

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2025.03.003

洪泽湖出入流格局变化下汛期起调水位抬升影响研究

陈震宇^{1,2,3}, 王玲玲^{1,2,3}, 徐津^{1,2,3}, 朱大伟⁴, 唐洪武^{1,2,3}

(1. 河海大学水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学水利部水循环与水动力系统重点实验室, 江苏 南京 210098;
4. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为研究洪泽湖在新的出入流格局下, 汛期起调水位抬升对洪泽湖湖区水位及运行调度的影响, 构建二维水动力模型分析了起调水位抬升和环湖工程组合条件下湖区蒋坝水位的变化特征, 并根据洪泽湖滞洪区调度规则给出了不同来水与环湖工程组合条件下汛期起调水位的建议值。结果表明: 现状起调水位(12.5 m)下, 入海水道二期工程可显著降低蒋坝峰值水位; 冯铁营引河工程在入海水道工程协同作用下对蒋坝水位几乎没有影响; 对于 2007 年量级洪水, 起调水位小于或等于 14.0 m 不会增大湖周滞洪区洪水风险, 洪泽湖汛期起调水位可上调 1.0~1.5 m; 百年一遇洪水下起调水位小于或等于 14.0 m 将不改变蒋坝峰值水位, 但起调水位抬升会使滞洪区提前破圩, 在不增大滞洪区洪水风险前提下起调水位可上调 0.5~1.0 m。

关键词: 入海水道二期工程; 冯铁营引河工程; 汛期起调水位; 洪泽湖

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2025)03-0015-07

Influence of elevated water control level during flood season under varying inflow and outflow patterns in Hongze Lake

CHEN Zhenyu^{1,2,3}, WANG Lingling^{1,2,3}, XU Jin^{1,2,3}, ZHU Dawei⁴, TANG Hongwu^{1,2,3}

(1. The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Hohai University, Nanjing 210098, China;

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

3. Key Laboratory of Hydrologic-Cycle and Hydrodynamic-System of Ministry of Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

4. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: Under the new inflow and outflow patterns of Hongze Lake, a two-dimensional hydrodynamic model was established to investigate the impact of elevated water control levels during flood season on water levels and operational scheduling of the lake. The variation characteristics of the water level at Jiangba in the lake area under the conditions of elevated water control levels and the lakeside projects were analyzed. According to the dispatching rules for flood detention areas in Hongze Lake, suggested values for the water control levels during flood season for different combinations of water inflows and lakeside projects were given. The results show that the second stage of the project on the sea-entering channel can significantly reduce the peak water level at Jiangba when the current water control level of Hongze Lake is 12.5 m. The Fengtieying River Diversion Project has almost no impact on the water level at Jiangba under the synergistic effect of the project on the sea-entering channel. For a flood event with the same magnitude in 2007, the water control level within 14.0 m does not increase the flood risk in the detention area around the lake. Therefore, the water control levels of Hongze Lake during flood season can be raised by 1.0-1.5 m. Under the condition of the once-in-a-century flood event, the peak water level at Jiangba will not change when the water control level remains within 14.0 m. However, the elevated water control level can cause the detention area to open ahead of time, and the water control level can be raised by 0.5-1.0 m without increasing the flood risk in the detention area.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3202600); 国家自然科学基金青年科学基金项目(52309086); 江苏省水利科技项目(2023013, 2022061)

作者简介: 陈震宇(1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事水力学数值模拟研究。E-mail: chenchenyu@hhu.edu.cn

通信作者: 徐津(1992—), 男, 讲师, 博士, 主要从事水力学数值模拟研究。E-mail: hhu_xj@hhu.edu.cn

引用本文: 陈震宇, 王玲玲, 徐津, 等. 洪泽湖出入流格局变化下汛期起调水位抬升影响研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2025, 53(3): 15-21.

CHEN Zhenyu, WANG Lingling, XU Jin, et al. Influence of elevated water control level during flood season under varying inflow and outflow patterns in Hongze Lake[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2025, 53(3): 15-21.

Key words: second stage of project on sea-entering channel; Fengtiying River Diversion Project; water control level during flood season; Hongze Lake

洪泽湖是淮河中下游防洪体系中的巨型调蓄水库^[1-2],同时也是苏北地区的重要水源地^[3],南水北调东线的重要节点^[4]。合理安排洪泽湖汛期洪水调度方式不仅关系到淮河流域防洪安全和苏北地区水源保障,还影响到南水北调东线的供水安全。

洪泽湖洪水调度与汛期起调水位的设置密切相关。根据 2016 年国家防汛抗旱总指挥部批复的淮河洪水调度方案(国汛〔2016〕14 号),洪泽湖汛期起调水位为 12.5 m,即调度方案要求每年汛期来临前,洪泽湖水位需要降至 12.5 m,以腾空库容承接淮河洪水^[5]。随着社会发展,洪泽湖周边及下游地区生产生活、工业、航运、生态等用水需求大大增加,而洪泽湖在现行调度水位下可用蓄水量仅 15.3 亿 m³,无法满足洪泽湖下游地区供水需求^[6-8]。同时,洪泽湖周边正在规划的冯铁营引河工程和建设中的淮河入海水道二期工程,分别为洪泽湖的入流和出流通道,其实施将极大地增强洪泽湖进出水口的引排能力,对洪泽湖防洪格局产生巨大影响^[9-11]。在新的环湖工程格局下,如何优化提升洪泽湖汛期起调水位,增加洪泽湖汛期兴利库容,并探究起调水位抬升对洪泽湖防洪的影响,已成为迫切需要研究的重要课题。

