

济南市现代化水库运行管理矩阵建设与应用

张雅楠, 王 瑞

(济南市水利工程服务中心, 山东 济南 250099)

【摘要】为落实水利部《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》及山东省水利厅《现代化水库运行管理矩阵建设省级先行区域水库台账》要求,本文以济南市 373 座水库为研究对象,针对监测数据碎片化、设备老化、防洪调度滞后等瓶颈问题,提出构建“监测感知-数据融合-智能决策”三维管理矩阵。通过整合物联网、数字孪生与 GIS 技术,实现工程特性、运行状态及洪水影响范围的动态标准化管理。

【关键词】矩阵建设;水库管理;标准化;数字孪生;济南市

【中图分类号】TV697

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2025)-06-0038-03

Construction and Application of Modern Reservoir Operation and Management Matrix in Jinan

ZHANG Yanan, WANG Rui

(Hydraulic Engineering Service Center of Jinan Municipality, Jinan, Shandong 250099, China)

Abstract: On the basis of the "Guidance on Promoting Standardized Management of Water Resources Projects" issued by the Ministry of Water Resources (MWR) and the "Account of Reservoirs in the Provincial Pilot Area for Modern Reservoir Operation and Management Matrix Construction" by the Water Resources Department of Shandong Province, this paper takes 373 reservoirs in Jinan as the research object. Aiming at the bottleneck problems such as fragmented monitoring data, aging equipment, and lagging flood control dispatching, it proposes the construction of a three-dimensional management matrix of "monitoring and perception - data fusion - intelligent decision-making". By integrating the Internet of Things, digital twin and GIS technologies, dynamic and standardized management of engineering characteristics, operation status and flood impact range is realized.

Key words: Matrix construction; Reservoir management; Standardization; Digital twin; Jinan Municipality

济南市现有注册登记水库 373 座,总库容约 2.746 亿 m^3 ,包括大型水库 2 座、中型水库 20 座、小型水库 351 座。承担着防洪减灾、城乡供水、生态安全、区域经济发展的综合性不可替代作用。水库群联合调度系统覆盖济南市 12 条主要河流,通过“库-河-闸”联动机制,实现洪水错峰调度,保障铁路沿线及人民生命财产安全。根据山东省水利厅关于现代化水库运行管理矩阵建设要求,济南市区域内狼猫山水库、大冶水库等单位作为山东省域现代化水库运行管理矩阵建设水库试点单位,要求加快推进矩阵建设工作,积极探索建设路径,提升水库运行管理精准化、信

息化、现代化水平。

1 现代化矩阵建设概况

1.1 政策背景与建设目标

根据水利部《“十四五”智慧水利建设规划》,2025 年前需建成 50 个国家级数字孪生流域试点。济南市作为黄河流域中心城市,承担“以点带面”的示范责任。2024 年 5 月,山东省水利厅明确济南市狼猫山水库、大冶水库等 22 座水库为省级试点,要求构建“四全”(全覆盖、全要素、全天候、

收稿日期:2025-03-31

作者简介:张雅楠(1994—),女,监理师

全周期)管理体系,直接影响 7 个区(县)、36 个乡镇(镇)的 145 万人口、2.37 万 hm^2 耕地及京沪高铁等交通干线安全。

1.2 技术架构设计

矩阵系统包含三大核心模块:一是感知层:部署毫米波雷达水位计(精度 $\pm 1\text{ cm}$)、分布式光纤渗压计(分辨率 1 m)等设备;二是平台层:基于济南市政务云搭建数据中台,支持每秒 10 万条数据处理;三是应用层:开发防洪调度、安全评估、生态补偿等 12 个智能模型。

