数字孪生黄陂区大中型水库防洪业务体系建设实践

王志勉[1]，陈小平[1,2*]，李永蓉[1]

（1.武汉长江科创科技发展有限公司，430000，武汉；2.长江水利委员会长江科学院，430000，武汉）

摘　要：针对多类型水库集中区域防洪业务中感知分散、数据割裂、模型孤立、上下游边界脱节与处置衔接不足等问题，湖北省武汉市黄陂区以梅店、夏家寺2座大型水库和院基寺、三姑井、泥河、矿山、巴山5座中型水库为对象，构建数字孪生水库防洪业务体系。在方法上，依托多源感知与统一数据底板汇聚各类算据，完善并新建业务支撑平台，逐库构建水文预报、洪水调度、水动力、溃坝、大坝安全与风险分析模型；对梅店－院基寺－泥河、矿山－巴山两组水系关联水库，以上游出库洪水经河道传播演算并叠加区间产流后情景作为下游模型边界，实现洪水过程逐库传递与协同演算，形成“监测感知—预报分析—分级预警—情景预演—预案匹配—会商处置”的防洪业务链。应用结果表明：夏家寺水库百年一遇设计洪水全链条演算中，入库洪峰1389.3 m^3/s经调度后削峰至194 m^3/s，削峰率86.0%，最高库水位50.94 m，下泄洪水经下游河道演进模拟，成果支撑预警发布与预案匹配；梅院泥关联水库串联演算定量反映了“上游调蓄—河道坦化—区间叠加”的链式效应。该建设模式在保留单库差异化计算边界的同时，实现多库统一纳管与关联水库协同计算，可为多类型水库集中区域开展数字孪生防洪业务建设提供参考。

关键词：数字孪生；水库群；防洪调度；模型平台；知识平台；“四预”应用

Construction practice of a digital twin flood control system for large and medium-sized reservoirs in Huangpi District

WANG Zhimian[1], CHEN Xiaoping[1,2*], LI Yongrong[1]

(1.Wuhan Changjiang Science and Technology Innovation Development Co., Ltd., Wuhan 430000, China;
2.Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430000, China)

Abstract: To address fragmented sensing, isolated data, independent models, disconnected upstream–downstream boundaries, and inadequate linkage of response measures in flood control operations in regions with clustered reservoirs of multiple types, Huangpi District in Wuhan City of Hubei Province developed a digital twin reservoir flood control system covering two large reservoirs (Meidian and Xiajiasi) and five medium-sized reservoirs (Yuanjisi, Sangujing, Nihe, Kuangshan, and Bashan). Methodologically, multisource sensing and a unified data foundation were used to aggregate various types of computational data, supporting platforms were upgraded or newly built, and hydrological forecasting, flood regulation, hydrodynamic, dam-break, dam safety, and risk analysis models were constructed for each reservoir. For the two hydraulically connected reservoir groups, Meidian–Yuanjisi–Nihe and Kuangshan–Bashan, the scenario obtained by routing upstream outflow floods through channel reaches and superimposing interval runoff was taken as the boundary condition for downstream models, enabling flood

收稿日期：2026-08-14　修回日期：2026-10-14

作者简介：王志勉，工程师，主要从事水利信息化与数字孪生工作和研究。

通信作者：陈小平，副总经理，高级工程师，主要从事水利信息化与数字孪生工作和研究。E-mail：8793818@qq.com

基金项目：国家重点研发计划“长江黄河等重点流域水资源与水环境综合治理”重点专项青年科学家项目（2024YFC3214000）。

propagation and coordinated computation across reservoirs and forming an operational flood control chain of "monitoring and sensing–forecasting and analysis–tiered early warning–scenario rehearsal–contingency plan matching–joint consultation and response". Application results show that, in the full-chain computation of the 100-year design flood of Xiajiasi Reservoir, the inflow peak of 1389.3 m³/s was attenuated to an outflow peak of 194 m³/s after regulation, with a peak-cut ratio of 86.0% and a maximum pool level of 50.94 m. The released flood was further simulated by routing through the downstream river reaches, and the results supported early warning issuance and contingency plan matching. The cascade computation of the Meidian–Yuanjisi–Nihe connected reservoirs quantitatively reflected the chain effect of "upstream regulation and storage–channel flattening–interval superposition". This construction mode achieves unified management of multiple reservoirs and coordinated computation of connected reservoirs while preserving reservoir-specific computational boundaries, providing a reference for developing digital twin flood control systems in regions with clustered reservoirs of multiple types.

Keywords: digital twin; reservoir group; flood control operation; model platform; knowledge platform; application of forecast, early warning, rehearsal and contingency plans ("four pre")

中图分类号：TV87+TP37　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1123(2026)20-0067-10

DOI：10.3969/j.issn.1000-1123.2026.20.009

水库防洪业务涉及雨水情感知、工程安全监测、洪水预报调度、风险研判和应急处置等多个环节。数字孪生依托动态数据底板、专业模型和知识资源，对物理工程状态进行同步映射和模拟推演，服务"四预"（预报、预警、预演、预案）全过程。对于水库数量较多的区县级区域，各库规模、基础条件与管理资源差异显著，部分水库间还存在水系关联，防洪业务普遍面临感知分散、数据割裂、模型孤立、上下游边界脱节与处置衔接不足等问题，亟需在有限投入下实现多库统一纳管、协同计算与分级处置。

从已有实践看，数字孪生流域与防洪"四预"建设在流域级区域和大型工程中进展较快：数字孪生淮河流域构建了智慧防洪体系，数字孪生长江、黄河等相继开展流域级试点，秦淮河、飞云江建成流域防洪"四预"平台，椒花水库、太浦河等面向单库或平原河网开展"四预"业务应用，佛子岭水库以及山东省烟台市等开展水库群与区域大中型水库数字孪生调度探索。上述实践多以流域管理机构或大型工程为建设主体，建设强度高，算据基础好。在共性平台复用、异构单库模型组织、库间边界衔接和基层执行反馈等方面，面向区县多库集群的研究与实践仍相对缺乏，直接套用以上实践经验易出现投资强度高、单库精度不足、库间边界脱节等问题。

