

东海闽浙海域涌浪特性及成因分析

裴 晔^{1,2}, 陶爱峰^{1,2}, 李 慧³, 陈 羽², 颜 晋²

(1. 海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 四川大川电力有限公司, 四川 成都 610091)

摘要: 东海闽浙海域建设有我国多个重要的海洋平台, 该海域经常出现低频涌浪, 对海洋平台的各种结构, 特别是油管有严重危害, 为此需要分析该海域涌浪的特征, 探讨其生成机制。本研究在对现有资料进行系统搜集和分析的基础上, 以 CCMP 风场与 Myers 台风模型构成的合成风场作为驱动风场条件, 运用 WAVEWATCH-III 海浪模式建立不同尺度的波浪模型, 利用来自浙江台州及日本福江岛的浮标观测资料验证模型的有效性。针对 2009—2014 年东海涌浪场进行数值模拟, 并在此基础上对该海域涌浪的产生原因及其特性演变进行分析。结果表明: 平常月份东海涌浪比较小, 主要来自东海北部海域、东海南部海域以及西北太平洋海域; 台风期间东海涌浪较大, 主要来自于西北太平洋海域。涌浪有效波高及谱峰周期季度差异显著, 第 3 季度最大, 其次为第 2、4 季度, 第 1 季度最小, 且这些特性参数的年际变化不大。

关键词: 东海闽浙海域; 涌浪; 演变特性

东海是我国航运比较发达的海域, 近年来随着海洋大开发战略的实施, 越来越多的海上项目在我国东海闽浙海域开展。但是在能源开采等海上活动过程中, 发现低频涌浪容易与铺管船舶及海洋石油平台等结构物发生共振, 导致海底管道及海洋石油平台等结构物发生倾斜和摇晃, 甚至无法正常工作。因此, 深入研究涌浪的成因、传播和分布特征, 对海洋资源开发利用、防止和减少海浪灾害都具有重要意义^[1-2]。

涌浪是指风停止或削弱、转向以后遗留在海上的, 或来自于其他海域的波浪。由于涌浪的内部结构比较复杂, 前人对于涌浪的研究多集中在根据实测资料对涌浪外部表现特征的归纳总结^[3-6]、在试验基础上对涌浪的理论分析^[7-10]以及极端天气情况下混合浪场的整体特征数值模拟^[11-14]等方面。对于特定海域的涌浪生成原因及其特性等内在机理研究还很匮乏, 因此, 本研究将采用 WAVEWATCH-III (version 3.14) 海浪模式对东海闽浙海域的海浪进行数值模拟, 并利用该模式的风、涌浪分离技术^[15], 分析东海海域涌浪的生成机理和演变特性。

1 方法及资料介绍

1.1 模拟方法

以 CCMP 风场及 Myers 台风模型形成的合成风场驱动 WW3 海浪模式, 对 2009 年 9 月在东海闽浙海域登陆的 0918 号台风“茉莉”影响期间及 2011 年平常时期的 1 月份的海浪场进行数值模拟。为了消除边界影响, 充分考虑西北太平洋的作用, 将模拟范围扩大然后再提取该计算尺度下的东海闽浙海域的模拟结果。选取计算的空间范围: $0^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$, $100^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$; 时间范围: 2009 年 9 月 16 日至 2009 年 10 月 11 日, 2012 年 1 月 1 日至 2012 年 3 月 31 日 (范围及台风路径见图 1)。海浪谱网格为 24×25 , 即波向共 24 个, 分辨率 15° , 频率范围 $0.0418 \sim 0.4056 \text{Hz}$, 其中各频段的关系为: $f^{n+1} = 1.1f^n$ 。空间分辨率: $10' \times 10'$, 时间步长 300s, 每小时输出 1 次结果, 输出参数包括混合浪及涌浪的有效波高、谱峰周期及平均波向等。

