

基于大数据和人工智能的风力发电预测与运维管理

梁利平 李福林 周重军 张旭东

内蒙古北方龙源风力发电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：本文深入探讨大数据与人工智能技术在风力发电预测与运维管理中的应用。大数据通过高效的数据采集、存储与预处理，为后续分析奠定基础；人工智能借助深度学习等算法实现精准发电预测与智能控制。在运维管理中，智能故障诊断、知识推荐系统和优化决策技术，有效提升运维效率与经济效益，为风力发电行业智能化发展提供重要支撑。

关键词：风力发电；大数据分析；人工智能；运维管理

1 大数据技术在风力发电中的应用原理

1.1 数据采集与传输

在风力发电系统中，数据采集与传输是大数据技术发挥作用的基础环节。风力发电机组遍布于广袤的风电场，其运行过程中会产生海量数据，这些数据来源于多个关键部位的传感器。采集到的数据需通过高效可靠的传输网络传递至数据中心。当前，常用的传输方式包括有线传输和无线传输。有线传输如光纤通信，凭借其高带宽、低延迟和强抗干扰能力，能够保障大量数据稳定传输；无线传输则借助4G、5G等通信技术，适用于地形复杂、布线困难的风电场区域，为偏远地区的风力发电机组数据传输提供便利^[1]。数据采集与传输系统如同风力发电的“神经系统”，确保实时、准确的数据能够源源不断地汇聚，为后续的数据处理和分析奠定坚实基础。

1.2 数据存储与管理

海量的风力发电数据采集传输至数据中心后，需要进行妥善的存储与管理。传统的关系型数据库在处理大规模、非结构化数据时存在局限性，因此，分布式存储系统成为风力发电数据存储的主流选择。以Hadoop分布式文件系统（HDFS）为例，它能够将数据分散存储在多个节点上，不仅提高了存储容量，还增强了数据的可靠性和容错性。当某个节点出现故障时，系统可自动从其他节点获取数据，保证数据的完整性和可用性。在数据管理方面，需要建立完善的数据目录和索引，以便快速检索和访问所需数据。同时对数据进行分类管理，将设备运行数据、气象数据、电网数据等按照不同的类型和用途进行划分。另外，数据的安全性也是管理的重点，通过数据加密、访问控制等技术手段，防止数据泄露和非法访问，确保风力发电企业的数据资产安全。科学合理的数据存储与管理，使得海量数据得以有序存放，为后续的数据挖掘和分析提供了高效便捷的环境。

1.3 数据预处理与清洗

从传感器采集到的数据往往包含噪声、缺失值和异常值等问题，这些数据若直接用于分析，会影响结果的准确性和可靠性，因此需要进行预处理与清洗。数据预处理的第一步是去除噪声数据，通过滤波算法对传感器采集的波动数据进行平滑处理，减少因环境干扰或设备误差产生的噪声。对于缺失值，可采用均值插补、多重填补等方法进行填充，根据数据的特点和分布规律，合理估算缺失数据的值。异常值检测也是数据预处理的重要环节，通过统计分析、机器学习算法等手段识别出偏离正常范围的数据点，并进行相应处理，如修正或删除。例如，当风速传感器出现故障，采集到异常风速数据时，需及时发现并剔除这些错误数据。经过数据预处理与清洗，能够有效提高数据质量，使数据更加准确、完整和规范，为后续的数据分析和模型构建提供高质量的数据支撑。

2 人工智能技术在风电领域的最新进展

2.1 人工智能在风力发电预测和控制中的应用

近年来，人工智能在风力发电预测和控制领域取得了显著进展。在风力发电预测方面，基于深度学习的神经网络模型被广泛应用。例如，长短时记忆网络（LSTM）能够有效处理时间序列数据，通过学习历史风速、风向、温度等气象数据以及风力发电机组的运行数据，对未来的风力发电功率进行精准预测。这种预测不仅可以帮助风电场合理安排发电计划，提高电力输出的稳定性和可靠性，还能更好地满足电网调度的需求^[2]。在风力发电控制中，人工智能技术实现了对风力发电机组的智能调控。强化学习算法可以根据风力的实时变化，自动调整风力发电机组的桨距角、转速等参数，使机组始终保持在最佳运行状态，提高发电效率。通过对大量运行数据的学习，人工智能系统能够提前预测风力变化

