



围垦工程对大小鱼山海域潮流的影响

徐 镁，周 娜

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032)

摘要：采用 MIKE21-HD 软件建立了大小鱼山海域潮流数值模型，并利用实测资料对其进行验证。在模型基础上，针对大小鱼山海域岛间的复杂潮流条件，利用潮流数值模拟分析大小鱼山围垦工程对周边水动力条件的影响。模拟结果显示：1)围垦工程的影响范围主要集中于围垦区附近，未对大范围海域水动力条件造成影响，潮平均流速变化基本在 0.5 m/s 以内。2)在围垦区东西两侧弱流区产生 1.5~2 m/a 的淤积，其余水域海床冲淤幅度基本在 1 m/a 以下。因此，该围垦工程实施是可行的。

关键词：鱼山；舟山群岛；潮流；数值模拟；围垦工程

中图分类号：U 65

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)05-0075-06

Influence of reclamation project on tidal current condition in Da-xiao-yushan water area

XU Kun, ZHOU Na

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: We employ the 2D tidal current numerical model (MIKE21-HD) to build a current model in the Da-xiao-yushan water area, which is validated by observed data. In view of the complex tidal current conditions between islands in Da-xiao-yushan water area, the influence of the reclamation project on the surrounding hydrodynamic conditions is simulated by using the numerical simulation of the tidal current based on this model. The simulation results show: 1) The influence scope of the reclamation project is mainly concentrated in the vicinity of the reclamation area, without affecting the hydrodynamic conditions of the large-scale sea area. The average tidal velocity change is basically within 0.5 m/s. 2) 1.5~2 m/a siltation occurs in the weak current areas on the east and west sides of the reclamation area, and the seabed erosion and siltation rate in the remaining waters is basically below 1m/a. The reclamation project is feasible.

Keywords: Yushan; Zhoushan archipelago; tidal current; numerical simulation; reclamation

大小鱼山地处舟山群岛中西部，杭州湾东侧海域，东与岱山岛隔水相望，隶属岱山县，距岱山县高亭镇约 25 km。大小鱼山海域岛屿众多，地形复杂多变(图 1)。大鱼山呈南北向扁长形态，其南、北矾头较为突出，在两端矾头周边形成深槽，局部

水深可达 40~50 m；受岛屿间相互掩护以及长江口沿岸输沙和杭州湾来沙的影响，在大小鱼山东西两侧流影区形成了较为有利的泥沙淤积环境，形成大范围的舌状浅滩，-2、-5、-8 m 等深线所围区域面积(含陆域)分别约 12.5、23.4、38.2 km²^[1]。

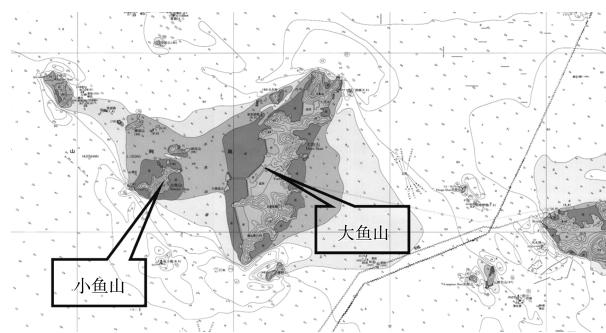


图 1 大小鱼山海域

舟山市政府拟在大小鱼山建设绿色石化产业基地。大小鱼山海域虽有宝贵的岸线及岛屿资源，但其岛屿面积仅约 7 km^2 ，受土地等资源制约明显，需进行相应的围垦成陆工程，待陆域形成后再进一步建设石化基地相关设施。大小鱼山围垦工程分近、中、远 3 期实施，其中近、中期围垦工程基本同步实施，将大鱼山—小鱼山间浅滩以及大鱼山东侧浅滩围垦成陆，成陆面积约 26 km^2 ，满足舟山绿色石化基地项目用地要求(图 2)。由于围垦面积相对较大，将对大小鱼山海域潮流泥沙条件产生一定影响。大小鱼山海域岛礁密布，潮流条件复杂，故需对大小鱼山围垦方案实施前后潮流条件变化进行分析研究。

