DOI:10.26974/j.cnki.XBGC.2026.03.004

CMA-WSP模式产品在宁夏风能预报中的适用性分析

缑晓辉[1,2,3]，严晓瑜[3*]，武万里[3]，蒋 婷[3]

(1.中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室,宁夏 银川 750000;
2.宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏 银川 750000;3.宁夏气象服务中心,宁夏 银川 750000)

摘 要:为评估CMA-WSP风速预报产品在宁夏的适用性,基于2022年CMA-WSP风速预报资料及同期宁夏25个地面气象站逐时观测资料,采用统计方法分析预报值与观测值的时空差异,并对预报能力进行检验评估。结果表明:空间分布上,除六盘山站外,CMA-WSP对宁夏其余各站平均风速及标准差均存在高估特征,均方根误差以平罗站最小、石嘴山站最大;月尺度上,3—4月平均风速预报偏差最大,11—12月误差最小,预报效果最佳;日变化中,20:00—21:00和01:00前后平均风速预报偏差最大,11:00前后偏差最小;WNW和NW风向预报值与观测值相关性最好;预报与观测风向、风速频率分布整体较为一致,但观测静风频率及2 m/s以下风速出现频率明显高于预报。

关键词:风速;数值模式;预报检验;宁夏

中图分类号:P456.7;TM614 **文献标志码:**A

风能具有储量大、分布广的特点,是一种重要的清洁可再生能源,也是当前主流的新能源发电形式之一。然而,风能具有较强的波动性和随机性,高比例接入电力系统会对电网安全稳定运行构成威胁,并增加调度运行难度[1-2]。风速是影响风电功率最直接的气象要素,因此,准确预报风速对于充分利用风能、保障电网安全可靠供电至关重要[3-5]。宁夏地处我国西北内陆,地势开阔,植被覆盖度低,属全国风速高值区之一,且闲置土地面积大,风能开发潜力巨大[6]。随着风电装机容量的持续扩大,风电并网对电力系统的影响日益显著,因此,开展宁夏风速预报研究、提升风速预报精度十分必要。

精准的数值天气预报可提供一定时效的风速、风向等信息,为风电高效消纳提供保障;此外,还可支持电网针对极端天气事件提前制订预案,有力保障电网安全稳定运行[7]。CMA-WSP是北京城市气象研究院基于睿图(RMAPS)模式,针对新能源预报需求研发,并由中国气象局公共气象服务中心经降尺度、抽点订正等后处理形成的一套风能太阳能数值预报系统。2022年3月,中国气象局公共气象服务中心开始向各省气象局下发CMA-WSP V1.0产品;2022年下半年,针对新能源行业关于风能和太阳能数值预报的新需求进行了改进完善,并于2023年5月开始下发CMA-WSP V2.0产品。王丹等[8]利用陕西省97个国家气象站和1个风电场测风塔的观测资料,评估了CMA-WSP精细化风速预报能力。结果表明,陕西地区CMA-WSP风速预报能力与风速大小密切相关,风速较大时预报效果较优。王明等[9]对CMA-WSP风速预报产品在湖北省枣阳周楼、麻城蔡家寨和大金中部3个风电场的预报效果进行检验,发现小时平均风速及相对误差均呈白天小、夜间大的特征,月平均风速变化与相对误差(MRE)变化趋势相反,且MRE在1—6月和10—12月最低、7—9月最高。陶勇等[10]检验了

收稿日期:2024-05-29

基金项目:宁夏自然科学基金项目(2022AAC03676)

作者简介:缑晓辉(1981—),男,正高级工程师,硕士,主要从事专业气象预报技术研究(gouxh2000@126.com)。

* **通信作者:**严晓瑜(1984—),女,高级工程师,硕士,主要从事风能太阳能资源评估和预报研究(yanxy366@126.com)。

引用格式:缑晓辉,严晓瑜,武万里,等.CMA-WSP模式产品在宁夏风能预报中的适用性分析[J].西北工程技术学报(中英文),2026,25(3):218-226.

CMA-WSP 风速预报产品在贵州风电场中的可靠性。结果表明,其在贵州风电场预报效果较好。但CMA-WSP 风速预报产品在宁夏地区的适宜性研究尚未见报道。为此,本文基于 2022 年宁夏全区 25 个地面气象站逐时风速观测资料及同期 CMA-WSP 风速预报产品,开展该模式风速预报产品的性能检验评估,以期为建立适用的风速释用订正模型、提高风速预报精度及风电功率预测效果提供科学依据。

1　资料与方法

1.1　数据资料

本文所用资料为 2022 年宁夏全区 25 个地面气象站逐时风速数据,来源于宁夏回族自治区气象局。CMA-WSP V2.0 产品(由中国气象局公共气象服务中心下发)提供了风速预报资料,其空间分辨率为 9 km×9 km,时间间隔为 15 min,预报时长为 336 h,其中 0～228 h 以欧洲中期天气预报中心(ECMWF)全球模式预报为背景场,229～336 h 以美国国家环境预报中心(NCEP)全球预报系统(GFS)为背景场,主要参数化方案包括 Thompson 云微物理方案、Noah 陆面方案、YSU 边界层方案以及 RRTMG 短波和长波辐射方案等[11]。

依据《调度侧风电或光伏功率预测系统技术要求》(GB/T 40607—2021),本文仅对宁夏各站日前风速预报结果进行评估。采用最邻近法,从 CMA-WSP V2.0 逐日产品中提取宁夏全区 25 个国家气象站对应格点次日零时至 24 h 逐 15 min 的风速预报数据,并与同期观测值进行对比,以评估 CMA-WSP 模式对宁夏地面风速的预报性能。文中所用时间均为北京时。

