

# 我国现代天气业务现状及发展趋势

端义宏 金荣花

(国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

**摘要:** 回顾了我国现代天气业务发展历程, 着眼于预报业务体系、预报技术和平台、预报员队伍培养等方面, 概述了现代天气业务现状。结合我国现代天气业务发展的经验, 跟踪国际气象科技发展前沿, 展望了现代天气业务的发展趋势。

**关键词:** 现代天气业务, 发展历程, 现状, 发展趋势

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.05.001

## The Status Quo of Modern Weather Operations in China and Its Future

Duan Yihong, Jin Ronghua

(National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** The progress of modern weather operations in China is reviewed in this paper. The modern weather operation status quo is summarized with respect to forecast technology and platform, forecasters team training and forecast operation system and so on. Based on the development experience of modern weather operation, tracking international meteorological science and technology development frontier, the paper outlooks the future development trend of modern weather operations.

**Keywords:** modern weather operation, progress, status quo, development trend

### 1 引言

天气预报业务起源于19世纪。20世纪七八十年代, 数值天气预报开始逐步投入天气预报业务应用, 使得天气预报业务进入了快速发展时期。1982年全国灾害性天气预报会议制定了“多种方法综合运用, 重点发展数值预报, 尽快实现客观定量”的天气预报技术路线, 由此, 以数值预报为基础, 结合运用各种预报技术方法的天气预报业务技术路线开始建立。以此次会议为契机, 中国的数值预报业务迅速发展起来, 以北半球5层原始方程模式及5层有限区域细网格降水预报模式为主体的短期数值预报系统, 分别于1982年2月和1983年8月正式投入业务运行, 向全国各级气象台站提供24~72h的北半球高低空形势预报和24~36h国内降水量预报及各种诊断量分析预报产品, 标志着我国天气预报业务技术开始向客观化转变。1991年6月, 在引进欧洲中期天气预报中心模式的基础上, 我国第一代全球中期数值预报业务系统(简称T42)正式建成并投入业务运行, 预报时效从3d延长至6~7d。而后, 随着计算机装备的更新和预报模式的

改进, 经历了T106经T213到T639的逐步升级。从20世纪80年代到21世纪初, 天气业务发生了很大的变化, 预报技术实现了从以天气图方法为基础到以数值预报为基础的转变, 统计预报、物理量诊断分析、人工智能等一批客观预报方法相继投入业务使用, 建立了以短期预报、中期预报和台风预报业务为主体的天气预报业务体系, 技术路线和预报思路逐渐明晰, 预报准确率得到很大提高<sup>[1]</sup>。

进入21世纪, 资料同化理论和应用技术快速发展, 特别是卫星资料同化应用技术取得重大突破<sup>[2]</sup>。同时, 随着全球模式分辨率和模式性能的不断提高, 尤其是针对模式初始场不确定性以及模式物理过程不确定性建立的集合预报系统在业务中开始使用, 天气预报业务出现了第二次跨越式发展。现代天气业务无论在预报时效和内容, 还是在无缝隙、精细化和专业化程度等方面都取得了显著的发展和进步。2010年, 为指导现代天气业务科学发展, 中国气象局下发1号文件《现代天气业务发展指导意见》, 要求全国各级气象部门加快发展现代天气业务, 并推行现代天气业务试点工作, 探索具有我国特色的现代天气业务发展模式。经过两年多的努力, 现代天气业务发展试点工作取得了明显成效, 业务能力得到了显著提升。本文将分析总结近2年来的现代天气业务发展成效, 探讨继续深化现代天气业务发展的趋势和方向。数值天气

收稿日期: 2012年5月31日; 修回日期: 2012年6月20日

第一作者: 端义宏(1963—), Email: duanyh@cma.gov.cn

资助信息: 科技部国家科技支撑计划项目 2009BAC51B03  
与公益性行业(气象)科研专项 GYHY(QX)  
GYHY200906007 联合资助

预报是现代天气业务的基础，其内容丰富，体系庞大，本文只简要介绍数值预报产品的应用技术，其他方面暂不涉及。

## 2 现代天气业务发展现状

2010年以来，现代天气业务发展成效主要体现在，天气预报业务和技术体系逐步完善，精细化程度不断提高，预报准确率稳步提升，2010年中国气象局1号文件的阶段性任务得到了较好的落实。

