

王恬,张述文,毛璐,等. 同化卫星对地敏感通道微波亮温观测的模拟试验[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 909-915, [WANG Tian, ZHANG Shuwen, MAO Lu, et al. A Simulation Experiment of Assimilating Microwave Brightness Observations at the Sensitive Channel to Land[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(6): 909-915], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-06-0909

同化卫星对地敏感通道微波亮温观测的模拟试验

王恬,张述文,毛璐,毛伏平

(兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:借助快速辐射传输模式 RTTOV v10 (Radiative Transfer for TOVS) 及其地表微波发射率模块, 针对江淮区域晴天和雨天 2 类不同天气状况, 采用理想试验手段, 利用集合平方根滤波 (EnSRF) 方法同化 AMSU-A 对地敏感第 1 通道的模拟亮温资料, 探究改善中尺度模式 WRF (Weather Research and Forecasting) 初始场的可行性。结果表明:晴天时, 同化对位温、水汽混合比及水平风速 u 和 v 整体上有不同程度的改善, 但不同高度改善程度有所差异, 相对而言水平风场的改进程度最大, 位温最小; 有降水时, 4 个要素场整体改进程度与晴天时类似, 但分析场误差的水平空间分布与晴天时不同。

关键词:卫星资料同化; AMSU-A; 集合平方根滤波; 地表微波发射率

文章编号:1006-7639(2014)-06-0909-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-06-0909

中图分类号:P405

文献标识码:A

引言

数值天气预报是一个经典的初值问题, 其精度取决于模式本身的完善度以及初始场的准确度。在模式物理框架和计算方法已给定情形下, 初始场的好坏直接影响着数值天气预报的准确度。为了能提供与模式动力协调、空间分辨率一致的初始场, 一般采用在模式背景场中同化观测资料。观测资料包括常规观测资料(如地面站观测和无线电探空)和非常规观测资料(如雷达和卫星探测)。卫星资料具有覆盖范围广、时空分辨率高等优点, 可以弥补常规资料的不足。已有试验表明:同化卫星资料对初始场的改进是近十几年来全球数值预报质量快速提升的主要原因之一^[1]。此外, 背景场一般由模式预报产生, 因此为了能生成高质量的同化产品, 对预报背景场的精度要求越来越高, 这也间接促使模式的不断更新和完善^[2-4]。

国外对卫星资料在数值天气预报中的应用研究开展较早, 国内起步相对较晚。由于陆地表面微波发射率的时空分布难以准确确定, 同化资料基本是 AMSU (Advanced Microwave Sounding Units) 非对地

敏感通道资料。随着模式不断发展完善, 对地表微波发射率及地表温度的估算也越来越准, 从而使同化对地敏感通道的微波亮温成为可能。Karbou 等人的研究表明:同化 AMSU 对地敏感通道观测资料在南半球具有明显正效果, 尤其在西非地区^[5-7]。

同化卫星观测资料的方法基本采用变分法^[8-13], 而采用集合卡尔曼滤波 (EnKF: Ensemble Kalman Filter) 方法同化 AMSU 亮温资料的研究工作非常少^[14]。EnKF 是用集合预报方法来估计背景场的误差协方差, 因易于编程和更新, 已在大气和海洋科学中得到广泛应用。Whitaker 和 Hamil^[15] 研究发现, 传统 EnKF 方法须对观测添加扰动, 这样会引入额外采样误差, 因此提出了集合平方根滤波 (EnSRF: Ensemble Square Root Filter), 该方法无需对观测添加扰动, 已在多普勒天气雷达资料同化中得到了较好应用^[16-17]。然而, 采用 EnSRF 进行卫星微波亮温同化的研究工作非常少, 尤其是对地敏感通道资料的研究尚未在专业文献中检索到, 本文将尝试探究使用该方法同化对地敏感通道微波亮温观测的可行性。由于实际观测资料误差和模式误差难以

收稿日期:2014-03-10; 改回日期:2014-05-07

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB430102, 2012CB956200)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806029)共同资助

作者简介:王恬(1988-), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 研究方向为遥感与卫星资料同化。E-mail: wangtian11@lzu.edu.cn

