逐时云迹风资料同化对暴雨预报的模拟试验*

冯 文^{1,2} 万齐林¹ 陈子通¹ 丁伟钰¹ 黄燕燕¹ FENG Wen^{1,2} WAN Qilin¹ CHEN Zitong¹ DING Weiyu¹ HUANG Yanyan¹

1. 广州热带海洋气象研究所,广州,510080

2. 海南省气象台,海口,570203

1. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China

2. Hainan Meteorological Observatory, Haikou 510203, China

2008-03-12 收稿,2008-03-13 改回.

Feng Wen, Wan Qilin, Chen Zitong, Ding Weiyu, Huang Yanyan. 2008. Hourly assimilation of cloud motion winds and its impact on torrential rain forecast. Acta Meteorologica Sinica, 66(4); 500-512

Abstract Based on the different assimilation schemes of cloud motion wind data, the effects of hourly data assimilation in GRAPES model on the prediction of a torrential rain process over low-mid Yangtze reaches on 11-12 July 2005 is investigated through the comparative analysis of the simulated results. Firstly, cloud motion winds at different levels were selected with three steps of quality control based on principles of temporal and spatial continuity, then, incorporated into hourly 3-D variational data assimilation. The initial fields assimilated with scheme 1 (using the quality-controlled cloud motion winds) and 2 (using one time-level raw cloud motion winds) were compared with the NCEP reanalysis data, and impacts of cloud motion winds on the assimilated initial fields are discussed. At last, the 24-hour precipitation of the torrential rain process on 11-12 July 2005 was predicted using the assimilated fields as the initial fields. It was found from analyses of the assimilated initial fields, that three steps of quality control obviously reduced errors of the cloud motion vector data at various levels, assimilation of the quality-controlled cloud motion winds into the initial fields improved the qualities of initial wind, geopotential height, and moisture fields, thus yielding the forecasts of more accurate location and intensity of the torrential rain. Key words Cloud motion wind, Hourly data assimilation, Torrential rain forecast, Numerical simulation

摘 要 文中基于不同的云迹风同化方案,用 GRAPES 模式对 2005 年 7 月 11—12 日长江中下游一次暴雨强降水过程进行 了云迹风资料同化试验及数值模拟,通过对比分析不同方案所得的分析场及预报场的差异,研究逐时云迹风资料三维变分同 化对分析场及暴雨预报的影响。首先,根据连续性原理及双通道各层次云迹风资料的误差分析,分 3 个步骤对 7 月 11 日 00:00—12:00 UTC 共 12 个时次的双通道云迹风资料进行了初步的质量控制;然后,把经过质量控制的云迹风资料放入基于 GRAPES 3D-VAR 三维变分同化方案开发的逐小时循环同化系统中进行同化,将得出的分析场与单一时次未经质量控制的 云迹风资料同化得出的分析场进行对比,探讨了逐时云迹风资料同化对数值预报分析场的影响;最后,把同化后的分析场作 为初始场,用 GRAPES 模式对 2005 年 7 月 11—12 日长江流域暴雨过程做 24 h 降水预报试验,分析两个同化方案所模拟得 到的预报场的差异。结果表明,经资料的筛选、同经纬度单点通道的选择及资料的稀疏化 3 个步骤控制后,各层次云迹风资料 的误差有明显减小;加入经质量控制的逐时云迹风资料其三维变分同化可以提高分析场中风压场及水汽场的质量;而且在暴 雨预报试验中可以相对更准确地预报暴雨落区及雨强。

关键词 云迹风,资料逐时同化,暴雨预报,数值模拟

中图法分类号 P435 P457.6

作者简介:冯文,主要从事中短期天气预测及数值模拟研究。E-mail: fengwen_2004@yahoo.com.cn

^{*} 资助课题:国家"973"项目"我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究"(2004CB418307),热带海洋气象基金项目"Grapes 3Dvar 在热带地区的应用研究",国家自然科学基金项目"琼州海峡大风变化规律及预报方法研究"(40765002)。

1 引 言

长江流域地处东亚季风区,夏季受西风带天气 系统和热带季风系统的影响,强降水频繁,持续性或 突发性的强降水常常会带来严重的洪涝灾害。夏季 风期间暴雨主要是由中尺度天气系统造成的,暴雨 群的发生又与中纬度系统相关联,并受季风环流及 西风带环流系统所制约(何金海,1994)。

