

文章编号: 2096-1618(2023)01-0075-08

基于高分辨率再分析资料的西南地区风资源特征分析

周正斌¹, 张艺丹¹, 罗坤¹, 向静¹, 邓浩², 华维²

(1. 彭州市气象局, 四川 成都 611930; 2. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:为评估高分辨率再分析近地层风速资料在西南地区的适用性,得到西南地区风资源基本时空分布特征,采用2015–2019年欧洲中期数值天气预报中心ERA5再分析资料和西南地区42个气象台站逐日10 m风速观测资料,利用幂律推导、误差分析和双参数Weibull概率分布等方法对ERA5再分析资料在西南地区的适用性以及西南地区风能资源时空分布特征进行分析。结果表明:尽管ERA5再分析资料整体上对西南地区近地面风速有所低估,但区域平均偏差仅为0.27 m/s,多数地区再分析资料与气象台站实测10 m风速之间存在较好的相关性,风速概率拟合也具有较好的一致性,表明ERA5再分析资料可用于西南地区风资源分析。西南地区风速概率分布也存在明显的地域差异,其中四川盆地与周边山地交界地区弱风累积概率明显高于四川盆地、贵州大部、川西高原西北部和云南中东部。同时,西南地区大部分区域风资源较为匮乏,但云南中部和川西北高原属风资源可利用区,其平均风速、最大概率风速、风能最大风速、风功率密度和年有效风时数等风能指标相对其他区域更优。

关键词:气象学; 风能气象; 西南地区; ERA5再分析资料; 风资源特征

中图分类号: P425

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2023.01.012

0 引言

在全球快速变暖和化石能源日益枯竭的双重压力下,全球经济和发展模式向低碳转型已刻不容缓。以水电和风电为代表的可再生能源实现“碳达峰”“碳中和”目标。中国西南地区是水电资源最为丰富的地区,但水资源丰枯期明显,冬、春季水电量较夏季明显减少,却是风资源丰富期,风能的季节差异与水能形成互补^[1]。对于风能资源的开发利用而言,对风资源进行精确评估是确定风资源储量、风电场选址、风力发电机组选型和机组排布方案的重要前提。许多学者开展了西南风资源评估研究,钟燕川等^[2]基于测风塔和台站风速观测资料分析了四川南部风资源参数特征。顾本文等^[3]选取了年均风速超过3.5 m/s的13个代表站分析了云南风能资源特点。陆鸿彬等^[4]利用气象站和测风塔数据结合数值模式模拟研究了四川省风能资源特征。相关研究对西南地区风能资源的开发利用起到了重要的促进作用,但也存在不足。一方面,尽管利用常规气象台站和测风塔观测数据进行风资源评估具有较高的精确性和可靠性,但观测台站存在分布不均、易受周边建筑遮挡、新建测风塔或气象站人力物力消耗大

等不足。另一方面,仪器故障或极端天气导致观测数据的时间长度难以满足连续完整年标准要求^[5]。此外,尽管数值模式是风资源评估的重要手段,但由于数值模式动力框架的不完善以及复杂地形的影响,风资源模拟结果仍存在较大不确定性^[6]。

随着数值天气预报模式和数据同化系统的快速发展,再分析数据集的质量和时空分辨率得到显著提升。全球大气再分析资料产品开始被广泛应用于全球各国和地区风资源的评估与研究中,为风电场的前期规划和设计做出了重要贡献^[7–9]。已有研究表明,气象再分析资料能较好地再现近地层风速大值区和小值区的空间分布,表明气象再分析资料具有将实测风速从“点”推广到空间“面”的优势^[10]。此外,相较于采用气象站观测资料或建设测风塔进行风速观测,再分析资料还具有成本低、获取容易、覆盖范围广、时空连续和可靠性较高等优点^[11]。因此,再分析资料在风资源评估中具有重要作用,这对于地形复杂地区以及气象台站和测风塔分布较为稀疏的地区尤为重要。

西南地区是中国清洁能源最为丰富的地区之一,但相较于水能等其他可再生资源,目前对西南地区风资源的研究和评估还有待深入。与此同时,由于数值模式的动力框架和资料同化技术等仍存在一定的不足,因此再分析资料对在反演或模拟近地层风速(能)变化时仍需进行评估。鉴于此,本文利用西南地区气

收稿日期: 2022-01-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41775072, 42075019); 四川省杰出青年科技人才计划资助项目(2019JDJQ0001)

象台站风速观测资料对 ERA5 再分析资料的适用性进行评估,在此基础上基于高分辨率 ERA5 再分析100 m 风速资料对西南地区风资源特征进行分析,以期为西南地区的风资源开发利用提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

