

文章编号: 2096-1618(2019)06-0650-09

# 2012年7月21日重庆暴雨集合预报试验

马芸萌<sup>1</sup>, 刘海文<sup>1</sup>, 石鹏翔<sup>2</sup>, 侯劭禹<sup>3</sup>

(1. 中国民航大学空中交通管理学院, 天津 300300; 2. 甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉 744000; 3. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为研究 WRF-EnKF 对于重庆夏季暴雨的集合预报效果, 使用地面观测资料、NCEP/NCAR 再分析资料、NCEP/NCAR 高空观测等资料, 根据有无进行资料同化, 用 WRF-EnKF 方法构造 2 组集合预报方案对 2012 年 7 月 21 日重庆强降雨过程进行试验, 通过对该次试验结果进行检验后得出如下结论: 2012 年 7 月 21 日重庆夏季暴雨事件进行集合预报试验表明, WRF-EnKF 集合预报系统基本能够预报出此次重庆夏季强降雨事件的大部分降水范围, 并且集合预报有资料同化时比没有进行资料同化时要更准确。集合预报的 Talagrand 分布图大体呈现“U”型分布, 即“中间小, 两头大”特征, 说明预报系统的离散度偏小; 同时, 另外 2 组试验相对应的实况检验值其分布接近反“L”型分布, 且在高值区上的频率比在低值区的频率高很多, 这也表明集合预报和实况相比仍有一定的偏差。

**关键词:**气象学; 集合预报; WRF-EnKF; 重庆; 暴雨

**中图分类号:** P458.1+21.1

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2019.06.014

## 0 引言

暴雨已成为影响中国的重大灾害性天气之一, 为了提高暴雨预报的准确率, 必须重视发展数值天气预报<sup>[1]</sup>。数值天气预报的本质是以大气当前的状态为依据, 通过模式的向前推进计算, 从而推算出未来可能的天气演变。只有尽可能多地、合理地吸收观测信息, 才能有效改善模式的初始条件。随着科技水平的进步, 不仅气象观测资料的种类和数量越来越多, 而且观测质量较以前也有了很大的提高, 如何合理的使用这些观测资料以提高数值预报的准确性成为现在人们关注的热点问题。资料同化技术就是通过合理、有效使用观测资料不断更正模式的背景场, 有效改善模式初值。近年来, 多种资料同化方法逐步发展, 作为现代数值天气预报的核心被广泛应用<sup>[2]</sup>。集合卡尔曼滤波(EnKF)方法是基于经典卡尔曼滤波方法的一种统计估计理论的顺序同化方法, 其将卡尔曼滤波与集合预报结合在一起, 通过预报集合的样本方差估计得到随气流变化的背景误差协方差, 成为当前数据同化的主流方法之一<sup>[3]</sup>。如今, EnKF 方法被应用于理想数值模式和实际数值模式, 从对流尺度系统的预报到全球尺度系统的预报都有着非常广泛的应用<sup>[4]</sup>。

在中国, 同化方法的提出和改进也受到了广泛的重视<sup>[5]</sup>, 这使同化多种观测资料方面取得了重大的进

展。2010 年, 兰伟仁等<sup>[6-7]</sup>研究了不考虑、考虑模式误差的 2 种情形下, 利用雷暴尺度 ARPS 模式及 EnKF 系统同化多普勒雷达资料的效果问题。2011 年, 庄照荣等<sup>[8]</sup>建立了能够成批同化常规观测资料的基于 GRAPES 模式的 EnKF 同化系统, 验证了其降水预报能力与三维变分相比更准确。2016 年, 乔小湜等<sup>[9]</sup>研究对流尺度集合卡尔曼滤波雷达资料同化中改变雷达的位置对同化效果的影响, 证明通过迭代集合均方根滤波算法同化不同位置的雷达资料能够显著降低分析和预报的误差。与此同时朱浩楠等<sup>[10]</sup>构建了一种基于前后张弛逼近(BFN)和集合卡尔曼滤波方法的新的同化方法, 称为 HBFNEnKF(hybrid back and forth nudging EnKF)混合同化方法, 为了验证此方法的有效性, 还将此同化系统分别与通道浅水模式和全球浅水模式对接进行研究。

文中使用的 WRF-EnKF(Real-time Penn State WRF-EnKF System)模式由美国宾夕法尼亚州立大学 Fuqing Zhang 提供, 在不同地区的台风预报和敏感性试验中都表现出了其优越性<sup>[11-12]</sup>, 该系统能使飓风预报的准确率大程度提高, 体现在其对地面观测资料、雷达径向风等多种资料的同化效果上, 即使其模式初值得到有效改善<sup>[13-15]</sup>。目前, WRF-EnKF 系统已应用于中国南方暖区降水地区的实时确定性预报当中<sup>[16]</sup>。为了在中国重庆地区的多山地形条件下检测该系统的降水预报效果, 把 WRF-EnKF 应用于重庆夏季强降雨个例试验, 对重庆中尺度低涡进行模拟研究并讨论 WRF-En-

收稿日期: 2019-01-08

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(91337215); 四川省科技计划资助项目(2015JY0109)

KF 系统对于重庆夏季强降水事件的可预报性。

## 1 方法数据

### 1.1 资料同化方法

集合卡尔曼滤波资料同化方法是 1994 年 Evensen<sup>[17]</sup>提出的对经典 Kalman 滤波资料同化方法的改进,是集合预报和资料同化的结合。此后,Zhang 等<sup>[18]</sup>在经典理论的基础上将卡尔曼滤波方程改进如下:

$$X^a = X^f + K(y - HX^f) \quad (1)$$

式中, $X^f$ 、 $X^a$  分别代表没有资料同化、加入资料同化之后的模式场, $y$  代表大气的真实状态(观测场), $H$  是模式量到观测量之间转换的观测算子, $K$  是卡尔曼滤波增益矩阵,定义如下:

$$K = P^f H^T (H P^f H^T + R)^{-1} \quad (2)$$

式中, $P^f$  表示背景误差协方差, $R$  表示观测误差协方差。而集合卡尔曼滤波同化方法的关键是利用一组预报集合的样本方差来确定随天气形势变化的背景误差协方差  $P^f$ :

$$P^f = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [x_i^f - \bar{x}^f] [x_i^f - \bar{x}^f]^T \quad (3)$$

