

# 世界气象中心履职路径及发展状况对比

张滨冰<sup>1</sup> 吕丽莉<sup>1</sup> 刘爽<sup>2</sup> 那晓丹<sup>3</sup>

(1 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 中国气象局气象发展与规划院, 北京 100081; 2 国家气象中心(中央气象台), 世界气象中心(北京)运行办公室, 北京 100081; 3 中国气象局国际合作司, 北京 100081)

**摘要:** 为了有效推进“全球监测、全球预报、全球服务”业务能力高质量发展, 本文系统梳理了WMO综合处理和预报系统(WIPPS)的设立和升级过程、WIPPS产品应用情况问卷调查结果, 并且对比了五个主要世界气象中心的发展路径。结果表明, WIPPS延用了全球资料加工预报系统(GDPFS)的三级业务框架, 为会员国提供高质量的数据和产品服务。调查问卷结果显示超过九成的WMO会员会经常使用世界气象中心、区域专业气象中心等中心共享的研究资料和预报产品来提升本国/本区域的气象服务能力。其中, 六区协(欧洲)借助WIPPS体系充分发挥了自身资料加工能力强的特点, 通过加强资料共享不断提升国际影响力。我国目前尚未有中心被认定为全球牵头中心, 但我国也提供了一系列特色区域专业服务, 如沙尘暴、区域气候、海洋气象等。在海洋气象服务方面, 受限於我国气象系统与海洋系统分属不同部门, 在海浪数值预报与服务方面, 与其他中心如邻国日本等尚存在差距。我国数值预报水平与欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、英国、日本等尚存在一定差距。当前主要世界气象中心制定了一系列发展战略方案以提升预报水平, 增强创新能力与科研能力, 这也对加快提高我国数值预报能力、切实提高国际中心履职能力提出了更紧迫的要求。

**关键词:** WIPPS, 世界气象中心, WMO区协, 履职职能, 发展对比

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.01.004

## Comparison of the Performance Path and Development of World Meteorological Centres

Zhang Binbing<sup>1</sup>, Lyu Lili<sup>1</sup>, Liu Shuang<sup>2</sup>, Na Xiaodan<sup>3</sup>

(1 CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, Institute for Development and Programme Design, China Meteorological Administration, Beijing 100081; 2 National Meteorological Centre (Central Meteorological Observatory) and the World Meteorological Centre (Beijing) Operation Office, Beijing 100081; 3 International Cooperation Department, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** To promote high-quality development of “three global” operation capacity, this paper presents a comprehensive analysis of the establishment and upgrading of WIPPS, the questionnaire survey results of WIPPS product application, and compares the development paths of five major world meteorological centres. The results show that WIPPS has maintained the three-level operational framework of GDPFS, providing high-quality data products and services to WMO Members. According to questionnaire results, more than 90% of WMO Members use the research data and forecast products shared by WMC, RSMC and other centres on a regular basis to enhance their national/regional meteorological service capacity. In particular, Regional Association VI (Europe) have leveraged their strong data processing capabilities with the assistance of the WIPPS system and have enhanced their international influence through data sharing. None of the operational centres in China has been recognized as a global leading unit in this field, but China has provided a range of specialized regional services such as sandstorm, regional climate, and marine meteorology. In terms of numerical forecast and services of ocean waves, there remains a gap compared to other centres such as Japan due to the separation of China’s meteorological and marine systems. China’s numerical forecast level has a notable gap compared to that of advanced centres such as EC, the United Kingdom, and Japan. The major world meteorological centres have formulated a series of strategic development plans to improve the level of forecasting and enhance the ability of innovation and scientific research. Thus, more urgent demand has been put forward for accelerating the improvement of China’s numerical weather prediction capabilities and elevating the international centres’ duty performance abilities.

收稿日期: 2023年12月28日; 修回日期: 2024年2月4日  
第一作者: 张滨冰(1997—), Email: lynn97426@163.com  
通信作者: 吕丽莉(1987—), Email: lililyu@hotmail.com  
资助信息: 中国气象局气象软科学重点项目(2024ZDIANXM14);  
中国气象局气象发展与规划院专项研究项目  
(JCYJ20230103)

**Keywords:** WIPPS, World Meteorological Centre, regional associations of WMO, duty performance, development contrast

## 0 引言

自恢复在世界气象组织(WMO)合法席位50年以来,我国承担了WMO世界气象中心等26个国际业务中心职责,是全球气象数据、产品和服务的重要贡献者。为了扩大我国气象事业的国际影响力,有效推进全球监测、全球预报、全球服务(简称“三个全球”)业务能力高质量发展,本文系统梳理了世界气象中心设置背景与过程,基于WMO组织开展的WMO综合处理和预报系统(WMO Integrated Processing and Prediction System, WIPPS)预报产品应用情况问卷调研结果分析了各会员对三级气象中心的产品需求和各区协预报产品加工水平分布情况,对比分析了包括中国在内的五个主要世界气象中心的履职职能、业务水平和战略计划,围绕我国国际业务发展现状展开分析和思考,力求为我国进一步加强国际气象业务统筹协调管理能力,提升全球气象国际竞争力提供参考。

