

合成风场作用下的近海重现期波要素分析

沈旭伟, 陈国平, 严士常, 徐耀飞, 周雅

(河海大学港口海岸及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)

摘 要: 运用第三代海浪模式SWAN, 分别将台风模型风场、美国NCEP风场、合成风场作为其驱动风场, 与实测值比较发现: 合成风场优于另外两种风场, 在台风中心和远离台风中心地带模拟效果都较好。故选用合成风场作为驱动风场, 对1982—2015年间影响东南沿海的210个台风过程进行数值模拟推算, 进行P-III曲线拟合分析, 与测站实测资料符合良好。在此基础上, 分方向绘制出东南沿海的百年一遇的波高分布图, 可为近海工程环境评估和设计提供参考。

关键词: SWAN模型; 合成风场; 东南沿海; 重现期波高

中图分类号: P731.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2016)05-0041-07

1 引言

中国东南沿海受台风影响严重。一方面, 台风引起的巨浪会对沿岸的人民产生巨大的影响, 造成重大的海难事故和海洋工程的破坏。另一方面, 中国南部沿海每一项海岸或海洋工程研究, 也均需要了解所在海域的波浪状况。在人类对海洋的开发利用进入空前迅猛发展的时代背景下, 了解东南沿海海域在台风期间的波浪环境, 对重点海域的台风浪进行正确预报, 对于东南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。

风场模型千差万别, 主要分为3类: 第一类是理论气压模型, 计算简单但不能较好反映海面真实气压分布^[1]; 第二类是经验模型^[2], 较为灵活但受时空限制, 较难确定经验参数; 第三类是半经验半理论公式, 发展还不够成熟。目前海浪的长期分布仍不清楚, 对于多年一遇的极大值波高的推断, 通常选择适线法拟合, 所选样本越多, 推算结果越可靠。因此, 选择一个适合东南沿海的台风风场模型, 进行长时间序列的数值模拟, 将获得更准确的预报结果。本文分别将台风模型风场、美国NCEP风场、合成风场作为其驱动风场, 与测站实测波高进行比

较, 选取合适的风场对1982—2015年间共计34 a影响东南沿海的210个台风过程进行数值模拟, P-III曲线^[3-4]推算东南沿海的重现期的特征波要素, 与观测资料对比, 分析结果。在此基础上, 建立东南沿海重现期的波高等值线波高图, 可为近海工程的环境评估和设计提供参考。

2 海浪模式

2.1 海浪模式简介

海浪的数值预报始于20世纪50年代, 1957年Gelci等基于二维波谱能量传播方程建立的数值模式。随着对各种物理过程描述的不断深入和参数化形式的不同, 模式经历了第一代到第三代的演变, 其中荷兰Delft理工大学所建立的SWAN (Simulation WAve Nearshore) 模型^[5]就是第三代数值海浪模式的杰出代表, 并且研究成熟, 应用广泛^[6-8]。

2.2 参数设置

模式运行所选用的地形资料来自于美国国家海洋大气局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 公布的ETOPO1全球地形数

据集,分辨率为 $1'\times 1'$ 。模式的计算范围为 $105^\circ-120^\circ\text{E}$ 、 $12^\circ-25^\circ\text{N}$,空间分辨率为 $2'\times 1'$,网格点数 451×781 ;时间步长为 10 min ;频率的计算从 $0.04-1\text{ Hz}$,以指数分布划分为34个;方向的分段为32个,分辨率为 11.25° 。输出区域与计算区域范围相同,按 1 h 的时间间隔输出模拟数值。

3 资料与方法

3.1 风场简介

3.1.1 台风模型风场

台风的模型风场表达式如下:

$$V_M = c_1 V_g \begin{bmatrix} -\sin(\theta + \beta) \\ \cos(\theta + \beta) \end{bmatrix} + c_2 V_t \quad (1)$$

式中: V_g 是梯度风速,采用Myers圆对称模型公式^[9]; V_t 是移行风速,采用宫崎正卫公式^[10]; c_1 和 c_2 为订正系数,根据大量资料, c_1 取 0.8 , c_2 取 0.5 ; θ 是计算点与台风中心的连线与 x 轴的夹角; β 是梯度风与海面风的夹角。

