

范水勇,陈敏,仲跻芹,等.北京地区高分辨率快速循环同化预报系统性能检验和评估[J].暴雨灾害,2009,28(2):119-125.

北京地区高分辨率快速循环同化预报系统性能检验和评估

范水勇,陈 敏,仲跻芹,郑祚芳

(中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089)

摘 要:为充分了解北京地区高分辨率快速循环同化预报系统(简称 BJ-RUC)的业务预报性能,对该系统在 2007 年汛期的预报结果采用客观检验方法进行了检验和评估,并针对典型个例进行分析,得到如下结论:BJ-RUC 系统预报性能稳定,具有较好的预报参考价值;常规预报量的检验表明,3 km 分辨率的预报无论是高空还是地面预报量都要优于 9 km 的预报;降水预报检验表明,3 km 分辨率无论是降水时段、落区和雨量均较 9 km 分辨率有更好的预报效果,尤其是大量级降水的预报。但 BJ-RUC 系统对局地对流降水的预报能力仍然有限,在前 6 h 的预报仍然差于后面时段的预报。

关键词:BJ-RUC 系统;客观检验;3 km 分辨率;9 km 分辨率

中图分类号:P456.7 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2009)02-0119-07

1 引言

近几年,我国加大中小尺度观测站点的布网力度,观测技术的发展迅速接近国际先进水平。仅北京地区就已建成包括自动气象站、单双频地基 GPS (Global Position System)站、风廓线仪、多普勒雷达和微波辐射计在内的局地中小尺度观测网,观测资料在时间和空间分辨率上都得到了极大的提高。如何能有效利用各种常规和非常规气象资料,充分发挥先进的探测手段的作用,提高突发灾害性天气的预报能力,提供时间上更密集、空间和量级上更准确的精细数值预报服务,已成为日益突出的问题。

目前,国际上较为流行的方法是采用快速更新循环(Rapid Update Cycle)同化和预报系统(下称 RUC 系统)来进行精细的数值预报。RUC 系统是在高分辨率数值模式的基础上,采用高频次更新周期的同化分析吸收密集的观(遥)测资料为数值模式提供高质量的初始场来进行精细的数值预报。RUC 系统以前一时次的 1 h 或 3 h(依据更新周期)预报为背景场,通过自己的资料同化模块不断地吸收最新的观测资料来修正背景场,形成预报初始场进行短期的预报。美国 NCEP/NOAA 早于 1991 年就开始了 RUC 系统的研发,在 1994 年正式业务运行 60 km 分辨率、3 h 更新周期的 RUC 系统,2002 年升级到 20 km、1 h 更新周期的 RUC 系统^[1-2],目前分辨率已升级到 13 km,同化包括常规观测、地面站、卫星、雷达径向风、风廓线、下投式

探空仪等大量观测资料 (<http://ruc.noaa.gov>)。美国 NCAR 致力发展基于 MM5/WRF 模式和相应三维变分同化技术的 RUC 系统,进行了 GPS 可降水^[3]、雷达径向风和反射率^[4]等资料的同化研究,台湾中央气象局、韩国气象局等单位都有计划在业务上应用 RUC 系统。在国内对 RUC 系统的应用研究近两年才刚刚开始,尤其对于 RUC 系统在业务上的表现了解甚少。中国气象局北京城市气象研究所引进了 WRF 模式和 WRF 三维变分同化系统,建立了基于 WRF 三维变分同化和 WRF 模式的 3 h 更新快速循环同化预报系统(BJ-RUC 系统),并于 2007 年 6 月汛期开始准业务试验,模式分辨率 9 km,7 月 11 日起模式分辨率提高到 3 km,为预报员提供每 3 h 更新的 18 h 预报参考,并为 B08FDP 项目的短时临近预报系统的测试提供数据支撑。本文对 BJ-RUC 系统在 2007 年汛期的预报结果进行了详细的检验和评估,以充分了解系统在北京地区的业务应用情况,加深对系统预报性能的了解,为进一步改进和完善系统奠定工作基础。

2 BJ-RUC 系统和检验方法简介

2.1 BJ-RUC 系统

北京地区 BJ-RUC 系统基于 WRF 模式和 WRF 三维变分同化系统,更新周期 3 h。它通过 WRF 三维变分同化系统每隔 3 h 同化一次最新的通过全球电讯交换系统获得的探空、地面、船舶观测资料以及北京地区最新的局地观测资料,得到对大气状态的更新

收稿日期:2009-01-18;定稿日期:2009-03-25

基金项目:北京市科委国际合作项目(2007No.36)、北京市科技计划课题(Z0006279040191)和中国气象局北京区域气象中心科技创新基金项目(BRMCCJ200704)共同资助

作者简介:范水勇,男,1977 年生,硕士,工程师,主要从事中尺度数值模式和资料同化方面研究。E-mail: syfan@ium.cn

估计,然后利用高分辨率的 WRF 模式进行短期预报。模式的区域配置为 27、9、3 km 三重嵌套,格点数分别为 151×151、142×184、172×199,垂直方向 37 个 σ 层图 1 是模式区域图。

