Technology Co., Ltd, Beijing 100000

Abstract： Wind energy is a kind of renewable energy, which has the advantages of cleanliness and low carbon, etc. Fault diagnosis is one of the important means to guarantee the normal operation of wind turbines. Therefore, this paper analyzes the wind turbine fault diagnosis technology based on dynamic load with case study, aiming to improve the accuracy and reliability of fault detection.

Key words： wind turbine; fault diagnosis; case study

引言

随着全球对可再生能源的关注度不断提高，风能作为一种清洁、可持续的能源，得到了广泛的应用和推广。风电机组作为风能利用的关键设备，其运行状态直接影响到风能的转换效率和设备的寿命，然而，风电机组在运行过程中容易受到多种因素的影响，如风速、风向、载荷等，导致故障频发。因此，对风电机组进行故障诊断技术的研发和应用，对于保障其正常运行、提高能源转换效率、降低维护成本具有重要意义。在风电机组故障诊断技术的发展过程中，动态载荷监测技术逐渐得到了广泛应用^[1]。动态载荷是指风电机组在运行过程中受到的动态变化载荷，包括风载荷、机械载荷等^[2]，通过对动态载荷数据的采集和分析，可以有效地检测和识别风电机组的故障^[3]。风电机组在运行过程中常见的故障包括机械故障、电气故障、控制故障等。其中，机械故障包括齿轮箱故障、轴承故障、叶片故障等^[4]；电气故障包括发电机故障、变频器故障、电缆故障等^[5]；控制故障包括 PLC 故障、传感器故障等^[6]，这些故障不仅会影响风电机组的正常运行和能源转换效率，还会缩短设备的使用寿命和增加维护成本。因此，对风电机组进行故障诊断技术的研发和应用至关重要。

一、风电机组故障诊断技术

(一) 振动监测技术

振动监测技术是一种广泛应用于风电机组故障诊断的技术。通过安装在风电机组关键部位的振动传感器，可以实时监测风电机组的振动情况，并通过对振动信号的分析，诊断出风电机组可能存在的故障^[7]。

优点：振动监测技术可以实时监测风电机组的振动情况，及时发现异常振动；通过对振动信号的分析，可以检测到风电机组的早期故障，避免故障扩大导致的停机损失；振动监测技术可以对风电机组的振动进行定量分析，精确诊断故障原因。

缺点：需要在风电机组的关键部位安装振动传感器，安装过程可能影响机组正常运行；需要对采集的振动数据进行处理和分析，对数据处理技术的要求较高。

(二) 声发射技术

声发射技术是一种利用声波信号监测风电机组故障的方法。

当风电机组内部部件发生故障时，会发出特定的声波信号，通过安装在周围的声波传感器采集这些信号，并对信号进行分析，诊断出风电机组的故障。

优点：声发射技术不需要接触风电机组，可以避免对机组运行的影响；声发射技术对风电机组的微小故障具有较高的灵敏度；通过对声波信号的分析，可以精确定位故障发生的位置。

缺点：风电机组运行环境中的噪声可能会干扰声发射信号的采集和分析；需要在合适的部位安装声波传感器，否则可能无法准确采集到故障信号。

(三) 温度测量技术

温度测量技术是一种利用温度变化监测风电机组故障的方法。当风电机组内部部件发生故障时，会伴随着温度的异常变化，通过安装在周围的温度传感器实时监测温度变化，并对温度数据进行分析，诊断出风电机组的故障^[8]。

优点：温度变化可以直接反映风电机组的运行状态，直观性

强；温度测量技术的响应速度较快，可以及时发现异常温度；温度数据相对简单，不需要复杂的处理和分析。

缺点：仅通过温度变化难以精确定位故障发生的位置；不同部件的温度阈值设定存在难度，需要经验丰富的技术人员进行设定。

(四) 电气测试技术

电气测试技术主要通过通过对风电机组的电气性能进行测试来诊断故障。通过对电压、电流、功率等电气参数的测量和分析，可以诊断出电气系统存在的故障。此外，一些先进的电气测试技术还可以对风电机组的控制逻辑和保护系统进行测试和诊断。

优点：对风电机组的整体性能有一个较为全面的了解。

缺点：需要专业的电气测试设备和技能较高的操作人员，而且对风电机组的正常运行有一定影响。润滑系统监测技术润滑系统监测技术主要通过通过对风电机组的润滑系统进行监测来诊断故障。润滑系统是保证风电机组正常运行的重要部分，当润滑系统出现故障时，会导致机组运行异常甚至损坏。润滑系统监测技术通常包括油品分析、油温监测、油压和泄漏监测等方面优点，对预防性维护和延长机组寿命有重要作用。