## 1 世界气象中心设置背景与过程

1967年,WMO批准了“世界天气监视网计划(World Weather Watch, WWW)”,确定全球资料加工系统(Global Data-processing System, GDPS)为其三大业务体系之一。GDPS历经多年发展,先后升级为全球资料加工预报系统(Global Data-processing and Forecasting System, GDPFS)和无缝隙全球资料加工预报系统(Seamless GDPFS),并于2023年第19次世界气象大会升级为WIPPS。WIPPS延用了GDPFS的业务框架,由世界气象中心(World Meteorological Centre, WMC)、区域专业气象中心(Regional Specialized Meteorological Centre, RSMC)和国家气象中心(National Meteorological Centre, NMC)三大部分组成,履行在全球范围内提供高质量预报产品和服务的职能。

### 1.1 GDPS设立过程

1962年6月,世界气象组织执行理事会第14次届会提出了“世界天气监视网计划”。1967年4月,世界气象组织第5次世界气象大会正式批准了该计划,并确定其业务体系由全球观测系统(Global Observing System, GOS)、全球电信系统(Global Telecommunication System, GTS)和GDPS三部分组成<sup>[1]</sup>。其中,GOS承担优化全球大气和海洋观测系统以及规范观测技术和观测网作业要求的职能,GOS也是当前WMO全球综合观测系统(WMO Integrated Global Observing System, WIGOS)的关键组成部分;GTS是一个地面和卫星电信链路的综合网络,由各国运营的气象电信中心相互连接,实时收集和分发所有气象数据和预报警报信息,历经多年发展演变形成

了今天的WMO信息系统(WMO Information System, WIS);GDPS作为WWW的核心部分,主要承担加工气象资料,为WMO成员提供预报预测等信息服务的职责。在WWW第一个执行计划期,GDPS设置了三级气象中心运营体系:世界气象中心、区域气象中心和国家气象中心,分别在全球、区域和国家层面履行气象数据资料加工职能。1987年5月世界气象组织第10次世界气象大会同意引进“区域专业气象中心(Regional Specialized Meteorological Centre, RSMC)”的概念,截至当前,已逐步把区域气象中心全部过渡为区域专业气象中心。

### 1.2 GDPS更名为GDPFS并细化三级气象中心业务要求

2003年5月世界气象组织第14次世界气象大会依据WMO基本系统委员会2002年特别届会的建议,将GDPS改为GDPFS。相较于GDPS,GDPFS在加强实时及非实时数据、产品、服务共享的同时,更加强调预报产品、技术的高效共享。GDPFS为提升履职能力,明确并细化了三级气象中心职责范围和运作模式<sup>[2]</sup>,图1反映了GDPFS三级气象中心的主要工作职责:1)世界气象中心作为先进的数值天气预报中心,负责开展全球确定性数值天气预报、全球集合数值天气预报和全球长期数值天气预报;2)区域专业气象中心的主要职责包含一般性工作、特殊工作及协调验证工作等三种类型,前两种属于实时活动,由普通区域专业气象中心承担,而第三种属于非实时活动,由专业水平较强的牵头中心承担。具体而言,一般性活动主要为满足基本业务需求;特殊活动主要为针对特定类型的用户和业务量身定制的服务;非实时类活动主要为协调验证工作,为会员应用RSMC产品提供帮助。3)国

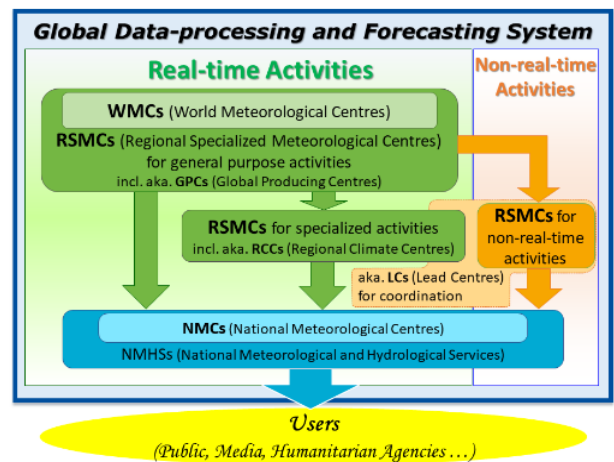


图1 GDPFS三级气象中心工作职责划分示意图<sup>[2]</sup>  
Fig. 1 Schematic diagram of the division of responsibilities of the GDPFS three-level meteorological centre

家气象中心主要负责在本国/本区域范围内应用其他中心提供的产品及自主研发产品，加强本国/本区域预报和预警服务水平。

在GDPFS框架下，在全球范围内形成了22类总计137个专业气象中心，对提高WMO成员预报和服务能力起到了重要作用。根据WMO相关网站显示，截止2020年，193个会员中超过95%的会员能够自主运行数值天气预报模式，比例相较1990年提高近2.5倍，并且临近预报模式和海浪模式数量超过了40个，呈现了快速增长态势<sup>[3-4]</sup>。

### 1.3 GDPFS升级为WIPPS

2022年9月，世界气象中心气候预测系统专家小组提出通过运用大数据、云计算、人工智能、机器学习等方式提升气象、气候、水文、海洋等领域的预报水平，将GDPFS升级为无缝隙GDPFS(Seamless GDPFS)，使GDPFS成为一个更有效且适应性强的监测预测系统<sup>[5]</sup>。

2023年第19次世界气象大会将GDPFS升级为WIPPS，更加强调地球系统理念<sup>[2]</sup>，通过应用地球系统模型逐步实现海洋、大气、冰冻圈、生物圈、陆地系统、全球碳循环等系统的耦合，从而实现更加精准的天气和气候预报预测。截止到2023年底，在WIPPS框架下，在全球范围内形成了23类总计142个专业气象中心，相较GDPFS增加了1类5个专业气象中心<sup>[6]</sup>。

