

南海上层对台风响应的模拟研究

姜洪峰¹, 蒋小平², 杨斌², 张建友³

(1.解放军61741部队,北京 100081; 2. 解放军75200部队司令部气象室 惠州 516001;
3. 93721部队, 怀仁 038300)

摘要:利用中尺度海气耦合模式对2006年第1号台风Chanchu海气相互作用的模拟结果,分析了南海上层海洋对台风的热力和动力响应特征。研究发现:模拟的Chanchu影响下南海SST分布与观测较为符合;与SST降低相对应的是混合层深度普遍增加,较大的海面冷却对应了较大的混合层加深;在台风作用下,海面上产生了一个气旋式环流,随着台风中心的移动而移动,流场呈现明显的不对称结构;模拟结果表明南海对台风的响应具有很明显的近惯性振荡特征。

关键词:海气耦合模式;南海;台风;响应

中图分类号:P444 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2009)01-0029-07

1 引言

台风伴随着天气尺度上最强烈的海气相互作用过程,在这一过程中,海洋和大气间会产生大量的动量、能量和物质等的交换,从而引起上层海洋强烈的响应。台风对海洋影响的水平范围可达几百千米到上千千米,而垂向的影响深度可达1 000 m左右^[1]。

海洋对台风响应的观测和数值研究工作国外早已开展,特别是数值研究对资料稀少的海域很有意义。Rao等^[2]采用一个三维数值模式来研究孟加拉湾近海对从不同方向进入孟加拉湾的不同台风的响应,但忽略了热通量对海洋的影响;Wada^[3]采用一个模型风场驱动的混合层海洋模式来模拟西太平洋对台风Rex(1998)的动力响应和热力响应;Morey等^[4]利用一个与大气通量模式耦合的NCOM(Navy Coastal Ocean Model)模式来研究墨西哥湾对飓风Dennis(1995)的响应,通过大气通量模式得到了较为真实的海面风场和热通量。

关于我国近海,特别是南海对台风响应的研究工作还比较少。黄立文等^[5]以每6 h一次的NCEP再分析资料的海面风场、感热通量、潜热通量、净长波辐射通量和短波辐射通量作为强迫条件,利用ECOM-si(Estuarine and Coastal Ocean Model with a Semi-Implicit Scheme)模式研究了黄、东海海洋对台风Winnie(1997)的响应。Chu等^[6]利用POM模拟了台风Ernie(1996)经过南海时上层海洋的响应过程,指出近海对台风的响应具有与外海类似的特征,如较大的SST下降出现在台风路径的右侧等,Chu的研究中采用的是模型风场,也没有考虑热通量对南海的影响。

以往海洋对台风响应的研究工作对于海洋和台风状况多作理想化处理^[7-9],没有准确

收稿日期:2008-04-10

作者简介:姜洪峰(1980-),男,硕士,从事海洋预报工作。

地描述台风和海洋之间的相互作用,而实际上台风和海洋之间的相互作用无论对台风的发展还是对海洋在台风强迫下的响应都有重要影响^[5,9]。为此,作者曾基于中尺度大气模式MM5与区域海洋模式POM^[10]建立了一个中尺度海气耦合模式,并利用该耦合模式模拟了Chanchu(2006)台风过程中台风-海洋的相互作用^[11],并较为真实地反映了台风和海洋的相互作用。本文在此基础上,进一步分析南海对台风Chanchu的热力和动力响应特征。

2 模式简介及实验设计

利用管道技术,完成进程控制、管道建立和交换数据的功能,在两个模式中通过Fortran和C/C++语言混合编程定义了控制耦合模式的开关变量来控制耦合模式的数据交换,以及完成调用公共模块、对交换的物理量进行水平插值等功能,从而实现MM5和POM两个模式的双向同步耦合。其中MM5采用当前时次POM预报的SST驱动,POM由当前时次MM5预报的海面风应力、感热通量、潜热通量强迫。

