

高分辨率WRF 快速循环同化预报系统的数值试验

范水勇 郭永润 黄向宇 王薇

详细摘要

在前期“8.01”个例研究的基础上，一个基于WRF三维变分同化和WRF模式的3km高分辨率3小时快速更新循环同化预报系统（3h rapid update cycle）被建立和完善。为更充分地评估其预报性能，进行了一个星期的连续循环同化预报的数值试验。

数值试验的周期为06年7月25日至8月1日的7天时间，处于北京汛期降水比较集中的时段，共有4次降水过程（见表1），其中达到暴雨级别的降水就有两次。选择这样的试验时段，非常有利于研究cycle系统对快速变化的天气过程的反映能力。进行了两组试验，一组是使用cycle系统在这7天内进行连续循环同化预报（cycle），7月25日12Z冷启动开始，每隔3h进行一次更新同化（同化GTS、AWS和GPSPW资料）和预报，在00和12Z两个时次进行24h预报，其余时次只预报3h，仅为下一时次提供初猜场；另一组是采用美国NCEP全球模式分析场为模式初始场，不同化任何观测资料，在每天00和12Z进行24h的预报（novar）。选用novar作对比试验是因为NCEP GFS的同化水平较高，通过比较可以了解我们的同化系统同世界一流同化系统的差距，了解本地资料同化的作用。两组试验的模式设置相同：27-9-3km三重嵌套，WSM6云物理方案，外两层采用老的KF对流方案，最内层关闭对流方案，RRTM长波和Dudhia短波辐射方案，关闭反馈作用。根据个例研究的经验，将3km分辨率同化选项的背景场误差调节因子设为0.5(var_scaling=0.5)，在有效吸收观测信息的同时可以更多地保留模式初猜场的动力协调性。为客观比较两组试验的预报水平，我们采用了比较通用的方法，一是对模式3个区域常规高空和地面以及总水汽的模式预报量（高空：U/V/T/Q，地面：U10/V10/T2/Q2/surface pressure，水汽：PW）进行测站检验评分，给出预报相对于观测的均方差（RMS）和偏差（BIAS），二是对北京地区4个降水过程的预报，给出对应于6小时降水实况（由北京地区自动站逐小时观测降水累加）的降水预报图，并且给出6小时降水检验评分CSI值。

表1 试验周期内的4次降水过程

1	2006-7-26	08-08	全市小-中雨
2	2006-7-29	08-20	全市小雨，局部大雨，海淀44 mm
3	2006-7-31	08-20	全市中-大雨、局地暴雨，大兴67 mm
4	2006-8-01	14-02	局地暴雨，海淀箭亭桥55 mm

针对以上方法，我们进行了3组比较：（1）比较cycle的9km分辨率和3km分辨率在模式3km区域的24h预报检验评分；（2）比较cycle和novar同样分辨率的3个模式区24h预报检验评分；（3）比较cycle和novar 3km分辨率对北京地区4个降水过程的预报情况和CSI得分。通过3组比较，总结出以下几点结论：

- （1） cycle两个不同分辨率在模式3km区域的检验评分：①高空量的检验表现为3km相对于9km在初始时刻分析场的评分较差。这是由于3km domain 同化分析时var_scaling = 0.5，减小了背景场的误差 δ_b ，分析更加靠近背景场，分析增量减少，检验评分也相应变差。

在开始预报后,模式进行动力调整达到平衡,此时两个分辨率的预报水平迅速接近,相差很小。这一点从12h和24h各case预报评分上也可以明显看出。同时我们认为通过减少var_scaling因子,在引入观测信息时更多地保留模式初猜场(前一时次的3h预报)本身的平衡,应该有利于减少高分辨率的同化分析时产生的小尺度噪声,更有利于缩短模式spin-up时间,此假设将在进一步的工作中加以验证。②地面变量的检验评分看3km分辨率的预报比9km分辨率的预报总体上要差,尤其在温度/比湿上。在比较这些评分的时候,必须考虑到两种分辨率在3km区域范围内模式下垫面的不一致,尤其是地形高度的差别,评分仅仅提供一些客观的参考。值得注意的是,3km分辨率初始时刻的气压体现了巨大的优势。③水汽PW的检验评分说明了高分辨率的同化分析的优势,在整个24h预报时间段内3km的评分都优于9km。其原因可能是水汽量局地性强,比较适合高分辨率的同化分析。

