

傅娜,陈葆德,谭燕,等. 2013. 基于快速更新同化的滞后短时集合预报试验及检验. 气象, 39(10):1247-1256.

基于快速更新同化的滞后短时 集合预报试验及检验^{*}

傅 娜^{1,2} 陈葆德³ 谭 燕³ 周伟灿¹

1 南京信息工程大学, 南京 210044

2 浙江省舟山市气象局, 舟山 316021

3 上海台风研究所, 上海 200030

提 要: 本文基于华东区域中尺度快速更新同化数值预报模式系统(Shanghai Meteorological Bureau-WRF ADAS Rapid Refresh System, SMB-WARR), 应用时间滞后法进行集合预报试验, 试验由 7 个集合预报成员组成, 进行逐小时预报, 预报时效为 6 h。本文通过对 2011 年 6 月 17 日至 9 月 30 日期间降水过程进行集合预报试验, 引入面雨量对降水预报进行检验。结果表明: (1) 小-大雨量级, 集合平均优于集合成员预报, 但暴雨量级集合平均不及部分集合成员预报。 (2) 不同的降水量级, 并非都是最接近预报时刻, 技巧最高, 小-大两量级的降水可以提前 6 h 预报。 (3) 降水概率预报优于集合平均预报, 具有很好的指示作用。可关注最接近预报时刻, 小-中雨以上的降水, 预报概率较大时, 其可用性较大, 而大-暴雨以上的降水, 预报概率较小时, 可用性较大。

关键词: 时间滞后, 集合预报, 面雨量, 短时临近预报

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.10.002

Time-Lag Ensemble Forecasting Experiment and Evaluation Based on SMB-WARR

FU Na^{1,2} CHEN Baode³ TAN Yan³ ZHOU Weican¹

1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Zhoushan Meteorological Bureau of Zhejiang, Zhoushan 316021

3 Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

Abstract: Based on East China regional mesoscale numerical forecast model system (Shanghai Meteorological Bureau WRF ADAS Rapid Refresh, SMB-WARR), the time-lag ensemble forecasting experiment with 7 ensemble members is conducted and routinely updated every hour with hourly output through 6 h forecast length. Evaluation of the hourly area rain of Shanghai from June 17 to September 30, 2011 shows that ensemble mean has better performance than any other members at light to heavy rain levels but worse performance than some members at rainstorm level. Meanwhile, the skill of the latest forecast is not the best and the light to heavy rain could be well forecasted 6 h in ahead. Furthermore, the probability forecast has an advantage over the ensemble mean, and has good directions for the happening of rain in the very short range, also the large (little) probability is more useful at light to moderate rain levels (heavy rain to rainstorm levels) especially the latest forecast.

Key words: time-lag technique, ensemble forecasting, area rain, very short range forecast

* 上海市科委科研计划项目课题(10231203700)资助

2012 年 7 月 21 日收稿; 2013 年 5 月 11 日收修定稿

第一作者: 傅娜, 主要从事中尺度天气集合预报的研究. Email: funa20051301130@163.com

引言

集合预报作为最新发展的新一代动力随机预报技术,被世界气象组织(WMO)列为未来数值预报的四大发展方向之一。1992 年 12 月美国国家环境中心(NCEP)(Toth et al, 1997)和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)(Molteni et al, 1996)的中期集合预报投入业务运行,随后中期集合预报系统开始在国内的数值预报业务体系中发挥越来越大的作用。随着计算机的快速发展和中期集合预报的成功,Brooks 等(1995)首先试验了短期集合预报应用在数值天气预报中的可行性。至此以后,越来越多的研究工作者致力于短期集合预报,主要集中在强降水过程(Du et al, 1997; Hamill et al, 1997)、温带气旋的爆发(Stensrud et al, 1999)及其他高影响天气等。例如 Du 等(1997)利用中尺度模式进行短期集合预报研究了初始条件不确定性对于定量降水的影响。Hamill 等(1997)研究指出短期集合预报有利于提高降水概率预报(PQPFs)。Stensrud 等(1999)利用 Eta 模式进行气旋位置预报,发现水平分辨率为 80 km 的集合平均预报与 29 km 的单一确定性预报具有的预报性能相当。

我国是世界上较早研究和建立集合预报系统的国家之一,在短期集合预报技术和应用方面取得了一定的进展。王晨稀等(2003)利用 MM5 模式通过不同的物理参数方案对 1999 年华东地区梅雨期间的 3 个降水个例进行 48 h 集合预报,指出不同集合成员的预报结果各不相同,积云参数化方案对降水的影响比边界层参数化方案对降水的影响大。陈静等(2003a; 2003b)利用不同物理过程参数化方案组合的模式扰动法开展中国暴雨短期集合预报的可行性,结果表明在短期数值预报中,非绝热物理过程对高度场预报影响较小,但边界层方案和对流参数化方案对产生暴雨的 3 个基本条件影响很明显;对中国热力场较均匀的暴雨过程,可以通过扰动模式的边界层和对流参数化方案,构造集合预报模式。陈超辉等(2009)利用多模式进行 2003 年江淮汛期短期集合预报方法研究,指出不同的模式对于降水响应不同。周霞琼等(2003)用正压模式进行了热带气旋路径集合预报试验,指出滞后平均法对热带气旋路径预报具有较好的改进作用。

虽然短期集合预报的研究应用已有了初步成

效,但往往空间尺度小、生命周期短的突发性强灾害天气过程对人民的生命财产带来的威胁更大,例如雷暴、局地大暴雨等。WMO 2005 年定义的临近预报为 0~6 h 的天气预报,而短期集合预报主要提供区域内 0~48 h 间的预报,例如降水预报往往关注 6 h 以上的累积降水,同时其水平分辨率主要在 10 km 以上(王晨稀等, 2003; 陈静等, 2003a; 2003b; Yuan et al, 2007),有时不能捕捉到一些中小尺度的系统而导致漏报,无法满足人们对短时临近天气预报的需求。当前国内业务上应用的短时临近预报一般基于雷达资料、卫星资料的外推,部分地区建立了区域短时临近天气预报系统。虽然这些短时临近预报技术对于强对流天气提供了一定的指示作用,但大部分预报产品的时效太短,仅为 1 h(Chen et al, 2009)。NCEP(Zhou et al, 2010)利用现有的快速更新循环(Rapid Update Cycle)和北美中尺度(North American Mesoscale)两个模式的资料输出,采用时间滞后的方法研发甚短期集合预报系统(Very Short Range Ensemble Forecast System, VS-REF),已开发出 11 个与航空天气相关的概率产品,开展的能见度检验表明其预报具有正技巧。但目前国内短时临近集合预报的研究依旧是块空白,需要尽快开展相关方面的研究及应用,使其在防灾减灾中发挥应有的作用。

