

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.03.004

# 花园湖行洪区启用条件与分洪效应研究

张明<sup>1,2</sup>, 王玲玲<sup>1,2</sup>, 张凤山<sup>3</sup>, 张成潇<sup>2</sup>, 伍梦天<sup>2</sup>, 唐洪武<sup>1,2</sup>, 朱海<sup>2</sup>

(1. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏南京 210098;  
3. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江杭州 311122)

**摘要:** 采用数值模拟方法, 分析淮河流域百年一遇来流条件下, 花园湖行洪区的分洪效应。结果表明: 当进洪闸、退洪闸同时开启时, 花园湖行洪区对其上游的淮河干流水流以削峰为主, 对其下游的淮河干流水位以错峰为主; 花园湖行洪区中出入流速极值均出现在退洪闸处, 特别是在退洪闸反向进洪初期, 退洪闸处流速可达 0.7 m/s; 退洪闸适当晚开既不会增大淮河干流的最高水位, 还可有效减缓花园湖行洪区的淹没进程, 有利于提高淮河干流调蓄洪水的能力。

**关键词:** 行洪区; 进洪闸; 退洪闸; 开启方式; 水动力数学模型; 一二维耦合; MIKE FLOOD; 花园湖  
**中图分类号:** TV873+.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-1980(2020)03-0209-06

## Launch condition and flood diversion effect of flood diversion area named Garden Lake

ZHANG Ming<sup>1,2</sup>, WANG Lingling<sup>1,2</sup>, ZHANG Fengshan<sup>3</sup>,

ZHANG Chengxiao<sup>2</sup>, WU Mengtian<sup>2</sup>, TANG Hongwu<sup>1,2</sup>, ZHU Hai<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** In this study, numerical simulations were carried out to analyze the effects on flood diversion by the Garden Lake in the case of a flood with a hundred-year return period. The results show that when the Garden Lake is in operation, that is to say, at the time that the flood gates are kept open, the Garden Lake flooding area plays a role of cutting the peak of discharge in the upstream of Huaihe River and shifting the peak of water level in the downstream of Huaihe River. In addition, the extreme values of flow velocity in the Garden Lake flooding area appear near the downstream sluice gate. Especially at the beginning of the inversed discharging flood, the flow velocity at the downstream sluice gate can reach up to 0.7 m/s. Last but not the least, the results reveal that properly delaying the operation of Gargen Lake flood area, despite of increasing the maximum water level of mainstream of Huaihe River, can effectively slow down the inundating process of the flooding area of the Garden Lake, which is conducive to improving the ability of the Huaihe River to regulate and store floods.

**Key words:** flood diversion area; upstream sluice gate; downstream sluice gate; operation method; hydrodynamic numerical model; 1D and 2D coupling; MIKE FLOOD; Garden Lake

**基金项目:** 国家重点研发计划(2017YFC0405605, 2016YFC0401503); 国家自然科学基金(51879086, 51709126); 国家自然科学基金重点基金(51239003); 国家重点实验室基本科研业务费自主研究项目(20185044412); 高等学校学科创新引智计划(B17015)

**作者简介:** 张明(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事水力学数值模拟研究。E-mail: 1135776711@qq.com

**通信作者:** 王玲玲, 教授。E-mail: wanglingling@hhu.edu.cn

**引用本文:** 张明, 王玲玲, 张凤山, 等. 花园湖行洪区启用条件与分洪效应研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(3): 209-214.

ZHANG Ming, WANG Lingling, ZHANG Fengshan, et al. Launch condition and flood diversion effect of flood diversion area named Garden Lake[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2020, 48(3): 209-214.

