

湖州微风发电风场特性分析

向 华, 周雪婧, 常秉松, 王丹丹

湖州市气象局, 浙江 湖州

收稿日期: 2025年6月18日; 录用日期: 2025年7月18日; 发布日期: 2025年7月24日

摘 要

采用中尺度自动站资料, 对湖州2014~2023年0~2 m/s、2~6 m/s、6~10 m/s、10~12 m/s区段的风速绘制了比率分布图, 并重点针对2~6 m/s的微风段分析风向频率及年际、月际和季节、日变化, 结果表明: (1) 微风主要集中在0~2 m/s和2~6 m/s区段, 湖州东部、北部平原和太湖沿岸及个别高山区比率超过50%, 这些区域微风资源相对比较丰富。(2) 2~6 m/s微风主风向频率按不同类型站点分布为: 城市站湖州、安吉ESE, 德清、南浔E, 长兴E、ENE, 湖岸站SE到SSE, 高山站云上草原SSW, 莫干山E。(3) 2~6 m/s微风占比近10年呈缓慢下降趋势; 3~5月和8月风力相对较大; 春季风力较大, 夏季次之, 秋、冬季最小; 日变化总体均呈单峰型, 中午到傍晚微风风力较大, 峰值一般出现在14时、15时, 而夜间微风风力较小, 谷值一般出现在02~06时。

关键词

微风, 发电, 风场特征

Analysis about the Wind Field Characteristics of the Light Wind Power Generation in Huzhou

Hua Xiang, Xuejing Zhou, Bingsong Chang, Dandan Wang

Huzhou Meteorological Bureau, Huzhou Zhejiang

Received: Jun. 18th, 2025; accepted: Jul. 18th, 2025; published: Jul. 24th, 2025

Abstract

The mesoscale automatic stations data were used to draw ratio distribution maps for wind speeds in the 0~2 m/s, 2~6 m/s, 6~10 m/s, and 10~12 m/s sections in Huzhou from 2014 to 2023. The wind

direction frequency and interannual, monthly, seasonal, and diurnal variations in the 2~6 m/s light wind section were analyzed in detail. The results showed that: (1) Light wind mainly concentrates in the 0~2 m/s and 2~6 m/s sections. The ratios in the eastern part of Huzhou, the northern plains, the Taihu Lake shore, and some high mountainous areas exceed 50%, and these areas have relatively abundant light wind resources. (2) The frequency of the main wind direction in the 2~6 m/s light wind range varies according to different types of stations: in the urban stations Huzhou and Anji are ESE, Deqing and Nanxun are E, Changxing is E and ENE, the lake shore station is SE to SSE, in the high mountain stations Skyland is SSW, and Mogan Mountain is E. (3) The proportion of 2~6 m/s light wind has shown a slow downward trend in the past 10 years; the wind speed is relatively large from March to May and August; the wind speed is larger in spring, followed by summer, and the smallest in autumn and winter; the diurnal variation is generally single-peaked, with the wind speed being larger from noon to evening, the peak generally occurring at 14:00 and 15:00, and the wind speed being smaller at night, with the trough generally occurring from 02:00 to 06:00.

Keywords

Light Wind, Power Generation, Wind Field Characteristics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,我国正处于经济发展转型升级的关键时期,各行各业对能源的需求不断增加,而传统化石能源因存量的有限及对环境的污染问题亟需向新能源方向的转变。随着可持续发展理念的持续推进,国家对清洁能源的应用需求提高到一个高度,结合乡村振兴战略,启动“千乡万村驭风计划”和“千乡万村沐光行动”。风能作为可再生能源之一,因其应用技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景,在风力发电领域受到各级政府的高度重视和国家产业政策的重点支持,近年来风电行业装机迎来爆发式增长[1]。

随着风电产业的逐渐普及,风电技术发展所面临的问题也日益突出。当前风电技术主要针对高风速大容量地区,所以目前商业化运行的风电场大都位于远离人口聚居地的偏远地带或者高山区,由此带来了基础建设、电力输送、监控管理、设备维护、安全运行和使用寿命等诸多方面的难题,这些问题不仅大大增加了风电技术的难度,还提高了风电的使用成本。自然环境中风力的变化和不连续性也给风电的应用造成了困扰,风电直接接入传统电网会造成明显的电力波动,大量风电的接入可能导致传统电网的瘫痪[2]。面对以上困境,风电技术发展出现两极分化的趋势。一方面,传统风电技术向超大型高速风电机组发展;另一方面,小型微风低速发电机正在逐渐兴起。低速微风发电机具有宽泛的适应性和灵活性,正逐渐向城市地区渗透。城市是人口聚集的地区,电力需求最大。在城市地区现场发电,就地使用将非常有效地解决风力发电成本过高的问题。因此,微风发电对于扩大风电技术的应用范围,降低实施难度和使用成本等方面起着日益重要的作用,分散式微风发电具有环境适应性强、损耗低、操作简单、建设边界限制条件较少等方面优势[3]。

