

温州洞头中心渔港精细化浪潮耦合数值预报系统研究

刘秋兴^{1,2}, 李明杰¹, 吴玮³, 付翔¹, 李涛¹, 刘仕潮¹, 吴少华¹

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098;
3. 浙江省海洋监测预报中心, 浙江 杭州 310007)

摘 要: 浙江温州沿海是我国台风风暴潮灾害的重灾区之一。本文基于目前国际上广泛应用的浪潮耦合模型(ADCIRC+SWAN),在洞头中心渔港附近建立了高分辨率的天文潮、风暴潮和近岸浪耦合数值预报系统。该系统综合考虑了天文潮、风暴潮和海浪的实时相互作用,系统对温州及洞头渔港区域的水平分辨率在100 m左右。通过近年来对温州洞头地区影响严重的台风风暴潮(含近岸浪)过程的后报模拟可以看到,该系统均能够较好的模拟天文潮的演进,准确的反映台风过程期间风暴潮、海浪的传播过程,精细化浪潮耦合预报系统采用了Matlab+GUI方式实现了计算结果的人机交互展示。

关键词: 台风风暴潮;天文潮;近岸浪;洞头渔港

中图分类号: P731.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2015)06-0010-09

1 引言

浙江温州沿海是我国风暴潮和近岸浪灾害的重灾区,温州海洋站观测数据表明:近30年来,温州海洋站共出现了4次高潮位超过当地警戒潮位80 cm(达到红色预警级别)的风暴潮过程,分别为9216号台风风暴潮过程、9417号台风风暴潮过程、9608号台风风暴潮过程和1323号台风风暴潮过程。严重的台风风暴潮和近岸浪灾害过程给沿岸造成了巨大的经济损失和人员伤亡,仅1323号台风风暴潮过程期间,浙江鳌江站出现378 cm的风暴增水,高潮位超过当地警戒潮位148 cm,为历史最高潮位,此次严重的风暴潮和海浪灾害致使浙江省受灾人口超过600万人,直接经济损失23.38亿元^[1],其中主要损失发生在温州市境内。洞头中心渔港作为浙南最大的天然渔港,也是被农业部批准的国家级中心渔港和温州市唯一的区域性中心渔港,该渔港的安全运营关系着温州市海洋经济的健康发展。因此开展针对于洞头渔港附近的精细化风暴潮、天文潮和

近岸浪耦合数值预报系统研究对温州地区的海洋产业健康发展和防灾减灾工作有着十分重要的意义。

风暴潮和海浪过程相伴相生,相互影响,相互作用。特别是在近岸区域,强风过程引起海水向岸堆积,造成了水位和流速发生的急剧变化,从而引起波高等波要素的变化,而近岸波高特别是破碎区域波高的变化又会以辐射应力的形式传递到水体,引起近岸水位和水流的变化。潮汐引起的水位变化也会影响风暴潮和海浪的成长。国内外不少学者为了更准确的模拟和展现近岸水动力过程,在各要素耦合和可视化方面做了一些积极探索。Dietrich等^[2]采用ADCIRC+SWAN(Advanced circulation model for oceanic, coastal and estuarine waters + Simulating Waves Nearshore)模型模拟了Katrina和Rita飓风引起的风暴潮和海浪过程;Xie等^[3]耦合了POM模型和SWAN模型研究飓风hugo期间风暴潮漫滩效应;Feng等^[4]采用耦合器耦合了ROMS模型和SWAN模型,研究了在台风桑美过程中波浪辐射应力对风暴潮的影响;尹宝树等^[5]基于改进的WAM

收稿日期: 2015-04-10

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项“海洋预报业务化系统模块化构建与应用示范”(201205017)

作者简介: 刘秋兴(1982-),男,硕士,助理研究员,主要从事风暴潮的预警报和研究工作。E-mail: lqx@nmefc.gov.cn

模型和三维风暴潮模型建立了渤海浪潮耦合数值模型;黄世昌等^[6]采用MIKE21软件在杭州湾建立了天文潮和风暴潮耦合模型;姜倩等^[7]采用ECOM和SWAN耦合,建立了适用于深圳香港水域的海洋-陆架-海岸三重嵌套网格的天文潮-风暴潮-台风浪耦合模型;冯兴如等^[8]还基于ADCIRC模型建立了精细化渤海黄潮汐潮流可视化预报系统。

本文采用目前国际上流行的基于非结构网格的ADCIRC+SWAN模型,建立了适用于温州洞头区域的精细化浪潮耦合数值模型,通过两次台风风暴潮和台风浪过程的后报检验,耦合模型有较好的模拟能力。该耦合模型计算结果采用Matlab+GUI方式实现了可视化。

2 基础数据的收集和处理

2.1 水深岸线资料处理

浙江近海以外我国沿海水深数据采用国家海洋环境预报中心业务化预报所用的分辨率为2'的水深数据插值到网格节点,远海水深数据通过ETOP2水深数据插值获取(见图1a),浙江沿海的水深、岸线数据为浙江省海洋监测预报中心提供的最新的调查数据(见图1b)。能够反映出浙江沿海最新的水深、岸线的变化情况。

3 风暴潮和海浪耦合模型的建立

3.1 浪潮耦合模型简介

本文采用的是当今国际上先进的浪潮耦合模型ADCIRC+SWAN。其中ADCIRC模型是目前国际上广泛使用的基于有限元方法的水动力模型,详细介绍见参考文献^[9]。

