

中国国家级新一代业务数值预报系统 GRAPES 的发展

张人禾, 沈学顺

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

E-mail: renhe@cma.gov.cn

2008-06-18 收稿, 2008-08-27 接受

国家科技攻关计划(编号: 2001BA607B)、国家科技支撑计划(编号: 2006BAC02B02)和国家重点基础研究发展计划(编号: 2004CB418300)资助项目

摘要 数值预报是世界各国业务天气预报最重要的手段, 是一个国家气象综合能力的集中体现. 2000年, 中国气象局在中国气象科学研究院组建了国家气象数值预报创新基地, 建立和发展具有自主知识产权、面向21世纪的“新一代全球/区域多尺度通用同化与数值预报系统(GRAPES)”. 近年来, GRAPES取得了快速发展, 自主研究建立了从模式到同化、有限区/全球一体化的研究与业务通用的数值预报系统. 对GRAPES数值预报系统进行了简要评述, 从模式系统整体设计方面说明GRAPES数值预报系统的先进性; 从已经实现的多领域应用方面说明GRAPES数值预报系统的多种应用性; 通过区域和全球GRAPES模式的回报试验结果, 说明GRAPES数值预报系统在业务应用中的有效性.

关键词

GRAPES 数值预报系统
数值天气预报
中国国家级天气预报业务

中国是一个气象灾害频发的国家, 气象灾害给国民经济、社会发展以及人民的生命财产造成巨大损失. 20世纪90年代以来, 中国平均每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达4800多万公顷, 受灾人口约3.8亿人次, 直接经济损失达1800多亿元, 约占国内生产总值的2.7%^[1]. 提高灾害天气的预报水平, 是减轻和预防气象灾害最直接和最有效的途径. 20世纪50年代以来, 大气科学研究领域的一个重要成果就是在数学物理学基础上, 建立了数值天气预报^[2], 经过半个多世纪的发展, 目前数值天气预报已在世界各国得到了广泛应用, 成为世界各国业务天气预报最重要的手段.

数值天气预报的发展不仅决定于大气科学基础理论研究, 也取决于获取全球大气气象资料的(如空间气象卫星等)探测和反演技术、资料加工处理和进行计算的大型计算机技术以及资料信息传播的通信技术等的进步, 因此, 一个国家数值天气预报水平的高低, 除了反映该国大气科学基础理论研究水平的高低外, 也反映了这些相关技术的发展水平, 是一个国家气象现代化水平的重要标志之一, 也是一个国

家气象综合能力的集中体现.

在20世纪80年代末到90年代初, 中国建立了数值天气预报业务, 但业务预报的数值模式系统的主体框架由国外引进. 由于引进的业务模式系统缺乏完整性和再开发性, 中国数值天气业务预报水平与发达国家相比, 在模式的性能、资料同化、模式预报准确率等方面均存在较大差距, 极大地影响了中国气象业务与服务水平的提高, 是制约中国气象现代化建设的“瓶颈”问题之一. 进入21世纪, 为全面实现中国气象数值预报技术的跨越式发展, 满足国民经济建设和社会发展对气象服务不断增长的需求, 全面实现气象数值预报业务体系的现代化, 2000年10月中国气象局在中国气象科学研究院组建了国家气象数值预报创新基地, 建立和发展具有自主知识产权、面向21世纪的“新一代全球/区域多尺度通用同化与数值预报系统(GRAPES)” (global/regional assimilation and prediction system). 国家科学技术部与中国气象局共同立项支持中国新一代气象数值预报的创新研究, 国家自然科学基金委员会也在相关的基础理论研究上给予了支持. 近年来, 依靠中国科学家自己的力量, GRAPES取得了

快速发展^[3-5], 自主研究建立了从模式到同化、有限区/全球一体化的研究与业务通用的数值预报系统. 在本期《科学通报》中, 集中发表5篇建立GRAPES数值预报系统方面的研究论文^[6-10], 这些论文反映了关于GRAPES数值预报系统研究的最新成果. 以下将从GRAPES数值预报系统的先进性、多方面的应用性以及业务预报效果试验3个方面对GRAPES数值预报系统进行简要评述.

1 GRAPES 数值预报系统的先进性

GRAPES 数值预报系统借鉴了20世纪90年代后期国际上业务数值预报系统发展的最新成果, 其先进性主要表现在以下几个方面: (1) 采用“集约型”的发展思路, 建立了多尺度通用动力框架作为不同应用模式的共同基础, 实现了静力与非静力可选、全球与有限区域可选、水平与垂直分辨率可选的通用框架. (2) 发展适用于多种预报对象的一体化模式系统. 这与过去习惯采用的分散地建立多个单一对象的数值预报系统相比, 有利于长远的技术更新与发展. (3) 采取模块化与标准化编程, 开发了模块化、并行化的数值预报系统程序软件, 实现程序模块的可插拔, 从而使系统的性能扩充容易实现, 使系统开发成本降低、科研成果业务转化易于实现, 有利于模式系统的持续发展. (4) GRAPES 资料变分同化系统不仅能对常规观测进行同化, 也实现了对卫星垂直探测器的辐射率资料的直接同化、对多普勒天气雷达遥感资料和卫星导出产品(如云导风)的同化. 这一变分同化系统大大扩展了中国数值预报中观测资料的使用范围, 为提高模式的预报水平奠定了坚实的基础.

