

2005 年 AREM 模式汛期试验结果评估分析

公 颖 张 兵 廖 移 山 李 俊

(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

提 要: AREM2.3 模式 2005 年在中国气象局武汉暴雨研究所汛期试验过程中计算稳定, 计算了该模式降水预报的分区域(长江中下游、华南、华北、东北、西南、湖北省)汛期(6、7、8 三个月)TS 评分, 全国范围汛期漏报率、空报率、预报偏差, 及各区域内重要降水过程预报和实况的对比及 TS 评分, 计算该模式形势场预报的平均误差、均方根误差、倾向相关系数、误差标准差, 并与持续性预报(将前一天的分析场当作前一天对当天的预报场, 以此类推)对比, 以此对模式预报效果进行分析、评估, 并做出总结, 为模式的进一步开发和应用提供参考。分析结果表明: AREM2.3 模式在 2005 年汛期试验期间 48 小时内预报稳定; 对于长江中下游、华北、华南、东北、西南、湖北省以至全国范围均有较好的预报水平, 但总体上对于强降水中心位置的预报情况不是很好; 模式对于高空形势场也具有较好的预报能力, 对 500hPa 位势高度的预报好于对 500hPa 温度的预报。

关键词: AREM2.3 TS 评分 漏报率 空报率 预报偏差 平均误差 均方根误差 倾向相关系数

Evaluation and Analysis of AREM Prediction Products in Flood Season of 2005

Gong Ying Zhang Bing Liao Yishan Li Jun

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, 430074)

Abstract: The operation of AREM2.3 in Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, in the flood season of 2005 is steady. The TS scores of the precipitation forecast are calculated in various areas, such as, the middle and lower reaches of the Changjiang River, South China, North China, North-east China, Southwest China and Hubei Province in flood season (June, July and August). The fail rate, false rate, predicting deviation of the whole China in flood season are calculated.

The comparison between the forecast and real rain field is made. And the TS scores of important rainfall processes of those areas are calculated. The evaluation of the model prediction is made by comparing with the persistent forecast. It indicates that the prediction of AREM2.3 in the flood season of 2005 is steady in 48 hours, and AREM2.3 has relative high prediction ability for rain in the middle and lower reaches of the Changjiang River, South China, North China, Northeast China, Southwest China, Hubei Province and the whole China, but the prediction for heavy rain centers is not perfect, AREM2.3 has high prediction ability for meteorological elements in high-level, too, its predicting ability for 500hPa height is better than that for 500hPa temperature.

Key Words: AREM2.3 TS score fail rate false rate predicting deviation average error root-mean-square error tendency correlation coefficient

引 言

AREM (Advanced Regional η -coordinate Model) 模式, 从考虑解决数值模式中地形的虚假影响和暴雨模式中水汽平流处理困难的角度出发, 由中国科学院大气物理研究所宇如聪等人设计完成的有限区域暴雨研究模式 REM 基础上发展起来的, AREM 模式比 REM 模式在分辨率、模式标准化、侧边界条件、模式物理过程参数化和模式初值等方面有很大的改进, 具有较高的模块化, 便于模式更新和发展。AREM 模式目前发展了 3 个版本, AREM2.1、AREM2.3 和 AREM3.0, 对模式分辨率、模式侧边界和顶层边界、主要物理过程和模式初值处理等方面进行不断的改进^[1]。

中国气象局武汉暴雨研究所围绕 REM、AREM 模式的发展和试验做了大量的工作, REM 模式推广后, 1999 年开始在武汉暴雨所进行汛期(6—8 月) 预报试验, 并对试验结果做了详细的评估分析^[2]。AREM2.1 在“973”(中国暴雨) 项目的支持下, 2002 年汛期开始在武汉暴雨所进行汛期业务试验, 试验期间做每天两个时次(08 时和 20 时, 北京时, 下同) 的 0~36 小时预报。预报结果检验表明, AREM 模式适合于我国计算机条件,

运行稳定, 能满足业务实时性的需求, 对我国的夏季降水具有较强的预报能力^[3]。2004 年开始 AREM2.3 在武汉暴雨所进行汛期业务试验, 在此期间对模式的初始场、模式顶层边界等方面的改进和完善做了大量工作。2005 年武汉暴雨所将 AREM2.3 作为汛期业务试验的重点模式, 试验期间做每天两个时次(08 时和 20 时) 的 0—48 小时预报, 并对 2005 年的降水预报分区做了 TS 评分、漏报率、空报率、预报偏差、预报效率 5 个方面的检验, 以便客观、定量地反映模式的预报情况, 为模式进一步的开发和应用提供参考。

