

文章编号: 1004-4353(2016)02-0169-04

一次冷空气恶劣海况的模拟研究

高占胜¹, 陈璇², 刘文鹏¹

(1. 海军大连舰艇学院 航海系, 辽宁 大连 116018; 2. 解放军 75822 部队, 广东 广州 510510)

摘要: 为了给航海、岛礁海浪发电、防灾减灾等提供海浪信息,促进军地海洋建设,利用 CCMP(Cross-Calibrated Multi-Platform)风场驱动第三代海浪模式 WAVEWATCH-Ⅲ(WW3),对 2013 年 3 月上中旬发生在中国海的一次强冷空气海浪场过程进行数值模拟,结果表明:本次冷空气给东中国海带来明显的大浪过程,其中高于 4 m 的海浪区域基本维持在黄渤海区域以及东海北部,冷空气在移动过程中涌系的传播较为明显;对于低纬海区,冷空气的影响主要是通过台湾海峡和巴士海峡的地形对南海北部浪场产生较大影响,但相较于东中国海区,南海受冷空气大浪影响较弱。

关键词: CCMP 风场; WW3 模式; 冷空气; 大浪

中图分类号: P731 **文献标识码:** A

Simulation of a big wave process caused by a cold air

GAO Zhansheng¹, CHEN Xuan², LIU Wenpeng¹

(1. *Department of Nautical Navigation, Dalian Naval Academy,*
Dalian 116018, China; 2. No. 75822 of PLA, Guangzhou 510510, China)

Abstract: In order to provide reference for navigation, wave power generation, disaster prevention and reduction, a big wave process caused by cold air on March 2013 was simulated, based on the WAVEWATCH-Ⅲ(WW3) wave model forced by Cross-Calibrated, Multi-Platform (CCMP) wind data, in hope of improving the army and local marine construction. The results show that, a big wave is generated by this cold air process. The significant wave height greater than 4 m is mainly distributed in the Yellow Sea and the north of the East Sea. During the moving process of cold air, the swell exhibits propagation feature obviously. In the low latitude waters, the cold air generates big wave in the north of the South China Sea under the impact of the topography of Taiwan Strait and Bashi Strait. The cold air has a more significant impact on the East Sea than that on the South China Sea.

Keywords: CCMP wind data; WW3 model; cold air; big wave

海浪预测对海洋国防建设^[1-2]、南海岛礁建设^[3-4]、21 世纪海上丝绸之路建设^[5-6]等都具有重要意义. 由于冷空气入海后会迅速减弱,加之海上测站稀疏,地面预报员对其关注度不高,而台风风力强劲、破坏力大,因此,有关海浪的预测研究大都针对于台风,而对冷空气所引起的大浪研究的相对较少. 冷空气大浪虽然不如台风浪造成的破坏力显著,但由于冬季冷空气过程较为频繁,由此引起的大风也会造成许多危害;因此,有必要对冷空气引起的大浪进行研究.

冷空气大浪的研究主要经历了以下几个阶段:早期基于观测资料的研究、卫星资料研究、再分析资料阶段、数值模拟阶段. 目前,对海浪模拟预测的主要方法一般采用 WW3 和 SWAN 模

式^[7]. 相关海浪场的预测、模拟以及海浪对海面活动的影响已有较多研究,例如:郑崇伟等^[8]分析了台风浪场对海面上掠海飞行器的影响,认为在第四象限存在大浪区,增大了飞行器的击水概率;潘爽等^[9]研究了海浪对水下垂直运动物体的出水姿态的影响,为潜射导弹等的出水姿态调节提供了参考;陈丽宁等^[10]总结了无粘性海浪的实时绘制;洪新等^[11]模拟了海浪场在不同热带气旋风场影响下的分布特点,给出了台风浪场在不同风圈半径和台风移速情况下的分布特点. 本文基于目前国际先进的第三代海浪模式 WW3,对一次影响中国海域的强冷空气大浪过程进行了仿真模拟研究,旨为防灾减灾、航海等提供科学依据.

1 数据及方法

1.1 模式介绍

WW3 模式是在 WAM 模式的构架下,由 Tolman 开发的全谱空间的第三代海浪模式,目前已经在 NCEP(美国国家环境预报中心)业务化运行,用于全球和区域的海浪预报.

