

吴文倩. 不同气象预测数据源对山地风电场风速预测准确率的影响分析[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(1): 31-35.

Wu Wenqian. Analysis on the influence of different meteorological forecast data sources on the accuracy of wind speed prediction in mountain wind farms[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(1): 31-35.

# 不同气象预测数据源对山地风电场风速预测准确率的影响分析

吴文倩

(国家电投南宁生产运营中心, 南宁 530000)

**摘要:** 在影响风电功率预测准确率的因素中, 气象预测数据源的选取和组合影响较大。基于广西 A、B 两个山地风电场 2020 年 2 月 1 日至 3 月 15 日 15min 实测风速、4 种单一气象数据源及 3 种混合订正气象数据源的预测风速, 分析不同气象预测数据源对风电场风速预测准确率的影响。结果表明, 多种数据源混合订正预测结果总体优于单一气象数据源预测结果, 在预测模型优化过程中可重点研究混合订正气象数据源的应用。同一气象数据源在不同场站预测效果不一致, 并无绝对优势。高分辨率气象数据源预测效果不一定优于低分辨率气象数据源。

**关键词:** 山地风电场; 风速预测; 准确率; 气象预测数据源; 对比分析

**中图分类号:** P45

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.06

## 引言

近年来, 由于石油、煤炭等化石能源的紧缺, 以及火电等传统能源对全球气候变暖带来不利影响, 风电、光伏等新能源迎来“抢装潮”。目前, 国内三北地区适宜的风能资源开发已接近尾声, 越来越多风电开发商向 IV 类风资源区迈进, 南方地区山地风电场也随之拔地而起。由于风电是一种间歇性、波动性的电源, 大规模风电的接入对电网的稳定带来新挑战<sup>[1-2]</sup>, 风功率输出不稳定而导致风力发电对电网稳定运行的不利影响也逐渐体现出来<sup>[3-4]</sup>。供电系统需要进行有效的计划和调度, 就需要风电场开展有效的风电功率预测工作<sup>[5]</sup>。通过提前预测风电功率的波动, 合理安排运行方式和应对措施, 以提高电网的安全性、可靠性和接纳风电的能力。此外, 准确的风电功率预测也是指导风电场开展计划检修、市场交易等工作的重要依据。

风电场需定时向电力调度机构报送短期功率预测和超短期功率预测结果。其中超短期预测时效为

未来 15min~4h, 由于预测时效短, 可采用简单的外推法进行预测, 一般不采用数值天气预报数据<sup>[3]</sup>。而短期预测时效为未来 1~3d, 一般以中尺度数值天气预报为基础得出原始风电场风速预测数据和风功率预测数据, 再利用风机历史运行数据等进行统计学校正, 才能得到较为准确的风电功率预测结果。但由于风速是一种很难精确预测的天气要素, 风电功率预测属于时空高分辨率的精确预报, 加之风速的湍流特性和随机性, 预测技术上存在较大的难度<sup>[4]</sup>。特别是山地风电场由于地形多变的限制, 大多数风电场风机分散建立在十几至几十平方公里范围内, 并建立在不同海拔高度上, 风速变化机理更为复杂, 导致山地风电场风速及风电功率预测难度较平原风电场更大。风电场常因短期风电功率预测准确率达不到电网要求, 给风电场带来运行压力 and 经济损失, 因此提高风电功率预测准确率一直是风电行业的重点研究方向。

