



# 围填海工程对曹妃甸海域 水动力环境影响的数值分析

孙钦帮, 崔 雷, 孙丽艳, 李德鹏, 张 冲

(国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

**摘要:** 利用有限差分 ADI 方法建立曹妃甸海域平面二维水动力数学模型, 并对模型进行了验证。通过对曹妃甸工业区围填海工程前后曹妃甸海域的潮流场的模拟, 得出工程前后周边海域的潮流特征, 分析了围填海工程对曹妃甸海域的影响范围及程度。结果表明, 曹妃甸工业区围填海工程的实施对甸头、老龙沟及港区等产生一定的影响。

**关键词:** 曹妃甸; 水动力; ADI 方法; 围填海

中图分类号: TV 131.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0020-05

## Numerical simulation on impact of land reclamation on hydrodynamic environment in Caofeidian area

SUN Qin-bang, CUI Lei, SUN Li-yan, LI De-peng, ZHANG Chong

(National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

**Abstract:** A two-dimensional hydrodynamic model of Caofeidian area is developed by ADI. According to the test model, we get the tidal characteristics of Caofeidian sea area before and after the reclamation project, and analyze the influence degree of the project. The results show that the reclamation project of Caofeidian industry zone has a major impact on Caofeidian water, Laolonggou tidal inlet and Caofeidian harbor.

**Keywords:** Caofeidian; hydrodynamic; ADI; reclamation

曹妃甸地处唐山市南部沿海, 2003 年曹妃甸未进行工业区开发建设前, 沿岸主要为盐场以及围海养殖区; 近岸为大面积的浅海滩涂, 滩涂面积 819 km<sup>2</sup>, 浅海 2 114 km<sup>2</sup>。曹妃甸工业区从 2003 年开始进行填海造地施工, 截至 2013 年底, 整个曹妃甸工业区已围海造地 200 km<sup>2</sup>。曹妃甸工业区大规模围填海工程势必会给该海域水动力环境带来一定的影响, 从而带来泥沙冲淤的变化。曹妃甸工业区围填海工程实施前后, 许多学者对曹妃甸海域的潮流进行了大量的研究工作, 研究表明曹妃甸海区潮汐属于不规则半日潮, 潮流流向基本属往复流<sup>[1]</sup>。潮流是曹妃甸海域的主要动

力因素之一<sup>[2]</sup>。

本研究利用水文调查资料, 建立数学模型, 用 ADI 方法对曹妃甸工业区围填海工程实施前后工程附近海域的潮流进行数值模拟, 分析围填海工程对曹妃甸海域水动力环境影响范围及程度, 为曹妃甸工业区海洋合理开发提供一定的参考。

### 1 数学模型的建立

#### 1.1 控制方程

由于海岸和河口地带的浅海中潮流水平速度远大于垂向速度, 且垂向混合较快速、充分, 因

收稿日期: 2014-11-05

作者简介: 孙钦帮 (1977—), 男, 高级工程师, 从事海洋工程环境影响评价。

此潮流场数值模拟可采用深度平均的二维浅水潮波方程<sup>[3]</sup>:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{C_n^2 H} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{C_n^2 H} = 0 \tag{3}$$

式中:  $x$ 、 $y$  分别为原点置于未扰动静止海面的直角坐标系方向坐标轴;  $u$ 、 $v$  分别为沿  $x$ 、 $y$  方向的垂向平均流速分量;  $t$  为时间;  $\eta$  为自静止海面向上起算的海面波动 (潮位);  $H = \eta + d$  为总水深,  $d$  为静水深;  $f$  为 Coriolis 参数;  $g$  为重力加速度;  $C$  为 Chezy 系数,  $C = H^{1/6}/n$ ,  $n$  为 Manning 系数。

1.2 初始条件和边界条件

1) 初始条件。

$$\begin{cases} u_0(x,y,t) |_{t=0} = 0 \\ v_0(x,y,t) |_{t=0} = 0 \\ \eta_0(x,y,t) |_{t=0} = 0 \end{cases} \tag{4}$$

