

围填海工程对渤海湾风浪场的影响

赵 鑫¹, 孙 群^{1,2,3}, 魏 皓¹

(1. 天津科技大学 海洋科学与工程学院, 天津 300457; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为了深入了解围填海工程对波浪场特别是风浪场的影响, 针对 10 a 围填海工程对渤海湾地形岸线的改变, 将 SWAN(Simulating Waves Nearshore)海浪数值模式应用到渤海湾, 讨论了人类大工程对渤海湾风浪场的影响。采用欧洲气象中心每天 4 次的风场资料作为驱动, 模拟渤海湾 2000 年和 2010 年的风浪场, 着重分析岸线变化显著的 3 个港口工程(曹妃甸、天津港和黄骅港)附近海域的波浪要素变化。研究结果表明, 工程建筑物存在后, 有效波高呈减小趋势, 港池和潮汐通道内的有效波高减小幅度较大。港口地理位置和海底地形也与岸线变化共同影响着港口附近海域的波浪场分布。围填海工程对波浪有效波高及周期影响的程度不大, 有效波高减小值在 0.2 m 以下, 周期几乎不变。

关键词: 渤海湾; 围填海工程; SWAN(Simulating Waves Nearshore)模型; 波浪

中图分类号: P731.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)01-0007-10

渤海湾位于渤海西部, 是一个向西凹入的弧形浅水海湾。渤海湾东以滦河口至黄河口的连线为界, 与渤海中部相通^[1]。渤海湾水下地形平缓, 波浪运动是其主要的动力过程之一, 对湾内泥沙输运、污染物的扩散和分布及生态环境等有着重要的影响。

近年来环渤海地区大力发展海洋经济, 掀起大规模围海造地活动。依据海域使用管理统计数据, 从 2000 年至 2010 年的 10 年时间内, 渤海围填海面积已多达 600 km², 主要用于建设临海工业、滨海旅游区和大型港口等。大规模围填海工程导致滨海天然湿地面积缩减, 破坏其自然属性和生态环境, 造成渤海湾岸线和近岸海区地形地貌发生重大变化(图 1), 影响了渤海水动力场的分布变化, 如潮流^[2-3], 波浪^[4-5]等。

本文采用波浪数值模型 SWAN(Simulating Waves Nearshore, V 40.81), 分别对 2000 年和 2010 年岸线分布情况下的渤海湾风浪场进行模拟, 分析了 10 年间渤海湾岸型变化对 3 个重点港口海域风浪场的影响。

1 计算区域和模型设置

荷兰 Delft 理工大学基于第三代波浪 WAM 模型, 增加了描述浅水波浪变形的源项, 建立了适用于海岸、湖泊和河口地区的 SWAN 海浪预报模型^[6-7]。本文采用 V40.81 版本的 SWAN 模型, 考虑了波浪折

射、绕射、底摩擦及破碎等非线性效应, 能够准确地模拟潮流、地形等复杂环境下的波浪场。

模拟海域为整个渤海(117°~122.375°E, 37°~41.25°N), 采用矩形网格, 空间水平分辨率为 0.0125°×0.0125°, 网格点数为 341×431。

渤海湾的海岸线变化数据是利用美国陆地资源卫星 Landsat 的传感器 TM/ETM 遥感信息, 采用 Canny 算子半自动提取获得的(李秀梅提供)。2000 年的水深资料采用的是 1'×1' 的东中国海水深数据^[8], 根据渤海湾长期岸线变化, 对水深数据进行修改得到 2010 年的水深数据。渤海湾两个年份的岸线和水深分布如图 1 所示。10 年来围海造港工程导致渤海湾海岸线发生巨大改变, 岸线向湾中央推进, 尤其在曹妃甸、天津港和黄骅港附近海域。岸形变化显著的 3 个海域选取如图 1 中的 A、B 和 C 区, 分别是曹妃甸区域(118.25°~118.75°E, 38.75°~39.25°N)、天津港区域(117.6°~118.1°E, 38.75°~39.25°N)和黄骅区域(117.6°~118.2°E, 38°~38.6°N)。

SWAN 模型选择二维的非定常模式, 物理过程

收稿日期: 2012-09-28; 修回日期: 2012-11-28

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2010BAC68B04); 国家自然科学基金项目(40806008)

作者简介: 赵鑫(1987-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事近海环境动力学研究, E-mail: zhaoxin9.11@163.com; 孙群, 通信作者, E-mail: sunqun@qdio.ac.cn

