

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.011

# 复杂地形风电场微观选址实践探讨

王红光, 赵海军, 段晓辉

(珠海华成电力设计院股份有限公司, 珠海 519000)

**摘要:** [目的]相对于平坦地形风电场, 复杂地形风电场内的风速、风向表现出显著的区域性差异, 给机组选型、风机排布、发电量评估等工作带来了不小的挑战。旨在解决复杂地形风电场微观选址过程中可能出现的测风塔、等高线、限制因素等问题。[方法]基于收集到的风电场项目资料, 结合作者工作经验, 分别对其进行了详尽阐述, 举例说明了限制因素对风电场发电量的显著影响。[结果]通过现场勘察, 核实了测风塔确切位置、标记了场区范围内的限制因素位置和范围; 利用3D矢量数据生成立体高程网格, 结合等高线数值对比分析, 检验了地形图中等高线值的准确性。[结论]准确的测风塔位置和较高质量的测风数据对风能资源评估有决定性作用; 限制因素区域的标识, 缩短了制定风机排布方案所需的时间, 提高了工作效率; 结合准确无误的等高线地形图可以较准确地模拟风电场及周边区域的风能资源情况, 为投资者提供优质的评估成果。

**关键词:** 复杂地形; 测风塔; 等高线; 限制因素

中图分类号: TK89; P425

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)02-0059-05

## Discuss on the Work Practice of Wind Farm Micro-sitting in Complex Terrain Region

WANG Hongguang, ZHAO Haijun, DUAN Xiaohui

(Zhuhai Huacheng Electric Power Design Institute Co., Ltd., Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** [Introduction] With respect to the flat topography wind farm, wind speed and wind direction present significant regional difference in complex terrain region, which bring great challenges to the selection of generator, wind turbine layout, production assessment. To solve these problems that may occur during micro-sitting in complex terrain region such as wind measurement mast, contour, restricted factors. [Method] This paper detailedly analysed and discussed these problems based on the collected wind data, associated with the author's work experience, and illustrated the significant influence of restricted factors on the generation of wind farm. [Result] Confirming the accurate location of the wind measurement mast, marking the restricted areas at the topographic map via field investigation. Checking the accuracy of the contour value by creating elevation grid from 3D vector data, making contrast analysis with the value of the contour lines. [Conclusion] Practice has proved that accurate site of the mast and high-quality wind data play an important role during wind energy resource assessment, the identification of restricted areas can shorten the time required to develop a layout plan and improve the work efficiency. With accurate topographic map, wind resources in the wind farm and surrounding areas can be accurately simulated, which can provide quality assessment results for investors.

**Key words:** complex terrain; wind measurement mast; contour; restricted factors

与大尺度的季风环流背景相比, 风电场区域尺度相对较小, 通常属于微尺度范畴。复杂地形风电场区域, 地形不再像平原、戈壁滩那样单一, 而是山脊、山谷交错, 地势起伏明显, 海拔高差较大,

同时局地的山谷风<sup>[1]</sup>及海陆风<sup>[2]</sup>的影响也比较显著。因此, 复杂地形风电场区域的风流场的特征与平坦地区存在明显的差异, 不同区域的主导风向可能也不相同。微观选址是风电场风能资源评估工作的重要组成部分, 对风机排布方案的确定有着决定性的作用。蔡彦枫<sup>[3]</sup>等利用再分析数据, 模拟了风

向对广东海上风电场风机布置的影响, 许昌<sup>[4]</sup>、彭秀芳<sup>[5]</sup>、魏慧荣<sup>[6]</sup>等对复杂地形风电场中机位优化、尾流等问题进行了理论研究, 为微观选址工作起到了一定的参考作用。然而, 通过对实际项目资料整理和现场实地勘察发现, 复杂地形风电场微观选址过程中还存在着不少的问题。本文从实际项目出发, 对风电场微观选址过程中可能遇到的测风塔、等高线和限制因素等问题进行了详尽阐述, 提出了相应的解决方法。

