

Impact of Coastal Reclamation on Storm Surge in Bohai Bay

Yumei Ding

School of Science, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin
Email: dingym@tust.edu.cn

Received: Nov. 9th, 2017; accepted: Nov. 22nd, 2017; published: Nov. 29th, 2017

Abstract

Storm surges can induce severe disasters in Bohai Bay. The typhoon storm surge often happens in summer and the extratropical storm surge often happens in the other seasons. In recent ten years, the shoreline of Bohai Bay has changed due to the coastal reclamation, which may have some effect on the storm surge. In this paper, storm surges occurring in the Bohai Sea are reproduced based on the Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM). Four representative storm surges are simulated which happened in Aug. 1985, Aug. 1997, Oct. 2003 and Aug. 2005 and the simulated surge elevations agree closely with the *in-situ* observations. The effect of the reclamation on the storm surge is studied in Bohai Bay using the 2000 coastline and 2010 coastline. The increases of the storm surge elevation distribution are shown in Caofeidian Port, Tianjin Port and Huanghua Port in Bohai Bay.

Keywords

Bohai Bay, Coastal Reclamation, FVCOM, Storm Surge, Numerical Modeling

人工海岸对渤海湾风暴潮的影响分析

丁玉梅

天津科技大学理学院, 天津
Email: dingym@tust.edu.cn

收稿日期: 2017年11月9日; 录用日期: 2017年11月22日; 发布日期: 2017年11月29日

摘要

渤海湾是受风暴潮灾害影响最严重的地区, 在夏季容易遭受台风风暴潮, 在春秋和冬春过渡季节, 容易遭受温带风暴潮的袭击。近十年来, 渤海大量围填海工程建设, 使渤海湾岸线变化明显。为研究岸线变化对

渤海风暴潮的影响, 基于FVCOM海洋模型, 建立了渤海潮汐和风暴潮模型, 模拟了1985年8月、1997年8月、2003年10月和2005年8月四次典型风暴潮过程, 模拟结果和实测数据相吻合。利用2000年渤海岸线和变化之后的2010年渤海岸线, 研究了风暴潮增水的变化, 分析了渤海湾三大港区的增水变化的空间分布。

关键词

渤海湾, 围填海工程, FVCOM, 风暴潮, 数值模拟

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

风暴潮是由于剧烈的大气扰动, 如强风或气压骤变, 导致海平面异常升降, 使受影响海区的潮位大大超过平常潮位的现象[1] [2]。风暴潮灾害是最严重的海洋灾害, 给沿海经济发展和人民生命财产带来巨大威胁。中国海洋灾害公报统计数据显示, 从1989年到2007年, 海洋灾害的直接经济损失每年约150亿元, 其中风暴潮灾害占90%以上[3] [4]。近年来, 由于大规模的海洋开发, 围填海等重大人类活动在产生巨大的社会效益的同时, 也给海洋环境造成了深远的影响[5] [6] [7]。

国内外许多学者对风暴潮灾害进行了大量统计分析和数值模拟研究。谢丽等[7]对风暴潮灾害进行了多年特征统计分析, 给出风暴潮灾害的空间差异性, 为研究围填海工程对风暴潮灾害的影响奠定了基础。J. Benavente等[8]研究了西班牙 Valdelegrana 海峡由于长期的岸线演化和风暴潮导致的漫滩灾害。指出岸线演化, 改变近岸地形坡度、波动过程和海岸防御工程, 是海岸漫滩灾害的重要影响因素。

章卫胜等[9]利用二维风暴潮模型, 研究了渤海湾海域工程对风暴潮高潮位的影响, 指出由于工程建设使得海域面积缩小, 海水被挤压抬升, 风暴潮高潮位普遍抬升。Guo YK等[10]利用FVCOM模型, 对杭州湾台风风暴潮增水进行模拟, 指出岸线变化对杭州湾风暴潮增水影响显著。上述研究没有给出岸线变化前后, 风暴潮灾害的空间分布特征和具体海域的灾害强度等级的变化。