### 2.1 现代天气业务体系不断完善，产品的精细化程度明显提高

天气预报业务专业化发展的局面初步形成。随着台风、海洋气象、强对流、定量降水估测和预报等专业领域的预报技术日益成熟，2007年开始，在国家级业务单位相继成立了台风与海洋气象预报中心、强天气预报中心，并将定量降水预报业务专门设科分离出来；部分省级气象台也分专业成立了台风科、海洋科、城市天气预报科、强天气短临预报科等，经过近5年多的专业化业务建设，推出了具有专业特色的业务产品（图1），发展了专业化业务科技支撑和业务平台系统，有利于各项业务向更深、更精、更细方向发展，形成了各专业齐头并进，整体实力和业务水平大幅度提高的良好发展局面。

我国已经初步构建了包括天气监测、天气尺度和中尺度分析、临近预报（0~2h）、短时预报（0~12h）、短期预报（0~72h）、中期预报（3~10d）和延伸期预报（10~30d）等无缝隙预报业务体系，天气预报时效延长，预报时间间隔缩短。建立了集监测、分析、预报、检验为一体的较为完整的现代天气业务技术流程。通过建立科学合理的全国精细化气象要素预报业务流程，实现了全国统一的气象要素预报服务产品；通过国家级指导产品的下发和省级订正反馈，以及利用全国电视天气会商平台，加

强了上下级台站间的预报指导与订正的互动，提高了预报结论的一致性和准确率。

天气预报产品的精细化程度明显提高。开展全国范围灾害性天气的实时监测，天气分析实现了由单一天气尺度分析到以天气尺度和中尺度分析相结合的综合分析转变；基于T639模式的格点和站点精细化气象要素客观预报系统的业务化，气象要素预报已经精细化到乡镇；开展了雷雨大风、冰雹和短时强降水等强对流分类实时监测、短时临近预报业务；发布了未来24h的6h间隔以及未来168h的24h间隔的定量降水预报产品，实现了降水预报由定性的落区向定量的格点化、单一的降水向雨雪相态的根本性转变（图2a, b），开展了过程降雨量的预报业务；试验发布未来24h的6h间隔10km分辨率的台风精细化大风预报（图2c）；建立了强对流分类、台风路径以及中期基本气象要素和灾害性天气概率预报业务（图2d）；实现了13个海区海洋气象预报向沿岸、近海、远海73个海区的精细化海洋气象预报拓展等，使得突发性中小尺度灾害性天气以及重大天气过程的监测预警预报能力明显提高。2011年，我国分县24h晴雨预报准确率提高到86.3%，暴雨预报准确率近10a提高了5%，并呈逐年提高的趋势；24h台风路径误差降低到112km，台风强度预报误差下降到5m/s以内，准确率已达到发达国家的同等水平。

### 2.2 现代天气预报业务技术与平台迅速发展

以精细化监测预警预报为标志的现代天气业务，更加注重多源气象资料的综合应用、多种技术的集成、系统平台的便捷高效。21世纪，随着我国观测系统的快速发展，预报分析技术的显著进步，基于卫星、雷达、地闪和稠密区域自动站的强对流客观识别和跟踪算法、融合多源资料的快速更新同化预报系统（GRAPES-RUC）、利用物理量的统计特征和预报

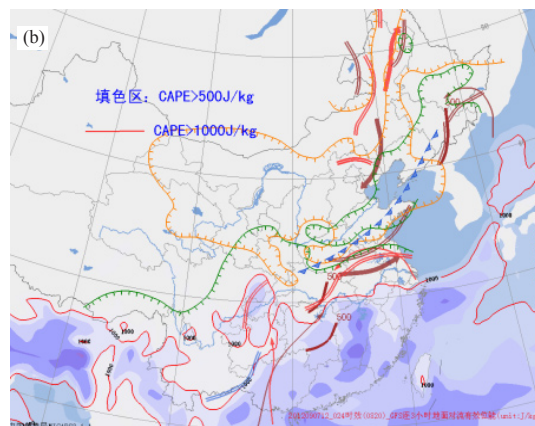
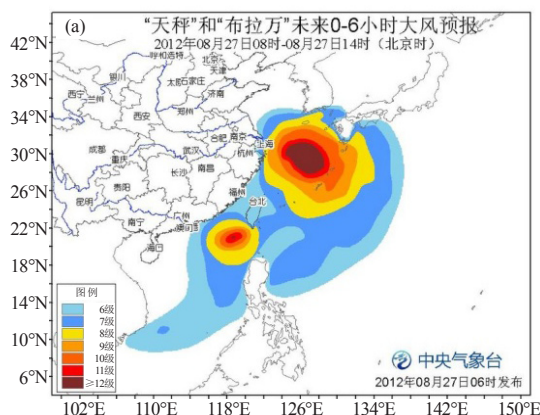


