

闫之辉,王雨,朱国富. 国家气象中心业务数值预报发展的回顾与展望[J]. 气象,2010,36(7):26-32.

# 国家气象中心业务数值预报发展的回顾与展望<sup>\*</sup>

闫之辉 王 雨 朱国富

国家气象中心,北京 100081

**提 要:** 本文回顾了国家气象中心建立数值预报业务以来,国家级业务数值预报系统,主要是中、短期预报系统的发展历程,评估了目前业务数值预报的预报水平和基本特点,简述了我国业务数值预报发展的不同阶段取得的主要进展。通过对目前我国业务数值预报发展中存在的问题和不足的分析,讨论下一步的工作重点,并对未来的发展做初步展望。

**关键词:** 业务数值预报, 中短期预报模式, 资料分析同化系统, 预报检验评估

## The Review and Outlook on the Development of Operational NWP in NMC

YAN Zhihui WANG Yu ZHU Guofu

National Meteorological Center, Beijing 100081

**Abstract:** The developing course of national operational numerical weather prediction (NWP) systems since established in the National Meteorological Center is reviewed, mainly focusing on short-range and medium-range systems. The forecast level and essential features of the current systems are assessed. The major progress achieved in each stage of NWP development is outlined. Through analysis of the problems and shortage of current stage of NWP development, the near future key points of Chinese NWP development are discussed and the prospects are outlooked.

**Key words:** operational NWP, prediction model on short-range and medium-range, data assimilation system, forecast verification and assessment

## 引 言

国家气象中心数值预报业务是我国气象预报业务现代化的重要组成部分,随着我国气象事业的快速发展,业务数值预报的水平也经历了从无到有、从单一用于短期预报到用于包含短时、短期、中期预报等在内的较为完整的数值预报业务体系。预报模式的水平分辨率从最初的水平几百千米、垂直方向只有几层的简单模式发展到具有较高分辨率(中尺度模式为 15 km,中期预报模式为 30 km,垂直方向分为几十层),并具有较为合理完善的模式物理过程。形成模式所需的初始场中观测资料的应用也由早期

仅限于常规观测资料发展到常规观测资料、多种卫星遥感资料、自动加密观测资料和部分雷达资料等的综合应用;资料同化技术也从最初简单的逐步订正、OI 最优插值发展到现在的变分同化技术。

回顾我国业务数值预报发展的历史,总结不同发展阶段的得与失,对于数值预报业务的进一步发展、完善大有裨益。本文将主要对国家气象中心开展数值预报业务以来,重点是中、短期业务数值预报系统(全球中期预报和区域预报系统)的发展历程以及各个阶段取得的进步进行回顾;对目前主要业务预报模式的预报性能和特征给出基本评估;并通过对目前业务发展中存在的主要问题和不足的分析,对未来的工作重点和发展前景做出初步展望。

\* 中国气象局新技术推广项目“GRAPES 全球模式物理过程的升级及优化改进(GS2009)”资助  
2009 年 11 月 23 日收稿; 2010 年 1 月 4 日收修定稿  
第一作者:闫之辉,主要从事模式物理过程研究. Email: yanzh@cma.gov.cn

## 1 业务数值预报发展的历史回顾

我国数值天气预报的理论研究工作从 1950 年就开始了。但由于我国当时对数值预报业务发展方面的认识存在一定的局限性,使得业务数值预报的发展速度缓慢。20 世纪 70 年代末以前,老一代数值预报工作者曾先后尝试过两层模式、简单的北半球正压过滤模式、三层原始方程模式的开发和试验,但由于当时特殊的历史原因以及通信能力和计算机资源的限制,没有能够建立起真正意义上的数值预报业务。

1978 年国家气象中心成立,随后北京气象通信枢纽和区域通信中心建成,为数值预报业务的发展创造了重要的技术支撑条件。国家气象中心的业务数值预报系统快速发展也正是始于这一时期。我国业务数值预报 30 多年的发展进程,经历了初期阶段(20 世纪 80 年代)、发展阶段(20 世纪 90 年代)进入了逐步完善阶段(2000 年以来)。回顾业务数值预报发展的这段历史对我们今后的发展是有益的。

