

基于台风浪后报模型的外海重现期波浪要素分析

宋伟伟^{1,2}, 陈国平¹, 严士常¹, 陈小婷¹

(1.河海大学 港口海岸与近海工程学院 海岸灾害与防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;

2.中国人民解放军92694部队, 辽宁 大连 116000)

摘要: 选用Jelesnianski (1965) 热带气旋经验风场模式模拟台风场, 采用基于动谱平衡方程的SWAN模型模拟台风浪, 对1951—2010年我国东南沿海可能产生较大影响的台风浪进行了推算。在良好的风、浪验证基础上, 基于台风浪数值后报结果, 将波高数据进行回归分析, 通过对广东沿海外海波要素计算结果与实测资料对比, 结果表明两者吻合良好, 可为海区内工程提供较好的参考。

关键词: 数值模式; 台风浪; 后报; SWAN; 重现期

中图分类号: TV 139.2¹; P 731.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)01-0051-04

Wave parameters analysis of different return period in the open sea with a hindcast model of typhoon waves

SONG Wei-wei^{1,2}, CHEN Guo-ping¹, YAN Shi-chang¹, CHEN Xiao-ting¹

(1. Key Laboratory for Sea coastal Disaster and Protection of the Ministry of Education, College of Harbor,

Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. PLA 92694 Army, Dalian 116000, China)

Abstract: Wind field under Jelesnianski tropical cyclone is applied to simulate the typhoon field. The SWAN model is based on the action balance equation, which is used to calculate the potential threatening typhoon waves in the sea region during 1951–2010. The model is well verified using field wind and wave data. With the results of the typhoon simulation, the wave height data is analyzed with regression analysis, and comparison of the simulated wave parameters with the measured values show good agreement. This research can provide scientific basis for projects in the sea area in the future.

Key words: numerical model; typhoon wave; hindcast; SWAN; return period

我国东南沿海地区台风频繁, 根据沿海测站的记录, 排在前10位的高潮大浪基本出现在台风生成、传播过程中。沿海每一项海岸或海洋工程研究, 均需要所在海域的波浪状况, 工程附近的波浪要素在很大程度上决定了工程的可行性、造价和安全运行。特别是近年来, 强台风接连在境内登陆, 造成了极大的破坏和损失, 因此了解东南沿海在台风期间的波浪环境, 对于沿海地区人

们的生命财产安全和工程的兴建具有重要意义。

1 台风浪数值后报模式

1.1 热带气旋风场模式

台风周围的气压场由Jelesnianski^[1]圆形气压场经验公式给出:

$$p_r = \begin{cases} p_0 + 0.25(p_\infty - p_0)(r/r_0)^3 & r \leq r_0 \\ p_\infty - 0.75(p_\infty - p_0)(r/r_0) & r > r_0 \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-04-28

作者简介: 宋伟伟 (1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事港口、海岸与近海工程研究。

$$r_0 = 28.52 \tanh[0.0873(\phi - 28)] + 12.22 / \exp[(p_\infty - p_0) / 33.86] + 0.2v_f + 37.22 \quad (2)$$

式中: p_0 是台风中心气压; p_∞ 是台风外围气压, 一般取为1 013.3 hPa; r 是计算点至台风中心的距离; r_0 是最大风速半径, 采用最大风速半径的经验公式^[3], v_f 表示移行风风速。

热带气旋风场由梯度风和移行风的风场合成, 其中梯度风风场可通过梯度风和气压场的关系得到, 移行风风场采用Ueno^[2]公式, 得出风场公式:

$$v_M = c_1 v_g \begin{bmatrix} -\sin(\theta + \beta) \\ \cos(\theta + \beta) \end{bmatrix} + c_2 v_t \quad (3)$$

式中: v_M 表示热带气旋风场; v_g 表示梯度风风场; v_t 表示移动风风场; c_1 和 c_2 是订正系数; θ 是计算点和台风中心的连线与x轴的夹角; β 是梯度风与海面风的夹角。

1.2 第三代海浪数值模型—SWAN模式

SWAN^[4-5]模型是第3代海浪数值模式, 以二维动谱密度 $N(\sigma, \theta)$ 表示随机波, 动谱密度与能谱密度 $E(\sigma, \theta)$ 关系为 $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$, 其中 σ 为相对频率, θ 为波向。模型的控制方程可表示为:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (C_x N) + \frac{\partial}{\partial y} (C_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (C_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta N) = \frac{S}{\sigma} \quad (4)$$

