

水电站机组状态监测与故障诊断系统的构建与实现

窦祖乾

浙江华东工程咨询有限公司 浙江杭州

【摘要】随着水电能源在电力系统中的重要性日益凸显，水电站机组的安全稳定运行成为关键。本文提出了一种基于先进传感器技术与智能算法的水电站机组状态监测与故障诊断系统。通过构建全面的监测网络，实时采集机组运行数据，并运用机器学习算法对数据进行分析，实现故障的早期预警与精准诊断。该系统有效提高了机组运行效率与可靠性，降低了维护成本，为水电站智能化运维提供了有力支持。

【关键词】水电站机组；状态监测；故障诊断；智能算法；传感器网络

【收稿日期】2025 年 3 月 5 日

【出刊日期】2025 年 4 月 6 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250155

Construction and implementation of the condition monitoring and fault diagnosis system of the hydropower station unit

Zuqian Dou

Zhejiang Huadong Engineering Consulting Co.,Ltd, Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 With the increasing importance of hydropower energy in the power system, the safe and stable operation of hydropower station units has become the key. This paper presents a condition monitoring and fault diagnosis system based on advanced sensor technology and intelligent algorithm. By building a comprehensive monitoring network, collecting the unit operation data in real time, and using the machine learning algorithm to analyze the data, the early warning and accurate diagnosis of faults are realized. The system effectively improves the operation efficiency and reliability of the unit, reduces the maintenance cost, and provides strong support for the intelligent operation and maintenance of the hydropower station.

【Keywords】 Hydropower station unit; Condition monitoring; Fault diagnosis; Intelligent algorithm; Sensor network

引言

水电站机组作为水电能源转换的核心设备，其运行状态直接关系到电力供应的稳定性和安全性。研究并构建一套高效的状态监测与故障诊断系统，实现对机组运行状态的实时感知与故障的精准识别，对于提升水电站运维效率、保障电力供应具有重要意义。本文旨在探索该系统的构建与实现路径，为水电站智能化运维提供参考。

1 系统构建需求分析

水电站机组运行环境复杂，涉及多种物理量监测需求。水电站机组作为水电能源转换的核心设备，其运行状态受到多种因素的影响。水轮机和发电机等关键部件在运行过程中会产生振动、温度变化和压力波动等多种物理现象^[1]。这些物理量的变化直接反映了机组

的运行状态。振动幅度的异常增大可能预示着机械部件的松动或不平衡；温度的异常升高可能表明设备过载或冷却系统故障；压力的波动则可能暗示着水轮机的水流状态不稳定。为了全面掌握机组的运行状况，必须对这些关键参数进行全面监测，从而获取机组运行状态的实时数据。

系统应具备高可靠性与实时性，确保数据采集与传输的稳定性。在水电站机组的运行过程中，数据的准确性和及时性至关重要。高可靠性意味着监测系统能够在恶劣的运行环境下稳定运行，不受外界干扰，持续提供准确的监测数据^[2]。在潮湿、高温或振动强烈的环境中，传感器和数据传输设备仍需保持正常工作状态。实时性则要求系统能够快速采集和传输数据，以便及时反映机组的运行状态变化。如果数据采集或传输存

在延迟,可能会导致故障无法及时发现,从而引发更严重的后果。监测系统必须采用先进的传感器技术和可靠的数据传输网络,确保数据采集的高精度和传输的低延迟。

还需考虑系统的可扩展性,以适应未来机组升级与新设备接入的需求。随着水电站技术的不断发展,机组的升级和新设备的接入是不可避免的趋势。这就要求监测系统具备良好的可扩展性,能够方便地进行升级和扩展。当机组进行技术改造或增加新的发电设备时,监测系统应能够快速适应新的监测需求,通过增加传感器或调整数据处理算法等方式,实现对新设备的监测。可扩展性不仅体现在硬件设备的兼容性上,还体现在软件系统的灵活性上。软件系统应能够方便地进行功能扩展和参数配置,以适应未来可能出现的各种监测需求变化。

