

大气-海浪耦合模式对台风“碧利斯”的数值模拟

丁亚梅¹, 董克慧¹, 周 林², 王 鑫³

(1. 东海舰队司令部海洋水文气象中心, 浙江 宁波 315122; 2. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 3. 96169部队气象台, 广东 梅州 514783)

摘 要: 本文将海表粗糙度作为耦合大气、海浪模式的重要因子, 实现中尺度大气模式 MM5 (V3) 和第三代海浪模式 WAVEWATCH III 的双向耦合, 建立充分考虑大气、海浪相互作用的大气-海浪耦合模式。将该大气-海浪耦合模式应用于对 0604 次台风“碧利斯”的数值模拟, 在耦合模式中引入 Smith92 海表粗糙度参数化方案, 探讨其对台风和台风浪的影响。研究结果表明, 大气-海浪耦合模式能够抓住台风过程的总体特征。Smith92 海表粗糙度参数化方案对台风路径影响不大。但在台风系统强度的模拟上影响明显, 采用 Smith92 方案使得台风系统强度显著增强, 对台风系统强度的模拟有明显改善。同样, 大气-海浪耦合模式能够很好的模拟台风过程中海浪的传播和演变。采用 Smith92 方案使得海面有效波高明显增高, 对海面有效波高的模拟有一定程度改善。因此, 在大气-海浪耦合模式中恰当的选择海表粗糙度参数化对改进大气-海浪耦合模式的模拟效果是很有意义的。

关键词: 大气-海浪耦合模式; 台风; 海表粗糙度; 有效波高

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2009)02-0015-12

1 引言

台风是热带海洋上的一种强烈天气过程, 是引发大风浪的重要原因。在台风过程中, 海气之间的动力和热力相互作用对台风的发展演变以及海浪有着显著的影响。从动力作用过程看, 台风产生的强海面风应力会长生海浪, 增加海表摩擦, 耗散台风的动能; 而热力作用过程是台风系统发展和维持所必需的物理过程, 其直接影响着台风系统的发展强度^[1]。海浪作为海气界面普遍存在的现象, 对海气界面的能量与物质交换有着重要的影响, 尤其在台风条件下产生的强海浪场显著改变了海表状态, 直接影响了海气界面上的动力、热力作用及物质交换过程。因此, 在对台风的数值模拟中, 充分考虑大气和海浪的动力、热力相互作用过程是必要的。大气-海浪耦合模式就是这种考虑了大气和海浪相互作用的数值模式。

大气模式和海浪模式的耦合包括通过海气之间动量交换实现的动力学相互作用和通过海气间热量和水汽交换实现的热力学相互作用。动力学耦合将大气的动量传输给海浪, 消耗大气的动能; 而热力学耦合将海洋的热量和水汽传输给大气, 为大气运动提供

收稿日期: 2008-04-09

作者简介: 丁亚梅 (1981-), 女, 硕士, 主要从事海气相互作用研究。

能量。上世纪90年代以来,随着对人们对海面状态、对海气界面通量影响认识的加深以及高性能计算条件的改善,大气-海浪耦合模式的研究也取得了一定的发展。Lionello et al.^[2](1998)耦合了海浪模式WAM和大气有限区域环流模式BOLAM(Bologna Limited Area Model),并用其来模拟理想中纬度气旋,研究了大气和海浪之间的相互作用。研究结果表明,对于强气旋来说,风产生浪导致海面粗糙度增大,因而大气和海洋之间的动量交换加大;同时对于海气之间的热量通量来说,由于海面粗糙度加大,加大了热量交换系数,加大了海气之间的热通量。但是对于缓慢演变的弱气旋来说,海浪的作用会导致气旋中心气压加深。Desjardins et al.(2000)和Lalbeharry et al.^[3](2000)利用耦合的中尺度气象模式MC2(Mesoscale Compressible Community)和海浪WAM cycle4模式来研究耦合模式对大气和海浪的影响。他们将耦合系统应用到西大西洋的四个强风暴个例时指出,至少对于短期的天气预报,依赖于波浪状态的海面粗糙度对海面的变量如海面风和有效波高等有一定的影响。我国南海研究所的刘春霞、齐义泉等^[4](2005)耦合了大气模式WRF和海浪模式WAVEWATCH III,并用其模拟了0307号台风“伊布都”(IMBUDO)。模拟试验结果表明:耦合大气-海浪模式对于台风路径改进不大;考虑海浪的作用能更清楚地刻画台风的中尺度雨带特征;台风浪成长前期对台风有正反馈效应,风浪充分成长后对台风有负反馈效应。可见,不同研究所得结论并不一致,有的认为考虑海浪通过改变海表粗糙度对天气系统的影响后可以加强气旋系统的强度,而有的则认为会减弱系统强度。这可能是由于不同作者采用的数值模式和海表粗糙度参数化方案不同以及天气过程本身的差异造成的。

本文将中尺度大气模式MM5和第三代海浪模式WAVEWATCH III进行双向耦合,初步建立了大气-海浪耦合模式。选取0604号“碧利斯”台风过程作为研究个例,在耦合模式中引入Smith92海表粗糙度参数化方案,探讨其对台风系统和台风浪的影响。