暴雨强降水问题一直受到中国气象工作者的高 度重视,并在分析预测及基础理论研究实践中取得 了重大进展(陶诗言,1980)。然而,由于对流层上部 常规资料缺乏等原因,中国暴雨分析研究和预测工 作较多地关注对流层中下部天气系统的活动。而在 中尺度数值模拟和预报中,同样存在常规观测资料 密度不够的问题(Wang, 1988; Turpeinen, 1990)。 由于探空站网中站和站之间的平均距离在 300 km 以上,而且观测次数有限,作为初始资料进入数值模 式预报的常规探空资料,在资料客观分析中往往丧 失了中尺度特征,使模式初始场的湿度场分析常常 过于平滑,从而导致了辐散场、非绝热加热和湿度场 之间的初始场缺少一致性,最终使得数值模拟预报 结果容易出现空报和漏报。为了恢复初始资料原有 的中尺度特征,在中尺度模式中采用分辨率较高,观 测次数更多的非常规观测资料,是一条被证明非常 有效的途径(万齐林,2005;盛春岩,2006;张朝林, 2005;Purdum,1984;王叶红,2006)。

云迹风是数值天气预报所使用的非常规观测资 料之一,早在1970年气象工作者就开始从静止气象 卫星云图上估计风速。20世纪80年代以后,随着 国外静止卫星云迹风资料的研究和应用,发现云迹 风在中尺度系统分析中有重要作用(张朝林,2005), 并已开始用于暴雨洪涝灾害的天气分析研究(Petersen,1999)。近年来,中国学者的研究(许健民, 1997)也明确指出云迹风能清楚生动地显示天气系 统发展变化的细节,在中尺度数值天气分析和预报 中具有广泛的应用前景,对暴雨的落区分析和预测 有重要指示意义。在国内外许多数值模拟实验中, 也证明了加入云迹风资料的同化初始场,确实能有 效地改善模式各要素预报的准确度(Le, 1997; Bhatia,1999;周兵,2006;庄照荣,2004)。然而,由 于种种原因,先前的数值模拟实验只对单一通道或 者低频次的云迹风进行同化分析,至今仍没有实验 就高频次双通道的云迹风对同化初始场的作用进行 探讨。众所周知,随着同化技术的日益成熟,初始场 的进一步改善很大程度上取决于参与同化的观测资 料的质量和时空密度,所以高频次双通道的云迹风 资料对同化初始场的作用究竟有多大,有怎么样的 作用,非常值得进一步探讨。

本文试图通过数值试验就逐时云迹风资料同化 对 2005 年 7 月 11—12 日长江流域暴雨过程的作用 做进一步研究,探讨高频次云迹风资料的应用对改 善高空风压场质量的分析和提高暴雨预报能力的作 用。希望能为提高云迹风在数值预报中的使用效果 提供新的线索。

2 试验方案及云迹风资料处理

2.1 云迹风资料

本文用的是 FY-2C 静止气象卫星 2005 年 7 月 11—12 日半小时一次的水汽和红外通道高频次云 迹风资料。FY-2C 静止气象卫星是中国第一颗业 务型静止气象卫星。2005 年 6 月 1 日正式投入业 务应用,6 月底至 7 月底的汛期,曾进行过 2 次加密 观测,分别为:6 月 27 日—7 月 6 日、7 月 11—31 日。资料的时间间隔为半小时一次。由于 7 月 11—12 日的降水过程相对比较明显,故本文选取 7 月 11—12 日的加密云迹风资料进行实验。

2.2 质量控制

由于云迹风矢的计算是以图像模块(几十至上 百公里尺度)识别为基础的。云区的时空变化以及 图像处理、计算、识别等各阶段可能存在的错误或限 制,使个别风矢不合理或使云迹风矢群体呈现一定 程度的紊乱,同化前对该资料进行一定的质量控制 是必要的。根据连续性原理,邻近点的流体运动速 度无论大小和方向都不会有很大差异,即存在相关 性和一致性。所以订正相近时次存在差异的同一经 纬度点云迹风矢,以及滤去同一时次邻近范围内的 极值云迹风矢可以改善云迹风资料的质量。本实验 以此为依据经3步对7月11日00—12UTC云迹风 加密观测资料进行质量控制:

(1)资料的筛选:以正点资料为基准,用其前后 半小时的资料三者进行比较,在同经纬度的点,取其 中间值。

(2) 同经纬度单点通道的选择:合并两通道数 据时,会出现这样一种情况,即同一经纬度的点,同 时存在不同通道的数据,根据误差统计(见表 1),水 汽通道风速风向数据相对于探空风的各层误差大部 分均比红外通道的误差小,所以同一经纬度的点,取 水汽通道的数据值。