利用FVCOM三维近海海洋动力模型, 通过潮汐和风场共同驱动, 建立了渤海精细尺度风暴潮预报模型, 并对渤海风暴潮模型进行了校验。分别利用2000年岸线和2010年岸线, 模拟了1985年8月, 1997年月8月, 2003年10月和2005年8月四次风暴潮过程, 由于风暴潮是强迫振动长波, 有一定的传播过程, 波动会对岸线变化敏感。研究了岸线变化对渤海湾风暴潮的影响, 给出曹妃甸、天津港和黄骅港海域风暴潮增水空间分布的差异性, 指出在局部海域, 岸线变化后, 风暴潮增水有增加的趋势。

2. 模型设置

FVCOM模型是一个基于三角网格和有限体积法的近海海洋模型, 被世界各国学者广泛用于河口和复杂岸线的模拟。模型中使用的三角形网格, 能够更好地实现对复杂岸线的拟合, 模型中用有限体积法进行积分, 从通量的角度考虑水体的运动过程, 保证了水体的动量、质量以及能量的守恒关系。模型中的原始控制方程详见文献[11]。

模型的计算区域包括黄渤海(33.72°N~41.05°N, 117.56°E~126.93°E), 从长江口北岸到韩国济州岛连线作为开边界。研究区域的水深及网格如图1。模型中采用正压模型, 温度和盐度分别为10°C和30。外模时间步长是3 s, 内模时间步长是30 s。

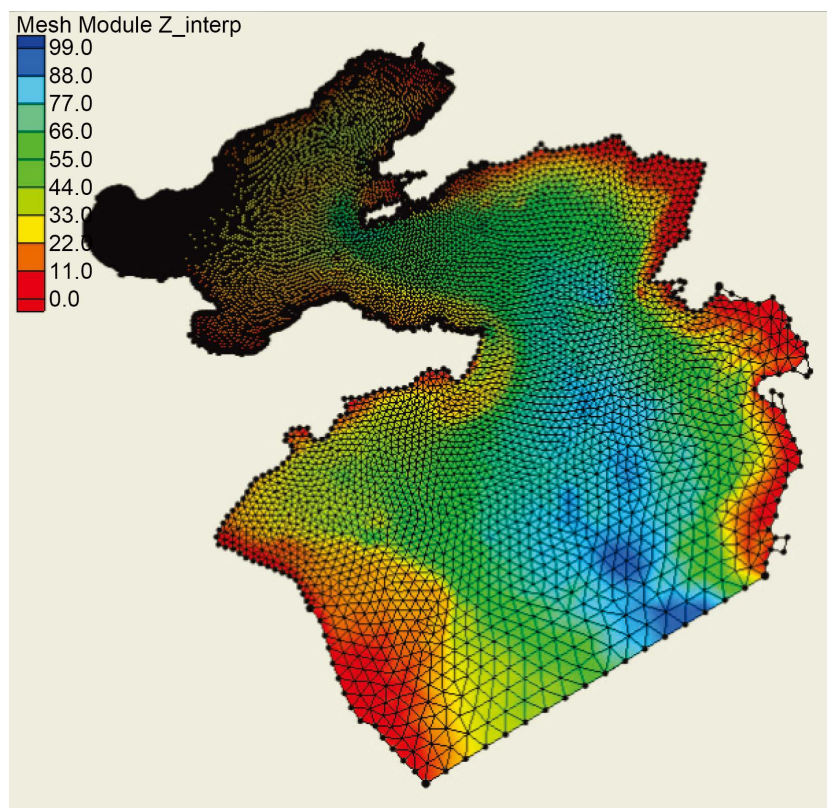


Figure 1. The domains of the model and the grid
图 1. 黄渤海地形水深及计算网格

模型中使用的水深数据是 Choi (Laboratory for Coastal and Ocean Dynamics Studies Sungkyunkwan Univ.)提供的东中国海的水深数据。渤海湾海域的岸线数据由卫星反演获得,分辨率为 0.001° 。在开边界,采用 OTPS 潮汐预报模式(OSU Tidal Prediction Software, <http://volkov.oce.orst.edu/tides/>),利用预报的实时水位驱动开边界,对 M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1 八个主要分潮进行调和,提供模型的潮汐开边界条件。

