

# The Wave Numeric Simulation of 0920 Super Typhoon Lupit

Liqun Wang, Xin Wei, Yimei Sun, Min Jiang, Qing Li

China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin Jiangsu  
Email: junyang517@qq.com

Received: Dec. 5<sup>th</sup>, 2015; accepted: Dec. 27<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Based on 10 meters up ground wind data of CCMP and GDAS, the significant wave height distribution of 0920 Super Typhoon Lupit on Northwest Pacific was simulated by the wave numerical model WAVEWATCH III v3.14. Otherwise, the influence from different wind data and the effect evaluation of wave simulation was studied. The result shows that, firstly, WAVEWATCH III model simulates typhoon wave well, but with a strong sensitivity to the wind data. Secondly, due to the integration of a variety observations and a higher spatial resolution, CCMP wind data lead to much more accurate wave simulation results.

## Keywords

Lupit, WAVEWATCH, CCMP, GDAS, Wave Numerical Simulation

---

# 0920号超强台风Lupit海浪数值模拟试验

王力群, 魏新, 孙一妹, 姜旻, 李庆

中国卫星海上测控部, 江苏 江阴  
Email: junyang517@qq.com

收稿日期: 2015年12月5日; 录用日期: 2015年12月27日; 发布日期: 2015年12月30日

## 摘要

基于WAVEWATCH III v3.14海浪数值模式，建立混合双向嵌套网格，分别采用CCMP和GDAS海面10m风场资料，模拟2009年10月西北太平洋第20号超强台风Lupit的海浪场有效波高，对比分析不同风场资料对台风海浪模拟的影响，并根据浮标观测数据分析模拟的效果。结果表明，WAVEWATCH III模式能够较好的模拟台风海浪场分布形势，模式对风场资料具有较强的敏感性，基于融合了多种观测资料的CCMP高分辨风场资料所模拟的结果更为准确。

## 关键词

Lupit, WAVEWATCH, CCMP, GDAS, 海浪数值模拟

## 1. 引言

在全球，每年由海洋灾害造成的经济损失约占所有自然灾害损失的10%，而海上90%的破坏力来自于海浪的袭击，尤其是台风所形成的灾害性狂涛巨浪，严重威胁的航行船舶安全。20世纪60年代，大气、海洋数值模式迅速发展，海浪数值模拟成为海浪研究和预报的重要内容。随着第三代海浪数值模式的成功研制，到20世纪末期，海浪数值模式已发展到比较成熟的阶段。目前，WAVEWATCH III (以下简称WWatch3)作为第三代全球海浪数值模式的代表之一，具有稳定性好、计算精度高等特点，已经成功运用于全球和区域尺度的海浪业务数值预报系统[1]-[5]。

为了开展近岸海浪数值预报，科研人员尝试将高分辨率的近岸模式SWAN模式嵌套至WWatch3模式中，但需要修改两种不同模式嵌套运行的接口[6]-[8]。近年来，WWatch3模式推出v3.14版本，具备混合网格双向嵌套模拟能力，能够精细的刻画近岸和台风内部的海浪分布特征[9] [10]；另一方面，相关学者开始结合海浪模式的模拟结果研究相关海域的波候分布特征[11] [12]。

本文以2009年西北太平洋第20号(国际编号)超强台风Lupit为例，采用ETOPO2地形数据，建立1个父网格和2个子网格的混合嵌套运行网格，分别采用CCMP和GDAS海面10m风场资料驱动WWatch3-v3.14海浪数值模式，模拟Lupit活动期间西北太平洋海浪高度分布特征，并与关岛附近52200号浮标站观测数据对比，分析两种风场资料的模拟结果。

## 2. 数据和模式

### 2.1. 数据资料简介

本文的研究工作，主要应用以下几类数据：

(1) CCMP: Cross-Calibrated Multi-Platform, 跨标准多平台融合数据产品。该数据研究项目由美国国家航空航天局(NASA)提供资助，基于地球科学事业合作协议公告(Earth Science Enterprise Cooperative Agreement Notice)，融合多种海面风场观测数据，包括QuikSCAT、ADEOS-II、AMSR-E、TRMM TMI、SSM/I等，最终生成覆盖全球大洋的高分辨海面风场资料。数据集时间范围为1987年7月至2011年12月，空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ，数据存储格式为NetCDF。

