

陈静,佟华,徐枝芳,等. NMC 强天气模式诊断变量和概率预报产品及初步应用检验[J]. 气象,2010,36(12):41-49.

# NMC 强天气模式诊断变量和概率 预报产品及初步应用检验<sup>\*</sup>

陈 静<sup>1</sup> 佟 华<sup>1</sup> 徐枝芳<sup>1</sup> 邓 国<sup>1</sup> 邓莲堂<sup>1</sup> 谌 芸<sup>1</sup>  
肖 丹<sup>2</sup> 崔应杰<sup>1</sup> 王晓聪<sup>1</sup> 朱国富<sup>1</sup> 胡江凯<sup>1</sup> 龚建东<sup>1</sup>

1 国家气象中心,北京 100081  
2 成都信息工程学院,成都 610000

**提 要:** 国家气象中心针对强天气预报的特点开发了强天气模式诊断变量和概率预报产品,包括 T639 全球模式强天气诊断变量产品、基于 GRAPES\_RUC 的中尺度精细化强天气诊断变量产品、基于 WRF 中尺度模式的区域中尺度集合概率预报产品,于 2009 年从无到有建立了一套完整的强天气数值预报产品库,提供确定性预报产品和不确定信息的概率产品,为强天气预报业务的开展打下了良好的基础。应用上述产品对“6.3”河南飊线天气的模式预报能力的分析表明,高分辨率模式对强对流天气的预报能力有了较大的提高,但对于强天气预报,15 km 分辨率仍然不够高,且产品显示的时空分辨率都应在现有基础上提高,才能更好地展示数值预报产品对强对流过程发生发展和演变过程。

**关键词:** 数值预报产品,强天气预报,“6.3”河南飊线天气,T639,GRAPES\_RUC,WRF\_EPS

## NMC Technical Support and Applications of Numerical Prediction Diagnostic Products for Severe Weather Prediction

CHEN Jing<sup>1</sup> TONG Hua<sup>1</sup> XU Zhifang<sup>1</sup> DENG Guo<sup>1</sup> DENG Liantang<sup>1</sup> CHEN Yun<sup>1</sup>  
XIAO Dan<sup>2</sup> CUI Yingjie<sup>1</sup> WANG Xiaocong<sup>1</sup> ZHU Guofu<sup>1</sup> HU Jiangkai<sup>1</sup> GONG Jiandong<sup>1</sup>

1 National Meteorological Center, CMA, Beijing 100081  
2 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610000

**Abstract:** The numerical weather prediction (NWP) products aiming to severe weather prediction, including T639, GRAPES\_RUC, WRF-EPS, were developed by Numerical Weather Prediction Division, NMC. Through the analysis of the squall line weather occurring in Henan Province on 3 June, 2009, it is showed that the high resolution models have improved to some extent forecasting severe weather. But the 15 km resolution is not so good enough to forecast severe weather. Higher temporal and spatial resolution is needed to better reveal the evolution of severe convection weather in the application of the NWP products.

**Key words:** numerical weather prediction (NWP) products, severe weather prediction, the 3 June 2009 squall line weather in Henan Province, T639, GRAPES\_RUC, WRF\_EPS

### 引 言

强天气是发生在短时间内的雷暴、大风、龙卷、冰雹、短时强降水等中尺度灾害性天气,具有发生时间短,强度大,危害大的特点,是目前天气预报中的最具挑战性的预报难点,预报难度不仅在于如何准确预报出现哪种类型的强天气,是雷暴? 大风还是

<sup>\*</sup> 中国气象局公益性行业专项 GYHY200706001、GYHY200806003,科技部国际合作项目 2006DFA21530,国家自然科学基金 No. 40675061 共同资助  
2010 年 1 月 15 日收稿; 2010 年 3 月 15 日收修定稿  
第一作者:陈静,从事数值集合预报技术研究和业务开发. Email:chenj@cma.gov.cn

龙卷或冰雹,还在于即使有多种预报指标显示了强对流天气发生信号后,预报员仍然很难准确预报强天气发生的时间和地点。强天气预报中的难度主要来自于对与强天气过程密切相关的大气强对流运动的科学问题认识有限,预报理论和技术都比较缺乏,预报的不确定性很大。国外不少国家开展了强对流天气的预报,比如美国的风暴预报中心(SPC)的预报员,依赖于多种观测资料、中尺度分析技术和中尺度模式产品发布预报强天气预报。近年来数值预报成为当代天气预报的基础<sup>[1-2]</sup>,美国的强天气预报业务建立在多种数值预报产品基础之上,特别是中尺度数值预报产品和集合预报产品基础上<sup>[3-10]</sup>。近年来,中尺度集合预报产品在美国 SPC 中获得了广泛而深入的应用,集合预报产品主要用于量化描述强天气预报产品的不确定性信息,比如概率预报、订正预报<sup>[11]</sup>。

我国地处东亚季风区,雷暴、冰雹、飏线和局地暴雨等强对流天气在全国各地十分活跃,并造成严重的人员伤亡和经济损失。强天气预报是国家气象中心所确定的重点专业化预报方向之一,2009 年国家气象中心组建强天气预报中心,开展强天气预报业务。目前国内开展强天气预报业务的预报技术基础主要是中尺度天气分析和中尺度诊断变量。国家气象中心强天气预报技术的发展对我国数值预报产品的应用也提出了新的需求。

