

区域资料四维同化试验*

朱宗申 马清云 郑国安

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

根据国家气象中心有限区分析预报系统的基本方案,设计一个以6小时为周期的间歇区域资料四维同化方案,对我国的两次暴雨过程进行两种不同粗细水平分辨率的资料四维同化和短期模式预报的试验.结果表明,由同化方案初值获得的短期预报明显好于LAFS方案的预报结果,高分辨率同化方案对预报的改进更明显.

关键词:区域;细网格;间歇资料四维同化;模式预报.

1 引 言

数值天气预报是一个初值问题,利用大气初始时刻的要素值和合适的动力学方程组推算未来天气的演变.早期数值预报模式的初值往往仅使用初始时刻(00Z或12Z)的观测资料获得.随着气象卫星等新观测系统的出现,产生了大量非天气时的观测资料.70年代末起,为了更好地利用时空分布尚不完备的各种观测资料,给预报模式提供更合理的初值,许多气象中心先后开发了资料四维同化系统^[1~4].

最先开发的业务资料同化系统,大多是半球或全球范围,采用较粗网格分辨率.因观测资料分布和侧边界条件等原因,与半球或全球粗网格模式嵌套的区域细网格模式的初值,常常仍取自粗网格模式使用的客观分析场,或者利用粗网格模式提供的预报作为初估场进行细网格客观分析而得到^[5].这些初值,尤其在观测资料稀少的地区,往往难于描述细网格模式大气的结构特征,影响了预报的结果^[6,7].所以,不少气象中心在建立了半球或全球资料同化系统之后,又进行区域细网格资料同化方案的开发^[6~8],取得了很好的效果.

1992年3月21日,国家气象中心新的有限区分析预报系统(LAFS)^[9]正式投入业务,它的水平分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 经纬度,分析的初估场取自粗网格全球谱模式的预报.为了改善LAFS对我国降水预报的能力,除了提高系统的分辨率^[10]以及继续改进模式物理过程^[11]外,设计一个区域细网格资料四维同化系统是一条重要的途径.

1993-05-27收到,1993-07-26收到修改稿.

* 本文由85-906项目和中国气象局强风暴实验室资助.

2 区域资料四维同化试验方案

根据国家气象中心 LAFS 的客观分析^[5]、初值化^[12]和预报模式^[13]的基本方案,设计一个以 6 小时为周期的间歇区域资料四维同化方案. 图 1 是这个资料同化方案的计算流程概略图.

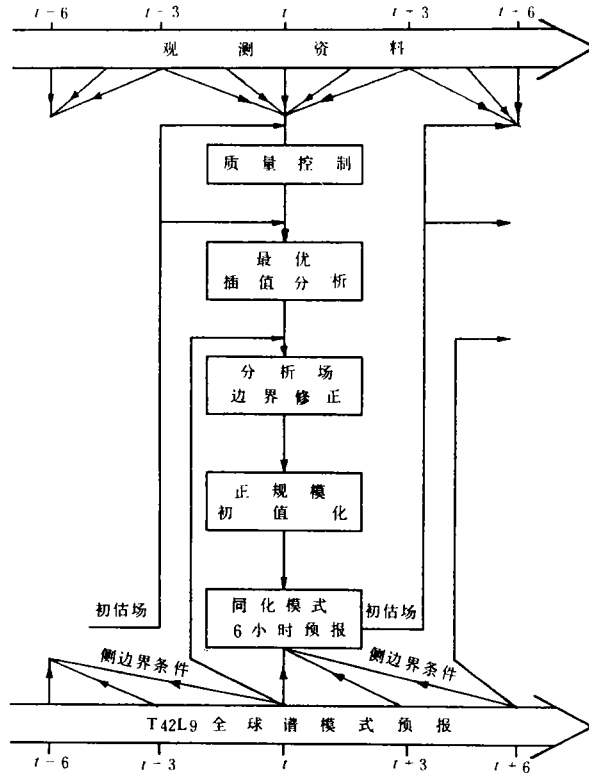


图 1 区域资料四维同化方案的计算流程图

2.1 观测资料

取自天气时 t (00、06、12 或 18Z) 前后 3 小时内的观测资料(包括由 SYNOP、SHIP 和 DRIBU 观测资料推算的与地面邻近标准等压面*的高度和湿度,TEMP 的标准等压面的高度、风和湿度,PILOT 的标准等压面的风,SATEM 的标准等压面间的厚度,SATOB 和 AIREP 的风等),经过资料质量控制^[5]后,用于 t 时刻的客观分析.

