

# 多源融合实况分析产品2022年度研发改进及应用进展

庞紫豪 谷军霞 张志强 师春香 韩帅 姜文静 徐宾 张涛  
(国家气象信息中心, 北京 100081)

**摘要:** 简要总结了国家气象信息中心多源融合实况分析产品在2022年的研发和改进进展, 重点阐述了实况产品在高影响天气过程监测和重大服务保障中的应用情况。通过多源数据协同质量控制技术、复杂地形实况分析技术、风云卫星应用同化技术、网格实况真实性检验4方面的优化, 改进降水、气温等实况产品质量。其中, 气温产品在复杂地形区误差降低20%, 有效剔除了虚假降水和80%融雪性降水, 改善了复杂山区降水信息; 大气风场误差降低2%; 大气湿度误差降低3.5%。在暴雨、台风、高温、寒潮等监测服务中, 系统反映了“龙舟水”期间对流系统的活动特征; 准确捕捉台风“梅花”降水落区的演变、雨强大小、大风影响范围以及台风的垂直结构等特征; 对于极端高温天气和寒潮中雨雪冰冻及大风的影响区域均有较好的监测效果; 在山洪等突发事件中, 实况产品的分钟级数据有效弥补了站点稀疏区监测资料的不足; 百米分辨率实况产品有效支撑了2022年冬奥气象服务保障。

**关键词:** 多源融合, 实况产品, 研发改进, 监测应用, 突发事件, 气象保障

中图分类号: P4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2024.05.006

## Advancement and Application of Multi-Source Merged Real-Time Analysis Products in 2022

Pang Zihao, Gu Junxia, Zhang Zhiqiang, Shi Chunxiang, Han Shuai, Jiang Wenjing, Xu Bin, Zhang Tao  
(National Meteorological Information Centre, Beijing 100081)

**Abstract:** A concise summary of the advancements in the research and development of multi-source merged real-time analysis products in National Meteorological Information Centre in 2022 is presented, emphasizing the application of these products in the monitoring of high-impact weather processes and their crucial role in providing significant service support. By optimizing four key aspects, namely multi-source data collaborative quality control technology, real-time analysis technology for complex terrains, Fengyun satellite data assimilation technology, and authenticity verification technology, significant improvements have been achieved in enhancing the quality of real-time products such as precipitation and temperature. Notably, there has been a reduction of 20% in temperature product errors within complex terrain areas, effectively eliminating false precipitation and 80% snowmelt precipitation, and therefore enhancing the accuracy of rainfall information in complex mountainous regions. Additionally, atmospheric wind field errors have decreased by 2%, while humidity errors have reduced by 3.5%. For severe weather events such as heavy rainstorms, typhoons, heatwaves, cold waves etc., products accurately reflected the characteristics of convective systems during Dragon Boat Water period and precisely captured the evolution of precipitation areas, rainfall intensity, impacted areas by strong winds, and vertical structure of Typhoon Muifa. Furthermore, products demonstrated excellent monitoring capabilities for extreme hot weather conditions and rain/snow/ice/freeze events as well as strong winds during cold waves. Moreover, in emergency events such as flash floods, the minute-level data provided by real-time products effectively compensated for the lack of monitoring information in sparse station areas. And the 100-meter resolution real-time products effectively supported the meteorological service for the 2022 Beijing Winter Olympic Games.

收稿日期: 2023年10月5日; 修回日期: 2024年1月2日

第一作者: 庞紫豪(1993—), Email: pangzh@cma.gov.cn

通信作者: 谷军霞(1981—), Email: gujx@cma.gov.cn

资助信息: 国家气象信息中心结余资金项目(NMICJY202306); “十四五”民用航天技术预先研究项目(D040405); 国家自然科学基金项目(42205049); 中国气象局暴雨精细化分析和预报青年创新团队专项(CMA2023QN05); 风云卫星应用先行计划(2022)(FY-APP-2022.0608)

**Keywords:** multi-source merged, real-time product, research and improvement, monitoring application, unexpected event, meteorological support

### 0 引言

随着气象业务的高质量发展, 各行业对格点化时空连续的气象实况产品要求越来越高<sup>[1]</sup>。国家气象信息中心在引进国际先进融合技术的基础上, 持续多年攻关多源融合实况分析产品的研发核心技术<sup>[2-7]</sup>, 从无到有建成“全球一区域一局地”一体化实况业务体

系。截至2022年底，实时发布涵盖海洋、大气、陆面多圈层近150余种多源融合实况分析产品，产品分辨率全球尺度为10 km，中国区域尺度为1 km，重点区域尺度为100 m，最快实现5 min更新。全球实况产品质量与国际同类产品接近或相当，在中国区域更优。其中，2 m气温和比湿较欧洲中期天气预报中心（EC-MWF）最新的表面再分析产品（ERA5-Land）同类产品误差小于15%<sup>[8]</sup>；中国区域1 km分辨率实况产品质量相比5 km分辨率产品大幅度提升了针对复杂地形、冬季降水以及极值的刻画能力，其中降水实况产品与独立检验站的整体相关系数为0.85，相比于雷达估计降水（QPE）的0.72和IMERG卫星降水的0.45，多源融合实况分析产品质量有明显提升<sup>[9-15]</sup>。

2022年实况产品用户访问量达到8.9亿次，有效支撑暴雨、台风、高温等监测预报业务。实况产品具有时效性强、时空分辨率高的优点，为山西中阳山洪、四川龙槽沟山洪、青海大通县山洪、四川泸定地震等突发灾情提供1 km、10 min更新的高质量实况数据支撑，弥补站点稀疏区观测资料的不足。同时，网格化的实况产品有效地支撑了智能网格预报业务发展，成为从“零时刻”到日、月、季、年无缝隙预报业务的重要组成部分，并在气象、环境、生态、航空、公共卫生、交通、电力等20个行业服务以及重大活动服务中发挥重要支撑作用。本文通过梳理总结2022年国家气象信息中心多源融合实况产品研制的新进展，以及相关融合技术改进升级的新动向，为今后多源融合实况分析体系建设提供借鉴和参考；分析实况产品对高影响灾害性天气的灾害监测预警方法，加强其综合应用能力和精细化服务水平。

## 1 多源融合实况分析产品研制及改进新进展

2022年，针对实况数据研制过程中技术薄弱环节，从实况数据多源协同质量控制、复杂地形实况分析优化、国产卫星资料应用、降水实况产品真实性检验评估4方面进一步改进降水、气温等实况产品质量，包括质量控制技术、复杂地形订正和评估技术、卫星资料同化技术等攻关<sup>[16]</sup>。同时，根据天气气候核心业务对新数据的需求，基于偏差订正、多重网格变分分析、强对流天气特征提取技术和多模式集成等技术，研制了最高气温、最低气温、短时强降水、积雪等实况产品（表1），产品自主支撑占比由年初的56%提升至年末的77%。