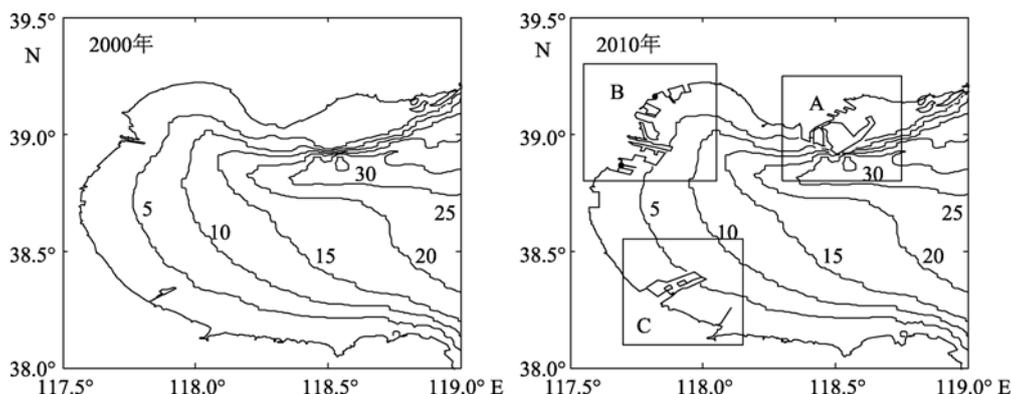


图1 渤海湾水深(m)及2000、2010年岸线

Fig. 1 The topography and shoreline of the Bohai Bay in 2000 and 2010

包括浅水破碎、底摩擦、三波相互作用等过程。利用海浪观测站实测风场数据驱动模型,对模型进行验证,有效波高结果回归分析表明,计算和观测有效波高相关系数为 0.75,有效波高较大时,模拟结果偏差较大。

模型经过验证后,选用2000年欧洲气象中心(ECMWF)的风场资料^[9]强迫模型,强迫数据空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,计算时间间隔为6h。模式计算时间步长与风场时间间隔一致,计算时间为1a。分别对2000年和2010年的岸线形式进行模拟。

2 结果

2.1 渤海湾波浪场的季节变化特征

渤海湾为三面环陆的半封闭海湾,受东亚季风的影响,风浪场具有显著的季节变化特征^[10]。利用渤海湾SWAN海浪模型的数值模拟结果,对波浪要素进行月平均,分析了渤海湾风浪场的季节变化规律。

渤海湾春季(3~5月份)为季风过渡季节,风场较复杂,风向从西北风向西南风转变。4月份平均风速全年最大^[11],以西风为主,平均风速达到8.0 m/s,模拟结果表明有效波高从湾口向湾内形成舌状分布,呈西北-东南分布(图2)。受风时和风区影响,沿湾口中线有效波高较大,近岸两侧较小,最大值位于湾口,为2.4 m。5月份风浪场明显减小,湾口位置最大有效波高为1.4 m。春季常浪向为ESE向,频率为25%,次常浪向为E向,频率为20%。

渤海湾夏季(6~8月份)以西南风为主,风速逐渐变小,平均风速为4.7 m/s。8月份只有3.9 m/s,整个湾内有效波高不超过0.5 m,湾口海域最大有效波高

为1.2 m。夏季常浪向为ENE向,频率为37%,次常浪向为E向,频率为21%。

渤海湾秋季(9~11月份)是东亚夏季风和冬季风转换时期,秋季平均风速为5.9 m/s,随着风速的增加,有效波高较夏季有所增长,平均值为0.4 m。由于渤海湾三面环陆,受海陆风作用,9月份湾口位置风向发生近90°的偏转,由西风转向为北风,该海区风速很小。受此影响,与8月份相比,湾口附近0.35 m有效波高等值线最西端向东退后约0.25°,0.3 m等值线东退则较少。秋季常浪向为E向,频率为21%,次常浪向为ENE向,频率为20%。

渤海湾冬季(12, 1, 2月份)盛行西北风,湾内风速较大,风向稳定,平均风速为6.6 m/s。相对秋季,有效波高明显增大,0.5 m等值线大幅度向湾内推进(图2)。常浪向也变为ESE向,出现频率为30%,次常浪向为E向,出现频率为20%。

2.2 围海造港工程对波浪要素的影响

对比整个渤海湾在2000年和2010年的计算结果,围海造港工程对波浪要素的影响主要表现在港口工程附近海域,本文针对岸线变化显著的3个主要港口(曹妃甸、天津港和黄骅港)海域,分别讨论工程前后岸线变化对3个海域波浪场的影响。

2.2.1 曹妃甸海域波浪场的变化

曹妃甸位于渤海湾东北部,与2000年相比,围海造港工程导致其岸线形状发生显著变化(图1中A区)。目前,曹妃甸港区东南端紧临渤海湾深槽,水深超过30 m,也是渤海湾最深处。这一地理优势让该港区成为天然优良深水港。曹妃甸港区靠近湾口位置,其周边海域风浪成长充分,有效波高较其他两个港口要大。