通讯作者:张述文(1966-), 男, 河南固始人, 教授, 研究方向为资料同化、陆面过程模式和模拟。E-mail: zhangsw@lzu.edu.cn

准确确定,为避免这些未知误差对评估同化方法和试验结果的不利影响,本文采用理想试验手段,不考虑模式误差,观测值及其误差也是事先指定的。

1 模式及同化方法

1.1 RTTOV v10 模式

快速辐射传输模式 RTTOV (Radiative Transfer for TOVS) 来源于欧洲气象卫星开发组织 (EUMETSAT), 可用于模拟多种气象卫星探测的地球红外和微波辐射^[18]。

RTTOV 是欧洲中期预报中心为了模拟 TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) 发展而来的^[19], 经过多次改进, 目前已经发布 RTTOV v11 版本。这里选择研究开始时的最新版本 RTTOV v10, 其中一个重要原因是, 该版本在地表微波发射率的模拟上较之前的版本有很大改进, 而地表微波发射率对卫星微波亮温观测有重要影响。不同地表类型有着不同的地表发射率, 地表发射率 5% ~ 10% 的不确定性将会导致亮温有几度到十几度的偏差。尤其是 AMSU - A 的第 1 通道对地表微波发射率敏感, 地表发射率的计算误差将直接影响到资料同化的精度^[20]。也正是由于地表发射率难以准确计算, 使得大量受地表辐射影响较大通道的卫星观测资料很少应用在数值预报中。

1.2 WRF 模式

WRF (Weather Research and Forecasting) 模式是一个完全可压缩、非静力的中尺度模式, 它能够适用于 1 ~ 10 km 高分辨率的模拟和预报, 还可用于较低分辨率的天气预报、区域气候预测、空气质量模拟和理想化的动力学研究。

WRF 模式包括业务用的 NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) 和研究用的 ARW (Advanced Research WRF) 2 个版本, 本研究采用 ARW。模式采用高度模块化以及分层设计结构, 其中模块包括标准初始化模块、资料同化模块、预报模块以及后处理模块 4 部分, 分层结构有驱动层、中间层和模式层 3 层。

WRF 资料同化模块包括牛顿张弛逼近、变分同化、混合资料同化 3 类方案。正如引言所述, 本研究未采用 WRF 中已有的同化算法, 而是采用 EnSRF, 其中 WRF 用来预报背景场, 而 EnSRF 同化程序及相应同化系统则由自己开发。

1.3 集合平方根滤波 (EnSRF)

EnSRF 与一般集合卡尔曼滤波方法一样, 是用集合预报方法来估计背景场误差协方差, 但它只需

对背景场添加扰动生成背景场集合样本, 无需对观测添加扰动, 从而减小额外采样误差。下面只给出 EnSRF 方法的主要公式^[15]。

假设大气状态变量 X (如温度、湿度等) 的分析场 X^a 可表示为样本集合均值 \bar{X}^a 与偏离均值的偏差 \bar{X}'^a 之和:

$$X^a = \bar{X}^a + \bar{X}'^a \quad (1)$$

其中 \bar{X}^a 和 \bar{X}'^a 分别由公式(2)和公式(3)求得:

$$\bar{X}^a = \bar{X}^b + K(\bar{y}^o - H\bar{X}^b) \quad (2)$$

$$\bar{X}'^a = \bar{X}'^b + \bar{K}H\bar{X}'^b \quad (3)$$

其中, X^a 为分析场, X^b 为背景场, \bar{y}^o 为观测场, H 为观测算子, K 和 \bar{K} 分别对应于集合平均和扰动的卡尔曼增益, 计算公式为:

$$K = P^b H^T (HP^b H^T + R)^{-1} \quad (4)$$

$$\bar{K} = P^b H^T [(\sqrt{HP^b H^T + R})^{-1}]^T \times [\sqrt{HP^b H^T + R} + \sqrt{R}]^{-1} \quad (5)$$

