

李俊,王明欢,公颖,等.AREM 短期集合预报系统及其降水预报检验[J].暴雨灾害,2010,29(1):30-37

AREM 短期集合预报系统及其降水预报检验

李俊,王明欢,公颖,李灿,李武阶

(中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘要:基于我国科学家自主开发的 AREM 区域中尺度模式,考虑模式初值和侧边界条件的不确定性,采用 BGM 方案,建立有 11 个成员、37 km 分辨率、覆盖全国区域的短期集合预报系统,并将其于 2009 年汛期投入准业务化试验,进行了连续 2 个月的预报结果检验。结果表明:由于能提供更多预报信息,集合预报系统优于单一确定性预报,集合平均预报对评分的改进主要表现在暴雨以下量级,概率预报高于集合平均和控制预报,因而更具参考价值;利用多种集合产品对降水过程进行综合分析,能提高决策预报的科学性。

关键词:短期集合预报;AREM 模式;降水预报;结果检验

中图分类号:P456.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)01-0030-08

1 引言

Lorenz 指出^[1,2],大气和其它不稳定动力系统一样,其可预报性是有限的,数值模式的预报技巧不仅取决于初始条件和模式符合实际的程度,且同样取决于气流本身的稳定性。Lorenz 早年的重大发现给混沌科学起到推动作用,在 NWP 方面,其重要进展在于认识到由于存在大气的混沌现象,需要用集合预报来代替单个预报^[3]。Leith^[4]提出了一个比较适合于实际应用的“蒙特卡罗”预报(Monte Carlo forecasting),使集合数值预报技术开始走向实际应用。20 世纪 90 年代初,美国国家环境预报中心和欧洲中期天气预报中心先后建立了各自的全球中期集合预报业务系统,这标志着集合预报已进入实际业务应用的成熟阶段。经过 90 年代中后期的研究开发,集合预报技术得到进一步完善和拓宽,在美国、欧洲等发达国家的数值预报业务体系中已占据非常重要的位置(如 ECMWF 的集合预报产品已占其所有数值预报产品的 60%以上),且在气象台站得到广泛应用,成为预报员中短期天气预报最重要的参考产品^[5]。

近年来,国内对集合数值预报越来越重视,在集合预报方法^[6-8]及其在防灾减灾中的应用^[9-10]等领域都开展了广泛研究,取得一批有意义的研究成果。在短期降水预报方面,陈静等^[11]、王晨稀等^[12]采用扰动模式非绝热物理过程的方法对我国暴雨及梅雨期降水预报进行了研究和试验,其结果都表明集合预报对降水预报有明显改善。以上研究和试验多基于国外的中尺

度模式,在运用我国科学家自主发展的模式开展集合预报的工作相对较少,且基于业务应用目的工作则更少。

AREM(Advanced Regional Eta Model)模式是由我国科学家自主发展的适合东亚区域地形和暴雨特点、可用于业务预报的区域中尺度数值预报模式^[13],近年来的实际业务应用表明该模式对我国降水具有较好的模拟和预报能力^[14-15]。本文基于 AREM,采用 NCEP 的增长模繁殖法 BGM(Breeding of Growing Mode)^[16-17],在前期对初值敏感性研究的基础上^[18],考虑模式初值和侧边界不确定性,初步建立一个短期区域集合预报系统,对该系统的技术方案进行了简单介绍,重点选取 2009 年汛期 6—7 月系统连续运行 2 个月的结果进行分析检验。

2 模式系统介绍

为达到业务运行对计算时效性的要求,集合预报系统基于 AREM 模式并行版,控制预报模式计算范围为 65°—145°E, 5°—60°N,模式分辨率为 37 km,垂直方向 η 层 32 层,模式层顶 10 hPa,时变边界条件。选用显式暖云微物理过程,非局地边界层方案,多层结通量-廓线的地表参数化方案以及基于 Benjamin 理论的地表辐射参数化方案等。

AREM 模式并行版本采用的是 MPI 消息传递编程模型,在曙光 TC4000A 高性能计算机平台上进行多次试算,最终选定其中并行效率较高的一个组合,即采用 2 个节点,每个节点 16 个 CPU,在该并行运行方

收稿日期:2010-02-01;定稿日期:2010-03-09

基金项目:科技部公益性行业(气象)科研专项(GYHY200706012、GYHY200906010)资助与武汉暴雨研究所科研业务项目(0603、0903)共同资助

作者简介:李俊,男,1972 年生,副研究员,主要从事数值模拟和集合预报研究。E-mail: lijun@whihhr.com.cn

式下单模式积分 72 h, 耗时约 11~14 min, 能满足业务运行时效的需求。模式运行所需的初始场包括风场 (u, v)、温度场、水汽场(相对湿度)和位势高度场共 5 个物理量场。

3 集合预报业务系统及试验方案

在集合预报业务系统中, 同时考虑模式初始场和侧边界条件的不确定性, 系统由 1 个控制预报成员和 10 个扰动成员组成, 集合成员物理参数选取、垂直层次与控制预报成员一致。集合预报系统采用两种运行方式, 分别为“冷启动”和“热启动”方式。在集合预报系统最初启动时, 为了获得足够的初始扰动模, 采用在控制预报初始场上叠加随机扰动的方法, 即“冷启动”。集合预报系统启动后, 采用 BGM 方案, 在控制预报初始场上叠加孵化扰动场, 形成扰动成员, 即“热启动”。集合预报系统每天启动 2 次, 间隔 12 h, 预报时效 72 h, 除最初启动时采用冷启动方案外, 其后系统启动方式为热启动。考虑区域模式中侧边界对孵化扰动的影响, 集合预报系统运行过程中, 集合成员的侧边界均由随机扰动方法得到。具体扰动方案如下。

