

文章编号: 1004-4965(2009)04-0401-06

## 不同海表面温度对南海台风“杜鹃”的影响试验

陈颖珺<sup>1</sup>, 谢强<sup>1</sup>, 蒙伟光<sup>2</sup>, 袁金南<sup>2</sup>, 王东晓<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南海海洋研究所/热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301;

2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

**摘 要:** 采用水平分辨率  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  的日平均和周平均的卫星微波成像仪(TMI)和卫星微波辐射计(AMSRE)的海温资料(TMI-AMSRE SST)作为下强迫源, 利用中尺度数值模式 MM5 对南海过境台风“杜鹃”进行了模拟。试验结果表明: 台风中心附近 SST 的差异会导致大气风场的差异, 从而使模式对 SST 有比较快速而且明显的响应; 不同的 SST 对台风的强度和路径都有一定的影响, 而对台风降水和台风中心附近潜热通量有明显的影响; 不同 SST 对台风的影响主要是通过改变海-气潜热通量来实现的。

**关 键 词:** 天气学; 台风差异; 数值试验; 不同遥感海温; 南海台风“杜鹃”

**中图分类号:** P444

**文献标识码:** A

**Doi:** 10.3969/j.issn.1004-4965.2009.04.003

## 1 引 言

目前中尺度天气预报模式越来越受到重视, 并已经广泛应用于研究和业务预报当中<sup>[1]</sup>。在运用中尺度模式对台风进行模拟时, 台风的路径和强度较为引人关注。目前, 台风强度的模拟非常困难, 这与模式的分辨率、参数化方案的优化以及初始场的质量等有密切的关系<sup>[2-5]</sup>。海表面温度(SST)作为一种外源强迫, 对大气会产生重要的热力影响<sup>[6-8]</sup>。不同时空分辨率的 SST 资料对模式预报效果的影响不同<sup>[9-10]</sup>。对于一个动力模式来说, 精确的 SST 初始场对台风强度的模拟是非常重要的, 其作用如同与海洋模式耦合一样<sup>[11]</sup>。在台风过境 2~3 天的时间尺度里, 若采用周平均的 SST 资料很容易忽略一些较为细致的结构。但很多模拟试验中常把 SST 设定为不变或者采用周平均的分析资料输入到模式中, 这与人们认为 SST 变化缓慢、相对稳定以及海洋上的观测资料缺少有关。随着卫星观测技术的发展, 较高分辨的辐射仪(AVHRR)和热带降雨卫星微波遥感(TMI)反演的 SST 资料能达到每天两次的时间分

率, 为研究更短期的海温-大气相互作用提供了有利条件。Chen 等<sup>[12]</sup>采用 AVHRR-SST 资料输入模式, 发现能更好地模拟出日本海冬季锋面过境的情况。因此, 若选用不同时空分辨率的 SST 资料作为下强迫输入到模式中, 可能将对南海区域台风的模拟产生影响。

选取一个过境南海的台风“杜鹃”, 采用中尺度模式 MM5 进行了两组敏感性数值试验: 分别选用两种不同的 SST 作为下强迫源, 一种为卫星微波遥感海温(TMI-AMSRE SST)的逐日平均资料, 另一种为 TMI-AMSRE SST 的周平均资料。通过分析以上两种不同的 SST 资料所强迫出来的模拟结果, 可初步分析: (1) 在中尺度预报模式中, 模式对 SST 这个外强迫因子的敏感程度; (2) 两种不同时间分辨率的 SST 资料对台风路径和强度等模拟效果的影响。

## 2 资料 and 模式

### 2.1 资 料

模式的初始场和边界场采用美国 FNL 每日 4 次全球  $1^\circ \times 1^\circ$ 、垂直 26 层的分析格点资料, 通过插值

收稿日期: 2008-03-29; 修订日期: 2009-06-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40476013); 广东省科技计划项目(2008B030303025); 广东省自然科学基金 2008 年团队项目“华南沿海登陆台风生态的卫星遥感检测和灾害评估”(8351030101000002); 热带海洋气象科学研究基金项目共同资助