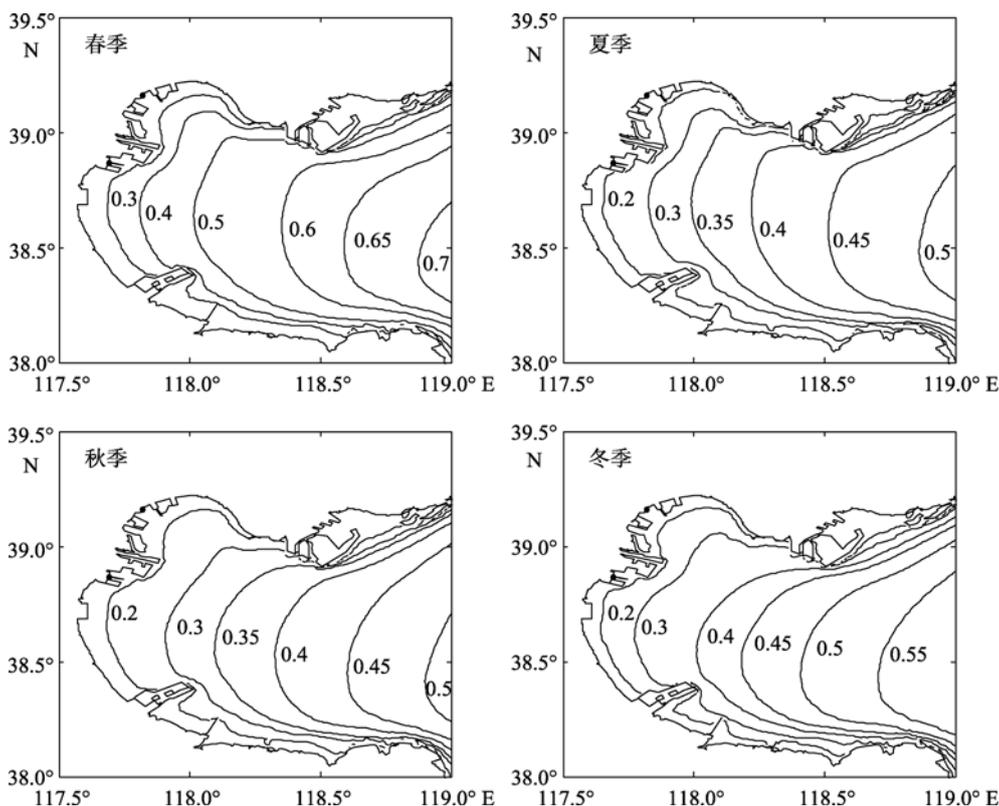


图 2 渤海湾有效波高(m)的季节分布

Fig. 2 The seasonal distributions of the effective wave heights in the Bohai Bay

春季该海域主要为西南风，平均风速为 9.2 m/s。常浪向为 E 向，频率 27.9%；次常浪向为 ENE 向，频率为 22.6%。风向的改变导致曹妃甸工程东北部海区有效波高的影响程度大，S 向海浪有效波高增加 0.1 m，增大为 50%，常浪向上有效波高变化较小(图 3)。

夏季曹妃甸海域盛行风仍为西南风，平均风速为 6.6 m/s。由波向分布可知，由于夏季风向较春季稳定，常浪向为 ENE 向，频率为 36.3%，波向主要集中在常浪向正负 30° 之间的方向范围内。工程前后各个方向波浪频率变化很小，最大有效波高增加值在 0.05 m 以下。

秋季是季风转向的过渡季节，风向由西南风转向为西北风，平均风速为 7.6 m/s。常浪向为 ENE 向，次常浪向为 E 向，由于风向的变化，导致波浪传播方向范围较大。曹妃甸港口工程对波高的影响主要集中在港池和东北侧海域，甸头南端海域受影响很小。

冬季，曹妃甸附近海域盛行西北风，平均风速为 8.3 m/s。常浪向为 ESE 向，频率为 27.3%；次常

浪向为 E 向，频率为 26.1%。由图 4 波向玫瑰图可知，该海域围海造港工程对常浪向与次常浪向没有影响，但沿常浪向出现频率在 2000 年为 27.3%，2010 年为 25.9%，出现频率有所减小。次常浪向 E 向的海浪出现频率减小 2%，

曹妃甸港口工程南部海区有效波高减小 0.1 m；港池和潮汐通道内的波浪要素受影响较大，波高显著减小，有效波高减小范围在 0.05 ~ 0.2 m，减小幅度约为 20% ~ 40%。SSE 向最大有效波高增加比例最大，达到 22.9%。西南侧海域波浪要素变化较小，东北海域变化较大。

2.2.2 天津港海域波浪场的变化

天津港地处华北水陆交通枢纽，经过近 10 年的围海造港工程，海岸线明显向东拓展。该海域受季风影响较大，冬季盛行西北风，夏季多为偏南风。影响本海区的主波向为 NNE~SE 向，冬春季常浪向为 ESE 向，频率分别为 32.2%，14.4%，夏秋季常浪向为 ENE 向，频率分别为 26.6%，17.8%，强浪向为 NNW 向，大于 1.0 m 的波浪频率为 16%^[12-13]。