GDPFS经历无缝隙GDPFS阶段后，正式确定为WIPPS，实现了由气象预报系统向地球综合系统的逐步过渡，从而能够更好地为会员国提供高质量的数据和产品服务，满足用户对环境数据产品服务日益增长的需求。

### 1.4 WIPPS未来工作要求

2022年联合国秘书长在世界气象日上呼吁由WMO牵头执行全民早期预警倡议，2023年第19次世界气象大会正式通过了《WMO 2024—2027年战略计划》。该计划的顺利执行除了依托WMO现有活动及伙伴关系，如WMO全球多灾种预警系统(Global Multi-hazard Alert System, GMAS)、系统观测融资机制(Systematic Observations Financing Facility, SOFF)和气候风险和早期预警系统倡议(Climatic Risk and Early Warning Systems, CREWS)等外，还必须依托人道主义和公共团体、国际金融机构和金融机制等运营实体的大力支持<sup>[7-8]</sup>。

作为牵头单位的WMO将大力发挥作为一个科技组织的特色，基于会员的需求，尤其是资源最贫乏的会员的需求，加强WMO区域和全球基础设施，如全球基本观测网(Global Basic Observing Network,

GBON)和WIPPS的建设，从而高效地支持会员提供有效的预警服务。这也对WIPPS提出了更高的要求。大会也对WIPPS框架进行了适当拓展，通过了“全球温室气体监视网决议”和“应对冰冻圈变化的全球和区域影响的优先事项”，将“全球温室气体监视网”部分业务及极地和高山地区监测预警纳入WIPPS框架，确保WIPPS能够在“早预警—早行动”的价值周期内更好地提供服务<sup>[9]</sup>。

## 2 各区协WIPPS预报产品需求及加工能力建设情况

2021年WMO基于各会员应用WIPPS预报产品情况和预报产品加工处理能力建设情况开展了问卷调查，193个会员中共有114个会员响应了此次调研活动。其中，91.2%会员反馈在提供本国或本地区气象服务时需要应用WIPPS预报产品，然而部分会员反馈自身不具备进一步加工处理WIPPS预报产品的能力<sup>[10]</sup>。

### 2.1 数据产品应用情况

WMO绝大多数会员需要应用WIPPS的预报数据产品为本国气象服务提供支撑；还有部分会员额外掌握未公开的观测数据，他们中大部分愿意把这些数据共享给世界气象中心或区域专业气象中心。

图2显示了WMO六个区域协会会员反馈结果的分布情况，有104个会员反馈会使用WIPPS提供的预报产品，其中一区协的会员占比最多，高达38.5%。在各项预报产品中，网格数据产品和表格数据产品最受欢迎，约72.1%的会员会应用网格数据产品，约69.3%的会员会使用表格数据产品。此外，有83个会员国反馈还额外掌握未传送到GTS或WIS的观测数据，有71个掌握额外观测数据的会员愿意把这些数据共享给世界气象中心或区域专业气象中心。83个额外掌握观测数据会员中有24个来自六区协(欧洲)，约占六区协会员总数的一半，表明六区协整体的观测水平发展较为均衡，处于整体相对发达的水平。

### 2.2 预报产品加工能力

一、二、三、四及六区协共108个会员反馈了关于预报产品加工能力的调研结果，有91个会员反馈拥有自主运行数值预报模式的能力，其中超过85%的会员能够运行区域性数值预报模式，约30%的会员能够运行全球性数值预报模式。有79个会员反馈有能力进一步加工数值预报信息产品，其中六区协高达86%的区协会员具备加工能力，表明六区协整体数值预报信息产品加工能力较强，而一区协在这方面的能力较弱，仅有48%的区协会员具备加工能力，相较于平均水平低24个百分点(图3a)。根据调研结果，拥有自主

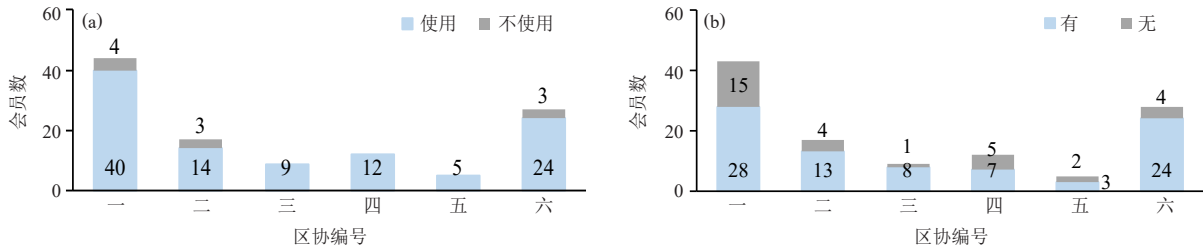


图2 各区协会员数据应用情况调研结果<sup>[6]</sup>  
(a) 是否应用WIPPS预报产品; (b) 是否有未传送到GTS/WIS的观测信息  
Fig. 2 Survey results of data application of regional association members

(a) Whether to apply WIPPS forecasting products; (b) Does it have observations that have not been transmitted to GTS/WIS

