

山东现代化水库运行管理矩阵构建实践

张修忠¹, 杨俊¹, 徐永兵^{2,3*}

(1. 山东省水利厅, 250013, 济南; 2. 山东省水利勘测设计院有限公司, 250013, 济南;

3. 河海大学信息科学与工程学院, 213200, 常州)

摘要:在当前国家水网建设加速推进与极端天气事件多发频发双重背景下,传统水库运行管理模式正面临挑战:点多面广监管难、预报预警不精准、基层履职不到位、管理碎片化。山东省作为全国首批现代化水库运行管理矩阵建设试点省份,以水利部“四全、四制(治)、四预、四管”框架为指导,通过强化省级统筹、深化技术集成、推进机制创新,构建了覆盖全省5524座水库的运行管理矩阵平台。该平台采用“一级建设、多级应用”集约化架构,深度融合“天空地水工”一体化监测感知网络,实现预报、预警、预演、预案闭环管理。经过近两年汛期实战应用,洪水预报能力显著提升,洪水预见期延长至7~10 d,超汛限预警至责任人响应时间压缩至30 min以内。本研究系统总结了山东省小型水库现代化管理的可复制经验,明确以技术赋能推动管理变革,为全国水库现代化管理,特别是面广量大的小型水库矩阵建设提供了可落地的实践参考。

关键词:现代化水库运行管理矩阵;水利信息化;山东省;三维模拟技术;省级统筹;防洪调度

Practice of constructing a modern reservoir operation and management matrix in Shandong Province

ZHANG Xiuzhong¹, YANG Jun¹, XU Yongbing^{2,3*}

(1. Water Resources Department of Shandong Province, Jinan 250013, China;

2. Shandong Provincial Water Resources Survey and Design Institute Co., Ltd., Jinan 250013, China;

3. College of Information Science and Engineering, Hohai University, Changzhou 213200, China)

Abstract: Against the dual backdrop of accelerating national water network construction and the increasing frequency of extreme climate events, the traditional reservoir operation and management model is facing challenges: fragmented supervision across vast and diverse locations, imprecise forecasting and early warning, inadequate grassroots performance, and management fragmentation. As one of the first pilot provinces in China for modernized reservoir operation and management matrix construction, Shandong Province, guided by the framework of “four comprehensives, four systems (governance), four preparations, and four managements” by the Ministry of Water Resources has built a provincial-level operation and management matrix platform covering 5524 reservoirs across the province by strengthening provincial-level coordination, deepening technology integration, and promoting institutional innovation. This platform adopted an integrated architecture with “one-level construction and multi-level applications”, deeply integrating a “space, sky, ground, water and project” monitoring sensing network to achieve closed-loop management in forecasting, early warning, rehearsal, and contingency planning. After nearly two years of practical application during the flood season, the

收稿日期:2025-12-26 修回日期:2026-05-07

作者简介:张修忠,总工程师,一级调研员,主要从事水利工程建设管理、运行管理工作。

通信作者:徐永兵,正高级工程师,主要从事水利信息化与智能化、视觉感知与人工智能方向的研究。E-mail:1140789225@qq.com

基金项目:水利部重大科技项目(SKS-2025100)。

flood forecasting capability has been significantly improved, and the flood forecast period is extended to 7–10 days, while the response time from the issuance of an alert for exceeding the flood control limit to the action of responsible personnel is reduced to less than 30 minutes. This study systematically summarizes replicable experiences in the modernized management of small reservoirs in Shandong Province. It clearly emphasizes leveraging technology to drive management transformation, providing actionable practice references for the modernization of reservoir management nationwide, particularly for the matrix construction of small reservoirs that are numerous and widely distributed.

Keywords: modernized reservoir operation and management matrix; water resources informatization; Shandong Province; three-dimensional simulation technology; provincial-level coordination; flood control operation

中图分类号: TV697.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2026)10-0065-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2026.10.008

一、引言

随着《国家水网建设规划纲要》的全面实施,我国水资源配置与防洪减灾体系正步入系统化、信息化发展新阶段。与此同时,在全球气候变化影响下,极端降雨、干旱等天气事件呈现多发、频发与强发态势,水库安全运行面临点多面广难监管、预报预警不精准、基层履职不到位等多重挑战,其中数量占比较多的小型水库,更是因建设标准低、管理力量弱、信息化基础差,成为水库安全管理的核心短板与系统性风险防控的重中之重。2023年水利部出台《关于加快构建现代化水库运行管理矩阵的指导意见》,提出以“四全、四制(治)、四预、四管”为核心构建水库现代化管理的顶层设计体系,明确了水库管理数字化、智能化、系统化转型的核心方向与建设要求,标志着水库管理进入了以数字化、智能化、系统化为特征的现代化新阶段。在此背景下,如何将顶层设计转化为省级层面的有效实践,特别是破解面广量大的小型水库现代化管理难题,成为行业关注的一个焦点。

