

多源融合气象数据在眉山暴雨监测中的应用评估

刘姝岩¹, 罗张咏², 陈龙钰³

¹眉山市东坡区气象局, 四川 眉山

²眉山市气象局, 四川 眉山

³眉山市丹棱县气象局, 四川 眉山

收稿日期: 2025年6月3日; 录用日期: 2025年7月3日; 发布日期: 2025年7月10日

摘要

为检验多源融合实况产品(ART-1km)对在复杂地形下对暴雨降水过程的监测能力, 以2022年6月22~23、6月25~26日眉山两次区域性暴雨过程为例, 将多源融合实况产品(ART-1km)与地面观测逐小时及过程累计降水数据进行空间对比和统计评估。研究表明多源融合实况产品(ART-1km)具有较高的准确性, 降雨落区在空间分布上较为一致, 但是由于眉山地区高达3000米的海拔差异, 多源融合实况产品(ART-1km)在极端降水过程中降雨量在明显偏低的情况, 特别是在西部沿山高海拔区域。

关键词

多源融合格点实况, 灾害性天气, 检验

Application Evaluation of Multi-Source Integrated Meteorological Data in Meishan Rainstorm Monitoring

Shuyan Liu¹, Zhangyong Luo², Longyu Chen³

¹Dongpo District Meteorological Bureau, Meishan City, Meishan Sichuan

²Meishan Meteorological Bureau, Meishan Sichuan

³Danling County Meteorological Bureau, Meishan City, Meishan Sichuan

Received: Jun. 3rd, 2025; accepted: Jul. 3rd, 2025; published: Jul. 10th, 2025

Abstract

To evaluate the monitoring capability of multi-source integrated meteorological data for heavy

文章引用: 刘姝岩, 罗张咏, 陈龙钰. 多源融合气象数据在眉山暴雨监测中的应用评估[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(4): 655-661. DOI: 10.12677/ccrl.2025.144065

rainfall processes, this study analyzed two torrential rain events in Meishan on June 22-23 and June 25-26, 2022, using ground-observed hourly precipitation data for spatial comparison and statistical evaluation. The results indicate that the ART-1KM multi-source integrated grid product exhibits high accuracy and effectively captures the spatial distribution of precipitation in Meishan. However, due to topographic elevation differences in the Meishan region, the precipitation fusion product underestimates the intensity of extreme rainfall events, showing a notable downward bias.

Keywords

Multi-Source Integrated Grid Observations, Disastrous Weather, Validation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着气象观测系统的迅猛发展,利用地面自动气象站、雷达、卫星等获取的观测数据越来越多,多种数值模式模拟数据质量也在不断提高,同时,各行业对格点化的时、空连续的气象数据产品要求越来越高[1]。在此背景下,利用数据融合与数据同化技术,综合多种来源观测资料及多模式模拟数据,获得高精度、高质量、时空连续多源数据融合气象格点产品已在国际上得到广泛应用[2] [3]。

中国多源气象数据融合研究起步相对较晚,为满足精细化气象格点预报业务对实况产品的迫切需求,2014 年中国气象局正式启动研发多源融合数据,在引进国际先进融合技术的基础上,消化吸收并自主创新,多年来不断完善融合技术,采用多重网格变分同化、最优插值方法、概率密度匹配法等技术,融合地面观测、卫星、天气雷达多源降水,研制出多源降水融合实况分析产品,并于 2018 年 6 月通过业务准入,实时业务下发供各级气象部门使用。我国多源融合降水实况分析产品的研究已取得了一定进展[4]-[7]。随着多源数据融合技术的升级优化和数据源的更新补充,2021 年 8 月,业务准入的 1 km 多源融合实况产品(ART-1km)进入业务化论证阶段,但目前对其准确性和真实性的了解相对有限。

