

淮河入海水道泄洪能力与洪泽湖 运行水位关系研究

李 晗 宇¹, 邓 涯^{1,2,3}, 张 维⁴, 马 爱 兴^{1,2,3}, 胡 颖^{1,2,3}

(1. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;

2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

3. 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029; 4. 江苏省水利工程建设局, 江苏 南京 210029)

摘要:在实测水文、地形和闸涵枢纽资料的基础上,建立了包含洪泽湖及主要出入湖通道在内的大范围二维水流数学模型,对洪泽湖中低水位下(13.0~14.5 m)湖区水流特性、分流特性和出湖段局部水动力特征等进行了计算与分析,揭示了洪泽湖泄洪不畅的原因。结果表明,湖区主流在南侧由淮河口大幅摆弯至三河闸入江,呈明显的吞吐之势;随入湖流量的增加和洪泽湖水位的不断抬高,南北侧分流线逐渐北移,经北侧二河闸及入海水道的泄洪流量占比有所加大,而出湖段水面比降整体有所减小;北侧出湖段二河闸上游引河的河槽狭小,形成卡口区,在中低水位期大幅限制了洪泽湖北侧的泄洪能力。

关键词:淮河;入海水道;洪泽湖;泄洪能力

中图分类号:TV873

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2021)12-0015-05

Research on relationship between flood discharge capacity of Huaihe River waterway to sea and operating water level of Hongze Lake

LI Hanyu¹, DENG Ya^{1,2,3}, ZHANG Wei⁴, MA Aixin^{1,2,3}, HU Ying^{1,2,3}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, National Energy Administration, Ministry of Transport,
Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China;

2. Key Laboratory of Water Resource and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China;

3. Key Laboratory of Port and Channel Sediment Engineering and Transportation Industry, Nanjing 210029, China;

4. Jiangsu Water Conservancy Engineering Construction Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: On the basis of the measured hydrology, topography and sluice and culvert pivot data, a large-scale two-dimensional mathematical model of water flow including Hongze Lake and the main access to the lake was established. The calculation and analysis of the water flow characteristics, diversion characteristics and local hydrodynamic characteristics of the lake area revealed the reasons for the poor flood discharge of Hongze Lake under low water level (13.0~14.5 m) characteristics revealed the Hongze Lake flood and the cause of the poor. The results showed that the mainstream of the lake area swung sharply from the mouth of the Huaihe River to the Sanhe sluice into the river, showing an obvious trend of throughput; with the increase of the inflow into the lake and the continu-

收稿日期:2021-01-21

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y220010,Y220011,Y221012,Y221013);江苏省水利科技项目(2018008)

作者简介:李晗宇(1997—),男,硕士研究生,研究方向为水力学及河流动力学。E-mail:1183127952@qq.com

通信作者:邓涯(1991—),男,工程师,博士,主要从事为水力学及河流动力学研究。E-mail:yideng@nhri.cn

ous elevation of the water level of Hongze Lake, the north-south diversion line gradually shifted northward. The proportion of flood discharge through the Erhe Sluice on the north side and the water inlet channel had increased, while the water surface drop of the lake outlet section had decreased overall. The channel of the upper reaches of the Erhe Sluice on the north side of the lake outlet was narrow, forming a bayonet in the middle and low water level periods, the flood discharge capacity on the north side of Hongze Lake was greatly restricted.

Key words: Huaihe River; river waterway to sea; Hongze Lake; flood discharge capacity

洪泽湖位于江苏淮安、宿迁境内,是淮河中下游结合部的巨型综合利用平原水库,总库容 169 亿 m^3 ,在淮河整个防洪体系中占据十分重要的作用,现状防洪标准为 100 年一遇^[1-3]。

目前,洪泽湖的泄洪通道有南侧的入江水道和北侧的苏北灌溉总渠、分淮入沂水道以及入海水道,总泄洪能力达 15 270 ~ 18 270 m^3/s 。但在中低水位期(蒋坝水位 12.5 ~ 14.5 m),洪泽湖洪水出路规模偏小,如蒋坝水位 14.50 m 时,总泄洪流量仅有 15 110 m^3/s ,进而导致在遭遇中等洪水时,湖区水位明显偏高^[4]。