通讯作者: 王东晓, 中国科学院南海海洋研究所, 广州市新港西路 164 号。E-mail: dxwang@scsio.ac.cn

得到。日平均和周平均的海表温度(SST)均采用由 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)卫星微波成像仪 TMI(TRMM Microwave Imager)和卫星微波辐射计 AMSRE(Advanced Microwave Scanning Radiometer version-5)得到的 TMI-AMSRE 资料([ftp://ftp.discover-earth.org/sst/daily/tmi\\_amsre/](ftp://ftp.discover-earth.org/sst/daily/tmi_amsre/)), 水平分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ , TMI 能穿透云层且受气溶胶和大气水汽的影响较小。以上 SST 资料为海上格点资料, 本文将通过水平插值方法得到模式格点上的 SST 资料, 当 TMI-AMSRE SST 资料缺值时则采用 FNL 的 SST 资料进行补充, 最后得到完整的模式格点上的 SST 资料。文中模式每 6 h 调用一次 SST 资料文件, 采用周平均 SST 进行模拟时一周内每 6 h 调用的 SST 文件中的数据相同, 采用日平均 SST 进行模拟时一天内每 6 h 调用的 SST 文件中的数据相同。本文采用的热带气旋数据来自中国气象局整编的《热带气旋年鉴》。

2.2 模 式

MM5 是美国 Pennsylvania 州立大学(PSU)和美国 NCAR 合作开发的中尺度非静力模式, 该模式具有多层嵌套能力和多种物理选项, 能够在多种计算机平台上运行, 可用于模拟研究和实时预报等方面<sup>[13-16]</sup>。采用 MM5v3 版本, 模式参数设置如表 1。

表 1 MM5 模式参数设置

参数	模式中的设置
基本方程	非静力学原始方程组
垂直坐标	地形追随形 $\sigma$ 坐标
嵌套	2 层嵌套
中心位置	$23.0^{\circ}\text{N}, 117.0^{\circ}\text{E}$
水平分辨率	90 km, 30 km
格点数	$49 \times 46 \times 23, 106 \times 85 \times 23$
时间步长	120 秒
积云参数化	Kuo 型方案
边界层方案	MRF
辐射方案	Cloud-radiation scheme
侧边界条件	FNL 分析资料提供
初始资料	FNL 分析资料提供
积分时长	48 h

本文选取的个例是 2003 年台风“杜鹃”(Dujuan)。台风“杜鹃”2003 年 8 月 28 日(世界时, 下同)在菲律宾东部的西北太平洋上形成, 然后主要沿着西北偏西路径移动, 9 月 1 日 18 时左右通过巴士海峡进入南海, 然后继续沿着西北偏西方向移动, 2 日 12 时左右在深圳一带登陆, 3 日进入广西境内减

弱为低压并逐渐消亡, 该台风当时给广东省造成了重大的生命和财产损失。模式积分从 2003 年 9 月 1 日 00 时开始到 2003 年 9 月 3 日 00 时结束, 积分时间长度为 48 h。本文采用了 MM5v3 模式自带的 NCAR-AFWA 的 bogus 方案<sup>[17]</sup>, 取最大风速  $V_{\max}=40$  m/s、最大风速半径  $R_{\max}=80$  km、切向风速廓线形态因子  $\alpha=0.75$ 。

