

海河“23·7”流域性特大洪水东淀蓄滞洪区 洪水演进复盘分析

吴滨滨^{1,2}, 马奉泉^{1,2,3}, 胡珊珊³, 张丽伟⁴, 赵英虎⁴, 宋文龙^{1,2}, 何秉顺^{1,2},
刘宏洁^{1,2}, 喻海军^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院防洪抗旱减灾研究中心, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038;
3. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 4. 天津市水务工程运行调度中心, 天津 300074)

摘要: 针对极端降水引起的洪涝灾害频率和强度改变, 进而导致蓄滞洪区启用概率与风险增大的问题, 构建了东淀蓄滞洪区一、二维耦合水动力学模型, 利用遥感及水文测站监测数据和洪痕调查数据对模型进行了率定, 并全面复盘了海河“23·7”流域性特大洪水过程中东淀蓄滞洪区洪水演进过程和淹没特征。结果表明: 模拟淹没范围与遥感监测成果吻合良好, 模拟结果中各水文、水位站最大水位误差均小于 20 cm, 洪峰流量误差均小于 5%, 峰现时间误差均在 2 h 之内; 洪痕淹没水深误差均小于 30 cm, 其中 86% 的点位误差小于 20 cm, 模型模拟效果较好; 新盖房分洪洪峰在分洪道、东淀蓄滞洪区中传播时间分别为 11 h 和 7.3 d, 洪峰衰减分别为 12% 和 40%; 淀区内洪水演进缓慢, 淹没水深大, 淹没历时长, 约 65% 的区域流速小于 0.2 m/s, 淹没水深大于 2 m, 且淹没历时超过 30 d, 其中包括 38% 的村庄、67% 的耕地和 96% 的温室大棚。

关键词: 海河“23·7”流域性特大洪水; 蓄滞洪区; 水动力学模型; 灾害复盘; 洪水演进分析

中图分类号: TV122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2025)05-0096-10

Retrospective analysis of flood propagation in Dongdian flood storage-detention area during “23·7” catastrophic flood in the Haihe River Basin // WU Binbin^{1,2}, MA Fengquan^{1,2,3}, HU Shanshan³, ZHANG Liwei⁴, ZHAO Yinghu⁴, SONG Wenlong^{1,2}, HE Bingshun^{1,2}, LIU Hongjie^{1,2}, YU Haijun^{1,2} (1. *Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China*; 2. *Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China*; 3. *College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China*; 4. *Tianjin Water Engineering Operation and Dispatch Center, Tianjin 300074, China*)

Abstract: In response to the changes in the frequency and intensity of flood disasters caused by extreme precipitation, which in turn lead to an increase in the probability and risk of the activation of flood storage-detention areas (FSDAs), a one- and two-dimensional coupled hydrodynamic model for Dongdian FSDA was developed. The model was calibrated using remote sensing and hydrological station monitoring data as well as field-based flood mark surveys. A comprehensive retrospective analysis was conducted of the flood propagation process and inundation characteristics in Dongdian FSDA during the “23·7” catastrophic flood in the Haihe River Basin. The results show that the simulated inundation range is in good agreement with the remote sensing monitoring results. The maximum water level errors at each hydrological and water level station were less than 20 cm, the peak discharge deviations remained below 5%, and the peak arrival time discrepancies were within 2 h. The error of the inundation depth of the flood mark was less than 30 cm, and 86% of the points had an error of less than 20 cm, demonstrating good effect of simulation. The Xingtaifang flood peak traversed the flood diversion channel and Dongdian FSDA in 11 h and 7.3 d, respectively, and the peak attenuation was 12% and 40%, respectively. The flood propagation in the FSDA was slow, with a large inundation depth and a long inundation duration. About 65% of the area had a flow velocity of less than 0.2 m/s, an inundation depth of greater than 2 m, and an inundation duration exceeding 30 d, which included 38% of villages, 67% of farmland, and 96% of the greenhouse structures.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFC3012302); 天津市防洪调度应急指挥平台建设项目(JZ120205A0042024)

作者简介: 吴滨滨(1987—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事流域洪水演进与风险分析研究。E-mail: wubb@iwhr.com

通信作者: 喻海军(1988—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水动力模拟研究。E-mail: yuhaijun@iwhr.com

蓄滞洪区是主要江河防洪工程体系的重要组成部分,是确保流域防洪安全的“底牌”,也是区内居民赖以生存的家园^[1-3]。我国共有 98 处国家蓄滞洪区,面积 3.4 万 km²,容积 1 080 亿 m³,其中约 10% 的面积为建设用地,人口超 1 900 万,启用时需要转移的人数多,且造成的经济损失和影响大。近年来,随着气候变化影响的深入及暴雨洪涝事件的趋多、趋强、趋广,蓄滞洪区运用频次显著增加。2020—2023 年我国连续 4 年共运用 28 处次国家蓄滞洪区,其中 2023 年海河“23·7”流域性特大洪水中启用了包括东淀蓄滞洪区在内的 8 处国家蓄滞洪区,蓄水量 25.3 亿 m³^[1];2024 年虽未正常运用蓄滞洪区,但洞庭湖团洲垸堤防溃决被动进洪,影响巨大。因此,开展蓄滞洪区洪水演进复盘分析,深入剖析洪灾过程,对于蓄滞洪区科学精准安全运用具有重要意义。

随着信息化及高性能模拟技术的发展,水动力等专业水利模型被广泛应用于各种类型的洪水复盘研究中^[4-9]。如刘家宏等^[4]通过构建二维水动力学模型,对利比亚德尔纳市 2023 年极端降雨导致的上游两座水库相继溃坝后的洪水演进过程与风险分布特征进行了模拟与复盘分析;郝思佳等^[5]采用水文水动力模型对河南省王宗店 2021 年“7·20”山洪灾害典型事件进行了复盘模拟,并分析得出洪灾主要成因在于极端暴雨导致的山区洪水汇集叠加,以及由此引发的路基壅水溃决;喻海军等^[6]采用城市雨洪模型对郑州中心城区 2021 年“7·20”特大暴雨造成的积水范围、深度和河道行洪漫溢等情况进行了复盘;李致家^[7]等基于新安江-海河模型对海河流域 2023 年 7 月发生特大洪水的大清河 2 个典型小流域——紫荆关流域和漫水河流域进行了洪水复盘模拟;王雨洁等^[8]采用水文水动力耦合模型对秦淮河流域 2015—2020 年 5 场洪水进行了复盘,并以 20200713 号洪水为例模拟分析了下游南京市城区淹没情况。国内外学者针对蓄滞洪区洪水演进模拟开展了大量研究,二维或一、二维耦合水动力学模型已成为最主要的技术手段^[3,10-11],但采用水动力学模型深入开展蓄滞洪区洪灾复盘分析的研究仍较缺乏,仅部分学者在近几年蓄滞洪区频繁启用背景下做出的一些尝试。如胡德超等^[12-15]通过构建湖泊与民垸整体二维水动力学模型或团洲垸局部二维水动力学模型,复盘了 2024 年团洲垸“7·5”溃堤洪水的溃口演变过程,分析了溃口流量、溃口内外水位、流速分布、蓄洪量、淹没水深、淹没面积等特征,

