

Application and Exploration of Digital Twin Platform in the Lower Yellow River Beach Area

Chengkun Yue Wenxian Chen

Shandong Bureau of Hydrology and Water Resources, Yellow River Conservancy Commission, Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

The lower reaches of the Yellow River have obvious functions in flood discharge, natural flood retention and peak shaving, and sediment regulation, making it a home for the vast number of residents in the tidal flats to survive. Taking the Jinan section of the lower Yellow River as an example, focus on the difficult and painful point of inundation in the tidal flats of the lower Yellow River. A digital twin platform with beach inundation analysis function has been developed using 3D visualization simulation technology, hydrodynamic models, and knowledge base construction. The platform analyzes, simulates, and rehearses the implementation of floods, design floods, and historical floods through high-precision front-end data collection equipment, massive data base construction, and intelligent mathematical models analysis, the implementation of contingency plans not only improves the efficiency of early warning in the actual flood control process, but also provides technical support for ensuring the safety of people's lives and property in the Yellow River beach area and reducing flood disaster losses.

Keywords

digital twin; Yellow River beach area; flooding analysis; hydrodynamic models

数字孪生平台在黄河下游滩区的应用与探索

岳成鲲 陈文先

黄河水利委员会山东水文水资源局, 中国·山东 济南 250100

摘要

黄河下游滩区具有明显行洪、自然滞洪削峰和调节泥沙的作用,是滩区广大居民生存的家园。以黄河下游济南河段为例,聚焦于黄河下游滩区淹没这一难点痛点。利用三维可视化仿真技术、水动力学模型及知识库建设,开发了具有滩区淹没分析功能的数字孪生平台。平台通过高精度前端数据采集设备、海量的数据底板建设、智能化的数学模型分析,对实施洪水、设计洪水及历史洪水进行了分析、模拟及预演,对预案的实施,既为实际防洪过程中提高了预警的效率,也为保障黄河滩区人民生命财产安全、减轻洪水灾害损失提供技术支持。

关键词

数字孪生; 黄河滩区; 淹没分析; 水动力学模型

1 引言

黄河滩区是指黄河流域河道管理范围内具有行洪、滞洪、沉沙功能,由于历史原因形成的有群众居住、耕种的滩地^[1]。当前黄河滩区还是很多居民赖以生存的空间,为保障黄河滩区人民生命财产安全,减轻洪水灾害损失,在发生洪水时,提前对漫滩洪水进行预报预警就显得极为重要。

为此,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”)以黄河下游济南河段为试点,构建了山东黄河水文数字孪生示范平台,聚焦黄河下游滩区淹没这一难点痛点,对黄河滩区洪水预报预警、滩区受灾情况等进

行了模拟分析。

2 河段概况

济南黄河地处黄河下游,上起平阴县东阿镇,下止济阳县仁风镇,河道长183km,流经平阴、长清、槐荫、天桥、新旧动能转换、历城、高新、章丘、济阳9区县,是黄河下游典型的悬河,河床高于两岸地面3~5m,设防水位高于地面8~12m,两岸堤防长度189km,有险工23处,控导工程50处,滩区面积506km²。根据《山东黄河滩区运用预案》左岸滩区内尚有自然村1处,总人口在460人左右^[2]。

当前,该河段面临的重大威胁依然是洪水风险,“地上悬河”安全风险巨大。同时该河段两岸人口密集,城乡建设沿河发展,水资源短缺问题成为最大矛盾,2021年4月,经中华人民共和国国务院批准设立济南新旧动能转换起步

【作者简介】岳成鲲(1970-),男,中国山东东营人,本科,正高级工程师,从事水文及水资源管理研究。

区,是继雄安新区之后,全国第二个起步区,起步区位于济南黄河北岸,沿河布局,是下一步济南市重点发展区域,但将来水资源短缺问题也将进一步凸显。

该河段境内布设有四处水文测站(包括泺口水文站、韩刘水位站、北店子、北店子水位站及刘家园水位站),水位、视频监控等传感监测设备较为齐全、工程完整性较好、历史水文基础数据齐全、信息化程度较高,既具有代表性又具有实用性。

因此,选取济南28km河段(北店子水位站至济南黄河公路大桥)作为开展数字孪生平台构建,具有一定的代表性和实用性。

3 平台构建的可行性

3.1 数据采集处理技术快速发展

随着数据采集及处理技术的快速发展,特别是水上高精度地形数据采集,可利用无人机遥感倾斜摄影、机载激光雷达点云测绘等技术,使作业更加高效;水下地形数据采集使用无人船搭载多波束开展测绘工作,使水域探测走向无人化,让作业更高效、更安全。同时,随着国产数据处理软件的研发应用及图形领域的快速发展,使得数据解算速度更快,多数据融合交互成为可能。

3.2 水利监测领域数字化、智能化

近些年,黄河水文进行水文测验能力提升工作,建设新型水利监测站网,实时获取水文监测基础数据。黄委山东水文局自主开发了“山东黄河水文只能在线监测系统”,实现水文要素自动采集、在线传输,为数字孪生平台的水利信息输入端提供可靠保障。

3.3 数字孪生技术的发展

数字孪生技术是克隆物理对象的虚拟仿真技术,集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,集成传感器实时历史等数据,集成全面数字化描述物理对象的全生命周期过程(包含行为特征)。近些年,该技术在产品设计、产品制造、医学分析、工程建设等领域应用较多。同时,水利部制定了《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》《水利业务“四预”基本技术要求(试行)》《数字孪生流域共建共享管理办法(试行)》等相关技术要求,具有一定的可操作性^[9]。

