

2013 年尤特台风引起南海粤西水域陆架陷波的观测与模拟

文先华¹, 曹雪峰², 王璐³, 侍茂崇³, 石洪源⁴, 丁扬^{5*}

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 国家海洋环境监测中心 辽宁 大连 116023;
3. 中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛 266100; 4. 鲁东大学土木工程学院, 山东 烟台 264000;
5. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要:利用 FVCOM 数值模式, 模拟了 2013-08 的尤特台风在南海西北部引起的增减水过程, 通过局地风与余水位分布的相关分析, 发现尤特台风在南海西北部陆架激发出了西南向传播的陆架陷波。超强台风尤特, 进入南海之后, 首先在台湾海峡西口引起陆架陷波, 沿着广东海岸深度浅于 100 m 的水域向西传播, 开始由于台湾浅滩的影响, 传播速度很慢, 只有 1.5 m/s, 越过浅滩后, 传播速度增加到 7.8 m/s, 对广东沿海和海南岛东部沿海增水有着重要影响。雷州半岛 08-14 的增水, 并不是由该海域海面风场直接吹刮引起的。08-12-14, 局域的平均风速和风向都是利于该区域减水而不是增水。

关键词:雷州半岛; 余水位; 陆架陷波; 数值计算

中图分类号: P731.23

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2017)02-0200-10

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2017.02.005

陆架陷波是陆架地形和地球自转联合作用, 能量明显地集中在大陆架上, 频率低于惯性频率的沿海岸传播的一种长波。北半球海岸在陆架波传播方向的右边, 南半球海岸在陆架波传播方向的左边。它们的振幅, 由海岸向陆架边缘递减。小仓义光认为它与陆架波就是地形 Rossby 波^[1]。Gill 的大气海洋动力学里说是“同时具有开尔文波和陆架波特征的混合波动”^[2]。

陆架陷波对陆架区的环流有重要的作用, 尤其是对时间尺度大于惯性周期的流动非常重要。在陆架边缘区域由风驱动的很多变化特征可以从陆架陷波的角度来解释。Brink^[3]对陆架陷波产生、演变有过深刻阐述。

几乎全球所有的陆架区都存在这种特殊的波动, 而对由热带气旋(台风或飓风)引起的陆架陷波的研究相对较少。Merrifield 对平行于南加利福尼亚沿岸移行的飓风引起的陆架波进行了研究^[4], 在此基础上又进行数值模拟研究^[5]。Eliot 和 Pattiaratchi^[6]通过分析澳大利亚西北部 1988—1998 年所有的热带气旋资料, 探讨了澳大利亚西南部沿岸的水位对这些热带气旋的响应, 并分析了产生陆架陷波的传播速度和衰减特征。

Thiebaut 和 Vennell^[7]利用小波分析和交叉小波分析的方法对加拿大东部海岸验潮站的水位数据进行了分析, 并对两次飓风引起的陆架陷波进行了细致的研究。在分析观测资料的基础上, 也有很多学者对热带气旋引起的陆架陷波进行了数值模拟研究。Igeta 等^[8]利用 ADCP 观测资料和一个三维数值模式对两次台风在日本本州东南沿岸引起的陆架陷波的产生和传播过程进行了研究, 结果表明两次台风引起的陆架陷波特征的差异主要与台风的路径有关。Zamudio 等^[9]在一个全球(1/16)°实时预报系统的基础上对飓风 Juliette 在墨西哥西海岸引起的 2 个陆架陷波的演变进行了模拟和研究。Martinez 和 Allen^[10-11]利用一个三

收稿日期: 2016-04-10

资助项目: 国家自然科学基金项目——黄海暖流形态与变化对暖舌结构影响的动力机制研究(41430963); 中国博士后科学基金面上资助项目——北部湾环流的年际变化及其对气候变化的响应(2015M582133)

作者简介: 文先华(1983-), 男, 广西贺州人, 工程师, 主要从事海岸港口水文分析方面研究。E-mail: bula777@163.com

* **通信作者:** 丁扬(1984-), 男, 山东日照人, 讲师, 博士, 主要从事物理海洋学方面研究。E-mail: dingyangpol@ouc.edu.cn

(王 燕 编辑)

维数值模式对加利福尼亚湾中陆架陷波的传播特征进行了模拟和分析。Zamudio等^[12]利用两套具有不同分辨率网格的HYCOM模型研究了加利福尼亚湾上层海洋对飓风Juliette的响应,并模拟和分析了飓风Juliette激发的陆架陷波的传播特征。

