

区域初始分析误差对梅雨锋中尺度 低压数值预报的影响

董佩明^{1,2} 钟科³ 赵思雄³

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室, 南京 210044

2 中国气象科学研究院, 北京 100081

3 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 以梅雨锋中尺度低压个例为研究对象, 根据目标观测的思想, 采用 NCEP 和 T106 再分析资料分析了区域初始分析误差对梅雨锋中尺度低压数值预报误差的影响。结果表明: 区域初始分析误差对数值预报误差有重要影响, 改善某些特定区域初始场质量有可能改善随后数值预报的效果。但是, 区域初始分析误差对数值预报误差的影响较为复杂, 它与天气类型、不同个例和区域间误差相互作用等因素密切相关。对梅雨锋中尺度低压短期数值预报有较大影响的初始分析误差与梅雨锋锋区及其附近地区的要素场关系密切, 相比较而言, 风场似乎更加重要一些。如果对梅雨锋带中低层风切变区及相伴低空急流区有更好的描述, 这将对梅雨锋中尺度低压系统数值预报效果的改善有着积极的作用。在此基础上, 就相关的目标观测设计问题作了简要讨论。

关键词 目标观测 区域初始分析误差 梅雨锋 中尺度低压 数值预报

文章编号 1006-9585 (2006) 05-0565-17 **中图分类号** P **文献标识码** A

Impact of Regional Uncertainties of the Initial State upon Numerical Forecast of Mesoscale Low on Meiyu Front

DONG Pei-Ming^{1,2}, ZHONG Ke³, and ZHAO Si-Xiong³

1 *Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*

2 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*

3 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

Abstract Present study is associated with the key idea underlying targeted observations of the initial state for numerical forecast of mesoscale low on Meiyu front, which is called in China, Baiu in Japan and Changma in Korea and is the main synoptic system that brings rainfall to those countries during summer monsoon season every year. Mesoscale low on Meiyu front is one of the most important mesoscale systems associated with heavy rainfall. The effect of regional uncertainties of the initial state upon numerical forecast of mesoscale low on Meiyu front is concerned. The estimate of initial uncertainties is obtained by the differences between the NCEP and T106 reanalysis data. Control experiment is performed with NCEP data in whole model region. The impact of regional initial uncertainties is studied by a change of initial data from NCEP to T106 reanalysis first in whole model region, and then inside or out-

收稿日期 2005-04-19 收到, 2006-05-10 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40405020 和南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室开放课题 KLME0503

作者简介 董佩明, 男, 1971 年出生, 博士, 高级工程师, 主要从事数值预报和资料同化应用方面的工作。

E-mail: dongpm@cma.cma.gov.cn

side the selected regions. Results show that regional uncertainties of the initial state have important impact on the numerical forecast error. Some improvement of numerical forecast may be obtained by improving the quality of initial state in certain region. However, this kind of effect is complex in that it is associated with weather pattern, individual case and the interaction between uncertainties of different regions. The regional uncertainties of the initial state, which have important impact on numerical prediction of mesoscale low on Meiyu front, should locate on and in the vicinity of Meiyu front zone. Probably, the wind field plays an important role and the better depiction of low-level wind shear and jet could result in the improvement of numerical forecast of mesoscale low on Meiyu front.

Key words targeted observations, regional uncertainties of the initial state, Meiyu front, mesoscale low, numerical forecast

1 引言

数值预报是天气预报向客观化、定量化发展的重要科学途径。同时,随着社会的快速发展,对数值预报准确率的要求也愈来愈高。数值预报的效果受基本原则和实践两方面的约束,前一种约束即 Lorenz 提出的混沌现象,也就是预报对象本身存在一定可预报性的限制;实践方面的约束则包括了数值模式和初始条件的准确性,后者又由观测的数量、质量以及用来同化这些观测的方法所决定。近年来,实践和研究都表明,在目前的技术水平下,最大的预报误差往往源于初始分析误差,而非数值模式本身。

由此,要改善数值预报的效果,就应该尽可能地减小初始分析误差,这也就要求改善观测的数量、质量以及观测的同化方法。尽管当前随着观探测手段与技术的发展,观测数量和种类(包括常规观测,特别是非常规观测)都迅速地增加。但是,观测布局却仍是不尽合理,固定观测往往集中在人口居住地,之外则是大范围的观测稀少区。虽然非常规观测可以成为上述地区的一种有效弥补,然而,总的说来,要提高全区域(全球或区域模式整个预报区)观测的数量和质量将是一项耗资巨大并且时间很长的工程。近几年,基于所关心的天气系统的数值预报效果,往往与某区域在预报时段内急剧增长的初始分析误差密切相关,人们提出了一种思想:在制作预报前,确定出初始场中会急剧增长并使预报变坏的分析误差所在区域(定义为敏感区, sensitivity area)及其物理量特征,在这些敏感区中增加观测或者提高观测质

量,减少那些可能急剧增长的分析误差,则可以改善随后的数值预报效果。这种观测设计带有提高某一特定区域天气事件数值预报效果的目的,同时只是在某区域而不是全区域增加观测或者提高观测质量,以有限的投入取得预报最大改善的效益,被称为以目标为导向的目标观测(targeted observations, 有的也称为适应性观测 adaptive observations)设计^[1~3]。对目标观测设计的研究是当今国外大气科学研究的一个热点,与之相应已开展了一系列的大型外场科学试验,并且有多种目标观测设计方法在外场试验中进行了实际应用,国内在该方面的研究工作目前相对还较为薄弱^[1~7]。

目标观测设计的前提基础是区域初始分析误差的改善与某一特定天气事件数值预报的效果相关联。本文以梅雨锋中尺度低压个例为研究对象,分析讨论区域初始分析误差对其短期数值预报的影响。工作将有益于理解与梅雨锋中尺度低压短期数值预报效果密切相关的初始分析误差所在区域及其特征,并可进一步探讨目标观测设计对这一类天气事件短期数值预报效果改善的可行性和可能的改善程度。

2 数值模式、资料、分析个例和试验方案

2.1 数值模式

研究选用美国 PSU/UCAR 研制开发的有限区域中尺度数值模式 MM5。该模式具有较合理的动力学框架和完善的物理过程描述,已得到较广泛的应用,在国内暴雨研究方面也有不少结果,表明其对中国的降水天气系统亦具有一定的模拟

和预报能力。模式相关介绍已有较多资料，不再赘述。

试验采用单重网格，水平格距 60 km，垂直 σ 坐标 23 层。Lambert 地图投影，中心点 (30°N , 110°E)。降水物理过程隐式取 Grell 积云参数化方案，显式为 Reisner 混合相单变参数谱方案，边界层参数化为 Blackadar 高分辨率行星边界层方案。积分时效 24 h，时间步长 180 s。

2.2 资料

使用水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的 NCEP 再分析资料 and 水平分辨率为 $1.125^{\circ}\times 1.125^{\circ}$ 的 T106 再分析资料，两者在积分初始时刻的差作为初始分析误差。因为同一时刻的两种再分析资料可作为两种不同分析方案对相同观测的两种分析结果，其与实际分析产生的误差在基本特征与量级大小方面具有一定的相当性。当然，NCEP 和 T106 分析所用资料还存在一定差别，但这对我们问题的讨论影响不大。

2.3 分析个例

本文讨论的对象为梅雨锋中尺度低压。梅雨锋是东亚地区独特的天气系统，每年夏季锋面上常有持续降水和暴雨发生。由于梅雨锋所处的长江流域是我国国民经济发展和人口居住的集中地，所以对梅雨锋暴雨的研究一直都是我国气象工作者关注的一个重点。梅雨锋上的中尺度对流系统是暴雨的直接制造者，梅雨锋中尺度低压就是其中主要的中尺度系统之一。国内学者的研究

表明梅雨锋中尺度低压有两种不同的类型^[8~10]：一类为水平移动较大，1~2 天内自长江中上游移至下游地区，并可能得到显著发展后出海；另一类为长江中游地区局地新生，移动较慢，其后未有显著发展^[11~12]。

分析 1999 年 6 月 27~28 日和 23~24 日的两次中尺度低压（扰动）过程，前一个例对应第一类，后者属于第二类。模式积分的初始时刻分别取为 6 月 27 日 0000 UTC 和 6 月 23 日 0000 UTC（后一个例积分初始时刻与文献 [12] 略为不同）。关于个例详细的过程分析及数值研究结果可参见文献 [11, 12]。

2.4 试验方案

考虑梅雨锋中尺度低压是梅雨锋上的天气系统并沿梅雨锋移动发展，同时天气系统往往受上游特征影响较大，两个区域设计为：区域 1 涵盖梅雨锋长江中下游下段，区域 2 在梅雨锋的上段。两个个例中梅雨锋的位置及走向不同，区域 2 取得略有一些差别。具体范围：区域 1 对两个个例都是 ($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)，区域 2 对个例 1 为 ($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)，个例 2 为 ($23^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)。