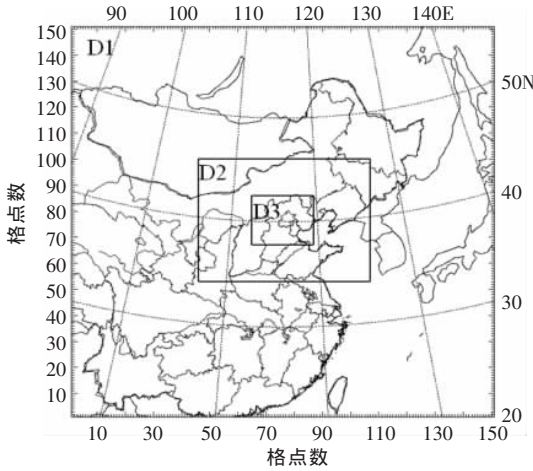


图 1 BJ-RUC 系统预报区域图
(D1:27 km,D2:9 km,D3:3 km)

模式物理过程的设置如下:WSM6 云物理方案, 27/9 km 区域采用 MM5 模式的 KF 对流方案,3 km 区域无对流方案,YSU PBL 边界层方案,Noah LSM 陆面模式,RRTM 长波和 Dudhia 短波辐射方案,关闭嵌套反馈作用^[5]。目前 BJ-RUC 系统由每天 1200UTC 冷启动开始,每 3 h 进行一次更新三维变分同化,同化分析在模式的 3 个区域同时进行,同化包括分析时次前后各 1.5 h 同化窗内 GTS 全球观测资料、北京地区自动站(AWS)和地基 GPS PW 可降水资料在内的常规和非常规观测资料(表 1),而后进行 18 h 预报,至第二天 1200UTC 重新冷启动(图 2 为示意图)。NCEP GFS 全球分析和预报场被用作产生冷启动的初猜场的其后逐次 RUC 的边界条件,RUC 的初猜场来自于上一时次 RUC 的预报场。三个预报区域各自的三维变分同化系统背景场误差协方差均由 2006 年 8 月近一个月预报样本依据 NMC 方法^[6]计算得出。根据 Guo 等

表 1 模式 3 km 区域各时次 RUC 循环同化中使用的资料类型和数量(以 2007 年 8 月 1 日为例)

同化时次	观测数量				
	常规地面观测	常规探空观测	飞机报观测	北京地区自动站	GPS 总水汽
00UTC	190	3	132	66	26
03UTC	151	0	203	64	27
06UTC	190	3	285	65	27
09UTC	151	0	218	65	27
12UTC	190	3	72	65	27
15UTC	151	0	61	66	24
18UTC	151	3	135	66	24
21UTC	151	0	123	65	24

^[7]研究的经验,我们将 3 km 分辨率同化选项的背景场误差调节因子设为 0.5,以减少背景场误差标准差 δ_b ,从而增加背景场的分析权重,目的是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。

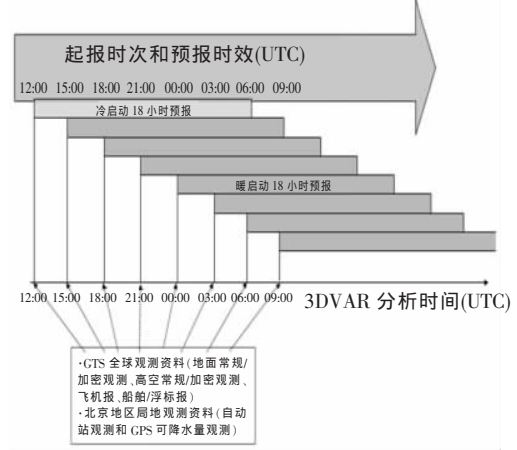


图 2 BJ-RUC 系统流程图

2.2 检验方法

用于检验的预报样本时间从 2007 年 7 月 11 日 12 时(世界时,下同)开始至 8 月 31 日 12 时止共 52 天,每天 8 次更新循环预报,样本总数共约 400 个(已扣除各种原因导致预报出错的样本)。由于 9 km 和 3 km 分辨率的预报从 7 月 11 日起才同时有效,选取这样的检验时段便于对 3 km 和 9 km 两个区域的预报性能进行比较,更充分地了解系统不同分辨率下的表现。

为客观评价 BJ-RUC 系统的预报水平,我们采用了目前比较通用的方法,一是对模式 9 km 和 3 km 两个区域的高空和地面的模式预报量(高空: $U/V/T/Q$,地面: $U_{10m}/V_{10m}/T_{2m}/Q_{2m}$)进行测站检验评分。为公平比较两个不同分辨率的预报,将检验范围限定在模式 3 km 分辨率区域,该区域中心位于(116°E,40°N),经向格点 172 个,纬向格点 199 个,覆盖北京、河北、天津等省市。区域内共有 4 个探空站、近 190 个常规地面观测站参与检验。给出预报相对于常规探空和地面观测的均方根误差(RMS)和平均偏差(BIAS,即预报值与观测值之差),其中高空预报量的检验给出的是 200 hPa U/V 风、700 hPa 比湿、850 hPa 温度等预报量的评分;二是依据对检验时段内北京地区 121 个自动站降水观测实况,计算模式 9 km 和 3 km 两个区域逐 6 h、12 h、18 h,检验阈值分别为 0.1 mm、1 mm、5 mm、25 mm、50 mm 累积降水站点 ETS 评分以及预报偏差 BIAS,并且挑选 8 月 1 日的典型降水过程进行分析,给出对应于 6 h 降水实况(降水实况均由北京地区自动站逐小时观测降水累加)的降水预报图和评分。