(3)资料的稀疏化:合并后有些时次的某些区域,资料过于密集。以1.0°×1.0°为网格基准,每单 元格保留一个值,该值为网格范围内所有点数据值 的中间值。

为了检验上述步骤对云迹风资料的质量改善程度,本文进行了相应的误差统计(表 1)。表 1 中误差的统计是以 7 月 11 日 12:00 UTC,12 日 00:00 UTC,12 日 12:00 UTC 的云迹风数据与该时次的探空资料进行比较得出的,关于该方法对云迹风精

度描述的可行性已获得一直公认(Rao,1994)。表中 IR1 为红外通道,IR3 为水汽通道,Control 为上述步骤进行质量控制后的双通道合并数据。由于 3 个时次 400 hPa 以下的云迹风资料个数累计相对比较少,此处不参与统计。

由表可见,从总的统计结果看,经质量控制后的 资料误差均小于或介于两个通道的原始资料误差之 间,尤其是风向误差改善。这说明了原先存在的部 分风向风速上与周围不一致的点得到了过滤。应该 注意到的是,还有个别情况的误差存在很小幅度的 升高。这是由于该层次参与比较的数据个数不足, 空气流动的复杂性和多变性以及常规探空风资料本 身的误差等诸多原因造成的(陈华,1999)。

表 1 云迹风资料的绝对值平均误差

Table 1	Mean	errors of	the	absolute	values	of	cloud	motion	wind	data

□ 粉 /1 D		风向角误差(°)		风速误差(m/s)					
层级/nPa -	IR1	IR3	Control	IR1	IR3	Control			
100	/	94.18	108.59	/	9.71	8.77			
150	48.27	31.77	32.70	9.90	9.17	7.85			
200	27.52	29.57	37.59	10.69	11.23	10.07			
250	32.44	29.70	22.37	13.67	13.65	12.43			
300	23.45	26.81	19.49	16.20	9.19	11.68			
400	29.18	65.24	52.18	13.39	7.63	7.87			

云迹风资料在高低各层的分布很不均匀,水汽 通道的云迹风资料在 500 hPa 以上才有,在 400— 200 hPa 最多,而红外通道云迹风资料高低层都有, 在 300—200 hPa 最多。图 1 为经过质量控制后 7 月 11 日 00:00—12:00 UTC 的 200 hPa 附近高度 内云迹风风矢分布情况(此处只列出 01:00、05:00、 09:00、12:00 UTC 时次的分布,其他时次图略)。

由图 1 可以明显看到,7 月 11 日 00:00—12:00 UTC 的 200 hPa 云迹风风场在 28°N 以北地区有一 个由西南风向偏西风逐渐调整的过程。这是由于东 亚高空槽在 11 日开始减弱北收,南亚高压加强,风 场的调整造成的。参考 00:00 和 12:00 UTC 的 200 hPa 探空风场,发现 12 h间隔后 28°N 以北地区 的风场确实由西南风转为偏西风。比较探空风资料 和云迹风资料,我们可以发现,由于探空风观测次数 有限,资料的时间间隔过长,基本上无法体现上述风 场短时间内的详细变化,而高频次的云迹风风矢资 料却能清晰地描述整个风场演变的过程。所以在同 化系统中引入经质量控制的高频次云迹风风矢资 料,其对预报初始场的作用非常值得研究。

2.3 实验方案

大气观测资料的三维变分同化设大气的动力与 热力特征可以用状态向量 x 来表示,而关于大气特 征的观测则用观测向量 y 表示。向量 y 与 x 间存在 的关系为

$$\mathbf{y} = H(\mathbf{x}) \tag{1}$$

这里 H 是观测算子。除了观测值,一般还知道有关 大气的特定背景信息,称为背景场或猜值场。大气 观测资料的同化,就是依据观测信息对背景场进行 订正,并使其符合大气变化的一些基本规律。在数 学上可以归结为求解泛函的极小化问题

$$J(x) = \frac{1}{2} [(x - x_{\rm b})^{\rm T} \boldsymbol{B}^{-1} (x - x_{\rm b}) + (y - y_{\rm 0})^{\rm T} \boldsymbol{O}^{-1} (y - y_{\rm 0})]$$
(2)





