

两种海浪模式对中国黄海海域浪高模拟能力的比较

梅婵娟¹, 赵栋梁¹, 史 剑²

(1. 中国海洋大学海洋环境学院, 山东 青岛 266100; 2. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 本文利用第三代海浪数值模式 WAVEWATCH 和 SWAN 模式, 分别对黄海区域进行了理想模拟计算和实际浪场的模拟计算, 结果表明: 理想状态下两种模式的模拟结果在大小和空间分布上都不相同, 但在大小及其变化趋势上相差不大; 在实际模拟中, 将两种模式的模拟结果与实际观测值相比, 发现 SWAN 模式模拟结果较 WAVEWATCH 模式好, 只是在高风速的模拟情况下, SWAN 模式模拟结果偏大, 而 WAVEWATCH 模式模拟结果偏小。

关键词: WAVEWATCH 模式, SWAN 模式, QuikSCAT/NCEP 混合风场, 有效波高

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2008) 2 - 0092 - 07

1 引言

海浪在研究海洋动力环境和海气相互作用等领域有着重要的地位, 对海浪的数值模拟不仅是海浪研究的一个重要手段, 也是海浪预报和分析的重要工具。第三代海浪模式 WAVEWATCH 模式(以下简称为 WW3)和 SWAN 模式发展到今天, 已具有稳定性好、计算精度高等特点, 很多海洋环境预报中心已将 WW3 或 SWAN 模式作为业务化海浪预报模式, 并且将 WW3 和 SWAN 模式运用于中国近海进行研究的工作也越来越多^[1~4]。本文应用 WW3 和 SWAN 模式于黄海区域, 比较两种模式对中国黄海海域浪高的模拟能力。

2 海浪模式简介

20 世纪 50 年代后期, 法国以 Gelei 为首的研究小组提出了第一个海浪谱数值计算模式。自 Gelei 等人的开创性工作之后, 人们建立了采用二维海浪谱的基本传输方程的若干个海浪数值预报模式, 但是由于受计算机条件的限制, 其应用受到了一定的限制。到了 20 世纪末, 海浪的数值模式已达到比较成熟的阶段, 所谓第三代波浪数据预报模式相继开发成功, 他们的目的是更全面地考虑能量平衡方程中的各个项, 以包括更多的物理过程^[5~6]。第三代海浪模式是将海浪模式表示为:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{db} \quad (1)$$

其中, S_{in} 代表风的能量输入率, S_{nl} 代表非线性波-波相互作用所致的能量传递率, S_{ds} 和 S_{db} 分别代表海底摩擦和海浪破碎所致的能量耗散率。第三代模式与第一、二代模式比

较,其显著特点在于:对波-波相互作用源函数项进行直接计算;对海浪演化中的谱形式未加检验的限制;可应付风速和风向突然变化的情况。因为在流场中,动谱密度守恒而能谱密度不守恒,WW3和SWAN模式都考虑以二维动谱密度为随机波,其动谱平衡方程为:

$$\frac{DN}{Dt}=\frac{S}{\sigma}$$

(2)

(2)式其中, N 为能谱密度与相对频率 σ 之比, S 为以谱密度表示的源函数项。若将两模式应用于浅海区域,WW3模式在运用JONSWAP谱的条件下,主要考虑了风能输入、非线性波波相互作用、底摩擦作用、白冠耗散及四波相互作用,SWAN模式则更完善的考虑了深度诱导破碎所引起的能量耗散及三波相互作用。理论上讲SWAN模式更适合于浅海区域的应用。本文就将SWAN模式和WW3模式应用于中国黄海区域进行模拟能力的验证和比较。

3 资料与模式设置

3.1 观测资料

在国家自然科学基金 SOLAS 重大项目的支持下,中国海洋大学东方红二号调查船于2006年4月18~28日在中国黄海进行了包括气象、水文、化学和生物的联合行走观测,地形及调查船的行走路线(见图1)。本文选用了船定点时的平均风速和波温仪测的有效波高,图1中黑*号表示测量风速和波高的具体地理位置,并且一个位置有一个结果,3个三角形标示的位置为连续观测点,1h有一个输出结果,并且在观测点1位置的24h观察过程中经历过一次大风袭击。

