

棘洪滩水库运行管理矩阵实践与创新

徐 贤, 孙中晋, 徐洪庆

(山东省调水工程运行维护中心青岛分中心, 266100, 青岛)

摘 要:根据《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》, 山东青岛棘洪滩水库立足自身特点与实际需求, 全面推进现代化水库运行管理矩阵试点建设。通过梳理现有管理基础, 查找短板与薄弱环节, 明确建设要求, 制定科学方案, 从全面推进“四全”管理、“四制(治)”体系、“四预”措施和“四管”工作的落地实施方面, 总结了棘洪滩水库运行管理矩阵平台建设实践情况。棘洪滩水库以数据赋能为核心, 打破内部数据壁垒, 推动外部数据共享, 持续完善感知体系, 强化综合监测能力。水库充分运用现代技术, 创新智能化运管模式, 在水量调度模拟、溃坝预演和智能巡检等领域获得突破。现代化水库运行管理矩阵提升了棘洪滩水库运行管理精细化和信息化水平, 提高了水库运行安全和风险管控能力, 形成可共享、可复制、可推广的建设成果, 可为水库运行管理的精准化、信息化、现代化转型提供参考。

关键词:棘洪滩水库; 运行管理矩阵; 现代化水库; 数字孪生水利

Practice and innovation in the operation and management matrix of Jihongtan Reservoir//XU Xian, SUN Zhongjin, XU Hongqing

Abstract: In alignment with the *Guidance of the Ministry of Water Resources on Accelerating the Construction of a Modernized Reservoir Operation and Management Matrix*, Jihongtan Reservoir in Qingdao, Shandong Province, has initiated a pilot project tailored to its specific characteristics and operational needs. By systematically reviewing existing management frameworks, identifying deficiencies, and establishing clear construction requirements, a comprehensive plan was developed to implement the “four comprehensive” management, “four mechanisms (governance)” system, “four pre” measures and “four management” efforts. With data empowerment at its core, the Jihongtan Reservoir breaks internal data barriers, promotes external data sharing, enhances the perception system, and strengthens comprehensive monitoring capabilities. The reservoir has leveraged modern technologies to innovate intelligent operation and management models, achieving breakthroughs in areas such as water dispatch simulation, dam-break scenario rehearsals, and intelligent inspections. This modernization effort has significantly improved the precision and informatization of reservoir operations, bolstered operational safety, and enhanced risk management capabilities. The outcomes of this initiative are designed to be shareable, replicable, and scalable, offering valuable insights for the precision, informatization, and modernization of reservoir operation and management.

Keywords: Jihongtan Reservoir; operation and management matrix; modern reservoir; digital twin water conservancy

中图分类号: TV697+TP393 文献标识码: B 文章编号: 1000-1123(2025)09-0050-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2025.09.007

收稿日期: 2025-02-27

作者简介: 徐贤, 工程师, 主要从事水利信息化工作。

通信作者: 徐洪庆, 高级工程师, 主要从事水量调度管理工作。E-mail: qddyc312@126.com

基金项目: 山东省调水工程运行维护中心资助项目(B2-2024-0111)。

一、引言

2023年《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》明确了构建现代化水库运行管理矩阵的总体要求、工作任务、任务分工、总体安排、保障措施等,提出试点水库和先行区域建设技术要求。目前通过推进全覆盖、全要素、全天候、全周期“四全”管理,完善体制、机制、法治、责任制“四制(治)”体系,强化预报、预警、预演、预案“四预”措施,加强除险、体检、维护、安全“四管”工作,已建成一批现代化水库运行管理矩阵试点水库和先行区域,形成效果好、可复制、可推广的经验。到2030年,全国现代化水库运行管理矩阵将基本建成,水库运行管理精准化、信息化、现代化将基本实现。

