

文章编号: 2096-1618(2024)01-0072-09

# 同化风云四号 A 星大气运动矢量产品 对台风预报的影响研究

官培根, 陈科艺

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**大气运动矢量(AMVs)又称为云导风或云迹风,对全球的数值天气预报有积极的影响。风云四号系列卫星作为中国新一代静止轨道气象卫星,其功能和性能比第一代卫星有大幅提升。为研究风云四号卫星云导风产品同化对台风预报的影响,同时对比新旧两代风云系列静止卫星反演产品之间的差异,分别对风云二号 G 星和风云四号 A 星的大气运动矢量反演产品进行数据质量评估和同化预报实验。研究结果表明,风云四号 A 星的云导风数据质量略优于风云二号 G 星,同化两颗卫星大气运动矢量产品均对台风预报具有正面的影响,同时同化两颗静止卫星的大气运动矢量产品可以带来更多的积极影响,这一结果对 AMVs 的后续应用是相当鼓舞人心的。

**关键词:**大气运动矢量;资料同化;风云四号;风云二号

中图分类号:P457.8

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcu.2024.01.012

## 0 引言

20 世纪 70 年代,中国开始研发气象卫星,截至 2021 年底共发射 19 颗气象卫星,是继美国、俄罗斯之后第三个同时拥有极轨气象卫星和静止气象卫星的国家。风云四号气象卫星是中国的第二代静止气象卫星,2016 年 12 月 17 日定点于 99.5°E 赤道上空并正式命名为风云四号 A 星(FY4A)。2017 年 9 月 25 日, FY4A 漂移至 105°E 上空,并正式交付用户投入业务应用。与第一代风云二号系列卫星相比, FY4A 主要的亮点表现在实现了静止轨道上的三维大气廓线探测、高时空分辨率、高频次观测和闪电的时空分布探测。与国际同类卫星相比,风云四号 A 星有着与国际水平相当的 14 个成像通道的多通道扫描成像辐射计(AGRI)。FY4A 是世界上首颗实现静止轨道成像观测与红外高光谱大气垂直探测并行的气象卫星<sup>[1]</sup>。

风云四号 A 星作为风云系列卫星的新成员,引起国内外很多学者的关注和研究。张鹏等<sup>[2]</sup>分别从综合探测能力、仪器观测能力、量化应用水平和数据服务能力 4 个方面对风云四号 A 星与日本的 Himawari-8/9 卫星进行对比,发现二者各有优劣。Hansen 等<sup>[3]</sup>发现 AGRI 新增的观测通道为监测大气气溶胶、沙尘/火山灰、云相态和火点等提供了全新的观测支持。

Shao 等<sup>[4]</sup>将 FY4A 卫星数据运用到洪水灾害监测上,发现 FY4A 数据对洪水实时监测具有重要意义。Hu 等<sup>[5]</sup>通过对比分析 FY4A 和 Himawari-8 对 PM<sub>2.5</sub> 的监测情况发现, FY4A 凭借其覆盖范围广、估算精度高的优势,对中国地区 PM<sub>2.5</sub> 浓度的估算有比 Himawari-8 更好的适用性。已有研究表明,风云四号系列卫星的资料能够在多个研究方向上应用,因此对于风云四号系列卫星产品的研究具有十分重要的意义。

大气运动矢量(AMVs)为风云系列卫星的反演产品之一,是通过追踪连续观测的多张卫星红外云图和水汽云图上的特征点,反演得到不同高度上的水平风矢量场,从而得到大气环流的刻画<sup>[6]</sup>。近年来,不少国内外学者对风云系列卫星的 AMVs 进行了研究和应用。Mecikalski 等<sup>[7]</sup>、Bedka 等<sup>[8]</sup>、Mecikalski 等<sup>[9]</sup>对 MAMVs(中尺度大气运动风矢量)进行评估,认为可以利用 MAMVs 研究对流产生机制。Velden 等<sup>[10]</sup>通过将 AMVs 与传统风场探测资料进行对比分析,发现高度匹配(指定)是 AMVs 高度不确定的主要原因。Salonen 等<sup>[11]</sup>对 AMVs 资料的高度匹配误差进行对比分析,发现气压差异并不依赖数据的同化系统。刘瑞等<sup>[12]</sup>利用 WRF-3DVAR 同化系统同化 FY2C 红外和水汽两个通道反演的 AMVs 产品,发现合理选择 AMVs 资料加入模式有利于补充模式初始场中未包含的中尺度信息,从而提高模式的预报能力。万晓敏等<sup>[13]</sup>利用 GRAPES 数值模式,同化 2014 年 FY2E 气象卫星云导风产品反演算法改进前后的 AMVs 资料,对比分

收稿日期:2023-01-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41875039)地球系统数值模拟装置资助项目(2022-EL-PT-00052)

通信作者:陈科艺. E-mail:ckydt@aliyun.com

析两者的观测分布及偏差特征,发现改进算法后的 FY2E 红外通道云导风对 GRAPES 数值模式同化和预报有一定的改善。Liang 等<sup>[14]</sup>同化了 FY2G 和 Himawari-8 红外通道和水汽通道的 AMVs 资料,发现同化 AMVs 资料能有效改善预报的初始场,提高西太平洋台风路径和强度预报准确率。

AMVs 产品作为静止卫星间接观测资料,可以为数值天气预报模式的同化系统提供重要的高中低层的风场信息,但是对比风云两代静止气象卫星 AMVs 反演产品的同化及预报影响的研究并不多,因此本文将着眼于此,对风云两代静止气象卫星的 AMVs 产品进行质量评估和同化及台风预报影响的对比研究。