3.1 冷启动方案

由于随机扰动法不受样本数限制, 且各扰动成员的数学分布规律一致, 因此本试验中使用随机扰动法作为系统冷启动方案, 并为后续孵化循环提供初始扰动“种子”。在控制预报分析场上对风场、温度场、水汽场和位势高度进行随机扰动, 扰动振幅分别取不同模式变量 12 h 的预报误差, 然后与不同随机数相乘得到扰动场。共产生 5 组随机扰动, 在控制预报的分析场上叠加和扣除扰动场形成 10 个扰动预报成员, 具体扰动场生成方法见式(1):

$$P = S_c \times R_m \times R_a \quad (1)$$

式(1)中, P 为随机扰动场; S_c 为扰动振幅控制系数, 本方案中 S_c 取 1.5; R_m 为 12 h 预报与分析场之间的均方差; R_a 为符合 $[-1, 1]$ 均匀分布的随机函数。

3.2 热启动方案

集合预报系统启动后, 采用 BGM 方案, 该方法能模拟目前气象资料同化处理过程, 既考虑了实际分析场中可能的误差, 同时又保留了可能的快速增长的动力学结构, 能给出快速增长且流依赖的扰动结构。具体方法如下:

$$B = E_L \times (F_p - F_n) \quad (2)$$

式(2)中, B 为孵化扰动场, E_L 为扰动振幅调整系数, F_p 、 F_n 为对应正、负扰动的预报场。调整系数由下式确定:

$$E_L = s_{ign} \times c_o / r_m \quad (3)$$

式(3)中, s_{ign} 为“+1”或“-1”控制“加上”或“减去”扰动

场。系数 c_o 为分析场误差的允许范围来控制扰动场的振幅, 本方案中 c_o 取 0.5。 r_m 为两个预报场的面平均均方差, 可用于任何层次和变量, 本试验中, 取 850 hPa 温度预报场的均方根来计算, 孵化循环周期为 12 h。

3.3 侧边界扰动方案

侧边界对有限区域集合预报系统有重要影响, 必须考虑侧边界扰动以保持集合系统的离散度^[9]。通常做法是将区域集合预报系统与全球集合预报系统嵌套, 用不同全球集合预报成员的预报作为区域集合预报系统的侧边界。但目前我国全球集合预报系统资料还未下发, 且通过网络下载以上资料的时效性很难保证, 因此寻求一种能替代或部分解决侧边界扰动问题的方案。具体侧边界扰动方案如下:

$$P_t = S_c \times (F_{t+1} - F_t) \times R_a \quad (4)$$

式(4)中, P_t 为 t 时刻侧边界扰动场; S_c 为扰动振幅控制系数, 本方案中取 1; $(F_{t+1} - F_t)$ 为全球模式下一时刻与当前时刻预报场的差值, 在此表示侧边界预报的倾向, R_a 为符合 $[-1, 1]$ 均匀分布的随机函数。共产生 5 组随机扰动, 在控制预报侧边界上叠加和扣除扰动场形成 10 个扰动场, 分别为 10 个扰动成员提供侧边界。

3.4 系统运行所用资料

本试验使用 NCEP 全球 GFS 预报资料, 其中控制成员的初始场使用 GFS 0 时刻预报场, 侧边界由间隔 6 h 的预报场提供, 扰动成员的初始场和侧边界则在控制成员的基础上通过加减孵化扰动场和侧边界扰动得到。

4 试验结果与检验分析

AREM 集合预报系统于 2009 年 6 月开始投入业务试验, 本文选取主汛期 6—7 月的预报结果进行检验, 考虑预报员的使用习惯以及指导预报员在实际业务中如何应用集合产品, 主要对集合平均预报和概率预报进行检验, 采用的检验方法与常规单一确定性预报的一致。

4.1 集合平均预报

集合平均是一种非线性的过滤器, 可过滤每个成员预报的随机成分而保留预报一致的部分, 给出预报的总体趋势, 在此降水的集合平均预报采用连同控制成员在内的 11 个成员的算术平均。检验集合平均的方法可参考传统的检验单个预报的方法, 本文采用常用的 T_s 评分方法对其检验。检验时间为 2009 年 6—7 月, 两个检验区域分别为全国 ($15^\circ - 55^\circ N$, $85^\circ - 135^\circ E$) 和长江中下游 ($25^\circ - 35^\circ N$, $110^\circ - 123^\circ E$), 将模式格点插值到站点, 采用站点对站点的方式进行检验。检验武汉暴雨研究所 AREM 试验模式 (AREM-SY)、集合控

制预报(AREM-JHCTL)和集合平均预报(AREM-JHAVE)三种产品的预报结果。由于 AREM 试验模式的初始场是以 GFS 资料 12 h 预报场为背景,通过 3DVR 加入常规观测资料后得到,与后两者不同,在此仅作参考。以下重点分析集合平均能否在控制预报的基础上有所提高。