式中:  $u_0$ 、 $v_0$ 、 $\eta_0$  分别为初始流速和潮位。

2) 边界条件。

①开边界条件。

开边界采用水位控制, 即用潮位预报的方法得到开边界条件<sup>[4]</sup>, 本次数值模拟利用渤海潮汐系统预测的潮位作为初步的开边界进行计算。

②闭边界条件。

在该边界上, 水质点的法向流速为 0, 即

$$v_n = 0 \tag{5}$$

式中:  $n$  为边界外法线方向。

基于上述定解条件, 采用有限差分方法 (ADI 法)<sup>[5]</sup> 求解二维浅水潮波方程组, 方程矩阵采用双消除算法 (Double Sweep) 求解。

1.3 区域概化

为了便于确定解算边界条件, 本次数值模拟计算区域及工程区边界见图 1。计算网格采用三角形网格逼近计算区域, 其中  $x$  轴指向东方向、 $y$  轴为北方向。2003 年计算域最小网格尺寸约 30 m, 2013 年计算域最小网格尺寸约 15 m。计算时间步长为 2 s。

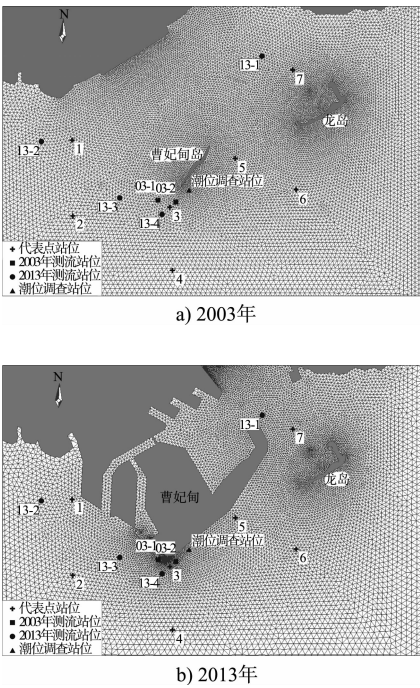
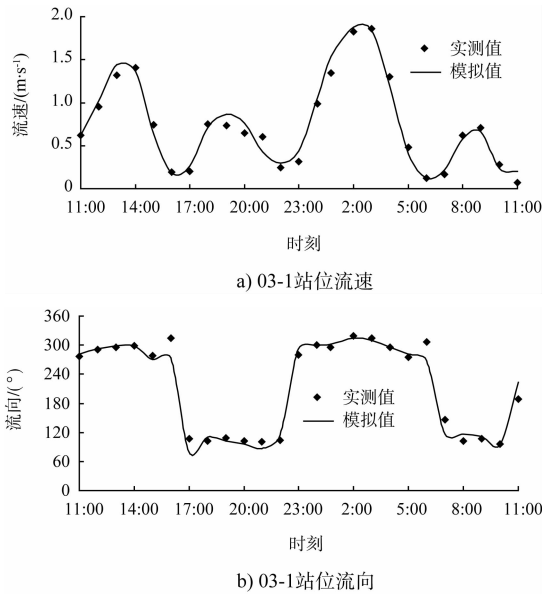


图 1 计算网格及验证点位

2 结果与讨论

2.1 模型验证

潮流验证分别利用 2003 年 11 月和 2013 年 3 月调查资料进行验证, 2003 年验证站位 2 个、2013 年验证站位 4 个, 验证点位见图 1。由图 2、3 验证结果可知数值结果与实测值基本吻合, 模拟结果基本能够有效反映工程海域的潮流状况。模拟潮位与实测潮位过程线比较见图 4, 由图 4 可知潮高模拟误差在 10 cm 以内, 模拟潮位与实测潮位之间拟合得较好。