青岛棘洪滩水库是山东水网的关键结点之一,在优化水资源配置、防汛抗旱中承担着重要任务,面对日益增长的水资源需求和复杂多变的水情形势,迫切需要通过现代化水库运行管理矩阵建设,提升水库运行管理水平,以更好地保障水安全,推动山东水网的高质量发展。

二、棘洪滩水库运行管理现状

棘洪滩水库通过实施改扩建工程和信息化建设,工程面貌显著提升,综合条件达到省内先进水平,先后被认定为山东省标准化管理水利工程、第一批水利部标准化管理调水工程、水利部水利安全生产标准化一级达标单位。2023年,胶东调水工程被选定为水利部数字孪生建设先行先试试点,棘洪滩水库是其五个子系统建设主体之一。

棘洪滩水库的运行管理已实现制度化、标准化、数字化,为现代化水库运行管理矩阵建设奠定制度、安全、信息化基础。在制度体系、安全生产、水质保障、绿化生态方面,水库形成了完善的运行管理制度体系,有力保证了工程管理和调度运行的正常秩序;全面开展安全生产标准化建设工作,确保工程安全;水库蓄水达到地表水Ⅲ类标准,水质较为稳定;同时,推进水库绿化美化工程建设,实现了水库绿色全覆盖,2022年棘洪滩水库被山东省水利厅认定为水系绿化样板。在信息化方面,水库已建立计算机监控系统、视频安防系统、工程标准化系统等多个在线监测系统,构建全面、立体、智能的感知体系,具备丰富的业务应用系统和综合感知能力。

虽然棘洪滩水库具有较好的基础优势,但仍存在监管覆盖不全、技术手段不足、全生命周期管理不完善

等问题。棘洪滩水库在推进工程标准化管理基础上进行现代化水库运行管理矩阵建设,开发棘洪滩水库运行管理矩阵平台,完善工程设施,推动新技术运用,创新运管模式,扩大了监管范围,在水量调度模型、溃坝预演、智能巡检等方面取得突破,管理成效显著提升。

三、棘洪滩水库运行管理矩阵平台建设实践

棘洪滩水库运行管理矩阵平台可划分为四大部分,分别为推进“四全”管理、完善“四制(治)”体系、强化“四预”措施、加强“四管”工作。

1. 推进“四全”管理

推进“四全”管理是矩阵建设的目标与方向。棘洪滩水库运行管理矩阵平台的“四全”模块,明确了水库责任主体,实现上级水行政主管部门对水库的有效监管;基于水库具备的信息化资源和保障能力,完善动态监控体系,实现水库全要素、全天候管控;完善数字化档案,全面体现水库全生命周期信息。功能结构和主要内容见表1。

(1) 监管全覆盖

展示水库注册信息,确保信息完整、准确,同步更新至全国水库运行管理系统。与山东省青岛市水文中心对接,实现紧邻河道(桃源河)雨水情信息的实时共享。

(2) 掌握全要素

整合数据资源,打通矩阵平台与多个业务信息系统之间的数据共享渠道,开展调查、测量和分析,全面掌握库区要素、工程要素和下游要素。

库区要素包括围坝周边空间布局、平均降雨、水质等级等信息。水库渗水通过截渗沟排入桃源河,因此不存在渗水浸淹周边村庄的情况。通过对比库底高程历史数据,发现库底高程有略微变化,推测库区有轻微淤积,但程度较轻,暂时不需要治理,将通过持续监测、开展库容复核等及时掌握淤积情况,适时开展清淤工作。根据《棘洪滩水利大坝安全应急预案》中的突发溃坝事件及后果分析,掌握溃坝风险点以及溃坝淹没范围内的村庄和重点保护对象,测算可能发生的损失和影响。工程要素包括工程特性、工程安全状况、设备设施、库容曲线和泄流曲线、泵站机组和闸门指标,同时构建泵站、大坝、进水闸、供水闸、泄水闸数字孪生模型,此外,保证监测仪器在线率不低于90%。下游要素包括水库紧急泄水和溃坝淹没分析。

