

泗河数字孪生流域建设的实践与思考

刘 驰, 夏 磊, 刘猛猛

(济宁市水利事业发展中心, 山东 济宁 272000)

摘要: 数字孪生流域是以物理流域为单元、时空数据为底座、数学模型为核心、水利知识为驱动, 对物理流域全要素和水利治理管理全过程的数字化映射、智能化模拟, 实现与物理流域同步仿真运行、虚实交互、迭代优化。对济宁市开展泗河数字孪生流域建设的实践进行了探讨, 分析了相关建设内容、重要技术节点和成效等, 冀望对数字孪生流域和智慧水利的建设提供一定参考。

关键词: 数字孪生; 智慧水利; 流域; 泗河

中图分类号: TP399

文献标识码: B

文章编号: 1001-9243 (2023) 11-0033-02

1 泗河流域基本情况

泗河发源于新泰市太平顶山西侧, 河长159km, 流域面积 2357km²。有大小支流 32 条, 其中左岸 13 条, 右岸 19 条。流域内有大中型水库 4 座, 小型水库 138 座。泗河是季节性山洪河道, 每逢大汛, 洪水溢涨, 泥沙沉积严重, 致使河床抬高, 河道险工险段增加, 加之原有堤防矮小单薄, 历史上洪涝灾害频繁。新中国成立后, 泗河干流上先后修建了黄阴集闸、故县坝、泗水大闸、红旗闸等拦河工程。在泗河干支流上修建了尼山大型水库和贺庄、华村、龙湾套 3 座中型水库, 共控制流域面积 710km²。泗河沿线城镇、企业, 跨河交通铁路、公路等保护目标较多, 历来是防汛的重中之重。

2 泗河数字孪生流域建设的主要内容

2.1 完善智能感知体系

优化完善监测站网布局, 建设泗河流域各类水雨情等水文设施 687 处、汇集建设视频监控 1980 路、改造拦河闸坝控制 19 处, 实现洪水来源区、水资源来源区、行政管理边界、重要防御对象、重要用水对象等重要节点全覆盖。初步构建泗河全流域 2357km²L2 级、主河道两侧 350km² L3 级三维数字模型, 打造由 0.2m 精度分辨率的地形数据、0.5m 精度河道断面数据和 0.03m 分辨率的倾斜摄影数据构成的“数据底板”, 实现了站点监测信息、发生洪水的河道断面信息、参与调度运用的工程安全监控信息等多维数据在数据底板上的实时动态更新, 实现物理流域防洪工程与数字流域深度融合。

2.2 开展智慧化模拟

采用分布式 GPU 并行计算, 研发流域大尺度场景下的二维水动力、产汇流、洪水演进淹没、水库联合调度等模型及精细尺度下的三维洪水演进算法。实现了全流域 15 个区域的产汇流计算, 重点滞洪区和险工点的精细模拟。实现了 3 天中期预报成果调用, 研发了基于新安江及淮河流域经验公式的洪水预报算法, 与历史洪水模拟结果进行比对、率定, 确保模型算法适配性和准确度。打造小水库强降雨应急抢险调度模型, 模拟不同量级强降雨水库工情, 提前分析预判险情影响范围。此外还依托图像识别技术研发了视频监控智能识别模型, 使河湖“四乱”问题、水利工程运行和安全监测、应急突发水事件等自动识别准确率不断提高。

2.3 构建水利智能业务应用

基于智能感知手段, 构建高精度的数字孪生流域, 融合多源多维多尺度数值模型, 实现泗河“雨水工险灾”五情信息的动态化监测、智慧化模拟、高仿真演练、智能化防御的完整体系。夯实防汛基础, 提高预报精度, 根据降水对泗河干流书院、大石桥、波罗树等控制断面和水库实时进行水情预报; 突出防汛前哨, 提前预警时间, 对蓄滞洪区、28 处险工险段、14 座闸坝、38 处桥梁、43 处穿堤涵闸、246 座水库等工情进行超前预警; 打造关键环节, 增强预演精度, 通过蓄滞洪区、险工险段、水库预演, 确定水库、闸坝等水利工程安全运行调度方案和小水库应急处理措施; 明确防汛目标, 增强预案效果, 对受洪水威胁较大的重要城镇、基础设施提出转移、限行、停产、停运等应急处置措施, 生成险工险段巡查防守、水利工程调度运

收稿日期: 2023-09-11

作者简介: 刘驰, 高级工程师, 主要从事防汛抗旱、智慧水务等工作。

行、应急抢险预案,为指挥防汛抢险提供有力保障。

2.4 重点提升小水库薄弱环节

针对山区小水库及各类塘坝日常管理薄弱但又易出险情况,进一步完善全部240座小水库高程测定和库容曲线绘制,实现渗压、视频、雨量水位、照明设备全覆盖,研发小水库“四预”系统,重点解决未来降雨库区能盛多少水、研判风险区域、应急抢险调度问题。尤其在短时强降雨情况下预演小水库满溢溃坝情况,反推气象水文上限,智能关联抢险专家、队伍和物资、车辆,自动生成调度路线及抢险技术方案,为应急抢险提供科技支撑。