微风发电的启动风速因具体的技术和设备而异。一些微风发电机采用全球领先的“垂直式多叶片万向风能系统”机组设计及生产,其启动风速可以低至 1.0 m/s。这种设计突破了传统三叶片风力发电启动风速 5 m/s 的条件,使得微风发电机在更低的风速下就能有效发电。一般来说,微风发电满负荷运转所需

的微风风速范围在 3 m/s 到 8.5 m/s 之间, 这个风速范围是根据微风发电机的设计特性和运行效率来确定的[4]。由于分散式微风发电的选址开发对提升低风速区域风能资源利用水平至关重要, 因此, 需要针对不同地区气候资源条件进行深入分析, 研究采用不同机型、塔筒高度等的适用方案, 有助于加强设备选型研究[5]。

本文基于湖州中尺度自动站资料, 针对湖州微风风场年际、季节、月、日变化以及各时段微风占比情况, 结合地形条件, 分析微风风场空间分布特征, 为微风发电提供参考。

2. 资料与方法

对湖州中尺度自动站小时数据库进行查询分析, 获取了近 10 年(2014~2023 年)全市 249 个站点微风小时频次数据, 并与全风速小时频次进行对比, 得到微风所占比率, 计算了全市所有站点的微风比率数据。

为保证数据的完整性和代表性, 对数据进行预处理, 剔除掉时间总长度少于一年的风速数据共 28 个站点。为了具有代表性, 选取 2 分钟和 10 分钟平均风速, 按照各风速级别, 利用 python 绘制出湖州全市 221 个站点微风风速比率的散点分布图, 从中可以比较清晰的看出各级别风速在全市的分布情况。

3. 微风风速分析

3.1. 0~2 m/s 微风风速分布

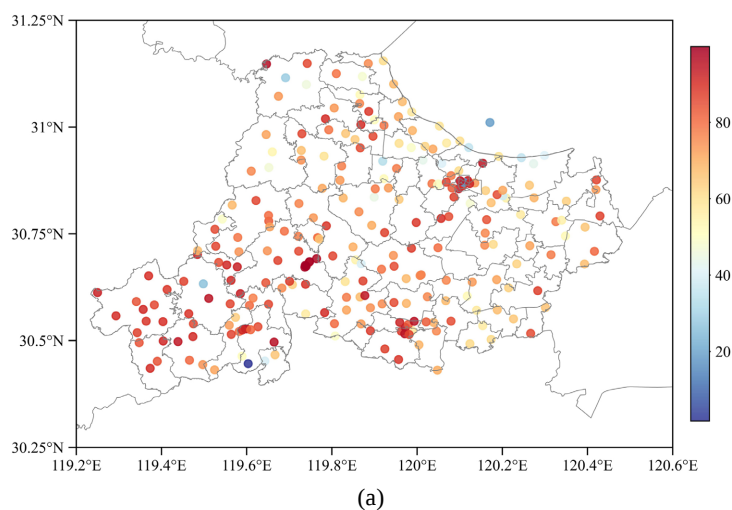
由图 1 可见, 2 分钟和 10 分钟平均的 0~2 m/s 微风分布情况基本一致, 除了太湖沿岸及高山区比率较小外, 全市大部分站点均超过 50%, 湖州市县中心城区附近及部分低海拔山区比率甚至超 80%, 说明 0~2 m/s 微风在上述地区占比非常大。

3.2. 2~6 m/s 微风风速分布

由图 2 可见, 2 分钟和 10 分钟平均的 2~6 m/s 微风分布情况基本一致, 均是在湖州东部、北部平原和太湖沿岸及个别高山区比率较大, 超过 50%, 而全市其他大部地区在 20%~50%。

