

云南省科技攻关及高新技术计划项目 (2006SG25) 资助

云南省精细化天气预报 技术研究与应用

段 旭 许美玲 王 曼 张腾飞 张 杰 著

 气象出版社
China Meteorological Press

云南省科技攻关及高新技术计划项目(2006SG25)资助

云南省精细化天气预报技术 研究与应用

段 旭 许美玲 王 曼 张腾飞 张 杰 著

江苏工业学院图书馆
藏书章

内 容 提 要

本书主要内容包括中尺度 WRF 数值模式的本地化以及三维变分同化技术应用、数值预报产品解释应用中的“人机交互”与“场因子”选取技术的构想和实现、卫星和雷达降水估算联合场的建立以及地面降水量观测数据的变分同化、新一代大气探测资料定量应用、不同季节强降水天气过程数值模拟与诊断等。书中内容涉及的技术方法先进、成熟,成果应用性强,具有地方特色,符合现代天气预报技术发展方向。本书可供从事相关研究的气象科技人员和有关院校气象专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

云南省精细化天气预报技术研究与应用/段旭等著.
北京:气象出版社,2009.8
ISBN 978-7-5029-4802-3
I.云… II.段… III.天气预报-研究 IV.P45
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 144616 号

Yunnansheng Jingxihua Tianqi Yubao Jishu Yanjiu yu Yingyong

云南省精细化天气预报技术研究与应用

段 旭 许美玲 王 曼 张腾飞 张 杰 著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

策划编辑:成秀虎

责任编辑:申乐琳 李太宇

封面设计:王 伟

印 刷:北京佳信达恒智彩印有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:352 千字

版 次:2009 年 8 月第 1 版

定 价:60.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:俞卫平

责任技编:吴庭芳

印 张:13.75

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

序

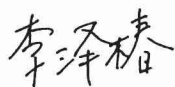
随着经济社会的发展和公众对天气预报越来越高的需求,天气预报技术正不断向客观化定量化推进、向定时定点定量的精细化目标努力。实现天气预报的精细化,并非一日之功,需要在大气模式及资料同化、数值预报产品解释应用、新一代大气探测资料的定量应用等方面下功夫。同时,也依赖于预报员对局地天气系统演变认识的经验积累和高速计算条件的支撑。

云南地处低纬高原地区,是东亚季风和南亚季风共同影响的显著区域,同时受到青藏高原大地形的影响。除切变线、南支槽、低涡、西行台风低压等常见天气系统外,还受到昆明准静止锋、孟加拉湾风暴等区域特点的天气系统影响。复杂的地形和天气系统,导致云南暴雨、大风、冰雹、雷电、冰冻、雪灾等灾害性天气频繁,并具有局地性和突发性。可以说低纬云贵高原地区是天气系统最为复杂、预报难度很大的区域。

可喜的是,云南气象科技工作者多年来一直不断地探索本地区的预报问题,从“八五”期间的“灾害性天气预测预报研究”、“九五”期间的“短期气候异常物理过程及预测信号的研究”到“十五”期间的“中尺度天气特征及预报方法研究”,积累和丰富了对云南季风气候规律的认识和预测预报技术方法。特别是近期开展的云南省科技攻关及高新技术计划项目(2006SG25)“云南省精细化天气预报技术研究”,作者和项目组成员学习和掌握了最新的预报技术方法,并且很好地运用于本地的天气预报业务中。复杂地形下中尺度数值模式及三维变分同化技术的应用和本地化、数值预报产品解释应用中“预报因子选取及方程人机交互系统”的研发、低纬高原地区细网格降水同化试验、不同季节强降水天气过程数值模拟与诊断等研究工作具有特色,提高了云南省气象部门的技术水平和预报业务能力。

本书介绍了云南省精细化天气预报技术研究与应用的最新成果,理论基础扎实,思路清晰,应用性强,具有地方特色,符合现代天气预报技术发展方向。可供从事精细化天气预报研究和业务的同行借鉴。

中国工程院院士



2009年6月12日

前 言

云南省科技攻关及高新技术计划项目(2006SG25)“云南省精细化天气预报技术研究”,针对云南低纬高原特点和气象防灾减灾需要,开展了包括高分辨率中尺度数值模式本地化、预报产品解释应用、新一代探测资料定量应用等主要内容的精细化预报技术研究。本书收集了作者在研究工作中的主要科研成果。

