



洋山深水港北侧围垦工程 潮流泥沙数值模拟研究*

刘必劲^{1,2}, 万艳^{1,2}, 张友权^{1,2}, 欧龚炜^{1,2}, 李晓燕³, 林园^{1,2}

(1. 福建省海洋预报台, 福建 福州 350003; 2. 福建省海域使用动态监管中心, 福建 福州 350003;
3. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 116024)

摘要: 为进一步完善洋山深水港的各项配套功能, 港区北侧将通过围垦工程建设具有综合服务功能的物流园区。围垦工程将引起小洋山岛周围海域潮流及泥沙运动发生变化。为解决开发建设的一系列潮流泥沙技术难题, 在充分掌握海域潮流泥沙运动特性的基础上, 采用Mike21中的FM三角形网格和动边界技术建立平面二维潮流数学模型, 模拟研究规划方案建设引起的潮流场变化, 计算分析各围垦规划方案引起的潮流变化及泥沙冲淤幅度, 论证规划方案的可行性。

关键词: 洋山深水港; 潮流; 泥沙; 围垦工程

中图分类号: P 751

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0005-06

Numerical simulation of tidal current and sediment on reclamation project in north of Yangshan deepwater port

LIU Bi-jin^{1,2}, WAN Yan^{1,2}, ZHANG You-quan^{1,2}, OU Gong-wei^{1,2}, LI Xiao-yan³, LIN Yuan^{1,2}

(1. Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003, China; 2. Fujian Sea Use Dynamic Monitoring Management Center, Fuzhou 350003, China; 3. The Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The logistics park with comprehensive function is planned to be constructed in the north of Yangshan deepwater port, which will result in the change of tidal current and sediment motion due to land reclamation. Based on methods of unstructured grid and dynamic stability margin (DSM), a planar 2D model is built up to imitate the tidal-field's change and analyze the change of tidal current and sediment range in the construction area, so as to solve the technical problems concerning the tidal current and sediment and demonstrate feasibility of the project.

Key words: Yangshan deepwater port; tidal current; sediment; reclamation project

小洋山岛位于嵊泗县的西部, 属崎岖列岛岛群, 与大洋山、沈家湾岛和薄刀嘴岛等均为崎岖列岛主要岛屿, 与嵊泗菜园镇相距约39 km, 距上海芦潮港30 km, 隶属于舟山市嵊泗县洋山镇。为落实浙江省委、省政府加快经济转型升级决策的部署, 有效地加快上海国际航运中心的建设, 扩大洋山深水港后方陆域面积势在必行。由于小洋山周围均为海域和岛屿, 为了缓解用地矛盾, 只

能在港区北侧, 通过适度滩涂围垦来拓展空间, 建设具有综合服务功能的物流园区, 进一步完善洋山港区的各项配套功能, 加快以集装箱制造、仓储及后勤服务为主的工业园区和物流园区的建设。围垦工程从小洋山钻头嘴起, 自西向东绵延伸展至薄刀嘴岛, 整体形态呈带状。工程建设将改变附近海域的地形地貌条件, 引起潮流和泥沙冲淤变化, 因此, 项目的实施是否会对洋山港、

收稿日期: 2012-01-17

*基金项目: 水沙科学及水灾害防治湖南省重点实验室开放课题基金资助项目(2011SS01)

作者简介: 刘必劲(1984—), 男, 博士, 工程师, 主要从事港口及海岸工程研究。

东海大桥以及进港航道造成影响，是需要进行充分研究和论证的。

本文采用Mike21中的FM三角形网格和动边界技术建立平面二维潮流数学模型，通过数值模拟对洋山深水港北侧的围垦工程可行性进行研究，从潮流泥沙角度论证其可行性。

1 围垦工程规划方案

规划海堤(图1)西起小洋山钻头嘴，东至薄刀嘴岛，长度约6 930 m，在大指头岛与薄刀嘴岛之间的海堤轴线向内略弯，以避免薄刀嘴岛西侧的人工取沙坑，整个海堤轴线形成一条内凹的鱼背线，围填区面积约270万km²[1]。