3. 模型验证

建立了渤海潮汐模型,对渤海潮汐进行了数值模拟。结合潮汐模型的输出数据,利用 T-tide 软件,对渤海各个主要分潮进行了调和,调和得到的调和常数与海图对比基本一致,和实测数据也基本一致(参见文献[12])。

对渤海三次台风风暴潮和一次寒潮风暴潮进行了数值模拟,选取了 1985 年 8 月 Mimie 台风,1997 年 8 月 Winnie 台风,2005 年 8 月 Masta 台风和 2003 年 10 月的寒潮大风,研究岸线变化对渤海风暴潮空间分布的影响(图 2 是四次典型风场)。对塘沽站位的风暴潮增水和实测增水数据的时间序列进行了对比,模拟风暴潮增水与实测数据增水趋势一致(参见文献[12])。这说明模型可以用来研究渤海海域的风暴潮过程,并用来进行渤海风暴潮动力学分析。

4. 人工海岸对渤海湾三大港区风暴潮水位的影响

围填海工程使渤海湾岸线形状发生较大改变,重点研究了岸线变化显著的曹妃甸港、天津港和黄骅港海域风暴潮增水的变化。模拟结果表明,围填海工程后,由于围堤附近坡度变大,建筑物向渤海内部

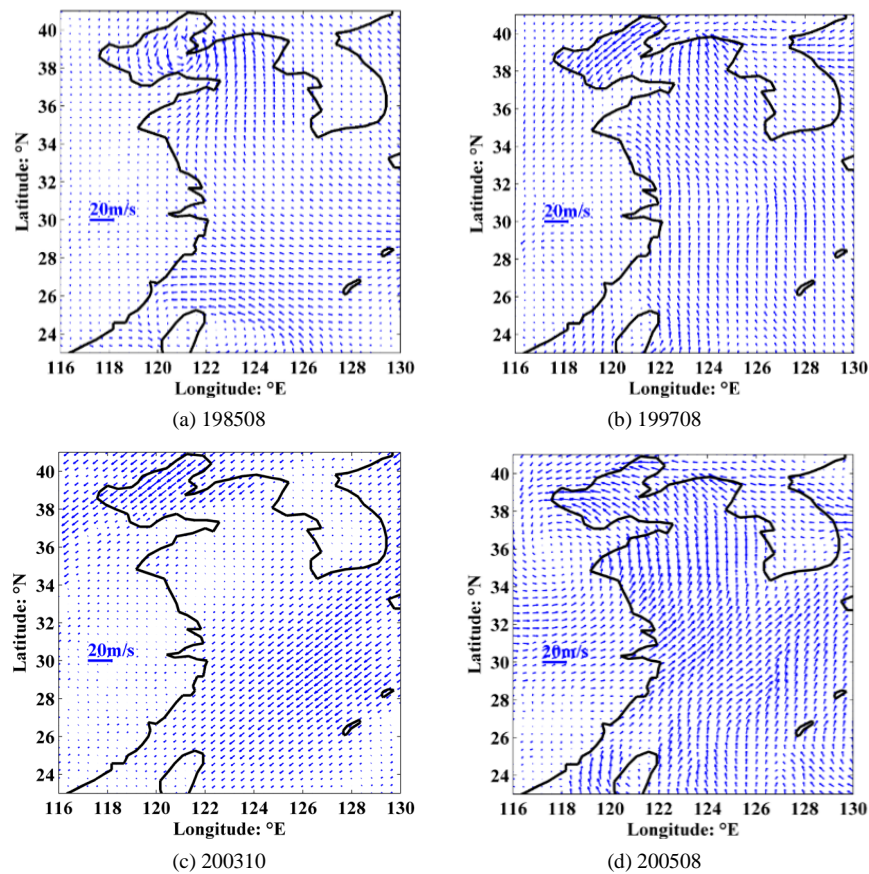


Figure 2. Four typical wind fields in time of the storm surges
图 2. 四次典型风暴潮期间的风场矢量图

延伸,使水质点携带的能量相对增大,同时纳潮受水面积相对减少,因此风暴潮增水有增加的趋势,特别是在风暴潮中期,渤海湾西南沿岸水位明显增加,使风暴潮灾害风险在增大。图 3~5 分别显示四次典型风暴潮过程中,岸线变化前后渤海湾三大港区风暴潮增水的差值(2010 年风暴潮增水减去 2000 年风暴潮增水得到风暴潮增水的差值)。风暴潮期间,由于岸线变化和建筑物的影响,在曹妃甸港和天津港海域的北侧,容易形成水位堆积,最大增水在增加。在黄骅港海域的北侧和南侧围堤附近,最大增水有少量增加。

曹妃甸港位于渤海湾湾口的北侧,港区东南端紧临渤海湾深槽,曹妃甸前沿 30 m 水深岸线长达 6 km。海岸工程后,曹妃甸港海域最大增水的变化发生在海域的东北部。特别是 2003 年 10 月温带风暴潮期间,多为东北风向,曹妃甸港工程对风暴潮增水的影响主要集中在北部港池的内部,最高水位增加幅度是 0.2~0.4 m,相对增加了 10%。曹妃甸海域的西南部,最大风暴潮增水有增加的趋势,平均增幅在 0.1 m 左右,这些在工程设计中都应引起重视。在台风风暴潮期间,多为东北风向,曹妃甸港工程对风暴潮增水的影响主要集中在南部和东部,最大水位增加了 0.2 m 左右(图 3)。

天津港位于渤海湾的最西端,受工程建筑物形状的影响,港区南部海域风暴潮最大增水有明显升高,近岸海域升高的范围在 0.1 m 左右。温带风暴潮期间,港区建筑物附近,风暴潮增水在增加,增加幅度是 0.05 m 左右。台风风暴潮期间,在海域南部,最大增水在增加,增加的幅度在 0.1 m 左右(图 4)。海岸工程建设改变了岸线形态,改变了波动的传播过程,使能量在建筑物附近集中,导致海堤附近风暴潮增水有增加的趋势。