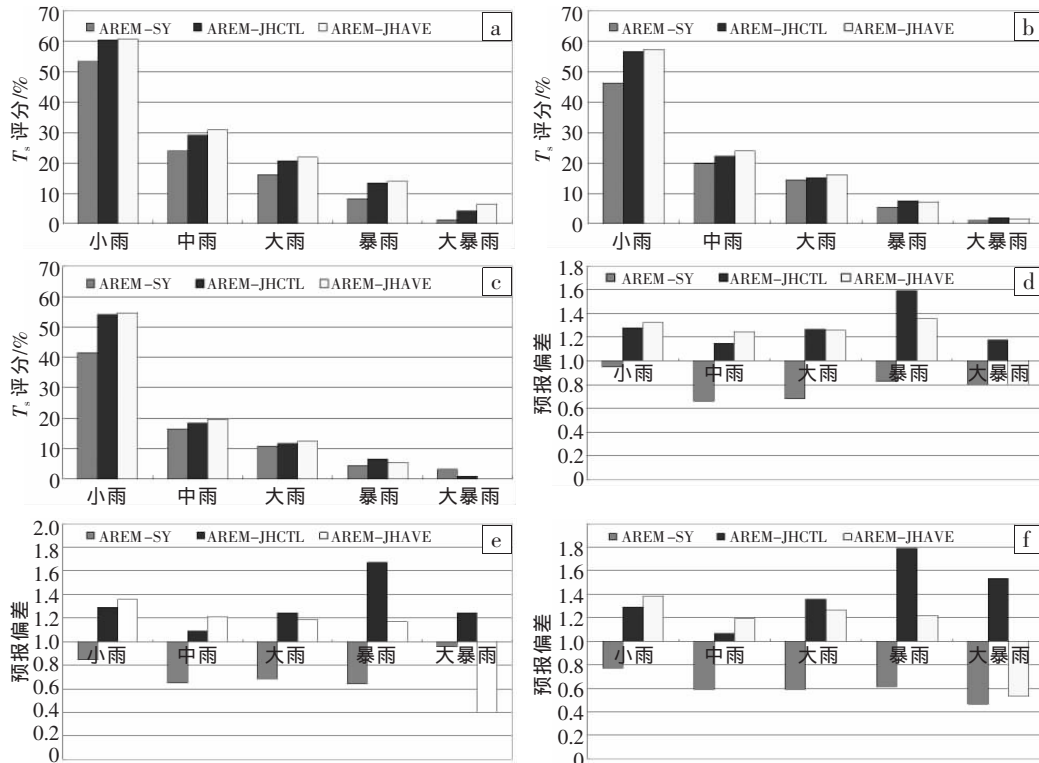


图 1 2009 年 6—7 月全国区域(15°—55°N, 85°—135°E)集合预报 \$T_s\$ 评分与降水预报偏差

(a)、(b)、(c)分别对应 0~24 h、24~48 h、48~72 h 的 \$T_s\$ 评分

(d)、(e)、(f)分别对应 0~24 h、24~48 h、48~72 h 的降水偏差

由以上结果可知,随着预报时效延长,集合平均在一般性降水的评分上始终优于控制预报,并随预报时效延长、量级变大而其评分提高更明显(表 1),而暴雨等强降水的 \$T_s\$ 评分则比控制预报略差。与目前业务运行的 AREM 试验模式的 \$T_s\$ 评分比较,集合控制预报、集合平均预报在 3 个预报时段的多数预报量级上均优于 AREM 试验模式的结果,这一方面可能是集合平均预报效果的提高,另一方面也可能与两者的初始场不同相关,还有待深入分析。

表 1 2009 年 6—7 月不同预报时效集合平均相对控制预报 \$T_s\$ 评分提高的百分比

降水量级	预报时效		
	0~24 h	24~48 h	48~72 h
小雨	0.58	1.21	1.14
中雨	6.00	7.03	6.76
大雨	6.17	6.27	7.13

由降水偏差统计结果可知,总体上,除大暴雨量级外,在 3 个预报时段,集合平均和控制预报均表现

图 1 为全国区域三个预报时段(0~24 h、24~48 h、48~72 h)的 \$T_s\$ 评分和预报偏差。从中可见,0~24 h 预报时段,包括暴雨以上量级的预报,集合平均在各量级上的 \$T_s\$ 评分均高于控制预报;在 24~48 h、48~72 h 预报时段,小雨到大雨量级集合平均优于控制预报,暴雨、大暴雨集合平均比控制预报稍差。

为明显的湿偏差,但两者在不同降水量级上的差异不同;在小雨和中雨量级,集合平均的湿偏差大于控制预报的,而在大雨到大暴雨量级,集合平均的湿偏差小于控制预报的,尤其在暴雨和大暴雨量级,集合平均预报的湿偏差与控制预报相比有明显减小。这表明集合平均的作用会导致量级小的降水范围扩大、量级大的降水范围缩小,从而导致集合平均预报相对于控制预报会高估小量级降水而低估高量级降水,这也是集合平均预报的一个特点。对于长江中下游区域,其 \$T_s\$ 评分和降水偏差与全国区域有类似的分析结论(图略)。

除总体的 \$T_s\$ 评分外,选取长江中下游区域计算逐日 \$T_s\$ 评分,对中雨和暴雨两个量级逐日 \$T_s\$ 评分进行分析(图略)。从逐日演变看,集合平均并不总比控制预报好,就中雨量级而言,3 个预报时次集合平均比控制预报 \$T_s\$ 评分高的频次多,而暴雨量级则相反,控制预报并不总比集合平均好,在 0~24 h 时段,集合平均比控制预报 \$T_s\$ 评分高的频次多,在 24~48 h、48~72 h,控制预报比集合平均 \$T_s\$ 评分高的频次多,这与上述全国