式中, $N$  表示集合样本数, $x_i^f$  是第  $i$  个集合成员的预报场, $\bar{x}^f$  为集合预报场的平均值, $T$  表示共轭矩阵运算。EnKF 的背景误差协方差由预报集合的样本方差确定,同时也与模式预报误差密切相关,因此能够合理估计模式误差。

### 1.2 试验设计

选用美国国家环境预测中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ ,垂直分辨率为 27 层的 FNL 再分析资料作为模式背景场及边界条件<sup>[19]</sup>。WRF-EnKF 系统使用的 WRF 模式为 ARW-WRFV3.4.1 版本,模式主要设置有:使用两层嵌套区域模拟(图 1),其中外层嵌套为  $100 \times 100$  个格点,以  $(107^\circ \text{E}, 30^\circ \text{N})$  为中心,水平分辨率为 30 km;内层嵌套为  $211 \times 211$  个格点,水平分辨率为 10 km;垂直共为 35 层,模式顶层为 50 mb;时间积分步长为 120 s;微物理过程选用 WSM6 方案;选用 Grel-Devenyi 集合方案为积云对流参数化方案,仅第一层嵌套使用,内层嵌套关闭;长、短波辐射方案分别为 rrtm 方案和 Dudhia 方案;陆面过程参数为 Noah 方案;边界层方案使用 YSU 方案。

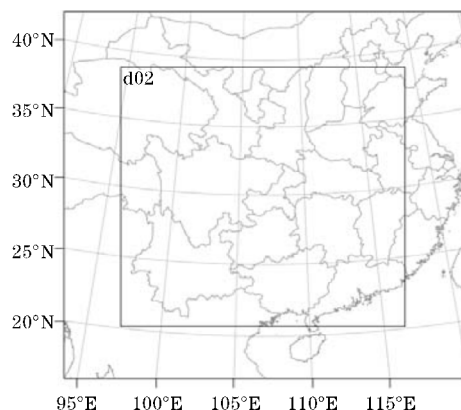


图1 WRF 两层嵌套的模拟区域

集合预报模拟的起始时间为 2012 年 7 月 20 日 06 时 00 分(世界时,下同),预报时效为 48 h,重庆暴雨过程对应于此模拟的 18 ~ 42 h 预报时段,集合预报成员设置为 20 个,共构造 2 组试验:不同化任何观测资料的集合模拟试验,简称未同化组(NODA),未同化组预报试验在 7 月 20 日 06 时通过集合预报系统的 WRF-3DVAR 扰动产生 20 个集合成员,然后向前积分 6 h 到 7 月 20 日 12 时,不同化任何观测资料,直接使用 7 月 20 日 12 时的分析场作为模式的初始条件向前预报 48 h(到 7 月 22 日 12 时);同化高空观测资料的集合预报试验,简称同化组(DA),同化组预报试验在 7 月 20 日 06 时通过 WRF-3DVAR 扰动产生 20 个集合成员后向前积分 6 h,然后在 7 月 20 日 12 时通过集合卡尔曼滤波方法(EnKF)进行了 NCEP 的高空观测资料的同化,其中同化的高空观测资料包含了高空温度和风场要素,之后使用 20 日 12 时的分析场作为模式的初始条件向前预报 48 h(到 22 日 12 时)。

## 2 2012 年 7 月 21 日重庆暴雨

2012 年 7 月 21~22 日,在四川东南部、重庆的西部地区出现的一次暴雨降水过程直接导致了重庆 30 年来最大的洪水灾害“7.24 洪灾”,造成了严重的人员伤亡和经济损失。图 2 给出了 2012 年 7 月 21 日 00 时至 22 日 00 时的 24 h 累积降水量。由图 2 可见,在四川东南部、重庆西部地区出现了大面积的强降水事件,其中荣昌、盘龙等地 24 h 累积降水达到 100 mm 以上。

2012 年 7 月 20 日 00 时至 21 日 00 时(图略),200 hPa 上南亚高压持续控制着青藏高原和四川盆地大部分地区;乌拉尔山附近的阻塞高压和贝加尔湖低压都稳定少动。图 3、图 4、图 5 分别给出了 7 月 21 日 00 时分析场 200 hPa、500 hPa、700 hPa 各层的位势高度和风场。200 hPa(图 3)上重庆上空出现高空急流,重庆位于高空急流出口的右侧。在对流层中层 500 hPa 上(图 4),副热带高压向东退去,在四川盆地北部有高原涡形成,中心位置在  $33^\circ \text{N}, 103^\circ \text{E}$ ,中心值为 5830 位势米。高原涡为低层西南低涡的发展提供



了动力作用并使得其向南移动。在700 hPa(图5)上四川盆地东部靠近重庆地区,与500 hPa高原涡相对应的位置附近,有气旋性涡旋形成。其东南侧的偏南暖湿气流向四川盆地提供了充足的水汽。