与已有研究^[12]一致,西南地区定义为四川省、云南省、贵州省和重庆市。再分析资料采用 ECMWF 于 2016 年 11 月推出 ERA5 资料,该资料相较于早期研发的再分析资料产品(ERA40 和 ERA-Interim),其时空分辨率进一步提高,垂直方向达到 137 层模式层(顶层为0.01 hPa),水平分辨率提高至31 km,时间分辨率为逐小时输出,时间段涵盖 1950 年 1 月至今^[13]。ERA5 资料除时空分辨率可较好满足风资源评估要求外,在物理过程的描述等方面也有明显改进^[14]。此外,ERA5 再分析资料还首次提供了100 m高度风速和风向数据,为评估风力发电机轮毂高度处风资源提供便利。本文选 2015–2019 年取 ERA5 资料西南地区 100 m高度处的 u 和 v 风速,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。观测资料来自西南地区 42 个气象观测站逐日 10 m高度风速,其中四川省 17 个、贵州省 6 个、云南省 15 个、重庆市 4 个,并利用多年平均方法对观测数据中的缺测值进行插补。西南地区地形、ERA5 再分析数据网格点和气象台站信息见图 1。

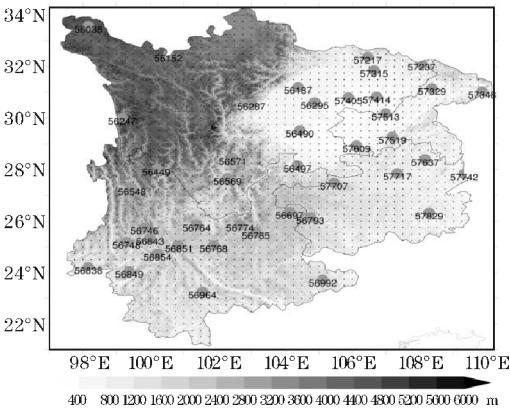


图1 西南地区海拔高度(填色)、ERA5 再分析资料网格(黑色点)和气象台站空间位置(灰色圆形,数字为台站编号)

1.2 方法

为评估 ERA5 再分析风速资料在西南地区的适用

性,首先采用双线性插值法将再分析资料插值到气象台站所在经纬度,并根据逐时资料得到100 m高度处的日平均风速,其计算公式为

$$U_{100} = \sqrt{(u^2 + v^2)}$$

式中, u 和 v 分别为100 m高度处的经向和纬向风速。

由于气象台站观测数据为10 m风速,而再分析资料为100 m风速,故采用幂律公式将台站10 m风速外推至100 m高度,计算公式为

$$U_{100} = U_{10} \left(\frac{Z_{100}}{Z_{10}} \right)^a$$

式中, Z_{10} 和 Z_{100} 分别代表10 m和100 m高度, U_{10} 和 U_{100} 则为相应高度的风速, a 为风切变指数,本文取 $1/7$ ^[15]。

采用 Pearson 相关系数(coefficient of relationship, COR)计算再分析资料与观测数据间的相关性,并利用平均误差(mean bias, MB)和均方根差(root mean square error, RMSE)评估二者之间的偏离程度,其计算公式如下:

$$COR = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}}$$

$$MB = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(M_i - \bar{M}) - (O_i - \bar{O})]^2}$$

式中, n 、 M_i 、 O_i 、 \bar{M} 和 \bar{O} 分别表示样本数、再分析资料值、观测值、再分析资料平均值和观测平均值。

风的间歇性和波动性是风能评估中的主要难点,但已有研究^[16]表明,Weibull 分布模型能较好重现风速的统计概率特征,其中双参数 Weibull 分布概率分布函数(probability distribution function, PDF)为

$$PDF(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right]$$

式中,PDF(v)为随机风速发生概率, k 为描述不对称程度的形状参数, c 为反映位置分布的尺度参数。进一步可得累积概率密度函数(cumulative distribution function, CDF):

$$CDF(v) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right]$$

可用许多方法^[17–19]求解威布尔形状参数 k 和尺度因子参数 c ,本文采用广泛使用的极大似然法^[19]求解:

$$k = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{n} \right]^{-1}$$
$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^k \right)^{\frac{1}{k}}$$

式中, v_i 代表各时刻风速值。

基于 k 和 c 可进一步得到平均风速 V_m [20]:

$$V_m = c \int_0^\infty e^{-x} x^{\frac{1}{k}} dx = c \Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)$$

式中, Γ 为伽玛函数,其定义为

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} \exp(-t) dt$$

最大概率风速 (most probable wind speed, V_{mp}) 和最大风能风速 (wind speed corresponding to the largest amount of energy, V_{maxE}) [20] 对风力发电机型号选择极为重要。风力发电机切入风速越接近 V_{mp} , 其理论运行时间越长, 而额定功率风速越接近 V_{maxE} , 则风力发电机能量输出越大, 计算公式分别为

$$V_{mp} = c \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{\frac{1}{k}}$$
$$V_{maxE} = c \left(1 + \frac{2}{k} \right)^{\frac{1}{k}}$$

最终, 风能开发潜力可进一步采用风功率密度 (wind power density, WPD) 进行评估:

$$WPD = \int_0^\infty \frac{1}{2} \rho v^3 \cdot \text{pdf}(v) dv = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)$$

此外, 年有效风时数 T 为

$$T = T_0 \int_{v_1}^{v_2} \text{pdf}(v) dv = T_0 \times \left\{ \exp\left[-\left(\frac{v_1}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{v_2}{c}\right)^k\right] \right\}$$