行洪区是淮河防洪体系的重要组成部分,在淮河流域防洪体系中具有重要作用<sup>[1]</sup>。在《淮河干流行蓄洪区调整规划》中,花园湖行洪区由扒口行洪调整为由进洪闸、退洪闸控制,是蚌埠以下段唯一保留的行洪区<sup>[2]</sup>。然而花园湖近 60 a 未曾启用过,在未来大洪水中其作用与效应到底如何,需进行深入研究,这对于保证蚌埠以下段淮河干流行洪安全极为重要。

针对行洪区分洪效应的问题,前人已经开展了大量研究工作。美国陆军工程兵团<sup>[3]</sup>(USACE)在密西西比河上游综合规划(UMRCP)报告中系统阐述了综合性防洪措施,包括多项非工程措施,如汛情预警、应急机制和洪水保险等;Liu 等<sup>[4]</sup>建立了贾口洼蓄滞洪区的一二维耦合模型并计算洪水风险要素<sup>[5]</sup>;李义天等<sup>[6]</sup>从理论上分析了行洪区行洪效果的影响因素,并运用概化河段单一行洪区模型计算分析了在不同类型洪水条件下扒口行洪口门的启用顺序对干流水位的影响;要威<sup>[7]</sup>研究了淮河中游王家坝—蚌埠段在 1954 年洪水情况下,行蓄洪区联合运用时开启方式的选择问题;虞邦义等<sup>[8]</sup>等采用水动力数学模型及物理模型等手段,对淮河干流正阳关至浮山段仍保留的行洪区行洪能力进行计算与试验验证,确定了规划条件下行洪区的泄流能力;何琦<sup>[9]</sup>在 2003 年通过数据分析的方式对比了蒙洼蓄洪区在不同频率洪水下启用对干流水位的影响。

行洪区启用频率低,过去多以扒口行洪方式为主,前人的研究成果也多集中在针对扒口行洪,如何选择口门位置<sup>[10-11]</sup>、口门打开时机和方式、行洪区在不同频率洪水下开启的效果<sup>[9]</sup>、行蓄洪区联合调度<sup>[7]</sup>等。花园湖行洪区的行洪过程是由进洪闸、退洪闸控制,其进洪闸、退洪闸的开启时机与调控方式决定了分洪效果及行洪区内的洪水行过程。本文采用数值模拟方法,建立淮河干流吴家渡至浮山段一二维耦合模型,在 2007 年型百年一遇洪水工况下,系统研究花园湖行洪区进退洪闸门启用顺序、行洪区调蓄水量、淹没范围、口门流速,以及对淮河干流水位流量的影响等问题,以期能为花园湖行洪区调度原则的确定及类似行洪区的运用管理提供科学支撑。

## 1 模型建立

### 1.1 花园湖工程概况

花园湖位于淮河南岸临淮关至小溪镇间,行洪区总面积 218.3 km<sup>2</sup>,常年蓄水区(湖心区)东西长 12 km,中部狭窄处宽仅 2 km(图 1),湖底高程为 11.50 m。花园湖行洪区进洪闸布置在徐家村段堤防上,退洪闸位于申家湖站西侧淮河弯道处<sup>[9]</sup>;进洪闸、退洪闸孔数均为 27 孔,每个闸孔宽 12 m、高 8 m、设计流量 3 500 m<sup>3</sup>/s,进洪闸底高程为 14.5 m,退洪闸底高程为 14 m。进洪闸上游约 5 km 处的临淮关站水位达到 20.70 m 时,进洪闸开启进洪,退洪闸开启反向进洪,待行洪区蓄水位与淮河干流侧基本持平时,花园湖开始行洪。

### 1.2 控制方程及离散格式

针对研究对象,建立一二维耦合模型:淮河干流吴家渡—浮山段以一维模型模拟<sup>[12]</sup>,花园湖行洪区以二维模型模拟<sup>[13-14]</sup>。一维河道总长约 92 km,剖分成 370 个河段。以 Saint-Venant 方程组<sup>[15]</sup>描述其水动力分布规律,采用 Abbott-Ionescu 六点隐格式<sup>[16]</sup>对方程进行离散,并用追赶法进行求解<sup>[17]</sup>。花园湖行洪区非恒定流过程以水深平均 N-S 方程模拟。二维计算区域采用非结构化网格划分,网格数为 2 131,平均网格尺寸约为 350 m,对进洪闸、退洪闸附近加密至 200 m 左右,如图 1 所示。控制方程采用二阶 TVD 格式进行离散求解。

一二维模型在耦合边界处实现水力要素的传递,耦合连接采用 MIKE FLOOD 标准连接形式,考虑耦合边界处的水量平衡,根据二维网格单元水深计算分配系数,采用加权平均的方式将通过一维边界的水量传入二维区域中<sup>[18]</sup>。