(3) 管控全天候

运用人工巡检、智能巡检结合的方式,利用多种监

测设备,加载智能识别算法,对库区雨水工情、安全状态、水质进行动态监测。综合告警平台支持告警规则设置与告警信息统一管理。配备多种供电和通信方式,具备应急监测与通信能力。

(4) 管理全周期

梳理水库大事件,整理水库建设档案和运行档案,将档案资料录入矩阵平台,形成电子档案。核验水库运行管理环节的规范性,补齐管理资料,保证管理全过程的可追溯、可追踪、可量化。

2. 完善“四制(治)”体系

完善“四制(治)”体系是矩阵建设的保障。水库在日常管理中积累了全面的制度基础,矩阵平台的“四制(治)”模块对重要信息、文件材料进行整理和展

示,完善电子档案。功能结构和主要内容见表2。

完善体制方面,明确管理主体及管理责任,完成土地确权,推进管理体制变革,实现管养分离。健全机制方面,明确岗位职责,确保人员技能满足岗位要求和工程需求;及时排查设备设施,确保满足日常使用需要;保障经费来源,规范经费使用,做好绩效考核和审计。强化法治方面,梳理相关法律法规、技术标准、规章制度和巡查记录等材料并上传到矩阵平台,形成电子档案;注重管理制度落实,做好日常巡查;开展联合执法活动,维护调水秩序;定期组织水法宣传活动。落实责任制方面,明确水库大坝安全三级责任人,公示其职责职务;强化责任人履职能力,确保相关人员参与培训,具备相应业务能力。

表1 棘洪滩水库运行管理矩阵平台“四全”管理主要内容

一级菜单	二级菜单	三级菜单	已有工作基础	平台新增内容
“四全”管理	监管全覆盖	监管要求落实	机构设置	
		信息共享	注册登记	接入紧邻河道雨水情数据
	掌握全要素	库区要素	掌握围坝空间布局、紧急泄水、溃坝淹没、水质	统计平均降雨,淤积分析
		工程要素	掌握工程特性、工程安全、设施设备、库容曲线、泄流曲线	数字孪生建模,完善安全监测设备
		下游要素	紧急泄水淹没分析、溃坝影响	
	管控全天候	全天候监测重要信息	雨水情监测、大坝安全监测、水质监测、泵站监测、泵站运行工况、闸门开度监测、电子围栏	智能巡检,升级视频监控系统
		全天候掌握安全状态	大坝安全监测系统,大坝安全监测分析	大坝安全监测数据实时分析,综合告警平台
		全天候保障监控能力	多种供电方式(双回路主备供电、UPS、发电机)和通信方式(IP电话、指令流转)	
	管理全周期	全周期档案	建设档案、运行档案、人工观测数据	档案资料电子化,梳理水库大事件
		全过程管理	掌握注册登记、调度运用、维修养护、安全鉴定、除险加固、应急管理、功能效益	档案资料电子化

表2 棘洪滩水库运行管理矩阵平台“四制(治)”体系主要内容

一级菜单	二级菜单	三级菜单	已有工作基础	平台新增内容
“四制(治)”体系	完善体制	管理主体及管理责任	具备完备的组织结构,不动产登记	
		管理体制创新	实施管养分离	
	健全机制	岗位职责	明确岗位职责	
		管理设施	排查管理房、防汛设施、通信设施、电力设施、防汛物资、监测设施	接入安全生产平台物资详单,实现物资出入库管理
		稳定经费	保障经费来源	
	强化法治	健全规章制度	法律法规、规章制度、标准规范、作业规程等	档案资料电子化
		严格制度落实	制度上墙、应急预案及现场处置方案、检查和维护记录等	
		严格水行政执法	水法宣传、水法条例、联合执法、日常安保巡查	
	落实责任制	落实大坝安全责任人及防汛责任人	责任人公示	
		强化责任人履职能力建设	开展业务培训	补齐业务培训记录

