

AREM 数值模式对 2005 年汛期 四川的降水预报

何光碧^{1,3} 陈 静¹ 肖玉华² 顾清源² 李 川¹

(1. 云南大学大气科学系, 650091; 2. 中国气象局成都高原气象研究所;
3. 四川省气象台)

提 要: 应用中国科学院大气物理研究所的 AREM 模式, 对 2005 年汛期四川进行了实时降水预报。结果表明: (1) AREM 预报性能略好于成都区域中心业务运行模式 ETA 模式, 对大雨和暴雨的 TS 评分, AREM 略高于 T213 预报。(2) 从梯度评分看, 高度、温度、涡度等要素均为可预报, 而地面温度、整层水汽含量和整层水汽通量散度可预报性较低。(3) AREM 对 5 次区域性暴雨有较好的反映, 但与实况还存在一定的差异, AREM 降水强度预报较实况偏弱。

关键词: AREM 模式 四川降水 预报

Precipitation Prediction with AREM Numerical Model in Sichuan Flood Season in 2005

He Guangbi^{1,3} Chen Jing¹ Xiao Yuhua² Gu Qingyuan² Li Chuan¹

(1. Atmospheric Science Department, Yunnan University, 650091;
2. Institute Plateau of Meteorology, CMA; 3. Meteorological Observatory of Sichuan Province)

Abstract: Using AREM model, a real-time precipitation prediction in Sichuan flood season in 2005 is made. The results are as follows: 1. the performance of AREM model is better than ETA model which is operation model in Chendu region meteorological center and TS score values of AREM model is higher than that of T213 model. 2. The elements such as height,

资助项目: 中国气象局新技术推广项目 (CMATG2005M20)、科技部项目 (2004DID3J119)、成都高原所高原基金
“数值模式地形处理”, 四川省局“数值集合预报技术研究”和“城市服务体系建设”资助

收稿日期: 2005 年 12 月 28 日; 修定稿日期: 2006 年 2 月 27 日

temperature and vortex are predictable. But the predictability of the elements such as ground temperature, vapor contents and vapor flux divergence of the whole atmosphere level is lower. 3. AREM model has prediction ability to five local heavy rain happened in Sichuan flood season in 2005, but still are there the differences between the precipitation prediction of the model and observation. The intensity of precipitation of the model is weaker than the observation.

Key Words: AREM model sichuan precipitation forecast

引言

中国科学院(CAS)大气物理研究所(IAP)大气科学和地球流体力学国家重点实验室(LASG)针对中国暴雨数值预报建立的一个能考虑陡峭地形的有限区域 η 坐标数值预报模式 REM, 经过近 20 年的研究发展, 在模式分辨率、模式标准化、侧边界条件、模式物理过程参数化和模式初值生成等方面得到了巨大的发展和更新, 从而建立了一个较先进的有限区域 η 坐标暴雨数值预报模式 AREM^[1]。AREM 模式在武汉暴雨中心、湖南省气象局等很多科研和业务单位应用中显示了对暴雨有较强的预报能力^[2,3], 宇如聪、卿清涛、钟晓平^[4-6]等应用 AREM 模式对四川雅安暴雨及青藏高原对邻近地区天气系统的数值模拟研究中, 取得了比较令人满意的结果。

成都区域中心从中科院大气所引进 AREMV2.3 版本的模式, 在学习 AREM 方案, 熟悉程序框架基础上, 进行了模式积分区域调整, 编写数据接口程序, 实现了 AREM 模式与成都区域中心 9210 数据资料的衔接, 开展模式产品转换和模式产品检验工作, 初步建成从资料处理、AREM 模式预报、产品输出转换到产品检验的 AREM 中尺度数值模式的业务试运行系统, 2005 年 6 月投入业务试运行。汛期运行结果表明, AREM 对西南地区的强降水有一定的指导意义。

