

贺莉微,孙朋杰,曾琦. ERA5再分析资料在风能资源方面的应用[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(24): 70-75.

ERA5 再分析资料在风能资源方面的应用

贺莉微^{1,2}, 孙朋杰^{1,2}, 曾琦¹

(1. 湖北省气象服务中心, 武汉 430074; 2. 湖北省气象能源技术开发中心, 武汉 430074)

摘要:根据湖北省地貌特征将其划分为 8 个子区, 利用湖北省内 76 个气象站和 ERA5 再分析资料近 20 年(2000—2019 年)离地 10 m 的月平均风速, 分析了二者之间的相关性, 再结合省内 110 座测风塔 70 m 高度风速值, 采用多元回归方法, 构建由气象站 10 m 风速、经纬度和海拔高度等因子的 70 m 高度风速推算方程, 并对推算结果进行检验。结果表明, 再分析资料能够很好地反映全省风速大小趋势的空间分布, 中部高, 东西低; 再分析资料风速整体比气象站风速偏大, 平均偏大 0.8 m/s 左右; 推算结果显示, 鄂东北桐柏山和大洪山一带、中部南漳-荆门一带、大别山和幕阜山的高海拔地区为风资源较好的地区; 检验结果显示, 推算结果整体偏小, 尤其是鄂西山区偏小最为明显, 位于江汉平原的 VIII 区推算结果较好, 尤其是天门一带。

关键词:再分析资料; 风速推算; 相关分析; 多元回归

中图分类号: P49

文献标识码: A

文章编号: 0439-8114(2021)24-0070-06

DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2021.24.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of ERA5 reanalysis data in wind energy resources

HE Li-wei^{1,2}, SUN Peng-jie^{1,2}, ZENG Qi¹

(1. Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430074, China; 2. Hubei Meteorological Energy Technology Development Center, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the geomorphic characteristics of Hubei province, it is divided into eight sub regions. Based on the monthly average wind speed of 10 m above the ground in 76 meteorological stations and ERA5 reanalysis data in the past 20 years (2000—2019), the correlation between them is analyzed. Combined with the wind speed value of 70 m height of 110 wind measuring towers in the province, the wind speed at 70 m height derived from 10 m wind speed, longitude and latitude and altitude of meteorological stations is constructed by using multiple regression method. The results show that the reanalysis data can well reflect the spatial distribution of the wind speed trend in the whole province, with high in the middle and low in the east and west; The wind speed of the reanalysis data is larger than that of the meteorological station, with an average of about 0.8 m/s; The calculation results show that the Tongbai mountain and Dahongshan area in the northeast of Hubei province, the Nanzhang-Jingmen area in the central part, the Dabie mountain and Mufu the high altitude area of the mountain is the area with better wind resources; The test results show that the overall calculation results are small, especially in the western Hubei mountain area. The calculation results of VIII area in Jiangnan plain are better, especially in Tianmen area.

Key words: reanalysis data; wind speed calculation; correlation analysis; multiple regression

中国是世界上最大的能源消费国, 同样也是全球最大的风能生产国, 产能居于世界第一。能源问题关乎国家和社会稳定, 然而传统能源易带来水资源污染和环境污染问题, 同时也会造成地表生态破坏, 不易修复, 给人们的生活环境带来危害, 因此绿色可再生能源是未来发展的战略方向^[1]。近年

来中国可再生能源发展迅猛, 能源市场结构发生了很大变化, 风电行业的主要矛盾从发电设备的研制生产转向风电场选址和风资源评估^[2]。中国风电场主要集中在西北、华北、东北地区, 但由于其装机容量超过电网输送能力, 因此“弃风”现象很普遍^[3-5], 为了缓解“弃风限电”问题, 降低风电输送成本, 提高

收稿日期: 2021-02-18

基金项目: 湖北省气象局科技基金项目(2020Q10)

作者简介: 贺莉微(1988-), 女, 陕西绥德人, 工程师, 主要从事应用气象研究, (电话)13554057012(电子信箱)616664366@qq.com。

就地利用率,中国中东部和南方山区风电开发逐渐增多^[6]。有分析指出湖北省风能资源较为丰富,风能资源储量近 1 300 万 kW^[7],因此,客观合理地开展对风资源的评估工作,能够为风资源高效合理的利用和风电场场址选取及建设提供科学的依据。

