

LASG-REM* 对 1994 年中国汛期降水 的实时预报试验**

宇 如 聪

(LASG 中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

LASG-REM 对 1994 年我国汛期降水连续实时的预报试验结果再次表明了该模式对 24 小时短期降水有很强的预报能力。

本文给出了该模式从 6 月上旬到 7 月下旬连续 50 天的降水实时数值预报试验的 TS (Threat Score) 技术评分以及发生在 6、7、8 月份主要降水过程的预报和根据大部分气象站观测降水量分析的 24 小时降水量等值线的比较。从 6 月上旬到 7 月下旬, LASG-REM 连续 50 天的实时降水数值预报试验的 TS 技术评分(模式范围)平均为: 雨区范围(24 小时降水大于 1mm) 预报的 TS 值为 56%; 24 小时降水大于 10mm、25mm 和 50mm 的 TS 值分别为 36%、23% 和 15%, 较 1993 年的 TS 评分有明显的提高。模式对 1994 年造成华南、华北严重洪涝灾害的暴雨都有很好的预报。由于模式中采用了保形水汽平流方案, 在整个试验期间的水汽平流计算都未出现负水汽现象。初步的比较试验结果表明, 模式中对地形的有效处理和给出较合适的水汽凝结参数对模式成功预报是重要的。

关键词: 暴雨数值预报; 保形水汽平流方案; 7 坐标; 水汽凝结参数。

一、 引 言

自 LASG-REM 在 1993 年汛期作了较成功的实时预报后^[1], 在国内得到了有关单位的重视和好评, 著名气象学家陶诗言先生和曾庆存先生给予了高度评价, 国家气象中心主任李泽椿先生也充分肯定了这一工作。许多兄弟单位和个人拷贝了该模式, 准备或已经用于科研和业务预报。

中国科学院大气物理研究所环境和气候预测中心为了能及时地给国家有关部门提供较为准确、可靠的天气和气候预测, 在每年的汛期都联合有关研究室进行实时的天气和气候预测, 并定期组织天气会商, 本模式取得了很好的效果, 得到了有关领导部门的重视和好评。LASG-REM 已成为重要的预报模式之一。

为了使该模式有更好的预报效果, 作者在 1993 年汛期后对该模式的水汽平流方案、

1994 年 9 月 5 日收到, 1994 年 10 月 24 日收到修改稿。

* Regional Eta-coordinate Model.

** 国家自然科学基金和国家科技攻关 85-906-04 课题资助。

地形处理、地表特性和水汽凝结参数的灵敏度方面作了许多的试验和研究,并将其用于1994年汛期的实时预报试验,取得了很好的预报效果。

本文第二节将简单介绍 LASG-REM 最新版本的结构,将在第三节介绍 LASG-REM 对1994年汛期的预报结果,在第四节将通过几个比较试验结果说明地形对短期降水预报的影响和水汽凝结参数的选择对降水强度的影响,第五节给出结论和讨论。

二、LASG-REM 概述

LASG-REM 动力框架的主要特点是^[2]: (1) 模式的基本方程组便于构造出完全能量守恒的差分格式; (2) 采用了静力扣除; (3) 模式的垂直坐标选用了 η 坐标; (4) 选用 E 网格作为变量的水平分布形式^[3]; (5) 位势高度与其他预报量在垂直方向交错分布; (6) 对 E 网格的波解分离问题采取了特殊的处理技巧^[3]; (7) 首次采用“半格距”差分解决了矩形 E 网格及球坐标 E 网格沿对角线的差分计算^[2]; (8) 水汽平流采用了宇如聪的保形平流方案^[4,5]; (9) 保留初始场的静力平衡误差,在静力平衡模式中,同时保留了位势高度和温度场的初值意义; (10) 在一定的边界条件下,当时间积分采用梯形隐式方案时,模式有总有效能量守恒和总质量守恒; (11) 采用显示分解的时间积分方案。

