港口工程影响下莱州湾西南侧海域水动力演化特征

刘 潇^{1,2}, 冯秀丽², 刘 杰³

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 海地科学与探测技术教育部 重点实验室, 山东 青岛 266100; 3. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要:河流输沙、水深地形演变、大型海洋工程的建设均会对海洋水动力产生明显影响。本文基于 MIKE21 数值模型,对不同时期水深岸线条件下莱州湾西南侧海域的水动力演变特征及潍坊港建设对 水动力的影响进行研究。结果表明,1984~2007年,黄河现行河口东南侧高流速区位置向 SE 向移动,莱 州湾湾口及西南侧海域流速增大,增大幅度在 10 cm/s 左右。潍坊港 10 km 引堤工程的建设导致引堤端 头处流速增大 10~20 cm/s,引堤两侧流速减小 15~20 cm/s,流向偏转量在 10°~40°;潍坊港扩建工程的 建设导致防波堤端头处流速增大 5~20 cm/s,两侧海域流速减小 5~20 cm/s,流向偏转 5°~20°。黄河口 沙嘴的形成对其南侧海域形成有效掩护,而潍坊港工程的建设对其两侧海域起到一定的掩护作用,导 致该海域有效波高显著减小,水动力强度减弱。

关键词:海洋水动力;数值模拟;港口建设;菜州湾南岸 中图分类号: P736.2; P75 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)03-0138-08 doi: 10.11759/hykx20141009001

河口海岸带是人类活动相对密集、经济相对发 达的地区^[1],据统计,世界上67%的大中城市和60% 的人口集中在沿海地区。河口海岸带地区又是海陆 交互作用相对集中的地带^[2],海岸地貌在波浪、潮 汐、海流等相互作用下,各种过程相互耦合多变,海 岸地形地貌及海洋动力环境演变机制复杂。近年来 日益增加的河口海岸带开发利用活动对海洋水动力 环境的改变具有重要作用^[3],如围填海工程、海洋堤 坝、海上采砂等。因此,研究人类活动对河口海岸沉 积动力环境的影响,尤其是分析海洋工程建设对海洋 水动力环境的影响成为沿海国家和地区的重要课题。

本文基于收集的实测潮流数据和不同时期的水 深岸线资料,利用目前已广泛应用^[4-6]的 MIKE21 数 值模型,对研究区不同时期的潮流和波浪特征进行 模拟,研究港口工程影响下莱州湾西南侧海域的海 洋水动力环境演变特征及潍坊港建设对其的影响。 对保护周边海洋环境、合理开发和利用海洋资源具 有一定的理论和实际意义,为今后该类型海域海洋 工程的选址和海洋环境保护等提供科学依据。

- 1 研究区概况
- 1.1 自然环境概况

研究区位于莱州湾西南侧海域、受淄脉沟、小清

河、白浪河、潍河等入海河流反复淤积、堆砌的影响^[7-8],该海域形成了典型的粉砂质海岸,海底地势 平坦,自西南向东北逐渐降低,起伏较小,水深等值 线走向与岸线基本平行。

研究区属暖温带半湿润季风性气候^[9],多年平 均风速为 3.1 m/s, 主导风向为 SSE 向,出现频率为 10%,强风向为 NE 向。潮汐类型以不正规混合半日 潮为主^[10],涨潮流主流向为 SW 向,落潮流主流向为 NE 向。波浪以风浪为主,常浪向为 N 向,出现频率 为 21.22%,次常浪向为 NNE 向,出现频率为 16.14%, 强浪向为 NNE 向^[11-12]。潮流属于正规半日潮流,以 往复流为主,落潮和涨潮平均流速相差不大,余流 较小(一般小于 5.5 cm/s)^[13]。

1.2 潍坊港概况

潍坊港位于莱州湾南侧近岸海域,港区自 1996 年5月开工建设,至1997年8月,10km引堤基本建

收稿日期: 2014-10-09; 修回日期: 2014-12-10

基金项目:海洋公益科研专项(201005009)

