数字化技术在水利水电工程建设与运维管理中的应用

林洪光
四川省都江堰水利发展中心人民渠第二管理处　四川 德阳　618000

摘　要　为提升鲁班水库工程运维调度效率及监测精度与质量，开展数字化技术应用研究，构建智慧运维体系，强化工程管理实效。构建专属信息化架构，完成库区关键区域三维实景建模，接入自动化量测水设施、视频监控设备及工情监测站点，实现闸门远程调控与水文数据高频次自动上传。技术落地后，调水响应效率显著提升，配水精度控制效果优化，切实保障工程灌溉供水、防洪及生态保障核心功能高效发挥。

关键词　数字化技术；水利水电；工程建设；运维管理

Application of Digital Technology in the Construction and Operation & Maintenance Management of Water Conservancy and Hydropower Projects

Lin Hong-guang
The Second Management Office of Renminqu Canal, Dujiangyan Water Development Center of Sichuan Province, Deyang 618000, Sichuan Province, China

Abstract　To improve the operation and dispatching efficiency, monitoring accuracy, and quality of Luban Reservoir projects, research on the application of digital technology was conducted. An intelligent operation and maintenance system was constructed to enhance the effectiveness of engineering management. A dedicated information-based architecture was established, completing 3D real-scene modeling of key areas in the reservoir area. Automated water measurement facilities, video monitoring equipment, and engineering condition monitoring stations were integrated, enabling remote control of sluice gates and high-frequency automatic upload of hydrological data. After the technology was implemented, the response efficiency of water diversion was significantly improved, and the precision of water distribution control was optimized, effectively ensuring the efficient performance of the reservoir's core functions for irrigation water supply, flood control, and ecological protection.

Key words　Digital Technology; Water Conservancy and Hydropower; Engineering Construction; Operation and Maintenance Management

水利水电工程承担国家水安全保障、能源供给保障及生态平衡维系核心职能。全球气候变化加剧水旱灾害发生概率增加，传统运维模式普遍存在效率不足、响应迟缓等问题。新一代数字化技术持续升级，为行业转型突破提供重要支撑。鲁班水库作为大Ⅱ型囤蓄水库，承担62.69万亩耕地灌溉及20余万人供水任务，传统运维中存在金属结构老化、监测设施不完善、调度响应滞后等难题。本研究聚焦数字化技术与该工程运维的融合路径探索，推动管理模式向精准化智能化转变，为提升工程综合效益、夯实区域水安全保障体系提供有力支撑，兼具实践指导意义与行业推广价值。

1　项目概况

鲁班水库位于三台县鲁班镇绿豆河上游，是都江堰人民渠七期工程下段大型囤蓄水库，总库容2.94亿m³，正常蓄水位460.00 m，设计灌溉面积62.69万亩，年平均供水量15 630万m³，承担灌溉、供水、防洪及生态保障核心功能。针对传统运维调度滞后、监测精度不足、安全隐患排查不及时等难题，工程依托数字孪生技术构建智慧运维体系，搭建物联感知—网络通信—基础设施—业务支撑—一体化管理的信息化架构。项目完成库区关键区域三维实景建模，接入自动化量测水设施、1611处视频监控及多座工情监测点，实现主要放水建筑物闸门远程控制。借助在线监测系统，实现水文数据定期自动上传及库区重点区域动态监测。应用后调水响应效率大幅提升，配水精度控制在合理范围，春灌供水保证率稳定，通过洪水演进模型有效提升防洪调度能力[1]。

2 数字化技术在水利水电工程建设中的应用

2.1 数字化勘测与设计技术实践应用

1.多源融合数字化勘测实施。融合卫星遥感、无人机倾斜摄影、地面三维激光扫描等多元技术，开展全域勘测数据的采集与处理。勘测范围覆盖水库管理及保护范围，通过多源数据融合构建高精度地形地貌模型。卫星遥感技术用于宏观地形轮廓采集，无人机倾斜摄影聚焦渠首枢纽及关键构筑物区域细节数据获取，地面三维激光扫描针对主坝、副坝、溢洪道、放空洞等重点区域开展精细化勘测。勘测数据通过专业处理软件完成配准、融合及降噪处理，形成标准化勘测数据集，作为后续设计工作的数据基础。配套采用专业数据处理流程，先通过空三加密生成点云数据，再经纹理映射构建三维实景模型，最终完成与设计软件的格式对接。勘测过程中，同步推进水文地质数据数字化采集，通过布设物联网传感设备，实现地下水位、土壤含水率等参数实时监测。监测数据通过无线传输模块接入勘测数据管理平台，与地形勘测数据协同分析，为水库除险加固设计提供水文地质依据[2]。具体如表1所示。

