

区域高分辨率数值预报检验评估系统

陆天舒¹ 孙鑫² 陈昊明¹ 李普曦¹ 朱峰² 霍庆³ 周佰铨¹ 杨琳韵¹

(1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081; 2 内蒙古气象台, 呼和浩特 010051;
3 国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要: 近年来我国区域高分辨率数值预报业务发展迅速, 目前传统检验方法已不能满足高分辨率模式降水检验评估需求。区域高分辨率数值预报检验评估系统在吸收降水传统检验方法优势的同时, 融入基于降水发展演变过程的检验评估方法, 旨在建立一套适用于高时空分辨率观测资料的精细化降水检验评估系统, 为促进区域模式改进和高分辨率数值预报产品的偏差理解提供了重要参考, 也为理解区域数值预报的模拟能力及其偏差提供了新的视角。

关键词: 数值天气预报, 高分辨率模式, 检验, 评估

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.01.005

Verification and Evaluation System of Regional High Resolution Numerical Weather Prediction

Lu Tianshu¹, Sun Xin², Chen Haoming¹, Li Puxi¹, Zhu Feng², Huo Qing³, Zhou Baiquan¹, Yang Linyun¹

(1 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2 Inner Mongolia Meteorological Observatory, Hohhot 010051; 3 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081)

Abstract: In recent years, regional high resolution numerical weather prediction has developed rapidly. On the contrary, the traditional verification methods can't meet the needs for the verification and evaluation of precipitation forecast by high-resolution models. The verification and evaluation system of regional high resolution numerical weather prediction takes advantages of traditional verification means while incorporating the verification and evaluation methods based on the precipitation development and evolution process, aiming to establish a refined precipitation verification and evaluation system suitable for high spatiotemporal resolution observation data. It not only provides an important reference for promoting the improvement of regional model and the understanding of deviation of high resolution numerical weather prediction products, but also provides a new perspective for understanding the simulation ability and deviation of regional numerical weather prediction.

Keywords: numerical weather prediction, high resolution model, verification, evaluation

0 引言

数值模式的发展是气象乃至地球系统科学的核心内容, 模式检验评估是理解模式偏差、完善数值模式和提升预报服务产品质量的有效方法, 是现代数值模式发展的基础环节之一^[1]。近年来, 我国区域高分辨率数值预报业务发展迅速^[2-4]。国家级^[5]和 华北^[6]、华东^[7]、华南^[8]等区域气象中心相继建立了水平分辨率为 3 km 的区域高分辨率数值预报系统, 逐步实现了区域对流可分辨尺度模式的业务化运行, 模式产品广泛应用在短时临近预报预警以及短期预报业务和服务中。高分辨率模式产品的应用为数值预报产品的评估、后

处理和偏差订正带来了新的挑战, 传统检验方法已不能满足于高分辨率模式降水检验评估的需求, 特别是微小的强度偏差或位置偏移会导致评分大幅降低, 即“双重惩罚”问题。降水精细化预报水平的提高不仅需要预测理论、数值模式等的不断改进, 也需要客观的评估方法。近年来国内外相继发展了一系列新的基于降水空间结构特征的检验方法, 如邻域法^[9]、尺度分离法^[10]、场变换法^[11]以及基于对象的评估方法^[12]等。此类方法有利于从高分辨率模式预报结果中提取更多的空间信号, 但是也带来了新的问题, 如信息量过多, 针对性不够强, 不能突出重点等^[13]。世界天气研究计划数值试验工作组成立了预报检验研究联合工作组, 一直致力于提升针对数值模式预报效果的评估能力。美国及欧洲也都已经建立了综合的评估体系以综合认识模式预报偏差。

随着公里尺度高分辨率模式产品在短时临近预报预警以及短期预报业务和服务中的广泛应用, 迫切

收稿日期: 2022年9月6日; 修回日期: 2023年7月24日

第一作者: 陆天舒(1988—), Email: luts@cma.gov.cn

通信作者: 孙鑫(1981—), Email: 641680001@qq.com

资助信息: 国家自然科学基金项目(U2142214); 中国气象科学研究院科技发展基金项目(2023KJ028)

