

ECMWF 模式对陕西 2016 年春夏季 气温预报性能评估

王丹¹ 王建鹏² 潘留杰² 何林³ 程路⁴
戴昌明² 胡皓² 白庆梅⁵

(1 陕西省气象服务中心, 西安 710014; 2 陕西省气象台, 西安 710014; 3 陕西省气象信息中心,
西安 710014; 4 陕西省气候中心, 西安 710014; 5 西安市气象台, 西安 710014)

摘要 利用 2016 年春、夏季节陕西 99 个国家站的气温逐 1 h 观测数据,对 ECMWF 高分辨率数值模式对陕西国家站 0~72 h 逐 3 h 和 78~240 h 逐 6 h 的气温预报性能进行评估。结果表明,陕西大部分地区,气温预报误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的准确率在 72 h 之前分别为 30%~50%和 55%~85%,96 h 之后分别为 10%~30%和 25%~55%,夏季的准确率高于春季,20:00 起报的准确率略高于 08:00 起报。随着预报时效的增加,模式的气温预报能力和稳定性波浪式下降,日变化特征明显,23:00 至次日 11:00 时段的预报能力和稳定性好于 14:00—20:00 时段。模式的气温预报值与观测值有很好的相关性,但是模式和实际观测站的地形高度差异会对气温预报质量产生较大影响。基于气温垂直变率和模式与实际观测站的地形高度差异进行的高度差订正,可以适当提高模式的气温预报水平,文中提出的几种气温预报的高度差订正方法,对陕西大部分地区的气温预报为正订正效果,但还存在一些问题,有待进一步研究。

关键词 ECMWF 高分辨率模式;气温预报;预报性能评估;地形高度差订正

中图分类号: P457.3 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20170028 **文献标识码**: A

引言

数值预报在现代天气预报业务中具有重要的地位,特别是中短期预报产品。由于受模式初始场、边界条件、物理过程、地形、植被及模式本身设计等诸多因素的影响,模式预报不可避免地会存在一定的误差。多年来,美国国家环境预报中心(NCEP)、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)和加拿大气象中心(CMC)等都在不断地致力于发展和完善初始和模式扰动方法,来更好地估计与初值和模式有关的不确定性,促进预报技巧的提高^[1]。另外,比较各中心的预报效果和如何充分利用各中心的集合预报资料提高预报准确率也成为各国气象部门的研究热点^[2-13]。

对模式预报能力的客观检验是改进模式预报系统、指导用户使用模式产品的重要环节^[14]。为了了解模式的预报性能,许多气象工作者对模式的预报结果进行了评估^[15-19],如,Pinson 和 Hagedorn^[20]使用欧洲区域测站观测资料检验 ECMWF 集合预报近地层(10 m)风场的预报能力;Wang 等^[21]使用 2003 年 1 月至 2005 年 11 月 T213 预报场与分析场(0 场)资料检验 T213L31 全球谱模式的预报能力并与 ECMWF 进行了比较;龚伟伟等^[22]利用中国气象局国家级观测站资料,对 ECMWF、JMA 和 GFS 等数值模式资料的地面气温、相对湿度和风速在中国区域的实用性进行了比较研究。

ECMWF 是世界上具有较高预报水平的全球数值模式,随着 20 世纪 90 年代以来卫星、雷达等非

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

陕西省气象局 2016 年青年科研基金项目(2016Y-5)、陕西省气象局研究型业务重点科研项目(2015Z-6)、陕西省气象局精细化气象格点预报攻关团队共同资助

作者简介:王丹,女,1986 年生,硕士,工程师,主要从事数值天气预报产品解释应用和气象服务工作, Email: dandan-w@live.cn

收稿日期:2017 年 1 月 11 日;定稿日期:2017 年 9 月 15 日

常规观测资料的不断补充,ECMWF 不断完善同化方案以及质量控制方法和偏差校正方面,使得再分析结果呈阶梯式的上升^[23]。张峰等^[24]研究发现 T639、ECMWF 及日本数值模式的中期预报产品对亚洲中高纬度环流形势的调整和演变具有较好的预报性能,其中 ECMWF 模式预报效果最好。涂小萍等^[25]研究发现 ECMWF 对 2004—2008 年西北太平洋和南海所有编号热带气旋的路径预报优于中央气象台的主观预报。肖红茹等^[26]对 T639 和 ECMWF 细网格模式 96 h 降水预报进行检验对比,结果表明,ECMWF 模式对不同系统降水的预报效果都优于 T639。孔启亮等^[27]研究发现 ECMWF 对西太平洋副热带高压减弱东退、维持海上和增强西进的中期预报精准,同时对西风指数和 850 hPa 温度也具有良好的中期预报指示意义。

目前,ECMWF 新一代大气高分辨率数值预报模式的水平分辨率已经达到 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 经纬度网格,并且由中国气象局通过 CMAcast 向下播发该模式产品供业务使用^[28]。2016 年,陕西大部分地区入春时间早,入夏时间晚,且夏季平均气温高于历史平均值,特别是 8 月的高温日异常偏多。本文将利用 2016 年春(3—5 月)、夏(6—8 月)季节 ECMWF 高分辨率模式气温预报产品,检验模式在陕西地区的气温预报能力,并初步探索高度差订正对提高模式气温预报能力的作用,这些研究工作有助于预报员在日常预报业务中利用模式产品做出更加有效的预报。

1 资料和方法

1.1 资料

使用的资料主要包括:①2016 年 3 月 1 日至 9 月 10 日陕西及周边地区($31^\circ \sim 40^\circ \text{N}$, $105^\circ \sim 112^\circ \text{E}$)范围内的 2155 个乡镇站和陕西地区 99 个国家站的气温逐 1 h 观测数据;②2016 年 3 月 1 日至 8 月 31 日每日 08:00 和 20:00(北京时间)发布的 ECMWF 高分辨率数值模式 2 m 气温预报,预报时效为 0~72 h 逐 3 h,72~240 h 逐 6 h,空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$;③以上国家站和乡镇站的实测海拔高度数据,ECMWF 高分辨率数值模式的地形高度数据;④2013—2016 年 3—8 月延安站、泾河站、汉中站和安康站的探空观测资料。