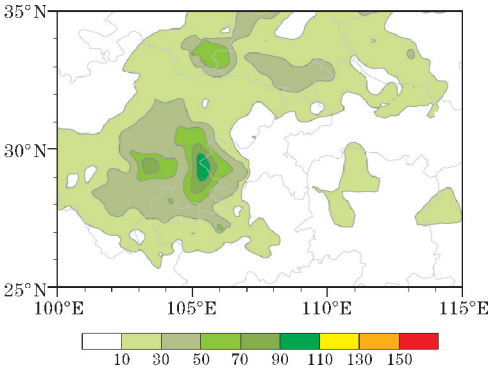


图2 2012年7月21日00时至22日00时24 h观测累计降水量

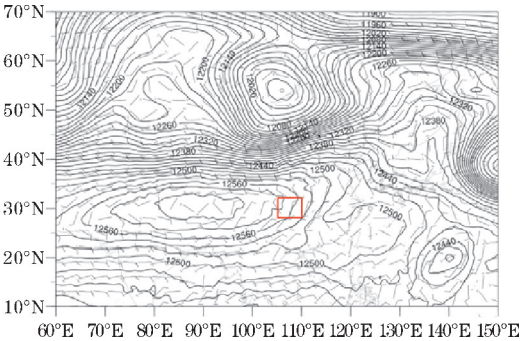


图3 7月21日00时分析场200 hPa 位势高度和风场(红色方框代表重庆)

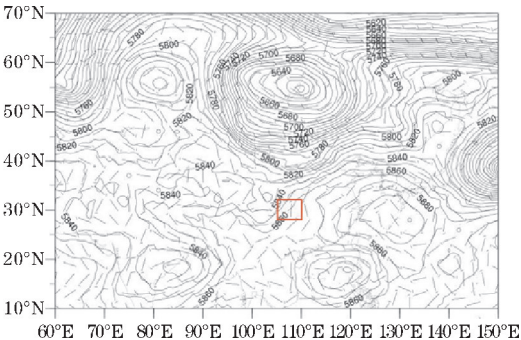


图4 2012年7月21日00时分析场500 hPa 位势高度和风场(红色方框代表重庆)

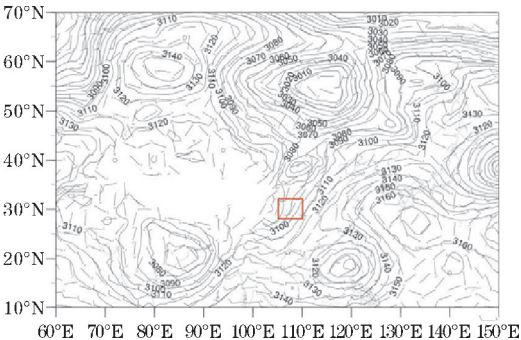
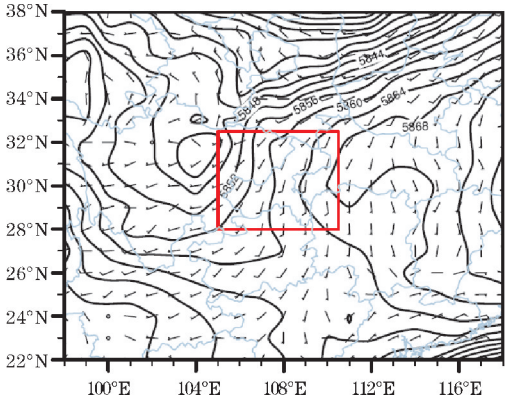


图5 2012年7月21日00时分析场700 hPa 位势高度和风场(红色方框代表重庆)

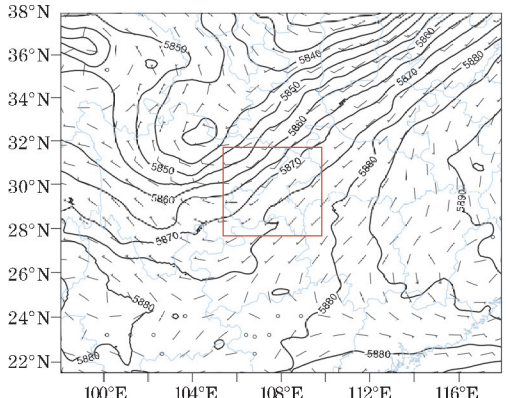
3 试验结果分析

3.1 集合平均

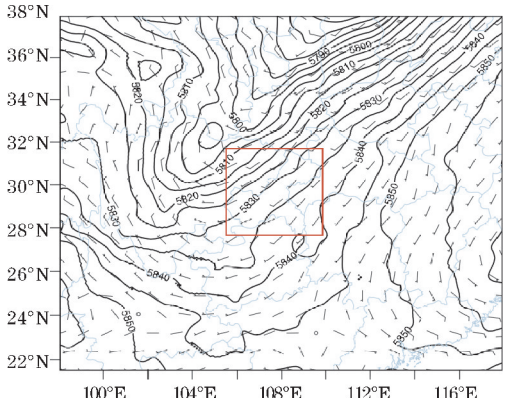
图6为7月21日06时500 hPa上位势高度和风场图,其中图6(a)为分析场,图6(b)和图6(c)分别为同化组(DA)和未同化组(NODA)2组集合预报试验的集合平均,两组预报试验的集合平均都相对比较好的预报出500 hPa上的闭合低值中心。同化组(DA)的中心值位置与分析场大致相同,而未同化组(NODA)的中心值位置稍微偏南。2组试验的中心值都相对分析场(图6a)要偏低,其中同化组(DA)的中心值为5810位势米,未同化组(NODA)的中心值为5780位势米,同化组的中心值相对更接近分析场。



(a)分析场



(b)DA



(c)NODA

图6 2012年7月21日06时500 hPa位势高度



图7给出了同一时间同化组20个集合成员的位势高度的邮票图,由图可见,部分成员预报出了低值中心,部分没有,其中第6个成员对这个低值中心的预报更接近分析场的结果,中心位置位于 $33^{\circ}\text{N}$ , $104^{\circ}\text{E}$ ,邮