试验包括了 6 个试验方案（见表 1）。试验 1 是对照试验，模式积分的初始条件全场均为 NCEP 资料。试验 2 将试验 1 模式积分的初始条件全场由 NCEP 替换为 T106 资料。其后，用 T106 资料分别替换试验 1 中选定区域内部或外部

表 1 试验方案列表
Table 1 List of experiment design

序号 Serial number	试验方案描述 Description of experiment design
试验 1 Experiment 1	模式积分初始条件全场均为 NCEP 资料——对照试验 The initial state in whole model region is NCEP data—Control experiment
试验 2 Experiment 2	模式积分初始条件全场均为 T106 资料 With regard to control experiment, the initial state is changed from NCEP to T106 data in whole model region
试验 3 Experiment 3	由 T106 资料替换试验 1 模式积分初始条件中选定区域 1 内部的 NCEP 资料 With regard to control experiment, the initial state is changed from NCEP to T106 data inside the first selected region
试验 4 Experiment 4	由 T106 资料替换试验 1 模式积分初始条件中选定区域 1 外部的 NCEP 资料 With regard to control experiment, the initial state is changed from NCEP to T106 data outside the first selected region
试验 5 Experiment 5	由 T106 资料替换试验 1 模式积分初始条件中选定区域 2 内部的 NCEP 资料 With regard to control experiment, the initial state is changed from NCEP to T106 data inside the second selected region
试验 6 Experiment 6	由 T106 资料替换试验 1 模式积分初始条件中选定区域 2 外部的 NCEP 资料 With regard to control experiment, the initial state is changed from NCEP to T106 data outside the second selected region

的 NCEP 资料构成试验 3~6。由于两套资料水平分辨率不同, 替换中对 T106 资料作了水平插值。替换后在两种资料的结合处内外各两圈作 5 点平滑处理以减少资料间的不协调。

试验 2 模式积分的结果和试验 1 的差别, 可视为预报相对于模式全区域内均存在初始分析误差的反映, 以之作为对照, 对试验 3~6 的预报结果同试验 1 的差别分析则可揭示不同区域初始分析误差对梅雨锋中尺度低压数值预报的影响。

3 中尺度低压个例 1 结果分析

3.1 试验 1 模拟结果

对 1999 年 6 月 27~28 日的中尺度低压过程(个例 1), 图 1 给出了 6 月 28 日 0000 UTC 850 hPa 形势场 NCEP 的再分析结果(图 1a) 和试验 1 的 24 h 预报结果(图 1b)。中尺度低压在模式积分初始时刻 6 月 27 日 0000 UTC 位于长江中上游, 24 h 后

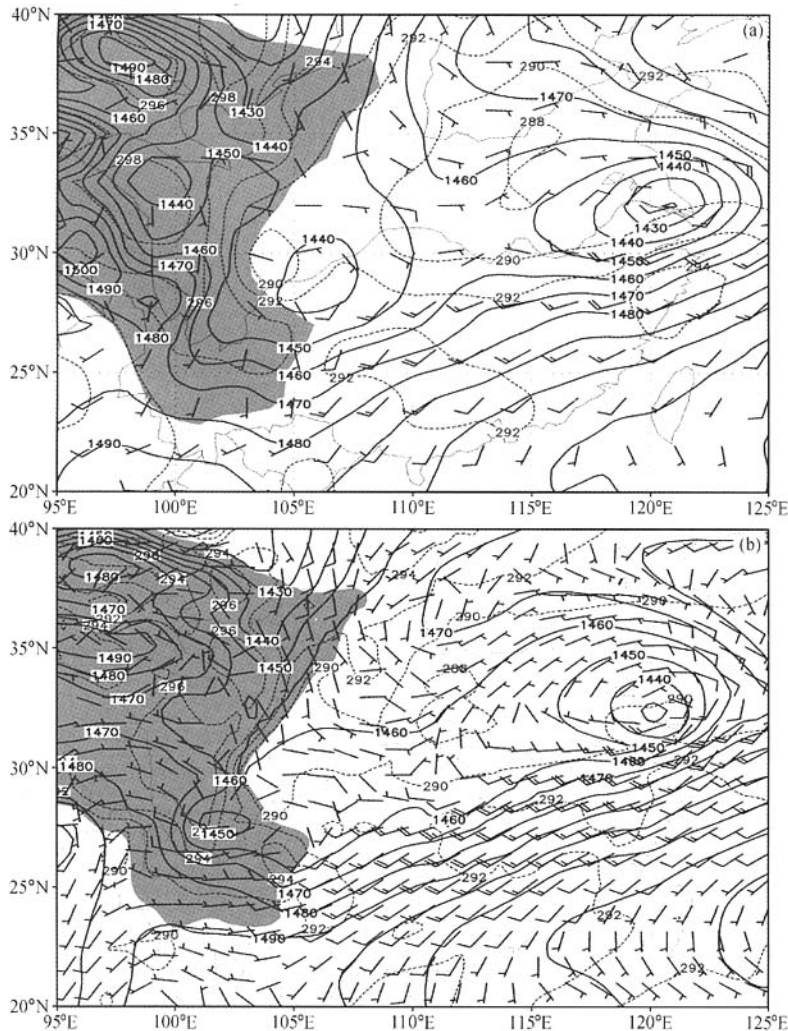


图 1 个例 1 1999 年 6 月 28 日 0000 UTC 850 hPa 形势场: (a) NCEP 再分析结果; (b) 试验 1 的 24 h 预报结果(实线为等高线, 单位: gpm; 虚线为等温线, 单位: K。阴影区表示地形高度超过 1 500 m 的区域, 下同)

Fig. 1 850 hPa field at 0000 UTC 28 June 1999 for the first case; (a) NCEP reanalysis; (b) 24 h forecast of control experiment 1 (The solid line is geopotential height, units: gpm; the dashed line is temperature, units: K. The shaded area represents the region whose topography exceeds 1 500 m. Hereafter)

移到长江入海口处, 中心位置在 (32°N , 121°E), 并显著发展成为气旋, 中心闭合等高线的数值为 1 430 gpm。由预报图 1b 可以看到, 试验 1 对该中尺度低压位置及强度的预报较实际情况还是较为接近的, 两者最大的误差在于低压流型的走向上。

3.2 初始分析误差特征

对照试验 1 (由 NCEP 资料形成的初始场) 与试验 2 (由 T106 资料形成的初始场) 的差表征初始分析误差, 可以发现, 风场误差最为明显, 温度场和湿度场的误差在各层次上呈不均匀分布,

温度误差随高度逐渐减小, 而湿度误差却是随高度增加变得更大 (图略)。风场误差集中在中低层, 图 2a 是初始时刻试验 1 与试验 2 850 hPa 标量风速差的水平分布, 风场误差的大值带呈东北—西南走向, 与梅雨锋锋带的位置及走向一致。

3.3 试验结果

试验 1 与试验 2 数值预报结果的差所表征的预报误差的分析表明, 温度场、湿度场和风场在中尺度低压位置附近都出现了系统性的偏差大值区, 但同样是风场的预报误差最为明显。基于初