1.2 方法

1.2.1 预报检验

气温检验区域为陕西地区 99 个国家站,先将模式的气温格点预报通过双线性插值法插值到 99 个国家站上,并对同期的气温逐 1 h 观测数据进行预处理,使其与模式的预报时段相匹配。准确率 A 、平均误差 E_P 、绝对误差 E_J 、均方根误差 E_R 、相关系数 r 的计算公式如下:

$$A = \frac{N_r}{N} \times 100\% \quad (1)$$

$$E_P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i) \quad (2)$$

$$E_J = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f_i - o_i| \quad (3)$$

$$E_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}} \quad (5)$$

式中, f_i 是第 i 站(次)的预报值, o_i 是第 i 站(次)的观测值, N 是预报的总站(次)数, $\bar{f}$ 是 N 站(次)的预报平均值, $\bar{o}$ 是 N 站(次)的观测平均值, N_r 是 $|f_i - o_i| \leq 2^\circ \text{C}$ 或者 $|f_i - o_i| \leq 1^\circ \text{C}$ 的预报站(次)数。

1.2.2 高度差订正

高度差订正公式如下:

$$T'_i = T_i + \gamma_i D_i \quad (6)$$

式中, i 为检验站(国家站)的序列号($i = 1, 2, \dots, 99$), T_i 、 T'_i 分别为高度差订正前、后的气温预报值, D_i 为模式地形高度减去实际观测地形高度的值, γ_i 为气温垂直变率,指气温在垂直方向上随着高度升高而降低(或者升高)的数值。 γ_i 的取值有以下 3 种方法:

(1)根据地形高度每上升 100 m 气温下降 0.6°C 的一般原则,取 $\gamma_i = -0.6^\circ \text{C}/\text{hm}$ 。

(2)利用探空资料计算,即 $\gamma_i = \frac{T_{\text{EC}_i} - T_{\text{obs}_i}}{Z_{\text{EC}_i} - Z_{\text{obs}_i}} \times 100^\circ \text{C}/\text{hm}$, T_{EC_i} 和 Z_{EC_i} 分别为距离模式地形高度较近的高度层的气温和高度的观测值, T_{obs_i} 和 Z_{obs_i} 分别为距离实际观测地形高度较近的高度层的气温和高度的观测值。

(3) 利用检验站与其邻近站(包括乡镇站和国家站)的观测气温差值(ΔT_i)和实际地形高度差值(ΔZ_i)的比值计算,即 $\gamma_i = (\Delta T_i / \Delta Z_i) \times 100 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{hm}$,邻近站的选站规则为:①与检验站的水平距离 $\leq 30 \text{ km}$;② $\gamma_i = (\Delta T_i / \Delta Z_i) \times 100$ 的计算结果在 $-2 \sim 2$ 之间;③当检验站的模式地形高度高于实际观测时,要求邻近站的实际地形高度高于检验站,反之亦然;④满足条件①~③且与检验站的水平距离最小。若检验站没有满足以上条件的邻近站,取 $\gamma_i = -0.6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{hm}$ 。

2 结果分析

2.1 预报准确率

从图 1a、b 和图 2a、b 来看,随着预报时效的增加,气温预报准确率波浪式下降,日变化特征明显,23:00 至次日 11:00 时段的预报准确率高于 14:00—

20:00 时段。这可能因为陕西地区的最高气温多出现在 14:00—20:00 时段,气温变化幅度较大,最低气温多出现在 23:00 至次日 11:00 时段,气温变化比较平缓。祁丽燕等^[28]的研究也证明了 ECMWF 细网格模式对低温预报的准确率高于高温预报。春季,0~72 h 逐 3 h 气温预报准确率的较大值和较小值分别出现在 08:00 和 20:00 的预报时效,78~240 h 逐 6 h 气温预报准确率的较大值和较小值分别出现在 08:00 和 14:00(或 20:00)的预报时效。夏季,0~72 h 逐 3 h 分段气温预报准确率的较大值和较小值分别出现在 05:00 和 17:00 的预报时效,78~240 h 逐 6 h 分段气温预报准确率的较大值和较小值分别出现在 02:00(或 08:00)和 14:00 的预报时效。比较而言,气温预报在夏季的准确率高于春季,20:00 起报的准确率略高于 08:00 起报。