需要建立基于新的高分辨观测资料的客观综合评估方法和手段,揭示模式的预报能力及关键偏差,同时通过评估给出预报可适用性和不确定性^[14-16],为预报业务提供应用参考,从而提高对高分辨率数值预报产品的应用能力。中国气象科学研究院自2017年底开始牵头研发面向精细化预报的模式检验评估方法和指标体系,并联合国家气象信息中心和内蒙古自治区气象台开展区域高分辨模式检验评估系统建设^[17]。新研发的检验评估方法在保留已有业务系统检验指标的基础上,针对区域高分辨率模式的优势及其在业务应用中的需求^[18],重点研发了基于降水发展演变过程的检验评估方法,建立了包括降水频次/强度特征、降水日变化以及降水事件起止时间特征等的检验评估指标,并建成了区域高分辨率数值预报检验评估系统。自2019年12月2日起投入准业务运行。进一步改进形成的1.1版自2022年1月1日起正式业务运行,检验结果通过国家气象业务内网(<http://idata.cma/areaHighResolution>)实时发布。

1 检验评估业务系统的建立

1.1 系统结构与流程设计

根据区域高分辨率模式检验评估中需要更多关注降水、地面气温及风场等近地面要素及天气过程的预报精细化程度、极端性预报能力的业务需求,中国气象科学研究院科研人员着眼于降水过程,重点关注降水精细化特征的检验评估指标,已经对降水频次-强度结构、持续时间、降水开始-峰值-结束时间等检验评估方法和流程进行了深入研究^[19-24]。本系统旨在吸收已有降水传统检验方法优势的同时,融入降水过程检验评估方法和流程,建立一套能够适用于高时空分辨率观测资料的精细化降水检验评估系统,为模式结果的定量评估和订正提供依据。检验评估系统包含降水传统检验、降水空间检验、降水过程检验及近地面要素检验等功能(图1)。系统在Linux操作系统软件环境下运行,基于国家气象信息中心的气象大数据云平台“天擎”系统^[25]建设,采用JAVA、python和脚本语言开发,通过“天擎”加工流水线定时调度运行作业脚本,建立预报产品及实况数据获取、资料预处理、检验评估结果生成等系统流程,实现检验评估业务系统的准实时自动运行。国家气象信息中心的“天镜”业务监控系统为检验评估业务系统提供全流程监控,确保各环节数据完整有效。

系统流程主要为4个步骤。首先,任务调度子系统驱动数据获取子系统从云平台MUSIC数据接口及云平台数据存储地址获取站点与格点数据,并对原始文

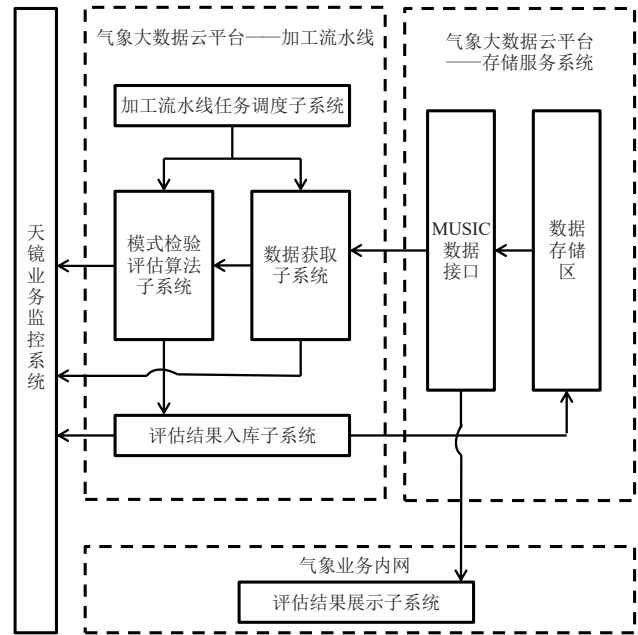


图1 区域高分辨率数值预报检验评估系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of verification and evaluation system of regional high resolution numerical weather prediction

件进行插值与格式转换等预处理工作,以此作为系统数据输入。随后,算法子系统针对评估指标生成结果文件,存储至暂存区。之后,入库子系统对暂存区内结果进行实时扫描入库。最后,完成入库的结果数据通过MUSIC数据服务接口传至气象业务内网,在网页上展示检验评估结果。另外,“天镜”业务监控系统会在数据流过程中获取数据认证信息,对模式检验评估过程进行全流程监控,能够及时获取原始数据到报情况和检验结果入库情况的数据完整性。