过去 20 年,我国数值预报模式产品的研究开发主要是针对大尺度天气系统开展的,对与中小尺度天气运动有关的强天气数值预报产品研究开发相对较少。我国的中尺度模式能够提供产品变量很少,诊断变量更少,对强天气预报的支撑较弱,不能为预报员提供更多的对流诊断量供参考。2009 年国家气象中心数值预报室针对强天气中心预报特点,与强天气预报中心联合组织开展强天气数值预报产品开发,为强天气专业化中心建设提供强有力的科技支撑。2009 年重点开发的数值预报产品包括:T639 全球模式强天气诊断变量数值预报产品,基于 GRAPES\_RUC 的精细化中尺度模式强天气诊断变量预报产品,基于 WRF 模式的中尺度集合预报强天气概率预报产品。这些产品的开发研究,使得国家气象中心从无到有建立了一套完整的强天气数值预报产品库,可提供确定性预报产品和不确定信息的概率产品,为强天气预报业务的开展打下了良好的基础。极大地提升了国家气象中心强天气模式诊

断变量和概率预报的模式支持能力。

本文将简要介绍 2009 年研究开发的强天气模式数值预报产品,特别是与强对流有关的模式诊断变量产品,分析这些业务数值预报产品对“6. 3”河南飏线天气的预报能力,最后讨论了数值预报模式产品支撑强天气预报中存在的问题。

# 1 NMC 强天气模式诊断变量和概率预报产品简介

## 1.1 T639 全球模式强天气诊断变量产品

国家气象中心 T639 模式<sup>[10-11]</sup>主要技术特点是水平谱截断波数取 639 个波,但水平格点空间定义由二次高斯格点改为线性高斯格点,在极区进行格点精简,水平分辨率约为 30 km;垂直方向取 60 层,模式层顶至 0. 1 hPa;采用改进的稳定外插两个时间层的半拉格朗日积分方案,时间步长为 600 s;对原整套物理过程方案中的云与对流参数化进行改进优化,以及下垫面资料的更新和合理初始化。资料同化系统则实现了原来的最优插值方案向三维变分同化方案的升级,可以大量使用 ATOVS 等卫星观测资料,目前所使用的 ATOVS 资料约占到全球资料同化中的 30% 以上。

2009 年针对强天气预报中心的需求,开发了 T639 模式诊断变量<sup>[13]</sup>(如表 1 所示)。产品以

表 1 T639 强天气数值预报产品(MICAPS 格式)清单

Table 1 T639 severe weather prediction products listing (MICAPS format)

序号	要素名称	所在目录	单位
1	强天气威胁指数	SWEAT	无
2	对流有效位能	CAPE	J · kg <sup>-1</sup>
3	对流抑制能量	CIN	J · kg <sup>-1</sup>
4	抬升指数	LI	℃
5	抬升凝结高度	PC	hPa
6	总指数	TTI	℃
7	0 ℃层高度	ZHT	m
8	-20 ℃层高度	ZHT2	m
9	风暴相对螺旋度	SRH1	m <sup>2</sup> · s <sup>-2</sup>
10	3 小时 0~3 km 风暴 相对螺旋度变化	SRH3	m <sup>2</sup> · s <sup>-2</sup>
11	0~1 km 风切变	SHR1	m · s <sup>-1</sup> · km <sup>-1</sup>
12	0~3 km 风切变	SHR3	m · s <sup>-1</sup> · km <sup>-1</sup>
13	0~6 km 风切变	SHR6	m · s <sup>-1</sup> · km <sup>-1</sup>
14	地面锋生	fg1	10 <sup>-11</sup> K · hPa <sup>-1</sup> · s <sup>-3</sup>
15	dt03 温度直减率	dt03	℃ · km <sup>-1</sup>
16	dt75 温度直减率	dt75	℃ · km <sup>-1</sup>
17	dtase85 温度直减率	dTASE 85	℃ · km <sup>-1</sup>

MICAPS 格式为主。并将 7 个强天气指数放在互联网上供需要的单位下载,这 7 个强天气指数见表 1 的产品序号 1~7,预报每日两次,预报初始时间是 00:00 UTC 和 12:00 UTC,预报产品区域是  $0^{\circ}\sim 72^{\circ}\text{N}$ 、 $63^{\circ}\sim 153^{\circ}\text{E}$ ,水平分辨率  $0.28125^{\circ}\times 0.28125^{\circ}$ ,预报时效为 48 h,产品时间间隔为 3 h。T639 模式强天气诊断变量产品为预报时效较长的强天气预报提供预报信息。

1.2 中尺度精细化模式强天气诊断变量产品

基于 GRAPES 模式建立的 15 km 分辨率的全国区域快速循环与实时更新资料的分析与预报系统,研究开发了中尺度精细化强天气诊断变量产品。

1.2.1 GRAPES-RUC 系统简介

GRAPES-RUC 系统包括资料检索系统、质量控制系统、T213 边界及背景场资料接入系统、三维变分同化 (GRAPES\_3DVAR) 系统、GRAPES 模式、数字滤波、后处理、产品统计检验等几个主要部分。系统结构与流程见图 1,该系统实现了雷达 VAD 风、飞机报告、云导风、自动气象站、GPS/PW 等 5 资料非常规资料的应用。提供 GrADS 的基本产品和针对短时临近的潜势预报 MICAPS 产品,建立了相应的检验系统。2009 年 7 月 1 日起每天实时运行,背景场为实时 T213 场库,实时观测资料为 GTS 资料(包括探空、地面、飞机报、船舶报)和雷达 VAD 资料。采用的是逐 3 小时同化分析,每 3 小时一次 24 小时预报。