滕家谟等早在上世纪 90 年代初就引进了美国的 η 坐标模式, 并在成都区域中心投入业务运行^[7], 何光碧、郁淑华等还应用 η 坐标模式对四川降水进行了一系列的数值试验, 揭示暴雨发生发展机理^[8-12]。随着计算技术发展和数值模式发展, 在成都区域气象中心引入了 AREM 数值模式, 尝试新的数值模式在西南地区的应用。本文介绍成都区域中心业务试运行的 AREM 模式特征, 降水检验的统计评分方法及降水预报性能。

1 AREM 模式特征简介

试运行采用的 AREM 模式分辨率为 0.25×0.25 经纬度(两相邻同性网格水平格距约 37km), 有 241×181 点, 模式预报范围为 $80 \sim 130^\circ\text{E}/10 \sim 55^\circ\text{N}$, 垂直分层 16 层, 模式层顶为 100hPa; 初始条件: 利用常规探测资料和 T213 的 12 小时预报场资料, 采用改进的 Barnes 方法获取距离权重函数, 通过逐步订正法得到模式初值; 行星边界层物理过程: 非局地边界层方案; 云和降水物理过程: 暖云微物理过程和 Betts 对流调整。模式在单个 CPU 的曙光机上运行, 每天两次分别在 12:50(北京时)和 04:50 启动模式作 48 小时预报, 积分时间步长为 225s。

2 降水检验

2.1 统计检验方法

TS 评分:

$$TS = NA / (NA + NB + NC)$$

偏差:

$$B = (NA + NB) / (NA + NC)$$

漏报率:

$$LO = NC / (NA + NC)$$

空报率:

$$KO = NB / (NA + NB)$$

预报效率:

$$EH = (NA + ND) / (NA + NB + NC + ND)$$

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。

2.2 2005 年 6—9 月降水预报统计检验比较

表 1 给出 AREM、成都区域中心业务运行模式 ETA 和国家气象中心的 T213 模

式降水预报评分结果。由表 1 可见, 就 TS 评分, 24 小时预报, 对 25mm 和 50 mm 量级的降水, AREM 高于 T213, 对 50mm 及其以下量级降水, AREM 高于 ETA; 48 小时评分, T213 的 TS 值明显高于 AREM 和 ETA, AREM 对 50mm 和 100mm 量级降水 TS 评分低于 ETA。就空报和漏报情况, 24 小时检验, 对中到暴雨量级降水, AREM 空报率高于 T213 和 ETA, 相应漏报率较低; 对小雨, T213 空报率最高, 相应漏报率最低; 对大暴雨, ETA 空报率最高, 三个模式的漏报率基本一样; 48 小时, 小到中雨, T213 空报率最高, 大到大暴雨, ETA 高于 AREM 和 T213。总体看, 对各量级降水, AREM 空报率在三个模式中几乎为最低, 而 T213 漏报率最低。预报偏差, 无论是 24 还是 48 小时, 小雨到大雨, T213 都过高估计降水, 24 小时 ETA 和 AREM 估计的降水面积与实况较吻合, 说明这两个模式预报的落区与实况有出入, 48 小时 AREM 对中雨以上的降水预报明显低估降水面积。从既考虑降水又考虑无雨日, AREM 预报效率几乎为最高, 特别是 48 小时预报。

表 1 2005 年夏季 AREM、ETA 和 T213 预报降水评分结果

量级 /mm	预报评分 种类	TS		KO		LO		B		EH	
		24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h	24h	48h
≥0.1	AREM	0.508	0.476	0.401	0.416	0.264	0.288	1.693	1.670	0.662	0.625
	ETA	0.464	0.387	0.377	0.424	0.362	0.460	1.436	1.611	0.664	0.595
	T213	0.532	0.537	0.461	0.455	0.030	0.043	3.403	3.011	0.570	0.585
≥10	AREM	0.157	0.094	0.666	0.531	0.656	0.804	1.887	0.817	0.760	0.804
	ETA	0.118	0.079	0.485	0.505	0.768	0.816	0.954	0.962	0.800	0.787
	T213	0.191	0.173	0.595	0.594	0.506	0.541	2.932	2.784	0.733	0.727
≥25	AREM	0.079	0.026	0.564	0.319	0.659	0.770	1.921	0.742	0.887	0.920
	ETA	0.045	0.026	0.366	0.334	0.743	0.764	1.135	1.352	0.906	0.903
	T213	0.059	0.058	0.306	0.301	0.680	0.698	1.632	1.679	0.902	0.903
≥50	AREM	0.026	0.002	0.305	0.089	0.566	0.603	1.145	0.634	0.959	0.976
	ETA	0.011	0.006	0.219	0.210	0.598	0.609	1.093	1.449	0.962	0.965
	T213	0.012	0.010	0.045	0.078	0.603	0.584	0.591	0.939	0.974	0.974
≥100	AREM	0.000	0.000	0.049	0.008	0.288	0.283	0.787	0.717	0.995	0.996
	ETA	0.004	0.001	0.090	0.089	0.298	0.286	0.828	0.819	0.989	0.992
	T213	0.001	0.006	0.004	0.021	0.289	0.292	0.724	0.723	0.996	0.995

