

SST对台风“珍珠”影响的数值试验

刘翔, 蒋国荣, 卓海峰

(1.解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2.61221 部队 北京 100091)

摘要: 本文使用了最新的中尺度大气模式 WRF 模式, 结合 Nudging 方法和自动移动嵌套方法, 采用 TRMM/TMI 观测资料和 NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料, 进行了 5 组数值试验, 模拟了 0601 号台风“珍珠”, 分析了在台风作用下的海面降温对台风路径和强度的影响, 对比各组模拟结果表明, SST 的变化对台风路径和强度都有较大影响, 采用了 TRMM/TMI 观测资料后, 能够显著提高对热带气旋强度的模拟, 此外, 数值模式模拟结果还表明: SST 每增加或减少 1°C , 热带气旋的最低气压大约增加/减少 16 hPa。

关键词: WRF; 数值试验; SST; 台风

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2009)03-0001-11

1 引言

众所周知, 热带气旋的形成和发展与海面 SST 的大小及分布密不可分(Emanuel, 1986, 1988; Holland, 1997), 这是由于广阔的海洋是台风能量的主要来源, 高温海水以感热通量和潜热通量的形式, 为台风的形成和发展提供能量; 另一方面, 当热带气旋在海上移动时, 通过夹卷(entrainment)、抽吸(upwelling)等物理过程将冷水从深层带到混合层, 使 SST 降低。这种 SST 的变化现象对热带气旋强度的影响及其定量关系以及对路径的可能影响, 这些年来一直受到学者的关注, 成为热带气旋研究的热点问题。端义宏^[1]研究得出下垫面海温升高 2°C 时、热带气旋中心气压将加深 16 hPa。而 Ren^[2]等人运用 MC2 (Canadian Mesoscale Compressible Community) 大气模式做了两个敏感性试验, 结果表明积分过程中 SST 降低 1°C , 台风强度衰减 7 hPa, 上述结果与 Emanuel^[3]基于将热带气旋视为 Carnot engine 的理论得出的在典型的热带气旋条件下 SST 增加/减少 1°C , 最低气压增强/减弱 10 hPa 的结果相近; 而 Holland 等利用热动力学方法得出的结果是 SST 增加/减少 1°C , 最低气压增强/减弱 33 hPa。Zhu 等^[4]利用 MM5 大气模式研究得出 SST 减小 1.0°C , 热带气旋强度可衰减 20 hPa, 这与 Chan^[5]等研究得出的 SST 增加/减少 1°C , 最低气压增强/减弱 16 hPa 结果较为接近。而 SST 分布与变化对台风路径影响的研究结果也不尽相同。Kitade^[6]发现 SST 的分布通过影响热带气旋大小和强度来影响其路径; 黄立文等^[7]的数值研究表明海面降温对热带气旋路径有一定影响; 但与这些研究不同的是, Bender 和

收稿日期: 2008-10-15

作者简介: 刘翔(1984-), 男, 在读研究生, 从事海洋气象及台风方面的研究。

Ginis^[7], Zhu^[8]等学者则通过数值试验表明,海面降温对热带气旋路径并没有明显影响。以上研究表明, SST 分布与变化对台风强度的影响是明显的,但影响的定量关系有较大分歧; SST 分布与变化对台风路径是否存在影响以及如何影响则存在比较大的争议;而 SST 分布与变化对台风结构的影响,研究较少。

基于以上原因,本文选取2006年5月的台风“珍珠”为例,使用目前较为先进的中尺度大气模式 WRFV2.2,通过数值敏感性实验,分析探讨 SST 分布与变化对台风强度,路径以及垂直结构等的影响,一方面通过与前人研究结果的比较,确定 SST 分布与变化对台风强度影响定量关系的合理结果,澄清 SST 分布与变化对对台风路径是否存在影响的问题;另一方面,探讨一下 SST 分布与变化对台风结构的可能影响问题。

2 资料简介及分析

对热带气旋引起的海面降温现象,已有较多学者^[9-12]应用红外遥感辐射计如 AVHRR、GOES (Geostationary Operational Environmental System) 和 MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 等反演的 SST 资料进行研究。但是传统用于测量海温的红外遥感辐射计会受到云的影响而造成多云海域 SST 数据缺测或者质量不高。Wentz 等^[13]提出用 TRMM 卫星的 TMI 资料反演海面温度,由于微波在穿透云层和气溶胶时的衰减很小,所以可以得到除了有强降水区域以外的海面温度。

