

# 直接同化卫星辐射率资料在 暴雨预报中的应用研究

李 娟 朱国富

(国家气象中心,北京 100081)

**提 要:** 为了考察 T213-SSI 同化全球 ATOVS 卫星辐射率微波资料在极端暴雨事件预报中的应用效果和能力,评估和分析卫星资料的应用对极端暴雨事件预报效果的影响,利用 T213-SSI 准业务同化系统,对 2007 年 7 月 16—19 日的川渝地区暴雨过程进行了模拟分析。此次暴雨过程致灾严重,同时是一次预报难度很大的、西风带系统调整下的转折性天气过程,非常值得研究。共开展了 3 组模拟试验:第一组试验只同化常规资料;第二组试验连续同化 10 天常规资料和卫星微波资料,第三组试验只同化一个时次、分别使用常规资料 and 不同波段微波资料(AMSUA 和 AMSUB)。结果表明:(1)仅同化一次卫星资料的暴雨预报不及连续同化 10 天卫星资料的效果好,说明卫星资料的使用需要有较长时间的累积才能产生较好效果;(2)卫星资料的长期使用可以改进大尺度环境场,使得暴雨天气过程的直接影响系统更接近实际;(3)AMSUA 资料对温度场的调整有较大贡献,AMSUB 资料对湿度场也有较为明显的影响。

**关键词:** 卫星辐射率资料 直接同化 暴雨预报 T213 模式 SSI 同化系统

## Application Analysis of Direct Assimilation of Satellite Radiation Data on Heavy Rain Forecasting

Li Juan Zhu Guofu

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

**Abstract:** To examine the ability of T213-SSI system on heavy rain forecasting, and to evaluate the application of satellite data on numerical prediction of heavy rain, this study used T213-SSI system to numerically simulate the heavy rainfall in Sichuan Basin during July 16—19, 2007. This process was transition process of precipitation under adjusting of westerlies system and caused

资助项目:国家气象中心自筹资金项目“2007 年极端暴雨事件成因分析及预报技术研究”

收稿日期:2008 年 1 月 10 日; 修定稿日期:2008 年 9 月 26 日

severe damage. It is very difficult to be predicted and is very deserved to be researched. Three experiments are completed in this study using different data during different period. The first experiment only uses conventional observations; the second uses conventional observations and satellite microwave data during continuous 10 days. The last experiment uses conventional observation and satellite microwave data during 6 hours. The results show that the second experiment is better than the third. It means that satellite data need to be used for a long time to achieve a good effect. In addition, employing of long time satellite data can improve large-scale environmental flow. Thus, the heavy rain process will be closer to the truth. In the end, AMSU-A and AMSU-B data are very influential to the temperature and moisture fields respectively.

**Key Words:** satellite radiation data direct assimilation heavy rain forecasting T213 SSI

## 引 言

卫星资料同化有两种方式:反演同化和直接同化。最早的卫星资料同化采用的是反演同化方式。这种方式用卫星辐射率资料反演出温度、湿度垂直廓线和其他物理参数,然后以反演结果为同化量进行同化分析。该方法由于需要反演过程,因此存在欠定问题。反演过程需要的外加信息会产生情况不十分清楚的反演背景误差的干扰。同时,数据加工和反演过程中也会遗留复杂的误差。相对于同化卫星遥感反演的温度、湿度廓线资料,直接同化卫星辐射率资料避免了这个问题,并且,这种方式采用三维变分分析方法,用观测算子解决卫星辐射率和模式变量的非线性关系问题。目前,直接同化卫星辐射率资料对于提高数值天气预报的水平日益重要。近年来,预报技能提高的很大裨益来自直接同化卫星辐射率资料而不是反演的廓线<sup>[1]</sup>。

各种观测资料的同化都需要有一个对应的观测算子,观测算子给出了大气状态物理量和观测物理量之间的确定映射关系。卫星遥感仪器的测量结果与模式需要的大气参数之间是复杂的非线性关系,对应一个非线性的观测算子。我国业务上相当长一段时间采用最优插值(OI)同化分析技术,它不能处理

非线性的观测算子,因而无法直接使用大量遥感资料,导致长期阻挠我国数值天气预报水平提高的资料稀缺问题。变分方法在实施中允许观测算子是非线性的,使得直接同化与大气状态量有着非线性关系的观测量(如卫星辐射率)成为可能<sup>[2]</sup>。

