

风云三号 A 星微波湿度计四川盆地 上空资料同化个例研究

陈科艺, 潘品言

(成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要: 为了进一步研究风云三号微波湿度计陆地上空观测资料应用于业务预报的可能性, 选用数据噪音较大的 FY-3A 星所载的微波湿度计 MWHS 资料, 通过两个四川盆地的典型暴雨个例, 研究利用 WRFDA 在初始时刻同化 FY-3A MWHS 通道 3-5 LEVEL 1 的扫描观测资料所产生的同化及预报影响。结果表明, 同化 FY-3A MWHS 通道 3-5 的观测资料可以对预报产生中性或正面作用, FY-3A MWHS 的较大数据噪音也不会对同化及预报产生负面影响。研究为进一步对 FY-3 系列卫星的相似仪器陆地上空观测资料进行质量控制, 并应用于同化和预报试验提供了重要的参考。

关键词: 气象学; 资料同化; 风云三号 A 星; 微波湿度计; 四川暴雨

中图分类号: P414.4

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2017.01.011

0 引言

自 2008 年 5 月起, 中国第二代极轨气象观测卫星风云三号系列(FY-3A, FY-3B, FY-3C)在太原卫星发射基地陆续发射成功, 搭载用于大气垂直探测的微波温度计(MWTS)、微波湿度计(MWHS)和微波成像仪(MWRI)。该卫星系列为倾角 98.8° 的太阳同步轨道卫星, 其中 FY-3A, FY-3B 为研究型卫星, FY-3C 起为业务型卫星, 其上搭载的微波系列观测仪器也较 A、B 两星更为先进, 未来将有更多的风云三号卫星发射升空, 提供全球范围内的观测资料。由于微波探测仪器可以提供全球大气垂直观测资料, 特别在云区, 是数值预报初始场信息的重要来源, 和欧美极地轨道气象卫星微波资料(AMSU, MHS)一样, FY-3 微波观测资料受到了全球气象学家的重视。

由于风云三号卫星微波观测资料对于数值模拟和再分析, 以及气候研究方面都是十分重要的资料来源^[1-4], 至此, 气象学家已经对该资料集进行了一系列初步的分析和评估。国家气象局卫星中心陆其峰在欧洲中长期天气预报中心(ECMWF)访问期间, 利用该中心的数值模式和辐射传输模式对 FY-3A 星所载的微波温度计(MWTS)进行了初步评估, 分析指出 FY-3A 微波温度计 3 个通道的误差与其频点漂移和仪器

材料所引起的非线性误差有关, 将频点漂移和非线性误差订正后, 其结果与最先进的 MetOp 所载的微波温度探测器 AMSU-A 的资料具有可比性^[5-6]。Zou 等也从天气和气候的角度分别对 FY-3A 微波温度计(MWTS)和微波湿度计(MWHS)做了初步评估, 分别对比了 MWTS 和 AMSU-A 以及 MWHS 和 NOAA-18 所载微波湿度计 MHS 的误差和标准差。总得说来, FY-3A 的微波辐射计的偏差稍大, 但全球平均而言, 与 AMSU-A 和 MHS 的资料质量是相当的^[7-8]。

在 FY-3A 卫星微波观测资料质量的可靠性得到了保证的基础上, Lu 等做了一系列观测对比试验分析同化该资料对全球预报可能产生的影响。试验结果表明, 同化 FY-3A 微波温度计资料对全球预报产生的影响为中性到轻度的正面影响^[5]。由于 FY-3A 能提供全球的观测资料, 日本气象厅 Masahiro Kazumori 等^[9]也对同化 FY-3A 微波温度计资料对 JMA 全球预报模式的影响做了初步评估, 并给予了正面的评价。Guan 等^[8]对一系列同化 FY-3A 微波资料的观测对比试验结果进行分析后得出较大的观测背景误差可能与复杂的地表发射率有关。在这些初步的观测对比试验的良好结果基础上, Chen 等^[10-11]利用欧洲中长期天气预报中心 ECMWF 的资料同化系统及业务预报模式研究了风云三号 A 星和 B 星的微波湿度计资料(MWHS)的同化及预报影响, 结果表明该数据质量可靠, 同化后可改善 ECMWF 业务预报模式的分析场, 其预报影响