TRMM 卫星是由美国国家宇航局(NASA)和日本国家空间发展署(NASDA)共同研制开发的,于1997年11月27日发射成功,成为第一颗专门用于定量测量热带、亚热带降雨的气象卫星。在 TRMM 卫星上共搭载有5种科学测量仪器,分别为:可见光和红外扫描仪 VIRS (Visible Infrared Scanner)、TRMM 微波图像仪 TMI (TRMM Microwave Imager)、降雨雷达 PR (Precipitation Radar)、闪电图像仪 LIS (Lighting Imaging Sensor) 及云和地球辐射能量系统 CERES (clouds and the Earth's Radiant Energy System)。

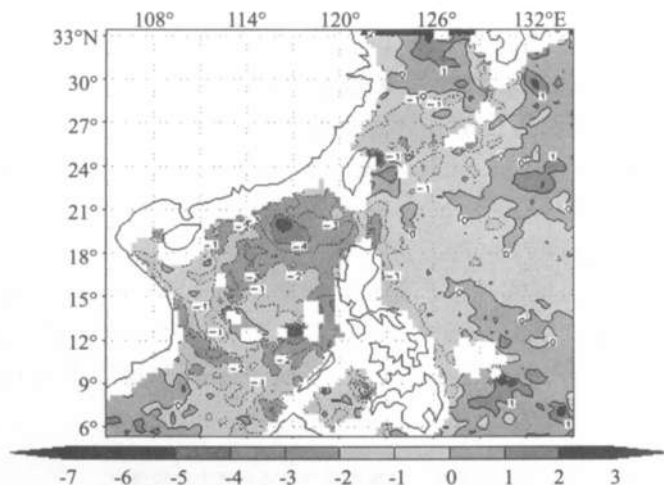


图1 2006年5月15日海温与2006年5月11日 TRMM/TMI观测的南海海温之差

TRMM 卫星的 TMI 资料是由 TRMM 卫星的微波图像仪 TMI (TRMM Microwave Imager) 反演得到的, 本文使用的 TRMM 资料是每日一次的 TRMM/TMI 反演资料^[14-15], TRMM/TMI 资料范围为: $39.875^{\circ}\text{S}\sim 39.875^{\circ}\text{N}$, $0.125^{\circ}\sim 359.875^{\circ}\text{E}$, 空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 。图 1 是 2006 年 5 月 15 日“珍珠”达到最大强度时的海温与 2006 年 5 月 11 日 TRMM/TMI 观测海温之差, 从图中可以看出“珍珠”台风引起的海面降温还是很明显的, 这说明 TRMM/TMI 资料能够很好的反应出在热带气旋的夹卷(entrainment), 抽吸(upwelling)作用下海面降温情况。最大降温出现在台风路径的右半圆, 达到了 7°C 以下。

3 台风“珍珠”简介

台风“珍珠”于 2006 年 5 月 9 日生成于西太平洋, 5 月 13 日 00 时进入南海并发展为台风, 移速在西行过程中逐渐变慢, 至 15 日 00 时突然转向 90° 北上, 到 17 日 16 时中心最大风速维持在 45 m/s , 18 日 02 时 15 分在广东省饶平到澄海之间沿海地区登陆时, 中心最大风速达 35 m/s 。登陆后继续东北行, 穿过福建省, 最后在东海减弱消失。台风“珍珠”作为典型的慢行台风, 能够充分与海面相互作用, 因而能够较好的研究台风引起的 SST 降低以及 SST 对台风的作用, 这也是本文选择该台风的原因。

