



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.05.009

周洁, 董增川, 朱振业, 等. 基于 MIKE FLOOD 的洪泽湖周边滞洪区洪水演进模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 56-62. ZHOU Jie, DONG Zengchuan, ZHU Zhenye, et al. Flood routing simulation of Hongze Lake detention basin based on MIKE FLOOD[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 56-62. (in Chinese)

基于 MIKE FLOOD 的洪泽湖周边滞洪区洪水演进模拟

周洁^{1,2}, 董增川¹, 朱振业¹, 陈序¹

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 浙江华东工程数字技术有限公司, 杭州 311100)

摘要: 基于实测断面资料建立了研究区的一维水动力模型, 基于高精度 DEM 以及 1: 10000 地形图建立了研究区的二维水动力模型, 并用 MIKE FLOOD 将一维模型和二维模型进行耦合, 构建了洪泽湖周边滞洪区一、二维耦合的洪水演进数学模型。利用 2003 年历史洪水资料对模型参数进行了率定, 并以 2007 年历史洪水资料进行了验证。以洪泽湖百年一遇设计洪水为模型上边界, 二河闸、三河闸以及高良涧闸的现行调度方案的水位-流量关系为模型下边界, 对洪泽湖百年一遇设计洪水方案进行模拟计算, 当蒋坝水位达到 14.33 m 时, 洪泽湖周边滞洪区开始滞洪, 得到开始滞洪后不同时段研究区内各类洪水风险要素的动态分布情况以及最大淹没水深、淹没历时, 验证了模型的合理性, 可用于蓄滞洪区洪水演算分析。

关键词: 蓄滞洪区; 洪水演算; 洪泽湖; 风险要素; MIKE FLOOD

中图分类号: TV 122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0056-07

Flood routing simulation of Hongze Lake detention basin based on MIKE FLOOD

ZHOU Jie^{1,2}, DONG Zengchuan¹, ZHU Zhenye¹, CHEN Xu¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. ZheJiang Huadong Engineering Digital Technology CO., LTD, Hangzhou 311100, China)

Abstract: We established a 1-D hydrodynamic model of the study area with gauged cross section data, and established a 2-D hydrodynamic model using both high resolution DEM and a 1: 10000 topographic map. Then we coupled the 1D and 2D models based on MIKE FLOOD and established a 1D-2D coupled flood routing mathematical model of Hongze Lake detention basin. The historical flood data in 2003 and 2007 were used to calibrate and verify the parameters in this model. We simulated the hundred-year design flood scheme of Hongze Lake with the hundred-year design flood as the upper boundary of the model and the water level-flow discharge curves of Sanhe Gate, Erhe Gate, and Gaoliangjian Gate as the lower boundary of the model. The Hongze Lake detention basin began to detain flood when the water level of Jiangba station exceeded 14.33 m. The generated dynamic distribution of risk elements in the study area when flood detention began verified the rationality of the model. It can be used for flood routing analysis in detention basin.

Key words: detention basin; flood routing; Hongze Lake risk elements; MIKE FLOOD

蓄滞洪区是我国防洪减灾的重点对象, 适时启用蓄滞洪区削减洪峰、分蓄洪水是保障下游和防洪

重点保护区域安全的有效措施^[1,2]。为做好防洪减灾工作, 我国高度重视防洪规划、防洪减灾工程建设

收稿日期: 2016-06-08 修回日期: 2016-12-19 网络出版时间: 2017-08-29
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1923.011.html>
基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划(KYZZ_0145; 2015B31914)

Funds: Jiangsu Province Ordinary University Graduate Student Research and Innovation Program(KYZZ_0145; 2015B31914)

作者简介: 周洁(1991-), 女, 江苏苏州人, 主要从事防洪减灾方面研究。E-mail: zhoujie_hhu@163.com

通讯作者: 董增川(1963-), 男, 山西运城人, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail: dongzengchuan@163.com

与非工程措施部署^[2]。其中,洪水演进模拟是非工程措施的重要组成部分^[3-5],是洪水风险分析、洪水风险图绘制的重要依据。洪水演进模拟的研究方法主要有差分法、有限元法、有限体积法等^[6-9]。对于洪水数值模拟,国内外已有不少专家利用有限差分法和矩形网格建立了二维洪水演进模型^[10-14],但是独立的二维模型无法计算获得河道中某个断面、某个时刻的水位和流量等水文要素,尤其在研究区内水工建筑物众多、控制调度复杂的情况下,更是难以高精度地模拟水库调度、溃口等对河道洪水演进的影响。