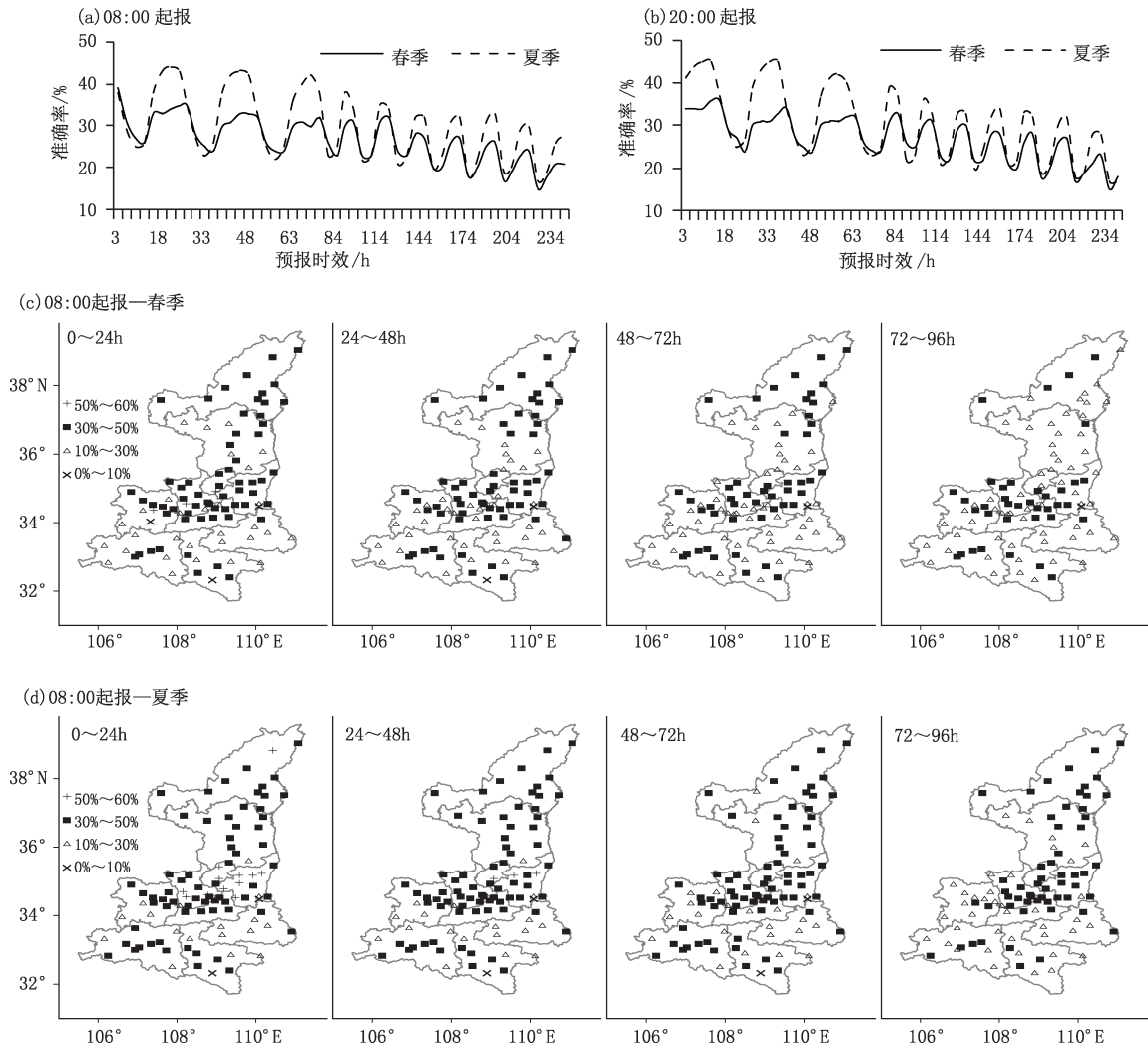


图 1 气温预报误差 $\leq 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的准确率随预报时效的变化(a、b)及其区域分布(c、d)

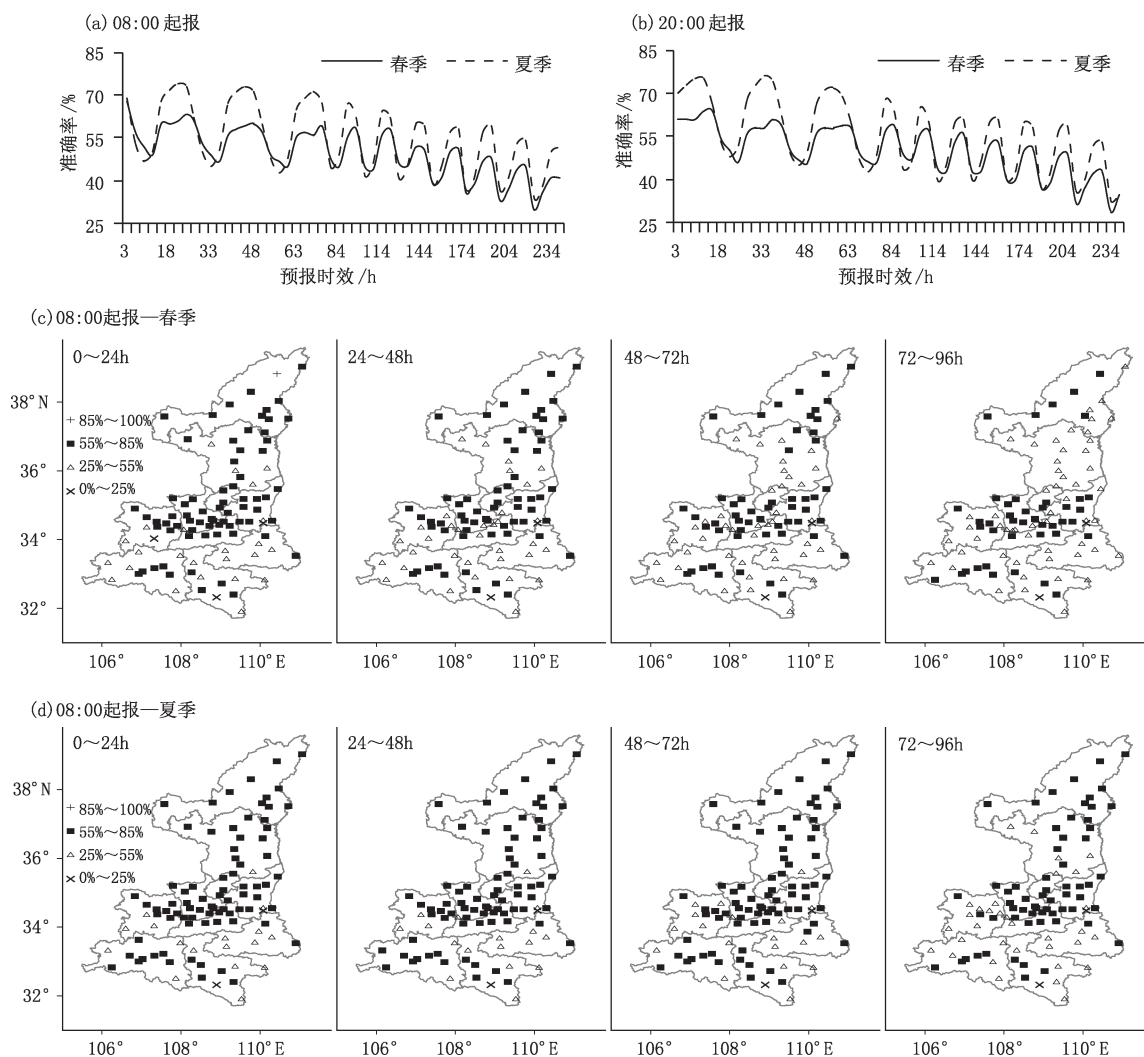


图 2 气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率随预报时效的变化(a,b)及其区域分布(c,d)

从逐 24 h 气温预报准确率的区域分布(图 1c,d 和图 2c,d, 20:00 起报的图略)来看,大部分地区气温预报误差 $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率在 72 h 之前分别为 30%~50%和 55%~85%, 96 h 之后(图略)分别为 10%~30%和 25%~55%, 另外, 华山站、岚皋站 72 h 之前气温预报误差 $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率分别低于 10%和 25%, 较其它观测站明显偏低。整体上讲, 气温预报准确率在华山、秦岭、大巴山、米仓山、黄龙山和白于山等山脉地带偏低一些, 和海拔高度密切相关, 而在模式中地形高度处理不真实有关^[29]。从图 3 来看, 模式与观测站地形高度的差值在华山、秦岭和大巴山等山脉地带较大, 其中, 模式与观测站地形高度的绝对差值在华山站和岚皋站分别为 910 m 和 591 m, 大于其它观测站。比较而言, 模式与观测站地形高度的差值在米仓山、黄龙山和