4 WRF 模式与数值试验方案简介

目前大气中尺度模式主要有 MM5 模式, WRF 模式和 ETA 模式, MM5 是用户最多的一个模式, 但由于开发时间早, 框架陈旧, 程序规范化、标准化程度不高, 一直未被美国最大的用户 NCEP 使用; ETA 基本上为 NCEP 一家所用, 难以吸收科研部门和大学的研究成果。为了集成各家优秀研究成果, 开发出高水平的新一代中尺度预报模式, 使之成为业务和科研两用的预报模式, 1997 年 NCAR 中小尺度气象处(MMM)、NCEP 的环境模拟中心(EMC)、FSL 的预报研究处(FRD)和俄克拉荷马大学(OU)的风暴分析预报中心(CAPS)四部门联合发起建立业务与研究共用的新一代高分辨率中尺度模式—WRF 模式系统开发计划。WRF(ARM)模式与 MM5, ETA 相比具有以下优势: (1) 采用了 Arakawa C 网格; (2) 更小的耗散项, 并支持更高的网格分辨率, 在更长的时间步长下的保证计算稳定性; (3) 采用了 Fortran95 编写; (4) 采用了比 ETA 模式更好的地形数据; (5) 采用了 NetCDF 格式输出。表明 WRF 是目前较为先进的业务化中尺度大气模式。以往许多学者的工作多是立足于 MM5 模式结合 Bogus 人造台风方案进行热带气旋数值试验研究, 但上述方案有着模式较为陈旧的缺陷, 并且随着模拟及预报技术的不断提高, 纯 Bogus 方案的一些不足逐渐显露^[16]: (1) 研究和集合预报试验表明^[17-18] TC 路径预报对 TC 结构(水平和垂直)敏感, 但 Bogus 技术无法充分刻画真实 TC 及其环境结构; (2) TC 产生的天气(强风暴雨、风暴潮等)直接决定于 TC 的具体结构和强度的演化情况, 单一的路径预报已不能满足业务需求, 需要对强度、风雨分布等做出精细的预报, 而理想化的 Bogus 方案对此缺乏能力; (3) 区域高分辨模式范围小, 难以实施 Bogus 方案; (4) 随着分辨率的提

高和模式物理的精细化,模式对理想Bogus所带来的一些虚假效应变得更为敏感,容易造成预报偏差。此外,目前也有学者采用海气耦合模式研究类似问题^[19-21]。海气耦合模式可以较好地体现海气相互作用,因而在物理机制上较为合理,但是,目前的海气耦合模式往往计算速度慢,也存在模式协调上的困难,处理不好容易引入很多虚假信息,造成分析上的不便。本文主要采用WRF模式研究SST对台风的影响,但引入下垫面海温的变化,既解决了部分海气相互作用问题,也减少了计算量,这在国内研究中还较为稀少的。

表1 不同数值试验方案

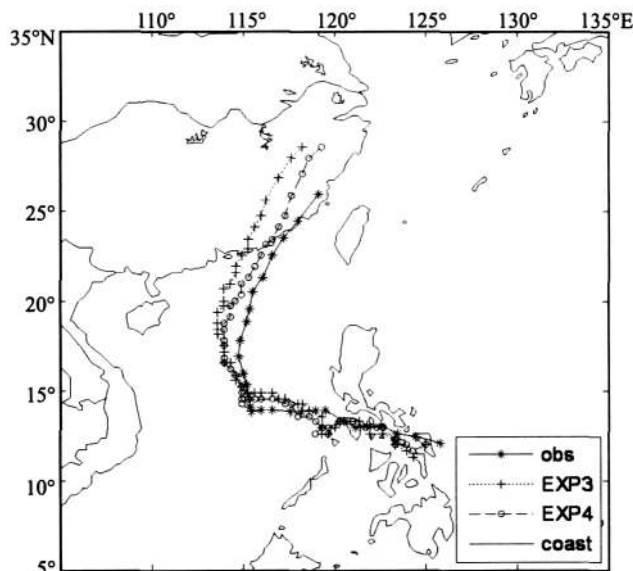
CTL	控制试验,使用NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料,没有加入TRMM/TMI海温
EXP1	在控制试验上,加入TRMM海温资料作为初始场,但海温不随时间变化
EXP2	在控制试验上,加入TRMM海温资料,海温是逐日变化的
EXP3	与EXP2相同,但是把TRMM海温降低了 1°C
EXP4	与EXP2相同,但是把TRMM海温升高了 1°C

