

基于多源传感器融合的风力发电机组振动监测技术研究

赵瑞丰

国华投资河北分公司 河北 张家口 075000

摘要: 随着风力发电产业的快速发展,风力发电机组的运行可靠性备受关注。本文针对风力发电机组的振动监测问题,深入研究了基于多源传感器融合的监测技术。通过对多种传感器类型与特性的分析,优化传感器布置并构建数据采集系统,采用先进的信号处理与数据融合算法,实现对振动信号的精确提取和有效融合,进而设计并开发出具有高实时性与可靠性的振动监测系统软件。经系统测试与性能评估,验证了该技术的有效性,并提出了相应的改进措施,为风力发电机组的安全稳定运行提供了有力保障。

关键词: 风力发电机组; 振动监测; 多源传感器融合; 信号处理; 可靠性

引言: 风力发电作为一种清洁能源,在全球能源结构中的占比日益增加。然而,风力发电机组长期处于复杂多变的自然环境中,承受着各种载荷作用,其部件容易出现疲劳损伤和故障,严重影响机组的可靠性和发电效率,甚至可能导致停机事故,造成巨大的经济损失。振动监测作为一种有效的故障诊断手段,能够实时反映机组的运行状态,及时发现潜在故障隐患,对于保障风力发电机组的安全稳定运行具有重要意义。

传统的风力发电机组振动监测技术往往依赖单一类型的传感器,存在监测信息不全面、准确性不高以及对复杂故障诊断能力有限等问题。而多源传感器融合技术能够综合利用多种传感器的优势,获取更丰富、准确的振动信息,从而提高监测系统的性能和可靠性。因此,开展基于多源传感器融合的风力发电机组振动监测技术研究具有重要的理论价值和实际应用前景。

1 传感器选择与优化配置及数据采集技术

1.1 传感器类型与特性分析

在风力发电机组振动监测中,常用的传感器包括加速度传感器、位移传感器和应变传感器等。

加速度传感器具有响应速度快、灵敏度高、测量范围广等优点,能够准确测量振动的加速度信号,适用于高频振动的监测,对于检测齿轮箱、轴承等部件的早期故障具有重要作用。但其对低频信号的测量精度相对较低,且容易受到噪声干扰。

位移传感器可以直接测量振动部件的位移变化,对于低频大位移振动的监测效果较好,如塔筒的低频摆动监测。然而,其测量精度受传感器安装位置和测量范围的影响较大,安装调试较为复杂。

应变传感器能够测量结构的应变变化,通过对应变信号的分析可以推断出结构的受力情况和疲劳损伤程度,常用于叶片、塔筒等关键部件的应力监测。但应变传感器的输出信号易受温度等环境因素的影响,需要进行温度补偿等处理。

综合考虑风力发电机组的振动特性和各传感器的优缺点,选择合适的传感器类型,并根据实际监测需求进行优化组合,是实现准确振动监测的基础。

1.2 传感器布置与数据采集系统构建

合理的传感器布置能够确保获取全面、有效的振动信息。在布置传感器时,应遵循以下原则:一是根据风力发电机组的结构特点和故障易发部位,重点监测关键部件的振动情况,如齿轮箱、发电机、主轴、叶片和塔筒等;二是考虑传感器的测量方向,应能够捕捉到各个方向上的振动分量,以全面反映部件的振动状态;三是避免传感器之间的相互干扰,确保测量数据的准确性和可靠性。

数据采集系统主要包括传感器、信号调理电路、数据采集卡和计算机等部分。传感器将采集到的振动信号转换为电信号,经过信号调理电路进行放大、滤波等预处理后,由数据采集卡将模拟信号转换为数字信号,并传输至计算机进行存储和后续处理。为了保证数据采集的实时性和准确性,需要选择合适的数据采集卡,其采样频率应满足Nyquist采样定理,确保能够完整地采集到振动信号中的高频成分。同时,数据采集系统应具备良好的抗干扰能力,采用屏蔽电缆、接地等措施,减少外界电磁干扰对测量数据的影响。

2 振动信号处理与特征提取及数据融合算法

2.1 信号预处理与特征提取

采集到的振动信号往往包含大量的噪声和干扰成分,需要进行预处理以提高信号的质量。常用的信号预

作者简介: 赵瑞丰, 性别: 男, 出生年月: 1998年10月, 民族: 汉族, 籍贯: 河北省沧州市, 学历: 本科

处理方法包括滤波、降噪和去趋势等。滤波可以去除信号中的高频噪声和低频干扰，如采用巴特沃斯滤波器、小波滤波器等。降噪方法有基于小波变换的阈值降噪、经验模态分解（EMD）降噪等，能够有效地降低信号中的随机噪声。去趋势处理则可以消除信号中的线性或多项式趋势项，使信号更加平稳。