其中, T_0 为年总时数, 取 8760 h, v_1 和 v_2 分别为大型风力发电机的切入和切出风速, 本文取 3 m/s 和 20 m/s [21]。

2 结果分析

2.1 ERA5 再分析资料的适用性

图 2 为西南地区 42 个气象台站和 ERA5 再分析资料 100 m 高度日风速序列。可见, 2015–2019 年, 西南地区 100 m 高度风速一般在 0.01 ~ 10.57 m/s 变化, 而对应的 ERA5 再分析资料与台站观测结果整体上较为一致, 其值在 0.02 ~ 11.25 m/s 变化。对于风速的年内变化, 由观测的西南地区 100 m 高度风速的年内变化可知, 各台站 100 m 高度风速逐日变化十分明显, 其

中方差最小为四川石渠, 方差值仅为 0.19, 而方差最大的地区为四川德昌, 达到 2.19。同时, 观测的 100 m 高度风速还存在明显的月际和季节变化, 主要表现为冬、春季风速最大, 夏、秋季风速较小的特征, 这与中国风速分布特征基本一致。对应的 ERA5 再分析风速上, 其逐日变化以及月际和季节变化特征同样十分明显, 一半以上地区风速方差较实测值大, 其中方差最大的地区为云南嵩明。进一步由 ERA5 再分析资料与观测风速相关系数可知, 除了四川雅安为负相关关系以外, 其他地区均为正相关关系, 且一半以上相关系数超过 0.5, 通过 99% 的显著性水平检验。对于平均误差而言, ERA5 再分析风速资料在多数地区要低于观测值, 仅少部分地区高于观测值, 整体上平均误差的区域平均值为 -0.27 m/s, 云南永德、重庆奉节、重庆南川、重庆渝北和四川德昌等地区低估超过 1 m/s。表明 ERA5 再分析资料相对于观测资料对西南地区 100 m 风速有所低估。此外, RMSE 结果也表明, 四川德昌地区 RMSE 较大, 而其余地区 RMSE 一般在 0.68 ~ 1.77 m/s, 总体来看, 60% 以上地区 ERA5 风速再分析资料的 RMSE 值低于 1, 表明 ERA5 再分析风速与观测之间的偏差量级较小。

风速概率分布对风力发电机发电量具有重要影响。由 100 m 高度处观测和 ERA5 再分析资料风速概率分布 (图 3) 可以发现, 中国西南不同地区实测风速概率分布存在较大差异, 各地区 Weibull 拟合形状参数 k 和尺度参数 c 均存在较大差异, 其中 k 值在 1.76 ~ 3.28, 而 c 值则介于 1.35 ~ 4.16。通过对比 ERA5 再分析资料与实测资料拟合的形状参数 k 和尺度参数 c 可发现, 部分地区 ERA5 再分析资料与实测风速概率分布存在一定差异, 如云南宣威、西畴和维西, 四川雅安和温江, 以及贵州万山和毕节等地区形状参数 k 差异较大, 而重庆奉节、南川和渝北, 云南永德和四川德昌尺度参数 c 差异较大。尽管部分地区 ERA5 资料风速概率分布拟合结果与观测资料存在一定差异, 但根据 ERA5 再分析资料得到的形状参数 k 和尺度参数 c 与观测资料结果差异不大, 与观测资料得到的 k 和 c 的区域平均偏差值仅为 0.62 和 0.50, 其概率曲线和累积概率分布也与实测结果存在较好的对应关系。可见, ERA5 再分析资料能较好代表西南地区的风速概率分布特征。