山东省作为现代化水库运行管理矩阵先行先试省份之一,总结其探索实践可为区域水安全保障与高质量发展提供经验。基于山东5524座水库的管理实践,本研究深入剖析其以省级统筹破解管理碎片化、以技术融合驱动业务重构、以闭环机制压实基层责任的创新路径,重点聚焦小型水库现代化管理的痛点破解与经验总结,旨在提炼具有普适性的省级现代化水库管理范式,为全国小型水库运行管理矩阵建设提供可复制的实践样本。

二、相关研究与实践进展

现代化水库运行管理国内外都在关注。在国际层面,以美国陆军工程兵团(USACE)和澳大利亚气象局为代表,探索并构建了集成的流域综合管理平台,强调高精度洪水预报、风险评估与多目标协同调度。例如,Scharffenberg W A等开发的HEC系列模型实现了水文和一二维水动力耦合分析,通过预报-预警-调度一体化提升流域韧性。澳大利亚气象局通过构建国家级水资源信息体系,整合多源监测数据与流域管理业务,形成了标准化、全流程的水资源与洪水管理模式,为大尺度全域水资源管理提供了参考。这些实践表明,系统集成与业务协同是提升水库管理效能的关键路径。

在国内层面,“十四五”以来水利部大力推进数字孪生水利建设,数字孪生水利框架体系构建基本完成,在流域防洪、水资源管理与调配、工程安全运行等方面取得了阶段性成果,初步构建了预报、预警、预演、预案“四预”技术体系。王晓冬等聚焦黄河流域,指出以大数据资源为关键要素的数字化转型,需实现从“工程驱动”向“数据与业务双驱动”转变。李博等的研究展示了数字孪生松辽流域预报调度平台的实践成效,该平台通过深度耦合预报与调度模型,实现了多场景动态防洪调度。王坤等针对水资源正反向预演需求,构建了支持多要素模拟的预演模型,在黄河河流域的数字孪生平台建设中得到了验证。

然而,现有研究与实践多聚焦于技术实现或单一业务场景,尚未形成贯通省、市、县、水利工程运行管

理单位多层次，融合预报、预警、预演、预案全链条，统筹技术、数据、业务、管理全要素的系统性解决方案。尤其是在省级层面，如何打破部门壁垒、整合分散资源、统一标准规范、实现跨层级业务协同与数据共享，构建上下联动、一体联通的现代化水库运行管理矩阵，仍是当前水库数字化转型中亟待突破的实践难点。山东省先行先试针对这一系统性挑战，以省级统筹为主导，以小型水库全域全覆盖为核心建设目标，通过体制创新牵引技术融合与业务重构，探索出一条以省级行政力量驱动全域数字化转型、实现水库运行管理从“碎片化”向“矩阵化”跃升的实践路径。

从水利部“四全、四制（治）、四预、四管”矩阵框架来看，现有研究对“四全”中的全覆盖感知、“四制（治）”中的责任制落实、“四管”中的管理平台建设关注较多，但对小型水库如何适配这一框架、如何在资源约束条件下实现“四预”功能下沉至基层，尚缺乏系统性解决方案。山东省的先行探索，正是针对小型水库这一最大群体，以省级统筹实现“四全”感知的规模化部署，以机制创新保障“四制（治）”的责任穿透，以技术赋能支撑“四预”业务的基层落地，以统建共用夯实“四管”的平台基础，为矩阵框架在小型水库场景下的具体化、可操作化提供了实践验证。

三、山东现代化水库运行管理矩阵建设实践

山东省基于“四全、四制（治）、四预、四管”现代化水库运行管理矩阵核心框架，深度融合“治理牵引、技术支撑、机制保障”三位一体创新实践，打造的矩阵框架见图1。一是以治理牵引为核心前提，以省级统筹为关键抓手，通过顶层设计破解跨层级、跨部门协同壁垒，为技术落地与机制运转筑牢制度根基。二是以技术支撑为核心引擎，依托“天空地水工”一体化监测感知网络与数字孪生、智能模型等技术，构建“四预”闭环体系，为精准决策注入强劲动能。三是以机制保障为核心支撑，通过流程再造、责任穿透、协同联动等制度创新，将治理目标与技术效能转化为常态化管理成效。三者相互赋能、缺一不可，共同构成山东省现代化水库运行管理矩阵的完整支撑体系。

