

低纬高原地区 MM5v3 不同参数化 方案降水模拟试验

段 旭 王 曼 刘建宇 段 玮

(云南省气象科学研究所, 昆明 650034)

提 要: 为了进一步了解 MM5 模式在低纬高原降水预报性能, 利用 MM5 模式中的 3 个物理过程组合了 7 个不同的参数化试验方案, 对低纬高原地区 2005 年主汛期进行了降水数值试验。结果表明: 第三重嵌套网格中的 Grell 积云参数化、Goddard 显式水汽和 Cloud (或 RRTM) 辐射过程组合的试验方案对降水预报效果较好, 特别是对大雨和暴雨预报有明显的改善; 在将试验结果插值到测站点时, 不同扫描半径对插值结果有一定影响, 相对而言, 20~30km 扫描半径插值结果较为理想。

关键词: 试验方案 MM5v3 检验 参数化 低纬高原地区

Simulation Experiments of Precipitation Prediction with MM5v3's Different Parameterization Schemes over Low Latitude Plateau

Duan Xu Wang Man Liu Jianyu Duan Wei

(Yunnan Institute of Meteorology, Kunming 650034)

Abstract: In order to test the forecast capability of MM5, seven combinations of three different physical parameterization schemes are used in simulation tests of precipitation prediction during 2005-flood season over the low latitude plateau. The results show that the combinations of Goddard microphysics parameterization, Grell cumulus parameterization and cloud/RRTM radiation parameterization in the third nested grids are superior to the others, espe-

cially the forecast of downfall and rainstorm. There is a certain influence for different scanning radius of interpolation prediction to the observational network. The interpolation result is comparatively ideal when the 20—30km scan radius is used.

Key Words: test scheme MM5v3 check parameterization low latitude plateau

引 言

中尺度 MM5v3 模式降水预报, 已在我国省级以上气象台广泛使用。山东^[1]、沈阳^[2]、陕西^[3]等地近年来对 MM5 模式进行了业务化应用和预报检验, 提高了 MM5 本地化模拟性能。云南省气象台于 2001 年开始引进^[4]MM5v3 模式并进行了微机版两重嵌套的业务化和降水检验, 在此基础上, 作者^[5,6]对一些强降水过程和天气系统进行了数值模拟分析, 初步认识了 MM5 模式在低纬高原地区的特性。由于计算条件的限制, 多年来未对该模式进行过试验改进。随着云南省高计算性能 SGI o350 小型机在科研和业务中的使用, 为三重嵌套的各种物理过程参数化方案降水试验提供了良好的计算条件。

作者利用主要物理过程的不同参数化方案组合 7 种试验方案, 对 2005 年云南主汛期强降水过程和站点降水预报进行数值试验。希望通过这些试验, 进一步了解 MM5 模式不同参数化方案组合对低纬高原地区降水预报的表现, 逐步形成对精细化降水预报的主导支撑。

1 试验方案选择

模式为 PSU/NCAR 的中尺度模式系统第五代第三版 (MM5v3)。区域选择三重嵌套, 水平分辨率分别为 90km、30km、10km, 垂直方向为 23 层, 积分中心为 26°N、99°E。地形方案分辨率为 1°×1°、30'×30'、5'×5', PBL 为高分辨率 MR 方案 F, 侧边界为松弛、流入一流出方案。初始场取 T213 数值预报产品客观分析场。

取 MM5v3 模式中的 3 种积云对流参数化方案 Anthes-Kuo (AK)、Grell (GR) 和 Kain-Fritsch (KF), 4 种显式降水方案 Mixed-Phase (MP)、Goddard-Microphysics (GM)、Reisner-Graupel (RG) 和 Schultz-Microphysics (SM), 2 种辐射参数化方案 Cloud (C) 和 RRTM (R), 进行组合形成 7 种不同参数化降水试验方案。7 种试验方案三重网格的物理方案详见表 1, 其中三重网格的辐射方案相同。

表 1 MM5 模式不同参数化降水试验方案

试验方案	积云参数化过程	显式过程	辐射过程
A	AK、KF、GR	MP、MP、SM	C
B	AK、KF、GR	MP、MP、RG	C
C	AK、KF、GR	MP、MP、GM	C
D	AK、KF、GR	MP、MP、MP	C
E	AK、KF、KF	MP、MP、GM	C
F	AK、KF、GR	MP、MP、GM	R
G	AK、GR、GR	MP、MP、GM	R