3 两种 SST 资料的差异

图 1 给出了试验过程中日平均和周平均的 TMI

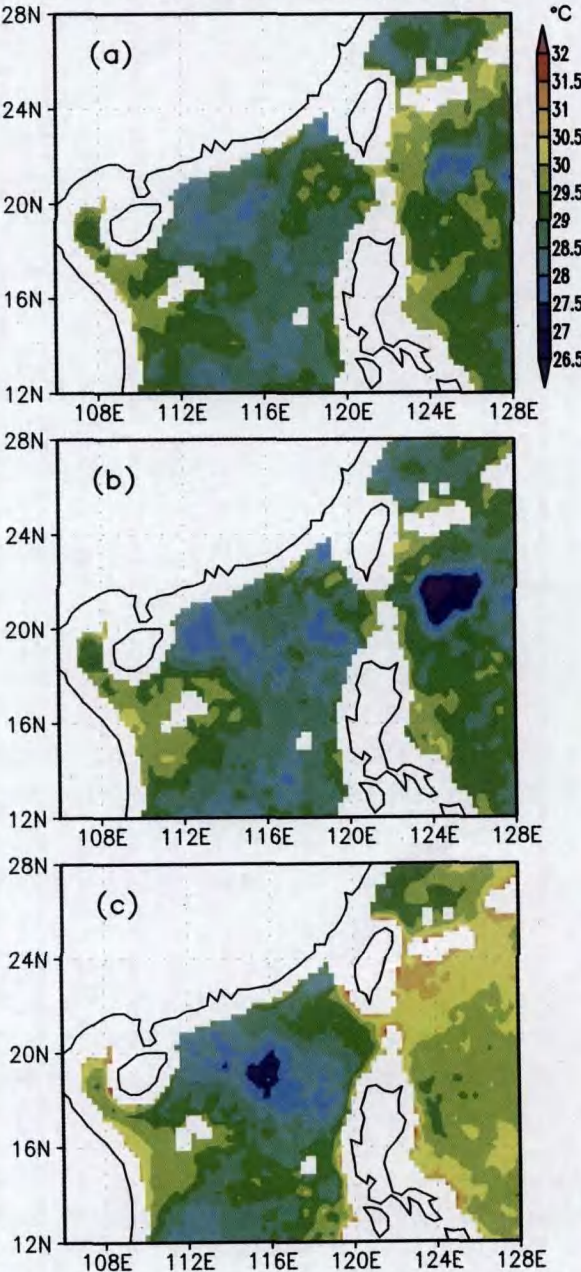


图 1 2003 年 9 月 1 日逐日平均(a)、2 日逐日平均(b)以及该周平均(c)的 TMI-AMSRE SST 分布



-AMSRE SST。可以看到由于日平均 SST 的时间分辨率较高,能够反映出更为细致的 SST 空间分布状况。日平均 SST 表现为在台湾岛周边有相对偏暖 SST 存在,但偏暖不明显;而在巴士海峡东部的台风中心附近对应有较明显的偏冷 SST,南海北部也有一些弱的偏冷 SST。周平均 SST 在南海北部海域有一个明显的相对偏冷的 SST 区,而台湾岛周围及其东部海域有明显的偏暖 SST,在中南半岛东部沿海和菲律宾群岛周围海域也有相对偏暖的 SST。2003 年 9 月 1 日和 2 日的日平均 SST 在南海北部比周平均 SST 相对偏高,而在巴士海峡东部的台风中心附近比周平均 SST 明显偏低,其中日平均 SST 能较好地反映出台风过程中的 SST 分布情况。

### 4 两组试验结果的比较

#### 4.1 台风路径和强度的比较

图 2 为台风“杜鹃”的模拟路径和观测路径。两组试验对台风“杜鹃”路径的模拟除 12 h 位置明显偏北以外,其他时段效果不错;其中,24 h 和 48 h 的台风路径误差都在 200 km 以内(表 2)。在前 24 h,日平均 SST 和周平均 SST 模拟的台风路径比较接近。但总体来看,在前 36 h 日平均 SST 比周平均 SST 的模拟结果更接近观测,而在 36 h 以后周平均 SST 比日平均 SST 的模拟结果更接近观测,说明采用不同的 SST 对模拟的台风“杜鹃”路径有一定的影响。

表 2 采用日平均和周平均 SST 分别模拟的台风路径误差

采用海温	12 h 误差/km	24 h 误差/km	36 h 误差/km	48 h 误差/km
日平均 SST	275.3	197.0	49.7	186.4
周平均 SST	283.5	197.0	78.6	120.3

