



曹娥江出海船闸平面布置通航水流及 水域影响研究*

孙国栋¹, 陈家浩¹, 金梦恬¹, 樊立东², 徐进², 张公略³, 全亚⁴

(1. 绍兴市公路港航与运输管理中心, 浙江 绍兴 312000;

2. 浙江省水利河口研究院 (浙江省海洋规划设计研究院), 浙江 杭州 310020;

3. 浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310011; 4. 绍兴市交通运输行政执法队, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 曹娥江出海船闸作为连通内河-外海的枢纽节点, 河段水文条件复杂、河势复杂多变、建筑物密集, 船闸运行受强潮影响, 口门及引航道横流、回流易超标, 船闸平面布置方案对改善水流条件尤为关键。基于钱塘江的实测地形数据, 建立二维潮流数学模型, 对 3 种不同布置形式的船闸设计方案进行比选。结果表明, 引航道出口布置在曹娥江大闸出口两侧连接线内的方案 1 较优, 其对周边水域包括曹娥江大闸、嘉绍大桥、工程岸段的近岸深槽流速及流态影响较小。该方案的通航水流条件较优, 引航道及口门区通航保证率较高, 为推荐方案。运用半经验半理论公式对推荐方案的河床冲淤影响进行计算, 结果表明其影响基本可控制在曹娥江口门区域内。

关键词: 强涌潮河口; 出海船闸; 总体布置; 数学模型; 通航水流

中图分类号: U641.2+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)10-0079-11

Impact of plane layout of Cao'e River estuary ship lock on navigation flow and water area

SUN Guodong¹, CHEN Jiahao¹, JIN Mengtian¹, FAN Lidong², XU Jin², ZHANG Gonglüe³, TONG Ya⁴

(1. Shaoxing Highway Port and Transportation Management Center, Shaoxing 312000, China;

2. Zhejiang Institute of Hydraulics & Estuary (Zhejiang Institute of Marine Planning and Design), Hangzhou 310020, China;

3. Zhejiang Institute of Digital and Intelligent Transportation Technology, Hangzhou 310011, China;

4. Administrative Law Enforcement Team of Shaoxing Transportation, Shaoxing 312000, China)

Abstract: The Cao'e River estuary ship lock connects the inland and offshore rivers. The hydrological conditions of the river section are complex, the riverbed situation is varied, and the buildings are dense. The operation of the ship lock is affected by strong tides. These lead to crossflow and backflow in the entrance and approach channel, which are prone to exceeding the standard. The layout plan of the ship lock is particularly crucial for improving water flow conditions. Based on the measured terrain data of the Qiantang River, a two-dimensional tidal mathematical model is established to compare three different layout types of ship lock design. The results show that Scheme one in which the approach channel outlet is arranged in the connecting lines on both sides of the outlet of Cao'e River Gate is better, and it has little impact on the flow velocity and flow pattern of the surrounding waters, including the Cao'e River Gate, Jiashao Bridge, and the offshore deep troughs of the project section. The navigation flow conditions of this scheme are better, and the navigation guarantee rate of the approach channel and entrance

收稿日期: 2025-01-22

*基金项目: 浙江省交通运输厅科技计划项目 (2024023, 2024026)

作者简介: 孙国栋 (1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事港航工程相关领域研究。

通信作者: 樊立东 (1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事河口海岸动力学研究。E-mail: fanlidong0203@163.com

area is relatively high. Therefore, it is the recommended scheme. The semi empirical and semi theoretical formula is used to calculate the impact of riverbed erosion and deposition in the recommended scheme. The results show that the impact of the recommended scheme can be basically controlled within the Cao'e River estuary area.

Keywords: strong tidal bore estuary; estuary ship lock; general layout; mathematical model; navigation flow

船闸是确保船舶在水位落差或流态剧变位置顺利通航的水工建筑物,引航道及口门区涉及静、动水能量的交换,易发生横流及回流超标现象,影响船舶安全通航^[1]。船闸的平面布置方案优化可一定程度改善引航道及口门区流态,保障船舶通航安全和提升通航保证率。李兴亮等^[2]研究了弯曲河流下游段湘江潇湘枢纽船闸引航道水流条件,针对不利流态的影响提出采用挑流墩和实体及透空导流墙来改善水流条件。王云莉等^[3]阐述了船闸口门区不良流态的形成因素和改善措施。姬昌辉等^[4]用物理模型对长江感潮河段不同引航道口门区水流条件进行试验研究。吴惠国等^[5]计算了曹娥江清风船闸导流墙不同布设方案对通航水流的改善程度。杨忠超等^[6]对麻石船闸增加导流墩、布设隔堤和改变导流墩轴向角等方案进行比选,得到满足通航指标的最优方案。赵根生等^[1]利用平面二维数学模型对珠江水系西江干流岩滩下游口门区导流墩不同布置方案口门区通航水流条件影响进行了计算和分析。马超等^[7]利用数学模型对岷江张坎航电枢纽船闸引航道堤头形式、边墙长度及转向、导流墩增设等进行比选并提出优化方案。金国强等^[8]通过河床演变分析、泥沙数学模型、物理模型试验及实船测试等综合方法,系统研究八堡船闸区域的河势演变、通航条件(水深、水流)及闸下泥沙淤积问题,验证岸滩整治方案对改善航道通航特性的可行性。

目前,船闸水流条件研究多集中于内河或非强潮感潮河段,对于强潮河口区的研究仍较有限。曹娥江船闸位于强涌潮河口区,潮强流急,曹娥江口与钱塘江近乎垂直,水流条件复杂;闸址邻接曹娥江大坝等水利工程,其建设将显著改变水流条件与河床形态。平面布置比选需统筹优化船闸布

局,以改善通航条件并减小环境影响。本文基于实测地形数据构建二维潮流数学模型,通过多方案比选确定最优布置形态,旨在为决策提供科学依据。

1 工程概况

曹娥江大坝为河口综合枢纽工程,具有防潮防洪、水资源调控及航运优化等复合功能,作为2008年投运的I等工程,设计泄洪流量达11 030 m³/s,包含挡潮闸、堵坝、鱼道等主体建筑物。鉴于河口复杂的水沙动力条件,建闸时于东侧设置临时堵坝以稳定河势,预留未来船闸建设空间。规划船闸按I等工程标准设计(闸首、闸室按1级标准建设),可供3 000吨级江海船舶通航,见图1、2。



