

# AMSU-A 微波资料变分同化对双台风预报的影响研究

钱芝颖<sup>1,2</sup>, 鲍艳松<sup>1,2</sup>, 沈菲菲<sup>1,2</sup>, 张明阳<sup>3</sup>, 唐维尧<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 气象环境卫星工程与应用联合实验室, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 江苏 南京 210044; 2. 南京信息工程大学大气物理学院, 江苏 南京 210044; 3. 国防科技大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

**摘 要:** 选取2015年发生在西北太平洋的一次双台风“灿鸿”和“莲花”, 考察微波辐射率资料同化在双台风数值预报中的应用, 采用WRF-3Dvar系统, 将AMSU-A微波辐射率资料同化进数值模式用于改善模式的初始场。试验结果表明: 直接同化AMSU-A辐射率资料能有效缓解台风在海面上观测资料的不足, 对于数值模式初始场的改进效果要优于仅同化常规资料的效果, 并且从大尺度环境场上看使模式具备更合理的环境形势, 从而提高了对台风路径以及强度模拟的精度, 同时对降水强度、落区的模拟更加准确。

**关键词:** 双台风; 微波辐射率资料; 三维变分同化

**中图分类号:** P457.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)06-0009-13

## 1 引言

台风是一种破坏性很强的灾害性天气系统, 而中国是受台风危害最严重的国家之一。平均每年登陆我国的热带气旋有9.09个, 其中达到台风等级的有3.17个<sup>[1]</sup>。在过去的20 a中, 对于热带气旋的预报有了一定的改善: 对于热带气旋路径预报误差显著减小, 对热带气旋的强度预报也有了明显的改进<sup>[2]</sup>。但是由于热带气旋之间的相互作用, 当同一模拟区域内同时存在两个或多个热带气旋时, 对路径和强度的可预报性就相对较低<sup>[3]</sup>。台风发生在热带海洋上, 缺乏常规观测资料, 气象卫星资料弥补了这一不足, 在提高数值天气预报的准确性中起到了非常重要的作用<sup>[4-6]</sup>。近年来, 微波卫星资料对提高数值天气预报的准确性作出了很大的贡献, 这一观测资料也越来越多的被运用于同化系统中。例如NOAA-18和Metop-A的微波湿度探测仪(Micro-wave Humidity Sounder, MHS)的资料就被应用于

WRFDA等系统中<sup>[7-8]</sup>, ATMS(Advanced Technology Microwave Sounder)的资料被应用于欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)和国家环境预报中心的系统中<sup>[9]</sup>。Liu等<sup>[10]</sup>同化先进微波探测仪A单元(Advanced Microwave Sounding Unit-A, AMSU-A)的资料, 对一些热带气旋进行了研究, 发现与再分析资料相比, 同化AMSU-A资料能对环境场产生更好的影响。许冬梅等<sup>[11]</sup>同化FY-3A卫星的微波湿度探测仪(MicroWave Humidity Sounder, MWHS)资料, 对台风进行研究, 结果表明同化卫星资料后, 各要素场的预报都有改进, 并且对台风的路径及强度的预报也有了提高。Choi等<sup>[12]</sup>利用AMSU, MHS, ATMS等微波探测仪资料, 用三维变分的方法对西北太平洋的3次双台风进行同化预报, 研究结果表明, 卫星辐射率数据的同化对于双台风的分析和预报有着积极的影响。邱红等<sup>[13]</sup>利用先进微波探测器AMSU能够探测大气温湿信息及云雨分布特征的

收稿日期: 2018-11-09; 修回日期: 2019-01-09。

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0502802, 2017YFC15017043, 2016YFA0600703); 国防科工局十三五预研项目(D010107); 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室开放课题; 国家自然科学基金项目(41805016、41805070); 江苏省自然科学基金项目(BK20170940); 2018年江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX18\_1026)。

作者简介: 钱芝颖(1995-), 女, 硕士在读, 主要研究方向为数值预报和资料同化。E-mail: 564128573@qq.com

特点,同化了NOAA-16/17的AMSU资料来对西北太平洋的多个热带气旋进行了研究分析,结果表明AMSU数据的同化对于热带气旋中心增暖,气旋强度以及云雨结构有很好的调整作用。

尽管同化卫星辐射数据能够在全局和区域模式中较好的提高对于热带气旋预报的能力,但是由于双台风之间相互作用的复杂性,对于双台风的研究还需更加深入。Jang等<sup>[14]</sup>指出,极向引导气流,较弱的垂直风切变和较高的海平面温度都是双台风出现的有利条件,这些因素可以导致台风的寿命更长,同时也增加了多个热带气旋同时存在的可能性。由于双台风较低的可预报性,不同业务中心对于双台风的预报通常也存在着些许差别。因此对于双台风的研究与预报有很大的意义,但目前对于双台风方面的研究仍比较少。本文基于WRFDA-3Dvar方法,同化AMSU-A资料,并利用WRF(Weather Research and Forecasting Model,中尺度天气预报模式)模式,对于2015年夏季在西北太平洋上发生的一次双台风进行了介绍,并与不同化卫星资料的试验进行对比分析。

## 2 观测资料及同化系统

### 2.1 观测资料AMSU-A

文章采用的资料为先进微波探测单元

AMSU-A的辐射率,AMSU-A微波探测器共有15个通道,其中3-15这13个通道为AMSU-A1,其余1-2这2个通道为AMSU-A2。其空间分辨率为45 km,主要目的是探测大气垂直温度,AMSU-A的主要特性如表1所示。

### 2.2 模式介绍

数据同化系统WRFDA由国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)开发,包括三维变分(Three-dimensional VARIational, 3DVAR),四维变分(Four-Dimensional VARIational, 4DVAR),以及混合变分(Hybrid)这几种数据同化方法。本试验主要利用三维变分的方法进行研究。三维变分通过计算目标泛函的极小值来获得分析时刻最接近大气真实状态的估计值,通常目标泛函的表达式为:

$$J(x) = J_b + J_o = \frac{1}{2} (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + \frac{1}{2} [y_o - H(x)]^T (E + F)^{-1} [y_o - H(x)] \quad (1)$$

式中:  $x$  是大气分析场的状态向量,  $x_b$  为背景向量,  $y_o$  是观测向量,  $B$  为背景误差协方差矩阵,其水平协方差由递归滤波表示,垂直协方差由经验正交函数模拟,  $H$  是将模式的分析变量变换到观测空间的观测算子,变换后的量更方便与观测值进行比

表1 AMSU-A主要特性

通道序号	中心频率/GHz	主要吸收成分	主要探测目的	权重函数峰值高度/hPa
1	23.8	H <sub>2</sub> O	地表特征、可降水等	地表
2	31.4	窗区	地表特征、可降水等	地表
3	50.3	O <sub>2</sub>	表面发射率	地表
4	52.8	O <sub>2</sub>	大气温度	900
5	53.596+/-0.115	O <sub>2</sub>	大气温度	600
6	54.4	O <sub>2</sub>	大气温度	400
7	54.94	O <sub>2</sub>	大气温度	250
8	55.5	O <sub>2</sub>	大气温度	150
9	f <sub>0</sub> =57.29±0.344	O <sub>2</sub>	大气温度	90
10	f <sub>0</sub> ±0.217	O <sub>2</sub>	大气温度	50
11	f <sub>0</sub> ±0.3222±0.048	O <sub>2</sub>	大气温度	25
12	f <sub>0</sub> ±0.3222±0.022	O <sub>2</sub>	大气温度	10
13	f <sub>0</sub> ±0.3222±0.010	O <sub>2</sub>	大气温度	5
14	f <sub>0</sub> ±0.3222±0.045	O <sub>2</sub>	大气温度	2.5
15	89.0	H <sub>2</sub> O	地表特征、可降水等	地表