以上分析表明, 总体看, AREM 预报性能较 ETA 略好, 就 TS 评分, 特别是 48 小时的 TS 评分, T213 模式领先。即使如此, 还没有哪一个模式能让人很信服地认为有技巧或根本没有技巧。这可能是由于四川处于特殊、复杂地形下, 受青藏高原东移系统的影响, 而青藏高原邻近地区观测资料又匮乏, 地形以及模式初值使数值天气预报模式很难做好该地区的预报。

2.3 2005 年 7 月降水预报统计检验比较

2005 年四川出现了 5 次区域性暴雨, 其中有 4 次出现在 7 月, 为此, 我们针对 7 月降水预报, 进行了如下统计检验比较分析。

2.3.1 初值仅有观测资料与 T213 和观测

资料同时引入的区别

由 T213 资料和观测资料形成的初值较仅有观测资料形成的初值 0~24 小时降水预报检验比较 (见表 2) 显示, TS 评分: 各量级 TS 评分均有提高。除小雨外, 其它量级评分提高 0.02 以上。空报: 大雨以上降水, 空报率有所增加, 小到中雨, 基本一致。漏报: 除大暴雨两者一致, 其它量级降水漏报率减小。预报偏差: 各量级降水, 预报降水面积与实况之比有不同程度增大, 特别是大雨和暴雨的预报, 暴雨以下量级的预报显示预报降水面积较实况面积大, 大暴雨量级的预报显示预报降水面积较实况面积小。预报效率: 各量级降水, 预报效率略有降低, 对大雨以上的预报两者均达到 0.82 以上, 小雨的预报效率也达到 0.67 以上。

表 2 2003 年 7 月不同初值 24 小时预报检验结果

降水量级/mm	T213 和观测资料形成的初值					仅有观测资料形成的初值				
	0.1	10	25	50	100	0.1	10	25	50	100
TS	0.565	0.191	0.105	0.049	0.000	0.558	0.168	0.080	0.026	0.000
KO	0.347	0.730	0.817	0.621	0.194	0.348	0.732	0.585	0.483	0.065
LO	0.203	0.608	0.669	0.670	0.323	0.216	0.684	0.744	0.691	0.323
B	1.341	1.755	2.364	2.343	0.864	1.312	1.344	1.335	1.833	0.655
EH	0.675	0.704	0.820	0.911	0.991	0.677	0.739	0.846	0.928	0.993

由 T213 资料和观测资料形成的初值较仅有观测资料形成的初值 12~36 小时降水预报检验比较 (表略) 显示, TS 评分: 各量级 TS 评分均有增加, 在 0.02 以上。空报: 除大暴雨空报率略有增大, 其它量级空报率降低。漏报: 某些量级降水, 降水漏报率有不同程度增大, 与 0~24 小时预报结果有所不同。预报偏差: 各量级的预报偏差减小, 特别是大到暴雨的预报非常明显, 0~24 小时统计检验是降水面积较实况面积大, 而 12~36 小时统计检验显示预报降水面积较实况面积小。预报效率: 暴雨以上预报效率略有降低, 其它量级降水, 预报效率增加, 对中雨以上的预报, 预报效率在 0.75 以上。