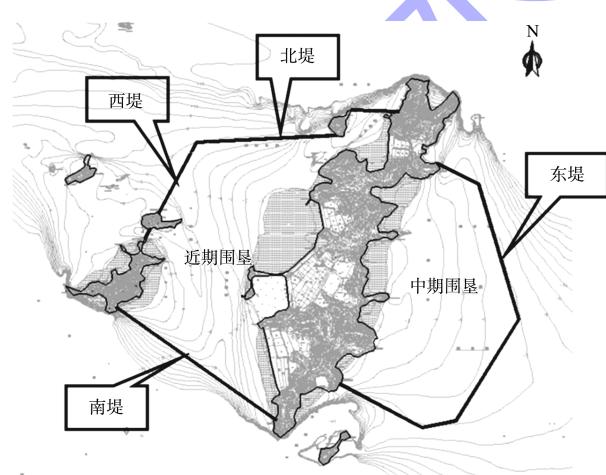


图 2 大小鱼山近、中期围垦工程方案

本文利用实测资料，采用 MIKE21-HD 水动力模型针对近、中期围垦方案开展研究，模拟围垦工程前后的潮流条件，分析围垦工程对大小鱼山水动力环境的影响。

1 模型简介

本文采用丹麦 DHI 公司开发的 MIKE21-HD 平面二维水流数学模型进行水动力计算，该模型在国内外众多工程研究中得到应用，是一个较为成熟的数学模型。

该模型基本控制方程为纳维-斯托克斯方程组沿水深积分的形式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} = hS \quad (1)$$

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

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

式中： t 为时间； x 、 y 为平面坐标系， \bar{u} 、 \bar{v} 分别为流速在 x 、 y 方向上的分量的垂向平均值； η 为水面相对于未扰动水面的高度，即水位； h 为静止水深； p_a 为当地大气压； ρ 为水密度； ρ_0 为参考水密度； $f = 2\Omega \sin\varphi$ 为科氏力参数(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)； 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 为源汇项水流流速分量； g 为重力加速度， τ_{sx} 、 τ_{bx} 、 τ_{sy} 、 τ_{by} 为表、底层应力项。

模型中利用干湿判别法处理潮滩动边界，即采用水深对计算区域内滩地干湿过程进行判别处理：当某网格水深小于干出水深时，令该网格不参与模拟，滩地干出；当该网格水深大于湿水深时，网格参与模拟，潮水上滩。该判别法可有效提高浅滩水域的数值模拟精度，可较为准确地模拟本海域中浅滩水域的水动力条件^[2]。

2 模型设置与验证

本文关注区域为大小鱼山附近海域, 范围相对较小。为节省模型计算量, 并提高模型精度, 本文采用三重模型嵌套进行潮流数值模拟(图3), 即利用东中国海水动力模型为杭州湾口外海域二维潮流模型提供潮汐边界条件, 再利用杭州湾口外海域模型为大小鱼山海域二维潮流模型提供潮汐边界条件, 最终在大小鱼山海域二维潮流模型中进行本文潮流数值模拟研究。

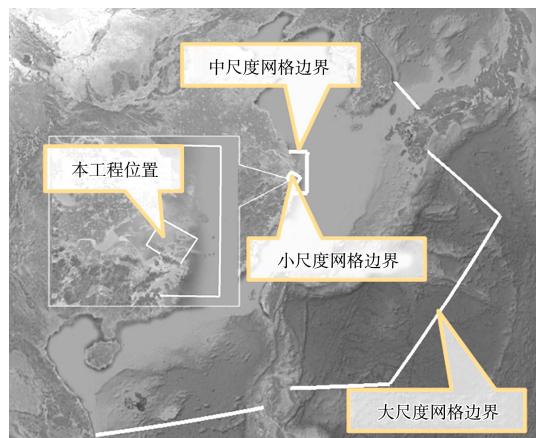


图3 三重嵌套网格范围

大小鱼山海域二维模型网格见图4。模型包括了舟山岛以北至小洋山岛间的海域, 东边界取在大小长涂山以东, 西边界取在杭州湾口; 外海边界附近网格边长约800 m, 由外海向大小鱼山海域逐级加密, 至大小鱼山附近海域大部分网格边长加密至80 m左右, 局部岛屿边界处网格边长加密至25 m左右, 可较好地刻画大小鱼山海域岛礁、地形, 满足本文潮流数模精度要求。

