

# 陕西省精细化网格预报业务系统技术方法

王建鹏<sup>1</sup> 薛春芳<sup>2</sup> 潘留杰<sup>1</sup> 胡皓<sup>1</sup> 戴昌明<sup>1</sup> 王丹<sup>3</sup>

(1 陕西省气象台, 西安 710014; 2 陕西省气象局, 西安 710014; 3 陕西省气象服务中心, 西安 710014)

**摘要** 精细化网格预报不仅是目前中国气象局主推的预报业务,而且是未来天气预报的发展方向。本文详细阐述了陕西省精细化网格预报业务系统中数据产品的技术方法。主要包括 4 个方面:①建立了陕西网格预报技术框架,提出“动态交叉最优要素预报”(DCOEF)的方法来建立基础网格预报场。②提出“站点订正值向格点场传递”的格点连续性要素订正方法,交叉检验表明该方法在格点场上 24 h 最低、最高温度 $<2^{\circ}\text{C}$ 的准确率较模式降尺度数据分别提高 34%和 23%,此外,该方法在背景场协同,主观站点预报和客观格点预报要素值融合一致方面有较好的应用价值。③基于“偏差订正”方法订正格点降水,结果表明通过计算预报偏差 Bias,来“消空”小雨频率,“补漏”暴雨频率,ECMWF 降水预报 24 h 小雨、暴雨 TS 评分较原模式分别提高 2.5%和 4.82%。④提出“反向离差数据归一化”算法,处理因客观方法或主观订正后数据在时间序列上的矛盾问题,该方法不改变原模式对要素的预报趋势,同时使得要素在时间上协同一致,很好地解决了网格要素预报的时间协同性问题。

**关键词** 网格预报;动态交叉最优要素预报;偏差订正;温度站点逼近;要素协同;降尺度

**中图分类号**: P456.7 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20170526 **文献标识码**: A

## 引言

高分辨率网格要素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。高时空分辨率的网格产品可以增强气象预报的服务能力,做到时间、空间预报的无缝隙衔接<sup>[1-2]</sup>。这种时空无缝隙的网格预报的准确率一方面取决于高分辨率数值模式预报能力的提高,另一方面依赖于对模式产品的合理解释用,因此,在模式预报性能基本稳定的前提下,加强对高分辨率模式预报产品的解释应用能力就成为提高网格要素预报能力的关键问题<sup>[3-4]</sup>。

针对各种模式不同气象要素站点预报的释用方法,我国气象学者做了大量深入和卓有成效的研究工作。在温度预报方面,刘建国等<sup>[5]</sup>分析了基于多模式集合和 BMA(Bayesian Model Averaging)方法的气温概率预报;李佰平等<sup>[6]</sup>归纳了一元线性回归、多元线性回归、单时效消除偏差和多时效消除偏差四种订正方法在温度释用中的优缺点和适用性;吴启树等<sup>[7]</sup>研究了 MOS(Model Output Statistics

Method)方法温度预报中的最优训练期方案;王倩等<sup>[8]</sup>采用平均法、双权重平均法、滑动平均法和滑动双权重平均法分别对 Grapes-Ruifs 系统 2 m 温度预报产品进行偏差订正,并比较了 4 种方法的订正效果;翟宇梅等<sup>[9]</sup>基于遗忘因子的线性自适应最小二乘建模算法,进行了最高气温和最低气温预报试验,结果表明适当地选择遗忘因子有助于提高温度的预报准确率。对降水预报释用来说,发展了频率订正<sup>[10]</sup>、偏差订正<sup>[1]</sup>、区域建模<sup>[11]</sup>、贝叶斯降水订正<sup>[12]</sup>等一系列客观方法。其他一些要素释用方法还包括:风速的客观订正和预报<sup>[13-14]</sup>以及基于数值模式的能见度产品预报方法<sup>[15]</sup>。

系统建设是现代化气象业务中的重要环节<sup>[16-20]</sup>。本文作为陕西省精细化网格预报业务系统的客观方法部分,主要介绍系统技术思路、总体框架和一些主要网格要素产品的释用方法。

## 1 技术思路和总体架构

发展高分辨率中尺度快速循环同化模式是实现

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

中国气象局预报员专项(CMAYBY2018-074、CMAYBY2018-075),气象预报业务关键技术的发展专项(YBGJXM2018;03-13)资助

作者简介:王建鹏,男,1972 年生,高级工程师,主要从事天气预报与研究,Email:xawjp@163.com。

收稿日期:2017 年 8 月 31 日;定稿日期:2018 年 7 月 3 日

精细化网格预报最关键的的核心技术和有效途径,然而在实际业务中往往面临诸多问题。一是由于目前对大气运动的中小尺度物理过程并不十分清楚,模式中描述中小尺度物理过程和参数化方案仍然需要改进,加上快速循环同化中的资料质量控制及同化算法对模式输出结果有重要影响,因此一些区域中尺度模式的预报性能较世界上先进的全球模式还存在差距。二是面对不断增地多的中尺度和全球模式预报产品,当其预报结论出现冲突时,如何实现客观判断,提高要素预报质量,是网格预报业务系统必须面对的问题。

以往面对海量模式数据,气象工作者提出了多模式集成的方法。多模式集成对气候预测、不同情景下未来气候预估有非常重要的应用价值。实际计算时可采用等权重集成、比例权重和动态权重集成3种方法。等权重集成预报性能在多数情况下仅代表模式预报的平均水平,是一种相对朴素的方法。而比例权重和动态权重在天气预报业务中存在一些问题:首先是集成后的要素预报整体效果理论上可

