

# 复杂地形风电场宏观选址及测风塔布置研究

## Research on the Macro-level Site Selection and Wind Measurement Tower Layout of Complex Terrain Wind Farms

孙丽荣 黄勇

Lirong Sun Yong Huang

中国能源建设集团华东电力设计院有限公司 中国·上海 200331

China Electric Power Consultants Group of East China Electric Power Design Institute Co.,Ltd., Shanghai, 200331, China

**摘要:** 科学合理的宏观选址是整个风电场项目能否落地的基础, 论文针对复杂地形风电场的宏观选址进行研究, 打破了传统的盲人摸象式宏观选址的方法, 提出了一种高效的新方法。另外, 论文在复杂地形风电场宏观选址工作的基础上, 对测风塔布置问题进行分析 and 讨论, 找出山地风电场测风塔选址的具体原则和要求, 同时对复杂地形风电场测风塔的布置给出了相关建议。

**Abstract:** Scientific and reasonable macro-site selection is the basis for whether the entire wind farm can be implemented. This paper studies the macro-site selection of wind farms with complex terrain, breaking the traditional “blind man feeling the elephant” type of macro-site selection. A convenient and efficient new method is proposed. In addition, on the basis of the macro site selection of wind farms with complex terrain, this paper analyzes and discusses the layout of wind measurement towers, finds out the specific principles and requirements for site selection of wind measuring towers in mountainous areas, and at the same time analyzes the location of wind measuring towers in complex terrain. The layout gives relevant operability suggestions.

**关键词:** 宏观选址; 风资源; 测风塔

**Keywords:** macro-site selection; wind resource; wind measurement tower

**DOI:** 10.12346/etr.v5i9.8549

## 1 引言

风力发电场宏观选址是整个风电场前期设计的重要环节。宏观选址的可靠与否对后期风电场设计、建设、运营及投资收益有着决定性的影响。

目前, 中国风电场所处的地形条件越来越复杂。当风力发电机机组建设在山地上时, 由于地形的起伏变化会使得每个风机位置所处的空气流动环境不同, 发电量也就有所差别。因此, 在项目前期准确地进行复杂地形风电场选址就变得尤为重要, 直接关系到后续风电场建设的成败。

## 2 风电场宏观选址一般流程

### 2.1 风电场项目宏观选址和规划

风电场项目宏观选址需对风能资源数据进行分析, 选择

最有利的区域进行预设计, 以求得整体性的最大输出, 提高项目的经济性。然后再综合地形, 地质, 交通, 电网以及外部条件对选址结果进行综合评估。

纵观国内陆上的风资源, 东北、华北、西北地区整体的风资源较好, 中南地区资源相对一般, 该区域采用分散式的建设方案越来越多。安全性作为着重考虑的因素, 不仅是对机组的安全考虑, 还有基于对电网稳定运行安全的考虑。另外, 要遵守当地政府的规划, 规范遵守用地规划建设, 尤其注意要避开生态红线, 包括动物的停留地或繁殖区、引起噪声干扰的居民居住地、基本农田、公益林地等。

### 2.2 设立测风塔测风

风电场前期测风工作虽然投入的资金虽不多, 但对项目的风机选型、微观选址、产能计算影响很大, 是风电开发中

【作者简介】孙丽荣(1973-), 女, 本科, 高级工程师, 从事电力水文气象勘测设计研究。

至关重要的一环。在拟选出的待开发区域内安装合理数量的测风塔，且测风塔上的风速、风向、温度、湿度、气压等传感器亦须符合相关标准。

### 3 格林威治云平台在复杂风电场宏观选址阶段的应用

#### 3.1 格林威治云平台介绍

格林威治平台是远景能源公司全球首创的基于智能传感网和云计算的智慧风场全生命周期管理系统。该系统可以为客户提供风电场规划、风资源评估等技术解决方案<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 山地复杂地形风电场宏观选址阶段风资源评估及风电场选址实例

##### 3.2.1 区域地理位置及自然地形

拟选风电场位于韶关市新丰县，新丰县地处东经113°42'~114°36'，北纬23°53'~24°17'之间，位于广东省中部偏北，新丰江的发源地。县境内东西相距91.2km，南北相距45km，总面积2015.2km<sup>2</sup>。东南与东源县接壤，东北与连平县毗邻，南连从化区和龙门县，北靠翁源县，西北与英德市相连，西与佛冈县相邻。县城至韶关市区公路里程165km，至广州市区150km。风电场场址位于韶关市新丰县遥田镇一带山脊。

