

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2025.05.006

# 钦州港金鼓江泊位泥沙回淤三维数值模拟研究

赵津京, 赵建豪

(中交(天津)生态环保设计研究院有限公司, 天津 300042)

**摘要:** 港池与航道泥沙回淤是水运工程中的关键问题,传统二维数值模拟方法在揭示水体垂向结构变化方面存在不足。为更准确评估钦州港金鼓江作业区11号泊位工程对局部水动力及回淤的影响,建立基于MIKE 3软件的三维潮流泥沙数学模型进行模拟。结果表明:工程建设后码头前沿、调头圆及航道处流速明显减小,但对周边流场影响较弱;工程实施前水域年淤积强度约为0.6 cm/a~2.0 cm/a,工程后增至1.0 cm/a~2.4 cm/a,淤积范围基本不变,回淤仍以自然淤积为主。三维数值模拟结果能全面反映港口工程引起的水沙变化,可为类似工程的规划、设计和维护提供可靠依据。

**关键词:** 金鼓江;泥沙回淤;MIKE 3;三维数学模型

中图分类号: U615

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2025)05-0037-09

## Three-dimensional Numerical Simulation of Sediment Siltation at Jingujiang Berth of Qinzhou Port

ZHAO Jinjing, ZHAO Jianhao

(CCCC (Tianjin) Eco-Environmental Protection Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300042, China)

**Abstract:** Sediment siltation in harbor basins and navigation channels is a critical issue in waterway engineering. Traditional two-dimensional numerical simulation methods are insufficient in characterizing vertical structural changes in water bodies. To more accurately assess the impact of the No. 11 berth project in the Jingujiang Operation Area of Qinzhou Port on local hydrodynamics and siltation, a three-dimensional tidal current and sediment mathematical model was established based on the MIKE 3 numerical simulation software. Simulation results indicate that after the project construction, flow velocities at the wharf front, turning basin, and channel decreased significantly, while the impact on the surrounding flow field was weak. The annual natural sedimentation of the berth water area before the project is about 0.6 cm/a~2.0 cm/a. After the project, the sedimentation range remains unchanged, and the annual sedimentation has increased 1.0 cm/a~2.4 cm/a, with a slight increase in intensity but still dominated by natural sedimentation. This work demonstrates that the three-dimensional numerical model can more comprehensively reflect changes in water and sediment conditions induced by port engineering, providing a reliable basis for the planning, design, and maintenance of similar projects.

**Keywords:** Jingujiang; sediment siltation; MIKE 3; three-dimensional mathematical model

港池、航道泥沙回淤作为水运工程领域长期面临的技术问题,其形成与演化主要受控于波浪掀沙与潮流输沙的复合水动力机制,而波浪、潮流及泥沙间的非线性相互作用进一步加剧了港口区域水动力环境的复杂性,在此背景下如何精准预测泥沙回淤

对港池水域功能的影响,已成为工程建设与运营维护阶段亟待解决的关键问题。当前研究普遍采用数值仿真方法来模拟大区域下的水动力和泥沙演变,通过该方式来分析泊位建设引发的水动力场及泥沙输运强度,可为优化工程设计方案与制定动态维护

收稿日期:2025-06-05

修稿日期:2025-07-15

基金项目:中交天津航道局有限公司项目“泥沙回淤数值模拟成套技术梳理”(THJ-KS(2024)111)

作者简介:赵津京(1984—),女,高级工程师,主要从事水利海洋环境类数值模拟仿真等方面工作。E-mail: zhaojinjing730@126.com

通讯作者:赵建豪(1994—),男,工程师,主要从事水动力数值仿真分析等方面工作。E-mail: zhaojianhao113@163.com

策略提供重要支撑。

目前相关学者针对泥沙回淤数值仿真已开展相关研究,其中石洪源等<sup>[1]</sup>基于 MIKE21 软件,以黄河不同径流和输沙量为变量因素,对黄河河口泥沙冲淤开展仿真分析;谭超等<sup>[2]</sup>通过建立波流耦合下的平面二维数学模型,对阳西电厂海域潮流泥沙进行仿真,为工程设计提供了重要回淤数据;齐越等<sup>[3]</sup>采用 CJK3D-WEM 软件,针对华东淤泥质海岸下的码头泊位,建立了二维水流泥沙数学模型,分析不同港池面积下的海域与港池自身回淤强度;张永强等<sup>[4]</sup>建立二维平面潮流数值模型,分析了青岛胶州湾大桥对湾内泥沙冲淤的影响情况,研究发现工程前后冲淤趋势基本一致;王阳<sup>[5]</sup>采用二维模型模拟江苏如东海上风电场工程建设造成的泥沙冲淤状况,得到了泥沙淤积主要分布位置;戴勇<sup>[6]</sup>建立二维潮流数学模型,分析了南通港码头海域海床冲淤演变特征。

