

宋倩倩,张艳玲. 基于一元线性回归的 ECMWF 细网格阵风预报产品订正评估[J]. 陕西气象, 2023(3):17-22.

文章编号:1006-4354(2023)03-0017-06

基于一元线性回归的 ECMWF 细网格 阵风预报产品订正评估

宋倩倩,张艳玲

(商丘市气象局,河南商丘 476000)

摘要:利用 2021 年 10 月至 2022 年 3 月(2021 年冬半年)欧洲中期天气预报中心(European centre for medium-range weather forecasts, ECMWF)细网格阵风预报数据和河南省国家级地面气象站阵风观测资料,基于一元线性回归(linear regression, LR)方法,对河南省 ECMWF 阵风预报进行订正,并对其检验评估。结果表明:(1)2021 年冬半年,河南省多出现 6 级以下的阵风天气。ECMWF 模式对于 7 级及以下的阵风预报存在整体高估的现象,对于 7 级以上的阵风预报存在低估的现象。(2)LR 订正后准确率、均方根误差在所有预报时效均有明显的改善。订正后准确率较高、均方根误差较小的站点主要分布在京广线以东大部分地区、焦作、南阳南部;豫西山区订正效果一般,其复杂的地形易导致阵风偏高,而 6 级以上阵风样本数较少,预报订正值稳定性相对较差。(3)阵风预报与起报时次的关系不大。LR 方法针对 6 级以下阵风预报有一定的优势,技巧评分(T_s 评分)较 ECMWF 预报高,预报偏差(B_{ias} 评分)更接近 1。

关键词:阵风订正;阵风评估;一元线性回归;ECMWF 细网格

中图分类号:P459.9

文献标识码:A

风的预报是精细化预报产品的重要要素之一,也是政府和公众重点关注的预报要素。风速的大小主要由气压梯度的大小决定,同时也受纬度、温度、地形等因子影响。风速包括平均状态(平均风)和瞬时状态(阵风)两部分,平均风力达到 6 级或瞬时风力 7 级以上称为大风。大风是河南省的灾害性天气之一,夏季多雷雨大风,春、秋、冬三季以系统性的偏北大风为主,春、夏季还有偏南大风^[1]。大风可以由天气尺度系统造成,也可由强对流风暴造成^[2-3],不仅危害人们的生产生活,对设施农业、风能评估、大气环境等也有重要影响,因此准确地对风速进行预测具有重要意义。

为提高风速预报准确率,已经有很多学者开始风速预报订正的研究^[4-9]。目前风速预报主要

有统计方法和物理方法^[7]。统计方法是利用历史资料来构建统计模型,包括传统统计方法和机器学习方法。物理方法需要对实际物理过程有较为清晰的认知,但由于大气系统的复杂性,数值模式总是存在不同程度的误差,因此有必要在数值模式的预报结果上对预报要素作进一步的订正。孙全德等^[7]对 ECMWF 预报的华北地区 10 m 风速进行订正,指出机器学习算法的订正效果要好于传统的模式输出统计方法,但研究采用模式 0 时刻的 10 m 风速分析场作为标记,并非真实风速,缺乏实用性。Ghorbani 等^[8]基于人工神经网络、基因表达算法、多元线性回归和持续预报法,利用每小时记录的风速时间序列预测风速,发现复杂方法并不一定取得最佳预报效果,多元线性回归

收稿日期:2022-05-12

作者简介:宋倩倩(1995—),女,河南商丘人,硕士,助理工程师,主要从事短期天气预报、数值模式订正研究。

通信作者:张艳玲(1973—),女,河南商丘人,本科,高级工程师,主要从事短期天气预报研究。

基金项目:河南省气象局预报员专项(KY202357);商丘市气象局气象科学技术研究项目(SQ202101)

方法不应被忽视。苏翔等^[9]对江苏近海 10 m 风速进行分等级预报订正,指出 5 级以下的低风速预报偏差(B_{ias} 评分)对订正方法的敏感性高于时、空样本,技巧评分(T_s 评分)对空间样本的敏感性高于订正方法,最后是时间样本;对于 7 级以上的高风速 B_{ias} 评分对时间样本的敏感性高于订正方法,最后是空间样本, T_s 评分对时、空样本的敏感性高于订正方法。