为了更好更精确的反映决堤后洪水演进的情况,本文拟采用以一、二维耦合的水力学方法,依据水量守恒及水动量守恒原理,建立洪水数值模型,模拟洪水的恒定及非恒定演进过程,分为一维水力学法和二维水力学法。其中一维水力学法是指采用一维非恒定流微分方程,即圣维南方程组对河道非恒定流的水动力学进行模拟,该方法能够获得每个模拟时刻河道内的水面线、流量等情况,便于检查和验证,也便于过程控制。二维水力学方法采用浅水方程来模拟洪水在淹没区域内耕地、林地、山丘区、道路等演进的情况,与一维数学模型相比,二维数学模型能够提供更加详细的水情信息,如:淹没范围、淹没水深、淹没历时等情况。目前世界上最为广泛应用的丹麦水利研究所(Danish Hydraulic Institute)研发的 MIKE 软件,包含 MIKE11、MIKE21、MIKE FLOOD 等多个功能强大的模块,其中 MIKE FLOOD 模块可以模拟一维河网水动力学系统以及二维的洪泛区,实现一维和二维区域之间自由的水体交换,适用于宏观上的流域控制性工程规模论证分析和流域洪水调度研究等。本文以洪泽湖地区为例,利用 MIKE FLOOD 建立一、二维耦合的洪水演进数学模型进行模拟研究。

1 研究区概况

洪泽湖是淮河流域最大的湖泊型水库,地处苏北平原中部偏西,位于淮河中下游结合部^[15],承泄淮河上、中游 15.8 万 km³ 的来水,总库容 135 亿 m³。地貌上,湖西、湖南为低山岗阜,湖西岗隍和洼地宽窄不等、“三洼四岗”高低相间;湖南区蒋坝至盱眙县城是连绵的低山,湖东、湖北由河湖冲刷堆积而成的平原,地势低下。洪泽湖整体呈西北高东南低的形态。洪泽湖周边滞洪区位于洪泽湖大堤以西,废黄河以南,泗洪县西南高地以东,包含盱眙县的沿湖、沿淮地区,地面高程在 16.83 m(1985 国家高程,下同)以下,涉及淮安、宿迁两市的淮阴区、洪泽县、盱眙

县和宿城区、泗洪县、泗阳县六县区部分地区,还有省属洪泽湖、三河农场,滞洪区面积 2 132 km³[15]。

洪泽湖入湖河流主要在湖西部,有淮河、怀洪新河、新老濉河、新老汴河和徐洪河、安东河等,在湖北侧入成子湖的河流有古山河、五河、肖河等,南侧主要入湖河道为维桥河、高桥河,淮河入量占流入总量的 70% 以上。区域内地势外高内低,唯一排水出路即洪泽湖湖区,洪泽湖洪水由三河闸、二河闸、高良涧闸分别经入江水道、入海水道、分淮入沂、灌溉总渠入江入海。区域防洪工程包括外围防洪、内部防洪工程,主要为迎湖挡洪堤和河道堤防。入湖控制建筑物主要有团结闸、高松河闸、古山河闸、西民便河闸、安东河闸、濉河闸、老汴河闸等。出湖控制建筑物主要是三河闸、二河闸、高良涧闸;区域内防洪工程主要有滞洪区间内部河道堤防和排涝涵闸、泵站。详见图 1。



图 1 研究区主要通湖河道及相关站点

Fig.1 Main inflows of Hongze Lake and related stations

2 模型构建

2.1 模型控制方程

描述一维水流运动的 Saint-Venant 方程组是建立在质量和能量守恒的基础上的,以水位和流量为研究对象,其表达式为:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q_L \quad (1)$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial Q}{\partial t} + 2\mu \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - B\mu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2}{R^{4/3}} Q = q_L V_x \quad (2)$$

式中: t 为时间坐标; x 为空间坐标; Q 为流量; Z 为水

位; μ 为断面平均流速; n 为糙率; A 为过水断面面积; B 为主流断面宽度; B_w 为水面宽度(包括主流宽度仅仅起调蓄作用的附加宽度); R 为水力半径; q_L 为单位河长的旁侧入流流量; V_x 为入流沿水流方向的速度, 假定旁侧入流垂直于主流, 则 V_x 为零^[16-17]。

