

高分辨率海温数据对1810号台风“安比”WRF数值模拟的影响

陶静雯, 万莉颖, 陈莉

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要: 采用美国国家环境预报中心高空间分辨率再分析海温资料和中国国家海洋环境预报中心提供的逐小时全球高时间分辨率海温数据,通过WRF模式对2018年10号台风“安比”(1810)进行数值模拟,结合台风动力和热力条件分析结果表明:海温分布与位涡强度具有良好的一致性;海温通过影响台风内部垂直运动带来的潜热释放决定对台风强度的改变,高分辨率的海温数据对台风数值模拟有一定影响。

关键词: 高分辨率海温;WRF数值模拟;台风;位势涡度;潜热通量

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)01-0080-11

1 引言

海表温度(Sea Surface Temperature, SST)简称海温,是气象研究最常用的数据之一。海温对天气和气候的影响不可小觑,它直接影响表面风大小。研究表明海温与风速存在正相关关系^[1],此外,海温还会影响季风和降水。金祖辉等^[2]通过奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)分析指出,热带西太平洋暖池区的海温异常是引起东亚夏季风年际变化的重要原因。孙淑清等^[3]采用全球大气环流模式,通过数值实验证明,厄尔尼诺过程对应的海温异常对我国长江流域强降水有极大影响。Bongirwar等^[4]通过天气研究和预报模式(Weather and Research and Forecasting model, WRF)试验研究了海温对北印度洋上空形成的热带气旋路径和强度的影响。他们选取热带降水观测计划(Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM)卫星和美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的海温数据分别进行试验,认为台风强度模拟结果准确性的提升源于添加的海温场对表面潜热通量和感热通量预测的改进。我

国处于东亚季风区,夏季常受暴雨袭击,历史上最严重的几次暴雨事件,如1994年浙江特大风暴潮灾害、1998年特大洪水及2006年南方水灾导致的重大人员伤亡,都是由台风直接或间接引起的。2018年统计资料表明,台风致灾紧急转移人口共计618.18万,我国直接经济损失高达673.86亿元^[5]。因此,研究数值模拟试验中海温对台风的影响,对于提高台风的预报准确率、减少其对我国造成的经济财产损失与人员伤亡大有裨益。

Emanuel^[6]提出的台风风生海表交换理论(Wind-Induced Surface Heat Exchange, WISHE)指出,稳态的台风强度取决于海洋与大气间的熵值和边界层顶与流出层之间的温度差,而海表差熵又由水汽和热力效应决定,因此,研究热量和动量条件对台风强度和路径的影响至关重要。Kasahara^[7]通过计算得出,凝结潜热对台风暖心的发展有关键性影响。Chan^[8]认为台风移动趋势与云层中释放的潜热和垂直风切变耦合产生的加热有关。除了潜热通量,位涡作为表征热量和动量的保守物理量,也是台风造成极端降水事件的重要参考因素,它不仅可以表明台风的发展情况^[9],还可以指示降水落区^[10]。

收稿日期: 2021-04-28; 修回日期: 2021-06-25。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1401704、2017YFC1404006、2016YFC1401409)。

作者简介: 陶静雯(1996-),女,硕士,主要从事台风数值预报研究。E-mail: 361274744@qq.com

通讯作者: 万莉颖(1977-),女,研究员,博士,主要从事海洋数值预报与资料同化研究。E-mail: liying.wan@nmefc.cn

Molinari等^[11]在对1985年台风“Danny”的研究中,发现正位涡异常会增强台风强度。Wu等^[12-15]的系列研究论证了位涡对台风的运动轨迹有指示性的参考价值,其团队通过位涡诊断分析确定台风周边各系统明确的位涡特征,从而判断是何种系统影响了台风路径。2018年10号台风“安比”是1949年以来第三个直接登陆上海的台风(前两个分别出现在1977年和1989年),同时也是历史上在天津市、河北省及内蒙古自治区境内唯一一个达到热带风暴级强度的台风。基于前人研究,本文对台风“安比”展开数值模拟,重点对比以上各物理量在不同试验结果中的异同,旨在判明其对海温的响应。

近几十年来,科技进步和观测设备及手段越来越多样化,用于研究的海温数据也日益丰富。美国、日本和加拿大等国家基于不同的观测试验对应提供不同的高精度全球海温数据集:例如最优插值海表面温度(Optimum Interpolation Sea Surface Temperature, OISST)、日本沿海海洋预报试验高分辨率区域耦合海浪模式提供的海温数据(Japan Coastal Ocean Predictability Experiment using ultra-high-resolution regional model coupled with a Tidal model, JCOPE-T)和NCEP提供的实时全球海温数据(Real-Time, Global, Sea Surface Temperature, RTG-SST)等。中国国家海洋环境预报中心(National Marine Environmental Forecasting Center, NMEFC)在2018年通过改进的海洋混合层模式计算了一套逐小时的全球高分辨率海表温度数据(Mixed-Layer model Sea Surface Temperature, ML-SST)^[16],水平分辨率达到 $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$,在时间分辨率上有很大的优势。本文通过WRF数值模拟结合使用该数据集,旨在发现高时间精度的海温对天气变量的影响。

2 数据和方法

2.1 数据来源

本文采用NCEP提供的全球最终分析和预报数据(FiNaL operational global analysis and forecast data, FNL)作为背景场,该数据空间精度为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间精度为6 h,格式为GRIB2。FNL数据是

持续收集多渠道观测数据的全球数据同化系统(Global Data Assimilation System, GDAS)的产品之一,该数据包含了地面气压、海平面气压、地势高度、温度、海温和相对湿度等物理量,为WRF模拟提供边界条件。

