

应用 GRAPES 模式对贵州 暴雨过程的模拟试验

伍红雨¹ 陈德辉²

(1. 贵州省山地环境气候研究所, 550002; 2. 中国气象科学研究院)

提 要: 利用我国新一代数值预报模式 GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System), 对 2004 年发生在贵州的 3 次强降水过程, 即 6 月 23—24 日、7 月 17—18 日和 7 月 21—22 日的暴雨过程进行了数值模拟, 并与实况资料进行对比分析。模拟结果表明: GRAPES 模式成功地模拟了这几次降水过程中的主要天气系统的位置和移动过程, 如西南低涡的加强、较强的低空急流、低空气流辐合以及高空槽过境等, 因此较好地模拟出暴雨的落区和分布特征。但对强降水的模拟与实况有一定差异, 对局地暴雨的模拟偏小。模拟试验分析可见: GRAPES 模式对贵州暴雨有预报能力, 有较好的参考作用。

关键词: GRAPES 模式 暴雨 模拟试验

Simulation Experiments on Heavy Rainfall Events in Guizhou with GRAPES Model

Wu Hongyu¹ Chen Dehui²

(1. Guizhou Research Institute of Mountainous Area Environment & Climate, Guiyang 550002;
2. Chinese Academy of Meteorological Sciences)

Abstract: With the new generation numerical prediction model GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System), three typical heavy rainfall events happening respectively in Guizhou Province during June 23—24, July 17—18 and 21—22 of 2004 are numerically simulated, and the result is compared with observation data. The result shows:

资助项目: 科研院所社会公益专项 (2002DIA10013) 资助

收稿日期: 2006 年 4 月 25 日; 修定稿日期: 2006 年 10 月 19 日

In all these processes, the movement of the major weather system is simulated by GRAPES model successfully, such as the strengthening of southwest vortex, low level jet, the convergence of low level jet and the passage of upper trough. GRAPES model can successfully simulate the distribution of precipitation. But unfortunately, there are some differences in heavy rainfall between the observations and simulations. The simulation values of the precipitation center less than the observations. From the numerical results, GRAPES model is proved to have good ability to simulate heavy rainfall in Guizhou, and to be of good reference.

Key Words: GRAPES model heavy rainfall simulation experiment

引 言

贵州位于青藏高原东南侧,地形、地貌复杂多变。在夏季暴雨天气频繁,往往会造成滑坡、泥石流等严重自然灾害,所以暴雨是夏季预报的重点和难点。关于对暴雨的数值模拟研究人们已经做过较多的工作^[1-4],但应用高分辨率数值模式对贵州暴雨过程进行分析研究甚少。GRAPES 模式是我国新一代数值预报模式。模式采用半隐式半拉格朗日时空分离技术,水平方向采用 C-网格设计,垂直方向采用 Charney-Phillips 跳层设计及高度地形追随坐标。本文采用 GRAPES 模式,对 2004 年贵州的 3 次暴雨天气过程进行了模拟,并利用模拟结果对降水成因进行初步分析。

1 模式参数设置及资料来源

试验模式为 GRAPES 模式 2.1 版本,模式顶层高度 35000m,采用非静力方案,长波辐射过程采用 rrtm 方案,短波辐射过程采用 Dudhia 方案,地面层采用 Monin-Obukhov 方案,陆面过程采用热扩散方案,边界层采用 mrf 方案,微物理过程采用简单冰相方案,积云参数化方案采用 Betts-Miller-Janjic 方案。模式取贵州区域及其邻近地区为计算区域,整个计算范围为:23~30°

N、101~111°E,模式水平分辨率为 0.1406km,总的格点数为 51×72。垂直方向为 σ 坐标,取不等距的 31 层。模式的背景场使用国家气象中心 T213 资料,其格距为 0.5625 度,积分的时间间隔为 6h,垂直方向共 17 层,还加入观测资料作初始场和边界条件,对 2004 年夏季贵州发生的 3 次强暴雨天气过程进行 24 小时的数值模拟试验。预报起始时间分别为 2004 年 6 月 23 日 08 时、2004 年 7 月 17 日 08 时、2004 年 7 月 20 日 08 时(北京时,下同),模式积分时间 24 小时。