(2) GDAS: Global Data Assimilation System, 全球数据同化系统，是美国国家环境预报中心(NCEP)业务运行的实时全球观测数据分析系统。该数据广泛应用于天气的实时预报和后期数值模拟研究工作，能够直接作为中尺度大气模式WRF (Weather Research and Forecasting)的背景场和边界场。数据集时间范

围为 1999 年 7 月至今, 包括 27 层气压层和表面层的常规大气要素, 空间分辨率为  $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ , 数据存储格式为 GRIB2。

(3) JTWC Best Track: Joint Typhoon Warning Center, 联合台风警报中心最佳路径集。目前, 该数据集包括 1945 年至 2014 年西北太平洋、北印度洋、南太平洋和南印度洋所有热带气旋的定位、强度等信息, 并含有 1959 年至 2014 年上述海区的热带气旋年鉴文档。本文主要采用 2009 年超强台风 Lupit (JTWC 编为第 22 号) 的相关定位和强度数据, 分析其活动过程。

(4) NDBC 52200 Buoy: Nation Data Buoy Center, 美国国家浮标数据中心第 52200 号浮标站数据。该浮标站位于关岛附近海域( $13.354^\circ\text{N}$ ,  $144.789^\circ\text{E}$ ), 从 2004 年 9 月 8 日开始至今, 实时观测海浪高度、周期、传播方向等要素, 归档整理后的数据每 30 分钟记录一次。

## 2.2. 海浪模式简介

WWatch3 海浪数值模式的控制方程是波作用量密度传输方程, 即谱能量平衡方程, 对于谱  $N(k, \theta; x, t)$ , 平衡方程为:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{X}N + \frac{\partial}{\partial k} kN + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

$$\dot{X} = C_g + U \quad (2)$$

$$\dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - K \cdot \frac{\partial U}{\partial s} \quad (3)$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - K \cdot \frac{\partial U}{\partial m} \right] \quad (4)$$

其中  $k$ 、 $\theta$ 、 $X$  和  $t$  分别为波数、波向、空间向量和时间四个坐标变量;  $F$  为波数谱,  $\sigma$  为固有频率;  $C_g$  为群速向量,  $U$  背景流速向量,  $d$  为水深;  $s$  和  $m$  分别为沿波向和垂直于波向的单位坐标量;  $S$  代表谱能量平衡方程的各种源函数。

谱能量平衡方程的源函数项  $S$  通常包括风输入源函数  $S_{in}$ , 非线性波-波相互作用源函数  $S_{nl}$ , 白浪破碎引起的耗散源函数  $S_{ds}$ , 以及底摩擦耗散源函数  $S_{bot}$ , 即:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} \quad (5)$$

本文模式计算过程  $S_{in}$  采用基于 Tolman、Chalikov、Belevich 提出的理论而形成的计算方案, 其耗散源函数分为适用于低频谱和高频谱的两部分;  $S_{nl}$  采用 Hasselmann 等的离散相互作用近似(DIA)计算方案;  $S_{ds}$  采用 Battjes-Janssen 方案;  $S_{bot}$  采用 JONSWAP 底部摩擦方案。

## 3. Lupit 海浪模拟方案设计

### 3.1. Lupit 活动过程简介

2009 年 10 月 14 日 00 时(世界时, 下同), 西北太平洋关岛东部洋面开始形成一个热带低压, 随后向西略偏北方向移动并逐渐发展, 至 15 日 00 时加强为热带风暴, 继续以西北路径移动加强, 随后被命名为 Lupit。

Lupit 在发展过程中, 其移动路径非常诡异, 经历了 6 次转向, 转向时刻如图 1 所示。

图 1 根据 JTWC 热带气旋定位和强度数据, 绘制的 Lupit 生成、发展过程示意图。绿色路径表示“热带低压”阶段, 蓝色为“热带风暴”和“强热带风暴”阶段, 紫色为“台风”和“强台风”阶段, 红色为“超强台风”阶段, 水绿色为变性成温带气旋阶段。Lupit 发展过程中经历了多次转向, 其路径在菲律宾东部海域呈现出旋转的“几”字形图案。