目前已有不少学者对洪泽湖汛期水位优化控制展开了研究:王蔚等^[5]结合现状工程预降能力,建立湖泊水位控制运用模型,研究推荐了洪泽湖汛期水位控制运用方案;崔璨等^[12]将数值模拟方法与枚举蓄水策略相结合,给出了丰水年洪泽湖汛末蓄水策略的全局最优解。目前针对洪泽湖汛期水位的研究,主要集中在现状工程条件下的汛期水位控制运行方式,尚未考虑冯铁营引河及入海水道二期工程的作用,即在新的环湖工程格局下对于洪泽湖的汛期调度研究较为缺乏,且以往研究对湖区起调水位可抬升幅度及起调水位抬升带来的湖区水动力变化特征等问题涉及较少,有待进一步加深认识。

本文基于新的洪泽湖出入流格局,建立洪泽湖二维水动力模型,模拟研究不同洪水条件及出入湖工程组合情况下的湖区水位的时空变化特征,综合分析起调水位抬升对湖区峰值水位的影响;在考虑洪泽湖滞洪区洪水风险的情形下,研究了洪泽湖汛期起调水位可抬升幅度,旨在为洪泽湖的运行调度及洪水资源利用提供科学依据。

1 研究区概况

洪泽湖位于江苏省西北部,西纳淮河,南注长江,东通黄海,北连沂沭,处于淮河中游末端,承泄淮河中游 15.8 万 km² 水域的来水,同时为淮北、苏北地区的重要调蓄湖泊^[13]。目前洪泽湖汛期起调水位 12.5 m,正常蓄水位 13.0 m,相应水域面积 1 597 km²,湖泊蓄水量 30.4 亿 m³,设计洪水位 16.0 m,校核洪水位 17.0 m^[12]。

洪泽湖的主要入湖河道为淮河干流,其他入湖河道包括怀洪新河、濉河、老濉河、新汴河、徐洪河、池河等 6 条入湖河流。洪泽湖主要防洪工程由泄洪河道及对应控制建筑物、洪泽湖大堤、滞洪区三部分组成:①泄洪河道主要由入江水道、分淮入沂、入海水道及苏北灌溉总渠组成。入江水道由三河闸控制,设计流量为 12 000 m³/s;苏北灌溉总渠由高良涧闸控制,设计流量为 800 m³/s;分淮入沂及入海水道由二河闸控制,其中分淮入沂设计流量为 3 000 m³/s,入海水道一期工程设计流量为 2 270 m³/s。上述工程体系使淮河形成了以入江为主、入海为辅的泄洪布局。②洪泽湖大堤位于湖区东部淮阴市内,主要起到拦蓄洪水的作用;③湖区周边分布有 2 132 km² 的滞洪区,当湖区蒋坝水位超过 14.5 m 时开启圩区强制滞洪,直至洪水警报解除为止。研究区概况如图 1 所示。

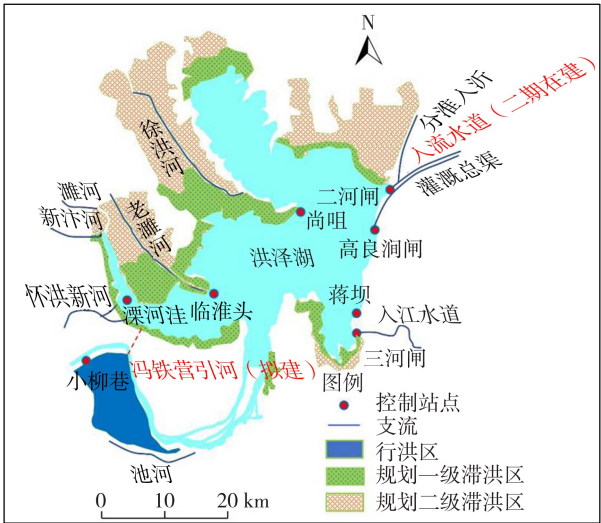


图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of study area

冯铁营引河工程位于淮河中下游大拐弯段与洪泽湖西侧溧河洼之间,贯通河湖。引河一旦建成,将加快

淮河干流洪水入湖速度,减轻淮河中下游防洪压力,同时也在一定程度上增加了洪泽湖的防洪压力^[14];入海水道二期工程位于洪泽湖二河闸出口处,在原有的入海水道一期工程基础上扩挖。工程的建设将使洪泽湖泄洪入海能力从 2 270 m³/s 提升至 7 000 m³/s,洪泽湖防洪标准从百年一遇提升至 300 年一遇^[15-16]。

2 水动力模型

洪泽湖湖区平面尺度大、水深小,属于典型的浅水湖泊,故可采用水深平均二维水动力数学模型模拟洪水演进过程^[17-18]。

2.1 控制方程

由 Navier-Stokes(N-S) 方程组沿水深积分得到水深平均二维方程组,其守恒形式为^[19]