部分研究还制定了抽排方案,开展了钱团间堤潜在溃决洪水风险分析;马强等^[16-17]采用分布式水文水动力学联合模拟策略,分别复盘了海河“23·7”流域性特大洪水中永定河和子牙河两大流域的产流特征和机制,并采用遥感监测淹没范围,对永定河泛区、献县等蓄滞洪区水动力模拟最大淹没范围进行了对比验证;吴滨滨等^[2]、张念强等^[18]、王玮琦等^[19]基于防汛应急工作分别开展了东淀、兰沟洼、共渠西蓄滞洪区的水动力模拟和预报,并持续利用遥感监测淹没范围对模型进行校正,分析了洪水演进过程。

本文基于前期对东淀蓄滞洪区的研究^[2],进一步收集了海河“23·7”流域性特大洪水过程中东淀蓄滞洪区水文测站相关数据,开展现场调查和补充测量,更新和完善一、二维耦合水动力学模型,从洪峰演进过程、流速、淹没水深、淹没历时等方面全面复盘海河“23·7”流域性特大洪水过程中东淀蓄滞洪区洪水演进过程,以期掌握蓄滞洪区洪水演进规律、风险分布、洪灾损失等提供科学依据,并为未来蓄滞洪区规划及科学运用等提供技术参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

大清河是海河流域骨干河系之一,流经北京、天津、雄安新区等地,是深入实施京津冀协同发展战略的重要承载地。东淀蓄滞洪区位于大清河系下游,是汇集大清河系南北支洪水和清南、清北沥水的行滞洪区,也是大清河系洪水入海的关键通道。东淀蓄滞洪区西接白洋淀和新盖房分洪道,北靠中亭河左堤,南以大清河右堤、开卡新堤、千里堤、隔淀堤、坝台段连接堤为界,东至西河右堤、西河闸枢纽和子牙河右堤。其东西长 66 km,南北宽平均约 7 km,最窄处(苏桥)2.5 km,最宽处(台头镇)9 km,主要涉及河北省廊坊市的霸州市、文安县和天津市静海区、西青区,共计 14 个乡镇、100 多个行政村、14 万余人以及近 2.8 万 hm² 耕地^[20-21]。东淀蓄滞洪区现有安全区 4 处,其中河北省 3 处(任庄子安全区、王疙瘩安全区、靳家堡安全区),天津市 1 处(台头镇安全区)。东淀蓄滞洪区概况如图 1 所示。

东淀蓄滞洪区启用标准很低,运用机遇为 3~5 年一遇,设计运用标准为 50 年一遇,滞洪水位 6.44 m,相应的滞洪量 12.68 亿 m³,滞洪总面积 379 km²。当大清河支来水超过 500 m³/s 时,洪水

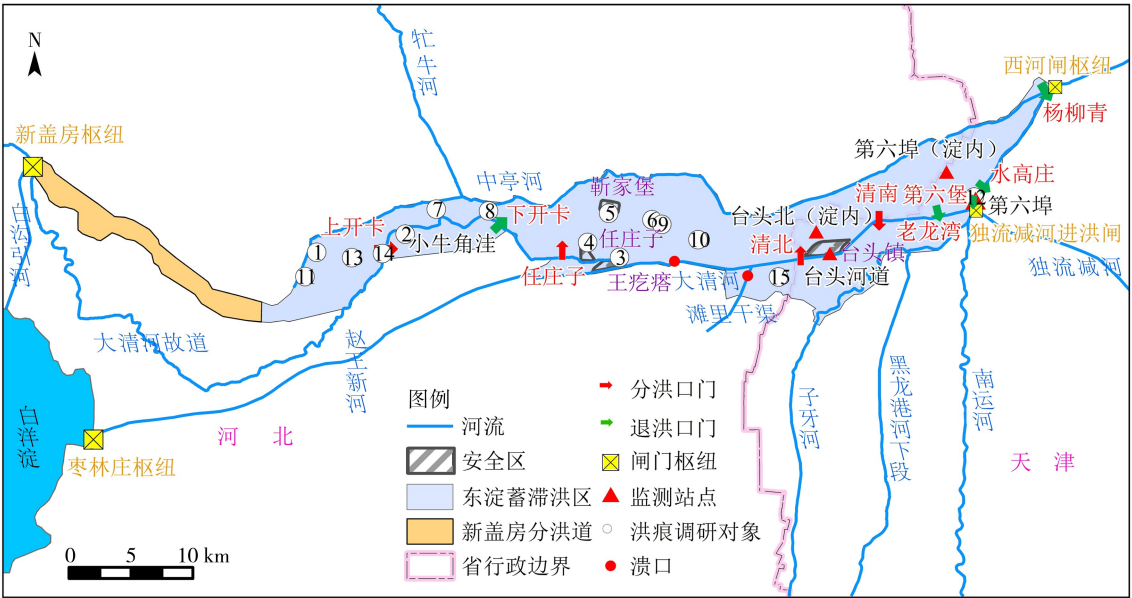


图 1 东淀蓄滞洪区概况

Fig. 1 Overview of Dongdian flood storage-detention area

进入新盖房分洪道后漫入东淀蓄滞洪区;当新盖房分洪道流量达到 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$,水势仍上涨时,牛角洼开卡段参与泄洪;当南支洪水经白洋淀后,枣林庄枢纽泄洪流量小于 $700\text{ m}^3/\text{s}$ 时,利用东淀内的大清河泄洪;当泄洪流量超过 $700\text{ m}^3/\text{s}$ 时,扒开赵王新渠下口任庄子堤埝向东淀分洪。遇中小洪水时,首先利用大清河以北区域行洪;当东淀内西河、大清河左堤处水位高于河道水位时,及时扒开退洪口门;当第六埠水位达到 5.44 m 时,在台头镇东破大清河左、右堤埝向大清河以南东淀区域分洪。洪沥水滞蓄后由独流减河和海河干流入海。中华人民共和国成立后,东淀蓄滞洪区于 1954 年、1956 年、1963 年、1977 年、1979 年、1996 年和 2023 年运用 7 次。

海河“23·7”流域性特大洪水期间,国家防汛抗旱总指挥部于 8 月 1 日 2:00 启用东淀蓄滞洪区,大清河北支洪水通过新盖房分洪道向东淀蓄滞洪区分洪,8 月 2 日 10:00 达到最大分洪流量 $2\,790\text{ m}^3/\text{s}$ 。8 月 10 日凌晨,河北省文安县滩里干渠堤防突发漫溢溃口,清南部分区域被动进洪;9 月 26 日,淀区内滞蓄洪水基本排出。此次洪水中,东淀蓄滞洪区共运用 57 d,共转移 12.1 万人,最大滞洪量 7.87 亿 m^3 ,给淀区内人民财产造成了巨大损失。

1.2 数据来源

河道断面数据及天津市境内地形数据为 2023—2024 年新测数据。其中,河道断面数据采用测深仪、实时动态差分测量仪等设备由人工测量获得。对于天津市境内地形,采用无人机搭载 LiDAR 航摄获取激光点云数据,并通过处理获得精度为 2 m

