

# 北京奥运期间多模式降水检验及集成试验

尤凤春<sup>1</sup> 魏 东<sup>1</sup> 王 雨<sup>2</sup>

(1. 北京市气象台, 北京 100089; 2. 国家气象中心)

**提 要:** 应用 2008 年奥运期间(6—10 月)所使用的多种中尺度数值预报业务运行模式 GRAPES\_MESO15km(GRAPES)、华北中尺度模式(MM5)和北京区域气象中心的快速更新循环同化预报系统(RUC),对北京市 24 小时定量降水预报产品采用多个统计量进行了较详细的统计检验,并应用多元回归方法对多种模式的降水预报产品进行了集成试验。检验结果表明: GRAPES\_MESO15km 模式对奥运期间北京市晴雨及小雨预报具有较好的预报能力,而 RUC 产品对中雨及以上量级的降水预报则表现出较好的预报效果,这对今后北京市精细化降水预报具有一定参考价值。

**关键词:** 多模式 降水产品 检验 集成试验

## Examination and Integration Test of the Precipitation Forecast Product of Multiple Models During 2008 Beijing Olympic Games

You Fengchun<sup>1</sup> Wei Dong<sup>1</sup> Wang Yu<sup>2</sup>

(1. Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089; 2. National Meteorological Center)

**Abstract:** The GRAPES\_MESO15km, MM5 and BJ-RUC (rapid assimilation forecast update cycle system of Beijing) were used in the meteorological services for the Beijing 2008 Olympic Games. The prediction qualities of 24-h quantitative precipitation forecast products of these models were examined in detail. Firstly, some statistics were calculated, such as the correlation coefficient, TS, FAR, RMSE etc. Then, by use of the multiple regression method, the integration test to the precipitation forecast products of multiple models was taken. The results show that GRAPES\_MESO15km model has a good forecasting performance in the aspect of forecasts for light rain and raining or not, while RUC has a good forecasting capability to the moderate and greater rain. The verification results have a good reference value for

资助课题: 973“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究项目—高分辨、非静力中尺度暴雨数值预报模式的发展及其预报系统的建立”课题(2004CB418306)和中国气象局北京城市气象研究所城市气象科学研究基金项目(UMRF200706)

收稿日期: 2009 年 5 月 6 日; 修定稿日期: 2009 年 6 月 29 日

the future refinement precipitation forecast in Beijing.

**Key Words:** multiple models precipitation forecast product performance examination integration test

## 引 言

GRAPES 模式是中国气象科学研究院开发的我国新一代具有自主知识产权的数值天气预报模式,该模式在非静力中尺度模式、三维变分资料同化、标准化、模块化、并行化模式程序软件等方面均取得了显著成果,并已经在业务上得到应用,具有良好性能和发展潜力<sup>[1-5]</sup>。部分研究工作表明 GRAPES\_MESO30km 与 15km 模式对江淮流域降水均表现出较好的预报性能<sup>[6-7]</sup>。

中国气象局北京城市气象研究所在北京区域气象中心中尺度数值业务系统 WRF 模式(27/9/3km 三重嵌套)基础上建成了每 3h 快速更新循环的 3DVAR 中尺度同化与预报业务系统(简称 RUC)。该预报业务系统除了同化常规的 GTS 全球交换资料以外,还同化了包括自动气象站观测、地基 GPS 可降水量观测等高时空分辨率的多种非常规观测资料,为我们系统性地了解以更新循环的方式来实现具有高时空分辨率的本地非常规观测数据的同化应用效果提供了一个很好的预报产品。针对该系统在 2006—2007 年汛期运行情况的检验评估结果表明,RUC 系统的整体预报性能令人满意<sup>[8-9]</sup>。

以往虽然在单模式降水检验<sup>[10-15]</sup>以及多种模式综合降水检验方面做了许多工作<sup>[16-17]</sup>,但有关 GRAPES\_MESO15km、华北中尺度 MM5、RUC 产品在北京奥运期间的综合检验分析还不多见,相关产品的分析也很初步。本文分析检验结果对今后北京市精细化降水预报具有一定参考价值。

## 1 资料和方法

本文使用 2008 年 6—10 月 GRAPES\_MESO15km、华北中尺度 MM5、RUC 中尺度数值预报模式的定量降水预报产品,检验 08 时(北京时)24 小时降水预报性能。为了便于比较,还用到了北京市每日 08 时 24 小时降水实况资料。

