

赵文芳,王蕙莹,孟慧芳,等. 省级降水实况分析产品在北京地区的适用性评估. 应用气象学报,2024,35(3):361-372.
DOI: 10.11898/1001-7313.20240309

省级降水实况分析产品在北京地区的适用性评估

赵文芳^{1)*} 王蕙莹²⁾ 孟慧芳¹⁾ 缪宇鹏¹⁾ 黄明明¹⁾
范敏¹⁾ 唐伟³⁾

¹⁾(北京市气象数据中心,北京 100089)

²⁾(国家气象信息中心,北京 100081)

³⁾(中国气象局气象发展与规划院,北京 100081)

摘要

利用自动气象站观测数据,采用误差分析、有效降水时次占比等方法评估 2022 年 9 月—2023 年 8 月省级降水实况分析产品在北京地区的一致性和准确性,并从累积降水量、降水强度、逐小时降水量误差等方面对“23·7”极端降水过程进行分析。结果表明:省级降水实况分析产品在北京地区的均方根误差不足 1 mm,平均绝对偏差低于 0.16 mm,与自动气象站观测结果接近。省级降水实况分析产品误差随降水量等级增加而增大,小雨等级降水被高估,中雨及以上等级降水被低估;误差空间分布差异明显,在中雨和暴雨等级下,最大负偏差均出现在延庆区,最大正偏差均出现在昌平区。“23·7”极端降水过程中,省级降水实况分析产品的平均均方根误差为 1.8 mm,平均绝对偏差为 0.806 mm,降水强度与自动气象站观测随时间变化趋势一致,较真实地反映了降水强度的变化趋势。

关键词: 实况分析产品; 评分技巧; 多源融合; 准确性检验

引言

国家级降水实况分析产品是国家气象信息中心采用概率密度匹配、贝叶斯模型平均、多重网格变分、最优插值等技术研发的格点产品^[1-4],具有高精度、高质量和时空连续等优点^[5],已应用于国家级短时临近天气预报业务^[6]。为了推动实况分析产品的国省协同应用,2022 年 9 月国家气象信息中心下发了省级多源融合实况分析系统,系统采用国家级降水实况分析产品的融合算法,支持各省接入本地多种观测数据,生成覆盖该省空间范围的降水实况分析产品,并命名为省级降水实况分析产品。与直接使用国家级降水实况分析产品相比,省级降水实况分析产品在接入数据源的灵活性、空间范围配置、服务时效方面均具有明显优势。目前,省级降水实

况分析产品已在北京地区实时生成。

北京地区为典型温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,降水空间分布不均匀,局地性强。北京地区观测站的空间分辨率在城区为 3~4 km,在郊区为 4~6 km,在面对突发性、局地性降水过程时,站点观测数据对于定点、定时应急服务的支撑能力明显不足^[7-8]。省级降水实况分析产品在空间分辨率上能弥补北京地区自动气象站空间分布不均匀、不够稠密的缺点。因此,迫切需要全面检验评估省级降水实况分析产品在北京地区短时临近预报业务中的应用效果,为无站点观测数据时段,利用省级降水实况分析产品代替站点数据用于应急服务等提供科学依据。

目前,针对融合降水实况分析产品的检验评估显示其准确性的地区差异较大。俞剑蔚等^[9]发现国家级格点实况分析产品在江苏平原地区精度高于丘

2024-01-08 收到,2024-03-25 收到再改稿。

资助项目: 中国气象局重点创新团队(CMA2023ZD01),国家自然科学基金青年科学基金项目(42005125),国家气象信息中心结余资金项目(NM-ICJY202304)

* 邮箱: yoyozwf@sina.cn

陵地带。龙柯吉等^[10-11]评估多种降水实况分析产品在四川一次强降水过程的表现时指出,这些产品的降水落区与观测随时间变化趋势一致,但降水极大值较实况存在低估。杜冰等^[12]评估多种降水实况分析产品在四川雅安宝兴暴雨过程的表现,发现这些产品的晴雨准确率超过 80%,与自动气象站数据的相关系数超过 0.8,对降水极值估计偏低。郭旭等^[13]评估 4 种降水实况分析产品在四川持续性强降水过程的整体表现,指出对降水落区的刻画大致与实况一致性较高,但 4 种产品的降水中心与实况存在偏差。张茜茹等^[14]对两种融合降水实况分析产品在山东地区的适用性评估时指出,1 km 逐小时降水实况分析产品在 9 月的适用性最优;对降水量分级检验,对中雨及以下等级的降水量估计偏大,对大雨及以上等级的降水强度估计偏低。

本文通过误差特征分析、降水日有效降水时次占比、强降水日有效降水时次占比等方法检验评估省级降水实况分析产品,分析其在北京地区的准确性和可用性,为产品的业务应用和质量提升奠定基础。

本文插图中所涉及的行政区域界线基于审图号为 GS(2019)3028 号标准地图制作,底图无修改。

1 数据与方法

1.1 省级多源融合实况分析系统简介

省级多源融合实况分析系统于 2022 年 9 月在北京地区开始业务运行,以容器化方式部署于气象大数据云平台(简称天擎)^[15],天擎的加工流水线实时调度相关算法生成逐 10 min、逐 1 h、逐 1 d 和任意时段累积的省级降水实况分析产品。系统实时接入京津冀 9 部雷达、5785 个自动气象站,其中北京地区共有 35 个区域自动气象站作为独立检验站,未进行实时融合。

1.2 省级降水实况分析产品

本研究所用数据为 2022 年 9 月—2023 年 8 月省级降水实况分析产品,空间分辨率为 1 km,时间分辨率为 1 h,空间覆盖范围为 36.04°~42.62°N、113.46°~119.90°E。采用多源数据协同质量控制、最优插值、适应站网密度的地面观测网格分析等技术融合生成省级降水实况分析产品。省级降水实况分析产品在天擎完成元数据注册,由天擎的数据湖系统提供目录服务。检验站数据通过天擎的数据接

口服务获取。

1.3 检验站选取

本文采用独立检验方式,选择未进行融合的 35 个区域自动气象站作为检验站,评估省级降水实况分析产品的准确性。检验站数据经过气候学界限值、时间一致性、内部一致性和空间一致性等质量控制。

1.4 检验方法

分别利用邻近插值法、双线性插值法、九宫格方法对省级降水实况分析产品进行插值,用于独立检验^[16-17]。Zhou 等^[18]在 1~7 d 的 2 m 温度预报中采用九宫格方法进行插值,预报效果较欧洲天气预报中心产品更佳。袁松等^[19]采用九宫格方法对安徽省闪电定位系统数据进行插值,结合雷达风暴追踪信息产品对雷电块进行外推预报,结果较为理想。考虑到北京地区降水分布的局地性,本文也采用九宫格方法作为插值方法计算降水估测值。

本文从 3 个方面开展检验评估工作:误差随时间的连续性检验、误差特征分析和 2023 年汛期降水过程评估。利用均方根误差、平均绝对偏差进行误差随时间的连续性检验;将逐小时降水量按小雨(0.1~1.5 mm)、中雨(1.6~6.9 mm)、大雨(7.0~14.9 mm)、暴雨(15.0~29.9 mm)、大暴雨(不低于 30 mm)5 个等级计算各级降水偏差和降水偏差率。除使用传统方法^[20-28]以外,还参考张舒婷等^[29]、陈静等^[30]、陈法敬等^[31]、Lu 等^[32]提出的降水日和强降水日有效降水时次占比两个指标对 2023 汛期降水过程进行评估。