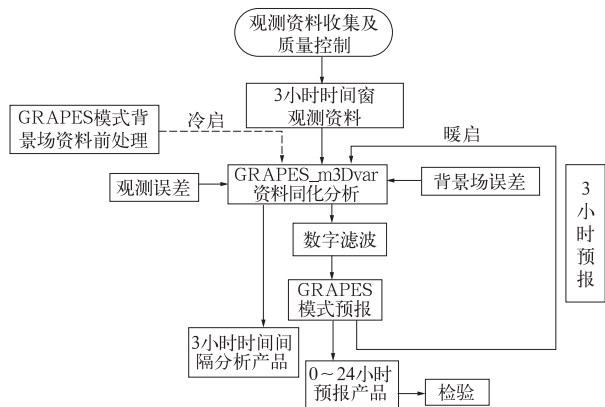


图 1 快速循环与实时更新资料的分析与预报系统结构流程图

Fig. 1 Flow chart of GRAPES\_RUC analysis and prediction system

1.2.2 GRAPES-RUC 全国区域强天气诊断产品

GRAPES\_Ruc 全国区域强天气诊断产品包括有强天气潜势预报的 CAPE(对流有效位能)指数、K 指数、反射率、温度平流等 20 多种 MICAPS 产品、及组合反射率和 6 小时降水,单站逐时序产品(包括 CAPE 指数、1 小时降水、组合反射率、850、700、500 hPa 相对湿度、2 m 温度)gif 图形产品,产品清单见表 2 和表 3 所列。提供 3 种格式的预报资料:MICAPS 格式(主要针对强对流天气潜势预报),GrADS 格式(基本预报产品),GIF 图像(雷达组合反射率产品),产品区域为  $15^{\circ}\sim 64^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 。GRAPES\_RUC 预报产品区域是  $15^{\circ}\sim 64.35^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ}\sim 145.15^{\circ}\text{E}$ ,水平分辨率  $0.15^{\circ}\times 0.15^{\circ}$ ,每日 8 次预报,预报初始时间自 00:00 UTC 至 21:00 UTC,时间间隔为 3 h,预报时间为 24 h,还建立了全国 2500 多个站的 24 小时降水检验,和全国 400 多个站的 6 小时降水检验,以及 2 m 温度和 10 m 风的检验平台。

表 2 GRAPES-RUC 强天气预报产品清单(MICAPS 格式)

Table 2 GRAPES-RUC severe weather prediction products listing (MICAPS format)

要素名称	单位	层次号
相对湿度	%	500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa
反射率	dBz	同上
假相当位温	K	同上
露点温度	$^{\circ}\text{C}$	同上
露点温度差	$^{\circ}\text{C}$	同上
温度平流	$10^{-5}^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$	同上
水汽通量散度	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$	同上
风暴相对螺旋度变化	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$	0~1 km/ 0~3 km 和 0~6 km
风切变	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\text{ km}^{-1}$	0~1 km/ 0~3 km 和 0~6 km
温度直减率	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$	地面到 3 km/700 hPa 到 500 hPa/850 hPa 到 500 hPa
强天气威胁指数	1(无量纲)	
总指数	$^{\circ}\text{C}$	
0 $^{\circ}\text{C}$ 高度, -20 $^{\circ}\text{C}$ 高度	m	
对流有效位能	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	
对流抑制能量	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	
组合反射率	dBz	
K 指数	$^{\circ}\text{C}$	
地面锋生	$10^{-11}\text{ K}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-3}$	
抬升指数	$^{\circ}\text{C}$	
抬升凝结高度	hPa	

1.3 区域中尺度集合概率预报产品

基于 WRF 模式建立的 15 km 分辨率的区域中

表 3 GRAPES-RUC 强天气预报产品清单 (GIF 图形格式)

Table 3 GRAPES-RUC severe weather prediction products listing (GIF format)				
要素	输出间隔/h	预报时效/h	时次/UTC	区域
组合反射率	1	24	00、03、06、09、12、15、18、21 时	中国
6 小时降水	6	24		中国
单站逐时序产品(包括 CAPE 指数、1 小时降水、组合反射率、850、700、500 hPa 相对湿度、2 m 温度)				
		24	1~24	单站

尺度集合预报系统,研究开发了区域中尺度集合概率预报产品。

1. 3. 1 区域中尺度集合预报系统

区域中尺度集合预报系统是在北京奥运会 B08RDP 项目成果基础上建立的。控制预报模式是 WRF 模式<sup>[15-17]</sup>,采用区域三维变分资料同化系统。初值扰动方法是 BGM 初值扰动方法,模式扰动方法采用多物理过程组合法。该系统每天运行两次,有 15 个集合预报样本,模式输出每 3 小时一次。初值场和侧边界从全球 T213 中期集合预报中获得,每 6 小时完成一次三维变分同化,每 6 小时进行一次集合预报样本 Rescaling 过程。中尺度集合预报系统结构和流程如表 4 所示。从左到右依次为全球中期 T213L31 集合预报系统,基于 WRF 的区域中尺度集合预报系统(图 2)。目前系统的积分区域如图 3 深色区域,覆盖中国东北、华北、长江中下游流域。

