



重力式码头建设对水沙环境的影响

蓝尹余¹, 冯佳佳²

(1. 福建海洋研究所 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室, 福建 厦门 361013;
2. 南京市水利规划设计有限责任公司, 江苏 南京 210022)

摘要: 针对重力式码头和工程区域的特点, 建立二维潮流泥沙数学模型, 采用实测资料对模型进行验证, 研究工程建设对东山湾水动力、泥沙环境的影响, 为项目选址及方案布置提供依据。结果表明, 工程建设前后东山湾大范围潮流场格局基本不变, 变化主要位于工程附近; 悬浮泥沙增量影响范围集中在工程东侧; 工程前沿回淤范围较小, 最大淤积强度约为12 cm/a。总体来说, 工程的选址及方案设计是可行的。

关键词: 重力式码头; 潮流; 泥沙; 数值模拟

中图分类号: U 656.1⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0083-06

Impact of gravity quay on circumstance of hydrodynamic and sediment conditions

LAN Yin-yu¹, FENG Jia-jia²

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Coast and Island Management Technology Study, Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361013, China 2. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, China)

Abstract: According to the feature of gravity quay and project area, a two-dimensional horizontal current-sediment numerical model is established and verified by the measured data. The model is used to analyze the impact of gravity quay on the hydrodynamic of Dongshan bay and sediment conditions and provide the basis for site selection and program layout. The result shows that the tide current field in Dongshan bay has little change and changes mainly locates around the project. The suspended sediment increment scope is concentrated at the east side of the project. The range of siltation is small, and the maximum siltation intensity is 12 cm/a. Overall, the siting and design of the project are feasible.

Key words: gravity quay; tide-current; sediment; numerical simulation

拟建项目为建设2个5 000吨级散杂货泊位及相关的仓库、堆场等配套设施, 位于东山湾内城垵作业区。项目西侧及东侧均为已建的重力式码头。码头平台与后方陆域形成满堂式布置, 岸线走向呈东北向, 泊位总长度为330 m, 停泊水域与东侧码头泊位共用, 港池疏浚至-9.80 m(基面为1 956黄海高程, 下同)。码头面高程3.5 m, 前沿设计水深及基床顶面高程均为-9.80 m, 基槽开挖时需清除上部的流泥、淤泥、淤泥混砂、粉质黏土、中砂及部分的残积砂质黏性土, 以残积砂质黏性土作为基床持力层, 基床底高程为-19.0~

-21.0 m, 基床厚度为9.2~11.2 m, 采用10~100 kg块石。码头下部采用预制钢筋混凝土沉箱结构, 顶高程0.70 m, 沉箱外形尺寸为10.13 m×7.9 m×10.5 m(长×宽×高), 前趾宽1.0 m, 单个质量为493 t, 箱内上部回填块石, 下部回填中粗砂, 上部为现浇钢筋混凝土胸墙结构。沉箱后侧抛填块石棱体、倒滤层等。工程位置见图1。

东山湾位于福建省最南端, 地处东海与南海交汇处, 是福建省重要的天然良港^[1]。城垵作业区依托东山县国家级经济技术开发区, 以发展集装箱及件杂货泊位、砂矿专用泊位、渔港码头、沿海和

