

大数据赋能水利工程施工与运维精细化管理

潘炜元

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450000

摘要：为破解水利工程传统管理粗放、响应滞后、决策经验化等难题，本文依托精细化管理与大数据核心理论，探究大数据在水利工程施工、运维全场景的应用路径与平台架构。系统剖析当前数据标准不一、技术融合不足、人才匮乏、运维体系薄弱等现存问题，针对性提出标准化治理、技术创新、制度完善、长效运维等优化对策，并展望多技术融合的智慧水利发展趋势，助力水利工程全生命周期精细化、智能化管控升级。

关键词：大数据赋能；水利工程施工；运维精细化管理

引言：水利工程施工与运维管控是保障工程安全稳定运行、提升水资源利用效率的核心环节。传统管理模式依赖人工经验，存在管控碎片化、风险预判能力弱、资源配置不合理等诸多短板，难以适配现代化水利高质量发展需求。随着大数据技术深度赋能基建领域，为水利工程精细化管理转型提供了全新路径。基于此，本文结合水利工程管控特点，探究大数据赋能精细化管理的应用价值、现存问题与优化方案，为智慧水利建设提供实践参考。

1 相关理论与核心技术基础

1.1 水利工程精细化管理核心理论

（1）精细化管理的内涵与核心特征：水利工程精细化管理以标准化作业规程、精准化控制指标、智能化决策支持和全过程闭环管控为核心特征，强调通过细化管理单元、量化管理标准、优化管理流程，实现从经验驱动向规则驱动的管理范式转变。（2）水利工程施工与运维精细化管理的核心维度：围绕质量、安全、进度、成本四大施工要素，以及运维阶段全生命周期管控要求，构建覆盖“设计—施工—运维—退役”全链条的多维管控体系，确保各环节无缝衔接、协同优化^[1]。（3）水利工程精细化管理的实施原则：遵循数据驱动决策、全程追溯管控、动态响应调整、闭环持续优化的基本原则，形成“监测—分析—预警—处置—反馈”的管理闭环，不断提升管理效能。

1.2 大数据核心技术体系

（1）数据采集技术：综合运用物联网感知设备、在线传感器监测网络、无人机航拍巡检以及工程台账数字化录入等手段，实现水利工程施工现场与运维环境中水文、气象、结构、影像等多源数据的实时、自动采

集。（2）数据处理与存储技术：针对水利数据体量大、格式多样、质量参差不齐等特点，采用数据清洗、多源整合、标准化分类等预处理技术，并依托云端分布式存储与管理系统，实现海量数据的高效组织与安全存储。（3）数据分析与挖掘技术：运用数据建模、时序趋势分析、风险识别评估及智能研判等算法，挖掘数据深层关联与潜在规律，为管理决策提供精准的信息支撑。（4）数据可视化与应用技术：借助 GIS 三维可视化、动态监控大屏及智能决策推送等技术，将复杂分析结果转化为直观图形界面，支撑管理人员实时掌握工程状态并及时响应。

1.3 大数据与水利精细化管理的适配性分析

（1）数据维度适配：大数据技术能够整合施工质量检测、安全监测、进度跟踪、成本消耗及运维巡检等多源数据，全面覆盖水利工程全流程管控的数据需求。（2）管控模式适配：大数据支持的动态分析可实现实时状态感知与趋势预测，有效突破传统管理模式中信息滞后、响应缓慢的局限，推动管控模式向主动式、预防式转变。（3）决策机制适配：基于大数据挖掘的精准分析结果，替代依赖个人经验的粗放型决策方式，使管理决策更具科学性、准确性和前瞻性，显著提升水利工程精细化管理水平。

2 大数据赋能水利工程施工与运维精细化管理的应用场景与实现路径

2.1 大数据赋能水利工程施工精细化管理

（1）施工质量精细化管理：建立原材料质量全流程溯源体系，对钢材、水泥、外加剂等关键材料从进场检测、存储使用到施工应用各环节数据进行唯一编码登记与追踪；依托施工现场布设的各类传感器实时采集混凝