表 4 集合预报系统多初值、多物理过程扰动方案

Table 4 NMC regional EPS construcion scheme of multi-initial conditions and multi-physics			
集合成员	云微物理方案	对流参数化方案	边界层参数化方案
控制预报	Lin scheme	Betts	MYJ
成员 1	Lin scheme	KF	YSU
成员 2	Lin scheme	Betts-Miller	YSU
成员 3	Lin scheme	Betts-Miller-Janjic	YSU
成员 4	Lin scheme	KF	MJY
成员 5	WSM6	Betts-Miller	MJY
成员 6	WSM3	Betts	MJY
成员 7	WSM3	Betts	YSU

1. 3. 2 强天气集合概率预报产品

集合概率预报产品如表 5 所示。与原 B08RDP 系统比较,地面要素产品由 5 个增加为 12 个,等压面输出要素由 4 个增加为 8 个,等压面层次由 5 层增加为 12 层,分别为 100、150、200、250、300、400、500、600、700、850、925、1000 hPa,还新增了强对流

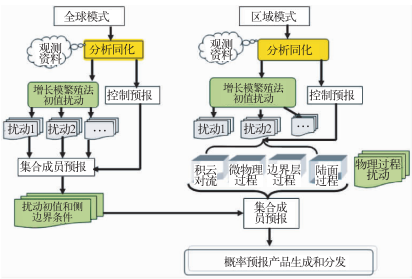


图 2 国家气象中心区域中尺度集合预报系统流程图

Fig. 2 Flow chart of NMC regional EPS

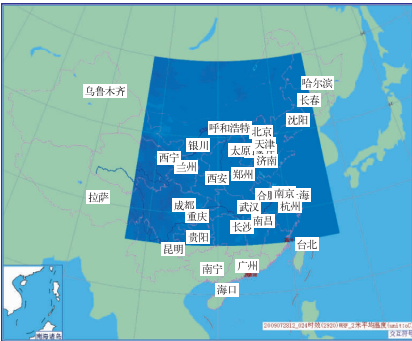


图 3 NMC 区域集合预报系统积分区示意图(深色部分)

Fig. 3 Forecasting domain of NMC regional EPS(dark shade area)

风险指数这个综合产品,强对流风险概率的计算公式如下:

$$RISK\_PRB = RAINC - (3\text{ h 对流性降水概率}) \times (CAPE \geq 800 \text{ 的概率})$$

(1)

由上可见,国家气象中心基于 T639 全球模式,中尺度精细化模式和区域中尺度集合预报模式,已构建了较为完整的强天气诊断变量产品库,基本能够支撑强天气中心预报业务对模式产品的需求,为下一步工作开展打下了良好的基础。

2 强天气模式诊断产品对“6. 3”河南强天气过程的模式预报能力初步分析

以下分析 T639 模式、GRAPES-RUC 和 WRF-EPS 区域集合预报系统获得的强天气预报产品为例,对“6. 3”河南飊线预报能力进行初步分析。

从 6 月 3 日 08 时起报的 T639 预报看,在 6 月

表 5 区域集合预报产品说明表  
Table 5 Regional EPS products listing

要素	集合预报产品	概率阈值	备注
高度	集合平均,离散度		三维变量
比湿	集合平均,离散度		三维变量
相对湿度	集合平均,离散度		三维变量
U、V 分量风,OK,	集合平均,离散度		三维变量
温度,露点温度	集合平均,离散度		三维变量
假相当位温	集合平均,离散度		三维变量
雷达综合反射率(参考值-30)	集合平均,离散度,概率	$>1, >10, >30$ dBz	三维变量
3 h 累计降水量	集合平均,离散度,概率	$>0.1, >5, >15, >25, >50$ (mm)	
6 h 累计降水量	集合平均,离散度,概率	$>0.1, >5, >15, >25, >50$ (mm)	
12 h 累计降水量	集合平均,离散度,概率	$>0.1, >5, >15, >25, >50$ (mm)	
24 h 累计降水量	集合平均,离散度,概率	$>0.1, >5, >15, >25, >50$ (mm)	
3 h 对流降水量	集合平均,离散度,概率	$>0.1, >5, >15, >25, >50$ (mm)	
2 m 相对湿度	集合平均,离散度		
桑拿指数	集合平均,离散度		
对流抑制能量	集合平均,离散度		
海平面气压	集合平均,离散度		
2 m 温度	集合平均,离散度,概率	$>35, >38$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
对流有效位能	平均,离散度,概率	$>800, >1000$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	
10 m 风	平均,离散度,概率	$>8, >12, >16$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
对流风险概率	概率		

4 日 02—05 时在河南东部、安徽北部、江苏西北部和山东南部报出了 1 mm 的降水,925 hPa 风场上有一条明显的东西向切变线,其南侧有  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右的西南风,较周围地区的风速大得多。从 850 hPa 垂直速度看,该地区有明显的大值区,上升运动强烈。从  $K$  指数来看,大于 35 的大值区也在该区域,表明预报出了发生强对流天气的可能。结果表明,T639 预报对这次强对流天气过程有一定表现,但强度不够。

GRAPES-RUC 系统不同起报时间的预报雷达回波与实况对比分析,06 时(世界时)起报垂直速度

分析。03、06、09 三个时次起报:预报结果对于对流旺盛的 3 日 12—15 时回波反映较好,位置基本一致。由结果分析可见,06 时起报效果最好;各时次起报在 6~12 小时预报时效的效果最佳。从 2009 年 6 月 3 日 06 时为初始时刻的 5 小时预报的垂直速度场可以看出在( $33.8^{\circ}\text{N}$ 、 $115.5^{\circ}\text{E}$ )位置上垂直速度值较大,表示在该地区有较强的上升运动。在沿  $33.8^{\circ}\text{N}$  纬圈方向垂直速度剖面图(图 4)看出,垂直速度最大的位置在 850 hPa 附近,最大值出现在 12 时。在沿  $115.5^{\circ}\text{E}$  经圈方向垂直速度剖面图(图 5)看,垂直速度最大值仍出现在 850 hPa 附近,