亦与业务中长期使用的欧洲或美国的同类仪器相当。基于以上这些研究结果,ECMWF 于 2014 年 9 月 24 日起正式在其业务预报模式中使用海洋上空的风云三号 B 星微波湿度计资料,这是 ECMWF 历史上第一次使用中国的卫星资料,也是中国自行研发的气象卫星资料第一次在境外的业务预报中心得到正式应用,但风云三号 B 星微波湿度计陆地上空观测资料的同化和预报应用仍有待于进一步的研究。

考虑到不同类型地表发射率的复杂性^[12-13],风云三号陆地部分观测资料在同化系统及预报模式中的应用研究较少,而人类活动主要集中在陆地上,因此进一步以风云三号为例研究微波湿度计资料陆地部分的数据特征和资料同化及预报影响,在提高该卫星资料的有效使用率的同时,改善陆地上天气预报的准确率具有十分重要的意义。为研究大的数据噪音对于陆地上空资料同化及数值预报的影响,选用数据噪音较大的 FY-3A 星所载的微波湿度计 MWHS 资料,利用 WRF 模式研究在四川盆地暴雨两个例中同化该资料的影响。

1 MWHS 资料概述

表 1 FY-3A 微波湿度计基本参数

MWHS 通道	频率 /GHz	观测高度 /hPa	扫描宽度 /km	星下点分辨率/km
1	150V	地表	2700	15
2	150H	地表	2700	15
3	183.31±1 V	400	2700	15
4	183.31±3 V	600	2700	15
5	190.3V	800	2700	15

如表 1 表示,风云三号卫星系列所载的微波湿度计(MWHS)为 5 个通道的交叉扫描辐射仪,扫描宽度 2700 km,低纬度地区轨道间扫描间隙较小,星下点分辨率为 15 km,3-5 通道分别提供 400 hPa,600 hPa,800 hPa 的湿度观测信息^[5,7,10],垂直方向上的湿度观测分辨率虽然较低,但对于资料同化及数值天气预报却是十分重要的信息。

2 试验 I

2.1 试验设计

第一个典型个例选用与陈科艺等^[14]所选成都“2008.9.24”暴雨个例一致,天气过程不再赘述,控制

试验设计与陈科艺等^[14]数值试验一致,利用 WRF3.6 模式进行数值模拟试验,母域为 30 公里,子域为 10 公里,初始条件及侧边界条件使用 NCEP 提供 FNL 全球性分析数据,其时间分辨率为 6 小时,空间分辨率为 1.0°×1.0°,数据从 1000 hPa 到 10 hPa,共 26 层,所提供资料包括:地表气压,海平面气压,位势高度,温度,海表面温度,土壤值,冰面覆盖,相对湿度,风场,垂直运动,涡度和臭氧。积分区域如图 1 所示,中心点为四川成都地区,投影方式为兰勃脱投影,积分时间为 2008 年 9 月 23 日 00Z (GMT) 到 9 月 25 日 00Z (GMT),模拟结果每 6 小时输出一次。

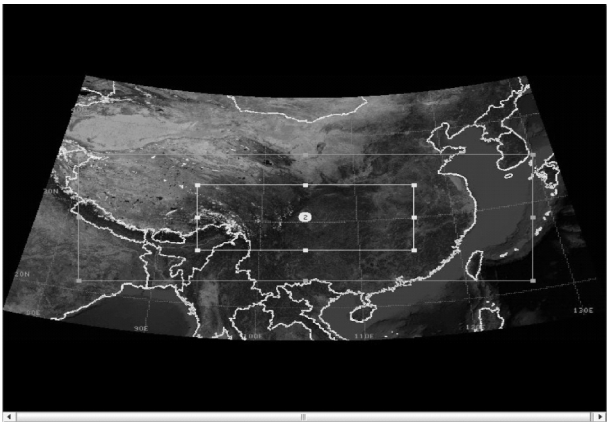


图 1 长方形区域为试验嵌套的母域和子域,中心点为四川成都

同化试验为在此基础上通过插值方法在子域同化风云三号 A 星微波湿度计通道 3-5 湿度观测资料,其他试验参数与控制试验设计相同。所同化的 FY-3A MWHS 通道 3-5 观测资料为 2008 年 9 月 23 日 02:20am (GMT) LEVEL I 资料(国家卫星中心官方网站获取),同化时间窗为 6 小时,扫描宽度覆盖四川全境(图 2),采用 WRFDA-3DVAR 进行资料同化,地表发射率采用基于微波探测仪 AMSU-A, AMSU-B 和 MHS 反演出的地表发射率气候月平均场。