3.强化“四预”措施

“四预”措施是实现水库运行管理现代化的重要手段与工具。棘洪滩水库运行管理矩阵平台“四预”模块依托多种监测设备,通过构建预测模型,在数字孪生场景下进行模拟仿真,支持科学决策,增强突发事件的应对能力。功能结构和主要内容见表3。

(1)预报精准化

将外部气象数据与内部雨水情数据结合,构建雨水情监测预报系统。接入紧邻河道(桃源河)的雨水情数据,对接桃源河防洪方案,增强洪水分析能力,确保安全监测设施运行正常,监测数据完整、准确、实时更新。

(2)预警提前化

制定水库风险四级预警体系,根据《中华人民共和国突发事件应对法》对预警信息发布的要求,完善预警发布机制。在对外信息的发布上,明确与当地政府、水利部门的职责分工,构建协同响应机制。在内部信息流转上,依托矩阵平台、值班制度、IP电话、扩音喇叭等方式,完善预警信息传递机制。

(3)预演数字化

基于水库数字孪生平台,开发了水量调度预演、水质模拟、紧急泄水预演和溃坝淹没预演,分别用于突发污染事件的分析研判和供水安全保障,以及溃坝、紧急泄水应急响应和水量调度策略优化。

(4)预案科学化

水库具备完善的应急预案体系,定期开展应急演练,优化应急预案和调度规程。矩阵平台接入抢险物

资详单,进行出入库管理,确保物资满足抢险需求。

4.加强“四管”工作

“四管”工作主要是指围绕水库安全开展的除险、体检、维护、安全工作,通过把握管理过程中的关键环节,强化水库安全保障,带动水库管理水平全面提升。功能结构和主要内容见表4。

(1)及时除险

落实风险管控“六项机制”,建立危险源查找机制,创建危险源风险分级管控清单,运用直接判定、文献研究、专家指导等方法开展常态化的危险源辨识。接入检查记录和隐患清单,建立隐患台账,推动闭环管理。

(2)定期体检

水库定期开展多项安全检查,比如,每季度1次全面安全检查,以及在特殊天气、通水之前、出现重大险情时的专项检查。在历年的安全鉴定中,采用了多波束测量、水下机器人等先进技术手段,探测干砌石护坡破损、缺失情况。

(3)强化维护

实行管养分离,有序开展巩固提升、设备及建筑物大修项目,各环节流程规范,确保工程形象面貌完好、设备设施运行正常。采用日常检查、定期普查和专项检查的形式,排查白蚁等害堤动物问题,未发现危害情况。对比库底高程历史数据,推测库区存在轻微淤积,未达淤积治理标准,2025年10月前完成库容曲线复核和库容量核算,进一步核实淤积情况。

(4)保障安全

完成水库管理和保护范围划定,设置界桩,明确土

表3 棘洪滩水库运行管理矩阵平台“四预”措施主要内容

一级菜单	二级菜单	三级菜单	已有工作基础	平台新增内容
“四预”措施	预报精准化	监测设施预报	雨水情监测	接入外部气象数据
		洪水精准预报	气象预报、紧邻河道洪水防御方案	接入紧邻河道雨水情数据,构建协同响应机制
		工情分析研判	大坝位移监测	监测数据分析
			大坝渗压监测	
	预警提前化	汛情险情预警	分级预警,雨水工情监测	设定风险分级预警规则,构建预警评估模型(工程安全预警、水质预警)
		预警信息发布	预警设施、发布机制	完善预警发布流程
	预演数字化	调度预演		水量调度预演、水质模拟
		推演淹没风险		泄水闸紧急泄水、溃坝预演
	预案科学化	优化应急预案	防汛演练	优化应急预案
		完善应急措施	应急组织体系、应急预案响应机制、调度规程响应机制、现场处置方案响应机制	
		强化实战演练	防汛演练、联动工作机制	