## 1 数据和方法

### 1.1 WRFDA-3DVAR 同化系统

本文使用 WRF (weather research and forecasting model) 模式和 WRFDA (weather research and forecasting model data assimilation system) 同化系统中的三维变分 (3DVAR) 方法进行研究,可以同化大部分的常规观测资料和部分非常规观测资料<sup>[15]</sup>,其代价函数为

$$J(x) = 1/2[(x-x^b)^T B^{-1}(x-x^b) + (y-H[x])^T R^{-1}(y-H[x])]$$

其中  $x$  代表大气中的风矢,  $x^b$  代表背景场的风矢,  $H$  代表将模型变量映射到观测空间的非线性观测算子,  $y$  为观测风矢。  $B$  和  $R$  分别表示背景误差协方差矩阵和观测误差协方差矩阵。

### 1.2 风云系列静止气象卫星 AMVs 数据集

使用的 AMVs 数据来自中国国家卫星气象中心 (NSMC) 提供的风云静止卫星 FY4A (第二代) 和 FY2G (第一代) 的红外和水汽通道云图反演的大气运动矢量产品。FY2G 有两个通道云图用以反演 AMVs 产品,分别是红外通道 (10.3 ~ 11.3  $\mu\text{m}$ ) 和水汽通道 (6.3 ~ 7.6  $\mu\text{m}$ ), 时间分辨率为 6 h (0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC, 1800UTC), 水平分辨率为 110 km。FY4A 则有 3 个通道云图用以反演 AMVs, 分别为红外通道 (10.3 ~ 11.3  $\mu\text{m}$ ) 和 2 个水汽通道 (6.9 ~ 7.3  $\mu\text{m}$  和 5.8 ~ 6.7  $\mu\text{m}$ ), 数据的时间分辨率为 3 h (0000 UTC, 0300 UTC, 0600 UTC, 0900 UTC, 1200 UTC, 1500 UTC, 1800UTC, 2100 UTC), 水平分辨率为 64 km。AMVs 数据集里每一个风矢都包含经纬度信

息、高度、U 分量、V 分量、风速、风向和质量标记 QI, QI 值介于 0 ~ 100, 一般来说 QI 值越大, 该风矢的误差越小。两颗气象卫星的具体参数如表 1 所示, 各自的观测区域如图 1 所示, 红色选框为 FY2G 的观测区域, 黄色选框为 FY4A 的观测区域, 绿色方框为本文所研究的两颗卫星的观测重叠区域。

表 1 静止卫星 FY2G 和 FY4A 反演 AMVs 的资料通道参数

卫星名称	红外通道/ $\mu\text{m}$	水汽通道/ $\mu\text{m}$	观测范围	星下点
FY2G	10.3 ~ 11.3	6.3 ~ 7.6	55°E ~ 155°E 50°S ~ 50°N	99.5°E
FY4A	10.3 ~ 11.3	6.9 ~ 7.3 5.8 ~ 6.7	40°E ~ 170°E 65°S ~ 65°N	105°E

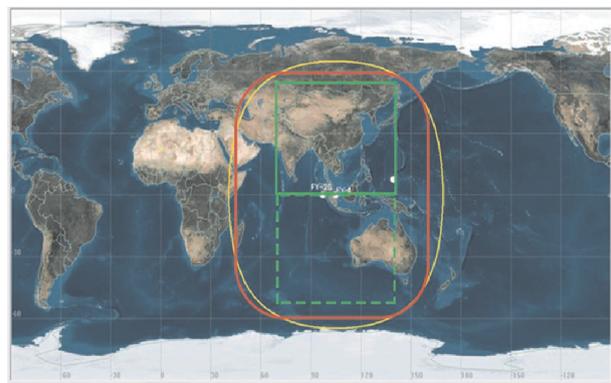


图 1 静止卫星 FY2G 和 FY4A 的观测区域图 (红色选框为 FY2G 的观测区域, 黄色选框为 FY4A 的观测区域, 绿色选框为质量评估区域, 实线为北半球选区, 虚线为南半球选区)

### 1.3 再分析数据

分析数据来自 NCEP/NCAR (美国国家环境预测中心和美国国家大气研究中心) 提供的 FNL 全球再分析资料, 数据的时间分辨率为 6 h (0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC, 1800UTC), 空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , 垂直方向为 1000 ~ 10 hPa, 共 26 层。FNL 再分析数据来自全球数据同化系统 (GDAS), 该系统收集了如反演产品、雷达等多种观测数据, 包括地面气压、海平面气压、位势高度、温度、海面温度、相对湿度、风矢量、垂直运动、涡度等, 且该资料并不包含风云系列静止卫星 AMVs 信息, 因此利用其为本研究的模式驱动场。欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 的 ERA-5 (1950 年至今) 全球再分析数据被用作验证两代风云地球同步卫星的 AMVs 数据质量的独立参考数据。本研究选择的 ERA-5 数据时间分辨率同样为 6 h (0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC, 1800UTC), 空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , 垂直高度为 1000 ~ 1 hPa。

## 1.4 台风路径强度资料

台风最佳路径和强度数据来自中国气象局热带气旋中心(CMA)提供的台风最佳路径资料,该数据集提供1949年以来年西北太平洋(含南海,赤道以北,180 °E以西)海域热带气旋每6 h的位置和强度,该数据在本研究中被用于评估台风预报的路径和强度预报准确性。

## 2 AMVs 数据集评估

与 Liang 等<sup>[14]</sup>的研究结果类似,来自两代风云系列静止气象卫星所有通道的 AMVs 都主要分布在大气中上层(100 ~ 400 hPa),且  $QI > 80$  的数据均占多数(图略)。图2分别展示了2020年8月1日至10月30日,来自这两颗卫星 AMVs 数据的偏差(BIAS)和均方根误差(RMSE)的垂直廓线(以红外通道反演的 AMVs 数据分析结果为例,水汽通道评估结果与红外通道类似),评

