

文章编号:1004-9045(2008)01-0001-08

AREM 模式中陆面过程的改进与试验

杨 磊¹, 徐幼平², 程 锐², 李 鲲², 赵 伟¹

(1.解放军理工大学气象学院, 南京 211101; 2.北京应用气象研究所, 北京 100029)

摘 要: 为了提高 AREM 模式业务预报能力, 对 AREM 业务模式陆面过程参数化方案作了修改, 将陆面过程模式 BATS 耦合其中; 同时, 应用耦合 BATS 的 AREM 模式与原模式分别对 2006 年 6-7 月我国南方汛期降水过程进行了典型个例模拟分析和批量后报试验; 另外, 对降水预报进行了分区统计检验。结果表明, 引入 BATS 方案使模式对降水区和降水中心预报有较好的改进, 漏报率减小, T_s 评分明显提高, 这说明恰当描述陆面过程对改进 AREM 模式降水预报具有重要作用。

关键词: AREM 模式; 陆面过程参数化; 降水预报

中图分类号: P456.7 文献标识码: A

1 引言

全球陆地面积约占地球表面的 30%, 森林、草地、沙漠各占陆地表面的 1/4, 城市和农田占 1/8, 其他下垫面占 1/8。在陆气相互作用的过程中, 地表通量直接影响近地层大气和下垫面之间的能量和水分交换, 对大气边界层结构产生影响, 进而影响降水。Dickinson^[1]曾指出, 改进和完善与大气相耦合的陆面过程模式是提高大气模式模拟和预报能力的两个主要方面之一。陆面过程不仅影响气候模拟^[2-3], 对短期天气过程也起着重要作用。黄伟^[4]将陆面过程模式 CLM(Common Land Model)与 AREM(Advanced Regional Eta Model)耦合, 分别对长江流域、云贵地区和川西地区的降水过程进行了耦合试验和敏感性试验, 结果表明, 西南地区降水受陆气通量影响很大。赵鸣等^[5]将陆面过程模式 BATS(Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme)耦合到 MM5 模式中, 对江淮暴雨进行耦合试验, 其模拟结果表明, 陆面过程对短期天气预报有重要影响, 加入 BATS 可改善 MM5 对暴雨的模拟, 相关形势场和气象场也得到改善。毕宝贵等^[6]对 2002 年 6 月 8 日陕南大暴雨天气过程中地表感热和潜热通量也进行了数值敏感试验, 结果表明, 地形热力状况在陕西强降水过程中发挥重要作用; 地表潜热作用大于地表感热, 去掉地表潜热作用后, 模式对降水的模拟结果与实况偏差较大。

为了改善 AREM 业务预报模式(AREM V2.3)对我国南方汛期降水的预报能力, 本文将 BATS 陆面过程

模式加入到 AREM 业务模式中, 并对加入 BATS 的 AREM 模式(以下简称新模式)降水预报效果进行数值试验。首先, 给出了新模式和原模式对 2006 年汛期发生于江南和华南地区两次降水过程的数值试验比较结果及其基本特征分析, 说明了引入新陆面过程方案对模式降水预报的影响; 其次, 为了客观定量地反映新模式降水预报效果, 给出了新模式和原模式对 2006 年 6-7 月共计 60 天 24 h 降水量批量后报的分区统计检验情况。

2 BATS 模式简介及方案设计

2.1 BATS 模式简介

BATS 模式是由 Dickinson 等^[7-9]发展的考虑生物圈与大气圈相互交换的陆面过程计算模式, 是典型的单层大叶模式。它采用改进的强迫-恢复法计算土壤温度, 采用 Darcy 水流定理计算土壤水份变化。模式考虑了植物蒸腾作用和径流过程, 细致描述了植被和土壤在陆气间能量、动量和水汽交换所起的重要作用, 对植被中冠层截流、冠层水存储、冠层蒸腾、冠层阻尼、气孔阻尼、辐射传输以及生物通量交换等生物物理和化学过程进行了详细参数化处理。另外, 模式将土壤层区分为地表土壤层、根区土壤层和整层土壤层等 3 层, 并区分了植被和雪盖; 将陆面类型分为混合农作物(1)、矮草(2)、常绿针叶林(3)、落叶针叶林(4)、落叶阔叶林(5)、常绿阔叶林(6)、高草(7)、沙漠(8)、苔原(9)、灌溉作物(10)、半沙漠(11)、冰冠或冰河(12)、湿地或沼泽(13)、内陆水体(14)、海洋(15)、常绿灌木林(16)、落叶

收稿日期: 2008-02-02; 定稿日期: 2008-03-08

基金项目: 国家“973”项目“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究”第四课题(2004CB418304)和国家公益性行业专项“AREM 中尺度数值预报模式资料同化及关键物理过程技术研究”[GYHY(QX)2007-6-12]共同资助

作者简介: 杨磊, 男, 1983 年生, 硕士研究生, 主要从事中尺度气象学研究。E-mail: youngj.nan@gmail.com

灌木林(17)、混合林地(18)(图 1), 将土壤纹理从粗糙(相当于沙地)到细致(相当于泥土)分为 12 种, 将土壤颜色由浅到深分为 8 种。该模式无论是在植被类型、陆气相互作用以及生态过程描述等方面, 都比目前 AREM 业务模式现有陆面过程处理方案更为详实。施洪波^[10]将 BATS 模式引入到区域气候模式 CREM 中, 并初步开展了我国东部汛期降水短期气候变化研究。