本文的模拟以 120°E , 20°N 为中心,采用自动移动嵌套方法,外网格的水平分辨率为 35km ,格点数为 91×91 。移动嵌套网格的水平网格为 11.667 km ,格点数为 73×73 。垂直为28层。采用的物理方案包括:WSM3类简冰方案,RRTM长波辐射方案,Duhia短波辐射方案,Moni-obkhv近地层方案,新Kain-Fritsh(new KF)积云对流方案,热力混合陆面方案,YSU行星边界层方案,此外本次模拟采用了前48小时采用了Nudging方法进行了调整。通过验证移动嵌套可以更加准确模拟台风强度,而Nudging方法调整可以提高路径模拟的准确性,关于这两种方法的数值试验将另文详述。积分时间为162 h,即2006年5月11日12时~2006年5月18日06时。模拟的初始条件和边界条件是由NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料提供的。共进行了5组数值模拟(见表1)。CTL实验的海温是采用NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的资料中自带的SST,是一个气候态平均值,与实况差异较大,不能反映台风发展过程中实际海温的变化,EXP1实验中的SST,只是使用了TRMM海温资料作为初始场,SST并不随台风的发展而变化,这也是WRF模式默认的选项,而许多相关文献对台风的模拟,也采取了这一方案。原因可能是,TRMM海温资料能够在初始场中反映出实际海温状况。EXP2实验的SST是最接近实况的,采用了能反映台风实况的TRMM/TMI海温,并随着台风发展的变化而变化,EXP3与EXP4实验是两组敏感性实验,通过人为的增加/减少SST量值以便探讨海温变化对台风的影响问题。

5 模拟结果分析

5.1 路径分析

从图2中可以看出,各组试验对台风路径的模拟效果都较好,所以SST的分布在各组实验中都能够很好的与台风路径相配合。从图2中可以看出海温对台风路径的影响虽然比较小,但还是存在的,5组试验在台风转向前,其路径基本上是重合的,在台风转



(只画出了EXP3, EXP4, 和观测, 其它试验的路径介于两者之间)

图2 2006年5月11日12时~18日06时台风路径

向之后, 5组试验的差距显现出来了, EXP3的路径与观测路径偏差最为显著, 而最为接近观测路径的是EXP4, 其他各组实验的模拟结果介于其两者之间(图中未画出), 而由表1可知: 在这五组试验中EXP4的海温最高, 而EXP3的海温最低。

以上结果反映出 SST 对台风路径的影响较为复杂, 并非 SST 与实际海温分布更为接近模拟的结果台风路径最优。这存在两种可能: 一是模式模拟路径效果还不够理想; 二是 SST 对台风路径影响本身就不明显。进一步分析这 5 组试验结果可知: 由于台风的右侧出现了较大的台风引起的 SST 降低, 所以在台风路径的右侧出现了一个冷池(见图 1)。当海温增加 1°C 时(EXP4), 冷池强度减弱, 台风就更靠近观测路径, 而当海温减小 1°C 时(EXP3), 冷池强度增强, 台风就更偏离观测路径, 这似乎表明: 台风引起的 SST 的降温的强弱, 对台风的移动路径有一定影响, 对于西北行的台风而言, 当台风引起的 SST 的降温较强, 如 EXP3 的情况, 台风的移动路径会向西偏移, 当台风引起的 SST 的降温较弱, 如 EXP4 的情况, 台风的移动路径将会向东偏移, 即台风有远离冷池的倾向。因此台风路径对 SST 的分布变化还是敏感的, 上述第一种可能或许更能说明上述模拟效果。

5.2 强度分析

表 2 是各组试验中模拟的台风“珍珠”最低气压值(minimum sea-level pressure (MSLP))随积分时间变化图。由表 2 可以看出, 从最低气压来看, 5 组试验中模拟效果最好的是 EXP2, 即使用逐日变化的 TRMM/TMI 的 SST 模拟出的最低气压。与观测值只相差了 4.61 hPa, 相对于 CTL 试验的 10 hPa, 更好的模拟出了台风的 MSLP, 对于使用固定的海温(EXP1), MSLP 偏强了 15.71 hPa。而 EXP3 和 EXP4 是在 EXP2 试验基础上增加/降

低 1°C 的敏感性试验, 将 EXP3 和 EXP4 与 EXP2 进行对比得出: SST 降低 1°C , MSLP 减弱了 15.83 hPa, SST 升高 1°C , MSLP 增强了 15.99 hPa, 可见 SST 每变化 1°C , MSLP 大约变化 16 hPa, 本文的研究结果与 Chan^[5]等研究得出的 16 hPa/ $^{\circ}\text{C}$ 结果更接近。

表2 MSLP图(单位 hPa)

obs	CTL	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4
930	920	914.29	925.39	941.22	909.4

