

张斌, 张立凤, 熊春晖. 2014. ATOVS 资料同化方案对暴雨模拟效果的影响 [J]. 大气科学, 38 (5): 1017–1027, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1401.13215.
Zhang Bin, Zhang Lifeng, Xiong Chunhui. 2014. Effects of ATOVS data assimilation schemes on the simulation of heavy rain [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 38 (5): 1017–1027.

ATOVS 资料同化方案对暴雨模拟效果的影响

张斌 张立凤 熊春晖

解放军理工大学气象海洋学院, 南京 211101

摘 要 本文利用 WRF 模式及其 3DVar 同化系统, 以 2009 年 6 月 29 日 00 时到 30 日 00 时的湖北鹤峰暴雨为研究个例, 对 ATOVS 探测器的 AMSU-A、AMSU-B 和 HIRS 三类资料进行了不同的同化方案试验。结果表明: 同化 ATOVS 三类资料对暴雨模拟的影响不同, HIRS 资料对暴雨模拟效果改进最大, AMSU-B 次之, AMSU-A 最小。同时同化 ATOVS 三类资料时, AMSU-A 资料起主要作用, 其同化效果与同时同化 ATOVS 三类资料相近, 优化组合同化 AMSU-B 和 HIRS 资料的效果最好。同化 ATOVS 不同资料对初始要素场的影响不同, AMSU-A 资料主要影响大气温度场, AMSU-B 资料对中高空气要素场的影响较大, HIRS 资料对低空湿度场及风场的协同改变最有利于降水模拟的改善。同时 ATOVS 资料的稀疏分辨率也是影响同化效果的一个因子, 在模式分辨率不变时, 同化资料稀疏分辨率可能存在最佳选择。

关键词 暴雨 ATOVS 资料 变分同化 稀疏化 数值模拟

文章编号 1006-9895(2014)05-1017-11

中图分类号 P456

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1401.13215

Effects of ATOVS Data Assimilation Schemes on the Simulation of Heavy Rain

ZHANG Bin, ZHANG Lifeng, and XIONG Chunhui

College of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

Abstract In this paper, the Weather Research and Forecasting (WRF) model and its 3DVar assimilation system were used to examine a heavy rain event that occurred in Hefeng, Hubei Province, from 0000 UTC June 29 to 0000 UTC June 30, 2009, for which assimilation experiments were conducted with various schemes of Advanced Television and Infrared Observational Satellite (TIROS; ATOVS) including advanced microwave sounding unit (AMSU)-A, AMSU-B, and High-Resolution Infrared Sounder (HIRS) data. The effect on the simulation of heavy rain differed according to the assimilation of the three different types of ATOVS data. HIRS data produced a larger improvement on the simulation of heavy rain; AMSU-B data was inferior to the HIRS data; and the AMSU-A data appeared to show the poorest improvement. AMSU-A data produced the main effect on the assimilation result, which was close to the effect of assimilating the three types of ATOVS data simultaneously. The assimilation of the optimal combination containing AMSU-B and HIRS data was the best. Assimilation of various types of data led to varied effects on the initial field. AMSU-A data contributed mainly to the adjustment of the atmospheric temperature, whereas the effect of AMSU-B data was mainly at the middle and upper atmosphere. The assimilation of HIRS, resulted in the collaborative change on the humidity and wind field at the lower atmosphere that was most conducive to improvement of the precipitation simulation. When the model resolution was unchanged, best thinning resolution was noted.

收稿日期 2013-07-16, 2014-01-08 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目41375063、41205074

作者简介 张斌, 男, 1986 年生, 博士研究生, 主要从事资料同化研究。E-mail: zhangbinzhhb1985@163.com

Keywords Rainfall, ATOVS data, Variational assimilation, Thinning, Numerical simulation

1 引言

中尺度数值模式已成为研究暴雨等中尺度天气的重要工具,随着模式的不断发展完善,模式的初值精度成为了制约模拟效果的重要因素。初始场的形成依赖于观测资料的精度、时空分布及客观分析方法,由于常规观测资料存在着时间取样不连续、空间分布不均匀、覆盖范围不完整等问题,所以仅依赖于常规资料产生的初始场远远不能满足描述中尺度天气系统的要求(孙建华和赵思雄, 2002; 闵爱荣等, 2009)。随着卫星、雷达等探测技术的发展,极大地丰富了观测数据,特别是卫星资料具有分布范围广、时次多、全天候观测等特点,能极大缓解暴雨区域的常规气象资料时空分辨率不足的问题。

近十年来,对 NOAA 极轨卫星提供的 ATOVS 垂直探测器 (Advanced TIROS-N Operational Vertical Sounder) 资料的直接同化与应用技术已经成为国内外研究热点。English et al (2000) 针对 NOAA 极轨卫星的 ATOVS 资料进行了一系列影响试验,发现微波资料可以明显减小数值预报误差。Bouttier and Kelly (2001) 检验了不同来源观测资料对欧洲中期数值预报中心模式预报水平的影响,指出极轨卫星 TOVS 辐射率资料对数值预报水平的影响已经达到或超过传统的探空观测资料。Lee and Lee (2003) 通过用弱强迫 4D-Var 技术同化卫星反演资料发现, TOVS 资料对海洋上中尺度系统的模拟有着积极的作用。2003 年日本气象中心实现了对 ATOVS 资料的同化业务, Okamoto et al (2005) 介绍了日本气象中心的 ATOVS 资料同化方法,并在此基础上对预处理阶段的偏差订正预报因子进行了改进。Xu et al (2006) 将 CRTM 辐射传输模式, GSI-3DVAR 同化系统以及 WRF 模式三者结合,对 ATOVS 资料进行直接同化,结果表明:对 ATOVS 辐射资料的直接同化能够改进暴雨的 24 h 预报。

潘宁等 (2003) 基于 MM5 模式用增量 3DVar 同化方法对 ATOVS 辐射亮温资料进行了直接同化,结果发现同化 AMSU-A 资料对中高层温度场的影响很明显,但对降水预报的改善作用不大。齐琳琳等 (2005) 采用 3DVar 和 MM5-V3 模式对 NOAA16 的 ATOVS 辐射率资料进行直接同化,并

对长江流域的一次暴雨过程进行数值模拟,发现直接同化 ATOVS 资料,可以有效改进对流层温度、湿度场分布,且对暴雨中尺度系统的初期发生发展过程和强暴雨落区、雨强的模拟效果均有明显改善。Qi and Sun (2006) 和闵爱荣等 (2009) 分别利用 GRAPES-3DVar 同化模块,对 ATOVS 资料的 AMSU-A 和 AMSU-B 资料进行同化,结果表明,直接同化 ATOVS 辐射率资料获得的初始场可通过有效改进温度场和湿度场的分布,对降雨的落区、强度和暴雨时段有更好预报效果,卫星资料的直接同化是提高中国夏季暴雨的有效方式。郭锐等 (2010) 利用数值模式 T213L31 及其三维变分同化系统 SSI,针对川渝地区的一次暴雨过程,对 NOAA16-17 的全球 ATOVS 资料进行了同化试验,试验表明,加入同化 AMSU 资料后,可以改善降水预报,尤其是降水强度的预报。