综上所述,泥沙回淤分析通常用 MIKE 21、DELFT 3D 等二维模型进行模拟计算,模拟工程前后的潮流、波浪和泥沙运动,已在港池航道工程项目中广泛应用。相较于二维模型,三维水动力模型虽因计算耗时较长在回淤分析中应用较少,但其垂向分层解析能力可精准刻画水体中悬浮泥沙浓度的立体分布特征,在复杂水动力条件下(如分层流、环流等)的泥沙运动模拟中展现出独特优势<sup>[7-8]</sup>。随着计算资源的提升和算法优化,三维模型在泥沙运动研究中的应用逐步拓展,王帅等<sup>[9]</sup>采用 CFD 对丁坝模型进行局部冲刷数值模拟,很好的反映冲刷坑的位置、深度及底部轮廓;薛强等<sup>[10]</sup>采用 FLOW 3D 建立基坑周围三维水动力数学模型,对水下基盘局部冲淤进行了模拟,结果表明,FLOW 3D 可以模拟出不同泥沙粒径和不同流速情况下的局部冲淤厚度;赵群<sup>[11]</sup>利用 SWAN 风浪模型和 ECOMSED 模式对黄骅港淤积进行模拟,模拟结果与现场实测结果吻合较好,波浪是造成黄骅港外航道泥沙淤积的主要动力因素;陈家森<sup>[12]</sup>基于 FVCOM 搭建海口市如意岛三维全沙数学模型,很好的模拟出该区域的三维流场、三维含沙量场以及工程前后年淤积量变化;寇晓梅等<sup>[13]</sup>采用 MIKE 3 对水利枢纽鱼道集鱼区不同工况的流场进行数值模拟分析,根据模拟结果可以评估集鱼区的水流情况,包括流速、流向、涡流等;赵津京等<sup>[14-15]</sup>采用 MIKE 3 水动力数值模拟软件计算挖泥船舱内泥沙分布和装舱容积曲线,并计算出施工期的装舱溢流施工流失量,结果表明,MIKE 3

模型可以很好地模拟泥沙装舱过程和溢流损失,可以用于辅助挖泥船施工操作的事先控制。上述研究表明,三维模型在局部复杂区域模拟及关键参数量化方面具有不可替代的实践价值,但多数研究主要聚焦于内河水动力领域,针对沿海港区、风暴潮影响强的大尺度三维泥沙仿真分析较少,故本文基于钦州港金鼓江作业区 11 号泊位工程,采用 MIKE 3 水动力数值模拟软件,模拟钦州港金鼓江区域潮流和泥沙回淤。

## 1 工程概况和工程海域自然条件

### 1.1 工程概况

钦州港金谷港区金鼓江作业区 11 号泊位工程 EPC 总承包项目位于广西壮族自治区钦州市钦州港金鼓江西侧、规划的钦州港金谷港区金鼓江作业区 5 万吨级泊位岸线范围的北端,金鼓江大桥以南约 1.5 km。工程新建 1 个 5 万吨级散货泊位,码头使用岸线 248 m。码头前沿停泊水域宽度取 2 倍设计船宽 64.6 m,停泊水域设计底高程为 -15.20 m。回旋水域布置在停泊水域正前方,沿水流方向的长度取为 446 m,垂直于水流方向的宽度取为 402 m;设计底高程与金鼓江航道底标高取值一致,即 -11.3 m。工程地理位置及码头平面布置如图 1、图 2 所示。



图 1 工程地理位置图

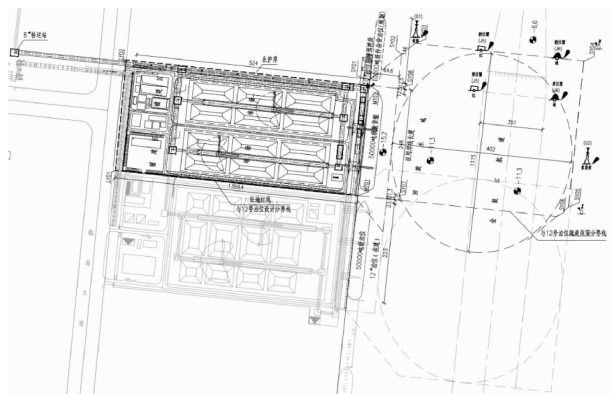


图 2 码头平面布置示意图

## 1.2 潮汐

钦州湾潮汐性质属非正规全日潮,其形成源于太平洋潮波经南海传入北部湾后,受湾顶反射波干涉及复杂岸线地形调控作用而形成。据龙门港长期潮位观测资料统计,平均潮差为 2.51 m,历年最大潮差 5.52 m。

## 1.3 潮流

钦州湾潮流性质属不规则全日潮流,潮流运动形式基本呈往复流形态,其流向基本上与岸线或深槽走向一致。流速时空分布表现为落潮流速大于涨潮,且落潮流历时(约 10 h)长于涨潮(约 8 h)。金鼓江作为钦州湾北侧的潮汐汊道,其上游无径流补给,水动力完全由潮汐控制,深槽内潮流动力轴线稳定,两侧浅滩区流速衰减显著。

## 1.4 波浪

基于三墩站全年波浪观测数据,钦州湾波浪场以风浪为主,涌浪次之。常浪向为 N 向(频率 16.54%),次常浪向为 S 向(15.45%);强浪向集中于 SE-SSE 方向,其中 SE 向 1/10 波高( $H_{1/10}$ )最大值达 2.4 m,SSE 向为 2.2 m;次强浪向 ESE 向  $H_{1/10}$  最大值 2.0 m。

## 1.5 泥沙

### 1.5.1 底质

钦州湾沉积物中值粒径在 0.0026 mm ~ 2.61 mm 之间,泥沙粒径变幅较大。金鼓江深槽内的底质为黏土质粉砂,中值粒径约在 0.005 mm 左右,深槽两侧滩面底质多为淤泥,河口及以外水域底质相对较粗,泥沙淤积主要为悬沙落淤所致。