[[]Foundation: Marine Commonweal Scientific Research Foundation, No. 201005009]

作者简介:刘潇(1985-),女,内蒙古包头人,博士后,主要从事海洋 沉积与工程环境方面研究,E-mail: liuxiao_0000@sina.com;冯秀丽, 通信作者,教授,主要从事海洋沉积与工程环境方面研究,E-mail: fengxiuli@ouc.edu.cn

成,并在引堤端头西侧建成 5 000 t 级码头。1998~ 2007 年,潍坊港岸线形态基本没有发生变化,2007 年 4 月开始,潍坊港周边海域人工构筑物明显增多, 在 10 km 引堤的基础上,建成了双堤环抱、单一口门 的港口布局(图 1)。目前潍坊港已顺利完成了沿海防 护堤港区工程段、两道防波挡沙堤、万吨级航道、 西疏港公路路堤及万吨级码头工程的建设,成为莱 州湾南岸最大的港口工程。



图 1 研究区位置及潍坊港概况 Fig.1 Location of study area and general situation of Weifang port

1.3 实测潮流特征

本文收集了 W1 和 W2 站 2007 年 10 月 26 日~27 日、B1~B4 站 2007 年 11 月 10 日~11 日的 25 h 连续 实测潮流数据,实测潮流观测点位置及潮流玫瑰图 见图 2。

从图 2 中可以看出, 各实测潮流站位均表现出 较强的往复流特性, 潮流流向受岸线走向影响较大。 其中, 莱州湾西侧 B1 和 B2 站的主流向为 WNW~ ESE 向, 潍坊港北侧的 B3、B4 及 W1、W2 站的主 流向为 WSW~ENE 向。涨潮流主流向均为向岸方向, 落潮流主流向为离岸方向。

根据实测潮流资料, 实测最大流速为 73.4 cm/s, 出现在 B1 站, 对应流向为 121.1°。涨潮流流速与落 潮流相差不大, 涨潮流略大于落潮流。莱州湾西侧 的 B1、B2 站大潮期潮周期内的平均流速在 35.3~ 42.3 cm/s, 潍坊港北侧的 B3、B4 及 W1、W2 站大 潮期潮周期内的平均流速在 22.6~35.6 cm/s。

潮流运动形式主要表现为往复流形式的半日潮 流。根据实测潮流数据,各站位潮流的旋转方向有所 差别, 位于莱州湾西侧开阔海域的 B1、B2 站潮流的 旋转方向为顺时针; 位于潍坊港北侧的 B3、B4 及 W1、W2 站潮流的旋转方向为逆时针, 其中小清河口 附近的 B3 站表现出较强的旋转流特性。





2 潮流数值模拟

2.1 模型参数及验证

MIKE21 Flow Model FM 采用可随意控制疏密 的非结构三角网格剖分计算域,采用标准 Galerkin 有限元法进行水平空间离散^[14],能够较好的适用于 岸线状况复杂的近海区、河口区等。陈雪峰等^[15]、 王万战等^[16]、陈昊等^[17]对模型的建立、控制方程、 输入参数等均做了详细阐述。

本文基于 MIKE21 Flow Model FM 数值模型研 究静风条件、港口工程影响下莱州湾西南侧海域潮 流演变特征。不同时期数值模型的水深岸线数据分 别采用莱州湾海图(11840, 1984 年测量, 1986 年 12 月出版, 比例尺 1:15万; 11840, 莱州湾胶莱河口以 西海域的岸线及水深资料为 2002 年测量, 2005 年 10 月出版, 比例尺 1:15万)、莱州湾潍坊港及附近海图 (31501, 岸线及水深资料为 2007、2008 年测量, 2008 年 11 月出版, 比例尺 1:3万)及实际水深测量资料。

利用研究区大潮期实测海流资料对模型进行验证,验证点位置见图 2,以距离潍坊港较远的 B1 站和较近的 W2 站为例,流速和流向验证结果如图 3 所示。验证结果表明,数值模拟结果与实测数据吻合良好,本文建立的水动力数值模型能够较好地反映研究区海域潮流特征。



