

# AREM 及其对 2003 年汛期降水的模拟<sup>\*</sup>

宇如聪

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029; 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉, 430074)

徐幼平

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029; 中国科学院研究生院, 北京, 100039)

## 摘 要

文中回顾了一个能考虑陡峭复杂地形的有限区域  $\eta$  坐标数值预报模式 (Regional Eta-coordinate Model, 简称 REM) 十几年来发展和应用过程, 列举了该模式系统在气象、水文、环境和军事保障等科研和业务单位的主要应用。同时介绍了在此基础上发展升级的暴雨数值预报模式 (Advanced REM, 简称 AREM)。由于 (A)REM 抓住了中国区域的地形和天气特点, 已成为模拟和预报中国天气和环境灾害的重要工具, 在环境治理、抗洪抢险、防灾减灾以及军事气象保障中发挥了重要作用。

通过分析新版本 AREM 对 2003 年夏季中国东部区域降水过程的模拟和预报结果, 反映了 AREM 对中国东部区域降水的模拟和预报能力, 再现了 2003 年夏季中国东部主要降水过程的雨量分布和演变特征。AREM 对主要降水区域平均降水量的逐日预报与观测基本一致。它不仅对发生在淮河流域的较大范围的降水预报如此, 而且对有些受地形强迫影响的局部强降水中心, 预报结果也与观测基本一致。

关键词: AREM, 汛期降水, 数值模式, 复杂地形。

## 1 引 言

暴雨是影响中国的主要灾害性天气。暴雨引起的洪涝灾害常给人们生命财产和国民经济建设带来巨大损失。1998 年长江流域、松花江及嫩江流域和 2003 年淮河流域受到了五十年 (百年) 不遇的特大洪水袭击, 暴雨预报是各部门广泛关注、气象部门极为重视的问题。

随着数值模式理论与方法、大气探测技术和计算机技术的飞跃发展, 数值预报模式已表现出对客观定量暴雨预报的巨大潜力, 数值预报正逐渐成为不可替代的暴雨预报手段。但相对于其他气象要素的数值预报, 暴雨数值预报一直是国际公认的难题。中国处于东亚季风区, 是世界上暴雨最多的国家之一, 独特的地形地貌和多变的气候环境, 增加了中国暴雨数值预报的复杂性和困难性。国外大多数先进

的数值模式, 无论是区域模式还是全球模式, 对中国区域的暴雨模拟和预报都难以体现它们的优势。

面对中国暴雨数值预报的挑战, 中国科学家早在 20 世纪 70 年代, 就开始发展能用于业务暴雨预报的数值预报模式<sup>[1]</sup>。80 年代中期, 在国家“七五”重大科技攻关项目支持下, 发展了中国第 1 个用于国家气象业务的降水数值预报模式系统——有限区域分析预报系统 (LAFS), 以后又升级为高分辨有限区域分析预报系统 (HLAFS)<sup>[2]</sup>。考虑到中国区域暴雨的地形和环流特点, 自 20 世纪 80 年代后期, 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开始建立一个能考虑陡峭地形的有限区域  $\eta$  坐标的数值预报模式 (REM)<sup>[3]</sup>, 并从 90 年代中期在国内气象、水文、环境和军事保障的科研和业务单位得到广泛使用。

\* 初稿时间: 2004 年 4 月 24 日; 修改稿时间: 2004 年 6 月 15 日。

资助课题: 国家重点基础研究发展规划项目: 我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究 (G1998040906) 和我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究 (2004CB418300)

## 2 AREM 的发展过程

针对青藏高原及其周边复杂地形对中国天气气候的重要影响和数值预报模式中陡峭地形处理的挑战,中国科学家就如何克服数值预报模式中地形的虚假影响作了大量富有成效的工作。早在1963年,曾庆存先生<sup>[4]</sup>就提出了标准层结静力扣除法,通过它把大气运动表示为相对于一个“标准状态大气”偏差的变化,减小由于陡峭地形的影响使得大气运动方程组在数值计算中常出现的“大项小差”所产生的计算误差,提高计算精度。颜宏和钱永甫<sup>[5]</sup>在20世纪70年代末和80年代初曾对有地形数值模式中的气压梯度力计算问题进行讨论。钱永甫等<sup>[6]</sup>根据差分变换原理提出了“差微差”(DDD)法计算气压梯度力,并在此基础上设计了一种计算陡峭地形区气压梯度力的新方法,即误差扣除法<sup>[7,8]</sup>。为解决 $\sigma$ 坐标面倾斜的问题,曾庆存先生在1982年曾提出过一种修正的 $\sigma$ 坐标(个人通讯),与Mesinger<sup>[9]</sup>发表的 $\eta$ 坐标基本一致。 $\eta$ 坐标保留了 $\sigma$ 坐标的优点,下边界条件简单,而克服了 $\sigma$ 坐标的缺点,保持坐标面为准水平。在曾庆存先生的支持和指导下,中国科学院大气物理研究所于1986年开始发展能考虑陡峭地形的数值预报模式框架<sup>[3]</sup>。针对暴雨模式中水汽平流处理的困难,对该模式设计了适合中国计算机能力的有很好计算效果的保形正定输送方案<sup>[10,11]</sup>,较好地保证了模式中与暴雨直接关联的水汽输送计算的真实性。利用该模式先后对青藏高原背风气旋的生成发展、中国受地形影响最为典型的暴雨现象——“雅安天漏”作了成功的数值模拟<sup>[12-14]</sup>。

为了使研究工作不仅仅停留在数值试验和理论研究上,从1993年开始对该模式的实际应用和业务化做了大量工作。为进行实时预报试验,建立了包括解码、检误、质量控制和客观分析为一体的初始处理系统。在1993年汛期,首先使用该模式在中国科学院大气物理研究所天气气候预测中心开展实时预报试验,在1994年汛期同时在中国科学院大气物理研究所和湖南省开展实时预报试验,都取得了很好的试验效果<sup>[15,16]</sup>。在模式的模拟预报能力得到充分的认识和肯定后,于1995年春天,在中国科学院大气物理研究所举办了该模式在国内的推广学习班并正式命名为REM(Regional Eta-coordinate Model)。REM很快在国内外气象、水文、环境和军事保