图1 热带气旋6h大风预报产品 (a) 和强对流天气综合分析图 (b)

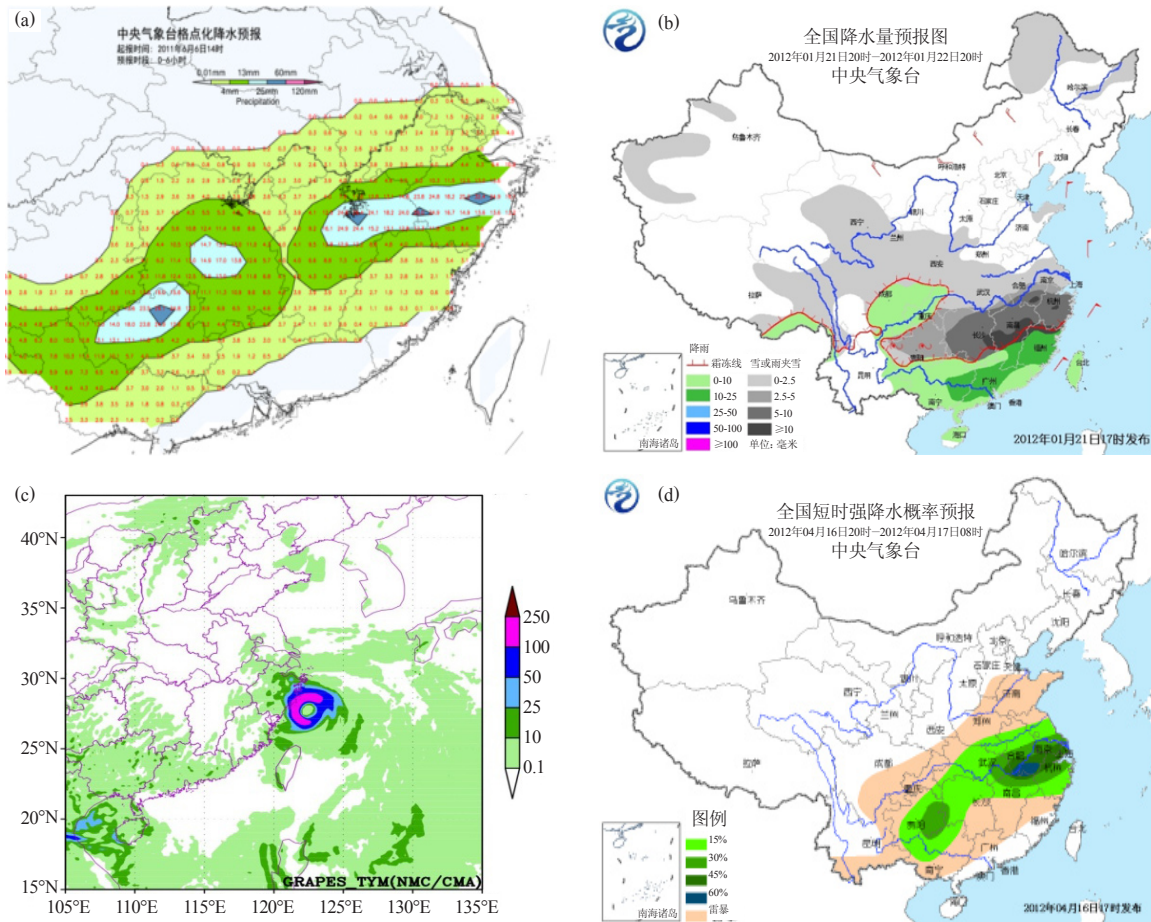


图2 格点化定量降水预报产品(a)、雨雪相态预报产品(b)、台风降雨精细化预报产品(c)和短时强降水概率预报产品实例图(d)