1. 治理创新：省级统筹破解管理碎片化难题

（1）标准规范体系构建，破解数据治理难题

数据标准不统一是造成“数据孤岛”的核心症结，也是制约数据资源价值释放的关键瓶颈，这一问题在小型水库管理中尤为突出，多数小型水库无规范的数据采集与管理体系，数据格式杂乱、质量参差不齐，难以实现共享与应用。山东省聚焦数据治理全流程，兼顾大中

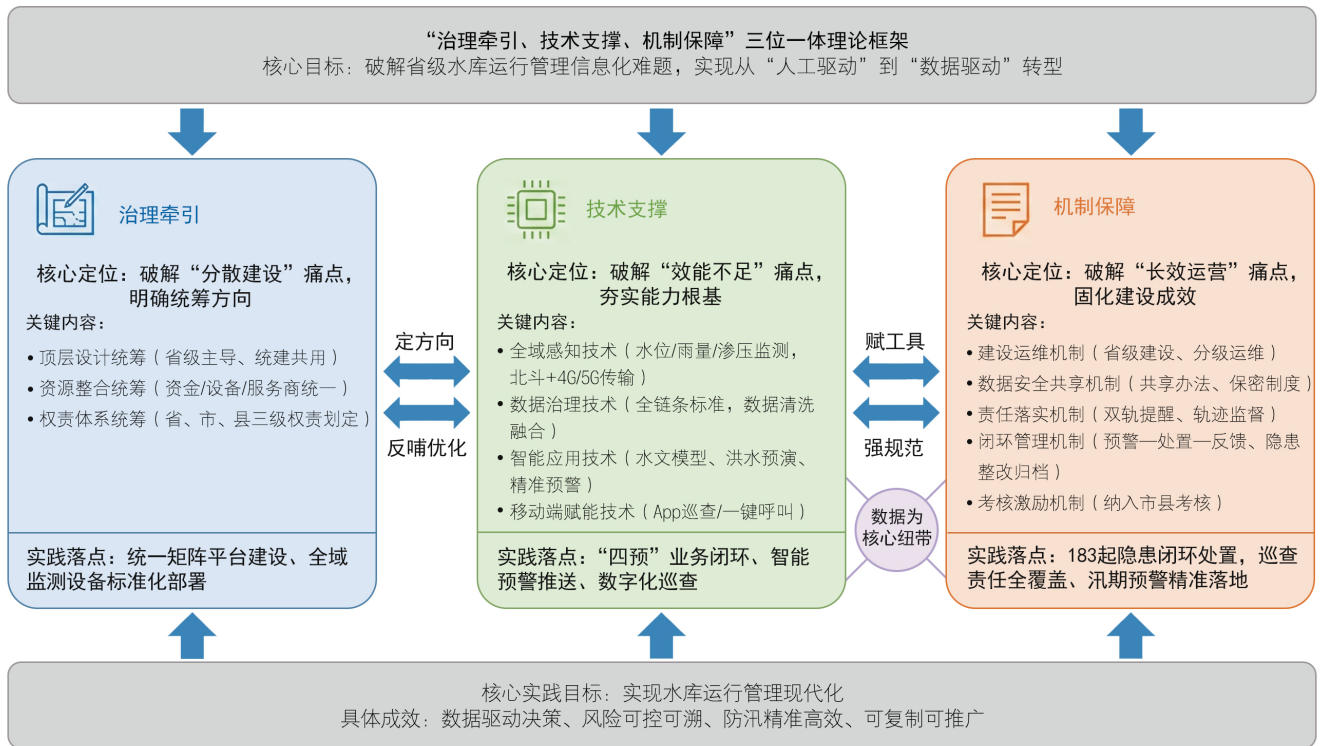


图1 山东省现代化水库运行管理矩阵框架

小型水库管理需求,重点补齐小型水库数据标准短板,系统构建了涵盖数据资源目录、数据汇聚、数据编码、数据服务的全链条标准规范体系,先后发布山东省水库运行管理数据资源目录结构标准、山东省水库监测数据汇聚标准规范等一系列地方标准和技术规范。