障等科研和业务单位得到广泛使用,研究领域包括暴雨模拟预报<sup>[17-33]</sup>、降雪模拟研究<sup>[34,35]</sup>、干旱过程和评估研究<sup>[36,37]</sup>、水情预报监测<sup>[38]</sup>、环境污染模拟预报研究<sup>[39-50]</sup>、飚线等中尺度系统研究<sup>[51-53]</sup>、台风暴雨研究<sup>[54,55]</sup>等,成为中国从事暴雨等中尺度研究和预报的主要工具之一<sup>[56-61]</sup>。1998年11月9日~12月5日,中国科学院大气物理研究所国际气候和环境中心(ICCES)在北京举办了第三世界科学院数值预报(ETA模式)培训班,向巴基斯坦、叙利亚、斯里兰卡和泰国等国家介绍和推广了REM模式。REM已在一些周边国家得到较好的应用,在国际上产生了一定的影响<sup>[62-64]</sup>。1995~1998年,REM在不断地扩大其应用范围的同时,有的引用单位根据自身研究和应用的需要,针对模式的有些问题也进行了必要的修改和发展<sup>[26]</sup>,但就整体模式结构和模拟预报能力与原REM版本没有根本性的改变。1999~2003年,在国家重点基础研究发展规划项目“我国重大天气灾害的机理和预测理论研究”、中国科学院知识创新工程项目、国防预研项目等的支持和组织下,REM在模式结构、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,从而建立了一个先进的有限区域 $\eta$ 坐标暴雨数值预报模式系统(AREM)。发展升级后的第一模式版本AREM 2.1于2002年首先在安徽省和湖北省气象局开展了业务实时预报试验。根据湖北省气象局对原REM和AREM 2.1的同一时段预报结果的比较来看,AREM 2.1的暴雨预报能力相对于原REM有明显的改进。2a的业务实时预报试验,模式已为长江流域和淮河流域的汛期提供了重要的降水预报信息。在AREM 2.1准业务应用以后,近2a又先后完成了新的模式版本AREM 2.3和AREM 3.0。为了使新的模式版本能尽快为中国的暴雨研究和预报服务,中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室联合中国气象局武汉暴雨研究所和北京应用气象研究所,于2004年4月22~23日在北京举办了AREM推广应用培训班。有来自西藏、四川、湖北、安徽、湖南、云南、河南、吉林、广西、山东、上海、陕西、浙江、北京等省市自治区从事气象、海洋和水文的业务和科研人员约50位专家学者及研究生参加了培训班的交流和讨论。

在从REM到AREM的发展过程中,为了建立一个具有当代先进科技水平的暴雨数值预报模式,

首先对原 REM 的程序进行了全面改写, 使得 AREM 具有较高的模块化结构, 以便于模式的高效发展和推广应用。由于原 REM 发展的着眼点是使模式框架能适应陡峭复杂地形, 对模式物理过程没有很好地选取和调试。所以更新和完善模式物理过

程是发展 AREM 的工作重点。当然, 由于受当时计算机条件的限制, 从 REM 到 AREM 的发展, 提高模式分辨率也是必不可少的工作内容。表 1 给出了 AREM 上述 3 个模式版本在分辨率、模式层顶、主要物理过程和初值处理上的差异。

表 1 AREM 不同版本的主要特征与区别

Table 1 Characteristics and differences among three versions of AREM

AREM 版本	分辨率 (范围)	模式侧边界 和顶层边界	物理过程		
			边界层	云和降水	地表通量和辐射
V2.1	约 37 km 20~ 25 层	固定侧边界	非局地 边界层方案	饱和凝结 Betts 对流调整	总体交换系数法 地表日变化
		模式层顶 100 hPa;			
V2.3	约 37 km 20~ 32 层	固定侧边界	非局地 边界层方案	暖云微物理过程 Betts 对流调整	多层结通量—廓线法 地表日变化
		时变侧边界 模式层顶 100~ 10 hPa			
V3.0	18 km 20~ 36 层	固定侧边界	非局地 边界层方案	冷云微物理过程 Betts 对流调整	改进的总体交换系数法 CLM 陆面过程 完整的辐射过程
		时变侧边界 模式层顶 100~ 10 hPa			

所有版本的 AREM 模式都具有模块化的结构和作业卡方式的运行功能。这也是 AREM 版本模式与原 REM 在模式程序技术上的重要改进。

AREM 2.1 相对于原 REM 的主要发展除模式的结构和运行功能发生根本性的变化外, 模式的水平和垂直分辨率提高了一倍, 模式边界层替换了原来的 K-扩散局地方案, 引进了非局地的边界层参数化方案<sup>[65, 66]</sup>, 模式初值的客观分析增加了以 NCEP 再分析资料或 T106 或 T213 资料作为背景场。

AREM 2.3 和 AREM 2.1 的主要改进是抬高了模式层顶, 即 100 hPa 抬高到 10 hPa, 建立了载水模式框架, 用显式的云雨预报方案<sup>[67, 68]</sup>, 替代了原来隐式的格点饱和凝结大尺度降水方案, 改进了地表感热和潜热的计算方案。

AREM 3.0 是目前最高分辨率模式的初始版本, 与 AREM 2 版本模式比较, 主要变化是模式分辨率又提高了 1 倍, 增加了与 CLM 陆面耦合和时变侧边界的选择功能, 引进了一个完整的辐射传输方案。最终的 AREM 3 版本将包括较完善的物理过程和完备的同化初值系统, 能满足目前区域模式开展短时天气预报和区域天气气候模拟研究等主要需求。

### 3 AREM 对 2003 年汛期降水的模拟和预报

为了了解 AREM 对中国暴雨的整体模拟和预

报能力, 这里以在 AREM 2.1 基础上改进的 AREM 2.3 对 2003 年夏季中国东部区域降水的模拟和预报为例, 分析和讨论 AREM 模拟 2003 年汛期主要降水过程的能力和不足, 反映 AREM 模式的现状。