3 BJ-RUC 系统预报性能检验

3.1 BJ-RUC 系统 3 km 区域全场要素检验结果

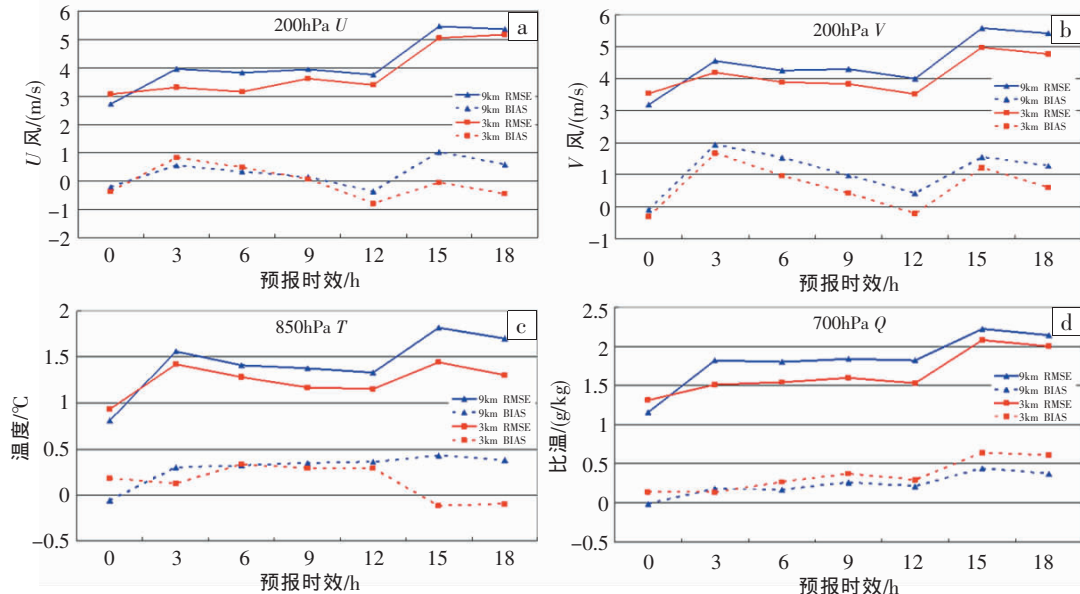


图 3 模式 3 km 区域测站检验的高空量预报均方差(实线)、预报偏差(虚线)
(a) U 风(m/s);(b) V 风(m/s);(c) 温度($^{\circ}\text{C}$);(d) 比湿(k/kg);红线:3 km;蓝线:9 km

从图 3 均方差曲线看,850 hPa 的温度预报误差都小于 2°C ,200 hPa 高空风的预报误差基本控制在 5 m/s ,700 hPa 的湿度误差也基本在 2 g/kg 以内,模式表现出了较好的预报性能。3 km 分辨率预报在 3~18 h 的预报均优于 9 km 分辨率。若仅以实际观测为标准来衡量模式在初始时刻的同化效果,3 km 分辨率的均方根误差大于 9 km 分辨率,其可能原因是由于我们加大了 3 km 分辨率同化的背景场分析权重而使得分析增量减少,同化分析场更靠近背景场且更远离实际观测,因此对应测站观测的检验评分也相应变差;但是在预报开始后,3 km 分辨率的预报水平迅速接近并超过 9 km 分辨率的预报水平,这说明通过调节背景场误差调节因子,增加了背景场的分析权重,在引入观测信息时更多地保留了模式初猜场(前一时次的 3 h 预报)本身的动力平衡性,预报性能在开始预报后不会很快的下降,相反 9 km 分辨率的预报水平在开始预报后就迅速下降了。这种现象在我们以前对 Cressman 方法的研究中也曾经发现,也可见于 BARKER 等的文献^[8]。Huang 等^[9]和 Chen 等^[10]在数值模式的数字滤波初始化研究中也发现数字滤波初始化后产生的初始场从评分来看变差了,但具有更好的预报效果。由此可见,仅从针对客观评分来衡量模式初始场性能是不全面的,更多地应当参考其后具体的预报效果。