从以上研究可以看出,同化 ATOVS 资料,可改善数值模式的预报水平,特别是对于暴雨预报有重要意义。前人的工作大多是基于不同的个例,针对 ATOVS 的某一类资料进行同化,然后分析同化对降水模拟的影响,但 ATOVS 探测器有 AMUS-A、AMSU-B 和 HIRS 三种不同类型的资料,不同类型资料的同化对初始场及降水模拟的影响是否一致? 不同类型资料同化对初始要素场有什么影响? 这些问题还需要细致深入的研究。ATOVS 资料的分辨率很高,但各种资料间存在着难以估计的相关性 (Liu and Rabier, 2002; English et al, 2002; Ochotta et al., 2005; Zavodsky et al., 2008), 同化前需要对资料进行适当的稀疏处理,因而稀疏方案对同化效果有直接影响,而这类研究也相对较少。卫星资料是非常规资料,有效利用其为数值模式提供更为准确的初始场,决定于卫星资料的应用技术,即卫星资料在模式中的同化方案。为了更有效的应用 ATOVS 资料,改善暴雨预报效果。基于上述问题,本文对 ATOVS 资料不同类型资料、不同稀疏化方案等对同化效果的影响进行研究分析,其结果对合理应用资料信息、提高卫星资料的应用效果具有很大的意义。

2 降水过程介绍

2009 年 6 月 28 日至 7 月 1 日,长江中下游地

区出现了当年范围最大、强度最强的一次暴雨天气过程,大部分地区过程降水量达 100~150 mm,部分地区达 150~200 mm。湖北鹤峰 29 日 00 时至 30 日 00 时(协调世界时,下同)24 h 累积降水达到 300 mm,打破了当地日降水量的历史记录。

29 日 00 时 500 hPa 高度场上(图略),中高纬的欧亚区域表现为两槽一脊,长波槽位于乌拉尔山地区 and 我国东北至朝鲜半岛地区,形成闭合低涡中心,东北冷涡发展强盛,中心值达到 5540 gpm;两槽之间的贝加尔湖地区为高压脊。乌拉尔山地区的长波槽东移并加强南压,东北冷涡也持续发展,但位置稳定少动,贝加尔湖高压变窄且向南压。中低纬度地区,四川东部到云贵交接处为逐渐发展加深的短波槽,且位置少动;西太平洋副高逐渐西移北抬,脊点到达 105°E 左右,在此稳定的环流形势下,湖北地区处于副高西北方和短波槽前的暖湿气流及贝加尔湖高压脊前的西北干冷气流的交汇处,有利于降水形成和发展(张斌等,2011)。

3 数值模拟试验设计

3.1 ATOVS 资料简介

ATOVS 垂直探测器主要搭载在美国 NOAA-KLM 系列极轨气象卫星 NOAA-15、16、17 和 18 上,其由三个相互独立的仪器组成:一是高分辨率红外探测器 3 型(HIRS/3),由 20 个通道组成,其中 19 个红外通道,1 个可见光通道,星下点分辨率约 20 km,可以提供大气温度、湿度以及表面探测信息;二是先进的微波探测器 A 型(AMSU-A),15 个通道组成,星下点分辨率约为 45 km,可以提供大气温度、湿度以及地面探测信息;三是先进的微波探测器 B 型(AMSU-B),由 5 个通道组成,星下点分辨率约 15 km,可以提供大气湿度以及表面探测信息(刘志权等,2007)。ATOVS 具有探测通道多,空间分辨率高等特点。由于 ATOVS 探测性能的改进和提高,ATOVS 不仅可以提供晴空和部分有云区的大气温度、湿度廓线,而且还可提供云天条件下大气温度、湿度廓线,使卫星大气探测达到全天候探测能力。本文同化的卫星资料为 ATOVS 探测的三类资料。

3.2 模拟方案及参数化选择

试验模式采用 WRF3.3.1 及其 WRF3DVar 同化系统,试验资料为 NCEP1°×1°的再分析资料。考

虑到模式中普遍存在的 spin-up 问题,即模式在运行初始阶段,动力和热力的适应调整过程需要一段时间,导致对于降水的发生时间预报滞后,因而本文模拟积分 6 h 后开始同化,即由 2009 年 6 月 28 日 18 时的 NCEP1°×1°的再分析资料开始积分,将积分 6 h 后的 29 日 00 时的预报场作为同化试验的初始场进行卫星资料的同化,然后以同化后的分析场为初值积分 24 h 至 30 日 00 时,分析后 24 h 的模拟结果。

试验的参数设置如下:模式中心位于(30°N, 110°E),水平格距为 30 km,水平格点数为 180×120,垂直层数为 28 层,地形选择为 30 s;时间步长为 120 s。模式物理过程采用 New Thompson 微物理方案, Betts-Miller-Janjic 积云参数化方案, RRTM 长波辐射方案, Dudhia 短辐射方案, Noah Land Surface Model 陆面方案和 Yonsei University scheme 边界层方案。

3.3 同化试验设计

在研究和业务应用(Liu and Rabier, 2002; English et al., 2002; Ochotta et al., 2005; Zavodsky et al., 2008)中,为了合理有效的使用卫星资料,同化前需对资料进行稀疏处理。本文稀疏处理采用方法的基本思想是,确定稀疏分辨率,在稀疏分辨率的网格内,一般有多个观测点数据,通过比较各个观测点的物理参数,选择保留一个观测点数据。在选择过程中,首先,做云和降水检测,保留晴空像素点;其次,在晴空观测数据中,考虑分布的均匀性,尽可能选择距离这个稀疏网格中心比较近的观测数据。当不同卫星轨道重叠时稀疏网格内观测点的观测时间差异较大,取最接近分析时间的观测点。如果在某个稀疏网格内没有晴空观测,那么只需考虑数据的均匀性和分析时间选择观测点。从该方法的流程上看,稀疏网格的分辨率越高则可以同化的资料数量越大。

由于 ATOVS 三类观测资料包含的信息不同,各类资料同化对于降水模拟可能有不同影响。为了考察同化 ATOVS 三类不同资料和稀疏分辨率对于暴雨模拟效果的影响,针对鹤峰暴雨,选取 NOAA-15、16 的 ATOVS 资料设计了不同的敏感性试验,其中 AMSU-A 选取通道 4~10, AMSU-B 选取通道 18~20, HIRS 选取通道 2~7、11~17。同化试验的时间窗均为分析时刻(2009 年 6 月 29 日 00 时)的前后 1.5 h。具体试验方案见表 1。

表 1 同化试验方案

Table 1 Assimilation experiment schemes		
序号	试验名称	试验方案
1	CTL	初始场不同化, 积分 24 h 到 30 日 00 时
2	DA_ATOVS	同化 ATOVS 三类资料, 分辨率为 120 km, 积分同 CTL 试验
3	DA_A6	同化 AMSU-A 资料, 分辨率为 60 km, 积分同 CTL 试验
4	DA_A12	同化 AMSU-A 资料, 分辨率为 120 km, 积分同 CTL 试验
5	DA_A24	同化 AMSU-A 资料, 分辨率为 240 km, 积分同 CTL 试验
6	DA_B6	同化 AMSU-B 资料, 分辨率为 60 km, 积分同 CTL 试验
7	DA_B12	同化 AMSU-B 资料, 分辨率为 120 km, 积分同 CTL 试验
8	DA_B24	同化 AMSU-B 资料, 分辨率为 240 km, 积分同 CTL 试验
9	DA_H6	同化 HIRS 资料, 分辨率为 60 km, 积分同 CTL 试验
10	DA_H12	同化 HIRS 资料, 分辨率为 120 km, 积分同 CTL 试验
11	DA_H24	同化 HIRS 资料, 分辨率为 240 km, 积分同 CTL 试验
12	DA_BH12	同化 AMSU-B (120 km) 和 HIRS (120 km) 资料, 积分同 CTL 试验

