

三沙近海海域灾害性海浪数值推算^{*}

王智峰,董 胜

(中国海洋大学工程学院 青岛 266100)

摘 要:以南海 20 年再分析风场作为驱动场,采用波浪模式 WAVEWATCH-III 对南海 1986—2005 年波浪进行了数值模拟。通过波浪模拟结果与 T/P 高度计波浪资料和台风浪观测资料的对比验证,表明本文波浪计算结果较好。利用模拟结果对三沙海域波浪进行了统计分析,发现三沙海域年平均波浪方向以 NE 向为主。选取中沙群岛近海点进行重现期推算,发现其百年一遇有效波高可达到 16.2 m,百年一遇平均周期可达到 16.7 s。海区波浪较大,对灾害性海浪的预警和风险评估不可忽视。

关 键 词:灾害性海浪;WAVEWATCH-III;数值模拟;重现期推算

1 引言

灾害性风、浪的研究,对于海上油气开发,平台建设和工程设计以及海岸灾害防护等方面,具有重要的实际意义和应用价值。对于南海的风、浪特征,国内外许多学者作了大量的研究工作。俞慕耕^[1]利用海上船舶资料,计算了南海的波高、周期、波向等要素的平均值、最大值和出现频率。许林之^[2]分析了南海波浪在各类天气形势影响下的分布特征。Qiao Fang-li 等^[3]利用 LAGFD 模式对北部湾海域的海面风场和波浪进行了数值计算,并推算不同重现期的风速和波要素分布。陈顺楠等^[4]采用 LAGFD 风、浪数值模式对影响南海东部海域的 299 个历史强热带气旋过程进行数值后报。给出了南海东部部分海域多年一遇风、浪极值。王广运等^[5]应用 T/P 卫星高度计资料对莺歌海海域 50 年一遇的波高极值进行了推算。齐义泉等^[6]利用 T/P 卫星高度计提供的海面风、浪资料为基础,利用自然正交函数对南海风、浪的时空分布特征进行了分析研究。Zhu Liang-sheng 等^[7]基于 WAVEWATCH-III 模式、SWAN 模式和潮流模式建立一个热带气旋下的南海浪、潮、流耦合模式,并利用 15 个热带气旋对耦合模式进行了对比验证,表明数值计算结果与实测数据较一致。周良明等^[8]应用 WAVEWATCH-III 模式对南海的

波浪进行了数值计算、统计分析和研究。Zheng 等^[9]对南海的风、浪能源存储进行了计算和评估。

三沙市位于中国南海,是中国地理纬度位置最南端的城市,为海南省第三个地级市,下辖西沙群岛、南沙群岛、中沙群岛的岛礁及其海域。中沙群岛主要由暗沙、暗滩、暗礁和黄岩岛组成,中沙大环礁东侧是深而大的地壳断裂带,海水深度迅速下降到 4 000 m 以上。

三沙市处于台风多发海域,每年受台风浪灾害影响十分频繁。因此,研究三沙近海海域灾害性海浪及其重现期值在三沙海岸工程设计、海洋灾害评估与防护中有着极其重要的意义。而关于这一方面的原始数据记录十分有限,长时间序列值的获取更为困难。为解决这一重要问题,本研究利用数值模拟的方法,对三沙近海海域灾害性海浪进行了数值模拟和极值推算。

2 风场输入

本研究所用风场资料为经过数值计算和同化后的再分析资料,时间从 1986 年 1 月 1 日 00 时到 2005 年 12 月 31 日 18 时,共 20 年,一天 4 次(间隔 6 h)。风场范围为 95°—135°E,5°—30°N,空间分辨率为 0.2°。

为了从整体上把握再分析风场的准确性,将

^{*} 基金项目:国家重点基础研究发展规划(973 计划,2011CB013704)。

再分析风速与东沙(20°40'N,116°43'E)、西沙(16°50'N,112°20'E)、南沙海岛站(9°23'N,112°53'E)观测风速进行统计检验。时间跨度为2000—2005年72个月,共8768个时次。风速的平均绝对误差分别为2.7 m/s、3.4 m/s和1.9 m/s,风向的平均绝对误差分别为25°、26°和29°。为了进一步验证同化风场的准确性,选取同化结果与TOPEX/Poseidon卫星观测数据和典型台风过程进行检验。图1a和图1b分别为2004年10月21—31日和11月10—20日,TOPEX/Poseidon卫星沿轨数据与同化风速的对比结果。可以看出,再分析风场与实测资料趋势基本一致。总体来说,再分析风场与实测风场吻合较好,可以作为波浪模式的驱动风场进行波浪模拟计算。