图 3 B1、W2 站流速、流向验证曲线 Fig. 3 Verification of current speed and direction at the B1 and W2 stations

2.2 研究区流场特征(1984年)

1984 年研究区海域大潮期潮流特征如图 4 所示, 涨潮中间时潮流由湾外流向湾内,湾口处流向为 SSW 向,向湾内运动过程中,流向逐渐变为 SW 向。 黄河自 1976 年改道清水沟流路入海,至 1984 年已在 河口处形成向东突出的沙嘴,受水下三角洲影响, 附近海域潮流流向发生偏转并形成高流速区,最大 流速为 0.84 m/s,流速随着水深的增加逐渐减小。落 潮中间时,潮流由湾内向湾外流动,流向为 NNE~ NE 向,黄河口附近海域潮流绕过沙嘴向湾外流动, 高流速区的最大流速为 0.96 m/s。

2.3 研究区流场特征(2002年)

2002 年莱州湾西南侧海域大潮期潮流特征如图

5 所示, 黄河河口处已形成向东南方向突出的巨大沙 嘴, 受其影响附近海域潮流流向发生明显偏转并在 沙嘴东南侧形成高流速区, 最大流速约为 1.0 m/s。 落潮中间时, 高流速区的最大流速为 1.2 m/s, 其他 区域流速普遍介于 0.2~0.8 m/s。受潍坊港 10 km 引 堤工程的影响, 莱州湾南侧近岸海域潮流特征发生 变化, 引堤端头处流速增大 10~20 cm/s, 引堤两侧 (特别是东侧)附近海域流速减小 15~20 cm/s。

2.4 研究区流场特征(2007年)

2007 年莱州湾西南侧海域大潮期潮流特征如图 6 所示。与 2002 年相比,研究区潮流变化主要出现 在潍坊港附近海域。受潍坊港扩建工程的影响,环抱 式防波堤堤头处流速增大 5~20 cm/s,港口工程两侧 (特别是东侧)附近海域流速减小 5~20 cm/s; 另外, 潍坊港附近海域流向发生明显偏转, 环抱式防波堤 堤头处流向顺时针偏转约 5°~20°,港口工程两侧流 向普遍发生逆时针方向偏转,偏转量介于 5°~20°。



图 5 2002 年莱州湾西南侧海域大潮期潮流特征 Fig. 5 Current characteristics of the study area during spring tide in 2002

2.5 潮流演变特征分析

2002 年与 1984 年大潮期涨潮中间时的流速、流 向变化对比如图 7 所示。流速变化图中正值代表流 速增大,负值代表流速减小;流向变化图中,正值代 表顺时针方向旋转,负值代表逆时针方向旋转。与 1984 年相比,2002 年研究区潮流演变特征主要表现 在以下几个方面:

 1) 与1984年相比,2002年黄河入海口附近形成 巨大沙嘴,岸线向东南推进约18 km。受此影响,黄 河三角洲附近海域潮流流速、流向均发生了较大改 变,流向发生逆时针方向偏转,沙嘴北侧海域偏转 量约为 20°~40°, 南侧海域偏转量在 0°~200°。受黄 河入海口沙嘴的影响, 高流速区的位置向 SE 方向发 生移动, 流速较 1984 年增加约 20~40 cm/s, 黄河三 角洲附近海域流速减小约 0~30 cm/s。

2) 黄河清水沟流路沙嘴的形成,使得莱州湾湾 口宽度变窄。与1984年相比,2002年黄河口至屺姆 岛之间的距离减少近20km,莱州湾湾口束流现象增 强,湾口一线海域流速增大约10 cm/s 左右;同时, 莱州湾西南侧海域流速普遍比1984年稍大。

3) 潍坊港附近海域潮流特征发生改变, 潍坊港
 10 km 引堤堤头处流速增大约 10~20 cm/s, 两侧流速
 减小约 0~15 cm/s, 工程周边附近海域潮流流向发生