图1 曹娥江大坝地理位置

Fig. 1 Geographical location of Cao'e River Gate

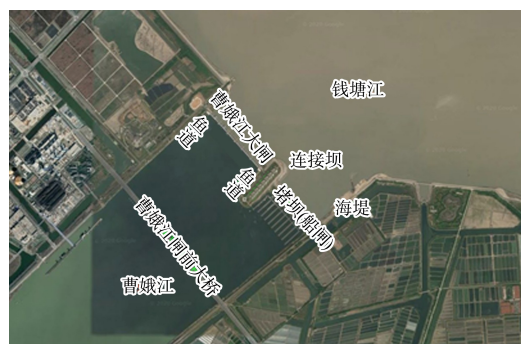


图2 曹娥江大坝现状俯瞰图

Fig. 2 Aerial view of current situation of Cao'e River Gate

钱塘江河口大规模整治工程(治江缩窄)实施后,尖山河段河势有了较大改善。观测资料表明,近年来,钱塘江尖山河段河势已趋于走中偏南的稳定态势^[9],为曹娥江大闸口门船闸工程建设创造了一定的条件。根据曹娥江大闸现状及规划,在堵坝靠导流堤侧预留口门船闸位置,因此新建船闸位置选择固定明确。

2 船闸总体布置

2.1 布置原则

船闸平面布置需统筹工程效益与河势特征,其选址应基于水文泥沙、地形地质等要素,系统论证船闸定位的合理性^[10-11]。结合现有工程经验,确定项目规划原则为:1) 契合航运规划与防洪需求;2) 协调既有大闸、堤防的空间关系;3) 优化引航道布局及跨闸桥梁衔接;4) 保障施工期既有结构安全;5) 控制工程成本并提升调度效率。

2.2 布置方案

提出 3 个船闸总体布置方案,均为中间设蓄水池、两侧布置闸室和引航道的双线通航模式,但 3 个方案堵坝外侧长度和口门形式不同,见图 3。方案 1 为坝上式,方案 2 为坝下式,方案 3 为坝中式。与方案 1 不同,方案 2、3 的引航道出口布置在曹娥江大闸出口两侧连接线之外。方案 1、2 引航道长 440 m,方案 2 相对方案 1 外移 390 m,方案 3 引航道长 620 m;方案 1、2 口门宽 224 m,方案 3 口门宽 183 m。引航道设计底高程为-3.5 m。方案 3 导流墙前端采用折角形式,且东侧导流墙有所伸长。船闸中间拟设置大蓄水池,用于闸下泄水冲沙。

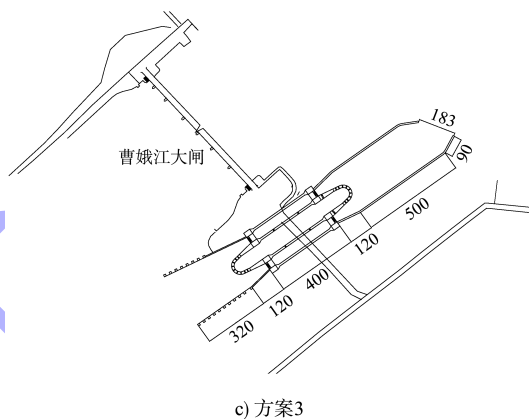
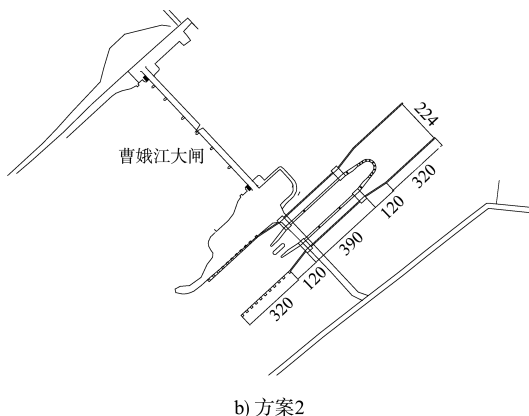
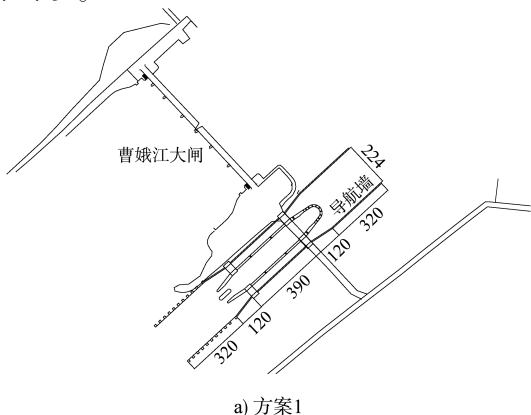


图 3 船闸平面布置方案 (单位: m)

Fig. 3 General layout schemes of ship lock (unit: m)

针对上述 3 种方案,通过二维数学模型进行分析计算。模型构建时,钱塘江采用 2021 年 4 月 1:50 000 江道地形,曹娥江口门区域采用 2021 年 4 月观测地形。选取激浦 10% 保证率潮差的典型大潮作为水文计算条件,计算时不考虑大闸泄水。根据 2019 年实测潮位资料统计,激浦站潮差保证率为 10% 的潮差为 7.68 m,其潮位过程见图 4。

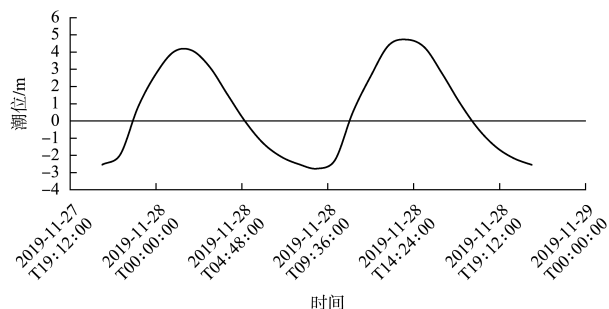


图 4 激浦典型大潮潮位过程

Fig. 4 Typical high tide level process at Ganpu

3 数学模型建立

3.1 控制方程

水流控制方程包括 1 个连续方程和 2 个动量方程。

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} = S \quad (1)$$

其中:

$$E = \begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$F = \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G = \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_{0,x} - S_{f,x}) - \frac{gh^2}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + fhu + \frac{W_x}{\rho} \\ gh(S_{0,y} - S_{f,y}) - \frac{gh^2}{2\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + fhv + \frac{W_y}{\rho} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: x 、 y 为笛卡尔直角坐标系的东、北方向坐标; t 为时间; u 、 v 分别为 x 、 y 方向上的速度分量; h 为水深; g 为重力加速度; $S_{f,x}$ 、 $S_{f,y}$ 分别为 x 、 y 方向的阻力项; $S_{0,x}$ 、 $S_{0,y}$ 分别为 x 、 y 方向的底坡项; ρ 为水密度; f 为柯氏系数; W_x 、 W_y 分别为 x 、 y 方向的风应力。