的 DEM 数据;河北境内地形数据则采用 2019 年 $1:10\,000$ 地形图。土地利用数据(2022 年)来源于国家青藏高原科学数据中心 (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7707461>),分辨率为 $1\text{ m}\times1\text{ m}$,并结合现场调查和影像进行了核对和局部人工修正(图 2)。

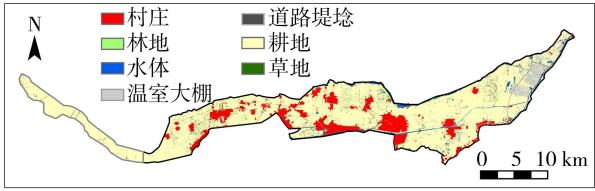


图 2 东淀蓄滞洪区及新盖房分洪道 2022 年土地利用分布

Fig. 2 Land use distribution of Dongdian flood storage-detention area and Xingaifang flood diversion channel in 2022

海河“23·7”流域性特大洪水过程中东淀蓄滞洪区遥感监测洪水淹没范围分析结果由水利部遥感技术应用中心提供^[22]。降雨数据主要包括东淀蓄滞洪区周边 5 个雨量站(文安、堂二里、陵城、后奕和南赵各庄)的实测数据,由水利部水文水资源监测预报中心提供。枣林庄水面逐日蒸发量由水利部水文司提供。水文数据主要包括新盖房水文站、枣林庄水文站、泊庄闸水文站、台头河道水文站、第六埠水位站、台头北(淀内)水位站(应急监测站)、第六埠(淀内)水位站(应急监测站)、独流减河进洪闸水文站的水位、流量实测数据以及主要闸坝调度情况、退洪口门扒口情况等,由天津市水务局提供。

海河“23·7”流域性特大洪水过后,中国水利水电科学研究院及时赴东淀蓄滞洪区开展了洪痕调

查(图1),共包括15个洪痕点。洪痕淹没水深调查成果覆盖淀内重点村庄、安全区周围、河道上下游沿岸等区域。

2 研究方法

2.1 洪水分析模型构建

采用中国水利水电科学研究院洪水分析软件IFMS(integrated flood modeling system)中的一、二维耦合水动力学模型开展东淀蓄滞洪区洪水演进模拟分析。该模型采用基于有限体积法的Godunov格式对一维圣维南方程组和二维浅水方程进行离散求解,一、二维模型的耦合采用侧向连接实现。该模型已经成功应用于多个区域的洪水模拟,模型原理详见文献[2-3,11,23]。

2.1.1 一、二维耦合水动力学模型

一维模型建模河长197.1 km,包括大清河(含大清河故道,103.4 km)、赵王新河(含赵王新渠,42 km)、子牙河(泊庄闸—进洪闸,36.8 km)、西河(11.3 km)、滩里干渠(3.6 km),共计522个断面,平均间距380 m。二维模型覆盖新盖房分洪道和东淀蓄滞洪区,总面积约400.7 km²,共划分11.4万个非结构四边形网格,对退洪口门等关键位置进行加密处理,平均网格尺寸约为40 m,其他区域网格平均尺寸约为60 m;采用天津境内精度为2 m的DEM数据进行高程插值,其余河北区域网格采用考虑沉降影响^[24]后的1:10 000地形图进行高程插值,同时抬高安全区高程使其不过水。采用侧向连接方式将大清河、子牙河、西河等与相应二维区域进行耦合,如图3所示。

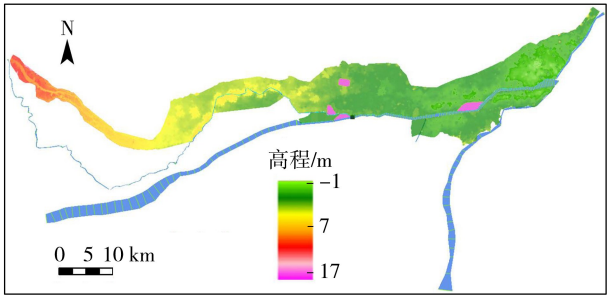


图3 一、二维耦合水动力学模型建模范围及地形
Fig.3 Modelling scope and terrain of one- and two-dimensional coupled hydrodynamic model

2.1.2 口门/溃口

海河“23·7”流域性特大洪水过程中,河北省根据预报洪水,提前扒开小牛角洼的上、下开卡;天津市于8月7—8日,先后扒开老龙湾、水高庄、第六堡、杨柳青4处退洪口门;10日滩里排干右小捻发生溃口。此外灾后现场调研发现小牛角洼上、下开

卡之间的大清河右堤段发生多处溃口,大清河左堤左各庄段也发生一处溃口。

口门或溃口在模型中均以溃口的形式模拟,采用逐渐溃决模式,宽度和溃决历时按实际情况设置。其中,上、下开卡结合两者之间多处溃口一并概化考虑,宽度均设置为400 m;老龙湾退洪口门宽度150 m,于8月7日12:00—18:00(历时6 h)扒开,9月16日关闭;水高庄退洪口门宽度100 m,于8月7日13:00—20:00(历时7 h)扒开,9月12日关闭;第六堡退洪口门宽度110 m,于8月7日20:00至8日1:30(历时5.5 h)扒开,9月12日关闭;杨柳青退洪口门宽度80 m,于8月8日20:00至9日7:30(历时11.5 h)扒开,8月31日关闭;滩里干渠溃口宽度81 m,8月10日5:00溃决,于8月13日23:55完成封堵;大清河左堤左各庄段溃口漫溢及溃口段总长约400 m,模型中概化溃口宽度为300 m,由于未收集到溃决时间,模型中假设淀区内洪水演进到该段时即开始溃决。

2.1.3 初始条件及边界条件

本文洪水模拟计算考虑东淀蓄滞洪区完整的涨退水过程,计算时间从2023年8月1日至9月26日,共57 d,时间步长为10 s,输出间隔为10 min。模型降雨输入采用东淀蓄滞洪区周边5个雨量站小时降雨数据,并根据泰森多边形确定降雨分区;模型蒸发输入采用枣林庄的逐日水面蒸发数据,并换算成逐小时数据。模型上游边界采用新盖房枢纽分洪流量、枣林庄枢纽和泊庄闸的下泄流量,以及滩里干渠的区间入流。上游边界中除滩里干渠的区间入流外,均有实测流量过程。本文通过不断试算和台头河道流量过程率定最终确定滩里干渠区间入流边界。模型下游边界采用独流减河进洪闸水位-流量关系曲线及西河闸枢纽实测下泄流量。由于特大洪水过程中,独流减河进洪闸涨水、退水两个阶段的实测水位-流量关系曲线(图4)呈现不同特征,本文分别模拟涨水(8月1—10日,10 d)和退水(8月10日

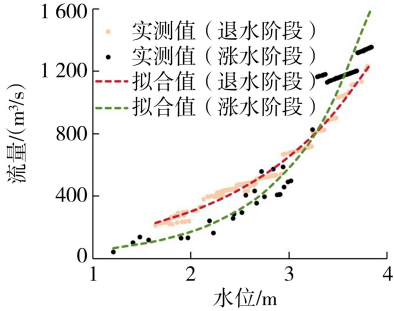


图4 独流减河进洪闸涨水、退水阶段水位-流量关系曲线
Fig.4 Water level-discharge curves during rising and falling stages at Duliujian River flood diversion sluice