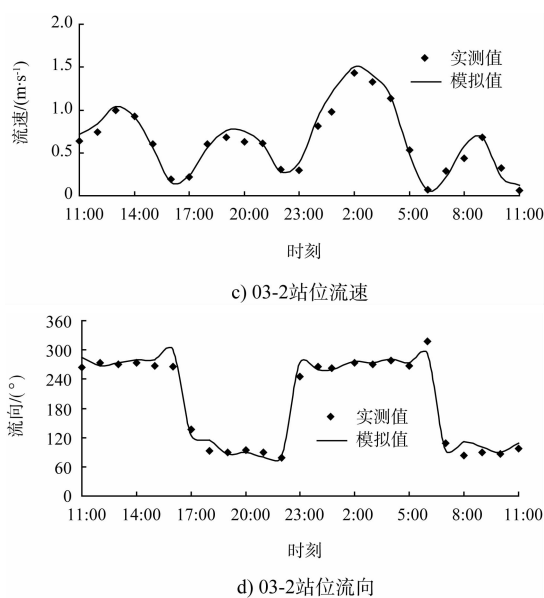


图 2 2003 年流速、流向实测值与模拟值对比

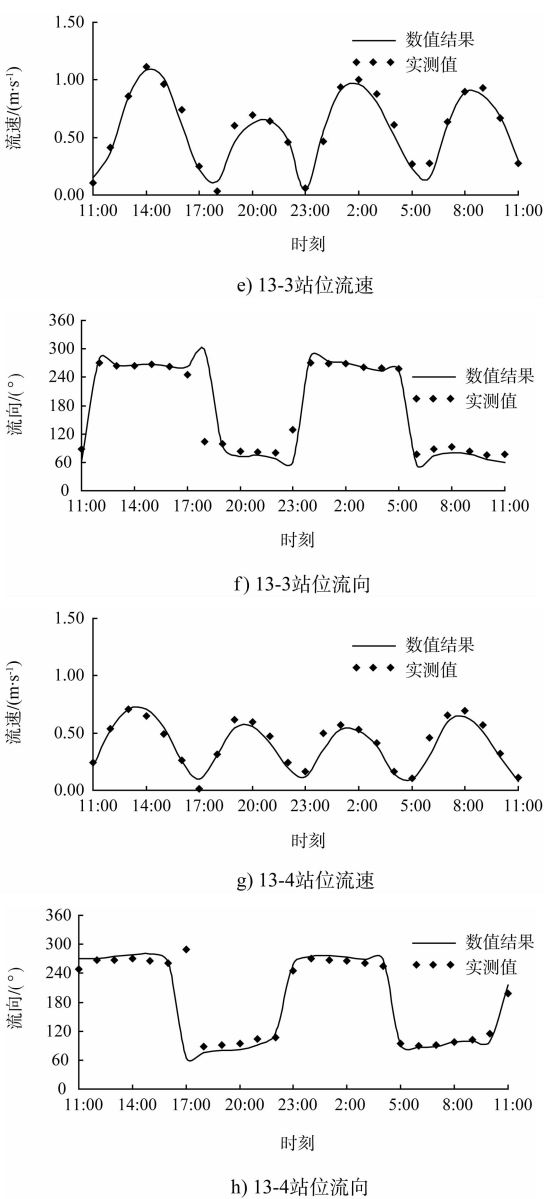
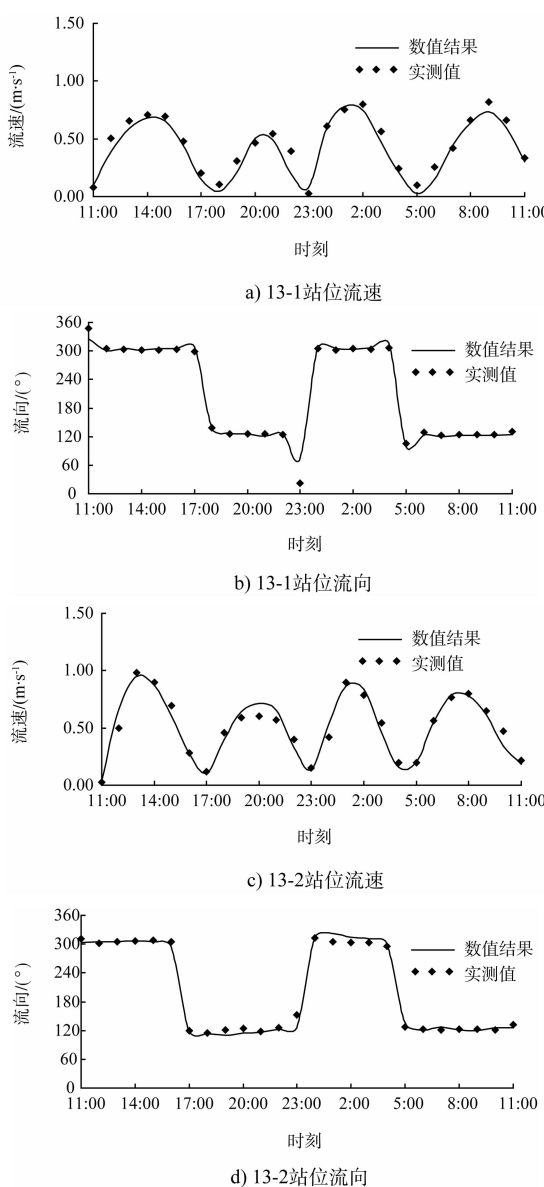
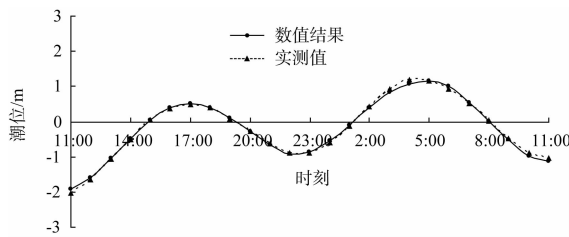