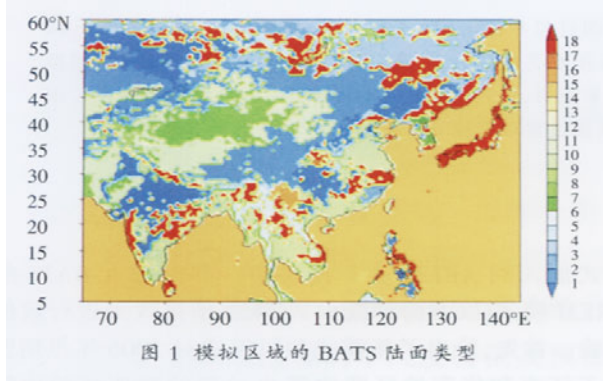


图 1 模拟区域的 BATS 陆面类型

2.2 方案设计

AREM 模式是基于中科院大气物理所大气科学和地球流体力学国家重点实验室(LASG)REM 模式(宇如聪, 1989), 在国家 973 项目“我国重大天气灾害的机理和预测理论研究”、中国科学院创新方向项目、国防预研项目等课题共同支持下, 发展的具有我国自主知识产权和较先进科技水平的有限区域-坐标暴雨数值预报模式。该模式已在国内外 20 多家科研和业务单位使用, 其详细发展过程见文献^[11-12]。AREM 2.3 版是目前在业务预报中应用较多的模式版本, 其分辨率约为 37 km, 垂直层分为 32 层, 模式顶层为 10 hPa。该版本模式的云和降水过程采用 BIAM 显式冷云微物理过程方案^[12-14]和 Betts 对流调整方案, 行星边界层过程采用非局地边界层参数化方案, 辐射方案采用 MM5 辐射平衡参数化方案, 陆面过程处理方案采用基于 ZENG^[15]方法改进的多层结通量廓线方案。

本文以 AREM 2.3 为基础, 将 BATS 陆面过程模式耦合其中, 这时 AREM 模式地表热量、水汽和动量通量将基于近地层相似理论, 利用 BATS 陆面过程模式提供相关参数计算。AREM 模式则向 BATS 陆面过程模式提供所需的地面长波、短波辐射参量和近地层温度、湿度和风等大气参数。

为了验证新模式对我国南方汛期降水预报的改进效果, 本文设计了两组针对不同陆面过程处理方案的对比试验, 一是 EXP1(对照试验), 二是 EXP2(耦合试验), 其地表通量方案分别为 FLX-BIAM 和 FLX-BATS。FLX-BIAM 表示多层结通量廓线方案, FLX-BATS 表示 BATS 陆面过程模式计算方案, 两组试验的

其它物理过程选项完全一致。这两组试验均利用 2006 年 6~7 月的 NCEP 同化分析资料和常规气象观测资料, 初值采用以 NCEP 同化分析资料作为背景场, 融合常规气象观测资料的客观分析方法获取, 模式区域为 65°~145°E, 5°~60°N, 侧边界条件为时变侧边界条件, 模式起报时间为当日世界时 00Z(文中时间均为世界时)。这里, 从典型个例分析和批量后报检验两个方面, 说明两组试验的具体预报结果。

3 典型暴雨个例预报分析

3.1 2006 年 6 月 6~7 日江南暴雨过程(‘06.6’江南暴雨过程)

3.1.1 ‘06.6’江南暴雨天气形势简况

‘06.6’江南暴雨过程的主要天气形势是, 我国南部 500 hPa 副热带高压加强西伸, 其脊线稳定于 15°N 附近。我国北部蒙古地区有一西风槽自西向东移动并加深。北方干冷空气沿槽后西北气流南下, 与副高西北侧的西南暖湿气流交汇于长江以南的湖南、江西和福建以北等地区, 并形成稳定的冷暖气团交汇锋面。850 hPa 图上, 沿这些地区存在明显的切变线, 并伴有低涡生成、发展和向东偏北方向移动(图略)。从风云 2 号气象卫星云图上可见(图 2), 在广西北部、湖南和江西中部、以及福建北部有明显深厚的中尺度云团发展。与此相对应, 沿广西北部、湖南和江西中部和福建北部一带, 出现了一条非常强的大到暴雨的降水带, 在广西北部、湖南中部和福建北部出现了三个暴雨和大暴雨中心(图 3)。