2 2004 年 6 月 23—24 贵州降水过程

2.1 天气过程

2004 年 6 月 23 日 08 时—24 日 08 时,贵州出现一次强降水天气过程(图 1a),贵州中东部地区出现中雨以上的降水,在贵州的东部和东南部地区出现了大范围的暴雨天气,有 13 站的暴雨,其中 3 站出现大暴雨:三都降雨量 106mm,松桃降雨量 108mm,最大降雨量 139mm,出现在黔东南州的锦屏,这次过程是贵州 2004 年 6 月暴雨范围最大的一次。

从天气实况图(略)上可以看到,2004 年 6 月 23 日 08 时,850hPa 上贵州为低涡环流控制,500hPa、700hPa 为槽前强西南

气流(图略), 研究表明, 这次降水过程与中尺度系统低涡乃至更小尺度的对流天气系

统和高空槽东移影响密切相关。

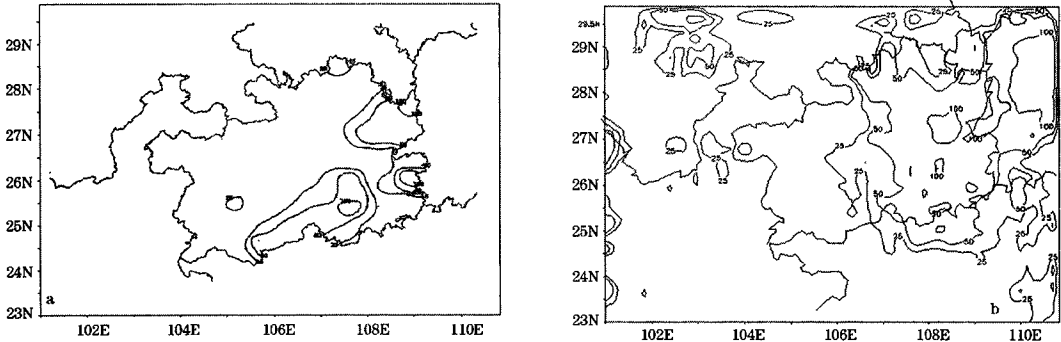


图 1 2004 年 6 月 23 日 08 时—24 日 08 时 24h 降水实况 (a) 与模拟图 (b) (单位: mm)

2.2 模拟结果分析

使用 GRAPES 对 2004 年 6 月 23—24 日的暴雨进行模拟, 积分时间 2004 年 6 月 23 日 08 时到 24 日 08 时, 即 24 小时。模拟结果如下。

2.2.1 模拟降水

由图 1b, GRAPES 模式模拟 2004 年 6 月 23 日 08 时—24 日 08 时 24h 降水量分布可看出, 贵州较大降水出现在中部以东地区, 有大范围的暴雨天气, 并模拟有 3 个 100mm 的强降水中心, 位于铜仁地区、黔南、黔东南州, 分别与松桃、三都、锦屏的大暴雨降水相对应, 距离实况不到 1 个经纬度。值得注意的是, 暴雨的范围、走向与实况很一致, 对这次过程的模拟很成功。

2.2.2 模拟天气系统和中小尺度结构

由于这次贵州的降水是由低涡切变和高空槽共同影响造成的, 因此能否正确模拟出低涡切变和高空槽是能否正确模拟降水的关键。从 GRAPES 模式模拟的 6 月 24 日 08 时 500hPa 高度场(图 2a)上可以发现, 有一明显的高空槽正影响贵州, 贵州中东部地区位于槽前, 受槽前西南气流影响, 而西部