### 1.1 多源融合实况分析产品技术改进升级

#### 1.1.1 多源数据协同质量控制技术改进

研发形成单源质量控制、多源数据协同质量控制

表1 2022年度国家气象信息中心实况分析产品重点技术升级和研制进展

Table 1 Key technological upgrades and research progress of real-time analysis products in National Meteorological Information Centre in 2022

| 实况产品攻关方向                             | 关键技术                      |
|--------------------------------------|---------------------------|
| 多源数据协同质量控制技术改进                       | 动态黑名单技术和质量控制技术            |
| 复杂地形实况优化技术改进                         | 基于物理统计和机器学习的复杂地形订正方法      |
| 国产资料融合应用技术改进                         | FY-3E、FY-4A、云海2号等数据同化应用技术 |
| 降水真实性检验评估技术改进                        | 独立检验和基于复杂地形的检验评估技术        |
| 中国1 km逐10 min近地面多源融合实况分析产品研制         | 偏差订正、最优插值、多重网格变分等技术       |
| 中国1 km逐小时更新24 h最高气温和最低气温多源融合实况分析产品研制 | 多重网格变分分析算法                |
| 中国1 km逐小时短时强降水、雷暴大风多源融合实况分析产品研制      | 强对流天气特征提取技术               |
| 中国区域6.25 km逐小时积雪深度实况分析产品研制           | TC协方差方法、CLM3.5、Noah等多模式集成 |

（雷达+天气现象）和动态黑名单相互独立、互为补充的质量控制技术，显著提升虚假降水、虚假“0”降水识别能力，1—8月累计甄别错误降水数据74万站次。研发降水动态黑名单技术，解决区域自动站冬季最典型的固态降水观测“滞后”问题，2月6—9日鄂皖苏降雪过程共计1.08万站进入黑名单，有效剔除降雪过程虚假“0”值和80%融雪性降水，为实况产品提供高质量输入。

#### 1.1.2 复杂地形实况技术优化改进

针对降水实况产品，引入地形坡度参数和站网密度信息，优化最优插值（OI）融合后处理算法，在剔除雷达虚假降水的同时避免对山区雷达探测降水的误剔，更好地保留山区雷达降水信息。针对气温实况产品，通过引入高程、坡度、坡向、地表覆盖类型等描述复杂地形的信息，研发基于物理统计和机器学习的订正方法，订正后气温实况产品空间分布更加精细，在地形复杂的山区均方根误差降低约20%。

#### 1.1.3 国产资料融合应用技术改进

攻关风云卫星资料应用技术，实现FY-3C/D/E、FY-2G/H、FY-4A等6颗在轨风云卫星28种数据在全球和中国区域实况分析产品中定量融合应用。全球实况产品中风云卫星资料同化占比从5.0%提高到10.5%。大气风场分析误差降低2.0%，大气湿度分析误差降低3.5%，建成全球实况分析备份系统，进一步提升风云卫星资料在实况业务中的应用能力。

#### 1.1.4 降水实况产品真实性检验评估

降水网格实况产品与站点观测高度一致，准确保留了站点观测极值。独立检验中相关系数大于0.8的

检验站占93.0%，均方根误差小于1 mm/h的检验站占93.2%，质量明显优于同类型的雷达、卫星降水产品(表2)。全国8省173个灾情事件检验表明，降水实况产品可以精准刻画灾情事件强降水中心，在站点观测空白区可以准确捕捉到约94.2%以上晴雨事件。针对复杂地形检验，以四川为例，开展实况产品在不同坡度分级的误差统计。因为四川地处中国西南腹地，地势起伏大，东西海拔落差近7000 m，且暴雨频发，研究结果较有代表性。整体而言，在坡度较缓地区实况产品表现更优，独立检验相关系数超过0.84，对于坡度大于35°且海拔超过3000 m的极端陡峭山体，相关系数依旧可达0.75，产品性能均在可用范围内(表3)。

表2 降水实况产品与同类型降水产品(雷达QPE、IMERG卫星降水)独立检验结果对比

Table 2 Comparison of independent verification results between precipitation real-time analysis product and similar precipitation products (radar QPE and IMERG satellite precipitation)

| 降水产品分类      | ME/(mm/h) | RMSE/(mm/h) | CORR  |
|-------------|-----------|-------------|-------|
| 降水网格实况产品    | -0.010    | 0.524       | 0.851 |
| 雷达QPE产品     | -0.016    | 0.815       | 0.720 |
| IMERG卫星降水产品 | 0.015     | 1.070       | 0.451 |

注：ME为平均偏差；RMSE为均方根误差；CORR为相关系数；表3同。

表3 降水实况产品在四川省不同坡度分级中各类误差指标统计(独立性检验)

Table 3 Statistics of error indicators in precipitation real-time analysis product across different slope levels in Sichuan Province (independent verification)

| 坡度分级         | CORR   | ME/(mm/h) | MAE/(mm/h) | MRE    | RMSE/(mm/h) |
|--------------|--------|-----------|------------|--------|-------------|
| 微斜坡(0.5°~2°) | 0.8689 | -0.0010   | 0.064      | -0.008 | 0.521       |
| 缓斜坡(2°~5°)   | 0.8361 | -0.0005   | 0.087      | -0.003 | 0.759       |
| 斜坡(5°~15°)   | 0.8391 | -0.0059   | 0.096      | -0.033 | 0.728       |
| 陡坡(15°~35°)  | 0.8067 | -0.0045   | 0.097      | -0.027 | 0.646       |
| 峭坡(35°~55°)  | 0.7452 | -0.0031   | 0.12       | -0.022 | 0.585       |

注：MAE为平均绝对偏差；MRE为平均相对偏差。

## 1.2 多源融合实况分析新产品研制

### 1.2.1 中国1 km逐10 min降水和近地面要素多源融合实况分析产品

基于概率密度匹配(PDF)偏差订正技术、雷达-卫星加权融合技术、OI融合分析以及地形偏差订正和多重网格融合分析等技术，融合分钟级地面自动站观测资料、雷达QPE、FY-4A反演降水产品等资料，中国区域实况产品时空分辨率提高至1 km逐10 min，产品滞后5 min更新(图1a)，要素包括降水、2 m气温、2 m湿度、10 m风。经检验，产品质量与已业务化的中国区域1 km逐小时多源融合实况分析产品总体相当，对10 mm/h以上强降水精度更优。

### 1.2.2 中国1 km逐小时更新过去24 h最高、最低气温实况分析产品

中国区域逐小时更新的过去24 h最高、最低气温实况分析产品(图1b)是利用多重网格变分分析算法，融合全国各级业务观测站最高气温、最低气温观测资料而生成，空间分辨率为1 km，时间分辨率为1 h，产品生成时效为15 min。产品质量上，均方根误差为0.3 °C(非独立检验)，可有效提升对高温、低温极值天气过程的再现能力。

### 1.2.3 中国1 km逐小时短时强降水、雷暴大风多源融合实况分析产品

基于中国区域多源融合降水和极大风数据、FY-4 AGRI LI产品和闪电定位数据，进行质量控制、时空匹配等预处理，通过强对流天气特征提取技术对短时强降水、雷暴大风进行判识，形成了中国区域短时强降水、雷暴大风多源融合实况分析产品<sup>[17]</sup>(图1c)，空间分辨率为1 km，时间分辨率为1 h，产品滞后26 min更新。产品命中率超过96%，漏报率小于4%。

### 1.2.4 中国区域6.25 km逐小时积雪深度实况分析产品

基于中国气象局陆面数据同化系统(CLDAS-V2.0)大气驱动数据，进行CLM3.5、Noah和NoahMP陆面模式积雪深度的模拟，使用协方差(TC)方法进行多模式集成，并与质量控制后积雪深度站点观测数据进行融合生成积雪实况产品<sup>[18]</sup>。产品空间分辨率为6.25 km，时间分辨率为1 h，滞后1 h 17 min(图1d)。该产品可为中国区域积雪监测、气候变化、雪灾等提供数据支撑。

