

地面观测资料在西南地区数值预报 中的敏感性试验

张利红¹ 杜 钦² 陈 静¹ 肖玉华³

(1. 成都高原气象研究所, 成都 610072; 2. 重庆市气象科学研究所; 3. 四川省气象台)

提 要: 利用 3.0 版的 GRAPES 同化系统, 针对西南地区 2005 年 7 月的夏季降水, 开展地面观测资料的同化敏感性试验, 对整月天气进行了每日一次的 48 小时预报, 并对该月发生在川渝地区“7.8”大暴雨过程进行对比分析。试验结果表明, 在地形复杂的西南地区, 利用等压面的 GRAPES 3DVAR 同化系统同化地面观测资料对降水预报的影响随进入同化系统的地面观测资料疏密程度和同化内容的不同而不同; 当模式采用较高分辨率时, 同化的地面观测资料越多, 对降水预报的改善作用越明显; 同化地面观测资料的风速信息可以降低降水预报的空报率, 但对漏报率和 TS 评分改善作用不明显; 在几种同化方案中, 利用 GRAPES 3DVAR 同化系统同化地面观测资料的相对湿度和位势高度信息, 对降水预报的改善效果最明显。

关键词: 地面观测资料 资料同化 敏感性试验

Sensitive Experiments of Surface Observation Data in Numerical Weather Precipitation over Southwestern China

Zhang Lihong¹ Du Qin² Chen Jing¹ Xiao Yuhua³

(1. Chengdu Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610072;
2. Chongqing Institute of Meteorological Sciences; 3. Sichuan Meteorological Observatory)

Abstract: Numerical experiments about the surface observation data assimilation in southwestern China were carried out by use of the GRAPES 3.0 assimilation and prediction system. 0—48 h precipitation forecasts of a whole month and a heavy rainfall process that occurred in southwestern China in July, 2005 were analyzed. The main conclusions were as follows: Firstly, the influence of surface observation data assimilation on precipitation forecast varies with the density of surface observation data used and the assimilating information selected in this region; Secondly, when numerical forecast model takes higher resolution, the

资助项目: 本文由中国气象局新技术推广项目 CMATG2008M26, 中国气象局成都高原所开放基金项目 LPM200608 和基本科研业务费专项 BROP200707, 科研院所社会公益研究专项 2005DIB3J112 共同资助

收稿日期: 2008 年 2 月 27 日; 修定稿日期: 2008 年 11 月 4 日

results of rainfall prediction with all surface observation data, are superior to those with spare surface observation data from GTS; Thirdly, in complex terrain of southwestern China, assimilating wind information of surface observation data can have obvious influence on forecast results, decreases false precipitation ratio and makes little contribution to raising missing precipitation and TS in contrast with not assimilating; Lastly, the scheme of assimilating relative humidity and geopotential height is the best one among these assimilation schemes.

Key Words: surface observation data data assimilation sensitive experiment

引言

随着大气探测技术的不断发展,由地面、高空、卫星、雷达等设备组成的全球气象综合探测系统正在形成。因此利用各种观测资料减少初值不确定性、提高数值预报质量成为许多学者积极研究的热点方向之一。在国外,欧洲中期天气预报中心(ECMWF)和美国国家大气研究中心(NCAR)已经在业务上建立了变分同化系统,实现了对地面观测资料、探空观测资料等多种资料的同化,使预报质量得到了很大提高。而在我国虽然资料同化研究起步较晚,但是目前关于各种观测资料的同化研究已经展开,如自主研发了GRAPES三维变分同化系统,利用该同化系统,许多学者开展了对不同观测资料的同化研究。张华等^[1]采用三维变分同化分析的AMSU资料研究西北太平洋台风结构,表明同化微波资料可以部分弥补热带洋面上常规观测资料的不足。丁伟钰等^[2]在GRAPES3DVAR系统基础上,用改进的郭晓岚对流参数化方案作为观测算子,同化TRMM卫星反演的降水率资料,试验表明,该方案有效改进背景场的动力和热力结构,使台风的初始风场、降水结构更接近实况,对台风的路径预报和降水预报都有改进。谭晓伟等^[3]研究热带气旋适应性观测的下投式探空仪探测资料对台风(2003年台风杜鹃)预报的影响,结

果表明,数值天气预报中增加下投式探空仪观测资料之后,对台风的移动路径、台风中心位置和强度,以及其他要素的预报都有所改善。梁科等^[4]利用飞机报资料对华南地区的一次致灾暴雨过程进行模拟分析,对比试验表明,利用有飞机报加入的同化分析场做初始场的模拟结果不仅能够模拟出主要的降水区域,而且降水强度与实况更加吻合。张利红等^[5]利用三维变分同化AMSU辐射率资料,通过对我国夏季一次典型暴雨过程的模拟,发现AMSU-B辐射率资料对降水有明显的改善作用。