### 1.1 业务数值预报模式的早期发展

A 模式是国家气象中心第一代业务数值预报系统。该系统中,预报模式以陈雄山等<sup>[1]</sup>的三层原始方程模式为基础,配以较为简单的客观分析方案,组成了一个初步自动化的分析预报系统。预报模式的积分区域覆盖欧亚范围和西太平洋部分地区,模式在水平方向上采用正方形网格,网格距为 300 km(标准纬圈);垂直方向分为三层;时间积分方案采用了半隐式积分方案,步长为 1 小时;预报时效为 48 小时,A 模式采用了绝热模式。该系统于 1980 年 7 月投入业务运行,通过有线传真形式向全国各级气象台站发布高空形势场预报。在我国计算机条件及各种计算技术相对较为落后的情况下,建立了基本业务数值天气预报系统,为我国数值预报业务的发展取得了经验。

在中国气象学会 1978 年邯郸年会上,老一代气象学家一致建议,联合一切技术力量,组织短期数值预报业务。根据这一建议,1979 年 4 月,由北京气象中心中央气象台、气象科学研究院、大气物理研究所和北京大学组建了“联合数值预报室”。“联合数值预报室”以大气物理研究所研制的北半球三层原始方程模式和北京大学地球物理系的有限区域原始

方程模式为基础,发展了北半球五层原始方程模式和有限区域五层原始方程模式(通称 B 模式)<sup>[2]</sup>,并在吸取日本气象厅资料处理和客观分析方案经验的基础上加以改造,建立了自动化的数值预报业务系统。1982 年 2 月 16 日起,每天正式发布一次北半球模式预报;1983 年 8 月发布有限区域模式的降水预报产品。

模式在垂直方向上采用了修正的  $\sigma$  坐标(区域模式为  $\sigma$  坐标),水平方向上采用正方形网格,水平变量分布采用 Arakawa A 网格,在标准纬圈( $60^{\circ}\text{N}$ )上格点间距离为 381 km(区域模式为 190.5 km),大致包括了北半球  $10^{\circ}\text{N}$  以北地区(区域模式为欧亚范围)。在垂直方向上,模式大气被等距分为五层,其中,水汽仅在下面三层加以考虑。模式中地形仅考虑了真实地形的  $60^{\circ}$ (区域模式为  $20^{\circ}$ ),并进行了平滑。模式的时间积分方案采用了 Shuman 经济格式,时间步长取为 12 分钟(区域模式为欧拉后差和中央差交替使用的积分格式)。预报时效为 72 小时(区域模式为 36 小时)。模式中的物理过程主要考虑了边界层摩擦和水平湍流扩散、大尺度凝结和次网格尺度积云对流参数化。大尺度凝结采用了饱和凝结方案;次网格尺度积云对流参数化采用了 KUO 方案。

与 A 模式相比,B 模式在计算机资源较为贫乏的条件下,在预报模式中引入了描述非绝热过程的较为重要的基本物理过程,在改善模式预报水平上起了重要作用;在资料处理技术和客观分析技术上也形成了较为完整的体系;产品服务技术及预报流程的自动化也有了明显改善。

### 1.2 中期预报模式的发展

在建立了短期预报以后,国家气象中心在“七·五”科技攻关期间,启动了“中期数值天气预报研究”,通过引进、消化、吸收,成功地引进了欧洲中期数值预报中心的谱模式,并在此基础上建立了我国第一代全球中期数值预报业务系统——T42L9 中期预报系统<sup>[3-4]</sup>。系统主要包括资料预处理、客观分析、预报模式、后处理、场库、预报产品的制作与分发、预报结果检验、业务监控等子系统,于 1991 年 6 月 15 日在 M-360 机上正式投入业务使用。T42L9 预报模式为半球谱模式,模式采用水平三角形谱截断,取 42 个波,垂直分辨率为 9 层, $\sigma$  坐标,时间步长 30 分钟,模式预报变量包括地面气压、温度、散