较。 $E$ 为观测误差, $F$ 为代表性误差。

观测算子将模式变量与观测值联系起来,直接同化辐射率数据的核心是将辐射传输模式作为观测算子的一部分纳入 WRFDA 系统。本次试验选用的辐射传输模式为由美国卫星数据同化中心(The US Joint Center Satellite Data Assimilation, JCSDA)开发的 CRTM。由于观测本身、参考场和辐射传输模式的系统偏差,辐射率观测值比较容易出现系统偏差,为了得到最优的分析场,必须在同化之前去除这些偏差。本次试验中,使用变分偏差订正法(The VARIational Bias Correction, VARBC)来订正辐射率观测值。

为了得到高质量的观测数据,在同化进行之前,对辐射率观测值的质量控制也是十分重要的一步。对 AMSU-A 资料的质量控制主要包括:(1)表面类型检查,以排除在混合表面上的通道;(2)观测值几何检验,删除具有大扫描角度的像素点;(3)天气条件检查,去除所有云天或者是受降水影响的像素点;(4)背景场检验:观测残差(观测场与背景场之差)大于  $3\sigma_0$  ( $\sigma_0$  为观测标准差)时辐射观测值将被系统拒绝。

### 3 个例试验

#### 3.1 个例介绍

本文选取 2015 年夏季的一组双台风“灿鸿”和“莲花”个例来探究同化 AMSU-A 辐射率资料对于太平洋上典型热带气旋的影响。这两个台风均给我国东部地区带来持续几天的强降水,并且造成了严重的经济损失。

6月30日,日本气象厅将热带低压系统升格为热带风暴,并以“灿鸿”命名,并于7月2日将其归类为强热带风暴。7月3日到达台风等级,台风于7月11日登陆我国浙江省,造成大范围强降雨。“灿鸿”台风具有“强度强,生命史长,体积庞大”等特点,造成了高达98亿的经济损失及重大人员伤亡。在“灿鸿”早期发展的同一时期,“莲花”于7月2日在菲律宾以东的西北太平洋面上生成。7月4日加强为强热带风暴,沿着西方不规则的朝着菲律宾移动,并于7月5日登陆吕宋岛。经过岛屿后“莲花”变弱但

是在经过中国南海地区时迅速重组,接着“莲花”缓慢移动并保持其强度,在7月8日达到台风等级,中心气压为975 hPa,中心附近最大风力等级为12级。接着“莲花”台风于7月9日在我国广东沿海登陆,比“灿鸿”登陆时间早两天。

#### 3.2 试验设置

本文采用 WRFV3.9.1 的 ARW 版本作为预报模式,同化系统为 WRF-3Dvar。图1为试验模拟区域,其中心点为(17°N, 117°E),水平格点数为 450×400,格距为 15 km,垂直方向上一共有 43 层,模式层顶气压为 30 hPa,时间积分步长是 60 s。模式采用的物理参数化方案为:WSM-6 类云微物理参数方案,RRTM 长波辐射方案,Goddard 短波辐射方案,YSU 行星边界层方案,Kain-Fritsch 积云参数方案。初边界条件由分辨率为 0.25°×0.25°的国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球预报系统(Global Forecast System, GFS)的再分析资料提供。由于模式的“spin up”问题,同化试验的背景场由 GFS 资料积分 6 h 得到。对于台风“灿鸿”,选取 2015 年 7 月 10 日 00 时(世界时,下同)的 NCEP GFS 再分析资料作为启动资料,预报 6h 至 7 月 10 日 06 时,得到的预报场作为这一时刻同化的背景场。同化分析窗设置为分析时刻前后 2 h,利用 WRF-3DVAR 同化系统同化观测资料后,进行 24 h 的确定性预报至 2015 年 7 月 11 日 06 时。台风“莲花”的同化和预报的参数设置与“灿鸿”均相同,2015 年 7 月 7 日 18 时的 GFS 资料积分 6 h 得到 7 月 8 日 00 时的预报场,将这一预报场作为同化试验的背景场,完成观测资料的同化后,进行 24 h 的确定性预报至 2015 年 7 月 9 日 00 时。

为了探究直接同化卫星辐射率数据对于双台风的分析和预报的影响。基于图1给出的同一模拟区域,针对双台风“灿鸿”和“莲花”分别设计了两个试验。第一个为控制试验,同化由 NCEP 统计的飞机、探空、船舶、云导风等观测资料(<https://rda.ucar.edu/datasets/ds337.0/>)。第二个为同化试验,在控制试验的基础上增加了晴空条件下的 AMSU-A 辐射率数据(<https://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/>),本次个例使用的辐射率数据为 NOAA15/18/19 以及 Metop-A/B 通道 5—9 的 90 km 稀疏化后的 AMSU-A



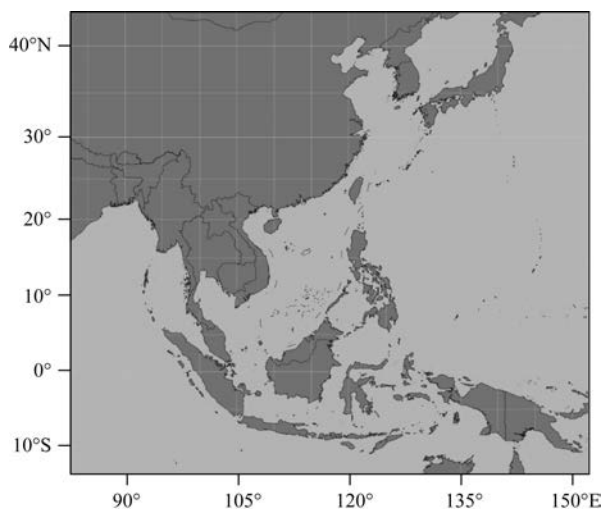


图1 试验模拟区域

表2 用于同化的仪器及其通道对应的观测误差

通道/卫星	NOAA-15	NOAA-18	NOAA-19	METOP-A	METOP-B
5	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
6	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25
7	0.25	0.27	0.27	/	0.27
8	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
9	0.34	0.30	0.30	0.30	0.30

资料。具体通道及其对应的观测误差如表2所示。因为通道1—4以及通道15对发射率等不确定的表面参数十分敏感,且通道10—14具有相对较低的模式顶部气压而被舍弃。

## 4 结果分析

### 4.1 背景场和三维变分分析

图2为经过稀疏化处理之后在不同观测平台及通道得到的 AMSU-A 资料的位置分布情况,并且分别给出了在偏差订正前后的观测亮温和模式模拟的背景场亮温之间的差值(OMB)与偏差订正之后的观测亮温与由模式分析场模拟的亮温之间的差值(OMA),圆点颜色代表数值大小。图2a—f为2015年7月8日00时台风“莲花”所同化的资料的情况,可以看出,经过偏差订正之后(见图2b、2e),OMB的平均值较偏差订正之前(见图2a、2d)均降