这里下标 b 表示背景场, y₀ 是实际观测值, y 是根据式(1)由 x 计算的观测值, m **B** 与**O** 分别表 示背景场与观测误差的协方差矩阵,上标 T 与-1 分别表示矩阵的转置与逆。式(2)即是三维变分同 化的目标函数。在观测、背景场以及相关的误差统 计特征给定的条件下, 使该目标函数达到极小的状 态向量, 即是所要求的分析值。式(1)所代表的观测 算子是很广泛的。并且 y 可以与 x 具有不同的物 理属性, 即它们可以是不同的物理量, 只要它们间的 联系是已知的。三维变分方法是最优统计插值方法 的推广, 它摆脱了观测量和分析量之间存在线性关 系的限制, 除了能同化探空等常规观测资料, 还可以

同化云迹风、卫星观测的辐射率等非常规观测资料。

本文用的客观分析系统是热带海洋气象研究所 基于 GRAPES 3D-VAR 三维变分同化方案开发的 逐小时循环同化系统(CHAF)。该同化系统会根据 每个时次资料的有无判据,选择对经过质量控制的 7月11日00:00—12:00 UTC的云迹风资料进行 每小时一次的顺序同化,其间用 GRAPES 模式进行 预报。如此循环,得到同化后11日12:00 UTC 的 分析场,然后用该分析场做初始场,用 GRAPES 模 式进行24 h 预报,模式侧边界用的是每1 h 一次的 季风区模式预报场。

分析区域为 20°-41°N, 105°-130°E, 垂直层

17 层。预报中心格点位于 30.50°N,117.50°E 处, 分辨率为 12 km,经向取 210 个格点,纬向取 177 个 格点,垂直层为 31 层。

为了探讨高频次云迹风资料的逐时同化对预报 场的贡献,同化前,根据资料的次数,分为两种同化 预报方案:

方案 1:观测资料为经初步质量控制的红外及 水汽通道云迹风合并资料,分别对 7 月 11 日 00:00—12:00 UTC 共 12 个时次的资料进行每小 时一次的顺序同化。得出 11 日 12:00 UTC 的分析 场分别做为初始场进行 24 h 预报。

方案 2:只加入 7 月 11 日 12:00 UTC 原始云迹 风双通道合并资料,将 7 月 11 日 00:00 UTC 的初 估场放入与方案 1 相同的逐小时同化系统进行同 化,得出的 11 日 12:00 UTC 的分析场作为初始场 进行 24 h 预报。

两个同化方案的对比实验主要流程如图 2 所 示。



图 2 对比实验流程 Fig. 2 Flow chart for contrast experiments

3 7月11-13日雨情及天气形势

此次过程始于7月9日。9日12:00 UTC巴 尔喀什湖地区上空有阻塞高压建立,东亚大槽的南 段在东北地区形成切断低压,而东北到华北的低槽 转横,使槽后不断有冷空气分裂南下,槽后为偏北 到偏东北气流,与等温线的交角近 90°,有持续性的 冷平流相配合;副高南段西伸,从孟加拉湾到淮河中 下游为一致的西南气流,且风速比 00:00 UTC 时大 (16-20 m/s),形成急流,850 hPa 风场上,明显的 切变出现在山东至川东一带,呈东北一西南走向,南 北气流在此切变附近交绥汇合,大范围的雨带相应 出现在华中至西南地区。10日,东亚大槽南段切断 低压不断加深南压,850 hPa 切变线相应东移南进, 11日,200 hPa上,南亚高压开始加强(图略),500 hPa 副热带高压(副高)加强西伸(图 3),切变维持 在江苏至川东地区(图略),雨带移至长江流域。12 日,东亚大槽有所减弱北收,副高开始东退,850 hPa 切变减缓,雨带减弱。13日东亚大槽东移出海,副 高减弱东退,降水过程基本结束。



4 同化场结果对比及机理分析

从同化的结果来看,两个试验得出的结果在大 环流方面均能模拟出实际的大尺度环流背景。由于 同化阶段只考虑数值预报系统的基本预报变量的分 析,因此对比分析同化结果,可以体现出逐时云迹风 资料同化对分析场的改进效果。

从对流层高层 200 hPa 上(图 4a、4b、4d)看,方 案 2 分析的高度场与 NCEP 分析场有明显的差异。 方案 2 所分析的东北低压中心偏南,中心位势高度 值仅为 12150 gpm,比 NCEP 分析场所分析的东北 低压系统更为深厚,而对南亚高压高度场模拟,方案 2则略为偏弱;而方案1的结果无论在数值上还是 形状上均相对比较接近NCEP分析场。