图 7 2002 年与 1984 年涨潮中间时流速(a,单位: m/s)、流向(b,单位: °)变化量分布图

Fig. 7 Contrast of current velocity (a) in meters per second and direction (b) in angle degrees at flood level between 1984 and 2002

顺时针偏转,偏转量约为10°~40°。

与 2002 年相比, 2007 年莱州湾西南侧海域潮流 特征主要在潍坊港附近海域发生了变化。2007 年与 2002 年大潮期涨潮中间时流速、流向变化对比如图 8 所示。潍坊港工程对附近海域潮流特征的影响主要集 中在工程区附近海域,与 2002 年相比,环抱式防波堤 堤头处流速增大 5~20 cm/s,港口工程两侧(特别是东 侧)附近海域流速减小 5~20 cm/s;环抱式防波堤堤头 处流向发生顺时针偏转,偏转量约为 5°~ 20°,港口工 程两侧流向发生逆时针偏转,偏转量在 5°~20°。

综上所述,潍坊港位于莱州湾西南侧近岸海域, 潮流流速较小,水动力条件较弱,又由于涨落潮流 流向与港口的延伸方向基本一致,因此潍坊港工程 对水动力的影响主要集中在工程区周边海域, 对其 他海域影响较小。

3 波浪数值模拟

波浪是近岸海域较为活跃的沉积动力因素,在 向近岸传播过程中受水深与地形的影响,出现反射、 绕射、破碎等现象,波长、波向、波高等会发生改变, 进而造成海底泥沙的起动搬运及岸滩的冲淤演变。

莱州湾波浪主要受季风控制,以风浪为主^[18], 本文运用 MIKE21 SW 模型对研究区风生波浪进行 模拟,计算了不同岸线条件、不同风向作用下研究区 的波浪特征,定性分析港口建设、岸线演变对附近海 域波浪的影响程度和范围。



图 8 2007 年与 2002 年涨潮中间时流速(a, 单位: m/s)、流向(b, 单位: °)变化量分布图 Fig. 8 Contrast of current velocity (a) in meters per second and direction (b) in angle degrees at flood stage between 2002 and 2007

由于研究区常风向为 SSE 向、强风向为偏 N 向, 本文分别模拟了潍坊港建设前(1984 年)和建成后 (2007 年)岸线条件下, SSE 和 NW 向大风(8 级风)作 用 24 h 后的波浪特征。

3.1 NW 向大风作用下波浪特征

NW 向大风作用下研究区有效波高分布特征如 图 9 所示,最大有效波高为 2.3 m,主要分布在研究 区东北侧开阔海域,有效波高随着水深的变浅而逐 渐减小,近岸海域有效波高普遍小于 0.3 m。与 1984 年相比,2007 年黄河三角洲沙嘴及水下三角洲的形 成导致其南侧海域有效波高显著减小,而潍坊港工 程的建设对防波堤东侧海域有较好的掩护作用,有 效波高明显减小。

3.2 SSE 向大风作用下波浪特征

SSE 向大风作用下研究区有效波高分布特征如 图 10 所示,最大有效波高为 1.95 m,主要分布在莱 州湾湾口附近海域,自湾口向湾内有效波高逐渐减 小,近岸海域有效波高普遍介于 0~0.3 m。与 1984 年相比,2007 年黄河三角洲沙嘴南侧海域以及潍坊 港工程防波堤西侧海域有效波高显著减小。





综上所述,在 NW 向和 SSE 向大风作用下,莱州 湾近岸浅水海域有效波高普遍较小。黄河水下三角洲 及河口沙嘴的形成对其南侧海域有一定的掩护作用; 另外,由于潍坊港的主体走向与本文模拟的风向近乎 垂直,潍坊港工程建设对这两种风向下波浪的影响程 度和范围较大,导致港口两侧海域有效波高明显减小。

4 结论

与 1984 年相比, 2002 年黄河口附近海域水深岸 线、流速、流向发生了较大改变, 高流速区位置向东 南方向移动, 莱州湾湾口及莱州湾西南侧海域流速 增大约 10 cm/s; 潍坊港 10 km 引堤端头处流速增大