由于第三重嵌套网格分辨率取 10km, 它的降水是显式降水和积云参数化物理过程共同形成, 其中显式降水物理过程为降水的主要来源^[7]。因此, 固定三重网格的积云参数化过程 (AK、KF、GR)、辐射过程 (C) 和一、二重网格的显式方案, 取第三重网格不同的显式降水过程组成 A、B、C、D 参数化方案。同时也考虑积云参数化过程的对降水预报的作用, 选取不同积云参数化过程的 E、G 方案。汛期云南夜间中尺度对流系统活动频繁^[8], 多夜雨, 为此考虑了不同的辐射参数化过程 F、G 方案。

2 强降水过程预报对比试验

2005 年 6 月 13 日 20 时—14 日 20 时

(北京时,下同)受冷锋切变线的影响,云南出现了 21 站大雨、8 站暴雨的强降水天气过程,强降水主要集中在滇中和滇东南地区(图 1b)。对于这次强降水天气过程,7 个试验方案都能预报出与实况接近的东北西南向强降水雨带,但暴雨中心的位置和强度差异较大。其中试验方案 C、E、G 预报的降水量级较大,达 100mm 以上,50mm 区域较接近实况位置。其它方案的强降水中心均偏离实况。总体而言,试验方案 C 最接

近实况(图 1a)。

受孟加拉湾低气压影响,6 月 25 日 20 时—26 日 20 时,滇西南出现了 14 站大雨、7 站暴雨、1 站大暴雨的强降水天气(图 2b)。此次过程,7 个试验方案均较好地预报出了强降水带,其中试验方案 A、B、D 预报的暴雨中心位于缅甸,试验方案 C、E、F、G 预报的暴雨中心位于滇缅之间。相对于云南而言,试验方案 C 最接近实况(图 2a)。

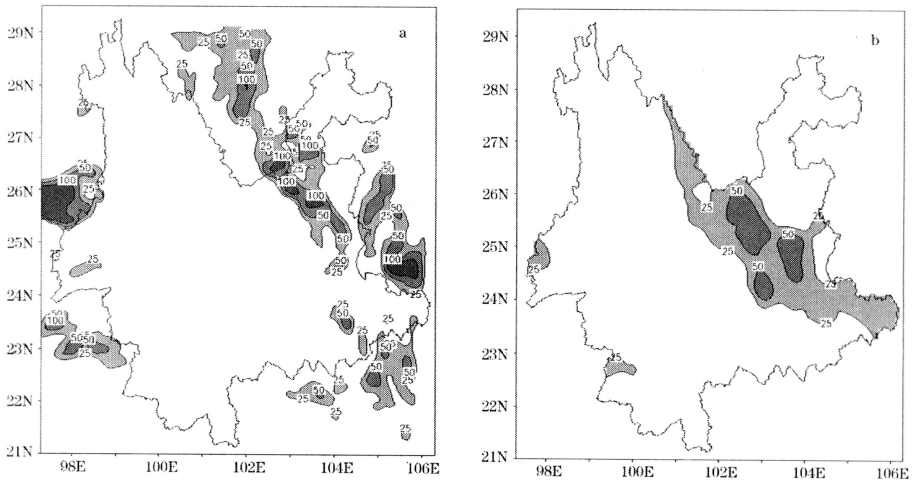


图 1 2005 年 6 月 13—14 日 20 时试验方案 C 降水预报 (a) 和降水实况 (b) (单位: mm)