## 1.3 “天擎·实况”可视化综合服务平台建设

为提升实况产品服务支撑能力，围绕汛期气象服务保障、重大活动气象保障、重大灾害气象保障、突发事件气象保障四大业务场景，打造“天擎·实况”可视化综合服务平台<sup>[19-21]</sup>(图2)。结合27类丰富的地理信息图层，实现历史、实况和预报数据产品的综合可视化服务，细化了分流域、分区域、分灾种专项服务场景，发布服务接口、图形产品以及高温、暴雨、台风等交互分析专题。

## 2 多源融合实况分析产品对高影响天气过程的监测能力分析

2022年，华南地区“龙舟水”极端性强，强对流频发，局地灾害严重；高温天气持续时间长、影响范围广；台风登陆后带来大范围降水；11—12月寒潮带来大范围降温雨雪天气，降温时间长，覆盖面积广，累计降雪深度大。基于实况产品开展了各类灾害性天气过程监测分析。

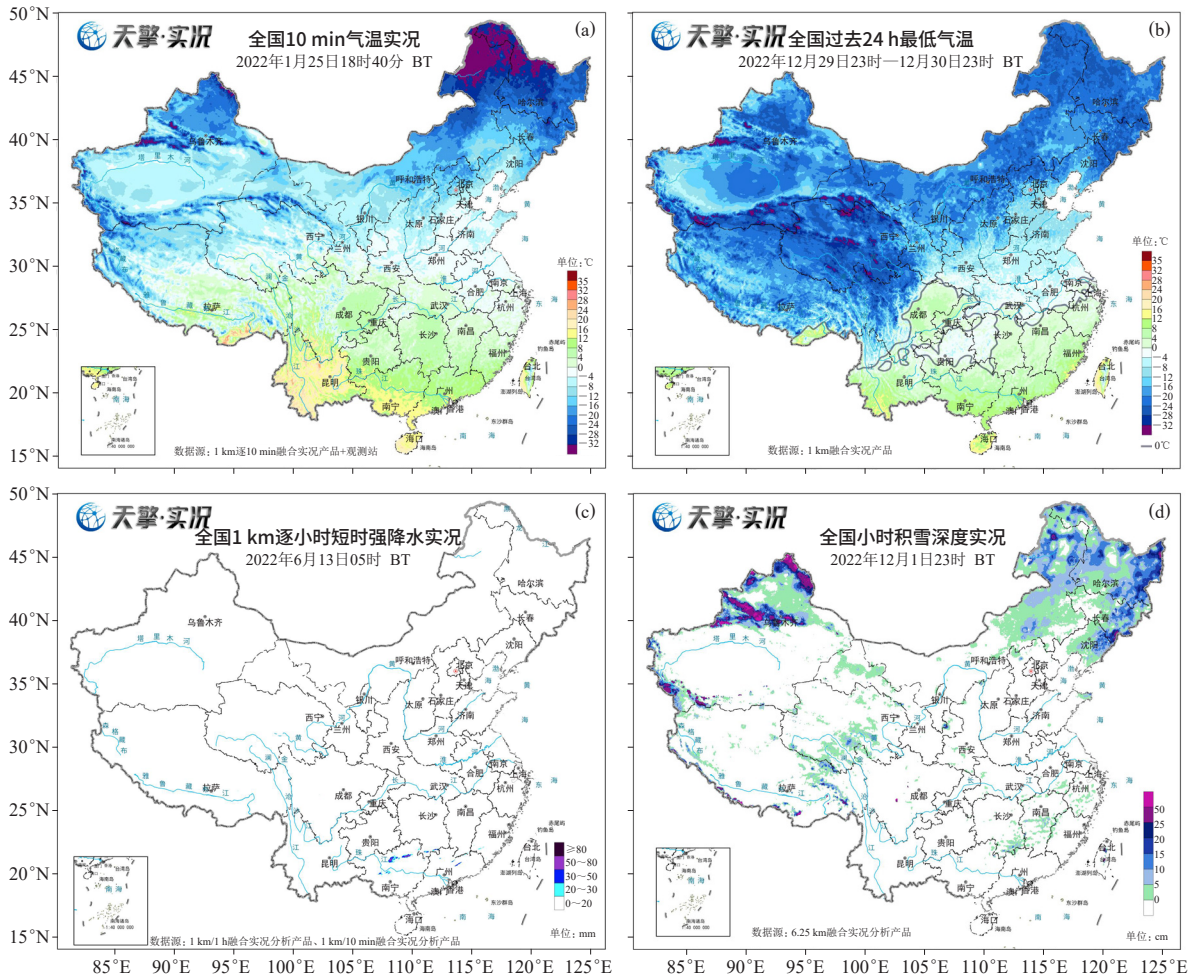


图1 中国区域多源融合实况分析产品

(a) 1 km逐10 min气温; (b) 逐小时更新过去24 h最低气温; (c) 1 km逐小时短时强降水; (d) 6.25 km逐小时积雪深度

Fig. 1 Regional multi-source merged real-time analysis products in China

(a) 1-km/10-min temperature; (b) hourly updated lowest temperature in the past 24 hours; (c) hourly short-term heavy precipitation of 1-km resolution; (d) hourly snow depth of 6.25-km resolution

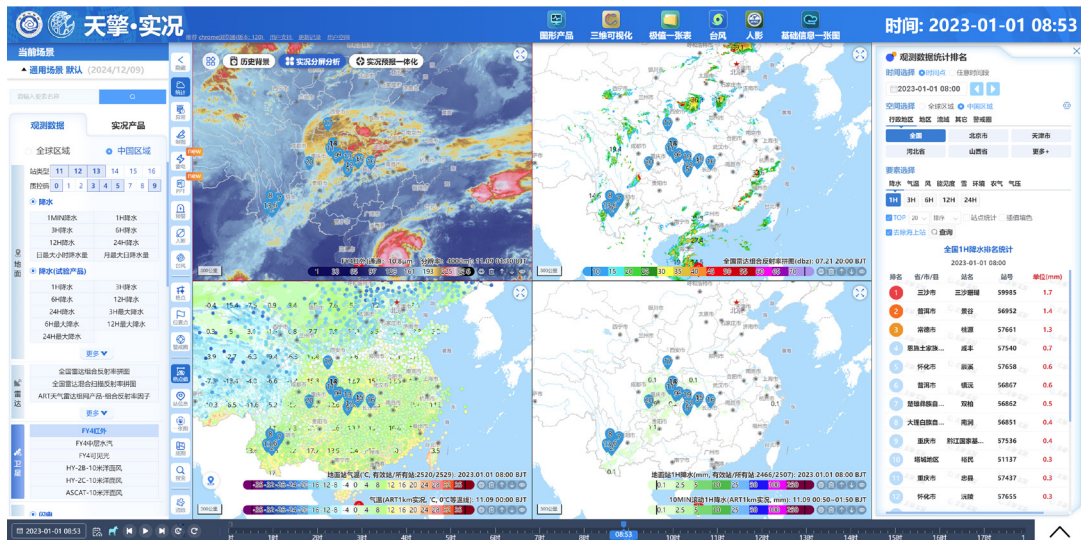


图2 “天擎·实况”可视化综合服务平台

Fig. 2 “Tianqing · ART” visual integrated service platform

## 2.1 多源融合实况分析产品在暴雨监测中的应用效果分析

### 2.1.1 2022年3—7月降水特征分析

2022年汛期全国降水整体分布不均<sup>[22]</sup>, 广东、广西、福建均出现大面积累计降雨量超过1500 mm的区域; 东部大部分地区均出现过雨量大于20 mm的短时强降水, 广东、广西、山东、安徽等局部地区超过50 mm, 同时粤北和桂北暴雨日达到10 d以上。