以往的研究多是对平均风订正,针对阵风的订正评估研究相对较少。阵风通常指瞬时极大风速^[10],是风速短时间内变化的极端情况,预报难度较大,数值模式预报是实现阵风预报的重要手段之一。刘善峰等^[11]通过模拟河南省一次春季系统性大风过程,指出耦合阵风估算方法的天气研究和预报模式对于 10 m/s 以上的大风有一定的预报优势。全继萍等^[12]评估了 CMA 北京模式中三种阵风诊断方案在北京地区大风预报中的性能,指出 IUM(institute of urban meteorology)方案阵风预报能力优势明显,但阵风风速预报整体偏强。河南省地形呈现出西高东低、呈阶梯状下降的态势^[13](图 1),各地的阵风差异很大。目前针对河南省的阵风订正评估研究较少,为客观地评价 ECMWF 模式针对河南省阵风的预报水平,提高阵风预报服务能力,本文采用一元线性回归模型对河南省冬半年阵风进行订正评估,总结经验,以期对阵风预报提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

阵风预报产品采用 ECMWF 细网格资料,模式起报时间 08 时(北京时,下同)起报和 20 时起报均考虑,预报时效为 6~96 h,时间分辨率为 6 h,空间分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$,时间范围为 2021 年 10 月至 2022 年 3 月(2021 年冬半年)。阵风观测资料来自河南省 119 个国家级地面气象观测站(图 1),时间分辨率为 1 h。观测资料采用 1 h 极大风站点资料,计算对应 6 h 的实况极大风,与 ECMWF 细网格资料时间分辨率保持一致。使用双线性插值方法将 ECMWF 阵风预报产品插值到国家级地面气象观测站。地形数据采用分辨率为 900 m 的 SRTM(shuttle radar to-

pography mission)数据。京广线依次经过河南省安阳东站、鹤壁东站、新乡东站、郑州东站、许昌东站、漯河西站、驻马店西站、明港东站、信阳东站,如图 1 黑白线所示。

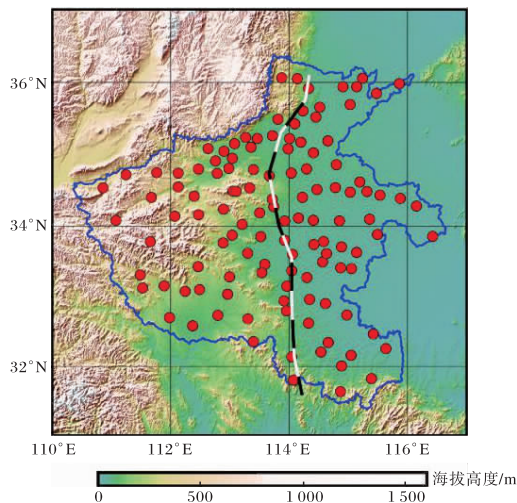


图 1 河南省地形(填色)及国家级地面气象观测站(红色圆圈)分布图(黑白线表示京广线)

1.2 订正方法和检验方法

考虑到可获得的数据只有 6 个月,为了使模型能充分学习到每个月的特征,使得模型更加稳健,因此将数据分为两部分,周一至周五的数据用来训练,周六周日的数据作为测试。以 ECMWF 模式阵风的预报场和与其对应的观测场建立一元线性回归(LR)方程。

$$S_i = a + bF_i, \quad (1)$$

式中, S_i 为第 i 时刻的预报订正值, F_i 为该时刻的 ECMWF 模式预报值, a 为常数项, b 为回归系数。

检验方法使用天气预报业务中常用的准确率(P_c)、平均绝对误差(M_{ac})、均方根误差(R_{mse})^[7]、技巧评分(T_s 评分)、预报偏差(B_{ias} 评分)^[9]。计算如下:

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^k N_{R_{\text{si}}}}{N}, \quad (2)$$

$$M_{\text{ac}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|, \quad (3)$$

$$R_{\text{mse}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}, \quad (4)$$

$$T_s = H / (H + M + F), \quad (5)$$

$$B_{\text{ias}} = (H + F) / (H + M). \quad (6)$$

其中, N_{Rsi} 为第 i 级风力预报正确的站(次)数, 表示预报风速和实况风速在同一等级, N 为预报总站(次)数, k 为风速预报等级; F_i 为第 i 站(次)预报风速, O_i 为第 i 站(次)实况风速; H 为预报命中次数, F 为空报次数, M 为漏报次数。 P_c 和 T_s 评分越高, M_{ae} 和 R_{mse} 越低, 则预报效果越好。 B_{ias} 评分越接近 1 越好, 大于 1 表示预报频率高估, 小于 1 表示预报频率低估^[9]。