主要采用相关系数(CORR)、均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)、平均误差(ME)、晴雨(PC)和分不同降水量级(TS)评分检验,计算漏报率(PO)、空报率(NH)、预报偏差(B)等统计量以及相关分析。具体计算公式如下:

$$RMSE = [\frac{1}{N} \sum (f_i - o_i)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |f_i - o_i| \quad (2)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum (f_i - o_i) \quad (3)$$

式中, $f_i$  为预报值, $o_i$  为实况值。

$$PC = \frac{NA + ND}{NA + NB + NC + ND} \quad (4)$$

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \quad (5)$$

$$PO = \frac{NC}{NA + NC} \quad (6)$$

$$NH = \frac{NB}{NA + NB} \quad (7)$$

$$B = \frac{NA + NB}{NA + NC} \quad (8)$$

式中,NA 代表模式预报降水正确的站点数,即观测与预报均出现某量级降水;NB 为空报站点数,即观测无某量级降水而预报有;NC 为漏报站点数,即观测出现某量级降水

而预报无;ND 为预报与观测均没出现某量级降水。

要做好北京市精细化预报,就必须进一步检验模式对不同区域的预报能力,需对不同区域分别进行检验。其不同区域可划分为:北京南郊观象台(54511 站)、城区(观象台、丰台、海淀、朝阳、石景山 5 站平均)、平原地区(观象台、丰台、房山、密云、昌平、顺义 6 站平均)及北京市(观象台、海淀、朝阳、石景山、丰台、昌平、怀柔、大兴、房山、通州、密云、延庆、平谷、顺义、门头沟 15 个区县站平均),并分别对这些区域 24 小时降水预报性能进行检验。

为了了解模式对不同量级的预报能力,就要进行分量级检验。其降水量级可分为:晴雨、小雨、中雨、大雨。因 2008 年 6—10 月北

京市只出现了一次较大范围的暴雨过程,所以检验暴雨量级不具有代表性。

为了了解模式对不同月份的预报能力,还要进行逐月检验。

## 2 降水检验结果分析

### 2.1 各模式分区域检验结果分析

分别对 2008 年 6—10 月 GRAPES\_MESO15km、华北中尺度 MM5、RUC 中尺度数值预报模式 08 时(北京时)24 小时定量降水预报产品与相应时段降水实况分区域计算相关系数(CORR)、均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)、平均误差(ME),其检验结果见表 1 所示。

表 1 2008 年 6—10 月各模式降水预报分区域检验结果

	月南郊观象台				城区(5 站)				平原地区(6 站)				全市(15 站)			
	CORR	RMSE	MAE	ME	CORR	RMSE	MAE	ME	CORR	RMSE	MAE	ME	CORR	RMSE	MAE	ME
GRA	0.64	7.1	3.1	-0.5	0.65	7.3	3.3	-0.7	0.68	7.3	3.0	-1.1	0.67	6.5	2.8	-0.8
MM5	0.54	7.9	3.9	0.4	0.57	7.9	4.0	0.1	0.59	8.1	4.0	0.2	0.59	7.3	3.7	0.4
RUC	0.27	9.3	3.3	-1.3	0.37	9.2	3.4	-1.8	0.41	9.4	3.4	-1.7	0.48	7.8	3.1	-1.4

由表 1 可见,各区域(南郊观象台、城区、平原地区、全市)计算的相关系数(CORR)、均方根误差(RMSE)均具有一致的结果,即 GRAPES\_MESO15km 模式的相关系数最大,均方根误差最小;其次分别为华北中尺度 MM5、RUC 模式。从各区域计算的平均绝对误差(MAE)来看,也是 GRAPES\_MESO15km 模式最小,RUC 模式次之,华北中尺度 MM5 模式最大。另外,从各区域计算的平均误差(ME)来看,GRAPES\_MESO15km、RUC 模式均为负值,预报的降水量要比实况值普遍偏小,尤其是 RUC 模式更明显一些;而华北中尺度 MM5 模式则正好相反为正值,预报的降水量要比实况值偏大一些。

### 2.2 南郊观象台各模式平均绝对误差及平均误差逐月检验结果分析

从南郊观象台平均绝对误差各模式逐月检验结果(图 1)可以看出,2008 年 7 月、8 月、9 月三个月 GRAPES\_MESO15km 模式平均绝对误差最小,预报能力较强;而 6 月、7 月、10 月三个月 RUC 模式平均绝对误差最小,预报能力较强。其他各区域各模式平均绝对误差逐月检验结果与南郊观象台类似。