整体来说,目前的资料同化研究在海上开展的要多于陆地的,使得同化技术在海洋上空的应用相对较为成熟,而在陆地上空,尤其是在地形复杂地区,如我国西南地区的同化研究和应用相对较少,而这一地区恰好又是我国夏季降水量较大的地区之一,降水在这一地区极易引发滑坡和泥石流灾害,造成重大的人员伤亡和财产损失。另一方面,在陆地上空开展的同化研究中,多数都是针对非常规观测资料开展的,并且多为个例研究,而常规观测资料对西南地区数值预报到底有多大影响一直不是很确定,尤其是地面观测资料。例如:在地形十分复杂的西南地区,同化地面观测资料是否会对预报结果有比较稳定的改善作用、地面观测资料的风场信息是否应该被同化、地面观测资料的个数是否是越密集越好等。这些问题的解决不仅有助于

推动常规观测资料在该地区数值预报业务中的同化应用,还可以检验具有我国自主知识产权的 GRAPES 3DVAR 同化系统在地形复杂地区同化地面观测资料的能力。本文利用 3.0 版的 GRAPES 3DVAR 系统,通过设计不同的同化方案进行地面观测资料的同化试验。通过一个月的预报试验和一次典型暴雨过程分析,探讨地面观测资料在该地区数值预报中的作用。

1 GRAPES 同化预报系统简介

GRAPES 系统是我国集中了优势资源,由中国气象科学研究院联合多家单位共同开发的、具有我国自主知识产权的同化预报系统。它包括:同化系统、标准初始化系统^[6]、模式系统^[7]。整个系统的工作流程如图 1 所示:

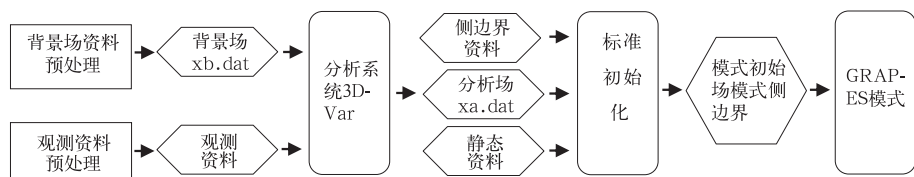


图 1 GRAPES 同化预报系统流程图

Lorenz 在 1986 年提出气象资料三维变分同化可归结为下列目标函数极小化问题:

$$J = \frac{1}{2} \{ (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + [\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}_0]^T \mathbf{O}^{-1} [\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}_0] \} \quad (1)$$

式中, \mathbf{x} 是由模式状态变量构成的分析向量, \mathbf{x}_b 是背景场变量向量, 它们都是由多要素三维场构成的 N 维向量, 并且背景场变量向量彼此相关; \mathbf{H} 是观测算子, 它代表模式空间向观测空间的一种映射, \mathbf{y}_0 是观测场向量, 是由多要素三维场构成的 M 维向量; \mathbf{B} 是 $N \times M$ 维的背景误差协方差矩阵; \mathbf{O} 是 $M \times M$ 维的观测误差协方差矩阵; 上标 T 和 -1 分别表示矩阵的转置和逆; M 为观测场数目, N 为分析场的自由度数目。

结合实际情况, 为了便于求解, GRAPES 三维变分同化系统对目标泛函做了一系列变换, 如采用增量形式, 以减少每一个迭代步的计算量; 通过预调和变量变换(水平方向采用递归滤波、垂直方向采用 EOF 分解、物理变换)来改善极小化的条件, 使目标函数能迅速收敛; 采用 LBFGS(有限内存的 BFGS)方

法, 解决了目标函数极小化过程中变量个数很大的无约束最优化问题。通过变换, 把式(1)转化为控制变量的目标函数^[8], 如下:

$$J = \frac{1}{2} [\mathbf{w}^T \mathbf{w} + (\mathbf{H}' \sqrt{\mathbf{B}} \mathbf{w} + \mathbf{d})^T \mathbf{O}^{-1} (\mathbf{H}' \sqrt{\mathbf{B}} \mathbf{w} + \mathbf{d})] \quad (2)$$

其梯度为:

$$\nabla_{\mathbf{w}} J = \mathbf{w} + \sqrt{\mathbf{B}}^T \mathbf{H}'^T \mathbf{O}^{-1} (\mathbf{H}' \sqrt{\mathbf{B}} \mathbf{w} + \mathbf{d}) \quad (3)$$

其中, \mathbf{w} 是控制变量; $\mathbf{d} = \mathbf{H}(\mathbf{x}^b) - \mathbf{y}_0$ 为修正向量。