票图更好地体现出集合预报的不确定性。由此可见,集合预报的平均结果可以过滤掉不可预报的信息,给出集合预报的总体趋势,该个例表明,集合预报的平均效果要比单个预报结果更加准确。

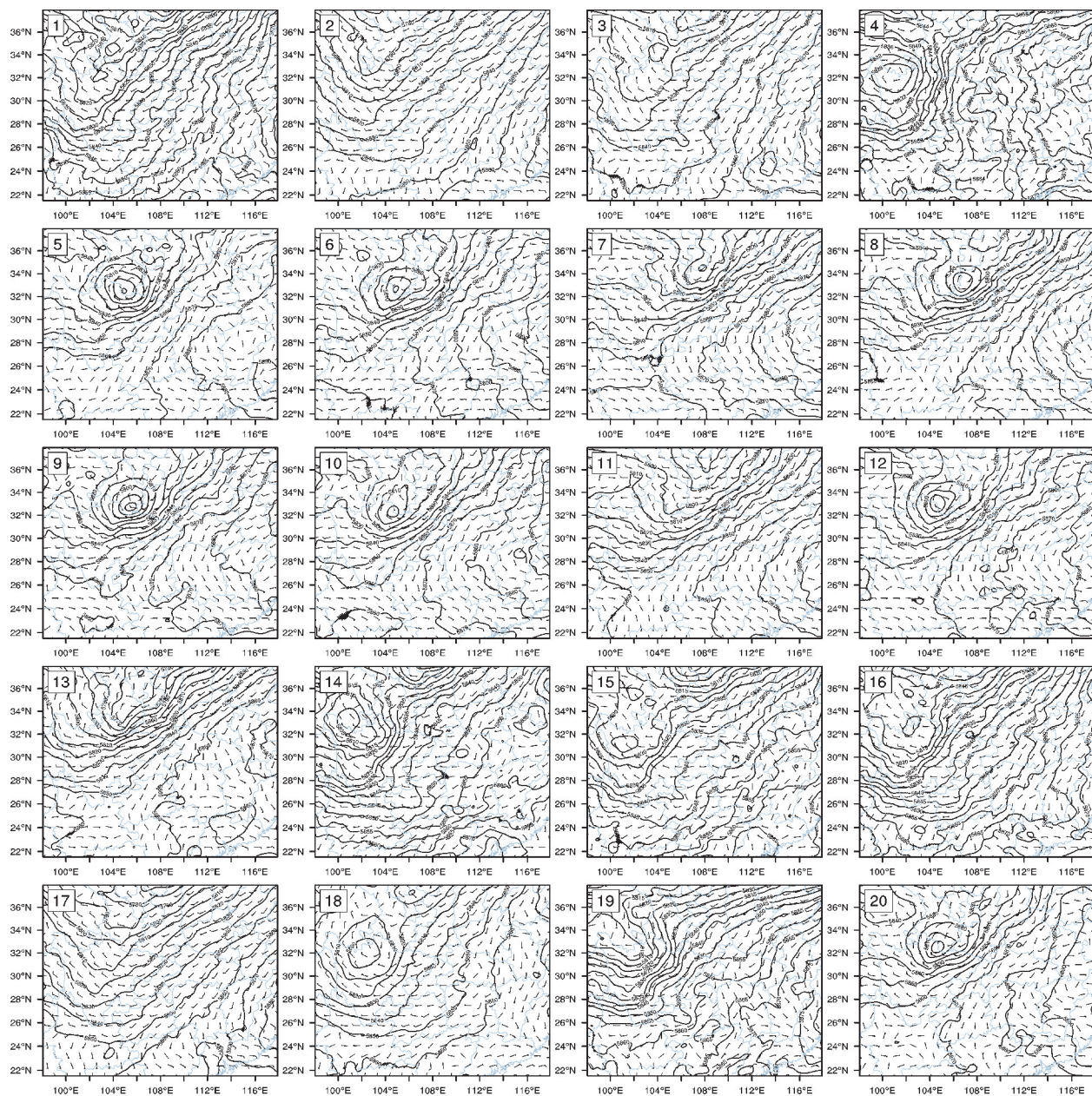


图7 2012年7月21日00时同化组各成员500 hPa位势高度和风向

图8是7月21日累计24 h降水量。从图8可以看到四川东南、重庆西部及其以北地区都出现了明显的降水,此次降水出现了2个降水中心,分别为重庆荣昌和陕西汉中附近,其中重庆荣昌附近部分地区降水超过100 mm。两组预报试验总体上都预报出了上述大部分地区的降水量和2个降水中心,只是降水中心的位置稍微偏离实际降水中心。其中同化组集合平均的南部各量级降水范围相对实况降水较小,降水中心位置比实际偏西,北部的大雨级降水偏大于实况降水,

降水中心位置偏东北;而非同化组在重庆西北部出现了一个东北西南走向的狭长虚假降水中心,其南部的降水中心同样比实际位置偏西,降水强度偏大,北部的强降水范围明显比实际偏大。

图9给出了同化组20个成员7月21日24 h累积降水量。由图9可见,由于生成的扰动不同,同一试验中各成员之间的预报结果也各不相同。虽然总体上大部分的预报成员可以预报出南北2个降水中心,但是预报的降水中心位置各成员之间有所不同,且降水强



