

蒋雨荷,黄晓龙,吴薇,等.能见度实况融合分析产品在四川省低能见度中的适用性评估[J].气象研究与应用,2022,43(4):59–65.  
Jiang Yuhe,Huang Xiaolong,Wu Wei,et al. Visibility fusion analysis products in Sichuan province applicability assessment in low visibility[J].Journal of Meteorological Research and Application,2022,43(4):59–65.

# 能见度实况融合分析产品在四川省低能见度中的适用性评估

蒋雨荷<sup>1,2</sup>,黄晓龙<sup>1,2</sup>,吴薇<sup>1,2</sup>,雷薇<sup>3</sup>

(1.四川省气象探测数据中心,成都 610072;2.高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,成都 610072;3.石河子气象局,新疆 石河子 832000)

**摘要:**利用四川省 156 个国家站 2020 年 10 月—2021 年 10 月的逐小时能见度观测资料,通过邻近插值、双线性插值与三次立方样条插值的方法进行对比,对国家信息中心研发的能见度实况融合分析产品在四川的适用性进行评估,并选取一次典型的低能见度过程做检验。结果表明,该产品的评估效果在盆地最优,川西高原最差,随着海拔的升高由低估转为高估。均方根误差随能见度呈“U”型分布,1~2km 的误差最小,大于 30km 的误差最大。在低能见度中,融合产品偏高于实况。当能见度为极差或差时,融合产品的误差较大。当能见度较差时,误差明显减小,数据可用性较好。三种插值方式对评估结果影响不大。个例检验表明,融合产品能大致反映全省能见度的时空分布特征,但 200m 以下未能捕捉到实况落区。

**关键词:**能见度实况融合产品;低能见度;检验评估

**中图分类号:** P412.17

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.4.10

## 引言

水平能见度是指视力正常的人在当时天气条件下,能够从天空背景中看到并辨认出目标物(黑色、大小适度)的最大水平距离,或夜间能看到和确定出的一定强度灯光的最大水平距离<sup>[1-3]</sup>。能见度除了受排放到空气中的污染物和颗粒物的影响外,还受大雾、降水、大风等天气现象的影响<sup>[4-6]</sup>。四川省处于青藏高原和长江中下游平原的过渡带,高低悬殊,地势西高东低,西部为大幅隆起的高原和山地,东部多为盆地,省内气候差异显著,复杂的地形与气候造成了四川省能见度的多变性。

现阶段,主要依靠常规的地面观测手段获取能见度数据,但对于站点分布离散或不均匀的区域,很难获得全面的资料。利用特定算法将站点数据插值成格点数据,对于空间变异少且密集的区域,效果较优,但对于四川省的川西高原、攀西地区等地形复

杂、区域广阔、站点稀少的区域,单纯的数学方法难以获得高质量的格点实况数据<sup>[7]</sup>。为了解决实况站点稀少的问题,我国将陆面数值模式和卫星、雷达、站点观测等资料进行融合,建成了亚洲区域时间分辨率为 1h、空间分辨率为 5km×5km 的亚洲区域陆面数据同化业务系统(CLDAS)<sup>[8-15]</sup>。很多研究对多源融合实况分析产品中的降水、气温、土壤湿度、风速风向以及能见度等要素在四川省的适用性进行了评估<sup>[16-28]</sup>。研究表明,四川区域多源降水融合产品质量较高,对强降水有较好的监测能力;气温格点实况误差大值区主要位于地形复杂、海拔较高的川西高原、攀西地区以及盆地—高原过渡带;土壤湿度产品在浅层可以弥补四川部分地区自动站稀疏的缺陷;风速实况融合产品在高原地区评估效果明显低于盆地,高原地区需谨慎使用风速产品;能见度实况融合产品在四川盆地及攀西地区中部的可用性较好。然而,以往对能见度实况融合分析产品的研究多为全

收稿日期:2022-08-10

基金项目:四川省科技厅重点研发计划项目(2022YFS0541)、四川省气象探测数据中心川气探数课题(2021-1)、四川省气象青年课题(SCQXKJQN2020035)、中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z007)子项目