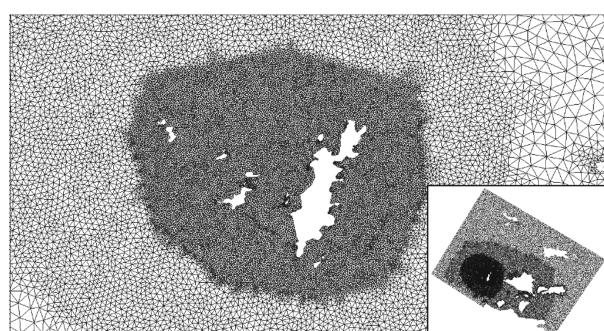
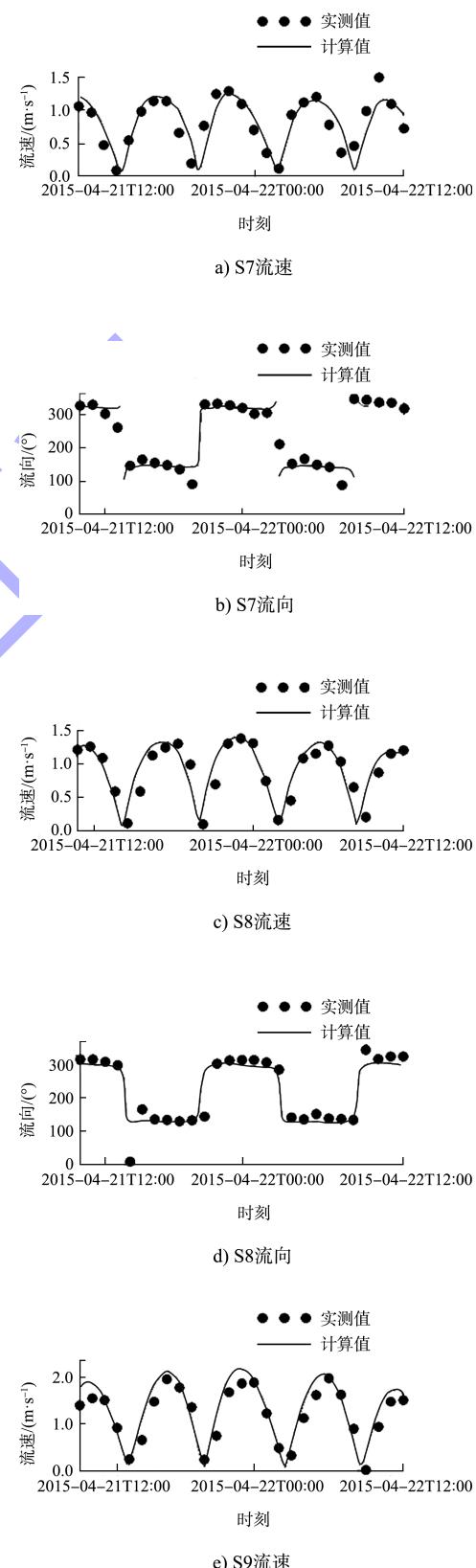


图4 大小鱼山海域二维潮流模型网格

本文利用大小鱼山海域2015年1月与2015年4月两次水文测验资料对大小鱼山海域二维潮流模

型进行验证。选择2015年4月实测潮流验证情况, 见图5。由图5可知, 验证结果与实测资料吻合良好, 模拟误差满足相关规范要求, 表明模型可较为客观地反映工程区的整体流场特征。