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t} + \frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial x} + \frac{\partial \boldsymbol{G}}{\partial y} = \boldsymbol{S} \tag{1}$$

其中
$$\boldsymbol{U} = (h, hu, hv)$$
$$\boldsymbol{E} = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{gh^2}{2} \\ huv \end{bmatrix}$$
$$\boldsymbol{G} = \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{gh^2}{2} \end{bmatrix}$$
$$\boldsymbol{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{bmatrix}$$

$S_{0x} = -\partial z_b / \partial x$ $S_{0y} = -\partial z_b / \partial y$ $S_{fx} = \rho n^2 u h^{-4/3} \sqrt{u^2 + v^2}$ $S_{fy} = \rho n^2 v h^{-4/3} \sqrt{u^2 + v^2}$
式中: h 为水深; u 、 v 分别为 x 、 y 方向的平均流速; g 为重力加速度; $\boldsymbol{E}$ 、 $\boldsymbol{G}$ 为界面通量; $\boldsymbol{S}$ 为源项; S_{0x} 、 S_{0y} 为底坡源项; S_{fx} 、 S_{fy} 为摩阻源项; z_b 为床面高程; ρ 为水体密度; n 为曼宁系数。

2.2 离散方法与求解格式

本文采用基于非结构化网格的有限体积法离散浅水方程组,网格可为三角形和四边形的混合网格,变量定义在单元中心。空间积分采用基于 Riemann 近似解的 Roe 格式求解界面数值通量,时间积分采用低阶显式 Euler 法。

淮河入洪泽湖尾间段地形复杂,为滩槽相间、辫状三角洲河型。为此,模型采用 Zhao 等^[20-21]提出的方法处理干湿动边界:当网格单元水深极小但尚未露滩时,将该网格单元的动量通量设为 0,仅考虑质量通量;当网格水深继续减小处于露滩状态时,计算时将忽略该网格单元直至其被重新淹没为止。

2.3 模型范围

以淮河中游小柳巷站至洪泽湖出口为研究对象,建立淮河干流小柳巷入湖段-洪泽湖区域整体二维水动力模型,总面积约 3 600 km²。冯铁营引河工程、洪泽湖大堤以及洪泽湖周边圩区堤防等工程也包括在内。模型范围覆盖图 1 的蓝色湖区与滞洪区。模型所用地形插值资料为 2010 年洪泽湖实测地形资料。

2.4 边界条件

洪泽湖上游边界主要由淮河干流、怀洪新河等 7 个入湖通道组成(图 1),采用百年一遇及 2007 年(约相当于 20 年一遇)实际来流过程作为入流边界条件(图 2)。下游出流边界主要由二河闸、三河闸及高良涧闸组成,以各工程的流量与水位关系作为边界条件(图 3),3 处闸门通过 MIKE11 中水闸模型按照实际参数与

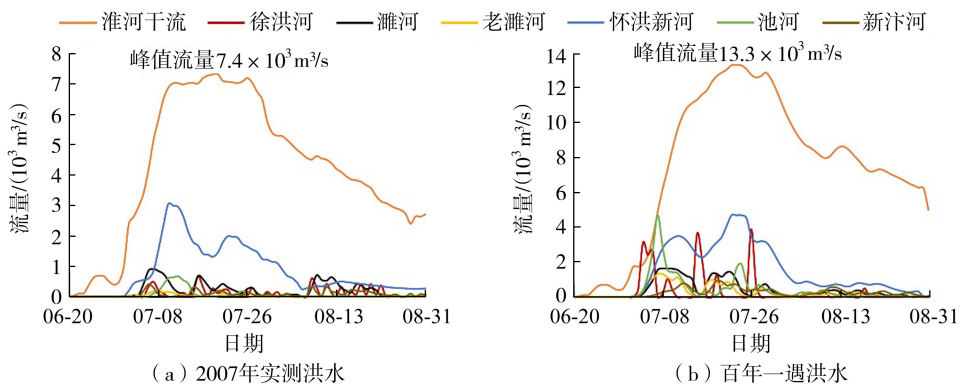


图 2 淮河干流及各入湖河流洪水过程线

Fig. 2 Flood hydrographs at mainstream of Huaihe River and rivers entering the lake

位置布置,并通过 MIKE FLOOD 标准连接形式耦合到二维边界处。入海水道二期工程建成后其泄流能力的增加也同样通过流量与水位关系实现。

根据淮河洪水调度原则,洪泽湖汛期起调水位为 12.5 m,当预报淮河上中游发生较大洪水时,洪泽湖应提前预泄。为研究洪泽湖汛期起调水位可抬升幅度,本文比较在不同的蒋坝水位启用出口各闸,且启用后即处于全开方式:蒋坝水位达到对应的起调水位(初拟 12.5~14.0 m)时,三河闸和高良涧闸全开;蒋坝水位达到对应起调水位(初拟 13.5~14.0 m)时,二河闸全开。冯铁营引河工程调度方式为敞泄,即引河不控制,以考虑对洪泽湖产生最大防洪压力的工况。湖周滞洪区调度规则为蒋坝水位达到 14.5 m 时先滞迎湖一级圩区,待水位继续上涨,视上游水情再滞二级圩及其他坡地。