### 1.5.2 悬沙

钦州湾海域含沙量整体较低,实测悬沙浓度介于 0.002 kg/m<sup>3</sup> ~ 0.100 kg/m<sup>3</sup> 之间,潮汐周期内变化幅度小于 10%,大潮期含沙量略高于小潮期。金鼓江上游无径流输沙,悬沙来源主要依赖外海潮流掀沙补给。

## 2 数学模型的建立及验证

### 2.1 模型原理

MIKE 3 HD 水动力模块建立在基于 Boussinesq 和流体静压假定的三维不可压雷诺平均 N-S 方程的基础之上,方程为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial hw}{\partial z} = hs \quad (1)$$

式中: $t$  为时间,s; $x,y$  和  $z$  为笛卡尔坐标系; $h = \eta + d$  为总水深,m; $\eta$  为水面高度,m; $d$  为静水深,m; $u,v$

和  $w$  为  $x,y$  和  $z$  方向上的速度分量,m/s; $s$  为点源的流量,m<sup>3</sup>/s。

MIKE 3 MT 泥沙输运模块基于 HD 模块的水流计算结果,计算包括沉降和再悬浮之内的泥沙输运过程。悬沙扩散方程如下:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( h D_x + \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \times \frac{\partial}{\partial y} \left( h D_y + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S \quad (2)$$

式中: $\bar{c}$  为垂线平均含沙量,kg/m<sup>3</sup>;  $D_x, D_y$  为泥沙扩散系数, m<sup>2</sup>/s;  $S$  为床沙侵蚀或淤积速率, kg/(m<sup>3</sup> · s);  $Q_L$  为泥沙输入源强, m<sup>3</sup>/(s · m<sup>2</sup>);  $C_L$  为泥沙输入源强中的含沙量, kg/m<sup>3</sup>。

### 2.2 模型搭建

模型计算域如图 3 所示呈东西向展布,东西方向长约 116 km,南北方向长约 100 km,覆盖茅尾海及钦州湾全部水域,采用果子山理论深度基准面,与区域海图基准保持一致。计算域大范围水深由海军航道测量局和海事局海图确定,拟建工程附近海域通过高精度 CAD 测图进行局部修正,确保港池、航道等关键构造物区域地形精度满足模拟要求,港区岸线根据最新卫片提取。

网格划分采用非结构三角形网格:外海计算域采用尺度渐变的三角形网格,工程区及航道区域实施网格加密,最小网格尺度达 5 m。由于实测水流泥沙数据是对水体垂向上均匀分为 6 层进行测量的,因此模型里采用 sigma 分层方法,将垂向水体均匀分为 6 层进行模拟计算,sigma 分层方法的优势是每层水体的深度可以跟随水深的变化而改变。

边界条件设定方面,潮流模型在外海给定潮位开边界,水位过程由 MIKE Global Tide Model 推算得到。计算时间步长为 30 s。反映底床摩擦的粗糙高度  $K_s$  取 0.05 m,湍流闭合采用 Smagorinsky 亚格子模型,涡粘系数  $C_s$  取 0.28 m<sup>2</sup>/s,经网格收敛性测试验证该参数组合可稳定复现实测流速剖面。

泥沙模型中参数选取基于中值粒径 0.005 mm,淤积物干容重按下式计算:

$$\gamma_0 = 1750 D_{50}^{0.183} \quad (3)$$

式中: $D_{50}$  为中值粒径,mm。

根据公式淤积物干容重为 660 kg/m<sup>3</sup>。

### 2.3 模型验证

#### 2.3.1 潮流模型验证

潮流数学模型验证采用 2021 年 8 月 8 日—24 日实测水文数据,涵盖 15 d 连续潮位观测及典型潮

型(大潮 8 月 10 日—11 日、小潮 8 月 14 日—16 日)的流速流向同步监测,潮位和潮流测站位置详见图 5。验证结果表明,潮位计算值与实测值误差均控制在 0.1 m 以内;计算流速涨、落潮时段平均值与实测值偏差均小于  $\pm 10\%$ ;模型中流向受角度定义影响,  $0^\circ$  与  $360^\circ$  表示同一方向,计算主流向也与实测值基本保持一致;底层水流受到底床摩阻力影响最大,因此靠近底床的水流流向误差较大,但误差均控制在 10% 以内,符合《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231—2021)的精度要求。限于篇幅,本文只给出部分测站的大潮验证曲线,图 6 为 H1、H2 测站大潮潮位验证图,图 7 为 V02 测站大潮潮流验证图。

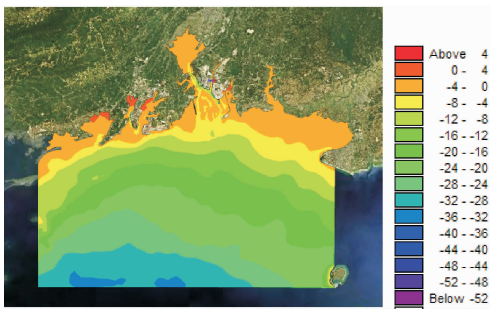


图 3 计算域示意图

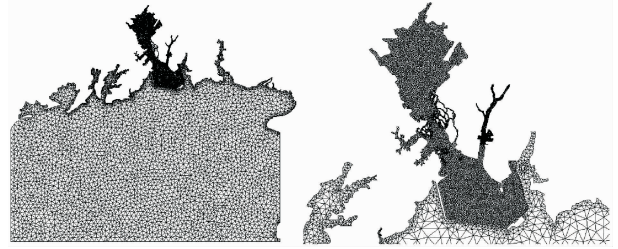
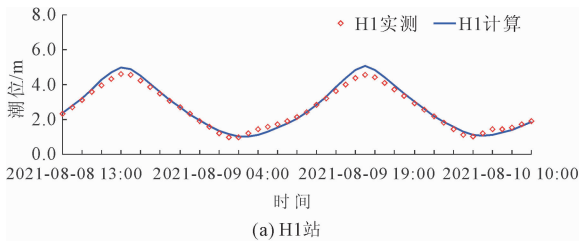


