

电力技术

基于运行数据的风电机组功率曲线偏差修正研究

屈延飞

国华（赤城）风电有限公司 河北张家口 075500

【摘要】风能资源高效利用推动风电产业可持续发展，如今，风电机组运行性能优化成为行业关注焦点，对于提升风电场整体发电效率也发挥关键作用。功率曲线作为评估风电机组性能的核心指标，将运行数据分析方法应用于功率曲线偏差修正当中，已经取得显著技术突破。针对功率曲线偏差问题，在将运行数据应用于修正之前，需进行数据清洗与特征提取，将异常数据有效剔除，这样能够精准识别偏差来源，促进风电场科学化建设。本文基于实际运行数据，主要就风电机组功率曲线偏差成因进行系统分析，并提出针对性修正策略，以供参考。

【关键词】风电机组；功率曲线；偏差修正；运行数据

Research on Deviation Correction of Wind Turbine Power Curve Based on Operating Data

Qu Yanfei

Guohua (Chicheng) Wind Power Co., Ltd. Zhangjiakou, Hebei 075500

【Abstract】The efficient utilization of wind energy resources promotes the sustainable development of the wind power industry. Nowadays, optimizing the operational performance of wind turbines has become a focus of industry attention and plays a key role in improving the overall power generation efficiency of wind farms. The power curve, as a core indicator for evaluating the performance of wind turbines, has achieved significant technological breakthroughs by applying operational data analysis methods to correct power curve deviations. To address the issue of power curve deviation, data cleaning and feature extraction are necessary before applying operational data for correction. Abnormal data should be effectively removed to accurately identify the source of deviation and promote the scientific construction of wind farms. This article is based on actual operating data, mainly conducting a systematic analysis of the causes of power curve deviation in wind turbines, and proposing targeted correction strategies for reference.

【Key words】wind turbines; Power curve; Deviation correction; operating data

引言

随着风电技术快速发展，风电场的运行管理要求日益精细化，实现风电资源高效利用。由于功率曲线是衡量风电机组性能的重要依据，实现功率曲线精准评估进一步提升风电场经济效益。对于风电场运营，由于传统功率曲线评估方法存在局限性，搭建基于运行数据的偏差修正模型能提升风电场发电量预测准确性，同时优化机组运行状态，运维决策能更好地适应复杂工况变化，这为风电场精细化管理提供有力支持。环境因素、设备老化、控制策略等因素，致使数据采集不完整、噪声干扰大、特征提取难、模型适应性差等问题，引发功率预测偏差、发电量评估失准、运维决策失误等现象，严重影响风电场经济效益。现有功率曲线评估方法，对复杂工况的适应能力，缺乏系统性偏差分析，存在模型泛化不足或修正精度有限。因此，探索科学合理、精准高效的偏差修正措施，基于大数据分析技术，对风电场运营优化和行业技术进步具有重要实践价值。

1 功率曲线偏差修正的意义

功率曲线偏差修正将风电场的运行管理与性能评估有机结合，利用信息技术将复杂运行数据转化为有价值信息。从运维角度出发，该技术的应用不仅能够提升机组运行效率，还能优化风电场整体性能。在“双碳”目标背景下，功率曲线精准评估已经成为行业发展趋势，确保风电场的经济效益能够稳定持续实现。

具体而言：第一，提升风电机组运行效率。对于风电场日常运维工作，在功率曲线偏差修正过程中需要数据清洗、特征提取和模型构建，同时会消耗大量人力资源。但在数据驱动技术支持下，将实现自动化偏差识别与修正，通过智能算法进行数据处理与分析，大幅减少人工干预，进而提升风电机组整体运行效率。从技术层面看，精准的功率曲线修正能够及时发现机组潜在问题，进一步优化控制策略，推动风电机组向智能化方向发展，这对于提升风电场整体运营水平

具有重要意义。第二,提升发电量评估准确性。在风电场运营当中,发电量评估需要精准的功率曲线作为基础,因此功率曲线修正至关重要。而在数据驱动的功率曲线修正方法中,只需要高质量运行数据,数据处理自动完成,这使得评估过程与传统方法相比出现显著改进,进而提升发电量预测精度。功率曲线作为风电场性能评估的关键指标,其准确性直接关系到发电量评估的可靠性。在实际应用中,功率曲线偏差修正能够将复杂工况下的机组性能准确表征,避免将环境因素导致的功率波动误判为设备故障,依靠数据驱动方法,在风速波动、湍流强度变化、空气密度变化的同时,强化对真实性能的准确评估。功率曲线修正既是风电场经济性评估的基础,同时也是设备状态监测的重要依据。良好的功率曲线修正机制,能够显著提升风电场运营决策科学性^[1]。第三,有助于运维决策优化。功率曲线偏差修正作为风电场性能评估的关键环节,既是连接设备状态与发电性能的桥梁,同时也是优化运维策略的重要依据。在实际运营中,注重功率曲线动态变化,通过实时监测和定期评估,实现设备状态预警以及运维计划优化,提升风电场整体运营效率。