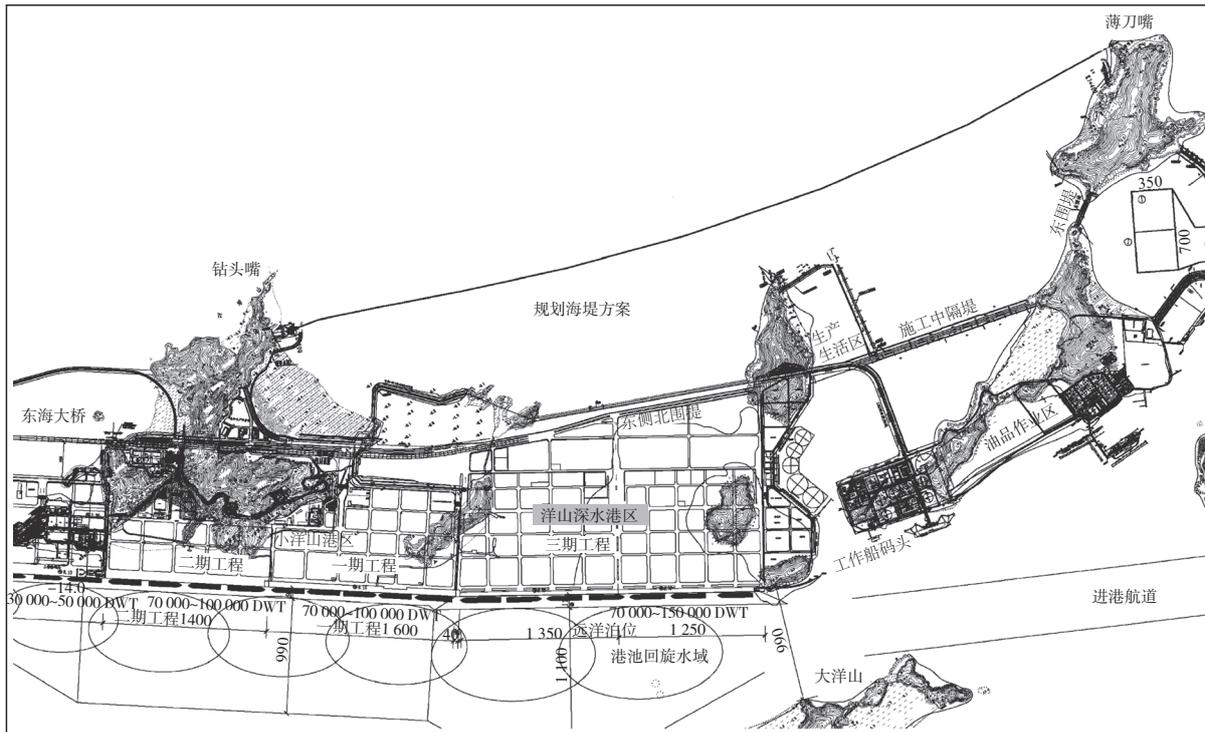


图1 洋山深水港北侧围垦工程规划布置方案

2 二维潮流数学模型

2.1 基本方程^[2]

连续性方程:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x方向动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial (vu)}{\partial y} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + u_s S \quad (2)$$

y方向的动量方程:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial (uv)}{\partial x} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + v_s S \quad (3)$$

式中： η 为潮位(m)，即水面到某一基准面的距离； h, d 为水深，即某一基准面下的水深(m)， $h = \eta + d$ ； u, v 为 x, y 向的流速(m/s)； c 为谢才系数， $c = \frac{1}{n} h^{\frac{1}{6}}$ ，其中 n 为曼宁系数； f 为Coriolis参数； g 为重力加速度； t 为时间(s)； ρ 为水的密度(kg/m³)； s_{xx}, s_{yy}, s_{xy} 为各向应力张量， $s_{xx} = hE \frac{\partial U}{\partial x}$ ， $s_{xy} = \frac{1}{2} hE \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)$ ， $s_{yy} = hE \frac{\partial V}{\partial y}$ ，(E 为黏度系数)； ρ_0 为水初始密度； S 为源流量； u_s, v_s 为源流速； $F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$ ， $F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left[A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ 分别为 x, y 方向的扩散项， A 为水平涡黏系数。