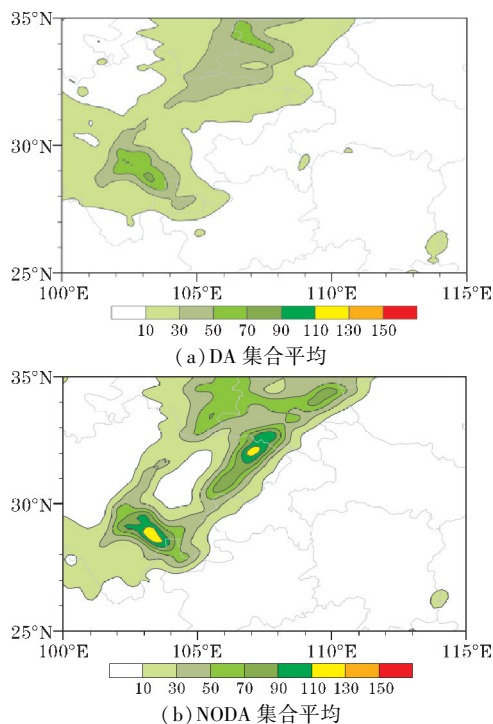


图8 2012年7月21日00时至22日00时24 h 累积降水量

度也有一定的差异。其中成员 13 降水的预报结果和实况更加接近(图 2),但是降水中心的位置和实际相比略微偏西。进一步对比分析图 9 和图 7,可以清楚地看到,即使集合成员能较好地预报出500 hPa等压面上低值中心及其风场,但是该成员预报的降水却未必能预报出和实况接近的降水。比如,成员 8 就能够较好地预报出 500 hPa等压面上低值中心及其流场,但是成员 8 却未能预报出位于陕西汉中的降水中心。另外,成员 2 和成员 17 还出现了和未同化组集合平均降水一样的虚假降水中心,但通过集合平均可以将其过滤掉,而在非同化组试验的集合成员的24 h累积降水量图(图略)中所有成员都出现了虚假降水中心。陈静<sup>[20]</sup>对青藏高原东侧的一次暴雨集合预报试验中表明,中尺度降水预报的结果受局地的降水强度、空间分布形态和时间演变特征等物理参数化方案的影响。因此,使用集合预报结果时,不能仅仅由高空的天气形势以及流场的预报来对降水进行主观预报,还必须要考虑影响中尺度降水预报结果的其他物理参数化方案的影响<sup>[20]</sup>。

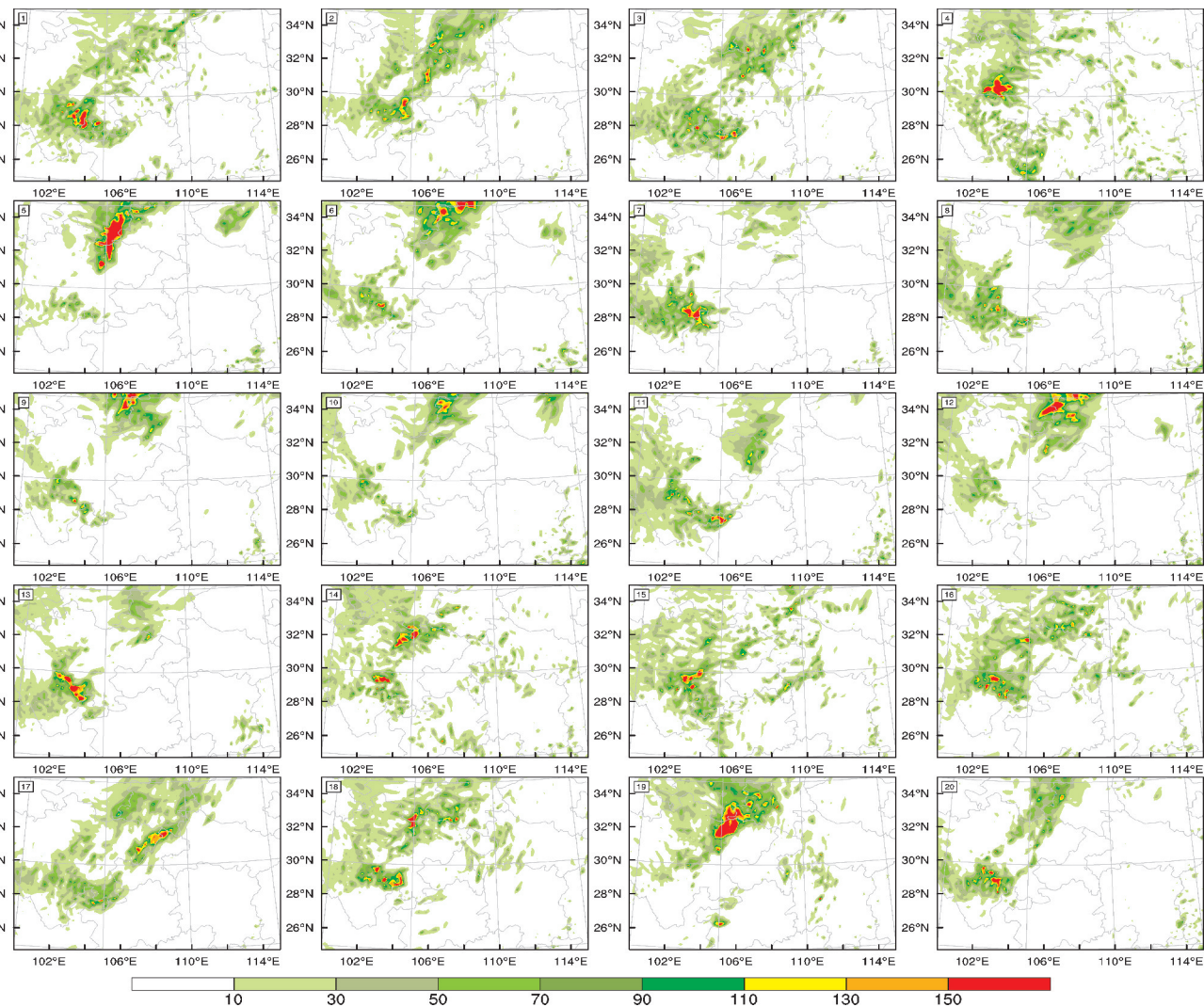


图9 2012年7月21日00时至22日00时同化组20个成员24 h 累积降水量

3.2 降水概率预报

集合预报的概率预报能够提供某个天气事件发生的可能性,从而反映出天气预报的不确定性,这是单个确定性预报所做不到的。图 10 是两组集合预报试验 20 个成员 7 月 21 日 24 h 累积降水量大于 25 mm 的预报概率。可以看到,2 组试验在四川乐山附近的概率都达到了 90% 以上,说明该地区降水发生的可能性极大,这与实况降水情况很接近。非同化组(图 10b)在重庆西北部出现了狭长的超过 50% 的预报概率区,这与之前所述的此处大多成员模拟预报出现了虚假降水中心的情况一致。