由于天津港位于渤海湾的最西端，受风浪成长

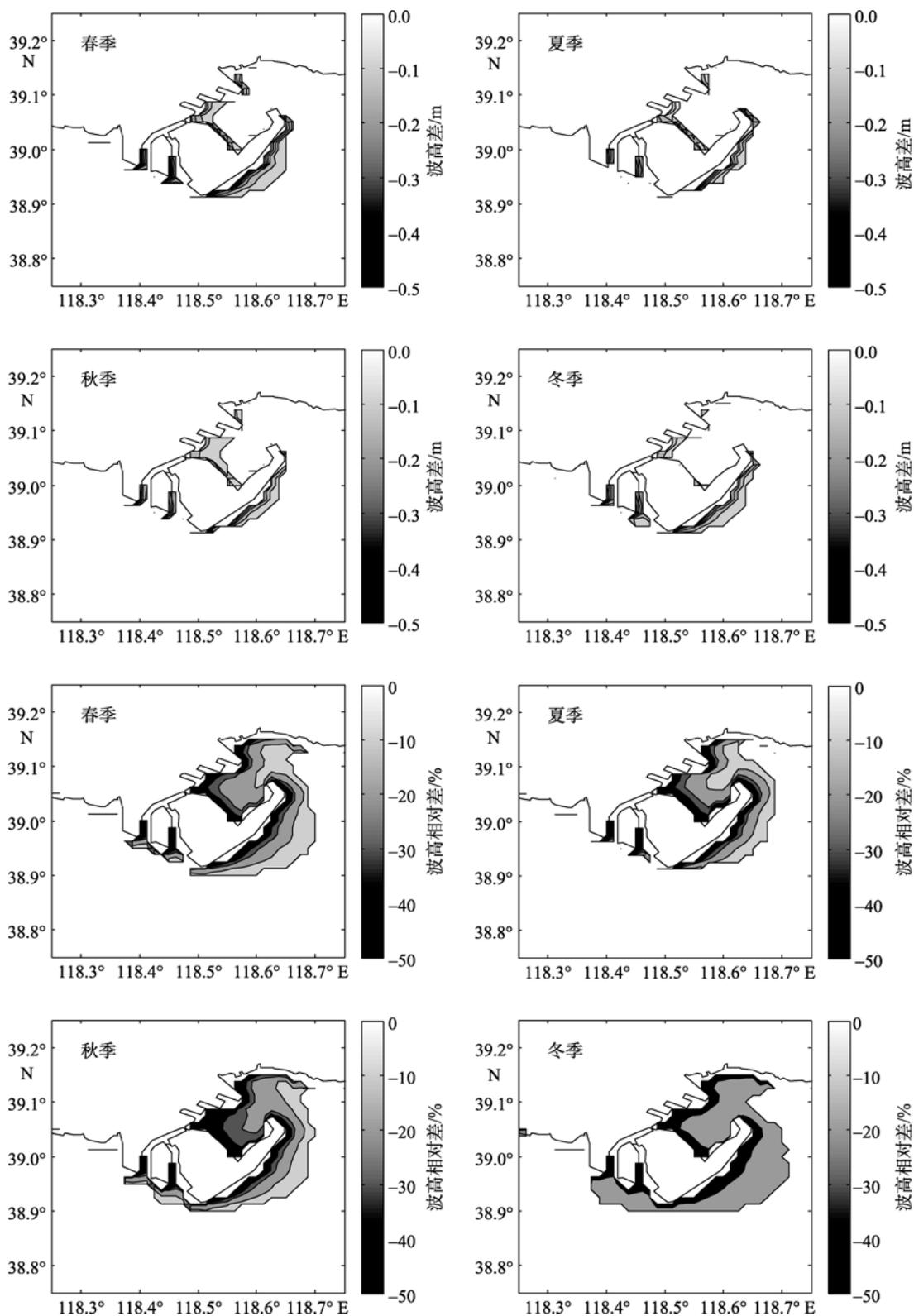


图3 曹妃甸 2010 年与 2000 年不同季节的波高差和波高差相对变化

Fig. 3 The seasonal distributions of the differences of the wave height and the relative wave height between in 2010 and 2000 for Caofeidian