(五) 基于傅里叶变换

傅里叶变换是一种将时间序列信号转换为频域信号的方法，通过分析频域特征，可以准确地检测出设备的故障^[9]。基于傅里叶变换的优点是可以准确地检测出设备的故障，但缺点是难以分析非平稳信号。

(六) 基于小波变换

小波变换是一种同时分析时域和频域的方法，适用于非平稳信号的处理。它可以提供信号的局部特征，有助于识别出微弱的故障信号。基于小波变换的优点是可以同时分析时域和频域，适用于非平稳信号，但缺点是小波基的选择困难。

(七) 基于神经网络

神经网络是一种模拟人脑神经网络结构的计算模型，具有强大的非线性映射能力。通过训练神经网络，可以建立故障模式与特征之间的映射关系。基于神经网络的优点是具有较强的非线性映射能力，但缺点是训练时间长，需要大量的数据。

(八) 基于支持向量机

支持向量机是一种基于统计学习理论的模式分类方法，可以有效处理高维数据。在风电机组故障诊断中，可用于分类和识别不同类型的故障。基于支持向量机的优点是能够有效处理高维数据，但缺点是参数选择对结果影响较大。

(九) 基于主成分分析

主成分分析是一种降维方法，能够消除变量之间的相关性，提取出主要的特征。通过分析主成分，可以识别出与故障相关的关键特征^[10]。基于主成分分析的优点是能够消除变量之间的相关性，降低维度，但缺点是对高维数据的处理能力较弱。

二、基于动态载荷的风电机组故障诊断具体案例分析

(一) 现场概况

该机组在运行过程中出现了明显的异常情况。通过对其进行

分析，发现该风电机组的动态载荷是导致故障的主要原因。在风力发电过程中，风电机组需要承受多种动态载荷，包括风力、转动惯量、重力以及扭矩等。这些载荷都会对风电机组的运行产生影响，而当动态载荷超过一定范围时，就会导致风电机组的故障。

表1：风电机组运行状况

项目	内容	说明
机组类型	水平轴风力发电机	常见的风电机组类型之一，利用风的动力，通过叶片的旋转带动发电机转子转动，从而转化为电能。
	垂直轴风力发电机	与水平轴风力发电机不同，垂直轴风力发电机主要利用风的压力，通过叶片的旋转带动发电机转子转动，从而转化为电能。
	直驱式风力发电机	与传统变速式风力发电机不同，直驱式风力发电机省略了齿轮箱等传动机构，直接将风能转化为电能。
传感器类型	风速传感器	用于测量风电机组周围的风速，为风电机组的控制提供重要参数。
	转速传感器	用于监测风电机组发电机的转速，当转速异常时可以触发报警或自动停机保护。
	振动传感器	用于监测风电机组各部分的振动情况，有助于早期发现潜在的故障或问题。
安装位置	风速传感器	根据实际需要安装在风电机组的不同高度和方向上，以获得更为全面的风速信息。
	转速传感器	通常安装在发电机轴承上，直接监测发电机的转速。
	振动传感器	根据需要安装在风电机组的塔筒、叶片、齿轮箱等关键部位，以监测其振动情况。
采样频率	每秒一次或每分钟一次	根据实际需要和设备性能确定采样频率，通常每秒或每分钟进行一次数据采集和分析。
机组运行工况	正常运行状态	在正常运行状态下，风电机组能够稳定地输出电能，各项参数正常，无异常报警。
	异常运行状态	在异常运行状态下，风电机组可能因各种原因无法正常输出电能，或出现异常报警。需要采取相应的措施进行处理或维修。

通过上述表格，可以对风电机组的类型、传感器类型、安装位置、采样频率以及机组运行工况进行详细的了解和对比。这有助于我们更好地理解 and 掌握风电机组的运行状况、性能特点以及潜在问题。同时，通过对这些数据的分析和处理，可以实现风电机组的优化控制和故障预警，提高风能利用率和机组运行可靠性。