无论 MM5 或 WRF 模式,都是国际上流行和通用的中尺度数值模式,可以在网站上免费下载使用。重要的是如何把它本地化,本地化程度越高、越能刻画本地下垫面的动力和热力状况,相对应地提高预报效果。本项目在模式的本地化研究中,通过大量的对比试验:选取了适合本地的积云过程、微物理过程和辐射过程的方案组合;选择了 NCEP/GFS 作为模式的背景场;统计计算了以云南为中心的区域背景误差协方差并替换了三维变分同化系统中原有的背景误差协方差。同时,考虑模式底层高度与地面观测站高度的差异,进行了地面资料地形订正。

数值预报产品解释应用大多采用动力统计的方法,即通过统计方法建立数值预报产品与要素预报之间的关系(预报方程),核心问题是优选预报因子。由于工作量巨大,通常只能依赖计算机进行预报因子筛选和预报方程建立,整个过程预报员的经验难以吸纳,而提取优质的预报因子往往需要预报员的经验。本项目在充分认识到巨大工作量的同时,着力解决预报员在选取预报因子时发挥天气学概念和预报经验的作用。按此思路研发了“预报因子选取及方程建立人机交互平台”,对预报因子筛选采用人机交互的方式,既充分利用计算机快速运算的优势,又以二维场的形式为预报员提供直观运用经验的平台。这里涉及到了预报因子场采集、预报因子经验选取、统计关系及模型等在计算机上实现的关键技术。

现有降水测站(县气象站)的空间分辨率难以精确地描述降水的空间分布,即使加密观测(乡镇),也很难把诸如山区的滑坡泥石流、江河流域的洪涝等灾害发生地的降水情况完全表达出来。雷达和卫星有较高的分辨率,其反演的降水量有一定的参考性,但目前的降水量反演技术有限,还不能将反演的降水量直接作为降水实况场。基于两者之间的矛盾和联系,本项目解决了两个问题,一是将雷达和卫星降水量反演值与实际降水量比较,利用均方根误差统计方法,建立联合降水估算场;二是把联合降水估算场作为背景场,采用变分同化技术把地面观测降水同化到背景场中,形成高分辨率的降水场。

天气预报准确率是气象业务的核心问题,本项目尽管在中尺度数值模式及三维变分同化、数值产品解释应用、新一代大气探测资料定量应用等方面做了大量的研究工作,提高了云南精细化天气预报技术水平,增强了天气预报业务能力。但必须看到还有许多难题尚未解决,例如雷达、卫星、GPS 降水反演技术,四维变分同化技术,非常规资料同化技术等方面。因此,在本项目的基础上,将持续开展相关的研究,逐步提高天气预报准确率。

在撰稿过程中,得到了云南省气象科学研究所的张万诚、陶云、刘建宇、陈新梅、符睿、段玮,云南省气象台的杞明辉、李华宏、张秀年,云南省玉溪市气象局的丁盛,云南大学的吕林宜等同志大力支持,在此一并表示致谢。

作者

2009 年 6 月

目 录

第一章 复杂地形下中尺度数值模式应用技术·····	(1)
1.1 MM5 模式不同参数化方案对比试验 ·····	(1)
1.2 WRF 模式不同参数化方案对比试验 ·····	(10)
1.3 WRF 模式与 MM5 模式的比较 ·····	(14)
1.4 三维变分同化技术及其应用 ·····	(18)
1.5 地面观测资料同化方案 ·····	(30)
1.6 地形敏感性数值模拟试验 ·····	(50)
1.7 GRAPES 模式降水预报检验 ·····	(61)
第二章 数值预报产品解释应用·····	(67)
2.1 预报因子选取及方程建立人机交互平台 ·····	(67)
2.2 分县预报方程效果分析 ·····	(80)
2.3 乡镇降水预报试验 ·····	(87)
2.4 数值预报产品综合集成预报技术 ·····	(92)
第三章 新一代大气探测资料定量应用·····	(100)
3.1 雷达卫星资料处理及选取 ·····	(100)
3.2 低纬高原地区细网格降水场同化试验 ·····	(106)
3.3 雷电发生时大气物理量特征 ·····	(113)
3.4 雷电与暴雨和冰雹的关系 ·····	(131)
3.5 地基 GPS 遥感观测资料分析·····	(143)
3.6 滑坡泥石流与降水的关系 ·····	(150)
第四章 不同季节强降水天气过程数值模拟与诊断·····	(165)
4.1 初夏登陆孟加拉湾风暴数值模拟 ·····	(165)
4.2 盛夏暴雨过程数值模拟 ·····	(173)
4.3 秋季暴雨滑坡泥石流天气过程数值模拟 ·····	(182)
4.4 冬季暴雪天气过程数值模拟 ·····	(190)
4.5 夏季滇中暴雨中尺度特征及成因分析 ·····	(197)
参考文献·····	(207)