日平均 SST 模拟的台风强度比周平均 SST 的稍弱,表明不同的 SST 对台风强度的模拟也有一定的影响。可能由于台风经过的区域 SST 差异不大,以及模拟的台风路径经过了台湾岛屿,所以 SST 对强度的影响不是很明显。一般情况下模式对台风强度的模拟比较困难。因此,两组试验对台风强度的模拟效果都不理想(表 3),这可能跟本文试验加入台风 bogus 模型的强弱、模式的分辨率和性能以及初始场的质量等有关。

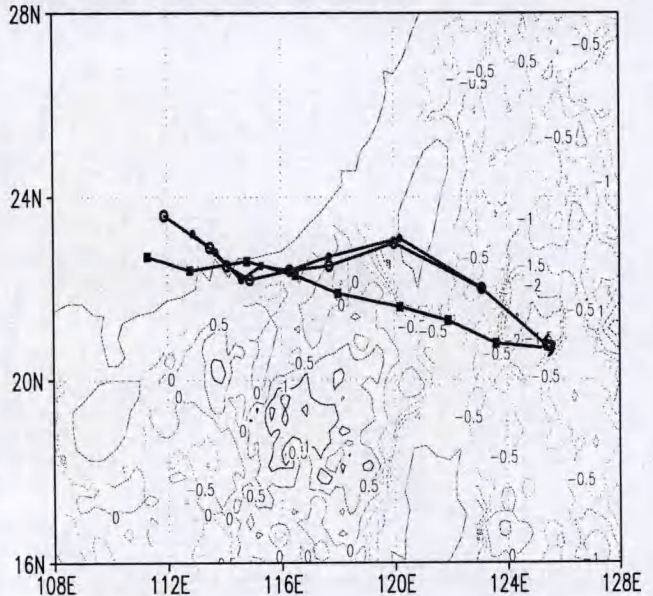


图 2 台风“杜鹃”路径图 实心圆点代表日平均 TMI-AMSRE SST 的试验结果,空心圆点代表周平均 TMI-AMSRE SST 的试验结果,实心方形代表观测路径,台风符号所在为起始位置;等值线为 2003 年 9 月 1 日逐日平均减去该周平均 TMI-AMSRE SST 得到的差值,间隔为 0.5 °C。

表 3 采用日平均和周平均 SST 分别模拟 48 h 的台风中心气压与观测气压

时间	日平均 的模拟 结果/hPa	周平均 的模拟 结果/hPa	观测值 /hPa
2003090100 UTC(00 h 模拟)	988	988	955
2003090106 UTC(06 h 模拟)	987	987	950
2003090112 UTC(12 h 模拟)	994	993	950
2003090118 UTC(18 h 模拟)	995	994	950
2003090200 UTC(24 h 模拟)	997	996	950
2003090206 UTC(30 h 模拟)	998	997	950
2003090212 UTC(36 h 模拟)	999	998	960
2003090218 UTC(42 h 模拟)	1 000	999	988
2003090300 UTC(48 h 模拟)	1 003	1 002	996

#### 4.2 水平风场的差异

图 3 给出了两组试验 12 h、24 h、36 h 和 48 h 的海表温度差异及 10 米风场差异。由图可看出,在 SST 差异最大值处会迅速激发出海表风场的差异,并随模式积分影响到其他地区;随着台风的移动和登陆,台风附近的地面风场出现明显的差异。在模式积分前期,海温差异(日平均 SST 减去周平均 SST)的正值区域对应有海面风场的异常辐合,而在海温差异的负值区域对应有海面风场的异常辐散(图 3a);在模式积分到 24 h 以后,近地面风场差异已逐渐扩



