

Research on Multi-dimensional Collaborative Platform for Wind Farm Design and Construction

Qiang Li¹ Liang Ge² Dian Huang¹ Shuwen Liu¹ Ailin Luo¹

1. Sichuan Kehong Petroleum & Natural Gas Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

2. Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China

Abstract

This paper addresses critical challenges in onshore wind farm construction, including inefficient spatial resource allocation, complex infrastructure selection, multi-disciplinary coordination, and prominent safety risks. A multidimensional collaborative design system centered on the "Collaborative Optimization System" has been developed. By integrating three core technical disciplines—site planning, structural engineering, and power systems—the system establishes a BIM-GIS integrated workflow and a multi-disciplinary collaborative decision-making platform, enabling precise spatial resource allocation for wind farms. It innovatively introduces a geologically coupled foundation selection matrix to provide rapid and accurate foundation design and layout solutions. Additionally, the system incorporates safety principles throughout the entire construction process, establishing a full-cycle safety management framework. This system effectively resolves core conflicts between traditional wind farm design and construction, comprehensively enhancing construction efficiency, engineering quality, and safety standards, while providing essential technical support for onshore wind farm projects.

Keywords

wind farm; collaborative optimization system; spatial resource allocation; basic selection; construction safety

风力发电场设计与施工多维度协同平台研究

李强¹ 葛亮² 黄典¹ 刘书文¹ 罗爱琳¹

1. 四川科宏石油天然气工程有限公司, 中国·四川成都 610000

2. 西南石油大学, 中国·四川成都 610500

摘要

本文针对当前陆上风电场项目建设中面临的空 间资源配置低效、基础结构选型困难、多专业交叉协同复杂及施工安全风险突出等行业痛点, 构建了以“协同优化系统”为核心的多维度协同设计体系。通过整合总图、结构、电力三大专业技术, 打造BIM-GIS集成工作流与多专业协同决策平台, 实现了风电场空间资源的精细化配置; 能创新性建立地质耦合基础选型矩阵, 为风电基础提供快速精准的选型与布置方案; 同时能将施工安全理念贯穿于全过程, 构建全周期安全管控体系。该体系有效解决了传统风电场设计到施工的核心矛盾, 全方位提升了风电场建设效率、工程质量与施工安全水平, 提供了陆上风电项目建设的重要技术支撑。

关键词

风电场; 协同优化系统; 空间资源配置; 基础选型; 施工安全

1 引言

近年来, 随着中国陆上风电开发重心已加速向中东南部山地、丘陵区域转移, 此类区域的地形复杂性、地质多样性及严格的生态约束, 对风电场的设计、施工提出了更高要求。为此, 本文系统性提出“总图-结构-施工安全”三维协同设计体系, 以“协同优化系统”为技术核心, 为陆上风电场高效、安全建设提供全方位解决方案。

【作者简介】李强(1987-), 男, 中国四川内江人, 在读博士, 高级工程师, 从事新能源、机械制造及自动化、油气测控及地面工程研究。

2 总论

2.1 现有问题深度剖析

当前中国风电场设计与施工仍沿用部分传统理念与技术方法, 难以适应山地、丘陵区域的复杂建设条件, 核心问题主要集中在以下三个方面:

①空间资源配置效率低下: 传统风电场总图布置多采用“均匀网格化”模式, 缺乏对风资源分布、地形地貌等多因素的综合考量, 导致 15-25% 的风机机位处于次优风资源区, 未能充分发挥风电场的发电潜力; 同时, 设备设施的布置缺乏系统性规划, 土地资源浪费现象较为突出。

②施工组织管理较为粗放: 设计阶段未充分融入施工

全周期视角，导致施工方案与现场实际条件适配性不足。具体表现为临时道路占总道路长度的比例超过 45%，不仅大幅增加了施工成本与工期，还加剧了对生态环境的破坏。

③生态与工程协同不足：常规设计方案对生态环境保护的重视程度不够，缺乏系统性的生态协调设计；同时，风机布置未充分考虑鸟类迁徙路径等生态因素，使得鸟类碰撞风机的风险增加 40%，引发一系列生态环境问题。

2.2 研究思路与技术路线

针对上述行业痛点与核心问题，本文提出“总图协同优化-基础结构适配-施工安全保障”三维一体的研究思路，通过多专业技术融合与协同创新，突破风电场建设的技术瓶颈。具体技术路线如下：

