

水电站水轮机组振摆在线监测系统研究运用

殷宇鹂 徐正鹏 李 智

云南滇能禄劝电磷开发有限公司 云南 昆明 650000

摘要: 随着电力行业的快速发展,水电站在能源结构中的地位日益重要。转轮作为水电站的核心部件,其稳定运行直接影响到电站的发电效率和安全性。本文旨在探讨水电站转轮在线摆动监测技术的研究与应用,通过分析转轮摆动的原因、影响及其监测方法,提出一种基于先进传感器和数据分析技术的在线监测系统,以期提高水电站转轮的运行可靠性和维护效率。

关键词: 水电站;转轮;在线监测;摆动分析;传感器网络

引言

随着全球能源需求的持续增长,清洁、可再生的水电能源受到越来越多的关注。水电站作为水电能源的主要开发方式,其运行效率和安全性对于保障能源供应和环境保护具有重要意义。转轮是水电站中的关键部件之一,其稳定运行直接关系到电站的整体性能。然而,在实际运行过程中,转轮可能会受到多种因素的影响,导致摆动异常,进而影响电站的发电效率和运行安全。因此,研究并应用水电站转轮在线摆动监测技术具有重要的现实意义和应用价值。

1 水电站转轮及其摆动问题

水电站转轮是水轮发电机中的重要部件,其主要功能是将水能转换为机械能。转轮的设计和运行状况直接影响到整个水电站的发电效率和经济性。转轮通常由叶片、主轴、轴承等部分组成,其工作原理是利用水流的动力推动叶片旋转,从而驱动主轴转动,带动发电机发电。

在水电站运行过程中,转轮可能会出现摆动问题。转轮摆动是指转轮在运行过程中相对于其正常运行位置的偏离。这种摆动可能是由于多种因素引起的,如水流冲击、机械磨损、材料老化、安装误差等。转轮摆动不仅会降低电站的发电效率,还可能引发设备故障和安全事故^[1]。

转轮摆动的影响主要表现在以下几个方面:

摆动会改变水流对叶片的作用力分布,导致能量转化效率下降。摆动会增加转轮与其他设备的接触和摩擦,加速设备磨损和老化。严重的摆动可能导致设备损坏或失效,甚至引发安全事故,如设备爆炸、人员伤亡等。

2 传统转轮摆动监测方法及局限性

传统转轮摆动监测方法主要依赖于定期的人工检查和简单的机械式检测装置。这些方法通常包括以下步骤:

2.1 视觉检查:工作人员通过目视观察转轮是否存在明显的变形、裂纹或松动现象。

2.2 机械式检测:使用水平仪、直尺等工具测量转轮的水平度和垂直度,以及叶片的角度等参数。

2.3 振动分析:通过安装在转轮附近的振动传感器,测量转轮的振动频率和振幅,分析其运行状态。

2.4 超声波探伤:利用超声波探头对转轮的内部结构进行检测,发现内部缺陷和裂纹。

2.5 尽管传统方法在转轮摆动监测中发挥了一定作用,但它们也存在一些明显的局限性:

2.5.1 效率低下:人工检查和简单机械式检测耗时且劳动强度大,难以实现实时连续监控。

2.5.2 精度有限:传统方法的精度受到检测工具和人员技能的限制,可能无法准确识别微小的摆动或早期缺陷。

2.5.3 难以实现远程监控:传统方法通常需要现场人员直接操作检测设备,难以实现远程监控和数据传输。

2.5.4 维护成本高:定期更换检测工具和设备以及培训工作人员增加了维护成本。

随着科技的进步,现代传感器技术和数据分析方法的发展为转轮摆动监测提供了新的解决方案。例如,光纤传感器、无线传感器网络和机器学习算法等技术可以实现高精度、实时连续的转轮摆动监测,并通过数据分析预测潜在的故障和维护需求,大大提高了监测效率和准确性。因此,传统转轮摆动监测方法正逐渐被现代化技术所取代^[2]。

3 在线监测技术在水电站转轮监测中的应用

在线监测技术在水电站转轮监测中的应用是近年来工程技术领域的一个重要进展。这种技术通过实时收集转轮的运行数据,结合先进的数据分析和处理技术,能够对转轮的健康状态进行连续监测和评估,从而提前预警潜在的故障,优化维护计划,提高水电站的运行效率和安全性。

3.1 传感器技术的应用

在转轮及其相关组件上安装各种类型的传感器，如振动传感器、位移传感器、压力传感器、温度传感器等，用于实时监测转轮的运行状态。这些传感器能够捕捉到转轮在运行过程中产生的微小变化，如振动幅度、频率、相位差、叶片的应力分布、轴承的温度变化等。