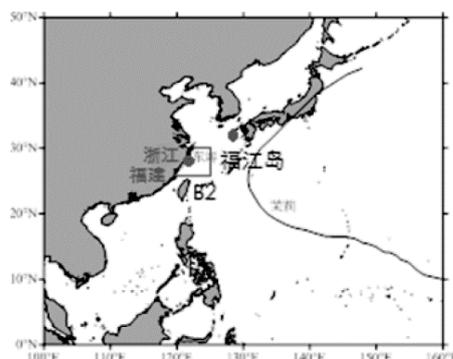


图 1 数值模拟区域及浮标站点

1.2 风场简介

对于非台风作用期间, 选用 CCMP 风场作为模型的输入风场, 其空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, 时间分辨率为 6h, 并具有很高的空间连续性, 给出的是距海面 10m 处风场沿经向和纬向的速度分量。相比于 NCEP 风场、ERA-40 海表 10m 风场等其他风场, 有着时空分辨率高、时间序列长的优点。

对于台风作用期间, 以 CCMP 风场为背景风场, 用 Myers 台风模型模拟台风风场, 并将这两种风场进行合成构造合成风场作为模式的驱动风场, 合成风场的表达式为:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41106001, 51137002); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 (教外司留 [2012]1707)

$$V_C = V_M(1-e) + eV_Q \tag{1}$$

式中: V_C 是合成风场; V_M 是台风模型风场; V_Q 是 CCMP 背景风场, 权重系数 $e = C^4 / (1 + C^4)$, $C = r / nr_0$, 其中 n 取 3。

1.3 水深数据

本文采用的水深数据来自 NOAA 的 ETOPO1 全球地形数据集, 其分辨率为 $1' \times 1'$, 是目前全球分辨率最高的地形数据 (<http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/wcs-client/>), 其中海岸线数据来自 GSHHS 全球高分辨率海岸线数据库 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>)。

1.4 波浪观测资料

我国对于海浪观测的资料极度缺乏, 人工观测数据及船舶报数据等也存在着时空分辨率较低的缺陷。本文搜集了位于近海的浙江台州 B2 测点 ($28^{\circ}40.17'N$, $121^{\circ}46.05'E$) 2009 年 9 月 5 日至 2009 年 10 月 11 日期间的波浪数据, 以及来自外海的日本福江岛测点 ($32^{\circ}45'25"N$, $128^{\circ}37'38"E$) 2008 年 9 月 5 日至 2009 年 10 月 11 日期间的浮标观测数据(站点位置见图 1), 用于验证模型在东海海域的适用性。

2 模型验证

利用浙江台州 B2 及日本福江岛的浮标观测数据, 通过对近海及外海两个测点在不同时间段的海浪参数模拟值与实测值的比较, 验证模型的有效性。对比两个测点的混合浪有效波高及谱峰周期的模拟值与实测值的曲线走势图(见图 2~图 3), 可以看出模拟数据的精度。无论是有效波高还是谱峰周期, 模拟值与实测值均保持了很好的一致性。