其中, P^b 为背景场误差协方差矩阵。若一次只同化一个观测, 并假设 $\bar{K} = aK$, 这样可大大简化扰动量卡尔曼增益的计算, 其中参数 a 通过下式得到:

$$a = \left[1 + \frac{R}{HP^b H^T + R} \right]^{-1} \quad (6)$$

2 试验设计

以同化 AMSU - A 对地敏感第 1 通道的模拟亮温为例, 分别考察在晴天 (2011 年 9 月 25 日) 和雨天 (2003 年 6 月 30 日) 2 种天气背景下对中尺度模式的大气温、湿、风初始场的改进程度, 其中 2003 年 6 月 29 日至 7 月 1 日在江淮区域有一次强降水过程。图 1 给出了 2 种天气状况下 06:00 (UTC, 下同) 同化时刻 850 hPa 的风温场叠加图。可以看出, 江淮流域处于弱的副热带高压 (简称副高) 控制, 盛行下沉气流, 天气晴好 (图 1a); 来自印度洋的西南气流与南海西北部副高西侧的偏南气流重合, 2 股气流在副高西北侧汇合加强, 并沿副高边缘向长江中下游输送水汽 (图 1b), 为暴雨区提供了充足的水汽^[21]。

模拟区域位于淮河流域, 地处南北气候过渡带, 属暖温带半湿润季风气候, 夏秋闷热多雨。模拟区域中心为 34°N, 118°E, 水平格点数为 121 × 121, 水平格距大约为 7 km, 垂直方向分为 30 层。投影方式为 Lambert 投影, 物理过程选用 Lin 微物理方案、RRTOM 长波辐射方案、Dudia 短波辐射方案、Monin - Obukhov 近地面层方案、YSU 边界层方案、Grell - Devenyi 积云参数化方案。

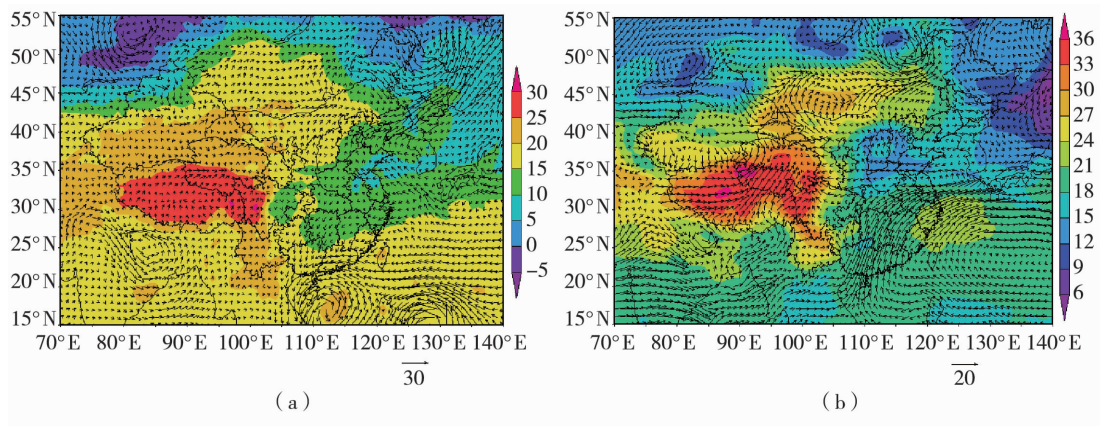


图1 2011年9月25日(a)和2003年6月30日(b)06:00(世界时)850 hPa形势图

Fig. 1 The weather situation charts on 850 hPa at 06:00 UTC on September 25, 2011 (a) and June 30, 2003 (b)

为了消除卫星观测资料偏差对评估结果的干扰,本研究采用理想同化试验方案,即真实场、观测场及其误差均已知前提下进行同化试验,其中真实场的生成步骤:先将00时NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料积分6 h至同化时刻06:00,得出同化时刻模式状态的真实值;再将真实值代入辐射传输模式 RTTOV v10,计算 AMSU - A 第1通道微波辐射亮温的真实值,然后添加均值为0、标准差为0.3^[22]的高斯误差,生成06:00同化时刻的辐射亮温观测值。

背景场的设定:首先,将NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料中00时的位温、水平风以及气压分别添加均值为0、标准差不同的40个高斯随机扰动,而对水汽混合比则乘上40个均值为1的对数高斯随机扰动;所加和所乘的扰动要保证所得样本的离散度不小于对应的均值误差。最后,分别将40个样本积分6 h至同化时刻06:00(目的消除样本与模式间动力不协调),此时WRF模式输出的40个样本构成同化时刻的背景场集合。

此外在同化前,还需对模拟的卫星微波亮温观测进行简单的质量控制,即选择观测亮温在200~300 K之间的点,剔除海拔高度>500 m的点,去掉观测与背景场平均值之差的绝对值大于3倍观测标准差的点。