图 3 2013 年流速、流向数值结果与实测值的对比



## 2.2 结果分析

为了定量研究对比 2003 年与 2013 年工程前后附近海域的流场状态，在工程附近海域选取 7 个代表点，对代表点工程前后流速、流向进行对比研究。选取的 7 个代表点的位置分布见图 1。

工程前，由图 5 及数值模拟结果可知，曹妃甸

海域主要受渤海湾沿岸流影响, 落潮东流, 涨潮西流。曹妃甸岛及龙岛外海潮流基本呈往复流形式, 曹妃甸岛东南海域往复流大致呈 SW ~ NE 向, 曹妃甸岛西侧海域往复流大致呈 NW ~ SE 向, 外海流速约达 0.65 m/s, 曹妃甸岛西南角局部区域形成较强绕流, 流速达 1.0 ~ 1.5 m/s; 曹妃甸岛及龙岛向岸海域水深相对较浅, 流速较缓, 一般不超过 0.25 m/s; 曹妃甸岛及龙岛之间的老龙沟海域, 水深达 15 ~ 20 m, 且水深梯度变化较大, 形成较强的 N ~ S 向离岸、向岸往复流, 流速约达 0.50 m/s; 龙岛北侧约 4 km 区域, 受龙岛地貌及附近地形影响, 形成局部裂流, 流速约达 0.35 m/s。

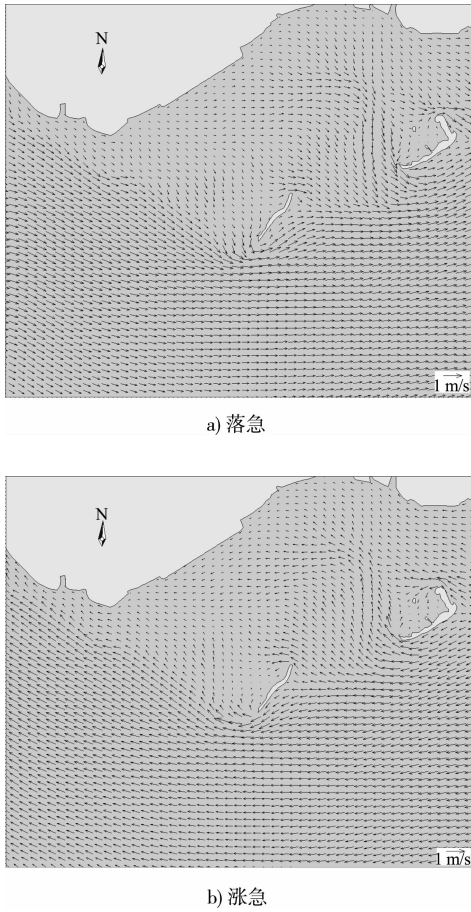


图 5 2003 年工程前海域潮流场矢量

2013 年整个曹妃甸循环经济区中期规划用海围填海工程基本实施完毕。工程后, 由图 6 及数值模拟结果可知, 由于曹妃甸工业区港区建设, 港区海域地形地貌较 2003 年变化显著, 流向相对多变, 围填海工程形成的港池内流速较 2003 年减

