

基于模型耦合的北部湾风暴潮增水与风浪模拟研究^{*}

张敏^{1,2}, 米婕², 赵振宇², 朱冬琳¹, 陈波^{1**}

(1. 广西科学院, 广西北部湾海洋研究中心, 广西近海海洋环境科学重点实验室, 广西南宁 530007; 2. 上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234)

摘要: 台风风暴潮引发的增水和风浪效应是造成沿海低地灾害和损失的重要因素。本文设计了区域嵌套、波-流耦合的有限元数值模拟系统, 对北部湾及附近海域风浪和增水过程进行有效模拟, 精度达到应用要求。结果表明北部湾在台风影响下引起明显风浪和增水效应。台风中心风浪较小, 仅 1 m 以内; 而台风臂扫过海域风浪较大, 可达 9 m 以上。最大增水海域出现在北部湾东侧靠近琼州海峡附近, 可达 2.5 m。风浪与增水叠加具有非线性效应, 最大增水与最大风浪出现时间如与大潮高潮位相遇易形成超高水位, 将对北部湾沿岸低地造成巨大淹没风险。本研究意在突破北部湾现有模型局限性, 为进一步深化科学研究和工程应用提供基础数据。

关键词: 风暴潮增水 数值模拟 模型耦合 北部湾

中图分类号: TV148 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2019)06-0655-08



微信扫一扫, 与作者在线交流(OSID)

0 引言

台风风暴潮是威胁沿海低地城市安全的重要气象和海洋灾害^[1-3]。台风可诱发风灾、强降雨、洪水和泥石流等次生灾害, 其中极端风暴潮引起的增水效应与风浪效应对沿海低地最具危险性。通常海岸防护工程设计、建设与安全评估等都需要考虑增水量和风浪等级这两个致灾因子^[4]。而且, 有效的台风风暴潮增水和风浪模拟对沿岸沉积物输运和污染物传播十分重要^[5]。因此, 建立高精度的数值模拟系统实现特定风暴情景下海洋增水和风浪模拟具有重要意义。

台风风暴潮模拟可追溯至 19 世纪 30 年代^[6]。Emanuel K. A. (1987) 基于实测数据建立了台风风

暴潮增水与台风等级之间定量统计关系, 后续又有大量研究跟进和深化^[7-8], 但统计模型的最大问题是缺乏物理基础, 无法实现区域动态和过程模拟。随着流体力学和计算数学的迅速发展, 基于流体静压假设的一维、二维和三维数值模拟技术得到长足发展, 例如 20 世纪 80—90 年代由美国国家气象中心 (ANMB) 研发的 SLOSH 模型、荷兰三角洲研究院 (DELTA) 研发的 DELFT 系列模型、丹麦丹华水力公司 (DHI) 开发的 MIKE 模拟软件、荷兰代尔夫特理工大学开发的 SWAN 模型、法国 Electricite de France (EDF) 的 Research and Development (R&D) 实验室开发的 TELEMAC-MASCARET 数值模拟软件等, 被广泛应用于水动力和风暴潮数值模拟。近期研究表明台

^{*} 广西科学院广西近海海洋环境科学重点实验室开放基金项目(GXKLHY19-01)和国家自然科学基金项目(41701001)资助。

【作者简介】

张敏(1984—), 男, 讲师, 博士, 主要从事海洋动力学研究, E-mail: zhangmin@shnu.edu.cn。

【**通信作者】

陈波(1954—), 男, 研究员, 主要从事近海海洋动力学研究, E-mail: cbgkxy@163.com。

【引用本文】

DOI: 10.13656/j.cnki.gkxk.20191231.003

张敏, 米婕, 赵振宇, 等. 基于模型耦合的北部湾风暴潮增水与风浪模拟研究[J]. 广西科学, 2019, 26(6): 655-662.

ZHANG M, MI J, ZHAO Z Y, et al. Study on the coupled numerical simulation of storm surge and wind wave in Beibu Gulf [J]. Guangxi Sciences, 2019, 26(6): 655-662.

风风暴潮有效模拟除需要考虑台风路径、中心气压、海表风场和海-气耦合外^[9-10], 还需考虑波-流耦合过程及天文潮、增水和波浪的多重耦合^[4,11-13]。未来, 因全球气候变暖导致的海平面上升和风暴增强等问题将使风暴潮灾害进一步恶化^[3], 这也是国际关注的热点问题, 目前这些问题已在全球各大海域做过相关研究。Shen 等^[14]采用数值模拟方法研究长江口及其附近海域海平面上升对风暴潮增水的影响。Karim 和 Mimura^[3]研究印度洋海域气候变化与海平面上升对风暴潮洪水的作用。Ferrarin 等^[15]采用数值模拟方法研究地中海风暴潮增水对意大利沿岸的影响。Ebersole 等^[16]基于 ADCIRC 模型研究墨西哥湾“卡特里娜”台风(2005 年)期间风暴增水、风浪效应及漫堤淹没灾害。