耦合试验中POM模式范围设定为 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $99^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$,水平分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$,在垂直方向上,模式采用不均匀间隔的21个Sigma层,对上层海洋的分层进行加密,外模的时间步长是60 s,内模的时间步长是1800 s,采用真实地形。MM5模式采用二重嵌套网格,模拟区域D01范围是 $7.18^{\circ}\sim 26.33^{\circ}\text{N}$, $105.93^{\circ}\sim 130.07^{\circ}\text{E}$,水平方向分辨率15 km,时步50 s,垂直方向分为32层,不采用任何Bogus方案,模式的初始场和边界条件由NCEP的 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 分辨率的再分析资料提供,从2006年5月12日06时开始积分到17日12时,共积分126 h,包括了台风Chanchu从热带低压发展到台风再逐渐衰减的全过程。

3 个例简介

Chanchu于2006年5月9日12时(世界时,下同)在西太平洋生成,12日加强成为热带风暴,之后稳定地向西北方向移动,13日06时在南海加强为台风,在南海西行阶段移动缓慢,移速维持在 $9.7\sim 14.8\text{km/h}$,14日18时~15日09时,移速逐渐减慢至 9.7km/h 以下,最慢时仅有 4.0km/h 。15日00时Chanchu在南海中部移向突然出现罕见的90°北翘,移速逐渐加快,并于17日18时在广东登陆。

4 南海对台风Chanchu的响应

4.1 热力响应

图1a是耦合试验POM模式模拟的17日12时与12日06时SST的差值,与TRMM/TMI观测的17日与12日日平均SST差值(见图1b)相比可知,模拟的台风引起的SST降低与观测值较为符合,较好地反映了台风Chanchu引起的南海SST变化,Chanchu在南海中部和北部造成了很大的降温,最大降温幅度达到 8.0°C (范围较小,图1a未能标出),与

TRMM/TMI 观测的最大降温幅度 8.25°C 相差不大, 造成降温幅度达到 2°C 以上的海域面积超过 $10.0 \times 10^5 \text{ km}^2$, 范围非常大。台风路径右侧降温比左侧大, SST 响应具有明显的右偏性, 与 TRMM/TMI 观测的降温相同。从图 1a 上还可以清楚地看到两个降温中心, 分别位于 Chanchu 转向处的 $(15.25^{\circ}\text{N}, 116.00^{\circ}\text{E})$ 附近和转向后路径右侧的 $(18.25^{\circ}\text{N}, 116.0^{\circ}\text{E})$ 附近, 降温幅度都达到了 6°C 以上, 离台风路径分别为 65 km 和 107 km 。

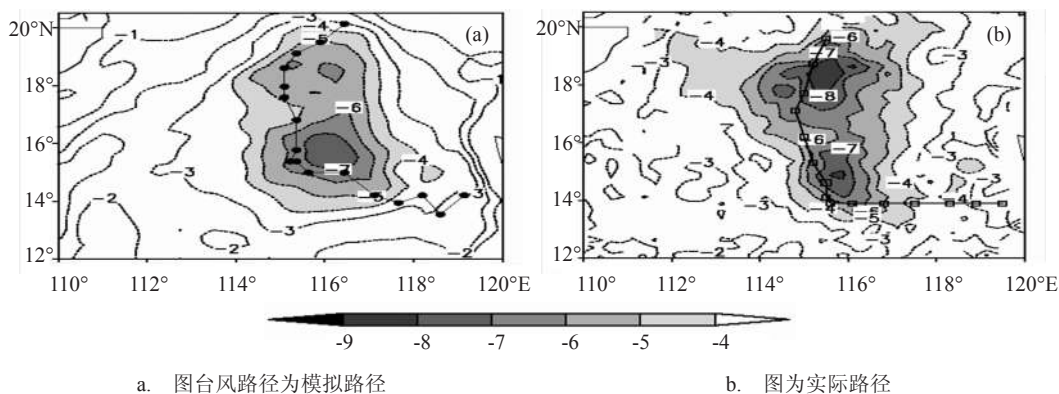
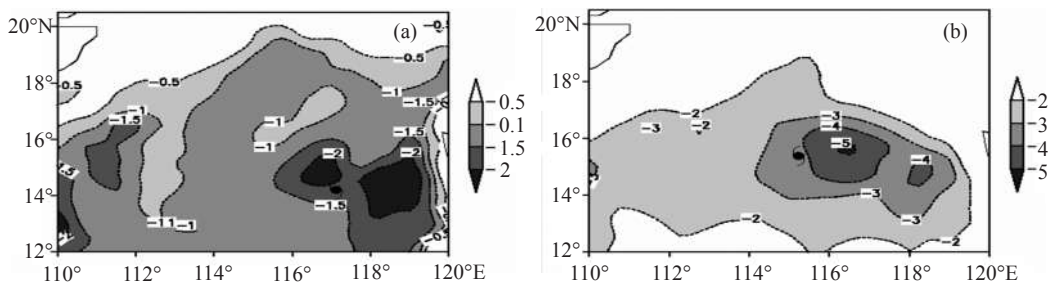


