

基于大数据的风电场选址与规划优化

钟仁杰¹ 王甜^{1*} 刘浩然¹ 陈浩然¹ 杜玟龙²

1 山东石油化工学院 石油工程学院 2 东营市胜利第五十八中学

DOI:10.32629/pe.v3i6.18006

[摘要] 合理的选址能给风力发电项目的质量和效益带来决定性影响。由于气候条件、电力分配限制以及生态环境保护的需要,基于测风点的典型选址手段已难以满足精细化发展的需要。大数据技术能够统筹考虑风能资源、地形、土地利用、电力负荷等多方面信息,作为风力发电厂选址的重要补充依据。因此,本文从风力发电场选址的影响因子和影响要素出发,提出多源数据融合、指标建立和智能优选分析的方法思路,构建了一个特定地区最优选址以及场址总体规划的设计框架,提升选址评估精度和规划的合理程度,为风力发电场项目前期规划和风电地区能源规划提供参考建议。

[关键词] 风电选址; 大数据; 多源融合; 空间优化; 规划决策

中图分类号: TM925.11 **文献标识码:** A

Site selection and planning optimization of wind farms based on big data

Renjie Zhong¹ Tian Wang^{1*} Haoran Liu¹ Haoran Chen¹ Wenlong Du²

1 School of Petroleum Engineering, Shandong University of Petrochemical Technology

2 Dongying Shengli No. 58 Middle School

[Abstract] Reasonable site selection can have a decisive impact on the quality and efficiency of wind power generation projects. Due to climatic conditions, power distribution constraints and the need for ecological and environmental protection, the typical site selection methods based on wind measurement points have become difficult to meet the requirements of refined development. Big data technology can comprehensively consider information from multiple aspects such as wind energy resources, terrain, land use, and power load, serving as an important supplementary basis for the site selection of wind power plants. Therefore, starting from the influencing factors and elements of wind farm site selection, this paper proposes methods and ideas for multi-source data fusion, index establishment, and intelligent optimization analysis, constructs a design framework for the optimal site selection and overall site planning in a specific area, and improves the accuracy of site selection assessment and the rationality of planning. Provide reference suggestions for the early-stage planning of wind farm projects and energy planning in wind power areas.

[Key words] Wind power site selection; Big data; Multi-source fusion; Spatial optimization; Planning and decision-making

引言

随着风电产业的快速发展,选址布点的规划问题已不仅是资源评估的问题,更是涉及区域系统间协调性和布点规划策略的问题。随着开发范围从高风速区、中等风速区和低风速区,到复杂地貌地形区或者用地区域的不断扩展,风电场的建设需要兼顾土地使用方式、电网负荷、生态环境敏感区域以及当地规划法规等相关因素,需要不断扩大规划范围、综合考虑的因素更加复杂,加上大、中小型风电项目的规模化和风电基地的发展,规划手段的要求也变得更精细、更实时、更灵活。因此,需要建立一种能够将大规模、复杂和快速变化的信息纳入数据分析框

架的方法,使规划能满足电力系统需求以及环境限制等条件。基于这个思路,本文探讨了优化风电场规划的途径。

1 风电场选址的理论基础与影响因素体系

1.1 风电场开发的技术经济约束条件

项目的潜力建立在其拥有的风能资源之上,而风能资源的多少除了受风速分布、风能密度、湍流强度、风切变等多个因素影响外,对机器的性能以及机器结构的安全也同样至关重要,复杂的地貌环境会增加湍流效应,使其资源评价需要更精细地模拟和长期的数据积累。在技术上需要考虑设备的可搬运性以及基座的搭建,同时大型机逐步增大后,在山地或狭窄的路况地

段的运输和安装难度也随之提高。并网容量、电网稳定性以及消纳能力也会对机组的持续稳定运行产生影响。经济上还涉及土地费用、建筑费用、公路修建费用、电线铺设费用、运输费用等,共同构成了投资收益的重要部分,同时政府补贴、电价变更、调度制度调整也增加了经济评估的复杂性。

1.2 风电场选址中的环境与社会影响因子

风力发电场选址还需要统筹兼顾环境保护问题,敏感脆弱的生态环境、水源地、主要植被带、候鸟迁徙通道等都会给项目实施带来困难,部分地区的建设可能破坏地面环境,需要对生态恢复和环境承载能力进行评估。社会反应也是一个重要的影响因子,发电机组运行产生的噪声、视觉影响、反射光以及安装地点附近农业用地的使用规划、当地公众态度和当地的行政管理规定,都将对场址布置起到很大的影响。区域发展政策、用地规划规则、区域发展的限制条件将进一步筛选实地的空间位置,风能开发利用需要和用地需求以及区域发展目标相协调。