收稿日期: 2012-05-02

作者简介: 蓝尹余(1985—), 女, 研究实习员, 主要从事河口海岸动力学研究。

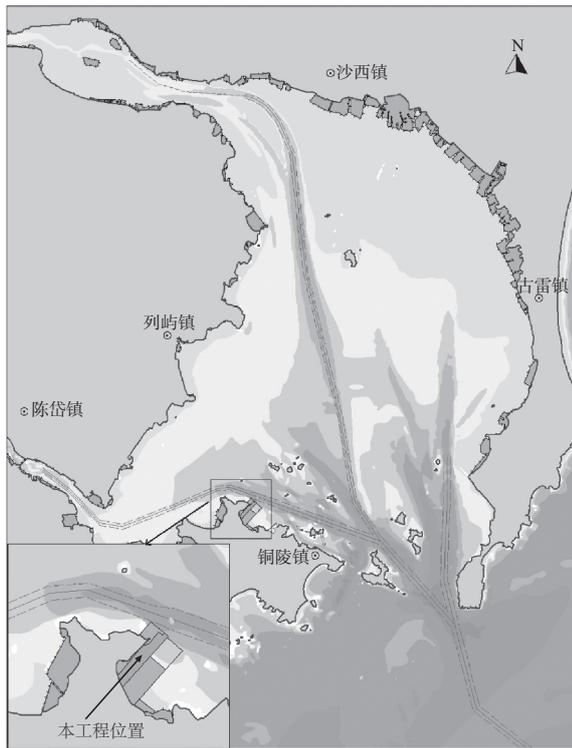


图1 工程位置

海峡客运为主^[2]。现拥有1个5 000吨级、1个3 000吨级杂货码头，1个5 000吨级硅砂专用码头，1个正在兴建中的2.5万吨级码头。鉴于拟建项目采用重力式结构，需要填海造地，对海域自然属性改变较大，将会对水沙环境造成一定影响，因此，本文通过建立二维潮流泥沙数学模型，研究工程建设对东山湾水动力、泥沙环境的影响，为项目选址及方案设计提供依据。

1 东山湾水动力及泥沙特性^[3]

东山湾属于非正规半日潮，其潮汐不等现象比较明显，涨潮历时比落潮历时稍长一些，多年平均潮差为2.30 m。东山湾海流主要属往复式的半日潮流。湾口及各水道处流速较大，涨落急流速约70~90 cm/s，其余区域的海流都比较弱。东山湾上层存在一个逆时针的水平环流，即由湾口东水道北上流向湾顶，然后沿着湾的西部近岸带南下，流向湾口至西水道向东流的循环。这种环流系统在大潮时尤为明显。在底层，东山湾也存在着底层流向湾顶、上层流向湾外的垂直余流环流。陆域来沙是东山湾的主要泥沙来源。自河口区向湾口，含沙量逐渐减少，湾口大潮平均含量

高于小潮，湾的中部则相反。东山湾平均含沙量一般为0.020 4~0.047 4 kg/m³。

2 计算方法

2.1 二维潮流数学方程

连续方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{hu}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{hv}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

动量方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{hu}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{hu}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{huv}}{\partial y} = & f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ & \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{xx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{hv}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{huv}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{hv}^2}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ & \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{yy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \\ & \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (3)$$

式中： x, y 为右手Cartesian坐标系； t 为时间； η 为水位； h 为总水深， $h=\eta+d$ ， d 为静水深； u, v 分别为流速在 x, y 方向上的分量； p_a 为当地大气压； ρ 为水密度， ρ_0 为参考水密度； $f=2\Omega\sin\varphi$ 为Coriolis参量（其中 $\Omega=0.729 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 为地球自转角速率， φ 为地理纬度）； $f\bar{v}$ 和 $f\bar{u}$ 为地球自转引起的加速度； $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 为辐射应力分量； $T_{xx}, T_{xy}, T_{yx}, T_{yy}$ 为水平黏滞应力项， S 为源汇项， (u_s, v_s) 为源汇项水流流速。

2.2 悬沙运动方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = & \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \\ & \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{F_s}{h} \end{aligned} \quad (4)$$

式中： x, y 为笛卡尔坐标； t 为时间； h 为总水深； S 为悬沙浓度； u, v 为潮流垂线平均流速在 x, y 向上的分量； D_x, D_y 分别为 x, y 方向上的泥沙扩散系数； F_s 为泥沙冲淤函数，由下式确定：

$$F_s = \begin{cases} \omega_s c_b (1 - \tau/\tau_d) & \tau < \tau_d \\ 0 & \tau_d < \tau < \tau_e \\ E(1 - \tau/\tau_e)^n & \tau \geq \tau_e \end{cases} \quad (5)$$

式中: τ 为瞬时底床剪切应力; τ_d 为临界淤积切应力; τ_c 为临界冲刷切应力; E 为床面泥沙冲刷系数。

2.3 数值方法

空间离散采用有限体积法。时间离散采用了二阶Runge-Kutta方法。

3 模型建立及验证

3.1 模型网格范围划分

本次数值模拟的主要目的是研究码头工程建设后对周边水域的影响, 根据方案的规模及其可能影响范围, 模型范围需覆盖可能影响范围。为此, 考虑到计算水边界需远离本工程影响的海域, 同时兼顾到相关资料获取的方便, 模型范围包括整个东山湾。考虑到研究海域复杂的地理形态, 本模型采用三角形网格, 以便能较好地贴合边界, 最大网格边长为1 500 m, 最小网格边长为5 m, 网格节点数13 573个, 网格单元26 333个。网格布置见图2。