试验采用的海温资料分别是NCEP提供的高空间分辨率全球实时海温数据(Real-Time, Global, Sea Surface Temperature with High Resolution, RTG_SST_HR)和NMEFC制作的MLSST, NCEP原始数据来自美国国家海洋和大气管理局天气卫星(National Oceanic and Atmospheric Administration weather satellites, NOAA-19)和欧洲航天局发射的气象极轨卫星(Polar-orbiting Meteorological Satellites, METOP-A-AVHRR),通过对卫星反演数据进行二维变分插值分析、24 h船舶和浮标数据报告更新数据质量控制文件纠正偏差,从而得到空间分辨率为 $1/12^{\circ}$ 、时间分辨率为24 h的GRIB1格式数据。针对本文模拟区域,官方给出西北太平洋地区格点数据与浮标观测平均偏差为0.113 7,均方根误差为0.924 5,整体数据质量良好。

NMEFC利用改进的海洋混合层模式制作了一套时间分辨率为1 h、空间分辨率为 0.3° 的数据,混合层模式来自Ling等^[17]开发的上层海洋混合层模型,输入数据涵盖了NCEP两种版本的耦合预测系统再分析数据中的热通量和表面风应力,该数据被用作驱动混合层模型的大气强迫。MLSST使用NOAA提供的OISST用作松弛法的观测值来避免长期的气候漂移,经热带大气海洋观测计划(Tropical Atmosphere Ocean array, TAO)和美国国家数据浮标中心(National Data Buoy Center, NDBC)的浮标观测数据对比表明,该数据平均偏差在 $-0.26 \sim 0.4$,总体偏差位于 $-0.1 \sim 0.1$,均方根误差在 $0.16 \sim 0.69$,其在日变化和气候尺度上均表现良好^[16]。

台风强度和路径观测实况数据来自中国气象局(China Meteorological Administration, CMA)热带气旋资料中心提供的CMA最佳路径数据集^[18-19],该数据集较联合台风预警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)的路径数据时间精度更高,较NOAA的最佳路径数据各项记录更完备,故采用该数据集与模拟结果进行对比参考。

2.2 模式简介

WRF 模式是为大气研究和业务预报应用而设计的新一代高分辨率中尺度数值天气预报和同化系统。该模式是 20 世纪后期由美国国家大气研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 和 NOAA 等研究机构共同开发。WRF 提供两种动力学求解方法来计算大气控制方程, 分别为 WRF 预报研究 (Advanced Research WRF, ARW) 和 WRF 非静力中尺度模式 (Non-hydrostatic Mesoscale Model, NMM)。本文使用的是 WRF-ARW4.0 模式^[20]。

2.3 模式设置

本次试验采用双层嵌套模拟, 模式积分区域中心为 (30°N, 135°E), 模拟区域网格为 193 × 286 (d01), 286 × 256 (d02), 水平分辨率分别为 45 km 和 15 km, 垂直方向为非等距 34 层 σ 层, 积分步长为 180 s。试验时间段为 2018 年 7 月 19 日 00 时—23 日 00 时 (世界时, 下同), 结果分析剔除数值模拟前 12 h 的 Spin-Up 时段。

本试验采取一个控制试验组和两个海温试验组的模拟方式, 控制试验组仅使用 NCEP 的 FNL 数据提供数值模拟的初始场, 两个海温试验组分别称为 S1 和 S2。在前处理时除了 FNL 数据以外, 根据表 1 的试验方案分别添加 RTG_SST_HR 和 MLSST 以更新海温数据。由于两组海温数据的时间分辨率不同, 所以在预处理时均通过插值设定为逐小时添加。

试验使用的参数化方案如下: 微物理参数化方案采用单参数三类水成物方案 (WRF Single-Moment 3-class Microphysics scheme, WSM3)^[21], 边

界层参数化方案采用延世大学边界层方案^[22], 积云对流参数化方案采用浅对流 Kain-Fritsch (new Eta) 方案^[23], 陆面参数化选用 Noah 陆面过程方案, 辐射方案中长波辐射选用快速辐射传输模式, 短波辐射则采用 NCAR 第五代中尺度模式 Dudhia 方案。

3 模拟结果分析

台风路径和强度一直都是台风预报的重点与难点。台风路径和登陆地点的预报决定了采取应急方案的地区, 台风强度预报决定了应急方案调度的人力和物力资源规模, 因此模拟结果分析从路径和强度两个方面展开。

3.1 台风路径

2018 年 7 月 19 日 12 时—22 日 03 时的试验组模拟结果与观测实况台风路径的对照表明 (见图 1), 3

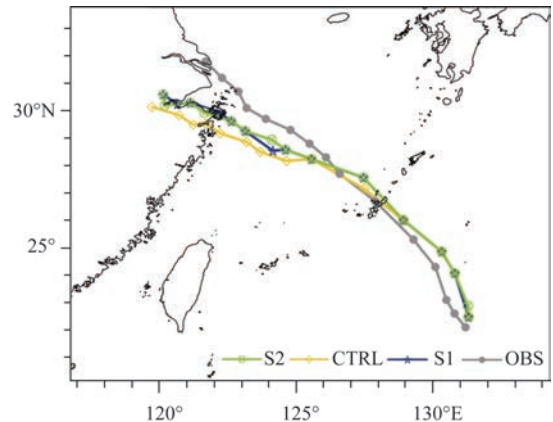


图 1 1810 号台风“安比”模拟及实况路径图

Fig.1 Simulated and observed track of typhoon "Ampil" (1810)

表 1 试验方案

Tab.1 Design of numerical experiment scheme

| 试验组 | 使用数据 | 试验方案 |
|------|----------------------------|---|
| CTRL | FNL(NCEP) | 使用 NCEP 提供的 FNL 资料作为背景场, 海温数据为 FNL 自带的海温数据, 时间分辨率为 6 h |
| S1 | FNL(NCEP)+RTG_SST_HR(NCEP) | 定常海温试验, FNL 资料背景场在积分过程中, 海温数据被替换为每日定常 RTG_SST_HR 海温数据, 该数据每小时更新 |
| S2 | FNL(NCEP)+MLSST(NMEFC) | 更新海温试验, FNL 资料背景场在积分过程中, 海温数据被替换为 MLSST 高时空分辨率海温, 该数据每小时更新 |