2.2 边界条件

1) 固壁边界。

利用岸壁法, 取法向不可入条件, 即法向流速为零

$$V_n = V \times n = 0 \quad (4)$$

2) 开边界。

可采用边界水(潮)位过程或流速过程, 即按边界网格线方向, 求得流速分量 u 和 v , 然后再纳入过程计算, 本计算开边界采用潮位过程。开边界潮位由调和预报给出。

潮位过程:

$$\zeta = \zeta(t) \quad (5)$$

3) 动边界。

模型区域内边滩随着潮涨潮落, 存在淹没和露滩交替的现象, 具有可移动边界的特点。对于此类边界的处理, 采用干湿点判别法对动态边界水域进行处理。即在模拟中, 当潮位下降出现露滩时, 则计算中去除相应的网格; 当潮位上升淹没时, 计算中添加上相应网格。如果流速点处的总水深小于临界水深, 此点为“干点”, 流速值取为0; 如果流速点处的总水深增加, 大于临界水深值, 则此点再变为“湿点”, 取此点流速为计算的流速值。为提高模型计算的稳定性, 一般从干到湿的临界水深值要略大于从湿到干的临界水深值。

2.3 模型范围和计算网格

为准确提供模型边界值, 建立了长江口、杭州湾至三门湾整体海区二维潮流数学模型。模型范围西至杭州湾金山, 北至芦潮港以北到嵎泗一线, 东至嵎泗到岱山一线, 南至岱山到杭州湾

一线, 计算区域见图2(54坐标, 下同)。工程海区模型的边界潮位从东海海域大模型中提取, 此模型精细模拟了围垦工程规划方案实施后, 工程区附近水流流态变化。由于计算海区岛屿众多, 岸线曲折, 对工程区域采用FM三角形网格计算模式^[3], 对工程区局部进行网格加密。工程周边海域数学模型共设计网格节点13 674个, 网格26 550个。边界附近大网格数空间步长约1 000 m, 工程区细网格步长约50 m。计算时间步长取30 s。

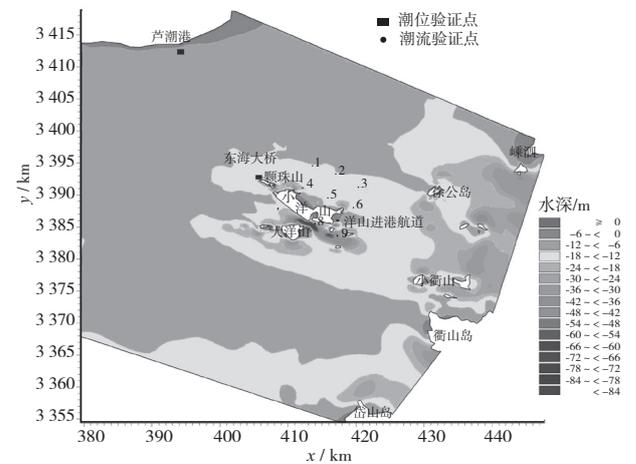
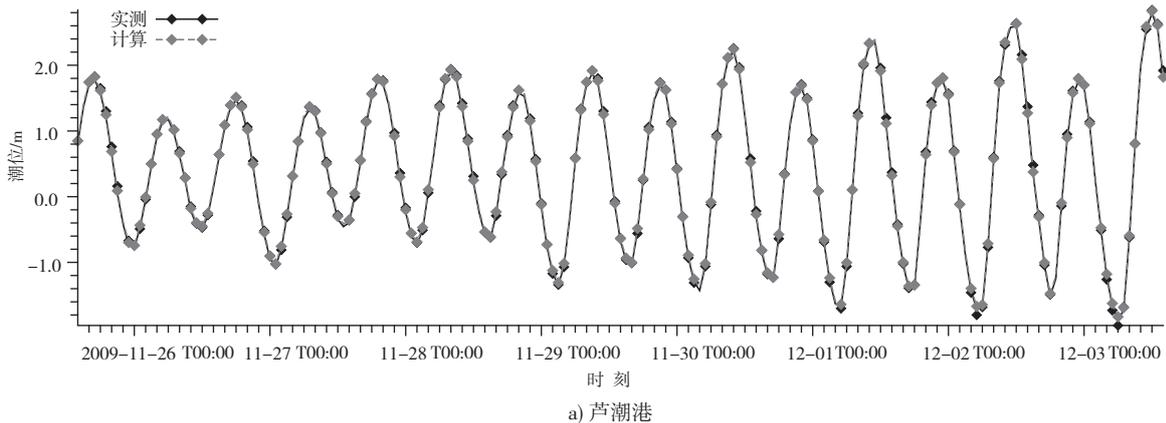