3.3. 6~10 m/s 微风风速分布

由图 3 可见, 2 分钟和 10 分钟平均的 6~10 m/s 微风分布情况基本一致, 绝大部分都在 10%以下, 说明 6 m/s 以上的平均风在湖州全年里发生频率很小。



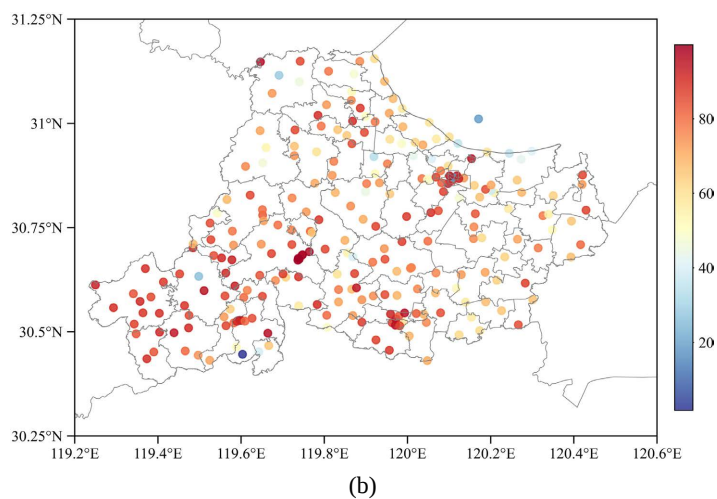


Figure 1. Distribution of wind speeds ranging from 0~2 m/s in Huzhou from 2014 to 2023. (a) 2-minute average wind speed; (b) 10-minute average wind speed

图 1. 2014~2023 年湖州全市 0~2 m/s 风速分布。(a) 2 分钟平均风；(b) 10 分钟平均风

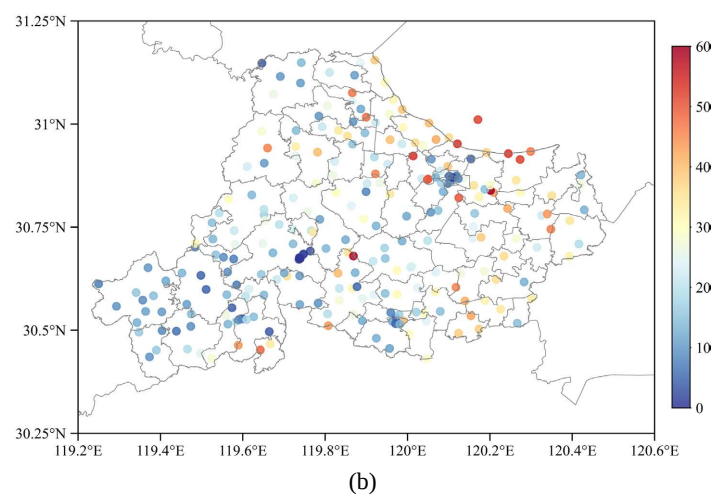
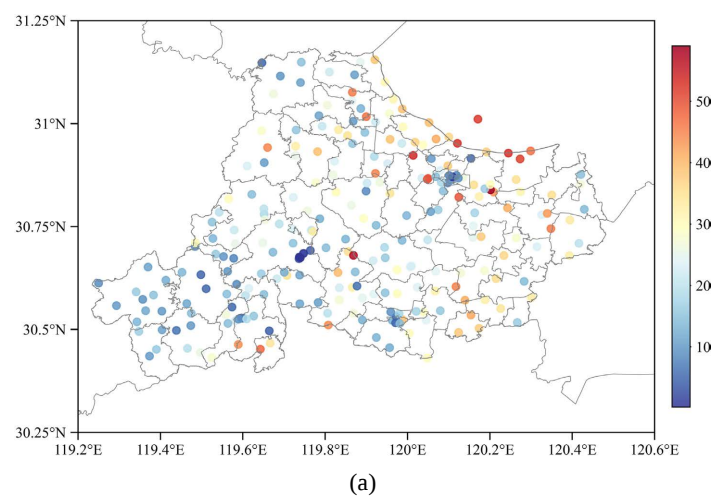


Figure 2. Distribution of wind speeds ranging from 2~6 m/s in Huzhou from 2014 to 2023. (a) 2-minute average wind speed; (b) 10-minute average wind speed