针对上述问题，湖北省武汉市黄陂区以梅店、夏家寺2座大型水库和院基寺、三姑井、泥河、矿山、巴山5座中型水库为对象，统筹感知、数据、模型、知识和应用建设，构建覆盖监测感知、预报调度、安全监管、会商决策与移动执行的业务应用体系，并以百年一遇设计洪水算例和关联水库串联演算加以检验。本文的主要工作与建设特色体现在三个方面：①面向混合水库群，按照共性支撑共享、单库差异化计算、关联场景协同分析和分级处置衔接的路径，提出共性能力统一建设与单库模型精细构建相结合的建设模式；②针对梅店-院基寺-泥河（以下简称梅院泥）、矿山-巴山（以下简称矿巴）两组水系关联水库，建立"上游出库—河道演进—区间叠加—下游入库"的模型边界传递机制，实现洪水过程逐库传递与协同演算；③构建"区级统筹—中心协调—管理所执行"的分级业务组织，使模型成果与调度指令在三级管理体系中闭环流转，为同类地区提供可复制的建设路径。

一、工程对象及防洪问题

1.工程对象及水系关系

黄陂区大中型水库数字孪生防洪业务体系覆盖梅店、夏家寺2座大型水库和院基寺、三姑井、泥河、矿山、巴山5座中型水库。各库在流域面积、工程等级、坝型结构、泄洪建筑物、监测基础和管理条件等方面存在差异（见表1），既有夏家寺、三姑井等相对独立的单库场景，也有梅院泥、矿巴两组具有水系联系的水库。梅院泥组沿梅店河、泊沫港河依次衔接，上游水库下泄洪水经河道传播并叠加区间来水后影响下游水库；矿巴组中矿山水库无溢洪道，洪水经连通渠进入巴山水库后由其溢洪道统一下泄。管理上形成区水务局—管理中心—管理所的分级体系。

2.业务需求与建设难点

项目建设前，7座水库监测与管理基础差异显著。梅店水库在2023年除险加固工程中已建成雨水情测报、洪水预报调度和安全监测设施；夏家寺水库早期建设的洪水预警预报系统因长期缺乏维护，已无法支撑实时预报；矿山、巴山、泥河等中型水库除险加固完成时间较早，雨水情与安全监测设施基本空白，水位流量多依赖人工观测，难以满足实时管理和模型计算需求。同时，黄陂区地处暴雨多发区，山区河流源短流急，短历时强降雨频发，而梅院泥沿河道依次衔接，矿山水库无溢洪道，洪水需经连通渠由巴山水库统一下泄，防洪业务涉及库间耦合问题。若模型与业务分散建设运行，易造成算据不一致、参数重复维护、上下游边界脱节和成果难复用。建设重点因而由信息汇集转向统一算据、模型管理、边界传递和业务闭环（见表2）。

二、数字孪生总体架构

1.系统架构

项目构建“信息化基础设施—数据底板—模型与知识平台—应用支撑平台—业务应用体系”五层架构，并以标准、安全、运维和技术体系横向保障（见图1）。业务层以防洪调度、大坝安全和智慧监管承担核心研判，水库一张图提供实时态势，综合决策、工程运行和移动应用承接会商、指令执行与反馈；下层平台提供算据、模型、规则、通信和运行能力。统一模型平台按水库组织模型，并根据水系拓扑编排关联水库计算任务和传递边界。

项目建设统筹既有资源与新增需求，按利旧、完善、新建三类方式实施。水利专网等既有设施直接利用；应用支撑平台在武汉市智慧水务（一期）建成的支撑平台基础上进行完善，涵盖融合通信、视频管理、AI分析、支撑组件、统一门户、物联网管理等能力；数据引擎与数据资源、现地计算存储、黄陂区水务局和各管理处（所）实体环境，以及雨水情、视频监视、工程安全、白蚁等感知设施在原有基础上进一步完善；业务应用、模型平台与知识平台、业务专线、云端资源及水质、遥感等感知手段均为新增建设。

2.数据架构

数据底板汇聚实时监测、地理空间、水务基础、水务业务和跨行业共享数据。实时数据刻画水库状态，DEM、DOM、倾斜摄影、BIM及水下地形构建流域–库区–工程空间表达，基础与业务数据维护工程对象、调度规程、预案及责任体系，气象、自然资源等共享数据补充模型边界。各类数据经统一对象编码建立时空、业务与关联关系，并由数据、知识和模拟仿真引擎向应用提供服务（见图2）。

3.网络架构

系统采用云端集中、现地分级部署方式。黄陂区水务局、3个管理中心和所属管理所通过业务专线或水利专网访问云端平台，现场终端经无线链路接入物联网平台；管理中心和管理所保留网络防护、工作站及必要的本地设备。由此形成“云—区—中心—所—设备”协同环境（见图3），兼顾数据、模型和应用集中建设与基层告警确认、巡查处置及执行反馈。

表1 黄陂区7座水库的对象组织与工程联系

对象类型	水库组成	水系与工程特点
独立单库场景	夏家寺水库、三姑井水库	与区内其他水库无直接水系关联，防洪业务以单库预报调度、大坝安全和下游防护为主
梅院泥关联水库	梅店水库、院基寺水库、泥河水库	沿梅店河、泊沫港河依次衔接，上游下泄经河道传播并叠加区间来水后影响下游，防洪调度需库群统筹
矿巴关联水库	矿山水库、巴山水库	矿山水库无溢洪道，洪水经连通渠进入巴山水库统一下泄，两库须作为整体组织防洪

表2 防洪业务关键问题与建设对策

关键问题	主要表现	建设对策
感知基础不均衡	站网覆盖、设备完好程度及自动采集能力存在差异	完善雨水情、工情、工程安全、视频等监测设施，补充无人机、船测和遥感监测
多源数据分散	编码、协议、存储方式和业务入口不统一	建设数据治理平台和统一数据底板，建立对象编码、质量标识及数据服务
模型多且独立	参数重复维护，任务难追踪，成果难复用	建设专业模型平台，形成七库逐库防洪模型体系，并按水系拓扑编排关联水库模型、传递上下游边界
系统重复建设	地图、视频、通信、认证和流程能力多头建设	沉淀一张图、物联网、视频、AI、门户、微服务和智能表单等共性能力
业务链条不闭合	预报、预警、预演、预案与现场处置衔接不足	以洪水预报、防洪调度、大坝安全和风险预警为核心，贯通会商、执行和反馈