由图3可以看出MSLP随积分时间的变化, 在40小时之前, 五组数值试验的模拟效果差距不大, 比观测偏弱, 这是由于NCEP初始场的气压误差所造成的。而40小时之后5组数值试验的差异显现出来了, EXP3最弱, EXP4最强, 这与对TRMM/TMI海温进行了加减 1°C 的效果有关。对EXP1, EXP2和CTL3组数值试验进行比较, EXP2从整体上来讲较为接近观测, 无论是MSLP出现的时间, 以及MSLP的大小都与观测值最为接近。只是在台风减弱过程中, 台风最低气压减弱的梯度大于观测值。而EXP1在台风减弱阶段的梯度最小, 偏离观测较大。可见采用固定的SST对台风的模拟效果并不好。这说明采用与实际台风过程的SST接近的TRMM/TMI的SST资料可以提高台风强度的模拟。

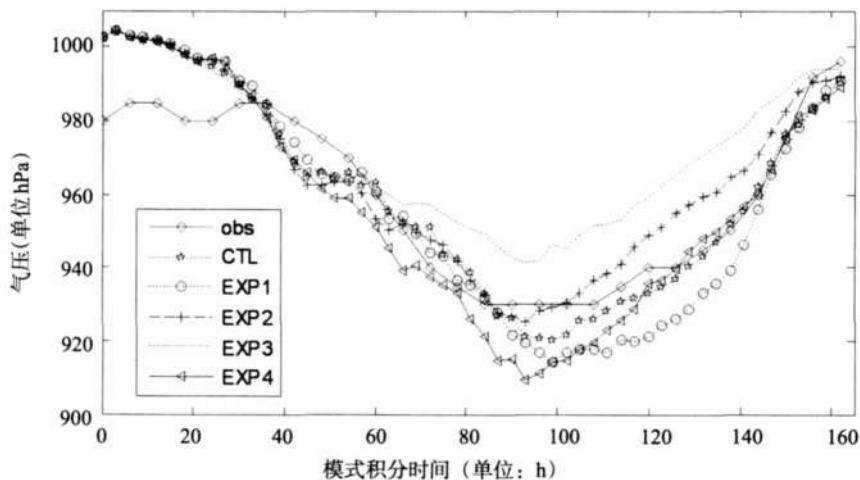


图3 5组试验气压随积分时间变化图

5.3 最大风速的模拟

从图4中可以看出, 对于10 m风场的最大风速的模拟除了EXP1在积分第100~140 h之间略大于观测之外, 所有模拟都偏弱, 强弱的分布顺序与气压的分布顺序恰好相对应, 总体来说EXP4最强, EXP3最弱, 其余各组实验, 介于两者之间, 在前40个小时, 风速差异不大, 但在积分时间80~140 h时差别较大, 由EXP1、EXP2和CTL3组实验对比可知, 由于EXP2有SST的冷却作用, 其10 m风场的最大风速是三者中最弱的, 对照最低气压的模拟可知, 在最低气压模拟准确的情况下, 最大风速的模拟却偏弱, 这说明模式对于最大风速的刻画, 对于台风“珍珠”个例而言是较为不适合的。从表3中发现只

有 EXP1 与 EXP4 达到了观测的台风强度，其它各组实验都未达到，而 EXP1 和 EXP4 是台风内核区平均 SST 最高的两组实验，也是与实际台风发展的 SST 最不相符的两组实验，这也说明 WRF 模式对于最大风速的刻画，以及对于最低气压与 10 m 风速的关系是不准确的。

表 3 10 m 风场最大风速

obs	CTL	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4
50	49	50	46	41.5	50.3

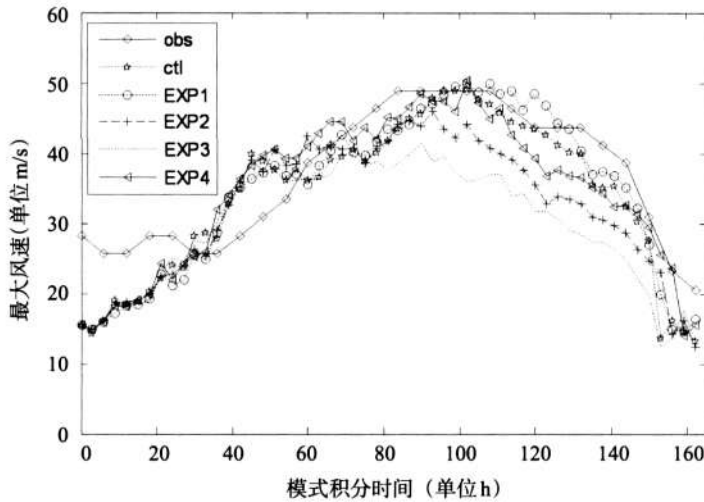


图 4 10 m 风场最大风速(m/s)