趋势，提前调整机组参数，降低因风力突变对设备造成的冲击，延长设备使用寿命。人工智能在风力发电预测和控制中的应用，推动了风力发电向智能化、高效化方向发展。

2.2 知识推荐系统在风电运维中的应用及效果

知识推荐系统是人工智能在风电运维领域的又一重要应用。在风力发电运维过程中，运维人员需要面对复杂的设备故障诊断和维修问题，而知识推荐系统能够根据设备的运行数据和故障现象，快速准确地为运维人员提供相关的知识和解决方案。该系统基于机器学习算法，对大量的历史故障数据、维修记录和技术文档进行学习和分析，构建起丰富的知识图谱。当风力发电机组出现故障时，知识推荐系统通过对故障数据的实时分析，从知识图谱中匹配相似的故障案例，并将相应的解决方案推荐给运维人员。实践表明，知识推荐系统显著提高了风电运维的效率和准确性。它能够帮助运维人员快速定位故障原因，减少故障排查时间，降低设备停机时间，从而提高风电场的发电量和经济效益。同时知识推荐系统还能为运维人员提供技术培训和知识学习的平台，促进运维团队整体技术水平的提升。

3 大数据在风力发电预测中的应用

3.1 数据采集与整合

大数据在风力发电预测中的应用，首先依赖于全面的数据采集与整合。除了风力发电机组自身的运行数据，还需要采集丰富的气象数据，包括风速、风向、温度、湿度、气压等。气象数据的采集来源广泛，既有风电场本地的气象站数据，也有通过气象部门获取的区域气象数据。电网数据如负荷需求、电价信息等也需要进行采集和整合。在数据整合过程中，面临着数据格式不统一、数据来源分散等问题。通过建立统一的数据标准和接口规范，将不同类型、不同来源的数据进行清洗、转换和融合，形成结构化的数据集。

3.2 风力发电预测模型构建

构建风力发电预测模型是大数据应用于风力发电预测的核心环节。目前，常用的预测模型包括基于统计学的方法和基于机器学习的方法。基于统计学的方法如时间序列分析、回归分析等，通过对历史数据的统计分析，建立数据之间的数学关系，从而预测未来的发电功率。然而，这些方法在处理复杂非线性关系时存在一定局限性。基于机器学习的方法，特别是深度学习算法，在风力发电预测中展现出强大的优势^[3]。卷积神经网络（CNN）可以有效提取数据的空间特征，结合循环神经网络（RNN）或LSTM对时间序列数据的处理能力，能够

更好地捕捉风力发电过程中的时空变化规律。在模型构建过程中，需要对模型的参数进行优化，通过交叉验证等方法选择最佳的模型结构和参数组合，以提高模型的预测精度和泛化能力。同时还需要不断更新训练数据，使模型能够适应风力发电系统运行环境的变化，保持良好的预测性能。

3.3 模型性能评估

构建好风力发电预测模型后，需要对其性能进行科学合理的评估。常用的评估指标包括均方误差（MSE）、平均绝对误差（MAE）、均方根误差（RMSE）等。均方误差反映了预测值与真实值之间误差的平方均值，能够体现误差的整体大小；平均绝对误差则是预测值与真实值误差的绝对值的平均值，更直观地反映预测误差的平均水平；均方根误差是均方误差的平方根，对较大误差更为敏感。除了这些定量指标，还可以通过绘制预测值与真实值的对比曲线、误差分布直方图等方式进行定性分析，直观地展示模型的预测效果和误差分布情况。在实际应用中，需要根据不同的需求和场景，综合运用多种评估指标对模型进行全面评估。同时，通过与其他预测模型进行对比分析，不断优化改进模型，提高风力发电预测的准确性和可靠性，为风电场的运营管理提供有力的决策支持。

4 人工智能在风力发电运维管理中的应用

4.1 智能故障诊断与预测

人工智能在风力发电运维管理中的重要应用之一是智能故障诊断与预测。传统的故障诊断方法主要依赖于运维人员的经验和定期巡检，存在效率低、准确性差等问题。而基于人工智能的智能故障诊断系统能够实时监测风力发电机组的运行数据，通过机器学习算法对数据进行分析 and 处理，快速准确地诊断设备故障。深度学习模型如卷积神经网络（CNN）和自动编码器（AE）可以从设备的振动、温度、电流等多源数据中提取特征，识别设备的异常状态。当设备出现潜在故障时，系统能够及时发出预警，并提供故障原因分析和维修建议。通过对历史故障数据的学习，人工智能系统还可以预测设备未来的故障发生概率和时间，实现故障的提前预防。智能故障诊断与预测技术能够有效减少设备故障停机时间，降低维修成本，提高风电场的可靠性和经济效益。