在球坐标系下,欧拉形式的控制方程可写为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \dot{\varphi} N \cos \theta + \frac{\partial}{\partial \lambda} \dot{\lambda} N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}_g N = \frac{S}{\sigma}, \tag{1}$$

$$\dot{\varphi} = (c_g \cos \theta + \boldsymbol{U}_\varphi) / R, \tag{2}$$

$$\dot{\lambda} = (c_g \sin \theta + \boldsymbol{U}_\lambda) / (R \cos \varphi), \tag{3}$$

$$\dot{\theta}_g = \dot{\theta} - c_g \tan \varphi \cos \theta / R. \tag{4}$$

在式(1)—(4)中, S_{in} 为风能输入, S_{dis} 为白冠破碎引起的能量耗散, S_{nl} 为波-波相互作用引起的

非线性能量传输, S_{bot} 为底摩擦引起的能量耗散; R 为地球半径, θ 为波向, \boldsymbol{U}_λ 和 \boldsymbol{U}_φ 分别是平均海流在经度 λ 和纬度 φ 方向上的分量, c_g 为群速度. 控制方程(1)右边的 S 是源函数项;左边第 1 项为波作用量随时间的局地变化,第 2、3 项代表波作用量在地理空间上的传播,第 4 项是频移项,主要由水深和流速的变化产生,第 5 项是由水深和流引起的折射.

1.2 方法

利用 CCMP 风场驱动 WW3 模式,对 2013 年 3 月上中旬发生在中国海的一次强冷空气海浪场过程进行数值模拟. 由于海浪具有“失忆”的特点^[12],因此在海浪模式的设置中,通常有 2 种方法可以消除边界效应:1)模式嵌套;2)在需要的区域上将范围扩大,最后从模拟数据中截取所需要的范围^[12]. 本文采用第 2 种方法.

WW3 模式包括预处理程序 (ww3_grid, ww3_strt, ww3_prep)、主程序 (ww3_shel) 和后处理程序 (ww3_outf, ww3_outp, ww3_trck) 3 大部分,具体处理流程见图 1. ww3_grid 读取地形数据,构造计算海域的网格,生成写有地形数据和所使用的物理、数值参数的文件. ww3_strt 根据用户选择的模式运转类型对海浪模式进行初始化. ww3_prep 对输入到模式中的风场、海流、海冰、水位等外界强迫数据进行处理,将其插值到模式所定义的网格点上,然后对应不同的外界强迫数据,相应地生成插值后的数据文件. 主程序 ww3_shel 读取上述各预处理程序生成的文件,进行积分计算,分别得到网格点上的波参量文件 out_grd. ww3.

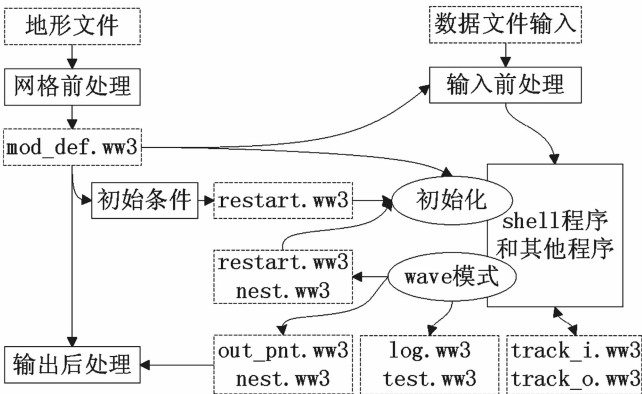


图 1 WW3 海浪模式的程序和数据流程图

1.3 资料

本文以 CCMP 风场作为海浪模式 WW3 的驱动场. CCMP 风场资料来自 NASA ESE(Earth Science Enterprise), 它结合 ADEOS-II(Advanced Earth Observing Satellite, 2nd Generation)、QuikSCAT、TRMM TMI(Tropical Rainfall Measuring Mission Microwave Imager)、SSM/I(Special Sensor Microwave Imager)、AMSRE(Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System) 几种资料数据由变分方法得到, 其时间分辨率为 6 h, 空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 时间范围为 1987 年 7 月—2015 年 11 月, 空间范围为 $78.375^{\circ}\text{S} \sim 78.375^{\circ}\text{N}$ 和 $179.875^{\circ}\text{W} \sim 179.875^{\circ}\text{E}$. 文献[13]研究表明, CCMP 风场在空间分辨率、精度等方面整体优于常用的 QN 混合风场、ERA-40 海表 10 m 风场等.

2 海浪场的分布特征

由于中国近海与外海存在琉球群岛-台湾-吕宋群岛一线的岛链, 加之中国近海海底地形变化显著, 外海又无明显影响系统, 因而导致了波高与冷空气大风能够保持较好的一致性. 图 2 和图 3 显示的是一次冷空气期间的模拟海浪场, 图中单位矢量箭头代表波向, 背景色代表波高大小, 有效波高单位为 m. 图 2 主要是对东中国海造成的影响, 图 3 则是对南中国海的影响.