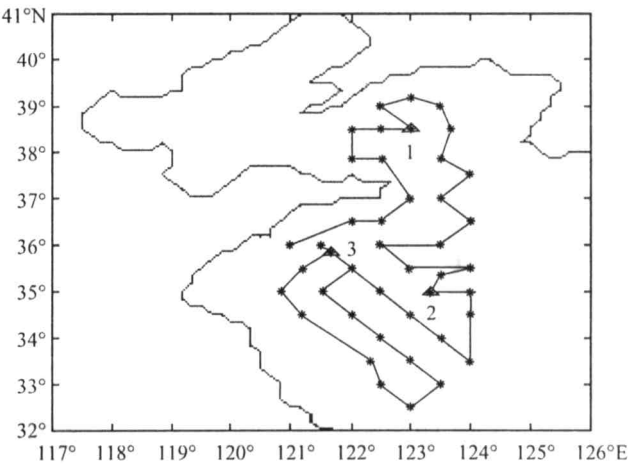


图1 计算区域与船运行的定点观测位置(*),△为连续观测点

3.2 模式运算选用数据

WW3 模式和 SWAN 模式所用地形数据范围均在(117°~126°E,32°~41°N)之间,空间网格分辨率为 1/6 的地形数据,并且本文选用风场:QuikSCAT/NCEP 混合风场。很多研究证明 QuikSCAT/NCEP 混合风场应用于中国海海浪数值预报模式是可行的^[1~2], QuikSCAT/NCEP 混合风场是对高分辨率的 QuikSCAT 卫星散射计观测数据(QuikSCAT)和全球天气中心(NCEP)分析数据的时-空混合分析的结果,该风场给出的是海面 10m 高空经纬两个方向的速度分量,时间间隔为 6h,空间分辨率为 0.5°×0.5°,覆盖了全球从 88°S~88°N 的范围,作者下载了 2006 年 4 月 17~29 日的混合风场数据进行计算。

两模式均由初始时刻的海面风场及 JONSWAP 谱初始化,在进行运算时,将海面风场在时间和空间两个方向线性插值到模式的每个时间步长及网格点上,计算时间步长都设置为 15 分钟,并以 1h 的时间间隔输出有效波高结果^[8~9]。

4 WW3 和 SWAN 模式在理想状态下的模拟比较

由于黄海平均水深为 44m,在进行理想状态的设置时,将其水深都设为常值 50m,并以 5m/s、10m/s、20m/s 低中高三种均匀定常风场(方向设为自西向东)为初始场,分别以 WW3 模式和 SWAN 模式进行有效波高的模拟,比较两种模式在理想状态下模拟结果。图 2、3、4 分别给出了两种模式在低中高三种均匀定常风场作用下 12 小时后的有效波高计算结果。从图中可以看出,沿着风速的方向,两种模式结果的浪高都呈增大的变化直至浪高达到最大值,并且浪高与风速呈正相关关系,风速大,浪高也大,这与理想结果一致。但在相同条件下,比较图 a、b 发现不论是在何种风速条件下,两种模式对黄海的模拟结果却并不一致,在低中风速条件下,WW3 模式模拟结果其沿岸空间变化都较