GRAPES 3DVAR 系统是一种适合格点模式的同化系统。目前, 系统已实现了对地面、探空、云迹风、卫星辐射率等多种观测资料的同化。

2 数值试验介绍

2.1 试验方案和试验数据

2005 年 7 月份, 全国平均月降水量比常年同期偏少。但淮河流域及四川等地的部分地区降水明显偏多, 遭受暴雨洪涝或泥石流、滑坡等地质灾害^[9], 在西南地区主要发生了

6 次大降水过程,其中 2005 年 7 月 7—9 日达州市大暴雨洪涝灾害是新世纪以来四川盆地东北部洪涝灾害中的典型个例。因此本文选用 2005 年 7 月整月的天气作为预报对象,同时又对典型个例进行降水预报的详细分析,检验结论的一致性。设计了 4 个试验方案(见表 1),数值试验使用的初始背景场资料和模式边界资料均由 T213 模式的 12 小时预报场提供,资料分辨率为 $0.5625^{\circ} \times 0.5625^{\circ}$,边界资料每 6 小时更新一次。

表 1 数值方案设计

试验方案名称	初始场	侧边界资料
方案 A	T213 预报场资料	T213 预报场资料
方案 B	T213 预报场资料+地面资料 (同化相对湿度和位势高度)	T213 预报场资料
方案 C	T213 预报场资料+地面资料 (同化相对湿度、位势高度、 U/V 风速)	T213 预报场资料
方案 D	T213 预报场资料+较稀疏地 面资料 (同化相对湿度和位势高度)	T213 预报场资料

根据试验目的,将以上试验方案分为两组,第一组数值试验由方案 A、B、C 组成,目的是为了了解同化地面观测资料的风场信息对预报结果的影响;第二组数值试验由方案 A、B、D 组成,主要是为了了解地面观测资料的疏密程度对预报结果的影响。其中,方案 A 为控制试验,不同化任何观测资料;方案 B 和方案 C 是使用了相同的地面观测资料,但同化内容不同,方案 C 比方案 B 多同化了地面观测资料的 U/V 风速信息;方案 D 与方案 B 的同化内容相同,但使用的地面观测资料的疏密程度不同,方案 D 使用的地面观测资料来自于全球通讯系统(GTS),观测站点比方案 B 和 C 的稀疏,图 2 给出了两种来源地面观测资料的站点分布图,需要说明的一点,两种来源的地面观测资料已通过一般质量控制,如极值检查、一致性检查、静力学检

查等。在 GRAPES 3DVAR 系统中,还会对使用的地面资料进行进一步质量控制,即当观测值与模式值之间的差值大于观测误差的 4 倍时(相对湿度的误差倍数是 2.5 倍时),该观测资料就被剔除,不被同化。以 2005 年 7 月 7 日 00 时为例,表 2 给出了两种地面观测资料在同化中的站点使用情况,可以看出 GRAPES 3DVAR 在同化地面观测资料过程中并没有将区域内的所有观测数据都同化,而是将误差超出阈值的观测资料进行了剔除,且主要是对位势高度和相对湿度观测信息进行了剔除,通过分析剔除站点的分布情况,可以知道剔除站点分布无明显区域特征。

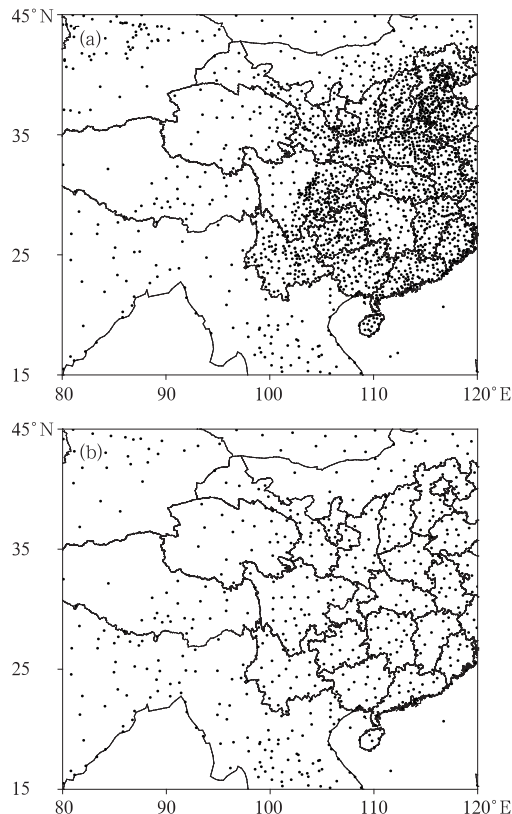


图 2 地面观测资料的站点分布图

(a) 由 9210 下发的地面报资料生成;

(b) 由 GTS 系统下发的数据生成

表 2 同化过程地面观测资料站点使用情况统计

地面观测资料	U/V	位势高度	相对湿度
9210 资料同化前站点数	2005	2006	2006
9210 资料同化使用站点数	2005	1712	1927
GTS 资料同化前站点数	553	577	573
GTS 资料同化使用站点数	553	519	537