风电功率预测及风速预测方法已有许多学者开展了相应研究, 马文通等<sup>[8]</sup>基于中尺度数值预报模

收稿日期: 2021-10-21

作者简介: 吴文倩(1992—), 女, 工程师, 从事风电功率预测、风资源利用研究。E-mail: 1486358270@qq.com

式和微尺度计算流体力学模式,建立了风电场短期风电功率动力降尺度预测系统。余江<sup>[9]</sup>认为基于时间序列的 NEW AR 模型可进行 6h 的订正预报。杨光焰<sup>[10]</sup>建立 BP 神经网络对 MM5 数值预报产品的模拟风速误差进行动态订正,认为风速平均绝对误差可降低 10%~20%。王彬滨等<sup>[11]</sup>提出一种谐波分析与人工神经网络(ANN)相结合的 24h 短期风速数值预报的订正方法,使得风速数值预报的系统偏差有明显下降。汪小明等<sup>[12]</sup>、李慧玲<sup>[13]</sup>分别研究了基于小波分解和 ELMAN 神经网络以及基于 WRF 模式和聚类分析的短期风电功率预测研究与应用,认为可改进风电功率预测准确率。在实际应用中,国内主流风电功率预测供应商主要采用“物理模型+统计模型”的组合方式进行风电功率预测模型建立,利用风电场地形数据、粗糙度数据、风速-功率曲线等相对不变的参数建立一个风电功率物理模型,通过输入各类定制的风电场中尺度气象预测数据,初步获得时空分辨率满足要求的功率预测文件,最后利用历史预测数据、风机运行数据等进行人工神经网络等统计学校正,从而得到符合风电场实际的风电功率预测结果,一般情况下预测准确率均能达到 80%以上。在这个过程中,由于风电场范围较小,需要将中尺度数值天气预报结果进行降尺度计算,将网格细分至几公里到十几公里范围内,在风电场中心或整场范围内均匀选取若干网格点,或通过计算流体力学(CFD)将网格数据推算至每台风机轮毂高度处,或直接进行整场平均风速预测,才能完成数值天气预报在风电功率预测中的释用。要做到较为精准的风速和风电功率预测,不仅需要长期的运行数据进行模型训练,还需要对预测数据源的选取、订正、配比使用进行重点研究应用。

目前,风电功率预测供应商在实际应用中已发现使用不同的气象数据源对风电功率预测准确率有不同影响,因而基于同一预测模型开展不同数值天气预报输入的风电功率预测已在风电行业形成共识,但其影响效果和机理分析则少有分析和研究。为研究进一步提高风电功率预测准确率的方法,本文利用风电场实际数据进行统计对比,分析同一预测模型下不同数值天气预报输入对风电功率预测准确率的影响及原因,对风电行业提高风电功率预测准确率,满足电网对于风电调度的需求,进一步适应国家能源结构改革需要具有一定的实际意义。

## 1 数据和方法

数据来源于广西地区 A、B 两个山地风电场 2020 年 2 月 1 日至 3 月 15 日期间全场风机平均轮毂高度实测风速,以及 4 种单一气象预测数据源及 3 种混合订正气象数据源全场风机轮毂高度平均预测风速,时间分辨率均为 15min。单一气象预测数据源包括 GFS(Global Forecast System,美国国家环境预报中心全球预报系统)、EC(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,欧洲中期天气预报中心全球模式)、CMA(China Meteorological Administration,中国气象局全球模式,空间分辨率 9km×9km)、CMA-2P5(空间分辨率 2.5km×2.5km),混合订正气象数据源为根据风电场历史预测情况和实际情况,将 GFS、EC、CMA 等多种单一气象数据源进行混合订正的预测结果。其中 A 风电场混合订正 1、2、3 以 EC 和 GFS 为主。B 风电场为混合订正 1 以 CMA 为主,混合订正 2 以 EC 为主。

采用平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)衡量预测风速与实测风速之间的偏离程度,其公式为:

$$MAE = |x_{pi} - x_{mi}| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{pi} - x_{mi})^2}{n}} \quad (2)$$

其中, $x_{pi}$ 为预测风速, $x_{mi}$ 为实测风速, $n$ 为样本数量。

A 风电场地处广西东北部,风机较为均匀的分布在东北-西南方向两条并列的山脊线上,盛行风向上游无高山阻挡,风机海拔高度在 850~1070m 之间,风资源较好;A 风电场总装机容量 100MW,共安装 35 台不同型号风电机组,风机轮毂高度有 80m、90m 两种。B 风电场位于广西西南部,分布在东北-西南方向山脊线上,且划分为 3 片较为密集的风机群,与北部湾直线距离约 100km,易受台风、热带气旋等影响,风机分散分布在丘陵地貌的山脊线上,风机海拔高度在 310~690m 之间,较 A 风电场偏低;B 风电场总装机容量 200MW,包含 93 台不同型号风电机组,风机轮毂高度有 80m、85m、90m 三种。所选两个风电场大气环流背景有所区别,便于比较分析。