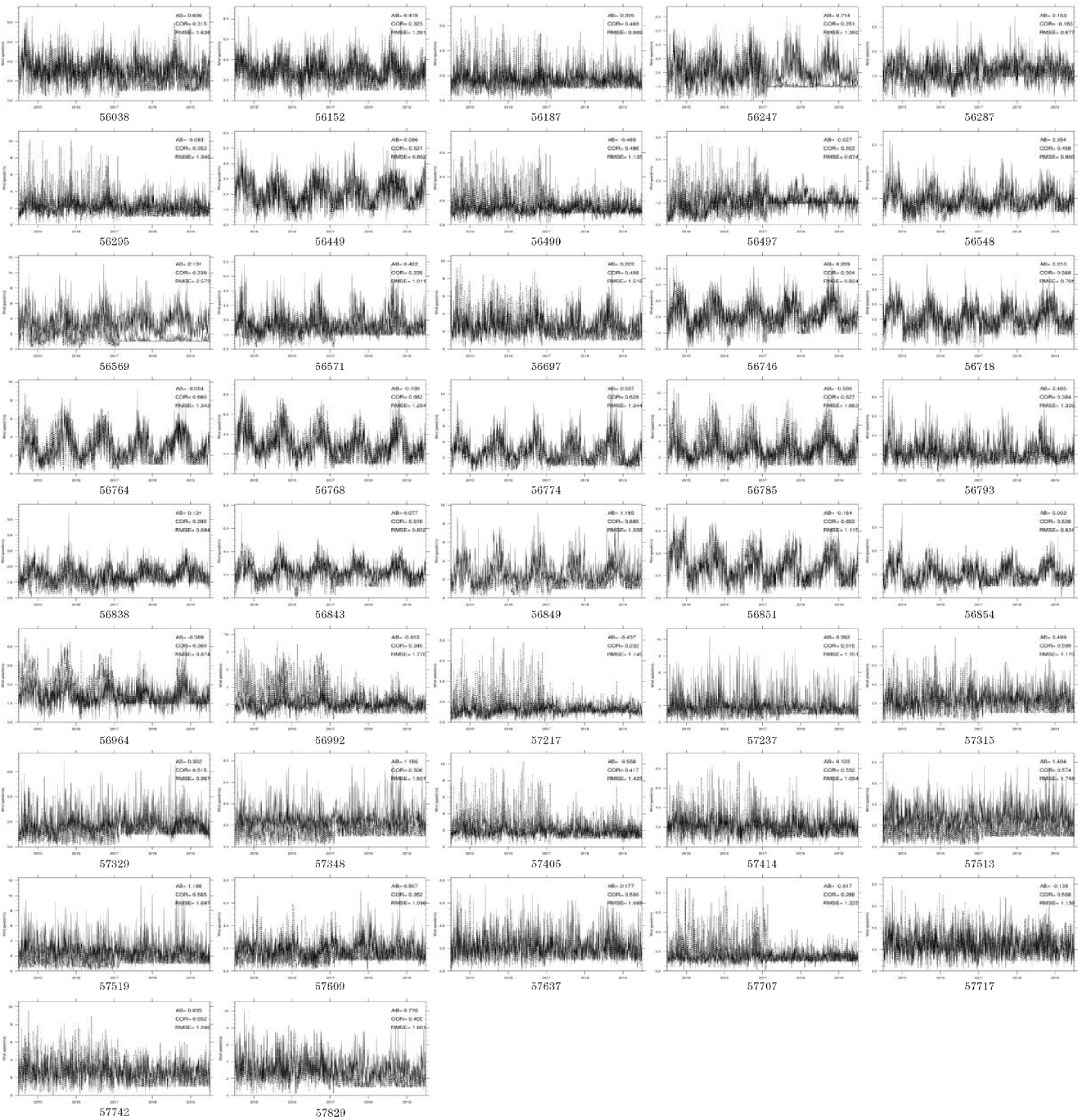


图2 西南地区42个气象站实测(实线)与ERA5再分析资料(虚线)100 m高度风速时间序列

总体而言,ERA5再分析资料能够较好地再现西南地区大部分站点100 m高度实测风速的时空特征和概率分布,且ERA5数据时空分辨率更高,因此可用于西南地区的风资源特征评估。

2.2 基于再分析资料的西南地区风资源分布特征

k 值大小对应风速概率分布的左右偏斜度程度, k 越小风速概率分布范围越大,即PDF曲线图上“大头长尾”特征更为明显。 k 值决定了PDF的基本形状,而尺度参数 c 对PDF起到放大或缩小作用,即 c 越小PDF概率曲线“峰度”越大,此时小风速累积概率越高。图4为西南地区风速的Weibull拟合形状参数 k 和尺度参数 c

空间分布。由图4可知, k 值的空间分布存在明显的区域差异,四川盆地西北部和云南大部分地区 k 值小于2,其中最小值位于云南东部,这可能与该地区的高地势、开阔地形以及较小的地表粗糙度导致风速较大有关。四川盆地周边以及云南西部横断地区 k 值较大,多数地区超过2.2,说明复杂地形条件下风速较弱。与 k 值类似,尺度因子 c 在空间分布上同样存在明显的区域差异,其中云贵高原、四川盆地和川西北大部分地区 c 值高于2.6,而四川盆地周边和横断山脉西部 c 值一般低于2。此外,由于 c 值的相对大小能够反映风速概率分布的集中度,因此在 k 值相同的情况下, c 值较小(大)的地区弱风概率要较其他地区高(低)。