展到其他的一些地区。

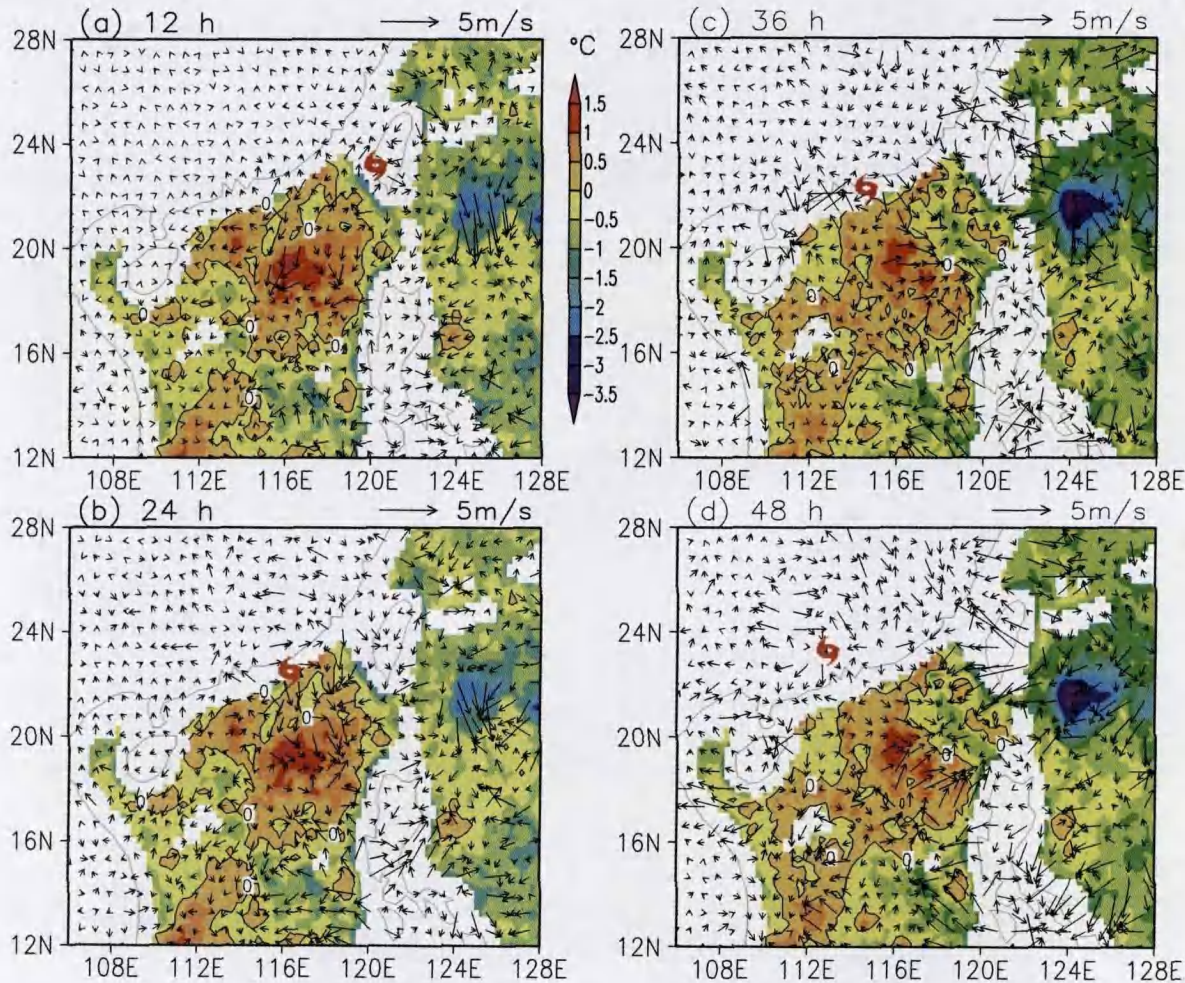


图3 两组试验模式积分12 h(a)、24 h(b)、36 h(c)和48 h(d)10米风场及相应SST的差异 12 h和24 h SST的差值采用2003年9月1日逐日平均减去该周平均的TMI-AMSRE SST,而36 h和48 h SST的差值采用2003年9月2日逐日平均减去该周平均的TMI-AMSRE SST,台风符号代表该时刻用日平均SST模拟得到的台风中心位置。