模式的物理过程主要包括: (1) 大尺度凝结降水; (2) Betts 对流调整和对流降水; (3) 水平扩散和垂直通量输送; (4) 边界层参数化。

模式分辨率,在水平方向,注意到模式的水平网格选用的是 E 网格,对 E 网格的两个子 C 网格来说,它的水平分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$ 的经纬格点,实际 E 网格模式的水平分辨率约为 75km。在垂直方向,模式顶取为 100hPa,即只考虑对流层范围,从海平面到模式层顶按 η 坐标等分为 8 层,具体每层的厚度从下往上约为: 977m、1083m、1219m、1402m、1661m、2062m、2775m、4498m。

模式初始场仍是根据自行设计的一个简单易行的加权平均客观分析方案,先把各高空发报气象台的站点观测资料插值至所在标准等压面的水平网格点,然后再把这样的等压面资料线性插值到各模式层。没有其他的初始化过程。

模式区域在纬向取 35 个经度,在经向取 50 个纬度。具体是在 $95-130^\circ\text{E}$ 和 $20-50^\circ\text{N}$ 之间。

三、LASG-REM 对 1994 年中国汛期降水的预报结果

1994 年我国降水分部异常,由于副热带高压几乎是从华南突然北跳至华北,没有在长江流域停留,使得华北雨季提前,华东干旱,而华南降水的前汛期和后汛期重叠,造成我国华南严重的涝灾和华东的严重旱灾,华北许多地区也出现了较严重的洪涝灾害。模式对大部分降水的落区、强度和中心位置都有很好的预报。

表 1 给出了 6 月 7 日到 7 月 26 日连续 50 天的 24 小时降水量大于 1mm、10mm、25mm 和 50mm 的预报 TS 评分(对大于 50mm 降水的 TS 评分只当收集到的降水资料在模式范围内有 3 个以上测站降水超过 50mm 时给出),对造成我国华南和华北严重

表 1. 24 小时降水量 TS 评分

日期	1mm	10mm	25mm	50mm	日期	1mm	10mm	25mm	50mm
6月07—08日	.66	.44	.29	.07	7月02—03日	.45	.13	.11	.00
6月08—09日	.63	.47	.36	.18	7月03—04日	.55	.31	.20	.03
6月09—10日	.65	.59	.53	.45	7月04—05日	.57	.31	.26	.15
6月10—11日	.55	.49	.40	.28	7月05—06日	.63	.35	.22	.20
6月11—12日	.60	.36	.17	.09	7月06—07日	.67	.35	.15	.08
6月12—13日	.58	.38	.34	.30	7月07—08日	.70	.55	.30	.07
6月13—14日	.60	.44	.36	.12	7月08—09日	.59	.46	.31	.23
6月14—15日	.62	.43	.36	.30	7月09—10日	.58	.31	.15	---
6月15—16日	.64	.46	.28	.11	7月10—11日	.54	.26	.15	.01
6月16—17日	.56	.47	.44	.31	7月11—12日	.65	.41	.28	.07
6月17—18日	.54	.44	.36	.23	7月12—13日	.68	.57	.46	.32
6月18—19日	.45	.44	.41	.23	7月13—14日	.63	.42	.26	.16
6月19—20日	.43	.41	.35	.22	7月14—15日	.52	.27	.11	.03
6月20—21日	.45	.38	.23	---	7月15—16日	.66	.41	.21	.01
6月21—22日	.46	.36	.18	---	7月16—17日	.68	.39	.17	.01
6月22—23日	.49	.26	.11	---	7月17—18日	.60	.37	.22	.14
6月23—24日	.48	.23	.07	---	7月18—19日	.57	.29	.16	.09
6月24—25日	.49	.41	.36	.18	7月19—20日	.51	.27	.14	.14
6月25—26日	.51	.38	.22	.00	7月20—21日	.44	.22	.08	---
6月26—27日	.46	.35	.25	.08	7月21—22日	.57	.26	.19	.16
6月27—28日	.49	.21	.03	---	7月22—23日	.58	.30	.16	.09
6月28—29日	.60	.22	.06	---	7月23—24日	.61	.34	.24	.14
6月29—30日	.56	.35	.21	.18	7月24—25日	.57	.35	.17	.07
6月30—01日	.51	.16	.06	---	7月25—26日	.43	.31	.10	---
7月01—02日	.31	.11	.03	---	7月26—27日	.59	.36	.20	---