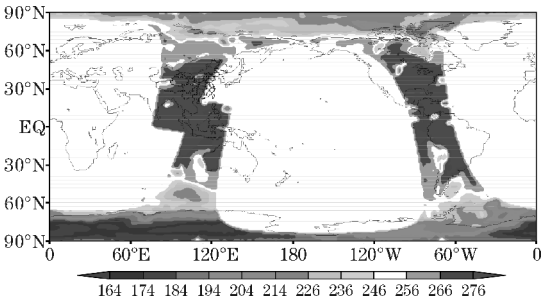
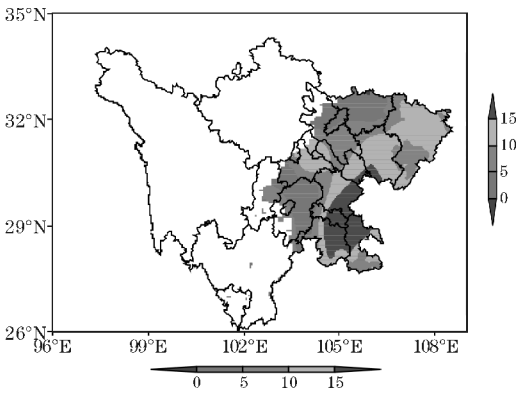


图 2 2008 年 9 月 23 日 02:20am (GMT)FY-3A MWHS 扫描范围

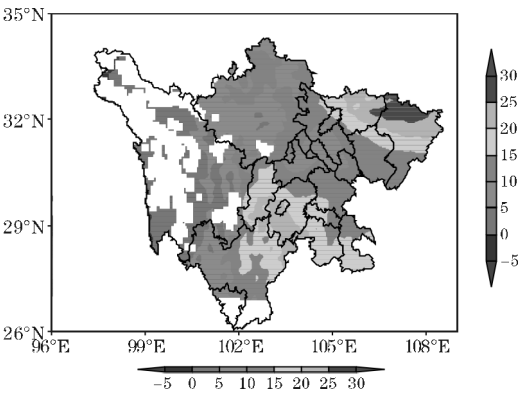
2.2 试验影响

2.2.1 初始场调整

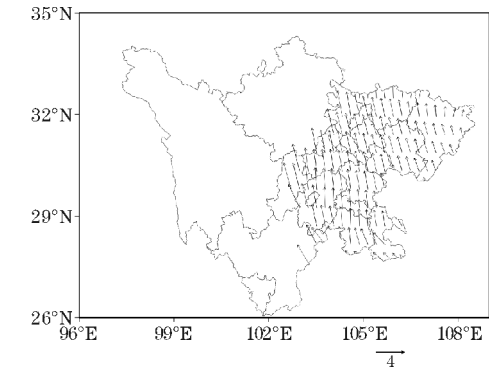
图 3 显示了在初始时刻同化 FY-3A MWS 通道 3-5 LEVEL 1 资料之后对初始场的影响,同化后 800 hPa (图 3a) 和 600 hPa (图 3b) 上有明显的相对湿度的增加,尤其是 600 hPa 上,四川盆地东北部相对湿度增加量达到 20 % 以上,同时,800 hPa (图 3c) 上西南风增强,说明更多的水汽可以通过副高西侧的西南风输送进入四川盆地,600 hPa (图 2d) 上同样显示了南风增强,并且四川盆地中北部气流辐合加强,有利于上升运动的增强和潜热释放的增加,从而引起相应高度层上温度和气压的变化,亦有利于对流云团的维持 (图略),显而易见,同化后初始场的调整有利于四川盆地中北部地区预报降水的增加。