员的实践经验的“配料法”、中尺度分析技术等为强对流天气监测和短临预报提供了重要科技支撑(图3a)。逐步建立了以多种观测资料以及数值天气预报为基础,综合应用多模式动态权重集成预报、基于集合预报产品的概率预报、配料法强降水等级预报、动力-统计相结合的降水相态预报等多种方法,充分利用针对天气系统和物理量的数值预报模式产品检验订正、落区预报格点化等多种技术手段的精细化定量降水预报(QPF)业务技术框架(图3b),实现了单纯依赖数值预报向基于数值预报的多种关键技术方法集成的转变。建成了远海以气象卫星、近海结合多普勒天气雷达和稠密的自动气象站为主要监测手段的高时空分辨率的立体监测体系。台风数值预报模式的台风涡旋初始化技术也由单纯的人造涡旋技术升级到包括初始涡旋生成、涡旋重定位和涡旋强度调整的较为复杂的涡旋初始化技术,预报时效从发展初期的2d延长到目前的5d,建成了由中尺度区域台风模式、台风全球模式和台风路径集合预报构成的台风数值预报系统,可以为预报员提供较全面的基础支持。开发了利用雷达资料同化并结合中尺度数值模式的台风风雨精

细化短临预报系统,发展了台风路径集成/集合预报方法、台风强度气候持续预报方法、基于数值模式输出场的统计动力释用方法和基于遗传神经网络方法的台风强度客观预报方法,这些关键技术的业务应用支撑着台风预报业务始终保持着国际先进水平。基于大尺度动力学发展的MJO客观预报模型、基于长波理论的能量谱分析模型、集合预报技术以及动力-统计相结合的全球模式产品解释应用方法,为中期、延伸期预报业务发展奠定了基础。

全国气象部门统一使用的气象信息综合分析处理系统(MICAPS 3.0),在过去简单显示和制作功能的基础上,扩充了多源资料综合分析、三维结构分析、探空分析、气象要素时间序列演变分析、强天气监测报警等多种功能(图4),并且为适应专业化中心建设的需要,发展了短时临近预报系统(SWAN 1.0)、短期版MICAPS、台风专业版MICAPS以及中期版MICAPS等。建立了全国精细化预报产品共享数据库(NWFD)和全国数值预报解释应用业务系统(MEOFIS),推动了全国气象部门规模化、标准化、集约化、现代化的业务流程逐步形成和建立。