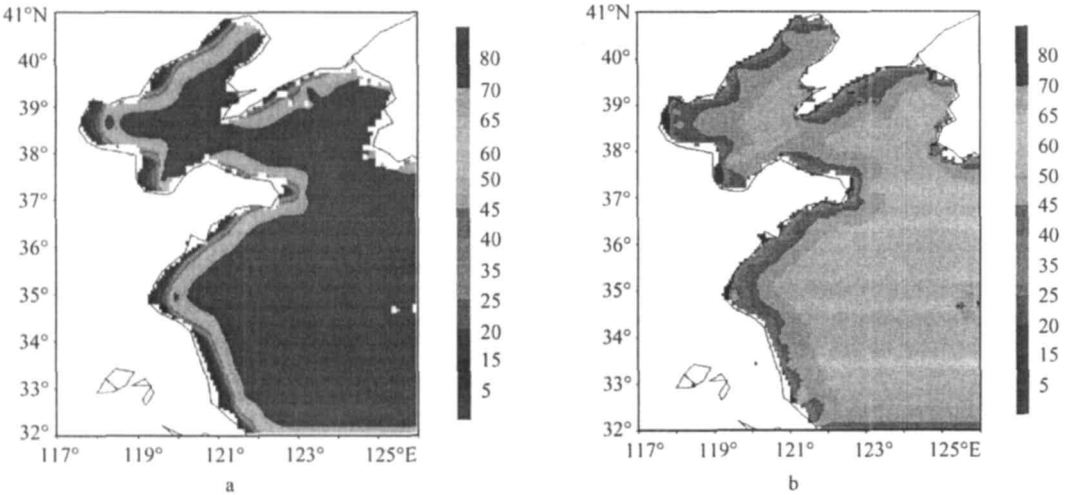


图 2 以 5m/s 风速为初始场 12h 后的浪高结果 (单位: 0.01m), 其中 a 为 WW3 运算时果, b 为 SWAN 运算结果

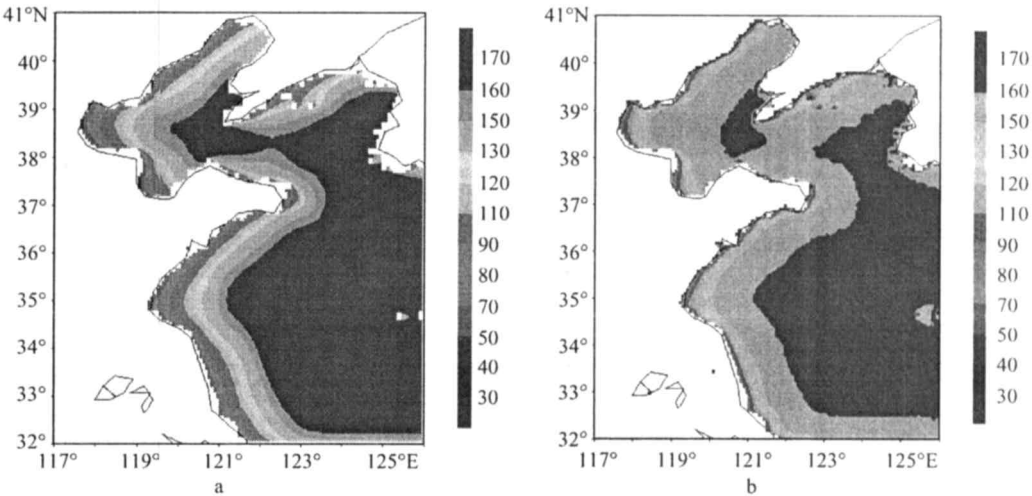


图 3 以 10m/s 风速为初始场 12h 后的浪高结果 (单位: 0.01m),
其中 a 为 WW3 运算时果, b 为 SWAN 运算结果

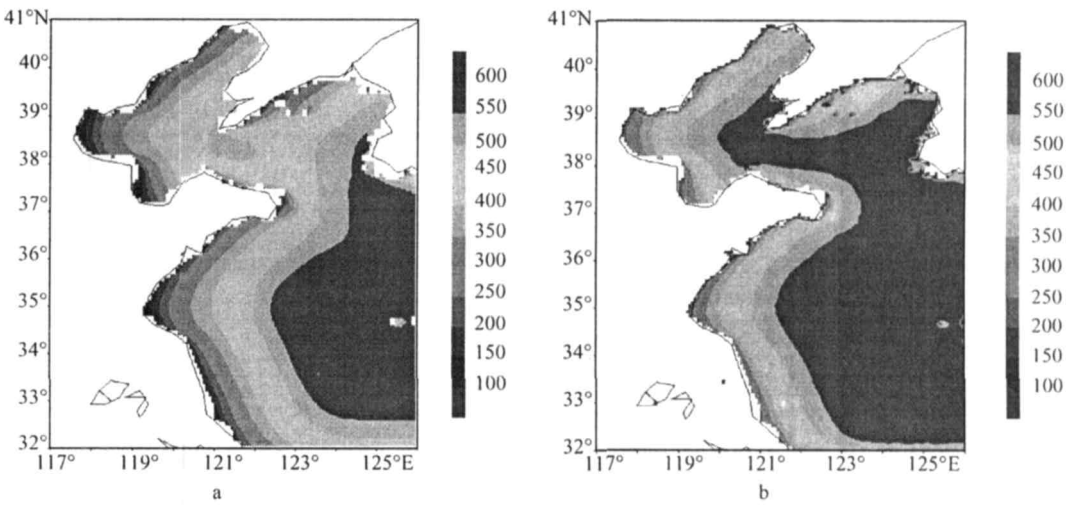


图 4 以 20m/s 风速为初始场 12h 后的浪高结果 (单位: 0.01m),
其中 a 为 WW3 运算时果, b 为 SWAN 运算结果

SWAN 模式大, 且从大区域的浪高大小来看, WW3 模式的浪高结果较 SWAN 模式大, 而在高风速的情况下, 结果又不同, 这时两模式结果空间变化都较大, 而从大小比较来看, SWAN 模式模拟结果相对 WW3 模式模拟结果较大。不过从整体来看, 在不同的条件风速下, 虽然两种模式的模拟结果有所不同, 但在相同风速作用下, 两种模式模拟的结果相差不大, 可见两模式都有其稳定可靠性。

而若将水深变化考虑进去, 应用实际地形数据进行定常风速的模拟计算, 结果发现, WW3 模式在实际地形的作用下计算结果与理想状态下的计算结果差别较大, 而 SWAN 模式的计算结果则基本变化很小(图略), 可见在同时都考虑了底摩擦影响的条件下,

WW3 模式受地形影响较大, 具体原因本文不做讨论。

5 WW3 和 SWAN 模式在实际应用中的模拟比较

2006 年 4 月 18 日到 28 日期间, 从图 5 的观测风速值中可以看出, 19 日到 21 日之间有一次大风过程, 其间有效波高最大达到了 4m(见图 6 浮标观测结果), 当风速在 5m/s 左右时, 有效波高则在 1m 左右波动, 当风速在 5 ~ 10 m/s 时, 有效波高在 1 ~ 2m 之间, 浪高和风速呈现着正相关关系, 与前面的理想结果一致。