估区域为图1中的绿色方框区域,参考数据为ERA-5全球再分析数据。为避免存在南北半球的季节差异,所有关于BIAS和RMSE的对比都来自两颗卫星同一个半球的AMVs数据。

如图2(a)所示,由FY2G反演的AMVs中 $QI > 80$ 的风矢由于其更小和更稳定的RMSE垂直分布,证明其较小 $QI$ 值风矢质量更好。而由FY4A反演的不同 $QI$ 值的AMVs的RMSE从低层到高层都具有较为相当的质量(图2b)。虽然在200 hPa以上和475 hPa以下的FY4A AMVs中,低 $QI$ 值的AMVs看起来比 $QI > 80$ 的AMVs有更小的RMSE(图2c),但从BIAS的比较中可以看到 $QI > 80$ 的AMVs在所有高度层中有最小的偏差分布(图2d)。相比之下, $QI > 80$ 的AMVs中,由FY2G反演的AMVs偏差较大,偏差范围在 $-7 \sim 4$  m/s。由这两颗卫星水汽通道云图所反演的AMVs和所研究的南半球地区评估结果中也得到了相似的结果,表明由FY4A所反演的AMVs数据的总体质量优于FY2G AMVs。

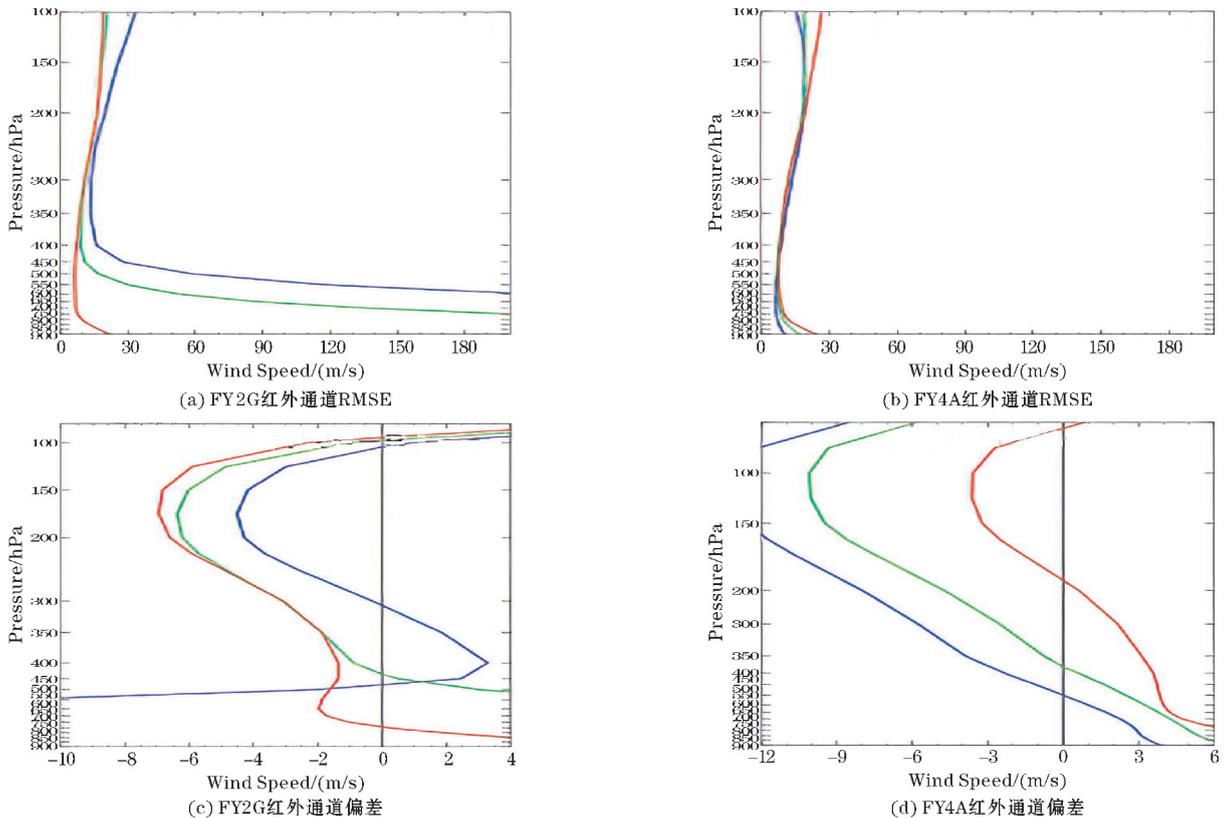


图2 两颗卫星红外通道云图所反演的AMVs北半球RMSE和偏差垂直分布情况  
(红线代表 $QI > 80$ 的AMVs,蓝线代表 $70 \leq QI \leq 80$ 的AMVs,绿线代表 $QI \leq 70$ 的AMVs)

图3为2020年8月1日至10月31日由两颗卫星红外通道云图所反演的不同高度层的AMVs均方根误差(RMSE)的时间序列分布图。与之前的结果相似,由FY4A反演的不同 $QI$ 值的AMVs随着时间推移,

RMSE的变化较为相当,说明不同 $QI$ 值数据质量基本相当。与由FY2G反演的AMVs产品相比,FY4A AMVs数据在同时期有比FY2G AMVs更小的RMSE。而对于由FY2G反演的AMVs来说,只有 $QI > 80$ 的数据