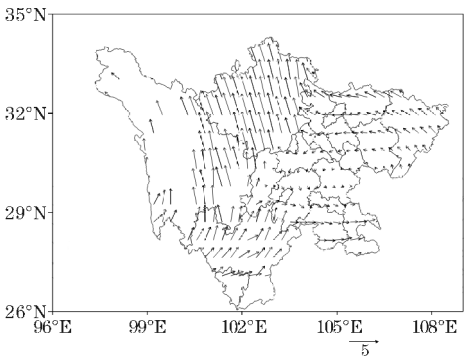
(a) 800 hPa 上相对湿度的变化



(b) 600 hPa 上相对湿度的变化



(c) 800 hPa 上矢量风场的变化

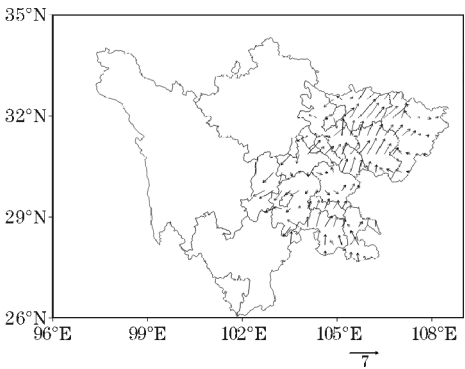


(d) 600 hPa 上矢量风场的变化

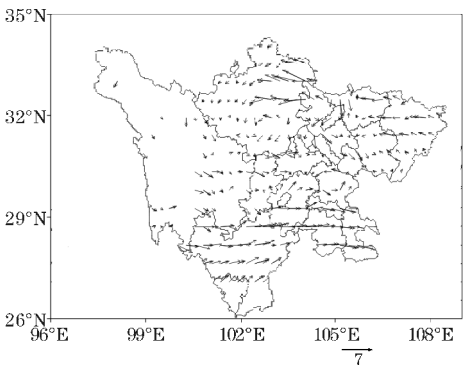
图 3 2008 年 9 月 23 日 00Z,同化前后物理量的变化
(同化后减同化前)

2.2.2 预报影响

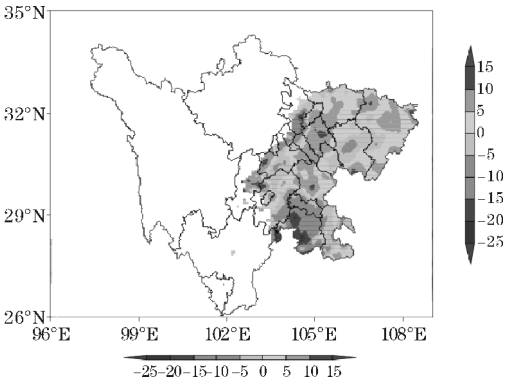
由于同化微波湿度计资料对矢量风场和相对湿度场的预报影响最为显著,故同化 MWS/FY-3A 资料前后对不同高度层上矢量风场和相对湿度场的预报影响如图 4 所示,同化后 800 hPa 上 (图 4a) 四川东北部偏南风增强,该区域 600 hPa 上 (图 4b) 矢量风场辐合加强,同时 800 hPa 和 600 hPa 图上 (图 4c 和 4d) 均清楚地显示了同化后,四川东北部相对湿度增加明显,800 hPa 上增加了 5 % 左右,600 hPa 上增加量大于 15 %,说明同化 MWS/FY-3A 资料后加强了四川东北部区域西南风的水汽输送,增加了对流云团内部的水汽供应和垂直上升运动。