2 GRAPES 数值预报系统的多应用性

基于GRAPES数值模式系统, 目前为止已发展了一系列可用于不同领域的数值预报系统. 建立了: (1) GRAPES区域中尺度数值预报系统(GRAPES-Meso), 已于2006年正式投入国家级业务运行; (2) GRAPES台风预报模式(GRAPES-TCM), 对与热带气旋路径相关的重要因子, 如路径类型、强度、登陆过程以及移向或移速突变等都表现出良好的预报性能^[11]; (3) RAPES沙尘暴预报模式(GRAPES-SDM), 具有较准确的预报性能, 基本上可以准确地预报出中国沙尘暴的发生与发展^[12]; (4) GRAPES雷电预报模式, 把雷电模式嵌套入GRAPES中尺度模式中, 对北京地区的几个个例进行的数值模拟结果表明, 强对流中心和冰相粒子高浓度

区对应着强电荷中心, 空间电荷结构与实际观测相一致^[13], 表现出良好的大气雷电预报潜力; (5) 与GRAPES相嵌套的云降水显式方案^[14], 所预报的云结构和相态分布为人工影响天气业务提供了指导; (6) GRAPES短时临近天气预报系统(GRAPES-SWIFT), 已作为唯一的中国发展的预报系统, 加入世界气象组织北京2008年奥运会预报示范和研究示范(WMO/B08FDP/RDP)计划, 为奥运会提供气象服务.

3 GRAPES 数值天气预报系统的回报效果试验

水平分辨率为30 km的GRAPES区域中尺度数值预报系统(GRAPES-Meso)于2006年在中央气象台正式投入国家级业务运行, 2007年水平分辨率升级为15 km. 为了说明GRAPES-Meso的预报效果, 图1分别给出了国内外多种模式在1 a期间(2006年6月~2007年5月)对中国区域24 h降水回报的ETS评分, 这些模式包括15和30 km水平分辨率的GRAPES-Meso、中央气象台用于业务预报的MM5区域模式(水平分辨率为27 km)和T213全球模式(水平分辨率大约为60 km)、日本(水平分辨率约为20 km)和德国(水平分辨率为40 km)的全球业务预报模式. 由图1可看出, 无论对于小雨、中雨还是大雨, GRAPES-Meso的15 km版本比30 km版本的ETS评分都有明显的提高. 与其他模式相比, 15 km水平分辨率的GRAPES-Meso的预报效果具有较好的系统性优势, 从ETS评分来看, 对小雨的预报效果只是略低于德国的模式, 对中雨略低于日本模式, 对大雨只低于MM5. 这里的结果表明, 15 km水平分辨率的GRAPES-Meso对24 h中国区域降水的预报效果, 已经相当于或略优于国际先进模式的预报效果.

图2给出了GRAPES全球数值预报系统(GRAPES-GFS, 水平分辨率为100 km)连续1 a(2006年12月~2007年11月)对北半球(20°~90°N)500 hPa位势高度场的回报结果与NCEP(美国国家环境预报中心)分析场的距平相关系数. 可看出, GRAPES-GFS已经具有较好的预报能力, 24, 48和60 h对北半球500 hPa位势高度场的回报值与NCEP分析场的距平相关系数分别达到0.97, 0.94和0.87. 如果按距平相关系数大于0.6作为预报时效的话, 可看出GRAPES-GFS的预报时效已经接近6 d, 初步达到了业务应用的要求. 目前, GRAPES-GFS即将进入准业务运行.