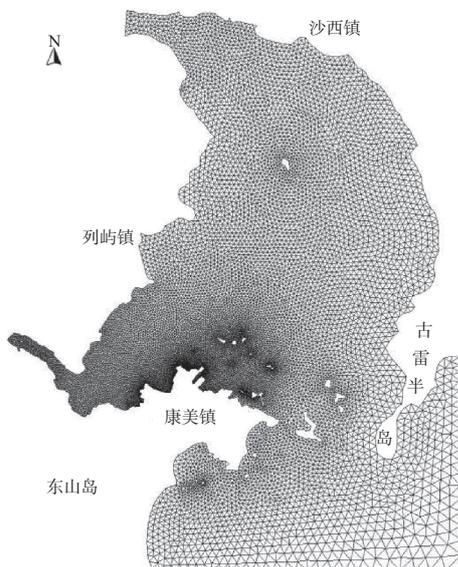


图2 网格布置

3.2 边界条件

本模型有2条外海开边界。本计算域的潮流场受东中国海潮波系统控制, 为弥补数值边界上实测潮位资料的不足, 也为使计算域的潮流场能够反映实际的潮流运动, 边界条件采用东中国海潮波数学模型提供的潮位值。

3.3 模型参数确定

3.3.1 糙率选取

糙率是潮流计算的主要参数之一, 反映了潮流运动过程中的阻力特性, 与地形形态、水深都有一定的关系, 糙率选取正确与否对计算结果有直接影响^[4]。本模型对计算水域取糙率0.01~0.025。

3.3.2 动边界处理

计算域内有一定水域为浅滩, 高潮位时淹没, 低潮位时出露, 计算过程需要采用适当的动边界处理技术, 以正确反映浅滩的干湿特征^[5]。动边界处理方法有多种, 本模型采用“冻结法”处理, 通过定义临界水深来确定干、湿单元^[6]。本模型临界水深取为0.1 m。