2.2 模式系统参数设置

文中所有试验都是在 3.0 版的 GRAPES 同化预报系统上展开。在同化系统中,选择位势高度和相对湿度为同化变量,同化区域为 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$,模式水平分辨率为 $0.2^{\circ}\times 0.2^{\circ}$,垂直层数为 31 层。微物理过程选用 NCEP 的 3 阶简单冰方案;对流参数化过程选用 Kain-Fritsch 方案;长波辐射过程选用 RRTM 方案;短波辐射过程选用 Dudhia 方案。模式预报的起始时间是每日的 00 时(UTC,下同),预报时效为 48 小时,模式 6 小时输出一次。

2.3 检验方法

本文对西南地区 2005 年 7 月的天气进行了 48 小时预报试验。利用降水实况对 24 小时和 48 小时降水预报进行了预报准确率 TS 评分、预报漏报率和预报空报率分析。检验中把模式降水预报的格点场资料采用双线性插值方法插到站点上进行检验评分^[10],评分区域为 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $85^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 。

预报准确率 TS 评分的计算公式为:

$$TS = N_z / (N_z + N_k + N_l)$$

预报漏报率的计算公式为:

$$PO = N_z / (N_l + N_l)$$

预报空报率的计算公式为:

$$NH = N_z / (N_k + N_k)$$

其中, N_z 表示对某一降水量级,预报降水与实况降水一致的总站数; N_k 表示对某一降水量级,预报出现而实况没出现的总站数; N_l 表示对某一降水量级,预报没报出而实况降

水达到该量级的总站数。

3 试验结果

3.1 第一组数值试验分析

表 3 给出了第一组数值试验 3 个方案的 24 小时和 48 小时降水预报 TS 评分。由表 3 可以看出;方案 B 的 TS 评分值最高,除了 48 小时大暴雨的 TS 评分值较低外,其余量级的 TS 评分值均高于其他两个试验方案的;方案 C 与方案 A 相比,24 小时降水预报的 TS 评分除小雨预报外,其余量级均好于控制试验,但是 48 小时降水预报的 TS 评分只是在暴雨和大暴雨量级上大于或等于控制试验,而在暴雨以下量级上都低于控制试验。从整体来看,方案 B 的预报准确率最高,而方案 C 的预报准确率在 24 小时降水预报上略好于方案 A。

表 3 第一组数值试验降水预报的 TS 评分

	小雨		中雨		大雨		暴雨		大暴雨	
	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
方案 A	0.752	0.685	0.254	0.193	0.124	0.071	0.055	0.020	0.018	0.004
方案 B	0.776	0.690	0.267	0.201	0.137	0.077	0.063	0.021	0.023	0.002
方案 C	0.740	0.647	0.256	0.177	0.132	0.067	0.062	0.020	0.020	0.008

图 3 和图 4 给出了 3 种方案各降水量级的漏报率和空报率。由图 3 可以看出,3 种方案降水预报的漏报率随降水量级增大呈递增趋势,同时每个量级上又有不同:方案 B 的 24 小时和 48 小时降水预报的漏报率最小,明显小于控制试验和方案 C 的漏报率;方案 C 的漏报率只是在 24 小时和 48 小时中雨以上量级略优于控制试验,而在小雨和中雨量级上,方案 C 的不如控制试验好。从 3 种方案的空报率(图 4)来看,3 种方案的预报空报率在小雨以上量级的值都比较高。对于 24 小时降水预报的空报率而言,方案 C 的最好,方案 A 的次之,方案 B 的空报率最高;而对于 48 小时降水预报的空报率而言,暴雨