低了。同时可以明显看出,在经过模式同化之后(见图2c、2f),观测亮温与分析场模拟的亮温要更为接近。同样,图2g—l为2015年7月10日06时台风“灿鸿”所同化的资料的情况,可以看出,“灿鸿”的观测亮温与模式所模拟的亮温的差值与“莲花”有着相似的特点,偏差订正之后(见图2h、2k)OMB的平均值普遍较偏差订正前(见图2g、2j)有所降低,并且在同化之后(见图2i、2l)的分析场的亮温与观测亮温更为接近。这能够优化预报的初始场,使对于台风的预报更加准确。

图3为在不同观测平台及通道得到的 AMSU-A 资料以及由 CRTM 模拟得到的亮温在偏差订正前后的散点图。图3a—f为2015年7月8日00时的亮温情况,可以看出经过偏差订正之后(图3b、3e),根据模式背景场计算的亮温和观测亮温的关系所拟合的直线基本位于图的主对角线上,并且相较于偏差订正之前(图3a、3d),通过 CRTM 根据模式背景场计算得到的亮温值的分布变得更合理,偏差得到了很大程度的降低,说明偏差订正有很大的正效果。但是与观测亮温相比,用 CRTM 根据模式背景场计算得到的亮温仍存在一定的热偏差,这表明质量控制之后残余的云对辐射率的影响以及背景场还存在一定的偏差。使用变分方法进行最小化代价函数之后,由分析场计算得到的亮温(图3c、3f)明显纠正了热偏差,同时,平均值、标准偏差以及均方根误差都有所改进。三维变分分析场和观测场较好的吻合证明了对于原始观测值的预处理、质量控制以及基本的三维变分框架在总体上是有效的。同样,图3g—l为2015年7月10日06时的亮温情况,其中图3g、3j为偏差订正之前背景与观测亮温的关系,图3h、3k为偏差订正之后的情况,图3i、3l为经过同化处理之后,由分析场模拟的模式亮温与观测的关系。与以上对7月8日00时的分析相似,在同化之后达到最优的效果,对于其余平台及通道也是类似的结果,在此不多做分析。

### 4.2 同化试验分析场分析

同化增量场是由同化分析场减去背景场得到,通过增量场可以观察到分析场相较背景场的变化情况,也可以发现同化是否存在异常。为了探究同化对预报结果带来的影响,针对台风“灿鸿”在2015