能低于集成前最优模式的预报效果;其次模式预报往往具有系统性误差,这种系统性误差对数值预报释用具有关键性作用,但集成混淆了不同模式的系统性误差,使得后期释用更加困难;最后,与大尺度的气候预估不同,小尺度异常在天气预报中非常重要,而集成方法通常使得预报要素趋于平均态,譬如对降水来说,集合之后的预报往往对小雨空报偏多,暴雨预报频次则显著减少<sup>[21]</sup>。

考虑到平均集成和权重集成在要素预报方法方面可能存在的不足,陕西精细化网格预报系统采用了模式动态交叉最优要素预报 DCOEF (Dynamic Cross Optimal Element Forecast) 方法。有关 DCOEF 的详细技术在第2节中介绍。图1给出了系统详细的技术方法架构图,可以看到整个系统从原始模式产品出发,经过数据降尺度处理、客观方法订正、动态检验形成一次最优预报网格预报产品后,再引入中央台优秀指导预报 SCMOE 预报产品,经过二次取优、客观订正、要素协同,最终形成一套全要素网格预报产品。

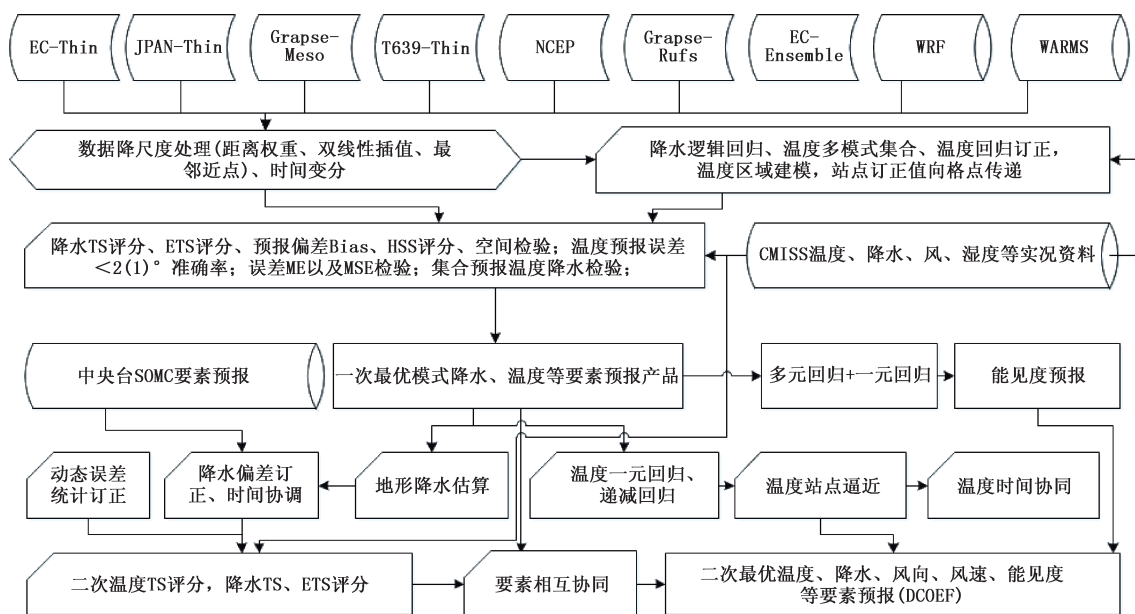


图1 陕西省精细化网格预报系统总体技术方法架构

## 2 技术方法

### 2.1 动态交叉最优要素预报

与简单集成不同,陕西省精细化网格预报系统使用了 DCOEF 算法,DCOEF 是建立在对大量模式

要素预报实时动态检验的基础上的。具体方法包括:①面向业务评价体系的传统降水检验 TS (Threat Score) 评分、ETS (Equitable Threat Score)、预报偏差 Bias 和温度预报的平均误差 ME、平均绝对误差 MAE 以及预报误差 $<1^{\circ}\text{C}$ 和 $2^{\circ}\text{C}$ 的

准确率,这些指标也是动态交叉选优的标准;②适合高分辨率网格预报的邻域检验<sup>[22]</sup>。由于气象站点稀疏,当允许半径内观测到事件发生,即认为预报正确,其计算指标包括传统预报评分和邻域法特有的 FSS(Fractions Skill Score)评分;③面向对象的 MODE 检验<sup>[23]</sup>,目前主要针对降水预报。MODE 检验可以从降水场中提取降水对象,进而给出降水强度、空间位移、空间形态相对于观测的定量描述,这不仅为预报员提供了降水落区的准确信息,而且为不同类型降水落区的系统性误差订正提供了可能;④集合预报和概率预报检验。计算了集合预报融合统计量确定性预报评分和不同量级降水的 Brier 评分。

DCOEF 的基本出发点是:不同模式在不同时段对不同的要素预报性能存在较大的差异,某个模式在特定的时段内对一个特定要素的预报有较好的表现,但并不总是预报最好,为此对所有现有模式地面预报要素进行 15 d 动态检验,选择前 15 d 预报评分最好的模式结果作为基础背景场的要素预报。但这也存在两个问题:①与集成方法相同,动态选择要素混淆了不同模式的系统性误差,不利于整体的再次释用;②由于最优要素可能来自于不同的模式,其要素的基础值不一致,动态选优后的要素值可能存在跳跃。针对上述第一个问题,首先将消除模式系统性误差的工作前移,即需要关注每一个模式输出的每一个相关要素,先加入客观方法,然后与原有模式输出进行比较选优。针对第 2 个问题,发展了一套要素时间协同、空间协同的相互协同技术。这也包含两个方面:①来自不同模式的同一要素在数值上可能存在跳跃,本文后续章节中提出的“反向离差数据归一化”算法能够较好地处理这一问题。②不同要素之间相互协同,主要解决的是不同要素相互冲突的问题,其基本原则是定义一系列的规则,通过大量的判断来处理不协调数据,本文不作介绍。