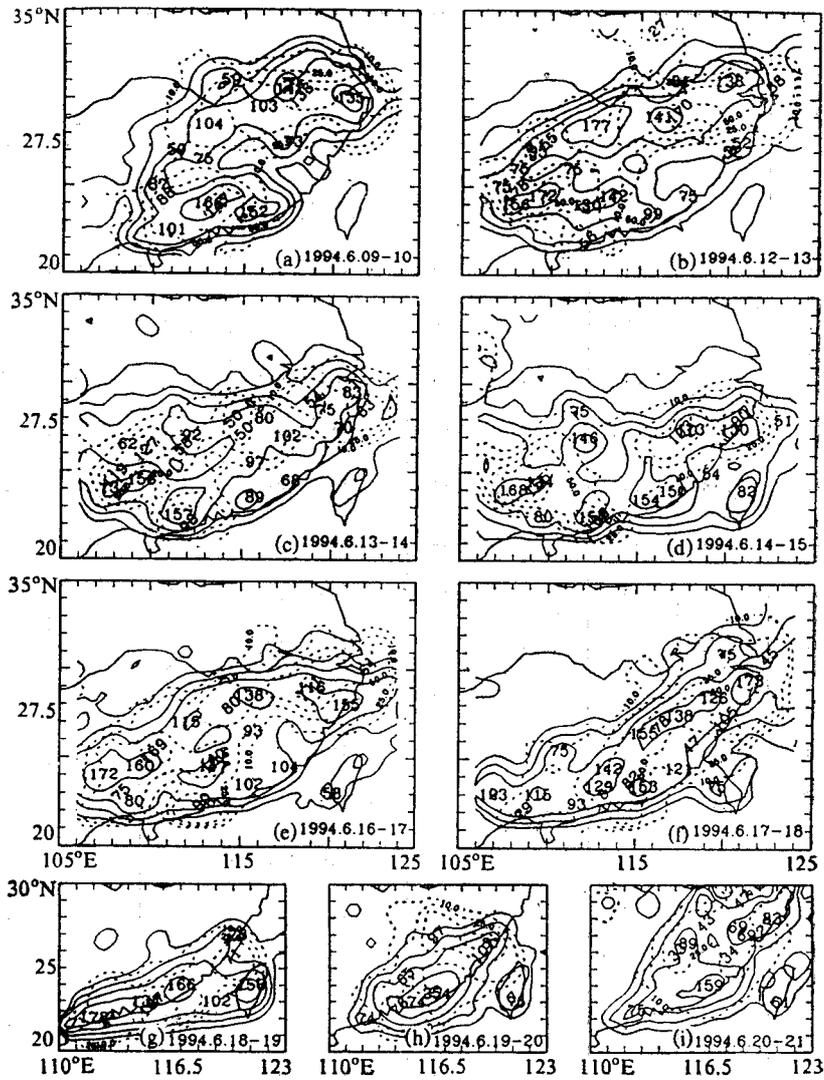


图 1 1994 年 6 月的主要降水日

虚线: 实况; 实线: 预报

洪涝灾害的降水过程从 1mm 到 50mm 的预报 TS 评分都是相当高的。在 6 月底到 7 月初,副高调整由华南北跳至华北,全国的降水范围小且分布零乱,对这一阶段降水预报的 TS 评分比较低,这主要是因为 TS 评分的标准比较严格,预报降水的落区偏差一个网格就可能是接近零分。图 1 到 3 分别给出了 1994 年 6、7 和 8 月我国汛期几次主要降水过程中的部分降水日的 24 小时观测和预报降水的比较。图中实线和虚线分别是预报和根据大部分气象站观测降水分析的 24 小时降水量等值线,等值线包括 10mm、25mm、50mm、100mm 和 200mm,降水中心值(预报降水大于 50mm,分析降水大于 25mm)在