北部湾位于中国南海北部海域, 是由雷州半岛、中南半岛和广西海岸围成的半封闭湾区(图 1)。北部湾是台风风暴潮影响重灾区, 平均每年受到 2~3 次台风袭击^[7]。近期, 采用数值模拟方法研究北部湾台风风暴潮的文献逐渐增加^[9,17-18], 但采用大气-波浪-潮流耦合方法研究风暴潮增水和风浪模拟的研究较少。本文基于 TELEMAC 和 TOMAWAC 数值模拟软件开发大气-波浪-潮流耦合风暴潮数值模拟系统, 研究北部湾附近风暴增水和风浪效应。模型采用 2012 年台风“山神”和台风“启德”实测水位数据做率定和验证, 最后基于模拟所得增水和波浪强度, 探讨台风风暴潮对北部湾天文潮与风暴潮增水交互作用的非线性叠加效应。

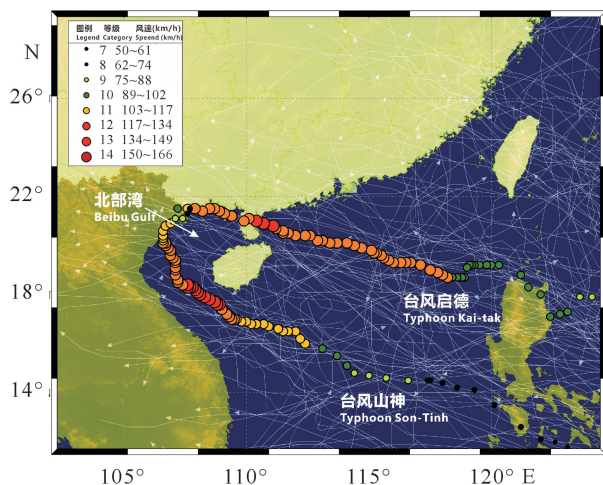


图 1 研究区位置和 2005—2015 年间经过研究区的台风路径

Fig. 1 The location of study area and the typhoon path passing through the study area during 2005 and 2015

1 材料与方法

1.1 模型耦合

台风风暴潮增水和风浪模拟采用大气-潮汐-波浪模型耦合而成: 台风模型采用 Holland 模式^[19], 潮汐模型采用 TELEMAC-3D 模式^[20], 波浪模型采用 TOMAWAC 模式^[21]。模拟采用三级嵌套方式实现耦合。台风模型分辨率为 12.5 km, 覆盖南海和菲律宾部分地区(图 1); 潮汐模型采用可变分辨率三角网, 覆盖南海大部分海域(图 2a); 增水模型采用 TELEMAC-TOMAWAC 耦合实现, 覆盖整个北部湾(图 2c)。

风应力和气压场是台风风暴潮模拟的主要大气驱动力, 采用 Holland 台风模型计算^[19]。Holland 台风模型是假定双曲线辐射压力场模型, 采用解析方式计算气压场和台风风场, 具有控制参数少、精度高的特点。解算 10 m 高风场和气压场所需参数(包括台风路径、中心点坐标、中心气压值、最大风速和最大风速半径)可从中国台风网 www.typhoon.org.cn 获取。模拟区下垫面地形数据来源于美国地质调查局全球高程数据。大气模型模拟时长为一个月, 前 5 d 设置为模型冷启动时间。

潮汐模拟采用 TELEMAC-3D 实现。TELEMAC-3D 是由法国 EDF 的 R&D 实验室开发的非结构有限元三维数值模拟软件, 目前由英国 HR Wallingford 和法国 EDF 等机构共同维护更新的开源软件系统。TELEMAC-3D 水平向网格采用不规则三角网划分法, 垂直向采用 sigma 分层法。可变分辨率三角网划分方案一方面利于贴合复杂多变的岸线, 另一方面可对重点区域加密网格而对非重点区域采用粗分辨率表达。模型基于 Boussinesq 流体静压假设, 解算三维不可压缩雷诺方程组。液体自由水面计算过程考虑垂向 sigma 分层传导效应。分别采用 2 次龙格库塔法和 2 次隐式梯形法解算水平传导项和垂直传导项。通过线性梯度重构技术实现 2 次空间模拟精度。其他关于 TELEMAC-3D 控制方程组及详细设置方案参考文献^[20]。风场和气压场边界由 Holland 模型提供, 波浪边界由 TOMAWAC 模型提供, 潮汐边界主要考虑 TPXO 的 8 个分潮调和而成。