## 2.2 空间降尺度方法

双线性插值、数值守恒插值、有限元单元片回归法、反距离权重法是数据插值的通用方法<sup>[25]</sup>。图 2(彩页)给出了将温度场格点化为  $0.025^{\circ} \times 0.025^{\circ}$  时所使用其余 3 种方法的对比。为了清楚分析插值效果,选择分辨率相对较粗的日本模式,预报原始分辨率为  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ,资料时段为 2017 年 3 月 11 日 12:00

UTC 起报,未来 24 h 2 m 温度。从模式直接输出(图 2a)来看,模式预报出了温度的局地变化,但关中平原、秦岭山脉等大地形对温度的影响表现不清楚。数值守恒插值(图 2c)法能够较好地保留插值前的数据信息,空间数值积分和插值前的数据最为吻合,但显著缺陷在于,插值后仅增加了格点数,但原格点内的数值基本没有改变,格点之间数据不连续,新数据在原始数据分辨率格点内存在“一个格点范围内趋同,两个格点边界跳跃”的现象,不适合精细化网格预报。双线性插值(图 2b)和有限元单元片回归法(图 2d)均能较好地刻画地形对温度的影响。比较发现单个格点上双线性和有限元单元片回归法的温度数值差异最大可达  $0.43^{\circ}\text{C}$ 。有限元单元片回归法插值后,空间场内的最大值和最小值均高于双线性法,且双线性插值法对空间内的最大值和最小值具有约束性,不会超出原空间场数值的范围。此外,如图 2b 和图 2d 中黑色方框显示,双线性插值法能更好地保留原场(图 2a)中的数据信息,因此,后期系统在数据高分辨率格点化方面统一使用了双线性插值法。

## 2.3 连续性要素格点订正

网格预报场通常可以分为时空上连续和非连续的两种气象要素预报场。温度是具有代表性的连续要素预报场,同时也最受公众关注,为此,以温度为例阐述连续性网格要素的订正方法,其它连续性要素可以采用相同的方法订正。对温度来说,任意空间格点的温度观测值无法准确获取,给高分辨率格点温度释用订正带来了较大的困难,为此,陕西省精细化网格预报系统提出了“站点订正值向格点场传递”的方法<sup>[24]</sup>。通过常规方法获得较好的站点预报后,将误差返回格点场,进而改进格点要素的预报准确率。具体思路为:在获得一个较好的站点订正温度值后,取模式高分辨率格点化后最邻近站点的格点值作为模式的站点温度预报,同时计算订正温度和预报值的差值,并将误差分配到整个空间,获得一个误差场,最后将误差场叠加到原空间分辨率  $0.025^{\circ}$  的模式预报场上。值得注意的是,在计算过程中要保证站点温度预报值不变。

中央气象台站点指导预报 SCMOC 有很好站点温度的预报效果,为此,给出了利用中央气象台站点温度预报来订正最低、最高格点温度场的个例。如图 3(彩页)所示,原 ECMWF(European Centre for

Medium-Range Weather Forecasts)模式预报的最高(图3a)和最低温度(图3d)较好地表现了温度的纬向变化和地形特征,对秦岭山脉、关中盆地和秦岭南部汉中、安康等小盆地的地形对温度的影响都有很好的表现。

与SCMOC相比,主要差异在于ECMWF的最高温度(图3b)预报在秦岭南部显著偏低,在关中北部整体偏高,偏低、偏高幅度最大分别达 $-8^{\circ}\text{C}$ 和 $1^{\circ}\text{C}$ ;最低温度(图3e)的空间形态和最高温度(图3b)整体一致,秦岭南部偏低,关中北部偏高,但偏低、偏高幅度和最高温度显著不同,分别为 $-1^{\circ}\text{C}$ 和 $7^{\circ}\text{C}$ 。因此,假如误差小于 $1^{\circ}\text{C}$ 认为预报正确,则ECMWF最高温度主要表现为偏低,最低温度则相反,相对SCMOC偏高。利用SCMOC误差场订正后,最高温度(图3c)在秦岭南部整体升高,最低温度则在关中北部明显下降,但订正后,整体不改变ECMWF原温度预报场的空间形态和原模式预报对地形的刻画特征。

统计2016年1—12月,将中央气象台SCMOC温度指导预报的98个县级站的订正差值传递到ECMWF模式预报场后的客观订正结果。结果表明,1289个乡镇站的整体温度预报表现,订正后最高温度小于 $1^{\circ}\text{C}$ 的准确率除在144 h略有下降外,其余时段一致提高;小于 $2^{\circ}\text{C}$ 的准确率一致高于原模式,平均增幅达20%以上。最低温度无论是小于 $1^{\circ}\text{C}$ ,还是小于 $2^{\circ}\text{C}$ 的TS准确率均高于ECMWF预报,其中小于 $1^{\circ}\text{C}$ 和 $2^{\circ}\text{C}$ 的准确率平均增幅分别达到0.22和0.34。从相对误差ME来看,整个预报时效上ME都是减小的,特别前72 h订正后的ME误差减小非常显著,最高和最低温度的ME平均分别从原来的 $-3.0^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.7^{\circ}\text{C}$ 减小为 $0.52^{\circ}\text{C}$ 和 $0.12^{\circ}\text{C}$ 。同样,订正后的绝对误差也有不同程度的减小。

#### 2.4 格点降水订正

降水是非连续性网格预报中最具有代表性的要素,事实上,风速也在空间上不连续,可以采用类似的方法。对降水来说,陕西省精细化格点预报主要采用偏差订正的方法。预报偏差 $B_{\text{ias}}$ ,定义为预报事件发生的次数与观测事件发生的次数的比率, $B_{\text{ias}} > 1$ 表示预报事件高于观测事件发生频率, $B_{\text{ias}} < 1$