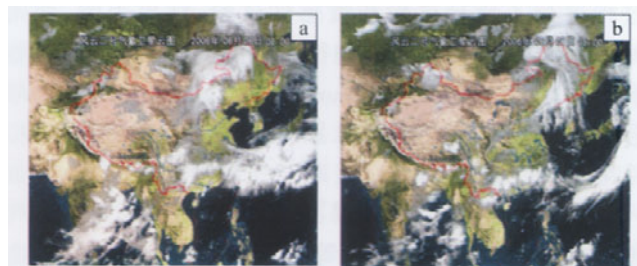


图 2 2006 年 6 月 6 日 00 时(a)和 7 日 00 时(b)风云 2 号气象卫星云图

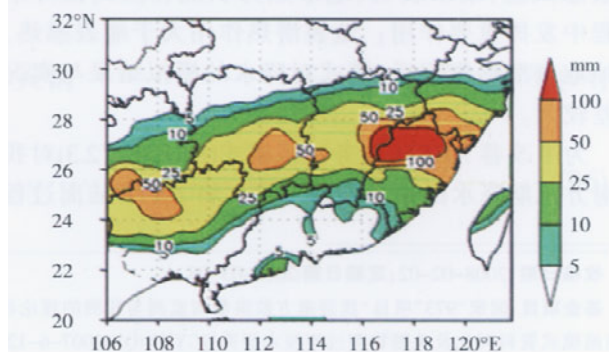


图 3 2006 年 6 月 6~7 日江南地区降水(mm)实况

3.1.2 ‘06.6’江南暴雨降水预报

图 4 给出了 EXP1 和 EXP2 对 2006 年 6 月 6-7 日 24 h 累积降水量的预报结果。

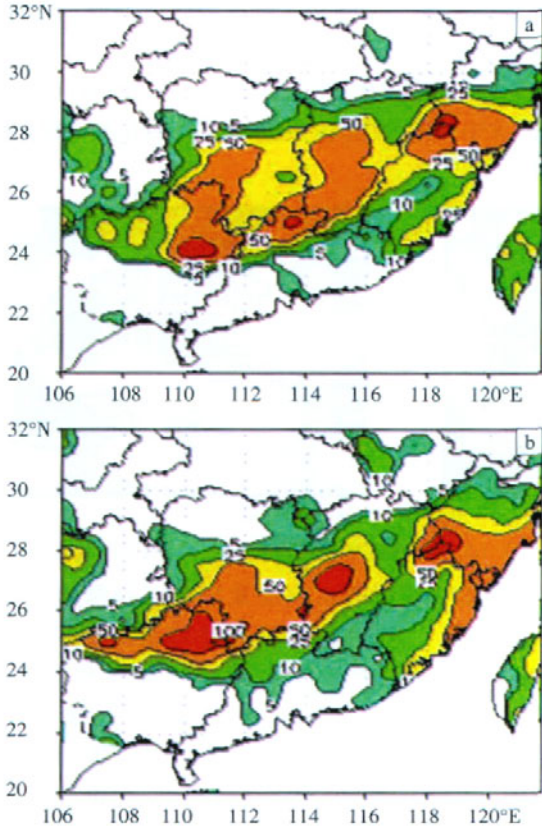


图 4 EXP1 (a)、EXP2 (b)模拟的 2006 年 6 月 6-7 日 24 h 累积降水(mm)分布

由图 4 可见,对整个降水落区预报,两组试验总体比较接近,均与实况吻合;对强降雨带的预报,EXP2 预报的雨带更为集中,走向与实况更为一致;从强降雨中心看,两组试验都较为准确地预报了福建北部存在的一个强降雨中心,中心位置与实况较为一致,而从中心强度上看,EXP2 预报的更强且更接近实况;在雨带的中西部,两组试验均预报有多个强降雨中心;从各降水中心与实况对比看,EXP2 的预报要比 EXP1 明显准确;EXP2 预报的强降雨中心主体,一个分布于江西中部及湖南东南部,另一个位于广西北部,它们刚好与实况出现的湖南中部暴雨中心和广西北部暴雨中心相对应,尽管降水中心强度稍大,但均有比较好的位置对应关系。相比较而言,EXP1 预报的各降水中心位置明显偏南,中心分布形态预报也比 EXP2 预报得差。这表明新陆面过程方案引入 AREM 模式,对模式暴雨预报改进有显著作用。

3.1.3 地表通量日变化特征对比分析

新模式与原模式的主要差别是陆面过程参数化方案的改变,其反映在大气模式中则是陆气相互作用过

程计算处理的差异。为了解新的陆面过程参数化方案对模式降水预报的影响,这里,对地表感热、潜热通量变化及其与降水预报的关系进行对比分析。本文选取 26°-28°N、114°-120°E 范围一个暴雨主要发生区的方形区域,并将两组试验预报的地表感热和潜热通量、对流有效位能(CAPE)及逐时降水量进行区域平均。图 5 给出了 2006 年 6 月 6 日 00 时至 7 日 00 时区域平均的地表感热和潜热通量、对流有效位能及逐时降水量的日变化曲线(平均区域为 26°-28°N、114°-120°E)。

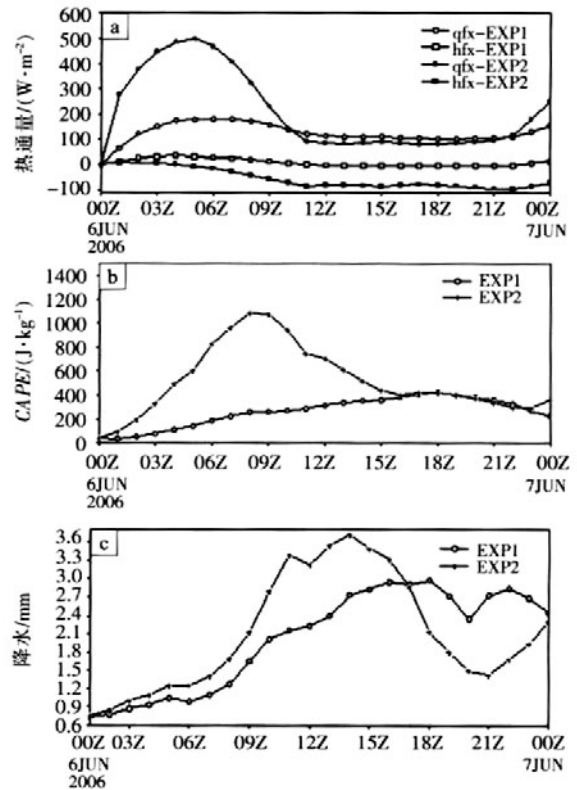


图 5 2006 年 6 月 6 日 00 时至 7 日 00 时降水和地表热通量区域平均的日变化比较 (a) 热通量(W·m⁻²);(b) CAPE(J·kg⁻¹);(c) 降水(mm)

由图 5a 可见,EXP1 和 EXP2 预报的地表感热通量和潜热通量日变化的总趋势基本一致,但变化量幅度有明显差异(尤其对于地表潜热通量),尽管两组试验最大值均出现在 6 日 05 时(世界时,下同),但 EXP2 预报的峰值达到 500 W·m²,而 EXP1 预报的峰值约为 200 W·m²,这说明新方案地表潜热加热要强于原方案。由图 5b 可见,EXP2 在 6 日 15 时前有一个明显的对流有效位能积累和释过程,且 CAPE 值在 08 时出现 1 150 J·kg⁻¹ 峰值,它比地表潜热通量的峰值出现约迟 3 h。在对流有效位能释放过程中,该地区出现了一个降水量显著增加的过程,逐时降水量在 6 日 14 时达到峰值(图 5c)。

