

基隆港台风浪特征分布数值模拟分析

廖雪鹏^{1, 2}, 陈 希¹, 何君姮³, 毛科峰¹

(1.解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2.91954部队气象台, 湖南 永州 425042;

3.东海舰队 37 分队, 浙江 宁波 315122)

摘 要: 基于修正的 Holland 台风模型风场, 在同化 QuikScat/NCEP 混合风场基础上, 结合高分辨率水深和高精度岸线资料, 采用第三代近岸海浪模式 SWAN, 对影响基隆港邻近海域的两类典型台风过程引起的台风浪进行了数值模拟分析。模拟的两次台风过程中, 西北型台风 0715 号和转向型台风 0424 号的有效波高与同一时段 T/P 卫星高度计资料波高的平均相对误差分别为 6.5 % 和 5.6 %, 相关系数分别达到 0.972 和 0.902, 台风浪个例模拟精度较高, 可为基隆港及其邻近海域台风浪模拟与预报提供一种有效的方法。

关键词: 台风浪; 基隆港; 第三代海浪模式 SWAN; 台风风场模型

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)02-0001-07

1 引言

基隆港位于台湾岛北部, 台北盆地北端的基隆湾内, 港区三面环山, 北部濒临东海, 纵深 3.6 km, 入口宽 280 m, 水域面积为 250 万平方米, 最大水深 15 m, 航道水深 10.5~13.5 m, 包括商港、军港和渔港三部分, 港外有中山仔、桶盘屿等岛屿作屏障, 形成山环水绕的天然良港^[1]。该海域是台风袭击的多发地区。采用 1951~2007 年台风年鉴资料统计分析表明, 基隆港区邻近 200 km 海区内曾遭遇 83 次台风袭击, 由此造成的台风浪对港区内舰船的军事活动及商船航运影响巨大, 如 2008 年 13 号台风“森拉克”, 基隆港被迫封港 43 h。

近年来我国学者对于台湾岛邻近海域台风浪^[2-3]研究得比较多, 但对于台湾重要港口的台风浪研究较少。陈希等^[4-5]对湛江港台风浪进行过较为深入的研究, 但由于基隆港比湛江港的空间尺度小很多, 一方面, 对基隆港台风浪进行模拟分

辨率要求很高, 海浪生长和传播机制将更为复杂; 另一方面, 由于种种原因, 我们对基隆港邻近海域内的海洋环境要素, 尤其是对台风浪物理过程影响很大的港口高分辨率水深和高精度海岸线资料掌握极少, 对港区的台风浪分布特征的掌握几乎为空白, 因此, 研究基隆港及邻近海域的台风浪分布特征具有重要意义。

本文对多年台风路径资料进行统计分析, 将影响基隆港邻近海域的台风路径分为西北型和转向型两类, 选取两类台风路径中具有典型代表的台风个例进行数值模拟, 并对台风浪特征分布进行分析。

2 海浪模式和台风风场模型

2.1 近岸海浪模式 SWAN

本文采用物理过程考虑较为全面的近岸海浪模式 SWAN 对两类典型台风路径个例进行模拟, SWAN 模式以二维动谱密度表示随机波, 动谱密度 $N(\sigma, \theta)$ 为能谱密度 $E(\sigma, \theta)$ 与相对频率 σ 之比,

在直角坐标系下, 动谱平衡方程表示为:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial t} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

式中左边第1项为动谱密度 $N(\sigma, \theta)$ 随时间的局地变化率, 第2项和第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项为由于流场和水深所引起的动谱密度在相对频率 σ 空间的变化, 第5项为动谱密度在谱密度方向 θ 空间 (谱方向分布范围) 的传播, C_x, C_y, C_σ 和 C_θ 分别代表在 x, y, σ 和 θ 空间的波浪传播速度, S 为以谱密度表示的源汇项, 包括风能输入、波与波之间的非线性相互作用和由于底摩擦、白帽耗散、深度诱导波破碎等引起的能量耗散。模式中:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} \quad (2)$$

其中, S_{in}, S_{nl}, S_{dis} 分别代表风能输入项, 非线性波波相互作用项和由于波浪破碎和底部摩擦引起的波能耗散。该模式较完善地考虑了风浪相互