从图 3 预报偏差曲线看,模式在对流层低层 850 hPa 的温度预报有系统性偏高的特征,而对于 700

hPa 的湿度预报偏高。从对流层高层 200 hPa 的经纬向风预报偏差看,9 km 分辨率的 U 风预报基本偏大,即西风预报偏强,3 km 分辨率的西风预报在 12 h 后有偏弱迹象。而 V 分量两个分辨率预报基本为正偏差,但 9 km 分辨率预报正偏差更为严重。

图 4 给出了地面 2 m 温度、2 m 相对湿度、10 m U/V 风的逐 3 h 预报偏差和均方差曲线。由图可见,模式对地面量的预报也表现了较好的预报效果,尤其是 2 m 温度的预报误差都控制在 2.5°C 以下。3 km 分辨率的 2 m 温度、10 m 风的预报均优于 9 km,2 m 比湿预报要略差。说明 3 km 分辨率在地面量的预报上也体现了相当的优势,能够给预报员以更好的参考价值。从预报偏差曲线看,2 m 温度在前 6 h 预报偏低,6 h 后预报偏高,偏差基本控制在 0.5°C 以内;10 m U 风预报在 0~3 h 预报略微偏大,其余时段均偏小,10 m V 风预报整个预报时段都偏大,风的预报偏差小于 0.3 m/s 。比湿预报偏差基本在 0 左右,模式预报水平很稳定。由于 RUC 只进行 18 h 预报,因此不能反映出日变化影响。

当然,造成 9 km 和 3 km 两种不同分辨率预报性能差异的因素是多方面的。一方面,需要考虑 WRF 三维变分同化系统和模式对这两种分辨率同化效果和预报性能的差异;另一方面也要考虑到 3 km 区域没有采用对流参数化方案,二者在物理参数化配置方面存在差异。此外也必须考虑两种分辨率在 3 km 区域内模式下垫面的不一致,尤其是地形高度的差

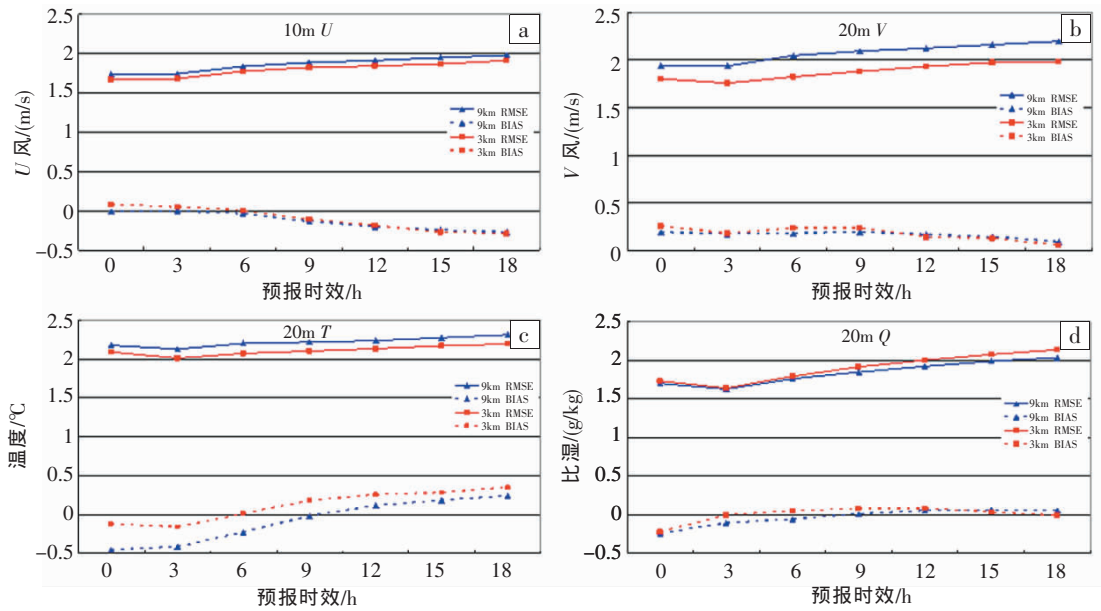


图 4 模式 3 km 区域测站检验的地面量预报均方差(实线)、预报偏差(虚线)

(a)10 m U 风(m/s);(b)10 m V 风(m/s);(c)2 m 温度(°C);(d)2 m 比湿(k/kg); 红线:3 km;蓝线:9 km

别,评分仅仅提供一些客观的参考。但基于上述预报评分,初步可以认为 3 km 分辨率能够提供性能更好的要素预报产品。

3.2 BJ-RUC 系统 3 km 区域降水检验结果

以下是 BJ-RUC 系统降水预报检验结果,采用国际上常用的 ETS(Equitable Threat Score)评分方法^[11]和 BIAS 评分方法进行降水预报结果的检验,具体方法见表 2:

表 2 降水预报与观测的 4 种对应关系排列表

降水预报(达到指定阈值)	观测(达到指定阈值)	
	是	否
是	a	b
否	c	d

根据表 2 的降水预报和观测的关系,可以得到 ETS 和 BIAS 的计算公式为:

$$ETS=(a-R)/(a+b+c-R) \quad (1)$$

其中 R 为随机预测系数, $R=(a+b)(a+c)/(a+b+c+d)$ 。

$$BIAS=(a+b)/(a+c) \quad (2)$$

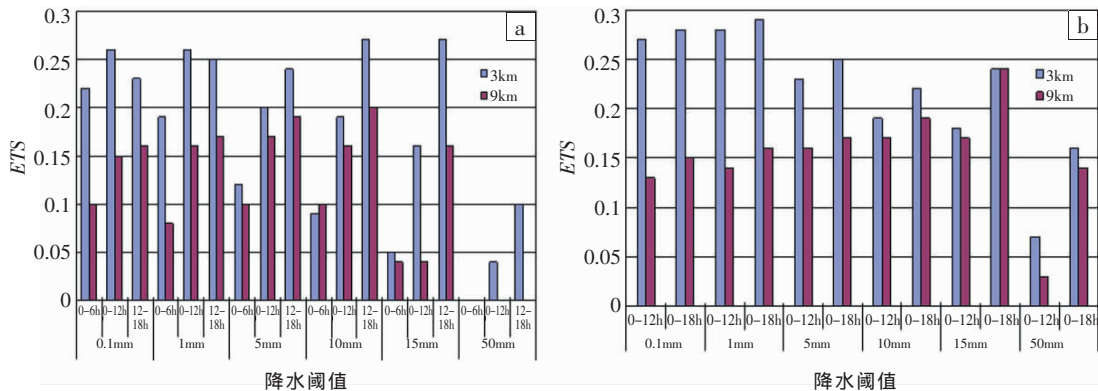


图 6 降水预报的检验评分 ETS(蓝:3 km,红:9 km)(a:0~6 h 检验时效; b:0~12 h/0~18 h 检验时效)

本文的降水检验时效为 6 h、12 h、18 h,检验阈值划分为:0.1/1/5/10/25/50 mm。检验区域是北京地区,检验测站降水资料为北京地区 121 个地面自动站观测逐小时累积降水。模式网格点降水预报结果通过双线性插值到自动站位置生成模式的测站预报值,测站 6 h、12 h、18 h 实况降水量由自动站逐时降水累加获得。图 5 是用于检验的北京地区地面自动站分布图。图 6、7 分别为降水预报的 ETS 和 BIAS 评分结果。

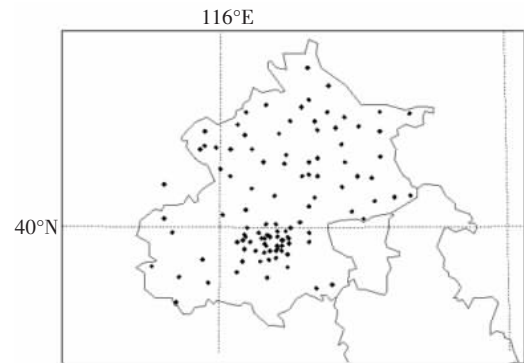


图 5 北京地区地面自动站分布图(黑点代表站点位置)

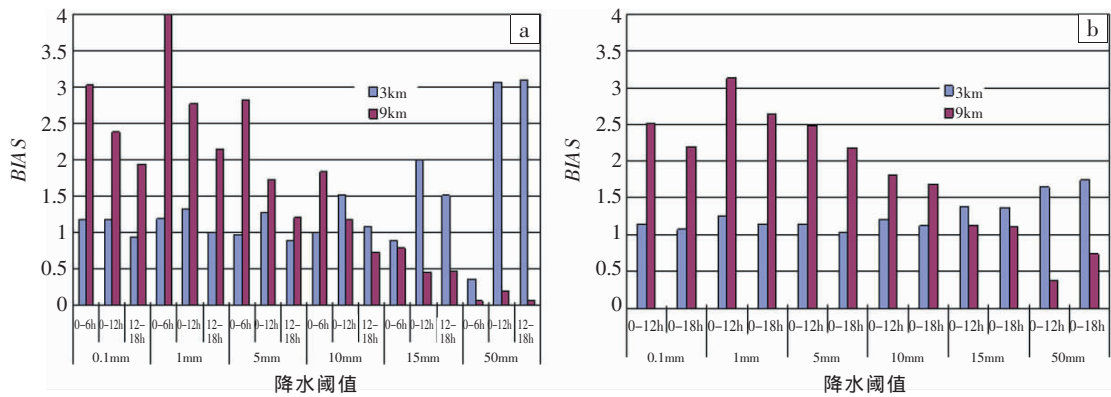


图 7 降水预报的检验评分 BIAS(蓝:3 km,红:9 km)(a:0~6 h 检验时效;b:0~12 h/0~18 h 检验时效)