表4 棘洪滩水库运行管理矩阵平台“四管”工作主要内容

一级菜单	二级菜单	三级菜单	已有工作基础	平台新增内容
“四管”工作	及时除险	常态化隐患排查治理	“六项机制”建设,安全生产标准化达标	对接安全生产平台,获取隐患清单,建立安全隐患台账
	定期体检	规范开展安全体检	定期检查	智能巡检、隐患上报、线上巡查,检查记录电子化
		保障鉴定成果质量	开展安全鉴定	库容复核,鉴定报告书电子化
		强化科技支撑	水下机器人等技术应用	
	强化维护	专业管护	实行管养分离,组织修缮工作	维修养护计划、采购合同、实施方案、验收文件等资料电子化
		病害处置	防治病虫害	白蚁等害堤动物防治报告、排查记录、培训记录等资料电子化
		淤积治理		淤积分析
		效益发挥	评估供水效益、生态效益	引供水量统计表
	保障安全	水库划界	完成水库划界	界桩、保护范围和管理范围可视化
		度汛措施	防汛值班、签订防汛责任书、编制防汛应急预案	
		全要素监管		智能识别
		应急保障	应急预案、现场处置方案	
		安全防范	落实安全生产责任、“六项机制”及网络安全等	
		防汛物资	防汛物资台账	对接物资详单,物资出入库管理

地使用权。实时监管库区安全态势和雨水情,目前已实现冰凌检测、塌陷检测、火灾检测、水面检测等7种智能识别功能。实行隐患排查治理逐级负责制,采取张贴风险告知牌、配备抢险物资等风险管控措施。健全完善应急预案,组织相关培训和专项应急演练。深入落实安全生产主体责任,各部门和岗位签署安全生产责任书。

四、棘洪滩水库运行管理矩阵平台特点

棘洪滩水库运行管理矩阵平台整合信息化资源,实现多系统数据共享,推动跨部门数据交换,夯实数据基础。同时利用多种监测设备建立起全面、智能的感知体系,满足数据的高时效性需求。此外,利用现代化信息技术和智能算法,改变了传统运行管理模式,基于数字孪生场景实施“云巡检”、溃坝预演、水量调度模拟是其中最具代表性的措施。

1. 夯实数据基础,推动数据共享

矩阵平台建设充分整合胶东调水工程已有的信息化资源,打破数据壁垒,实现了矩阵平台与计算机监控、大坝安全监测、安全生产平台、标准化系统、档案管理系统等信息系统之间的数据共享。这些已有的信息系统分属不同的责任部门,通过多部门联动,矩阵平台成功获取了各系统的数据访问和使用权限,从而打

通了数据共享渠道,为打造矩阵平台数据底座奠定了基础。

除内部系统外,矩阵平台还积极推动与外部单位和系统的数据共享。与青岛市水文中心对接河道雨水工情数据,从公共系统平台获取水库气象预报数据,并将水库闸室、厂房等L3级地理空间数据共享到水利部数据归集平台。

2. 健全感知体系,提升感知能力

在水文监测方面,水库安装有雷达水位计、浮子水位计、超声波流量计、蒸发皿、雨量计、风向风速监测站等监测设备,实时监测水位、流量、降雨量、风速、蒸发量等水文要素。在视频监控方面,水库围坝上共有摄像机208台,其中包括为满足智能巡检需要而新增的高清AI摄像机167台,每台摄像机的照射距离约70 m,能够高度覆盖水库全貌。在水质监测方面,采用人工监测和系统自动监测相结合的方式,依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准对入库水的水温、pH值、电导率等指标进行监测和告警。在安全感知方面,水库围坝布设了14个监测断面、17个位移监测点,分别安装渗压监测和GNSS位移监测设备,用于获取监测点的位移量和浸润线数据。此外在水库10+450~12+440段铺设光纤,将光纤感知与视频监控相融合,实时监测人员入侵和围网破坏行为。