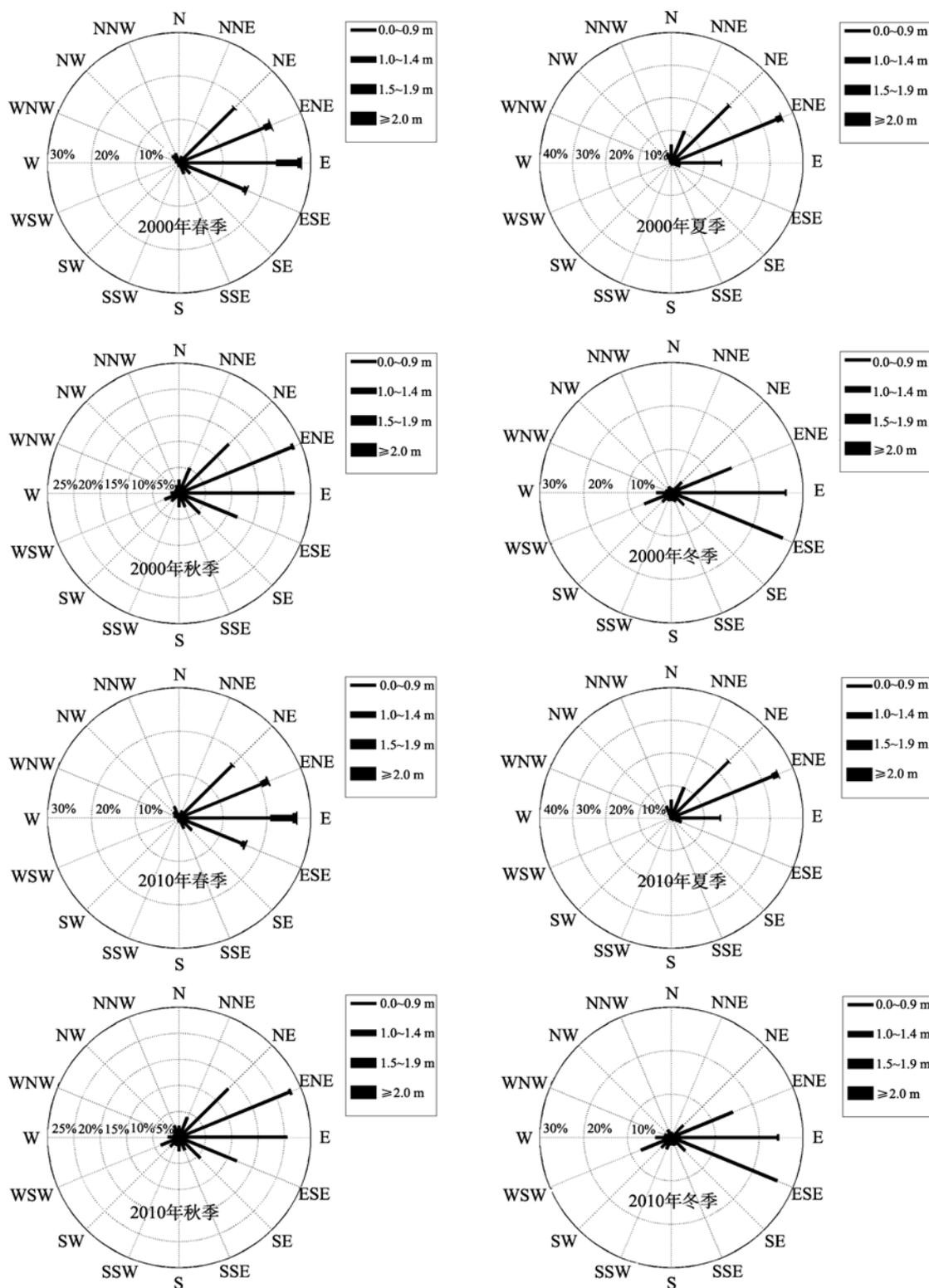


图 4 曹妃甸不同季节的波向玫瑰图

Fig. 4 The seasonal distributions of the rose diagrams of the wave directions of Caofeidian

的风时和风区限制, 天津港西侧海域波高较小, 年平均有效波高为 0.26 m, 变化范围较小, 集中在 0.05 ~ 0.39 m 范围内, 表明该海区波浪属于弱浪区(图

2)。平均周期为 1.5 s, 周期变化范围较小, 主要是由风生成的短周期波, 这与已有研究结果一致^[14-15]。

天津港区域波浪较小, 由于工程建筑物的形状,

港口建筑物只影响其东部海区的波高分布。从全年来看,该海区平均有效波高减小在 0.1 m 左右,最大有效波高增加最大是出现在 6 月份(图 5),沿 SE 向传播的波浪最大有效波高增加 0.2 m,该方向波高出现

频率为 10%。其他季节,天津港建筑工程对该海区风浪要素分布的影响相对较小。此处只给出天津港附近海域 6 月份有效波高差及相对差分布图和波向玫瑰图。

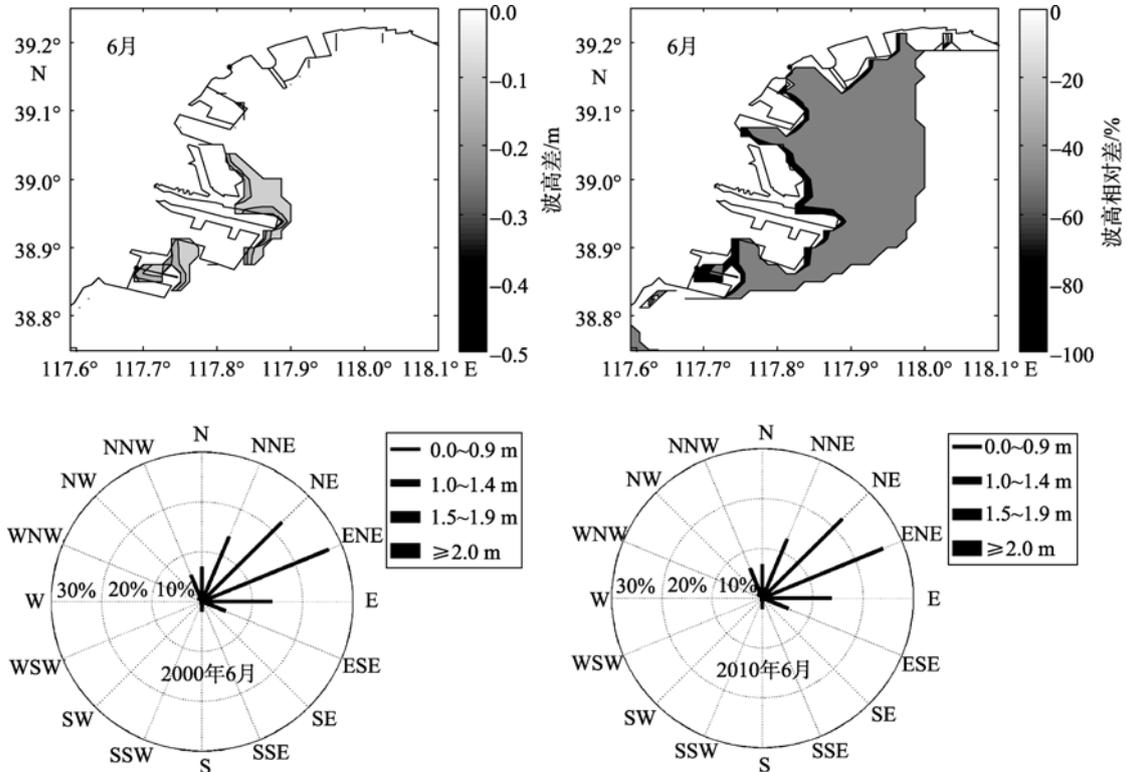


图 5 天津港 2010 年与 2000 年 6 月份的波高差和波高差相对变化以及波向玫瑰图

Fig. 5 The June distributions of the differences of the wave height and the relative wave height, and the rose diagrams of the wave directions between 2010 and 2000 year of Tianjin Harbor