由上所述,EXP1 与 EXP2 结果有明显不同,其并

没有出现对流有效位能的急速增加, CAPE 峰值出现比 EXP2 迟得多, 约在 18 时左右, 其峰值强度为 $430 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 也要比 EXP2 弱得多。与此相对应, EXP1 预报的降水强度更小, 峰值出现时间约在 18 时左右, 也比 EXP2 要迟 4 h。这初步说明, 由于新方案地表潜热通量更大, 使得大气低层加热强, 大气对流有效位能容易积累, 从而导致大气运动场发生改变, 引发中尺度暴雨系统生成和发展, 促使暴雨的强度、出现地点和

时间均发生变化。

3.1.4 中尺度结构特征对比分析

为了更清晰地反映不同陆面过程方案对中尺度系统预报的影响, 对 EXP1 和 EXP2 所刻画的暴雨中尺度系统结构特征进行了更深入的对比分析。图 6a、b、c 分别给出了 EXP1 和 EXP2 试验对 2006 年 6 月 6 日 12 时 850 hPa 散度场预报结果以及同时刻的实况分析结果。

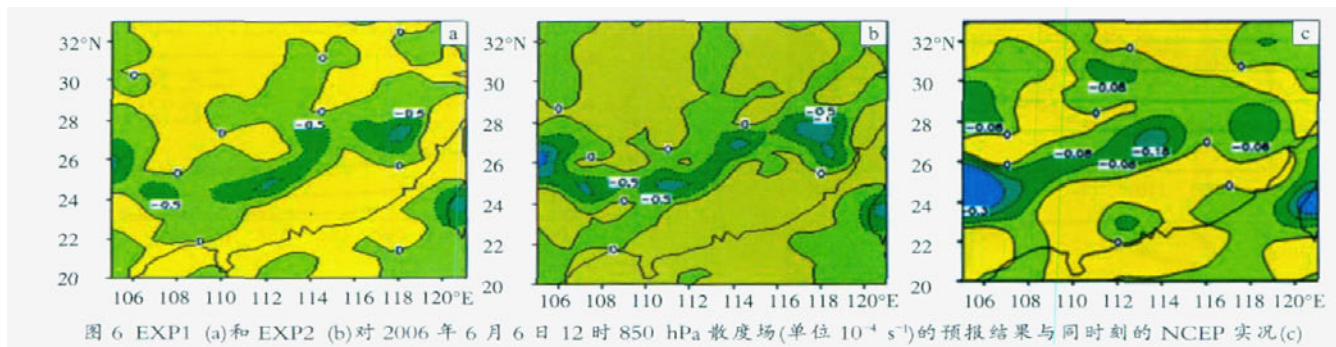


图 6 EXP1 (a)和 EXP2 (b)对 2006 年 6 月 6 日 12 时 850 hPa 散度场(单位 10^{-4} s^{-1})的预报结果与同时刻的 NCEP 实况(c)

对比图 6a、b、c 可见, EXP1 和 EXP2 所反映的大气辐合区(散度负值区)与实况总体比较一致; 在福建北部的 27°N 、 118°E 附近, EXP1 和 EXP2 均预报有一个中尺度辐合中心, 其与实况分析结果非常吻合, 并与该地区的大暴雨中心对应; 在 27°N 、 114°E 附近, 实况分析存在一个明显的中尺度辐合中心, 它与湖南中部的暴雨中心相对应, EXP2 准确地预报了该辐合中心, 而 EXP1 对其漏报, 这使得 EXP1 对湖南中部暴雨中心预报出现较大偏差。值得注意的是, 在 112°E 以西, EXP2 预报的辐合带在位置和走向上与实况分析很接近, 而 EXP1 预报的辐合带较偏南, 这也是 EXP1 预报的西部降水中心位置明显偏南的主要原因(图 4a)。

图 7 给出了 EXP1 和 EXP2 预报的 2006 年 6 月 6 日 12 时的整层水汽通量散度结果。从图 7 中可见,

EXP1 和 EXP2 预报的水汽通量辐合区与降水带有一致的对应关系, 且 EXP1 和 EXP2 均预报了多个水汽通量辐合中心, 在 28°N 、 118°E 附近, EXP1 和 EXP2 都预报出一个强水汽通量辐合中心, 其对应于福建北部的大暴雨中心; 在湖南南部、江西中部及贵州东部地区, EXP1 和 EXP2 也预报了 2~3 个水汽通量辐合中心, 但 EXP1 辐合中心明显要弱, 且在此后的预报时间中, 这些辐合中心也向南压(图略); 在水汽通量辐合带西段, EXP2 在 25°N 、 108°E 附近预报出一个强水汽通量辐合中心, 它对应于广西北部的暴雨中心。尽管 EXP1 也预报出了水汽通量辐合中心, 但中心强度很弱, 且该中心随 EXP1 此后预报的西段辐合带南压而明显南移。而 EXP2 预报的水汽通量辐合中心基本维持于 25°N 、 110°E 附近。