通过建立健全水文、水质、安全等领域的全要素感知体系,棘洪滩水库矩阵平台积累了充足的数据资源,为构建具有“四全”“四预”功能的管理矩阵提供了有力支撑。

3.开展智能应用,创新运管方式

(1)水库大坝“云巡检”,创新巡检模式

“云巡检”(见图1)运用仿真技术对水库进行全景建模,调用水库各类感知设备,融合水库全要素信息,通过视频监控查看实况画面,利用智能应用进行隐患识别,实现对水库大坝及周围设施的仿真巡检,是一种无人化、智能化的高效巡检方式。

“云巡检”特点包括:①“设备联动+业务闭环”全面巡视关键要素。根据巡视路线,自动展示全程各类巡视对象的监测数据,调用摄像机查看监控画面,实现线上隐患排查和上报。②“数据分析+告警管理”自动判断危险隐患。通过连续性数据分析和告警规则设置,快速识别风险隐患,提高巡检效率。③“视频监控+智能算法”自动监控大坝安全。在AI摄像机中加载智能识别算法,直接识别风险隐患,人工判断与智能识别相结合,提高风险判别能力,大幅降低人工巡检时间。

(2)溃坝预演,完善应急保障

棘洪滩水库呈不规则多边形,水库周边平坦宽阔。当高水位运行时,如若遭遇强台风、强暴雨,大坝主导风向段(桩号3+000~6+050、10+100~13+900)易造成风浪冲刷,淘空坝前干砌石护坡,导致大坝心

墙失去有效保护并遭风浪侵蚀,危及大坝安全。与10+100~13+900段相比,3+000~6+050段地势较低,一旦发生溃坝,造成的后果更为严重。因此,溃坝预演选择3+000~6+050段为溃决坝段,模拟最不利情况下溃坝淹没过程。

溃坝决口宽度的计算采用黄河水利委员会黄河水利科学研究院提供的设计资料分析公式,计算结果显示,溃坝决口的平均宽度为164.63 m,最大流量为14 775 m³/s。进一步,通过四次抛物线形式概化坝址处溃坝流量过程线,推导出溃坝处流量随时间变化曲线,在此基础上利用MIKE21水动力软件对水库进行溃坝洪水二维数值模拟分析,模型范围涵盖水库溃坝洪水可能淹没的最大范围,共划分网格456 475个、节点229 707个。

溃坝预演(见图2)可展示当棘洪滩水库水位达到设计蓄水位,因人为破坏、战争、地震等意外,在围坝3+000~6+050段发生溃坝时,在72 h内淹没范围和水深随时间的演变过程。

(3)水量调度模拟,实现精准调度

水量调度模型运用工程数据、水文监测数据、用水数据,在水库水位和流量约束下,演算不同典型工况下水库的出入流量和水位变化。目前,该模型可实现对出入库平衡、目标水位控制、下泄流量控制三种工况的模拟。其中,出入库平衡承接了数字孪生胶东调水工程全局水量调度模型,模拟在入库流量固定的情况下,保持出入库水量平衡而导致的出库流量和水