由于格点数据代表着某个区域气象要素的平均值,站点观测是单点观测,两者在空间上必然存在一定的差异,随着多源数据融合格点分析产品在数值预报产品检验评估,智能网格气象预报业务等应用领域的不断扩展,迫切需要对其“真实性”进行全面的检验评估,才能对下一步的产品优化研发和应用提供科学依据。张狄[8]在评估融合降水实况分析产品在太行山区的适用性时指出,融合降水实况分析产品在夏季质量较好,且与地形存在密切关系;张茜茹[9]在评估两种融合降水实况分析产品在山东地区的适用性时指出,两种产品在地形复杂的区域及大部分海岛上的适用性相对较差,且都低估了“烟花”过程的降水强度。田茂举[10]基于重庆特大暴雨过程评估,表明降水等级偏小时,两种降水融合产品的误差达到最大,两种产品数值均偏小,但降水空间分布结构与实况基本吻合。

眉山位于四川盆地,境内山峦纵横,丘陵起伏,地势呈西高东低,最高海拔 3522 米,最低海拔 335 米,海拔高度差超 3000 米,地形梯度显著。同时,近年来随着城市快速扩张和发展,加之极端天气频发,各行业对气象保障服务的要求更加多元、更加精细、更加智能。目前 ART-1km 多源融合实况格点产品集中在眉山地区,尤其是在海拔落差大的复杂地形条件下的检验应用相对较少,面对复杂地形和大城市发展对精细化气象服务的迫切需求,亟待分析新下发的高精度多源融合格点实况数据在复杂地形区域的适用性和真实性。

2. 资料与方法

2.1. 资料

多源融合实况产品(ART-1km)及眉山气象 220 个区域自动站地面逐小时和逐日降水数据。图 1 为眉山 220 个气象站点分布图。

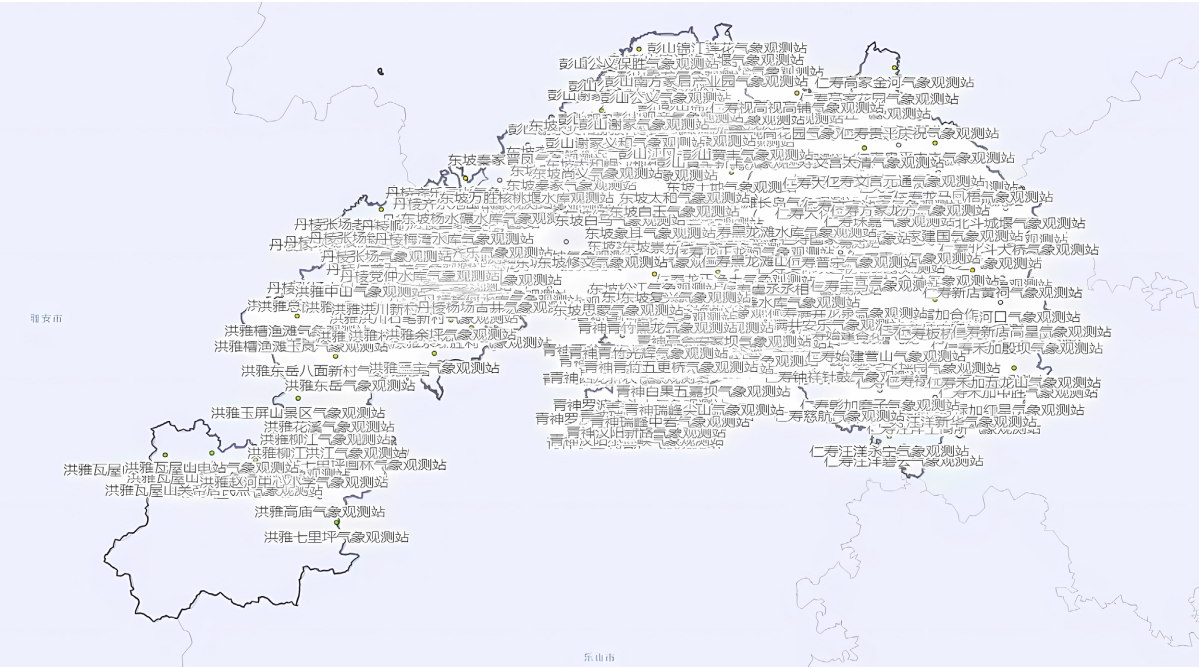


Figure 1. Distribution of meteorological stations in Meishan
图 1. 眉山气象站点分布

2.2. 数据处理方法

参考吴薇[11] [12]等人的处理方法，将站点数据作为实况真值，采取独立和非独立两种检验方式(对已参与融合的国家站和区域考核站采用非独立样本检验，对未参与融合的区域非考核站采用独立样本检验)，在对邻近插值和双线性插值两种插值方法对比评估的基础上，选择一种更优的插值方法，将 ART-1km 多源融合实况格点数据插值到对应站点。

