

精细化网格的降水预报解析方法对比

张宏芳¹ 巨晓璇¹ 卢珊¹ 潘留杰²

(1 陕西省气象服务中心, 西安 710014; 2 陕西省气象台, 西安 710014)

摘要: 以欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 精细化网格降水预报资料、自动气象站观测资料、中国气象科学数据信息网提供的三源融合降水产品为基础, 研究最邻近点法、反距离权重法、最小二乘法和双线性插值法在格点降水向站点以及格点降水插值到更细网格中的优缺点和适用性。在模式预报相对准确精细的基础上, 得出以下结论: 1) 最邻近点法在格点向站点解析方面预报技巧评分表现最好, 其次为反距离权重法; 2) 将降水场变换到更高分辨率的格点降水, 4种解析结果和原始场均存在一定的差异, 其中最小二乘法的空间形态失真最为严重; 3) 反距离权重法在较粗网格向更细网格变换中的平均TS评分表现最好, 而最邻近点法的ETS评分最高。

关键词: 网格预报, 最邻近点, 反距离权重, 双线性, 最小二乘法

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.001

Comparison of Parsing Methods for Fine Grid Precipitation Forecasting

Zhang Hongfang¹, Ju Xiaoxuan¹, Lu Shan¹, Pan Liujie²

(1 Shaanxi Meteorological Service Centre, Xi'an 710014 2 Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014)

Abstract: Based on ECMWF fine grid point precipitation forecast data and the three source fusion precipitation products by China Meteorological Science Data Information Network, we analyzed and compared the disadvantages and applicability of data conversion from grid points to station and grid point to more high resolution grid using different methods, including nearest neighbor method, inverse distance weighting, least square method and bilinear interpolation method. On the basis of the relative accuracy and fineness of the model forecast, the results show that: 1) The nearest neighbor method had the highest forecast skills on the data conversion from grid points to station, the second is the inverse distance weighting method; 2) On the precipitation field parsing to more high resolution grid, four different methods and the original fields have some differences, but the least square method produces the most serious space pattern distortion; 3) Average TS score of the inverse distance weighting method is the best one on parsing rough network grid to fine network grid, while the nearest neighbor method has a better ETS score.

Keywords: grid precipitation forecasting, nearest neighbor method, inverse distance weighting method, bilinear interpolation method, least square method

0 引言

智能网格气象预报是目前中国气象局的主推业务和未来天气预报的发展方向。实现高时空分辨率的精细化网格预报的主要动机是改进和增强对中小尺度天气的预报能力, 做到时间、空间预报的无缝隙衔接^[1-2]。然而, 无论格点预报场的空间分辨率多么精细, 对于用户来说, 其所在位置并不总落在某个固定的格点之上, 因此基于数值预报产品释用技术的精细化客观预报在气象预报业务中越来越重要^[3]。

针对模式要素预报的插值方法, 气象学者做了大量深入和卓有成效的研究工作^[4-6]。早在1996年, 游性恬就研究了拉格朗日 (Lagrangian)、样条 (Spline) 和埃尔米特 (Hermite) 3种插值方法的误差分布^[7]; 随后, 高歌等^[8]利用反距离权重法和普通克里格方法将站点降水插值到格点, 并比较了两种方法的插值效果; 张宁等^[9]以江苏省2006年夏、秋季基础站、自动站降水资料为基础, 利用Cressman方法, 将其降水资料插值到格点上, 并比较了两种观测降水在插值后的空间分布差异。苏勇等^[10]分析了样条插值方法在GRAPES模式物理过程计算前后的精度表现和对模式综合性能的影响; 朱国富^[11]详细论述了数值天气预报中分析同化初值形成的客观分析方法, 主要包括多项式函数拟合、逐步订正、最优插值、变分方法和集合

收稿日期: 2017年9月6日; 修回日期: 2018年5月28日

第一作者: 张宏芳 (1981—), Email: hongfanglj@sohu.com

资助信息: 陕西省气象局重点科研项目 (2016Z-1); 中国气象局预报员专项 (CMAYBY2018-075); 陕西省自然科学基金项目 (2019JM-088)

卡尔曼滤波5种,并阐述了这些方法的发展脉络和显著特征。赵煜飞等^[12]采用薄盘样条法,对中国区域地面降水站点资料进行内插,并进行了质量评估。这些研究不仅对气象要素从站点到格点转换,建立连续性的空间要素场做出了重要贡献,而且极大地促进了数值模式同化、物理过程改进等多方面的进步。但目前对气象要素从格点向站点转换的性能、适用性和优缺点少有研究,这一方面是由于过去模式分辨率较粗,直接从模式向预报站点转换的气象要素很难有好的预报精度;另一方面,站点预报主要是各级气象台站业务人员参考各家模式的基础上给出的综合预报结果。

2016年,中国气象局印发了《全国精细化网格气象预报业务建设实施方案》,计划用两年时间建立全国陆地区域5 km分辨率的未来10天精细化气象网格预报业务。精细化网格预报的全国覆盖必将极大地推动气象要素预报的流程再造和服务能力的快速提高,用户可以随时随地获得从精细化网格预报中解析出来的客观预报服务产品。但同时,建立合理、有效的格点到用户关心位置(站点)的预报要素解析方法也成为目前面临的重要现实问题。本文以ECMWF精细化网格模式预报资料为基础,分析最邻近点法、反距离权重法、双线性插值法以及最小二乘法在格点至站点、格点降水插值到更细网格中的适用性和优缺点,以期为基于格点的站点要素预报解析提供参考。选择这4种方法的主要原因是计算方便、实现简单,同时也具有较好的插值精度,便于业务化运行。