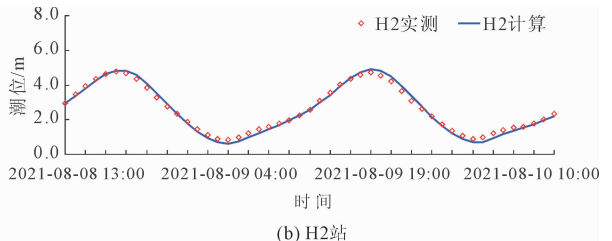
图 4 网格示意图



图 5 水文测站位置



(a) H1 站



(b) H2 站

图 6 大潮期 H1、H2 站潮位对比曲线

### 2.3.2 泥沙模型验证

泥沙数学模型对大潮(8月10日—11日)、小潮(8月14日—16日)悬沙观测数据进行验证。结果表明,各测站潮段平均含沙量计算值与实测值相对误差控制在 30% 以内,符合《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231—2021)对泥沙模型验证的允许误差要求。图 8 展示 V02 测站大潮期间含沙量实测与计算值的对比曲线,模型较好捕捉了涨急—落急时段悬沙浓度的峰值变化特征。

## 3 水动力分析

### 3.1 工程区域水流形态

金鼓江为典型的沿海岬湾地貌,整体水深较浅,大部分区域水深不足 5 m。工程实施前涨急、落急

流场图如图 9 所示,其水动力特征受北部湾潮汐系统主导。涨潮时,外海潮流以 NNW 向从北部湾海域进入钦州湾,主流经茅尾海路径扩散,仅小部分潮量以 NNE 向分流进入金鼓江;落潮时,潮水沿 SSW 向回流至外海,形成往复流态势。在 11 号泊位附近的金鼓江通道水域,大潮期间潮流动力特征显著,涨潮段最大流速达 0.23 m/s(流向  $4^\circ$ ),落潮段最大流速增至 0.35 m/s(流向  $187^\circ$ )。

### 3.2 泊位前沿水流分析

水流特征点布局见图 10,其中 M1—M3 点分布于泊位前沿水域,D1—D4 点位于调头圆区域,H1—H5 点设置在航道轴线附近。表 1 为工程实施前后特征点流速流向统计。工程实施后,各特征点流速幅值较施工前显著降低,而流向变化幅度控制在较

小范围。以大潮涨潮期为例:码头前沿(M1—M3)流速从工程前的 0.14 m/s~0.20 m/s 降至 0.09 m/s~0.10 m/s,调头圆区域(D1—D4)流速由 0.17 m/s~0.29 m/s 减至 0.14 m/s~0.15 m/s,航道内(H1—H5)流速从 0.19 m/s~0.23 m/s 调整为 0.18 m/s~0.20 m/s。流场对比图(图 11)显示,工程后周边水域流态保持稳定,流向分布与工程前基本一致,仅在泊位前沿出现局部流速衰减区,整体水动力条件未发生显著改变。

## 4 回淤分析

### 4.1 特征波浪选取

在岸滩冲淤演变分析中,为准确模拟常年泥沙冲淤现象,需依据《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231—2021)要求处理波浪数据:首先对实测波浪进行分频分级统计,过滤对泥沙运动作用较弱的小波高数据,保留主导泥沙输移的波浪成分;随后采用波能流法加权平均,通过波能流对各波级进行