作用、白帽耗散、底摩擦作用、深度诱导波破碎所引起的能量耗散及三波相互作用和四波相互作用, 可以描述波浪在计算海域的传播和海底地形及流的变化而导致波折射和群集等物理过程。

本文采用自嵌套方式给定波谱边界条件, 计算区域采用直角坐标网格, 最大计算海区为 $119.5^\circ \sim 123.55^\circ \text{E}$, $24.5^\circ \sim 28.55^\circ \text{N}$, 分辨率为 0.02025° ; 最小计算海域为 $121.73^\circ \sim 121.78^\circ \text{E}$, $25.13^\circ \sim 25.18^\circ \text{N}$, 空间分辨率约 25 m, 基隆港区水深及岸线分布见图1, 港区分为外港和内港两部分, 入口处水深在 20~25 m, 外港航道水深 15~20 m, 内港航道水深 10~15 m。在基隆港外海区模式考虑风浪的相互作用、白帽耗散、底摩擦作用、深度诱导波破碎所引起的能量耗散及三波相互作用和四波相互作用; 在基隆港附内及邻近海域人工建筑较多, 除了考虑上述物理过程外, 还应考虑衍射过程对波浪传播的影响。

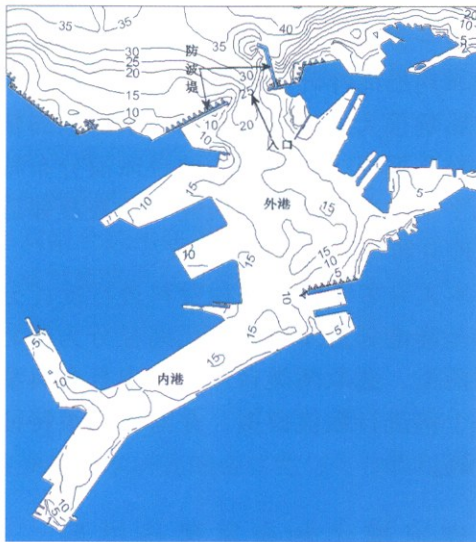
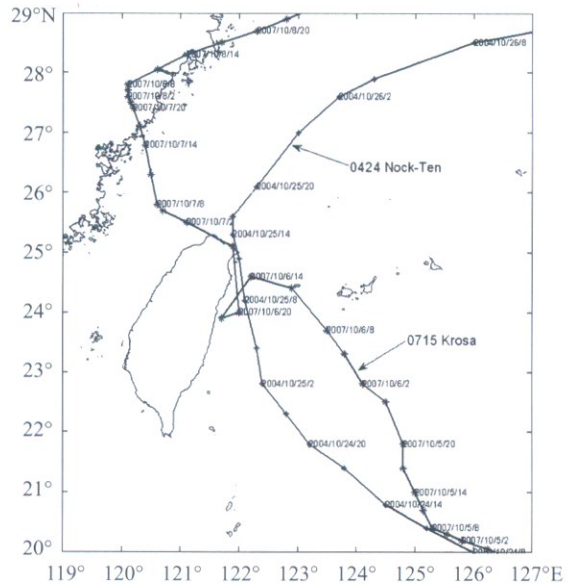


图1 基隆港区水深及岸线分布图



(星点代表台风中心位置, 时间间隔为3 h)

图2 0424、0715台风路径图

2.2 台风风场模型

本文台风风场通过同化修正的 Holland 台风模型^[6-7]风场和 QuikScat/NCEP 混合风场格点资料 ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$, 每天四个时次) 所得, 在台风中心附近采用模型风场, 而在距离中心较远处采用背景风

场 (即 QuikScat/NCEP 混合风场), 台风风场构造具体方法如下:

Holland^[6]通过对台风实测记录数据进行拟合分析, 认为径向风速分布在 $10 R_{\max}$ 范围内呈指数变化, 表达式为:

$$V(r) = \left[\frac{B}{\rho_a} \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B (P_n - P_c) \exp \left[- \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^B \right] + \left(\frac{rf}{2} \right)^{2^{1/2}} - \frac{rf}{2} \right] \quad (3)$$

