

章永辉,楼俊伟,张鑫,等.金华市风能资源分析[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(2):98-105.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



金华市风能资源分析

章永辉¹,楼俊伟²,张鑫³,王勇^{4*}

(1.柯桥区气象局,浙江 绍兴 312000;2.武义县气象局,浙江 武义 321200;3.石河子气象局,新疆 石河子 832000,
4.新疆生态气象与卫星遥感中心,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:为了分析金华市风能资源的丰匮及其分布状况,利用2017—2020年金华市8个国家地面气象观测站和169个区域自动气象站的逐小时风向风速资料,统计分析了平均风速、有效风速时数、有效风能密度等风资源评估参数。结果表明:按照风能资源区划标准,武义大茭站和义乌站的风能资源达到可利用区的标准,而其他站点则处在风能资源贫乏区,其中,大茭距地面10 m高度的年平均有效风能密度达107.5 W/m²,有效风速时数为5 481.0 h,年主导风向为WNW,义乌的有效风能密度则为51.5 W/m²,有效风速时数2 571.3 h,年主导风向为N;义乌平均风速的日变化幅度较大,不利于其风电在并网过程中的安全稳定。

关键词:风能资源;风向;风速;有效风速时数;有效风能密度

中图分类号:P468.026

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)02-0098-08

据统计,我国70%以上的电力是靠燃烧煤炭来提供的^[1],但煤炭具有不可再生性,随着全球煤炭资源不断被消耗,煤炭价格逐渐升高,导致电力资源越来越紧缺,全球用电供需紧张,多地实施拉闸限电^[2-4];同时,燃煤带来大量的PM_{2.5}、PM₁₀等可吸入颗粒物,对人类生产生活构成了严重的威胁^[5]。因此,亟需利用清洁、无污染的能源来替代煤炭的使用,确保实现“碳达峰、碳中和”目标,推动我国能源的可持续发展^[1,6]。风能作为一种零污染、可再生的清洁能源,一方面其开发利用技术成熟,风机设备的建设用地少、建设周期短^[7-8];另一方面我国的风能资源储量较为可观(平均风功率密度达100 W/m²左右),因此风力发电带来的经济效益和环境效益潜力较大^[3-4,7-12]。

位于长三角地区的浙江省风能资源丰富(预计到2030年,浙江省风电装机容量将达到930×10⁴ kW,约占全省电力装机总容量的10%),尤其是沿海地区、浙西南以及南部高海拔山区更具有风电开发的潜力和优势^[13-14]。其中金华市(119°14′~120°47′E, 28°32′~29°41′N)属中间低、周边高的盆地地区,境内山地众多,海拔超过1 000 m的山峰有208座,最高为武义县牛头山,海拔达1 560.2 m,东北面与绍兴交界处为东白山,海拔为1 194.6 m,因此,金华地区具有建设高山风电场的地理优势^[13-15]。随着经济社会的快速发展,2021年金华市规模以上工业能耗增速15.3%,增速高出浙江省平均水平的9%,金华市七大高耗能行业综合能源消费470.0×10⁴ t标准煤,增长9.5%,用电量475.6×10⁸ kW·h,比上年增长17.8%。面对“双碳”目标,“十四五”时期金华市深入推进能源资源节约和生态环境保护工作,计划到2025年公共机构能源消费总量控制在117 677 t标准煤以内,CO₂排放总量控制在39.4×10⁴ t以内,因此,发展清洁可再生的风能,调整能源结构,迫在眉睫。

研究表明^[8-10],前期的选址工作对风电场的风能

收稿日期:2022-01-13;修回日期:2022-06-24

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发任务专项(2022B03027-1);
新疆气象科技创新发展基金指令性(重点)项目(ZD202106)

作者简介:章永辉(1990—),男,工程师,主要从事综合气象服务工作。E-mail:1102884194@qq.com

通信作者:王勇(1968—),男,正高级工程师,主要从事气象卫星及遥感应用研究。E-mail:443409880@qq.com

评估不够准确会导致风电场的实际发电量比预期低 20%~40%。因此,为了确定是否适合建设风电场,需要充分利用当地的气象观测资料进行风能资源评估,统计分析风电场的平均风速、主导风向、有效风速时数、有效风能密度等风能资源评估参数,了解当地风能储量的分布及丰匮情况^[1,16-17]。本文以 2017—2020 年金华市 177 个气象站的小时测风数据为基础,利用统计学方法,计算各风能资源评估参数,分析金华市风能资源的时空分布情况,从而为金华地区后续的风场选址工作以及风能资源的开发利用提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源及处理

