

潘留杰,薛春芳,王建鹏,等,2017.一个简单的格点温度预报订正方法[J].气象,43(12):1584-1593.

一个简单的格点温度预报订正方法*

潘留杰¹ 薛春芳² 王建鹏¹ 张宏芳³ 王丹³ 胡皓¹

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

提 要: 格点气象要素预报是中国气象局目前的主推业务和未来天气预报的发展方向。本文基于欧洲中期数值预报中心 ECMWF 高分辨率模式 2 m 温度预报资料,在传统中央气象台站点温度指导预报 SCMOC 和回归方法建立的站点温度预报的基础上,提出“站点订正值向格点传递”的方法来订正格点温度预报。结果表明:(1)SCMOC 站点最高、最低温度 24~168 h 预报误差 $<2^{\circ}\text{C}$ 准确率分别平均高于 ECMWF 的 10.0% 和 23.1%,ECMWF 存在较大的系统性偏差,最低温度预报偏高,最高温度预报偏低。(2)“站点订正值向格点传递”方法能够订正模式格点温度预报的系统误差,且整体上不改变原 ECMWF 温度预报场的空间形态和原模式对地形的刻画特征。(3)利用研究区域内 98 个县级站 SCMOC 温度预报,订正 ECMWF 格点场,返回到区域内 1289 个乡镇站进行检验,结果 24 h 最低、最高温度 $<1^{\circ}\text{C}$ 的准确率较 ECMWF 分别提高 22.8% 和 11.9%, $<2^{\circ}\text{C}$ 的准确率则分别提高 29.7% 和 17.4%。最低(高)温度绝对误差平均减小 0.99℃ (0.69℃),平均误差(ME)下降到 0.7℃ (-0.9℃)以内。(4)通过一元线性回归,得到 98 个县级站的温度预报,返回差值场来订正格点场,也能较好地订正 ECMWF 的系统性误差。对比两种方法,SCMOC 差值传递在最低温度订正方面有较大的优势,而回归方法的最高温度订正效果较好。此外,回归方法能够较好地改善逐时温度预报效果。该方法已成功运用于陕西省精细化格点预报业务系统中。

关键词: 格点温度,站点订正值传递,SCMOC,一元回归

中图分类号: P456

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.12.015

A Simple Grid Temperature Forecast Correction Method

PAN Liujie¹ XUE Chunfang² WANG Jianpeng¹ ZHANG Hongfang³ WANG Dan³ HU Hao¹

1 Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014

2 Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710014

3 Shaanxi Meteorological Service Centre, Xi'an 710014

Abstract: The grid element forecasting is the main business of China Meteorological Administration, and also the future development trend of weather forecasting operation. This article proposes the method of “station corrected value transfer to grid point” which uses traditional station temperature forecast issued by SCMOC of Central Meteorological Observatory and station temperature established by the regression method to correct the grid forecast data of ECMWF high resolution model 2 m temperature. The results show that (1) the accuracy rate of maximum and minimum temperature deviation less than 2°C in 24–168 h of SCMOC was higher than that of ECMWF by 10.0% and 23.1% respectively. There was large systematic deviation in ECMWF temperature forecast, whose minimum temperature forecast was higher and maximum temperature forecast was lower. (2) The “station corrected value transfer to grid

* 陕西省自然科学基金(2016JM4020 和 2016JM4011)、中国气象局预报业务关键技术发展专项(YBGJXM2017:03-13)及陕西省气象局重点和面上科研项目(2016Z-1;2016M-1)共同资助

2016 年 10 月 12 日收稿; 2017 年 9 月 25 日收修定稿

第一作者:潘留杰,主要从事天气预报与研究。Email:pljmtgh57245@sina.com

通信作者:薛春芳,主要从事天气气候研究。Email:xuecf2002@163.com

point” method could correct the systematic deviation of ECMWF temperature forecast, and at the same time, keep the spatial pattern of forecasted field and topography characterization described by the original model unchanged. (3) Using SCMOC temperature forecasts from 98 county stations in the study area to correct ECMWF grid forecast data and returned the results to 1289 village stations for testing, we found that the accuracy rate of 24 h minimum and maximum temperature deviation $<1^{\circ}\text{C}$ increased by 22.8% and 11.9% compared to ECMWF, and the accuracy of deviation $<2^{\circ}\text{C}$ increased by 29.7% and 17.4%. The absolute error of the minimum (maximum) temperature decreased 0.99°C (0.69°C) and the mean error decreased 0.7°C (-0.9°C). (4) Using the temperature forecast of the 98 county stations by the regression method to correct the grid field could correct the systematic deviation of ECMWF as well. Comparing the two methods, SCMOC difference transfer has a great advantage in minimum temperature correction, and the regression method is better in maximum temperature correction. In addition, the regression method could improve the hourly temperature forecast effect. This method has been successfully applied to Shaanxi fining grid forecasting system.

Key words: grid temperature, station corrected value transfer, SCMOC, simple regression

引 言

高分辨率格点要素预报是目前中国气象局主推的天气预报业务和未来天气预报的发展方向。实现高时空分辨率格点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(张宏芳等,2014;潘留杰等,2014a;2014b;2016)。然而,这种时空无缝隙的格点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,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格点要素预报能力的关键问题(卫捷等,2005)。

温度是天气预报中最重要的气象要素之一,提高温度预报的精准度也是现代天气预报的重要内容。以往关于模式温度客观方法释用的研究工作主要包括:李佰平和智协飞(2012)分析了一元线性回归、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;王婧等(2015)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-RAFS 系统 2 m 温度预报产品进行偏差订正,并比较了四种方法的订正效果;翟宇梅等(2014)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。其他的研究工作还包括,基于多模式集合和 BMA(bayesian model av-

eraging)方法的气温概率预报(刘建国等,2013;马旭林等,2015;夏凡和陈静,2012;马清等,2008;王敏等,2012);地面气温的空间插值方法和误差分析(刘宇等,2006);MOS 方法在温度预报中的应用研究(白永清等,2013;连志鸾等,2008;王瑞文等,2016;吴启树等,2016);统计降尺度在温度预报中的应用(曾晓青等,2009);利用权重分配和混合演化算法的多模式气温集成预报方法(吴振玲等,2014;吴乃庚等,2017)。这些方法的研究不仅为模式温度释用提供了技术支撑,而且提高了温度预报质量,加强了气象台站温度的预报服务能力,具有重要的科学意义和实用价值。但是,这些方法主要是在观测站点上进行温度释用,鲜有格点温度或者说整个温度场变量的预报订正,这一方面是由于过去的温度预报主要以城镇站点为主,业务需求不足;另一方面,空间上缺乏稠密的格点观测数据,也给格点温度释用带来了较大的困难。