采用分析场均方根误差 α 、背景场均方根误差 β 、分析场误差平方和与背景场误差平方和之比 ε (下文简称相对均方差误差比值 ε)来度量同化效果^[23],其中 $\varepsilon < 1$ 说明分析场较背景场更接近真实场,且 ε 值越小,同化效果越好;反之, $\varepsilon > 1$ 则表示同化效果差,且比值越大同化效果越差。计算公式如下:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^t - x_i^a)^2} \quad (7)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^t - x_i^b)^2} \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^t - x_i^a)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i^t - x_i^b)^2} \quad (9)$$

其中,上标b、a和t分别表示背景场、分析场和真实场, x 代表同一气压层上位温、水汽混合比、水平风分量 u 和 v 其中任一量, N 为水平格点数 121×121 。为了便于理解,图2给出同化试验的流程图。

3 结果与分析

3.1 晴空条件下试验结果

试验使用 AMSU - A 第1通道的微波亮温观测,其能量贡献除地表微波辐射外主要是低层大气,因此这里主要分析模式前10层的同化效果,其对应气压为1010~780 hPa。图3给出大气位温、水汽混合比、水平风速 u 和 v 对应比值 ε 的垂直变化。可以看出,水平风速 v 对应比值 ε 先随高度增加缓慢增大,至960 hPa附近达到最大,之后随高度增加持续减小, ε 值在0.67~0.88之间,同化效果明显;水平风速 u 的 ε 值在各层波动较大,先随高度增高迅速减小,至995 hPa后随高度增加而增大,到930 hPa后随高度增加再次减小,约至870 hPa附近 ε 值降到最小,随后又缓慢增加, ε 值在0.75~0.91之间,有同化效果,但不如 v 效果明显。位温对应比值 ε 随高度变化波动较小, ε 值在0.91~1.02范围,同化效果较差。水汽混合比对应比值 ε 先随高度升高略有减小,至960 hPa附近后随高度升高迅速减小,900 hPa附近达到最小值,之后又随高度升高缓慢增大, ε 值范围在0.82~0.98,同化效果一般。总之,

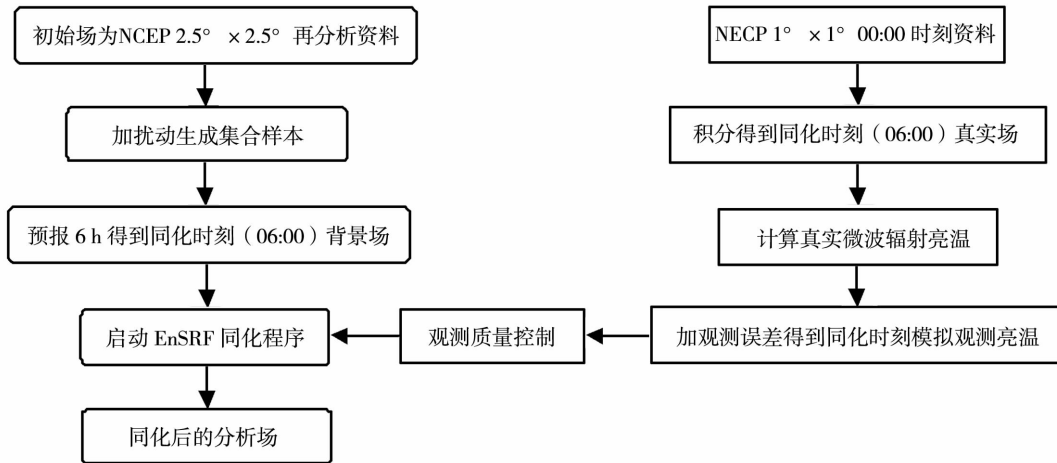


图2 同化试验基本流程

Fig. 2 The flow chart for data assimilation test

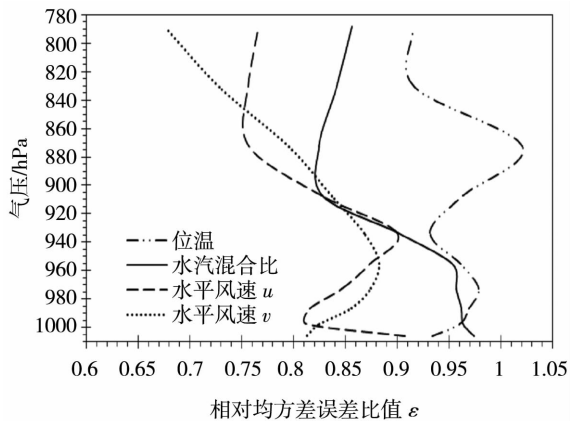


图3 晴天条件下4要素场对应比值 ε 随高度的变化
Fig. 3 Changes of the ratio ε with the height for four meteorological factors on sunny day