## 1 测风塔

### 1.1 测风塔及数据

复杂地形风电场, 单个测风塔的区域代表性非常有限, 为了提高风能资源评估结果的准确性, 通常需要建立有两个或多个测风塔进行测风。为满足测风塔的代表性要求, 测风塔通常安装在地势较为开阔的地方。测风塔坐标的准确性对能否做好风能资源评估工作有着非常重要的影响, 其坐标值一般记录在测风数据表头文件中, 若记录错误或稍有偏差, 在将 GPS 坐标点转换成平面坐标的过程中就可能出现几十米或几百米的偏差, 这样转换的平面坐标可能定位到山谷中, 以致无法在地形图上找到准确的测风塔位置, 进而使得风电场区域的风能资源评估出现较大的偏差。因此, 准确的测风塔坐标是非常重要的, 测风塔坐标的现场核实是很有必要的。

《风电场风能资源测量方法》<sup>[7]</sup>中指出, 若风电场内仅安装一座测风塔时, 测风塔上应安装三层风速、风向传感器, 其中两层应选择 10 m 高度和风力发电机组的轮毂中心高度附近, 若风电场内安装两座及以上测风塔时, 应有一套风速、风向传感器安装在 10 m 高度处。由于之前的风电场大多位于我国西北、华北和东北等高速区域, 其地形平坦, 地势起伏较小。植被稀少, 下垫面的类型单一, 对近地面层的风流场影响较小, 故同时段 10 m 高度的风速序列与 30 m 高度层风速序列具有较好的相关性(如图 1 中的 0157#所示, 而同样平坦地形的图 2 中的 1421#可能受其 5 km 外的山体影响, 低层的风速相关性比 0157#差一些, 但依然比复杂地形山区的要好), 10 m 高度的风向序列与高层风向序列具有较高的一致性。

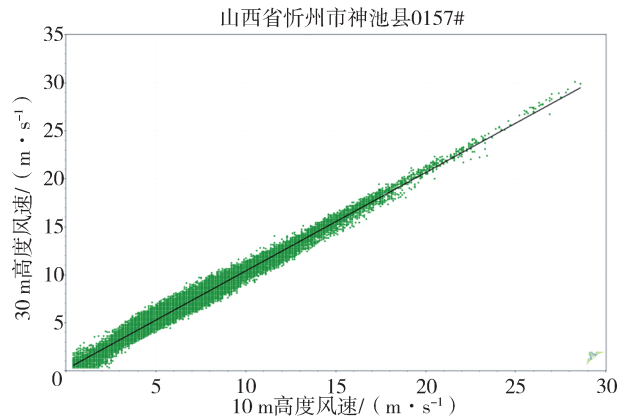


图 1 山西平坦地形风电场 30 m 高度与 10 m 高度风速序列相关关系图

Fig. 1 Wind speed time sequence correlativity at 30 m and 10 m in flat topography wind farm of Shanxi

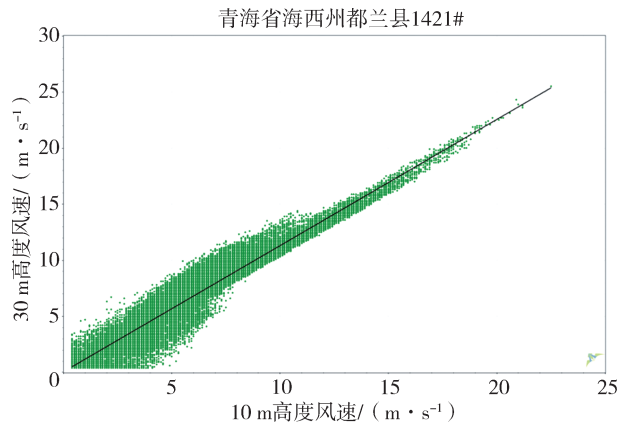


图 2 青海平坦地形风电场 30 m 高度与 10 m 高度风速序列相关关系图

Fig. 2 Wind speed time sequence correlativity at 30 m and 10 m in flat topography wind farm of Qinghai