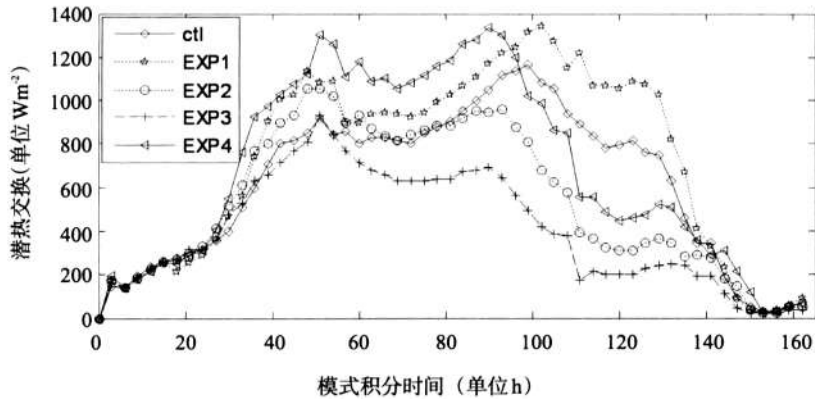


图 5 台风内核区潜热交换随积分时间变化(单位 Wm^{-2})

5.4 内核区潜热与感热交换分析

本文按 Weatherford 等^[22]的定义将台风内核区规定为台风中心到距离台风中心 111 km 之间的区域，本文中所分析的潜热通量和感热通量及水汽通量均是指台风内核区的平均

值, 从表4和图5中可以看出EXP1和EXP4向上传递的潜热通量最大, 最大值分别达到了 1340.5 Wm^{-2} 和 1334.5 Wm^{-2} , 而EXP3向上传递的潜热通量最小, 比较CTL和EXP2可知, 在TRMM/TMI提供SST后, 由于正确反映了台风对海水的冷却作用内核区的潜热通量比CTL减小了 124 Wm^{-2} , 而EXP3由于是5组试验中SST最小, 所以其潜热通量的释放也最小, 只有 691.7 Wm^{-2} 。产生上述结果的原因是, 在相同的大气和海洋条件下, 如大气的饱和程度等条件相同的情况下, SST的大小, 影响了水汽通量的大小, 而水汽通量的大小又影响了潜热通量的大小, 由图7可知水汽通量的分布, 也是EXP1和EXP4最大, EXP2和EXP3最小。从表4可以看出, EXP1和EXP4水汽通量的最大值都为0.0005而EXP2和EXP3分别仅为0.0004和0.0003。

对于感热通量也有相似的结论, 这是由于影响感热通量的因素有两个, 一个是海气温度差, 而另一个是海表温度, 由于EXP1和EXP4具有最大的10 m风, 所以其感热通量也最大, 分别达到了 413.52 Wm^{-2} 和 394.57 Wm^{-2} , 而EXP2与EXP3分别仅有 272.18 Wm^{-2} 和 164.85 Wm^{-2} 。

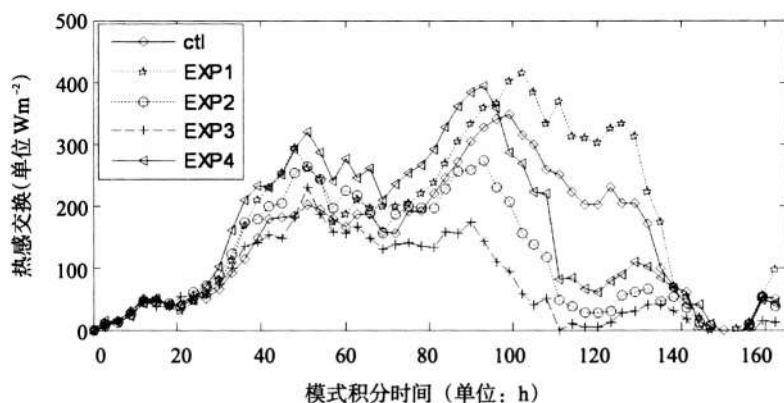


图6 台风内核区感热交换随积分时间变化图(单位 Wm^{-2})