2 耦合模式介绍

本文采用的大气模式是非静力中尺度大气模式MM5,该模式在垂直方向上采用地形坐标的原始方程格点模式,具有多种积云对流参数化方案、辐射方案、边界层和显式水汽过程的选项。它能够模拟中尺度系统以及更小空间尺度的非静力天气现象,具有较高的精确性和很好的稳定性,有助于我们认识复杂中尺度系统的结构及发生、发展的物理机制。在我国,对MM5已有广泛的研究和应用,包括海面风场^[5]和台风^[6]的预报和数值模拟,证明MM5对海上的中小尺度天气现象有很好的模拟和预报能力。海浪模式采用国际上较先进的全谱空间第三代海浪模式WAVEWATCH III,该模式以波作用密度谱作为基本参量,方程的源函数包括风浪的相互作用项,非线性相互作用项,耗散项以及底摩擦项,考虑了浪流和底摩擦的相互作用,模式的各个参数也根据海上试验进行了改进。

海浪是在海面风场驱动下产生的一种不规则起伏,海浪的强度和传播影响着海面粗糙度的分布。在考虑了海浪对海气界面粗糙度的影响之后,海面风场将发生改变,它一方面影响大气本身底层风场结构,另一方面也影响了海浪场的结构和强度,从而影响着

整个海气系统。因此，在耦合模式中海表粗糙度是耦合大气、海浪模式的主要因子。海表粗糙度的概念是从陆面上对数风廓线理论中的粗糙度延伸应用到海面而得来的。陆面上的粗糙度与粗糙元之间存在一一对应关系，较高的粗糙元对应着较大的空气动力学粗糙度，且在下垫面确定的情况下，空气动力学粗糙度为定值，不随风速等因素改变。然而在海面上，下垫面的粗糙元(如重力波与毛细重力波等)会受到海面风的强烈影响，粗糙元随风速的改变而改变^[7]。

计算海表粗糙度的一种典型参数化方案是 Charnock^[8](1955)方案，该方案定义的粗糙度公式为： $z_0 = \beta u_*^2 / g$ 其中 g 为重力加速度， z_0 为海表粗糙度， u_* 为摩擦风速， β 为 Charnock 常数，也可看作无量纲的海面空气动力学粗糙度(在大气模式 MM5 中即采用了该参数化方案， β 取为 0.032)。许多实验观测已经表明了海表粗糙度不仅与风速有关，还依赖于海浪状态等因素。因此，研究者们试图寻找影响海表粗糙度的其它因素。Stewart^[9](1974)基于风浪谱的相似性，提出了推广的 Charnock 关系，将 Charnock 数写成波龄的函数 $\beta = f(c_p / u_*)$ ，其中 c_p 为风浪谱峰频率对应的相速度， c_p / u_* 为波龄参数。对于此函数关系式，不同学者根据外海或实验室观测数据拟合得到了不同的表达式。其中，Smith 等^[10](1992)通过对 HEXOS (Humidity Exchange Over the Sea)数据的分析，认为 Charnock 参数随波龄增大而减小，并得到 Charnock 参数随波龄的变化关系： $\beta = 0.48 (c_p / u_*)^{-1}$ 。

本文采用上述 Smith 等(1992)提出的海表粗糙度参数化方案(简称 Smith92)来计算海表粗糙度，大气模式分量提供海面 10m 风场来驱动海浪模式分量运行，海浪模式分量反馈波龄参数 c_p / u_* 给大气模式分量来计算海表粗糙度，由此实现两个模式的双向同步耦合，从而建立起大气-海浪耦合模式(见图 1)。

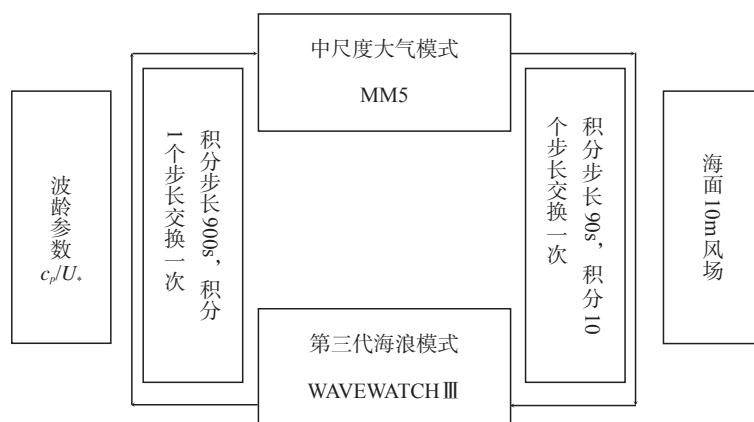


图 1 模式耦合方案

3 个例选取和方案设计

3.1 0604 号“碧利斯”台风过程简介

2006 年 7 月 9 日，第 4 号热带风暴“碧利斯”(BILIS)在菲律宾以东洋面生成。随后，该

热带风暴向西北方向移动，且强度逐渐加强。至11日，“碧利斯”最大风速加大，中心气压降低，加强为强热带风暴，中心海平面气压约为988hPa，近中心风力约为25m/s。之后，“碧利斯”强度继续增强，并于13日15时在台湾省宜兰登陆，登陆时中心附近的最大风力有11级(30m/s)，中心海平面气压约为975hPa。此后，“碧利斯”穿过台湾北部后进入台湾海峡，于14日05时在福建省浦北壁镇沿海登陆(中心最低气压：975hPa,最大风速：25m/s)，登陆后系统逐渐衰弱消亡。