当前对于再分析资料的适用性问题已经有许多学者进行了研究,并得出了相关结论,胡毅鸿等^[8]和黄颖等^[9]利用 ERA-Interim 再分析资料,分别对北方农牧交错带春季近地面风速变化和祁连山周边降水量时空变化进行了相关分析。孟宪贵等^[10]利用 ERA5 再分析资料对山东省地面和高空资料的适用性进行了评估,结果表明风场在中高层适用性较好,且 ERA5 总体优于 ERA-Interim。此外还有其他再分析资料的应用,赵彦厂等^[11]利用 NCEP/NCAR 再分析资料对江苏省区域的风能进行数值模拟,结果显示模拟结果与实测场较为一致。魏莹等^[12]采用 JRA-55、ERA5-Interim 和 MERRA 3 种再分析资料分析 2 m 温度在高原东部的适用性,结果显示三者均能很好地呈现其显著增温趋势。

目前对 ERA5 再分析资料在风能方面的应用还较为鲜见,因此,本研究借助 ERA5 再分析资料对湖北省 70 m 高度风速进行推算,利用省内 110 座测风塔 70 m 高度实测风速对其进行检验,从而对 ERA5 再分析资料在湖北省风能方面的应用进行初步的评估,以期为企业“找风”服务。

1 资料与方法

1.1 资料

本研究选取的气象资料由湖北省气象信息与技术保障中心提供,资料内容为湖北省境内 76 个国家气象站 2000—2019 年地面 10 m 高度的平均风速,资料均经过气象部门质控。选取的再分析资料为欧洲中期天气预报中心(ECMWF)制作发布的 ERA5 单月平均水平数据格点资料,时间分辨率为 1 h,水平空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,可提供离地 10 m 高度的数据资料,选取的时间、空间跨度为 2000—2019 年湖北省范围内 10 m 高度月平均风速。同时还选取湖北省范围内 110 座测风塔 70 m 高度月平均风速资料,气象站和测风塔具体分布情况如图 1 所示。

1.2 方法

1.2.1 依据地理条件进行分区 湖北省处于中国第二级阶梯向第三级阶梯的过渡地带,三面环山,中部低平且略呈向南展开的不完整盆地。地貌复杂多样,包括山地、丘陵、岗地以及平原。省内海拔 500 m 以上的山地占全省面积的 56%,海拔 500 m 以下的丘陵地区占全省面积的 24%,平原湖区占 20%。因

此,本研究主要依据省内地理条件,将全省划分为 8 个区^[13](表 1、图 2)。

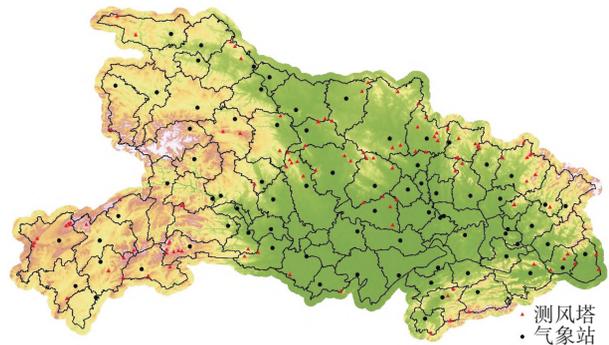


图 1 湖北省范围内气象站和测风塔分布

表 1 湖北省各分区范围内地貌特点

分区	地貌特点
I	位于鄂西南,武陵山呈东北—西南向,清江自西向东,形成清江河谷
II	位于鄂西神农架南坡,长江自西向东,形成三峡河谷
III	位于鄂西神农架北坡,神农顶为区内最高峰 3 105 m
IV	位于鄂西北,武当山呈西北—东南向
V	位于鄂北,区内大洪山河桐柏山呈西北—东南向,包括江汉河谷丘陵
VI	位于鄂东北,大别山呈西北—东南向
VII	位于鄂东南,幕阜山呈东北—西南向,区内山丘盆地参差
VIII	位于鄂中江汉平原,长江和汉江冲积而成