至9月26日,47 d)过程,并将涨水模型最后时刻的模拟结果作为退水模型的初始值(热启动)。涨水模型中,一维河网模型初始条件采用模拟开始时刻的初始水位和流量,二维蓄滞洪区初始水深为0。此外,在退水模型中,根据收集到的泵排抽水入大清河及西河的情况,概化考虑退水阶段泵排抽水的影响。

2.1.4 参数设置

一、二维耦合模型的糙率值由海河“23·7”流域性特大洪水实测数据及洪痕调查成果率定获得。此外,特大洪水期间东淀蓄滞洪区启用前,7月28—31日淀区周边5个雨量站累计降水量均达200~300 mm,从淀区典型站(天津市静海区义和村站)地下水位变化情况^[25]也可以看出,7月28—31日地下水位快速上升,回升速率约0.175 m/d;8月1日东淀蓄滞洪区启用之后,地下水位呈现波动下降并逐渐稳定的趋势,可见淀区位于东部滨海平原,地下埋深较浅,前期降雨导致区内土壤基本饱和,蓄滞洪区启用后基本处于稳定下渗阶段。根据朱静思等^[25]研究,东淀蓄滞洪区7月28日至8月31日入渗补给地下水量约为4.02亿 m³,扣除前4 d下渗量,估算8月东淀蓄滞洪区的稳定下渗率约为0.5 mm/h。

3 结果与分析

3.1 模型率定

采用海河“23·7”流域性特大洪水中遥感监测洪水淹没范围、水文和水位站实测数据、洪痕调研成

果对一、二维耦合模型进行率定。其中,河道主槽糙率为0.035~0.04,滩地糙率为0.045~0.055。二维模型中耕地、村庄、温室大棚、道路堤埝、林地、草地、水域糙率取值分别为0.14、0.19~0.22、0.19、0.18、0.1、0.045和0.04,较李大鸣等^[26-29]在东淀蓄滞洪区糙率的取值偏大,但接近王晓玲等^[30]在永定河泛区的糙率取值,主要在于本文模型中将村庄连片房屋、玉米等高秆作物、密布的道路小埝等的阻水作用都概化在糙率中。果鹏^[31]通过物理模型试验和数值模拟得出当模型房屋以5×5交错排列时,形成的综合曼宁糙率系数达到0.16,而在东淀蓄滞洪区内房屋密度高、集中连片现象明显,根据房屋分布糙率取值为0.19~0.22较合理。张晓雷^[32]通过水槽试验发现植被糙率与相对淹没深度呈正相关关系,当植被完全淹没时,植被糙率可增大至0.14,而东淀蓄滞洪区内大部分耕地作物为玉米,8月初玉米正处于成熟期,洪水淹没水深大,导致玉米完全淹没,使糙率显著增加。

图5为特大洪水期间部分时刻遥感监测洪水淹没范围和模拟淹没范围(水深大于0.2 m)结果对比。从图5可以看出,两者吻合较好。各水文、水位测站的模拟结果见图6,水位、流量模拟过程与实测过程也基本一致,4个站点最大水位误差均小于20 cm,2个水文站洪峰流量相对误差均小于5%,且各水文、水位测站的洪峰出现时间误差均在2 h之内。15个洪痕调查点的实测水深与模拟水深比较结果见表1,所有调查点模拟水深的误差小于