3.2 模拟区域设置

耦合模式中大气模式部分采用两重嵌套网格，区域中心点位于(25°N, 120°E)。粗网格区域D01包括整个东中国海及南海海区，分辨率取为60km，纬向和经向网格数为114×96。嵌套细网格区域D02包括东海、台湾海峡及南海北部海区,分辨率取为20km，纬向和经向网格数为124×106。粗、细网格之间采用双向嵌套。波浪状态通过对粗网格区域海气界面通量交换的影响及嵌套区域间的双向反馈影响细网格区域。在大气模式分量中采用双向嵌套技术，一方面，使得该耦合模式能够更好的利用粗分辨率的NCEP背景场资料，另一方面，在嵌套粗网格区域考虑大气、海浪的耦合，减少了海浪边界谱对细网格区域台风系统模拟的影响。

海浪模式部分模拟区域与大气模式中粗网格区域的范围基本一致。耦合模式的初始场资料采用每日四次、空间分辨率为1°×1°的NCEP全球再分析资料。模拟时间从2006年7月10日00时~7月15日00时，大气模式积分步长取90秒，其它物理方案见表1。

表1 大气模式参数化方案设置

模式参数	设置
边界条件	松弛侧边界条件 (D01)
辐射方案	CCM2 辐射方案 (D01), 云辐射方案 (D02)
显式水气方案	简单冰方案
积云参数化方案	Betts-Miller 积云参数化方案 (D01) Grell 积云参数化方案 (D02)
边界层方案	MRF 边界层方案

3.3 试验方案设计

本文设计了3组模拟试验，主要方案如下(见表2)：

(1) EXP1：非耦合试验，采用NCEP提供的每天4次、1°×1°的全球再分析资料作为模式的初边值场，单独运行大气模式MM5(charnock参数取为常数， $\beta=0.032$)，模拟此次台风过程，每6小时输出一次结果。

(2) EXP2：单向耦合试验，采用NCEP提供的每天4次、1°×1°的全球再分析资料作为模式的初边值场，运行大气-海浪耦合模式，用大气模式分量MM5输出的海面10米风场驱动海浪模式分量WAVEWATCHⅢ运行，但不考虑海浪的反馈作用，模拟此次台风过程中海浪场的演变情况。大气模式分量每6小时输出一次结果，海浪模式分量每3小时输出一

次结果。大气模式分量积分时间步长为 90s，而海浪模式分量积分时间步长为 900s，因而耦合交换时间步长取为 900s。大气-海浪耦合模式运行时大气模式分量先进行初始积分，到耦合交换步长，外区域输出海面 10m 风场驱动海浪模式分量运行，此后每 900s 大气模式分量外区域与海浪模式分量交换一次数据。大气模式分量读入波龄参数，但是不采用此波龄参数来计算海表粗糙度，其海表粗糙度的计算方法仍与非耦合试验(EXP1)保持一致，海浪模式分量则读入大气模式计算结果更新海面风场。

(3) EXP3：双向耦合试验，采用 NCEP 提供的每天 4 次、 $1^\circ \times 1^\circ$ 的全球再分析资料作为模式的初边值场，运行大气-海浪耦合模式，模拟台风和台风浪的发展演变情况。大气模式分量每 6 小时输出一次结果，海浪模式分量每 3 小时输出一次结果。在大气-海浪耦合模式中采用 Smith92 海表粗糙度参数化方案来计算大气模式分量外区域的海表粗糙度。大气模式分量积分时间步长为 90s，海浪模式分量积分时间步长 900s，耦合交换时间步长取为 900s。大气-海浪耦合模式运行时大气模式分量先进行初始积分，到耦合交换步长，外区域输出海面 10m 风场驱动海浪模式分量运行，此后每 900s 大气模式分量外区域与海浪模式分量交换一次数据，大气模式分量读入波龄参数计算海表粗糙度，海浪模式分量则读入大气模式计算结果更新海面风场。大气模式分量采用两重区域嵌套运行，波浪状态通过对粗网格区域海气界面通量交换的影响及嵌套区域间的双向反馈影响着细网格区域。

表 2 模拟试验方案

EXP1	非耦合试验(单独运行 MM5) $z_0 = \beta u_*^2 / g, \beta = 0.032$
EXP2	单向耦合试验 (MM5 输出 10 米风场驱动 WAVEWATCH III 运行，不考虑海浪的反馈作用) $z_0 = \beta u_*^2 / g, \beta = 0.032$
EXP3	双向耦合试验(采用 Smith92 参数化方案计算海表粗糙度): $z_0 = \beta u_*^2 / g, \beta = 0.48 (c_p / u_*)^{-1}$