结果展示网页上提供各个数值预报模式的检验评估结果。3、6、12、24 h累计降水量的检验结果包括TS评分、ETS评分、空报率、漏报率、预报偏差、评分综合展示图等不同检验方式的可视化展示;逐3 h的温度、相对湿度、水平风向以及风速的检验结果包括均方根误差、平均误差、平均绝对误差、偏差等;空间检验结果包括3、6、12、24 h累计降水的分数技巧评分、分数技巧评分热力图等;降水过程检验结果包括逐3 h的降水频次-强度分布,24 h预报的降水日变化振幅与峰值时间,以及降水事件起止时间出现的频次的检验。检验区域除全国和各3 km模式区域外,面向省级业务单位的应用需求,还提供了包括中国大陆31个省(区、市)区域的检验评估结果。

1.2 数据获取子系统

模式检验评估系统基于“天擎”业务系统进行开发,数据获取子系统包含预报产品及实况数据获取

模块与资料预处理模块，利用“天擎”数据服务接口直接获取数据参与计算，减少数据搬运与落地存储环节。配合“天镜”业务监测系统，实时监控数据完整性。

1.2.1 站点实况资料获取

考虑到实况资料的可用性和当前模式分辨率，系

统采用气象大数据云平台发布的国家级地面观测站数据，包括国家级气象站（基准站、基本站、一般站）和质量控制后的部分区域自动站的数据，共约11000个站（图2）。

站点实况数据获取模块的主要功能是逐小时获取地面观测实况资料，模块采用JAVA语言开发，结合

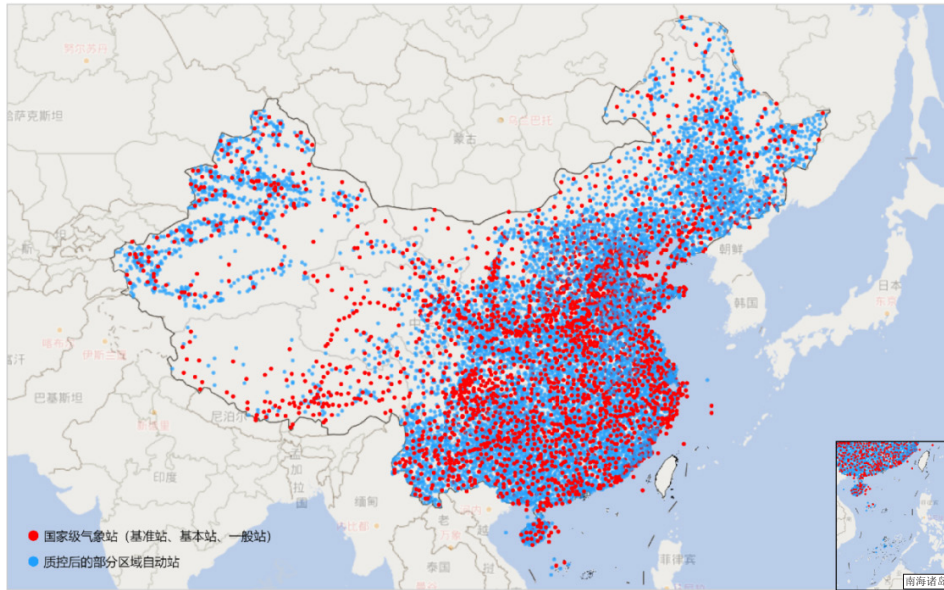


图2 国家级气象站（红色点）和部分区域自动站（蓝色点）分布图

Fig. 2 Distribution of national weather stations (red dots) and partial regional automatic weather stations (blue dots)

气象大数据云平台MUSIC接口配置信息及站点信息表编写站点数据接口调用函数，定时获取地面观测站降水及近地面要素数据（图3）。依据降水累积规则将逐小时地面观测站数据实时处理为逐3、6、12、24 h的降水累积数值，并对获取数值进行缺失值处理及格式转换，形成系统所需文件。获取地面气压、海平面气压、温度、水汽压、10 min平均风速、10 min平均风向等近地面要素数据并形成系统所需站点数据文件。站点实况数据获取模块在运行时会自动检测之前两个时刻的数据完整性，除此之外，该模块结合加工流水线任务调度子系统定时监控数据实时完整性，对缺失数据开展数据补充。

1.2.2 格点数据获取与预处理

格点数据获取（图4）与预处理（图5）模块的主要功能是获取模式数据与格点实况数据并提取信息，配合加工流水线任务调度子系统自动实现模块功能，其中模式数据每日获取当天00时和12时（世界时）起报的模式数据并进行预处理，格点实况数据则为每小时获取及预处理。另外，与站点实况数据获取模块相同，该模块结合加工流水线任务调度子系统对获取的