组试验与实际观测场基本一致。值得注意的是,在模拟的后半段,各组台风路径开始出现差异,添加海温的两试验组路径较为接近,登陆地点也与实况更近,而控制试验组路径与最后登陆位置较实况偏南,但整体与观测较为一致,模拟结果良好。

由图2a的台风路径偏差值可知,总体而言,3组模拟结果在7月21日09时前偏差距离基本相当,差值均在100 km左右;该时刻后的路径偏差显示,除台风登陆时刻(7月21日03时)外,添加海温的两个试验组偏差值均比未添加海温的CTRL组更小。

3.2 台风强度

图2b和图2c分别为S1、S2与CTRL在2018年7月19日12时—22日03时模拟时段内,台风中心

最低气压值折线图和模拟结果与实况观测差值条形统计图。结果表明,模拟前12~48 h(7月19日12时—21日00时)试验组与观测值强度偏差基本稳定在4 hPa以内;在台风加强的第48~75 h(2018年7月21日00时—22日03时),CTRL和S1、S2偏差值出现了明显的区别,CTRL与S1模拟强度偏高,S2模拟强度略低,除7月21日06时外,S1偏差值基本维持在4 hPa以内,S2偏差值在该时段则控制在6 hPa左右。

图2d为台风近中心最大风速的实况及模拟结果折线图,该图所反映的模拟结果变化趋势与图2b类似,7月20日18时前3个试验组风速值差别不大,但在台风强度增强至最大值后,分别都与实况出现较大偏差,S2试验组在7月21日06时与实况最为相近,其后偏差逐渐增大。

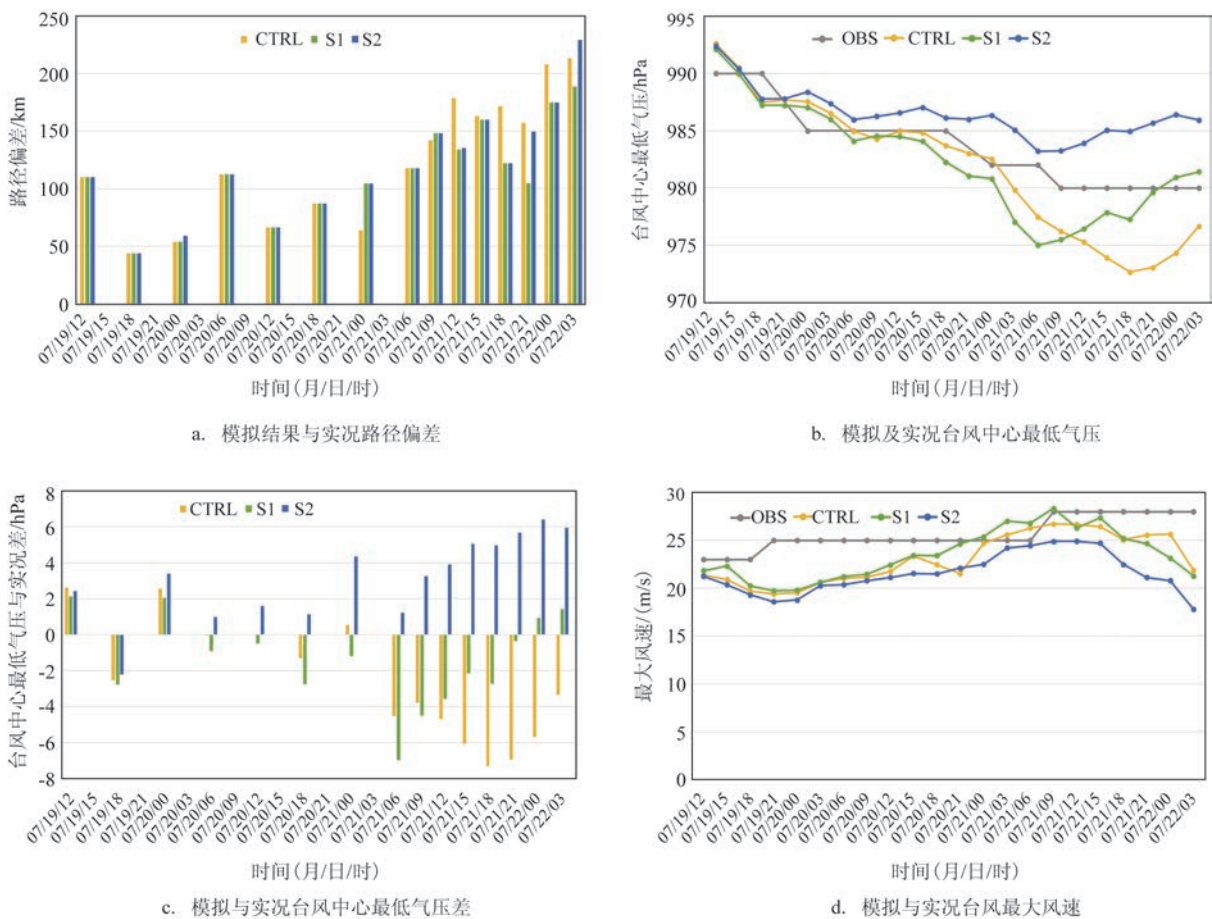


图2 1810号台风“安比”模拟结果与实况

Fig.2 Simulated and observed results of typhoon "Ampil" (1810)

4 添加海温试验组与控制试验组结果对比分析

各组试验中台风强度和路径的模拟结果对比发现,在台风增强前期,即7月19日12时—21日00时,各组差别不大;在台风增强后期,即2018年7月21日00时—22日03时,海温试验组S1、S2较CTRL组的模拟结果出现明显差别,因此,集中对21日的