10~20 cm/s, 引堤两侧附近海域流速减小 15~20 cm/s, 流[

流向偏转量在 10°~40°之间。

图 10 SSE 向大风作用下研究区有效波高分布图 Fig. 10 Distribution of significant wave height under the impact of south-southeasterly wind (20 m/s)

2007 年潍坊港扩建工程对附近海域潮流的影响 主要集中在工程附近海域,环抱式防波堤堤头处流速 增大 5~20 cm/s,工程两侧附近海域流速减小 5~20 cm/s, 流向偏转量在 5°~20°之间。

在 NW 向和 SSE 向大风作用下, 莱州湾近岸海 域有效波高普遍较小, 黄河口沙嘴的形成对其南侧 海域形成有效掩护, 潍坊港工程则对其两侧海域起 到一定的掩护作用, 使有效波高减小, 水动力强度 减弱。

参考文献:

- 刘玉海. 21 世纪中国沿海城市面临的主要地质灾害 问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(Supp): 120-126.
 Liu Yuhai. Main geological hazards confronting the coastal cities of China in the twenty first century [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1998, 9(Supp): 120-126.
- [2] 伊飞,张训华,胡克.海岸带陆海相互作用研究综述[J].海洋地质前沿,2011,27(3):28-34.
 Yi Fei, Zhang Xunhua, HU Ke. A review of researches

on the land-ocean interaction in the coastal zone [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(3): 28-34.

- [3] Fanos A M, Khafagy A A, Dean R G. Impacts of protective works on the Nile delta coast [J]. Journal of Coastal Research, 1995, 11(2): 516-528.
- [4] 冯秀丽,隋倩倩,林霖,等.威海靖海湾港区张家埠 新港建设对泥沙冲淤影响预测分析[J].海洋科学, 2011, 35(3): 72-76.

Feng Xiuli, Sui Qianqian, LIN Lin, et al. Prediction of sediment souring and depositing driven by Zhangjiabu new port construction at Jinghai bay at Weihai [J]. Marine Sciences, 2011, 35(3): 72-76.

[5] 刘潇, 冯秀丽, 刘杰, 等. 威海张家埠新港建设对附近海域潮流影响预测分析[J]. 海岸工程, 2013, 32(1):
 10-18.

Liu Xiao, Feng Xiuli, LIU Jie, et al. Prediction of impact of new port construction on tidal current in Zhangjiabu and its adjacent waters [J]. Coastal Engineering, 2013, 32(1): 10-18.

 [6] 周广镇, 冯秀丽, 刘杰, 等. 莱州湾东岸近岸海域规 划围填海后冲淤演变预测[J]. 海洋科学, 2014, 38(1):
 15-19.

Zhou Guangzhen, Feng Xiuli, LIU Jie, et al. Prediction of erosion evolution and deposition in the east coast of the Laizhou bay after the implemention of the coastal planning [J]. Marine Sciences, 2014, 38(1): 15-19.

- [7] 丰爱平,夏东兴,谷东起,等. 莱州湾南岸海岸侵蚀 过程与原因研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83-90.
 Feng Aiping, Xia Dongxing, GU Dongqi, et al. Study on process and cause of the coastal erosion along the south coast of the Laizhou bay [J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(1): 83-90.
- [8] 马绍赛,辛福言,崔毅,等.黄河和小清河主要污染物入海量的估算[J].海洋水产研究,2004,25(5):47-51.

Ma Shaosai, Xin Fuyan, CUI Yi, et al. Assessment of main pollution matter volume into the sea from Yellow River and Xiaoqing River [J]. Marine Fisheries Research, 2004, 25(5): 47-51.

- [9] Luo X X, Zhang S S, Yang J Q, et al. Macrobenthic community in the Xiaoqing river estuary in Laizhou Bay, China [J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 12(3): 366-372.
- [10] 程义吉,高菁. 莱州湾海域水文特征及冲淤变化分析[J]. 海岸工程,2006,25(3):1-6.