度、涡度、比湿。次网格尺度积云对流参数化方案中包括干对流调整、湿对流调整,热量、动量和湿度的垂直扩散,辐射过程和简单的陆面过程。客观分析采用最优插值法。

1995年6月,由T42L9模式升级的T63L16全球中期数值预报业务系统<sup>[5]</sup>在CRAY C92机上正式投入运行。该模式垂直分为16层,为 $P-\sigma$ 混合坐标。水平方向采用谱截断,取63个波;物理过程参数化在格点上计算。模式格点是高斯(Gauss)格点,它几乎与规则的经纬格点相同,分辨率是(约206 km),模式采用包络地形,时间步长22.5分钟,模式预报变量包括地面气压、温度、散度、涡度、比湿。模式物理过程主要包括:深、浅积云对流参数化、垂直湍流扩散、地表物理过程参数化、土壤传导过程参数化、辐射过程参数化、大尺度水汽凝结以及地形重力波拖曳效应参数化等。资料同化系统包括观测资料的预处理、客观分析、初值化和同化模式的6小时预报等。其中,客观分析采用最优插值分析方案,每6小时间隔同化一次,每天4次同化。从每天12时(世界时,下同)的初值出发,模式制作7天的中期数值天气预报。

1997年6月,T63L16模式进一步升级为T106L19模式<sup>[6]</sup>,并在CRAY C92上正式投入业务运行,预报时效为10天。其中,预报模式垂直分为19层,模式采用水平谱截断,取106个波,分辨率为 $1.125^\circ$ (约为120 km)。模式采用包络地形,时间步长15分钟。其他方面与T63L16模式基本相同。T106L19每天制作1次10天的中期天气预报为中央气象台、省市气象局提供预报服务参考,为国家气象中心和全国各有限区数值预报模式提供侧边界和初估场。

2002年9月1日,由ECMWF再引进的T213L31模式<sup>[7]</sup>在IBM大规模并行计算机上正式业务化,预报时效为10天。其中,预报模式垂直分为31层,采用 $P-\sigma$ 混合坐标,模式顶为10 hPa,模式采用水平谱截断,取213个波(约为60 km)。模式物理过程主要包括:积云对流参数化采用了Tiedtke(1989)的质量通量方案;格点尺度降水方案采用了Tiedtke(1993)预报云方案,包括了云水、云冰和云量预报;垂直湍流扩散取Louis(1979)方案,表面通量采用Monin-Obukhov相似理论,上层大气湍流通量的计算以K扩散率概念为基础;陆面土壤物理过程采用Viterbo和Beljaar(1995)4层土壤模

式;辐射方案中,长波辐射取Morcrette(1990)方案;短波辐射取Fouquart和Bonnel(1980)方案;对地形的处理中,模式采用平均地形和次网格尺度地形参数化,根据次网格地形的有效高度的不同分别考虑了地形的爬坡和阻塞效应产生的重力波拖曳和阻塞流拖曳。积分时间步长取为15分钟,客观分析采用最优插值方案,预报产品制作和服务与T106L19模式基本相同。预报模式采用了共享并行与分布式并行相结合的混合编程技术。

从T42L9到T213L31,中期预报模式从建立到逐步发展完善,模式在分辨率的提高,物理过程的改进、完善,数值计算技术及计算机应用技术等方面都取得了明显的进步,客观分析、初值化、资料同化方法及资料的有效利用技术等也有所提高,模式的有效预报时效明显延长,降水落区预报的可用性明显改善。

### 1.3 有限区域数值预报业务系统的建立与发展

与中期预报模式发展的同时,国家气象中心有限区域业务预报系统也取得了长足的进步,先后研究建立了有限区域分析预报系统(LAFS)和较高分辨率的有限区域同化预报系统(HLAFS),实现了有限区模式与中期预报模式的异模式嵌套,建立了有限区域的资料同化系统,并在此基础上对预报模式的基本框架、计算方法和物理过程进行了改进与完善。

LAFS系统中的预报模式采用了北京大学张玉玲等设计开发的球面坐标原始方程预报模式<sup>[8]</sup>。模式在垂直方向上分为15层,采用 $\sigma$ 坐标,模式的水平格距取为 $1.875^\circ$ 经纬度网格。时间积分方案采用了蛙跃格式。侧边界实现了与中期预报模式T42L9的单向嵌套。模式中预报变量的水平分布采用了Arakawa的C网格,垂直方向采用了跳点格式。模式的时间积分方案采用了蛙跃格式,时间步长取150秒。预报时效为48小时。LAFS客观分析方案使用最优插值(OI)方案。高度、经向风速和纬向风速为三维多变量分析,相对湿度为三维单变量分析。