2016年,中国气象局印发了“全国精细化气象格点预报业务建设实施方案”,计划用两年时间初步建立全国陆地区域 5 km 分辨率的未来 10 天精细化气象格点预报业务。精细化格点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格点预报中解析出来的客观预报服务产品。但在保障传统城镇站点预报准确率的同时,如何有效地提高任意格点气象要素的预报精度,就成为格点预报业务成功与否的关键因素。本文主要目的是基于前人研究的模式温度释用方法和订正效果好的站点温度

预报产品,提出了一种改善任意格点温度预报的订正方法,以期为新的格点预报业务提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

研究区域选择为我国中部的秦岭及周边地区($31^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$),具体范围如图 1 所示。在图 1 中给出了 98 个县级观测站(图 1a)和 1289 个乡镇站(图 1b)的站点位置,以此来对比格点的温度订正效果。观测资料采用:(1)2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日,研究区域内 98 个县级站日最高、日最低温度观测资料。(2)与县级站同时期的 1289 个乡镇站日最高、日最低温度观测资料。

模式数据总体时段为同时期每日 0000 UTC、1200 UTC(世界时,下同)起报的 ECMWF 细网格温度预报产品(期间,2016 年 2 月 24—30 日、3 月 4—18 日资料缺失),预报时效为 240 h,分辨率为 $0.125^{\circ}\times 0.125^{\circ}$ 。为了结合精细化格点预报的实际业务,采用反距离权重法将模式资料统一降尺度处理到 $0.025^{\circ}\times 0.025^{\circ}$ 的分辨率。

中央气象台发布的 SCMOC 县级站温度预报产品,具有稳定的预报质量和很好的预报准确率,本文

将使用 SCMOC 县级站预报结果,并以此来订正格点温度预报。资料总体时段为 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日(2016 年 1 月 10—19 日资料缺失)。

1.2 方法

由于空间上缺乏稠密的观测资料,格点温度的真值无法准确获取,因此,本文采用“站点订正值向格点场传递”的方法,计算时分为四步:(1)采用不同的订正方法,获得一个较好的站点温度预报值;(2)取模式降尺度到 0.025° 分辨率后,最邻近站点的格点值,作为模式的站点温度预报;(3)计算订正值和预报值的差值,并采用反距离权重法将订正差值分配到整个空间,获得一个差值场;(4)最后将差值场叠加到原空间分辨率 0.025° 的模式预报场上。值得注意的是,在计算过程中要保证第(1)步中的站点温度预报值不变。计算的具体方法如下:

假如点集 $S_k = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_k\}$ 表示已经获得的研究区域内 k 个站点较好的温度预报值, P 为 $n \times m$ 个格点场中的模式预报值, $P_k(k_l, k_t)$ 为距站点最近点的模式预报值, k 为站点的编号, k_l, k_t 分别为格点场中经向、纬向与站点 k 对应的网格编号,则与站点对应的格点 k_l, k_t 上的订正值为:

$$E_k(k_l, k_t) = S_k - P_k(k_l, k_t) \quad (1)$$

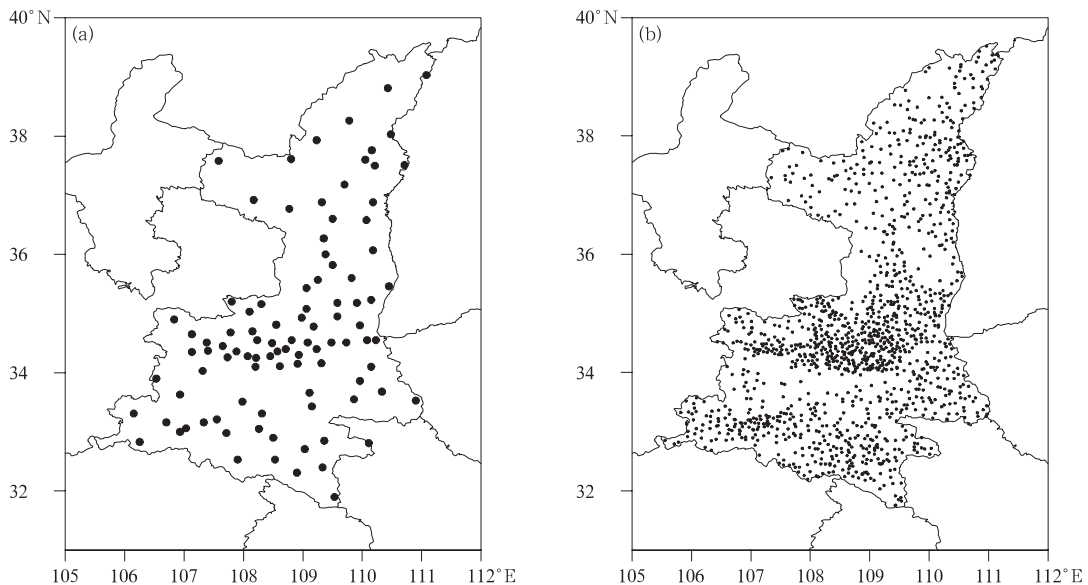


图 1 研究范围和观测站点研究区域内的 98 个县级站(a)和 1289 个乡镇站(b)

Fig. 1 Research area and observation stations: (a) 98 county stations, (b) 1289 village and town stations