### 1.3 边界条件与设计工况参数

模型边界条件设置为上游吴家渡站流量过程,下游为淮河干流入湖前重要水位站浮山站水位过程;行洪设计流量采用淮河干流 2007 年型百年一遇工况。在淮河干流行洪区调整规划中,花园湖设计行洪流量为 3 500 m<sup>3</sup>/s,进洪闸、退洪闸行洪控制水位均为临淮关站水位 20.70 m。为了研究不同闸门开启方式对降低淮



图 1 模型计算区域及网格划分

Fig. 1 Computational domain and grids

河干流水位的作用,设置如表1所示的4种工况,其中,闸门晚开的条件是指当临淮关站水位达到20.92 m时才启用。

## 2 模型率定与验证

2007年淮河流域暴雨具有时间间隔短、降雨历时长、笼罩范围广、强暴雨频发和降雨总量大等特点<sup>[19]</sup>,选取2007年典型洪水过程作为率定工况,计算时段为2007年6月28日至2007年8月27日。选取淮河干流中游重要控制站临淮关站和五河站的水位过程进行模型参数率定。一维河道糙率吴家渡至临淮关段取值为0.036,临淮关至浮山段取值为0.029。水位率定结果如图2所示,模型计算的水位过程与实测过程一致性吻合良好,洪峰水位差在 $\pm 0.05$  m范围内,临淮关、五河水位过程的NSE系数<sup>[20]</sup>分别达到0.991、0.993,峰值水位偏差均小于1%,表明模型计算结果与实测值吻合程度较好。

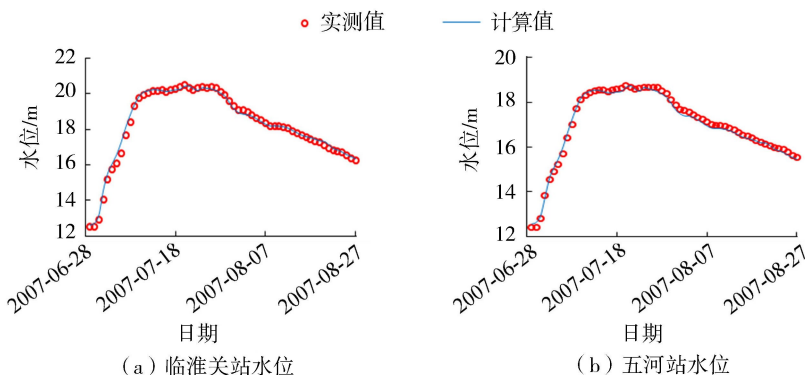


图2 水位率定结果

Fig. 2 Calibration results of water level

由于花园湖行洪区近60 a来没有启用记录,因此无法采用实测资料率定行洪区糙率。本文根据下垫面条件并借鉴虞邦义等<sup>[8]</sup>、张震等<sup>[21]</sup>相关文献进行糙率取值,最终确定花园湖行洪区糙率为0.05。

采用2003年实测洪水资料对模型计算的沿程各测站水位及流量进行验证,结果表明,各测站计算水位、流量过程与实测过程一致性良好,具有较高的精度,可为花园湖行洪区的分洪效应计算提供良好的计算平台。

## 3 花园湖行洪区启用过程中的水动力分析

### 3.1 花园湖行洪区启用后淮河干流水位流量变化规律

花园湖行洪区启用(工况一)和未启用(工况四)2种情况下淮河干流临淮关和浮山百年一遇最大30 d(2007-07-06—2007-08-05)水位和流量过程如图3所示。花园湖行洪区的启用对其上下游洪水演进显现出不同的作用,即上游以削峰为主,下游以错峰为主。在行洪区启用后,上游临淮关站的水位得到明显降低,洪峰时刻的水位下降0.53 m,特别是在行洪区启用初期(2007-07-08—2007-07-13)水位降幅超过1 m;但行洪区对上游站点的流量过程影响并不显著;而下游浮山站受行洪区的蓄滞作用影响,前期水位流量大幅度减小;后期其水位和流量过程均有2 d左右的滞后,但水位峰值没有明显降低。