海温及相关物理量展开对比分析。

4.1 海温对比

由图3可以看出,在台风增强的7月21日00时,试验组S2的海温比CTRL低4 K左右,随时间推移,差值增大,图3c出现了低于-6 K的区域,该区域从东海北部不断向南扩张,覆盖了台风行进路径右侧整片东海北部海域。在21日00时试验组S2的海温比S1低0~2 K,随着时间推移于7月21日12时

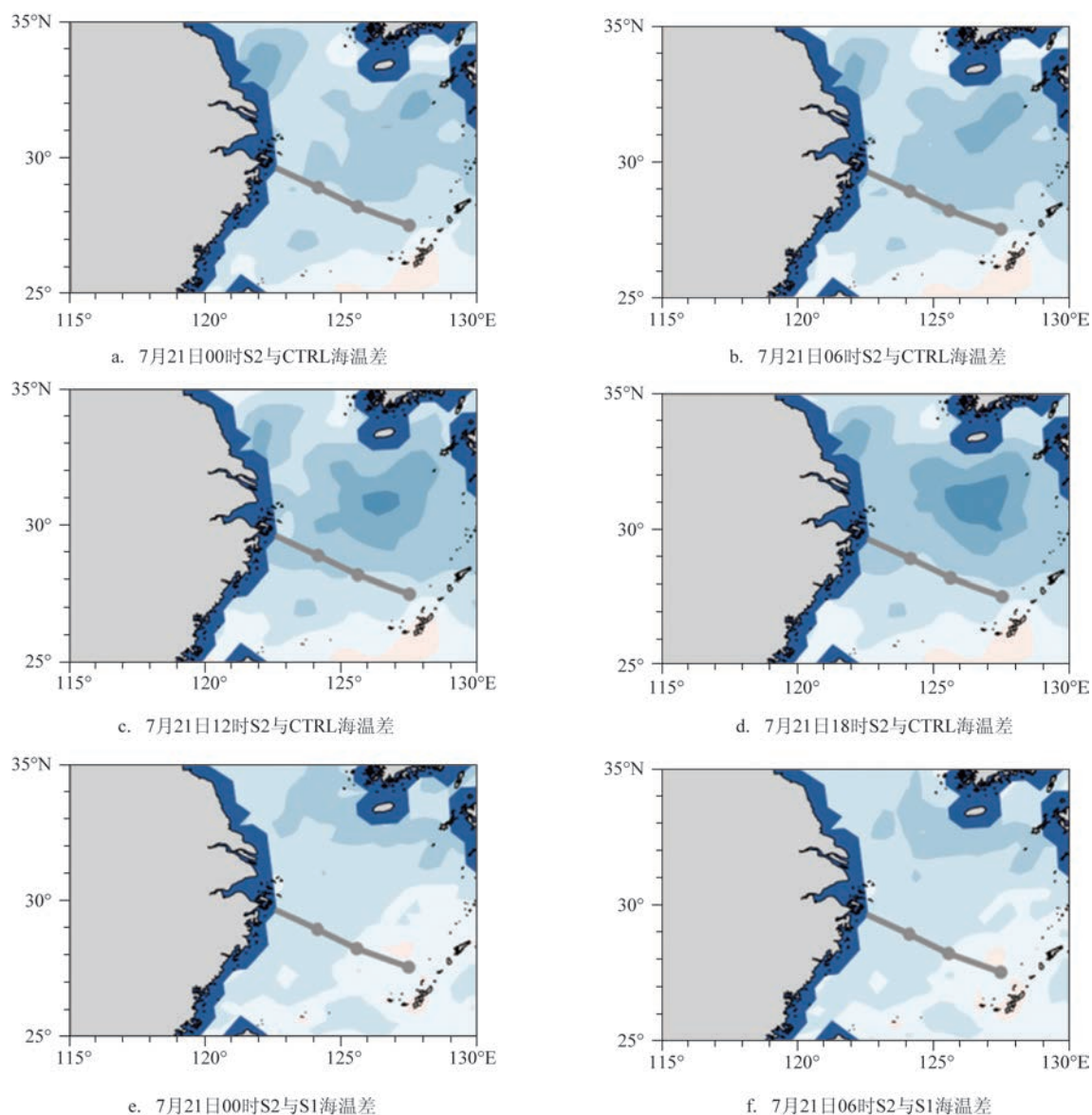


图3 S2与CTRL、S1逐6小时海温差值分布图叠加S2台风路径

Fig.3 6-hourly SST difference between S2 and CTRL and S1, respectively, overlaid with typhoon track simulated by S2

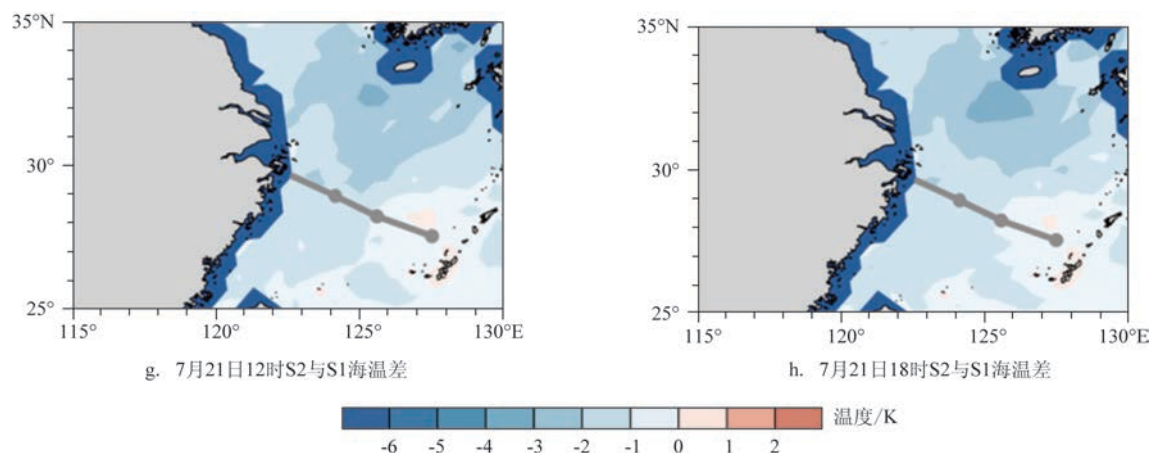


图3 (续)