3.2 模型网格

曹娥江船闸工程位于钱塘江尖山河段, 综合考虑边界条件获取的便利等因素, 模拟上边界设置在富春江电站, 模拟下边界设置在芦潮港-镇海断面, 计算域的面积为 4 885 km²。计算时, 上边界富春江电站断面的流量根据实测及设计值设定, 模型下边界芦潮港-镇海断面的水位过程依据东中国海大模型及设计值设定。

鉴于三角形网格对边界拟合的优越性和对特

别关注区域局部加密的便捷性, 对计算域进行三角形网格剖分。本次计算共布设 60 769 个单元、31 924 个节点, 最小网格空间步长约 2 m, 计算网格见图 5。

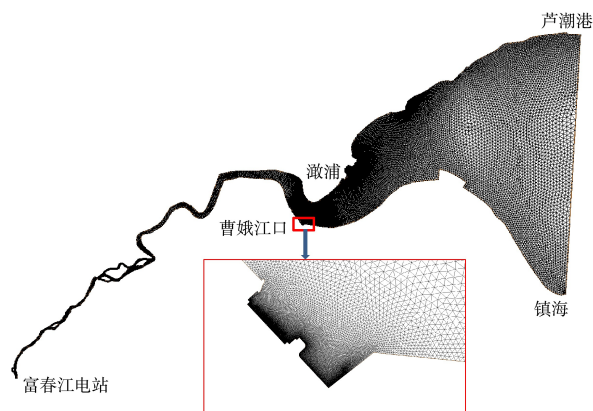


图 5 模型网格

Fig. 5 Model mesh

3.3 模型验证

模型应通过实测数据验证, 以率定底床摩擦等参数, 检验模型概化的正确性, 方可用于预测。应用 2020 年 11—12 月的实测水文资料对模型进行验证, 测点布置见图 6。潮位和流速的验证结果分别见图 7、8。钱塘江河口冲淤变化较快, 其中 C3 点位于滩槽变化边缘位置, 较难验证, 其余各站潮位和流速的计算值与实测值均吻合较好, 说明模型模拟潮位和流速过程的精度较高, 可用于拟建船闸布置方案的研究。

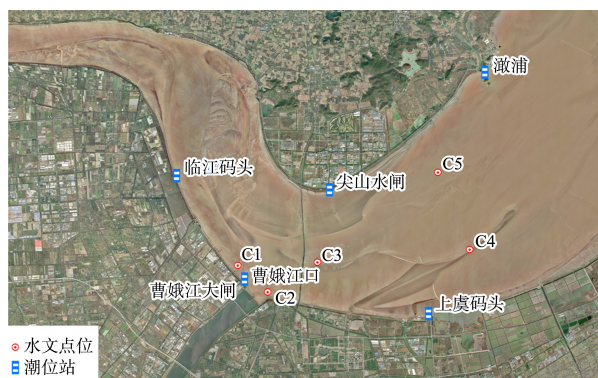


图 6 潮位站及水文测点位置

Fig. 6 Location of tide level station and hydrological measuring points

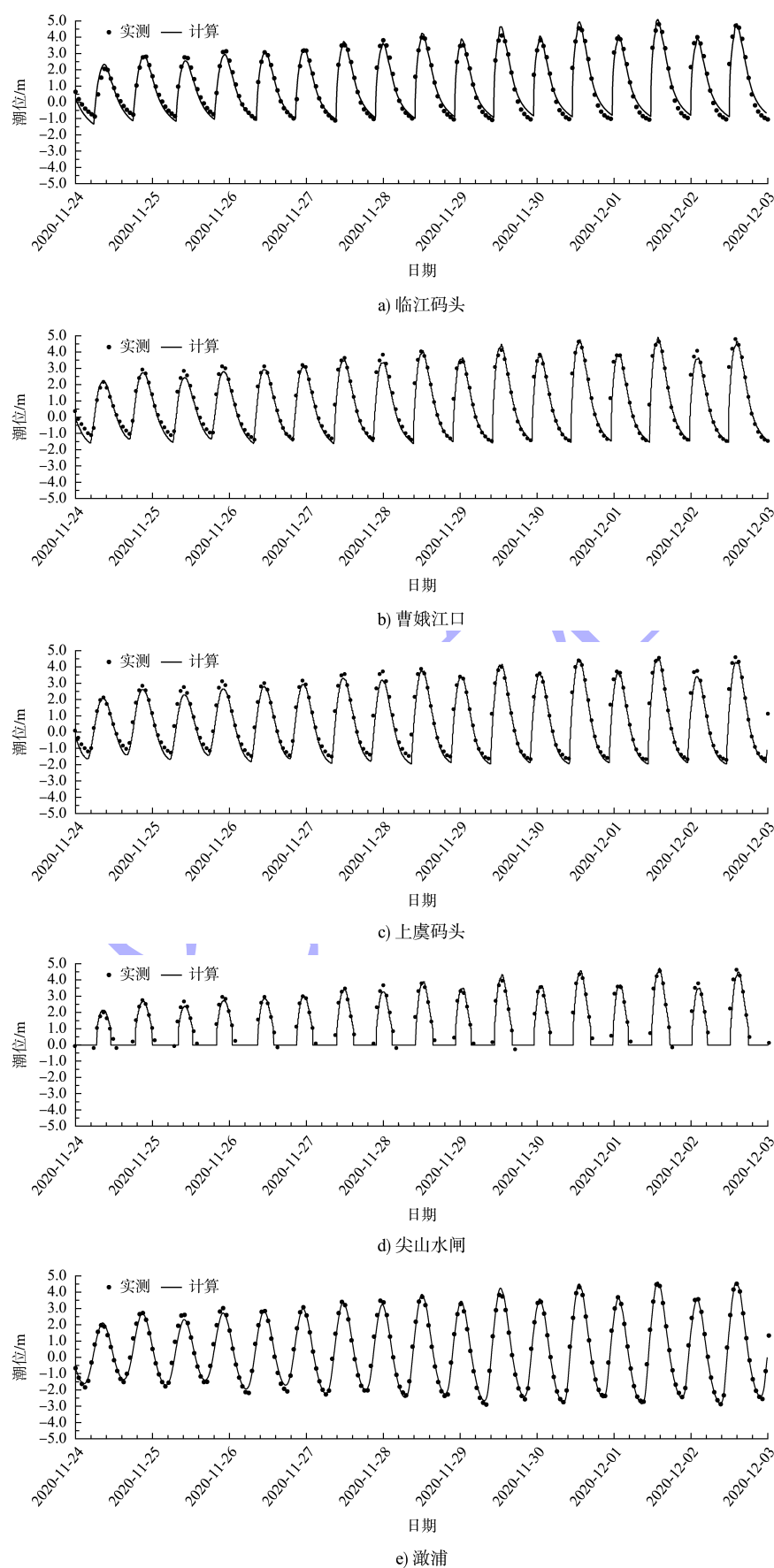
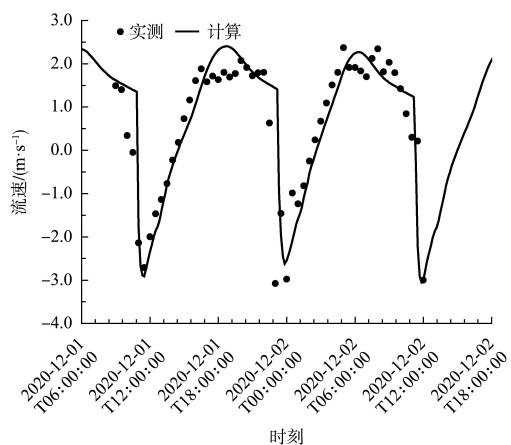
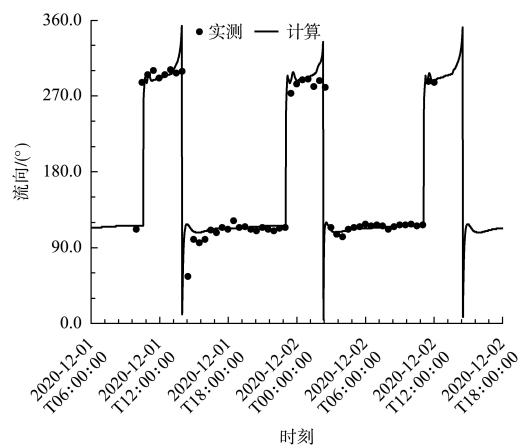