2.5 模型参数率定及验证

选择 2007 年 6 月 20 日至 8 月 31 日淮河中下游洪水过程率定模型糙率。模型上边界为实测流量过程,下边界为实测水位过程。率定结果确定洪泽湖糙率为:湖区 0.021,周边滞洪圩区 0.05,溧河洼地区 0.075,小柳巷至老子山入湖段 0.029。蒋坝和临淮头两个站点的水位验证结果如图 4 所示。由图 4 可知,模型准确模拟出了 2007 年两站点的水位变化过程。运用纳什效率系数(NSE)法^[22]对水位计算结果进行误差分析,两站点计算水位的纳什效率系数分别达到 0.95 和 0.96,表明模型精度较高,糙率取值合理。

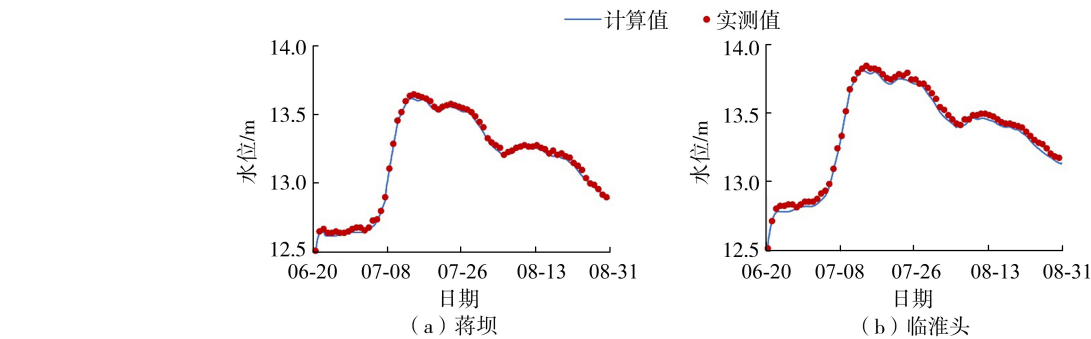


图 4 2007 年湖区站点实测水位与计算水位对比
Fig. 4 Comparison of measured and calculated water levels at lake stations in 2007

2.6 工况设置

为分析洪泽湖出入流格局变化条件下,起调水位抬升对湖区水位的影响,从 3 个方面设置工况:①考虑出入湖工程的建设对湖区水位的影响,主要考虑冯铁营引河工程、入海水道二期工程及其组合;②考虑起调水位的变化,以湖区现状汛期起调水位 12.5 m 为基础,线性抬高起调水位;③考虑淮河干流不同标准洪水情况(包括 2007 实测洪水和百年一遇设计洪水)。具体工况设置见表 1。

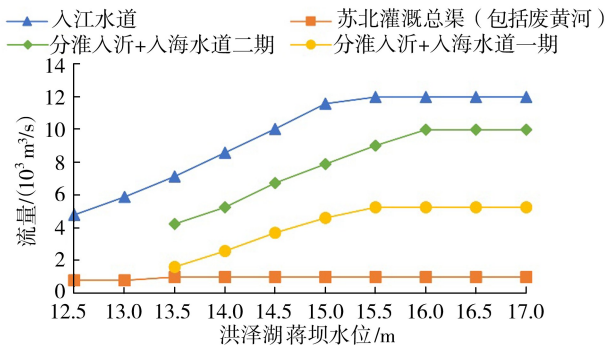


图 3 下游出口各通道设计泄洪能力
Fig. 3 Designed flood discharge capacity of channels at downstream outlets

表 1 工况设置

Table 1 Working condition settings

淮河干流来水条件	工况编号	工程条件	汛期起调水位/m
2007 年实测洪水	A1~A4	现状工况	12.5, 13.0, 13.5, 14.0
	A5~A8	现状工况+入海水道二期工程	12.5, 13.0, 13.5, 14.0
	A9~A12	现状工况+入海水道二期工程+冯铁营引河工程	12.5, 13.0, 13.5, 14.0
百年一遇洪水	B1~B4	现状工况	12.5, 13.0, 13.5, 14.0
	B5~B8	现状工况+入海水道二期工程	12.5, 13.0, 13.5, 14.0
	B9~B12	现状工况+入海水道二期工程+冯铁营引河工程	12.5, 13.0, 13.5, 14.0

3 结果与分析

3.1 现状起调水位下新建环湖工程对蒋坝水位的影响

洪泽湖的运行调度与蒋坝水位密切相关。由图 5 可知,入海水道二期工程对降低蒋坝峰值水位有显著

作用,且淮河干流洪水等级越高,入海水道二期工程作用越明显。百年一遇洪水下入海水道二期工程对蒋坝峰值水位的降幅是 2007 年实测洪水的 2 倍。由图 5 和图 6 可知,蒋坝水位达到 13.5 m 后,二河闸开启,入海水道二期工程开始泄洪,急剧提升了湖区出口总泄量,抑制了蒋坝水位的继续抬升,说明入海水道二期工程实施对于降低蒋坝水位作用明显。