入海水道西起洪泽湖二河闸,东至滨海县扁担港注入黄海,全长 162.3 km,是洪泽湖十分重要的泄洪通道^[5-6]。当前,二期工程也正在前期规划阶段,有必要对工程实施前入海水道泄洪能力与洪泽湖运行水位间的关系进行分析,以为工程规划和设计提供技术借鉴。

本文建立了洪泽湖大范围二维水流数学模型,对洪泽湖在中、低水位期湖区水流特性、分流特性和出湖段局部水动力特征进行计算,并分析了中低水位下洪泽湖泄洪能力不足的原因。

1 模型建立与验证

1.1 控制方程

水流连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{h}u}{\partial x} + \frac{\partial \bar{h}v}{\partial y} = hS \quad (1)$$

运动方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{h}u}{\partial t} + \frac{\partial \bar{h}u^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{h}vu}{\partial y} &= \bar{f}v h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \\ &\frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \\ &\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \\ \frac{\partial \bar{h}v}{\partial t} + \frac{\partial \bar{h}uv}{\partial x} + \frac{\partial \bar{h}v^2}{\partial y} &= -\bar{f}u h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \\ &\frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (3)$$

式中: x, y 为直角坐标系坐标; t 为时间变量; η 为波面高程; d 为静水水深; h 为总水深; u, v 为 x, y 方向上的流速; \bar{u}, \bar{v} 为 x, y 方向上的垂线平均速度; p_a 为大气压强; ρ 为水流密度; ρ_0 为水密度的参考; S 为点源处的流量的大小; g 为重力加速度; u_s, v_s 为点源的流速; $\tau_{sx}, \tau_{sy}, \tau_{bx}, \tau_{by}$ 分别为 x, y 方向上的表面风速和底部应力; f 为科氏参数($f = 2\omega \sin \phi$, ω 为地球旋转角速度, ϕ 为纬度); T_{xy}, T_{yy} 分别为 x, y 方向上的横向应力。

1.2 研究区域及网格划分

为探究泄洪能力与洪泽湖运行水位的关系,模拟区域进口边界共 5 处,淮河干流给定吴家渡站实测流量,其余周边支流作为源,给定各控制站的实测出流,并加入到相应的二维模型网格单元中;出口边界 4 处,入江水道(三河闸)、入海水道给定实测水位,分淮入沂和高良涧闸给定实测流量边界。

洪泽湖湖区模拟范围以迎湖挡洪堤为边界;淮河干流上至池河口上游 2.5 km,共 51.6 km;入海水道下至进洪闸下游 3.5 km;分淮入沂下至二河闸下游 9.5 km,模型范围总共 1 758.9 km^2 ,见图 1。

模型计算区域的离散采用三角形网格,洪泽湖湖面网格适当放大,并对重点研究区域网格适当加密。整个计算区域网格节点 17 826 个,单元 34 421 个,模型地形及网格见图 2。

1.3 验证结果

根据 2003 年和 2007 年实际行洪水位流量复核及模型验证,二河枢纽至淮安枢纽,泓道糙率为 0.02 ~ 0.0225,滩地糙率为 0.03 ~ 0.035。模型中一般河道糙率为 0.018 ~ 0.025,洪泽湖湖面糙率为 0.025 ~ 0.033,其中疏浚过的、较规则的河槽糙率取 0.018,其余河槽糙率取 0.025,由于如栗河洼等部分区域为芦苇荡,糙率取 0.033。