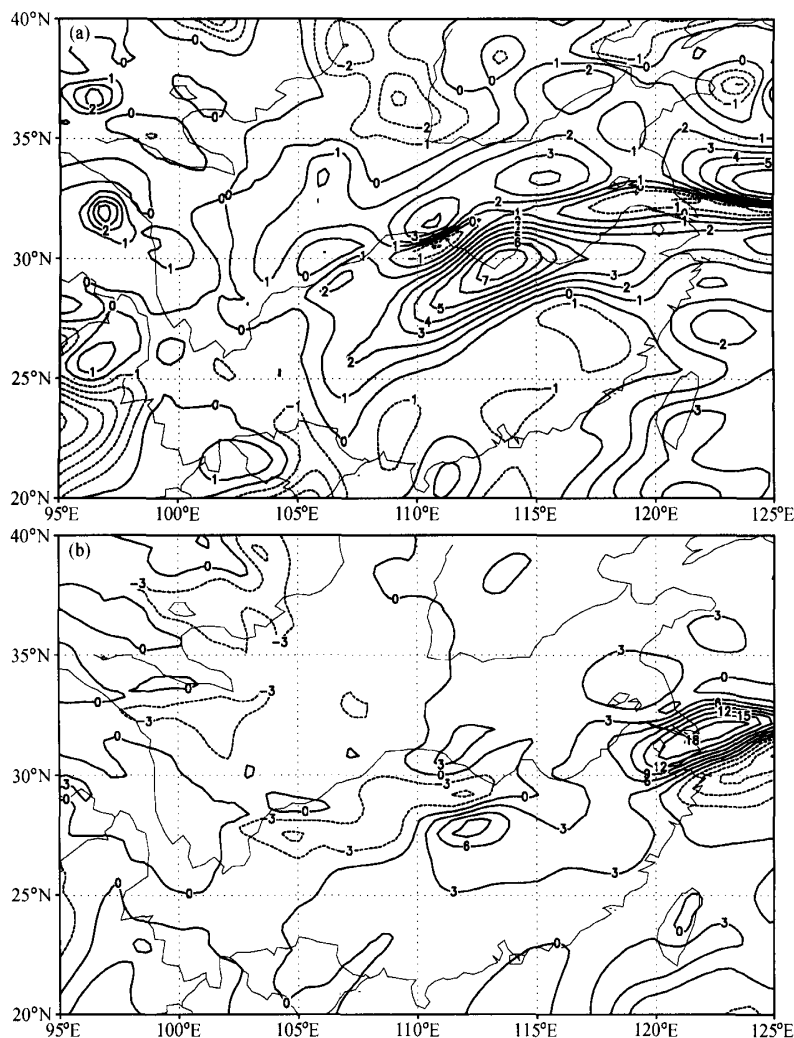


图 2 个例 1 中试验 1 与试验 2 850 hPa 标量风速差 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 的水平分布: (a) $t=0$ h, 对应 6 月 27 日 0000 UTC; (b) $t=24$ h, 对应 6 月 28 日 0000 UTC

Fig. 2 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 2 for the first case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) $t=0$ h, corresponding to 0000 UTC 27 June; (b) $t=24$ h, corresponding to 0000 UTC 28 June

始分析误差与预报误差的这种特征, 随后的讨论中, 我们重点给出风场误差的分布情况。图 2b 是试验 1 与试验 2 850 hPa 24 h 预报标量风速差的水平分布, 由图可见, 最明显的特征是在中尺度低压位置附近出现了一个中心最大值达 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的预报误差大值区, 而在初始时刻分析误差的大值区中心数值只有 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 这表明与试验 1 初始场中只有一定大小初始分析误差的试验 2, 24 h 的预报中却出现了较大的预报偏差。

试验 2 的结果给出了模式全场初始分析误差对预报误差的影响, 试验 3~6 则将重点讨论不同区域初始分析误差的影响。图 3a 显示了试验 1 与试验 3 850 hPa 初始标量风速差的水平分布, 该试验初始分析误差只集中在区域 1 内部, 向外初始分析误差逐渐过渡为 0。图 3b 是试验 1 与试验 3 850 hPa 24 h 预报风场误差的水平分布, 可以看到, 预报误差的主要特征与全场存在初始分析误差的预报误差图 2b 十分地相像, 最大风场预报误差

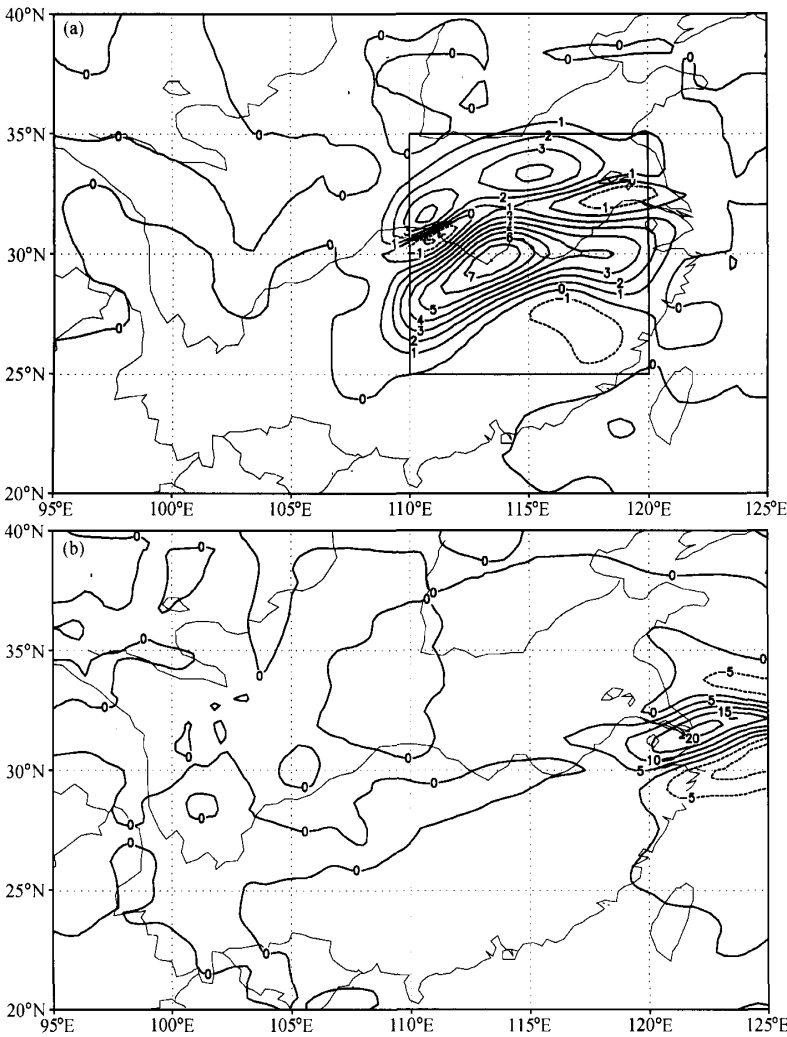


图 3 个例 1 中试验 1 与试验 3 (a、b) 和试验 4 (c、d) 850 hPa 标量风速差 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 的水平分布。(a、c) $t=0 \text{ h}$, 对应 6 月 27 日 0000 UTC; (b、d) $t=24 \text{ h}$, 对应 6 月 28 日 0000 UTC; (a) 中方框为该分析个例的区域 1

Fig. 3 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 3 for the first case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (a、c) $t=0 \text{ h}$, corresponding to 0000 UTC 27 June; (b、d) $t=24 \text{ h}$, corresponding to 0000 UTC 28 June. The box in (a) represents the first region for this case

差的中心区位于长江入海口处, 强度达 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。初始分析误差集中的区域 1 内却基本没有 24 h 预报误差。

试验 4 采用 T106 资料替换对照试验 1 模式积分初始条件中区域 1 外部的 NCEP 资料, 而内部保持不变, 所以图 3c 中 850 hPa 风场初始分析误差仅分布在区域 1 的外部。24 h 850 hPa 风场预报误差 (图 3d) 在全场范围内量级与初始分析误差相当, 和中尺度低压位置相配的风场预报误差在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。试验 3 和 4 的结果表明, 对该分析个例, 区域 1 内的初始分析误差对预报误差的主要特征有着主导作用, 区域 1 外部的初始分析误差仅仅导致部分预报误差。

对区域 2 的试验 5~6 的结果见图 4。图 4a 是试验 5 的 850 hPa 风场初始分析误差的水平分布, 初始分析误差覆盖了区域 2 内部, 最大值在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。图 4b 是该试验 24 h 850 hPa 风场预报误差的水平分布。相对于试验 1, 预报误差呈东北—西南的带状分布, 与中尺度低压相伴的风场预报误差大值区中心最大值为 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。初始分析误差只在区域 2 外部地区的试验 6 (图 4c), 其所对应的 24 h 850 hPa 风场预报误差的水平分布 (图 4d) 与图 2b 和图 3b 均极为相似, 特别是对中尺度低压系统的风场预报都有着分布形式与量级大小极为一致的预报误差。这些试验结果表明, 区域 2 内存在的初始分析误差仅仅可以解释