2.2 客观分析

客观分析采用和文献^[5]相同的最优插值方案,计算分析变量(分别为 50hPa 及以下

* 不包括 925hPa 标准等压面

12 层标准等压面的高度 z 、纬向风速 u 和经向风速 v , 300hPa 及以下 6 层标准等压面的相对湿度 RH) 对初估场的订正值. 分析使用的初估场由区域资料同化方案的上一时次 (t 时刻前 6 小时) 同化模式 (水平分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 或 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度、垂直为 15 层) 的 6 小时预报提供, 这是与 LAFS 的最主要差别. LAFS 的客观分析初估场来自国家气象中心全球谱模式 T42L9 (三角截断球谐函数波数为 42、垂直分层为 9 层) 的 12 小时预报结果, 与区域资料同化方案相比, 分辨率粗, 预报时效较长. 因此, 区域资料同化方案有可能得到比 LAFS 更接近实际、与同化模式 (和进行 48 小时预报的模式几乎完全相同) 更协调并且具有更细的大气结构特征的客观分析初估场. 初估场的改进无疑地对观测资料的质量控制和预报模式初值的改善有着重要的作用.

2.3 侧边界地区分析场的修正

在区域资料同化循环过程中, 同化模式的变量每 6 小时更新一次, 即每 6 小时由区域资料同化方案使用新的观测资料得到新的客观分析场, 经过初值化后替换模式原来的变量. 模式嵌套使用的侧边界值每 24 小时更新制作一次, 即每天一次根据 12Z 观测资料得到的初值, 由 T42L9 全球谱模式预报提供. 由不同系统和不同时段间隔产生的模式预报初值和侧边界值存在较大差异, 尤其使用 12 小时以后的或更新制作的侧边界值时更为显著. 试验中在边界往往激发较强的高频振荡. 因此, 在模式变量更新时, 在侧边界地区不是把客观分析的结果直接用于以后的计算, 而按下式

$$A_c = \alpha A_a + (1 - \alpha) A_b$$

将客观分析场和侧边界值合成, 经过修正替换原来的客观分析场使用, 减少更新时两者显著差异所造成的影响. 在上式中, A 表示变量; α 表示权重系数, 由侧边界向内从零增加到 1; 下标 c 表示合成分析场, a 为客观分析场, b 为侧边界值.

2.4 初值化和同化模式预报

把修正后的分析场变量 (z 、 u 、 v 和 RH) 换算并插值成模式网格点上的模式变量 (z 、 u 、 v 和温度 T 、比湿 q 、地面气压 p_s), 再进行绝热非线性正规初值化. 最后, 制作 $t + 6$ 小时的同化模式预报. 预报的结果, 将作为下一时次 (t 时刻之后 6 小时) 的客观分析的初估场, 如此不断循环.

通过上述过程, 完成短期预报初始时刻及以前各时段的各类观测资料的同化, 获得包含历史资料信息的具有细网格大气结构特征的模式初值.

3 试验对比

利用上述区域资料四维同化方案和国家气象中心的历史存档资料 (观测要素库资料和 T42L9 全球谱模式提供给 LAFS 的初估场、3 小时间隔一次的侧边界条件), 对 1992 年 8 月 31 日~9 月 2 日 (简称个例 1) 和 1992 年 6 月 13~15 日 (简称个例 2) 我国的两次暴雨过程, 采用两种不同粗细水平分辨率 ($1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 和 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度), 分别进行资料同化和 48 小时预报的试验, 并与取相同粗细水平分辨率的 LAFS 方案的预报结果作比较.