总体上看,3 km 分辨率的针对各降水阈值及不同时效的预报降水 ETS 评分均明显超过 9 km 分辨率。特别对于逐 12、18 h 累积的 5 mm 以下降水阈值,3 km 分辨率的 ETS 评分几乎达到 9 km 分辨率的 2 倍;对于 10 mm 以上大阈值降水两者都具有一定的预报能力,3 km 分辨率虽然效果更好,但优势不太明显。但是更为严格的逐 6 h 累积降水检验结果更好地展现了 3 km 分辨率的预报优势,尤其对于 25 mm/6h 以上的阈值表现得更为明显,说明随着模式分辨率的提高,模式的降水预报量值有相应增大的趋势,这应该与高分辨率下模式的动力场更强有关。从不同时效的预报效果来看,两个分辨率的逐 6 h 降水预报检验都表现出对 5 mm 以上阈值降水模式在第 12~18 h 时段的预报效果最好,0.1 和 1 mm 阈值的在第 6~12 h 时段预报最好,第 0~6 h 时段的降水预报最差。一般认为,模式在积分最初的几小时需要一段时间调整以便从初始场中产生与动力场匹配的云和降水,即所谓的 spin-up 过程,此过程往往表现为在模式最初预报时段内具有较差的预报评分,积分 12 h 后模式调整到最佳的状态,此时的降水评分较高。

降水预报的 BIAS 评分反映的是针对某一阈值预报发生降水的测站数与实际发生降水的测站数之比,即模式对于降水范围大小的预报性能。从图 7 来看,3 km 分辨率对 10 mm 及其以下阈值的 BIAS 评分基本保持在 1 左右,即模式预报降雨测站数基本接近于实际测站数,模式预报范围与实际发生大小基本一致;不过在 25 mm 以上的大阈值降水有较为明显的过度预报的现象,即模式预报降雨量达到 25 mm 以上的测站数远多于实际测站数,导致 BIAS 的值较大,在逐 6 h 降水预报中(图 7a)表现尤为明显,50 mm 阈值降水的 BIAS 值达到了 3(但是应该看到,只有少数极强的降水过程能够达到 50 mm/6h 阈值,如 7 月 30 日暴雨过程,起始时间为 30 日 00 和 03 时的几次 RUC 预报对 30 日 12—18 时的 50 mm/6h 阈值的 ETS 分别是

0.13 和 0.06,但 BIAS 分别达到了 4.1 和 7.8,产生了较严重的空报)。相反,9 km 分辨率对小阈值降水范围有严重的空报现象,BIAS 值远大于 1,而对大阈值降水范围偏小,BIAS 值很小,表明 9 km 分辨率能预报出大片的雨区,但是降雨量值较弱,对于强降水的预报能力明显不足。

BIAS 评分无法反映降水落区的预报效果,需要综合 ETS 评分后才能较为全面的评估模式降水预报性能。与 3 km 分辨率相比,对于 10 mm 以下的降水阈值,尽管 9 km 分辨率 BIAS 评分大于 1,但 ETS 评分远小于 3 km 分辨率,这表明,一方面 9 km 分辨率过大的雨区使小降水的空报现象较为严重,另外也反映了 9 km 预报降水落区可能具有较大的偏差。对于 25 mm/6h 以上的大阈值降水,3 km 分辨率降水范围易发生过度预报的现象,即雨区显著偏大;而 9 km 分辨率预报不足。因此,从降水检验评分来看,3 km 分辨率无论是降水时段、落区和雨量均较 9 km 分辨率有更好的预报效果。

4 典型个例分析

2007 年 8 月 1 日北京出现了一场较罕见的区域性大暴雨过程。从大尺度天气形势看,850 hPa 在北京

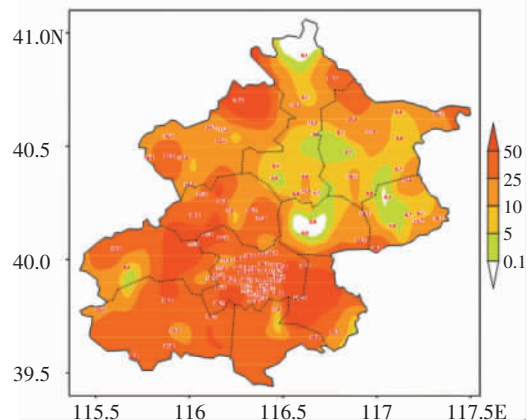


图 8 2007 年 8 月 1 日 12—18 时 6 h 累积降水实况(单位: mm)

北部河北和内蒙交界处有切变线产生并维持(图略)。降雨发生在 8 月 1 日 06—23 时, 主要时段是 1 日 12 时至 1 日 18 时的 6 h, 其中朝阳区和平西桥 12—13 时的 1 h 雨强达 91.7 mm, 总降水累积达 140.5 mm, 同时有多个站点雨量超过 50 mm, 图 8 是 8 月 1 日 12—18 时的 6 h 累积降水实况。

覆盖主要 6 h 降水时段的 BJ-RUC 预报共有 8 月 1 日 00/03/06/09/12 时起始的 5 次预报, 由于 1 日 12 时为下一个循环周期的冷启动起始预报, 故不放在一起进行对比研究。图 9 分别是 9 km 和 3 km 分辨率这 4 次 RUC 预报的 8 月 1 日 12—18 时 6 h 累积降水预报图。

