

水电厂发电机组振动监测与故障预警系统的智能化技术研究

季 莉

(大唐雅安电力开发有限公司, 四川 雅安 625000)

摘 要 振动监测技术作为评估发电机组运行状态的重要手段之一, 在故障诊断与预警系统中扮演着不可或缺的角色。传统的振动监测技术虽然具有一定的应用基础, 但随着电力设备复杂度的提升及运行环境的变化, 其局限性逐渐显现。智能化技术的引入为振动监测提供了更多的可能性, 特别是在数据分析、故障预测与决策支持等方面展示了显著的优势。本文通过对水电厂发电机组振动监测技术的研究, 探讨了智能化振动监测系统的组成、工作原理与实施策略, 同时分析了智能化技术在实际应用中的发展前景, 以期为推动水电行业智能化发展提供理论参考。

关键词 水电厂; 发电机组; 振动监测; 故障预警; 智能化技术

中图分类号: TM312; TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.003

0 引言

随着全球能源需求的持续增长与环保意识的日益提升, 水电作为清洁能源, 在世界范围内得到了广泛关注。水电厂发电机组是水电系统中的核心设备, 它的运行稳定与否直接关系到电网安全和电力供应是否持续。在长时间的运行中, 发电机组很容易产生振动, 不仅会缩短设备的使用寿命, 还可能导致严重的故障, 从而造成重大的经济损失^[1]。水电厂发电机组的运行规模日益增大, 设备运行的安全性与可靠性成为保障电力供应稳定的重要课题。

1 水电厂发电机组振动监测系统的组成

1.1 传感器与数据采集系统

水电厂发电机组振动监测系统以传感器和数据采集系统为核心组成部分。传感器负责采集发电机组各部分振动信号以保证数据采集准确全面。常用振动传感器有加速度传感器、位移传感器和速度传感器^[2]。这些传感器基于不同工作原理及应用场景设置于发电机组关键部位, 以保证振动信息得到充分监控。加速度传感器常用于探测装置加速度变化情况, 并能准确捕捉到振动频率及强度; 位移传感器的主要功能是监控机组在运行过程中的位移状况, 从而辅助判断设备是否出现了显著的偏移或振动; 速度传感器的工作原理是通过测定振动的速度来评定设备的振动范围^[3]。这些传感器在实际使用过程中常采用多点布置方式来

保证机组各关键部位进行综合监测。该数据采集系统对各传感器输出信号汇总处理后形成了完整振动数据, 可作为后续信号分析及故障预警依据。

1.2 信号处理与分析模块

信号处理和分析模块在振动监测系统中起着核心作用, 它的主要工作就是对传感器所采集的振动信号加以处理和分析。由于传感器输出振动信号中一般含有大量噪声和冗余信息, 如何高效提取出有价值信号是信号处理中的一项重点工作。信号处理一般由滤波、去噪和特征提取几个环节组成, 以保证分析结果准确。在信号的分析过程中, 经常采用的方法有时域分析、频域分析、时频分析和小波变换等技术^[4]。时域分析主要是直接对振动信号波形进行分析来得到装置瞬时振动特性; 频域分析采用傅里叶变换技术, 将信号转化为频谱图, 从而揭示了设备的振动频率和其变化趋势; 时频分析综合考虑了时间和频率的变化, 从而能更精确地捕获瞬态振动信号; 小波变换特别适合处理复杂的信号, 并能对非平稳信号进行高效的分析。

1.3 预警与决策支持系统

在整个振动监测系统中, 水电厂发电机组的预警与决策支持系统扮演着至关重要的角色, 其主要职责是基于处理过的振动信号来进行故障的诊断和预警。该预警系统以智能化技术为支撑, 可以利用机器学习算法对设备故障可能存在的风险进行辨识, 在出现故

作者简介: 季莉 (1997-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水电厂机组智能监测。

障前发出预警信号以协助管理人员及时做出应对^[5]。在决策支持中,该系统既能依据当前振动状态评价设备,又能将历史数据和故障模式分析相结合以支持设备维修决策。通过对大数据进行分析,该系统可以对设备剩余寿命进行预测,为制定维修计划奠定基础。另外,该系统能够根据机组实际运行情况自动调节预警阈值以保证在各种运行条件下监测的准确性。