3 泗河数字孪生流域建设重要技术节点

3.1 预报模型研发

实现泗河和白马河流域未来3天关键断面洪水流量和水位过程预报。一是适用于济宁水文特性的水文预报模型定制化研发、封装和集成。根据业务需要确定洪水预报模型开发任务,主要包括模型研究、参数率定与移植、模型软件化及封装、预报方案构建、预报系统开发与集成。模型均采用标准化接口封装、模型与数据分离、模型以服务方式由业务平台模型服务来管理。二是预报方案的研究和预报模型参数的率定。完成泗河干流控制断面、重点支流断面等多个断面洪水预报方案编制和预报模型参数率定。三是洪水预报校正技术研究和校正模型研发。根据预报流量和实测流量拟合,研究多元回归、自回归等模型,自动校正预报成果,提升洪水预报精度。

3.2 调度模型研发

实现贺庄水库、尼山水库、西苇水库、龙湾套水库、尹城水库、华村水库等6座大中型水库、闸坝和南四湖的洪水调度,模拟不同调度方案下水库和关键控制断面洪水过程和影响结果,生成洪水期间水库和闸坝的调度运行方案。一是调度方案研究和调度模型研发、集成。二是泗河流域水库和闸坝出入平衡、规则调度、指令调度等调度模式研究和定制化研发。

3.3 二维水动力模型研发

实现泗河干流水面线过程模拟,实现泗河洪水淹没和扩散模拟。一是水力学模型自研。基于EFDC(三维环境流体动力学程序)框架研发二维水动力模型,模拟洪水的演进和淹没过程。二是洪水风险自适应分析模型研制。三是对项目区进行基本情况调查,识别保护区主要的洪水威胁,选择适宜的洪水风险分析方法,开展洪水风险识别和影响分析模拟。

4 建设成效

4.1 实现了“正向+逆向”推演

泗河数字孪生流域系统根据气象预报每15分钟即可“正向”预演风险形势和影响,得以在未萌之

时、成灾之前发现问题、提出对策;以重点区域村镇、工矿企业特别是泗沂滞洪区等为保护目标,在5分钟内完成“逆向”推演,得到水库及闸坝等水利工程安全运行限制条件,制定和优化调度方案,实现预报与调度的动态耦合模拟。

4.2 实现了“模拟+实践”融合

2022年6月26日,济宁市发生强降雨过程,系统根据气象预报进行了全流域100mm、200mm、300mm降雨场景模拟。其中200mm降雨时泗河书院站流量将超过 $800\text{m}^3/\text{s}$,此时泗沂滞洪区有漫溢风险。预演龙湾套、华村水库预泄纳蓄进行削峰错峰后,预报书院站28日6时最大洪峰将削减为 $608\text{m}^3/\text{s}$ 。同时根据沿线桥、涵、路口等风险点的预测预报情况,将可能出现的风险及应对措施发送给防汛一线人员,提前做好针对性巡防。6月26—28日,流域面降雨量222mm,书院站28日4:28最大洪峰流量 $578\text{m}^3/\text{s}$,滞洪区未发生漫溢,确保了沿岸工矿企业和民众的生命和财产安全。

5 思考与建议

5.1 强化水利网络安全

依据网络安全法、关键信息基础设施保护条例等法律法规要求,健全网络安全制度,构建国产化软硬件环境,层层压实主管单位、建设单位、运行单位、使用单位的安全责任,完善水利网络安全体系,增强关键信息基础设施和重要数据防护能力,确保数字孪生流域安全。

5.2 强化业务功能整合

结合泗河流域数字孪生平台建设,改造水利工程建设与运行管理应用,升级完善河湖管理应用,扩展水土保持应用,整合农村水利水电应用,同步推进节水管理与服务、水行政执法、水利监督、水文管理、水利行政、水利公共服务等应用建设。

5.3 强化流域防洪功能

进一步深化完善预报、演进模型,使预报更加准确,模拟更加符合实际。特别是不同预报模型之间的融合,开展深度学习。完善历史场景库,特别是针对不同量级典型洪水情况,反复推演,不断提升水库、闸坝联合调度能力,最大限度消峰错峰,深度细化抢险应急处置预案演练,完善监测体系,升级流域防洪预报、预警功能,建设预演功能,支撑预案选择,实现流域防洪“四预”。

5.4 强化水资源管理

进一步开展生态流量、水资源调配、农田灌溉等方面业务开发,丰富各类场景模拟,全面提升数字孪生流域解决“四水四定”实际问题能力■

(专栏编辑:周 权)