风浪模拟采用 TOMAWAC 实现。TOMAWAC 同样采用不规则三角网格, 是 EDF 开发的第三代风浪模型。TOMAWAC 模型基于波能守恒方程, 内

嵌波能耗散项, 解算浅水方程组波浪传播过程, 主要考虑风场边界和水位边界^[11,22]。与 SWAN 模型类似, TOMAWAC 模拟波浪传播和波浪破碎项都考虑波-流耦合过程。其中, 方向频率增量因子设置为 1.2, 初始频率设置为 0.051 2 Hz, 频率段数设置为 25, 方向频段设置为 36。详细控制方程及模型设置方案参考文献[21]。

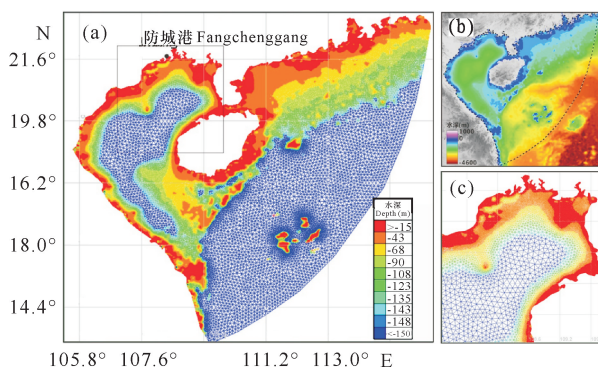


图2 研究区三角网划分和水深情况: 网格划分(a)、水深分布(b)和北部湾放大图(c)

Fig. 2 Triangular mesh and water depth in the study area: (a) the triangular mesh, (b) water depth distribution, (c) an enlarged map in Beibu Gulf

1.2 模型设置

TELEMAC 和 TOMAWAC 模型耦合提供波-流耦合计算。考虑风暴潮作用下海-气耦合需要考虑大气场与海洋场相互作用过程, 本文建立了覆盖整个北部湾和南海部分区域的三角网格, 实现大气-海洋-波浪耦合模拟。整个模拟区域覆盖东经 105.6°—114.4°E 和北纬 15.6°—22.8°N 海域。北部湾附近分辨率较高, 达 800 m, 而南海区域分辨率较低, 为 5 000 m(图 2a)。水平向网格数目为 124 000 个、节点数为 278 000 个, 垂直向分 5 层, 总共 620 000 个网格。地形水深数据来源于 GEBCO 全球水深数据库和北部湾实测水深。底摩擦系数设置为空间均一分布值(Nikuradse=0.001 m)。

冷启动初始水位、流速和风场都设置为 0。冷启动时段过后加入海-气耦合和波-流耦合实现风暴潮数值模拟。Holland 台风场模拟时长为 1 个月, TELEMAC 潮汐模拟时长为 20 d, TELEMAC-TOMAWAC 波-流耦合模拟时长为 10 d。岸线边界设置为吸收潮汐和波浪的封闭边界, 开放边界水位变化设置为

$$\eta = \frac{\Delta P}{\rho g} + \sum f_i H_i \cos \left(2\pi \frac{t}{T_i} + \vartheta_i + u_i - \theta_i \right), \quad (1)$$

式中, ΔP 为台风中心与边缘大气压强差, ρ 为海水密度, g 为重力加速度, t 为时间, i 为 8 个分潮 K1、O1、P1、Q1、M2、S2、N2 和 M4, T_i 为各分潮周期, H_i 为分潮振幅, θ_i 为分潮相位角, f_i 为分潮结点因子, ϑ_i 为分潮初始相位, u_i 为结点矫正角。

1.3 模型验证

TELEMAC 潮位模拟结果精度较高, 在之前研究中作者已做过大量验证工作^[23-24], 非台风期间 TELEMAC 和 TOMAWAC 耦合模拟的风浪验证见文献[11], 台风期间风暴潮引起的海岸洪水淹没验证见文献[12]。本文仅给出 2012 年两次袭击广西的台风事件(台风“山神”和台风“启德”)期间实测水位与模拟结果的对比验证。施测单位是广西近海海洋环境科学重点实验室, 施测地点在防城港果子山附近(图 2a)。

台风“山神”于 2012 年 10 月 24 日 2 时在菲律宾东南部西北太平洋洋面生成, 10 月 25 日下午进入南海东部海域, 10 月 28 日上午减弱为台风, 进入北部湾海域, 中心附近最大风力为 13 级, 中心最低气压为 96 000 Pa, 之后台风“山神”以 10~15 km/h 的速度向西北转偏北方向移动, 登陆越南北部地区。台风“启德”于 2012 年 8 月 13 日 9 时在西北太平洋洋面上生成。8 月 15 日 4 时在菲律宾吕宋岛登陆, 登陆时中心附近最大风力为 10 级(25 m/s)。8 月 17 日 12 时在广东省湛江市再次登陆, 登陆时中心附近最大风力为 13 级(38 m/s), 17 日 21 时在中越边境交界处沿海第 3 次登陆, 登陆时中心附近最大风力为 12 级(33 m/s)。