与一维非恒定流类似, 二维非恒定流基本方程也是由连续方程和动量方程组成。

$$\text{连续方程: } \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (3)$$

$$\text{动量方程: } \frac{\partial M}{\partial t} + \mu \frac{\partial M}{\partial x} + \nu \frac{\partial N}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial x} +$$

$$g \frac{n^2 \mu \sqrt{\mu^2 + \nu^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \mu \frac{\partial N}{\partial x} + \nu \frac{\partial N}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial y} +$$

$$g \frac{n^2 \nu \sqrt{\mu^2 + \nu^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (5)$$

式中: H 为水深; Z 为水位; $Z = Z_0 + H$; Z_0 为底高程; q 为源汇项; M 、 N 分别为 x 、 y 方向上的单宽流量, 且 $M = H\mu$, $N = H\nu$; μ 、 ν 分别为 x 、 y 方向的平均流速; n 为糙率; g 为重力加速度^[18-19]。

2.2 河道一维模型

一维河网的洪水运动用 Saint-Venant 方程组描述, 其上、下游边界的控制条件一般采用水位过程控制、流量过程控制、流量~水位关系控制等形式。由基本方程 Saint-Venant 方程、边界条件和初始条件共同组成一维洪水运动的定解问题。另外, 在天然河道中普遍存在着诸如支流交汇、集中分(入)流、洼地蓄水、断面突扩(缩)、堰、闸等, 在这些局部地区, 由于水流受固体边壁的影响, 水流流态急变, Saint-Venant 方程组不再适用, 必须重新根据守恒定律, 补充必要的计算条件, 这类计算条件是位于域内的物理条件, 称之为内边界条件。

洪泽湖周边滞洪区内河网纵横交错、水系复杂, 着重提取对洪水分析比较重要的河流沟渠来构造河网模型, 包括主要通湖河道、出湖通道以及圩内河道等。收集了 128 条主要河道的实测断面资料, 对圩内河道进行一定的概化, 概化后的一维河网共有 500 多个河段, 见图 2。模型以淮河、怀洪新河、徐洪河、新汴河、新濉河、老濉河等主要通湖河道的入湖流量作为河道的上边界, 以三河闸、二河闸和高良涧闸的水位或者水位-流量关系作为下边界条件。

2.3 洪泛区二维模型

2.3.1 线状地物处理

区内线状地物处理主要为圩区堤防与重要道路

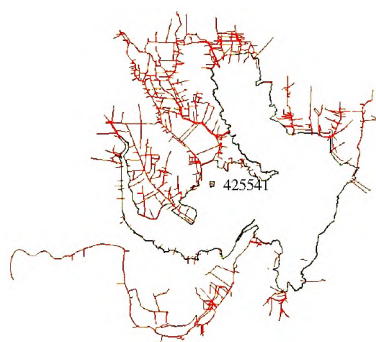


图 2 洪泽湖地区一维河网分布

Fig. 2 One dimensional distribution of rivers in Hongze Lake area

的处理。由于原始道路节点间距不规则, 划分网格时容易产生小网格, 对模型计算不利, 为此, 对道路节点进行抽稀处理。道路抽稀长度控制为 200 m 一个节点, 然后根据道路测量高程点对道路进行打断, 并将高程点作为分段道路的高程, 之后对交汇点进行修正, 使所有交汇点都完全拟合, 作区内挡水建筑物处理。本次研究将县道及县道以上道路均纳入模型中, 合计 49 条, 对县道以下有实测资料的道路经过修正后纳入模型, 区域共概化道路 1 634 段。洪泽农场是研究区内面积最大的圩区, 其内部道路概化情况见图 3。

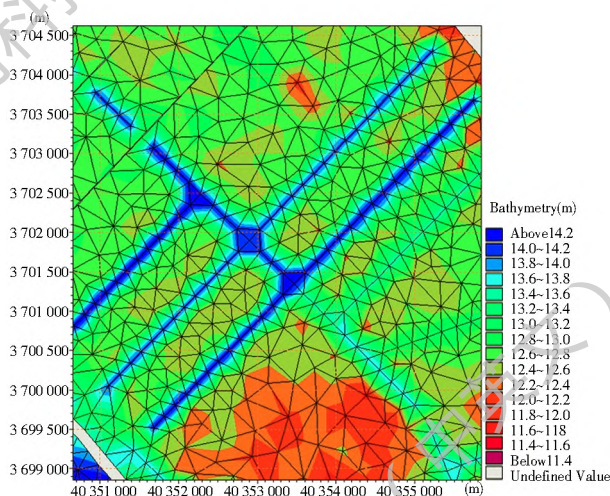


图 3 洪泽农场内部道路概化示意图

Fig. 3 Generalized diagram of roads within Hongze farm

2.3.2 网格剖分

研究区二维地形采用 1: 10000 地形图以及 5 m × 5 m 的高精度 DEM 资料, 采用非结构化三角形网格, 网格的大小随地形地势和阻水建筑物的分布灵活确定, 充分反映计算区域的地形特征。对区域内的典型的线性阻水建筑物, 如堤防、公路等, 经合理概化, 并对网格适当加密, 在二维地形中充分反映其特征。最大网格面积不超过 0.1 km², 其中湖面网格适当放大, 最大网格面积不超过 1 km²。共