当某时次降水量不小于 0.1 mm 时,即认定该时次为有效降水时次,对应降水量为有效降水量。有效降水时次占比为有效降水时次数与总观测时次数之比。将 24 h 累积降水量不小于 0.1 mm 定义为降水日,24 h 累积降水量不小于 25 mm 定义为强降水日,分别计算降水日和强降水日的有效降水时次占比。本文将省级降水实况分析产品的格点数据插值到检验站,并进行有效降水时次计算。

2 结果与分析

2.1 误差的季节变化

为评估省级降水实况分析产品误差随时间的变化趋势,分析 2022 年 9 月—2023 年 8 月省级降水实况分析产品在检验站的插值结果与检验站小时降

水量的均方根误差、平均绝对偏差和平均偏差(图 1)。由图 1 可见,3 种方法插值结果中 2022 年 9 月—2023 年 4 月均方根误差均低于 0.2 mm,2022 年 12 月均方根误差最小,接近于 0;2023 年汛期均方根误差为 0.22~0.98 mm,6 月均方根误差为 0.22~0.24 mm,7 月均方根误差最大,为 0.94~0.98 mm,8 月均方根误差为 0.36~0.44 mm。与均方根误差类似,3 种方法插值结果的最小平均绝对偏差出现在 2022 年 12 月和 2023 年 1 月,最大平

均绝对偏差出现在 2023 年 7 月,超过 0.15 mm。由 3 种方法插值结果可知,2023 年 7 月出现最大负偏差,为-0.06 mm。均方根误差和平均绝对偏差的最大值均出现在 2023 年 7 月,最小值均出现在 2022 年 12 月和 2023 年 1 月。此外,插值方法对评估结果的影响较小,3 种插值方法中最近距离插值方法表现最佳。本文后续分析以最近距离插值方法为主。

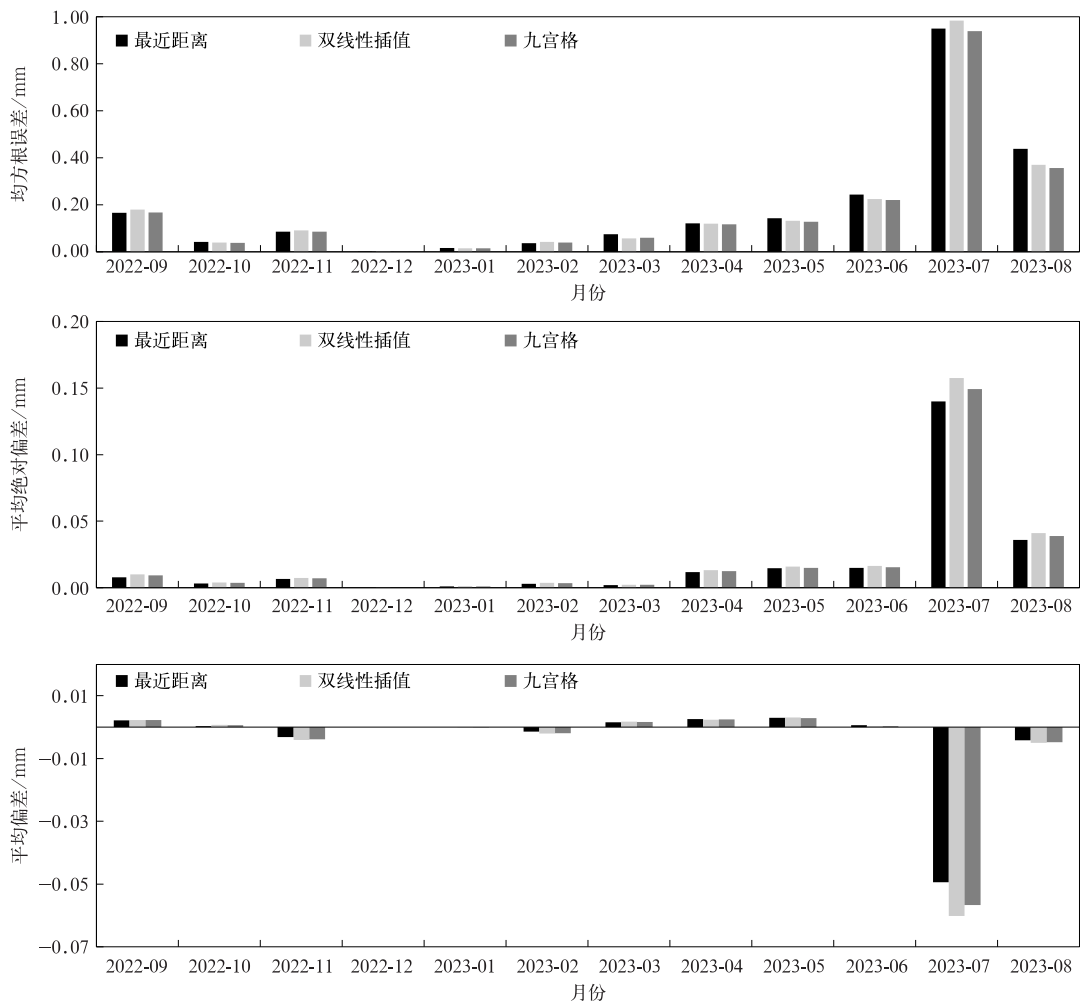


图 1 2022 年 9 月—2023 年 8 月省级降水实况分析产品在检验站的插值结果与检验站小时降水量逐月均方根误差、平均绝对偏差和平均偏差

Fig. 1 Monthly root mean square error, mean absolute bias and mean bias of provincial precipitation real-time analysis product interpolation results to observations of all verification stations from Sep 2022 to Aug 2023

2.2 偏差随降水量等级的变化

为进一步分析省级降水实况分析产品的误差特征,探究省级降水实况分析产品与观测间的系统性误差和降水量等级关系、系统性误差是否由个别样

本引起、系统性误差是否存在空间差异等问题,本文以省级降水实况分析产品的插值结果与检验站平均降水量间的偏差作为指标衡量系统性误差,计算不同降水量等级下的平均偏差和偏差率,以及检验站

在中雨和暴雨等级下的偏差和偏差率。偏差定义为省级降水实况分析产品在检验站的插值结果与检验站平均降水量的差值,偏差率为偏差与检验站平均降水量之比。

表 1 为不同降水量等级下省级降水实况分析产品的平均偏差与偏差率。由表 1 可见,偏差随降水

量等级增加而增大,省级降水实况分析产品的小雨等级降水被高估,中雨等级以上降水被低估。在小雨等级,偏差仅为 0.01 mm,产品对降水的估计几乎与观测一致,在暴雨等级,偏差率达到 -7.95%,系统性误差随降水量等级变化明显。

图 2 为检验站在中雨和暴雨等级下的偏差与偏

表 1 不同小时降水量等级下省级降水实况分析产品的偏差与偏差率
Table 1 Bias and bias rate of provincial precipitation real-time analysis product at different hourly precipitation classifications