3.3.3 泥沙临界切应力

经过反复调试, 选取泥沙临界淤积切应力为0.15 Pa。泥沙临界冲刷切应力为0.18~0.3 Pa。

3.4 模型验证

采用大澳中心渔港1个实测潮位站和3个实测潮流站的实测资料进行验证, 验证点分布见图3, 验证结果见图4~7。



图3 验证点分布

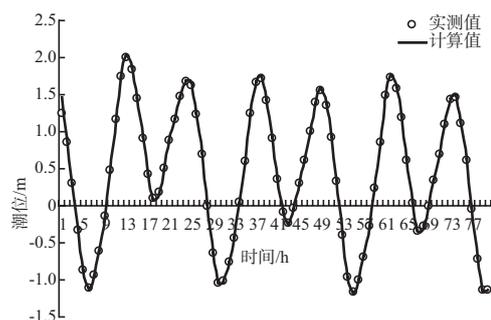


图4 T站潮位验证过程线

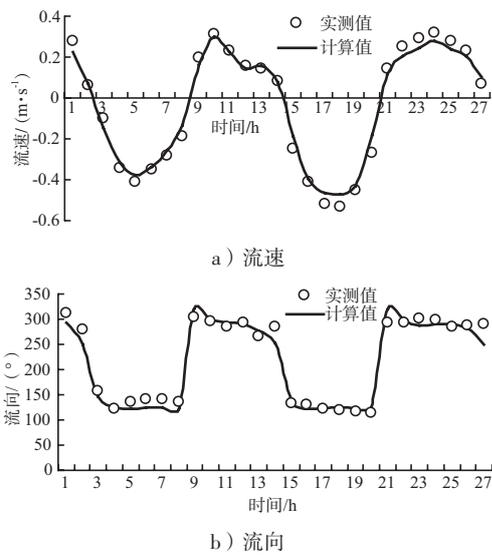


图5 A站流速、流向验证过程

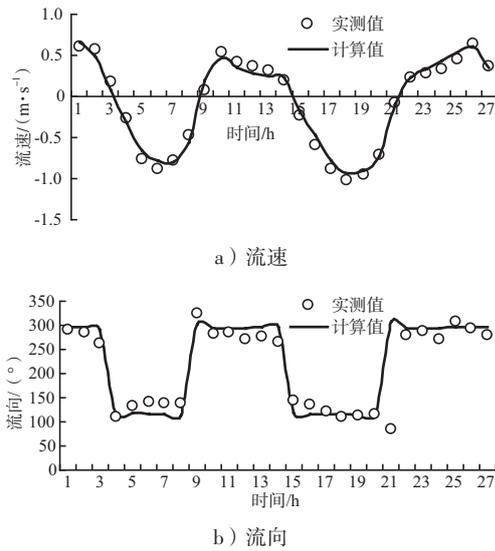


图6 B站流速、流向验证过程

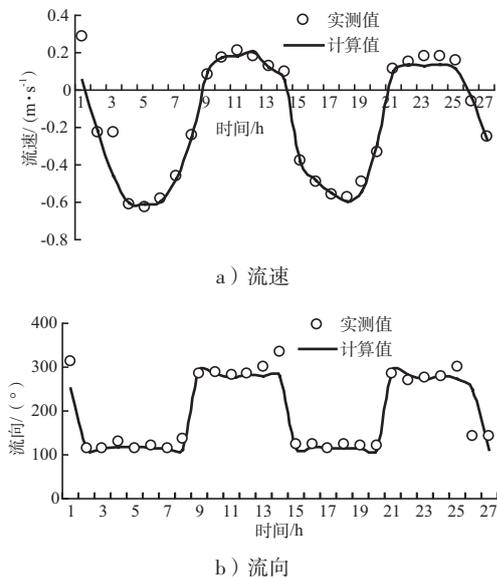


图7 C站流速、流向验证过程

从图中可见，潮位和流速及流向过程得到很好的验证，精度满足有关规程要求，因此可将本模型应用于工程研究。

4 工程实施后水动力场影响分析

东山湾属于潮控型海湾^[7]，湾内海流主要为往复式的半日潮流^[3]。由于东山湾口被塔屿分为东西两个水道，涨潮时，东山湾外的潮水由东西两个水道进入湾内，东水道的水流受大坪屿等岛屿的影响，流向呈西北向；而西侧水道的水流受陆地边界控制，刚进入湾口水流流向基本呈正北向，在对面岛外侧与东水道的水流汇合后，呈西北向；另外，由于对面岛的影响，有一股小支流流入对面岛与陆地的小水道中，但流速比较小（一般为0.2~0.3 m/s）。落急时刻的潮流场趋势与涨急时刻大致相同，只是流向相反。工程实施后，对东山湾大范围潮流场没有较大的影响。

图8及图9分别给出了工程前涨急时刻和落急时刻的工程区域细部流场，图10及图11分别给出了工程后涨急时刻和落急时刻的工程区域细部流场，图12给出了工程前后全潮平均流速变化等值线图。从图中可见，工程前沿流向基本顺应岸线，落潮流速大于涨潮流速。码头东南侧附近的小澳流向表现为逆时针环流，流速为0.03~0.08 m/s。码头工程用海范围，由于受周边码头工程的包围，水流不畅，流速较小。工程后，工程附近的流场基本保持原有特性。受码头工程的阻拦，水流顺应码头前沿线流动，涨急流向变幅为26.6°，落急流向变幅为21.6°，流速减小，减幅为0.01~0.05 m/s，距码头前沿越近，减幅越大。工程附近的航道区流速流向变化不大，涨急流向最大变幅为4°，落