2 偏差修正方法与关键点

2.1 多维度偏差修正方法

偏差修正应基于实际数据,在对风速分布、湍流强度、风向特性、温度及大气压力、湿度等因素的综合分析,确定修正参数和适用范围。

主要包括:(1)环境因素修正。随着风速的变化,功率输出将向理论曲线靠拢,由于大气密度和湍流强度的影响,实际功率也会随之变化,风速越高,功率输出也会越接近理论值。另外,还包括温度变化和湿度影响的综合修正,这是环境因素与功率输出关系的关键,它受到大气压力和空气密度的共同影响。(2)设备状态修正。随着运行时间的延长,功率输出由新机组的高水平根据老化程度逐渐下降,机组性能的衰减往往超出预期,这对长期性能评估来说都是挑战,给运维决策带来不确定性。例如,叶片角度(桨距角)偏差:检查变桨系统零位校准是否准确。若 0° 位置设置偏差,将导致低风速段功率偏低。可通过叶片角度传感器校验或对比三只叶片实际角度进行校正。偏航对风误差:若功率曲线整体偏左(即同风速下功率偏高),功率曲线整体偏左,可能由于风速仪监测的风速比实际风速要低。PLC/SCADA 参数设置:核查控制系统中与功率计算相关的参数(如功率曲线表、增益系数、转矩曲线设置等)是否与机型匹配,是否存在误设或漂移。(3)数据质量与异常处理。包括传感器误差校正、数据平滑处理等。在数据处理过程中,分析人员从数据质量角度出发,会剔除异常数据点,导致功率曲线局部失真,模型也受到影响,并且,随着对数据质量要求的提高,

可以采用更先进的数据清洗方法,异常数据的识别也将更加精准,甚至实现自适应的异常检测。(4)风速分布特性修正。例如:由于风速测量位置的差异导致功率曲线形态变化是常见现象。风场中有些区域存在较高的湍流强度,而湍流强度往往是影响功率输出的重要因素,这样就会对功率曲线建模带来复杂性。复杂地形或尾流影响下,风速分布不均匀,湍流强度高,应建立场地特有的风速—功率映射关系:风速区间分段建模:针对不同风速段分别建立功率曲线,尤其在切入风速、额定风速附近进行精细化处理。湍流强度分级修正:将数据按湍流强度分级,分别拟合功率曲线,避免高湍流数据对整体模型的干扰^[2]。

2.2 偏差修正关键点分析

具体要关注:(1)对数据采集和预处理来说,需要高质量的数据源、合理的数据清洗及有效的特征提取和筛选。(2)对模型构建过程来说,偏差修正必然使模型复杂度增加并提高计算需求:一旦参数过多,容易导致模型过拟合问题,因此需要选择合适的模型结构、采用正则化方法或交叉验证技术来控制模型的复杂度和泛化能力。(3)偏差修正方法应从理论基础和工程实践两个维度进行分析,评估模型精度和实用性。一种是根据具体风电场情况,给出个性化的修正方案,比如在复杂地形风电场背景下,提出考虑地形效应的修正方案,在考虑风速分布特性的同时,综合考虑湍流强度变化和风向的影响;另一种是在原有功率曲线上增加一个可变的修正系数,如基于机器学习的可变修正系数模型,即在原始功率曲线上结合实时环境因素进行修正的方法^[3]。(4)修正效果验证及分析。由于功率曲线修正的复杂性、多维度性,因此在应用中还要关注修正效果的评估。一种好的修正方法应能准确反映实际运行状态和环境条件,并能区分正常波动和异常偏差,以确保修正结果的可靠性。

3 功率曲线偏差修正策略的优化

3.1 数据质量的提升

功率曲线修正需要高质量的数据支撑,数据预处理应以数据质量提升为核心目标,从数据采集到存储的全流程进行质量控制,才能确保修正结果可靠。在风电场运行中,数据采集要考虑到环境因素对传感器精度的影响,明确数据质量评价标准,形成规范化的数据管理流程,在数据采集环节实现源头质量控制,更有针对性地提升数据质量。功率曲线修正应根据风电场的实际运行特点,针对性解决数据质量问题。例如:功率曲线修正中存在突出问题在于风电场对自身数据质量认识不足,对数据异常的识别和处理能力有限。因此,风电场在开展功率曲线修正工作时,应制定详细的数据质量管理策略,客观评估数据质量、异常比例等指标的合理性,做好数据清洗与特征提取的标准化工作,明确数据质量

评价指标体系,结合风电场实际运行情况,保障数据的完整性和可靠性。在数据质量提升过程中,要采用科学方法进行评估,也要建立长效机制,这样能够持续改进数据质量,充分满足功率曲线修正需求。