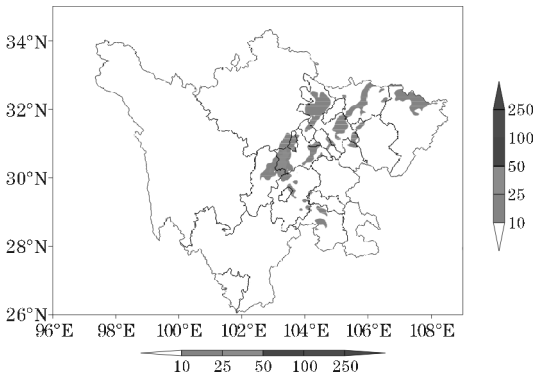
(a) 800 hPa 上同化前后预报的矢量风场的变化



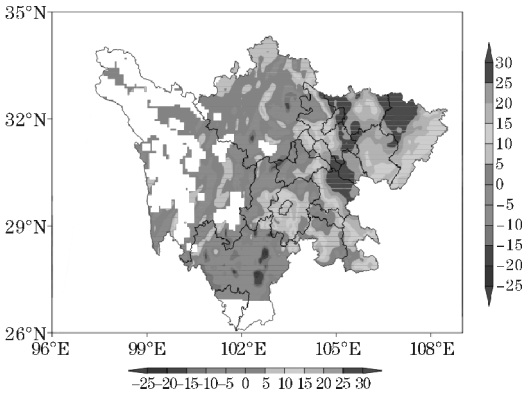
(b) 600 hPa 上同化前后预报的矢量风场的变化



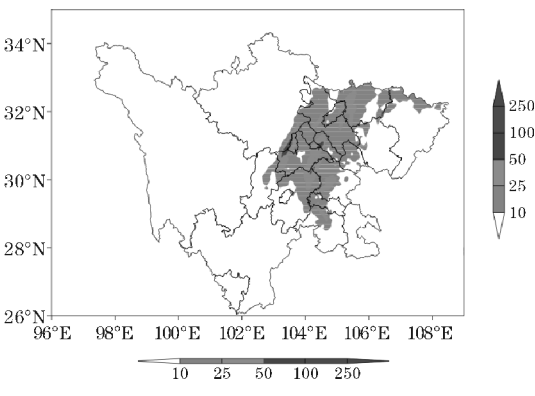
(c) 800 hPa 上同化前后预报的相对湿度场的变化



(b) 同化前 WRF 模拟



(d) 600 hPa 上同化前后预报的相对湿度场的变化

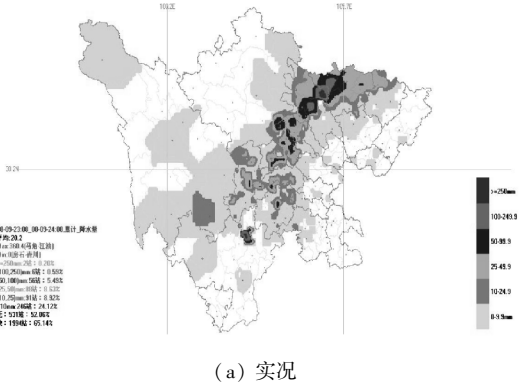


(c) 同化后 WRF 模拟

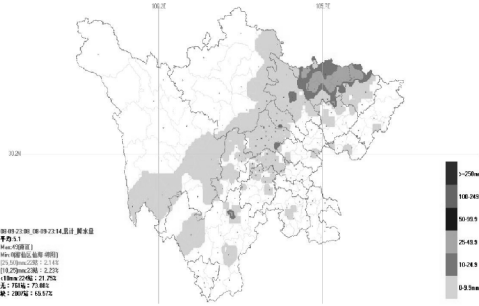
图 4 2008 年 9 月 23 日 06Z,同化前后预报场物理量的变化
(同化后减同化前)

图 5 四川 9 月 23 日 00 时-9 月 23 日 06 时累积降水量

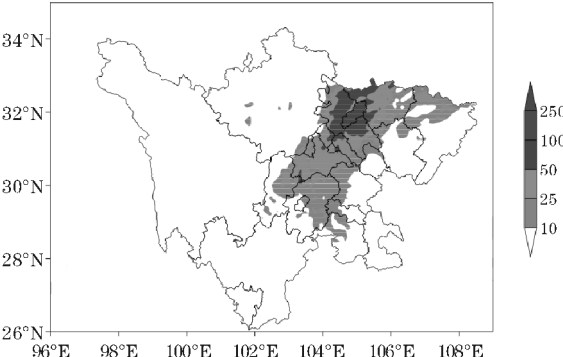
四川全境加密观测 2008 年 9 月 23 日 00Z-06Z (GMT) 6 小时累积降水量实况表明降水主要位于四川东北部(图 5a),但同化 MWHS/FY-3A 资料前 WRF 模拟的同一时段累积降水量图上(图 5b)并未呈现出四川东北部的较大雨量分布,而利用 WRFDA-3DVAR 同化 MWHS/FY-3A 资料后,明显改善了四川东北区域的降水预报(图 5c),且量级和落区均与实况观测基本一致,说明同化 MWHS/FY-3A 资料有效地改善了西南气流对水汽输送的模拟,从而进一步改善了降水预报。