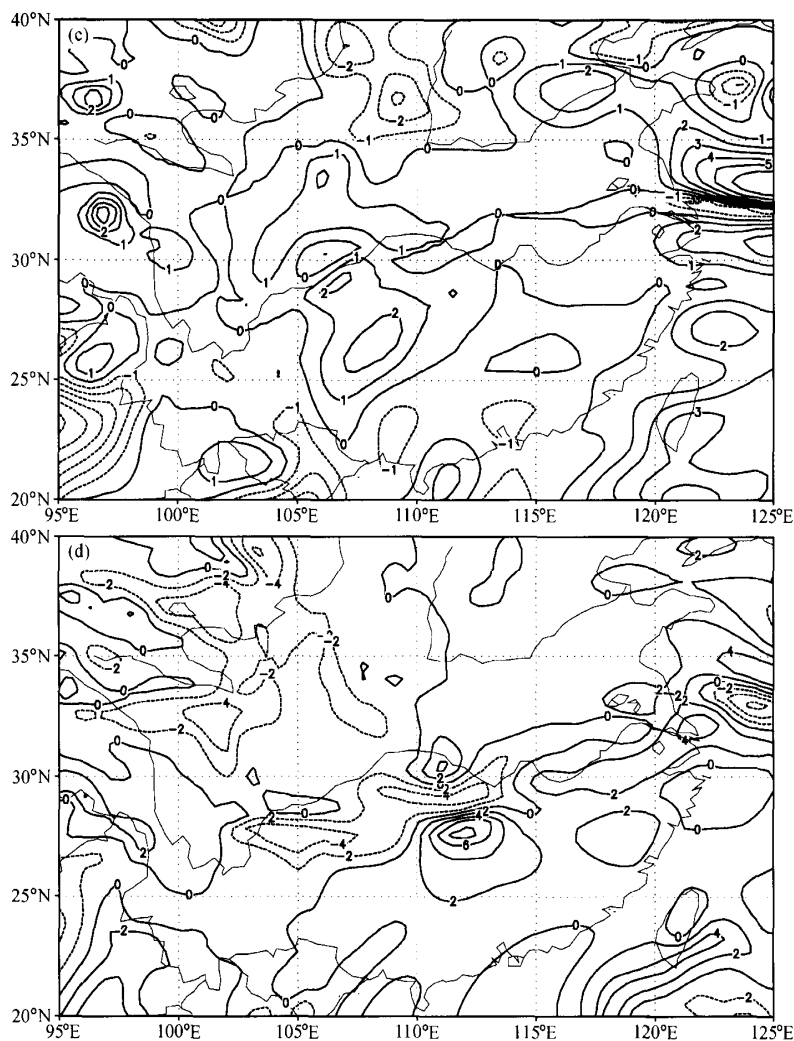


图 3 (续) Fig. 3 (Continued)

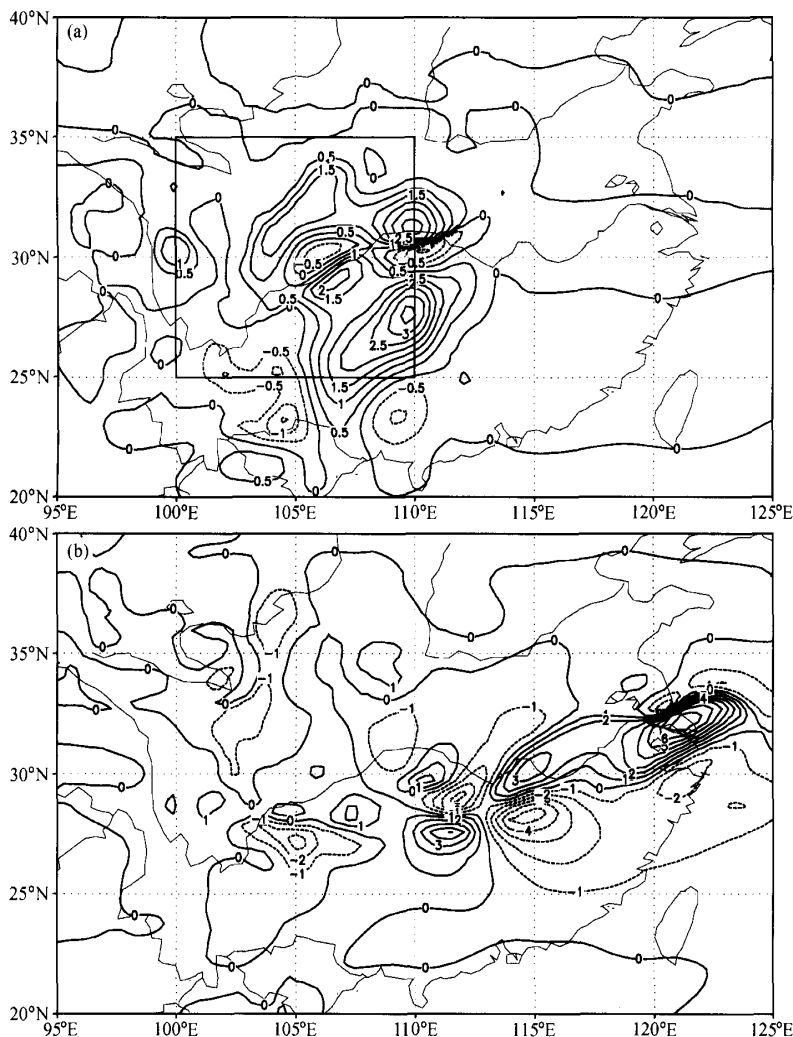


图4 个例1中试验1与试验5(a、b)和试验6(c、d)850 hPa标量风速差(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)的水平分布。(a、c) $t=0$ h, 对应6月27日0000 UTC; (b、d) $t=24$ h, 对应6月28日0000 UTC; (a)中方框为该分析个例的区域2

Fig. 4 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 5 for the first case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (a、c) $t=0$ h, corresponding to 0000 UTC 27 June; (b、d) $t=24$ h, corresponding to 0000 UTC 28 June. The box in (a) represents the second region for this case

较小部分的预报误差, 预报误差主要来自于区域2之外的初始分析误差。

为了更加清楚地说明区域初始分析误差对梅雨锋中尺度低压数值预报的影响, 我们选定预报结束时刻6月28日0000 UTC中尺度低压所在区域作为检验区(29~34°N, 118~125°E), 计算试验3~6各试验检验区内相对于试验1的850 hPa风场预报均方差的区域平均, 再除以试验2相对于试验1的相应值, 该数值可以反映出区域初始

分析误差试验在检验区的预报误差相对全场初始分析误差结果的大小。对6 h间隔模式输出计算得到其时间演变曲线(图5)。

由图5a可见, 初始分析误差仅在区域1内的试验3, 由于检验区包含了部分区域1, 初始时检验区内即有部分分析误差, 曲线由近0.4开始, 随后迅速增长, 6 h即达到了0.9, 12 h接近1.2, 反映初始分析误差虽仅在区域1内, 检验区的预报误差却与全场初始分析误差的预报误差相当。

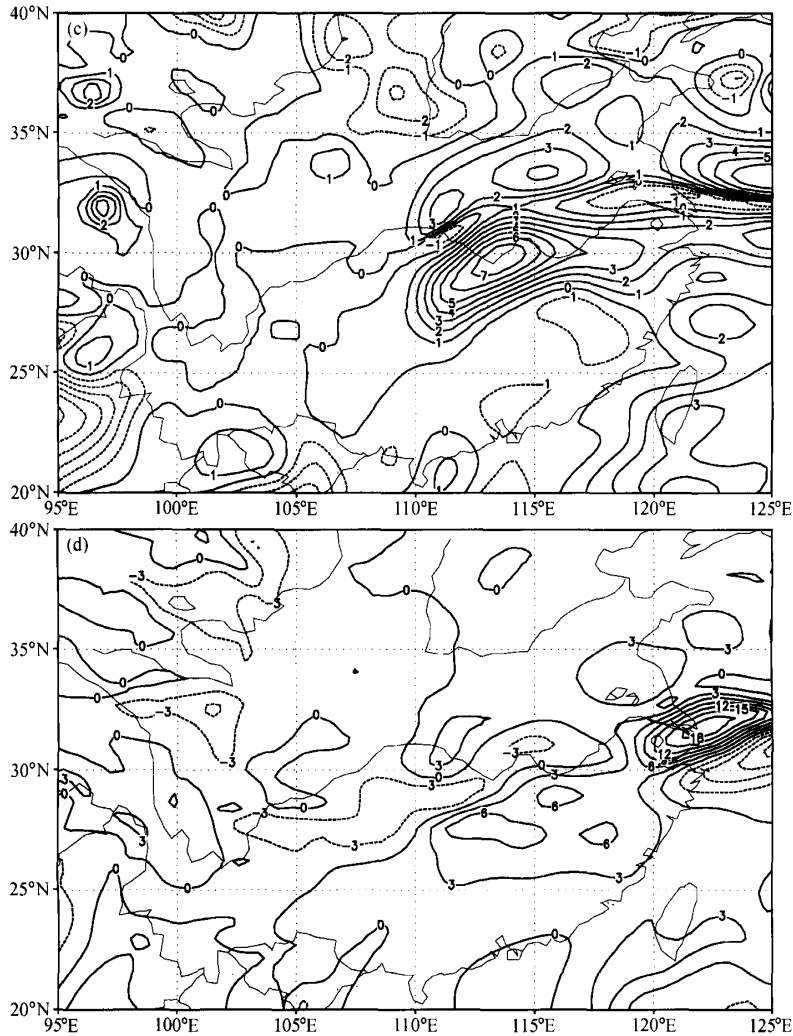


图 4 (续) Fig. 4 (Continued)