2.3. 评估方法

根据《降水等级标准-国标》，将逐小时降水量分为 0.1~1.9 mm，2~4.9 mm，5~9.9 mm，10~19.9 mm，20 mm 及以上 5 个不同级别，逐 24 小时雨量分为 0.1~9.9 mm，10~24.9 mm，25~49.9 mm，50~99.9 mm，100~249.9 mm，250 mm 以上等 6 个级别，并通过平均误差(ME)、平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)、相关系数(R)等评估指标逐级独立验证降水融合产品在不同强度降水事件中的表现。

3. 结果与分析

3.1. 过程累计降水量评估

“6.23”暴雨过程，全市过程累计降雨量 100 mm 以上的有 43 站，50~100 mm 的有 90 站，50 mm 以下的有 73 站，过程最大降雨量 194.8 mm，小时最强降水 70.4 mm。“6.26”暴雨过程，全市累计降雨量

100 mm 以上的有 5 站, 50~100 的有 39 站, 过程最大降雨量为 128.5 mm, 小时最强降水 90.9 mm。

图 2 展示了两过程中多源融合实况产品(ART-1km)与实况降水日累计雨量对比。如图所示, 多源融合降水实况分析产品在两次过程中可以准确地反映出降水分布特征, 在空间分布上与实况具有较高一致性, 但是降水范围和量级存在一定的误差。例如在“6.23”暴雨过程中, 多源融合降水实况产品就漏了西部沿山的大暴雨, 南部大暴雨范围也偏大; 在“6.26”暴雨过程中, 则表现为整体降雨量级较实况偏小, 暴雨范围较地面观测值也偏小, 可能是地形因素导致格点数据有所偏小。