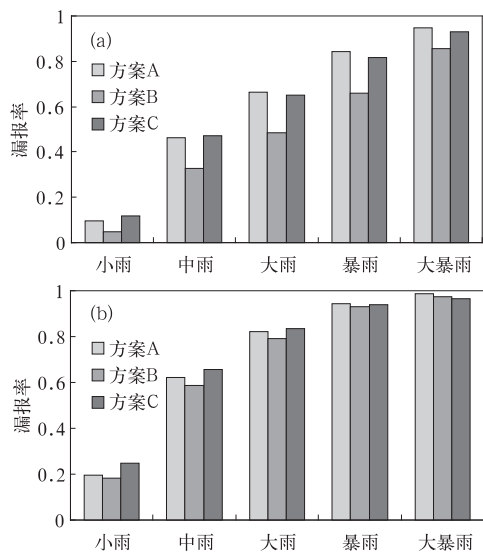


图3 方案A、B、C 24小时(a)和48小时(b)降水预报漏报率

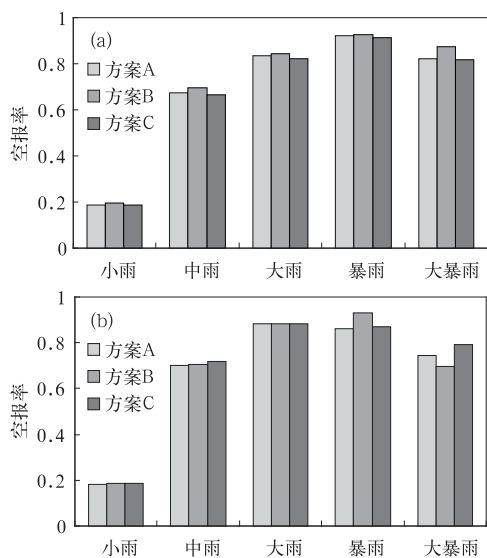


图4 方案A、B、C 24小时(a)和48小时(b)降水预报空报率

以下降水量级差别不明显,暴雨和大暴雨量级的空报率,方案A的较好。综合图3和图4可以看出,只同化地面观测资料的相对湿度和位势高度信息会明显减小漏报率,同时会略微增大空报率。而同化相对湿度、位势高度和 U/V 风速信息后,会减小暴雨和大

暴雨预报的漏报率,改善24小时降水预报的空报率。

综上所述,在地形复杂的西南地区利用GRAPES 3DVAR同化系统同化由9210下发报文生成的地面观测资料,可以对该地区的降水预报有一定改善作用,尤其是对暴雨和大暴雨预报。试验结果表明:在西南地区同化地面观测资料的相对湿度和位势高度信息,可以减小降水预报的漏报率,提高降水预报的TS评分,同时会略增加降水预报的空报率;而在该地区同化地面观测资料的相对湿度、位势高度和 U/V 风速信息后,可以减小24小时降水预报的空报率和漏报率,提高TS评分值,但是对48小时降水预报的改善作用并不明显,只是对暴雨和大暴雨量级略有改善。由此看出,对于相同的地面观测资料,是否选择同化风场信息对降水预报结果有较大影响,一个月的降水预报检验结果表明,同化地面观测资料时不同化它的风场信息将更有利于降水预报的改善。究其原因可能是由于西南地区的地形十分复杂,地面观测资料的风场信息受地形影响较大,而GRAPES 3DVAR同化系统是一个垂直方向为等压面的同化系统,对下垫面层的起伏变化情况很难精确描述,使得风场资料 and 同化系统在低层的协调性并不是很好。

3.2 第二组数值试验分析

随着大气监测网的不断完善,越来越多的地面观测站被建成。由图2a可以看出,在我国东部、中部和南部地区,地面观测站网很密集,以后我国西部地区的地面观测站也会不断加密。同时,随着精细化数值预报模式的发展,模式的分辨率越来越高,模式对初始精度的要求也越来越高。由第一组数值试验可以知道,在西南地区利用GRAPES 3DVAR同化系统同化地面观测资料(不同化风速信息时)能够提高降水预报的TS评

分,即可以提高 24 小时和 48 小时降水预报准确率。那么,当模式取较高分辨率时,地面观测资料的疏密程度对预报结果有怎样影响呢?

以 GRAPES 模式水平分辨率是 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 为例。从图 2 可以知道,在同化区域内,由 9210 下发的地面报生成的地面观测资料包含 1904 个地面观测站,而由 GTS 系统下发的观测数据经过预处理后,可用的地面测站有 535 个,不到前者的三分之一,但是站点分布相对于图 2a 更均匀。表 4 给出了第二组数值试验(方案 A、B、D)的 24 小时和 48 小时降水预报 TS 评分。从表 4 可以看出,地面观测资料的疏密程度对预报结果有一定影响。当地面观测资料分布较密时(方案 B),方案 B 除 48 小时大暴雨的 TS 评分逊于方案 A 外,其余量级降水预报的 TS 评分值均优于方案 A 和方案 D;而当地面观测资料分布较稀疏时(方案 D),它的评分值明显比方案 B 的小,与控制试验相比,方案 D 只对部分降水量级的 TS 评分有所改善,而对 24 小时的暴雨、大暴雨,以及 48 小时的小雨和大雨评分值有所降低。为此对比分析了方案 A 和 D 的逐日 TS 评分值,发现在以上 4 个变差的量级中,虽然方案 D 的平均 TS 评分值低于方案 A,但是一个月中至少有一半多时间方案 D 的 TS 评分值是高于方案 A 的。以 48 小时的大雨预报为例,一个月中方案 D 有 20 天的 TS 评分值是不低于方案 A 的,但是因为方案 A 在个别日数的 TS 评分值高出方案 D 很多,使得最后的平均 TS 评分值方案 A 高于方案 D。

表 4 第二组数值试验降水预报的 TS 评分

	小雨		中雨		大雨		暴雨		大暴雨	
	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
方案 A	0.752	0.685	0.254	0.193	0.124	0.071	0.055	0.020	0.018	0.004
方案 B	0.776	0.690	0.267	0.201	0.137	0.077	0.063	0.021	0.023	0.002
方案 D	0.765	0.679	0.262	0.193	0.129	0.069	0.047	0.020	0.008	0.006