该标准规范体系的建立与实施,实现了三大核心突破:一是明确了数据资源“家底”,通过统一的数据资源目录结构标准,梳理形成涵盖工程基础信息、监测预警数据、运行管理数据、防汛调度数据等9大类48小类水库运行管理核心数据资源目录,重点完善了小型水库核心数据目录,确保山东省水库中5256座小型水库数据应编尽编、应汇尽汇;二是规范了数据汇聚流程,通过数据源汇聚标准规范,明确了不同类型数据的采集格式、传输协议、校验规则,实现了将分散在各地、各部门的水库数据按统一标准向省级平台汇聚,从源头解决了小型水库数据格式不一、难以融合的问题;三是打通了数据共享通道,通过统一的数据编码规范,为每项数据赋予唯一的标准化编码,实现数据跨层级、跨部门、跨区域的唯一标识性和精准关联,结合数据服务规范明确的数据共享接口、访问权限、安全管理要求,有效破解了以往数据“不愿共享、不能共享、不会共享”的难题,推动数据资源从分散存储向集中管控、从无效冗余向高效利用转变,为小型水库数字化管理奠定了标准化数据基础。

(2) 监测设备统一部署,筑牢数据采集基础

为防止各地小型水库监测设备型号杂乱、技术标准不一、数据采集精度参差不齐、重复建设等问题,山东省坚持“省级统筹、统一标准、集中采购、分级部署”的原则,由省级统一出资、统一选型,为全省的5256座小型水库配备了高精度水位监测仪、雨量自动采集器等核心感知设备,同步搭建标准化数据传输链路,采用“北斗+4G/5G+水利专网”等传输技术,确保监测数据实时、稳定上传至省级数据中心。

此次全域统一部署工作,不仅有效避免了各地分散建设带来的资源浪费,降低了基层水库管理单位的建设和运维成本,解决了小型水库无资金、无能力建设标准化监测体系的痛点,更实现了全省小型水库水位、雨量等核心监测数据的同源采集、同标准输出,为后续数据汇聚共享和深度应用奠定了坚实的硬件基础。目前,山东省5256座小型水库均已完成监测设备安装调试并投入运行,监测数据覆盖率达100%,数据传输成功率稳定在99%以上,为水库水情预警、防汛调度提

供了精准的数据支撑。

(3) 矩阵平台统建共用,释放数据应用价值

坚持“一级建设、多级应用”的原则,统筹建设山东省现代化水库运行管理矩阵平台,构建起“省级统筹建设、市县高效利用、水库精准应用”的全层级应用体系。平台由省级统一投资建设、统一运维管理,各地市、县(区)水利局、流域管理机构及各水库管理单位无需重复建设平台,仅通过差异化权限配置即可实现对平台资源的精准访问和高效应用,有效解决了小型水库基层单位无技术、无资金建设信息化平台的难题,实现了全省小型水库数字化管理能力的均等化提升。

从功能定位来看,省级平台侧重统筹管控,承担全省水库运行管理数据的集中存储、综合分析、宏观调度和监督管理功能,可实时掌握全省水库运行动态,开展水情趋势预测、防汛风险评估,为省级水利部门重大决策提供数据支撑;市县级平台侧重协同管理,依托省级平台数据资源,开展辖区内水库运行状况监测、隐患排查治理等工作,实现对辖区水库的精细化管理。各水库管理单元侧重精准应用,特别是小型水库管理单位,通过平台获取本水库实时监测数据、日常运行管理信息,实现水库正常运行、险情上报、应急处置等工作的规范化、便捷化。

矩阵平台统建共用不仅打破了以往各地平台“各自为战”的局面,大幅度降低了平台建设和运维成本,更实现了数据资源的集中管控和高效流转,推动水库运行管理从经验驱动向数据驱动转变,为水利部“四全、四制(治)、四预、四管”框架在基层特别是小型水库的落地,提供了统一的数字化载体。

(4) 小型水库专项攻坚,破解“散弱缺”困局

针对小型水库这一最大群体,山东省实施“省级统建、县级应用、水库受益”的专项攻坚策略。在“四全”感知方面,省级统一配备水位、雨量监测设备,覆盖率从建设前的不足60%提升至100%,解决小型水库“测不到”问题;在“四制(治)”方面,建立“三个责任人”数字化履职机制,通过AI语音抽查、移动App打卡等手段,将行政责任落实至每座小型水库;在“四预”方面,开发小型水库降雨能力分析专用模型,将洪水预报、预泄调度等复杂功能简化为基层可操作的决策支持系统;在“四管”方面,通过统建共用模式,使每座小型水库零成本接入省级平台,与大中型水库共享同等的信息化服务。这一模式使小型水库从“管理末