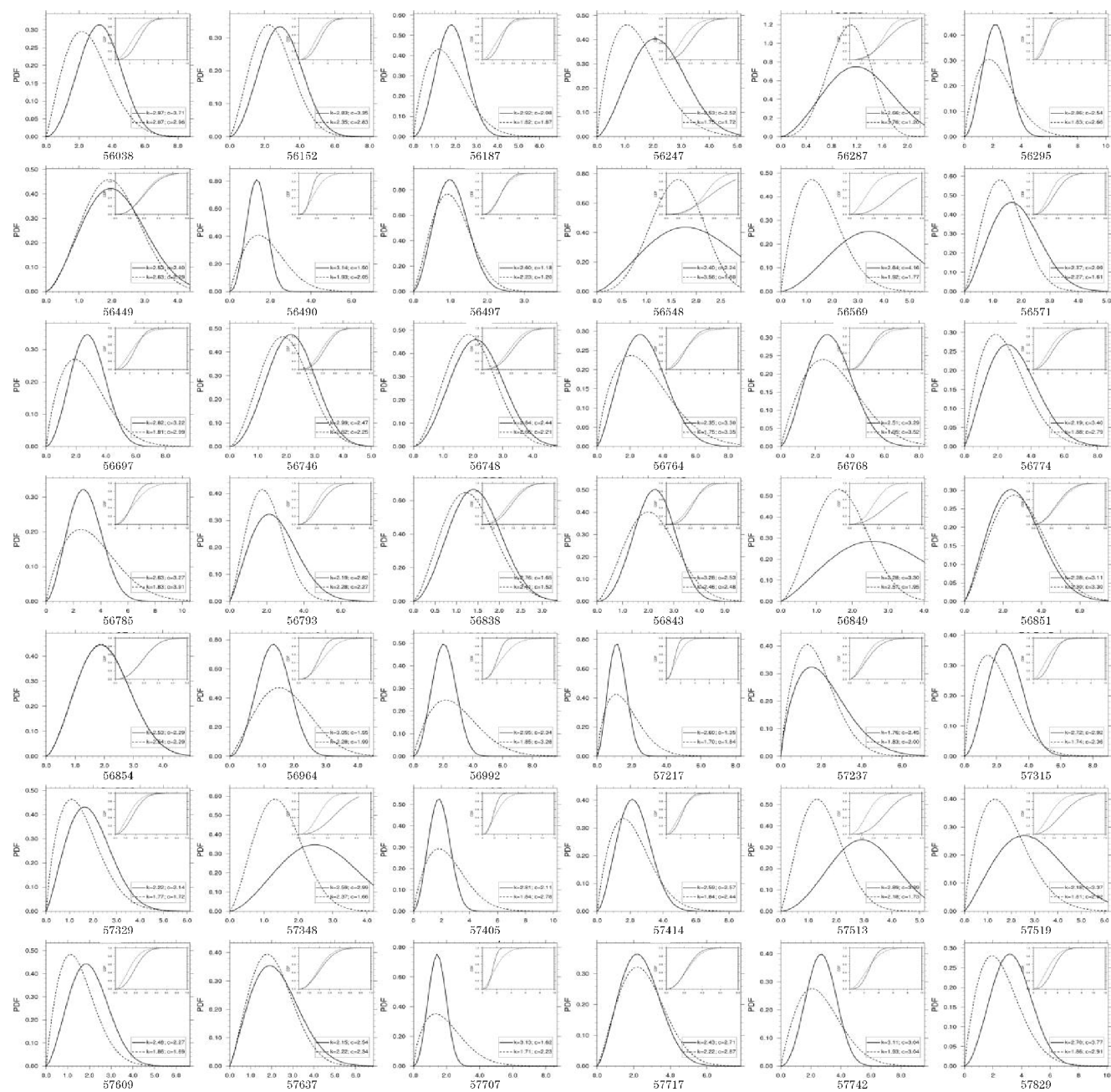


图3 西南地区 42 个气象台站 100 m 高度风速概率分布(实线和虚线分布代表观测值和 ERA5 再分析资料计算值, 各台站图中右上方黑框为累积概率分布,右下方黑框为威布尔拟合形状参数 k 和尺度参数 c)

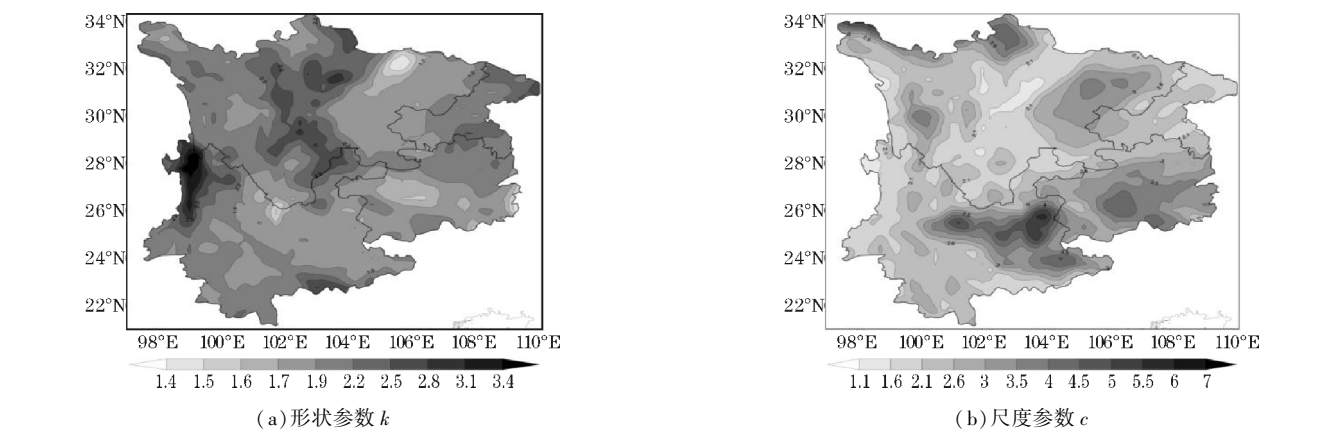


图4 西南地区 Weibull 拟合形状参数 k 和尺度参数 c 空间分布

风能相对于风速呈三次方变化,因此在对某地区风能资源进行评估之前须先了解其风速分布特性。图5为根据ERA5再分析资料计算的西南地区100 m高度平均风速 V_m 、最大概率风速 V_{mp} 和最大风能风速 V_{maxE} 的空间分布。由定义可知, V_m 、 V_{mp} 和 V_{maxE} 均与Weibull尺度参数 c 呈正比关系,故三者空间分布上于Weibull概率参数 c 相似。进一步对 V_m 的空间分布(图5a)进行分析可知,云贵高原和四川西北地区平均风速要高于其他地区,许多地区 V_m 超过2.40 m/s,最大中心位于云南东部,达到5.06 m/s,而四川盆地边缘与周边山脉过渡地区平均风速较低,平均风速最小中心位于四川盆地西北向岷山过渡区域,仅为1.24 m/s。 V_{mp} 是反映概率分布曲线极值的物理量,因此在考虑风机型号时应尽可能使切入风速低于