注: 分辨率均指卫星资料的稀疏分辨率, 下文同。

表 1 中的试验 CTL 和 DA_ATOVS 为控制试验和同时同化 ATOVS 三类资料(同化资料数目最多)的同化试验, 目的是考察同化卫星资料对降水模拟的影响; 试验 3~11 为采用不同分辨率的稀疏方案, 分别同化 AMSU-A 资料、AMSU-B 资料和 HIRS 资料的同化试验, 目的是考察不同稀疏分辨率和不同资料同化对降水模拟效果的影响; 试验 DA_BH12 为资料的组合同化试验, 目的是考察资料的优化组合同化对降水模拟的效果的影响。

4 降水模拟结果分析

同化卫星资料的主要目的是改善降水模拟效果, 因而分析同化效果首先要考察对降水落区和强度的模拟结果。为了更客观的评价降水模拟效果, 对试验结果进行了 TS (Threat Score)定量评估。

4.1 同化 ATOVS 三类资料

图 1 给出了 2009 年 6 月 29 日 00 时~30 日 00 时 24 h 的降水实况(来源于中国逐日格点降水量实时分析系统)和试验 CTL、DAC_ATOVS 的模拟结果。从图 1a 可以看出模拟区域内, 降水中心位于湖北西南部的鹤峰地区(30°N, 110.1°E), 中心雨量达 300 mm; 试验 CTL(图 1b)大致模拟出了降水的分布, 降水中心位于(29.7°N, 110.1°E), 雨

量为 160 mm, 与实况相比, 中心位置偏南, 中心强度偏弱较多, 特别是在鹤峰地区的西北部又出现了降水量达 120 mm 的虚假中心。试验 DAC_ATOVS(图 1c)模拟的降水分布与试验 1 有很大不同, 这说明同化 ATOVS 资料对降水模拟影响较大, 但对比实况可以看出, 试验 DAC_ATOVS 对模拟效

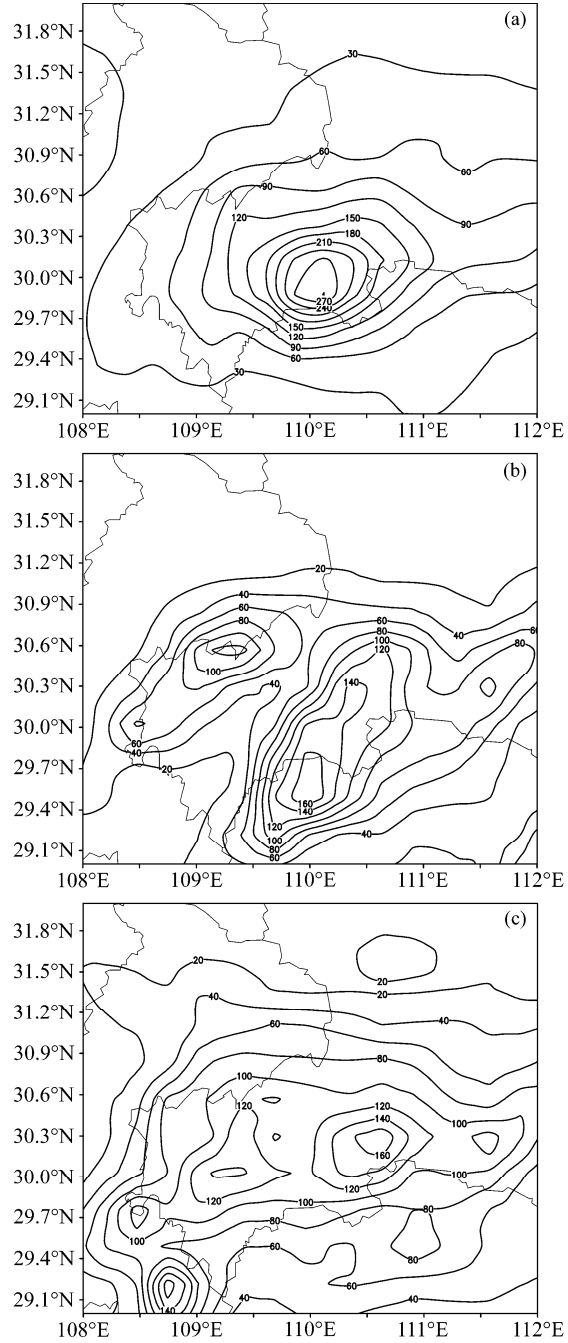


图 1 2009 年 6 月 29 日 00 时~30 日 00 时 24 h 累积降水(单位:mm): (a) 实况; (b) 试验 CTL; (c) 试验 DA_ATOVS

Fig. 1 The 24-h accumulated precipitation from 0000 UTC June 29 to 0000 UTC June 30 2009 (unit: mm): (a) The observation; (b) the experiment CTL; (c) the experiment DA_ATOVS

果并没有明显改善,模拟的降水分布过于分散,降水中心较多,如在(29.2°N, 108.7°E)和(30°N, 109.2°E)分别出现了180 mm和140 mm的虚假中心。表2为相应试验的TS评分。试验DA_ATOVS的TS评分高于试验CTL,但在大于150 mm等级上却低于试验CTL。由此可见,同化ATOVS资料后,对降水预报效果有较大影响,但改善效果不明显,尤其是对特大暴雨的模拟。

以上结果是否是由于不同卫星资料的同化效应不同或资料密度过高造成。为揭示不同资料不同稀疏分辨率的影响,下面进行了一系列敏感性试验。

表2 各试验降水TS(Threat Score)评分

Table 2 TS (Threat Score) score of precipitation simulation for every experiment

试验	不同等级降水的TS评分						
	200 mm	150 mm	100 mm	50 mm	25 mm	10 mm	5 mm
CTL	0.00000	0.08000	0.12500	0.17450	0.21404	0.28183	0.36278
DA_ATOVS	0.00000	0.06060	0.13750	0.20725	0.26451	0.28871	0.38743
DA_A6	0.00000	0.00000	0.10000	0.19767	0.22112	0.25296	0.35307
DA_A12	0.00000	0.07407	0.12162	0.20856	0.27336	0.28476	0.36780
DA_A24	0.00000	0.00000	0.12069	0.15000	0.24324	0.27866	0.36416
DA_B6	0.00000	0.04545	0.13793	0.18293	0.22759	0.28547	0.37160
DA_B12	0.00000	0.12500	0.16667	0.19178	0.21786	0.26633	0.36342
DA_B24	0.00000	0.08696	0.15517	0.18182	0.21533	0.28042	0.35315
DA_H6	0.00000	0.10000	0.16667	0.17568	0.23019	0.27663	0.36683
DA_H12	0.06667	0.12903	0.17647	0.19014	0.24906	0.27411	0.36686
DA_H24	0.00000	0.14815	0.18033	0.17647	0.22909	0.26892	0.35831
DA_BH12	0.00000	0.23529	0.27907	0.20588	0.24444	0.28243	0.37176