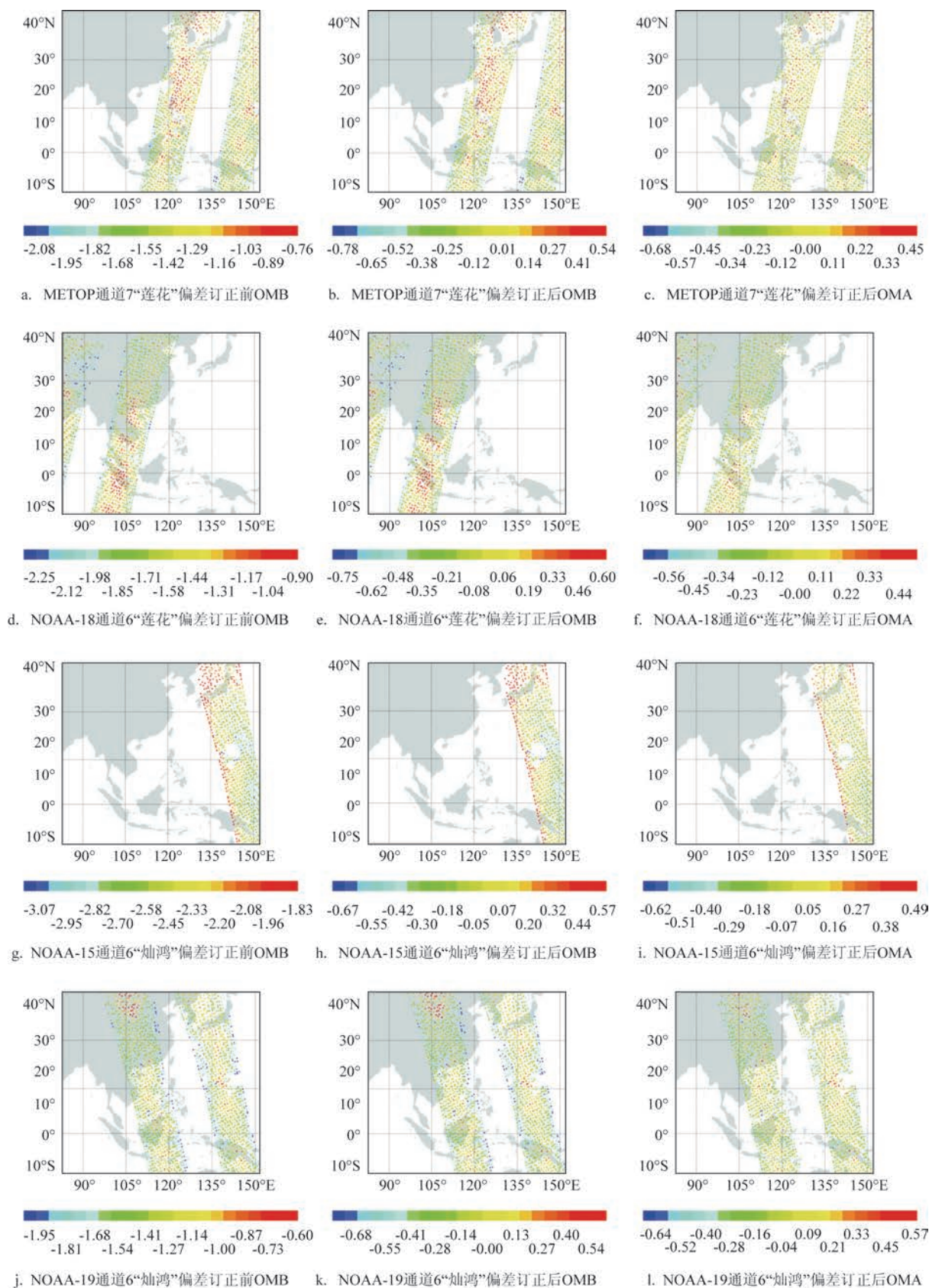


图2 不同平台及通道AMUS-A资料分布情况及偏差订正前的OMB与偏差订正后的OMB和OMA



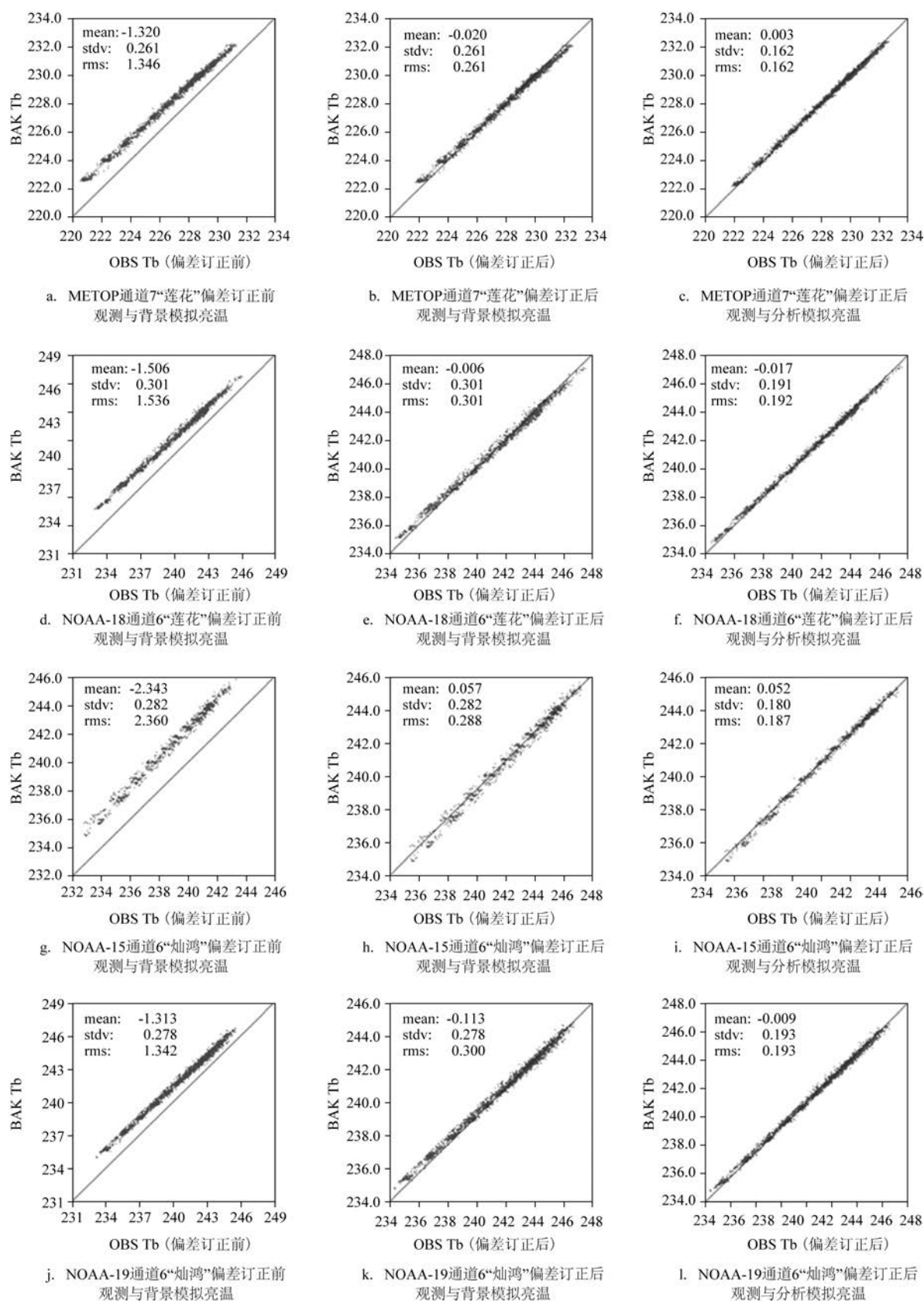


图3 不同平台及通道 AMSU-A 资料在偏差订正前后与 CRTM 计算亮温散点图

年7月10日06时的同化结果,分别对控制试验和同化试验的同化增量进行了研究分析:

图4为台风“灿鸿”在2015年7月10日06时700 hPa的风场增量情况,两组试验对于风场增量有比较大的差异,对于控制试验(见图4a),在观测位置的西北方向有一个明显的气旋环流,并且在中心位置附近有向西南方向的风场增量,在观测位置的东北方向有向东南方向的风场增量,同时南面有西北方向的风场增量。对于同化试验(见图4b),台风中心附近的西南向的风被纠正为东北向,且在观测位置的南面有大片的向东北方向的增量,同时在观测位置的东北面有一个明显的气旋环流,使得台风东侧区域有向东南方向的气流,相对于控制试验,这种环流形势有利于抑制台风路径向西的偏差。

图5为台风“灿鸿”在2015年7月10日06时600 hPa的相对湿度增量情况,从图中可以看出两试验的相对湿度的增量场有着非常明显的差别。控制试验(见图5a)对湿度场的调整并不大,台风所处位置为正增量区,且在西南方有相对较大的湿度正增量区,在台风北侧及东侧为大片负增量区,但总体来说,正负增量值都很小。相比而言,同化试验(见图5b),在资料覆盖区域相对湿度均有比较明显的变化,并且对台风主体也有一定的影响:在台风位置周围有一个明显的螺旋状的湿度正增量区,螺旋带的南北两侧为相对较小的正增量区,并且在台风位置的西北侧有一条正增量带,数值普遍较大,

且有一个最大的正增量中心,这与台风的移动位置相吻合。同时,在台风的东侧有大片的温度正增量区域,在这一正增量区域以东又有负增量区,并且正负增量区均有大值,这一增量场形式有利于抑制台风预报路径的偏移。与控制试验相比,同化试验所模拟的台风路径偏东,更接近台风实际路径,且这一形式与图4风场增量的情况相吻合。

图6为台风“灿鸿”在2015年7月10日06时500 hPa位势高度增量(阴影)与背景场的位势高度值(等值线)。对于控制试验(见图6a),在台风观测位置周围环境的增量特征是西南方向的位势高度有所减弱,东北方向位势高度增加,并且在试验区南部为大片位势高度增量区域。根据2015年7月10日06时观测资料的分布情况(见图2g—2l),发现在台风“灿鸿”发生期间,AMSU-A资料扫描带分布在台风主体的西侧与东侧,同化试验(见图6b)的增量表明,增量的分布特点与资料的分布情况具有一致性。台风所处位置的位势高度有所下降,其西面及西北面的位势高度的负增量均明显增大,试验区南部为大片位势高度增量区,且在东南方向也有一条狭长的位势高度增量场。这种位势高度的调整既有利于台风向西北方向移动,又能更好地抑制台风路径在预报过程中的偏移。说明AMSU-A资料的同化对台风环境场的调整起到了正效果,也对台风的预报起到了重要的作用。

#### 4.3 预报效果验证

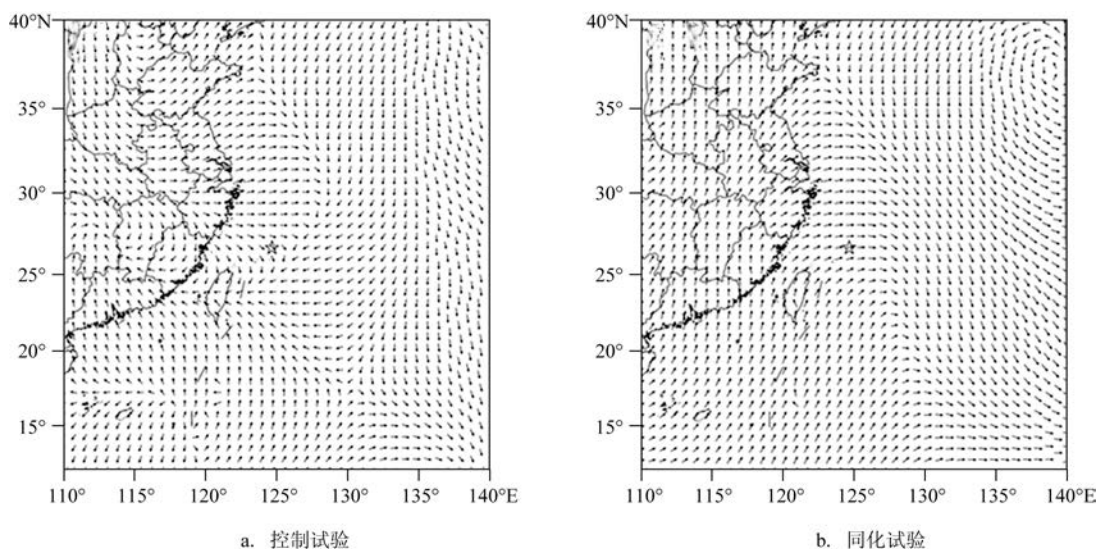


图4 2015年7月10日06时台风“灿鸿”700 hPa风场增量(★为台风中心位置)