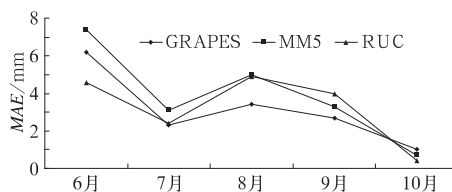


图 1 南郊观象台平均绝对误差各模式逐月检验结果图

由南郊观象台平均误差各模式逐月检验结果(图 2)可以看出,2008 年 6—10 月中,GRAPES\_MESO15km 模式只在 8 月、10 月平均误差为正偏差,其他月均为负偏差;而 RUC 模式在 6—10 月中几乎均为负偏差;华北中尺度 MM5 模式只在 9 月为负偏差,其他月均为正偏差。其他各区域各模式平均误差逐月检验结果也与南郊观象台类似。

### 2.3 各模式分区域分量级检验结果分析

对 2008 年 6—10 月各模式分区域分晴

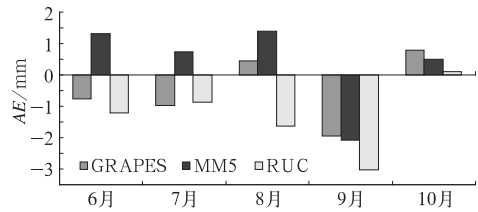


图 2 南郊观象台平均误差  
各模式逐月检验结果图

雨、小雨、中雨、大雨量级分别进行检验,分别计算出晴雨预报正确率(PC)和各降水量级的 TS 评分,其检验结果见表 2 所示。

表 2 2008 年 6—10 月各模式降水预报分区域分量级检验结果

	南郊观象台			城区(5 站)			平原地区(6 站)			全市(15 区县)		
	GRA	MM5	RUC	GRA	MM5	RUC	GRA	MM5	RUC	GRA	MM5	RUC
晴雨(PC)/%	77	75	76	80	78	74	79	78	74	80	78	75
小雨(TS)/%	46	47	41	51	48	37	52	51	45	56	53	47
中雨(TS)/%	15	15	31	14	7	20	15	4	28	17	13	30
大雨(TS)/%	0	0	25	0	0	17	0	0	33	0	0	50

由表 2 可见,2008 年 6—10 月分区域分量级检验结果是:各区域中对晴雨、小雨预报来说,GRAPES\_MESO15km 模式预报能力较强,并且随着预报区域的扩大,其模式预报准确率有所提高;而对于中雨、大雨预报,其 RUC 模式预报能力明显提高,并且随着预报区域的扩大,其模式预报能力明显提高。

### 2.4 南郊观象台各模式晴雨及中雨 TS 评分逐月检验结果分析

从南郊观象台各模式晴雨预报逐月检验结果(图 3)可以看出,GRAPES\_MESO15km 模式各月预报比较稳定,除 6 月、8 月预报正确率相对偏低一些外,其他月份均较高;而 RUC 模式除 6 月、9 月预报正确率相对偏低一

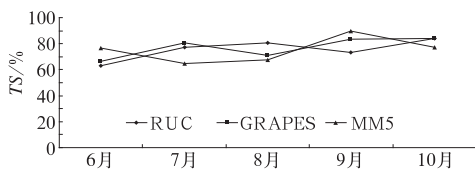


图 3 南郊观象台各模式晴雨预报  
逐月检验结果图

些外,其他月份也较高;华北中尺度 MM5 模式 7 月、8 月、10 月预报正确率均最低,与其他两个模式来比较,其晴雨预报能力要差一些。

由南郊观象台各模式中雨 TS 评分逐月检验结果(图 4)可以看出,RUC 模式除 7 月预报较差外,其他各月中雨预报能力均较强;而 GRAPES\_MESO15km 模式 6 月、7 月预报较差,8—10 月预报准确率较高。