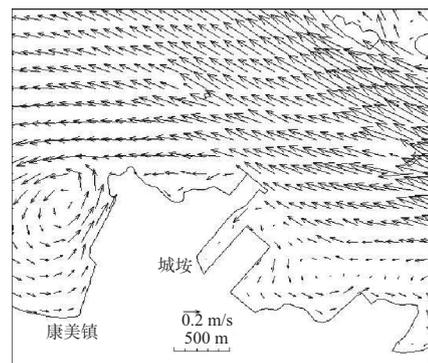


图8 工程前细部涨急流场

急流向最大变幅为3.3°, 不会对周边码头的通航产生影响。综上所述, 工程的实施对东山湾大区域及工程前沿小区域的流场影响不大。

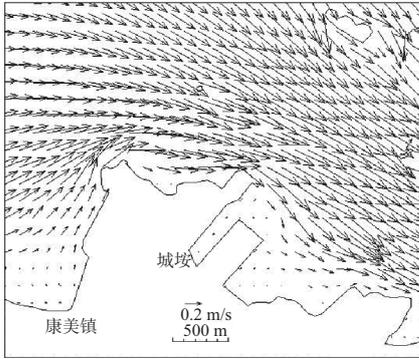


图9 工程前细部落急流场

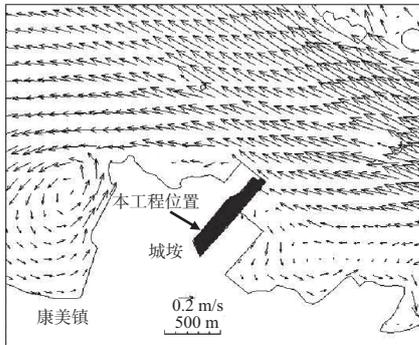


图10 工程后细部涨急流场

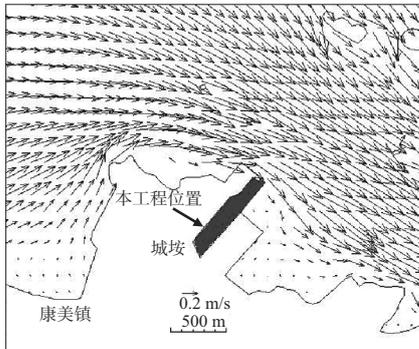


图11 工程后细部落急流场

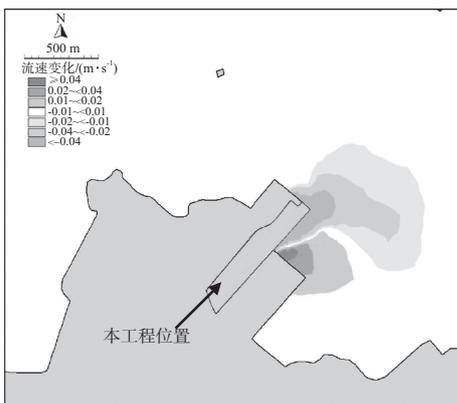


图12 全潮平均流速变化等值线

5 工程施工期悬浮物对海水水质的影响分析

重力式码头平台及后方堆场需进行基槽处理, 港池需开挖疏浚, 因此施工过程中将产生大量的悬浮物, 将对周围海域水质环境及海洋生物产生一定的影响。为了分析入海悬浮物对周边海域的影响, 在码头前沿及港池各设置一个泥沙发生点, 模拟其同时作业时一个潮周期内悬浮物扩散范围。泥沙入海源强为2.4 kg/s。

工程施工引起的悬浮泥沙扩散最大浓度包络图见图13。一个潮周期内, 由于码头基槽开挖、港池疏浚引起的悬浮泥沙浓度扩散范围主要集中在码头东侧海域。超四类水质影响范围主要集中在工程前沿, 其余较大的影响范围主要是三类水质, 且泥沙浓度也很快下降, 小于10 mg/L。本工程引起的超四类水质范围为0.010 95 km², 四类水质范围为0.009 85 km², 三类水质范围为0.386 025 km²。