V_{mp} 以保证充分利用风能资源。从 V_{mp} 空间分布(图5b)来看,川西高原西北、云南中东部和贵州中部地区 V_{mp} 较高,一般可达3.00 m/s以上,最大中心位于云南曲靖,而 V_{mp} 较小区域主要分布在四川盆地与川西高原和云贵高原交界的过渡区,最小值位于攀枝花与云南交界地带。最大风能风速 V_{maxE} 对选择适当风力发电机型号以保证风机形成最大发电量具有重要意义。由西南地区 V_{maxE} 空间分布(图5c)可知, V_{maxE} 较大区域位于云贵和川西北高原,可选择额定功率较高的大型风力发电机以尽可能多地捕获风能,四川盆地与周边山脉间的过渡带以及贵州大部分地区次之,适合安装额定功率中等的中型风力发电机,而四川盆地内 V_{maxE} 最小,因此选择风力发电机时可考虑额定功率较低的小型风力发电机。

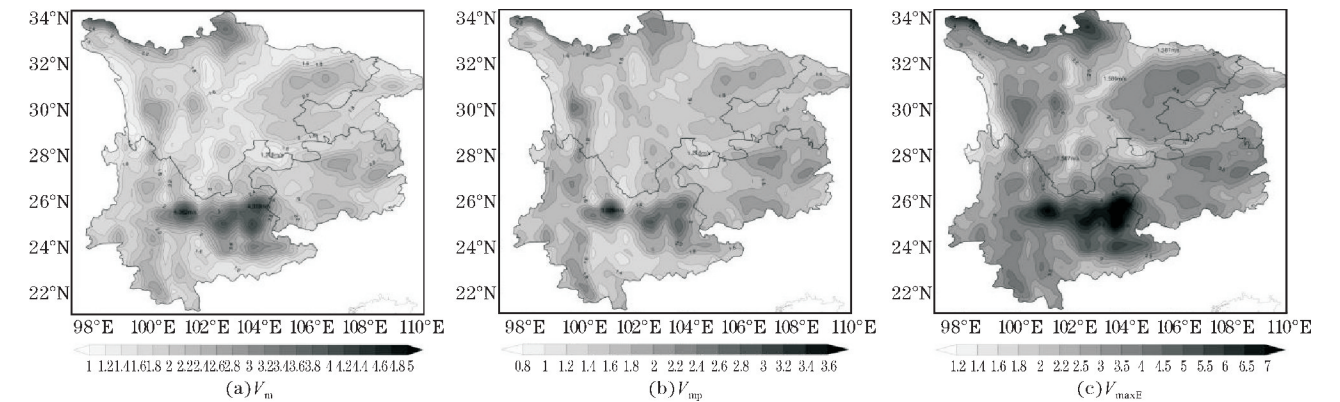


图5 西南地区平均风速 V_m 、最大概率风速 V_{mp} 和风能最大风速 V_{maxE} 空间分布

平均风功率密度和年有效风时数是风资源评估中的重要参数。图6为西南地区风功率密度和年有效风时数空间分布。对于风功率密度(图6a),西南地区多数地区为风资源匮乏区,其值一般低于 30 W/m^2 ,其低值中心位于四川盆地与西部横断山脉间的过渡地区,仅为 2.22 W/m^2 ,而云南中东部是西南地区风功率最大的地区,最大值超过 176 W/m^2 。此外,川西北的横断山区还存在另一个大值中心,且整个横断山脉地区风功率密度在空间上呈高、低交错分布特征,这可能与横断山脉走向以及高海拔和低海拔地区的风速差异有

关。由年有效风时数空间分布(图6b)可知,西南地区多数地区年有效风时数较短,尤其在四川盆地与周边山脉的过渡区域内年有效风时数低于500 h,而年有效风时数较长的区域与 V_m 、 V_{mp} 、 V_{maxE} 和WPD相对高值区基本一致,滇中和滇东地区为两个年有效风时数大值中心,即切入切出风速介于 $3\sim 20\text{ m/s}$ 的风力发电机全年有超过70.1%时段处于发电状态。进一步结合风能资源分布区划标准^[22]可知,川西高原和云贵地区为风能可利用区,而其余大多数区域($WPD<50\text{ W/m}^2$ 且 $EHWS<2000\text{ h}$)为风资源欠缺区。