才具有较为可靠的质量。这也进一步说明由 FY4A 反演的 AMVs 产品有比上一代风云系列静止气象卫星更

加优质可靠的数据质量。

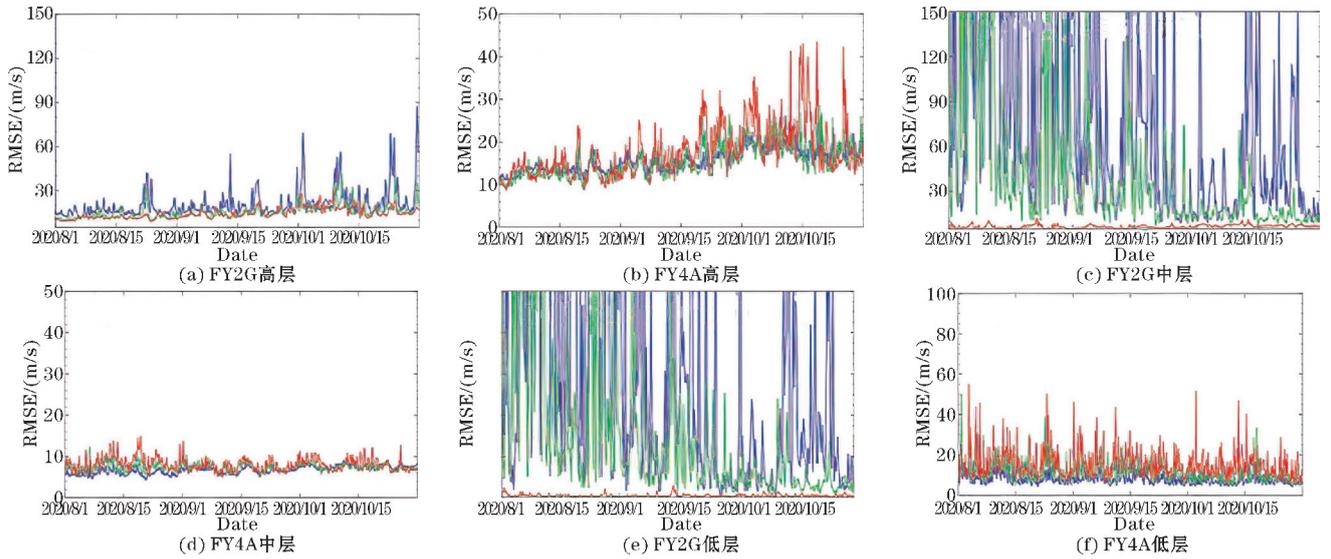


图 3 由 FY2G 红外通道云图反演的 AMVs 在不同高度层的 RMSE 时间序列图

针对 AMVs 产品的数据特征,本研究参考 Liang 等<sup>[14]</sup>的云导风数据处理过程,对原始 AMVs 数据分别进行高度订正、质量控制、观测误差赋值、通道合并、稀疏化等一系列质量控制及预处理过程。

由于 WRFDA-3DVAR 同化系统要求进入同化系统的数据是无偏的(即具有高斯分布特征),图 4 展示了 2020 年 7 月 22 日 12 时(世界时,下同)经过质量控制及预处理之后由 FY2G 和 FY4A 红外通道云图反演

的 AMVs 数据观测背景误差(OMB)的概率密度函数分布(PDF)情况(由水汽通道云图反演的 AMVs 结果类似,图略)。毫无疑问,两颗卫星反演的 AMVs 都满足同化要求,且 FY4A AMVs 的 PDF 分布较 FY2G AMVs 的更加无偏,正态分布更窄。且合并两颗卫星反演的 AMVs 数据依然可以满足 3DVAR 所需的无偏要求,以上结果保证了同化试验的顺利进行。

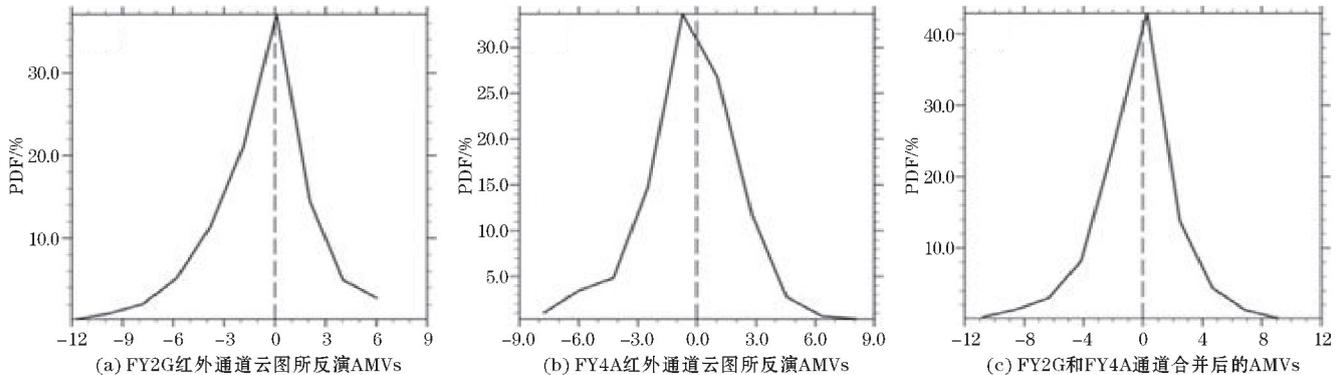


图 4 经质量控制和预处理后不同通道云图反演的 AMVs 观测背景误差 OMB 概率密度函数分布图

### 3 AMVs 数据同化及预报影响

#### 3.1 超强台风“海神”介绍

本次研究选择台风“海神”作为同化试验个例,研究同化两代风云静止气象卫星反演的 AMVs 产品对台风预报的影响。台风“海神”是发生在 2020 年太平洋上的第 10 号台风,台风路径以向北为主(图 5)。台风

“海神”最初为处于小笠原近海的热带低压,中央气象台于 2020 年 8 月 31 日 21 时将其定级为热带风暴,并命名为“海神”;9 月 2 日 08 时至 4 日 05 时,台风“海神”快速发展加强,逐渐升级为强台风和超强台风。9 月 7 日 07 时前后,台风“海神”在韩国庆尚南道沿海登陆,之后继续北上,于 9 月 8 日 3 时移入中国吉林省和龙市境内,给沿途地区带来了灾难性的影响,造成日本 2 人死亡、4 人失踪、逾百人受伤;同时造成韩国 2 人失踪、5 人受伤、100 余人受灾;对延吉市带来的直接