2.2.3 黄骅港附近海域波浪场变化

黄骅港是我国主要煤炭输出港之一,但由于位于古黄河河口冲积区,与上述两个港口不同,该港口附近海域水浅坡缓,10 m 等深线距岸约 32 km,港口建筑物沿东北方向延伸,前端到达 5 m 等深线位置,属于典型的人工大港。

冬春季节,该海域风速逐渐减小,风向由西北风转向西南风,常浪向均为 ESE 向,冬季频率为 29.9%,春季频率为 27.9%。受港口工程的影响,冬季沿常浪向 ESE 和次常浪向 SE 方向的频率显著增加,2000 年 ESE 向频率为 27.9%,2010 年频率为 28.9%(图 6)。黄骅港附近夏季盛行西南风,常浪向为 ENE,频率为 36.1%,浪向稳定。秋季风向多变,浪向分布范围较大。

由于黄骅港引起岸线变化,对附近海域有效波高的影响主要集中在港口东北端,该海区有效波

高减小 0.1 m,出现频率为 20%~40%(图 7),波向频率无明显变化。而与盛行浪向垂直方向(NW、WNW 向)上传播的风浪有效波高变化较大,减小幅度达 50%以上。

黄骅港海区水浅坡缓,波浪在由外海向岸传播的过程中衰减缓慢,尤其在港区东南侧,有效波高等值线向岸呈舌状分布(图 2)。同时,该海区水浅平坦,波浪易发生破碎,破波带范围宽阔^[16],应进一步开展岸线变化对波浪破碎位置影响的分析。

3 结语

本文采用海浪 SWAN 模型对渤海湾风浪场进行了数值模拟,分析了环湾围填海工程竣工前(2000 年)后(2010 年)的波浪场,探讨了岸线变化最显著的 3 个港口工程——曹妃甸、天津港和黄骅港附近海域波浪分布变化。