### 3.2 花园湖行洪区进洪闸、退洪闸附近流速变化

花园湖行洪区在进洪闸、退洪闸同时启用的工况下,规定以流进行洪区方向的流速为正,流出为负,进洪闸、退洪闸处的流速变化如图4所示。由图4可知,在行洪区启用初期,进洪闸、退洪闸开闸进洪,两处流速均较大,特别是退洪闸处流速达到0.7 m/s;之后进洪闸附近流速保持在0.4 m/s左右并有逐渐下降的趋势;而随着退洪闸反向进洪的结束,其口门流速迅速下降至0 m/s,之后开始行洪,并在行洪过程中流速保持在0.3 m/s左右。纵观整个行洪区启用过程,行洪区中正负流速最大值均出现在退洪闸处,应注意退洪闸口

表1 花园湖行洪区分洪工况设置

Table 1 Cases of operation methods in Garden Lake flood diversion area

工况	开启方式	Lake flood diversion area	
		m	
		进洪闸开启时 临淮关站水位	退洪闸开启时 临淮关站水位
工况一	同时开启	20.70	20.70
工况二	退洪闸晚开	20.70	20.92
工况三	进洪闸晚开	20.92	20.70
工况四	不启用		

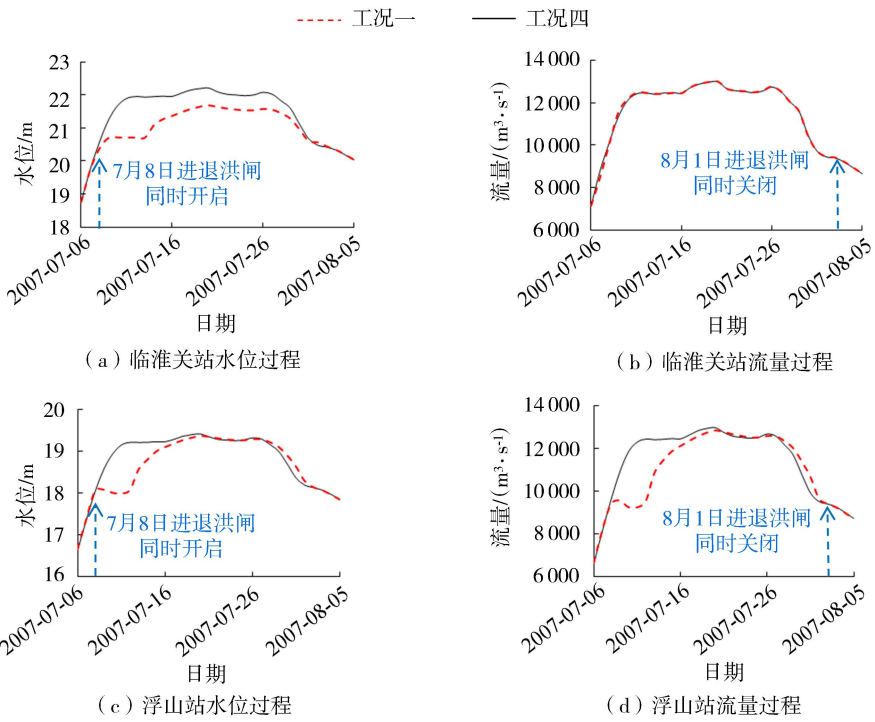


图 3 进洪闸、退洪闸开启时机对上下游节点的影响

Fig. 3 Discharge varying with time affected by sluice-controlled flood diversions area at upstream and downstream sluice gates

门附近的局部冲刷。

### 3.3 进洪闸、退洪闸开启顺序对洪水演进的影响

为研究花园湖行洪区进洪闸、退洪闸不同的开启顺序对淮河干流水位变化及行洪区调蓄水量、淹没范围的影响,取进洪闸、退洪闸同时开启、退洪闸晚开、进洪闸晚开 3 种工况进行计算分析。

花园湖行洪区进洪闸、退洪闸的不同开启顺序对花园湖上游临淮关和下游浮山站的水位影响如图 5 所示,可知在行洪区进洪初期,不同的进洪闸、退洪闸开启顺序会使得淮河干流洪水演进呈现出明显的差别。对于花园湖行洪区的上游站点临淮关,工况一、工况二比工况三降低水位的效果更好,约低 0.2 m,由于工况二退洪闸晚开,7 月 13 日后水