小时降水量等级	偏差/mm	偏差率/%
小雨(0.1~1.5 mm)	0.01	3.59
中雨(1.6~6.9 mm)	-0.23	-4.54
大雨(7.0~14.9 mm)	-0.68	-5.38
暴雨(15.0~29.9 mm)	-1.23	-5.74
大暴雨(不低于 30 mm)	-1.76	-7.95

差率。由图 2 中雨等级下的检验站偏差和偏差率可见,21 个站的产品插值结果较观测值偏低,最大负偏差为 -4.71 mm(A1480 站),偏差率为 63.2%;14 个站产品插值结果较观测值偏高,最大正偏差为 1.09 mm(A1562 站),偏差率为 60.5%;31 个站的总体偏差为 -0.64~0.94 mm。35 个站产品插值结果较观测值平均偏低 -3.47%,其中 28 个站(约占 80%)偏差率为 -10.57%~7.15%,7 个站偏差

率为 -63.18%~60.59%。偏差率最大的 5 站为 A1416、A1455、A1461、A1480 和 A1562。

由图 2 暴雨等级下的偏差和偏差率可见,24 个站产品插值结果较观测值偏低,最大负偏差为 -14.52 mm(A1455 站),偏差率为 -35.33%;11 个站的产品插值结果较观测值偏高,最大正偏差为 4.91 mm(A1651 站),偏差率为 37.03%;20 个站的总体偏差为 -1.94~1.13 mm。35 个站产品插值

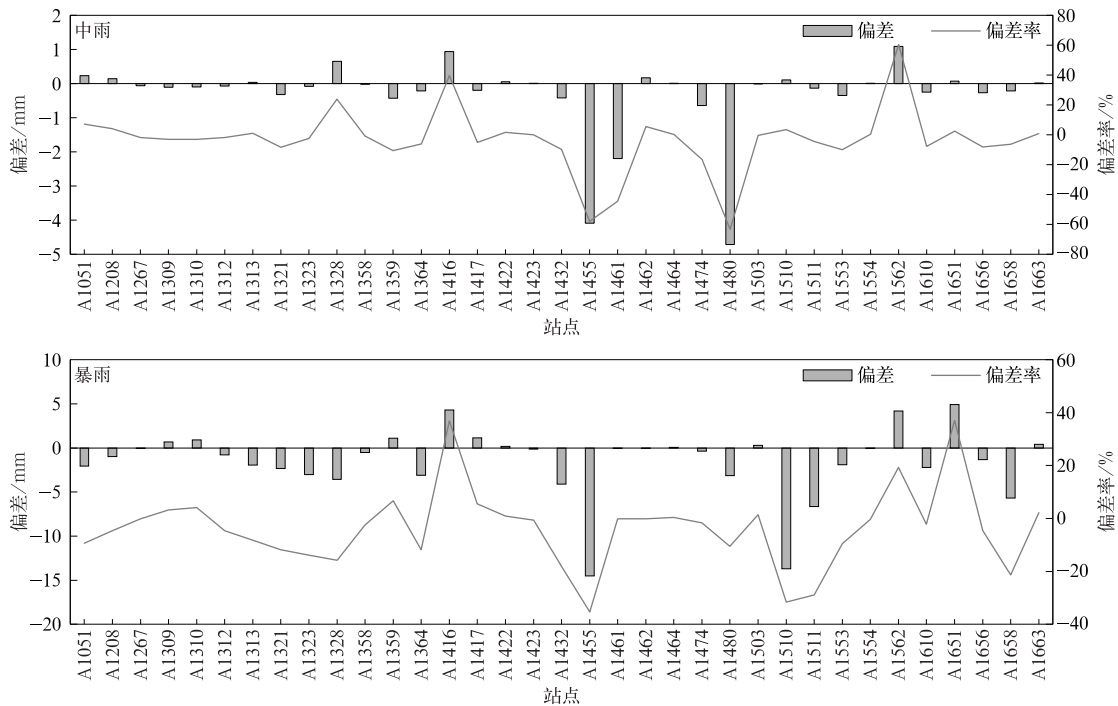


图 2 中雨和暴雨等级下检验站偏差与偏差率

Fig. 2 Bias and bias rate of all verification stations for moderate rain and rainstorm

结果较观测值平均偏低 -5.74% ,其中23个站(约占 65.7%)偏差率在 $-10.48\%\sim 6.7\%$,12个站偏差率在 $-35.33\%\sim 37.03\%$ 。偏差最大的4站为A1416、A1455、A1510和A1651。

2.3 偏差的空间分布

图3为中雨和暴雨等级下的检验站偏差和偏差率的空间分布。由图3可见,中雨等级下检验站偏差率空间分布差异明显,所有检验站的平均偏差率为 -3.48% ,延庆区平均偏差率最大,为 -26.44% ,

与所有检验站平均值相差最大,密云区平均偏差率为 -2.86% ,与所有检验站平均值最接近。北京地区西南部偏差率明显低于西北部,最大正偏差率出现在昌平区,为 8.83% 。暴雨等级下所有检验站平均偏差率为 -3.71% ,延庆区平均偏差率为 -7.86% ,与所有检验站平均值相比负偏差最大;昌平区正偏差最大,平均偏差率为 4.89% ;南部的房山区、门头沟区、大兴区、通州区与所有检验站平均值偏差小于位于北部的其他区,通州区偏差最小,仅为 -0.89 mm 。