1.2　检验评价方法

本文使用的评价指标有相关系数(R)和均方根误差(RMSE)。各统计量计算公式分别为

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(P_i-\overline{P})^2\sum_{i=1}^{N}(O_i-\overline{O})^2}},\qquad(1)$$

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)^2}。\qquad(2)$$

式中:P_i 为第 i 个风速预报值;O_i 为第 i 个风速观测值;$\overline{P}$ 为风速预报平均值;$\overline{O}$ 为风速观测平均值;N 为样本量。

2　结果与分析

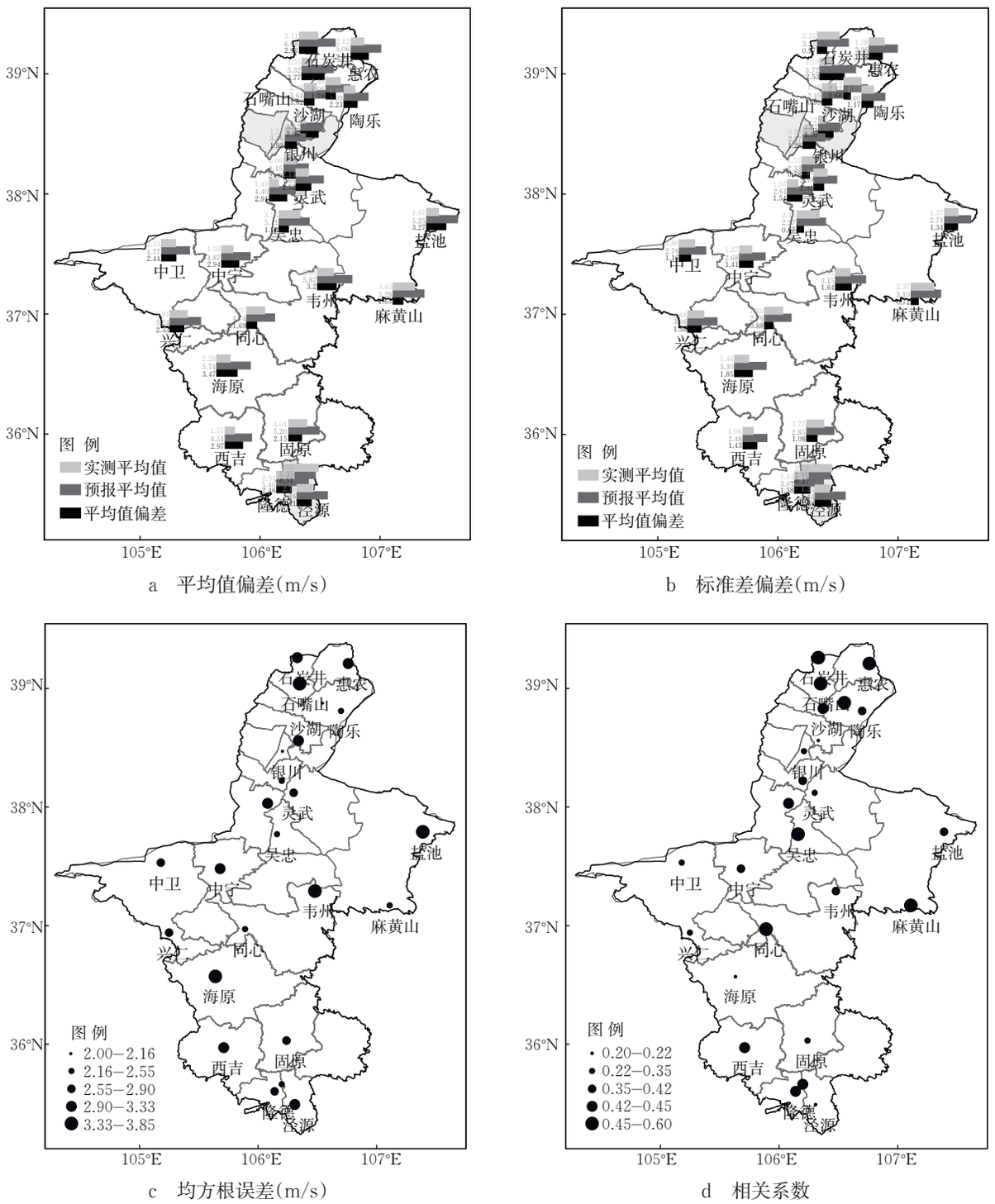
2.1　年平均风速预报检验

本文将 2022 年宁夏全区 25 个气象站全年 CMA-WSP 预报风速与观测风速进行对比,结果表明:全区各站观测年平均风速为 0.8～5.9 m/s,预报年平均风速为 3.5～6.1 m/s。除六盘山站预报风速平均值较观测风速平均值低 0.5 m/s 外,其余各站预报风速平均值均高于观测值。其中,石嘴山站、盐池站、海原站和韦州站偏高较明显,较观测值偏高 3.0 m/s 以上;吴忠站、平罗站、沙湖站、麻黄山站、同心站和银川站差异较小,偏高幅度普遍在 2.0 m/s 以下;其余各站差值介于 2.0～3.0 m/s(图 1a)。全区观测风速标准差为 0.7～3.1 m/s,预报风速标准差为 2.2～3.7 m/s。除六盘山站预报风速标准差较观测值低 0.2 m/s 外,其余各站预报风速标准差均高于观测值。其中,石嘴山站偏高最显著,预报风速标准差较观测值偏高 2.5 m/s;其余各站偏高幅度均在 2.0 m/s 以下,吴忠站最小,偏高幅度为 0.7 m/s(图 1b)。CMA-WSP 预报风速与观测风速的均方根误差(RMSE)显示(图 1c):平罗站、沙湖站、银川站和同心站 4 站均在 3.0 m/s 以下,石嘴山站、海原站、韦州站、石炭井站、盐池站、泾源站 6 站均在 4.0 m/s 以上,其余各站介于 3.0～4.0 m/s;最小为平罗站的 2.7 m/s,最大为石嘴山站的 5.0 m/s。预报风速与观测风速的相关系数显示(图 1d):麻黄山站、石炭井站和石嘴山站 3 站相关性较好,相关系数均大于 0.5;泾源站、贺兰站和海原站 3 站相关性较差,相关系数均小于 0.3;其余各站相关系数介于 0.3～0.5。

