

基于大数据分析的风电场运行效率优化策略探讨

刘 聪

辽宁龙源新能源发展有限公司 辽宁 昌图 112500

摘 要：随着全球对清洁能源需求的不断增长，风电作为重要的可再生能源形式，其发展规模日益扩大。本文聚焦基于大数据分析的风电场运行效率优化策略。阐述了大数据技术原理、特点及风电场运行效率关键指标，分析了数据挖掘、机器学习等大数据分析关键技术。从风力资源、设备性能、运维管理、电网接入等方面剖析影响因素。提出了风机设备、运维管理、发电调度及电力市场参与等多维度优化策略，旨在通过大数据应用提升风电场运行效率，为风电行业发展提供理论支持与实践参考。

关键词：大数据分析；风电场；运行效率优化策略

引言：风电场运行效率受多种因素制约，如何有效提升成为关键。大数据技术的兴起为风电场运行优化提供了新契机。通过深入分析大数据在风电场中的应用，探究其运行效率影响因素，并制定针对性优化策略，对于提高风电场发电量、降低运营成本、增强市场竞争力具有重要意义，推动风电行业可持续发展。

1 大数据与风电场运行效率概述

1.1 大数据技术原理与特点

风电场的大数据技术应用基于“感知-传输-处理-应用”的完整链条。在数据感知层面，风机作为核心采集终端，在叶片、轴承、齿轮箱等关键部件部署振动、温度、压力传感器，以高频次采集设备运行状态数据；气象站实时监测风速、风向、气温、气压等环境信息，这些传感器每秒可产生数十组数据，单个风电场日均数据量可达GB级别。采集到的数据通过光纤、5G等传输通道，汇总至数据中心或云端。为降低传输压力，边缘计算设备会对原始数据进行初步清洗与聚合，剔除异常值和重复数据。存储环节采用分布式文件系统，如Hadoop HDFS，将数据分散存储在多台服务器，确保数据安全性与可扩展性。数据分析阶段，Spark等计算框架支持批量处理与实时计算，通过分布式并行运算，可在短时间内完成海量历史数据的深度挖掘。

以下大数据的特性在风电场运营中发挥关键作用。

（1）海量性体现在长期积累的设备运行数据、气象数据、电网数据，为建立精准的运行模型提供支撑；（2）多样性则要求整合多源异构数据，打破数据壁垒，例如将设备振动数据与气象条件结合，分析环境因素对设备损耗的影响；（3）高速性确保实时数据的快速处理，实现设备异常的秒级响应；（4）价值性通过数据挖掘算法，从复杂数据中提取规律，优化风电场的运行策略。

1.2 风电场运行效率关键指标

风电场运行效率评估需关注以下多个维度的关键指标。（1）设备可利用率。反映风机在计划运行时间内的实际可用时长。设备故障、维护停机都会降低可利用率，因此通过大数据分析设备历史故障模式，提前进行预防性维护，可有效提升该指标。（2）风能利用效率。体现了风电场对风能资源的转化能力，它是实际发电量与理论发电量的比值。该指标受风机选型、布局、控制策略等因素影响，通过大数据优化风机的偏航角度、桨距角控制，可减少尾流损失，提高风能捕获效率。（3）设备健康度指标。用于评估风机各部件的运行状态，通过振动频谱分析、油液检测数据构建健康评分体系，可预测部件磨损、故障趋势，降低非计划停机风险。度电成本作为经济性指标，综合考虑建设投资、运维成本与发电量，大数据可辅助优化备件采购、人员调度方案，实现成本控制。（4）电网适应性指标。衡量风电场与电网的交互能力，包括电压稳定性、频率调节能力等^[1]。通过分析电网运行数据，调整风机控制策略，可满足电网并网要求，提升风电场在电力市场中的竞争力。

2 大数据分析关键技术

2.1 数据挖掘技术

数据挖掘技术是从大量数据中发现潜在模式、关系和知识的过程。关联规则挖掘可用于发现风电场中不同数据变量之间的关联关系，例如通过分析气象数据和设备故障数据，找出特定气象条件与设备故障类型之间的关联，为设备维护和故障预防提供参考。聚类分析能够将风电场的风机或运行数据按照相似性进行分组，例如将运行状态相似的风机聚为一类，便于对不同类别的风机进行针对性的管理和优化。分类算法可用于对风机的运行状态进行分类，判断风机是否正常运行、处于何种

