

港口工程建设对莱州湾水动力环境影响的数值研究

刘建强^{1,2}, 马林娜², 张永强², 胡泽建²

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院 青岛 266110; 2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

摘 要:应用 MIKE21 建立莱州湾平面二维潮流模型, 对港口工程建设前后莱州湾内潮流场进行数值模拟, 研究不同工程岸线下莱州湾水动力特征。通过莱州湾的连续实测海流数据与模拟结果进行比较, 可以看出两者趋势基本符合, 说明该模型能较精确地反映该海域工程前后的潮流场分布情况。计算结果表明: 潍坊港双堤建设后, 堤身两侧潮流流速有所减小, 堤头附近潮流流速明显增大, 广利港规划方案实施后, 位于新形成“湾”内的潮流流速均存在不同程度的减弱, 而“湾”口潮流流速均增大; 港口工程建设对潮流场的影响主要集中在工程邻近海域, 由于潍坊港和广利港的布局占据了莱州浅滩至老黄河口南侧海域的近 1/4, 因此港口工程的实施对潮流场的影响还是明显存在的。

关 键 词:莱州湾; 水动力; 数值模拟

莱州湾位于渤海西南端, 为一半封闭性海湾, 湾内水深较浅, 水交换能力较差。近年来, 莱州湾内港口工程建设及规划步伐较快, 岸线发生较大变化, 潍坊港于 2005 年建成万吨级码头、航道及防波挡沙堤, 2010 年建成双堤环抱、单一口门的港口布局。根据《东营港广利港区总体规划》, 广利港航道整治工程拟建设 5 000 吨级进港航道、防潮堤和航道两侧的防沙堤, 两道防潮堤及防沙堤总长约 34 178 m, 如图 1 所示。



图 1 莱州湾规划港口布局

本研究基于 MIKE21 模型建立莱州湾二维平面潮流数值模型, 对潍坊港扩建前后和广利港规划方案的流场变化进行数值模拟, 分析讨论不同港口工程建设对莱州湾水动力环境的影响, 旨在

为莱州湾内港口设计和施工工艺提供参考。

1 数值模型

1.1 模型方程

本研究采用 MIKE21 平面二维潮流数值模拟, 其连续方程和动量方程为:

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

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

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

式中: t 为时间; $h = \eta + d$, 其中 η 、 d 分别为水位和水深; $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分别为流速在 x 、 y 方向的分量; f 为科氏力系数; g 为重力加速度; ρ 为水的密度; s_{xx} 、 s_{xy} 、 s_{yx} 、 s_{yy} 为辐射应力张量分量; T_{xx} 、 T_{xy} 、

T_{yy} 为水质点侧向应力, 包括黏滞摩擦力、紊流摩擦力和对流力等; τ_{sx} 、 τ_{sy} 分别为海面风摩阻在 x 、 y 方向分量; τ_{hx} 、 τ_{hy} 分别为海底摩阻在 x 、 y 方向分量。

1.2 模型配置和参数设置

1.2.1 模型配置

大区域模型计算范围 WE 向为 $117^{\circ}35'11.48''E \sim 122^{\circ}2'3.32''E$, NS 向为 $37^{\circ}9'13.22''N \sim 40^{\circ}49'33.42''N$, 计算区东西宽约 410 km, 南北长约 436 km, 模型计算网格步长约 3 500 m。为了能清楚了解本工程附近海域的潮流状况, 将主要研究区海域黄河口至刁龙咀西南海域(图 2)进行加密, 重点研究区计算网格空间分辨率约 100 m。