结果表明采用波-流耦合数值模拟方法能有效再现历史时期台风增水和风浪过程。两次台风期间水位施测时长各为 2 d, 总共包括 96 个测量点位。其中误差小于 10% 的测量点位占据 60% 以上, 误差小于 20% 的测量点位占据 90% 以上。图 3 为实测水位和相位与模拟结果的相关性比较, 红色表示台风“山神”, 测量时间段为 2012 年 10 月 28 日 21:00—30 日 22:00; 绿色表示台风“启德”, 测量时间段为 2012 年 8 月 17 日 10:00—19 日 10:00。1:1 线以上部分为高估的模拟点位, 1:1 线以下部分为低估的模拟点位。总体来说最佳拟合线坡度为 0.97 和 0.95, R^2 为 0.89 和 0.85, $Skill$ 值为 0.93 和 0.91 (>0.9), 模拟效果较好。台风“山神” $Skill$ 值为 0.95, 台风“启德” $Skill$ 值为 0.91, 因此台风“山神”模拟效果优于台风“启德”模拟效果。模拟水位略微低估实测峰值

水位,可能是因为风浪干扰作用导致测量误差。另外,风场精度将直接影响增水和风浪模拟结果,因此

有必要对风场准确性做进一步验证。

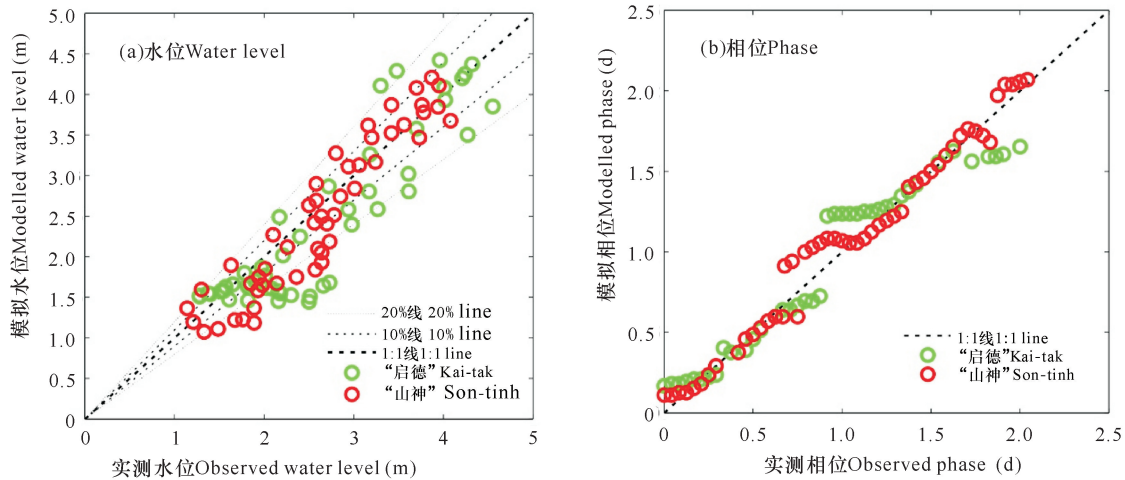


图3 实测与模拟结果对比

Fig. 3 Comparison of observed and simulated results

2 结果与分析

2.1 水位变化模拟结果

台风“山神”自东南向西北方向横穿南海,当接近北部湾时强风和低气压导致北部湾大规模增水(图4);随着台风继续向北移动,水位从外海逐渐向广西沿岸抬升。虽然台风“山神”接近北部湾时西北风最高速度达 28 m/s,但最大潮位并不高,仅 0.0~0.5 m(图4a)。10月28日6:00,东偏东南向风速达到最强,为 35 m/s,沿广西沿岸潮位达到最高,为 1.2 m。整个台风过程中,最高潮位出现在钦州湾和大风江河口附近,分别达到 1.0 m 和 1.2 m。随后台风逐渐向西北方向消减,增水也随着风速减弱而逐渐减小。

图4模拟结果表明风暴潮增水从广西沿岸向外海逐渐减弱,潮差也向外海逐渐缩小。台风中心附近风速较小,水位也较低,仅 1.0 m 以内。低水位出现位置与台风中心迁移方向密切相关。最大风速和最大水位出现在台风臂扫过区域附近。影响北部湾最大风速出现在 10月28日6:00—12:00,但整体水体较低,仅 -0.3 m。最高潮位出现在 10月28日