3.1.2 美国NCEP风场

该项数据数据由NOAA美国环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)研制,由NOAA气候资料中心(National Climatic Data Center, NCDC)负责维护。资料属全

球大气、海洋、陆面再分析数据,空间分辨率为 $0.5^\circ\times 0.5^\circ$,时间分辨率为 3 h ,时间起自1979年。

3.1.3 合成风场

合成方法如下:

$$V_c = (1 - e)V_M + eV_Q \quad (2)$$

式中: V_M 为台风风场, V_Q 为NCEP风场, e 为权重系数,根据Carr III^[11]的研究成果,权重系数的表达式为 $e = \frac{c^4}{(1 + c^4)}$, c 是考虑台风影响范围的系数, $c = r/nR_1$ 。 r 是计算点至台风中心的距离; R_1 是根据经验公式推得的最大风速半径^[12]。 n 为风速半径影响系数,本文 n 取 $5^{[13]}$ 。

3.2 资料简介

气压模型风场数据是由日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)发布台风最佳路径资料获取(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>),台风过程的波要素资料由广东沿海的平海湾站、惠来沟疏站提供,重现期波要素由北部湾内的涠洲岛站、东方站、莺歌海站提供。

3.3 模型验证

分别选取广东平海湾站(114.73°E 、 22.57°N)的0601号台风“珍珠”、广东外海的惠来沟疏站(116.40°E 、 22.80°N)的0814号台风“黑格比”、0903号台风“莲花”,位置如图1所示。将不同风场的模拟值与测站实测资料进行对比。图2—4表明,当台风中心靠近测站时,即波高最大处,台风风场模型和合成风场模型对波高的模拟效果较好,NCEP风