一种采用变分方法的 SSI(Spectral Statistical Interpolation)同化技术由 Parrish and Derber<sup>[3]</sup> 开发建立,并一直作为美国国家环境预报中心(NCEP)的业务同化分析技术。它不仅处理常规资料,还可以处理多种非常规资料。2003 年国家气象中心引进最新版本的 SSI 同化系统,与我国全球中期数值预报模式(T213 模式)一起建立 T213-SSI 同化-预报系统;经过对 T213-SSI 系统的不断改进和优化,该系统已经在 2006 年 12 月实现准业务运行。T213-SSI 同化预报系统使得卫星资料占到资料总量的 90% 以上,在业务中第一次实现了非常规资料占主导的局面。由此我国中期数值天气预报的有效时效在北半球和中国区域延长了近 24 个小时,在南半球延长了近 48 小时,可用预报时效(以北半球 500hPa 的高度距平相关超过 60% 为准)已达到近 7 天。

对于具体的天气过程,欧洲和北美洲的上游分别是大西洋和太平洋,都是常规资料稀缺的海洋;而在中国,特别是对于致灾严重

的天气过程,上游是资料稀缺的青藏高原。因此针对具体灾害性天气过程,考察和研究直接同化卫星辐射率资料的应用效果有着自身特殊的价值。在观测资料的同化对降水预报影响的相关研究方面,我国已有一些初步的工作,如:丁金才在 MM5 中同化了 bb-GPS/PWV 资料<sup>[4]</sup>,38 天的连续试验表明,该资料的使用可以改进 MM5 降水预报;潘宁等利用 MM5 中尺度模式做了直接同化 AMSUA 辐射率资料的同化试验<sup>[5]</sup>,结果表明同化 AMSUA 资料对于 MM5 模式的降水预报改善作用不大。总体来讲,目前我国对于直接同化卫星辐射率资料在暴雨中应用效果进行细致评估分析的工作还很有限,特别是用业务数值预报系统进行评估分析的工作还很少。

本文利用 T213-SSI 准业务同化系统,对于 2007 年 7 月 16—19 日的川渝地区暴雨过程进行了模拟分析研究,以期考察 T213-SSI 同化全球 ATOVS 卫星辐射率微波资料在极端暴雨事件预报中的应用效果和能能力,评估和分析卫星资料的应用对极端暴雨事件预报效果的影响。此次川渝暴雨过程致灾严重;同时,分析暴雨天气过程的环流背景特征可以发现,此次过程是一次预报难度很大的、西风带系统调整下的转折性天气过程,因此非常值得研究。

## 1 模式和试验所用资料

试验中所用的数值预报模式是我国全球中期数值预报模式 T213 模式。该模式为三角截断的全球谱模式,截断波数为 213 个波,在格点空间其水平分辨率为 60km,垂直方向为 31 个  $\eta$  面,模式顶为 10hPa。格点空间采用规约化高斯格点,并采用半拉格朗日方法处理平流。试验同化系统为 SSI。该系统采用三维变分分析方法。水平方向上为了和

预报模式 T213 匹配,采用谱三角截断 214 个波,垂直方向为 42 层( $\sigma$  坐标)。分析变量包括归一化的涡度、非平衡的散度、非平衡的温度、臭氧、地表温度、比湿和卫星辐射率数据的偏差订正系数。和观测数据比较时,分析变量由谱空间转换到高斯格点,并线性插值到观测点上。该系统可以直接同化 ATOVS 的 1b 资料、GOES-12 剔除云以后的辐射率数据以及 SSM/I 风速资料等。

本试验使用的卫星资料是国际上使用较多也是目前效果最好的 ATOVS 辐射率资料。包括搭载在 NOAA-15/16/17 上的 AMSUA 和 AMSUB 资料。其中 AMSUA 资料包括 15 个通道,主要用于大气温度探测,其窗区通道可探测地表发射率、可降水等。星下点空间分辨率为 45km。AMSUB 资料包括 5 个通道,主要用来探测地表特征、可降水等。星下点空间分辨率为 15km。除此之外,还使用了常规观测资料作了对比试验。以 2007 年 7 月 16 日 00 时(世界时,下同)为例,图 1 为试验所用的卫星资料分布。