SWAN模型以谱作用密度 $N(\sigma, \theta)$ 守恒为基本控制方程,其运动平衡方程表示为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \vec{x} \cdot [(\vec{C}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

式中: N 为波作用谱密度; σ 表示波浪的频率; θ 代表波向, C_σ , C_θ 表示波浪在谱空间 (σ, θ) 的传播速度, C_g 表示波浪的群速度。 S_{tot} 为源项,表示各种物理过程引起的能量输入与耗散,SWAN中的 S_{tot} 包括:风能输入;非线性波与波之间的相互作用;白

浪、底摩擦和波浪破碎等引起的波能损耗。

在实际的并行计算中,浪潮耦合模型ADCIRC+SWAN运行于同一套非结构网格上,从而避免了两模型之间由于插值而产生的计算误差和时间消耗,实现了两套数值模型的紧密耦合。两套模型均采用区域分解(DDM)的方法实现并行计算,通过该方法将邻近的子网格分配到相邻的计算核上,从而使信息传递所用的时间消耗降低到最小。模型之间的数据交换是通过局部存储器或缓存来实现的。模型内部的子区域间的通信是通过消息传递(MPI)的方式实现的,交流的信息仅限于相邻子区域的边缘,并不需要整个区域里全部的信息交流。

此耦合模型具有很好的可扩展性,采用从大洋—陆架—洞头渔港的无缝隙物理和数值处理技术,大区域和高分辨率在该耦合模型中可以同时实现。ADCIRC+SWAN耦合模型可以准确的刻画天文潮、风暴潮和海浪从深水到近岸区域的产生、发展、传播和消散过程。

3.2 计算区域及边界条件设定

洞头渔港精细化浪潮耦合数值预报模型计算区域范围是115°—131°E和19°—42°N,包括大部分的东海、黄海和渤海的全部海域(见图2a)。由于温州区域地形变化较为复杂,岛屿众多,为了更好地刻画出水深岸形特征,实现精细化预报,我们对整个温州沿岸(包括洞头渔港)地区域进行重点加密,分辨率在100 m左右,能够满足对绝大多数岛屿和重要岸线的刻画(见图2b)。开边界处网格分辨率约为60—70 km,渤海、黄海沿岸岸线分辨率约为1—3 km,福建岸线分辨率约为1—10 km。模型在外边界处加入了来自NAO99^[10]的8个主要天文分潮(M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1和Q1)的调和常数进行驱动。