2 订正结果检验评估

2.1 阵风观测和 ECMWF 预报的样本占比

统计不同等级阵风(3 级以下阵风: $< 3.4 \text{ m/s}$; 3 级: $3.4 \sim 5.4 \text{ m/s}$; 4 级: $5.5 \sim 7.9 \text{ m/s}$; 5 级: $8.0 \sim 10.7 \text{ m/s}$; 6 级: $10.8 \sim 13.8 \text{ m/s}$; 7 级: $13.9 \sim 17.1 \text{ m/s}$; 8 级及以上阵风: $\geq 17.2 \text{ m/s}$) 观测和 ECMWF 预报的样本占比(图 2)。2021 年冬半年, 河南省多出现 6 级以下的阵风天气, 6 级以下阵风观测占比 0.93。3 级以下的阵风观测比 ECMWF 预报样本占比多, 3~7 级的阵风 ECMWF

预报比观测样本占比多, 7 级以上的阵风观测比 ECMWF 预报样本占比多。可见 ECMWF 模式对于 7 级及以下的阵风预报存在整体高估的现象, 7 级以上的阵风预报存在低估的现象。

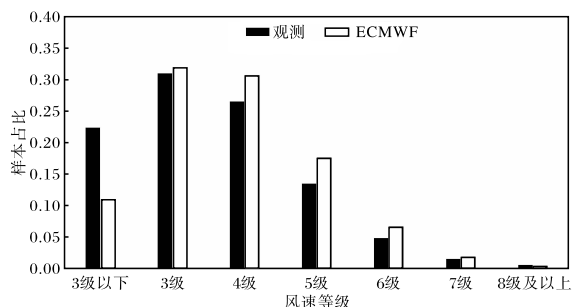


图2 河南2021年冬半年不同等级阵风观测(黑色)和ECMWF预报(白色)的样本占比

2.2 准确率和均方根误差

为客观地评价一元线性回归方法对河南省 ECMWF 阵风预报的订正水平, 计算了 P_c 、 M_{ae} 、 R_{mse} 、 T_s 评分、 B_{ias} 评分等评价指标, 对其进行检验评估。图 3 给出了 ECMWF 预报和 LR 订正后的阵风 P_c 、 R_{mse} 随预报时效的变化。 P_c (图 3a)随预