4.3 降水和热通量分析

在台风环流范围内，不同的 SST 会影响海洋对大气的水汽输送，进而影响台风的降水。图 4 给出了日平均 SST 模拟的台风 24 h 降水和日平均与周平均 SST 模拟的台风 24 h 降水的差值。可以看到，日平均 SST 模拟的台风 24 h 降水主要分布在台风中心的南侧，并有多处降水大值中心；日平均和周平均 SST 模拟 24 h 降水有明显的差异，最大降水差值达到 40 mm 以上(位于 116.5 °E, 21.5 °N 附近)；同时，大的降水差值区域与南海北部大的 SST 差异区域比较一致。以上结果表明，SST 的差异可能会导致台风降水的明显差异。

作为下垫面热力强迫源，热带海洋还通过热量输送的形式对上层大气造成影响。为了比较两种不同 SST 对大气低层热力状况的影响，我们选定了 24

h(对应时间为 2003090200 UTC)台风中心附近 SST 差异比较大的区域(115 ~ 119 °E 和 18 ~ 22 °N 的矩形区域)，比较两组试验该区域平均的海表面感热通量和潜热通量(均取向上为正)随时间的变化情况(图 5)。由图可见，采用海表温度较高的日平均 SST 模拟出的潜热通量比周平均 SST 的明显要高，说明 SST 小的差异会引起潜热通量的明显差异，对海-气潜热通量有重要影响；而日平均 SST 在台风来临前拥有相对比较高的 SST，更有利于海洋向大气进行水汽输送。从感热通量来看，台风中心附近的 SST 比近海面的气温要低，海面对大气起到冷却作用，主要表现为负值，而日平均 SST 相对较暖，这种冷却作用要稍小一些。从图中还可以看到，海洋通过水汽输送引起的潜热通量比直接的感热输送通量要大一个量级左右，说明潜热通量相对更重要，这与实际

观测相符合。

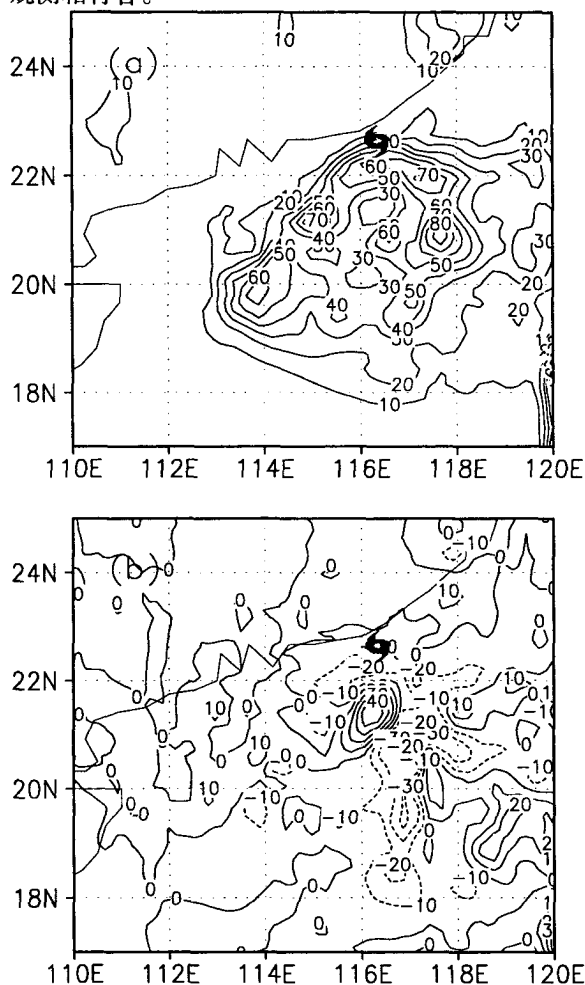


图4 日平均 TMI-AMSRE SST 模拟的台风 24 h 降水(a)和日平均与周平均 TMI-AMSRE SST 模拟的台风 24 h 降水差值(b)的分布 单位: mm。

