

# “智慧冬奥 2022 天气预报示范计划” 进展综述

陈明轩<sup>1</sup> 付宗钰<sup>2</sup> 梁丰<sup>2</sup> 金荣花<sup>3</sup> 薛红喜<sup>3</sup> 李靖<sup>4</sup>  
刘凑华<sup>5</sup> 甘璐<sup>4</sup> 孙超<sup>6</sup> 时少英<sup>4</sup> 王宗敏<sup>7</sup> 陈昊明<sup>8</sup>

(1 北京城市气象研究院, 北京 100089; 2 北京市气象局, 北京 100089; 3 中国气象局预报与网络司, 北京 100081;  
4 北京市气象台, 北京 100089; 5 国家气象中心, 北京 100081; 6 国家气象信息中心, 北京 100081;  
7 河北省气象台, 石家庄 050022; 8 中国气象科学研究院, 北京 100081)

**摘要:** 简要介绍了“智慧冬奥2022天气预报示范计划”的主要目标、组织方式、产品情况, 阐述了为组织本次示范计划所开展的平台技术研发成果和在2021年冬奥测试活动中的初步应用成效, 也总结了执行示范计划目前所存在的主要问题和下一步计划, 为示范计划成果支撑即将到来的冬奥气象服务保障实战提供指导, 也为气象部门实现预报精准和服务精细的气象现代化目标提供借鉴。

**关键词:** 智慧冬奥, 预报示范, 精准预报, 气象服务保障

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.06.002

## A Review of SMART2022-FDP Progress

Chen Mingxuan<sup>1</sup>, Fu Zongyu<sup>2</sup>, Liang Feng<sup>2</sup>, Jin Ronghua<sup>3</sup>, Xue Hongxi<sup>3</sup>, Li Jin<sup>4</sup>,  
Liu Couhua<sup>5</sup>, Gan Lu<sup>4</sup>, Sun Chao<sup>6</sup>, Shi Shaoying<sup>4</sup>, Wang Zongmin<sup>7</sup>, Chen Haoming<sup>8</sup>

(1 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089 2 Beijing Meteorological Service, Beijing 100089 3 Department of Forecast and Network, China Meteorological Administration, Beijing 100081 4 Beijing Weather Forecast Office, Beijing 100089 5 National Meteorological Center, Beijing 100081 6 National Meteorological Information Center, Beijing 100081 7 Hebei Weather Forecast Office, Shijiazhuang 050022 8 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** This paper briefly introduces the main objectives, organization form and products of Sciences of Meteorology with Artificial-intelligence in Research and Technology for Beijing 2022 Winter Olympics-Forecast Demonstration Project (SMART2022-FDP), describes primary technology R&D achievements carried out to organize the demonstration project and the preliminary application results for the 2021 Winter Olympics test activities, and also summarizes the main problems existing in the implementation of the project and the next step plan. The review can provide guidance for the ongoing demonstration plan to support real-time meteorological forecast and service for the upcoming 2022 Winter Olympics, and provide reference for meteorological departments to achieve modernization goals aiming at accurate meteorological forecasts and fine meteorological services.

**Keywords:** SMART2022, forecast demonstration, accurate meteorological forecasts, meteorological service and support

## 0 引言

天气是冬奥会成功与否的决定因素, 精准气象预报是现代冬奥会成功举办的最重要条件之一。冬奥会雪上项目主要在地形复杂的山区举办, 赛事安排与赛场天气状况密切相关, 需要根据天气预报找到价值万金的“窗口期”<sup>①</sup>, 精确的风、温、湿度、能见度等的预报预警直接影响到运动员发挥, 甚至影响到比赛安全。冬奥会外围保障、赛事观赏、交通、媒体转播、应急救援等均会受到不同气象条件的直接影响,