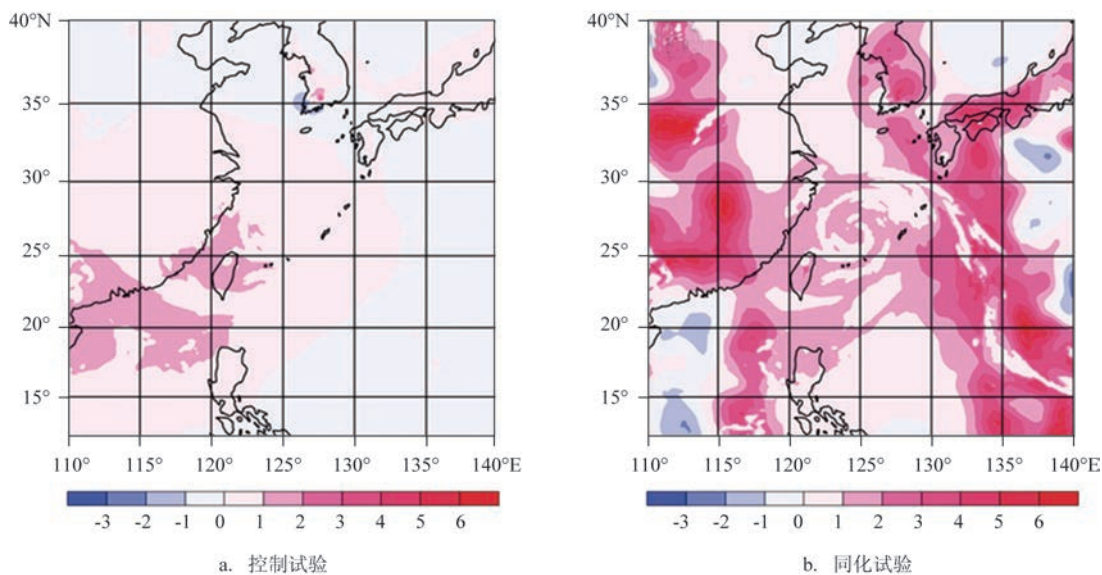


图5 2015年7月10日06时台风“灿鸿”600 hPa相对湿度增量

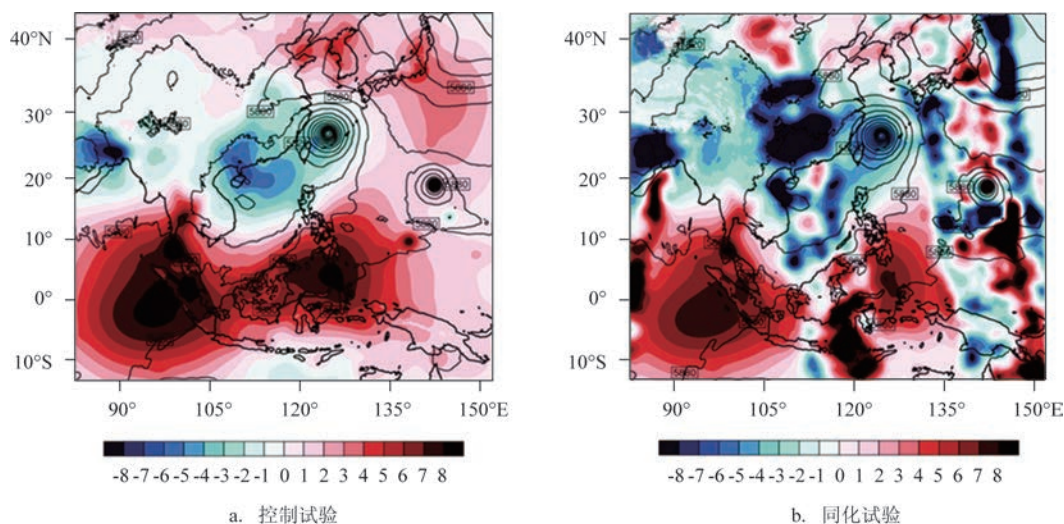


图6 2015年7月10日06时台风“灿鸿”500 hPa位势高度增量(阴影)与位势高度(等值线)

为了揭示同化对于路径与强度预报的影响,将中国台风网提供的台风最佳路径数据集资料作为参考标准,台风“莲花”以2015年7月8日00时的同化分析场作为初始场进行24 h预报,台风“灿鸿”以2015年7月10日06时的同化分析场作为初始场进行24 h预报进行对比分析。

图7给出了台风“莲花”与“灿鸿”的24 h路径预报及路径误差,其中台风“莲花”的移动路径(见图7a)显示在预报初始时刻,台风位置即较最佳路径明

显偏西,这是由于在加入AMSU-A资料进行变分同化之前,模式从7月7日18时—7月8日00时利用GFS资料进行“spin-up”所模拟的情况与真实情况存在较大的偏差,从图中可以发现,针对初始时刻路径偏西这一情况,控制试验预报并没有改进,前6 h的位置较最佳路径偏西,从预报12 h起至24 h,路径均比最佳路径偏北,同时可以看出控制试验所模拟的台风移动速度比最佳路径要快。而在加入卫星资料后,模式经过调整,同化试验将预报初始时刻