在中国近海对热带气旋引起的陆架陷波的研究尚少。王佳等^[13]应用二维正压模式模拟了冬季黄、东海的陆架陷波与环流。针对南海的陆架陷波研究,李立^[14-15]对于南海的陆架陷波的研究则是通过沿岸的验潮站水位观测数据进行分析。丁洋等^[16]利用FVCOM模式,基于实测水位,模拟比较了1990年夏季的台风过程和冬季的寒潮大风过程,指出陆架陷波沿岸向西南传播,速度为5.5~17.9 m/s,汕尾至闸坡站波动传播速度快于厦门至汕尾站。

冬季观测的水位变化与沿岸风分量相关性较好,而且波动的周期性与台风季节相比更加明显。近岸环流的流速为几至几十厘米每秒,而陆架陷波引起的余流流速可以达到1 m/s左右,这对于陆架环流或陆架水体运输的改变是至关重要的。

本文利用FVCOM数值模型对南海北部沿岸由2013年的Utor台风(尤特)引起的陆架陷波进行了模拟和研究。确定了Utor台风过程激发了陆架陷波,并在沿岸形成西南向流动,其传播过程对于近岸的物质运输、环流变化都有重要影响。

1 数值模式

本文采用三维有限体积数值模式FVCOM^[17-18],该模式采用无结构化三角形网格系统,在处理复杂岸线以及多岛屿情况时,具有较强的优势。垂直方向为了更好地拟合复杂的海底地形,采用 σ 坐标变换,能够比较理想地模拟出上、下边界层。另外,模式利用二维外模与三维内模相分离的数值离散方法提高计算效率。

1.1 基本方程

动量和温、盐、密度方程为^[19]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial u^2H}{\partial x} + \frac{\partial uvH}{\partial y} + \frac{\partial u\omega}{\partial \sigma} - f_vH = \\ & -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gH}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} (H \int_{\sigma}^0 \rho' d\sigma') + \sigma \rho' \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial u}{\partial \sigma}) + HF_x, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial vH}{\partial t} + \frac{\partial uvH}{\partial x} + \frac{\partial v^2H}{\partial y} + \frac{\partial v\omega}{\partial \sigma} + fuH = \\ & -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gH}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial y} (H \int_{\sigma}^0 \rho' d\sigma') + \sigma \rho' \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial v}{\partial \sigma}) + HF_y, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial TH}{\partial t} + \frac{\partial TuH}{\partial x} + \frac{\partial TvH}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial T}{\partial \sigma}) + HF_T, \quad (3)$$

$$\frac{\partial SH}{\partial t} + \frac{\partial SuH}{\partial x} + \frac{\partial SvH}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial S}{\partial \sigma}) + HF_S, \quad (4)$$

$$\rho = \rho(T, S). \quad (5)$$

式中, u, v, w 分别为 x, y 和 z 方向上的水平速度东分量、北分量以及垂向 σ 坐标下的速度; H 为总水深,其为平均水深 h 与海表面起伏 ζ 之和; g 为重力加速; f 为科式参量; K_m 为垂向涡动黏性系数; K_h 为垂向热扩散系数; F_u, F_v 代表水平动量扩散项; F_T 和 F_S 分别代表热扩散项和盐度扩散项; ρ 为海水的总密度,其为海水平均密度 ρ_0 与上扰动密度 ρ' 之和; T 为温度; S 为盐度。

海表面边界条件和海底面边界条件为

$$\text{当 } \sigma = 0, \quad \begin{cases} \frac{\rho_0 K_m}{H} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{sx}, \tau_{sy}); \\ \omega = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{当 } \sigma = -1, \quad \begin{cases} \frac{\rho_0 K_m}{H} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by}) \\ \omega = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, (τ_{sx}, τ_{sy}) 和 (τ_{bx}, τ_{by}) 分别为 x 和 y 方向上的海表面风应力和底摩擦。风应力的计算公式为

$$\vec{\tau}_s = C_d \rho_a |\vec{V}_w| \vec{V}_w, \quad (8)$$

式中, ρ_a 为空气密度; V_w 为风速; C_d 为拖曳系数, 计算方法如下^[20]

$$C_d \times 10^3 = \begin{cases} 1.2 & |\vec{V}_w| \leq 11.0 \text{ m/s} \\ 0.49 + 0.065 |\vec{V}_w| & 11.0 \text{ m/s} < |\vec{V}_w| \leq 25.0 \text{ m/s} \\ 2.1 & |\vec{V}_w| > 25.0 \text{ m/s} \end{cases} \quad (9)$$

底摩擦计算公式为

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = C_z \rho_w \sqrt{u^2 + v^2} (u, v), \quad (10)$$

式中, ρ_w 为海水密度; C_z 为底摩擦系数, 计算公式为

$$C_z = \max \left[\frac{\kappa^2}{\ln \left(\frac{z_{ab}}{z_0} \right)^2}, 0.0025 \right], \quad (11)$$