作者简介:蒋雨荷(1994—),女,助理工程师,主要研究方向:气象资料的质量控制与应用。E-mail:1404492639@qq.com

年的评估,缺少对低能度时次的细致讨论与个例检验,插值方法与评估指标也相对单一。为此,本文增加了新的插值方式与评估指标,重点对发生在四川省能见度的极差、差、较差时次进行评估,并选取一次较为典型的雾霾过程进行检验,以期为后续的订正及应用服务提供理论支撑。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

能见度融合格点分析产品(以下简称“融合产品”)的数据为国家气象信息中心提供的四川区域 2020 年 10 月 14 日 11 时—2021 年 10 月 30 日 13 时(北京时)5km×5km 的高分辨率逐小时能见度数据。参与检验的站点数据为四川省气象探测数据中心业务质控过的四川省 156 个国家级地面自动站中质控码为 0(数据正确)的观测数据。

### 1.2 方法

将四川省 156 个国家气象观测站的逐小时能见度数据作为实况真值,将融合产品按照邻近插值、双线性插值、三次立方样条插值的方式插值到站点,统计比较一段时间内实况与融合产品之间的相关系数(COR)、平均值误差(ME)、均方根误差(RMSE)、平均相对误差(MRE)、中位数绝对偏差(MAD)、比值比(OR)等指标,对该产品在四川省的适用性进行评估分析。评估指标及计算方法参考中国气象局《中国区域能见度网格实况产品全流程检验评估细则(2020 版)》,具体公式如下(1)–(6):

相关系数(COR):

$$\text{COR} = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (1)$$

平均值误差(ME):

$$\text{ME} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i) \quad (2)$$

均方根误差(RMSE):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i)^2} \quad (3)$$

中位数绝对偏差(MAD):

$$\text{MAD} = \text{median}|G_i - O_i| \quad (4)$$

平均相对误差(MRE):

$$\text{MRE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G_i - O_i| / O_i \quad (5)$$

比值比(OR):

$$\text{OR} = \bar{G} / \bar{O} \quad (6)$$

其中, $O_i$ 为站点观测值, $G_i$ 为能见度融合产品插值到评估站点后得到的数值, $N$ 为参与检验的样本总样本数(站次数)。

### 1.3 四川区域分区

参考地区地貌类型和市州管辖范围,将四川分为攀西地区(攀枝花和凉山州)、川西高原(甘孜州和阿坝州)、盆地中部(资阳、遂宁和内江)、盆地南部(自贡、泸州和宜宾)、盆地西南部(雅安、眉山和乐山)、盆地东北部(南充、巴中、达州和广安)、盆地西北部(成都、德阳、绵阳和广元)7个地区(图1)。

