

智能化监测技术在水利工程安全运行中的实践与优化

龙昱帆

吉林省水利水电勘测设计研究院

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6825

[摘要] 伴随着信息技术的迅速发展,智能化监测技术在水利工程安全运行中的作用也越来越大。本文对水利工程智能化监测技术体系的构建方法做了系统的阐述,对多源传感器网络布设、实时监测平台架构、智能预警模型建立的关键技术要点做了详细的分析。通过对大坝安全、渠系运行、水库调度等方面的智能化监测技术应用实践的研究,发现该技术对水利工程安全管理水平提升有明显的优势。针对目前监测系统存在的数据质量、分析深度、运维管理等问题,提出了监测数据质量控制、多维数据融合分析、智能运维管理等优化途径,给水利工程智能化监测系统的持续改进提供理论指导和实践参考,促进水利工程向数字化、智能化方向转型升级。

[关键词] 智能化监测; 水利工程; 安全运行; 传感器网络; 数据融合

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Practice and Optimization of Intelligent Monitoring Technology in Safe Operation of Water Conservancy Projects

Yufan Long

Jilin Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute

[Abstract] With the rapid development of information technology, intelligent monitoring technology plays an increasingly important role in the safe operation of water conservancy projects. In this paper, the construction method of intelligent monitoring technology system for water conservancy projects is systematically expounded, and the key technical points of multi-source sensor network layout, real-time monitoring platform architecture and intelligent early warning model establishment are analyzed in detail. Through the research on the application practice of intelligent monitoring technology in dam safety, canal system operation and reservoir dispatching, it is found that this technology has obvious advantages in improving the safety management level of water conservancy projects. Aiming at the problems existing in the current monitoring system, such as data quality, analysis depth, operation and maintenance management, this paper puts forward some optimization approaches, such as monitoring data quality control, multidimensional data fusion analysis and intelligent operation and maintenance management, which provide theoretical guidance and practical reference for the continuous improvement of intelligent monitoring system of water conservancy projects and promote the transformation and upgrading of water conservancy projects in the direction of digitalization and intelligence.

[Key words] intelligent monitoring; Water conservancy project; Safe operation; Sensor network; Data fusion

引言

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分,其安全运行直接关系到防洪减灾、水资源调配和经济社会发展。传统的水利工程监测方式主要是依靠人工巡查、定点测量,存在监测频率低、数据获取滞后、预警能力差等问题,不能满足现代水利工程安全管理的需要。近年来,物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的迅猛发展,给水利工程监测带来了新的技术手段。智能化监测技术依靠集成多种传感器,打造实时监测网,应用智

能分析算法,对水利工程运行状况进行全天候、全域、高精度的观测。它不仅大大提高了监测效率和预警能力,也为水利工程科学管理和决策支持打下了良好的基础。

1 水利工程智能化监测技术体系构建

1.1 多源传感器网络布设与数据采集

多源传感器网络是智能化监测系统的基础支撑,其布设质量直接关系到监测效果。传感器的选择要根据监测对象的特性,选择合适的传感器类型,如位移传感器、应变传感器、渗压传感

器、水位传感器等,它们可以组成多参数协同监测系统。传感器的布置应遵循科学性、经济性的原则,在关键部位、薄弱环节多布置传感器,以保证监测信息的完整性和代表性。数据采集系统具有高精度、高稳定性、低功耗等特点,采用有线和无线相结合的方式传输数据,确保数据传输的实时性和可靠性。另外,应建立传感器自检和校准机制,定期检测和维护传感器的性能,确保采集数据的准确性。多源传感器网络的构建为后续数据分析、预警决策提供了丰富的基础数据^[1]。

1.2 实时监测平台架构与系统集成

实时监测平台是智能化监测系统的中心枢纽,对数据进行汇聚、处理、存储并加以显示。平台架构采用分层设计的思想,分为数据采集层、数据传输层、数据处理层、应用服务层四个层次,各层次之间通过标准接口实现信息交互。数据采集层采集各种传感器的原始监测数据;数据传输层利用通信网络将数据传送到中心服务器;数据处理层对大量数据进行清洗、存储、分析;应用服务层给用户可视化展示和决策支持。系统集成要解决异构设备兼容、多源数据融合、协议转换等技术难题,建立统一的数据标准和接口规范。平台应具有好的扩展性和开放性,能够接纳新设备接入以及功能模块扩展。通过建立高效稳定的实时监测平台,对水利工程运行状态进行动态感知和智能控制^[2]。