相关的气象预报预警也极为关键。

鉴于山区地形复杂、气象数据稀少等原因, 小尺度山地气象监测预报一直是国际气象科技难题<sup>[1]</sup>。近几届冬奥会举办前, 主办国均开展了气象保障服务的示范计划, 荟集国内外的先进气象研发成果提供冬奥气象监测、预报和服务的科技支撑。2010年温哥华冬奥会, 加拿大环境部组织实施了SNOW-V10示范计划<sup>[2]</sup>: 通过在赛场周边建立稠密立体气象监测网, 并针对山区暴雪等敏感气象条件建立多种特殊气象仪器, 开展冬季连续观测试验; 在预报技术方面, 开发包括1公里分辨率数值预报系统等多种针对冬奥会气象保障的精细预报系统, 并开展复杂地形下降降水相

收稿日期: 2021年8月27日; 修回日期: 2021年12月12日  
第一作者: 陈明轩(1974—), Email: mxchen@ium.cn  
通信作者: 付宗钰(1978—), Email: fuzongyu1126@126.com  
资助信息: 中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z013), 国家重点研发计划(2018YFF0300100、2018YFF0300102)

① 本文中“窗口期”是指对“造雪”等赛事保障、比赛日程安排及调整或某个比赛中气象条件有利于活动进行的时间段。

态、低能见度等关键问题的深入研究。2014年索契冬奥会，俄罗斯水文气象中心组织实施了FROST-2014示范计划<sup>[3]</sup>：在赛场周边增加常规气象观测，布设与冬奥密切相关的特殊气象要素观测，在前期数据分析基础上，实现分钟到小时间间隔的冬奥特殊气象监测数据服务；开展赛场周边冬奥高影响天气研究，通过局地资料同化、高分辨率数值模式和集合预报等技术研发，提高冬奥赛区客观气象预报水平，局地分辨率达 $0.25\text{ km}\times 0.25\text{ km}$ 。2018年平昌冬奥会，韩国气象厅组织实施了ICE-POP 2018示范计划<sup>[4]</sup>：组建稠密立体观测网提高赛场及周边气象探测能力；开展山地和海洋对赛区气象条件综合影响研究，加强冬季山地数值预报技术研发，CMA、ZAMG等 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 分辨率数值模式产品及Roshydromet $1\sim 0.55\text{ km}$ 分辨率数值模式产品提升低能见度和降水相态等预报精度；推进气象服务展示形式网络化、智能化，服务内容也涉及不同类型冰雪运动。从近三届冬奥会气象示范计划来看，稠密气象监测与数据分析、高时空分辨率无缝隙客观预报、智能化预报服务成为冬奥气象技术的重点发展方向。

以往冬奥会的举办地大多为海洋性气候控制，其气象预报服务的关注重点是降雪（降雨）和能见度。而北京冬奥会是近20年来唯一一届在大陆性冬季风主导的气候条件下举办的冬奥会，与往届冬奥会气候条件不同，导致中小尺度天气特征不同，从而面对的气象监测、预报、服务的关注重点也不同。从北京冬奥会气候风险评估结果来看<sup>[5]</sup>，对于冬奥会张家口赛区、延庆赛区和北京赛区的不同室外赛事和相关外围保障服务来说，大风、低温、暖湿融雪、降水、低能见度等多种气象风险均不同程度的存在，特别是不同的室外赛事对风、温等气象条件的临界阈值要求差异较大，因此对于大风、低温和暖湿融雪等的预报预警，需要给与特别关注。

基于调研和分析，根据北京冬奥组委“一项一策”的保障需求，中国气象局提出了“百米级、分钟级”的冬奥气象科技目标，力争到2022年冬奥会举办时，用最先进的气象科技手段、最精准的气象预报，为赛事运行提供精确到分钟级、百米级的气象监测、预警预报及赛事专项服务产品。

## 1 智慧冬奥2022天气预报示范计划

为满足北京冬奥会高精度天气预报服务刚性需求，在做好既有的冬奥气象科技研发的同时<sup>[1]</sup>，中国气象局组织实施“智慧冬奥2022天气预报示范计划（SMART2022-FDP）”（以下简称“示范计划”），广泛征集国内优秀的精细化气象要素客观预报技术方法和系统，通过在2021年北京冬奥测试活动