式中, Von Karman 常数 $\kappa = 0.4$; z_{ab} 为近底层的 σ 层厚度; z_0 为底粗糙度。

1.2 模型区域和网格

我们研究的重点区域为南海北部, 因此模型区域覆盖南海北部陆架, 包括台湾海峡和北部湾。模型区域水深及网格分布如图 1 所示。模型分辨率在近岸为 5 km, 开边界附近为 50 km, 水平方向共有 18 913 个节点, 36 692 个三角形单元。模型垂向均分为 25 层。水深资料来源于美国海军的 BDBD5 水深数据资料集。

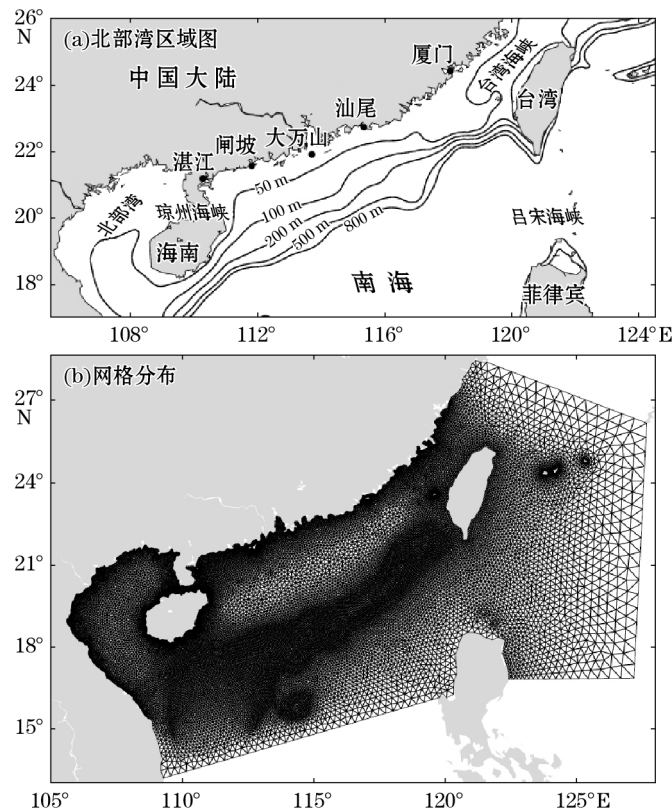


图 1 研究区域水深及网格分布

Fig.1 The bathymetry and model mesh of the study domain

1.3 模型强迫场和初始条件

风产品来自 NECP 气候预报系统(CFSv2),时间分辨率为 1 h,空间分辨率可达 0.2° 的海面 10 m 高度风场。该产品可以以很高的精度捕捉热带气旋的运动,台风路径来自 NOAA 的 Historical Hurricane Tracks (<http://coast.noaa.gov/hurricanes/?redirect=301ocm#app=3935&81d2-selectedIndex=1>)

1.4 初始条件

模型从静止开始启动,开边界水位驱动采用全球潮汐模型 TPXO 7.2 预测 $K_1, O_1, P_1, Q_1, M_2, S_2, N_2, K_2$ 八个分潮调和常数并使用 T_Tide 预报水位,垂向采用 Sigma 坐标以更好地拟合地形,初始温、盐场采用 HYCOM 日平均分辨率为 $1/12^\circ$ 的全球温、盐同化数据。外模时间步长 6 s,内模时间步长 60 s,采用内外模分离算法提高计算效率。模式运行时间设置为 06-10—09-10。

2 使用资料

2.1 观测站位与时限

交通运输部天津水运工程科学研究所/天津水运工程勘察设计院于 2012-08-25—2013-08-31 期间,因工程需要,在雷州半岛东部 3 个测点开展了潮位、波浪周年观测。观测站位如图 1 所示。

周年潮位观测:共布设 3 个潮位观测站,编号 T1(新寮站)、T2(下洋站)、T3(外海站),站点海图水深分别为 5,5 和 18 m。观测时间间隔为 10 min,每次采样时间 1 min。使用 KELLER 自容式潮位仪(DCX-22)进行潮位测量,测量范围:0~20 m,测量精度:满量程的 $(\pm 0.05)\%FS$ 。