3.1 天气过程

个例 1: 1992 年 8 月 30 日中午, 西太平洋上 9216 号台风 Polly 登陆我国台湾省, 在西太平洋副热带高压西南侧继续向西北方向移动, 于次日晨再次登陆我国福建省, 深入内陆后减弱成低压, 然后逐渐折向偏北移动. 受西风带低槽和冷空气的影响, 原由西北伸向华北地区东南部的副热带高压向东南撤, 台风低压于 9 月 1 日转向东北方向, 并加速于 2 日凌晨移入黄海北部. 受台风低压、台风倒槽和冷空气的共同作用, 我国东部以及东北南部的广大地区出现了大范围暴雨, 是 1992 年我国北方最强的一次暴雨过程.

个例 2: 1992 年 6 月中旬前期, 东亚中高纬地区, 呈两槽一脊, 南支多短波活动. 12 日至 14 日高原小槽并伴冷空气东移, 对流层低层的倒槽自我国西南地区沿长江向东伸展, 地面有弱气旋生成并在长江下游出海. 在淮河和汉水流域、江淮地区及长江中下游出现一次从西向东移动的降雨过程.

3.2 同化试验

按图 1 的流程, 对 1992 年 8 月 30 日 00Z~31 日 00Z 和 6 月 12 日 00Z~13 日 00Z 的资料进行同化. 对启动时刻 8 月 30 日 00Z 和 6 月 12 日 00Z 的客观分析初估场作同化试验, 并使用业务 LAFS 的分析初估场(T42L9 全球谱模式的前 12 小时预报).

对于同化模式的变量, 每 6 小时使用新观测资料更新一次, 通过初值化和 6 小时预报期间模式内部的动力学关系进行调整. 如果同化方案不能较好地抑制由于新观测资料引进造成的“冲击”所产生的虚假重力波增长, 同化计算将变得不稳定. 试验结果显示, 对所有的例子这个同化方案计算稳定, 有着较快和较好的动力调整性能. 图 2 给出个例 1 采用细分分辨率时, 同化模式预报的区域散度均方根的时间演变. 由图 2 可见, 每次同化模式变量更新后的散度都有一次明显的增长, 但是大约 1.5 小时就趋于平稳状况. 区域平均动能变化一直相当稳定(图略).

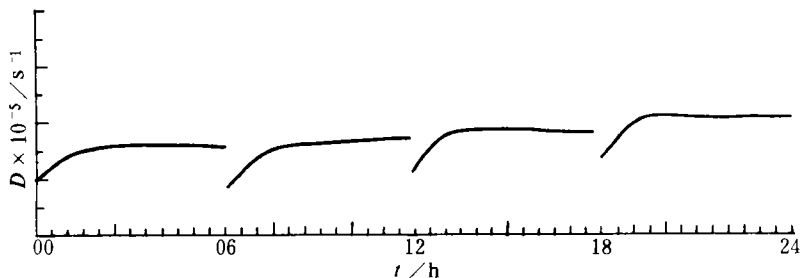


图 2 1992 年 8 月 30 日 00Z~31 日 00Z
细分分辨率同化模式区域散度均方根(D)的时间演变

3.3 预报效果检验

3.3.1 动力调整

图 3 给出个例 1 在细分分辨率情况下使用同化方案和 LAFS 方案初值进行 48 小时预报的区域散度均方根. 和同化试验相同, 在模式预报开始时同化方案和 LAFS 方案的散

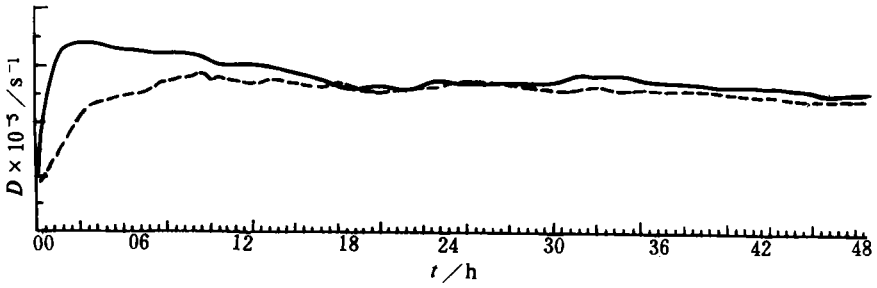


图3 1992年8月31日00Z~9月2日00Z
 细分辨率预报模式区域散度均方根(D)的时间演变
 (实线为同化初值,虚线为LAFS初值)

度都明显偏弱,其后有一个调整发展并达到基本平衡状态的过程.同化方案的调整比LAFS迅速得多,这对短期降水预报有重要意义.平均动能的演变,两种方案比较相近;地面气压的时间演变,两种方案均显示出模式预报初期存在较明显的高频振荡(图略).这可能与初值化处理中存在的问题有关.