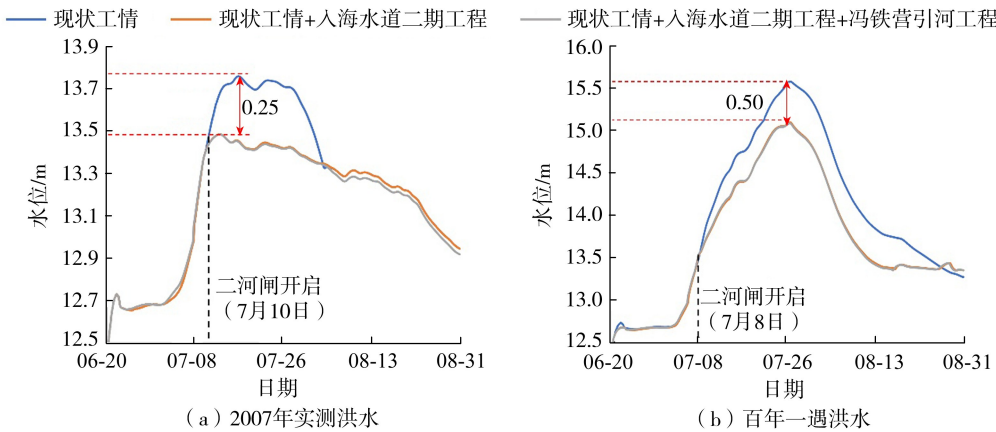


图 5 12.5 m 起调水位下蒋坝水位过程

Fig. 5 Variation of water level at Jiangba with water control level of 12.5 m

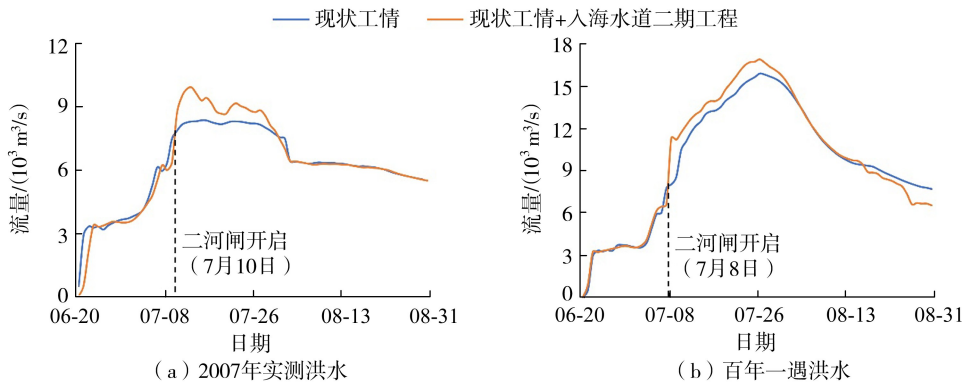


图 6 12.5 m 起调水位下湖区出口总流量过程

Fig. 6 Variation of discharges at Hongze Lake outlets with water control level of 12.5 m

在入海水道二期工程协同作用下,冯铁营引河实施前后蒋坝水位过程线几乎不变,冯铁营引河的实施对蒋坝水位影响不大。综上,入海水道二期工程实施后,对于不同等级洪水都能有效降低蒋坝的峰值水位,这为汛期起调水位的抬升提供了可能性。

3.2 起调水位抬升对蒋坝水位的影响

蒋坝峰值水位是衡量洪泽湖防洪安全的重要指标。为充分研究起调水位抬升对蒋坝水位的影响,基于本文建立的数学模型,给出了不同起调水位下,现状工情、入海水道二期工程实施、入海水道二期工程与引河工程均实施后蒋坝的峰值水位(图 7),来水过程包括 2007 年实测洪水和百年一遇洪水。

对于不同工况的百年一遇来水,随着起调水位从 12.5 m 抬升至 14.0 m,蒋坝峰值水位几乎不变,主要是因为湖区起调水位越高,出口工程启用后的泄量越大,湖区水位上升速度迅速得到抑制,在洪峰来临前某时刻,起调水位提升的影响已被消除,此后不同工况下蒋坝水位和湖区出口流量曲线接近重合(图 8),因此起调水位的提升不影响蒋坝峰值水位。对于 2007 年实测洪水,起调水位的抬升虽然引起了蒋坝峰值水位的上升,但各起调水位下蒋坝峰值水位均不会超过 14.5 m,该水位是洪泽湖湖周滞洪区开启水位,故起调水位抬升不会增大湖周滞洪区的洪水风险。

由图 8(a)可知,以现状 12.5 m 起调的蒋坝水位过程线为基准,采用 13.0、13.5、14.0 m 起调水位,将使蒋坝水位分别在 7 月 8 日、7 月 13 日和 7 月 19 日之前偏高,此后蒋坝水位与 12.5 m 起调水位的水位一致,即起调水位提升的影响将在洪水开始后的 18、23、29 d 后被消除。