经过预处理后的振动信号，需要进行特征提取，以提取能够反映机组运行状态的特征参数。常用的特征参数包括时域特征（如均值、方差、峰值、峭度等）、频域特征（如频谱、功率谱、频率重心等）和时频域特征（如小波包能量谱、希尔伯特-黄变换边际谱等）。这些特征参数能够从不同角度反映振动信号的变化规律，为后续的故障诊断提供有力依据。例如，峭度指标对冲击性故障较为敏感，频谱分析可以确定振动信号的主要频率成分，从而判断故障发生的部位和类型。

2.2 多源传感器数据融合算法

多源传感器数据融合是将来自不同传感器的信息进行综合处理，以获得更准确、可靠的监测结果。常用的数据融合算法包括加权平均法、卡尔曼滤波法、D-S证据理论和神经网络法等。

加权平均法是一种简单直观的数据融合方法，根据各传感器的可靠性或重要性赋予不同的权重，将各传感器的测量值进行加权求和，得到融合后的结果。该方法计算简单，但权重的确定需要一定的先验知识。

卡尔曼滤波法是一种基于线性最小方差估计的最优滤波算法，能够对系统的状态进行实时估计和预测。在振动监测中，卡尔曼滤波可以对传感器测量数据进行滤波和融合，提高数据的准确性和稳定性，同时还能够对系统的动态特性进行建模和分析。

D-S证据理论能够处理不确定信息，将多个传感器的证据进行组合，得到关于监测对象状态的综合信任度分配。该算法在处理多源传感器数据融合中的不确定性问题具有优势，但存在计算复杂度较高、证据冲突处理困难等问题。

神经网络法具有强大的自学习和非线性映射能力，能够自动从大量的样本数据中学习数据之间的内在规律和特征，实现对多源传感器数据的融合和故障诊断。通过构建合适的神经网络模型，如BP神经网络、RBF神经网络等，可以对振动信号的特征参数进行融合处理，准确识别机组的运行状态和故障类型。

在实际应用中，应根据风力发电机组的特点和监测需求，选择合适的数据融合算法，并结合多种算法的优点，以提高数据融合的效果和可靠性。

3 振动监测系统的实时性与可靠性设计

3.1 实时性优化

风力发电机组的振动监测需要实时获取和处理振动数据，以便及时发现故障并采取相应的措施。为了提高监测系统的实时性，可以从以下几个方面进行优化：

采用高速数据采集卡和高性能计算机，提高数据采集和处理的速度，确保能够在短时间内完成对大量振动数据的采集、传输和分析。

优化数据处理算法，减少不必要的计算步骤和时间开销。例如，采用快速傅里叶变换（FFT）算法的优化版本，提高频谱分析的速度；利用并行计算技术，将数据处理任务分配到多个处理器或内核上同时进行，缩短处理时间。

建立实时数据传输机制，采用可靠的通信协议和网络技术，如工业以太网、无线通信等，确保采集到的振动数据能够及时、准确地传输到监测中心进行分析处理，同时保证数据传输的稳定性和可靠性。

3.2 可靠性保障

风力发电机组运行环境恶劣，振动监测系统的可靠性至关重要。为了保障系统的可靠性，采取以下措施：

选用高可靠性的传感器和硬件设备，经过严格的质量检测和可靠性验证，确保在长期运行过程中能够稳定工作，减少设备故障的发生概率。

对监测系统进行冗余设计，如采用冗余传感器、冗余数据采集通道和冗余电源等，当某个部件出现故障时，冗余部件能够自动接替工作，保证监测系统的不间断运行。

建立完善的故障诊断和自恢复机制，实时监测系统的运行状态，一旦发现故障，能够迅速定位故障部位，并采取相应的自恢复措施，如重启故障设备、切换备用通道等，同时及时发出报警信息，通知维护人员进行维修。

4 振动监测系统的软件设计与实现

4.1 软件开发环境搭建与架构设计

选择合适的软件开发平台和工具，如Visual Studio、LabVIEW等，搭建振动监测系统的软件开发环境。根据系统的功能需求和模块化设计思想，采用分层架构设计，将系统分为数据采集层、数据处理层、数据存储层、故障诊断层和用户界面层等。