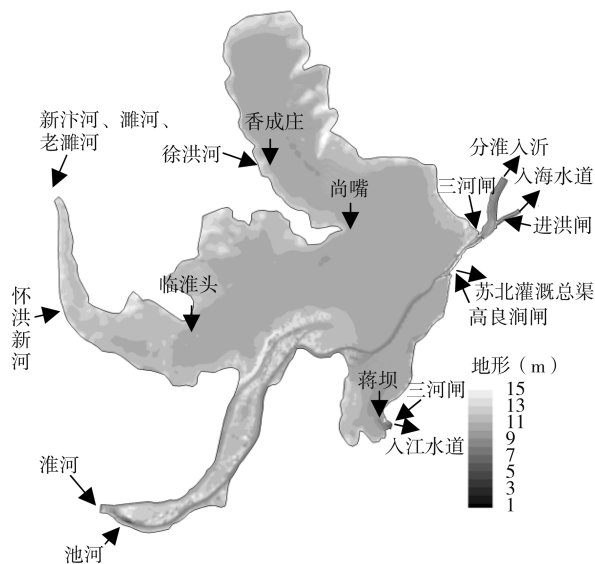


图 1 模型地形

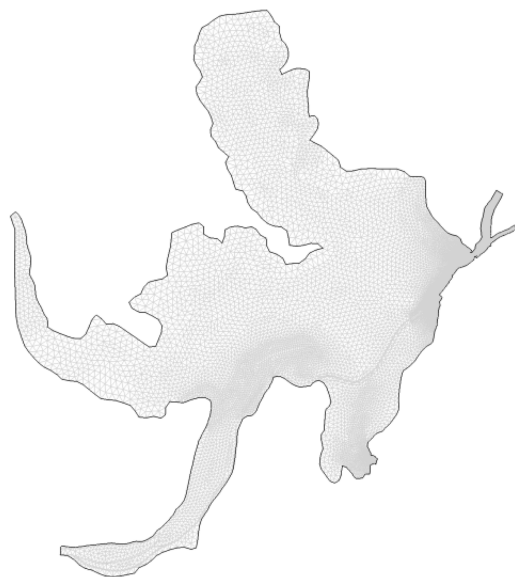


图 2 模型网格

2007 年 7 月 24 日对洪泽湖北侧出湖段二河闸、入海水道进洪闸和淮安地涵上下游的水位进行观测,在 7 月 24 日前后 3 日内各入湖流量、出湖流量和湖区内各水位站点水位变化过程较为平稳(蒋坝水位变幅 ± 2 cm,出湖流量变幅在 $\pm 0.8\%$),模型可采用 7 月 24 日日均流量和水位资料进行恒定流验证。

洪泽湖湖区蒋坝、老子山等 5 个水文站和二河闸、入海水道进洪闸上、闸下的水位,以及入海水道和入江水道泄洪流量验证结果见表 1,出湖流量误差在 $\pm 5\%$ 以内,水位误差在 ± 5 cm 以内,满足相关规范要求。

表 1 模型验证边界条件及结果

内容	站点/河名	2007-07-24	计算值	误差
出湖流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	入海水道	2050	2117	3%
	入江水道 (三河闸)	8350	7996	-4%
	老子山	14.12	14.15	0.03
	临淮头	13.79	13.82	0.03
水位/m	尚嘴	13.75	13.78	0.03
	香成庄	13.70	13.75	0.05
	蒋坝	13.60	13.58	-0.02
	二河闸(闸上)	13.30	13.30	0.00
	二河闸(闸下)	13.27	13.29	0.02
	入海闸(闸上)	13.00	12.99	-0.01
	入海闸(闸下)	12.87	12.85	-0.02
	三河闸			
	入江水道			
	苏北灌溉总渠			

注:观测值为 2007 年 7 月 24 日测得。

2 结果与讨论

2.1 水位和流场

由于主要的人流通道为南侧的淮河(占比 70.3%)和汇入西侧溧河洼的淮沐新河、下草湾引河(共计占比 22.9%),湖区水位特征呈现淮河口最高、西高东低和北高南低的特性,其中南北向水面比降相对较小,空间不均匀性明显(图 3)。

在蒋坝水位 13.0 m 条件下(入海水道启用)湖区水流南北界线在高良涧船闸附近出湖河道口门南侧 7.9 km(直线距离,下同),湖区内水流流速在 0.1 m/s 以下,在湖区南侧水流由淮河口流出后急剧摆向进入三河闸上游段,呈现明显的吞吐水势,流速在 0.3 m/s 以上,南侧出湖段流速在 0.5 ~ 1.2 m/s。

出湖段附近湖区水位在 13.06 ± 0.01 m,高良涧闸口门、高良涧船闸附近出湖河槽口门以及二河闸左侧临湖区水位有一定比降,也是水流集中的区域,流速在 0.3 m/s 以上;其中高良涧船闸下游东侧大堤和西侧沙洲形成的狭窄出湖段流速在 1.0 ~ 1.7 m/s。