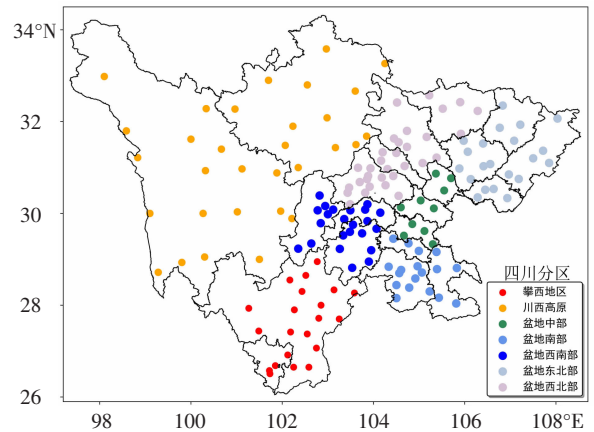


图1 四川区划与国家站分布图

## 2 能见度融合产品总体评估

选取 2020 年 10 月 14 日 11 时—2021 年 10 月 30 日 13 时的逐小时能见度实况融合产品进行评估,删除缺测与重复时次,最后参与评估的样本总数为 1427556。邻近插值、双线性插值与三次立方样条插值对评估影响较小,由于三次立方样条插值的均方根误差、中位数绝对偏差与平均相对误差的值较小,故采用三次立方样条插值的方法插值到国家站(表1)。可以看出,盆地中部的相关性最优(图2a),集中在 0.95~1.0,盆地东北部、西北部、西南部、南部的相关性次之,集中在 0.85~0.95,攀西地区较差,相关系数集中在 0.65~0.85,川西高原最差,相关系数均低于 0.65,其中阿坝州的相关系数基本低于 0.35。盆地内部的均方根误差较小(图2b),集中在 0~4000m,攀西地区的误差值次之,集中在 4000~8000m,川西高原最差,均大于 10000m。在海拔较低的盆地与盆地-高原过渡带上的平均值误差多为负(图2c),表明融合产品偏小于实况,而川西高原西

部区域的平均值误差多为正, 表明融合产品偏大于实况。整体评估效果表现为: 盆地最优, 攀西地区次之, 川西高原最差, 且盆地与攀西地区的融合产品多偏小于实况, 川西高原则偏大于实况。

表 1 能见度融合产品三种插值方法评估结果

|          | COR   | ME(m)    | RMSE(m)  | MAD(m)   | MRE(m) | OR    |
|----------|-------|----------|----------|----------|--------|-------|
| 邻近插值     | 0.813 | -610.264 | 5992.746 | 2209.352 | 0.531  | 0.949 |
| 双线性插值    | 0.811 | -633.961 | 6020.533 | 2212.432 | 0.529  | 0.948 |
| 三次立方样条插值 | 0.813 | -633.346 | 5970.447 | 2174.350 | 0.527  | 0.947 |

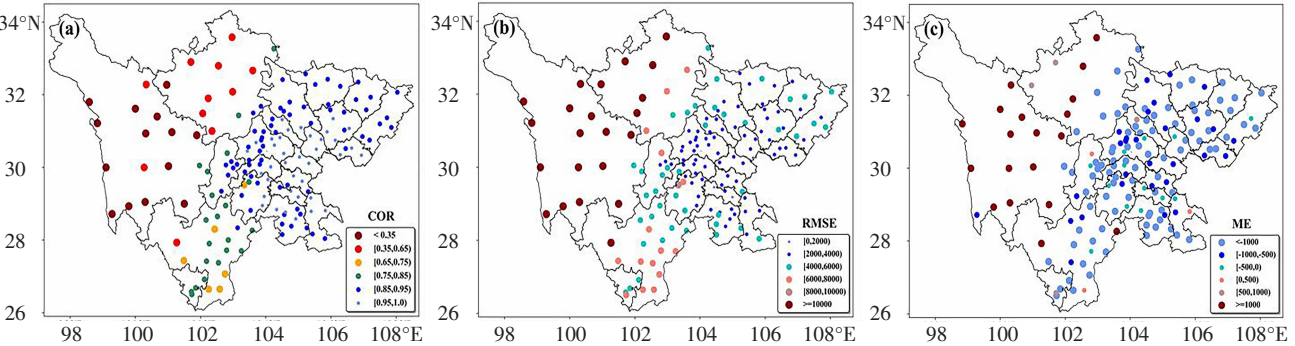


图 2 2020 年 10 月 14 日 11 时—2021 年 10 月 30 日 13 时小时能见度空间分布  
(a)COR; (b)RMSE; (c)ME

参考 GB/T 33673-2017 定义的能见度等级及四川的样本量, 将能见度划分为: <0.5km 极差或差, 0.5~1km 较差, 1~2km 一般, 2~10km 良, 10~30km 优, >30km 极优。以上 6 级的观测值分别占总样本量的 1.04%, 0.76%, 2.75%, 29.94%, 35.15%, 33.26%, 说明四川地区能见度大部分都在 2km 以上。当能见度小于 2km 或大于 30km 时, 平均值误差为正, 表明融合产品较实况偏大, 能见度在 2~30km 时, 平均值误差为负, 表明融合产品较实况偏小。均方根误差随能见度呈“U”型分布, 且当能见度在 1~2km 时, 均方根误差最小, 为 1085.25m。根据《新型自动气象(气候)站功能规格书》和《前向散射能见度仪观测规范(试行)》的规定, 当站点实况超过 30km 时, 统一质控为 30km, 而融合产品没有这个限制, 且上限能达到 60km, 从而造成能见度大于 30km 时, 较实况明显偏高, 均方根误差明显增大, 可见, 当能见度小于 0.5km 或者大于 30km 时, 融合产品较实况均明显的偏大, 数据可用性较差, 且融合产品在大于 30km 时未进行质控, 没有与实际业务紧密相连, 与观测规范不相符, 后续需对该融合产品的阈值进行调整。