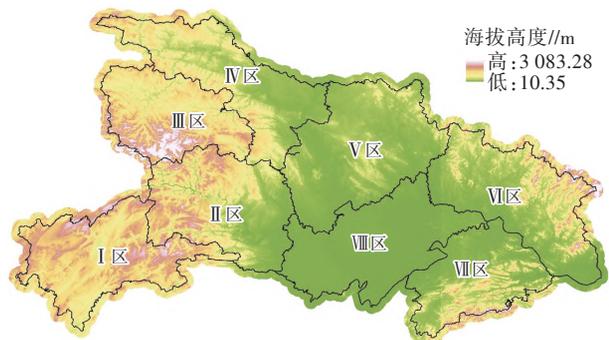


图 2 湖北省地貌特征及分区

1.2.2 反距离加权插值 反距离加权插值(Inverse distance weight),也可以称为距离倒数乘方法。距离倒数乘方格网化方法是一个加权平均插值法,可以进行确切的或者圆滑的方式插值。方次参数控制着权系数如何随着离开一个格网结点距离的增加而下降。对于一个较大的方次,较近的数据点被给定一个较高的权重份额,对于一个较小的方次,权重比较均匀地分配给各数据点。目前这种方法在对气候要素的插值应用中十分普遍。

1.2.3 相关分析 相关分析是研究两个或两个以上处于同等地位的随机变量间相关关系的统计分析方法,在气象、水文、社会经济学等多个领域都有所应用。本研究利用 ArcGIS 中的提取工具,提取指定经纬度的属性值,进而分析气象站与再分析资料之间的相关关系。

1.2.4 70 m 风速推算 本研究利用多元回归方法,选择测风塔 70 m 高度月平均风速、再分析资料 10 m 高度月平均风速、经度、纬度和海拔高度进行建模。

$$S_{70m} = a_1 + a_2 S_{10m} + a_3 X + a_4 Y + a_5 H \quad (1)$$

式中, a_1 为常数项, a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 分别为方程中各自变量的独立系数, S_{70m} 为测风塔 70 m 高度月平均风速(m/s), S_{10m} 为再分析资料 10 m 高度月平均风速(m/s), X 和 Y 分别为经度(°)和纬度(°), H 为海拔高度(m)。

通过式(1)得到各区 70 m 高度实测风速和再分析资料 10 m 高度风速、经纬度和海拔高度之间的关系,利用 ArcGIS 中的提取工具,提取各区范围内的再分析资料 10 m 高度风速、经纬度和海拔高度,利用式(1)推算得到 70 m 高度风速,最后插值到各区范围内,得到湖北省 70 m 高度年平均风速。

2 ERA5 再分析资料与气象站之间的关系

欧洲中期天气预报中心(ECMWF)是较早开展数据再分析研究的机构,其再分析资料已前后历了4代,2017年7月发布了第五代ERA5数据,并实现滞后约3个月的实时更新。ERA5是在第四代ERA-Interim的基础上进行了升级^[10]。

2.1 10 m 高度平均风速特征

近20年气象站和再分析资料10 m高度年平均风速如图3所示。从图3a可以看到,湖北省10 m高度年平均风速呈中部高、东西低的特点,在鄂西北襄阳市、江汉平原荆门市和荆州市、鄂东北孝感市和鄂东南鄂州市为大值区,最大值为3.3 m/s(鄂州市),在鄂西地区为小值区,最小值为0.7 m/s(恩施市)。从图3b可以看到,再分析资料也呈中部高、东西低的特点,能够很好地反映出全省风速大小趋势的空间分布。为了能够详细表现出二者之间的差异,湖北省各地市再分析资料和气象站平均风速、最大风速和最小风速之差如图3c所示,神农架地区再分析资料和气象站二者风速相当,而除了黄石市和鄂州市最大风速的再分析资料比气象站偏小0.2 m/s和0.6 m/s之外,其他地市的平均风速、最大风速和最小风速的再分析资料均比气象站偏大,其中,平均风速偏大0.2 m/s(鄂州市、恩施市)至0.9 m/s(潜江市、

仙桃市),最大风速偏大0.1 m/s(襄阳市)至1.0 m/s(宜昌市),最小风速偏大0.1 m/s(宜昌市)至1.0 m/s(宜昌市、天门市、潜江市、仙桃市)。