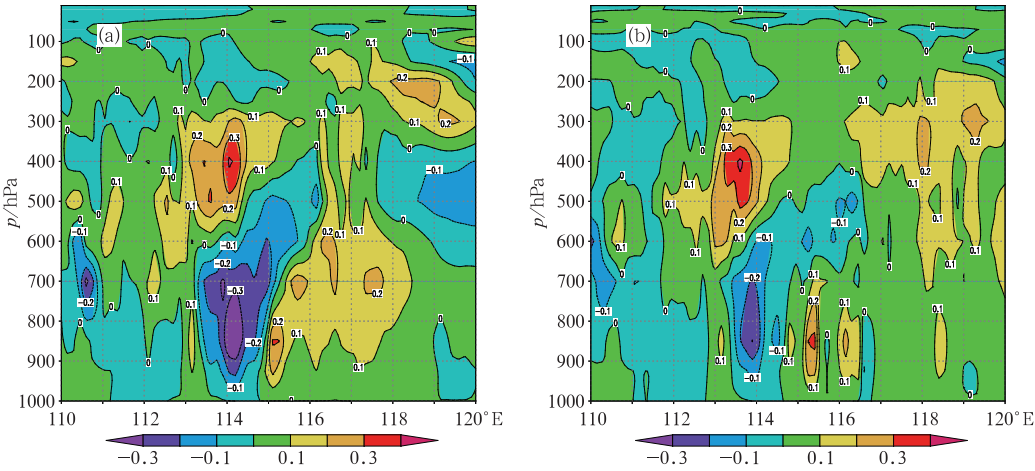


图 4 GRAPES-RUC 系统沿  $33.8^{\circ}\text{N}$  纬圈方向 5 小时和 6 小时预报垂直速度剖面图  
初值时间:2009 年 6 月 3 日 06 时  
Fig. 4 Cross sections of vertical velocity at  $33.8^{\circ}\text{N}$  of GRAPES-RUC 5 h (a) and 6 h (b) forecasts  
initial time:06:00 BT, 3 June 2009



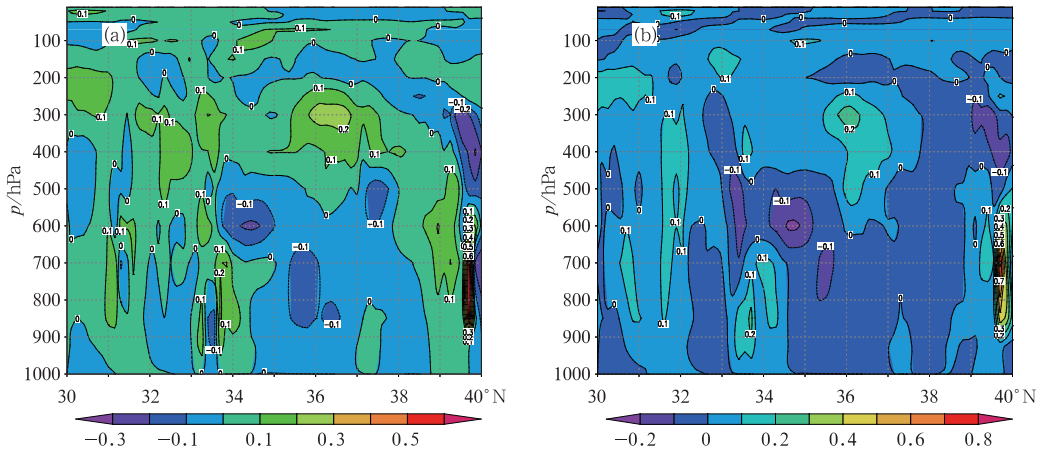


图 5 GRAPES-RUC 系统沿 115.5°E 经圈方向 5 小时(a)和 6 小时(b)预报垂直速度剖面图  
初值时间:2009 年 6 月 3 日 06 时  
Fig. 5 Cross sections of vertical velocity at 115.5°E of GRAPES-RUC 5 h (a) and 6 h (b)  
forecasts initial time:06:00 BT 3 June 2009

但时间出现在 14 时。不足之处是 10 m 风速不大,最大只到  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

采用 WRF-EPS 区域集合预报系统的地面气象要素 10 m 风,3 小时降水,诊断量,模式雷达反射率 dBz,露点温度,MCAPE(最大对流有效位能)的集合预报产品,对“6.3”河南飊线预报能力进行了分析,获得如下结论:

从地面气象要素 10 m 风(图 6)和 3 小时降水预报(图略)看,有 7 个集合预报成员预报安徽和江苏北部出现 10 m 风速大值中心,2 个成员中心最大风力接近  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,集合预报部分成员对大风有一定预报能力。对短时强降水预报,1 个成员预报了  $10 \text{ mm} \cdot 3 \text{ h}^{-1}$  的降水,中尺度集合预报地面气象要素对这次过程有一定预报能力,但较实况偏弱。模式雷达反射率 dBz 的集合预报平均值(图 7)较好地给出了飊线的发生发展和演变,500 hPa dBz 大值区的演变特征与实况较吻合。连续两个时次都预报了 dBz 的发展过程:6 月 3 日 11 时,较强 dBz 在山西境内出现,并逐渐向东南方向发展移动,至 3 日 20—23 时,dBz 大值区域发展到江苏和安徽北部。dBz 的集合预报离散度表明,3 日 17—23 时,dBz 离散度明显大于白天,表明强对流地点和强度预报的不确定性。3 日 11 时和 14 时,混合层的 MCAPE 集合预报平均在河南、江苏、安徽 3 省交界处出现了大值区域,中心最大值超过了  $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-2}$ ,3 日 17 时至 4 日 02 时,MCAPE 在该区域一直维持一个大值中心。