与B模式相比,LAFS系统重点解决了在西藏大地形条件下异模式嵌套中遇到的问题,在国家气象中心业务系统中成功地进行了全球谱模式与格点模式间的嵌套预报,有效地延长了区域模式的预报时效。另外,在分析方法上也由最优插值方案替换

了逐步订正方案。

HLAFS 同化预报系统<sup>[9]</sup>是在原有限区分析预报系统(LAFS)的基础上发展的。系统中,分析方案仍采用多变量(湿度场为单变量)最优插值方案;初值化采用非绝热非线性正规模初值化方案;预报模式基本框架未做改变,水平分辨率由原来的 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ 提高到 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,模式物理过程也做了改进。模式物理过程主要包括:格点可分辨尺度凝结降水过程、积云对流参数化、辐射、水平及垂直扩散、陆面土壤过程。其中,格点可分辨尺度凝结降水过程采用了饱和凝结方案,积云对流参数化采用了 KUO 方案,辐射方案采用了只考虑地面辐射收支平衡的简化方案,陆面土壤过程采用了简单的三层模式描述陆面和土壤中的热量、水分的收支。系统于 1996 年 5 月 15 日正式投入业务运行,产品以传真图、格点报和远程网文件三种方式向全国各级气象台站发布。

HLAFS 同化预报系统建立后先后进行了两次改进,使模式的水平分辨率分别提高到了 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 和 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 经纬度网格,垂直分辨率为 20 层,时间积分步长为 15 秒。模式的物理过程与 HLAFS 系统中的方案大致相同,只是格点可分辨尺度凝结降水过程先后改为暖雨显式降水方案<sup>[10]</sup>和简化的混合相云方案<sup>[11-12]</sup>,积云对流参数化方案则采用了质量通量方案<sup>[9]</sup>。

与 LAFS 系统相比,HLAFS 系统成功地引入了有限区域资料同化系统;初值化方案由绝热非线性正规模初值化变为非绝热非线性正规模初值化;预报模式除提高了分辨率以外,物理过程也有了较大改善,引入了部分描述中尺度过程的微物理过程。

在自行研制发展有限区域预报模式的同时,国家气象中心也成功地引入了技术更为完善的国外中尺度预报模式,如 MM5 中尺度预报模式、WRF 中尺度预报模式,这些预报系统的引进大大地丰富了我国中尺度数值预报产品,在预报服务中,尤其是在满足一些特殊服务中发挥了重要作用。同时,为我们学习、借鉴国外模式发展的先进经验,促进我国中尺度模式的发展也起到了重要的作用。

#### 1.4 集合数值预报业务系统的建立与发展

采用时间滞后平均法(LAF)扰动初值生成技术,于 1996 年 5 月建立了基于 T63L16 模式的全球中期集合预报系统。采用奇异向量法(SVs)扰动初

值生成技术,于 1999 年建立了 32 个成员的基于 T106L19 模式的全球中期集合预报系统,并于 2000 年 3 月投入业务应用<sup>[13]</sup>。采用增长模繁殖法(BGM)扰动初值生成技术,15 个成员的新一代全球中期 T213L31 集合数值天气预报系统于 2006 年 12 月实现了准业务化运行。在此基础上,研发了台风集合数值天气预报系统,提供中央气象台预报员使用。目前已建立了基于 WRF 模式和 GRAPES 模式的区域短期集合数值天气预报系统<sup>[14-15]</sup>,在奥运气象技术保障服务中发挥了重要作用。

## 2 当前业务数值预报系统的预报能力及主要特点

目前,国家气象中心的业务数值预报已建立起比较完整的数值天气预报业务体系,中期预报模式已由 T213L31(水平分辨率约为 60 km)升级为 T<sub>L</sub>639L60<sup>[16]</sup>(水平分辨率约为 28 km);区域预报模式已由我国自行研制的 GRAPES-MESO<sup>[17]</sup>中尺度预报模式(水平分辨率为 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ )取代了原区域预报模式 HLAFS;台风路径预报模式、海浪预报模式、环境预报模式、集合预报等也都相继投入业务运行。数值预报业务正在发挥着越来越重要的基础作用,为各级气象台站的日常公众气象预报服务,特别是为灾害性、关键性、转折性天气的预报服务和航空气象服务、军事气象服务、水文气象服务等提供了有物理基础的指导产品和定量参考信息,并为预报业务向应用气象和环境气象领域的拓展提供了有利的技术支撑。