两个方案的风场分析,差异也十分明显。由风 场差值(方案1减方案2)图4c可见,只同化一个时 次云迹风资料的方案2,其分析风场全风速,在绝 大部分区域均比方案1的结果偏大,差值在某些区 域甚至超过20 m/s。比对图4a、4b、4c,可明显发 现,方案1的结果则比较接近NCEP的分析风场, 而方案2的风场风速无论在高纬还是低纬地区,均 明显比NCEP分析的风场风速偏大。由此可见方案



图 4 同化后得出的 200 hPa 初始风场、高度场及 NCEP 再分析实况场(2005 年 7 月 11 日 12:00 UCT) (单位:gpm; a. 方案 1, b. 方案 2, c. 风场差值(a-b)(单位:m/s); d. NCEP 分析)

Fig. 4 200 hPa wind (m/s) and geopotential height (gpm) fields at 00:00 UTC 11 July 2005 in the assimilation of this paper and the reanalysis data of NCEP

(a. assimilation scheme 1, b. assimilation scheme 2, c. differences in winds between the two schemes (a-b), d, NCEP reanalysis data)

1 对高层风场的修正作用很显著。综合以上的分析 证明加入经过质量控制的逐时云迹风观测资料的三 维变分同化对初始场高层的风压场有非常明显的 改善。

方案 1 对对流层中层风压场的改善也相当明显。从 500 hPa 高度场的分布上看,方案 1 的结果 (图 5a)和 NCEP 分析场(图 5d)两者的环流场形状 及副高强度均非常相近,且副高脊线都在 24°N 附 近。反观同化方案 2(图 5b)对副高的模拟强度相对 图 5a、5d 偏强,5940 线范围甚至西伸到内陆地区, 且位置偏北,其脊线位于 26°N 附近;风场差异也比 较明显(图 5b),由于方案 2 分析的副高及东北低压 强度都偏强,两个系统气流交汇的急流区(30°-38°N)风速明显比方案 1(图 5a)及 NCEP 分析场 (图 5d)的风速要大,两个方案的风场差值图(图 5c) 可明显看到在该区域全风速最大差值超过 12 m/s。



图 5 同化后得出的 500 hPa 初始风场、高度场及 NCEP 再分析实况场(2005 年 7 月 11 日 12:00 UCT) (单位:gpm; a. 方案 1, b. 方案 2, c. 风场差值(a-b)(单位:m/s); d. NCEP 分析) Fig. 5 Same as Fig. 4 but for 12:00 UCT 11 July 2005

对流层低层 850 hPa 上两个方案的差别与 500 hPa基本相同。方案 1 的分析场(图 6a),无论 从高度场的分布形态还是风场的风向风速,都更加 接近 NCEP 的分析场(图 6d);而方案 2 对低层副高 的模拟,强度偏强,位置偏北,这与该方案在500 hPa 上的表现是一致的。受对流层中低层强度偏强位置



图 6 同化后得出的 850 hPa 初始风场、高度场及 NCEP 再分析实况场(2005 年 7 月 11 日 12:00 UCT) (单位:gpm; a. 方案 1, b. 方案 2, c. 风场差值(a-b)(单位:m/s); d. NCEP 分析) Fig. 6 Same as Fig. 5 but for 850 hPa

偏北的副高影响,副高西侧的暖湿气流与东亚大槽 槽后冷空气交缓形成降水的地点会相应偏北,这也是 造成方案2的降水预报雨带偏北的主要原因;从方案 1减方案2的风场差异(图 6c)不难看到,在副高西侧 的西南风低空急流区,出现了较大范围的全风速差的 负值区。由风矢差值特征可知该区域方案1分析的 西南风减弱,修正了西南风低空急流的强度,使得南 北冷暖空气交绥的位置更接近实况。同图可见,在长 江以南110°E以西的副热带高压区西北侧,两个方案 在该地区存在一个气旋性的差异。这表明,方案1在 这一地区分析的对流层低层风场比方案2更利于气 流辐合,这也是导致两个方案在降水预报中雨带的位置和雨强存在差异的一个重要原因。

