小型水库运行管理矩阵平台“四预”建设关键问题的探讨

王学猛[1] 逄文秀[2] 韩炳熠[3] 任泽俭[3]
1. 枣庄市峄城区城乡水务局 山东 枣庄 277399
2. 山东创元水利工程有限公司 山东 济南 250110
3. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250102

摘 要：为化解小型水库管护中数据割裂、预警滞后、调度粗放等问题，提升预报、预警、预演、预案（“四预”）综合管控效能，本文围绕矩阵平台建设的技术难点与落地路径展开研究。结合基层管护实际，探究北斗通信覆盖偏远区域数据传输、多源异构数据融合支撑洪水研判、轻量化调度模型动态校正、标准化接口打通业务壁垒四类核心技术。应用结果表明，该平台可实现监测数据稳定传输、“四预”业务闭环运转、调度方案仿真推演，强化水库风险前置防控与应急处置效率，可为同类小型水库数字化管控提供可行参考。

关键词：管理矩阵平台；小型水库运行；“四预”；数据融合；智能调度；北斗应用

引言

小型水库是区域防洪与供水保障的重要设施，但普遍存在监测覆盖不足、数据流转不畅等管护短板。极端天气频发背景下，依托数字化手段完善“四预”管控模式已成必然趋势。本文结合山东省某区小型水库基层管护实际，梳理矩阵平台感知布设、算法适配等建设难点，探索低成本易运维的实施路径，为小型水库智慧管控提质提供参考。

1 小型水库运行管理矩阵平台“四预”建设目标及难点

1.1 建设目标

平台以数字化、网络化、智能化覆盖小型水库全周期运行管理为核心导向。第一层目标搭建全域联动的动态感知体系，补齐偏远区域监测点位缺口，消除空间层面的数据采集盲区；第二层目标串联预报、预警、预演、预案完整业务链条，将传统险情发生后的被动处置模式，切换为风险前置研判的主动防控模式；第三层目标打通不同层级、不同业务板块的协作通道，理顺信息流转路径，缩短应急场景下多方联动响应时长；第四层目标简化系统操作逻辑，把零散的管理事项整合为标准化流程，降低一线管护人员的专业操作门槛。多项目标协同落地后，逐步形成态势可视、研判精准、推演可靠、调度顺畅的现代化管控格局[1]。

1.2 建设框架

平台整体采用云边端协同分层架构。端层布设雨量、水位、渗压、位移等物联感知设备搭配北斗通信终端，负责原始现场数据采集；边层依托水库现有值守站点或乡镇节点部署前置处理单元，就地完成数据过滤校验、局部阈值预警，减少云端传输压力；云层搭建统一地理数字底板，整合数据资源池、算法模型库、专业知识图谱与各类业务模块，集中承载洪水预报、降雨影响分析、调度情景推演、预案动态管理等核心功能，再通过网页客户端与移动端应用，分级向各级管护人员推送业务服务，实现多层级同步办公。

1.3 建设难点分析

第一类难点集中在感知网络落地层面。多数小型水库坐落于偏僻区域，公用移动通信信号覆盖薄弱甚至完全空白，常规市电供电稳定性不足，铺设有线传输线路投入偏高，造成设备供电、数据传输持续性难以保障。第二类难点为多源数据统筹障碍，水文监测、气象预报、工程安全巡检等不同类别的数据存储格式互不统一，跨主体的数据互通渠道有限，原始数据质量波动会直接降低后续模型运算的可靠程度。第三类难点体现在模型适配与算力短板，成熟的大中型水文调度模型参数复杂，适配小型水库时受基础监测资料有限制约，参数校准难度较大，同时基层运维节点算力储备不足，难以支撑高频次情景推演运算[2]。第四类难点属于业务流程衔接问题，“四预”各环节原先分属不同工作模块，预警信息下发、现场处置执行、处置结果反馈之间衔接松散，尚未形成闭环管控机制。

2 小型水库运行管理矩阵平台“四预”建设关键技术

2.1 洪水预测预报与实时预警

面向小型水库汇流时间短、涨落急剧的特性，传统水文模型往往因参数率定困难而导致预报失效。为此，采用“分布式产流+瞬时单位线汇流”的混合建模方案，在保留物理机制合理性的同时大幅降低参数维度。核心