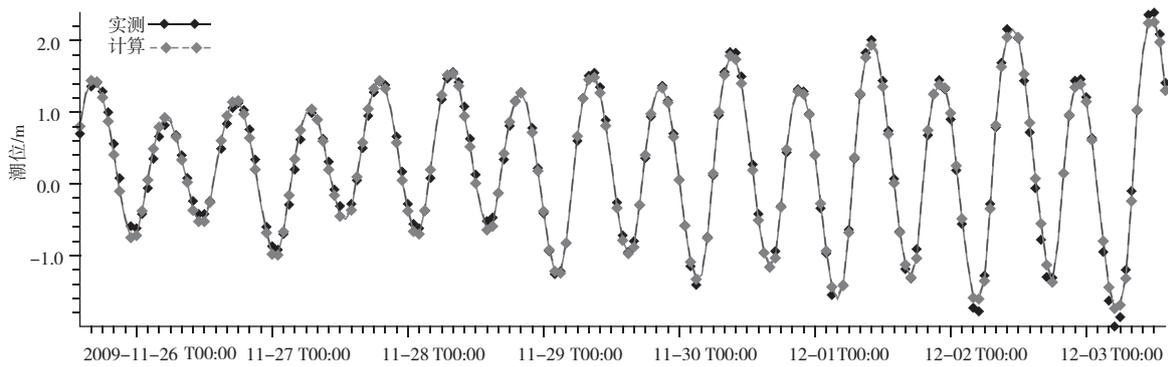
图2 计算区域水下地形

2.4 模型验证

采用2009年11—12月芦潮港、小洋山临时潮位站的实测逐时潮位以及工程附近海域临时测流点的实测逐时流速、流向资料对已建立的模型进行验证^[4]。模型验证了大、中、小潮2个潮位站和9个测点的流速及流向, 其中部分验证结果见图3和4。由图可知, 模拟潮位与观测结果拟合较好, 计算值和实测值的总体误差小于10%, 高低潮时



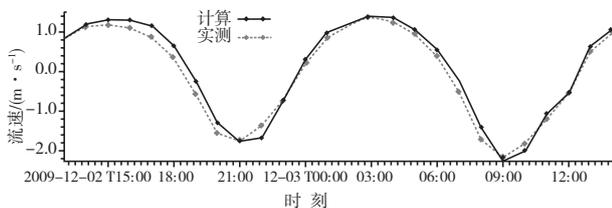
a) 芦潮港



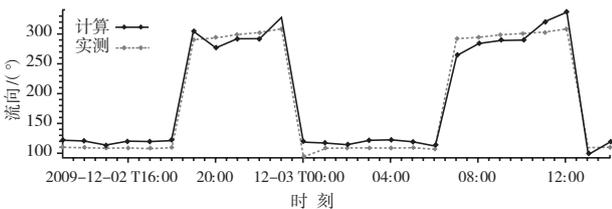
b) 小洋山

图3 潮位验证

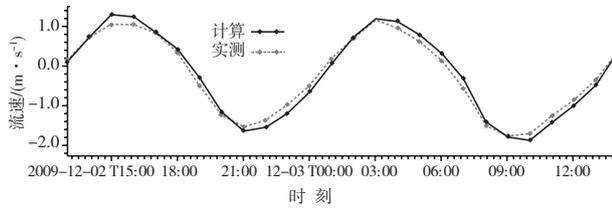
间的相位偏差小于0.5 h，最高最低潮位值偏差小于10 cm。模拟流场基本与实际情况相符，憩流时间和最大流速出现的时间偏差小于0.5 h，流速过程线的形态基本一致，涨落潮平均流速偏差小于10%，满足《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》^[5]的规定和要求，精度达到了工程研究的需要。