整体来看,除六盘山站风速平均值和标准差被略有低估外,CMA-WSP 对宁夏其余各站风速平均值和标准差均存在高估。相比之下,均方根误差以平罗站最小、石嘴山站最大;相关系数则以麻黄山站、石炭井站和石嘴山站 3 站较高。

2.2　月平均风速预报检验

本文将 2022 年宁夏全区各站逐月 CMA-WSP 预报风速与观测风速进行对比,结果表明:全区各站观测月平均风速为 0.4～6.8 m/s,预报月平均风速为 2.8～7.7 m/s。六盘山站除 1、3 和 8 月外,其余各月预报风速平均值均低于观测值;其余各站则均为预报值高于观测值。预报与观测平均值偏差最大的月份出现在 3—4 月,其次是 8—9 月,偏差最小的月份多出现在 11—12 月(图 2a)。由图 2b 可知,全



a 平均值偏差(m/s) b 标准差偏差(m/s)

c 均方根误差(m/s) d 相关系数

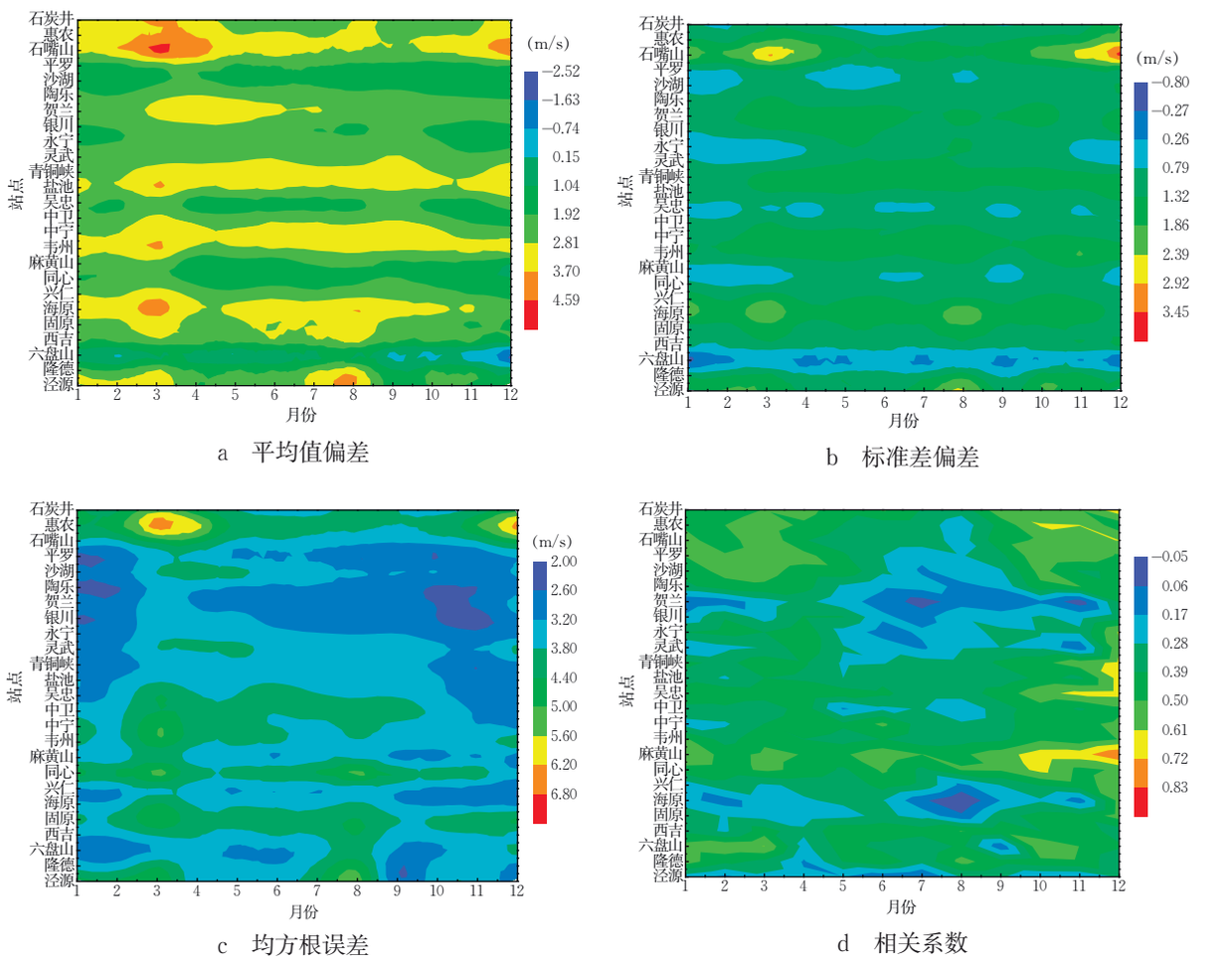
图1 2022年宁夏全区各站日前风速预报误差特征(审图号:宁S(2022)001号)

Fig.1 Error characteristics of day-ahead wind speed forecasts at each station in Ningxia in 2022 (Map approval No.Ning S(2022)001)