剖分网格 85 894 个, 见图 4。

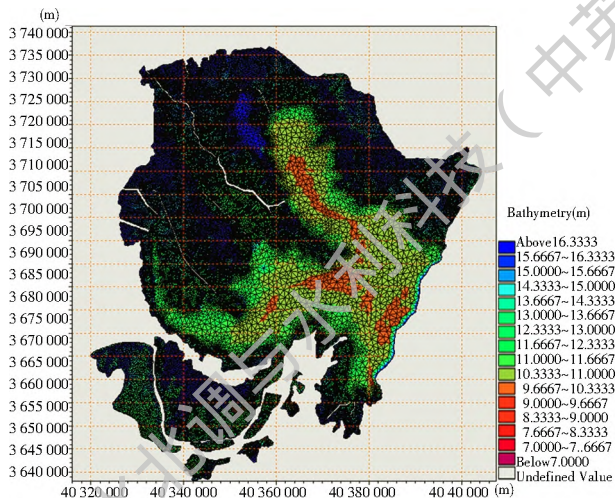


图 4 洪泽湖周边滞洪区计算网格

Fig. 4 Computing grid of Hongze Lake detention basin

2.4 一二维耦合模型

MIKE FLOOD 是把一维模型和二维模型连接在一起, 进行动态耦合的模型系统, 耦合模型既利用了一维模型和二维模型的优点, 又避免采用单一模型时遇到的网格精度和准确性方面的问题^[20]。将一、二维模型通过 MIKE FLOOD 进行耦合计算, 耦合点使用标准连接或侧向连接进行计算。其中, 标准连接是将连接线映射到一个或多个二维网格的耦合线上, 一维模型为二维模型提供流量值 Q 作为二维模型的边界条件, 将 Q 值分布到二维计算单元的各节点上; 在连接处二维计算网格的水位值并不相等, 因此取各个计算网格的平均水位值 Z 返回给一维模型, 以进行下一时段的计算。侧向连接允许二维模型的网格单元从侧面连接到一维模型的部分河段甚至是整个河段, 利用建筑物的流量公式来计算通过侧向连接的水流。

本次模型的耦合方式主要采用 MIKE FLOOD 提供的标准连接和侧向连接, 其中, 通湖河道与洪泽湖湖区、进洪口门与洪泛区主要采用了标准连接; 实测河道与洪泛区主要采用了侧向连接。

3 模型参数率定验证

3.1 参数选取

糙率是表征河道底部、岸坡和洪泛区地表影响水流阻力的综合系数, 是水力计算的重要灵敏参数, 也是水动力数学模型中最重要的参数, 包括一维河道糙率和二维洪泛区糙率。根据水普下垫面信息, 确定不同区域的糙率值, 将下垫面数据导入模型, 创建糙率分区。根据项目区地形、地貌和河道实际情

况确定初始糙率值。

3.2 模型率定

2003 年淮河流域发生了 1954 年以来最大洪水, 洪泽湖蒋坝水位最高达 14.20 m, 采用 2003 年 6 月 26 日-7 月 31 日的实测降雨和洪泽湖的出湖水位及蒋坝等四个水位站的水位资料对模型进行率定, 模型计算范围内水位站分布见图 5。将实测入流过程和洪泽湖出湖水位过程输入模型进行模拟计算, 将计算的洪泽湖水位过程与实测水位进行对比分析, 来率定参数。



图 5 率定验证所用水文站地理位置分布

Fig. 5 Hydrological stations used for calibration and verification

糙率率定结果见表 1。

表 1 糙率率定结果

Tab. 1 Roughness calibration results

序号	地貌和植被情况	采用糙率
1	河道	0.018~0.025
2	洪泽湖面	0.025~0.033
3	稻田	0.075
4	狭长林带	0.13
5	荒草地	0.03
6	林地	0.13
7	绿地	0.04
8	高原地	0.05
9	旱地	0.03
10	城市绿地	0.04
11	园地	0.04
12	城区	0.03