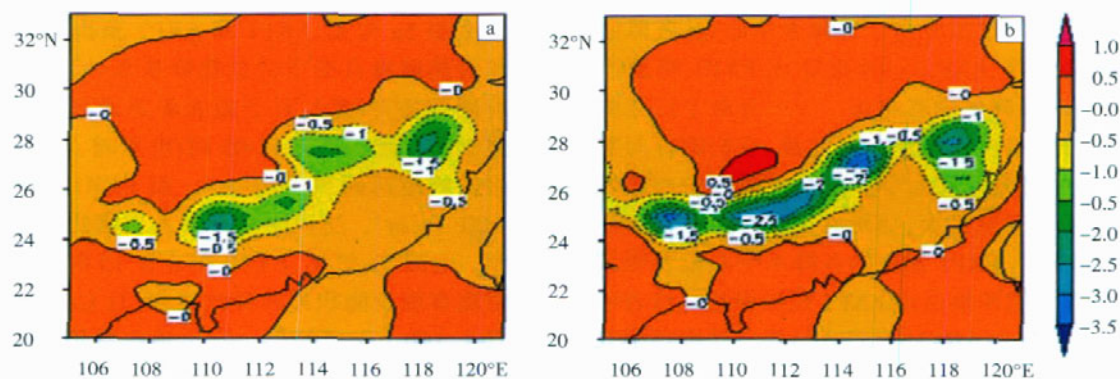


图 7 EXP1 (a)和 EXP2 (b)预报的 2006 年 6 月 6 日 12 时整层水汽通量散度($10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

图 8 给出了 EXP1 和 EXP2 预报的 2006 年 6 月 6 日 12 时沿经向 113°E 所作的垂直速度剖面。从图 8

中可以看出, 在中低层, EXP1 预报的垂直运动上升柱比 EXP2 预报的偏南, 垂直上升运动中心位于 650

hPa 附近, 位置比 EXP2 预报的要低(位于 600 hPa 附近), 对对流系统的预报也没有 EXP2 预报的旺盛; 在高层, EXP1 预报的垂直上升运动中心比 EXP2 预报的

偏南, 且预报的上升运动强度也较弱。与实况降水对应来看, EXP2 预报的暴雨系统在位置和结构上比 EXP1 更接近于实况。

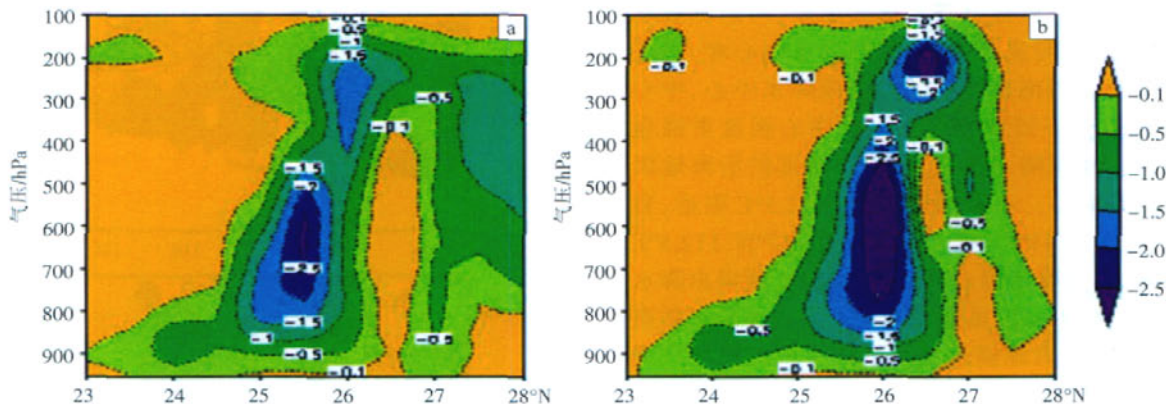


图 8 EXP1 (a)和 EXP2 (b)预报的 2006 年 6 月 6 日 12 时沿经向 113°E 垂直速度剖面(单位 10^{-2} hPa·s $^{-1}$)

图 9 给出了 EXP1 和 EXP2 预报的 2006 年 6 月 6 日 18 时假相当位温(θ_w)沿经向 113°E 的垂直剖面。从图 9 中可见, 暴雨发生在冷暖空气交汇的锋面附近; EXP2 预报的锋区位于 26°N 附近, 与实况暴雨中心区吻合, EXP1 锋区位于 25°N 附近, 比实况暴雨中心区偏南。在整个暴雨发生过程, EXP2 预报的锋区几乎始

终维持在 26°N 附近, 而 EXP1 预报的锋区则南压至 24~25°N 之间, 从而使 EXP1 预报的暴雨中心偏南。从分布结构看, EXP2 预报的低层 θ_w 值要高于 EXP1 的。这反映出新方案地表潜热加热变强后, 使大气低层的增温和增湿也更为明显, 有利于强降水系统的发生与发展。

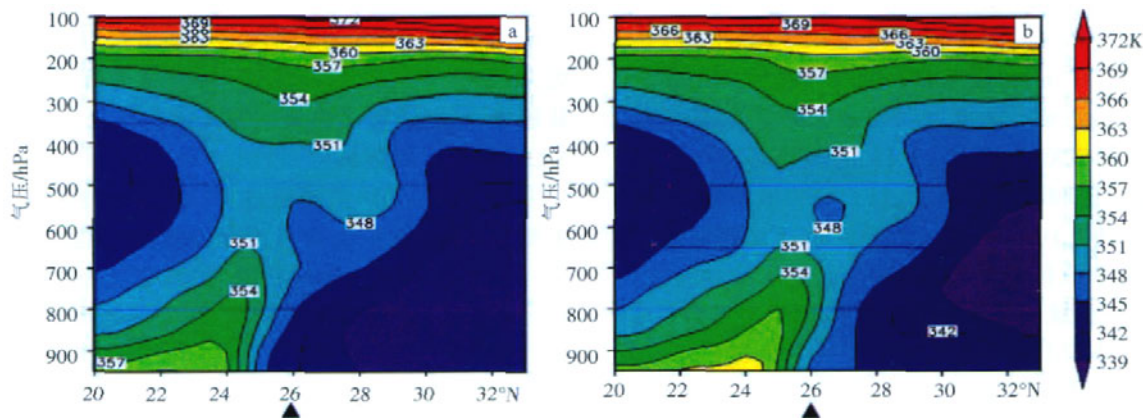


图 9 EXP1 (a)和 EXP2 (b)预报的 2006 年 6 月 6 日 12 时沿经向 113°E θ_w (K)垂直剖面(▲为实况降水中心)