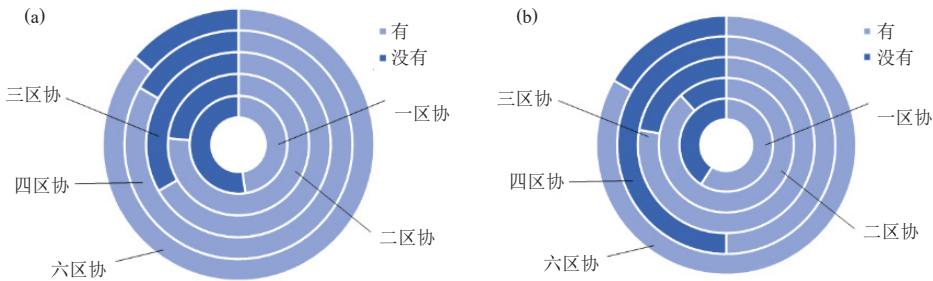


图3 各区协会员数值预报资料加工处理能力调研结果<sup>[6]</sup>  
(a) 是否能进一步加工数值预报产品; (b) 是否拥有自主开展天气预报、数据分析及数据可视化的综合系统  
Fig. 3 Survey results of numerical forecasting data processing capacity of regional association members

(a) Whether the numerical forecast products can be further processed; (b) Does it have an integrated system for weather forecasting, data analysis and data visualization

运行数值预报产品加工能力的会员通常使用高性能计算机和 workstation 加工数值预报信息产品，这也对其他不具备产品加工能力的会员的硬件水平提出了更高的要求。有83个会员拥有自主开展天气预报、数据分析及数据可视化的综合系统，其中二区协和六区协拥有自主综合系统的会员数量占比最高（88%，83%），而四区协仅有一半会员拥有综合系统，占比较少（图3b）。

总的来说，虽然大多数WMO会员自身具备运行数值预报模式的能力，但仍然有部分会员由于缺乏加工预报资料设备与算力水平的支撑及相应的技术水平而不具备这一能力。从本次调研情况来看，一区协能够自主运行数值预报模式会员占比较少且预报资料加工处理能力较弱，二区协应用综合系统的会员占比最多，三区协自主运行数值预报模式能力的会员占比最高，四区协有能力加工预报资料的会员占比较高但有综合系统的会员占比最低，六区协运行数值预报模式能力及预报资料加工处理能力都相对较强。

### 3 世界气象中心履职情况对比

#### 3.1 世界气象中心认定及分布情况

截至目前，WMO分四批认定了10个世界气象中心。1967年，WMO首批认证了俄罗斯莫斯科、美国华盛顿、澳大利亚墨尔本3个世界气象中心；2017年

5月，WMO执行理事会第69次届会认定ECMWF、英国埃克塞特、加拿大蒙特利尔、日本东京和中国北京等5个中心为第二批世界气象中心；2018年，WMO执行理事会第70次届会认定德国奥芬巴赫为世界气象中心；2021年6月，WMO执行理事会第73次届会认定法国图卢兹为世界气象中心。

当前，共有5个世界气象中心设置在欧洲（六区协），2个世界气象中心设置在亚洲（二区协），2个世界气象中心设置在北美洲（四区协），1个世界气象中心设置在大洋洲（五区协），非洲（一区协）和南美洲（三区协）暂时还未设置世界气象中心。

本文选取了预报水平和履职能力领先的5个主要世界气象中心开展对比研究，其中包括欧洲ECMWF、英国埃克塞特、美国华盛顿、日本东京和中国北京。

#### 3.2 WIPPS框架下世界气象中心承担的主要职责对比

WIPPS组织开展的各项工作主要由各世界气象中心和区域专业气象中心承担，其中世界气象中心需在全球范围内开展数值预报工作，区域专业气象中心基于专业领域开展预报、预警等工作。截至2023年，WIPPS共发布23项工作，各主要世界气象中心均承担多项工作。表1梳理了目前五个中心承担的主要

职责<sup>[10]</sup>。除了作为世界气象中心均需承担的全球确定性数值预报、全球集合数值天气预报和全球数值长期预报外，各中心还在WIPPS框架下作为专业气象中心承担多项专业气象服务工作。从表1中可以看出，欧洲ECMWF虽然提供的专业气象服务种类没有其他几个中心多，但少而精，是全球唯一牵头了两项检验协调工作的世界气象中心。作为牵头中心，ECMWF组织各中心交换验证结果，从而提供不同中心的数值天气预报产品检验信息；同时ECMWF还为海洋学和海洋气象学联合技术委员会提供设施，并维护海洋预报验证统计信息的存档。日本东京提供的专业气象服务种类最多，同时在数值预报领域也有很强的实力，负

责协调集合数值预报系统检验。英国埃克塞特和美国华盛顿提供的专业气象服务种类比较相近。相较于美国，英国还提供了数值海浪预报，并承担着1~10 a气候预报牵头协调工作，主要负责收集其他中心的预测结果并检验这些信息的准确性。而美国则与韩国首尔共同担任WMO长期多模式集合牵头中心，负责汇集和开放共享全球预报中心的预报信息，以提高长期区域性预报的可靠性。当前全球5个牵头中心有2个在欧洲，分别由ECMWF和英国承担；1个在北美，由美国承担；2个在亚洲，分别由日本和韩国承担。中国北京目前尚未被认证为牵头中心，未来在提升数值预报能力及国际影响力方面仍然任重而道远。

表1 五个主要世界气象中心承担WIPPS主要职责汇总  
Table 1 Summary of the WIPPS work mandated by the five major WMCs

