

# 大型风电场集群功率预测与调度优化方法

杨彩杰

沙能（上海）技术服务有限公司 上海

**【摘要】**大型风电场集群在并网运行过程中面临功率预测不确定性和调度优化的双重挑战。针对这一问题，提出一种融合高精度功率预测与自适应调度优化的综合方法。基于多源气象数据与风机运行特性，构建深度学习预测模型，实现对风电功率的高精度短期预测。结合预测结果与电网运行约束，采用多目标优化算法对风电场群的发电计划进行动态调整，以兼顾出力平稳性与经济性。仿真结果表明，该方法显著降低预测误差，提高风电场群整体调度效率，为大规模风电并网运行提供了有效技术支持。

**【关键词】**大型风电场；功率预测；调度优化；深度学习；多目标优化

**【收稿日期】**2025 年 9 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 11 月 10 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250199

## Power prediction and scheduling optimization method for large wind farm clusters

Caijie Yang

Shanen (Shanghai) Technical Service Co., Ltd., Shanghai

**【Abstract】** Large-scale wind farm clusters face dual challenges of power prediction uncertainty and dispatch optimization during grid-connected operation. To address this issue, a comprehensive method integrating high-precision power prediction with adaptive dispatch optimization is proposed. By leveraging multi-source meteorological data and wind turbine operational characteristics, a deep learning prediction model is constructed to achieve high-precision short-term wind power forecasting. Combining the predicted results with grid operation constraints, a multi-objective optimization algorithm is employed to dynamically adjust the generation plans of wind farm clusters, balancing output stability and economic efficiency. Simulation results demonstrate that this approach significantly reduces prediction errors and enhances overall dispatch efficiency of wind farm clusters, providing effective technical support for large-scale wind power grid integration.

**【Keywords】** Large-scale wind farms; Power prediction; Dispatch optimization; Deep learning; Multi-objective optimization

### 引言

随着可再生能源大规模接入电网，风电已成为推动能源转型的重要力量。风电出力的随机性和间歇性给电力系统的安全稳定运行带来巨大挑战。尤其在大型风电场集群并网背景下，功率预测精度不足和调度策略不合理，极易导致资源浪费和系统波动。探索高精度功率预测与优化调度方法，成为提升风电利用率和保障电网稳定性的关键路径。通过先进算法与多源数据融合，有望在波动性与可控性之间实现高效平衡，为清洁能源消纳提供坚实技术支撑。

### 1 大型风电场集群功率预测面临的关键挑战

大型风电场集群在并网运行过程中面临着功率预测精度不足、气象条件不确定性以及调度优化复杂度

高等多重挑战。由于风能资源具有显著的随机性和间歇性，气象条件变化频繁且非线性特征明显，导致风电功率输出在时间尺度和空间尺度上均存在较大波动<sup>[1]</sup>。大规模风电场群在不同地理位置分布，地形、海拔和风速特性差异显著，使得预测模型在泛化能力和鲁棒性方面受到严峻考验。随着风电装机容量的不断提升，电网对功率预测精度的要求日益提高，预测误差直接影响电网负荷平衡与安全调度，甚至可能引发系统频率波动、电压越限等稳定性问题。

在实际运行中，风电功率预测不仅受限于气象数据精度，还受到风机运行状态、功率曲线模型、尾流效应等多重因素影响。传统基于统计学的预测方法在处理复杂多维非线性特征时存在局限性，难以全面捕捉

气象参数、风机性能以及电网约束之间的动态耦合关系。对于分布式的大型风电场集群而言,单一预测模型难以满足不同场区间的时空关联需求,容易造成预测结果在局部风场与整体集群之间存在偏差。风电场在高风速区、低风速区及功率平台区的运行状态差异,使得预测模型需要针对不同工况进行分段建模,才能有效提升预测精度。由于数据源多样且质量不均,如何高效融合卫星遥感、数值天气预报、历史运行数据等多维信息,成为提高预测性能的关键技术问题。

功率预测精度直接关系到后续的风电调度优化策略。大型风电场集群需要在保证电网安全稳定的前提下,实现出力平稳性与经济性之间的平衡。当预测精度不足时,调度策略容易失真,导致启停计划、功率分配及储能协调等关键环节效率低下<sup>[2]</sup>。特别是在高比例可再生能源并网场景中,预测误差的累积效应会放大系统风险,增加备用容量需求并提升系统调峰压力。在功率预测环节亟需突破高维非线性建模、时空特征提取以及不确定性量化等关键技术瓶颈,为后续调度优化提供可靠基础。