1 模式设置

模式网格范围: 15~55°N、85~135°E, 分辨率约 37km, 纬向 201 个格点, 经向 161 个格点, 模式顶层气压 100hPa。

2 评估方法概述

2.1 降水预报评估检验方法

对全国 400 个基本站点及湖北省 77 个雨量站进行累积降水检验, 预报的网格资料通过距离权重加权平均的方法插值到观测站点, 进行站点对站点的评分。

将模式的预报范围划分为长江中下游

(25~35°N, 110~123°E), 华南(18~29°N, 105~123°E), 华北(35~45°N, 110~123°E), 东北(40~53°N, 120~135°E), 西南地区东部(20~35°N, 100~110°E) 5 个区域进行检验, 另外对湖北省和全国也做了评分统计。

雨量等级划分: 小雨: $\geq 0.1\text{mm}$, 中雨: $\geq 10\text{mm}$, 大雨: $\geq 25\text{mm}$, 暴雨: $\geq 50\text{mm}$, 大暴雨: $\geq 100\text{mm}$ 。评分中将降水实况资料中微量降水(实况降水资料中 0mm 降水)赋值 0.1mm, 这样小雨量级的预报评分也就是晴雨预报评分。评分公式分别为:

$$\text{TS 评分: } T_s = \frac{\sum_{day=1}^{day=n} N_A}{\sum_{day=1}^{day=n} (N_A + N_B + N_C)},$$

$$\text{漏报率: } P_O = \frac{\sum_{day=1}^{day=n} N_C}{\sum_{day=1}^{day=n} (N_A + N_C)},$$

$$\text{空报率: } N_H = \frac{\sum_{day=1}^{day=n} N_B}{\sum_{day=1}^{day=n} (N_A + N_B)},$$

$$\text{预报偏差: } B = \frac{\sum_{day=1}^{day=n} (N_A + N_B)}{\sum_{day=1}^{day=n} (N_A + N_C)},$$

其中 N_A 表示预报时段内在检验区域内预报和实况降雨量都出现在某一降水等级内的站点数, 即预报命中的站点数; N_B 表示预报出现而实况未出现的站点数, 即空报的站数; N_C 表示未预报而实况出现的站点数, 即漏报站数, n 表示评分天数。

2.2 形势场预报评估检验方法

使用客观分析资料进行检验, 检验资料为每天 20 时的客观分析实况场和模式相对应的预报场, 预报时效只取 24 小时, 本文对 500hPa 位势高度、500hPa 温度两要素进行检验, 检验公式如下:

$$\text{平均误差: } E_n = \frac{1}{n} \sum (F - A_v),$$

$$\text{均方根误差: } E_{rms} = \left[\frac{1}{n} \sum (F - A_v)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

倾向相关系数: $r_{TEN} =$

$$\frac{\sum (F - A_0 - M_{f0})(A_v - A_0 - M_{v0})}{[\sum (F - A_0 - M_{f0})^2 \sum (A_v - A_0 - M_{v0})^2]^{\frac{1}{2}}},$$

$$\text{误差标准差: } E_s = \left[\frac{1}{n} \sum (F - A_v - M_{fv})^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

其中 \sum 为对区域内所有网格点求和, F 为预报值, A_v 为分析值, A_0 为预报初值。

3 检验结果及分析

AREM2.3 模式在 2005 年汛期试验过程中, 使用 T213 模式 12 小时预报场加探空报文做初值场, 运行过程中没出现因计算不稳定而导致预报失败的状况。满足业务计算稳定性方面的需求。

3.1 TS 评分分析

从全国范围 2005 年夏季平均降水预报 TS 评分看(见表 1), 小雨以上量级评分为 51.8, 中雨以上量级评分为 22.4, 大雨以上量级评分为 15.9, 暴雨以上量级评分为 9.6, 说明模式对于降水落区具有相当的预报能力, 对于暴雨也具备一定的预报能力。

表 1 AREM2.3 模式 2005 年夏季(6、7、8 月)08 时起报的 0~24 小时降水预报全国范围 TS 评分

雨型	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
TS 评分	51.8	22.4	15.9	9.6	3.3