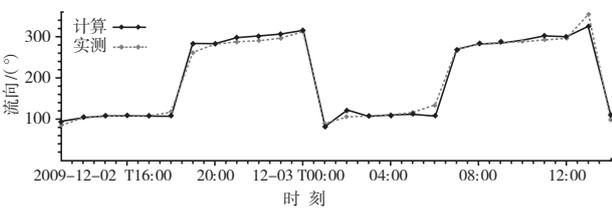
a) 1#大潮流速



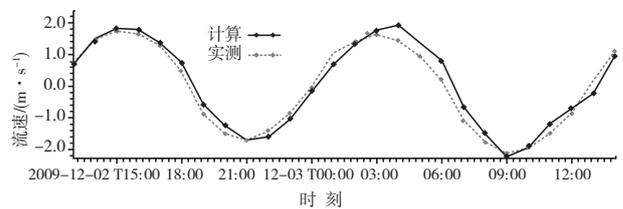
b) 1#大潮流向



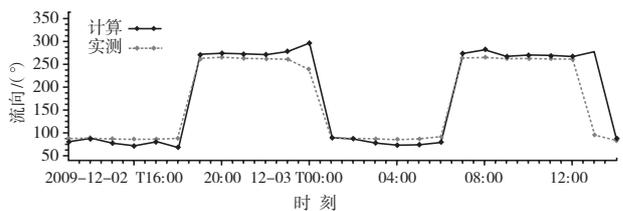
c) 4#大潮流速



d) 4#大潮流向



e) 9#大潮流速



f) 9#大潮流向

图4 大潮流速流向验证

3 围垦工程对周围海区的影响分析

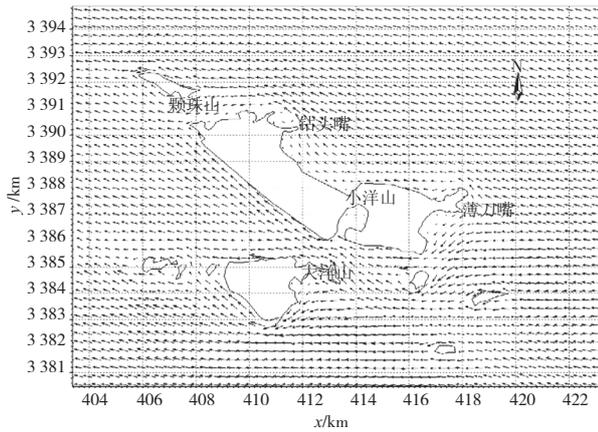
3.1 数值模拟

在工程区的大潮涨落急流矢图中可以看到(图5)，涨潮流在薄刀嘴东湾分成南北两路，往北流向小洋山北侧，南侧水流和簸箕岛水流汇合共同进入洋山深水港区；流经颗珠门合并沿颗珠山南侧西北流向杭州湾。落潮时，潮流路径与涨潮刚好相反，流经颗珠山南侧的水路在蒋公柱岛前沿分为两支，一支沿颗珠门并流向小洋山北侧，另一支向东南流入小洋山深水港区，于薄刀嘴东湾位置，南北两路水流合并，往东南流出计算区域^[6]。