3 低能见度分级评估

3.1 低能见度整体评估

将能见度小于 1km 的时次定义为一个低能见度时次, 低能见度时次主要包含能见度小于 0.5km 的极差或差时次与 0.5~1km 的较差时次。其中, 能见度极差或差时次共 14895 个, 较差时次共 10876 个。当能见度为极差或差时次时, 盆地内的低能见度时次明显多于高原地区, 全川的平均值误差多为正, 表明此能见度条件下融合产品偏大于实况, 其中, 盆地东北部的平均值误差最小, 为 663.989m, 盆地西北、西南部的平均值误差较大, 分别为 1334.921m 与 1316.862m(表 2)。盆地东北部、中部、南部的均方根误差相对较小, 主要集中在 2000m 以下, 其中, 盆地东北部的均方根误差最小, 为 1764.59m, 盆地西北与西南部的均方根误差较大, 分别为 2534.793m 与 2501.75m(表 2)。当能见度为较差时次时, 川西高原与攀西地区的站点数明显增多, 全川的平均值误差与均方根误差也明显减小, 其中, 盆地西南部的平均值误差与均方根误差均最小, 分别为 443.672m 与 911.484m, 盆地南部的最大, 分别为 635.604m 与 1215.179m。

综合来看,低能见度中,融合产品偏高于实况,当能见度为极差或差时,融合产品的误差较大,不能较好的反映实况变化,在全川的适用性较差,当能见度为较差时,误差值明显减小,盆地内的适用性显著提升,且在盆地东北部的评估效果最优。

表 2 能见度融合产品在低能见度下的评估结果

| 盆地分区  | 能见度 0~500(m) |          | 能见度 500~1000(m) |          |
|-------|--------------|----------|-----------------|----------|
|       | ME(m)        | RMSE(m)  | ME(m)           | RMSE(m)  |
| 盆地中部  | 914.121      | 1981.681 | 476.527         | 970.297  |
| 盆地东北部 | 663.989      | 1764.59  | 188.364         | 646.056  |
| 盆地西北部 | 1334.921     | 2534.793 | 443.891         | 913.706  |
| 盆地西南部 | 1316.862     | 2501.75  | 443.672         | 911.484  |
| 盆地南部  | 898.697      | 1981.477 | 635.604         | 1215.179 |

4 一次典型的低能见度过程评估

4.1 低能见度实况

选取 2020 年 12 月 26 日 12 时—27 日 23 时发生在四川盆地一次典型的大雾重霾天气过程。由于近地面相对湿度较高且存在较厚的逆温层,致使大气扩散能力差,造成盆地东北、西南与南部出现大雾重霾的低能见度天气过程。其中 27 日 07 时大雾强度最强,范围最广,该时次有 24 站能见度在 500~1000m,4 站在 200~500m,5 站在 200m 以下,特此选取此时次进行分析。分析对应的融合产品,利用邻近插值、双线性插值和三次立方样条插值的方法插值到站点后 500~1000m 的站点分别有 43 站、42 站、40 站,200~500m 的站点均为 4 站,200m 以下的站点均为 0 站。与实况对比可见,200~1000m 融合产品与实况的落区较为接近,但 200m 以下融合产品未能捕捉到实况