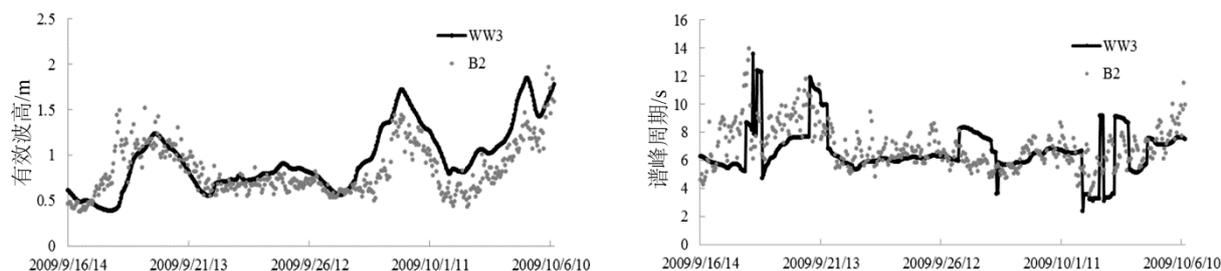


图 2 B2 测点台风期间实测值与模拟值对比

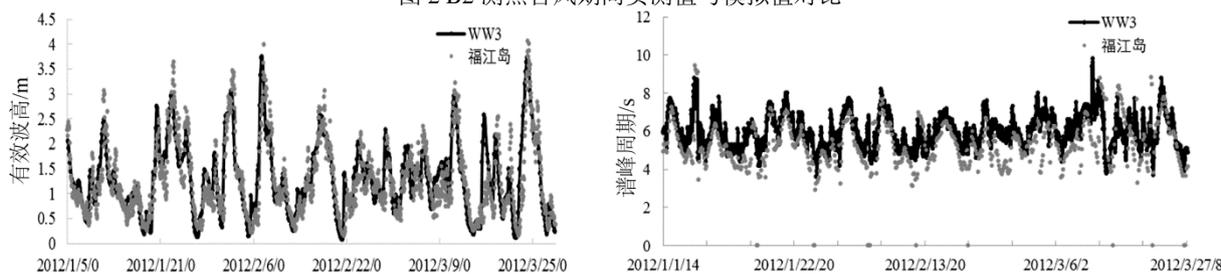


图 3 福江岛测点平常月份实测值与模拟值对比

3 涌浪产生原因分析

利用 CCMP 背景风场和 Myers 台风模型合成的合成风场驱动 WW3 模式, 模拟 2009-2014 年的东海闽浙海域的海浪场。提取模拟结果(以 2009 年为例), 画出模拟空间范围内的风场图、涌浪有效波高及波向的二维图, 通过对东海涌浪的时空分析来探讨海域的涌浪在不同气象条件下的产生原因。

3.1 平常月份

图 4 和图 5 分别为 2 月 13—16 日期间 3 个时刻的风场及涌浪场, 由于平常月份的涌浪是由较长时间的定向风场作用产生的, 故所选 3 个时刻的风场均早于对应的涌浪场。图 4(a)表明 2 月 13 日 8:00 时, 整个东海海域受北向风影响, 西北太平洋主要受顺势针涡旋形风场影响。东海海域受持续北向风作用, 产生

了北向涌浪，如图 5(a)所示。图 4(b)显示东海海域仍为北向风，而在北向风场及西北太平洋东南向涌浪的影响下，北向涌浪逐渐向东南向转换，如图 5(b)所示。图 4(c)表明随着西北太平洋东向涌浪的持续增强，东海海域形成了连续的东北向涌浪，如图 5(c)所示。