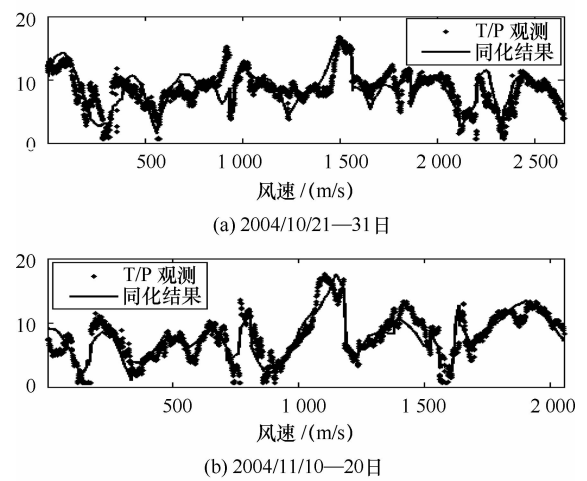


图1 同化风速与卫星数据对比验证

3 波浪计算

本研究波浪的数值计算采用WAVEWATCH-III模式。WAVEWATCH-III是由美国NOAA/NCEP环境模拟中心海洋模拟小组开发的一个全谱空间的第三代海浪模式^[10],在深海波浪数值模拟中有较好的应用^[11-12]。其基本控制方程为:

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

式中: $N(k, \theta) \equiv F(k, \theta) / \sigma$ 为谱作用量密度; S 代表与海浪谱有关的源和汇的总和:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} \tag{2}$$

式中: S_{in} 表示风能输入项, S_{nl} 波波非线性相互

作用项, S_{ds} 耗散(白冠)项, S_{bot} 底摩擦项。

模式在直角坐标下,平衡方程可写为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{\vec{x}} N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta} N = \frac{S}{\sigma} \tag{3}$$

式中

$$\dot{\vec{x}} = \dot{\vec{c}}_g + \vec{U} \tag{4}$$

$$\dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \tag{5}$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \tag{6}$$

式中: 群速 $\vec{c}_g$ 由 c_g 和 θ 确定, s 是与 θ 同向的坐标, m 是与 s 垂直的坐标。

本研究波浪计算海域范围为: 105.0°—121.0°E, 3°—23.0°N, 空间分辨率是 0.25°×0.25°。采用的水深地形为ETOPO5地形数据。计算时间: 1986年1月1日0时至2005年12月31日18时。输出结果: 4次/d(0时, 6时, 12时, 18时)。

为了验证数值计算结果的准确性,本研究做了大量的与TOPEX/Poseidon卫星观测数据的对比工作,包括19个时间段,空间覆盖整个南海海域,检验样本数达10210个。有效波高的平均相关系数为0.82,平均相对误差为10.3%,检验统计结果表明,模式计算取得较高的准确度。图2a和图2b分别为2004年10月21—31日和11月10—20日,TOPEX/Poseidon卫星沿轨数据与模拟波高的对比结果。可以看出,模拟结果与实测资料符合较好。表1给出南海海域3个台风过程期间观测值与数值计算值的比较。通过比较发现,在台风期间,计算结果与实测数据也比较一致。

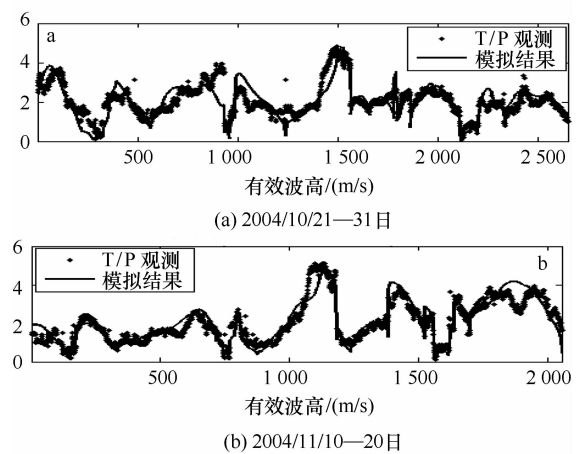


图2 有效波高数值模拟结果与卫星数据对比验证

4 统计分析

南海属于典型的季风气候区,冬季受蒙古高压的控制,盛行东北风,且常受冷空气影响。夏季受副热带高压的影响,盛行偏南风。秋、春季为过渡时期。热带气旋是影响南海夏季、秋季的重要天气系统。

表 1 台风经过时有效波高模拟结果与实测值对比验证

台风	观测时间	经度(E)	纬度(N)	观测值/m	模拟结果/m
Wayne	1986 年 9 月 5 日 6 时	112°07.6′	19°32.8′	8.6	8.9
Brian	1989 年 9 月 30 日 12 时	112°07.6′	19°32.8′	8.7	9.0
Damrey	2005 年 9 月 26 日 3 时	109°07.4′	19°46.8′	7.2	7.4

对研究海域波浪进行统计分析,结果表明,三沙附近海域年平均波浪方向以 NE 向为主。此外,西沙群岛附近部分海域年平均波浪方向为 E 向,而南沙群岛附近部分海域年平均波浪为偏 S 向。

为了进一步研究三沙近海海域灾害性海浪,选取中沙群岛 NE 角近海点(115.25°E,16.5°N)进行研究。图 3a 和图 3b 分别为近海点 20 年有效波高和平均周期年极值序列。可以看出,该海域有效波高年极值较大,均在 7 m 以上,平均值为 9 m,最大可达到 14 m。平均周期均在 10 s 以上,平均值为 12.5 s,最大可达到 15 s。这说明该海域灾害性海浪以涌浪为主。