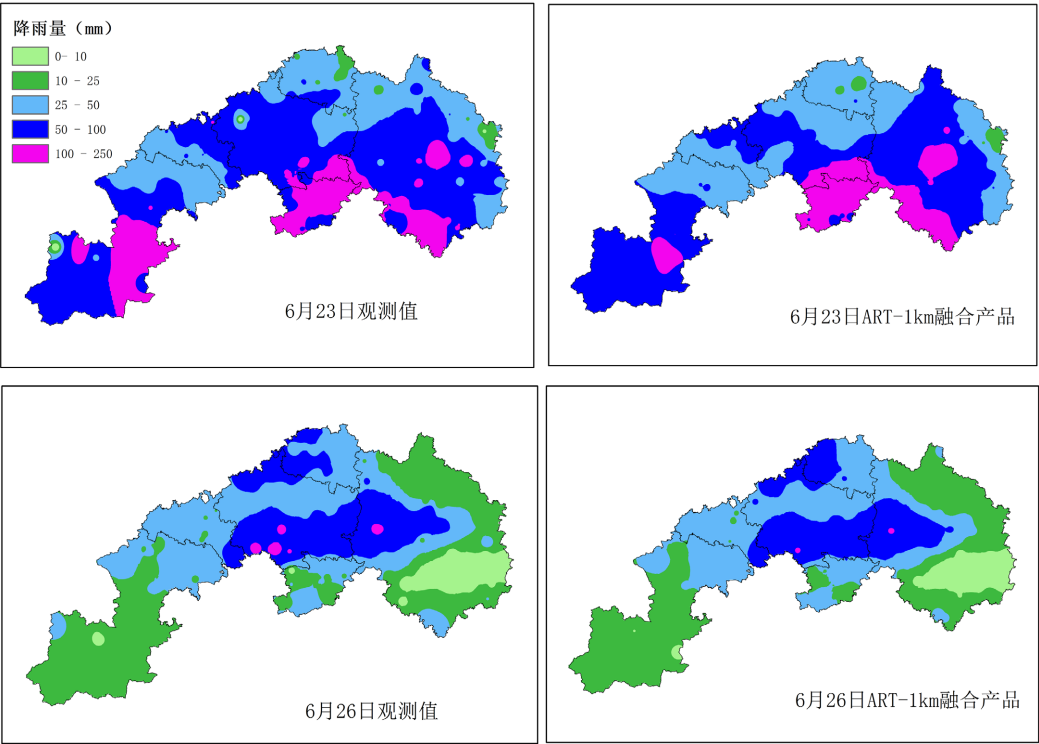


Figure 2. Comparison of multi-source fusion products with observational data for two events
图 2. 两次过程多源融合产品与实况对比

进一步统计两个降水过程实况分析产品与地面降水量的检验指标(表 1), 从表中可知 23 日, 多源融合格点产品整体轻微低估, 但观测均值(67.9 mm)与预测均值(71.8 mm)显示部分站点存在显著高估, 说明多源融合格点产品在眉山地区存在没有充分考虑地形因素, 即表现为在海拔山区误差较大, 而在平原丘陵等低海拔区域误差较小。26 日多源融合格点实况产品普遍低于观测值 1.2 mm。23 日 MAE 达 13.65 mm, 显著高于 26 日的 5.84 mm, 表明可能出现暴雨漏报或误报; 26 日达到 0.94 的强相关性, 显著优于 23 日的 0.87, 说明多源融合格点实况对中小雨过程的空间落区更准确。

Table 1. Validation metrics for observational analysis of multi-source fusion precipitation products
表 1. 多源融合降水产品实况分析检验指标

时刻	站点观测日平均降雨量	多元融合格点产品降雨量	平均误差 (ME)	平均绝对误差 (MAE)	均方根误差 (RMSE)	相关系数 (R)
23 日	67.9	71.8	0.1244	13.6508	18.7210	0.87
26 日	36.0	34.4	1.2480	5.8369	9.0484	0.94

3.2. 降水融合产品分级评估

通过对两次过程不同等级降水的检验，结果如表 2 所示，可见 5~9.9 mm、2~4.9 mm、大于 20 mm 的 ME 都小于 0，表明降水融合产品较观测值偏小，不分级降水、1 级、3 级降水为正，表示融合产品偏大。从降水分级评估结果来看，5 级降水的平均误差、平均绝对误差、均方根误差均达到最大，平均误差较观测值偏小 7.14 mm，RMSE 随等级提升增长，即表明随着雨强增大，多源融合合格点实况数据的稳定性越差，在小雨强，即 1 级降雨时多源融合实况质量最优。5 级在最大偏差下保持最高相关性说明多源融合合格点数数据能有效跟随降雨实况变化趋势，但量级存在较大误差。

Table 2. Categorical validation metrics for multi-source fusion precipitation products
表 2. 多源融合降水产品分级检验指标

分级	平均误差(ME)	平均绝对误差(MAE)	均方根误差(RMSE)	相关系数(R)
1 级	0.2715	0.492	1.9174	0.3075
2 级	-1.3297	5.0717	6.9109	0.1973
3 级	0.3569	1.1128	2.7	0.3062
4 级	-0.0526	2.0949	3.5691	0.337
5 级	-7.1432	9.0829	11.6009	0.7212

3.3. 多源融合实况产品(ART-1km)与站点观测值空间对比分析

2022 年 6 月 23 日凌晨降水达 4 级以上站点较多，其中 2 点青神汉阳新路气象观测站的降水量达 63.6 mm。逐小时降水量空间分布如图 3 所示。

通过空间对比分析表明，当小时降雨量小于 10 mm 时，气象站点观测值与多源融合产品在降水强度及空间分布基本一致，当小时降雨量大于 10 mm 以上时，多源融合实况产品在西部沿山高海拔地区较站点观测值明显偏小，在中部平原丘陵地区等低海拔区域又较站点观测值偏大；在极端降雨情况下，多源融合合格点实况产品基本与实况空间分布吻合，但在量级和范围上仍存在一定偏差，其中 01 时实况降水达 41.4 mm，多源融合合格点产品为 37.4 mm，02 时实况降水达 63.6 mm，而多源融合产品值为 55.7 mm，03 实况 51 mm，多源融合产品值 37.6 mm，04 实况 40.7 mm，多源融合产品值 52.7 mm。由此可见，多源融合合格点实况产品在极端降雨情况下，比实况降水偏大最大达 12 mm，偏小最大达 13.4 mm。

