



南关岛码头工程泥沙冲淤变化研究^{*}

黄赛花^{1,3}, 于传见², 谢华伟^{1,4}

(1. 浙江水利水电学院 水利与环境工程学院, 浙江 杭州 310018;

2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;

3. 浙江省农村水利水电资源配置与调控关键技术重点实验室, 浙江 杭州 310018;

4. 长沙理工大学 水利与环境工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 建立温州南关岛码头工程二维数值模型, 对工程建设前后南关岛附近海域潮流场及其对工程区域的冲淤分布展开分析研究。研究结果表明: 整体上看, 工程附近水域涨落潮平均流速变化在 0.02 m/s 以内, 其他周边海域水流流速和流向基本未发生显著变化; 受局部工程影响码头周边海域发生淤积, 其中规划 10 万 t 码头前沿淤积量最大达到了 8.9 万 m³, 进港航道淤积量约为 7.3 万 m³, 港内其他水域约为 5.8 万 m³; 50 a 一遇 ESE 向大浪作用 12 h 条件下, 规划港区淤积幅度在 0.32 m 以内, 港区总淤积量约为 5.8 万 m³。

关键词: 南关岛; 潮流; 泥沙冲淤; 数值模拟

中图分类号: U65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)12-0034-06

Change of sediment erosion and deposition in Nanguan Island wharf project

HUANG Saihua^{1,3}, YU Chuanjian², Xie Huawei^{1,4}

(1. School of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhejiang University of Water Resources & Electric Power, Hangzhou 310018, China;

2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

3. Key Laboratory for Technology in Rural Water Management of Zhejiang Province, Hangzhou 310018, China;

4. School of Hydraulic & Environmental Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: This article establishes a two-dimensional numerical model for the Wenzhou Nanguan Island Wharf Project, and analyzes and studies the tidal current field in the sea area near Nanguan Island before and after the project construction, as well as the distribution of erosion and sedimentation in the project area. The research results indicate that overall, the average flow velocity of the rising and falling tides in the waters near the project varies within 0.02 m/s, while the flow velocity and direction in other surrounding waters have not significantly changed. Due to the impact of local engineering, sedimentation has occurred in the surrounding sea area of the dock. The planned 100,000-ton dock front has a maximum sedimentation volume of 89,000 m³, the entry channel has a sedimentation volume of about 73,000 m³, and other water areas within the port have a sedimentation volume of about 58,000 m³. Under the condition of a 50 year return period of 12 hours of heavy wave action towards the ESE, the planned siltation amplitude in the port area is within 0.32 meters, and the total siltation amount in the port area is about 58,000 m³.

Keywords: Nanguan Island; trend; sediment erosion and deposition; numerical simulation

收稿日期: 2023-03-24

*基金项目: 浙江省自然科学基金项目 (LZJWY22E090007)

作者简介: 黄赛花 (1979—), 女, 博士, 副教授, 从事河流、海岸动力学的研究工作。

海洋工程的建设对于沿海地区潮流水动力过程存在影响^[1-2], 进而影响当地海床的冲淤分布^[3-4], 因此研究工程建设前后周边海域的潮流场与冲淤变化至关重要。国内外众多学者利用不同数值分析方法对工程与海床的冲淤影响进行了研究。Zhao 等^[5]利用水槽实验及数值模拟方法对矩形沉箱的局部冲刷开展了相关研究, 发现冲刷深度与码头沉箱的高宽比存在关联。Hewageegana 等^[6]采用一维数值模型(XBeach)研究潮汐对均质海岸滩涂跨岸泥沙输移的影响。闫禹等^[7]利用平面二维潮流-悬沙数学模型研究港珠澳大桥人工岛对伶仃航道及周边海床冲淤形态的影响, 数模预测结果与实测水下地形冲淤变化一致。王阳等^[8]借助 MIKE21 软件对工程区域潮流场变化引起的地形冲淤影响进行分析。以上的研究表明运用数值模拟^[9-10]方式研究工程前后泥沙的冲淤变化是可行的。