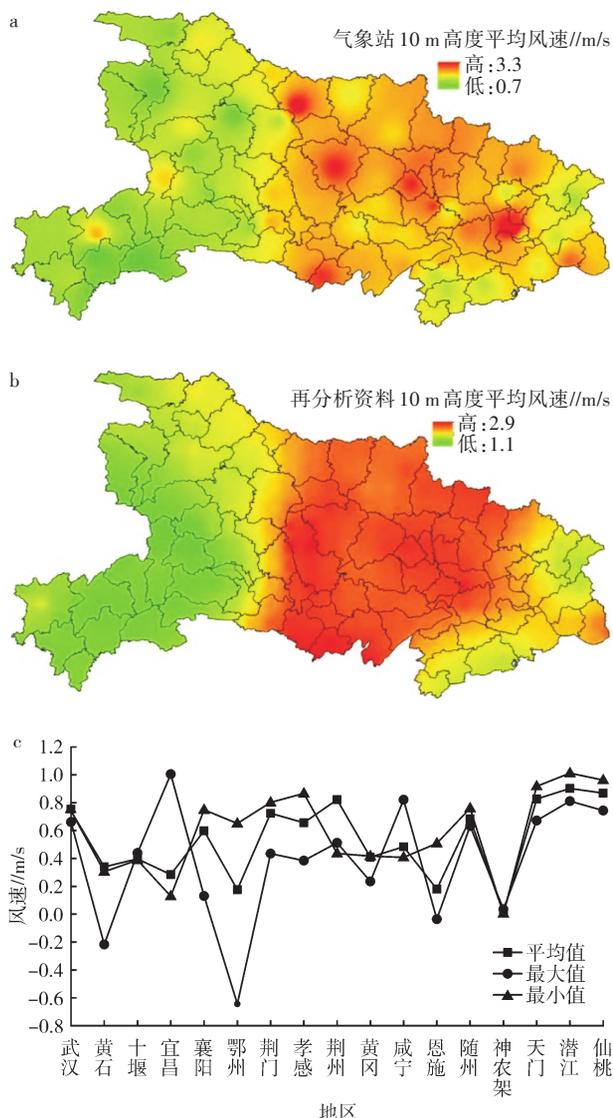


图3 近20年气象站(a)和再分析资料(b)10 m高度年平均风速及各地市二者平均风速、最大风速和最小风速之差(c)

2.2 再分析资料与气象站的相关性分析

通过分析湖北省范围内76个气象站与再分析资料的相关性,可以得到,除赤壁、鄂州、五峰、长江三峡、竹山5站未通过检验外,其他71个站均通过了 $\alpha=0.1$ 的相关性检验。33个气象站的相关系数超过0.8,最大值出现在襄阳站,为0.976。各分区范围内站点的相关系数如图4所示,IV、V、VI、VIII区范围内各站点的相关系数均超过0.7, I区中鹤峰站为0.5,五峰站为-0.3,其他6个站点均超过0.7, II区中兴山站为0.5,三峡站为-0.1,其他9个站点均超过0.7, III区中竹山站为0.2,其他4个站点均超过0.6, VII区中赤壁站为0.4,崇阳站为0.5,鄂州站为-0.1,其他8个站点均超过0.6。

