

NCEP 与 STRM 在风电场选址中的应用

贺煜婷¹, 唐立军¹, 夏向阳²

(1. 长沙理工大学物理与电子科学学院, 湖南 长沙 410114; 2. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:针对目前某些风能资源评估系统精度较低的问题, 提出根据 NCEP 数据提取风电场气象数据、利用 STRM 数据得出风电场地形的办法, 并利用 WAsP 软件计算出风速、风功率密度等风能资源关键指标; 在获知风能资源分布指标的情况后, 求取两参数的威布尔分布, 对风速的频率分布进行模拟并估计发电量。最后, 通过实例验证所提方法可行、有效且预测精度较高。该方法为风电场的建设提供理论依据, 也为后期的风电场精准定位提供指导。

关键词: STRM; NCEP; WAsP; 风电场选址

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.06.020 中图分类号: TM614 文章编号: 1673-9140(2020)06-0152-05

Research on the application of NCEP and STRM for the selection of wind farm site

HE Yuting¹, TANG Lijun¹, XIA Xiangyang²

(1. School of Physics and Electronic Science, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China; 2. School of Electrical and Information Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to solve the problem of low accuracy in wind energy resource assessment, this paper uses NCEP data to extract meteorological data of wind farms, and uses STRM data to obtain macroscopic topography of wind farms. With the support of WAsP software, the key indicators of wind energy resources such as wind speed and wind power density are then calculated. After knowing these indicators of the distribution of wind energy resources, the Weibull distribution of the two parameters are obtained. Then the frequency distribution of wind speed are simulated and the power generation are estimated. The proposed method provides a theoretical basis for the construction of wind farms and guidance for the precise positioning of the wind farms in the later period. Finally, an example is included to verify that the proposed method is feasible, effective and has high prediction accuracy.

Key words: STRM; NCEP; WAsP; wind farm site selection

近年来, 为开展节能减排与环境保护工作, 中国正大力推进风电厂的规模化发展, 而中国地域宽广、风力资源分布不均, 因此, 需要对风电厂的选址位置进行科学合理规划^[1], 风能资源评估是风电场宏观选址的主要参考依据之一^[2-3]。风能资源与选址地

域的气候、地形特征、地表粗糙度密切相关, 因此, 风电场建设, 需对风电场候选位置进行风能资源评估, 尽量挑选风能资源丰富地区^[4-5]。风能资源评估主要通过获取气象站或者与气象塔相关的历史数据, 利用数值模拟与卫星遥感技术进行数据分析与研判。

收稿日期: 2019-07-16; 修回日期: 2019-11-12

基金项目: 湖南省自然科学基金(2018JJ4025); 湖南省电动交通与智能配网工程技术研究中心开放基金(KFJJ2019-01-05)

通信作者: 唐立军(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事固体电子学、信号检测处理及风能资源评估的研究; E-mail: tanglj2009@163.com

由于中国气象站多位于城乡地区,这些区域风速低、风能资源相对匮乏,导致早期的风能资源评估的可行性较差。加之气象站离地高度一般为 10 m,远低于风力机组叶片所处高度 50~70 m,其数据参考意义较低,单纯使用气象观测历史数据评估风能资源存在较大不确定性^[6-7]。气象塔高度与风力机组叶片相近,但存在气象信息时段不统一、建设成本高、站点分布稀疏等局限^[8]。同时,随着海上风电场的兴建和海洋经济的兴起^[9],目前缺乏与之相适应的气象资料。因此,为克服利用气象站和气象塔资料评估风能资源的局限性,近年来通过融合数值模拟和卫星遥感数据评估风能资源的方法得到广泛研究与应用^[10]。如在 Jacksonhe Hunt 理论上,欧洲学者开发了相对完备的 WAsP 软件,评估风能资源和指导风力发电机组微观选址^[11]。之后,又将中尺度数值模式 KAMM 与 WAsP 模式组合,通过中尺度模式产生的结果输入 WAsP^[12],获得高分辨率风能资源分布图。