从空报率和漏报率图来看(图略),3 种方案的漏报率从好到坏依次为:方案 B、方案 D、方案 A,而空报率是方案 A 的最小,方案 D 在 24 小时降水预报中空报率好于方案 B,但在 48 小时降水预报中,它的空报率又逊于方案 B。综合来看,在西南地区,当 GRAPES 同化预报系统取较高分辨率时,同化的地面观测资料相应加密,有利于降水预报准确率的提高。

3.3 “7.8”大暴雨分析

3.3.1 实况降水分析

2005 年 7 月 6—9 日,四川盆地东北部至川西高原南部出现了一次强降水过程(简称“7.8”大暴雨),此次降水过程强度大、范围广、来势猛,最大降水中心位于四川盆地东北部的达州地区。从 2005 年 7 月 7 日 00 时(UTC)开始在达州的 6 个观测站中有 5 个站的 48 小时累积降水达到 140mm 以上,其中宣汉达到 208.4mm,造成达州市城区、宣汉县城区以及大部分乡镇被淹,因灾死亡 27 人,失踪 5 人,385.9 万人不同程度受灾,直接经济损失 39.6 亿元。

图 5 给出了 2005 年 7 月 7 日 00 时开始 24 小时和 48 小时的降水实况。可以看出在研究区域内 24 小时的累积降水主要形成了西南—东北走向的狭长雨带,雨带上有两个大暴雨中心 C_1 和 C_2 ,其中最大的降水中心 C_1 位于 (32°N 、 108°E),中心强度大于 150mm。48 小时的累积降水使西南—东北走向的雨带继续扩大,在雨带上出现多个暴雨中心,其中大暴雨中心变为 3 个(新增大暴雨中心 C_3),同时在研究区域的西边出现一片西北—东南走向的、10mm 左右的降水带。

3.3.2 预报结果比较

图 6 和图 7 是 4 个方案的 24 小时和 48 小时降水预报结果。首先分析控制试验的预

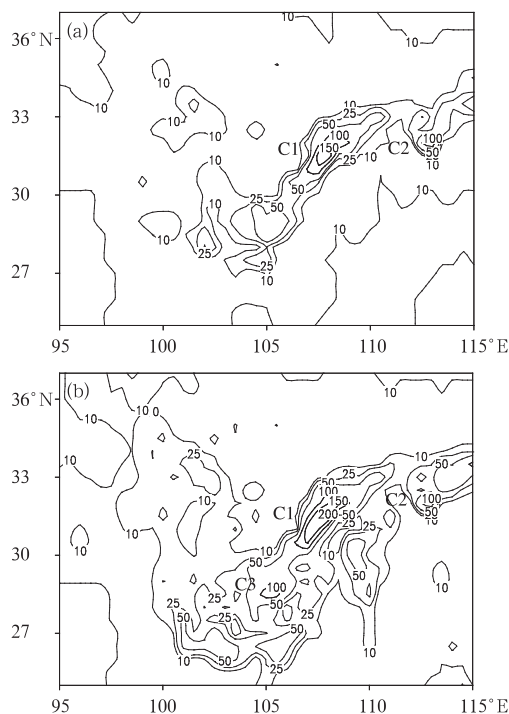


图5 2005年7月7日00时至8日00时(a)和7日00时至9日00时(b)累积降水实况图(单位:mm)

报结果。从图 6a 和图 7a 可以看出,控制试验没能很好地预报出西南—东北走向的雨带,并且预报的降水区域整体偏北,虽然它也能在大暴雨中心 C1 和 C3 附近预报出暴雨中心和一些降水,但是预报的降水区域没能连成一片,中间存在一段明显的漏报区域,而在研究区域的西北侧,却预报出一片较大的虚假降水区。把方案 B、C、D 的降水预报结果与控制试验和降水实况相比,方案 B 和方案 C,都可以预报出西南—东北走向的雨带,但是方案 B 对雨带区域的预报更完整,而且对雨带上暴雨中心的预报也更接近实况。从两个方案的 24 小时降水预报图来看,方案 B 在雨带上预报出两个大降水中心,一个对应实况降水的 C1,只是中心强度和面积比实况的小,另一个对应实况的大暴雨中心 C2,预报的中心强度和位置与实况基本一致;而方案 C 的 24 小时降水预报整体偏小,没能预报出与实况相对应的暴雨中心 C1,虽然在