弱, 一般不超过 0.18 m/s, 曹妃甸岛与龙岛之间老龙沟海域流速约达 0.35 m/s。曹妃甸甸头海域、龙岛外海, 以及西侧外海, 潮流运动状态与 2003 年基本一致。

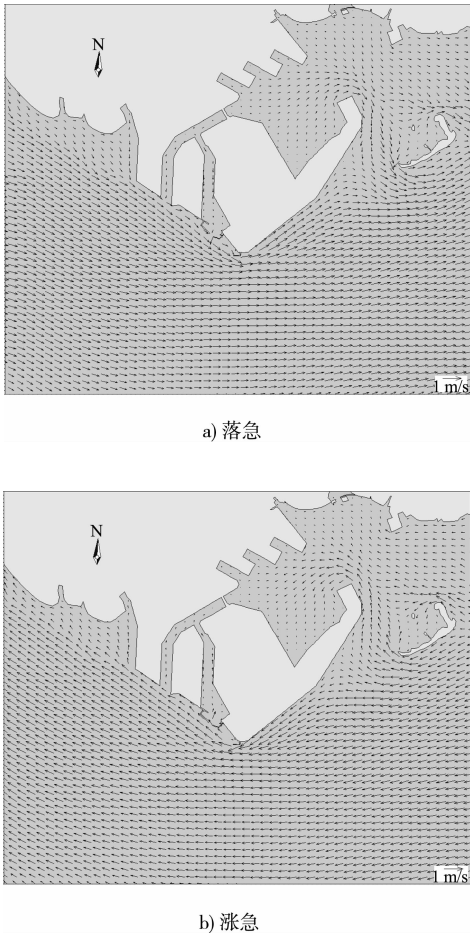


图 6 2013 年工程后海域潮流场矢量

由表 1 中 2003 年与 2013 年各断面代表点落潮流速流向对比可知, 落潮最大流速变化约 0.07 m/s, 出现于 5 点, 即曹妃甸东部前沿潮流通处; 其次是 3 号点, 即曹妃甸甸头海域; 对于代表点 2、4、6 则基本没有变化。落潮最大流向变化也发生在 5 号点位, 代表点的流向变化趋势和流速变化趋势基本一致。

由表 1 中的 2003 年与 2013 年各断面代表点涨潮流速流向对比可知, 涨潮最大流速变化约 0.07 m/s, 出现于 1 点, 即港区海流与外海潮流交汇处; 其次为 5 号点; 代表点 2、4、6 则基本没有变化。涨潮最大流向变化也发生在 5 号点位;