### 2.1 业务预报模式的主要特点

与前期业务预报模式相比,国家级全球和区域中尺度数值模式预报业务系统的技术特征有了如下明显变化:

(1) 模式的分辨率明显提高。全球业务模式水平分辨率已由 60 km 提高到 30 km,模式垂直层数由 31 层提高到 60 层;区域模式水平分辨率 27 km 提高至 9 km,中尺度业务模式水平分辨率在华北地区达到了 3 km。

(2) 半隐式-半拉格朗日积分方案和将快、慢波分离(分裂-显式)的积分方案是当前业务模式中主要使用的积分方案。

(3) 随着模式分辨率的提高,模式物理过程亦

同步得到改进,特别是改进了模式格点尺度凝结方案(云/降水方案)。不仅在区域和中尺度业务模式中对云/降水过程进行更精细化的显式描述,而且在全球业务模式(T213L31、T<sub>L</sub>639L60)中亦引入了预报云方案。

(4) 资料同化系统实现了从最优插值向三维变分的技术升级,实现了对预报效果提高影响显著的卫星 ATOVS 辐射率资料的直接同化。

(5) 我国自行研制的具有“一体化”特征的业务预报系统(GRAPES)也已经或将要业务运行。目前,GRAPES-MESO 中尺度预报模式已经业务化,GRAPES 全球中期预报模式也进入了准业务化的实时运行阶段。

### 2.2 全球业务预报模式的主要预报性能

连续并行试验的预报结果显示,无论形势预报还是降水预报,与原业务模式(T213L31)相比,现行全球模式 T<sub>L</sub>639L60 的预报性能都有了较明显的改善。北半球中期数值预报可用时效全年平均为 6.8 天(冬季达 7.3 天);24 小时全国晴雨预报 TS 评分在夏季已接近 0.6,缩小了与发达国家的差距。

图 1 给出了北半球 500 hPa 高度场均方根误差随时间演变情况,图中,红色曲线为 48 h 预报的均方根误差,绿色曲线为 96 h 预报的均方根误差,蓝色曲线为 144 h 预报的均方根误差。从图中可以看出,在 1992 年之前,国家气象中心的业务数值预报系统只能制作短期预报产品;1992 年以后,从 T42L9 到 T639L60,中期预报模式从无到有,并不断改进完善,不同预报时效模式的预报水平都在不断提高。

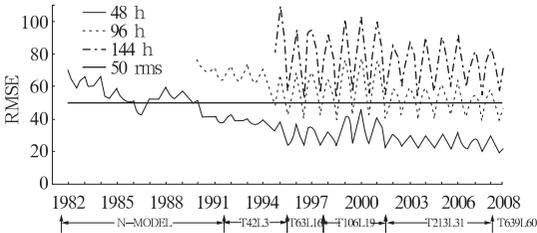


图 1 北半球 500 hPa 高度场均方根误差随时间演变  
Fig. 1 The temporal evolution of root mean square errors for heights on 500 hPa isobaric surface for the Northern Hemisphere

图 2 给出了中期预报模式降水量预报检验 (TS) 随时间演变情况,图 2a、图 2b 分别为 36 h 预报和 60 h 预报的检验的 TS 评分结果。从图中可以