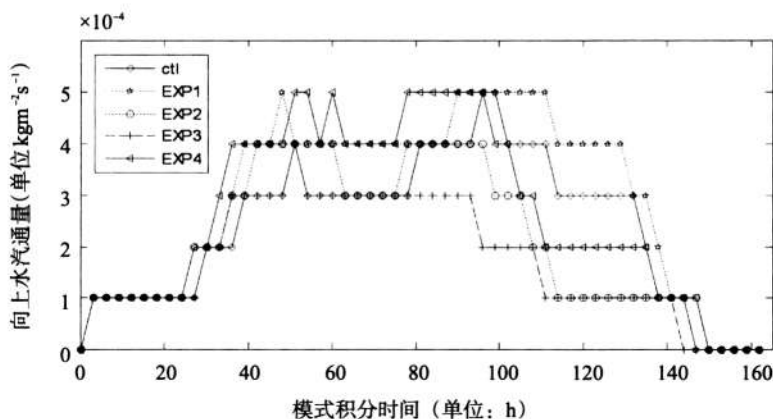


图7 台风内核区感热交换随积分时间变化图单位($\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

表4 台风内核区最大潜热、感热和水气通量表

	CTL	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4
潜热通量(Wm^{-2})	1085.7	1340.5	960.9	691.7	1334.5
感热通量(Wm^{-2})	347.72	413.52	272.18	164.85	394.57
水气通量($\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0005

众所周知,海面通过感热交换和潜热交换来为台风提供能量,通过对感热通量,潜热通量以及水汽通量的分析可以得知,正是由于各组实验 SST 不同,造成了各组实验的潜热通量,感热通量的不同,造成了模拟出的台风强度的差异,而台风强度的不同,又进一步影响其潜热通量,感热通量。

6 小结和结论

本文利用 WRF 模式进行了 5 组数值模拟实验,(1)CTL:控制试验,使用 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 资料,没有加入 TRMM/TMI 海温;(2)EXP1:在控制试验基础上,加入 TRMM 海温资料作为初始场,但海温不随时间变化;(3)EXP2:在控制试验上,加入 TRMM 海温资料,海温是逐日变化的。(4)EXP3:与 EXP2 相同,但是把 TRMM 海温降低了 1°C 。(5) EXP4:与 EXP2 相同,但是把 TRMM 海温升高了 1°C 。从模拟实验结果分析发现,总体而言 WRF 模式对海温是较为敏感的,具体有以下结论:

(1) 模拟效果显示, SST 对台风的移动路径有一定影响,冷池较强时,台风较为偏离冷池中心,而冷池较弱时,台风则较为靠近冷池中心,即台风有偏离冷池的倾向。

(2) 模拟结果表明, SST 对台风路径的影响较为复杂,可能是 WRF 模式模拟台风路径效果还不够理想。

(3) SST 变化对台风强度的影响最为显著。采用最能反映台风过程中海温场的分布的 TRMM/TMI 观测资料,强度模拟效果最好。

(4) 由 WRF 模式中 SST 增/减 1°C 的敏感性实验得出, SST 每变化 1°C , 最低气压大约变化 16 hPa, 因此, 本文的模拟结果更接近 Chan 等得出的 $16 \text{ hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ 结果, 从而证明从 SST 影响台风强度的定量关系上看, Chan 等的结论可能更为合理。

(5) 从各组实验中的海面感热通量,潜热通量以及水汽通量的变化分析来看, SST 变化对台风过程的影响主要通过影响海面感热通量及潜热通量的变化引起的,可见,海气相互作用在缓慢移动的台风过程中起着重要的作用。

(6) 总体而言, WRF 模式对该台风个例的最大风速的模拟效果不佳。

参考文献:

- [1] 端义宏. 海温变化对热带气旋强度影响的数值模拟试验. 85-906-07 课题组, 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究(第三分册)[C]. 气象出版社, 1995, 129-140.
- [2] RenXuejuan, Willian PEBBIE. Air-sea Interaction of Typhoon Sinlaku(2002) Simulated by the Canadian MC2 Model[J]. Advances in atmospheric sciences, 2006, 23(4): 521-530.

