

全球数据处理和预报系统发展及展望

王毅¹ 周庆亮¹ 代刊¹ 张晓美² 刘向文³

(1 国家气象中心, 北京 100081; 2 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081; 3 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 全球数据处理和预报系统 (GDPFS) 是世界气象组织 (WMO) 世界天气监视网计划中负责制作和向WMO会员提供气象分析和预报产品的业务系统。GDPFS由世界气象中心、区域专业气象中心和国家级气象中心构成三级业务体系。介绍了GDPFS的发展现状和相关数值预报模式的进展, 并分析了GDPFS发展面临的挑战。进一步结合WMO未来“无缝隙GDPFS”的发展战略, 指出无缝隙预报的内涵包括时空尺度无缝隙、学科融合无缝隙和影响预报无缝隙。未来无缝隙GDPFS的发展将聚焦滚动评估用户需求、科技引领业务发展、建立质量管理框架等方面, 实现向WMO会员和各国提供更高质量的天气、水、气候和环境信息, 支持用户做出更明智的决策。

关键词: 无缝隙预报, 世界气象组织, 数值天气预报

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.02.001

Development and Outlook of Global Data-Processing and Forecasting System

Wang Yi¹, Zhou Qingliang¹, Dai Kan¹, Zhang Xiaomei², Liu Xiangwen³

(1 National Meteorological Centre, Beijing 100081; 2 Public Meteorological Service Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081; 3 National Climate Centre, Beijing 100081)

Abstract: The Global Data-Processing and Forecasting System (GDPFS) belongs to the World Meteorological Organization (WMO)'s World Weather Watch plan. It is responsible for preparing and making available to the WMO member's meteorological analyses and forecast products. It is organized as a three-level system of the World Meteorological Centers, the Regional Specialized Meteorological Centers and the National Meteorological Centers. This paper introduced the current status of GDPFS and progress of relevant numerical prediction models. The challenges facing the development of GDPFS are analyzed. Combined with the WMO "seamless GDPFS" strategy, it further pointed that seamless prediction includes seamless time-space scale, seamless discipline integration and seamless impact-based forecast. Future development of seamless GDPFS will focus on rolling review of user requirement, advancement of operation led by science and technology, and quality control system. It is expected that GDPFS will provide better information of weather, climate, water and environmental to make better decisions.

Keywords: seamless prediction, World Meteorological Organization, numerical weather prediction

0 引言

准确的天气、气候、水和环境信息不仅对于人类抵御自然灾害具有重要作用, 也对保障日常社会经济活动的高效和安全以及社会可持续发展的科学决策具有重要意义。1963年, 世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 推出了在全球范围内开展规范、收集、分析、加工和分发天气、气候和其他环境信息的一项核心计划——世界天气监视网

(World Weather Watch, WWW) 计划。它由全球观测系统 (Global Observing System, GOS)、全球通信系统 (Global Telecommunication System, GTS) 和全球数据处理和预报系统 (Global Data-Processing and Forecasting System, GDPFS) 组成。

近年来, 得益于观测技术、电子通信和计算系统的进步, WMO先后发展了WMO信息系统 (WMO Information System, WIS)^[1]和WMO综合观测系统 (WMO Integrated Global Observing System, WIGOS)^[2], 将WWW计划中的GOS和GTS进行了拓展和升级, 逐步实现了全球天气、水、气候及环境等信息的综合观测、实时收集、高效分发和数据共享。全球、区域业务数值预报模式的快速发展为GDPFS构建从全球到区域到国家层面的级联业务体系奠定了

收稿日期: 2019年1月7日; 修回日期: 2019年3月5日
第一作者: 王毅 (1982—), Email: yiwang@cma.gov.cn
资助信息: 气象小型建设项目“全球预报业务能力建设”; 国家重点研发计划 (2017YFC); 科技支撑项目 (2015BAC03B01); 国家重点研发计划 (2018YFF0300104)

直层数达137层。

对于月以上到2年时间尺度的长期预报，全球气候模式是目前GDPFS长期预报中心的主要工具。在海气耦合动力模式基础上，多圈层耦合的高分辨率气候系统模式已成为发展趋势。目前全球气候模式对ENSO的可预报时效在6个月以上，对次季节预报主要信号——大气季节内振荡（MJO）的可预报时效超过两周^[10]。

为解决不确定性问题而提出的集合预报，随着几十年的实践已被实际业务所接受^[11]。集合预报系统已成为各国数值预报中心业务系统的重要组成部分，包括全球集合预报、区域集合预报和对流尺度集合预报。集合预报不仅可以提高长时效预报的稳定性，而且对极端天气的早期预警起到重要作用^[12]。