值,不能较好反映实况的空间分布特征。

4.2 按时间序列评估

选取 2020 年 12 月 26 日 12 时—27 日 23 时这一时段,实况于 26 日 16 时开始下降,于次日午后逐渐升高,具有明显的日变化特征,且融合产品均偏小于实况(图 3a),统计分析盆地各台站指标的时间序列可以看出:三种插值方法对结果影响不大,当实况大于 2km 时,融合产品与实况的变化趋势一致,具有较好的指示意义,二者的相关系数较高,基本维持在 0.84 以上(图 3a),均方根误差稳定,集中在 2000m 以下(图 3b);当实况小于 2km 时,融合产品的偏小程度越渐明显,相关系数明显降低,对应的均方根误差也显著增大。可见,在本次过程中,融合产品能较好反映出实况随时间的变化,但当实况减小到 2km 以下时,融合产品对实况的拟合效果变差,误差值也明显增大。

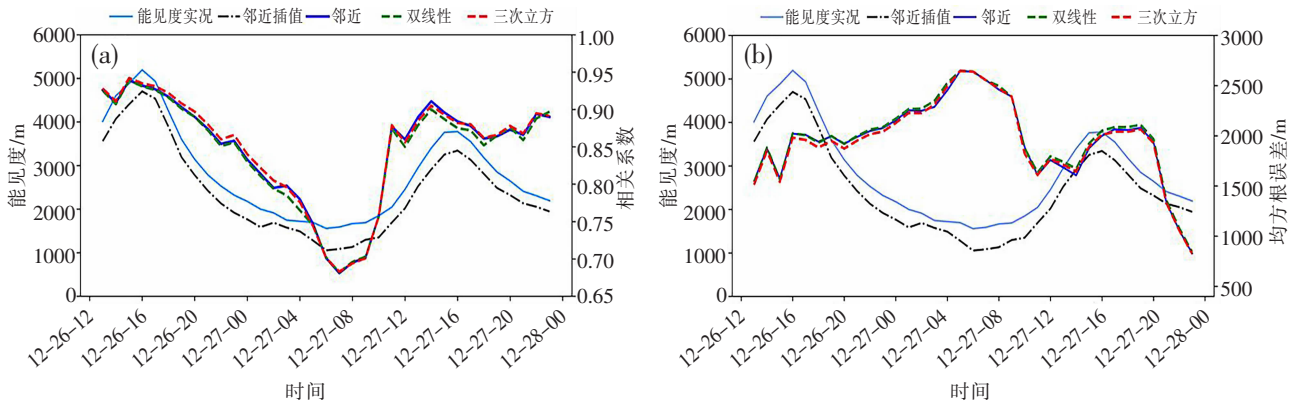


图 3 2020 年 12 月 26 日 12 时—27 日 23 时能见度融合产品在盆地的时间序列图  
(a)COR; (b)RMSE



### 4.3 按站点评估

选取 27 日 00—12 时盆地内的台站做检验, 此时段能见度小于 1km 的区域主要位于南充、成都、眉山、内江、宜宾及泸州, 其中, 南充、成都、眉山、内江的个别台站能见度小于 200m(图 4a)。期间能见度小于 500m 的相关系数明显偏低, 融合产品对实况的拟合能力明显变差, 大于 500m 的相关系数明显增加, 拟合能力明显提升(图 4b)。能见度小于 200m 的平均值误差多集中在 100~500m, 200~500m 的平均值误差多大于 500m, 随着实况的增加, 平均值误差由正转负(图 4c)。能见度小于 200m 的均方根误差多集中在 0~500m, 200~500m 的均方根误差集中在 500~1000m, 随着实况的增加, 均方根误差也

明显增大, 均方根误差的大值区主要位于实况大于 1000m 的区域(图 4d)。在能见度小于 200m 的中位数绝对偏差主要集中在 200~600m(图 4e), 且此区域的平均相对误差较能见度大值区明显增大(图 4f), 比值比多大于 1, 表明融合产品此时段的平均状态高于实况的平均状态(图 4g)。综合来看, 本次过程, 融合产品对能见度小于 500m 的区域拟合效果较差, 平均值误差集中在 100~500m, 明显偏高于实况, 此区域的数据可用性较差, 对能见度大于等于 500m 的区域拟合效果明显改善, 平均相对误差减小, 融合产品由高估转为低估, 数据的可用性明显增加。

