

不同物理过程参数化方案对贵州降水 预报的敏感性试验

伍红雨¹ 陈德辉² 徐国强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, 采用 6 个不同的参数化方案组合: 即选择 Kessler、NCEP3-class simple ice 和 simple ice (developed by LiuQijun, CAMS) 微物理过程参数化方案和 Kain-Fritsch(new Eta)、Betts-Miller-Janjic 积云参数化方案形成 6 个组合, 对 2004 年贵州汛期的降水过程进行 48 小时的预报试验, 对预报结果进行对比分析并与实况资料进行比较、检验。结果表明: GRAPES 模式适合对贵州的降水预报; 积云参数化方案对降水的影响比微物理过程参数化方案对降水的影响大。simple ice 方案与 Betts-Miller-Janjic 方案组合对贵州降水的预报较好, 这些结果对提高 GRAPES 模式对贵州降水的预报能力有一定的参考意义。

关键词: GRAPES 模式 参数化方案 降水

Sensitive Experiments of Various Parameterization Schemes in Different Physical Processes on Guizhou Precipitation

Wu Hongyu¹ Chen Dehui² Xu Guoqiang²

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

Abstract: Based on the new generation numerical prediction model GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System), with three kinds of physics option parameterization schemes (Kessler schemes, NCEP3-class simple ice schemes and simple ice schemes (developed by Liu Qijun, CAMS)) and two kinds of cumulus parameterization schemes (Kain-Fritsch (new Eta) and Betts-Miller-Janjic), six combinational schemes are formed. 48-hour predicting experiments are made for the precipitation cases in the rainy season in Guizhou. Comparisons

资助项目: 贵州省科技基金(2006)2102 和中国气象局 2007 年多轨道业务建设项目“西南地区滑坡和泥石流灾害气象监测预警业务服务系统”共同资助

收稿日期: 2006 年 12 月 25 日; 修定稿日期: 2007 年 2 月 27 日

among the experiments and analyses of the observations indicate that GRAPES model can be used for predicting Guizhou precipitation. The predicting effect of cumulus parameterization schemes is better than that of physics option parameterization schemes. The predicting Guizhou precipitation ability of combinational schemes with simple ice scheme physics option parameterization, Betts-Miller-Janjic cumulus parameterization is superior to the others. These results are useful for improving the GRAPES model for predicting Guizhou precipitation.

Key Words: GRAPES model parameterization scheme precipitation

引 言

在大气模式中,除了动力框架外,还描述着多种物理过程,由于积云参数化和微物理过程参数化是模式中重要的物理过程,章建成等^[1]研究了 GRAPES 模式不同云物理方案对短期气候模拟的影响得出:使用混合相云物理方案的模拟结果与实况更为吻合;段旭等^[2]利用 MM5V3 不同参数化方案对低纬高原地区进行降水模拟得出 Grell 积云参数化、Goddard 显式水汽和云辐射过程组合的方案对降水预报效果较好;迟竹萍等^[3]对山东一次连续性降雪过程云微物理参数数值模拟研究得出 MM5 模式的 Reisner 霰方案能够较好地模拟云系降水的微物理过程。对华北、华南、江淮、云南等试验区域利用 MM5 模式已进行了较多参数化方案的试验研究^[4-13]。本文应用 GRAPES 模式,以贵州为预报区域,通过 6 个不同参数化方案组合对贵州汛期降水个例进行敏感性试验,以比较不同组合对贵州降水预报效果的影响,这对于利用 GRAPES 模式预报贵州降水有一定的参考意义。

1 模式介绍

本试验模式为全球/区域数值预报 GRAPES 模式 2.1 版本。GRAPES 作为多尺度通用模式,动力框架采用半隐式半拉格

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、高度地形追随坐标。GRAPES 模式的三维变分资料同化系统(3DVar)是一个水平面上为 Arakawa A 格点的经纬度网格、垂直方向上为 P 面的分析系统,且水平和垂直方向上的维数均可调。模式顶层高度 35000m,垂直方向共 31 层,取贵州区域及其邻近地区为计算区域,整个计算范围系统为:101~111°N、23~30°E,水平和垂直格距均为 0.28125,格点数 37×26,模式试验采用非静力方案,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。与降水密切相关的微物理过程参数化和积云参数化方案采用不同的方案组合对贵州进行试验研究。