4 试验结果分析

根据 EXP1-EXP3 的模拟结果，本文主要从台风路径、强度以及台风浪等角度对模拟结果加以分析，通过比较不同试验方案的模拟结果，探讨 Smith92 海表粗糙度参数化方案对台风和台风浪的具体影响。由于 EXP2 为单向耦合试验，即用大气模式分量 MM5 输出的 10 米风场驱动海浪模式分量 WAVEWATCH III 运行，不考虑海浪的反馈作用，所以 EXP2 中气象要素的模拟情况与非耦合试验 (EXP1) 的结果并无差别。所以，本文将双向耦合试验 EXP3 对气象要素的模拟结果与非耦合试验 EXP1 比较，其对海面有效波高的模拟结果与 EXP2 比较。

4.1 台风移动路径

图 2 为非耦合试验 EXP1、双向耦合试验 EXP3 对“碧利斯”路径的模拟情况。标有红色“*”号的为实际路径，标有蓝色“×”号的为 EXP1 模拟结果，标有洋红色“□”号的为

EXP3 的模拟结果。从图 1 可以看出, 30°N 耦合试验与非耦合试验对台风移动路径的模拟结果差别不大。模拟的初期, EXP3 与 EXP1 的模拟结果较实际路径都略偏北。随着台风系统向台湾岛移近, 在 123°E 以西、台湾岛以东洋面, 差异逐渐显现。EXP1 的模拟路径与实况很接近, 但台风进入台湾海峡后, 模拟路径向南偏, 在福建的登陆点较实况略偏南。EXP3 对路径的模拟相对实况整体偏南。总体而言, 引入 Smith92 海表粗糙度参数化方案后, 台风路径的模拟变化不明显。这表明“碧利斯”移动路径主要取决于大尺度的环流背景场, 双向耦合试验中采用 Smith92 海面粗糙度参数化方案对“碧利斯”移动路径的影响不大。

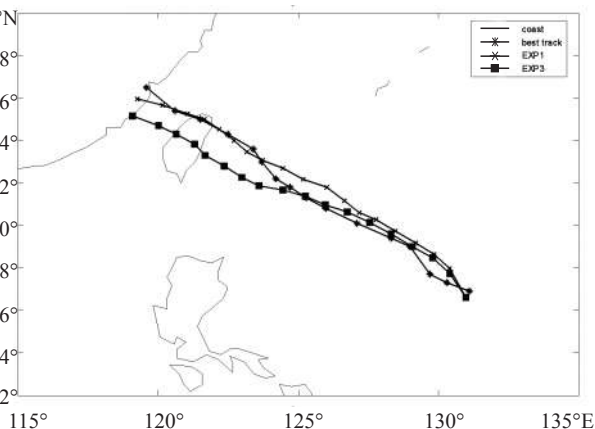
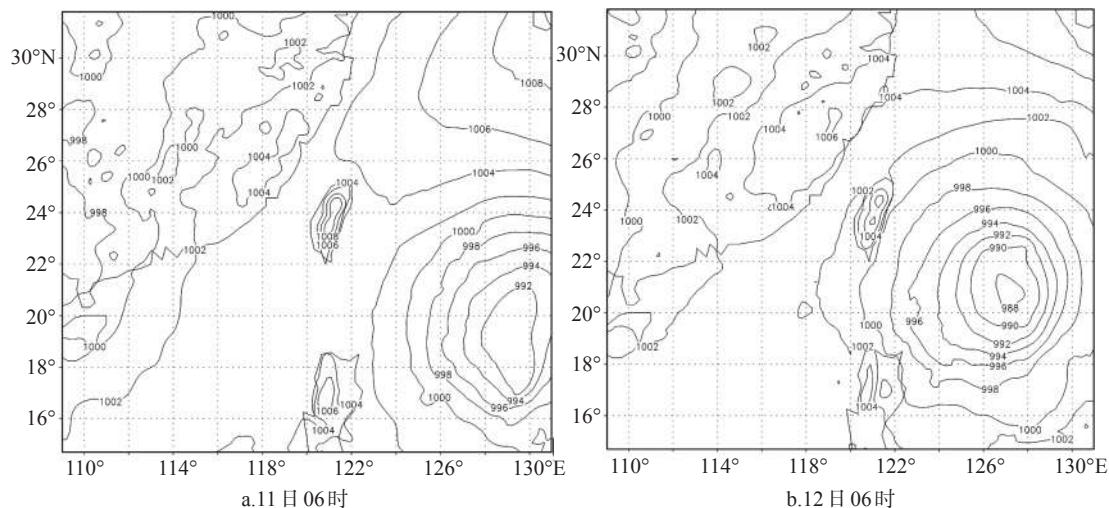


图2 EXP1、EXP3 模拟的台风路径

4.2 海平面气压

图3给出了EXP1模拟的此次台风过程中海平面气压的分布和演变。7月11日06时菲律宾以东洋面有一强热带低压系统, 低压中心位于(19.6°N, 129.5°E)附近, 低压中心最低海平面气压低于992hPa, 此后该系统向西北方向缓慢移动并逐渐加强。到12日06时中心移至(21.3°N, 126.4°E)附近, 等压线更加密集, 低压中心最低海平面气压值降至988hPa以下。此后系统逐渐向台湾岛移近, 并进一步加强, 至13日06时, 台风中心位于(23.4°N, 123.5°E)附近, 中心最低海平面气压低于988hPa。至14日06时, 系统中心移至(25.2°N, 121.8°E)附近, 此时台风已登陆, 系统强度减弱, 中心最低海平面气压有