图 7 各站潮位验证

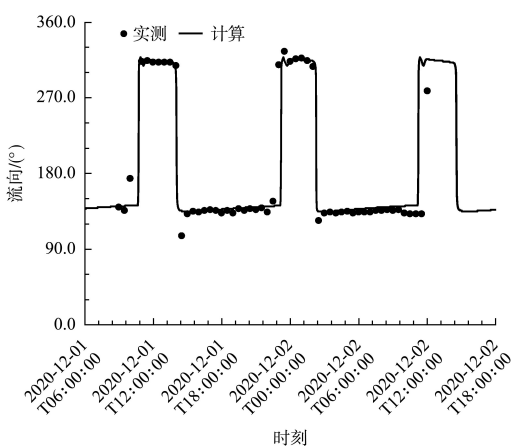
Fig. 7 Tide level verification for each station



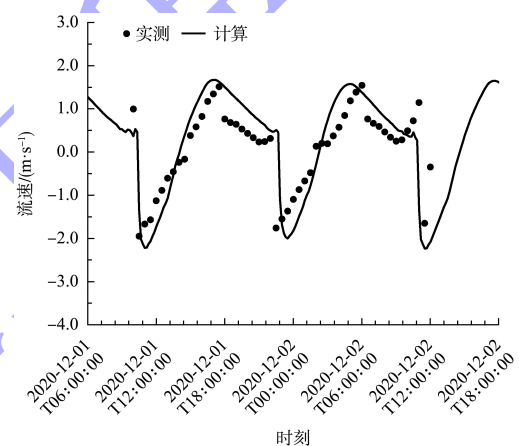
a) C1, 流速



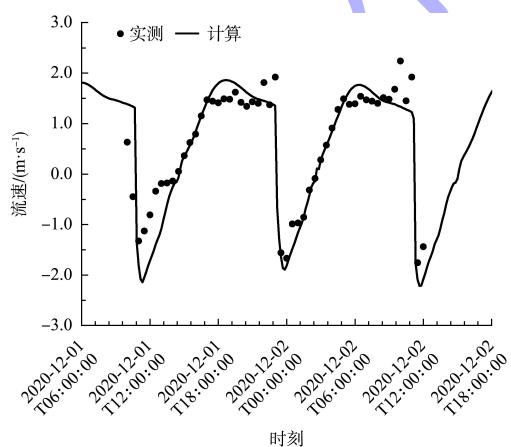
d) C2, 流向



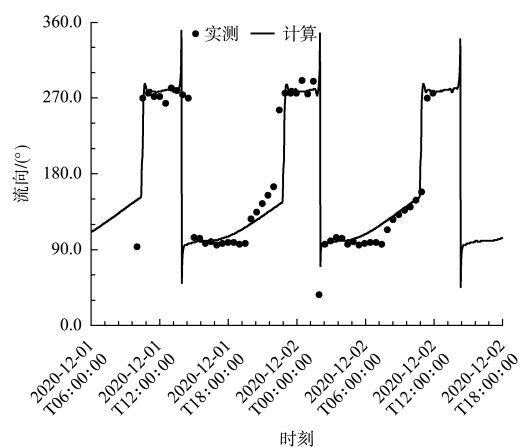
b) C1, 流向



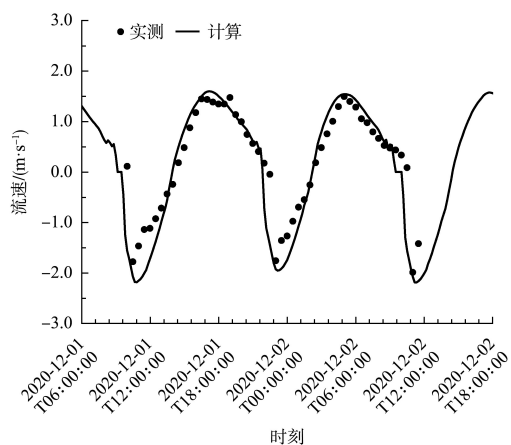
e) C3, 流速



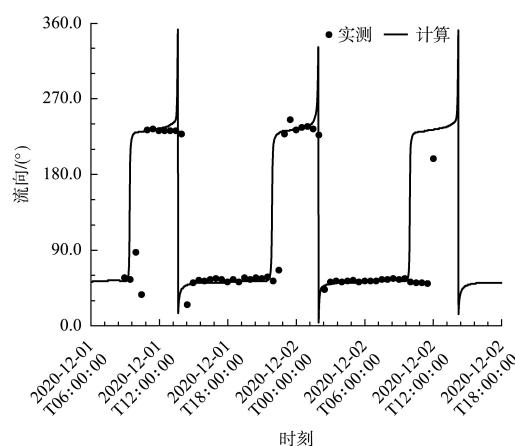
c) C2, 流速



f) C3, 流向



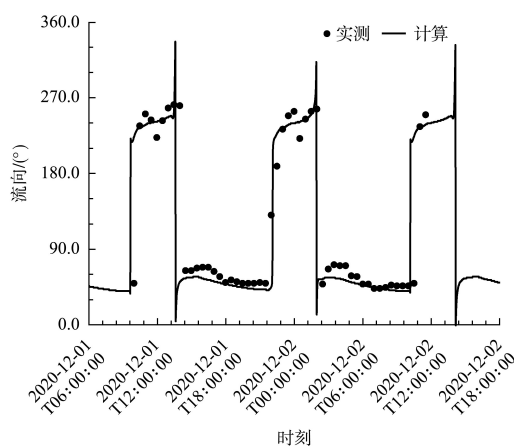
g) C4, 流速



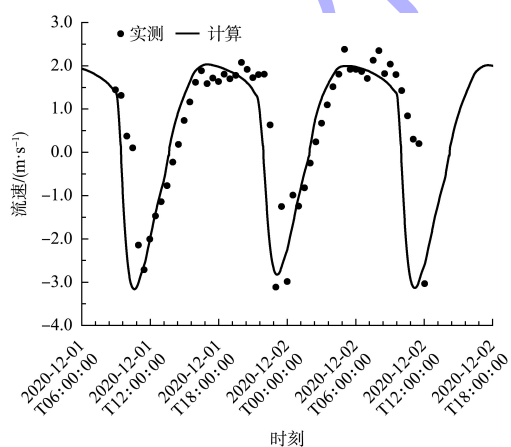
j) C5, 流向

图 8 各站流速、流向验证

Fig. 8 Flow velocity and flow direction verification for each station



h) C4, 流向