水平风 v 改进程度相对最大,位温最小;4要素在低层改进效果总体不如高层好,这与低层背景场的误差较大有关。

由于近地面大气是对地敏感第1通道微波亮温的峰值能量贡献层,故增加定量分析近地面3层的同化效果。表1给出这3层背景场和分析场各要素

的均方根误差。可以看出,水平风在同化后均方根误差减小较大,同化效果较明显,而水汽混合比和位温的均方根误差变化很小,同化效果不明显。

根据快速微波辐射传输模型^[18-19],水平风速对微波辐射亮温观测值没有贡献(除海面外),但同化微波亮温后却对水平风速 u, v 有改进,尤其是水平风速 v ,这说明虽然位温整层均方根误差变化较小,但误差的空间结构在同化后重新进行了调整,不同状态量间的动力协调性得到提升,从而间接改善了风场。不过,由于背景风场误差较大,致使同化后水平风速 v 的误差仍然非常大,这说明利用 NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料作为中尺度模式风的背景场不是最佳选择。

为检验同化效果在空间的分布情况,以对观测峰值能量贡献大的模式第1层位温为例进行分析。图4给出了背景场绝对误差 β 减去分析场绝对误差 α 的空间分布(虚线为负,实线为非负;阴影区表示 $\alpha > \beta$,非阴影区表示 $\alpha \leq \beta$)。可以看出,非阴影区的面积大于阴影区的,同化效果整体呈现正贡献,但仍有一些区域分析场误差变大,这说明只同化对地敏

表1 晴天不同层气象要素在同化前后均方根误差(RMSE)的对比
Tab. 1 Comparison of RMSE before and after assimilation for four meteorological factors near the surface under sunny weather condition

	位温/K		水汽混合比/(g/kg)		水平风速 u /(m/s)		水平风速 v /(m/s)	
	背景场	分析场	背景场	分析场	背景场	分析场	背景场	分析场
第1层	4.896	4.732	1.982	1.957	3.959	3.768	4.181	3.771
第2层	2.769	2.714	1.667	1.636	4.150	3.738	4.508	4.093
第3层	2.395	2.359	1.674	1.642	3.962	3.576	4.450	4.119

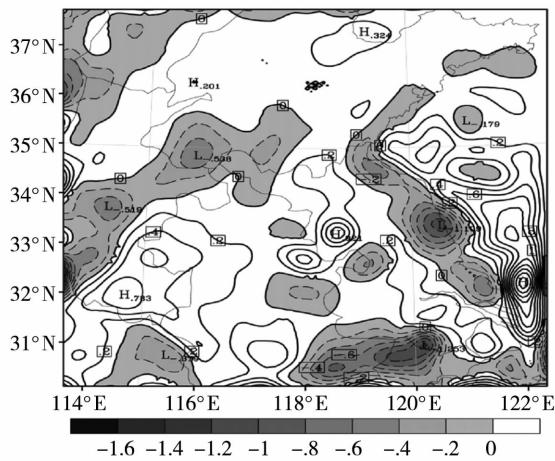


图 4 位温的背景场绝对误差减去分析场绝对误差在模式第 1 层的分布(单位:K)

Fig. 4 Spatial distribution of the absolute error difference of potential temperature between the background and analysis fields over the first level of the model(Unit:K)

感 1 个通道的微波亮温并不能提升所有区域的分析场,其主要原因是卫星微波观测资料经过质量控制后,有效观测点数大减且空间分布非常不均匀(图略),加之由有限个样本统计得出的背景场误差协方差并不能真实地反映误差空间结构,致使在远离观测点的区域分析场很难得到改进,甚至由于背景场误差协方差中的虚假关联结构而出现错误更新。因此,在用 EnSRF 同化卫星微波亮温资料时,背景场误差不宜过大,同时集合样本要具有很好的代表性,以便统计出较合理的背景场误差协方差。当然,观测误差的影响也不能完全排除。