2 参数化方案简介

GRAPES 模式对云物理方案采用显式微物理过程,有 4 个参数化方案可供选择,第一,没有微物理过程。第二,Kessler 暖云微物理方案。该方案计算了水汽、云水和雨水。当空气饱和时,有凝结过程发生,云滴首先形成。当云水含量超过某一阈值,云雨自动转化发生,然后雨滴在下落过程中碰并云滴;空气不饱和时云滴蒸发直到空气达到饱和或云滴耗尽,雨滴同样在不饱和的大气中蒸发,蒸发速率与其浓度和空气的欠饱和度有关。第

三, NCEP 的三类简单冰相微物理方案。考虑了水汽、云水/云冰、雨/雪三种水物质。第四, 简单冰相微物理方案, 2000 年刘奇俊在胡志晋层状云方案和对流云方案的基础上, 完善并建立了显式微物理方案, 其中复杂混合相云降水方案为适合于层状云和对流云的双参数方案。GRAPES 模式对积云过程有两种参数化方案: 第一, Kain-Fritsch 方案, 是采用了复杂的混合云方案, 计算卷入卷出, 并且在松弛时间内去掉所有浮力能量。第二, Betts-Miller 方案, 是一种湿对流调整方案, 认为由于积云对流产生净潜热释放和对流降水, 使原条件不稳定的大气在一定时间内重新处于某一平衡状态或中性状态, 该方案在一定的时期, 根据张弛调整到一参考平衡直减率。

3 检验个例与方法

本文对贵州 2004 年 6 月 1—23 日降水, 进行 48 小时预报试验, 预报起始时间均为每天 08 时(北京时)。这期间贵州有 4 个暴雨、大暴雨天气过程。

模式客观分析使用的初始场为国家气象中心 T213 场库的分析场和预报场, 实况观测资料为探空资料, 模式积分时间为 48 小时。

将模式计算区域内贵州 84 个有效发报站 24 小时降水预报状况作为检验对象, 统计降水的 T_{SE} 评分。

T_{SE} 评分的计算公式为

$$T_{SE} = \frac{N_{fc} - C_H}{N_f + N_o - N_{fc} - C_H}$$

其中 N_f 为预报降水的发报站总数, N_o 为实况发生降水的发报站总数, N_{fc} 为预报降水实况发生降水的发报站总数, $C_H = \frac{N_f}{N} \times N_o$, N 为发报站总数 84。与 T_s 评分 ($T_s =$

$\frac{N_{fc}}{N_f + N_o - N_{fc}}$) 比较, T_{SE} 评分消除了参加统

计的发报站多少对 T_s 评分的影响, 因而称为公平的 T_s 评分。 $T_{SE} > 0$ 时为有技巧预报, $T_{SE} \leq 0$ 时为无技巧预报, $T_{SE} = 1$ 时为最佳预报。将降水分成小雨(0.1~9.9mm)、中雨(10~24.9mm)、大雨(25~49.9mm)、暴雨(50~99.9mm)和大暴雨(≥ 100 mm)等 5 个量级, 分别统计发生各量级以上降水的预报情况。当发生某一量级降水的站数小于 3 时, 不再统计该量级降水的 T_{SE} 评分。这里 T_{SE} 评分反映的都是对整个贵州降水的总体预报效果。

4 试验结果

4.1 降水的 T_{SE} 评分

从表 1 中可以看到, 在积云对流参数化方案同为 Kain-Fritsch(new Eta) 方案下, 对各量级的降水预报, 3 个微物理过程参数化方案的模拟结果的平均 T_{SE} 评分是很接近的, Kessler 方案和 NCEP3-class simple ice 方案的平均 T_{SE} 几乎相同, 而 simple ice 方案的平均 T_{SE} 要比前两个方案略高, 说明不同微物理过程参数化方案的选择对降水模拟的影响不大。在积云对流参数化方案同为 Betts-Miller-Janjic 方案下, 结论也一样。在相同的微物理过程参数化方案下, 积云对流参数化方案选择 Betts-Miller-Janjic 方案, 降水预报在各量级的平均 T_{SE} 评分均比 Kain-Fritsch(new Eta) 的评分高。选择积云对流参数化的 Betts-Miller-Janjic 方案和选择微物理过程参数化方案的 simple ice 方案组合在各个降水量级上的平均 T_{SE} 评分为最高, 是最适合贵州降水模拟的。模式在不同的参数化方案下对各级降水预报的平均 T_{SE} 评分各不相同, 随降水量级的增大评分降低, 不同方案对量级大的降水的预报结果的差异比对量级小的降水的预报结果的差异大, 对各量