#### 3.1 AREM 2.3 和 AREM 3.0 与 AREM 2.1 的模拟差异

根据安徽省和湖北省气象业务部门的介绍, AREM 2.1 在 2003 年汛期的降水预报中发挥了重要作用。为了了解 AREM 2.3 和 AREM 3.0 与 AREM 2.1 的基本模拟差异, 这里以 2003 年 7 月 2~4 日的降水过程为例来分析比较这 3 个模式版本的模拟结果。6 月 22 日入梅后淮河流域持续大到暴雨, 7 月 1 和 2 日是淮河流域自 6 月 22 日入梅后第 1 次降水的相对间歇期, 基于当时的淮河水情, 后续降水预报的准确率对抗洪抢险无疑是至关重要的。

图 1 是仅用每日实时接收到的台站探空资料分析场作为初值, 分别利用 AREM 2.1, AREM 2.3 和 AREM 3.0 所进行的 2003 年 7 月 2 日 00 时~7 月 4 日 00 时(世界时)的两次 24 h 预报结果。观测分析的表明, 3~4 日的 24 h 降水(图 1b)较 2~3 日(图 1a)有明显增加, 且雨带更加完整。AREM 2.1 基本预报出了 2 d 雨强的变化(图 1c, d), 但雨带形状与观测差异偏大, 特别是第 2 天, 西段雨带的强度明显偏弱。AREM 2.3 的预报结果(图 1e, f)较

AREM 2.1 的结果有明显改进。主要表现在雨带更加完整,西部雨带的强度和形状都更接近观测分析的结果。AREM 3.0 预报的雨带(图 1g, h)与 AREM 2.3 的结果相近,但雨强的预报较 AREM 2.3 有改进,且由于分辨率的提高,降水中心的分布更加细腻。从对整个 2003 年夏季的预报情况来看,新版本 AREM 的预报能力较 AREM 2.1 有较大提高,特别是对西部地区的改进更加明显(图略)。

### 3.2 AREM 2.3 对 2003 年夏季整个降水过程的再现能力

分析 2003 年夏季中国东部地区降水的演变过程可知,造成淮河流域降水偏多的主要原因是由于雨带在淮河流域来回摆动。图 2a 给出了  $110\sim 122.5^{\circ}\text{E}$  平均降水的时间-经向演变过程,与正常年份一样,中国东部雨带在 6 和 7 月的总体表现为“北抬”,而从 8 月初开始迅速南撤,但相对异常的情况是在 6 月 22 日入梅后的一个多月时间里雨带在淮河流域来回摆动 3 次,8 月初开始南撤的雨带在 8 月中旬分出一支重新北上,在黄淮流域和华南各活动着一支雨带,且黄淮流域的雨带在 8 月下旬持续加强维持在  $35^{\circ}\text{N}$  左右,给黄淮流域造成了严重的秋汛。

为检验 AREM 对 2003 年汛期降水的整体模拟预报能力,考察 AREM 能否再现 2003 年主汛期的主要降水过程。利用每日 00 时(世界时)的 NCEP 再分析资料( $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  水平分辨率)提供的初始条件,从 2003 年 6 月 1 日到 8 月 30 日利用 AREM 2.3 连续进行了 3 个月的 24 h 后报试验。积分区域为( $15\sim 50^{\circ}\text{N}, 90\sim 130^{\circ}\text{E}$ )。图 2b 给出了 AREM 2.3 后报的中国东部( $110\sim 122.5^{\circ}\text{E}$ ) 平均降水的时间-经向演变过程。与图 2a 的比较表明,AREM 2.3 后报的降水南北变化过程与观测基本一致。

图 3 给出了 AREM 2.3 后报的 2003 年 6 月 1 日~ 8 月 30 日平均降水率与观测的比较。虽然 AREM 2.3 后报的降水与观测相比整体略有偏差,但模式较好再现了 2003 年主汛期的两条主雨带,其中一条是在北部,从长江上游到淮河流域的主雨带,另一条是在南部,华南沿海的主雨带。另外,模式也较好地再现了淮河流域和长江中上游地区的几个主要降水中心。

为进一步了解模式对主要降水区逐日降水量变化的后报情况,图 4a 和图 4b 首先比较了长江上游到淮河流域主雨带( $28\sim 36^{\circ}\text{N}, 102\sim 122^{\circ}\text{E}$ ) 和华南

沿海主雨带( $21.5\sim 25^{\circ}\text{N}, 102\sim 117^{\circ}\text{E}$ ) 模式后报和观测分析的日平均降水率时间变化。对于长江主雨带,由东向西选取 3 个主要降水中心区: A 区( $32\sim 35^{\circ}\text{N}, 114\sim 121^{\circ}\text{E}$ ), B 区( $28.75\sim 30.25^{\circ}\text{N}, 109.5\sim 112^{\circ}\text{E}$ ), C 区( $29\sim 33^{\circ}\text{N}, 102.5\sim 105^{\circ}\text{E}$ )。图 4c, d 和 e 分别给出了 A 区、B 区和 C 区模式后报和观测分析的日平均降水率时间变化。由图可见,模式不仅很好再现了两条主雨带日平均降水率的时间变化,也很好地后报了这 3 个主要降水中心区逐日降水的增强和减弱过程,而且后报的逐日降水强度与观测也基本一致。A 区是 2003 年夏季的淮河流域主要降水和洪涝区,主要降水发生在梅雨开始后的 1 个月内(6 月 22 日~ 7 月 22 日)。AREM 2.3 后报的 A 区平均日降水量与观测基本一致(图 4c)。B 区位于湖南张家界到湖北宜昌一带。可能是受局地地形影响,在中国夏季气候平均降水分布图上,该地区是一个水平尺度较小的降水中心。由图 3a 可见,2003 年夏季在该地区( $30^{\circ}\text{N}, 110^{\circ}\text{E}$  附近)也是一个较强的降水中心。而由图 4d 可知,该降水中心主要是由发生在 6 月 23~ 27 日和 7 月 5~ 11 日的两次连续性大到特大暴雨过程所造成。AREM 2.3 后报结果很好地再现了这一局地强降水的落区、强度和发生时段(图 3 和 4d)。C 区位于青藏高原东侧,该地区虽然远离海岸线,但平均年降水量却与同纬度的华东沿海地区相当。C 区暴雨,也就是人们常说的川西暴雨,在青藏高原大地形和局地中尺度地形的综合作用下,夏季 7,8 月份发生强降水的频率高、局地性强。由于该地区的地形复杂陡峭,数值预报模式往往难以恰当地描述其真实的地形作用过程,从而使得川西暴雨的数值预报难度大,准确率低。而 AREM 模式就是为解决复杂陡峭地形处理问题而设计的,所以 AREM 模式对川西暴雨预报的能力较其他模式有较大优势。由图 3 可知,模式后报的川西暴雨平均降水的中心位置和强度与观测基本一致。虽然 AREM 2.3 后报的 C 区平均日降水量与观测的一致性不如 A 和 B 区好,但其基本的过程和强度还是比较吻合的(图 4e)。另外,在地域复杂陡峭的山区,降水局地性太强,站点少,观测平均的误差也较大。