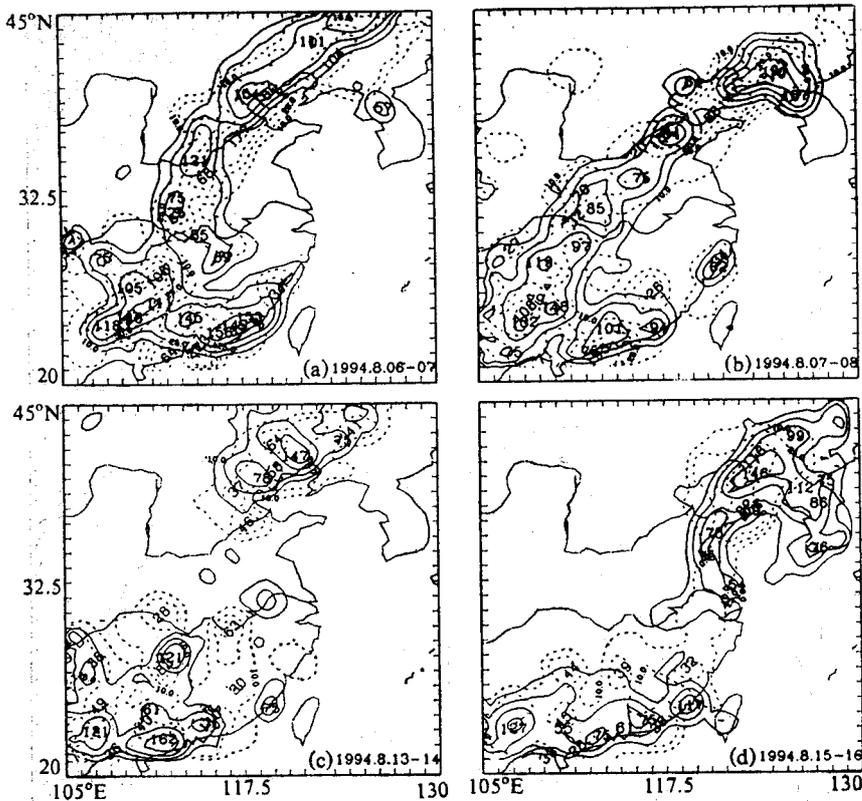


图 2 1994 年 7 月的主要降水日

虚线: 实况; 实线: 预报

图中以较大数字标出,其中分析降水中心的数字倾斜 45° 。由图可见,不仅预报降水和分析降水的落区比较好,大部分预报降水和分析降水的中心位置对应的也比较好。预报降水的强度较分析有时偏大有时偏小,大部分情况相近,不象其他大部分模式总是预报降水的强度偏弱。

四、比较试验

1. 地形对降水中心位置的影响

以往的研究已表明了地形对天气系统的影响一般在 36 小时以上^[6],在 24 小时内对局地强降水也有重要影响^[7],但对系统性的较大范围的降水地形在 24 小时内的短期影响究竟有多大不太清楚。周晓平的无地形暴雨模式对华东的梅雨等系统性降水也有较好的预报能力。我们的初步试验也表明,地形对系统性较大范围降水的降水范围和强度在 24 小时内的短期影响不大,只是对主要的降水中心有一定的影响。

地形作用包括其本身高度分布所产生的动力影响和其植被分布特征所决定的边界层作用,所以,要作无地形试验,有必要先作无边界层试验。图 4 给出了 1994 年 6 月 14 日到 15