对强对流预报重点关注的 850 hPa 露点温度和 700 hPa 风场集合预报平均分析发现(图略),在 850 hPa 露点温度在河南至山西维持一条干线,3 日 11

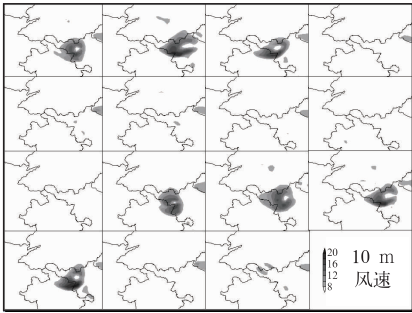


图 6 2009 年 6 月 3 日 20 时集合预报成员 10 m 风速预报邮票图  
初值时间:2009 年 6 月 3 日 08 时(北京时)  
Fig. 6 EPS number spaghetti of 10 m ind speed forecasts at 20:00 BT June 3  
initial time:08:00 BT, 3 June 2009

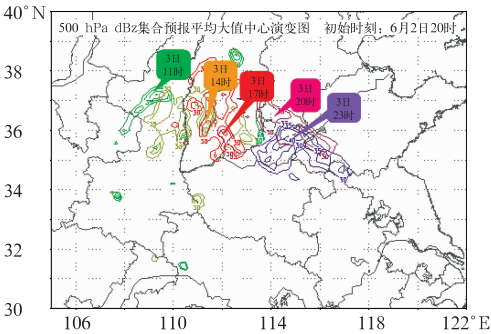


图 7 中尺度集合预报系统模拟的 6 月 3 日 11—23 时 500 hPa 反射率因子(单位:dBz)集合预报平均大值中心演变图  
起报时间为 6 月 2 日 20 时  
Fig. 7 Movement of maximum value of ensemble mean of 500 hPa dBz (units:dBz)  
om 13:00 BT 3 June to 23:00 BT 3 June 2009  
initial time:20:00 BT 3 June 2009

时至 4 日 02 时缓慢东移,4 日 08 时开始减弱,在飑线发生区域,700 hPa 风场存在明显的南北风辐合, dBz 大值区正位于这些辐合线附近。3 日 23 时 850 hPa 露点温度,风,500 hPa dBz 集合预报平均叠加组合显示,河南北部存在干线、风辐合线及 dBz 的大值中心,与实况卫星云图发生区域吻合。