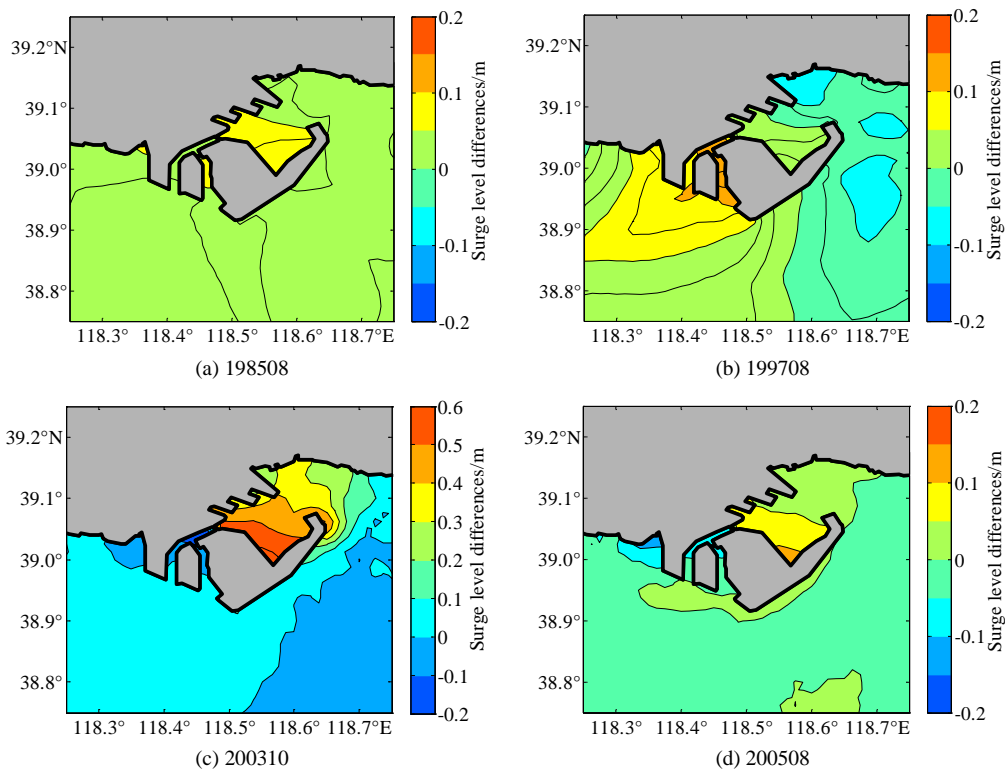


Figure 3. The storm surge level difference at Caofeidian Port
图 3. 曹妃甸海域四次典型风暴潮增水差值