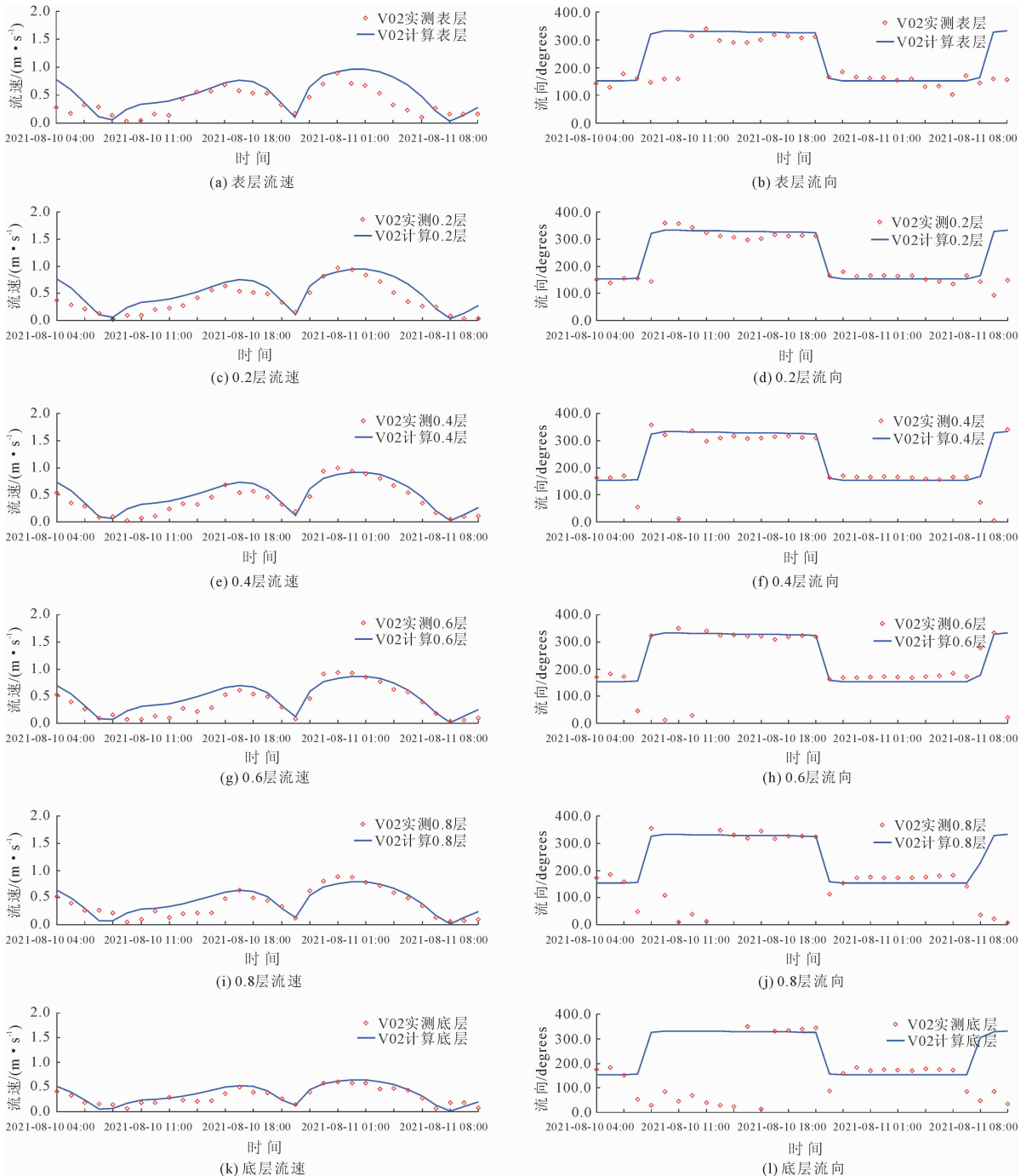


图 7 大潮期 V02 站流速流向对比曲线

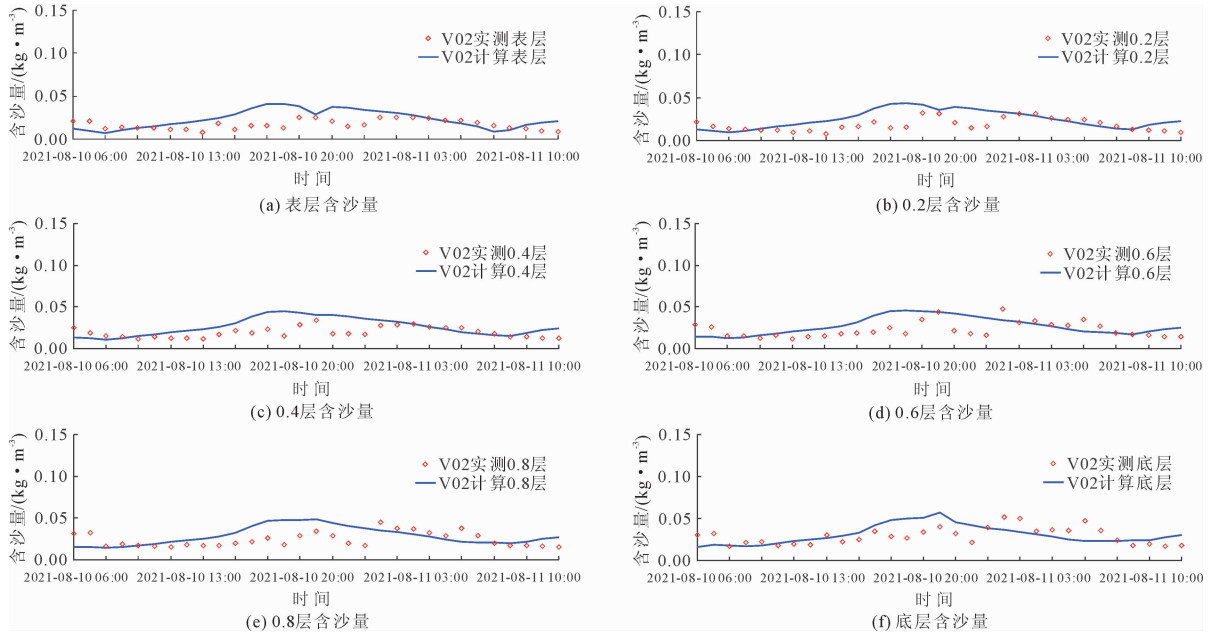


图 8 大潮期 V02 站含沙量对比曲线

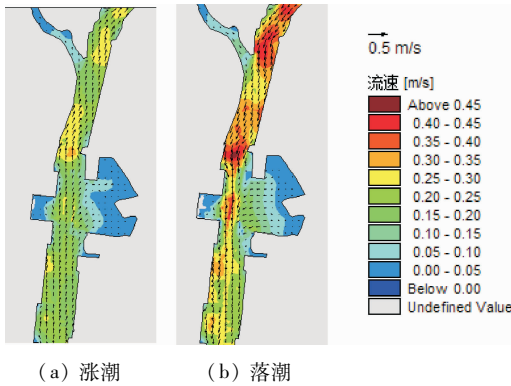


图 9 工程实施前涨急、落急流场图

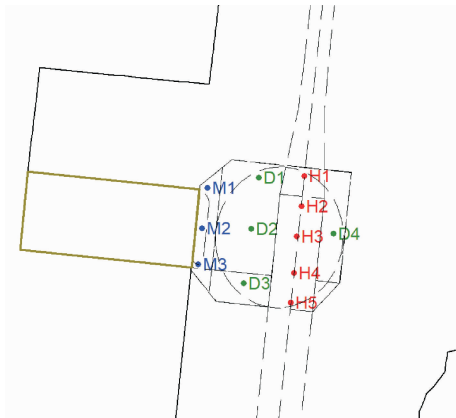


图 10 水流特征点位置

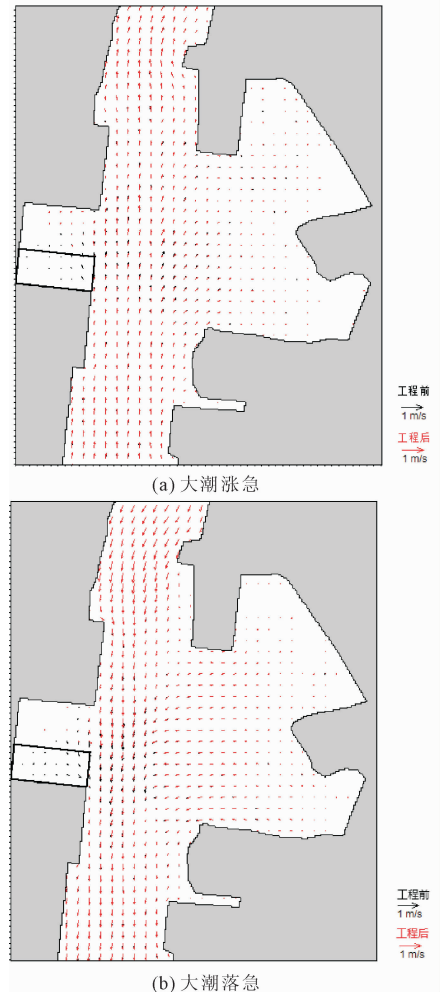


图 11 工程实施前后涨、落急流场对比图

权重分配,计算合成波高并确定合成波向,确保大波高对泥沙运动的贡献被合理放大。

表 1 工程实施前后特征点流速流向统计-大潮

区域	编号	工程实施前				工程实施后			
		大潮涨急		大潮落急		大潮涨急		大潮落急	
		流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)
码头	M1	0.20	226	0.31	179	0.09	102	0.05	176
	M2	0.19	356	0.23	177	0.10	6	0.07	188
	M3	0.14	349	0.09	154	0.09	6	0.09	187
调头圆	D1	0.23	4	0.35	183	0.14	12	0.26	193
	D2	0.21	7	0.35	187	0.14	8	0.28	190
	D3	0.17	13	0.35	194	0.15	6	0.26	187
	D4	0.29	17	0.18	213	0.15	11	0.04	198
航道	H1	0.23	7	0.30	187	0.20	8	0.28	195
	H2	0.23	8	0.30	188	0.18	9	0.25	190