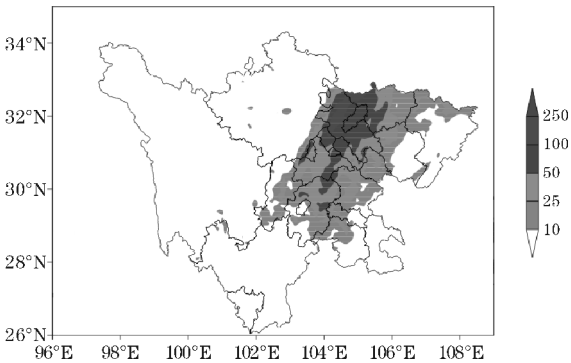
(a) 实况



(a) 实况



(b) 同化前 WRF 模拟



(c) 同化后 WRF 模拟

图 6 四川 9 月 23 日 00 时-9 月 24 日 00 时累积降水量

图 6(c) 显示同化 MWHS/FY-3A 后, WRF 模拟的 2008 年 9 月 23 日 00Z-9 月 24 日 00Z(GMT) 24 小时累积降水量图上, 降水大值中心主要位于四川北部, 与对流云团分布一致^[13], 降水大值中心量级和落区均与实况观测(图 6a)基本一致, 而同化前同一时段的降水图上(图 6b)则未见该大值中心, 降水量也未达到暴雨量级, 说明同化 MWHS/FY-3A 资料在有效地改进初始场的基础上也改善了预报。

3 试验 II

3.1 试验设计

仅一个试验不足以说明同化 MWHS/FY-3A 一定能对预报进行改善, 因此又挑选了一个典型个例进行试验。所选暴雨个例为 2011 年 7 月 3 日 00 时-7 月 4 日 12 时成都及周边县市特大暴雨个例^[15], 造成此次暴雨的高空形势主要是由于西太平洋副高突然加强西伸, 盆地低层为一闭合低压, 有气旋性辐合, 700 hPa 上的低空急流为四川盆地输送了丰富的水汽和不稳定能量, 由于特大暴雨主要集中于 7 月 3 日 14 时-7 月 4 日 04 时, 其中成都市 2 个自动站 3 小时累积降水量达到 180 mm 以上, 为十分典型的特大暴雨个例, 因此控制试验时间段为 2011 年 7 月 3 日 00Z(GMT)-7 月 4 日 00Z(GMT), 同化试验为同化 2011 年 7 月 3 日 01:26am(GMT) FY-3A MWHS 通道 3-5 LEVEL 1 的扫描观测资料(国家卫星中心官方网站上获取), 扫描宽度覆盖四川全境(图 7), 其他试验设置亦与试验 I 相同。

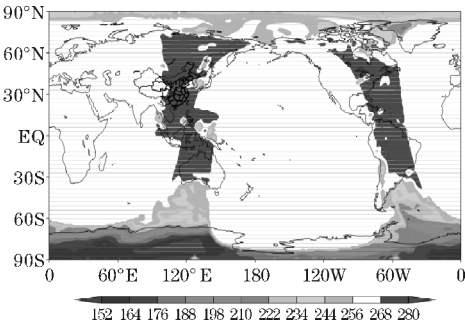
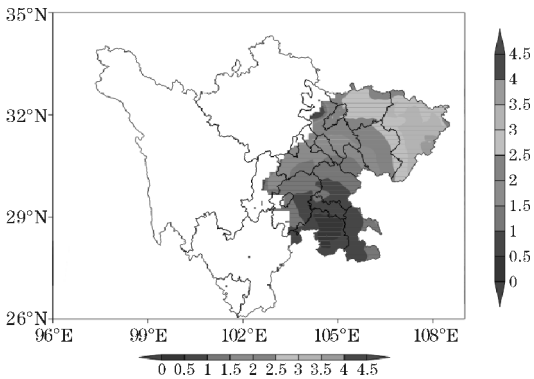