本文尝试在华东区域中尺度快速更新同化数值预报模式系统 SMB-WARR(Shanghai Meteorological Bureau WRF ADAS Rapid Refresh)基础上,通过时间滞后的集合方法构造产生了 7 个集合成员,并对 2011 年 6 月 17 日至 9 月 30 日期间的上海地区降水进行短时临近集合预报试验,以面雨量的形式进行检验,以尝试提高对大城市精细化短时临近预报的能力。

1 模式与资料

试验模式为华东区域中尺度快速更新同化数值预报模式系统 SMB-WARR(陈葆德等, 2011),该模式的预报范围覆盖华东区域,计算区域中心位置为(30.0°N, 119°E),水平分辨率为 3 km,格点数为 525×625,垂直层次为 51 层。模式主要针对短时临近天气,为每小时起报一次,预报时效为 12 h, 24 h 循环,其中在每日的 18 时(UTC, 下同)进行冷启动。系统初猜场为 GFS 每日 12 时起报的 6 h 预报

场,其余时刻的初猜场为 SMB-WARR 的 1 h 预报场,通过 ADAS 系统同化观测数据后得到模式初始场,边界场由 GFS 每日 12 时预报场给出。模式采用非静力框架,微物理过程为 WSM 6-class,边界层采用 MYJ 方案,陆面及地表过程分别为 Noah 及 Monin-Obuknov,辐射方案分别为 RRTM 及 Dudhia,没有考虑积云参数化过程。

2 集合成员构成

基于 SMB-WARR 模式,采用时间滞后的集合方法,即用相距 1 h 的不同时刻初始场分别作预报,然后用预报相同时刻的结果构造集合成员,如图 1 所示。以 00 Z 的为例,集合成员包含 00 Z、-01 Z、

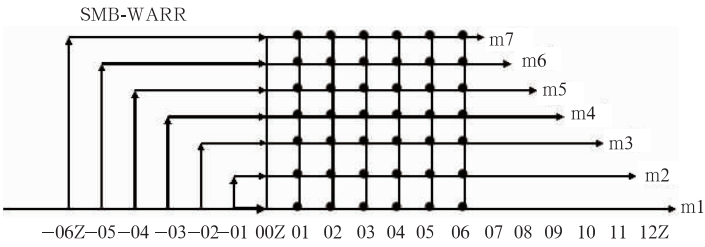


图 1 短时临近集合预报成员构造示意图
Fig. 1 Short-time nowcasting ensemble forecast's membership configuration

-02 Z、-03 Z、-04 Z、-05 Z、-06 Z,共 7 个成员,分别记为 m1、m2、m3、m4、m5、m6、m7,预报时效为 6 h,即图 1 所示的 01、02、03、04、05 和 06 Z。以 SMB-WARR 提供的集合所需的成员,经过后处理,实现每小时起报一次,预报时效为 6 h,以 24 h 作为一次完整的循环周期的短时临近集合预报系统。

3 集合预报检验

对 2011 年 6 月 17 日至 9 月 30 日期间的上海地区降水进行短时临近集合预报试验,以面雨量的形式进行检验,检验方法主要有 TS 评分、偏差 B、漏空报、Talagrand 分布、Brier Skill Score 等。目前,国内外就面雨量的分级还没有统一的标准,尤其是 1 h 面雨量,本文参考董官臣等(2000)其对区域性降水量级面雨量的界定方法,同时基于 1 h 格点上的降水分级,将面雨量分成小雨(0.1~1.0 mm)、中雨(1.0~4.2 mm)、大雨(4.2~9 mm)、暴雨(9~24 mm)、大暴雨(24~30 mm)等 5 个量级,分别检验每个量级 1 h 的预报情况,由于预报资料为逐小时输出,同时水平分辨率较高,检验依据上海地区的自动站资料作为实况。图 2 为上海地区的自动站分布情况,将整个上海划分为 16 个区域(分别记为 a1~a16,包括中心城区、8 个郊区、1 个郊县及 5 个小岛),采用算术平均法进行面雨量计算。由于观测实

况或预报的数据部分缺失,检验的有效样本为,小雨(2453 例)、中雨(998 例)、大雨(305 例)、暴雨(137 例);大暴雨(6 例)暂不考虑。

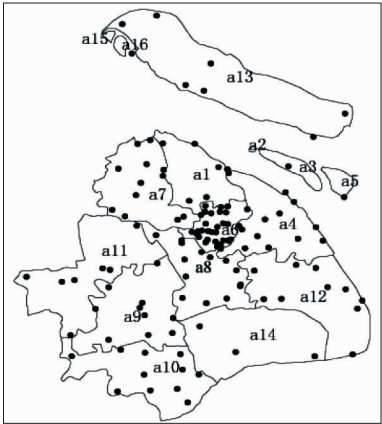


图 2 上海自动站分布图
Fig. 2 Distribution of AWS in Shanghai

3.1 集合平均预报

假设实况比预报雨量低一个等级记为空报,实况比预报雨量高一个等级为漏报,否则击中报对,则 TS 评分、空报率 FAR、漏报率 NAR、偏差 B 的计算公式如下(公颖,2007;陈静等,2003a;2003b;孟英杰等,2008):

$$TS = NA / (NA + NB + NC) \tag{1}$$

式中:NA、NB、NC 分别代表报对、空报、漏报的区

域个数。当预报与实况的降水区域个数完全一致时,则 $TS=1$, TS 越趋近于 0,表明预报技巧越差。

$$FAR = NB / (NA + NB) \tag{2}$$

$$NAR = NC / (NA + NC) \tag{3}$$

$$B = (NA + NB) / (NA + NC) \tag{4}$$

FAR 和 NAR 值越小表示预报技巧越高,二者均为 0 时说明模式预报完美。而偏差 B 中小于 1 代表漏报多,大于 1 代表空报多。

图 3 为各降水量级所有集合成员与集合平均预报(这里指等权平均)的 TS 评分,得到结果如下:
(1)平均而言集合成员的 TS 评分随降水量级增大而减小,小雨最高,中雨次之,其次是大雨和暴雨,但