本文所用地面观测数据来自浙江省气象信息中心,经筛选、整理、检测,并剔除不完整及错误资料,严格实现数据质量控制。各气象站均采用 ZQZ-TF 型风向风速传感器,采样高度均为 10 m,风速精确到 0.1 m/s,风向精确到 1°,各站风资料的均一性、可比性较好。

因 2017 年以前金华市大部分区域自动气象站的数据不完整,综合考虑气象站数量与风资料时长后,本文选取最新且完整度高的自动气象站资料,即 2017 年 1 月 1 日—2020 年 12 月 31 日金华市 8 个国家地面气象观测站以及 169 个区域自动气象观测站距地面 10 m 高度的逐小时风向风速资料,包括 2 min 平均风速、10 min 平均风速、极大风速、最大风速、瞬时风速及各自的风向数据(风向采用 16 方位表示)。金华市地形高程及区域自动气象站分布见图 1。

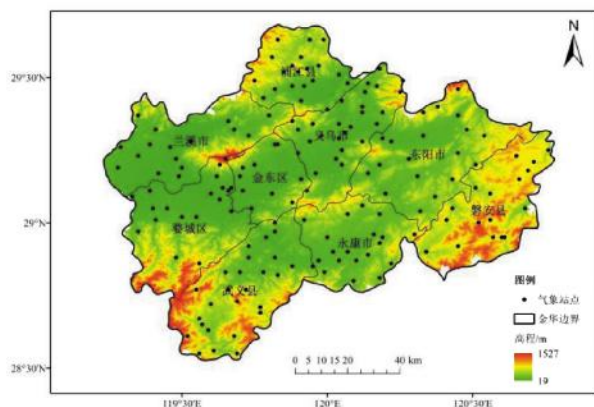


图 1 金华市地形高程及测站分布

1.2 参数计算方法

1.2.1 有效风速及有效风速时数

有效风速指风力发电机的启动风速与阈值上限之间的风速,一般取 10 min 平均风速为 3~12 m/s 的风速值;有效风速时数则是指某时段内出现的有效风速小时数^[18-19]。

1.2.2 平均风能密度及有效风能密度

在单位时间内流过单位截面的风能,即为风能密度:

$$W = \frac{1}{2} \rho V^3. \quad (1)$$

式中, W 为该时刻的风能密度,单位: W/m^2 ; ρ 为空气密度,单位: kg/m^3 ,一般取常温标准大气压下的空气密度 1.225 kg/m^3 ; V 为风速,单位: m/s 。

某时段内的平均风能密度则为

$$\bar{W} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \rho V^3 dt. \quad (2)$$

一般可以直接从风速的时间序列中分别统计出各等级风速(如 0、1、2、3 m/s、……)出现的累计时数(N_1 、 N_2 、 N_3 、……),然后利用公式(1)分别计算各等级风速的风能密度(在实际计算中为消除误差, V 应取各等级风速区间的中间值,如 0.5、1.5、2.5 m/s、……):

$$W = \frac{1}{2} N_i \rho V_i^3. \quad (3)$$

将各等级风速的风能密度之和除以总时数,即为平均风能密度:

$$\bar{W} = \frac{\sum \frac{1}{2} N_i \rho V_i^3}{N}. \quad (4)$$

有效风能密度则是利用有效风速计算得到的平均风能密度^[11,18,20]。

1.3 风能区划指标

朱兆瑞等^[21]利用有效风速时数与有效风能密度对全国的风能资源进行了区划分析,具体划分标准见表 1。

表 1 风能区划指标

风能区划	平均有效风能密度/(W/m^2)	平均有效风速时数/h
丰富区	>200	>5 000
较丰富区	200~150	5 000~4 000
可利用区	150~50	4 000~2 000
贫乏区	<50	<2 000

2 结果与分析

2.1 年平均风速

从图 2a 可知,2017—2020 年金华地区最大年

平均风速出现在武义中部与婺城交界处,约为1.6 m/s,磐安北部、婺城东部、兰溪北部次之,平均为1.4 m/s,而永康年平均风速则最小,仅为1.1 m/s。其中,磐安胡宅、武义大莱和东阳佐小3个站点的年平均风速 >3.0 m/s,分别达3.8、3.7、3.3 m/s,从年际变化中可以发现大莱的平均风速呈逐年增加的趋势,平均增加速率约为 $0.4 \text{ m/s} \cdot \text{a}^{-1}$,而胡宅和佐小的年际变化较小,风速基本在平均值附近呈“正弦”式波动,且佐小风速变化幅度相对较大,在每年6—8月出现风速“谷值”(图2b),风速的年际变化往往是气候变化与下垫面共同作用而产生的。