土浇筑温度、振捣频率、养护湿度等工序数据,形成施工质量动态档案;结合图像识别与机器学习算法,对施工表面裂缝、蜂窝麻面等质量缺陷进行智能识别与实时预警,将质量隐患消除在萌芽阶段。(2)施工进度精细化管理:利用GPS定位、无人机航拍及施工日志自动采集等手段,实时获取各作业面实际进度数据,与计划进度进行自动比对分析,识别偏差原因及影响程度;基于历史数据与当前资源状态构建进度预测模型,动态评估工期风险,并将偏差分析结果与资源调度系统联动,自动生成人员、设备、材料等资源配置优化方案,确保施工按计划有序推进^[2]。(3)施工安全精细化管理:整合施工现场视频监控、边坡位移监测、水位变化感知、环境气象等多源风险数据,构建安全风险动态评估模型,实现风险等级实时更新;对基坑坍塌、高处坠落、机械伤害等典型事故场景进行特征建模与预判分析,当监测指标超出阈值时自动触发分级预警,同步向相关负责人推送应急处置预案与撤离指令,实现从被动应对向主动预防的根本转变。(4)施工成本精细化管理:建立物料消耗、设备运行维护、人工工时等成本数据的实时采集与分类统计体系,实现单方混凝土、每延米管道等工序级精细化成本核算;通过实际成本与预算数据的动态比对分析,自动识别超支环节并发出预警,为成本偏差纠正与后续资源调配提供精准数据依据,有效控制工程总投资。

2.2 大数据赋能水利工程运维精细化管理

(1)工程设备智能运维:对水泵机组、启闭机、闸门等关键机电设备的振动、温度、电流、转速等运行参数进行实时在线监测,构建设备健康状态评估与退化趋势预测模型,实现异常模式自动识别与故障早期预判,推动计划检修向状态检修转变,大幅降低非计划停机风险,延长设备使用寿命。(2)工程状态动态监测:综合运用北斗位移监测、分布式光纤测温测渗、渗流压力监测等技术手段,对堤坝沉降变形、渠道渗漏、闸站结构位移等关键安全指标进行持续采集与趋势分析,结合历史数据预测结构变化走势,一旦发现异常加速趋势立即启动预警流程,为工程安全评估与除险加固决策提供科学支撑。(3)水资源精细化调度:融合上游来水预报、下游需水计划、水质在线监测及水库蓄水状态等多维数据,构建水量平衡与调度优化模型,根据实时水文情势和用水需求智能生成最优调度方案,实现防洪、供水、发电、生态等多目标统筹协调,显著提升水资源利用效率与配置合理性^[3]。(4)运维台账数字化管理:将日常巡检记录、维修保养日志、隐患发现与整改验收等运维

全流程数据统一纳入数字化台账系统,实现每项操作有据可查、每个问题闭环管理;支持按设备类型、时间区间、处理状态等多维度组合检索与统计分析,为运维绩效评估、规律挖掘与制度改进提供完整可靠的数据链条支撑。

2.3 水利工程施工运维大数据平台架构设计

(1)数据采集层:面向施工现场传感器、无人机巡检终端、视频监控摄像头、移动手持终端等多类型数据源,设计统一的数据接入标准与通信协议,支持多种采集频率与传输方式的灵活配置,实现工程全生命周期多维度数据的自动化、常态化归集。(2)数据处理层:构建数据清洗、异常值剔除、多源异构数据融合、标准化存储等核心模块,对原始数据进行系统性质量治理;在此基础上部署数据分析建模引擎,支持统计分析、机器学习与仿真模拟等多类算法运行,确保输出结果精准可靠、满足业务应用需求。(3)应用服务层:开发覆盖施工质量管控、安全监控、进度调度、成本核算以及运维设备管理、状态评估、水资源调度、台账追溯等业务场景的微服务模块,各模块按需组合、灵活配置,能够满足不同管理角色与项目阶段的个性化业务需求^[4]。(4)决策展示层:建设综合可视化监控平台,以大屏形式集中展示关键指标、工程全局态势与预警信息;同步开发智能决策推送系统和移动端管理终端,支持管理人员随时随地掌握工程动态、接收预警通知与调度指令,实现决策指挥的即时化、移动化与智能化。

3 大数据赋能水利工程运维精细化管理现存问题与优化对策

3.1 大数据赋能水利工程精细化管理现存问题

(1)数据层面:水利行业数据采集、存储与交换标准尚未统一,各地区各工程数据格式各异、接口不一,跨系统共享困难,“数据孤岛”现象突出;部分现场传感器精度不足、布设密度不够,数据传输丢包、延迟等问题影响原始数据质量;水利数据涉及工程安全与水资源调配等敏感信息,现有安全防护体系尚不完善,存在数据泄露与被恶意攻击的风险。(2)技术层面:通用大数据技术与水利特殊工况融合深度不够,缺乏针对高水位冲刷、复杂地质等场景的专用分析算法,智能建模对实际工程状态刻画能力不足、适配性较差;从硬件部署到平台开发的全链条技术落地成本较高,中小型工程难以承受,制约先进技术规模化推广。(3)管理层面:基层水管单位数字化管理制度体系不健全,数据采集、审核、应用流程缺乏规范化依据;既懂水利业务又掌握大数据技术的复合型人才严重匮乏,基层人员数字化素养