表1 数字化勘测阶段核心设备及技术参数配置

勘测设备类型	设备型号	布设密度	测量精度	数据采集频率	有效作业范围
多旋翼无人机	PHANTOM4RTK	每平方公里3架次	平面 ± 1 cm，高程 ± 2 cm	每架次30 min	5 km半径
地面三维激光扫描仪	FAROFocusS70	10 m / 1个测站	± 1mm@10 m	每测站5 min	70 m半径
地下水位监测仪	TDR-300	2 km / 1个监测点	± 0.01 m	1 h / 次	地下50 m深度
土壤含水率传感器	CS655	1 km / 2个监测点	± 2%	30 min / 次	地下0 ~ 1.5 m深度

2.BIM协同设计实践。基于勘测获取的精准数据，采用BIM技术构建工程全专业三维模型，覆盖主坝、副坝、放空洞等所有构筑物。模型构建遵循分层建模原则，按基础层、结构层、设备层、管线层分层设计，各专业模型通过统一坐标系整合，推进多专业协同设计。设计过程中，运用BIM软件碰撞检查功能，对各专业模型开展交叉校验，提前化解设计缺陷[3]。针对水库除险加固核心需求，在BIM模型中嵌入水力计算参数，开展模拟分析，优化设计。同时，将工程材料信息、施工工艺要求等参数关联至BIM模型构件，形成涵盖设计、材料、施工全要素的数字化模型，为后续施工交底、进度管控提供数字化依据。模型数据通过云端协同平台实现设计团队共享，支持多地点同步设计与实时修改，提升设计协同效率。

2.2 智慧施工过程管控技术实践应用

1.施工过程实时监测系统部署。监测数据通过5G与NB-IoT融合通信网络传输至智慧施工管控平台，平台对数据开展实时解析与阈值判断，确保施工过程参数符合设计要求。针对混凝土浇筑工序，在模板及钢筋骨架布设应变与温度传感器，监测混凝土浇筑过程温度变化与应力分布，同步采用智能振捣设备，实现振捣深度与频率精准控制[4]，具体如表2所示。

表2 施工过程监测传感器配置及技术参数

监测项目	传感器类型	布设位置	测量范围	精度等级	传输方式
混凝土温度	光纤光栅温度传感器	混凝土内部及表面	−30 ~ 80 ℃	0.1 ℃	光纤传输
混凝土应变	电阻应变片	钢筋骨架及混凝土构件	−2 000 ~ 2 000 με	± 1 με	有线传输

2.施工进度数字化管控。基于BIM模型搭建施工进度管理系统，将施工进度计划分解至各分部分项工程，通过BIM模型与施工进度计划关联，实现施工进度可视化管控。在智慧施工管控平台导入施工进度计划数据，将各工序开始时间、结束时间、施工班组等信息关联至对应BIM模型构件。通过无人机定期拍摄施工区域实景影像，将影像数据与BIM模型比对，生成进度偏差分析报告，精准掌握各工序施工进度情况。针对关键工序实施节点管控，在平台设置进度预警阈值，当某工序施工进度滞后超阈值时，系统自动触发预警提示。同时，通过平台实现施工资源数字化调配，将施工人员、机械设备、材料等资源信息录入平台，结合施工进度需求动态调配，确保资源供给与施工进度匹配。

3.施工安全数字化防控。搭建全域视频监控网络，在施工区域、材料堆放区、临时设施区等关键区域布设高清视频监控设备，实现施工过程实时可视化监控。视频监控系统具备智能分析功能，可自动识别未佩戴安全帽、违规动火、区域入侵等不安全行为，触发声光报警并将报警信息推送至管理人员移动端。针对隧洞深挖段等危险作业区域，布设气体浓度传感器与人员定位设备，实时监测作业环境气体浓度，跟踪施工人员位置信息。当气体浓度超标或人员进入危险区域时，系统立即发