之后, 曲线缓慢有所下降, 但至预报结束前一直维持在 1.0 以上。试验 4 的曲线在零时刻接近 0.8, 说明检验区内存在较大的初始分析误差, 其后迅速下降, 12 h 后已减小至 0.3 以下, 表明检验区的预报误差受区域自身内部的初始分析误差的影响不大, 区域 1 内初始分析误差的消除就能很大程度地减小检验区的预报误差。

试验 5、6 的结果见图 5b。对试验 5, 初始分析误差只在区域 2 内, 检验区内无初始分析误差, 所以曲线从 0 开始, 在积分时段中, 该曲线缓慢上升, 24 h 升到 0.3。而试验 6 所对应的曲线始终维持近 1.0, 仅在后期略有减小。这更加清楚地说明, 该分析个例中尺度低压 24 h 检验区的预报误

差受区域 2 的初始分析误差影响较小, 而其外, 特别是区域 1 内的初始分析误差基本就主导了随后的预报误差。

综上所述, 区域初始分析误差的确对数值预报误差有着较大的影响, 某些特定区域内的初始分析误差就可以主导主要的预报误差。换言之, 减小该区域初始分析误差就可能改善随后数值预报的效果。和形势场配合来看, 可以发现风场初始分析误差正好是与梅雨锋中尺度低压相伴的低空急流紧密联系在一起, 这也符合天气动力学研究的结果: 西南低空急流提供的热力学和动力学条件是梅雨锋中尺度低压及其暴雨发生发展十分重要的基础, 准确描述低空急流的特征, 对于刻

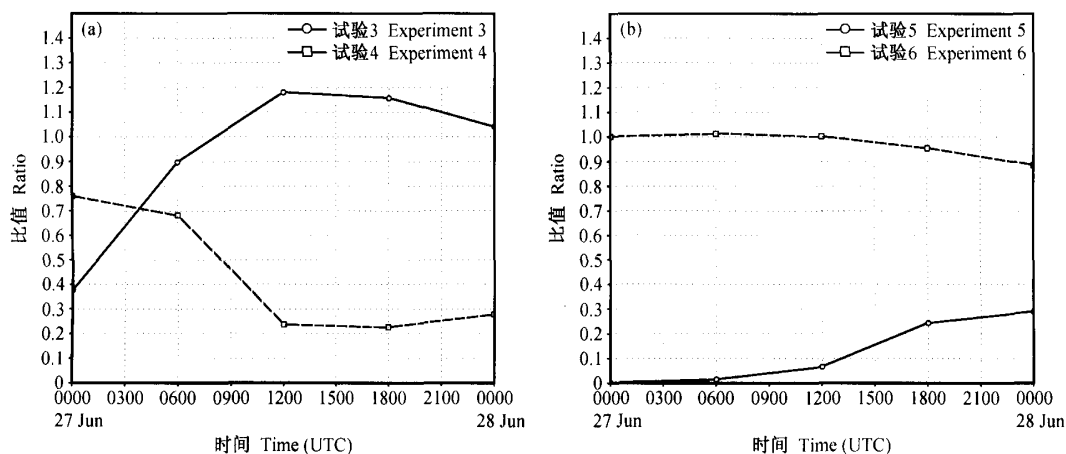


图5 个例1中试验3~6检验区相对于试验1的850 hPa风场预报均方差区域平均除以试验2相对于试验1相应值后的比值随时间的演变:(a)试验3和试验4;(b)试验5和试验6

Fig. 5 The ratio of area average variances of wind forecast error at 850 hPa of experiment 3—6 with regard to control experiment 1 to the corresponding value of experiment 2 with regard to control experiment 1 for the first case: (a) experiment 3 and experiment 4; (b) experiment 5 and experiment 6

划梅雨锋中尺度低压的发生发展有着显著的意义。

4 中尺度低压个例2结果分析

相同的试验对梅雨锋中尺度低压个例2同样进行,分析结果如下:

4.1 试验1模拟结果

对1999年6月23~24日的中尺度低压过程(个例2),图6是6月24日0000 UTC 850 hPa形势场NCEP再分析结果(图6a)和试验1的24 h预报结果(图6b)。预报结束时刻,6月24日0000 UTC中尺度低压位于长江中游地区,预报图上清楚地存在一个中尺度低压系统,它和再分析资料相比,风场环流上强度要强一些。

4.2 初始分析误差特征

对全场初始分析误差的分析发现,也是风场误差最为明显,同时集中在对流层中低层。图7a是初始时刻试验1与试验2 850 hPa标量风速差的水平分布。风场误差的大值带同样呈东北—西南走向,与梅雨锋锋带的位置及走向一致,表明风场的这种初始分析误差与梅雨锋对流层中低层风场的切变及低空急流相联系。

4.3 试验结果

图7b给出了个例2模式全场存在初始分析误

差时850 hPa风场预报误差的水平分布,与个例1不同,风场预报误差并没有出现很大的倍增现象,基本上与初始分析误差有着相当的量级。但是,在中尺度低压附近,特别是东部与东南部,也出现了预报误差的大值区,说明对中尺度低压24 h的预报也存在一定偏差。

对区域1的试验3和试验4的结果见图8。试验3初始分析误差只集中在区域1内部(图8a),其850 hPa 24 h预报风场误差(图8b)与全场存在初始分析误差的预报误差图7b相比,预报误差呈一更加均匀的负值带,其上的大值中心分布和试验2有比较大的差别。初始分析误差分布在区域1外部(图8c)的试验4的预报误差结果图上(图8d),中尺度低压中心附近出现一对正负数值的预报误差大值区。另外,需要指出的是,试验4的预报误差正值中心区,中心数值达 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明有初始分析误差在预报时段中急剧增长。

区域2的试验结果在图9中给出。试验5只在区域2内部存在初始分析误差(图9a),它的预报误差分布(图9b)与图8d较为相似,表明区域2内部的初始分析误差可能包含了造成该分布形式预报误差的部分误差源。试验6(初始分析误差分布见图9c)的预报误差特征(图9d)同全场存在初始分析误差的预报误差图7b较为相像,但数值

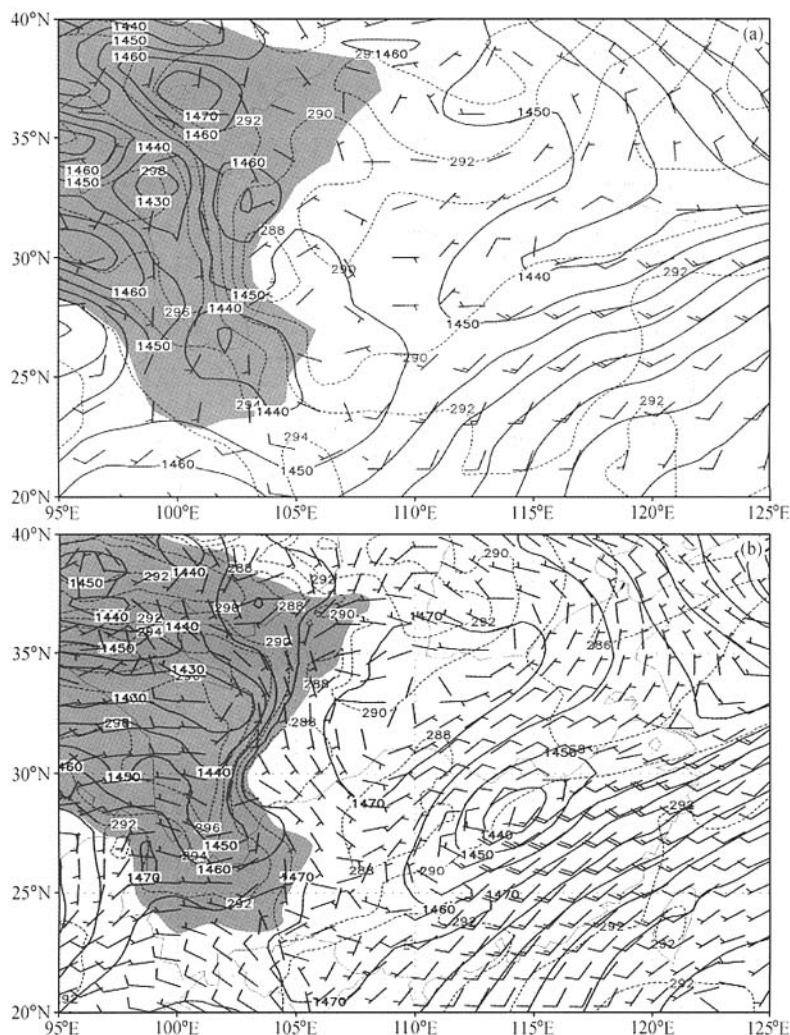


图 6 个例 2 1999 年 6 月 24 日 0000 UTC 850 hPa 形势场：(a) NCEP 再分析结果；(b) 试验 1 的 24 h 预报结果（实线为等高线，单位：gpm；虚线为等温线，单位：K）