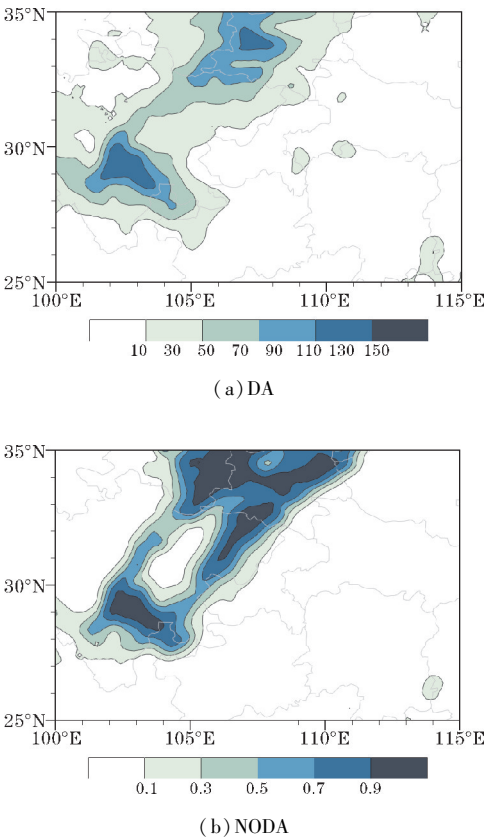


图 10 2012 年 7 月 21 日 24 h 累积降水量大于 25 mm 的预报概率

通常用 BS 评分来检验集合预报的概率预报,BS 的取值范围为 0 ~ 1,其值越小越好。图 11 给出了对上文计算的集合概率预报检验的 BS 评分图。可见,在大于 10 mm 及以上量级,BS 评分随预报量级的提高减小;在大于 25 mm 及以下的量级两组试验的 BS 评分值比较接近,同化组的 BS 评分值略小,而在大于 50 mm 及以上量级中同化组的 BS 评分值明显要小于非同化组的值,说明同化组的概率预报效果要好于非同化组试验。

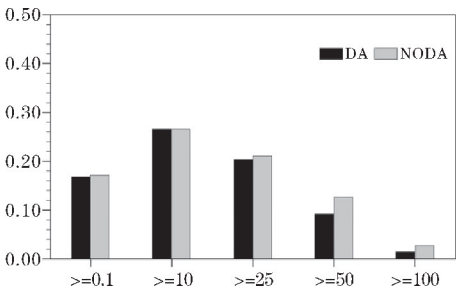


图 11 7 月 21 日 24 h 累积降水量的 BS 评分

3.3 集合离散度

图 12 给出了 7 月 21 日 24 h 累积降水量的离散度,降水量的离散度分布与集合降水预报图(图 8)的分布比较相似,预报降水量较大的地区,离散度也相对较大。集合预报的概率预报和离散度在一定程度上能够给确定性预报提供预报的可信度参考。

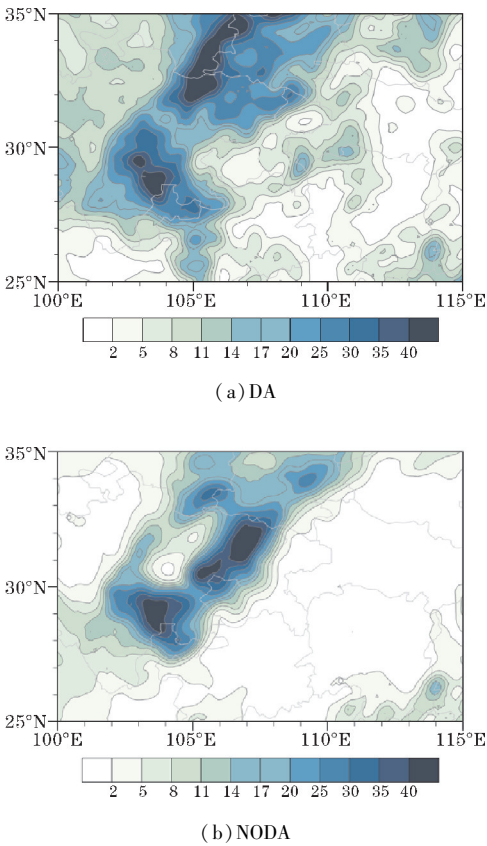


图 12 2012 年 7 月 21 日 24 h 累积降水量的离散度

为了检验预报值和检验值是否都是来自相同的概率分布<sup>[21]</sup>,做了 7 月 21 日 24 h 降水预报的 Talagrand 分布图(图 13)。可以看出,20 个集合成员的理想概率分布约为 5% (图中虚线所示),而 2 组试验的 Talagrand 分布都大体呈现“U”型分布,表明文中所用的集合系统总体的离散度偏小,另外 2 组试验相对应的实

况检验值其分布接近反“L”型分布,且在 high 值区上的频率比在 low 值区的频率高很多,这表明了有一定的偏差存在于集合预报系统。由以上的分析可见,该集合预报系统的离散度均偏小,其原因可能是由于用于检验的气象要素是降水,而降水在数值模拟预报中影响因素较多,预报相对困难。