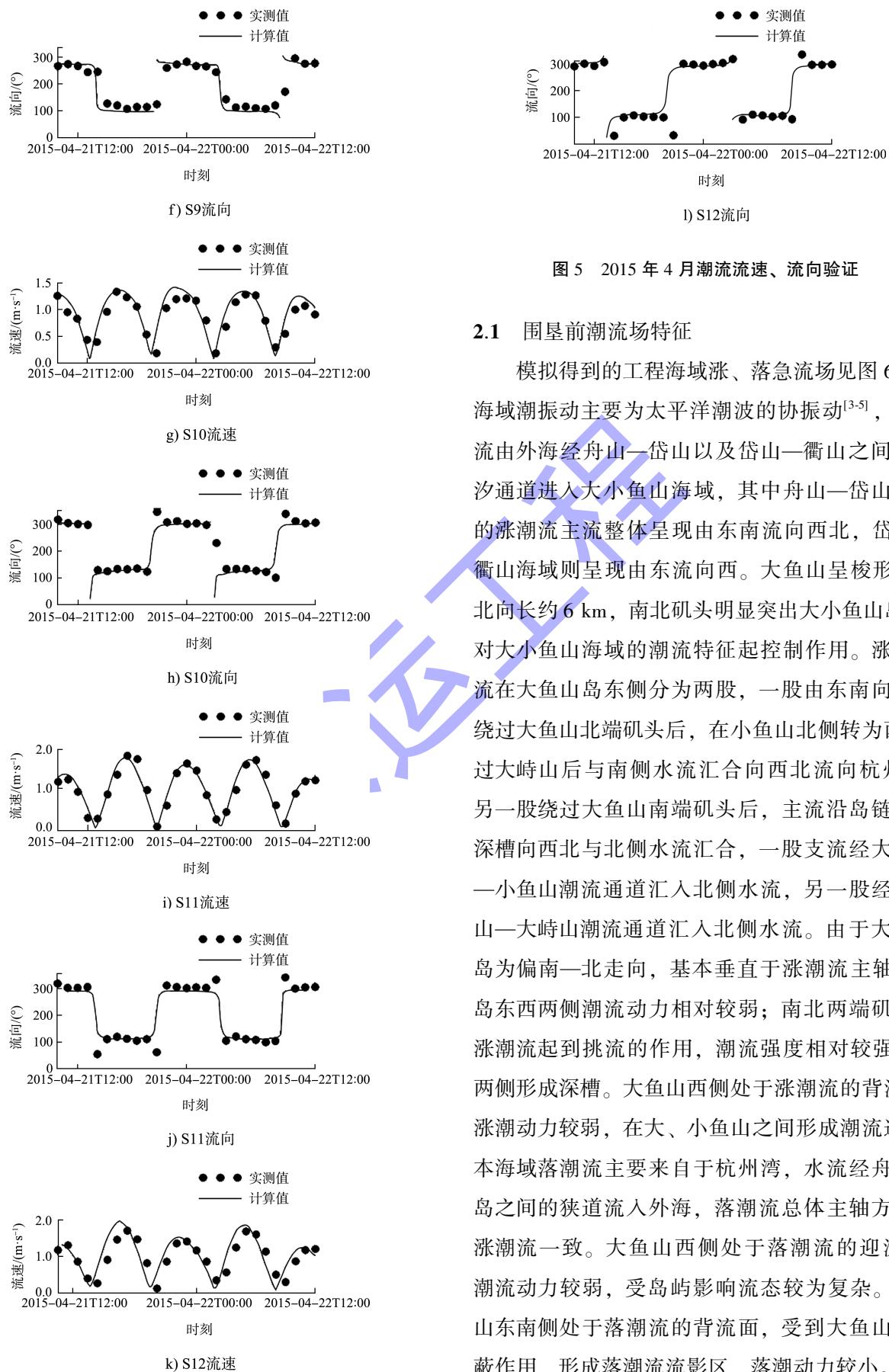


图 5 2015 年 4 月潮流流速、流向验证

2.1 围垦前潮流场特征

模拟得到的工程海域涨、落急流场见图 6。本海域潮振动主要为太平洋潮波的协振动^[3-5]，涨潮流由外海经舟山—岱山以及岱山—衢山之间的潮汐通道进入大小鱼山海域，其中舟山—岱山海域的涨潮流主流整体呈现由东南流向西北，岱山—衢山海域则呈现由东流向西。大鱼山呈梭形，南北向长约 6 km，南北矾头明显突出大小鱼山岛链，对大小鱼山海域的潮流特征起控制作用。涨潮流在大鱼山岛东侧分为两股，一股由东南向西北绕过大鱼山北端矾头后，在小鱼山北侧转为西向，过大峙山后与南侧水流汇合向西北流向杭州湾；另一股绕过大鱼山南端矾头后，主流沿岛链南侧深槽向西北与北侧水流汇合，一股支流经大鱼山一小鱼山潮流通道汇入北侧水流，另一股经小鱼山一大峙山潮流通道汇入北侧水流。由于大鱼山岛为偏南—北走向，基本垂直于涨潮流主轴，该岛东西两侧潮流动力相对较弱；南北两端矾头对涨潮流起到挑流的作用，潮流强度相对较强，在两侧形成深槽。大鱼山西侧处于涨潮流的背流面，涨潮动力较弱，在大、小鱼山之间形成潮流通道。本海域落潮流主要来自于杭州湾，水流经舟山群岛之间的狭道流入外海，落潮流总体主轴方向与涨潮流一致。大鱼山西侧处于落潮流的迎流面，潮流动力较弱，受岛屿影响流态较为复杂。大鱼山东南侧处于落潮流的背流面，受到大鱼山的遮蔽作用，形成落潮流影区，落潮动力较小。