1.3 风电选址评估的传统方法回顾与局限

以往的定位方法主要通过测风塔数据、经验指标评估和地形图分析进行选址判断。上述方式虽然在单一条件下的风力发电场中仍具有适用性,尤其是多类型变量的数据,但因依赖于区域范围内的局部测风站的测量风向,其结果不能用来概括和描绘整个区域的风能分布。因不同重要参数的权重需要专家主观判断,难以完全覆盖所有参量因素;也难以准确描述各因子之间的耦合作用;同时,其方法一般是静态式的定量分析,缺乏对动态变化的应对处理能力和大量不同的区域性、非均质的数据处理能力。大型化、复杂地区化的风力电厂的布置对准确定位与多层次综合分析能力的需求显著提升,传统手段显然无法胜任,这就意味着需要有别于以上定位技术的新技术及其应用。

2 大数据驱动下的风电场选址优化思路

2.1 多源异构数据集成与空间重构技术

风电场选址是基于对风能资源、地形地貌、电网条件、环境效应、社会经济发展等多方面综合考虑的结果。选址过程中最为重要的参考指标有风速、风能密度、风向频率和湍流强度。在风电场选址过程中,通常将遥感反演数据、气象站数据、再分析数据及数值天气预报结果有机地结合起来,得到连续稳定可靠的风场数据。由于不同数据源可靠性和分辨率的不同,采用加权融合方法,形成区域风速场,具体形式如下:

$$V_f = \sum_{i=1}^n w_i V_i \quad (1)$$

其中, V_f 为融合后的风速; V_i 为第*i*类数据源的风速; w_i 为其加权系数(满足 $\sum w_i=1$)。此模型可显著提升风速场的稳定性,使风能密度计算、机组布局模拟等后续步骤具备更高的精度基础。

基于DEM、遥感遥测数据和三维仿真建模数据,可利用大数据平台建立更为准确的地理信息数据,包括地势地貌、地质条件、植被覆盖以及水体分布等。这些数据可以作为风电机组基

坑、道路规划以及建设可行性的研究依据;同时利用生态保护与规划的用地限制,及时识别禁止建设区域、允许有限度建设区域与适宜建设区域,从而设定初步选址中的必选与限选因子。

2.2 风电场区块优选的指标体系构建逻辑

建立合理的区块优选指标体系是大数据辅助风电选址的迫切需要。以往标准相对单一,局限于风能资源、输电距离、建设和利用等标准,但在大数据条件下可以体现综合、多维、动态和网格化的空间信息特征。

通过风能资源指标可以评价发电潜力。如风能密度、有效风速频率及风速稳定性等,都可通过高精度的风能场数据与不同高度对应的风速信息匹配。建设条件评价包括坡度、稳定性、交通条件、施工难度等,可通过DEM(数字高程模型)与工程地质信息定量评价场址建设的可施工性。接入网评价重点关注接入容量、输电电缆距离、负荷需求、调度安全等,可通过大数据平台采用电网GIS技术结合用电负荷预估实现可控制装机规模和消纳的动态平衡。生态评价主要针对保护性敏感区位、飞禽走兽路线、水源保护以及噪声扰民问题,通过遥感技术可以早期发现生态问题。投资效益评价主要考虑投资额(土地费用、建安费用)、发电收益和运营运维成本。上述指标在经过标准化处理和赋予权重之后,即可计算候选区的总分值,以此作为优选选址决策的数字化依据。

2.3 风电布局优化的智能辅助分析框架

在区块优选基础上,还需对机组布局进行进一步优化,以提升发电量、减少尾流损失并降低建设成本。大数据技术可构建智能分析框架,通过空间计算、数据挖掘与模型推理实现布局方案的优化与评价。布局优化通常需要综合考虑风资源、电气集电线路长度、地形坡度、施工约束及环境风险等因素。为了对不同区块进行量化评估,可构建综合评分模型,其一般形式如下:

$$S = \alpha R + \beta C + \gamma E + \delta G \quad (2)$$

其中, S 为综合得分; R 为风资源评分; C 为建设条件评分; E 为生态环境影响评分; G 为电网接入评分; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为各项权重(可通过层次分析法或机器学习自动确定)。该模型为智能系统提供量化评价依据,使得布局优化过程能够在多约束条件下寻优。在智能化模型中可以应用深度学习方法来完成风场的尾流模拟、发电量估算、风机位置自动推荐等功能。通过利用历史大数据进行训练,让模型能够在任一地理环境中和风环境下对未来进行预测,为规划人员提供更快捷更好的布置选择。

3 风电场规划策略与区域布局优化路径

3.1 区域差异化风电场规划策略建议

鉴于不同地区在自然资源环境、风能质量、土地使用方式上存在着显著差异,风力发电项目的建设有必要因地制宜。优质风能资源地区拥有较高的风速、较低的湍流、广阔的场地等,适合建设大型集中式的风电项目,可以考虑塔架高度、设备间位置、排列角度等参数进行优化,以提升发电率。利用大数据风

电场重构技术可以提供基础性指标,作为风电场各区块发挥潜力和效益的评判依据,使资源可以得到有效开发并合理接入电力系统中。

对山区、高原或丘陵地形复杂的地区而言,更需要考虑工程建设的可操作性,包括风机运输路线、道路坡度、塔架基础的牢固性以及施工的安全性。结合大数据的海量数据和三维地形地貌模拟以及可达性分析,判断工程的可建造性和难度及成本。对沿海和岛屿地区而言,季风变化、水汽条件和台风影响是最重要的考量因素,采用海上风力测量技术、海表温度信息、以往的大风走向来评估潜在风险,满足风力设施的安全适用性。综合来看,定制化规划要遵循“因地制宜”的原则,结合当地的资源条件、地形限制、生态状况和社会需求,使得风电基地站址布置能够更好地符合当地的发展特征,同时提高方案的一致性和可靠性。