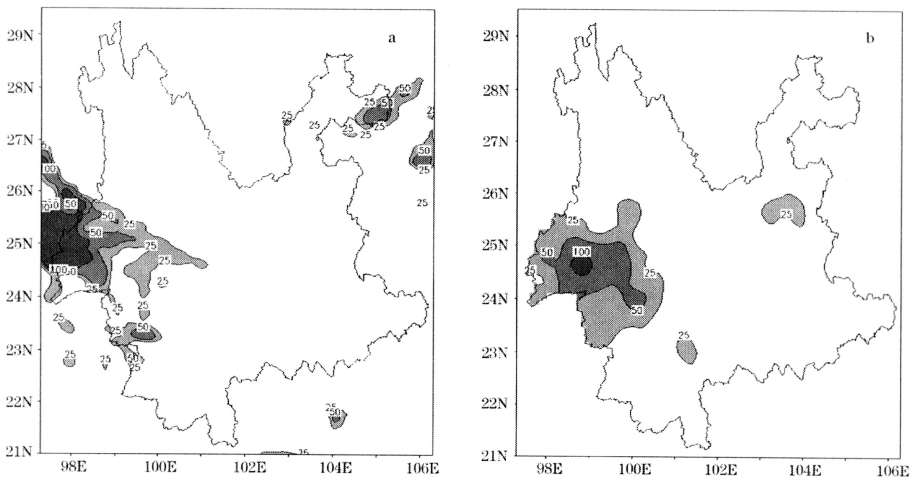


图 2 2005 年 6 月 25—26 日 20 时试验方案 C 降水预报 (a) 和降水实况 (b) (单位: mm)

受切变线影响，7 月 12 日 20 时—13 日 20 时，云南出现了两条强降水带（图 3b），东边一条位于曲靖、昆明、玉溪一线，西边一条位于大理、思茅、临沧等地，暴雨中心位于大理南部。此次过程，试验方案 B、D 预报的降水量较小，雨带分散。试验方案 A、C、E、F、G 预报降水量虽较大，但预报的雨带位置和实况有偏差，大理南部的 100mm 强降水中心漏报，滇南 100mm 强降水中心空报。相比而言，试验方案 C 预报出了昆明、玉溪等地的大雨区，最接近实况

（图 3a）。

受低压槽和切变线的影响，8 月 5 日 20 时—6 日 20 时，滇中地区出现了大—暴雨天气过程（图 4b），其中，玉溪降水量达 98.5mm。此次过程，试验方案 A、B、D、E 预报的降水量级较小。试验方案 C、F、G 预报的降水量级与实况接近，但强降水中心分散，玉溪暴雨中心预报偏弱。相对而言，试验方案 G 的预报与实况较接近（图 4a）。

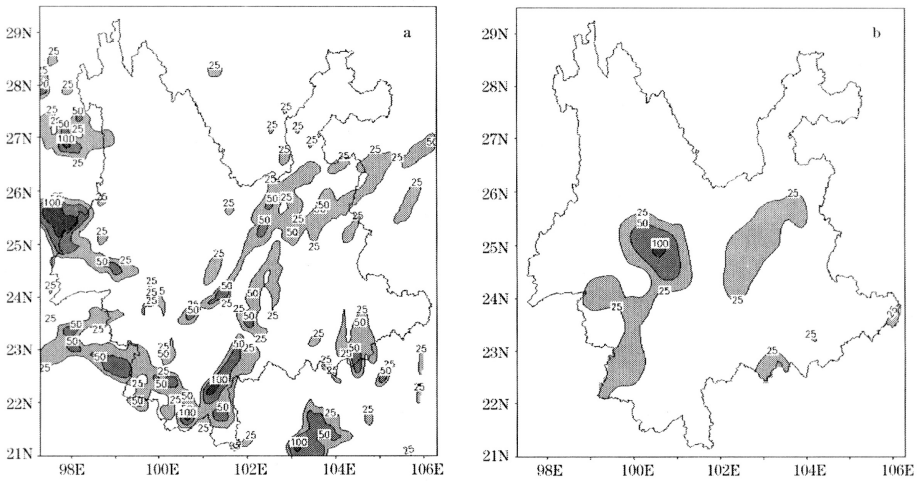


图 3 2005 年 7 月 12—13 日 20 时试验方案 C 降水预报 (a) 和降水实况 (b) (单位: mm)