图 7 2011 年 7 月 3 日 01:26am(GMT)FY-3A MWHS 扫描范围

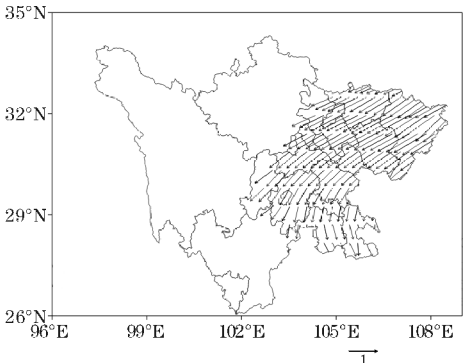
3.2 试验影响

3.2.1 初始场调整

与控制试验相比, 同化后 800 hPa(图 8a)上有微弱的相对湿度的变化, 800 hPa(图 8b)上西南风有一定程度的减弱, 说明同化后通过西南气流输送进入四川盆地的水汽有所减弱, 因此, 同化后初始场的调整并不利于四川盆地中北部地区预报降水的增加。



(a) 800 hPa 上相对湿度场的变化



(b) 800 hPa 上矢量风场的变化

图 8 2011 年 7 月 3 日 00Z, 即初始时刻, 同化前后物理量的变化
(同化后减同化前)

3.2.2 预报影响

四川全境加密观测 2011 年 7 月 3 日 00Z-7 月 4 日 00Z(GMT) 24 小时累积降水量实况如图 9(a) 所

示,降水大值中心主要位于成都及周边县市,同化 MWHS/FY-3A 资料前后 WRF 模拟的 2011 年 7 月 3 日 00Z-7 月 4 日 00Z (GMT) 24 小时累积降水量图上 (图 9b, 图 9c) 降水大值中心及落区均与观测实况较为符合,同化试验对控制试验调整不大,预报影响为中性。

测资料对 WRF 初始输入场有中性到改善的调整作用,从而亦会对 WRF 预报产生中性到正面的影响,使得预报的 6~24 小时累积降水量及落区更接近实况观测,且 FY-3A MWHS 资料的相对较大的数据噪音也并未对 WRF 预报产生负面影响。仅两组暴雨个例并不足以充分说明同化陆地上空的 FY-3A MWHS 资料必然对预报产生积极作用,但考虑到在四川盆地地形复杂及 FY-3A MWHS 数据噪音较大的情况下,两组同化试验仍然取得了与实况较为一致的结果,这对下一步考虑地表发射率的动态变化,进一步对 FY-3 系列卫星的相似仪器进行质量控制,并应用于同化和预报试验是非常重要的参考。

参考文献:

- [1] Pailleux J. Use of satellite data in the ECMWF analysis system [C]. ECMWF Workshop on high resolution analysis, 1985, 24-26: 15-25.
- [2] Durand Y., Bougeault P, Pierrard M C. Utilisation des mesures satellitaires dans le systkme d'assimilation B mtsoechelle PERIDOT. Premikre partie: I x modkle d'analyse [C]. Working Note ARPEGE 1989, 6.
- [3] 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.
- [4] 刘硕松, 董佩明, 韩威, 等. RTTOV 和 CRTM 对“罗莎”台风卫星微波观测的模拟研究与比较. [J] 气象学报, 2012, 70(3): 585-597.
- [5] Lu Q, Bell W, Bauer P, et al. An evaluation of FY-3A satellite data for numerical weather prediction [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137: 1298-1311.
- [6] 陆其峰. 风云三号 A 星大气探测资料数据在欧洲中期天气预报中心的初步评价和同化研究 [J]. 中国科学, 2011, 41(7): 890-894.
- [7] Zou X, Wang X, Weng F, et al. Assessments of Chinese Fengyun Microwave Temperature Sounder (MWTS) Measurements for Weather and Climate Applications [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2011, 28: 1206-1227.
- [8] Guan L, Zou X, Wang X, et al. Assessments of