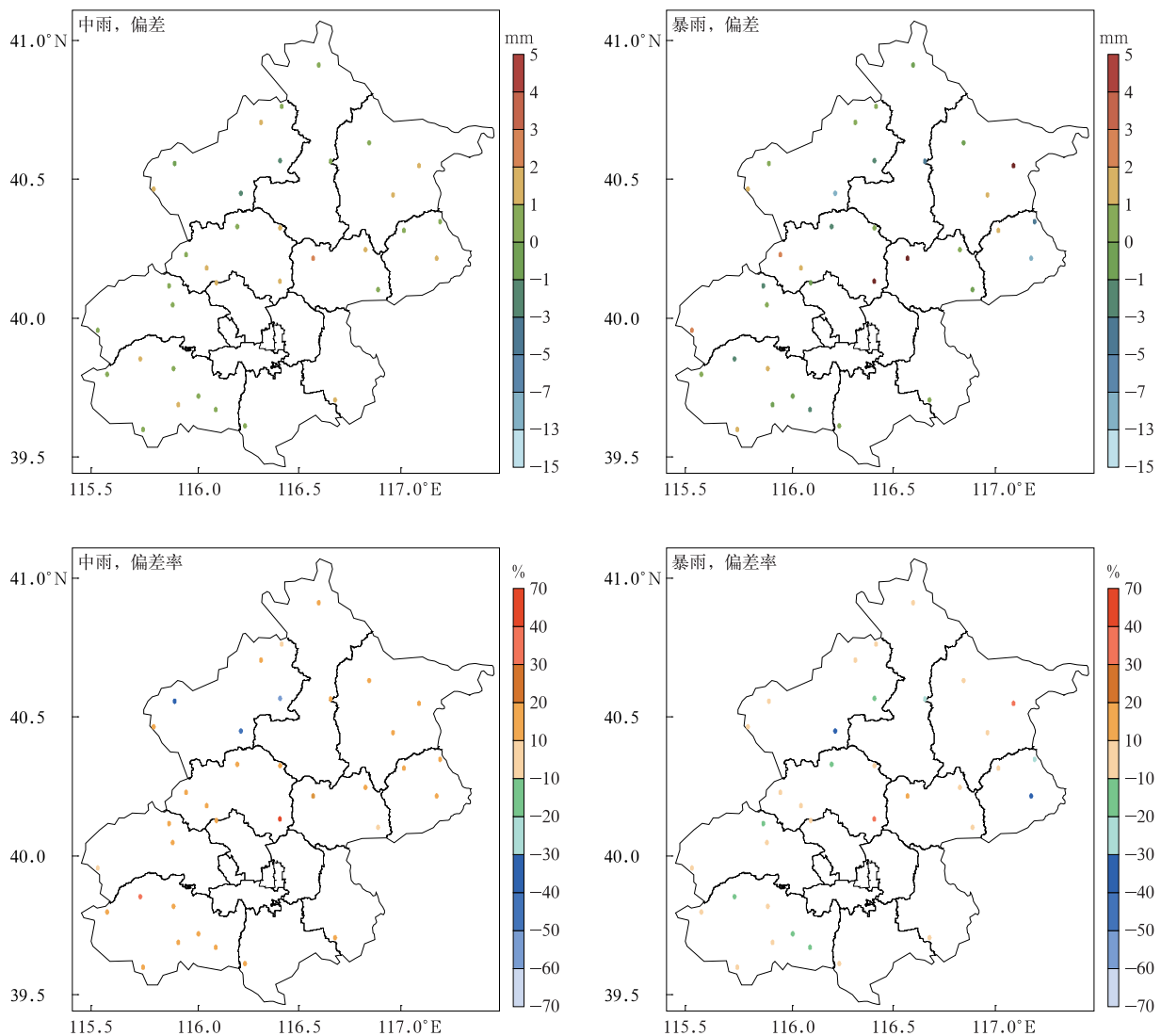


图3 中雨和暴雨等级下检验站偏差和偏差率空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of bias and bias rate of all verification stations for moderate rain and rainstorm

由以上分析可见,省级降水实况分析产品存在系统性偏差,且偏差随着降水量等级增大而增大;偏差的空间分布差异明显;不同等级下误差随空间变化大,延庆区偏差整体偏小,昌平区偏差整体偏大。

2.4 2023年汛期降水过程评估

2.4.1 13次降水过程分析

选取2023年北京地区汛期(6—8月)13次降水过程对省级降水实况分析产品进行适用性评估。13

次降水过程的影响因子各异,包括槽前低空急流、高空槽和副高边缘西南暖湿气流、冷涡等;降水发生类型涵盖分散性雷阵雨、全市中到大雨局地大到暴雨、全市大雨等;降水量以中雨及以上等级为主;降水持续时长为 9~84 h,降水分布不匀。13 次降水过程的开始时间、结束时间和累积降水量、持续时长,以

及检验站的降水量均方根误差见表 2。

由表 2 可以看到,13 次降水过程中,仅第 8 次降水过程的降水量均方根误差超过 1 mm,其余 12 次降水过程的降水量均方根误差均小于 1 mm,9 次降水过程降水量均方根误差低于 0.5 mm,3 次降水过程降水量均方根误差为 0.52~0.99 mm。

表 2 2023 年汛期 13 次降水过程

Table 2 13 precipitation courses in the summer of 2023

降水过程序号	开始时间	结束时间	累积降水量/mm	持续时长/h	降水量均方根误差/mm
1	06-03T13:00	06-04T03:00	144.3	15	0.02
2	06-28T06:00	06-28T16:00	4644.8	9	0.52
3	07-03T19:00	07-04T12:00	7534.3	18	0.33
4	07-10T19:00	07-11T05:00	1670.9	11	0.39
5	07-20T17:00	07-22T20:00	32373.7	52	0.24
6	07-23T14:00	07-24T03:00	597.7	14	0.99
7	07-24T19:00	07-25T03:00	7312.0	9	0.42
8	07-27T17:00	07-28T06:00	5104.0	14	1.80
9	07-29T20:00	08-02T07:00	155530.8	84	0.04
10	08-05T20:00	08-06T04:00	79.1	9	0.21
11	08-09T16:00	08-10T08:00	433.0	17	0.31
12	08-11T09:00	08-12T08:00	7320.9	24	0.72
13	08-20T12:00	08-21T08:00	15417.4	21	0.28

表 2 中第 3 次和第 12 次降水过程累积降水量相差不大、持续时间不同,降水量均方根误差分别为 0.33 mm 和 0.72 mm。以下选取这两次降水过程,

计算逐小时均方根误差和平均偏差进一步分析省级降水实况分析产品的误差随降水持续时长的变化,结果如图 4 所示。

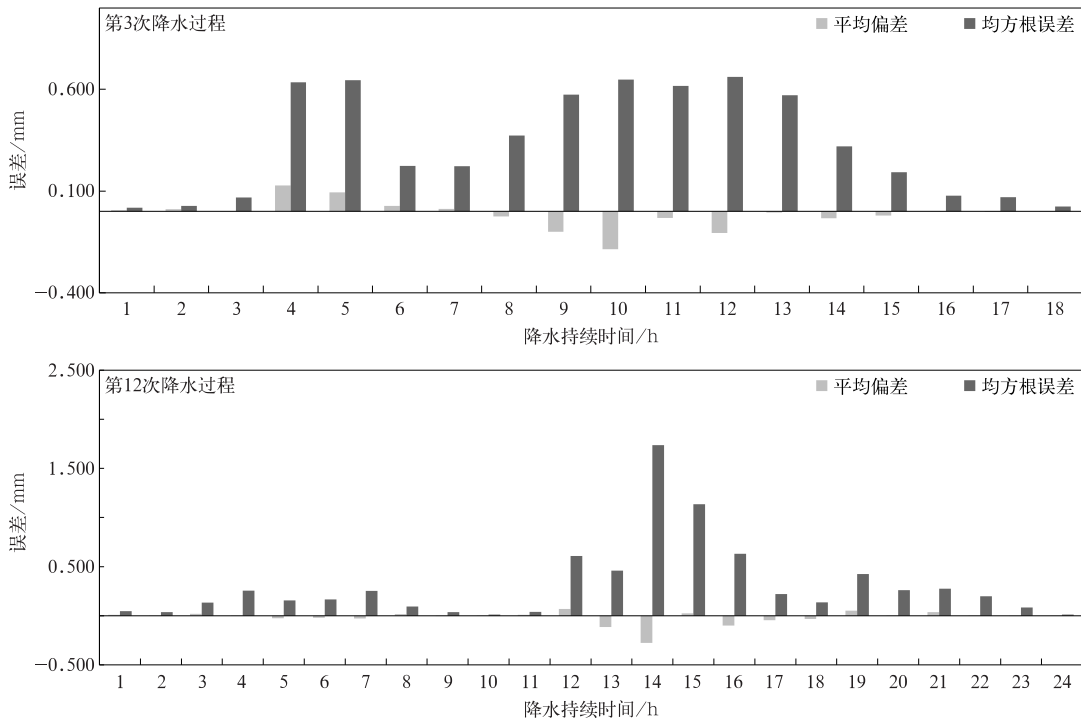
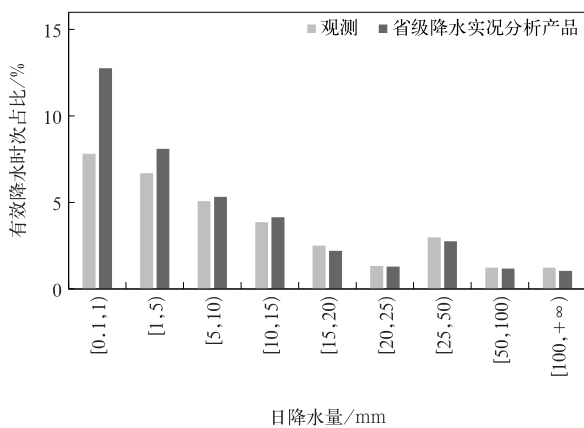