18:00左右,整体水位达到 0.4 m。因此仅当高潮位与最大风速叠加时易形成超高水位。

2.2 风浪及增水模拟结果

台风作用引起水位变化主要包括风浪和增水两方面。风浪主要受局部风场剪应力驱动形成,增水主要受大范围风场持续驱动下与天文潮交互作用形成。风浪与增水模拟结果如图5所示。增水高度在 0~4 m 间变化,台风中心增水较小,最大增水出现在北部湾右侧(图5g~l)。风浪高度在 0~10 m 间变化(图5a~f),明显高于增水幅度。风浪空间分布与风场空间分布密切相关。台风中心风浪较小,仅 1 m 以内,而台风臂扫过海域风浪较大,最高可达 10 m。

风浪高度和增水高度总和为台风引起总水位变化。风浪波周期较短,而增水具有大范围 and 长时效性。如图5g~l所示,增水平均水位变化可达 1.2 m,北部湾东侧沿岸浅滩破波可导致增水超过 2 m,区域性增水最大在 3 m 以上。风浪叠加增水如与高潮位相遇易形成海岸洪水淹没。即使增水量级比风浪小很多,但其叠加效应,尤其是高能波浪冲击效应,将对堤防造成巨大压力。

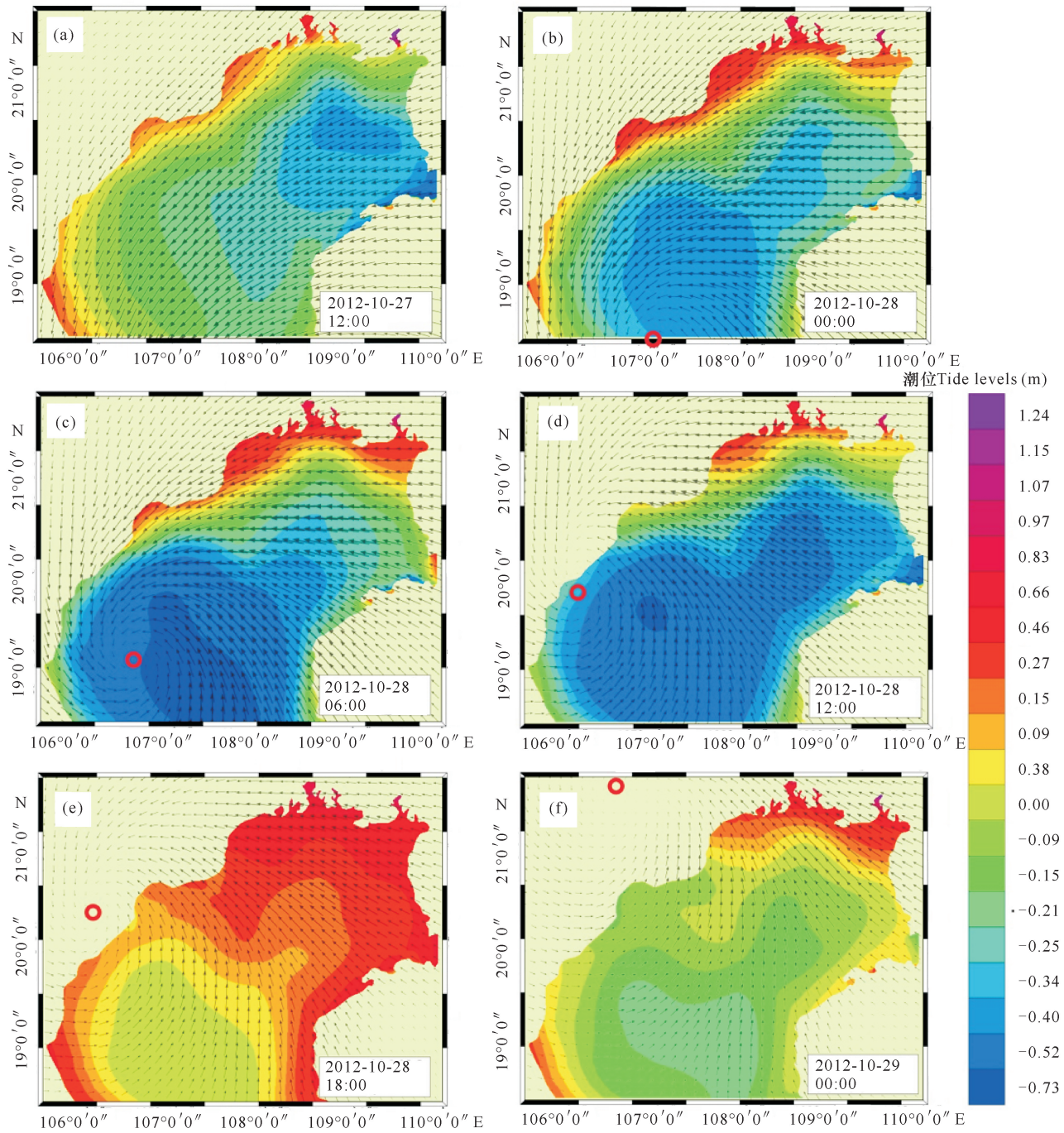


图4 2012年台风“山神”期间北部湾风速变化及引起的潮位变化过程(格林尼治时间)