该文提出通过 NCEP 整理风电场气象数据,利用 STRM 生成风电场宏观地形,然后使用 WAsP 软件计算风速、风功率密度等风能资源指标,为风电场宏观选址和后续建立测风塔提供有效参考。

1 风电场风资源初步评价方法

1.1 风速概率模型

风速是风能资源评估和风电场选址的重要基础数据。目前,常用的风速分布概率模型有威布尔分布、伽马分布、瑞利分布、对数正态分布等。其中,威布尔分布模型简单、计算方便,对不同频率的风速均能较好地描述,并在实际工程中得到广泛应用。因此,该文选用威布尔分布模型估计风能。威布尔分布的概率密度参数可表示为

$$f(c) = \frac{K}{A} \left(\frac{c}{A}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{c}{A}\right)^K\right) \quad (1)$$

$$K = \left(\frac{\sigma}{c}\right)^{-1.086} \quad (2)$$

$$A = \frac{c}{\Gamma(1+1/K)} \quad (3)$$

式(1)~(3)中 K 、 A 分别为形状、尺度参数; c 为风速; Γ 代表伽马函数,其数值计算可参考《全国风能资源评价技术规定》。

不同的 A 值对应不同的威布尔分布,当 A 值为 1 时,威布尔分布呈现标准形态。以平均风速 \bar{c} 估计 c ,以标准差估计 σ :

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \quad (5)$$

其中, n 为测量观察的总次数, c_i 为测量观测中任意时段的风速测量值。

1.2 风速特征量估算

通过式(4)、(5)计算得出风速两参数的威布尔分布值 $W-A$ 和 Weibull- k 后,平均风速 \bar{c} 和平均风功率密度 p 为

$$\bar{c} = A\Gamma(1+1/K) \quad (6)$$

$$p = \frac{1}{2}\rho A^3 \Gamma(1+3/K) \quad (7)$$

由于风功率密度的大小与空气密度 ρ 有直接关系,故其值会有 10%~15% 的波动,这部分波动主要由温度和海拔对空气密度的影响造成的。其中空气密度 ρ 与海拔(z)、温度(T)的函数关系为

$$\rho = \left(\frac{P_0}{RT}\right) \exp\left(-\frac{gz}{RT}\right) \quad (8)$$

为提高风能资源评估效果,WAsP 根据海拔(z)和其对应的海拔平均温度(-25~40 °C),利用海平面大气压 1 013.25 hPa、温度垂直梯度 6.5 K/km 设计专门的空气密度计算式,可对空气密度进行大体估算。

1.3 风电场宏观选址

利用 NCEP 与 STRM 提供的数据,在 WAsP 8.3 支持下,求得待建电场的风速分布,计算威布尔分布的 A 、 K 参数值。利用风况信息,根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710—2002),对待建电场整块区域的风能资源进行等级划分,并将风能资源优良区作为备选建厂区域。提取备选区域的威布尔分布参数值,估算各区域的理论发电量,并将理论发电量最大值的区域作为待建风电场场址。

2 实例分析

2.1 研究区域概况

为验证 NCEP 和 STRM 在风电场宏观选址中的应用潜力,选取某市梅桥镇(27°45'N,112°30'E)

作为试验区域。获取试验区域 2018 年逐时记录的实时风能数据,并将其作为 NCEP 的气象测评数据。通过 Globe mapper 软件结合 STRM 数据形成地形测评数据,测试区 DEM 及矢量图分布分别如图 1、2 所示。