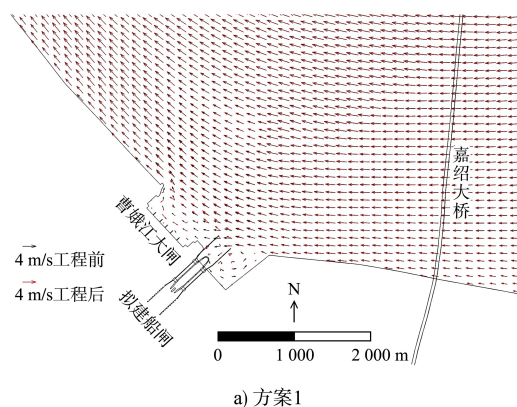
i) C5, 流速

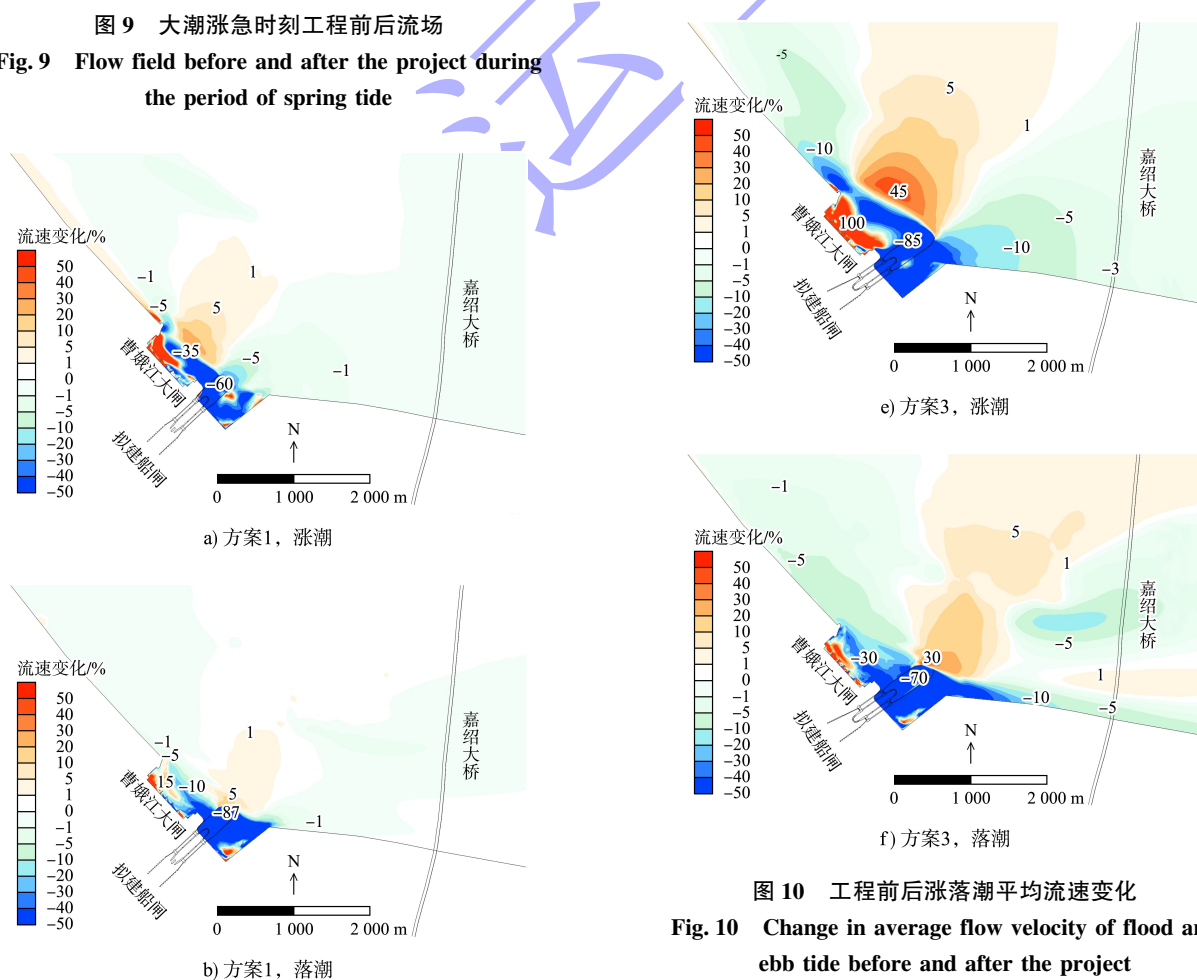
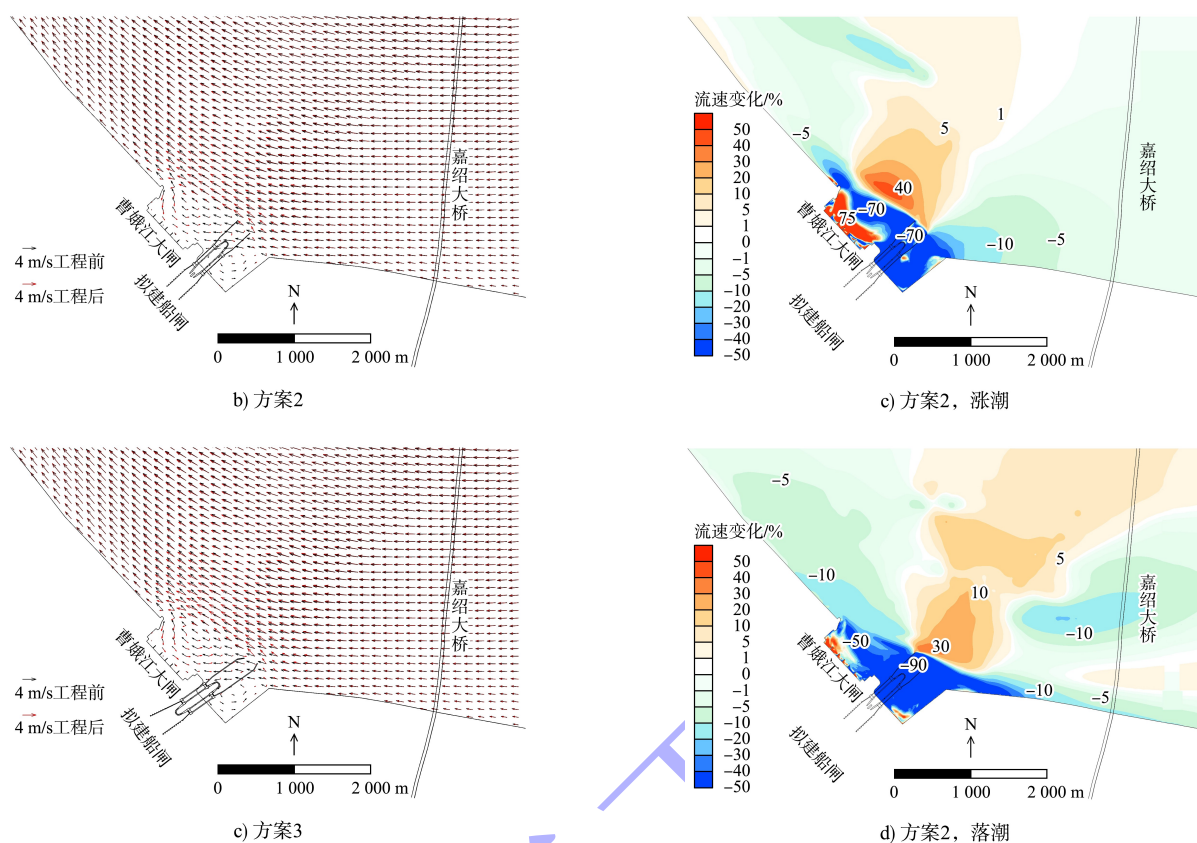
4 船闸平面布置方案比选

4.1 流速及流态的影响

3 个方案实施前后, 涨急时刻曹娥江大闸口门附近流场对比和涨落潮平均流速变化见图 9、10。为了评估工程实施后对周边水域流速及流态的影响, 下面从曹娥江闸下流态影响、上下游贴岸深槽流速影响以及对嘉绍大桥流速影响 3 个方面进行分析。

1) 对曹娥江闸下流态影响。方案 1~3 涨潮时大闸前沿流态会发生改变, 产生不同程度的回流, 回流宽度与引航道长度接近, 方案 2、3 的回流宽度要明显大于方案 1。





2) 对上下游贴岸深槽流速影响。方案 1 对贴岸深槽流速影响较小, 除涨潮时口门上游侧深槽及落潮时口门下游深槽局部流速的减小幅度在 5% 左右外, 影响幅度基本小于 1%。方案 2、3 对上下游深槽流速影响较大, 涨潮时上下游流速减小多在 5% 以上, 其范围可至上下游 2~4 km, 落潮时对上虞贴岸深槽流速影响较大, 局部在 50% 以上。

3) 对嘉绍大桥流速影响。方案 1 对嘉绍大桥流速影响小于 1%, 方案 2、3 涨潮时对嘉绍大桥近岸段水域流速影响在 5% 以内, 落潮时流速影响可达 5%~15%。