Fig. 6 850 hPa field at 0000 UTC 24 June 1999 for the second case: (a) NCEP reanalysis; (b) 24 h forecast of control experiment 1 (The solid line is geopotential height, units: gpm; the dashed line is temperature, units: K)

上存在不少差别，该试验结果与初始分析误差仅存在于区域 1 内部的预报误差图 8b 亦存在一定的差别。

上述结果表明，与前一个例不同，该分析个例中没有某一区域的初始分析误差对预报误差的主要特征有着主导地位，区域 1 和区域 2 内外的初始分析误差对中尺度低压的预报误差有着不同分布形式的影响。

同样，为清楚说明区域初始分析误差对该个例中尺度低压数值预报的影响，我们也计算了试

验 3~6 各试验检验区内相对于试验 1 的 850 hPa 风场预报均方差区域平均再除以试验 2 相对于试验 1 相应值的比值随时间的演变（见图 10）。检验区取为 6 月 24 日 0000 UTC 中尺度低压所在区域（25~31°N，110~120°E）。

由图 10a 可见，试验 3，因检验区就在区域 1 内，曲线由近 1.0 开始（其值略大于 1.0 源于平滑处理），随后有所下降后又上升，积分时段内多在 0.7 以上，说明区域 1 内存在的初始分析误差对检验区预报误差大小的影响，相当于全场均有

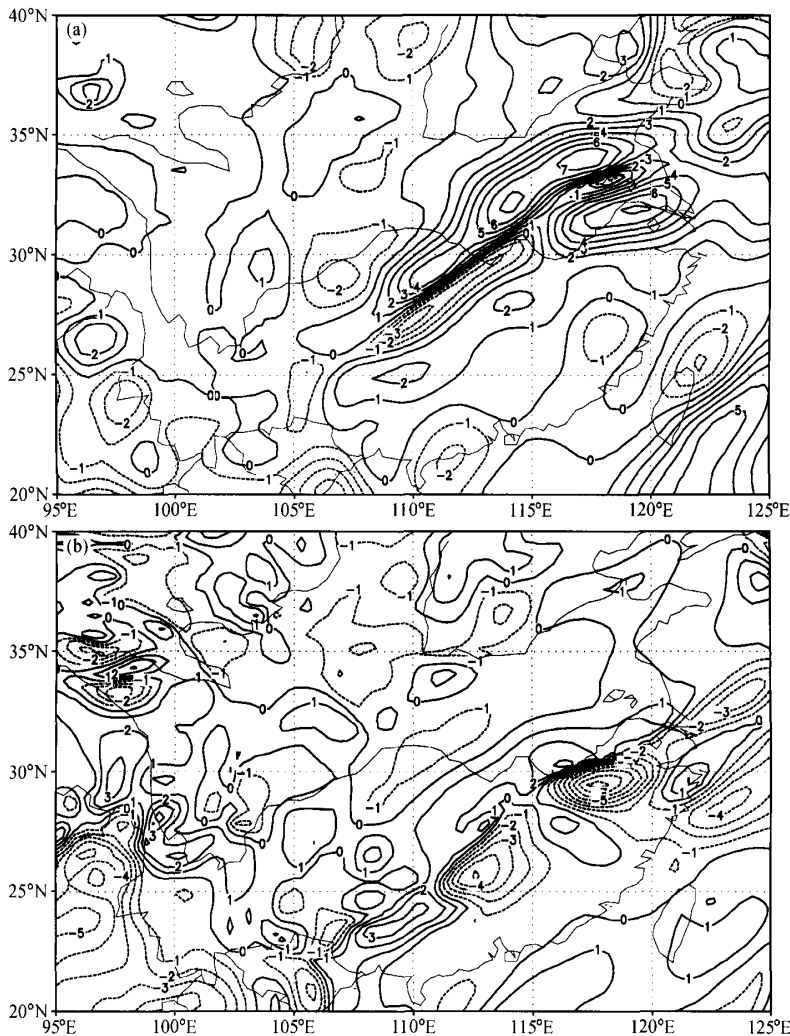


图7 个例2中试验1与试验2 850 hPa 标量风速差(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)的水平分布: (a) $t=0$ h, 对应6月23日0000 UTC; (b) $t=24$ h, 对应6月24日0000 UTC

Fig. 7 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 2 for the second case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); (a) $t=0$ h, corresponding to 0000 UTC 23 June; (b) $t=24$ h, corresponding to 0000 UTC 24 June

初始分析误差时的七成以上。试验4初始分析误差在区域1外,曲线零时刻只有0.2,其后迅速上升,15 h后超过1.0,也就是,区域1外部的初始分析误差引起的预报误差超过了全场均有时的结果。这同时说明,不同区域间初始分析误差对预报误差的影响并不是简单的线性迭加,之间可能还存在着较复杂的相互作用。

图10b是试验5和试验6的结果。试验5,初始分析误差仅在区域2内,曲线从0.2开始,之后逐渐上升,积分后期达0.7左右。试验6所对

应的曲线一直在1.0附近,18 h后和其他曲线一样,有所下降。这些结果表明,局部区域内、外部的初始分析误差对检验区预报误差都有着相当的影响。

5 结论与讨论

本文以梅雨锋中尺度低压个例为研究对象,尝试分析了区域初始分析误差对梅雨锋中尺度低压数值预报误差的影响。初始分析误差用 NCEP

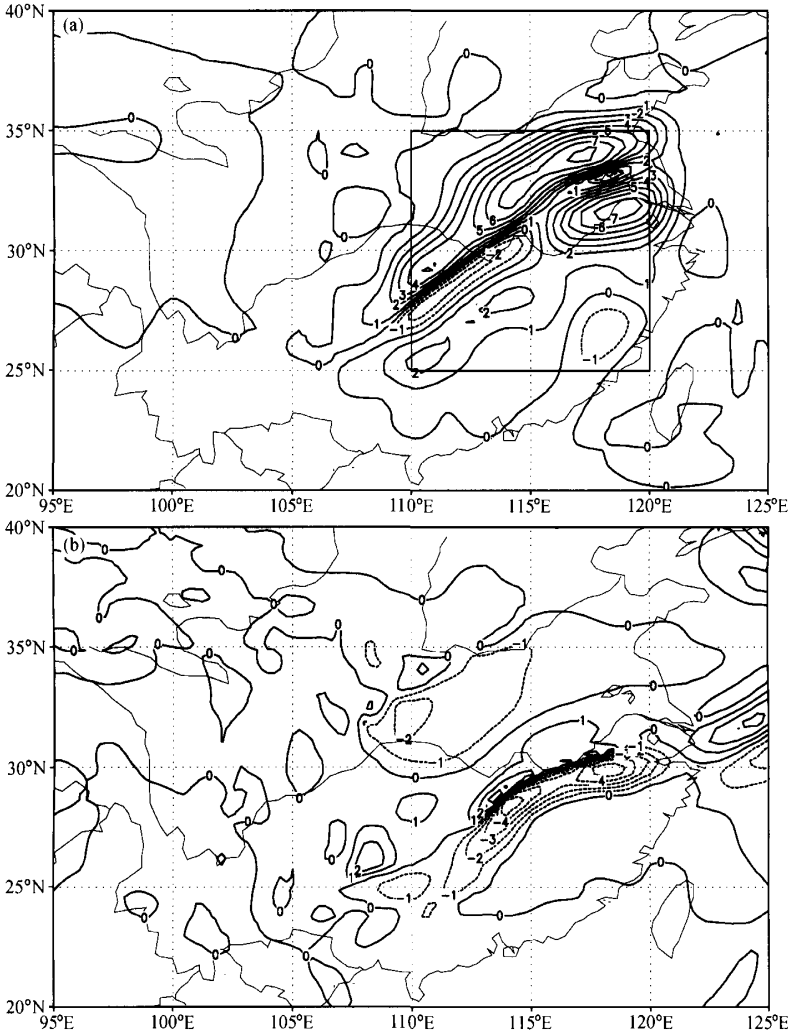


图 8 个例 2 中试验 1 与试验 3 (a、b) 和试验 4 (c、d) 850 hPa 标量风速差 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 的水平分布。(a、c) $t=0$ h, 对应 6 月 23 日 0000 UTC; (b、d) $t=24$ h, 对应 6 月 24 日 0000 UTC。(a) 中方框为该分析个例的区域 1