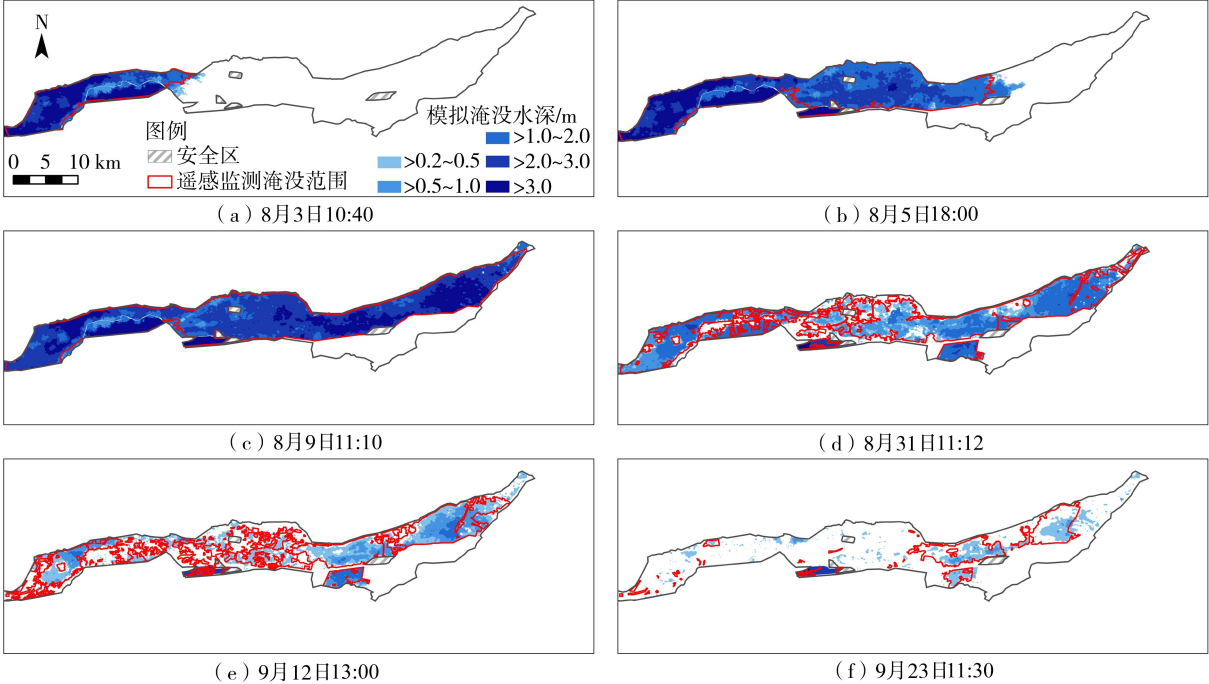


图5 遥感监测与模型模拟洪水淹没范围对比

Fig. 5 Comparison of remote sensing-derived and model simulated flood extents

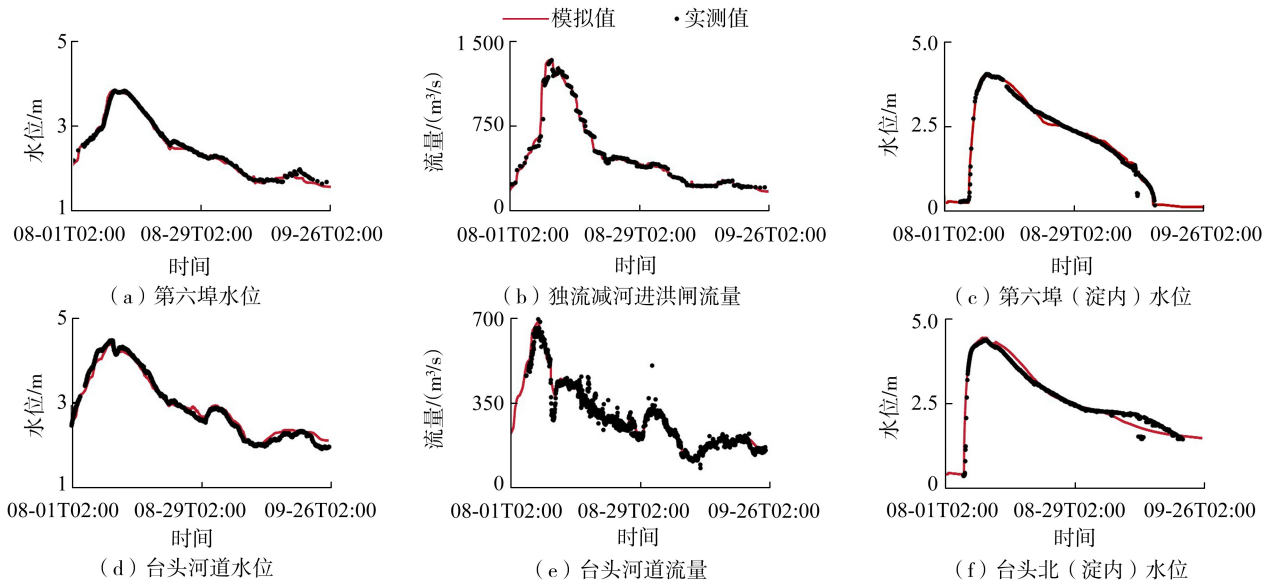


图 6 水位、流量实测值与模拟值对比

Fig. 6 Comparison of measured and simulated water levels and discharges

30 cm,其中 86%的调查点模拟值误差小于 20 cm。总体而言,模型率定效果良好,本文构建的一、二维耦合水动力学模型可用于海河“23·7”流域性特大洪水东淀蓄滞洪区复盘分析。

表 1 洪痕调查点实测水深与模拟水深比较

Table 1 Comparison of measured and simulated water depths at flood mark survey points

序号	调查点位	实测值/m	模拟值/m	误差/m
1	梁庄村	2.15	2.28	0.13
2	口头村	2.70	2.86	0.16
3	王疙瘩村北工厂	1.86	1.95	0.09
4	任庄子村外工厂	2.10	2.27	0.17
5	樊庄子村	0.70	0.96	0.26
6	菡萏地村	1.68	1.90	0.22
7	逾津洼村	1.70	1.65	-0.05
8	郭庄伙村	2.00	1.96	-0.04
9	南楼村	2.54	2.43	-0.11
10	石沟村	2.00	2.18	0.18
11	南张庄村	1.35	1.35	0.00
12	第六埠村	3.01	3.18	0.17
13	武将台村村口	2.30	2.21	-0.09
14	上开卡对岸房屋	1.80	1.77	-0.03
15	静霸线河北天津界处	1.80	1.92	0.12

3.2 洪水演进过程与流速

本文选取 6 个断面重点讨论洪峰在淀区内及大清河河道内的演进特征(图 7)。8 月 2 日 21:15 分洪洪峰($2458\text{ m}^3/\text{s}$)到达东淀蓄滞洪区上游入口处(A—A'断面),在新盖房分洪道洪峰衰减约 12%,自王各庄村开始,淀区与大清河故道因漫溢、溃口和上、下开卡等使水流发生交互。大清河上开卡上游控制断面(B—B'断面)处,8 月 3 日 6:15 大清河故道达到洪峰流量 $174\text{ m}^3/\text{s}$,淀区内 7:30 达到洪峰流量 $1746\text{ m}^3/\text{s}$ 。东杨庄村附近控制断面(C—C'断

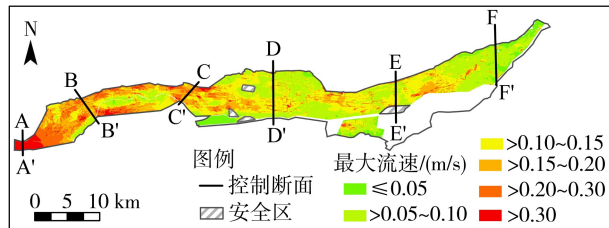


图 7 东淀蓄滞洪区模拟最大流速及典型控制断面分布

Fig. 7 Simulated maximum flow velocity and typical control section distributions in Dongdian flood storage-detention area

面)处,8 月 5 日 13:15 淀区内达到洪峰流量 $1382\text{ m}^3/\text{s}$,大清河河道比淀区内早 10 min 达到洪峰流量 $144\text{ m}^3/\text{s}$ 。中部菡萏地村控制断面(D—D'断面)处,8 月 6 日 6:45 淀区内达到洪峰流量 $1350.9\text{ m}^3/\text{s}$,大清河河道与赵王新河(枣林庄下泄洪水)汇合后,于 8 月 9 日 7:15 达到洪峰流量 $220.8\text{ m}^3/\text{s}$ 。天津市台头镇安全区附近(E—E'断面),8 月 7 日 8:00 淀区内达到洪峰流量 $1042\text{ m}^3/\text{s}$,大清河河道因河北左各庄段溃口及漫溢,台头水文站于 8 月 7 日 12:00 达到洪峰流量 $688.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。第六埠附近(F—F'断面),因老龙湾、第六堡退洪口门扒口和大清河左堤局部漫溢,大部分洪水进入大清河河道,于 8 月 10 日 04:00 达到洪峰流量 $1042.3\text{ m}^3/\text{s}$,淀区内流量减少,最大流量仅 $402.9\text{ m}^3/\text{s}$;大清河与子牙河汇合后,独流减河进洪闸 8 月 10 日 5:30 达到最大出流 $1357\text{ m}^3/\text{s}$ 。此外,模拟过程中发现 4 个退洪口门的扒口时间基本为淀区水位超过河道水位 10~20 cm 的时候,老龙湾、第六堡、水高庄、杨柳青退洪口门最大出流分别为 143.4 、 180.3 、 175.6 、 $40.1\text{ m}^3/\text{s}$ 。总体上,新盖房分

洪洪峰自新盖房枢纽至独流减河进洪闸传播时间约 8 d,其中在分洪道内的传播时间约 11 h,在东淀蓄滞洪区内的传播时间约 7.3 d,大多数区域的淹没水深都在该时段内达到峰值;同时经过分洪道及东淀蓄滞洪区的调蓄作用,新盖房分洪洪峰至独流减河进洪闸衰减约 51%,其中在东淀蓄滞洪区内衰减约 40%。