图 4 省级降水实况分析产品在第 3 次和第 12 次降水过程的逐小时均方根误差和平均偏差
Fig. 4 Hourly root mean square error and mean bias of provincial precipitation real-time analysis product in the 3rd and the 12th precipitation courses

由图4可见,第3次降水过程的平均偏差由正偏差转为负偏差,最后趋近于0,均方根误差在18 h内出现2次波峰,第1次波峰出现在降水发生后的第4~第5小时,均方根误差从第3小时的0.069 mm上升至0.64 mm,第2次波峰出现在降水发生后的第10~第12小时,均方根误差为0.64~0.66 mm。第12个降水过程的均方根误差在降水发生后第1~第13小时变化平稳,第14小时达到1.73 mm,随后在2 h内迅速下降。由以上两次降水过程可以看到,省级降水实况分析产品的误差随着降水持续时间发生波动,降水持续时间长,误差易偏大。



2.4.2 有效降水时次占比

图5为2023年汛期北京地区观测和省级降水实况分析产品不同日降水量和小时降水量等级的有效降水时次占比。由图5可见,观测的有效降水时次占比随着降水量等级增大而减小,小雨等级有效降水时次占比最高,暴雨等级有效降水时次占比最低。省级降水实况分析产品与观测的有效降水时次占比差异随着降水量等级增大由正偏差转为负偏差。对于小时降水量的大雨及以上等级,省级降水实况分析产品的有效降水时次占比低于观测。随着降水量等级增大,省级降水实况分析产品呈现低估

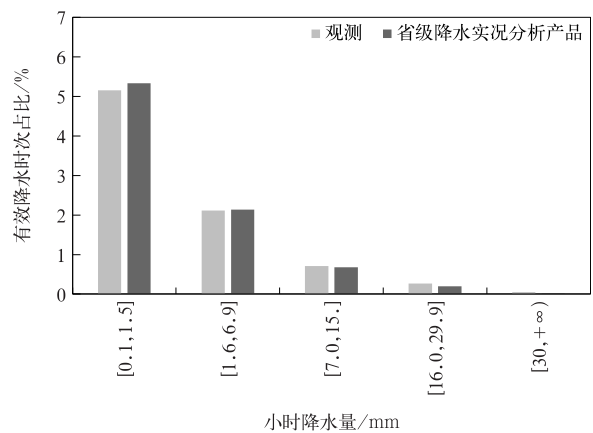


图5 2023年汛期北京地区观测和省级降水实况分析产品不同日降水量和小时降水量等级的有效降水时次占比

Fig. 5 Percentage of effective precipitation hours in observation and provincial precipitation real-time analysis product for different daily precipitation and hourly precipitation classifications in Beijing in the summer of 2023

降水的趋势。

2.4.3 “23·7”降水过程

受台风减弱后的热带低压与副热带高压外围暖湿气流共同影响,2023年7月29日—8月2日北京地区出现极端降水天气。7月29日20:00—8月2日07:00全市平均降水量为331 mm,西部燕山一带降水量大,房山区平均降水量为627.1 mm,门头沟区平均降水量为565.3 mm,超出全市平均降水量的60%~80%。最大降水量出现在房山区新村自动气象站,为879.9 mm,降水强度最大值出现在门头沟区定都阁站的31日11:00,最大值为 $114.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。图6为7月29日20:00—8月2日07:00观测与省级降水实况分析产品的累积降水量空间分布。由图6可见,省级降水实况分析产品与观测的空间分布大致相同,累积降水量自西南向东北呈减少趋势,西南部超过600 mm,城区为100~250 mm,西北的平谷区部分地区约为50 mm。由观测可见,延庆区降

水量为100~250 mm,省级降水实况分析产品为50~100 mm,较观测偏低;省级降水实况分析产品的累积降水量最大值较观测也存在偏差,观测累积降水量最大值出现在房山区,为879.9 mm,省级降水实况分析产品累积降水量最大值出现在昌平区,为754 mm。

图7为2023年7月29日20:00—8月2日07:00省级降水实况分析产品的逐小时均方根误差、降水强度和对房山区新村自动气象站降水量的估计。由图7可见,省级降水实况分析产品的逐小时均方根误差平均值为1.808 mm,最小值为0.12 mm,出现在8月2日07:00,最大值为6.46 mm,出现在8月1日00:00。均方根误差随时间波动比较大,7月31日05:00—8月1日02:00的均方根误差较其他时间段明显增大,整体呈现先增大后减小的趋势。对于降水强度,省级降水实况分析产品的降水强度随时间变化趋势与观测非常接近,共出现2个峰值,

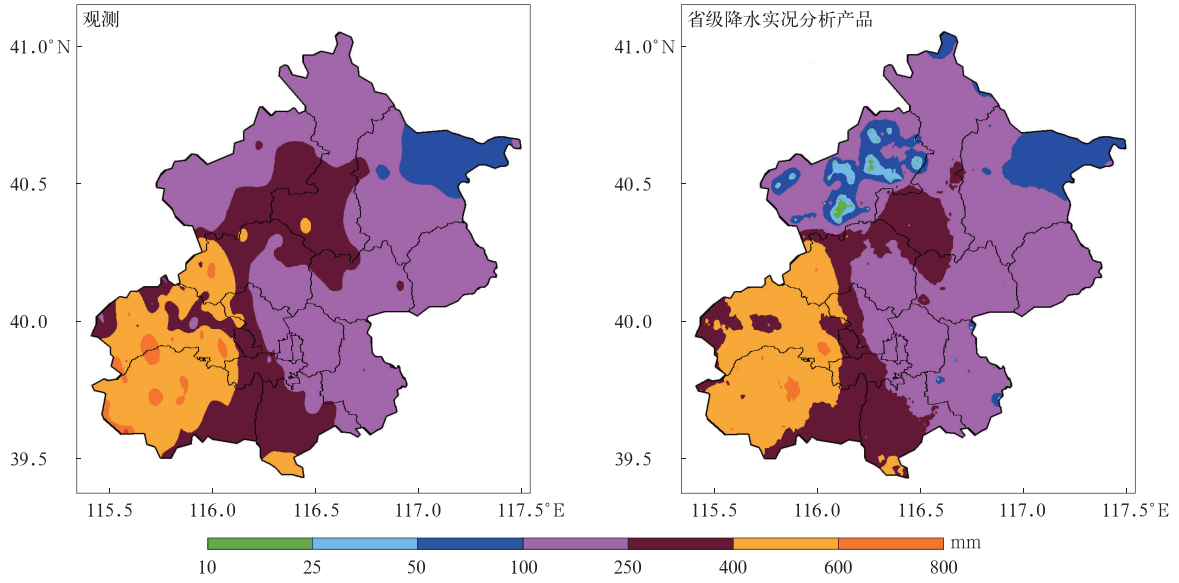


图 6 2023 年 7 月 29 日 20:00—8 月 2 日 07:00 观测和省级降水实况分析产品的累积降水量空间分布
 Fig. 6 Spatial distribution of accumulation precipitation in observation and provincial precipitation real-time analysis product from 2000 BT 29 Jul to 0700 BT 2 Aug in 2023