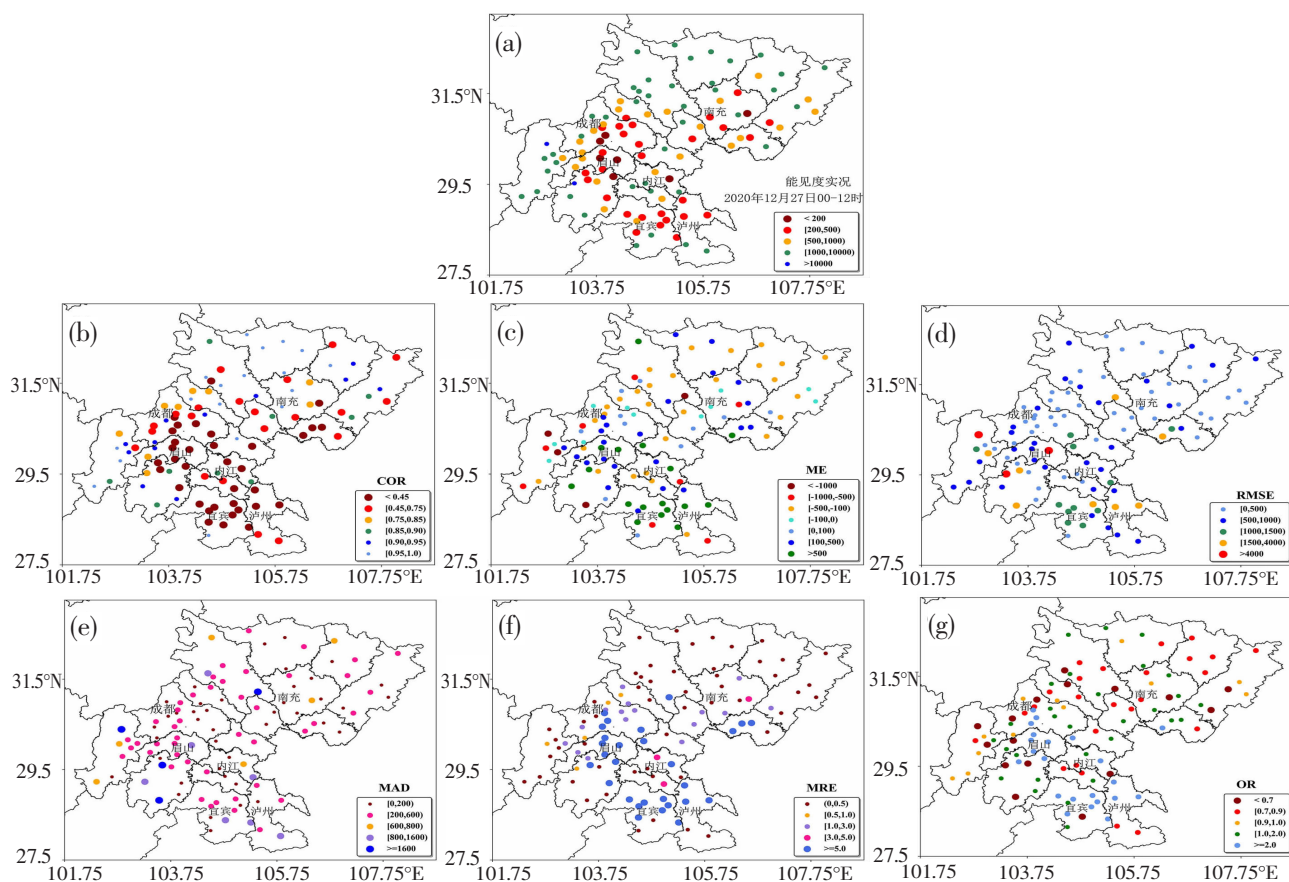


图 4 2020 年 12 月 27 日 00 时—12 时能见度融合产品各指标空间分布图

(a) 实况; (b) COR; (c) ME; (d) RMSE; (e) MAD; (f) MRE; (g) OR

## 5 结论与讨论

采用邻近插值、双线性插值与三次立方样条插值的方法, 将四川省 2020 年 10 月 14 日 11 时—2021 年 10 月 30 日 13 时逐小时的能见度融合产品