近年来随着浙江南部周边经济社会的快速发展, 原有温州苍南霞关作业区岸段水深条件差、泊位等级低, 通过能力不足, 建设 5 万吨级以上大型泊位的需求强烈。而位于霞关作业区南侧的南关岛西侧岸线水深条件良好, 可规划为新的港区。拟建工程周围海域水道纵横交错、岛屿繁多, 潮流情况极其复杂, 关于该区域海洋工程对于潮流及泥沙冲淤影响的研究较少。本研究区域位于温州苍南港霞关作业区南侧的南关岛附近, 利用 MIKE 21 软件建立工程区域二维水动力模型, 采取大区域与局部模型嵌套方式进行计算, 利用实测资料率定相关参数, 验证模型的适用性。分析工程实施后对拟建码头、航道及周边水域泥沙冲淤的影响, 工程建设后对该区域泥沙冲淤分布进行预测, 旨在为工程安全性问题提供科学指导。

1 自然条件

1.1 潮汐、潮流

本海域潮汐呈正规半日潮特征, 涨落潮历时与落潮流历时相差不大。最高潮位为 3.15 m(1985 高程), 平均高潮位为 2.36 m, 实测最大潮差为 6.53 m,

最小潮差为 3.00 m, 平均潮差为 4.19 m。研究海区潮流类型为不规则浅海半日潮流, 分层最大流速一般出现在中、上层, 底层流速最小, 涨潮流最大流速出现在高平潮前 2~4 h, 落潮流最大流速出现在低平潮前 2~4 h。研究岸段附近测站垂线平均最大涨潮流速为 82 cm/s, 流向 315°; 最大落潮流速 114 cm/s, 流向 135°, 见图 1。

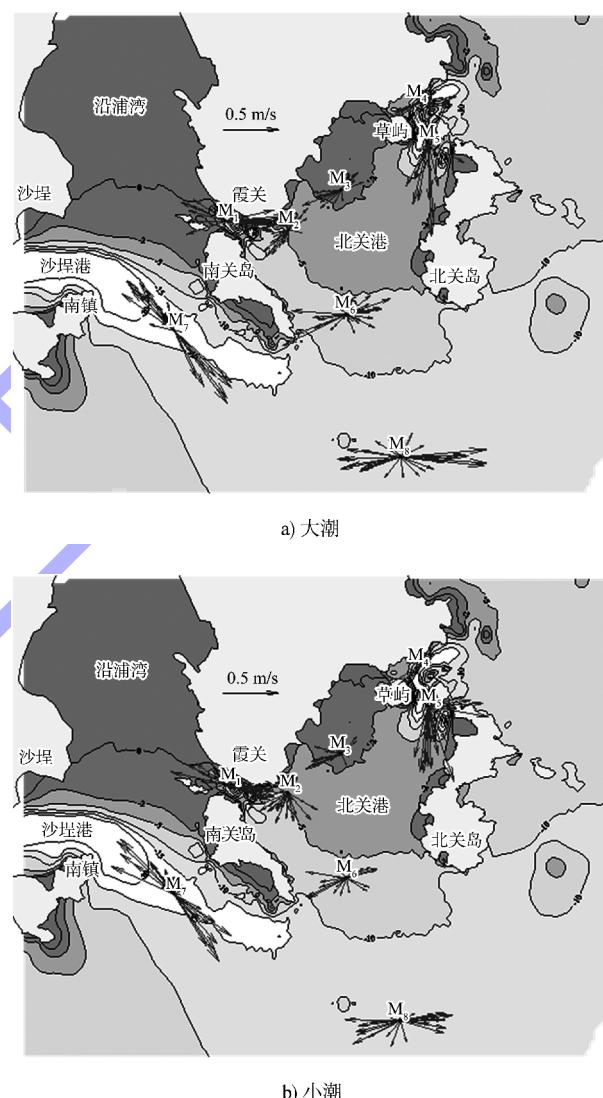


图 1 实测各站大、小潮流速矢量图

1.2 波浪

研究海域常浪向为 E—ESE 向, 频率占 49.8%; 次常浪向为 NNE—NE 向, 频率占 27.3%。各月平均 $H_{1/10}$ 波高为 0.9~1.6 m, 年均 $H_{1/10}$ 波高为 1.1 m。强浪向为 E 向, 最大 $H_{1/10}$ 波高达 10.1 m 以上; 次强浪向为 ENE 向, 最大 $H_{1/10}$ 波高 7.1~7.5 m, 大浪的产生均由台风引起。