根据实测资料和模型计算值对比可知, 计算的蒋坝、临淮头、香成庄、尚嘴水位及变化过程与 2003 年实测水位基本一致, 见图 6。

3.3 模型验证

根据之前率定确定的模型参数, 采用 2007 年的实测入流和洪泽湖的出湖水位及蒋坝、临淮头、香成庄、尚嘴四个水位站的水位资料对模型进行验证。

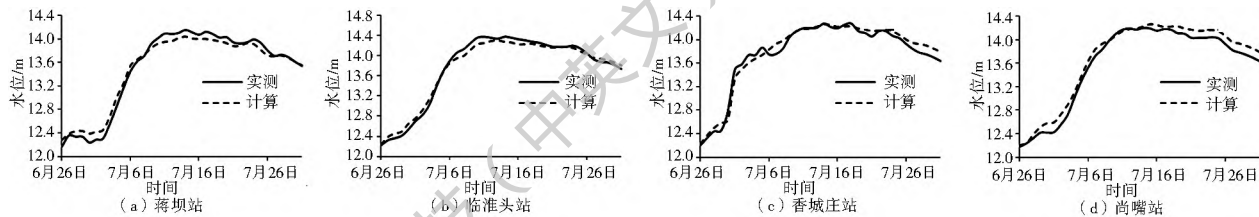


图 6 2003 年水位实测值与计算值对比

Fig. 6 Comparison charts between measured and calculated water levels in 2003

选取 2007 年 7 月 1 日- 8 月 3 日作为计算时段, 将计算的洪泽湖水位过程与实测水位进行对比分析, 来检验模型的准确性与合理性。

根据实测资料和模型计算值对比可知, 计算的蒋坝、临淮头站、香城庄站、尚嘴站水位及变化过程与 2007 年实测水位基本一致, 见表 2。综合以上率定验证成果可知, 所建模型较好地重现了 2003 年及 2007 年研究区内洪水演进过程。

表 2 2007 年水位实测值与计算值对比

Tab. 2 Comparison table between measured and calculated water levels in 2007

站点	最高水位			最大水位差/m	确定性系数
	实测值 /m	计算值 /m	误差 /m		
蒋坝	13.68	13.59	0.09	0.11	0.93
临淮头	13.88	13.82	0.06	0.12	0.99
香城庄	13.76	13.84	- 0.08	0.15	1.00
尚嘴	13.80	13.80	0	0.13	0.95

4 滞洪模拟计算

以现状工况遇洪泽湖百年一遇入流情况进行洪水模拟计算, 模型的上边界为 1996 年淮委规划设计研究院的入湖设计洪水流量过程^[21], 下边界为洪泽湖出口的水位- 流量关系曲线, 见表 3。根据相关调度规则, 当洪泽湖蒋坝水位达到 14.33 m 且有上涨趋势时, 洪泽湖周边滞洪区一次性破圩滞洪。利用之前构建的一、二维耦合模型对洪泽湖周边滞洪区进行滞洪模拟, 不仅可以得到最终时刻的淹没要素, 还能得到洪水演进过程中, 任意网格任意时刻的洪水淹没要素, 如淹没水深、流速、流向等。

洪泽湖百年一遇入流情况及模型模拟计算得到的总入流、总出流及蒋坝水位过程见图 7, 模型模拟时长为 42 d, 最大入湖流量 21 703 m³/s, 最大出湖流量为 18 160 m³/s, 总计入湖水量为 546.3 亿 m³, 总计出湖为 500.9 亿 m³/s, 蒋坝初始水位为 13.33 m, 最高水位达 15.16 m; 当模型运行至第 7 d 时, 蒋坝水位超过 14.33 m 时, 滞洪区开始滞洪; 当模型运行至第 21 d 时, 滞洪区达到最大滞洪量, 最大滞

洪量为 17.63 亿 m³。

表 3 洪泽湖出湖口水位- 流量关系

Tab. 3 The relationship between water level and flow discharge at the outlet of Hongze Lake

蒋坝水位 /m	三河闸	二河闸		高良涧闸	总计
	入江水道 / (m ³ ·s ⁻¹)	分淮入沂 / (m ³ ·s ⁻¹)	入海水道 / (m ³ ·s ⁻¹)	苏北灌溉总渠 / (m ³ ·s ⁻¹)	洪泽湖出湖 / (m ³ ·s ⁻¹)
12.33	4 800	0	0	800	5 600
12.83	5 900	0	0	800	6 700
13.33	7 150	0	0	800	7 950
13.33	7 150	0	0	1 000	8 150
13.83	8 600	0	2 000	1 000	11 600
14.33	10 050	0	2 270	1 000	13 320
14.33	10 050	2 000	2 060	1 000	15 110
14.83	11 600	2 510	2 270	1 000	17 380
15.13	12 000	2 870	2 270	1 000	18 140
15.33	12 000	3 000	2 270	1 000	18 270
15.83	12 000	3 000	2 270	1 000	18 270
16.33	12 000	4 000	2 270	1 000	19 270
16.83	12 000	4 000	2 270	1 000	19 270