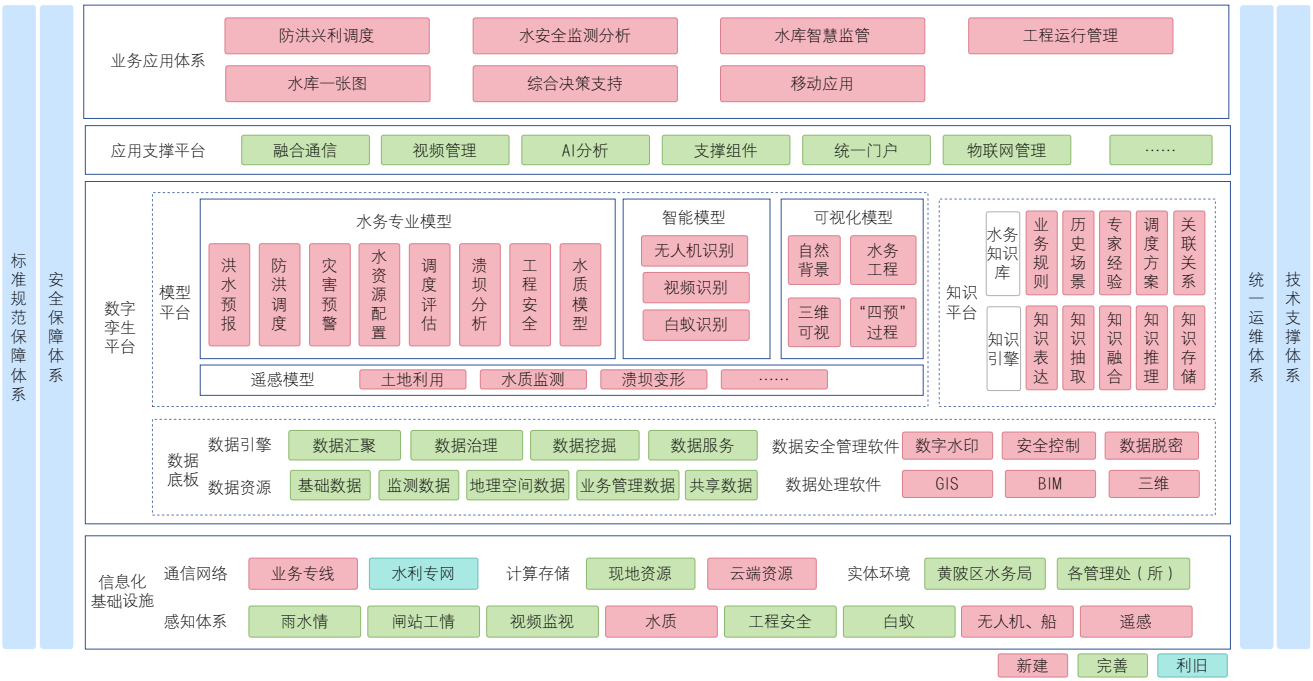


图1 总体框架

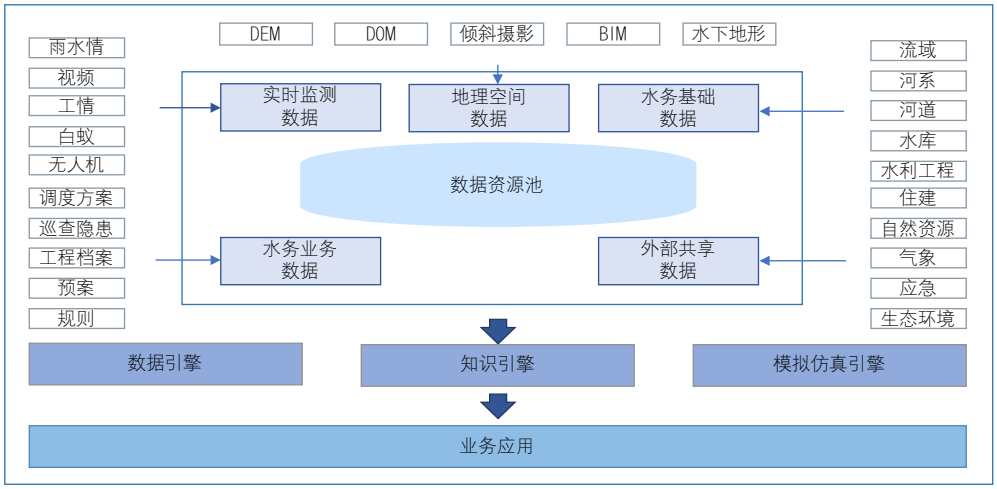


图2 数据架构

三、防洪业务体系建设

1.数据底板与业务支撑平台

项目整合雨水工情、视频等既有监测设施，补充雨水情、工情、工程安全、无人机、白蚁和遥感监测，形成“天-空-地-水”立体感知。数据治理平台按“采、治、融、用”接入多源数据，完成解析、编码映射、异常识别、缺失检查与标准转换，形成基础、实时监测、业务、地理空间和共享数据库。模型算据保存质量状态、修正记录、场景和版本，遥感和智能识别成果经过复核后使用。

7座水库的防洪业务在地图服务、视频接入、告警汇集、会商通信、身份认证、流程表单和模型运行环境等方面存在大量重复需求，若逐库逐系统单独建设，将造成接口不一、重复投资和运维分散。项目在武汉市智慧水务（一期）已建支撑平台基础上扩充完善，将上述重复能力沉淀为区级共性业务支撑平台，由此缩短监测信息进入模型、模型成果进入决策、调度指令到达现场以及处置结果回流的链路。各业务支撑平台主要作用见表3。

2.模型管理与模型体系构建

7座水库的模型纳入统一模型平台，共用模型注册、版本、参数、输入输出映射、计算任务、日志与成果发布等管理功能和统一运行环境；各库的流域边界、库容曲线、泄洪设施、调度规则、坝体结构、监测项目和下游风险对象等参数与工程约束逐库独立维护；梅院