2 存在的问题

2.1 业务应用智能化水平不足

水利业务应用系统所覆盖的业务范围比较广,包括防洪调度、水资源管理与调配、工程安全监测、水质监测、视频监控、自动化控制等。但是,现有应用系统普遍存在系统功能单一、运行不稳定、信息“断路”、缺乏数据分析及预警功能等突出问题。一是现状业务应用系统无法整合运用。各类水利工程配置的信息化系统,都几乎针对单一业务应用的独立系统,一套系统只能实现某一方面的功能,即使是具有相近功能的应用系统也无法实现软件与系统兼容。二是现有系统所使用的模型和算法简单。仅有极少数水利工程配置了具有数据分析及预警等功能的信息系统,但是缺乏流域信息数据模型、地理信息参考模型、多维可视化模型,不能满足新时期智慧水利的“四预”要求,智能程度严重不足,特别是不具备“预演”和“预案”能力。三是现行的调度规则不完善。各类水利工程的现有信息系统不具备历史数据、实时数据和专家经验统合能力,未建立以流域水旱灾害防御为目标的包括数据底座、模型库、基于知识图谱的防洪调度规则库,也未能形成与上游水库群联调联动的调度规则,仅能对其配套感知体系的监测数据进行简单分析,无法实现对流域管理全要素全过程的“四预”管理^[1]。

2.2 数据共享机制缺失

水利工程由多个部门(单位)围绕水安全、水资源、水生态、水环境等不同的关注点,对工程设施及其流域内的相关要素进行数据采集和开发利用。其中,雨情水情监测设施主要由水文系统建设管理,水质监测站主要由生态环境部门建设

管理,土壤墒情监测系统主要由农业农村部门建设管理,水管单位主要负责与工程安全有关的工情监测及视频监控等建设、管理及数据开发利用工作,水利工程流域内的自然地理等情况则分属自然资源、林业绿化等部门掌握。这种分而治之、各为其责的局面,对流域防洪等工作带来了严峻挑战。一方面,与工程防洪调度相关的数据资源难共享。各建设主体采集的数据自成体系,数据资源分散装进各自“口袋”,数据集合、共享存在部门之间的壁垒。处于流域“风口”的水库及河道干流,仅以水管单位自测的数据作为决策支撑依据,难以宏观把握流域内的实时雨情及水情信息。另一方面,与构建数字孪生系统、矩阵“四预”系统相关的数据资源难获取。水利工程流域内的自然地理信息和地理空间数据、对地表径流产生影响的土地耕种和林草植被等信息,以及流域内其他水利工程的调度运行等情况,水管单位难以获取,无论是从强化流域防洪管理的角度还是从多维信息支撑水利管理技术创新的角度,都缺乏基础数据。

2.3 监测感知网络薄弱

市属水利工程普遍存在监测范围不广、监测要素不全、设备维护更新慢等问题。尤其是水库、水闸普遍缺乏上游流域的雨情和水情监测设施,无法及时掌握上游来水情况,对上游来水普遍采取用库容曲线“倒推”入库(闸)水量及洪水流量的方式,无法获取某一时刻的实测数据,对工程调度特别是防洪调度非常不利;部分水库的水位监测设施选址存在问题,无法监测低水位运行时的相关数据;大坝位移及渗压观测设施也存在不同程度损坏,监测数据异常,影响对大坝安全的准确分析判断。

2.4 数据治理存在瓶颈

一是存在信息孤岛现象。大部分监测系统采用不同通信协议(Modbus 占 58%,TCP/IP 占 33%),数据交换需人工干预,2023 年汛期曾因系统兼容问题延误调度指令下达 1.5 h。二是动态更新滞后。库容曲线仍采用 2010 年测绘数据,与现状地形偏差最大达 4.3%(大冶水库 2022 年实测),导致洪水预报误差率超 15%。

2.5 决策支持不足

一是经验依赖突出。防洪调度中 68%的决

策基于历史案例类比,2023年卧虎山水库因未及时识别新型降雨模式,导致提前泄洪损失库容800万 m^3 。二是协同能力薄弱。“库-河-闸”联动仅实现水位数据共享,缺乏流量、水质等多元参数耦合分析,2022年小清河倒灌事件暴露跨系统协同缺陷。