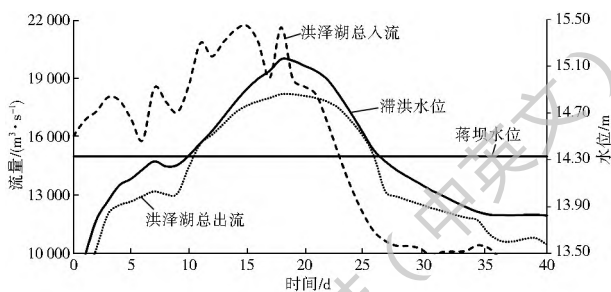


图 7 洪泽湖百年一遇入流及蒋坝水位过程

Fig. 7 Processes of the hundred year inflow of Hongze Lake and water level at Jiangba station

不同时刻研究区内淹没水深图见图 8。由于研究区内圩区众多, 每个圩区都有独立的进洪口门, 概化的 314 个圩区在达到滞洪条件, 即洪泽湖蒋坝水位达到 14.33 m 时, 同时开始滞洪, 在整个研究区最初会出现多个淹没区域, 随着时间的推移, 区内被洪水淹没的面积逐步变大, 淹没水深也逐步上升。当 $t=170$ h 时, 蒋坝水位 14.33 m, 达到滞洪条件, 开始滞洪。图 8(b) 是开始滞洪 12 h 后的淹没情

况,由于 314 个圩区同时破圩滞洪,滞洪量迅速增加,蒋坝水位不仅减缓了上升趋势,还有些许下降,此时蒋坝水位 14.27 m,滞洪量 3.27 亿 m^3 ,淹没面积 3.11 km^2 ;图 8(c) 是开始滞洪后 24 h 的淹没情况,此时蒋坝水位 14.25 m,滞洪量达到 4.80 亿 m^3 ,淹没面积 400.50 km^2 ;随着入湖流量的持续增加,滞洪区水位不断上升,滞洪量渐渐达到饱和,削峰效果已不如刚破圩滞洪时显著,洪泽湖水持续升高。当 $t=504$ h 时,蒋坝水位 15.08 m,滞洪区达到最大滞洪量 17.63 亿 m^3 ,淹没面积 940.02 km^2 。

通过模拟计算,该区域最大淹没面积 940.02 km^2 ,最大淹没历时 35 d。不同淹没水深对应的淹没

面积、不同淹没历时对应的淹没面积见表 4、表 5。由表可知,随着淹没水深、淹没历时的增大,淹没面积均相应增大,淹没水深、淹没历时在研究区内分布合理。

表 4 不同淹没水深对应的淹没面积

淹没水深/m	< 0.3	0.3~ 0.5	0.5~ 1.0	1.0~ 2.0	≥2.0
淹没面积/ km^2	21.42	36.85	176.56	319.67	376.7