	H3	0.23	8	0.31	189	0.18	8	0.24	187
	H4	0.21	5	0.29	189	0.19	7	0.23	184
	H5	0.19	7	0.27	188	0.19	7	0.22	184

其中,合成波向可采用:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sum P_j H_j^2 T_j \sin 2\alpha_j}{\sum P_j H_j^2 T_j} \quad (4)$$

式中: $P_j, H_j, T_j, \alpha_j$  是第  $j$  量级波浪所对应的有效波高、周期及出现频率与波向。

合成波高可按下式计算:

$$\bar{H} = \left( \frac{\sum H_i^2 P_i}{\sum P_i} \right)^{1/2} \quad (5)$$

根据欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 2016—2024 年波浪逐时再分析资料统计,工程外海波浪主方向集中于 NNE 向及 SE-SSW 向。鉴于钦州湾三面环陆的地理特征,其北侧水域受浅水区风区长度限制,波浪发育条件较弱,对工程区影响可忽略;而南向湾口开阔,风区较长,波浪作用显著,故常年泥沙冲淤计算重点考虑南向波浪影响。依据《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231—2021) 对代表波浪场选取的要求,从波能分频分级资料中筛选出 SE、SSE、S、SSW 四个主导波向,其波能占比合计达 45%,年有效作用天数按 135 d 计,确保模拟输入条件符合规范中关于波能流加权及主导方向选取的规定。根据波浪数学模型计算得到 SE-S 向和 S-SSW 向代表波浪场(图 12 所示)。