4.2 同化的敏感性试验

4.2.1 不同稀疏分辨率

图2为试验3-11模拟的29日00时~30日00时24 h累积降水分布。可以看出,各类资料不同稀疏分辨率的同化模拟效果差异较大。

对于AMSU-A资料,试验DA_A6和试验DA_A12模拟的暴雨中心强度均为160 mm,相对实况偏弱,但模拟落区相差较大,试验DA_A6模拟的降水中心位于(29.8°N, 111.4°E),试验DA_A12位于(30°N, 110.3°E),与实况降水中心(30°N, 110.1°E)更为接近。试验DA_A24模拟的中心降水量为120 mm,相对实况偏弱较多,中心落区与实况相比也偏北较多。

对于AMSU-B资料,试验DA_B6模拟的虚假降水中心较多,模拟降水中心与实况相比偏北0.3°,中心降水仅为110 mm,雨量偏弱很多。试验

DA_B12模拟的降水强度为180 mm,相对于试验CTL增加了20 mm,落区也更接近于实况,试验DA_B24模拟的降水中心强度与试验DA_B12相同,但中心位置(29.6°N, 110.3°E)相对试验DA_B12偏离实况较多。

对于HIRS资料,试验DA_H6模拟的降水中心位置为(29.8°N, 110.3°E),强度为200 mm,而试验DA_H12模拟的降水中心位置为(30°N, 110.1°E),强度为240 mm,与试验DA_H6相比更接近实况,试验DA_H24模拟的降水中心位于(29.6°N, 110.1°E),中心降水量仅为160 mm,较试验DA_H12模拟效果下降。

从表2中的试验3-11的TS评分来看,对大于50 mm的暴雨模拟,试验DA_A12的TS评分都高于试验DA_A6和DA_A24,试验DA_B12的TS评分也高于试验DA_B6和DA_B24,对大于150 mm得的暴雨模拟,试验DA_B12的TS评分达到了0.125。试验DA_H12的TS评分在各个降水量级上都要高于试验DA_H6和DA_H24,特别是对大于200 mm暴雨模拟的评分为0.06667。

综上所述,对于ATOVS三类资料,采用不同稀疏分辨率的同化方案,降水的模拟的效果不同,总的来说对于试验所用模式,各类资料同化稀疏分辨率为120 km时,模拟效果最好。这说明同化稀疏分辨率大,可用同化资料变少,同化的作用小,对模拟效果的影响也小;而稀疏分辨率高,同化的资料增多,但模拟的效果也不一定有提高,这是因为资料分辨率高,误差的相关性增大,资料之间的相关性可能会削弱同化带来的正效应,甚至使模拟效果变差;因而稀疏分辨率不能取得太小,也不能取的太大。在固定模式分辨率下,存在着最佳稀疏化分辨率。

4.2.2 不同类型资料

从以上对ATOVS三类资料的不同稀疏分辨率的试验结果可见,稀疏分辨率取为120 km时,同化模拟效果最好,下面分析在120 km的稀疏分辨率情况下,各类资料的同化效果。

从表2中可以看出,对暴雨的模拟效果,试验2-11相对于试验CTL都有不同程度的提高。试验CTL,试验DA_ATOVS和试验DA_A12的TS评分相近且提高最小,在大暴雨量级上甚至低于试验CTL的评分,这说明同化ATOVS三类资料和只同化AMSU-A资料都不能明显提高模拟效果;而试

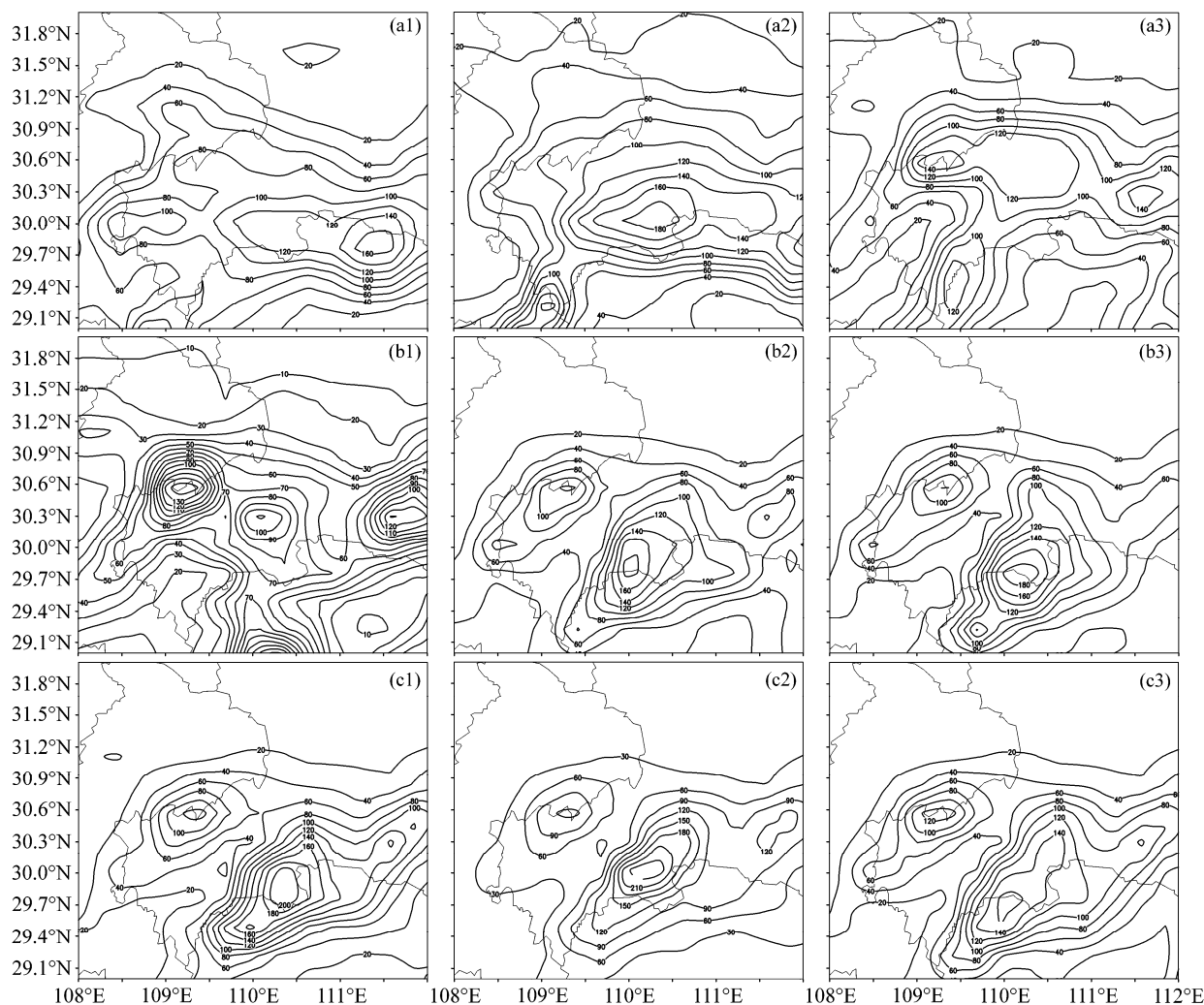


图2 2009年6月29日00时~30日00时24 h累积降水(单位: mm)。图a1、a2、a3为试验DA_A6、DA_A12、DA_A24; 图b1、b2、b3为试验DA_B6、DA_B12、DA_B24; 图c1、c2、c3为试验DA_H6、DA_H12、DA_H24