3.2 提升修正精度

功率曲线修正的精准性需要系统保障,各环节之间紧密配合,即便某一环节出现小问题,在整体修正过程中也会被放大。数据预处理和模型构建需要协同优化,做好数据清洗和特征选择的工作,最大程度避免出现修正结果失真后果。如果修正结果存在偏差,就要及时调整优化。风电场还应建立反馈机制和验证体系,定期评估修正效果,及时发现并解决问题,尽可能提升修正精度,也要关注模型稳定性,避免过度拟合,保证修正结果的可靠性,确保修正方法的实用性。风电场要实施功率曲线修正,不仅要考虑风速-功率关系,还要考虑环境因素影响,同时关注设备状态变化,如果风速测量存在系统误差或环境因素未充分考虑,则需要针对性调整修正模型,各风电场应根据自身特点进行个性化修正^[4]。数据质量决定功率曲线修正的最终水平,保障数据可靠性是功率曲线修正的前提。目前,功率曲线修正处于技术应用阶段,修正方法需要持续优化,风电场则要建立科学评估机制,进而完善修正流程,提升功率曲线修正精度。

3.3 在实际运行中动态修正

在风电场运行影响因素众多,建立完善的功率曲线动态修正机制,有助于构建完整的性能评估体系,利用实时运行数据持续优化。功率曲线修正的核心,进一步提升修正模型的适应能力,风电场借助大数据、人工智能技术,能对运行数据进行实时分析处理,保证功率曲线评估结果具有时效性,更好地反映机组真实性能。风电场的功率曲线修正需要持续优化,通过数据积累和模型迭代。对于复杂工况下的功率曲线,在数据处理过程中引入的自适应算法实现了性能评估的精准化和实时化,同时提升修正效果。对风电机组性能评估,数据驱动是功率曲线修正的关键技术手段。对功率曲线修正工作,风电场应建立科学的评估机制,注重修正效果验证。功率曲线修正的持续优化过程,让风电场通过数据驱动形成闭环管理、持续改进机制。让风电场借助数据分析、机器学习、深度学习技术,实现功率曲线精准评估、实时监

控、动态优化效果,为风电场精细化管理奠定坚实基础。在数据驱动支持下,将实现功率曲线的精准评估,通过动态修正进行持续优化,最终达到提升风电场整体运营水平目标。

3.4 提高模型泛化能力

无论风电场环境条件还是机组类型差异,数据质量始终是修正效果的关键所在,风电场应该建立统一标准,为功率曲线修正提供可靠基础,并对数据质量进行持续监控,及时发现,有效引导修正工作。针对不同风电场的功率曲线修正需求是多样化的,功率曲线修正只有适应不同场景,才能发挥实际价值。风电场要建立标准流程,通过规范化操作去保障修正工作的系统性,做好数据质量评估与修正效果验证沟通,互相验证修正结果,通过交叉验证对修正模型进行评估,保障修正工作的科学性和可靠性^[5]。从实际应用效果来看,风电场的功率曲线修正效果,这也验证了方法的适用性,从而提升修正精度。针对复杂工况下的功率曲线修正,可以引入自适应算法,并建立验证机制,进一步提升修正精度,对不同风电场的修正效果进行科学评估。风电场功率曲线修正一定要建立科学机制,从数据质量、模型选择、验证方法等维度,加大技术投入,确保修正方法得到实际应用。在风电场运营中,也要持续优化修正方法,加快模型迭代速度,在实际应用过程中,进一步提升修正效果。伴随着数据处理技术的进步,风电场的功率曲线修正能力也能够显著提升,修正精度得到保障,从而实现风电场运营效益最大化。

4 结语

风电场想要实现高效运营,就必须做好功率曲线修正工作。功率曲线直接决定风电场的经济效益,随着风电技术不断发展,风电场一定要做好功率曲线修正的系统化工作,逐渐完善风电场的数据管理体系,尽可能避免功率曲线偏差问题出现,减少发电量评估误差,助力风电行业高质量发展。风电场应通过数据治理、模型优化等手段,为功率曲线修正提供全方位支持。实现精准修正,能提升风电场运营效率,也增强风电场的市场竞争力,保障风电场可持续发展,推动风电行业技术水平的整体提升。

参考文献

- [1]李杰,李双,索红光,等.风电机组运行数据评估技术应用[J].河南电力,2024,(S1):19-22.
- [2]魏赏赏,应夏融,高岩松,等.限功率下基于风电机组状态评价的风电场有功优化调度[J].太阳能学报,2024,45(11):506-516.
- [3]杨海军.基于数据驱动的风电机组功率曲线建模方法[J].青海电力,2024,43(S1):45-52.
- [4]龙寰,杨婷,徐劭辉,等.基于数据驱动的风电机组状态监测与故障诊断技术综述[J].电力系统自动化,2023,47(23):55-69.
- [5]吕松灏,刘向民,方超,等.基于实际功率曲线阈值筛选的风电机组偏差算法研究[J].动力工程学报,2024,44(08):1196-1204+1225.