图1 模式模拟的17日与12日日平均 SST(a)之差和 TRMM/TMI 卫星观测的17日与12日日平均 SST(b)之差(部分区域缺测)

从各个阶段台风引起的海面降温(见图2)来看, 开始时段在 Chanchu 还没有发展成台风之前风速较小, 台风移速较快(图略), 南海中部 SST 普遍降低 1°C 左右, 没有形成明显的降温中心(图略)。14日00时在台风中心右侧形成了最高达 2.5°C 的降温中心(见图2a), 距离台风中心约 130 km , 而此时台风内核区下方降温为 1.5°C ; 此后由于 Chanchu 移速减慢(图略), 降温越来越显著, 最大降温中心距离台风中心也越来越近, 15日00时台风中心右后方已经形成降温幅度超过 4.0°C 大面积降温区(见图2b), 最大降温中心形成于 $(15.25^{\circ}\text{N}, 116.00^{\circ}\text{E})$ 附近, 最大降温 5.5°C , 距离台风中心 84 km , 此时台风内核区下方降温也超过 4°C ; 15日00时至15日12时 Chanchu 维持最大强度, 移速小于 3.2 m/s , 非常有利于 SST 降低, $(15.25^{\circ}\text{N}, 116.00^{\circ}\text{E})$ 附近的降温中心至15日12时降温进一步加剧, 最大降温达到 8.5°C , 台风中心右后方普遍降温超过 6°C , 台风内核区下方降温超过 5°C (见图2c), 之后尽管台风移速加快(图略), 该降温中心仍持续存在, 位置少变(见图2d)。Wada 等^[3]模拟台风 Fex(1998)造成的海面降温时也发现, Fex 移速最慢时形成的最大降温中心长时间



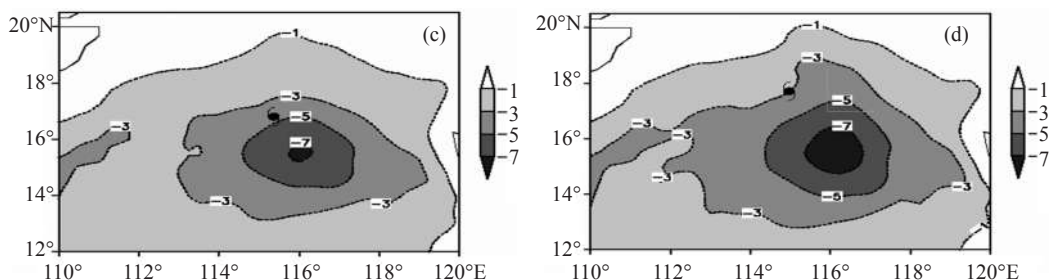


图2 耦合试验POM模式模拟的14日00时(a)、15日00时(b)、15日12时(c)和16日00时(d) SST分布

存在。17日00时以后在(18.25°N,116.0°E)附近形成另一个降温中心,最大降温也超过6°C。总之,台风造成的海面降温具有明显的不对称性,在台风中心的右后方降温显著,而台风内核区降温小于右后方的降温。