和2022年北京冬奥会正式赛期期间开展天气预报示范的方式，为冬奥气象保障提供更多更好的高时空分辨率气象科技产品支撑，示范计划遴选出的优秀客观数据产品，将成为冬奥会气象保障服务的重要支撑和预报参考依据。通过示范计划，也可对目前国内不同单位、不同部门研发和运行的高分辨率数值天气预报模式以及快速融合与集成预报、数值降尺度预报、统计释用预报、人工智能天气预报等各种技术、系统和方法进行平行评估和对比检验，从而推动我国精细化天气预报技术的深入发展，提升人工智能技术在高精度天气预报服务中的融合应用水平，促进相关核心技术在国家重大活动气象保障服务及气象防灾减灾等方面的深化应用。

示范计划在中国气象局冬奥气象服务领导小组（中国气象局冬奥气象中心）统一领导下，由中国气象局预报与网络司主办、应急减灾与公共服务司和科技与气候变化司协办，冬奥北京气象中心（北京市气象局）具体承办，其具体组织机构如图1所示。成立示范计划管理组，负责示范计划总体组织协调和重大事项决策，下设协调办公室，负责具体工作协调。成立示范计划指导专家组，负责技术咨询、指导和评估。成立四个示范计划专项工作组，负责为示范计划的筹备和组织实施提供支持：1）系统示范组，负责示范计划总体技术方案制定、总体技术协调，统筹组织解决示范计划执行中出现的技术问题；2）数据保障组，负责数据技术规范的制定，负责向参加示范系统提供示范计划所需各种数据，负责示范系统数据产品的收集、分发；3）产品集成组，负责组织开发统

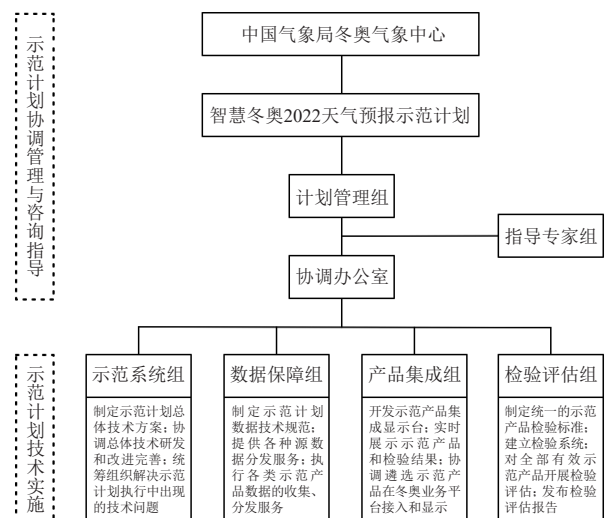


图1 智慧冬奥2022天气预报示范计划技术体系图  
Fig. 1 Technical system diagram of 2022 weather forecast demonstration plan for smart Winter Olympics

一的示范计划产品集成显示平台，对全部有效示范产品和检验结果进行展示；4) 检验评估组，负责制定统一的示范产品检验标准，建立检验系统，对全部有效示范产品开展检验评估，发布检验评估报告。

2020年3月，示范计划正式启动，向全国广泛征集参加者，共征集到22家单位（气象部门内11家，气象部门外11家）研发的38个系统报名参加。总体来说，参加示范计划的系统均采用的是目前最先进的高精度天气预报技术方法，主要包括以下4大类：次千米级分辨率数值模式和多源资料快速同化技术，次千米级分辨率和次百米级分辨率多源数据快速融合与集成预报技术，次千米级分辨率和次百米级分辨率数值降尺度预报技术，基于人工智能（机器学习和深度学习）的次百米级格点及站点预报技术。需要特别指出的是，上述次百米级预报技术和人工智能预报技术是国际上第一次在冬奥会气象服务保障中获得应用，体现了复杂地形下高精度天气预报技术方法的发展趋势。另外，区域数值天气预报也正在向着千米级甚至更高分辨率发展。根据计划安排，示范计划分为五个阶段：2020年3—12月为各参加系统的技术准备期；2021年1—4月完成第一次实时运行测试和检验评估，筛选出进入第二次实时运行测试的系统；2021年5—9月，系统改进完善，并于9月1—15日参加第二次实时运行测试，确定最终示范系统；2021年10月—2022年3月开展正式预报示范；2022年4—6月总结评估。