随着降水量级的增大,集合成员之间的预报技巧差异变大,尤其是暴雨量级,且部分集合成员的 TS 评分比大雨时的集合成员预报要高;(2)小-大雨量级集合平均 TS 评分比所有集合成员要高,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,但由于平滑作用,暴雨量级集合平均 TS 评分不如部分集合成员好;小-中雨量级集合平均的表现相当,大-暴雨量级时集合平均的预报技巧明显降低;(3)小-大雨量级的 TS 评分随起报时刻的变化浮动较小,预示着可以提前 6 h 预报,同时说明并非都是最接近预报时刻,技巧最高;(4)暴雨量级的 TS 评分随预报时刻的临近而增大,可关注最接近预报时

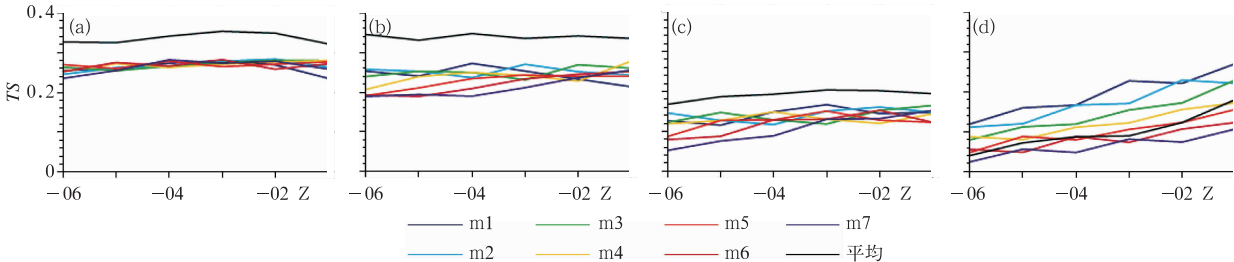


图 3 所有集合成员和集合平均的 TS 评分
(a)小雨, (b)中雨, (c)大雨, (d)暴雨

Fig. 3 The TS score of ensemble mean and all members
(a) light rain, (b) moderate rain, (c) heavy rain, (d) rainstorm

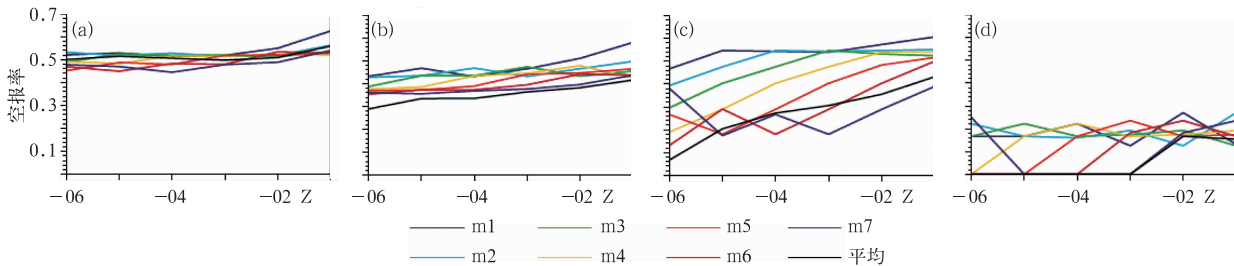


图 4 所有集合成员和集合平均的空报率
(a)小雨, (b)中雨, (c)大雨, (d)暴雨

Fig. 4 Same as in Fig. 3, but for false ratio

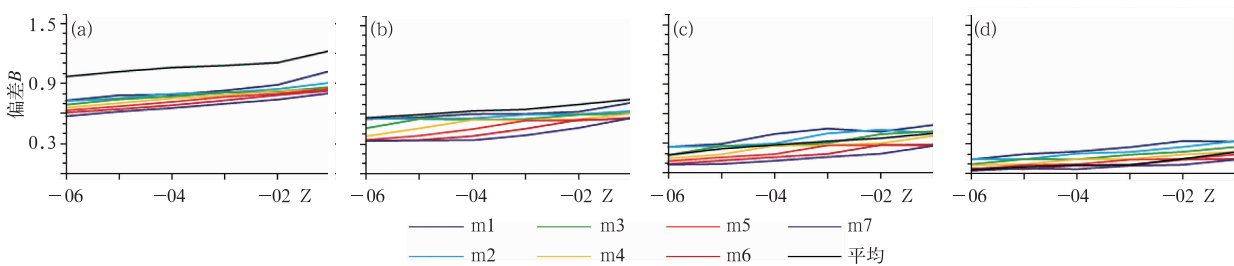


图 5 所有集合成员和集合平均的偏差 B
(a)小雨, (b)中雨, (c)大雨, (d)暴雨

Fig. 5 Same as in Fig. 3, but for Bias B

刻。此外,本文使用的暴雨样本(137 例)较少,可能会对暴雨量级的检验结果产生一定的影响。

图 4 为集合成员和集合平均的空报率,可见空报率随降水量级的增大而减小,大雨及以上,尤其是暴雨量级空报率值比其他量级的要偏小,起报时刻为-06 Z~-03 Z,集合平均和部分集合成员出现空报率为零,说明对于暴雨量级,模式预报的降水偏弱。而集合平均出现空报率的可能相对于所有集合成员处于中间略偏小的位置,例如图 4b 集合平均的空报率低于所有集合成员;而漏报率的集合成员之间的统计结果基本与空报率相反(图略),但集合平均在小-大雨量级时漏报率一直低于所有集合成员,只在暴雨量级时,集合平均稍高于部分集合成员。为了更好地再现集合预报对于降水的相对漏空报情况,进行偏差 B 评分。从图 5a 可见,只在小雨量级时集合平均出现偏差 B 大于 1,说明集合平均在小雨量级时出现空报的可能最大,但总体而言无论是集合成员或是不同的降水量级,出现小于 1 的更多,即模式更偏向于漏报或者说强度报得偏弱,且降水量级越大,漏报情况更明显,集合平均的变化幅度更大。