与SST降低相对应的是在台风影响海域混合层深度普遍增加(见图3)。台风到来前,南海混合层深度普遍小于50 m,在南海西部由于西部夏季冷涡的存在,混合层深度只有10余米,台风经过后,南海混合层深度普遍增加,台风路径右侧混合层深度增加比左侧大,普遍增加40 m以上,最大增加60余米。

4.2 动力响应

从模式模拟的Chanchu影响下南海海表面流场(见图4)可以看出,流场呈现明显的不对称结构,台风路径右侧的流速远大于其左侧的流速,最大流速都发生在路径右侧,分析

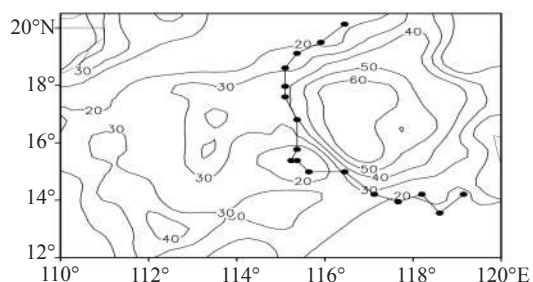


图3 模式模拟的17日12时与12日06时混合层深度之差

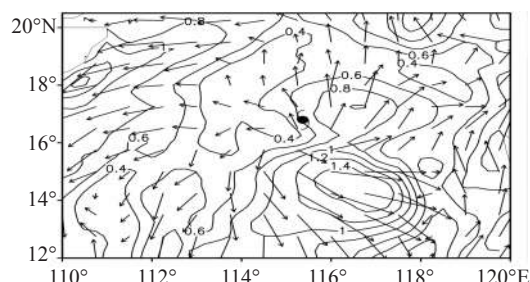


图4 15日12时模式模拟的南海海表面流场(台风标志表示该时刻台风中心的位置)

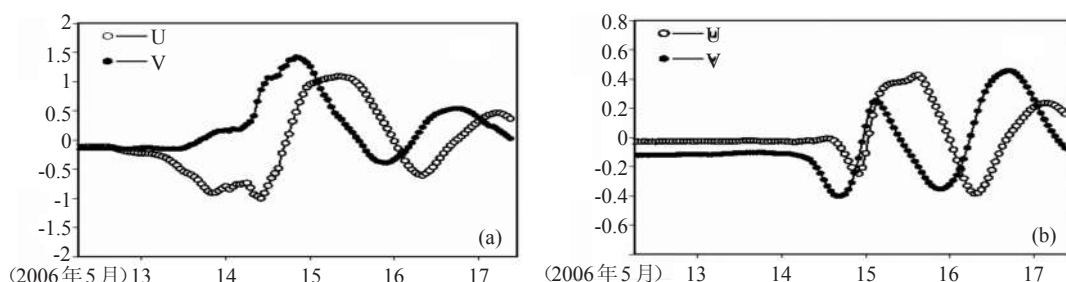


图5 模式模拟的最大降温中心(20.0°N,115.2°E) 30 m (a)和125 m (b)深度u方向和v方向海流随时间的变化

台风过程南海表面流场演变可以发现,从13日12时开始,海面上产生了一个气旋式环流,随着台风中心的右后方降温显著,而台风内核区降温小于右后方的降温。

观测研究和数值研究都表明海流的响应占主导的是近惯性波动。图5为模拟试验中最大降温中心(15.25°N,116.0°E)表层流速的u分量、v分量的时间演变,可以看出,台风到来之前,该点的流速较弱,台风到来后该点表层海流开始呈现明显的近惯性振荡特征。

下面选取台风路径右侧的两个最大降温中心(15.25°N,116.0°E), (18.25°N,116.0°E)为典型代表(其它右侧点分析结果与这两点结果一致)和台风路径左侧任意一点(15.25°N, 114.6°E)来分析 SST 对台风响应右偏的原因。