则相反,理想情况下 $B_{\text{ias}} = 1$ 。有研究表明,降水预报偏差不仅直接和业务考核指标TS、ETS相关,而且降水偏差对格点降水订正有很好的指示意义<sup>[1]</sup>。当预报偏差 $B_{\text{ias}} > 1$ ,反映了降水预报频次较观测偏多,反之偏少, $B_{\text{ias}} = 1$ 为理想值。调整 $B_{\text{ias}}$ 可以改变预报评分,考虑到空报和漏报的情况, $B_{\text{ias}} = 1$ 并不一定能有很好的预报评分。为此通过调整降水阈值,进而改进 $B_{\text{ias}}$ 可能会使得TS、ETS评分有较好地表现。

图4(彩页)给出了利用2013—2015年5—10月ECMWF集合预报系统降水集合平均调整不同量级降水阈值统计评分。计算时分别为小雨以0.1 mm步长,假定模式预报从0.1 mm到1.0 mm来预报观测大于0.0 mm的降水发生;大雨以1 mm为步长,假定模式预报从15 mm到25 mm,来预报观测大于25 mm降水的发生。结果显示,随着预报阈值从0.1 mm到0.9 mm时,预报偏差在逐渐接近于1,小雨预报频率偏多的情况得到显著改善(图4a),但当预报阈值调整到1.0 mm时,预报偏差突然变大,比调整前更偏大,而且TS评分、ETS评分也降低了,说明阈值调整到大于等于1.0 mm已经不适合。随着阈值的调整,模式的TS评分(图4c)、ETS评分(图4e)指数均大幅度提高,除了1.0 mm的阈值外,其它阈值的TS评分均大于调整前,且当预报阈值为0.5 mm和0.6 mm时,TS评分达到最高,超过了控制预报,48 h TS评分达到了0.58,较调整前提高了0.06。与TS评分不同的是,当预报阈值从0.1 mm调整到0.9 mm时,ETS评分是随着阈值增大,逐渐提高,当预报阈值为0.9 mm时达到最优。在预报的前8天,当集合平均的预报阈值调整为0.5 mm到0.9 mm之间时,他们的ETS评分都显著优于控制预报。与小雨情况类似,调整后的大雨预报评分也有一定提高,且模式预报阈值为17 mm~20 mm时,评分达到最优,在前7天,超过控制预报,在第10~15天,仍然是控制预报表现较好。实际计算时,调整降水阈值,动态计算前15天的降水预报表现,从而获得最优订正阈值。通过2016年1—12月业务运行表明,采用偏差订正后,ECMWF降水预报24 h小雨、暴雨TS(Threat Score)评分较原模式分别提高2.5%和4.82%。