创新在于引入动态阈值自适应校正技术，利用贝叶斯概率框架实时融合雨量站、水位站的实测数据流，对模型参数进行分钟级滚动更新，有效抵消了前期土壤含水量未知带来的初始误差。预警发布机制则突破单一指标限制，构建复合预警指标体系，综合考量降雨强度、临界雨量阈值及坝体渗压稳定性，通过时空插值算法实现风险区域的精准标定。系统内置多级预警触发逻辑，一旦判别风险，立即激活多渠道并行推送与阅知反馈闭环，确保预警信息不仅“发得出”，更能“收得到、有回应”，显著缩短了从数据感知到应急行动的响应链条。

2.2 纳雨能力动态测算与水位推演

纳雨能力分析是连接气象预报与防洪调度的关键纽带。针对小型水库调蓄容积小、调度窗口窄的痛点，构建了基于实时工况的纳雨能力反演模型。该模型不再依赖静态的水位—库容曲线，而是结合当前蓄水量、出库流量及大坝安全约束，建立动态平衡方程。技术上重点解决了多源降雨预报数据的同化融合难题，通过对接高分辨率网格降水预报产品，利用集合预报思想生成多种降雨情景，进而推演未来24h内水库水位的演变轨迹及极值。模型特别强化了短临暴雨情景的极端值模拟能力，能够快速计算出在不超安全水位的前提下，水库尚可容纳的降雨量，为调度人员提供“还能降多少雨、何时开始预泄”的量化决策依据，将防洪调度由事后被动抗洪转变为事前主动蓄水与避险。

2.3 水库群协同调度与模型评估

对于流域性小型水库群，单库调度往往难以应对上游来水或下游防洪压力。因此，建立了基于规则推理与智能寻优相结合的联合调度模型。首先，提取流域拓扑关系、工程运行规章及历史调度经验，构建结构化知识图谱，形成基础调度规则库；在此基础上，应用改进的多目标粒子群优化算法，以削峰率最大化和水资源利用率最高为目标，自动搜寻帕累托最优解集。为解决模型“黑箱”问题，设计了全过程精度在线评估机制，实时追踪入库流量预报误差、水位过程拟合度及调度指令执行情况，并将评估结果作为反馈信号动态调整模型权重。这种“物理机制+数据驱动”的双驱模式，既保证了调度方案的合规性，又通过机器学习不断逼近真实物理过程，显著提升了复杂工况下的调度方案可信度与鲁棒性[3]。

2.4 异构数据融合与接口标准化

数据是矩阵平台的血液，而接口则是血管。针对水利信息孤岛现象，设计了“边缘汇聚—云端融合”的两级数据处理架构。在边缘端，利用协议解析中间件兼容不同厂商的物联网设备，解决数据“进得来”的问题；在云端，建立统一的水利数据湖，采用时空立方体模型对多源异构数据（结构化监测数据与非结构化影像数据）进行清洗、关联与重组，消除数据语义歧义。接口设计严格遵循RESTful架构风格，开发了标准化的API服务组件，实现了与上级水利云平台、气象数值预报系统及应急指挥系统的无缝对接。重点强化了接口的高并发访问能力与安全性，通过Token鉴权机制与数据加密传输协议，配合断点续传与容错重试机制，确保了在公网环境不稳定条件下，关键业务数据的完整性、一致性与可用性，为跨部门业务协同提供了标准化的技术契约。

3 小型水库运行管理矩阵平台“四预”建设成果

3.1 北斗通信应用数据无阻通联

针对偏远水库公网信号缺位、常规通信链路稳定性不足的现状，平台规模化布设北斗三号短报文通信终端，终端直接对接水位、雨量等前端传感设备，自主切换定时主动上报、按需召测应答两种数据传输模式。配套光伏储能供电体系适配野外供电波动的环境特征，全天候保障监测数据采集、存储、远距离传输连贯顺畅，填补无公网区域的数据传输空白，让偏僻点位的水库运行状态可常态化远程掌握，从底层解决以往偏远站点数据断传、险情信息滞后的共性问题[4]。

3.2 多源数据协同实时智能预警

平台整合工程工况、雨水情实况、视频巡检画面、气象预报信息、库区地质隐患台账等多维度异构数据，依托流式计算引擎开展并行关联分析。系统可联动实时降雨强度、表层土壤含水状态、即时库水位三类核心要素综合研判坝体滑移、漫坝等潜在风险，按照风险等级自动触发分级预警机制。相较于人工逐项比对数据的研判模式，机器批量关联分析弱化人为经验偏差，预警触发时机更早、风险判定维度更全面，整体提升预警环节的精准程度与响应时效。