基于中国区域1 km分辨率降水实况分析产品对雨带演变进行分析(图3)。2022年3—7月, 雨带位置南北摆动大, 通过对不同时期主要多雨区的影响范围的监测分析, 实况产品显示华南前汛期雨带主要集中在南方地区, 在华南和江南地区呈现小幅度摆动。进入7月之后, 雨带迅速北抬, 形成北方和华南两条主雨带, 长江中下游地区雨量偏少。华南地区在3月下旬发生强降水后, 从4月开始, 平均累计雨量逐月增加, 到6月中旬达到峰值, 降水频率在5月下旬达到80%以上。华北和东北地区从5月下旬开始雨量逐渐增加。

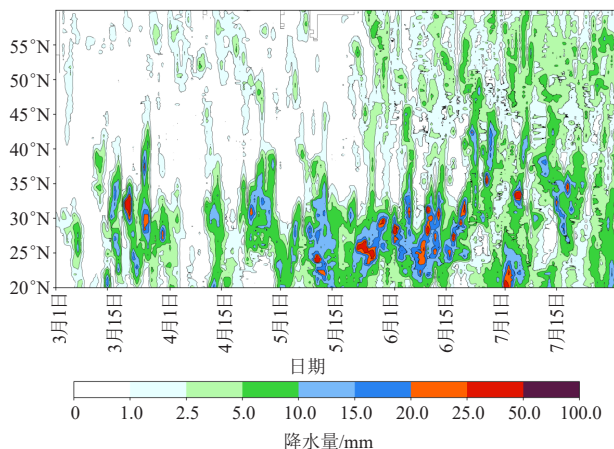


图3 2022年3—7月我国中东部地区(100°—125°E)降水过程时间-纬度演变

Fig. 3 Time-latitude change of precipitation process in central and eastern China (100°–125°E) from March to July 2022

对于全国各区域降水量的分级结构以及日变化精细化特征而言(图4), 实况产品显示华南10 mm/h以上降水对总降水量的贡献超过30%, 20 mm/h以上降水贡献为13%。西北地区以2 mm/h以下的降水为主, 对总降水贡献超过50%。西南和华北地区以夜间降水为主, 夜间降水的贡献超过60%。东部沿海、东北和内蒙古东部地区的降水以白天降水为主。在降水量和降水频率的日变化上, 华南地区降水的大值时刻出现在16时(北京时, 下同), 西南地区的低值时刻出现在12时。东北和西南地区的降水日变化呈现反相位。

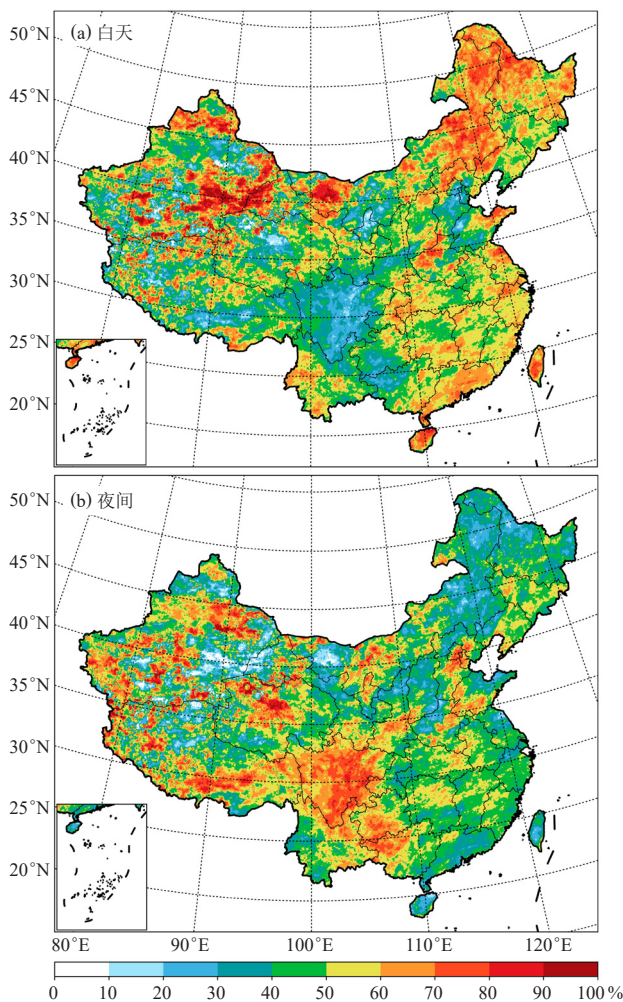


图4 2022年3—7月全国日雨百分比(a)和夜雨百分比(b)空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of nationwide daily rain percentage (a) and night rain percentage (b) from March to July 2022

### 2.1.2 2022年“龙舟水”过程实况监测应用分析

2022年“龙舟水”具有降水时间长、累计雨量大、暴雨落区重叠、多种灾害叠加等特点, 珠江流域接连发生流域性大洪水, 影响范围极广<sup>[23-25]</sup>。

基于实况产品高时空分辨率、高时效和高精度的特点, 对珠江流域暴雨洪涝灾害过程进行精细化监测分析(图5)。结果显示, “龙舟水”期间降水空间分布非常不均匀, 强降雨区主要集中于粤北和桂北, 广东、广西出现30 mm/h雨强的地区超过各省面积的45%, 累计雨量超过800 mm的区域均占了两省总面积的10%以上。在降水极值上, 实况产品和站点观测有一致的表现, 同时也有效填补了观测空白区的降水特征<sup>[26]</sup>。广西东北部、广东北部暴雨日数普遍有5~8 d, 局部超过10 d, 降水频率在50%以上。

基于中国区域5 km分辨率三维云实况分析产品和FY-4A红外亮温产品对华南暴雨过程中云团的生消演变过程以及突发性对流天气的发展特征进行分析

(图6), 可以看出, 在“龙舟水”过程中的6月12日12时, 华南地区被前后两个厚重的云团所覆盖, 亮温  $< -52$  °C 的冷云区覆盖范围广。广东省中东部地区积