4 典型风暴潮和海浪过程的模拟

本文选取了近年来对洞头区域影响最大的两次灾害性台风风暴潮和台风浪过程(1312潭美和1323菲特)进行后报检验。

4.1 “潭美”台风风暴潮和台风浪过程

1312号热带气旋“潭美”于2013年8月18日11

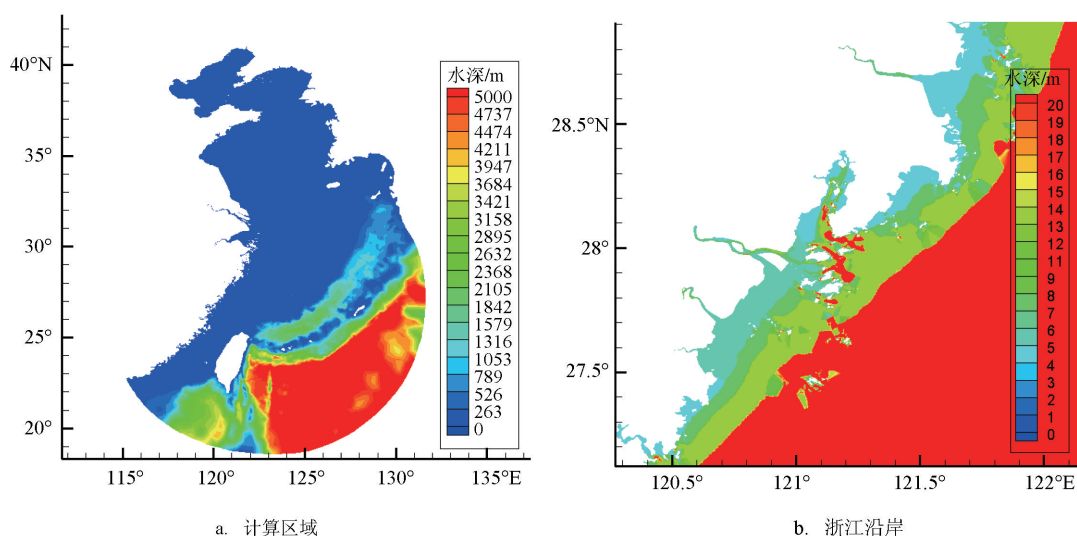


图1 水深分布

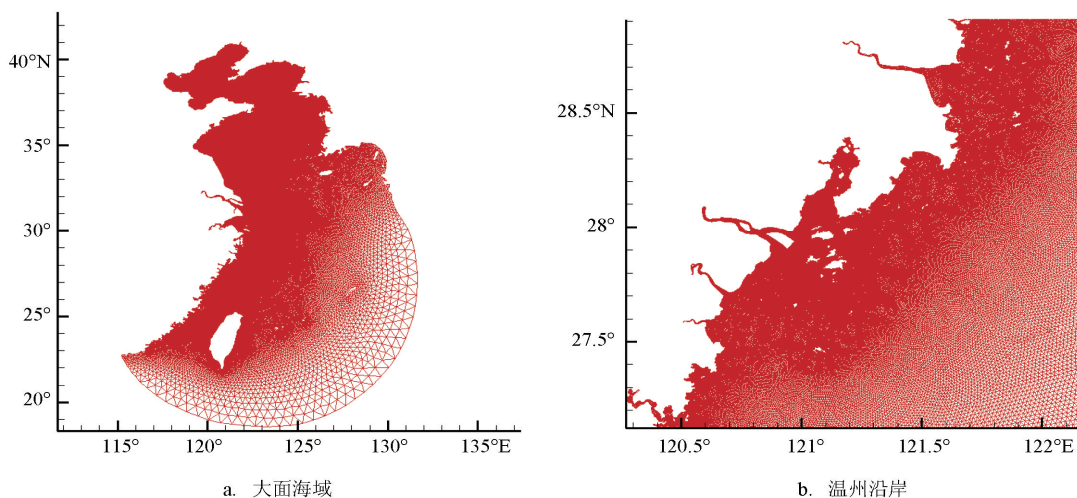


图2 数值预报模型网格分布

时(北京时,下同)生成于菲律宾以东洋面,生成后沿西北方向移动,强度继续加强,并于8月20日20时加强为台风并维持,22日凌晨“潭美”在福建省福清市沿海登陆。“潭美”登陆前后由于正值沿岸天文大潮期,浙江瑞安、鳌江等潮位站出现了超过当地警戒潮位80 cm以上的高潮位,“潭美”影响期间,海上浮标还观测到了6 m以上的狂浪。图4为“潭美”过程期间洞头渔港附近的洞头、温州、坎门、瑞安4站天文潮调和模拟值的对比,图5为过程期间上述4站总潮位观测值和模拟值的对比,图6为过程期间QF209、QF210浮标观测的波浪和模拟值的对比。