经济损失共计约3411万元。

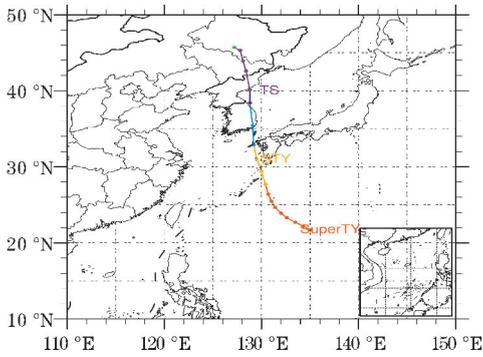


图5 2020年9月4日00时(UTC)至8日12时(UTC),台风“海神”CMA最佳路径图(时间间隔:6 h;TD:热带低压 TS:热带风暴 STS:强热带风暴 TY:台风 STY:强台风 SuperTY:超强台风)

### 3.2 同化实验设置

为比较同化两代风云静止气象卫星反演的AMVs数据对超强台风“海神”的同化及预报影响,本研究一共设置9组实验,包含1组控制实验和8组循环同化实验,控制实验作为对照实验,不同化任何观测资料,其余8组循环同化实验分别同化由FY2G和FY4A红外、水汽通道云图反演的AMVs数据,实验设置如表2所示。FY2G-IR、FY2G-IR+WV、FY2G+FY4A等作为实验组名称,分别表示同化由FY2G卫星红外通道云图反演的AMVs数据,同化由FY2G卫星红外和水汽两个通道云图反演的AMVs以及同化FY2G和FY4A两颗静止气象卫星所有通道云图反演的AMVs,其余实验组名称设定同理。

表2 同化实验设置表

实验组	名称	实验设置
控制实验	CONT	不同化任何AMVs资料
循环同化实验	FY2G-IR	同化处理后的FY2G红外通道AMVs资料
	FY2G-WV	同化处理后的FY2G水汽通道AMVs资料
	FY2G-IR+WV	同化处理后的FY2G红外通道+水汽通道AMVs资料
	FY4A-IR	同化处理后的FY4A红外通道AMVs资料
	FY4A-WV1	同化处理后的FY4A高层水汽通道AMVs资料
	FY4A-WV2	同化处理后的FY4A低层水汽通道AMVs资料
	FY4A-IR+WV	同化处理后的FY4A红外通道+两个水汽通道AMVs资料
	FY2G+FY4A	同化处理后的FY2G+FY4A所有通道AMVs资料

实验模拟时间均从2020年9月3日00时(台风加强为超强台风)开始,到8日12时(台风登陆后强度减弱)结束,模拟区域中心为(30°N,130°E),网格数是300×300,模式水平分辨率设为15 km,时间积分步长为60 s,垂直方向为40层,模式顶为10 hPa。

模拟前12 h作为模式调整时间(spin up),同化实验从2020年9月3日12时开始,每隔12 h进行一次AMVs数据同化,同化窗为同化时刻前后3小时,每组实验进行9次同化。背景误差协方差计算采用NMC方法<sup>[16]</sup>来计算24 h和12 h的预报差值。第一个同化所用背景场为2020年9月3日12时的FNL再分析资料,下一个循环同化所用背景场为上一个循环同化的12 h预报场。此外,表3列出了9组数值模拟实验采用的参数化方案。

表3 台风“海神”数值实验参数化方案

物理参数化方案	设置
Microphysics Scheme	Lin <sup>[17]</sup>
Planetary Boundary Layer Scheme	Yonsei University scheme (Hong et al., 2006) <sup>[18]</sup>
Radiation Scheme	Long-wave RRTM scheme (Mlawer et al., 1997) <sup>[19]</sup>
	Short-wave Dudhia scheme (Dudhia, 1989) <sup>[20]</sup>
Cumulus Convection Scheme	Kain-Fritsch scheme (Kain, 2004) <sup>[21]</sup>
Land-Surface Scheme	MM5 similarity (Fairall et al., 2003) <sup>[22]</sup>

### 3.3 AMVs同化对台风路径、强度预报的影响

9组实验对台风“海神”路径的预报影响如图6所示,以中国气象局热带气旋资料中心提供的CMA台风最佳路径(红色线)作为实况,黑色线代表控制实验的预报路径。在预报的前48 h(2020年9月5日12时之前),所有同化实验和控制实验的预报结果都与CMA最佳路径非常接近,各组实验预报路径相当。从2020年9月7日00时开始,8组循环同化实验的预报路径都较控制实验的预报结果更加接近CMA最佳路径,其中实验FY4A-IR+WV和实验FY2G+FY4A的结果最为明显,这一点体现了通道合并同化的优势,更多的AMVs数据同化提供了更接近真实的初始场,从而优化了预报。8组循环同化实验的预报路径对比控制实验都有不同程度的改进。随着预报时效的延长和被同化的AMVs数据量增加,同化改善效果更明显。总体而言,同化AMVs产品对台风路径的预报有着中性到轻微正面的影响。