表 5 不同淹没历时对应的淹没面积

淹没历时/h	< 12	12~ 24	1~ 3	3~ 7	> 7
淹没面积/ km^2	0.64	0.75	2.84	6.41	929.38

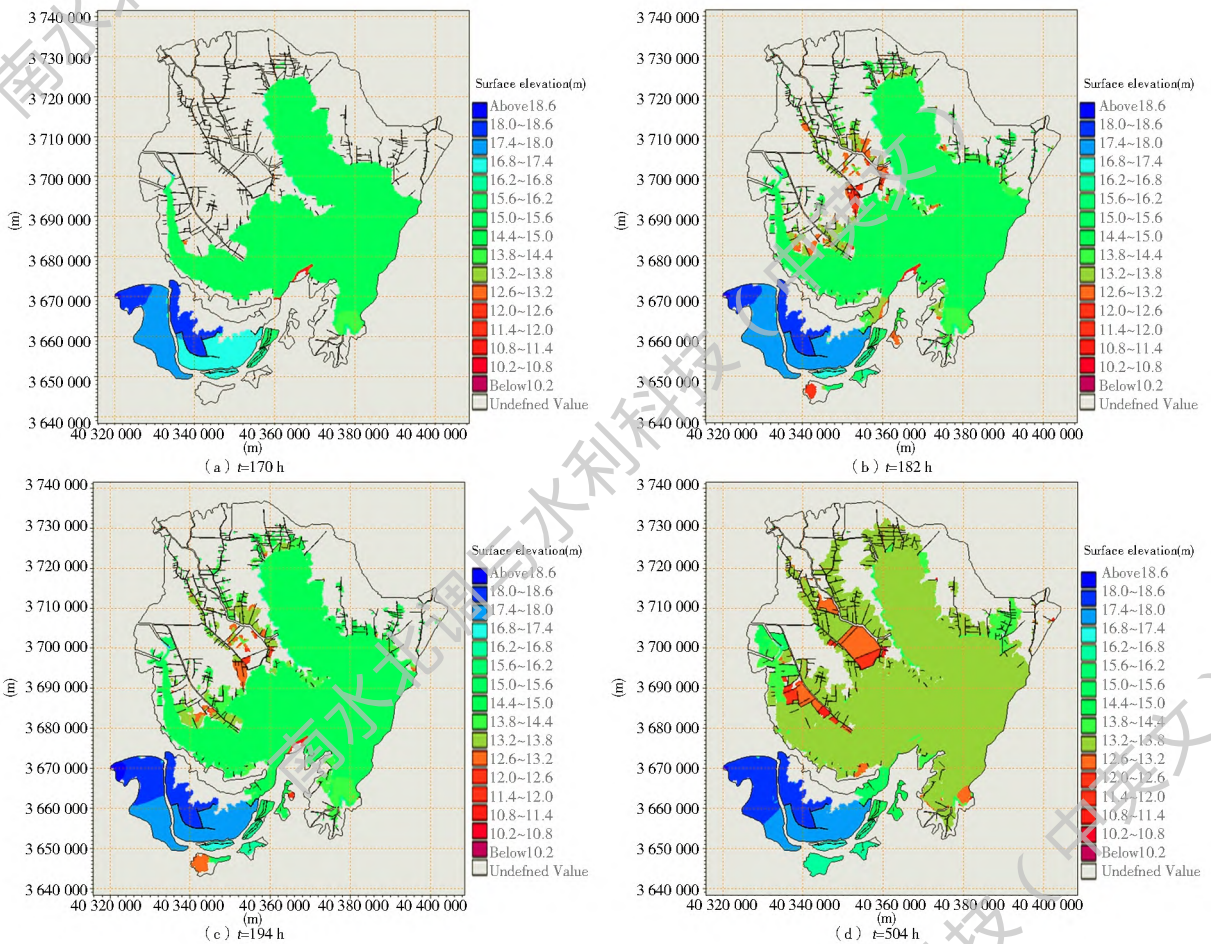


图 8 淹没水深

Fig. 8 Submerged depths

5 结论

为了更准确的反映决堤后洪水演进的情况,采用一、二维耦合的水力学方法,建立洪水演进数学模型。其中,河道一维模型能够获得每个模拟时刻河道内的水面线、流量等情况,洪泛区二维模型能够提供更加详细的水情信息。

利用 2003 年、2007 年历史洪水资料对模型中

主要参数糙率进行率定验证,将实测资料和模型计算值对比分析合理性,结果表明,水位变化趋势、最高洪水位到达时间基本一致,具有较高的模拟精度,能够反映模型模拟的准确性。

对现状工况遇洪泽湖百年一遇入流的设计方案进行模拟计算,得到各风险要素在研究区内的分布情况,验证了模型的合理性,可用于蓄滞洪区洪水模拟及风险分析。

参考文献(References):