点(15.25°N,116.0°E)(见图6)在12日06时的海面风速为5.2 m/s,海洋表层流速0.09 m/s。14日18时至16日00时,最大降温中心对应的海面风速为25~35 m/s,风应力将能量传递给海洋,使得表层流速增大至0.8~1.4 m/s,这一时段该点降温幅度最大,达到6.2°C;点(18.25°N,116.0°E)(图略)在15日03时之前海面风速较小,对应的海洋表层流速和 SST 降低幅度也较小,之后风速快速增大,风应力将能量传递给海洋,使海洋表层流速增大至1.4 m/s,该点 SST 从15日16时开始快速降低。总的来看,海洋中台风路径右侧点的海面风速、海表面流速和 SST 降低具有比较好的对应关系,即随着台风的到来,海表面流速迅速增大,风应力将能量传递给海洋,使得混合层内的流速快速增大,夹卷效应增大,这样 SST 就迅速降低。

而对台风路径左侧的点,海流对风应力的响应呈现与右侧点不同的特征。以点(15.25°N,114.6°E)(见图7)为例,14日18时~16日00时,该点对应的海面风速为25~33

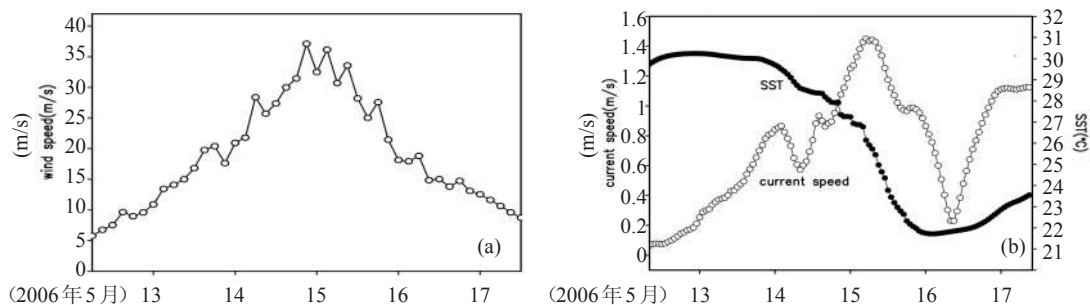


图6 模式模拟的点(15.25°N,116.0°E)的海面风速(a)、海表面流速和 SST(b)随时间的变化

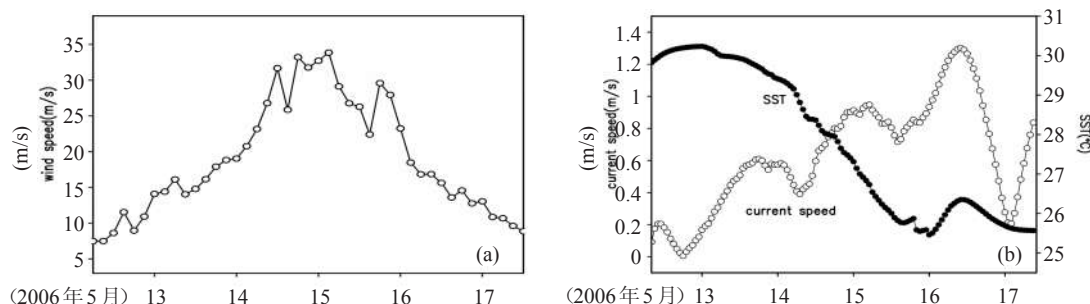


图7 模式模拟的点(15.25°N,114.6°E)的海面风速(a)、海表面流速和 SST(b)随时间的变化

m/s, 略小于点(15.25°N, 116.0°E)这一时段的海面风速, 但这一时段海洋表层流速并没有快速增加, SST降低幅度也小于右侧点(15.25°N, 116.0°E), 仅为 2.0°。

上面的分析表明, SST响应出现右偏并非是由于台风路径右侧风应力大于左侧风应力所致, 而是台风涡旋能更有效地传递能量给右侧海洋流场, 使其混合层内的近惯性流远大于左侧的近惯性流, 导致强的夹卷, SST出现大幅度的下降。

5 小结

本文利用中尺度海气耦合模式对台风 Chanchu (2006)过程中台风-海洋相互作用的模拟结果, 分析了南海对台风的热力和动力响应特征。研究发现:

(1) 模拟的 Chanchu 影响下南海 SST 分布与观测较为符合, 比较成功地模拟出了由于 Chanchu 异常路径所形成的两个降温中心;

(2) 与 SST 降低相对应的是混合层深度普遍增加, 较大的海面冷却对应了较大的混合层加深, 台风路径右侧混合层深度增加比左侧大, 表明风夹卷在 SST 的降低中起了主要作用;

(3) 在台风作用下, 海面上产生了一个气旋式环流, 随着台风中心的移动而移动, 流场呈现明显的不对称结构, 台风路径右侧的流速远大于其左侧的流速, 最大流速都发生在路径右侧;

(4) 南海对台风的响应具有有很明显的近惯性振荡特征, 不同深度的惯性振荡的开始时间和最大振幅发生时间都随深度增加而后延, 这种惯性振荡在垂直方向上具有向下传播的特征。

参考文献:

- [1]Kwon Y O, Riser S C. The ocean response to the hurricane and tropical storm in north Atlantic during 1997~1999[D]. 2003, School of Oceanography, University of Washington, USA.
- [2]Rao A D, Babu S V, Dube S K. Impact of a tropical cyclone on coastal upwelling process[J]. Natural Hazards, 2004, 31: 415—435.
- [3]Wada A. Numerical simulation of sea surface cooling by a mixed layer model during the passage of Typhoon Rex[J]. Journal of Oceanogra, 2005, 61:41—57.
- [4]Morey S L, Bourassa M A, Dukhovskoy D S, et al. Modeling studies of the upper ocean response to a tropical cyclone[J]. Ocean Dynamics, 2006, 56: 594—606.
- [5]黄立文, 邓健. 黄、东海海洋对于台风过程的响应[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(3): 246—252.
- [6]Chu P C, Veneziano J M, Fan Chenwu. Response of the South China Sea to tropical cyclone Ernie 1996[J]. J Geophys Res, 2000, 105(C6): 13991—14009.
- [7]朱建荣, 秦曾灏. 海洋对热带气旋响应的研究 I. 海洋对静止、移速不同的热带气旋响应[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(2): 146—153.
- [8]朱建荣, 秦曾灏. 海洋对热带气旋响应的研究 II. 不同海洋热力结构下的情形[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 455—459.
- [9]Duan Yihong, Yu Runling, Li Yongping. An ocean-land-atmosphere coupled model for tropical cyclone landfall

- processes: The multi-layer ocean model and its verification[J]. *Acta Oceanologica*, 2006, 25(2): 33—48.
- [10] Black P G. Ocean temperature changes induced by tropical cyclones[D], 1983, 278 pp., Pa. State Univ., State College.
- [11] Jiang Xiaoping, Zhong Zhong, and Liu Chunxia. The effect of typhoon-induced SST cooling on typhoon intensity: the case of Typhoon Chanchu (2006). *Adv. Atmos. Sci.* (accepted).

Upper Ocean Response of the South China Sea to Typhoon Chanchu (2006)

JIANG Hong-feng¹, JIANG Xiao-ping², YANG Bin², ZHANG Jian-you³

(1. 61741 troops PLA, Beijing 100081 China; 2. meteorological office of army post no. 75200, Huizhou 516001 China; 3. 93721 troops PLA, Huaiyuan 038300 China)

Abstract: In order to investigate the dynamic and thermal response of the South China Sea (SCS) to real typhoon case qualitatively, the simulated results from a typhoon-ocean coupled model are analyzed in detail. The SST simulated by POM in the coupled experiment is in good agreement to that from the TRMM/TMI-derived data. Corresponding to the SST cooling, the depth of mixed layer deepens in the meantime, it deepens more distinctly on the right side of typhoon, with maxima of 58 m. The correspondence of SST cooling and mixed layer depth indicates that the SST cooling is caused mainly by entrainment.

Under the influence of typhoon, a cyclonic circulation is generated in the upper ocean layer and moves with typhoon. The typhoon-induced horizontal currents in the wake of the storm have strong near-inertial oscillation, which gradually propagates downward.

Keywords: Coupled model; South China Sea; Typhoon; Response