1 资料和方法介绍

1.1 资料

观测资料采用:1)2015和2016年5—10月研究区域内每日20时过去24 h自动气象站降水观测资料;2)中国气象科学数据信息网提供的CMORPH卫星、全国4万个自动观测站、雷达定量估测降水的三源融合逐小时降水产品,时段为2015和2016年5—10月,空间分辨率为 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。潘旻等^[13]研究表明,三源降水融合资料在我国夏季逐小时降水平均偏差为 -0.004 mm,相关系数达0.718,能够表现降水的真实状态,可以作为参照物来评估模式的预报性能。

模式数据为同时期每日12 UTC起报的ECMWF细网格降水预报产品。预报时效为240 h。分辨率为 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 。研究区域设为秦岭及周边地区(31° — 40° N, 103° — 113° E),具体范围如图1所示。图中的黑色圆点为假定从格点解析到站点所关注的位置。

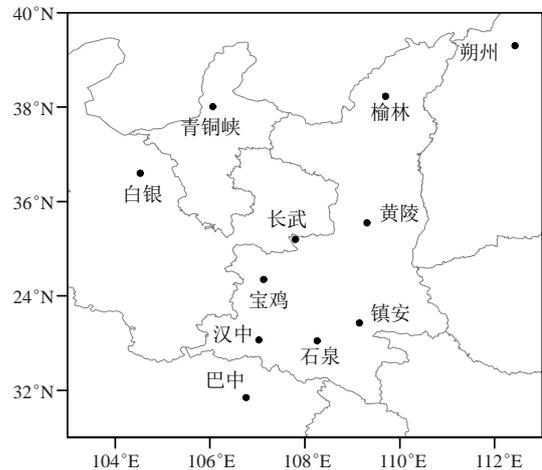


图1 研究区域(图中黑色圆点为解析到站点所选取的观测站)

Fig. 1 Research area (Black dots denote observatory stations used for data conversion from grid points to station)

1.2 方法介绍

为了全面比较反距离权重法、双线性插值法、最小二乘法以及最邻近点4种方法的解析性能,采用以下比较方式,首先计算将2015及2016年5—10月ECMWF模式预报解析到站点后的平均预报评分,计算的预报评分指数主要包括:预报偏差(*Bias*),表示预报事件发生的次数与观测事件发生的次数的比率, $Bias > 1$ 表示预报事件高于观测事件的发生频率, $Bias < 1$ 则相反,理想情况下 $Bias = 1$ ^[14-15];TS(threat score)评分,表示事件发生的正确预报次数与事件发生总次数(预报或观测)的比率^[16-18];ETS(equitable threat score)评分,表示除去随机偶然事件后,事件发生且预报正确的次数与事件发生总次数的比率^[19]。然后,将模式预报变换到与三源融合资料相同分辨率的格点,这种比较范围更大,空间上相当于任意点的全覆盖,结果更具有代表性。最后选取个例进一步分析解析误差;4种方法简单介绍如下。

1.2.1 反距离权重法

反距离权重法以格点到站点距离的倒数作为权重,将格点值插值到用户关注的站点,具体计算时,选用的格点数可以根据转换结果的准确性来选择设定,在本文的研究中,选择站点周围9个格点值进行插值,具体计算公式为:

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j p_j, \text{ 其中 } w_j = \frac{d_{ij}^{-1}}{\sum_{j=1}^n d_{ij}^{-1}}, \quad (1)$$

式中, V_i 表示插值后的第*i*个站点降水量, j 表示站点周围的9个格点, w_j 表示第*j*个格点的权重系数, p_j 表示模

式在第 j 个格点上的预报值, d_{ij} 表示站点 i 到周围格点 j 的距离, 如果 $d_{ij}=0$, 则 $w_j=1$ 。

1.2.2 双线性插值法

双线性插值是分别在 x , y 方向的线性插值的合成, 核心思想是在两个方向分别进行一次线性插值, 这也决定了双线性插值只能取关注点周围的4个点作为插值基础(图2b), 假定 P 点为关注点, 其值为 $f(x_2, y_2)$, 则有:

$$f(x_2, y_2) = \frac{y_3 - y_2}{y_3 - y_1} f(x_2, y_1) + \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1} f(x_2, y_3), \quad (2)$$

式中, $f(x_2, y_1)$, $f(x_2, y_3)$ 为在 x 方向的一次线性插值结果。

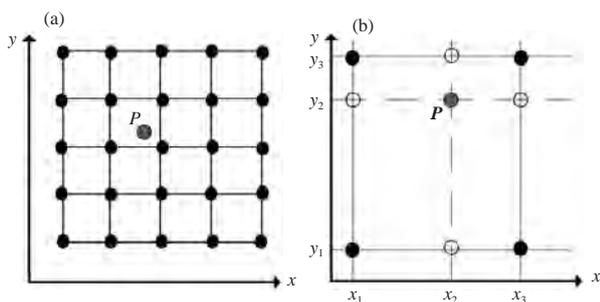


图2 解析方法示意图: (a) 最邻近点法及反距离权重, (b) 双线性插值

Fig. 2 Sketch map of analytical methods: (a) for the nearest neighbor method and the inverse distance weighting method; (b) for the bilinear interpolation method