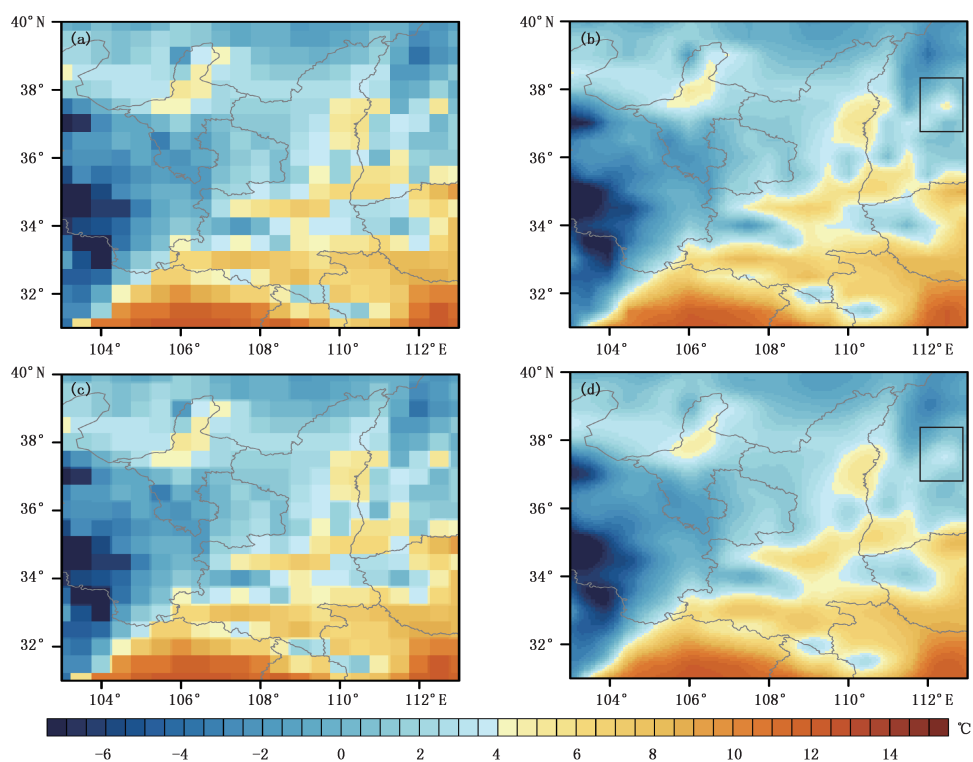


图 2 不同降尺度插值方法效果对比:(a)原始数据,(b)双线性插值,(c)数值守恒插值,(d)有限元单元片回归法

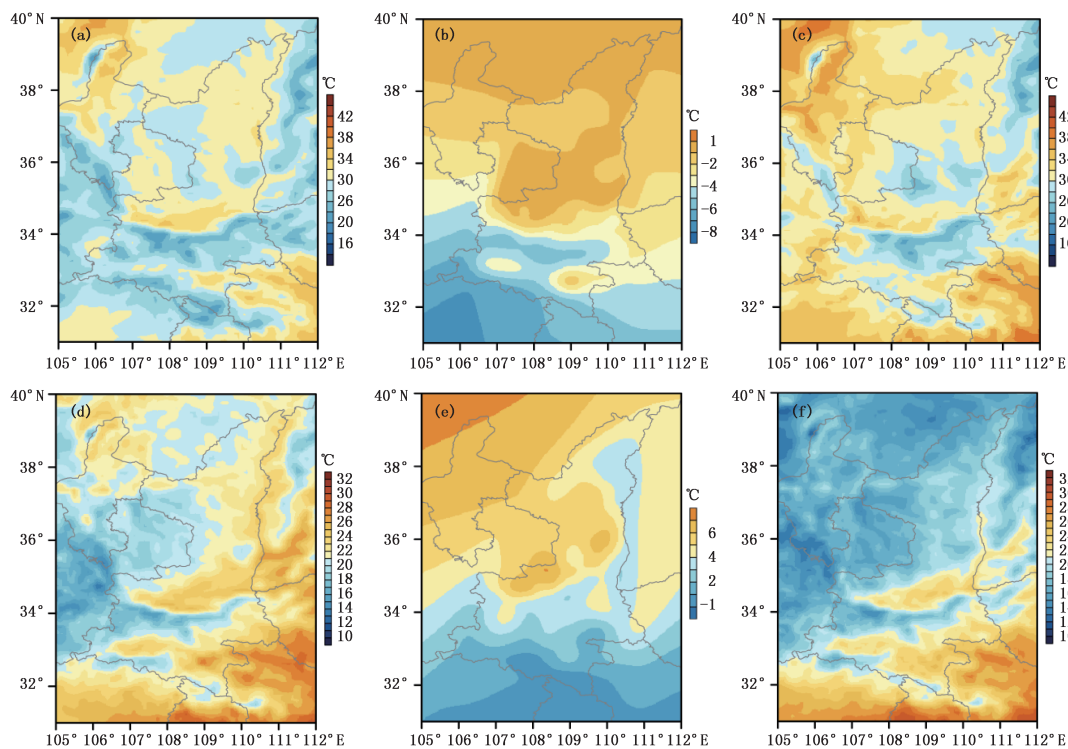


图 3 2016 年 7 月 26 日 12:00UTC 对未来 24 h 最高温度、最低温度预报的 SCMOC 订正个例:  
(a)ECMWF 预报最高温度,(b)最高温度订正误差,(c)订正后最高温度,(d) ECMWF 预报最低温度,  
(e)最低温度订正误差,(f)订正后最低温度

## 2.5 同一要素协同

客观订正或动态交叉取优后的预报要素尽管有较好的预报评分,但可能出现要素在时间上不协调,诸如订正后的最高温度低于原模式时间变分后的定时温度、偏差订正后的24 h总降水量与逐小时降水累加值不匹配、来自不同模式的要素在时间序列上不协调等系列问题,因此,在技术方法的最后小节,阐述同一要素在时间序列及空间分布上的协同处理。有关不同要素之间的相互协同,软件模块中定义了一系列的判定规则,不作为客观方法介绍。

### 2.5.1 同一要素时间协同

离差数据标准化处理方法,可以对某个数据序列进行变换,使其结果落到 $[0,1]$ 区间内,同时其数据序列之间的相互关系保持不变,为此,业务系统中反向使用离差数据标准化方法来对数据进行协同。对一个数据序列 $x$ 进行离差标准化,有公式:

$$x_i^* = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

式(1)中, $x_i^*$ 表示对数据序列 $x$ 中第 $i$ 个数据标准化处理后的值, $\max(x)$ 和 $\min(x)$ 分别表示数据序列中的最大值和最小值。假如客观方法订正了数据序列中的最大值,最小值或序列中任意值,则与 $x_i$ 对应的协同值 $y_i$ 的计算公式为:

$$y_i = x_i^* [\max(x) - \min(x)] + \min(x) \quad (2)$$

图5(彩页)给出了以温度和降水为例,对要素进行协同的结果。可以看出,不同情况下调整最高或最低温度后(图5a~e),该方法能够在保持原有数据变化趋势的同时,使得数据协同一致。此外,值得注意的是,如果仅订正了某一或几个时刻的温度预报值,但不影响最高和最低温度,则无需协同,即使协同也将使数据序列与初始序列重合,失去订正意义。降水协同与温度略有差异,数据标准化处理时仍然采用公式(1),反算则用序列降水总量值代替序列中最大降水值 $\max(x)$ 。该方法也适用于前期降水实况已知,保持数据已有趋势的前提下的降水实时滚动订正,计算分为3步:①将前期降水实况纳入数据序列,对数据进行标准化;②用已知降水实况和未来降水预报序列计算降水累计值;③用累计值代替最大值采用公式(2)对降水进行回算。图5f为降水主观订正个例,假如预报员修改了某个点的24 h总降水量,可以看出,协同后每个时段的降水量很