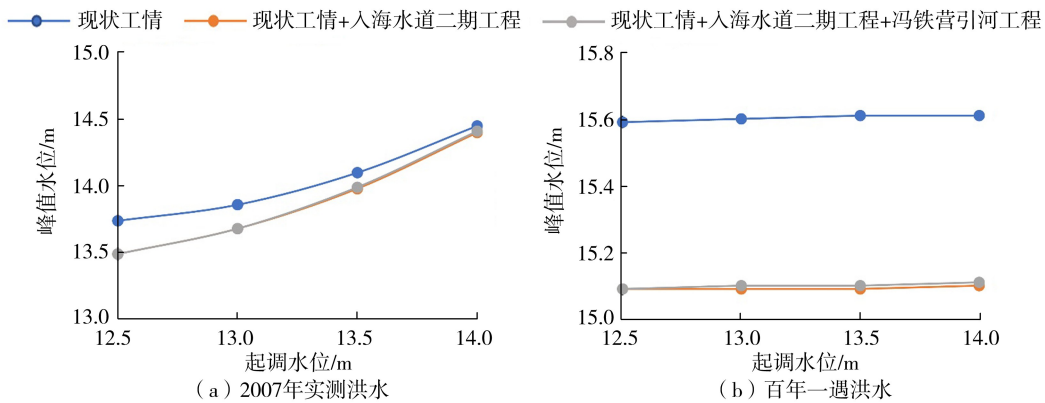


图 7 不同起调水位下蒋坝峰值水位变化
Fig. 7 Variation of peak water level at Jiangba with different water control levels

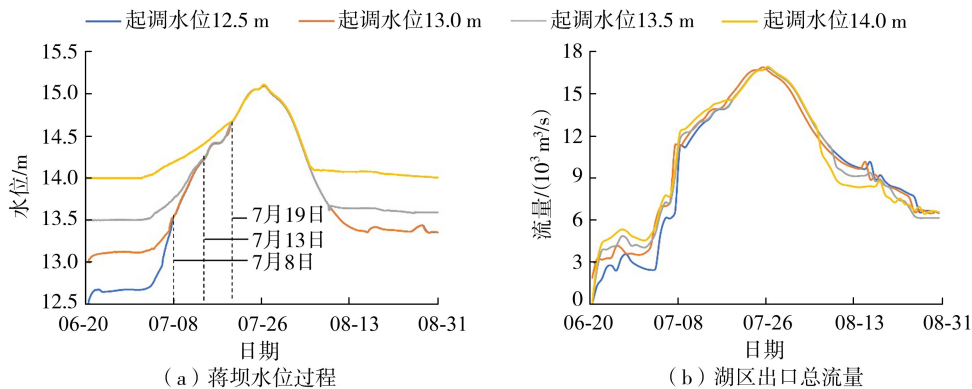


图 8 百年一遇洪水下各起调水位蒋坝水位过程与湖区出口总流量
Fig. 8 Variation of discharges at Hongze Lake outlets and water level at Jiangba in once-in-a-century flood event with different water control levels

3.3 起调水位抬升对洪泽湖滞洪区启用的影响

根据淮河洪水调度方案,当洪泽湖蒋坝水位达到 14.5 m 且继续上涨时,滞洪区破圩滞洪,圩区启用将对圩内人民生命财产带来损失。本节研究考虑湖周滞洪区洪水风险情形下起调水位可抬升幅度,以及起调水位抬升后洪泽湖可增加的库容。

由图 7(a)可知,对于 2007 年实测洪水,起调水位提升至 14.0 m 湖周滞洪区都无需启用,故对于淮河干流 2007 年流量等级的洪水(约 20 年一遇),在有较精确的水文预报前提下,洪泽湖汛期起调水位可以设置为 13.5~14.0 m,根据洪泽湖水位库容关系,此起调水位下洪泽湖可增加水资源量约 16.0 亿~24.5 亿 m^3 。

对于百年一遇洪水,任意水位起调,洪泽湖滞洪区都将启用,但不同起调水位方案下破圩时间不同。起调水位为 12.5、13.0、13.5 m 时,滞洪区分别在 7 月 18 日 16 时、7 月 18 日 16 时及 7 月 18 日 14 时破圩滞洪,各工况破圩时间仅差距 2 h 左右,表明在 12.5~13.5 m 水位起调情况下,洪泽湖湖周滞洪区承受的洪水风险相当;而当起调水位抬升至 14.0 m 时,滞洪区在 7 月 15 日 22 时破圩,破圩时间较 12.5 m 起调工况将提前 66 h,意味着圩区总淹没时长增加且洪水风险增大。因此,在淮河中上游发生百年一遇洪水时,洪泽湖汛期起调水位可设置在 13.0~13.5 m 之间,该起调水位可保证基本不增加湖周滞洪区防洪压力的前提下,增加洪泽湖水资源量 7.8 亿~16.0 亿 m^3 。

第 3.1 节表明,冯铁营引河工程对于蒋坝水位几乎没有影响,故该工程的实施对洪泽湖的运行调度影响较小,基本不改变上述起调水位的研究成果与结论。不同工情、水情条件的起调水位见表 2。

4 结 论

a. 入海水道二期工程可显著增强洪泽湖出口泄流能力,有效降低蒋坝水位;在入海水道二期工程协同作用下,冯铁营引河工程虽会加快洪水入湖速度,但对蒋坝水位影响极为微弱。

表 2 不同工情、水情的洪泽湖汛期起调水位

Table 2 Water control levels during flood season under different engineering and water conditions at Hongze Lake