①整合 GIS 地理信息系统与 BIM 建筑信息模型技术，构建多专业数据融合平台，实现风电场空间资源的精细化配置；

②基于地质勘察数据与风机载荷分析，建立地质耦合基础选型矩阵，实现风电基础的快速精准选型；

③将施工安全理念贯穿设计全过程，构建覆盖的安全施工管理体系；

④搭建多专业协同决策平台，实现总图、结构、电力、施工等专业的高效协同，形成风电场建设的最优解决方案。

3 体系构建

3.1 数据融合平台

针对山地、丘陵风电场地形起伏大、交通不便、前期勘察难度大的问题，本文构建了基于 BIM-GIS 集成的多专业数据融合平台，具体流程如下：

① GIS 数据驱动的风机点位预选：通过获取风电场区域数字高程模型（DEM）、土地利用规划、生态红线分布等 GIS 数据，利用空间分析技术对风机布置区域进行初步筛选，排除生态敏感区、地质灾害高风险区等不适宜建设区域，完成风机点位的预选工作；

②地质勘察数据采集与融合：对预选风机点位开展详细的地质勘察工作，获取土层 / 岩层分布、岩土力学参数、地下水位、不良地质条件等核心数据，并将地质勘察数据与 GIS 空间数据进行融合，为基础设计提供精准的数据支撑；

③ BIM 技术支撑的基础选型：基于 BIM 技术构建风电基础三维模型库，结合地质勘察数据与风机载荷要求，对不同基础类型的适用性进行模拟分析，完成基础类型的初步选型；

④电力专业发电量校核：结合风资源评估数据建立风资源网格模型，对预选风机点位的发电量进行精准计算与校核，优化风机布置间距与排列方式，确保风电场发电效率最大化；

⑤多专业协同决策：将总图、结构、电力、施工等专

业的设计成果导入协同决策平台，组织各专业人员进行综合评审与优化调整，最终形成施工图设计方案。

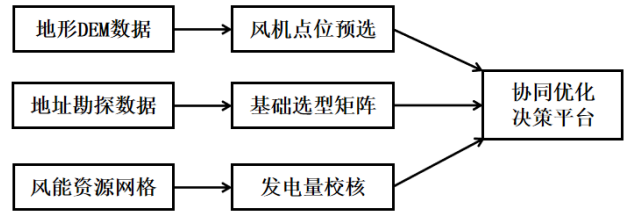


图 1 BIM-GIS 集成工作流程示意图

3.2 技术创新

道路运输是山地、丘陵风电场建设的核心制约因素之一，直接影响风机设备设施运输效率、施工成本与安全。本文采用 Civil3D 土木工程专用软件结合定制算法，实现施工道路的智能优化设计，具体技术创新详情如下表所示。

表 1 技术创新详情

序号	项目	具体内容
1	技术实施	将 GIS 获取的地形数据导入 Civil3D 软件，输入上述设计约束条件与设备参数，通过软件内置的优化算法进行道路路径的智能生成与优化调整。
2	核心技术	自动规避地形障碍，实现道路填挖方量的最小化；确保道路满足风机设备运输的各项技术要求，形成总图运输的最优解。
3	应用效益	道路修筑成本降低 15-20%； 施工周期缩短 20-30%； 大幅提升风电场总图运输设计的效率与整体效益。

4 适配设计

4.1 载荷分析

精确计算作用于风电基础的各类载荷，是基础设计的前提与核心。风电基础所承受的载荷主要包括以下三大类。

①风机运行载荷：风机运行过程中产生的各类动态与静态载荷；风轮旋转产生的气动推力、扭矩；风机运行过程中产生的惯性力；陀螺效应引起的附加载荷；发电机运行产生动态载荷。

②环境载荷：风电场所在区域的自然环境因素对基础产生的载荷，主要包括：50 年一遇或 100 年一遇的极端风速载荷；复杂风况引起的动态载荷；区域地震烈度对应的地震载荷；寒温度变化引发的热胀冷缩载荷。

③特殊工况载荷：除正常运行工况外，基础还需承受的特殊载荷，主要包括：风机设备运输、吊装过程中产生的临时载荷；后期运维过程中检修设备与人员产生的维护载荷。

4.2 参数获取

详细、准确的地质勘察数据是风电基础设计的关键依据。风机点位确定后，需开展系统性的地质勘察工作，获取以下核心数据。

表2 基础设计核心原则

序号	设计原则	具体要求
1	安全性原则	基础结构必须满足风机在正常运行、极端风况、地震、设备故障等所有工况下的稳定性要求，不发生倾覆、滑移、过度沉降或结构破坏。
2	适配性原则	基础设计需充分考虑地形条件、地质特征、风机载荷等多重因素，实现基础结构与实际工况的高度适配。
3	经济性原则	在保证安全与适配性的前提下，通过优化基础类型与结构尺寸，降低基础建设成本。
4	环保性原则	基础施工方案需充分考虑生态环境保护要求，减少对周边植被、土壤、地下水等生态环境的破坏。