##### 3.2.2 宏观选址及风资源模拟

本次利用远景的格林威治云平台，选出风资源较好的区域作为研究对象，根据格林云平台模拟的风资源图谱，选出一块风资源及地势相对较好的山体作为新建项目区域，按步骤便可快速得到该区域初步的布机方案、拟建测风塔位置、风向玫瑰图、风电场装机容量、风电场全场的尾流、年标准利用小时及内部投资收益率等主要信息。

以往的宏观选址由于缺少政府规划及相关资料，而“格林威治”的风资源图谱一方面让每个机位点的风资源情况都能直观的看到，相关人员可以在室内轻松完成选址工作，极大地提高了工作效率；另一方面，“格林威治”云平台能基于风资源数据自动推荐拟建测风塔的点位，使得测风塔的代表性大大提高。因此，“格林威治”云平台不仅大大提高了工作效率，而且项目投资风险也得到了很好的把控。

### 4 复杂地形场的测风塔布置研究

#### 4.1 复杂地形气流流动规律

当气流流经山体时，受到山体地形影响的气流基本沿着地形流动，由于地形的变化，气流流动时产生剥离和压缩。以小山体为例，当气流通过小山时，一部分是从山顶翻越过去，一部分是从两侧绕过去。大气越不稳定，翻过山顶的气流就愈多，从两侧绕过去的气流就愈少。

大气稳定状态的风比中性风弱，不稳定状态的风比中性风强，影响风力发电的风的大气稳定程度一般接近于中性。在大气中性稳定情况下，大部分气流翻过小山，小山上风方

气流被扰动的范围超过小山体大小的3倍之多。所以，复杂地形条件下，气流变化是相对剧烈的。

#### 4.2 复杂地形风电场测风塔布置的原则

对于复杂地形风电场，应根据风电场区域的风向、地形地势等情况来确定测风塔安装地点。通常来说，一个风电场中如仅仅设立一座测风塔，其观测的风资源数据不能很好的代表整个风电场区域<sup>[3]</sup>。对于复杂山地风场，隆升地形对气流运动产生加速作用，一般在脊峰处气流速度达到最大。一般为了更大程度的利用风能资源，风机排布均布置在山脊上，所以应在山脊顶部安装测风塔，同时该处位置相对于周边区域位置较高，不会因为受到周围山体的遮挡而影响测风数据的真实性<sup>[4]</sup>。对于山地复杂地形，测风塔选址的具体要求如下：

①对于复杂地形的风电场，应区分不同区域和地段，选择各地段有代表性的位置来安装测风设备<sup>[1]</sup>；

②对于地势变化较大的山区复杂地形，风电场区域海拔高差在200m以上的中型风电场，应至少在风场区域海拔最低处、最高处和平均海拔的山脊位置分别安装3座测风塔；

③风电场测站应避开高大障碍物，测风塔的测风高度应不低于预装风电机组的轮毂高度<sup>[1]</sup>；

④测风塔选点应选择在交通相对便利的位置，有利于运输和安装，减少施工成本。

#### 4.3 复杂山地测风塔布置实例验证研究

某拟建风电场位于韶关市新丰县遥田镇山脊上，属低中山地貌，地面高程450~900m，场址植被覆盖总体良好，以杂树、灌木为主。项目区域海拔范围在600~1200m，北山脊东西长约8km，南山脊东西长约2km。南北山脊与主导风向垂直，风场区域内已树立了3座测风塔，如图1所示。

复杂山地风场的风机点位通常布置在山脊线上，风资源评估需要使用专业软件建立数学模型，根据风力发电机组的功率曲线、风机点位、风电场地形及粗糙度等信息推算风电场的发电量。目前，主流的风资源评估软件有：WAsP、Windsim、WindPro、WT等。其中，WT软件采用流体力学（CFD）模型，适用于复杂地形的风资源模拟<sup>[5]</sup>。本次利用WT软件对各测风塔位置处的风速进行模拟计算，得出如表1中的模拟统计结果。