淮河干流来水条件	工程条件	起调水位/m
2007 年实测洪水	现状工情+入海水道二期工程	13.5~14.0
	现状工情+入海水道二期工程+冯铁营引河工程	13.5~14.0
百年一遇洪水	现状工情+入海水道二期工程	13.0~13.5
	现状工情+入海水道二期工程+冯铁营引河工程	13.0~13.5

b. 对于百年一遇洪水,入海水道二期工程实施后,起调水位在 14.0 m 以内将不改变蒋坝峰值水位,起调水位抬升导致蒋坝水位偏高的影响可在蒋坝达到峰值水位前消除,但起调水位提升会使滞洪区提前破坏。为了不增大滞洪区洪水风险,起调水位应不高于 13.5 m。对于 2007 年量级洪水,起调水位的抬升不会增大湖周滞洪区的洪水风险。

c. 对于淮河干流 2007 年流量等级的洪水,在具备较高洪水预报能力的前提下,洪泽湖汛期起调水位可上调 1.0~1.5 m;对于百年一遇洪水,起调水位可上调 0.5~1.0 m。

参考文献:

[1] 陈茂满. 洪泽湖蓄泄关系与淮河中下游防洪[J]. 水利规划与设计,2004(2):27-31. (CHEN Maoman. Relationship between storage and release of Hongze Lake and flood control of middle-and-lower reaches of Huaihe River[J]. Water Resources Planning and Design,2004(2):27-31. (in Chinese))

[2] 邓恒,徐国宾,樊贤璐,等. 洪泽湖洪水调蓄能力研究[J]. 水资源与水工程学报,2019,30(2):149-153. (DENG Heng,XU Guobin,FAN Xianlu,et al. Study on the flood regulation and storage capacity of Hongze Lake[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2019,30(2):149-153. (in Chinese))

[3] 郑娜娜,王晟聪,陈昌仁. 生态治理背景下洪泽湖退渔渔民的可持续生计研究[J]. 水利经济,2023,41(5):91-100. (ZHENG Nana,WANG Shengcong,CHEN Changren. Research on sustainable livelihoods of retired fishermen in Hongze Lake under background of ecological governance[J]. Journal of Economics of Water Resources,2023,41(5):91-100. (in Chinese))

[4] 何孝光,贾健,刘锦霞. 南水北调东线洪泽湖抬高蓄水位工程效益分析[J]. 建筑经济,2007(4):92-93. (HE Xiaoguang,JIA Jian,LIU Jinxia. Analysis of engineering benefit of Hongze Lake raising water level of sluice[J]. Construction Economy,2007(4):92-93. (in Chinese))

[5] 王蔚,周春飞,侍翰生,等. 基于水资源利用的洪泽湖汛期水位控制运用研究[J]. 江苏科技信息,2021,38(14):65-70. (WANG Wei,ZHOU Chunfei,SHI Hansheng,et al. Study on water level control of Hongze Lake in flood season based on water resources utilization[J]. Jiangsu Science and Technology Information,2021,38(14):65-70. (in Chinese))

[6] 王蔚,董增川,崔璨,等. 基于洪水资源化的洪泽湖后汛期蓄水策略[J]. 水资源保护,2023,39(2):168-179. (WANG wei,DONG Zengchuan,CUI Can,et al. Water storage strategy in post-flood period for Hongze Lake based on flood utilization[J]. Water Resources Protection,2023,39(2):168-179. (in Chinese))

[7] 潘光杰,尚洁. 江苏淮安市抗御 2019 年特大干旱实践与思考[J]. 中国防汛抗旱,2021,31(2):61-65. (PAN Guangjie,SHANG Jie. Practice and thoughts on drought relief in Huaian City, Jiangsu Province in 2019[J]. China Flood & Drought Management,2021,31(2):61-65. (in Chinese))

[8] 唐晶,王海亮,曾庆祝,等. 对动态控制洪泽湖汛限水位的思考[J]. 治淮,2020(1):25-26. (TANG Jing,WANG Hailiang,ZENG Qingzhu,et al. Consideration on dynamic control of flood limit water level in Hongze Lake[J]. Zhi Huai,2020(1):25-26. (in Chinese))

[9] 杨锋. 淮委对冯铁营引河工程开展调研[J]. 治淮,2013(11):1. (YANG Feng. Huai Committee carried out research on Feng Tieying river diversion project[J]. Zhi Huai,2013(11):1. (in Chinese))

[10] 杜雅坤. 淮河入海水道二期工程二河枢纽段工程开工[J]. 治淮,2023(12):2. (DU Yakun. The second phase of the Huaihe River to Seawater Channel project,the junction section of the two rivers,started[J]. Zhi Huai,2023(12):2. (in Chinese))

[11] 周洁,董增川,朱振业. 入海水道二期对洪泽湖地区洪水风险的影响研究[J]. 水利水运工程学报,2017(5):60-66. (ZHOU Jie,DONG Zengchuan,ZHU Zhenye. Influence of sea-entering channel phase II project on flood risk in Hongze Lake area[J]. Hydro-Science and Engineering,2017(5):60-66. (in Chinese))