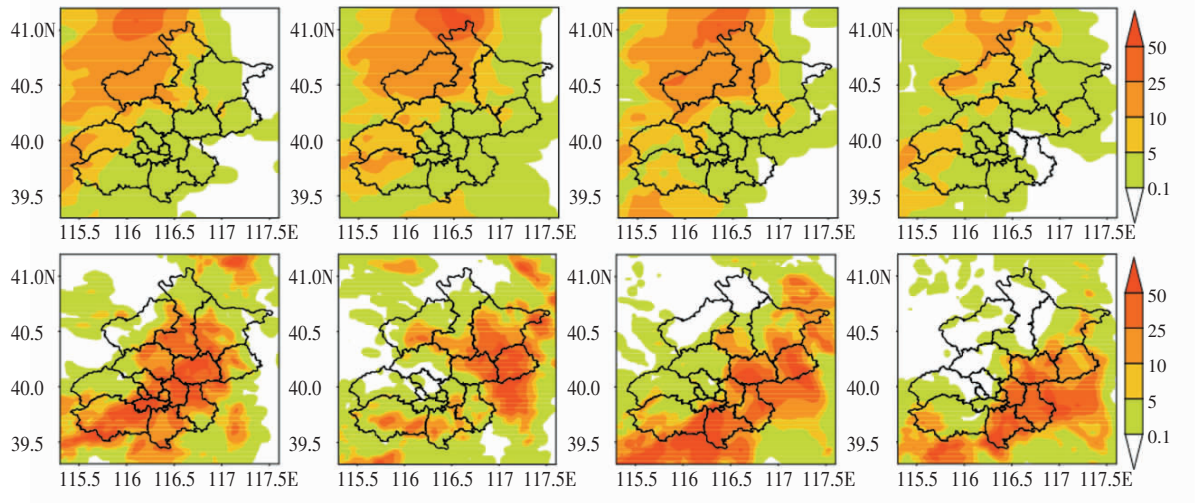


图 9 4 次 RUC 对 8 月 1 日 12—18 时 6 h 累积降水预报图(单位: mm)
(从左至右依次是:00 时、03 时、06 时、09 时起始预报, 上排是 9 km 分辨率, 下排是 3 km 分辨率)

从图 9 中可见, RUC 的 3 km 分辨率预报除 03 时外, 其余 3 次都较好地报出了城区和南部地区的降水(03 时的预报降雨中心偏东北), 尤其是 00 时的 RUC 在朝阳区预报出 88.3 mm 的降水中心, 其次是 06 时的预报; 4 次均没有报出门头沟和延庆北部的暴雨中心(通过对逐小时降水预报的考察, 发现门头沟和延庆北部的暴雨预报较实况提前了 1~2 h)。9 km 分辨率预报对延庆北部的暴雨中心预报较好, 但对于城区和南部的降水预报明显偏小, 只有 10 mm 左右的量级。表 3 给出 4 次 RUC 预报两个分辨率的 6 h 累积降

水预报评分(采用 TS 评分和预报偏差 BIAS)。总的来说, 这次区域性大暴雨过程 3 km 分辨率预报要优于 9 km, 尤其是大量级降水预报优势很明显; 值得注意的是, 并非越临近降水发生时次起始的预报越好, 当实际降水落在 RUC 第 6~12 h 和 12~18 h 预报时段内预报效果最好(8 月 1 日 00 和 06 时)。03 时和 09 时起始的预报表现较差, 一个可能的原因是这两个时次同化缺少了探空观测资料(06 时模式 9 km 区域约 9 个站有加密探空观测, 3 km 区内有 3 个站加密探空), 不能得到更优的初始场。

表 3 2007 年 8 月 1 日 12—18 时不同阈值 6 h 累积降水预报评分

起始时间 (UTC)	分辨率	0.1 mm		1.0 mm		5.0 mm		10.0 mm		25 mm		50 mm	
		TS	BIAS	TS	BIAS	TS	BIAS	TS	BIAS	TS	BIAS	TS	BIAS
080100	3 km	0.96	0.96	0.84	0.90	0.76	0.85	0.72	0.96	0.43	1.25	0.31	1.33
	9 km	0.89	0.89	0.77	0.83	0.19	0.20	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
080103	3 km	0.86	0.86	0.68	0.75	0.37	0.47	0.24	0.38	0.04	0.27	0.00	0.17
	9 km	0.98	0.98	0.87	0.96	0.31	0.38	0.11	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
080106	3 km	0.92	0.92	0.75	0.83	0.60	0.69	0.47	0.62	0.19	0.57	0.05	0.17
	9 km	0.94	0.94	0.81	0.89	0.29	0.35	0.12	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
080109	3 km	0.78	0.78	0.62	0.65	0.51	0.58	0.43	0.54	0.35	0.59	0.00	0.11
	9 km	0.80	0.80	0.58	0.63	0.14	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5 结论与讨论

通过对 2007 年汛期近两个月 BJ-RUC 系统的预报效果的检验和 8 月 1 日强降水的个例分析, 得到以下结论:

(1) 3 h 更新周期的 BJ-RUC 系统在汛期的试验运行中表现了稳定的预报性能。常规预报量和降水预报的检验评分都表明 BJ-RUC 系统具有较好的预报参考价值。

(2) 从常规预报量的检验看, 3 km 分辨率的预报

无论从高空还是地面量的预报都要优于 9 km (除地面 2 m 比湿外)。调小 3 km 分辨率同化的背景场误差变量参数,在一定程度上加大背景场分析权重有利于保持 3 km 分辨率的预报性能的稳定。在后续的工作中可以考虑对 3 km 区域的预报结果进行动力统计释用,为预报员提供更精细的预报产品。

(3)从降水检验评分来看,3 km 分辨率无论是降水时段、落区和雨量均较 9 km 分辨率有更好的预报效果,尤其是大量级降水的预报。但系统对局地对流降水的预报能力仍然有限。

(4)系统的第 6~18 h 的降水预报较好,第 0~6 h 的降水预报最差。如何提高模式前几小时的预报需要进一步深入的研究工作。

目前 BJ-RUC 系统同化的中小尺度观测资料仍然较少,仅仅包括地面自动站、地基 GPS 水汽,几乎没有能反映系统发生的中上层信息;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,由于计算条件限制和时效要求,每个循环的预报时效只有 18 h,未能进行更长时间的预报,因此无法对系统进行更充分的评估。随着计算条件的改善,将进一步将 RUC 的预报时效延长至 24 h。此外检验的周期仍然较短,虽然给出了一些令人满意的结果,但仍需长期的检验加以证明。下一步的工作将致力于以下四个方面:对同化系统的背景场误差进行更加合理的调整,同时结合观测误差的调整,提高高分辨率下的同化质量;引进数字滤波初始化技术,减少密集中小尺度资料同化带来的噪声影响;提高水汽特种观测资料(如 GPS、微波辐射计等)的同化技术;对 WRF 模式的物理方案进行

进一步调整试验,尽可能减小模式预报的系统性误差。

参考文献:

- [1] Benjamin S G, Devenyi D, Weygandt S S, et al. An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC[J]. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 495-518.
- [2] Benjamin S G, Grell G A, Brown J M, et al. Mesoscale weather prediction with the RUC hybrid isentropic/terrain-following coordinate model[J]. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 473-494.
- [3] Smith T L, Benjamin S G, Gutman S I, et al. Short-Range Forecast Impact from Assimilation of GPS-IPW Observations into the Rapid Update Cycle[J]. *Mon Wea Rev*, 2007, 135: 2914-2930.
- [4] Xiao Q N, Sun J Z. Multiple-Radar Data Assimilation and Short-Range Quantitative Precipitation Forecasting of a Squall Line Observed during IHOP_2002[J]. *Mon Wea Rev*, 2007, 135: 3381-2404.
- [5] User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 2.2. WRF online tutorial[EB/OL]. http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/dos/user_guide/contents.html.
- [6] Parrish D F, Derber J C. The National Meteorological Center's Spectral Statistical-interpolation Analysis System[J]. *Mon Wea Rev*, 1992, 120: 1747-1763.
- [7] Guo Y R, Fan S Y, Chen M, et al. Application of WRFVar (3DVar) to a High Resolution (3 km) Model over Beijing Area. The 8th WRF User's Workshop, Boulder, C.O., USA, 2007.
- [8] Barker D M, Huang W, Guo Y R, et al. A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results[J]. *Mon Wea Rev*, 2004, 132(4): 897-914.
- [9] Huang X Y, Chen M, Wang W, et al. Development of Digital Filter Initialization for WRF and Its Implied AT IUM. The 8th WRF USERS' WORKSHOP, Boulder, C.O., USA, 2007.
- [10] Chen M, Huang X Y. Digital Filter Initialization for MM5[J]. *Mon Wea Rev*, 2005, 134: 1222-1236.
- [11] Schaffer J T. The Critical Success Index as an Indicator of Warning Skill [J]. *Weather and Forecasting*, 1990, 5: 570-575.

Performance Tests and Evaluations of Beijing Local High-resolution Rapid Update Cycle System

FAN Shui-yong, CHEN Min, ZHONG Ji-qin, ZHENG Zuo-fang

(Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

Abstract: To understand clearly the operational performance of Beijing high-resolution Rapid Update Cycle (BJ-RUC) system, the operational forecasts during the flood season of 2007 were verified and evaluated by objective verification method and a precipitation incident was analyzed. Some encouraged conclusions were given as follows: BJ-RUC system had stable forecast performance and could provide good forecast reference; from the verification scores to sounding and surface observations, 3 km-resolution forecast were better than that of 9 km-resolution; the verification scores of precipitation forecast showed that 3 km-resolution one could forecast the precipitation period, location and intensity better, especially for the high intensity precipitation. But precipitation forecast capability of RUC system was still not perfect and the first 6 h forecast was still worse than the latter period forecast. We need more work on it.

Key words: BJ-RUC System; Objective Verification; 3 km Resolution; 9 km Resolution