1.3 泥沙

区域泥沙来源由流域来沙和海域来沙共同构成, 悬沙中值粒径为 $1.9 \sim 7.5 \mu\text{m}$, 峰值粒径为 $2.1 \sim 8.5 \mu\text{m}$ 。底质大部分为灰黄色黏性土, 底质中值粒径为 $4.0 \sim 11.0 \mu\text{m}$ 普遍较小。根据 2013 年实测资料, 垂线平均含沙量为 $0.026 \sim 0.308 \text{ kg/m}^3$ 。

2 码头岸线布置

霞关作业区为苍南港区最南端的作业区, 位于温州最南部与福建省福鼎市交界处。拟建 10 万吨级码头采用高桩结构形式, 布置于南关岛西侧水域, 码头岸线总长为 $1400 \text{ m} + 1150 \text{ m}$ (图 2)。码头方位角西侧泊位为 $N113^\circ \sim N293^\circ$, 东侧泊位为 $N149^\circ \sim N329^\circ$ 。码头停泊水域宽度约为 86 m , 设计底高程为 -19.4 m 。港内其它水域底高程为 -15.8 m 。进港航道西段走向为 $N143^\circ \sim N323^\circ$, 长度约为 1841.6 m ; 东段走向为 $N109^\circ \sim N289^\circ$, 长度约为 8073.8 m 。航道宽度为 310 m , 设计底高程为 -15.8 m 。

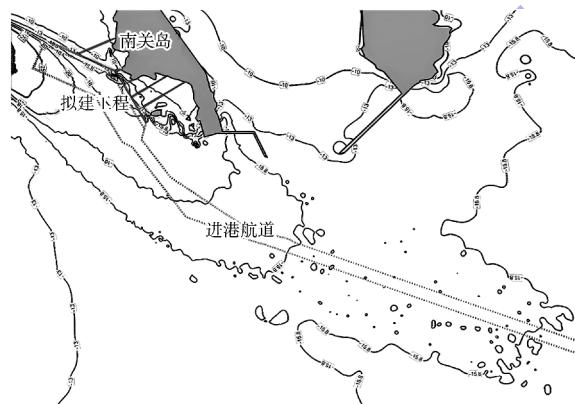


图 2 拟建工程平面布置

3 模型验证

3.1 二维水动力模型

为掌握工程海区泥沙运动特点及冲淤变化趋势, 需对工程范围海域的波浪场, 特别是风浪场进行计算, 为泥沙回淤模拟提供合适的波浪参数。波浪场模拟采用 MIKE 21/SW 数值模拟软件。潮流计算采用 MIKE 系列软件中的三角形网格水动力模块(FM 模块)。工程海域位处典型淤泥质海岸,

泥沙粒径较细, 易在波浪作用下起悬, 并主要由悬移质形式随流运动。因此, 在泥沙运动模拟中采用平面二维对流扩散方程, 见式(1):

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(hCu)}{\partial x} + \frac{\partial(hCv)}{\partial y} = -F_s + \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (1)$$

式中: C 为垂线平均含沙量, D_x 、 D_y 分别为 x 、 y 方向的泥沙扩散系数, F_s 为泥沙冲淤函数, h 为水深, u 、 v 为 x 、 y 方向的流速。

床面冲淤变化方程可由式(2)表示:

$$\rho_0 g \frac{\partial \eta_s}{\partial t} - F_s = 0 \quad (2)$$

式中: ρ_0 为床沙干密度, η_s 为海底床面的垂向位移(即冲淤变化量), 底部冲淤函数 F_s 由式(3)确定:

$$F_s = \begin{cases} \omega_s C_b \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right) & (\tau \leq \tau_d) \\ 0 & (\tau_d < \tau < \tau_e) \\ -M \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) & (\tau \geq \tau_e) \end{cases} \quad (3)$$