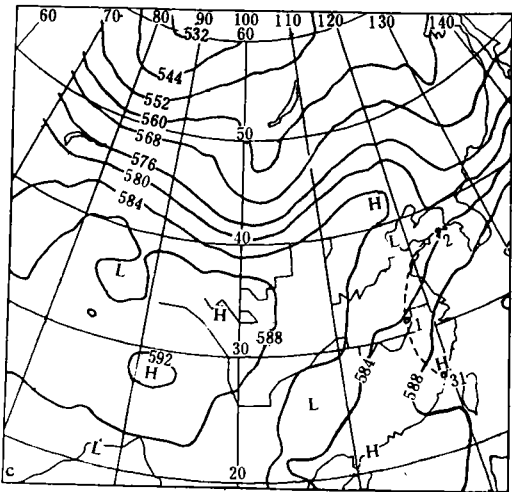
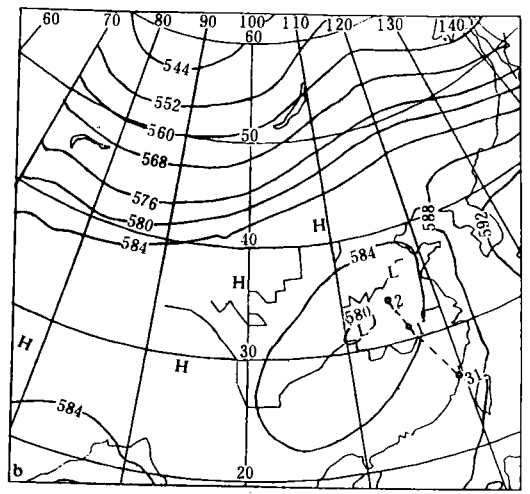
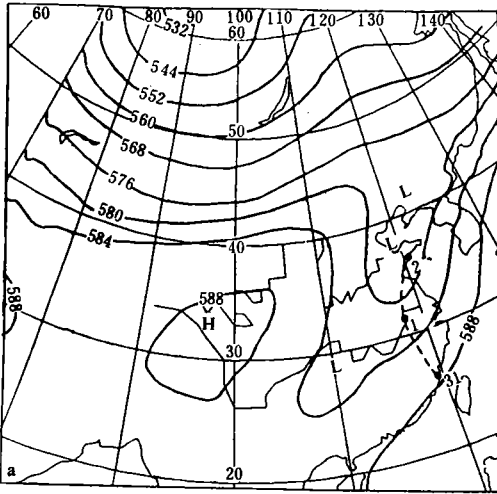


图4 1992年9月2日00Z 500hPa 形势图
 (附海平面台风低压路径,图中虚线)
 (a)使用同化初值方案的48小时预报 (b)使用LAFS初值方案的48小时预报 (c)客观分析实况(低压路径所标时间均为00Z)

3.3.2 天气形势和天气系统预报

图4是个例1使用细分分辨率的同化初值和LAFS初值方案的48小时500hPa形势场预报和实况图. 高空台风低压由向偏北移动转向东北方向, 且减弱并入到中纬度西风槽中, 以及原来在38°N附近伸向我国大陆的西太平洋副热带高压东南撤的趋向, 在同化方案中, 得到非常接近实况的预报结果; 而LAFS方案的预报, 则明显失败. 把海平面台风低压预报的位置和实况对比, 也清楚反映两种初值方案的预报有显著的差异. 值得一提的是粗分辨率的同化初值方案也得到比较接近实况的结果, 明显优于LAFS方案的预报, 但差于高分辨率的同化初值方案的预报(图略).