图 2. 2014~2023 年湖州全市 2~6 m/s 风速分布。(a) 2 分钟平均风；(b) 10 分钟平均风

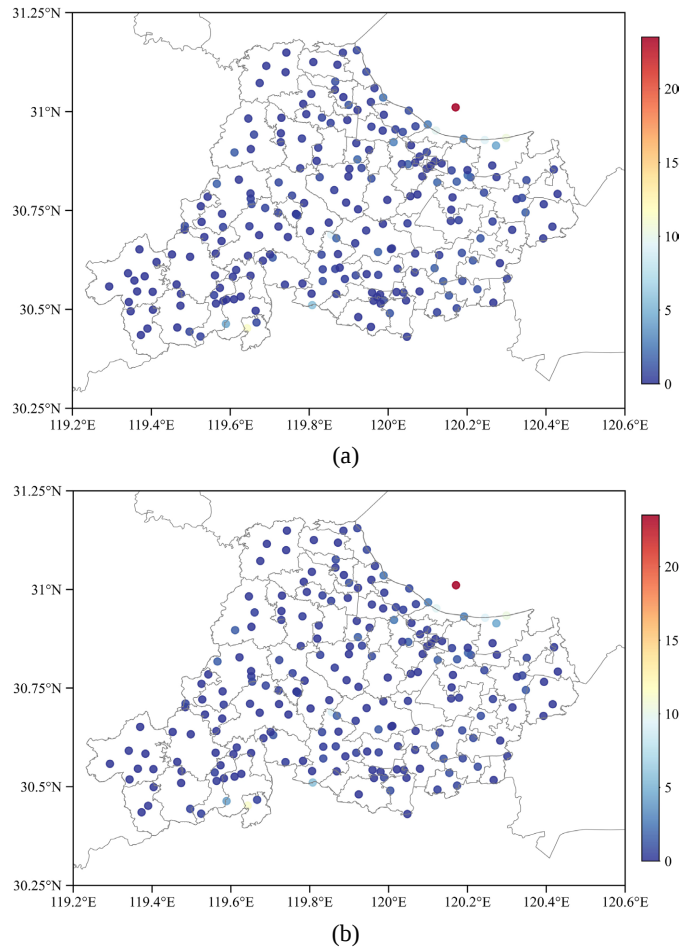
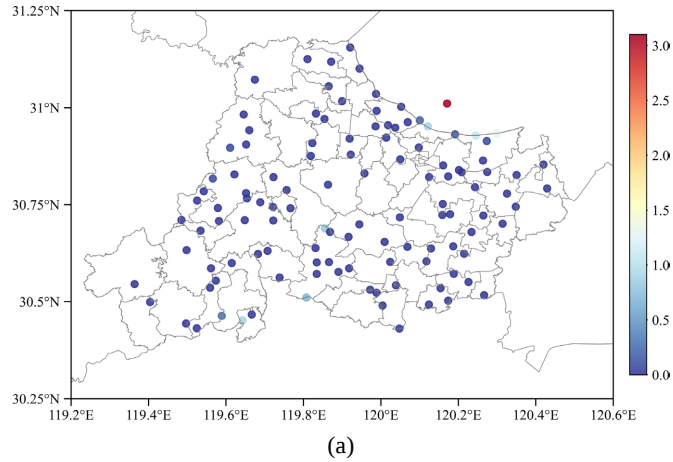


Figure 3. Distribution of wind speeds ranging from 6~10 m/s in Huzhou from 2014 to 2023. (a) 2-minute average wind speed; (b) 10-minute average wind speed

图 3. 2014~2023 年湖州全市 6~10 m/s 风速分布。(a) 2 分钟平均风；(b) 10 分钟平均风

3.4. 10~12 m/s 风速分布

由图 4 可见，2 分钟和 10 分钟平均的 10~12 m/s 风速分布情况基本一致，绝大部分都在 1% 以下，说明 10 m/s 以上的平均风在湖州全年里微乎其微。