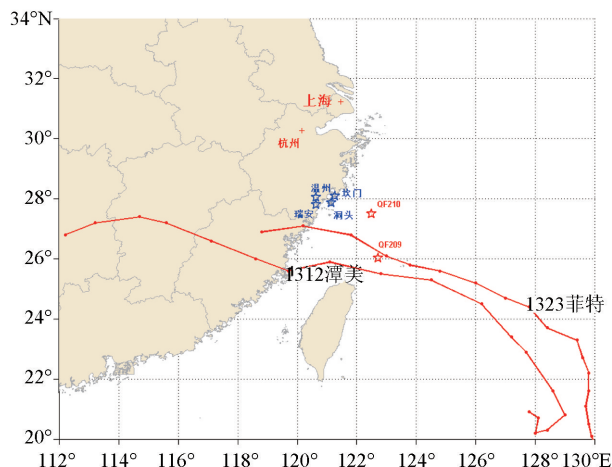


图3 两次过程台风路径及沿岸观测站点分布图

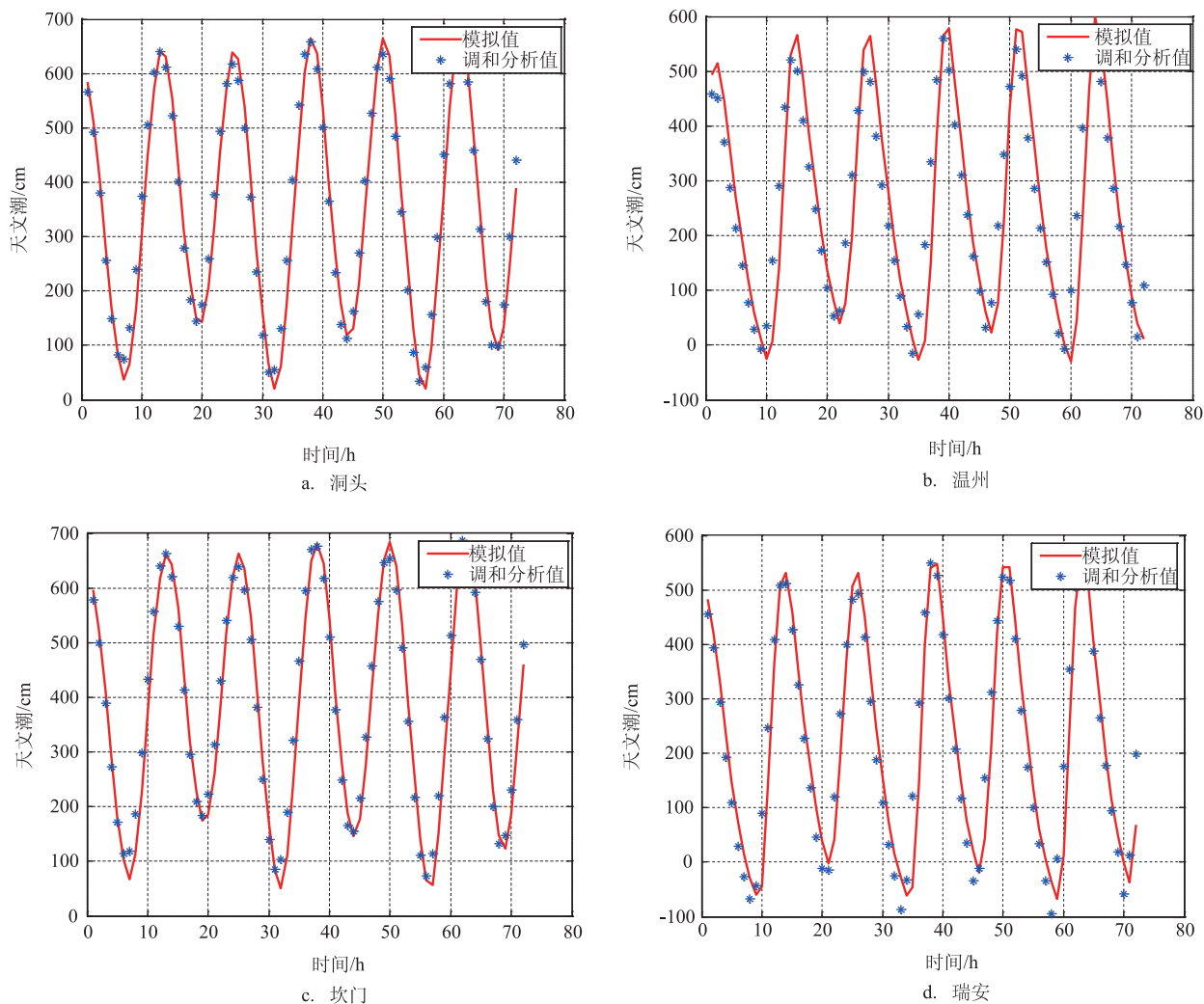


图4 1312号台风过程期间沿岸各站天文潮模拟值和调和分析对比
(计算起始时间为2013年8月19日08时)

4.2 “菲特”台风风暴潮和台风浪过程

1323号热带气旋“菲特”于2013年9月30日生成于菲律宾以东洋面,生成后沿西北方向移动,强度继续加强,并于10月4日07时加强为强台风,7日凌晨“菲特”在闽浙沿海地区登陆。“菲特”影响期间由于沿岸正处于沿岸天文大潮期,浙江瑞安、鳌江等潮位站出现了超过当地警戒潮位80 cm的高潮位,“菲特”影响期间,海上浮标观测到了10 m以上怒涛。图7为“菲特”过程期间洞头渔港附近的洞头、温州、坎门、瑞安4站天文潮调和分析值和模拟值的对比,图8为过程期间上述4站总潮位观测值和模拟值的对比,图9为过程期间QF209、QF210浮

标观测的波浪和模拟值的对比。

5 精细化浪潮耦合数值预报系统的建立

洞头区域精细化浪潮耦合数值预报系统运行于工作站上,将高性能计算机计算结果通过FTP下载到本地,本地工作站采用Matlab+GUI方式实现了对模型输出结果的可视化显示,操作界面简单易行(见图10)。该精细化浪潮耦合数值预报系统可以实现潮位场、波浪场的输出,还可以实现对洞头渔港附近重要站点潮位和海浪波高的输出(见图11)。