个例2给出类似的结论. 在高原东移南支小槽移动和演变的预报方面, 同化初值方案较LAFS方案好得多. LAFS方案预报的南支短波槽则较实况明显偏弱和偏慢(图略). 这反映了在观测资料缺乏的地区, 区域同化方案对尺度较小的天气系统的预报有明显改进.

3.3.3 降水预报

对于个例1, 采用粗细两种分辨率的同化初值和LAFS初值方案的0~24小时降水量预报比较相似, 都较好地预报出我国东部南北向大范围暴雨区(图略). 同化方案预报和实况更接近. 但是, 这两种初值方案的24~48小时降水量预报有较大差别. 从图5可见,

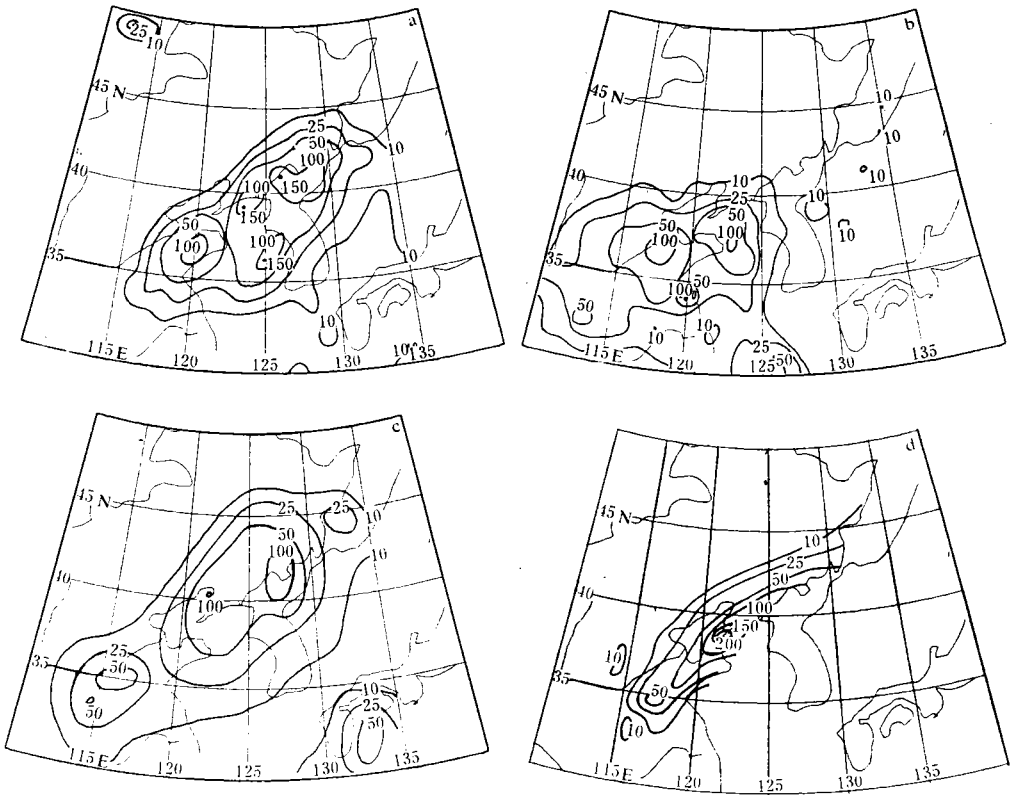


图5 1992年9月1日00Z~2日00Z (a) 细分分辨率同化初值方案24~48小时降水量预报 (b) 同图(a), 但是LAFS初值方案 (c) 同图(a), 但是粗分辨率同化初值方案 (d) 降水实况

由细网格同化方案预报的暴雨带呈东北~西南走向,位置和中心与实况几乎重合;LAFS 方案预报的暴雨带则近东西走向,但我国东北地区南部的强暴雨完全没有预报出来.粗分辨率同化初值方案的预报也比较成功,虽然对强暴雨区的预报不如高分辨率同化初值方案,雨区也偏大,但是比采用高分辨率的 LAFS 方案的结果还是有明显地改进.