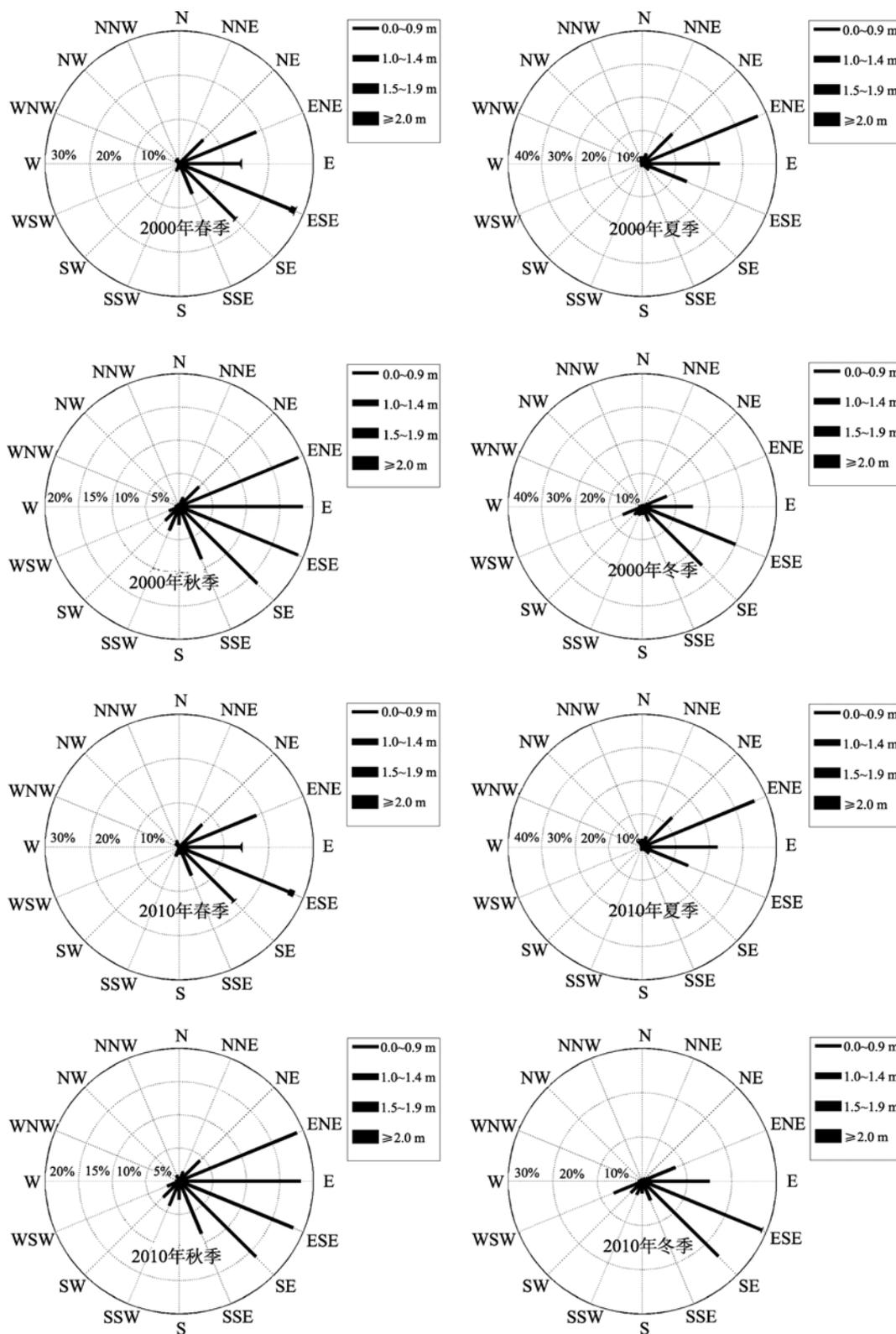


图 6 黄骅港不同季节的波向玫瑰图

Fig. 6 The seasonal distributions of the rose diagrams of the wave directions of Huanghua harbor

从整个渤海湾来说, 围填海工程对波浪有效波高及周期影响的程度不大, 工程建筑物存在后, 有

效波高呈减小趋势, 减小值在 0.2 m 以下, 周期几乎不变; 波浪要素变化显著的区域主要在港口工程周

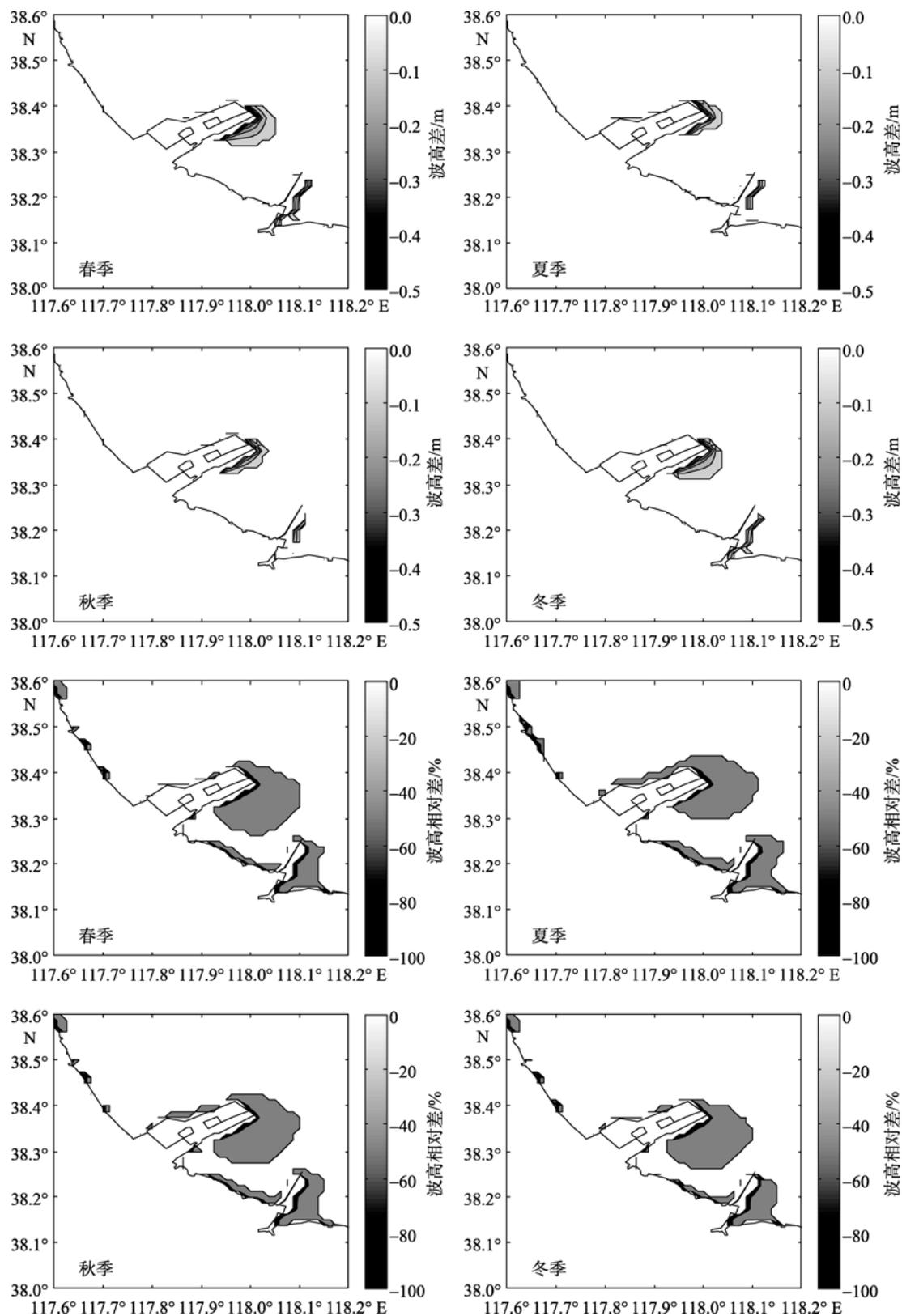


图 7 黄骅港 2010 年与 2000 年不同季节的波高差和波高差相对变化

Fig. 7 The seasonal distributions of the differences of the wave height and the relative wave height between 2010 and 2000 of Huanghua harbor