在特大洪水过程中,河道内流速明显高于淀区,其中大清河故道(任庄子以上)洪水最大流速为 0.60~1.50 m/s,大清河(任庄子以下)洪水最大流速为 0.30~0.60 m/s。从图 7 可以看出,淀区内最大流速总体上呈现自西向东减缓趋势,最大流速 0.62 m/s,平均流速 0.13 m/s,主要在于淀区内地势平坦,地面坡降仅为 0.1‰,且阻水建筑物、堤埝及玉米等高秆作物多,洪水演进缓慢。淀区内仅约 3% 的淹没区域流速大于 0.30 m/s,而流速为 ≤0.10 m/s、>0.10~0.20 m/s、>0.20~0.30 m/s 的面积分别占 40%、45%、10%。此外,不同土地利用类型洪水平均流速由高到低分别为耕地(0.13 m/s)、村庄(0.10 m/s)、温室大棚(0.06 m/s),可见相较于耕地,建设用地(村庄、温室大棚等)阻洪作用更明显,洪水流速明显低于周边地区。因此,为了保障蓄滞洪区基本行蓄洪功能,需严格限制淀区内人口和产业

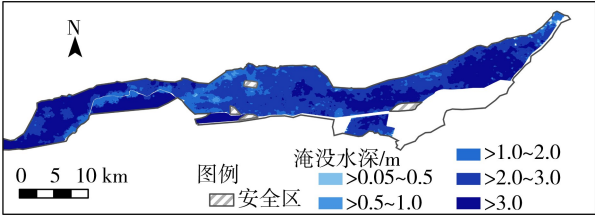


图 8 东淀蓄滞洪区模拟最大淹没水深分布
Fig. 8 Simulated maximum inundation depth distribution in Dongdian flood storage-detention area

的无序增长。

3.3 淹没水深及淹没历时

海河“23·7”流域性特大洪水期间,东淀蓄滞洪区淹没范围广,淹没水深大,淹没历时长。根据模拟结果(图 8),最大淹没面积达 313.1 km²,其中大清河以北区域(除 4 个安全区)以及滩里干渠与苗头排干之间的大清河以南区域基本全部受淹。淀区内淹没水深总体呈现两头深,中间相对浅的特征,平均淹没水深为 2.63 m,最大淹没水深为 4.65 m,主要集中在河北境内小牛角洼的耕地区域。整体上淹没水深为 ≤1.0 m 的面积不足总淹没面积的 2%,淹没水深为 >1.0~2.0 m、>2.0~3.0 m、>3.0 m 的面积分别占 13.22%、48.20%、37.39%(表 2)。淀区内淹没历时空间分布(图 9)与水深类似,平均淹没历时为 38.7 d,其中淹没历时为 ≤10 d 的区域面积不足总淹没面积的 1%,淹没历时为 >10~20 d、>20~30 d、>30~40 d、>40 d 的面积分别占 9.29%、11.33%、28.71%、50.42%(表 3)。

不同土地利用类型淹没水深和历时存在一定差异(表 2 和表 3)。淀区内受淹村庄全部位于河北省境内,包括霸州市 44 个村和文安县 8 个村,共 52 个村的房屋村基被淹没,另外 3 个安全区(未淹没)外

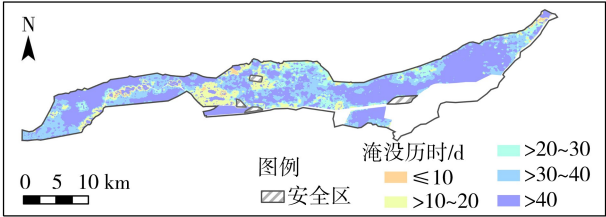


图 9 东淀蓄滞洪区模拟淹没历时分布
Fig. 9 Simulated inundation duration distribution in Dongdian flood storage-detention area

表 2 不同淹没水深对应的淹没面积及占比
Table 2 Inundated area and proportion corresponding to different inundation depths

水深/m	淹没面积/km ²				淹没面积占比/%			
	东淀淀区	耕地	村庄	温室大棚	东淀淀区	耕地	村庄	温室大棚
≤0.5	0.56	0.33	0.06	0.05	0.18	0.14	0.17	0.31
>0.5~1.0	3.17	1.15	1.64	0.06	1.01	0.48	4.55	0.37
>1.0~2.0	41.40	23.37	14.20	0.48	13.22	9.76	39.43	2.99
>2.0~3.0	150.90	119.70	16.51	7.62	48.20	49.98	45.85	47.51
>3.0	117.07	94.95	3.60	7.83	37.39	39.64	10.00	48.82

表 3 不同淹没历时对应的淹没面积及占比
Table 3 Inundated area and proportion corresponding to different inundation durations

淹没历时/d	淹没面积/km ²				淹没面积占比/%			
	东淀淀区	耕地	村庄	温室大棚	东淀淀区	耕地	村庄	温室大棚
≤10	0.79	0.44	0.22	0.04	0.25	0.18	0.61	0.25
>10~20	29.09	13.90	12.94	0.16	9.29	5.80	35.93	1.00
>20~30	35.47	23.20	7.83	0.36	11.33	9.69	21.74	2.24
>30~40	89.87	74.85	9.24	4.15	28.71	31.26	25.66	25.87
>40	157.88	127.11	5.78	11.33	50.42	53.07	16.06	70.64

围房屋也受淹,共涉及建筑面积约 36.01 km²。淀区内村庄平均淹没水深为 2.12 m,最大淹没水深为 4.23 m,约 85%的村庄淹没水深为 1~3 m;村庄平均淹没历时 26.93 d,约 36%的村庄淹没历时小于 20 d,主要位于上中游区域。结合调查^[20]及模拟结果,9 月 12 日淀区内村基基本实现全部退水(图 5),剩余约 16%局部低洼区域排水不畅,退水时间超过 40 d,此外部分房屋因淹没水深大、浸泡时间过长发生倒塌或开裂。耕地淹没总面积 239.5 km²,主要作物为玉米。耕地平均淹没水深为 2.77 m,最大淹没水深为 4.65 m,约 89%的耕地淹没水深超过 2 m,可见大部分玉米完全浸泡在洪水中;平均淹没历时 39.42 d,超过 99%的耕地淹没历时大于 10 d。根据前人调查研究结果^[31,33-34],当淹没水深大于 1 m、淹没历时大于 5 d 时,玉米的损失率基本达到 100%,淀区内约 98%的耕地满足以上条件。灾后现场调查也发现,大部分区域玉米叶和秆基本已泡烂,仅残余根部。温室大棚主要位于下游天津境内,淹没总面积 16.04 km²,主要种植作物为蔬菜。温室大棚区域平均淹没水深为 2.92 m,最大淹没水深为 4.04 m,约 96%的温室大棚淹没水深超过 2 m;平均淹没历时约 42.45 d,超过 96%的区域淹没历时大于 30 d。

整体上,淀区内约 65%的区域流速小于 0.2 m/s、淹没水深大于 2 m,且淹没历时超过 30 d,包括 38%的村庄、67%的耕地和 96%的温室大棚。高淹没、长历时洪水给东淀蓄滞洪区造成了巨大损失,需尽快完善蓄滞洪区防洪工程与安全建设,合理规划安全区以及高淹没区人口外迁方案等,并逐步构建与蓄滞洪区洪水风险相适应的经济发展模式。