中心	欧洲ECMWF	英国埃克塞特	美国华盛顿	日本东京	中国北京
世界气象中心	世界气象中心； 全球确定性数值预报；全球集合 数值天气预报	世界气象中心； 全球确定性数值预报； 全球集合数值天气预报	世界气象中心； 全球确定性数值预报	世界气象中心； 全球确定性数值预报； 全球集合数值天气预报	世界气象中心； 全球确定性数值预报； 全球集合数值天气预报
区域专业气象 中心等	全球数值长期预报； 全球确定性数值预报检验； 海浪预报检验	全球数值长期预报； 1~10 a气候预测； 数值海浪预报； 核环境应急响应； 国际空中火山观测服务； 海洋气象服务	区域气候预测与监测； 核环境应急响应； 国际空中火山观测服务； 海洋气象服务	全球数值长期预报； 数值海浪预报； 临近预报； 区域气候预测与监测； 热带气旋预报； 核环境应急响应； 国际空中火山观测服务； 海洋气象服务	全球数值长期预报； 区域气候预测与监测； 核环境应急响应； 沙尘暴预测； 海洋气象服务
牵头中心	协调确定性数值天气预报检验； 协调海浪预报检验	协调1~10 a气候预报	协调多模式集合预测以 进行长期预报	协调集合数值预报系统检验	

虽然中国北京未被认定为牵头中心，但也承担了一些有特色的区域专业服务。中国北京是全球沙尘暴预测工作的中心，表明中国沙尘暴预报水平与研究能力受到广泛的国际认可。虽然中国承担了海洋气象服务，但是受限于我国气象系统与海洋系统分属不同部门的限制，截至目前，并没有承担海浪数值预报与验证服务。我国是海洋大国，随着“一带一路”倡议的发展，精准海洋气象预报尤其是海浪预报服务需求也日益增长，在此背景下，进一步加强海浪数值预报是大势所趋。相比之下，日本在海浪数值预报领域的工作要更有成效。

#### 4 主要世界气象中心最新进展及未来发展战略：以NWP水平提升为例

##### 4.1 主要世界气象中心全球性预报水平现状及最新进展

图4对比分析了主要世界气象中心的全球数值预报模式现状，可以看出当前ECMWF业务模式的各项性能指标都相对领先。ECMWF全球数值天气预报水平处于世界第一梯队，英国处于第二梯队，澳大利亚、加拿大、德国、美国、日本处在第三梯队，中国

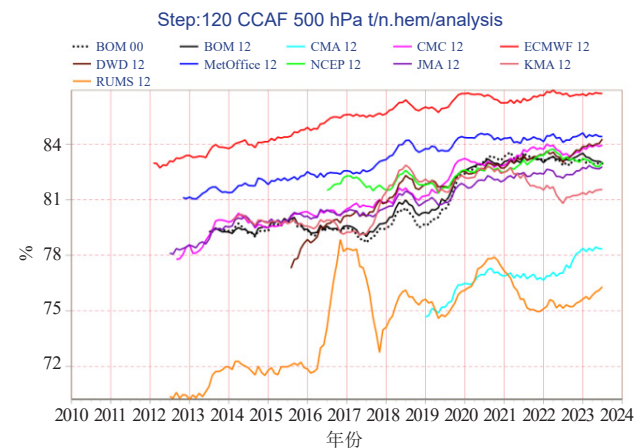


图4 世界主要气象机构的全球数值天气预报水平对比 (2010—2024年500 hPa高度5天预报ACC对比图) (来源: WMO确定性数值天气预报验证中心)  
Fig. 4 Comparison of global numerical weather prediction levels of major meteorological agencies in the world (ACC comparison chart of 5-day forecast for 500 hPa altitude from 2010 to 2024)

与其他中心尚存在一定的距离。

表2梳理了五大主要世界气象中心全球数值天气预报模式参数：各中心全球天气预报业务模式大约有30~50个集合成员，水平分辨率主要集中在

9~35 km, 垂直层数集中在100层左右。ECMWF的各项预报模式参数都处于领先水平。ECMWF中期集合预报模式(ENS)和高分辨率预报模式(HRES)的水平分辨率均达到9 km, 垂直层数为137层, 集成员数有51个, 这三项预报模式参数都是五大主要世界气象中心中的最优水平。英国气象局UM预报模式水平分辨率达到10 km, 也处于领先水平, 仅比ECMWF低

1 km。日本气象厅预报模式集成员数达到51个, 与ECMWF数量相同。当前中国气象局预报模式各项参数与其他主要世界气象中心还存在一定差距, 中国气象局预报模式水平分辨率为12.5 km, 与ECMWF相比差3.5 km; 垂直层数为87层, 与ECMWF相比差50层; 集成员数31个, 与ECMWF和日本气象厅相比差20个。

表2 五个主要世界气象中心全球集合预报模式参数  
Table 2 Parameters of global ensemble forecast models of the five major WMCs

机构	模式	水平分辨率	垂直层数(模式顶)	集成员数	预报频次/UTC	预报范围/d
欧洲中期天气预报中心(ECMWF)	IFS-ENS	9 km	L137	51	00, 06, 09, 12, 15, 18, 21	0~15
	IFS-HRES	9 km	L137		00, 06, 12, 18	0~10
美国国家环境预报中心(NCEP)	GEFSv12	25 km	L64	31	00, 06, 12, 18/00	16/35
	GSM	0.1250°(TQ959)		51	06, 18/00, 12	5.5/11
日本气象厅(JMA)	GEPS	0.25°(TQ479) 13 km	L128(0.01 hPa)	51/25	06, 18/00, 12	5.5/11/18/34
	UM	10 km	L70(80 km)		00	6/2.5
英国气象局(UK Met Office)	MOGREPS-G	20 km	L70(80 km)	18	00, 12/06, 18	0~7
	CMAGFS	12.5 km	L87	31	12	0~15