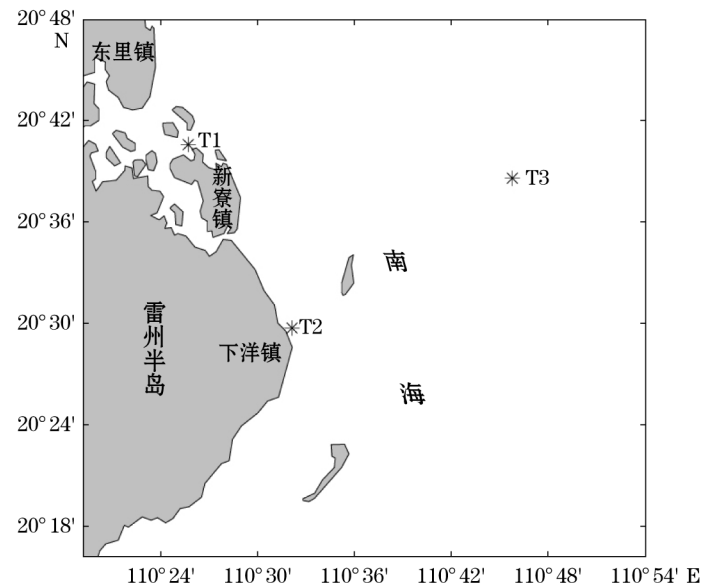


图 2 3 个潮位观测站

Fig.2 Three tidal gauge stations on the east of Naozhou island

2.2 超强台风“尤特 Utor”

“尤特”于 2013-08-09 在马尼拉以东约 1 350 km 的太平洋上形成,初时向西移动,10 日凌晨增强为热带风暴,08-11 早上发展成为强台风,08-12 上午进入南海。“尤特”在移动过程中,强度不断加强,于 08-14T15:50 在广东省阳江市阳西县溪头镇沿海登陆,登陆时中心附近最大风力 14 级(42 m/s),中心最低气压值为 955 hPa。

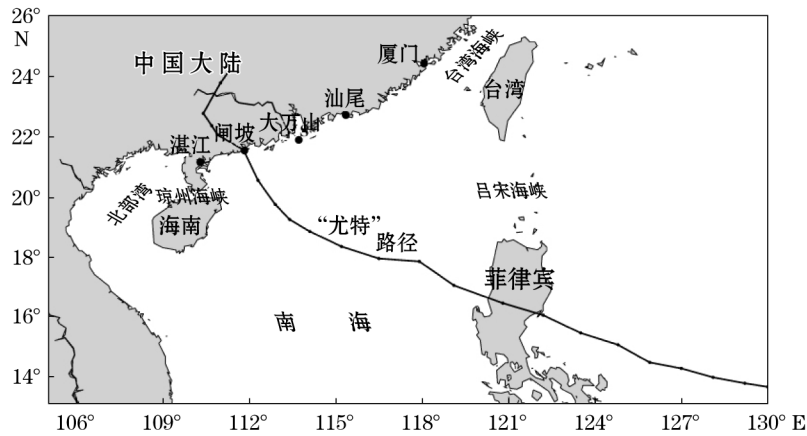


图 3 超强台风“尤特”路径

Fig.3 The path of super typhoon Utor

2.3 计算结果及分析

2.3.1 风场

本文绘制了 Utor 台风期间的典型时刻风场(图 4),同时给出观测点附近海洋站—硃洲站实测风速风向资料(表 1)。硃洲站距观测点约 30 km,从图、表对照中可以看出,计算结果和实测资料相比是比较吻合的。