网格中任意点 x_i, y_j , 距站点 k 对应的格点距离为:

$$D_k(x_i, y_j) = \sqrt{(x_i - k_x)^2 + (y_j - k_y)^2} \quad (2)$$

站点 k 的订正差值相对任意格点 x_i, y_j 的订正权重 λ_k 为[实际计算时, 仅考虑 $D_k(x_i, y_j) < 50$ km 的站点, 假定 50 km 内的站点数为 Q 个]:

$$\lambda_k = \frac{1/D_k(x_i, y_j)}{\sum_{k=0}^{k=Q} [1/D_k(x_i, y_j)]} \quad (3)$$

任意格点 x_i, y_j 的订正差值 $e(x_i, y_j)$ 为:

$$e(x_i, y_j) = \sum_{k=0}^{k=Q} \lambda_k E_k \quad (4)$$

订正后的任意格点 x_i, y_j 的温度预报值 $C(x_i, y_j)$ 为:

$$C(x_i, y_j) = e(x_i, y_j) + P(x_i, y_j) \quad (5)$$

本文站点的温度订正值由两种方式获得:(1)直接利用中央气象台 SCMOC 发布的县级站温度预报产品;(2)采用一元线性回归方法,以观测为基础向前推 30 天动态计算。为了方便比较格点的预报效果,回归计算的站点仅为县级站(图 1a)。格点预报效果则以离乡镇站最近的格点值作为该乡镇站的温度预报值,检验 1289 个乡镇站(图 1b)的技巧评分。计算的评分包括:误差 $< 1^\circ\text{C}$ 的准确率和 $< 2^\circ\text{C}$ 的准确率 $ACC = \frac{n_c}{N_a}$ 、预报平均误差 $ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)$ 和预报平均绝对误差 $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - o_i|$ 。准确率 ACC 中 n_c 表示温度预报误差在给定的阈值范围内的正确站数, N_a 表示统计的总站数。误差计算表达式中 f_i 表示预报, o_i 表示观测, n 表示计算的总站数。

2 结果分析

2.1 SCMOC 站点温度的预报表现

SCMOC 是中央气象台每日下发的气象要素精细化预报指导产品,业务应用和一些研究表明 SCMOC 具有较好的预报准确率(王丹等, 2016), 因此, 本文首先分析 SCMOC、ECMWF 的预报性能表现和相对于实况的空间分布。图 2 给出了 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日时段内, SCMOC、ECMWF 数据均存在情况下的预报表现, 计算发现, SCMOC 站点最高、最低温度 24~168 h 预报误差 $< 2^\circ\text{C}$ 准确率分别平均高于 ECMWF 的 10.0% 和 23.1%(图 2a), 特别是 96 h 之前, SCMOC 准确率偏高更为显著。24 h 预报, SCMOC 最高、最低温度的准确率分别为 78.6% 和 70.1%, 较 ECMWF 的 49.7% 和 47.6% 偏高 28.9% 和 22.5%, 到 168 h 预报的准确率之差分别为 18.4% 和 3.1%, 仍然有较大的优势。对 SCMOC 来说, 最低温度预报准确率高于最高温度, 且随着预报时效的增加, 准确率缓慢下降, 而最高温度从 24~96 h, 准确率下降幅度明显高于最低温度; 对 ECMWF 来说, 随预报时效的增加, 预报准确率缓慢下降或保持稳定。从平均绝对误差来看(图 2b), SCMOC 最高和最低温度在 48 h 内平均绝对误差 $< 2^\circ\text{C}$, ECMWF 则在所有预报时效上, 平均绝对误差 $> 2^\circ\text{C}$; 就误差随时效增长趋势来看, SCMOC 最低温度在前 24~96 h 和 120~168 h 平均绝对误差与 ECMWF 变化一致; SCMOC 最高温度的平均绝对误差在前 120 h 增幅较 ECMWF 偏

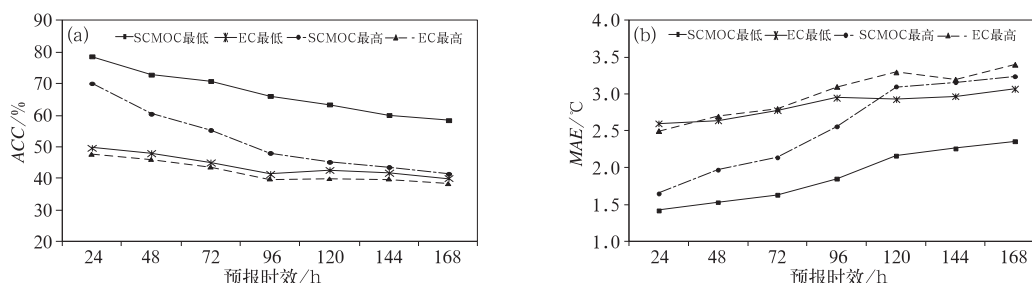


图 2 SCMOC 和 ECMWF 的最高、最低温度预报准确率和相对于观测的平均绝对误差
(a) 预报误差 $< 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率, (b) 平均绝对误差

Fig. 2 The maximum and minimum temperature accuracy and average absolute error of SCMOC and ECMWF forecasting

(a) accuracy of forecast error less than 2°C , (b) average absolute error

快,120 h 之后则向 ECMWF 逼近。平均绝对误差和准确率分析表明,ECMWF 最高、最低温度预报整体存在系统性误差。

图 3 给出了研究时段内 48 h 预报 ECMWF、SCMOC 和观测最高、最低温度的平均值和标准差的空间分布,为了保持一致性,ECMWF 预报值采用降尺度后与 98 个距离观测站点最近的格点值进行分析,而不使用整个格点场。相对于观测而言,ECMWF 最高温度的空间分布也表现出显著的系统性偏差。图 3a 显示,ECMWF 在陕南东部、陕西关中及东部地区平均最高温度 $>22^{\circ}\text{C}$,其余大部分地区平均最高温度均小于 21°C ,但事实上,观测仅在延安西部局地平均最高温度 $<21^{\circ}\text{C}$ 。相比之下,SCMOC 平均最高温度(图 3b)量级和观测(图 3c)吻合较好,仅在陕南东部较观测略偏低。从标准差来看,ECMWF 和 SCMOC 标准差数值相当,但变化幅度均较观测偏小,特别是在高值中心,平均偏低 0.5°C 以上。空间形态上,无论是温度均值还是振幅,ECMWF 对关中、陕南东部的高值中心,宝鸡、陕北西部的低值中心都基本与观测一致,但吻合度较 SCMOC 略差。