区各月观测风速标准差为 0.5～3.9 m/s,预报风速标准差为 1.6～5.4 m/s。六盘山站除 8 月外,其余各月预报风速标准差均低于观测值;其余各站均为预报值高于观测值。25 个气象站中,预报与观测标准差偏差最大的月份为 12 月的有 7 个,主要分布在宁夏北部;偏差最大月份为 3 月的有 5 个。偏差最小的月份为 12 月的有 8 个,主要分布在中部地区。由图 2c 可知,全区各月预报与观测风速的 RMSE 为 2.2～6.9 m/s。从不同月份来看,RMSE 最大的月份以 3 月最多(12 个站),RMSE 最小的月

份以 12 月最多(8 个站),表明 3 月 CMA-WSP 风速预报效果总体最差。从不同区域来看,石炭井站、石嘴山站和惠农站 3 站 RMSE 最大,且呈双峰变化特征,峰值出现在 3—4 月,次峰值出现在 12 月;沙湖站、平罗站、吴忠站、银川站、陶乐站、永宁站、灵武站 7 站 RMSE 总体较小;中宁站、兴仁站、盐池站、海原站、韦州站、西吉站、泾源站 7 站 RMSE 略大,亦呈双峰变化特征,峰值多出现在 3 月,次峰值多出现在 8 月前后。由图 2d 可知,全区预报与观测风速相关系数最大的月份以 12 月最多(11 个站),相关系数最小的月份以 7 月最多(6 个站),8 月次之(5 个)。这表明 12 月 CMA-WSP 预报风速与观测风速相关性最好,7—8 月相关性最差。

总体而言,3—4 月 CMA-WSP 预报与观测的月平均风速偏差较大,RMSE 较大,预报效果最差。宁夏春季大风沙尘天气频发,风力较大,表明模式对春季大风的模拟能力偏弱。11—12 月预报与观测的月平均风速偏差较小,相关性较好,预报效果最佳,尤以 12 月最为突出。7—8 月预报与观测风速的相关性最差,可能是由于夏季天气系统复杂多变,模式对风速快速变化的刻画能力有限。



a　平均值偏差　　b　标准差偏差

c　均方根误差　　d　相关系数

图 2　2022 年宁夏全区各站逐月日前风速预报误差特征

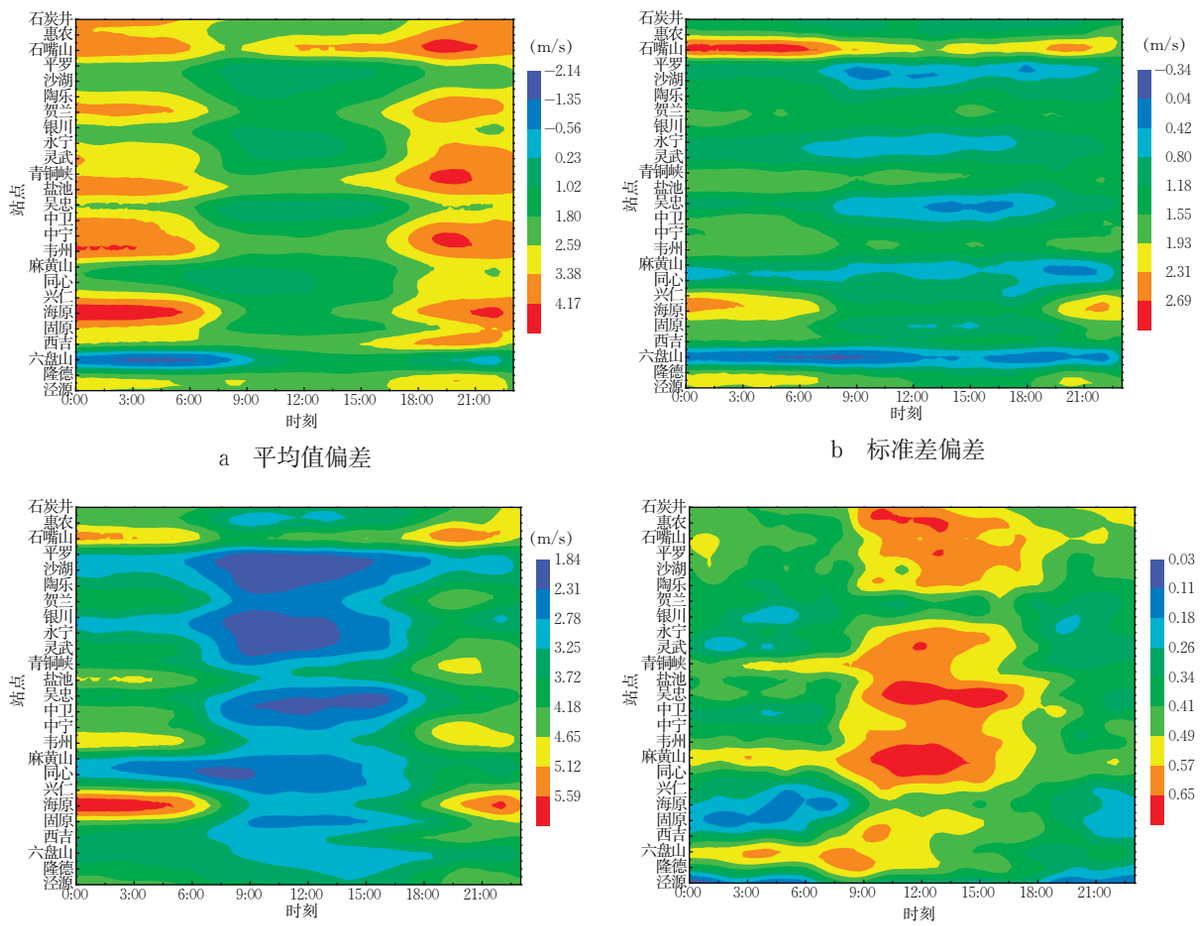
Fig.2　Monthly error characteristics of day-ahead wind speed forecasts at each station in Ningxia in 2022

