

长江上游暴雨短期集合预报系统试验与检验

冯汉中^{1,2} 陈 静¹ 何光碧¹ 李 川¹ 肖红茹² 陈朝平²

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 610072; 2. 四川省气象台)

提 要: 基于 PSU/NCAR 的高分辨率 MM5 模式, 采用多物理方案构建长江上游中尺度集合预报系统, 于 2004 年 8 月 16 日—9 月 30 日进行了预报试验。降水集合预报检验表明, 在 25mm 以上级别的降水预报中, 集合预报能改进单一模式的预报能力。对“9·3”暴雨过程的检验表明, 降水集合预报平均对暴雨过程的开始、持续、结束时间均有预报指示意义, 特别是大于 50mm 的降水概率分布区域和值的大小对预报大降水的范围有指导作用。

关键词: 暴雨 集合预报试验 检验

Simulation and Test of Short-Range Ensemble Prediction System for Heavy Rainfall in the Upper Reach of Changjiang River

Feng Hanzhong^{1,2} Chen Jing¹ He Guangbi¹
Li Chuan¹ Xiao Hongru² Chen Chaoping²

(1. Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610071; 2. Sichuan Meteorological Observatory)

Abstract: Based on the PSU/NCAR Mesoscale Model version MM5, mesoscale ensemble prediction system in the upper reach of Changjiang River is constructed by using different physics schemes. Ensemble prediction experiments and verifications for precipitation are made during 16 August to 30 September of 2004. The results show that the ensemble prediction can increase prediction accuracy of precipitation over 25mm. The experiment results of a heavy rainfall case occurring on 3 September indicate that the ensemble precipitation predic-

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40475045), 科技部社会公益项目“长江上游暴雨超级集合预报与预警技术研究”,
四川省气象局重大项目“数值集合预报技术与业务应用开发”

收稿日期: 2005 年 11 月 29 日; 修定稿日期: 2006 年 3 月 21 日

tion mean might give a good clue to the starting, duration, and ending of heavy rainfall process, especially precipitation probability distribution more-than-50mm. The rainfall prediction has better guidance for area of heavy rainfall.

Key Words: heavy rainfall ensemble prediction experiments verification

引言

位于青藏高原东侧的长江上游地区是我国地形地质结构最复杂,夏季暴雨灾害频发的地区。暴雨常诱发山洪、泥石流等严重的山地灾害,而且突发性强,时空分布不均,如何准确预报一直是相关科技工作者长期探索的科学难题,气象工作者对此做了不少研究^[1-4],包括暴雨的发生发展机理、数值模拟、预报方法等。随着数值预报技术的发展,数值预报输出产品精度的逐渐提高,近年来,数值预报输出产品已成为长江上游天气预报的主要参考依据。但由于数值预报模式的初值误差、模式误差、动力过程描述与实际演变的差异以及大气的混沌特性使数值预报输出产品依然存在较大误差(即不确定性,特别在青藏高原东侧),加之长江上游暴雨物理过程复杂,与湍流、对流输送、凝结和辐射相伴随的非绝热物理过程对暴雨又有很大影响,因而更易出现暴雨预报的不确定性,有时就出现了不同业务数值预报模式的较大预报差异。集合预报^[5-7]是解决这种差异的有效途径之一。研究^[8]表明,不同的非绝热物理过程,如不同积云对流参数化方案与行星边界层方案可以较好地反映青藏高原东侧中尺度强降水预报中的不确定性。但以前的研究大都针对个例进行,中尺度集合预报能应用于业务预报中吗?中尺度集合预报能改进长江上游的暴雨预报吗?本文主要目的是分析不同非绝热物理过程参数化方案的组合构成的集合预报系统在长江上游的试验结果,分析中尺度集合预报系统对长江上游大降水的预报能力。

1 集合预报系统与检验参数

1.1 集合预报系统

预报模式采用美国 PSU/NCAR 的高分辨率中尺度非静力 MM5 模式 V3.4 版。试验区域中心为 30°N、105°E,采用二重嵌套,粗网格区域是东亚区域,子域覆盖长江上游地区(图略)。粗网格格距为 45km,格点数是 101×101,细网格格距为 15km,格点数是 103×103,模式垂直方向为不等距的 24 层 σ 坐标。集合预报系统构造方案采用积云对流参数化和边界层方案组合法,积云对流参数化方案分别是 Anthes-Kuo、Grell、Kain-Fritsch 和 Betts-Miller 方案。边界层方案是 MRF 和 HRIR 高分辨率方案。控制预报物理过程包括:可分辨尺度降水采用 Dudhia 简单冰相方案;积云对流参数化方案是在粗网格采用 Anthes-Kuo 方案,细网格采用 Grell 方案;辐射采用 Dudhia 云辐射方案。边界层采用 MRF 高分辨率方案(详见文献[8])。客观分析采用修正的 cressman 香蕉型权重系数逐步订正分析方法,利用东亚地区常规地面资料和探空资料,对背景场(T213 全球格点场)进行再分析获得初值和边界条件。试验预报时间是 2004 年 8 月 15 至 9 月 30 日。集合预报产品有集合降水平均、集合降水离散度、分级降水概率。

