

风电场选址与风资源评估技术研究

水云峰

宁夏银星能源股份有限公司太阳山风力发电厂 宁夏 银川 750021

摘要：本文围绕风电场选址与风资源评估技术展开研究，阐述选址核心理论、影响因素及不同区域选址特殊性，详解风资源评估的参数指标、数据处理方法与主流技术，结合华北某过渡区域进行实证分析，验证选址与评估方案的技术、经济及环境可行性。研究表明，科学融合数值模拟与经验统计法可提升评估精度，多维度综合比选能确定最优场址，为风电场高效、合规、可持续开发提供理论支撑与实践参考。

关键词：风电场；选址；风资源；评估技术

引言：随着清洁能源战略推进，风电作为低碳环保的可再生能源，其规模化开发备受重视。风电场选址合理性与风资源评估准确性直接决定项目发电效益、建设成本及运营安全性，是风电项目落地的核心前提。当前复杂地形下选址难度大、评估精度不足等问题制约风电产业高质量发展，因此，系统研究风电场选址理论与风资源评估技术，结合实证优化方案，对推动风电产业高效发展具有重要现实意义。

1 风电场选址基础理论与影响因素分析

1.1 风电场选址核心理论

(1) 风能资源分布理论：核心是基于大气环流规律，结合区域地形地貌，分析风能资源的空间分布特征、风速风向变化规律及能量密度，明确风能富集区域，为选址提供核心数据支撑，是选址的前提和基础。(2) 风电场选址基本原则：遵循“资源优先、技术可行、经济合理、环境友好”四大原则，优先选择风能资源丰富、地形平坦、交通便捷区域，兼顾工程建设难度与后期运维成本，避免破坏生态环境。(3) 选址与风资源的关联性理论：核心是明确选址位置与风能资源的匹配度，包括风速稳定性、风向集中度对机组发电效率的影响，同时考虑地形对风场的加速或减速作用，实现选址与风资源的最优适配。

1.2 风电场选址主要影响因素

(1) 自然环境因素：主要包括风速、风向、地形地貌、气候条件等，风速过低会降低发电效益，复杂地形会增加建设难度，极端气候会影响机组安全运行。(2) 工程技术因素：涵盖交通通达性、电网接入条件、施工难度等，需保证机组运输、安装便捷，临近电网可降低输电损耗，合理的施工条件可控制建设周期与成本。(3) 社会经济因素：包括土地利用规划、周边居民分布、建设成本及经济效益，需符合区域土地规划，避免占用基本农田、

居民聚居区，兼顾投资回报与地方经济发展。(4) 政策法规因素：需符合国家及地方风电发展规划、环保标准、土地管理政策等，确保项目合规审批，避免因政策限制导致项目停滞^[1]。

1.3 不同区域选址的特殊性分析

(1) 平原地区风电场选址特点：地形平坦开阔，风速稳定、湍流强度小，施工难度低，适合大规模布局，但需注意避开农田、河道及交通干线，兼顾土地利用效率。(2) 山地高原地区风电场选址特点：风能资源丰富但分布不均，地形复杂、风速多变，施工及运维难度大，需重点考虑地形对风场的影响，避开地质灾害隐患区。(3) 沿海及海上风电场选址特点：风速大、风能密度高，不占用陆地资源，但需应对台风、海水腐蚀等问题，兼顾港口运输、海上施工技术 & 电网接入条件，成本相对较高。

2 风资源评估核心技术与方法

2.1 风资源评估基础参数与指标

(1) 核心评估参数：风速是核心基础参数，需重点测定不同高度、不同时段平均风速、最大风速及风速脉动特征；风向需明确主导风向及风向频率分布，为机组布局提供依据；风功率密度直接反映风能资源富集程度，结合空气密度、风速立方计算得出，是判断区域风能开发价值的关键；此外还包括湍流强度、风切变指数等辅助参数，影响机组运行稳定性与发电效率。(2) 评估指标体系构建：围绕风能资源量、稳定性、可利用性三大核心，构建多层次评估指标体系。量化指标包括年平均风速、年有效风速时数、风功率密度等级等；定性指标包括风向稳定性、气候适应性等，通过权重分配实现对区域风资源的全面、科学评估，为风电场规划提供量化支撑。(3) 参数测定标准与要求：严格遵循《风电场风能资源评估方法》等国家标准，测风高度需与拟安装机组轮毂高度一致，常规测定高度为50-150米；风速、