B 是 Holland 拟合参数, ρ_a 为空气密度, R_{\max} 为最大风速半径, P_n 、 P_c 分别为台风外围气压和中心气压, f 为科氏参数。

最大风速半径 R_{\max} 采用文献[8]的统计平均关系式:

$$R_{\max} = 1.119 \times 10^3 \times (P_n - P_c)^{-0.805} \quad (4)$$

Holland^[7] 2008 年对经典的 Holland 台风风场模型参数进行了修正, 在海表面处的拟合参数 B_s 可由下式计算:

$$B_s = -4.4 \times 10^{-5} \Delta p^2 + 0.1 \Delta p + 0.03 \frac{\partial p_c}{\partial t} - 0.014 \phi + 0.15 v_t^x + 1.0, \\ x = 0.6 \left(1 - \frac{\Delta p}{215} \right), V_{\max} = \left(\frac{B_s}{\rho e} \Delta p \right)^{0.5} \quad (5)$$

式中 v_t 为台风移速, B_s 与 10 m 处的拟合参数 B 的关系如下:

$$B = B_s \left(\frac{v_{mg}}{v_m} \right)^2 \sim 1.6 B_s \quad (6)$$

3 台风浪模拟特征分析

本文选取西北型台风 Krosa(0715 号)和转向型台风 Nock-Ten(0424 号)应用 SWAN 模式, 分别对基隆港台风浪进行数值模拟, 台风路径见图 2。本文主要研究台风浪对基隆港的影响, 因此主要选取台风浪对基隆港影响较大的时段进行分析, 两个台风起始时间分别为 2007 年 10 月 5 日 02 时、2004 年 10 月 24 日 11 时; 终止时间分别为 2007 年 10 月 8 日 05 时、2004 年 10 月 26 日 05 时。

3.1 西北型路径 0715 号台风浪模拟

0715 号台风 Krosa(科罗莎)2007 年 10 月 1 日 14 时生成于菲律宾东部海面, 生成后以 6~8 km/h 的速度向西北方向移动, 10 月 3 日 5 时增强为台风, 最大风速 32.2 m/s, 继而增强为强台风, 最大风速

达 41.2 m/s, 移速增至 10 km/h 左右, 10 月 5 日 14 时台风达到最强, 最大风速增至 54 m/s, 并维持至 10 月 6 日 11 时, 此时到达距台湾岛东部 200 km 的与那国岛西南部海域, 随后台风减弱向西南方向移动至花莲港东南部海域, 而后转东北向再转西北向直扑台湾岛北部基隆港海域, 10 月 6 日 23 时掠过基隆港附近海域, 此时已减弱成台风, 而后强度逐渐减弱向西北方向移动, 越过台湾海峡并在闽浙交界处登陆, 台风路径见图 2。

选取台风中心处于基隆港东南、附近和西北三个时次, 分别对港区台风浪分布特征进行分析。

10 月 6 日 06 时 0715 号台风中心位于港口东南方 277 km 海域处, 最大风速为 54 m/s, 港区及邻近海域受东北风控制, 风速达 15~20 m/s (见图 3a); 此时基隆港入口外海的西北方向波高达到 3~3.5 m, 波浪向西南向传播, 由于受到防波堤的阻挡, 入口处波高降至 2 m 左右, 外港波高 1~2 m, 向南传播, 内港波高均在 1 m 以下, 向西南向传播, 波浪特征分布见图 4a。

10 月 6 日 14 时台风中心位于其东南方 76 km 海域处, 最大风速为 49 m/s, 港口处风速增至 20~25 m/s, 该海域仍处于东北风控制之下, 如图 3b; 受此风场影响, 波高明显增大, 基隆港入口外海的西北部海域波高达 8 m 以上, 波浪传播方向与风的去向一致, 入口处波高达 3~4 m, 该时刻波浪传播受到防波堤的阻挡作用很明显, 波浪经入口后波高迅速下降, 外港波高大于 2 m 的水域很小, 大多为 1.5~2 m, 传播方向较 06 时而言偏西分量增多, 内港波高增至 1 m 以上, 港区内波浪传播方向与 06 时一致(见图 4b)。