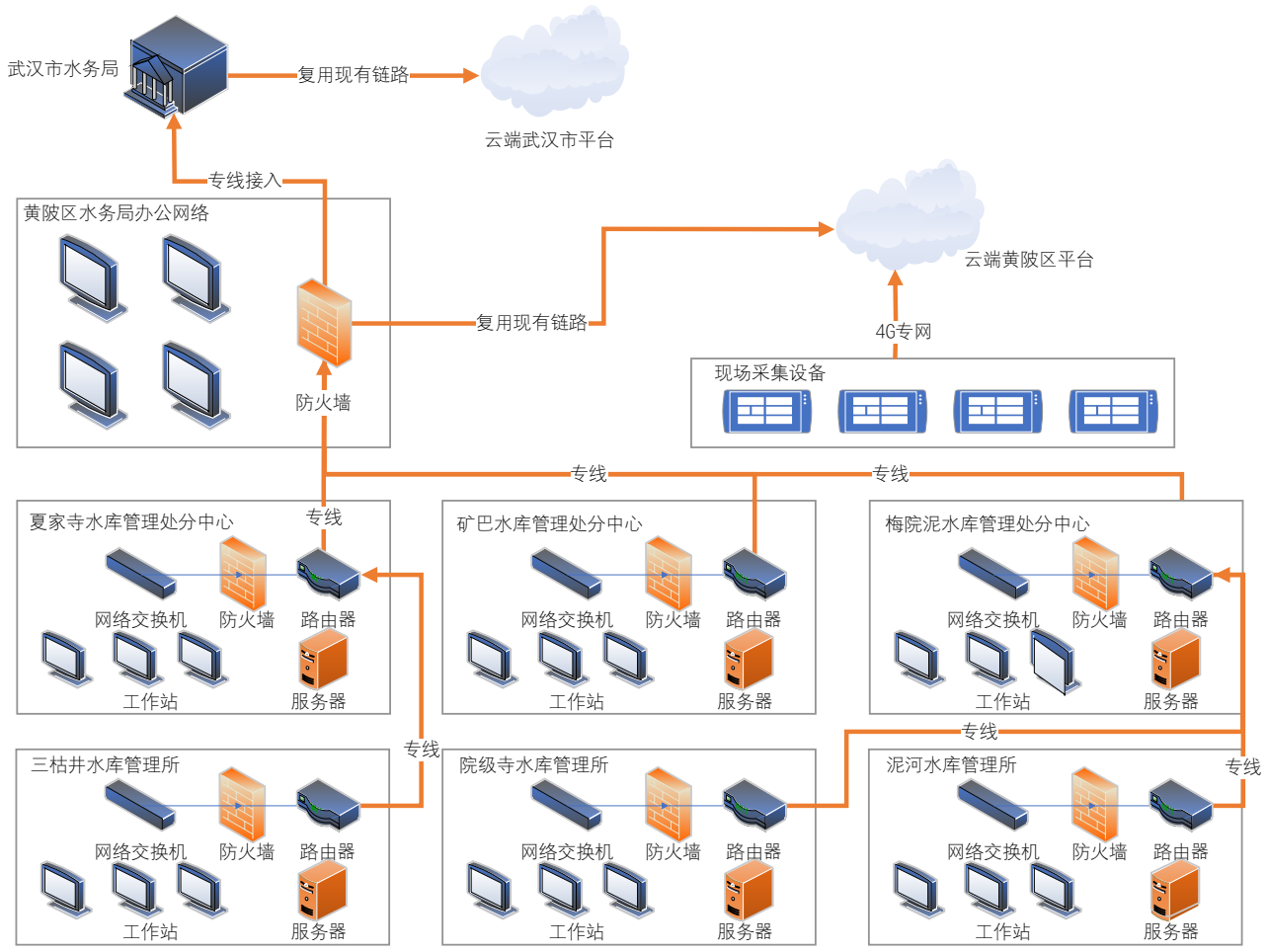


图3 网络架构

表3 区级业务支撑平台及主要作用

能力类别	支撑平台	主要作用
实时态势支撑	水务一张图、业务集成平台	统一组织水库、水系、工程、测点和风险成果，为水库一张图和综合决策提供空间态势
智慧监管支撑	物联网管理、视频管理、AI分析	统一接入设备和视频资源，监测在线状态，提供告警汇集、AI识别和巡查处置支撑
核心研判支撑	水务专业模型平台、数据治理平台	统一管理水文预报、洪水调度、大坝安全及风险模型与算据，支撑防洪调度和安全研判
会商执行支撑	融合通信、智能表单	承接综合会商、预警传递、调度任务下达、工程运行、移动处置和结果反馈
应用运行支撑	统一门户、微服务管理、支撑组件管理	实现统一身份权限、服务注册监控和地图、图表、消息、报表等组件复用

泥、矿巴两组关联水库在此基础上按水系拓扑衔接计算边界，上游模型输出经河道演进转换后作为下游模型输入。按此组织方式，7座水库分别建设水文预报、洪水调度、水动力、溃坝、大坝安全和风险分析模型，实现安全度汛模型全覆盖（见表4）；遥感、智能识别与可视化模型按业务对象共享或分库配置。

3.模型链与库间边界传递

单库防洪模型链以气象预报和实时雨水情为输入，水文预报模型形成入库洪水过程，洪水调度模型计算库水位和下泄过程，水动力与溃坝模型分析下游洪水演进及极端失事情景，大坝安全模型结合位移、沉降、渗流渗压、应力应变、库水位和降雨研判工程性态，风险模型综合危险性、暴露对象和工程状态形成分级结果。前一环节输出作为后一环节输入，使预报、调度、安全和风险成果在同一场景下连续计算（见图4），符合防洪调度“四预”应用的业务组织方式。其中，入库洪水预报采用三水源新安江模型计算产流，采用马斯京根法进行河网汇流演算；洪水调度模型依据库容曲线、泄流能力曲线和调度规则进行调洪演算；下游洪水演进采用一维水动力模型求解圣维南方程组，并对夏