综合分析分级降水的 TS 评分、漏空报情况可见小-大雨量级时,集合平均要优于集合成员预报,而暴雨量级,集合平均不及部分集合成员,但是暴雨样本有限,还需要更多的资料来进一步验证。

3.2 集合预报可靠性分析

一个好的预报系统必须满足的首要条件就是可靠性(马清等,2008),采用 Talagrand 分布进行分析,它是用来检验预报值和检验值是否都是来自相同的概率分布(Hou et al,2001)。Talagrand 等(1997)认为一个“好”的集合预报系统的标准是每个成员似乎以相同的概率发生。在本研究中理想的平均概率应当为 1/8,由各个成员概率分布绘制的 Talagrand 分布(如图 6),可以发现不同起报时刻的 Talagrand 分布基本偏 U 型,等级为 1 时的概率相对较高,主要由于小量级降水空报现象较多造成的,同时等级为 8 的概率也高于理想概率,这与降水量级较大时模式预报偏弱有关。从 Talagrand 分布说明时间滞后的集合预报系统有一定的降水预报效果,但是其离散度还不够理想,这与 Lu 等(2007)使用 RUC 系统进行时间滞后短时临近集合预报时对于温、压、湿、风(不包括降水)的离散度检验结果较

为一致。导致较小的离散度原因有(Hamill,2001):第一时间滞后的集合预报系统是有单一的模式集合构成,无法很好地展现不同模式之间的差别,而不同模式之间可以引起很大的集合离散度;第二集合成员直接来自预报,没有进行繁殖循环;第三集合成员的初始时间太接近,尤其是本文中的成员需为下一个成员提供初猜场,使得原本就小的差距在相同模式动力过程中变得更小;第四少量的集合成员降低了捕捉到所有预报不确定性的能力。度量集合预报优劣的另一个标准是 Q 值,本文的概率均方差 $Q=0.09$,一般 Q 值越小越好,表明集合预报更高的可信度。

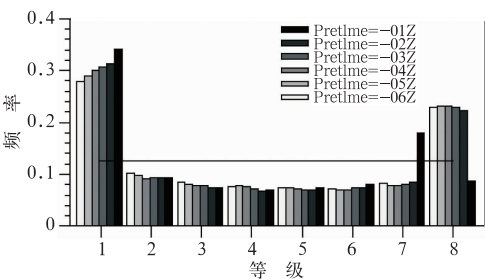


图 6 不同起报时刻的 Talagrand 分布
Fig. 6 Talagrand diagram at different predicting time

3.3 概率预报

集合预报是单一确定性预报向多值的概率预报转变的关键技术基础(陈静等,2002;杜钧等,2010),概率预报是表达集合预报最全面的方法之一。由于每一种检验方法对系统表现都有其特殊的含义,故应综合各种不同的检验方法来评估集合预报、概率预报的表现(Hou et al,2001)。Brier 技巧评分(Brier Skill Score,BSS)(Brier,1950)针对不同量级以上降水概率预报应用价值进行检验。同时采用 ROC(Relative Operating Characteristics)(Mason,1982)曲线检验不同量级以上降水概率对于天气事件的分辨能力。此外,针对不同量级以上降水,检验不同降水概率预报等级对应的 TS 评分高低,了解不同概率等级预报的可用性。

3.3.1 Brier Skill Score

Brier(1950)定义了一种均方概率误差,其综合考虑了可靠性、分辨能力和不确定性,该方法已在定量降水概率预报评估中得到了广泛应用(Ferro,2007),计算公式如下:

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2 \tag{5}$$

式中, N 为二分类事件的预报数, f_i 表示某一天气事件发生的预报概率, o_i 表示实况(当事件发生时取 1, 事件不发生时取 0), 其值越小越好, BS 为 0 表示概率预报最佳, BS 为 1 表示预报失效。基于 BS , 常用的 Brier 技巧评分, 计算公式如下:

$$BSS = (BS_{\text{ref}} - BS_f) / (BS_{\text{ref}} - BS_{\text{per}}) \tag{6}$$

式中, BS_{ref} 、 BS_f 、 BS_{per} 分别表示参考预报、集合概率预报、完美概率预报的 BS 评分。 BS_{ref} 通常使用气候平均概率预报的 BS 评分, 本文计算中采用集合平均的 BS 评分。完美概率预报的 BS 评分 $BS_{\text{per}} = 0$, 因此式(6)表示为:

$$BSS = (BS_{\text{mean}} - BS_f) / BS_{\text{mean}} \tag{7}$$

式中 BSS 表示了概率预报对集合平均预报的改进程度, $BSS > 0$, 表示概率预报有意义, 当 $BSS < 0$, 表示概率预报不如集合平均预报, 当 $BSS = 0$ 时, 表示概率预报的技巧与集合平均预报相当。

图 7 为不同量级以上降水的 BSS 评分, 其值都大于 0, 说明概率预报有意义, 并且随着降水量级的增大, BSS 值显著增大; 无论降水量级如何, 起报时间越晚, BSS 值越小。从 BSS 值发现集合概率预报对暴雨量级的降水预报效果相对其他量级较好, 这与 Li 等(2011)、李俊等(2010)对降水概率预报的 BSS 检验结果一致, 由于 BSS 评分对事件发生的气候频率比较敏感, 事件发生的越稀少, 就越容易得到一个好的 BSS 评分(涂锴等, 2010)。此外, 从 BS 和 BSS 评分的计算方法出发得到, 本文中实况未发生(即 o_i 为 0), 而预报出现不同程度的概率预报的个例较多, 由于小(大)降水量级的预报概率相对偏大(小), 使得 BS 值偏大(小), 对应 BSS 值偏小(大), 这与前面所得到的小(大)降水量级出现空报