3.2 降水条件下试验结果

图 5 给出降水条件下大气位温、水汽混合比、水平风速 u 和 v 对应比值 ε 在不同气压层上的分布。可以看到,除高层位温外,4 个量在各层的比值 ε 均 < 1 ,说明同化整体呈现正效果。其中,水平风速 u 的 ε 值变化较大,先随高度升高快速增大,至 960 hPa 附近后随高度升高逐渐减小,从 880 hPa 开始随

高度升高再次增大, ε 值的范围在 0.62 ~ 0.86 之间,同化正效果较明显。水平风速 v 对应的 ε 值随高度增大而略微增大,取值范围在 0.80 ~ 0.97,变化较小,有一定同化效果。水汽混合比的 ε 值整体变化很小,维持在 0.86 ~ 0.97 之间,与晴天不同,在 960 ~ 900 hPa 范围内 ε 值的波动较小。位温的 ε 值随高度增加波动较大,取值范围在 0.80 ~ 1.02,除 980 hPa 附近外,同化效果不明显甚至在高层出现轻微负效果。总之,与晴天相比,水平风速 u 分量改善程度提升,而 v 分量则降低;水汽混合比在高层的改善程度略微降低;位温情况较复杂,在不同高度改善程度有升有降。

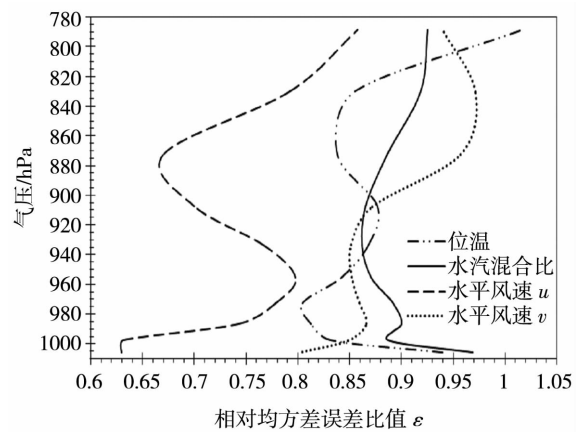


图 5 雨天条件下 4 要素场对应比值 ε 随高度的变化
Fig. 5 Changes of the ratio ε with the height for four meteorological factors on rainy day

同样地,表 2 给出了雨天 4 个要素在近地面 3 层的同化效果。与晴天类似,水平风速 u 、 v 在同化后均方根误差减小较多,说明即使在雨天,同化对地敏感通道微波亮温对水平风场改善效果依然明显。与晴天相比,水汽混合比的背景场误差明显增大,且同化效果也不明显。模式第 1 层位温分析场与晴天时类似,但与背景场相比,同化后分析场误差减小很少,不过在模式第 2、3 层,位温分析场的改善程度平均略好于晴天。

表 2 雨天 4 个要素在近地面 3 层同化前后 RMSE 的对比
Tab. 2 Comparison of RMSE before and after assimilation for four meteorological factors under rainy weather condition

	位温/K		水汽混合比/(g/kg)		水平风速 u / (m/s)		水平风速 v / (m/s)	
	背景场	分析场	背景场	分析场	背景场	分析场	背景场	分析场
第 1 层	4.761	4.619	2.879	2.836	5.140	4.074	5.035	4.517
第 2 层	2.959	2.703	1.969	1.855	5.453	4.333	5.459	5.029
第 3 层	2.272	2.053	1.776	1.686	5.443	4.691	5.575	5.194

有降水条件下,位温背景场绝对误差减去分析场绝对误差在第1层的分布与晴天时类似,也出现同化后误差增大的区域,且部分区域增大的幅度大于晴天(图略)。通过与降水实况对比发现,位温分析场误差增大的区域主要分布在降水集中的地方,这与晴天情形不同,除了与观测点空间分布非常不均匀和背景场误差协方差的空间关联结构不准确有关外,更重要原因是第1通道探测频率在23.8 GHz附近,水汽和水滴对辐射的散射及吸收作用明显^[24],而由NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料产生的背景场很难分辨出中小尺度系统或中小尺度信息,从而造成背景场集合样本的离散度在降水区域普遍小于样本均值误差,导致观测信息难以被同化吸收。