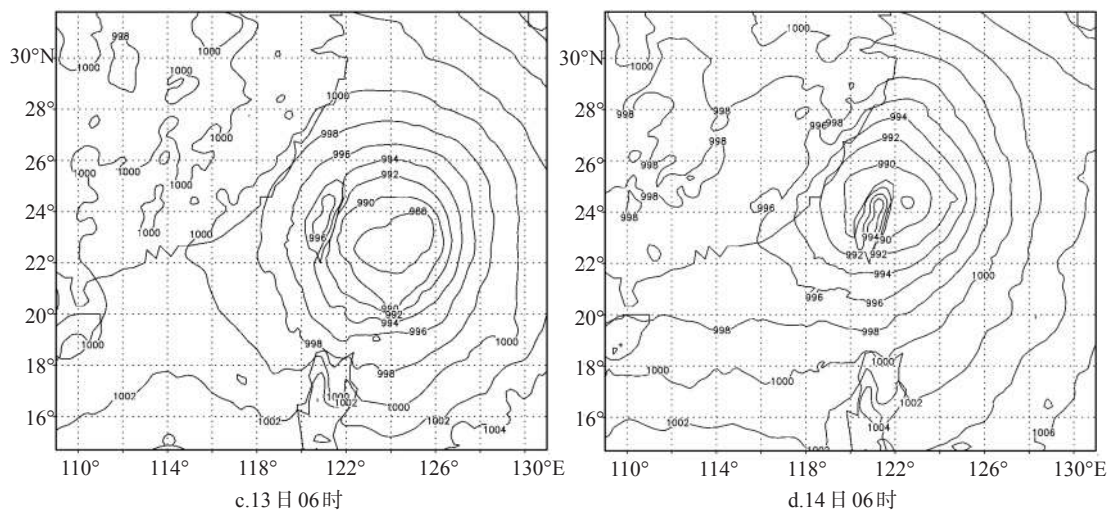


图3 EXP1 模拟的台风过程海平面气压分布(单位:hPa)

所升高, 约990hPa。

对比NCEP再分析资料(图略)可以看到, EXP1 模拟出了此次台风的移动和发展过程的总体特征, 但模拟的海平面气压值偏高。

台风中心最低海平面气压一般被用来表征台风的强度^[12]。图4是EXP1、EXP3对台风中心最低气压的模拟情况(说明同图2)。从图中可以看出, 两种试验方案的结果都反映出台风中心最低海平面气压的大致变化特征, 但两种试验方案的模拟结果相对于实况均偏高, 也即在对“碧利斯”系统强度的模拟上, 耦合模式与非耦合大气模式模拟的台风系统均偏弱。7月10日06时~11日06时, 台风中心最低海平面气压从995hPa下降到988hPa, 在这一过程中Smith92海表粗糙度参数化方案对台风中心最低海平面气压模拟的影响较小。随后, 台风进一步发展加强, Smith92海表粗糙度参数化方案的影响开始显

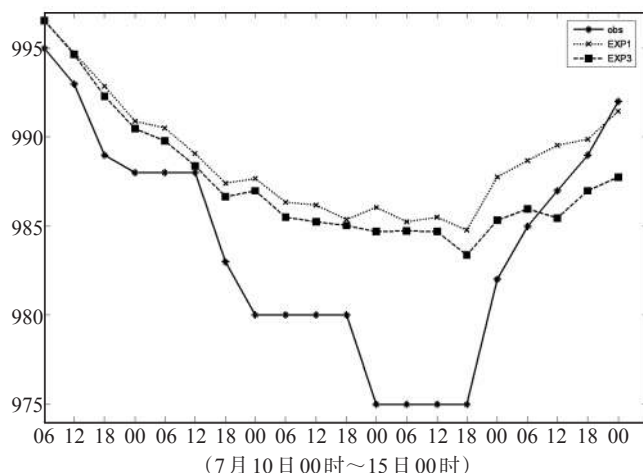
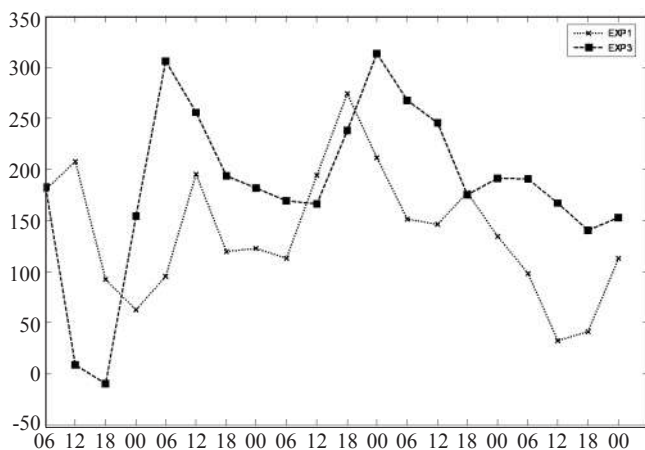