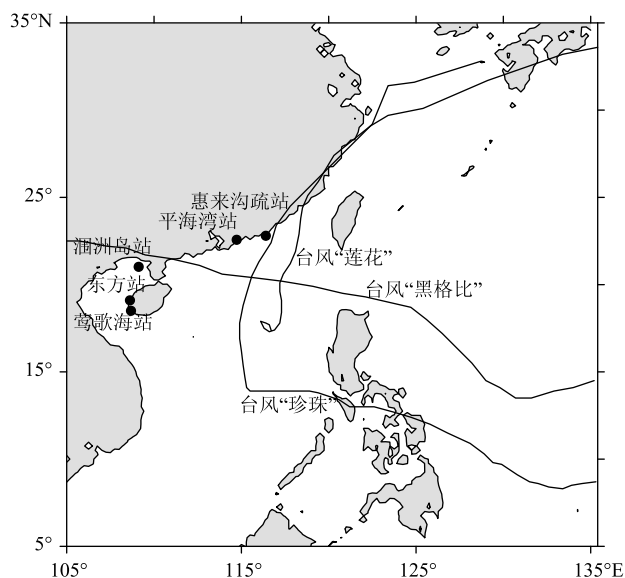


图1 台风路径及测站位置示意图

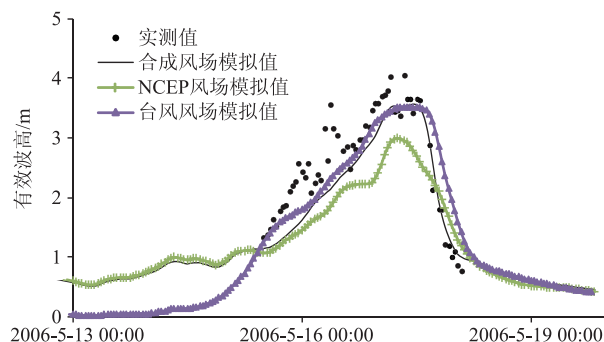


图2 0601号台风“珍珠”在不同风场模型下的波高过程图

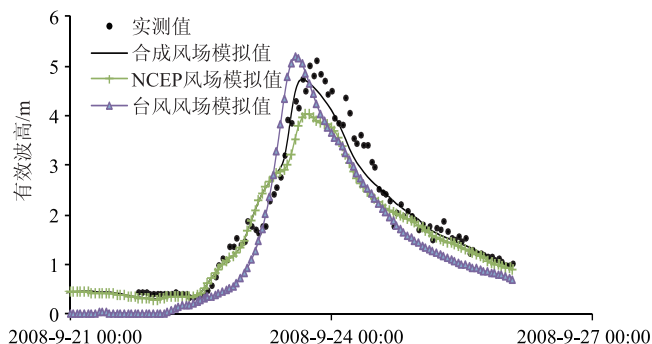


图3 0814号台风“黑格比”在不同风场模型下的波高过程图

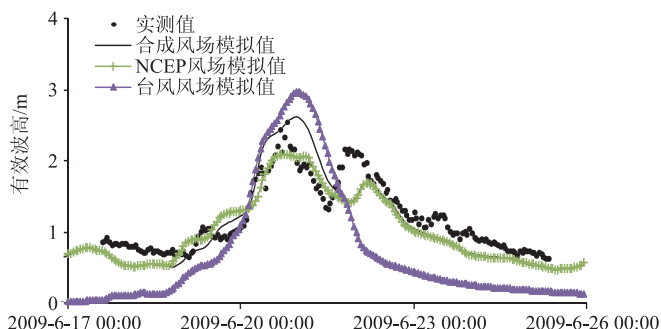


图4 0903号台风“莲花”在不同风场模型下的波高过程图

场的模拟值偏小较多。在台风中心远离测站时,即远离最大波高的两侧,NCEP风场模型和合成风场模型对波高的模拟效果较好,而台风风场的模拟值偏小较多。

本文引入相关系数平均偏差、相关系数、均反复跟误差、标准均方根误差这4个统计指标用以验证模型的准确性和合理性^[14-15]。表1—4表明,合成风场的偏差平均值为-0.14 m,相关系数平均值为0.933;NCEP风场的偏差平均值为-0.31m,相关系数平均值为0.904;台风风场偏差平均值为-0.26 m,相关系数平均值为0.854。整体而言,合成风场的模拟值与实测值相关系数最高,偏差也最小,均方根误差和标准均方根误差也最小。

总体上,合成风场的数值模拟结果与测站的实测资料符合更好,基于合成风场的SWAN海浪模式能较好反映出台风过程中北部湾的波要素变化情况。故本文采用美国NCEP风场为背景风场,将台风模型风场与它合成的风场作为驱动风场。

表1 不同风场下模拟值与实测值的平均偏差/m

	“珍珠”	“黑格比”	“莲花”
合成风场	-0.29	-0.05	-0.08
NCEP风场	-0.59	-0.21	-0.14
台风风场	-0.05	-0.33	-0.39

表2 不同风场下模拟值与实测值的相关系数

	“珍珠”	“黑格比”	“莲花”
合成风场	0.908	0.981	0.911
NCEP风场	0.825	0.973	0.913
台风风场	0.803	0.953	0.805

表3 不同风场下模拟值与实测值的均方根误差/m

	“珍珠”	“黑格比”	“莲花”
合成风场	0.49	0.27	0.28
NCEP风场	0.80	0.55	0.25
台风风场	0.53	0.43	0.69

表4 不同风场下模拟值与实测值的标准均方根误差

	“珍珠”	“黑格比”	“莲花”
合成风场	18.9%	13.5%	23.1%
NCEP风场	30.8%	27.5%	20.3%
台风风场	20.5%	21.7%	56.3%

4 近海重现期波浪要素分析

4.1 P-III曲线简介

P-III型分布的二参数概率密度函数形式:

$$P = P(x > x_p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (3)$$

$$\text{式中: } \alpha = \frac{4}{Cs^2}, \beta = \frac{2}{\bar{x}CvCs}, a_0 = \bar{x}(1 - \frac{2Cv}{Cs}), \bar{x}$$