家寺河下游王家河街道等重点防护区域建立基于非结构网格的一二维耦合模型，模拟漫溢与淹没过程。

关联水库在防洪模型系列计算中明确库间边界（见图5）。梅院泥、矿巴按实际水系拓扑确定上下游关系：上游入库洪水进入调度模型，得到库水位和下泄过程；下泄过程经库间河道一维水动力模型传播演算，叠加由下游水库预报模型相应子流域计算的区间产流后，作为下游水库水文预报或洪水调度模型的入流边界。其中，矿巴组按“矿山预报调度—连通渠输水—巴山调洪下泄”的串联方式组织计算，梅院泥组沿梅店河、泊沫港河逐级传递。必要时同步传递闸门开度、泄洪能力、起调水位、计算时段和控制断面水位。上游方案变化后，平台触发下游模型重新计算，形成“单库模型独立、库间边界衔接、洪水过程逐库传递”的协同模式。

4. 知识规则与“四预”业务支撑

模型给出水位、流量、淹没范围和安全状态，知识平台进一步组织业务规则、历史场景、专家经验、调度方案和应急预案等知识资源。知识平台建设5类

表4 水库模型体系与应用边界

模型类别	建设范围	主要输出及安全度汛用途
水文预报模型	逐库建设	预报降雨产流、入库流量、洪峰、洪量及过程，为调度和关联水库边界传递提供输入
洪水调度模型	逐库建设	计算不同来水和泄流条件下库水位、下泄过程及调度结果
水动力与溃坝模型	逐库建设	模拟下游洪水演进、淹没范围、水深流速及极端失事情景影响
大坝安全与风险分析模型	逐库建设	分析位移、渗流渗压、应力应变等性态，综合识别工程及下游风险
关联水库防洪边界耦合	重点考虑梅院泥、矿巴等关联水库	将上游入库洪水、库水位和下泄过程经传播演算后作为下游模型边界，开展逐库串联计算与方案比较
遥感、智能与可视化模型	按业务对象共享或分库配置	开展堤坝变形、视频/无人机/白蚁识别及“四预”过程表达

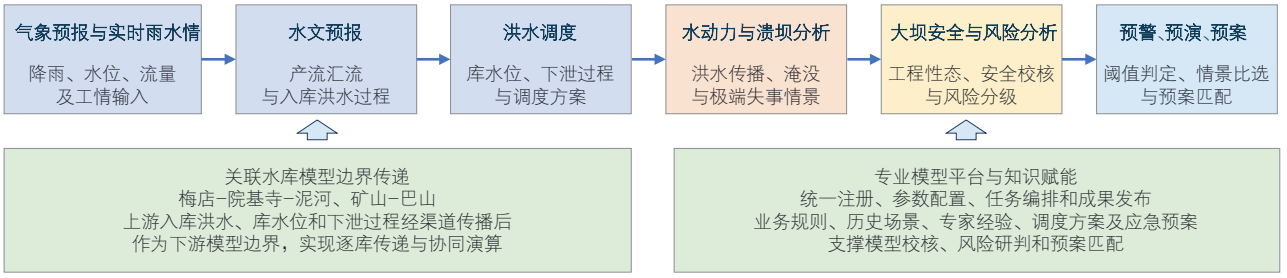


图4 7库全覆盖的水利模型链

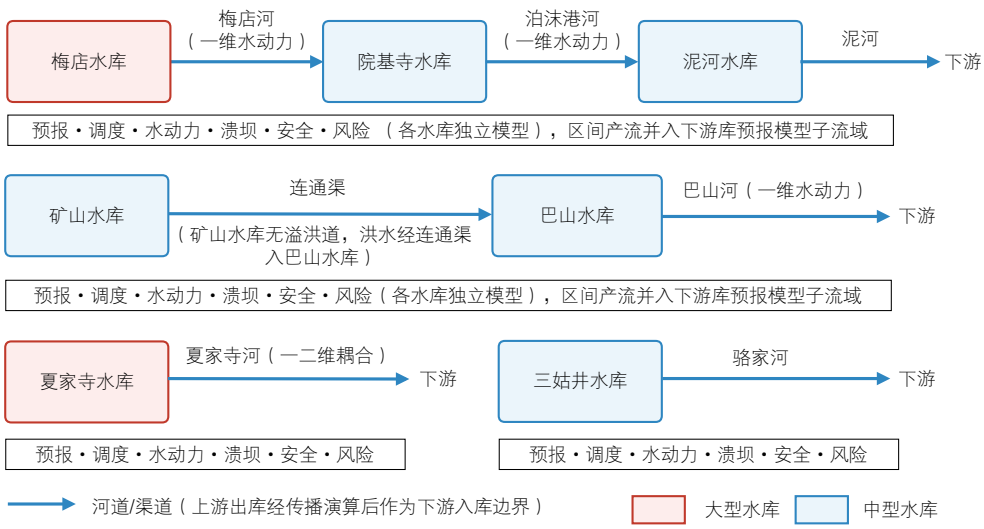


图5 模型库间边界示意

知识库：预报调度方案库汇集防汛预案、入库预报方案、调度规程及调度运用方案；工程安全知识库汇集风险隐患、事故案例与安全鉴定成果；调度业务规则库将调度规程和汛限水位动态运用规则解析为结构化规则集；专家经验库提取历史洪水处置与预报调度经验；知识图谱库以图结构表达水库、水系、工程、责任和预案间的关联关系。知识引擎依托大模型底座，采用检索增强生成与图谱检索技术实现知识抽取、融合、存储与推理，提供知识可视化、搜索、推荐与智能问答功能，并以REST接口支撑业务系统调用；面向防洪业务形成降雨模式推荐、降雨与洪水相似度匹配、预报模型参数推荐、预报结果经验判别、闸门下泄流量纠偏等典型应用；依托水务大模型提供智慧决策助手、智慧看数、公文助手和水务知识智能生成4类智能服务，辅助决策、查数与报告编写。在“四预”业务中，知识引擎的支撑路径为：预报环节检索历史相似洪水场景辅助预见期研判，预警环节匹配规则库中的预警阈值与分级标准，预演环节调用方案库生成备选调度方案集，预案环节依据情景特征匹配应急预案并推送处置措施与责任清单，形成“模型定量计算+知识规则匹配”的双重支撑。