故障状态等,实现设备故障的快速诊断。

2.2 机器学习算法

监督学习算法可利用已有的标注数据进行模型训练,然后对新的数据进行预测和分类。如利用历史设备故障数据训练神经网络模型,用于预测风机未来可能出现的故障类型和时间。无监督学习算法则用于处理未标注的数据,发现数据中的潜在结构和规律,如通过主成分分析对风电场的多源数据进行降维处理,减少数据维度,提高数据分析效率,同时保留数据的主要特征。强化学习算法可应用于风机运行参数优化,通过让风机在不同运行环境下不断尝试不同的运行策略,根据获得的奖励来学习最优的运行策略,实现风机运行的自适应优化。

2.3 数据可视化技术

数据可视化技术将风电场的复杂数据以直观、易懂的图形、图表等形式展示出来,有助于运营管理人员快速理解和分析数据。通过数据可视化,可以将风电场的实时运行状态以可视化界面呈现,使管理人员能够一目了然地掌握风电场的整体情况。对于历史数据,可通过绘制趋势图、散点图等,帮助分析人员发现数据中的规律和异常^[2]。地理信息可视化技术可将风电场的地理位置、风机分布与气象数据、发电数据等相结合,直观展示风电场在不同地理区域的运行性能差异,为风电场的规划、布局优化提供决策支持。

3 基于大数据的风电场运行效率影响因素分析

3.1 风力资源评估与分析

风力资源的稳定性和可利用程度直接决定风电场发电量。通过长期积累的风速、风向、湍流强度等气象数据,结合地形地貌信息,利用大数据分析可绘制高精度风资源图谱。基于历史数据的统计分析,能精准计算不同区域的年平均风速、有效风速小时数等关键指标,为风机选址和布局提供依据。在日常运行中,通过分析不同季节、时段的风力变化规律,可提前调整风机运行参数。例如,根据风速预测数据优化桨距角,使风机在不同风力条件下保持高效发电状态,减少因风力资源利用不充分导致的效率损耗。

3.2 设备性能与故障分析

通过采集齿轮箱温度、轴承振动值、叶片应力等设备运行数据,利用大数据建立设备性能评估模型。对设备运行参数进行趋势分析,可及时发现性能下降的早期征兆,如轴承温度持续上升、振动值异常波动等,提前采取措施避免性能恶化。故障分析方面,整合故障发生前后的运行参数、环境条件等多源数据,能深入剖析故障原因。通过对历史故障数据的聚类分析,总结故障发

生的规律和特征,识别高风险部件和故障高发时段,为制定针对性的设备维护策略提供参考,降低非计划停机时间,提升设备整体运行效率。

3.3 运维管理策略分析

利用大数据分析历史运维记录,可评估不同维护方式的成本效益。通过对比预防性维护和事后维修的投入产出,结合设备运行状况和故障风险,确定合理的维护周期和维护内容,避免过度维护或维护不足。在人员调度和备件管理上,基于历史故障数据的时空分布特征,优化运维人员排班和备件储备策略。分析不同区域、不同设备的故障概率,合理分配人力物力资源,减少运维响应时间,提高备件利用率,降低运维成本,从而提升风电场整体运行效率。

3.4 电网接入与电力市场分析

通过分析电网的负荷曲线、电压稳定性等数据,结合风电场自身发电特性,制定合理的发电计划,确保电力平稳接入电网。避免因电网接纳能力不足导致的弃风现象,或因功率波动过大影响电网稳定性。利用大数据分析电力市场的历史电价数据、实时交易信息,预测电价走势,优化发电计划和售电策略^[3]。在电价较高时段合理增加发电量,在电价低谷期减少发电或参与辅助服务市场,提高风电场的经济效益和运行效率。

4 优化风电场运行效率的策略

4.1 风机设备优化

风机设备作为风电场发电的核心载体,其性能优化对运行效率提升至关重要,需采取以下策略:(1)在选型阶段,需基于风电场的风资源特性,利用长期监测积累的风速、风向、湍流强度等数据,构建风资源与设备匹配模型。通过分析不同型号风机在特定风况下的功率曲线、启动风速、额定风速等参数,选择与当地风资源适配度最高的机型,避免因选型不当导致的发电效率损失。(2)风机布局优化。借助地理信息系统(GIS)与风场仿真软件,结合地形地貌、风玫瑰图等数据,模拟不同布局方案下的尾流效应。通过大数据分析计算各风机间的相互影响程度,调整风机间距与排列方向,最大限度减少尾流损失,提高风能利用效率。实际操作中,可将风机间距误差控制在合理范围内,确保风流顺畅通过风电场。(3)运行参数的动态调整。基于实时气象数据与设备运行状态,建立风机控制参数优化模型。当风速发生变化时,自动调节桨距角与偏航系统,使风机始终处于最佳功率捕获状态。如在低风速条件下,适当增大桨距角以提高叶片对风能的吸收能力;遇到强风时,及时调整桨距角保护设备安全,同时避免功率骤降。