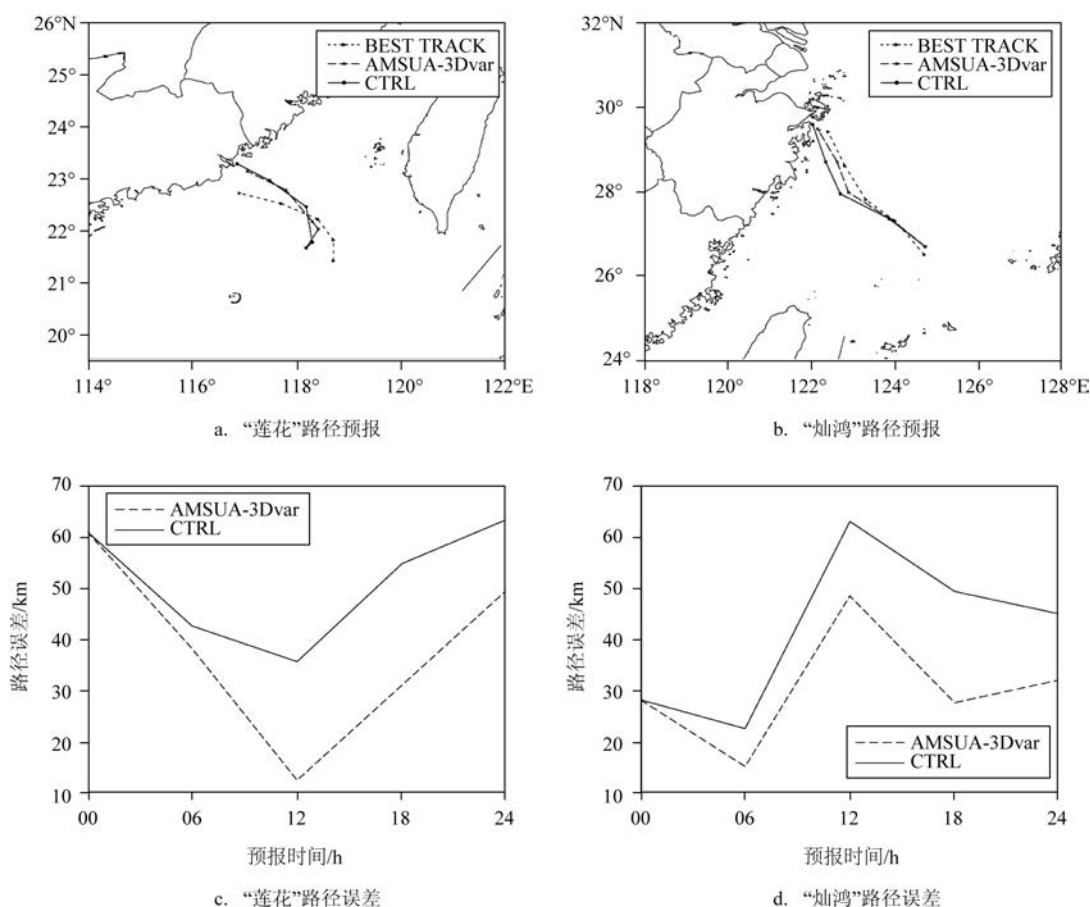


图7 台风“莲花”(初始时间为2015年7月8日00时)与“灿鸿”(初始时间为2015年7月10日06时)的24 h 路径预报及路径误差

明显偏西的路径向东调整,使其移动路径与实际情况更为接近,同时,相较于控制实验,同化试验明显控制了台风的移动速度。研究表明<sup>[15]</sup>,双台风在相距20个纬距之间可能发生间接影响,其主要作用是使得西台风东侧的副热带高压不会南落,有利于西台风向西的移动路径。从同化试验所模拟的2015年7月8日00时—7月9日00时500 hPa位势高度演变情况(见图8)可以发现,“灿鸿”与“莲花”两者纬距相近,双台风存在相互呈气旋性旋转效应。副热带高压随着时间的推移不断西伸,“灿鸿”的中心与588线之间的距离不足10个纬距,并且在两者之间有着较大的气压梯度,副热带高压南侧的偏东风引导台风向西南方向移动,在此期间,“莲花”也向偏西方向移动。对于台风“灿鸿”的路径预报(见图7b)显示控制试验在预报初始时刻较最佳路径偏东,从6 h预报开始路径都较最佳路径偏西北。加

入卫星资料进行同化之后,同样具有相似的方向误差,但是明显可以看出,同化试验订正了控制试验西北方向的偏差,使得预报路径与最佳路径更为吻合,这也与上面分析风场、相对湿度、位势高度等增量场的结果相匹配。

从“莲花”的路径误差(见图7c)可以看出,同化试验比控制试验的路径误差要小得多。控制试验前12 h的路径误差随着时间逐步降低,在预报12 h有最低误差35.34 km,随后的12 h误差逐渐增大。同化试验的误差始终比控制试验要小,在前12 h误差逐渐减小至最小值12.19 km,此时同化试验较控制试验多改进了23.15 km,之后路径误差逐渐增大,但还是优于控制试验。对于台风“灿鸿”(见图7d),两种试验路径误差的变化趋势都是先减小后增大再减小,其中控制试验在预报6 h时刻有最小的路径误差14.68 km,随后误差逐渐增大至预报12 h有

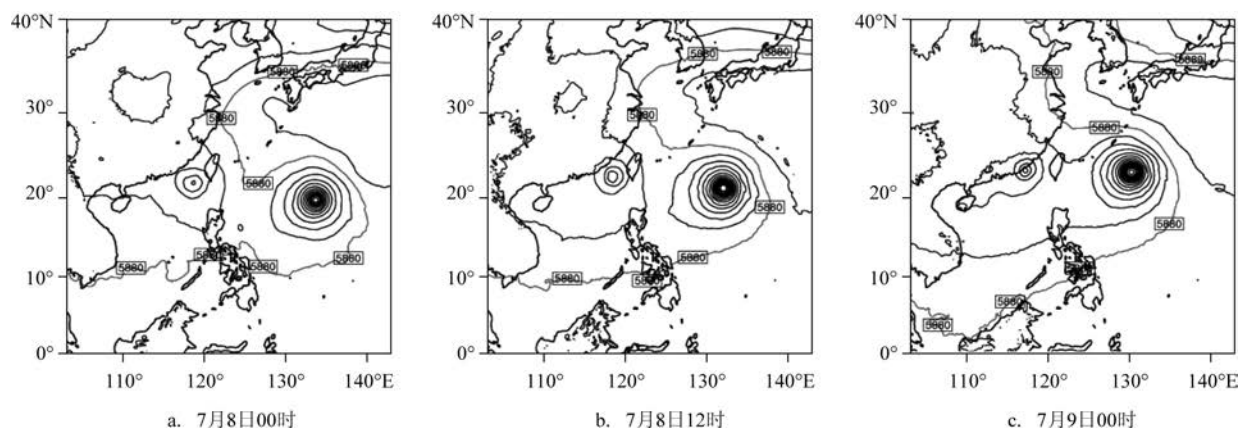


图8 2015年7月8日00时—7月9日00时500 hPa位势高度演变

最大路径误差61.52 km;相比之下,同化试验对路径的改进是显而易见的,同化试验预报6 h有最低的路径误差6.13 km,之后误差逐渐增大至预报12 h有最大路径误差为44.68 km,此时同化试验较控制试验多改进16.84 km,之后路径误差又有很明显的下降,整个预报过程同化试验的路径误差都要低于控制试验。总的来说,同化试验均产生了更好的路径预报。

图9为台风“莲花”与“灿鸿”的24 h强度预报及强度误差,可以看出两组试验模拟的“莲花”(见图9a)与“灿鸿”(见图9b)的强度均偏弱。对于台风“莲花”的强度误差(见图9c),两组试验的前12 h误差基本相同,并没有很明显的改进,预报12 h之后,同化试验的误差略小于控制试验,从预报18 h开始两组试验误差的差距开始变大,预报24 h时刻同化试验相比控制试验多改进2.64 hPa。对于台风“灿鸿”(见图9d),同化试验在预报起始时刻有误差最大值为11.05 hPa,接着误差随时间的推移而逐步减小,在预报12 h后有误差最小值为5.27 hPa,之后误差的变化特点为先增大后减小。总的说来,同化试验均略优于控制实验。但是对于两个台风,同化AMSU-A资料的同化试验相比与控制试验来说,对于强度的改进均不明显,这与Xu等<sup>[11]</sup>,Choi等<sup>[12]</sup>,杨引明等<sup>[16]</sup>,张晓辉等<sup>[17]</sup>得出的结果一致。AMSU-A为微波资料,同化该资料主要改善环境场,对于台风的内部结构的影响不是很大。台风路径与环境场密切相关,所以对于路径的改进比较明显,而台风强度主要与台风内部结构有关,因此同化AMUS-