4. 结论与讨论

通过利用中国气象局 ART-1km 多源融合合格点实况产品与眉山气象观测站两次区域性暴雨过程降雨量资料的评估分析，得到以下结论：

- 1) 多源融合降水实况分析产品在两次过程中可以准确地反映出降水分布特征，在空间上具有较高一致性，但是降水范围和量级存在一定的误差，猜测原因是由于眉山地区海拔落差较大，达 3000 米，导致西部沿山及中东部丘陵地带出现误差。
- 2) 从日降水量来看，对比两次过程，当降水量增大时，平均误差、均方根误差也随之增大；在极端降水过程中，ART-1km 多源融合产品在西部沿山高海拔区域存在明显偏低。
- 3) 从逐小时降水来看，多源融合合格点产品空间分布结构较实况基本一致，但是在量级上存在一定偏差，尤其是西部沿山的极端降水。

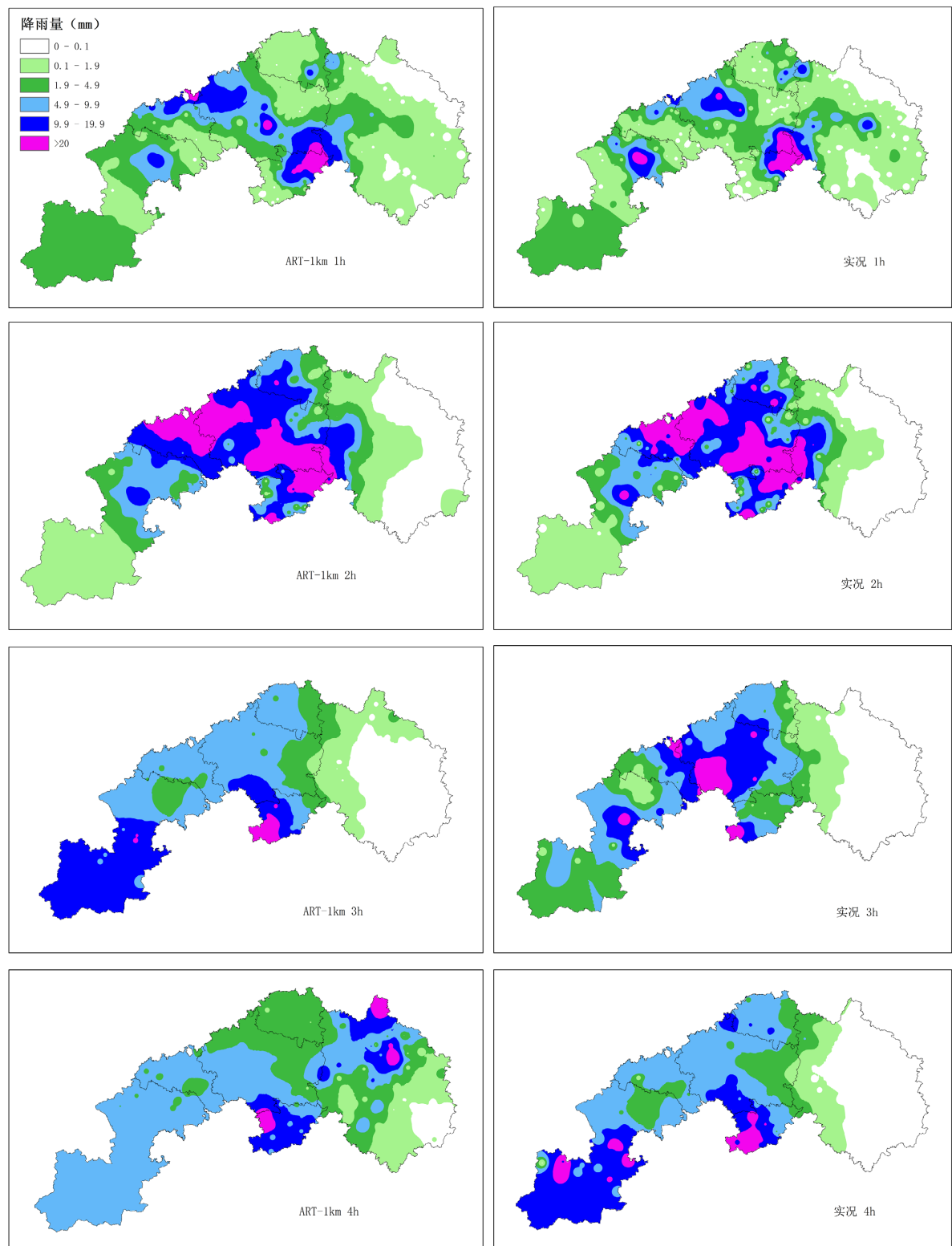


Figure 3. Spatial distribution of hourly precipitation amounts from multi-source fusion gridded analysis and observational data during 01:00~04:00 LST on 23 June (Left: ART-1km fusion gridded product; Right: Station-based observational data)

图 3. 6 月 23 日 01~04 时逐小时降水量多源融合格点实况与实况值空间分布(左列为 ART-1km 融合格点产品, 右列为站点实况观测值)

4) 从逐小时降水来看, 对于 10 mm 以下的降水, 实况值与多源融合格点实况产品降水量基本吻合, 对于 10 mm 以上的降水, 多源融合格点实况产品在西部沿山地区降水量较实况偏小, 在中部平原丘陵地区又较实况偏大; 在极端降雨情况下, 多源融合格点实况产品基本较实况偏小。

综上所述, ART-1km 多源融合格点产品具有较高的准确性, 能较好地反应眉山降水的空间分布结构, 尤其是在中小雨过程中, 雨量及空间分布与站点观测值基本吻合。但是由于眉山地区的海拔差异, 多源融合降水融合产品在极端降水过程中, 受地形因素影响, 存在明显偏低。在未来的应用中应结合本地地形条件, 进一步优化多源融合格点产品在眉山气象防灾减灾中的应用。

参考文献

- [1] 师春香, 潘昘, 谷军霞, 徐宾, 韩帅, 朱智, 张雷, 孙帅, 姜志伟, 廖志宏, 庞紫豪. 多源气象数据融合格点分析产品研制进展[C]//2019 欧亚经济论坛气象分会. 西安: 国家卫星气象中心, 国家气象信息中心, 陕西气象学会, 2019: 129-137.
- [2] Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., et al. (2010) The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. Springer.