对比分析金华市地形高程(图1)与年平均风速空间分布(图2a)发现,平均风速大值区基本分布在高海拔山区,这主要是因为风速与地形有关,随着海拔高度增加,风速逐渐增大,因此,在丘陵、山区地带风速往往较大,风能资源也较为丰富。

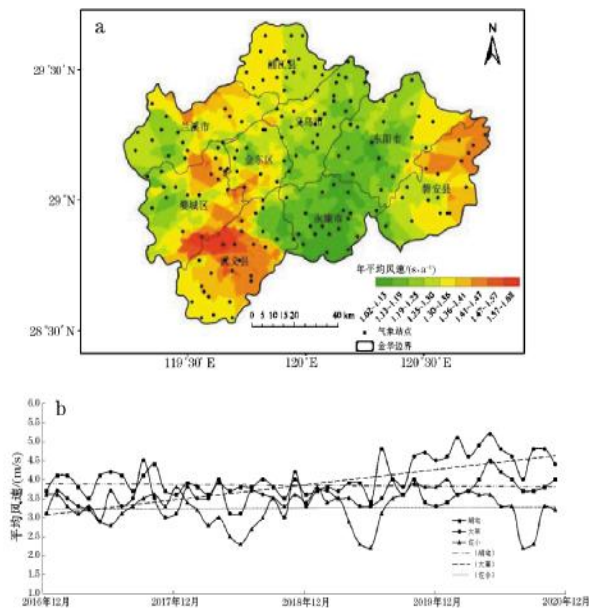


图2 2017—2020年金华市年平均风速空间分布(a)和胡宅、大莱及佐小站平均风速逐年变化(b)

2.2 年平均风能密度

金华市年平均风能密度的大值区在武义中南部地区,约 13.7 W/m^2 ,其他地区均较小,且各地差异不大,其中磐安北部、东阳东部、婺城东部、金东及兰溪的平均风能密度约 4.4 W/m^2 ,年平均风能密度最大的站点为大莱,达 66.1 W/m^2 (图3)。公式(3)表明,平均风能密度的大小由空气密度、风速以及风速时数计算所得,而空气密度的变化一般忽略不计,因此风速、风速累计时数决定了平均风能密度的大小,所以平均风能密度的大值区与年平均风速高度重合。

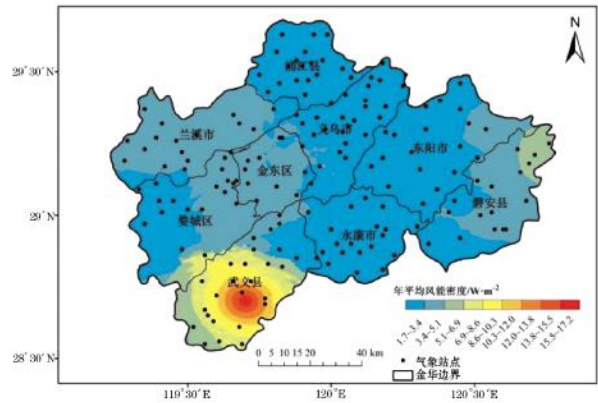


图3 2017—2020年金华市年平均风能密度空间分布

2.3 有效风速时数与有效风能密度

有效风速时数和有效风能密度是评价当地风能资源大小的主要指标。从图4a可以看出,金华地区平均有效风速时数的空间分布与年平均风速基本一致,武义中南部地区为大值区,均在700.0 h以上。表2列出了平均有效风速时数 ≥ 1500.0 h的站点,其中大莱和义乌分别达到了5481.0、2571.3 h。图4b为平均有效风能密度的空间分布状况。武义中南部地区最大,约 40.5 W/m^2 ,其次为金东、义乌南部、永康北部、武义北部以及兰溪北部地区,平均为 37.8 W/m^2 ,而婺城西部地区则最小,约 29.3 W/m^2 ,其中大莱站平均有效风能密度为 107.5 W/m^2 ,义乌为 51.5 W/m^2 (表2)。