Fig. 4 Changes in wind velocity and tide levels during typhoon Son-tinh in 2012 in Beibu Gulf (GMT)

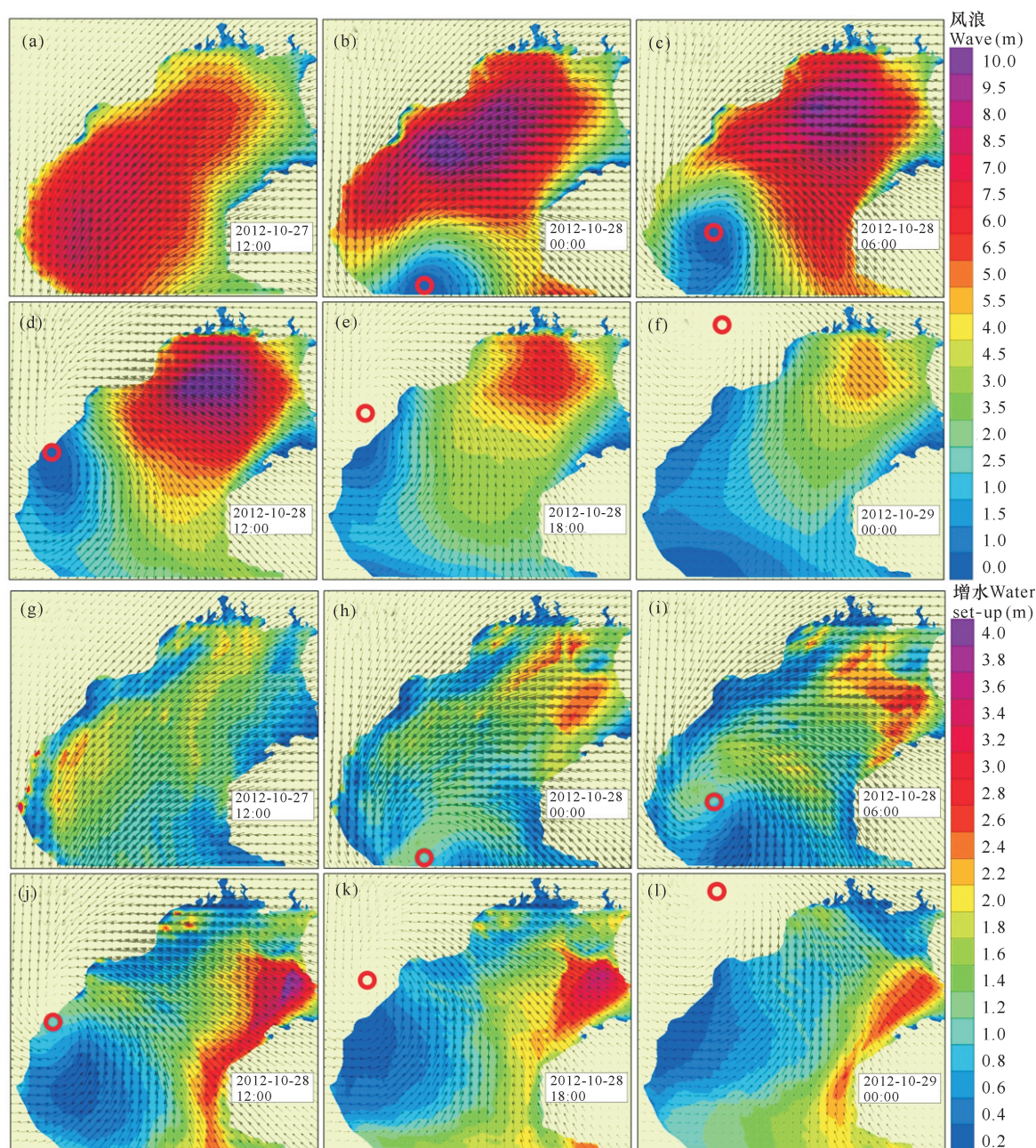


图5 2012年台风“山神”期间风场变化与风浪变化过程(a~f)和增水变化过程(g~l)