表 2 常年回淤计算代表波浪参数

代表波向	合成波高/m	合成波向/(°)	作用天数/d
SE-S	0.51	162	73
S-SSW	0.67	198	60

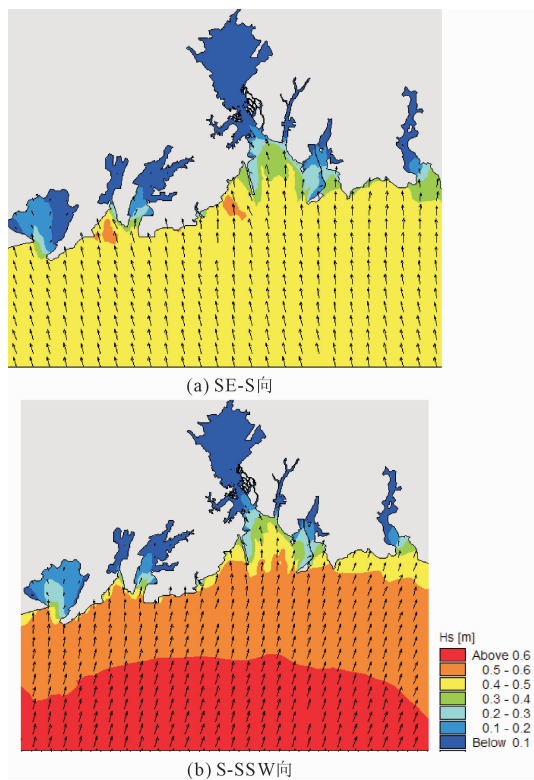


图 12 SE-S 向和 S-SSW 向代表波浪场

## 4.2 平常年淤积分析

### 4.2.1 模型计算

使用验证后的泥沙数学模型,对方案实施前后工程水域的淤积情况进行了模拟。在计算平常年淤积时,需综合考虑潮流与波浪共同作用。依据 ECMWF 2016—2024 年波浪资料分析结果,选取 SE-S 向、S-SSW 向作为主导浪向,设置纯潮流、潮流 + SE-S 向波浪、潮流 + S-SSW 向波浪三组动力条件,按

频率加权组合后计算正常天气下年均冲淤量。

工程实施前、后项目区域所在的金鼓江水域冲淤状态如图 13 所示,工程前拟疏挖水域大部分区域呈自然淤积状态,年淤积厚度为 0.6 cm/a ~ 2.0 cm/a,主要由背景泥沙补给形成;工程实施后,由于底床进行了疏挖,较疏挖前更容易淤积,年淤积厚度为 1.0 cm/a ~ 2.4 cm/a,淤积强度较工程实施前略有提升,整体仍以自然回淤为主。

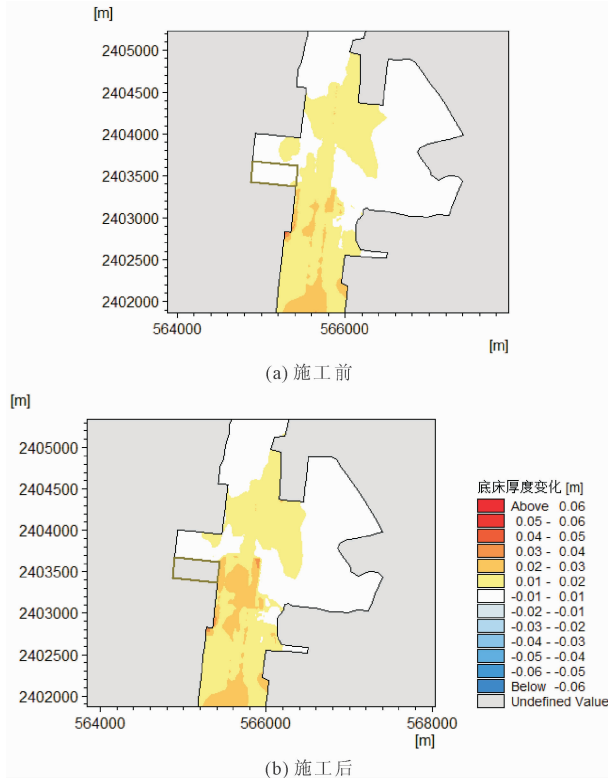


图 13 工程实施前后 11 号泊位工程区附近水域冲淤分布

#### 4.2.2 公式验证

金鼓江泥沙淤积形式主要为悬沙落淤,平均中值粒径 0.005 mm,根据《海港水文规范》的开敞式顺岸码头港池淤积计算公式,如下:

$$P_2 = \frac{\alpha \omega S_1' t}{\gamma_0} \left[ 1 - \left( \frac{d_1'}{d_2'} \right)^\beta \right] \quad (6)$$

$$\beta = -0.32 \ln \left( \frac{L}{B} \right) + 0.99 \quad (7)$$

式中:  $d_1'$ 、 $d_2'$  为港池外滩面的平均水深和港池开挖后的水深, m;  $\omega$  为泥沙沉降速度, m/s;  $\alpha$  取 0.45;  $S_1'$  为计算水域的平均含沙量, kg/m<sup>3</sup>;  $t$  为淤积历时, s;  $L$  为港池长度, m;  $B$  为港池宽度, m。

根据公式计算,港池平均淤积强度约 1.5 cm/a,与模型计算结果符合。

#### 4.2.3 附近工程泥沙回淤情况

根据《钦州港金谷港区金鼓江作业区 16 号、17 号泊位工程环境影响报告书》记载,16 号、17 号泊位工程施工前水域年淤积量约为 1 cm/a ~ 3 cm/a,该区域与 11 号泊位空间邻近,淤积厚度量级高度一致,这一实测数据与本模型计算的工程前金鼓江背景淤积强度在量级范围内吻合,进一步验证了泥沙数学模型对自然回淤过程模拟的准确性。

表 3 施工前后工程区淤积强度

阶段	区域	编号	淤积强度 / (m · a <sup>-1</sup> )	工程区总淤积量 / (万 m <sup>3</sup> · a <sup>-1</sup> )	
工程 实施前	码头	M1	0.006	0.39	
		M2	0.006		
		M3	0.012		
		D1	0.012		
		D2	0.012		
	调头圆	D3	0.012		
		D4	0.006		
		H1	0.012		
		航道	H2		0.012
			H3		0.012
H4	0.012				
H5	0.018				
工程 实施后	码头		M1	0.024	0.63
		M2	0.024		
		M3	0.024		
		D1	0.018		
		D2	0.018		
	调头圆	D3	0.018		
		D4	0.018		
		H1	0.012		
		航道	H2	0.018	
			H3	0.018	
H4	0.018				
H5	0.018				