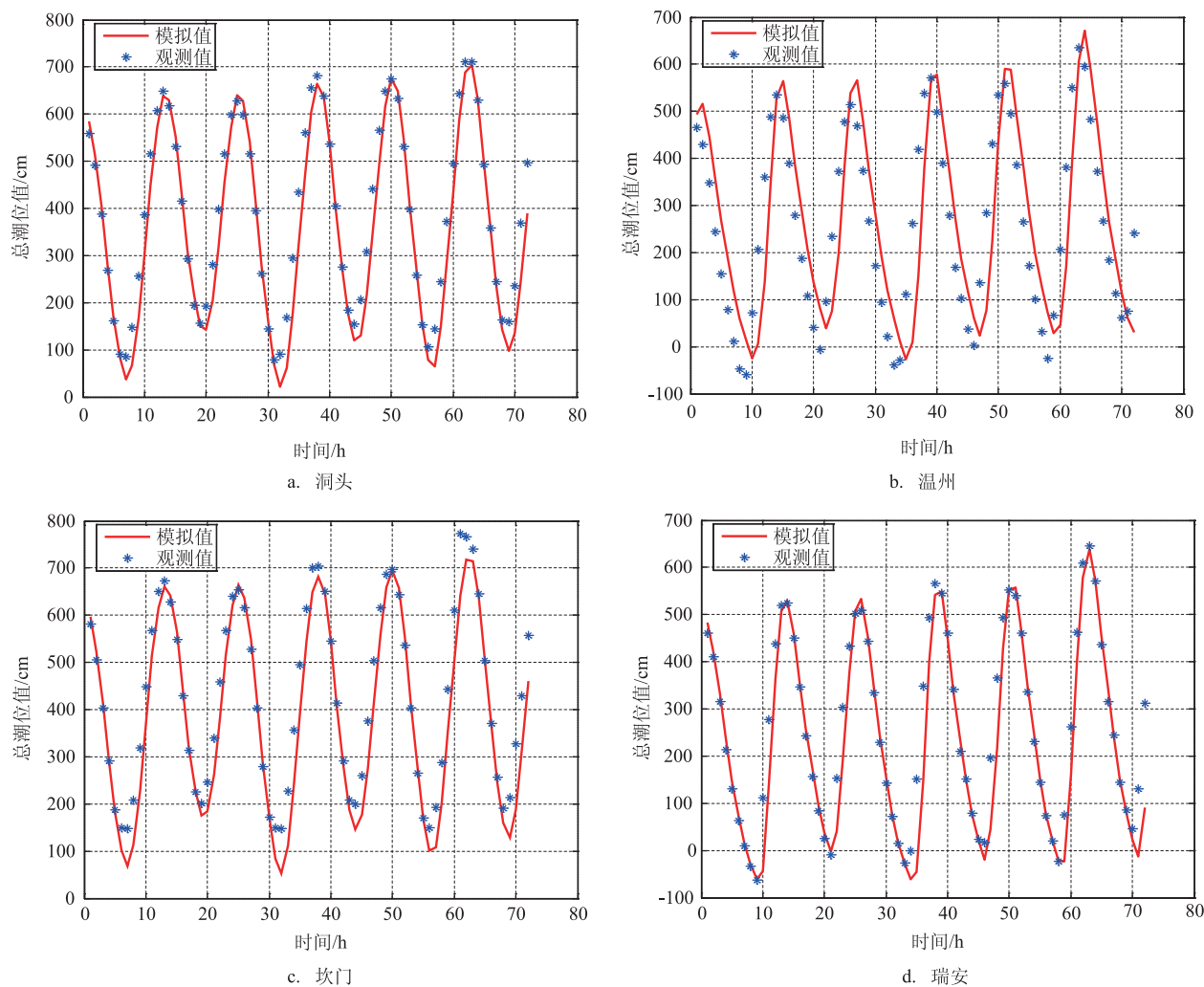


图5 1312号台风风暴潮过程期间沿岸各站总潮位观测值和模拟值对比
(计算起始时间为2013年8月19日08时)

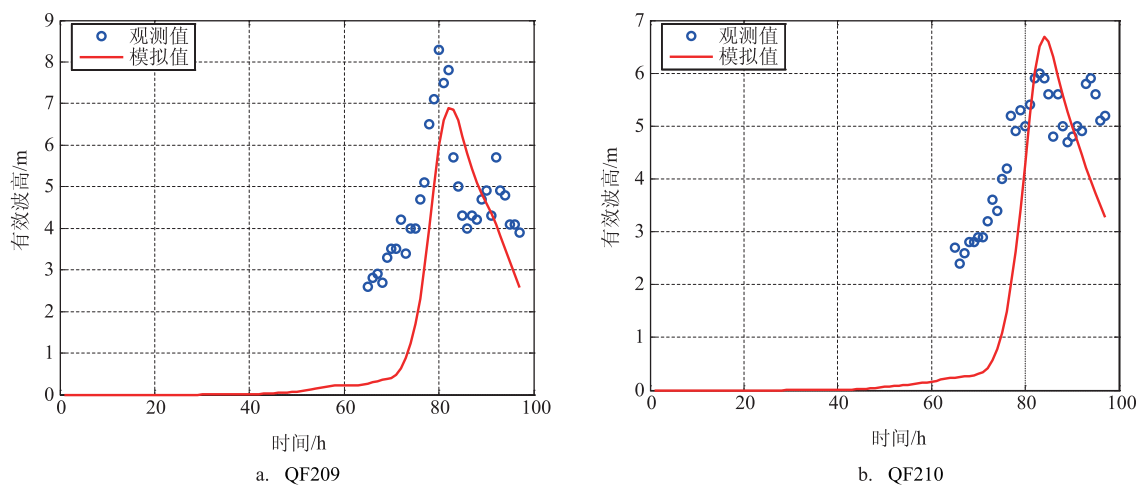


图6 1312号台风过程期间海上浮标海浪观测值和模拟值对比
(计算起始时间为2013年8月18日08时)