4 结论与讨论

(1)晴天时,同化卫星对地敏感第1通道的微波亮温资料对位温、水汽混合比及水平风速 u 和 v 均有不同程度的改善,其中水平风改进最明显,而位温和水汽混合比总体改进较小,且不同高度改善程度差距较大;整体而言,同化对改进模式初始场呈正贡献,但改进程度在空间分布上不均匀,且部分区域出现负贡献。

(2)当有降水发生时,同化后4个要素场在不同高度层上的改进效果与晴天时基本类似,其中对风场改进显著,而对温度和水汽场的改进则较小;分析场误差的空间分布与晴天时不同,误差增大区域主要在降水集中的地方。

总之,无论是对晴天还是降水天气,EnSRF同化AMSU-A第1通道观测资料在改善中尺度初始场方面整体呈现正效果,说明ATOVS对地敏感通道资料的可用性。尽管如此,由于只是理想试验,且研究个案数有限,尚需更多的同化试验来验证本文结果。此外,还需要考察EnSRF在同化实际观测资料方面的具体表现,包括同化前对观测资料的扫描偏差订正和气团偏差订正等。

本文观测和背景场事先给定,EnSRF同化效果主要取决于背景场的误差协方差是否准确。不像变分同化方法,EnSRF同化算法是利用有限样本统计出背景场误差协方差,因此,初始样本质量是影响EnSRF同化效果的关键因素之一,但如何构建初始集合样本是所有基于集合同化算法面临的共同难题,值得深入研究。

参考文献:

[1] 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.

- [2] 薄燕青, 闵锦忠, 赵桂香. 黄河中下游地区一次暴雨过程的数值模拟和诊断[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 60-69.
- [3] 黄菁, 张强. 中尺度大气数值模拟及其进展[J]. 干旱区研究, 2012, 29(2): 273-283.
- [4] 张强. 简评陆面过程模式[J]. 气象科学, 1998, 18(3): 295-304.
- [5] Karbou F, Gérard E, Rabier F. Microwave land emissivity and skin temperature for AMSU - A and - B assimilation over land [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2006, 132(620): 2333-2355.
- [6] Karbou F, Gérard E, Rabier F. Global 4DVAR assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part I: Impacts of various land surface emissivity parameterizations [J]. Weather and Forecasting, 2010, 25(1): 5-19.
- [7] Karbou F, Rabier F, Lafore J P, et al. Global 4DVAR assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part II: Impacts of assimilating surface - sensitive channels on the African monsoon during AMMA [J]. Weather and Forecasting, 2010, 25(1): 20-36.
- [8] Derber J C, Wu W S. The use of TOVS cloud - cleared radiances in the NCEP SSI analysis system [J]. Monthly Weather Review, 1998, 126(8): 2287-2299.
- [9] Houtekamer P L, Mitchell H L, Pellerin G, et al. Atmospheric data assimilation with an ensemble Kalman filter: Results with real observations [J]. Monthly Weather Review, 2005, 133(3): 604-620.
- [10] 齐琳琳, 孙建华, 张小玲, 等. ATOVS 资料在长江流域一次暴雨过程模拟中的应用 [J]. 大气科学学报, 2005, 29(5): 780-792.
- [11] 潘宁, 董超华, 张文建. ATOVS 辐射率资料的直接变分同化试验研究 [J]. 气象学报, 2003, 61(2): 226-236.
- [12] 朱国富, 薛纪善, 张华, 等. GRAPES 变分同化系统中卫星辐射率资料的直接同化 [J]. 科学通报, 2008, 53(20): 2424-2427.
- [13] 冯涛, 沈新勇, 刘英, 等. 精细数值预报在 60 周年国庆天气服务中的应用 [J]. 气象与环境科学, 2010, 33(3): 1-5.
- [14] 闵锦忠, 孔莹, 杨春, 等. 卫星辐射率资料 EnSRF 同化及暴雨模拟应用 [J]. 大气科学学报, 2012, 35(3): 272-281.
- [15] Whitaker J S, Hamill T M. Ensemble data assimilation without perturbed observations [J]. Mon Wea Rev, 2002, 130(7): 1913-1924.
- [16] Xue M, Tong M, Droegemeier K K. An OSSE framework based on the Ensemble Square Root Kalman Filter for evaluating the impact of data from radar networks on thunderstorm analysis and forecasting [J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology, 2006, 23(1): 46-66.
- [17] Tong M J, Xue M. Simultaneous estimation of microphysical parameters and atmospheric state with simulated radar data Ensemble Square Root Kalman filter. Part II: Parameter estimation experiments [J]. Mon Wea Rev, 2008, 36(5): 1649-1668.
- [18] Hocking J, Rayer P, Saunders R, et al. RTTOV v10 users guide. NWP SAF, EUMETSAT, 2011. 7.
- [19] Eyre J R. Fast Radiative Transfer Model for Satellite Sounding Systems [M]. European Centre for Medium - Range Weather Fore-