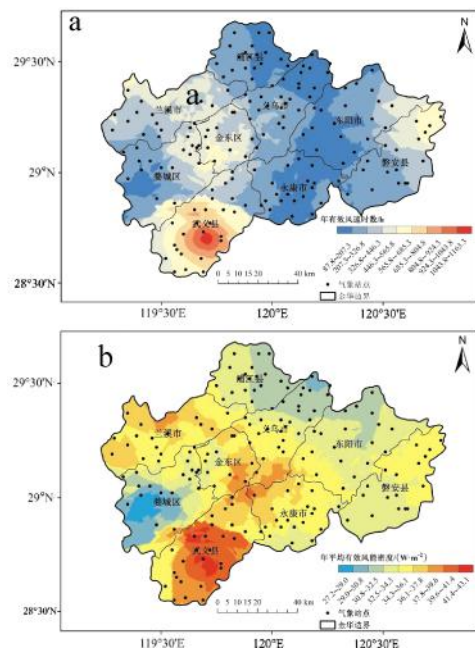


图4 2017—2020年金华市平均有效风速时数空间分布(a)和平均有效风能密度空间分布(b)

表2 2017—2020年金华市平均有效风速时数($\geq 1\ 500.0\ \text{h}$)、平均有效风能密度($\geq 50.0\ \text{W/m}^2$)

站名	大莱	义乌	北山	万苍	佐村	坦洪	尖山	胡宅	乌珠岭脚	赤溪	内河洋
平均有效风速时数/h	5 481.0	2 571.3	1 856.7	1 657.7	1 575.0	1 570.0	1 544.0				
平均有效风能密度/(W/m^2)	107.5	51.5						68.8	64.6	52.2	51.2

金华市地处金衢盆地,地形地貌比较复杂,境内山地起伏,主要呈东北—西南向的狭管地带,因此较易形成狭谷风^[22];此外,从平均风速(图2a)与有效风速时数(图4a)的空间分布特征中可以得出,风速较大的地区,其有效风速持续时间也较长,因此有效风能密度较大。

胡毅等^[23]研究表明,当风力利用系数为0.3时,假设一台高10 m、风轮半径5 m的风力发电机,其每年所产生的能量为 $R_e=0.3 \times \pi (5)^2 \bar{W}$,单位: $\text{W} \cdot \text{a}$,发电量则为 $R_e \cdot T$,单位: $\text{W} \cdot \text{h/a}$ 。以武义大莱为例,其10 m高度的平均有效风能密度 $\bar{W}=107.5\ \text{W/m}^2$,平均有效风速时数 $T=5\ 481.0\ \text{h}$,则 $R_e=2\ 531.6\ \text{W/a}$,1 a所产生的电能为 $13\ 875.7\ \text{W} \cdot \text{h/a}$,而实际风力发电机的轮毂高度主要有50、70、100 m等型号,风轮直径约为50 m,利用国际常用的指数风廓线公式 $v=v_0(\frac{Z}{Z_0})^\alpha$ (α 取0.143)^[24],将10 m高度的风速外推到风机轮毂各高度后,发现大莱50 m高度1 a所能产生的电能约为 $70.0 \times 10^4\ \text{W} \cdot \text{h/a}$,70和100 m处则分别约为 80.0×10^4 和 $94.0 \times 10^4\ \text{W} \cdot \text{h/a}$ 。大莱地处高海拔山区,在大莱建设风电场,不会破坏耕地资源,且盘山公路分布密集,交通便利,利于风电设备的运输、安装以及后期的维护等,所以在在大莱开发风能资源的经济效益与环境效益将非常显著。

2.4 风能区划

大莱和义乌2个站点达到了风能可利用区的标准,而金华市其他站点均属风能贫乏区。由于气象站点的风能数据仅代表了各站点所在位置的风能资源的多寡,并不能反映出无站点地区的风能资源情况,

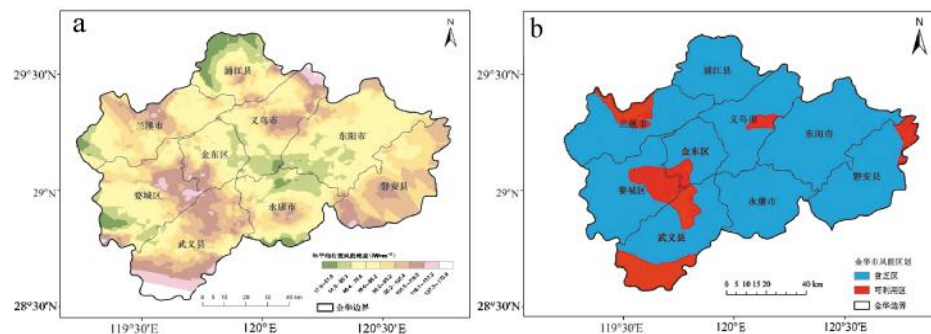
因此,本文通过ArcGIS进行Kriging空间插值,将金华市177个高密度测风站数据制作成空间分辨率为 $1\ \text{km} \times 1\ \text{km}$ 的平均有效风能密度栅格图(图5a)。按照风能资源区划标准,结合有效风速时数的空间分布情况,对金华市风能资源进行精细化区划分析,从而确定风能资源可利用区、贫乏区的范围及其面积(图5b)。武义南部地区风能资源最为丰富,具有开发潜力的面积约为 $510\ \text{km}^2$,金东、婺城和武义三地交界处以及义乌中部、兰溪北部、磐安北部地区的风能资源较为可观,开发面积分别约为615、137、230和 $186\ \text{km}^2$;虽然义乌北部和磐安南部的有效风能密度也较大,但是有效风速时数较小,因此风能资源贫乏。