Fig. 8 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 3 for the second case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (a、c) $t=0$ h, corresponding to 0000 UTC 23 June; (b、d) $t=24$ h., corresponding to 0000 UTC 28 June. The box in (a) represents the first region for this case

和 T106 再分析资料的差来估计, 其与实际资料分析形成初始场时产生的分析误差在基本特征与量级大小方面有一定的相当性。

设计的一组试验方案先以模式积分初始条件全场均为 NCEP 资料作为对照试验, 再以初始条件全场均为 T106 资料作另一次模式积分, 两者的差表征模式全场存在初始分析误差时对预报误差的影响。然后, 由 T106 资料分别替换对照试验中选定区域内部或区域外部的 NCEP 资料构成其他

试验, 再由它们同对照试验的差别, 比较前述全场存在初始分析误差时对预报误差的影响, 进一步分析区域初始分析误差对梅雨锋中尺度低压数值预报的影响。

试验结果表明区域初始分析误差对数值预报误差有重要影响, 这一点是开展目标观测设计的基础。但是, 区域初始分析误差对数值预报误差的影响是比较复杂的, 其与天气类型、不同个例和区域间误差的相互作用等因素密切相关, 当预

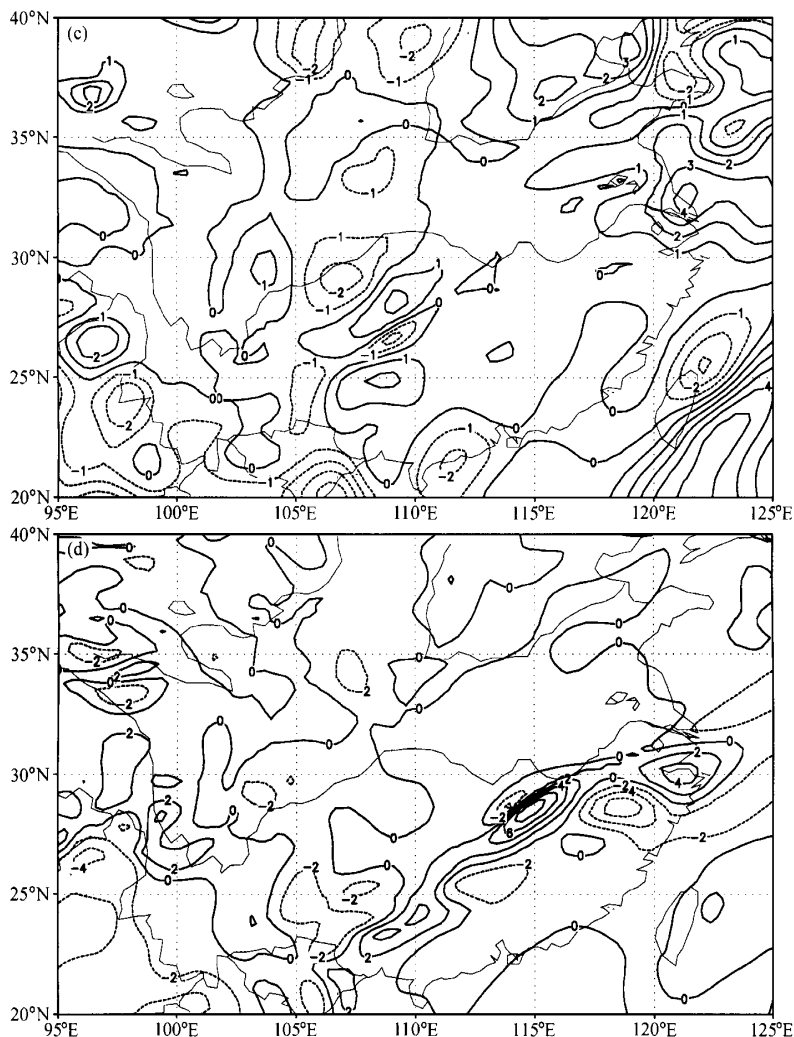


图 8 (续) Fig. 8 (Continued)

报误差主要特征受特定区域初始分析误差主导时, 该区域初始场质量的改善就有可能改善随后数值预报的效果。而当区域初始分析误差对预报误差的影响呈现不同形式作用时, 减小特定区域初始分析误差与随后数值预报效果的改善程度之间的关系就变得不确定了。这或许可以部分解释为什么目前在国外开展的目标观测试验中, 有的个例数值预报效果得到了改善, 有的个例改善不大甚至还有变坏的现象。此外, 试验中两套再分析资料间差别较大, 特别是与天气系统相关要素上的差别也说明通过改善资料同化方法, 提高分析场的质量, 对于改善数值预报效果一样是一个十分关键的环节。

对梅雨锋中尺度低压而言, 对其短期数值预报有较大影响的初始分析误差与梅雨锋锋区及其附近要素紧密联系, 相比较而言, 风场似乎更加重要一些, 对梅雨锋带中低层风切变区及相伴低空急流区的更好描述, 对梅雨锋中尺度低压系统数值预报效果的改善有着积极的作用。以往的研究表明: 风场, 尤其是对流层中低层的风场, 在梅雨锋中尺度低压及其暴雨的发生发展中有着重要作用, 这与前者似可互为佐证。基于这种考虑, 将来在对梅雨锋中尺度低压开展目标观测设计时, 则应考虑将能改善风场, 特别是中低层风场观测质量的观测类型作为目标观测, 雷达观测可能会是一种有益的目标观测。另外, 小球测风能够提

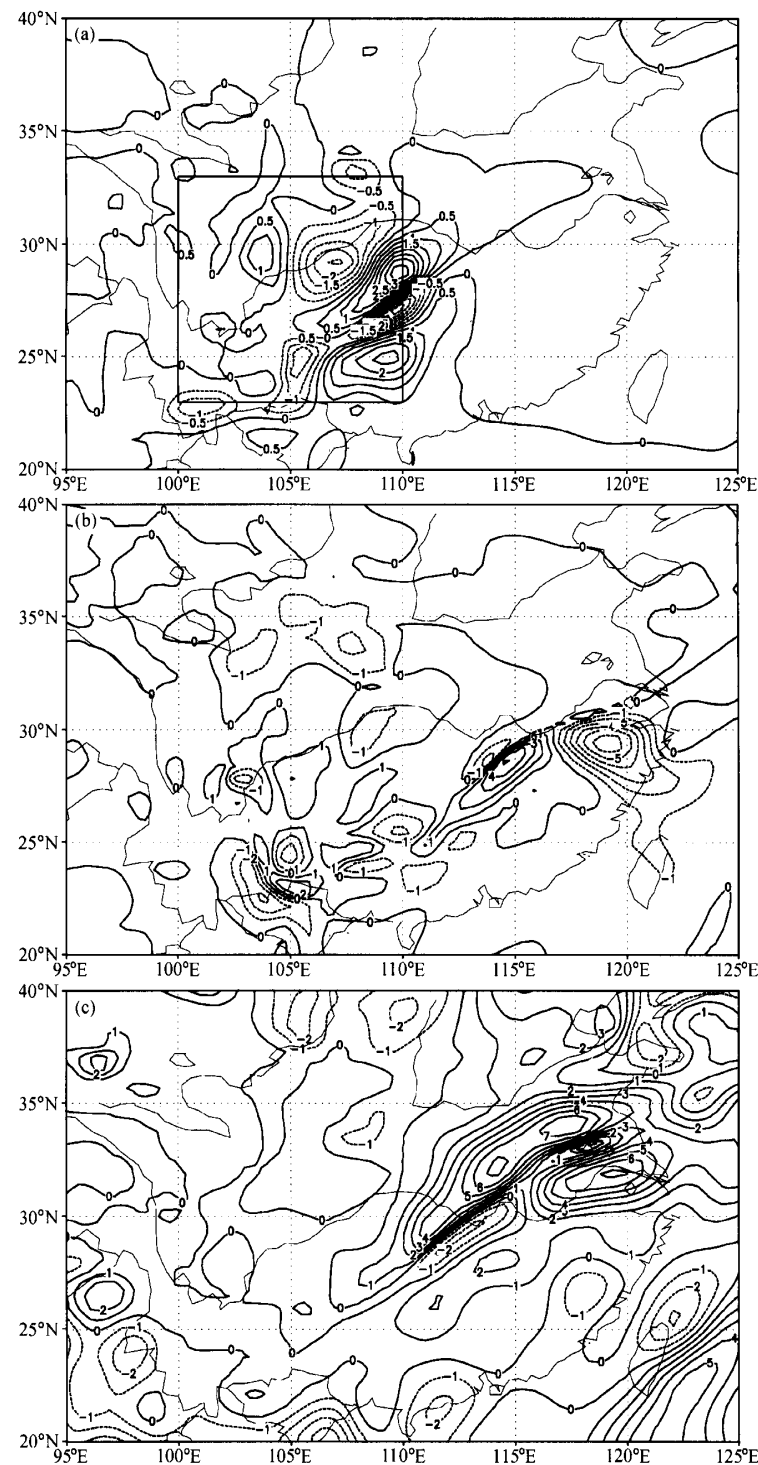


图9 个例2中试验1与试验5 (a、b) 和试验6 (c、d) 850 hPa 标量风速差 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 的水平分布。(a、c) $t=0$ h, 对应6月23日0000 UTC; (b、d) $t=24$ h, 对应6月24日0000 UTC。(a) 中方框为该分析个例的区域2
Fig. 9 Wind differences at 850 hPa between the control experiment 1 and the experiment 5 for the second case (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (a、c) $t=0$ h, corresponding to 0000 UTC 23 June; (b、d) $t=24$ h, corresponding to 0000 UTC 28 June. The box in (a) represents the second region for this case