2 智能化故障预警系统的工作原理

2.1 故障预警的基本概念

故障预警系统对水电厂发电机组监测起到关键作用,主要目的在于通过实时监控与数据分析及时发现可能出现的故障征兆并发出报警信号,为设备维护与维修赢得时间,降低事故发生概率。区别于传统的以阈值为报警依据的报警机制,智能化故障预警系统将数据分析与模式识别结合在一起,可以更加准确地对振动信号进行异常情况识别。基于此,本系统采用机器学习与深度学习算法相结合的方式,从多维度数据分析入手,提升故障诊断灵敏度与准确性。该系统综合温度、压力、流量等各类数据增强故障识别能力,可基于实时与历史数据学习优化以达到准确预测不同运行状态下的故障。

2.2 智能算法在故障诊断中的应用

区别于传统监测方式,智能算法可以通过对振动信号的深度分析,提前识别出可能出现的故障模式甚至提前报警。目前流行的智能算法种类繁多,包括但不限于支持向量机(SVM)、人工神经网络(ANN)、决策树、K-近邻算法(KNN)以及深度学习等技术。SVM通过在高维空间中构造超平面来实现不同振动模式的划分,从而有效地提高了划分精度。ANN能够应对复杂非线性问题、适应高噪声环境、并通过训练模型达到准确预测的目的。决策树和KNN通过对历史数据进行分类和邻近性分析,能够对设备的状态做出精确的评估。深度学习,特别是卷积神经网络(CNN)和递归神经网络(RNN),在振动信号分析方面展示了巨大的应用潜力。

2.3 数据融合与模型优化

水电厂发电机组振动监测一般要依靠多个传感器来收集振动、温度、压力等信息,存在时序性、异质性、冗余性等特点。有效地进行数据融合可以降低不同数据源所产生的不确定因素,增强故障诊断精度。常见融合方法有加权平均法、卡尔曼滤波、贝叶斯网络。卡尔曼滤波能估计出噪声干扰时系统的状态,适合实时监测时状态的更新和预报。贝叶斯网络利用概率推

断的方法对各种数据进行组合从而推算出设备部件健康状态,该优化融合模型可实现多种运行条件下的设备精准监测并进一步提升故障预警系统性能与可靠性。

3 智能化技术在水电厂振动监测中的挑战

3.1 数据质量与噪声干扰

振动信号自身易受环境噪声干扰,如外部机械设备振动,天气条件和温度变化均会影响所采集的信号,这些外部干扰信号和设备故障信号相互交织,造成原始数据不易区分。传感器性能差异、设备老化和保养不当等因素也会对振动数据精度造成影响,尤其当振动信号较弱或者设备运行环境恶劣时,所采集的数据品质不佳,不能有效地反映出设备的实际状况,影响故障预警精度。振动信号具有非平稳性,这也使得数据处理复杂度提高。装置在各种运行条件下振动模式都会发生改变,传统振动分析方法很难处理这些时变信号。在智能化技术不断推出的背景下,尽管深度学习和其他技术可以应对一些噪声和非线性,但是如何提升信号采集和分析的准确性仍是目前技术所面临的主要难题。

3.2 实时性与系统响应速度

在振动监测和故障预警系统中,实时性是其中一个核心需求。水电厂发电机组运行过程中,当振动出现异常时,如果不能快速做出反应和报警,就有可能造成故障扩散,甚至造成更为严重的设备破坏。但现有智能化监测系统通常面临数据处理速度不够快。当需要实时处理海量数据时,常规计算方法及硬件架构很难达到要求,造成系统响应速度慢、不能对故障进行及时报警等问题。尽管近年来计算能力有了显著提升,但随着监测数据的不断增加,尤其是当数据涉及多个维度时,如何在保证准确性的同时提升实时处理能力,仍然是系统设计中的难点。尤其对于大型水电厂,要求监测系统在数据量大、多点监控情况下高效低延迟地处理才能保证设备安全运行。

3.3 多源数据融合与信息整合

水电厂振动监测系统中所涉及的传感器类型较多,所生成的数据类型也较多,并且具有异构性。不同传感器的输出数据在格式、精度和频率上都会有差别,这些都使如何有效地对多源数据进行融合成为一个技术上的实现难点。现有的数据融合技术虽然能够在一定程度上将不同来源的数据进行整合,但面对大规模、复杂的水电厂环境时,现有的算法往往无法充分发挥其优势。水电厂的设备种类繁多,不同机组之间的振动特性差异也要求在数据融合时考虑设备的个性化差异。