地区位于槽后, 造成贵州大的降水出现在贵州中东部地区, 从模式每 6 小时输出的模式 500hPa 高度场模拟图(略)看到, 高空槽在东移过程中, 在贵州中部移动缓慢, 使得大的降水出现在中东部地区。

从 GRAPES 模式模拟的 6 月 24 日 08 时的 850hPa 高度场(图 2b)上可以发现, 在贵州的西部边缘有一个 1340gpm 的低压中心, 贵州受低涡环流影响, 从模式每 6 小时输出的模式 850hPa 高度场模拟图(略)看到, 位于云南和贵州之间的低涡稳定少变, 贵州一直受低涡切变影响, 位于高空急流的西南侧, 这种低涡、高低空急流的配置极易引发强对流天气。低涡东移过程中导致贵州中东部的暴雨天气。

3 2004 年 7 月 17—18 日贵州降水过程

3.1 天气过程

2004 年 7 月 17 日 08 时—18 日 08 时, 在贵州出现了东北—西南向的暴雨带, 即在铜仁地区和黔南州北部、贵阳市北部、安顺市出现一次突发性暴雨天气过程, 共出现

14 站暴雨, 最大降水出现在平坝, 降雨量 93mm, 省内其余地区主要是中到大雨天气。在 2004 年 7 月 17 日 14 时 850hPa 风场实况图 (略) 上, 可看出在长江中下游地区

到贵州, 存在风速风向的切变, 贵州受低涡切变影响, 在低涡切变线附近出现了大范围的暴雨天气, 研究表明, 这次降水过程与低涡切变密切相关。

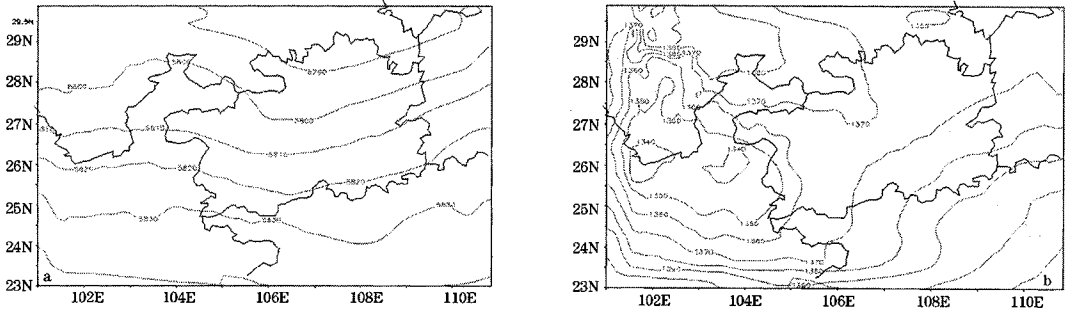


图 2 GRAPES 模拟的 2004 年 6 月 24 日 08 时 500hPa (a) 和 850hPa 高度场 (b)

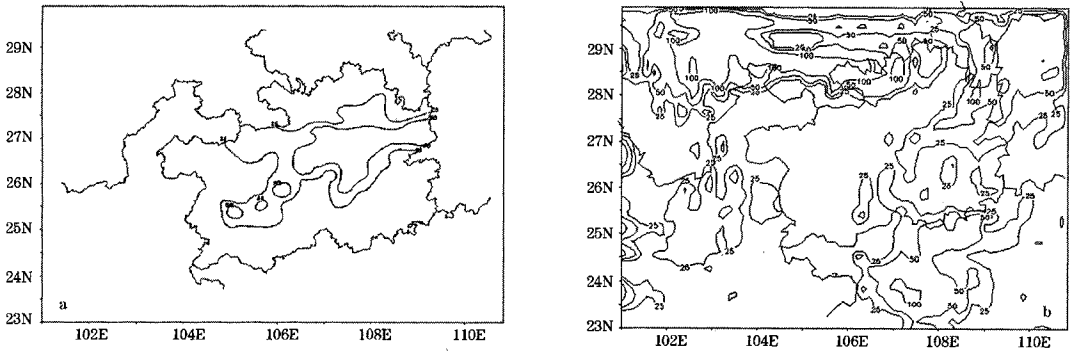


图 3 2004 年 7 月 17 日 08 时—18 日 08 时 24h 降水实况 (a) 与模拟 (b)