3.2 2006 年 7 月 28~29 日华南暴雨过程(‘06.7’华南暴雨过程)

3.2.1 ‘06.7’华南暴雨天气形势简况

‘06.7’华南暴雨过程的主要天气形势是, 850 hPa 图上, 在两广南部交界处以及北部湾地区存在一低涡, 该低涡发展深厚; 在 500 hPa, 该地区仍存在一低压中心, 海上副高加强西伸, 其脊线稳定于 30°N 附近, 使低涡稳定少动。在这样的天气形势背景下, 整个华南地区处在偏南气流控制下, 从海上带来充沛水汽, 从而在两广地区、湖南中南部以及福建南部地区引起降水, 其实况见图 10。

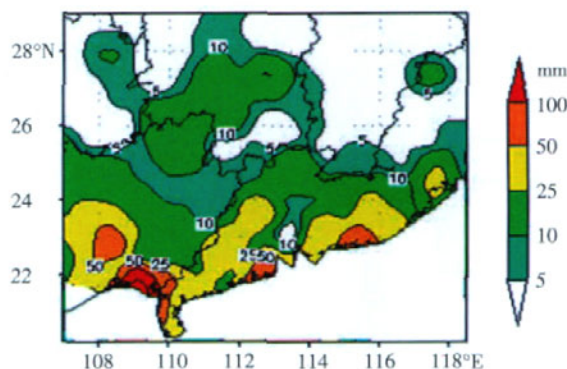


图 10 2006 年 7 月 28~29 日华南地区降水(mm)实况

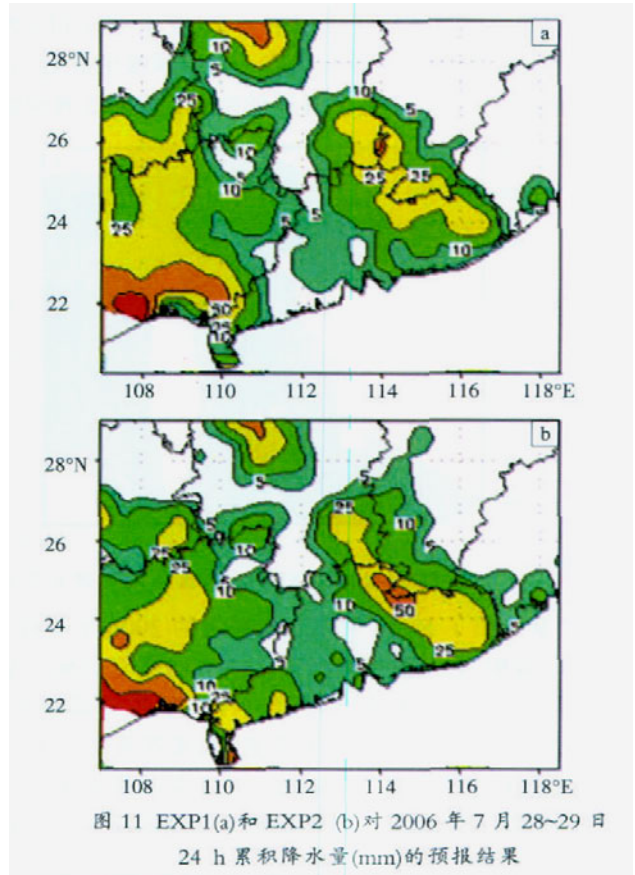
3.2.2 ‘06.7’华南暴雨降水预报

图 11 给出了 EXP1 和 EXP2 对 2006 年 7 月 28~29 日 24 h 累积降水量的预报结果。

由图 11 可见,对整个降水落区预报,两组试验总体上比较接近,均与实况吻合;从强降水中心看,两组试验都预报出广西南部存在的一个强降水中心,中心位置与实况较为一致,EXP2 预报的中心强度更强且更接近实况。实况降水图上,在广东南部的沿海地区有两个强降水中心,一个位于 22°N、112.5°E 附近,另一个位于 22.5°N、115°E 附近,EXP1 在 22°N、112.5°E 附近出现漏报,没有预报出降水,而 EXP2 预报出降水中心,与实况较为接近,虽强度上偏弱。这表明新陆面过程方案的引入,对原模式暴雨预报中出现的漏报现象有一定改进作用。