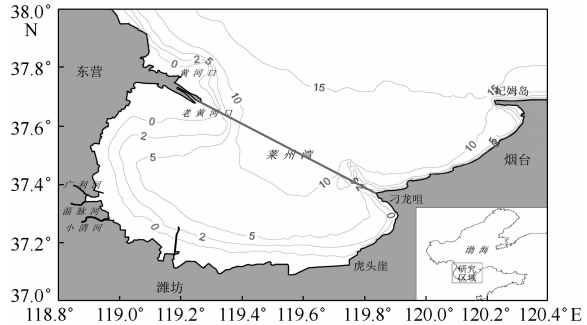


图 2 研究区域和水深

开边界通过水位变化来驱动, 在计算中将流场分解为潮流场和余流场的叠加, 故水位的表达式为

$$\delta = A_0 + \sum_{i=1}^N f_i H_i \cos[\omega_i + (v_0 + u)_i - g_i]$$

式中: A_0 为余水位; f_i 为各分潮的交点因子; $(v_0 + u)_i$ 为分潮的交点订正角, 由地理位置和具体日期确定; ω_i 为分潮的角频率; H_i 和 g_i 为分潮的振幅和迟角; N 为分潮个数, 在模式计算中, 考虑了研究区域的 7 个主要分潮, 即 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 、 M_4 、 MS_4 、 S_4 , 在开边界处的振幅和迟角参考 1993 年出版的《渤海黄海东海海洋图集》(1993 年)选取, 计算时, 结合实测数据予以修正。

计算岸线为东营市政府公布岸线, 海域海图 0 m 以深水深值由数字化海图得到, 0 m 以浅的潮滩水深由最高高潮和 0 m 等深线内插得到。

1.2.2 参数设置

干湿边界值陆地值为 0.01 m, 漫水区为 0.05 m, 湿水区为 0.1 m。涡黏系数采用 Smagorinsky 常系数, 取 $C_s=0.28$ 。海底摩阻曼宁数取常系数 $M=40$ 。

1.3 模型验证

采用工程海域 2007 年 10 月 26 日 10 时至 27 日 11 时两站大潮期实测海流(L1~L2)及水位(W1)数据和 2007 年 11 月 10 日 12 时至 11 日 13 时 4 站大潮海流观测数据(H1~H4)对模型进行验证, 观测站位见图 3。

潮位及各站流速、流向实测值与计算值的验证曲线见图 4(a)~图 4(g), 由图可见, 各测站计算值与实测值二者总体趋势差异不大。

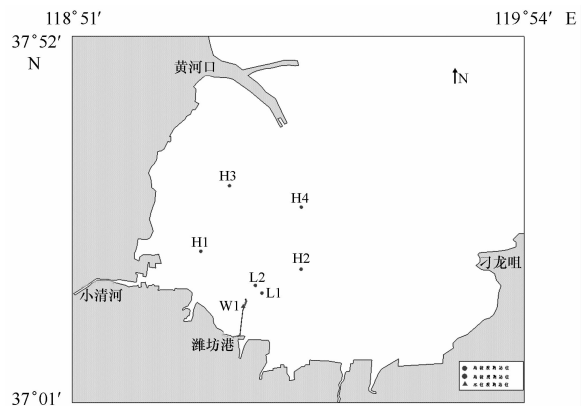
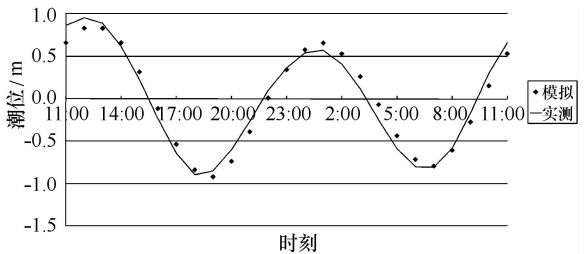
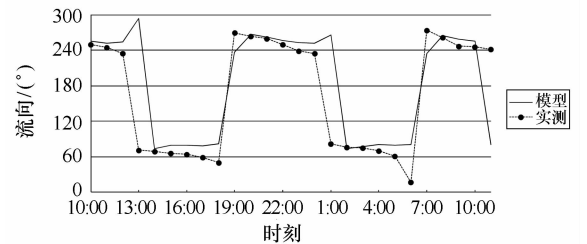
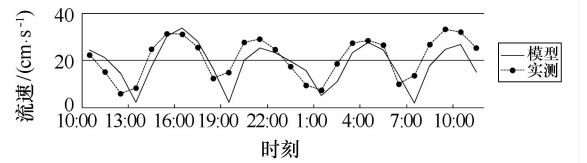