梢”转变为“矩阵节点”，实现了矩阵框架在小型水库场景下的全面落地。

治理创新以省级统筹为核心抓手，全面承接现代化水库运行管理矩阵“四全、四制（治）、四预、四管”顶层框架。通过标准规范体系构建、监测设备统一部署、矩阵平台统建共用，系统性落地矩阵“四全”监管全覆盖、掌握全要素、管控全天候和管理全周期的要求，从根源破解“数据孤岛”与管理碎片化难题。通过权责体系统筹、小型水库专项攻坚，构建矩阵“四制（治）”标准化治理与责任制落实体系，同时为“四预”措施落地提供统一数字化载体，为“四管”筑牢制度根基，实现全省水库管理能力提升。

2. 技术创新：“天空地水工”融合感知与智能决策

（1）相控阵X波段雷达组网

针对传统降雨监测精度低、时空分辨率不足，难以精准捕捉局地强降雨等极端天气的问题，尤其是小型水库多位于山区、丘陵区，局地强降雨突发性强、预报难度大，极易引发漫坝风险，山东省创新性部署6部相控阵X波段雷达，构建全省雷达监测组网，并对现有雨量站网进行优化升级。通过雷达组网与雨量站网的数据融合处理，实现逐40 s、30 m×30 m网格的超精细化降雨监测，能够精准捕捉降雨中心位置、强度变化及移动趋势，提升未来1~3 h降雨预报精度，显著延长极端天气预见期，为防汛指挥决策提供“分钟级、米级”的精准降雨数据支撑，有效解决了以往极端天气预报不准、预警不及时痛点，为小型水库短时强降雨应对提供了关键的前置预警支撑。

（2）北斗卫星通信规模化应用

针对传统无线通信在汛期极端天气下易中断、数据传输可靠性不足的问题，尤其是多数小型水库地处偏远，公网信号覆盖不足，汛期极端降雨易导致通信中断，形成“信息孤岛”，山东省将北斗三号卫星通信技术规模化应用于水利工程实践，完成483座小型水库北斗数据传输终端安装部署。同时，开发北斗三号短报文接收处理平台，在山东省水利信息中心安装北斗三号指挥机，实现对全省483座小型水库雨水情监测数据的北斗卫星采集与传输。

北斗通信技术的规模化应用是山东省水利领域的重大技术创新突破，有效完善了“天空地水工”一体化监测感知体系。在历次防汛关键时期，北斗通信系统均发挥了重要的应急通信保障作用，确保了水库运行管理数据不间断、不丢失，为防汛调度决策的连续性提

供了关键支撑。

（3）洪水预测预报与实时预警技术创新

在洪水预测预报方面，矩阵平台构建基于实时气象数据的水文水动力耦合预测模型，创新性集成三水源新安江模型、SCS模型和API分布式水文模型，形成多模型协同预测体系。为解决单一模型参数率定精度不足的问题，采用NSGA-II多目标优化算法对模型参数进行全局优化率定，有效提升了不同水文情景下的洪水预报精度，将大中型水库洪水预见期延长至7~10 d，同时针对小型水库流域特点优化模型参数，实现了小型水库入库洪水的精准预报。

在实时预警方面，基于GIS和Web技术构建可视化实时监测预警系统，结合不同区域、不同类型水库的工程特性和防汛要求，科学设定分级预警阈值。系统可自动对接实时监测数据与预测结果，当数据达到预警阈值时，通过短信、平台弹窗等多种渠道自动向相关管理单位和责任人发布预警信息，实现预警信息的快速传递与精准推送，确保及时响应、高效处置。

（4）小型水库纳雨能力分析与水位预报技术创新

针对小型水库库容小、调蓄能力有限、对降雨响应敏感的特点，山东省创新构建上游流域分布式水文模型，结合蒙特卡罗法随机模拟多种极端降雨情景，全面覆盖不同降雨强度、降雨历时、降雨空间分布等场景。通过耦合水库水量平衡方程，精准计算不同降雨情景下水库的入库洪量、水位变化过程，科学确定水库纳雨能力区间。

同时，将预泄调度策略主动引入水位预报模型，提前模拟不同预泄方案下的水库水位变化，为小型水库汛期预泄调度提供科学依据。该技术有效解决了小型水库纳雨能力评估不准、水位预报滞后的问题，为小型水库的精细化调度和风险管控提供了关键技术支撑，显著提升了小型水库防汛安全保障能力。

技术创新以“天空地水工”融合感知与智能决策为核心，对标现代化水库运行管理矩阵建设要求。通过相控阵雷达组网、北斗卫星通信规模化应用，深化矩阵“四全”全要素感知的覆盖广度、时空精度与全天候可靠性，补齐偏远小型水库极端天气下的感知通信短板。通过多模型协同洪水预报、分级精准预警、纳雨能力分析与多场景预演模型，全面赋能“四预”工作实施。