1.3 智能预警模型建立与参数优化

智能预警模型是监测系统的大脑,通过对监测数据分析来进行风险预警。模型建立时要考虑水利工程的结构特性、运行规律、环境因素,采用统计分析、机器学习、深度学习等方法建立预警算法。阈值设置是预警模型的关键环节,利用历史数据、工程经验确定各个监测指标的安全区间,根据不同的风险等级设置不同的预警标准。模型要有自学习、自适应的能力,随着监测数据的增多而不断改进预警参数,使预警更加准确、及时。另外,要建立预警信息发布机制,通过短信、邮件、语音等多种方式及时将预警信息发送至有关管理人员。智能预警模型有效运行可变被动应对为主动预防,为水利工程安全管理工作提供有力的技术保障^[3]。

2 智能化监测技术在水利工程安全运行中的应用实践

2.1 大坝安全监测的智能化实施

大坝安全监测是水利工程监测的重点领域,智能化技术的应用大大提高了监测水平。在大坝坝体、坝基、周边山体布设三维位移监测系统、渗流监测系统、应力应变监测系统等,实现对大坝变形、渗流、应力等主要参数的实时监测。自动化监测设备代替传统的手工观测,监测频率从每月一次提高到每小时甚至每分钟一次,大大提高了数据采集的时效性。智能分析系统对监测数据做趋势分析、相关性分析、异常识别,可以及时发现大坝运行中潜在的风险。三维可视化技术把抽象的监测数据转化为直观的图形图像,管理人员可以从全方位观察大坝的运行状况。预警系统根据监测数据变化趋势,提前预判可能出现的安

全隐患,给应急处置争取宝贵时间。智能化监测技术的应用使得大坝安全管理由经验判断变为数据驱动,安全保障能力得到很大提高^[4]。同时,建立大坝安全监测数据库,积累长期监测数据,为大坝健康状态评估提供历史依据。通过对比分析不同时期的监测数据,可以准确判断大坝的老化程度和安全演变趋势,为大坝的加固维护决策提供科学支撑。

2.2 渠系运行状态的动态监控

渠系属于水利工程的重要组成部分,渠系运行状态影响输水效率以及供水安全。渠系智能化监测技术包括流量监测、水位监测、渠道变形监测、水质监测等。安装流量计、水位计、倾斜仪等设备来了解渠道输水情况和结构状况。无线传感网络把分散的监测点联结成网,从而对整个渠系实施全方位的监控。智能调度系统根据监测数据、用水需求来自动调节闸门开度,优化水量分配,提高输水效率。渠道巡检用无人机、机器人等智能装备,可以快速找到渠道的破损、淤积、渗漏等缺陷。监测数据同地理信息系统融合起来,就产生了渠系数字化管理平台,管理人员可以随时看到任意渠段的运行状况和过往数据。智能化监测技术使渠系管理更精细、科学,保证输水安全和供水稳定^[5]。此外,系统可以自动生成渠系运行报告,统计分析输水量、水量损失、设备运行时长等关键指标,为渠系维护计划制定和运行管理优化提供数据支持,实现渠系管理的智能化和精准化。

2.3 水库调度的智能辅助决策

水库调度是一项复杂的决策过程,要兼顾防洪、供水、发电、生态等各方面的需要。智能化监测技术给水库调度提供全方位的、准确的数据支持与科学的决策建议。通过综合水文监测、气象监测、库区监测等多种信息源,建立水库运行态势感知系统,掌握入库流量、库水位、降雨量等重要参数。智能预报模型用历史数据和实时信息预测未来的水文状况及用水需求,作为调度决策的参考。优化算法在考虑各项约束条件和目标函数的基础上,得到最优调度方案,实现各方利益的平衡。可视化决策平台把复杂的调度方案用图表的形式表现出来,使调度人员对不同的方案有更直观的认识。应急调度模块对于突发洪水、设备故障等特殊情况可以快速产生应急预案,提高应急响应能力。智能化监测和调度系统的融合使水库调度更加科学高效,更好地发挥水库综合效益。系统还可以模拟不同调度方案的实施效果,评估各方案在防洪安全、供水保障、经济效益等方面的表现,帮助调度人员选择最优方案,提高水库调度的科学性和精准性。

3 水利工程安全运行中智能化监测系统应用的优化路径

3.1 监测数据质量控制与精度提升

监测数据质量是智能化监测系统正常运转的前提,数据精度决定分析结果和决策质量。建立数据异常检测机制,通过设定合理的检验规则,自动识别并标记出异常的数据,包括超限值、突变值、重复值等,防止错误的污染数据进入数据库。用数据补缺和修复技术对由于设备故障、通信中断等原因造成的数据缺失