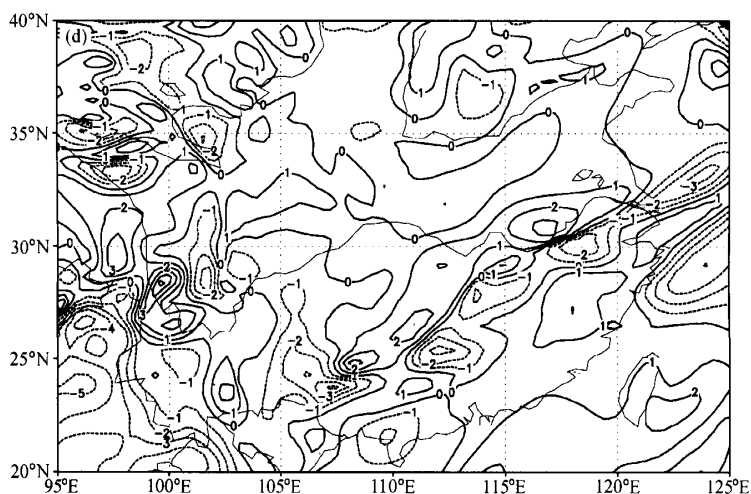


图 9 (续) Fig. 9 (Continued)

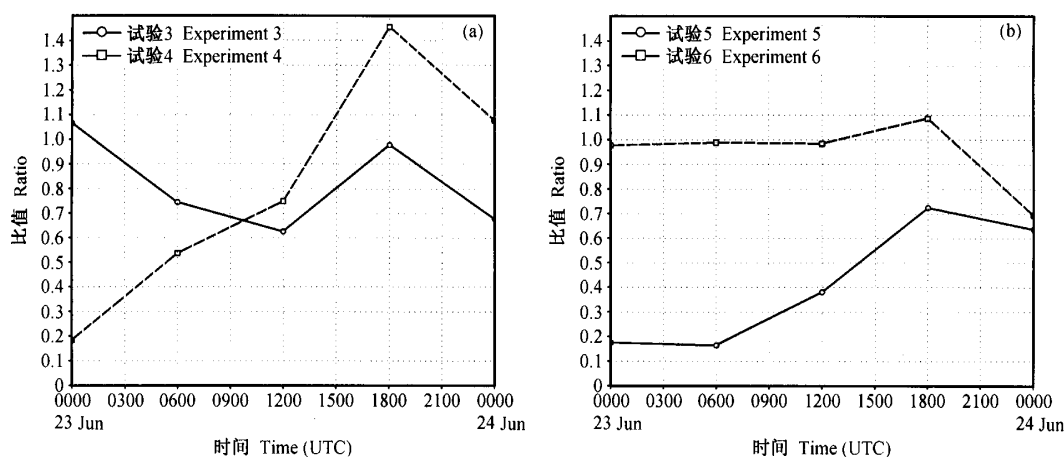


图 10 分析个例 2 试验 3~6 检验区相对于对照试验 1 850 hPa 风场预报均方差区域平均除以试验 2 相对于对照试验 1 相应值后的比值随时间演变: (a) 试验 3 和试验 4; (b) 试验 5 和试验 6

Fig. 10 The ratio of area average variances of wind forecast error at 850 hPa of experiment 3—6 with regard to control experiment 1 to the corresponding value of experiment 2 with regard to control experiment 1 for the second case; (a) experiment 3 and experiment 4; (b) experiment 5 and experiment 6

供较准确的低层风观测, 且成本又低, 可能会是一种投入较小而收益较大的观测类型。

当然, 我们的试验中初始分析误差也包含了温度与湿度误差, 虽然初步分析表明其对预报误差的影响不如风场明显, 但却未作更深入的分析。这并不意味着温、湿场的作用就不重要。对梅雨锋中尺度低压这种发生发展过程与湿过程密切联系的天气系统而言, 热力场的作用无疑也是非常重要的。可是, 试验中要分离热力、动力场的作用将十分繁琐, 并且若仅单独改变某一要素, 由

此带来要素间的不协调亦会影响所得结果。对这一问题, 目标观测设计中用于确定敏感区和敏感区内对预报误差有重要作用的物理量的分布及特征的多种分析方法, 可以提供一种较为便捷且适当的解决方案。

最后, 还应指出一点, 本文的结论仅是由个例分析得到, 个例间结果的差异仅仅说明了不同类型的个例之间会存在的差别, 并不能说即是第一类与第二类中尺度低压间的差别, 该方面的认识还有待于对更多个例的分析, 以得到统计意义

上的结果。同时要开展敏感性分析方面的工作, 进一步探讨改善区域初始分析误差对于提高数值预报准确率的作用。

致 谢 本文承薛纪善研究员审阅初稿并提出宝贵意见, 特致谢意。

参考文献 (References)

- [1] 董佩明, 张昕. 目标观测设计与伴随敏感性分析. 气象科技, 2004, **32** (1): 1~5
Dong Peiming, Zhang Xin. Targeted observations and adjoint sensitivity analysis. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2004, **32** (1): 1~5
- [2] Emanuel K A, Langland R H. FASTEX adaptive observations workshop. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79**: 1915~1919
- [3] Snyder C. Summary of an informal workshop on adaptive observations and FASTEX. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 953~961
- [4] Langland R H, Toth Z, Gelaro R, et al. The North Pacific Experiment (NOPREX-98): Targeted observations for improved North American weather forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1999, **80**: 1363~1384
- [5] Szunyogh I, Toth Z, Morss R, et al. The effect of targeted dropsonde observations during the 1999 Winter Storm Reconnaissance Program. *Mon. Wea. Rev.*, 2000, **128**: 3520~3537
- [6] Toth Z, Szunyogh I, Bishop C, et al. The use of targeted observations in operational numerical weather forecasting. Fifth Symposium on Integrated Observing Systems. 14--18 January 2001, Albuquerque, New Mexico
- [7] Miguez Macho G, Jan Paegle. Sensitivity of North American numerical weather prediction to initial state uncertainty in selected upstream subdomain. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, **129**: 2005~2022
- [8] Zhao Sixiong. Energetics of cyclogenesis on Meiyu (Baiu) front. Proceedings of Palmen Memorial Symposium on Extratropical Cyclones. Helsinki, Finland: American Meteorological Society, 1988. 205~208
- [9] 胡伯威, 潘鄂芬. 梅雨期江淮流域两类气旋性扰动和暴雨. 应用气象学报, 1996, **7** (2): 138~144
Hu Bowei, Pan Efen. Two kinds of cyclonic disturbance and their accompanied heavy rain in the Yangtze river valley during the Meiyu period. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1996, **7** (2): 138~144
- [10] 孙淑清, 杜长萱. 江淮流域梅雨锋的维持与锋上扰动的发展特征. 应用气象学报, 1996, **7** (2): 153~159
Sun Shuqing, Du Changxuan. The maintenance of Meiyu front and development associated disturbance. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1996, **7** (2): 153~159
- [11] 董佩明, 赵思雄. 引发梅雨锋暴雨的频发型中尺度低压 (扰动) 的诊断研究. 大气科学, 2004, **28** (6): 876~891
Dong Peiming, Zhao Sixiong. Analysis study on continual meso-scale lows (disturbances) on Meiyu front associated with heavy rainfall in 22--30 June 1999. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (6): 876~891
- [12] 董佩明, 赵思雄. 梅雨锋两类中尺度低压 (扰动) 及其暴雨的数值研究. 气候与环境研究, 2004, **9** (4): 617~633
Dong Peiming, Zhao Sixiong. Numerical study of two kinds of mesoscale lows (disturbances) on Meiyu front and associated heavy rainfall. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (4): 617~633