第一章 复杂地形下中尺度数值模式应用技术

现代天气预报业务的技术路线以数值预报为基础、综合了多种预报工具和手段。因此,数值天气预报在整个天气预报技术领域中占据着不可动摇的主导地位,代表着天气预报技术的发展方向。从第一张天气形势预报图问世至今,天气预报发生了巨大的变化,数值预报发展到今天,已成为中短期预报的基础和主要依据。

尽管欧洲中心、美国、日本和中国等的全球天气模式在环流和天气系统移动或变化预报方面已达到近乎“完美”的程度,中期数值天气预报时效也达到确定性预报的上限(即两周左右),这都显示了以经验为基础的预报所不具备的独特优势。但是降水、气温等天气要素的定时、定点、定量预报还有较大的提升空间,区域中尺度数值预报模式为精细天气预报提供了重要工具。

作为省一级的科研业务部门,没有能力在研究和发展包括观测资料四维变分同化、动力框架模式、物理(化学)过程模式方案、与数值天气预报相关的高性能计算机等方面取得进展。但可以在区域中尺度数值预报模式的参数化方案选取、本地气象资料的质量控制和初始场选取等方面开展应用研究,使中尺度数值模式较好地刻画本地下垫面的动力和热力状况,以提高预报水平。

1.1 MM5 模式不同参数化方案对比试验

中尺度 MM5v3 数值模式,目前已在我国省级以上气象台广泛使用。山东(刘诗军等,2004)、沈阳(周小珊等,2001)、陕西(郭建侠等,2003)等近年来对 MM5 模式进行了业务化应用和预报检验,提高了 MM5 本地化预报水平。云南省气象台于 2001 年开始引进 MM5v3 模式并进行了微机版两重嵌套的业务化和降水检验(许美玲等,2002)。在此基础上,段旭等(2004)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。随着云南省气象局高计算性能 SGI 0350 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。

本小节利用 MM5v3 数值模式中不同物理过程组合了 7 种参数化试验方案,对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,逐步形成精细化降水预报的主导支撑。

1.1.1 试验方案设计

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 90 km、30 km、10 km,垂直方向为 23 层,第一重区域积分中心为 26°N、99°E(图 1.1.1)。地形方案分辨率为 1°×1°、30'×30'、5'×5',PBL 为高分辨率 MRF 方案,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-Fritch(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 1.1.1,其中三重网格的辐射方案相同。

由于第三重嵌套网格分辨率取 10 km,它的降水是由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(王建捷等,2001)。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、多夜雨(段旭等,2004),为此考虑了不同的辐射参数化过程 F、G 方案。

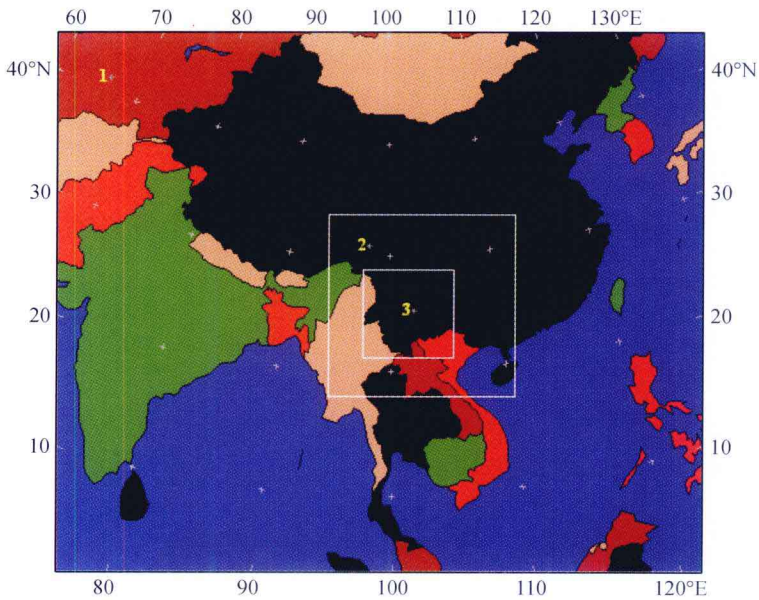


图 1.1.1 MM5 三重嵌套方案

表 1.1.1 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

1.1.2 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1.1.2b)。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南西北向强降水雨带,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100 mm以上,50 mm区域较接近实况位置。其他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1.1.2a)。