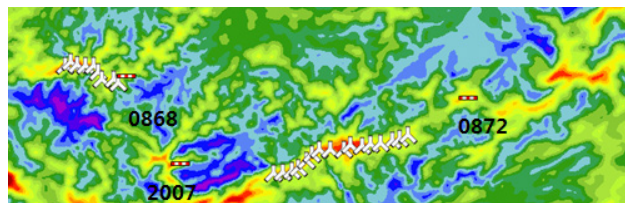


图1 拟建风电场风资源分布模拟及风机布置图

三座测风塔之间风速模拟的平均绝对误差为4.75%。最大误差为6.4%，对应为用0868号塔来模拟0872号塔；最小误差为2.2%，对应为用0868号塔来模拟2007号塔。

表 1 某拟建风电场测风塔风速模拟成果表

测风塔 实测值 (m/s)	测风塔 海拔 (m)	各塔模拟 值及误差 百分比	0868 塔	2007 塔	0872 塔
0868 塔: 4.95	640	模拟值		5.6%	5.3%
		误差		2.2%	6.4%
2007 塔: 5.48	947	模拟值	4.8%		5.3%
		误差	-3.0%		6.0%
0872 塔: 4.98	654	模拟值	5.2%	5.8%	
		误差	5.1%	5.8%	

0868 号塔和 2007 号塔所在山脊走向较为一致,故 0868 号塔和 2007 号两座测风塔之间的风速模拟误差较小,风速模拟平均绝对误差仅为 2.6%。表明同地段的风流模拟效果要优于不同山脊走向的地段。另外,0872 号塔所在地形处于高程陡变段,可使得 WT 软件对该类型地段的风流模拟精度不高。针对该类型地段,前期加密布置测风塔是非常必要的,以便后期可以科学合理布置风机和计算发电量。

通过以上风速模拟计算的结果可知,0872 号塔与其余各塔风流模拟误差较大,若单纯采用单塔或多塔综合计算的方法,则会给位于该地段的某些机位发电量带来较大的误差。针对此类问题,应根据各塔风流模拟结果进行风电场发电量的分区计算,在一定程度上降低其估算误差。各分区范围的圈定,则应根据风流模拟情况,同时参考如下两点原则:同一分区内地形变化幅度较小;同一分区内山脊走向基本相同。

## 5 结论与展望

目前,中国风电进入快速发展阶段,风电场所处的地形条件越来越复杂。本次研究主要是通过对复杂地形风电场宏

观选址进行深入分析和研究,得出的主要结论如下:

①本次研究给出一种便捷的风电场宏观选址方法,即通过利用“格林威治”云平台对风电场进行区域风资源模拟和测风塔选址,不仅大大提高了项目开发的效率,还有效降低了项目的投资风险。

②本次研究对复杂地形测风塔点位及数量的选择进行了实例分析,提出了合理布置测风塔的方案及原则。对于复杂地形而言,为了更准确地进行风电场风资源评估,适当加密测风塔是十分必要的。

③通过对各测风塔的风流情况进行模拟可知,不同山脊走向地段的风速模拟效果较差,若单纯采用 WT 软件的单塔或多塔综合计算的方法,不同山脊走向地段的某些机位发电量误差较大。为了降低产能计算误差,本次研究提出应根据各塔风流模拟结果进行风电场发电量的分区计算。

复杂地形风电场的宏观选址是一个系统性的问题,本次主要结合工程实例对复杂地形风电场的选址和测风塔布置等问题做了一些初步研究。鉴于复杂地形风电场风能资源评估过程中对实际观测数据的要求较高,复杂地形风电场测风塔的布点问题直接影响工程项目的技术经济指标,科学合理布置测风塔则显得尤为重要,这也是今后复杂地形风电场研究的主要方向。

## 参考文献

- [1] GB/T18709—2002 风电场风能资源测量方法[S].
- [2] 远景能源(江苏)有限公司.远景能源“格林威治”云平台,促进风电场的理性繁荣[J].电脑与电信,2011,5(1):10-13.
- [3] 史磊.平原和山地风电场宏观选址设计研究与实例分析[D].济南:山东大学,2015.
- [4] 于力强,苏蓬.风电场选址问题综述[J].中国新技术新产品,2009,1(7):156-159.
- [5] 贺德馨.风电工程与空气动力学手册[M].北京:国防工业出版社,2006.