为了提升全球气象预报水平, 各主要世界气象中心持续优化预报模式, 更新系统性能, 预报准确率也不断提高。近年来五个主要世界气象中心都通过升级数值预报系统, 改进参数配置, 提升要素完备度, 降低预报偏差。ECMWF在2023年将综合预报系统(Integrated Forecasting System, IFS)升级为Cycle 48r1, 将中期集合预报的水平分辨率从18 km提升到9 km, 并改进了积雪预报模式, 采用多层雪参数替代单层雪参数<sup>[11]</sup>, 这些升级让ECMWF部分ENS的高空参数预报评分提升了1%~3%, 地面参数预报评分提升了2%~6%。英国气象局从2015年开始配置超级计算机Cray XC40, 在2019年开始实施Parallel Suite 43, 改进大气过程表示方式, 优化显示模拟集合预报过程, 并在2022年开始部署下一代地球系统模式(National Groundwater Modelling System, NGMS), 以综合分析气象、海洋和环境变化情况。美国NOAA在2020年将全球集合预报系统GEFS升级为12版本, 运用新的模式扰动技术的同时, 将集成员数从21个增加到31个, 水平分辨率也增加到25 km。日本JMA在2023年将全光谱模式(Global Spectral Model, GSM)的垂直层数从100个增加到128个, 水平分辨率从20 km提升到13 km, 并将全球集合预报系统(Global Ensemble Prediction System, GEPS)两周预报集成员数增加到51个。我国2022年对数值预报系统CMA-GEPS和CMA-GFS进行同步技术改进, 垂直坐标升级为混合垂直坐标, 形成CMA-GEPS 1.3版本, 在中长期预报中识别大范围强降雨、确定降水区域的能力更

强, 在短期预报中精准锁定降水落区和发生时段的能力更优, 台风路径预报的误差降低13%, 强度预报误差降低33%, 集合平均的可用预报天数提高了0.4 d。

#### 4.2 主要世界气象中心全球数值预报水平未来发展策略

当前, 各主要世界气象中心制定了未来提升预报能力, 增强气象服务效益的战略方案。各中心未来发展策略主要包括应用无缝隙地球系统模式、高性能计算机、人工智能等技术手段提升预报水平; 通过建立合作网络, 搭建社区平台等方式增强创新能力与科研能力, 提升服务效益。

处于预报水平第一梯队的ECMWF通过推动地球系统建设, 优化预报和服务水平。《ECMWF 2021—2030年战略计划》提出了科学技术、影响效益、组织人员的三层战略框架<sup>[12]</sup>。在科学技术方面, 通过搭建无缝隙地球系统, 实现天气和地球系统科学建设, 并通过高性能计算机和人工智能推进数字孪生地球, 实现数值天气预报尖端技术突破。在影响效益方面, 通过地球系统反馈多时段详细天气信息以提供高质量预报产品; 实施开放数据政策, 共享多项数据集; 开设培训课程, 帮助用户有效利用数据资源。在组织人员方面, 通过搭建内部通讯系统, 建立多点企业文化; 通过营造分布式、灵活且有弹性的工作环境, 提高生产效率。

英国气象局通过建设超级计算机, 不断优化算力水平和配套设施。《Met Office 2022—2027年数据科学框架》中提出了由“能力建设、人才建设、合作交流”

三个支柱支撑的数据科学框架<sup>[13]</sup>。在能力建设方面，通过计算机仿真和机器学习等方式提升归因能力、数据科学融合模拟能力、不确定性转化能力和从数据到决策的能力四个重要能力。在人才建设方面，通过组建信息实验团队，指导和协调气象局数据科学活动。在合作交流方面，通过广泛开展交流合作，寻求有互补专业知识的合作伙伴，不断扩大伙伴关系网。

美国NOAA通过搭建社区，促进多学科领域的协作交流。NOAA发布的《天气项目办公室2022—2026战略计划》提出包括“合作交流、效益发挥、系统建模、设施优化”四方面的战略目标<sup>[14]</sup>。在合作交流方面，以社区为基础促进多学科领域的协作交流，与学术、政府和行业伙伴建立气象研究及发展合作网络。在效益发挥方面，改进对重大天气的预报和服务能力，优化气象信息在社会中的传播、应用，促进气象信息发挥效益。在系统建模方面，以社区为基础的地球系统建模方法，支撑统一预报系统（Unified Forecast System, UFS）优化升级。在设施优化方面，与首席信息官办公室合作，加强观测系统、计算系统、人工智能、科学数据库等基础设施建设。

日本气象厅计划通过优化和开发数值预报模式，提升极端天气的预报准确率，并提升气象社会服务效率。《2030年日本气象厅数值预报战略计划》提出进一步推动数值预报模式的开发是实现预测创新的关键路径<sup>[15]</sup>。日本气象厅计划通过将局部地区水平分辨率提升至1 km以内和发展集合预报系统等方式提升暴雨天气预报准确率；通过将用于台风预报的全球模式的网格间距提升到10 km等方式改善台风预报能力；通过开发分层地球模式系统和高分辨率的海洋模式，优化气象社会服务能力；通过开发高分辨率区域气候模式，提前10~100 a预测极端天气现象和海平面变化情况，以应对全球气候变化。