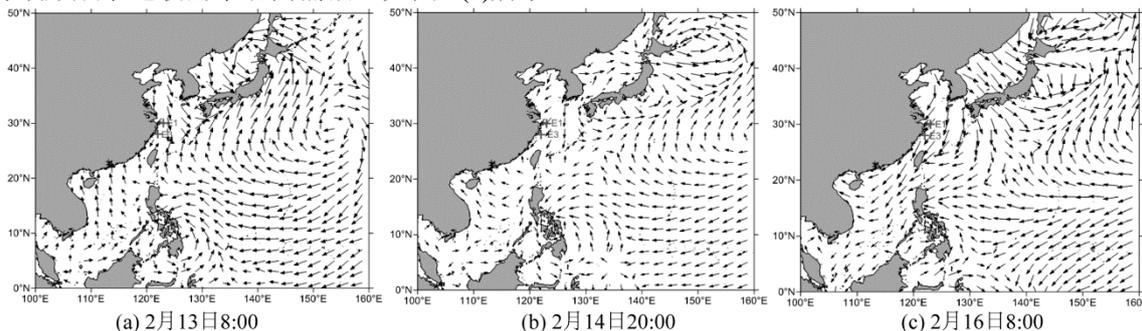


图 4 2月13—16日期间的3个时刻的风场

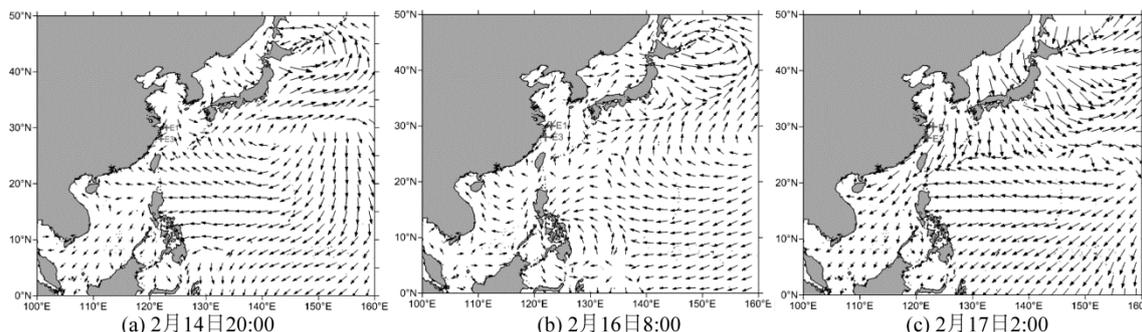


图 5 2月13—16日期间的3个时刻的涌浪场

3.2 台风期间

图 6 和图 7 分别为台风茉莉作用期间 3 个时刻的风场和涌浪场。图 6(a)、图 7(a)表明该时刻台风中心距离东海海域较远，东海海域的涌浪由东海南部海域的南向涌浪和来自西北太平洋的东南向涌浪组成，台风对东海海域的涌浪影响较小。图 6(b)、图 7(b)表明在该时刻台风中心距离东海海域较近，台风驱动生成的涌浪传至东海海域，整个东海海域受东南向涌浪影响。图 6(c)、图 7(c)表明在该时刻台风中心偏离东海海域，而随着台风中心的偏离，台风对东海海域的涌浪影响逐渐消失。

