

水电机组机械振动监测研究

王启龙

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 甘肃 陇南 746412

[摘要]水电机组作为重要的能源装备, 不仅在水力发电过程中起着核心作用, 还对电网的稳定性和能源供应安全至关重要。机组的稳定运行直接影响发电效率、负荷调节能力及电力供应的可靠性。因此, 实时监测机组的机械振动不仅能及时发现潜在故障, 还能为优化维护和管理决策提供重要数据支持。通过长期积累的监测数据, 不仅可以分析机组的运行趋势、预判设备健康状况, 还能为合理安排设备维修周期和更新换代提供科学依据, 从而显著延长机组的使用寿命, 降低故障率, 提升整体发电效能。

[关键词]水电机组; 机械振动; 监测技术; 故障诊断; 数据分析

DOI: 10.33142/hst.v8i2.15568

中图分类号: TV6

文献标识码: A

Research on Mechanical Vibration Monitoring of Hydroelectric Units

WANG Qilong

Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: Hydroelectric units, as important energy equipment, not only play a core role in the process of hydroelectric power generation, but also are crucial for the stability of the power grid and the security of energy supply. The stable operation of the unit directly affects the power generation efficiency, load regulation capability, and reliability of power supply. Therefore, real-time monitoring of the mechanical vibration of the unit can not only detect potential faults in a timely manner, but also provide important data support for optimizing maintenance and management decisions. Through long-term accumulation of monitoring data, not only can the operating trend of the unit be analyzed and the health status of the equipment be predicted, but scientific basis can also be provided for the reasonable arrangement of equipment maintenance cycle and replacement, thereby significantly extending the service life of the unit, reducing the failure rate, and improving the overall power generation efficiency.

Keywords: hydroelectric units; mechanical vibration; monitoring technology; fault diagnosis; data analysis

引言

随着全球对可再生能源的需求不断增加, 水电作为其中的重要一环, 正迎来更加广泛的应用。然而, 水电机组的运行过程中不可避免地会产生机械振动, 这些振动不仅影响机组的工作效率, 还可能引发严重的设备故障。传统的机械振动监测方法存在一定的局限性, 随着技术的发展, 基于传感器、数据分析及人工智能等技术的振动监测方案逐渐得到应用。本文旨在分析当前水电机组机械振动监测的研究现状, 探讨其在实践中的应用, 并提出改进的研究策略。

1 振动监测的重要性

水电机组在运行过程中, 由于长期承受机械振动, 可能会导致机组内部部件的磨损与损伤, 进而影响设备的整体效率, 甚至引发严重的系统停机事故。振动的来源通常与设备的转动部件、轴承、叶片以及其他机械连接部件的运转状况相关, 若不加以有效监测和控制, 机械振动可能逐渐加剧, 最终损害机组的正常运行。为此, 通过对机组振动的实时监测, 可以在早期阶段及时发现潜在的异常状况, 如不对称负载、轴承损坏等问题, 进而为设备的维护提供预警。这种监测可以帮助工程师通过数据分析准确判

断机组的运行状态, 预测其剩余使用寿命, 并制定相应的维护计划。此外, 振动监测技术还能优化运维策略, 使得维修工作能够集中在需要关注的部位, 从而降低不必要的维修成本, 延长设备的使用寿命, 提高水电机组的可靠性与运行效率。通过这种科学合理的预测性维护, 能够有效避免突发性故障, 保障水电机组的安全与稳定运行^[1]。

2 振动监测技术手段的现状与发展

2.1 传统振动监测方法

传统的振动监测方法通常依赖于机械传感器, 例如加速度计、速度传感器等, 这些传感器通过直接测量水电机组各个部件的振动信号来监测设备的运行状态。这种方法在早期的应用中取得了一定的成功, 能够对机组振动进行实时监控, 帮助发现一些明显的故障迹象。然而, 随着水电机组运行条件的复杂性和监测需求的不断提高, 传统的振动监测方法暴露出了一些明显的不足。首先, 传感器布设较为复杂, 特别是在大型水电机组中, 传感器的安装位置和数量要求较高, 往往需要大量的布设工作, 这在一定程度上增加了安装和维护的难度。其次, 传统传感器的数据处理能力有限, 难以实时处理和分析大量的振动数据, 这使得其在设备状态的精确评估和故障预测方面存在局

限。此外，传感器的数据采集容易受到环境因素的干扰，导致监测结果的准确性和可靠性受到影响。因此，这些传统的监测方法逐渐难以满足现代水电机组对高效、精准振动监测的需求。