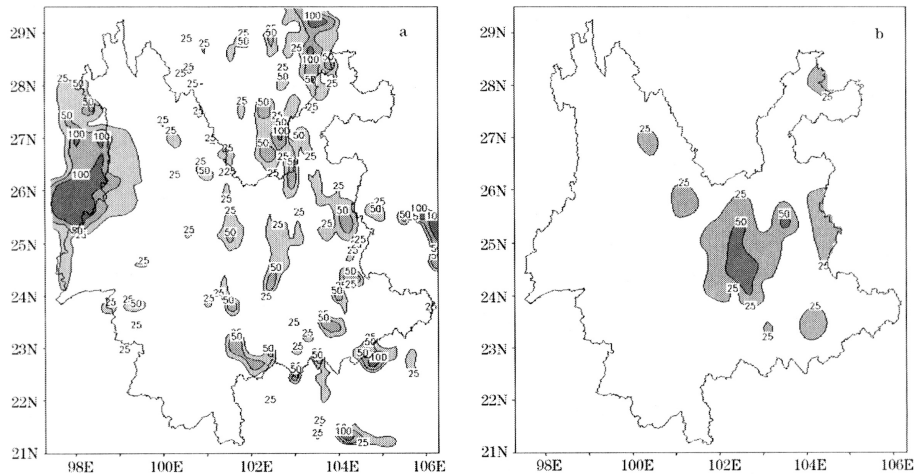


图 4 2005 年 8 月 5—6 日 20 时试验方案 G 降水预报 (a) 和降水实况 (b) (单位: mm)

受青藏高原和西太平洋副高之间辐合区影响, 8月22日20时—23日20时, 滇中、滇南和滇西部分地区出现了强降水天气(图5b), 思茅的澜沧24小时降水量达119.7mm。此次过程, 7个试验方案均较好

地预报出了强降水雨带, 相对云南而言, 位置稍偏南。滇南和滇西的雨带, 试验方案C、F、G预报稍好。滇中的强降水区, 试验方案C、E、F预报稍好。总体而言, 试验方案F最接近实况(图5a)。

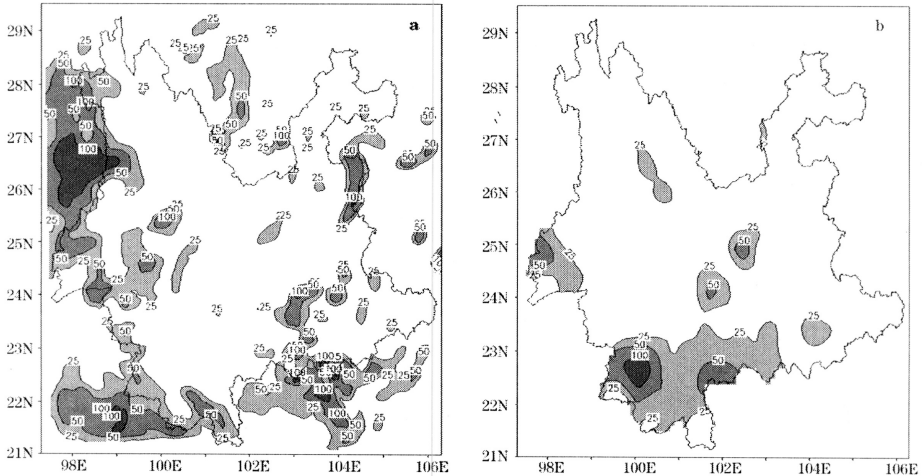


图5 2005年8月22—23日20时试验方案F降水预报(a)和降水实况(b)(单位: mm)

3 主汛期(6—8月)不同参数化方案降水预报检验

以上重点分析了几次强降水不同参数化方案的预报效果, 为全面考察不同参数化方案的逐日表现, 对2005年6—8月逐日不同参数化方案进行了TS评分和预报偏差评分。评定内容为云南省124个气象站24小时降水量(20—20时), 级别分为小雨(0.1~9.9mm)、中雨(10.0~24.9mm)、大雨(25.0~49.9mm)、暴雨(≥ 50.0 mm)。MM5各试验方案取逐日08时预报的12~36小时降水量(20—20时预报值)。