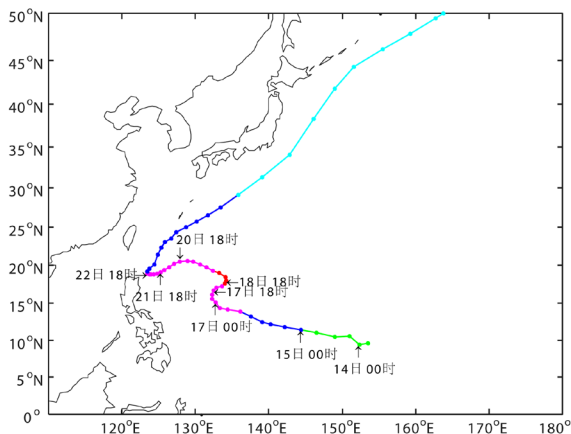


Figure 1. Track of Lupit

图 1. Lupit 活动路径

Lupit 在菲律宾东部海域强度最强，且盘绕较长时间，使得该海域形成了持续一周以上的巨浪。

## 3.2. 海浪数值模拟方案

### 3.2.1. 模拟区域和网格定义

选用 ETOPO2 海底地形数据和 GSHHS 海岸线数据，空间分辨率均为  $2' \times 2'$ ，利用 Matlab 程序，生成 grd1、grd2、grd3 等 3 个模拟网格，其定义の詳細参数如表 1 所示。

以上网格中，grd1 为父网格，grd2 和 grd3 为嵌套于 grd1 之中的子网格，其最外层均设置为双向交换数据的边界区。针对其它网格定义参数，3 个网格均采用模式使用手册中的默认设置。模拟初始条件为静止状态，模拟初始时刻为 2009 年 10 月 11 日 00 时，数据保存初始时刻为模式运行 24 小时之后，即 12 日 00 时。

根据以上网格定义，本文设计了两个试验方案：EXP1 和 EXP2，分别采用每 6 小时一次的 CCMP 和 GDAS 风场资料驱动 WWatch3 模式。

### 3.2.2. 模拟参数化方案设置

WWatch3 模式已经在 NCEP 实现全球和区域混合网格海浪数值预报业务运行，本文的模拟参考 NCEP 海浪预报业务系统使用的参数化方案，需要在模式源码编译时，修改 switch 文件中的开关项，设置模拟试验的参数化方案。其中，模式选项不包括底部散射、三波相互作用和附加源项，针对风场和流场的插值均选用线性插值方案，如表 2 所示。

## 4. 模拟计算结果及分析

海面风场数据的质量对海浪的模拟起着决定性作用，本文设计的 EXP1 采用 CCMP 风场资料，EXP2 采用 GDAS 风场资料。CCMP 风场资料融合了更多平台、更高观测精度、更细时空分辨率的海面观测数据；GDAS 作为 NCEP 服务于 GFS 日常数值天气预报业务系统的同化分析系统，融合了常规气象观测资料和气象卫星遥感资料，由于该系统运行过程中需要保持较高的稳定性，并未同化针对海面风场的高精度观测资料，因此，很多学者研究认为 CCMP 海面风场资料的质量优于 GDAS。本章首先根据 EXP1 的 grd1 网格模拟结果，分析西北太平洋较大范围内的海浪分布形势，研究 Lupit 形成的大浪分布范围；然后根据 Lupit 发展最强阶段 EXP1 和 EXP2 的 grd2 网格模拟结果，着重对比分析 CCMP 和 GDAS 两种数据资料对 Lupit 内部海浪场精细描述的差异。

Table 1. Grid definition of Lupit wave simulation experiment

表 1. Lupit 海浪数值模拟网格定义

网格名称	grd1	grd2	grd3
纬度范围	0~50°N	10~30°N	8~18°N
经度范围	115~165°E	120~140°E	139~149°E
分辨率	15' × 15'	6' × 6'	3' × 3'
网格点数	201 × 201	201 × 201	201 × 201
时间步长	1200 s	600 s	300 s

Table 2. Parameterization scheme of Lupit wave simulation experiment

表 2. Lupit 海浪数值模拟参数化方案设置

模式选项	方案设置
海浪传播	Tolman 积分平均 UQ 方案
线性输入	滤波后的 Cavaleri 和 Malanotte-Rizzoli 方案
输入和耗散项	Tolman 和 Chalikov 方案, 并采用稳定性修正
非线性相互作用	DIA 方案
底部摩擦	JONSWAP 方案
深度破碎	Battjes-Janssen 方案

#### 4.1. Lupit 活动期间西北太平洋海浪高度分布形势

Lupit 台风在 17 日之前是稳定的西偏北方向移动, 17 日达到强台风等级, 并开始经历多次转向过程, 下面根据 EXP1 的 grd1 网格模拟结果, 分析 17~22 日西北太平洋海浪场的有效波高分布形势。