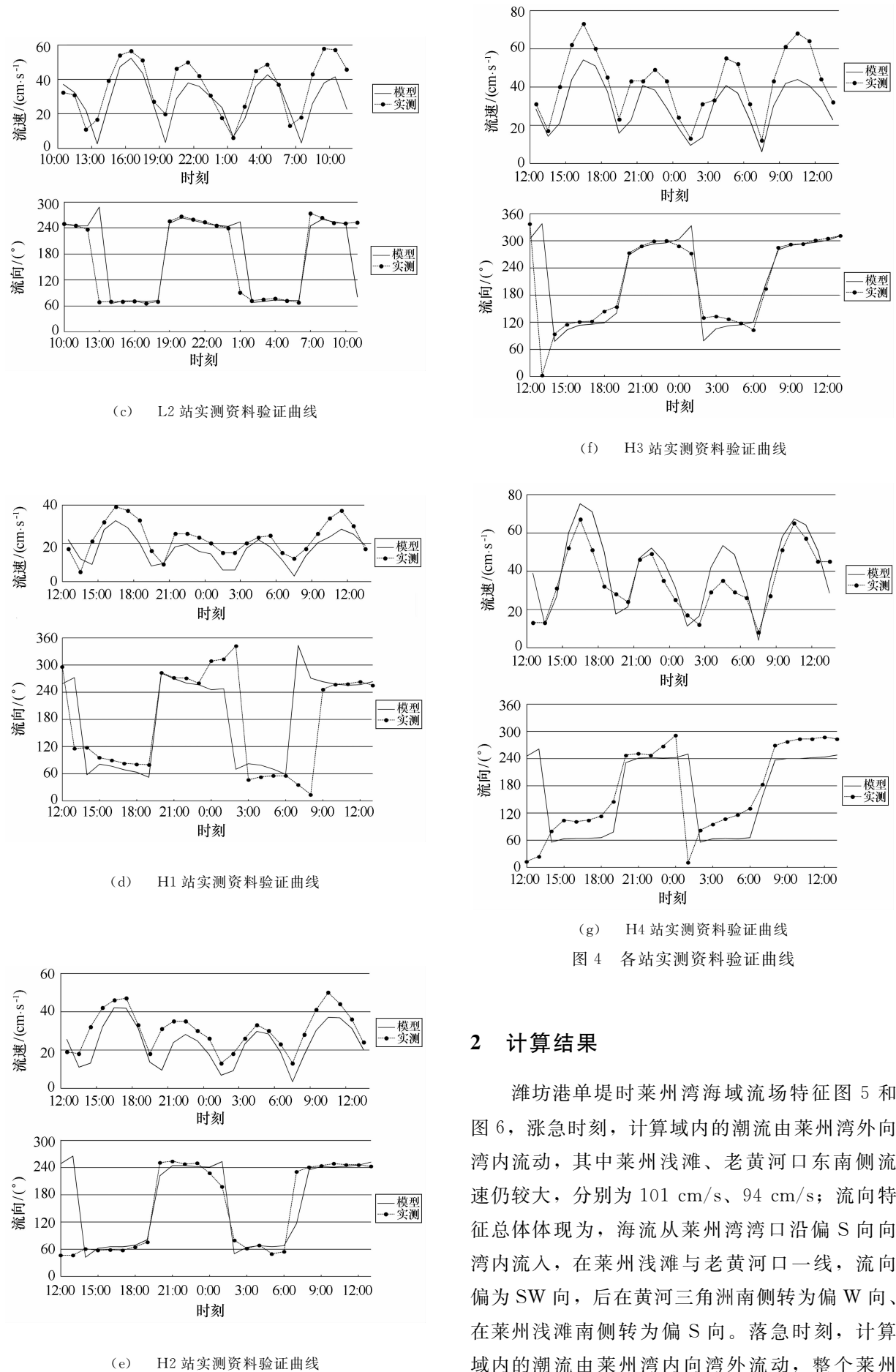
图 3 莱州湾海域潮位和潮流验证点位置图



(a) W1 站实测水位资料验证曲线



(b) L1 站实测资料验证曲线



湾海域存在 3 个高流速区，为屹姆岛西北侧、莱州浅滩、老黄河口东南侧，其最大流速分别为 69 cm/s、104 cm/s 和 98 cm/s，流向特征则体现为，黄河三角洲南侧海域为偏 E 向，莱州浅滩南侧海域为偏 N 向，莱州湾湾口附近总体呈现为偏 NE 向。