此外,方案1对低层水汽场的改善也相当明显。 由图7可见,方案1由于加入12个时次的云迹风 资料进行循环同化,其850hPa水汽场在长江以南 至西南地区,水汽分布较方案2有明显的增加。这 一区域也正对应了11日12:00 UTC—12日00:00 UTC降水最大区,而在长江以北的中国中东部地 区水汽分布则明显比方案2的结果弱。这也是方案 1所预报的雨带比方案2的预报结果偏南,更接近 实况的原因之一。





由上述两个方案的同化结果对比可知,逐时同 化系统中加入经过质量控制的高频次云迹风资料, 无论对初始风压场,还是水汽场均有明显的改善,尤 其在高层风场,改善更加明显。

究其原因,主要是由于现有的 GRAPES 3D-Var系统对于物理量之间约束关系的处理还比较简 单,因此如果同化采用的观测资料过于稀疏单一或 者过于密集粗糙都容易产生一些虚假的重力波,从 而导致后面的预报结果出现较大偏差。表 2 为两个 方案中云迹风矢进入同化系统的分布情况。由表可 见,在 12 个时次中,方案 1 有大量经过质量控制的 云迹风数据进入逐时循环同化系统。这也是该方案 的同化实验能很好地抑制一些虚假重力波的产生, 改善初始风压场质量的主要原因之一。

表 2	两个方案中云迹风矢进入同化系统的分布情况

Table 2 Numbers of atmospheric motion vectors entering assimilation in assimilation schemes 1 and 2

	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
方案1(经质量控制)	412	410	395	405	380	411	419	402	393	409	409	422
方案 2(原始数据)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	643

此外,有研究表明(丁伟钰,2006),U、V、H、T、 Q等物理量的预报敏感性因子在前6小时内其预报 敏感性下降很快,所以单靠单一时次的资料同化,不 但容易产生虚假的重力波,其预报敏感性也会逐时 下降,而加入经质量控制的高频观测资料进行逐时 滚动同化则有利于延续和增强初始场各物理量预报 敏感因子的预报敏感性,从而能较好改善初始的风 压场。

5 预报结果分析

5.1 降水预报结果对比分析

根据7月11日12:00 UTC—12日12:00 UTC 24 h 的降水预报(图 8a、8b)与实况降水(图 8d)的对 比,两个方案的预报试验都能够模拟出明显的雨带, 对整个降水的形势模拟效果不错。但两个方案的差 别还是相当明显(图 8c),其中方案2所模拟的雨带 位置明显偏北;而方案1模拟的雨带位置相对比较 接近实况。对于实况中皖南地区的暴雨,方案1预 报的最大降水区较方案2要大10—20 mm,且暴雨 区的降水比较集中,更接近实况。对于实况场中位 于江西中部地区的降水中心,方案1预报结果虽略为 偏北,但对整个中心有很好的描述,而方案2则出现 了漏报。而位于桂湘贵3省交界处的另一个降水中 心,方案1预报雨量偏小,方案2则基本漏报。两个 方案的降水预报结果,与上一节对两个方案的同化分 析场的分析是一致的。这也证明了加入逐时云迹风 资料的同化方案对降水预报有明显的改进作用。

5.2 形势场分析

两个试验方案的预报结果都能够很好地模拟出 实际的大环流形态,但是,两个模式的结果还是存在 比较明显的差异,以下对高低层分别进行分析。

从12日12:00 UTC的高层 200 hPa 预报形势 场上看(图 9a、9b、9d),方案1所模拟的东亚大槽, 形态更接近 NCEP 分析场。由图 9a、9b、9d 可见, 方案1和 NCEP 分析场中,东亚大槽的槽底均大约 处于 28°N 附近;而方案2的模拟结果(图 9b),整个 东亚大槽明显偏西,槽底偏北,约位于 32°N 附近, 受高空槽位置的影响,槽后冷空气与副高西侧偏南 气流的交汇区相应偏北。这也是造成该方案所预报 雨带比实况及方案1的结果偏北的重要原因。至于 南亚高压,方案1的结果基本形态更接近实况,而图 9b中,高压的位置略为偏北,但两个方案的差异不 是太大。风场上的差异则比较明显,由上述图 9a、 9b、9d中的风矢分布可以看到,方案2所模拟的风 场全风速相对方案1及 NCEP 分析场在陆地区域 大部分地区均呈偏强态势,尤其在 28°N 以南地区, 两个方案的最大差值高达 15 m/s(图 9c)。且由风 矢差值特征可知方案 1 在 32°N 以北预报的偏西风 减弱,修正了单一时次同化方案(方案 2)所模拟的 高空槽前西风急流的强度。