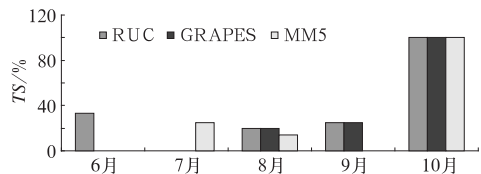


图 4 南郊观象台各模式中雨 TS 评分  
逐月检验结果图

### 2.5 各模式分区域分量级其他评分方法检验结果分析

2008 年 6—10 月各模式分区域分量级漏报率(PO)、空报率(FAR)、预报偏差(B)检验结果见表 3 所示。

表 3 各模式分区域其他统计量分级降水检验结果

量级与模式	漏报率(PO)/%				空报率(FAR)/%				预报偏差(B)				
	观象台	城区	平原	全市	观象台	城区	平原	全市	观象台	城区	平原	全市	
小雨	GRA	37	30	38	32	37	35	25	25	1.0	1.07	0.83	0.91
	MM5	25	24	24	23	44	44	39	37	1.35	1.35	1.24	1.21
	RUC	54	58	51	49	19	23	15	14	0.57	0.54	0.58	0.59
中雨	GRA	73	75	75	73	75	75	73	67	1.09	1.0	0.92	0.8
	MM5	67	85	92	75	79	89	94	79	1.58	1.39	1.31	1.19
	RUC	58	75	62	63	44	50	50	40	0.75	0.5	0.77	0.63
大雨	GRA	100	100	100	100	100	100	100	100	0.33	0.2	0.33	0.5
	MM5	100	100	100	100	999	999	100	100	0.0	0.0	0.33	0.5
	RUC	67	80	67	50	50	50	0	0	0.67	0.4	0.33	0.5

注:其中 999 为缺资料

由表 3 可见,在各区域小雨量级检验中 GRAPES\_MESO15km 模式漏报率、空报率基本相当,预报偏差维持在 1.0 附近;RUC 模式漏报率均明显大于空报率,预报偏差明显小于 1.0,而华北中尺度 MM5 模式则与此相反,漏报率小于空报率,预报偏差均明显大于 1.0。

在各区域中雨量级检验中 GRAPES\_MESO15km 和 华北中尺度 MM5 模式的漏报率、空报率与小雨相比均明显加大,预报偏差分别在 1.0 左右和大于 1.0;RUC 模式漏报率增加相对较小,空报率增加相对较大,预报偏差也有所加大,但仍然是漏报率大于空报率。

在各区域大雨量级检验中 RUC 模式均好于其他模式,漏报率、空报率均相对较稳定。

## 2.6 南郊观象台各模式小雨预报偏差(B)逐月检验结果分析

从南郊观象台各模式小雨预报偏差(B)逐月检验结果(图 5)来看,各月检验结果与 6—10 月总体检验结果基本一致,即 GRAPES\_MESO15km 模式的预报偏差维持在 1.0 附

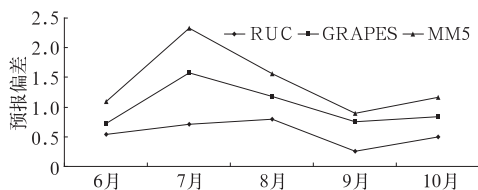


图 5 南郊观象台各模式小雨预报偏差(B)逐月检验结果图

近,RUC 模式预报偏差均小于 1.0,华北中尺度 MM5 模式预报偏差除 9 月以外均大于 1.0。

## 3 多模式降水集成试验及分析

采用多元线性回归方法,对 2008 年 6—10 月各模式降水定量预报产品分区域进行集成试验。将 2008 年 6—10 月每日 08 时至 08 时 24h 累计降水实况作为因变量(Y),将每日 08 时三个模式(RUC、GRAPES\_MESO15km、MM5)24h 相应的降水预报值作为三个自变量( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ )进行线性回归集成试验。2008 年 6—10 月共有 153 个样本,分别对南郊观象台、城区、平原地区、全市进行降水集成试验,其具体试验结果见表 4。

由表 4 可见,回归方程的相关系数随着降水集成试验的区域增大,其相关程度越高;不管降水集成试验区域大小,GRAPES\_MESO15km 模式自变量相关系数均比其他两个模式大,其相关程度最高;RUC 模式自变量相关系数随着降水集成试验区域增大,其相关程度也加大,而 MM5 模式自变量相关系数变化并不明显。除观象台回归方程的第一个自变量外,其他方程的自变量均通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验。

通过对北京 2008 年 6—10 月降水集成试验结果进行检验,得到的各区域降水集成试验结果与实况降水的相关系数和其他三个

表 4 2008 年 6—10 月多模式降水集成试验方程及相关系数

区域	多元回归方程	方程相关系数	RUC 变量相关系数	GRAPES 变量相关系数	MM5 变量相关系数
观象台	$Y=0.56+0.08X_1+0.64X_2+0.19X_3$	0.66	0.07	0.60	0.21
城区	$Y=0.61+0.25X_1+0.57X_2+0.25X_3$	0.67	0.19	0.54	0.27
平原	$Y=0.41+0.29X_1+0.66X_2+0.24X_3$	0.70	0.25	0.57	0.28
全市	$Y=0.50+0.36X_1+0.53X_2+0.22X_3$	0.71	0.33	0.53	0.28