在蒋坝水位 14.5 m 条件下(破坏滞洪临界)湖区水流南北界线在高良涧船闸附近出湖河道口门

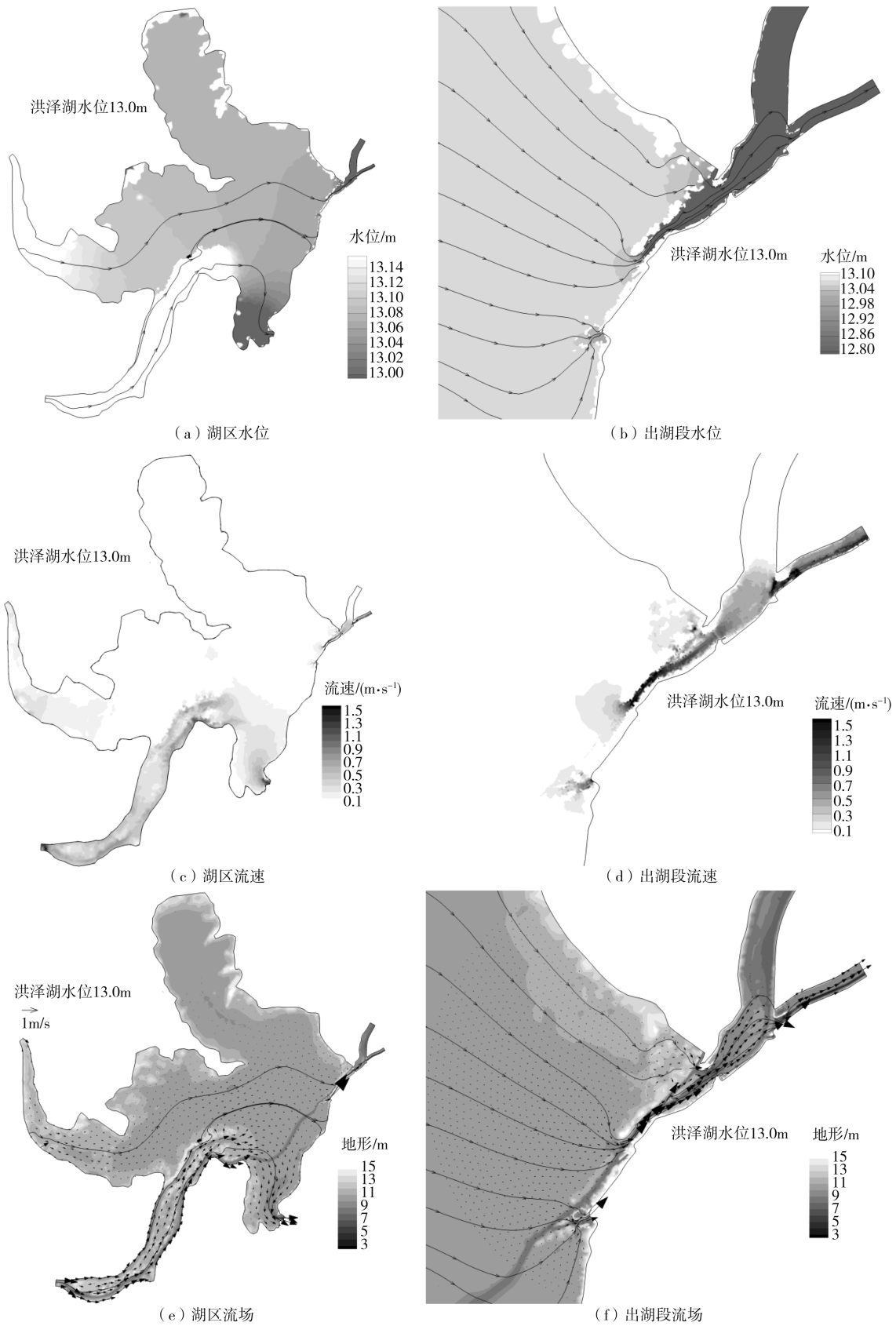


图 3 入海水道启用水位 13.0 m 下洪泽湖及出湖段水位和流场分布

南侧 6.8 km, 相比蒋坝水位 13.0 m 条件下北移 1.1 km。出湖段较大的水面比降出现在高良涧船

闸附近出湖河槽和二河闸左侧临闸区, 流速在 0.4 m/s 以上, 高良涧船闸下游东侧大堤和西侧沙洲

形成的狭窄出湖段流速在 $0.5 \sim 0.8 \text{ m/s}$, 相比中洪水期有所减小。

2.2 分流特性

洪泽湖南北侧出湖通道分流特性随着洪泽湖不同运行水位而相应变化(表2), 北侧经二河闸的流量占整个出湖流量的比例为 $17.6 \sim 25.1\%$, 整体上随湖区洪水位的抬升而有所增加, 相应地南侧入江流量占比有所减小。由于大洪水期分淮入沂逐步启用并增加控泄流量, 入海水道泄洪流量占比随湖区水位增加有所减小, 泄洪流量在 $1\,198 \sim 1\,993 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.3 北侧出湖段水面比降