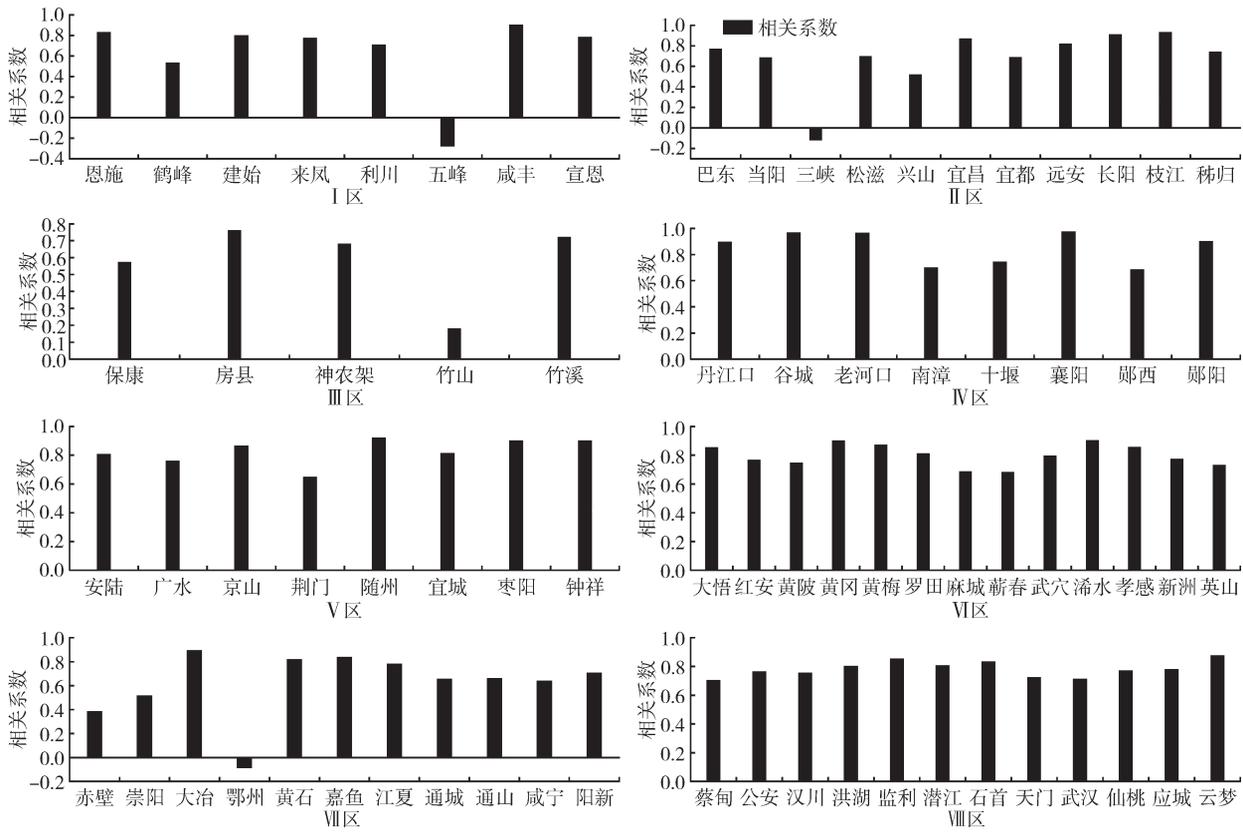


图 4 各区范围内再分析资料与气象站之间的相关系数

3 再分析资料 70 m 高度风速推算

3.1 分区建模

利用式(1)构建各区多元回归方程,将再分析资料的 10 m 高度风速推算至 70 m 高度。由于 III 区范围内的测风塔数量较少,建模的结果缺乏代表性和稳定性,而 III 区和 II 区同属鄂西山地区,位于神农架南北坡,因此综合考虑,将 II 区和 III 区纳入到一起进行建模,建模结果见表 2。由表 2 可以看出,各区多元回归方程的复相关系数均在 0.5 以上, VIII 区最高,为 0.828,各区相对误差绝对值的平均值均控制在 17% 以内, VIII 区相对误差绝对值的平均值最小,为 8.1%,除此之外,还可以看出,在地形复杂的鄂西山区(I、II+III、IV 区)相对误差最大,范围内有大型山体的 VI、VII 区次之,位于地势平坦的江汉平原(VIII 区)相对误差最小。

3.2 结果分析及检验

根据表 2 各区方程推算出湖北省 70 m 高度风速,由图 5 可知,湖北省风资源较好的地区: I 区西北部利川一带,最大风速为 5.4 m/s; II 区西北部兴山地区,最大风速为 5.6 m/s,东南部五峰-松滋一带,最大风速为 5.2 m/s 左右; III 区神农架中部地区,最大风速为 6.0 m/s; IV 区东南部南漳地区,最大风速为 6.4 m/s; V 区西部荆门市北部地区,最大风速为 7.1 m/s,北部随州-广水一带,最大风速为 6.2 m/s 左右; VI 区西部孝感市和东南部黄梅县,最大风速分别为 5.6 m/s 和 5.3 m/s; VII 区中部崇阳与通山交界处,最大风速为 6.2 m/s; VIII 区东部洪湖一带,最大风速为 6.0 m/s。综上所述,湖北省风资源较好的地区主要有鄂东北桐柏山和大洪山一带,中部南漳-荆门一带,大别山和幕阜山的高海拔地区,还有西部神农架、南部洪湖等零散分布的地区。

表 2 各区多元回归模型及相对误差绝对值的平均值

分区	方程及复相关系数(R)	相对误差绝对值的平均值/%
I	$S_{70m}=143.564+1.187 \times S_{10m}-1.02 \times X-1.159 \times Y+0.004 \times H$ R=0.698	16.9
II+III	$S_{70m}=25.785+2.662 \times S_{10m}-0.203 \times X-0.167 \times Y+0.002 \times H$ R=0.598	14.0
IV	$S_{70m}=199.668+2.52 \times S_{10m}-1.444 \times X-1.213 \times Y$ R=0.701	13.9
V	$S_{70m}=-24.282+2.013 \times S_{10m}+0.044 \times X+0.598 \times Y+0.002 \times H$ R=0.555	10.9
VI	$S_{70m}=75.136+1.689 \times S_{10m}-0.391 \times X-0.958 \times Y+0.002 \times H$ R=0.527	11.9
VII	$S_{70m}=22.101+3.204 \times S_{10m}+0.426 \times X-2.441 \times Y+0.001 \times H$ R=0.555	11.2
VIII	$S_{70m}=-52.813+2.044 \times S_{10m}+0.511 \times X-0.215 \times Y+0.006 \times H$ R=0.828	8.1