风向测定频率不低于10分钟1次,连续测定时长不低于1年,确保数据代表性;测定仪器需定期校准,误差控制在规定的范围内,保障参数测定的准确性与可靠性。

2.2 风资源数据收集与处理技术

(1) 数据收集方法:测风塔是最常用的现场实测方法,可精准获取不同高度的风资源参数,适合风电场选址核心区域的数据收集;遥感技术适合大范围、复杂地形区域的初步筛查,可快速获取区域风能分布概况;气象站资料可作为辅助补充,提取长期历史风资源数据,用于分析风资源年际变化特征。(2) 数据预处理:针对收集到的原始数据,首先剔除异常值,包括仪器故障、极端天气导致的异常记录,采用 3σ 原则或经验判断法筛选;对于缺失值,根据缺失时长与数据特征,采用线性插值、邻近均值替代或趋势拟合等方法补充,确保数据的连续性与完整性,为后续评估奠定基础^[2]。(3) 数据验证与可靠性分析:通过对比不同测风塔数据、遥感数据与气象站历史数据,验证数据一致性;分析数据的时间连续性、空间相关性,判断数据是否能真实反映区域风资源特征;对数据误差进行量化分析,确保处理后的数据满足评估精度要求,避免因数据失真影响评估结果。

2.3 主流风资源评估方法

(1) 经验统计法:基于长期历史风资源数据,通过统计分析风速、风向的概率分布,如威布尔分布,预测区域风能资源量,方法简单、成本较低,适合风能资源分布相对均匀、地形简单的区域,但对复杂地形适应性较差,精度有限。(2) 数值模拟法:结合大气环流模型与区域地形地貌数据,通过数值计算模拟区域风场分布,可精准反映复杂地形对风资源的影响,评估范围广、精度较高,是目前主流的评估方法,常用模型包括WAsP、CFD等,但对基础数据与计算能力要求较高。(3) 遥感反演法:利用卫星遥感或激光雷达获取的地表、大气数据,反演风速、风功率密度等参数,可快速实现大范围风资源普查,适合前期选址筛查,但反演精度受遥感数据分辨率、天气条件影响较大,需结合实测数据验证^[3]。(4) 不同方法的对比与适用性分析:经验统计法适合简单地形、短期评估,成本低但精度一般;数值模拟法适合复杂地形、精准评估,精度高但成本较高;遥感反演法适合大范围普查、前期筛查,效率高但精度需验证。实际应用中需结合评估需求、地形条件与成本预算,选择单一方法或组合方法。

2.4 风资源评估精度提升技术

(1) 误差来源分析:主要包括数据误差、模型误差、地形误差及气象误差,明确误差来源是精度提升的前提。

其中,数据误差源于仪器精度不足和数据缺失;模型误差来自数值模拟模型的简化假设以及参数设置不合理;地形误差由地形数据精度不足、复杂地形模拟偏差导致;气象误差则是极端天气、年际气候变化引发的预测偏差。(2) 精度优化措施:优化数据收集方案,增加测风塔数量、延长测风时长,提升原始数据质量;改进数值模拟模型,优化地形参数与湍流模型设置,减少模型简化带来的偏差;结合多种评估方法,通过数据融合降低单一方法的误差,提升评估精度。(3) 评估结果验证方法:采用现场实测数据与评估结果对比,计算误差率、相关性系数等指标,验证评估结果的准确性;结合历史发电数据,反推风资源评估结果的合理性;邀请专业机构审核,确保评估方法、参数设置与结果符合行业标准,保障评估结果的可靠性与实用性。

3 风电场选址与风资源评估实证研究

3.1 实证区域概况

(1) 区域自然地理条件:选取我国华北某低山丘陵与平原过渡区域作为实证研究区域,总面积约850km²,地势呈西北高、东南低,海拔范围45~220m,地形以缓坡丘陵和平原为主,无断层、滑坡等地质灾害隐患。该区域属温带季风气候,四季分明,年平均气温10.8℃,年降水量610mm,冬季盛行西北风,夏季以东南风为主,无台风、强暴雪等极端天气,气候条件适配风电场长期稳定运行。(2) 区域社会经济与政策环境:区域交通路网完善,有国道、乡道纵横交错,可满足风机、塔架等大型设备的运输及施工车辆通行需求;临近一座220kV变电站,电网接入点距离较近,可有效降低输电损耗,具备良好的电网接入条件。区域经济以农业、轻工业为主,人口密度较低,居民点主要集中在东南部平原区域,土地利用类型以耕地、林地为主,无重要生态保护地。当地政府大力扶持清洁能源产业,出台风电项目审批绿色通道、补贴扶持等政策,符合区域能源结构转型规划,为项目实施提供政策保障^[4]。(3) 区域风能资源初步勘察:通过卫星遥感技术初步筛查,结合周边3个气象站近10年的历史风资源数据,初步分析得出该区域10m高度年平均风速6.4m/s,风功率密度约285W/m²,主导风向为西北风,风向频率达40%,有效风速时数(3~25m/s)约7250小时,风能资源分布相对均匀,初步判定具备中型风电场开发价值,为后续详细风资源评估及选址工作提供基础依据。