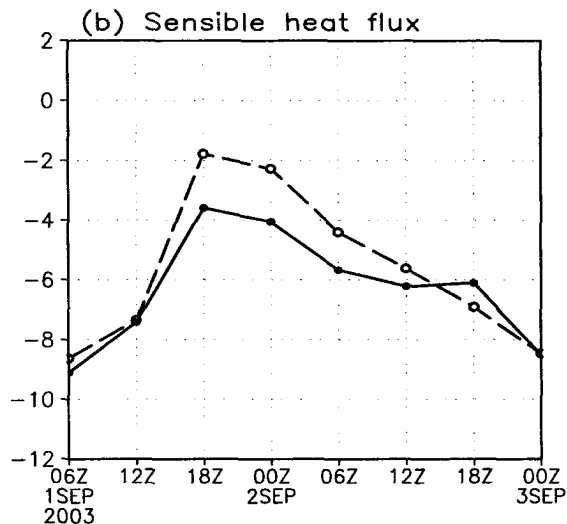
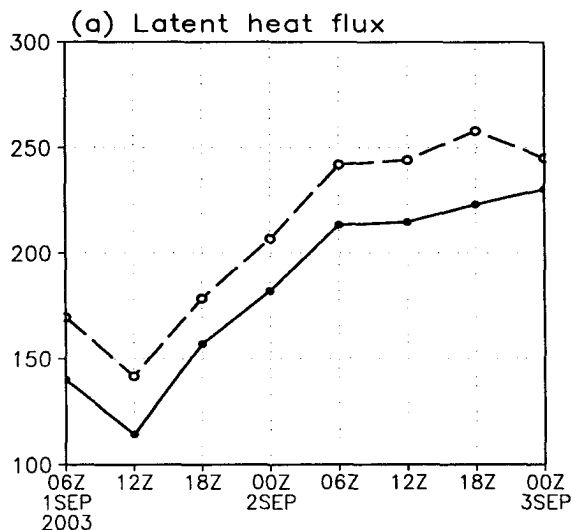


图5 模拟台风中心附近区域平均的潜热通量(a)和感热通量(b)随时间的变化 单位:  $W/m^2$ 。  
虚线为日平均 TMI-AMSRE SST 的结果, 实线为周平均 TMI-AMSRE SST 的结果, 通量均取向上为正值。

## 5 小 结

本文采用日平均和周平均的 TMI-AMSRE SST 两种不同时间分辨率的 SST 资料, 利用中尺度模式 MM5 对南海过境台风“杜鹃”进行了敏感性数值试验, 并对两组试验的模拟结果进行了对比分析, 得到如下几点结论。

(1) 采用不同的 SST 资料对台风路径和强度的模拟都会有一定的影响, 但是在 SST 差异不明显时这种影响表现不是很明显。模式对 SST 具有一定的敏感性, 主要表现为 SST 的差异会迅速引起海面风场的差异。在 SST 差异正值区对应有风场差异的辐合, 这与前人得出暖(冷)洋面会激发出较强(弱)海面风速的结论相一致<sup>[18-20]</sup>。

(2) 台风中心附近 SST 小的差异会引起潜热通量和降水有明显差异, 另外台风中心附近的潜热通量远大于感热通量, 因此海-气感热通量的作用相对比较较小, 而台风中心附近 SST 对台风的影响主要通过海-气潜热通量来实现。