图1 矩阵平台“云巡检”功能界面

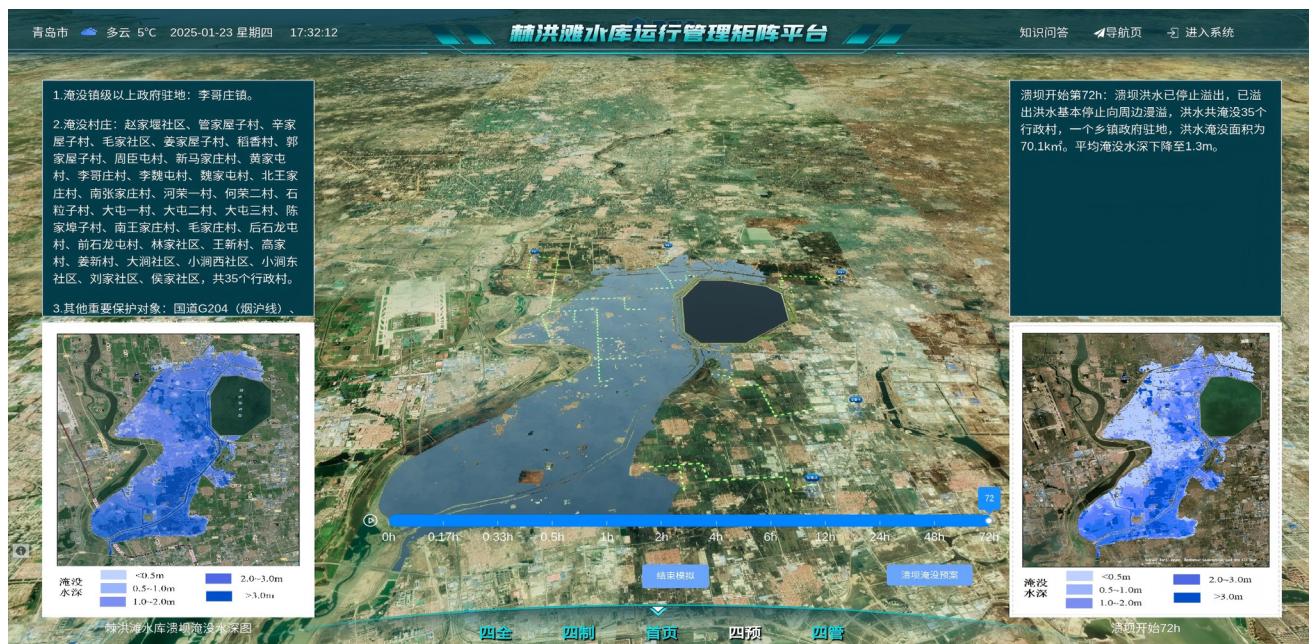


图2 矩阵平台“溃坝预演”功能界面

位变化。目标水位控制是在已知入库流量、限定水库水位的情况下模拟预测出库流量的变化。下泄流量控制则是在已知入库流量、限定出库流量的情况下，模拟水库水位的变化。

运用调度模型测算结果，提高调度工作科学化、合理化和精细化水平，确保水资源的高效利用，满足青岛市城市生活和工业供水需求，支撑水库调度方案的编制与持续优化。

五、棘洪滩水库现代化运行管理矩阵建设成效

1. 大幅提升棘洪滩水库运行管理的精细化和信息化水平

通过“四全”管理和“四预”措施，能够实现对水库的全方位、实时动态监控，全面掌握水库运行状态的各种数据。同时，利用数字孪生、智能巡检、智能传感器等技术，实现对库区雨水工情的精准监测，搭建数字孪生场景，将物理水库与虚拟模型相结合，实现数据实时展示，既提高了水库运行管理的效率，又提升了管理的科学性和精准性。

2. 有效提高棘洪滩水库安全运行和风险管控能力

通过完善“四制（治）”体系、强化“四预”措施、加强“四管”工作，健全了水库运行管理体系，提高了水库的风险管控能力。同时，运用数字孪生平台仿真预演功能，进行溃坝淹没分析，摸排淹没范围内的村

庄、人员、耕地情况，规划撤离路线，完善应急预案，提高水库应对突发事件的能力，确保水库及周边村庄、人员安全。

3. 形成可共享的数据底板、可复制的水利专业模型和可推广的建设经验

棘洪滩水库数字孪生试点和现代化运行管理矩阵建设进一步完善了工程数据资源，构建了切合水库调度实际需求的水利专业模型。棘洪滩水库将正射影像、倾斜摄影、水利模型等成果上传至水利部数字孪生流域资源共享平台，实现了数据资源和模型的广泛共享。目前通过水利部数字孪生流域资源共享平台共享监测数据9类、地理空间数据24项、水利专业模型1项，为全国水库运行管理现代化转型提供了数据资源和模型支持。建设经验表明，坚持标准化与信息化建设，将水库运行管理标准化与信息化进行深度融合，能够提升矩阵建设的效能和质量。