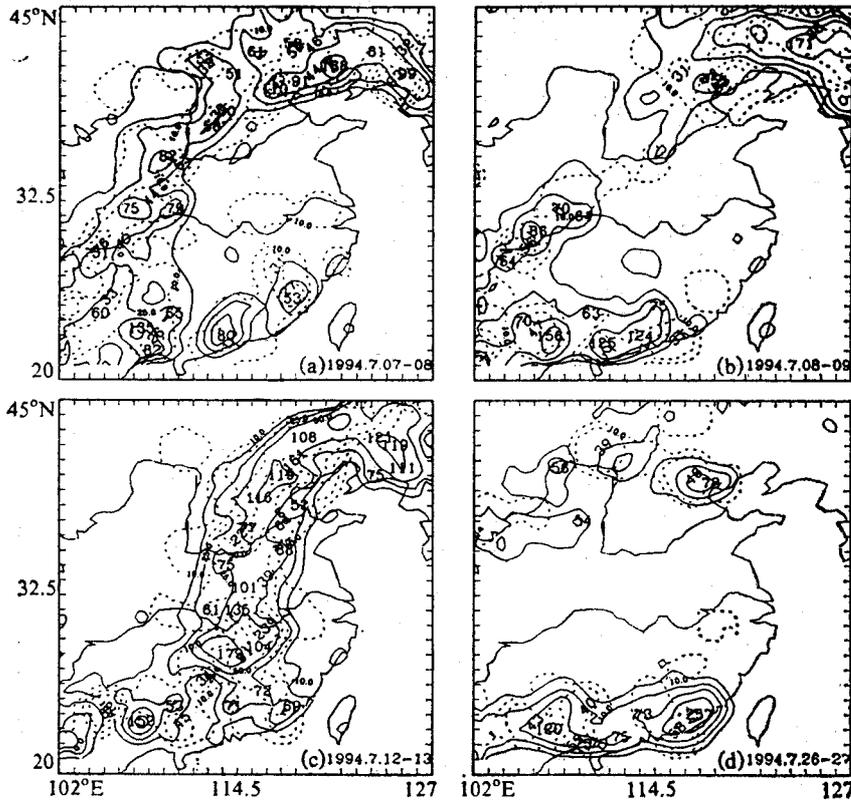


图 3 1994 年 8 月的主要降水日

虚线: 实况; 实线: 预报

日和 7 月 7 日到 8 日分别发生在华南和华北的较大范围降水的实况(虚线)和无边界层以及无地形模拟降水的等值线比较,其中图 4 左右上角,左右下角各小图依次是 6 月 14 日无边界层、6 月 14 日无地形、7 月 7 日无边界层和 7 月 7 日无地形的模拟结果。分别与图 1d 和 2a 比较,6 月 14 日到 15 日在广西柳州和福建邵武附近分别有较强降水中心,观测雨量为 155mm 和 103mm,预报降水的中心位置几乎与观测重合,强度也相当,预报雨量分别为 134mm 和 113mm,而无边界层和无地形模拟试验,特别是后者,未能很好再现这两个降水中心。就整个模式范围预报试验来说,预报、无边界层和无地形模拟结果大于 50mm 的 TS 评分分别为 30%、25% 和 19%。7 月 7 日到 8 日在北京附近有较强降水中心,观测雨量为 133mm,预报降水的中心位置几乎与观测重合,强度也相当,预报雨量为 110mm,无边界层和无地形模拟试验未能很好再现这个降水中心。就整个模式范围预报试验来说,预报、无边界层和无地形模拟结果大于 50mm 的 TS 评分分别为 7%、3% 和 2%。