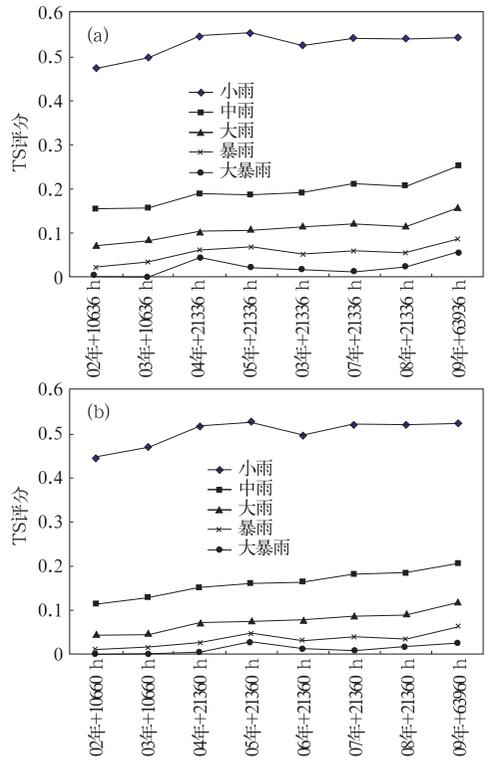


图 2 中期预报模式降水量预报检验 (TS) 随时间演变;(a)36 小时预报;(b) 60 小时预报  
Fig. 2 The temporal evolution of verification results (Ts) for precipitation forecast predicted by medium-range prediction model for (a) 36 h forecast and (b) 60 h forecast

看出,不管是 36 h 预报还是 60 h 预报,各个级别的降水量的预报水平都在稳步的提高,尤其是 T<sub>L</sub>639L60 投入业务以后,中雨以上级别的预报水平改进较为明显。

### 2.3 GRAPES 的发展

21 世纪初,根据我国业务数值预报发展的实际情况和存在的问题,在科技部和气象局的共同支持下设立了“中国气象数值预报系统技术创新研究”项目。在广大科技人员的努力下建立了我国具有自主创新能力的新一代数值预报系统——GRAPES。该系统主要包括:资料四维变分同化系统、有限区域中尺度数值预报系统、全球中期数值天气预报系统以及计算环境支持系统。上述成果通过业务转化形成了区域中尺度同化预报系统 (GRAPES-Meso) 和全球中期同化预报系统 (GRAPES-Global),并在实际应用中用于台风、沙尘暴等专业化的精细预报业务。业务系统的建立成功地解决了国家气象中心业务系统中存在的同化方

法较为落后的问题,同化方案由早期的OI分析方案改为变分方案,具有直接同化卫星遥感资料的能力,使得数值预报系统中观测资料的使用率和空间覆盖率接近目前国际上多数业务预报中心的水平;预报模式中采用的基本技术与国际上先进的预报模式相当,并具备了较好的持续发展能力。GRAPES-Meso预报系统已于2005年8月在国家气象中心实现了业务运行,模式的预报时效为60小时,预报产品主要用于区域预报,水平分辨率为 $0.30^{\circ} \times 0.30^{\circ}$ ,垂直方向分为31层;2008年实现了模式的升级改进,模式的水平分辨率提高到 $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ ,模式物理过程也做了相应的改进;模式对中国区域的降水预报(尤其是强降水预报)能力与国外引进的中尺度模式(如MM5、WRF)大致相当。GRAPES-Global系统于2009年3月准业务运行,模式水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ,垂直方向分为36层,预报实效为10天,模式对于形势场预报的可用时效在北半球为6天,与T213L31业务预报模式基本相当,南半球为6天,比T213业务预报模式提高了一天半。

## 2.4 其他专业预报模式的发展

随着社会的发展和进步,环境问题已经成为全社会关注的焦点之一。一门以大气变化对环境和人体影响程度为主要内容的学科——环境气象及其预报,成为气象工作新的拓展领域。自1998年以来,通过与科研单位和大学的合作研究以及在适度引进基础上的自行开发,在国家气象中心先后建立了核污染物扩散传输、森林火险气象条件、城市空气质量、紫外线、海浪预报、沙尘暴等环境气象数值预报业务,为环境气象预报与服务 and 履行WMO区域专业气象中心(RSMC)环境紧急响应职责提供了较为坚实的物理基础和技术支撑。

## 3 未来业务数值预报发展的展望

虽然我国业务模式预报性能近些年有了较明显进步,但在满足我国提高天气预报准确率的需求方面,以及与技术领先的国家相比还存在较为明显差距。主要表现在:(1)在同化方法上,20世纪90年代以来国际上先后建立了3DVAR或4DVAR同化系统,目前的业务系统中,技术先进国家大多采用了4DVAR,而我国的中期预报系统仍然采用了3DVAR方案,在一些具体技术方法上也有差距;