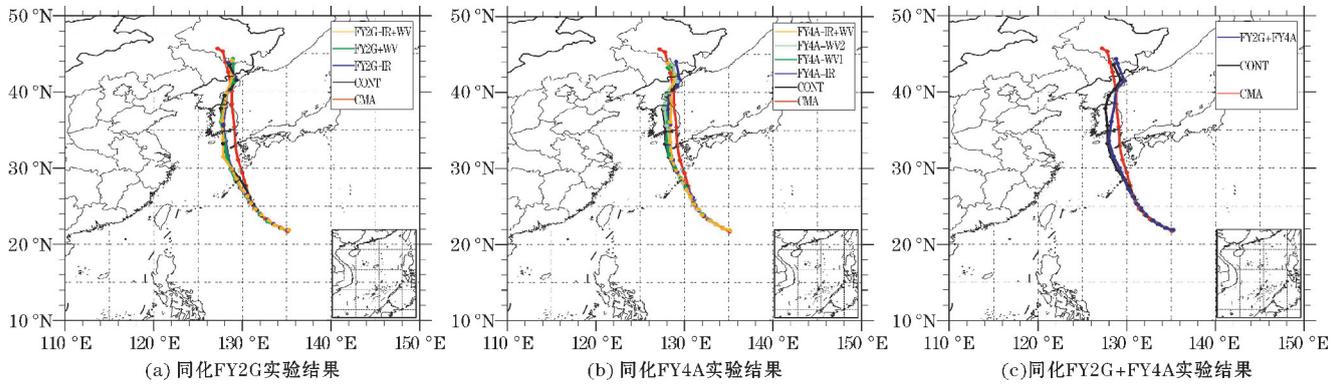


图 6 2020 年 9 月 4 日 00 时 UTC 至 8 日 12 时期间台风“海神”路径预报(间隔:6 h;红色:CMA 最佳路径;黑色,控制试验预报路径)

目前,对台风中心强度的预报依然是各大业务中心的一大难题。如图 7(a)所示,相对于 CMA 最低台风中心强度,控制实验和 8 组循环同化实验的预报结果有着相似的变化趋势,但台风最低气压的出现时间都滞后于 CMA 数据。总体来看,各组循环同化实验之间台风中心强度的预报结果相近,说明同化由 FY2G 反演的和由 FY4A 反演的 AMVs 对台风中心强度预报的影响较为中性,但实验 FY2G+FY4A 中对于台风中心强度的预报在 2020 年 9 月 6 日 18 时之后最为接近 CMA 数据(图 7a,紫红色实线),从而也证实了更多的 AMVs 数据同化可以对数值预报初始场有更多的约束,使之更加接近大气真实状态,从而优化预报。

为更加量化地比较各组同化实验对台风路径预报的改善情况,图 7(b)和图 7(c)展示了各组实验的台风路径预报误差(单位:km)随预报时间的变化情况。由图可知,随着预报时效的延长,控制实验的路径预报误差不断积累,且在预报的后期快速增长。对比控制实验,8 组循环同化实验均可以有效修正台风预报路径,减小预报误差,其中实验 FY4A-IR+WV 的台风路径预报误差总体较实验 FY2G-IR+WV 的预报结果偏小,这进一步说明 FY4A 作为中国第二代风云静止气象卫星,有着比第一代风云静止气象卫星 FY2G 较优的观测数据质量。

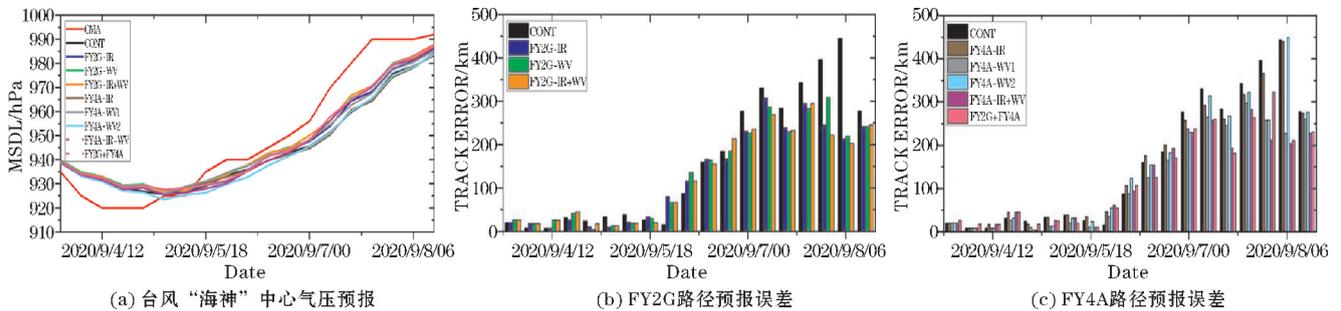


图 7 2020 年 9 月 4 日 00 时至 8 日 12 时台风“海神”中心气压预报和路径预报误差

### 3.4 对物理量场预报的影响

为更加全面、客观、定量地评估同化风云卫星 AMVs 数据对较长预报周期的影响,本研究基于 ERA-5 再分析资料,从 2020 年 9 月 4 日 00 时开始,分别计算了 8 组循环同化实验在预报第 24 h、72 h 和 120 h 的温度、位势高度、相对湿度以及全风速预报场的均方根误差(RMSE)垂直分布情况(图 8),其中小于 CONT(黑色线)的值表明有积极影响。随着预报时间的增加,同化风云静止卫星云图所反演的 AMVs 对温度场、位势高度场和相对湿度场的影响从低层到高层都较为中性,对全风速场的影响最为明显。对风场预报的积极影响最开始出现在 24 h 预报中 300 hPa 高度附近,随后

正面影响随着数值模式的动力热力调整不断从高层向低层传递,在 120 h 的预报中,积极影响已经出现在 600 hPa 高度附近。对比各组同化实验,实验 FY2G+FY4A(粉色线)对风场的改善效果最为显著,这可能是因为更多的 AMVs 数据被同化进模式,从而提供了更加准确的风场。由此可见,同时同化两代风云静止气象卫星所反演的 AMVs 产品对风场垂直方向上的预报改善要优于其他物理量场的预报结果,并且随着被同化进入模式的 AMVs 数据不断增加,改善效果也从高层随时间不断向低层扩展,但由于质量控制和预处理后,同化所用的高中低层的风矢数量并不多,因此这也可能是对于其他物理量场预报影响不明显的原因之一。