- [3] Emanuel K A. The maximum intensity of hurricanes [J]. *J Atmos Sci*, 1988, 44(7): 1143-1145.
- [4] ZHU Tong ZHANG, Da-lin ZHANG. The Impact of the Storm Induced SST Cool on Hurricane intensity[J]. *Advances in atmospheric sciences*, 2006, 23(1): 14-22.
- [5] Chan J C L, Duan Y H, and Shay L K. Tropical cyclone intensity change from a simple ocean-atmosphere coupled model [J]. *J Atmos Sci*, 2001, 58: 154-172.
- [6] Kitade T. Numerical experiment of tropical cyclones on a plane with variable Coriolis parameter. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58: 471-488.
- [7] Bender M A. Ginis I. Real-case simulations of hurricane-ocean interaction using a high-resolution coupled model: effects on hurricane intensity [J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 917-945.
- [8] Zhu Hongyan, Ulrich W, Smith R. Ocean effects on tropical cyclone intensification and inner-core asymmetries [J]. *J Atmos Sci*, 2004, 61: 1245-1258.
- [9] Sakaida F, Kawamura H, and Toba Y. Sea surface cooling caused by typhoons in the Yohoku area in August 1989 [J]. *J Geophys Res*, 1998, 103(C1): 1053-1065.
- [10] Nelson N B. Spatial and Temporal Extent of Sea Surface Temperature Modifications by Hurricanes in the Sargasso Sea during the 1995 season [J]. *Mon Wea Rev*, 1997, 126: 1364-1368.
- [11] Hong X, Chang S W, Raman S, et al. The interaction between Hurricane Opal (1995) and a warm core ring in the Gulf of Mexico. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 1347-1365.
- [12] Suetsugu M. A study on sea surface cooling by typhoon in the western North Pacific using AVHRR-derived SST data: [D]. 2002, Sendai: Tohoku University of Japan.
- [13] Wentz F J, Chelle Gentemann, Deborah Smith, Dudley Chelton. Satellite Measurements of Sea Surface Temperature Through Clouds [J]. *Science*, 2000, 288: 847-850.
- [14] 王振会. TRMM 卫星测雨雷达及其应用研究综述 [J]. *气象科学*, 2001, 21(4): 491-500.
- [15] 岳彩军, 端义宏, 雷小途等. 卫星资料在登陆热带气旋降水研究中的应用 [J]. *气象科学*, 2005, 25(4): 433-439.
- [16] 闫敬华, 丁伟钰, 徐建平等. “非 bogus 初值” 热带气旋数值预报及其性能 [J]. *应用气象学报*, 2004, 15(5): 513-522.
- [17] Flatau M, Schubert W H, Stevens D E. The role of baroclinic processes in tropical cyclone motion: The influence of vertical tilt[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1994, 51: 2589-2601.
- [18] 周霞琼, 端义宏, 朱永祺. 热带气旋路径集合预报方法研究: 正压模式结果的初步分析[J]. *热带气象学报*, 2003, 19(1): 1-8.
- [19] Chan J C L, Duan Y H, Shay L K. Tropical cyclone intensity change from a simple ocean-atmosphere coupled model[J]. *J Atmos Sci*, 2001, 58: 154-172.
- [20] Mao Q, Chang S W, Pfeffer R L. Influence of Large-Scale Initial Oceanic Mixed Layer Depth on Tropical Cyclones [J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128(12): 4058-4070.
- [21] Hong X, Chang S W, Raman S, et al. The interaction between Hurricane Opal (1995) and a warm core ring in the Gulf of Mexico[J]. *Mon Wea Rev*, 2000, 128: 1347-1365.
- [22] Weatherford C L, Gray W M. Typhoon structure as revealed by aircraft reconnaissance. part I: data analysis and climatology[J]. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 1032-1043.

Numerical experiment for the impact of SST to Typhoon “Chanchu”

LIU Xiang, JIANG Guo-rong, ZHUO Hai-feng

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 211101 China; 2. 61221 troops of PLA, Beijing 100091 China)

Abstract: In this paper, the numerical simulation of Typhoon ‘Chanchu’ is conducted by WRF which is the latest mesoscale meteorology numerical model. There are five groups of numerical experiments using different sources from TRMM/TMI observation data and NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ reanalyse data. There are some conclusions from comparison of different groups’ results. SST has substantial influence on the typhoon track and intensity. The best simulation of typhoon track is from the group which uses TRMM/TMI observation data. Besides, it is shown that the increase or decrease of SST, with average value of 1°C , causes a 16hPa strengthening or weakening of typhoon.

Keywords: WRF; numerical experiment; SST; Typhoon