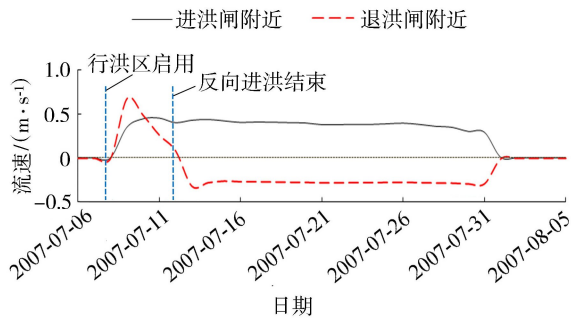


图 4 行洪区启用过程中进洪闸、退洪闸处流速变化(以进洪为正)

Fig. 4 Local velocity varying with time near upstream and downstream sluice gates during the operation

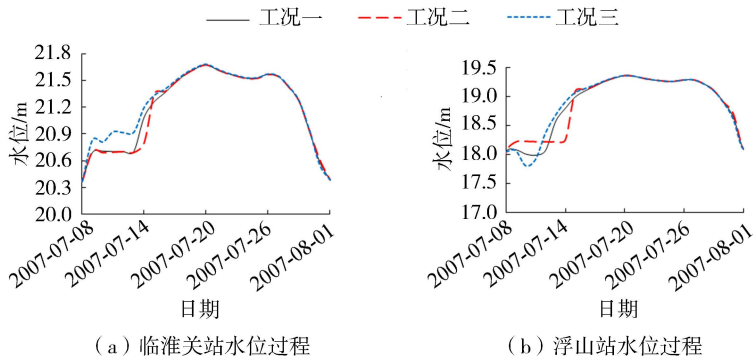


图 5 进洪闸、退洪闸开启时机对淮河干流洪水演进的影响

Fig. 5 Influences of operating time of upstream and downstream sluice gates on the evolution of flood of Huaihe mainstream



位比工况一上涨延迟了 1 d,后又因为退洪闸在 7 月 14 日打开,临淮关水位快速上升。对于下游站点,工况三由于退洪闸先开水位在初期迅速下降,工况二水位初期变化不大,在 7 月 14 日退洪闸打开后水位迅速上涨。

花园湖行洪区进洪闸、退洪闸按不同顺序开启时行洪区总调蓄水量的变化过程如图 6(a) 所示。在行洪区启用初期,进洪闸晚开情况下(工况三)总调蓄水量上升速率最快,进洪闸、退洪闸同时开启(工况一)次之,退洪闸晚开时(工况二)最慢;当行洪区发挥行洪功能时,进洪闸或退洪闸晚开的工况下总调蓄水量的最大值较同时开启工况均有提高,退洪闸晚开时,总调蓄水量最高达 13.5 亿  $m^3$ ,比工况一和工况三分别高出 1.3 亿  $m^3$  和 0.9 亿  $m^3$ 。3 种工况下丁字形湖区中心处的水位过程如图 6(b) 所示,在行洪初期,进洪闸、退洪闸的开启时机对行洪区内水位增长速率和峰值水位影响不大,仅水位起涨时刻有所不同。上述计算结果表明,尽管在行洪阶段进退洪闸门的开启顺序对水位的影响不大,但退洪闸晚开可以有效提高行洪区调蓄超额洪水的能力。

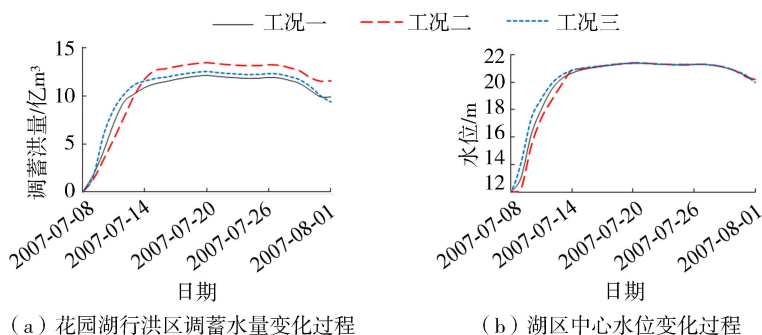


图 6 分洪闸开启时机对行洪区调蓄水量及湖心水位的影响

Fig. 6 Influences of operating time of sluice gates on both capacity of flood area and water level in the center of the lake