3.1 插值扫描半径对预报结果的影响

为了便于与实况对比, 首先将格点预报值插值到站点上, 插值方法采用Gress-

mam^[9]方法。其基本思路是, 先根据被插值站点与四周网格点的距离, 计算四周网格点对被插值站点的权重, 再将各网格上的数值与各权重相乘, 得到站点上的插值。计算公式如下

$$W_{i,j} = \begin{cases} \frac{R^2 - r_{i,j}^2}{R^2 + r_{i,j}^2} & r_{i,j} \leq R \\ 0 & r_{i,j} > R \end{cases} \quad (1)$$

$$P_s = \frac{\sum W_{i,j} \times P_{i,j}}{\sum W_{i,j}} \quad (2)$$

式中, $W_{i,j}$ 为某一格点到插值站点上的权重, i, j 为某一格点经纬度, R 为扫描半径, $r_{i,j}$ 为某一格点到插值站点上的距离, P_s 为站点上得到的降水量预报插值, $P_{i,j}$ 为某一格点的降水量预报值。

在式(1)中, 需要人为确定扫描半径 R , 不同的扫描半径所包含的网格点不同, 有可能影响到插值结果。对此, 作者利用试验方案C的预报结果, 分别取10km、

20km、30km、40km 不同的扫描半径所得到的插值结果与实况进行 TS 评分。

图 6 给出了 2005 年 6~8 月试验方案 C 不同的扫描半径所得到的插值结果的 TS 评分。从中可以看出，各扫描半径小雨的 TS 评分、漏报率、空报率差别不大，表明不同扫描半径对插值结果影响较小。对中雨而言，除 10km 扫描半径预报 TS 评分稍低于其它扫描半径外，其它结果也相差不大。大雨预报，10~40km 预报 TS 评分分别为

4.9%、5.3%、6.1% 和 6.0%，30km 和 40km 较高；漏报率分别为 51.6%、51.0%、49.7% 和 50.0%，30km 和 40km 稍低；空报率相差不大。暴雨预报，各扫描半径预报 TS 评分分别为 3.3%、3.2%、3.6% 和 3.4%，30km 相对较高，评分在 1.5%~1.8% 之间；漏报率 40km 最大，空报率 10km 最大。综合以上分析，30km 扫描半径插值结果相对较好，因此在下一小节讨论中使用 30km 扫描半径插值结果。

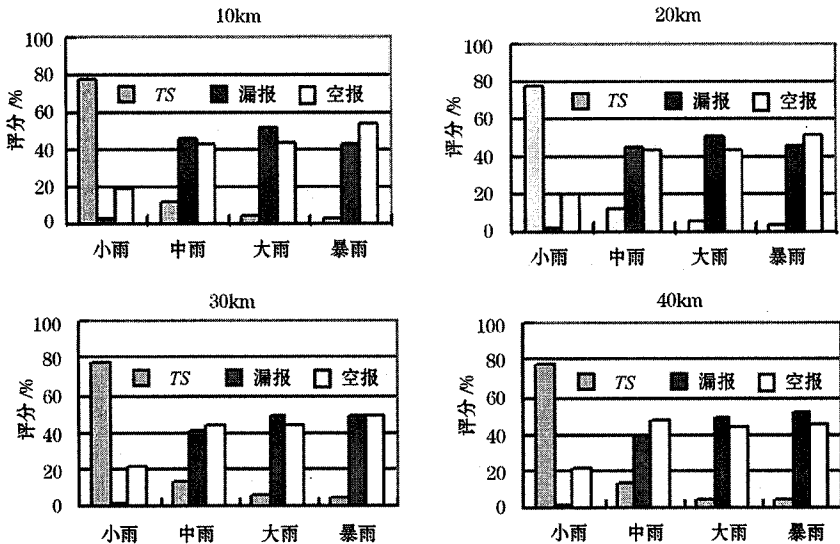


图 6 2005 年 6~8 月试验方案 C 不同的扫描半径所得到的插值结果 TS 评分

3.2 不同参数化方案降水预报 TS 和 Bias 比较

图 7 给出了 2005 年 6~8 月各试验方案插值到站点上的预报 TS 评分。各试验方案对小雨预报正确率相差无几，试验方案 B 最高，为 78.9%，试验方案 G 最低，为 76.9%，差距不到 2 个百分点，相对误差为 2.6%。中雨预报的 TS 评分，试验方案 E 最高，为 14.0%，试验方案 C 次之，为 13.5%，试验方案 A 最低，为 11.3%，相对误差为 23.9%。大雨预报的 TS 评分，试