(2)在非常规资料的应用上,尽管我们也使用了一定数量的卫星资料,但在卫星资料同化的种类和数量上还存在着明显的差距,在雷达资料等其他非常规资料的同化技术上还存在着明显不足;(3)在预报模式方面,我国主要业务预报模式与国际上各主要业务预报中心的模式相比,模式的分辨率还明显偏低,更为明显的差距还在于模式物理过程的使用方面,尽管我们的业务预报模式有的是从国外引进,自行研制的预报模式也多引进了国外的一些先进的物理过程,但这些物理过程应用中往往没有考虑在我国自然地理条件下进行仔细调整、改进,有些物理参数与我国的实际情况脱节,因此不能充分发挥物理方案的作用;(4)对数值预报模式的研发能力偏弱,例如,在模式物理过程方面,目前业务预报模式中使用的物理过程方案绝大多数是在国外研制的,这一方面是因为我国中尺度加密观测资料较为缺乏,使得在物理过程方案的研究上缺少观测事实作依据,另一方面也说明我们在加密观测资料应用、非常规观测资料的利用方面存在明显的不足,中小尺度天气过程理论研究较为匮乏,业务预报的研究能力有待加强;(5)在NWP预报产品的应用上研究得不够。目前,国际上除了加强数值预报模式的开发研究外,也非常注重对数值预报产品的解释应用工作,比如,美国几十年来致力于MOS系统的研究,其产品涉及预报的各个领域,甚至对强对流天气也可以做出较好的释用产品。我国从数值预报模式建立之初就开始研究数值预报释用技术,但到目前为止,数值预报释用产品还比较单一,远远不能满足日益增长的精细化预报产品的需求,还需要下大力气发展。

21世纪初,为了满足我国现代化天气预报业务的需求,缩小我国数值预报与国际先进水平的差距,中国气象局组建了中国气象局数值预报创新基地,即中国气象科学研究院数值预报研究中心。在此基础上经过多年的科技攻关,初步研究建立了我国新一代多尺度通用的同化与数值预报系统(GRAPES)。该系统的核心技术包括:三维变分同化;半隐式-半拉格朗日方法和全可压非静力平衡动力模式;成功地引入了描述较为细致、合理的物理过程参数化方案;全球、区域一体化的同化与预报系统。目前,该系统的中尺度预报模式GRAPES-Meso子系统已实现业务运行,全球中期预报模式也正在业务化前的改进中。

根据我国数值预报业务的发展现状,未来几年的业务数值预报的主要工作将集中精力改进完善

GRAPES 系统,其主要工作包括:

(1) 加强资料质量控制,改进资料同化技术,提高非常规资料的应用能力。要提高预报模式的预报水平,改进模式的初始条件是十分重要的环节。因此,尽快改进同化方案的技术水平,建立 4DVAR 同化方案,并在此基础上提高对多种卫星遥感资料、雷达、风廓线仪、GPS、自动站加密观测等资料的应用水平,为预报模式提供更为客观、协调的初始场。

(2) 提高模式分辨率,完善模式动力框架的协调性能。与世界上较为先进的数值预报中心相比,我国业务预报模式的分辨率(包括水平和垂直方向)明显较粗,还远远不能满足我国现代化天气预报的“精细化”、“定点”、“定量”、“无缝隙”等要求,根据我国的实际条件,合理地提高预报模式的分辨率,同时进一步完善模式动力框架的协调性能,提高模式程序的计算效率是十分必要的。

(3) 模式物理过程改进。随着预报模式分辨率的提高,天气预报对预报对象、预报精度要求的提高,对物理过程的描述越来越向精细化的方向发展。同时,模式中物理过程方案大多数是在国外发展的,对物理方案的细节、方案中的经验参数、实施的基本条件等要通过具体分析、诊断进行协调、改进、完善。此外,对于影响降水过程的物理方案,如云预报方案,次网格尺度积云对流参数化方案,云与辐射的相互影响,影响水分循环的陆面过程、边界层过程等在诊断评估的基础上进一步改进、完善。