将与图 1 观测点位置时间接近的 QuikSCAT/NCEP 混合风场数据选出(见图 5), 与实

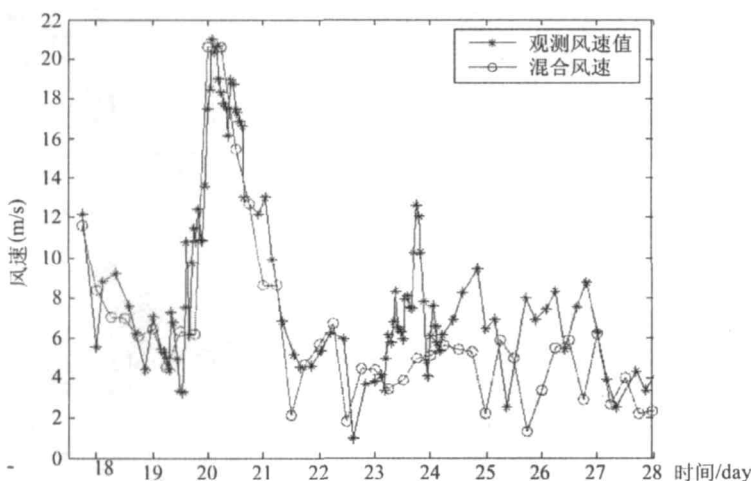


图 5 混合风场与实际观测风场的比较

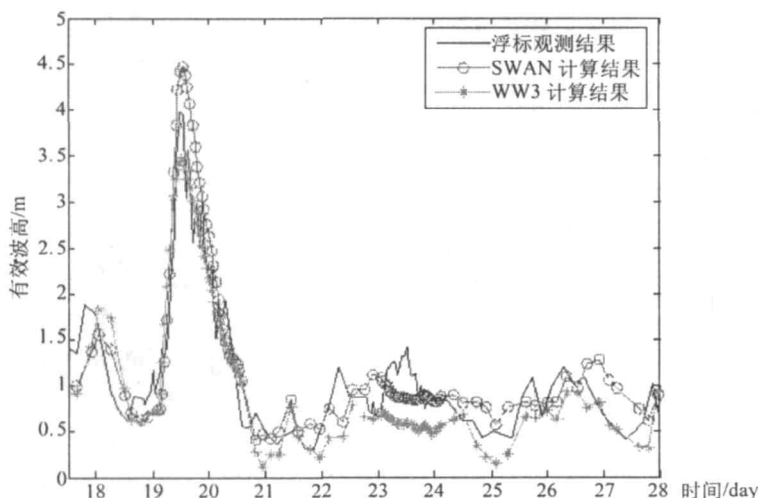


图 6 模式计算的有校波高与观测结果的比较(其中实线为观测的有效波高, “*”, “O” 分别表示 WW3、SWAN 模式计算的有效波高)

际观测风速相比较,可以看出混合风速与观测风速基本对应,在 20 日有一次大风过程,其他风速变化趋势也比较一致,但是由于所取的混合风场的空间点和实际观测点并不太对应,只能选取临近点,且混合风场的时间为 6 小时一次,观测值为瞬时观测值,这也会导致两者结果有所差距,但混合风场基本能代表实际变化情况。在以混合风场为初始场的作用下,分别以 WW3 模式和 SWAN 模式进行有效波高的模拟,其结果见图 6,从图中可以看出,两种模式的计算结果都能很好的体现出实际波高的变化趋势,在 19~20 日之间有一次大浪过程,其它时间浪高平稳,基本上与实际情况一致。

将两模式的计算结果与实际观测结果分别进行相关性分析和误差分析,图 7 的散布图和分析结果表明(Cor 为相关系数, Ea 为平均偏差, Er 为相对误差),两种模式的计算结果与观测结果都有很好的相关性,其中 WW3 结果与观测结果相关系数为 0.80, SWAN 结果与观测结果相关系数为 0.83,而从误差分析结果来看, WW3 计算结果平均偏低了 0.18m, 相对误差为 13.8%, SWAN 计算结果平均偏高了 0.09m, 相对误差仅为 7%, 比较而言, SWAN 结果和实际观测结果更接近, 模拟能力更强。从图 7 中,我们还可以看出,在低风速的条件下, SWAN 模拟出的有效波高与实际观测结果吻合的很好,而 WW3 模拟结果则基本偏小。就计算结果看, SWAN 的计算结果峰值较实际偏大, WW3 的计算结果较实际偏小,其结果基本体现了高风速下 SWAN 的计算结果较 WW3 的计算结果偏大的特点。总体来说,对于黄海区域, SWAN 和 WW3 都能很好的模拟出浪高的变化情况,其中 SWAN 模式的模拟能力较 WW3 更好。

