

大数据技术下水利工程施工动态监测预警体系构建

钟强¹ 杨巧²

1 宜都市河道堤防泵站管护中心

2 宜都市水利和湖泊局

DOI:10.32629/hwr.v10i6.7049

[摘要] 传统水利施工监测长期依赖人工巡检与定点静态观测模式,存在数据采集不连续、监测覆盖范围有限、风险预判滞后、数据资源利用率低等诸多问题,难以满足现代水利工程精细化、智能化、全过程的安全质量管控要求。为有效破解传统施工监测的行业短板,本文系统剖析传统水利施工监测的现存缺陷,界定大数据动态监测预警的核心内涵与技术逻辑。旨在有效提升施工风险识别精度与隐患处置效率,推动水利施工管控由事后整改向事前预防、事中管控转型,可为各类水利工程智能化施工管理提供理论参考与实践借鉴。

[关键词] 大数据技术; 水利工程; 施工监测; 动态预警; 体系构建; 安全管控

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Construction of a dynamic monitoring and early warning system for water conservancy engineering projects using big data technology

Qiang Zhong¹ Qiao Yang²

1 Yidu City River Bank Protection Pump Station Maintenance Center

2 Yidu City Water Resources and Lakes Bureau

[Abstract] Traditional water conservancy construction monitoring has long relied on manual inspections and fixed-point static observation methods, exhibiting numerous shortcomings such as discontinuous data collection, limited coverage, delayed risk prediction, and low utilization of data resources, making it inadequate for meeting the demands of refined, intelligent, and comprehensive safety and quality control throughout the entire lifecycle of modern water conservancy projects. To address these industry-wide limitations, this paper systematically analyzes existing deficiencies in traditional construction monitoring and defines the core concepts and technical framework of big-data-based dynamic monitoring and early warning systems. The aim is to enhance the accuracy of construction risk identification and improve the efficiency of hazard mitigation, thereby shifting water conservancy construction management from post-event remediation to proactive prevention and real-time control. This study provides theoretical insights and practical references for intelligent construction management across various water conservancy projects.

[Key words] Big data technology; Water conservancy engineering; Construction monitoring; Dynamic early warning; System development; Safety management

1 引言

水利工程是我国水资源优化配置、防洪减灾、水生态治理、农田灌溉保障的基础性民生工程,工程施工阶段的安全稳定与质量管控直接决定工程服役寿命与区域水安全保障能力。数字水利战略的深入推进,推动物联网、大数据、智能算法等数字技术与水利工程建设深度融合,为施工监测管控模式革新提供了坚实技术支撑。大数据技术具备海量数据存储、多源数据融合、深度挖掘分析、动态趋势预判等独特优势,能够彻底打破传统监

测的时空限制与数据壁垒,实现施工工况全要素数据实时采集、全域整合、智能研判。依托大数据技术构建动态监测预警体系,可推动水利施工风险管控由传统事后补救的被动模式,转向事前预判、事中精准管控、事后复盘迭代的全周期主动管控模式,有效弥补传统监测短板,全面提升水利施工安全质量管控精细化、智能化水平,为水利工程高质量建设提供有力支撑^[1]。

2 水利工程传统施工监测的现存问题

2.1 监测方式静态固化,实时性严重不足

传统水利施工监测以月度、季度定点观测与日常人工巡查为主要方式,监测周期长、采样频次低,仅能记录离散化的节点数据,无法实现全天候、不间断的动态监测。水利施工现场受暴雨、汛期、大风、高温等天气影响显著,岩土微形变、水位瞬时波动、设备短时故障等异常工况具备突发性特征,静态监测模式难以捕捉短时异常变化,极易造成隐患漏判、晚判。多数渐进式安全隐患初期无明显外在表象,待人工排查发现时隐患已持续扩张,极易引发质量缺陷与安全事故,严重威胁工程施工安全。

2.2 监测维度单一,全域覆盖能力欠缺

传统施工监测工作重心集中在工程结构形变、河道水位等核心硬性指标,监测维度相对单一,对施工现场人员作业规范性、施工机械运行状态、临时支护结构稳定性、区域气象环境变化等辅助要素监测覆盖不足。同时,各类监测工作独立开展、互不衔接,结构监测、环境监测、设备监测数据缺乏联动耦合分析,单一指标正常无法代表整体工况安全,极易出现局部隐患隐蔽、整体风险失控的管控盲区,难以实现施工现场全要素、全方位、一体化的安全管控。