式中: N 为动谱能量密度; x, y 为地理坐标; t 为时间; θ 为传播方向; σ 为相对频率; $C_x, C_y, C_\sigma, C_\theta$ 为波能量在地理空间 x, y 和谱空间 σ, θ 上的传播速度; 方程左边第1项为动谱密度随时间的变化率; 第2和第3项表示动谱密度在地理坐标空间 x, y 方向上的传播; 第4项表示由于水深和流场所引起的动谱密度在相对频率 σ 空间的变化; 第5项表示动谱密度在谱分布方向 θ 空间的传播, 即水深及流场而引起的折射; 方程右边的 S 代表以谱密度表示的源汇项, 包括风能输入、白浪、破碎、海底摩擦、波-波非线性相互作用等物理过程。第3代海浪模型SWAN能够准确合理地模拟复杂的潮流、地形、风场环境下的波浪场。

1.3 台风浪计算范围及模型参数设置

基于第3代海浪模式SWAN, 建立了包括南中

国海、东海、黄海、渤海和西北太平洋部分海域的台风浪数值后报模式。模式的计算范围如图1所示, 为100°E~135°E、5°N~40°N, 空间分辨率为6'×6' (约10 km); 时间步长为5 min; 频率的计算从0.04~1 Hz, 以指数分布划分为34个; 方向的分段为32个, 分辨率为11.25°。在模型的物理机制上, 风能的输入考虑线性增长和指数增长两部分, 其中线性增长采用Caraler和Malanotte-Rizzoli公式, 指数成长采用Komen等的研究成果; 海底摩擦造成的能量损耗采用Collins公式, 考虑三相波和四相波的相互作用, 参数的设置取为模型默认值。

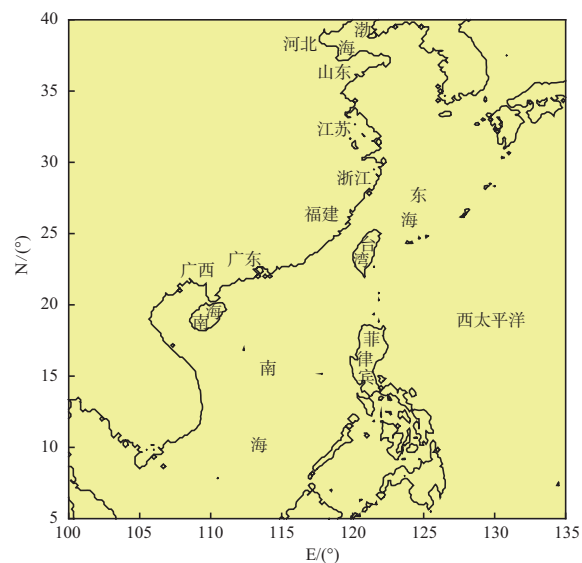


图1 台风浪数值模拟模型计算范围

2 台风浪数值后报模式的个例验证

2.1 后报模式风场验证

因为台风浪的数值后报精度在很大程度上依赖于台风风场的精度, 本文收集了30多个实测台风过程, 对热带气旋风场模式的数值模拟能力进行了检验, 结果表明在台风生成、发展过程中与实测数据基本吻合, 证明该风场模式可用于东南沿海台风风场的模拟。图2为2005年7月0508号台风“WASHI”作用下数值计算的风速与涠洲岛站实测数据的对比, 图3为2008年9月0814号台风“HAGUPIT”作用下数值计算的风速与大万山站实测数据的对比。

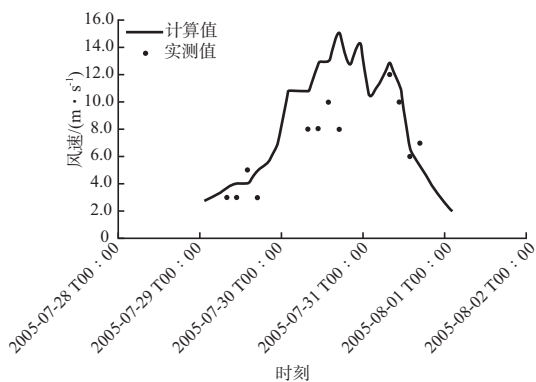


图2 “0508” 涠洲岛风速过程

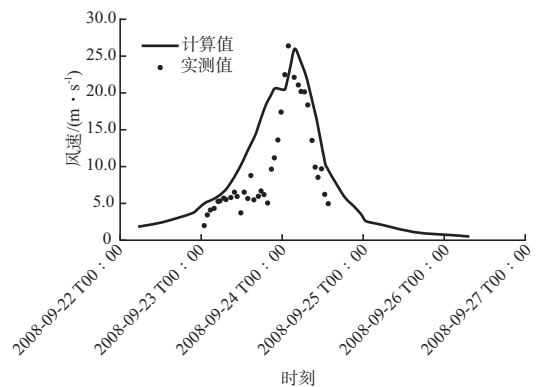


图3 “0814” 大万山风速过程

2.2 后报模式波浪验证

为了验证SWAN模式对东南沿海台风浪的模拟效果, 本文将模式计算结果与台风实测站资料进行对比, 表1~2为部分台风后报模式计算结果与实测站资料对比分析, 可以看出两者吻合程度较高, 符合后报要求; 图4~7为波高、周期实测过程与数值计算结果的对比, 在开始阶段和结束阶段的波高计算值与实测值误差较大, 而在波浪峰值