级的降水预报, simple ice 和 Betts-Miller-Janjic 的组合的平均 T_{SE} 评分均为最高。积云对流参数化方案的选择比微物理过程参数化方案的选择对降水模拟的影响大。

表 1 预报方案的构成

方案序号	微物理过程参数化方案	积云参数化方案
1	Kessler	Kain-Fritsch(new Eta)
2	NCEP3_class simple ice	Kain-Fritsch(new Eta)
3	simple ice	Kain-Fritsch(new Eta)
4	Kessler	Betts-Miller-Janjic
5	NCEP3_class simple ice	Betts-Miller-Janjic
6	simple ice	Betts-Miller-Janjic

4.2 具体降水过程分析

下面对 2004 年 6 月贵州 2 次暴雨天气过程进行具体分析。过程 1:2004 年 6 月 13 日 08—6 月 15 日 08 时;过程 2:2004 年 6 月 16 日 08 时—6 月 18 日 08 时;通过选择 3 种不同的微物理过程参数化方案和两种不同的积云参数化方案形成 6 个组合对 3 个降水过程进行预报与实况的比较。试验方案如表 1, 方案 1、2、3 是采用相同的积云参数化方案(Kain-Fritsch), 只是微物理过程参数化方案不同。而方案 4、5、6 是采用相同的积云参数化方案(Betts-Miller-Janjic), 微物理过程参数化方案不同。方案 1 和 4, 2 和 5, 3 和 6 选取相同的微物理参数化方案, 但积云参数化方案不同。

表 2 不同参数化方案下模式预报 2006 年 1—23 日的 24 小时降水的平均 T_{SE} 评分

方案序号	小雨 0.1mm	中雨 10.0mm	大雨 25.0mm	暴雨 50.0mm	大暴雨 100.0mm
1	0.221	0.218	0.127	0.051	0.013
2	0.219	0.211	0.128	0.036	0.017
3	0.233	0.234	0.135	0.071	0.019
4	0.274	0.245	0.157	0.082	0.025
5	0.269	0.241	0.151	0.089	0.029
6	0.279	0.252	0.167	0.097	0.031

4.2.1 贵州降水实况

过程 1, 2004 年 6 月 13 日 08 时至 14 日 08 时, 贵州省除南部无降水外, 其余地区有

降水, 暴雨出现在贵州的北部; 14 日 08 时至 15 日 08 时, 在六盘水市和毕节南部, 遵义市东部和铜仁地区北部出现了大雨、暴雨天气, 有 6 个站出现暴雨, 最大降雨量 110mm, 出现在水城。

过程 2, 2004 年 6 月 16 日 08 时至 17 日 08 时, 贵州的中部以南地区出现小雨, 贵州北部无降水; 17 日 08 时至 18 日 08 时, 在贵州的中部以北地区 2 个站出现暴雨。

4.2.2 试验结果分析

根据 6 个不同的参数化方案的组合, 对贵州汛期 6 月 2 次降水过程进行 48 小时预报试验, 不同的方案组合的预报结果各不相同, 即对贵州降水预报的落区、大小、有无降水都有差别, 有些差别小, 但有的差别显著。

图 1 给出了 2004 年 6 月 16 日 08 时至 17 日 08 时降水实况。图 2 给出了以 2004 年 6 月 16 日 08 时为初始场的 24 小时 6 个方案的降雨量预报图。从图 2 看出, 方案 1、2 预报的贵州 24 小时无降雨, 方案 3 预报贵州的东南部边缘有小雨。方案 4 和 5 预报图几乎一样, 预报贵州的西南部有小雨, 其余无雨, 方案 6 预报贵州南部有小雨。实况图(图 1)上, 0.1mm 以上的降水出现在贵州的南部地区。方案 6 的预报最接近实况。在方案 1、2、3, 积云参数化方案相同, 都是 Kain-Fritsch