好地保持了数据序列的原有趋势。

### 2.5.2 DCOEF取优空间协同

来自不同模式的预报要素在时间上不连续,空间上原始分辨率存在差异,可能导致取优后要素场在相邻时段存在跳跃。极端情况,假如当前时次要素取优来自ECMWF,下一时次来自NCEP,次下一个时次又来自ECMWF,则可能出现连续跳跃。事实上,由于统计检验的实况总是来自站点,采用前文所述温度订正方法可以很好地解决这个问题。图6(彩页)给出了2017年7月1日00:00UTC起报湿度场取优的时空协同个例,可以看出,ECMWF预报未来3 h湿度场在研究区有一条西南——东北向的湿度大值带(图6a),平均湿度达70%以上,随着时间的推移,湿度大值带逐渐向东移动(图6b、c)。就整个ECMWF模式自身预报来看,湿度场在时间系数上比较连续,较好地反映了系统时间演变。假如极端情况,03:00UTC(图6b)和09:00UTC(图6c)的检验结果ECMWF模式较优,而06:00UTC(图6d)检验结果NCEP预报较好,如果简单取06:00UTC的NCEP湿度作为最终预报结果,湿度在研究区西南和东北角区域出现不连续现象。采用类似温度订正时的站点订正差值向格点传递的方法,取NCEP在研究区432个站点上的湿度预报值,协同06:00UTC的湿度预报,结果如图6e所示,可以看出协同后,较好地连续了ECMWF在时空上的预报特征,同时预报值也有了较好的订正(图6f),订正湿度与原ECMWF预报最大差值达20%以上。

## 3 结论和讨论

精细化网格预报是中国气象局的主推业务和未来的发展方向。本文作为陕西省精细化网格预报系统的客观方法,主要阐述了使用的技术思路和订正协同方法,以期网格预报发展提供参考。

(1)基于不同数值模式预报产品,采用动态交叉取优DCOEF的方法建立最优网格预报背景场,形成网格预报场的基础产品。

(2)不同降尺度插值方法结果差异较大。比较表明双线性插值能较好地刻画地形的影响,同时对空间内的最大值和最小值具有较好的约束性,在模式降尺度处理方面有较好的适用性。