白于山等山脉地带较小, 可见, 地形因素不是产生温度误差的唯一原因, 也可能与模式本身的误差特征有关, 需要进一步改进和研究。

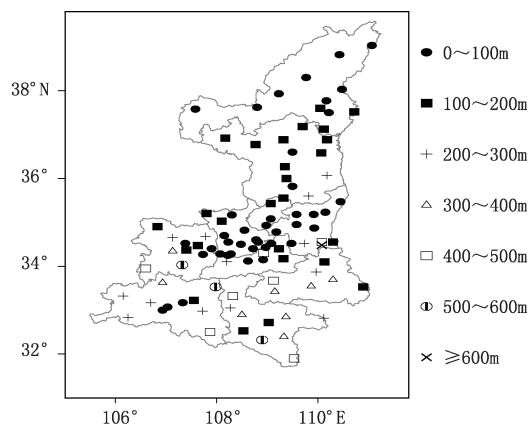


图 3 ECMWF 模式与观测站地形高度的绝对差值

2.2 预报误差

2.2.1 平均误差

从气温预报平均误差随预报时效的变化来看(图略),平均误差的日变化特征明显,在08:00为正值,在其它时刻为负值,即气温预报值在08:00较观测值偏大,在其他时刻较观测值偏小(图略)。从逐24 h气温预报平均误差的区域分布来看(图略),陕西大部分地区的气温预报平均误差为负值,平均误差为正值的站主要分布在陕北和关中的部分地区,比较而言,夏季平均误差为负值的站数较春季偏多。

2.2.2 平均绝对误差和均方根误差

平均绝对误差和均方根误差分别是反映平均预报能力和稳定性的2个重要客观指标,其值越小,模式的预报能力和稳定性越好。从图4a、b和图5a、b来看,随着预报时效的增加,气温预报平均绝对误差和均方根误差波浪式上升,即模式的预报能力和稳定性波浪式下降,比较而言,模式23:00至次日

11:00时段的预报能力和稳定性好于14:00—20:00时段的,夏季的预报能力和稳定性略高于春季的。

从逐24 h气温预报平均绝对误差和均方根误差的区域分布(图4c、d和图5c、d,20:00起报的图略)来看,72 h预报之前,气温预报平均绝对误差和均方根误差在陕北、关中的大部分地区分别为 $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 和 $0\sim 2.5^{\circ}\text{C}$,在陕南大部分地区分别为 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 和 $2.5\sim 5^{\circ}\text{C}$ 区域性差异明显,96 h预报之后(图略),气温预报平均绝对误差和均方根误差逐渐稳定到 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 和 $2.5\sim 5^{\circ}\text{C}$,区域性差异逐渐减弱。另外,华山站的平均绝对误差和均方根误差主要在 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ 和 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。整体上讲,模式对气温的预报能力和稳定性在关中、陕北、陕南地区依次降低,在夏季的预报能力和稳定性优于春季,对华山站的预报能力和稳定性明显劣于其它站。与图1、2相比较,平均绝对误差和均方根误差的区域分布和随预报时效的变化特征与准确率有较好的一致性。

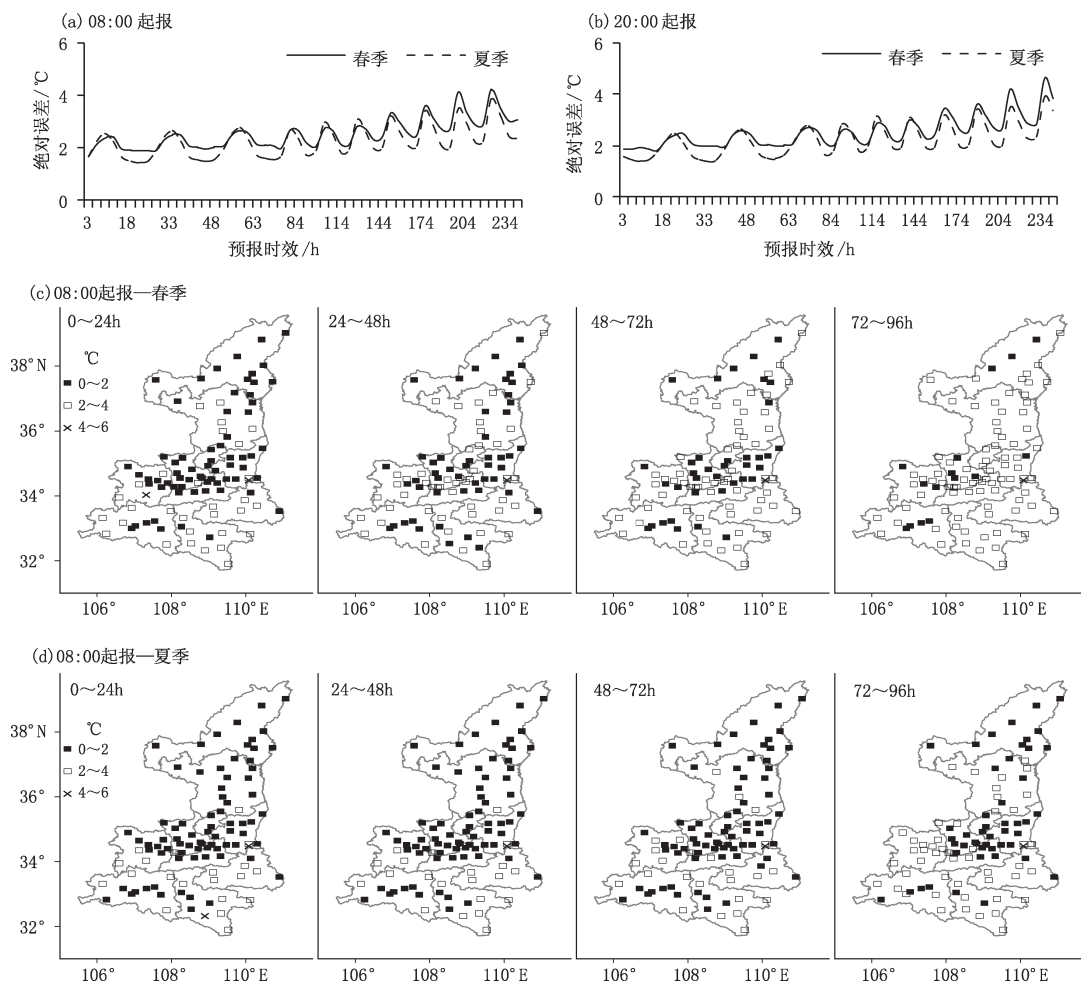


图4 气温预报平均绝对误差随预报时效的变化(a、b)及其区域分布(c、d)