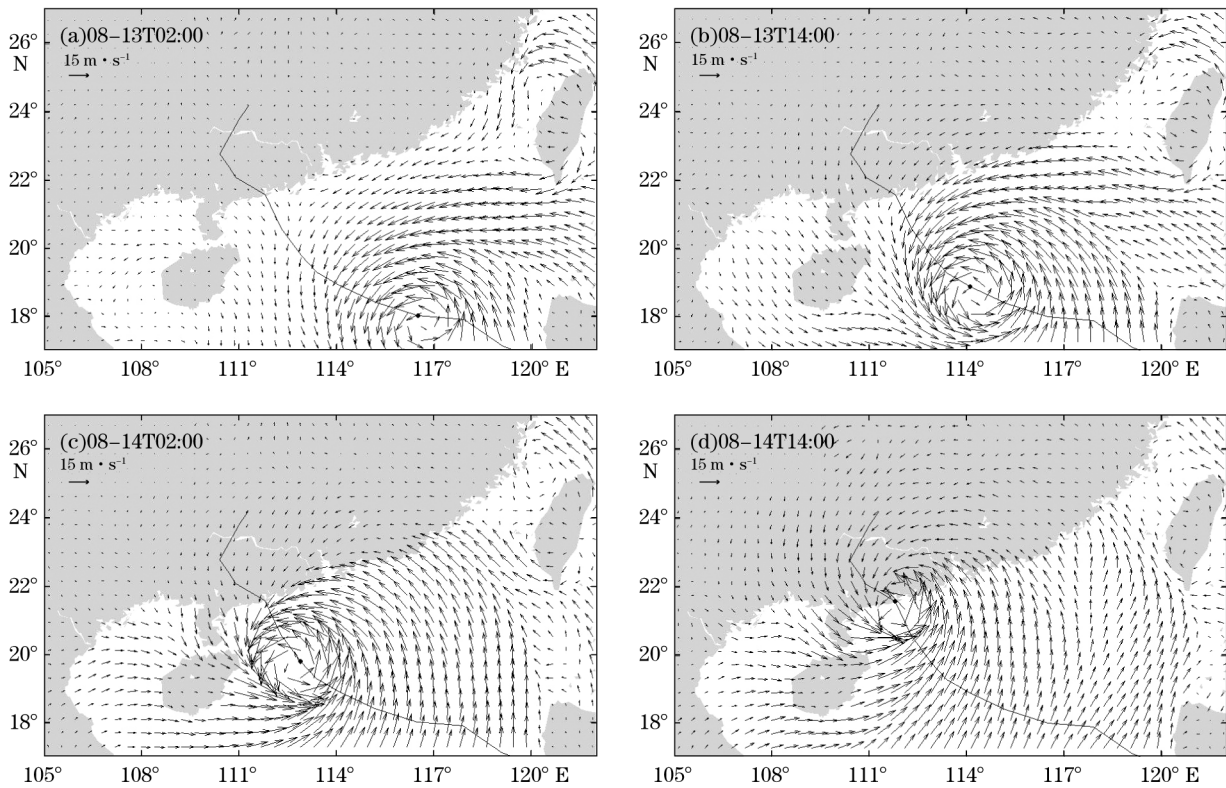


图 4 08-13T02:00—08-14T14:00 风场

Fig.4 The 12-hourly wind fields of super typhoon Utor between 02:00 13 Aug. and 14:00 14 Aug.

表 1 硃洲站实测风速和风向

Table 1 Observed wind velocity and direction of Naozhou island

| <i>t</i> | 02:00 | | 08:00 | | 14:00 | | 20:00 | |
|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|
| | 风速 /m·s ⁻¹ | 风向 /° | 风速 /m·s ⁻¹ | 风向 /° | 风速 /m·s ⁻¹ | 风向 /° | 风速 /m·s ⁻¹ | 风向 /° |
| 08-12 | 2.3 | 75 | 1.7 | 22 | 4.8 | 103 | 0.2 | 5 |
| 08-13 | 0.9 | 265 | 2.3 | 289 | 2.9 | 329 | 2.0 | 319 |
| 08-14 | 3.2 | 304 | 3.4 | 390 | 7.9 | 274 | 9.8 | 273 |
| 08-15 | 3.0 | 274 | 1.9 | 268 | 1.2 | 254 | 0.8 | 260 |

2.3.2 计算余水位

通过 FVCOM 的模式获取的水位数据,经过剔除潮汐、气压订正和低通滤波处理。其中,剔除潮汐采用 T_Tide 工具箱^[21];气压订正采用 CFSv2^[22](2010 年至今)时间分辨率为 1 h、空间分辨率为 0.5°的覆盖全球的海表面气压数据对观测的水位数据进行气压订正,订正后的水位变化为^[23] $\eta = 0.99\Delta P + \eta_0$,其中, ΔP 为海表面气压变化(mbar), η_0 为观测水位(cm), η 为订正后的水位(cm);低通滤波采用 Lanczos 滤波器 40 h,可以一并滤掉南海的惯性震荡。绘制的典型时刻的余水位场(图 5)可以清晰地显示陆架波的发生和传播过程。规律如下:

1)08-12T20:00—13T02:00,当超强台风还在菲律宾西部 350 km 的南海上空盘旋时,其周围风场已经影响到台湾海峡。在台湾海峡西部沿着海岸方向出现西南风,由于 Ekman 输运,在岸边建立高水位,激发了陆架波。开始以 1.5 m/s 速度自东北向西南传播;

2)到了 08-13T14:00,陆架陷波波峰已经到珠江口香港外面,增水达 0.65 m 以上,平均传播速度 7.8 m/s;

3)08-14T02:00,陆架陷波已经传到粤西茂名附近,最大增水 1.2 m,前锋已经抵达雷州半岛东部和海南岛东部大部分近岸水域;

4)08-14T08:00,观测站点附近增水达到 0.6 m 以上,陆架陷波前锋已经达到海南岛东部的南端;

5)08-14T14:00,陆架陷波显著衰弱,雷州半岛东部余水位降至 0.1~0.3 m。

2.3.3 观测的余水位验证

图 6 是观测的水位经过潮汐滤波后的观测余水位与 FVCOM 模拟的 T2 站后处理数据结果,模式方面可能由于未考虑波浪增水、波流相互作用、潮汐和风暴潮的非线性相互作用等欠缺的机制因素,并且受限于上边界强迫的后报风场和气压场的时间和空间精度,波谷的观测超出计算结果。由图可知:08-13T20:00 后余水位开始升高,持续到 14T12:00,然后迅速降低,到 16:00 左右已经接近正常,到 24:00,余水位降到最低值。整个增水过程与计算结果非常一致。至于降低幅度如此之大(T1 站降低 0.84 m,T2,T3 站也降低到 0.5,0.6 m),这可能与西风减水有关(表 1)。