[12] 崔璨,董增川,罗赞,等. 基于水文水动力模型的洪泽湖汛末蓄水策略智能优化设计[J]. 水资源保护,2023,39(4):143-151. (CUI Can,DONG Zengchuan,LUO Yun,et al. Intelligent optimization design of water storage strategy for post-flood period of Hongze Lake based on hydrological-hydrodynamic model[J]. Water Resources Protection,2023,39(4):143-151. (in Chinese))

[25] 张梦娇,南熠,吴永祥,等. 1960—2020 年青藏高原东部主要河流的径流和泥沙变化特征[J]. 水科学进展,2024,35(2): 298-312. (ZHANG Mengjiao, NAN Yi, WU Yongxiang, et al. Streamflow and sediment change of major rivers in the Eastern Tibetan Plateau from 1960 to 2020[J]. Advances in Water Science,2024,35(2):298-312. (in Chinese))

[26] 黄建雄,冶运涛,曹引,等. 黄河北干流水沙时空变化特征及协调性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2024,52(3): 25-33. (HUANG Jianxiong, YE Yuntao, CAO Yin, et al. Analysis of spatial and temporal variation characteristics and coordination of water-sediment in the north main reach of Yellow River[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2024,52(3):25-33. (in Chinese))

[27] WANG Shuhong, LIU Jintao, PRITCHARD H D, et al. Characterizing 4 decades of accelerated glacial mass loss in the west Nyainqentanglha Range of the Tibetan Plateau[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2023,27(4):933-952.

[28] YANG Hanbo, YANG Dawen, LEI Zhidong, et al. New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation [J]. Water Resources Research,2008,44(3):W03410.

[29] 王卫光,陆文君,邢万秋,等. 黄河流域 Budyko 方程参数 n 演变规律及其归因研究[J]. 水资源保护,2018,34(2):7-13. (WANG Weiguang, LU Wenjun, XING Wanqiu, et al. Analysis of change and attribution of Budyko equation parameter n in Yellow River[J]. Water Resources Protection,2018,34(2):7-13. (in Chinese))

[30] WANG Taihua, YANG Hanbo, YANG Dawen, et al. Quantifying the streamflow response to frozen ground degradation in the source region of the Yellow River within the Budyko framework[J]. Journal of Hydrology,2018,558:301-313.

(收稿日期:2024-07-12 编辑:刘晓艳)

(上接第 21 页)

[13] 罗赞,董增川,刘玉环,等. 基于 Copula 函数的连河通江湖泊防洪安全设计:以洪泽湖为例[J]. 湖泊科学,2021,33(3): 879-892. (LUO Yun,DONG Zengchuan,LIU Yuhuan,et al. Safety design for rivers-connected lake flood control based on Copula function;a case study of Lake Hongze[J]. Journal of Lake Sciences,2021,33(3):879-892. (in Chinese))

[14] 倪晋,虞邦义,张学军,等. 淮河流域冯铁营引河工程的防洪效果及影响评估[J]. 人民长江,2021,52(7):22-28. (NI Jin, YU Bangyi,ZHANG Xuejun,et al. Flood control effect and impact assessment of Fengtieying Diversion Project in Huaihe River Basin[J]. Yangtze River,2021,52(7):22-28. (in Chinese))

[15] 何夕龙,陈婷,许慧泽,等. 入海水道二期工程河道开挖规模与洪泽湖周边滞洪区运用关系研究[J]. 水利规划与设计, 2020(7):10-13. (HE Xilong,CHEN Ting,XU Huize,et al. Study on relationship between scale of channel excavation and flood storage area along Hongze lake on second stage of Sea-entering channel project[J]. Water Resources Planning and Design,2020 (7):10-13. (in Chinese))

[16] 刘源. 洪泽湖出流格局变化下的水动力特性分析[D]. 天津:天津大学,2020.

[17] 薛联青,成诚,汪露,等. 洪泽湖中低水位下泄流能力数值模拟[J]. 水资源保护,2022,38(5):32-38. (XUE Lianqing, CHENG Cheng,WANG Lu,et al. Numerical simulation of discharge capacity under middle and low water levels of Hongze Lake [J]. Water Resources Protection,2022,38(5):32-38. (in Chinese))

[18] 陈春锦,徐国宾. 河道综合治理措施对洪泽湖及淮河干流水位影响数值模拟分析[D]. 天津:天津大学,2022.

[19] 丁玲,逢勇. 二维水流水质黎曼近似解模型性能分析及应用[D]. 南京:河海大学,2003.

[20] ZHAO Deshuang, SHEN Hanwei, TABIOS G Q, et al. Finite-volume two-dimensional unsteady-flow model for river basins-Closure [J]. Journal of Hydraulic Engineering,1996,122(1):52.

[21] SLEIGH P A, GASKELL P H, BERZINS M, et al. An unstructured finite-volume algorithm for predicting flow in rivers and estuaries[J]. Computers & Fluids,1998,27(4):479-508.

[22] 陈咏诗,朱海,杨旭,等. 沙颍河下泄污水的降解与稀释特性对西淝河取水口水质的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(6):29-36. (CHEN Yongshi, ZHU Hai, YANG Xu, et al. Impact of degradation and dilution characteristics of effluent discharged from Shaying River on the water quality of water-intake of Xifei River[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2023,51(6):29-36. (in Chinese))

(收稿日期:2024-07-09 编辑:刘晓艳)