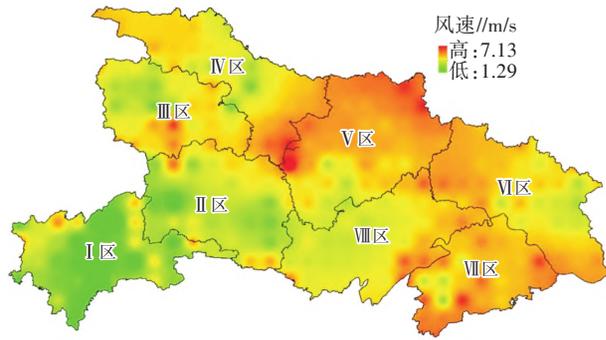


图5 再分析资料70 m高度风速推算

利用湖北省内110座测风塔70 m高度经过长年代订正后的风速,对推算结果进行检验,结果见图6、图7。从图6、图7可以看出,再分析资料70 m推算结果除各别点偏大之外,各区整体偏小,其中I区利川县内18#和19#测风塔处推算结果与长年代订正后的风速值相当,其他偏小0.7 m/s(利川县,20#)至2.8 m/s(五峰县,6#),平均偏小1.6 m/s; II区和III区中松滋县内25#测风塔处推算结果与长年代订正后的风速值相当,远安县内27#测风塔处偏大0.6 m/s,其他偏小0.9 m/s(保康县,31#)至3.0 m/s(长阳县,29#),平均偏小1.5 m/s; IV区南漳县内35#测风塔和丹江口市内39#测风塔处分别偏大0.3 m/s和1.1 m/s,其他偏小0.3 m/s(襄阳市内34#、丹江口市内38#)至0.7 m/s(南漳县内36#, 郧西县内40#和41#),平均偏小0.5 m/s; V区广水市内60#和枣阳市内68#测风塔处推算结果与长年代订正后的风速值相当,西南部

荆门市和东北部枣阳市平均分别偏大0.9 m/s(47#至51#)和0.3 m/s(69#),其他偏小0.1 m/s(随州市内44#、广水市内57#)至1.4 m/s(京山市内65#),平均偏小0.6 m/s; VI区红安县内76#测风塔、麻城县内85#和86#测风塔、武穴县内90#测风塔处偏大0.5、0.1、0.2、0.2 m/s,其他偏小0.1 m/s(武穴市内91#, 大悟县内93#)至1.4 m/s(孝昌县内73#),平均偏小0.6 m/s; VII区通山县内103#测风塔处推算结果与长年代订正后的风速值相当,阳新县内101#测风塔处偏大0.6 m/s,其他偏小0.3 m/s(崇阳县内97#)至0.7 m/s(通城县内102#),平均偏小0.5 m/s; VIII区天门市(105#至108#)推算结果与长年代订正后的风速值相当,公安县内109#测风塔处偏大0.8 m/s,石首县内104#测风塔和汉川市内110#测风塔处分别偏小1.7 m/s和0.3 m/s。