随着“三北”地区弃风、限电问题的日益突出, 我国南方地区逐渐受到风电投资者的青睐, 随着风力发电技术的飞速发展, 市场主流风机厂家陆续推出了适宜南方低风速地区的机组。我国南方多山地、丘陵, 地形复杂, 地势起伏较大, 且植被覆盖率高, 10 m 高度的风速、风向传感器受下垫面影响较大, 使得 10 m 高度层所测得的风速、风向数据与高层数据同期相关性(如图 3 和图 4 所示)、一致性普遍较差, 因此在南方复杂地形山区的风电场, 不建议采用 10 m 高度的风速来拟合风切变; 加之风机轮毂高度的逐渐增加, 更使得 10 m 高度的风速、风向传感器失去了其存在的意义。

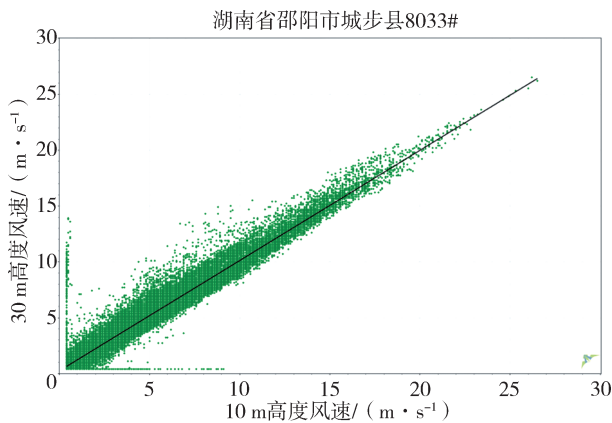


图3 湖南复杂地形风电场30 m高度与10 m高度风速序列相关关系图

Fig. 3 Wind speed time sequence correlativity at 30 m and 10 m in complex terrain wind farm of HuNan

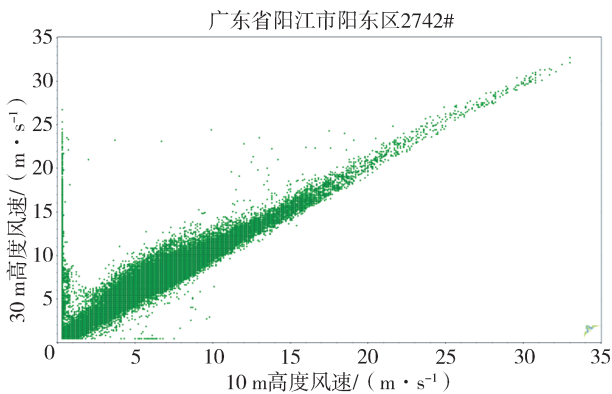


图4 广东复杂地形风电场30 m高度与10 m高度风速序列相关关系图

Fig. 4 Wind speed time sequence correlativity at 30 m and 10 m in complex terrain wind farm of Guangdong

## 1.2 影响因素及建议

测风数据是进行风电场风能资源评估的主要依据<sup>[8]</sup>, 测风数据质量将直接影响风能资源评估的结果, 进而影响风机布置、发电量计算等<sup>[9]</sup>。要想获得数据质量较高的测风数据, 必须加强测风数据的管理工作。我国南方地区冬、春季节时有冰冻现象发生, 导致风速、风向传感器冻结; 南方尤其是沿海地区雷暴天气发生频率较高, 年均雷暴天数频率占20%左右。受冰冻、雷暴、强风等灾害天气影响, 风速、风向传感器时常有故障发生。因此, 需要及时分析测风数据, 在传感器发生故障后及时反馈给测风塔厂家, 以做好测风塔的维护工作。