表 2 为降水预报在各区域的评分, 实线下划线标出的数值是 3 个预报(08 时起报的 0~24 小时预报、前一天 08 时起报的 24~48 小时预报、前一天 20 时起报的 12~36 小时预报, 下同)中的最高评分, 浪线下划线标出的数值是 3 个预报中的最低评分。从下划线标注情况可见, 最高评分在 0~24 小时预报出现最多, 最低评分在 24~48 小时预报出现

表 2 AREM2.3 在 2005 年汛期试验期间(6、7、8 月)降水预报在各区域的 TS 评分

直线下划线的数据是三个预报中的最高评分,浪线下划线的数据是三个预报中的最低评分

月份	雨型	08 时起报 0~24 小时预报						08 时起报 24~48 小时预报						20 时起报 12~36 小时预报					
		长江	华南	华北	东北	西南	湖北	长江	华南	华北	东北	西南	湖北	长江	华南	华北	东北	西南	湖北
		中下游				东部		中下游				东部		中下游				东部	
6 月	小雨	48.7	70.4	41.3	52.4	59.0	49.4	44.9	64.7	38.1	40.6	51.3	46.1	48.8	70.2	39.4	46.1	56.2	55.2
	中雨	<u>27.6</u>	26.6	<u>22.2</u>	<u>15.6</u>	<u>17.7</u>	<u>20.6</u>	<u>20.3</u>	<u>15.1</u>	<u>9.8</u>	<u>7.1</u>	<u>9.6</u>	<u>14.9</u>	<u>27.6</u>	<u>27.3</u>	12.8	11.6	14.0	19.2
	大雨	21.3	14.4	14.7	<u>7.5</u>	<u>7.4</u>	13.8	<u>14.9</u>	<u>9.5</u>	<u>11.1</u>	5.0	5.0	<u>18.0</u>	20.1	<u>14.9</u>	<u>16.7</u>	0	<u>3.6</u>	<u>11.6</u>
	暴雨	11.8	<u>9.3</u>	<u>13.3</u>	0	<u>4.6</u>	4.1	<u>10.0</u>	<u>4.5</u>	<u>6.7</u>	0	0	<u>4.0</u>	<u>14.6</u>	6.0	11.1	0	0	<u>13.4</u>
	大暴雨	<u>4.7</u>	<u>2.9</u>	—	—	0	0	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 月	小雨	49.8	54.9	44.8	59.0	60.2	55.7	41.5	45.9	38.8	42.3	53.7	43.7	45.3	46.9	43.0	49.7	55.6	49.6
	中雨	29.6	20.7	21.2	17.1	21.7	32.1	19.7	12.7	10.0	5.5	14.5	23.7	24.7	13.0	13.9	12.4	17.6	27.4
	大雨	22.8	13.5	13.7	7.8	9.3	26.4	16.9	7.4	5.3	3.7	6.8	25.0	18.4	3.9	9.1	4.2	8.6	26.9
	暴雨	14.6	10.0	5.4	0	8.1	16.3	8.3	3.2	0	0	2.2	15.1	11.8	2.9	6.5	0	3.4	16.3
	大暴雨	4.0	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.0	0	0	0	0	0
8 月	小雨	58.3	67.4	48.2	62.7	65.4	67.2	54.6	60.9	42.1	46.4	59.3	62.3	57.3	63.0	43.7	53.7	60.9	66.4
	中雨	31.5	22.6	21.7	28.1	21.1	42.8	18.1	15.3	15.2	16.5	11.0	26.4	25.0	19.4	17.9	21.6	16.5	35.2
	大雨	23.5	13.3	18.1	24.0	10.4	16.6	10.3	7.5	7.7	11.4	2.6	11.0	17.2	9.0	13.0	12.2	9.7	14.1
	暴雨	13.3	6.6	10.6	10.0	1.9	2.8	2.0	3.4	2.2	4.8	3.4	0	5.8	7.0	3.4	3.2	0	2.9
	大暴雨	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.4	5.0	0	0	0	0
夏季平均	小雨	52.6	64.5	45.0	58.1	61.7	58.1	47.3	57.2	40.0	43.0	55.1	51.3	50.8	60.6	42.2	49.8	57.7	57.7
	中雨	29.6	23.8	21.6	20.5	20.4	33.6	19.4	14.7	12.2	9.5	11.7	22.4	25.8	21.6	15.3	15.3	16.1	28.5
	大雨	22.5	13.8	15.8	14.7	9.2	19.7	13.9	8.4	7.8	7.1	4.8	17.5	18.6	10.9	12.4	6.9	7.3	17.6
	暴雨	13.1	8.6	9.1	5.6	5.2	9.3	7.3	4.0	2.2	2.0	1.5	6.9	11.0	5.9	5.6	1.6	1.3	11.6
	大暴雨	4.5	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	1.6	0	0	0	0