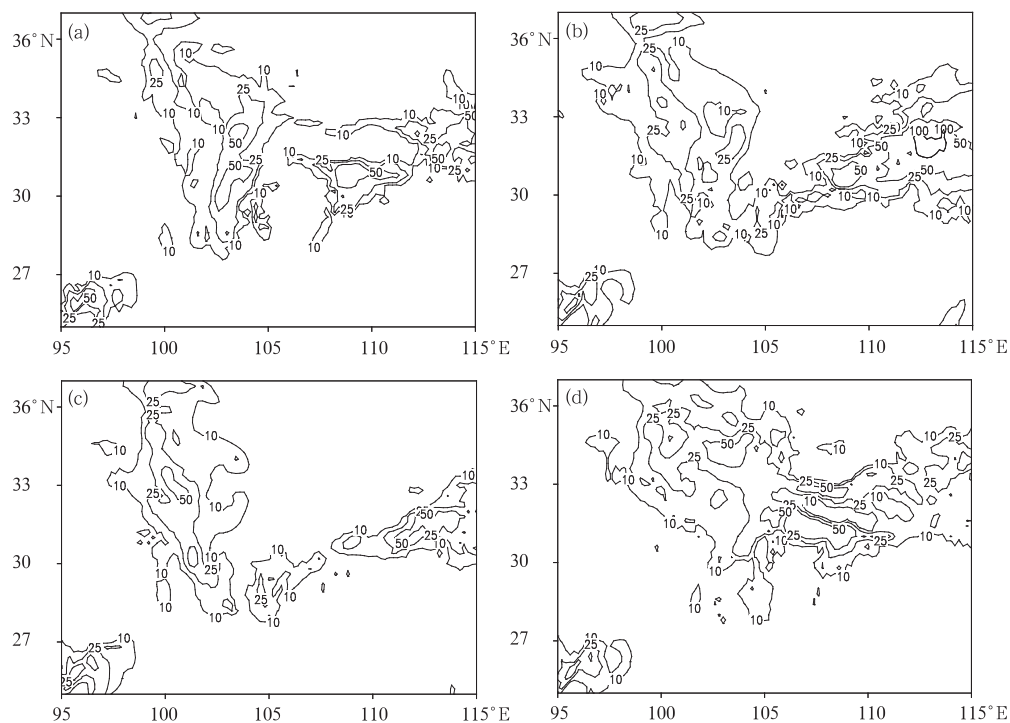


图6 各方案预报2005年7月7日00时至8日00时降水量图
(a) 方案A; (b) 方案B; (c) 方案C; (d) 方案D 单位:mm

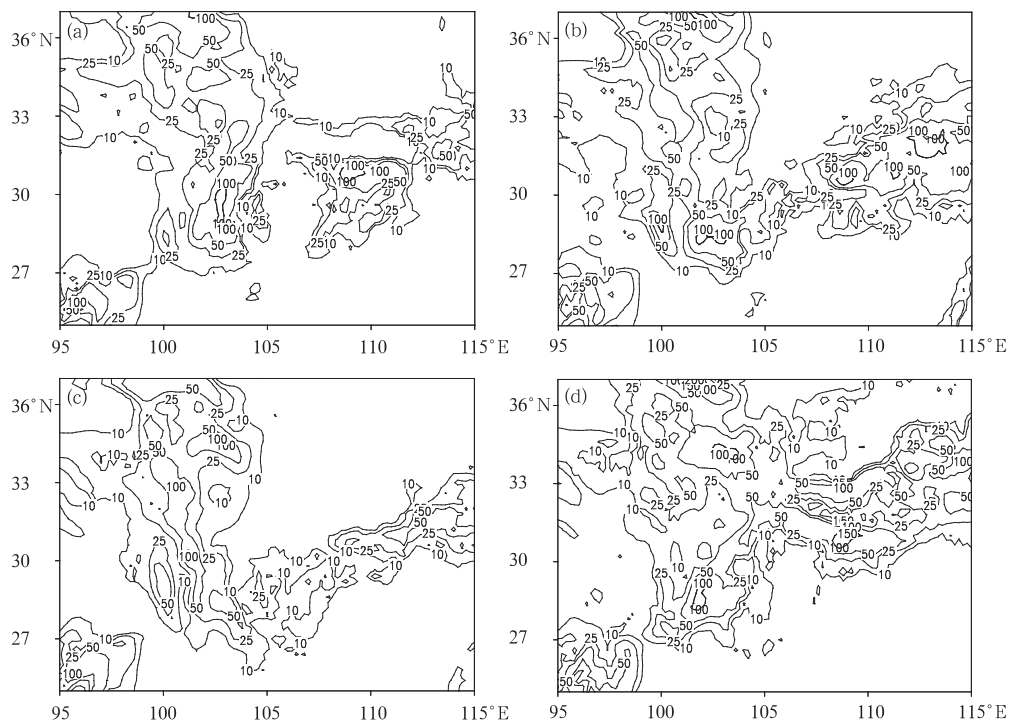


图 7 各方案预报 2005 年 7 月 7 日 00 时至 9 日 00 时降水量图

(a) 方案 A; (b) 方案 B; (c) 方案 C; (d) 方案 D (单位: mm)

