

郭煜,周勍,钱鹏,等. 镇江地区 ECMWF 模式高温预报订正方法研究[J]. 陕西气象, 2020(2): 38-42.

文章编号: 1006-4354(2020)02-0038-05

镇江地区 ECMWF 模式高温预报订正方法研究

郭煜, 周勍, 钱鹏, 冯佳玮

(镇江市气象局, 江苏镇江 212000)

摘要: 针对镇江 ECMWF 模式 168 h 内高温($t \geq 35^\circ\text{C}$) 预报结果提出四种后处理订正方案, 包括一元线性回归法、差值法、综合法和递减平均法; 借助均方根误差等四种检验方法就订正效果进行评估, 找寻最优订正方案。结果表明, 四种订正方法都明显改善了 ECMWF 模式高温预报, 订正后的均方根误差、平均绝对误差及最大绝对误差较订正前均有所减小, 预报准确率显著提高。对于 24 h 时效内预报, 四种订正方法各有优势。对于 48~168 h 时效预报, 一元线性回归法效果更优。采用分时效对 ECMWF 模式高温预报结果进行后处理, 考虑 24 h 预报订正使用递减平均方法, 48~168 h 预报订正使用一元线性回归法, 可以更大程度地提高预报准确率。

关键词: ECMWF 模式; 误差订正; 高温预报

中图分类号: P457.3; P456.7

文献标识码: A

随着观测资料和模式状况的日益改善, 数值预报产品已经成为当今重要的预报手段^[1-9]。但模式预报值和观测值之间的误差仍然存在^[10]。虽然正面改进模式各个环节来发展模式非常重要, 但模式终究不能达到完美, 因此, 发展经验性方法来减小模式误差对预报的影响非常必要^[11]。许多气象工作者针对 ECMWF、T639 等数值模式的预报技巧进行了相关天气学试验^[11-14], 其中 ECMWF 模式作为业务工作者日常工作中使用频次最高的数值产品, 其预报性能无论是形势场还是要素场, 明显优于其他模式, 其对于一般天气的预报水平已经很高, 但对高温、暴雨、寒潮等灾害性天气事件的预报准确率还有待加强。本文针对镇江地区 ECMWF 模式 168 h 时效内高温($t \geq 35^\circ\text{C}$, 下同) 预报结果提出四种后处理订正方案, 包括一元线性回归订正法、差值订正法、综合订正法, 以及递减平均订正法, 借助均方根误差、平均绝对误差、最大绝对误差、预报准确率四种检验方法就订正效果进行评估, 试图找出最优订正方案, 从而减小模式系统性误差, 提高高温天气预报准确率。

1 资料和方法

1.1 资料

所用观测场资料为 2014 年 6 月 1 日至 2018 年 9 月 30 日(北京时, 下同), 镇江气象观测站逐日 20:00 起报实况高温站点数据。预报场资料为相应时次欧洲中期天气预报中心高分辨率模式(ECMWF) 20:00 起报的 0~24 h、24~48 h、48~72 h、72~96 h、96~120 h、120~144 h、144~168 h 镇江站日最高气温预报值。

1.2 订正和检验方法

1.2.1 一元线性回归订正法 一元线性回归是依据观测值与预报值之间存在着较密切的线性关系建立的。数学模型为

$$y_i = \beta_0 + \beta x_i + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式(1)中, $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ 分别表示其他随机因素对观测值 y_i 影响的总和(下同); n 为样本容量, 即表示 n 组观测数据; x_i 代表预报值(下同); 参数 β_0, β 的最小二乘法估计值分别为 b_0 和 b , 于是可得一元线性回归订正方程

收稿日期: 2019-11-01

作者简介: 郭煜(1984—), 女, 江苏淮安人, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报预测工作。

基金项目: 江苏省预报员专项(JSYBY201713)

$$\hat{y}_i = b_0 + b x_i. \quad (2)$$

式(2)中, \hat{y}_i 为最终订正值,下同。

1.2.2 差值订正法 订正公式为

$$\hat{y}_i = x_i + d_n. \quad \text{其中 } d_n = \bar{y}_n - \bar{x}_n \quad (3)$$