为均值, Cv 为变差系数, Cs 为偏态系数。

在进行P-III曲线求解时,可以通过公式算出样本的变差系数和偏态系数,进行适量调整,就可以确定P-III曲线。

4.2 资料验证与分析

在搜集了JMA发布的台风最佳路径资料,对1982—2015年北部湾附近的热带气旋进行统计分析,共选取210场台风进行风场推算,台风走向以

E-W向居多,得到每场台风在计算区域内的波浪场。《海港水文规范》^[16]作了规定,当选取年极值作为数据样本时,一般采用至少连续20 a的实测资料。本文选取1982—2015年共计34 a的数值模拟结果以及1960—1982年共计23 a北部湾附近的涠洲岛站(109.12°E, 21.02°N)、东方站(108.62°E, 19.10°N)、莺歌海站(108.68°E, 18.50°N)3个测站实测资料,位置如图1所示。采用P-Ⅲ曲线拟合,分方向进行重现期统计分析(见图5)。重现期波浪验证采用主波向验证。重现期统计结果见表5。

个别模拟结果的重现期波高与实测资料差距略大,大部分模拟结果与实测资料差距较小,能够

较好反映出重现期波高特征。从数据上,可以发现涠洲岛重现期波高明显小于东方站和莺歌海,这是由于在E-W向,台风穿过雷州半岛时,会遭到削弱,而在S-N向,台风穿过海南岛也会遭到削弱,且涠洲岛周围地形复杂,对风的削弱也明显,所以涠洲岛的主波向SE向、S向、SW向都会受到影响,重现期波高明显小于其它两个测站。东方站与莺歌海在主波向SW向的重现期波高接近,主要是两个测站接近,在SW向风力条件、地形条件类似。但是莺歌海主波向SE向、S向的重现期波高明显大与其他数值。这是由于经过莺歌海在N向和NS向的台风并未收到大的阻碍,台风作用强烈。