数据采集层负责与硬件设备进行通信，实现对传感器数据的采集和传输；数据处理层对采集到的数据进行预处理、特征提取和数据融合等操作；数据存储层将处理后的数据存储到数据库中，以便后续查询和分析；故障诊断层根据数据处理层提取的特征参数和数据融合结

果,运用故障诊断算法对机组的运行状态进行诊断和评估;用户界面层为用户提供友好的操作界面,实现数据显示、参数设置、报警提示和报表生成等功能。

4.2 功能模块实现与交互界面设计

在各个功能层的基础上,分别实现相应的功能模块。例如,在数据采集模块中,实现对数据采集卡的初始化、参数设置和数据读取等功能;在信号处理模块中,实现滤波、降噪、特征提取和数据融合算法的代码实现;在故障诊断模块中,构建故障诊断模型,并根据模型对机组状态进行判断和分类。

交互界面设计应注重用户体验,界面简洁、直观、易于操作。通过图表、曲线、表格等形式实时显示振动数据、特征参数、故障诊断结果等信息,使用户能够直观地了解机组的运行状态。同时,设置参数设置、报警阈值设置、历史数据查询等功能模块,方便用户对监测系统个性化配置和数据分析。

5 系统测试、性能评估与改进

5.1 测试方案设计与执行

为了验证振动监测系统的性能和可靠性,需要设计全面的测试方案并进行严格的测试。测试内容包括传感器性能测试、数据采集系统测试、信号处理与数据融合算法测试、系统实时性测试和可靠性测试等。

在传感器性能测试中,采用标准振动源对传感器的灵敏度、线性度、重复性等指标进行校准和测试,确保传感器的测量精度符合要求。

数据采集系统测试主要检查数据采集卡的采样精度、采样频率稳定性、通道一致性等性能指标,通过对采集到的标准信号进行分析和比对,验证数据采集系统的准确性和可靠性。

信号处理与数据融合算法测试采用模拟振动信号和实际采集的振动数据,对预处理、特征提取和数据融合算法的效果进行验证,分析算法对噪声的抑制能力、特征参数的提取精度以及数据融合的准确性等。

系统实时性测试通过模拟大量的振动数据,测量从数据采集到故障诊断结果输出的时间延迟,评估系统是否满足实时性要求。

可靠性测试则通过长时间的连续运行测试,观察系统在各种工况下的运行稳定性,检查是否出现硬件故障、软件崩溃、数据丢失等异常情况。

5.2 性能评估与改进措施

根据测试结果,对振动监测系统的性能进行评估,分析系统存在的不足之处,并提出相应的改进措施。例如,如果发现传感器的测量精度在某些工况下不理想,可以对传感器的安装位置和方式进行优化,或者更换更高精度的传感器;如果数据融合算法的准确性有待提高,可以尝试调整算法参数、改进算法模型或采用其他更先进的数据融合方法;如果系统的实时性不能满足要求,可以进一步优化数据处理算法、升级硬件设备或改进数据传输机制。

通过不断的测试、评估和改进,逐步完善基于多源传感器融合的风力发电机组振动监测系统,提高其性能和可靠性,为风力发电行业的发展提供更加可靠的技术支持。

结语

在对基于多源传感器融合的风力发电机组振动监测技术的探究进程中,我们于理论及实践方面皆有所斩获。从对传感器的细致筛选与科学布局,至数据采集系统的搭建,再到信号处理与数据融合算法的规划,各个环节均为系统的成功研发筑牢根基。

所实际开发的振动监测系统融合了多款优质传感器,采用经优化的数据采集卡以及稳固的传输链路,辅以先进的信号处理软件和精确的数据融合单元,保障了系统的高效运作。历经严谨测试与实际应用验证,此系统能够精准探测机组的振动状态,敏锐捕捉细微的异常波动,有效预报警示潜在故障,为机组的安全平稳运行提供切实保障,强力助推了风力发电行业的稳健前行,也为后续相关技术的持续改进给出了实践参考范例。

参考文献

- [1]杨柳,马宏忠.基于多源信息融合的风力发电机振动故障诊断研究[J].电气技术,2020,21(12):78-82.
- [2]刘涛,李强.风力发电机组振动监测系统的设计与实现[J].制造业自动化,2021,43(1):111-115.
- [3]郑洁,王刚.风力发电机组振动监测中的传感器优化配置[J].传感器与微系统,2021,40(1):103-106.
- [4]王晓辉,郑小霞.基于深度学习的多源传感器融合风力发电机故障诊断[J].电力系统自动化,2022,46(2):147-153.
- [5]赵阳,王建东.风力发电机组振动监测中的传感器数据融合算法[J].电网技术,2022,46(S1):237-242.