3. 机制创新：“闭环处置”与责任穿透

（1）创新防汛责任人履职提醒机制

创新构建“语音机器人+人工通话”双轨防汛责

任人履职提醒机制,实现防汛责任的精准传导与有效监督。在汛期依托矩阵平台融合天气预报数据与水库降雨能力分析结果,智能生成责任人抽查清单并匹配差异化话术模板。通过AI语音呼叫对未接通的责任人实行智能重拨,连续未接通则自动升级至人工核查,确保提醒核查工作全覆盖、无死角。

同时,针对抽查过程中责任人反馈的各类问题,建立记录—反馈—整改—复核全流程闭环管理机制。2025年汛期,通过该机制累计电话提醒防汛责任人1万余人次,覆盖水库9032座次,语音呼叫接通率达97.4%,有效推动了防汛责任落实。

(2) 创新移动数字化运维机制

创新建立移动数字化运维机制,依托移动App为“三个责任人”精准履职提供数字化支撑,实现水库基础信息随时查、监测信息随时看、业务事项即时办。为保障巡查工作精准有效,以水库管理范围为基准向外延伸600 m划定为有效巡查区域,巡查人员超出该范围时,平台将自动发出提醒,App同时支持巡查轨迹、巡查时长、安全隐患等关键信息实时记录上传,并集成一键呼叫、视频通话功能,方便管理单位直观掌握水库现场实况,及时开展精准业务指导,构建起智能化巡查管理体系,实现了小型水库巡查工作的可监督、可追溯,全面补齐了小型水库日常运维管理的短板。

(3) 创新视频监控智能防控机制

创新构建视频监控智能防控机制,采用“利旧+新建”的集约化建设模式,实现全省5256座小型水库视频监控全覆盖,为每座水库统一配备全景监控与溢洪道专项监控设备。通过融合AI识别技术,构建溢洪道拦渔网识别、库区非法施工、非法入侵、垃圾堆放等违规风险的实时识别与告警体系,并同步建立告警发现—派单—处置—反馈全流程闭环管理机制,有效提升了小型水库安全风险防控的精准性与主动性。

机制创新全面落实现代化水库运行管理矩阵长效

运行要求,通过双轨履职提醒、移动数字化运维、智能防控闭环管理机制,系统完善矩阵责任制与常态化监管体系,实现管理责任从省级到单座水库的全层级落实。通过预警—处置—反馈—复核闭环管理机制,落地矩阵“四管”管控目标,破解基层履职不到位、隐患处置不闭环的痛点,为“四全”数据价值释放、“四预”预警闭环处置提供制度保障。

四、实践成效

山东省以“四全、四制(治)、四预、四管”为核心的现代化水库运行管理矩阵建设,通过治理、技术、机制三位一体的创新实践,实现水库运行管理从人工驱动到数据驱动的变革,在预警响应、巡查管理、隐患处置、调度决策四大维度取得显著成效,全面验证了矩阵框架省级落地的实践价值。

1. 预警响应从“人工滞后”到“精准高效”

传统模式下,水库水位监测依赖人工现场读数,不仅效率低,而且预警信息传递滞后,难以应对短历时强降雨等突发险情,这一问题在小型水库中尤为突出,传统模式下小型水库超汛告警至责任人响应时间普遍超过90 min,极易错失最佳处置时机。矩阵平台将超汛告警至责任人响应时间压缩至30 min以内,缩短超67%,响应时效显著提升(见表1)。矩阵平台依托实时雨水情监测与预警指标体系,可按当前超汛限、超汛限频次、超汛限值峰值等多维度精准推送预警信息,实现自动化、精准化预警。2024年主汛期累计发送预警信息120 977次,涉及水库2025座。2025年主汛期累计发送预警信息171 416次,覆盖水库2320座,预警覆盖范围与响应时效较传统模式显著提升。同时,平台整合雨水情、坝体渗压等自动测报数据,构建全方位安全监测体系,数据异常时精准推送至相关责任人,为泄洪调度等处置措施提供精准支撑,有效降低了传统模式下水库高水位运行的被动风险,保障了工程安全与防洪调度效能。

表1 山东省现代化水库运行管理矩阵建设前后主要指标对比

评估维度	关键指标	建设前(参考值)	建设后(2025年汛期)	变化情况
响应时效	超汛告警至责任人响应时间	>90 min(基于传统通信方式统计)	≤30 min	缩短超67%
基层履职	智能巡查任务完成率	约75%(基于人工上报统计)	98.5%	提升约20%
隐患治理	汛期发现隐患处置率	约85%	100%	实现全覆盖与闭环
预报能力	大中型水库洪水预见期	3~4 d(基于历史调度记录估算)	7~10 d	显著提升
调度决策	预泄调度决策提前量	2~4 h	≥12 h	显著提升