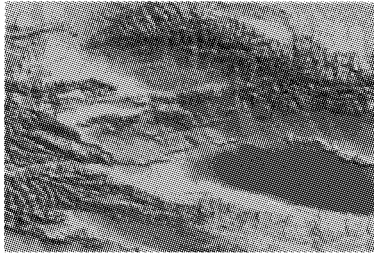


图 1 试验区 STRM 数据
Figure 1 STRM data of test area

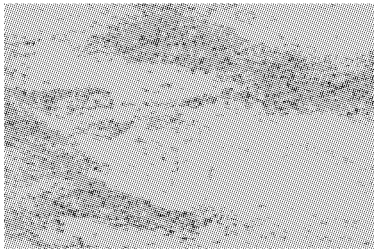


图 2 试验区矢量数据
Figure 2 Vector data of test area

2.2 风能资源评估

通过 WAsP 计算的风能玫瑰图结果如图 3 所示。在 70 m 高度处,风速和风功率密度如图 4 所示,风速分布如图 5 所示。采用两参数的威布尔分布指标 A、K 作为风能资源判断的细化指标,试验区所测 A、K 参数分布分别如图 6、7 所示。

比较图 6、7 可知,当风资源较好时,如在地势较高区,其风速在 6 m/s 以上时,风资源图上显示较亮,而当风资源较差时,如平坦地区,其风速相对较低,约为 1 m/s,风资源图上显示为较暗。

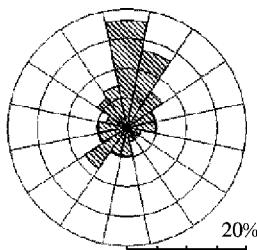


图 3 试验区风能玫瑰图示意
Figure 3 Wind energy rose map of test area

结合研究区的尺度参数 K 和形状参数 A,可以计算图形上任一点的风速分布情况,利用其可以模

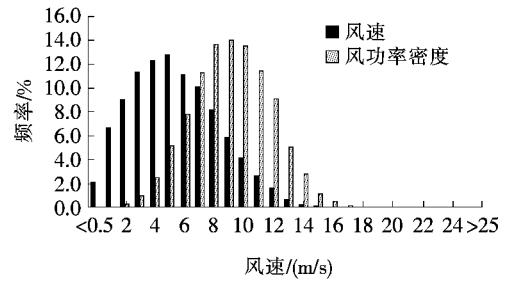


图 4 70 m 高度风速和风能频率分布
Figure 4 Wind speed and wind energy frequency distribution at 70 m height

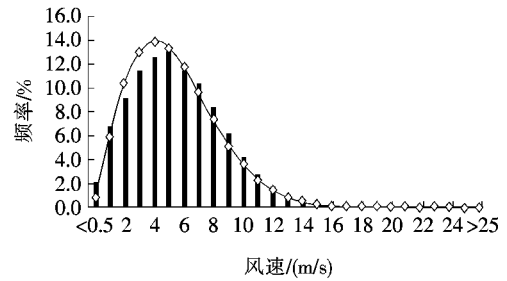


图 5 试验区风速分布
Figure 5 Wind speed distribution of test area

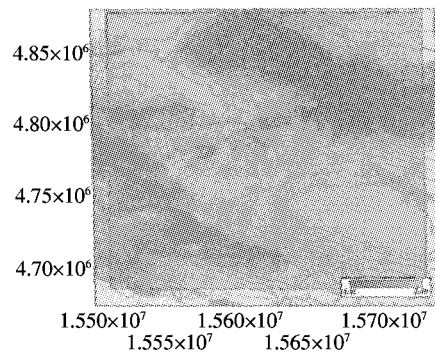


图 6 试验区尺度参数 K 的分布
Figure 6 Distribution map of shape scale parameter K

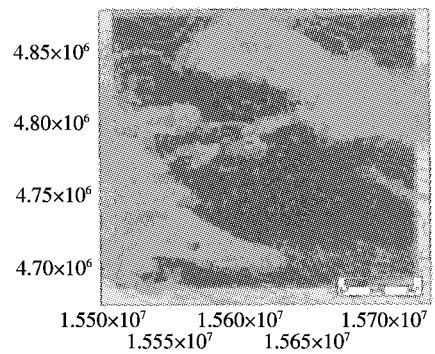


图 7 试验区形状参数 A 的分布
Figure 7 Distribution map of shape parameter A

拟出风速的威布尔分布,利用极大似然估计法拟合出风速概率分布情况,通过风速频谱分布,结合所选风机的功率曲线图,计算该区域风力发电量,计算年平均风速值,对候选区域进行比较,综合考虑上述计算量,择优选址。该文所采用的方法基于尺度参数 K 与形状参数 A ,实现了风电场风速分布情况更准确的表达,避免了传统方法单纯依靠风速、发电功率进行选址的缺陷,为选址提供了更多参考依据。