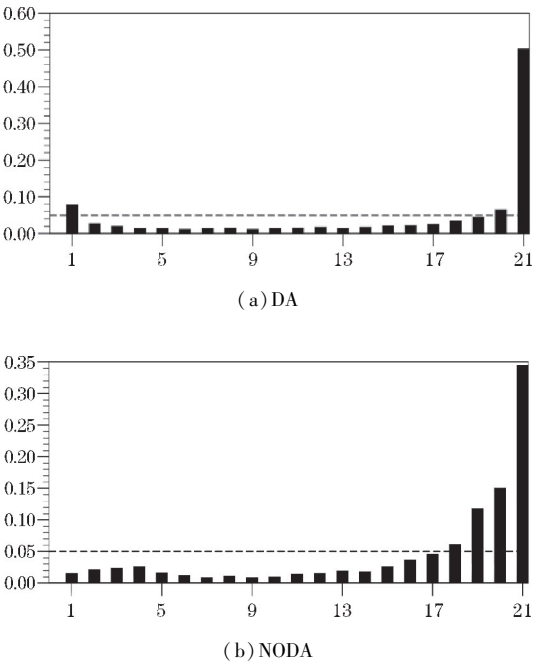


图 13 2012 年 7 月 21 日 24 h 降水预报 Talagrand 分布图  
(虚线为平均概率)

图 14 为重庆荣昌的仁义站所在点 ( $105.48^{\circ}\text{E}$ ,  $29.51^{\circ}\text{N}$ )21 日 00 时到 22 日 00 时的逐小时降水实况,由图 14 可见,该点降水从 7 月 21 日的 14 时开始,21 日 15 时和 16 时的单个小时降水量都超过了 50 mm,且在 21 日的 15 时出现了 122.6 mm/h 的降水量。图 15 分别为同化组 (DA) 和不同化组 (NODA) 集合成员在单点 ( $105.5^{\circ}\text{E}$ ,  $29.5^{\circ}\text{N}$ ) 的降水随时间的变化图,该点位于重庆西南部,是这次强降水的实况中心。由图 15 可见,2 个预报试验都未能真实的模拟出该点真实的降水量值。从整体上看,一些成员能够体现出此次暴雨的特点,预报出降水,而有一些成员并没有给出任何的信息,降水量为 0。进一步分析开始出现降水时间,实况从 21 日 14 时开始出现降水,而集合成员开始出现降水的时间点差别比较明显,同化组 (DA) 预报出降水的成员相对比未同化组 (NODA) 更早预报出降水,未同化组 (NODA) 只有一个成员从 21 日 14 时就预报出降水。

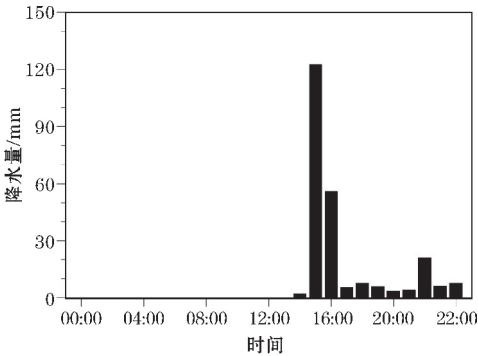
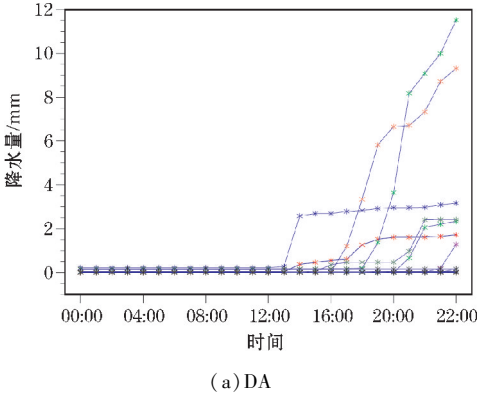
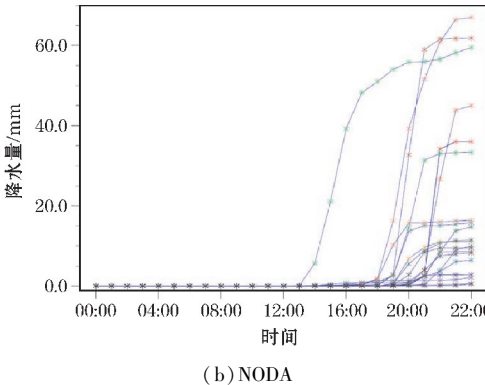


图 14 2012 年 7 月 21 日单点 ( $105.48^{\circ}\text{E}$ ,  $29.51^{\circ}\text{N}$ )  
降水随时间变化图



(a) DA



(b) NODA

图 15 2012 年 7 月 21 日集合成员单点 ( $105.5^{\circ}\text{E}$ ,  $29.5^{\circ}\text{N}$ )  
的降水随时间的演变图

4 结论

使用 NCEP/NCAR 再分析资料、NCEP 高空观测资料以及地面加密观测资料,使用 WRF-EnKF 集合预报系统对 2012 年 7 月 21 日重庆夏季强降水事件进行集合预报,根据有无进行资料同化构造了两组集合预报试验,并对此次试验结果进行了初步的集合预报检验,主要结论有:

- (1) WRF-EnKF 集合预报系统基本能够预报出本次强降水事件的大部分降水。
- (2) Talagrand 分布图大体呈现“U”型分布,表明所用的 WRF-EnKF 集合预报系统存在着离散度偏小,