2.5 风速、风向特征

为了进一步了解金华市风能可利用区的风资源情况,在精细化区划分析基础上,选取了大莱和义乌2个站点,分别代表高山站和城市站,从风能开发利用角度分析风能资源的气候特点及开发过程中可能存在的不利因素。

2.5.1 风速的月际变化和日变化

由大莱和义乌平均风速的月变化(图6a)可知,大莱各月的平均风速均大于义乌,且均 $\geq 3.0\ \text{m/s}$,义乌仅有2个月平均风速 $\geq 3.0\ \text{m/s}$,这是因为大莱为高山站,海拔较高,风速较大。大莱平均风速变化较为平稳,月际差异较小,呈现“波动型”特征,其中10月平均风速最大,达 $4.1\ \text{m/s}$,而1月最小,为 $3.4\ \text{m/s}$ 。义乌平均风速的月际变化大致呈“偏峰型”,7—10月较大,其他月份相对较小,其中最大为8月,风速达 $3.3\ \text{m/s}$ 。6月最小,为 $2.4\ \text{m/s}$ 。从季节性变化来

图5 2017—2020年金华市平均有效风能密度 $1\ \text{km} \times 1\ \text{km}$ 栅格图(a)和金华市风能区划(b)

看,两者均为秋季(9—11月)最大,其中大莱的平均风速为3.9 m/s,义乌为2.9 m/s。这主要是因为秋季亚洲低压和西太平洋副热带高压减弱,而此时中高纬度地区的蒙古—西伯利亚冷高压逐渐增强,冬季风变得强盛,风速开始增大。

大莱和义乌的平均风速均存在明显的日变化特征(图6b),白天风速较大,夜间风速减小,且义乌的日变化幅度相对较大。大莱的最大风速出现在15时,风速达4.1 m/s,最小值出现在19时,为3.4 m/s;义乌最大值出现在16时,达3.7 m/s,最小值出现在07时,为2.2 m/s。主要是因为日出以后气温升高,空气湍流运动不断加强,风速逐渐增大,15时左右,气温升至最高,湍流运动达到最强,此时风速也最大,日落以后气温逐渐下降,大气层结变得稳定,湍流运动被抑制减弱,风速减小^[25]。

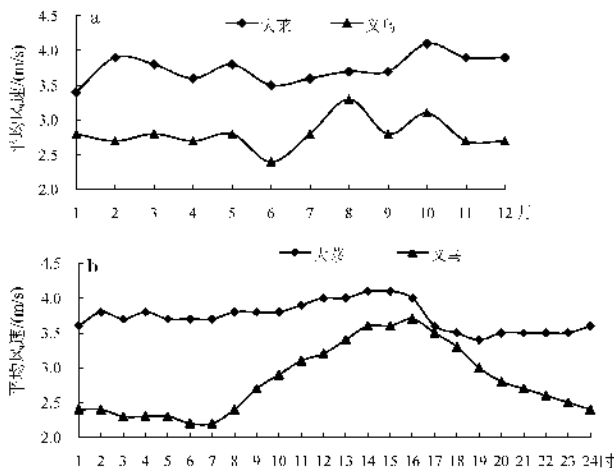


图6 2017—2020年大莱和义乌平均风速
月际变化(a)和日变化(b)

2.5.2 大风日数

从2017—2020年大莱和义乌大风日数(极大风速 ≥ 17.0 m/s)的月际变化中可以看出(图7a),两站月际变化大致呈“双峰型”,第一个峰值出现在3月前后,第二个峰值出现在8月,其他月份出现 ≥ 17.0 m/s的大风次数较少,9—12月义乌无大风天气。不同季节的大风日数差异较大,两站均在夏季(6—8月)最多,秋季(9—11月)最少,其中夏季大莱共出现42 d,义乌共出现19 d。因大莱为高山站,其出现大风的频次明显多于义乌。