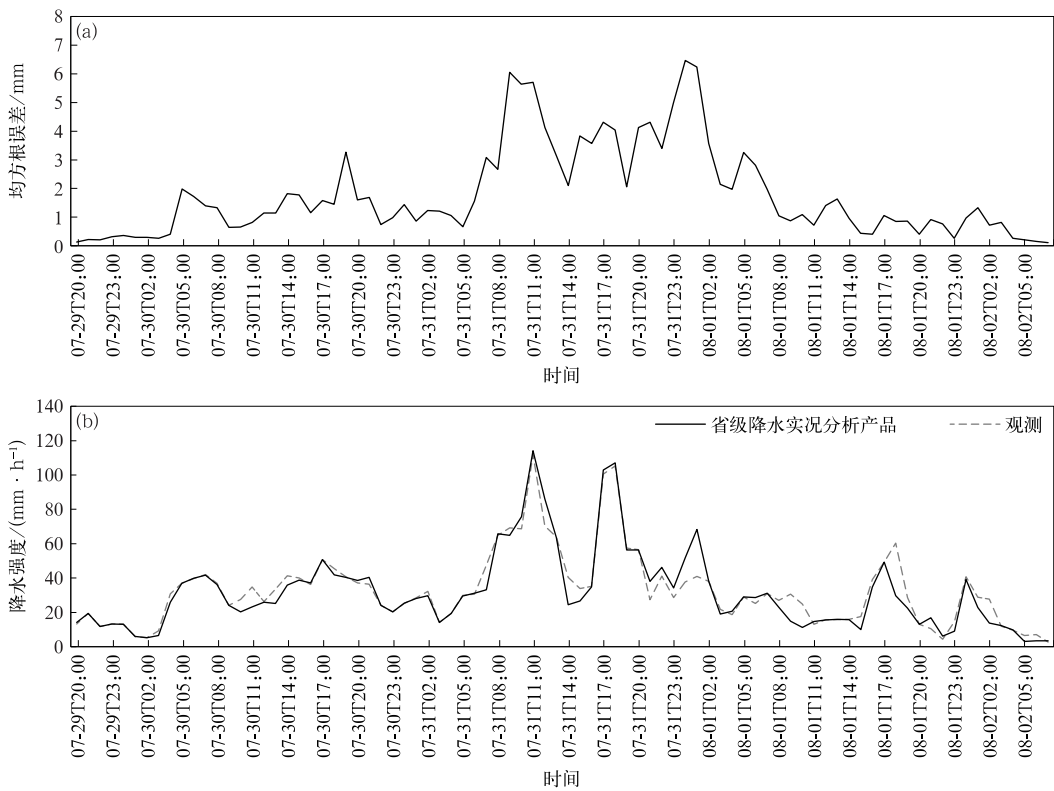
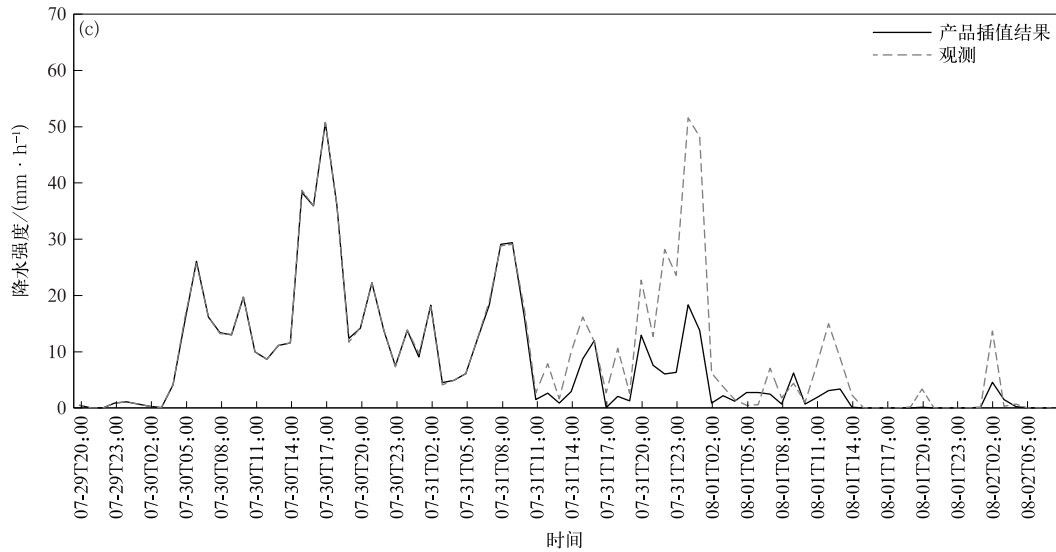


图 7 2023 年 7 月 29 日 20:00—8 月 2 日 07:00 省级降水实况分析产品的逐小时均方根误差(a)、
 降水强度(b)及对房山新村降水量估计(c)
 Fig. 7 Hourly root mean square error(a), precipitation intensity(b) and estimated precipitation at Xincun, Fangshan(c) in provincial precipitation real-time analysis product from 2000 BT 29 Jul to 0700 BT 2 Aug in 2023



续图7

7月31日11:00省级降水实况分析产品的降水强度为 $111.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,观测的降水强度为 $114.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,7月31日18:00省级降水实况分析产品的降水强度为 $105.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,观测的降水强度为 $107.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,两个峰值与观测一致。对房山区新村自动气象站降水量的估计,省级降水实况分析产品的趋势与观测趋势整体上保持一致,7月31日11:00以后省级降水实况分析产品的估计明显较观测偏低,省级降水实况分析累积降水量为 678.4 mm ,观测累积降水量为 879.9 mm ,即利用省级降水实况分析产品的降水量估计值较观测偏低约 22.9% 。

3 结论

利用2022年9月—2023年8月北京地区逐小时降水观测数据,从降水量逐月误差、不同降水量等级下的偏差、2023年汛期整体误差和“23·7”极端降水过程等多方面对省级降水实况分析产品的准确性和一致性进行评估,为该产品的合理应用和改进提供依据。得到主要结论如下:

1) 省级降水实况分析产品的均方根误差不足 1 mm ,平均绝对偏差低于 0.16 mm ,与北京地区自动气象站观测结果接近,在北京地区无观测站的地点和时段可采用省级降水实况分析产品。