## 2 前期技术准备工作

### 2.1 示范产品和检验规则

#### 2.1.1 示范产品

按照支持冬奥实战应用、切实为冬奥会气象预报服务提供强有力科技支撑产品的原则，此次示范计划的产品紧密围绕冬奥气象预报团队的需求，重点提供预报员可直接参考的高分辨率近地面气象要素预报、高精度三维实况分析、冬奥关键点位气象要素垂直廓线等产品，主要分为站点产品和网格产品两大类，其中网格产品又分为次千米级分辨率和次百米级分辨率两类。

1) 站点产品，包含冬奥组委最终确定的张家口赛区、延庆赛区和北京赛区所有场馆预报站点，预报要素17个左右，预报时效至少达到72 h（最长240 h）；预报间隔为：0~24 h为 $\leq 1$  h，24~72 h为 $\leq 3$  h，72~240 h为 $\leq 6$  h；预报更新频率 $\leq 3$  h。

2) 次千米级网格产品，覆盖范围为京津冀区域，网格分辨率 $\leq 1$  km，预报时效 $\geq 24$  h，预报间隔 $\leq 1$  h，预报更新频率 $\leq 24$  h。

3) 次百米级网格产品，覆盖范围为冬奥山地

赛区（包括张家口赛区和延庆赛区）。网格分辨率 $\leq 100$  m，预报时效 $\leq 24$  h，预报间隔 $\leq 1$  h，预报更新频率 $\leq 6$  h（如果仅提供客观实况分析产品，更新频率 $\leq 30$  min）。站点数据产品格式统一为XML格式文件。次千米级和次百米级网格数据产品统一为经纬度网格格距的NetCDF格式或GRIB2格式。

除了上述基本产品外，也鼓励各参加单位提供其他能够支撑冬奥赛事保障的特色精细化预报产品。如提交特色示范产品，应同时给出相应检验评估方法、实时检验结果和集成显示建议等信息。

#### 2.1.2 检验规则

为了更加科学地评估示范计划各模式、系统的分析和预报产品，需要开展相关的常规和非常规多维度检验评估。目前，对于冬奥赛场站点预报产品，取每日11、17时（北京时）起报的张家口赛区、延庆赛区和北京赛区的共计29个冬奥站点预报进行检验，包括冬奥组委确定的北京赛区、延庆赛区和张家口赛区的预报核心点位，以及北京观象台、延庆站和河北张家口站。最长预报时效为未来10 d，计算时间间隔为1 h、3 h的整点量和统计量、逐日统计量，检验要素包括近地面气温、湿度、平均风速风向、阵风风速风向、能见度、降水、降雪、积雪深度等及其相关统计量。对于次千米级网格预报，检验时段为24 h内逐小时，检验要素为近地面气温、平均风向风速，阵风风向风速、能见度，地面降水、降雪、积雪深度等，以及上述要素相关统计量，检验站点包括京津冀范围内现行网格预报业务检验站点和冬奥预报站点。对于次百米级短时临近预报，检验时段为6 h内逐10 min，检验要素为近地面气温、平均风向风速，阵风风向风速、能见度，地面降水、降雪、积雪深度等，以及上述要素相关统计量，检验站点包括延庆和张家口赛区范围内的冬奥预报站点，以及数据质量较好的区域自动站站点（国家级区域考核站）。上述检验策略是：选择距离站点最近的格点预报作为站点预报值，有多个距离相等的格点取东北角格点，将该站点预报值与站点实况对比进行检验。对于检验指标来说，除了常规的统计指标，还引入多种时空多维度、多要素检验指标进行综合评判。

### 2.2 数据准备和示范平台开发

鉴于参加示范计划的单位和系统较多，各家模式和系统对冬奥高精度静态数据、冬奥加密观测和数值预报背景场数据的需求差异显著，各家模式和系统给出的产品种类、数据类型、预报性能、数据传输性能等也同样存在很大差异，因此为做好示范计划的实