另外2组试验相对应的实况检验值其分布接近反“L”型分布,且在高值区上的频率比在低值区的频率高很多,这表明了有一定的偏差存在于该集合预报系统。

(3)综合两组有无资料同化的集合预报试验比较,发现同化了NCEP高空观测资料的集合预报的表现要优于未进行资料同化的集合预报。

## 参考文献:

- [1] Epstein E S. Stochastic dynamic prediction 1 [J]. *Tellus*, 2015, 21(6): 739–759.
- [2] 邹晓蕾. 资料同化理论和应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [3] 张涵斌, 陈静, 智协飞, 等. GRAPES 区域集合预报系统应用研究 [J]. *气象*, 2014, 40(9): 1076–1087.
- [4] 刘成思, 薛纪善. 关于集合 Kalman 滤波的理论和方法的发展 [J]. *热带气象学报*, 2005, 21(6): 628–633.
- [5] 龚建东. 数值天气预报突破的关键——以欧洲中期天气预报中心同化技术演进为例 [J]. *气象科技进展*, 2013, 3(3): 6–13.
- [6] 兰伟仁, 朱江, Ming Xue, 等. 风暴尺度天气下利用集合卡尔曼滤波模拟多普勒雷达资料同化试验 I, 不考虑模式误差的情形 [J]. *大气科学*, 2010, 34(3): 640–652.
- [7] 兰伟仁, 朱江, Ming Xue, 等. 风暴尺度天气下利用集合卡尔曼滤波模拟多普勒雷达资料同化试验 II, 考虑模式误差的情形 [J]. *大气科学*, 2010, 34(4): 737–753.
- [8] 庄照荣, 薛纪善, 李兴良. GRAPES 集合卡尔曼滤波资料同化系统: 系统设计及初步试验 [J]. *气象学报*, 2011, 69(4): 620–630.
- [9] 乔小湜, 闵锦忠, 王世璋. 集合卡尔曼滤波同化中雷达位置的敏感性研究 [J]. *气象学报*, 2016, 74(5): 796–814.
- [10] 朱浩楠, 闵锦忠, 杜宁珠. HBFNEnKF 混合同化方法设计及检验 [J]. *大气科学*, 2016, 40(5): 995–1008.
- [11] Xie B, Zhang F, Zhang Q, et al. Observing Strategy and Observation Targeting for Tropical Cyclones Using Ensemble-Based Sensitivity Analysis and Data Assimilation [J]. *Monthly Weather Review*, 2013, 141(5): 1437–1453.
- [12] Munsell E B, Zhang F. Prediction and uncertainty of Hurricane Sandy (2012) explored through a real-time cloud-permitting ensemble analysis and forecast system assimilating airborne Doppler radar observations [J]. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 2014, 6(1): 38–58.
- [13] Zhang F, Weng Y, Sippel J, et al. Cloud-resolving hurricane initialization and prediction through assimilation of doppler radar observations with an ensemble Kalman filter [J]. *Mon Wea Rev*, 2009, 137: 2105–2125.
- [14] Zhang F, Weng Y, Gamache JF, et al. Performance of convection-permitting hurricane initialization and prediction during 2008–2010 with ensemble data assimilation of inner-core airborne Doppler radar observations [J]. *Geophys Res Lett*, 2011, 38.
- [15] Weng Y, Zhang F. Assimilating airborne doppler radar observation with an ensemblekalman filter for convection permitting hurricane initialization and prediction: Katrina (2005) [J]. *Mon Wea Rev*, 2012, 140: 841–859.
- [16] 宝兴华, 杨舒楠. WRF-EnKF 系统对中国南方一次暴雨过程确定性预报的试验 [J]. *气象*, 2015(5): 566–576.
- [17] Evensen G. Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics [J]. *J Geophys Res*, 1994, 99: 10143–10162.
- [18] Zhang F, Snyder C, Sun J. Impacts of Initial Estimate and Observation Availability on Convective-Scale Data Assimilation with an Ensemble Kalman Filter [J]. *Monthly Weather Review*, 2004, 49(1): 1–16.
- [19] Ahasan M N, Alam M M, Debsarma S K. Simulation of the Tornado Event of 22 March, 2013 over Brahmanbaria, Bangladesh using WRF Model with 3DVar DA techniques [J]. *Journal of Earth System Science*, 2015, 124(1): 37–48.
- [20] 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1): 6–14.
- [21] Hamill T M, Colucci S J. Verification of Eta RSM Short-Range Ensemble Forecasts [J]. *Monthly Weather Review*, 1997, 125(6): 1312–1327.



## Rainstorm Ensemble Forecast Experiment in Chongqing on July 21, 2012

MA Yunmeng<sup>1</sup>, LIU Haiwen<sup>1</sup>, SHI Pengxiang<sup>2</sup>, HOU Shaoyu<sup>3</sup>

(1. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China; 2. Pingliang Meteorology Bureau of Gansu Province, Pingliang 744000, China; 3. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to study the ensemble forecast effect of WRF-EnKF on summer rainstorm in Chongqing, based on the surface observational data, NCEP/NCAR reanalysis data and NCEP Upper Air Observational Weather data, According to whether data assimilation is carried out or not, two sets of ensemble forecasting schemes are constructed by WRF-EnKF method to test the heavy rainfall process in Chongqing on July 21, 2012. After checking the results, the following conclusions are drawn: The Ensemble Forecasting Experiment of Chongqing summer rainstorm event on July 21, 2012 shows that the WRF-EnKF ensemble forecasting system can basically forecast most of the precipitation range of Chongqing summer rainstorm event, and the ensemble forecasting is more accurate when the data are assimilated than when the data are not assimilated. The Talagrand diagram generally showed "U" type distribution, which meant the feature of "the middle small, two big", which indicates that the dispersion of the forecasting system is on the low side. At the same time, the distribution of the actual test values corresponding to the other two groups of experiments is close to the reverse "L" type, and the frequency in the high value area is much higher than that in the low value area, which also indicates that the ensemble forecasting still has a similar distribution with the real one.

**Keywords:** meteorology; ensemble forecast; WRF-EnKF; Chongqing; rainstorm