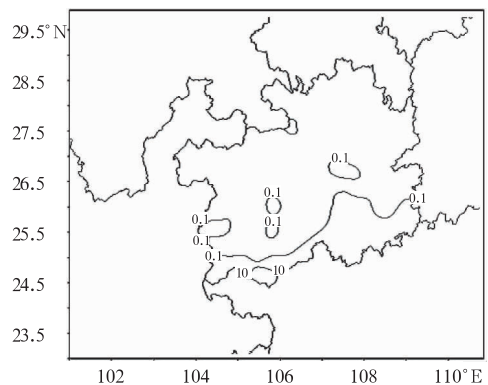


图 1 2004 年 6 月 16 日 08 时至 17 日 08 时的 24 小时降水实况

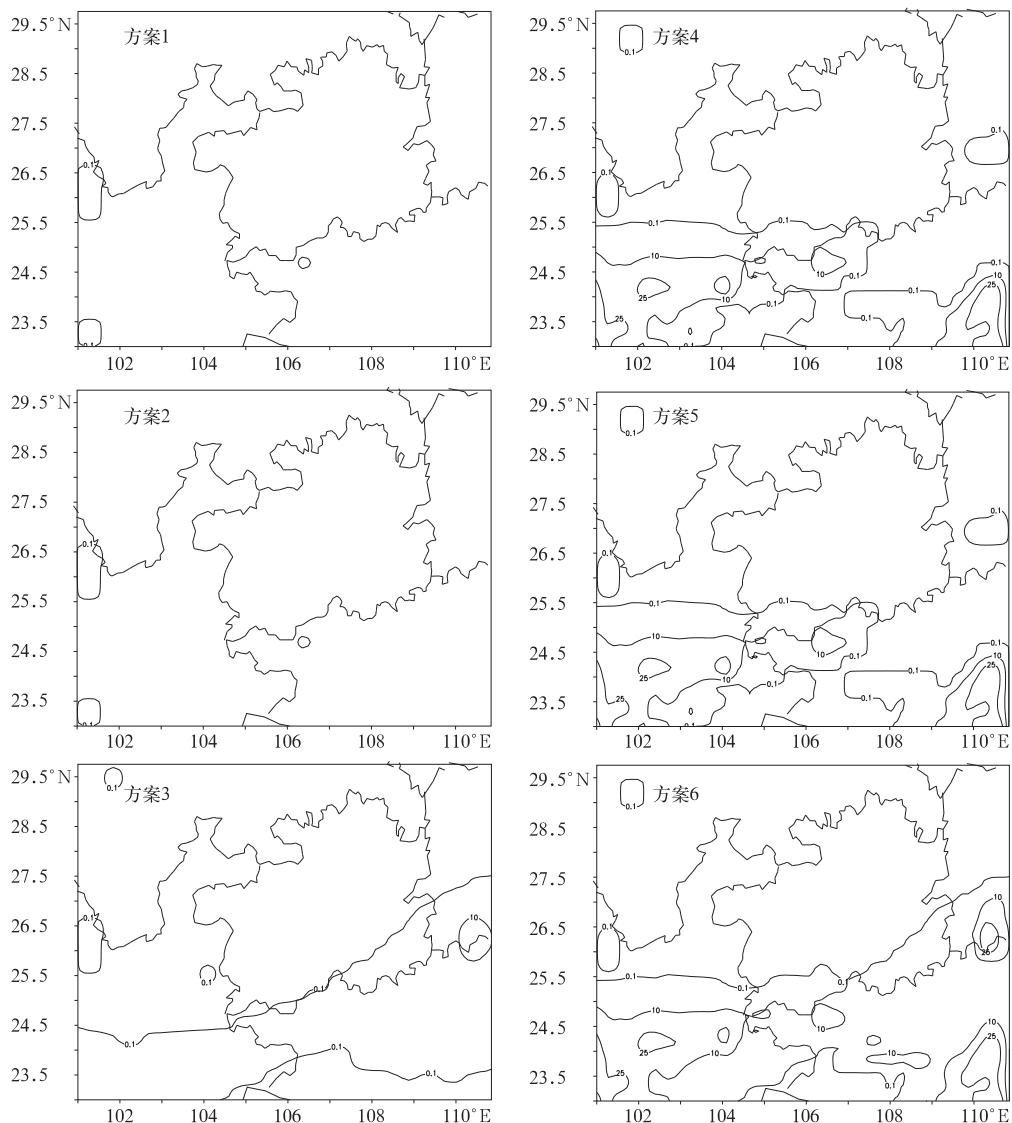


图2 模式6个组合方案模拟的2004年6月16日08时至17日08时24小时降水

方案,微物理过程参数化方案不同,与Kessler和NCEP3-class simple ice方案的组合均预报贵州无雨,而与simple ice方案组合预报东南部有小雨,所以与simple ice方案组合预报比前两个方案好。方案4、5、6积云参数化方案相同都为Betts-Miller-Janjic方案,与Kessler和NCEP3-class simple ice微物理过程参数化方案组合预报图几乎一样,都预报贵州西南部降水,而与simple

ice方案组合预报最接近实况。比较方案1和4,2和5,3和6,选取相同的微物理过程参数化方案,但积云参数化方案不同时,可得出Betts-Miller-Janjic方案比Kain-Fritsch方案预报更接近实况降水,而方案6预报最好,即当微物理过程参数化方案选取simple ice方案,且积云参数化方案选取Betts-Miller-Janjic方案时预报最接近实况。