1.2.3 最小二乘法

最小二乘法通常用来建立一元线性回归模型, 是以“误差平方和最小”来确定直线斜率和截距的最典型方法。事实上, 对高分辨率格点要素预报解析来说, 选择用户需要的位置(需要解析的点)与周围给定范围格点的误差平方和达到最小, 也是通用的客观解释用方法。对单点来说, 假定 Z 为解析值, 则有:

$$Z = ax + \beta y + \gamma, \quad (3)$$

式中, x 、 y 为用户关注点的坐标位置, a 、 β 、 γ 为通过二元线性回归且满足误差平方和最小得到的回归系数。

1.2.4 最邻近点法

最邻近点法为选择距离站点位置最近的格点值作为站点的预报, 在图2a中, 假设 P 点为所关注的站点, 则判断 P 点周围4个格点距离中心站 P 的距离, 取距离最短的格点值为关注站点的预报值, 即 P 点右下角的点。

2 总体表现

首先考察2015及2016年5—10月, 4种不同解析

方法的平均表现情况, 图3给出了2015及2016年5—10月将ECMWF模式预报场解析到图1中的11个站点, 并计算的统计检验结果。由于解析到站点的暴雨频次较少, 这里仅分析0.1 mm以上量级降水的技巧评分。从降水平均差值来看(图3a), 预报整体较观测偏高0.1~0.9 mm左右, 其中最小二乘法偏高最明显(图3a), 双线性插值和反距离权重法基本接近, 最邻近点法效果最好, 值得注意的是, 在不同时效上, 预报和观测的降水差值有明显的周期性变化, 其具体原因并不清楚。降水偏差显示(图3b), 模式对0.1 mm以上量级降水整体具有预报频次偏多的特征, 且有随预报时效增长增多的趋势。双线性插值和最小二乘法偏多最为显著, 高于观测2.5~3倍以上, 最邻近点法平均高于观测1.63~2.4倍, 表现最好。模式整体具有较好的TS(图3c)和ETS(图3d)评分, 24 h预报最邻近点法的TS评分达0.52, 到第9天, 减小到0.34。其他3种方法TS评分变化趋势和最邻近点法基本一致, 随着预报时效的增加而减小, 但整体预报评分低于最邻近点法, 同样, 最邻近点法的ETS评分也表现最好。Bias也接近理想值1.0, ETS显著高于其他3种方法。

图4给出了2015及2016年5—10月的ECMWF模式每日20时起报, 未来24 h累计降水量, 利用4种方法将逐日ECMWF预报0.125°的降水产解析到0.05°分辨率后, 并计算时段平均降水量和预报偏差的空间表现。可以看出, 4种解析方法获得的时段平均降水量的空间分布整体是一致的, 4种方法都较好地刻画了降水量随纬度的增加而减小的趋势, 位于四川、陕西南部的降水大值区和宁夏北部的降水低值区的中心位置也都表现相同。不同点在于: 1) 降水量级上, 最小二乘法区域平均值为2.6 mm, 空间格点上最大值为8.7 mm, 最小为0.37 mm, 表现出降水高值中心偏小, 低值中心偏大的特征; 而双线性插值和反距离权重法降水量级基本一致, 区域平均值为2.6 mm, 最大为10.4 mm, 最小为0.34 mm; 最邻近点法较双线性插值和反距离权重法最大值、区域平均略偏小, 分别为10.35和2.59 mm。2) 降水范围上, 最邻近点法、双线性插值法的降水高、低值中心数量基本一致; 最小二乘法(图4c)的降水高、低值中心数量明显较其他3种方法偏少; 反距离权重法则表现出高、低值中心范围偏小的特征。

从2015及2016年5—10月模式预报相对于实际观测的平均预报偏差Bias来看, 4种方法解析结果除陕西北部的内蒙地区降水频次低于观测外, 其余地方降水频次均高于观测, 从数值上来看, 双线性插值和反

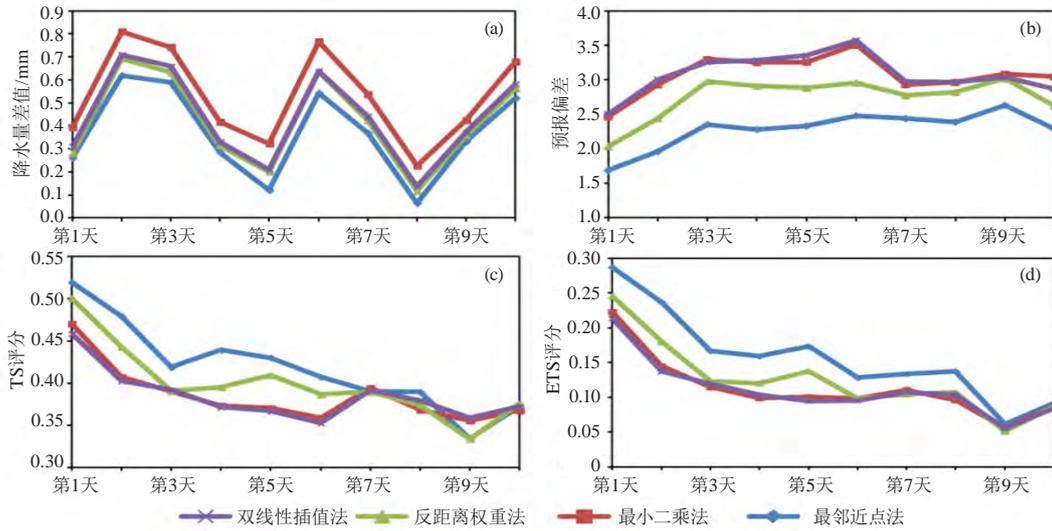


图3 将2015及2016年5—10月ECMWF模式降水预报解析到站点的平均TS、ETS、Bias预报平均和观测平均的差值：
(a) 降水差值，(b) 预报偏差，(c) TS评分，(d) ETS评分