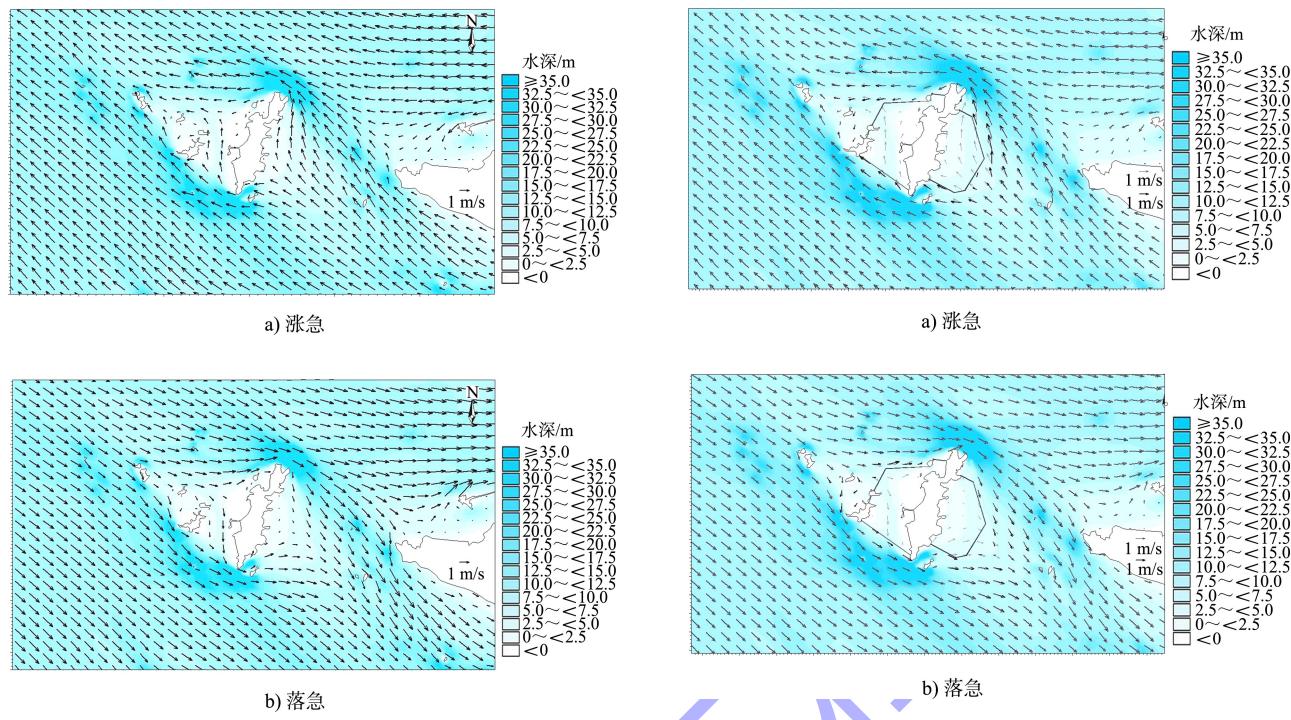


图6 围垦前大小鱼山海域流场

2.2 围垦后潮流变化

围垦后本海域涨、落急流场见图7。围垦工程对周边水流边界条件的改变主要表现为将大鱼山东侧浅滩以及大鱼山西侧至小鱼山之间的浅滩水域固定成不透水边界。在其影响下, 大鱼山东南侧附近的水流分汇点向东偏移, 在东堤(位置见图2)东南侧形成弱流区; 小鱼山附近水流分汇点小幅向西偏移, 在西堤西侧形成弱流区。