3.2 数据采集与传输系统

通过数据采集单元（DAQ）收集传感器的信号，并将其传输至中央处理系统。数据传输可以采用有线或无线方式进行，现代无线通讯技术如ZigBee、Wi-Fi、蓝牙等提供了灵活的数据传输解决方案。

3.3 数据处理与分析

中央处理系统对接收到的数据进行处理，包括滤波、去噪、特征提取、模式识别等。数据处理的目的是从原始信号中提取有用的信息，为进一步的分析提供基础。

3.4 故障诊断与预测

采用信号处理和机器学习算法，对处理后的数据进行故障诊断。这些算法可以识别转轮运行中的异常模式，判断是否存在故障，并预测故障发展趋势^[3]。

3.5 维护决策支持

根据故障诊断和预测的结果，系统可以提供维护决策支持。这包括制定维修计划、安排停机检修、更换磨损部件等。通过优化维护计划，可以减少不必要的停机时间，延长设备寿命，降低维护成本。

3.6 系统集成与平台建设

将以上各部分集成成一个完整的在线监测系统，并建立相应的数据库和用户界面。这样，操作人员可以实时查看转轮的运行状态，获取故障报警和维护建议。为了保障水电站转轮在线摆动监测系统的稳定运行与高效数据传输，构建了基于Internet的企业内部网络架构。这一架构不仅确保了数据的安全性，还促进了远程监控与实时数据分析的顺利进行。如图1所示。

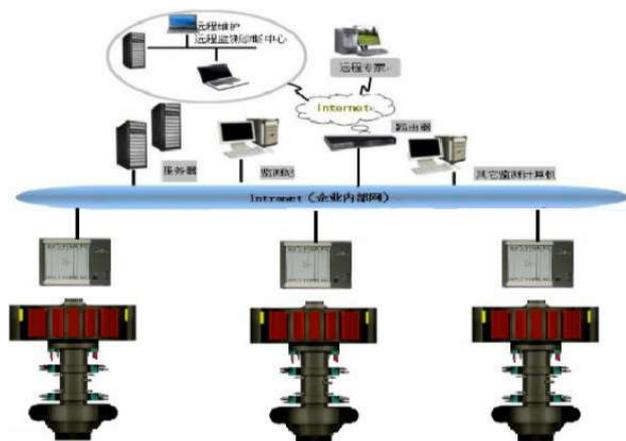


图1 Internet的企业内部网络拓扑图

在线监测技术在水电站转轮监测中的具体应用案例包括：

案例一：振动监测

通过安装在转轮轴承和主轴上的振动传感器，监测转轮的振动特性。振动分析可以揭示转轮的不平衡、不对中、轴承损伤等问题。通过对振动信号的时域和频域分析，可以确定故障的性质和位置。

案例二：应力和应变监测

在转轮叶片和关键承力结构上安装应变计或光纤传感器，实时监测转轮在水流作用下的应力和应变情况。这些数据有助于评估结构的疲劳寿命和识别可能的裂纹生长。

案例三：温度监测

在转轮的关键部位安装温度传感器，如轴承和密封处，以监测温度的变化。温度异常可能表明过热或润滑不良等问题，需要及时处理以防设备损坏。

案例四：流量和压力监测

在转轮进口和出口处安装流量计和压力传感器，以监测水流对转轮的影响。这些数据有助于分析转轮的工作效率和预测可能的性能下降。

案例五：声学监测

通过分析转轮运行时产生的噪声，可以识别出某些特定的故障模式。声学监测技术对于那些难以用振动传感器检测到的微小缺陷特别有效。

综上所述，在线监测技术为水电站转轮的健康管理提供了强大的工具。通过实时监测和智能分析，可以显著提高转轮运行的可靠性和安全性，减少停机时间，提升水电站的整体运行效率。随着技术的不断进步，未来的在线监测系统将更加智能化、自动化，为水电站的维护和管理带来更多的便利和经济效益^[4]。

4 基于传感器网络的水电站转轮在线摆动监测系统设计

基于传感器网络的水电站转轮在线摆动监测系统设计涉及多个关键环节，包括传感器网络的规划与部署、数据采集与传输、数据处理与分析、以及系统的集成与维护。下面将详细阐述每个环节的设计要点和实施策略。

4.1 传感器网络规划与部署

在设计基于传感器网络的转轮在线监测系统时，首先需要对传感器的种类、数量、布局进行合理规划。考虑到转轮的工作环境和监测需求，通常选用振动传感器、位移传感器、加速度传感器等来捕捉转轮的动态响应，其中包括VRS8000型高精度振动传感器。VRS8000传感器以其卓越的振动测量能力和环境适应性，被优先布

置在转轮的关键部位,如轴承、轴端、叶片根部等,以确保能够准确捕捉到转轮在运行过程中的微小摆动信息。

同时,传感器网络的布局还需考虑信号的覆盖范围和传输的可靠性,确保所有传感器节点,包括VRS8000传感器,都能够与中心处理系统保持稳定的通信。在部署传感器时,特别注意防水、防尘、耐高温等环境适应性问题,以保证VRS8000传感器在恶劣环境下的长期稳定运行。