Fig. 3 Comparisons of the ECMWF precipitation forecast parsing to station among 4 methods for the period from May to October in 2015 and 2016: (a) for the bias of station precipitation; (b) for the difference values between average of forecast and observation precipitation; (c) for the Mean TS score; (d) for the ETS score

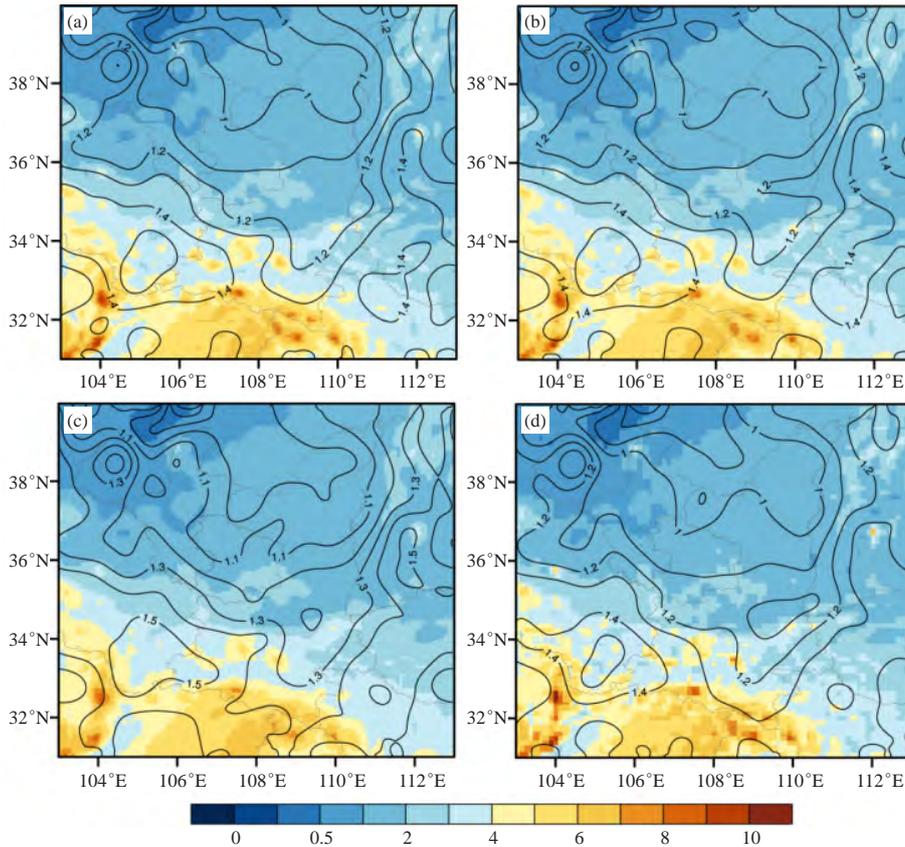


图4 用4种不同方法将2015及2016年5—10月ECMWF降水预报 (0.125°) 解析到0.05°分辨率的平均预报偏差和降水量的空间表现 (等值线为预报偏差, 色标为平均降水量): (a) 双线性插值法, (b) 反距离权重法, (c) 最小二乘法, (d) 最邻近点法

Fig. 4 Mean forecast bias (contour) and special patterns of average precipitation (shaded) resulted from the ECMWF precipitation forecasts in 0.125° resolution parsing to 0.05° by four different methods for May–October in 2015 and 2016: (a) bilinear interpolation method; (b) inverse distance weighting method; (c) least square method; (d) nearest neighbor method

距离权重法最为接近,分别为1.23和1.25,主要差异在于双线性插值(图4a)的Bias高值中心范围偏小,低值中心的范围偏大,有空间Bias趋于一致的特征,而反距离权重法则更显著的体现了地区性差异。4种方法中,最小二乘法降水预报频次高于观测最为明显,平均为1.28;最邻近点法最接近理想值,平均为1.20。分析每个格点上的Bias数值差异,发现最邻近点法的Bias振幅最大,大值中心高于观测2.75倍,而低值中心仅为观测的0.36倍;而最小二乘法的Bias振幅最小,最大值和最小值分别为2.66和0.42。

不同解析方法方法的降水TS、ETS评分如图5所示,可以看出,4种方法的TS评分不存在本质上的差异,总体表现了降水多发区TS评分高,降水频次低值区TS评分偏低的特征。从数值上来看,反距离权重法

和最小二乘法空间平均TS评分最高,分别为0.561和0.560,双线性插值TS评分略低,为0.558,最邻近点法TS评分最差为0.556。但值得注意的是,虽然最邻近点法TS评分的空间平均值最低,但其在格点上的TS最大值和最小值却最高,分别为0.857和0.126。出现这种现象的原因可能与最邻近点法本身的特点有关,最邻近点法本质上使得格点分辨率变粗,相邻的多个格点可能使用了一个预报最邻近点,这使得在相邻格点的细网格观测降水有变化的情况下,模式预报的降水量不变,从而拉低了空间平均TS评分。就本文研究使用的 0.125° ECMWF细网格模式来看,将其向细网格变换时使用反距离权重方法更好。