## 4 AREM 的未来发展

从 AREM 的发展过程和其目前所具有的广泛应用情况可以看出,AREM 是深受中国气象、水文和

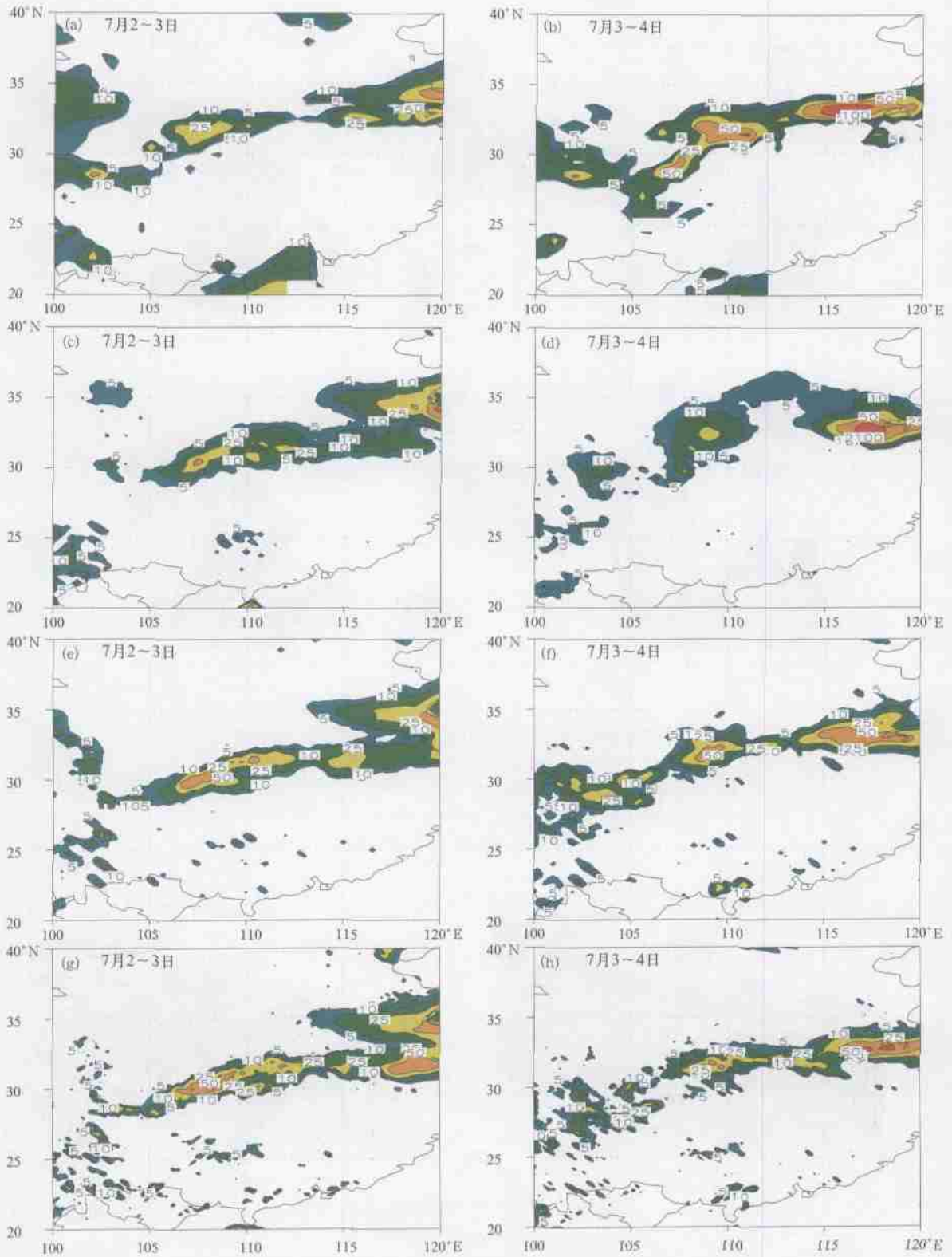


图1 2003年7月2日00时~4日00时(世界时)的每日24 h降水分布

(a, b)是实况, c和d, e和f, g和h分别为A REM 2.1, A REM 2.3和A REM 3.0的后报; 降水量单位: mm)

Fig.1 Daily precipitation distributions (mm), left column is from 00UTC 02 to 00UTC 03 July 2003, and right column is from 00UTC 03 to 00UTC 04 July 2003. Upper panel (a, b) is the observation, second panel (c and d), third panel (e and f) and lower panel (g and h) are resulted from predictions of A REM 2.1, A REM 2.3 and A REM 3.0