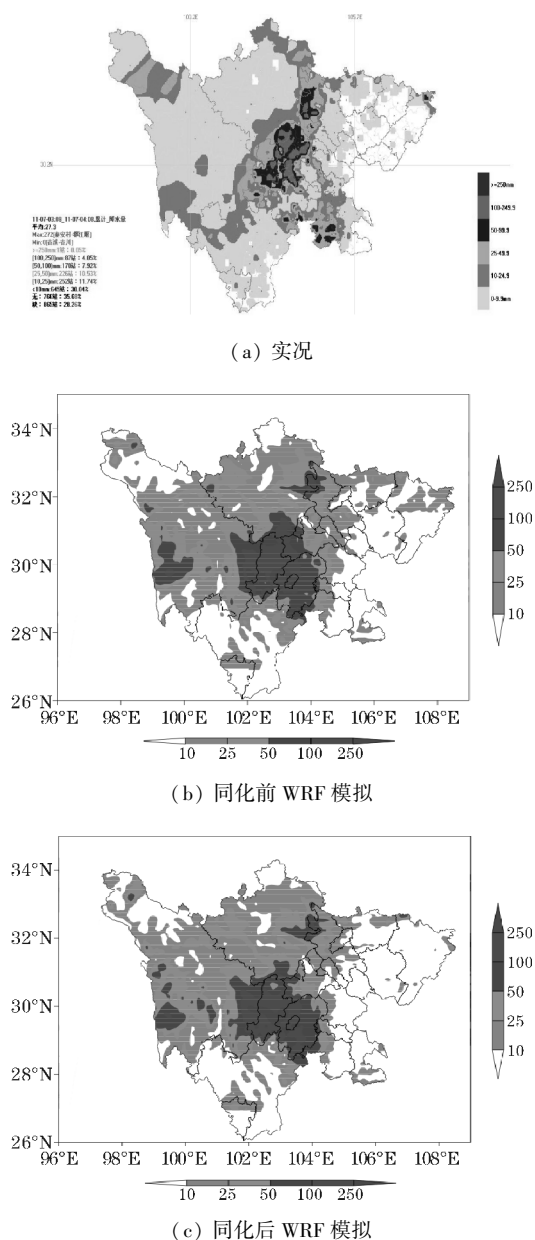


图9 四川2011年7月3日00时-7月4日00时累积降水量

4 结论

由以上两组同化对比试验可以看出,在采用基于微波探测仪 AMSU-A、AMSU-B 和 MHS 反演出的地表发射率气候月平均场的情况下,通过 WRFDA 在初始时刻同化 FY-3A MWHS 通道 3-5 LEVEL 1 的扫描观

- FY-3A Microwave Humidity Sounder measurements using NOAA-18 [J]. Journal of Geophysics Research, 2011, 116.
- [9] Masahiro Kazumori and Hidehiko Murata, Initial assessment of FY-3A microwave temperature sounder radiance data in JMA's global data assimilation system [J]. CAS/JSC WGNE Res. Activ. Atmos. Oceanic Modell, 2012.
- [10] Chen K, English S, Bormann N, et al. Assessment of FY-3A and FY-3B MWHS observations [J]. ECMWF Tech Memo, 2014, 734.
- [11] Chen K, English S, Bormann N, et al. Assessment of FY-3A and FY-3B MWHS observations [J]. Weather and Forecasting, 2015, 30(5): 1280–1290.
- [12] English S, Saunders R, Candy B, et al. Met Office Satellite Data Observing System Experiments [C]. In 3rd WMO Workshop on the Impact of Various Observing Systems in Numerical Weather Prediction, Alpbach, Austria. 2004.
- [13] Karbou F, Prigent C, Eymard L, et al. Microwave land emissivity calculations using AMSU-A and AMSU-B measurements [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2005. 43(5): 948–959.
- [14] 余卓晟, 陈科艺. 成都“2008.9.24”暴雨的中尺度数值模拟 [J]. 成都信息工程学院学报, 2012, 27(5): 495–500.
- [15] 蒋玥, 陈权亮, 李丽丽. 2011年“7.3”特大暴雨天气过程诊断分析 [J]. 成都信息工程学院学报, 2013, 28(1): 8–16.

Case Studies of Assimilating FY-3A MWHS over Sichuan Basin

CHEN Ke-yi, PAN Pin-yan

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

Abstract: In order to study the possibility of using the FY-3 series MWHS data over land operationally, the FY-3A MWHS LEVEL 1 data by WRFDA assimilated two typical rain storm cases over Sichuan Basin assimilating FY-3A MWHS LEVEL 1 data could provide neutral positive impacts on forecasts and the large data noise of the FY-3A MWHS would not have any negative impacts on the assimilation and forecasts. This research can be a good reference for further study of the data quality control over land and the assimilating and forecasting experiments for the FY-3 series.

Keywords: meteorology; data assimilation; FY-3A; MWHS; Sichuan rainstorm