从4种解析方法的ETS评分来看,双线性插值和反距离权重空间分布也最为相像。数值上,双线性插值

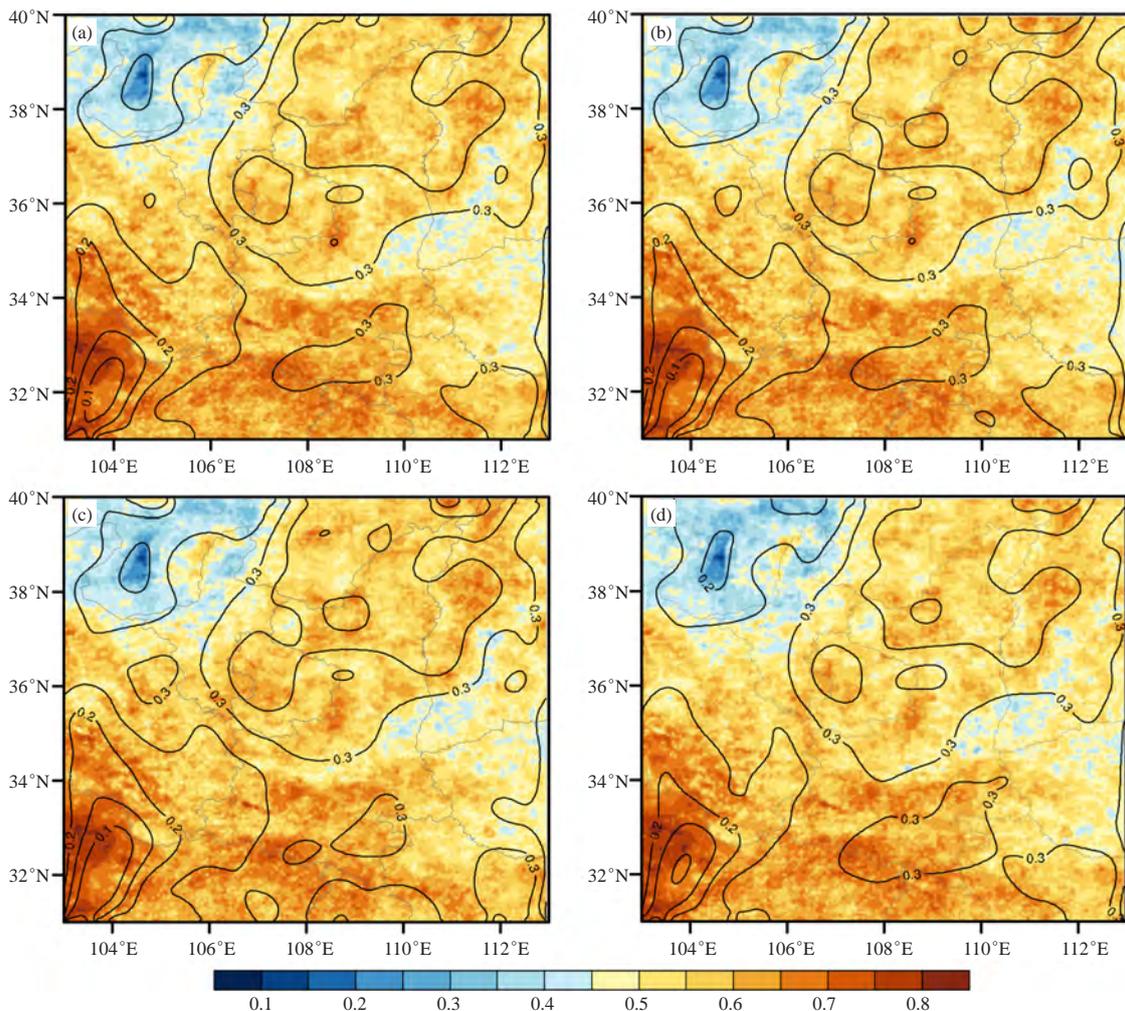


图5 4种不同方法将ECMWF预报(0.125°)降解析到 0.05° 分辨率的TS和ETS评分(等值线为ETS评分,色标为TS评分): (a) 双线性插值, (b) 距离权重法, (c) 最小二乘法, (d) 最邻近点法
Fig. 5 The TS score (shaded) and ETS score(contour) resulted from the ECMWF precipitation forecast in 0.125° resolution parsing to 0.05° by four different methods: (a) bilinear interpolation method; (b) inverse distance weighting method; (c) least square method; (d) nearest neighbor method

空间平均为0.284，略低于反距离权重法0.285。最小二乘法不仅空间分布和其他方法有较大差异，而且平均ETS最低，为0.280。相比之下最邻近点法ETS评分表现最好为0.287，而且格点最大值、最小值也优于其他3种方法。

3 个例分析

为了进一步比较，下面给出一个降水产析个例。图6为2015年6月28日20时的过去24 h三源融合降水场和ECMWF模式前一天20时的预报场。可以看出，此

次降水过程属系统性降水，研究范围内大部分区域降水量大于0.1 mm。强降水中心有两个，分别位于陕西、四川交界处和陕北北部地区（图6a），最大降水量超过110 mm。模式整体较好地预报了降水的空间分布和雨带的位置（图6b），不足在于强降水中心位置偏差较大，观测与预报降水第一高值中心距离偏差1个纬距左右；同样，预报第二高值中心整体在内蒙境内，与三源融合降水场有较大距离偏移。