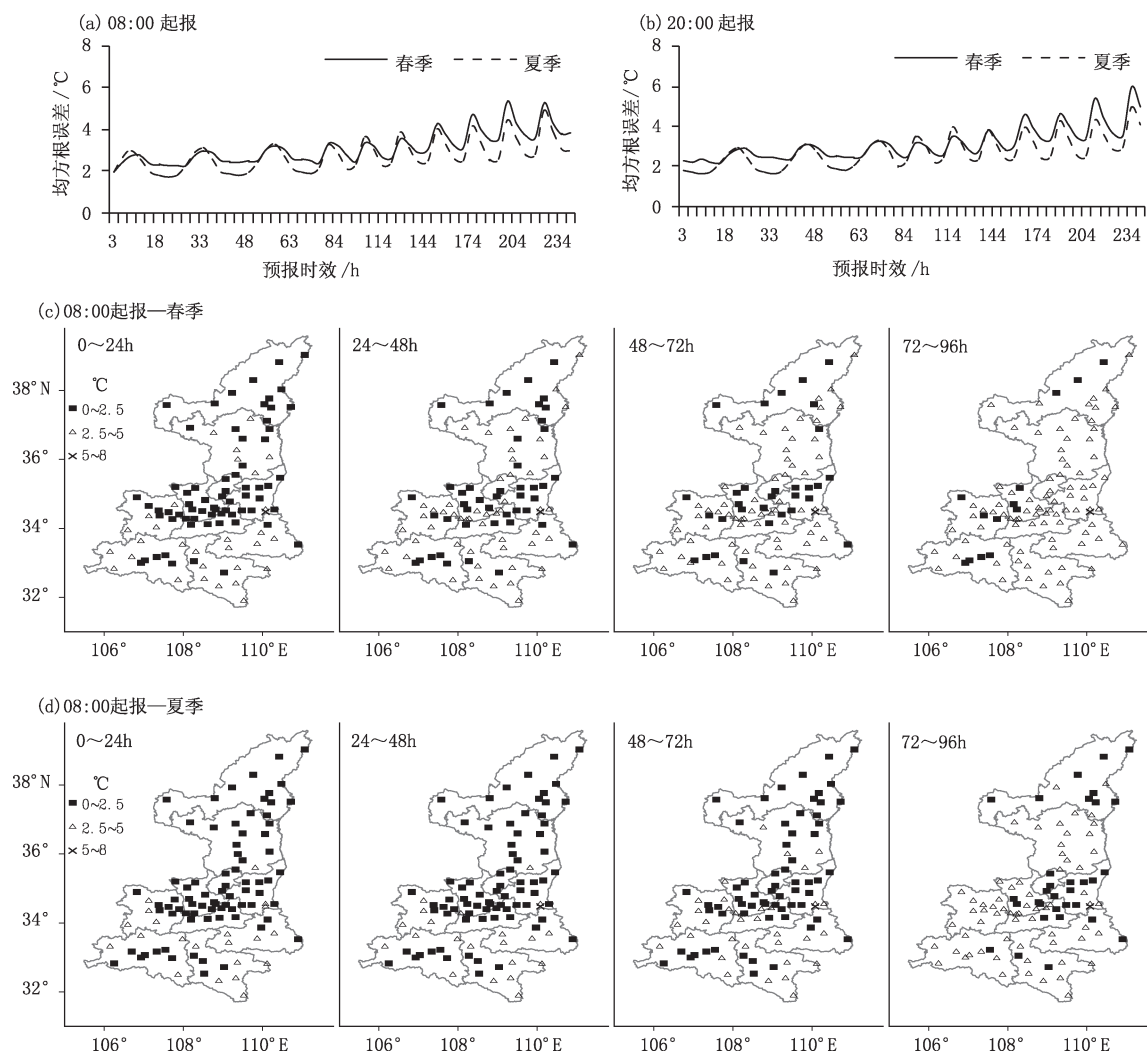


图 5 气温预报均方根误差随预报时效的变化(a,b)及其区域分布(c,d)

2.3 预报值与观测值的相关性分析

从逐预报时效的统计结果来看,随着预报时效的增加,气温预报值与观测值的相关系数呈波浪式下降,下降幅度在 72 h 预报之后明显大于 72 h 预报之前,相关系数最小值为 0.34,通过了置信度为 99% 的统计显著性检验。从逐站的统计结果来看,气温预报值与观测值在各站的相关系数均为 ≥ 0.6 的正值,通过了置信度为 99% 的统计显著性检验。以上数据表明,模式的气温预报值与观测值有很好的正相关关系,即二者的变化趋势较为一致。

2.4 典型站点检验

以泾河站、岚皋站、华山站和太白站作为典型站点,对气温预报值和观测值进行比较(图 6),其中,泾河站是陕西省会城市西安市的代表站,华山站和太白站位于陕西著名山地地形旅游景区,岚皋站的

气温预报准确率较低(仅比华山站高)。春、夏季节,在以上 4 站,随着预报时效的增加,08:00(图 6)和 20:00(图略)起报的气温预报值与观测值的变化趋势较为一致,相关系数均为大于 0.90 的正相关,通过了置信度为 99% 的统计显著性检验,但是预报值与观测值的误差和预报准确率在各站有较大差异。2016 年春、夏季节,泾河站、岚皋站、华山站和太白站在 0~240 h 预报时效的平均误差分别为 1.1 °C 和 0.7 °C、-3.4 °C 和 -3.8 °C、5.2 °C 和 4.8 °C、-2.9 °C 和 -2.7 °C,预报误差 ≤ 2 °C 的准确率分别为 52% 和 58%、25% 和 20%、12% 和 7%、29% 和 30%。比较而言,泾河站的气温预报值与观测值较为接近,预报准确率也较高,太白站和岚皋站的气温预报值小于观测值,预报准确率偏低,华山站的气温预报值明显大于观测值,预报准确率最低。