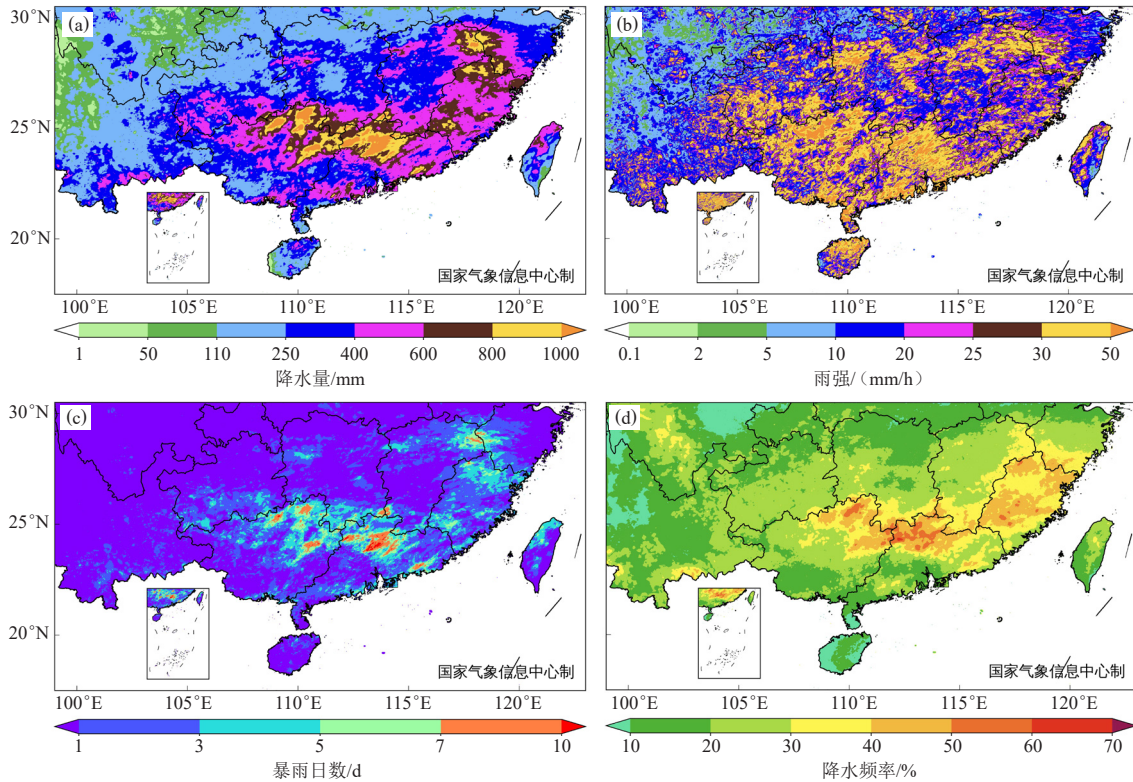


图5 2022年“龙舟水”期间(5月21日—6月21日)1 km分辨率降水实况产品统计的过程累计降水量(a)、最大小时雨强(b)、暴雨日数(c)和降水频率(d)的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of cumulative precipitation (a), maximum hourly rainfall intensity (b), number of rainstorm days (c) and precipitation frequency (d) of 1-km resolution precipitation real-time product statistics in the “Dragon Boat Water” period of 2022

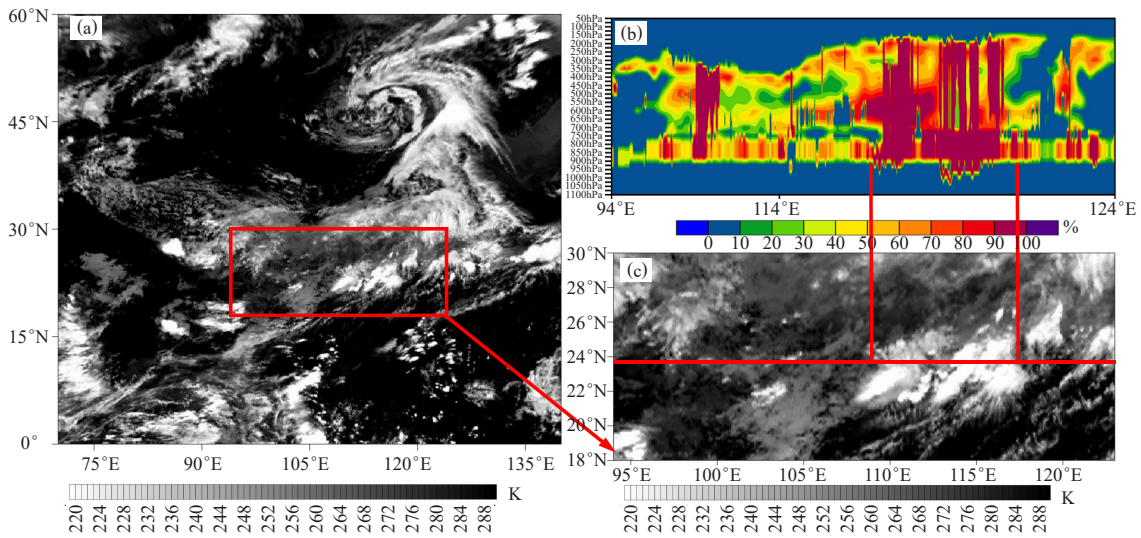


图6 2022年“龙舟水”过程中(6月12日12时)5 km分辨率三维云实况产品反映的对流云团垂直结构(a、c)FY-4A红外亮温;(b)三维云量

Fig. 6 Vertical structure of convective cloud cluster reflected by 5-km resolution 3D cloud real-time product in the “Dragon Boat Water” period in 2022 (12: 00 BT on 12 June 2022) (a, c) FY-4A infrared brightness temperature; (b) 3D cloud coverage

雨云发展旺盛，出现了明显的云砧结构，云顶气压在200 hPa左右，达到对流层顶，同时在位于对流云团冷云区边界地带，亮温梯度较大，说明该地区云顶纹理丰富，起伏剧烈，对流发展旺盛，非常有利于强降水的发生。随后对流云团持续东移，合并加深，对流云团进一步扩大。

基于全球10 km、6 h大气实况分析产品对“龙舟水”期间大气热动力特征、层结稳定度、水汽输送通道以及高低空急流耦合等物理量进行分析。整体而言，5—6月南支槽持续发展，亚洲中高纬度呈“两槽一脊”的环流形势，东亚槽引导冷空气南下，在华南地区形成冷暖交汇；同时在华南地区出现南风脉动，115°—120°E出现 $\geq 12$  m/s南风急流，南风在夜间有增强，低空急流左侧有强上升运动区，华南地区整层水汽充沛，广东上空的整层相对湿度一直维持在60%以上，部分时次达到90%；并且华南地区上空垂直运动旺盛、对流不稳定能量高、水汽输送剧烈，大气环流

条件与本次“龙舟水”期间的强降水过程密切相关。

## 2.2 多源融合实况分析产品在台风监测中的应用

2022年第12号台风“梅花”于9月8日在西北太平洋生成，先后4次在浙江舟山、上海奉贤、山东青岛、辽宁大连登陆。受其影响，浙江北部和东部、上海、江苏东部、山东半岛、辽宁东部等地出现暴雨或大暴雨。

基于中国区域1 km多源融合实况分析产品对本次台风过程影响区域的降水和强风实况特征进行分析(图7)，结果显示，9月12—17日浙江绍兴、宁波、舟山及山东青岛、烟台等地部分地区累计降水量达250~500 mm，局地达600 mm以上。随着台风“梅花”登陆后的持续北上，在浙江东部、上海、江苏东部、山东半岛、辽宁东部等地陆续出现8级以上的极大风天气，其中上海沿海、浙江沿海的局地阵风风力可达12~14级。