2 实测风速及预测风速对比

A、B 风电场 2020 年 2 月 1 日至 3 月 15 日 15min 日平均预测风速及风机实测风速见图 1。其中预测风速为该时段内风电场功率预测系统自动择优选取的风速预测结果,其中 A 风电场为混合订正 3,

B 风电场为混合订正 1。由图 1 可看出,山地风电场风速波动较为剧烈,风速日变化区间集中在 $1\sim5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区间,个别天数可超过 $9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;A 风电场日平均风速 MAE 为 $1.01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,B 风电场为 $0.67\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;除个别天数外,A、B 风电场预测风速与实测风速曲线吻合度较好,相关系数分别达到 0.91、0.92。

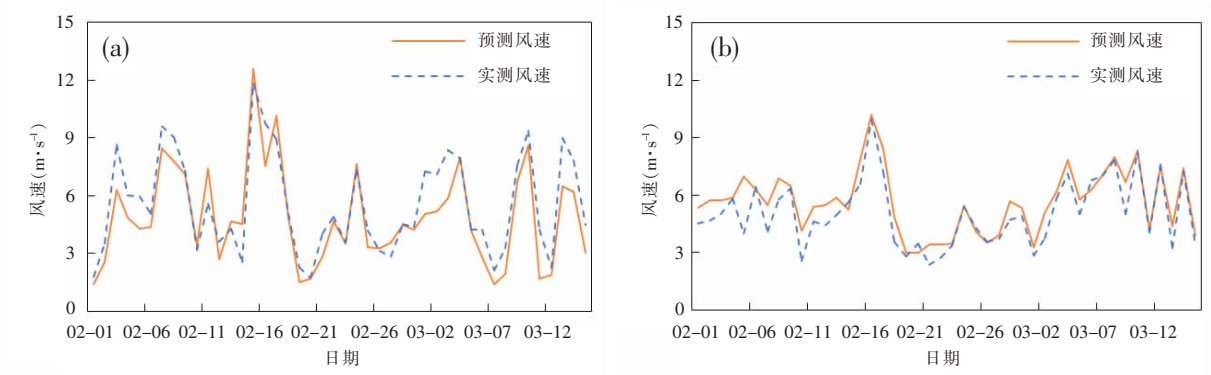


图 1 A 风电场(a)、B 风电场(b)日平均实测风速及预测风速

3 不同气象数据源风速预测偏差对比

A 风电场、B 风电场 2020 年 2 月 1 日至 3 月 15 日不同气象数据源预测风速 RMSE 差对比分析见表 1。在统计时间段内:

(1)多种数据源混合订正预测结果总体优于单一气象数据源预测结果。其中 A 风电场三种混合订正预测 RMSE 平均在 1.6~1.8 之间,四种单一气象数据预测 RMSE 平均在 2.3~2.8 之间,混合订正预测 RMSE 平均偏低 50.8%;B 风电场两种混合订正

预测 RMSE 在 1.2~1.3 之间,四种单一气象数据预测 RMSE 在 1.2~2.6 之间,混合订正预测 RMSE 平均偏低 32.4%。

(2)同一气象数据源在不同场站预测效果不一致,并无绝对优势。其中 A 风电场 EC 最优,CMA 次之,CMA-2P5 最差;而 B 风电场则为 CMA-2P5 最优,CMA 次之,GFS 最差。