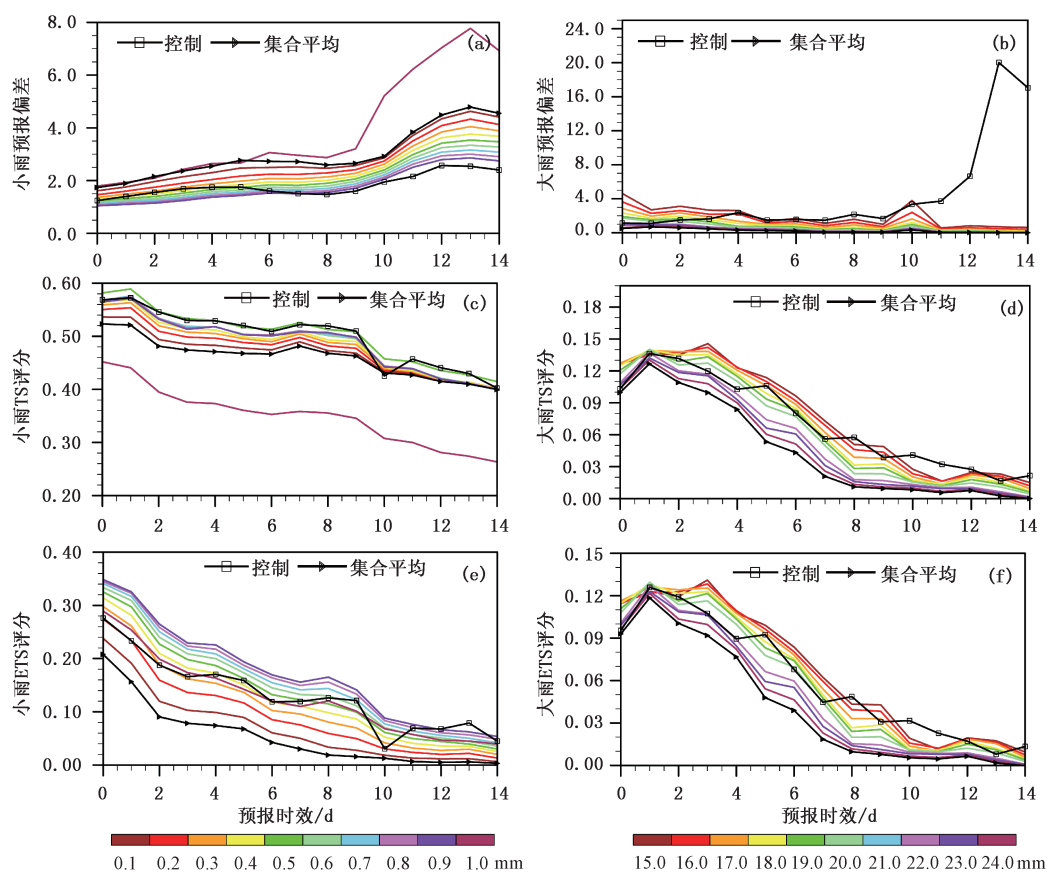


图4 采用不同阈值,调整阈值后的集合平均的降水预报技巧评分

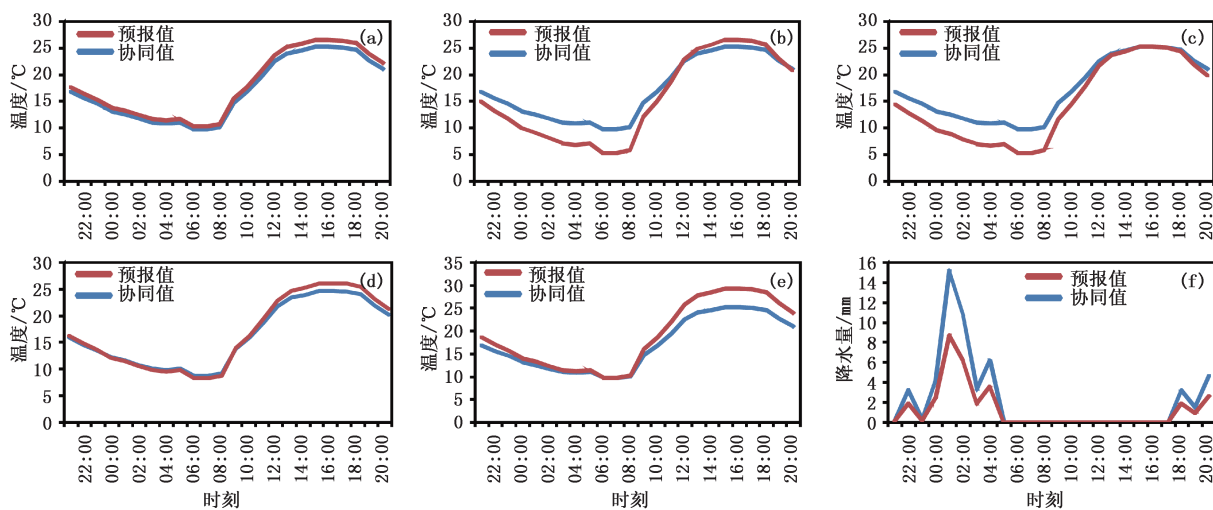


图5 同一个要素时间协同个例:(a)最高温度和最低温度同时变低,  
(b)最高温度变低、最低温度变高,(c)最高温度不变、最低温度变高,(d)最高温度变低、最低温度变高,  
(e)最高温度变低、最低温度不变,(f)24 h 总降水量增加、逐小时降水量分配

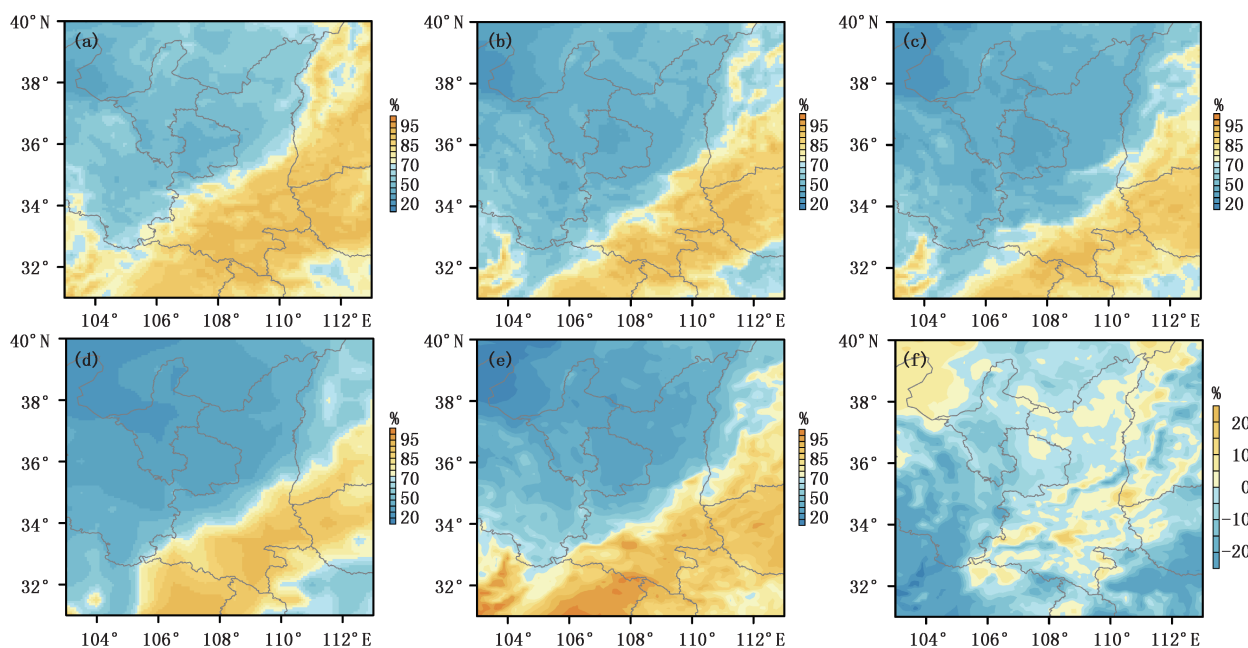


图6 2017年7月1日00:00 UTC起报的DCOEF动态交叉取优背景场时空协同个例:

(a) 03:00 湿度场预报, (b) 06:00 湿度场预报, (c) 09:00 湿度场预报, (d) NCEP 06:00 预报, (e) 以 NCEP 站点值协同 06:00 预报, (f) 协同值与 ECMWF 预报差值

(3) 提出“站点订正差值向格点场传递”的连续要素格点预报订正方法,该方法在提高格点温度预报准确率的同时不改变原模式预报场要素的空间结构。此外,“站点订正差值向格点场传递”在要素的空间协同方面也有较好应用价值。

(4) 基于“偏差订正”方法订正格点降水,结果表明通过计算预报偏差 Bias,来“消空”小雨频率,“补漏”暴雨频率,24 h 小雨、暴雨 TS 评分较原模式分别提高 2.5% 和 4.82%。

(5) 采用“反向离差数据归一化”算法,处理因客观方法或主观订正后数据在时间序列上的矛盾问题,该方法不改变原模式对要素的预报趋势,同时使得要素在时间上协同一致,很好地解决了格点要素预报的时间协同性问题。