Fig.3 (Continued)

海温温差增至-4K,最终差值区整体稳定于台风行进路径右侧。

4.2 位势涡度场与24 h累计降水场分析

图4是CTRL、S1与S2的位势涡度叠加位温等值线的垂直纬向剖面图,剖面的位置选取每组相应时刻的台风中心纬度,剖面范围为台风中心以东、以西各5°。在 p 坐标系中,位涡表达式如下:

$$PV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta}{\partial p} + g \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \quad (1)$$

式中, ζ 是垂直涡度; f 是地转科氏参数。

CTRL和S1在台风增强的初始时刻21日09

时,位涡大于5PVU的区域高于9 km,位涡大值区从对流层一直贯穿至平流层,反映了有利于台风增强的热力和动力条件。S2试验组位涡整体强度偏弱,大于5PVU的区域仅存在于3~6 km,基本稳定在对流层以下。总体而言,位涡强度与3组试验模拟的台风强度一致。剖面图的位温等值线分布也表明,在台风增强的09时,出现了明显的高层暖心结构。根据WISHE理论,高层暖心结构有利于径向梯度力增加从而形成正反馈机制提升台风强度,进一步增强降水过程。结合24 h累计降水分布图来看(见图5),在7月21日台风登陆前的24 h内,台风雨带给华东沿海带来了强降水。添加海温的两个试验组

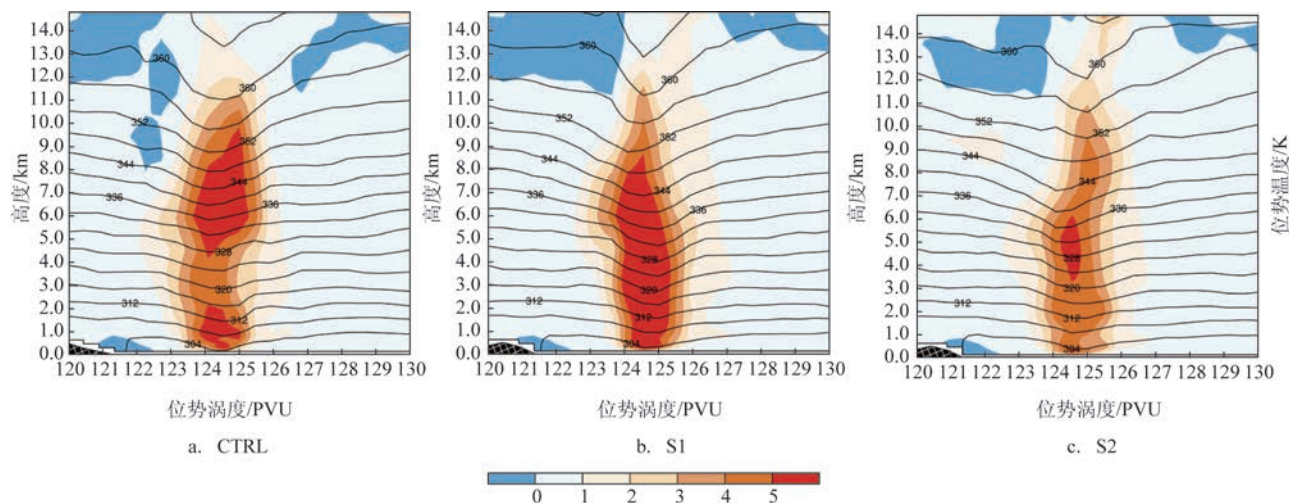


图4 2018年7月21日09时试验组叠加位温等值线的位势涡度纬向剖面图

Fig.4 Latitudinal profile of geopotential vorticity overlaid with geopotential temperature contours on 21st of July, 2018, 9:00

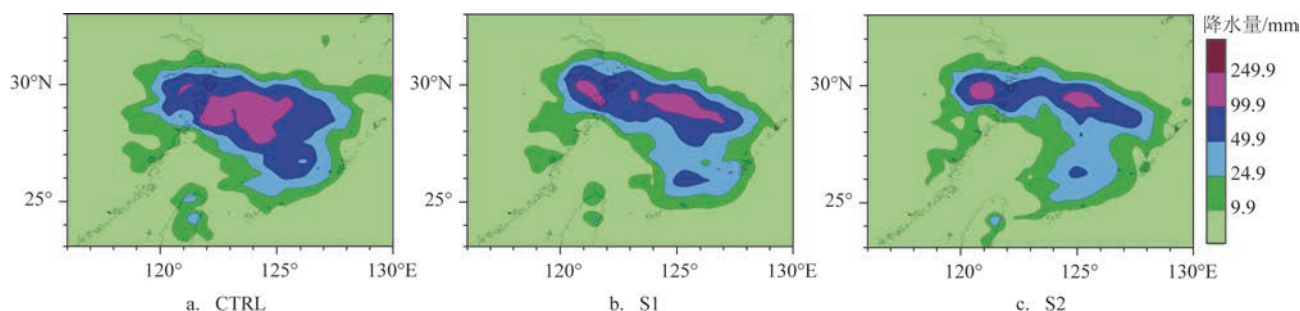


图5 2018年7月21日试验组24 h累计降水分布图

Fig.5 24-hour accumulated precipitation distribution on 21st of July, 2018

在浙江省出现了大暴雨中心,而CTRL在陆上的降水偏弱,但在海面出现了较试验组更强的大范围大暴雨中心。结合3组位涡剖面图和降水图来看,各组的强降水落区与位涡落区对应良好。