洪泽湖北侧出湖段河槽狭窄、洲滩范围较大和闸群较多等原因, 出湖段水位沿程变化明显, 见图4。

在中洪水期(蒋坝水位 13.0 m) 出湖段水位由湖区的 13.04 m 逐步降至入海水道边界的 11.14 m , 沿程3处水位跌落明显, 分别在取水口上游 0.6 km 、取水口至洪祥村段和入海水道进洪闸附近河段, 前两个河段基本相连均在二河闸上游, 水面比降为 0.318‰ , 入海水道闸上下游河段比降在 0.276‰ ; 而由于二河闸下游受入海水道进洪闸壅水的影响, 在闸坝上下游水面线降幅较小, 比降仅为 0.046‰ ; 入海水道段在中洪水期水面比降较大, 在 0.118‰ 。

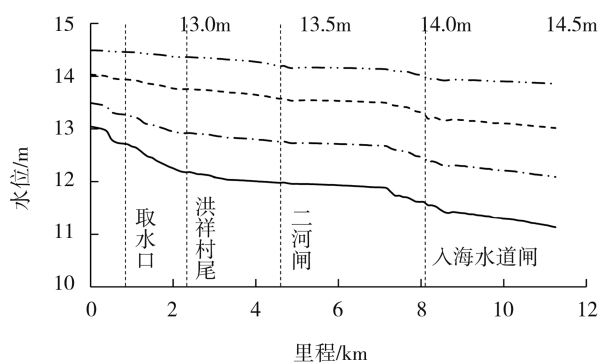


图4 不同湖区水位下出湖段沿程水面线变化

随洪泽湖运行水位的抬升, 出湖段各河段洲滩和近岸滩地的淹没水深也大幅增加, 除二河闸上游至下游分流点河段水面比降变化不大外($0.045\text{‰} \sim 0.053\text{‰}$), 其余3个河段水面比降均有所减小。高良涧船闸至二河闸上游段比降变化最为明显, 由中洪水期的 0.318‰ 大幅降至大洪水期(蒋坝水位 14.5 m) 的 0.052‰ ; 入海水道比降则由 0.118‰ 降至 0.032‰ 。

2.4 洪泽湖泄洪不畅原因

通过对洪泽湖不同中低水位运行条件下湖区水流特性和北侧出湖段局部水流特性分析可知, 洪泽湖中低水位条件下泄洪不畅的主要原因在于北侧出湖段二河闸上游引河的河槽狭小, 出湖水流被压缩在东岸大堤和沙洲(高程在 $13.3 \sim 14.3 \text{ m}$) 之间狭窄的缝隙中, 部分水流漫过西侧滩地进入引河, 但由于低水位时水深较小, 所形成的泄洪量也较低。

在洪泽湖水水位 $13.0 \sim 13.5 \text{ m}$ 运行时, 高良涧船闸~洪祥村尾段水面比降高达 $0.318\text{‰} \sim 0.205\text{‰}$, 流速 $1.6 \text{ m/s} \sim 1.4 \text{ m/s}$; 在水位抬高至 $14.0 \sim 14.5 \text{ m}$ 时, 比降降至 $0.102\text{‰} \sim 0.052\text{‰}$, 见图5, 可见高良涧船闸~洪祥村尾段形成了卡口区, 在中低水位期大幅限制了北侧出湖段的泄洪能力。

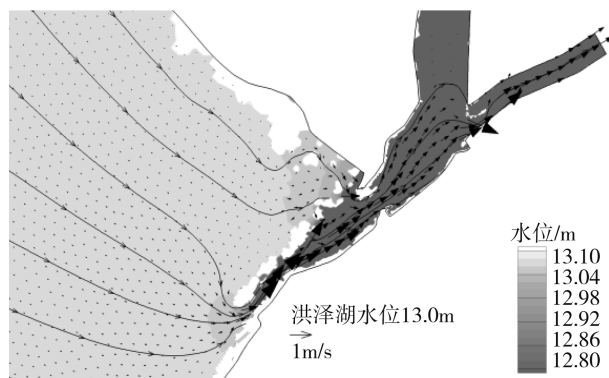


图5 洪泽湖中低运行水位下出湖段水流特性

3 结 论

(1) 由于主要入湖通道为南侧的淮河和西侧的淮沐新河、下草湾引河, 湖区水位特征呈现淮河口最高、西高东低和北高南低的特性, 南侧水流由淮河口流出后急剧摆向进入三河闸上游段, 呈明显的吞吐之势。