4 结 论

a. 海河“23·7”流域性特大洪水过程中,东淀蓄滞洪区模拟洪水淹没范围与遥感监测成果高度吻合;各水文、水位站模拟与实测过程基本一致,模拟结果的最大水位误差均小于 20 cm,洪峰流量误差均小于 5%,峰现时间误差均在 2 h 之内;15 个洪痕调查点淹没水深误差均小于 30 cm,其中 86%的点位模拟误差小于 20 cm。总体上模拟效果良好,模拟结果可反映蓄滞洪区洪水演进实际过程。

b. 东淀蓄滞洪区洪水演进缓慢,淹没水深大,淹没历时长。新盖房分洪洪峰自新盖房枢纽至独流减河进洪闸传播时间约 8 d,其中在分洪道内传播时间约 11 h,洪峰衰减约 12%;在东淀蓄滞洪区传播时间约 7.3 d,洪峰衰减约 40%。淀区内最大流速自西向东减缓,最大流速 0.62 m/s,平均流速 0.13 m/s。

淀区内淹没水深及历时呈现相似的两头大、中间相对小的特征,平均淹没水深及历时分别为 2.63 m 和 38.7 d。淀区内约 65%的区域流速小于 0.2 m/s、淹没水深大于 2 m,且淹没历时超过 30 d,包括 38%的村庄、67%的耕地以及 96%的温室大棚。

参考文献:

[1] 杜晓鹤,何秉顺,徐卫红,等. 海河“23·7”流域性特大洪水蓄滞洪区运用复盘及系统治理绿色发展的思考[J]. 中国防汛抗旱,2023,33(9):31-38. (DU Xiaohu, HE Bingshun, XU Weihong, et al. Retrospective operation in the “23·7” extreme flood storage and detention area of the Haihe River Basin and reflection on systematic governance and green development[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(9):31-38. (in Chinese))

[2] 吴滨滨,于汪洋,马奉泉,等. 海河“23·7”流域性特大洪水东淀蓄滞洪区洪水演进模拟与预报[J]. 中国防汛抗旱,2023,33(10):37-42. (WU Binbin, YU Wangyang, MA Fengquan, et al. Simulation and forecasting of flood evolution in Dongdian storage-detention area during Haihe “23·7” basin-wide extreme flood[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(10):37-42. (in Chinese))

[3] 吴滨滨,喻海军,穆杰,等. 考虑下渗的河道与蓄滞洪区洪水演进过程模拟[J]. 水资源保护,2019,35(6):68-75. (WU Binbin, YU Haijun, MU Jie, et al. Flood simulation in river and flood storage-detention area considering infiltration[J]. Water Resources Protection, 2019, 35(6):68-75. (in Chinese))

[4] 刘家宏,宋天旭,梅超,等. 利比亚德尔纳 2023 年极端洪水模拟复盘分析[J]. 水利学报,2024,55(6):723-734. (LIU Jiahong, SONG Tianxu, MEI Chao, et al. Retrospective simulation and analysis of 2023 extreme flood in Derna, Libya[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2024, 55(6):723-734. (in Chinese))

[5] 郝思佳,王文川,马强,等. 基于水文水动力模型的山洪灾害复盘策略:以河南王宗店村“7·20”山洪为例[J]. 水利水电技术(中英文),2023,54(6):1-11. (HAO Sijia, WANG Wenchuan, MA Qiang, et al. A numerical rehearsal strategy of flash flood disaster with hydrological and hydrodynamic modelling: case study of “7·20” flash flood disaster in Wangzongdian Village, Henan Province[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2023, 54(6):1-11. (in Chinese))

[6] 喻海军,陈小兰,刘昌军,等. 郑州中心城区 2021 年“7·20”特大暴雨洪涝复盘模拟分析[J]. 中国防汛抗旱,2022,32(5):11-15. (YU Haijun, CHEN Xiaolan, LIU Changjun, et al. Retrospective simulation and analysis on “7·20” extreme rainstorm and flood in central urban

- area of Zhengzhou City [J]. China Flood & Drought Management, 2022, 32(5): 11-15. (in Chinese))
- [7] 李致家,张心愿,白云鹏,等.海河“23·7”流域性特大洪水复盘模拟[J].河海大学学报(自然科学版), 2024, 52(5): 13-19. (LI Zhijia, ZHANG Xinyuan, BAI Yunpeng, et al. Retrospective simulation on the Haihe “23·7” basin-wide extreme flood [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2024, 52(5): 13-19. (in Chinese))
- [8] 王雨洁,李致家,姚成,等.基于分布式水文水动力耦合模型的秦淮河流域洪水模拟[J].河海大学学报(自然科学版), 2025, 53(2): 11-18. (WANG Yujie, LI Zhijia, YAO Cheng, et al. Flood simulation in the Qinhuai River Basin based on a coupled distributed hydrological and hydrodynamic model [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2025, 53(2): 11-18. (in Chinese))
- [9] 张文婷,刘永志,张行南,等.联安围防洪保护区洪水演进模拟分析[J].水资源保护, 2022, 38(2): 1-6. (ZHANG Wenting, LIU Yongzhi, ZHANG Xingnan, et al. Flood routing simulation and analysis of Lian'anwei flood protection zone [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(2): 1-6. (in Chinese))
- [10] 李春辉,徐国宾,苑希民,等.河道与蓄滞洪区联合防洪数值模拟研究进展[J].水资源与水工程学报, 2017, 28(6): 139-144. (LI Chunhui, XU Guobin, YUAN Ximin, et al. Research progress on numerical simulation of joint flood control in river and flood detention area [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2017, 28(6): 139-144. (in Chinese))
- [11] 喻海军,吴俊峰,吴滨滨,等.基于二维网格边元设置河道方法的蓄滞洪区洪水演进分析[J].中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(3): 179-184. (YU Haijun, WU Junfeng, WU Binbin, et al. Application of a new 1D-2D numerical model coupling strategy to flood simulation in flood storage-detention areas [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2018, 16(3): 179-184. (in Chinese))
- [12] 胡德超,王敏,毛冰,等.洞庭湖团洲垸 2024 溃堤洪水过程复演[J].长江科学院院报, 2024, 41(12): 180-188. (HU Dechao, WANG Min, MAO Bing, et al. Numerical restoration of the 2024 dike-break flood process at Tuanzhou Township alongside the Dongting Lake [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2024, 41(12): 180-188. (in Chinese))
- [13] 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. (LIU Xin, GUAN Xuewen, ZHANG Jun, et al. Analysis on embankment failure process and flood routing simulation of Tuanzhou embankment in Dongting Lake in 2024 [J]. Yangtze River, 2024, 55(10): 7-14. (in Chinese))
- [14] 彭文启,穆杰,喻海军,等.湖南团洲垸堤防溃口险情应对关键技术[J].中国水利, 2024(18): 25-31. (PENG Wenqi, MU Jie, YU Haijun, et al. Key technical support for responding to the embankment-break of Tuanzhou Township in Hunan Province [J]. China Water Resources, 2024(18): 25-31. (in Chinese))
- [15] 杨涛,沈玉芳,师鹏飞,等.湖南洞庭湖团洲垸堤防决口复盘推演与分析[J].中国应急管理, 2024(9): 43-47. (YANG Tao, SHEN Yufang, SHI Pengfei, et al. Review and analysis of Tuanzhouwan embankment breach in Dongting Lake, Hunan, China [J]. China Emergency Management, 2024(9): 43-47. (in Chinese))
- [16] 马强,李郑森,董芳睿,等.流域数字孪生防洪模型的构建:以子牙河“23·7”大洪水复盘为例[J].水利学报, 2025, 56(1): 73-84. (MA Qiang, LI Zhengmiao, DONG Fangrui, et al. Flood modeling developed for digital twin watershed: a case study of “23·7” great flood assessment in Ziya River Basin [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2025, 56(1): 73-84. (in Chinese))
- [17] 马强,王浩雯,张珂健,等.基于“23·7”特大洪水的永定河系数字孪生流域防洪模型构建[J].水资源保护, 2025, 41(3): 75-82. (MA Qiang, WANG Haowen, ZHANG Kejian, et al. Construction of flood control model for digital twin basin of the Yongding River System based on “23·7” catastrophic flood [J]. Water Resources Protection, 2025, 41(3): 75-82. (in Chinese))
- [18] 张念强,王静,李娜.洪水动态风险分析技术对防汛应急工作的支撑:以海河“23·7”流域性特大洪水期间兰沟洼蓄滞洪区运用为例[J].中国防汛抗旱, 2023, 33(9): 39-44. (ZHANG Nianqiang, WANG Jing, LI Na. The support of dynamic flood risk analysis technology for flood emergency work: taking the application of Langouwa Storage and Detention Area during the “23·7” extreme flood in the Haihe River Basin as an example [J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(9): 39-44. (in Chinese))
- [19] 王玮琦,林文青,王帆,等.共渠西蓄滞洪区洪水演进数值模拟研究:以海河“23·7”流域性特大洪水为例[J].中国防汛抗旱, 2023, 33(9): 45-49, 66 (WANG Weiqi, LIN Wenqing, WANG Fan, et al. Numerical simulation study on the evolution of floods in the Gongquxi Storage and Retention Area: a case study in the Haihe “23·7” basin-wide extreme flood [J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(9): 45-49, 66 (in Chinese))
- [20] 河北省水利规划设计研究院有限公司.东淀蓄滞洪区(河北省部分)防洪工程与安全建设可行性研究报告[R].石家庄:河北省水利规划设计研究院有限公司, 2023.
- [21] 天津市水务规划勘测设计有限公司.天津市东淀和文