4.2 运维知识推荐系统

运维知识推荐系统在风力发电运维管理中占据着不可或缺的地位，其核心依托自然语言处理（NLP）和知识图谱技术，致力于解决传统运维中知识分散、检索困难的难题。在风力发电场景下，运维知识广泛分布于设

备手册、专家经验、历史故障记录等多种载体中,系统首先通过NLP技术对这些非结构化知识进行深度解析,提取关键信息,并运用知识图谱技术将设备结构、部件关联、故障模式、维修流程等知识要素构建成结构化的语义网络。当运维人员在现场遇到设备故障或操作难题时,只需通过自然语言输入问题描述,系统便能迅速理解语义,并在知识图谱中进行高效检索和智能匹配。以发电机异常发热故障为例,系统会从知识图谱中关联出可能导致发热的多种原因,如轴承磨损、绕组短路等,并匹配相应的检测方法和维修步骤,为运维人员提供详细的解决方案。系统还具备个性化推荐能力,它会持续记录运维人员的操作行为、知识查询历史和维修实践数据,通过机器学习算法分析每个运维人员的知识掌握程度和技能短板,进而推送针对性的知识内容,如为经验不足的新手推荐基础操作指南,为资深运维人员推送复杂故障案例分析。实际应用表明,运维知识推荐系统显著提升风力发电运维工作的效率和质量。它不仅大幅缩短故障排查时间,减少设备停机损失,还促进企业内部运维知识的共享与传承,让分散在个体手中的经验转化为企业的集体智慧,有效提升整个运维团队的专业素养和技术水平,为风电场的稳定运行提供坚实保障。

4.3 优化运维决策

人工智能技术为风力发电运维决策带来了革命性的变革,通过对海量多源数据的深度挖掘和智能分析,构建科学精准的运维决策模型,实现运维管理从经验驱动向数据驱动、智能决策的转变。在实际运维过程中,系统需要综合处理风力发电机组的运行数据(如转速、功率、振动、温度等)、气象数据(风速、风向、气温、湿度等)、电网数据(负荷需求、电价波动、调度指令等)以及设备维护成本等多维度信息。利用运筹学中的线性规划、动态规划等算法,结合机器学习中的回归分析、强化学习等技术,建立能够全面反映运维决策影响因素的数学模型。以设备维修决策为例,系统会根据设

备实时运行数据和历史故障规律,运用机器学习算法预测设备未来的故障概率和剩余使用寿命,同时结合维修成本、停机损失、备件库存等因素,通过运筹学优化算法制定出最优的维修计划。例如,对于一台预测即将出现齿轮箱故障的风机,系统会权衡立即维修的成本和继续运行可能造成的更大损失,给出最佳维修时间窗口和维修方案建议,在保证设备可靠性的前提下,最大限度降低运维成本^[4]。在发电策略优化方面,系统依据实时的电网负荷需求和电价信息,通过强化学习算法动态调整风力发电机组的发电功率。在电价高峰时段,系统自动提高发电功率以获取更高收益;在电网负荷低谷或电价较低时,安排设备维护或适当降低发电功率,减少不必要的能源浪费和设备损耗。通过人工智能技术实现的优化运维决策,有效提高了风力发电运维管理的科学性和合理性,使风电场能够更加灵活地应对复杂多变的运行环境和市场需求,显著提升了运营管理水平 and 市场竞争力,为风力发电行业的可持续发展注入强大动力。

结束语

大数据与人工智能在风力发电领域的应用已取得显著成效,但仍面临数据安全、模型优化等挑战。未来,随着技术的不断进步,二者将更深度融合,在提升预测精度、降低运维成本、增强系统稳定性等方面持续发力,推动风力发电行业向更高效、智能、可持续的方向迈进,助力全球能源转型。

参考文献

- [1]刘成山.人工智能技术在电力系统优化中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(34):172-175.
- [2]黄志军.智能化技术在风力发电自动化控制系统中的应用[J].集成电路应用,2023,40(02):360-361.
- [3]新宇.基于人工智能的电力设备状态监测与预测维护技术研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(4):1-10.
- [4]王磊,郭雷,张雪梅.基于大数据的电力设备寿命预测与健康管理研究[J].电力设备管理与工程,2021,35(3):23-30.