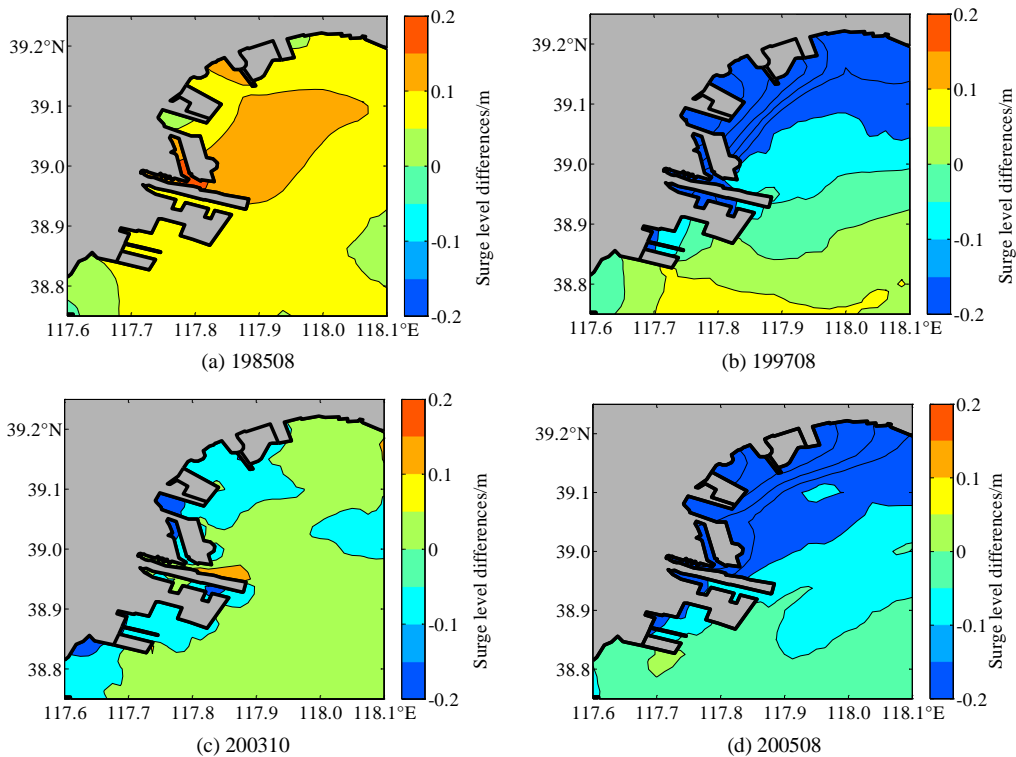


Figure 4. The storm surge level difference at Tianjin Port
图 4. 天津港海域四次典型风暴潮增水差值

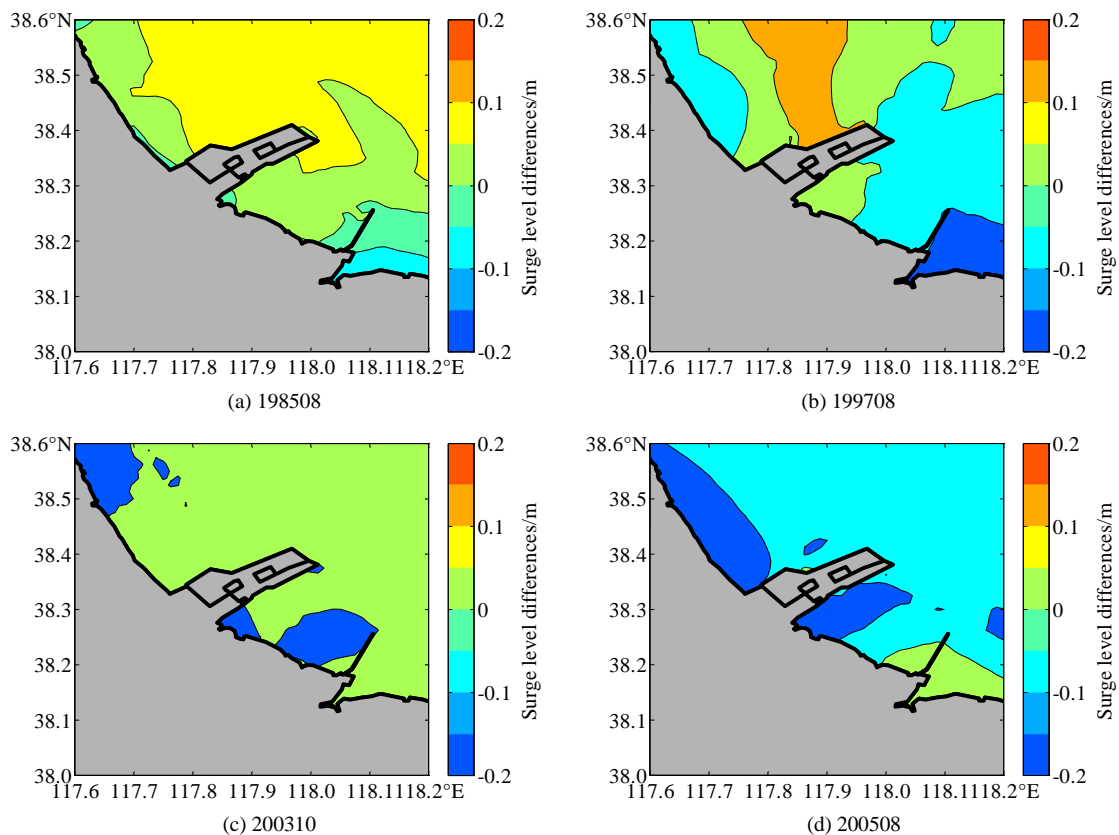


Figure 5. The storm surge level difference at Huanghua Port
图 5. 黄骅港海域四次典型风暴潮增水差值

在黄骅港海域，由于港口建筑物的形状与风向大致相同，因此在港区的南侧和北侧，风暴潮最大增水在增加，增加的幅度在 0.05~0.1 m 之间。1985 年 8 月和 1997 年 8 月台风风暴潮期间，黄骅港北部区域增水较大，2005 年 8 月的台风风暴潮期间，黄骅港海域最大增水在减少(图 5)。分析原因，无论南风或北风造成的强迫波都会被海堤反射回去，在海堤两侧造成波动能量叠加，风暴潮增水有增加的趋势，另外北侧围堤附近，成为迎风岸，水位增加明显。