A资料对强度的改进比较小。

台风登陆前后的降水预报对于内陆洪水等灾害有着十分重要的影响。台风“灿鸿”的降水主要影响的陆地区域为江苏、上海与浙江,图10给出了2015年7月10日18时—7月11日06时台风“灿鸿”在江苏、上海、浙江的12 h累计降水量。其中观测降水(见图10a)所用的资料为“中国自动站与CMORPH融合的逐小时降水量0.1°网格数据集”,该数据集所使用的资料来源为卫星和地面,其中卫星资料利用的是由美国环境预测中心开发的实时卫星反演CMORPH降水产品,地面观测降水资料来自全国三万多个自动观测站的逐小时降水。本文将该小时降水量融合产品累加得到了12 h累计观测降水量。由观测降水发现,浙江省受台风降水影响最大,其东部地区累计降水量最高达到大暴雨级别(>70 mm),在上海市东南部降水等级为暴雨级别(>30 mm),江苏省南部地区也受到台风降水影响,降水量普遍约在23 mm以下。控制试验(见图10b)对降雨落区的预报比较准确,同时对浙江省的模拟情况与实际观测较为一致,但是普遍高估了上海市以及江苏省东南部沿海地区的12 h累计降水情况,尤其是对于上海地区,降水更是达到了大暴雨级别(>30 mm)。从同化试验(见图10c)模拟的12 h累计降水量可以发现,浙江省地区模拟降水情况与实际观测大致相同,但是相较于控制试验,其对于上海地区以及江苏省东南部沿海地区累计降水量的模拟要更接近实际观测。图11为针对这3个地区的控制试验与同化试验所模拟的不同降水

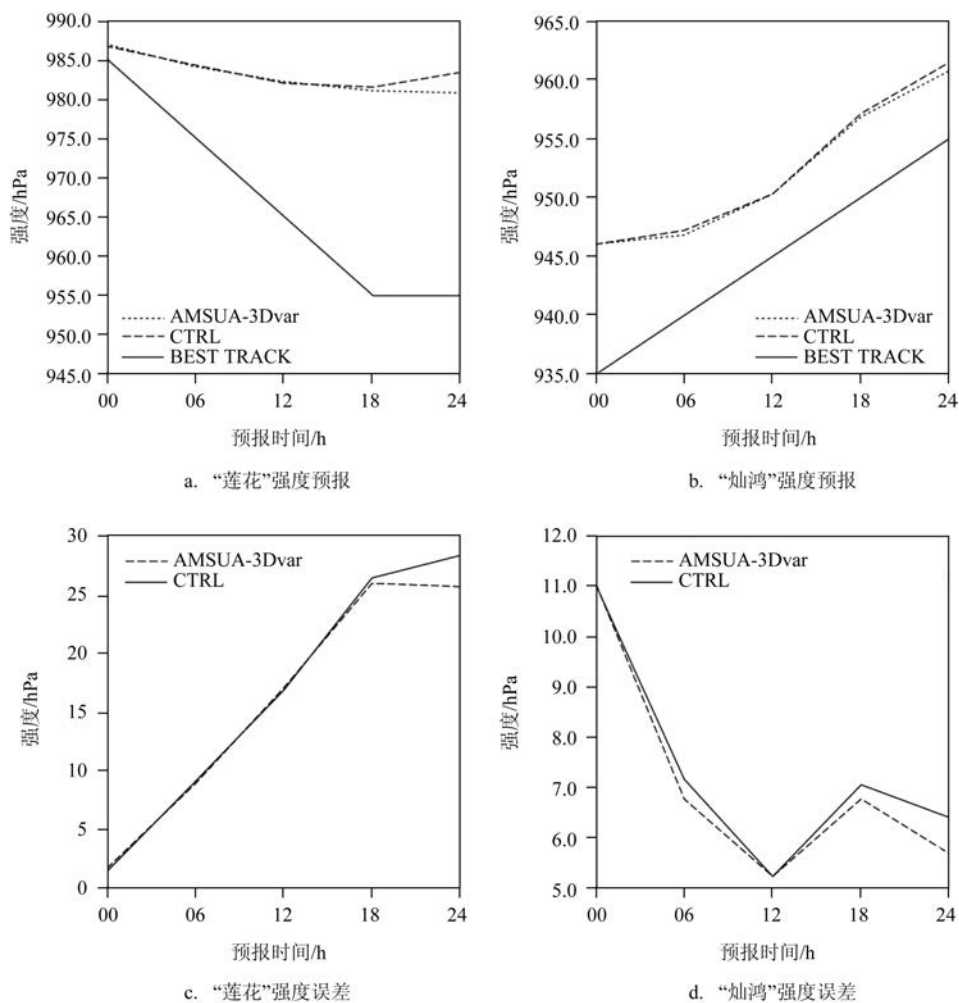


图9 台风“莲花”(初始时间为2015年7月8日00时)与“灿鸿”(初始时间为2015年7月8日00时)的24 h强度预报及强度误差

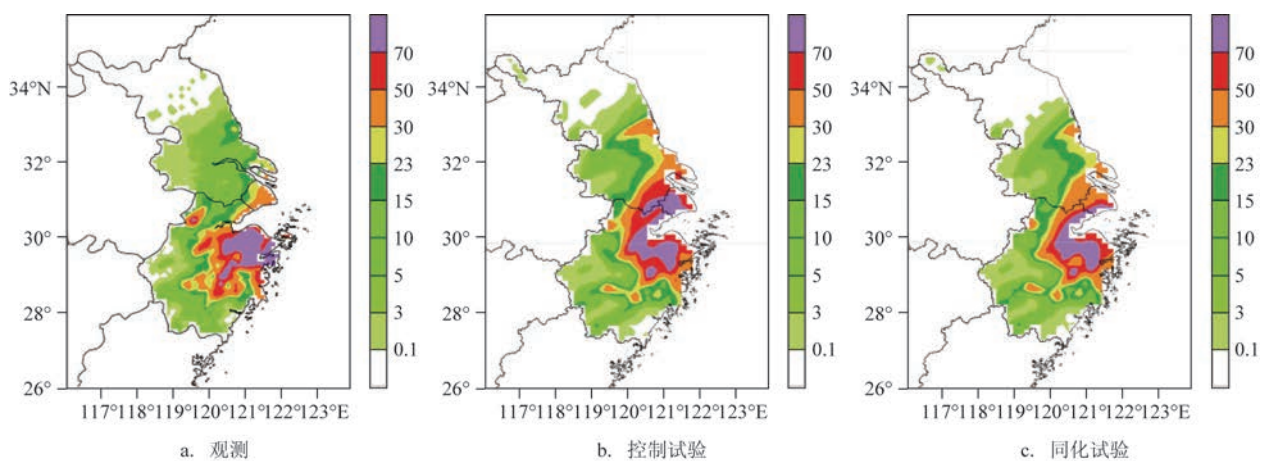


图10 2015年7月10日18时—7月11日06时台风“灿鸿”在江苏、上海、浙江的12 h累计降水量(单位:mm)



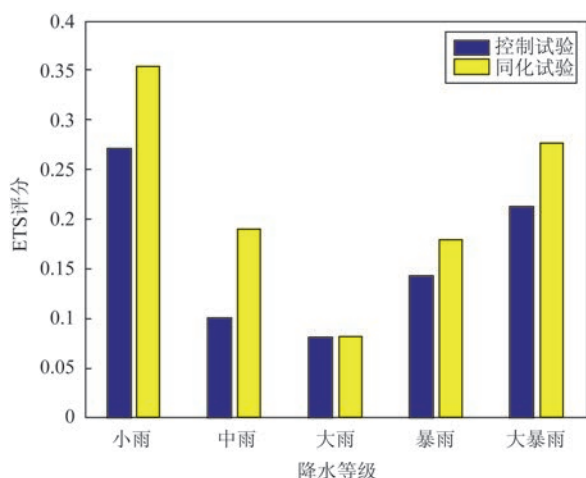


图 11 2015 年 7 月 10 日 18 时—7 月 11 日 06 时台风“灿鸿”在江苏、上海、浙江的 12 h 累计降水量对于不同降水等级的 ETS 评分