## 2 等高线

### 2.1 等高线值检验

等高线地形图是进行风能资源评估的必要资料之一, 在进行现场微观选址之前项目投资方一般会对风电场进行测绘, 以获取高分辨率的地形图。然而, 测绘地形图偶尔会出现等高线错接或赋值错误的现象, 以致在三维立体地形图中可以看到一些异常高耸的柱状地形, 或者在原本平坦地形的等高线上图上看到山体等。如若在进行CFD软件模拟之前, 未对地形图等高线值细心检查, 地形图上异常的等高线值未得到修正, 则CFD软件模拟的风流场与实际情况会出现非常大的误差, 产生无效的模拟结果, 同时项目也需要重新计算, 这样就浪费了许多计算时间, 延长了工期。因此, 为避免出现这样的情况, 在收集到相关的测绘地形图后, 需要对其进行仔细详尽的检查, 尽可能减少因等高线错接或赋值错误而给风能资源评估带来的误差。由山西大同市灵丘风电场项目1~2标段南部区域的矢量地形数据生成的立体高程网格如图5所示, 对比等高线地形图发现红色矩形框内部分的等高线出现严重的错接和赋值错误现象, 由于涉及范围较大, 难于修改, 往往修改了这端, 另一端的值又跟邻近等高线值对不上, 给模型建立和发电量计算工作带来了不小的困难。

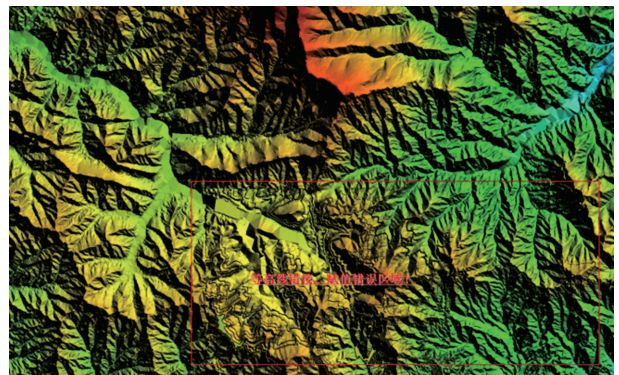


图5 国电投山西灵丘1~2标段风电项目南部区域地形

Fig. 5 The southern region topography of the project of Shanxi Lingqiu 1~2 section of SPIC

### 2.2 地形图获取及核准

若无高分辨率的测绘地形图, 风电场设计人员可以通过下载影像图而生成所需区域的等高线图。但是, 影像图更新较慢, 频繁的人类活动会改变当



地的地形、环境等,这样图像生成的等高线图与当地实际地形不符,所以在使用影像图生成的等高线图进行 CFD 软件模拟后,需要对初步设计的风机方案进行现场勘察,确保各风机点位的有效性。待收集到高分辨率的测绘地形图后,需再次对初步设计的风机方案进行核准。

### 3 限制因素

#### 3.1 限制因素说明

我国南方山区除地形复杂,地势起伏较大外,山谷中一般会有村庄或者居民区。根据《声环境质量标准》(GB 3096—2008),居民住宅属于 1 类声环境功能区(昼间限值 55 dB、夜间限值 45 dB)<sup>[10]</sup>,中电建阳江宝山风电场原 19#机位与下风向居民住宅 320 m,为避免后期建设或建成后因噪声而引起不必要的纠纷,经与业主商议,取消了该机位。决定风机光影、噪声环境保护距离的主要因素为地形地貌、风机类型等,为了不影响风机下风向的居民生活,风机应位于居民区 500 m 以外<sup>[11]</sup>,该值在不同地区可能会有变化,但为避免风场建设后因风机对居民生活产生的噪声、光影影响而导致居民与风电场之间的矛盾,该值应尽可能大一些,必要时应取消相应风机位。