2 面临的挑战

过去几十年，GDPFS已在全球范围内建立起一套向WMO各成员提供天气、水、气候、环境等产品的有效机制，并通过级联预报体系向发展中国家会员提供支持。然而，社会各界（航空、海事、农业、能源、卫生等）对气象信息的需求愈加精细化、个性化和专业化，目前GDPFS中心的产品还未能完全满足社会经济各部门的新需求；一些国家气象水文部门获取和利用GDPFS中心产品的能力存在差距；临近预报和次季节—季节预报能力还需要提高；发展影响预报和风险预警产品的非传统气象数据还非常欠缺；GDPFS中心提供数据和信息的标准需要进一步统一，并且缺乏友好的通用平台方便用户高效地获取GDPFS的数据。

另一方面，进入21世纪以后，新一轮科技革命和产业变革正在兴起。从云计算、人工智能的发展，机器学习技术、物联网的创新到星载平台（公共卫星和商业卫星）数据的爆炸式增长，包括社会新媒体信息传播、获取方式的转变，这些都是改变天气、气候、水和环境等信息收集、制作和分发传统“游戏规则”的元素。此外，一些私营部门和科研机构也在积极发展相关预报和服务产品。例如，美国天气预报公司AccuWeather一直与Google公司合作，利用云计算和机器学习技术发展逐小时和逐天精细预报^[13]。因此，用户需求、技术创新和外部竞争这三大因素对GDPFS继续发挥WMO核心业务系统的作用提出了挑战，同时也带来了新的机遇。

3 无缝隙预报

为了应对众多挑战和满足未来需求，GDPFS在WMO框架下的发展和演进是当务之急，势在必行。

发展无缝隙预报是WMO及各国气象部门的一大共识。首次世界天气开放科学大会（WWOSC-2014）的主题就是“地球系统无缝隙预报：从分钟到月”^[14]。2017年地球系统科学家学会（YESS）联合世界气候研究计划（WCRP）、世界天气研究计划（WWRP）和全球大气观察计划（GAW）创建的地球系统科学前沿白皮书^[15]，更是将无缝隙预报作为未来几十年科学界指导方针的重要指标，提出从分钟级到世纪尺度、从米到全球空间尺度的预报发展趋势。实际上，无缝隙预报不仅仅意味着打破天气和气候预测的界限，而是在天气、水、气候、环境等领域各个维度上的无缝隙，概括起来体现为三个方面。

3.1 时空尺度无缝隙

月际—季节预报是天气预报和气候预测之间的桥梁，是构建无缝隙预报系统的一个关键部分。2013年，WMO世界气候研究计划（WCRP）、世界天气研究计划（WWRP）联合全球观测系统研究与可预报性试验（THORPEX）发起了次季节—季节（Sub-Seasonal-to-Seasonal, S2S）预测计划。该计划建设的S2S数据库汇集了来自全球11个业务预报中心制作的次季节预报产品（预报时效长达60 d），包括近实时集合预报和集合再预报^[16]。

数值预报模式可以实时生成大气状态的三维网格预报，为无缝隙网格预报提供了技术前提。中国气象局自主研发的全球区域一体化同化预报系统GRAPES，经过十几年的努力，在动力框架、物理过程和变分同化技术等方面均取得显著进展^[17-18]，并且建立了体系完善的全球预报模式、区域中尺度预报模式和集合预报模式系统（表2）。

表2 GRAPES数值天气预报体系
Table 2 GRAPES numerical weather forecast systems

模式	空间范围	预报时效/h	时间分辨率/h	空间分辨率
GRAPES_3KM	区域	36	1	3 km×3 km
GRAPES_MESO/RAFS	区域	84/30	1	0.1°×0.1°
GRAPES_GFS	全球	240	3 h (0~120 h) / 6 h (120~240 h)	0.25°×0.25°
GRAPES_ENS	全球	360	6	0.5°×0.5°

英国气象局发展的统一模式（Unified Model, UM）^[17]基于相同的模式框架构建了无缝隙预报体系，含1.5 km的区域对流尺度模式，几十千米的气候模式及上百千米的地球系统模式（图3）。