4.3 能量场分析

4.3.1 热通量场

图6是台风开始增强的第54~63 h,每隔3 h作出的S1与CTRL潜热差值。图中叠加了该时段对应的CTRL模拟台风路径,该图在于对比两组试验中台风经过路径上潜热分布的情况。研究表明,潜热是台风动能的主要来源之一^[24],因此潜热分布可以反映和预判台风的发展。该图显示,在台风行进过程中,CTRL路径上经过的海域基本呈负值,较为明显的是09时之后各个时刻台风中心附近有一个小范围正值区域。首先,从能量的角度分析,潜热场差值为负代表试验组S1较CTRL的潜热更低,这是由于S1的上升运动较弱,凝结释放潜热较CTRL更低造成的;其次,因为台风中心眼区气流下沉,基本没有凝结降水和降温,因此正值区域对应台风暖心,差值直接反映了海表温度的差异,即S1海温高于S2,该结论与图3一致,进一步论证了海温与台风增强阶段强度的正相关关系。

4.3.2 假相当位温场

假相当位温是重要的能量表征参数,在干绝热和湿绝热过程中都是保守量,对该物理量作垂直剖面图以分析台风内部的能量场分布,从而判断添加不同海温的试验组之间能量垂直结构上的区别。

如果假相当位温随高度减小,即 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z} < 0$,则意味着

对流不稳定。根据试验模拟结果台风中心所在位置,选取台风中心所在纬度作假相当位温纬向剖面分布图,经度范围选取120°~130°E,并叠加垂直风速场来研究台风内部结构。由图7可以看出各组假相当位温垂直分布均为对流不稳定且展现了台风明显的暖心结构,在CTRL和S1中暖心最高达到8 km;垂直风速分布等值线图中,虚线代表负值即下沉运动,实线代表正值对应上升运动,因此在S1和S2中台风中心右侧上升,左侧下沉。台风初始时,内部对流降水蒸发冷却引起的下沉作用,会使内流层的大气降温且状态更加稳定,在海温大致不变的情况下,垂直运动加剧了海气热力不平衡,从而利于潜热通量大量上传,导致台风系统增强。

S1和S2的相同点在于同为台风周围的上升下沉运动,区别在于S2的暖心高度明显偏低,高于360 K的暖心部分最高仅延伸至4 km处;S1组暖心温度最大值达到368 K,S2暖心最大值仅为366 K,这一差异与图6一致。由图7b和7c的对比可知,试验组S1较S2释放的凝结潜热更多,这也从能量角度进一步解释了该时刻台风强度S1高于S2的成因。

值得注意的是,7月21日09时S1的台风强度为3组最强,且该强度也是整个模拟时段内各试验组中的最大值。结合假相当位温分布图和垂直速度分布可以发现,台风中心左侧(西侧)为下沉运动,该运动会带来降水和蒸发冷却,而冷却作用会使内流层大气状态更加稳定,但海气温差增大会加剧海气间热力不平衡状态。由于试验组S1添加的是逐日定常海温,所以在海温不变而大气降温的情况下,内流会携带更多的海气潜热上升进入台风内部,从而促进台风发展,故此时出现3组试验中S1