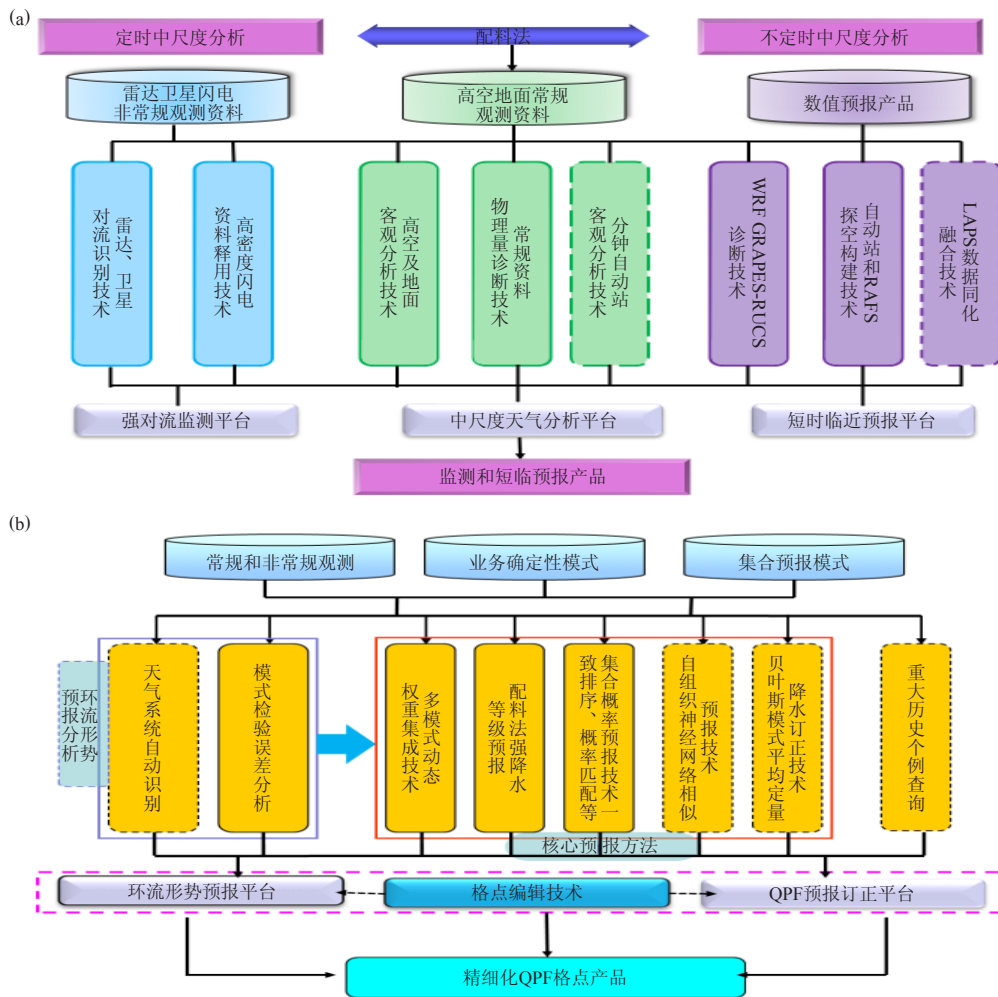


图3 强对流天气监测、分析和预报技术路线 ( a ) 与定量降水预报技术路线 ( b ) 示意图

### 2.3 预报员队伍培养措施日益丰富

大气科学理论和预报业务实践都已表明，天气预报不可能完全客观化，预报的不确定性将永远存在。这就决定了预报员将成为提高预报准确率的关键因素<sup>[3]</sup>。然而，现代天气预报的发展，对预报员提出了多方面的能力要求：一是要有天气分析和预报的理论基础和实践能力；二是要有数值预报产品的订正和解释应用能力；三是要有卫星、雷达等多种观测资料和预报技术方法的综合应用能力；四是要有对灾害性天气形成机理的诊断分析和认知能力<sup>[4-6]</sup>。

我国气象部门一直非常重视预报员队伍的建设，特别是近些年来，探索通过多种手段切实提高预报员的专业水平和预报分析能力，已经构建了多层面的预报员培养模式。通过举办全国范围内各级岗位的预报员培训，加强基础理论知识和新技术、新方法的学习，通过对大量历史个例的回报和总结分析，丰富了预报员的实战经验，提高了预报水平；开展专家型预报员团队的建设，中国气象局建立了暴雨、强对流和

台风三支国家级预报员团队，中央气象台和各省级气象台也建立了相应的预报员团队，团队的建设激发了预报员对感兴趣领域的深入研究和探索，促进了专家型预报员的培养和成长；加强首席预报员队伍建设，从2007年开始，连续四年开展了“全国百名首席预报员”的评选，目前，已初步形成了一支由国家级首席和省级首席为主的骨干预报员队伍；建立了常态化的重大天气过程技术总结机制，在经历重大天气过程以及具有一定预报难度的极端天气发生之后及时进行总结分析和提炼科学问题，形成了业务实践、总结分析与技能提高的良性机制；2007，2009和2011年开展了三次全行业的预报技能竞赛，带动了全国范围的预报技术岗位练兵和预报员业务能力的提升。

### 3 现代天气业务未来发展趋势

根据现代天气业务内涵和发展经验，结合我国气象事业发展的战略目标和“十二五”规划，跟踪国际气象科技发展前沿和发达国家天气业务发展战略，现代天气业务未来发展趋势主要体现在以下四个方面。