总体看, 初值引入 T213 资料对预报效果有一定程度的改进, 主要体现在 TS 评分值的提高上。

2.3.2 不同初始时刻资料预报的 12~36 小时累计降水统计检验结果比较

AREM 模式以 20:00 初值预报较 08:00 初值预报统计检验结果显示 (见表 3), TS 评分: 除大暴雨无变化外, 各量级 TS 值增大。空报: 无明显变化。漏报: 对小到中雨, 漏报率无明显改变。对大雨以上的预报, 漏报率有明显降低。预报偏差: 对低估降水面积有较大改变, 主要表现在大雨以上的预报。预报效率: 无明显改变。总体看, 以 20:00 资料为初值预报较 08:00 资料为初值的预报总的评分效果好, 这可能是四川

表 3 AREM 不同初始时刻 12~36 小时降水统计检验结果

降水量级/mm	初始时刻 20: 00					初始时刻 08: 00				
	0.1	10	25	50	100	0.1	10	25	50	100
TS	0.564	0.191	0.101	0.028	0.000	0.533	0.167	0.075	0.008	0.000
KO	0.374	0.653	0.617	0.307	0.032	0.383	0.607	0.534	0.233	0.032
LO	0.174	0.674	0.730	0.732	0.290	0.217	0.717	0.821	0.860	0.516
B	1.443	1.223	1.080	0.855	0.700	1.416	1.227	0.872	0.479	0.467
EH	0.662	0.741	0.855	0.946	0.993	0.633	0.752	0.876	0.951	0.989

盆地的降水多数出现在夜间，20：00 资料能较好地反映暴雨前或暴雨时的大气状态。

3 要素场统计检验

将每一天的初始分析场作为实况，计算 AREM 模式前一天的 24 小时预报，前两天的 48 小时预报与实况的相关系数，均方根误差，S1 梯度评分，平均差和标准差等。计算的要素有温度，高度，比湿， u 、 v 分量，地面温度，地面气压，垂直速度，水汽通量散度，整层水汽含量和整层水汽通量散度。层次选择了 200、300、500、700、850、950hPa 和地面。

相关系数反映了预报场与实况场的相似程度，是预报质量的指标之一。从相关系数角度看（表略）：

（1）除“整层水汽通量散度”的预报比较差以外（6、7、8、9 四个月平均相关系数都小于 0.1），其余量的预报均较好，月平均相关系在 0.8 以上。

（2）在预报较好的量中，相对而言，地面温度、整层水汽含量和 200hPa、300hPa 的温度预报略差。

（3）同一量的 24 小时预报相关系数略高于 48 小时预报。

（4）同一预报量的相关系数无明显的垂直差别。

S1 梯度评分反映了预报量的预报值与实况值水平梯度的相对差异，最常用在气压位势高度等标量的评分中。S1 值愈小愈好，若 S1 为 0.70 左右则为不可预报。

S1 评分随时间，空间以及要素的变化比较大（见表 4）。高度预报场的 S1 评分从 200hPa 的大于 0.3 减到 850hPa 的低于 0.1，到 950hPa 又有所增加，大于 0.2，总体看，S1 评分在 200hPa 和 300hPa 相对较差。温度预报场的 S1 评分在 200 和 300hPa 最高，超过 0.4，但在 500hPa 出现极低，不足 0.01，再向下，S1 评分有所回升，到 950hPa，S1 评分可超过 0.25，即温度场的 S1 评分在对流层中低层较好，在 200 和 300hPa 较差。涡度、比湿、 u 、 v 分量、垂直速度和水汽通量散度的 S1 评分值都比较低，除 950hPa 高于 0.2 以外，其余层次都小于 0.1。因此，从 S1 量的检验看，各检验要素均为可预报。