图 2 为 17 日 00 时~22 日 00 时(间隔 24 小时)西北太平洋的海浪场有效波高分布形势图。17 日, Lupit 在第二岛链南部引发了 2.5 米以上大浪, 大浪区范围超过 10 个纬距, 台风中心附近最大浪高已超过 5 米; 18 日, 2.5 米以上大浪区扩大至 15 个纬距, 台风中心附近的 5 米以上浪区明显增大, 在大浪区西侧出现海浪低值中心, 台风眼已经形成, 表明台风 Lupit 已经发展成熟; 19 日, Lupit 达到超强台风等级, 2.5 米以上大浪区维持在 15 个纬距左右, 但中心附近最大浪高达到 8 米以上, 台风眼区更为清晰, 形成对称结构, 表明 Lupit 周围的巨浪基本上由风场控制; 20 日, Lupit 由西北路径转为西南路径, 大浪区集中在台风眼北侧, 大浪区由对称的圆形转变为东西宽、南北窄的椭圆形, 大浪中心轴线为东西走向; 21 日, 由于 Lupit 继续朝西南方向移动, 大浪区集中于移动路径的右侧, 大浪中心轴线为东北-西南走向, 随着台风强度的增强, 5 m 以上大浪区范围比 20 日明显扩大; 22 日, Lupit 靠近菲律宾陆地并开始转为东北路径, 台风强度有所下降, 5 米以上大浪区显著缩小, 中心附近最大浪高降至 6 米左右, 但 2.5 米以上大浪区范围仍然超过 10 个纬距, 同时受地形的影响, 大浪区等值线条表现出诸多不规则、不光滑的特征。

#### 4.2. EXP1 和 EXP2 结果对比

由于不同的风场资料存在一定差异, 势必影响海浪模拟结果。本文设计的数值试验方案中, grd2 网格采用更高的模式分辨率, 位于菲律宾东部海域, 覆盖 Lupit 曲折移动和强度最强阶段, 更能够反应海浪对风场的敏感性。下面根据不同风场资料在高分辨率网格下的输出结果, 分析 Lupit 最强阶段 10 月 18~20 日期间(间隔 24 小时)菲律宾东部海域海浪场有效波高的分布形势, 比较两种风场资料对 Lupit 内部海浪场有效波高模拟的差异。