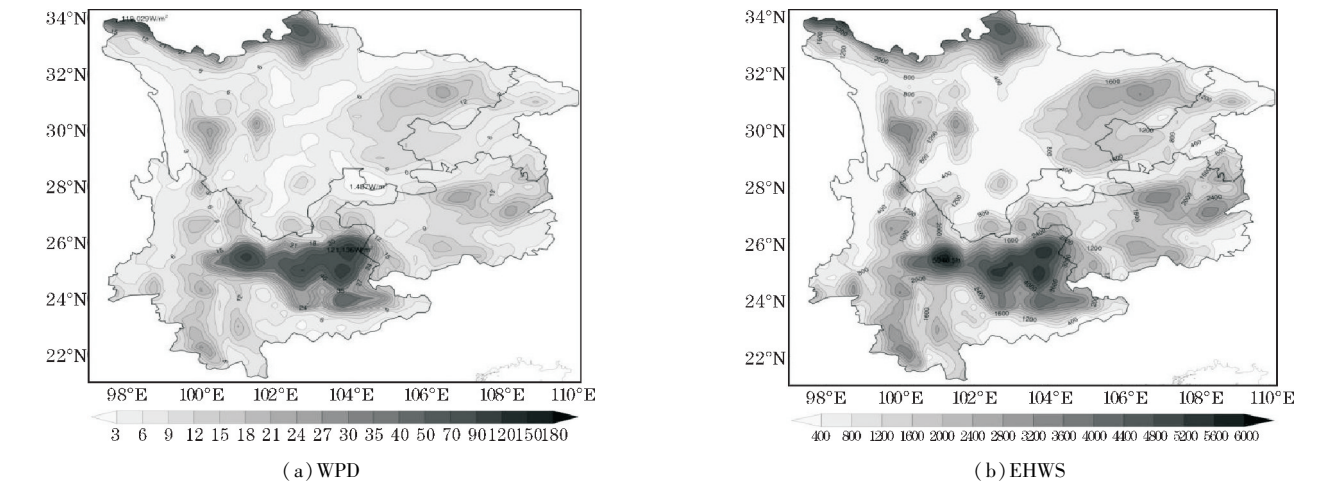


图6 西南地区风功率密度WPD和年有效风时数EHWS空间分布

3 结束语

采用2015–2019年欧洲中期数值天气预报中心ERA5再分析逐时100 m经向、纬向风资料以及西南地区42个气象台站逐日10 m风速观测资料,利用幂律推导、相关系数、误差分析和双参数Weibull概率分布等方法对ERA5再分析风速资料在中国西南地区的适用性进行了评估,并基于ERA5再分析风速资料对西南地区100 m高度风能资源特征进行了分析,得到结论如下:

(1)ERA5再分析100 m风速与台站实测风速年内变化趋势较为一致,其中与一半以上台站观测资料相关系数超过0.5。偏差分析表明ERA5再分析资料在西南地区大多数区域100 m风速有所低估,但整体上误差较小。此外,除川西横断山区和贵州东部部分地区以外,其余地区均方根误差较小。对概率分布的分析也表明大多数台站观测资料与ERA5再分析资料存在较好的一致性,因此ERA5再分析资料在西南地区具有较好的适用性,可用于西南地区风资源特征研究。

(2)Weibull拟合形状参数 k 在四川盆地与周边山脉过渡区较其余地区大,而尺度参数 c 的空间分布则与参数 k 大致相反,表明西南不同区域风速概率分布存在明显差异。西南地区100 m平均风速、最大概率风速、最大风能风速空间分布与尺度参数 c 相似,即滇中和川西北地区为相对大值区,而四川盆地与川西高原和云贵高原过渡带为小值区。

(3)平均风功率密度和年有效风时数分析表明中国西南部分区域风资源较为匮乏,四川盆地与周边山脉过渡区风资源最差,而云贵和川西北高原多数地区为风能资源可利用区。

本文分析了ERA5再分析100 m风速资料在中国西南地区的适用性,并探讨了西南地区风资源的基本特征,为西南地区风能资源开发利用提供了一定参考,但仍有许多不足。如本文所用气象台站数量较少,且位置分布也并不均匀,可能对适用性分析结果有一定影响。同时,研究在利用气象台站10 m风速外推100 m风速时取静态常数 $1/7$ 作为风切变指数,但实际中风切变指数很大程度上随地面粗糙度和地形等动态变化,故外推结果可能存在一定误差。此外,由于ERA5再分析资料相对实测还存在一定误差,因此在开展风资源评估前对ERA5再分析风速进行偏差校正将获得更准确的结果。

参考文献:

- [1] 邢婷,郑有飞,朱勇,等. 云南风能资源及其开发利用研究进展[J]. 气象与环境科学,2013,36(4):55–61.
- [2] 钟燕川,马振峰,郭海燕,等. 四川省布拖县风能资源局地调查评估[J]. 西南大学学报(自然科学版),2019,41(1):105–113.
- [3] 顾本文,王明,施晓晖. 云南风能资源的特点[J]. 太阳能学报,2000,21(1):45–49.
- [4] 陆鸿彬,张渝杰,孙俊,等. 四川省风能资源详查和评估[J]. 高原山地气象研究,2018,38(3):61–65.
- [5] 李泽椿,朱蓉,何晓凤,等. 风能资源评估技术方法研究[J]. 气象学报,2007,65(5):708–717.
- [6] 段莹,丁立国,罗宇翔. CFD方法在贵州分散式风电场资源评估中的应用研究[J]. 贵州气象,2014,38(5):8–12.
- [7] Kiss P,Jánosi I M. Limitations of wind power availability over Europe:a conceptual study[J]. Nonlinear Processes in Geophysics,2008,15(6):803–813.
- [8] Satyanarayana G C, Lucy Supriya R H, Bhaskar Rao D V. Wind energy assessment over the Andhra Pradesh and Telangana regions[J]. Meteorological Applications,2019,26(1):14–29.
- [9] Boudia S M,Santos J A. Assessment of large-scale wind resource features in Algeria[J]. Energy,2019,189:116299.
- [10] 刘汉武,王文本,江滢,等. 再分析数据在风能资源评估中的优势和局限性[J]. 风能,2016(12):58–63.
- [11] 孟宪贵,郭俊建,韩永清. ERA5再分析数据适用性初步评估[J]. 海洋气象学报,2018,38(1):91–99.
- [12] 经皓童,孙建奇,于水,等. 中国西南地区5月降水与阿拉伯海季风关系的年代际变化[J]. 大气科学,2021,45(5):1087–1098.
- [13] ECMWF. ERA5:data documentation[EB/OL]. Available online: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>,2021–10.
- [14] 吕润清,李响. ERA-Interim和ERA5再分析数据在江苏区域的适用性对比研究[J]. 海洋预报,2021,38(4):27–37.
- [15] Akinsanola A A,Ogunjobi K O,Abolude A T,et al. Projected changes in wind speed and wind en-

- ergy potential over West Africa in CMIP6 models [J]. Environmental Research Letters, 2021, 16 (4):044033.
- [16] 吉平,周孝信,武守远.采用平均风速参与因子法的区域风资源评估[J].中国电机工程学报, 2012,32(19):10-15.
- [17] Kapen P T, Gouajio M J, Yemélé D. Analysis and efficient comparison of ten numerical methods in estimating Weibull parameters for wind energy potential: Application to the city of Bafoussam, Cameroon [J]. Renewable Energy, 2020, 159:1188-1198.
- [18] Tizgui I, El Guezar F, Bouzahir H, et al. Comparison of methods in estimating Weibull parameters for wind energy applications [J]. International Journal of Energy Sector Management, 2017, 11 (4):650-663.
- [19] 陈楠,杨苹,邹澍,等.基于WRF模式的广东海上风资源评估[J].装备环境工程, 2013, 10 (5):1-6.
- [20] He J, Chan P W, Li Q, et al. Spatiotemporal analysis of offshore wind field characteristics and energy potential in Hong Kong [J]. Energy, 2020, 201:117622.
- [21] 廖顺宝,刘凯,李泽辉.中国风能资源空间分布的估算[J].地球信息科学, 2008, 10(5):551-556.
- [22] 杨迎超,刘宏昭,原大宁,等.测风数据处理与风资源评估[J].太阳能学报, 2012, 33(10):1661-1666.

Analysis of Wind Resources in Southwest China based on High-resolution Reanalysis Data

ZHOU Zhengbin¹, ZHANG Yidan¹, LUO Kun¹, XIANG Jing¹, DENG Hao², HUA Wei²

(1. Pengzhou Meteorological Bureau, Chengdu 611930, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to evaluate the applicability of high-resolution reanalysis near-ground wind speed data in Southwest China and obtain the basic temporal and spatial distribution characteristics of wind resources in Southwest China, based on the ERA5 reanalysis data of European medium-range numerical Weather Forecast Center from 2015 to 2019 and the daily wind speed observation data of 42 meteorological stations in Southwest China, it is studied by means of power law derivation, error analysis and two-parameter Weibull probability distribution. In response to the problem that reanalysis data is rarely applied in wind resource assessment in the southwest China. The characteristics of the 100 m wind resources of southwest China were assessed using power-law error analysis, and two-parameter Weibull probability distribution based on ERA5 hourly reanalysis and daily observed wind speed of meteorological stations. The results show that although the ERA5 reanalysis data underestimate the near-surface wind speed in southwest China as a whole, the regional average deviation is only 0.27 m/s. There is a good correlation between the reanalysis data of most areas and the wind speed of 10 m measured by meteorological stations, and the probability fitting of wind speed is also in good agreement, indicating that the ERA5 reanalysis data can be used to analyze the wind resources in southwest China. The regional average deviation between ERA5 and the measured wind speed of meteorological stations is only 0.273 m/s, the correlation coefficient exceeds 0.4 in more than 67.7% between the observation and ERA5, and the RMSE is small at most stations. On the other hand, the wind speed probability distribution is good agreement between the reanalysis data and observation, ERA5 can be used for southwest wind resource assessment. The spatial distribution of Weibull shape and scale indicate the probability distribution of wind speed is significant differences in southwest China, the cumulative probability of small wind speed in Sichuan Basin to high-altitude transition area is larger than that in Sichuan Basin, most area of Guizhou, Hengduan Mountain and central and eastern Yunnan. In addition, the average wind speed, maximum probable wind speed, the speed of maximum wind energy, wind power density and annual effective hours of wind speed show that wind resources are scarce in most areas of southwest China, but the Yunnan-Guizhou Plateau and the northwestern part of the Sichuan-Western Plateau are wind resource-available areas.

Keywords: meteorology; wind power meteorology; Southwest China; ERA5 reanalysis; wind resource characteristics