对过程1的预报试验可以看出,方案1、

2、3 预报的贵州 24 小时降雨的落区和大小很相似,方案 3 预报的降水落区范围比方案 2 和 3 稍大些,方案 4、5、6 预报的落区和大小也很相似,比方案 1、2、3 预报的大,也更接近实况,得到与过程 2 类似的结论,并与 T_{SE} 评分得到的结论吻合。通过以上分析可看出,GRAPES 模式对贵州降水有预报能力,不同方案对不同过程的预报是不相同的,不同方案对相同过程的预报也存在差异。但存在类似地方,即积云参数化方案的选择比微物理参数化方案的选择对降水的影响大得多。积云参数化的 Betts-Miller-Janjic 方案比 Kain-Fritsch 方案的预报更接近实况降水。微物理过程参数化选择 simple ice 方案比其它两个方案稍好。但模式在预报降水量级和落区上存在偏差,看来还需对模式参数化方案作进一步研究。

5 结 论

以全球/区域数值预报模式 GRAPES 作为试验模式,通过选择模式微物理过程参数化方案和积云参数化方案产生 6 个方案,对贵州 6 月 1—23 日降水进行预报试验。结果表明:

(1) 不同的参数化方案对降水预报的结果各不相同,积云参数化方案对降水的影响比微物理过程参数化方案对降水的影响大得多。

(2) 对于贵州夏季降水预报,积云参数化的选择以 Betts-Miller-Janjic 方案比 Kain-Fritsch 方案预报更接近实况降水。

(3) 对于相同的积云对流参数化方案,微物理过程参数化选择 simple ice 方案比 Kessler 和 NCEP3-class simple ice 方案好,预报更接近实况降水。

(4) 积云参数化的选择以 Betts-Miller-

Janjic 方案和微物理过程参数化选择 simple ice 方案的组合对贵州汛期降水预报得较好。

(5) 模式预报降水大小、落区都与方案组合密切相关。预报与实况存在偏差,说明还需对模式的参数化方案作进一步的研究试验,提高模式的预报能力。

参考文献

- [1] 章建成,刘奇俊. GRAPES 模式不同物理方案对短期气候模拟的影响[J]. 气象,2006,32(7):3-12.
- [2] 段旭,王曼,刘建宇,等. 低纬高原地区 MM5V3 不同参数化方案降水模拟试验[J]. 气象,2006,32(4):16-23.
- [3] 迟竹萍,龚佃利. 山东一次连续性降雪过程云微物理参数数值模拟研究[J]. 气象,2006,32(7):25-32.
- [4] 徐国强,薛纪善. 中国夏季模式降水方案的应用分析研究[J]. 干旱气象,2003,21(4):6-12.
- [5] 晏红明,任菊章,段玮. 中尺度模式中各种积云参数化方案的对比试验[J]. 南京气象学院学报,2006,29(4):491-499.
- [6] 杨育强,高坤,徐烽涛. 区域数值天气实时预报系统的研制[J]. 气象,2002,28(3):24-27.
- [7] 郭建侠,杜继稳,郑有飞. MM5V3.5 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.
- [8] 戴哲军,苗春生,周传喜,等. 湖南省有限区域数值天气预报系统模拟试验[J]. 气象,2003,29(12):10-13.
- [9] 王建捷,胡欣,郭肖容. MM5 模式中不同对流参数化方案的比较试验[J]. 应用气象学报,2001,12(1):41-53.
- [10] 叶成志,欧阳里程,李象玉,等. GRAPES 中尺度模式对 2005 年长江流域重大灾害性降水天气过程预报性能的检验分析[J]. 热带气象学报,2006,22(8):394-399.
- [11] 顾建锋. 不同深对流参数化方案在降水预报中的比较试验[J]. 气象,1999,25(4):41-53.
- [12] 陈静,薛纪善,颜宏. 物理过程参数化方案对中尺度暴雨数值模拟影响的研究[J]. 气象学报,2003,62(2):203-218.
- [13] 王晨稀. MM5 模式中不同对流参数化方案对降水预报效果影响的对比试验[J]. 气象科学,2004,24(2):168-176.