ECMWF 最低温度预报(图 3d)较观测(图 3f)系统性偏高,特别是在关中以北地区,偏高非常明显,关中地区平均偏高 2°C 左右,陕北地区则平均偏高 3°C 以上。SCMOC 最低温度(图 3e)的值域范围和观测分布比较一致,但在秦岭以南的大值中心位置较 ECMWF 略差。从标准差来看,ECMWF 预报最低温度变化幅度较观测偏大。SCMOC 除了在关中地区振幅偏低,其余地方和观测基本一致。综合分析表明,ECMWF 最高、最低温度预报存在系统性偏差,对研究区 98 个站点的温度预报性能显著低于 SCMOC,用 SCMOC 站点温度预报来订正 ECMWF 格点预报存在可行性。

2.2 基于 SCMOC 的格点订正

图 4 给出了一个基于 SCMOC 最低、最高温度的格点温度场订正个例,可以看出,原 ECMWF 模式预报的最高(图 4a)和最低温度(图 4e)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 相比的主要差异在于,ECMWF 最高温度(图 4b)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°C 和 1°C ;最低温度误差(图 4f)的空间形态和最高温度(图 4b)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°C 和 7°C 。因此,假如误差 $<1^{\circ}\text{C}$ 认为预报正确,则 ECMWF 最高温度主要表现为相对 SCMOC 偏低,最低温度则相反,相对 SCMOC 偏高。利用 SCMOC 差值场订正后,最高温度(图 4c)在秦岭南部整体升高,最低温度(图 4g)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。与观测值相比可以清楚地看出订正效果,订正后,最高温度(图 4c)在秦岭南部、关中及陕北北部都有不同程度的提高,与观测(图 4d)更为接近;同样,订正后的最低温度(图 4g)与观测值(图 4h)也更加吻合,订正效果较好。此外,对比观测最高(图 4d)、最低温度(图 4h)和 ECMWF 最高(图 4a)、最低温度(图 4e),发现个例清楚地表现了 ECMWF 最高温度预报偏低和最低温度预报偏高的现象。

表 1 给出了针对此个例在 1289 个乡镇站的检验评分,相对原 ECMWF 预报,最高温度 $<1^{\circ}\text{C}$ 、 $<2^{\circ}\text{C}$ 准确率分别从 8.4%和 20.4%提高到 35.0%和 62.5%,提高幅度为 26.6%和 42.1%;相应最低温度 $<1^{\circ}\text{C}$ 、 $<2^{\circ}\text{C}$ 准确率分别从 10.1%和 20.9%提高到 45.2%和 78.2%,提高幅度为 35.1%和 57.3%,大幅度地增加了预报准确率。而最高(低)温度平均误差分别从 $<-4^{\circ}\text{C}$ ($>3^{\circ}\text{C}$),调整为 -1.32°C (0.195°C),同时最高(低)温度的绝对误差也整体减小 2.0°C 以上。总体表明,将 SCMOC 县级站温度预报传递到格点场后,很好地改善了格点场的预报质量。

统计 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日时段内,模式 00:00 UTC 起报的温度,将 SCMOC 站点温度与 ECMWF 模式预报的差值传递到格点场后,1289 个乡镇站的整体温度预报表现,结果如图 5 所示。可以看出,订正后最高温度(图 5a) $<1^{\circ}\text{C}$ 的 24 h 准确率较订正前偏高 11.9%,到 168 h 仍较订正前偏高 4.7%,24~168 h 平均增幅为 5.8%; $<2^{\circ}\text{C}$ 的订正准确率增加更为明显,24~168 h 平均增幅为 11.7%,其中 24 h 增幅达 17.4%。最低温度无论是 $<1^{\circ}\text{C}$,还是 $<2^{\circ}\text{C}$ 的准确率评分均高于 ECMWF 预报,其中 $<1^{\circ}\text{C}$ 和 $<2^{\circ}\text{C}$ 的准确率评分平均增幅分别达到 21.4%和 29.0%,其中 24 h 增幅分别为 22.8%和 29.7%(图 5b)。从平均误差(ME,

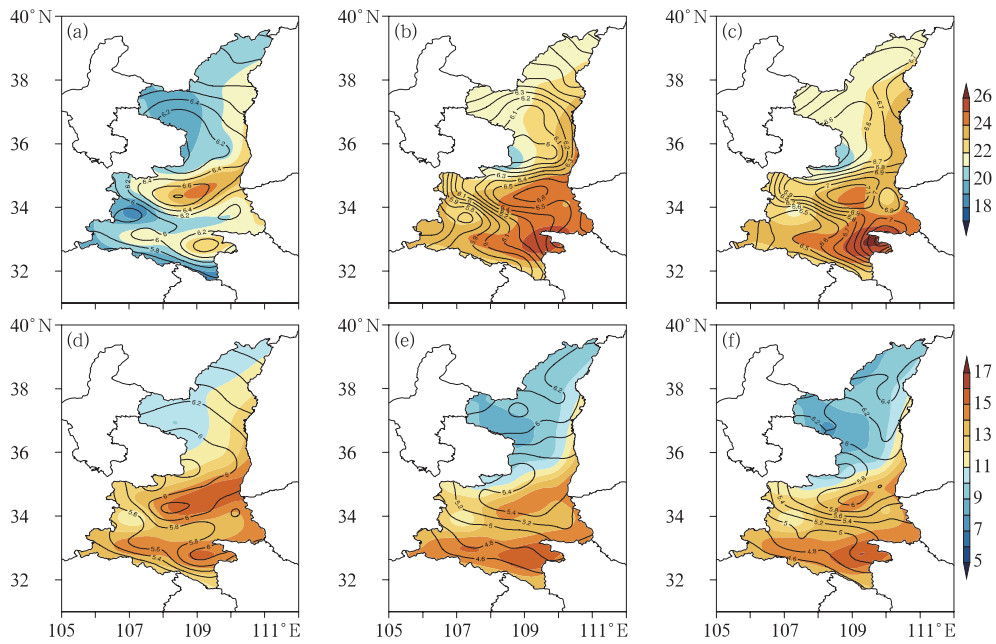


图 3 ECMWF、SCMOC 和观测最高、最低温度的平均值和标准差的空间分布
 (a)ECMWF 最高温度,(b)SCMOC 最高温度,(c)观测最高温度,(d)ECMWF 最低温度,
 (e)SCMOC 最低温度,(f)观测最低温度
 (填色为平均值,等值线为标准差,单位: °C)