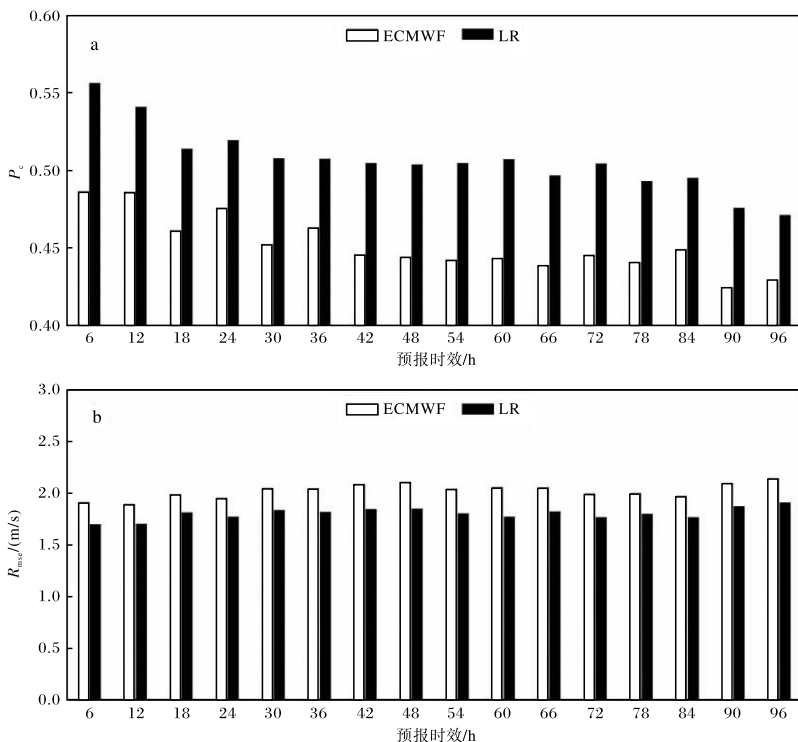
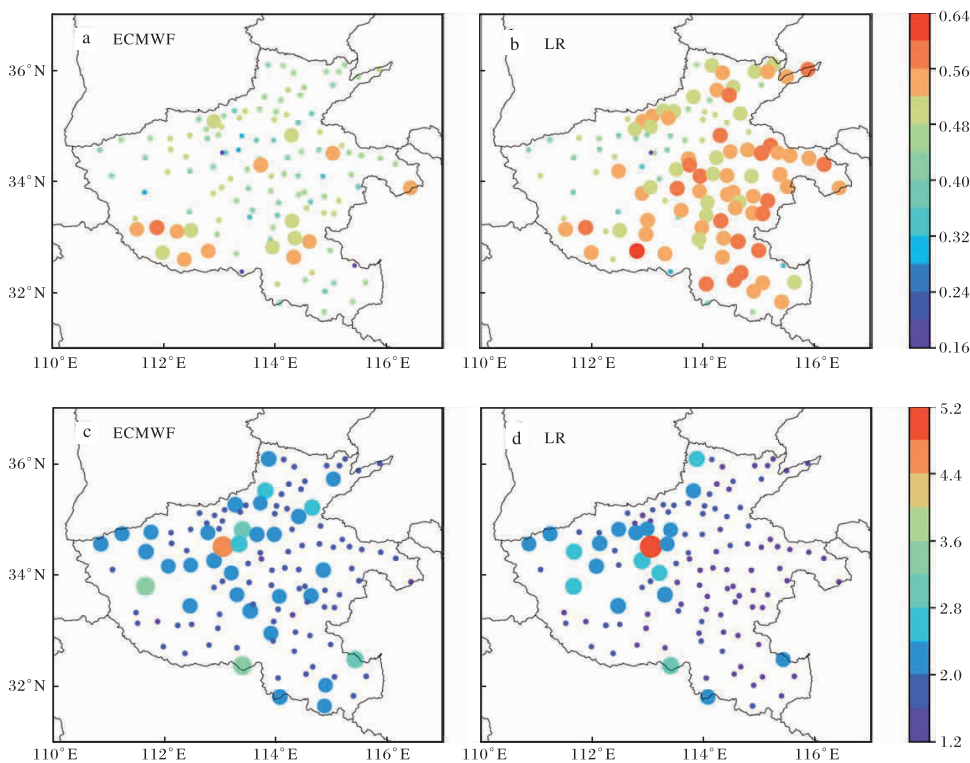


图3 ECMWF 预报(白色)和 LR 订正(黑色)的阵风准确率 P_c (a)、均方根误差 R_{mse} (单位为 m/s ;b)随预报时效的变化

报时效的增加整体呈下降趋势, R_{mse} (图 3b) 和 M_{ae} (图略) 随预报时效的增加整体呈上升趋势, LR 订正后的结果相对 ECMWF 预报在所有预报时效均有明显的改善效果, ECMWF 预报在 16 个时效上的平均准确率为 0.45, 平均均方根误差为 2.02 m/s, LR 订正后的平均准确率提升为 0.51, 平均均方根误差减小为 1.8 m/s。

进一步分析 ECMWF 预报与 LR 订正后的阵风 P_c 、 R_{mse} 的站点分布情况 (图 4)。ECMWF 预报 P_c 大于 0.5 的站点主要分布在南阳南部、驻马店, R_{mse} 小于 2.0 m/s 的站点主要分布在河南中东部, LR 订正以后 P_c 大于 0.5、 R_{mse} 小于 2.0 m/s 站点明显增多, 主要分布在京广线以东大部分地区、焦作、南阳南部。豫西山区订正效果

一般, 这与豫西复杂的地形有关 (图 1)。有研究指出, ECMWF 预报的风速在高原和内陆复杂地形下预报效果不佳^[14], 高原地区风速以低估为主, 盆地以高估为主^[15]。河南省西部有太行山、伏牛山、嵩山等, 东部地势平坦, 呈现出西高东低、呈阶梯状下降的态势^[13], 这样特殊的地形易形成狭管效应^[11], 易导致阵风偏高; 而 6 级以上阵风的样本数明显少于 6 级以下阵风 (图 2), 因而 6 级以上阵风的预报订正值稳定性相对较差^[9]。ECMWF 模式对 7 级以上阵风预报普遍偏小, 订正后偏小更严重或者订正效果不显著。对于均方根误差最大的嵩山站呈负订正效果, 主要是由于该站是高山站, 阵风较大, 而 ECMWF 模式对该站预报偏小, 呈负偏差, 订正后负偏差更显著所致。



