

湖南省有限区域数值天气预报系统模拟试验

戴泽军¹ 苗春生² 周传喜¹ 禹 伟¹

(1. 湖南省气象局,长沙 410007; 2. 南京气象学院)

提 要

介绍了湖南省有限区域数值天气预报系统,该系统试用结果表明,系统具有较强的稳定性和实用性,降水的时空分布的预报效果较好。数值模拟试验结果表明,模拟降水预报对积云参数化方案、边界层参数化方案、辐射参数化方案等比较敏感。

关键词: 数值预报 数值模拟试验 MM5 模式

引 言

中尺度强对流系统具有突发性和多发性特点,且天气激烈,受灾害面积广,危害性大,是湖南最严重的气象灾害。长期以来,中尺度系统的预报一直很困难。中尺度数值模式是目前进行中尺度天气系统诊断分析和预报的最有效的方法之一。美国大气研究中心(NCAR)和宾夕法尼亚州立大学(PSU)研制的MM5中尺度模式,是目前世界上公认的可业务化的中尺度模式。近几年国内也对此进行了应用研究。以PSU/NCAR的MM5中尺度模式为基础^[1-3],在银河机群服务器系统YH/CS16并行运行环境下与国家气象中心T213模式输出场资料连接并应用常规高空、地面观测资料,初步建成“湖南省有限区域数值天气预报系统”。该系统于2002年5月进行业务试运行,可提供湖南范围每3h多种气象要素预报,预报产品在湖南省气象台试用。试用结果表明,系统具有较强的稳定性和实用性。2002年6月13日至7月2日,湖南出现了四次连续的暴雨天气过程,导致湖南全省60多个县(市、区)受灾,各类直接经济损失近30亿元。我们选取此段时间进行数值模拟试验。

1 湖南省有限区域数值天气预报系统简介

湖南省有限区域数值天气预报系统运行

在YH/CS16银河机群服务器上,系统由以下三个部分构成。

1.1 模式前处理部分

模式前处理部分主要功能是为模式主体运行部分提供输入资料。需要处理的资料包括地面、高空报文和国家气象中心T213模式预报产品,均从省台9210工程通讯主机上获得。

1.2 模式主体运行部分

模式主体运行部分包括TERRAIN、RE-GRID、LITTLE_R和INTERPF、MM5等5个主要的功能模块。其中MM5模块是整个天气预报系统的数值模式主体部分,是系统的核心。

1.3 模式后处理部分

模式每天制作48h预报,每隔3h输出一组预报结果,预报量包括高度场、温度场、风场、湿度场和地面降水场。所有的输出信息存储在文件MMOUT_DOMAIN{n}。模式后处理主要是将输出数据以图形方式显示出来,用于业务预报参考。整个数值天气预报系统流程如图1所示。

2 数值模拟试验

2.1 数值模拟和数值试验方案

数值模拟选取非静力平衡作为动力框架,垂直方向23层^[4]。采用三层嵌套网格,

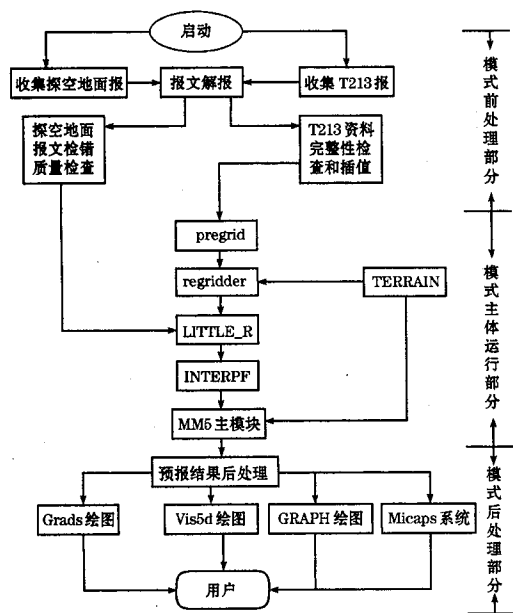


图 1 湖南省有限区域数值天气预报系统业务运行流程图

三层网格的水平分辨率分别为 135km、45km、15km，内部两层采用双向嵌套，三层网格的积云参数化方案分别为 Anthes-Kuo 方案、Kain-Fritsch 方案、Grell 方案。积分步长为 360s，预报时效为 48h。数值模拟方案(控制试验方案)如表 1 所示。

为了检验某些参数化方案的模拟效果，

表 1 数值模拟方案

内容	方案
动力框架	非静力平衡
预报区域中心	27.5°N, 111.5°E
水平分辨率	135km、45km、15km
预报区域格点数	41 × 61、61 × 91、91 × 91
垂直分辨率	23
初估场资料	T213 00h 分析、06、12、18、24、30、36、42、48h 预报场
实时观测资料	常规探空、地面资料
主要物理过程	显式水汽方案 - 简单冰相 积云对流参数化方案(A-K、K-F、GRELL) Blackdar 高分辨率 HBPL 方案 云辐射方案
积分步长	360s
预报时效	48h