施，需要设计完整的数据链路，并开展多项关键技术的研究及相关平台的设计开发。

(1) 数据保障组完成了示范计划所需基础数据及产品的保障方案和相关技术的研究开发，如：多源数据结构设计、多源数据存储方案设计、数据快速多路分发技术研发、数据实时监控技术设计开发、数据共享方案设计开发等。2020年2月，制作完成示范计划22家参与单位所需的6类36种数据资源的测试数据集，数据量合计6 TB，并为各单位提供数据咨询服务126次，保障了各参与单位在获取气象资料的同时，能够公平、正确使用数据。同时，面向示范计划的源数据需求特点，结合数据开放共享政策，定制化编制了数据使用协议，并全部完成气象部门内外22家参与单位的内容洽谈、咨询服务与协议签署，为示范计划的顺利开展与数据的合法合规使用提供了法律保障。

(2) 产品集成组完成了示范产品集成方案的设计和集成显示平台的开发、测试，如：产品需求分析、产品类型设计开发、集成显示方式设计、集成显示平台开发和测试等。按照面向支持冬奥实战应用的目标，集成显示平台开发过程中充分与冬奥气象预报

团队沟通，根据团队试用意见反复修改、完善。2020年10月，平台测试版本内部上线运行；其后又对平台的数据流程和核心技术进行了多次优化，大幅提升了后端数据多维度实时处理及前端各类产品实时显示的效率和稳定性。2021年1月25日，示范计划集成显示平台实现正式上线运行（互联网地址：[smart2022-fdp.iium.cn](http://smart2022-fdp.iium.cn)）。平台采用B/S架构开发，实现了气象部门内外网同步方式运行，内容包括项目介绍、实况分析、格点预报、场馆预报、检验评估、数据监控等六个版块。

(3) 检验评估组完成了示范计划多源产品的评估检验技术研发和对比分析，如：实时检验和后期检验的对象选取、指标设计、检验方法研发、检验产品多维度交互显示的设计开发，以及实现各类格点和站点数据产品的实时检验和结果集成显示等。

2020年10月30日基本形成最终版本的《智慧冬奥2022天气预报示范计划（SMART2022-FDP）技术保障方案》<sup>[6]</sup>，成为指导示范计划技术研发和运行保障的重要文档。示范计划实时运行的整体架构流程以及实时数据流参见图2。

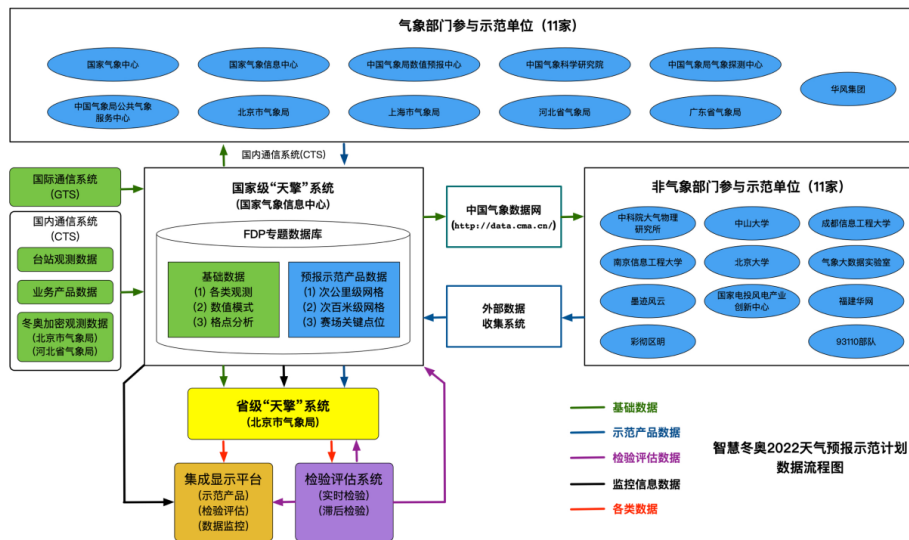


图2 示范计划实时运行的整体架构流程以及实时数据流

Fig. 2 The overall architecture flow and real-time data flow of the demonstration plan in real time