3.2 学科融合无缝隙

WMO的S2S计划使得天气和气候研究更加紧密地结合并且相互促进。另外，科学研究越来越倾向于

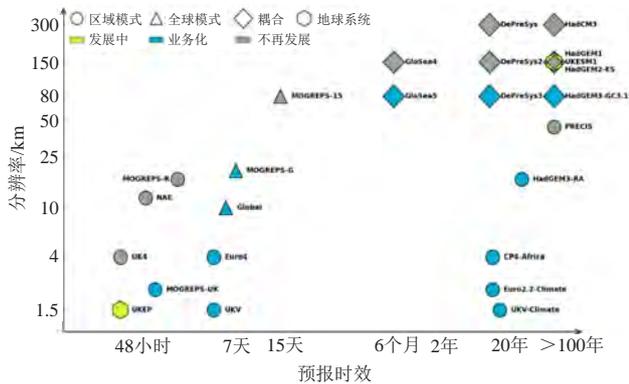


图3 英国气象局统一模式无缝预报体系

Fig. 3 Unified Model seamless modeling hierarchy at the Met Office

将地球系统作为一个整体来考虑。地球作为一个由多时、空尺度过程构成的复杂巨系统，其涉及的学科领域非常广泛，不仅涵盖地球科学各领域，而且与计算机科学密切相关^[18]。相关专业领域的预报服务也需要气象与水文、海洋、海浪和风暴潮、空气质量和沙尘暴、自然资源、能源、旅游、交通等学科的融合，并且一直延伸到整个价值链上，包括观测网络、数值模式、预报制作、专业产品、信息发布、解释应用和用户的决策。

3.3 影响预报无缝隙

每年全球气象灾害的影响都会造成大量伤亡，对财产和基础设施造成极大损害。尽管相关国家气象水文部门已做出了准确的预报和预警，但与民防和应急管理等部门及民众对灾害的潜在影响认识之间存在脱节。例如，2013年超强台风海燕造成菲律宾超过5000人的伤亡，一大原因是民众对风暴潮的影响认识不足^[19]。为了填补这一缝隙，需要发展基于影响的预报和基于风险的预警，开展气象灾害风险评估业务^[20]。

4 无缝隙GDPFS发展展望

在2016年召开的WMO执行理事会第68次界会上，提出了未来无缝隙GDPFS的愿景^[21]：GDPFS将成为一个更加高效和适应性强的业务中心体系，促进WMO会员和合作伙伴帮助用户做出更明智的决策；GDPFS将通过伙伴关系和协作提供基于影响的预报和基于风险的预警；通过以低成本高效益、及时和灵活的方式共享天气、水、气候和相关环境资料及产品来实现这一目的，并惠及所有WMO会员，进一步缩小发达国家会员和发展中国家会员的能力差距。面向无缝隙GDPFS的长远目标，迎接时代发展带来的挑战，未来GDPFS的发展主要包括以下几个方面。

1) 滚动评估用户需求。为了能够满足社会各

部门行业的需求，增加用户对无缝隙预报的理解和认同，首先需要开展滚动评估（Rolling Review of Requirements, RRR）活动。滚动评估可以通过收集、更新用户需求，与现有和计划中的业务系统进行对比，分析评估在哪些领域还存在空白和差距，为GDPFS确立优先重点领域提供指导。

2) 科技引领业务发展。开展以满足用户需求和应用服务为目的的科学研究，加强地球系统多圈层、跨学科的合作研究。利用WIS和WIGOS的先进技术，引入人工智能等创新技术，协调与伙伴组织和私营部门的合作，进而在无缝隙背景下改进所有时间尺度上的预报能力。

3) 建立质量管理框架。通过质量管理（QM）框架建立定期评价机制，确保GDPFS业务中心的能力达到WMO的要求并继续提升。面对来自私营部门预报服务的竞争，加强对GDPFS提供的天气、水、气候和环境等相关产品的检验，保证信息和服务的高质量、可靠性和一致性，满足用户新的和不断变化的需求。

4) 提升无缝隙预报效益。拓展GDPFS的级联预报体系的全球覆盖率，加强天气、气候、海洋等预报系统的整合，增加互操作性。开发通用平台促进用户便捷地获取无缝隙预报信息和产品。将影响数据（如暴露度和脆弱性）、社会经济、地理等信息纳入GDPFS，不仅提高预报的准确性，而且还应该考虑将预报不确定性信息有效传达给用户，不是简单地提供“最佳预报”，而是支持用户做出“最佳决定”。

5 结论

过去几十年，GDPFS作为WMO框架下的核心业务系统，协同WIGOS和WIS为WMO成员提供天气、水、气候、环境等信息和预报产品，为防灾减灾和可持续发展做出了突出的贡献。

为了应对来自用户需求、技术创新和外部环境带来的挑战，未来GDPFS将朝着“综合无缝隙GDPFS”的方向发展，即构建从分钟到年代际，从局地到全球的无缝隙全球数据处理和预报系统。可以预见，无缝隙GDPFS的发展和实施将对WMO成员国和社会各个领域带来巨大益处和广泛的影响，主要体现在：1) 更高质量的天气、水、气候、环境等信息和产品可以促进用户做出更明智的决策，降低各种灾害风险及其潜在影响；2) 促使国家气象水文部门能够以更加集约的方式高效地获取分析和预报信息，有利于为终端用户服务增加附加值；3) 为WMO成员提供应用大数据信息的工具和技术，提升国家气象水文部门的日常业务的自动化和智能化水平；4) 促进观测新技术、

科学研究新成果向业务和服务端的转化，以满足用户的各种需求。

参考文献

[1] 李湘, 王甫棣, 姜立鹏, 等. WIS的实现技术研究及应用. 气象, 2011, 37(10): 1301-1308.