1.2.3 综合订正法 订正公式为

$$\hat{y}_i = \bar{y}_n + k(x_i - \bar{x}_n). \quad \text{其中 } k = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (4)$$

式(3)、(4)中 \bar{y}_n, \bar{x}_n 表示样本容量为 n 的观测值和预报值的平均; σ_y, σ_x 表示观测值和与预报值的均方差。

1.2.4 递减平均订正法 递减平均法是一种通过滞后平均降低误差尺度的自适应(卡尔曼滤波类型)偏差订正方法。其原理如下^[13]。

(1)误差估计

$$q_i = x_i - y_i, \quad (5)$$

式(5)中, q_i 为预报误差。

(2)误差累计

选择适当的权重系数 ω ,计算滞后平均误差 Q_i 。根据温度预报误差相对订正量随权重系数的变化,确定最优权重系数,误差相对订正量为订正前与订正后的均方根误差之差与订正前均方根误差之商。

(3)误差订正

当 $i=1$ 时实行冷启动,即 $Q_{i-1}=0$

$$Q_i = (1-\omega)Q_{i-1} + \omega q_i$$

$$\hat{y}_i = x_i - Q_i$$

1.2.5 检验方法 以预报值与观测值的均方根误差^[15]、平均绝对误差^[15]、最大绝对误差以及预报准确率作为衡量预报效果的指标。最大绝对误差是从所有绝对误差值中挑出的最大值。

2.2 ECMWF 模式高温预报误差

由图1可见,ECMWF模式168h预报时效内高温预报准确率均在25%以下,准确率非常低。其中24h预报准确率达23%,168h预报准确率低于10%,预报时效越久,预报准确率越低。预报误差(预报值与观测值之差)基本维持在-2.5~-3.5℃,预报值显著小于观测值,这可能与夏季最高气温多出现于下午16:00前后,而根据业务实际,ECMWF模式一般选取14:00的气温作为日最高气温。随预报时效的延长,预报误差逐渐增大。

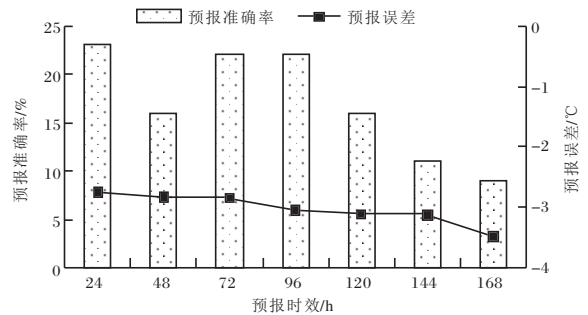


图1 2014—2017年镇江站ECMWF模式168h内日高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报准确率和预报误差

2.3 订正效果对比

由图2可见,ECMWF模式168h时效内的高温预报均方根误差达2.92~3.82℃,经四种订正方法订正后误差范围缩小至1.70℃以内,24~144h均方根误差降至1.5℃以内,较订正前降低了1倍左右。随着预报时效的增加,四种订正方法的均方根误差逐渐增大。在24h预报时效内综合订正法误差最小,为0.93℃,递减平均订正法和差值订正法次之,一元线性回归订正法误差相对较大,但也仅有1.07℃。48~168h时效内一元线性回归法误差最小,在0.94~1.17℃,综合法次之,递减平均法和差值法误差最大。

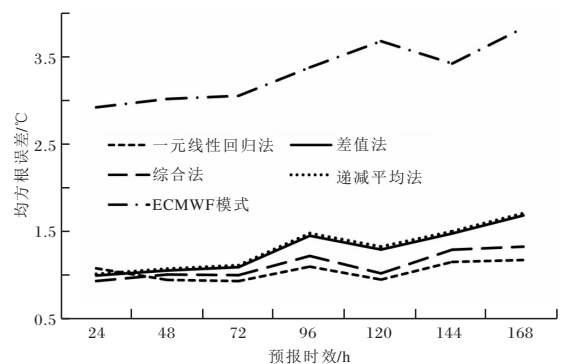


图2 2014—2017年镇江站ECMWF模式和4种订正方法168h内的高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报均方根误差