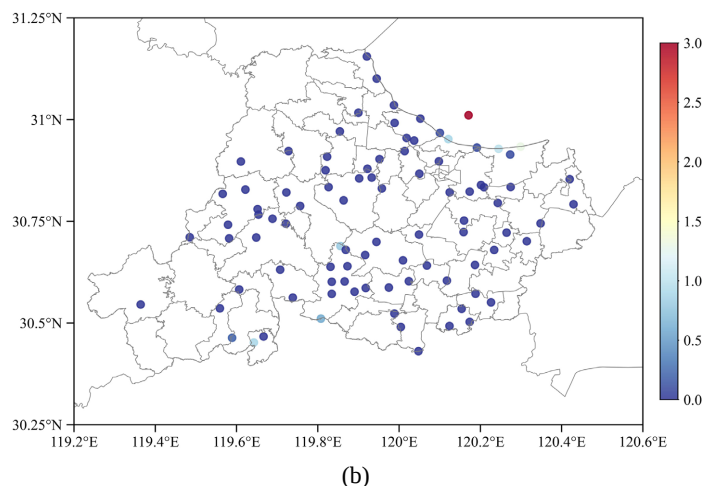


Figure 4. Distribution of wind speeds ranging from 10~12 m/s in Huzhou from 2014 to 2023. (a) 2-minute average wind speed; (b) 10-minute average wind speed

图 4. 2014~2023 年湖州全市 10~12 m/s 风速分布。(a) 2 分钟平均风；(b) 10 分钟平均风

4. 微风风向频率分析

根据上述关于微风风向的统计，6 m/s 以上的风发生几率较小，故仅对 6 m/s 以下的微风进行分析，而考虑 0~2 m/s 实际应用价值不大，故针对 2~6 m/s 的风向进行统计并计算比率，并绘制风向频率图(图略)。

因为风向具有一定的随机性，选择有代表性的站点进行分析。首选代表市县中心城区的城市站：湖州(K5454)、南浔(K5004)、德清(K5079)、安吉(58446)、长兴(58443)，另外选取太湖湖岸及高山站：幻娄(K5001)、金融小镇(K5002)、云上草原(K5170)、莫干山(K5005)。

4.1. 城市代表站

湖州(58450)站 2014~2023 年累计风向频率为 ESE 最多，占比 15.0%，其次为 WNW，占比 14.9%，E 第三，占比 9.3%，SE 第四，占比 8.9%。

南浔(K5004)站 2014~2023 年累计风向频率为 E 最多，占比 18.7%，其次为 NW，占比 13.0%，NNW 第三，占比 10.1%，NNE 第四，占比 8.9%。

德清(K5079)站 2014~2023 年累计风向频率为 E 最多，占比 18.5%，其次为 ENE，占比 12.4%，NW 第三，占比 11.3%，NNW 第四，占比 11.0%。

安吉(58446)站 2014~2023 年累计风向频率为 ESE 最多，占比 21.3%，其次为 SE，占比 14.5%，NNW 第三，占比 12.6%，N 第四，占比 12.2%。

长兴(58443)站 2014~2023 年累计风向频率为 E 和 ENE 最多，占比均达到了 14.9%，其次 NE，占比 10.1%，NNE 第三，占比 8.6%，WNW 第四，占比 7.9%。

4.2. 太湖沿岸站

幻娄(K5001)站 2014~2023 年累计风向频率为 SE 最多，占比 14.4%，其次 NE，占比 11.0%，ENE 第三，占比 8.9%，NW 第四，占比 8.4%。

金融小镇(K5002)站 2014~2023 年累计风向频率为 SSE 最多，占比 15.5%，其次为 NNE，占比 14.9%，SE 第三，占比 11.9%，N 第四，占比 11.7%。

4.3. 高山站

云上草原(K5170)站 2019~2023 年累计风向频率为 SSW 最多, 占比 31%, 其次为 NNW, 占比 25.9%, E 第三, 占比 13.1%, S 第四, 占比 12.3%。

莫干山(K5005)站 2014~2023 年累计风向频率为 E 最多, 占比 19.1%, 其次为 ESE, 占比 18.1%, WNW 第三, 占比 13.0%, NNW 第四, 占比 6.3%。

5. 微风年际、月际及季节、日变化分析

5.1. 年际变化

统计了 2014~2023 年湖州各县区国家站或城市代表站逐年累计 2~6 m/s 微风小时数, 从图 5 可见, 近 10 年各站总体均呈缓慢下降趋势, 这可能与城市化效应有关, 观测站周边的建筑物高度升高对风力有一定降速作用。各站对比来看, 湖州、长兴较多, 最多为湖州(58450)站 2014 年达 4814 小时, 德清、南浔较少, 最少为南浔(K5004)站 2023 年仅为 1066 小时。