表1 东南沿海台风浪计算值与实测值比较

台风名称	台风号	测站位置	有效波高/m		平均周期/s	
			实测	计算	实测	计算
宝莉	9216	北碭海洋站	4.8	5.4	8.7	9.2
		浙江坎门	2.7	2.9	6.5	6.8
泰莎	9309	涠洲岛海洋站	2.7	2.4	6.4	6.1
海棠	0505	平潭海洋站	5.8	6.5	9.6	10.1
		北碭海洋站	5.2	5.5	9.1	9.3
麦莎	0509	东海18号浮标	9.3	9.9	12.1	12.5
泰利	0513	北碭海洋站	3.5	3.7	7.4	7.6
卡努	0515	嵎山海洋站	4.5	4.2	8.4	8.1
韦帕	0712	东海18号浮标	8.1	7.2	11.3	10.7
浣熊	0801	西沙海洋站	5.5	6.0	9.2	9.6

表2 东南沿海台风浪计算值与实测值误差分析

物理量	平均偏差	平均相对误差/%	标准差	相关系数
有效波高	0.2 m	3.07	5.51	0.97
平均周期	0.1 s	1.47	0.39	0.95

处误差较小, 这是由于模型计算中只考虑了台风风场而没有考虑与台风作用无关的外界风场, 所以当台风距离较远时, 导致计算所得波高偏小, 但整体发展过程趋势基本一致。因此, 计算值与实测值符合良好, 台风浪模型能够有效模拟台风过程。