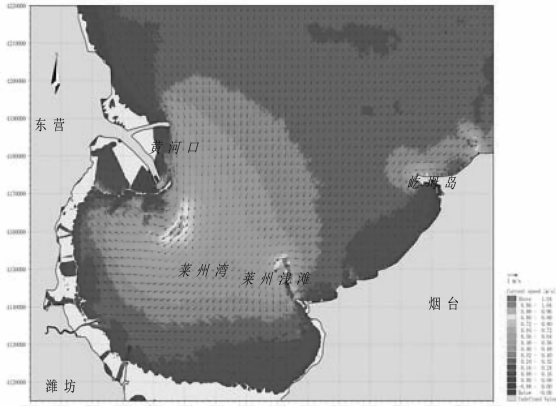


图 5 潍坊港单堤涨急时刻莱州湾潮流场分布

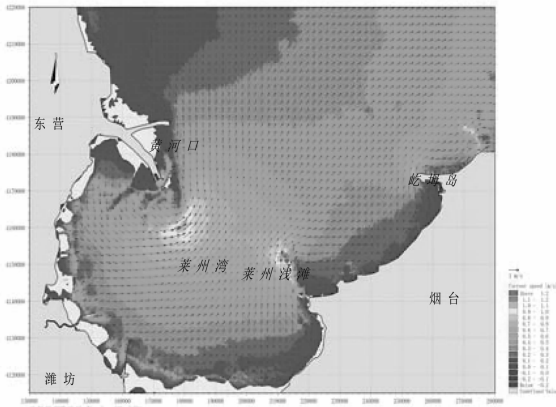


图 6 潍坊港单堤落急时刻莱州湾潮流场分布

潍坊港双堤建设后莱州湾海域流场特征图 7 和图 8，涨落急时刻莱州湾海域流场特征与单堤时相比，除潍坊港处外总体基本一致，潍坊港双堤建设对潮流场的改变主要集中在潍坊港邻近海域。涨急时刻，在潍坊港防波堤西北侧及防波堤口门处潮流流速略大，约 49 cm/s、75 cm/s，潍坊港双堤北侧海域，潮流主流向为偏 W 向，在潍坊港双堤附近潮流流向则体现明显的顺堤流特征；落急时刻，潍坊港防波堤北端与老黄河口南端为两者形成半封闭海域的“湾口”，两者之间流速较大，约 59 cm/s，潮流