式中: τ 为水流底部剪切应力, τ_d 为临界淤积切应力, τ_e 为临界冲刷切应力, M 为冲刷率, ω_s 为泥沙絮凝沉速, C_b 为床面的含沙量。

3.2 计算区域及网格划分

计算模型采用大区域与局部模型嵌套方式, 以消除模型范围过小带来的边界传入误差。大尺度模型为波浪和潮波传播模型, 范围北至温岭市大拦头嘴, 南至福州市波洲岛, 模型东西宽度超过 160 km , 南北宽约 190 km , 见图 3。用于计算工程方案的局部模型以工程区为中心, 东至东经 $121^\circ 5'$, 北至苍南县平阳嘴(北纬 $27^\circ 29' 10.98''$), 南至霞浦县东冲半岛(北纬 $26^\circ 39' 55.44''$), 模型东西宽度超过 100 km , 南北宽约 103 km , 外海北侧、东侧和南侧均为开边界。计算模型采用笛卡尔坐标系, 最大网格尺度约 5 km , 主要位于外海开边界处, 最小网格约 5 m , 主要位于工程附近。用于最终计算的模型约 25 023 个网格节点。

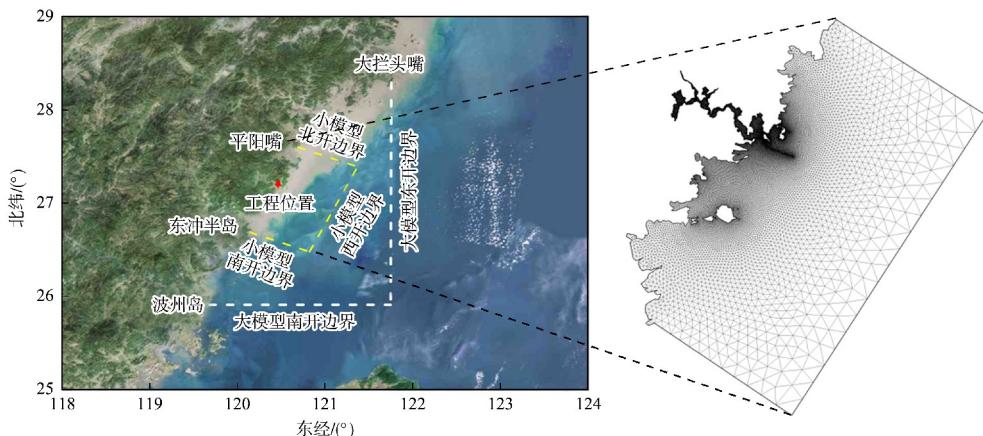


图 3 计算区域范围及网格

3.3 参数率定

Smagorinsky 方程中可调系数 C_s 取 0.28, Manning 系数 M 取值为 $30\sim60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, 工程海域悬沙中值粒径为 $6.5 \mu\text{m}$, 泥沙静水沉速约 0.05 cm/s , 临界冲刷切应力 τ_e 经率定取 $0.1\sim0.6 \text{ N/m}^2$, 冲刷系数 M 经率定取 5.0×10^{-5} 。

3.4 模型验证

采用 2021 年 8 月水文全潮(大潮、小潮)实测资料和三沙站预报潮位资料进行潮位、流速、流向的验证, 验证结果见图 4、5。通过模型计算, 各测站的计算潮位、垂线平均流速、流向在连续变化过程中均与实测值接近, 绝大多数测点的验证结果符合要求。因此, 本研究所建立的二维潮流数学模型在数值和相位上均与原型相似, 可模拟当地潮流的平面运动规律, 预测结果具有良好的可信度。