## 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[J]. 气象, 2014, 40(4): 424-432.
- [2] 潘留杰,张宏芳,王建鹏. 数值天气预报检验方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(3): 327-335.
- [3] 潘留杰,薛春芳,张宏芳,等. 三种高分辨率格点降水预报检验方法的对比[J]. 气候与环境研究, 2017, 22(1): 45-58. doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2016.16012.
- [4] 卫捷,张庆云,陶诗言. 2004 年夏季短期气候集成预测及检验[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(1): 19-31.
- [5] 刘建国,谢正辉,赵琳娜,等. 基于 TIGGE 多模式集合的 24 小时气温 BMA 概率预报[J]. 大气科学, 2013, 37(1): 43-53. doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11232.
- [6] 李佰平,智协飞. ECMWF 模式地面气温预报的四种误差订正方法的比较研究[J]. 气象, 2012, 38(8): 897-902.
- [7] 吴启树,韩美,郭弘,等. MOS 温度预报中最优训练期方案[J]. 应用气象学报, 2016, (4): 426-434.
- [8] 王婧,徐枝芳,范广洲,等. GRAPES\_RAFS 系统 2 m 温度偏差订正方法研究[J]. 气象, 2015, 41(6): 719-726.
- [9] 翟宇梅,赵瑞星,高建春,等. 遗忘因子自适应最小二乘算法及其在气温预报中的应用[J]. 气象, 2014, 40(7): 881-885.
- [10] 李俊,杜钧,陈超君. “频率匹配法”在集合降水预报中的应用研究[J]. 气象, 2015, 41(6): 674-684.
- [11] 赵翠光,赵声蓉. 华北及周边地区夏季分区客观降水预报[J]. 应用气象学报, 2011, 22(5): 558-566.
- [12] 梁莉,赵琳娜,齐丹,等. 基于贝叶斯原理降水订正的水文概率预报试验[J]. 应用气象学报, 2013, 24(4): 416-424.
- [13] 罗连升,段春峰,杨玮,等. MRI-CGCM 模式对东亚夏季风的模拟评估及订正[J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1320-1332.
- [14] 吴息,黄林宏,周海,等. 风电场风速数值预报的动态修订方法的探讨[J]. 大气科学学报, 2014, 37(5): 665-670.
- [15] 孟蕾,周奇越,牛生杰,等. 降水对雾中能能见度参数化的影响[J]. 大气科学学报, 2010, 33(6): 731-737.
- [16] 熊磊,邓卫华,胡佳军,等. 基于 CIMISS 的区域灾害性天气实



- 时监测与报警系统的设计与实现[J]. 气象科技, 2017, 45(3): 453-459.
- [17] 刘立明, 常飏. 基于 MARS 的模式数据精细化服务平台设计[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 240-246.
- [18] 李建, 郑伟才, 邓闯, 等. 基于移动互联网的浙江台风信息发布系统研发与应用[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 254-260.
- [19] 朱传林, 王学良, 范宏飞, 等. 闪电数据三维可视化统计分析系统设计及实现[J]. 气象科技, 2017, 45(1): 59-63.
- [20] 张宏芳, 李建科, 陈小婷, 等. 基于百度地图的精细化格点预报显示[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 261-268.
- [21] 张宏芳, 潘留杰, 卢珊, 等. ECMWF 集合预报系统对秦岭周边地区降水确定性预报的性能分析[J]. 气候与环境研究, 2017, 22(5): 551-562.
- [22] 潘留杰, 张宏芳, 陈小婷, 等. 基于邻域法的高分辨率模式降水的预报能力分析[J]. 热带气象学报, 2015, 31(5): 632-642.
- [23] 薛春芳, 潘留杰. 基于 MODE 方法的日本细网格模式降水预报的诊断分析[J]. 高原气象, 2016, 35(2): 406-418.
- [24] 潘留杰, 薛春芳, 王建鹏, 等. 一个简单的格点温度预报订正方法[J]. 气象, 2017, 43(12): 1584-1593.
- [25] 周璞, 江志红. 自组织映射神经网络(SOM)降尺度方法对江淮流域逐日降水量的模拟评估[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(5): 512-524. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2016.16097.

## Operation System of Fine Grid Forecast in Shaanxi Province: Technical Methods

Wang Jianpeng<sup>1</sup> Xue Chunfang<sup>2</sup> Pan Liujie<sup>1</sup> Hu Hao<sup>1</sup> Dai ChangMing<sup>1</sup> Wang Dan<sup>3</sup>

(1 Shaanxi Meteorological Observatory, Xian 710014; 2 Shaanxi Meteorological Service, Xian 710014; 3 Shaanxi Meteorological Service Centre, Xian 710014)

**Abstract:** Fine grid forecast is the main service of the China Meteorological Administration, and also the future development direction of weather forecast. This system improves the spatial resolution ( $0.025^{\circ} \times 0.025^{\circ}$ ), and at the same time, meteorological elements such as precipitation and temperature forecast quality. This article described the technical methods in the data products of this system, from four aspects: (1) established the technical framework for grid forecast, using the Dynamic Cross Optimal Elements Forecast (DCOEF) method to establish the background field of grid forecast, which means comparing different model's element forecast results and selecting that with higher forecast quality in past 15 days as the base field for forecasters; (2) proposed the method of "station-revised value transmitting to the grid field" for consecutive elements correction. The cross test shows that the accurate rate of 24-hour minimum and maximum temperature ( $< 2^{\circ}\text{C}$ ) are improved by 34% and 23%, respectively, by this method compared to the model downscaling data, and also, the method has better application value in the combination of the background field collaborative and subjective station forecast and objective grid element forecasts; (3) based on the Bias Correction method to correct grid precipitation; the results show that through calculating forecast bias to decrease light rain frequency and increase rainstorm frequency, the 24-hour TS (Threat Score) improved by 2.5% and 4.82%, respectively, compared to the original model. (4) proposed the reverse deviation data normalization algorithm to deal the inconsistent problem of the objective or subjective correction data in the time series, which does not change the elements forecast trends of original models, and at the same time, the elements are coordinated in time, so to solve the problem of time coordination of grid elements.

**Keywords:** grid forecast; dynamic cross optimal element forecast; bias correction; temperature station approximation; coordinated element; downscaling