表 4 AREM 模式 7 月平均 S1 评分

要素	高度	温度	涡度	比湿	u 、 v 分量	垂直 速度	水汽通 量散度
200hPa	24h	0.302	0.464				
	48h	0.305	0.478				
300hPa	24h	0.303	0.447				
	48h	0.307	0.463				
500hPa	24h	0.193	0.008	0.005	0.008	0.007	0.027
	48h	0.196	0.008	0.005	0.008	0.007	0.039
700hPa	24h	0.126	0.100	0.099	0.100	0.063	0.064
	48h	0.137	0.111	0.111	0.112	0.071	0.070
850hPa	24h	0.058	0.053	0.053	0.053	0.047	0.053
	48h	0.061	0.055	0.055	0.056	0.049	0.057
950hPa	24h	0.231	0.238	0.238	0.238	0.215	0.205
	48h	0.286	0.294	0.294	0.294	0.267	0.241

地面温度和整层水汽含量的 S1 评分值比较高，除 8 月 24 小时预报 S1 评分低于 0.5 以外（表略），其余均高于 0.5，最高时

达 0.677; S1 评分最高的是整层水汽通量散度,几个月平均值都大于 0.99;因此,地面温度、整层水汽含量和整层水汽通量散度由于其 S1 值较高,可预报性较差,特别是整层水汽通量散度几乎为不可预报。

从预报时效看,48 小时预报的 S1 评分高于 24 小时预报的 S1 评分;从 6 至 9 四个月的 S1 评分看, S1 评分无明显的时间变化。

此外,对误差场作了月平均,试图了解误差的空间分布。结果表明:

(1) 6 至 9 月各层的高度预报误差场在预报区内大都略偏低 10gpm, 偏高区主要位于北面, 偏高 20~30gpm。

(2) 四个月的温度预报误差都在正负 1℃ 之间, 并且无明显的大范围、持续性误差;整层水汽含量预报也较好。

(3) 比较引人注目的是比湿预报。6、7、8 三个月的比湿预报无大范围明显误差, 而 9 月几层等压面上的比湿预报误差场上在长江中下游地区有一个带状偏高区(图略)。

(4) 另一个有较大范围误差场的是 u 、 v 分量(图略)。 u 分量在高原地区预报误差高于高原以东平原地区。高原上大部分地区预报偏高, 最高可偏高 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在预报区中部(即模式区域中心地带)误差较小, 为正负 $1\sim 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 但在北部和东部误差较大。

(5) 500hPa v 风量预报误差场与 u 分量

误差场分布相似, 但高原上偏高区更为零散, 误差值也比 u 分量误差小一些。在 700、850hPa v 分量预报误差场上, 偏高区多于偏低区。

4 2005 年主要降水过程预报与实况比较

2005 年四川盆地共出现 5 次区域性降水过程, 其中 1 次出现在 6 月, 4 次出现在 7 月。

我们重点以 2005 年 7 月 7—9 日和 7 月 17—18 日两次区域性大暴雨, 分析 AREM 数值模式对四川的降水预报情况。

2005 年 7 月 7 日凌晨到 9 日白天, 在四川省的达州、广安、内江、自贡、宜宾、泸州、乐山、巴中、凉山、攀枝花十市(州)的部分地方共计 41 县(市)降了暴雨, 这次区域性暴雨过程的强降雨中心在达州市, 日降雨量超过 200 mm 的乡镇有 4 个。这次暴雨天气过程给四川省造成了严重的经济损失, 尤其在达州市, 局地特大暴雨的突袭给达州市造成了数十亿的经济损失, 这是继 2004 年“9.3”特大暴雨之后达州市再一次遭受特大暴雨袭击。

图 1、图 2 给出 2005 年 7 月 7—9 日区域性大暴雨过程 AREM 模式预报与实况比较。由图所见, 7 月 7—8 日降水, 模式以 7 日 08:00 初值预报的 0~24 小时盆地东部大暴雨, 但预报的落区较实况偏东约一个经