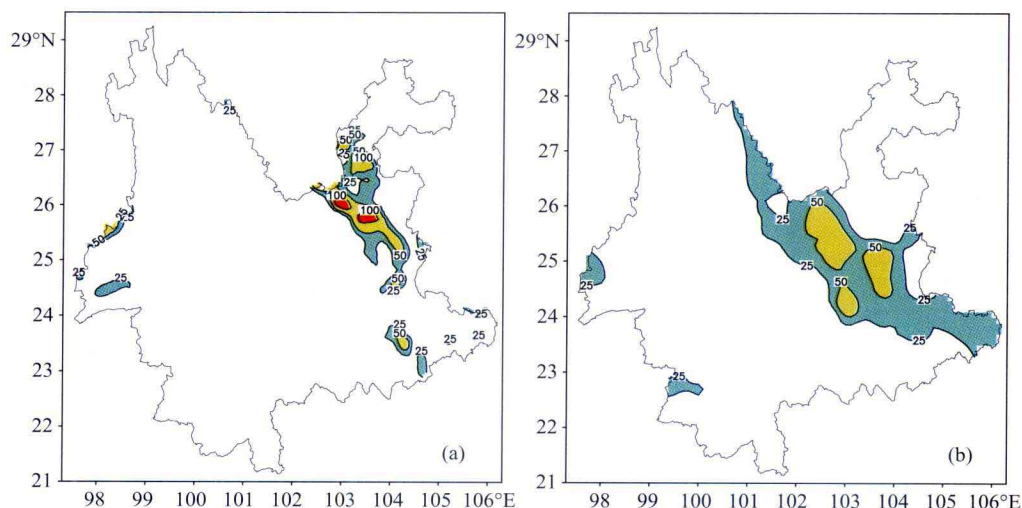


图1.1.2 2005年6月13日20时—14日20时试验方案C降水预报(a)和降水实况(b)(单位:mm)

受孟加拉湾低气压影响,6月25日20时—26日20时,云南出现了14站大雨、7站暴雨、1站大暴雨的强降水天气(图1.1.3b),强降水主要集中在滇西南。此次过程,7个试验方案均较好地预报出了强降水雨带,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1.1.3a)。

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雨带(图1.1.4b),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100 mm强降水中心漏报,滇南100 mm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1.1.4a)。

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1.1.5b),其中,玉溪降水量达98.5 mm。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1.1.5a)。

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 1.1.6b),思茅的澜沧 24 h 降水量达 119.7 mm。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 1.1.6a)。

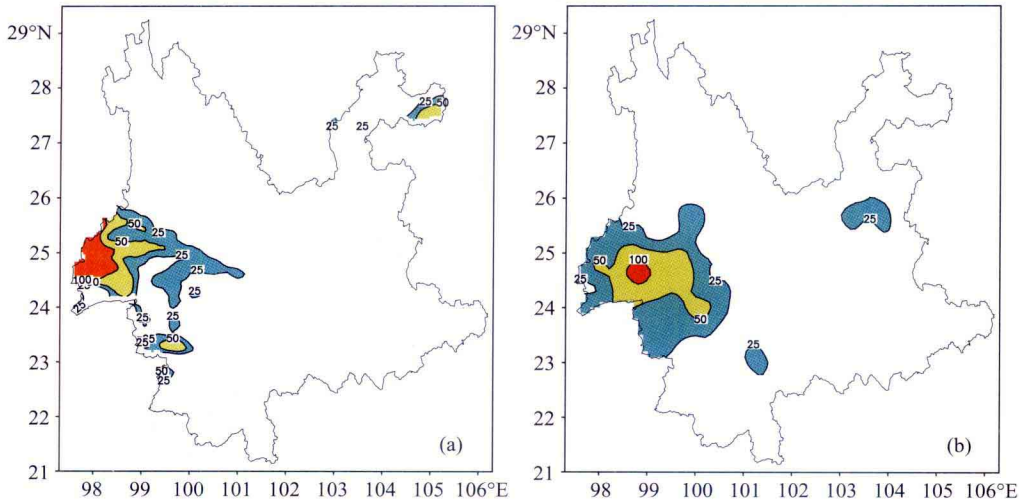


图 1.1.3 2005 年 6 月 25 日 20 时—26 日 20 时试验方案 C 降水预报(a)和降水实况(b)(单位:mm)