图4 EXP1、EXP3 模拟的海平面最低气压随时间的演变(单位: hPa)

现。相对于EXP1, EXP3模拟的台风中心最低气压明显降低, 其最低台风中心气压值为983.4hPa, 与实况值很接近。13日18时, “碧利斯”已登陆台湾, 台风系统强度开始迅速减弱。非耦合试验和双向耦合试验模拟的最低气压都有升高趋势, 即模拟的台风系统强度在减弱中。总体而言, EXP3模拟的台风系统强度显著增强, 改善了非耦合试验对台风系统强度模拟偏弱的问题。

4.3 台风中心附近区域热通量的模拟结果比较

台风发生在暖的洋面上, 海面的高温和丰富的水汽源是维持台风内部对流和加热所必需的。台风过程中, 海气界面上热量、水汽交换显著增强, 以海洋向大气输送热量为主。海洋输送到大气的感热通量和潜热通量长期以来都被认为是台风系统发展和维持的重要因子。海洋供给了热带气旋中心为维持低压所必需的大部分潜能^[13]。对台风系统而言, 考虑海浪的反馈作用, 改变海表的粗糙度分布, 影响到海气界面热交换系数, 导致海气界面向上的热量和水汽通量变化。因而, 有必要将考虑海浪反馈作用的双向耦合试验模拟的台风中心附近区域的热通量与非耦合试验的结果进行对比分析。



(7月10日06时~15日00时)

图5 EXP1、EXP3模拟的台风中心 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 区域内热通量随时间的演变(单位: W/m^2)

图5给出了非耦合试验EXP1、双向耦合试验EXP3对以台风为中心 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 区域内平均热通量(感热通量+潜热通量)的模拟情况(说明同图2)。在“碧利斯”由热带风暴增强为强热带风暴阶段, EXP3对台风中心附近热通量的模拟结果稍弱于EXP1。之后, 随着“碧利斯”的进一步发展加强, EXP3模拟的台风中心附近区域的热通量明显高于EXP1的模拟结果。总体而言, EXP3的模拟结果高于EXP1。

4.4 台风浪的模拟结果比较

在中国海, 每年都有6m以上的灾害性海浪发生, 年平均为28次, 台风浪占41%左右, 其中73%的台风浪发生在7~10月份的台风季节。

图6为EXP2(单向耦合试验, 不考虑海浪的反馈作用, 以MM5输出的海面10m风场驱动WAVEWATCH III运行)模拟的台风过程10m风场和海面有效波高的对应分布。从图中可以看出, 海面10m风场的分布和演变很好的体现了此次台风系统的移动过程, 海浪模式分量模拟的海面有效波高分布与风场有很好的对应关系。11日00时, 在菲律宾以东洋面上有一强气旋系统, 中心位于(18.1°N, 130.2°E)附近, 在气旋移动路径的右侧对应有效波高的大值区(本文定义有效波高超过4m的区域为有效波高的大值区), 最大有效波高约5.5m。随后气旋系统向西北方向移动并加强, 有效波高逐渐增高, 有效波高大值区也随之向西北移动, 并且范围也逐渐扩大。12日00时, 有效波高大值中心移至气旋移动路径的后方, 最大有效波高超过5m。至13日00时, 气旋系统已逼近台湾岛东海岸线, 有效波高大值区中心位于气旋移动路径的后方, 最大有效波高超过5.5m。至14日00时