10 月 7 日 02 时台风中心位于基隆港西北方 76 km 海域处, 最大风速 33 m/s, 此时港区处于台风东南部西南气流中, 风速减小为 15 m/s 左右。由于基隆港三面环山, 地形对西南气流的阻挡作用比较明显, 波浪生长所需的风能输入明显变弱, 入口外海西北部海域最大浪高只有 1.5 m, 入口处波高不到 1 m, 港区内波高则更小。由于风向的改变, 波向也随之发生变化, 波浪传播方向与 6 日 14 时基本相反, 波浪沿着航道由港内向港外传播(图略)。

本次台风浪过程模拟分析表明, 当港区处于

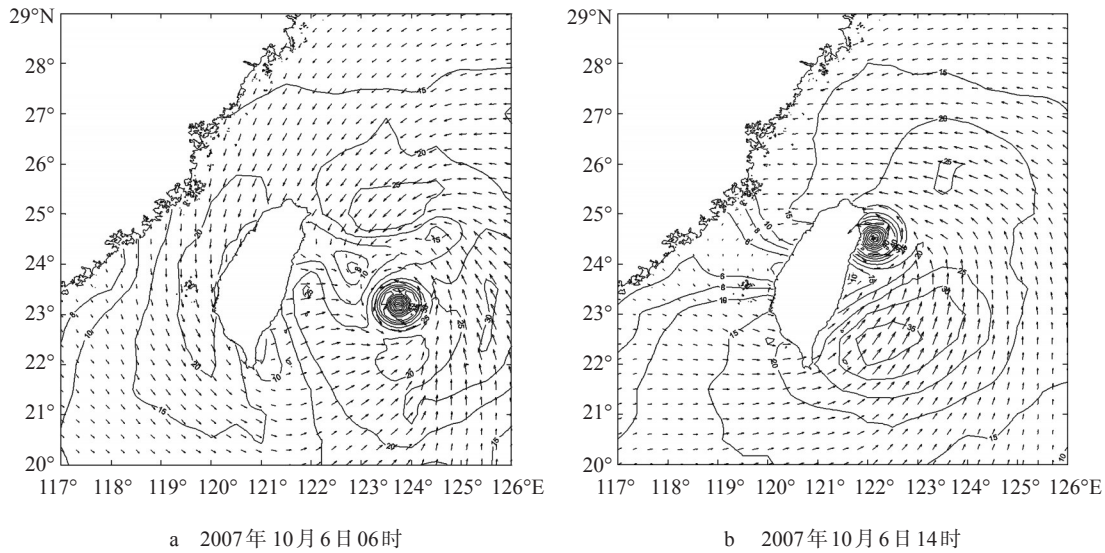


图3 Krosa台风风场分布图

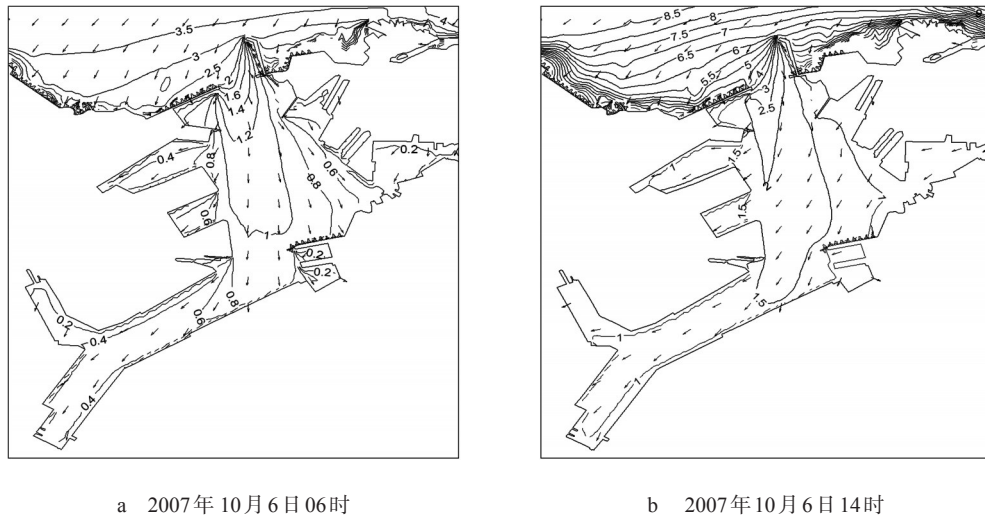


图4 基隆港波高波向分布图

东北风控制时,海浪向西南方向传播,此时基隆港入口东西两侧防波堤的防波作用比较明显;当风浪从外海传至港口入口处时,由于受到防波堤的阻挡,港内波高迅速下降,波向也由此发生变化;当港区持续受同一风向控制时,波浪的传播方向将与航道走向趋于一致,而当港区处于西南风控制时,由于地形的作用,港区内波高较小。

3.2 转向型路径0424号台风浪模拟

0424号热带风暴Nock-Ten(洛坦)于2004年10月17日凌晨在关岛东南方的西北太平洋洋面上生

成,10月18日下午加强成为强热带风暴,继而加强为台风,10月19日夜间开始转为西北方向移动,并逐渐向我国台湾东部沿海靠近,洛坦台风移至台湾东南部海面时,其路径偏北分量加大,于10月25日10时30分在台湾东北部的宜兰市头城镇至三貂角间登陆,登陆时中心附近最大风力为12级(40 m/s),登陆后洛坦继续北上,但其强度逐渐减弱,最后于10月26日下午在日本四国岛西南部海面减弱成温带气旋,台风路径见图2。