3.2 模拟结果分析

使用 GRAPES 对 2004 年 6 月 22—23 日的暴雨进行模拟, 积分时间 2004 年 6 月 23 日 08 时到 24 日 08 时, 即 24 小时。

3.2.1 模拟降水

由图 3b, 从 GRAPES 模式模拟 2004 年 7 月 17 日 08 时—18 日 08 时 24h 降水量分布可看出, 模拟的大降水落区的范围和实况大致接近, 模拟出了贵州 106°E 以东有大雨出现, 但模拟与实况存在差异, 模拟贵州北部有暴雨, 距离实况偏北 2 个纬度。值得

注意的是模式模拟结果除北部外, 中心降水量明显偏小, 中心值是 25mm, 而实况是暴雨。原因可能是背景场资料的分辨率不够, 从而无法模拟出小尺度的强降水系统。

3.2.2 模拟天气系统和中小尺度结构

由于这次贵州的降水是由低涡切变造成的, 因此能否正确模拟出低涡切变的位置和演变是能否正确模拟降水的关键。

从 GRAPES 模式模拟的 6 月 18 日 08 时的 500hPa 高度场 (图 4a), 可以发现, 有一明显的高空槽正影响贵州, 在川南有一低涡, 贵州主要受西南气流影响, 从模式每

6 小时输出的 500hPa 高度场模拟图 (略) 看到, 贵州一直受西南气流控制, 有利于西

南暖湿气流的输送, 有利于形成强降水。

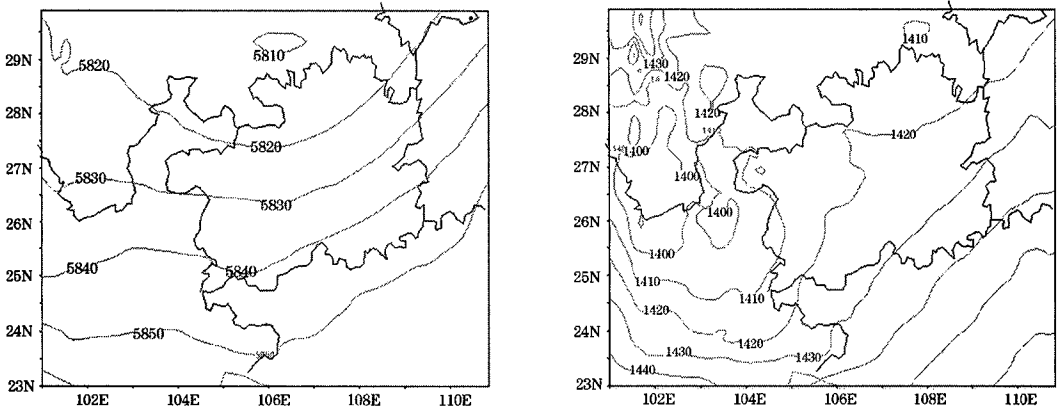


图 4 GRAPES 模拟的 7 月 18 日 08 时 500hPa (a) 和 850hPa 高度场 (b)

GRAPES 模式模拟的 7 月 18 日 08 (北京时) 的 850hPa 高度场 (图 4b) 上可以发现, 在四川的南部和云南的西部分别有一个 1400gpm 的低涡中心, 贵州受低涡环流影响, 从模式每 6 小时输出的模式 850hPa 高度场模拟图 (略) 看到, 位于云南和贵州之间的低涡稳定少变, 贵州一直受低涡切变影响, 可看出, GRAPES 模式对中尺度系统和系统的演变的模拟是较成功的, 但模拟的低涡强度比实况偏弱, 低涡位置偏西, 导致模式未预报中东部的有暴雨。从 T213 预报场也没有预报出强降水, 可见模式的预报与背景场密切相关。