Fig. 2 The 24-h accumulated precipitation from 0000 UTC June 29 to 0000 UTC June 30 2009 (unit: mm). Figs. a1, a2, a3 are for experiment DA_A6, DA_A12, DA_A24; Figs. b1, b2, b3 are for experiment DA_B6, DA_B12, DA_B24; Figs. c1, c2, c3 are for experiment DA_H6, DA_H12, DA_H24

验DA_B12和试验DA_H12的评分相对于试验CTL提高较大,特别是在暴雨以上等级上有明显提高,试验DA_B12和试验DA_H12对大于150 mm的模拟评分分别达到了0.125和0.129,试验DA_H12对大于200 mm等级暴雨中也具有一定的模拟能力,评分为0.06667,这说明只同化AMSU-B或HIRS资料对模拟效果有正贡献。同化AMSU-A资料的作用是否影响了同时同化ATOVS三类资料的效果?为揭示这个问题,设计了试验12,将同化效果好的AMSU-B和HIRS资料进行组合同化。

图3为试验DA_BH12的24 h降水模拟结果,从图可见降水模拟效果有了明显改善,更为接近实况,模拟的暴雨中心位于(30.3°N, 110.5°E),较

实况偏西北,降水量达240 mm。试验DA_BH12的评分几乎都高于试验DA_B12和试验DA_H12。这也说明同时同化ATOVS三类资料并不一定产生最好的效果,要改进模拟效果,不同类型的资料存在最优组合。这不仅与同化方法有关,更可能与不同资料之间的相容性有关。

从上面的分析可以看出,对于本次降水,ATOVS的三类资料AMSU-A、AMSU-B和HIRS对于降水模拟的影响不同。AMSU-A资料对于降水模拟效果的改善较小,甚至为负效应,AMSU-B和HIRS资料对模拟效果有正的贡献。而AMSU-A资料对同时同化ATOVS三类资料时的影响最大,并减弱了其他两类资料的正贡献,所以不同类型资料的优化

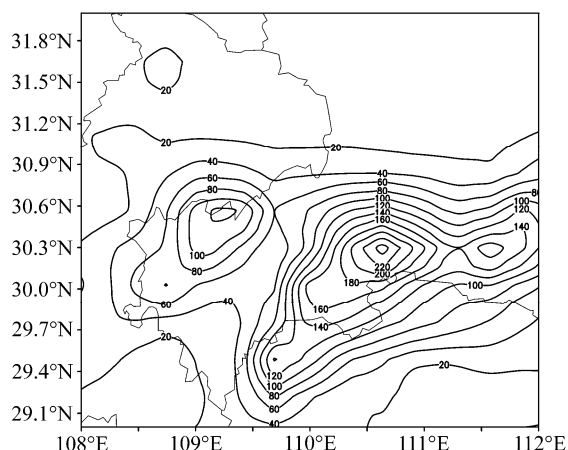


图3 2009年6月29日00时~30日00时试验DA_BH12的24 h累积降水(单位: mm)

Fig. 3 The 24-h accumulated precipitation from 0000 UTC June 29 to 0000 UTC June 30 2009 for experiment DA_BH12 (unit: mm)

组合同化是提高同化效果的有效途径。

5 关键要素的同化增量分析

降水的发生与温、湿、风等要素场的分布密切相关, 这些要素场的初始分布对数值模拟有着重要影响, 资料同化正是通过改变这些要素的初始场分布进而改进降水模拟效果。

从上面的试验可以看出各种同化试验方案的降水模拟结果不同, 这主要是不同的同化方案形成了不同的初始场, 为揭示同化不同类型资料对形成初始场的作用, 下面基于五组试验 DA_ATOVS、DA_A12、DA_B12、DA_H12 和 DA_BH12, 分析了初始要素场的同化增量场。

5.1 700 hPa 温度场

图4为各同化试验的700 hPa温度增量场。由图可见, 试验DA_ATOVS(图4a)和DA_A12(图4b)的增量场分布相似, 温度增量大小基本一致, 都表现为30°N以南增量为正、以北部为负, 这种增量的分布, 使得南北温差增大, 有利于锋生和激发上升运动, 从而有利降水发展, 这也说明在同时同化ATOVS三类资料中, AMSU-A资料对温度场的改变占主导作用。试验DA_B12(图4c)的温度增量较小, 即同化AMSU-B资料对温度场的影响很小。试验DA_H12(图4d)和DA_BH12(图4e)的温度场增量的分布相似, 增量值不大, 在模拟区域为负, 且增量场基本呈经向分布, 因而南北温差改变较小, 对激发锋生辐合的作用也较小。

5.2 700 hPa 相对湿度和风场

图5为各同化试验的700 hPa相对湿度和风场增量。从图可见, 试验DA_ATOVS(图5a)的风场增量几乎一致为偏南风, 强度最大, 这有利于水汽从南向北输送; 但相对湿度的增量在鹤峰附近(即30°N)及以南区域为负值, 即同化增量不有利于暴雨区域水汽的增加。试验DA_A12(图5b)的增量分布与试验DA_ATOVS相似, 即同时同化ATOVS三类资料时, AMSU-A资料起了主导作用。试验DA_B12(图5c)的增量场中, 鹤峰地区以北相对湿度降低, 鹤峰及其以南地区的相对湿度改变较小, 风场增量也很小。试验DA_H12(图5d)的增量场中, 相对湿度有不同程度的增加, 特别在(28°N~30°N, 108°E~110°E)有一条湿度增量大值带, 对应风场增量为西南风, 强度较大, 增量风将南部暖湿空气向降水地区输送, 有利于降水发展。试验DA_BH12(图5e)的相对湿度、风场增量与试验DA_H12相似, 即在组合同化中HIRS资料对同化效果的影响更大。

从上述分析可以看出, 700 hPa增量场中, 同时同化ATOVS三类资料时, AMSU-A资料对于初始场影响最大。同化AMSU-A资料对温度场、湿度场和风场的改变都是最大, 但由于相对湿度的改变不利于降水的加强, 所以同化AMSU-A资料对降水模拟的改善效果不大。同化AMSU-B资料对温度、湿度和风场的改变都较小; 同化HIRS资料对温度场的影响较小, 但对湿度场和风场的改变有利降水发生。联合同化AMSU-B和HIRS资料与只同化HIRS资料的增量相似。将700 hPa层的增量场与模拟降水对照发现, 试验DA_H12和DA_BH12在鹤峰及其以南地区相对湿度增大最为明显, 模拟的降水与实况也最为接近, 这说明对此次暴雨过程, 相对湿度的变化是影响降水效果的首要因素。