最多,12~36 小时预报居中,说明随着预报时效的增加,模式对降水的预报水平有所下降,这是一般常理性结论。

从统计 3 个时段降水预报 TS 评分差值看(如表 3),48 小时内降水预报 TS 评分衰减幅度不大,最高评分与最低评分差值最大在东北地区的小雨量级,差值为 15.1,10 以上的差值除此之外只有 3 个,分别在长江中

下游、东北地区及湖北的中雨量级,分别为 10.2、11 和 11.2,其余均在 6 附近浮动;另外,从最高评分和中间评分之差及中间评分与最低评分之差的比较来看(表 3 中黑体的数值为两者中的大值),大值在两者中的分布数量相当,大值与小值相差不大,说明 48 小时内,模式预报具有较高的稳定性。

表 3 表 2 中各区域夏季(6—8 月)3 个降水预报 TS 最高、中间、最低评分间的差值(黑体数值为 TS 最高与中间评分之差和中间与最低评分之差的大值)

月份	雨型	最高分减最低分						最高分减中间分						中间分减最低分					
		长江	华南	华北	东北	西南	湖北	长江	华南	华北	东北	西南	湖北	长江	华南	华北	东北	西南	湖北
		中下游				东部		中下游				东部		中下游				东部	
夏季平均	小雨	5.3	7.3	5.0	15.1	6.6	6.8	1.8	3.9	2.8	8.3	4.0	0.4	3.5	3.4	2.2	6.8	2.6	6.4
	中雨	10.2	9.1	9.4	11.0	8.7	11.2	3.8	2.2	6.3	5.2	4.3	5.1	6.4	6.9	3.1	5.8	4.4	6.1
	大雨	8.6	5.4	8.0	7.8	4.4	2.2	3.9	2.9	3.4	7.6	1.9	2.1	4.7	2.5	4.6	0.2	2.5	0.1
	暴雨	5.8	4.6	6.9	4.0	3.9	4.7	2.1	2.7	3.5	3.6	3.7	2.3	3.7	1.9	3.4	0.4	0.2	2.4
	大暴雨	4.5	3.0	0	0	0	0	1.7	1.4	0	0	0	0	3.8	1.6	0	0	0	0

从 6、7、8 各月的评分情况看(见表 2),7 月份较 6 月份,华南地区晴雨预报评分明显减小(20 时起报的 12~36 小时预报减小 23.3),此区域其他量级的评分也基本呈减小趋势,华北、东北地区晴雨预报评分增大。8 月份较 7 月份,各区域晴雨预报评分均明显增大,最为明显的是华南地区和湖北省,中雨量级也基本呈增大趋势。

试验中发现模式对于大范围系统性降水有更好的预报能力,宇如聪也曾在文章^[4]中提到:一般来说雨带越清楚,预报的评分越高,模式对大范围系统性降水的评分明显高于对小范围降水的评分。评分的月变化应该与大范围降水的月变化有关。

从 6、7、8 各月的实况降水情况看,6 月份降水集中分布在华南、西南及东北地区,湖北省、长江中下游降水面积较小,华北降水最少(如图 1a);7 月份总体降水面积增大,华南降水减弱,雨带北移进入长江中下游及华北,降水集中在西南、湖北、长江中下游及东北地区(如图 1b);8 月份雨带更明显降水面积更大,华南地区降水增加明显(如图 1c)。