由平均绝对误差(图3)可见,ECMWF模式168h时效内高温预报平均绝对误差范围为2.7~3.5℃,订正后平均绝对误差均降至1.3℃以下,24~72h时效内误差降至0.9℃以下,误差显著减小。对于24~48h时效内的预报,综合法误差最小,24h为0.69℃,48h为0.75℃,差值法和递减平均法误差次之,一元线性回归法误差最

大。72~168 h 时效中的大部分时间里,一元线性回归法误差最小,订正效果略优于其他三种方法。

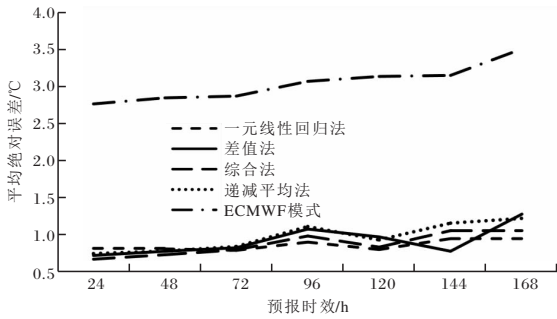


图3 2014—2017年镇江站ECMWF模式和4种订正方法168 h内的高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报平均绝对误差

最大绝对误差反应了预报值与观测值的最大偏离程度。从图4可见ECMWF模式168 h时效内高温预报的最大绝对误差为5.8~7.7℃,经订正后最大绝对误差区间降至2.1~5.5℃,误差有所减小。对于24 h预报,综合法订正效果最好,订正后最大绝对误差为2.83℃,较订正前降低了近3℃,144 h预报亦是综合法误差最小,为3.08℃。其他预报时效内一元线性回归法最大绝对误差值最小,差值法和递减平均法误差相对较大。

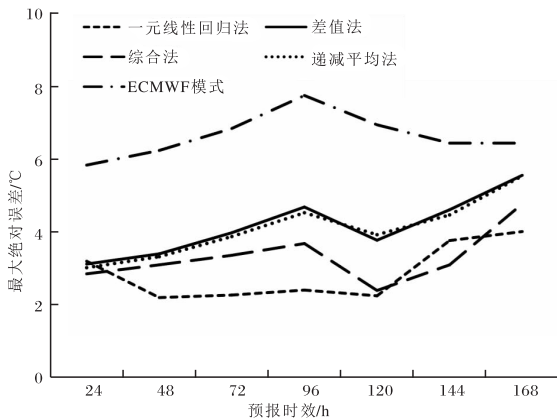


图4 2014—2017年镇江站ECMWF模式和4种订正方法168 h内的高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报最大绝对误差

图5给出了当预报值与观测值的绝对误差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 时判定预报准确的前提下,ECMWF模式和四种订正方法在168 h时效内的高温预报准确率分布情况。由图可见,ECMWF模式预报准确率为13%~24%,经订正后预报准确率超过80%,较订正前提高了50%以上。四种订正方法在24~72 h时效内的预报准确率均超过90%。

24 h时效内递减平均法准确率最高,达96%,综合法次之,为94%,一元线性回归法和差值法准确率略低,为93%。48~168 h预报时效内一元线性回归法预报准确率最高,均超过93%,综合法次之,差值法和递减平均法预报准确率最低。

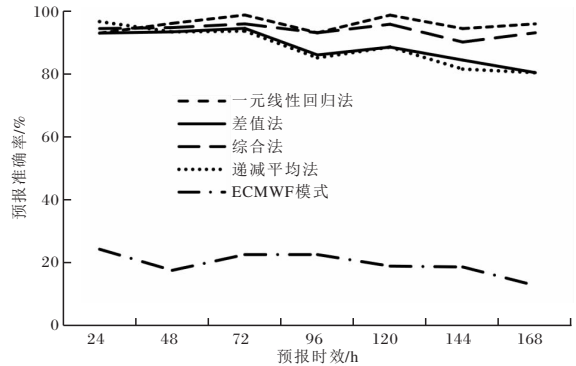


图5 2014—2017年镇江站ECMWF模式和4种订正方法168 h内的高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报准确率(绝对误差 $\leq 2^\circ\text{C}$)