特别要指出的是,雷州半岛 08-14 的增水,并不是由该海域海面风场直接吹刮引起的。根据硃洲岛直接观测资料显示,12 日,平均风速 2.5 m/s,平均风向 51°;13 日,平均风速 2.0 m/s,平均风向 300°;14 日,平均风速 6.1 m/s,平均风向 310°,都是利于该区域减水而不是增水。由此可见,从台湾海峡传来的陆架陷波,才是导致 08-14 前后增水的主要机制。

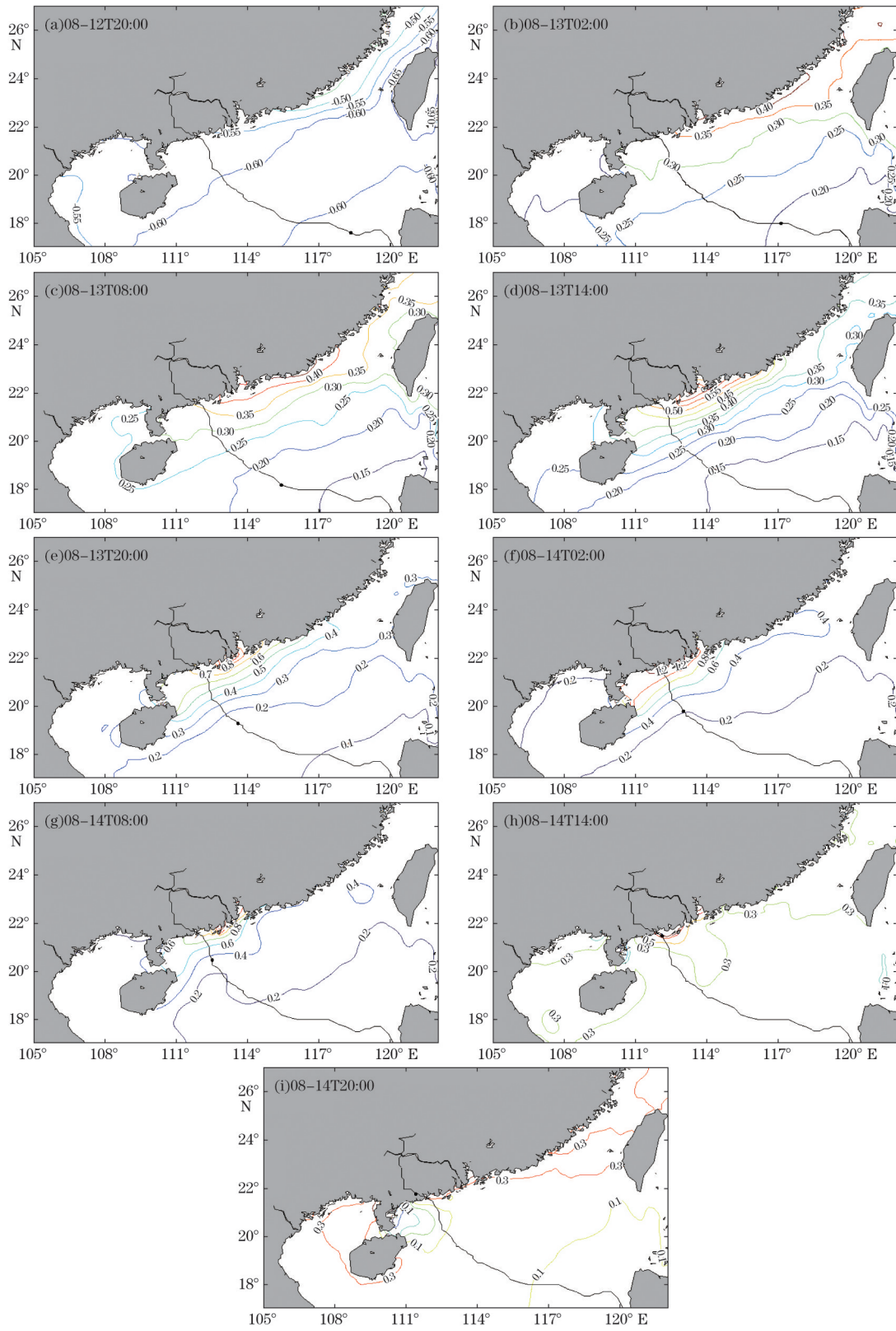


图5 08-12T20:00—14T20:00 台风 Utor 引起的陆架波动和余水位场(m)

Fig.5 Coastal trapped wave and sea surface height anomaly(m) along the northern coast of the South China Sea associated with typhoon Utor between 20:00 12 Aug. to 20:00 14 Aug.