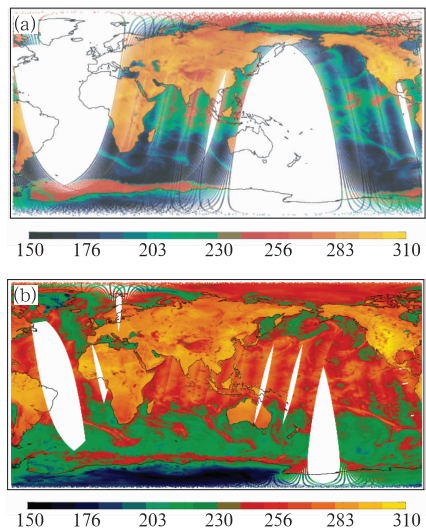


图 1 2007 年 7 月 16 日 00 时所用  
卫星资料

a. AMSUA(NOAA-15,16); b. AMSUB  
(NOAA-15, 16, 17)

## 2 暴雨天气过程的环流背景特征与实况降水

2007 年 7 月 16—19 日川渝地区出现区域暴雨天气过程:四川盆地中东部、重庆西南部等地出现了暴雨或大暴雨、局部地区出现了特大暴雨。分析 7 月 15—18 日 00 时的 500hPa 位势高度场(图 2),可以发现,这是一次中纬度西风带环流系统调整下的转折性天气过程,有以下特征:

(1) 在 15 日 00 时控制我国北方的中纬度西风带环流有一个明显的高压脊,位于河套以西并伸向蒙古中东部(图 2a)。

(2) 脊前槽显著北缩,16 日 00 时已到渤海海峡,此时  $30^{\circ}\text{N}$  以南的副热带高压带并没增强北抬(图 2b)。

(3) 17 日 00 时东亚  $40^{\circ}\text{N}$  附近中纬度西风带环流已有了显著调整:原来在  $40^{\circ}\text{N}$  附近的明显高压脊位置已是平直西风气流,以南为移动的槽脊,脊与副热带高压带叠加,位于我国东部(图 2c);由于高压脊的叠加,

18 日 00 时副热带高压显著增强(图 2d)。

(4) 本次暴雨天气过程的直接影响系统是中纬度高压脊后的高原东部槽。它是显著发展的,在高压脊与副热带高压带叠加时最明显,呈经向型(17 日 00 时,图 2c);由于它的西北方是平直的西偏南气流,它的显著发展没有受到冷空气作用。

(5) 对应其直接影响天气系统,此次降水过程在 7 月 15 日 00 时至 16 日 00 时开始形成于四川中东部,之后随着高原东部槽的显著发展,川渝地区出现区域暴雨或大暴雨;18 日 00 时之后,由于高压脊的叠加,副热带高压的显著增强,川渝地区降水显著减弱,强降水移到黄淮流域。

可见,此次川渝区域暴雨天气过程和西风带系统与副高的冷、暖空气相互作用的夏季主雨带的降水过程明显不同:它发生在中纬度西风带的环流形势调整的背景下,其直接影响天气系统显著发展;过程中没有北方冷空气的侵入,副高是被动地与西风脊叠加而加强。