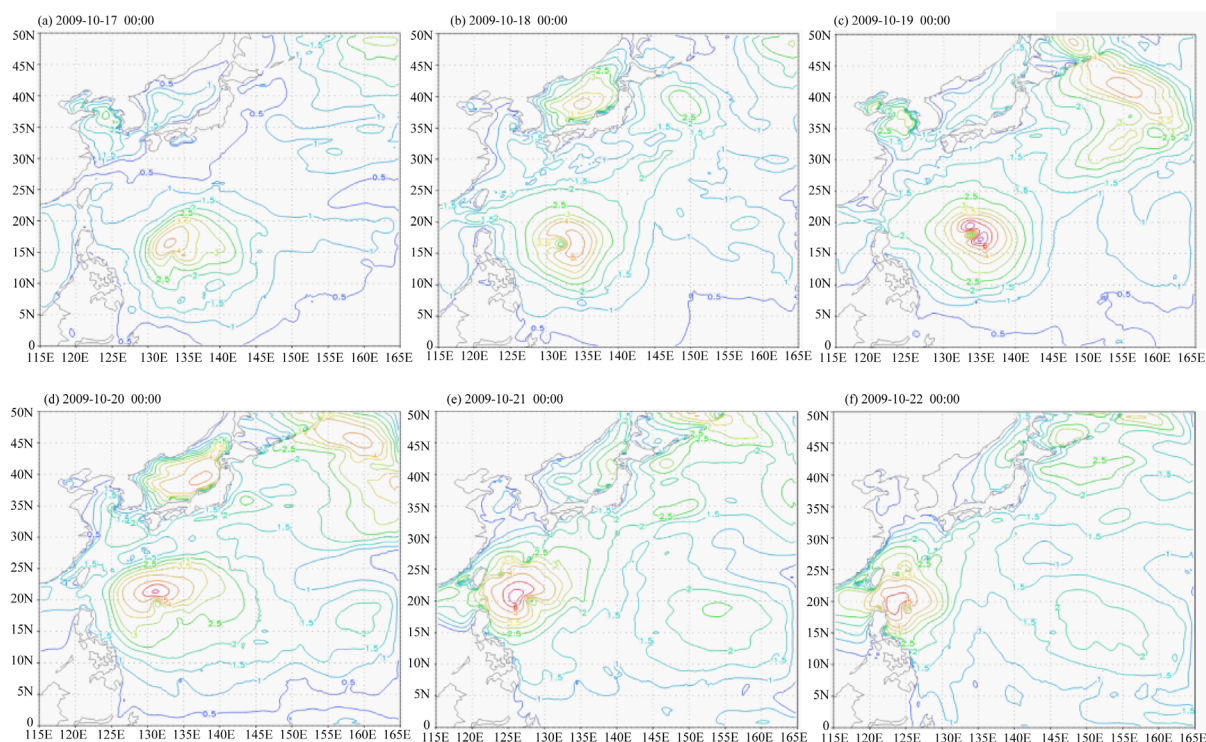


Figure 2. Significant wave height over northwest Pacific

图 2. 西北太平洋海浪场有效波高分布

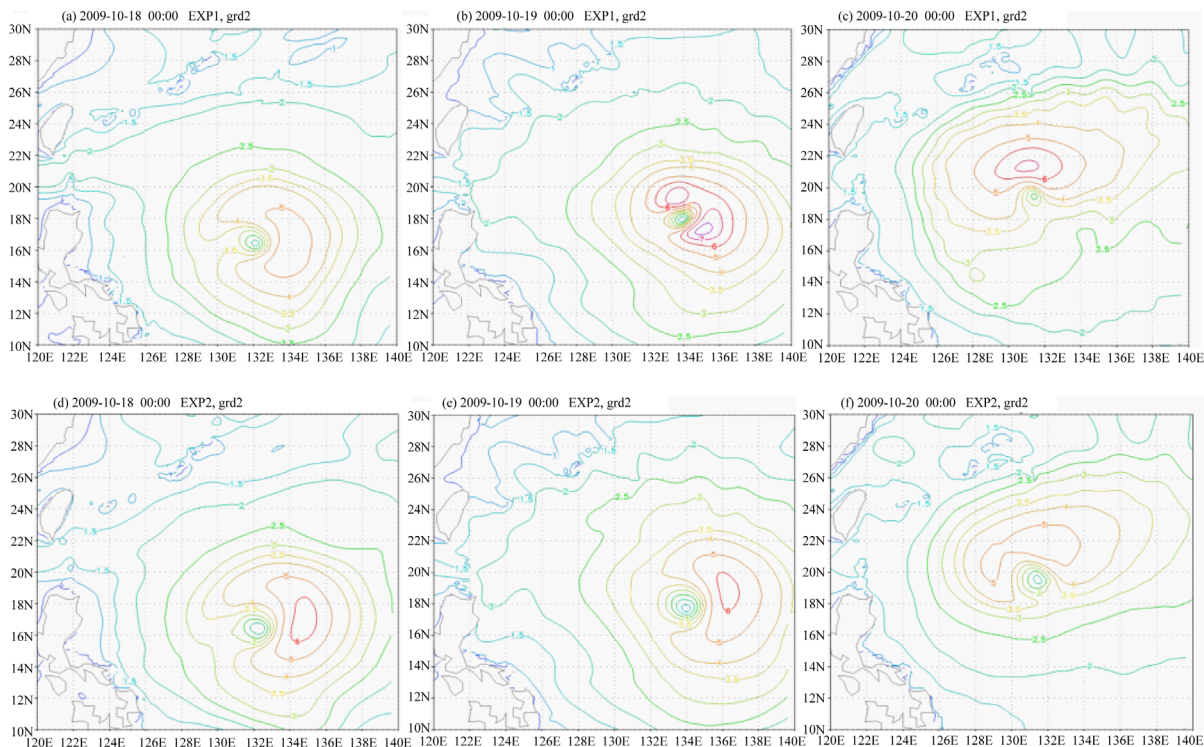
图 3 显示, 18 日, 两种试验模拟的海浪分布形势总体一致, 表现为圆形、南北对称, 东部是极大值中心, 西部存在极小值中心, 但 EXP1 模拟的 5 米以上大浪范围和最大波高数值相对 EXP2 较小; 19 日, Lupit 强度最强, 最大风速为 140 knot (约 70 m/s), 两种模拟试验的结果表现出显著差异, EXP1 分辨出了明显的台风眼和超强台风海浪场的中心对称结构, EXP2 则与 18 日的海浪分布形势十分相似, 仍然表现为西部小范围的极小值中心和东部大范围极大值中心, 另一方面, EXP1 模拟的中心有效波高最大值为 8 米以上, 2.5 米大浪区范围为 10~24°N, EXP2 模拟的中心最大有效波高为 6 米以上, 2.5 米大浪区范围为 10~26°N, 略大于 EXP1 的覆盖范围; 20 日, Lupit 强度有所减弱, 大浪中心轴线由南北向转为东西向, EXP1 和 EXP2 模拟的有效波高分布形势相似, 但 EXP2 模拟的有效波高极大值明显偏小, 5 米以上大浪区范围的南北跨度也偏小。