图 8 24 h 降水预报及实况(2005 年 7 月 11 日 12:00 UTC-2005 年 7 月 12 日 12:00 UTC)(单位:mm) (a. 方案 1, b. 方案 2, c. 差值(a-b), d. 实况)

Fig. 8 Predicted and observed 24-h precipitation (mm) from 12:00 UTC 11 to 12:00 UTC 12 July 2005 (a. scheme 1, b. scheme 2, c. differences in precipitation between two schemes (a-b), d. observed precipitation)

两个方案在对流层低层 850 hPa 的形势预报场 模拟结果比较接近(图 10a、10b)差异不如对流层高 层 200 hPa 显著,方案 1 改善的部分主要表现局 部。在高度场上,方案 2 所模拟的低层副高整体强 度略为偏强,而方案 1 模拟结果则相对比较接近实 况。风场的差异也不是很明显,和图 10d 相比,方 案 2 所得出的风场全风速在 33°N 以南的地区较 NCEP 分析略强,风向也较为偏南,这也是造成方案2所模拟的雨带偏北的重要原因。而方案1的模拟结果在上述区域则略有改善,这点在图10c中可看到。方案1减方案2的风场差值分布在32°N以南地区有气旋式差异,这也可以解释方案1所模拟的雨带位置比方案2偏南,雨强略强,相对更接近实况的原因。





Fig. 9 200 hPa wind (m/s) and geopotential height(gpm) fields at 00:00 UTC 12 July 2005

in the prediction of this paper and the reanalysis data of NCEP

(a. assimilation scheme 1, b. assimilation scheme 2, c. differences in winds between the two schemes (a-b), d, NCEP reanalysis data)

6 结 论

文中用 GRAPES 三维变分同化系统对经质量 控制的高频次云迹风资料进行了逐时同化试验,并 用同化后的分析场通过 GRAPES 模式做了 24 h 预 报试验,得到以下主要结论:

(1)经3个步骤进行质量控制后的资料误差绝 大部分情况下均小于两个通道的原始资料,尤其是 风向误差减小,这说明了原先存在的部分风向风速 与周围不一致的点得到了过滤,云迹风的质量有明显改善。

(2) 逐时云迹风资料同化方案,无论对对流层 高低层初始风压场,还是水汽场均比只同化一个时 次云迹风资料的方案有明显的改善,尤其在高层。 这是由于进入逐时同化系统的观测资料其合理性得 到改善造成的,因为经质量控制的高频次云迹风资 料时间密度大,比单一时次云迹风资料所描述的天 气系统演变过程更为清晰。





(3)由于初始场的改善,逐时云迹风资料同化 方案比同化一个时次云迹风资料方案对整个雨带、 暴雨落区及雨强的模拟效果更好。在形势场预报 上,方案1比方案2的预报结果也更接近实况,尤其 在高层,改善很明显。

有关研究表明卫星风矢量偏差来自高度指定方 法的不足和使用了欠佳的观测算子,如果通过高度再 指定和修订观测算子,可以改善卫星风矢量的质量, 提高预报技术(Bormann,2001)。因而,如果能进一步 减小云迹风资料的各矢量误差,对改进初始场的质量 以及提高暴雨预报的准确率将会有更大的帮助。

References

- Bhatia R C,Khanna P N, Prasad K, et al. 1999. Use of Meteosat-5 derived winds for analysis of two tropical cyclones affecting Gujarat coast on 20 May, 1999 and Orissa coast on 29 October, 1999. Fifth International Winds Workshop Proceedings, Tokyo, EUMETSAT, 1-8
- Bormann N,Kelly G, Thepaut J N. 2001. Characterising and correcting speed biases in atmospheric motion vectors within the EC-MWF system. Meteorological Satellite Data User's Conf, Turkey, EUMETSAT, 1-8
- Chen Hua, Xu JianMin, et al. 1999. The quality controlling of cloud winds using height updating. Scientia Meteor Sinica (in Chi-