(3)高分辨率气象数据源预测效果不一定优于低分辨率气象数据源。A 风电场、B 风电场 CMA 与 CMA-2P5 预测效果相比没有绝对优势。

表 1 A、B 风电场 2020 年 2 月 1 日至 3 月 15 日不同气象数据源风速预测 RMSE 平均值对比

风电场	RMSE						
	GFS	EC	CMA	CMA-2P5	混合订正 1	混合订正 2	混合订正 3
A	2.763	2.354	2.570	2.845	1.794	1.755	1.690
B	2.632	1.597	1.357	1.212	1.224	1.344	/

此外,对比不同气象数据源风速预测 RMSE 日变化曲线图(图 2、图 3),可看出同一气象数据源在每日不同环流背景下的预测效果也不尽相同,不能一以概之。而混合订正气象数据源预测波动性则普遍小于单一气象数据源。总体来看,在统计时段内,A 风电场使用混合订正 1/2/3 气象数据源预测效果较好,B 风电场使用 CMA、CMA-2P5、混合订正 1/2 气象数据源预测效果较好。

4 影响原因分析

理论研究和实际应用表明,组合预测模型比单个预测模型具有更高的预测精度,能增强预测的稳定性,具有较高的适应未来预测环境变化的能力<sup>[14]</sup>。主要由于集合预报同时考虑了初值以及数值模式中物理过程的不确定性,能够有效地减弱各种不确定性对预报结果的影响<sup>[15]</sup>。由于风电场风速预测和功



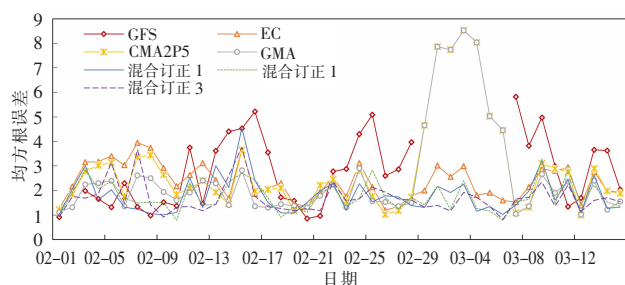


图2 A 风电场不同气象数据源预测风速 RMSE 日变化

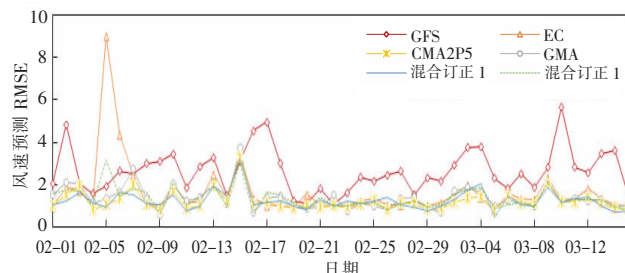


图3 B 风电场不同气象数据源风速预测 RMSE 日变化

率预测是对时间、空间分辨率要求很高的要素,相对于单一数据源,采用组合预测数据源的方式能够在预测模型中发挥各种单一数据源优势,使预测模型最大限度地利用各种单一预测数据源的信息,一般能够避免单一数据源可能带来的随机误差,从而增加预测模型的准确性。当然,受计算条件和业务时间限制,选择相对较少的预测数据源组合开展风电功率预测是推荐的方法。

另外,对于高分辨率气象数据源预测效果不一定优于低分辨率气象数据源这一统计结果,可以从中尺度数值天气预报物理降尺度过程进行分析。中国气象局  $9\text{km}\times 9\text{km}$ 、 $2.5\text{km}\times 2.5\text{km}$  数据虽然网格分辨率有高低,但由于其源头数据来自同一机构,而降尺度过程中使用的数学物理方程采用了很多近似和假设,可能出现高精度网格预测结果因为某个近似过程放大随机误差,或产生系统偏差,从而导致在某一预测时段可能出现原始数据预测精度被降低的情形。

## 5 结论与讨论

通过对比分析不同气象预测数据源对风电场风速的预测准确率,得出主要结论如下:

