

山东黄河数字孪生防洪“四预”系统研究

岳成鲲 陈文先

黄河水利委员会山东水文水资源局

DOI:10.12238/hwr.v7i11.5046

[摘 要] 基于当前数字孪生流域发展背景及山东黄河水文特点,结合当前黄委山东水文局信息化现状,对照防洪“四预”相关技术要求,构建了山东黄河水文数字孪生示范平台。平台以示范河段为物理流域单元,开展三维可视化仿真、多源异构数据融合等技术研究,搭建了相关的数据底板、模型平台和水文知识库,开发了具有滩地淹没分析、多维度多尺度场景预演的“四预”平台,为山东黄河防汛工作提供技术支撑。

[关键词] 数字孪生流域; 防洪“四预”; 防汛; 水文

中图分类号: TV87 **文献标识码:** A

Study on Digital Twin Flood Control System of Shandong Yellow River

Chengkun Yue Wenxian Chen

Shandong Bureau of Hydrology and Water Resources, Yellow River Conservancy Commission

[Abstract] Based on the current development background of the digital twin basin and the hydrological characteristics of the Yellow River in Shandong, combined with the current information status of the Shandong Hydrology Bureau of the Yellow River Committee, and compared with the relevant technical requirements of the "four pre-flood", the Shandong Yellow River hydrological digital twin demonstration platform was constructed. The platform takes the demonstration river reach as the physical basin unit, carries out technical research on 3D visual simulation, multi-source heterogeneous data fusion, builds relevant data base, model platform and hydrological knowledge base, and develops the "four pre-stages" platform with beach inundation analysis and multi-dimensional and multi-scale scenario rehearsal, providing technical support for the flood control work of the Yellow River in Shandong.

[Key words] digital twin basin; "four pre-plan s" for flood control; flood control; hydrology

引言

根据《水利部关于开展数字孪生流域建设先行先试工作的通知》《水利部办公厅关于印发数字孪生流域建设先行先试台账的通知》和《数字孪生黄河建设先行先试实验方案》,黄河水利委员会山东水文水资源局(以下简称“黄委山东水文局”)承担了山东黄河水文数字孪生示范平台建设先行先试任务。

依据《“十四五”智慧水利建设规划》《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》等相关要求,结合山东黄河防御洪水预案及山东黄河水文信息化情况,重点开展关键技术研究,开发了具有防洪“四预”功能的山东黄河水文数字孪生示范平台。

1 平台简介

山东黄河水文数字孪生示范平台以山东黄河北店子水位站至济南黄河公路大桥28公里河段作为物理流域单元,通过开展水陆空立体化数据采集,搭建了多时空多维度多图层(OSGB、DEM、DOM、DSM、仿真等)L2级的数据底座,部分已达L3级(精度

已达0.1-0.01m);构建了河段内各类水利工程关键点(黄河大堤、滩区、险工、控导、引黄闸、水文站、水位站、桥梁等)的BIM模型;以自研三维水动力模型(JLSF模型)和MIKE二维数学模型为核心,对该河段的预报洪水、设计洪水、历史洪水进行水动力学模拟推演,并实现洪水淹没过程的动态三维仿真模拟;同时,可接入实时数据(水情数据、视频监控等),根据上游水情信息,利用数学模型进行下游洪水推演预报,结合底座高程数据对漫滩风险区域进行预警,并可预演各预警区域漫滩洪水的演进过程,针对各类重点水利工程提供不同的测洪、防汛、抢险预案,进而构建了具有防洪“四预”功能的数字孪生平台。

2 平台设计思路及整体框架

2.1 平台功能设计思路

平台服务对象为山东黄河河道各级主管部门、山东黄河防汛抗旱指挥部门及水文部门。因此,针对以上各个部门的应用需求,结合《山东省防汛抗旱应急预案》中的防洪抢险运作机制,

在平台中重点集合了河段的水利工程情况,包括堤防、险工控导及引水闸等信息,考虑黄河下游特有的黄河滩区这一概念,以实现流域水情实施监控和多种水动力学模型统筹计算,并按照预报、预警、预演、预案4个环节逐步开展工作。

2.2 平台整体框架

按照水利部、黄委数字孪生流域建设要求,充分融合物联网、云计算、大数据、人工智能等关键技术,搭建了4个模块模型,包括数字孪生底座、漫滩风险区域、设计洪水推演及历史洪水模拟。以上4个模块底层框架主要包括以下3个方面的建设:

2.2.1 数据底板建设

山东黄河水文数字孪生示范平台面向水利业务,为适应多目标、多层次复杂需求,尤其是黄河下游泇口河段的防洪“四预”重点需求,初步构建了描述水利对象空间特征、业务特征、关系特征和时间特征一体化组织的数据模型。

通过无人机遥感倾斜摄影、机载激光雷达点云测绘、无人船搭载测深仪水下地形测量等先进技术手段,采集数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、数字地表模型(DSM)等数据,建设了数据资源池。构建完成了该河段包括倾斜摄影(OSGB)、点云、仿真等多图层L2级数据底板,精准显示多种水利工程关键点(黄河大堤、滩区、险工、控导、引黄闸、水文测站、桥梁等),并对水文测站、引黄闸、桥梁等构建了L3级BIM模型。

采用强大的平台可视化技术对PB级数据进行融合处理,集成基础数字化场景,实现不同分辨率、不同大小数据空间的数据以及不同类型业务数据之间的自动融合,包括空间数据融合和业务数据融合两个维度。

2.2.2 模型平台建设

(1) 数学模型+可视化模型。平台采用MIKE水动力学数学模型为基础,并进行二次开发,开展该河段河道洪水演进计算分析,实现设计洪水模拟和历史洪水推演。通过水动力学模拟,对该河段不同流量级洪水进行推演,模拟洪水演进过程,得到河段内的水位、流量、水深、流速矢量分布等信息。基于水动力学数学模型模拟结果,进行可视化开发分析,实现洪水淹没过程的动态三维仿真模拟。(2) 三维水动力模型。流域数字孪生需要解决的核心问题,即流体仿真。流体仿真一直以来是计算机图形学中的尖端热门研究课题,如何真实、高效地进行流体的仿真解算,以及基于物理模型的仿真方法,一直是一个行业难题。针对这一难题,采用基于欧拉方法的流体推演仿真方法、基于拉格朗日方法的流体解算漫滩仿真方法,自主研发三维水动力模型,对物理流域单元内发生的洪水过程进行模拟计算,确保数字孪生水利模拟流体的高精度仿真。

2.2.3 水文知识库建设

黄委山东水文局依托自身专业优势,充分利用监测的水文基础数据和掌握的水文专业知识,构建了预报调度方案库、业务规则库、历史场景库等知识平台。

基于数学模型的水动力学原理实现洪水演进过程的预报,进行漫滩风险区域的模拟;基于水文基本规律制定河段内各防

洪工程的防汛预案、抢险预案、测洪预案;基于当前河段历史特大洪水进行模拟推演;基于水文实时数据库的接入开展实时洪水过程预报。以此提供的知识平台支撑防汛决策和科学研判。