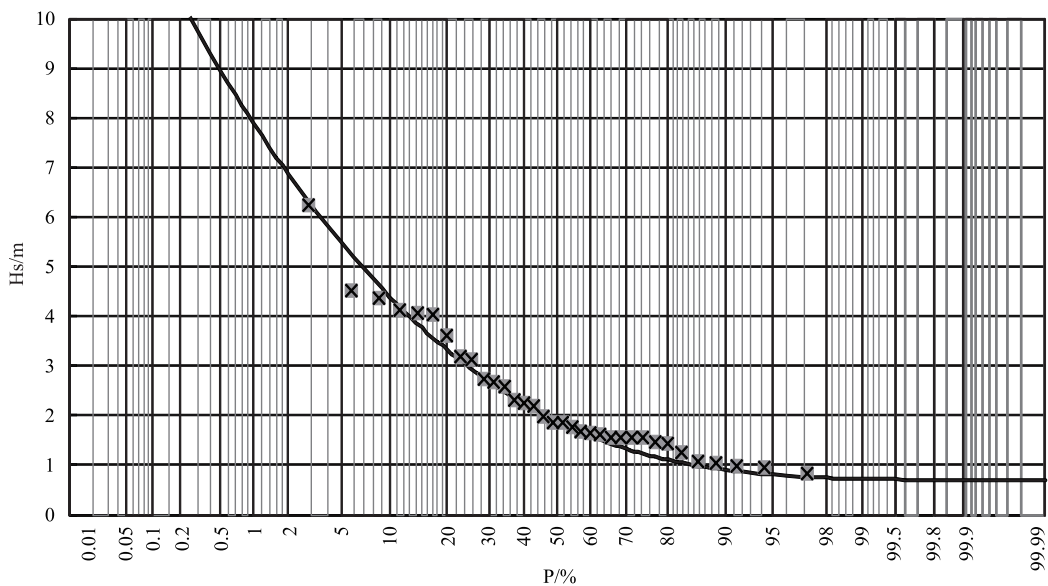


图5 莺歌海S向数值模拟结果的有效波高年极大值P-Ⅲ曲线拟合图

表5 海洋测站有效波高(m)长期分布实测值与模拟值的结果比较

测站	方向	波高重现期/a									
		5		10		25		50		100	
		实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值
涠洲岛站	SE	3.58	2.70	4.18	3.41	4.88	4.26	5.36	4.87	5.81	5.46
	S	3.53	2.60	4.13	3.32	4.84	4.21	5.36	4.85	5.81	5.47
	SW	3.44	2.58	3.98	3.26	4.54	4.14	4.91	4.79	5.26	5.43
东方站	SW	2.93	3.53	3.62	4.19	4.58	4.91	5.32	5.38	6.07	5.81
	W	2.83	3.02	3.67	3.80	4.88	4.73	5.83	5.39	6.81	6.02
	NW	2.59	2.96	3.35	3.71	4.42	4.60	5.26	5.23	6.13	5.83
莺歌海站	SE	2.75	4.10	3.89	5.21	5.76	6.58	7.34	7.58	9.01	8.55
	S	3.07	3.32	4.17	4.40	5.74	5.80	6.99	6.86	8.28	7.92
	SW	3.08	3.53	3.78	4.20	4.72	4.92	5.44	5.39	6.16	5.82
	W	2.57	3.24	3.42	3.76	4.57	4.36	5.47	4.78	6.38	5.17

总体上,模拟结果的重现期波高与实测资料较为接近,也与理论分析较为吻合,符合良好。

4.3 东南沿海重现期的波高

在上述资料良好验证的基础上,分方向绘制出东南沿海的百年一遇的波高分布图。图6—13表明:东南沿海的百年一遇波高都在12 m内。广东沿海E向、SE向波高较大,这是由于台风基本从东南

往西北方向经过广东沿海。海南岛E向、SE向、NE向的波高比较大,也是受台风经过的影响。北部湾内E向、NE向的波高较大,波高小于海南岛东南侧,这是由于海南岛和雷州半岛对台风的削弱作用。

4 结论

(1) 台风模型风场在台风中心地带具有较好的

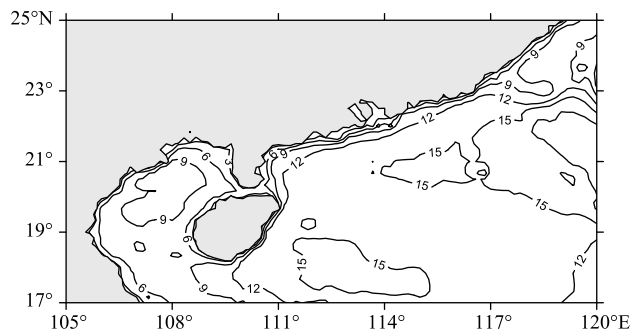


图6 E向百年一遇波高(m)

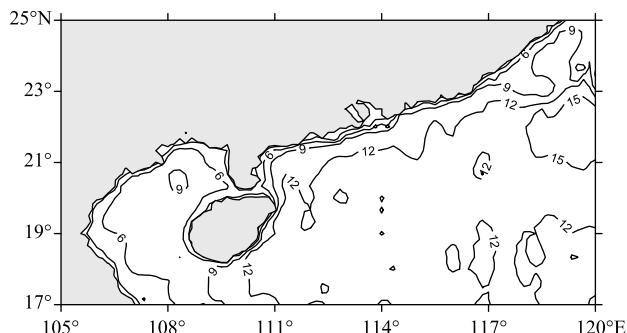


图7 SE向百年一遇波高(m)

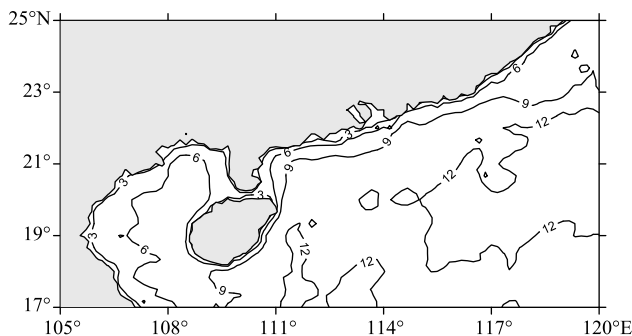


图8 S向百年一遇波高(m)