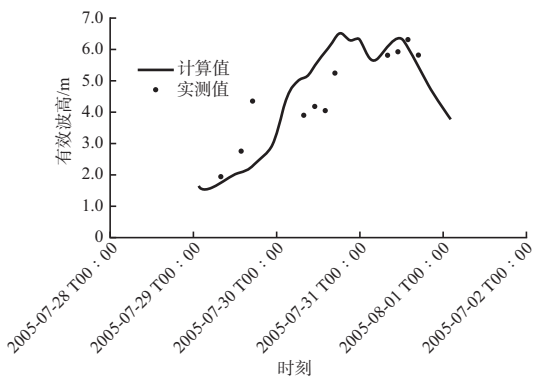


图4 “0508” 涠洲岛波高过程

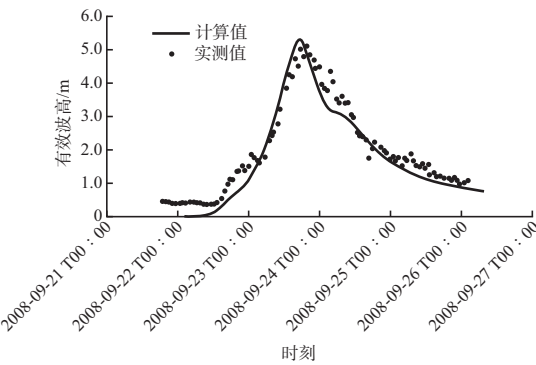


图5 “0814” 惠来沟疏波高过程

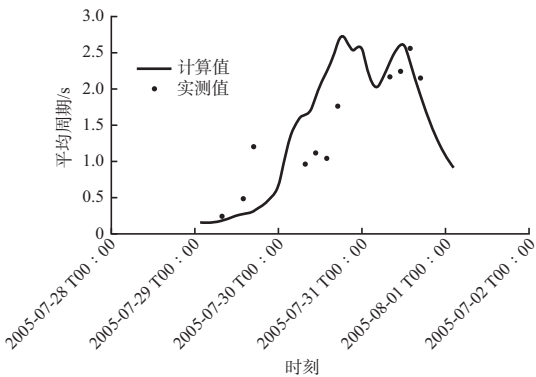


图6 “0508” 涠洲岛周期过程

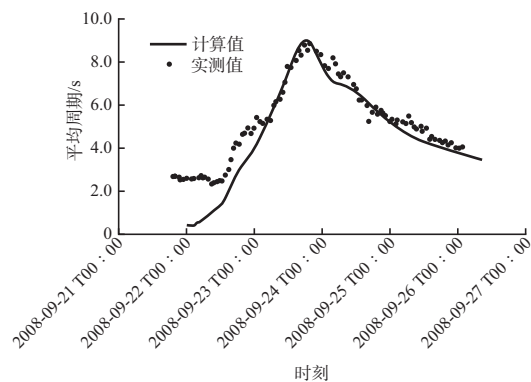


图7 “0814” 惠来沟疏周期过程

3 广东沿海外海重现期波浪要素分析

在搜集了日本气象厅（JMA）发布的1951—2010年的488次热带气旋资料的基础上，对东南沿

海海域可能产生影响的390次热带气旋引起的风浪进行了数值计算，得到了每个台风产生的波浪场。由于重现期波浪验证采用主波向波浪验证，对于年极值的样本系列来说，保证每年一个波高极值是能够实现的，因此采用皮尔逊Ⅲ型曲线进行重现期统计。由于实测资料短缺，本文仅对广东沿海外海重现期波浪要素进行分析，得到了云澳、遮浪、大万山、硇洲海洋测站各主波向 $H_{13\%}$ 波高的长期分布，将结果与4个测站实测资料重现期分析结果进行比较，见表3。分析得出NE，E，SE，S，SW向重现期波高的实测、计算值平均偏差0.2m，平均相对误差4.6%，标准差0.07，相关系数0.92。

表3 海洋测站波高 $H_{13\%}$ 长期分布（实测与计算）结果比较

测站	方向	波高重现期/a													
		2		5		10		20		30		50		100	
		实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算
云澳	NE	2.4	1.8	3.2	2.5	3.6	2.9	4.1	3.4	4.3	3.6	4.8	3.9	5.2	4.3
	E	2.5	2.4	3.4	3.4	4.0	4.1	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.5	6.0	6.1
	SE	2.5	2.9	3.5	4.0	4.3	4.7	4.9	5.3	5.4	5.7	5.8	6.2	6.5	6.8
	S	2.3	2.7	3.2	3.5	3.9	4.1	4.6	4.6	5.0	4.9	5.4	5.3	6.2	5.8
遮浪	E	3.2	3.0	4.3	4.5	4.9	5.4	5.7	6.3	6.0	6.8	6.4	7.4	7.2	8.2
	SE	3.0	3.9	4.5	5.2	5.5	6.1	6.4	6.9	7.0	7.4	7.8	7.9	8.7	8.7
	S	2.6	3.4	4.2	4.5	5.1	5.2	6.1	5.9	6.6	6.3	7.5	6.8	8.5	7.5
	SW	2.7	2.1	3.8	3.0	4.5	3.6	5.2	4.2	5.6	4.5	6.1	4.9	6.7	5.4
大万山	E	2.7	3.3	3.8	4.5	4.6	5.2	5.3	5.9	5.7	6.3	6.3	6.8	6.9	7.4
	SE	2.7	3.8	3.7	5.1	4.3	5.9	5.0	6.6	5.3	7.1	5.8	7.6	6.5	8.4
	S	2.5	3.3	3.8	4.4	4.7	5.1	5.4	5.7	6.3	6.1	6.5	6.6	7.2	7.2
	SW	2.3	2.2	3.3	3.4	3.9	4.1	4.5	4.8	4.9	5.2	5.3	5.6	6.0	6.3
硇洲	NE	2.2	2.3	3.3	3.1	4.0	3.6	4.8	4.0	5.1	4.3	5.7	4.6	6.4	5.1
	E	2.4	3.2	3.5	4.2	4.2	4.8	4.8	5.4	5.3	5.8	5.9	6.2	6.5	6.8
	SE	2.2	3.1	3.2	4.2	3.9	4.9	4.5	5.6	5.0	6.0	5.4	6.4	6.2	7.1
	S	1.9	2.0	2.6	2.9	3.2	3.5	3.7	4.0	4.0	4.2	4.4	4.6	5.0	5.0

4 结论

- 1) 应用台风浪后报模型，将计算结果与实测站风、浪资料对比分析。结果表明，计算值与实测值符合良好，台风浪后报模型能够有效模拟台风过程。
- 2) 在此基础上进行波高、周期重现期分析，重现期计算值与实测值的基本吻合，因此得出的外海波要素真实可靠，可为确定海区内工程设计

波浪要素提供较好的参考。

由于实测波浪资料匮乏，本文仅对广东省沿海云澳、遮浪、大万山、硇洲等4个海洋测站的外海重现期波浪要素进行了对比分析，因此很有必要进一步收集其他海洋测站的实测资料，将对比分析扩大到东南沿海范围。

（下转第75页）