等级的 ETS 降水评分情况,发现同化试验所模拟的不同等级的降水情况都要优于控制试验,说明同化 AMSU-A 资料对于台风降水情况也有积极的作用。

## 5 结论

为了探究直接同化辐射率资料对于台风的影响,本文利用 WRF 模式以及 WRFDA-3Dvar 系统,基于 2015 年的一次双台风“灿鸿”和“莲花”,利用 AMSU-A 的资料,进行了同化和预报试验,综合分析了试验的同化增量、台风强度、路径与降水等情况,主要得到以下结论:

(1) 经过偏差订正处理,观测算子利用模式背景场计算得到的亮温与观测亮温的关系更合理,偏差得到了一定的降低。在经过三维变分同化之后,利用同化分析场计算得到的亮温更接近观测,平均值、标准偏差、均方根误差均有降低,表明对于原始观测值的预处理、质量控制以及基本的三维变分框架在总体上是有效的;

(2) 同化 AMSU-A 资料对于风场有积极的调整作用,风场增量能更有效的抑制路径的偏移,对于模式初始场改进的效果要优于仅同化常规资料的控制试验;

(3) 同化 AMSU-A 对湿度场有所改进,更加合理的反应了环境场的结构,而仅同化常规观测资料对于湿度场的改进效果并不明显;

(4) AMSU-A 资料对于位势高度的改进十分显著,其增量场与风场、湿度场的增量场有着一致的特点,相比常规资料,AMSU-A 的资料虽然对于台风强度的改进不是很明显,但是对于模式初始场的调整却表现的十分合理;

(5) 利用三维变分同化 AMSU-A 的试验对于台风路径预报的改进起了十分重要的作用,台风“灿鸿”以及台风“莲花”的路径均有改进效果,而仅同化常规观测资料对台风路径的改进相比同化试验较小;

(6) 对于降水情况,针对受影响较重的浙江、上海及江苏地区,同化 AMSU-A 资料对于不同降水等级的预报的 ETS 评分均高于控制实验,对于陆地的降水预报有着更优的效果;

(7) 本文主要利用三维变分方法对台风进行同化和预报,重点研究同化对于预报效果的影响,对于台风间相互作用的机理未作过多讨论。利用不同方法进行同化以及对机理的分析将在后续研究中展开。

## 参考文献:

- [1] 胡娅敏, 宋丽莉, 刘爱君, 等. 近 58 年登陆我国热带气旋的气候特征分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(5): 115-121.
- [2] Rappaport E N, Franklin J L, Avila L A, et al. Advances and challenges at the national hurricane center[J]. Weather and Forecasting, 2009, 24(2): 395-419.
- [3] Jarrell J D, Brand S, Nicklin D S. An analysis of western north pacific tropical cyclone forecast errors[J]. Monthly Weather Review, 1978, 106(7): 925-937.
- [4] McNally A P, Derber J C, Wu W, et al. The use of TOVS level-1b radiances in the NCEP SSI analysis system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2010, 126(563): 689-724.
- [5] Zapotocny T H, Jung J A, Le Marshall J F, et al. A two-season impact study of four satellite data types and rawinsonde data in the NCEP global data assimilation system[J]. Weather and Forecasting, 2008, 23(1): 80-100.
- [6] Xu D M, Liu Z Q, Huang X Y, et al. Impact of assimilating IASI radiance observations on forecasts of two tropical cyclones[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2013, 122(1-2): 1-18.
- [7] Schwartz C S, Liu Z Q, Chen Y S, et al. Impact of assimilating microwave radiances with a limited-area ensemble data assimilation system on forecasts of typhoon morakot[J]. Weather and Forecasting, 2012, 27(2): 424-437.
- [8] Newman K M, Schwartz C S, Liu Z Q, et al. Evaluating forecast impact of assimilating microwave humidity sounder (MHS) Radiances with a regional ensemble Kalman filter data assimilation

- system[J]. Weather and Forecasting, 2015, 30(4): 964-983.
- [9] Bormann N, Fouilloux A, Bell W. Evaluation and assimilation of ATMS data in the ECMWF system[J]. Journal of Geophysical Rese-arch: Atmospheres, 2013, 118(23): 12970-12980.
- [10] Liu Z Q, Schwartz C S, Snyder C, et al. Impact of assimilating AMSU-A radiances on forecasts of 2008 Atlantic tropical cyclones initialized with a limited-area ensemble Kalman filter[J]. Monthly Weather Review, 2012, 140(12): 4017-4034.
- [11] Xu D M, Min J Z, Shen F F, et al. Assimilation of MWHS radiance data from the FY-3B satellite with the WRF Hybrid-3DVAR system for the forecasting of binary typhoons[J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2016, 8(2): 1014-1028.
- [12] Choi Y, Cha D H, Lee M I, et al. Satellite radiance data assimilation for binary tropical cyclone cases over the western North Pacific[J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2017, 9(2): 832-853.
- [13] 邱红, 方翔, 谷松岩, 等. 利用 AMSU 分析热带气旋结构特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(6): 810-820.
- [14] Jang W, Chun H Y. Characteristics of binary tropical cyclones observed in the western North Pacific for 62 years (1951-2012) [J]. Monthly Weather Review, 2015, 143(5): 1749-1761.
- [15] 林新彬, 刘爱鸣, 刘毅, 等. 福建省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2013.
- [16] 杨引明, 杜明斌, 张洁. FY-3A 微波资料在“莫拉克”台风预报中的同化试验[J]. 热带气象学报, 2012, 28(1): 23-30.
- [17] 张晓辉, 王云峰, 韩月琪, 等. 基于 AMSU-A 的连续循环同化在台风“海葵”模拟中的应用研究[C]//第 30 届中国气象学会年会论文集. 南京: 中国气象学会, 2013.

## Influence of assimilating AMSU-A Microwave Data on binary typhoon forecast using variational method

QIAN Zhi-ying<sup>1,2</sup>, BAO Yan-song<sup>1,2</sup>, SHEN Fei-fei<sup>1,2</sup>, ZHANG Ming-yang<sup>3</sup>, TANG Wei-yao<sup>1,2</sup>

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Joint Laboratory of Meteorological Environment Satellite Engineering and Application, Nanjing 210044 China; 2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044 China; 3. College of Meteorology and Oceanography, Nanjing 211101 China)

**Abstract:** This paper investigate the influence of assimilating AMSU-A microwave radiance data on the numerical prediction of binary typhoon “Chanhom” and “Linfa” occurred in the northwestern Pacific in 2015 using the WRF-3Dvar system. The results show that, compared to assimilating conventional data, the initial condition of the numerical model can be more significantly improved by assimilating the AMSU-A microwave radiance data, which is a promising supplement to the limited amount of typhoon observation data on the sea surface.. The model shows more reasonable circulation patter and the typhoon track and intensity is improved when the data assimilation is applied. Meanwhile, the precipitation intensity and the falling area get more accurate.

**Key words:** binary typhoons; microwave radiance data; three-dimensional variational assimilation