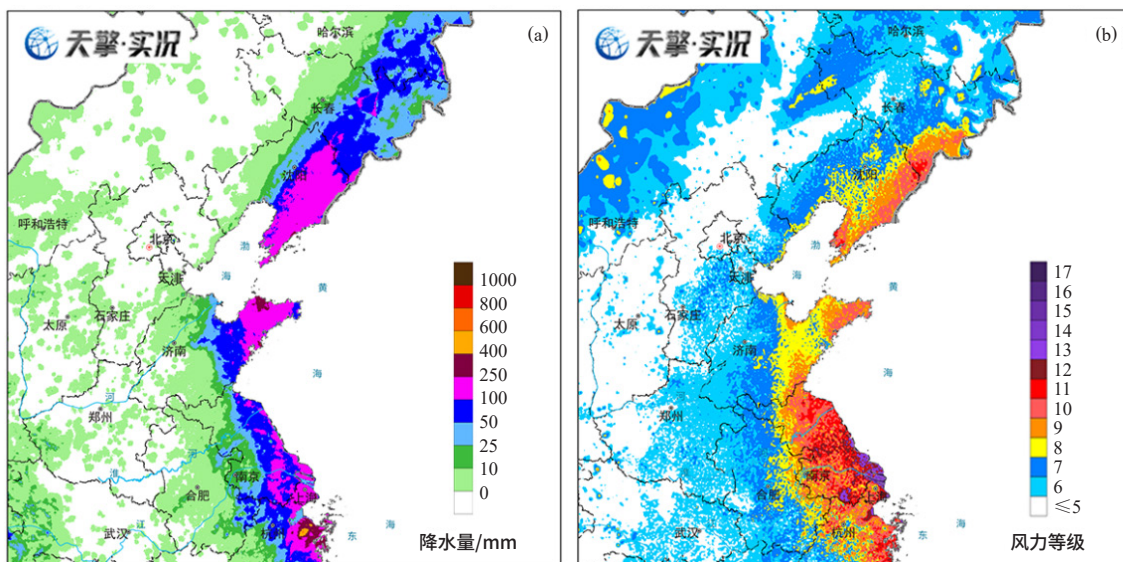


图7 2022年台风“梅花”期间(9月12日08时—17日08时)多源融合实况分析产品统计的过程累计降水量(a)和过程极大风(b)的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of cumulative precipitation (a) and extreme wind (b) of multi-source merged analysis product statistics during Typhoon Muifa period in 2022 (from 08: 00 BT September 12 to 08: 00 BT September 17)

基于全球大气和海表温度等融合分析产品对台风“梅花”过程的热动力条件演变进行分析(图8)，可以看出，在台风登陆前，由于台风中心的抽吸作用，台风经过区域的海表温度均出现明显下降，导致在台风的尾部出现海表温度的冷舌。台风登陆后，由于受中纬度西风槽进入华北后加深发展的影响，槽后干冷空气不断从西侧侵入，使台风西侧湿度减小而对流减弱，同时高低层具有明显的垂直风切变，高层的强盛东南风持续引导“梅花”向东北方向移动。

## 2.3 多源融合实况分析产品在高温、寒潮监测中的应用

2022年夏季，全国平均气温22.3℃，较常年同期偏高1.1℃，为1961年有完整气象观测记录以来历史同期最高<sup>[27-29]</sup>。2022年6—7月，拉尼娜事件持续，Niño3.4区海温指数为-0.7℃，北太平洋和南太平洋中纬度大部海域海表温度较常年同期偏高，同时受北半球副热带高压带异常强大的影响，东亚地区整个对流层盛行下沉气流，有利于地面持续增温。2022年7

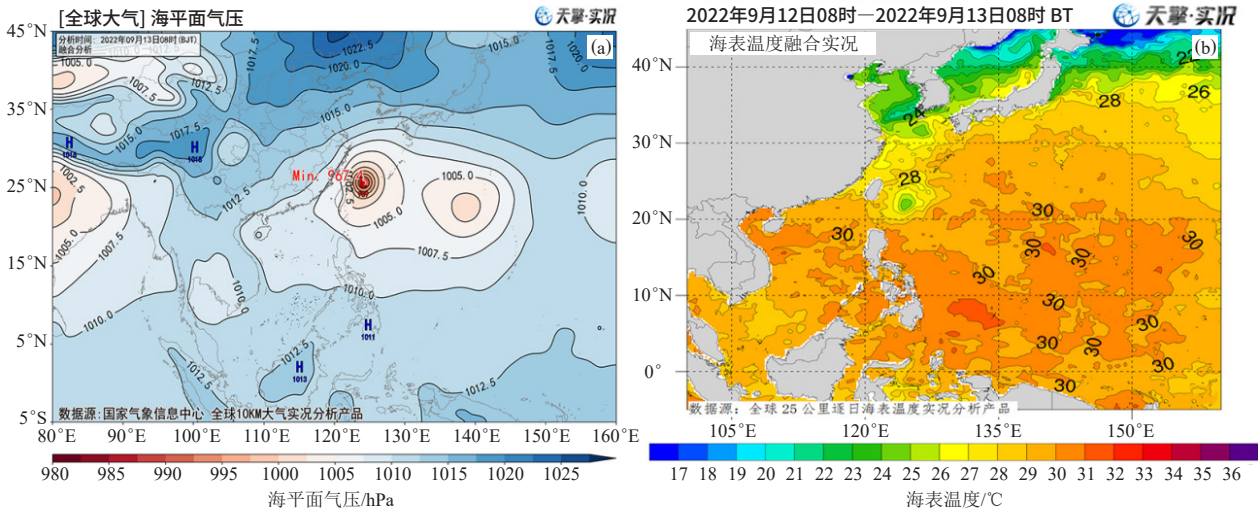


图8 2022年9月13日台风“梅花”过程中海平面气压(a)和海表温度(b)空间分布实况产品

Fig. 8 Spatial distribution of sea level pressure (a) and sea surface temperature (b) of real-time products during Typhoon Muifa period on 13 September 2022

月，中国区域1 km分辨率气温实况分析产品显示我国南方地区高温相较于6月仍在持续发展。7月持续高温日的主要影响区域由6月的华中华北地区转移到华东和长江流域一带，浙江、四川、云南等省的多站观测日最高气温突破历史极值。我国南方大部分地区日最高气温达到38~41℃，局地达到41~47℃。中国35℃高温日数统计显示，南方大部分地区高温日数达到16 d以上，浙江、江西、福建、湖南、广东、广西、四川、重庆等地高温日数达到22~27 d，个别地区达到28 d以上(图9a、9b)。

2022年11月26日—12月1日，出现入冬以来最强寒潮天气，综合强度达到历史同期(11月)第五。基于多源融合实况分析产品的多特征要素，对本次寒潮过程雨雪冰冻和大风降温天气的演变情况与影响区域进行监测分析(图9c、9d)，结果显示，本次过程降温幅度大，具有极端性，全国大部分地区过程最大降温幅度达到8~16℃，西北地区、江淮地区、江南地区等最大降温降幅度超过20℃，气温0℃线最南到达浙江北部、江西北部至湖南南部、贵州南部一带，有30个气象观测站的日最低气温超过月历史同期极值，主要分布在河北、内蒙古、甘肃等省，长江中下游地区出现雨夹雪，江南及华南地区出现暴雨，中东部大部分地区极大风达到6~8级，部分地区达9~11级。