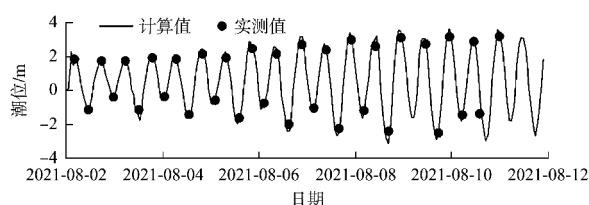
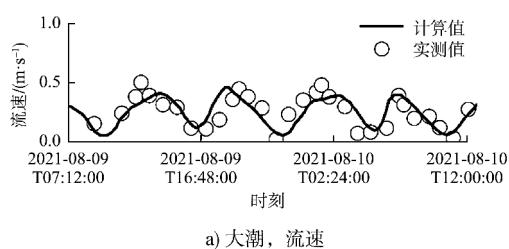


图 4 2021 年 8 月三沙站潮位验证过程线

图 5 C_1 站点流速、流向验证

4 数值模拟结果

4.1 码头水域水流流态特征变化

规划码头位于南关岛西侧局部水域, 受现状岸线及深槽地形约束, 码头附近港区水域现状基本呈现明显的往复流运动趋势, 水流流态较为平顺。模拟结果分析显示: 涨潮时, 外海涨潮水流由东向西挺进, 受南关岛南侧岬角挑流以及岸线和深槽地形

约束, 至码头工程附近水域转为西北向运动, 后汇入沙埕港和沿浦湾, 并于南关岛西南侧近岸岬湾存在微弱回流, 回流强度和范围较小, 不影响拟建码头工程水域。落潮基本为涨潮的反过程, 沙埕港和沿浦湾内部分落潮水流经老鼠屿防波堤与南镇之间水域, 由西北向东南运动。流经码头工程所在南关岛西侧深槽水道后转至东向流向外海, 落潮水流于老鼠屿防波堤西南侧形成逆时针回流, 回流范围同样较小, 不影响拟建码头工程水域。

为进一步研究拟建工程实施后周边海域流速、流向变化情况(图 6), 取相同区域的流速场进行对比。统计结果显示: 工程实施后, 除工程附近水域外, 周边海域水流流速和流向基本未变; 工程附近水域涨落潮平均流速变化在 0.02 m/s 以内, 最大流速变化在 0.04 m/s 以内, 最大流速对应流向变化在 3°以内。

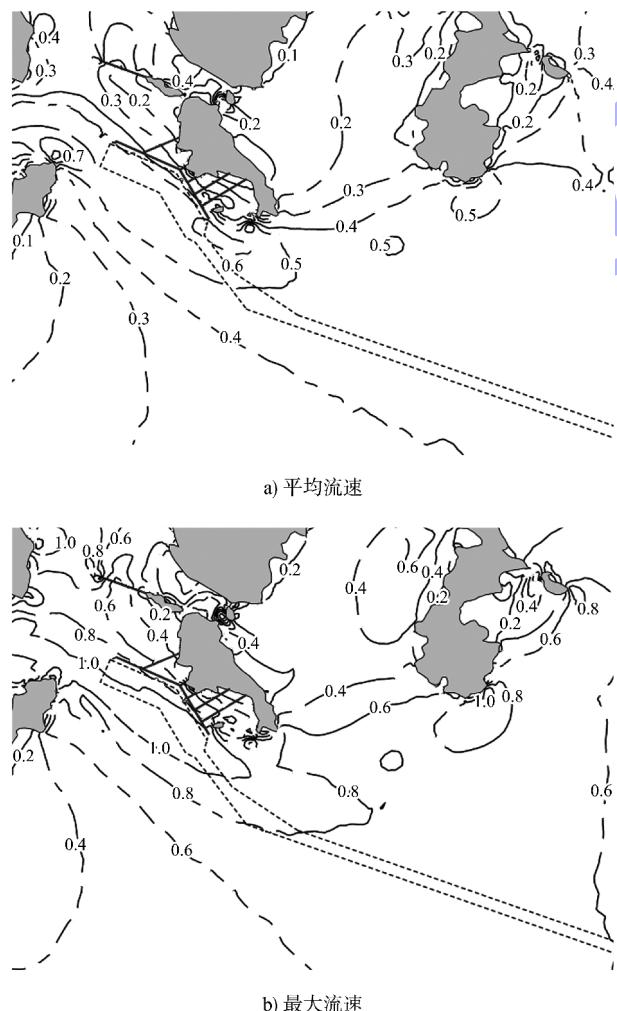


图 6 工程实施后流速分布等值线 (单位: m/s)