1.2 检验参数

TS 评分(Threat Score)、BS (Bias Score)、ROC (Relative Operating Characteristic 相对作用特征)来对集合预报业务试验的结果进行评定。

TS 评分表达式为:

$$TS = N_a / (N_a + N_b + N_c)$$

预报偏差表达式为:

$$BS = (N_a + N_b) / (N_a + N_c)$$

其中: N_a 为预报出现观测亦出现的次数, N_b 为预报出现观测不出现的次数, N_c 为观测出现预报不出现的次数, N_d 为预报不出现观测也不出现的次数(下同)。

ROC 是对二分类要素预测的检验方法。如在每个格点上, 考虑一个事件(如降水)发生或不发生两种状态, 则

对其预报的命中率的表达式为:

$$g = N_a / (N_a + N_c)$$

对其预报的假警报率的表达式为:

$$f = N_b / (N_b + N_d)$$

通过求出各概率临界值下对应事件的 g 和 f , 将对应的 g 和 f 点绘在二维平面上, 可得到假警报率与命中率的演变曲线, 对此曲线沿假警报率方向积分就可得到对应事件的 ROC 面积:

$$ROC = \int_0^1 G(f) df$$

其中, f 为假警报率, $G(f)$ 为命中率与假警报率的函数关系。一个完美系统的 ROC 为 1, 如 ROC 大于 0.5, 则有预报技巧。

以 24~48 小时时段的 24 小时预报降水量为评定对象, 评定范围为长江上游的四川、重庆的 187 站实况降水, 将预报的降水格点值以双线性插值法内插到这些测站上, 计算逐日集合降水预报平均的 TS、BS 值和 ROC 面积。为了与确定性预报相比较,

还计算了相应时段的 T213 和控制预报的降水 TS 和 BS 值。

2 检验结果

图 1 给出长江上游各模式预报 TS 和 BS 评分, 图 1a 表明, 集合平均降水预报明显优于 MM5 降水预报, 10mm 以上级别降水 TS 评分提高了 15%, 25mm 和 50mm 以上级别降水 TS 评分均提高了 25%, 表明集合预报对单一模式的降水预报能力有明显的改进。与 T213 相比, 1mm、10mm 和 25mm 以上级别降水的 TS 评分, 集合预报 (0.357、0.108、0.041) 略低于 T213 预报 (0.374、0.129、0.041), 而对 50mm、100mm 以上级别降水的 TS 评分, 集合预报 (0.018、0.013) 高于 T213 预报 (0.016、0)。图 1b 表明, 除大于 50mm 的 BS 评分接近或小于 1 (漏报多于空报) 外, 其余级别的 BS 评分均远大于 1, 说明空报较多。特别是 T213, 在大于 25mm 级别的预报中空报尤为突出, 这给实际使用其降水预报结果产生了困难。BS 与 TS 评分结果说明, 在大级别(大于 25mm)的降水预报中, MM5 模式明显优于 T213 全球模式, 而集合预报又优于 MM5 模式。

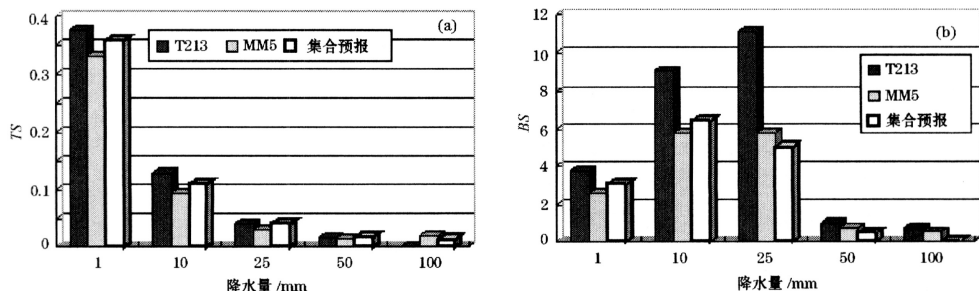


图 1 长江上游 2004 年 8 月 16 日—9 月 29 日各模式降水预报 TS 评分 (a)、BS 评分 (b)