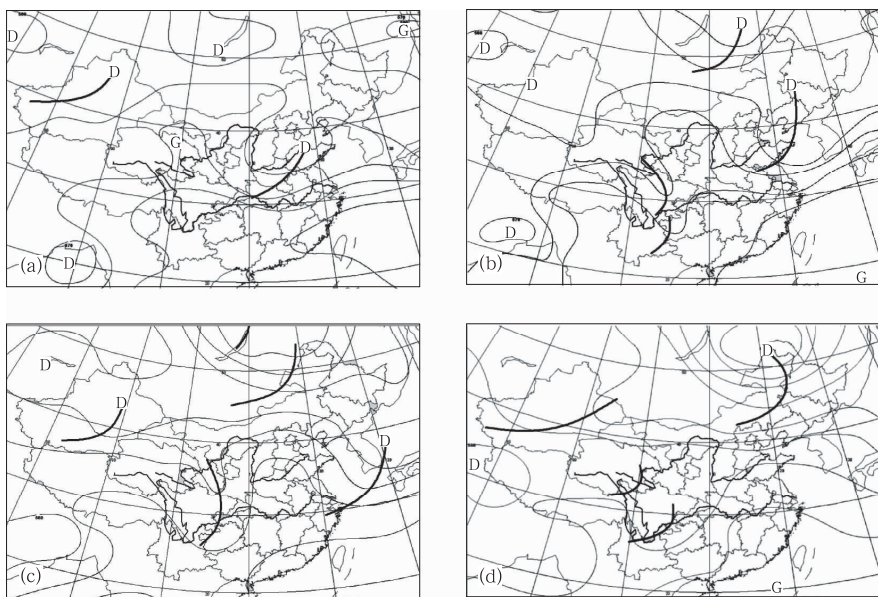


图 2 2007 年 7 月 15—18 日 00 时 500hPa 位势高度场

### 3 试验及其结果分析

#### 3.1 ATOVS 微波资料在极端暴雨事件预报中的应用效果

对于 2007 年 7 月 16—19 日的川渝地区暴雨天气过程,利用 T213-SSI 业务同化预报系统,设计和完成了 2 组试验。

试验 1:以 2007 年 7 月 9 日 06 时的 T213 的 6 小时预报场作背景场开始 24 小时的同化预报试验,连续滚动至 2007 年 7 月

19 日;同化中仅使用常规资料;

试验 2:与试验 1 相同,但同化中同时使用常规资料和卫星 ATOVS 资料。

##### 3.1.1 降水预报

从降水预报看(图 3~4),加入卫星资料后,降水落区预报有所改善,但是仍偏西。降水强度也有明显改善,强度明显增大,和实况更为接近,但是仍偏弱。对于 16—19 日 4 天的 24 小时预报,这个结论是一致的,在强降水的落区和强度上都有改善。从整个试验看,卫星资料的长期使用可能可以改善降水预报。