### 3 第一次实时运行测试和检验评估

为配合支撑2021年“相约北京”冬季系列体育测试活动气象服务保障，在2021年2月1日—3月15日，示范计划开展了第一次实时运行测试（以下简称第一次测试），示范产品提供给北京赛区、延庆赛区和张家口赛区参加“相约北京”测试活动气象服务保障的预报团队试用，各参加示范的单位也可以通过示范计划集成显示平台实时查看示范产品和实时检验结果。

#### 3.1 源数据分发和产品数据接收

第一次测试期间，基于中国气象局的国家级“天擎”气象大数据云平台，为11家气象部门内部参与单位提供实时数据接口服务；基于“天擎”公共云环境，为11家气象部门外部参与单位提供实时基础数据服务。22家示范计划参与单位的各系统和技术方法均实现了实时运行，示范产品分为赛场站点预报产品、次公里级网格产品（ $100\text{ m} < \text{网格分辨率} \leq 1\text{ km}$ ）、

次百米级网格产品（网格分辨率 $\leq 100$  m）三类，也包含少量的特殊产品，合计38类57项。其中，赛场站点预报以气象大数据统计订正以及人工智能方法为主，次千米级网格产品以数值预报模式结合局地资料同化技术为主，次百米级网格产品以多源数据快速融合、多模式集成、数值和统计降尺度预报、人工智能等方法为主。

第一次测试期间，3家示范计划参与单位所有数据产品到报率达到100%，17家示范计划参与单位数据产品到报率达90%以上；2家单位示范产品及时率达到100%，8家单位产品及时率达90%以上。

### 3.2 平台运行及产品应用

实时监控及信息统计显示，第一次测试期间示范计划集成显示平台（包括后台多维度数据快速处理模块）均实现了正常和稳定运行，各类实时示范产品被冬奥预报团队广泛使用，为2022年2月“相约北京”冬季系列体育测试活动期间的气象服务提供了有力支撑。集成显示平台可以在线调阅第一次测试期间的全部数据、产品和检验结果。

### 3.3 示范产品的检验评估

示范计划的检验评估以各参与单位数据产品在冬奥29个站点的检验结果为主要依据，并开展以研究测试为目标的格点检验。本文重点介绍站点检验的总体情况，更详细的检验可参见《智慧冬奥2022天气预报示范计划（SMART2022-FDP）第一次测试运行期综合评估报告》<sup>[7]</sup>。

#### 3.3.1 站点检验方法

主要针对两类站点预报产品进行检验：1）专项站点预报产品，主要针对冬奥站点，专门进行的人工智能或统计建模得到的解释应用后处理产品；该检验主要用于评估冬奥复杂地形下站点预报产品性能以及人工智能等站点解释应用新技术方法的技巧；2）数值模式预报产品，主要指根据示范计划技术方案规定的统一插值算法，将数值模式或客观系统格点输出的数据，在冬奥站点进行统一标准插值处理后的产品；该检验主要用于评估高分辨率数值模式或客观系统在冬奥复杂地形下的预报性能。

因参与单位的产品预报时效和时效间隔不同，结合冬奥赛事预报服务的重点关注时段以及精细化预报服务的需求，将本次测试活动的检验预报时效及检验时间间隔分别约定为：0~2 h/1 h、2~12 h/1 h、12~24 h/1 h、24~72 h/3 h、72~240 h/6 h，所有预报示范产品数据的检验都与上述时效及间隔的时间点相对应。根据示范产品和赛事关注情况，本次主要对