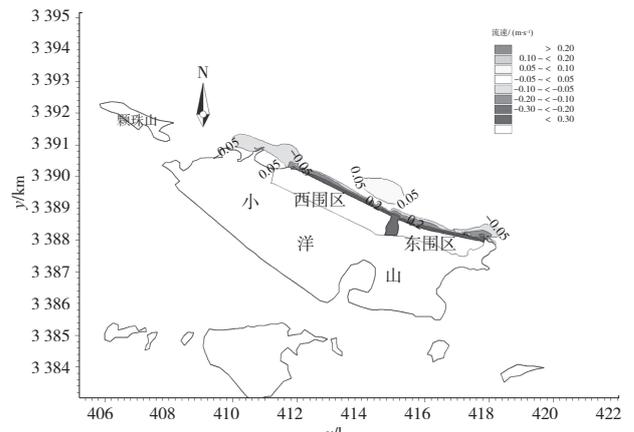
3.2 结果分析

3.2.1 对周围流场的影响分析

经过数模计算分析，围垦工程规划方案实施后的流速变化为：海堤200 m以外流速增加，近海

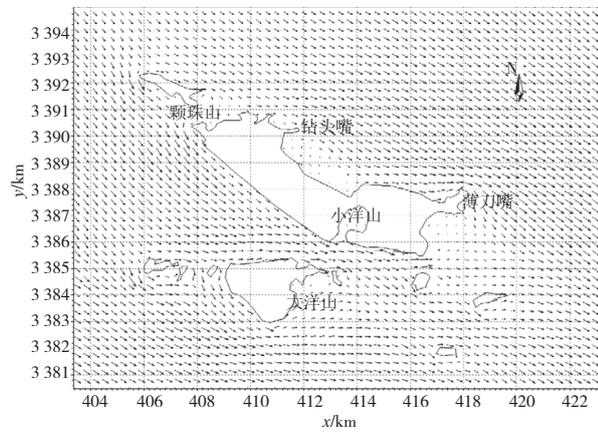


a) 大潮涨急流



b) 落潮

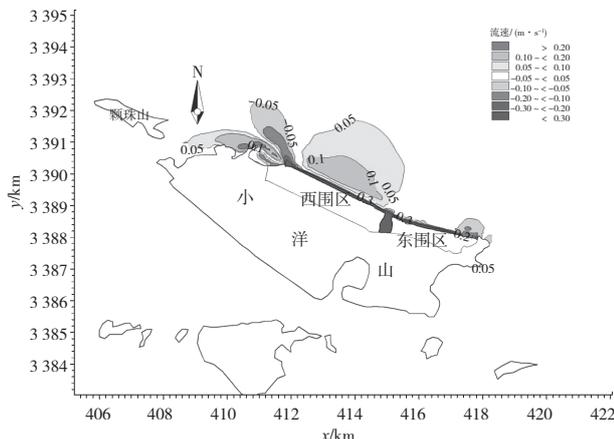
图6 规划方案实施后落涨潮流速变化



b) 大潮落急流

图5 工程区大潮涨落急流场矢图

堤处流速减小, 海堤东西两侧薄刀嘴和钻头嘴前沿流速小幅减小。从规划方案实施前后工程区附近的涨落潮流速变化及潮段平均流速变化来看, 规划方案实施后, 海堤提前100 m流速减小0.3 m/s, 海堤以外200m流速增大0.05~0.1 m/s, 增幅约5%~10%, 见图6。



a) 涨潮

3.2.2 对周围冲淤变化的影响

1) 冲淤强度公式。

工程后的冲淤计算采用由动力场变化引起的半经验半理论公式:

$$P = \frac{\alpha S \omega t}{\rho_c g} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \right] \quad (6)$$

式中: P 为工程后经过时间 t 的冲淤量; α 为泥沙沉降概率; ρ_c 为淤积物干密度; ω 为沉降速度 v_1, v_2 分别为工程前、后的流速, H_1, H_2 分别是工程前后水深。

经推导, 可得:

$$H_1 - H_2 = 0.5 \left[(H_1 + \beta \Delta t) - \sqrt{(\beta \Delta t - H_1)^2 + 4\beta \Delta t K^2 H_1} \right] \quad (7)$$

式中: $\beta = \frac{\alpha \omega S}{r_c}, K = \frac{v_2}{v_1}$ 。

当 $t \rightarrow \infty$ 时, 极限冲淤厚度为: $H_1 - H_2 = (1 - K^2) H_1$

在计算时取 α 为0.5~0.6, ρ_c 取根据经验公式 $\rho_c = 1750 D_{50}^{0.183}$, 因为本海区的泥沙粒径比较细, 根据水文测验资料, 取全潮平均的泥沙中值粒径为 $6.39 \mu\text{m}$, 取 $\rho_c = 694.136 \text{ kg/m}^3$; 泥沙大部分是通过絮凝沉降淤积的, 颗粒间沉速差异比较小, 可取 ω 为 0.0004 m/s [7-8]。

2) 冲淤结果分析。

研究表明: 工程实施后近围堤100 m区域均发生淤积, 规划方案淤积幅度总体较小, 集中在薄刀嘴和钻头嘴前沿, 冲淤平衡后, 薄刀嘴和钻头嘴前沿最大淤积厚度约0.4~0.6 m, 东海大桥