2 监测系统架构设计

数据采集层是水电站机组状态监测与故障诊断系统的前端核心,其主要功能是通过布置高精度传感器网络,实时采集机组运行过程中的关键参数。这些参数包括但不限于机组的振动、温度、压力、流量等,它们能够直接反映机组的运行状态。为了确保数据的准确性和可靠性,传感器的选择和布置至关重要^[3]。高精度传感器能够以极高的灵敏度和稳定性捕捉微小的参数变化,从而为后续的数据分析提供高质量的原始数据。传感器网络的合理布局能够覆盖机组的各个关键部位,确保数据采集的全面性。在水轮机的转子和轴承部位安装振动传感器,可以实时监测转子的运行稳定性;在发电机的定子和转子绕组中布置温度传感器,能够及时发现过热故障。

数据传输层是连接数据采集层与数据处理层的关键环节,其主要任务是将采集到的海量数据快速、稳定地传输至数据处理层。在水电站复杂的运行环境中,数据传输面临着诸多挑战,如电磁干扰、长距离传输等。为了克服这些困难,本系统采用了工业以太网与无线通信技术相结合的传输方案。工业以太网具有高带宽、低延迟和抗干扰能力强的特点,能够满足大规模数据的稳定传输需求。在机组内部的近距离传输中,工业以太网可以确保数据的实时性和完整性。而对于一些难以布线的区域或移动监测设备,无线通信技术则提供了灵活的解决方案。通过采用先进的无线通信协议,如 Wi-Fi 或 ZigBee,数据可以在复杂的工业环境中稳定传输,同时避免了布线带来的成本和维护问题。这种有线与无线相结合的传输方式,不仅提高了数据传输的

效率,还增强了系统的适应性和灵活性。

数据处理层是整个监测系统的“大脑”,其主要功能是运用大数据存储与分析技术,对海量采集数据进行存储、清洗、预处理以及深度分析。在水电站机组运行过程中,传感器网络会产生海量的实时数据,这些数据不仅包含有价值的信息,还可能夹杂着噪声和异常值^[4]。数据处理层首先需要对数据进行清洗和预处理,去除无效或错误的数据,提取出有用的信息。随后,通过对数据的深度分析,挖掘出隐藏在数据背后的机组运行状态特征。利用数据挖掘算法可以发现机组振动频率与运行工况之间的关联,通过机器学习模型可以预测机组的故障发展趋势。数据处理层的智能化分析能力是实现故障诊断的关键。通过对历史数据和实时数据的综合分析,系统能够快速判断机组的运行状态是否正常,并在检测到潜在故障时及时发出预警。

3 故障诊断算法实现

故障诊断是水电站机组状态监测系统的核心功能之一,对于保障水电站的安全稳定运行具有至关重要的作用。在水电站的日常运行中,机组可能会受到各种因素的影响,如机械磨损、电气故障、水力冲击等,这些因素都可能导致机组出现异常状态甚至故障^[5]。如果不能及时发现并处理这些故障,可能会引发严重的后果,如机组损坏、停机时间延长、发电量减少,甚至可能对整个电力系统的稳定性造成威胁。开发一套高效、准确的故障诊断系统,能够快速识别机组的故障类型并提供相应的维修建议,对于提高水电站的运行效率、降低维护成本、保障电力供应的可靠性具有极其重要的意义。

本文采用基于机器学习的故障诊断算法来实现这一目标。对采集到的大量机组运行数据进行特征提取与降维处理。机组运行过程中会产生大量的数据,包括振动信号、温度数据、压力数据等,这些数据中蕴含着丰富的信息,但也包含了大量的噪声和冗余信息。通过特征提取技术,可以将这些原始数据转化为能够反映机组运行状态的关键特征,如振动频率、温度变化率、压力波动幅度等。利用降维技术进一步减少特征的维度,去除冗余信息,提高数据处理的效率和准确性。利用支持向量机(SVM)算法构建故障诊断模型^[6]。SVM是一种经典的机器学习算法,具有良好的分类性能和泛化能力,适用于处理小样本、高维度的数据分类问题。通过收集大量的历史数据,包括正常运行数据和各种故障状态下的数据,对 SVM 模型进行训练和优化。