5.3 相对湿度和风场增量的垂直分布

图6为相对湿度和风场增量沿110°E剖面的垂直分布。从图6a、6b和6c可以看出, 同时同化ATOVS三类资料时, AMSU-A主要影响大气的低层(550 hPa以下), 尤其是低层的雨区南面, 使得相对湿度减小, 偏南风分量增大, 在雨区(30°N附近)上升运动有所加强; AMSU-B资料对大气中高层的相对湿度和流场影响较大, 但对流场的影响强度要小于AMSU-A。试验DAC_H12(图6d)垂直

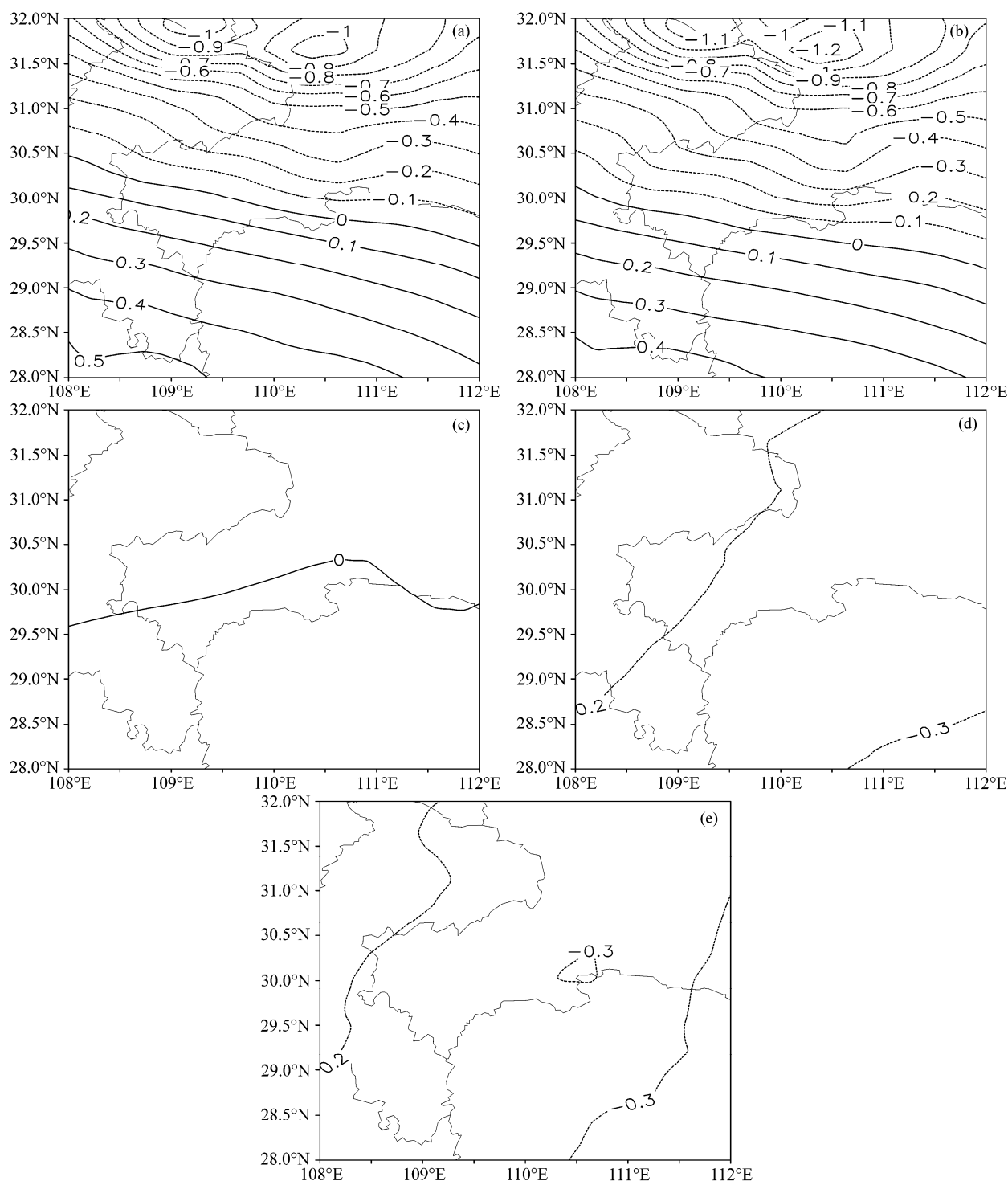


图4 2009年6月29日00时700 hPa温度增量(单位: k)。图a-e分别为试验DA_ATOVS、DA_A12、DA_B12、DA_H12和DA_BH12

Fig. 4 The 700-hPa temperature increments on 0000 UTC June 29 (unit: k). Figs. a-e are for experiment DA_ATOVS, DA_A12, DA_B12, DA_H12, DA_BH12

方向上相对湿度增量基本为正值, 30°N以南低层增量最为明显, 对应流场增量最大值区也主要在低层, 为偏南风, 强度较大, 低层的30°N附近上升运动也有明显增长, 这说明同化HIRS资料, 无论是水

汽条件还是动力条件都产生有利于降水发生的增量。试验DAC_BH12(图6e)的增量场在低层与试验DAC_H12(图6d)相似, 但高空有所差异, 即优化组合同化时, HIRS资料对于低层的影响占