Fig. 3 The mean (shaded area) and standard deviations (isoline) of ECMWF, SCMOC and observation maximum and minimum temperature (unit: °C)

(a) ECMWF maximum temperature, (b) SCMOC maximum temperature, (c) observed maximum temperature, (d) ECMWF minimum temperature, (e) SCMOC minimum temperature, (f) observed minimum temperature

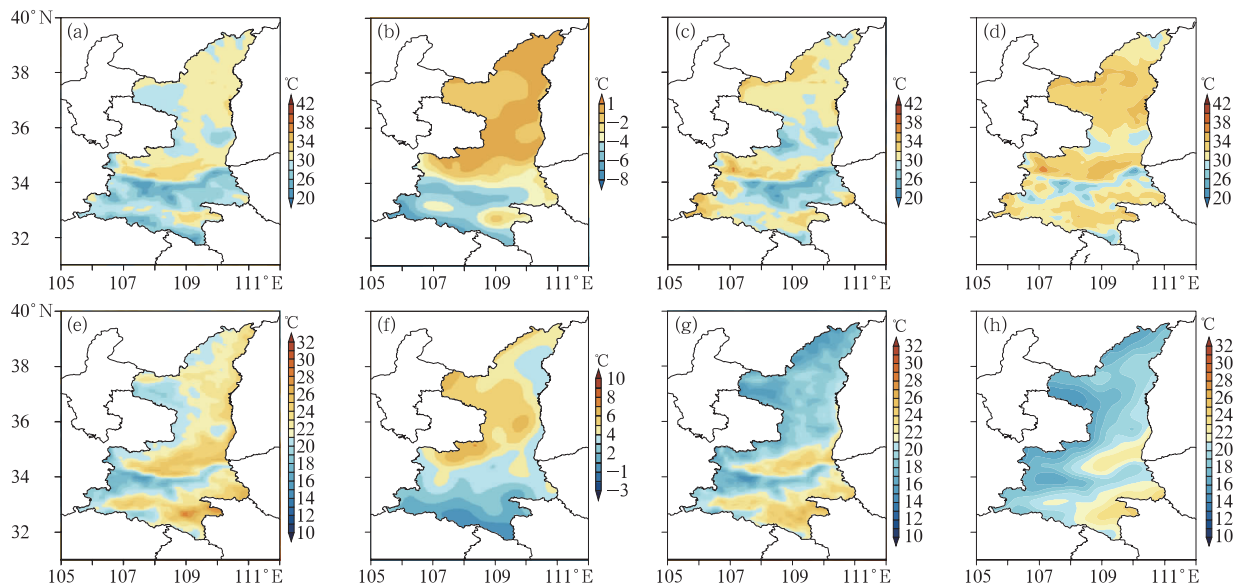


图 4 2016 年 7 月 26 日 1200 UTC 对未来 24 h 最高温度、最低温度预报的 SCMOC 订正个例
 (a)ECMWF 预报最高温度,(b)ECMWF 预报最高温度相对于 SCMOC 预报的差值,(c)用 SCMOC 站点最高温度订正 ECMWF 后的最高温度,(d)观测最高温度,(e)ECMWF 预报最低温度,(f)ECMWF 预报最低温度相对于 SCMOC 的差值,(g)用 SCMOC 站点最低温度订正 ECMWF 后的最低温度,(h)观测最低温度

Fig. 4 SCMOC correction case of maximum temperature and minimum temperature forecast for the future 24 h at 12:00 UTC 26 July 2016

(a) ECMWF maximum forecast, (b) maximum temperature correction difference, (c) maximum temperature after correction, (d) observed maximum temperature, (e) ECMWF minimum temperature forecast, (f) minimum temperature correction difference, (g) minimum temperature after correction, (h) observed minimum temperature

表 1 SCMOC 订正与 ECMWF 原模式格点场温度的预报技巧评分对比个例

Table 1 Comparison of case skill scores between ECMWF model forecast and SCMOC correction temperature

评分指数	<1°C	<2°C	ME	MAE	RMSE
	/%	/%	/°C	°C	/°C
EC 最高	8.4	20.4	-4.10	4.16	4.99
EC 最低	10.1	20.9	3.691	3.766	4.351
订正最高	35.0	62.5	-1.32	1.93	2.75
订正最低	45.2	78.2	0.195	1.411	1.959

图 5c)来看,ECMWF 最高温度在 24~168 h ME 全部为负值,72 h 误差最大,达-4.7°C,其余时效 ME 平均<-2°C,表明 ECMWF 最高温度预报整体偏低;同样,24~168 h ECMWF 最低温度的 ME 全部为>1.5°C的正值,ECMWF 最低温度预报整体偏高。统计结果与个例图 4 中的结论是一致的,表明 ECMWF 预报最高、最低温度存在系统性的误差。订正后所有预报时效上 ME 都是减小的,使得订正后模式最高温度预报偏低,最低温度预报偏高的情况显著改善。订正前 24~168 h 的平均最高、最低 ME 分别为-2.67°C和 2.4°C,订正后则分别为-0.5°C和 0.4°C。同样,订正后的绝对误差(MAE,图 5d)也有不同程度地减小,订正后 24~168 h 的最高、最低 MAE 较订正前分别减小0.96°C和1.35°C,较好地订正了模式的系统性误差。