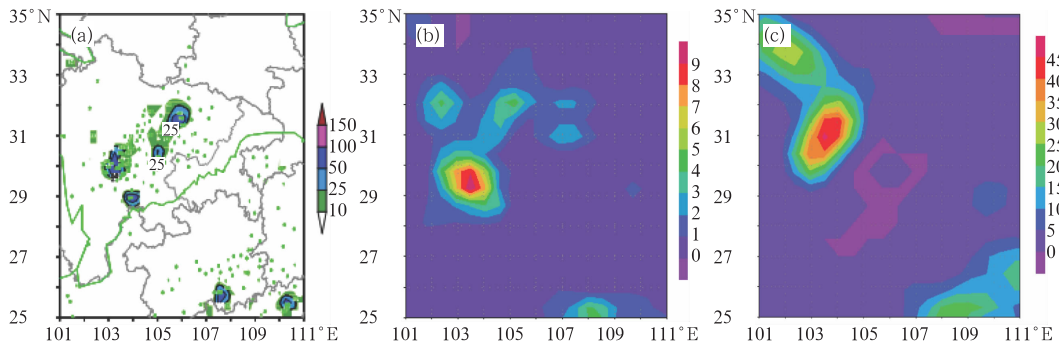


图 3 2007 年 7 月 15 日 00 时至 16 日 00 时的 24 小时降水量

a. 实况;b. 试验 1 的预报;c. 试验 2 的预报

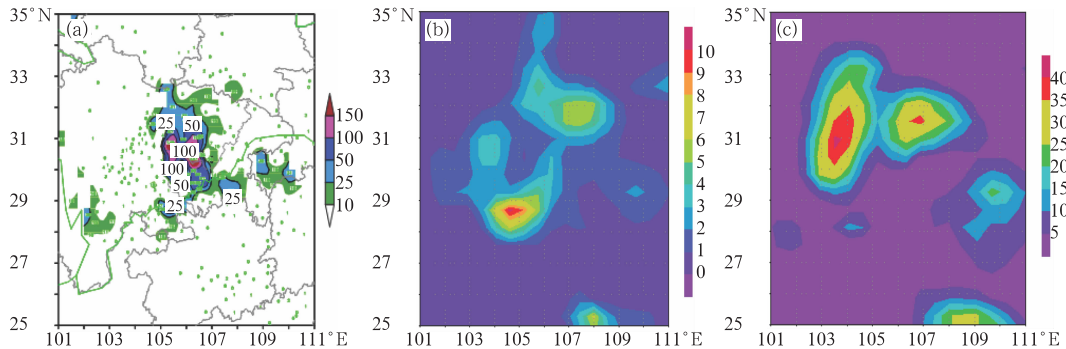


图 4 2007 年 7 月 16 日 00 时至 17 日 00 时的 24 小时降水量

a. 实况;b. 试验 1 的预报;c. 试验 2 的预报

##### 3.1.2 形势场

从形势场对比看(图 5~6),加入卫星资料的试验在 500hPa 高度场上 582dgpm 等高

线的槽线更深,700hPa 上在四川盆地出现与实况接近的低涡系统,而对于不加卫星资料的试验这些系统却没能较好的反映。总体来



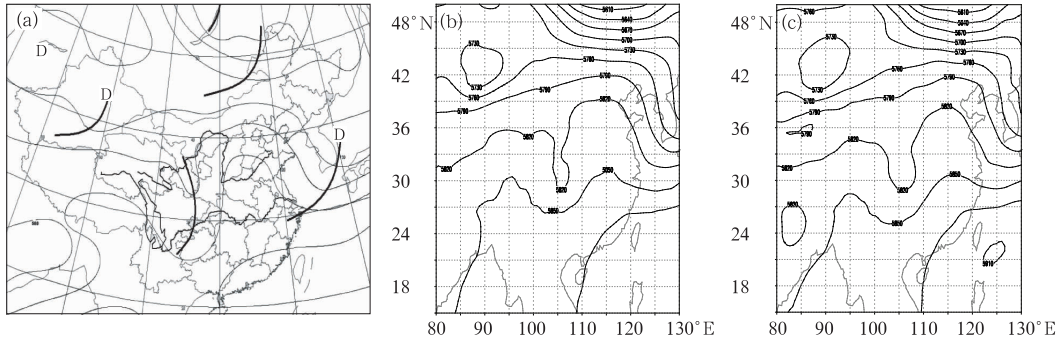


图 5 2007 年 7 月 17 日 00 时 500hPa 位势高度场  
a. 实况; b. 试验 1 的初始场; c. 试验 2 的初始场

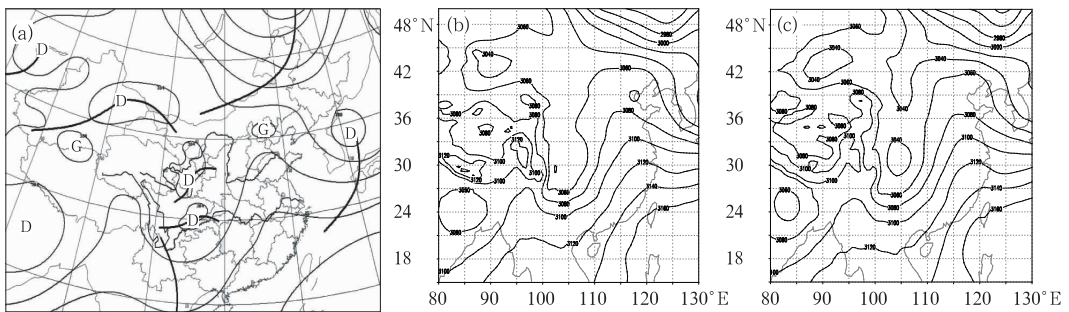


图 6 2007 年 7 月 17 日 00 时 700hPa 位势高度场 a. 实况分析;  
b. 试验 1 的初始场; c. 试验 2 的初始场

讲,在连续滚动地同化 10 天卫星资料后,改进了大尺度环境场,暴雨天气过程的直接影响系统更接近实际。

### 3.2 ATOVS 资料在暴雨预报中应用效果的评估和分析

在前面第 1,2 组试验的基础上,以 2007 年 7 月 17 日 18 时 T213 的 6 小时预报场作背景场,设计和进行了第 3 组试验;该组试验只同化一个时次的观测资料,分别使用常规资料 and 不同波段微波资料,包括以下 4 个试验:

试验 1: 同化常规资料,

试验 2: 常规资料同时加上 AMSUA 和 AMSUB,

试验 3: 常规资料同时只加上 AMSUA,

试验 4: 常规资料同时只加上 AMSUB。

#### 3.2.1 降水预报

从图 7 的对比分析可以看出,连续同化 10 天卫星资料的效果比仅同化一次的要好,尤其是降水强度。这是因为仅同化一次卫星资料,由于当时已产生降水,而微波难以穿透较厚云层和降水,导致卫星资料很难携带云层以下的水汽信息,对降水区的温湿度场影响不大。

#### 3.2.2 湿度增量对比

图 8 分别是 2007 年 7 月 18 日 00 时湿度分析场在 850hPa 的增量。依次为试验 2, 试验 3, 试验 4 相对试验 1 的增量。从图上看,加入卫星资料后,在几乎整个中国地区都出现了湿度增大的现象。尤其是 AMSUB 资料的加入,对增湿的贡献更大。从整个形态上