流向总体呈现为偏 E 向，在潍坊港双堤两侧和堤内，顺堤流较明显。

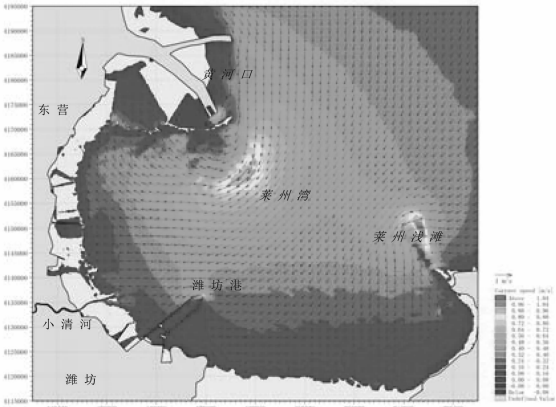


图 7 潍坊港双堤涨急时刻莱州湾潮流场分布

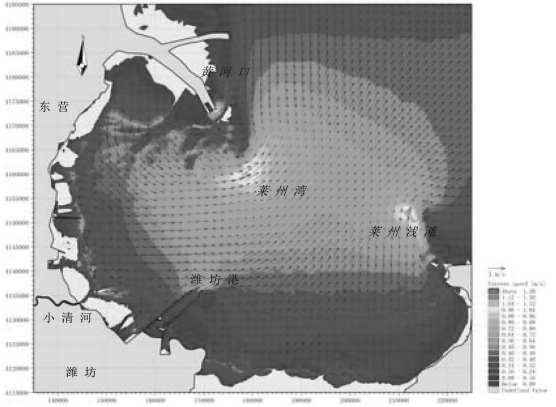


图 8 潍坊港双堤落急时刻莱州湾潮流场分布

广利港实施后莱州湾海域流场特征见图 9 和图 10，由于广利港规划防波堤轴线与潮流主流向交叉角较小，规划防波堤的实施对黄河三角洲南岸潮流主流向影响有限。涨急时刻，潮流主流向为偏 W 向，潍坊港双堤北侧顺堤流明显，且潍坊港和广利港堤头处均存在明显的挑流，两者之间流速约 33 cm/s；落急时刻，广利港堤头北侧流速大于其南侧流速，约 58 cm/s，潮流主流向总体呈现为偏 E 向。

3 结论

通过莱州湾的连续实测海流数据与模拟结果进行比较，可以看出两者趋势基本符合，说明该模型能较精确地重演该海域的潮流场分布情况。

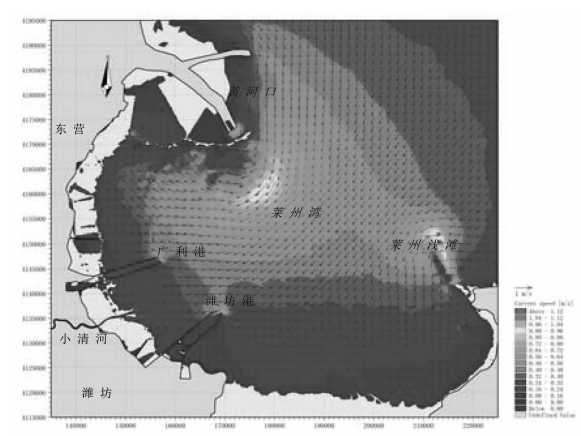


图 9 广利港规划方案涨急时刻莱州湾潮流场分布

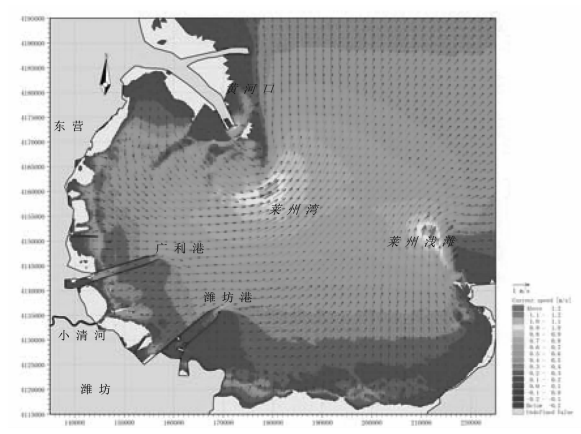


图 10 广利港规划方案落急时刻莱州湾潮流场分布

(1) 潍坊港双堤建设后，潍坊港双堤堤身两侧潮流流速有所减小，堤头附近潮流流速明显增大，广利港规划方案实施后也存在同样的变化趋势，其中位于新形成“湾”内的潮流流速均存在不同程度的减弱，而“湾”口潮流流速均增大，港口工程实施对“湾”的影响程度则略轻。

(2) 由于广利港防波堤轴线与研究海域主流向基本一致，对流场的影响略小，港口工程建设对潮流场的影响主要集中在工程邻近海域，又由于潍坊港和广利港的布局占据了莱州浅滩至老黄河口南侧海域的近 1/4，因此港口工程的实施对潮流场的影响还是明显存在的。