2. 水汽凝结参数的选择对降水强度的影响

在一般的数值预报模式中,降水都是通过过饱和凝结和对流调整或对流参数化得到的所谓大尺度降水和对流降水,而且,对流调整或对流参数化的方案基本上都是根据热带

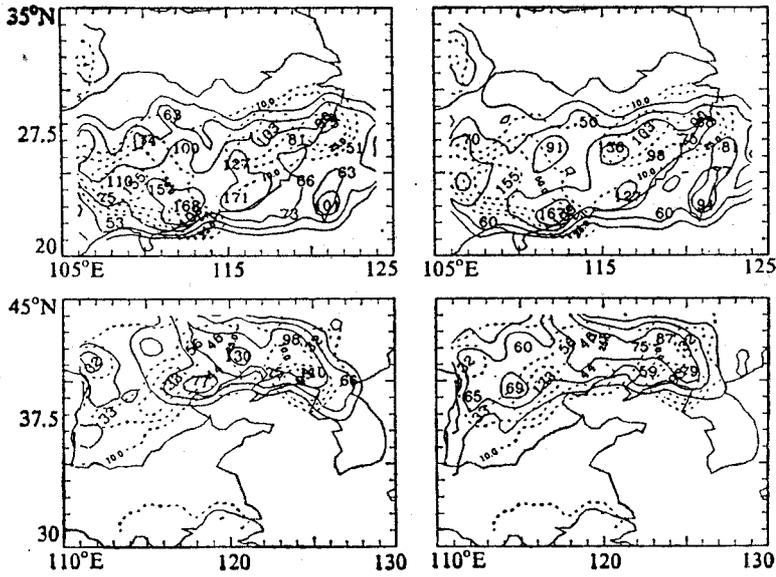


图 4 无边界层和无地形降水模拟结果

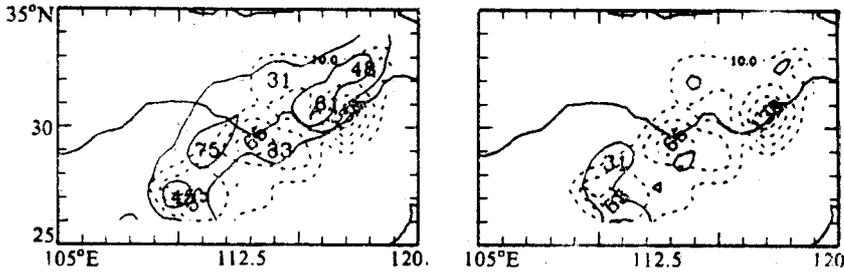


图 5 水汽凝结参数的不同选择对降水模拟结果的影响

地区的试验得到的。在实际的降水过程中，一方面大尺度降水并非一定需要相对湿度大于 100%，另一方面控制对流凝结的参数通常和地理位置以及当时的物理量结构有关。Betts 对流调整方案中，控制对流凝结的主要参数是所谓准平衡参考曲线决定的云内饱和气压差。图 5 是对 Betts 对流调整方案中深对流准平衡参考曲线的云底、云顶和冻结层的饱和气压差给出两组不同值以 6 月 25 日 00 时（世界时）作初始场所得的预报结果，其中，图 5 左图是实时预报的结果，饱和气压差分别是 -35，-40 和 -50，虽然预报的中心位置有偏差，但偏差不大，预报的强度和落区都还是比较好的，右图是取饱和气压差分别为 -25，-30 和 -40 的试验结果，几乎没有报出降水。图 6 的左右两小图是取饱和气压差分别为 -25，-30 和 -40 以 7 月 7 日 00 时和 7 月 26 日 00 时作初始场所得的试验结果。分别比较图 2a 和图 2d，试验结果不仅漏报了许多降水，对北京附近的降水位置和强度预报也都比较差。