4 2004 年 7 月 21—22 贵州降水过程

4.1 天气过程

2004 年 7 月 21 日 08 时—22 日 08 时, 在贵州的中部偏西地区出现了大到暴雨天气, 在贵阳、安顺、毕节地区东部、六枝出现了暴雨天气, 最大降水出现在黔西, 降雨量 72mm, 共出现 10 站次暴雨, 7 站次大到

暴雨天气, 省内其余地区主要是小到中雨天气, 雨带呈东北—西南向。在 2004 年 7 月 21 日 08 时 850hPa 的风场实况图上 (略), 可看出在贵州中西部存在低涡切变线, 贵州受低涡切变线影响, 在低涡附近出现了大范围的暴雨天气。研究表明, 这次降水过程与低涡切变密切相关。

4.2 模拟结果分析

使用 GRAPES 对 2004 年 7 月 21—22 日的暴雨进行模拟, 积分时间 2004 年 7 月 21 日 08 时到 22 日 08 时, 即 24 小时。

4.2.1 模拟降水

GRAPES 模式模拟 2004 年 7 月 21 日 08 时—22 日 08 时 24h 降水量分布 (图 5) 可看出, 贵州较大降水出现在中部以西地区, 强降水带的分布呈东北西南向, 模式模拟的降水落区和降水大小分布与实况是十分接近的, 但在暴雨范围上存在细微差别, 模拟暴雨的落区范围比实况范围稍大, 稍偏南, 但都在半个纬度内。

4.2.2 模拟天气系统和中小尺度结构

由于这次贵州的降水是由低涡切变造成

的, 因此能否正确模拟出低涡切变是能否正确模拟降水的关键。

GRAPES 模式模拟的 7 月 21 日 08 时 500hPa 流场 (图 6) 上, 贵州受气旋性环

流影响, 在贵州的中部偏西地区流线密集, 说明急流增强, 高空这种形式有利于降水发生。

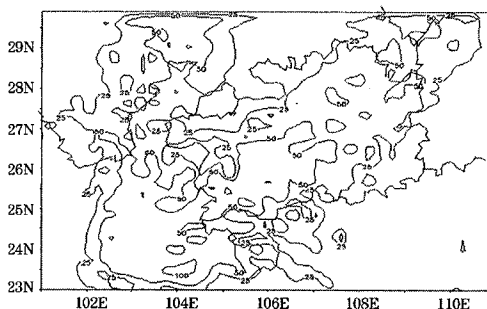
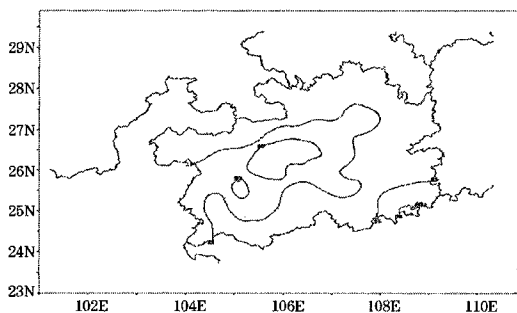


图 5 2004 年 7 月 21 日 08 时—22 日 08 时 24h 降水实况 (a) 与模拟 (b)