在实际应用中,该基于机器学习的故障诊断算法

表现出色。系统能够快速诊断出机组的故障类型，如轴承故障、定子故障、水轮机叶片损坏等，并根据故障类型提供相应的维修建议，如建议进行轴承更换、检查定子绝缘、清理叶片等。这大大缩短了故障停机时间，提高了机组的可用性和可靠性。与传统的故障诊断方法相比，该算法不仅诊断速度快，而且诊断准确率高，能够有效避免误判和漏判的情况。通过实际应用测试，故障诊断系统的准确率达到 90% 以上，显著提高了水电站的运维效率和管理水平。该系统还具备良好的可扩展性和适应性，能够随着机组运行数据的不断积累和更新，进一步优化诊断模型，提高诊断性能。

4 系统测试与应用效果

在某水电站，我们对水电站机组状态监测与故障诊断系统进行了全面而深入的测试与实际应用。测试过程中，系统表现出了卓越的性能。它能够以极高的精度实时采集机组的各项运行数据，包括振动、温度、压力等关键参数。这些数据的采集精度达到了行业领先水平，确保了监测结果的可靠性^[7]。系统的数据传输功能也非常稳定，无论是在复杂的水电站运行环境中，还是在长距离传输过程中，数据都能完整、准确地从采集端传输到处理端，为后续的分析 and 诊断提供了坚实的基础。

在故障诊断方面，系统的性能同样令人瞩目。通过对大量历史数据的学习和分析，系统能够精准地识别出机组的常见故障类型，诊断准确率高达 90% 以上。这一高准确率得益于先进的机器学习算法和优化的模型训练过程。系统不仅能够准确诊断出已经发生的故障，更重要的是，它能够提前预警潜在的故障隐患。这种提前预警功能为水电站的运维人员提供了宝贵的时间窗口，使他们能够在故障发生前采取预防性维护措施，避免了故障的进一步扩大，减少了因故障停机带来的经济损失。通过实际应用该系统，水电站机组的运行效率得到了显著提升，整体效率提高了 10%。

通过在某水电站的实际应用，该系统显著提升了水电站的运维管理水平。它不仅提高了机组运行的可靠性和稳定性，还为运维人员提供了科学、准确的决策依据^[8]。运维人员可以依据系统的诊断结果，合理安排维护计划，优化维护流程，从而实现对接水电站机组的精

细化管理。这种智能化的运维模式，为水电站的安全、高效运行提供了有力保障，也为其他水电站的智能化运维提供了可借鉴的经验。未来，随着技术的进一步发展和优化，该系统有望在更多水电站得到广泛应用，推动水电行业向智能化、高效化方向发展。

5 结语

水电站机组状态监测与故障诊断系统的构建与应用，为水电站智能化运维提供了有效手段。随着技术的不断发展，未来可进一步优化监测传感器的性能，提升故障诊断算法的智能化水平，并探索与其他智能运维系统的集成，推动水电站运维向更高效、更智能的方向发展。

参考文献

- [1] 赵林强.水电站监控 SCADA 系统的设备故障智能诊断方法[J].设备管理与维修,2025,(04):146-149
- [2] 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.
- [3] 谢科军,宋善坤,胡婷,等.基于 KNN 的水电站水轮机监控系统研究[J].粘接,2025,52(01):193-196.
- [4] 何洋,苏岩,王敏.基于 CPS 技术的水电站设备故障诊断与应用研究[J].今日制造与升级,2024,(12):104-106.
- [5] 孙志云,吕杏.水电站设备实时监测、故障诊断和预测方法[J].小水电,2024,(06):53-58+63.
- [6] 刘宇梁,张志辉,刘文灶.基于水电站闸门的智能监测与故障诊断系统设计[J].水电与抽水蓄能,2024,10(05):88-92.
- [7] 汪颖志.水电站自动化系统的故障诊断和维护[J].现代制造技术与装备,2024,(S1):100-102+106.
- [8] 乔丹,马鹏,王琦.基于 Multi-Agent 的水电站变压器故障诊断系统[J].自动化技术与应用,2024,43(07):58-61+65.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