2.2 基于传感器网络的振动监测

随着传感器技术的快速发展，基于无线传感器网络（WSN）的振动监测技术逐渐成为了当前研究和应用的热点。与传统的有线传感器系统相比，WSN技术在振动监测中的应用具有显著优势。通过在水电机组的各个关键部位和监测点布设无线传感器，这些传感器能够实时采集机组运行过程中的各类振动数据，包括加速度、速度和位移等信号。传感器通过无线通信网络将这些数据传输到集中处理平台，避免了传统方法中复杂的布线问题，极大地简化了传感器的安装和维护工作。此外，WSN技术使得传感器网络在空间布局上更加灵活，可以覆盖更广泛的监测区域，尤其是在一些难以接触的设备部位，能够实现更全面的实时监控。这种灵活性不仅提高了振动监测的效率，还为设备故障诊断和预测提供了更加精确和丰富的数据支持。通过对大数据的实时分析，WSN系统能够帮助工程师及时发现机组运行中的异常情况，并做出科学的维护决策，从而有效避免故障的发生，提高水电机组的可靠性和运行效率^[2]。

2.3 数据分析技术的应用

近年来，随着数据分析技术的飞速发展，基于机器学习和大数据分析的振动监测方法逐渐成为振动监测领域的新兴趋势。通过对水电机组运行过程中积累的大量振动数据进行深入分析，能够提取出其中潜在的规律和特征，这为机组的故障预测和维护提供了全新的视角。利用大数据分析技术，可以对振动信号进行实时处理，不仅提升了数据处理效率，还能够及时发现隐蔽的故障征兆，提前发出预警，避免设备故障对机组运行造成重大影响。机器学习模型的引入，使得振动监测系统具备了自动学习和自我优化的能力。通过对历史数据的训练，机器学习算法能够识别振动信号中的正常模式和异常模式，从而在故障发生之前进行识别和预警。例如，振动信号中的频率、幅值等特征可以用作输入变量，经过模型的训练，系统能够准确识别出设备的运行异常，并根据不同的故障类型给出相应的维修建议。通过这种早期预警和精准预测，机器学习和大数据分析技术使得振动监测不仅更加智能和高效，而且大大提高了水电机组的安全性和可靠性。

3 振动监测研究策略

3.1 优化传感器布局与布设方法

传感器的合理布设在振动监测系统设计中占据着至关重要的位置，它直接关系到监测数据的准确性以及系统的整体性能。在实际应用中，传感器的布设应考虑设备的振动源、环境因素以及监测需求，确保其能够全面、准确地获取振动信息。合理的安装位置不仅能提高监测数据的

代表性和全面性，还能有效避免由于不当布设而导致的干扰和误差，从而显著提升监测结果的可靠性。此外，传感器的选择同样至关重要。不同的工业环境对传感器的性能要求有所不同，传感器需具备较强的抗干扰能力，以应对温度波动、湿度变化、电磁干扰等外部因素的影响。这些因素可能会导致传感器工作性能的下降，影响数据的准确性，甚至可能导致系统故障。为了确保振动监测系统的稳定性和长期可靠性，传感器的选型应综合考虑其测量精度、抗干扰能力、耐高温、耐腐蚀等特性，使其能够适应各种复杂环境条件，保证在长期使用过程中稳定运行，提供准确的数据支持^[3]。

3.2 引入多源数据融合技术

振动监测虽然是机器设备状态监测的重要手段，但仅依赖振动传感器的数据往往不能全面反映设备的运行状况。为了提高监测的准确性和可靠性，近年来，许多监测系统开始引入多种数据源，如温度、压力、流量等其他参数，进行综合分析。这些不同类型的参数可以为设备的运行状态提供更全面的视角，帮助准确判断设备的健康状态，特别是在机组处于复杂运行状态时。数据融合技术是提升振动监测系统性能的关键手段之一。通过将来自不同传感器的数据进行实时融合，系统能够有效地对多种变量的变化进行关联分析，从而在多重信息的支持下，提高监测的精确度。例如，温度传感器可以提供有关设备过热的预警信息，压力传感器可以帮助分析系统的工作负荷，流量数据则有助于评估流体设备的运行效率。将这些数据与振动信号结合，可以让监测系统更全面地识别设备潜在的故障风险。

尤其是在复杂的工业环境中，机组可能面临多种因素的共同作用，如负荷波动、温度变化、机械磨损等。通过数据融合技术，系统可以将各个数据源的信息整合在一起，从而对设备的运行状态进行多角度、多维度的全面评估。这种综合评估不仅能提供更为精准的故障预测，还能帮助制定科学的维修和保养计划，降低设备的停机时间，提高生产效率。因此，多参数数据融合技术在振动监测中的应用，是提升监测系统可靠性和效率的有效途径。

3.3 应用先进的数据分析方法

随着大数据分析技术的迅猛发展，结合人工智能（AI）技术进行振动信号处理已成为工业设备状态监测和故障诊断的趋势之一。传统的振动监测方法多依赖于人工分析和基本的数学模型，虽然能够提供一定的参考，但在面对海量数据时，处理能力和分析深度受到很大限制。随着深度学习算法、支持向量机（SVM）、神经网络等人工智能技术的广泛应用，振动信号的处理和故障诊断已经进入了一个全新的时代。这些技术能够通过振动数据进行深度挖掘，帮助实现机组运行状态的精准预测和故障诊断^[4]。