涨潮期间, 堤前水流部分受挑流作用分为两股: 一股沿堤向北偏转绕过大鱼山, 在东围堤一大鱼山北矾头之间形成弱流区; 另一股沿堤向南偏转, 主流经棟槌岛外侧绕过大鱼山南端, 小部分经大鱼山—棟槌山绕过大鱼山南端。由于大鱼山—小鱼山之间的潮流通道被围垦封堵, 南堤前沿水流沿堤小幅逆时针偏转归顺, 北堤前沿水流小幅顺时针偏转归顺, 在西堤西侧形成弱回流区。落潮期间, 水流在西堤西侧受挑流作用分为两股, 一股向北偏转绕过大鱼山北端, 一股向南偏转和南侧深槽主流汇合后向东南经南堤前沿绕过大鱼山南端, 两股水流在东堤东南侧汇合。

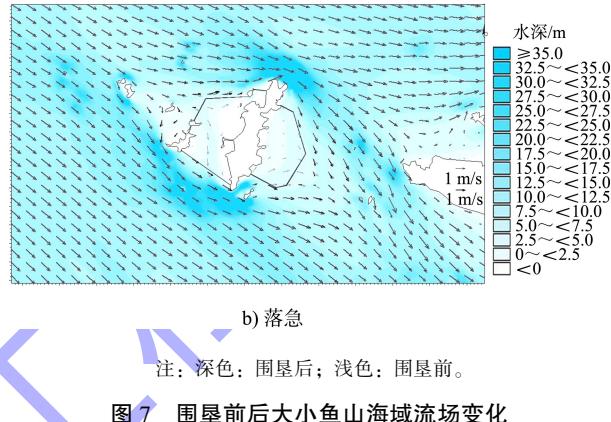


图7 围垦前后大小鱼山海域流场变化

总体而言, 大鱼山的阻流作用是本海域潮流分布的主要控制因素, 工程围垦区均基本控制在大鱼山南、北端矾头的阻流范围内(即南、北端矾头与大鱼山东、西两侧分汇流点连线范围内), 围垦后流态变化主要集中于围垦区附近, 未影响大范围水域的潮流形态, 整体潮流在海域主流控制下仍为偏东南—西北向。围垦后, 南、北两侧围堤前沿水域水流与围堤走向较为一致, 无明显的回流或紊乱流态, 具有较强的往复性特征, 涨、落潮流主轴夹角也较小, 为后续石化基地码头的建设提供了较良好的潮流条件。

围垦后涨、落潮平均流速变化见图8。由图8可知, 工程前后流速变化也仅发生在工程附近局部水域。涨潮期间, 东围堤对涨潮顶冲流的挑流作用使东堤偏南—北向堤段附近水域流速减小, 减幅在0.1~0.6 m/s; 其两侧转角附近水域流速随之增大, 增幅在0.1~0.3 m/s。东围堤南北两侧的弱流区在工程后流速减弱较为明显, 减幅在0.5~0.7 m/s。大鱼山东南侧的潮流深槽中流速也有一定减弱, 减幅在0.2 m/s左右。背流区的流速变化主要表现为北堤与西堤转角附近因挑流产生

0.2 m/s左右的流速增强，相应在西堤前沿附近产生0.3 m/s左右的流速减弱。落潮期间，迎流面的西堤前沿附近水域流速减小，减幅0.1~0.3 m/s，其南北两侧因挑流作用随之增大，其中南侧流速增强较为明显，增幅约0.2 m/s。背流面的东堤附近的变化表现为南—北堤段前沿形成流影区，流速明显减小，为0.1~0.4 m/s，两侧转角流速增大，其中南侧较为明显，增幅约0.2 m/s。