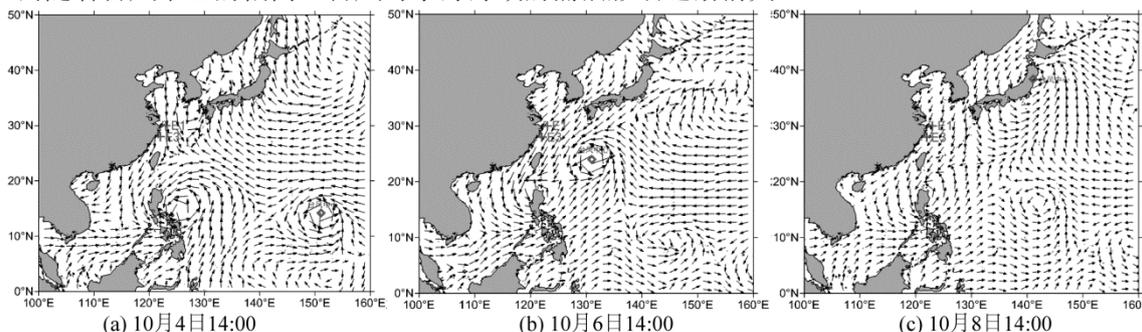


图 6 台风期间的3个时刻的风场

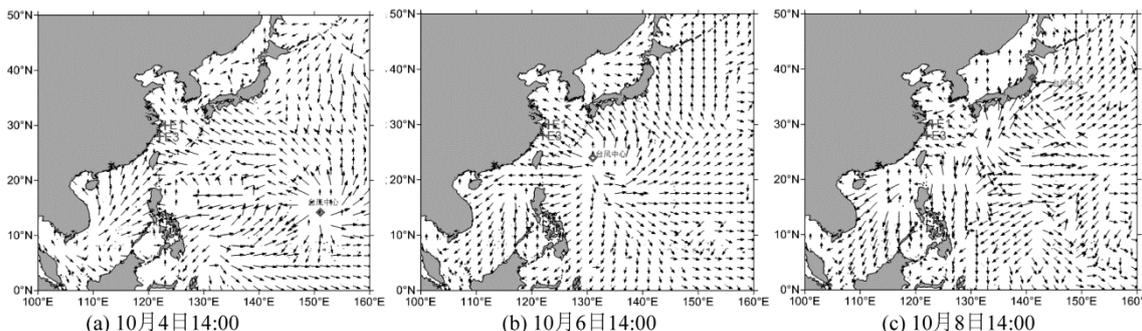


图 7 台风期间的3个时刻的涌浪场

4 涌浪特性分析

提取模拟结果中某年份东海闽浙海域全年的数据(以2011年为例),来分析涌浪特性在年内的变化情况。给出4个季度的平均值和最大值,并绘制涌浪的有效波高及谱峰周期的变化图,如图8所示。由图中的平均值曲线可以看出,4个季度的有效波高及谱峰周期的季度平均值存在一定的差异,第3季度的最大,其次为第2、4季度,最小的是第1季度。由最大值变化曲线可知,全年的有效波高最大值出现在第4季度,谱峰周期的最大值出现在第1季度,但是综合而言有效波高及谱峰周期都比较大的是第3季度。

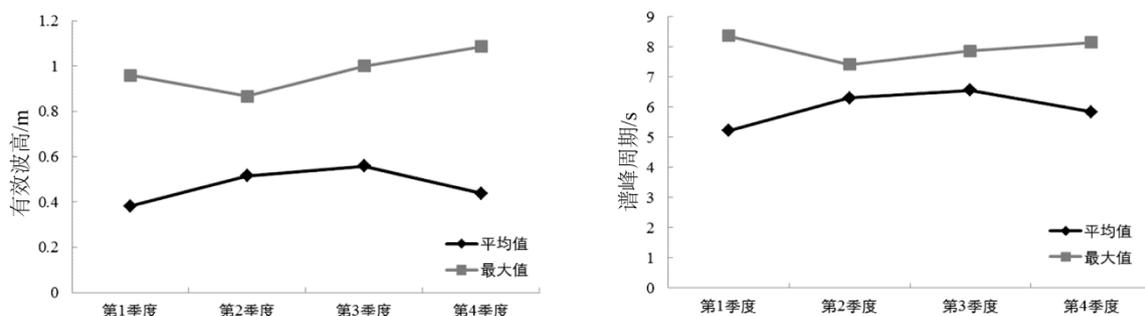


图8 2011年季度有效波高及谱峰周期变化

提取模拟结果中各年份某季度东海闽浙海域的数据(以第1季度为例),来分析涌浪特性的年际变化情况。绘制这一季度的涌浪有效波高及谱峰周期的平均值和最大值的年度变化图。分析图9的平均值曲线可以知道,2010—2014这5年里第1季度的涌浪有效波高及谱峰周期的变化幅度都不大,其中2011年的平均值偏小,为0.4 m,其他年份都很相近,约为0.5 m。由最大值曲线可以分析,涌浪的有效波高及谱峰周期的最大值年度差异也不大,但逐年有小幅增加。