总体的 T_s 评分结论一致。

4.2 概率预报

与定性预报不同的是,集合预报可从其成员的预报中计算某种天气发生的相对概率,包含了该集合系统所能提供的所有信息,所以概率预报是表达集合预报最全面的方法之一。概率预报最重要的度量是它的可靠性。在此,考虑预报员实际应用习惯,对概率预报的结果也采用常规的 T_s 评分检验方法,分析不同降水概率预报等级对应的预报评分高低,了解不同概率的可用性,指导预报员在实际应用中更好地发挥概率预

报的作用。在此采用平均法计算降水概率,即定义每个成员在集合预报中的权重均等为 $1/N$, N 为集成员数。当预报发生某个量级降水的成员数为 M 时,则可得未来发生该量级降水的概率 $P_s=M \times (1/N)$ 。

将预报概率从 10%、20%到 90%分成 9 个预报等级,统计小雨(晴雨预报)、暴雨(强降水预报)不同概率等级的预报评分,评分区域分别为全国和长江中下游,预报时效包括 0~24 h、24~48 h 和 48~72 h。图 2、3 分别给出两个区域小雨、暴雨不同概率等级的预报评分。

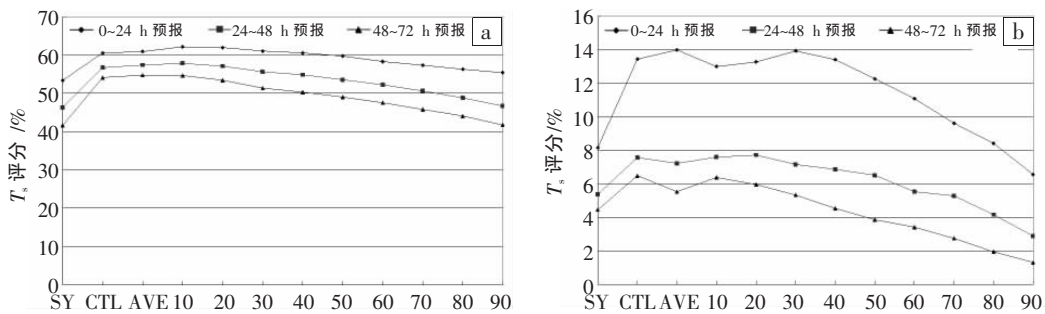


图 2 2009 年 6—7 月全国区域不同概率等级小雨(a)和暴雨(b)不同预报时效的 T_s 评分
横坐标下:SY、CTL、AVE 分别为 AREM 试验模式、集合控制预报、集合平均预报;
10、20、...、90, 分别对应集合概率预报 10%、20%、...、90%。下同

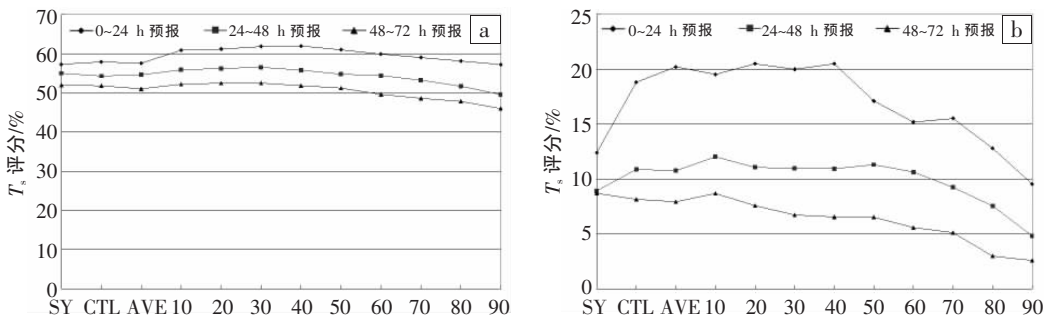


图 3 2009 年 6—7 月长江中下游不同概率等级小雨(a)和暴雨(b)不同预报时效的 T_s 评分

概率预报 T_s 评分最高的概率等级随预报区域、预报量级和预报时效不同而不同。对全国区域而言,3 个预报时段小雨的概率预报 10%时的评分最高,且高于集合平均和控制预报,此后随概率等级提高其评分逐渐降低;在 3 个预报时段上,暴雨概率预报得分最高的等级分别为 30%、20%和 10%,且高于集合平均和控制预报,此后也随概率等级提高其评分逐渐降低;对长江中下游区域而言,3 个预报时段上小雨概率预报得分最高的等级分别为 40%、30%和 20%;暴雨概率预报得分最高的等级分别为 20%、10%和 10%。概率预报在两个降水等级上均高于集合平均和控制预报。

概率预报由于包含集合系统所能提供的所有信息,优于平均预报,在各预报时次概率预报均能高于集合平均和控制预报,获得最高的 T_s 评分,尤其对于

强降水,与集合平均随预报时效延长评分低于控制预报不同,在各预报时段,较低的概率等级就可达到高于集合平均和控制预报的评分。同时,分析得分最高的概率等级在不同预报时效上的分布特点还可看出,相对而言,在较短预报时效上需要较高概率等级才能获得较高 T_s 评分,而随预报时效延长,较低概率等级就可得到最高 T_s 评分。这可为预报员使用集合概率产品进行晴雨预报和暴雨落区预报时提供参考。

4.3 平均降水预报时空演变检验

为了检验 AREM 集合预报系统对我国南方汛期降水的实际预报能力,对 2009 年 6、7 月集合平均预报(0~24 h)和实况的平均降水率进行对比分析。平均降水率的计算方法为 6—7 月累积降水对总天数的平均。分析实况平均降水率图发现(图 4a),6—7 月我国的主要雨带集中在华南、长江中下游以及青藏高原东