采用不同方法，从三源融合降水场解析到站点

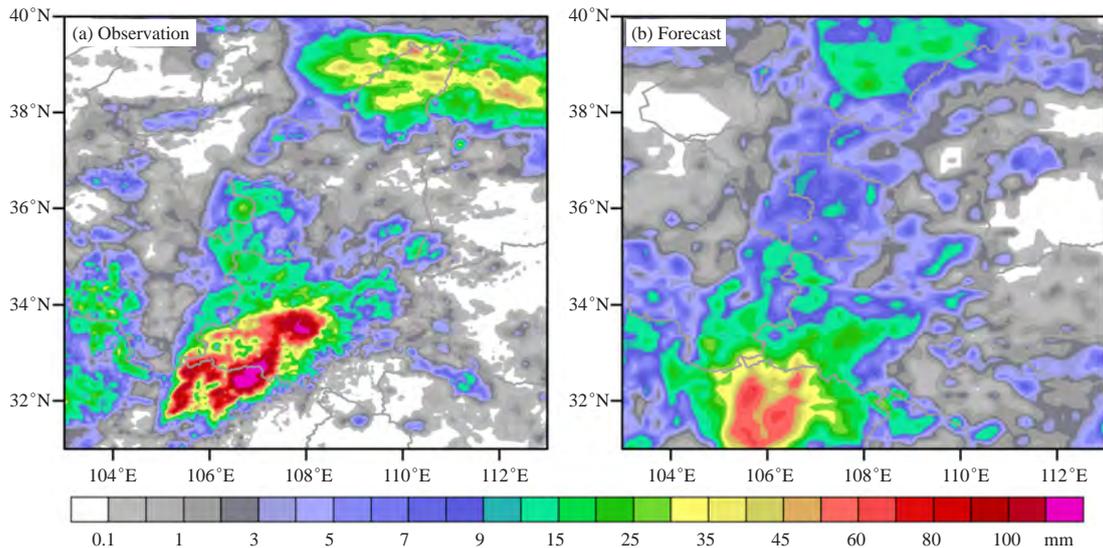


图6 降水产析个例：（a）2015年6月28日20时的过去24 h三源融合降水观测场，（b）ECMWF模式2015年6月27日20时对未来24 h的降水预报

Fig. 6 Cases analyses: (a) the past 24 hours precipitation field of three source fusion data at 20:00 BT on June 28, 2015; (b) The ECMWF precipitation forecast for the next 24 hours at initial time 20:00 BT on June 27, 2015

的实际降水量值（表1）。可以看出，无论是哪种方法，解析出的降水量和观测值都存在差异。分析11个站的平均降水量，最邻近点法为13.4 mm，最小二乘法为12.4 mm，双线性插值和反距离权重法分别为12.4

和12.8 mm，而观测平均降水量为11.6 mm。就此次过程来看，三源融合场解析到站点的降水较实际偏大。计算11个站的降水标准差，最邻近点为16.5 mm，最小二乘法和双线性插值分别为14.1和14.2 mm，反距离权重为14.9 mm，而观测降水标准差为14.1 mm，和最小二乘法一致。个例分析总体结果表明，无论是降水量值或是标准差变化，4种方法将三源融合资料解析到站点降水量级和标准差变化都整体偏大，其中最小二乘法降水量值及振幅和观测最为吻合。

表1 2015年6月28日20时过去24 h降水量（单位：mm）
Table 1 The past 24 hours precipitation at 20 BT June 28, 2015 (unit: mm)

站名	站点编号	最邻近点法	最小二乘法	双线性插值法	反距离权重法	观测
长武	57036	6.12	5.837	6.119	6.12	3.6
白银	57889	3.68	4.48	3.97	4.00	9.0
青铜峡	53614	3.16	3.29	3.24	3.21	3.0
朔州	53772	6.03	6.17	5.66	5.90	4.0
石泉	57245	15.23	13.81	14.07	15.0	18.7
汉中	57127	56.16	46.84	46.90	49.97	48.0
榆林	53646	32.09	32.41	32.64	32.35	24.0
黄陵	57048	4.12	4.28	4.29	4.14	0.7
宝鸡	57016	10.10	8.60	9.03	9.21	7.0
镇安	57143	3.92	4.14	3.73	4.02	0.7
巴中	57313	6.65	6.44	6.88	6.60	9.2

图7给出了将图6中降水个例的ECMWF预报场解析到观测场同样分辨率网格（0.05°分辨率）的空间表现。可以看出，不同解析方法获得的降水场和原预报场（图7b）均存在一定的差异。与原预报场相比，最邻近点法（图7a）表现出0.1 mm以下的小量级和65.0 mm以上降水区域变大，中间量级降水区域减小。最小二乘法（图7b）则有将降水范围很小的局地性降水特征平滑掉的特征，有大量级和小量级降水区