4.2 数据采集与传输

数据采集模块负责实时采集包括VRS8000传感器在内的所有传感器节点的信号数据,并将其发送至中心处理系统。在数据采集环节,我们采用高速、高精度的数据采集卡,确保VRS8000传感器捕捉到的振动信号能够实时、准确地被采集。在数据传输方面,采用有线或无线通信方式,如ZigBee、Wi-Fi等,确保VRS8000传感器数据在传输过程中的稳定性和安全性。

数据传输过程中,需要考虑数据加密和安全性问题,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。此外,为了保证数据的完整性和可靠性,还应设计数据校验和纠错机制,确保数据在传输过程中的准确性。

4.3 数据处理与分析

中心处理系统接收到传感器节点的数据后,进行数据预处理、特征提取和故障诊断。数据预处理包括滤波、去噪、归一化等操作,以提高后续处理的准确性。特征提取则是从预处理后的数据中提取出反映转轮状态的关键特征,如频率、幅度、相位等。

故障诊断阶段则采用信号处理和机器学习等算法对提取的特征进行分析,识别转轮的异常模式和潜在故障。这些算法可以基于历史数据训练模型,实现对转轮状态的自动识别和分类。同时,还可以结合专家经验和规则进行故障诊断,提高诊断的准确性和可靠性。

5 关键技术研究实现

5.1 传感器技术

传感器是监测系统的“感官”,其性能直接影响数据的采集质量。针对水电站转轮环境的特殊性,选用了高灵敏度、耐腐蚀、适应极端温度变化的专用传感器,其中包括VRS8000型高精度振动传感器。VRS8000传感器具备卓越的振动测量能力,能够精确捕捉转轮在运行过程中的微小振动变化,为后续的数据分析提供可靠的数据支持。传感器的选材和设计充分考虑了水电站转轮的振动特性、转速变化等因素,以确保能够准确捕捉转轮的摆动信息。

5.2 数据采集与传输技术

数据采集与传输技术是监测系统的“神经”,其任务是实时、准确地将传感器捕捉到的数据传送至数据处理中心。在数据采集环节,采用了包括VRS8000传感器在内的高性能数据采集卡,配合先进的信号调理电路,实现对转轮摆动信号的实时采集。VRS8000传感器不仅具备高精度数据采集能力,还具有良好的环境适应性,能够在水电站复杂的工作环境中稳定运行^[5]。在数据传输环节,根据水电站的实际地形和环境条件,我们选用了稳定可靠的无线传输技术,如LoRa或NB-IoT,确保VRS8000传感器捕捉到的数据在传输过程中的稳定性和安全性。

5.3 数据处理与分析技术

数据处理与分析技术是监测系统的“大脑”,负责对数据进行深度挖掘和智能分析。首先,对采集到的原始数据进行预处理,包括滤波、去噪、归一化等操作,以消除数据中的干扰因素和异常值。然后,运用信号处理技术提取转轮摆动的特征参数,如振幅、频率、相位等。最后,利用机器学习和深度学习技术构建故障诊断模型,对转轮的运行状态进行实时监测和故障预警。

6 结论与展望

经过对水电站转轮在线摆动监测系统关键技术的深入研究与实施,得出采用高灵敏度、耐腐蚀的专用传感器能够有效捕捉转轮的微小摆动,为后续数据分析提供准确的数据基础。无线传输技术的应用保障了数据的实时传输和系统的稳定运行。数据处理与分析技术的进步使得转轮状态的诊断更加智能化和精准。系统集成与优化技术确保了整个监测系统的高效性和可靠性。

展望未来,随着传感器技术、数据处理算法和无线通信技术的不断进步,水电站转轮在线摆动监测系统将更加智能化、自动化,能够实现更高精度的监测和更快速的故障响应,从而进一步提高水电站的运行效率和安全性。

参考文献

- [1]吴开武等.“水电站低频振荡在线监测系统应用研究与实践.”水电站机电技术 42.12(2019):4.
- [2]王祖顺徐江黄泰山王俊青.某大型水电站转子匝间短路在线监测技术应用研究[J].电力设备管理,2022(S01):218-221.
- [3]张圣军.基于泛在电力物联网的变电站在线监测系统应用研究[J].电子乐园,2019(25):1.
- [4]吴涛,徐进,刘辉,等.一种水电站机组转轮检修平台在线监控管理系统:CN202122400070.4[P].CN216041034U[2024-03-03].
- [5]李咏超.“葛洲坝水电站水轮机转轮检修平台设计,搭建研究.”水利水电工程与设计1.1(2022):20-23.