Fig. 5 Changes process of wind field and wave (a—f) as well as water set-up (g—l) during typhoon Son-tinh in 2012

3 讨论

本文建立了风暴潮增水数值模拟系统,采用台风模型(Holland)、潮汐模型(TELEMAC)和波浪(TOMAWAC)模型嵌套和耦合技术实现风浪和增水模拟,研究方法简单直接,具有可复制性。研究区域位于大陆架宽广的北部湾地区,具有典型性。虽然世界上局部地区的大陆架狭窄陡峭(例如台湾东海岸、菲律宾东海岸和智利西海岸等),但坡度大于0.05%的大陆架仅占世界海岸线的2%不到。宽浅

的陆架对潮波传播和风暴潮增水产生重要影响,因此本研究结论具有一定的可移植性。

本文模拟水位误差大致为10%~20%,模拟结果具有一定可信度。台风风场和气压场计算采用Holland台风模型,属于解析模式,方法比较简单,难以刻画台风移动过程中形成风圈不对称性变化的现象。因此最终波浪和增水模拟误差可能主要来源于风场驱动力误差。为提高增水和风浪模拟精度,需进一步提高台风大气场模拟精度。因此更多实测数据率定台风风场将有助于提高风浪和极值水位模拟精

度。而且,北部湾计算网格分辨率较为粗糙(800~5 000 m),难以模拟短周期风浪(10~100 m)变化过程,因此可能会对水位造成低估现象。伍志元等^[9]提出采用中尺度大气模式 WRF 和区域海洋模式相耦合的方法,在一定程度上提高了风场模拟精度。邹怡杰等^[18]进一步提出采用 MCT 耦合器实现海-气双向耦合,提高模拟精度。但大气模式和海洋模式的耦合将占用大量计算资源,导致模拟效率低下。

最终模拟所得风暴潮总水位高度包含天文潮高度和风暴潮增水相叠加高度。而大潮高潮位与风暴潮增水叠加时易形成超高水位。北部湾最高潮位出现在10月28日18:00左右,滞后于最大风速出现时间10月28日9:00(图4~5),因此台风“山神”期间并未出现历史极端高潮位事件。如果台风“山神”提早3 d或推迟5 d登陆,与大潮高潮位叠加,将造成“两碰头”的局面,水位可瞬间提高1 m以上,将严重增加广西沿岸洪水风险。北部湾大陆架宽浅是造成风暴潮增水的另一个重要因素。地形顶托与摩擦作用易形成潮水和增水间的强烈非线性效应。最大非线性效应出现在北部湾东侧靠近琼州海峡一侧,当地平均水深仅25 m,而潮差和增水高度分别在4 m和3 m以上。因此,天文潮与风暴潮增水交互作用非线性叠加过程既受到潮位和波浪间质量和动量传递作用,又受到底摩擦和科式力作用,是一个复杂的迭代解算过程。

4 结论

台风影响下重点区域极值水位模拟、台风登陆后水位变化模拟和地面淹没模拟仍然具有挑战性。本文基于大气-潮汐-波浪耦合数值模拟方法,采用实测北部湾水下地形和全球发布南海地形数据设计了风暴潮增水数值模型系统,实现北部湾及附近海域风浪、增水和水位模拟。结果表明台风期间北部湾水位变化主要受天文潮波动和风暴潮增水变化影响。本研究意在突破北部湾现有模型局限性,为进一步深化北部湾科学研究和工程应用提供基础数据。本文设计模型的优点是简单有效、区域嵌套和模拟精度高,能够满足一般性台风风浪、增水模拟的后报和预报工作需要。

参考文献

[1] HINKEL J, JAEGER C, NICHOLLS R J, et al. Sea-level rise scenarios and coastal risk management [J]. *Nature*

Climate Change, 2015, 5(3):188-190.