2. 巡查管理从“监督缺失”到“规范可控”

传统巡查模式中,省级主管部门无法实时监督巡查人员到岗履职情况,存在巡查路线不规范、巡查记录不完整等问题,且野外巡查人员通信联络不便,应急协调效率低。平台配套移动App实现巡查任务全链条数字化管理,基于水库管理范围矢量数据划定有效巡查范围,超出范围实时提醒,确保巡查规范性,同时支持巡查轨迹实时可视化,解决了省级监督缺失的难题。2025年5月,各级巡查责任人通过移动端累计完成安全巡查29万余次,结合专家一键呼叫、视频指导功能,既满足了野外巡查通信与应急协调需求,又实现了巡查工作可监督、可追溯,较传统模式显著提升了现场工作效率与安全保障水平。智能巡查任务完成率从约75%提升至98.5%,基层履职能力大幅增强。

3. 隐患处置从碎片化到闭环化

传统隐患处置多依赖纸质记录,存在问题上报不及时、任务流转不清晰、整改结果无追溯等碎片化问题,易出现“问题悬空”,小型水库隐患处置更是存在“发现难、上报慢、处置不闭环”的系统性难题。矩阵平台构建发现—上报—流转—处置—反馈全流程线上闭环管理机制,截至2025年汛期末,累计上报潜在隐患与险情183起,所有事项均按标准化流程推送处置,均实现闭环管理。汛期发现隐患处置率从约85%提升至100%,实现全面覆盖与高效管理。

4. 调度决策从“经验判断”到“数据支撑”

传统防汛调度多依赖管理人员经验判断,对流域降雨分布、水库纳雨能力的研判缺乏科学数据支撑,决策主动性不足。2024年7月7日9时,根据实时雨水情,矩阵平台按照流域平均降雨50 mm、100 mm、150 mm和200 mm 4种雨情,对全省水库纳雨能力进行分析,通过矩阵平台指导超限水库提前预泄,最大限度发挥水库拦洪削峰作用。大中型水库洪水预见期从3~4 d延长至7~10 d,预泄调度决策提前量从2~4 d提升至12 d以上,预报与调度能力实现跨越式提升。针对山东省启动洪水防御Ⅳ级应急响应,矩阵平台在强降雨期间,综合考虑上游库区淹没、大坝自身安全和下游防洪影响,通过正向预演和反向推演,利用矩阵平台及时将实时降雨、上游来水、超限水位水库水情等告警信息推送至防汛“三个责任人”,发布山洪灾害预警4期、短信3449条。

五、讨论与启示

山东省现代化水库运行管理矩阵的核心突破在于

以“四全、四制(治)、四预、四管”现代化水库运行管理矩阵为核心框架,构建了“治理牵引、技术支撑、机制保障”深度融合的系统闭环,为全国省级水库管理现代化提供了可迁移、可适配的实践样本。其可迁移性源于对治理本质的把握:“四全”是基础,决定了矩阵的覆盖广度;“四制(治)”是保障,决定了矩阵的运行长效;“四预”是核心,决定了矩阵的能力深度;“四管”是目标,决定了矩阵的价值落点。同时,通过省级层面的制度统筹,破解了跨层级、跨部门的协同壁垒,为技术落地与机制运转提供了制度保障。机制创新则通过责任穿透与流程闭环,将治理目标与技术效能转化为常态化管理成效,实现“建得成、用得好、管得住”的长效治理。矩阵建设与三位一体创新实践相互耦合、动态适配,构成了应对水库管理碎片化、效能不足、责任悬空等共性难题的系统性解决方案,其核心逻辑不受区域经济水平、地理气候、管理基础的局限,具备普适迁移价值。

可迁移的关键在于融合逻辑复用、区域场景适配。无需机械复制技术模块或制度条文,而应聚焦“治理牵引技术方向、技术支撑机制落地、机制反哺治理优化”的融合内核,经济发达省份可在该逻辑下拓展数字孪生、AI自主决策等高阶功能,深化治理与技术的深度耦合;中西部省份可聚焦核心治理需求,优先通过省级统筹整合资源,以低成本、高实效的技术与机制组合破解关键痛点。南方多雨省份可侧重极端降雨应对场景下的治理;北方干旱省份可强化水资源调配维度的协同机制创新,实现“融合内核不变、场景应用灵活”的迁移落地。