5.面向防洪需求的业务体系

以统一场景和模型成果为纽带，串联水库一张图、智慧监管、防洪调度、大坝安全、综合决策、工程运行和移动应用（见图6），形成“监测感知—洪水预报—调度计算—安全校核—风险预警—情景预演—预案匹配—会商决策—指令执行—反馈复盘”的业务闭环（见图7）。

7项业务并非并列运行，而是按防洪决策顺序分



图6 黄陂区数字孪生系统多业务应用界面

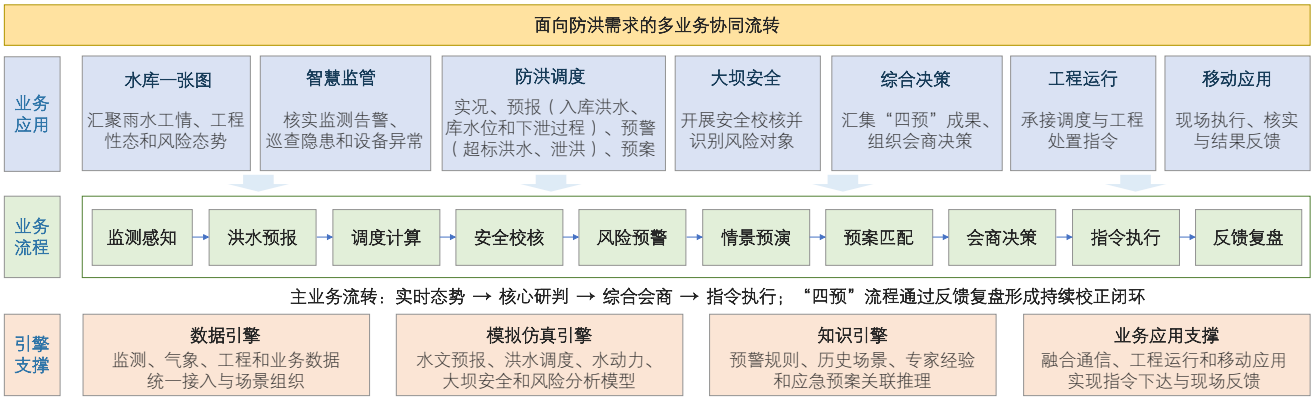


图7 面向防洪需求的多业务协同流转

工：水库一张图形成实时态势，智慧监管核实异常，防洪调度、大坝安全承担核心计算与校核，综合决策组织会商，工程运行和移动应用完成指令执行与反馈。其共同目标是连续回答雨洪发展、调度方式、工程安全、风险对象和措施落实等问题，实现态势、研判、决策与行动衔接。

对梅院泥、矿巴两组关联水库，业务界面同步展示上游来水、库水位、下泄过程、渠道传播时间和下游边界，比较不同调度方案对关联水库及下游风险区的连锁影响。黄陂区水务局组织总体研判和会商，管理中心负责预警复核与调度协调，管理所承担巡查、险情核实、闸门操作和反馈，形成“区级统筹—中心协调—管理所执行”的分级链条。

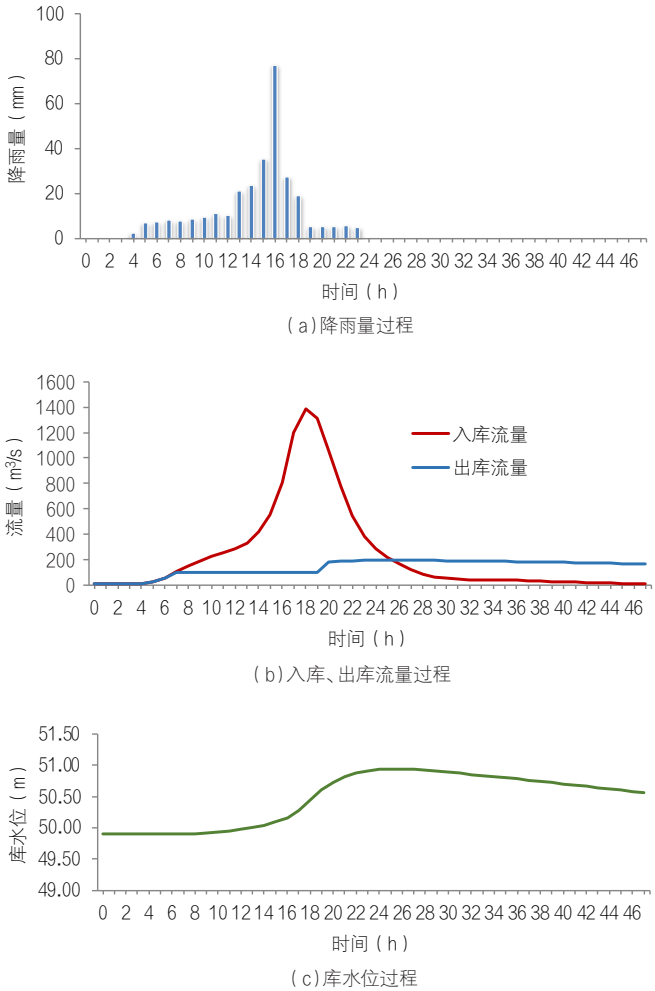
四、典型场景算例与应用分析

本文选取两个典型场景：一是夏家寺水库单库场景，重点检验“预报—调度—演进—预演”业务链条在单库条件下的功能衔接；二是梅院泥关联水库场景，重点检验库间边界传递与协同演算机制。两个算例均以百年一遇设计暴雨洪水为输入，各库设计暴雨洪水过程按各自产汇流参数推求；调洪演算自汛限水位起调，各库洪水演进以同场设计暴雨起涨时刻为统一时间基准。算例以各环节能否按业务链条衔接运转、库间边界能否正确传递作为检验判据。

1.夏家寺水库百年一遇设计洪水全链条演算

本场设计暴雨总量302.9 mm，最大小时雨强77.3 mm（第16 h）；三水源新安江模型预报入库洪水洪峰流量1389.3 m^3/s（第18 h）。调洪演算自汛限水位49.90 m起调，按调度规则分级控泄，即涨水段按100 m^3/s控制，入库洪峰过后逐步加大至194 m^3/s；最高库水位50.94 m（第25 h），削峰率86.0%，拦洪量约2881万m^3。调度演算过程见图8。