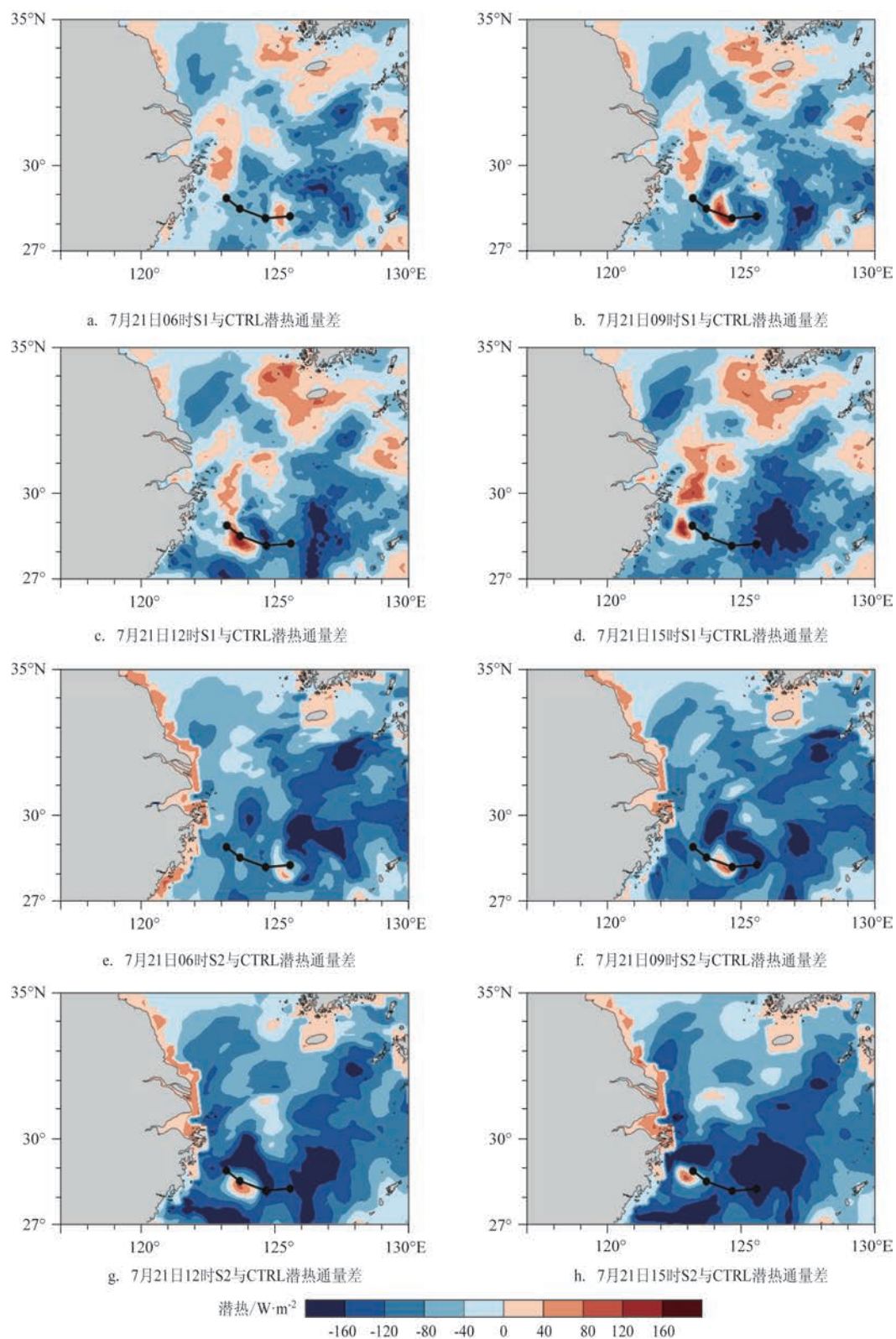


图6 S1、S2与CTRL潜热通量差值分布图,叠加CTRL台风路径图

Fig.6 Latent heat flux difference between CTRL and S1 and S2, respectively, overlaid with typhoon track simulated by CTRL

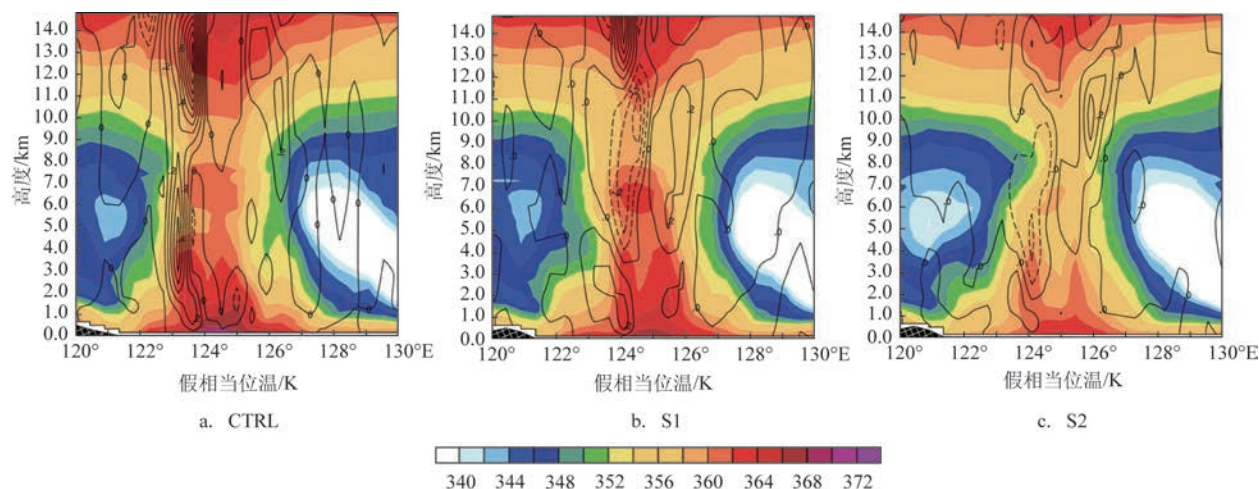


图7 2018年7月21日09时试验组叠加垂直风场的假相当位温纬向剖面图(图内数值为垂直速度,单位:m/s,实线为正,虚线为负,数值精确到小数点后一位)

Fig.7 Latitudinal profile of pseudo-equivalent potential temperature overlaid with vertical wind speed on 21st of July, 2018, 9:00 (The value in the figure is the vertical speed, unit: m/s, the solid line is positive, the dotted line is negative, and the value is accurate to one decimal place)

组台风强度最强的模拟结果。试验组S1结果与实况相差-5.8 hPa,同一时刻试验组S2仅与实况相差1.05 hPa,虽然两组均存在上升和下沉运动,但添加了逐时海温的S2模拟结果更优,故该结果进一步说明了添加高时间分辨率海温对改善模拟初始场和提升台风强度预报准确率的重要性。

5 结论与展望

本文在WRF模式中添加逐日高空间分辨率海温RTG_SST_HR和高时间分辨率海温资料MLSST对2018年10号台风“安比”进行了数值模拟,将模拟试验结果分别与实况及试验设置的CTRL进行对比,研究台风强度、台风路径和降水落区的差别。主要结论如下:

(1) 从实况与模拟结果对比来看:路径上,在台风发展前期各试验组差别较小,台风发展后期,添加高分辨率海温的试验组模拟结果与实况偏差小于未添加海温的对照组;强度上,台风发展前期各组结果与实况偏差均在4 hPa以内,而台风发展后期CTRL与S1模拟强度偏强,S2模拟强度偏弱。

(2) 从动量和热量角度来看,位势涡度场的纬向剖面图体现了位涡强度与海温分布的一致性,随

着时间推移,位涡增强且高值区高度抬升,这与台风增强过程吻合。各试验组暴雨降水落区与位涡分布高值区一致。

(3) 从能量角度看,潜热通量场与假相当位温场分别从能量供给和能量结构分布两个方面,反映出海表温度更高的试验组CTRL和S1比S2能量更强且不稳定性更强,对比S2的模拟结果证明了采用高时间分辨率海温对改善台风初始场有益。

本文通过高分辨率海温的数值模拟结果,对影响台风“安比”的重要物理量进行分析,探讨了海温对台风强度和路径的影响。该结论为其他台风个例的研究提供参考。今后工作中将对更多台风个例展开相关试验。但是,模拟结果只能反映海温最终对台风过程变量的影响,对海气相互作用具体如何影响台风发展的机制没有深入研究,所以接下来的工作会研究该机制的原理,阐释其具体成因,从而进一步探明海温对台风预报模拟的作用。

参考文献:

- [1] Xie S P. Satellite observations of cool ocean-atmosphere interaction [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004, 85(2): 195-208.
- [2] 金祖辉,陈隽. 西太平洋暖池区海表水温暖异常对东亚夏季季风影响的研究[J]. 大气科学, 2002, 26(1): 57-68.