4.2 工程后冲淤变化

4.2.1 海床年冲淤分布

拟建工程实施后, 引起工程区及附近区域水动力条件的改变, 动力条件减弱的水域将引起海床淤积, 动力条件增强的水域将引起海床冲刷。图 7 为工程实施后码头前沿停泊水域年冲淤分布(图中正值为淤积, 负值为冲刷)。

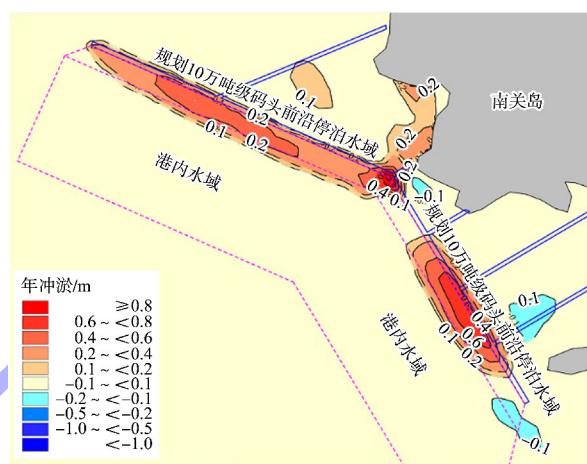


图 7 码头前区域海床年冲淤分布

方案实施后, 码头前沿停泊水域主要以淤积为主, 且淤积主要分布于码头前沿开挖水域; 10 万吨级码头前沿停泊水域年淤积强度在 0.02~1.03 m; 西侧规划泊位停泊水域年淤强分布具有由南向北逐渐降低、增加后又降低的分布趋势; 东侧规划泊位停泊水域年淤强分布具有中间大两端小的分布规律。经分析, 10 万吨级码头前沿停泊水域年淤积强度平均值约为 0.40 m/a, 进港航道淤积量约为 7.3 万 m³, 码头前沿水域约为 8.9 万 m³, 港内其他水域约为 5.8 万 m³。

4.2.2 大风天海床冲淤分布

工程海域位于台风影响多发区域, 大风作用频繁, 在工程中需要考虑大风天对码头冲淤变化的影响^[11]。然而, 台风影响具有很强的随机性, 其风速、风向、风成浪高及作用历时均不确定, 在此条件下, 如采用反演一次台风过程, 其代表性和可拓展性略差。因此, 采用台风浪重现期叠加作用时间的方式, 即采用 50 a 一遇 ESE 向波浪

作用 12 h 进行模拟, 计算冲淤分布。

图 8 为 50 a 一遇 ESE 向大浪作用 12 h 后工程海域冲淤分布情况。由图可知, 大风天气条件下, 工程海域冲淤分布趋势与正常天气基本保持一致, 仅冲淤幅度有所改变; 工程实施后, 50 a 一遇 ESE 向大浪作用 12 h 条件下, 码头前沿附近开挖水域淤积强度在 0.02~0.32 m, 港内其它水域和进港航道水深条件大体满足设计需求, 因此淤积幅度较小基本在 0.10 m 以内。经分析, 港区总淤积量约为 5.8 万 m³。