- [2] ARNS A, WAHL T, DANGENDORF S, et al. The impact of sea level rise on storm surge water levels in the northern part of the German Bight [J]. *Coastal Engineering*, 2015, 96:118-131.
- [3] KARIM M F, MIMURA N. Impacts of climate change and sea-level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh [J]. *Global Environmental Change*, 2008, 18(3):490-500.
- [4] WANG J, GAO W, XU S, et al. Evaluation of the combined risk of sea level rise, land subsidence, and storm surges on the coastal areas of Shanghai, China [J]. *Climatic Change*, 2012, 115(3/4):537-558.
- [5] GOFF J A, SWARTZ J M, GULICK S P S, et al. An outflow event on the left side of Hurricane Harvey: Erosion of barrier sand and seaward transport through Aransas Pass, Texas [J]. *Geomorphology*, 2019, 334:44-57.
- [6] PORE N A. The relation of wind and pressure to extratropical storm surges at Atlantic city [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1964, 3(2):155-163.
- [7] 周国良, 张建云, 岳智慧. 西北太平洋热带风暴活动及其影响[J]. *水科学进展*, 1999, 10(4):399-404.
- [8] EMANUEL K A. The dependence of hurricane intensity on climate [J]. *Nature*, 1987, 326(6112):483-485.
- [9] 伍志元, 蒋昌波, 邓斌, 等. 基于海气耦合模式的南中国海北部风暴潮模拟[J]. *科学通报*, 2018, 63(33):3494-3504.
- [10] THOMAS A, DIETRICH J C, ASHER T G, et al. Influence of storm timing and forward speed on tides and storm surge during hurricane Matthew [J]. *Ocean Modelling*, 2019, 137:1-19.
- [11] ZHANG M, TOWNEND I, CAI H, et al. The influence of seasonal climate on the morphology of the mouth-bar in the Yangtze Estuary, China [J]. *Continental Shelf Research*, 2018, 153:30-49.
- [12] 王璐阳, 张敏, 温家洪, 等. 上海复合极端风暴洪水淹没模拟[J/OL]. *水科学进展*, [2019-12-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20190606.1058.026.html>.
- [13] WAHL T, JAIN S, BENDER J, et al. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities [J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(12):1093-1097.
- [14] SHEN Y, DENG G, XU Z, et al. Effects of sea level rise on storm surge and waves within the Yangtze River estuary [J]. *Frontiers of Earth Science*, 2019, 13

- (2):303-316.
- [15] FERRARIN C,ROLAND A,BAJO M, et al. Tide-surge-wave modelling and forecasting in the Mediterranean Sea with focus on the Italian coast [J]. *Ocean Modelling*,2013,61:38-48.
- [16] EBERSOLE B A,WESTERINK J J,BUNYA S, et al. Development of storm surge which led to flooding in St. Bernard Polder during hurricane Katrina [J]. *Ocean Engineering*,2010,37(1):91-103.
- [17] 蒋昌波,赵兵兵,邓斌,等. 北部湾台风风暴潮数值模拟及重点区域风险分析[J]. *海洋预报*,2017,34(3):32-40.
- [18] 邹怡杰,张建球,夏波,等. 北部湾海域风-浪-流耦合模式及其应用[J]. *西部交通科技*,2018(5):167-171.
- [19] HOLLAND G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes [J]. *Monthly Weather Review*,1980,108(8):1212-1218.
- [20] HERVOUET J. TELEMAC modelling system: An overview [J]. *Hydrological Processes*,2000,14(13):2209-2210.
- [21] EDF R D S. TOMAWAC software for sea state modelling on unstructured grids over oceans and coastal seas [Z]. Release 6.1. France: EDF R&D, 2011.
- [22] JIA L,WEN Y,PAN S, et al. Wave-current interaction in a river and wave dominant estuary: A seasonal contrast [J]. *Applied Ocean Research*,2015,52:151-166.
- [23] ZHANG M,TOWNEND I H,CAI H, et al. Seasonal variation of tidal prism and energy in the Changjiang River estuary: A numerical study [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*,2016(1):219-230.
- [24] ZHANG M,TOWNEND I,ZHOU Y, et al. Seasonal variation of river and tide energy in the Yangtze estuary, China [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*,2016,41(1):98-116.

Study on the Coupled Numerical Simulation of Storm Surge and Wind Wave in Beibu Gulf

ZHANG Min^{1,2}, MI Jie², ZHAO Zhenyu², ZHU Donglin¹, CHEN Bo¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Beibu Gulf Marine Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 2. School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai, 200234, China)

Abstract: Storm surges and wind waves induced by typhoon are the two important factors causing flooding disaster and economic loss in the coastal lowlands. In this paper, a regional nesting and wave-current coupling finite element numerical modeling system was designed to effectively simulate the storm surges and wind waves in Beibu Gulf and surrounding water, and the accuracy meets requirements of the application. The results show that wind waves and storm surges has been significantly increased under the influence of typhoon in Beibu Gulf. The wind wave in the center of typhoon is small, only within 1 m, while the wind wave of the typhoon arm sweeping over the sea is larger, up to 9 m. The largest storm surge area appears on the eastern side of Beibu Gulf near Qiongzhou Strait, which can reach 2.5 m. The superposition of wind wave and storm surge has a nonlinear effect. If the maximum increase of storm surge coincides with the peak wind waves, a super high water level will appear when they meet with the high tide level, which will cause a great risk of flooding to the lowlands along Beibu Gulf. The purpose of this paper is to break through the limitations of existing models in Beibu Gulf and provide basic data for further deepening scientific research and engineering applications.

Key words: storm surge, numerical modelling, model coupling, Beibu Gulf

责任编辑: 陆 雁