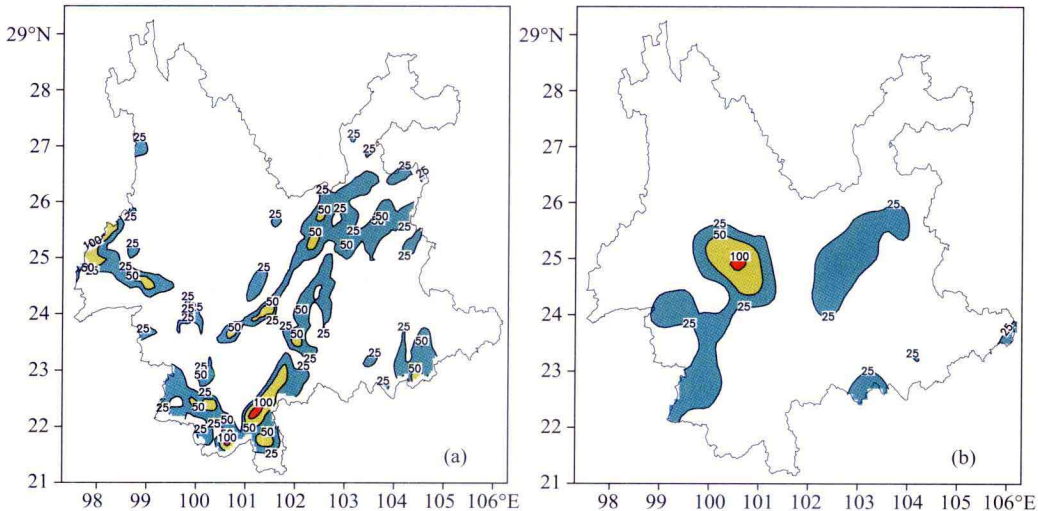


图 1.1.4 2005 年 7 月 12 日 20 时—13 日 20 时试验方案 C 降水预报(a)和降水实况(b)(单位:mm)

1.1.3 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 h 降水量(20—20 时),级别分为小雨(0.1~9.9 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~49.9 mm)、暴雨(≥ 50.0 mm)。MM5 各试验方案取逐日 08

时预报的 12~36 h 降水量(20—20 时预报值)。

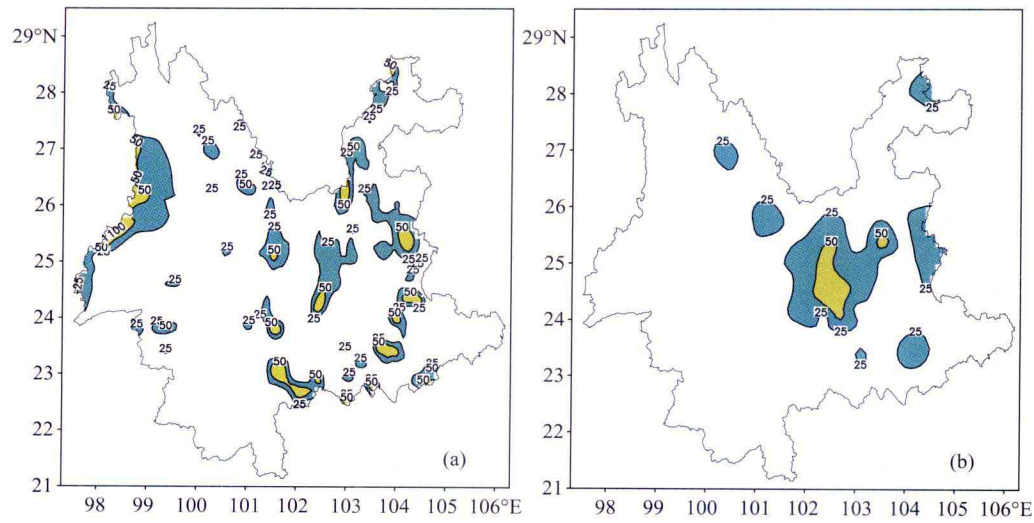


图 1.1.5 2005 年 8 月 5 日 20 时—6 日 20 时试验方案 G 降水预报(a)和降水实况(b)(单位:mm)

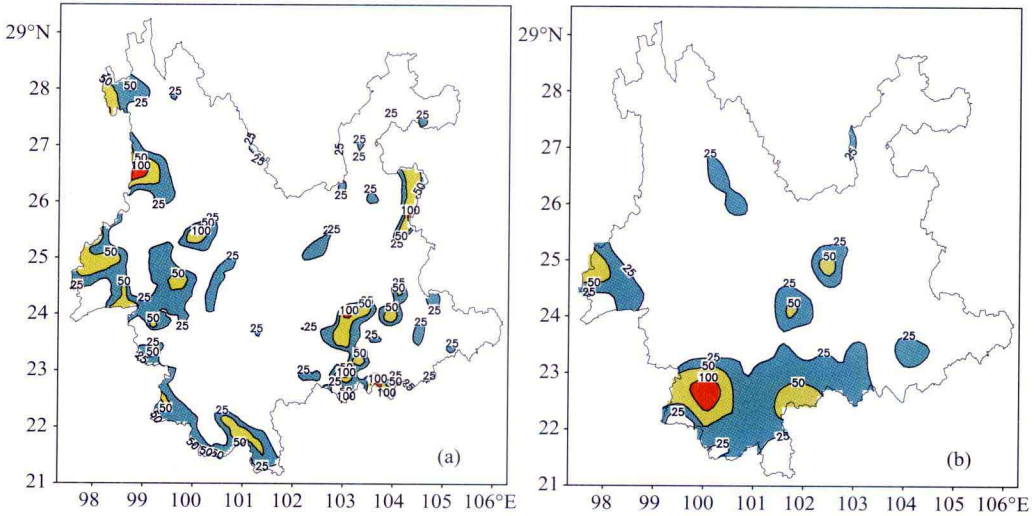


图 1.1.6 2005 年 8 月 22 日 20 时—23 日 20 时试验方案 F 降水预报(a)和降水实况(b)(单位:mm)