计算表明, 无论那一级别的降水, TS 评分的高低与降水站数的多少密切相关, 降水站数越多, TS 评分就越高, 降水站数较少时, 相应的 TS 评分就较低, TS 评分为

0 的时候, 往往是实况没有相应级别的降水出现, 哪怕此时预报结果仅有个别的对应级别的降水出现, 也会导致 TS 评分为 0 的情况, 这也间接的说明, 用 TS 评分结果来阐

明模式预报的优劣时, 需要用相同时段内的评定结果进行比较。T213 的 TS 评分高于 MM5 和集合预报的仅有 4 个时次, 都在过程的开始阶段, 且此时相应级别的实际降水站数相对较多, 而在其余有降水出现的时间, 则是集合预报的 TS 评分略高于 MM5 的预报, 且明显高于 T213 的预报, 表明对大于 50mm 的降水, T213 对其开始期的预报要好于 MM5 和集合预报, 但缺乏对持续过程的预报能力, 而 MM5 和集合预报对持续性过程有良好的表现, 尤以集合预报最优, 如 8 月 23—25 日的降水过程, 9 月 3—5 日的降水过程 (见图 2)。

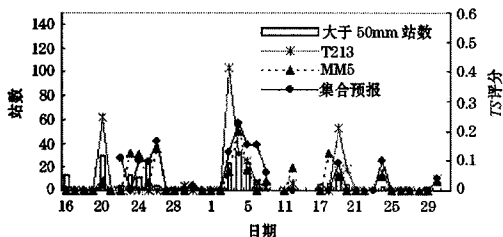


图2 长江上游 2004 年 8 月 16 日—9 月 29 日逐日大于 50mm 的站数和各模式对应的 TS 评分

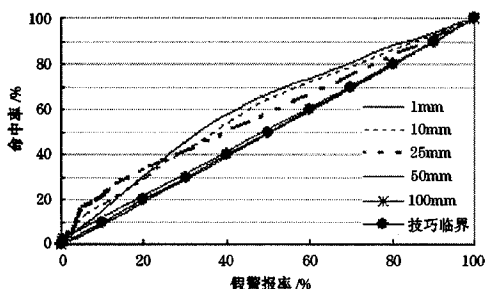


图3 长江上游 2004 年 8 月 16 日—9 月 29 日的 ROC 图

图 3 为各级别以上降水的假警报率与命中率的演变曲线, 从中可看出, 50mm、100mm 的曲线接近对角线, 预报技巧不显著, 而 1mm、10mm、25mm 的演变曲线都在对角线以上, 曲线以下的积分面积 (ROC) 都大于 0.5, 表明集合预报系统的降水集合预报平均对 1mm、10mm、25mm 以上级别降水预报具有明显的预报技巧。

3 一次典型降水过程的集合预报试验

2004 年 9 月 3—5 日, 四川东北部近 30 个县 (市) 都受到暴雨袭击, 达州、开江、渠县过程雨量超过 300mm, 宣汉累计降水量达到了 413.9mm, 这是川东北地区有气象记录以来最强的一次特大暴雨天气过程 (简称“9·3”暴雨)。这次降水过程首先于 2 日晚上发生于绵阳、广元, 3 日晚上到 4 日暴雨区移到巴中和达川, 5 日暴雨区略有东移, 主要出现在达州和万县, 6 日暴雨区向南转移, 四川的降水过程结束。

集合预报非常好的预报了这次特大暴雨过程, 不论是对降水趋势的预报, 还是降水中心的移动。图 4a、b、c 是降水实况演变图。图 4d、e、f 为实时输出的降水集合预报产品。9 月 3 日 (图 4d) 显示出在川北将发生强降水的较强信号, 大于 25mm 以上的集合预报平均值出现在川北的绵阳、广元、巴中区域, 超过 60mm 的强降水中心位于广元和绵阳, 大于 50mm 的降水概率中心值达 80%。9 月 4 日 (图 4e) 显示出暴雨将东移加强的信号, 暴雨区东移, 暴雨强度增加, 集合平均降水量出现了大于 100mm 的大暴雨区, 位置在巴中与达川相邻的区域, 大于 50mm 出现的降水概率超过 60%, 大于 100mm 出现的降水概率达 40%, 这是集合预报系统投入准业务运行以来, 首次出现了 100mm 以上降水的集合预报信息。9 月 5 日 (图 4f) 显示出暴雨将持续稳定的信号, 集合预报平均值大于 50mm 的区域稳定在达川和重庆的万县, 集合平均降水量仍大于 100mm, 且大于 100mm 的降水概率继续维持在 40% 以上。9 月 6 日 (图略) 显示出暴雨区将南移, 如实况所反映的一样, 6 日川东北降水结束。