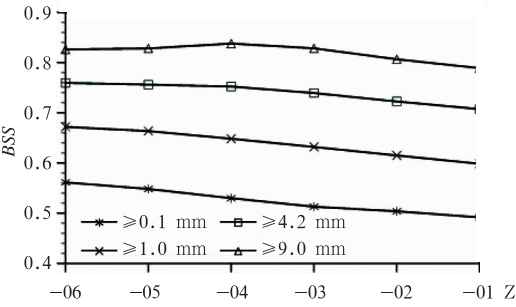


图 7 不同量级以上降水的 BSS 评分

Fig. 7 The Brier Skill Score of different rain grades

的可能性相对较大(小)的结论一致。因此, 从 BSS 评分表明概率预报优于集合平均预报, 且随降水量级的增大而更具有应用价值。

3.3.2 Roc 检验

采用 Roc 曲线检验不同量级以上降水概率预报对于天气事件的分辨能力, 其原理是将信号探测理论应用到数值预报的二分类要素预报的检验方法中(Stensrud et al, 1997)。如果 Roc 面积($ARoc$)等于 1 时, 认为集合完美, 当 $ARoc$ 大于 0.5 时, 即当 Roc 曲线位于对角线上方时为有技巧预报, 否则即无技巧。检验发现(图 8)无论降水量级如何, $ARoc$ 都大于 0.5, 呈现越接近预报时间, 技巧越高的现象, 并且量级越小, 不同起报时间之间的差异越小, 说明对于小量级的降水可以提前 6 h 进行预报; 小量级的降水, 命中率相对假警报率的散点分布相对均匀, 而较大量级的点主要集中在左下角; 针对不同降水量级, 将所有起报时刻的 $ARoc$ 做算术平均, 发现所有量级的 $ARoc$ 都在 0.65 以上, 其中 $\geq 0.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 $ARoc$ 最大, 为 0.78, 而 $\geq 9.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 $ARoc$ 相对较小。从 Roc 检验说明此集合系统能够识别具体的天气事件, 同时相对于小量级的降水预报更为准确。

3.3.4 不同概率预报的可用性

为了进一步了解不同量级以上, 不同概率降水预报的可用性, 假设预报概率达到 10%, 20%, ..., 90% 时将会发生降水, 分别检验小雨、中雨、大雨、暴雨以上不同概率等级的预报评分。图 9 为集合平均预报和 9 个概率等级预报的 TS 预报评分, 得到的结果如下: (1) TS 评分随着降水量级增大而减小, 其中大、暴雨以上之间的差距较小; (2) 小雨以上降水(图 9a), 不同时间起报的预报技巧随着概率等级的增大差异增大, 到大概率等级时, 起报时间越晚技巧越高, 其中在概率 80% 时, 起报时刻为 -01 Z 预报技巧最高, 而小概率等级时, 起报时间越早技巧越高, 但是不同时间起报的预报技巧差异不明显; 中雨以上降水(图 9b)也有相似的结论, 只是小概率等级时, 不同时间起报的预报技巧差异比小雨以上的明显; 大、暴雨以上量级时无论概率等级如何都是起报时间越晚预报技巧相对越高, 此外不同于小量级以上降水, 反而概率等级较低时预报技巧相对较高, 尤其是暴雨以上量级, 当概率等级 $\geq 60\%$ 时, 起报时间较早的预报技巧已接近零; (3) 小雨以上的降水预报, 集合平均预报效果略好于小概率等级及较早时

刻起报的概率等级为 90% 的预报。随着降水量级的增大,集合平均与概率等级预报效果最好之间的

差异减小。

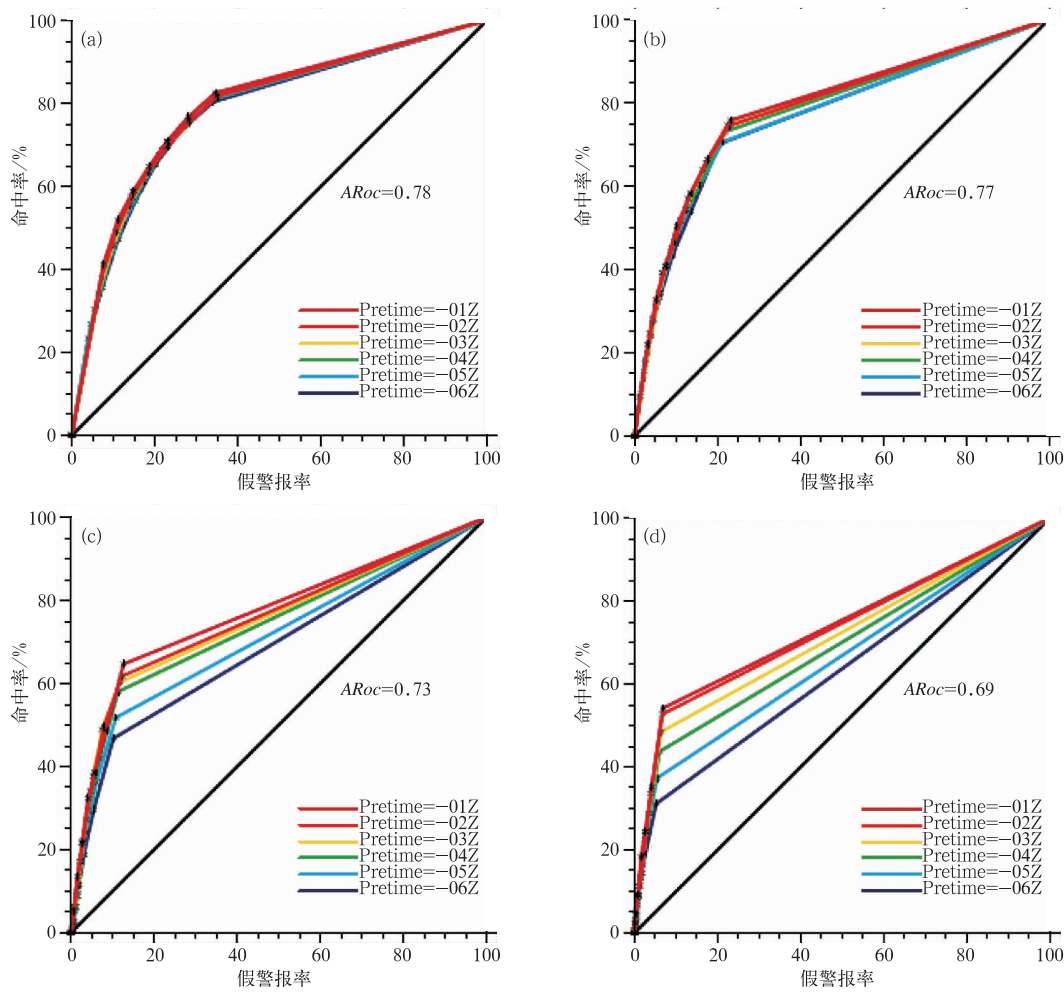


图 8 不同起报时刻的 Roc 曲线降水量
(a) $\geq 0.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (b) $\geq 1.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (c) $\geq 4.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,
(d) $\geq 9.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