区略有淤积,最大淤积厚度约0.1~0.2 m。工程区附近各敏感点在工程实施1 a后及冲淤平衡后的冲淤幅度见表1和图7~8。

表1 规划方案实施后各敏感点冲淤幅度 cm

冲淤时间	东海大桥	洋山港区	洋山港进港航道	堤前200 m
工程实施1 a后	10	0	-10	-40
冲淤平衡后	20	0	-20	-60

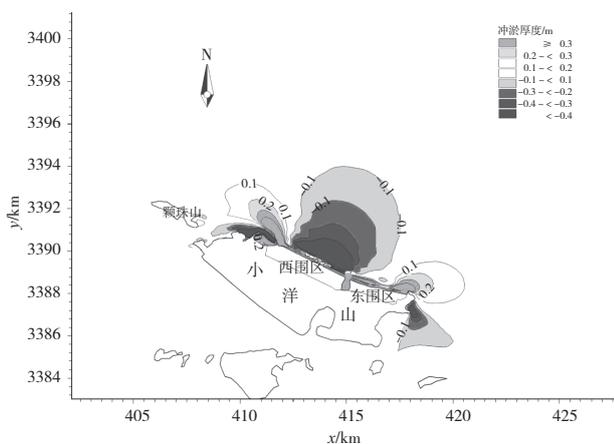


图7 规划方案实施1 a后冲淤分布

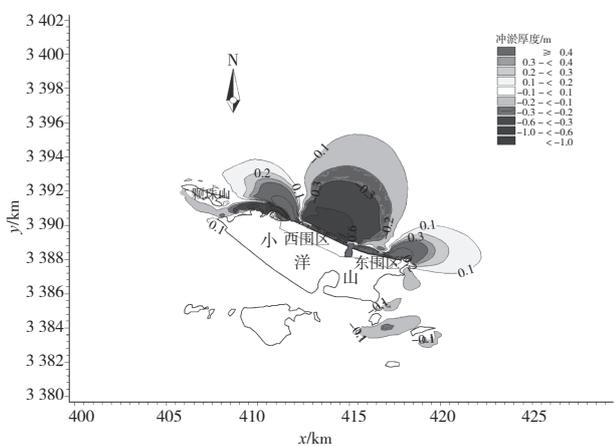


图8 规划方案冲淤平衡后冲淤分布

3.2.3 结论

1) 规划方案实施后,海堤前沿200 m以外的流速增大,对附近的洋山港区、洋山港进港航道以及东海大桥的潮流场影响很小,均不影响洋山港区、进港航道以及东海大桥的正常运营。

2) 规划方案实施后,至冲淤平衡时,东海大桥

区域淤积幅度为20~30 cm,对大桥的桩基基础基本无影响;洋山港进港航道冲刷幅度为20~40 cm,不影响航道的通航。

3) 从对周围海区环境影响小、节约海域资源及可持续发展角度考虑^[9],规划方案可行。

4 结语

基于MIKE21软件,采用潮流泥沙数值模拟手段,对洋山深水港北侧围垦工程实施后的影响进行了研究和论证。经检验,模型验证结果满足规范要求,精度符合工程应用要求。研究结果表明,工程实施对洋山港区、进港航道以及东海大桥等利益相关者影响较小,从潮流泥沙角度考虑,围垦工程是可行的。

参考文献:

- [1] 舟山市海洋勘测设计院.小洋山北侧区域用海规划报告[R].舟山:舟山市海洋勘测设计院,2009.
- [2] DHI. MIKE21 User Guider[M].Denmark: DHI Water&Environment, 2003.
- [3] 谢洁.广西铁山港区潮流泥沙数值模拟[J].水运工程, 2011 (3):1-9.
- [4] 张俊彪,金惜三.小洋山北侧围填海工程水文泥沙测验[R].杭州:杭州国海海洋工程勘测设计研究院,2010.
- [5] JTJ/T 233—1998 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范[S].
- [6] 戚秀莲,丁健.洋山深水港区主航道回淤分析[J].水运工程, 2009 (12): 139-147.
- [7] 杨华,冯学英.上海洋山港区和进港航道水域泥沙特性及回淤分析研究[J].水道港口, 2000 (3): 17-22.
- [8] 李孟国,时钟,吴以喜.温州中心渔港防波堤工程海域潮流数值模拟及底床冲淤计算[J].中国港湾建设, 2004(3): 20- 23.
- [9] 李孟国,黄哲浩,李文丹,等.洞头峡围垦工程潮流泥沙数值模拟研究[J].水运工程, 2008 (4): 13-18.

(本文编辑 武亚庆)