2) 省级降水实况分析产品的误差随降水量等级的增大而增大,小雨等级降水量被高估,暴雨等级降水量被低估。偏差空间分布差异明显,延庆区负偏差最大,昌平区正偏差最大。

3) 在2023年汛期北京地区省级降水实况分析产品能较真实反映降水过程,所有降水过程的均方根误差均未超过 2 mm ,大部分降水过程的平均均方根误差为 $0 \sim 1 \text{ mm}$;降水持续时间越长,省级降水实况分析产品误差越易出现波动和陡增,导致整体误差偏大。

4) 对于“23·7”极端降水过程,省级降水实况分析产品的空间分布与观测基本保持一致;降水峰值的空间估计出现偏差,省级降水实况分析产品的峰值出现在昌平区,而观测峰值出现在房山区;省级降水实况分析产品的降水强度变化趋势与观测一致。

综上所述,省级降水实况分析产品在北京地区准确性较高,能较好地反映降水的空间分布特征,但对局地性大暴雨的估计整体较观测偏低。未来应根据研究区的地理特征,选择最优的降水要素空间融合方案,提高省级降水实况分析产品的精度。

参考文献

- [1] 师春香,潘旸,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.
Shi C X, Pan Y, Gu J X, et al. A review of multi-source meteorological data fusion products. *Acta Meteor Sinica*, 2019, 77(4):774-783.
- [2] 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.
Han S, Shi C X, Jiang Z W, et al. Development and progress of high resolution CMA land surface data assimilation system.

- Adv Meteor Sci Tech*, 2018, 8(1):102-108.
- [3] 潘畅, 沈艳, 宇婧婧, 等. 基于最优插值方法分析的中国区域地面观测与卫星反演逐时降水融合试验. *气象学报*, 2012, 70(6):1381-1389.
- Pan Y, Shen Y, Yu J J, et al. Analysis of the combined gauge-satellite hourly precipitation over China based on the OI technique. *Acta Meteor Sinica*, 2012, 70(6):1381-1389.
- [4] 宇婧婧, 沈艳, 潘畅, 等. 概率密度匹配法对中国区域卫星降水资料的改进. *应用气象学报*, 2013, 24(5):544-553.
- Yu J J, Shen Y, Pan Y, et al. Improvement of satellite-based precipitation estimates over China based on probability density function matching method. *J Appl Meteor Sci*, 2013, 24(5):544-553.
- [5] 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. *气象科技进展*, 2021, 11(3):155-164.
- Chen H M, Li P X, Zhao Y. A review and outlook of verification and evaluation of precipitation forecast at convection-permitting resolution. *Adv Meteor Sci Tech*, 2021, 11(3):155-164.
- [6] 张璐, 潘畅, 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.
- Zhang L, Pan Y, Gu J X, et al. Advances and outlook for international mainstream multi-source precipitation merging products. *Adv Meteor Sci Tech*, 2022, 12(6):16-27.
- [7] 张博, 张芳华, 李晓兰, 等. “23·7”华北特大暴雨数值预报检验评估. *应用气象学报*, 2024, 35(1):17-32.
- Zhang B, Zhang F H, Li X L, et al. Verification and assessment of “23·7” severe rainstorm numerical prediction in North China. *J Appl Meteor Sci*, 2024, 35(1):17-32.
- [8] 陈训来, 徐婷, 王蕊, 等. 珠江三角洲“9·7”极端暴雨精细观测特征及成因. *应用气象学报*, 2024, 35(1):1-16.
- Chen X L, Xu T, Wang R, et al. Fine observation characteristics and causes of “9·7” extreme heavy rainstorm over Pearl River Delta, China. *J Appl Meteor Sci*, 2024, 35(1):1-16.
- [9] 俞剑蔚, 李聪, 蔡凝昊, 等. 国家级格点实况分析产品在江苏地区的适用性评估分析. *气象*, 2019, 45(9):1288-1298.
- Yu J W, Li C, Cai N H, et al. Applicability evaluation of the national gridded real-time observation datasets in Jiangsu Province. *Meteor Mon*, 2019, 45(9):1288-1298.
- [10] 龙柯吉, 师春香, 韩帅, 等. 中国区域高分辨率温度实况融合格点分析产品质量评估. *高原山地气象研究*, 2019, 39(3):67-74.
- Long K J, Shi C X, Han S, et al. Quality assessment of high resolution temperature merged grid analysis product in China. *Plateau Mountain Meteor Res*, 2019, 39(3):67-74.
- [11] 龙柯吉, 谷军霞, 师春香, 等. 多种降水实况融合产品在四川一次强降水过程中的评估. *高原山地气象研究*, 2020, 40(2):31-37.
- Long K J, Gu J X, Shi C X, et al. Quality assessment of several merged precipitation products in a heavy rainfall process in Sichuan. *Plateau Mountain Meteor Res*, 2020, 40(2):31-37.
- [12] 杜冰, 吴薇, 黄晓龙, 等. 多种融合降水实况分析产品在雅安宝兴暴雨过程中的适用性评估. *高原山地气象研究*, 2023, 43(1):111-118.
- Du B, Wu W, Huang X L, et al. Applicability assessment of merged precipitation real-time products in the process of flood disaster in Baoxing, Ya'an. *Plateau Mountain Meteor Res*, 2023, 43(1):111-118.
- [13] 郭旭, 龙柯吉, 范江琳, 等. 四种降水融合产品在四川持续性强降水过程中的对比评估. *高原山地气象研究*, 2021, 41(2):42-52.
- Guo X, Long K J, Fan J L, et al. Comparative assessment of four merged precipitation products in a sustained heavy rainfall process in Sichuan. *Plateau Mountain Meteor Res*, 2021, 41(2):42-52.
- [14] 张茜茹, 陈益玲, 李长军, 等. 两种融合降水实况分析产品在山东地区的适用性评估. *海洋气象学报*, 2023, 43(2):100-108.
- Zhang Q R, Chen Y L, Li C J, et al. Applicability evaluation of two merged precipitation analysis products in Shandong. *J Mar Meteor*, 2023, 43(2):100-108.
- [15] 霍庆, 何文春, 何林, 等. 气象大数据云平台算法集约化环境设计与应用. *应用气象学报*, 2024, 35(1):80-89.
- Huo Q, He W C, He L, et al. Design and application of algorithm intensive environment for CMA big data and cloud platform. *J Appl Meteor Sci*, 2024, 35(1):80-89.
- [16] 徐宗学, 张玲, 阮本清. 北京地区降水量时空分布规律分析. *干旱区地理*, 2006, 29(2):186-192.
- Xu Z X, Zhang L, Ruan B Q. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing Region. *Arid Land Geogr*, 2006, 29(2):186-192.
- [17] 郭高轩, 辛宝东, 朱琳, 等. 基于小波变换的北京地区1724~2009年降水量多尺度分析. *水文*, 2012, 32(3):29-33.
- Guo G X, Xin B D, Zhu L, et al. Multi-scale analysis of annual precipitation in Beijing Area from 1724 to 2009 based on wavelet transformation. *J China Hydrol*, 2012, 32(3):29-33.
- [18] Zhou C S, Li H C, Yu C, et al. A station-data-based model residual machine learning method for fine-grained meteorological grid prediction. *Appl Math Mech*, 2022, 43(2):155-166.
- [19] 袁松, 姚叶青, 蔡辉, 等. 基于雷达风暴追踪信息的雷电移动趋势预报//第28届中国气象学会年会论文集, 2011:1-7.
- Yuan S, Yao Y Q, Cai H, et al. Lightning Movement Trend Prediction Based on Radar Storm Tracking Information//Proc of 28th Annual Meeting of Chinese Meteorological Society, 2011:1-7.
- [20] 李喆, 陈炯, 马占山, 等. CMA-GFS云预报的偏差分布特征. *应用气象学报*, 2022, 33(5):527-540.
- Li Z, Chen J, Ma Z S, et al. Deviation distribution features of CMA-GFS cloud prediction. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(5):527-540.
- [21] Prein A F, Langhans W, Fosser G, et al. A review on regional convection-permitting climate modeling: Demonstrations, prospects, and challenges. *Rev Geophys*, 2015, 53(2):323-361.