模式的相关系数相比均最大,均方根误差均最小;各区域平均绝对误差则比 GRAPES\_MESO15km 略大,比 RUC、MM5 模式小。

4 结论

(1) 各区域 GRAPES\_MESO15km 模式定量降水预报与实况降水的相关系数最大,均方根误差最小。另外,从各区域计算的平均绝对误差来看,也是 GRAPES\_MESO15km 模式最小,RUC 模式次之,华北中尺度 MM5 模式最大;从平均误差来看,GRAPES\_MESO15km、RUC 模式均为负值,预报的降水量要比实况值偏小。

(2) 各区域中对晴雨、小雨预报来说,GRAPES\_MESO15km 模式预报能力较强;而对于中雨、大雨预报则 RUC 模式预报能力明显提高。

(3) 在各区域大雨量级检验中 RUC 模式均好于其他模式,漏报率、空报率均较相对稳定。

(4) RUC 模式预报的降水量要比实况值偏低,其中雨和大雨的预报能力最好,其原因是漏报率较空报率高造成;而 MM5 模式预报的降水量要比实况值偏高,主要是空报率较漏报率高造成。

(5) 各模式在对不同区域的统计量检验中没有明显差异;但在分量级检验中,随着预报区域的扩大,其模式预报准确率有所提高。

(6) 各区域降水集成试验结果均不如 GRAPES\_MESO15km 模式好。

参考文献

[1] 陈德辉,沈学顺.新一代数值预报系统研究进展[J].

应用气象学报,2006,17(6):773-777.  
[2] 沈元芳,胡江林. GRAPES 模式中的坡地辐射方案及其对短期天气过程模拟的影响[J]. 大气科学,2006,30(6):1129-1137.  
[3] 张华,薛纪善,庄世宇,等. GRAPES 三维变分同化系统的理想试验. 气象学报,2004,62(1):31-41.  
[4] 黄丽萍,伍湘君,金之雁. GRAPES 模式标准初始化方案设计与实现. 应用气象学报,2005,16(3):374-384.  
[5] 伍湘君,金之雁,黄丽萍,等. GRAPES 模式软件框架与实现. 应用气象学报,2005,16(4):539-546.  
[6] 李勇,王雨. 2007 年夏季 GRAPES-MESO15 及 30km 模式对比检验[J]. 气象,2008,34(10):81-89.  
[7] 徐双柱,张兵,湛伟. GRAPES 模式对长江流域天气预报的检验分析[J]. 气象,2007,33(11):65-71.  
[8] 陈敏,郑祚芳,王迎春,等. 2006 年汛期北京地区中尺度数值业务降水预报检验[J]. 暴雨灾害,2007,26(2):109-117.  
[9] 陈敏,仲跻芹,郑祚芳. 北京地区一次强降水过程的多观测资料四维变分同化试验[J]. 北京大学学报(自然科学版),2008,44(5):756-764.  
[10] 许美玲,孙绩华. MM5 中尺度非静力模式对云南省降水预报检验[J]. 气象,2002,28(12):24-27.  
[11] 王雨. 2002 年主汛期国家气象中心主客观降水预报对比检验[J]. 气象,2003,29(5):21-25.  
[12] 陈敏,王迎春,仲跻芹,等. 北京地区中尺度数值业务预报的客观检验[J]. 应用气象学报,2003,14(5):522-532.  
[13] 管成功,王克敏,陈晓红. 2002-2005 年 T213 数值降水预报产品分析检验[J]. 气象,2006,32(8):70-76.  
[14] 何光碧,陈静,肖玉华,等. AREM 数值模式对 2005 年汛期四川的降水预报[J]. 气象,2006,32(7):64-71.  
[15] 王雨,闫之辉. 降水检验方案变化对降水检验评估效果的影响分析[J]. 气象,2007,33(12):53-61.  
[16] 王雨. 若干数值模式对 2003 年夏季青藏高原中南部降水预报检验[J]. 高原气象,2004,23(增刊):53-58.  
[17] 王雨. 2004 年主汛期各数值预报模式定量降水预报评估[J]. 应用气象学报,2006,17(3):316-324.