2.3　逐时预报效果

本文对 2022 年宁夏全区各站不同时次 CMA-WSP 预报风速与观测风速进行比较,结果表明:全区各站各时次观测平均风速为 0.4～7.2 m/s,预报平均风速为 2.6～6.9 m/s。六盘山站除 0:00—10:00 和 20:00—23:00 外,其余各时次均为预报平均风速高于观测平均风速;其余各站则均为预报平均风速高于观测平均风速。从不同时次来看,预报与观测平均值偏差呈“U”形分布特征,峰值分别出现在 20:00—21:00 和 1:00 前后,最小值多出现在 11:00 前后(图 3a)。从标准差来看,全区各站各时次观测风速标准差为 0.5～3.5 m/s,预报风速标准差为 1.8～4.0 m/s。六盘山站除 02:00 和 13:00—23:00 外,其余各时次预报风速标准差均低于观测

风速标准差;其余各站均为预报风速标准差高于观测风速标准差。25 个气象站中,预报与观测标准差偏差最大的时次以 04:00 最多(5 个站),其次为 05:00(3 个)站;偏差最小的时次以 18:00 最多(5 个站),其次为 14:00(4 个站)(图 3b)。全区各站各时次预报与观测风速 RMSE 为 1.8~6.0 m/s。从不同时次来看,各站 RMSE 在傍晚和凌晨普遍较大,最大值主要出现在 21:00 左右,最小值主要出现在 11:00 前后(图 3c)。各站预报与观测风速的相关系数最大的时次以 14:00 最多(7 个站),其次是 11:00(5 个站)(图 3d)。

综上所述,20:00—21:00 和 01:00 前后 CMA-WSP 预报与观测平均值偏差较大,RMSE 较高,预报效果较差;11:00 前后平均值偏差较小,相关性较好,RMSE 较低,预报效果较优。整体来看,CMA-WSP 对宁夏中午前后风速的预报能力较好,对夜间风速的预报效果较差,具体原因有待进一步分析。



a 平均值偏差 b 标准差偏差

c 均方根误差 d 相关系数

图 3 2022 年宁夏全区各站逐时日前风速预报误差特征

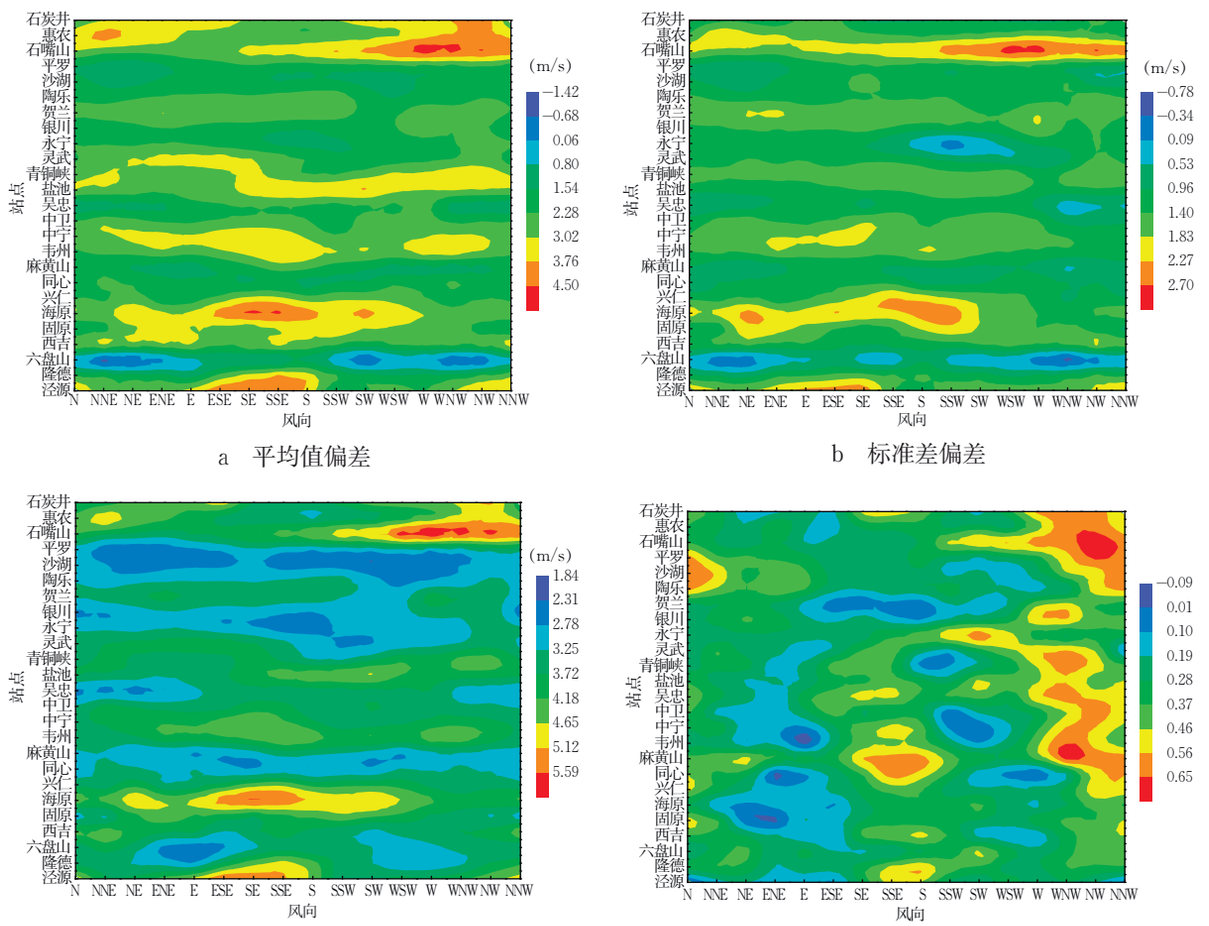
Fig.3 Hourly error characteristics of day-ahead wind speed forecasts at each station in Ningxia in 2022