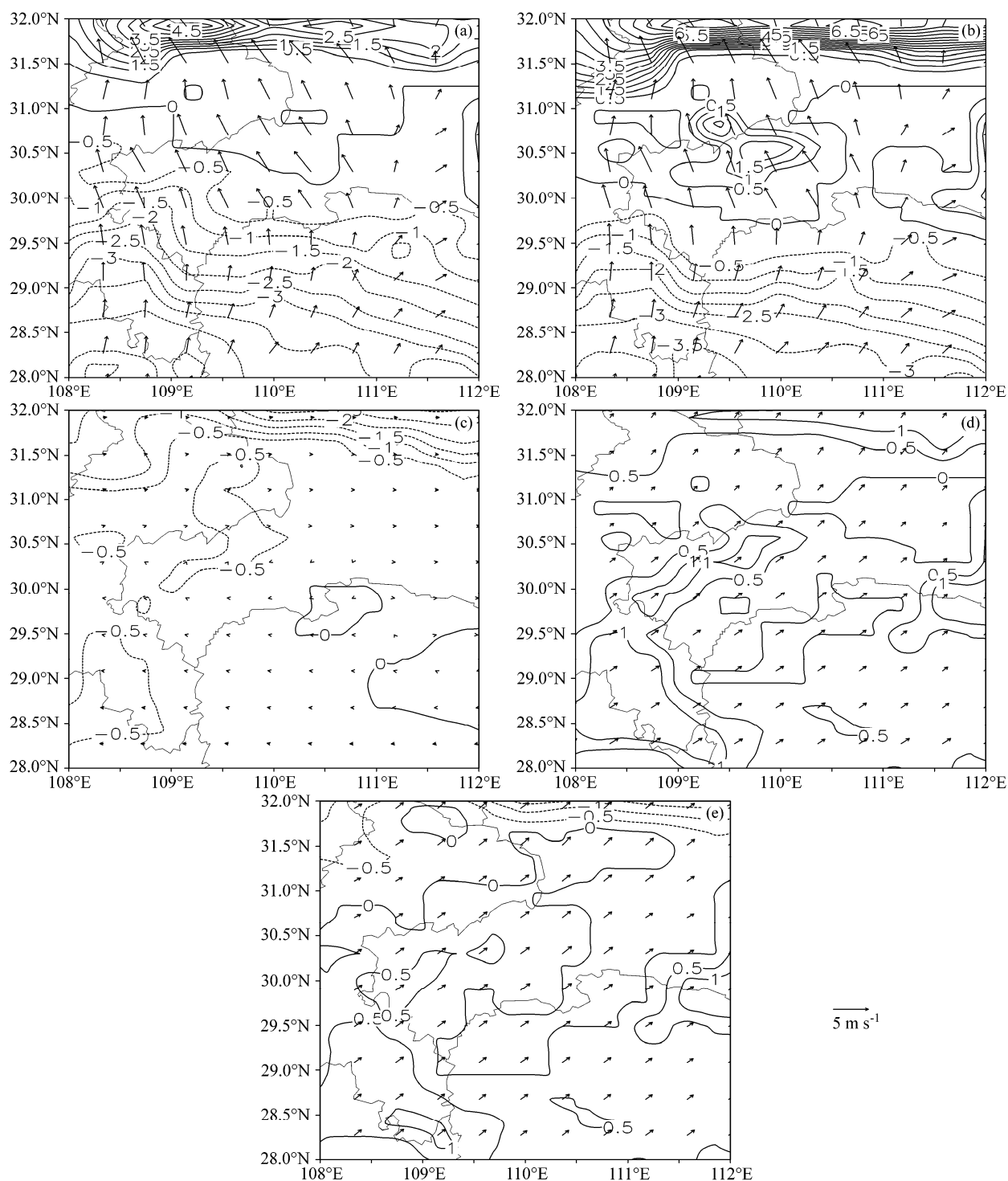


图5 2009年6月29日00时700 hPa相对湿度(等值线)和风场增量(箭头, 单位: m s^{-1})。图a-e分别为试验 DA_ATOVS、DA_A12、DA_B12、DA_H12、DA_BH12

Fig. 5 The relative humidity (contours) and wind field increments (arrow, unit: m s^{-1}) at 700 hPa on 0000 UTC June 29 2009. Figs. a-e are for experiment DA_ATOVS, DA_A12, DA_B12, DA_H12, DA_BH12

主导作用。增量的垂直分布表明: 同时同化 ATOVS 三类资料时, AMSU-A 资料对于流场和低层湿度场的改变占据主导作用; 同化 AMSU-B 资料主要影响

中高层大气; 同化 HIRS 资料产生的湿度场、风场、上升运动增量, 有利于降水发生发展, 所以有利降水模拟效果的改善。

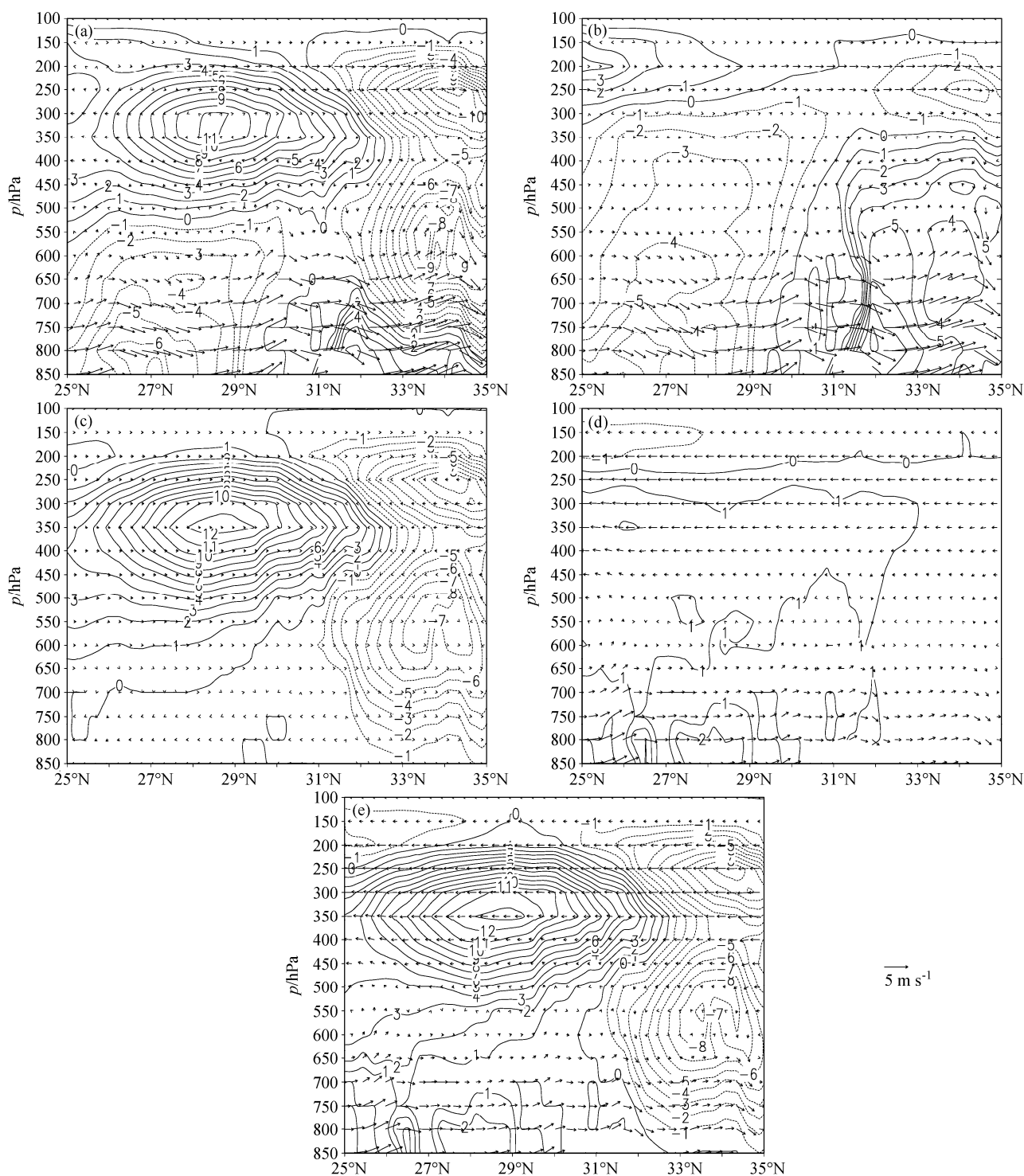


图6 2009年6月29日00时相对湿度(等值线)和风场增量(箭头代表风矢,单位: m s^{-1} , 经向风速和垂直速度增量合成, 垂直速度增量放大100倍)沿 110°E 方向垂直分布。图a-e分别为试验 DA_ATOVS、DA_A12、DA_B12、DA_H12 和 DA_BH12