深度学习算法，尤其是卷积神经网络（CNN）和循环

神经网络(RNN),能够在处理复杂的时间序列振动数据时,自动提取数据中的特征,捕捉到设备运行中的微小变化。这些算法能够模拟人脑的思维过程,通过不断优化和训练模型,识别出潜在的故障模式。支持向量机(SVM)则通过在高维空间中找到最佳分割平面,对振动数据进行分类和预测,准确度高且鲁棒性强。神经网络则通过多层次的非线性映射,提升了振动信号分析的深度和复杂度,从而能够对设备的状态进行更精确的评估。结合这些先进的算法,振动数据处理能够实现多维度、多层次的分析,从海量数据中提取出关键信息。这不仅大幅提高了故障诊断的准确性,还能在设备出现故障之前,提前进行预测和预警,确保及时采取维修措施。通过这样的技术创新,设备的运行效率得到大幅提升,设备故障的发生频率降低,维护成本也得到了有效控制。因此,人工智能和大数据分析在振动监测中的应用,不仅能够提高故障诊断的时效性,还能帮助企业实现更高效、精准的生产管理。

4 振动监测系统的实践应用

4.1 监测系统的设计与实施

振动监测系统的设计是一项复杂的任务,需要综合考虑多个因素,如机组的运行环境、监测目标、设备成本以及系统的可维护性等。在设计阶段,首先要根据机组的特性和工作条件,选择适合的振动传感器,并合理布设,确保能够覆盖关键部件的振动情况。此外,系统需要具备高效的数据采集、传输、存储与分析功能。数据采集系统能够实时捕捉到设备的振动信号,并确保数据的准确性和及时性;传输部分则要高带宽、低延迟的特点,保证数据能够快速且稳定地传输至监控中心。

为了实现远程监控和预警能力,监测系统必须具备实时监控设备运行状态的能力,能够通过数据分析与模型预测,及时发现潜在故障,并自动触发预警信号。这对于保障机组的连续运行和减少停机时间至关重要。在实施过程中,必须进行充分的现场测试和优化,确保振动监测系统能够适应不同的环境条件并实现高效稳定运行。通过现场调试,可以发现并解决潜在的问题,确保系统在实际应用中能够准确地反映设备的运行状态,及时识别故障风险,从而提高生产效率,降低维护成本^[5]。

4.2 实践中的挑战与解决方案

虽然振动监测技术在工业应用中取得了一定的进展,但在实际操作中仍面临许多技术挑战。振动传感器的部署是一个关键问题,尤其是在水电机组这样的复杂运行环境中。为了确保数据采集的准确性,传感器必须安装在关键部件上,同时还要避免对机组的正常运行造成任何干扰。

由于水电机组的环境因素复杂,传感器的选择和布设必须考虑到防水、防潮、抗腐蚀等多重要求。此外,安装过程中往往需要停机操作,这会带来额外的工作量和成本,因此部署过程需要在确保不影响机组运行的情况下高效完成。

随着振动监测系统数据量的急剧增加,实时处理与分析的需求也显著提升。海量数据的实时处理不仅对存储能力提出了挑战,还对计算能力提出了更高要求。为了应对这一挑战,采用边缘计算和云计算等先进技术显得尤为重要。边缘计算可以将数据处理任务从中心服务器下沉到靠近数据源的边缘设备上,从而减少延迟并减轻中心服务器的负担,实现更高效的实时监测。而云计算则提供了强大的数据存储和分析能力,可以在数据中心进行复杂的分析计算,实现大规模数据的高效处理。结合这两项技术,可以有效提升振动监测系统的数据处理能力,保证实时监测与故障预警的顺畅进行,进而提升机组的运行安全性和维护效率^[6]。

5 结语

水电机组的机械振动监测对于保障机组安全、提高运行效率具有重要意义。随着传感器技术、数据分析方法的不断进步,振动监测手段逐渐向智能化、精准化发展。未来的研究应进一步探索多源数据融合、智能诊断和高效预警等方面,以提升水电机组的智能化运维水平。

[参考文献]

- [1] 卢志扬, 李晓超, 李尚奇, 等. 基于振动的水电机组故障诊断系统研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(2): 516-522.
- [2] 王卫玉, 姚小彦, 肖启志, 等. 基于开机过程的水电机组机械振动状态评估方法[J]. 中国农村水利水电, 2022(12): 173-179.
- [3] 吾买尔·吐尔逊, 穆哈西, 夏庆成. 智能诊断技术在水电机组振动故障诊断中的应用进展[J]. 机电技术, 2021(4): 96-99.
- [4] 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(4): 45-54.
- [5] 游鹏, 纪鸿铸, 唐武强. 巨型水轮发电机组振动分析[J]. 水电与新能源, 2021, 35(6): 35-38.
- [6] 卓康. 水电机组振动状态压缩感知与故障诊断[D]. 湖北: 华中科技大学, 2021.

作者简介: 王启龙(1991.3—), 男, 毕业院校: 长春工程学院, 所学专业: 热能与动力工程(水动), 当前工作单位: 大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂, 职称级别: 助理工程师。