(4) 建立模式诊断平台,提高对预报模式的改进能力。在预报模式的改进过程中,有针对性地建立模式诊断平台,通过对预报模式在动力上的协调性、守恒性,各物理过程间、物理变量间的相关性的计算,充分利用现有的常规、非常规观测资料,对模式各方面的合理性做出诊断,为预报模式的改进指明方向,逐步提高对预报模式的改进能力。

(5) 加强数值预报开发人员与预报员之间的交流,增强模式预报产品检验和应用情况的反馈。业务数值预报的发展经验告诉我们,模式的深入发展与不断在应用中发现模式中存在的问题并逐步改进密切相关。除了系统的预报结果检验外,在预报应用中发现模式中存在的问题也是一种有效的途径。预报员通过对天气系统的预报效果的追踪,可指出模式对某些天气系统预报上存在的系统性缺陷,从而为模式开发人员深层次的诊断改进提供依据和改进方向。

业务数值天气预报的系统建设是一个长期的、

不间断的发展过程,只有通过艰苦地、不懈地努力,才能在实际业务应用中不断地探索、改进、完善、提高。因此,预计在未来 5~10 年,通过我们不断地努力,用于短期预报的区域预报模式分辨率将达到 2~10 km,物理过程将更加精细、合理,能够为短时、短期预报提供定时、定点、定量的丰富的预报指导产品;全球中期预报模式的分辨率将达到 10~20 km,可用预报天数将比目前提高 1~2 天。另外,除传统预报产品外,未来的数值预报将不再局限于传统意义上天气要素的预报,它还将包括紫外线、臭氧、空气污染天气条件、火险天气条件、舒适度等广义的“环境气象预报”。

## 参考文献

- [1] 陈雄山. 初始方程三层模式,数值预报和数理统计预报会议论文集[C]. 1974.
- [2] 章基嘉,廖洞贤,陈授钧,等. 关于两年来我国数值预报业务的初步报告[C]. 北京气象中心论文集,1985,198-210.
- [3] 行红霞. 中期数值预报模式 T42L9 及产品简介[J]. 干旱气象,1992(1):19-22.
- [4] 丁一汇,李小泉,皇甫雪官,等. 中长期天气预报的新进展,气象科技,1993(3):6-9.
- [5] 皇甫雪官. T63 中期数值天气预报谱模式[J]. 气象,1995,21(5):18-21.
- [6] 罗树如. T106L19 中期数值预报系统介绍[J]. 江西气象科技,1997(3):1-3.
- [7] 陈起英,金之雁,伍湘君,等. 中期数值预报系统 T213L31 在 IBM/SP 高性能计算机上的建立[J]. 应用气象学报,2004,15(5):523-533.
- [8] 郭肖容,张玉玲,闫之辉,等. 有限区分析预报系统及其业务应用[J]. 气象学报,1995,53(3):306-318.
- [9] 闫之辉,赵俊英,朱琪,等. 高分辨率有限区域业务数值预报模式及其降水预报试验[J]. 应用气象学报,1997,8(4):393-401.
- [10] 闫之辉,郭肖容,赵俊英. 一个载水预报模式的业务预报应用试验[J]. 应用气象学报,1999,10(4):453-461.
- [11] 闫之辉,朱政慧,郝民,等. HLAFS 业务预报系统改进对比试验[J]. 应用气象学报,2004,15(6):706-711.
- [12] 刘奇俊,胡志晋,周秀骥. HLAFS 显式云降水方案及其对暴雨和云物理过程的模拟(1)云降水显式方案[J]. 应用气象学报,2003,14(增刊).
- [13] 刘金达. 集合预报开创了业务数值天气预报的新纪元[J]. 气象,2000,26(6):21-25.
- [14] 马清,龚建东,李莉,等. 中尺度集合预报的二阶矩离散度订正研究[J]. 气象,2008,34(11):15-21.
- [15] 田伟红,庄世宇. ETKF 方法在区域集合预报中的初步应用[J]. 气象,2008,34(8):335-39.
- [16] 管成功,陈起英,佟华,等. T639L60 全球中期预报系统预报试验与性能评估[J]. 气象,2008,34(6):11-16.
- [17] 徐双柱,张兵,谌伟. GRAPES 模式对长江流域天气预报的检验分析[J]. 气象,2007,33(11):65-71.