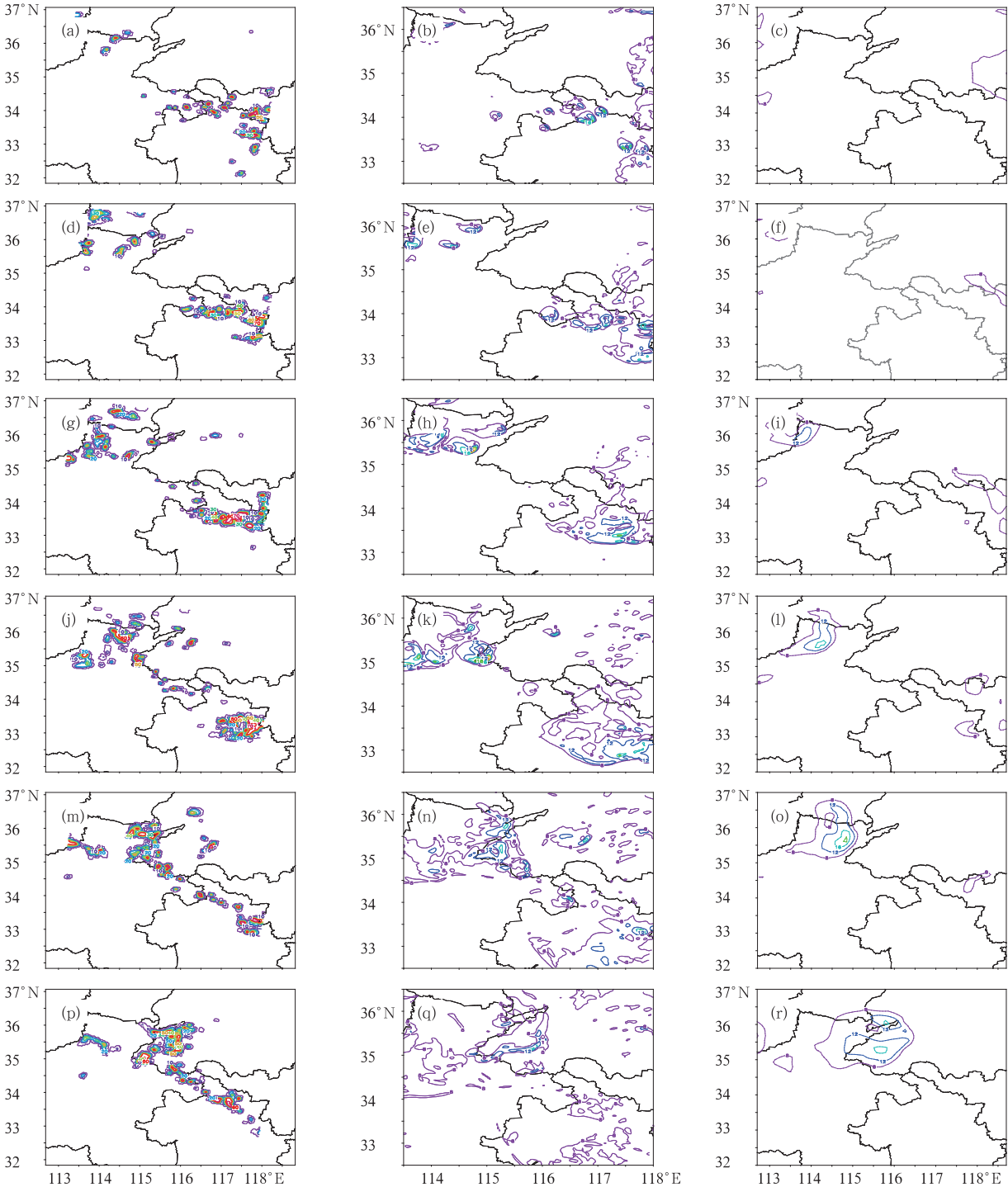


图 8 2009 年 6 月 3 日 18:00—23:00(北京时)3 km WRF 模式估算 850 hPa 雷达反射率(左列)、  
10 m 风速预报(中列)与 15 km WRF 模式 10 m 风速预报图(右列)  
模式初始时间:2009 年 6 月 3 日 08:00 北京时

Fig. 8 The 850 hPa radar dBz (left column), 10 m wind speed (middle column) of 3 km WRF forecasting and  
10 m wind speed (right column) of 15 km WRF forecasting at 18:00—23:00 BT June 3, 2009  
initial time:08:00 BT, 3 June 2009

中尺度集合预报的分析表明,地面气象要素集合预报产品对这次过程的大风、降水有一定预报能力,少数成员可以较好地预报出这类极端天气事件,主要问题是强度不够,落区不准;雷达反射率 dBz 集合预报产品可以很好地反映这次强对流系统的发生、发展和移动路径,其离散度可以给出预报不确定信息,对强对流预报重点关注的干线、风、CAPE 等物理量,集合预报产品具有较好的指示意义,集合预报产品可以给预报员提供预报参考依据,增强了发展为强对流预报服务的中尺度集合预报系统的信心,但这些物理量指示最有利于强对流发生的预报时间并不一致,如 MCAPE,最大值出现在 3 日 11—14 时,而 dBz 最有利时间是北京时间 20 时,对如何利用这些潜预报因子,还需要预报员做更多的研究。

### 3 数值预报对强天气的支撑能力讨论

#### 3.1 高分辨率数值预报模式对强天气的预报能力问题探讨

由前可知,T639 模式对 10 m 风速预报较弱,那么高分辨率模式的区域模式预报效果又是如何呢?图 8 是 2009 年 6 月 3 日 18:00—23:00(北京时)以 T639 做背景和边值的 3 km 分辨率 WRF 模式预报的雷达综合反射率(左列)、10 m 风速预报(中列)与 15 km WRF 模式 10 m 风速预报(右列)。由图可见,15 km WRF 模式预报从 20:00—23:00 时预报了一片  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的强风速区从山西、陕西和河南交界处发生、发展并向东南方向移过河南,但没有预报出商丘的大风。3 km WRF 模式预报从 18:00—23:00 时,预报了一片  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的强风速区和显著的雷达回波区从山西、陕西和河南交界处发生、发展并向东南方向移过河南,在 22:00,预报了商丘附近有  $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的强风速区。与 15 km 的 WRF 模式相比,3 km 的 WRF 模式强风速区中心值更大,表明,与全球模式相比,高分辨率的区域模式可以模拟出飊线的发生和发展过程。精细化的 3 km 模式对飊线的预报能力较 15 km 的更强,但大风区的落区预报还存在较大的不确定性。尽管如此,高分辨率数值预报模式仍然能为强对流天气预报提供较好的科技支撑。

高分辨率模式对强对流天气具有一定的预报能

力,但需要提高产品的时间和空间分辨率,才能更好地展示强对流过程的发生发展和演变过程。目前我国业务数值预报产品的输出时间间隔通常是 3 h,而强对流天气通常发生在很短的时间里,以 15 km 模式预报为例,如按 3 小时输出产品,预报员仅能查阅图 8c 和图 8l,难以分析出强对流过程来龙去脉。从业务的角度看,数值预报模式产品需要提供时间间隔 1 h 的产品,才能满足强天气预报的需求。

#### 3.2 我国 MICAPS 图形显示系统对高时空分辨率模式产品的支撑问题

为了适应我国综合气象信息综合显示系统 MICAPS 图形产品处理的需要,高分辨率模式产品的 MICAPS 格式产品一般需要经过稀疏化处理,图 9 是经过稀疏化处理后的 WRF 模式 10 m 风场。由图可见,15 km 水平分辨率的模式产品经稀疏化后,插值为空间间隔 2.5 经纬度间隔的风场预报图,从图可见,仅在河南中部出现了  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的风速杆,不能显示风场的中尺度信息,高分辨率数值预报模式产品对强对流天气的预报指导作用难以发挥。如何更好地展示高分辨率模式产品的精细化信息,是为这类具有突发性强、局地性强、移速快的强对流天气预报提供科技支撑的重要问题,值得深入探索。