实况 C2 的位置预报出一个暴雨中心,但是量级明显比方案 B 的小,也比实况的小。从两个方案的 48 小时降水预报图来看,对于西南—东北走向的雨带以及雨带上的大暴雨中心的预报,方案 B 的仍好于方案 C 的,虽然预报的大暴雨中心位置和实况的略有偏差,但是方案 B 能够预报出这 3 个大暴雨中心。另外,对于研究区域西北侧的降水,在降水强度的预报上方案 B 的比方案 C 的更接近实况。而在降水区域预报上,方案 C 的又比方案 B 的小,更接近实况。从大于 10mm 的降水区域分布情况来看,方案 D 的降水区域与控制试验的较相似,都与实况降水区域相差较大,没能预报出很明显的西南—东北走向的雨带,而且方案 D 扩大了西北部的虚假降水区域;与控制试验不同的是,方案 D 减小了控制试验中西南—东北走向雨带上的漏报面积,使之与实况更接近;另外,在 48 小时降

水预报中,方案 D 虽然预报出多个的暴雨中心,但是最大的大暴雨中心出现在实况 C1 的位置,中心强度达到 150mm 以上,是 4 个方案中与实况强度最接近的一个。

结合第一组试验和第二组试验的检验结果可以看出,4 个方案对“7.8”大暴雨过程的预报结果分析与前面结论基本一致:方案 B 的预报效果最好,方案 C 的次之,而方案 D 对主要雨带(西南—东北向雨带)和暴雨中心的预报略好于控制试验,但是增加了研究区域西北部的虚假降水面积和虚假暴雨中心。

4 结论

地面观测资料是重要的气象观测资料之一,本文以我国目前十分关注的 GRAPES 同化预报系统为研究平台,在地形复杂的西南地区开展地面观测资料的同化和预报试验,

主要进行了地面观测资料 U/V 风速信息同化的敏感性试验和地面观测资料疏密程度对降水预报的敏感性试验,通过个例分析和批量试验,主要得到以下结论:

(1) 在地形复杂的西南地区,地面观测资料同化对降水预报的影响随着进入同化系统的地面观测资料疏密程度和同化内容的不同而不同。

(2) 当模式都采用较高分辨率时,使用较密集的地面观测资料同化对降水预报的改善作用比用 GTS 系统下发的较稀疏地面观测资料的改善作用明显。

(3) 地面观测资料风场信息的敏感性试验结果表明:相同的地面观测资料,是否同化风场信息对降水预报结果影响较大;当同化风场信息时,降水预报的空报率比不同化的小,但降水预报的漏报率和 TS 评分没有不同化的改善明显。

(4) 在几种同化方案中,利用 GRAPES 3DVAR 同化系统同化地面观测资料的相对湿度信息和位势高度信息对降水预报的改善效果最明显。

通过地面观测资料的敏感性试验,发现使用垂直方向为等压面的 GRAPES 3DVAR 系统同化地面观测资料时,地面风场信息基本都被同化,没有被剔除,从侧面反映出同化系统内对于风场的质量控制没有起到明显作

用,阈值设置过大,因此对于同化系统中地面观测资料的质量控制阈值设置会在今后工作中进一步探讨研究。

参考文献

- [1] 张华,丑纪范,邱崇践. 西北太平洋威马逊台风结构的卫星观测同化分析[J]. 科学通报, 2004, 49(5): 493-498.
- [2] 丁伟钰,万齐林,端义宏. TRMM 降水率资料的三维变分同化及其对“杜鹃”(0313)台风预报的改进[J]. 大气科学, 2005, 29(4): 600-608.
- [3] 谭晓伟,陈德辉,张庆红. 一种新型的适应性观测资料应用对台风预报的影响试验研究[J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 18-25.
- [4] 梁科,万齐林,丁伟钰,等. 飞机报资料在 0506 华南致灾暴雨过程模拟中的应用[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 313-325.
- [5] 张利红,沈桐立,王洪利. AMSU 资料变分同化及在暴雨数值模拟中的应用研究[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 1004-1012.
- [6] 黄丽萍,伍湘君,金之雁. GRAPES 模式标准初始化方案设计与实现[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 374-384.
- [7] 伍湘君,金之雁,黄丽萍,等. GRAPES 模式软件框架与实现[J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 539-546.
- [8] 张华,薛纪善,庄世宇,等. GRAPES 三维变分同化系统的理想试验[J]. 气象学报, 2004, 62(1): 31-41.
- [9] 董林. 四川淮河流域暴雨成灾台风登陆浙闽损失严重[J]. 气象, 2005, 31(10): 90-93.
- [10] 王雨. 2002 年主汛期国家气象中心主客观降水预报对比检验[J]. 气象, 2003, 29(5): 21-25.