格点数据插值到站点, 并选取一次典型的雾霾过程进行评估分析, 结论如下:

(1) 总体来看, 盆地内部的评估效果最优, 攀西地区次之, 川西高原最差。盆地内的误差在 6km 以内, 攀西地区在 10km 以内, 川西高原在 20km 左右。

当能见度在 2~30km 时,融合产品偏小于实况;当能见度小于 2km 与大于 30km 时,融合产品偏大于实况,且当能见度在 1~2km 时,均方根误差最小。台站的海拔高度对评估结果也有一定影响,当海拔低于 2000m 时,融合产品多偏小于站点,反之,偏大于站点,且随着海拔的升高,均方根误差越来越大。

(2)全省能见度小于 1km 的区域主要位于盆地,融合产品多偏高于实况。当能见度为极差或较差时,误差在 1334.921m 以内,不能真实反映真值,数据的可用性较差。当能见度为较差时,误差在 635.604m 以内,数据可用性有明显的改善。

(3)在本次低能见度过程中,融合产品能大致反映全省能见度的分布特征,且对盆地的刻画效果较攀西地区与川西高原更为细致。融合产品随时间的变化趋势与实况较为接近,当能见度小于 2km 时,相关系数随着实况的减小而显著减小,均方根误差随着实况的减小而明显增大。

总体而言,融合产品在能见度小于 1km 时,基本偏大于实况,三种插值方法对评估结果影响不大,海拔高度对评估有一定影响,当能见度为极差或差时,数据可用性差,需订正后使用,当能见度较差时,数据可用性明显改善。融合产品在大于 30km 时未做质控,没有与实际业务紧密相连,与观测规范不相符,后续需对该融合产品的阈值进行调整。

#### 参考文献:

[1] 中央气象局.地面气象观测规范[M],北京:气象出版社,1979.

[2] 范引琪,李春强.1980—2003 京津冀地区大气能见度变化趋势研究[J].高原气象,2008,27(6):1392-1400.

[3] 卢盛栋,陈立瑾,赵桂香,等.太原大气能见度影响因素分析及能见度预报[J].沙漠与绿洲气象,2020,82(4):105-112.

[4] 李潇潇,周婷婷,赵胡筋,等.大连地区能见度影响因素及个例分析[J].沙漠与绿洲气象,2018,70(4):65-73.

[5] 李嵩恂,吴昊,柳艳香,等.我国公路低能见度灾害风险评估与区划研究[J].气象,2018,44(5):676-683.

[6] 王健颖,郑小波,赵天良,等.四川盆地气溶胶变化对弱降水的影响:基于能见度气候分析[J].生态环境学报,2016,25(4):621-628.

[7] 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[J].气象科技进展,2018,8(1):102-108,116.

[8] 崔园园,覃军,敬文琪,等.GLDAS 和 CLDAS 融合土壤水分产品在青藏高原地区的适用性评估[J].高原气象,

2018,37(1):123-136.

[9] 续昱,高艳红.基于 GLDAS 与再分析资料的青藏高原内循环降水率分析[J].高原气象,2020,39(3):499-510.

[10] 孙靖,程光光,黄小玉.中国地面气象要素格点融合业务产品检验[J].高原气象,2021,40(1):178-188.

[11] Chen F, Manning K W, LeMone M A, et al. Description and evaluation of the characteristics of the NCAR High-Resolution Land Data Assimilation System[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007(46):694-713.

[12] 刘莹,师春香,王海军,等.CLDAS 气温数据在中国区域的适用性评估[J].大气科学学报,2021,203(4):540-548.