4.2 运维管理优化

以下科学的运维管理策略能够有效降低设备故障率,减少停机时间。(1)基于设备历史运行数据、故障记录及维护档案,建立设备健康度评估体系。通过对振动、温度、油液等关键参数的趋势分析,结合大数据算法预测设备潜在故障,制定个性化的预防性维护计划。针对高故障率部件,提前储备备件,安排专业技术人员进行检修,将故障消除在萌芽状态。(2)优化运维流程。利用大数据分析运维人员的工作负荷、技能水平及历史维护记录,合理分配运维任务。采用数字化工单系统,实现任务分配、进度跟踪、结果反馈的全流程管理,减少沟通成本与时间浪费。建立运维知识库,汇总常见故障处理方案与经验总结,便于运维人员快速查阅学习,提升整体维修效率。(3)备件管理的精细化。通过分析备件消耗历史数据,结合设备运行状况与故障预测结果,优化备件库存策略。对关键备件采用安全库存管理,确保紧急情况下的及时供应;对消耗较少的备件,采用联合采购或供应商寄售模式,降低库存成本。利用大数据监测备件质量,筛选优质供应商,提高备件可靠性。

4.3 发电调度优化

发电调度的优化需兼顾电网需求与风电场自身特性,应做好以下策略:(1)通过对电网负荷曲线、峰谷时段、调峰需求等数据的分析,结合风电场的短期功率预测结果,制定合理的发电计划。在电网负荷高峰期,优先保障电量输出;在负荷低谷期,适当降低发电功率,避免弃风现象发生。参与电网的辅助服务市场,通过调频、调压等服务获取额外收益。(2)多能互补调度。对于配备储能系统的风电场,根据风功率预测与电价波动情况,合理安排储能系统的充放电计划。在电价低谷时段充电,在电价高峰时段放电,实现电力的时空转移。此外,探索风电与光伏、水电等其他能源形式的协同调度,平滑电力输出曲线,提高供电稳定性与可靠性。(3)实时调度控制。借助数据采集与监视控制系统与大数据分析平台,实时监测风机运行状态、电网接入参数及气象变化情况。当出现异常情况时,如风速突变、电网电压波动等,自动调整发电功率,确保风电场

安全稳定运行。建立与电网调度中心的实时通信机制,及时响应电网指令,提高调度灵活性。

4.4 电力市场参与策略

在电力市场环境下,风电场需制定下列有效的市场参与策略以提高经济效益。(1)通过对电力市场交易规则、电价形成机制及历史交易数据的分析,建立电价预测模型。结合风电场的发电能力与成本结构,制定合理的报价策略。在现货市场交易中,根据短期电价预测结果,优化发电计划,在电价较高时段增加发电量;在中长期市场交易中,锁定部分电量与电价,规避市场风险。(2)参与辅助服务市场。根据电网对调频、调压、备用等辅助服务的需求,评估风电场的技术能力与成本效益,制定辅助服务参与方案。通过优化风机控制策略,提高风电场的调频响应速度与调压能力,满足电网辅助服务要求。合理安排备用容量,在电网需要时快速响应,获取辅助服务收益。(3)关注电力市场的政策动态与发展趋势,积极探索新型交易模式与商业模式参与绿电交易、碳交易市场,将风电场的环境效益转化为经济效益^[4]。通过与用户签订直购电合同,减少中间环节,提高电力销售价格。

结束语:本文全面探讨了基于大数据分析的风电场运行效率优化策略。从大数据技术基础出发,到影响因素剖析,再到多维度优化策略提出,形成了一套完整的研究体系。大数据在风电场运行优化中的应用潜力巨大,通过合理运用相关技术与策略,可显著提升风电场运行效率。随着大数据技术的不断发展,风电场运行效率优化将迎来更多机遇与挑战,需持续深入研究与实践,推动风电行业迈向新高度。

参考文献

- [1]贾春明.基于大数据分析的风电机组运行状态评估及故障诊断[J].百科论坛电子杂志,2020(19):3889.
- [2]张硕太.基于大数据分析的风电运行维护策略研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(6):2919-2920.
- [3]刘宇峰.风电场的风机设备选择及运行维护的优化对策[J].车时代,2022(6):46-47.
- [4]冯文谦.风电场运行控制策略研究分析[J].模具制造,2024,24(12):170-172.