- casts, 1991. 176.
- [20] 薛纪善. 我国西北高原地区数值预报的几个科学问题[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 68-71.
- [21] 薛建军, 康志明, 张芳华. 2003年6月29日至7月2日淮河梅雨锋大暴雨过程诊断分析[J]. 气象, 2004, 30(1): 22-27.
- [22] 杜华栋, 黄思训, 方涵先, 等. 星基大气探测资料信息容量研究[J]. 物理学报, 2010, 59(1): 683-691.
- [23] 邵爱梅, 邱崇践. 一种基于预报集合的降维资料同化方法的数值试验研究[J]. 大气科学, 2007, 31(4): 675-684.
- [24] Liou K N, 郭彩丽, 周诗健. 大气辐射导论[M]. 北京: 气象出版社, 2004. 429.

A Simulation Experiment of Assimilating Microwave Brightness Observations at the Sensitive Channel to Land

WANG Tian, ZHANG Shuwen, MAO Lu, MAO Fuping

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to investigate the possibility of improving initial fields of the model in the Yangtze and Huaihe river basin of China, based on RTTOV v10 (Radiative Transfer for TOVS) model and its submodule named as the new surface microwave emissivity model, the simulated brightness observation data from the first channel of satellite AMSU - A under sunny and rainy weather conditions were assimilated into the weather research and forecasting (WRF) model by using the ensemble square root filter (EnSRF). The results showed that, on sunny day, the analysis fields for the potential temperature, water vapor mixing ratio and horizontal wind speed u and v generally had been improved, but the improvements at different height levels were different. By comparison, the improvement of the horizontal wind speed was the maximum while that of the potential temperature was the minimum. For rainy weather condition, the effects of assimilation for the four analysis fields were approximately similar to that on sunny day. However, the spatial pattern of improvement on rainy day was different from that on sunny day.

Key words: satellite data assimilation; AMSU - A; EnSRF; surface microwave emissivity

(上接第908页)

Variation Characteristics of Shrub Phenology in Grassland of Inner Mongolia Based on MODIS

FAN Ying¹, LI Xiaoyan¹, LI Guangyong²

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. National Geomatics Center of China, Beijing 100830, China)

Abstract: Vegetation phenology study is an important content on the research of global climate change. But there are few researches about phenological variation of shrubs in arid and semi-arid area internationally. In order to explore the impact of climate change on shrub phenology in grassland of Inner Mongolia, based on the time series images of MODIS EVI from 2000 to 2011, the annual changes of the six kinds of shrub phenology were studied by using asymmetric Gaussian fitting algorithm to acquire dynamic threshold. Meanwhile, the dynamic relationship between phenology of shrub and climate factors including the monthly temperature and precipitation data from nearby weather stations was analyzed. The results showed that: (1) the beginning of growing season (BGS) and end of growing season (EGS) of shrubs were advancing, while the length of growing season (LGS) was shortening. (2) the rising average temperature in spring, increasing precipitation in last autumn and winter would be to the benefit of BGS of shrubs in advance. (3) the reducing autumn precipitation and rising average temperature in summer and autumn were propitious to advance EGS, however the effects of summer precipitation on EGS had a slightly difference for different species of shrub; (4) the rising temperature in summer and autumn shortened LGS, and the precipitation in summer and autumn and average temperature in spring mostly showed a positive correlation with LGS.

Key words: shrub; phenology; climate change; grassland of the central and west of Inner Mongolia; EVI