- [3] 沈艳, 潘昘, 宇婧婧, 等. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估[J]. 大气科学学报, 2013, 36(1): 37-46.
- [4] 师春香, 潘昘, 谷军霞, 等. 多源气象数据融合格点实况产品研制进展[J]. 气象学报, 2019, 77(4): 774-783.
- [5] Lu, N.M., You, R. and Zhang, W.J. (2004) A Fusing Technique with Satellite Precipitation Estimate and Rain Gauge Data. *Acta Meteorologica Sinica*, 2, 18.
- [6] Xie, P. and Xiong, A. (2011) A Conceptual Model for Constructing High-Resolution Gauge-Satellite Merged Precipitation Analyses. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116, D21106.
<https://doi.org/10.1029/2011JD016118>
- [7] 宇婧婧, 沈艳, 潘昘, 等. 概率密度匹配法对中国区域卫星降水资料的改进[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 544-553.
- [8] 张狄. 融合多源数据的太行山区月降水精细化空间估算研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [9] 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[J]. 海洋气象学报, 2023, 43(2): 100-108.
- [10] 田茂举, 李奇临, 旷兰, 李深智, 赵美艳. 基于重庆“6·22”特大暴雨的降水融合产品质量评估[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(4): 478-484.
- [11] 吴薇, 杜冰, 黄晓龙, 等. 四川区域融合降水产品的质量评估[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(2): 76-81.
- [12] 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[J]. 高原山地气象研究, 2020, 40(2): 21-37.