验方案 C 和 G 较高，分别为 6.1% 和 6.0%，试验方案 B 最低，仅为 3.5%，相对误差为 74.3%，表明各试验方案的预报能力有明显差异。暴雨预报的 TS 评分，试验方案 G 最高，为 3.9%，试验方案 C 次之，为 3.6%，试验方案 B 最低，为 1.3%，相对误差达 200%。

预报偏差 Bias (=F/O, F: 预报该事件出现总次数, O: 观测该事件的总次数) 刻画了预报在总体上是否存在预报该事件偏多或偏少的倾向。Bias 最佳为 1, 大于 1 表示预报偏多, 小于 1 表示预报偏少。图 8 给

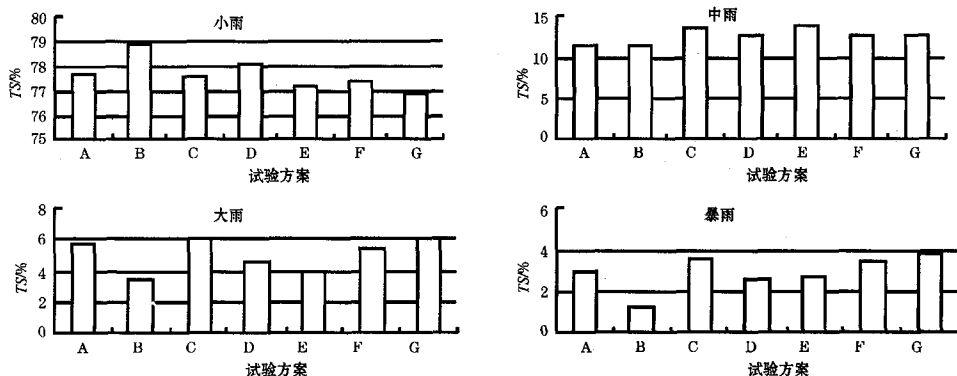


图 7 2005 年 6—8 月各试验方案插推到站点上的预报 TS 评分

出 2005 年 6—8 月各试验方案插值到站点上的预报偏差。各个方案小雨预报偏差差不多，都是预报偏大。中雨预报偏差除了方案 B 接近 1 外，其他方案预报偏多，其中方案 G 偏差最大。大雨预报偏差方案 B、D、E 预报偏少，其中方案 B 偏差最多，方案 A、C、F、G 的预报偏多，其中方案 G 偏差最多。暴雨预报偏差方案 B、D 预报偏少。其他方案预报偏多，其中方案 G 偏差最大。

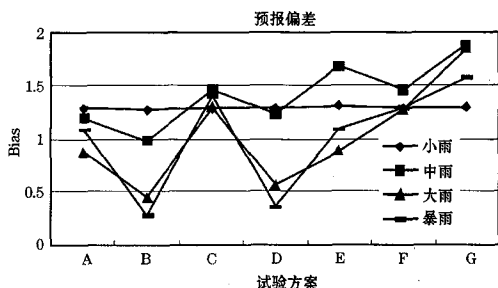


图 8 2005 年 6—8 月各试验方案插值到站点上的预报偏差

综合以上分析，可以得出这样的结论：7 个试验方案小雨预报能力相当；中雨预报效果，试验方案 E 和 C 最好；大雨预报效果，试验方案 C 和 G 最好；暴雨预报效果，试验方案 G 和 C 最好。从预报偏差来看，小雨预报偏差各方案相当，中雨量级方案 B 接近 1，其他方案都偏多。中雨以上量级方案 B 的预报明显偏少，方案 G 的预报明显

偏多。综合来看，方案 C 预报效果相对最好。

3.3 试验方案 C、G 和 B 物理过程讨论

前面通过比较各试验方案降水预报的 TS 和 Bias，初步得出了试验方案 C 相对较好，试验方案 B 较差。在 MM5 多个显式云物理方案中，试验方案 C 采用 Goddard 方案，试验方案 B 采用 Reisner 方案。从物理过程过程特点看^[10]，Reisner 方案比较全面，物理过程较多，同时在雨滴冻结、冰雪自动转化和雪霰自动转化方面都比 Goddard 和 Schultz 方案更合理，并且对冰晶对数浓度进行了预报计算。尽管 Reisner 方案的物理过程比 Goddard 方案全面，许多微物理过程也比较完善，但模拟降水预报并没有优势，特别是对较强降水预报的能力较差，因此物理过程的改进并不一定可以使模拟结果得到改善，模拟结果不单单由云物理过程决定，而是多个物理过程相互共同作用的结果，是一个很复杂的问题。在汛期降水集中、强度较大时 Goddard 方案优于 Reisner 方案，但到了降水量较少的季节情况是否还会一样，需要进一步检验论证。