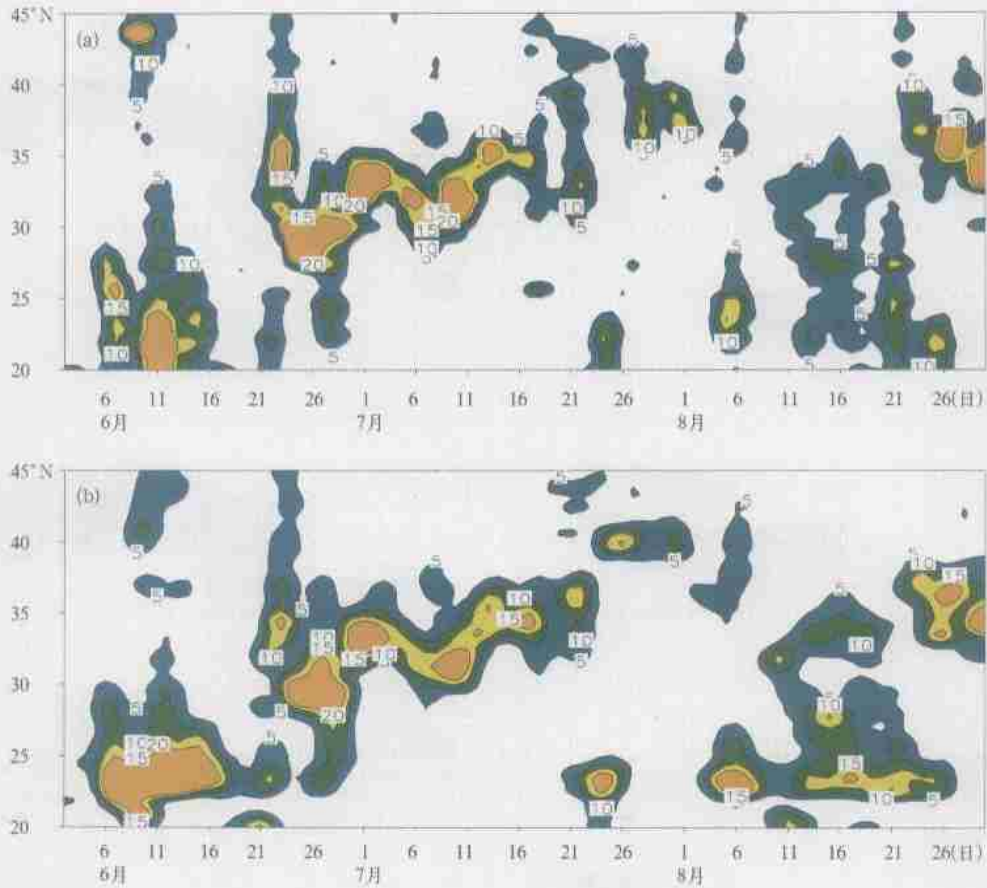


图2 2003年夏季逐日降水纬向平均(112~122.5°E)的时间-经向演变

(a.实况, b. AREM2.3后报, 单位:mm)

Fig.2 The meridional-time cross-section of daily precipitation (mm) averaged zonally between 112°E and 122.5°E during the summer (JJA) of 2003

(a. observed, b. resulted from AREM2.3)

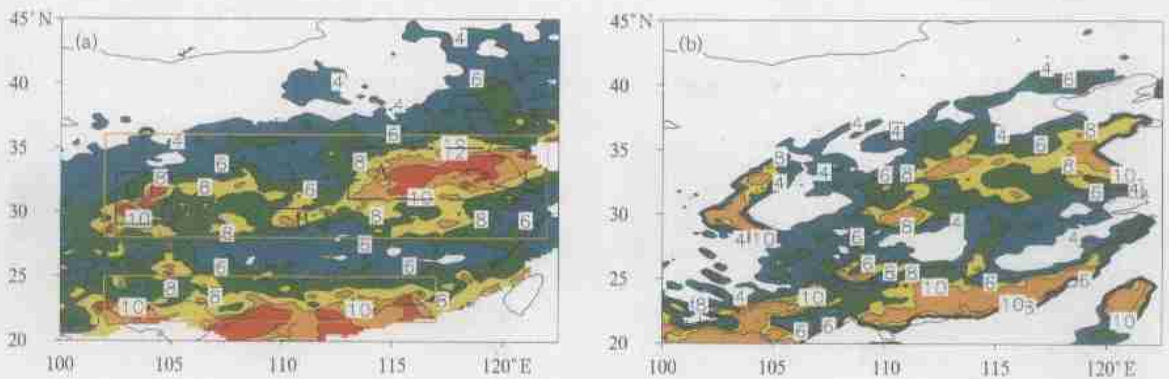


图3 2003年中国东部夏季平均降水率

(a.实况, b. AREM2.3后报, 单位: mm/d)

Fig.3 Mean precipitation rates (mm/day) over the eastern China in the summer (JJA) of 2003

(a. observed, b. resulted from AREM2.3)