部,集合平均较好再现了这一雨带分布的主要特征(图 4b),两者雨带分布基本一致,但中心位置和强降水范围存在偏差。集合平均预报对广东的强降水中心偏东,对广西南部的强降水中心偏北,且对两个强降水的范围预报偏大。对四川盆地中部的降水中心预报偏

西,且强度偏强。集合预报平均降水率的预报特点主要由控制模式的预报特点决定,如控制预报的平均降水率预报特点与集合平均类似(图略),也就是说,集合平均预报能改善模式的预报技巧,但不能从根本上改善模式的系统误差。

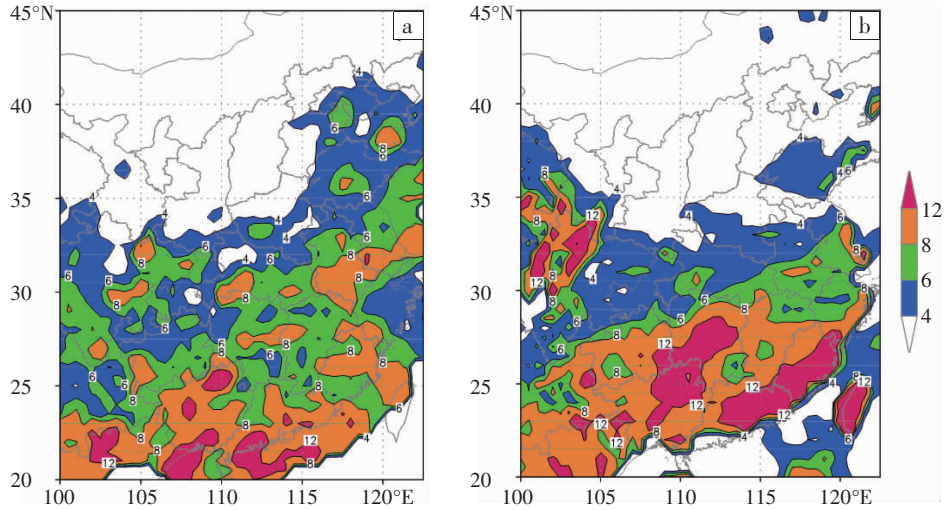


图 4 2009 年 6、7 月我国南方汛期降水实况(a)与集合平均预报(b)平均降水率对比(单位: mm)

在降水预报空间分布基本一致的基础上,对降水预报时空演变进行检验。图 5a 给出 2009 年 6—7 月我国南方汛期实况降水纬向平均的时间剖面图,

纬度范围为 20°—45°N, 经度平均范围取 100°—122.5°E;图 5b 为对应 0~24 h 集合平均降水预报的纬向平均时间剖面图。

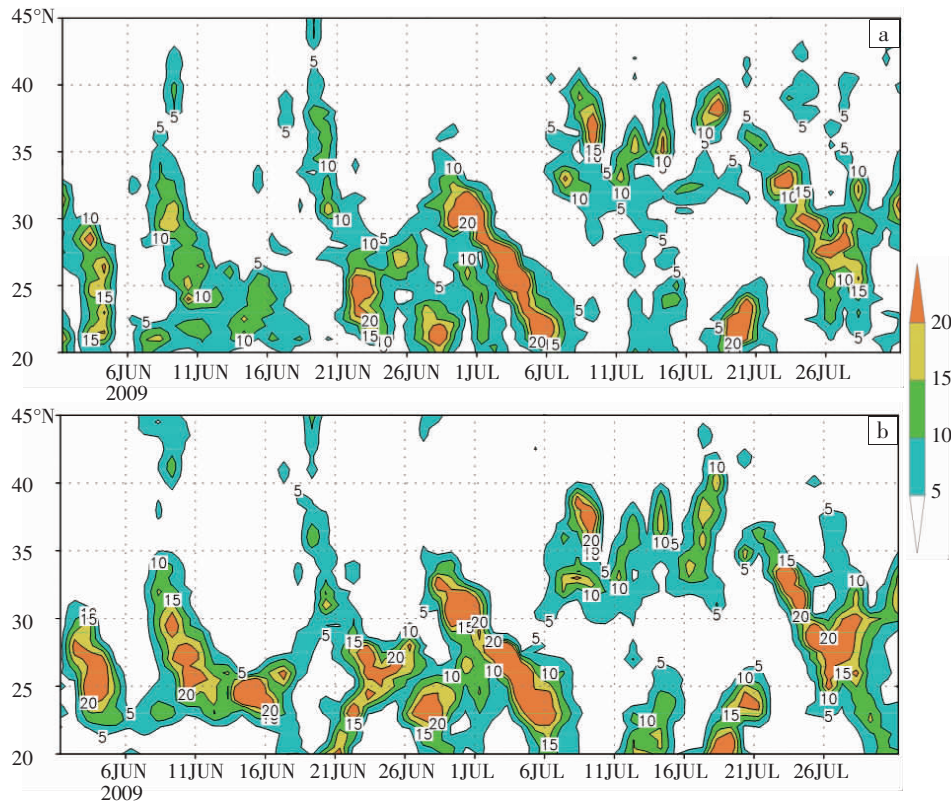


图 5 2009 年 6—7 月我国南方汛期实况降水(a)和 0~24 h 集合平均降水预报(b)纬向平均的时间剖面图(单位: mm)