3.3 纳雨能力分析水库优化调度

纳雨能力分析模块搭建全域水库可视化看板，集中展示管辖范围内各水库实时纳雨承载力、剩余可调蓄库容、预估洪峰量级等核心运行指标。系统接入短临降雨预报序列自动演算不同降雨情景下的库容变化趋势，同步生成闸门启闭数量、下泄流量匹配度等预泄调度参考方案。管护人员可在强降雨来临前有序腾空库容，将汛期被动抗洪处置转变为汛前主动腾库防控，把调度决策由经验预判升级为数据量化支撑，增强汛期调度工作的前瞻性。

3.4 协同调度机制应急响应联动

平台内嵌标准化应急处置流程，当预警阈值被触发

后，系统自动匹配对应层级应急预案，梳理划定受影响范围、人员转移路线、抢险物资调配清单、值守队伍分工等处置明细，批量推送至乡镇、村级管护人员及消防、交通等协同部门。模块同步搭载多方远程视频会商功能，各方在线同步研判现场态势、调整处置节奏，形成预警下发、现场处置、结果反馈的闭环管控模式，消解以往部门间信息传递、处理脱节的问题。

3.5 立体监控网络空天地协同感知

平台跳出地面传感器单点监测的局限，构建多层级立体感知体系：地面布设各类传感设备采集定点时序数据，低空调度无人机周期性巡航拍摄库区高清影像、测绘三维地形地貌，排查坝坡表层隐患、核算泥沙淤积体量；天基依托遥感卫星大范围观测库区周边地表形变、植被覆盖变动情况。三类监测手段互为补充，覆盖人工徒步巡查难以抵达的陡坡、远岸区域，全方位填补人工巡检的空间盲区，形成全天候、大范围的态势感知格局。

3.6 空间数据融合动态风险预演

依托高精度数字高程模型与水库建筑信息模型搭建重点水库数字孪生场景，将不同降雨量级、不同调度策略作为变量输入仿真系统，动态推演洪水演进路径、淹没范围、区域水深及洪峰抵达时段。仿真结果以可视化形式直观呈现漫坝、局部溃坝的连锁影响，管护人员可对照推演结果调整预案细节、优化群众转移排布方案，改变以往预案编制仅依托历史经验的局限，让应急预案的调整优化拥有场景化推演依据[5]。

3.7 移动智能巡检现场一键畅联

移动端配套应用承接现场一线作业需求，巡检人员可在线完成点位打卡、隐患影像上传、现场运行数据填报等常规工作；险情突发阶段，操作人员一键上传实时定位与现场影像，连通平台后台技术人员开展远程会商指导。预警通知、调度指令同步定向推送至移动端终端，打通平台调度指令直达现场作业人员的最后一环，解决传统模式下现场人员信息滞后、远程指导不便的痛点，实现后台研判与现场处置的高效联动。

4 小型水库运行管理矩阵平台“四预”建设实施成效

以山东省某市辖区（共13座小型水库）为例，平台经过阶段性运行落地，多维度管控效能逐步显现。感知体系运行稳定性增强，北斗链路保障偏远区域监测数据持续回传，野外站点断传问题得到有效解决。预警研判时效性提升、误判情况减少，可为现场处置预留充裕准备时间。依托纳雨能力测算开展预泄调度，水库汛期高水位运行频次下降，下游防洪压力得到缓释。线上巡检规范日常作业流程，跨部门应急联动衔接更加顺畅，一线管护人员冗余工作量有所缩减。系统能够快速甄别坝体渗漏、生物侵蚀等隐蔽隐患并及时处置，未因预警延迟诱发安全险情。

5 结语

本次研究围绕小型水库矩阵平台的“四预”建设难点开展技术探究与落地验证，证实北斗通信、多源数据融合、轻量化调度模型、标准化接口可有效适配基层管护场景。平台运行后强化风险感知精度、调度科学性与跨部门应急协同水平，为化解小型水库安全管控难题提供数字化路径。

参考文献

[1]张修忠.山东现代化水库运行管理矩阵构建实践[J].中国水利,2026,(10):65-72.

[2]张倩.现代化水库运行管理矩阵防洪“四预”措施建设[J].河南水利与南水北调,2026,55(6):62-63.

[3]余洋洋,徐永兵.山东省水库运行管理矩阵平台“四预”建设关键问题[J].水利信息化,2025,(4):92-98.

[4]徐贤.棘洪滩水库运行管理矩阵实践与创新[J].中国水利,2025,(9):50-57.

[5]谢敏.现代化水库运行管理矩阵防洪“四预”措施建设[J].人民黄河,2025,47(12):158-163.