(2) 湖区的南北侧分流位置随淮河入汇流量增加而北移, 北侧经二河闸的流量占整个出湖流量的比例为 $17.6\% \sim 25.1\%$, 入海水道泄洪流量在 $1\,198 \sim 1\,993 \text{ m}^3/\text{s}$, 整体上两者随湖区洪水位的抬升而有所增加。

(3) 北侧出湖段二河闸上游引河的河槽狭小, 形成出湖段的卡口区, 水流被压缩在东岸大堤和沙洲(高程在 $13.3 \sim 14.3 \text{ m}$) 之间狭窄的缝隙中, 在洪泽湖中低水位期大幅限制了北侧出湖段的泄洪能力。

(下转第39页)

等导致的漏水情况,输水渠道也以土渠居多^[4]。二是灌溉制度方面。管理水平高的灌区,用水户都有较强的节水意识,在灌溉制度方面,也会依据作物的生长期采取不同的灌溉方式,例如水稻灌溉多采用浅湿节水灌溉、控制灌溉等高效节水灌溉模式,不仅提高了田间水利用率,同时达到高产的目的。另外在一些有条件的灌区,如启东、海门等县(市、区)的大棚设施农业灌溉采用微灌、喷灌等灌溉方式,大大提高了灌溉水利用率。

5 建 议

- (1)加强节水灌溉测试必要性、重要性的认识,便于县(市、区)及早统筹,做好测算各项准备工作。
- (2)普及节水灌溉知识,加强对灌区人员的专业技术指导。加强田间管理,减少田间渗漏,目前灌溉节水侧重于渠系输水效率的提高,但田间节水仍有较大的空间。
- (3)加强对灌溉水有效利用系数测算项目技术人员的业务培训,提高测算分析及理论水平。
- (4)继续加大农田水利工程建设。需要继续加

强对灌区的渠系维修、改造力度,对部分灌区内的土渠进行改造,对已全部硬质化的灌区开展维护保养工作。加强灌区基础设施建设,建设自动化量水设施。

此外,依托小型农水工程等工程不断加大整个区域的水利工程建设,加强泵站的管理及管理人员的培训,从管理上、工程建设上两手发力,以样点灌区为典型,以点带面,不断提高南通市农田灌溉水平。

参考文献:

[1] 陈强富,刘海巍,袁园,等.首尾法在小型灌区灌溉水利用系数测算中的应用[J].中国农村水利水电,2013(3):73-74,77.

[2] 唐晓春,任晓东,钱伟忠.首尾法测算稻田灌溉水利用率[J].治淮,2014(5):40-41.

[3] 冯保清.我国不同尺度灌溉用水效率评价与管理研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2013.

[4] 张楠.海安市夏秋季农田灌溉水有效利用系数的测算与分析[J].黑龙江科学,2019,10(24):49-51.

(上接第 19 页)

表 2 洪泽湖不同运行水位下出湖流量分流情况

蒋坝 水位/m	三河闸(入江)		二河闸(入海+入沂)		入海水道闸(入海)	
	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	占比/%	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	占比/%	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	占比/%
13.0	4800	70.6	1198	17.6	1198	17.6
13.5	5832	67.4	1824	21.1	1634	18.9
14.0	7306	65.9	2786	25.1	1993	18.0
14.5	8888	67.5	3270	24.9	1875	14.2

参考文献:

[1] 张永国,仇红军.洪泽湖滞洪区存在的问题与对策[J].治淮,2001(8):19-19.

[2] 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.

[3] 陈月华,邱沛炯.洪泽湖周边滞洪圩区调度运用方案研究[J].治淮,2014(10):4-5.

[4] 中水淮河规划设计研究有限公司,江苏省水利勘测设计研究院有限公司.淮河入海水道二期工程可行性研究报告[R].2015.

[5] 虞邦义,倪晋,杨兴菊,等.淮河干流浮山至洪泽湖出口段水动力数学模型研究[J].水利水电技术,2011,42(8):38-42.

[6] 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.