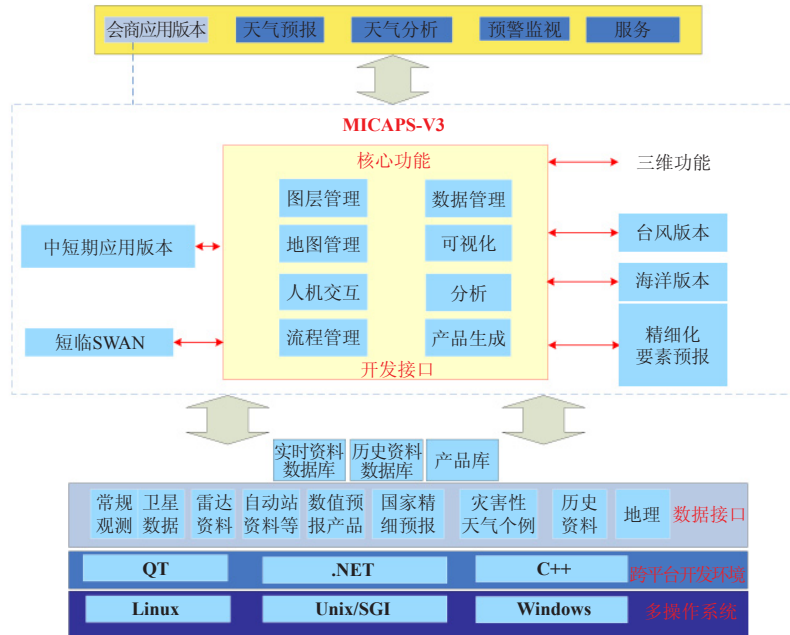


图4 气象信息综合分析处理系统 ( MICAPS 3.0 ) 功能示意图

### 3.1 专业化和精细化仍将是现代天气业务体系未来发展主要方向

通过现代天气业务两年多的发展实践来看，只有“专”才能“精”。发达国家的发展经验也证明，无缝隙、精细化和专业化业务发展有利于天气业务全覆盖和向更精、更细、更专和更深方向发展。比如，美国国家环境预报中心（NCEP）构建了预报时效24h内从分钟到小时、1~7d内逐6h、6~10d、两周、月、季、年等时间尺度上无缝隙预报体系，业务范围涵盖空间、大气和海洋等领域，依托航空天气中心（AWC）、气候预报中心（CPC）、水文气象预报中心（HPC）、海洋气象中心（OPC）、空间天气预报中心（SWPC）、风暴预报中心（SPC）、国家飓风预报中心（NHC）七个专业业务中心，在环境模式中心（EMC）和NCEP业务运行中心（NCO）的支持下，努力满足国家对天气、气候、海洋和空间天气等服务需要。各业务中心在本专业领域努力使产品向精细化和人性化、内容向多灾种和多要素的更完备和无缝隙方向发展。业务服务涵盖气候时空尺度预测、中期展望、短期讨论分析、短时警戒以及临近警报。美国在到2016年的战略规划中提出，通过进一步提高数值模式分辨率和性能，改进快速更新同化分析与预报以及各专业客观预报方法，不断升级业务系统平台，使预报准确率不断提高、预报产品更加精细化、预报时效不断延长。

我国现代天气业务将继续完善专业化布局和提高精细化水平，进一步发展定量降水预报业务，强化

中小河流和山洪地质灾害监测预报和预警，推动定量降水预报向精细化、数字化和高准确率发展，完善各时段定量降水预报、中期过程降水量预报和降水相态预报等天气预报关键性业务，提高降水落区、强度和极端降水的预报能力。拓展各类流域面雨量预报和山洪地质灾害气象风险等级预报业务，努力提高中、小河流的防洪和山洪地质灾害预警能力。进一步强化大城市精细化气象要素预报业务，加强城市下垫面气象条件监测，开展时间分辨率为3h、空间分辨率为5km的网格化的城市气象要素预报，拓展城市暴雨洪涝风险等级预报业务。加强气象灾害监测预警评估业务建设，建立全国灾害性天气精细化监测和预警体系，开展台风、暴雨等主要灾害性天气影响评估的技术研究，建立我国主要气象灾害的致灾指标体系，加强气象灾害风险评估工作，实现天气预报向气象灾害风险评估延伸。

### 3.2 集合预报技术将在天气业务中发挥关键作用

经过20年的发展，集合预报系统已经在业务中发挥了关键性作用，由于集合预报提供未来天气演变的多种可能信息以及概率分布特征，有助于预报员对于复杂天气的科学分析和判断，增强预报信心，集合预报产品已经成为美国天气预报中不可或缺的主流参考产品，因此，集合预报技术的应用，是数值预报技术应用于天气预报业务后的第二次革命。以美国为例，集合预报技术已经广泛地应用于从短时强天气到气候预测的各种时效的天气业务，为现行的天气预报业务提供了有力的支撑。如，美国强风暴预报中