总体而言, 船闸工程实施后均会使大闸前沿的流态发生改变, 产生回流区。方案 1 中船闸引航道布置离岸最近, 总体的流速及流态影响范围较其他方案小。方案 1 影响范围基本在曹娥江口门附近, 对外侧江道影响较小。较长的引航道(方案 3)可能导致局部深槽离岸, 加剧上虞近岸水域边滩化。导流墙前端是否折角对外部江道流态不会产生明显改变。为此, 从对周边的流速及流态影响角度分析, 方案 1 相对更优。

4.2 通航水流条件分析

JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[10] 要求: III 级航道通航期内, 口门区的最大纵向、横向、回流流速分别不应大于 2.0、0.3、0.4 m/s。特殊情况下略有超出规定值时, 必须充分论证, 确保行船安全。

为分析口门区及引航道特征流速大小, 在方案 1~3 引航道及口门区每隔 50 m 布置 1 个特征点, 见图 11。其中, 双向航线按位置关系分为西侧和东侧, 西侧代表点标记为 W, 东侧标记为 E。方案 1、2 引航道西统计的特征点为 W1~W9, 引航道东特征点为 E1~E9, 口门区取特征点 W11 和 E11; 方案 3 引航道西、东分别统计特征点 W1~W14 和 E1~E14, 口门区取特征点 W17 和 E17, 特征点流速输出时间为 10 min。