近地面的风、温度、能见度、相对湿度以及地面降水的预报进行检验。检验指标包括：综合预报评分、均方根误差、平均绝对误差、TS评分、Bias评分等。检验分为三个赛区29个站点的综合平均检验、三个赛区各自站点的平均检验，也包括针对冬奥气象服务各要素的关键阈值的上述各类指标检验。另外，为研究分析各类产品对不同高度上温度和风的预报效果以及日变化特征等的预报情况，根据测站高度、测站环境以及赛事关注等，经咨询冬奥预报团队，也选取了如下的各赛区代表站进行独立站点的检验：张家口赛区2站（云顶1号站、冬两1号站）、延庆赛区3站（竞速1号站、竞速5号站、竞速8号站）、北京赛区2站（首钢1号站、国家体育场站）。也开展了第一次测试期间的典型天气个例的站点检验评估，分析了大风、低温、低能见度、融雪暖温、降雪等天气过程期间各示范产品的实际表现。下面针对本次检验的主要结论进行简述，各类详细检验指标的定义以及详细检验结果可分别参考《智慧冬奥2022天气预报示范计划（SMART2022-FDP）技术保障方案》<sup>[6]</sup>、《智慧冬奥2022天气预报示范计划（SMART2022-FDP）第一次测试运行期综合评估报告》<sup>[7]</sup>。

#### 3.3.2 站点检验的主要结论

风要素的预报检验：①从平均风速 $\geq 4$  m/s的赛区综合预报评分来看：专项站点预报产品0~24 h预报评分最优在0.68~0.71，24~72 h预报评分最优为0.69，72 h以上预报评分最优为0.59；模式产品0~12 h预报评分最优在0.67~0.71，与专项站点预报产品相近，12 h以上预报评分最优约为0.45，低于专项站点预报产品。专项站点预报产品预报评分整体上比模式产品有提升。专项站点预报产品和模式产品对张家口赛区各时效预报评分高于延庆赛区和北京赛区。不同赛区专项站点预报产品预报评分较优的产品差异不大，而对于模式产品，除个别系统产品对各赛区预报效果均较好以外，其他产品对不同赛区预报效果差异较大。②从阵风风速赛区综合预报评分来看：专项站点预报产品0~24 h预报评分最优在0.77~0.82，24~72 h预报评分最优为0.73，72 h以上预报评分最优为0.66；模式产品0~72 h预报评分最优在0.60~0.65。对于阵风风速总体预报评分，专项站点预报产品优于模式产品。从阵风风速6级以上的预报评分来看，专项站点预报产品明显优于模式产品。

温度的预报检验：从专项站点预报产品在赛区综合的气温平均均方根误差（RMSE）来看：RMSE随预报时效在2.34~6.22 °C；预报效果在短时临近至短期时段（0~72 h）相对较为稳定，在中期时段

(72~240 h) 随预报时效的延长而明显下降。三个赛区随时效的变化趋势与赛区综合的一致,但从整体预报效果来看,北京赛区检验好于三个赛区综合检验,张家口赛区与赛区综合接近,延庆赛区最差。除个别产品外,模式产品的预报效果整体上差于同时效的专项站点预报产品。另外,从气温的垂直预报效果来看,专项站点预报产品和模式产品均反映出产品对高海拔站点的预报误差大于低海拔站的特征。综合来看,高海拔站的预报难度相对较大。

**降水的预报检验:**专项站点预报产品在赛区综合的平均降水( $\geq 0.1\text{mm}$ ) TS评分在0.02~0.35,预报效果随时效延长呈现下降趋势。三个赛区随时效的变化趋势与赛区综合基本一致;从整体预报效果来看,北京赛区最好,延庆赛区与赛区综合接近,张家口赛区最差。模式产品的预报效果整体上略高于专项站点预报产品,表明对于冬季降水来说,目前的站点解释应用技术并未达到提升冬奥复杂地形下降水预报准确率的目标。此外, Bias评分显示,大多数专项站点预报产品在0~24 h对降水存在漏报、在24~240 h对降水存在空报现象;模式产品大多对降水存在空报现象,且在不同时效及赛区的效果差异较大。

**能见度的预报检验:**从专项站点预报产品赛区综合的能见度分级( $\leq 1\text{ km}$ 、 $1\sim 5\text{ km}$ 、 $5\sim 10\text{ km}$ 以及 $> 10\text{ km}$ )检验来看,平均TS评分在0~24 h时效上分别约为0.18、0.11、0.03以及0.43。由此可见,专项站点预报产品对于高能见度等级( $> 10\text{ km}$ )的预报效果最优。各家专项站点预报产品基本上对于能见度的预报效果差别不大,但整体对低能见度等级( $\leq 1\text{ km}$ )的预报能力有限。模式产品效果与客观预报产品类似,但除了0~24 h时效内 $\leq 1\text{ km}$ 的低能见度事件外,模式产品对其他时效上的低能见度事件几乎无预报能力。