图1 黄河滩区淹没分析报告

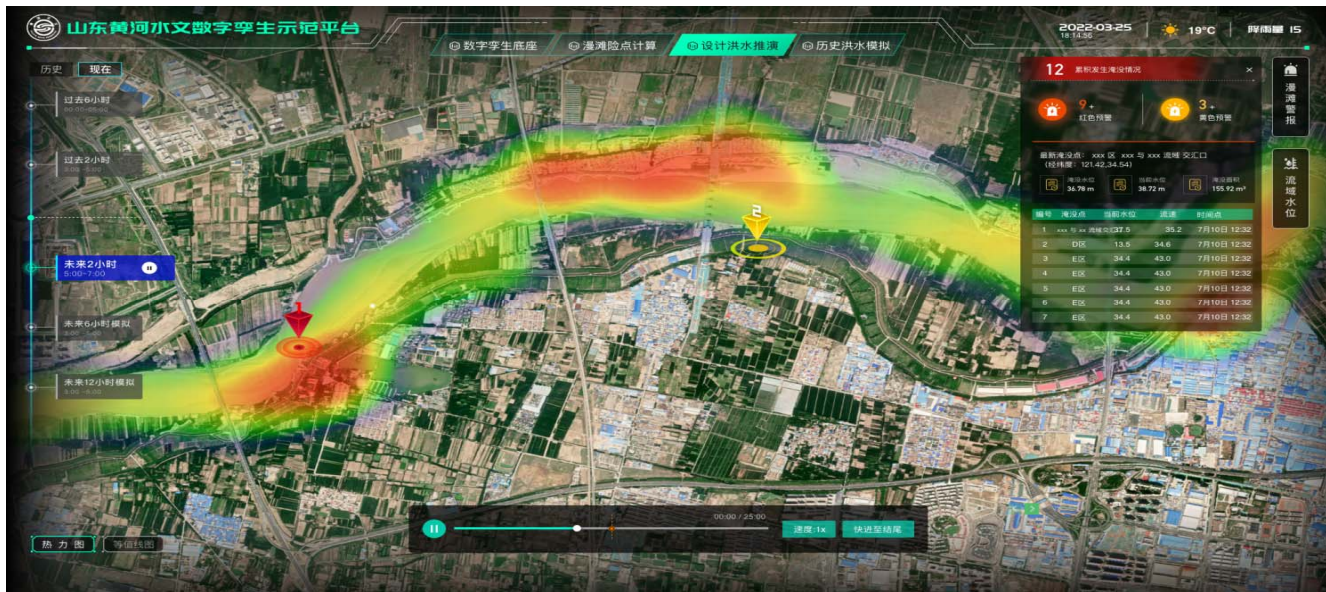


图2 黄河滩区淹没分析页面

3 防洪“四预”平台应用

3.1 预报功能

水情预报工作是“四预”功能的基础,主要包括水情实况、洪水预报两类。该平台可接入黄委山东水文局自研投产应用的“山东黄河水文智能在线监测系统”数据库,获取该河段全要素实时水情,结合上游的实时来水情况,可迅速利用水动力模型推演预报下游洪水情势,为预警工作赢得先机。

3.2 预警

平台预警功能主要体现在对两岸漫滩区域、可能出险的防洪工程进行预警。基于预报结果、数据底板及水文知识库,结合河段内各区段平滩水位、平滩流量、滩唇出水高度及各重点水利工程的警戒水位等信息,对可能存在的风险区域进行预警,为启动预案提供数据支撑。

3.3 预演

平台利用水动力模型推演及动态三维仿真模拟,实现各流量级洪水演进,预演预警区域的洪水漫滩后在滩地演进的过程,并生成漫滩区域淹没分析报告。报告中对淹没滩区进行自动编号,包括淹没位置、淹没面积及淹没程度等信息,自动生成滩区基于土地类型(耕地、草地、林地、居住用地(村台)、建设用地等)的受灾图,分析各类型土地占比等,为科学制定和优化预案提供决策依据。

3.4 预案

平台根据预报、预警、预演结果,结合业务规则库中的各防洪工程的防洪预案、抢险预案、测洪方案,针对不同洪水量级进一步修订各类预案,同时利用重点水利工程的相关特征值进行科学的分析研判,确保预案的实用性和可操作性。

4 结语

山东黄河水文数字孪生示范平台作为数字孪生流域先行先试案例,成功的构建了具有防洪“四预”功能的平台,同时在建

设与研究过程中,形成了一批具有自主性、先进性的科技成果,具有一定的推广价值。随着数字孪生流域的建设,未来的工作可以有以下几个方面:一是持续提升洪水灾害防御业务能力,根据水动力学模型推演的洪水流速矢量场,结合水利工程(控导、险工等)结构及参数,开展重点坝头的冲击力、冲刷深度等计算,为防汛抢险提供决策,为水利工程运行管理提供依据;二是进一步开发水资源管理与调配业务应用能力,聚焦于黄河下游水资源管理与调配业务应用,提高水利监测能力,对各引黄闸安装在线监测设备并接入平台,结合水文监测断面数据开展低水流量精准调度;三是深入挖掘河湖管理保护应用能力,根据数据底板的倾斜摄影数据,准确锁定河段河道管理范围内疑似“四乱”、排污口、取水口等对象,实现对河湖“四乱”各种违法违规行为的及时发现,促进河湖管理保护工作的高效开展。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国水利部.水利部关于开展数字孪生流域建设先行先试工作的通知[R].北京:水利部办公厅,2022:1-28.
- [2]中华人民共和国水利部.“十四五”智慧水利建设规划[A].北京:中华人民共和国水利部,2022:1-155.
- [3]中华人民共和国水利部.数字孪生流域建设技术大纲(试行)[A].北京:中华人民共和国水利部,2022:1-23.
- [4]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.
- [5]安雪.杨跃.王井腾.珠江水旱灾害防御“四预”平台建设与应用[J].水利信息化,2023,(04):003.

作者简介:

岳成鲲(1970—),男,汉族,山东东营市人,本科,工程师,研究方向:水文及水资源管理研究,黄河水利委员会山东水文水资源局。

陈文先(1994—),男,汉族,山东省梁山县人,研究生,工程师,研究方向:水文水资源,黄河水利委员会山东水文水资源。