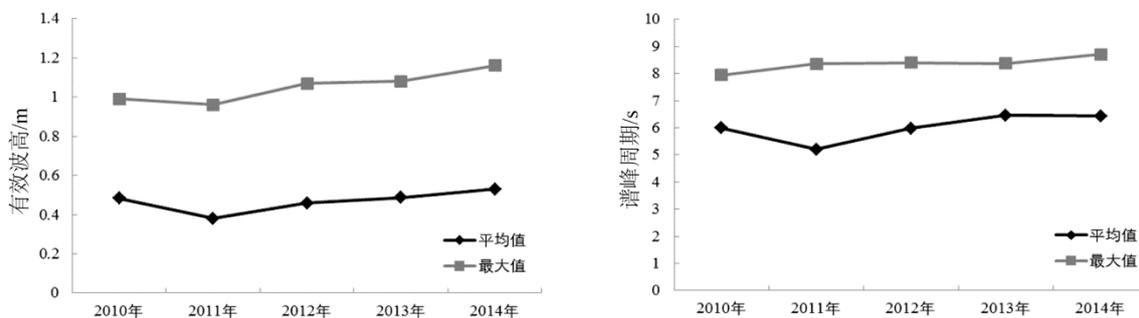


图9 2010—2014年第1季度有效波高及谱峰周期变化

5 结论与讨论

文章以CCMP背景风场和Myers台风模型合成的合成风场驱动WAVEWATCH-III(v3.14)海浪模式,对2009—2014年的海浪场进行数值模拟,利用观测资料验证模拟结果的有效性,并分析模拟结果,研究表明以CCMP和Myers台风模型合成的合成风场驱动WW3海浪模式,模拟结果与实测值较一致,说明模型适用。东海闽浙海域平常月份涌浪比较小,主要来自东海北部海域、东海南部海域以及西北太平洋海域;台风期间该海域因受台风的影响涌浪比较大,主要来自于西北太平洋海域。东海闽浙海域涌浪有效波高及谱峰周期季度差异显著,第3季度最大,其次为第2、4季度,第1季度最小,而这些特性参数的年际变化不大。

本文用于分析涌浪成因的数据有限,因此需要对多年的数据进行更深入地分析。本文对于涌浪特性分布的研究仅限于时间尺度的变化,这些特性参数的空间分布也需要进一步探讨。

参考文献

- 1 纪华盾. 华南沿海四大涌浪区[J]. 珠江水运, 2002, 08: 28-29.
- 2 刘乐军. 东海灾害地质分区研究的理论与实践[D]. 北京: 中国科学院研究生院海洋研究所, 2005.
- 3 BRETSCHNEIDER C L. The generation and decay of wind waves in deep water[J]. Transactions, American Geophysical Union, 1952, 33(3): 381-389.
- 4 LONGUET-HIGGINS M S, STEWART R W. Changes in the form of short gravity waves on long waves and tidal currents[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1960, 8(4): 565-583.
- 5 许为民, 钱志春. 静止台风涌浪计算方法[J]. 东海海洋, 1990, 8(3): 10-16.
- 6 钱志春, 永田丰. 台风涌浪传播的计算方法[J]. 大气科学, 1993, 17(2): 200-210.
- 7 PHILLIPS O M, BANNER M L. Wave breaking in the presence of wind drift and swell[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1974, 66(4): 625-640.
- 8 DONELAN M A. The effect of swell on the growth of wind waves[J]. Johns Hopkins APL, Technical Digest, 1987, 8(1): 18-23.
- 9 MITSUYASU H MAEDA Y. On the contribution of swell to sea surface phenomena(2)[C]// Proceedings of the twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference. Kitakyushu, Japan, 2002: 26-31.
- 10 CHENG Z, MITSUYASU H. Laboratory studies on the surface drift current induced by wind and swell[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1992, 243: 247-259.
- 11 黄必桂, 郑桂珍, 丛培秀. 涌浪对风浪能量影响的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(3): 381-386.
- 12 周学群, 杨洪玉. 8719号台风涌浪传播特征分析[J]. 海洋预报, 1990, 7(2): 62-64.
- 13 韩晓伟, 周林, 游大鸣, 等. 801号台风风浪场和涌浪场的数值模拟[J]. 大气科学学报, 2011, 34(5): 597-605.
- 14 陈晓斌, 周林, 史文丽, 等. 台风“梅花”风浪场和涌浪场特征分析[J]. 海洋科学进展, 2013, 31(1): 22-30.
- 15 TOLMAN H L. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 3.14 [EB/OL]. [2012-07-21]. <http://polar.neep.noaa.gov/waves/wavewatch>.