出预警并启动应急联动机制。建立施工安全隐患数字化排查机制，通过移动端App实现隐患排查流程数字化管理。

3 数字化技术在水利水电工程运维管理中的应用

3.1 全域感知网络运维数据处理

每季度对自动化量测水设施及工情监测点开展全量巡检，覆盖渗压计、应变计、水位计等各类传感器，运用标准校准工装开展精度校验，更换老化传输模块，同步清理监测设备探头附着的杂物，保障数据采集稳定性。依托边缘计算节点，对水文监测数据及工情监测数据进行降噪滤波与格式标准化处理，建立数据质量校验机制，自动剔除异常数据并标记缺失数据，经标准化处理后接入运维中台，为后续分析决策提供可靠数据支撑。针对主坝左坝肩渗漏监测、副坝渗流监测等关键数据，优化采集频率，确保重点区域状态实时掌握[5]。

3.2 三维实景模型工程安全运维融合

每半年借助无人机倾斜摄影数据更新库区关键区域三维实景模型，将闸站、坝体、放水隧洞等构筑物实时监测数据与模型构件关联，构建结构安全可视化运维界面，实现渗流、变形等参数空间溯源分析。针对主坝、太林寺副坝、彭家湾单薄分水岭等关键区域，布设分布式光纤传感系统开展长期监测，定期核查光纤链路连通性，通过运维平台调整传感数据采集频率，保障结构安全状态实时感知。借助模型模拟坝体裂缝发展、渗漏路径演变，为隐患排查与整治提供可视化依据[6]。

3.3 水资源调度数字化管控实施

运维平台整合沿线灌区用水申报数据与量测水设施实时流量数据，调用水力调度模型开展工况模拟，预设春灌、夏灌等不同时段调度参数阈值；通过中台向976处远程控制闸门下发启闭指令，同步采集闸门执行反馈数据。常态化更新洪水演进模型基础数据图层，涵盖流域地形、水文站网分布等内容；每月对1 611处视频监控点位实施角度校准与设备性能测试，保障洪峰期间视频画面实时回传与调度指令顺畅下达。

3.4 核心机电设备数字化运维

在运维平台搭建机电设备管理模块，接入闸门启闭机、水泵等核心设备的运行电流、电压、振动频率等参数，建立设备运行基线数据库，通过趋势分析模型跟踪参数变化轨迹，自动生成维护工单。定期通过运维平台对远程控制设备开展启停测试，校验执行机构响应精度与限位保护功能，调取设备运行日志开展故障代码解析，将维护记录、备件更换信息归档至设备数字化档案，形成全生命周期运维闭环[7]。

3.5 运维平台数据安全保障

依托智慧水库一体化管理平台，整合全域感知数据与三维实景模型，实现工程运维全流程数字化管控。通过平台远程控制鲁香、鲁联、鲁西等放水隧洞闸门，结合灌溉需求及水文条件精准调节放水量，调水响应时间显著缩短。平台集成洪水演进模拟功能，结合实时水文数据推演洪水过程，为防洪调度提供科学支撑。同时，平台实现白蚁防治、金属结构锈蚀监测等专项运维工作的数字化记录与跟踪，确保整治措施落实到位。

4 结束语

数字化技术已深度渗透鲁班水库工程建设与运维全流程。通过构建全域感知网络、三维实景模型等数字化体系，达成工程精准管控与高效运维目标，为特大型无坝引水灌区管理提供实操范式。展望未来，需持续深化数字孪生技术应用，推动多源数据深度融合，突破核心技术自主可控瓶颈，助力智慧水利建设迈向更高质量发展阶段。

参考文献

[1]王骞.机械自动化技术在水利水电工程中的应用[J].今日自动化,2024(6):132-134.

[2]王中义.大数据技术在水利水电工程建设和运维管理中的应用策略[J].信息产业报道,2025(5):227-229.

[3]郎启庄,郎啟香,高宽.数字孪生技术赋能水利工程建设管理路径探索[J].水利建设与管理,2025,45(1):68-73.

[4]付希义,田亮,张庆萍,等.数字孪生技术在水利工程运行维护管理中的应用[J].水利水电快报,2024,45(S2):104-107.

[5]唐文彪,万朝军,韩癸.信息自动化技术在水利水电工程建设中的应用研究[J].工程建设与发展,2025,4(6):236-238.

[6]关荣财,董军,马忠彬,等.BIM技术在关门嘴子水库主体工程中的应用[J].水利水电技术(中英文),2023,54(S2):231-235.

[7]胡琦.智能化技术在水利水电工程管理中的应用探讨[J].城市情报,2024(18):39-40.

（本文编辑 吴文博）