由模型能得出各时刻淹没范围示意图。图 7 为利用该方法求得的花园湖行洪区淹没面积在不同工况下的演变过程。由图 7 可知,行洪区启用后,不同分洪闸开启时机下行洪区的淹没速率有明显不同,其中,进洪闸晚开情况下(工况三)淹没速率最快,进洪闸、退洪闸同时开启(工况一)次之,退洪闸晚开时(工况二)最慢;进一步分析可得,3 个工况下行洪区淹没面积达到其总面积 90% 的所需时间分别为 84 h、102 h、72 h。因此,针对淮河百年一遇洪水,退洪闸适当晚开不会增大淮河干流的最高水位,但可以有效减缓花园湖行洪区的淹没进程,有利于该行洪区内居民的避洪撤退。

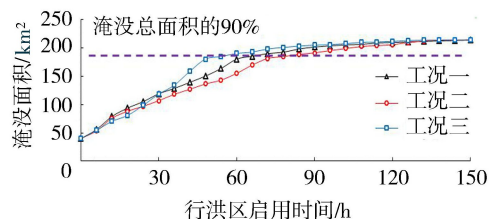


图 7 分洪闸开启时机对行洪区淹没面积的影响  
Fig. 7 Influences of operating time of sluice gates on the flooded area

## 4 结 论

- a. 花园湖行洪区的启用可以有效降低淮河干流上游站点的水位,同时推迟下游站点水位和流量的峰现时刻,并在进洪初期明显降低下游河段的流量和水位,即花园湖行洪区的作用表现为对其上游的淮河主干水流以削峰为主,其下游的淮河干流水位以错峰为主。
- b. 当进洪闸、退洪闸同时开启时,花园湖行洪区中正负流速极值均出现在退洪闸处,特别是在退洪闸反向进洪初期,退洪闸处流速是行洪时流速的 2 倍,可达 0.7 m/s,应注意水闸口门局部的冲刷。
- c. 在 2007 年型百年一遇洪水工况下,退洪闸适当晚开不会增大淮河干流的最高水位,还可有效减缓花园湖行洪区的淹没进程,可为防洪抢险提供更多时间,有利于提高淮河干流调蓄洪水的能力以及区内群众避洪撤退的部署。