(二) 数据采集

首先，对风电机组的运行数据进行了采集。

表2: 风电机组发电机轴承故障特征频率数据

序号	故障类型	故障频率 (次/年)	轴承 型号	轴承 材质	轴承运行环境	轴承负荷	轴承润 滑状态	轴承维护历史
1	轴承磨损	2	SKF6206	高碳铬 轴承钢	风沙、潮湿	中等	良好	定期维护, 无历史故障记录
2	轴承腐蚀	1	SKF6306	高碳铬 轴承钢	盐雾、潮湿	中等	一般	无历史故障记录, 近期更换润滑油后出现腐蚀迹象
3	轴承保持 架断裂	1	NSK1205	高碳铬 轴承钢	高温、干燥	高负荷	良好	无历史故障记录, 突然出现保持架断裂故障
4	轴承间隙 过大	3	NTN22206E	高碳铬 轴承钢	多尘、潮湿	中等负荷	一般	历史记录显示该轴承间隙过大问题经常出现, 近期维护时未发现问题。此次因运行环境不良导致间隙过大引起故障。
5	轴承滚珠 脱落	1	NJ307	铬钢	高温、干燥	中等负荷	良好	无历史故障记录, 突然出现滚珠脱落故障, 可能与材质或制造工艺有关。
6	轴承外套 磨损	2	NJ207	铬钢	多尘、潮湿	高负荷	良好	历史记录显示该轴承外套磨损问题经常出现, 近期维护时未发现问题。此次因运行环境不良导致外套磨损引起故障。与设备本身的设计和使用条件有关。

(三) 数据分析

表3: 轴类故障模型参数

序号	特征参数名称	数值
1	1倍转频 1X	24.83Hz
2	2倍转频 2X	49.66Hz
3	3倍转频 3X	74.49Hz
4	4倍转频 4X	99.32Hz
5	5倍转频 5X	124.15Hz

通过对采集到的数据进行分析, 发现该风电机组在运行过程中出现了明显的异常波动。这些波动主要是由风力载荷和转动惯量载荷引起的。在风速发生变化时, 风电机组的转速和扭矩也会相应地发生变化。当风速突然增加时, 风电机组的转速和扭矩也会突然增加, 反之亦然。这种波动会导致风电机组的动态载荷发生变化, 从而引起故障。

(四) 故障诊断

通过对数据的分析, 可以确定该风电机组的故障是由动态载荷引起的。具体来说, 是由于风力载荷和转动惯量载荷的波动超过了风电机组的承受范围, 导致机组出现了振动和噪声等异常情况。同时, 这些异常情况也会引起机组的磨损和发热等问题, 从

而进一步加剧了故障的程度。

(五) 解决方案

针对以上问题, 提出了一些解决方案。首先, 可以对风电机组进行加固设计, 提高其承受动态载荷的能力; 其次, 可以通过增加阻尼材料或者优化控制算法等方式来减少机组的振动和噪声等问题; 此外, 还可以对机组进行检查和维护工作, 及时发现并解决潜在的问题。这些措施可以有效提高风电机组的可靠性和稳定性, 减少故障的发生率。

三、总结

总之基于动态载荷的风电机组故障诊断是一个非常复杂的问题需要通过综合运用各种技术手段来解决。在本次案例中通过对风电机组运行数据的采集和分析确定了故障的原因并提出了相应的解决方案希望能够对大家有所帮助。

展望未来发展, 基于动态载荷的风电机组故障诊断技术将继续深入研究和完善, 将进一步优化风电机组故障诊断技术特征提取和机器学习算法的性能, 提高故障检测和识别的准确性和效率。

参考文献

- [1] 张雁忠, 刁嘉, 翟化欣等. 基于嵌入式技术的风电场智慧监控系统 [J]. 微型电脑应用, 2023, 39(10):91-94.
- [2] 龙震, 杨婷, 徐助辉等. 基于数据驱动的风电机组状态监测与故障诊断技术综述 [J/OL]. 电力系统自动化, 1-15.
- [3] 王俊, 席芳, 周川等. 基于 BES-ELM 的风电机组故障诊断 [J]. 排灌机械工程学报, 2023, 41(10):1023-1029.
- [4] 张智伟, 王靖, 黄煜明等. 海上大兆瓦风电机组故障预测与识别 [J]. 科技和产业, 2023, 23(17):273-278.
- [5] 卞文彬, 邓艾东, 刘东川等. 基于改进深度残差收缩网络的风电机组滚动轴承故障诊断方法 [J]. 机械工程学报, 2023, 59(12):202-214.
- [6] 陈宏, 陈新财, 巩晓赞等. 基于知识图谱的风电机组诊断系统构建与应用 [J]. 郑州大学学报(工学版), 2023, 44(06):54-60+98.
- [7] 孟良, 苏元浩, 许同乐等. 并行卷积神经网络的风电机组故障诊断方法 [J]. 太阳能学报, 2023, 44(05):449-456.
- [8] 王清照. 风电机组故障预警方法研究与应用 [D]. 西南科技大学, 2023.
- [9] 伍云浩, 滕伟, 王罗等. 数字孪生驱动的风电机组变桨系统故障诊断 [J]. 风机技术, 2023, 65(02):63-69.
- [10] 王鹏程, 邓艾东, 凌峰等. 基于 PSO-SEBD 的风电机组滚动轴承故障诊断 [J]. 振动与冲击, 2023, 42(07):281-288.