对于个例 2,同化初值方案的降水预报同样明显好于 LAFS 方案.同化初值方案在长江以北地区给出的大范围 0~24 小时降水量预报和实况非常一致,也呈东西走向,强降雨中心两者也比较接近.而 LAFS 方案的预报,大降雨区却接近南北向,并在淮河上游出现一个过份强(200mm 以上)的暴雨中心.同化方案的 24~48 小时降水预报,也较 LAFS 方案有所改进.正如 3.3.2 中已指出的那样,同化方案对降水预报的改进,正是由于南支短波系统更接近实际大气的结果.

4 结 论

(1) 根据国家气象中心 LAFS 客观分析、初值化和预报模式基本方案设计的区域间歇资料四维同化方案,计算稳定且具有较好和较快的动力调整性能;

(2) 和相同分辨率的 LAFS 方案相比,使用这个资料同化方案提供的初值能够获得明显改进的天气形势、天气系统和降水预报.即使使用粗网格同化方案,也有可能得到比细网格 LAFS 方案好的预报效果;

(3) 提高资料同化方案和预报模式的水平分辨率可以改进降水预报的能力;

(4) 在资料同化过程的每次模式预报初期,散度均方根或地面气压的时间演变都仍存在较明显的变量间不协调,使用 LAFS 初值方案的预报也有同样的情况.因此,还需要对初值化方案作进一步的改进.

参 考 文 献

- 1 Lönnerberg P and Shaw D. ECMWF data assimilation. Research Manual 1, 1984.
- 2 McPherson R D, Bergman K E, Kistler R E, et al. The NMC operational global assimilation system, *Mon. Wea. Rev.*, 1979, **107**: 1445~1461.
- 3 Bourke W, Puri K, Seaman R, et al. ANMRC data assimilation for the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**: 1749~1771.
- 4 朱宗申,石曙卫,张跃堂. 国家气象中心全球资料四维同化试验. *应用气象学报*, 1992, **3**(增刊): 167~180.
- 5 朱宗申,汪厚君,张跃堂. 国家气象中心准业务有限区客观分析方案. *应用气象学报*, 1992, **3**(4): 459~467.
- 6 Bell R S. The meteorological office fine-mesh data assimilation scheme. *Meteor. Mag.*, 1986, 161~177.
- 7 Mills G A, Seaman R S. The BMRC regional data assimilation system. *Mon. Wea. Rev.*, 1990, **118**: 1217~1237.
- 8 Petersen R A, Dimego G J, Hoke J E, et al. Changes to NMC's regional analysis and forecast system. *Weather and Forecasting*, 1991, **6**: 133~141.
- 9 郭肖容,郑国安,朱宗申等. 一个有限区分析预报系统.《中期数值天气预报研究》成果汇编(三). 北京:气象出版社, 1991. 88~107.
- 10 朱宗申,郑国安. 分析初值对暴雨数值预报影响的试验. *应用气象学报*, 1993, **4**(3): 341~348.

- 11 顾弘道,钱正安、焦彦军等.有限区域模式中一些物理过程的参数化及预报试验.《中期数值天气预报研究》成果汇编(三).北京:气象出版社,1991.225~264.
- 12 薛纪善,李玘,王志明.非线性正规模初始化原则在有限区模式的实现.《中期数值天气预报研究》成果汇编(一).北京:气象出版社,1990,58~69.
- 13 张玉玲、郭肖容,闫之辉等.十层有限区细网格模式的试验研究.《中期数值天气预报研究》成果汇编(一).北京:气象出版社,1990,152~168.

THE EXPERIMENT OF REGIONAL FOUR-DIMENSIONAL DATA ASSIMILATION SCHEME

Zhu Zongshen Ma Qingyun Zheng Guoan

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A regional four-dimensional intermittent data assimilation scheme has been developed by using the analysis scheme, initialization scheme and model scheme of limited area analysis and forecast system (LAFS) in NMC in China. Some forecast experiments of heavy rains in China in 1992 are made by using the assimilation scheme. The experiment results show that the skill of forecast both weather system and rainfall from the assimilation initial values, especially from those of fine-mesh scheme, is much better than the skill of control forecast based on LAFS scheme.

Key words: Region; Fine-mesh; Intermittent four-dimensional data assimilation; Model forecast.