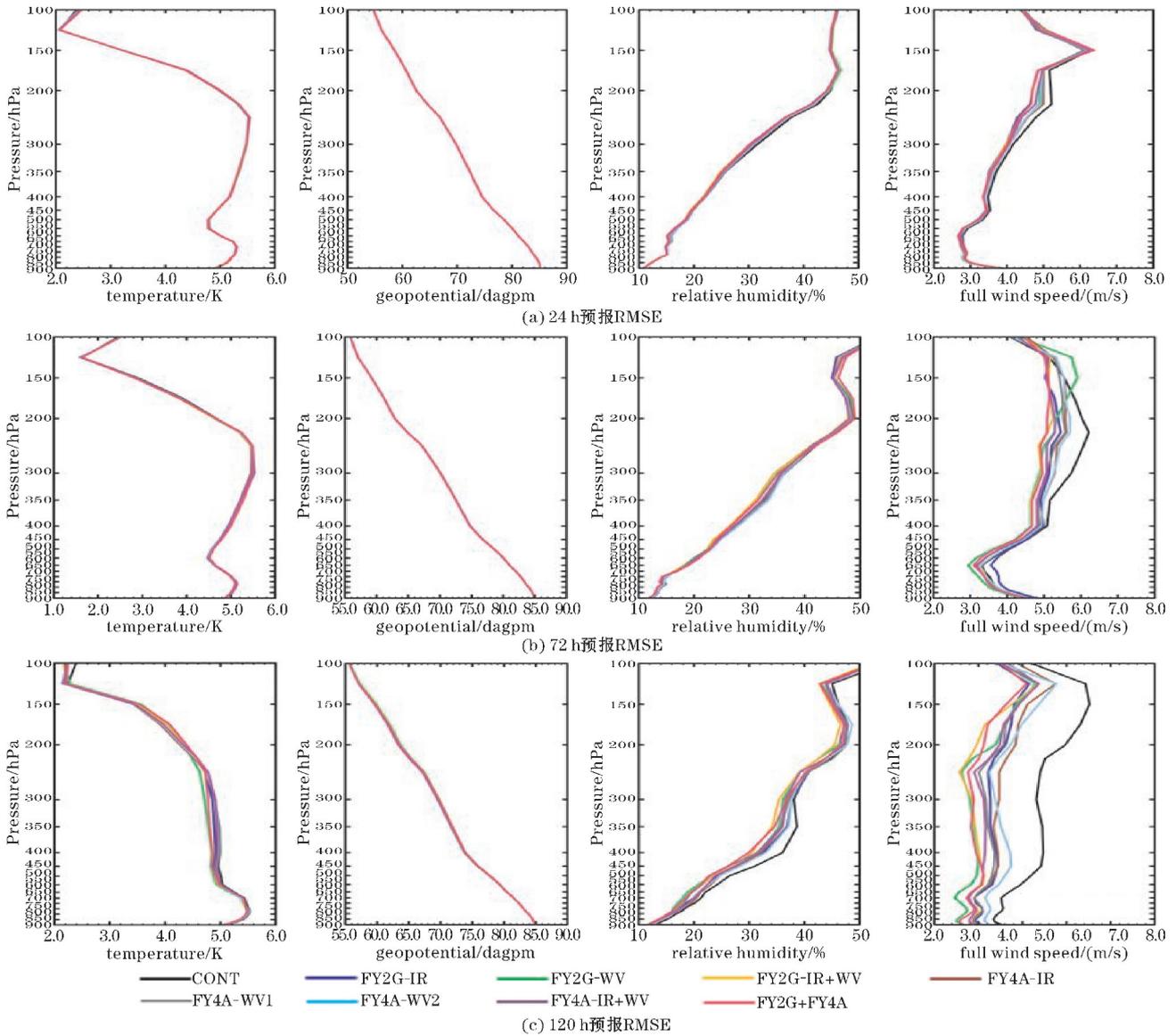


图8 各循环同化实验第24 h、72 h和120 h预报的温度场位势高度场相对湿度场及全风速场的均方根误差垂直分布

## 4 结果与讨论

为评估中国第二代地球同步气象卫星FY4A红外通道与水汽通道云图所反演的AMVs产品质量以及同化该数据在台风预报中的影响,本研究以中国第一代地球同步气象卫星FY2G作为参考,利用WRF模式和WRFDA-3DVAR同化方法,在二代静止气象卫星的共同观测区域内进行数据评估和同化实验。研究发现,二代风云静止气象卫星反演的AMVs数据大都来自大气的中高层(100~700 hPa),只有少部分数据来自大气较低的层次(700~950 hPa),这与以往关于静止卫星AMVs数据的研究结论一致。对比这两颗卫星,由FY4A所反演的AMVs由于其更小、更稳定的RMSE和BIAS分布以及更高的空间分辨率,在数据质量上略优于由FY2G所反演的AMVs。

为进一步研究两代风云静止气象卫星反演的AMVs产品在数值天气预报中的同化及预报影响,以台风“海神”为例,本研究共设计了8组循环同化实验和1组控制实验来探讨同化新旧两代风云卫星反演的AMVs数据对台风的影响。结果表明,分别同化由FY2G和FY4A反演的AMVs数据对台风路径预报均有一定程度的改善,相对于控制实验,各组同化实验都能降低路径预报误差。然而在台风强度预报这个难点上,不同实验中同化AMVs产品对台风中心气压的预报结果都较为中性,实验结果并没有展现出显著的正面影响,但实验FY2G+FY4A从2020年9月6日18时起的台风中心气压预报最为接近CMA最低气压值,这在表明台风强度预报仍是数值预报领域的难题的同时,也说明更多的AMVs产品进入同化系统,会对预报初始场有更多的约束,使之更加接近大气真实状态,从而对预报有一定的改善作用。