综上所述可以看出,再分析资料在湖北省内70 m

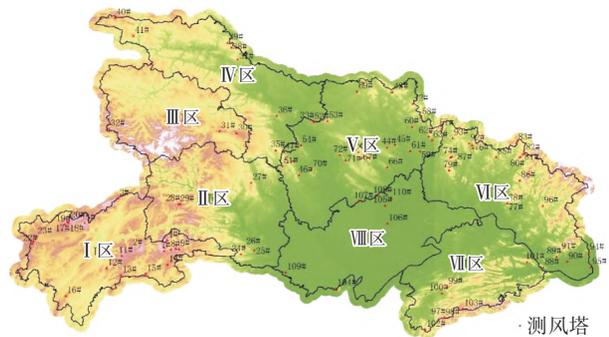


图6 湖北省内110座70 m高度测风塔在各区的分布

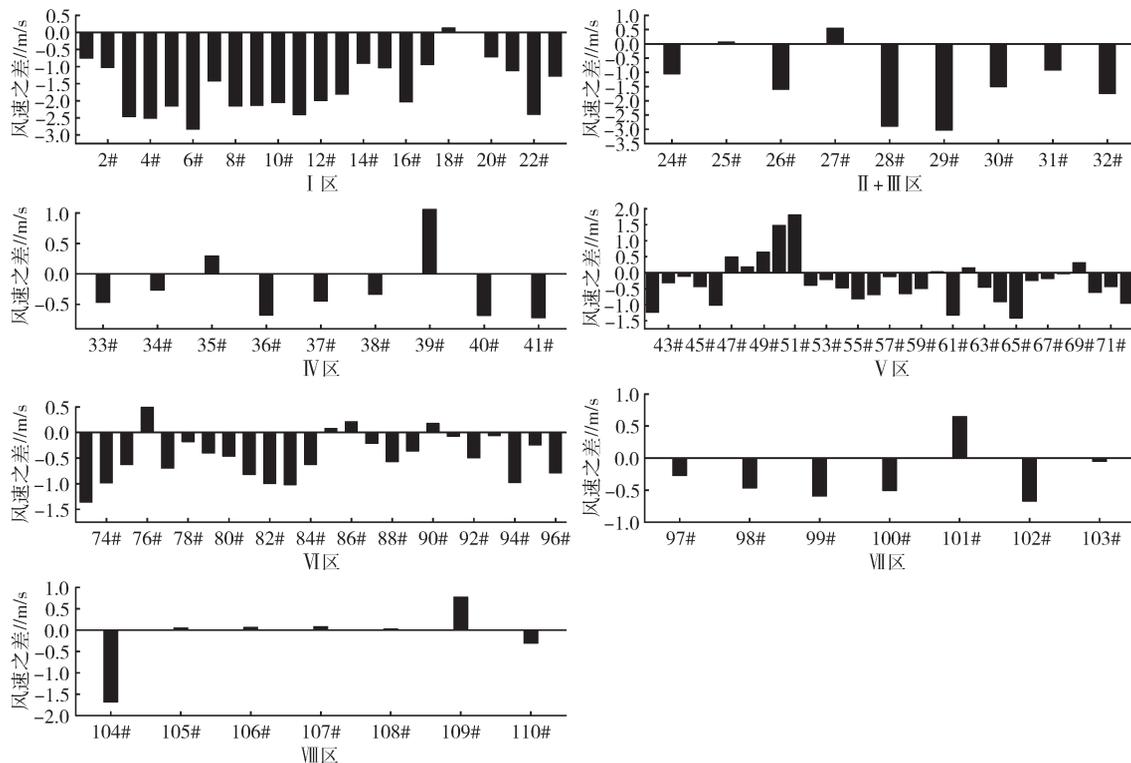


图7 各区再分析资料70 m高度推算风速与测风塔长年代订正后风速之差

高度的推算结果偏小,各区偏小程度不同,在鄂西山区偏小最为明显,尤其是 I 区偏小最大,平均为 1.6 m/s,其次是 II 区和 III 区,平均为 1.5 m/s, I 区中西北部的利川县北部和东部的五峰县东部风速偏小较明显,这与山区地形复杂和局地小气候有关,因此方程有待进一步优化。位于江汉平原的 VIII 区推算结果较好,尤其是天门一带。

4 小结与讨论

本研究通过湖北省内地貌特征将其分为 8 个区,利用近 20 年的 ERA5 再分析资料和气象站风速,分析了二者之间的相关关系,再结合湖北省内 110 座 70 m 高度测风塔资料,利用多元回归方法分区建立 70 m 高度风速推算方程,并对推算结果进行检验,得到以下结论。

1) 湖北省 10 m 高度年平均风速呈中部高、东西低的特点,襄阳-荆门-孝感-鄂州一带为大值区,鄂西为小值区。再分析资料能够很好地反映全省风速大小趋势的空间分布。

2) 再分析资料整体比气象站风速偏大,平均风速在江汉平原和鄂北孝感-随州一带偏大较明显,平均偏大 0.8 m/s;最大风速在宜昌-潜江-天门-仙桃一带偏大明显,平均偏大 0.8 m/s;最小风速在江汉平原大部和鄂北襄阳-随州-孝感一带偏大明显,平均偏大 0.9 m/s。

3) 通过对 76 个气象站风速与再分析资料风速之间的相关性进行分析,71 个气象站通过了 $\alpha=0.1$ 的相关性检验。处于鄂北的 IV、V、VI 区和位于江汉平原的 VIII 区,其相关系数均超过 0.7,而位于鄂西山区的 I、II、III 区和平原向丘陵及山区过渡的鄂东南 VII 区均有未通过检验的站点。