为了突出显示 P_c 、 R_{mse} 较大的点, 将 P_c 小于 0.5、 R_{mse} 小于 2.0 m/s 的站点的绘图尺寸统一设置为较小的常数。

图 4 河南 2021 年冬半年阵风预报准确率 P_c (a,b)、均方根误差 R_{mse} (单位为 m/s; c,d) 站点分布图

2.3 T_s 评分和 B_{ias} 评分

接下来选取大风预报业务中常用的 T_s 评分和 B_{ias} 评分进行不同等级阵风的预报检验。由图 5 可知, 08 时起报和 20 时起报的 T_s 评分和 B_{ias} 评分效果类似, 由此可见阵风预报与起报时次的关系不大。对于 6 级以下阵风, 订正后 T_s 评分

优于 ECMWF 预报, B_{ias} 评分更接近 1; 6 级阵风订正后 B_{ias} 评分略优于 ECMWF 预报, 但 T_s 评分略差于 ECMWF 预报; 而对于 6 级以上的阵风, 订正后 T_s 评分、 B_{ias} 评分均明显差于 ECMWF 预报。可见, LR 订正针对 6 级以下阵风具有一定的优势, 对于 6 级以上的阵风无明显订正效果, 原

因是 ECMWF 模式对 7 级以上的阵风存在低估的现象,订正后低估更严重所致。另外也有研究^[9]指出,对于 7 级以上的风速, T_s 评分、 B_{ins} 评

分对时间样本的敏感性高于订正方法,本研究的时间样本相对较少,这也是 6 级以上阵风订正效果不明显的原因。

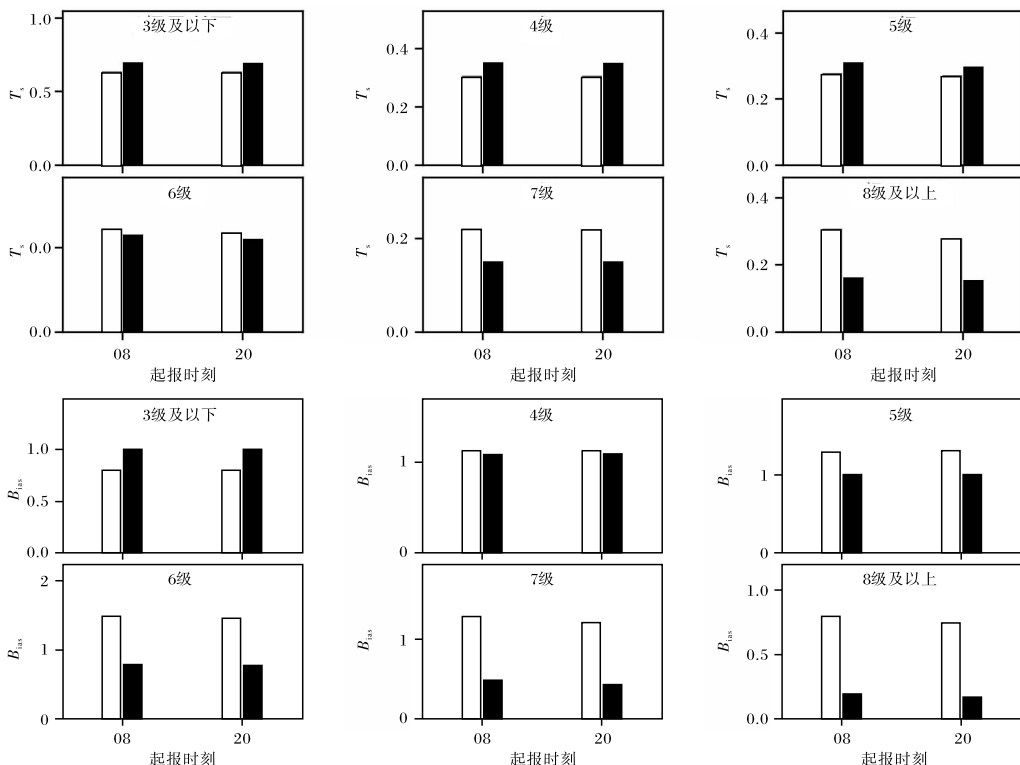


图5 河南 2021 年冬半年 08 时、20 时起报 ECMWF 预报(白色)和 LR 订正(黑色)不同等级阵风的 T_s 评分和 B_{ins} 评分

3 结论与讨论

本文利用 2021 年 10 月至 2022 年 3 月(2021 年冬半年)ECMWF 细网格阵风预报数据、河南省 119 个国家级地面气象站阵风观测资料,基于一元线性回归(LR)方法,对 ECMWF 阵风预报进行订正,并计算了 P_c 、 M_{ae} 、 R_{mse} 、 T_s 评分、 B_{ins} 评分等评价指标,对其进行检验评估。结果表明:

(1)2021 年冬半年,河南省多出现 6 级以下的阵风天气。ECMWF 模式对于 7 级及以下的阵风预报存在整体高估的现象,对于 7 级以上的阵风预报存在低估的现象。

(2)ECMWF 预报和 LR 订正后的阵风 P_c 随着预报时效的增加呈下降趋势, R_{mse} 和 M_{ae} 随着预报时效的增加整体呈上升趋势,LR 方法相对 ECMWF 预报在所有预报时效均有明显的改善。订正后 P_c 较高、 R_{mse} 较小的站点主要分布在京广线

以东大部分地区、焦作、南阳南部;豫西山区订正效果一般,其复杂的地形易导致阵风偏高,而 6 级以上阵风样本数较少,预报订正值稳定性相对较差,订正后偏小更严重或者订正效果不显著。

(3)阵风预报与起报时次的关系不大,08 时起报和 20 时起报的 T_s 评分和 B_{ins} 评分效果类似。LR 方法针对 6 级以下阵风有一定的优势, T_s 评分较 ECMWF 预报高, B_{ins} 评分更接近 1;对于 6 级以上的阵风无明显订正效果,原因是 ECMWF 模式对 7 级以上的阵风存在低估的现象,订正后低估更严重所致。

ECMWF 模式对不同等级的阵风预报性能有所差别,LR 方法对 6 级以下阵风有一定的订正优势,下一步将分不同等级阵风进行偏差订正^[9],并适当扩充时间样本,考虑地形信息,以期对 6 级以上阵风预报有一定的改善。

参考文献:

- [1] 梁钰, 吕林宜, 齐伊玲. 河南省大风与沙尘天气气候特征分析[C]// 第32届中国气象学会年会论文集. 北京:中国气象学会. 2015:1-14.
- [2] 朱业玉. 河南省大风气候特征分析[J]. 河南气象, 2001, (2):23.
- [3] 崔丽曼. 河南省雷暴大风气候特征及近年变化趋势分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3):33-37.
- [4] 曾晓青, 薛峰, 姚莉, 等. 针对模式风场的格点预报订正方案对比[J]. 应用气象学报, 2019, 30(1):49-60.
- [5] 胡海川, 黄彬, 魏晓琳. 我国近海洋面 10 m 风速集合预报客观订正方法[J]. 气象, 2017, 43(7):856-862.
- [6] 毛开银, 赵长名, 何嘉. 基于 XGBoost 的 10 m 风速订正研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(6):604-609.
- [7] 孙全德, 焦瑞莉, 夏江江, 等. 基于机器学习的数值天气预报风速订正研究[J]. 气象, 2019, 45(3):426-436.
- [8] GHORBANI M A, KHATIBI R, FAZELIFARD M H, et al. Short-term wind speed predictions with machine learning techniques[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2016, 128(1):57-72.
- [9] 苏翔, 李超. 基于最优 TS 评分和频率匹配的江苏近海风速订正[J]. 海洋通报, 2020, 39(5):548-557.
- [10] 李永平, 郑云霞, 方平治. 2009 年“莫拉克”台风登陆过程阵风特征分析[J]. 气象学报, 2012, 70(6):1188-1199.
- [11] 刘善峰, 陆正奇, 韩永翔, 等. 阵风估算系统对河南省 2018 年春季大风的模拟[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(1):50-56.
- [12] 全继萍, 李青春, 仲跻芹, 等. “CMA 北京模式”中三种不同阵风诊断方案在北京地区大风预报中的评估[J]. 气象学报, 2022, 80(1):108-123.
- [13] 苏爱芳, 吕晓娜, 崔丽曼, 等. 郑州“7.20”极端暴雨天气的基本观测分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(5):445-454.
- [14] 何晓风, 周荣卫, 孙逸涵. 3 个全球模式对近地层风场预报能力的对比检验[J]. 高原气象, 2014, 33(5):1315-1322.
- [15] 李施颖, 吴薇, 黄晓龙. 四川省 CLDAS 和 ECM-WF 再分析数据风速产品评估[J]. 高原山地气象研究, 2020, 40(4):70-76.