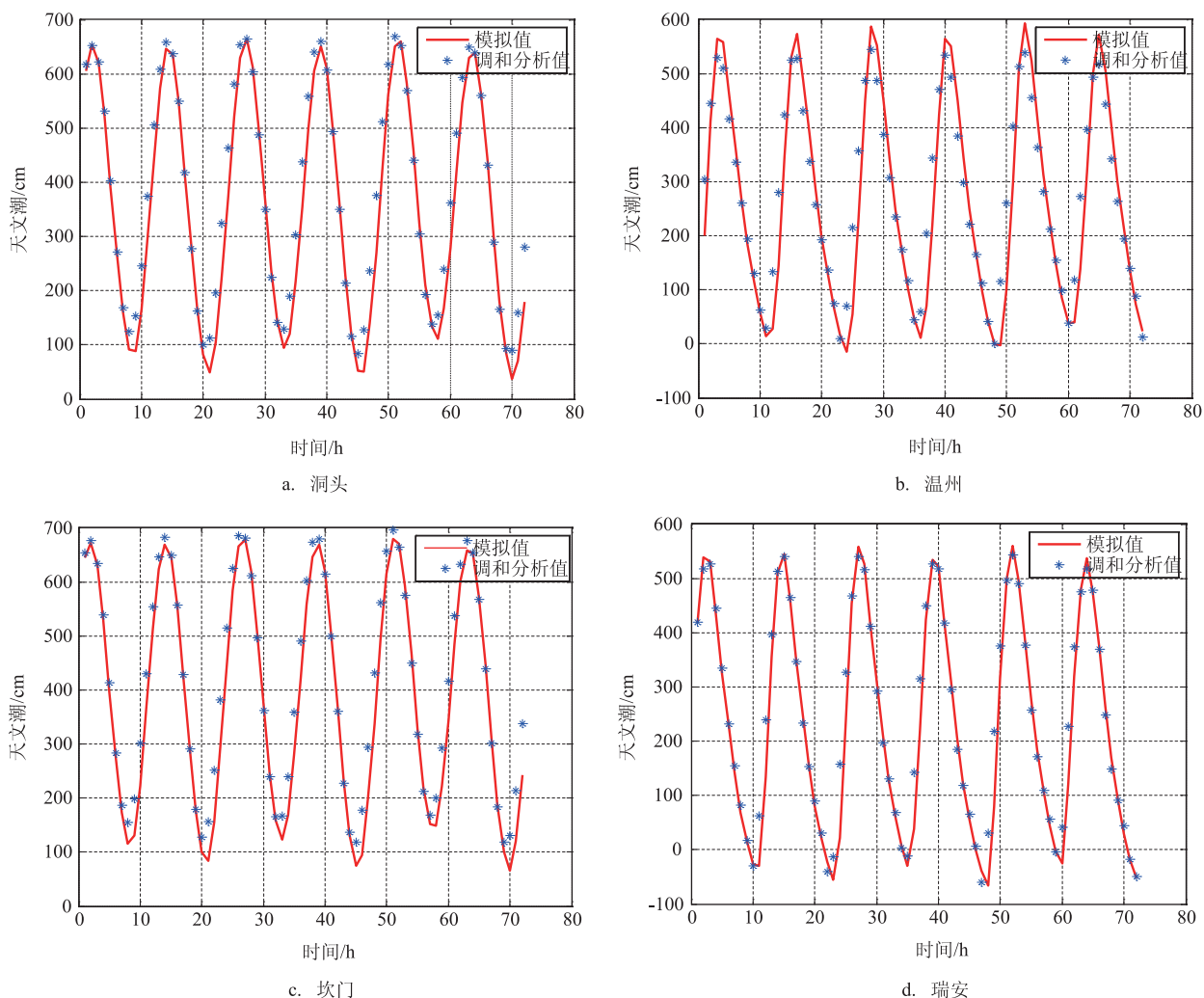


图7 1323号台风过程期间沿岸各站天文潮模拟值和调和分析值对比

(计算起始时间为2013年10月5日08时)

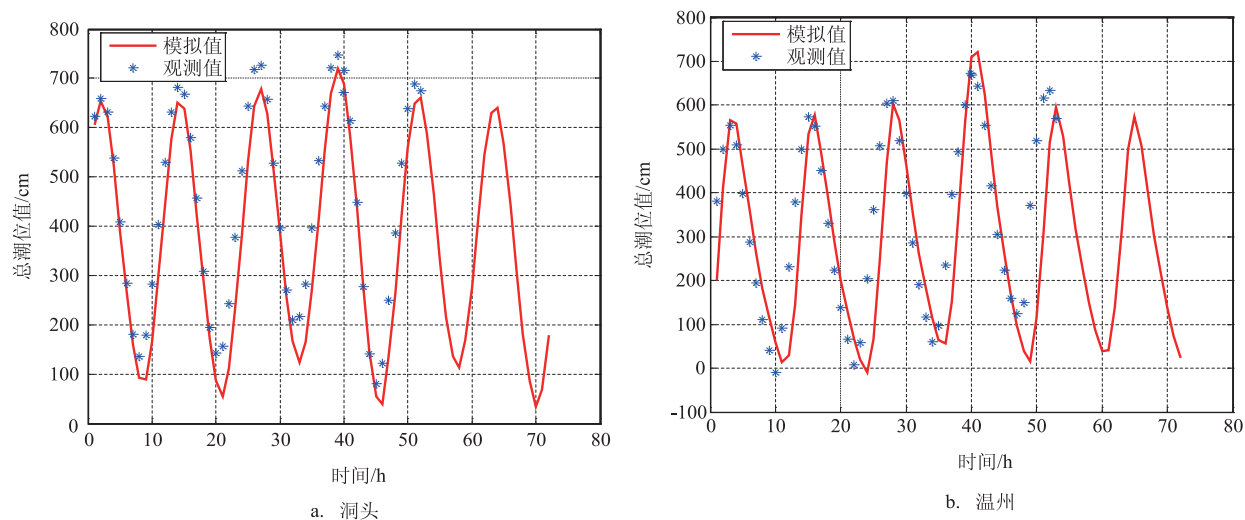


图8 1323号台风过程期间沿岸各站总潮位观测值和模拟值对比

(计算起始时间为2013年10月5日08时)