### 参考文献:

[ 1 ] 杨民钦,邱绵如. 由 1998 年长江洪水对淮河行蓄洪区的思考[J]. 水利水电科技进展,1999,19(2):16-18. (YANG

- Minqin, QIU Mianru. Debate over flood detention area in Huaihe River based on flood in Yangtze River[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 1999, 19(2): 16-18. (in Chinese)
- [2] 水利部淮河水利委员会. 淮河流域综合规划(2012—2030年): 国函[2013]35号批复[Z]. 蚌埠: 水利部淮河水利委员会, 2011.
- [3] USACE. Upper Mississippi River Comprehensive Plan[R]. New York: United States Army Corps of Engineers, 2008.
- [4] LIU Qiang, QIN Yi, ZHANG Yang, et al. A coupled 1D-2D hydrodynamic model for flood simulation in flood detention basin[J]. *Natural Hazards*, 2015, 75(2): 1303-1325.
- [5] 陈军飞, 董然. 基于随机森林算法的洪水灾害风险评估研究[J]. *水利经济*, 2019, 37(3): 55-61. (CHEN Junfei, DONG Ran. Risk assessment of flood disasters based on random forests[J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2019, 37(3): 55-61. (in Chinese))
- [6] 李义天, 要威, 何用. 淮河中游行洪区开启运用的初步研究[J]. *水电能源科学*, 2005, 23(1): 45-48. (LI Yitian, YAO Wei, HE Yong. Preliminary study on use of flood diversion works in middle reaches of Huai River[J]. *Water Resources and Power*, 2005, 23(1): 45-48. (in Chinese))
- [7] 要威. 行蓄洪区开启优化的研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [8] 虞邦义, 杨兴菊, 倪晋, 等. 淮河干流行洪区泄流能力研究[J]. *水动力学研究与进展(A辑)*, 2014, 29(1): 125-130. (YU Bangyi, YANG Xingju, NI Jin, et al. Investigation of the discharge capacity of the flood-flowing zones in middle reach of the Huaihe River[J]. *Chinese Journal of Hydrodynamics (A)*, 2014, 29(1): 125-130. (in Chinese))
- [9] 何琦. 浅析濠洼蓄洪区运用时机[J]. *治淮*, 2003(12): 8-9. (HE Qi. Analysis on the opportunity of application in Huowa flood detention area[J]. *Harnessing the Huaihe River*, 2003(12): 8-9. (in Chinese))
- [10] 倪晋仁, 王光谦, 李义天. 洪湖分蓄洪区启用的若干问题研究[J]. *自然灾害学报*, 1999(3): 14-21. (NI Jinren, WANG Guangqian, LI Yitian. Study on some problems in the opening of flood detention area of Honghu[J]. *Journal of Natural Disasters*, 1999(3): 14-21. (in Chinese))
- [11] 刘曾美, 冯斯安, 蓝福鹏, 等. 基于流域洪水危险分析的社工坑整治方案[J]. *水资源保护*, 2018, 34(6): 38-43. (LIU Zengmei, FENG Sian, LAN Fupeng, et al. Regulation scheme of Shegong River based on watershed flood hazard analysis[J]. *Water Resources Protection*, 2018, 34(6): 38-43. (in Chinese))
- [12] 陈斌. 木兰溪下游滞洪区水力模拟计算[J]. *水利水电科技进展*, 2000, 20(3): 51-53. (CHEN Bin. Hydraulic simulation in flood detention area downstream of Mulan River[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2000, 20(3): 51-53. (in Chinese))
- [13] 范玉, 陈建, 李大鸣. 一、二维洪水演进数学模型在滞洪区的应用[J]. *华北水利水电大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(4): 12-15. (FAN Yu, CHEN Jian, LI Daming. Application of flood wave advance numeric modeling of one dimension and two dimensions in flood detention area[J]. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power (Science and Technology)*, 2009, 30(4): 12-15. (in Chinese))
- [14] 李大鸣, 范玉, 杨紫佩, 等. 小清河滞洪区洪水演进数学模型的研究[J]. *天津大学学报(自然科学与工程技术版)*, 2016, 49(4): 400-407. (LI Daming, FAN Yu, YANG Zipei, et al. Flood routing numerical model of Xiaoqing River detention area[J]. *Journal of Tianjin University (Science and Technology)*, 2016, 49(4): 400-407. (in Chinese))
- [15] DHI Water & Environment. MIKE 11 Reference manual: a modelling system for rivers and channels[M]. Denmark: DHI Software, 2012.
- [16] ABBOTT M B, IONESCU F. On the numerical computation of nearly horizontal flows[J]. *Journal of Hydraulic Research*, 1967, 5(2): 97-117.
- [17] HU Zijun, WANG Lingling, TANG Hongwu, et al. Prediction of the future flood severity in plain river network region based on numerical model: a case study[J]. *Journal of Hydrodynamics*, 2017, 29(4): 586-595.
- [18] LAI X, JIANG J, LIANG Q, et al. Large-scale hydrodynamic modeling of the middle Yangtze River Basin with complex river-lake interactions[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 492: 228-243.
- [19] 中华人民共和国水利部水文局, 水利部淮河水利委员会. 2007年淮河暴雨洪水[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [20] NASH J E, SUTCLIFFE J V. River flow forecasting through conceptual models, Part I: a discussion of principles[J]. *Journal of Hydrology*, 1970, 3(10): 282-290.
- [21] 张震, 蔡正中, 陈祥. 安徽省淮河干流行蓄洪区糙率分析[J]. *中国水利*, 2017(5): 63-65. (ZHANG Zhen, CAI Zhengzhong, CHEN Xiang. Roughness analysis for flood retention zones in Huaihe River mainstream of Anhui Province[J]. *China Water Resources*, 2017(5): 63-65. (in Chinese))