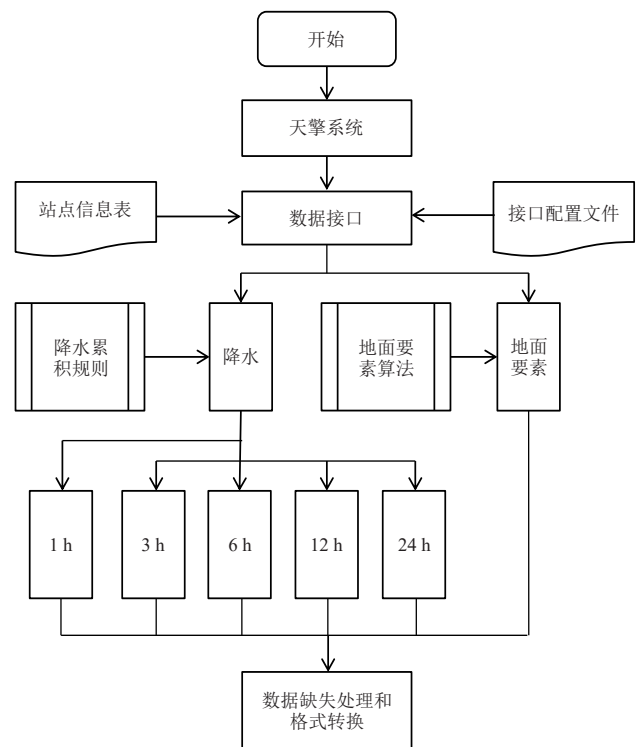


图3 站点实况数据获取流程图

Fig. 3 Flow chart of real-time data acquisition at stations

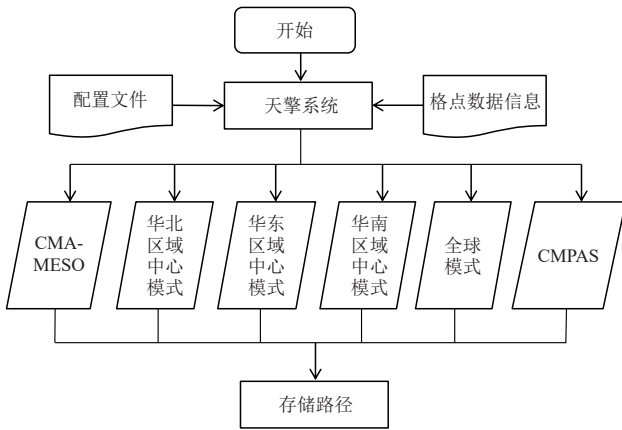


图4 格点数据获取流程图

Fig. 4 Flow chart of grid data acquisition

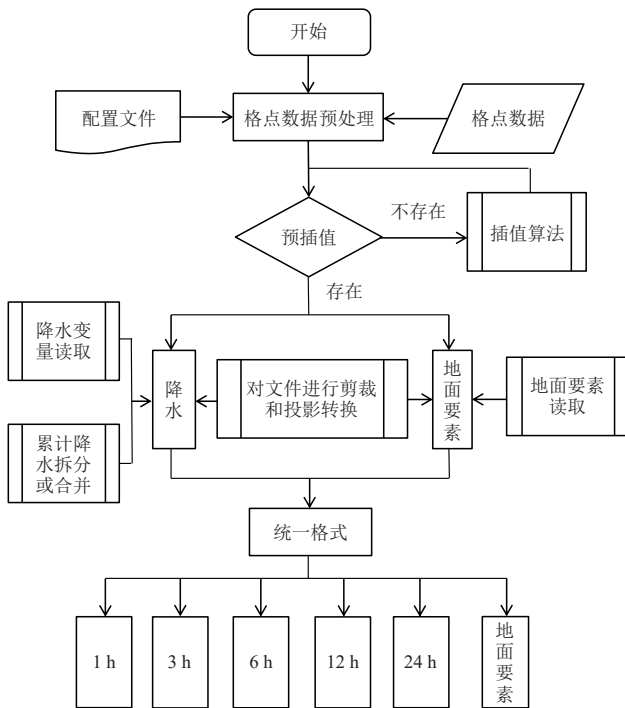


图5 模式预处理流程图

Fig. 5 Flow chart of numerical weather prediction model pretreatment

数据进行完整性监控，定时补充缺失数据并完成预处理。

数据获取来源为气象大数据云平台存储与服务系统，目前开展10个天气预报模式系统的检验评估工作，包括中国气象局地球系统数值预报中心研发的中国气象局中尺度天气数值预报系统（CMA-MESO）、华北区域中心研发的中国气象局北京快速更新循环数值预报系统（CMA-BJ 3 km和9 km）、华东区域中心研发的中国气象局上海数值预报模式系统（CMA-SH9）和中国气象局上海快速更新同化数值预报系统（CMA-SH3）、华南区域中心研发的中国气象局广东快速更新

同化数值预报系统（CMA-GD）和中国气象局南海台风数值预报系统（CMA-TRAMS）共7个区域数值天气模式系统，以及中国气象局全球同化预报系统（CMA-GFS）、欧洲中期天气预报中心全球数值地球系统模式（ECMWF）、美国全球天气预报系统（GFS）共3个全球天气预报模式。格点实况数据采用国家气象信息中心制作的中国区域地面-卫星-雷达三源融合降水格点分析产品（CMA Multi-source merged Precipitation Analysis System, CMPAS）。