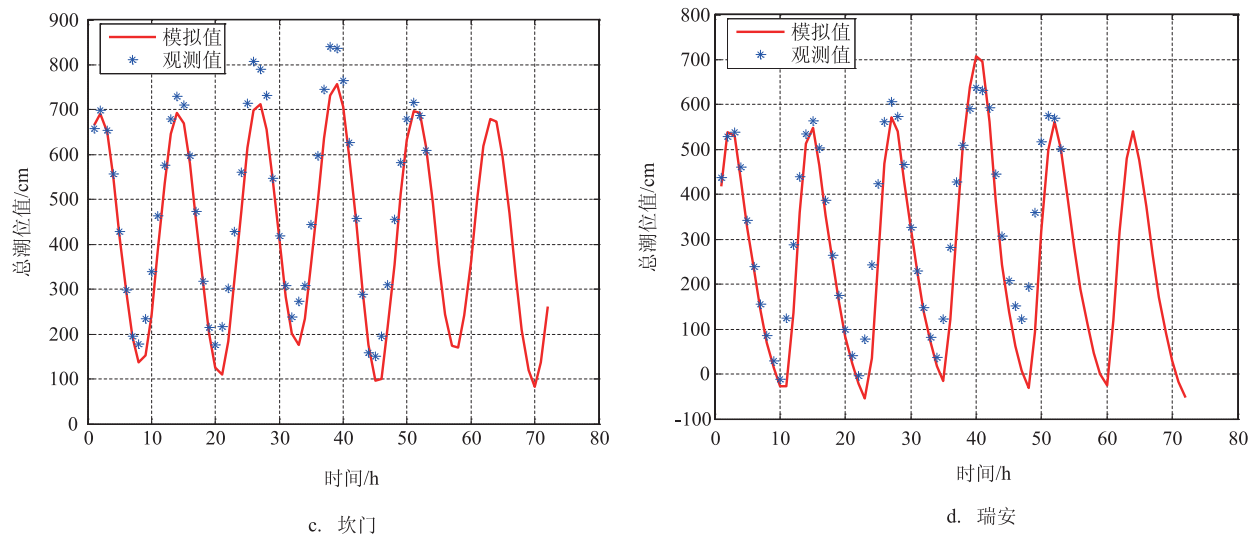


图 8 (续)

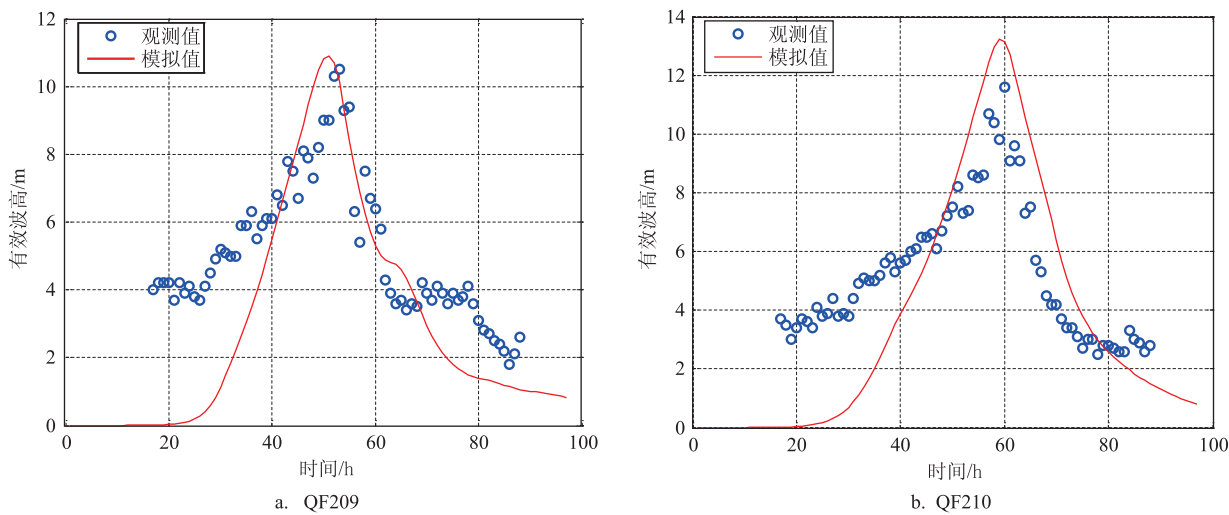


图 9 1323 号台风过程期间海上浮标海浪观测值和模拟值对比
(计算起始时间为 2013 年 10 月 4 日 08 时)

表 1 过程期间潮位值与实测值的误差及相关性统计分析表

台风号	站名	天文潮逐时误差/cm	观测最高潮位/cm	模拟最高潮位/cm	高潮位相对误差	逐时潮位相关系数
1312	洞头	35.2	711	704	0.98%	0.976 5
	温州	63.6	636	672	5.66%	0.818 2
	瑞安	47.8	645	639	0.93%	0.953 9
	坎门	33.9	774	718	7.24%	0.975 1
1323	洞头	35.4	748	719	3.88%	0.980 0
	温州	46.1	669	721	7.77%	0.786 2
	瑞安	24.6	638	707	10.82%	0.947 0
	坎门	32.8	841	758	9.87%	0.981 5
平均值		39.9			5.89%	0.927 3

表2 过程期间浮标海浪观测值与实测值的误差及相关性统计分析表

台风号	浮标名	观测值/m	模拟值/m	相对误差	相关系数
1312	QF209	8.3	6.9	16.9%	0.735 4
	QF210	6.0	6.7	11.7%	0.872 2
1323	QF209	10.5	10.9	3.81%	0.854 8
	QF210	11.6	13.2	13.79%	0.859 4
平均值				11.55%	0.830 5