## 5 结论

作为世界天气监视网计划三大业务体系之一的GDPS历经多年发展，成为了当前的WIPPS，更加强地球系统理念，同时也延用了GDPFS的三级业务框架，为会员国提供更高质量的数据和产品服务。从WMO开展的问卷调查结果来看，超过九成的WMO会员均会使用WIPPS提供的预报产品。虽然有超过一半的会员能够自主运行国家/地区数值预报模式，但能够运行全球性数值预报模式的会员占比较少，因此全球相关预报资料需要依靠世界气象中心等中心提供支持，并且将近三成的会员需要依靠世界气象中心、区域专业气象中心等中心共享的研究资料和预报产品来

提升本国/本区域的气象服务能力。近年来，六区协充分发挥自身资料加工能力强的特点，不断提高资料共享力度，通过加强用户粘度提升了自身国际影响力。

当前全球5个牵头中心有2个在欧洲，1个在北美，2个在亚洲。虽然中国北京未被认定为牵头中心，但承担了一些有特色的区域专业服务，如沙尘暴、海洋服务等。受限于我国气象系统与海洋系统分属不同部门的限制，截至目前，我国并没有承担海浪数值预报与验证服务，相比之下，日本在海浪数值预报领域的工作更有成效。

当前ECMWF全球数值天气预报水平处于世界第一梯队，英国处于第二梯队，澳大利亚、加拿大、德国、美国、日本处于第三梯队，而我国预报水平与其他先进气象中心相比还存在一定差距。近年各主要世界气象中心通过发展无缝隙地球系统模式、高性能计算机、人工智能等技术手段提升预报水平，增强创新能力与科研能力，这在某种程度上也对我国加快提高气象数值预报能力提出了更高要求。当前，我国履职能力与其他主要世界气象中心仍有一定差距，在提升数值预报能力及国际影响力方面仍然任重道远，需进一步梳理和学习其他中心的先进做法，为我国提升业务水平和国际影响力提质增效。

2023年第19次世界气象大会选举产生了新一届WMO领导班子，WMO主席由阿联酋国家气象局局长阿卜杜拉·艾哈迈德·阿尔曼杜斯担任，WMO秘书长由阿根廷国家气象局局长塞莱斯特·绍罗担任。塞莱斯特·绍罗是WMO首位女性秘书长，也是首位南美籍秘书长。绍罗认为气候变化是我们这个时代全球面临的巨大威胁，她将强化WMO在区域层面的工作，推动早期预警服务，就全民早期预警倡议等内容保持与联合国、合作单位和私营部门的密切联系。WMO将围绕全民早期预警倡议平等倾听所有会员的声音，优先考虑最脆弱会员的需求，实现未来五年全球人人享有预警。在此框架下，WMO将继续拓展在WIPPS框架下的业务活动，确保WIPPS能够在“早预警—早行动”的价值周期内更好地提供服务。

### 参考文献：

- [1] 周庆亮. 世界气象中心的设置、认定与履职简析[J]. 气象科技进展, 2018, 8(4): 129-131.
- [2] WMO. GDPFS white paper[R]. Geneva, 2016.
- [3] WMO. Status of operation of numerical models at WMO GDPFS centers for 2020[R]. Geneva, 2021.
- [4] WMO. Monitoring and evaluation[EB/OL]. Geneva, 2023. <https://community.wmo.int/en/planning-and-monitoring/monitoring-and-evaluation>
- [5] IPMA. Meeting of expert team on operational climate prediction

(下转37页)

来, 面向区域高分辨率数值预报产品应用与无缝隙精细化预报能力提升的业务需求, 区域高分辨率数值预报评估检验系统会继续开展改进升级工作。

1) 考虑高分辨率模式强降水预报检验的重点, 以逐1 h或3 h降水为主, 开展强降水过程发展演变的模式预报评估方法研究, 提炼对降水过程空间形态(如面积、质心位置、轴向等)的适用检验指标, 研发适用于高分辨率模式独立检验业务的空间检验方法。

2) 在认识强降水时空演变观测特征和模式模拟关键偏差的基础上, 研发强降水空间精细化特征的定量评估方法, 以及降水演变过程特征的评估方法。结合业务观测资料和外场观测试验, 研究针对强降水过程演变特征的评估方法, 考察降水事件起止时间、强度、影响范围、时空特征等在不同强降水过程评估中的应用方法。