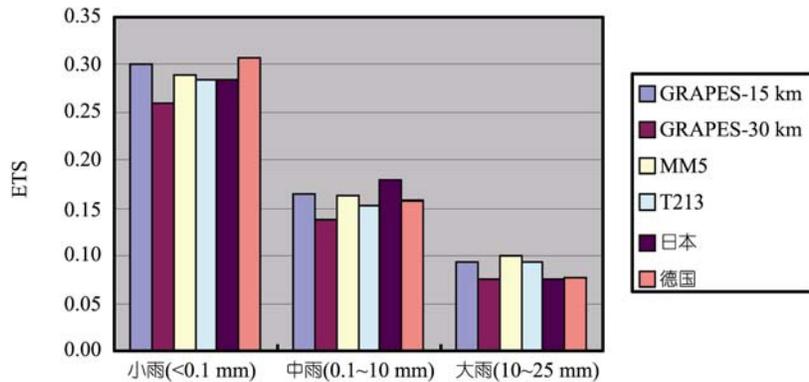


图 1 不同模式在 1 a 期间(2006 年 6 月~2007 年 5 月)分别对小、中雨和大雨平均 24 h 降水预报的 ETS 评分

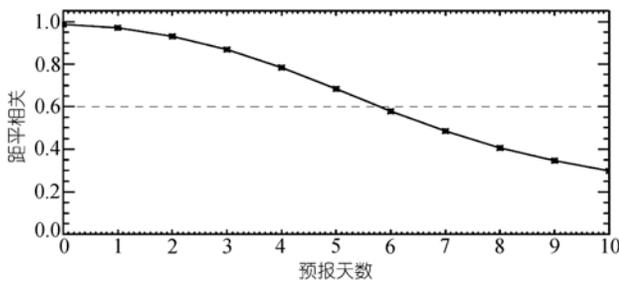


图 2 GRAPES 全球数值预报系统(GRAPES-GFS)连续 1 a (2006 年 12 月~2007 年 11 月)对北半球(20°~90°N)500 hPa 位势高度场的回报结果与 NCEP 分析场的距平相关系数随回报天数的分布

4 结语

GRAPES 数值天气预报系统是中国自主发展的气象数值预报系统。该系统中的卫星资料同化技术解决了卫星资料在中国数值预报中的应用技术瓶颈问题,多尺度通用静力/非静力平衡模式动力框架为“集约型”发展数值模式打下了基础,具有复杂物理过程的非静

力中尺度数值预报模式为中国中尺度灾害天气预报奠定了基础,全球预报系统的成功建立使中国真正进入国际上掌握全球预报模式核心技术国家的行列。

虽然 GRAPES 数值天气预报系统已经取得了较大进展,但仍需要进一步加强业务应用中的优化。由于中国天气的复杂性^[15],模式今后的发展特别需要针对中国特殊天气的原始创新。在模式框架方面,需要进一步优化改进全球模式动力框架中的大地形处理算法,特别是对中国天气有重要影响的青藏高原及其周边地形的处理算法,将模式向平流层扩展,并与海洋模式进行耦合,发展适用于中国复杂地形的陆面过程模式,建立全球模式和区域模式的双向嵌套;在物理过程方面,还应发展适合于中国所在东亚区域的模式物理参数化方案;在资料分析同化系统中,实现多种资料的同化应用,应特别注重中国气象观测资料的应用。以业务需求为导向,把 GRAPES 数值天气预报系统建设成具有中国特色的国际先进数值预报系统。

参考文献

- 1 中国气象局. 中国灾害性天气气候图集(1961~2006). 北京: 气象出版社, 2007. 110
- 2 陈德辉, 薛纪善. 数值天气预报业务模式现状与展望. 气象学报, 2004, 62(5): 623—633
- 3 薛纪善. 新世纪初中国数值天气预报的科技创新研究. 应用气象学报, 2006, 17(5): 602—610
- 4 陈德辉, 沈学顺. 新一代数值预报系统 GRAPES 研究进展. 应用气象学报, 2006, 17(6): 773—777
- 5 Xue J, Liu Y. Numerical weather prediction in China in the new century—progress, problems and prospects. Adv Atmos Sci, 2007, 24: 1099—1108[doi]
- 6 陈德辉, 薛纪善, 杨学胜, 等. GRAPES 新一代全球/区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究. 科学通报, 2008, 53(20): 2396—2407
- 7 薛纪善, 庄世宇, 朱国富, 等. GRAPES 新一代全球/区域变分同化系统研究. 科学通报, 2008, 53(20): 2408—2417
- 8 杨学胜, 胡江林, 陈德辉, 等. 全球有限区数值预报模式动力框架的试验验证. 科学通报, 2008, 53(20): 2418—2423
- 9 朱国富, 薛纪善, 张华, 等. GRAPES 变分同化系统中卫星辐射率资料的直接同化. 科学通报, 2008, 53(20): 2424—2427
- 10 徐国强, 陈德辉, 薛纪善, 等. GRAPES 物理过程的优化试验及程序结构设计. 科学通报, 2008, 53(20): 2428—2434
- 11 朱振铎, 端义宏, 陈德辉. GRAPES-TCM 业务试验结果分析. 气象, 2007, 33(7): 44—54
- 12 赵建华, 李耀辉. GRAPES-SDM 沙尘模式应用及存在的问题. 干旱气象, 2006, 24(1): 7—13
- 13 张义军, 周秀骥. 雷电研究的回顾和进展. 应用气象学报, 2006, 17(6): 829—834
- 14 章建成, 刘奇俊. GRAPES 模式不同云物理方案对短期气候模拟的影响. 气象, 2006, 32(7): 3—12
- 15 张人禾. 我国南方致洪暴雨监测和预测的理论和方法研究. 中国科技奖励, 2005, 1: 74—77