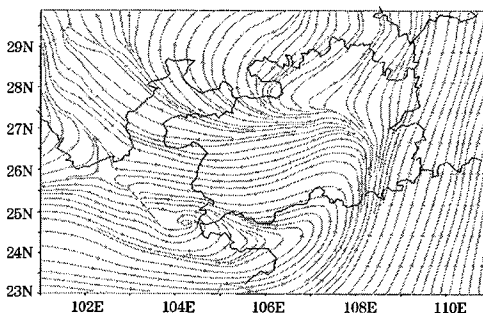
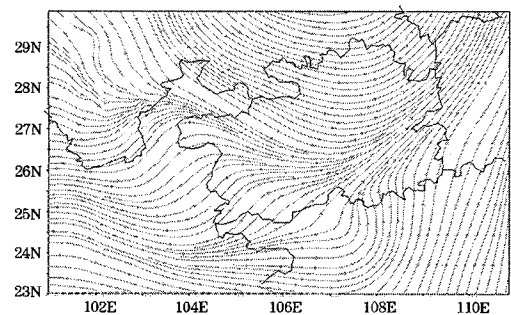


图 6 模式模拟的 2004 年 7 月 22 日 08 时 500hPa 流场 (a) 和 700hPa 流场 (b)

从 GRAPES 模式模拟的 7 月 21 日 08 时的 700hPa 流场 (图 6b) 可以发现, 有一明显的气旋性环流即低涡位于贵州的西部, 低涡中心在贵州的西南角, 贵州的中西部地区为低涡切变内的气旋性环流控制, 这种中尺度涡旋系统的维持有利于强降水的发生, 在贵州中部存在气流的辐合, 所以暴雨落区位于贵州中部及以西地区。由于西南低涡与低空急流的相互影响, 导致对西南低涡的中心位置模拟影响到对低空急流的模拟, 从而直接关系到降水量的强度和强降水的落区。由于 GRAPES 模拟的西南低涡位置的稳定和准确, 使得西南低空急流也比较稳定。对

比可见, 急流的强度与位置与实况 (图略) 一致, 从而使得最后模拟的降水也接近实况。

5 小结和讨论

GRAPES 模式是我国新一代全球/区域数值预报模式, 2006 年 7 月刚投入业务运行。本文利用 GRAPES 模式, 对 2004 年贵州夏季发生的 3 次强降水过程, 即 6 月 23—24 日、7 月 17—18 日和 7 月 21—22 日的贵州暴雨过程作模拟, 模拟结果表明 GRAPES 模式对贵州夏季降水过程的模拟

结果有差别,能模拟出天气系统的变化,对在夏季影响贵州强降水的最主要的中尺度系统:如西南低涡、高空槽、低空急流等模拟较好,因此模式能成功地模拟出降水的落区和强度,但对局地强降水的模拟能力较差,降水大小的模拟存在偏差,没能模拟出局地大暴雨,模拟的降水有时较实况降水偏小。原因可能是背景场 T213 资料分辨率不够从而无法模拟小尺度的强降水系统,其中更加具体的原因,则有待于进一步的研究。因此可以预期随着 T213 背景场预报准确的提高,GRAPES 模式中物理过程的不断改进,对降水的模拟也将得到进一步的改进。

参考文献

- [1] 郭建侠,杜继稳,郑有飞. MM5 V3.5 模式对陕北地区中尺度系统的模拟能力试验 [J]. 气象, 2003, 29 (9): 13-17.
- [2] 李晓霞,寿绍文,张铁军,等. “8.19”西北东部暴雨诊断分析和数值模拟 [J]. 气象, 2006, 32 (2): 81-86.
- [3] 陈艳,宿海良,寿绍文. 华北秋季大暴雨的天气分析与数值模拟 [J]. 气象, 2006, 32 (5): 87-93.
- [4] 孙健,赵平. 用 WRF 与 MM5 模拟 1998 年三次暴雨过程的对比分析 [J]. 气象学报, 2003, 61 (6): 692-701.
- [5] 李耀辉,赵建华,薛纪善,等. 基于 GRAPES 的西北地区沙尘暴数值预报模式及其应用研究 [J]. 地球科学进展, 2005, 20 (9): 999-1007.
- [6] 张芳华,马旭林,杨克明,等. 2003 年 6 月 24—25 日江南大暴雨数值模拟和诊断分析 [J]. 气象, 2004, 30 (1): 28-32.