边海域, 港池和潮汐通道内的有效波高减小幅度较大。距港口区较远海域, 波高变化不明显。同时, 港口工程建成之后, 会改变波浪传播方向, 导致某波向频率增加, 这种改变一般不沿着盛行波向; 不同季节主波向上有效波高变化较小, 虽呈减小趋势, 但减小幅度在 5% 以下; 而与主波向垂直方向上的最大有效波高增加幅度较大(20% 以上), 该方向出现频率一般在 5% 以下。

从 3 个港口工程的影响来说, 曹妃甸位于渤海湾北部湾口, 波浪场成长较充分, 有效波高最大, 港口工程的存在对波浪场的影响最大, 有效波高减小值最大可达 0.19 m, 港口东北海域有效波高减小幅度在 20% ~ 40% 之内, 冬春季有效波高减小程度较夏秋季显著。天津港由于地理位置的原因, 其附近海域风浪较小, 平均有效波高为 0.26 m, 波浪要素变化不大, 该工程对波浪场的影响较小。黄骅港受工程建筑形状和海区地形的双重影响, 沿西北和东南向传播的风浪受港口工程的影响, 有效波高减小幅度较大, 减小 0.1 m 左右, 减小幅度在 40% ~ 60% 范围内。

参考文献:

- [1] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京. 海洋出版社, 2008: 169-190.
- [2] 王悦, 林霄沛. 地形变化下渤海湾 M2 分潮致余流的相应变化及其对污染物运输的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(1): 1-6.
- [3] 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应[J]. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83.
- [4] 刘海源, 乔岭, 陈汉宝. 台州湾波浪条件数值模拟研究[J]. 水道港口, 2009, 30(6): 381-384.
- [5] 勾鸿量, 刘曙光, 匡翠萍. 曹妃甸工程对海域波浪场的影响[J]. 华北水利水电学院学报, 2009, 30(5): 17-22.
- [6] 徐福敏, 张长宽. 一种浅水波浪数值模型的应用研究[J]. 水动力学研究与进展, 2000, 15(4): 429-434.
- [7] 王殿志, 张庆河, 时钟. 渤海湾风浪场的数值模拟[J]. 海洋通报, 2004, 23(5): 10-17.
- [8] Choi B H, Kim K O, Eum H M. Digital bathymetric and topographic data for neighboring seas of Korea (in Korean)[J]. Korean Soc Coast Ocean Eng, 2002, 14: 41-50.
- [9] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656): 553-597.
- [10] 陈红霞, 华锋, 袁业立. 中国近海及临近海域海浪的季节特征及其时间变化[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 407-415.
- [11] 张增海, 曹越男, 赵伟. 渤海湾海域风况特征分析与海——陆风速对比分析[J]. 海洋预报, 2011, 28(6): 33-39.
- [12] 杜家笔, 裴艳东, 高建华, 等. 弱动力浅海中的悬沙运输机制: 以天津港附近海域为例[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 136-144.
- [13] 孙连成. 天津港水文泥沙问题研究综述[J]. 海洋工程, 2003, 21(1): 78-84.
- [14] 岳淑红, 李广雪. 塘沽近海海域海浪的基本特征[J]. 黄渤海海洋, 1997, 15(1): 70-74.
- [15] 孙连成. 渤海湾西部海域波浪特征分析[J]. 海洋科学进展, 1991, 9(3): 50-58.
- [16] 苗士勇, 侯志强. 黄骅港海域风浪场推算及波浪破碎位置分析[J]. 水道港口, 2004, 25(4): 216-218.

Effects of coastal reclamation on the wave fields in the Bohai Bay

ZHAO Xin¹, SUN Qun^{1,2,3}, WEI Hao¹

(1. Tianjin University of Science and Technology, School of Ocean Science and Engineering, Tianjin 300457, China; 2. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Sep., 28, 2012

Key words: the Bohai Bay; coastal reclamation; SWAN(Simulating Waves Nearshore) model; the wind waves

Abstract: According to the variation of the Bohai Bay coast line from 2000 to 2010, we established the SWAN(Simulating Waves Nearshore) wave model forced by the ERA wind fields to simulate the wave fields of the Bohai Bay in the years of 2000 and 2010 to investigate how coastal reclamation affects wave fields, especially the influence of the wind waves. The variations of the wave fields near three harbors (the Caofeidian, Tianjin Port and the Huanghua Port), where the coastlines had been changed significantly, were analyzed. The results revealed that the significant wave heights decreased after the coastal reclamation, and the magnitude of decrease of the significant wave heights in the harbor basin and the tidal channels was bigger than that in the other area. Moreover, the locations of the three ports and the topography around them had the combined effects on the distributions of the wind waves near the three portal areas. The coastal reclamation had little influence of the significant wave heights, where the reduction was under 0.2 m, and cycleswell as time which had no changes compared with our experimental data.

(本文编辑: 刘珊珊)