[13] 白磊,张帆,文元桥,等.基于格点资料的 1961-2018 年中国霜冻灾害时空变化规律[J].中国农业气象,2021,42(9):761-774.

[14] 邓悦,任晓炜,丘平珠,等.台风“海高斯”(2007)期间多种降水融合实况产品的误差评估[J].气象研究与应用,2021,42(3):62-68.

[15] 卢小凤,李仲怡,陈剑飞,等.智能网格产品在西江流域面雨量预报中的应用检验[J].气象研究与应用,2020,41(2):45-49.

[16] 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[J].高原山地气象研究,2021,41(2):42-52.

[17] 吴薇,黄晓龙,徐晓莉,等.融合降水实况分析产品在四川地区的适用性评估[J].沙漠与绿洲气象,2021,88(4):1-8.

[18] 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.

[19] 龙柯吉,师春香,韩帅,等.中国区域高分辨率温度实况融合合格点分析产品质量评估[J].高原山地气象研究,2019,39(3):67-74.

[20] 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):31-37.

[21] 龙柯吉,宋雯雯,黄晓龙.智能网格能见度实况融合合格点分析产品在一次大雾天气过程中的评估[J].气象研究与应用,2021,42(4):50-55.

[22] 李晓俞,陈生,梁振清,等.台风“山竹”期间 GPM 卫星降水产品的误差评估[J].气象研究与应用,2020,41(3):8-15.

[23] 丛芳,王佳津,龙柯吉,等.多源融合合格点实况数据在四川高温过程的适用性分析[J].高原山地气象研究,2020,40(4):65-69.

[24] 郭旭,龙柯吉,赵旋,等.四川地区自动土壤水分站数据质量控制方法研究[J].高原山地气象研究,2017,37(2):90-95.

[25] 李施颖,吴薇,黄晓龙.四川省 CLDAS 和 ECMWF 再分

- 析数据风速产品评估[J].高原山地气象研究,2020,40(4):70–76.
- [26] 蒋雨荷,黄晓龙,李施颖,等.四川 CLDAS 5km 小时能见度实况产品与能见度观测站资料质量对比评估[J].高原山地气象研究,2020,40(3):73–78.
- [27] 蓝玉峰,侯君杏,黄嘉宏.三套再分析降水资料在华南地区的适用性评估[J].气象研究与应用,2020,41(2):14–20.
- [28] 李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J].地理学报,2013,68(3):291–306.

## Visibility fusion analysis products in Sichuan province applicability assessment in low visibility

Jiang Yuhe<sup>1,2</sup>, Huang Xiaolong<sup>1,2</sup>, Wu Wei<sup>1,2</sup>, Lei Wei<sup>3</sup>

(1. Sichuan Meteorological Observation and Data Centre, Chengdu 610072, China; 2. Heavy Rain and Drought–Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 3. Shihezi Meteorological Bureau, Xinjiang Shihezi 832000, China)

**Abstract:** Based on the hourly visibility observation data of 156 national stations in Sichuan Province from October 2020 to October 2021 and the comparative analysis of proximity interpolation, bilinear interpolation, and cubic spline interpolation, the applicability of the visibility reality fusion analysis product developed by the National Meteorological Information Centre in Sichuan is evaluated, and a typical low–visibility process is selected for inspection. The results show that the evaluation effect of this product is the best in the basin and the worst in the western Sichuan Plateau, and it changes from underestimation to overestimation as altitude increases. The root mean square error presents a U-shaped distribution with visibility, with the smallest error at 1 to 2 km and the largest error at greater than 30 km. In low visibility, the fusion product is higher than the actual value. When the visibility is extremely poor or poor, the fusion product has a large error and needs to be revised before use. When the visibility is relatively poor, the error is significantly reduced and the data availability is improved. The three interpolation methods have little influence on the evaluation results. The case test shows that the fusion product can roughly reflect the spatial and temporal distribution characteristics of the visibility in the whole of Sichuan, but it fails to capture the real landing area below 200m.

**Key words:** Visibility live fusion products; low visibility; inspection and evaluation