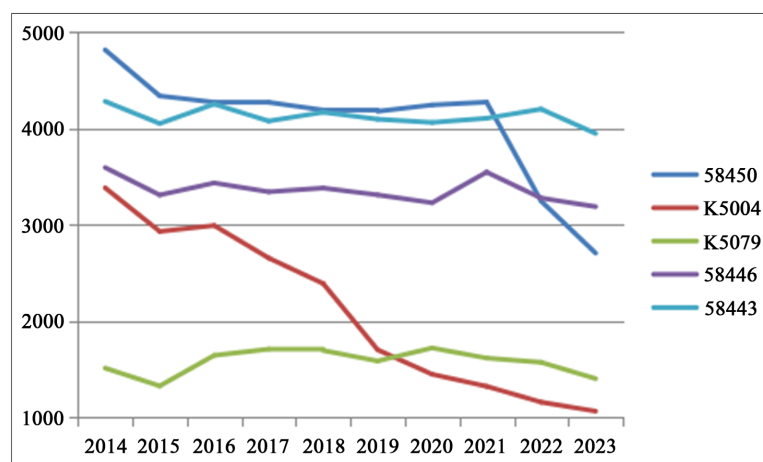


Figure 5. Annual cumulative hours of light wind (2~6 m/s) at representative stations in Huzhou districts and counties from 2014 to 2023

图 5. 湖州各县区代表站 2014~2023 年逐年累计微风(2~6 m/s)小时数

5.2. 月际变化

统计了 2014~2023 年湖州各月累计 2~6 m/s 微风小时数, 并进行 10 年平均, 从图 6 可见, 3~5 月和 8 月微风小时数为最多, 因 10 分钟平均风力绝大部分都分布在 6 m/s 以下, 分析可知上述几个月微风风力相对较大, 其中 3、4 月最多, 分别达 368 小时、363 小时, 而 11 月最少, 仅为 278 小时。

5.3. 季节变化

经各月累计分别可得平均四季微风小时数, 从图 7 可见, 各季差异较明显, 其中春季 2~6 m/s 微风小时数明显最多, 累计平均时长达到了 1088 小时, 而秋、冬季最少, 分别为 923、922 小时, 夏季居中, 为 995 小时。

5.4. 日变化

统计了 2014~2023 年湖州各县区国家站或城市代表站逐时累计 2~6 m/s 微风小时数, 从图 8 可见, 近 10 年各站日变化总体均呈单峰型。中午到傍晚微风小时数较多, 对应风力较大, 峰值一般出现在 14

时、15 时，而夜间微风小时数较少，对应风力较小，谷值一般出现在 02~06 时，这与常规风力分布基本一致。各站对比来看，湖州、长兴较多，最多为长兴(58443)站 14 时、15 时分别达 2845、2843 小时，德清、南浔较少，最少为德清(K5079)站 02 时、05 时，分别仅为 192、197 小时。

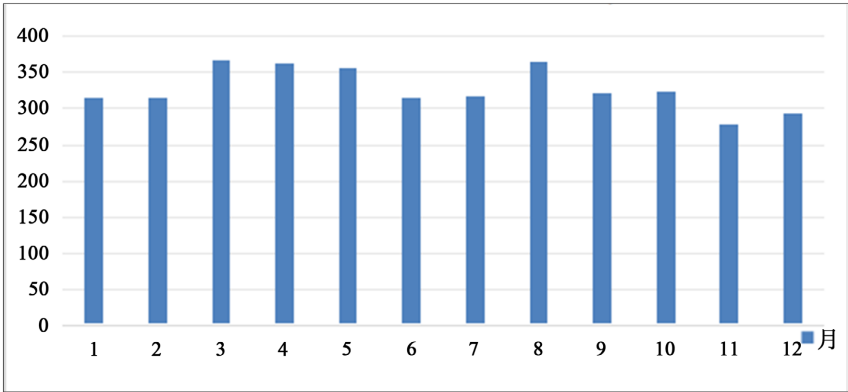


Figure 6. Average monthly hours of light wind (2~6 m/s) at Huzhou from 2014 to 2023
图 6. 湖州 2014~2023 年平均逐月微风(2~6 m/s)小时数