Fig. 8 Roc diagrams for different predicting time with precipitation amount
(a) $\geq 0.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (b) $\geq 1.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (c) $\geq 4.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, (d) $\geq 9.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

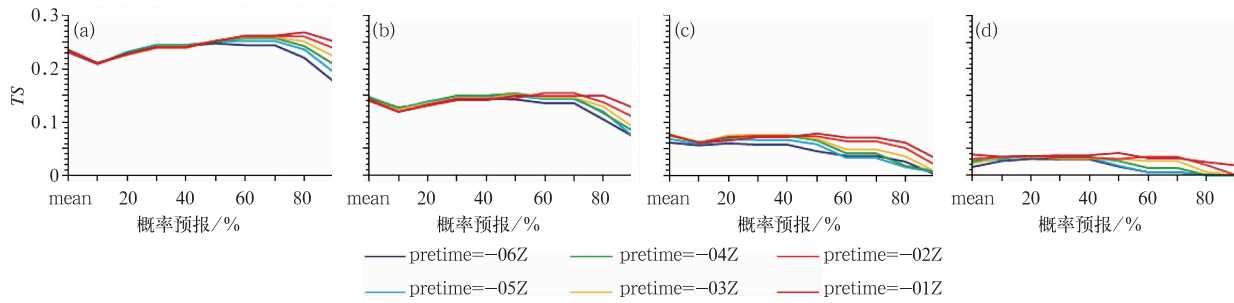


图 9 不同概率等级小雨(a),中雨(b),大雨(c)和暴雨(d)以上不同起报时刻(ptime)的 TS 评分
Fig. 9 The TS score of different rain chances at different predicting time
(a) light rain, (b) moderate rain, (c) heavy rain, (d) rainstorm

综合不同概率等级预报的 *TS* 评分,小、中雨以上的降水,一般起报时间越晚,预报概率较大时,其可用性较大,而大、暴雨以上的降水,一般起报时间越晚,预报概率较小时,可用性较大。可用性较大的概率预报对应的 *TS* 评分一般高于集合平均预报的 *TS* 评分,尤其是小、中雨以上的降水量级。此外,从 *BSS* 评分、*Roc* 检验也说明,合理前提下,集合概率预报产品具有较高参考价值。

3.4 个例分析

为了直观地体现概率预报的预报效果,用一次短时强降水个例说明。2011 年 6 月 17—19 日,上海地区出现入梅后最强降雨过程,高、低空大气环流形势,属于典型梅雨的系统配置。高空 500 hPa 的等高线比较平直,上海正处于东亚浅槽的前部,受偏西气流控制,850 hPa 低空切变线横穿上海中北部地区,低空西南风急流带来充沛的水汽,使得低空