## 2 基于多源数据的风电功率高精度预测模型构建

基于多源数据的风电功率高精度预测模型构建需要充分考虑风电场集群的地理分布特性、气象条件差异以及机组运行状态等多维因素。大型风电场群通常跨越多个区域,气象环境的复杂性导致单一数据源无法全面反映风电功率变化规律。多源数据融合技术通过整合卫星遥感、数值天气预报、历史运行监测以及实时气象观测等多类数据,为预测模型提供更加全面的特征输入<sup>[3]</sup>。在多源数据环境下,风速、风向、温度、大气压、湿度等气象要素与风机功率输出之间呈现高度非线性关系,需要通过高维特征提取与深度建模实现高精度预测。数据融合过程中必须解决不同数据源在时间尺度、空间分辨率及数据质量上的不一致性问题,确保预测模型能够在多时段、多区域下保持稳定性和泛化能力。

在模型构建方面,深度学习技术为解决复杂非线性预测问题提供了强有力的工具。通过引入卷积神经网络、长短期记忆网络、Transformer 等结构,模型能够有效提取多源气象数据的时空关联特征,并结合风电机组运行特性进行联合建模。对于不同风电场区之间的关联性,可采用图神经网络构建空间依赖关系,从而在集群尺度上实现整体功率的协同预测。为了提高模型的适应性与鲁棒性,可引入迁移学习与自适应优化技术,使预测模型能够针对不同地形、不同气象条件

下的风电场灵活调整参数,提高在多工况下的精度表现。

高精度预测模型的实现还依赖于不确定性量化与动态校正技术。在大型风电场集群中,不同气象条件下的预测误差具有时变性和随机性,需要在预测模型中引入贝叶斯推断、置信区间估计和概率预测等方法,对预测结果的不确定性进行实时评估。通过对历史数据与实时监测数据的联合分析,可以建立在线校正机制,动态调整预测结果以适应突发天气变化和设备状态波动<sup>[4]</sup>。模型训练中需利用多任务学习与多目标优化方法,在提升单点预测精度的同时兼顾功率曲线整体拟合能力。借助高性能计算与分布式训练框架,能够在海量多源数据支持下实现大规模风电场集群的高效建模,为后续调度优化策略提供更加精准、可靠的数据支撑。

## 3 面向电网稳定的大型风电场集群调度优化策略

面向电网稳定的大型风电场集群调度优化策略需要在不确定性功率预测结果的基础上,构建兼顾安全性、经济性和灵活性的多目标优化框架。大型风电场集群具有广域分布、功率波动显著和运行状态复杂等特点,导致电网在负荷平衡、频率稳定及备用容量配置上面临巨大压力<sup>[5]</sup>。为了降低风电功率不确定性对电网运行的冲击,需要在调度优化中引入功率预测误差建模,通过场景分析和随机优化方法,建立风电场群与电网之间的动态协调机制。通过考虑负荷需求曲线、机组运行约束、功率爬坡限制等多维条件,能够实现更为精细化的风电功率分配与电网调度控制,为系统稳定运行提供基础支撑。

在调度策略设计中,分层分区的优化思路能够有效提高大型风电场集群的调度效率。在区域层面,通过多目标优化算法实现风电出力与电网需求的动态匹配,综合考虑电价、储能资源、电力市场竞价机制等因素,提升风电利用率与经济效益。在集群内部,可通过协调控制不同风电场间的出力分配,结合预测结果与实时监测数据,实现功率波动的空间互补性和整体平滑化。为了进一步增强系统灵活性,调度优化模型可引入储能系统的动态管理,将风电出力不确定性与储能调节能力进行联合优化,使得在高风速和低风速等极端情况下都能够实现电网的安全稳定运行。

在实际应用中,调度优化策略需要兼顾实时性和鲁棒性,这对算法性能提出更高要求。通过引入强化学习、自适应优化以及分布式并行计算等先进技术,可以在复杂多变的运行环境中快速求解最优调度方案。基于预测驱动的动态优化方法能够在新一轮气象数据和