nese),19(1):20-25

- Ding Weiyu, Wan Qilin, et al. 2006. Impact of the initialization on mesoscale model prediction in South China. J Tropical Meteor (in Chinese),22(1):10-17
- He Jinhai, Ding Yihui, Chen Longxun. 1994. Asian Monsoon(in Chinese). Beijing: Chinese Meteorological Press, 76-83
- Le M J F, Leslie L M, Spinoso C. 1997. The generation and assimilation of cloud-drift winds in numerical weather prediction. J Meteor Soc, Japan, 75: 383-393
- Petersen W A, Garey L D, Rutledge S A, et al. 1999. Mesoscale and radar observations of the Fort Collin flash flood of 28, July 1997. Bull Amer Meteror Soc, 80(2):190-216
- Rao P K, et al. 1994. The Application of Satellite Data in Environment(in Chinese). Beijing: Chinese Meteorological Press, 264-265
- Purdum J W. 1984. Diagnosing these servere thunder storm environment by mesoscale cloud tracking: A new approach and new in formation. Amer Metetor soc, Boston, Proc. of the Conf. on Satellite Remote Sensing and Application, 100-105
- Sheng Chunyan, Xue Deqiang, et al. 2006. Comparative experiments between effects of Doppler radar data assimilation and increasing horizontal resolution on short-range prediction. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 64(3):293-307
- Tao Shiyan. 1980. Torrential Rain in China(in Chinese). Beijing: Science Press, 225pp
- Turpeinen O M, Garand L, Benoit R, et al. 1990. Diabatic initialization of Canadian Regional Finite Element (RFE) model using satellite data. Mon Wea Rev, 118:1391-14071
- Wan Qilin, Xue Jishan, et al. 2005. Study on the variational assimilation technique for the retrieval of wind fields from Doppler radar data. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 63(2):129-145
- Wang Yehong, Zhao Yuchun, et al. 2006. Numerical research on effects upon precipitation forecast of Doppler-radar estimated precipitation and retrieved wind field under different model initial schemes. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 64(4):485-499
- Wang W, Warner T T. 1988. Use of four dimensional data assimilation by Newtonian relaxation and latern theat forcing to improve a mesoscale model precipitation: A case study. Mon Wea Rev, 116:2593-2613
- Xu Jianmin, Zhang Qisong, et al. 1997. Two geometrical problems in

cloud motion winds algorithm. Quart J Appl Meteor, 8(1):11-18

- Xu Jianmin, Zhang Qisong, Fang Xiang. 1997. Height assignment of cloud motion winds with infrared and water vapour channels. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 55(4):408-417
- Zhang Chaolin, Chen Min, et al. 2006. Numerical assessing experiments on the individual components impact of the meteorological observation network on the "00.7" torrential rain in Beijing. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 63(6) :921-932
- Zhou Bing, Xu Haiming, Wu Guoxiong, et al. 2002. Numerical simulation of CMWDA with it's impact impacting on torrential rain forecast. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 60;309-317
- Zhuang Zhaorong, Xue Jishan. 2004. Assimilation of cloud-derived winds and its impact on typhoon forecast. J Tropical Meteor (in Chinese),20(3):225-236

附中文参考文献

- 陈华,许健民,张其松等. 1999. 用高度调整法进行云迹风高度的质量控制. 气象科学, 19(1):20-25
- 丁伟钰, 万齐林, 陈子通等. 2006. 华南地区中尺度模式预报的初值影 响分析. 热带气象学报, 22(1):10-17
- 何金海,丁一汇,陈隆勋.1994.亚洲季风.北京:气象出版社,76-83
- 盛春岩,薛德强等.2006. 雷达资料同化与提高模式水平分辨率对短时预报影响的数值对比试验. 气象学报,64(3):293-307
- 陶诗言.1980.中国之暴雨.北京:科学出版社,225pp
- 万齐林,薛纪善,庄世宇.2005.多普勒雷达风场信息变分同化的试验 研究.气象学报,63(2):129-145
- 王叶红,赵玉春等.2006.多普勒雷达估算降水和反演风在不同初值 方案下对降水预报影响的数值研究.气象学报,64(4):485-499
- 许健民,张其松,王大昌等. 1997. 云迹风计算中的两个几何问题. 应 用气象学报,8(1):11-18
- 许健民,张其松,方翔. 1997. 用红外和水汽两个通道的卫星测值指 定云迹风的高度. 气象学报, 55(4):408-417
- 张朝林,陈敏等. 2005."00.7"北京特大暴雨模拟中气象资料同化作 用的评估,气象学报,63(6):921-932
- 周兵,徐海明,吴国雄等.2002. 云迹风资料同化对暴雨预报影响的数 值模拟. 气象学报,60(3):309-317
- 庄照荣,薛纪善.2004. 云迹风资料的三维变分同化对台风预报的影响试验. 热带气象学报,20(3):225-236