总体而言, 针对台风这种快速变化的中  $\alpha$  尺度天气系统, 基于 GDAS 风场资料的 EXP2 试验所模拟的海浪有效波高变化趋势相对较缓, 而基于 CCMP 风场资料的 EXP1 试验能够更细致的刻画台风内部海浪场分布特征。

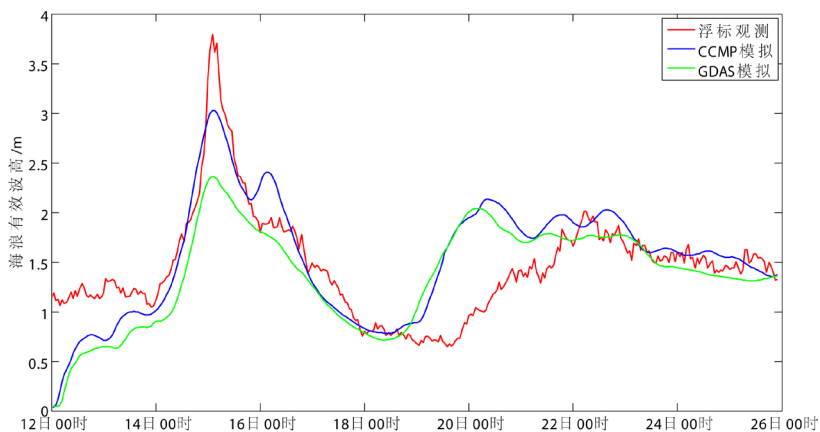
## 5. 同浮标站观测对比

Lupit 生成初期经过关岛附近海域, NDBC 所属的 52200 号浮标站记录了因热带气旋而引起的大浪过程。grd1 和 grd3 网格均包含了该浮标站所在的经纬度, 模式运行过程中, 采用定点输出方式, 模拟生成了该浮标站位置的海浪场数据。下面通过 grd3 精细网格输出的模拟结果, 对比分析数值模拟和浮标观测的有效波高随时间的变化趋势, 以检验模拟结论的精准度。

图 4 为关岛附近 52200 号浮标站位置的海浪场有效波高, 其中红色线条为浮标观测值, 蓝色线条为基于 CCMP 风场资料 EXP1 试验的模拟值, 绿色线条为基于 GDAS 风场资料 EXP2 试验的模拟值。



**Figure 3.** EXP1 (based on CCMP wind) and EXP2 (based on GDAS wind) simulated significant wave height of Lupit  
**图 3.** EXP1 (基于 CCMP 风场)和 EXP2 (基于 GDAS 风场)模拟的 Lupit 海浪场有效波高



**Figure 4.** Comparisons of buoy observation and simulated significant wave height  
**图 4.** 浮标观测与数值模拟有效波高对比

图 4 呈现出如下特征。

(1) 模拟试验开始计算时刻为 11 日 00 时，初始条件设置为静止状态。模拟的海浪有效波高一直到 13 日才逐渐趋于观测值，表明模式需要 2 天左右的时间才能从静止状态调整到稳定风场驱动状态。

(2) 52200 号浮标站位置的海浪有效波高在 14~15 日极速增大，15~18 日快速下降，19~22 日又缓慢增大，而后稳定于 1.5 米左右。EXP1 和 EXP2 两种线条均模拟出了 15 日左右的极大值和 19 日左右的极小值，显现出与浮标观测相似变化趋势，表明模式海浪有效波高的变化趋势具有较好的模拟能力。