(1) 多种数据源混合订正预测结果总体优于单一气象数据源预测结果,在预测模型优化过程中可重点研究混合订正气象数据源的应用。

(2) 同一气象数据源在不同场站预测效果不一致,并无绝对优势。

(3) 高分辨率气象数据源预测效果不一定优于低分辨率气象数据源。

综上,某种气象数据源在风速预测中并不具有绝对优势,需结合风电场地形地貌、大气环流背景等特征,并根据预测结果不断调整优化,才能寻找出最适合现场的气象数据源,确保风电功率预测结果稳定、可靠。同时,由于本文分析选取的数据时间段较短,代表性有限,今后将进一步深入分析不同气象预测数据源对风电场风速预测准确率的影响。

## 参考文献:

- [1] 雷亚洲.与风电并网相关的研究课题[J].电力系统自动化,2003,27(8):84-89.
- [2] 薛禹胜,郁琛,赵俊华,等.关于短期及超短期风电功率预测的评述[J].电力系统自动化,2015,39(6):141-150.
- [3] Chai C I, Lee W J, Fuangfoo P, et al. System Impact Study for the Interconnection of Wind Generation and Utility System[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005, 41(1): 163-168.
- [4] 迟永宁,刘燕华,王伟胜,等.风电接入对电力系统的影响[J].电网技术,2007,31(3):77-78.
- [5] Rahman S, Pipattanasomporn M. Operating Impacts and Mitigation Strategies with Largescale Wind Power Penetration in the United States[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(22): 4-5.
- [6] 蔡祺祺. 基于数值天气预报 NWP 修正的 BP 神经网络风电功率短期预测研究[D].杭州:浙江大学,2012.
- [7] 白龙,吴息,丁宇宇,等.用于风电场功率预测的逐时风速预报[J].气象科技,2013,41(4):777-783.
- [8] 马文通,朱蓉,李泽椿,等.基于 CFD 动力降尺度的复杂地形风电场风电功率短期预测方法研究[J].气象学报,2016,74(1):89-102.
- [9] 余江. 适用于风能预报模式输出统计预报方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2014.
- [10] 杨光焰. 应用于风功率预测中的风速预报方法的探讨[D].南京:南京信息工程大学,2013.
- [11] 王彬滨,吴息,余江,等.谐波分析方法在沿海风速数值预报订正的应用[J].热带气象学报,2016,32(5):752-758.
- [12] 汪小明,尹笋,杨楠,等.基于小波分解和 ELMAN 神经网络的风速-风功率预测研究[J].陕西电力,2014,(9): 11-14.
- [13] 李慧玲. 基于 WRF 模式和聚类分析的短期风电功率预测研究与应用[D].南京:南京信息工程大学,2019.
- [14] 戴华娟.组合预测模型及其应用研究[D].长沙:中南大学,2007.
- [15] 杜钧.集合预报的现状和前景[J].应用气象学报,2002,13(1):16-28.

# Analysis on the influence of different meteorological forecast data sources on the accuracy of wind speed prediction in mountain wind farms

Wu Wenqian

(Nanning Production and Operation Center of National Power Investment, Nanning 530000, China)

**Abstract:** The selection and ensemble of meteorological data sources have a great influence on the factors that affect the accuracy of wind speed prediction. In this paper, 4 single meteorological data sources and 3 mixed-revised meteorological data sources of mountainous wind farm A and B in Guangxi were used to analyze the RMSE of wind speed prediction during February 1 to March 15, 2020. The results show that the influence of different meteorological data sources on wind speed prediction accuracy of wind farms is mainly as follows: (1) The forecast accuracy of mixed-revised meteorological data sources is generally better than that of single meteorological data source, and the application of mixed-revised meteorological data sources can be mainly studied in the optimization process of prediction model. (2) The prediction effect of the same meteorological data source at different stations is inconsistent, and there is no absolute advantage. (3) The prediction effect of high-resolution meteorological data sources is not necessarily better than that of low-resolution meteorological data sources.

**Key words:** mountain wind farm; wind speed forecasting; accuracy; meteorological forecast data source; comparison and analysis.