1.1.3.1 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 Cressmam(1959)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

$$W_{i,j} = \begin{cases} \frac{R^2 - r_{i,j}^2}{R^2 + r_{i,j}^2} & r_{i,j} \leq R \\ 0 & r_{i,j} > R \end{cases} \quad (1.1.1)$$

$$P_s = \frac{\sum W_{i,j} \times P_{i,j}}{\sum W_{i,j}} \quad (1.1.2)$$

其中, $W_{i,j}$ 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。

预报插值到站点后可以进行预报评分, 一般的评定办法有预报准确率(TS)、预报偏差($Bias$)、公平预报准确率(T_{sc})等, 它们的表达式分别为

$$TS = NA / (NA + NB + NC) \quad (1.1.3)$$

$$Bias = F / O \quad (1.1.4)$$

$$T_{sc} = (N_{fc} - C_H) / (N_f + N_o - N_{fc} - C_H) \quad (1.1.5)$$

其中, $C_H = \frac{N_f}{N} \times N_o$, NA 、 NB 、 NC 、 F 、 O 、 N 、 N_{fc} 、 N_f 、 N_o 分别表示预报正确站数、空报站数、漏报站数、预报该事件出现总站数、观测该事件总站数、发报站总数、预报该事件正确站数、预报该事件站数、实况发生站数。

在公式(1.1.1)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 10 km、20 km、30 km、40 km 不同的扫描半径所得到的插值结果与实况进行 TS 评分。

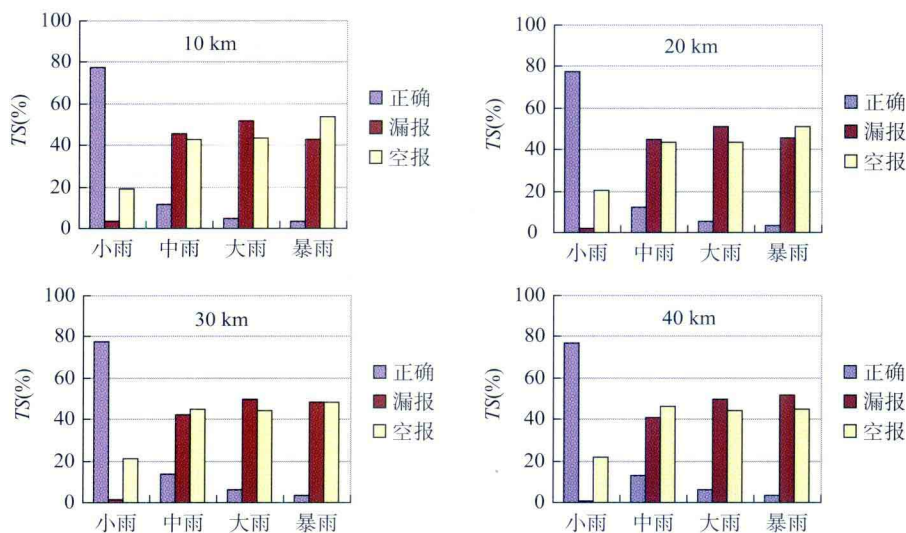


图 1.1.7 2005 年 6—8 月试验方案 C 不同的扫描半径所得到的插值结果 TS 评分

图 1.1.7 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与实况进行 TS 评分。从中可以看出, 各扫描半径小雨的正确、漏报、空报 TS 评分差别不大, 表明不同扫描半径对插值结果影响较小。对中雨而言, 除 10 km 扫描半径预报正确率稍低于其他扫描半径外, 其他结果也相差不大。大雨预报, 10~40 km 预报正确率分别为 4.9%、5.3%、6.1% 和 6.0%, 30 km 和 40 km 较高; 漏报率分别为 51.6%、51.0%、49.7% 和 50.0%, 也是 30 km 和 40 km 稍低; 空报率相差不大。暴雨预报, 各扫描半径预报正确率分别为 3.3%、3.2%、3.6% 和 3.4%, 30 km 相对较高, 评分在 1.5%~1.8% 之间; 漏报率 40 km 最大, 空报率 10 km