下泄洪水经夏家寺河一二维耦合水动力模型向下游演进，沿河10个关键断面的流量过程见图9。首断



（a）降雨量过程

（b）入库、出库流量过程

（c）库水位过程

图8 夏家寺水库洪水调度演算过程

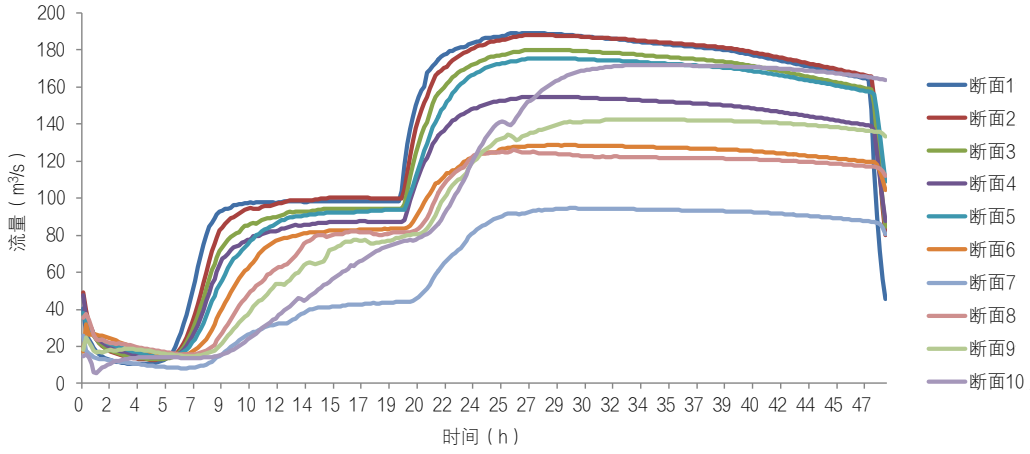


图9 夏家寺水库下游河道各断面流量过程

面洪峰流量189.0 m^3/s，峰现时间第26 h，较出库洪峰有所坦化并滞后1～2 h；沿程受河道槽蓄与区间汇流影响，洪峰总体衰减坦化，局部断面受区间来水叠加出现回升。演进成果与下游风险对象叠加后，形成“计算—判别—匹配—执行”的业务闭环：知识平台依据调洪成果从规则库匹配分级控泄措施，依据下游淹没范围与洪水到达时间从预案库匹配应急预案，生成预警与避险转移建议；指令经区水务局会商、管理中心协调后由管理所执行，结果经移动应用回传。

2. 梅院泥关联水库串联演算

针对梅院泥关联水库组开展百年一遇设计洪水串联演算。梅店水库下泄洪水经梅店河演进，下游首断面洪峰流量270.9 m^3/s，峰现时间第21.7 h；该过程叠加区间产流后作为院基寺水库入流边界，院基寺调洪下泄后经泊沫港河演进，下游首断面洪峰流量393.1 m^3/s，峰现时间第20.0 h；再经边界传递进入泥河水库，泥河下泄洪水下游首断面洪峰流量131.1 m^3/s，峰现时间第18.2 h。三库首断面流量过程对比见图10。

需要说明的是，三库峰现时间并未沿串联方向依次滞后。各过程以同场设计暴雨起涨为统一时间基准，暴雨主峰位于第16 h；下游断面洪峰由上游下泄与区间产流叠加形成，区间汇流快，峰现紧随暴雨主峰，上游梅店受调蓄影响出库后移，峰现差异反映“调蓄滞后”与“区间快汇”的叠加，而非传播时序颠倒。

上述算例基于设计暴雨情景，为体系建成后以调度演练方式开展的功能检验。由于体系建成投运时间较短，加之矿山、巴山、泥河等水库监测设施新建不久，且此前长期空白，目前尚无实测洪水过程可用于模拟成果的对比检验；后续将结合汛期实际洪水与持续演练滚动修正模型参数和库间边界传递机制。

五、防洪韧性提升建议

结合前述建设实践与算例检验，体系的长效运行还取决于模型数据的持续维护、实战化检验与安全运维保障。

1. 强化模型与数据管理

明确模型责任单位、适用范围、参数版本、率定场次、精度指标和更新条件，利用历史洪水与演练分库检验，工程或下垫面变化、误差超限时应及时率定。分组确定率定重点：梅院泥组重点率定库间河道演进参数与传播时间，校核计算时钟、边界转换与触发顺序；矿巴组重点检验连通渠过流能力与糙率取值，防范淤积阻水导致边界传递失真；独立库重点保障单库预报精度与泄流规则有效性。平台完整保存每次计算的输入、边界、参数版本与结果，同步维护水库、水系、测点、责任与预案的关联关系。

2. 加强演练与实战检验

围绕短历时强降雨、超汛限水位、泄洪设施异常、渗流突增、通信中断和极端失事等情景开展跨层级演练，明确输入、决策节点、责任人和时效指标。对梅院泥组设置区间洪水与上游错峰泄洪叠加场景，检验库间边界自动衔接与错峰调度效果；对矿巴组设置连通渠过流异常、巴山泄洪设施故障等组合场景，评估最高库水位、下泄洪峰及风险区变化；对独立库结合百年一遇等设计情景定期开展全链条复演。演练和实洪复盘成果应沉淀为历史场景，用于修正模型、规则和预案。

3. 健全运维与安全保障

建立区级统筹、管理中心协同、管理所执行、技术单位支撑的运维责任体系，统一监控设备、接口、数据、模型和应用状态，落实汛前检查、汛期值守、故障闭环、备份恢复及应急切换；考虑中型水库管理力量相对薄