进行科学的填补,保证数据序列的连续性和完整性。采用多传感器冗余配置和数据交叉验证方法,使用不同的设备对同一个对象进行监测,提高数据的可靠性。加强数据标准化建设,统一数据格式、精度要求、存储规范,使数据可以共享并进行综合使用。建立数据质量评价指标体系,定期对监测数据质量进行评价,不断改进数据管理工作。依靠系统的质量控制手段,不断改善监测数据的精度与可信度,为后续的分析 and 决策提供可靠的依据。同时要建立数据质量追溯机制,为每条监测数据标注来源、采集时间、处理方法等元数据信息,方便问题追溯和责任认定。采取数据质量等级划分管理制度,依据数据准确性、完整性、时效性的不同,把数据分成不同的级别,不同级别的数据在应用时给予不一样的比重以及信任度。

3.2 多维数据融合分析与深度挖掘

单一数据源很难全面反映水利工程的运行状况,多维数据融合分析可以发现更深一层的规律和联系。优化策略要创建多源异构数据融合平台,把监测数据、气象数据、水文数据、地质数据等各种信息融合起来,创建综合数据资源池。利用数据清洗、数据转换、数据集成等方法,克服不同数据源在格式、精度、时空尺度上存在的差异,实现数据的有效融合。运用大数据分析技术挖掘数据中隐藏的模式与趋势,利用关联分析发现不同监测参数间的内在联系,利用时序分析掌握参数变化规律,利用空间分析找出区域性特点。用机器学习算法建立预测模型,根据历史数据训练模型,对未来状态进行智能预测。深度学习技术在图像识别、模式识别中占有独特优势,可以用于无人机巡检影像分析、裂缝自动识别等。建立知识图谱、专家系统,把工程经验、规范标准、处置措施等知识结构化,与监测数据相结合进行智能诊断和辅助决策。通过多维数据的深度融合和智能分析,充分挖掘数据价值,提高监测系统的洞察力、预见性,给水利工程的安全管理提供更加科学的决策支持。构建应急响应预案体系,为系统故障、网络攻击、自然灾害等突发事件制定详细的处置方法,定期开展应急演练,提高应急处理能力。推进运维工作标准化、规范化,制定设备巡检标准、维护操作规程、故障处理流程等制度文件,保证运维工作有章可循。建立运维绩效评价体系,用系统可用率、故障响应时间、数据完整性等主要的考核指标来衡量运维工作绩效。

3.3 智能运维管理与系统迭代升级

智能化监测系统的长久稳定运行,需要科学的运维管理以及持续的优化升级。优化路径要创建智能运维管理平台,实现对监测设备、网络通信、软件系统等进行统一监控和管理。建立

设备全生命周期管理档案,对设备从采购、安装、运行、维护、更换的全过程进行记录,为设备管理决策提供依据。利用远程诊断、远程维护技术可以使技术人员远端访问系统排查故障,减少现场维修次数,降低运维成本。建立运维知识库,汇总常见的故障及处理办法,提高运维人员解决问题的效率。系统迭代升级上要跟随技术发展潮流,迅速接纳新传感器、新技术、新平台,保证系统的先进性。创建用户反馈体系,对系统在使用过程中出现的问题以及改进意见加以搜集,使之成为系统优化的参考依据。用模块化、组件化的设计思想,方便功能扩展和技术更新,避免推倒重建带来的资源浪费。提高网络安全防护能力,安装防火墙、入侵检测、数据加密等安全设备,保证监测系统及数据的安全。依靠科学的运维管理以及不断的系统改进,保证智能化监测系统一直处于良好的运行状态,持续发挥安全保障作用。

4 结语

智能化监测技术给水利工程的安全运行提供强大的技术支持,监测精度高、预警能力强、决策支持好。建立多源传感器网络、实时监测平台和智能预警模型,形成了完整的智能化监测技术体系。大坝安全、渠系运行、水库调度等应用中显示,智能化监测技术可以明显提高水利工程的安全管理水平以及运行效率。面向未来要不断加强监测数据质量控制,加深多维数据融合分析,完善智能运维管理机制,使监测系统不断优化升级。随着人工智能、物联网等技术的不断发展,智能化监测技术在水利工程领域的作用会越来越突出,对保障水利工程安全、推动水利事业高质量发展起到越来越大的作用。

参考文献

- [1]何程,谭海.线性水利工程安全管控特征分析及措施研究[J].水利水电快报,2025,46(S2):97-100.
- [2]王彤,刘洪伟,张可,等.目标检测在河湖空间管控中的应用[J].北京水务,2025,(5):39-45.
- [3]邵子洋.大型泵站智能化运行管理系统的构建与应用研究[J].治淮,2025,(1):69-70.
- [4]梁恩更.水利工程中智能监测技术的应用与发展趋势[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(12)[2024-12-01].
- [5]游丽敏.基于智能化技术的水利工程维护管理体系构建与优化[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(6)[2024-06-01].

作者简介:

龙昱帆(1996--),男,满族,吉林省白城市人,工程师,硕士研究生,水利工程。