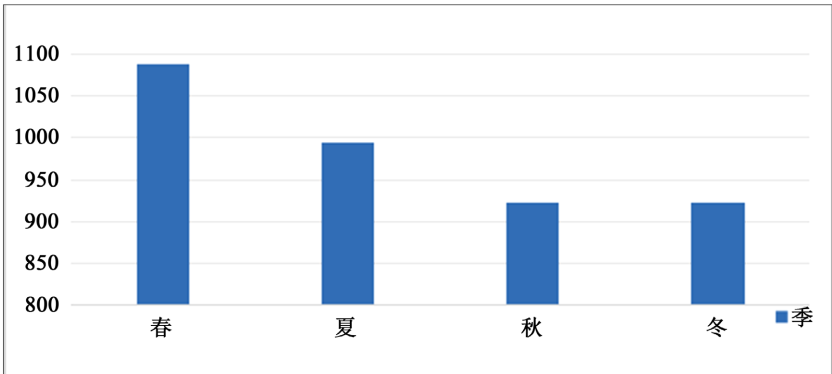


Figure 7. Seasonal average hours of light wind (2~6 m/s) at Huzhou from 2014 to 2023
图 7. 湖州 2014~2023 年平均四季微风(2~6 m/s)小时数

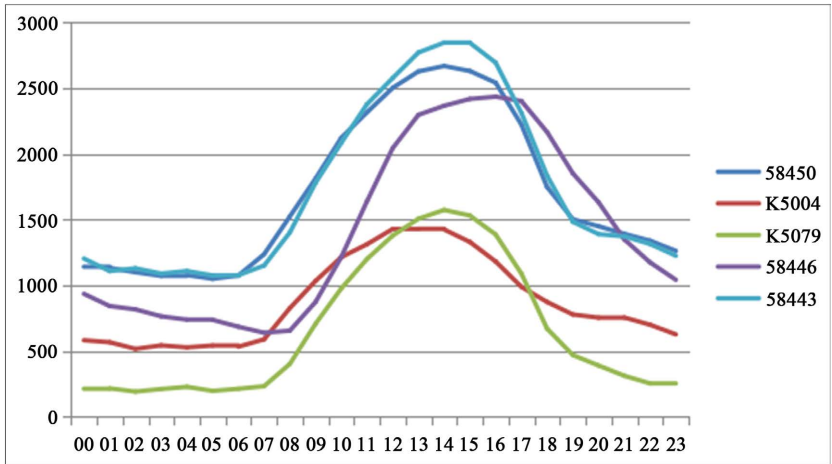


Figure 8. Hourly aggregated light wind (2~6 m/s) duration at representative stations in Huzhou districts and counties from 2014 to 2023
图 8. 湖州各县区代表站 2014~2023 年逐时累计微风(2~6 m/s)小时数

6. 结论

(1) 湖州微风主要集中 0~2 m/s 和 2~6 m/s 区段, 湖州东部、北部平原和太湖沿岸及个别高山区比率超过 50%, 这些区域微风资源相对比较丰富。

(2) 2~6 m/s 微风主风向频率按不同类型站点分布为: 城市站湖州、安吉 ESE, 德清、南浔 E, 长兴 E、ENE, 湖岸站 SE 到 SSE, 高山站云上草原 SSW, 莫干山 E。

(3) 2~6 m/s 微风年际、月际和季节、日变化具有如下特点: 占比近 10 年呈缓慢下降趋势; 3~5 月和 8 月风力相对较大; 春季风力较大, 夏季次之, 秋、冬季最小; 日变化总体均呈单峰型, 中午到傍晚微风风力较大, 峰值一般出现在 14 时、15 时, 而夜间微风风力较小, 谷值一般出现在 02~06 时。微风总时长对比, 湖州、长兴较多, 德清、南浔较少。

基金项目

湖州市公益性应用研究项目“多模式精细化降水预报产品在安吉两库水资源调度中的应用研究(2023GZ63)”资助。

参考文献

- [1] 黄群芳, 颜敏. 典型气象条件下城市热岛效应逐时变化特征[J]. 气象科学, 2022, 42(3): 402-409.
- [2] 李登君, 韦雅文, 季丰. 针对微风发电的城市风场特性初步研究[J]. 风能, 2013(9): 84-89.
- [3] 华泽嘉, 郭永健, 宋博. 吉林城区分布式微风风力发电可行性分析[J]. 东北电力大学学报, 2018, 38(3): 32-38.
- [4] 李滨海, 季丰, 秦洪艳. 新型城市微风发电装置[J]. 风能, 2015(4): 92-96.
- [5] 王建瓯, 魏立东. 微风电与光伏相结合的分布式发电系统[J]. 中国建材科技, 2014, 23(4): 33-34.