心 (SPC) 针对强对流天气业务需要, 开发了22个成员、分辨率为4km的WRF-NAM短期集合预报系统, 以及目前正在进行试验的分辨率为1km的对流尺度集合预报系统, 为强对流天气分类及其概率预报提供了重要支撑。针对2011年4—5月龙卷季节发生的三次强天气过程, SPC充分应用集合预报, 提前7d较为准确地预报出三次强天气过程。我国全球集合预报系统提供未来10d16个成员的数值预报产品, 在预报时效上无法满足延伸期预报业务的需要; 区域集合预报系统和专业集合预报系统有待建立和完善, 业务上使用的集合预报产品种类和深度加工不足。因此, 健全我国集合数值预报系统, 延长全球集合预报模式时效, 发展区域集合预报系统, 开发专业集合预报系统, 优化集合预报产品应用数据环境和应用平台系统, 将集合预报产品向业务全面推广应用, 是天气预报业务未来发展的必然趋势。

### 3.3 业务水平提高更加依赖于关键预报技术的突破和科研成果转化

现代天气业务实质性地进步和发展, 需要业务关键技术的突破和自主创新, 如, 迫切需要发展集合预报系统和应用技术; 开发全国拼图和多资料QPE系统; 改进气象地理信息系统 (GIS) 以及模式后处理质量控制技术; 基于NCEP和UKMO格点化方案, 研发适用于我国QPF格点化技术; 研发基于数值模式和临近预报融合的强对流短时预报方法; 改进全球静止卫星和极轨卫星显示系统, 实现洋面风拼图及综合应用; 研究基于沿海代表站和浮标站的检验和分析应用技术; 改进基于雷达的台风短临精细化预报业务系统; 发展台风区域数值预报模式应用技术, 充分挖掘中尺度模式信息; 完善卫星微波资料在台风结构和风雨方面的应用技术; 升级各种专业版MICAPS 和SWAN系统等, 切实为现代天气业务的发展提供有利支撑。因此, 新时期现代天气业务的发展, 更加依赖于科技创新和成果转化。美国各业务中心设立专门的技术研发机构, 为其专业化技术持续稳定发展和业务系统不断升级改造提供了有力的保障。更值得借鉴的是, 美国的气象业务和研究单位, 通过试验平台加速科研成果向业务的转化以及业务向科研的反馈, 为科技和业务发展注入了新的活力。目前, 我国也在着手加强国家级业务单位和科研院所的专业技术研发和基

础研究的重点实验室建设, 启动国家级业务单位的中试平台的建设, 旨在提升我国科技创新能力和科研向业务转化效益。

### 3.4 观测—预报模式间互动将成为提高天气预报准确率的新手段

世界气象组织提出的THORPEX计划, 是一项旨在提高1d至2周高影响天气预报准确率的国际研究计划。THORPEX研究计划开展的“资料同化与观测策略研究”中提出目标观测策略, 即为了最大程度地改进预期预报技巧, 利用预报系统信息来确定进行补充观测的地区策略。建立灾害天气的目标观测机制, 实现预报与观测的互动, 将成为未来提高天气预报准确率的新手段。针对台风、暴雨等灾害性、高影响天气, 研究我国灾害性天气发生发展的敏感区, 建立对应的目标观测方案及实施计划, 根据灾害性天气发生时的实际需求启动敏感区加密观测, 逐步建立观测与预报之间的实时互动机制, 提高预报准确率和精细化程度。

建立数值预报的检验订正工作机制, 实现预报员与数值模式的互动。完善数值预报检验, 通过对数值预报产品的对比、检验和偏差分析, 及时反馈预报的不确定性及模式系统缺陷, 进一步改进模式性能, 促进模式的发展。利用预报员对天气形势预报、实况背景信息及经验, 订正模式系统的分析场偏差, 并实时反馈给数值模式重新计算, 以减少模式不确定性, 提高数值模式的可信度。

致谢: 感谢王建捷、魏丽、朱小祥、罗兵、杨瑞林、宗志平、钱传海、毛冬艳、张小玲等对本文做出的重要贡献。

#### 参考文献

- [1] 矫梅燕, 章国材, 曲晓波. 现代天气业务 (上册). 北京: 气象出版社, 2010.
- [2] 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.
- [3] Stuart N A. The future of humans in an increasingly automated weather forecast process. American Meteorological Society, 2006(11): 1497-1502.
- [4] 章国材. 防御和减轻气象灾害. 气象, 2006, 32(3): 3-5.
- [5] 矫梅燕, 龚建东, 周兵, 等. 天气预报的业务技术进展. 应用气象学报, 2006, 17(5): 3-8.
- [6] 矫梅燕. 关于提供天气预报准确率的几个问题. 气象, 2007, 33(11): 3-8.