2.4 不同风向下风速预报检验

本文将 2022 年全区各站不同风向下 CMA-WSP 预报风速与观测风速进行比较,结果表明:全区各站不同风向下观测平均风速为 0.8~7.9 m/s,预报平均风速为 3.1~8.9 m/s。六盘山站除 N、NNE、NE、ENE、SSW、SW、W、WNW 和 NW 方向外,其余风向均为预报平均风速大于观测平均风速;其余各站则各风向均为预报值高于观测值。从不同风向来看,吴忠及以北地区在 W、WNW 和 NW 方向的平均风速偏差较大,吴忠以南地区在 ESE、SE 和 SSE 方向的偏差较大(图 4a)。从标准差来看,全区各站各风向观测风速标准差为 0.4~3.8 m/s,预报风速标准差为 1.9~4.5 m/s。六盘山站除 NNE、NE、W、WNW、NW、NNW 方向外,其余风向均为预报风速标准差高于观测风速标准差;其余各站各风向下均为预报值高于观测值。25 个气象站中,预报与观测标准差偏差最大的风向以 NW 最多(6 个)站,其次是 ESE、SE、SSE(各 3 个站);偏差最小的风向以 WNW 最多(6 个站)(图 4b)。全区各站不同风向下预报与观测风速 RMSE 为 2.3~

6.4 m/s。从不同风向来看,吴忠及以北地区 RMSE 最大值主要出现在 NW、W 方向,吴忠以南地区最大值主要出现在 ESE、SE 和 SSE 方向(图 4c)。各站预报与观测风速相关系数最大值多出现在 WNW、NW 方向,SSE 和 S 方向的相关性亦较好(图 4d)。

总体来看,CMA-WSP 风速预报效果随着风向呈现较明显的地域差异。吴忠及以北地区在 W、WNW 和 NW 方向的平均风速偏差及 RMSE 均较大;吴忠以南地区在 ESE、SE 和 SSE 方向的平均风速偏差及 RMSE 亦较大。这表明 CMA-WSP 对吴忠及以北地区偏西北风的预报效果较差,可能与贺兰山地形影响有关;对吴忠以南地区偏东南风的预报能力亦偏弱。全区各站预报与观测风速相关系数最大值多出现在 WNW、NW 风向,表明该模式对西北路径冷空气过程的风速变化具有一定预报能力。



a　平均值偏差　　b　标准差偏差

c　均方根误差　　d　相关系数

图 4　2022 年宁夏全区各站不同风向下日前风速预报误差特征

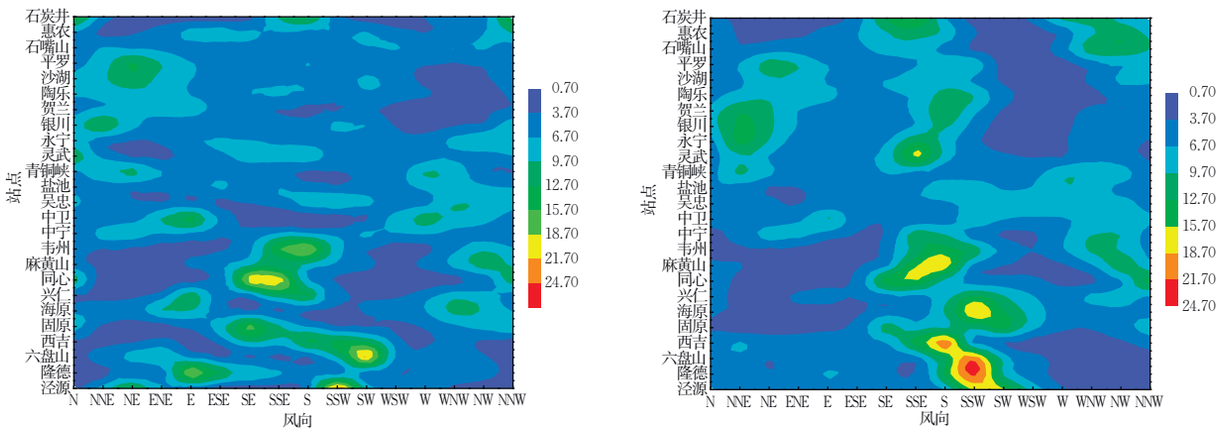
Fig.4　Error characteristics of day-ahead wind speed forecasts for different wind directions at each station in Ningxia in 2022

2.5　风向频率预报检验

图 5 为 2022 年宁夏全区各站 CMA-WSP 预报与观测风向频率分布。由图 5 可知,预报与观测风向频率分布一致性较好。其中,石炭井至灵武地区偏北风向频率较高,兴仁及以南地区偏南风向频率较高,观测与预报结果吻合。此外,观测静风频率明显高于预报静风频率(图略),这可能是导致预报风速平均值及标准差高于观测值的主要原因。