模式及格点观测数据预处理模块针对上述获取到的数据进行解析、裁剪插值以及输出。其目的就是提取预报模式或格点观测数据中检验评估系统所需数据信息，减少检验评估过程中冗余数据读取，并利用模式样例文件降低数据预处理时长，做到计算资源与存储资源的合理分配。在模块运行前，预先设置系统配置信息，主要包括各个模式的裁剪范围、分辨率、起报时间间隔等内容。根据配置信息生成各个模式的插值文件，系统在运行数据剪裁及投影变化时会预先加载对应模式的插值文件，读取模式样例文件获取模式网格点经纬度信息，对比模式区域的裁剪范围进行裁剪插值，并对裁剪中超出模式本身范围区域进行识别，最终输出预处理结果。

1.3 模式检验评估算法子系统

该子系统是区域高分辨率数值预报检验评估系统的核心部分，其中包含对预处理后的数值预报产品进行传统降水评分计算、近地面要素评分计算、空间邻域法检验，最后利用传统检验中系统生成的站点降水信息开展降水过程分析计算（图6）。

传统降水评分计算、近地面要素评分计算及空间邻域法检验的计算基于美国国家大气研究中心数值预报发展试验中心研发的数值预报检验评估工具MET（Model Evaluation Tools）。MET工具提供了丰富的站点、格点数据接口程序，它的核心组件集成了多种先进模式检验评估算法。评估工具使用的模式数据和实况数据分别来自模式及格点观测数据预处理模块和站点实况数据获取模块，采用定时调度的方式控制检验流程。传统降水评分和近地面要素评分将模式预报数据按邻近点方法取值到观测站点后进行对比与统计分析。利用预先设置的配置文件调用评估工具不同算法完成降水、地面要素及空间邻域检验工作。降水检验结果包括逐3、6、12和24 h降水累计等；地面要素检验结果包括温度、相对湿度和风速等；空间邻域检验包括分数技巧评分（FSS）、FSS热力图、渐进分数技巧评分等。