最大。综合以上分析,30 km 扫描半径插值结果相对较好。因此,以下讨论均使用 30 km 扫描半径插值结果。

1.1.3.2 不同参数化方案降水预报 TS 和 Bias 比较

图 1.1.8 给出了 2005 年 6—8 月各试验方案插值到站点上的预报准确率(TS)评分。各试验方案对小雨的 TS 评分相差无几,相比之下试验方案 B 最高,TS 为 78.9%,试验方案 G 最低,TS 为 76.9%,差距不到 2 个百分点,相对差别为 2.6%。中雨预报的 TS,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%,相对差别为 23.9%。大雨预报的 TS,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%,相对差别为 74.3%,暴雨预报的 TS,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%,相对差别达 200%,表明各试验方案的预报能力有明显差异。

预报偏差 Bias 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 1.1.9 给出 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,都是预报偏多。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 偏差最多。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 偏差最多。

从预报准确率来看,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,中雨预报偏差方案 B 接近 1,其他方案都偏多。中雨以上量级(大雨、暴雨)预报偏差方案 B 明显偏少,方案 G 明显偏多。在某种意义上方案 G 或许是靠较大的空报率赢得了较高的 TS 评分。综合两者来看,方案 C 预报效果相对最好。

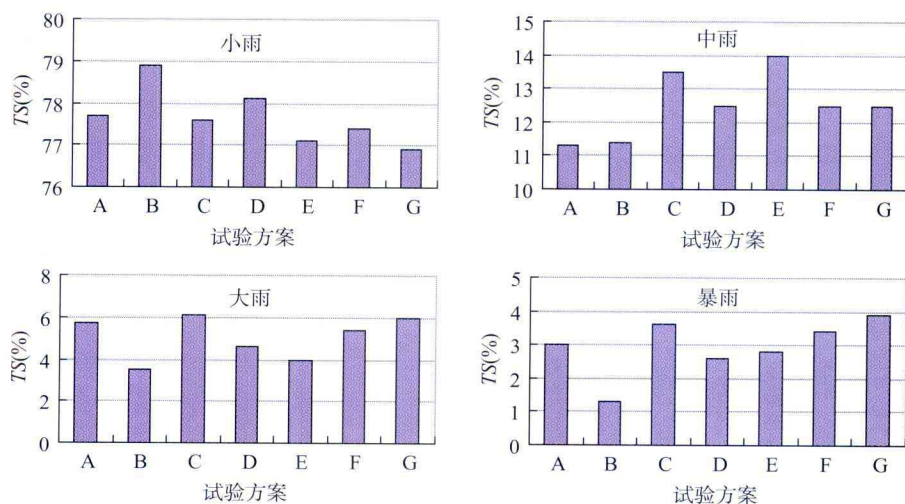


图 1.1.8 2005 年 6—8 月各试验方案插值到站点上的预报准确率(TS)评分

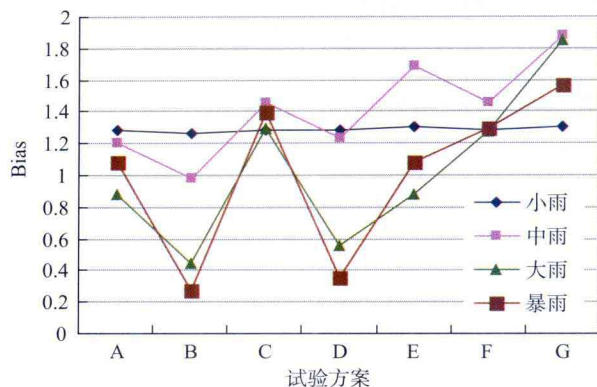


图 1.1.9 2005 年 6—8 月各试验方案插值到站点上的预报偏差

1.1.3.3 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。从物理过程特点(楼小凤等, 2004)看, 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, 并且对冰晶的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也略有差异: 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 采用的是云辐射传输方案, 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(周广强等, 2005), 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。

1.1.4 不同参数化方案温度预报试验

前面得到降水预报试验中方案 C 相对较好, 温度预报如何呢? 利用 7 种不同的参数化方案进行温度数值试验。试验中考虑到云南地形比较复杂(图 1.1.10), 模式地形高度与实际地形高度的差别可能会造成温度插值误差。因此, 在模式输出值插值到站点上时, 按 $-0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 进行地形订正。

表 1.1.2 给出 2004 年 10 月—2005 年 4 月不同方案温度预报的试验结果。按 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 评

定,最高温度正确率,方案 A、B、C 和 E 评分较高,在 47%以上,其他方案在 43%左右。最低温度正确率,方案 A、D、F 和 G 评分较高,在 62%以上,其他方案在 54%以下。综合最高温度和最低温度正确率来看,方案 A 温度预报效果最好。