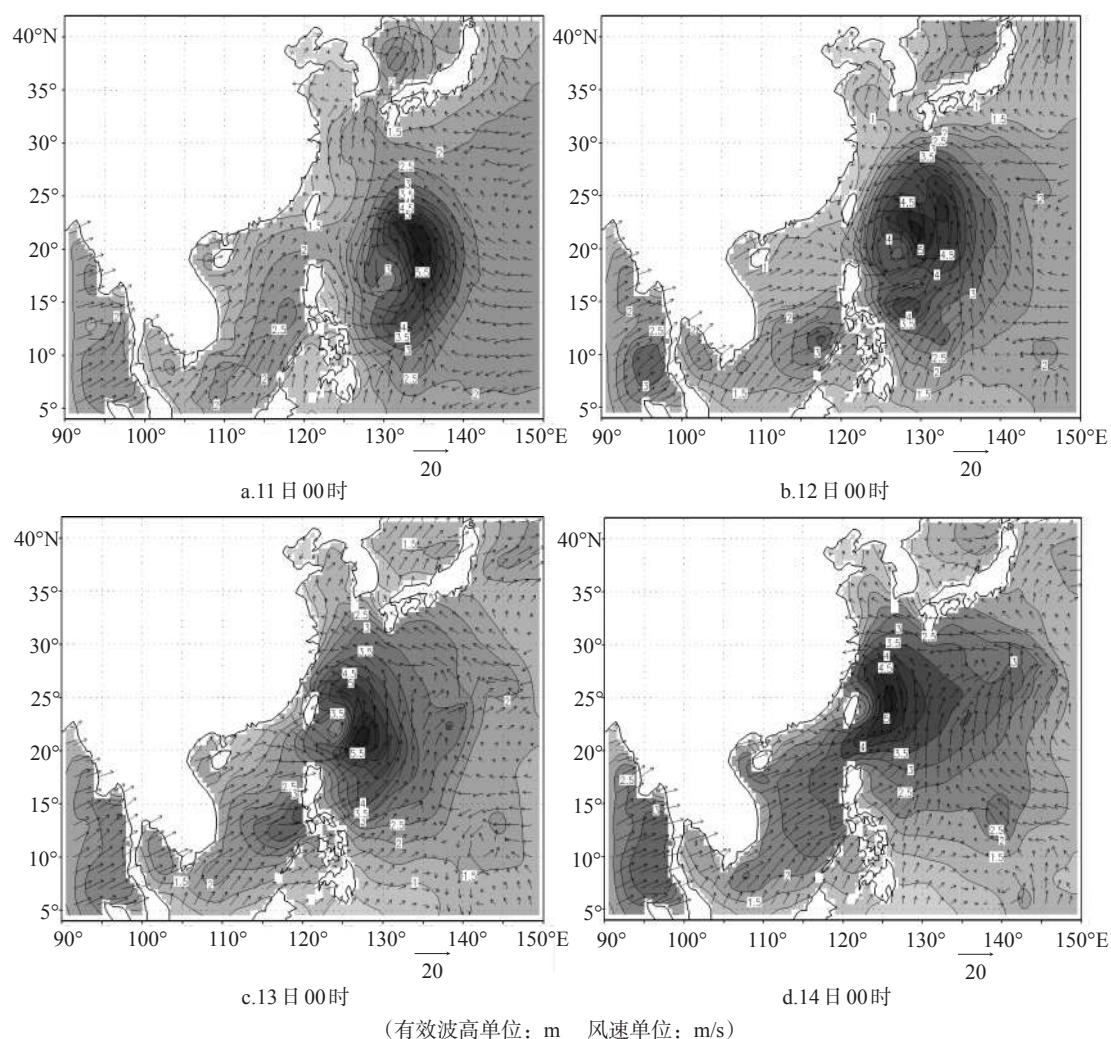


图6 EXP2模拟台风过程的海面10m风场和有效波高分布

时, 由于气旋系统已登陆台湾岛, 有效波高逐渐降低, 有效波高大值范围也逐渐缩小。

对比同时次的海浪传真图(图略), EXP2准确模拟出了此次台风过程海面有效波高的传播和演变过程的总体特征, 但模拟强度弱于实况。

图7是单向耦合试验(EXP2)、双向耦合试验(EXP3)对台风过程中最大有效波高的模拟。标有“○”号的为EXP2的模拟结果, 标有“□”号的为EXP3的模拟结果。把EXP3模拟的最大有效波高与EXP2的结果比较, 两试验模拟的最大有效波高的变化趋势基本一致。模拟的初期, “碧利斯”从热带风暴增强为强热带风暴, 两试验模拟的有效波高均迅速增大。11日06时~13日18日, “碧利斯”处于强盛期, 两试验模拟的有效波高也增长到最大。此阶段, EXP3的模拟结果明显强于EXP2。此后, 由于“碧利斯”登陆衰减, 两试验模拟的有效波高也分别减弱。总体而言, EXP3对海面有效波高的模拟较EXP2有所增强, 更接近实况, 改善了单向耦合试验对海面有效波高模拟偏弱的问题。

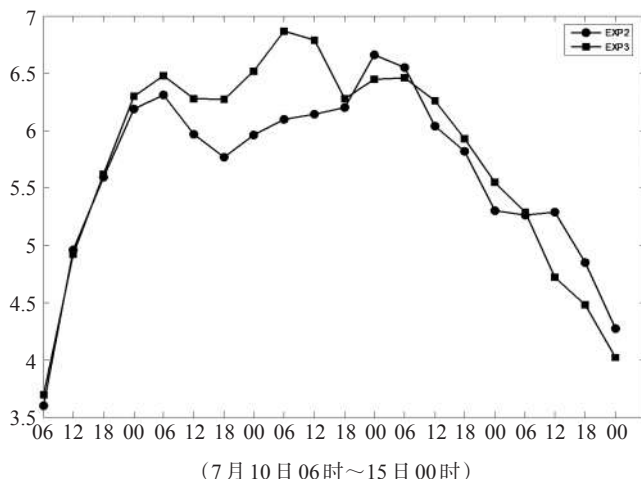


图7 EXP2、EXP3模拟的海面最大有效波高随时间的演变(单位:m)

对比图4、图5和图7不难看出, 考虑了海浪的反馈作用后, EXP3模拟的台风中心附近区域的热通量显著增大, 为台风系统提供更多的能量, 有利于台风发展加强, EXP3模拟的台风中心最低海平面气压较EXP1显著降低, 海面有效波较EXP2增高。