对比分析图 5a、b 发现,在 2009 年 6—7 月我国主要降水区域(图 4 所示区域),两者在时空演变上有非

常好的对应关系,0~24 h 的集合平均预报对主要降水过程开始的时间、位置、降水强度以及演变趋势均有

较好预报;尤其是 6 月下旬到 7 月上旬,为长江中下游到华南的降水集中期,其中以 6 月 28 日到 7 月 6 日这段时间最为显著,冷暖空气在长江流域交汇引发强降水,而后随冷空气逐渐南压,降水随之向华南发展,集合预报较好地捕捉到这次连续过程,再现了这一阶段强降水的发生时间、降水范围、中心强度以及发展趋势。

5 典型个例

2009 年长江流域梅雨期较往年偏晚,且持续时间短,符合标准的典型梅雨日只有 3 天(6 月 29、30 日和 7 月 1 日)。从 6 月 28 日开始,由于副热带高压加强西伸,其西侧偏南暖湿气流增强,同时蒙古高原东部冷涡后有冷空气东移南下,冷暖空气在西南地区东部到长江中下游一带地区交汇,造成此次强度降水过程。AREM_EPS 对这次过程作出了较好的预报(见图 5)。这里选择其中降水最强的一天(29 日)的预报情况进行分析。图 6 给出 2009 年 6 月 29 日 08 时至 30 日 08 时(北京时间,下同)实况降水分布,降水主要分布在西南地区东部到长江中下游,主雨带呈东西向,强降水中心

分别位于鄂西南、江汉平原到鄂东北以及安徽中南部,中心强度都达到 100 mm 以上,其中最强中心位于湖北鹤峰,24 h 降水量达 313.2 mm。

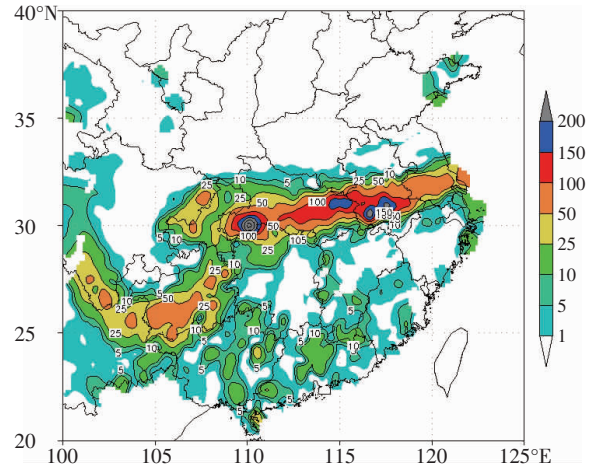


图 6 2009 年 6 月 29 日 08 时至 30 日 08 时降水实况分布图(单位: mm)

图 7 给出 6 月 28 日 20 时的 12~36 h 集合预报的邮票图。“邮票图”是集合预报中最常用的产品之一,用于给出所有成员的预报情况,因形似邮票而名之。