大莱和义乌出现大风的次数均存在明显的日变化特征(图7b),12—20时出现大风的概率比其他时段高,分别占总次数的59%与48%,其中大莱平均每年约28 d,义乌约6 d。一方面与气温变化有关,

午后气温升高,风速增大,夜间气温下降,风速减小;另一方面强对流天气往往发生在该时段内,因此对流性雷雨大风出现次数增多。

初春季节冷空气活动仍较频繁,大风天气较多,因此在3月前后出现大风日数的“峰值”。春季至初夏季节,冷空气强度逐渐减弱、低压倒槽东伸受阻,大风天气相对减少。夏季由于受热带气旋、西太平洋副热带高压边缘的影响,容易产生台风大风和强对流大风,以及东北低压、江淮气旋、低压倒槽等各类低值系统带来的低压大风,这类大风过程往往伴有较明显的西南低空急流^[26-27]。

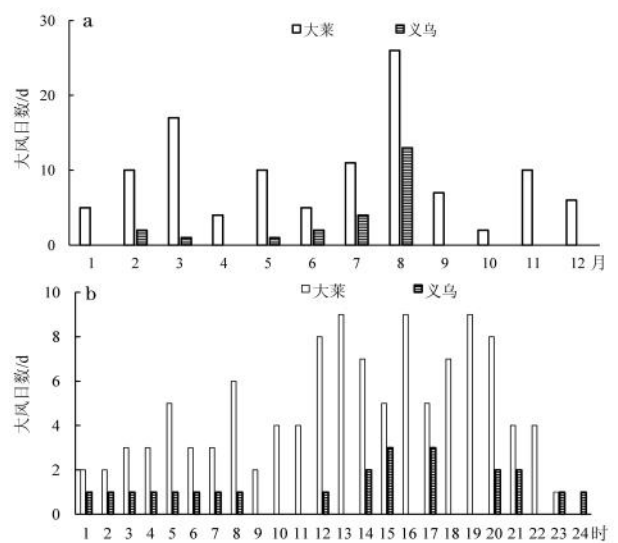


图7 2017—2020年大莱和义乌大风日数的
月际变化(a)和日变化(b)

2.5.3 主导风向

由于金华地处季风气候区,大莱和义乌均存在稳定的年盛行风向,大莱主导风向为WNW,主导风向频率为31.9%(图8a),义乌主导风向为N,主导风向频率为23.1%(图8b)。两者主导风向的季节性差异较小(表3),其中大莱全年各季主导风向均为WNW,义乌春、秋、冬三季的主导风向为N,夏季的主导风向为ESE,次风向则为N,且主、次风向占比

表3 2017—2020年大莱和义乌不同季节
主导风向及其频率

站点	大莱		义乌	
	风向	频率/%	风向	频率/%
春季	WNW	25.4	N	18.1
夏季	WNW	23.0	ESE	13.5
秋季	WNW	44.6	N	32.4
冬季	WNW	36.0	N	29.9

仅相差 1.2%。统计日内逐小时各风向的频率发现,大莱各时次的主导风向均为 WNW, 义乌各时次的主导风向均为 N。主导风向的一致性越好,风机调整角度的频率则越低,风能利用率越高^[28]。

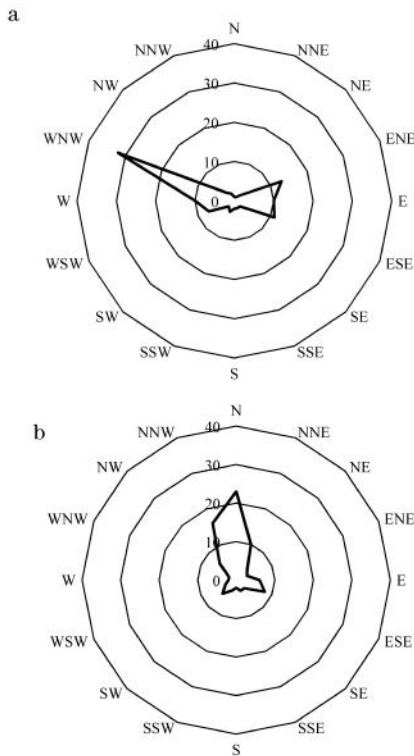


图 8 2017—2020 年大莱(a)和义乌(b)风向频率分布(%)

从主导风向的月际变化(表 4)可以看出,大莱 7 月的主导风向为 ENE,其他各月为 WNW,义乌 7、8 月的主导风向为 ESE,其他各月为 N,夏季两站偏东风频率增大,这主要是受到东亚季风的影响,夏季东亚季风以从海上吹向陆地的偏东、偏南气流为主。