3.2.3 地表通量日变化特征对比分析

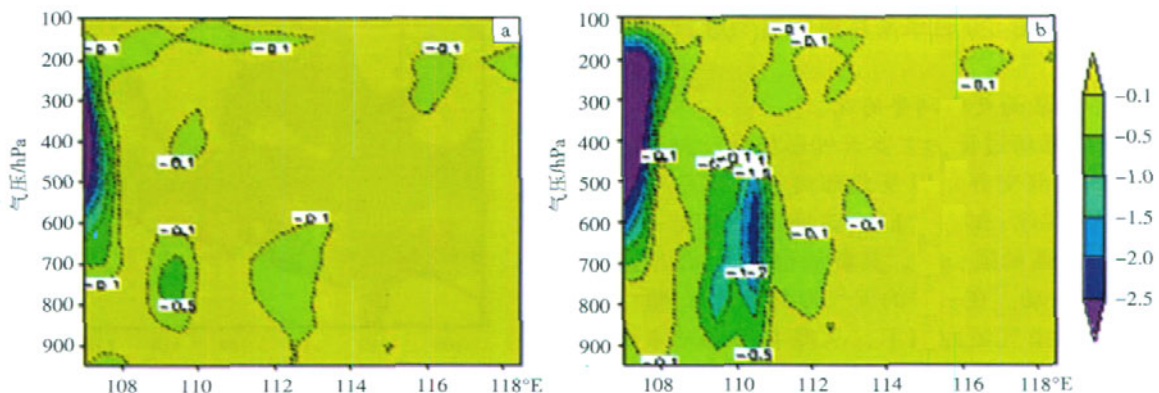
为了考察 EXP1 在 22°N、112.5°E 附近出现漏报的原因,本文选取 21°~24°N、111°~113°E 的方形区进行区域平均,就可得到 2006 年 7 月 28~29 日 00 时区域平均的地表感热和潜热通量、对流有效位能及逐时降水量的日变化曲线(图略)。经分析发现,两组试验预报的地表感热、潜热通量日变化的总趋势基本一致;对于地表感热通量,两者的日变化差异不明显,而对于地表潜热通量,EXP2 预报的峰值在 28 日 05 时达到最大值(380 W·m⁻²),而 EXP1 预报的峰值则出现在 06 时,仅 122 W·m⁻²,这也说明新方案地表潜热加热要强于原方案;EXP2 在 28 日 13 时前明显有一个对流有效位能积累和释放的过程,且 CAPE 值在 05 时达到最大值(1 737 J·kg⁻¹),它与地表潜热通量同时达到峰值;在对流有效位能释放过程中,该地区从 09 时起出现了一个降水量显著增加的过程;EXP1 与 EXP2 结果明显不同,并未出现对流有效位能的急速增加,其变化比较平缓,从大约 700 J·kg⁻¹ 逐渐增加到 1 200 J·kg⁻¹ 左右。与此相对应,EXP1 预报的区域平均降水从 03 时起几乎始终在 0.0~0.2 mm 之间,从而在该地区



出现漏报。这同样可说明,由于新方案地表潜热通量更大,使得大气低层加热变强,大气对流有效位能容易积累,从而改进了原模式对降水的预报。

3.2.4 垂直速度场对比

对于‘06.7’华南暴雨过程,EXP1 和 EXP2 预报的主要特征与‘06.6’江南暴雨过程相似。因此,这里仅给出当年 7 月 28 日 10 时沿 21°N 的垂直速度剖面图(图 12)。从图 12 中可清楚地看到,在出现漏报的地区上空附近(111°E),EXP2 模拟的垂直运动贯穿于整个对流层的中下层,强上升运动中心位于 650 hPa,而 EXP1 几乎没有模拟出垂直运动,这也是 EXP1 在该地区出现漏报的原因之一。



4 降水预报效果检验

为了客观定量反映上述两组不同地表通量方案的降水预报效果, 分别对 2006 年 6~7 月的 24 h 降水量(R_{24})批量后报进行分区统计检验, 其检验结果见图 13。评分中降水等级分为晴雨($R_{24} < 0.1\text{mm}$)、中雨以上($R_{24} > 10\text{mm}$)、大雨以上($R_{24} > 25\text{mm}$)和暴雨以上($R_{24} > 50\text{mm}$); 评分区域分为长江中下游地区(I 区, 范围为 $26^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$)和华南地区(II 区, 范围为 $20^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$, $109.5^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$)。采用站点对站点方式, 即将模式预报的格点降水插值到测站, 与测站上实况降水量进行比较。预报检验统计量 T_s 评分、漏报率、空报率的计算公式见文献[11]。

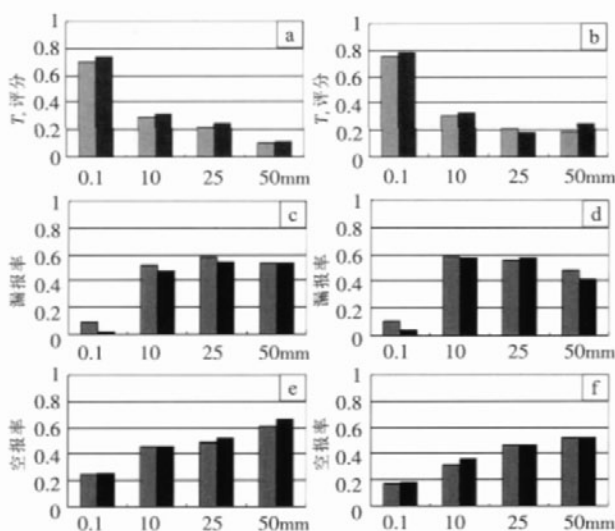


图 13 2006 年 6~7 月长江中下游地区(I 区, 左列)和华南地区(II 区, 右列)逐日 24 h 累积降水预报检验 (浅灰色方柱代表 EXP1、黑色方柱代表 EXP2)
(a) I 区 T_s 评分; (b) II 区 T_s 评分; (c) I 区漏报率; (d) II 区漏报率; (e) I 区空报率; (f) II 区空报率

对图 13 中的结果分析如下:

(1)从 I 区的 T_s 评分来看(图 13a), 两组试验对晴雨预报评分最高, 分别为 0.704 和 0.737, 随降水级别增加, T_s 评分逐渐降低; 对不同级别降水预报的 T_s 评分, EXP2 的均略高于 EXP1 的; EXP1、EXP2 对 50 mm 以上降水预报的 T_s 评分分别为 0.108 和 0.111, 表明两组试验对该地区暴雨具有一定的预报能力。

(2)与 II 区的 T_s 评分结果类似, I 区的 T_s 评分(图 13b) 随着降水级别增加而逐渐降低 (除 EXP2 对 50 mm 以上降水预报的评分高于 25 mm 以上的之外); EXP2 除对 25 mm 以上降水预报的 T_s 评分 (0.180)略低于 EXP1(0.208), 对其它三个级别降水预报的 T_s 评分均高于 EXP1 的; EXP1、EXP2 对 50 mm 以上降水预报的 T_s 评分分别为 0.189 和 0.248, 说明两组试验