10 日 02 时至 10 日 23 时是本次冷空气大浪影响东中国海的主要时间段, 而 11 日 05 时至 11 日 23 时则是对南海影响的时间段.

10 日 02 时, 黄渤海交界处海浪开始增大, 最大浪高在 $4.0 \sim 4.5\text{ m}$ 左右, 且高值中心逐渐南下; 此时, 上海-济州岛以南存在一支向日本海传播的海浪(浪向为偏西), 同时受冷空气大风影响的海浪浪向也在济州岛附近向西转折, 与向日本海传播的海浪交汇.

10 日 05 时, 受持续冷空气大风的影响, 黄海的海浪显著增大, 高值中心进一步南移, 最大浪高达 5 m 以上, 两股海浪交汇的地点也向南偏移; 至 10 日 11 时, 日本海的海浪场浪向开始向南传播, 黄海的高值中心逐渐向南移动, 随着冷空气的远离, 渤海的海浪逐渐由北向南开始减小.

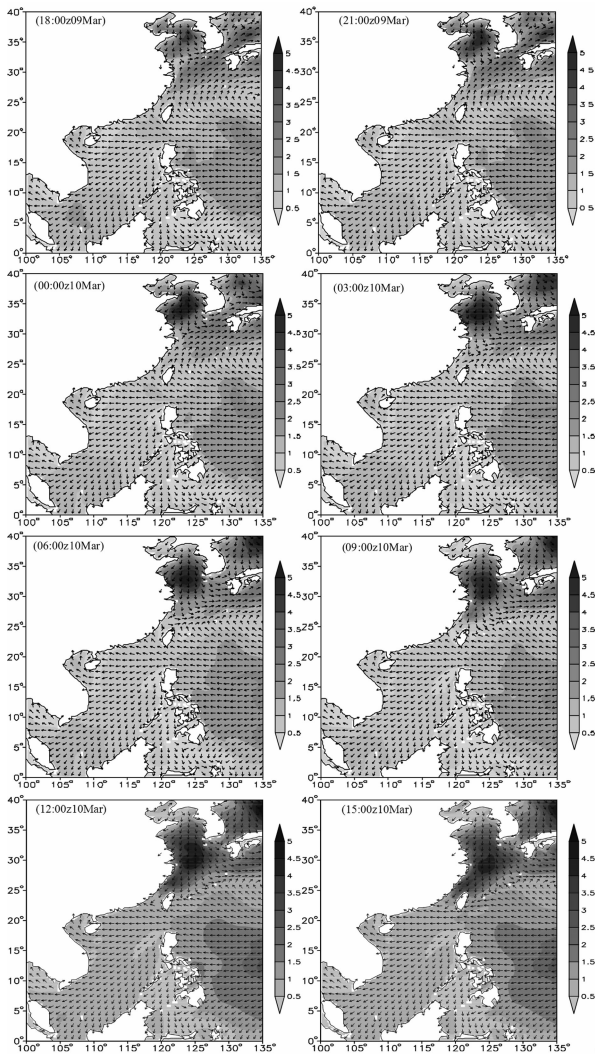


图 2 2013 年 3 月上中旬一次冷空气给东中国海造成的海浪场

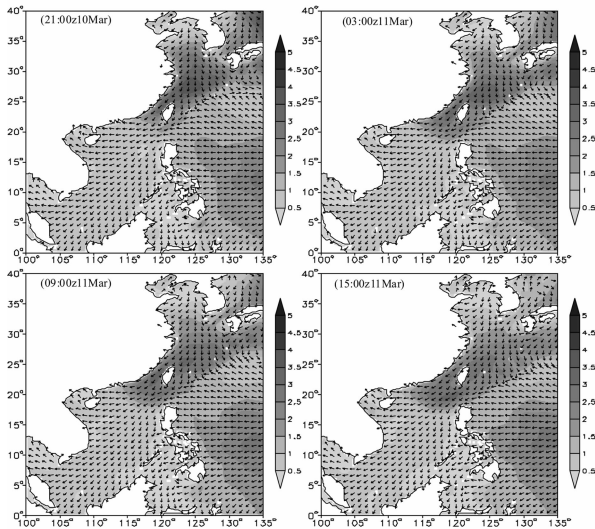


图 3 2013 年 3 月上中旬一次冷空气给南中国海造成的海浪场

10 日 14 时,冷空气大浪过程对渤海的影响已基本结束,由于前行的浪向基本一致,高值中心呈现前后较为对称的状态,最大浪高依然维持在 5 m 以上.这种对称状态表明高值中心的移速已经开始减弱,冷空气强度也在减弱.此时,高值中心已接近东海,冷空气大浪已开始对东海产生影响.10 日 17 时,高值中心降低至 5 m 以下位置稍有南移,但相比之前,移动速度显著变缓.此后,高值中心范围和强度不断降低,但中心点依然维持在原来位置,表明本次冷空气过程逐渐接近尾声.至 10 日 23 时,冷空气大浪经由台湾海峡向南海传播.

11 日 05 时,冷空气大浪经由台湾海峡进入南海东北部,至 11 日 11 时,由于海峡地形的影响,海浪高值区域产生断裂,加上海峡的狭管效应,海峡北侧海浪持续减弱,使海峡成为高值中心.此时,最大浪高在 3.0~3.5 m 左右,粤东及巴士海峡附近海域浪高为 2.5 m 左右.由于冷空气强度不断减弱南下,海峡风力逐渐减弱.11 日 23 时,受残余冷空气和巴士海峡地形影响,在巴士海峡产生了一个高值中心,而台湾海峡高值中心减弱,该过程并没有导致粤东至巴士海峡一带海浪的增大,这表明本次冷空气大浪对南海的影响趋于结束.

3 结论

本文利用 CCMP 风场驱动 WW3 海浪模式,对 2013 年 3 月上中旬发生在中国海的一次强冷空气海浪场过程进行了数值模拟,结果表明:冷空气东移入海,给东中国海区域带来了明显的大浪过程,其中高于 4 m 的海浪区域基本维持在黄渤海区域以及东海北部,冷空气在移动过程中涌系的传播较为明显;当冷空气大浪南北方向较为对称时,海浪变弱,这可以为以后在相同环境下的常规预报提供一定的指导经验;对于低纬海区,冷空气的影响主要是通过台湾海峡和巴士海峡的地形