以上分析可知,模式预报较为稳定、准确的同时,其降水预报尤其是晴雨预报的 TS 评分对于雨带的变化较为敏感。

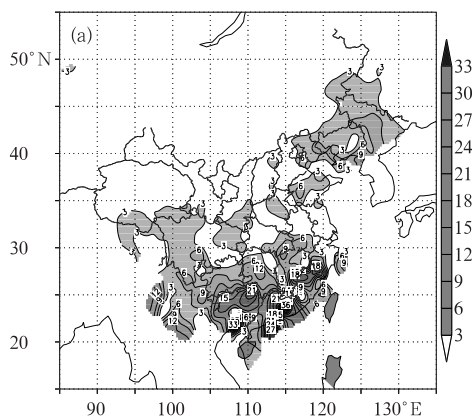


图 1a 6 月平均实况降水分布图(单位:mm)

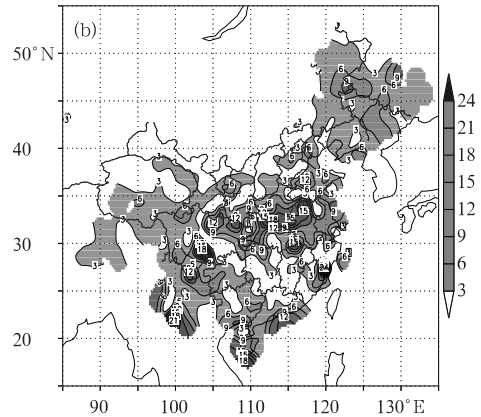


图 1b 7 月平均实况降水分布图(单位:mm)

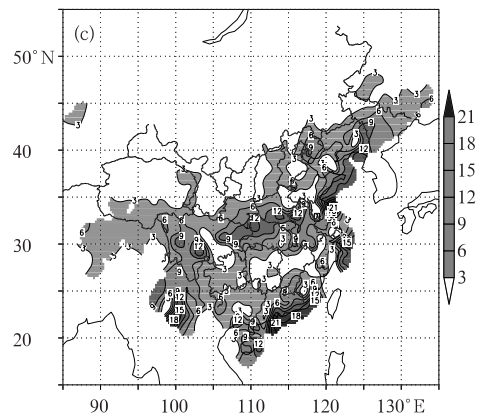


图 1c 8 月平均实况降水分布图(单位:mm)

3.2 漏报率、空报率及预报偏差分析

从全国范围 2005 年夏季平均降水预报漏报率、空报率和预报偏差看(见表 4),晴雨预报的预报偏差接近 1,说明预报和实况雨带面积大致相当,模式对降水总体上估计适当,晴雨预报的漏报率和空报率相当,且不是很大,均在 30 左右,说明模式晴雨预报较为准确,中雨、大雨、暴雨及大暴雨以上量级降水的预报偏差也都在 1 附近,说明模式对各等级降水面积的预报跟实况降水面积相当,漏报率、空报率随着降水等级的增加而增加,但二者却在每一个降水等级上保持数值相当。以上分析说明,模式对各量级降水形势的预报均较好,但

位置与实况有一定的偏差,晴雨预报与实况偏差不大,基本符合实况,但随着降水等级的增加偏差加大,说明模式对于强降水,尤其是降水中心位置的把握不是很好。

表 4 AREM2.3 模式 2005 年夏季(6、7、8 月)08 时起报的 0~24 小时降水预报全国范围漏报率、空报率及预报偏差

雨型	小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
漏报率	29.0	65.3	73.2	82.0	93.1
空报率	34.3	61.3	72.0	83.0	94.1
预报偏差	1.1	0.9	0.96	1.1	1.2

3.3 天气形势预报结果检验分析

从 500hPa 高度场和 500hPa 温度场的模式预报和持续性预报评估结果(见表 5)对比可知,高度场预报的平均误差、均方根误差及误差标准差,均是模式预报小于持续性预报,模式预报倾向相关系数达 0.71,说明模式对于 500hPa 位势高度的预报效果较好;模式预报温度场平均误差为正,持续性预报为负,但绝对值前者大于后者,均方根误差和误差标准差均是模式预报小于持续性预报,模式预报倾向相关系数为 0.53,说明模式对于 500hPa 温度的预报较持续性预报稍好;模式对于 500hPa 高度的预报能力要好于对 500hPa 温度的预报能力。

表 5 AREM2.3 模式 2005 年夏季(6—8 月)20 时起报的 24 小时形势场预报评估结果

	500hPa 高度		500hPa 温度	
	模式	持续性	模式	持续性
平均误差	-0.68	-0.71	0.33	-0.04
均方根误差	9.88	13.76	0.61	0.69
误差标准差	4.45	7.11	0.42	0.47
倾向相关系数	0.71	—	0.53	—