5. 结论

本文采用 FVCOM 海洋动力学模型，建立了渤海三维风暴潮模型。对渤海四次典型风暴潮过程进行了数值模拟，分析了岸线变化对渤海台风风暴潮和温带风暴潮的影响。

人工海岸工程的建设改变了岸线形态，改变了波动的传播过程，造成渤海湾海域风暴潮增水的空间分布不同。渤海海域近岸工程后风暴潮高潮位普遍抬升。从渤海湾三个港口工程对风暴潮的影响来看，由于风暴潮期间多为东北向大风，因此，曹妃甸、天津港海岸工程的北侧围堤附近，成为迎风岸，因此，水位有增加的趋势。由于岸线和东北风场的作用，在港区的西南侧，形成水位堆积，最高水位在增加。在黄骅港海域，受港区建筑物形状的影响，偏东北方向的海岸建筑与风走向相同，在港区的北侧和南侧围堤附近，最高水位均明显增加。总之，岸线变化后，天津港海域的西南沿岸和黄骅港海域的西北、东南沿岸，最大水位在增加，超过警戒水位，风暴潮灾害风险在增加。人工海岸工程对渤海湾海域风暴潮增水影响明显，在海岸工程和堤防设计中，必须考虑水位抬升对海堤防护的不利影响，加强现有堤防设施的维护与巩固，建立综合防护体系，防御风暴潮灾害的袭击。

基金项目

天津市应用基础与前沿技术研究计划(15JCYBJC22400)。

参考文献 (References)

- [1] 冯士筭. 风暴潮导论[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [2] 冯士筭, 张经, 魏皓, 等. 渤海环境动力学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 吴少华, 王喜年, 宋珊, 等. 天津沿海风暴潮灾害概述及统计分析[J]. 海洋预报, 2002, 19(1): 29-35.
- [4] 董月娥, 左书华. 1989 年以来我国海洋灾害类型、危害及特征分析[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(6): 28-33.
- [5] 李鑫, 章卫胜, 张金善, 等. 一次典型寒潮风暴潮过程的数值模拟研究[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(1): 8-16.
- [6] 李秀梅, 袁承志, 李月洋. 渤海湾海岸带遥感监测及时空变化分析[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(2): 156-163.
- [7] 谢丽, 张振克. 近 20 年中国沿海风暴潮强度、时空分布与灾害损失[J]. 海洋通报, 2010, 29(6): 690-696.
- [8] Benavente, J., Del-Río, L., Gracia, F.J. and Marínez-del-Pozo, J.A. (2006) Coastal Flooding Hazard Related to Storms and Coastal Evolution in Valdelagrana Spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). *Continental Shelf Research*, **26**, 1061-1076. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2005.12.015>
- [9] 章卫胜, 陈晨, 李鑫, 张金善. 海岸工程对渤海湾风暴潮高潮位影响分析[J]. 海岸工程, 2012, 30(2): 72-78.
- [10] Guo, Y.K., Zhang, J.S., Zhang, L.X. and Shen, Y.M. (2009) Computational Investigation of Typhoon-Induced Storm Surge in Hangzhou Bay, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **85**, 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.09.021>
- [11] Chen, C.S., Liu, H.D. and Beardsley, R.C. (2003) An Unstructured, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equation Ocean Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology*, **20**, 159-186. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2003\)020<0159:AUGFVT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2003)020<0159:AUGFVT>2.0.CO;2)
- [12] Ding, Y.M. and Wei, H. (2017) Modeling the Impact of Land Reclamation on Storm Surges in Bohai Sea, China. *Natural Hazards*, **85**, 559-573. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2586-4>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7991, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: aam@hanspub.org