进一步分析绝对误差 $\leq 1^\circ\text{C}$ 条件下的高温预报准确率(图6),发现ECMWF模式24~48 h高温预报准确率为0,72~168 h预报准确率在5%以下。订正后24~168 h预报准确率超过56%,随着预报时效延长,改进幅度有减小的趋势。同时,24 h预报准确率均达81%以上,其中一元线性回归法订正能力最优,准确率达84%。48 h预报时效内一元线性回归法和综合法预报准确率最高,为73%,差值法和递减平均法准确率稍低,为72%。72 h预报差值法准确率最高,为76%。96 h以及144~168 h时效内均是一元线性回归法预报准确率最高,120 h预报综合法准确率最高。

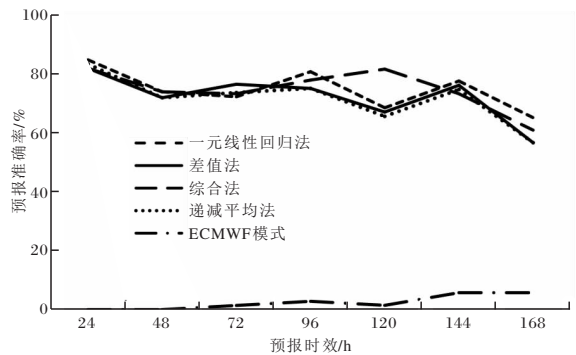


图6 2014—2017年镇江站ECMWF模式和4种订正方法168 h内的高温($t \geq 35^\circ\text{C}$)预报准确率(绝对误差 $\leq 1^\circ\text{C}$)

2.4 最优订正方案和订正效果检验

综上所述,建立镇江站高温预报最优订正方法统计表(表 1),从中可见,对于 24 h 时效预报,就均方根误差、平均绝对误差和最大绝对误差而言,综合法订正能力最好,就绝对误差 ≤ 2 °C 的预报准确率而言,递减平均法订正效果最好,就绝对误差 ≤ 1 °C 的预报准确率而言,一元

线性回归法订正效果最好。对于 24 h 时效预报,四种订正方法各有优势,对于 48~168 h 预报,一元线性回归法优势显著,订正效果总体更优。因此可采用分预报时效对 ECMWF 模式高温预报结果进行后处理方案,即 24 h 预报订正采用综合法或递减平均法,48~168 h 预报订正采用一元线性回归法。

表 1 镇江站 168 h 内高温预报最优订正方法统计

预报时效	均方根误差	平均绝对误差	最大绝对误差	预报准确率(≤ 2 °C)	预报准确率(≤ 1 °C)
24 h	综合	综合	综合	递减平均	一元回归
48 h	一元回归	综合	一元回归	一元回归	一元回归/综合
72 h	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归	差值
96 h	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归
120 h	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归	综合
144 h	一元回归	差值	综合	一元回归	一元回归
168 h	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归	一元回归

根据当前天气预报业务评分要求,当预报值与观测值的绝对误差 ≤ 2 °C,预报正确。以 2018 年 6—9 月镇江站高温预报为例,24 h 预报订正采用递减平均方法,48~168 h 预报订正采用一元线性回归法,订正结果如图 7,对于 $t \geq 35$ °C 以上的高温预报,ECMWF 模式 168 h 时效内预报经订正后预报准确率均为 100%,订正技巧为正,百分率均超过 80%,订正效果好。