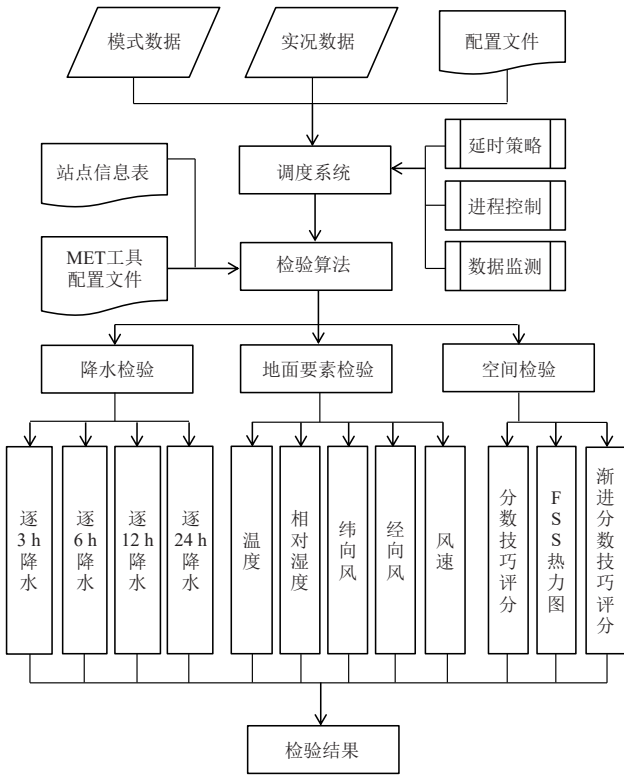


图6 检验评估算法流程图

Fig. 6 Flow chart of verification and evaluation algorithm

降水过程检验基于评估工具输出的站点降水数据诊断文件，通过分析某一特定时间段内降水过程的数值预报产品数据，得到其日变化特征、频次-强度特征和开始结束时间特征等，并与实况数据开展对比。日变化特征为针对完整的24 h序列中逐3 h的平均降水量、平均降水频次以及平均降水强度，分析其峰值时间分布和日振幅分布。将降水按照强度进行区间划分，统计每个区间内的平均降水频次、平均降水量，按照拟合公式进行频次-强度以及降水量-强度特征分析。统计24 h序列里降水事件在不同时刻开始/结束的次数，得出降水最易开始/最易结束时间特征。

1.4 加工流水线任务调度子系统

加工流水线任务调度子系统基于气象大数据云平台加工流水线开发，其功能是配置数据获取子系统与模式检验评估算法子系统的作业任务。利用云平台加工流水线特点，实现算法任务的定时执行，分时段合理调配计算节点，避免出现计算资源饱和，确保检验评估系统稳定运行。加工流水线任务调度子系统除了对数据获取子系统开展数据缺失补充外，还会根据数据实时监控情况针对模式检验评估算法子系统开展检验结果的定期补充生成，确保模式检验结果的完整性。另外，加工流水线任务调度子系统具备人机交互

功能，可随时根据需求更新作业任务目录。

1.5 评估结果入库子系统

评估结果入库程序主要功能是对实时计算生成的结果文件进行解码入库处理，便于后续评估结果的在线展示读取数据。模式检验评估算法子系统定时生成评估结果并统一数据格式，入库子系统实时扫描预先设置的结果存储路径，当出现指定数据格式的文件时便将其解码入库，入库时检查数据记录唯一性，并配合“天镜”系统对模式检验评估结果入库的完整性进行全面监控。文件入库后，系统自动将结果文件移出数据缓存区，降低缓存区负荷，避免出现数据存储空间不足的现象。

1.6 评估结果展示子系统

评估结果展示子系统的主要功能是将入库后的检验评估结果数据实时显示在气象业务内网上。针对降水传统检验、近地面要素检验、空间邻域法检验、降水过程检验等不同检验结果以及单模式和多模式不同维度的展示，评估结果展示子系统配置相应的数据服务接口，基于气象业务内网实现检验评估结果的在线实时可视化展示。检验评估结果能够实现任意时段在线统计，配置相应的数据统计模块，实现动态在线实时统计计算和结果的图表展示功能。降水传统检验结果实时展示预报技巧评分、公平技巧评分、空报率、漏报率、预报偏差、评分综合展示图等内容的可视化展示。近地面要素检验结果实时展示实现温度、相对湿度、纬向风、经向风、风速等近地面要素的均方根误差、平均误差、平均绝对误差、偏差等内容的可视化展示。空间邻域法检验结果实时展示分数技巧评分、分数技巧评分热力图、渐进分数技巧评分等内容的可视化展示。降水过程检验结果实时展示降水过程频次分布特征、强度分布特征、降水量随强度分布、频次随强度分布、峰值时间分布、日振幅分布、日变化曲线、最易开始时间、最易结束时间等内容的可视化展示。检验结果展示数据均可通过网页下载。

此外，降水过程检验评估基于在线地图展示针对频次-强度特征、日变化特征、事件起止特征等，使用网页地理信息服务及海量点渲染引擎等技术实现相关检验评估指标的在线地图展示功能，并提供地图放大、缩小、拖拽等地理信息系统功能。

2 未来展望

区域高分辨率数值预报检验评估系统为促进区域模式改进和高分辨率数值预报产品的偏差理解提供了重要参考，特别是降水过程检验评估结果为理解区域数值预报的模拟能力及其偏差提供了新的视角。在未

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^[26], 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与实现[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)