4) 利用多元回归方法,对各个区 70 m 高度风速

进行推算,结果显示湖北省风资源较好的地区主要有鄂东北桐柏山和大洪山一带,中部南漳-荆门一带,大别山和幕阜山的高海拔地区,还有西部神农架、南部洪湖等零散分布的地区。

5) 利用湖北省内 110 座测风塔经过长年代订正之后的风速进行推算结果检验,得出推算结果整体偏小,尤其是鄂西山区偏小最为明显,平均偏小 1.6 m/s,与山区地形复杂和局地小气候有很大的关系,而位于江汉平原的 VIII 区推算结果较好,尤其是天门一带。

参考文献:

- [1] 周洁. 让蓝天白云依然为子孙后代所爱[J]. 新民周刊, 2020, 9(14): 31-32.
- [2] 吴莎, 卢胜, 康慨, 等. 基于降尺度模拟技术的高分辨率风能资源评估[J]. 水电与新能源, 2017(12): 71-74, 78.
- [3] 裴哲义, 郭国梁, 胡超凡. 富余可再生能源跨区电力现货交易的探索与实践[J]. 中国电力, 2018, 51(1): 16-21.
- [4] 吕文春, 马剑龙, 陈金霞, 等. 风电产业发展现状及制约瓶颈[J]. 可再生能源, 2018, 36(8): 1214-1218.
- [5] 吕鑫, 祁雨霏, 董馨阳, 等. 2020 年光伏及风电产业前景预测与展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2020, 22(2): 20-25.
- [6] 李俊峰. 2012 中国风电发展报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012, 28.
- [7] 汪鹏. 湖北新能源发展对调度运行的影响分析[J]. 武汉电力职业技术学院学报, 2019, 17(4): 53-56.
- [8] 胡毅鸿, 龚道溢, 毛睿, 等. 北方农牧交错带春季风速年际变化的影响因子分析[J]. 高原气象, 2020, 39(3): 651-661.
- [9] 黄颖, 毛文茜, 王潇雅, 等. 近 39 a 祁连山及其周边地区降水量时空分布特征[J]. 干旱气象, 2020, 38(4): 527-534.
- [10] 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(2): 91-99.
- [11] 赵彦厂, 江志红, 吴息. 基于区域气候模式的江苏省风能评估试验[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 75-82.
- [12] 魏莹, 段克勤. 1980—2016 年青藏高原变暖时空特征及其可能影响原因[J]. 高原气象, 2020, 39(3): 459-466.
- [13] 曾琦. 湖北省山区风电场气象灾害空间分布及风险评估研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2020.
- [14] 邢月华, 韩晓日, 汪仁, 等. 辽宁省玉米主产区土壤养分状况调查分析[J]. 土壤通报, 2008(4): 831-834.
- [15] 胡学玉, 龙成凤, 赵书军, 等. 湖北棕红壤丘陵区不同地形部位及利用方式的土壤养分状况[J]. 湖北农学院学报, 1997(3): 50-54.
- [16] 祁大成, 郭爱红, 冯旭东, 等. 湖北红安县砂质土壤的改良利用措施[J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(2): 187-188.
- [17] 李向阳, 吴疆, 刘洪强. 鄂东南 5 种森林土壤重金属含量及污染评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(10): 102-108.
- [18] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [19] 湖北: 印发方案 强力推进土壤酸化治理[J]. 中国食品, 2019(9): 64.
- [20] 张素, 熊东红, 校亮, 等. 冲沟不同部位土壤机械组成及抗冲性差异[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1270-1276.
- [21] 展秀丽, 严平. 青海湖沙区风沙土土壤机械组成特征[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(1): 107-113.

(上接第 54 页)

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2020 年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [2] 李宁, 胡海珍, 王明辉, 等. 鄂东南地区花生+棉花间作模式研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 113-115.
- [3] 王明辉, 陈展鹏, 蔡正军, 等. 国家现代农业产业技术体系产业实效研究——基于花生体系黄冈试验站十年工作成效分析[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(S1): 210-212.
- [4] 赵业婷. 基于 GIS 的陕西省关中地区耕地土壤养分空间特征及其变化研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [5] 童伟, 孙婴婴, 师晨迪. 陕西省土地整理中新增耕地土壤养分研究[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2019, 4(3): 42-48.
- [6] 易亮, 李凯荣, 张冠华, 等. 渭北黄土高原经济林地土壤养分特征研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 186-190.
- [7] 吕烈武, 魏志远, 漆智平. 海南省万宁市水稻土壤养分状况研究[J]. 热带农业科学, 2009, 29(4): 26-30.