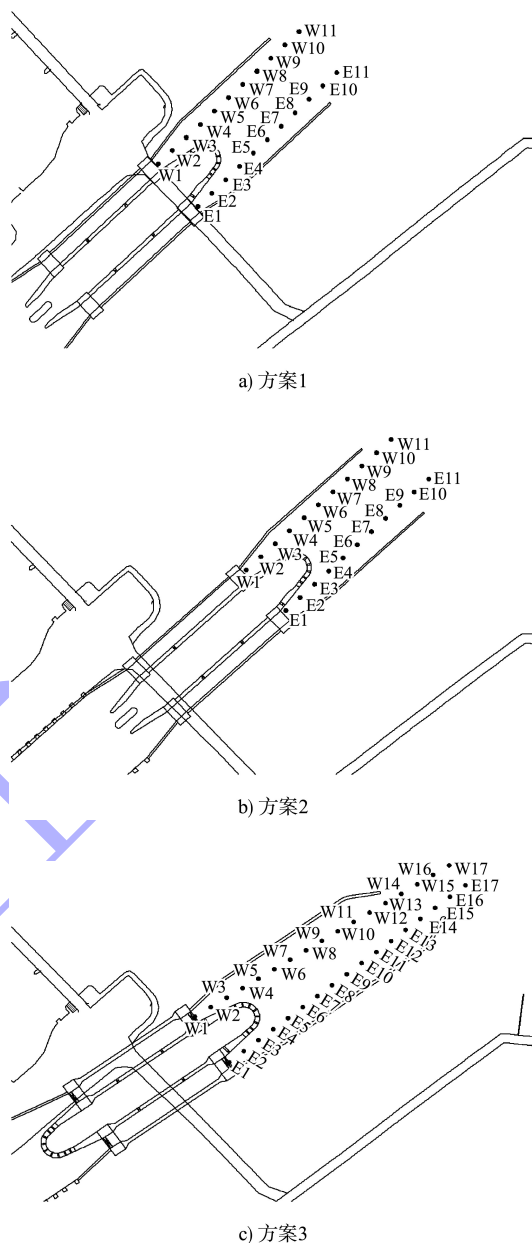


图 11 3 种方案口门区和引航道特征点布置

Fig. 11 Layout of characteristic points in entrance area and approach channel of 3 schemes

船闸进出通航的碍航时间段主要集中在大潮期间, 根据出口流速特征和出海航道乘潮通航历时需要综合判断, 大潮期船舶进出船闸的最佳通航时间为高平潮前 1 h 至高平潮后 2 h, 统计该时段内引航道内的回流流速小于 0.4 m/s 和口门区的横流小于 0.3 m/s 的保证率, 见表 1。从表中可以发现: 在引航道东、西两侧, 方案 1 较短的引航道和方案 3 折角式翼墙使得引航道内流速在统计时间段内均小于 0.4 m/s; 方案 2 引航道伸出较长

且前段无折角的隐蔽作用,引航道水域回流流速保证率较低,口门横向流速保证率与方案 1 相当,口门东侧在高平潮附近时段均满足小于 0.3 m/s,口门西侧区域保证率为 63.1%;方案 3 口门区横向流速保证率相对较低,口门东、西侧分别为 52.6%、57.9%。针对 3 个方案口门区通航水流条件计算分析,方案 1 的大潮期引航道和口门区流速保证率总体最大。根据新建船闸对周边流速影响及引航道和口门区的通航保证率分析,对于新建船闸闸位方案推荐方案 1。

表 1 各方案大潮期引航道和口门区流速保证率

Tab. 1 Guarantee rate of flow velocity in approach channel and entrance area during spring tide period for each scheme

方案	流速保证率/%			
	引航道西 <0.4 m/s	引航道东 <0.4 m/s	口门西 <0.3 m/s	口门东 <0.3 m/s
1	100.0	100.0	63.1	100.0
2	52.6	63.2	63.1	100.0
3	100.0	100.0	57.9	52.6

4.3 推荐方案对周边冲淤影响

工程冲淤采用式(6)所示的半经验半理论公式进行计算,该公式基于流场演变特征构建海床冲淤预测框架,并在杭州湾和钱塘江河口工程中得到验证,其算法核心是基于工程实施后流场的变化进行海床冲淤预估。

$$\Delta\xi_b(\Delta t) = 0.5[(H_1 + \beta\Delta t K_S) - \sqrt{(H_1 - \beta\Delta t K_S)^2 + 4\beta\Delta t H_1 K_F}] \quad (6)$$

当 $\Delta t \rightarrow \infty$ 时,可以求得海床冲淤最终平衡态的量值:

$$\Delta\xi_b = (1 - K_F/K_S)H_1 \quad (7)$$

其中:

$$K_F = (v_2/v_1)^2 \quad (8)$$

$$K_S = 1 - [(S_1 - S_2)/S_{*1}] \quad (9)$$

$$\beta = \alpha\omega S_{*1}/\gamma'_s \quad (10)$$

式中: $\Delta\xi_b$ 、 γ'_s 、 α 、 ω 分别为冲淤幅度、淤积泥沙干容重、泥沙落淤几率和悬沙沉速; H_1 、 H_2 分别为工程实施前后计算水深; v_1 、 v_2 分别为工程实施前后计算流速, S_1 、 S_2 分别为工程实施前后水流含沙量; S_{*1} 为工程实施前水流挟沙力; K_F 为

工程引起的流速变化系数; K_S 为工程引起的含沙量变化系数; β 为泥沙沉降能力系数。

如初步计算结果 $\Delta\xi_b$ 数值很小,则可以采用此式的计算结果,但当 $\Delta\xi_b$ 数值较大,即 $\Delta\xi_b/H_1$ 大于或等于 0.2,则应进行地形反馈计算,直到 $\Delta\xi_b/H_1$ 小于或等于 0.05。