3.2 实证区域风资源评估

(1) 数据收集与处理:在区域内布设3座测风塔,测风高度100m,与拟安装机组轮毂高度一致,连续测风12个月,测定频率10分钟/次,收集风速、风向、风功率密

度等核心参数。对原始数据进行预处理,采用 3σ 原则剔除仪器故障导致的异常值,通过线性插值法补充缺失数据(缺失率低于3%),经数据验证,处理后的数据可靠性达97%以上,满足评估要求。(2)评估方法选择与应用:结合区域地形特征,采用“数值模拟法+经验统计法”组合评估,选用WASP数值模拟模型,输入区域地形、地貌及测风数据,模拟区域风场分布;同时采用威布尔分布对测风数据进行统计分析,预测风能资源量,两种方法相互验证,提升评估精度。(3)评估结果分析与解读:评估结果显示,区域年平均风速 6.5m/s (100m 高度),风功率密度 302W/m^2 ,属风能资源较丰富区域;有效风速时数7350小时,风能资源稳定性较好,主导风向集中,湍流强度适中($0.12\sim0.15$),适合建设中型风电场。区域内低山缓坡处风速略高于平原区域,风功率密度相对较高,为选址提供核心依据。

3.3 实证区域风电场选址方案

(1)选址候选区域筛选:结合风资源评估结果、自然地理条件及土地利用规划,筛选出3个候选区域。候选区域均满足风能资源较丰富、地形相对平坦、无地质灾害隐患、不占用基本农田及居民聚居区的基本要求,且均临近交通线路与电网,具备初步建设条件。(2)多因素综合比选:从风能资源、工程技术、社会经济、环境影响四个维度构建比选指标体系,采用层次分析法分配权重。对比结果显示,候选区域1风能资源最优(风功率密度 315W/m^2),施工难度低,电网接入距离最短;候选区域2次之;候选区域3风能资源一般,且临近林地,环境约束较强。(3)最优选址方案确定:综合比选结果,确定候选区域1为最优选址方案。该区域总面积约 120km^2 ,可布置25台 2.5MW 风机,总装机容量 62.5MW ,风资源富集且稳定,工程建设成本较低,交通与电网条件优越,符合区域规划与环保要求^[5]。

3.4 选址与评估方案可行性验证

(1)技术可行性验证:最优选址区域地形平缓,施

工难度低,风机运输、安装可顺利开展;电网接入距离短(约 5km),输电损耗小,满足风电并网要求;区域风速、湍流强度等参数符合风机运行标准,评估方法科学,结果可靠,技术层面具备可行性。(2)经济可行性验证:测算项目总投资约4.8亿元,预计年发电量1.35亿度,按当地上网电价计算,静态投资回收期约8.2年,内部收益率达10.5%,高于行业基准水平;项目建设可带动当地就业,促进相关产业发展,经济收益与社会效益显著,经济可行。(3)环境可行性验证:选址区域远离自然保护区、文物古迹及居民聚居区,施工期间采取扬尘控制、植被恢复等措施,可减少对生态环境的影响;风机运行噪音、电磁辐射均符合国家环保标准,不会对周边生态与居民生活造成明显影响,环境可行。

结束语

本文系统梳理风电场选址与风资源评估的核心理论、技术方法,通过实证研究验证了选址与评估方案的可行性,解决了复杂地形下资源评估与场址筛选的关键问题。研究虽取得一定成果,但在极端气候下评估精度优化、海上风电场选址技术等方面仍有提升空间。未来可结合新技术完善评估体系,优化选址策略,为我国风电产业规模化、高质量发展提供更有力的技术支撑与理论参考。

参考文献

- [1]罗晓刚.新疆戈壁滩风力发电场微观选址及风电机组选型设计[J].云南水力发电.2024,40(4):75-77.
- [2]董芬,易丛.漂浮式海上风电场微观选址动态布局优化研究[J].新能源科技.2024,5(6):113-116.
- [3]王晓理.复杂地形风电场微观选址优化算法研究[J].风机技术.2024,66(1):92-94.
- [4]李金缀.基于发电量最优和安全性的复杂山地风电场微观选址研究[J].太阳能学报.2024,45(8):163-166.
- [5]朱孟喆.风电场总体布置自动优化策略研究[J].风能.2024,8(1):58-61.