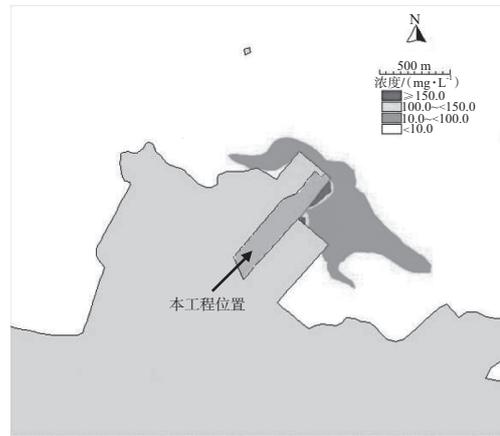


图13 悬浮泥沙增量包络图

6 工程建设对地形地貌的影响

拟建项目位于东山岛东北部的东山湾沿岸海域, 海底底质以淤泥及砂质为主。地势由南向北逐步降低, 码头陆域北部场地泥面平均高程约为-3.5 m, 中部区域泥面平均高程约为-2.0 m, 南部场地泥面平均高程为-1.0 m。港池区域由于东侧泊位建设时已进行疏浚作业, 因此水深变化较大, 在-3.6 ~ -10 m。本项目需要填海造地, 必定对海底地形地貌产生影响。根据文献[8]中的公式对工程实施后的淤积强度进行计算, 结果见图14。从计算结果可以看出, 因本工程填海的影响, 工程前沿发生较大淤积, 往外延伸海域淤积

迅速减小至1 cm/a以下，湾内其他水域几乎不受影响。本工程由于在工程前该处水流已经不畅，流速较小，同时港池回旋水域由于东侧码头工程的施工已经完成了大部分疏浚工作，故由本工程引起的疏浚工作量较小，对水动力的改变较小，因此本工程前沿回淤范围较小，最大淤积强度约为12 cm/a。从总体上看，东山湾内水体含沙量较低，泥沙来源不丰，在经过一段时间的重新调整适应后，泥沙淤积强度将逐渐趋于减弱，并达到一个新的平衡。

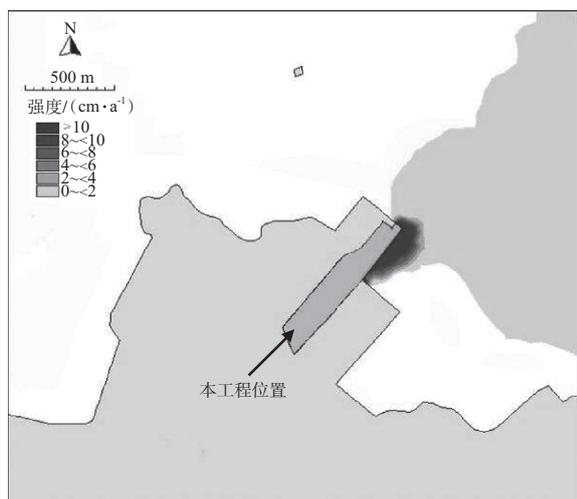


图14 年淤积强度分布

7 结语

1) 工程实施后，东山湾流场格局总体不会改变，变化主要集中在工程前沿。工程附近的航道区流速流向变化不大，涨急流向最大变幅为4°，落急流向最大变幅为3.3°，不会对周边码头的通航产生影响。

2) 由于码头基槽开挖、港池疏浚引起的悬浮

泥沙浓度扩散范围主要集中在码头东侧海域。

3) 由于工程所在海域已被周边码头工程包围，水动力条件相对较弱，工程实施后，对水动力条件的改变较小，因此对冲淤环境的影响也较小。工程前沿回淤范围较小，最大淤积强度约为12 cm/a。

4) 从工程建设后水动力、泥沙环境变化分析可见，项目建设所引起的影响较小，且集中在项目附近。流场的变化不会影响周边码头的通航。项目所处位置原已被周边码头包围，水流不畅，项目选址于此，不会对水动力及冲淤环境产生较大影响，且可与东侧码头泊位共用回旋水域，选址及方案设计是合理的。

参考文献:

- [1] 李亚治. 福建东山湾水质状况分析与污染防治对策[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 64-67.
- [2] 福建省交通规划设计院. 漳州市港口总体规划[R]. 福州:福建省交通规划设计院, 2008.
- [3] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第八分册)[M]. 北京:海洋出版社, 1993.
- [4] 张晓艳. 感潮河段洪水波传播数值模拟——以大通至长江口为例[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [5] 欧剑, 马进荣, 张晓艳, 等. 河口海岸滩涂围垦工程的潮流数值模拟[J]. 水力发电, 2006, 32(3): 13-17.
- [6] 袁雄燕, 黄铁鸣. 平面二维数学模型在涉河工程中的应用研究[J]. 人民长江, 2008, 39(17): 56-70.
- [7] 陈则实, 王文海, 吴桑云, 等. 中国海湾引论[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [8] JTJ 213—1998海港水文规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