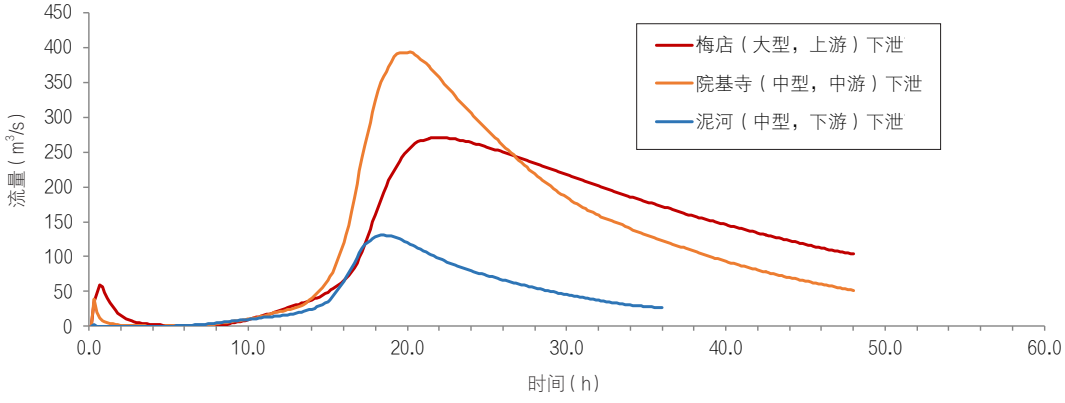


图10 梅院泥关联水库洪水演进下游首断面流量过程

弱，模型参数维护、告警复核等专业技术工作宜由技术单位联合承担；对门户、模型接口和物联网终端实施分区访问与最小权限设定，保障复杂系统长期稳定运行。

六、结 语

黄陂区面向7座大中型水库，按照共性支撑共享、单库差异化计算、关联场景协同分析和分级处置衔接的路径，构建了数字孪生防洪业务体系。主要认识有三：①共性能力统一建设与单库模型精细构建相结合，以统一数据底板和模型平台支撑7座水库模型全覆盖，是控制多库建设投资、避免重复建设的有效方式；②对存在水系关联的水库，关联水库边界传递机制能够实现库群协同演算，其物理基础是明确的水系拓扑和可靠的演进参数；③模型成果嵌入“区级统筹—中心协调—管理所执行”的分级业务链，才能转化为实际防洪能力。百年一遇设计洪水算例表明，体系的预报、调度、演进与研判环节能够按业务链条衔接运转。

同时，模型率定所依据的实测资料有限，算例采用设计情景演练方式，尚未经过实测洪水检验；库间边界传递精度受河道演进参数与区间产流估计影响；体系长期效能仍需通过数据质量控制、模型滚动率定、实洪复盘和持续运维加以检验提升。该模式可为多类型水库集中区域数字孪生防洪业务体系建设提供参考。

参考文献：

[1] 冶运涛，蒋云钟，寇怀忠.数字孪生水利建设的进展成效、关键问题与对策举措[J].中国水利，2026(5):36-45.
[2] 谢明霞.数字孪生水利内涵及应用场景研究[J].人民长江，2024，55(2):245-251+264.
[3] 蔡阳，成建国，曾焱，等.加快构建具有“四预”功能的智慧水利体系[J].中国水利，2021(20):2-5.
[4] 蔡阳.以数字孪生流域建设为核心 构建具有“四预”功能智慧水利体系[J].中国水利，2022(20):2-6+60.
[5] 刘昌军，吕娟，任明磊，等.数字孪生淮河流域智慧防洪体系研究与实践[J].中国防汛抗旱，2022，32(1):47-53.
[6] 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.
[7] 李文学，寇怀忠.关于建设数字孪生黄河的思考[J].中国防汛抗旱，2022，32(2):27-31.
[8] 叶瑞禄，左翔，刘修恒.数字孪生秦淮河流域防洪四预平台建设与应用[J].人民长江，2024，55(3):13-20.
[9] 任明磊，赵丽平，陈智洋，等.面向防洪“四预”的数字孪生流域水利专业模型研发与实践应用：以数字孪生飞云江流域为例[J].中国水利，2024(5):58-64.
[10] 庄佳宝，孙清祥，罗小清，等.基于数字孪生的湖南省椒花水库防洪调度系统建设[J].中国防汛抗旱，2025，35(5):80-86.
[11] 黄志兴，冯大蔚，马媛，等.数字孪生太浦河防洪及供水“四预”业务应用设计与实现[J].水利信息化，2023(4):1-6.
[12] 田向忠，吴靖.数字孪生佛子岭水库群工程设计探索[J].中国防汛抗旱，2023，33(9):71-76.
[13] 张旺，朱士建，王高旭.烟台大中型水库数字孪生流域防洪调度“四预”应用研究[J].水利技术监督，2025(2):72-76.
[14] 罗斌，周超，张振东.数字孪生水利专业模型平台构建关键技术及应用[J].人民长江，2024，55(6):227-233.
[15] 崔培，张涛，曾斌，等.数字孪生水利动态时空数据底板构建研究[J].中国水利，2025(2):52-64.
[16] 吴一戎.遥感技术赋能智慧水利：问题、挑战与建议[J].中国水利，2024(11):1-8.
[17] 祝许珂，梁国华，何斌，等.基于马斯京根法的嫩江江桥－大赉段洪水演算[J].人民长江，2018，49(3):27-31.
[18] 张大伟，程晓陶，黄金池，等.基于Godunov格式的溃坝水流数学模型[J].水科学进展，2010，21(2):167-172.
[19] 刘鑫，官学文，张俊，等.2024年洞庭湖团洲垸溃堤过程及洪水演进模拟[J].人民长江，2024，55(10):7-14.
[20] 罗成鑫，周建中，袁柳.流域水库群联合防洪优化调度通用模型研究[J].水力发电学报，2018，37(10):39-47.
[21] 任明磊，张琪，赵丽平，等.考虑洪水预报信息的水库群防洪联合优化调度研究与应用[J].中国防汛抗旱，2025，35(3):9-14+20.
[22] 刘昌军，刘业森，武甲庆，等.面向防洪“四预”的数字孪生流域知识平台建设探索[J].中国防汛抗旱，2023，33(3):34-41.
[23] 陈才明，王玉铜，陈亚威，等.数字孪生飞云江流域水利知识平台建设研究[J].水利信息化，2024(1):73-77+88.
[24] 陈胜，刘昌军，李京兵，等.防洪“四预”数字孪生技术及应用研究[J].中国防汛抗旱，2022，32(6):1-5+14.
[25] 陈月华，林少喆，赵梦杰.淮河流域防洪“四预”试点和演练[J].中国防汛抗旱，2022，32(2):32-35.
[26] 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.

责任编辑 张瑜洪