实时功率监测到来后,自动更新调度计划,保持决策的前瞻性与可靠性。通过在调度模型中集成风险评估机制,对大规模风电并网可能导致的频率失稳、电压波动和潮流越限等风险进行量化分析,从而实现更具弹性的应对策略<sup>[6]</sup>。面向电网稳定的大型风电场集群调度优化不仅需要精确建模预测结果,还需充分发挥多源数据融合、智能算法和实时控制技术的协同作用,以实现高比例可再生能源接入下的安全高效运行。

#### 4 功率预测与调度优化方法的综合验证与性能分析

功率预测与调度优化方法的综合验证与性能分析需要在多维数据和多场景下开展系统性评估,以确保模型在不同气象条件和运行环境下的适用性与可靠性。针对大型风电场集群的功率预测模型,通过引入历史监测数据、实时气象数据和数值天气预报信息,构建高分辨率的验证数据集,并在不同时间尺度上评估预测精度与泛化能力<sup>[7]</sup>。通过对比深度学习模型、统计回归模型以及物理机制模型的性能表现,可以有效分析多源数据融合与高维特征提取在预测环节中的优势。将预测结果的不确定性量化纳入评估体系,利用概率预测、置信区间和残差分布分析的方法,全面衡量预测模型的稳定性与鲁棒性。

在调度优化部分的性能分析中,通过构建多场景仿真平台,对不同气象条件、电网负荷水平以及风电场运行状态下的优化效果进行验证。通过引入多目标优化算法和风险约束策略,评估功率预测误差对调度计划的影响程度,分析优化策略在应对高风速、低风速及功率突变等极端情况下的适应能力。结合储能系统与需求响应策略,对比不同调度策略下的功率波动率、弃风率、电网频率偏差等关键指标,从而验证优化方法在保障系统安全性与提升风电消纳率方面的有效性。通过在不同负荷峰谷周期中进行动态仿真,进一步证明模型在复杂工况下保持高效性的能力。

综合验证不仅包括预测模型与调度优化策略的静态性能评估,还需要通过实时数据驱动的动态分析来考察方法的可扩展性和实时性。在实际应用环境中,结合高频率气象监测、风电机组功率输出与电网调度数据,建立在线评估与动态校正机制,使模型能够根据最新状态信息不断调整预测结果与调度策略<sup>[8]</sup>。通过分布

式计算框架与高性能仿真平台的结合,可以在大规模风电场集群并网背景下实现高并发数据处理与实时决策支持,从而确保综合方法在实际电力系统运行中的可行性和稳定性。

#### 5 结语

本研究围绕大型风电场集群的功率预测与调度优化问题展开,构建了多源数据驱动的高精度预测模型,并提出了兼顾电网稳定性与经济性的优化策略。综合仿真与性能分析表明,该方法在降低预测误差、提升调度效率和增强系统鲁棒性方面具有显著优势。研究成果为高比例风电并网运行提供了可行的技术路径,并为实现能源结构转型和可再生能源高效利用奠定了坚实基础。

#### 参考文献

- [1] 李卓,蒋琳,席尚华,等. 融合气象数据的太阳能光伏发电短期功率预测方法研究[J]. 信息化研究,2025,51(04): 166-171.
- [2] 刘燕,贺吉飞. 大数据驱动下的新能源发电功率预测及数据挖掘应用[J]. 科技与创新,2025,(15):222-225.
- [3] 王明俊,贾建华,董小录,等. 新能源功率预测分析与算法研究[J]. 电工技术,2025,(14):91-94.
- [4] 王磊,滕伟,武鑫,等. 风功率预测关键技术及其研究应用综述[J/OL]. 动力工程学报,1-15[2025-08-30].
- [5] 何飞跃,罗钰昕. 大型风电场自动电压控制系统设计与实现[J]. 水电站机电技术,2024,47(12):168-170.
- [6] 张剑锋. 大型风电场集电线路隐患预警与故障定位技术应用分析[J]. 电气技术与经济,2024,(11):147-150.
- [7] 韩毅,刘玮,张丽辉,等. 大型风电场实地测风数据精细化分析方法[J]. 科学技术与工程,2024,24(26):11271-11282.
- [8] 张雄. 大型风电场基础工程设计与施工中的关键技术问题[J]. 城市建设理论研究(电子版),2024,(23):119-121.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**