选取台风中心位于港口东南、附近和东北三个时次,分别对港区台风浪分布特征进行分析。

10月25日02时0424号台风中心位于基隆港东南方270 km海域处,最大风速为41 m/s,此时基隆港海域受东北风控制,风速10~15 m/s。在该风场作用下,台风浪传至基隆港邻近海域,港区入口外西北部海域波高达3 m以上,波浪传播方向与岸线垂直,是典型的向岸浪。由于受到防波堤的阻挡,港区入口处波高仅为1.6 m,外港波高0.5~1 m,波浪向西南传播,偏南分量较大,内港波高不到0.5 m,波浪沿着航道由入口处向港内传播(图略)。

10月25日11时0424号台风中心位于基隆港东南方37.5 km海域处,基隆港海域受东北风控制,

风速达25 m/s(见图5a)。此时,港区入口外海域波高达3 m以上,入口处波高2 m左右,防波堤的阻挡作用仍比较明显,波浪传至外港时波高已下降到1.6 m以下,内港则已降至0.8 m以下,港内外波浪传播方向与风的去向基本一致(见图6a)。

10月25日20时洛坦减弱为强热带风暴,中心位于基隆港东北方119 km海域处,最大风速为28.3 m/s,而基隆港港口处风速仍为25 m/s,风向则转为西北向(见图5b)。此时港内波高有所增大,入口外东北部海域最大浪高达4 m以上,往东南方向传播,入口处波高达到3 m以上,外港波高均在1.5 m以上,最大达到3 m,传播方向与基