看, AMSUA+AMSUB 增量更接近 AMSUB, 这主要是 AMSUB 对湿度敏感, 该资料的加入

对湿度的调节更加有效。从垂直剖面的分布图的分析也可以得到同样的结论(图略)。

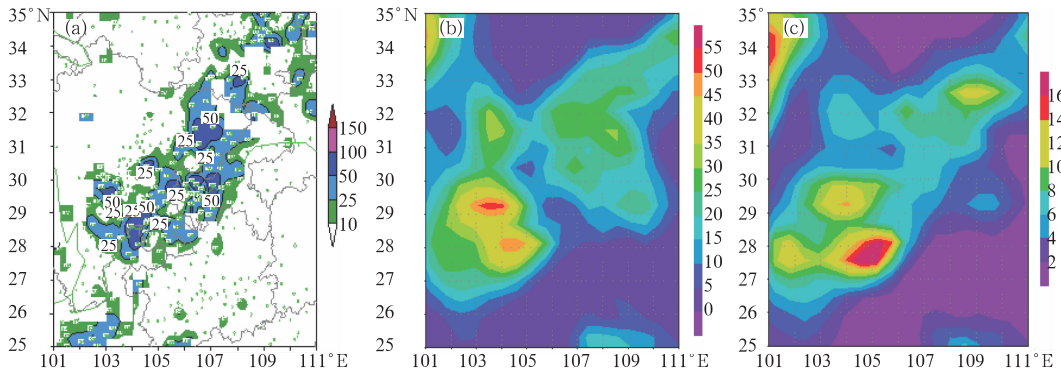


图 7 2007 年 7 月 18 日 00 时至 19 日 00 时的 24 小时降水量

a. 实况; b. 同化 10 天的 AMSUA+AMSUB 试验的预报; c. 仅同化 1 个时次的 AMSUA+AMSUB 试验的预报

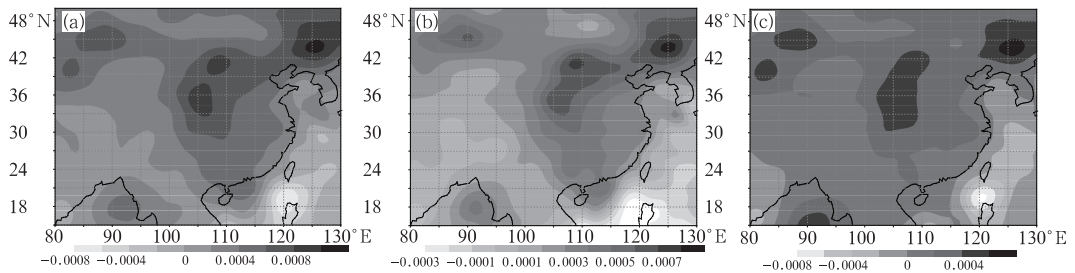


图 8 2007 年 7 月 18 日 00 时湿度分析场在 850hPa 的增量

a. 试验 2-试验 1; b. 试验 3-试验 1; c. 试验 4-试验 1

### 3.2.3 温度增量对比

图 9 分别为试验 2, 试验 3, 试验 4 相对试验 1, 2007 年 7 月 18 日 00 时温度分析场在 850hPa 的增量。这是在 106°E 的剖面图。

从图 9 看, AMSUA 资料的加入对温度

场的调整更加明显。这主要是因为 AMSUA 是测温仪器, 对温度更为敏感。同时, AMSUA 对温度的调整主要在中高层, 这种现象有几个因素造成。一个是虽然该仪器共有 15 个通道, 但其中包含 5 个地面通道, 1 个近