2.6　风速频率预报检验

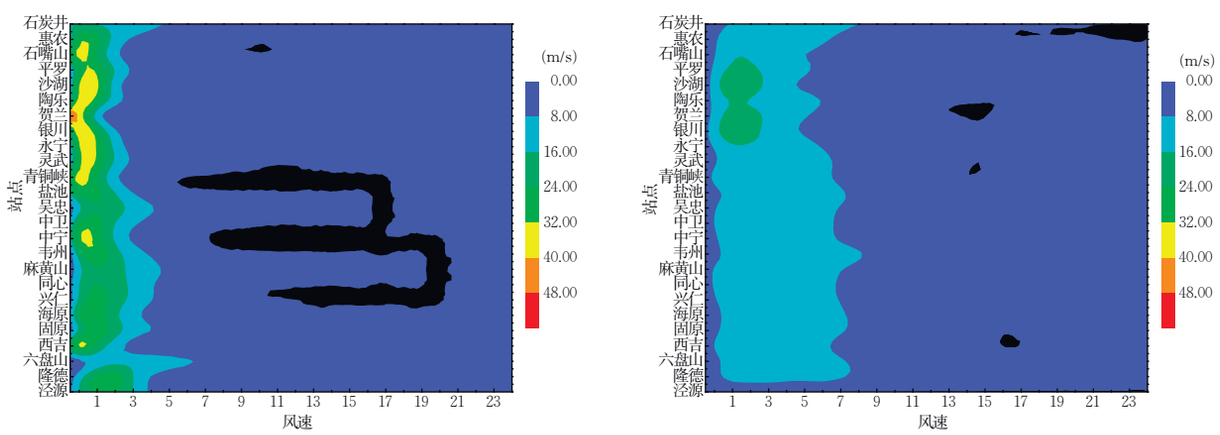
图 6 为 2022 年宁夏全区各站 CMA-WSP 预报与观测风速频率分布对比。由图 6 可知:观测风速 3 m/s 及以下风速出现频率较高,累计频率约 80%,且 3 m/s 以下各风速出现频率分布不均,主要以 2 m/s 以下风速为主;中宁及以北地区 1 m/s 以下风速出现频率明显较其他风速出现频率高。预报 6 m/s 及以下风速出现频率较高,且 6 m/s 及以下风速出现频率分布较均匀。



a 观测风向频率　　b 预报风向频率

图5 2022年宁夏全区各站风向频率预报与观测比较

Fig.5 Comparison of forecast and observed wind direction frequencies at each station in Ningxia in 2022



a 观测风速频率　　b 预报风速频率

图6 2022年宁夏全区各站风速频率预报与观测比较

Fig.6 Comparison of forecast and observed wind speed frequencies at each station in Ningxia in 2022

3 结论与讨论

3.1 结论

基于宁夏25个地面气象站2022年逐时风速观测资料,本文对CMA-WSP模式风速预报能力进行了检验评估,主要结论如下。

(1)除六盘山站外,CMA-WSP对宁夏其余各站风速平均值和标准差均呈高估特征,其中平罗站预报误差最小,石嘴山站预报误差最大。

(2)3—4月CMA-WSP预报与观测月平均风速偏差较大,RMSE较高,预报效果最差;11—12月预报与观测月平均值偏差较小,相关性较好,预报效果最佳,尤其以12月最为突出。

(3)20:00—21:00和01:00前后,CMA-WSP预报与观测平均值偏差较大,RMSE较高,预报效果较差;11:00前后平均值偏差较小,相关系数较高,预报性能较优。

(4)CMA-WSP对吴忠及以北地区偏西北风向下风速的预报能力较弱,预报与观测平均风速偏差、RMSE较大;对吴忠以南地区偏东南风向下风速的预报能力亦较差。从全区来看,预报与观测风速的最大相关系数多集中于WNW和NW风向。

(5)预报与观测风向、风速频率分布整体较一致,但观测静小风频率明显高于预报静小风频率,这可能是导致预报风速平均值及标准差高于观测值的主要原因。

3.2 讨论

动力预报受初始条件偏差、模式参数化方案不完善、分辨率不足等内在不确定性,以及地形描述不精确等外部因素影响,存在一定系统性误差[12-15]。

检验表明,CMA-WSP 模式对宁夏风速预报的RMSE 普遍为 2.7～4.5 m/s,相关系数普遍为 0.3～0.5,与其他数值模式预报结果基本相当。陈冬梅等[16]发现,CMA-MESO 模式几乎所有站点冬、夏季风速预报均偏高,12 月和 6 月 RMSE 分别为 4.02 和 3.95 m/s,预报偏差分别为 3.19 和 3.35 m/s。CMA-BJ 模式在复杂地形区对近地面风速模拟存在较大系统性偏差,表现为平原和山谷风速高估、山腰和山顶风速低估[17]。陈巧特等[18]对比了 WRF 模式风速预报与观测值,发现相对误差在 −1.5～4.5 m/s 波动,7—9 月 RMSE 分别为 4.4、3.6 和 4.0 m/s。

综上,CMA-WSP 模式对宁夏风速平均值存在系统性高估,且误差随着月份、时次和风向呈现明显差异。后续将融合多源实况资料,利用机器学习构建分月份、分时段、分风向的风速订正模型,对模式输出进行修正,以提升预报准确度。同时,CMA-WSP 在六盘山站、麻黄山站、沙湖站等高山及水体站点的 RMSE 较小,预报效果较好,表明该模式充分考虑了地形、下垫面信息。未来可通过引入更高精度的地形地貌数据,选用合适的地形滤波函数及地形湍流拖拽力参数方案等,进一步提升预报精度。针对 2 m/s 以下静小风预报误差偏大的问题,将采用概率密度匹配法进行订正,以改善其概率密度分布与观测值的一致性。

参考文献:

[1] 舒印彪. 发展新型电力系统 助力实现“双碳”目标[J]. 中国电力企业管理, 2021(7): 8-9.

[2] 水电水利规划设计总院. 中国可再生能源发展报告2019[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020: 1-14.

[3] 孙书凯, 董存, 王铮, 等. 考虑不同风能特征的风电中长期电量预测方法[J]. 高电压技术, 2021, 47(4): 1224-1233.