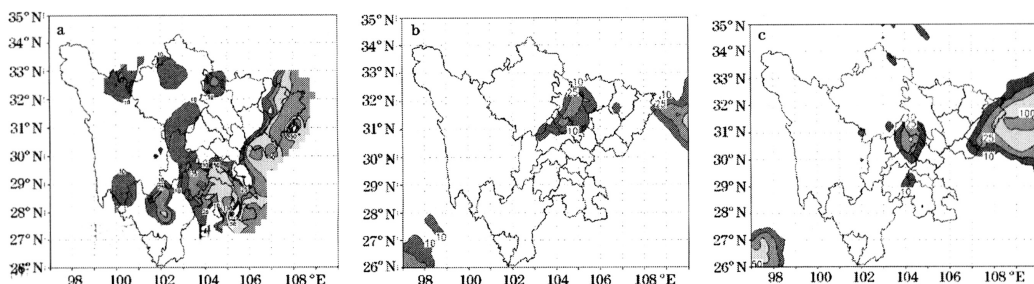


图 1 2005 年 7 月 7—8 日 08:00 实况与预报

a. 实况; b. 7 月 6 日 20:00 积分 12~36 小时累积降水预报; c. 7 月 7 日 08:00 积分 0~24 小时累积降水预报

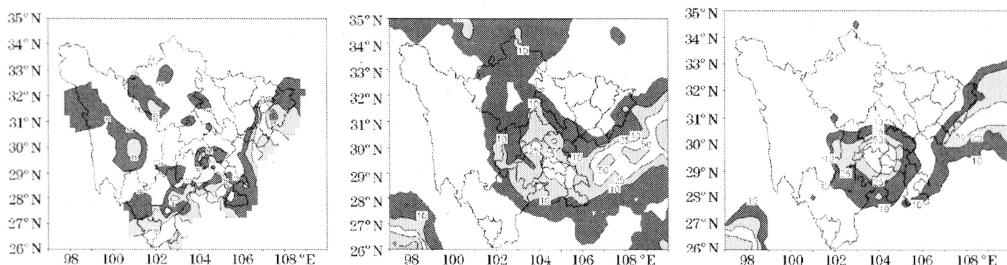


图2 2005年7月8—9日08:00实况与预报

a. 实况; b. 7月7日20:00积分12~36小时累积降水预报; c. 7月8日08:00积分0~24小时累积降水预报

度,对盆地东南部的降水模式没有反映,6日20:00初值预报的12~36小时降水预报在强度与落区上与实况偏差更大。7月8—9日,模式即报出了盆地东部降水,也报出了盆地南部降水,预报与实况比较接近。

图3给出四川中东部7月17—18日08:00出现的一次强降水。实况雨带呈近

于南北向,横贯全省,AREM两个时次的预报虽然未报出盆地南部降水,但整个雨带形状与实况比较相似,还报出未来盆地中东部将出现暴雨。两个时次预报的落区较实况偏西,强度偏弱,但7日16日20:00作的12~36小时预报落区较7月17日08:00作的0~24小时偏西要多,强度偏弱要多。

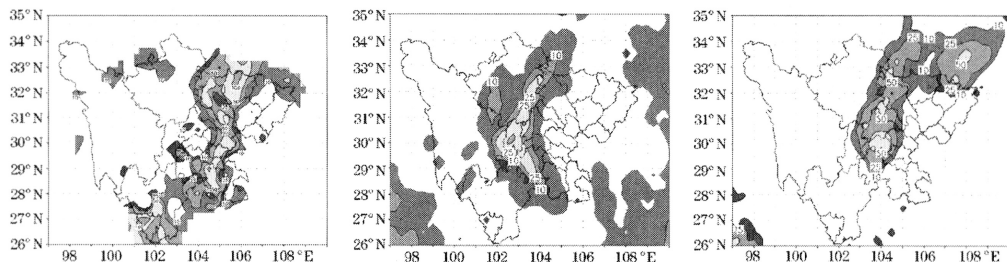


图3 2005年7月17—18日08:00实况与预报

a. 实况; b. 7月16日20:00积分12~36小时累积降水预报; c. 7月17日08:00积分0~24小时累积降水预报

从以上分析和另外三次区域性降水预报(图略)与实况分析比较看,AREM模式的24小时降水预报好于36小时降水预报,主要体现在降水强度上,24小时预报更接近于实况。两者预报落区基本一致,表明AREM模式预报具有连续性。若盆地东部出现大暴雨,模式预报降水落区较实况略偏东,若盆地西部出现暴雨,模式预报降水落区较实况略偏西,降水落区的差异可能与地形有关。模式预报降水强度较实况偏弱。就2005年的5次区域性降水过程,总体看,AREM预报与实况较为接近,对实际预报有较好的指导意义。