同样采用 Goddard 方案的试验方案 C 和 G 在强降水预报的表现略有差异，试验方案 G 在暴雨方面能力略强，试验方案 C 则在中雨和大雨预报方面稍好，2 个方案的积云参数化过程和显式过程均相同，不同的

是辐射过程。试验方案 C 采用的是云辐射方案,晴空时只考虑水汽的吸收,对有云大气,将所有的云和降水物都作为一种云;试验方案 G 采用的是长波辐射传输方案,方案中考虑吸收波段的效果,这些波段主要针对水汽、二氧化碳和臭氧,短波辐射计算与云辐射传输方案相同。由于辐射传输过程对地面降水有重要的作用^[11],辐射传输方案对云辐射特性描述的准确程度对于地面降水影响是明显的,不同的辐射传输方案对地面降水的影响存在较大的差异。因此,在低纬高原地区辐射传输过程对降水的影响,特别是对日变化有必要深入的研究。

4 小 结

不同参数化方案对云南 2005 年 6—8 月几次强降水过程预报表现有一些差异,试验方案 C 综合效果最好(已于 8 月 1 日确定并启用试验方案 C 作为云南省 MM5 中尺度预报业务运行方案)。其它参数化方案虽然综合预报效果比试验方案 C 稍差,但不同的天气过程各试验方案效果并不完全相同,因此完全肯定试验方案 C 或否定其它参数化方案都没有充分的依据。若下一步能把云南不同降水系统分类,对模式中不同的物理方案组合进行试验,有可能寻找出物理机制明确、适合低纬高原地区不同降水系统的最佳预报方案。

不同扫描半径所得到的插值结果也有所不同,从 TS 评分看,各扫描半径对较弱降水的插值结果影响较小,而对较强降水影响较大。相对而言,20~30km 扫描半径插值结果相对较好。

预报效果是由多个物理过程共同作用的结果,虽然最详细的参数化方案是试验方案 B 中的 Reisner 方案,但试验方案 B 的预报效果在低纬高原地区汛期并不是最好。同样采用 Goddard 方案的试验方案 C 和 G 在强降水预报中相对较好,但两个方案的辐射过程不同,对中大雨和暴雨预报的效果造成了明显的影响。

参考文献

- 1 刘诗军,王庆,迟竹萍. MM5 模式移植及业务应用系统. 气象, 2004, 30 (3): 43~47.
- 2 周小珊,杨森,张立祥. 中尺度数值模式(MM5V3)在沈阳区域气象中心的试用. 气象, 2001, 27 (8): 28~32.
- 3 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实验. 气象, 2003, 29 (9): 13~17.
- 4 许美玲,孙绩华. MM5 中尺度非静力模式对云南省降水预报检验. 气象, 2002, 28 (12): 24~27.
- 5 段旭,李英,许美玲等. 低纬高原地区中尺度天气分析与预报. 北京:气象出版社, 2004, 162~180.
- 6 段玮,晏红明. 云南夏季切变线系统湿物理过程方案对比实验. 气象, 2002, 31 (增刊): 8~13.
- 7 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. 应用气象学报, 2001, 12 (1): 41~52.
- 8 段旭,张秀年,许美玲. 云南及其周边地区中尺度对流系统时空分布特征. 气象学报, 2004, 62 (2): 243~250.
- 9 Gressman G P. An operational Obiectfive analysis system Mon Wea Rev, 1959, 87: 367~374.
- 10 楼小凤,周秀骥,胡志晋等. MM5 模式显式微物理方案的对比分析. 气象科技, 2004, 32 (1): 6~11.
- 11 周广强,赵春生,丁守国等. 不同辐射传输方案对中尺度降水影响的对比分析. 应用气象学报, 2005, 16 (2): 148~158.