由于本文仅对一个台风个例进行了敏感性试验, 采用高时空分辨率的 SST 资料对台风路径和强度等模拟效果的改进作用有待于大量的个例来进一步验证。

## 参 考 文 献:

- [1] STEPELER J, HESS R, DOMS G, et al. Review of numerical methods for nonhydrostatic weather prediction models[J]. *Meteorol Atmos Phys*, 2003, 82(4): 287-301.
- [2] WANG Y, WU C C. Current understanding of tropical cyclone structure and intensity changes[J]. *Meteorol Atmos Phys*, 2004, 87(4): 257-278.
- [3] DEMARIA M, KAPLAN J. An updated statistical hurricane intensity prediction scheme (SHIPS) for the Atlantic and eastern North Pacific basins [J]. *Wea Forecast*, 1999, 14(3): 326-337.
- [4] 王晨稀. MM5 模式中不同对流参数化方案对降水预报效果影响的对比试验[J]. *气象科学*, 2004, 24(2): 168-176.
- [5] 楼小凤, 周秀曦, 胡志晋, 等. MM5 模式显式微物理方案的对比分析[J]. *气象科技*, 2004, 32(1): 6-12.
- [6] 章基嘉. 中长期天气预报基础[M]. 北京: 气象出版社, 1982.
- [7] 吴迪生, 魏建苏, 周水华, 等. 南海中北部次表层水温与南海夏季风和广东旱涝[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(6): 581-586.
- [8] 林惠娟, 张耀存. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系[J]. *热带气象学报*, 2004, 20(2): 218-224.
- [9] 江滢, 瞿盘茂. 几套全球 SST 资料集的对比分析与拼接[J]. *气象*, 2000, 26(7): 3-8.
- [10] 袁金南, 肖伟生. 海温变化对台风路径的影响[J]. *广东气象*, 2002(3): 1-2.
- [11] BENDER M A, GINIS I. Real-case simulations of hurricane-ocean interaction using a high-resolution coupled model: effects on hurricane intensity[J]. *Monthly Weather Review*, 2000, 128(4): 917-946.
- [12] CHEN S S, ZHAO W, TENERELLI J E, et al. Impact of the AVHRR sea surface temperature on atmospheric forcing in the Japan/East Sea[J]. *Geophys Res Lett*, 2001, 28(24): 4539-4542.
- [13] GRELL G, DUDHIA J, STAUFFER D R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)[Z]. NCAR Technical Note, 1994, NCAR/tm-398+STR, 138pp.
- [14] 高山红, 谢红琴, 吴增茂, 等. 台风影响下渤海及其邻域海面风场演变过程的 MM5 模拟分析[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(3): 325-331.
- [15] 王鹏云, 刘春涛. 1996 年第 8 号台风中尺度结构的数值研究[J]. *气象学报*, 1998, 56(3): 296-311.
- [16] 朱佩君, 陈敏, 陶祖钰. 登陆台风 Winnie(1997)的数值模拟研究 I: 结果检验和云系的模拟[J]. *气象学报*, 2002, 60(5): 553-559.
- [17] 袁金南, 刘春霞. 轴对称模型台风的改进方案及其对 0425 号台风数值模拟的效果[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(3): 237-245.
- [18] LIN I I, LIU W T, WU C -C, et al. Satellite observations of modulation of surface winds by typhoon-induced upper ocean cooling[J]. *Geophys Res Lett*, 2003, 30(3): 1131-1134.
- [19] SHAY L K, GONI G J, BLACK P G. Effects of a warm oceanic feature on Hurricane Opal[J]. *Monthly Weather Review*, 2000, 128(5): 1 366-1 383.
- [20] XIE S P. Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 2004, 85(2): 195-208.

## AN EXPERIMENT STUDY ON THE INFLUENCE OF DIFFERENT SEA SURFACE TEMPERATURE ON TYPHOON DUJUAN OVER THE SOUTH CHINA SEA

CHEN Ying-jun<sup>1</sup>, XIE Qiang<sup>1</sup>, MENG Wei-guang<sup>2</sup>, YUAN Jin-nan<sup>2</sup>, WANG Dong-xiao<sup>1, 2</sup>

(1. Laboratory for Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;

2. Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Daily and weekly sea surface temperature data (TMI-AMSRE SST) of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Microwave Imager (TMI) and Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System sensors with  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  horizontal resolution - are used as forcing sources of the underlying surface, and the mesoscale numerical model MM5 is employed to simulate typhoon Dujuan that moved across the South China Sea. The experimental results show that the different SST near the typhoon center results in the difference in the atmospheric wind field so that model has a fast and obvious response to SST. The different SST influenced the intensity and track of Dujuan to some degree and had significant impacts on its precipitation and latent heat flux near the eye. The influence of different SST on Dujuan was mainly fulfilled by changing the latent heat flux between the sea and the atmosphere.

**Key words:** synoptic meteorology; difference of typhoons; numerical experiments; different remotely sensed sea surface temperature; typhoon Dujuan over the South China Sea