3.4 模式对各区域重要降水过程的预报情况

以下对长江中下游、华南、华北、东北、西

南地区及湖北省 2005 年重要的降水过程进行分析,从预报场与实况场的对比及 TS 评分情况出发检验模式的预报效果。

所取各区域 2005 年重要降水过程简介:2005 年 6 月 11—24 日全国主要雨带位于华南(华南前汛期暴雨),其中降水最强烈的时段是 6 月 19—21 日;6 月 25 日西太平洋副高北跳至 25°N 略偏南的位置,并有所西进,同时,在 23—25 日位于西南地区,并引起当地强降水的 500hPa 高空槽东移,二者共同作用导致长江中下游 6 月 25—27 日的大到暴雨过程,也是此区域进入梅雨期的标志;7 月 9—11 日在高空槽和中低层切变线共同影响下,湖北省出现了大到暴雨、局部大暴雨的天气过程;7 月 26 日—30 日,一深厚的高空槽盘踞在东北地区,减弱消失后,31 日上游一小槽东移加深,继续控制东北地区,导致此区域 7 月 26 日—8 月 7 日的强度较大、持续十多天的大范围降水过程;8 月 12—18 日,受 500hPa 西西伯利亚地区强冷低压东移及西太平洋副高西北象限暖湿气流的共同影响,华北地区普降大到暴雨。

从各区域 2005 年重要降水过程中重要降水日的预报场与实况的对比,模式对各雨带的形状、位置、走向及量级的预报均比较准确,对降水中心的预报稍有差异(图略)。

从表 6 中列出的各降水过程的 TS 评分看,首先,湖北省 7 月 9—10 日降水过程分数明显高于其他,除预报效果较好外,也与湖北省内参与评分的站点密度较其他区域大有关,湖北省有 77 个站参与评分,而其他区域均是在全国 400 个基本站中选取的,长江中下游、华南、华北、东北、西南地区分别为 76、82、64、47、78 个,区域范围都远大于湖北省,可见一个站点密集资料可靠的站号表是当前模式评估所急需的;其次,除长江中下游外,其他几个区域晴雨预报评分都在 70 以上,各区域其他量级评分也较为可观。

表 6 2005 年各区域重要降水过程的 TS 评分(0~24 小时预报)

区域	长江中下游	华南	华北	东北	西南	湖北省
时间	6 月 25—27 日	6 月 19—21 日	8 月 16 日	7 月 27 日	6 月 24 日	7 月 9—10 日
小雨	55.3	78.8	74.1	79.1	74.7	93.9
中雨	44.7	47.1	65.6	16.1	54.5	73.5
大雨	25.0	32.7	39.1	9.1	12.5	56.3
暴雨	25.0	18.7	11.1	0	0	38.3
大暴雨	0	0	0	0	—	0

以上分析说明,AREM2.3 对于各区域均有良好的预报能力。

4 结论与讨论

以上分析可知,AREM2.3 模式在中国气象局武汉暴雨研究所 2005 年汛期试验期间 48 小时内计算和预报均稳定,对于长江中下游、华北、华南、东北、西南、湖北省以至全国范围均有较好的预报水平,但总体上对于强降水中心位置的预报情况不是很好;模式对于高空形势场也具有较好的预报能力,对 500hPa 位势高度的预报好于对 500hPa 温度的预报。

研究中还存在一些问题,模式在云南西南边境到缅甸地区降水预报频率很高(见图 2),因为没有当地的实况资料,无法验证这属于正常现象,还是属于模式的系统性误差。

其次,评分过程中对模式预报 0.1mm 以下降水均算做虚假预报忽略,这个数值的选取对于晴雨预报的评分会产生影响,由于当前的时间和精力有限,未去寻找最佳值,只取了小雨量级的下限。这些问题都需要在以后的工作中继续进行深入研究和分析。

参考文献

- [1] 宇如聪,薛纪善,徐幼平. AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统[M]. 北京:气象出版社,2004:6-7.
- [2] 闵爱容,崔春光. η 坐标有限区域模式在 1999 年江淮流域汛期中的应用[J]. 暴雨·灾害,2000,4(1):53-61.
- [3] 王叶红,王志斌. AREM 模式对 2002 年汛期降水的实时预报试验[J]. 气象,2005,31(2):17-22.
- [4] 宇如聪. 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.