对于台风系统来说, 海浪对台风的反馈可以分为动力效应和热力效应两个方面。动力效应削弱台风强度: 考虑海浪的反馈后, 海表粗糙度和海面摩擦增大, 消耗台风的动能, 从而减弱台风强度。而热力效应则使得台风系统增强: 风产生浪, 导致海面粗糙度增加, 也就加大了相应区域的热交换系数, 进而加大了海气界面向上的热量和水汽通量, 为台风发展提供更多的能量, 从而导致台风系统强度增强。采用Smith92海表粗糙度参数化方案, 显然是热力效应占优势: 尽管考虑海浪反馈作用后, 台风动能消耗增多, 但海气界面的热通量(主要是潜热通量)显著增大, 也即海气界面向上的总的热通量和水汽通量增大, 为台风发展提供更多的热能, 增强了台风系统强度, 降低了台风中心海平面气压, 增大了海面有效波高。

5 结论

本文利用中尺度大气模式MM5和第三代海浪模式WAVEWATCH III建立了大气-海浪耦合模式，并在该耦合模式中引入Smith92海表粗糙度参数化方案，用耦合模式对0604次台风“碧利斯”进行了数值模拟，探讨其对台风系统和台风浪的影响。得到以下结论：

(1) 耦合模式能够较好的模拟台风过程的发展和演变。引入Smith92海表粗糙度参数化方案对台风路径的影响不大。

(2) 耦合模式能够较好的模拟台风过程中海浪场的分布和演变。

(3) 引入Smith92海表粗糙度参数化方案后，海浪对台风的反馈的动力效应和热力效应作用大小不同，热力效应明显起主要作用：海-气界面热通量显著加强，为台风发展提供更多的热能，增强了台风系统强度，降低了台风中心海平面气压，增大了海面有效波高。

(4) Smith92方案显著改进了中尺度大气模式MM5对台风系统强度模拟偏弱的问题，也改善了第三代海浪模式WAVEWATCH III对有效波高的模拟。

参考文献：

- [1] Perrie W, Y Zhang. Coupling and Feedbacks of the Atmosphere and Ocean surface: Synoptic and Monthly Time-scales, 2002.
- [2] Lionello P, P Malguzzi, A Buzzi. On the coupling between the atmospheric circulation and the ocean wave field: an idealized case. J Phys Oceanogr, 1998, 28: 161-177.
- [3] Desjardins S, J Mailhot, R Lalbeharry. Examination of the Impact of a Coupled Atmospheric and Ocean Wave System. Part I: Atmospheric Aspects. J Phys Oceanogr, 2000, 30: 385-401.
- [4] 刘春霞, 齐义泉, 梁建茵. WRF与海浪模式耦合及其对台风的影响[C]. 中国气象学会2005年年会论文集, 2005, 2300-2307.
- [5] 凌铁军, 等. 中尺度数值预报模式(MM5)在海面风场预报中的应用[J]. 海洋预报, 2004, 21(4): 1-9.
- [6] 吴启树, 等. “碧利斯”台风暴雨物理量场诊断分析[J]. 海洋预报, 2005, 22(2): 59-66.
- [7] 文凡, 苏泽宇, 吕红民. 粗糙度与风浪特征量关系的研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(1): 31-35.
- [8] Charnock H. Wind stress on a water surface. Quart. J Roy Meteor Soc, 1955, 81: 639-640.
- [9] Stewart R W. The air-sea momentum exchange. Boundary-Layer Meteorol, 1974.
- [10] Smith D S, Coauthors. Sea surface wind stress and drag coefficients: The HEXOS results. Boundary-layer Meteorology, 1992, 60: 109-142.
- [11] 刑建勇, 等. 台风“卡努”的数值模拟试验[J]. 海洋预报, 2006, 23(2): 1-9.
- [12] 沙伟, 倪文盛, 等. 北海海域台风浪数值预报模式的应用和发展[J]. 海洋预报, 1998, 15(3): 57-62.
- [13] ситцрин, Г.Г.(苏). 海况对热带气旋影响的研究[J]. 海岸工程, 1996, 15(1): 59-71.

Numerical simulation of typhoon Bilis by using a coupled atmosphere-ocean wave model

DING Ya-mei¹, DONG Ke-hui¹, ZHOU Lin², WANG Xin³

*(1.Hydrometric and Meteorological Center of East China Sea Fleet,Zhejiang, Ningbo 315122 China; 2.The Meteorological
Institute of PLAUST, Nanjing, 211101 China;3.Observatory of typhoon 96196,Guangdong Meizhou 514783 China)*

Abstract: The mesoscale atmosphere model MM5(V3) and the third-generation ocean wave model WAVEWATCH III are coupled with each other in a two-way coupling manner. The coupled model is used to simulate typhoon Bilis, using NCEP reanalysis data as initial field. A parameterization schemes of sea surface roughness, Smith92, is introduced to the coupled model; and its influence on the development and moving track of Bilis is discussed as well.

The coupled model shows high applicability for numerical simulation of Typhoon. The sea surface roughness schemes has very little impact on the track of Typhoon. In terms of the simulation effect of Typhoon intensity, the result of Smith92 increases evidently. The simulated results of the distribution and development of ocean wave are satisfactory, as well. Referring to

Keywords: atmosphere-ocean wave coupled model; typhoon; sea surface roughness; significant wave height