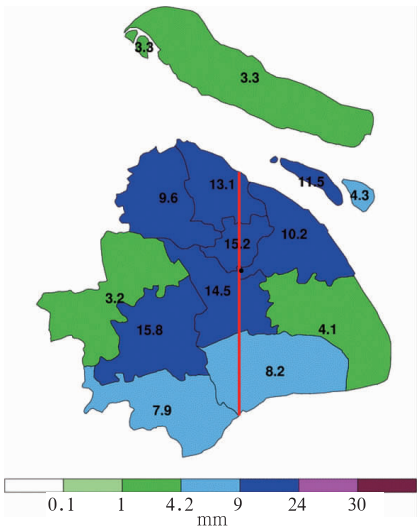


图 10 18 日 14 时 1 h 区域平均的实际累计降水

Fig. 10 1-h regional mean accumulated precipitation at 14:00 BT 18 June 2011

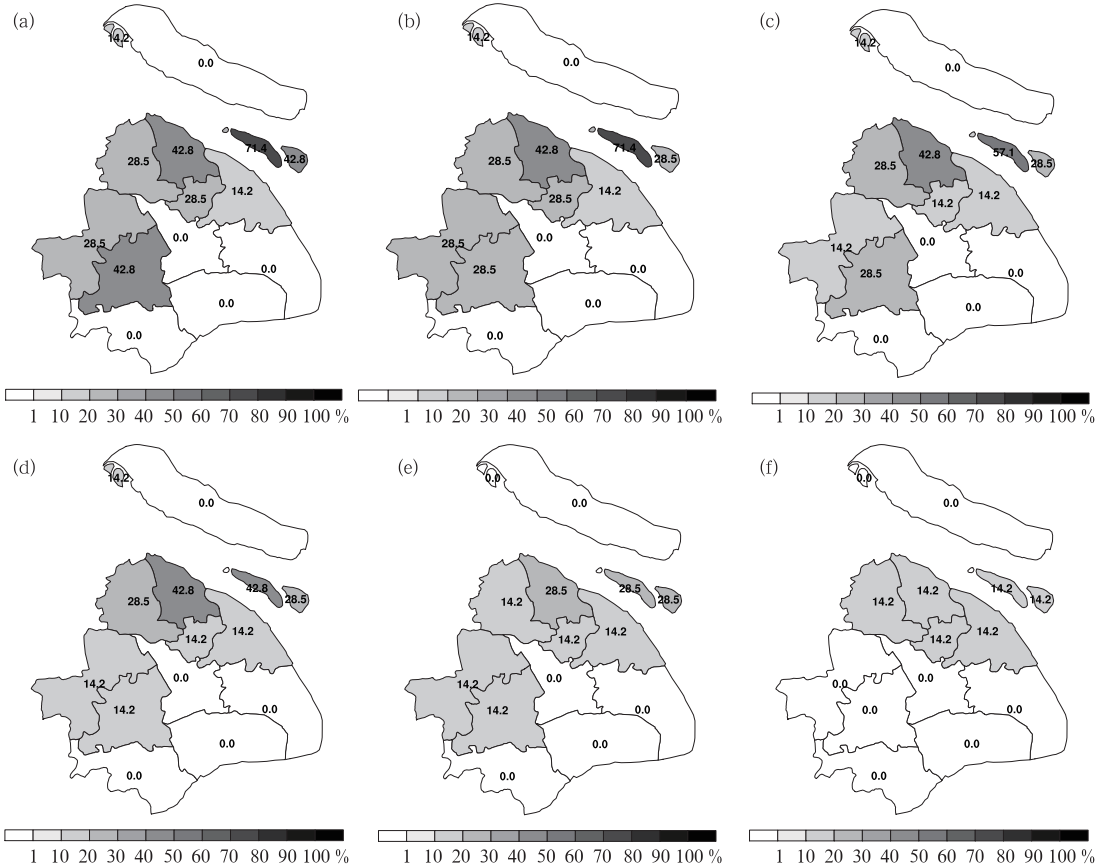


图 11 不同起报时刻对于暴雨以上的降水概率预报

(a—f) 分别表示起报时刻—06 Z—01 Z

Fig. 11 Probability forecasts of rainstorm happening at different predicting time

(a) predicting time=—06Z, ..., (f) predicting time=—01Z

975 hPa 到高空 500 hPa,上海地区的相对湿度都达到 90%以上。由于东移切变线影响,全市多次出现短时强降水,1 h 降水可达到暴雨甚至大暴雨的量级,此外大多数自动站均观测到 48 h 累计降水 80 mm 以上,最高出现了 210 mm,上海气象局期间多次发布暴雨橙色或黄色预警。从中选取 18 日 12—19 时的一次短时强降水过程进行分析,降水量主要集中在 13、14、16 时,其中 14 时最大(见图 10),上海大部分地区出现暴雨量级的降水,图 10 中南北线贯穿奉贤(a14)、闵行(a8)、中心城区(a6)、宝山(a1)4 个区,线上黑点代表徐家汇,4 个地区都出现了大雨及以上的量级。

图 11 为不同起报时刻,对于暴雨以上量级的降水概率预报,从图中可见,基本上所有起报时刻上海北部都有小概率显示,而从检验可知对于暴雨以上量级的降水概率预报,小概率预报具有较大的可用性,此例中小概率预报出暴雨的情况与实况吻合度较高,只有青浦(a11)在起报时刻为-06Z 至-02Z 时实况未出现强降水,对闵行(a8)地区所有起报时刻都出现了暴雨漏报,其余地区与实况吻合度较好,而且整体的强降水分布也基本与实况一致。图 12

为图 10 中南北线所经过的 4 个区的集成员 m1 和集合平均对于 14 时的 1 h 累计降水预报的时间序列图以及所有集成员的箱线图。从箱线图可见,集成员对此次降水的预报差异较大,如中心城区(图 12c)与宝山(图 12d)实况为暴雨,箱线图最大降水量已达到暴雨的量级,所以在图 11 暴雨以上的降水概率预报中有小概率显示,而闵行(图 12b)箱线图最大降水量未达到暴雨的量级而出现漏报。集合平均和集成员 m1 在此个例中均未达到大或暴雨以上的量级,可能会忽视此次强降水过程,但是相对集成员 m1,集合平均的预报相对较好,尤其是起报时间越早,集合平均预报越接近实况,而集成员 m1 却相反,这是由于个别成员对此次降水的预报较好引起的。此例说明若按照就近原则,单一的确定性预报即集成员 m1 就无法报出大片的强降水地区,导致漏报,这充分体现了集合预报的指导意义,同时当出现大雨及以上的降水量级时,模式趋向于报弱,但是仍有部分成员扑捉到了大量级降水的信息,而单纯依靠集合平均可能会削弱此次降水强度,说明在进行集合平均预报时要重视概率预报尤其是大量级降水的小概率信息。

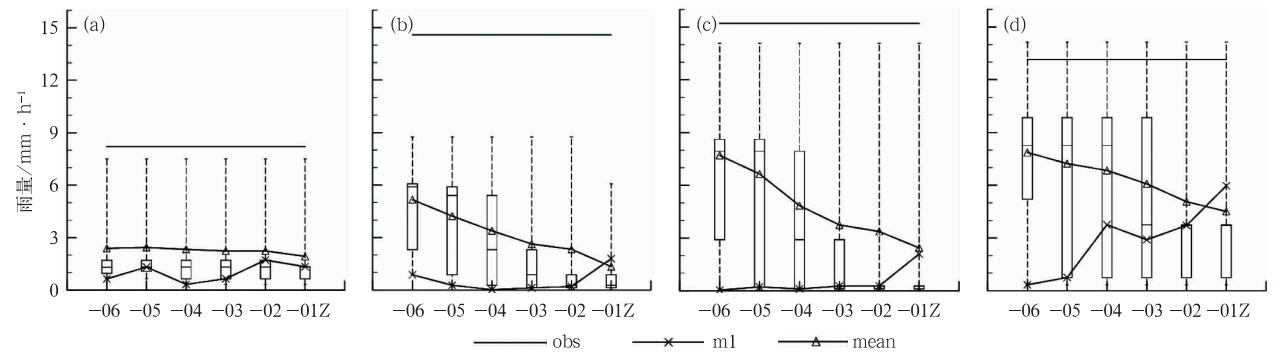


图 12 集成员 m1 和集合平均预报 14 时的降水量及集成员的箱线图
(a)奉贤, (b)闵行, (c)中心城区, (d)宝山

Fig. 12 The 1 h predicted precipitation of ensemble m1, ensemble mean and all members for 4 areas
(a) Fengxian, (b) Minghang, (c) City center, (d) Baoshan

4 小结与讨论

本文基于华东区域中尺度快速同化更新数值预报模式系统 SMB-WARR,应用时间滞后法进行上海地区精细化短时临近集合预报试验。采用该集合预报系统对 2011 年 6 月 17 日至 9 月 30 日期间的降水进行逐小时预报,针对上海地区的面雨量预报

进行了检验,结果如下:

(1) 小-大雨量级,集合平均 TS 评分高于所有集成员,但暴雨量级集合平均 TS 评分低于部分集成员。降水量级越小空报的可能性更大;但总体而言模式预报更偏向于漏报,或者说强度报弱。不同的降水量级,并非都是最接近预报时刻技巧最高,小-大雨量级的 TS 评分随起报时刻的变化浮动较小,预示着可以提前 6 h 预报。

(2) 从 Talagrand 图分析,集合预报系统有一定的降水预报效果,但是离散度还不够理想。

(3) 概率预报优于集合平均预报,具有很好的指示作用。可关注最接近预报时刻,小-中雨以上的降水,预报概率较大时,其可用性较大,而大、暴雨以上的降水,预报概率较小时,可用性较大,此外 BSS 评分说明概率预报对暴雨以上量级的降水应用价值更大,同时 Roc 检验说明此集合系统能够识别具体的天气事件。

(4) 本文中大雨及以上的样本较少,可能会对检验结果产生一定的影响,需在今后的研究中尽可能增加样本,使检验结果更具代表性。

(5) 本文只采用等权集合平均来分析集合预报的好坏,未考虑不同集合成员间的预报技巧的高低,此外,权重如何优化选择,待下一步研究试验。

参考文献

- 陈葆德,王晓峰,李泓,等. 2011. 上海市气象局数值天气预报业务产品手册, 63.
- 陈超辉,王铁,谭言科,等. 2009. 2003 年江淮汛期多模式短期集合预报方法研究. 热带气象学报, 25(4): 449-457.
- 陈静,陈德辉,颜宏. 2002. 集合数值预报的发展与研究进展. 应用气象学报, 13(4): 497-507.
- 陈静,薛纪善,颜宏. 2003a. 物理过程参数化方案对中尺度暴雨数值模拟影响的研究. 气象学报, 61(2): 203-218.
- 陈静,薛纪善,颜宏. 2003b. 华南中尺度暴雨数值预报的不确定性与集合预报试验. 气象学报, 61(4): 432-446.
- 董官臣,冶林茂,符长锋. 2000. 面雨量在天气预报中的应用. 气象, 26(1): 9-13.
- 杜钧,陈静. 2010. 单一值预报向概率预报转变的基础: 谈谈集合预报及其带来的变革. 气象, 36(11): 1-11.
- 公颖. 2007. 2007 年主汛期 AREM 模式降水预报效果检验分析. 暴雨灾害, 26(4): 372-380.
- 李俊,杜钧,王明欢,等. 2010. AREM 模式两种初值扰动方案的集合降水预报试验及检验. 热带气象学报, 26(6): 733-742.
- 马清,龚建东,李莉,等. 2008. 中尺度集合预报的二阶矩离散度订正研究. 气象, 34(11): 15-21.
- 孟英杰,吴洪宝,王丽,等. 2008. 2007 年主汛期武汉区域四种数值模式定量降水预报评估. 暴雨灾害, 27(3): 273-277.
- 涂锴,韩佳芮,严中伟. 2010. TIGEE 降水预报在局地尺度上的检验与订正. 第 27 届中国气象学会年会灾害天气研究与预报分会场论文集.
- 王晨稀,端义宏. 2003. 短期集合预报技术在梅雨降水预报中的试验研究. 应用气象学报, 14(1): 69-77.
- 周霞琼,张秀珍,端义宏,等. 2003. 滞后平均法(LAF)在热带气旋路径集合预报中的应用. 气象科学, 23(4): 410-416.
- Brier G W. 1950. Verification of forecasts expressed in terms of probability. Mon Wea Rev, 78: 1-3.
- Brooks H E, Stensrud D J, Doswell C A. 1995. Application of short range NWP model ensemble to severe storm forecasting // Preprints, 18 th Conf Severe Local Storm. Sanffancisco: Amer Meteor Soc.
- Chen M, Gao F, Kong R, et al. 2009. A System for Nowcasting Convective Storm in Support of 2008 Olympics. World Meteorological Organization Symposium on Nowcasting And Very Short Term Forecast, Whistler, Canada.
- Du J, Mullen S L, Sanders F. 1997. Short-range ensemble forecasting of quantitative precipitation. Mon Wea Rev, 125(10): 2427-2459.
- Ferro C A. 2007. Comparing probabilistic forecasting systems with the brier score. Wea Forecasting, 22(5): 1076-1088.
- Hamill T M. 2001. Interpretation of rank histograms for verifying ensemble forecasts. Mon Wea Rev, 129: 550-560.
- Hamill T M, Colucci S J. 1997. Verification of Eta-RSM short-range ensemble forecasts. Mon Wea Rev, 125(6): 1312-1327.
- Hou D, Kalnay E, Droegemier K K. 2001. Objective verification of the SAMEX'98 ensemble forecasts. Mon Wea Rev, 129: 73-91.
- Li Xiaoli, Tian Hua, Deng Guo. 2011. Evaluation of the NMC regional ensemble prediction system during the Beijing 2008 Olympic Games. Acta Meteor Sinica, 25(5): 568-580.
- Lu Chungu, Yuan Huiling, Barry E, et al. 2007. Short-range numerical weather prediction using time-lagged ensembles. Wea Forecasting, 22: 580-595.
- Mason I. 1982. A model for assessment of weather forecasts. Australian Meteorological Magazine, 30: 291-303.
- Molteni F, Palmer T N, Buizza R, et al. 1996. The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. Quar J Roy Meteor Soc, 122(529): 73-119.
- Stensrud D J, Brooks H E, Du J, et al. 1999. Using Ensembles for short-range forecasting. Mon Wea Rev, 127(4): 433-446.
- Talagrand O, Vautard R. 1997. Evaluation of probabilistic prediction systems. Workshop on Predictability ECMWF, 10: 20-22.
- Toth Z, Kalnay E. 1997. Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. Mon Wea Rev, 125(6): 3297-3319.
- Yuan H, Mullen S L, Gao X, et al. 2007. Short-range probabilistic quantitative precipitation forecast over the Southwest United States by the RSM Ensemble System. Mon Wea Rev, 135(5): 1685-1698.
- Zhou B, Du J, Geoffdimego. 2010. Introduction to the NCEP Very Short Range Ensemble Forecast System (VSREF). 14th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 90th AMS Annual Meeting, Atlanta, GA.