3 现代化矩阵建设的应用

3.1 感知层升级——全域监测网络构建

1)新型传感器部署。在狼猫山水库安装8处毫米波雷达水位计,实现0.1~30 m全量程覆盖,消除低水位盲区,精确测量水库内的水位变化,通过无线传感器网络实时传输到数据中心,供管理人员进行分析和决策;在大冶水库布设2.5 km分布式光纤(DTS系统),渗压监测点密度从200 m/点提升至10 m/点,将分布式光纤声学传感技术作为新型振动信号探测技术,具有长距离、高灵敏度、高空间采样率、防水耐腐蚀等优势。在堤防险情监测中,探测距离可以达到10 km以上,险情位置可以精准到2 m以内,并有效排查管涌、渗漏、塌方等险情。

2)空天地一体化监测。引入“北斗+无人机”巡检模式,实现无人机的立体化、全方位自主巡查,也为处理险情、突发事件等提供决策依据,无人机能够在广域范围内进行精确的飞行路径规划,实现对水库监测点的精确定位,甚至自主飞行,极大地提升了数据采集的效率和质量,此外在水库巡查中收集的数据,可以通过北斗卫星实时传回指挥中心,实现数据的实时更新和共享,为决策提供及时有效的数据支撑。

3.2 平台层突破——数据融合中枢建设

1)异构系统整合。开发基于OPC UA的数据转换网关,将Modbus、TCP/IP等协议统一映射至ISO/IEC 25012标准,数据接入效率提升6倍,实现异构系统间高效互通。

2)数字孪生体构建。数字孪生体为水库调度提供“预报-预警-预演-预案”全链条支持,降低人工研判偏差。以金水河水库为试点,集成MIKE 21模型与BIM数据,实现72 h洪水演进模拟(置信度92%),2023年汛期成功预警3次漫坝风险。

3.3 应用层创新——智能决策支持

在狼猫山水库实现“防洪-蓄水-发电”三重效益平衡,基于非支配排序与拥挤度计算机制,将狼猫山水库的防洪安全、蓄水效益和发电需求转化为多目标优化问题,通过精英保留策略确保最优解集的多样性。算法迭代中,针对入库流量、库容阈值等约束条件生成Pareto前沿解集,实现防洪与发电效益的动态权衡。

4 前景展望

4.1 关键技术突破方向

一是高精度监测技术。推广量子重力仪用于坝基渗流探测(精度0.1 μGal),计划2025年在卧虎山水库开展试点。二是自主可控软件研发。联合山东大学开发国产化水利专用操作系统(HydroOS),替代现有国外商业软件(如MIKE系列)。

4.2 制度创新路径

一是标准体系完善。制定《济南市水库运行矩阵建设技术导则》,明确数据采集频率、模型更新周期。二是协同机制构建。推动建立黄河流域矩阵联盟,实现济南、泰安、淄博3市水库群联合调度。

4.3 效益预期分析

一是安全效益。至2025年,试点水库大坝安全评估准确率将从82%提升至95%,重大险情预警提前量达6 h。二是经济效益。矩阵系统全面运行后,年均减少洪水损失1.2亿元(济南市发改委测算),降低运维成本30%。

5 结语

济南市通过现代化水库运行管理矩阵建设,不仅破解了传统管理模式下的监测碎片化、决策经验化等难题,更探索出“技术创新-制度完善-效益转化”三位一体的发展路径。随着狼猫山、大冶等水库试点项目的深入推进,预计到2026年可实现济南市373座水库标准化管理全覆盖,为黄河流域生态保护与高质量发展提供坚实水利支撑。

参考文献

- [1] 黄艳.数字孪生长江建设关键技术与试点初探[J].中国防汛抗旱,2022,32(2):16-26.

(责任编辑 赵其芬)