表3 勘察内容与要求

序号	数据类别	具体内容与要求
1	土层/岩层分布	明确场址内各土层/岩层的分布范围、厚度、物理性质(如密度、含水量、孔隙比、塑性指数等)。
2	岩土力学	通过室内试验与现场原位测试，获取岩土体的承载力特征值、抗剪强度参数、压缩模量/变形模量、泊松比、基床系数等核心力学参数。
3	水文地质	查明地下水位埋深、水位变化规律、地下水类型、水质等水文地质参数。
4	不良地质	查明场址内液化土层、膨胀土、湿陷性黄土、断层、溶洞、采空区等不良地质条件的分布范围与发育特征，评估其对基础建设的影响。

4.3 基础选型矩阵构建与应用

为解决传统标准化基础设计与山地、丘陵区域复杂地质条件适配性不足的问题，本文基于地质勘察数据、风机载荷分析结果与工程实践经验，建立了地质耦合基础选型矩阵表，实现了风电基础的快速精准选型。

表4 基础选型矩阵详情

序号	地形坡度	条件	推荐基础型式	经济性指标 (元/kW)
1	< 15°	完整基岩	扩展式基础	220~260
2	15~25°	强风化岩	岩石锚杆基础	280~320
3	> 25°	坡积层	微型桩群+承台	350~420
4	陡崖区	岩溶发育	深嵌岩桩+跨孔灌浆	480~550

通过该选型矩阵，设计可根据风电场具体的地形坡度与地质条件，快速筛选出最优的基础型式，在保证基础结构安全稳定的前提下，最大限度降低基础建设成本。

5 风电场安全施工管理体系

5.1 施工场地与安全设施布置

合理的场地布置与完善的安全设施是安全施工的重要保障。根据施工流程与安全要求，合理划分施工区、材料堆放区、设备停放区、生活区等功能区域，各区之间保持足够的安全距离，设置明显的分区标识；施工区与生活区严格分离，避免交叉干扰。

5.2 设备机具安全管理

施工设备机具的安全运行是安全施工的关键环节。所

有进场施工机械设备必须进行全面的检查验收，核对设备型号、性能参数、检验合格证明等资料，确保设备性能良好、安全装置齐全有效；对关键设备，如大型起重设备，需组织专业检测机构进行检测，检测合格后方可进场使用。

5.3 施工材料安全管理

施工材料的安全管理直接影响工程质量与施工安全。钢筋、模板、水泥等建筑材料需分类堆放，设置专门的材料堆放区，堆放场地需平整、坚实，做好排水措施；材料堆放高度需符合安全要求，防止滑落、倾倒引发安全事故。

6 结论

本文针对中国陆上风电向中东南部山地、丘陵区域拓展过程中面临的资源配置低效、基础结构选型困难、多专业协同复杂、施工安全风险高等核心问题，构建了以“协同优化”为核心的多维度协同设计与施工体系平台。通过多专业协同创新，全方位提升了风电场设计效率、工程质量与施工安全，为山地、丘陵风电场建设提供了完整的技术解决方案，为实现“双碳”目标与能源可持续发展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 李路路.山地风电风机基础土建施工难点与质量控制研究[J].科技资讯.2023,21(19):122-125
- [2] 赵鸿瑞.风力发电机组基础施工技术的难点分析[J].信息周刊.2019(29):1
- [3] 任杰,曾庆贺.山地风力发电场风机基础施工技术[J].河南科技.2019(29):3
- [4] 谢晓刚,陈俊,张安.人工智能技术在风力发电领域的应用[J].中国设备工程,2021(7):35-36.
- [5] 靳亮,马芳.关于风力发电塔架基础的研究[J].《产城(上半月)》.2021(3).
- [6] 刁帅.浅析风力发电工作原理及应用[J].《石河子科技》2021(4):5-6
- [7] 王其君,王鲁斌,李海波.基于拓扑优化方法的大兆瓦级风机主机架设计及应用[J].强度与环境.2023(4).
- [8] 孙公军,秦大鹏,张琛.6兆瓦级风力发电机主机架的铸造工艺[J].2013,(9).
- [9] 谢晓刚,陈俊,张安.某垂直轴风力机主机架结构分析[C].第八届全国土木工程研究生学术论坛.2010