六、结论与建议

山东省通过系统构建现代化水库运行管理矩阵,探索并验证了一条省级统筹、技术融合、机制创新三位一体的协同发展路径。其实践证明:

①强有力的省级统筹是破解管理碎片化的关键,特别是对于面广量大的小型水库,能有效避免分散建设、重复投入,实现标准统一与资源集约。

②技术赋能必须与制度变革同步推进,矩阵平台需以适配的体制机制为保障,方能驱动业务流程,确保技术应用落地见效。

③“四预”业务闭环是提升应急能力的核心,需以矩阵平台为纽带,实现业务流程的深度融合。

基于山东经验,为进一步推动现代化水库运行管理矩阵建设,提出以下建议:

①国家层面:加快制定和完善基于“四全、四制(治)、四预、四管”框架的省级矩阵建设技术标准和评估体系,鼓励推广统建共用等集约化建设模式。

②省级层面:强化顶层设计与组织保障,建立健全跨部门、跨层级的常态化协调机制与数据共享制度,确保矩阵平台用得好、管得住。

③水库管理单位层面:应主动将矩阵平台深度嵌入日常巡查、维修保养、调度决策等业务流程。建立常态化的使用反馈机制,助力矩阵平台持续迭代与功能完善。

参考文献:

[1] 杨欢,乔延军,刘莉芳.基于信息资源整合的防汛“一张图”系统设计与实践[J].人民长江,2020,51(12):191-195.

[2] 王倩,翟盘茂,张强.1961年以来中国区域性气候与极端事件变化格局[J].气象学报,2025,83(4):980-989.

[3] 郑艳.全球应对气候变化灾害风险的进展与对策[J].人民论坛,2022(14):24-27.

[4] 周佰铨,翟盘茂.未来的极端天气气候与水文事件预估及其应对[J].气象,2023,49(3):257-266.

[5] 黄冰.水库管理与生态环境保护存在的问题及对策研究[J].智能城市,2020,6(3):131-132.

[6] 尹江珊,侯文昂,张士辰,等.我国水库库区管理现状和建议[J].中国水利,2023(16):30-34.

[7] 胡向阳,丁胜祥,张先平,等.长江流域水库运行监管实践与思考[J].人民长江,2020,51(12):21-24.

[8] 水利部.水利部关于加快构建现代化水库运行管理矩阵的指导意见[A].2023.

[9] 王康.水库运行管理矩阵构建路径初探[J].河北水利,2023(8):28-29.

[10] 方卫华,袁威,杨浩东.现代化水库运行管理矩阵体系分析与构建关键问题研究[J].中国水利,2024(4):53-60.

[11] 邵志平,冀向荣,吴建平.水利工程建设中的安全管

理及技术分析——评《水利工程运行安全管理》[J].人民黄河,2023,45(1):163.

[12] 陈华,田冰茹,闫鑫,等.小型水库安全运行管理模式研究[J].中国农村水利水电,2022(2):174-178+183.

[13] 王明玮.水利信息化资源整合共享顶层设计助推智慧水利发展[J].科技风,2019(3):193.

[14] 赵然杭,郑灿堂,李洪涛,等.再谈智慧水利[J].中国防汛抗旱,2017,27(2):55-58.

[15] 白国玉.关于新时期智慧水利建设的思考[J].居舍,2021(22):164-165.

[16] 李国英.加快建设数字孪生流域提升国家水安全保障能力[J].中国水利,2022(20):1.

[17] 耿振云,徐寅生,王帅.数字孪生水利实践案例分析与创新思考[J].中国水利,2024(3):39-43.

[18] 朱敏,施闻亮.数字孪生技术在水利工程中的实践与应用[J].江苏水利,2022(S2):81-85.

[19] 余洋洋,徐永兵,朱昌涛,等.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.

[20] 王晓冬,董超.以数字化转型推进黄河流域生态保护和高质量发展[J].中国经贸导刊,2020(1):4-5.

[21] 李博,彭勇,丁勇,等.数字孪生松辽流域预报调度平台应用建设研究[J].中国防汛抗旱,2025,35(3):28-34.

[22] 王坤,王宗志,于常旺,等.数字孪生流域水资源“预演”模型研究及应用[J].水利水运工程学报,2026(1):59-70.

[23] SCHARFFENBERG W, HARRIS J. Hydrologic engineering center hydrologic modeling system, HEC-HMS: interior flood modeling[J].World Environmental and Water Resources Congress, 2008(316):1-3.

责任编辑 刘磊宁