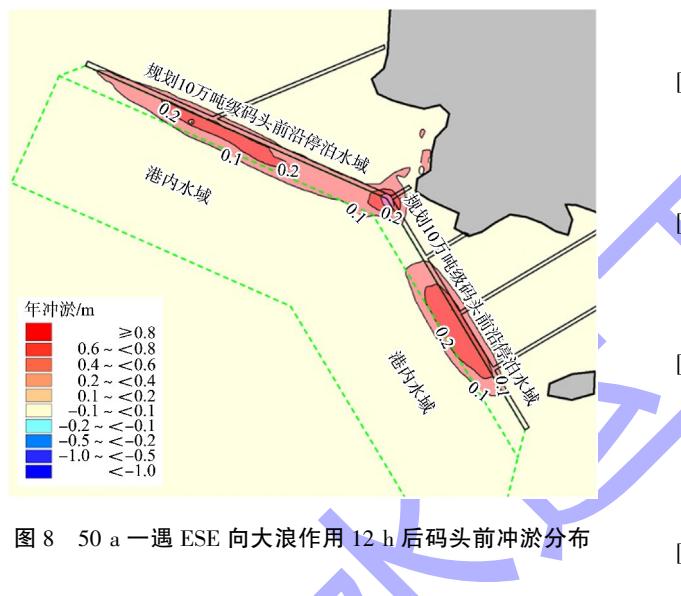


图 8 50 a 一遇 ESE 向大浪作用 12 h 后码头前冲淤分布

5 结论

1) 工程实施后, 除工程附近水域外, 周边海域水流流速和流向基本没有变化, 工程附近水域涨落潮平均流速变化在 0.02 m/s 以内, 涨落潮最大流速变化在 0.04 m/s 以内, 涨落潮最大流速对应流向变化在 3° 以内。

2) 工程实施后, 港内水域主要以淤积为主, 且淤积主要分布于码头前沿开挖水域, 进港航道及港内其它水域水深条件基本满足设计需求, 冲淤幅度不大。10 万吨级码头前沿停泊水域年淤积强度在 0~1.03 m, 平均值为 0.40 m/a, 港区总淤积量约为 22.0 万 m³。

3) 50 a 一遇 ESE 向大浪作用 12 h 条件下, 工程海域冲淤分布趋势与正常天气基本保持一致, 淤积幅度在 0.32 m 之内, 港区总淤积量约为 5.8 万 m³。

参考文献:

- [1] 高峰, 唐友刚, 彭程, 等. 港口扩建影响下近岸沙滩稳定性防护三维水动力模型试验研究 [J]. 海岸工程, 2018, 37(3): 14-24.
- [2] 陆凡, 沈良朵. 舟山复杂海域条件下新建码头工程水动力及泥沙冲淤变化研究 [J]. 水运工程, 2022(8): 24-31.
- [3] 刘苍宇, 郭成涛. 福建沙埕港的沉积特征与泥沙来源研究 [J]. 地理学报, 1992 (4): 344-352.
- [4] 胡高建, 戴志军, 周晓妍, 等. 浙江苍南近岸海域海床冲淤过程研究 [J]. 应用海洋学报, 2021, 40 (4): 688-697.
- [5] ZHAO M, ZHU X S, CHENG L, et al. Experimental study of local scour around subsea caissons in steady currents [J]. Coastal engineering, 2012, 60: 30-40.
- [6] HEWAGEEGANA V H, ALBERTO C. Numerical modeling of the influence of tides on cross-shore sediment dynamics of dissipative beaches under moderate wave conditions [J]. Continental shelf research, 2021, 218: 104381.
- [7] 闫禹, 何杰, 徐贝贝, 等. 港珠澳大桥人工岛水下滩槽演变的数值模拟与工程检验 [J]. 海洋工程, 2022, 40(4): 1-10.
- [8] 王阳, 杨红, 张午. 基于 MIKE21 的江苏如东海上风电场泥沙冲淤数值模拟 [J]. 海洋湖沼通报, 2021, 43(2): 48-57.
- [9] 吴园园, 娄安刚, 张坤, 等. 海阳中心渔港建设对附近海域冲淤的数值模拟预测 [J]. 海岸工程, 2014, 33(1): 1-11.
- [10] 王诺, 颜华锟, 左书华, 等. 大连海上机场人工岛建设对区域水动力及海床冲淤影响分析 [J]. 水运工程, 2012(4): 5-11.
- [11] 范武雷, 陆伟. 台风对乐清湾进港航道淤积的影响分析 [J]. 水道港口, 2021, 42(3): 328-333.

(本文编辑 赵娟)