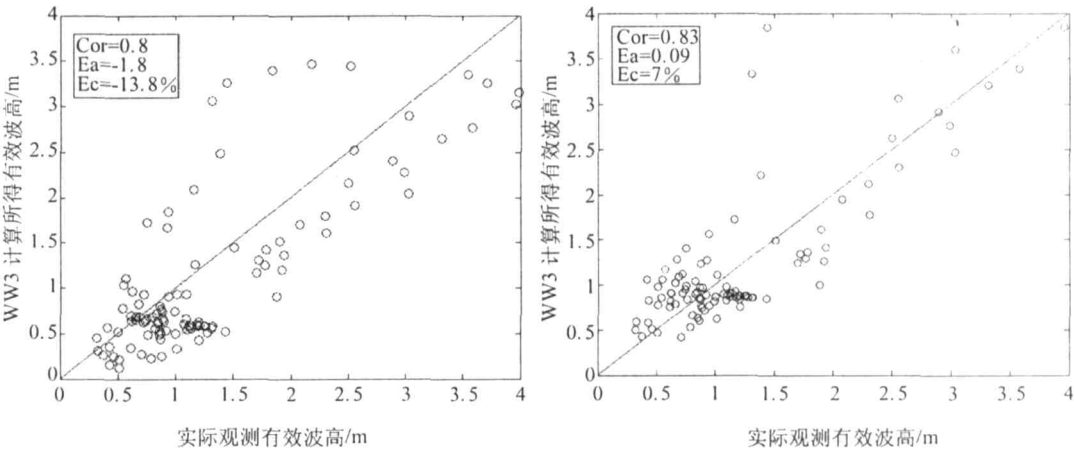


图 7 有效波高的散布图,其中 a、b 分别表示 WW3 和 SWAN 计算结果与实际观测有效波高的散布情况

6 结论

通过比较 WW3 和 SWAN 两种模式在理想状态和实际应用中 对浪高的模拟结果发现：

理想状态下两种模式的模拟结果在大小和空间分布上都不相同,在低中风速条件下,WW3 模式模拟结果的沿岸空间变化及大小都较 SWAN 模式大,而在高风速的情况下,两者沿岸空间变化都较大,且 WW3 模式模拟结果相对 SWAN 模式模拟结果小。在实际模拟中,将两种模式的模拟结果与实际观测值相比,两种模式都能很好的模拟出实际浪高的变化情况。从误差分析来看,SWAN 模式模拟结果相对误差较小,但是对高风速条件下的模拟,两个模式都有偏差,WW3 模式模拟结果比实际结果偏小,而 SWAN 模式模拟结果则偏大。总体来看,两模式对黄海浪高的模拟结果并不一致,WW3 模式相对于 SWAN 模式受水深地形影响较大,不同风速下的模拟结果也有所不同,比较而言,SWAN 模式对黄海的模拟能力较 WW3 模式相对较好,模拟结果更具有代表性。

参考文献:

- [1] 徐艳清,等.东中国海海浪数值模式的研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(6): 42 ~ 47.
- [2] 李明悝,侯一筠. 利用 QuikSCAT/NCEP 混合风场及 WAVEWATCH 模拟东中国海风浪场 [J]. 海洋科学, 2005, 29(6): 9 ~ 12.
- [3] 齐义泉,等. WWATCH 模式模拟南海海浪场的结果分析[J]. 海洋学报, 2003, 25(4): 1 ~ 9.
- [4] 李 燕,薄兆海. SWAN 模式对黄渤海海域浪高的模拟能力试验[J]. 海洋预报, 2005, 22(3): 75 ~ 82.
- [5] 波浪数值预报. 海浪及其预报[M]. 北京: 气象出版社, 1991, 147 ~ 189.
- [6] 闻 斌,刘 俊. 海浪数值模式研究回顾与进展[J]. 海洋预报, 2006, 23(4): 76 ~ 81.
- [7] 李 燕,薄兆海. SWAN 模式对黄渤海海域浪高的模拟能力试验[J]. 海洋预报, 2005, 22(3): 75 ~ 82.
- [8] Holthuijsen L H, Booij N, et al. SWAN User Manual (Cycle III version 40.41) [M], Delft: Delft University of Technology, 2000.
- [9] Hendrik L. Tolman. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22, Technology Note 214, 2002.

The analysis of Yellow Sea wave with WAVEWATCH and SWAN models

MEI Chan Juan¹, ZHAO Dong Liang¹, SHI Jian²

(1 Institute of Physical Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266100 China; 2 College of Meteorology, Institute of Science and Engineering of the P L A, Nanjing 211101 China)

Abstract: In this paper, the third wave models WAVEWATCH and SWAN are both used to simulate the sea wave in Yellow Sea, meanwhile, the modeled sea wave are compared with the measured sea wave. The comparisons of simulated sea wave calculated by two different wave models show that there are different in special and temporal distribution for the simulated sea wave, but the value and changing trend of sea wave are similar; comparisons of the simulated and measured sea wave present that simulated result of SWAN is better than the result of WAVEWATCH, however, the simulated result of SWAN is larger and the simulated result of WAVEWATCH is smaller than the measured data in the high wind speed condition.

Key Words: WAVEWATCH; SWAN; QSCAT/NCEP blend wind; wave high