3) 研究不同尺度影响下的降水预报偏差, 探讨模式强降水空间分布及时间演变与地形因子的关联<sup>[26]</sup>, 完善考虑地形影响的模式检验评估方法。

#### 参考文献

- [1] Yu R C, Li J, Jia P Q. Development of operational weather forecasting shaped by the “Triple-In” properties of numerical models[J]. WMO Bulletin, 2019, 68(2): 56-62.
- [2] 张小玲, 杨波, 盛杰, 等. 中国强对流天气预报业务发展[J]. 气象科技进展, 2018, 8(3): 8-18.
- [3] 王毅, 周庆亮, 代刊, 等. 全球数据处理和预报系统发展及展望[J]. 气象科技进展, 2019, 9(2): 9-10.
- [4] 金荣花, 代刊, 赵瑞霞, 等. 我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J]. 气象, 2019, 45(4): 445-457.
- [5] 黄丽萍, 陈德辉, 邓莲堂, 等. GRAPES Meso V4.0主要技术改进和预报效果检验[J]. 应用气象学报, 2017, 28(1): 25-37.
- [6] 卢冰, 孙继松, 仲跻芹, 等. 区域数值预报系统在北京地区的降水日变化预报偏差特征及成因分析[J]. 气象学报, 2017, (2): 58-69.
- [7] 徐同, 李佳, 杨玉华, 等. SMS-WARMS V2.0模式预报效果检验[J]. 气象, 2016, 42(10): 1176-1183.
- [8] 徐道生, 张艳霞, 张诚忠, 等. 华南区域高分辨率模式中不同雷达回波反演技术方案的比较试验[J]. 热带气象学报, 2016, 32(1): 9-18.
- [9] Mittermaier M, Roberts N. Intercomparison of spatial forecast verification methods: identifying skillful spatial scales using the fractions skill score[J]. Weather and Forecasting, 2010, 25(1): 343-354.
- [10] Casati B. New developments of the intensity-scale technique within the Spatial Verification Methods Intercomparison Project[J]. Weather and Forecasting, 2010, 25(1): 113-143.
- [11] Marzban C, Sandgathe S, Lyons H, et al. Three spatial verification techniques: cluster analysis, variogram, and optical flow[J]. Weather and Forecasting, 2009, 24(6): 1457-1471.
- [12] Ebert E E, Gallus Jr W A. Toward better understanding of the contiguous rain area (CRA) method for spatial forecast verification[J]. Weather and Forecasting, 2009, 24(5): 1401-1415.
- [13] 陈昊明, 李普曦, 赵妍. 千米尺度模式降水的检验评估进展及展望[J]. 气象科技进展, 2021, 11(3): 155-164.
- [14] Liang X Z, Li L, Dai A, et al. Regional climate model simulation of summer precipitation diurnal cycle over the United States[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(24): L24208.
- [15] Dai A. Precipitation characteristics in eighteen coupled climate models[J]. Journal of Climate, 2006, 19(18): 4605-4630.
- [16] Zhang Y, Chen H M. Comparing CAM5 and superparameterized CAM5 simulations of summer precipitation characteristics over continental East Asia: mean state, frequency-intensity relationship, diurnal cycle, and influencing factors[J]. Journal of Climate, 2016, 29(3): 1067-1089.
- [17] 孙鑫. 高分辨率快速循环同化预报系统在内蒙古地区汛期预报性能检验和评估[J]. 内蒙古气象, 2014(5): 3-7.
- [18] Yu R C, Zhang Y, Wang J J, et al. Recent progress in numerical atmospheric modeling in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2019, 36(9): 938-960.
- [19] Chen H M, Yu R C, Li J, et al. Why nocturnal long-duration rainfall presents an eastward-delayed diurnal phase of rainfall down the Yangtze River valley[J]. Journal of Climate, 2010, 23(4): 905-917.
- [20] Li J, Yu R C. A method to linearly evaluate rainfall frequency-intensity distribution[J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2014, 53(4): 928-934.
- [21] Li J, Yu R C, Yuan W H, et al. Precipitation over East Asia simulated by NCAR CAM5 at different horizontal resolutions[J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2015, 7(2): 774-790.
- [22] Chen H M, Yu R C, Wu B Y. FY-2C-derived diurnal features of clouds in the southern contiguous China[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, 117: D18101.
- [23] Zhou T J, Yu R C, Chen H M, et al. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: a comparison of satellite data with rain gauge observations[J]. Journal of Climate, 2008, 21(16): 3997-4010.
- [24] Yu R C, Li J, Chen H M, et al. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China[J]. Journal of Meteorological Research, 2014, 28: 877-902.
- [25] 刘媛媛, 何文春, 王妍, 等. 气象大数据云平台归档系统设计及实现[J]. 气象科技, 2021, 49(5): 697-706.
- [26] 徐安伦, 张万诚, 李建, 等. 复杂山地气象观测试验研究综述[J]. 气象科技进展, 2022, 12(2): 13-20.

(编辑: 卢冰)

(上接31页)

- system[R]. Lisbon, 2022.
- [6] WMO. Designated WIPPS centres[EB/OL]. Geneva, 2023. <https://wmo.maps.arcgis.com/apps/dashboards/7c3d45e5003a417988bad63e91ad8748>
- [7] WMO. Cg-19 world meteorological congress abridged final report of the nineteenth session: 1326[R]. Geneva, 2023.
- [8] WMO. WMO strategic plan 2024 - 2027: WMO-No. 1336[R]. Geneva, 2023.
- [9] WMO. Evolution of the WMO integrated processing and prediction system: a roadmap for 2022 - 2026: INF. 4.2(6)[R]. Geneva, 2023.
- [10] WMO. WIPPS dashboard[EB/OL]. Geneva, 2023. <https://community.wmo.int/en/activity-areas/wmo-integrated-processing-and-prediction-system-wipps>
- [11] ECMWF annual report[R]. Bracknell, 2023.
- [12] ECMWF strategy 2021 - 2030[R]. Bracknell, 2020.
- [13] Met Office. Embedding machine learning and artificial intelligence in weather and climate science and services[R]. Devon, 2022.
- [14] NOAA. Weather Program Office (WPO). Weather program office strategic plan fiscal years 2022 - 2026[R]. Washington, 2022.
- [15] JMA's NWP strategic plan toward 2030[R]. Tokyo: Japan Meteorological Agency, 2018.

(编辑: 郑秋红)