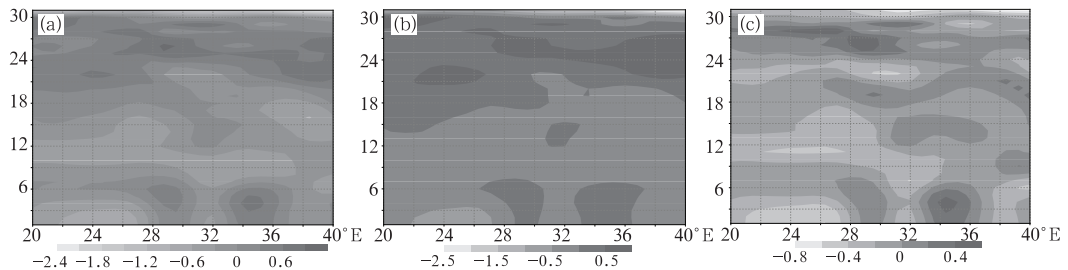


图 9 2007 年 7 月 18 日 00 时虚温分析场在 850hPa 的增量

a. 试验 2-试验 1; b. 试验 3-试验 1; c. 试验 4-试验 1

地面通道,由于地面通道使用时的误差略大,因此对低层温度场的影响有所削弱。另一方面,由于 T213 和 SSI 的模式顶高度不同,在高层的模拟亮温计算需要模式外推得到,这样得到的模拟值误差偏大,因此对高层温度的调整也就随之增大。从 3 张图的对比看,

AMSUA+AMSUB 增量更接近 AMSUA。

### 3.2.4 涡度增量对比

图 10 分别为试验 2—试验 1,试验 3—试验 1,试验 4—试验 1 的,2007 年 7 月 18 日 00 时涡度分析场的增量。这是在  $106^{\circ}\text{E}$  的剖面图。

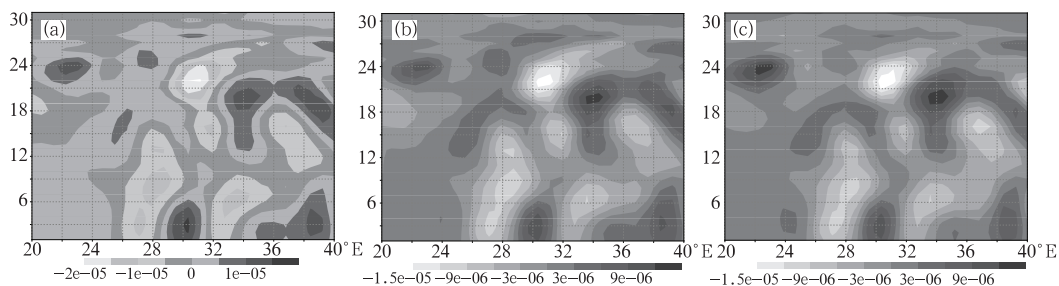


图 10 2007 年 7 月 18 日 00 时涡度分析场在 850hPa 的增量

a. 试验 2—试验 1; b. 试验 3—试验 1; c. 试验 4—试验 1

从涡度增量上看,加入卫星资料后,在高层出现负涡度,在低层出现正涡度,说明上升气流比仅常规资料时要强。从 3 种资料加入后的效果看,单独加入 AMSUA 和 AMSUB 资料的涡度增量分布非常接近。两种资料同时加入的涡度增量比单独资料要大。

## 4 讨论和总结

2007 年 7 月 16—19 日的川渝地区暴雨过程是一次预报难度很大的、西风带系统调整下的转折性天气过程。利用 T213-SSI 准业务同化预报系统,设计了 3 组试验方案,对此次过程进行了直接同化全球 ATOVS 卫星辐射率资料的数值模拟试验,结果表明:

(1) T213-SSI 同化全球 ATOVS 卫星辐射率微波资料在极端暴雨事件预报中有正的应用效果,可以改善降水预报;但需要有较长时间的累积才能产生较好效果,仅同化一次卫星资料的暴雨预报不及连续同化 10 天卫星资料的效果好。

(2) 卫星资料的长期使用可以改进大尺度环境场,使得暴雨天气过程的直接影响系统更接近实际。

(3) AMSUA 资料对温度场的调整有较大贡献,AMSUB 资料对湿度场有较为明显的影响。

## 参考文献

- [1] M. A. Shapiro, A. J. Thorpe. THORPEX International Science Plan. Version 2[R], 2003: 11-18.
- [2] Eugenia Kalnay. Atmospheric modeling, data assimilation and predictability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003: 157-175.
- [3] Parrish, D., and J. C. Derber. The National Meteorological Center Spectral Statistical Interpolation analysis[J]. Mon. Wea. Rev., 1992, 120: 1747-1763.
- [4] 丁金才,袁招洪,杨引明,等. bbGPS/PWV 资料三维变分同化改进 MM5 降水预报连续试验的评估[J]. 气象, 2007, 33(6): 11-18.
- [5] 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.