设计了以下 8 个试验方案。试验一至试验四检验降水物理方案(其中试验一至试验三中参数化方案只在第三层网格变化)，试验五、试验六检验边界层方案，试验七、试验八检验辐射方案。数值试验方案如表 2 所示。

表 2 数值试验方案设计

编号	试验内容	
控制方案	试验零(T0)	控制试验
降水物理方案	试验一(T1)	Anthes-Kuo 参数化方案(AK)
	试验二(T2)	Kain-Fritsch 方案(KF)
	试验三(T3)	Fritsch-Chappell 参数化方案(FC)
	试验四(T4)	混合冰相过程(MICE)
边界层方案	试验五(T5)	Bulk 总体 PBL 方案
	试验六(T6)	无行星边界层方案(NPBL)
辐射方案	试验七(T7)	单冷辐射方案
	试验八(T8)	无辐射方案

2.2 结果分析

2.2.1 控制方案的降水模拟

预报结果采用常规方法检验，即把模式的 12~36h 预报结果插值到本省及周边的 127 个测站上和实况作对比，计算 T_s 得分，

计算公式如下： $T_s = \frac{N_a}{N_b + N_c - N_d}$ ，以大于 10mm 降水的 T_s 得分 T_s10 为例， N_a 为预报和实况都大于 10mm 降水的站数(报对站数)， N_b 为预报大于 10mm 的站数， N_c 为实况大于 10mm 的站数， N_d 为报对站数。将模式预报降水与测站实况降水的相关系数 r 计算出来，作为分析预报准确率的一个指标。

在控制方案下，对 2002 年 6 月 13 日至 7 月 2 日降水模拟结果的分析表明，模式对强降水有一定的模拟能力。其中 6 月 28、30 日的模拟效果最好(表 3)，两天大于 25mm 降水的 T_s 评分分别为 0.512 和 0.489，大于 50mm 降水的 T_s 评分分别为 0.318 和 0.258。这两天模拟的强降水落区及强度与实况大致相符(图略)。

表 3 6 月 28 日和 6 月 30 日控制方案降水相关系数与 T_s 评分

	r	T_s01	T_s10	T_s25	T_s50
6 月 28 日	0.505	0.782	0.493	0.512	0.318
6 月 30 日	0.528	0.702	0.512	0.489	0.258

2.2.2 数值试验结果

按照表2的数值试验方案的设计,计算2002年6月13日至7月2日逐日的降水相

表4 2002年6月13日至7月2日MM5模式试验方案与T213模式、HLAFS模式的 T_s 得分和相关系数平均值

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T213	HLAFS
r	0.233	0.188	0.213	0.200	0.226	0.267	0.103	0.225	0.230	0.286	0.107
T_s01	0.553	0.550	0.552	0.490	0.555	0.539	0.531	0.554	0.551	0.567	0.449
T_s10	0.324	0.300	0.318	0.301	0.317	0.337	0.241	0.301	0.290	0.365	0.196
T_s25	0.183	0.133	0.189	0.175	0.166	0.206	0.103	0.156	0.176	0.145	0.111
T_s50	0.060	0.029	0.051	0.060	0.058	0.059	0.013	0.032	0.030	0.055	0.023

上表中T0、T1、T2、T3、T4、T5、T6、T7、T8代表一个控制试验方案和八个数值试验方案,T213、HLAFS分别代表国家气象中心的T213和HLAFS模式。

模拟试验的降水相关系数和 T_s 评分结果表明,模拟降水预报对积云参数化方案、行星边界层参数化方案、辐射参数化方案都比较敏感。

2.2.2.1 降水物理方案试验结果

①积云参数化试验结果

试验零、试验一、试验二、试验三的积云参数化方案如表1、2所示。四种方案的第一层、第二层积云参数化方案设置一样,分别为Anthes-Kuo方案和Kain-Fritsch方案。第三层积云参数化方案设置分别为Grell参数化方案(GR)、Anthes-Kuo参数化方案(AK)、Kain-Fritsch方案(KF)、Fritsch-Chappell参数化方案(FC)。从表4可以看出,GR方案的降水相关系数比其它三种方案的降水相关系数值大,说明GR方案的降水预报与实况降水最为接近。AK方案的预报效果最差。说明网格距较小时(15km),GR方案预报效果较好,而AK方案已不适用,因AK参数化方案适用于大于30km的网格距。从 T_s 评分结果可以看出,预报大于25mm降水时GR方案、KF方案、FC方案较好,预报大于50mm降水时GR方案、FC方案较好,而AK方案预报大于50mm的强降水效果很差。