对华南地区的暴雨同样具有一定的预报能力。

(3)从 I 区的漏报率(图 13c)和空报率(图 13e)来看, 总体上, 随降水级别增加, 漏报率和空报率均增加 (除 EXP1 和 EXP2 对 25 mm 以上降水预报的漏报率分别高于 50mm 以上的之外); 在漏报方面, EXP2 除个别级别 ($> 50\text{mm}$) 外, 绝大部分级别的降水预报均好于 EXP1 的; 在空报方面, EXP2 的略高于 EXP1 的。

(4)从 II 区的漏报率(图 13d)和空报率(图 13f)来看, 其总体上分布特征与 I 区的一致; 在漏报方面, EXP2 除个别级别 ($> 25\text{mm}$) 外, 绝大部分级别的降水预报均好于 EXP1 的; 在空报方面, 两者除个别级别 ($> 10\text{mm}$) 外, 其差异不显著。

5 结论与讨论

本文利用耦合陆面过程模式 BATS 的新 AREM 和原 AREM 分别对江南地区和华南地区的两次降水过程进行模拟, 以考察 BATS 加入后对降水模拟的影响, 并对 2006 年 6~7 两个月 24 h 降水量批量后报进行分区统计检验, 主要得到以下几点结论。

(1)陆面过程模式 BATS 对短期天气过程的影响较为显著; 边界层形势场和要素场变化较大。

(2)BATS 的引入使得 AREM 模式对散度场、整层水汽通量散度场、垂直速度场以及假相当位温的模拟有明显的改进, 进而改进了江南地区降水过程中原模式对雨带和降水中心的模拟, 也改进了原模式对华南地区降水过程模拟中出现的漏报现象, 使降水模拟更接近实况。

(3)总体来看, EXP2 对上述两个地区的 T_s 评分高于 EXP1 的; EXP2 的漏报率好于 EXP1 的; EXP2 的空报率则略高于 EXP1 的, 但其差异不明显。

本文对陆面过程模式 BATS 引入 AREM 后进行了初步试验, 总的来说, 试验是成功的。但还存在一些需要解决的问题, 如 BATS 模式中对太阳辐射的处理问题、边界层实测资料检验和业务试验等, 这将有待于在今后的研究中得到逐步解决。

参考文献:

- [1] Dickinson R E. Land-atmosphere interaction, US Nation Report intimation Union of Geodesy and Geophysis 1991-1994 [R]. 1995: 917-922.
- [2] Zeng Xubin. Coupling of the Common Land Model to the NCAR Community Climate Model [J]. J Climate, 2002, 15: 1832-1854.
- [3] 丁一汇, 张晶, 赵宗慈. 一个改进的陆面过程模式及其模拟试验研究 (I): 陆面过程模式与区域气候模式的耦合模拟试验 [J]. 气象学报, 1998, 56(4): 385-400.
- [4] 黄伟. NCAR CLM 与 LASGIAP AREM 的耦合试验 [D]. 北京: 中国科

- 学院大气物理研究所,2003.
- [5] 赵鸣,江勇,汤剑平,等.用新 RIEMS 模式研究陆面过程对暴雨的影响[J].南京大学学报(自然科学版),2003,39(3):370- 381.
- [6] 毕宝贵,刘月巍,李泽春.地表热通量对陕南强降水的影响[J].地理研究,2005,24(5):681- 691.
- [7] Dickinson R E. The force-restore model for surface temperatures and its generalizations [J]. J Climate,1988,1(10): 1086- 1097.
- [8] Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J ,et al. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model [R]. NCAR Tech. Note- 275+STR,1986.
- [9] Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version1e as coupled to the NCAR Community Climate Model [R]. NCAR Tech. Note- 378+STR,1993.
- [10] 施洪波.一个区域气候模式 CREM 的建立及其对东亚区域夏季气候的模拟评估分析[D].北京:中国科学院大气物理研究所,2007.
- [11] 宇如聪,薛纪善,徐幼平,等.AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统 [G]//国家 973 “中国暴雨”项目研究专著系列丛书(六).北京:气象出版社,2004.
- [12] 宇如聪,徐幼平. AREM 及其对 2003 年汛期降水的模拟[J].气象学报, 2004,62(6):715- 724.
- [13] Xia Daqing, Xu Youping, et al. The water-bearing numerical model and its operational forecasting experiments Part : The water-bearing numerical model [J]. Adv Atmos Sci,1998,15(2):221- 232.
- [14] Xu Youping, Xia Daqing, et al. The water-bearing numerical model and its operational forecasting experiments. Part :The operational forecasting Experiments [J]. Adv Atmos Sci,1998,15(3): 321- 336.
- [15] Zeng Xubin, et al. Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data [J]. J Climate, 1998, 11: 2628- 2644.
- [16] 宇如聪. 陡峭地形有限区域数值预报模式设计 [J]. 大气科学, 1989,13:139- 149.

Improvement of the Land Process in AREM Model and its Experiments

YANG Lei¹, XU You-ping², CHENG Rui², Li Kun², ZHAO Wei¹

(1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Engineering, Nanjing 211101;

2. Beijing Institute of Applied Meteorology, Beijing 100029)

Abstract: The land surface parameterization in the operationally used AREM is modified to enhance its performance in the real-time precipitation forecast through coupling with the land surface model BATS. With the improved AREM and the old AREM, the typical cases analyses and hindcast experiments are carried out in the south of China in the flood of June and July in 2006. In addition, the precipitation forecasts over two months are statistically tested in different regions of China to know their behaviors. The results indicate that the improved model has better predictions in the precipitation pattern and the heavy rainfall location with reduced no-hitting rate and increased obviously T_s score. The modified land surface processes in AREM plays an important role in improving quality of precipitation forecast.

Key words: AREM; Land surface parameterization; Precipitation forecast