2.3 基于回归方法的订正

SCMOC 具有很好的预报准确率,但在满足省级业务需求上存在一些不足,一是 SCMOC 每天仅下发 2 次最低、最高温度预报,但事实上,服务中往往需要逐小时温度预报。二是,随着气象现代化水平的提高,观测网站越来越稠密,订正格点温度预报时,完全可以利用更多的观测资料来获得更好的预报效果。因此,本文尝试利用一元回归方法来订正最高、最低和逐小时温度站点预报,进而改进格点温度预报质量。需要说明的是,为了便于比较,这里仍然使用 98 个县级站来做回归订正,实际业务中利用所有观测站网来做回归订正,其效果会更好。

图 6 给出了基于回归方法的温度订正个例。2016 年 8 月 14 日 1200 UTC,研究区域受副热带高压控制,出现大面积的高温。ECMWF 模式预报关中及其北部、秦岭南部分地方 24 h 最高温度>35°C(图 6a)。差值场(图 6b)显示最高温度主要是正值(订正值减去 ECMWF 预报值),且由北向南逐渐增大,到秦岭南部分陕西、湖北交界处,订正差值达 8°C。值得注意的是,尽管回归订正差值(图 6b)和 SCMOC 订正差值(图 4b)在表现形式上是相反的,但事实上,两者都反映出 ECMWF 模式在秦岭南部分预报偏低的特征,原因在于 SCMOC 订正场是

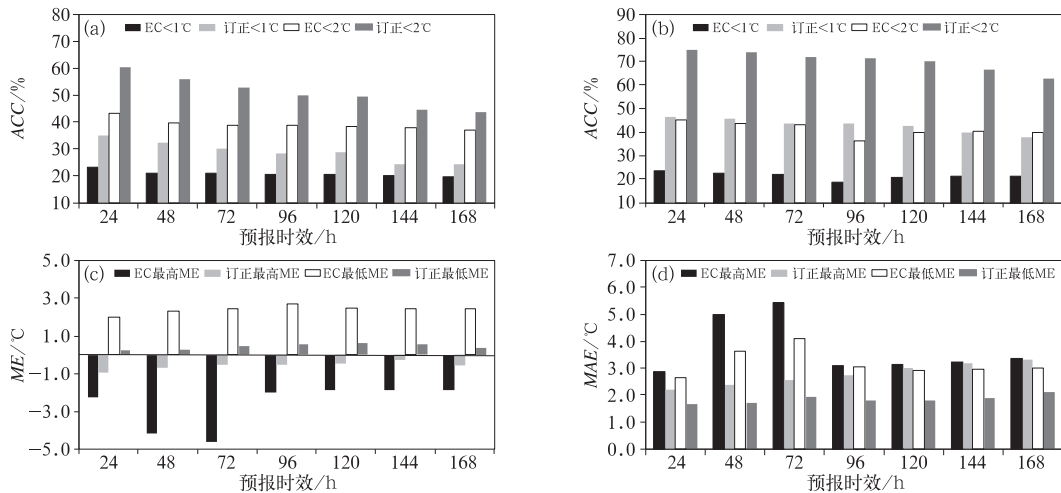


图 5 ECMWF 模式预报和 SCMOC 订正后的温度预报技巧对比

(a)最高温度准确率,(b)最低温度准确率,(c)平均误差,(d)平均绝对误差

Fig.5 Comparison of skill scores between ECMWF model forecast and SCMOC correction temperature

(a) accuracy for maximum temperature, (b) accuracy for minimum temperature, (c) mean error (ME), (d) mean absolute error (MAE)

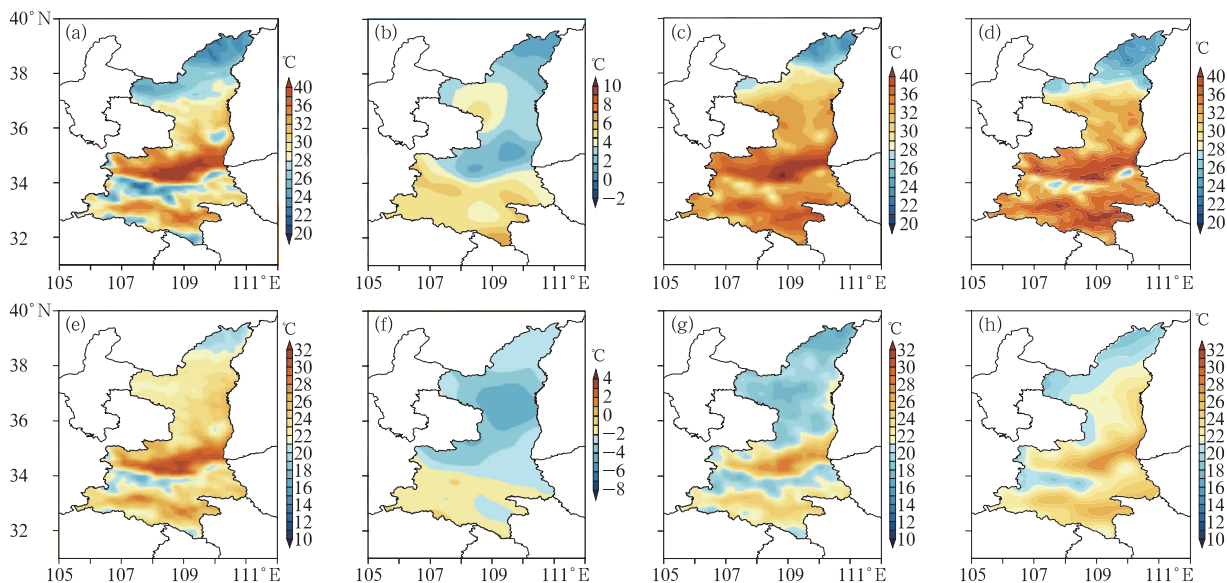


图 6 同图 4, 但个例起报时间为 2016 年 8 月 14 日 12:00 UTC, 方法为回归订正
 Fig. 6 Same as Fig. 4, but for the case initial time of 12:00 UTC 14 August 2016
 for regression method