[2] 张文建. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS). 气象, 2010, 36(3): 1-8.

[3] Bauer P, Thorpe A, Brunet G. The quiet revolution of numerical weather prediction. Nature, 2015, 525: 47-55.

[4] 杜钧, 钱维宏. 天气预报的三次跃进. 气象科技进展, 2014, 4(6): 13-26.

[5] Thiaw W M, Kumar V B. Twenty years of developing capacity in weather and climate forecasting in Africa. Bulletin of the American Meteorological Society, 2015, 96: 737-753

[6] WMO-No.1150. WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services, 2015. Available at http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1150_en.pdf.

[7] 曾庆存, 林朝晖. 地球系统动力学模式和模拟研究的进展. 地球科学进展, 2010, 25(1): 1-6.

[8] WMO-No. 485. Manual on the Global Data-Processing and Forecasting System. Available at <http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPFS/Manual/GDPFS-Manual.html>

[9] Harper K, Uccellini L W, Morone L, et al. 50th anniversary of operational numerical weather prediction. Bulletin of the American Meteorological Society, 2007, 88: 639-650.

[10] 宋连春, 肖风劲, 李威. 我国现代气候业务现状及未来发展趋势. 应用气象学报, 2013, 24(5): 513-520.

[11] 杜钧, 陈静. 单一值预报向概率预报转变的基础: 谈谈集合预报及其带来的变革. 气象, 2010, 36(11): 1-11.

[12] Lalaurette F. Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2003, 129: 3037-3057.

[13] 许小峰. 从物理模型到智能分析——降低天气预报不确定性的新探索. 气象, 2018, 44(3): 341-350.

[14] Brunet G, Jones S, Ruti P M. Seamless prediction of the Earth system: from minutes to months. 2015, WMO Rep. 1156. Available online at http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1156_en.pdf.

[15] Florian R, Mohammad A, Steve A, et al. Earth system science frontiers: an early career perspective. Bulletin of the American Meteorological Society, 2017, 98(6): 1120-1127.

[16] Vitart F, Ardilouze C, Bonet A, et al. The subseasonal to seasonal (S2S) prediction project database. Bulletin of the American Meteorological Society, 2017, 98: 163-173.

[17] 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, 2016, 17(6): 773-777.

[18] 沈学顺, 苏勇, 胡江林, 等. GRAPES_GFS全球中期预报系统的研发和业务化. 应用气象学报, 2017, 28(1): 1-10.

[19] Brown A, Milton S, Cullen M, et al. Unified modeling and prediction of weather and climate: a 25-year journey. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93: 1865-1877.

[20] 王斌, 周天军, 俞永强, 等. 地球系统模式发展展望. 气象学报, 2008, 66(6): 857-869.

[21] Yasuhito J, Shuichi K, Miwa K, et al. Analysis of early warning systems: the case of super-typhoon Haiyan. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2016, 15: 24-28.

[22] 陈海燕, 雷小途, 潘劲松, 等. 气象灾害风险评估业务发展研究. 气象科技进展, 2018, 8(4): 18-21.

[23] 王建婕. WMO基本系统委员会资料加工和预报系统实施协调组会议简介. 气象科技合作动态, 2018, (5): 18-22.

《大气物理学》正式出版

黄红丽



近日, 由南京信息工程大学大气物理学院银燕教授团队精心编著的《大气物理学》正式出版。不求大而全, 但求少而精, 力求把所讨论的问题讲透彻, 主要集中在大气热力学、大气辐射、云降水物理及与雾霾关系密切的大气气溶胶。

《大气物理学》在传统大气物理理论和基本自然现象讨论基础上, 吸收国内外经典教材和最新研究成果, 对重点内容提出深入浅出、理论完整的编写框架。全书共分5章, 从大气物理学的研究内容、近期发展、大气基础知识开始, 重点介绍如何应用热力学原理研究大气热力学过程、水的

热力学属性、大气中主要热力学过程、热力学图解应用、大气静力稳定度分析等以及辐射的基本概念、大气吸收和大气散射、辐射传输方程和地球—大气辐射过程等。针对大气科学领域内普遍关注的云降水物理过程和大气气溶胶机理, 着重介绍了云雾形成的宏-微观特征和机制, 云粒子的核化理论, 水滴冰晶的增长机理, 典型降水理论, 气溶胶的化学组成及来源估计, 气溶胶的观测与测量, 对流层气溶胶的气候学特征等。

本书以大专院校和科研院所大气科学、大气物理学、大气环境、应用气象学、气候学、海洋科学等专业学生为主要对象, 也可以作为气象、海洋、环境、电力等业务部门, 以及大气科学类相关从业者的教学和研究参考书。

(作者单位: 气象出版社)