- (2) cycle和novar同样分辨率的3个模式区预报检验评分: ①从高空量评分看,三种分辨率cycle的温度和比湿在初始时刻的评分均明显优于novar(除3km的温度略低外),这主要归功于探空资料的同化。在开始预报后水平迅速降低,很可能是由于同化分析引进了中小尺度的信息降低了初始场的平衡性,在开始预报后模式进行动力调整,部分小尺度的信息迅速耗散掉,因此评分降低。在调整完成后,模式预报水平变化趋于平稳(见6小时后的预报评分)。风场的分析和预报评分均差于novar,这应该是因为novar的初猜场来自于NCEP全球模式的分析场,已经同化了大量的非常规资料如卫星云导风、雷达等,得到了高质量的分析风场,而cycle中高空风的信息仅来源于常规的探空观测,缺乏更多的信息。另一方面这也说明我们的同化系统与发达国家的差距,应该在目前的cycle系统中加强对观测资料中尤其是非常规资料中风场信息的同化。②从地面量评分看,cycle和novar的预报水平已非常接近,在3km分辨率上cycle对于地面量的预报已经超过novar(除气压略差外),说明3km分辨率的同化更有效地吸收了中小尺度地面观测信息。这其中调节背景场误差应该起到一定作用。更多的工作将对背景场误差调节作用给予验证。
- (3) cycle和novar 3km分辨率对北京地区4个降水过程的预报: 6h累积降水量图和CSI评分都显示了cycle对于试验周期内的4个降水过程的预报明显优于novar(除072900Z的预报降水较实况提前导致评分变差外),说明同化本地中小尺度资料尤其是水汽资料对于降水预报的重要性。值得注意的是,cycle临近于降水发生前的预报要优于其他时次,降水发生前气象要素变化的信息对于预报是很重要的,cycle不断地同化更新的观测资料(3h甚至1h一次),因而能及时捕捉到这种信息,作出较好的预报。但是,从6h累积降水预报CSI评分看,cycle对于10mm以上量级的降水的预报水平仍然有限,尤其是暴雨(50mm)的预报技巧几乎没有。一个原因是目前同化的中小尺度观测资料较少,仅仅包括地面自动站、地基GPS水汽,能反映系统发生的中上层信息几乎没有;另一原因是同化系统本身也还需要更多的调整,尤其是高分辨率下如何更加有效利用密集的观测信息仍然是一个难题。此外,由于计算条件限制,试验中在非00和12Z的其他时次只做3h

的预报来满足cycle的需要，未能进行更长时间的预报，根据我们对8月1日降水过程的深入研究，暴雨发生前的预报（往往是非00和12Z）有更好的预报效果，而这也是cycle的优势所在，因此在以后的cycle业务应用中，应当适当地延长非00和12时次的预报时长，充分利用cycle的优势，获得更多的降水预报信息。

此外，我们绘制了cycle对4个个例的27km区的预报图（包括500hpa高度/风场、300hpa涡度/风场及海平面气压/降水），目的是考察cycle过程是否充分地保持了正确的大尺度信息和边界条件。从图可以看出一个星期的cycle并没有因为误差的累积使大尺度信息和边界条件变坏，天气尺度观测资料的三维变分同化有能力纠正模式的预报，减少预报误差累积。前面的高空量检验评分也可以充分地支持这一结论，12和24h的评分在cycle的后几次预报评分并没有显著地降低，仍然保持了一个稳定的水平。因此，可以建议不必频繁地进行冷启动，至少一个星期的3h连续cycle应该可以接受。