2.5.4 风场特点

金华市风能可利用区内秋季平均风速最大,且主导风向稳定,而春季和夏季出现破坏性大风的概率较大,尤其是 12—20 时出现大风的概率比其他时段高,因此,建议在春、夏季发生强对流天气的午后至傍晚时段暂停风机运行,以免灾害性大风对风机造成损毁。从主导风向来看,夏季风向转为偏东风,此时应及时调整风机朝向,有利于更加高效地开发利用风能。

风电场的选址不仅要考虑风能资源的气候特点,如风速的日、月、季节变化特征,大风日数、主导风向等,还要考虑地形、建筑群、居民区等的分布,以及当地政策、技术条件、经济成本等因素^[29]。武义南

表 4 2017—2020 年大莱和义乌各月主导风向及其频率

站点	大莱		义乌	
	风向	频率/%	风向	频率/%
1 月	WNW	37.0	N	29.4
2 月	WNW	34.1	N	27.1
3 月	WNW	26.2	N	20.2
4 月	WNW	23.1	N	16.5
5 月	WNW	26.9	N	17.5
6 月	WNW	23.8	N	14.7
7 月	ENE	25.9	ESE	14.8
8 月	WNW	27.3	ESE	15.6
9 月	WNW	43.9	N	28.5
10 月	WNW	48.7	N	36.8
11 月	WNW	40.6	N	31.6
12 月	WNW	36.8	N	33.1

部山区风能资源丰富,在选址时应避开陡坡、山坳、湖泊、河流等建设成本高的地区,以及动植物保护区等;金东、婺城和武义三地交界处以及义乌中部、兰溪北部等地位于城郊,选址时应避开居民区、交通要道、机场等人员密集区。

3 结论

利用 2017—2020 年金华市 8 个国家地面气象观测站和 169 个区域自动气象站的风向风速资料,统计了平均风速、平均风能密度、有效风速时数、有效风能密度等风资源评估参数,分析了金华市的风能资源情况,主要结论如下:

(1)金华市年平均风速最大的地区为武义中部,约 1.6 m/s,且胡宅、大莱和佐小 3 个站的年平均风速>3.0 m/s,分别为 3.8、3.7、3.3 m/s。大莱的平均风速呈逐年增加趋势,平均增加速率约为 0.4 m/s·a⁻¹,胡宅和佐小的年际变化较小,呈“正弦”式波动。

(2)大莱站和义乌站的风能资源达到可利用区的标准,而金华市其他站点则处在风能资源贫乏区。其中,大莱平均有效风能密度为 107.5 W/m²,有效风速时数 5 481.0 h,全年各月平均风速均>3.0 m/s,月际变化平稳,季节差异较小,风速日变化幅度较小,年主导风向为 WNW。义乌平均有效风能密度为 51.5 W/m²,有效风速时数为 2 571.3 h,年主导风向为 N,风速的日变化幅度较大,月际变化呈“双峰

型”,7—10月风速较其他月份大,其风能具有较大的波动性,不利于风电在并网过程中的安全稳定。

(3)金华市的风能资源储备整体有限,但是仍存在较多的可开发区域,可以进行规模开发利用,其中武义南部、金东、婺城和武义三地交界处以及义乌中部、兰溪北部、磐安北部地区具有风能资源开发潜力。春夏季节发生强对流天气的午后至傍晚时段易出现灾害性大风,应暂停风机运行。夏季主导风向与其他季节不同,以偏东风为主,应及时调整风机朝向。

参考文献:

- [1] 吴婷婷.风电场风能资源评估中重要参数的计算与应用[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2015.
- [2] 许遐祯,郭乔影,李正泉,等.基于 ASCAT 风场数据的中国近海风能资源评估[J].气象科学,2017,37(6):816-824.
- [3] 孙蕾,张金柱,张远新.阿拉山口地区风能资源特征及利用前景[J].气象科技,2011,39(6):741-744.
- [4] 朱飙,李春华,陆登荣.甘肃酒泉区域风能资源评估[J].干旱气象,2009,27(2):152-156.
- [5] 张华,张学礼.中国东部海域风能资源分析[J].水利学报,2013,44(9):1118-1123.
- [6] 张鸿雁,丁裕国,刘敏,等.湖北省风能资源分布的数值模拟析[J].气象与环境科学,2008,31(2):35-38.
- [7] 郑玉萍,李景林,刘盛梅,等.达坂城 1961—2008 年来风的气候特征及风能现状分析[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(6):29-33.
- [8] 张德,刘秋锋,朱蓉,等.风能资源数值模拟系统 WEST 在新疆地区的应用[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(1):16-19.
- [7] 殷冬琴.风电场风资源评估及利用情况分析[J].轻工科技,2018,34(11):65-70.
- [10] 张洋,刘雪枫,李强.风资源评估综述[J].水利电力机械,2007,29(5):72-75.
- [11] 薛桁,朱瑞兆,杨振斌,等.中国风能资源贮量估算[J].太阳能学报,2001,22(2):167-170.
- [12] 马玲霞,王秀琴,陈建新,等.老风口风资源分析及风资料应用评价[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(3):44-48.
- [13] 汪明军,罗坤,倪智振.基于 WRF 模式的长三角地区风资源评估[J].能源工程,2016(5):29-33.
- [14] 张怡.浙江风电发展现状及应对策略研究[J].浙江水利水电专科学校学报,2013,25(4):57-61.
- [15] 汤锦元.浙江东白山高山型风电场构建及效益[J].电力需求侧管理,2011,13(2):35-37.
- [16] 魏光辉,申莲,何玉春.双参数威布尔分布函数在希尼尔水库风速资料分析中的应用[J].沙漠与绿洲气象,2008,2(6):38-40.
- [17] 张铁军,颜鹏程,李照荣,等.基于短期历史资料的风能预报中风速误差循环订正新方法[J].干旱气象,2017,35(6):1042-1052.
- [18] 朱瑞兆,薛桁.我国风能资源[J].太阳能学报,1981,2(2):117-124.
- [19] 魏根成,潘存.淖毛湖区域风能资源特征及开发前景分析[J].宁夏农林科技,2013,54(2):100-102.
- [20] 朱瑞兆,薛桁.风能的计算和我国风能的分布[J].气象,1981,7(8):28-30.
- [21] 朱瑞兆,薛桁.中国风能区划[J].太阳能学报,1983,4(2):9-18.
- [22] 黄秀英,沈泉岭,陈季,等.佳木斯风能资源形成分布探讨[J].应用能源技术,2009(8):1-4.
- [23] 胡毅,李萍,杨建功,等.应用气象学[M].北京:气象出版社,2005:124-134.
- [24] 李鹏,田景奎.不同下垫面近地层风速廓线特征[J].资源科学,2011,33(10):2005-2010.
- [25] 王会兵,贺斌,乔海鹰,等.乐山市地面风场特征及风能资源初探[J].高原山地气象研究,2008,28(4):76-79.
- [26] 李云法,唐伟民,杨万裕,等.浙江中部沿海大风特征及预报着眼点[C]//中国气象学会.第 27 届中国气象学会年会气候资源应用研究分会论文集.北京:中国气象学会,2010:358-362.
- [27] 董加斌,胡波.浙江沿海大风的天气气候概况[J].台湾海峡,2007,26(4):476-483.
- [28] 王杰,孙天添,赵晓彤,等.宁波市鄞州区白岩山风能资源利用的实践与思考[J].浙江农业科学,2022,63(2):396-400.
- [29] 周扬,吴文祥,刘光旭,等.基于 GIS 的江苏省陆地风能资源潜力评估及微观选址[J].可再生能源,2010,28(4):10-16.

Analysis of Wind Energy Resource in Jinhua City

ZHANG Yonghui¹, LOU Junwei², ZHANG Xin³, WANG Yong⁴

(1. Keqiao Meteorological Bureau, Shaoxing 312000, China;

2. Wuyi Meteteorological Bureau, Wuyi 321200, China;

3. Shihezi Meteteorological Bureau, Shihezi 832000, China;

4. Xinjiang Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center, Urumqi 830000, China)

Abstract In order to analyze the abundance and distribution of wind energy resources in Jinhua city, the hourly wind direction and wind speed data of 8 national ground meteorological stations and 169 regional automatic weather stations in Jinhua city from 2017 to 2020 were used to analyze the average wind speed, hours of effective wind speed and effective wind energy density. The results show that according to the wind energy zoning standard, the wind energy resources of Dalai and Yiwu stations are available, however, others in Jinhua city are scare. The effective wind energy density and hours of effective wind speed are 107.5 W/m^2 and $5\,481.0 \text{ h}$ separately in Dalai station at 10 m above the ground, and 51.5 W/m^2 and $2\,571.3 \text{ h}$ separately in Yiwu station. The annual predominant wind direction is WNW in Dalai, and N in Yiwu. Due to the large diurnal variation of average wind speed in Yiwu, it is disadvantageous to the power system security and stability.

Key words wind energy resources; wind direction; wind speed; hours of effective wind speed; effective wind energy density