#### 4.3 骤淤分析

根据南京水利科学研究院 2016 年 12 月编制的《广西北部湾港总体规划修编波浪数学波浪数学模型研究》,得到外海 -20 m 处不同重现期及浪向作用下的波浪要素。本次研究中以重现期 10 年一遇波浪作为极端波浪条件的代表情况,对工程海域的骤淤情况进行计算,代表波向选择对工程区影响较明显的 SSE 向,在大浪持续作用时间为 24 h。结果表明,泊位工程区附近淤积厚度变化甚微,在 0.6 cm 以下。骤淤时 11 号泊位工程区附近水域冲淤分

布如图 14 所示。

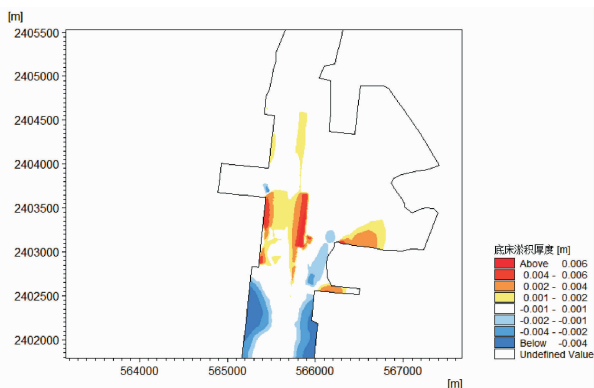


图 14 骤淤时 11 号泊位工程区附近水域冲淤分布

## 5 结 论

采用 MIKE 3 三维数值模拟软件建立钦州港金鼓江作业区 11 号泊位工程三维潮流泥沙数学模型,系统分析工程前后水流特性及冲淤演变规律,得出以下结论:

(1) 11 号泊位工程实施后,码头前沿、调头圆、航道处各特征点流速较施工前流速明显减小,流向变化很小,工程后对周边水域水动力条件影响甚微。

(2) 工程前泊位水域的年淤积量约  $0.6 \text{ cm/a} \sim 2.0 \text{ cm/a}$ ,工程后年淤积量约  $1.0 \text{ cm/a} \sim 2.4 \text{ cm/a}$ ,淤积强度比工程前有所增加。

(3) 三维模型垂向分 6 层计算,根据模拟结果,可以看到水体垂向各层的水流流速流向和悬浮泥沙浓度。每一层的模拟结果都要满足规范要求,相比二维模型仅需垂向均值满足规范,三维模型要求更加严格。

(4) 经验公式和附近泊位淤积情况,可以证明本模型泥沙厚度计算结果的准确性。在 11 号泊位工程运营一年后项目组将进行地形测量,以进一步进行淤积厚度验证。

## 参考文献:

[1] 石洪源,李龙盛,孙纪伟,等.基于 MIKE21 的黄河三角

洲泥沙冲淤数值模拟预测[J].鲁东大学学报(自然科学版),2024,40(3):201-209.

[2] 谭超,黄本胜,邱静,等.波流联合作用下广东阳江西电厂海域二维泥沙数值模拟研究[J].中国农村水利水电,2019(2):24-29.

[3] 齐越,路川藤,董敏,等.苏北沿海淤泥质建港潮流泥沙数值模拟研究[J].港口技术,2017,54(5):5-10.

[4] 张永强,张菀君,迟万清,等.胶州湾大桥建设前后湾内泥沙冲淤数值模拟[J].应用海洋学报,2020,39(3):368-377.

[5] 王阳.江苏如东风电场海域水动力及泥沙冲淤数值模拟[D].上海:上海海洋大学,2018.

[6] 戴勇,徐孟飘.南通港东灶港作业区码头工程潮流数值模拟及泥沙回淤计算分析[J].水道港口,2021,42(1):52-59.

[7] 董壮.三维水流数值模拟研究进展[J].水利水电工程学报,2002(3):66-73.

[8] 李帅,田洁,詹思楚,等.近海三维泥沙输运数值模拟研究及其应用进展[J].鲁东大学学报,2023,39(4):322-327.

[9] 王帅,张社荣,戚蓝,等.基于 CFD 的防淘墙河床冲刷模拟方法[J].水利与建筑工程学报,2013,11(1):74-79.

[10] 薛强,高博远,段辰宇,等.基于 FLOW3D 的集成式水下基盘泥沙冲淤三维数值模拟[J].水道港口,2024,45(3):333-338.

[11] 赵群.基于 SWAN 和 ECOMSED 模式的大风作用下黄骅港波浪、潮流、泥沙的三维数值模拟[J].泥沙研究,2007(4):17-26.

[12] 陈家森.海口市如意岛水域潮流泥沙运动数值模拟[D].长沙:长沙理工大学,2019.

[13] 寇晓梅,高繁,张乃畅,等.基于 MIKE3 三维水动力模型的鱼道集鱼区流场特征分析[J].人民黄河,2024,46(S1):73-74.

[14] 赵津京,杨正军,田会静,等.挖泥船装舱数值模拟[J].水运工程,2018(11):203-208.

[15] 赵津京,赵建豪,郭德宇,等.基于 MIKE3 模型计算航道工程装舱溢流施工流失量[J].水运工程,2023(6):215-220.