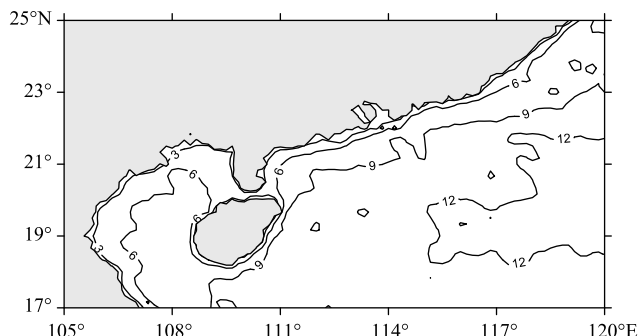


图9 SW向百年一遇波高(m)

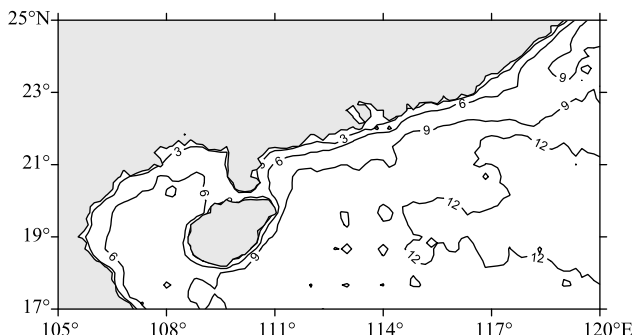


图10 W向百年一遇波高(m)

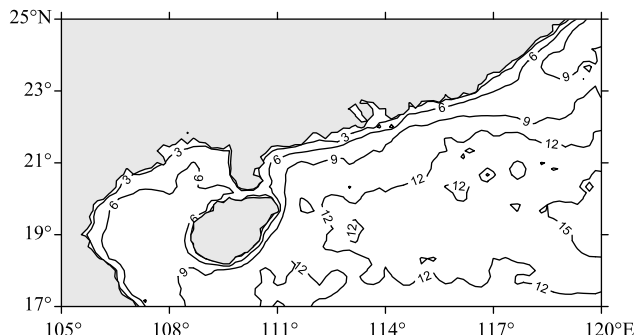


图11 NW向百年一遇波高(m)

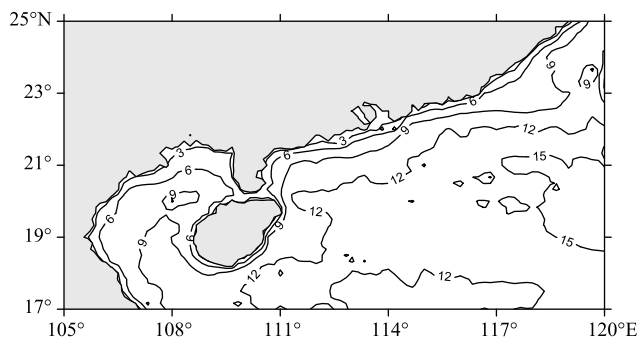


图12 N向百年一遇波高(m)

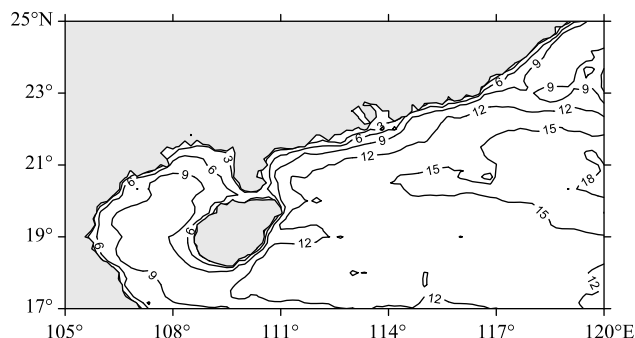


图13 NW向百年一遇波高(m)