六、结 语

棘洪滩水库现代化运行管理矩阵建设实践，系统落实了“四全”管理、“四制（治）”体系、“四预”措施、“四管”工作的要求，推动数字孪生新技术的运用，并在水量调度模型、溃坝预演、智能巡检等方面取得突破，创新了运管模式，已在2024年12月底通过省级评价。棘洪滩水库是山东水网的关键结点之一，在水资源调配、防汛抗旱中发挥着重要作用，通过现代化水库运行管理

矩阵建设,提高水库精准化、信息化、现代化水平,为保障水安全、推动山东水网高质量发展提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 张文洁.现代化水库运行管理矩阵构建与重点问题解析[J].中国水利,2023(22):1-5.
- [2] 中华人民共和国水利部.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.
- [3] 林文青,王帆,鲍春飞,等.现代化水库矩阵管理下的水库防洪“四预”实践——以江苏宜兴市横山水库为例[J].中国防汛抗旱,2024,34(12):73-79.
- [4] 王妍.安徽省现代化水库运行管理矩阵建设探讨[J].治淮,2024(7):37-38+49.
- [5] 刘延安,桑亮,顾拓,等.密云水库构建现代化水库运行管理矩阵的实践[J].北京水务,2024(4):9-13.
- [6] 杨洪宁.构建现代化水库运行管理矩阵策略研究——以碧流河水库为例[J].小水电,2024(3):35-40.
- [7] 中华人民共和国水利部.水利业务“四预”基本技术要求(试行)[A].2022.
- [8] 孙博,赵晓东,谷峪,等.跨流域调水工程调度运行评价体系的探索及应用[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S2):127-133.
- [9] 张建伟,李毅男,张龔,等.基于数字孪生的水库大坝安全监测:关键技术与应用[J/OL].华北水利水电大学学报(自然科学版),1-8[2025-02-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1432.TV.20250122.0915.002.html>.
- [10] 周其春.水库信息化平台建设与研究[J].陕西水利,2022(2):110-111+115.
- [11] 王瑞,颜世栋,王齐浩.丁东水库现代化水库运行管理矩阵试点建设[J].大坝与安全,2024(4):17-21.
- [12] 付建军.丹江口水库现代化运行管理矩阵构建实践[J].中国水利,2024(20):25-33+44.
- [13] 魏立巍,胡凯,牛广利.数字孪生小浪底大坝安全监测管理平台建设与应用研究[J].水利发展研究,2024,24(9):90-95.
- [14] 苗勇,徐欣,杨帅.水质在线监测系统在胶东调水工程中的应用[J].山东水利,2024(9):8-10.
- [15] 张晓波,徐德林,武周虎,等.棘洪滩水库典型风况分析及其应用研究[J].环境科学与管理,2011,36(12):26-29+81.
- [16] 王界润,单吉强,宋学功.移动摄像+视频识别在泵站数字孪生工程中的运用[J].水电站机电技术,2024,47(4):107-109.
- [17] 丁得瑾.水库运行管理及调度常见问题分析[J].农业灾害研究,2024,14(9):265-267.
- [18] 赵翔,赵磊,蔡忱,等.大宁调蓄水库运行管理现状分析及对策研究[J].中国水运,2024,24(20):91-93.
- [19] 张建云,盛金保,金君良,等.全国水库大坝应急管理存在问题及对策建议[J].中国应急管理科学,2022(9):23-30.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 李荣.牛桥水库现代化水库运行管理矩阵建设探讨[J].水利技术监督,2024(11):82-85.
- [25] 王宏伟.白沙水库运行管理矩阵建设内容 and 应用[J].河南水利与南水北调,2024,53(9):72-73.

责任编辑 李卢祯