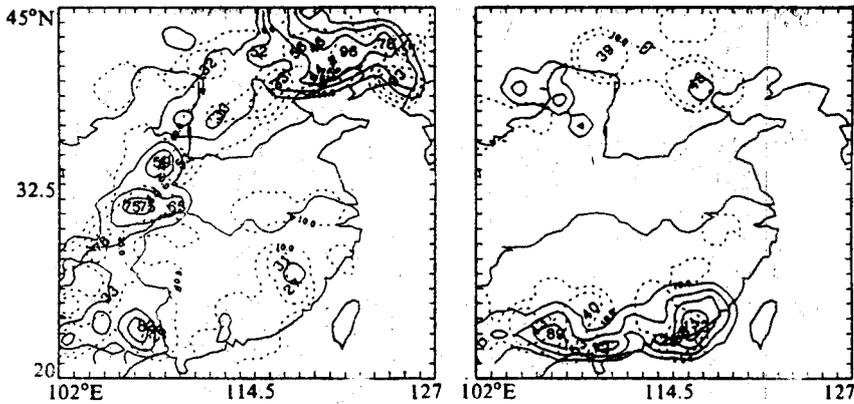


图 6 水汽凝结参数的不同选择对降水模拟结果的影响

五、结论和讨论

由第三节可知, LASG-REM 对 1994 年中国汛期降水的预报是非常成功的, 不仅很好地预报了降水落区, 也较好地预报了降水强度和中心位置。而由第四节可知, 模式中对地形及边界层的处理和对水汽凝结参数的选择基本是合理的, 对成功预报降水是很重要的。另外, 由于模式中采用了保形水汽平流方案, 使得模式计算不再出现负水汽, 为该模式进一步改进其水汽凝结处理和推广应用提供了方便。

当然, 预报结果还是存在许多值得改进的地方, 特别是个别地方预报降水过大的问题, 虽然, 有的属于降水观测资料不完备, 使得预报结果受到影响, 比如, 6 月 20 日到 21 日的观测降水, 在图 1i 内观测降水最大没有超过 50mm, 而水文资料则有超过 100mm 的降水, 如果再统计县级台站的观测降水, 也许还有更大的降水。有的是属于错误初始观测资料所致。模式中需要改进的地方, 除了初始场和边界层的处理过程需要加强外, 如何结合具体天气过程的物理结构更合理地考虑水汽凝结是重要的。另外, 由于模式的垂直分辨率还比较低, 在 η 坐标下的地形阶梯有时偏大, 在低层产生过大的辐合上升而导致预报降水偏大。

参 考 文 献

- [1] 宇如聪, 1994, 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, *大气科学*, **18**, No. 3, 284—291.
- [2] 宇如聪, 1994, “雅安天漏”研究 II: 数值预报试验, *大气科学*, **18**, No. 5, 535—551.
- [3] 宇如聪, 1994, E-网格变量分布下差分的性质, *大气科学*, **18**, No. 2, 153—163.
- [4] Yu Rucong, 1994, A two-step shape-preserving advection scheme, *Advances in Atmospheric Sciences*, **11**, No. 4, 479—490.
- [5] Yu Rucong, 1995, Application of a shape-preserving advection scheme to the moisture equation in an E-grid regional forecast model, *Advances in Atmospheric Sciences*, **12**, No. 1.
- [6] 宇如聪, 1989, 陡峭地形有限区域数值预报模式设计, *大气科学*, **13**, No. 2, 139—149.
- [7] Yu Rucong and Zeng Qingcun, 1992, Design of a limited area model with steep mountains and its application to the heavy rain simulations in the East Periphery of Tibetan Plateau, *22nd*

International Conference on Alpine Meteorology, Toulouse(France), 7—11 September 1992,316—320.

Real-time Precipitation Forecasting Experiments in the Summer China of 1994 by the LASG-REM

Yu Rucong

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

LASG-REM has good prediction ability for short-range precipitation, which is demonstrated again by its real-time precipitation forecasting results in the summer China of 1994.

This paper shows the 50-day real-time prediction threat scores from June 7 to July 26 and the main prediction results in June, July and August. The average threat scores of four thresholds, 1mm, 10mm, 25mm and 50mm per day in the 50 days are 56%, 36%, 23% and 15% respectively, which are obviously higher than last year. The model has well predicted the precipitation area, rainfall intensity and centre location in the summer of 1994 in China.

Key words: real-time; prediction; precipitation; Eta-coordinate.