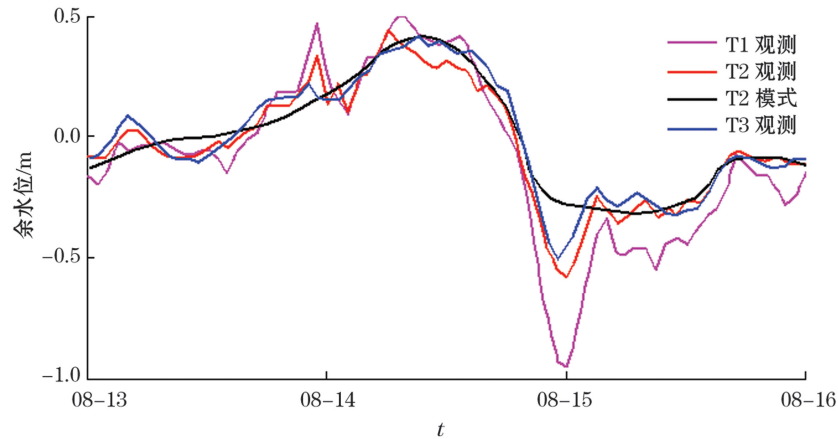


图6 观测点 T1, T2 和 T3 的余水位

Fig.6 Observed sea surface height anomaly of T1, T2 and T3

3 结 论

1) 超强台风尤特, 在从粤西水东湾登陆之前 2 d, 首先在台湾海峡之西引起正的余水位, 然后以陆架陷波形式沿着广东海岸外面深度浅于 100 m 的水域向西传播, 开始由于台湾浅滩的影响, 传播速度很慢, 只有 1.5 m/s, 越过浅滩后, 传播速度增加到 7.8 m/s。对广东沿海和海南岛东部沿海增水有着重要影响, 也是我们在雷州半岛东部 3 个临时潮位和波浪观测站直接观测的 0.5 m 增水的主要原因;

2) 实际观测和数值计算结果对比表明, 无论增水时段还是增水量值, 两者基本吻合; 只是 15T00:00 降水幅度如此之大(T1 站降低 0.84 m, T2, T3 站也降低到 0.5, 0.6 m), 超过模式的波谷计算结果, 这可能与西风减水有关。

3) 雷州半岛 08-14 的增水, 并不是由该海域海面风场直接吹刮引起的。根据硃洲岛直接观测资料显示, 12 日, 平均风速 2.5 m/s, 平均风向 51°; 13 日, 平均风速 2.0 m/s, 平均风向 300°; 14 日, 平均风速 6.1 m/s, 平均风向 310°, 都利于该区域减水而不是增水。

参考文献(References):

- [1] OGURA Y. An introduction to dynamic meteorology[M]. Translated by HUANG R H. Beijing: Science Press, 1981. 小仓义光. 大气动力学原理[M]. 黄荣辉, 译. 北京: 科学出版社, 1981.
- [2] GILL A E. Atmosphere-ocean dynamic[J]. USA: Academic Press, 1982, 31(3): 345-346.
- [3] BRINK K H. Coastal-trapped waves and wind-driven currents over the continental shelf[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 1991, 23(1): 389-412.
- [4] MERRIFIELD M. A comparison of long coastal-trapped wave theory with remote storm generated wave events in the Gulf of California [J]. Journal of Physical Oceanography, 1992, 22: 5-18.
- [5] MERRIFIELD M A, YANG L, LUTHER D S. Numerical simulations of a storm-generated island-trapped wave event at the Hawaiian Islands[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 107(C10): 1-33.
- [6] ELIOT M, PATTIARATCHI C. Remote forcing of water levels by tropical cyclones in southwest Australia[J]. Continental Shelf Research, 2010, 30: 1549-1561.
- [7] THIEBAUT S, VENNEL R. Observation of a fast shelf wave generation by a storm impacting Newfoundland using wavelet and cross-wavelet analyses[J]. Journal of Physical Oceanography, 2010, 40: 417-428.
- [8] IGETA Y, KITADE Y, MATSUYAMA M. Characteristic of coastal-trapped waves induced by typhoon along the south east coast of Honshu, Japan[J]. Journal of Oceanography, 2007, 63: 745-760.