对南海北部浪场产生较大影响,但相较于东中国海区,南海受冷空气大浪影响较弱.从整体来看,本文取得了较好的数值模拟效果,在以后的冷空气大浪预报中,可以参考本文的方案,对大浪的波高波向给出定量的预报,为航海、防灾减灾、波浪能资源开发等提供科学依据.

参考文献:

- [1] 高占胜. 台风“菲特”期间 T639 预报风场在东中国海的有效性检验[J]. 海洋学研究, 2015, 33(1): 9-15.
- [2] 高占胜. Grads 在中国近海大浪频率统计中的运用[J]. 海洋科学前沿, 2014, 1: 50-54.
- [3] 郑崇伟, 李崇银. 中国南海岛礁建设: 重点岛礁的风候、波候特征分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(9): 1-6.
- [4] 郑崇伟, 李崇银. 中国南海岛礁建设: 风力发电、海浪发电[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(9): 7-14.
- [5] 郑崇伟, 潘静, 孙威, 等. 经略 21 世纪海上丝路之海洋环境特征系列研究[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(7): 4-9.
- [6] 郑崇伟, 高占胜, 张雨, 等. 经略 21 世纪海上丝路之海洋环境特征: 极值风速和极值波高[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(11): 4-11.
- [7] 徐丽丽, 肖文军, 石少华, 等. Wave Watch III 和 SWAN 模型嵌套技术在业务化海浪预报系统中的应用及检验[J]. 海洋通报, 2015, 34(3): 283-294.
- [8] 郑崇伟, 邵龙潭, 林刚, 等. 台风浪对中国海击水概率的影响[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(3): 301-306.
- [9] 潘爽, 姚奕, 肖锋. 数值海浪对潜射导弹出水姿态影响研究[J]. 新型工业化, 2015, 5(3): 42-46.
- [10] 陈丽宁, 金一丞, 任鸿翔, 等. 无粘性海浪实时绘制综述[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(2): 1-4.
- [11] 洪新, 赵玮, 高志波, 等. 热带气旋风场对海浪分布特征的影响[J]. 海洋通报, 2015, 34(1): 32-44.
- [12] 郑崇伟, 潘静, 黄刚. 利用 WW3 模式实现中国海击水概率数值预报[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(3): 314-320.
- [13] 耿殿鹏. 中国海海表风场特征及资料现状[J]. 科技创新导报, 2012, 32(1): 256-257.