基于 2021 年 4 月实测地形,大坝前沿高程约 -3.5 m,堵坝前沿平均高程约 -0.7 m,大坝和大坝连接段前沿平均高程约 -2.7 m,考虑大坝不泄水的情况,计算得到工程实施 1 a 后的冲淤变化幅度,见图 12。船闸推荐方案实施后引航道两侧整体呈淤积态势,前沿呈小幅冲刷态势。曹娥江大坝口门处淤积较为明显,大坝西侧三厢闸孔前沿年淤积 1 m 左右,东侧三厢闸孔前沿年淤积 3 m 左右,位于引航道西侧的大坝和船闸连接段前沿年淤积约 5 m,引航道东侧普遍淤积 2~3 m。口门两侧岸线连接线前沿微冲约 0.6 m。口门两侧拐弯段前沿局部深槽淤积基本在 1 m 内,深槽淤积长度上下游各 400 m,对嘉绍大桥基本无冲淤影响。推荐方案对河床冲淤影响基本可控制在曹娥江口门区域内。

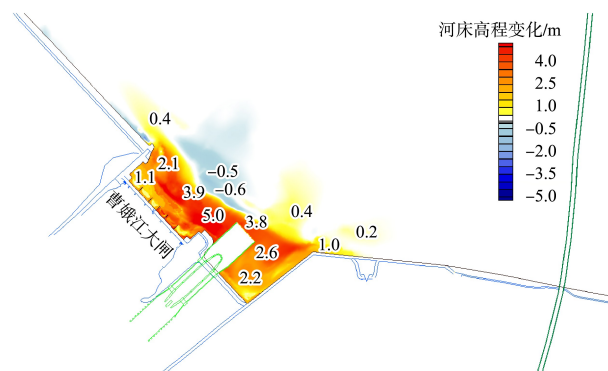


图 12 推荐方案实施后 1 a 河床高程变化
Fig. 12 Riverbed elevation change after 1 year of implementation of the recommended scheme

5 结语

1) 3 种方案均采用双线航道布置,核心区设置调蓄池体,两侧布置闸室和引航道,但 3 个方案堵坝外侧长度和口门形式不同。通过流速及流态影响、通航水流条件等角度比选,方案 1(引航道出口内置于枢纽连接线区域)展现出最优技术经济性:其对周边水域的近岸深槽流速及流态影响

较小,自身的通航水流条件较优,对河床冲淤影响基本可控制在曹娥江口门区域内。

2) 工程区域属于 JTS 141—2011《水运工程设计通则》^[12]中所描述“水动力条件复杂,泥沙运动活跃”的典型水域,船闸引航道与主航道衔接段横流大、回淤强,在数模水文分析及专利研究^[13]基础上,有待深化防淤减淤研究,以进一步优化船闸平面布置方案。

参考文献:

- [1] 赵根生,孙佳,张首元.导流墩布置对岩滩升船机下游口门区通航水流条件影响[J].水运工程,2024(11): 86-91.
ZHAO G S, SUN J, ZHANG S Y. Influence of diversion pier layout on flow conditions in downstream entrance area of Yantan ship lift[J]. Port & waterway engineering, 2024(11): 86-91.
- [2] 李兴亮,陈野鹰.弯曲河段下游引航道口门区通航水流条件研究[J].水运工程,2016(2): 127-130, 141.
LI X L, CHEN Y Y. Navigable flow conditions in entrance area of lower approach channel of curved reach[J]. Port & waterway engineering, 2016(2): 127-130, 141.
- [3] 王云莉,孙国栋,向美焱.船闸口门区不良流态改善措施[J].水运工程,2016(3): 83-88.
WANG Y L, SUN G D, XIANG M T. Improvement measure for adverse fluid flow in lock entrance area[J]. Port & waterway engineering, 2016(3): 83-88.
- [4] 姬昌辉,谢瑞,洪大林,等.长江感潮河段入江口门水流条件试验研究[J].人民长江,2020,51(S1): 71-75, 101.
JI C H, XIE R, HONG D L, et al. Experimental study on water flow conditions in entrance area of Yangtze River tidal reach[J]. Yangtze River, 2020, 51(S1): 71-75, 101.
- [5] 吴惠国,孙逸豪,史英标,等.曹娥江清风船闸引航道通航水流条件[J].水运工程,2022(4): 138-145.
WU H G, SUN Y H, SHI Y B, et al. Navigable flow conditions of the approach channel of Qingfeng ship lock on the Cao'e River[J]. Port & waterway engineering, 2022(4): 138-145.
- [6] 杨忠超,魏涛涛,黄秋杰.麻石船闸改扩建工程下引航道优化布置数值模拟[J].水运工程,2018(5): 127-131, 144.
YANG Z C, WEI T T, HUANG Q J. Numerical simulation of lower lock approach layout optimization of Mashi lock[J]. Port & waterway engineering, 2018(5): 127-131, 144.
- [7] 马超,陈明,周绪生,等.岷江张坎航电枢纽船闸引航道通航水流条件优化[J].水运工程,2024(7): 124-130, 171.
MA C, CHEN M, ZHOU X S, et al. Optimization of navigable flow conditions for approach channel of Zhangkan Navigation-power Junction ship lock on Minjiang River[J]. Port & waterway engineering, 2024(7): 124-130, 171.
- [8] 金国强,史英标,李浙江,等.京杭运河沟通钱塘江八堡船闸口门综合整治方案[J].水运工程,2022(12): 98-105.
JIN G Q, SHI Y B, LI Z J, et al. Comprehensive regulation scheme for entrance area of Babao ship lock connecting Grand Canal and Qiantang River[J]. Port & waterway engineering, 2022(12): 98-105.
- [9] 王柏明,史英标,曹颖,等.曹娥江出口船闸建设若干关键问题初探[J].水电能源科学,2019,37(8): 61-64, 37.
WANG B M, SHI Y B, CAO Y, et al. Preliminary discussion on some key issues in construction of Cao'ejiang ship lock[J]. Water resources and power, 2019, 37(8): 61-64, 37.
- [10] 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S].北京:人民交通出版社,2001.
Code for master design of shiplocks: JTJ 305-2001[S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [11] 渠化工程枢纽总体设计规范: JTS 182-1—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.
Design code for hydrojunction general layout of canalization works: JTS 182-1-2009[S]. Beijing: China Communications Press, 2009.
- [12] 水运工程设计通则: JTS 141—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
General rules for design of port and waterway works: JTS 141-2011[S]. Beijing: China Communications Press, 2011.
- [13] 张公略,石进,金国强,等.一种船闸输排水系统及输排水方法: CN112854172A[P].2021-05-28.
ZHANG G L, SHI J, JIN G Q, et al. Ship lock water delivery and drainage system and water delivery and drainage method: CN112854172A[P]. 2021-05-28.

(本文编辑 王传瑜)