**相对湿度的预报检验:**从相对湿度的赛区综合预报情况来看,专项站点预报产品0~24 h预报平均绝对误差(MAE)最小区间在8.4%~10.3%,24 h以上MAE最小区间约为12.6%~18.3%。大部分产品的误差较集中,但个别产品误差明显偏大。模式产品0~24 h预报MAE最小区间在10%~13%,24~72 h预报MAE最小约为13.9%,均略大于专项站点预报产品。无论是专项站点预报产品还是模式产品,对三个赛区的预报趋势相对一致,总体来看对张家口赛区和延庆赛区的预报误差略小,而对北京赛区的预报误差略偏大。专项站点预报产品相对于原始模式产品来说,预报准确率有一定提升度。

#### 4 结论

智慧冬奥2022天气预报示范计划是中国气象局首

次面向国内从事数值天气预报和客观预报技术研发的主要行业单位、高校院所和企业开展的实时预报技术示范竞赛。相比于当前方兴未艾的各种人工智能天气预报大赛,它的技术门槛更高、专业性更强。需要持续数月、严格按时限提供复杂地形区的定时、定点、定量的气象要素预报,远非针对历史个例进行模拟研究,或是使用历史数据进行拟合调优可比拟。根据示范计划第一次测试运行情况,给出以下初步结论。

本次检验结果表明,高分辨率数值天气预报模式仍然是提升定时、定点、定量预报能力最不可或缺的核心技术,特别是对于地形复杂、观测资料缺乏地区的冬季降水预报,目前的站点解释应用技术、人工智能建模技术与高分辨率数值模式直接预报相比,并无显著优势。

本次检验结果也指出,对于温度、湿度、风和能见度等近地面气象要素,在数值模式产品基础上的解释应用技术(包括多源数据融合、数值和统计降尺度、人工智能建模、传统统计释用等),能够显著降低数值模式在地形复杂区域的系统性预报误差,提高数值模式产品的末端预报性能。

在预报检验方面,对高频次更新预报和高分辨率网格预报的检验技术存在明显短板,缺乏公认的检验方法和标准,高精度网格“真值”的确定也存在困难。随着智能数字预报业务的发展,这方面的研究亟待加强。

随着高时空分辨率的客观预报产品越来越多地提供给预报员使用,高效、便捷的数据传输、存储、调用和产品多维度集成显示变得越来越重要,在未来支撑实时预报业务的信息系统设计中,必须考虑这些需求。

#### 参考文献

- [1] Chen M X, Quan J N, Miao S G, et al. Enhanced weather research and forecasting in support of the Beijing 2022 Winter Olympic and Paralympic Games. *WMO Bulletin*, 2018, 67(2): 58-61.
- [2] Joe P, Chris D, Wallace A, et al. Weather services, science advances, and the Vancouver 2010 Olympic and Paralympic Winter Games. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2010, 91: 31-36, <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2998.1>.
- [3] Kiktev D, Joe P, Isaac G A. FZOST-2014: The Sochi Winter Olympics International Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2017, 98: 1908-1929, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00307.1>.
- [4] Lee G, Kim K. International Collaborative Experiments for Pyeongchang 2018 Olympic and Paralympic winter games (ICE-POP 2018). *American Geophysical Union, Fall Meeting*, 2019.
- [5] 王冀,等.北京2022年冬奥会和冬残奥会赛区气象条件及气象风险分析报告(2017—2021版).北京:气象出版社,2021.
- [6] 冬奥气象中心.智慧冬奥2022天气预报示范计划(SMART2022-FDP)技术保障方案.北京:冬奥气象中心,2020.
- [7] 冬奥气象中心.智慧冬奥2022天气预报示范计划(SMART2022-FDP)第一次测试运行期综合评估报告.北京:冬奥气象中心,2021.