图10 人机交互界面

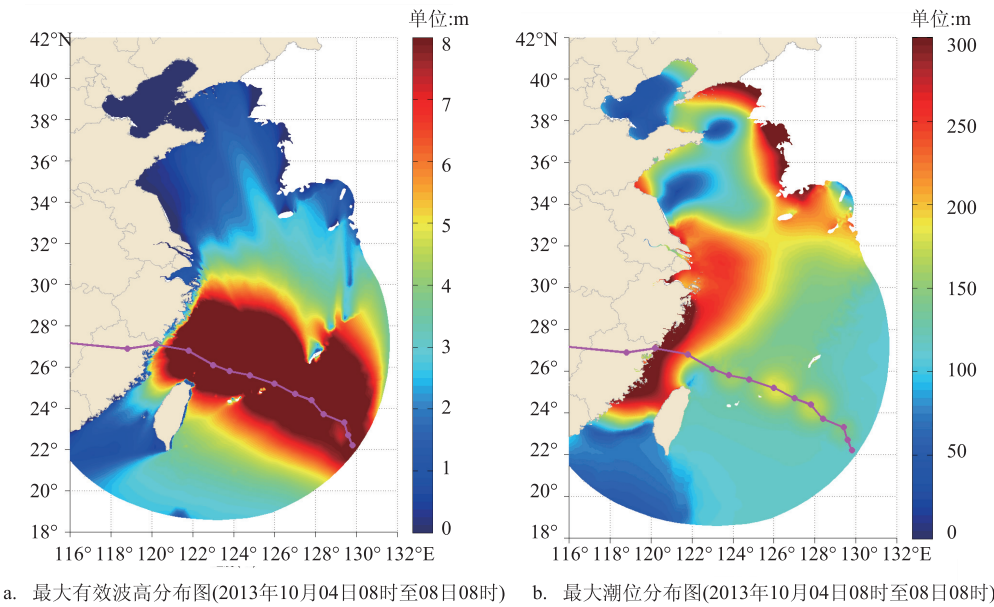


图11 输出结果的可视化

6 结论

(1)精细化浪潮耦合数值预报系统在温州附近海域的水平分辨率在100 m左右,实现了对温州海域的精细化风暴潮、海浪预报。通过对2013年影响该区域的灾害性过程的风暴潮、海浪的后报检验发现,两次过程期间天文潮逐时误差绝对值的平均值为39.9 cm,高潮位预报相对误差也仅为5.89%,两次过程沿岸潮位站观测潮位和计算潮位的平均相关系数达到了0.9273,系统对于天文潮差大、风暴潮增水过程强的温州沿岸达到了较高的模拟精度;此外,海浪浮标观测值与后报模拟值的相对误差也仅为11.55%,海上浮标观测波高与计算波高的平均相关系数为0.8305,系统也较好的模拟出了两次较大的台风浪过程,计算结果可信;

(2)本文利用Matlab+GUI方式,实现了人机交互,系统运行快捷方便,可以方便使用者查询相关信息,为海洋防灾减灾提供有效服务。

参考文献:

[1] 国家海洋局. 2013年中国海洋灾害公报[R]. 北京, 2013.

- [2] Dietrich J C, Zijlema M, Westerink J J, et al. Modeling Hurricane Waves and Storm Surge Using Integrally-Coupled, Scalable Computations[J]. Coastal Engineering, 2011, 58(1): 45-65.
- [3] Xie L, Liu H Q, Peng M C. The Effect of Wave-Current Interactions on the Storm Surge and Inundation in Charleston Harbor during Hurricane Hugo 1989[J]. Ocean Modelling, 2008, 20(3): 252-269.
- [4] Feng X R, Yin B S, Yang D Z, et al. The Effect of Wave-Induced Radiation Stress on Storm Surge During Typhoon Saomai (2006) [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 30(3): 20-26.
- [5] 尹宝树, 王涛, 侯一筠, 等. 渤海波浪和潮汐风暴潮相互作用对波浪影响的数值研究[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(1): 109-116.
- [6] 黄世昌, 李玉成, 谢亚力, 等. 杭州湾内天文潮与风暴潮耦合模式建立与应用[J]. 大连理工大学学报, 2010, 50(5): 735-741.
- [7] 姜倩, 毛献忠. 深圳香港海域浪潮耦合模型的建立及其应用[J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 56-63.
- [8] 冯兴如, 尹宝树, 杨德周. 渤海潮汐潮流精细化数值模拟及可视化预报系统[J]. 海洋预报, 2011, 28(4): 65-69.
- [9] 刘秋兴, 董剑希, 于福江, 等. 覆盖中国沿海地区的精细化台风风暴潮模型的研究及适用[J]. 海洋学报, 2014, 36(11): 30-37.
- [10] Matsumoto K, Takanezawa T, Ooe M. Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan[J]. Journal of Oceanography, 2000, 56(5): 567-581.

Studies and applications of coupled wave and storm surge numerical forecast system in Dongtou fishing port

LIU Qiu-xing^{1,2}, LI Ming-jie¹, WU Wei³, FU Xiang¹, LI Tao¹, LIU Shi-chao¹, WU Shao-hua¹

(1. National Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. Hehai University, Nanjing 210098 China;

3. Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang, Hangzhou 100081 China)

Abstract: Wenzhou is one of the most affected city by typhoon storm surge among China's coastal areas. A wide spread coupled wave and storm surge model (ADCIRC+SWAN) was employed to establish a high-resolution forecast system near Dongtou fishing port. The unstructured grid resolution reach 100 meters. The forecast system can correctly show the astronomical tide, storm surge and coastal waves' propagation and transformation according to the verification of typical storm surge processes in recent years. Matlab and GUI method also be utilized to realize the visualization of simulated results.

Key words: typhoon storm surge; astronomical tide; coastal waves; Dongtou fishing port