### 3 多源融合实况分析产品在突发事件和重大气象保障服务中的应用

#### 3.1 多源融合实况分析产品在“8·13”四川龙槽沟山洪突发事件中的应用

2022年8月13日15时30分，四川成都彭州市小鱼

洞社区龙槽沟突发洪水，河道未撤离游客被卷入山洪。据彭州市发布的应急通告，此次山洪灾害造成多人死亡和受伤。

针对本次龙槽沟的山洪事件，中国区域1 km逐10 min多源融合实况分析产品反映山洪发生地上游出现的降水具有突发性强、分钟雨量大、降水区域较为集中的特点。8月13日13时30分—15时30分，彭州市龙槽沟上游普遍存在10 mm以上的累计雨量，其中最大累计雨量达到16 mm(图10)。逐10 min降水实况产品显示在龙槽沟上游地区14时20分开始出现降水，降水一直持续到15时40分结束，逐10 min降水量最大达到6.4 mm/10 min。由于龙槽沟位置未设气象自动站，本次山洪事件也对产品的真实性进行了验证，进一步说明实况产品可以弥补站网观测稀疏区的不足，与站点观测进行互补，精密监测局地中小尺度强降水事件。

#### 3.2 多源融合实况分析产品在2022年冬奥气象服务保障中的应用

国家气象信息中心作为“智慧冬奥2022天气预报示范计划(SMART 2022-FDP)”的参与单位，负责提供京津冀地区1 km逐小时、冬奥会山地赛区100 m逐10 min冬奥气象实况分析产品(ART-OWG)，主要包括2 m气温、2 m相对湿度、10 m UV风速、降水、总云量等要素。应用北京、延庆和张家口及周边建设的冬奥会加密气象综合监测数据、X波段雷达降水等资料，采用多重网格变分分析方法、最优插值融合和降尺度分析等技术，结合地形订正、观测数据偏差订正等，实现了复杂地形下100 m逐10 min快速更新的关键气象

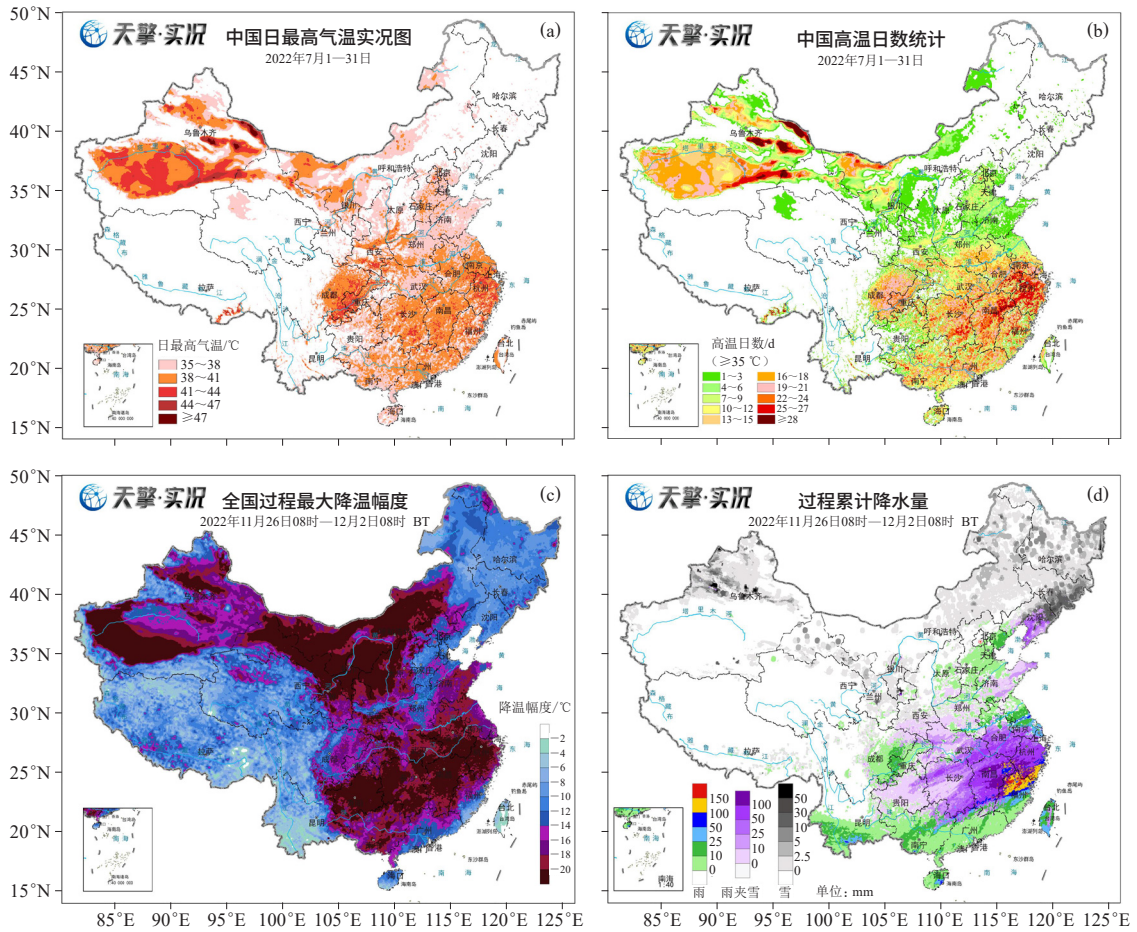


图9 多源融合实况分析产品统计的2022年7月中国日最高气温(a)和超过35 °C高温日数(b), 以及2022年11月26日—12月2日最大降温幅度(c)和过程累计降水量(d)的空间分布

Fig. 9 Based on statistical analysis of multi-source merged real-time products, spatial distribution of daily maximum temperature (a) and number of days with temperatures exceeding 35°C (b) in July 2022, the maximum cooling range (c) and accumulated rainfall and snowfall (d) from 26 November to 2 December 2022 in China

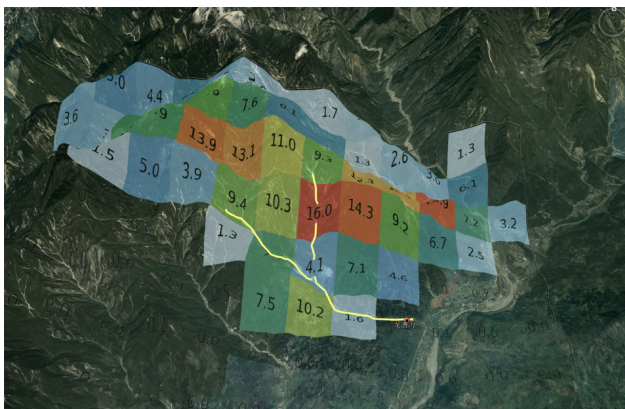


图10 2022年8月13日13时30分—15时30分龙漕沟地区累计降水量实况空间分布(单位: mm; 黄色线为龙漕沟)

Fig. 10 From 13: 30 BT to 15: 30 BT on 13 August 2022, the spatial distribution of real-time accumulated precipitation in Longgaogou area (unit: mm; the yellow lines representing Longgaogou gully)

要素实况产品实时制作, 为提升复杂地形和下垫面条件下关键气象要素预报准确率和精细化赛事气象决策能力提供了有力数据支持。

#### 4 结论

2022年国家气象信息中心多源融合实况分析产品的研发改进及应用效果提升的主要内容如下。

1) 针对实况数据研制过程中的技术薄弱环节, 从实况数据多源协同质量控制、复杂地形实况分析技术优化、风云卫星资料应用技术攻关、网格实况产品真实性检验评估4方面进行包括质量控制技术、复杂地形订正和评估技术、卫星资料同化技术等攻关, 改进降水、气温等实况产品质量。其中, 气温产品在复杂地形区误差降低20%, 有效剔除虚假降水和80%融雪性降水, 改善复杂山区降水信息; 大气风场分析误差降低2%; 大气湿度分析误差降低3.5%。同时持续扩展