- Jin Z H, Chen J. A composite study of the influence of SST warm anomalies over the Western Pacific warm pool on Asian summer monsoon[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2002, 26(1): 57-68.
- [3] 孙淑清, 马淑杰. 海温异常对东亚夏季风及长江流域降水影响的分析及数值试验[J]. 大气科学, 2003, 27(1): 36-52.
- Sun S Q, Ma S J. Analysis and numerical experiment on the relationship between the 1998 summer monsoon activities and SSTA in tropical regions[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2003, 27(1): 36-52.
- [4] Bongirwar V, Rakesh V, Kishtawal C M, et al. Impact of satellite observed microwave SST on the simulation of tropical cyclones[J]. Natural hazards, 2011, 58(3): 929-944.
- [5] 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报-2018[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Zhongguo shuihan zaihai gongbao 2018[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2019.
- [6] Emanuel K A. An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: steady-state maintenance[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1986, 43(6): 585-605.
- [7] Kasahara A. A numerical experiment on the development of a tropical cyclone[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1961, 18(3): 259-282.
- [8] Chan J C L. The physics of tropical cyclone motion[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2005, 37: 99-128.
- [9] 江敦春. 台风中位涡收支的诊断研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(6): 764-771.
- Jiang D C. Diagnosis of the potential vorticity budget of typhoon [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1988, 10(6): 764-771.
- [10] 黄亿, 寿绍文, 傅灵艳. 对一次台风暴雨的位涡与湿位涡诊断分析[J]. 气象, 2009, 35(1): 65-73.
- Huang Y, Shou S W, Fu L Y. A diagnostic analysis of PV and MPV on the heavy rain caused by typhoon Khanun[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(1): 65-73.
- [11] Molinari J, Skubis S, Vollaro D, et al. Potential vorticity analysis of tropical cyclone intensification[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1998, 55(16): 2632-2644.
- [12] Wu C C, Huang T S, Huang W P, et al. A new look at the binary interaction: potential vorticity diagnosis of the unusual southward movement of Tropical Storm Bopha (2000) and its interaction with Supertyphoon Saomai (2000)[J]. Monthly Weather Review, 2003, 131(7): 1289-1300.
- [13] Wu C C, Huang T S, Chou K H. Potential vorticity diagnosis of the key factors affecting the motion of Typhoon Sinlaku (2002) [J]. Monthly Weather Review, 2004, 132(8): 2084-2093.
- [14] Wu C C, Chen S G, Chen J H, et al. Interaction of Typhoon Shanshan (2006) with the midlatitude trough from both adjoint-derived sensitivity steering vector and potential vorticity perspectives[J]. Monthly Weather Review, 2009, 137(3): 852-862.
- [15] Wu C C, Chen S G, Yang C C, et al. Potential vorticity diagnosis of the factors affecting the track of Typhoon Sinlaku (2008) and the impact from dropwindsonde data during T-PARC[J]. Monthly Weather Review, 2012, 140(8): 2670-2688.
- [16] Li X, Ling T J, Zhang Y F, et al. A 31-year global diurnal sea surface temperature dataset created by an ocean mixed-layer model[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2018, 35(12): 1443-1454.
- [17] Ling T J, Xu M, Liang X Z, et al. A multilevel ocean mixed layer model resolving the diurnal cycle: development and validation[J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2015, 7(4): 1680-1692.
- [18] Ying M, Zhang W, Yu H, et al. An overview of the China meteorological administration tropical cyclone database[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2): 287-301.
- [19] Lu X Q, Yu H, Ying M, et al. Western North Pacific tropical cyclone database created by the China meteorological administration[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 38(4): 690-699.
- [20] Skamarock W C, Klemp J B, Dudhia J, et al. A description of the advanced research WRF model version 4[J]. National Center for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 2019: 145.
- [21] Hong S Y, Dudhia J, Chen S H. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation[J]. Monthly Weather Review, 2004, 132(1): 103-120.
- [22] Hong S Y, Noh Y, Dudhia J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes[J]. Monthly Weather Review, 2006, 134(9): 2318-2341.
- [23] Kain J S. The Kain-Fritsch convective parameterization: an update [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2004, 43(1): 170-181.
- [24] Zhang R W, Huangfu J L, Hu T. Dynamic mechanism for the evolution and rapid intensification of Typhoon Hato (2017) [J]. Atmospheric Science Letters, 2019, 20(8): e930.

The impact of high resolution sea surface temperature data on typhoon "Ampil" (1810) simulation using WRF model

TAO Jingwen, WAN Liying, CHEN Li

(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract: Based on the sea surface temperature (SST) reanalysis data with high spatial resolution of the National Centers for Environmental Prediction and the hourly SST data with global coverage of the National Marine Environmental Forecasting Center, the Weather Research and Forecasting model is used to simulate typhoon "Ampil" (1810) in this paper. Taking the analysis results of typhoon dynamic and thermal conditions into consideration, it is found that the SST distribution is in good agreement with the intensity of the potential vorticity, and SST determines the variation of typhoon intensity by affecting the latent heat release caused by the vertical movement within the typhoon. Therefore, high-resolution SST data has a certain impact on the numerical simulation of typhoon.

Key words: high resolution sea surface temperature; WRF model numerical simulation; typhoon; potential vorticity; latent heat