另外,规划风电场区域内可能因存在坟墓、寺庙,乃至军用管制区域,而导致风电场项目的夭折。例如,湘投国际永州金洞白果风电场、华能茂名高州荷花风电场内就多有坟墓存在,此外荷花风电场内有一寺庙(龙华寺),该寺庙距规划风电场内风速较好的几个机位相距较近,加之其它因素的影响,荷花风电场项目至今未能进行;湖南省邵阳市邵东县双凤乡风电场项目西北约 20 km 外有一军用机场,考虑到建成风电场风机顶端的信号灯可能对飞机飞行造成影响,故而未能立项。

此外,在复杂地形山区进行风电场规划和建设时多会遇到边界问题,若规划区域存在省、市、县边界问题也不能调解,整个风电场项目就有可能搁浅。在我国南方地区,低山、丘陵、高山较多,分布广泛,而且山脉是划分边界的主要依据。山脉划分边界可能会有多种方式,其中一种是分段划分。例如猪婆大山是一座横卧在湖南邵东、双峰两县交界处的大山,其西南段属于邵阳市邵东县,东北段属于娄底市双峰县;另一种县界沿山脊左右划分,

如中电建阳江宝山风电场、华能阳江大八龙山风电场,左侧山脊属于阳江阳东区,右侧山脊属于江门恩平市,其中宝山风电场的部分风机点位就因为县界问题而进行了调整,减缓了风机并网发电的时间。

#### 3.2 举例分析

华能阳江雷平风电场(如图 6 所示),位于阳江市阳东区东平镇与新洲镇,风能资源比较丰富,前期已建有 99 台 1.5 MW 风机,总容量 148.5 MW。为了缓解阳江市用电压力,充分利用该区域的风能,华能阳江新能源公司准备在前期雷平风电场的基础上,进行项目扩建,增容 30 MW,考虑到前期机位间距相对较小,故扩建项目初步方案中的机位多在风电场中东部,然而经现场勘察发现,东部风速相对较高的部分位置已建有核电厂送出输电线路塔(黄色标签状标记,图 4 中绿色标记是雷平风电场原 99 个机位,塔形标签为扩建项目拟选机位,黄色标签状的为核电输电线路的部分塔架),而核电线路塔是不能进行改迁的,只得取消这几个机位,而采用业主方推荐的风电场内已有的几个输电线路塔位置,同时进行相应的线路改造。经风资源软件 WT 计算,在同等测风数据、地形图、粗糙度等条件下,如若风电场东部几个位置可用,整个风电场年净上网电量将多出 5.520 43 GWh,按上网电价 0.61 元/kWh 计,20 年收益多出近 6 735 万元。由此可见,限制因素对风电场发电量的影响是非常显著的。更重要的是,如果这些限制因素位置、范围等在地形图中有相应的标识,在进行风能



图 6 华能阳江雷平风电场与核电站相对位置

Fig. 6 The relative position of Huaneng Yangjiang Leiping wind farm and nuclear power station of CGN



资源评估、制定风机排布方案时就可避开相应区域,极大地节约时间成本,提高了工作效率。

## 4 结论

本文基于现阶段收集到的风电场项目资料,从实际出发,对复杂地形风电场微观选址过程中可能出现的测风数据及塔的位置、等高线错接或赋值错误、限制因素等问题进行了详细阐述,提出了相应的解决方法,举例说明了限制因素对风电场发电量的影响,给出相关建议。

1) 核实测风塔坐标,加强测风塔的数据管理与分析,做好测风塔的维护工作。

2) 在运用 CFD 软件建模计算之前,利用等高线生成 3D 立体高程网格,结合等高线数值对比分析,检验等高线是否存在赋值错误或错接的现象。

3) 微观选址阶段要对场区内可能存在的居民区、寺庙、坟墓、矿区、边界、军事管制区域等限制因素进行详尽地调查,并在地形图上对其位置、范围等进行详细标识,以便在风机方案调整时也好避开相应问题区域,减少设计阶段因为方案修改而产生的工作量,在提高工作效率的同时,也缩短了项目建设周期。