实况产品种类, 全年完成41种产品研发, 产品自主支撑占比由56%提升至77%。

2) 针对暴雨监测效果分析, 中国区域1 km分辨率降水实况分析产品可以精密监测雨带的南北摆动和降水的日变化特征。广东、广西在“龙舟水”期间出现30 mm/h雨强的地区超过各省面积的45%, 粤北桂北降水频率达到50%以上。同时, 实况产品对气温、对流云活动、产流以及大气热动力等特征均能较好监测。针对台风监测效果分析, 实况分析产品有效地捕捉了降水落区的演变、雨强大小、大风影响范围以及台风的垂直结构, 有助于研判台风的移动路径和影响区域。在高温和寒潮天气监测服务中, 实况分析产品能准确把握极端高温天气过程和寒潮中雨雪冰冻和大风天气的演变情况。

3) 针对“8·13”四川龙漕沟山洪突发事件, 中国区域逐10 min多源融合实况分析产品充分展现了分钟级实况产品应对突发事件的能力, 弥补了站点稀疏区观测资料的不足, 可精密监测局地中小尺度强降水事件。自主研发的100 m逐10 min实况分析产品为2022年冬奥气象服务保障提供了有效的数据支撑。

今后, 国家气象信息中心将结合《气象高质量发展纲要(2022—2035年)》, 通过支撑全球监测、海洋预报、气候变化、专项能力提升、重大活动保障、资源评估服务等需求, 着力提升实况数据产品供给能力, 并进一步攻关实况分析技术, 持续改进产品质量。

致谢: 本文撰写得到了国家气象信息中心潘昉、王正、朱智、孙帅、廖志宏、朱亚妮、葛玲玲、张志森、曹丽娟、王蕙莹、远芳、陈丽凡、杨和平、陈楠、王洁、陈文琴等在多源融合实况分析产品数据处理、绘图和分析等方面提供的有益指导和重要帮助, 在此一并表示感谢。

#### 参考文献

[1] 周自江, 曹丽娟, 廖捷, 等. 水文气象信息概述: 观测, 融合与再分析. 气象, 2022, 48(3): 272-283.  
 [2] 徐宾, 宇婧婧, 张雷, 等. 全球海表温度融合研究进展. 气象科技进展, 2018, 8(1): 164-170.  
 [3] 韩帅, 师春香, 姜志伟, 等. CMA高分辨率陆面数据同化系统(HRCLDAS-V1.0)研发及进展. 气象科技进展, 2018, 8(1): 102-108.  
 [4] 潘昉, 谷军霞, 徐宾, 等. 多源降水数据融合研究及应用进展. 气象科技进展, 2018, 8(1): 143-152.

[5] 师春香, 潘昉, 谷军霞, 等. 多源气象数据融合格点实况产品研制进展. 气象学报, 2019, 77(4): 774-783.  
 [6] 廖志宏, 徐宾, 张雷, 等. 基于FY-3C微波辐射成像仪海表温度产品的偏差订正方法研究. 气象学报, 2020, 78(5): 840-852.  
 [7] 朱智, 师春香, 刘瑞霞, 等. 我国三维云融合分析业务系统(3DCloudA-V1.0)研制与开发. 气象科技, 2021, 49(1): 55-62.  
 [8] Liang X, Jiang L, Pan Y, et al. A 10-yr global land surface reanalysis interim dataset (CRAInterim/Land): implementation and preliminary evaluation. Journal of Meteorological Research, 2020, 34(1): 101-116.  
 [9] 潘昉, 谷军霞, 宇婧婧, 等. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试. 气象学报, 2018, 76(5): 755-766.  
 [10] Pang Z, Shi C, Gu J, et al. Assessment of a gauge-radar-satellite merged hourly precipitation product for accurately monitoring the characteristics of the super-strong Meiyu precipitation over the Yangtze River basin in 2020. Remote Sensing, 2021, 13(19): 3850.  
 [11] Wang Z, Pan Y, Gu J, et al. Quality evaluation of the 0.01° multi-source fusion precipitation product and its application in extreme precipitation event. Sustainability, 2022, 14(2): 616.  
 [12] 张璐, 潘昉, 谷军霞, 等. 国际主流多源融合降水实况产品的研究进展与展望. 气象科技进展, 2022, 12(6): 16-27.  
 [13] Huang X, Han S, Shi C. Multiscale assessments of three reanalysis temperature data systems over China. Agriculture, 2021, 11(12): 1292.  
 [14] Huang X, Han S, Shi C. Evaluation of three air temperature reanalysis datasets in the Alpine region of the Qinghai-Tibet Plateau. Remote Sensing, 2022, 14(18): 4447.  
 [15] Han S, Shi C, Sun S, et al. Development and evaluation of a real-time hourly one-kilometre gridded multisource fusion air temperature dataset in China based on remote sensing DEM. Remote Sensing, 2022, 14(10): 2480.  
 [16] 潘昉, 谷军霞, 师春香, 等. 中国北方冬季降水的多源资料产品评估和融合优化. 气象学报, 2022, 80(6): 953-966.  
 [17] 葛玲玲, 师春香, 谷军霞, 等. 强对流实况分析关键技术及产品研制进展与展望. 气象科技进展, 2023, 13(3): 14-21.  
 [18] Sun S, Shi C, Liang X, et al. The evaluation of snow depth simulated by different land surface models in China based on station observations. Sustainability, 2023, 15(4): 11284.  
 [19] 陈京华, 杨和平, 陈楠, 等. WebGIS技术在气象网格产品精细化服务中的应用. 气象科技, 2022, 50(6): 766-775.  
 [20] 陈楠, 杨和平, 霍子墨, 等. 气象网格数据的快速渲染研究与应. 气象科技, 2023, 51(2): 192-198.  
 [21] 杨和平, 张强, 罗兵, 等. 气象综合指挥平台建设与应用. 应用气象学报, 2023, 34(1): 117-128.  
 [22] 李莹, 叶殿秀, 高歌, 等. 2022年夏季中国气候特征及主要天气气候事件. 大气科学学报, 2023, 46(1): 1-13.  
 [23] 唐思瑜, 沙天阳, 涂静, 等. 全球和区域模式在2022年广东龙舟水期间的评估. 广东气象, 2022, 44(4): 35-37.  
 [24] 廖胜石, 罗小莉, 陆甲. 2022年广西罕见龙舟水的大尺度环流成因分析. 广东气象, 2023, 45(4): 20-24.  
 [25] 刘国忠, 覃月凤, 覃卫坚, 等. 2022年广西极端“龙舟水”暴雨过程环境场特征分析. 气象研究与应用, 2023, 44(1): 7-13.  
 [26] 邓悦, 李艳萍, 卓健, 等. 2022年桂北“龙舟水”期间融合降水实况产品的真实性检验. 气象研究与应用, 2023, 44(1): 44-50.  
 [27] 邹旭恺, 高荣, 陈鲜艳, 等. 2022年长江流域夏伏旱监测评估. 中国防汛抗旱, 2022, 32(10): 12-16.  
 [28] 周春花, 吴薇. 2022年夏季四川盆地区域性极端高温天气特征及成因分析. 中国防汛抗旱, 2023, 33(8): 29-35.  
 [29] 林纾, 李红英, 黄鹏程, 等. 2022年夏季我国高温干旱特征及其环流形势分析. 干旱气象, 2022, 40(5): 748-763.

(编辑: 郑秋红)