通过对物理量场预报的影响分析发现,同化新旧两代风云静止卫星反演的 AMVs 数据均对风场预报有一定的积极影响,且影响效果比其他物理量预报场更为明显。正面影响起初出现在大气中上层,随预报时间的增长和被同化数据的增多通过数值天气预报模式的动力和热力调整不断向大气中下层传递,最后改善整个大气层的风场预报。

除台风“海神”以外,还针对其他台风个例做类似的同化实验,所得结论相近。

作为中国气象领域新一代地球同步卫星, FY4A 不仅对设备进行升级,而且提供了比前一代 FY2G 更高质量的数据。本文的研究结果对于今后进一步在数值天气预报的业务中应用 AMVs 产品具有一定的参考价值。虽然本研究中的 AMVs 同化和预报影响基本为中性或略微积极的影响,但作为卫星间接观测资料的 AMVs 数据仍值得被关注。未来几年,更多的风云四号系列静止气象卫星即将发射,今后将从 AMVs 反演算法入手进一步研究,以期在提升 AMVs 产品质量的同时,扩展 AMVs 数据在数值天气预报以及其他气象业务方面的应用。

## 参考文献:

[1] 杨军. 气象卫星及其应用[M]. 北京:气象出版社,2012;25-27.

[2] 张鹏,郭强,陈博洋,等. 我国风云四号气象卫星与日本 Himawari-8/9 卫星比较分析[J]. 气象科技进展,2016,6(1):72-75.

[3] Hansen M C, Reed B. A comparison of the IGBP DIS Cover and University of Maryland 1 km global land cover products[J]. Int J Remote Sens,2000, 21(6):1365-1373.

[4] Shao J, Gao H, Wang X, et al. Application of Fengyun-4 Satellite to Flood Disaster Monitoring through a Rapid Multi-Temporal Synthesis Approach[J]. J Meteorol Res,2020(34):720-731.

[5] Yuqing Hu, Chao Zeng, Tongwen Li, et al. Performance comparison of Fengyun-4A and Himawari-8 in PM<sub>2.5</sub> estimation in China[J]. Atmospheric Environment,2022:118898.

[6] 薛纪善. 气象卫星资料同化的科学问题与前景[J]. 气象学报,2009,67(6):903-911.

[7] Mecikalski J R, Bedka K M. Forecasting convective initiation by monitoring the evolution of moving cumulus in daytime GOES imagery [J]. Monthly

Weather Review,2006,134(134):49-78.

[8] Bedka K M, Velden C S, Petersen R A, et al. Comparisons of satellite-derived atmospheric motion vectors, rawinsondes, and NOAA wind profiler observations[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology,2009,48(8):1542-1561.

[9] Mecikalski J R, Bedka K M, Paech S J, et al. A statistical evaluation of GOES cloud-top properties for nowcasting convective initiation [J]. Monthly Weather Review,2008,136(12):4899-4914.

[10] Velden C S, Bedka K M. Identifying the Uncertainty in Determining Satellite-Derived Atmospheric Motion Vector Height Attribution [J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2009, 48(3):450-463.

[11] Salonen K, Cotton J, Bormann N, et al. Characterizing AMV Height-Assignment Error by Comparing Best-Fit Pressure Statistics from the Met Office and ECMWF Data Assimilation Systems [J]. J. appl. meteor. climatol, 2014, 54(42):5647-5653.

[12] 刘瑞,翟国庆,王彰贵,等. FY-2C 云迹风资料同化应用对台风预报的影响实验研究[J]. 大气科学,2012,36(2):350-360.

[13] 万晓敏,田伟红,韩威,等. FY-2E 云迹风的算法改进及其在 GRAPES 中的同化应用研究[J]. 气象,2017(1):1-10.

[14] Liang J, Chen K, Xian Z. Assessment of FY - 2G Atmospheric Motion Vector Data and Assimilating Impacts on Typhoon Forecasts [J]. Earth and Space Science,2021,8(6):e2020EA001628.

[15] Skamarok, W C. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 [J]. NCAR Technical Note, NCAR/TN- 475+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA, 113p. 2008,10(16):7603-7615.

[16] Derber J C, Parrish D F, Lord S J. The new global operational analysis system at the National Meteorological Center [J]. Weather and Forecasting,1991,6(4):538-547.

[17] Lin Y, Farley R, Orville H. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology,1983,22:1065-1092.

[18] Hong S Y, Noh Y, Dudhia J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrain-

- ment processes [J]. *Monthly Weather Review*, 2006, 134(9):2318–2341.
- [19] Mlawer E J, Taubman S J, Brown P D, et al. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D14):16663–16682.
- [20] Dudhia J. Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1989, 46(20):3077–3107.
- [21] Kain J S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2004, 43:170–181.
- [22] Fairall C W, Bradley E F, Hare J E, et al. Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm[J]. *Journal of Climate*, 2003, 16(4):571–591.

## The Impacts of Assimilating Fengyun4A Atmospheric Motion Vectors on Typhoon Forecasts

GUAN Peigen, CHEN Keyi

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** Atmospheric motion vectors (AMVs), known as cloud track winds, have positive impacts on global numerical weather forecasts (NWP). AMVs retrieved from Fengyun2G and Fengyun4A are compared in their data quality and impacts on the typhoon forecasts in order to investigate the differences between the first and second generation of the geostationary meteorological satellites of China. Then conducted data evaluation and assimilation-forecasting experiments on FY2G and FY4A atmospheric motion vectors (AMVs), respectively. The results show that the AMVs data of FY4A show better performance than those of FY2G and assimilating the AMVs of FY2G and FY4A has positive impacts on typhoon forecasts, which is quite encouraging for operational use in the future.

**Keywords:** atmospheric motion vectors; data assimilation; Fengyun4; Fengyun2