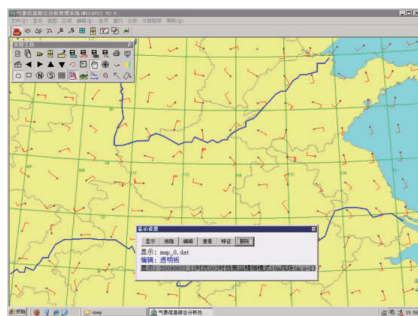


图 9 2009 年 6 月 3 日 20 时(北京时)的 15 km WRF 模式 3 小时风场预报的 MICAPS 格式图形

Fig. 9 The 3 h wind field forecasting diagram by MICAPS of 15 km WRF model at 20:00 BT 3 June, 2009

## 4 小 结

本文首先介绍了国家气象中心 2009 年研究开发的强天气模式数值预报产品,特别是与强对流有关的模式诊断变量产品,对“6.3”河南飊线天气的预



报能力进行了初步分析,最后讨论了数值预报模式产品支撑强天气预报中存在的问题,获得以下主要结论:

(1) 目前开发了强 T639 全球模式强天气诊断变量产品、基于 GRAPES\_RUC 的中尺度精细化强天气诊断变量产品、基于 WRF 中尺度模式的区域中尺度集合概率预报产品,促进国家气象中心从无到有建立了一套完整的强天气数值预报产品库,为预报员提供了强天气模式诊断变量的确定性预报产品以及概率预报产品。对“6.3”河南飚线天气的模式预报能力的检验分析表明,高分辨率模式对强对流天气的预报能力有了较大的提高,但对于强天气预报,15 km 分辨率仍然不足够高,且产品显示的时空分辨率都应在现有基础上提高,才能更好地展示数值预报产品对强对流过程发生发展和演变过程。

(2) 通过分析不同分辨率的模式预报效果,提出了高分辨率数值预报产品在应用于强天气预报中需要解决的两个问题,一是需要发展小尺度分辨率的数值预报模式,二是需要发展合适的数值预报产品图形显示平台。

(3) 尽管数值预报室和强天气中心已做了一些初步工作,取得了一些成果。但从 2009 年已开展工作的来看,强天气预报数值预报产品开发具有很强的挑战性,需要深入研究强天气特征有针对性地开发具有强天气预报指示意义的数值预报产品。

**致谢:**本文是在国家气象中心数值预报室和强天气预报中心同事们的协助下完成的,在此深表谢意!

## 参考文献

- [1] 彭治班,刘健文,郭虎,等. 国外强对流天气的应用研究. 北京:气象出版社[M]. 2001:1-414.
- [2] 薛纪善. 美国天气预报技术的发展[J]. 气象,1998,35(9):3-11.
- [3] 陈静,薛纪善,颜宏. 华南中尺度暴雨数值预报的不确定性与

集合预报试验[J]. 气象学报,2003,61(4):432-446.

- [4] Thompson R L. Eta model storm-relative winds associated with tornadic and nontornadic supercells[J]. Weather and Forecasting,1998,13(3):125-137.
- [5] Corfidi S F. The birth and early years of the Storm Prediction Center[J]. Weather and Forecasting,1999,14(8):507-525.
- [6] Bright D R, Weiss S J, Levit J J, et al. The evolution of multi-scale ensemble guidance in the prediction of convective and severe convective storms at the Storm Prediction Center [C]. 2008:24th Conf Severe Local Storms, Savannah GA.
- [7] Kain, J S, M E Baldwin, P R Janish, et al. Carbin, Subjective verification of numerical models as a component of a broader interaction between research and operations [J]. Weather and Forecasting, 2003(10): 847-860.
- [8] 冯汉中,陈静,何光碧,等. 长江上游暴雨短期集合预报系统试验与检验[J]. 气象,2006,32(8):12-16.
- [9] 刘家辉,张立凤,关吉平,等. 集合预报产品在台风麦莎预报中的应用[J]. 气象,2010,36(5):21-31.
- [10] 马清,龚建东,李莉,等. 中尺度集合预报的二阶矩离散度订正研究[J]. 气象,2008,34(11):15-21.
- [11] Weiss, S J, D R Bright, J S Kain, et al. Complimentary use of short-range ensemble and 4.5 km WRF-NMM model guidance for severeweather forecasting at the Storm Prediction Center. Preprints, 23rd Conference on Severe Local Storms, St. Louis, MO, Amer Meteor Soc, CD-ROM, 2006
- [12] 管成功,陈起英,佟华,等. T639L60 全球中期预报系统预报试验和性能评估[J]. 气象,2008,34(6):11-16.
- [13] 陈起英,管成功,姚明明,等. 全球中期模式升级关键技术研发和预报试验[J]. 气象学报,2007,65(4):478-492.
- [14] 刘健文,郭虎,李耀东,等. 天气分析预报物理量计算基础 [M]. 北京:气象出版社,2005:1-253.
- [15] 闫之辉,邓莲堂. WRF 模式中的微物理过程及其预报对比试验[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(6):1-6.
- [16] 邓莲堂,王建捷. 新一代中尺度天气预报模式——WRF 模式简介[C]//中国气象学会. 2003 年年会“城市气象与科技奥运”分会论文集. 北京:气象出版社, 2003.
- [17] 章国材. 美国 WRF 模式的进展和应用前景[J]. 气象,2004, 30(12):27-31.