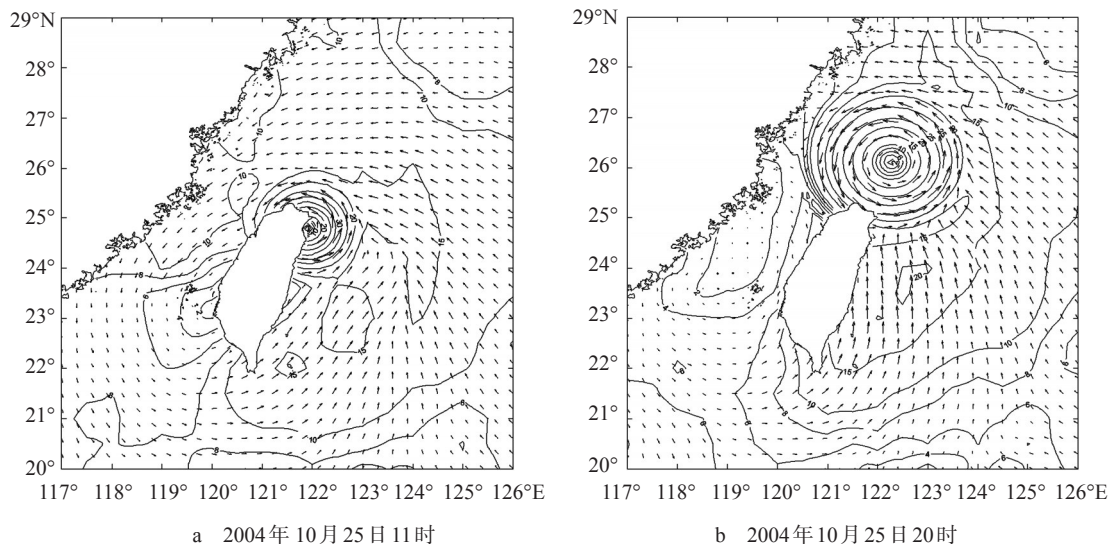


图5 Nock-Ten台风风场分布图

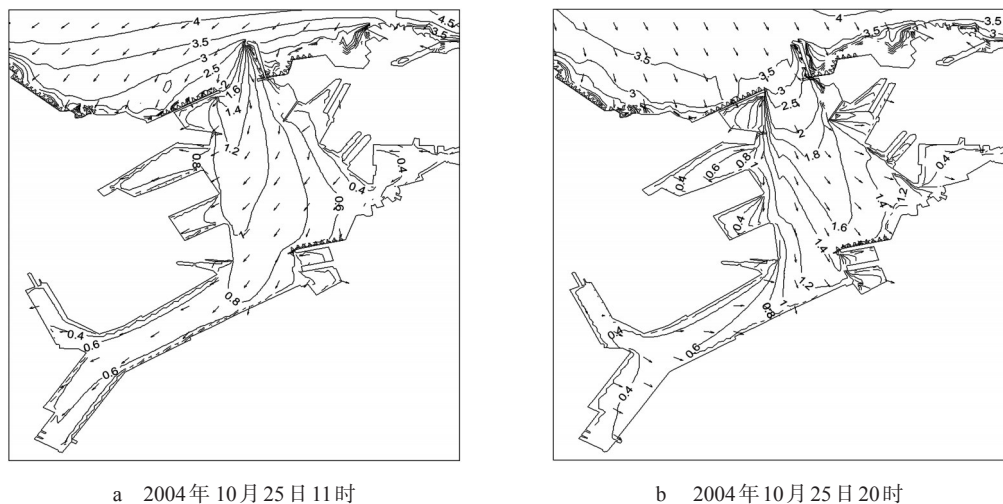


图6 基隆港波高波向分布图

隆港入口基本垂直,内港最大波高达到1 m(见图6b)。此时外港波浪传播方向与基隆港入口垂直是港区波高增大的主要原因,防波堤对此类波浪的防波作用较弱。

本次台风浪过程清楚表明,风向不同会导致波高的差异,风向对港区波高的影响不容忽视,基隆港防波堤的防波作用对于往东南方向传播的海浪的防波作用是比较弱的。

3.3 效果检验

由于基隆港空间尺度较小,港区实测资料难以获取,本文采用T/P卫星高度计资料对模拟效果进行检验。在0715号台风和0424号台风模拟时段内,均有一条T/P轨道通过该海域(见图7),轨道通过该海域的时间分别为2007年10月8日04:15至04:16和2004年10月24日22:08,选取相同时段模拟结果与之进行比较。

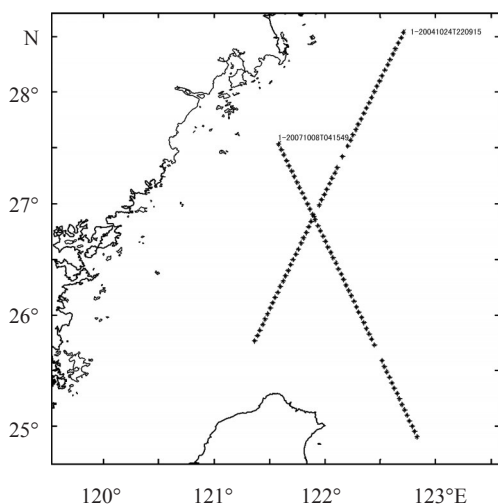


图7 T/P卫星轨道示意图

用于0715号台风浪模拟效果检验的T/P轨道点位于(121.91°E, 26.85°N)和(122.37°E, 25.88°N)之间的直线上,共21个检测点,经统计得到模拟结果与T/P观测资料之间的平均相对误差为6.5%,平均绝对误差为0.25 m,均方误差为0.3 m,相关系数为0.972。