- 安洼蓄滞洪区工程与安全建设可行性研究报告[R]. 天津:天津市水务规划勘测设计有限公司,2023.
- [22] 宋文龙,马建威,孙亚勇,等. 海河“23·7”流域性特大洪水启用蓄滞洪区洪水淹没全过程卫星遥感监测分析[J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(10): 31-36. (SONG Wenlong, MA Jianwei, SUN Yayong, et al. Satellite remote sensing monitoring and analysis of the entire process of flood inundation in the activated flood storage areas of Haihe “23·7” basin-wide extreme flood[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(10): 31-36. (in Chinese))
- [23] 马建明,喻海军,张大伟,等. 洪水分析软件在洪水风险图编制中的应用[J]. 中国水利, 2017(5): 17-20. (MA Jianming, YU Haijun, ZHANG Dawei, et al. Adoption of evaluation software in flood risk map drawing[J]. China Water Resources, 2017(5): 17-20. (in Chinese))
- [24] 中水北方勘测设计研究有限责任公司. 大清河系中下游地区防洪标准及东淀、文安洼、贾口洼特征水位研究专题报告[R]. 天津:中水北方勘测设计研究有限责任公司,2023.
- [25] 朱静思,王哲,李宇. 海河“23·7”流域性特大洪水地下水影响特征分析[J]. 水电能源科学, 2025, 43(2): 23-26. (ZHU Jingsi, WANG Zhe, LI Yu. Analysis of groundwater impact characteristics of “23·7” basin-wide extraordinary flood in Haihe River Basin [J]. Water Resources and Power, 2025, 43(2): 23-26. (in Chinese))
- [26] 李大鸣,林毅,徐亚男,等. 河道、滞洪区洪水演进数学模型[J]. 天津大学学报, 2009, 42(1): 47-55. (LI Daming, LIN Yi, XU Yanan, et al. Numerical model of flood propagation of rivers and flood detention basin[J]. Journal of Tianjin University, 2009, 42(1): 47-55. (in Chinese))
- [27] 李大鸣,田顺发,张弘强,等. 塔基建设对蓄滞洪区洪水演进影响评价:以蒙西—天津南输变电工程为例[J]. 水利水电技术, 2018, 49(10): 28-36. (LI Daming, TIAN Shunfa, ZHANG Hongqiang, et al. Evaluation of impact from tower foundation construction on flood routing of flood detention basin: a case study on West Inner Mongolia to South Tianjin Power Transmission and Transformation Project [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(10): 28-36. (in Chinese))
- [28] 魏玉琴,贾福慧,张胜利,等. 大清河洪水灾害数值模拟研究[J]. 水文, 1993(5): 1-7. (WEI Yuqin, JIA Fuhui, ZHANG Shengli, et al. Numerical simulation study of flood disaster in Daqing River[J]. Journal of China Hydrology, 1993(5): 1-7. (in Chinese))
- [29] 李大鸣,罗珊,范丽虹,等. 西三洼洪水演进数值模拟及洪水风险分析[J]. 水利水电技术, 2018, 49(8): 78-86. (LI Daming, LUO Shan, FAN Lihong, et al. Flood routing numerical simulation and flood risk analysis of Xisanwa Flood Storage and Detention Area [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2018, 49(8): 78-86. (in Chinese))
- [30] 王晓玲,李明超,周潮洪,等. 复杂河网中洪水演进二维数值仿真及其应用[J]. 天津大学学报, 2005, 38(5): 416-421. (WANG Xiaoling, LI Mingchao, ZHOU Chaohong, et al. 2D numerical simulation of flood routing in complex river network and its application[J]. Journal of Tianjin University, 2005, 38(5): 416-421. (in Chinese))
- [31] 果鹏. 基于力学过程的滩区洪水风险评估模型及其应用[D]. 武汉:武汉大学,2020.
- [32] 张晓雷. 黄河下游滩槽阻力计算及洪水演进过程模拟[D]. 武汉:武汉大学,2019.
- [33] 余萍,冯平,周潮洪. 蓄滞洪区洪灾损失的评估方法及其应用[J]. 中国农村水利水电, 2009(4): 15-17. (YU Ping, FENG Ping, ZHOU Chaohong. Methods for assessing flood losses in flood storage areas and their application [J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(4): 15-17. (in Chinese))
- [34] 金卫斌,李猷,付刚,等. 基于GIS的洪湖分蓄洪区东分块洪水淹没损失的估算及分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2006, 3(4): 237-240. (JIN Weibin, LI You, FU Gang, et al. GIS-based estimation and analysis of the inundation economic losses of Honghu flood diversion and detention areas [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2006, 3(4): 237-240. (in Chinese))

(收稿日期:2025-03-18 编辑:施业)