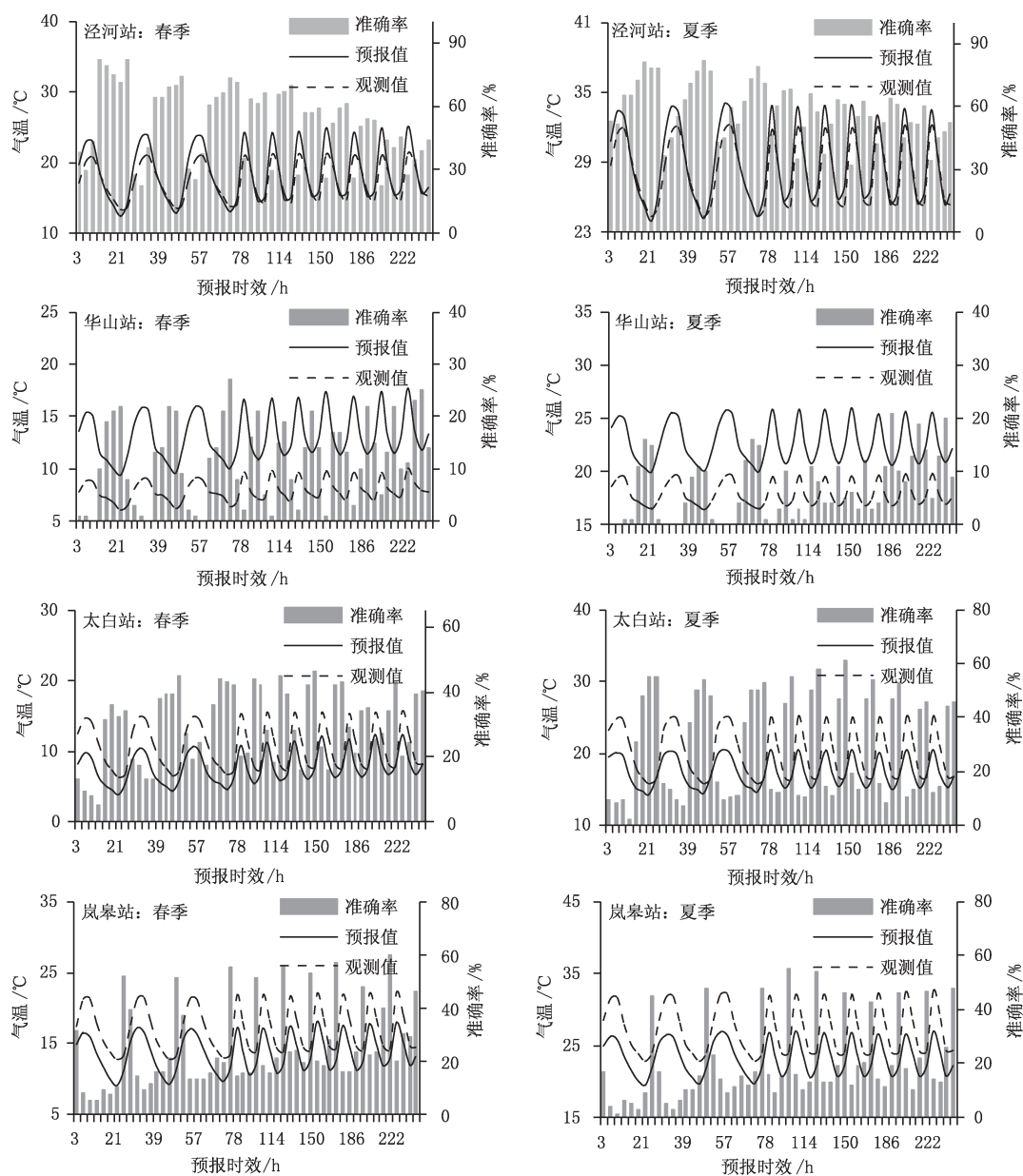


图 6 泾河站、华山站、太白站和岚皋站 08:00 起报的气温预报值与观测值及预报误差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的准确率

从图 6 还可以看出,气温预报准确率随着预报时效的变化有明显的日变化特征,并且在各站有一定差异。泾河站、华山站和太白站分别在 20:00 至次日 08:00、20:00 至次日 08:00 和 23:00 至次日 08:00 时段的气温预报准确率较高,即在夜间的气温预报准确率高,与夜间气温变化比较平缓,且夜间气温低于白天有关,文献[16]也指出 ECM-WF 模式对低温预报的准确率高,岚皋站在上午 08:00—11:00 的气温预报准确率较高,各站 14:00 的气温预报准确率都较低。经比较,岚皋

站与其他 3 站的日最高(低)气温出现时间基本一致,气温日变化特征相似,模式预报的气温日变化趋势与观测也较为一致,但是岚皋站气温预报准确率的日变化与其它 3 站不同,这可能跟各站的气温逐时变化幅度不同有关,有待进一步研究。

3 气温预报的高度差订正

模式与实际观测站的地形高度差异(D)是造成数值预报系统误差的重要原因之一,2016 年 3—8 月气温预报的平均准确率、绝对误差和均方根误差

与 $|D|$ 的相关系数分别为 -0.81 、 0.82 和 0.78 , 均通过了置信度为 99% 的统计显著性检验, 可见, 模式与实际观测地形高度的差异越大时, 气温预报准确率越低、绝对误差和均方根误差越大。是否可以通过高度差订正提高模式的气温预报能力? 本文进行了 4 种方法的探索。

(1) 取气温垂直变率 $\gamma = -0.60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 对气温预报进行高度差订正并检验。结果表明, 99 个检验站的气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率平均提高了 4% , 其中华山站、岚皋站和太白站的准确率分别提高了 54% 、 44% 和 15% , 但是有 27% 的检验站订正后的准确率低于订正前(降低幅度在 $1\% \sim 19\%$)。气温垂直递减率有一定的地域差异, 牛乐德等^[30]利用西双版纳、哀牢山、高黎贡山已有的气候资料和数据进行分析, 发现即使是同一山体, 不同季节和坡向的气温垂直递减率也会有差异。陕西境内山原起伏, 有山地、平原、高原、盆地和峡谷等多种地形, $\gamma = -0.60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 的气温垂直变率并不适用于所有地区, 这可能是造成有些检验站的气温预报在高度差订正后准确率下降的原因。

(2) 利用 2013—2016 年的 3—8 月延安站、泾河站、汉中站和安康站的探空资料逐月计算气温垂直变率, 对气温预报进行高度差订正。08:00 起报(20:00 起报)的气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率在订正前分别为 63% (63%)、 59% (59%)、 62% (64%) 和 61% (62%), 订正后分别为 64% (64%)、 60% (59%)、 65% (66%) 和 63% (63%), 较订正前提高了 $1\% \sim 3\%$ 。利用该方法计算 3—8 月延安站、泾河站、汉中站和安康站的气温垂直变率分别在 $-0.34 \sim -0.67$ 、 $-0.53 \sim -0.60$ 、 $-0.45 \sim -0.57$ 和 $-0.51 \sim -0.57$ 之间, 有明显的地域差异。