4 结 语

本文对成都高原气象研究所开发建立的长江上游短期数值集合预报模式在业务预报试验中的 24~48h 降水预报结果进行了实际

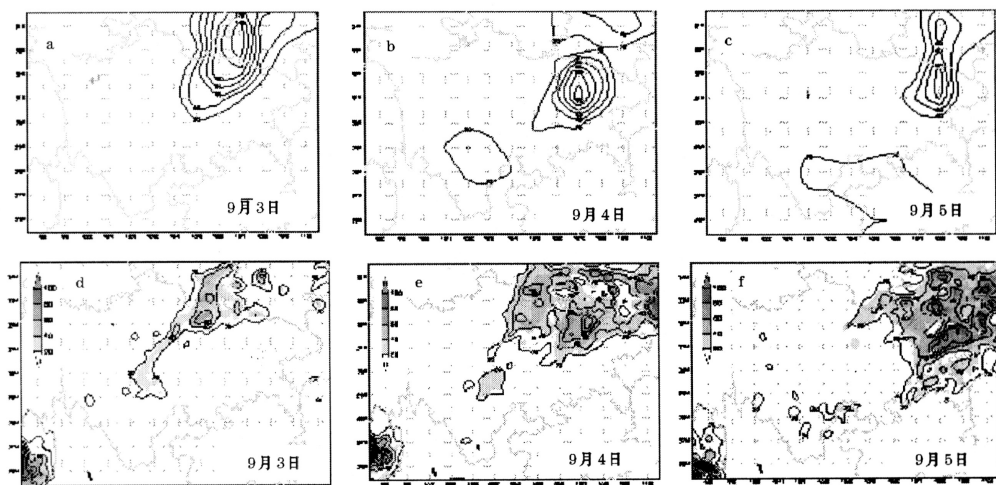


图 4 2004 年 9 月 3—5 日长江上游逐日 20—20 时降水量演变图

a、b、c 降水实况；d、e、f 集合预报

实线：24~48h 集合预报平均，色斑：24~48h 大于 50mm 降水概率

检验。*BS* 与 *TS* 评分结果说明，在大级别（大于 25mm）的降水预报中，MM5 模式明显优于 T213 全球模式，而集合预报又优于 MM5 模式，有限区域短期集合预报能改进单一模式的降水预报能力；*ROC* 表明，集合预报对小雨、中雨、大雨以上的降水有明显的预报技巧；对“9·3”暴雨过程的检验表明，降水集合预报平均对暴雨过程的开始、持续、结束时间均有预报指示意义，大于 50mm 降水概率的分布区域和值的大小对预报暴雨有极好的参考价值。检验结果增强了我们继续开发有限区域短期集合预报系统的信念。但其中还有许多科学问题需要进一步研究。依据单一模式多物理过程构建的集合预报，仅仅是集合预报系统的一部分，完整的集合预报系统，应该是具有多模式、多初值、多物理过程描述的统一体，而如何构建适合于西南特殊地理位置的集合预报业务系统，还要进行更多系统性的试验和检验。

参考文献

- 1 钱正安, 顾弘道, 颜宏等. 四川“81.7”特大暴雨和西南低涡数值模拟 [J]. 气象学报, 1990, 48 (4): 415-423.
- 2 郁淑华, 何光碧, 滕家谟. 青藏高原切变线对四川盆地西部突发性暴雨影响的数值试验 [J]. 高原气象, 1997, 16 (3): 306-311.
- 3 陈静, 矫梅燕, 李川. 青藏高原东侧一次 β 中尺度对流系统的数值模拟 [J]. 高原气象, 2003, 22 (增刊): 90-101.
- 4 陈忠明, 徐茂良, 闵文彬等. 1998 年夏季西南低涡活动与长江上游暴雨 [J]. 高原气象, 2003, 22 (2): 162-167.
- 5 毛恒青, 王建捷. 集合预报业务使用现状和趋势 [J]. 气象, 2000, 26 (6): 26-29.
- 6 陈静, 陈德辉, 颜宏. 集合数值预报的发展与研究进展 [J]. 应用气象学报, 2002, 13 (8): 497-507.
- 7 李俊, 纪飞, 齐琳琳等. 集合数值天气预报的研究进展 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 3-7.
- 8 陈静, 李川, 冯汉中等. 青藏高原东侧“2003.8.28”暴雨的集合预报试验 [J]. 高原气象, 2004, 23 (增刊): 6-13.