3.2 风电场宏观布局与电网承载力协同机制

风电基地的布局与受电能力有关。随着风电比例日益提高,受端电网的稳定水平、负荷接纳能力、线路输送能力以及市场环境逐步成为决定布局的重要因素。要实现将自然资源优越地区与受端电网能力协调,需要将资源条件与受端电网相结合,由单纯的自然条件变为自然与电网综合考虑。

区域电网结构决定了其覆盖范围。当密度大、变压器容量大的区域适合发展集中式风电;当电网较差且没有增容方案时,则不适合布设大容量项目,否则会造成浪费或带来调度问题。大数据系统可以通过潮流分析和裕度识别发现关键节点,从而更合理地部署。此外,风能和光伏、储能之间的互补特性能够提升整体出力的平稳性。风电建设要结合电网结构的变化进行调整。用电量的增长趋势、产业转型升级以及市场变化都会影响当地的消纳能力。利用负荷预测模型和滚动规划方法,能够在时间维度上提供更多的选址空间,并在电网扩展或区域送出条件改善的情况下,调整建设规模和进度,找到效益和安全的平衡。

3.3 风电场“规划—建设—运维”一体化平台构想

风力发电场由于拥有持续的生命周期特征,包括其规划研究、设计建造、试验调试以及运行维护等方面,而传统方法使得不同部分在实现中相互独立、无法形成链接,导致规划结果与现场实际情况不完全一致。搭建大数据平台可以使风力发电场整个生命周期从前期规划一直到后期运行都融合在一个平台上,从而实现各阶段之间的持续反馈与协同优化。在规划设计阶段,该平台可以集成资源、地形地质、土地利用、电网条件、政策约束和生态敏感区等不同类型的信息,以完成项目范围界定、块体选取最优及建设环境评价。得到的计划成果可以直接作为实施基础,开展建设项目管理、路线模拟、初步参数计算和环境监控。一旦出现如道路坡度过陡、基础不稳定或机械无法施工等问题,平台将立即发出警告,以降低建设过程中的不确定性和风险。

大数据模型可以运用在机组状态诊断、故障模式识别、性能趋势分析和尾流变化建模中,以实现预知维修和智能化调度的目的。数据采集的大数据模型将为虚拟风力发电厂提供所需的数字孪生技术的基础,以反映真实风力发电厂的生产特性。通过人工智能和数字孪生技术的发展,集中式平台将具备更多的场景模拟和自我学习的功能,向风电场,甚至是区域级可再生能源系统提供可靠化、智能化、持续化支持。

4 结语

通过大数据技术对风电场选址、规划及计划等复杂内容进行更加精细的分析处理,实现资源评价、电网负荷能力及生态制约条件的数字化和智能化处理。通过多源信息集成和智能优化算法,可保障风电机组能在复杂的环境中获得最佳运行区域,并实现全生命周期管理。随着人工智能和数字孪生技术的发展,风电场须具备更强预见和应对能力,这是促进产业效能和运营管理水平的基础,也为构建绿色低碳能源系统提供了支撑。

[项目基金]

东营市科学发展基金项目“生物质成型颗粒固定床热解气化特性研究”(编号:DJJB2023029);山东石油化学工业院校级大创项目“东营市风资源评估及小型风电场规划”(编号:DC2025026)。

[参考文献]

- [1]王振生.提高风电场运行效率的大数据评估方法及应用研究[J].产业科技创新,2024,6(3):87-89.
- [2]田勇.大数据技术在风电机组运行状态监测评估中的应用[J].移动信息,2023,45(6):354-356.
- [3]张成洲.基于大数据的风电场电能质量优化方法[J].科技视界,2024,14(34):121-123.
- [4]叶德云,钟灏标.跨省域智慧能源管理大数据平台架构及关键技术研究与实践[J].广东水利电力职业技术学院学报,2024,22(1):46-50.
- [5]杨廷志,姜巍,罗友竣.基于多源数据融合的海上风电智慧运维技术研究[J].水电与新能源,2024,38(6):28-31.

作者简介:

钟仁杰(2005--),男,汉族,山东潍坊人,本科在读,研究方向:可再生能源清洁高效利用。

刘浩然(2005--),男,汉族,山东烟台人,本科在读,研究方向:可再生能源清洁高效利用。

陈浩然(2005--),男,汉族,山东日照人,本科在读,研究方向:可再生能源清洁高效利用。

杜玟龙(1993--),男,汉族,山东东营人,本科,研究方向:可再生能源清洁高效利用。

*通讯作者:

王甜(1994--),女,汉族,山东滨州人,博士,讲师,研究方向:可再生能源清洁高效利用。