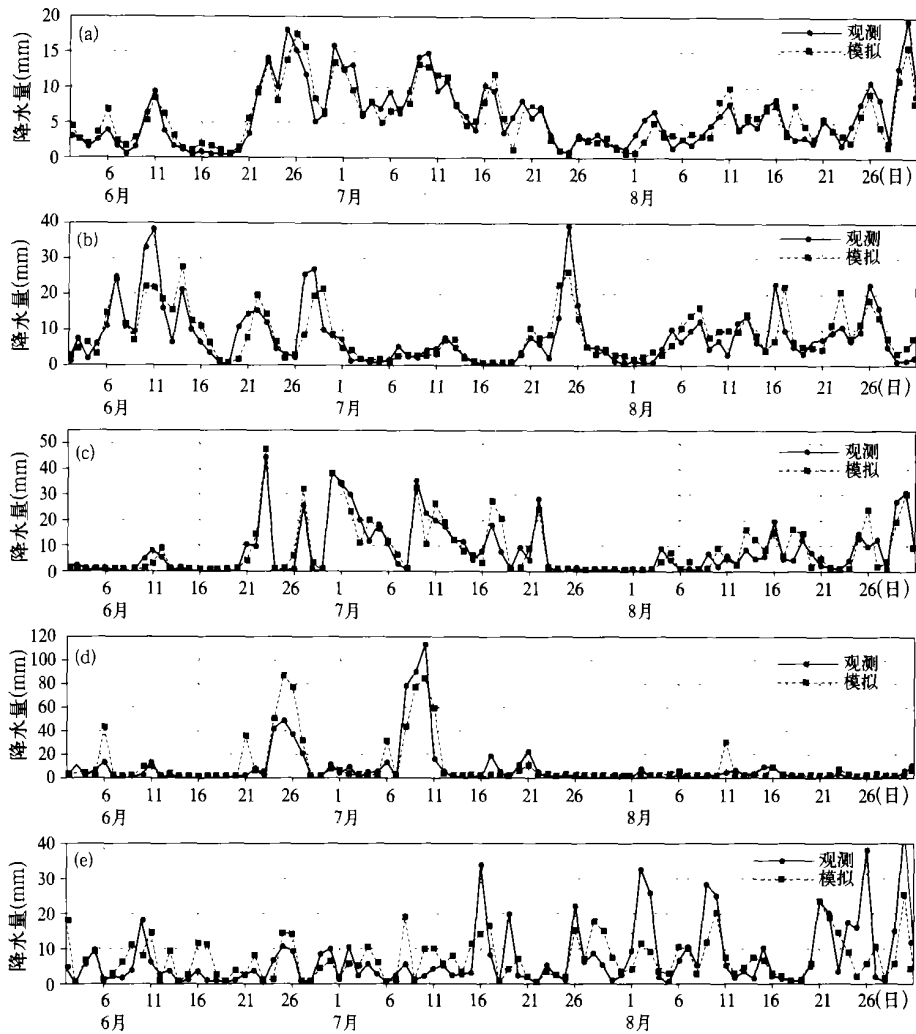


图 4 区域平均日降水量随时间的变化

(a. 长江上游到淮河流域主雨带(28~36°N, 102~122°E); b. 华南沿海主雨带(21.5~25°N, 102~117°E); c. A 区(32~35°N, 114~121°E); d. B 区(28.75~30.25°N, 109.5~112°E); e. C 区(29~33°N, 102.5~105°E)

Fig. 4 The time series of regional mean daily precipitation rate (mm/day). Solid lines and dashed lines are resulted from observation and model prediction respectively. a and b are averaged in two main rain belts, one is in the Yangtze River valley (28~36°N, 102~122°E) and another is in the southern China (21.5~25°N, 102~117°E). c, d and e are averaged in the area A (32~35°N, 114~121°E), B (28.75~30.25°N, 109.5~112°E) and C (29~33°N, 102.5~105°E) respectively

环境领域科研和业务工作者重视的数值模式工具。AREM 所反映的对中国区域暴雨突出的模拟和预报能力表明, AREM 抓住了中国区域天气过程中的一些关键因素, 具有继续发展和扩充应用的巨大潜力。数值模式发展是一个长期、渐进、连续和不断积累的过程。数值模式发展至少要涉及到大气科学、计算机、数学、计算数学、物理学等学科内容的交叉和结合。随着计算机技术和现代科学探测技术的飞

速发展和人们对大气运动物理规律认识的提高, 数值模式在计算方法、程序结构、模式初边值精度和物理过程的合理描述上都在迅速地发展和改进。数值模式的应用范围也在不断扩大。鉴于目前 AREM 的现状, AREM 的未来发展主要包括: (1) 建立完备的同化初值系统; (2) 进一步改进和完善模式的物理过程; (3) 完善自嵌套以及与大气环流模式嵌套的功能; (4) 实现高分辨率版本模式的并行运算; (5) 发展