- [22] Love B S, Matthews A J, Lister G M S. The diurnal cycle of precipitation over the Maritime Continent in a high-resolution atmospheric model. *Q J R Meteor Soc*, 2011, 137(657): 934-947.
- [23] 邢楠, 仲跻芹, 雷蕾, 等. 基于 CMA-BJ 的北京地区短时强降水预报试验. *应用气象学报*, 2023, 34(6): 641-654.
Xing N, Zhong J Q, Lei L, et al. A probabilistic forecast experiment of short-duration heavy rainfall in Beijing based on CMA-BJ. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(6): 641-654.
- [24] 周冰雪, 朱朗峰, 吴昊, 等. 微波辐射计反演大气廓线精度及降水预报应用. *应用气象学报*, 2023, 34(6): 717-728.
Zhou B X, Zhu L F, Wu H, et al. Accuracy of atmospheric profiles retrieved from microwave radiometer and its application to precipitation forecast. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(6): 717-728.
- [25] 邱贵强, 时少英, 王洪霞, 等. 2 m 气温集成订正方法及在冬奥延庆赛区的应用. *应用气象学报*, 2023, 34(4): 400-412.
Qiu G Q, Shi S Y, Wang H X, et al. An integrated correction method for 2 m temperature and its application to Yanqing competition zone of Olympic Winter Games. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(4): 400-412.
- [26] 董晓云, 余锦华, 梁信忠, 等. CWRf 模式在中国夏季极端降水模拟的误差订正. *应用气象学报*, 2019, 30(2): 223-232.
Dong X Y, Yu J H, Liang X Z, et al. Bias correction of summer extreme precipitation simulated by CWRf model over China. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(2): 223-232.
- [27] 张冰, 郑媛媛, 沈菲菲, 等. 2017 年苏南一次特大暴雨高分辨率模拟及特征分析. *气象科学*, 2021, 41(3): 386-397.
Zhang B, Zheng Y Y, Shen F F, et al. Characteristics and simulation of a torrential rainstorm over southern Jiangsu in 2017 revealed by a high-resolution numerical model. *J Meteor Sci*, 2021, 41(3): 386-397.
- [28] 刘郁珏, 黄倩倩, 张涵斌, 等. 基于大涡模拟的冬奥赛区风环境精细化评估. *应用气象学报*, 2022, 33(2): 129-141.
Liu Y J, Huang Q Q, Zhang H B, et al. Refined assessment of wind environment over Winter Olympic competition zone based on large eddy simulation. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(2): 129-141.
- [29] 张舒婷, 仲跻芹, 卢冰, 等. CMA-BJ V2.0 系统华北地区降水预报性能评估. *应用气象学报*, 2023, 34(2): 129-141.
Zhang S T, Zhong J Q, Lu B, et al. Performance evaluation of CMA-BJ V2.0 system for precipitation forecast in North China. *J Appl Meteor Sci*, 2023, 34(2): 129-141.
- [30] 陈静, 刘凑华, 陈法敬, 等. 一种基于可预报性的暴雨预报评分新方法 I: 中国暴雨可预报性综合指数. *气象学报*, 2019, 77(1): 15-27.
Chen J, Liu C H, Chen F J, et al. A new verification method for heavy rainfall forecast based on predictability I: Synthetic predictability index of heavy rainfall in China. *Acta Meteor Sinica*, 2019, 77(1): 15-27.
- [31] 陈法敬, 陈静. “SEEPS”降水预报检验评分方法在我国降水预报中的应用试验. *气象科技进展*, 2015, 5(5): 6-13.
Chen F J, Chen J. The application experiment of a new score for precipitation verification based on the SEEPS principle. *Adv Meteor Sci Tech*, 2015, 5(5): 6-13.
- [32] Lu B, Zhong J Q, Wang W, et al. Influence of near real-time green vegetation fraction data on numerical weather prediction by WRF over North China. *J Meteor Res*, 2021, 35(3): 505-520.

Applicability Evaluation of Provincial Precipitation Real-time Analysis Product in Beijing

Zhao Wenfang¹⁾ Wang Huiying²⁾ Meng Huifang¹⁾ Miao Yupeng¹⁾
Huang Mingming¹⁾ Fan Min¹⁾ Tang Wei³⁾

¹⁾ (*Beijing Meteorological Data Center, Beijing 100089*)

²⁾ (*National Meteorological Information Center, Beijing 100081*)

³⁾ (*CMA Institute for Development and Program Design, Beijing 100081*)

Abstract

The national precipitation real-time analysis product is a gridded product developed using probability density matching, Bayesian model averaging, multi grid variation, optimal interpolation and other technologies by National Meteorological Information Center. It has advantages of high accuracy, high quality, and spatiotemporal continuity, and is widely used in national nowcasting forecasting operations. In September 2022, National Meteorological Information Center issues a provincial multi-source fusion real-time analysis system to promote the collaborative application of precipitation analysis in different provinces. The same core multi-source fusion algorithms for real-time precipitation analysis products are applied in this system, allowing access to additional provincial local observations. The consistency and accuracy of the provincial precipitation analysis products in Beijing from September 2022 to August 2023 are evaluated by automatic weather station observations, error analysis, effective precipitation time proportion, and other methods. “23·7” extreme precipitation event is also analyzed in terms of cumulative precipitation, precipitation intensity, and hourly precipitation error. Results show that root mean square error of the provincial precipitation analysis product is less than 1 mm, and the average absolute deviation is below 0.16 mm, which closely aligns with observations from automatic weather stations. The bias of provincial precipitation real-time analysis product increases with magnitude of precipitation. The intensity of light rain exceeds the observation, while the spatial distribution difference of bias is evident. The maximum negative deviation occurs in both moderate rain and rainstorm magnitudes of Yanqing, while the maximum positive deviation is observed at Changping. During the extreme precipitation event of “23·7”, the spatial distribution of provincial precipitation real-time analysis product is largely consistent with observations from automatic weather stations. The precipitation intensity is consistent with the trend of time variation observed by automatic weather stations, with an average root mean square error of 1.8 mm and an average absolute deviation of 0.806 mm, which more accurately reflects the trend of precipitation intensity variation. Overall, the provincial precipitation real-time analysis product has high accuracy in Beijing and can reflect the spatial distribution of precipitation, but the estimate is lower than the observation in the precipitation course of local heavy rainstorm.

Key words: real-time analysis product; skill scoring; multi-source fusion; accuracy evaluation