(3) 利用 2016 年 3—8 月检验站与其邻近站的观测气温差值和实际地形高度差值的比值逐月计算气温垂直变率, 对气温预报进行高度差订正并检验。结果表明, 99 个检验站的气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率平均提高了 2% , 其中, 华山站、岚皋站和太白站的准确率分别提高了 54% 、 34% 和 6% , 但是有 27% 的检验站订正后的准确率低于订正前(降低幅度在 $1\% \sim 30\%$), 可见该方法计算的 γ 也并不适用于所有地区, 这可能与检验站和邻近站的地表覆盖物、地形、气象条件等不完全相同有关。

对以上 3 种方法的气温预报订正效果进行比

较, 从对延安站、泾河站、汉中站和安康站等 4 站的气温预报订正结果来看, (1) 和 (2) 在以上 4 站均为正订正效果, 且订正后的气温预报准确率较订正前的提高幅度相同, 这与 (1) 和 (2) 的气温垂直变率比较接近有关, (3) 在延安站为负订正效果, 在其他 3 站为正订正效果, 这与 (3) 计算的气温垂直变率不适用于延安站有关。从对 99 个检验站的气温预报订正结果来看, (1) 和 (3) 对气温预报的订正能力在各检验站有一定差异, 例如, (1) 和 (3) 订正后的气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率较订正前在周至站分别降低了 19% 和提高了 2% , 在志丹站分别提高了 6% 和降低了 8% 。对模式的气温预报进行高度差订正的关键是确定合理的气温垂直变率, 气温垂直变率有一定的地域差异, $\gamma = -0.60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 不适用于所有地区, 直接利用探空资料计算的气温垂直变率较为理想, 但是陕西仅有 4 个探空站, 不能满足 99 个检验站的气温预报高度差订正需求, 考虑到乡镇站的分布比较密集, 利用检验站与其邻近站(乡镇站和国家站)的观测气温和地形高度资料计算的气温垂直变率解决了探空资料不足的问题, 但是该方法也不适用于所有地区。基于以上分析, 有必要因地制宜, 为各站选择合理的方法计算气温垂直变率。

(4) 逐站对比以上 3 种方法的气温预报订正结果, 选取订正后的气温预报准确率较高的方法对应的 γ 值作为该站的气温垂直变率, 对气温预报进行高度差订正并检验。结果表明, 99 个检验站的气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率平均提高了 5% , 其中 10% 的检验站订正后的准确率低于订正前(降低幅度在 $1\% \sim 5\%$)。

通过高度差订正提高模式气温预报能力的几种方法, 得到了一些有益的结论, 但同时也存在一些问题。(3)、(4) 计算的气温垂直变率在部分地区为正值, 例如, 周至站取 $\gamma = -0.60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 对气温预报进行高度差订正后, 气温预报误差 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率降低了 19% , 但是当 γ 的取值在 $0.05 \sim 0.74\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 时, 准确率提高了 2% , 这与对流层中气温随海拔升高而降低的理论相矛盾, 也是为什么本文定义了气温垂直变率而没有直接使用气温垂直递减率对气温预报进行高度差订正的原因。部分观测站的气温垂直变率为正值, 可能与地形有关, 需要进一步研究, 例如, 周至站靠近秦岭山脉, 海拔高度较低, 有利于冷空气堆积, 可能造成周至站的气温低于邻近站。

(3)在部分地区对气温预报有明显的负订正效果,与该方法为该地区计算的气温垂直变率不合理有关,关键在于为检验站选择最佳邻近站,本文的邻近站选站规则是经过反复试验后确定的,但是还需要通过继续研究进一步完善,另外,由于资料限制,计算气温垂直变率的资料时间较短,下一步计划整理较长时期的历史资料作进一步研究。

4 结论

本文利用 2016 年春、夏季节陕西 99 个国家站的气温逐 1 h 观测数据和 ECMWF 高分辨率模式的定时气温预报产品,客观检验了该模式在陕西地区的气温预报能力,并初步探索了高度差订正对提高模式气温预报能力的作用。

(1)2016 年春、夏季节,陕西大部分地区,气温预报误差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 和 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的准确率在 72 h 之前分别为 30%~50%和 55%~85%,96 h 之后分别为 10%~30%和 25%~55%。夏季的气温预报准确率、预报能力和稳定性高于春季,20:00 起报的气温预报准确率、预报能力和稳定性略高于 08:00 起报,模式对气温的预报能力和稳定性在关中、陕北、陕南地区依次降低。陕西大部分地区的气温预报值小于观测值,气温预报值大于观测值的站主要分布在陕北和关中的部分地区。

(2)随着预报时效的增加,气温预报准确率波浪式下降,平均绝对误差和均方根误差波浪式上升,日变化特征明显,在 23:00 至次日 11:00 时段的预报能力和稳定性好于 14:00—20:00 时段。

(3)模式的气温预报值与观测值有很好的正相关关系。华山站和岚皋站的气温预报值与观测值的相关系数均大于 0.9,通过了置信度为 99%的统计显著性检验,但是这两站的气温预报准确率明显偏低,这与模式和实际观测站的地形高度差异较大有关。基于气温垂直变率和模式与实际观测站的地形高度差异进行的高度差订正,可以适当提高模式的气温预报水平,文中提出的几种气温预报的高度差订正方法,对陕西大部分地区的气温预报为正订正效果,但还存在一些问题,有待进一步研究。