2.3 数据利用率低,存在严重数据孤岛

现阶段多数水利工程项目监测数据仍以纸质台账、本地单机表格存储为主,各类监测数据分散留存于不同岗位、不同部门,缺乏统一的数据存储、共享与管理平台,数据互通难度大、资源复用率极低。现场管理人员仅对单次监测数据进行简单对比校核,未对长期积累的海量动态数据进行深度挖掘、规律总结与关联分析,无法梳理施工工况的演变规律与风险诱发机制。监测数据仅用于事后问题核查与工程资料归档,未能充分发挥数据预判风险、指导施工、优化管理的核心价值,造成大量数据资源闲置浪费。

2.4 预警机制滞后,风险处置被动

传统预警模式以固定阈值超标报警为核心,预警阈值多直接套用行业通用标准,结合管理人员经验简单设定,未结合项目实际地质条件、施工阶段、环境变化动态调整,阈值适配性、针对性较差。预警触发后,仅依靠人工通知、人工排查、人工整改,缺乏自动化推送、分级响应、全程跟踪的闭环机制,预警响应流程繁琐、处置效率偏低。多数风险隐患仅在指标超标后被动整改,无法提前预判隐患发展趋势、提前介入干预,风险管控始终处于被动补救状态,难以实现前置化防控。

3 大数据技术下施工动态监测预警体系构建

3.1 数据感知采集层: 全域采集, 筑牢数据基础

数据感知采集层是整个预警体系的基础支撑,核心目标是实现施工现场全要素、全时段、全域化数据全覆盖,彻底解决传统监测覆盖不全、数据滞后、采样离散的问题。结合水利工程施工场地特征、风险分布规律与施工重难点,科学布设立体化智能感知监测网络,主要采集四类核心数据。其一为工程结构监测数据,通过位移传感器、应力应变传感器、沉降监测仪、渗漏监测设备,实时采集基坑、边坡、围堰、坝体等主体及临时结构的形变、沉降、应力、渗漏参数;其二为环境水文监测数据,依托

水位雨量计、气象传感器,实时监测施工现场水位、降雨量、风速、温湿度等环境指标;其三为施工设备监测数据,通过智能终端采集塔吊、挖掘机、输送设备等施工机械的运行状态、工作参数与故障信息;其四为现场作业监测数据,依托视频监控、智能巡检设备,记录人员作业规范、现场施工秩序与临时设施状态,实现施工核心要素监测全覆盖^[2]。

3.2 数据传输处理层: 规范整合, 保障数据质量

数据传输处理层主要承担海量监测数据的稳定传输、清洗纠错、整合归一核心功能,有效解决多源数据杂乱、无效干扰、传输延迟、标准不一等问题。采用5G专网、物联网专用链路、光纤传输多重传输方式,构建稳定、高速、低延迟的传输通道,保障海量监测数据实时、不间断上传,规避网络波动造成的数据丢失、预警延迟等问题。同时搭建专业化数据处理模块,对原始数据进行系统化处理,剔除设备故障、环境干扰产生的噪点与无效数据,修正偏差数据;对不同格式、不同维度的多源数据进行归一化整合,统一数据统计口径与存储标准,分类归档结构化、半结构化、非结构化数据,建立标准化施工监测数据库,为后续智能分析研判提供高质量、高精度的数据支撑。

3.3 智能分析研判层: 深度挖掘, 精准预判风险

智能分析研判层是体系的核心功能模块,依托大数据挖掘、时序分析、关联分析算法,对整合后的海量监测数据进行深度研判与科学分析。一方面开展实时比对分析,将现场实时监测指标与工程设计标准、安全规范、动态预警阈值快速比对,及时发现瞬时工况异常与显性风险;另一方面开展趋势动态分析,通过拟合长期监测数据变化曲线,梳理边坡形变、水位波动、结构应力的演化规律,精准识别缓慢发展、隐蔽性强的渐进式隐患。同时突破传统单一指标研判局限,实现结构、环境、设备多维度数据联动耦合分析,综合判定风险等级与危害程度,有效降低风险误判、漏判概率,全面提升风险识别的科学性与精准度。

3.4 分级预警应用层: 分类推送, 实现精准预警

结合智能研判结果,本文建立四级动态分级预警机制,摒弃传统固定阈值弊端,结合工程施工规范与现场实际工况动态优化预警标准。蓝色预警对应轻微数据波动,无实质性安全隐患,由现场施工人员做好常态化监测记录;黄色预警为一般性指标偏离,存在潜在风险,通知班组负责人排查隐患、微调施工工序;橙色预警为较大风险,指标明显超标、隐患持续扩张,上报项目技术负责人,暂停相关工序开展专项隐患排查;红色预警为重大安全风险,存在坍塌、渗漏、洪涝等重大险情,立即上报项目总指挥与监理单位,启动应急方案并组织人员设备撤离。预警信息通过多渠道同步推送,保障信息快速触达、高效处置。