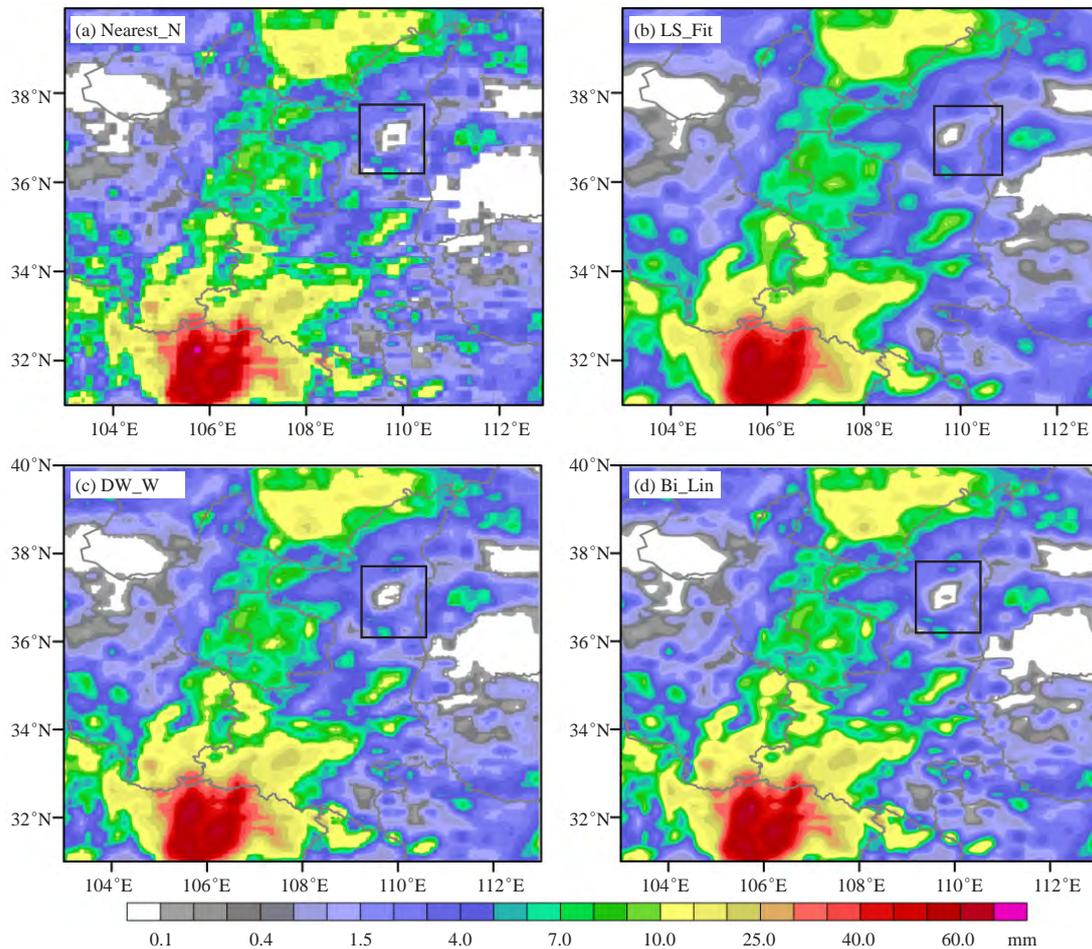


图7 不同方法下2015年6月27日20时模式的24 h降水预报(0.125°)解析到0.05°分辨率的结果:
(a) 最邻近点法, (b) 最小二乘法, (c) 反距离权重法, (d) 双线性插值法

Fig. 7 Grid analytic results of the ECMWF Precipitation forecast for 24 hours at the initial time 20:00 BT June 27, 2015 in 0.125° resolution parsing to 0.05° by different methods: (a) nearest neighbor method, (b) least square method, (c) inverse distance weighting method, (d) bilinear interpolation method

域减小、中间量级降水范围增多的趋势。个例显示, 最小二乘法解析降水在陕北北部延安附近(图7黑色方框)的无降水区域显著减小, 同时平滑掉了无降水区中间小范围的孤立降水; 在陕南南部的大降水中心未出现65.0 mm以上量级的降水。这种将原有预报场中小于0.1 mm以下量级降水范围减小的特征在反距离权重法(图7c)、双线性插值(图7d)中都有不同程度的体现。

从解析出的平均降水量来看, 最邻近点法为6.639 mm, 最小二乘法和反距离权重分别为6.625和6.629 mm, 双线性插值则为6.634 mm, 而原预报场平均降水量为6.672 mm。最邻近点法表现最好, 双线性插值次之。表2给出了不同解析方法下2015年6月27日20时模式的24 h降水预报的评分, 可以看出, 不同的解析方法, 模式降水预报的评分表现不尽相同。最邻

近点法的小雨预报偏差为1.109, 最接近理想值1.0, ETS也显著高于其他3种方法, 但TS评分则是最小二乘法表现最好, 最邻近点法最差。从暴雨的预报评分来看, 双线性插值无论是在预报偏差、TS和ETS评分方面都有好的表现, 其次为反距离权重法, 最小二乘

表2 不同解析方法下, 2015年6月27日20时模式24 h降水预报的评分

Table 2 The score of 4 different methods for 24 hours precipitation forecasts by ECMWF at initial time 20:00 BT June 27, 2015

评分指数	最邻近点法	最小二乘法	双线性插值法	反距离权重法
小雨TS	0.819	0.828	0.823	0.824
小雨ETS	0.086	0.072	0.079	0.075
小雨Bias	1.109	1.133	1.119	1.125
暴雨TS	0.075	0.070	0.083	0.079
暴雨ETS	0.065	0.061	0.074	0.069
暴雨Bias	0.451	0.478	0.476	0.474

法则表现最差。

4 结论和讨论

以ECMWF精细化网格降水格点预报资料、CMORPH卫星、全国4万个自动观测站、雷达定量估测降水的三源融合逐小时降水资料为基础,研究最邻近点法、双线性插值、反距离权重法、最小二乘法在精细化网格降水预报向站点以及更细网格格点降水解析中的优缺点及适用性,主要结论如下:

1) 采用4种方法,将ECMWF模式2015及2016年5—10月每日20时起报的降水,解析到选定的11个观测站点上,并计算平均降水量差值、TS、ETS评分和预报偏差,结果表明最邻近点法平均降水量差值最小,TS、ETS评分最优,Bias也最接近于1,表现最好,反距离权重法次之,双线性插值和最小二乘法表现最差。

2) 对于更为普遍的情况,采用4种方法将模式预报解析到更细网格格点上,结果发现最邻近点法整体增大了空间场上降水量最小和最大值的格点数,但不改变原始预报降水的空间形态,最小二乘法和反距离权重法都使得原始降水场有不同程度的改变。值得注意的是,反距离权重法和采用格点数有关,如果采用的格点数发生变化,结果可能有一定的差异。

3) 利用4种方法,将ECMWF模式预报降了解析到 0.05° 分辨率的格点上,反距离权重法的技巧评分表现最优。最邻近点法的空间平均TS评分并没有好的表现,但ETS评分最高。并且最邻近点法的TS、ETS评分的最大、最小值一致高于其他3种方法。

无论格点预报场的空间分辨率多么精细,用户所关注的位置并不总落在某个固定的格点之上,因此,从精细化网格预报场中合理的解析出用户所关注位置的要素预报,直接关系到目前中国气象局主推的智能网格气象预报业务。本文分析了4种方法的降水解析结果和预报表现,整体认为,在模式预报相对准确精细的情况下,由降水场解析到观测站点来说,最邻近点法最好;从较粗网格解析到更细网格来说,反距离权重法表现较优。当然,整体统计结果和具体个例结果可能有一定的差异,虽然研究时段内最邻近点法和

反距离权重法分别在站点、格点的预报评分有好的表现,但事实上,对一些个例来说也可能出现例外。

本文讨论的4种解析方法,均以现阶段模式预报准确率为基础,目的是加强现有模式的释用,尽可能的不要产生二次误差。但对于模式本身的预报误差,比如说降水落区的偏差,一方面需要通过改进模式参数来提高模式的预报准确率,另一方面还需要结合大量的历史观测资料,利用各种统计、动力等预报分析方法,建立预报模型,对模式结果进行释用研究。有关这些方面的研究还需要在今后工作中进一步开展。

参考文献

- [1] 张宏芳,潘留杰,杨新. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析. 气象, 2014, 40(4): 424-432.
- [2] 潘留杰,张宏芳. 数值模式评估系统MET及其初步应用. 气象科技进展, 2016, 6(3): 47-54.
- [3] 赵声蓉,赵翠光,赵瑞霞,等. 我国精细化客观气象要素预报进展. 气象科技进展, 2012, 5(2): 12-21.
- [4] 刘志红, Li L, Tim R, 等. 专用气候数据空间插值软件ANUSPLIN及其应用. 气象, 2008, 34(2): 92-100.
- [5] 陈峰峰,王光辉,沈学顺,等. Cascade插值方法在GRAPES模式中的应用. 应用气象学报, 2009, 20(2): 164-170.
- [6] 陈超君,王钦. 降尺度技术的应用研究进展. 气象科技进展, 2014, 4(2): 62-65.
- [7] 游性恬. 几种数值插值方法的试验比较. 气象, 1996, 22(4): 1-7.
- [8] 高歌,龚乐冰,赵珊珊,等. 日降水量空间插值方法研究. 应用气象学报, 2007, 18(5): 732-736.
- [9] 张宁,江志红,吴立广. 江苏省自动站与基础站降水观测资料质量分析. 大气科学学报, 2010, 33(5): 606-614.
- [10] 苏勇,沈学顺,张倩,等. 应用样条插值提高GRAPES模式物理过程反馈精度. 应用气象学报, 2014, 25(2): 202-211.
- [11] 朱国富. 数值天气预报中分析同化基本方法的历史发展脉络和评述. 气象, 2015, 41(8): 986-996.
- [12] 赵煜飞,朱江,许艳. 近50a中国降水格点数据集的建立及质量评估. 气象科学, 2014, 34(4): 414-420.
- [13] 潘昉,沈艳,宇婧婧,等. 基于贝叶斯融合方法的高分辨率地面-卫星-雷达三源降水融合试验. 气象学报, 2015, 73(1): 177-186.
- [14] Doswell C A, Jones R D, Keller D L. On summary measures of skill in rare event forecasting based on contingency tables. Weather and Forecasting, 1990, 5(4): 576-585.
- [15] 潘留杰,张宏芳,王建鹏,等. 日本高分辨率模式对中国降水预报能力的客观检验. 高原气象, 2014, 33(2): 483-494.
- [16] Brownlee K A. Statistical theory and methodology in science and engineering. New York: John Wiley & Sons Wiley, 1965: 26-30.
- [17] Mason I. Dependence of the critical success index on sample climate and threshold probability. Australian Meteorological Magazine, 1989, 37: 75-81.
- [18] Schaefer J T. The critical success index as an indicator of warning skill. Weather and Forecasting, 1990, 5(4): 570-575.
- [19] Brill K, Mesinger F. Applying a general analytic method for assessing bias sensitivity to bias-adjusted threat and equitable threat scores. Weather and Forecasting, 2009, 24(6): 1748-1754.