用于0424号台风浪模拟效果检验的T/P轨道点位于(121.37°E, 25.77°N)和(122.23°E, 27.57°N)之间的直线上,共35个检测点,经统计得到模拟

结果与T/P观测资料之间的平均相对误差为5.6%,平均绝对误差为0.17 m,均方误差为0.21 m,相关系数分别为0.902。

4 结语

本文应用SWAN模式,模拟了西北型路径Krosa(0715号)、转向型路径Nock-Ten(0424号)台风引起的台风浪过程并利用T/P卫星高度计资料进行了对比分析:

(1) 经修正的Holland台风风场模型综合考虑了台风移动过程中气压和空气密度的变化对台风风场的影响,该模型风场用于本次台风浪模拟,显示了较好的适用性,模拟结果精度较高;

(2) 风速的大小并不是波高大小的唯一决定因素,风向对波高的影响不容忽视,这是在制作基隆港海浪预报中值得注意的问题;

(3) 基隆港防波堤对向西南方向传播的海浪防波作用比较明显,但对向东南方向传播的海浪防波作用较弱;

(4) 基隆港港区人工建筑物较多,防波堤构建复杂,若能将“次网格”效应引入SWAN模式中,结果也许将有较大改善,这也是下一步努力的方向。

参考文献:

- [1] 徐逸桥. 台湾主要国际贸易港口现状与未来发展趋势研究[J]. 中国港口, 2003, 11: 47-49.
- [2] 陈希, 沙文钰, 闵锦忠. 台湾岛邻近海域台风浪的模拟研究[J]. 海洋预报, 2002, 19(4): 1-9.
- [3] 陈希, 闵锦忠等. 台湾岛邻近海域台风浪模拟分析[J]. 气象科学, 2003, 23(1): 46-54.
- [4] 闵锦忠, 陈希等. 湛江港台风浪分布特征与抗风浪能力分析[J]. 水动力学研究与进展. 2005, 20(4): 518-526.
- [5] 陈希, 桂祁军等. 湛江港海域台风浪模拟研究[J]. 河海大学学报, 2003, 31(5): 593-596.
- [6] Holland G J. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes[J]. Mon Wea Rev, 1980, 108(8): 1212-1218.
- [7] Holland, G J A Revised Hurricane Pressure-Wind Model[J]. Mon Wea. Rev, 2008, 136(9): 3432-3445.
- [8] 江志辉, 华锋等. 一个新的热带气旋参数调整方案[J]. 海洋科学进展. 2008, 26(1): 1-7.

Numerical study of typhoon wave distribution characteristic of the Keelung port

LIAO Xue-peng^{1, 2}, CHEN Xi¹, HE Jun-heng³, MAO Ke-feng¹

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China

2. Meteorology Observatory of the Army No. 91954, Yongzhou 425042 China

3. The No. 37 Unit of East China Sea Fleet, Ningbo 315122 China)

Abstract: Based on the QuikScat/NCEP blended wind assimilated by the revised Holland typhoon model wind and the high resolution bathymetry and coastline data, the SWAN model is applied to simulate the typhoon wave generated by typhoon of two typical routines around the Keelung port sea area. The simulation results of the two typhoon process, Typhoon Krosa (2007) and Typhoon Nock-Ten (2004), are compared with the T/P satellite altimeter data, where there exists a mean relative error of 6.5% and 5.6% between them respectively, and the correlation coefficients of them is respectively 0.972 and 0.902. The accuracy of the simulation result is high, which makes it could provide a efficient method of typhoon wave simulation and forecast for the Keelung port.

Key words: typhoon wave, Keelung port, SWAN model, typhoon wind model