2.3 风力发电量预测

当选址区域为 $27^{\circ}45'37''N$ 、 $112^{\circ}30'43''E$ 时,选用机组型号为 S50-750,根据测风资料,计算出风电场在 10 m 高度处 AEP 发电量为 0.68 GW·h。通过图 6、7,提取出风力选址区域候选点的 A 、 K 值, $A=6.12$, $K=1.32$ 。利用威布尔分布拟合风速,计算出该区域的风速频谱,同样选用 S50-750 机组的功率曲线(图 8 所示)求得该区的 AEP 发电量为 0.59 GW·h。

当选址区域为 $27^{\circ}46'03''N$ 、 $111^{\circ}41'52''E$ 时,选用机组型号为 S77-1500 的机组,根据测风资料,计算出风电场在 10 m 高度处 AEP 发电量为 2.32 GW·h。通过图 6、7,提取出风力选址区域候选点的 A 、 K 值, $A=6.78$, $K=1.48$ 。利用威布尔分布拟合风速,计算出该区域的风速频谱,同样选用 S77-1500 机组的功率曲线(图 8)计算出该区的 AEP 发电量为 1.81 GW·h。

对比实际和估算发电量,如表 1 所示,可知该方法精确度较高,实际观测值与理论计算值误差较小,分别为 0.09、0.51 GW·h,理论计算值与实际观测值较为吻合,表明该文所提方法可行、有效,可应用于风资源评估,为风力发电场选址提供前期依据,防止风电场因选址不当导致的发电量不足、投资过大等问题。

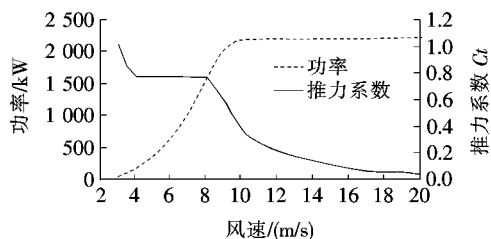


图 8 选用机型的相关参数曲线

Figure 8 The parametric curve of wind turbine model selected

表 1 实际发电量与估算发电量比较

风场位置	机组类型	发电量		发电量 差值
		实际	估算	
$27^{\circ}45'37''N$ $112^{\circ}30'43''E$	S50-750	0.68	0.59	0.09
$27^{\circ}46'03''N$ $111^{\circ}41'52''E$	S77-1500	2.32	1.81	0.51

3 结语

使用 NCEP 与 SRTM 为 WAsP 提供地形数据和风场数据,模拟和评估风能资源和潜力,为风电场宏观选址提供技术支持。

1) SRTM 可以提供较为精确的地形数据, NCEP 可提供任一地点的气象数据,利用二者提供的信息,可以实现全球风能资源测评,较准确计算出任一区域建设风电场后所发电量,提供一个明显的选地和所发电量对比图,为进一步确定发电厂的厂址提供依据。

2) 随着 SRTM 的不断发展,其提供地形数据的区域精准度会进一步划分,再结合 NCEP 的发展,可实现小面积范围内的风电场选址优化,实验证明, NCEP 和 SRTM 在风能资源评估中优势明显,预测风力发电情况与实际对比差异较小,可为风电场建设提供良好的理论依据。该文方法获取的结果可为后续风电场微观选址的前期工作提供借鉴和参考。

3) 该文仅使用两参数威布尔分布计算风速分布特征量,未考虑气候变化等随机因素对威布尔分布的影响。因此,组合多种风速分布模型(如伽马分布、瑞利分布等),或研究多参数威布尔分布,获取更高精度的风速参数和分布模型是未来的研究方向,对提高风能资源评估准确性和可靠性具有重要意义。

参考文献:

[1] 陶玉波,陈昊,秦晓辉,等. 短期风电功率预测概念和模

- 型与方法[J]. 电力工程技术, 2018, 37(5): 7-13.
- TAO Yubo, CHEN Hao, QIN Xiaohui, et al. A review of the short-term wind power forecasting theory, model and approach[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(5): 7-13.
- [2] 樊国旗, 蔺红, 程林, 等. 基于 K 均值模式划分改进模糊聚类与 BP 神经网络的风力发电预测研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(5): 38-42+83.
- FAN Guoqi, LIN Hong, CHENG Lin, et al. Wind power prediction based on k -means pattern classification improved fuzzy clustering and BP neural network[J]. Smart Power, 2019, 47(5): 38-42+83.
- [3] 李建锋, 韩琴, 刘战礼. 基于风电机组分群的风电可靠性评价方法研究[J]. 中国电力, 2018, 51(6): 136-143.
- LI Jianfeng, HAN Qin, LIU Zhanli. Wind power reliability evaluation method based on wind power unit grouping[J]. Electric Power, 2018, 51(6): 136-143.
- [4] 李剑楠, 乔颖, 鲁宗相, 等. 时空尺度风电统计特性评价指标体系及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(13): 53-61.
- LI Jiannan, QIAO Ying, LU Zongxiang, et al. An evaluation index system for wind power statistical characteristics in multiple spatial and temporal scales and its application[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(13): 53-61.
- [5] 叶林, 陈小雨, 靳晶新, 等. 考虑风功率密度和风向特征的风能资源 MCP 评估方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(3): 24-34.
- YE Lin, CHEN Xiaoyu, JIN Jingxin, et al. Measure-correlate-predict assessment method of wind energy resource considering wind power density and wind direction[J]. Automatic of Electric Power Systems, 2019, 43(3): 24-34.
- [6] 陆艳艳, 刘树洁, 王涛. 海上风能资源测量及评估中几个关键问题分析[J]. 全球能源互联网, 2019, 2(2): 170-178.
- LU Yanyan, LIU Shujie, WANG Tao. Analysis of several key issues in measurement and assessment of offshore wind energy resources[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2019, 2(2): 170-178.
- [7] Javier Sanz Rodrigo, Roberto Aurelio Chávez Arroyo, Patrick Moriarty, et al. Mesoscale to microscale wind farm flow modeling and evaluation[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2016, 6(2): e214-e225.
- [8] 王晨, 寇鹏. 基于卷积神经网络和简单循环单元集成模型的风电场多风机风速预测[J]. 电工技术学报, 2020, 35(13): 2723-2735.
- WANG Chen, KOU Peng. Wind speed forecasts of multiple wind turbines in a wind farm based on integration model built by convolutional neural network and simple recurrent unit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(13): 2723-2735.
- [9] 郑明, 李保宏, 陆莹, 等. 海上风电场集群输电网络可靠性分析[J]. 电力工程技术, 2018, 37(2): 49-54.
- ZHENG Ming, LI Baohong, LU Ying, et al. Reliability analysis of offshore wind farm transmission network cluster[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2): 49-54.
- [10] 吕雪芹, 余志, 邓院昌, 等. 基于特征点修正的 SRTM 数据在风能资源微观评估中的应用[J]. 测绘科学, 2008, 33(4): 161-162.
- LV Xueqin, YU Zhi, DENG Yuanchang, et al. Application of SRTM data with elevation revision in wind resource assessment[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(4): 161-162.
- [11] 韩晓亮, 高志鹰. 山脉对于风电场影响的计算分析[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(8): 112-115.
- HAN Xiaoliang, GAO Zhiying. Calculation and analysis of the influence of mountains on wind farms[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(8): 112-115.
- [12] 李晓燕, 余志. 基于 MM5 的沿海风资源数值模拟方法研究[J]. 太阳能学报, 2005, 26(1): 400-408.
- LI Xiaoyan, YU Zhi. Wind resource modeling for the coast of China using MM5[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2005, 26(1): 400-408.