区域陆气耦合和海气耦合模式系统, 开展区域气候模拟和应用。目前已取得初步的结果。

## 参考文献

- 1 周晓平, 赵思雄, 张可苏等. 一个东亚季风区的暴雨数值预报模式. 大气科学, 1988, 特刊: 60~ 78
- 2 张玉玲, 郭肖容, 闫之辉等. 十层有限区细网格模式的试验研究. 中期数值天气预报研究成果汇编(一). 北京: 气象出版社, 1990. 152~ 168
- 3 Yu Rucong. The Design of the Limited Area Numerical Weather Prediction Model with Steep Mountains. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (In English), 1989, 13(2): 145~ 158
- 4 曾庆存. 大气运动的特征参数和动力学方程. 气象学报, 1963, 33(4): 472~ 483
- 5 颜宏, 钱永甫. 有地形数值模式中坐标变换和气压梯度力计算问题的讨论. 大气科学, 1981, 5: 175~ 187
- 6 Qian Y F, Zhong Z. General forms of dynamic equations for atmosphere in numerical models with topography. J Meteor Soc, Japan, Special Volume, 1986, 743~ 756
- 7 钱永甫, 周天军. 陡峭地形区气压梯度力的误差扣除法. 热带气象学报, 1994, 10(4): 358~ 368
- 8 钱永甫, 周天军. 有地形模式中气压梯度力误差扣除法的模拟试验. 高原气象, 1995, 14(1): 1~ 9
- 9 Mesinger F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. Riv Meteor Aeronaut. 1984, 44: 195~ 202
- 10 Yu Rucong. A Two- Step Shape- Preserving Advection Scheme, Adv Atmos Sci, 1994, 11(4): 479~ 490
- 11 Yu Rucong. Application of a Shape- Preserving Advection Scheme to the Moisture Equation in an E- grid Regional Forecast Model. Adv Atmos Sci, 1995, 12(1): 13~ 19
- 12 彭贵康, 柴复新, 曾庆存等. 雅安天漏研究 I: 天气分析. 大气科学, 1994, 18(4): 466~ 475
- 13 宇如聪, 曾庆存, 彭贵康等. 雅安天漏研究 II: 数值预报试验. 大气科学, 1994, 18(5): 535~ 551
- 14 曾庆存, 宇如聪, 彭贵康等. “雅安天漏”研究 III: 特征、物理量结构及其形成机制. 大气科学, 1994, 18(6): 649~ 659
- 15 宇如聪. 一个  $\eta$  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, 1994, 18(3): 284~ 292
- 16 宇如聪. LASG- REM 对 1994 年中国汛期降水的实时预报试验. 大气科学, 1994, 18(增刊): 801~ 809
- 17 董佩明, 赵思雄. 边界层过程对“98·7”长江流域暴雨预报影响的数值试验研究. 气候与环境研究, 2003, 8(2): 230~ 240
- 18 张万诚, 郑建萌, 肖子牛. 2001~ 2002 年云南雨季第一场大雨过程的数值模拟试验. 贵州气象, 2003, 27: 19~ 22
- 19 崔春光, 闵爱荣, 胡伯威. 中尺度地形对“98·7”鄂东特大暴雨的动力作用. 气象学报, 2002, 60(5): 602~ 612
- 20 马文彦, 张礼平.  $\eta$  坐标模式在长江五大流域面雨量预报中的应用. 湖北气象, 2002, 2: 1~ 4
- 21 钟晓平, 卿清涛. 青藏高原东部定量降水数值预报试验及业务化应用评估. 应用气象学报, 2001, 12(2): 167~ 175
- 22 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. 气象, 2000, 26(1): 19~ 24
- 23 卿清涛, 钟晓平. LASG $\eta$  模式定量降水预报准确性的探讨. 四川气象, 2000, 2: 29~ 33
- 24 周祖刚, 张维桓, 姜勇强. 1996 年 6 月的若干主要降水过程的数值模拟. 气象科学, 2000, 20(4): 453~ 459
- 25 钟晓平, 卿清涛. 青藏高原东部地区降水的定量数值预报初探. 四川气象, 2000, 2: 7~ 13
- 26 周祖刚, 张维桓, 郝为锋等. 高分辨率  $\eta$  模式的数值试验. 大气科学, 1999, 23(5): 597~ 604
- 27 周祖刚, 张维桓, 成新喜等. “93·8”鲁西南大暴雨的数值试验. 高原气象, 1999, 18(2): 171~ 178
- 28 周祖刚, 张维桓, 林乃实等. 对区域数值模式(REM)的改进及数值试验. 热带气象学报, 1999, 15(2): 146~ 153
- 29 方慈安, 梅修宁, 毛光祥.  $\eta$  坐标有限区域数值预报模式的实时预报试验. 气象, 1999, 25(9): 15~ 20
- 30 唐晓玲, 安刚.  $\eta$  坐标有限区域数值预报业务化系统. 吉林气象, 1998, 30~ 32
- 31 陈红, 孙建华, 贝耐芳等. 1998 年中国科学院大气物理研究所气候与环境预测研究中心汛期暴雨短期数值预测. 气候与环境研究, 1998, 3(4): 382~ 389
- 32 赵思雄. 中尺度动力学与暴雨等灾害性天气预测理论的研究. 大气科学, 1998, 22(4): 503~ 510
- 33 王业柱, 杨英, 徐幼平. 用 REM 对 1995 年中国汛期降水的实时预报试验. 军事气象, 1996, 3: 13~ 20
- 34 卿清涛, 徐裕华, 钟晓平. 高原牧区雪灾的数值模拟. 四川气象, 1999, 2: 6~ 9
- 35 卿清涛, 徐裕华, 钟晓平. 青藏高原雪灾天气的数值模拟. 四川气象, 1999, 3: 12~ 17
- 36 张利平, 陈万春, 夏军等. 干旱灾害成灾过程数值模拟研究. 武汉大学学报(工学版), 2003, 36(4): 24~ 27
- 37 董加瑞, 王昂生. 干旱、洪涝灾害预测及损失评估耦合模式. 自然灾害学报, 1997, 6(2): 70~ 77
- 38 张克家, 周康军, 刘萍等. 黄河“96·8”致洪暴雨过程和数值模式预报分析. 南京气象学院学报, 2001, 24(4): 587~ 590
- 39 鞠丽霞, 雷孝恩, 韩志伟. 可用于城市空气污染预报的嵌套气象模式系统. 中国科学院研究生院学报, 2003, 20(4): 470~ 476
- 40 王志国, 王立柱, 王锴一. 城市空气质量数值预报方法研究. 上海环境科学, 2003, 22(5): 317~ 321
- 41 韩志伟, 杜世勇, 雷孝恩等. 城市空气污染数值预报模式系统及其应用. 中国环境科学, 2002, 22(3): 202~ 206