5 小结

以上从统计检验和预报与实况分析比较,可小结如下:

(1) 降水评分检验结果表明,AREM预报性能略高于成都区域中心业务运行模式ETA;对大雨和暴雨的TS评分,AREM略高于T213预报。AREM24小时预报检验好于24~48小时预报检验。模式前24小时易空报,后24小时易漏报。AREM模式以20:00初值的预报较以08:00为初值预报评分效果要好,由T213资料和观测资料形

成的初值较仅有观测资料形成的初值降水预报检验 TS 评分要高。

(2) 要素场统计检验表明,除“整层水汽通量散度”相关系数较差外,其它变量的相关系数较高;从 S1 梯度评分量的检验看,高度、温度、涡度等要素其 S1 值比较理想,均为可预报,而地面温度、整层水汽含量和整层水汽通量散度由于其 S1 值较高,可预报性较低,特别是整层水汽通量散度几乎为不可预报。各要素的误差空间分布表明,高度场和温度场的误差较小,风场误差在高原地区较大,在模式中心地带较小,偏高区多于偏低区;比湿误差不明显,主要出现在 9 月份,几层等压面上的比湿预报误差场上在长江中下游地区有一个带状偏高区。

(3) 2005 年汛期 5 次区域性降水过程的预报与实况分析表明,AREM 降水强度预报上较实况偏弱,若盆地东部出现大暴雨,模式预报降水落区较实况略偏东,若盆地西部出现暴雨,模式预报降水落区较实况略偏西,降水落区的差异可能与地形有关。24 小时降水强度预报好于 36 小时预报。

AREM 业务试运行系统有待作进一步改进。事实上,AREM、ETA 和 T213 模式的降水统计检验表明还没有哪一个模式能让人很信服地认为有技巧或根本没有技巧,这可能与模式地形与模式初值有关。为了提高模式性能,可进行模式物理过程的调整、引入更真实、合理的模式地形、引入 T213

时变侧边界等数值试验。

参考文献

- 1 字如聪,薛纪善,徐幼平等著. AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统 [M]. 北京:气象出版社,2004.
- 2 方慈安,梅修宁,毛光祥. η 坐标有限区域数值预报模式的实时预报试验 [J]. 气象,1999,25 (9): 15-20.
- 3 崔春光. 强降水过程模式中尺度水汽初值的敏感性试验 [J]. 气象,2000,26 (11): 3-6.
- 4 字如聪. 一个 η 坐标有限区域数值预报模式对 1993 年中国汛期降水的实时预报试验 [J]. 大气科学,1994,18 (3): 284-292.
- 5 字如聪,曾庆存,彭贵康等. “雅安天漏”研究 II 数值预报试验 [J]. 大气科学,1994,18 (5): 535-551.
- 6 卿清涛,钟晓平,王春国. 青藏高原对邻近地区天气系统影响的数值模拟研究 [J]. 气象,2000,26 (1): 19-24.
- 7 滕家谟,何光碧,肖玉华等. 成都区域气象中心业务系统 [M]. 北京:气象出版社,1994: 158-199.
- 8 何光碧,滕家谟,肖玉华. η 坐标模式 1995 年 5—9 月的实时降水预报 [J]. 高原气象,1997,16 (2): 183-198.
- 9 何光碧,郁淑华. 四川盆地西北部一次暴雨过程数值试验 [J]. 气象,2000,26 (4): 7-11.
- 10 何光碧,肖玉华,顾清源. “9.18”川西北暴雨过程的数值预报与数值试验 [J]. 气象,2002,28 (8): 19-23.
- 11 郁淑华,何光碧,滕家谟. 青藏高原切变线对四川盆地西部突发性暴雨影响的数值试验 [J]. 高原气象,1997,16 (3): 306-311.
- 12 郁淑华,何光碧. 对流层中上部水汽对高原低涡形成影响的数值试验 [J]. 南京气象学院学报,2001,24 (4): 553-559.