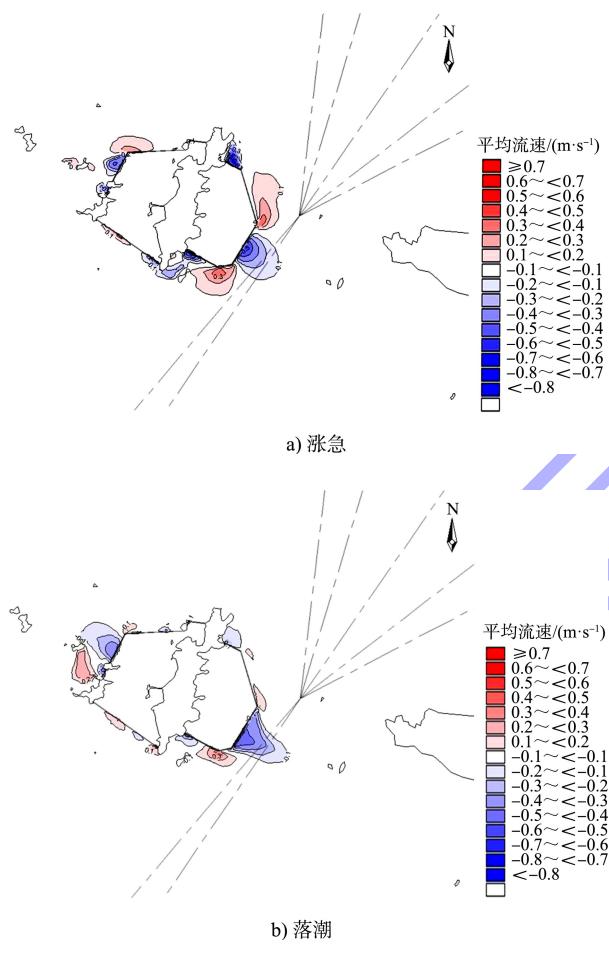


图8 围垦后大小鱼山海域平均流速变化

2.3 海床变化预测

利用刘家驹公式预测，围垦后首年泥沙冲淤变化强度见图9。由图9可知，围垦后引起的泥沙冲淤变化同样集中于工程区附近，未对大范围海域海床形成影响。在东侧围垦区附近，工程实施后首年将在东堤东侧、北侧、南侧弱流区产生一定程度泥沙淤积，淤积强度1.5~2 m/a，对大鱼山东

侧客轮航线水域造成0.8~1.2 m/a的泥沙淤积；同时，在围堤转角处产生冲刷，冲刷幅度约0.4 m/a。在西侧围垦区附近，泥沙将在西堤前沿水域淤积，淤积强度可达1.6 m/a，同时在两侧水域引起0.4~0.6 m/a的冲刷。其余水域海床冲淤变化较小。

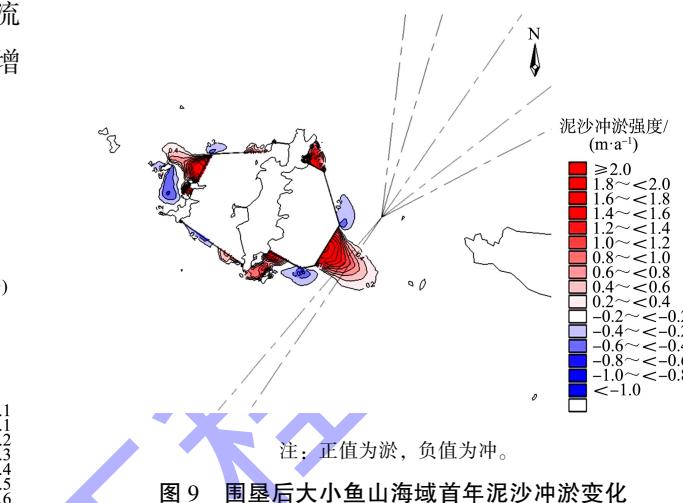


图9 围垦后大小鱼山海域首年泥沙冲淤变化

3 结论

1) 由于本工程围垦区均基本控制在大鱼山南、北端矶头的阻流范围内，围垦影响范围主要集中于围垦区附近，其中在围垦区东、西两侧附近形成弱流区，同时在围堤拐角附近水域产生挑流，但未对大范围水域造成影响。围垦后南、北两侧围堤前沿潮流条件较为平顺，为后续石化基地码头建设提供了较好的潮流条件。

2) 工程周边水域潮平均流速变化基本在0.5 m/s以内；在围垦区东西两侧弱流区产生1.5~2 m/a的淤积，其余水域海床冲淤幅度基本在1 m/a以下，大部分海床变化幅度较小。

3) 综上所述，围垦实施后大小鱼山周边水域的海床变化较小，仍保持原有的南北矶头深槽、东西两侧浅滩的滩槽格局，流态未发生大幅变化，后续码头建设条件也较好。因此，本围垦工程实施是可行的。

4) 在其它相似的岛礁地形条件下的围垦工程中，应注意避免使围垦范围大幅超出控制性岛礁的阻流范围，减少对周边水动力条件的影响。

(下转第96页)