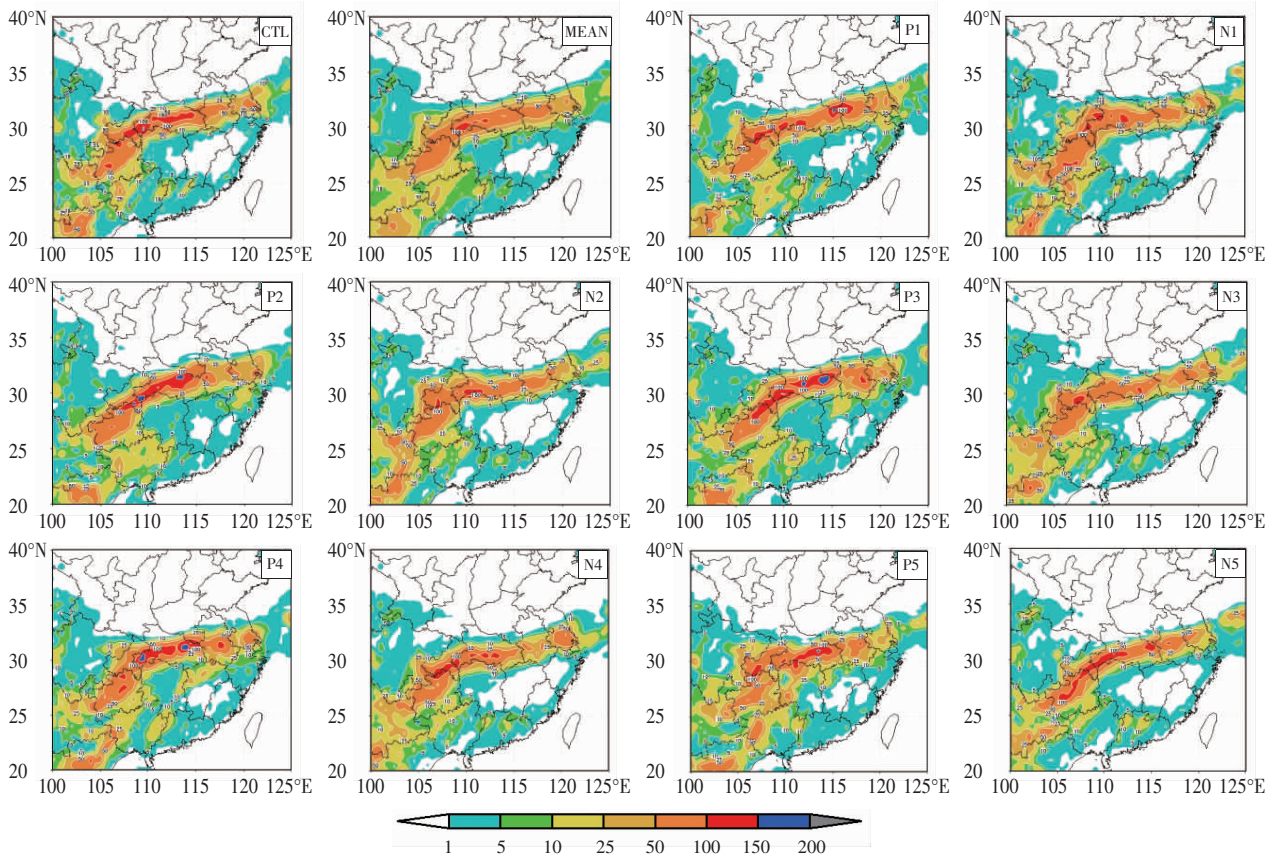


图 7 2009 年 6 月 28 日 20 时 12~36 h 集合预报邮票图(单位: mm)

各图右上角标识 CTL 为集合控制预报,MEAN 为集合平均预报,P1、N1、...、N5 等为各集合成员的编号

从图 7 并参照图 6 可见,控制成员预报的雨带与实况基本一致,并报出了鄂西南和江汉平原的大暴雨

中心,但未能报出鄂东北和安徽中南部的大暴雨。集合平均预报由于平均的平滑作用,平均预报的中心强

度明显弱于控制预报,但平均预报能给出各成员预报一致的地方和预报的总体趋势,如图中集合平均给出的暴雨带的总体分布与实况基本一致,且鄂西南的大暴雨中心与本次过程实况最强降水中心对应,江汉平原也有 2 个小范围大暴雨中心,表明多数成员对该降水中心的预报一致且降水强度较大。邮票图除给出控制预报和预报的平均状态外,其各个成员的预报能提示预报员其他可能的预报思路,如图中编号为“P4”的成员,其预报的三个主要强降水中心与实况非常一致。

图 8a 为所有集合成员降水预报 >100 mm 等值线的面条图。该图在此可用于分析预报的不确定性信息,以及给出除控制预报以外的预报可能性。从中可

见,鄂西南和江汉平原以及鄂东北的线条比较密集,表明该地预报的不确定性较小,而在控制预报和集合平均预报中漏报的安徽中南部的大暴雨,有 2 个成员报出有 >100 mm 的大暴雨区,给出了控制预报之外的预报思路。图 8b 为降水量 >100 mm 的概率预报,对应最强降水中心鹤峰的大暴雨概率达到 60%,江汉平原到鄂东北的大暴雨概率 >30%,在控制预报和平均预报中漏报的安徽中南部的大暴雨中心,在集合预报中有 >10% 的大暴雨概率,这在强降水预报中是非常重要的信息,提示预报员有强降水出现的可能性。由此可见,集合预报与常规的确定性预报相比,具有更多优势,能为预报员提供更多预报信息。

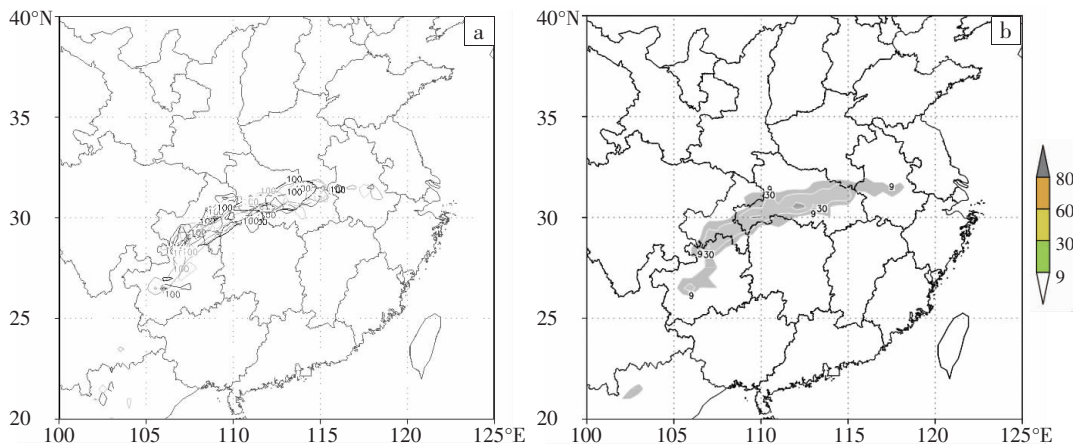


图 8 2009 年 6 月 28 日 20 时 12~36 h 集合预报面条图(a)和集合降水概率预报图(b)

6 结论和讨论

本文选取 AREM 短期集合预报系统 2009 年 6—7 月连续运行结果进行检验,得到如下结论:

(1)集合平均降水预报的 T_s 评分在 0~24 h 预报时段上全面高于控制预报,且在整个预报时效内,一般性降水预报均优于控制预报,表明集合预报技术可在原有单一模式基础上提高降水预报性能,并有进一步改善的空间。

(2)由于平滑作用,集合平均降水在强降水预报上表现不如控制预报,但由于能给出总体预报趋势,仍具有较高参考价值;概率预报由于包含集合系统所能提供的所有信息,各预报时次概率预报均高于集合平均和控制预报,尤其对强降水,与集合平均随预报时效延长其评分低于控制预报不同,较低的概率等级就可达到高于集合平均和控制预报的评分。