- [9] ZAMUDIO L, HURLBURT H E, METZGER E J, et al. On the evolution of coastally trapped waves generated by Hurricane Juliette along the Mexican West Coast[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(23): 2123-2141.
- [10] MARTINEZ J A, ALLEN J S. A modeling study of coastal-trapped wave propagation in the gulf of California. Part I: response to remote forcing[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2004, 34(6): 1313-1331.
- [11] MARTINEZ J A, ALLEN J S. A modeling study of coastal-trapped wave propagation in the gulf of California. Part II: response to idealized forcing[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 2004, 34(6): 1332-1349.
- [12] ZAMUDIO L, METZGER E J, HOGAN P J. Gulf of California response to Hurricane Juliette[J]. *Ocean Modelling*, 2010, 33: 20-32.
- [13] WANG J, YUAN Y L, PAN Z D. The numerical study and analysis of coastal trapped waves[J]. *Haiyang Xuebao*, 1988, 10(6): 666-677. 王佳, 袁业立, 潘增第. 陆架波的数值研究及分析[J]. *海洋学报*, 1988, 10(6): 666-677.
- [14] LI L. A initial study of winter subtidal sea level fluctuation in Taiwan Strait[J]. *Haiyang Xuebao*, 1989, 11(3): 275-283. 李立. 台湾海峡冬季亚潮频水位波动的初步研究[J]. *海洋学报*, 1989, 11(3): 275-283.
- [15] LI L. A study of winter subtidal sea level fluctuation along the northern coast of the South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 1993, 12(3): 52-60. 李立. 南海北部沿岸冬季水位亚潮波动特征研究[J]. *热带海洋*, 1993, 12(3): 52-60.
- [16] DING Y, BAO X W, SHI M C. Characteristics of coastal trapped waves along the northern coast of the South China Sea during year 1990[J]. *Ocean Dynamics*, 2012, 62: 1259-1285.
- [17] CHEN C S R, LIU H, BEARDSLEY R C. An unstructured grid, finite volume primitive equation coastal ocean model: application to coastal ocean and estuaries[J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2003, 20: 159-186.
- [18] CHEN C S, BEARDSLEY R C, COWLES G. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM user manual, second edition[J]. *Oceanography*, 2006, 19(1): 78-89.
- [19] CHEN C S, HUANG H S, BEARDSLEY R C, et al. A finite volume numerical approach for coastal ocean circulation studies: comparisons with finite difference models[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112: 1-34.
- [20] LARGE W G, POND P. Open ocean momentum fluxes measurements in moderate to strong winds[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1981, 11(3): 324-336.
- [21] THOMPSON R O R Y. Low-pass filters to suppress inertial and tidal frequencies[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1983, 13(6): 1077-1083.
- [22] Computational and Information Systems Laboratory. NCEP climate forecast system version 2 (CFSv2) selected hourly time-series products[DB/OL]. [2016-04-10]. <http://dx.doi.org/10.5065/D6N877VB>.
- [23] SCHUMANN E, BRINK K H. Coastal-trapped waves off the coast of South Africa: generation, propagation and current structures[J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1990, 20(8): 1206-1218.

The Coastal Trapped Waves Stimulated by the Typhoon Utor in the Year 2013 at the West of Offshore Guangdong in the South China Sea: Observations and Numerical Modelling

WEN Xian-hua¹, CAO Xue-feng², WANG Lu³, SHI Mao-chong³, SHI Hong-yuan⁴, DING Yang⁵

(1. *Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T, Tianjin 300456, China;*

2. *National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China;*

3. *College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;*

4. *School of Civil Engineering, Ludong University, Yantai 264000, China;*

5. *Key Laboratory of Physical Oceanography, MOE, China, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)*

Abstract: Sea level fluctuations of several days induced by typhoons have significant influence on the mass transportation and the variation in the circulation in the coastal areas. This paper simulated the process of sea level fluctuations at the northwest shelf of the South China Sea produced by typhoon Utor in the August of 2013, with the numerical model FVCOM. Through analyzing the relationship between local winds and sea level fluctuations, it was found that the Utor stimulated the southwestward propagating coastal trapped waves (CTW) in the west mouth of Taiwan Strait after entering the South China Sea in the August of 2013. The CTW propagated westward at the depths shallower than 100 m along the coast area of Guangdong Province. At the beginning, the velocity of the propagation was only 1.5 m/s as a result of the Taiwan Shoal. After passing the Shoal, the CTW's propagating velocity sped up to 7.8 m/s, and it has played an important role in the coastal sea level rise of both Guangdong and Hainan provinces. While the sea level rise of Leizhou peninsula on 14 of August, was not caused by the local winds, because the local wind speed and direction were both favorable to the sea level reduction rather than increase on 12th, 13th and 14th of the month.

Key words: Leizhou Peninsula; residual sea level; coastal trapped waves; numerical simulation

Received: April 10, 2016