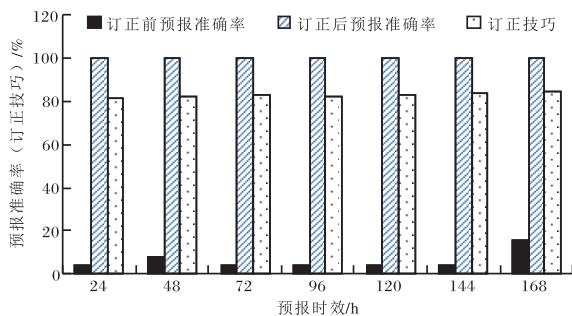


图 7 2018 年 6—9 月镇江站 ECMWF 模式 168 h 内高温($t \geq 35$ °C)预报订正前后预报准确率和订正技巧

3 递减平均法权重系数的选取

权重系数的大小反应了递减平均法中历史预报误差的权重大小,直接影响最后的订正结果。 ω 越大,临近日期的样本所占权重越大,距离订正

日期时间较长的样本所占的权重越小;反之亦然。对不同的 $\omega \in (0, 1)$ 进行效果检验,以 24 h 时效预报中权重系数的选取为例(图 8),可以看到随着权重系数的减小,递减平均法关于 ECMWF 模式 24 h 高温预报的订正效果先增加后减小,权重系数取 0.67 时,误差相对订正量达极大值,误差订正效果最好,0.67 即为最优权重系数。同样,对于 48~168 h 预报,权重系数分别取 0.54、0.28、0.59、0.34、0.23、0.07 时,递减平均法可以取得较好的订正效果。

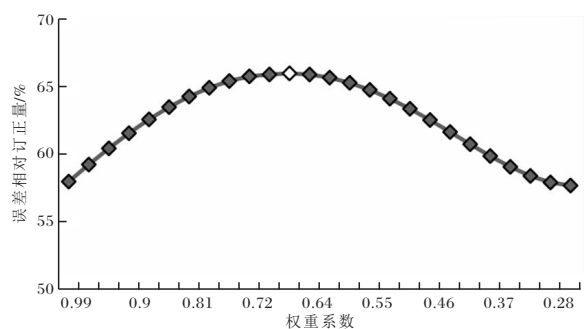


图 8 镇江站 ECMWF 模式 24 h 高温($t \geq 35$ °C)预报误差相对订正量随权重系数的变化

4 结论

(1)镇江站 ECMWF 模式 168 h 内高温预报准确率较低,预报误差随预报时效的延长而增加。

(2)四种订正方法都明显改善了 ECMWF 模式高温预报,订正后无论是均方根误差、平均绝对误差、还是最大绝对误差较订正前均有所减小,预报准确率显著提高。

(3)对于 24 h 时效内预报,四种订正方法各有优势。对于 48~168 h 时效预报,一元线性回归法效果更优。

(4)采用分时效对 ECMWF 模式高温预报结果进行后处理方案,考虑 24 h 预报订正使用递减平均方法,48~168 h 预报订正使用一元线性回归法,可以更大程度的提高预报准确率。

参考文献:

- [1] 贾晓静,韩启群. IAP AGCM 模式对地面气温长期趋势的预报分析[J]. 气候与环境研究,2011,16(6): 753-759.
- [2] 胡国玲. 三维冰雹云数值模式及业务应用[J]. 陕西气象,2012(3):19-23.
- [3] 丑纪范. 一个创新研究——大气数值模式变量的物理分解及其在极端事件预报中的应用[J]. 地球物理学报,2012,55(5):1433-1438.
- [4] 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.
- [5] 庞翻,蔡英. T639 数值产品对宝鸡暴雨的预报效果检验[J]. 陕西气象,2014(3):8-11.
- [6] 王晶晶,计舒怀. 信阳市区域性大到暴雪预报方法[J]. 陕西气象,2015(3):21-23.
- [7] 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.
- [8] 玛依热·艾海提,亚森江·买买提,希热娜依·提力瓦尔地. 2014 年夏季喀什一次强冰雹过程分析[J]. 陕西气象,2016(3):6-11.
- [9] 张思豆,张腾飞,曹杰. 云南 2 次西行台风暴雨过程数值模拟和诊断分析[J]. 云南大学学报(自然科学版),2017,39(6):1012-1022.
- [10] 穆穆,陈博宇,周非凡,等. 气象预报的方法与不确定性[J]. 气象,2011,37(1):1-13.
- [11] 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.
- [12] 邱学兴,王东勇,陈宝峰. T639 模式预报系统误差统计和订正方法研究[J]. 气象,2012,38(5):526-532.
- [13] 王丹,黄少妮,高燕红,等. 递减平均法对陕西 SC-MOC 精细化温度的订正效果[J]. 干旱气象,2016,34(3):575-583.
- [14] 王婧,徐枝芳,范广洲,等. GRAPES-RAFS 系统 2m 温度偏差订正方法研究[J]. 气象,2015,41(6): 719-726.
- [15] 蔡新玲,贺皓,高红燕,等. 中尺度数值预报模式输出产品温度和相对湿度的检验[J]. 陕西气象,2006(1):4-8.