4 大数据监测预警体系落地实施策略

4.1 完善全域感知监测网络布局

结合工程施工规模、地形地貌与工序特点,科学规划传感器、监测设备、监控点位布设方案,重点强化基坑边坡、围堰坝体、临水作业区等高危区域的监测覆盖,彻底消除监测盲区。根据施工不同阶段的管控重点,动态调整设备布设密度与数据采

集频次,在汛期、暴雨期、结构浇筑等关键阶段加密采集频次,实现重点场景精细化监测。同时建立设备常态化校准、维护、检修制度,保障设备运行稳定、数据采集精准,夯实体系运行基础。

4.2 搭建一体化大数据管控平台

整合各类监测数据资源,搭建集数据存储、智能分析、预警推送、可视化展示、台账管理、复盘分析于一体的大数据管控平台,打破部门数据壁垒,实现施工数据统一存储、共享共用、联动分析。优化平台可视化功能,通过数据大屏、三维模型直观展示施工现场工况、监测指标与预警状态,让管理人员实时掌握工程整体施工态势,为施工决策、工序调整、风险防控提供直观精准的数据支撑。

4.3 优化动态预警阈值与算法模型

摒弃传统固定预警阈值模式,结合工程设计参数、行业规范、区域水文气象特征与同类工程历史数据,建立自适应动态预警阈值体系,可根据季节更替、施工进度、地质环境演变自动微调参数,大幅提升预警适配性与精准度。同时依托现场施工案例持续优化大数据分析算法,提升隐蔽性、渐进性风险的识别能力,有效降低误警、漏警概率,实现风险预警科学化、智能化升级。

4.4 健全人员管理与运维机制

面向项目管理人员、技术人员及一线作业人员开展专项技能培训,普及监测预警体系操作流程、预警处置规范与设备运维知识,全面提升全员智能化管控能力。建立常态化平台运维、设备管护制度,明确各岗位职责分工,规范预警响应、隐患整改、复核销号的标准化流程,保障监测预警体系常态化、规范化落地运行。

4.5 强化数据安全与资源复用

水利施工监测数据属于工程核心涉密资源,需建立完善的数据安全管理制度,设置分级访问权限,做好数据加密存储、定期备份与安全防护,杜绝数据泄露、丢失与篡改问题。同时搭建工程风险案例数据库,汇总各类预警事件、隐患类型与处置方案,

实现数据资源复用,为后续同类水利工程施工管控、风险防控提供参考,持续提升水利工程智能化施工管控水平。

5 结论

传统水利工程施工监测存在监测滞后、覆盖不全、数据零散、预警被动、管控粗放等突出问题,无法适配新时代水利工程高质量建设的精细化、智能化管控需求。大数据赋能的动态监测预警体系,依托全域感知、数据融合、智能分析、分级预警、闭环管控的全链条运行机制,有效破解传统施工监测的行业痛点,实现水利施工全要素、全时段、全域化动态管控。该体系能够精准识别各类隐蔽性、突发性施工风险,大幅提升风险预判精度与隐患处置效率,规范施工现场安全质量管控流程,对防范施工安全事故、提升工程建设质量、保障水利工程平稳施工具有重要实践价值^[3]。数字水利是新时代水利行业高质量发展的必然趋势,施工管控数字化、智能化转型已成行业共识。未来可结合BIM技术、人工智能与数字孪生技术,进一步优化监测预警体系的三维仿真、工况模拟、提前预判功能,实现施工方案动态优化与风险前置防控。同时持续迭代多源数据融合算法与动态预警模型,针对不同类型水利工程的场景特征优化差异化管控方案,推动大数据监测预警体系全面普及,助力水利工程建设数字化、智能化、高质量发展。

[参考文献]

- [1]张磊,王浩.基于大数据的水利工程施工安全监测预警系统构建[J].水利水电技术,2024,55(02):189-195.
- [2]李建军.物联网与大数据技术在水利施工动态监测中的应用研究[J].人民黄河,2023,45(08):132-135.
- [3]陈铭.水利工程施工风险智能预警体系优化设计[J].水利科技与经济,2024,30(03):78-81.

作者简介:

钟强(1994—),男,土家族,湖北宜昌人,助理工程师,本科,研究方向:长期从事水利工程建设管理与信息化技术融合应用研究。