- [1] 李大鸣, 林毅, 周志华. 蓄滞洪区洪水演进一、二维数值仿真及其在注淀联合调度中的应用[J]. 中国工程科学, 2010. (LI Da ming, LIN Yi, ZHOU Zhi hua. Research on 1 D and 2D numerical simulation of flood routing and its application of combined regulation in detention basin[J]. Engineering Sciences, 2010. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1009-1742.2010.03.014)
- [2] 水利部规划设计总院. 全国防洪规划(初稿)[R]. 北京: 水利部规划设计总院, 2002. (Planning and Design Institute of Ministry of Water Resources. National flood control plan[R]. Beijing: Planning and Design Institute of Ministry of Water Resources, 2002. (in Chinese))
- [3] Abbott M. A. Computational hydraulics: Elements of the theory of free surface flows[J]. Pitman, 1979, 9(4): 49-52.
- [4] Roache P. J. Computational fluid dynamics[M]. Hermosa Publishers, 1976.
- [5] Janenko N. N. The method of fractional steps[M]. New York: Springer, 1971.
- [6] 童汉毅, 赵明登, 槐文信, 等. 洪潮遭遇情况的水动力学计算[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(5): 11-15. (TONG Han yi, ZHAO Ming deng, HUAI Wen xin, et al. Hydrodynamic calculation for flood meeting with tide[J]. Wuhan University of Hydraulic and Electric Science. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1671-8844.2000.05.003)
- [7] HEC-DSSVue H. E. C. Data storage system visual utility engineer user's manual, version 2.0[M]. Washington: U. S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2009.
- [8] Mark D. M. Automatic detection of drainage networks from digital elevation models[J]. Hydrocarbon Engineering, 1984, 2(3): 168-178.
- [9] Tucciattelli T, Termini D. Finite element modeling of floodplain flow[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 126(6): 416-424.
- [10] 王船海, 李光焯. 流域洪水模拟[J]. 水利学报, 1996(3): 44-50. (WANG Chuan hai, LI Guang zhi. The modelling of basin flood[J]. Water Resources, 1996(3): 44-50. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:0559-9350.1996.03.007)
- [11] 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 Da ming, LI Yi, XU Ya nan, 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) DOI: 10.3969/j.issn.0493-2137.2009.01.008)
- [12] Caleffi V, Valiani A, Zanni A. Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels[J]. Journal of Hydraulic Research, 2003, 41(2): 167-177.
- [13] 刘树坤, 李小佩, 李士功, 等. 小清河分洪区洪水演进的数值模拟[J]. 水科学进展, 1991, 2(3): 188-192. (LIU Shu kun, LI Xiao pei, LI Shi gong, et al. Numerical simulation of flood routing in the Xiaoqinghe flood plain[J]. Advances in Water Science, 1991, 2(3): 188-192. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1001-6791.1991.03.006)
- [14] 周孝德, 陈惠君. 滞洪区二维洪水演进及洪灾风险分析[J]. 西安理工大学学报, 1996, 12(3): 244-250. (ZHOU Xiao de, CHEN Hui jun. An analysis of 2D flood routing and flood damage risk in flood detention area[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 1996, 12(3): 244-250. (in Chinese))
- [15] 梁云, 殷峻暹, 祝雪萍, 等. MIKE21 水动力学模型在洪泽湖水位模拟中的应用[J]. 水电能源科学, 2013(1): 135-137, 99. (LIANG Yun, YIN Jun xuan, ZHU Xue ping, et al. Application of MIKE21 hydrodynamic model in water level simulation of Hongze Lake[J]. Water Resources and Power, 2013(1): 135-137, 99. (in Chinese))
- [16] Reyes M. R. Soil and water assessment tool (SWAT) instruction and research at North Carolina A&T state university [C]. ASAE Annual International Meeting, 2004: 2083-2089.
- [17] 王船海, 李光焯. 行蓄洪区型流域洪水模拟[J]. 成都科技大学学报, 1995(2): 6-14. (WANG Chuan hai, LI Guang zhi. Flood modeling for basin with regions of flood storage and relief[J]. Journal of Chengdu University of Science and Technology, 1995(2): 6-14. (in Chinese))
- [18] 曹志芳, 李义天. 蓄滞洪区平面二维干河床洪水演进数值模拟[J]. 应用基础与工程科学学报, 2001, 9(1): 74-79. (CAO Zhi fang, LI Yi tian. Flood routing on initially dry land in flood storage and detention basins[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2001, 9(1): 74-79. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1005-0930.2001.01.011)
- [19] 李大鸣, 管永宽, 李玲玲, 等. 蓄滞洪区洪水演进数学模型研究及应用[J]. 水利水电工程学报, 2011, 3: 004. (LI Da ming, GUAN Yong kuan, LI Ling ling, et al. Flood routing mathematical model for flood detention basin[J]. Hydro Science and Engineering, 2011, 3: 004. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1009-640X.2011.03.004)
- [20] 衣秀勇, 关春曼, 果有娜, 等. DHI MIKE FLOOD 洪水模拟技术应用与研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 3. (YI Xiu yong, GUAN Chun man, GUO You na, et al. DHI MIKE FLOOD simulation technology application and research[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2014: 3. (in Chinese))
- [21] 水利部淮河水利委员会. 淮河流域防洪规划报告[R]. 2004: 53. (HRC. Report of flood control plan for Huaihe river basin [R]. 2004: 53. (in Chinese))