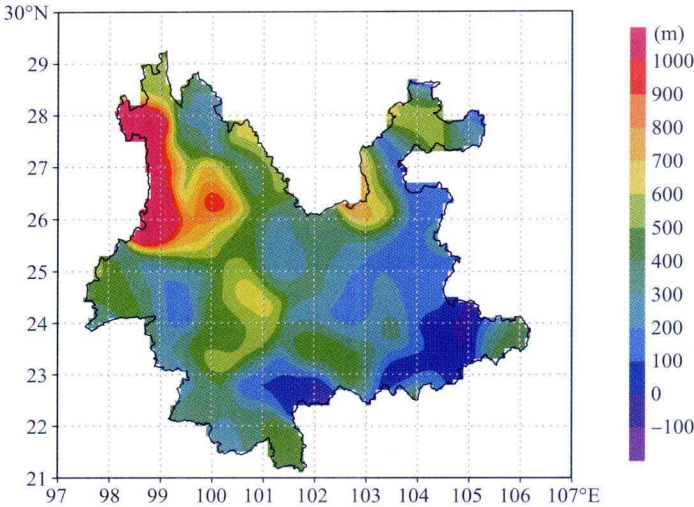


图 1.1.10 模式高度与实际观测站高度差值(单位:m)

表 1.1.2 2004 年 10 月—2005 年 4 月不同参数化方案温度预报(±3℃)正确率

试验方案	A	B	C	D	E	F	G
最高温度(%)	47.14	47.84	47.88	43.12	47.77	42.86	42.47
最低温度(%)	62.25	53.46	53.40	62.20	53.49	62.34	62.24

1.1.5 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 2005 年 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)。其他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 或否定其他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,20~30 km 扫描半径插值结果相对较好。

预报效果是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。

1.2 WRF 模式不同参数化方案对比试验

2004 年 12 月 MM5 模式发布了 3.7 版本以后,该模式的发展基本就停止了,现在研究应用较多的 AREM 模式、GRAPES 模式还处在不断发展完善的阶段。美国气象界联合开发新一代中尺度预报模式和同化系统 WRF(Weather Research Forecast)模式系统,重点解决 1~10 km,60 h 时效预报问题,自 2000 年 10 月发布第一版本以来,分别于 2004 年 6 月对外发布了第二版和三维变分同化系统,2008 年 4 月发布了第三版本。模式采用高度模块化、并行化和分层设计技术,集成了迄今为止在中尺度方面的研究成果。国外开展的数值模拟和实时预报试验表明,WRF 模式系统在预报对流天气系统、涡旋中尺度对流系统、天气要素预报、降雨模拟、陆面模式试验等方面都具有较好的性能,同时实现完全嵌套大气化学模式,不仅具有较好的天气预报水平,而且具有预报空气质量的能力。在国内,有的学者用该模式对江南暴雨过程、江淮梅雨锋强暴雨低涡系统等天气过程进行了数值模拟研究,有的学者对比了该模式与现在最常用的 MM5 模式的预报效果,有的学者用该模式对台风进行模拟研究,有的学者用该模式中的陆面过程进行金塔绿洲边界层的研究,这些研究的结果表明 WRF 模式的模拟预报效果都比较理想。从国内外的研究和业务试验结果看,该模式发展已相对完善。此外,WRF 模式被确定为我国 2008 年奥运气象保障数值预报系统的核心模式,国内一些省份也已经开展了该模式的业务化研究,该模式具有广阔的应用前景。WRF 模式的应用研究在云南刚刚起步,之前只有个例研究和短期试验,如王曼等(2009)曾对 2006 年 MALA 孟湾风暴进行过模拟研究,结果表明风暴的路径和降水模拟效果较好。

1.2.1 模式试验方案

利用 WRF2.2 版本,参照 1.1.2 节试验方案选择方法,组合设计 6 种方案进行试验(具体方案见表 1.2.1 和 1.2.2)。模式初始场取 NCEP/NCAR 再分析资料。

表 1.2.1 模式试验基本参数

项目	方案
区域范围	嵌套:三重;格距:90 km,30 km,10 km; 中心:26°N、99°E;格点:60×70,61×61,97×97
垂直层数	35
积云参数化	Betts-Miller-Janjic,Kain-Fritsch,Grell-Devenyi ensemble
边界层	YSU scheme
辐射	Dudhia 短波和 RRTM 长波
地面通量	isfflx=1

表 1.2.2 对比试验方案

方案	微物理过程方案
A	Kessler scheme
B	Lin et al. scheme
C	WSM 3-class simple ice scheme