4 智能化技术在振动监测中的优化策略

4.1 高效的数据采集与预处理技术

优质的数据采集是保证振动监测准确可靠的基础，所以选择合适的传感器是保证数据质量最重要的工作。水电厂这类复杂环境下振动信号受诸多干扰因素影响，传感器精度及抗干扰能力非常关键。为保证数据采集精度，要选用高精度和低噪声传感器，特别是风险大或者精度要求高的场合，更应该选用高灵敏度传感器、抗干扰性好的传感器来降低外界环境给数据采集带来的影响。

振动信号预处理是数据分析中不可缺少的一环，旨在改善信号质量、消除噪声及冗余信息并提取出有效特征。常用的信号预处理方法有去噪、滤波技术等。对于去噪，通常采用小波变换，它可以对振动信号进行有效分解，在去噪的同时保留有用信息。卡尔曼滤波作为一种依赖于递推算法的信号处理技术，有能力

在动态系统环境中进行噪声的估计和滤除，从而显著提高信号质量。利用这些高级预处理技术能够消除环境干扰，传感器误差及其他因素的影响，使后续分析与故障诊断更准确。

4.2 先进的智能算法与模型优化

在智能振动监测系统中，采用先进的算法和优化技术是提升故障诊断精度的关键。为了提高故障诊断的准确性，采用多种技术手段，如超参数调优、集成学习和迁移学习等，来优化算法模型。通过结合深度学习中的自适应特征提取能力，可以进一步减少对人工标注数据的依赖，提升模型的自学习能力。算法的并行计算和分布式处理技术，也能够有效提高处理效率，解决大规模数据带来的计算瓶颈（见表 1）。

在优化这些算法时，需通过不断调整参数和模型结构来提高诊断的准确性和稳定性。进一步结合深度

表 1 常用智能算法及其在故障预警中的应用效果

算法类型	应用领域	优点	挑战
支持向量机（SVM）	振动信号分类与模式识别	高准确度，适应性强	需要大量的训练数据，计算量大
人工神经网络（ANN）	故障诊断与预测	处理复杂非线性问题	网络训练时间长，可能过拟合
卷积神经网络（CNN）	信号特征提取与异常检测	自动特征学习，精度高	需要大量计算资源，模型复杂性高
决策树（DT）	故障模式分类与预测	解释性强，模型简单	处理复杂问题时准确性下降

学习技术，通过自动化的特征提取与模式识别，减少人工干预，实现更加精准的故障预警。

4.3 系统集成与平台建设

系统集成旨在把传感器采集、信号处理、数据分析、故障诊断和预警响应几个监测环节整合在一起，从而形成高效和稳定的系统、协同工作综合系统通过整合各技术模块可以显著改善系统整体性能和提高水电厂设备安全管理水平。

有效的数据存储架构可以保证数据的安全性和实时性，并对后续分析及决策起到辅助作用。在平台建设中，设备通信与数据传输是否稳定也是一个不可忽视的因素。实时性强、延迟小的通信系统对于远程监控、协同工作至关重要。随着科技的发展，对监测要求越来越高，要求系统必须有很好的扩展性才能满足新技术升级与功能扩展的要求。搭建开放式、模块化系统架构，能够有效地应对上述变革。采用模块化设计后，该系统可以根据实际需求灵活地扩展功能，增强了其长期可维护性与适应性。

5 结束语

随着智能化技术的不断进步，水电厂发电机组的振动监测与故障预警系统已经从传统的简单监测工具发展为综合的智能化系统。这一转变不仅提高了监测

精度与故障预测的准确性，也为水电厂的安全管理与设备维护提供了强有力的支持。尽管当前在数据质量、实时性、多源数据融合等方面仍面临挑战，但通过优化数据采集、应用先进算法以及加强系统集成，智能化振动监测系统的潜力无可限量。随着技术的进一步发展，智能化故障预警系统将在水电厂的运行管理中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] 季军. 基于 RBF 神经网络算法的水电站发电机组振动故障监测方法 [J]. 水利技术监督, 2023(09):68-71.
- [2] 张飞, 刘兴华, 潘伟峰, 等. 水电机组振动监测与评价技术综述 [J]. 大电机技术, 2021(04):45-54.
- [3] 吉祥. 水电站调速系统关键部件故障诊断技术研究与应用 [J]. 电力设备管理, 2025(01):180-182.
- [4] 任岩, 张琳琳, 刘金伟, 等. 接入风光电的水电机组振动信号分析与故障诊断方法研究 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2022,08(04):98-102.
- [5] 高喜笙, 耿玉国, 余玲. 水电厂机组振动摆度在线监测系统的优化与应用 [J]. 信息产业报道, 2024(10):143-145.