[4] 符杨, 郑紫宸, 时帅, 等. 考虑气象相似性与数值天气预报修正的海上风功率预测[J]. 电网技术, 2019, 43(4): 1253-1260.

[5] 彭小圣, 熊磊, 文劲宇, 等. 风电集群短期及超短期功率预测精度改进方法综述[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(23): 6315-6326.

[6] 杨兴国. 宁夏气候与生态环境[M]. 北京: 气象出版社, 2021.

[7] 靳双龙, 冯双磊, 王勃, 等. 西北电网风场数值预报的大气边界层参数化方案适用性[J]. 高电压技术, 2022, 48(2): 447-455.

[8] 王丹, 杨艳超, 高红燕, 等. CMA-WSP精细化风速预报在陕西地区的质量检验[J]. 陕西气象, 2024(5): 24-31.

[9] 王明, 孟丹, 许沛华, 等. 中国气象局风能太阳能预报系统(CMA-WSP)在风资源短期预报中的检验评估[J]. 南方能源建设, 2024(1): 73-84.

[10] 陶勇, 王加敏, 陈果, 等. CMA-WSP风速预报订正产品在贵州风电场的检验评估[J]. 山地气象学报, 2024, 48(5): 41-47.

[11] Xie Y H, Shi J C, Fan S Y, et al. Impact of radiance data assimilation on the prediction of heavy rainfall in RMAPS: A case study[J]. Remote Sensing, 2018, 10(9): 1380.

[12] 杨璐, 宋林烨, 荆浩, 等. 复杂地形下高精度风场融合预报订正技术在冬奥会赛区风速预报中的应用研究[J]. 气象, 2022, 48(2): 162-176.

[13] 琚陈相, 李曼, 艾力亚尔·艾海提, 等. 不同初始场条件对新疆区域数值模式预报性能的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(5): 38-46.

[14] 杜娟, 李曼, 于晓晶, 等. 基于不同分辨率和参数化方案的新疆区域数值模式性能初步评估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 57-65.

[15] 郑丽君, 马中元, 黄京平, 等. 江西东部走廊地形对边界层风场及天气的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(3): 30-37.

[16] 陈冬梅, 马玉龙, 李源, 等. 高分辨率地形资料应用对CMA-MESO模式地面气象要素的影响[J]. 气象学报, 2023, 81(6): 897-910.

[17] 刘郁珏, 苗世光, 刘磊, 等. 修正WRF次网格地形方案及其对风速模拟的影响[J]. 应用气象学报, 2019, 30(1): 70-81.

[18] 陈巧特, 符冉迪, 何彩芬. 基于WRF数值模式的SDAE-SVR风速预测模型研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2020, 33(2): 47-53.

Applicability of CMA-WSP Model Products to Wind Energy Forecasting in Ningxia

GOU Xiaohui[1,2,3], *YAN Xiaoyu*[3*], *WU Wanli*[3], *JIANG Ting*[3]
(1.CMA Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring, Early Warning, and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750000, China; 2. Ningxia Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Yinchuan 750000, China; 3.Ningxia Meteorological Service Center, Yinchuan 750000, China)

Abstract: To evaluate the applicability of the CMA-WSP wind speed forecast product in Ningxia, CMA-WSP wind speed forecasts for 2022 and concurrent hourly observations from 25 surface meteorological stations in Ningxia were used. Statistical methods were applied to analyze the spatial and temporal differences between the forecasts and observations and to evaluate forecast performance. The results showed that, in terms of spatial distribution, CMA-WSP overestimated both the mean wind speed and its standard deviation at all stations except Liupanshan Station. The root mean square error was the lowest at Pingluo station and the highest at Shizuishan Station. At the monthly scale, the largest biases in mean wind speed occurred in March and April, whereas the smallest errors and best forecast performance occurred in November and December. In terms of diurnal variation, the largest biases in mean wind speed occurred at approximately 20:00-21:00 and 1:00, whereas the smallest bias occurred at around 11:00. The correlations between the forecast and observed wind speeds were strongest for WNW and NW winds. Overall, the forecast and observed frequency distributions of wind direction and wind speed were relatively consistent. However, the observed frequencies of calm winds and wind speeds below 2m/s were notably higher than the corresponding forecast frequencies.

Keywords: wind speed; numerical model; forecast verification; Ningxia

(责任编辑 王德平)

(上接第217页)

A Battery Charging Method for Photovoltaic Systems Based on PSO-Optimized PID Control

BAI Yueguang[1], *LI Panfeng*[2], *WANG Wei*[1], *LIU Qing*[3], *WANG Zhen*[1], *WU Lei*[1*]
(1.School of Information Engineering, Ordos Institute of Technology, Ordos 017000, China;
2. Xilin Gol Power Supply Branch, Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd., Xilinhot 026000, China;
3. Department of Mechanical and Electrical Engineering,
Ordos Vocational College of Eco-Environment, Ordos 017000, China)

Abstract: As a commonly used energy storage device, batteries suffer from low charging efficiency and substantial energy losses. In this study, the parameters of a proportional-integral-derivative (PID) controller were optimized using particle swarm optimization (PSO), and a Simulink model was developed to simulate battery charging under photovoltaic power generation conditions. Simulations were conducted to compare the conventional charging method, PID control method, and PSO-optimized PID control method. The results showed that, compared with the conventional charging and PID control methods, the PSO-optimized PID control method significantly shortened the charging time and the time required to reach the constant-current charging stage, thereby substantially improving charging efficiency. This method effectively improves battery charging efficiency, reduces energy losses, and has promising application prospects.

Keywords: particle swarm optimization (PSO); proportional-integral-derivative (PID) controller; battery charging method; Simulink simulation

(责任编辑 王德平)