值得注意的是,与单一定性预报不同,集合预报系统能给出更多的预报信息,合理利用多种集合产品对天气过程进行综合分析,能协助预报员进行科学决策。目前,集合系统还存在成员间离散度偏小的问题。对这一问题的解决,可望通过调整扰动振幅系数、引

入物理过程扰动方案等来进一步提高系统整体性能。

参考文献:

- [1] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow [J]. Atmos Sci, 1963, 20: 130-141.
- [2] Lorenz E N. The predictability of hydrodynamic flow [J]. Trans NY Acad Sci Series, 1963, 25: 409-432.
- [3] Eugenia K. 大气模式、资料同化和可预报性[M].北京:气象出版社,2005.
- [4] Leith C E. Theoretical skill of Monte Carlo forecasts [J]. Mon Wea Rev, 1974, 102: 409-418
- [5] “面向 21 世纪的中国气象数值预报”创新技术工程体系预研究课题组.面向 21 世纪的中国气象数值预报[C].北京,中国气象科学研究院,2001.
- [6] 龚建东,李维京,丑纪范.集合预报最优初值形成的四维变分同化方法[J].科学通报,1999,44(10):1113-1115.
- [7] 陈静,薛纪善,颜宏.一种新型的中尺度暴雨集合预报初值扰动方法研究[J].大气科学,2005,29(5):717-726.
- [8] 杨学胜,陈德辉,冷亭波,等.时间滞后与奇异向量初值生成方法的比较试验[J].应用气象学报,2002,13(1):62-66.
- [9] 邓国,陈怀亮,周玉淑.集合预报技术在暴雨灾害风险分析中的应用[J].自然灾害学报,2006,15(1):115-122.
- [10] 李俊,廖移山,张兵,等.集合数值预报方法在山洪预报中的初步应用[J].高原气象,2007,26(4):854-861.
- [11] 陈静,薛纪善,颜宏.华南中尺度暴雨数值预报的不确定性与集合预

- 报试验[J].气象学报,2003,61(4):432-446.
- [12] 王晨稀,姚建群,梁旭东.上海区域降水集合预报系统的建立与运行结果的检验[J].应用气象学报,2007,18(2):173-180.
- [13] 宇如聪,薛纪善,徐幼平.AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统[M].北京:气象出版社,2004:3-7.
- [14] 宇如聪,徐幼平.AREM 及其对 2003 年汛期降水的模拟.气象学报[J],2004,62(6):715-724.
- [15] 李俊,沈铁元,宋星原,等.AREM 中尺度暴雨模式降水预报试验[J].武汉大学学报(工学版),2007,40(1):13-17.
- [16] Zoltan T, Kalnay E. Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations [J]. Bul Amer Meteor Soc, 1993, 74:2317-2330.
- [17] Zoltan T, Kalnay E. Ensemble Forecasting at NCEP and the Breeding Method [J]. Mon Wea Rev, 1997, 125: 3297-3319.
- [18] 李俊,杜钧,王明欢,等.中尺度暴雨集合预报系统研发中的初值扰动试验.高原气象,2009,28(6):1365-1375.
- [19] Du Jun, Tracton S M. Impact of lateral boundary conditions on regional model ensemble prediction [A]// Ritchie H. Research Activities in Atmospheric and Ocean Modeling [R]. 1999, Report 28, CAS/JSC working group numerical experimentation (WGNE), WMO/TD-No 942: 6.7-6.8.

Precipitation Verifications to an Ensemble Prediction System Based on AREM

LI Jun, WANG Ming-huan, GONG Ying, LI Can, LI Wu-jie

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: Based on a regional model AREM (Advanced Regional Eta Model) and its initial conditions and lateral boundary conditions, a Short-Range Ensemble Forecast system which has 11 members in 37km horizontal resolution over China is structured by using BGM scheme. The system was run daily in a quasi operation and evaluated for two months during flood season in 2009. The results show that ensemble forecasts have an advantage over the single deterministic forecasts with additional forecast information. As for the T_s score the ensemble average forecast can improve forecast accuracy of precipitation with a lower rainfall grade. It shows that probability forecast seems to be better than ensemble average forecast and control forecast. Furthermore, the decision-making forecast will be more scientific by analyzing various ensemble products comprehensively.

Key words: Short-range ensemble forecast; AREM model; Precipitation forecast; Result verification

(上接第 19 页)

Study on the Conceptual Model of Satellite Images for Short-time Rainstorm in Hubei Province

WEI Hui-hong¹, ZHAO Yu-chun², LONG Li-min¹, WANG Chong-zhou¹

(1. Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074;

2. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: Focusing on the main regional rainstorms taking place from 2003 to 2008 in Hubei province, the data from the satellite images of FY-2C, GMS, GOES and the conventional observation data are used to analyze the evolvement characteristic of MCC leading to a rainstorm. The five types of the satellite image models in short-time forecasting are created on the basis of summarizing large-scale circulation and evolving characteristics of cloud clusters. The models include the vortex and cold trough moving eastwards model, the cold shear line moving southwards model, the spring warm reverted trough model, the Meiyu front shear model and the typhoon moving westwards model. The short-time rainstorms mainly happen in the shear cloud band. The shear cloud bands of the spring warm reverted trough model and the vortex and cold trough moving eastwards model represent the direction from northeast to southwest, and the rainstorm cloud clusters move from the northeast to the southwest. The shear cloud bands of the cold shear line moving southwards model and the Meiyu front shear model represent quasi east-west in direction, and the rainstorm cloud clusters move along a quasi east-west.

Key words: Rainstorm; Shear cloud band; Conception Model of satellite images; Short-time forecasting