②显式降水方案试验结果

试验零、试验四的显式方案分别为简单

关系数和 T_s 评分值,最后取平均,结果如表4所示。

冰相方案和混合冰相方案。从表4的相关系数和 T_s 评分可见,两种显式降水方案的预报效果差别并不明显,简单冰相方案预报效果稍微好一点。

2.2.2.2 边界层方案试验结果

行星边界层过程参数化是中尺度数值天气预报模式中的一个很重要的问题,这是因为模式下边界的近地层地形复杂,对暴雨及其各类中尺度系统的发生和发展,都有重要的强迫作用。试验零采用Blackadar高分辨率行星边界层方案(HPBL),试验五采用总体行星边界层方案、试验六不采用行星边界层方案(NPBL)。

模拟结果显示,高分辨率行星边界层方案(HPBL)和总体行星边界层方案模拟降水效果相近。总体行星边界层方案模拟的降水相关系数略高于高分辨率行星边界层方案的降水相关系数。当试验六不采用行星边界层方案时,模拟降水的能力太差,如表4所示,无行星边界层方案时,计算出来的降水相关系数和 T_s 得分比其它方案都低得多,表明行星边界层过程参数化方案非常重要。

2.2.2.3 辐射方案试验结果

试验零、试验七、试验八用来检验辐射方案对降水模拟结果的影响。试验零采用云辐射方案,试验七采用单冷辐射方案,试验八不采用辐射方案。

模拟结果显示,采用云辐射参数化方案模拟的降水效果比另外两个试验要好,在模拟大于50mm降水时效果更明显。从试验

七、试验八模拟结果比较,采用单冷辐射方案和不采用辐射方案的降水模拟效果差不多。

2.2.2.4 与 T213、HLAFS 模式的降水预报结果比较

从表 4 可见, T213 模式的降水相关系数最大, HLAFS 模式的降水相关系数偏小, 不考虑采用边界层参数化方案的试验六, HLAFS 模式的模拟效果最差, 各项评分最低。T213 模式的降水 T_s 评分与试验零、试验五的降水评分接近。小于 25mm 降水评分中, T213 模式得分都最高, 但 25mm 和 50mm 降水评分, 试验零和试验五都要高, 说明 MM5 模式预报强降水的能力比 T213 模式强。

3 结 语

本文通过湖南省有限区域数值天气预报系统在银河机群服务器系统 YH/CS16 上实现和初步数值模拟试验, 得到如下结论:

(1) 利用 MM5 模式进行湖南省有限区域数值预报天气预报系统的开发和初步数值模拟试验表明, 该预报系统运行稳定, 能够提供高时空分辨率的及时有效的预报, 银河机群服务器系统 YH/CS16 运行环境完全能够满足业务运行的需求。

(2) 降水物理方案的数值模拟试验结果显示: 在网格格距较小时, 本文选取的四种积云参数化方案中 Grell 方案降水模拟效果最

好, Anthes-Kuo 方案模拟效果最差; 单冰相方案和混合冰相方案两种显式降水方案预报模拟预报效果差别并不明显。

(3) 三种行星边界层方案模拟试验结果表明, 行星边界层过程参数化方案不能忽略, 总体行星边界层方案模拟的降水模拟效果略好于高分辨率行星边界层方案的降水模拟效果。三种辐射参数化方案的降水模拟结果显示, 采用云辐射参数化方案模拟的降水效果比另外两个方案的试验效果要好。

(4) T213 模式、HLAFS 模式、MM5 模式的降水预报结果分析表明, MM5 模式预报强降水有较强能力。

本文的结论有时间和地域的局限性, 但对湖南省有限区域数值预报的水平提高和业务化具有很重要的意义。

参 考 文 献

- 1 王建捷, 王迎春等. 北京地区中尺度非静力数值预报系统的开发与实时预报应用. 应用气象学报, 1999, 10: 385~393.
- 2 顾建峰, 殷鹤宝, 徐一鸣等. MM5 在上海区域气象中心数值预报中的改进和应用. 应用气象学报, 2000, 11: 189~198.
- 3 李俊, 彭春华. 中尺度数值天气预报模式-MM5V3. 湖北气象, 2001, 2: 12~15.
- 4 孙建华, 赵思雄. 一次罕见的华南大暴雨过程的诊断与数值模拟的研究. 大气科学, 2000, 24: 381~392.

Hunan Limited-region Numerical Weather Prediction System and Simulation Experiments

Dai Zejun¹ Miao ChunSheng² Zhou Chuanxi¹ Yu Wei¹

(1. Hunan Province Meteorological Observatory, Changsha 410007; 2. Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract

Hunan Limited-region Numerical Weather Prediction System is introduced. The verification results indicate that the model can predict reasonably the spatial and temporal distribution of precipitation. The results of Numerical simulation experiments show that precipitation forecast is sensitive to cumulus parameterizations schemes, PBL schemes and Radiation schemes.

Key Words: numerical weather prediction numerical simulation MM5 model