Fig. 6 The vertical distribution of relative humidity (contours) and wind field increments (arrow, unit: m s^{-1} , the synthesis of meridional wind vector and vertical wind vector, vertical velocity increment is magnified 100 times) along 110°E . Figs. a-e are for experiment DA_ATOVS, DA_A12, DA_B12, DA_H12, DA_BH12

6 结论

本文采用 WRF 模式及其 3DVar 同化系统, 针

对 ATOVS 卫星辐射率资料, 对 2009 年 6 月 29~30 日发生在湖北鹤峰地区的特大暴雨进行了不同同化方案的模拟试验, 通过对试验结果的分析, 得

到以下主要结论:

(1) 同时同化 ATOVS 三类资料对于降水模拟影响较大,但效果改进不明显;分别三类资料时,同化 HIRS 资料对模拟效果改进最大,AMSU-B 次之,AMSU-A 的改善作用最小,甚至为负效应。同时同化 ATOVS 的三类资料时,AMSU-A 资料对同化效果起主要作用,很大程度上决定了同化三类资料的模拟效果,组合同化 AMSU-B 和 HIRS 时,降水模拟效果最好,且 HIRS 资料起主要作用。

(2) 稀疏分辨率大小对 ATOVS 资料的同化效果有影响。稀疏分辨率大,资料信息变少,对模拟效果的影响也变小;稀疏分辨率小,观测误差相关性增大,也会削弱同化带来的正效应,因而在一定的模式分辨率下,稀疏化尺度可能存在最佳选择。

(3) 同化不同的资料时,初始场增量分布不同,AMSU-A 资料的分析增量主要体现在低层(700 hPa 以下),对温度场的改变有利于降水加强,但对湿度场的改变不利于降水的发展;AMSU-B 资料的分析增量主要体现在中高层的湿度场上,对于低层影响较小;同化 HIRS 资料对于风场的影响较大,对湿度的影响主要在低层降水地区以南,且对风场和湿度场的改变均有利于降水的发展,同化对降水模拟的影响,主要是通过分析增量形成有利降水发生的初始条件来实现。

(4) 在此次暴雨过程中,湿度场的改变是降水模拟效果改善的关键因子,在有利的湿度场分布条件下,风场是关键因素,风场与湿度场的配合决定了降水的模拟效果;同时低层要素场的改变对降水的模拟影响作用要大于高空要素场。

本文的研究只是对 2009 年夏季的一个鹤峰暴雨过程,其结果的普适性还有待进一步检验,但研究结论对同化技术研究和业务应用还是有借鉴意义的。

参考文献 (References)

- Bouttier F, Kelly G. 2001. Observing-system experiments in the ECMWF 4D-Var data assimilation system [J]. *Quart. J. Royal Meteor. Soc.*, 127 (574): 1469–1488.
- English S J, Renshaw R J, Dibben P C, et al. 2000. A comparison of the impact of TOVS arid ATOVS satellite sounding data on the accuracy of numerical weather forecasts [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126 (569): 2911–2931.
- 郭锐, 张国平, 李泽椿. 2010. 对于一次川渝暴雨的 ATOVS 资料同化数值模拟 [J]. *大气科学学报*, 33 (5): 615–623.
- Guo Rui, Zhang Guoping, Li Zechun. 2010. Assimilation and numerical simulation of ATOVS data of the heavy rain over Eastern Sichuan Province and Chongqing [J]. *Trans. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 33 (5): 615–623.
- Lee M S, Lee D-K. 2003. An application of a weakly constrained 4DVAR to satellite data assimilation and heavy rainfall simulation [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 131 (9): 2151–2176.
- Liu Z Q, Rabier F. 2002. The interaction between model resolution, observation resolution and observation density in data assimilation: A one-dimensional study [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 128 (582): 1367–1386.
- 刘志权, 张凤英, 吴雪宝, 等. 2007. 区域极轨卫星 ATOVS 辐射偏差订正方法研究 [J]. *气象学报*, 65 (1): 113–123.
- Liu Zhiqun, Zhang Fengying, Wu Xuebao, et al. 2007. A regional ATOVS radiance-bias correction scheme for radiance assimilation [J]. *Acta Meteor. Sinica*, 65 (1): 113–123.
- 闵爱荣, 廖移山, 王晓芳, 等. 2009. ATOVS 资料的变分同化对一次暴雨过程预报的影响分析 [J]. *热带气象报*, 25 (3): 314–320.
- Min Airong, Liao Yishang, Wang Xiaofang, et al. 2009. Analyzing the effect of variational data assimilation of satellite radiance on a heavy rain [J]. *J. Tropical Meteor. (in Chinese)*, 25 (3): 314–320.
- Ochotta T, Gebhardt C, Saupe D, et al. 2005. Adaptive thinning of atmospheric observations in data assimilation with vector quantization and filtering methods [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131 (613): 3427–3437.
- Okamoto K, Kazumori M, Owada H. 2005. The assimilation of ATOVS radiances in the JMA global analysis system [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83 (2): 201–217.
- 潘宁, 董超华, 张文建. 2003. ATOVS 辐射率资料的直接变分同化试验研究 [J]. *气象学报*, 61 (2): 226–236.
- Pan Ning, Dong Chaohua, Zhang Wenjian. 2003. The experiments on direct assimilating ATOVS radiance [J]. *Acta Meteorological Sinica (in Chinese)*, 61 (2): 226–236.
- Qi Linlin, Sun Jianhua. 2006. Application of ATOVS microwave radiance assimilation to rainfall prediction in Summer 2004 [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 23 (5): 815–830.
- 齐琳琳, 孙建华, 张小玲, 等. 2005. 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*, 29 (5): 780–789.
- Qi Linlin, Sun Jianhua, Zhang Xiaoling, et al. 2005. The ATOVS data assimilating experiments on the heavy rain over the Yangtze River basin [J]. *Chinese J. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 29 (5): 780–789.
- 孙建华, 赵思雄. 2002. 华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 I. 引发暴雨的中 β 尺度对流系统的数值模拟研究 [J]. *大气科学*, 26 (4): 541–557.
- Sun Jianhua, Zhao Sixiong. 2002. A study of mesoscale convective systems and its environmental fields during the June 1994 record heavy rainfall of South China. Part I: A numerical simulation study of meso- β convective system inducing heavy rainfall [J]. *Chinese J. Atmos. Sci. (in Chinese)*, 26 (4): 541–557.
- Xu J, Wan Q, Wang D. 2006. Application of ATOVS radiance data assimilation in reduction of rainstorm over the South China Sea [C]. *Western Pacific Geophysics Meeting*.
- 张斌, 张立凤, 彭军, 等. 2011. 湖北鹤峰一次特大暴雨过程的数值模拟及偏差成因分析 [J]. *暴雨灾害*, 30 (4): 343–348.
- Zhang Bin, Zhang Lifeng, Peng Jun, et al. 2011. Numerical simulation and analysis on the origin of deviation of an excessive storm in Hefeng, Hubei Province [J]. *Torrential Rain and Disasters (in Chinese)*, 30 (4): 343–348.
- Zavodsky B, Lazarus S, Li X, et al. 2008. Intelligent data thinning algorithms for satellite imagery [C]. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*.