模拟效果,美国NCEP风场在远离台风中心地具有较好的模拟效果,合成风场结合了两者的优势,在台风中心和远离台风中心地带都有较好的模拟效果。基于合成风场的SWAN海浪模式能更好地反映出台风过程中北部湾的波要素变化情况;

(2)根据多年数值模拟结果与实测资料,分别采用P-Ⅲ曲线分方向进行重现期统计,模拟结果的重现期波高与实测资料较为接近,符合良好。在此基础上,分方向绘制出东南沿海的百年一遇的波高分布图,可为近海工程环境评估和设计提供参考。

参考文献:

- [1] Fujita T. Pressure distribution within typhoon[J]. Geophysical Magazine, 1952, 23(4): 437-452.
- [2] 林伟, 方伟华. 西北太平洋台风风场模型中Holland B系数区域特征研究[J]. 热带地理, 2013, 33(2): 124-132.
- [3] 任伯帜, 许仕荣, 王涛. 皮尔逊-Ⅲ型分布统计参数的确定[J]. 中国给水排水, 2001, 17(1): 40-42.
- [4] 邱大洪. 工程水文学[M]. 第3版. 北京: 人民交通出版社, 1999: 44-48.
- [5] Booij N, Haagsma J, Holthuijsen L H, et al. SWAN user manual, SWAN Cycle III Version 40.41[R]. Delft: Delft University of Technology, 2004.
- [6] 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.
- [7] 郑崇伟, 邵龙潭, 林刚, 等. 台风浪对琼海飞行安全性的影响[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014, 35(3): 301-306.
- [8] 郑崇伟, 郑宇艳, 陈洪春. 基于SWAN模式的近10年南海北部波浪能资源研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2011, 6(2): 54-59.
- [9] Myers V A. Characteristics of United States hurricanes pertinent to levee design for Lake Okeechobee, Florida[R]. Hydrometeorological Report No. 32, 1954.
- [10] 宫崎正卫. 海洋物理Ⅲ[M]. 台中: 东南大学出版社, 1977: 311-312.
- [11] Carr III L E, Elsberry R L. Models of tropical cyclone wind distribution and beta-effect propagation for application to tropical cyclone track forecasting[J]. Monthly Weather Review, 1997, 125(12): 3190-3209.
- [12] Liu K S, Chan J C Y. Size of tropical cyclones as inferred from ERS-1 and ERS-2 data[J]. Monthly Weather Review, 1999, 127(12): 2922-3001.
- [13] 金罗斌, 陈国平, 赵红军, 等. 合成风场在南海台风浪数值模拟中的研究[J]. 水道港口, 2015, 36(1): 12-20.
- [14] Zheng C W, Li C Y. Variation of the wave energy and significant wave height in the China Sea and adjacent waters[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 43: 381-387.
- [15] Mirzaei A, Tangang F, Juneng L, et al. Wave Climate simulation for southern region of the South China Sea[J]. Ocean Dynamics, 2013, 63(8): 961-977.
- [16] 中华人民共和国交通部. JTJ 213-1998 海港水文[S]. 北京: 人民交通出版社, 1999.

Offshore wave parameter analysis of different return periods under the effect of combined wind field

SHEN Xu-wei, CHEN Guo-ping, YAN Shi-chang, XU Yao-fei, ZHOU Ya

*(Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence Ministry of Education, College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098 China)*

Abstract: Driven by typhoon model wind field, American NCEP (National Centers for Environmental Prediction) wind field and combined wind field, respectively, the wave simulation results based on the third-generation wave model SWAN (Simulating Waves Nearshore) are compared with field data. The results show that combined wind field is better than the other two wind fields, which has good simulation both in and away from the typhoon center. The combined wind field is chosen to drive the model, which stimulates 210 typhoons in southeast coast from 1982 to 2015. The numerical simulation results are used to plot P-III curves, and they are in good agreement with field data. On this basis, once-in-100-year wave height distribution maps are plotted in different directions, which could provide a reference for offshore project environmental assessment and design.

Key words: the SWAN model; combined wind field; southeast coast; wave heights for different return periods