除 5 号点位外, 代表点的流向变化趋势和流速变化趋势基本一致。

涨落潮流向变化最大值约 26°, 出现在 5 点, 其他代表点流向变化一般不超过 10°。

表 1 各断面代表点落潮流流速、流向对比

| 涨落潮 | 点位 | 最大流速/(m·s <sup>-1</sup> ) |        |       |             | 最大流速对应流向/(°) |        |     |
|-----|----|---------------------------|--------|-------|-------------|--------------|--------|-----|
|     |    | 2003 年                    | 2013 年 | 变化量   | 最大流速相对变化率/% | 2003 年       | 2013 年 | 差值  |
| 落潮  | 1  | 0.42                      | 0.46   | 0.05  | 11.48       | 107          | 121    | 14  |
|     | 2  | 0.55                      | 0.55   | 0.00  | 0.44        | 106          | 107    | 0   |
|     | 3  | 0.62                      | 0.68   | 0.06  | 10.30       | 94           | 86     | -8  |
|     | 4  | 0.45                      | 0.45   | 0.00  | 1.09        | 88           | 85     | -3  |
|     | 5  | 0.35                      | 0.42   | 0.07  | 19.56       | 82           | 59     | -23 |
|     | 6  | 0.54                      | 0.53   | -0.01 | 1.32        | 76           | 73     | -3  |
|     | 7  | 0.27                      | 0.22   | -0.05 | 17.51       | 123          | 114    | -9  |
| 涨潮  | 1  | 0.43                      | 0.50   | 0.07  | 15.62       | 292          | 300    | 8   |
|     | 2  | 0.55                      | 0.55   | 0.00  | 0.89        | 286          | 286    | -1  |
|     | 3  | 0.57                      | 0.63   | 0.05  | 9.45        | 271          | 264    | -7  |
|     | 4  | 0.43                      | 0.43   | 0.00  | 0.57        | 269          | 267    | -2  |
|     | 5  | 0.35                      | 0.41   | 0.06  | 15.90       | 266          | 240    | -26 |
|     | 6  | 0.53                      | 0.52   | -0.01 | 1.51        | 255          | 253    | -2  |
|     | 7  | 0.28                      | 0.25   | -0.04 | 12.84       | 292          | 286    | -6  |

3 结论

1) 2003 年工程前, 曹妃甸海域主要受渤海湾沿岸流影响, 落潮东流, 涨潮西流。曹妃甸及龙岛外海潮流基本呈往复流形式, 外海流速约达 0.65 m/s; 曹妃甸岛及龙岛向岸海域水深相对较浅, 流速较缓, 一般不超过 0.25 m/s; 曹妃甸岛及龙岛之间的老龙沟海域, 水深梯度变化较大, 流速约达 0.50 m/s; 龙岛北侧约 4 km 区域, 受龙岛地貌及附近地形影响, 形成局部裂流, 流速约达 0.35 m/s。

2) 2013 年工程后, 曹妃甸工业区港区海域地形地貌较 2003 年变化显著, 流向相对多变, 围填海工程形成的港池内流速一般不超过 0.18 m/s, 曹妃甸岛与龙岛之间老龙沟海域流速约达 0.35 m/s。曹妃甸甸头海域、龙岛外海, 以及西侧外海, 潮流运动状态与 2003 年基本一致。

3) 通过 2003 年与 2013 年工程海域各代表点涨落潮流速流向对比发现, 曹妃甸工业区及港区的建设对规划填海区外侧海域潮流场影响较小, 距甸头西侧约 3.0 km 外海流场已基本无变化; 甸头西南侧、南侧及东南侧外海约 1.5 km 外海流场已基本无变化; 甸头东侧、龙岛北侧 4~5 km 局部海域流场略有变化, 平均流速变化率约 12%,

涨落潮最大流速幅值变化约 0.05 m/s。流向变化最大值约 26°, 出现在曹妃甸东部前沿潮流通道处, 其他区域流向变化一般不超过 10°。

4) 2013 年围填海工程基本完成后, 围填海工程形成的港池内流速较 2003 年减弱, 需要注意此区域可能出现的泥沙淤积问题; 甸头、东部前沿潮流通道及老龙沟海域流速增大, 平均流速变化率大于 10%, 将会增加甸头及潮沟处的冲刷。

参考文献:

[1] 戚健文, 匡翠萍, 蒋茗韬, 等. 曹妃甸港口工程进展及其三维潮流场响应特征研究[J]. 水动力学研究与进展, 2014, 29(3): 346-354.

[2] 朱高儒, 许学工. 渤海湾西北岸 1974—2010 年逐年填海造陆进程分析[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 1 006-1 012.

[3] Huai W X, Komatsu T, Zeng X H. Numerical simulation of residual circulation due to bottom roughness variability under tidal flows in a semi-enclosed bay[J]. China Ocean Engineering, 2005, 19(4): 601-612.

[4] 方国洪, 郑文振, 陈宗谕, 等. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986.

[5] 窦振兴, 罗远诠, 黄克辛, 等. 渤海潮流和潮余流数值计算[J]. 海洋学报, 1981, 3(3): 355-369.

( 本文编辑 武亚庆 )