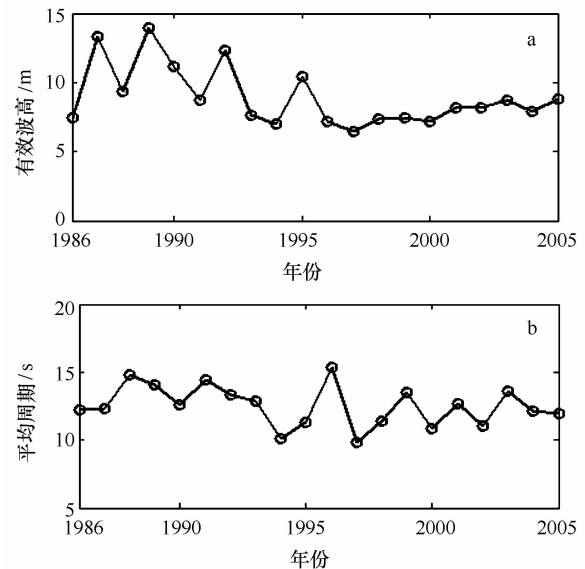


图 3 中沙群岛近海点有效波高和平均周期年极值序列分布图

采用 Pearson-III 方法对有效波高和平均周期进行重新期推算,结果显示,百年一遇有效波高可达到 16.2 m,百年一遇平均周期可达到 16.7 s。

以上统计表明,该海域重现期海浪较大,往往会对海上航运、海上生产和海岛建设造成巨大的破坏,对灾害性海浪的预警和风险评估不可忽视。

5 结论

本研究以南海再分析风场作为驱动场,采用波浪模式 WAVEWATCH -III 对南海波浪进行了连续 20 年的模拟计算。利用模拟结果对三沙海域波浪进行了统计分析,并选取中沙群岛近海点进行数值推算,得出以下结论:

(1)三沙附近海域年平均波浪方向以 NE 向为主。此外,西沙群岛部分海域年平均波浪方向为 E 向,南沙群岛部分海域年平均波浪为偏 S 向。

(2)中沙群岛附近海域灾害性海浪以涌浪为主。选取的近海点有效波高年极值在 7 m 以上,平均周期年极值在 10 s 以上。

(3)对近海点进行重现期推算,其百年一遇有效波高可达到 16.2 m,百年一遇平均周期可达到 16.7 s。

三沙附近海域海浪年极值和重现期极值较大,往往会对海上航运、海上生产和海岛建设造成巨大的破坏,需要对该海域的灾害性海浪进行预警和风险评估。

参考文献

[1] 俞慕耕. 从船舶报看南海波浪的分布特点[J]. 海洋通报, 1984, 3(4): 2-8.

[2] 许林之. 南海波浪场的分析与预报[J]. 海洋预报, 1987, 4(3): 49-52.

[3] Qiao Fang-li, Yu Wei-dong, Pan Zeng-di. Study on the wind and wave extreme parameters of Tongkin Gulf in the South China Sea - the applications of LAGFD numerical models[J]. Journal of Hydrodynamics, 1997 (1): 75-86.

[4] 陈顺楠, 乔方利, 潘增弟, 等. 中国南海东部海域气候特征及风浪流极值参数的研究[J]. 黄渤海海洋, 1998, 16(2): 6-17.

[5] 王广运, 赵进平, 宋如轼. 利用卫星微波遥感资料推算波浪极值[J]. 港工技术, 2000(1): 11-1.

[6] 齐义泉, 施平, 毛庆文, 等. 基于 T/P 资料分析南海

海面风、浪场特征及其关系[J]. 水动力学研究与进展,2003,18(5):619—624.

[7] Zhu Liang-sheng, Song Yun-fa, Qiu Zhang, et al. Computation of wave, tide and wind current for the South China Sea under Tropical cyclones[J]. China Ocean Engineering, 2003, 17(4): 505—516.

[8] 周良明, 吴伦宇, 郭佩芳, 等. 应用 WAVEWATCH -III 模式对南海的波浪场进行数值计算、统计分析和研究[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(5): 1—8.

[9] Zheng Chong-wei, Zhuang Hui, Li Xin, et al. Wind energy and wave energy resources assessment in the East China Sea and South China Sea[J]. Science China-Technological Sciences, 2012, 55(1): 163—173.

[10] Tolman H L. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH -III Version 3.14 [M]. Washington, 2009.

[11] Moon I J, I Ginis, T Hara. Effect of surface waves on air-sea momentum exchange. Part II: behavior of drag coefficient under tropical cyclones [J]. J Atmos Sci, 2004, 61: 2334—2348.

[12] Hara T, Belcher S E. Wind forcing in the equilibrium range of wind-wave spectra [J]. J Fluid Mech, 2002, 470: 223—245.