偏低,对新系统操作熟练度不够,精细化管控措施在执行中效果打折扣。(4)运维层面:大数据平台建成后后期运维体系不健全,缺乏专业运维团队与常态化资金保障,系统故障处理不及时;数据更新滞后,部分平台长期使用过时数据进行分析;智能化应用停留在初期开发水平,缺乏持续迭代机制,智能预警等高级功能实际使用率偏低。

3.2 大数据赋能水利精细化管理的优化对策

(1)构建标准化数据治理体系:加快制定水利大数据采集、存储、交换与共享的统一技术标准,建立跨部门、跨层级的数据共享交换机制,打通信息壁垒;部署数据质量管理平台,对采集精度、传输完整性进行实时监控与自动校验,从源头保障数据真实可靠;完善数据分级分类安全保护制度,强化加密传输与访问权限管理,确保数据安全可控。(2)深化场景化技术融合创新:针对水利工程施工与运维典型场景,研发定制化数据分析模型与智能算法,充分考量高水位冲刷、复杂地质等水利特殊工况条件,提升建模对复杂水利系统的适配能力;推广云服务模式与轻量化解决方案,降低中小型工程的技术应用门槛与部署成本;鼓励产学研合作开展关键技术攻关,加速技术成果向实际应用转化,缩短创新到落地的周期。(3)完善数字化管理保障机制:建立健全水利数字化管理的规章制度体系,明确各岗位数据采集、审核、分析与应用职责及操作规范,做到事有人管、责有人担;加大复合型人才引进与培养力度,联合高校开设水利大数据相关专业课程,开展基层人员专项技能培训,持续提升全员数字化素养;建立与数字化管理相匹配的绩效考核与监督机制,将精细化管理成效纳入考核指标,形成有效的激励约束导向,确保各项管控要求真正落地见效^[5]。(4)搭建长效运维升级体系:组建专业化平台运维团队,落实常态化运维资金保障,建立系统运行状态日常巡检与故障快速响应机制,确保平台稳定高效运行;制定数据定期更新与功能迭代计划,及时补充最新监测数据,引入成熟算法成果,持续优化智能预警、辅助决策等核心功能;通过试点示范积累推广经验,以点带面逐步提升智能化应用普及率,放大数字化管控模式的综合效益。

3.3 大数据赋能水利工程精细化管理发展展望

(1)技术融合展望:大数据将与人工智能、数字孪生、5G等新一代信息技术深度融合,构建“数据感知—数字映射—智能决策—自动执行”的完整技术链条,实现施工现场无人化巡检、设备自主故障诊断与健康评估、水资源调度方案自动生成与优化等全场景智能化管控。(2)应用发展展望:以大数据为纽带打通工程规划、设计、施工、运维、退役各阶段数据流,实现水利工程全生命周期一体化的精细化、数字化、智慧化管理,形成覆盖工程全生命周期的“数字孪生水利工程”体系,为科学决策提供全方位数据支撑。(3)行业发展展望:伴随技术成熟与成本下降,智慧水利将从试点示范走向规模化推广,推动行业标准体系建立健全,促进水利治理体系和治理能力现代化,为水利行业高质量转型升级注入持续动力,全面赋能新阶段水利高质量发展与可持续发展目标实现。

结束语

本文系统梳理了大数据赋能水利工程施工与运维精细化管理的理论基础、应用场景与实现路径,总结了行业发展现存痛点并给出对应优化策略。大数据技术有效打破了传统水利管理局限,实现了工程全流程的精准管控与科学决策。未来,随着大数据与数字孪生、人工智能等技术深度融合,水利工程全生命周期智慧化管理将全面落地,持续推动水利治理体系升级,赋能水利行业高质量可持续发展。

参考文献

- [1] 李万林,马家林,程洋.大数据技术在水利工程建设中的应用[J].黄河水利职业技术学院学报,2023,35(4):15-18.
- [2] 王浩,陈军,周亮.基于多源大数据融合的水利工程运维精细化管理体系研究[J].水利学报,2024,55(7):821-830.
- [3] 张进朝,刘正坤.人工智能与大数据赋能水利工程运行管理创新实践[J].水利建设与管理,2025,45(8):28-33.
- [4] 褚学谦,吕菁琳.基于大数据技术的水利工程地理信息精细化管理系统设计[J].信息记录材料,2025,26(4):218-220.
- [5] 奚宏.大数据技术在水利工程管理中的应用[J].河南水利与南水北调,2022,51(10):102-103.