此外,复杂地形山区风电场通常地势起伏较大,不同区域风速变化显著,为使发电量、经济效益最大化,可能需要两种或以上机型混装;同时考虑到湍流因素影响,为使得风机载荷最小化,风机安装轮毂高度也可能不尽相同。最后,不管采用哪种风资源评估软件,计算出的发电量都会与风电场实际运行时的真实值具有一定的偏差。因此,建议做好风电场的后评估工作,加强风资源分析工作人员间的交流学习,以提高其工作能力,尽可能地提高风电场排布效率,确保风电场安全运行的前提下载荷最小化,经济最大化。

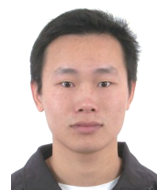
## 参考文献:

- [1] 席世平,寿绍文,郑世林,等.复杂地形下山谷风的数值模拟[J].气象与环境科学,2007,30(3):41-44.  
XI S P, SHOU S W, ZHENG S L, et al. Numerical simulation of mountain-valley wind in the complex terrain [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2007, 30(3): 41-44.
- [2] 晏红明,杨辉,王灵,等.印度半岛热力变化对亚洲季风环流异常的影响[J].高原气象,2010,29(6):1452-1463.  
YAN H M, YANG H, WANG L, et al. The impact of surface thermal variation over Indian peninsula on Asian monsoon cir-

ulation anomaly [J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(6): 1452-1463.

- [3] 蔡彦枫,王海龙,周川,等.风向对广东海上风电场风机布置的影响[J].南方能源建设,2016,3(4):113-118.  
CAI Y F, WANG H L, ZHOU C, et al. Effects of complex wind direction on offshore wind farm layout optimization in Guangdong [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 113-118.
- [4] 许昌,杨建川,李辰奇,等.复杂地形风电场微观选址优化[J].中国电机工程学报,2013,33(31):58-64+7.  
XU C, YANG J C, LI C Q, et al. Optimization of wind farm layout in complex terrain [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31): 58-64+7.
- [5] 彭秀芳.风电场微观选址及数值模拟[D].天津:天津大学,2009.
- [6] 魏慧荣.风电场微观选址的数值模拟[D].北京:华北电力大学,2007.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.风电场风能资源测量方法:GB/T 18709—2002[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [8] 王红光,何永安.关于复杂地形区域分散式风电项目建设的探讨[J].能源与节能,2018(149):52-53+80.  
WANG H G, HE Y A. Discussion on the construction of decentralized wind power project in complex terrain region [J]. Energy and Energy Conservation, 2018(149): 52-53+80.
- [9] 刘志远,彭秀芳.风电场测风塔测风数据浅析[J].水力发电,2015,41(11):110-113.
- [10] 环境保护部.声环境质量标准:GB 3096—2008[S].北京:中国环境科学出版社,2008.
- [11] 王跃华.风电场噪声、光影环境保护距离的研究[D].沈阳:东北大学,2011.

## 作者简介:



WANG H G

王红光(通信作者)

1987-,男,河南周口人,珠海华成电力设计院股份有限公司新能源电力工程师,国家海洋局第三海洋研究所物理海洋学硕士,主要从事风资源评估工作(e-mail)atmost0099@aliyun.com。

赵海军

1980-,男,河北承德人,珠海华成电力设计院股份有限公司高级工程师,华北电力大学电气工程自动化学士,主要从事输变电、新能源发电、风力发电工程设计工作(e-mail)zhjun505@163.com。

段晓辉

1978-,男,江西赣州人,珠海华成电力设计院股份有限公司高级工程师,北京交通大学电气工程及其自动化学士,主要从事电力工程设计管理工作(e-mail)6540014@qq.com。

(责任编辑 郑文棠)