- 42 张美根, 韩志伟, 雷孝恩等. 天津市空气污染数值预报实验中的模式系统. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 238~ 243
- 43 张美根, 韩志伟, 雷孝恩. 城市空气污染预报方法简述. 气候与环境研究, 2001, 6(1): 113~ 118
- 44 安俊岭, 王自发, 黄美元等. 区域空气质量数值预报模型. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 244~ 251
- 45 高会旺, 黄美元, 安俊岭. 东亚地区硫污染物的空间分布特征. 环境科学学报, 1999, 19(1): 47~ 51
- 46 高会旺, 黄美元, 余方群. 大气污染物对流垂直输送作用的探讨. 环境科学, 1998, 19: 1~ 4
- 47 高会旺, 黄美元, 姚小红. 一个中尺度模式中高分辨边界层的参数化. 气候与环境研究, 1997, 2(4): 369~ 376
- 48 高会旺, 黄美元, 徐华英等. 欧拉型区域硫沉降模式研究. 大气科学, 1997, 21(5): 616~ 625
- 49 高会旺, 黄美元, 王自发等. 东亚地区不同天气下的硫沉降分布. 中国环境科学, 1997, 17(6): 530~ 534
- 50 高会旺, 黄美元, 徐华英. 气溶胶表面上 SO<sub>2</sub> 的非均相氧化过程. 中国科学(D 辑), 1997, 27(4): 380~ 384
- 51 周祖刚, 王伟民, 姜勇强等. 地形对两湖气旋发展影响的数值试验. 气象科学, 2002, 22(4): 474~ 481
- 52 李鸿洲, 蔡则怡, 徐元泰. 华北强爬线生成环境与地形作用的数值试验研究. 大气科学, 1999, 23(6): 713~ 721
- 53 田珍富, 滕俏彬, 王作述. 一次局地特大暴雨湿位涡的中尺度分析. 热带气象学报, 1998, 14(2): 163~ 172
- 54 姜勇强, 王昌雨, 张维桓等. 台风倒槽内  $\beta$  中尺度低涡及特大暴雨的数值模拟. 气象学报, 2003, 61(3): 312~ 322
- 55 蔡则怡, 宇如聪. LASG  $\eta$  坐标有限区域数值预报模式对一次登陆台风特大暴雨的数值试验. 大气科学, 1997, 21(4): 459~ 471
- 56 徐幼平, 宇如聪, 成巍. AREM 对 2003 年汛期淮河暴雨的数值预报. 见: 中国气象学会水文气象学委员会编. 新世纪气象科技创新与大气科学发展之七. 北京: 气象出版社, 2003. 203~ 207
- 57 黄彦彬, 雷恒池, 王振会等. 卫星云迹风资料对中尺度数值模式初始风场改进试验. 南京气象学院学报, 2003, 26(5): 668~ 676
- 58 黄彦彬, 雷恒池, 郭学良等. 卫星导风资料对 REM 中尺度数值模拟的改进研究. 高原气象, 2003, 22(6): 574~ 582
- 59 宇如聪, 徐幼平, 夏大庆. REM 对“98.7”武汉暴雨突发性过程的数值模拟. 中国学术期刊文摘, 2001, 3: 363~ 365
- 60 崔春光. 强降水过程模式中尺度水汽初值的敏感性试验. 气象, 2000, 26(11): 3~ 6
- 61 张维桓, 姜勇强, 周祖刚等. 中尺度 G 坐标模式研究进展. 解放军理工大学学报, 2000, 1(4): 77~ 84
- 62 Zhao Sixiong. Description of Characteristics of the IAP ET A Model. International Workshop on NWP Model for Pakistan and Bangladesh. 1997, GIK Institute, Topi, Pakistan
- 63 FawzHaq K R, Siddiqi Z R. Possibility of using the satellite (tovs) tropospheric data in the nwp modeling For Pakistan, Proceedings of the 6th APC- MCSTA(Asia- Pacific Multilateral Cooperation in Space Technology and Applications). September 18- 21, 2001 Beijing, People's Republic of China
- 64 Nakapan S, Kreasuan J. "Modeling of the Atmospheric Boundary- Layer Flow in the Northern of Thailand". the 28th Congress on Science and Technology of Thailand, Bangkok, Thailand, 22~ 25 October 2002
- 65 Holtslag A A M, Moeng C- H. Eddy diffusivity and countergradient transport in the convective atmospheric boundary layer. J Atmos Sci, 1991, 48: 1690~ 1698
- 66 Holtslag A A M, Boville B A. Local versus nonlocal boundary- layer diffusion in a global climate model. J Climate, 1993, 6: 1825~ 1842
- 67 Xia Daqing, Xu Youping. The water- bearing numerical model and its operational fore- casting experiments. Part I: The water- bearing numerical model. Adv Atmos Sci, 1998, 15(2): 221~ 232
- 68 Xu Youping, Xia Daqing et al. The water- bearing numerical model and its operational forecasting experiments. Part II: The operational forecasting Ex periments. Adv Atmos Sci, 1998, 15(3): 321~ 336

## AREM AND ITS SIMULATIONS ON THE DAILY RAINFALL IN SUMMER IN 2003

Yu Rucong

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029;*  
*Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administrator, Wuhan 430074*)

Xu Youping

(*LASG, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029;*  
*Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039*)

### Abstract

Facing significant effects of the Tibetan Plateau and many other steep mountains on the weather, especially on the precipitation in China, a regional Eta-coordinate model (REM) has been developed since 1980s and the REM has been popularly used not only to the summer precipitation predictions and the heavy rainfall studies but also to related simulation studies in hydrology and environment in China since 1990s. According to distinct atmospheric circulation and complex terrain features in China and learning from the current state-of-arts models, such as, NCEP Eta-model, MM5, ARPS, IAP-model, CMA HLAFS, et al., REM was paid much attention on handling topography, moisture advection and minimizing artificial diffusion. Because of well handling with topography and water vapor transportation, the REM has shown its great capabilities in capturing major features of precipitation in the Eastern China, including the distribution of summer rain belt, heavy rainfall intensity and maximum rainfall location.

Based on the REM's framework, an advanced REM (AREM) has been developing under cooperation with other institutes in recent years, which includes increasing resolutions in vertical and horizontal and updating physical parameterizations. The horizontal resolution could reach about 18 km. In the vertical, the model could be unevenly divided into 32 layers. The main physical process in AREM consists: (1) explicit prediction scheme in cloud and precipitation; (2) modified Betts convective adjustment scheme; (3) non-local PBL parameterization scheme; (4) a two-step shape-preserving moisture advection scheme. In addition, from REM to AREM, many attentions are paid to the coding standardization and modularization. The preliminary version of AREM has being used to study and predict the heavy rainfalls along the Yangtze River reaches. Real-time used predictions in Hunan, Hubei and Anhui provinces in recent years show the great capabilities of AREM in forecasting the heavy rainfall events over most of China region. Case studies show that the AREM captures reasonable structures and evolutions of the rainfall systems along the Yangtze River. In this study, the capability of the AREM in predicting summer precipitation features over the Eastern China was shown by reproducing the summer rainfall from June 1 to August 30 in 2003. The AREM captures well not only the south-north movement of rain-belt, but also the mean precipitation distribution and rainfall centers, in the summer of 2003.

In the final section, the future developments of AREM are discussed. First of all, an advanced data assimilation system will be developed soon. Secondly, a parallel self-nested version of AREM is necessary to run the model in high resolution in reasonable computing time. In addition, it is planned on continually improving the physical processes in radiation and air-land interaction to develop a new regional climate model based on current AREM.

**Key words:** AREM, Summer rainfall, Numerical model, Topography and water vapor transportation.