本文所得结论适用于 2016 年春、夏季节(3—8 月)这一时期的气温预报,对于其他时期的预报需要作进一步研究以验证结论的普适性。

参考文献

- [1] 麻巨慧,朱跃建,王盘兴,等. NCEP、ECMWF 及 CMC 全球集合预报业务系统发展综述[J]. 大气科学学报, 2011, 34(3): 370-380.
- [2] 林春泽,智协飞,韩艳,等. 基于 TIGGE 资料的地面气温多模式超级集合预报[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 706-712.
- [3] 智协飞,林春泽,白永清,等. 北半球中纬度地区地面气温的超级集合预报[J]. 气象科学, 2009, 32(5): 569-574.
- [4] 周文友,智协飞. 2009 年夏季西太平洋台风路径和强度的多模式集成预报[J]. 气象科学, 2012, 32(5): 492-499.
- [5] Zhi XF, Qi HX, Bai YQ, et al. A comparison of three kinds of multimodel ensemble forecast techniques based on the TIGGE data [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2012, 26(1), 41-51.
- [6] 智协飞,季晓东,张璟,等. 基于 TIGGE 资料的地面气温和降水的多模式集成预报[J]. 大气科学学报, 2013, 36(3): 257-266.
- [7] 林春泽,祁海霞,智协飞,等. 中国夏季降水多模式集成概率预报研究[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(4): 354-359.
- [8] 张涵斌,智协飞,王亚男,等. 基于 TIGGE 资料的西太平洋热带气旋多模式集成预报方法比较[J]. 气象, 2015, 41(9): 1058-1067.
- [9] Zhang H B, Zhi X F, Chen J, et al. Study of the modification of multi-model ensemble schemes for tropical cyclone forecasts [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2015, 21(4): 389-399.
- [10] He C F, Zhi X F, You Q L, et al. Multi-model ensemble forecasts of tropical cyclones in 2010 and 2011 based on the Kalman Filter method [J]. Meteor. Atmos. Phys. 2015, 127(4): 467-479.
- [11] Zhang L, Zhi X F. Multimodel consensus forecasting of low temperature and icy weather over central and southern China in early 2008 [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2015, 21(1): 67-75.
- [12] 卞正奎,朱寿鹏,胡航菲,等. 泰州市气温多模式集成预报系统的建立与评估[J]. 气象科技, 2016, 44(4): 605-611.
- [13] 吴进,付宗钰,吴剑坤,等. 北京地区夏季多模式降水预报的降尺度集成应用[J]. 气象科技, 2016, 44(1): 55-60.
- [14] 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.
- [15] 李川,张廷军,陈静. 近 40 年青藏高原地区的气候变化—NCEP 和 ECMWF 地面气温及降水再分析和实测资料对比分析[J]. 高原气象, 2004, 23(增刊): 97-103.
- [16] 潘留杰,张宏芳,朱伟军,等. ECMWF 模式对东北半球气象要素场预报能力的检验[J]. 气候与环境研究, 2013, 18(1): 111-123.
- [17] 荀学义,胡泽勇,孙俊,等. ECMWF 和 NCEP 再分析资料在青藏高原高度场变化中的对比分析[J]. 冰川冻土, 2011, 33(1): 80-87.

- [18] 周昆,郝元甲,姚晨,等. 6 种数值模式在安徽区域天气预报中的检验[J]. 气象科学,2010,30(6): 801-805.
- [19] 王丹,高红燕,马磊,等. SCMOC 温度精细化指导预报在陕西区域的质量检验[J]. 气象科技,2014,42(5):839-846.
- [20] Pinson P, Hagedorn R. Verification of the ECMWF ensemble forecasts of wind speed against observations [J]. Meteorol Appl, 2012, 19(4): 484-500.
- [21] Wang Y, Qian H, Song J J, et al. Verification of the T213 global spectral model of China National Meteorology Center over the East-Asia area [J]. J Geophys Res, 2008, 113 (D10110): 1-7.
- [22] 龚伟伟,师春香,张涛,等. 中国区域多种数值模式资料的地面气象要素评估[J]. 气候与环境研究,2015, 20(1):53-62.
- [23] 邓小花,翟盘茂,袁春红. 国外几套再分析资料的对比与分析[J]. 气象科技,2010,38(1):1-8.
- [24] 张峰. 2015 年 9—11 月 T639、ECMWF 及日本模式中中期预报性能检验[J]. 气象,2016,42(2):246-253.
- [25] 涂小萍,姚日升. ECMWF 数值产品在热带气旋(TC)路径预报中的应用分析[J]. 热带气象学报,2010,26(6):759-764.
- [26] 肖红茹,王灿伟,周秋雪,等. T639、ECMWF 细网格模式对 2012 年 5~8 月四川盆地降水预报的天气学检验[J]. 高原山地气象研究,2013,33(1):80-85.
- [27] 孔启亮,李建国,周勃,等. 镇江 2009 年盛夏极端异常气候分析及 ECMWF 模式检验[J]. 气象科学, 2010,30(6):862-867.
- [28] 祁丽燕,黄明策,苏洵. 华南西部欧洲细网格 2 m 温度预报误差分析[J]. 气象研究与应用,2015,36(4):1-7.
- [29] 康岚,冯汉忠,屠妮妮,等. Grapes 模式预报西南地区夏季 2 m 温度的检验评估[J]. 高原山地气象研究,2009,29(2):26-40.
- [30] 牛乐德,丁文荣,宗路平. 纵向岭谷区山地温度垂直分布格局研究[J]. 云南地理环境研究,2013,25(3):10-18.

Evaluation of Air Temperature Forecast Performance of ECMWF High-Resolution Model in Spring and Summer of 2016 in Shaanxi Province

Wang Dan¹ Wang Jianpeng² Pan Liujie² He Lin³ Cheng Lu⁴ Dai Changming²
Hu Hao² Bai Qingmei⁵

(1 Shaanxi Meteorological Service Center, Xi'an 710014; 2Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014;

3 Shaanxi Meteorological Information Center, Xi'an 710014; 4 Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014; 5 Xi'an

Meteorological Observatory, Xi'an 710014)

Abstract: Based on the 3-hour hourly data of air temperature from 99 stations in Shaanxi Province in spring and summer of 2016, the 3-hour temperature forecast performance of the ECMWF high-resolution model (0 to 72 hours) and the 6-hour temperature forecast performance (78 to 240 hours) are evaluated. The results show that the accuracies of air temperature with the forecast error less than 1 °C and 2 °C are 30% to 50% and 55% to 85% before 72 hours, 10% to 30% and 25% to 55% after 96 hours at most observation stations of Shaanxi Province. The accuracy of air temperature forecasted starting at 00:00 GMT is higher than that forecasted starting at 12:00 GMT, and the accuracy in summer is higher than that in spring. With the increase of forecast lead time, the capability and stability of numerical forecasting of air temperature decrease wavily, and their diurnal variation is obvious. The capability and the stability from 15:00 GMT to 03:00 GMT next day are better than those from 06:00 GMT to 12:00 GMT. There was a high correlation between numerical forecast and observation, but elevation difference between model surface and observation site influences the quality of numerical temperature forecast greatly. To some degree, a method of terrain height revision can improve the numerical forecast accuracy of air temperature, which put the variation of air temperature in the vertical direction and the elevation difference between model surface and observation site into consideration. The method for correcting air temperature forecast has positive correction effectiveness for most areas in Shaanxi Province, but it is problematic and needs for further research.

Keywords: ECMWF high-resolution model; temperature forecast; forecast capability; terrain height revision