Cheng Yiji, Gao Jing. Analysis of hydrographic charac-

teristics and changes in scour and silting in the Laizhou bay area [J]. Coastal Engineering, 2006, 25(3): 1-6.

[11] 齐惠林. 潍坊港导堤工程实施后的地形变化分析[J].水道港口, 2000, 1: 36-40.

Qi Huilin. Analysis on topographic change after setting up of Weifang harbor [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2000, 1: 36-40.

- [12] Chen G Q, Yi L, Chen S L, et al. Partitioning of grain-size components of estuarine sediments and implications for sediment transport in southwestern Laizhou Bay, China [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2013, 31(4): 895-906.
- [13] 刘国亭,闫新兴,侯志强. 潍坊港沉积物特征及岸滩 稳定性研究[J]. 水道港口, 2012, 33(5): 380-386.
 Liu Guoting, Yan Xinxing, HOU Zhiqiang. Study on sedimentary characteristics and shore stability in Weifang port [J]. Journal of Waterway and Harbor, 2012, 33(5): 380-386.
- [14] Janssen P, Lionello P, Zambresky L. On the interaction of wind and waves [J]. Philosophical transactions of the royal society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1989, 329: 289-301.
- [15] 陈雪峰, 王桂萱. MIKE21 计算软件及其在长兴岛海

域改造工程上的应用[J]. 大连大学学报, 2007, 28(8): 93-98.

CHEN Xuefeng, WANG Guixuan. MIKE21 software and its application on the offshore reconstruction engineering of Changxing islands [J]. Journal of Dalian university, 2007, 28(8): 93-98.

- [16] 王万战,董利瑾. 渤海流场基本特征的 MIKE21 模拟 研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(10): 32-33.
 Wang Wanzhan, Dong Lijin. MIKE21 simulation of the basic characteristics of the flow field in Bohai [J]. Yellow River, 2007, 29(10): 32-33.
- [17] 陈昊, 陈辅利, 朱永英. 基于 MIKE 21 FM 的普湾潮 流场数值模拟[J]. 人民长江, 2014, 45(Supp): 132-134.

Chen Hao, Chen Fuli, Zhu Yongying. Numerical simulation of tidal current based on MIKE 21 FM in Pu bay [J]. Yangtze River, 2014, 45(Supp): 132-134.

[18] 卢晓东,刘艳霞,严立文. 莱州湾西岸岸滩冲淤特征 分析[J]. 海洋科学, 2008, 32(10): 39-44.
Lu Xiaodong, Liu Yanxia, Yan Liwen. Analysis of character of beach erosion and accumulation in the west coast of Laizhou bay [J]. Marine Sciences, 2008, 32(10): 39-44.

Hydrodynamic evolution characteristics of southwest Laizhou Bay under the effect of port construction

LIU Xiao^{1, 2}, FENG Xiu-li², LIU Jie³

College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
 Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;
 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Oct. 9, 2014

Key words: hydrodynamic environment; numerical simulation; harbor construction; southern Laizhou Bay

Abstract: Large-scale marine construction has a significant effect on the hydrodynamic environment in adjacent waters. In this paper, we report the results of our study of the hydrodynamic evolution of Laizhou Bay and the impact of Weifang port construction on the hydrodynamic environment. We used the MIKE 21 two-dimensional, depth-integrated hydrodynamic model. We found that, from 1984 to 2007, the position of a high-velocity zone located in the southeast side of the modern Yellow River estuary moved to the southeast, while the flow velocity of the mouth and the southwest side of Laizhou Bay increased by about 10 cm/s. Due to construction of the 10-km embankment of Weifang port, the flow velocity increased by 10–20 cm/s at the end of the causeway and decreased by 15–20 cm/s on both sides of the causeway. The flow velocity increased by 5–20 cm/s at the end of the breakwater and decreased by 5–20 cm/s on both sides of the port project due to the Weifang port expansion project. The formation of the Yellow River spit played a shielding role in the south-side water, and the construction of Weifang port played a shielding role in the water on both sides, leading to reduction of significant wave height.

(本文编辑:李晓燕)