(3) 虽然 EXP1 和 EXP2 均指出 15 日 00 时左右为有波高的极大值，但浮标站实况观测的极大值为 3.8

米, CCMP 资料模拟结果为 3.1 米, GDAS 资料模拟结果为 2.4 米。此时, Lupit 刚刚由热带低压发展加强为热带风暴, 中心位置正好位于浮标站南侧附近, 距离浮标站大约 100 km。由于海洋上台风中心附近的风场资料主要依靠卫星遥感同化, 往往比实际观测的极大风速值偏小, 造成海浪有效波高的模拟值偏小; 而 CCMP 相对于 GDAS 资料融合了更多的观测数据, 使得海浪有效波高极大值的模拟误差更小。这也进一步表明, 海浪模拟对风场资料具有高度的敏感性。

(4) EXP1 和 EXP2 在 18 日 12 时左右为极小值, 浮标观测在 19 日 00 时左右为极小值, 从 18 日 12 时至 22 日 00 时, CCMP 和 GDAS 资料模拟的结果非常一致, 都比观测大 0.5 米左右, 表现为系统性误差。这一时期 Lupit 已经加强为强台风至超强台风等级, 但台风中心距离浮标站超过 1000 km, 由于模式对台风涌浪传播的影响估计过早, 大约提前了 12 小时, 使得此时模拟的有效波高值总体偏大。这也表明, 模式对台风涌浪影响程度的模拟能力还需要进一步提升。

## 6. 结论

本文利用 WWatch3-v3.14 海浪数值模式, 模拟了西北太平洋第 20 号超强台风 Lupit 活动过程的海浪场有效波高分布, 主要得出以下结论。

(1) WWatch3 模式能够较好的模拟 Lupit 海浪场分布特征, 合理的显示了 Lupit 大浪区分布范围和台风眼区海浪特征。

(2) CCMP 风场资料具备较高的精准度, 能够更细致的刻画台风中心附近的海浪特征, GDAS 模拟的海浪场变化趋势相对缓和, 表明模式对风场数据具有较高的敏感性。

(3) 模拟的海浪波高与浮标站观测波高具有相同的变化趋势, 根据 CCMP 风场模拟的最大浪高的极值比浮标观测的极大值偏小 0.7 m, GDAS 风场模拟的结果相对 CCMP 较差; 台风远离浮标站后, 模式对台风涌浪传播的影响时间提前了 12 小时左右。

## 参考文献 (References)

- [1] Tolman, H.L., Balasubramanian, B., Burroughs, L.D., *et al.* (2002) Development and Implementation of Wind-Generated Ocean Surface Wave Models at NCEP. *Weather and Forecasting*, **17**, 311-333.
- [2] 胡克林, 丁平兴, 朱首贤, 等. 长江口附近海域台风浪的数值模拟——以鹿沙台风和森拉克台风为例[J]. *海洋学报*, 2004, 26(5): 23-33.
- [3] 冯芒, 沙文钰, 李岩, 等. 近海近岸海浪的研究进展[J]. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 5(6): 57-62.
- [4] Tolman, H.L. (2006) Development of a Multi-Grid Version of WAVEWATCH III. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note, 256.
- [5] Tolman, H.L. (2009) User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III Version 3.14. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note, 276.
- [6] 蒋小平, 钟中, 张金善. 台风 Winnie(1997)影响下海浪的数值模拟研究[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(4): 376-382.
- [7] 史剑, 王璞, 钟中, 等. 两种网格下的 SWAN 模式对黄渤海海浪模拟比较[J]. *海洋预报*, 2011, 2(4): 48-57.
- [8] 周凯, 陈希, 李妍, 等. 两种海面风场的对比及对海浪模拟的影响[J]. *海洋预报*, 2012, 29(3): 9-14.
- [9] 李靖, 马卫民, 马占宏, 等. 台风数值模拟中模式垂直分辨率的影响分析[J]. *海洋技术*, 2013, 32(2): 76-81.
- [10] 刘寒, 郑崇伟, 林刚, 等. 1105 号台风“米雷”台风浪模拟研究[J]. *海洋预报*, 2013, 30(3): 46-50.
- [11] 郑崇伟, 黎鑫, 孙成志, 等. 中国海海浪波周期季节特征的精细化模拟分析[J]. *海洋科学前沿*, 2014, 1(2): 44-49.
- [12] 高占胜, 宋帅, 郑崇伟. Grads 在中国近海大浪频率统计中的运用[J]. *海洋科学前沿*, 2014, 1(2): 50-54.