ECMWF 和 SCMOC 的差值, 而回归订正场是订正后与 ECMWF 的差值。订正后(图 6c)温度显著增高, 35℃ 以上的范围显著增大。与 SCMOC 订正个例类似, 最低温度(图 6e)也主要表现为预报偏高, 订正差值(图 6f)主要为负值, 订正后最低温度(图 6g)较 ECMWF 显著减小。回归订正后的最高温度(图 6c)显著改善了 ECMWF 最高温度(图 6a)预报偏低的现象, 和观测(图 6d)非常一致。同样, 订正后的最低温度(图 6g)对 ECMWF 最低温度(图 6e)预报偏高的现象也有所改善, 但订正幅度偏大, 部分地方低于观测值(图 6h), 不如 SCMOC 最低温度订正效果明显。

利用 98 个县级站温度回归订正, 返回到 1289 个乡镇站检验格点温度预报效果, 结果发现, 订正后最高、最低温度的不同技巧评分较原模式均有不同程度的提高(表 2), 最高和最低温度 < 2℃ 的准确率评分分别提高 33% 和 23%, 最高(低)温度的绝对误差也分别由原模式的 3.59℃ (2.14℃) 降低到 1.64℃ (1.44℃)。

统计分析表明 ECMWF 主要不足在于最高温度预报偏低, 最低温度预报偏高。SCMOC、回归订正个例显示两种方法都能够订正模式系统性预报误差, 提高格点温度的预报能力。图 7 给出了模式 1200 UTC 起报 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日两种方法的订正效果对比, 可以看出, SCMOC

和回归方法订正后最高温度(图 7a) < 1℃ 的 24 h 时效准确率分别为 29.1% 和 29.7%, < 2℃ 的准确率分别为 54.2% 和 55.1%, 回归方法预报效果优于 SCMOC 订正, 其他时段也有相同表现。对最低温度(图 7b)来说, SCMOC 的 24 h < 1℃ 和 2℃ 的准确率分别为 43.2% 和 71.2%, 优于回归方法的 36.3% 和 62.4%, SCMOC 存在较大的优势。从平均误差来看(图 7c), SCMOC 和回归订正, 都有使最高温度预报偏低的趋势有所改善, 订正后 SCMOC 和回归的 24~168 h 平均误差分别为 -0.54℃ 和 0.43℃, 回归方法效果更好。从最低温度来看, 24~168 h 预报时效 SCMOC 平均误差分布在 0.39℃ ~ 0.68℃, 回归方法的平均误差 0.39℃ ~ 1.0℃, SCMOC 使得 ECMWF 最低温度预报偏高的情况订正效果更加显著。最高、最低温度的 MAE(图 7d) 和 ME

表 2 回归订正与 ECMWF 原模式格点场温度的预报个例技巧评分对比

Table 2 Comparison of case skill scores between ECMWF model forecast and regression correction grid temperature

评分指数	<1℃ /%	<2℃ /%	ME /℃	MAE /℃	RMSE /℃
EC 最高	16.2	32.8	-2.26	3.59	4.35
EC 最低	28.1	53.8	1.74	2.14	2.75
订正最高	35.1	65.9	0.406	1.64	1.97
订正最低	44.2	76.0	-0.918	1.44	1.98

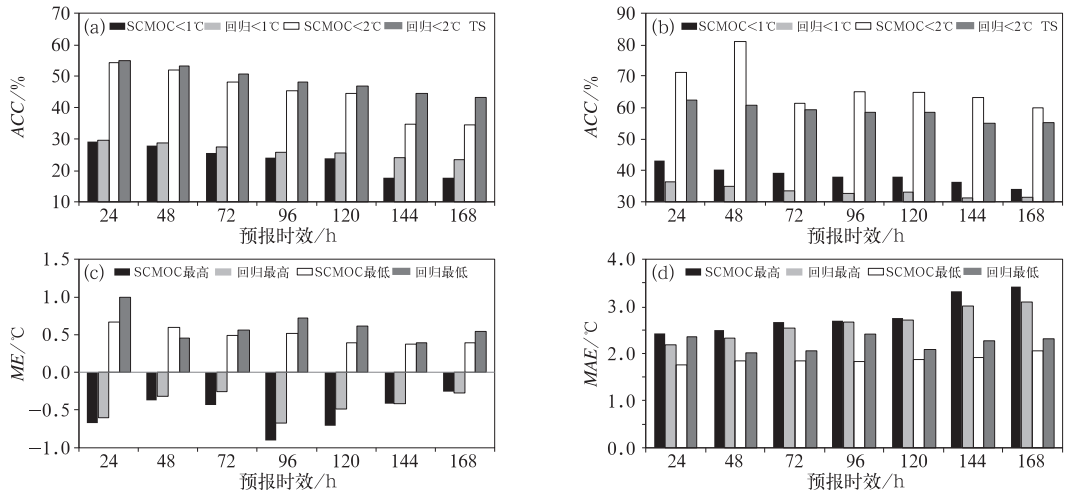


图 7 两种订正方法的预报技巧对比

(a)最高温度技巧评分,(b)最低温度技巧评分,(c)平均误差,(d)平均绝对误差

Fig. 7 Comparison of forecasting skill score between two correction methods

(a) maximum temperature skill score, (b) minimum temperature skill score,

(c) mean error (ME), (d) mean absolute error (MAE)

表现基本一致,SCMOC 方法最高温度订正不如回归方法,但 SCMOC 订正最低温度预报效果稳定,且远优于回归方法。分析发现,SCMOC 最高温度差值返回到格点后的预报效果较差的可能原因是,SCMOC 在 98 个县级站的本身温度预报评分不高,与“站点订正差值向格点传递”的订正方法关系不大。

3 结论与讨论

精细化格点预报是中国气象局目前的主推业务和未来天气预报的发展方向,本文利用 ECMWF 高分辨率温度预报产品和中央气象台 SCMOC 最高、最低温度指导预报,以及回归方法获得的研究区域内 98 个县级气象站温度订正预报,提出“站点订正差值向格点传递”的格点温度预报订正方法,并返回到研究区域 1289 个乡镇站来检验预报质量,主要结论如下:

(1) 统计 2015 年 4 月 1 日至 2016 年 11 月 10 日期间 SCMOC 和 ECMWF 的预报表现,发现 SCMOC 站点最高、最低温度 24~168 h 预报误差 < 2°C 准确率平均高于 ECMWF 的 10.0% 和 23.1%,SCMOC 最高、最低温度相对于观测值的绝对误差远低于 ECMWF,用 SCMOC 站点预报来订正 ECMWF 格点温度具有可行性。

(2) 采用反距离权重法将 ECMWF 温度预报降尺度到 0.025°空间分辨率后,温度能够很好地表现地形的空间特征。24~168 h ECMWF 预报最低温度 ME 为一致性的大于 1.5°C 的正值,最高温度 ME 为一致性的小于 -2°C 的负值,表明 ECMWF 预报最高、最低温度存在系统性的误差。利用站点温度预报差值传递到格点后,可以订正模式在格点场的系统误差,且整体不改变原 ECMWF 模式温度预报的空间分布。

(3) 将 SCMOC 站点温度与 ECMWF 模式预报的差值传递到格点场后,采用最近点法获得乡镇站点的温度预报,检验误差 < 1°C 和 < 2°C 的准确率,以及 ME 和 MAE,结果发现:24 h 小时最低温度 < 1°C 和 < 2°C 的准确率增幅分别达到 22.8% 和 29.7%;最高温度 24 h < 1°C 和 < 2°C 预报准确率增幅为 11.9% 和 17.4%;24 和 168 h 的平均最高、最低 ME 分别从订正前的 -2.67°C 和 2.4°C 下降到订正后的 -0.5°C 和 0.4°C。同样,订正后的 MAE 也有不同程度地减小。

(4) 利用研究区域内 98 个县级观测站进行动态回归,并将差值返回到格点并检验 1289 个乡镇站的温度预报质量,结果表明,24~168 h 最高、最低温度 < 1°C、< 2°C 准确率一致提高,ME 和 MAE 下降,大幅度提高了格点温度的预报质量。与 SCMOC 相比,动态回归的最高温度订正效果较好,最

低温度相对 SCMOC 效果不明显,可能的原因是 SCMOC 本身最低温度预报质量优于最高温度。动态回归的优势在于,一方面不仅可订正最高、最低温度,而且可以用来订正逐时温度;另一方面,可以将研究区域内的所有县级站和乡镇站统一进行回归计算,从而利用更多的观测资料,建立回归预报方程来改善格点温度的预报质量。

参考文献

- 白永清,林春泽,陈正洪,等,2013. 基于 LAPS 分析的 WRF 模式逐时气温精细化预报释用[J]. 气象,39(4):460-465.
- 李佰平,智协飞,2012. 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,38(8):897-902.
- 连志鸾,李国翠,卞韬,等,2008. 基于多级相似-差额方法制作乡镇气温预报[J]. 气象,34(5):113-117.
- 刘建国,谢正辉,赵琳娜,等,2013. 基于 TIGGE 多模式集合的 24 小时气温 BMA 概率预报[J]. 大气科学,37(1):43-53. DOI: 10.3878/j. issn. 1006-9895. 2012. 11232.
- 刘宇,陈洋勤,张稳,等,2006. 一种地面气温的空间插值方法及其误差分析[J]. 大气科学,30(1):146-152. DOI: 10.3878/j. issn. 1006-9895. 2006. 01. 12.
- 马清,龚建东,李莉,等,2008. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象,34(3):42-48.
- 马旭林,时洋,和杰,等,2015. 基于卡尔曼滤波递减平均算法的集合预报综合偏差订正[J]. 气象学报,73(5):952-964.
- 潘留杰,薛春芳,张宏芳,等,2016. 两个集合预报系统对秦岭及周边降水预报性能对比[J]. 应用气象学报,27(6):676-687.
- 潘留杰,张宏芳,王建鹏,2014a. 数值天气预报检验方法研究进展[J]. 地球科学进展,29(3):327-335.
- 潘留杰,张宏芳,王建鹏,等,2014b. 日本高分辨率模式对中国降水预报能力的客观检验[J]. 高原气象,33(2):483-494.
- 王丹,黄少妮,高红燕,等,2016. 递减平均法对陕西 SCMOC 精细化温度预报的订正效果[J]. 干旱气象,34(3):575-583.
- 王婧,徐枝芳,范广洲,等,2015. GRAPES_RAFS 系统 2 m 温度偏差订正方法研究[J]. 气象,41(6):719-726.
- 王敏,李晓莉,范广洲,等,2012. 区域集合预报系统 2 m 温度预报的校准技术[J]. 应用气象学报,23(4):395-401.
- 王瑞文,万晓敏,田伟红,等,2016. AMDAR 温度观测的误差统计特征分析[J]. 气象,42(3):330-338.
- 卫捷,张庆云,陶诗言,2005. 2004 年夏季短期气候集成预测及检验[J]. 气候与环境研究,10(1):19-31.
- 吴乃庚,曾沁,刘段灵,等,2017. 日极端气温的主客观预报能力评估及多模式集成网格释用[J]. 气象,43(5):581-590.
- 吴启树,韩美,郭弘,等,2016. MOS 温度预报中最优训练期方案[J]. 应用气象学报,27(4):426-434.
- 吴振玲,潘璇,董昊,等,2014. 天津市多模式气温集成预报方法[J]. 应用气象学报,25(3):293-301.
- 夏凡,陈静,2012. 基于 T213 集合预报的极端天气预报指数及温度预报应用试验[J]. 气象,38(12):1492-1501.
- 曾晓青,王式功,刘还珠,等,2009. 统计降尺度方法在青海省冬季最低温度预测中的应用[J]. 高原气象,28(6):1471-1477.
- 翟宇梅,赵瑞星,高建春,等,2014. 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,40(7):881-885.
- 张宏芳,潘留杰,杨新,2014. ECMWF、日本高分辨率模式降水预报能力的对比分析[J]. 气象,40(4):424-432.