4 平台技术路线

4.1 数据底板建设

通过无人机遥感倾斜摄影、机载激光雷达点云测绘、无人船搭载多波束水下地形测量等先进技术手段,采集模拟河段数字高程模型(DEM)、数字正射影像图(DOM)、数字地表模型(DSM)等数据,建设数据资源池,开展针对重点水利工程的BIM模型构建工作。

4.2 模型平台建设

采用MIKE水动力学数学模型为基础,进行二次开发,

开展该河段河道洪水演进计算分析工作,实现设计洪水模拟和历史洪水推演。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。

4.3 水文知识库建设

依托自身专业优势,充分利用测取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抢险预案,水文站的测洪方案;基于当前河段历史特大洪水进行模拟推演。以此提供知识平台支撑。

4.4 数字孪生平台构建

将各类数据构建在同一数据底板,融合三维水动力学模型及MIKE模型等数学模型,可接入各类实时数据并实现转化,具有多源异构数据融合功能。构建完成山东黄河水文数字孪生示范平台。

4.5 验证测试

根据平台中实现的功能,开展应用验证测试工作,分别使用平台的各项功能得到分析结果,与传统预报研判分析结果对比,得出平台功能结果的准确性。

5 “漫滩风险区域平台”应用

山东黄河水文数字孪生示范平台搭建了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。重点就漫滩风险区域这一功能的应用进行探索。

针对模拟区域,设置设计洪水初始数值(水位/流量)或结合接入的实施水情信息,通过洪水推演,智能化提取淹没区域,最终生成淹没分析报告。

第一,扫描生成LI级点云数据,结合定期更新采集的水下地形数据,通过输入初始流量/水位(已确定相互关系),结合河段比降、糙率等下垫面条件,对28km河段内可能存在的漫滩区域进行查找。

第二,通过分析查找到可能存在的漫滩风险起始点,显示漫滩风险点的桩号、坐标等相关信息,并支持信息标准化输出。通过分析可对某个漫滩风险点的区域进行洪水淹没过程的动态三维仿真模拟,即流体仿真,更加直观、立体地演示洪水淹没过程。同时分析得到以下关键数据:

①展示淹没位置桩号、槽蓄量、滩蓄量、漫滩面积等数据及各个相关曲线变化。

②实现不同水位、流量级别下,可显示断面情况、水位相对大堤堤顶高度、水位相对险工坝顶高度、水位点对根石台高度、距离桥底高度等相关信息。

③实现洪水触及桥梁时,发生高亮反应,提供水位至桥梁低距离,针对不同的情况提供抢险预案。

④针对不同滩区的淹没情况,提供相关信息,包括滩区受灾面积、受灾类型面积及占比等,为防洪抢险部门共决策依据。

根据以上数据,最终生成《漫滩区域淹没分析报告》。报告中对淹没滩区进行自动编号,呈现淹没位置、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(村舍)、建设用地等)的受灾图,分析各类型土地占比,为防洪减灾决策提供依据。图1为漫滩区域淹没分析报告页面示意图。



图1 漫滩区域淹没分析报告页面图

6 关键技术探索

6.1 数据采集领域

水上地形数据采集:水上高精度地形数据采集,采用华测 AU20 多平台激光雷达系统。该系统为纯国产自主研发的激光雷达,在关键器件上具有重大技术突破,打破国外产品在长测距高精度激光雷达上的技术垄断,实现旋翼机、复合翼等多种搭载平台上的使用,可以采集海量点云数据和高清影像数据。该系统支持快速便捷的安装和切换模式,实现数据存储无缝对接,让作业更高效。

水下地形数据采集:水下地形数据自动采集,采用华微 3 号 Pro 无人船,全碳纤维船体超轻便,创新设计“半自动测绘”技术智能优化航线,“全自动测绘”更能无需人工布设航线,自动感知,自动测量,使水域探测走向无人化,让作业更高效、更安全^[4]。

6.2 数据处理领域

华测自研的国产数据处理软件 CoPre,包含一键式解算功能,简单高效地处理单个或多个飞行架次数据,实现轨迹解算、点云解算、DOM生成、点云着色等预处理流程;具备纠正和平差的功能,可提高解算后点云数据的精度;同时软件还支持海量点云的浏览,在点云浏览时更加顺畅。

6.3 水利监测领域

进行水文监测能力提升,建设新型水利监测站网,实时获取水文监测基础数据,为数字孪生平台提供实时可靠的

数据源。利用黄委山东水文局自主开发的“山东黄河水文智能在线监测系统”,实现水文要素自动采集、在线传输;开展较大含沙水流条件下的走航式 ADCP+ 测深仪推广应用,利用低频测深仪的测深数据代替 ADCP 水深数据,扩大走航式 ADCP 的应用范围,提高流量测验的精度和效率。

7 结语

山东黄河水文数字孪生示范平台建设中,重点对黄河下游滩区淹没进行了侧重分析构建,很大程度上为防洪减灾工作开展提供了技术支撑。平台通过高精度前端数据采集设备、海量的数据底板建设、智能化的数学模型分析,对实施洪水、设计洪水及历史洪水进行了分析、模拟及预演,对预案的实施,为实际防洪过程中提高了预警的效率。确保能够最大程度上保障人民生命财产。

参考文献

- [1] 黄河勘测规划设计有限公司.黄河下游滩区综合治理规划[Z].2009.
- [2] 田勇,李勇,孙一,等.黄河下游滩区行洪和泥沙功能演变分析[J].人民黄河,2019(2).
- [3] 吴义阳.以防洪为核心的三明市沙溪数字孪生流域建设[J/OL].水利水电快报,2023(3):1-11.
- [4] 李刚,朱孝静,孙婷婷.黄河下游滩区治理措施及建议[J].山东水利,2015(11).