

# 风电设备运行故障预测与健康管理方法研究

黄骏, 方伟 \*

国电投长江生态能源有限公司, 湖北 武汉 430000

**摘要 :** 随着新能源产业的快速发展, 风电作为重要的可再生能源之一, 其设备的运行故障预测与健康管理成为提升风电场运维效率、降低运维成本的关键。本文探讨了风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理、常用方法和关键技术。通过对风电设备数据的实时监测与分析, 结合人工智能和大数据技术, 实现对设备故障的提前预测与健康管理, 从而提高风电设备的可靠性和运行效率, 降低维修成本和停机损失。本文旨在为风电设备的运维管理提供理论支持和实践指导。

**关键词 :** 风电设备; 故障预测; 健康管理

## Research on the Operation Failure Prediction and Health Management Methods of Wind Power Equipment

Huang Jun, Fang Wei\*

China Power Investment Yangtze River Ecological Energy Co., LTD. Wuhan, Hubei 430000

**Abstract :** With the rapid development of new energy industry, wind power is as one of the important renewable energy, and the operation fault prediction and health management of its equipment have become the key to improve the operation and maintenance efficiency of wind farms and reduce the operation and maintenance cost. This paper discusses the basic principles, common methods and key technologies of operation failure prediction and health management of wind power equipment. Through real-time monitoring and analysis of wind power equipment data, combined with artificial intelligence and big data technology, the advance prediction and health management of equipment faults, so as to improve the reliability and operation efficiency of wind power equipment, and reduce maintenance cost and shutdown loss. This paper aims to provide theoretical support and practical guidance for the operation and maintenance management of wind power equipment.

**Keywords :** wind power equipment; fault prediction; health management

风电设备作为可再生能源领域的重要组成部分, 其运行稳定性和可靠性直接关系到风电场的发电效率和经济效益。故障预测与健康管理作为风电设备运维的关键环节, 通过对风电设备的实时监测和数据分析, 能够提前发现潜在故障, 制定针对性的维护策略, 从而有效延长设备寿命, 降低运维成本。随着人工智能和大数据技术的不断发展, 风电设备故障预测与健康管理已经成为新能源领域的研究热点。通过构建智能算法和模型, 实现对设备状态的精准评估和故障预警, 为风电场的运维管理提供了有力的技术支持。未来, 风电设备故障预测与健康管理将向着更加智能化、精准化的方向发展, 为风电行业的可持续发展贡献力量。

## 一、风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理

### (一) 数据采集与传输

风电场为了确保风力发电机组、变流器及变压器等核心设备的稳定运行, 精心部署了传感器和数据采集装置。这些装置如同风电场的“眼睛”和“耳朵”, 能够实时捕捉设备的振动强度、温度波动、电流变化和电压稳定性等关键参数。这些详尽的数据, 不仅反映了设备的即时工作状态, 更是预测潜在故障的重要依据。为确保数据的即时性和准确性, 风电场采用了有线与无线并行的传输方式, 构建起一张高效、稳定的的数据传输网络。这些数据如同信息流, 源源不断地涌入风电场的远程监控系统中, 为

运维团队提供了直观、全面的设备状态视图, 为风电场的智能化运维奠定了坚实基础。

### (二) 数据预处理

在风电设备的数据采集过程中, 所获取的原始数据往往包含着噪声、异常值和格式不一致等问题, 这些都会直接影响到后续的数据分析与故障预测效果。因此, 数据预处理成为了一个至关重要的环节。数据清洗, 旨在剔除那些因传感器故障、传输错误等原因产生的无效或异常数据, 确保数据的真实性和可靠性。数据转换, 则是将不同来源、不同格式的数据统一转化为可供分析的标准格式, 便于后续处理。而数据归一化, 则是通过一定的数学变换, 将不同量级、不同范围的数据调整到同一尺度上, 以提

作者简介: 黄骏(1985—), 男, 汉族, 江西省南昌市人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 光伏, 风电运行管理;  
通讯作者: 方伟(1992—), 男, 汉族, 湖北省十堰市人, 大专, 研究方向: 光伏, 风电运行管理。邮箱: 1054861047@qq.com

高数据分析的准确性和效率。经过这一系列预处理步骤，原始数据得以净化、规范，为后续的数据分析与故障预测奠定了坚实的基础。

### (三) 数据分析与建模

在风电设备运维领域，数据分析与建模是预测设备状态、预防故障发生的核心步骤。预处理后的高质量数据，为这一步骤提供了坚实的基础。利用统计分析、机器学习、深度学习等先进的数据分析方法，科研人员能够深入挖掘数据中的隐含规律和特征，从而构建出精准的设备状态评估模型和故障预测模型。这些模型如同风电设备的“智慧大脑”，能够实时监测设备的运行状态，准确预测潜在的故障风险，为运维团队提供科学、可靠的决策依据<sup>[1]</sup>。通过不断优化模型，可以进一步提升故障预测的准确性和时效性，为风电场的稳定运行保驾护航。

### (四) 健康管理与维护决策

设备健康管理与维护决策是风电场高效运维的关键环节。基于数据分析的结果，运维团队能够实时掌握风电设备的运行状态，一旦发现异常，立即启动预警机制，迅速通知相关人员采取必要的维护措施，有效防止设备故障的进一步发展。同时，结合故障预测模型的结果，运维团队能够科学规划维修计划，合理安排维修资源，优化维修方案和周期，从而在确保设备稳定运行的同时，最大限度地降低维修成本和维修时间。这种基于数据的健康管理与维护决策模式，不仅提升了风电场的运维效率，也为风电行业的可持续发展提供了有力支持。

## 二、风电设备运行故障预测与健康管理的常用方法

### (一) 基于统计分析的方法

统计分析方法在风电设备运维中扮演着重要角色。它通过对历史数据的深入挖掘，揭示设备故障与运行参数之间的内在联系。回归分析能够量化不同参数对设备状态的影响程度，帮助识别关键影响因素；相关分析则用于评估参数间的关联性，发现潜在的故障征兆；时间序列分析则侧重于捕捉数据随时间变化的趋势和周期性规律，为预测设备未来的运行状态提供有力支持<sup>[2]</sup>。这些统计分析方法共同构成了设备状态评估和故障预测的重要工具，为风电场的智能化运维提供了科学依据。

### (二) 基于机器学习的方法

机器学习方法在风电设备健康管理中展现出巨大潜力。通过对海量数据的训练，这些方法能够自动捕捉设备状态与故障之间的复杂关系，构建出高精度的评估与预测模型。支持向量机(SVM)擅长处理高维数据，实现精准分类；随机森林通过集成多个决策树，提高预测的稳定性和准确性；神经网络则凭借其强大的学习能力，能够拟合复杂的非线性关系。这些机器学习方法不仅提升了设备状态评估的精确度，也显著增强了故障预测的可靠性和泛化能力，为风电场的智能化运维提供了有力支撑。

### (三) 基于深度学习的方法

深度学习方法凭借深度神经网络，在风电设备运行故障预测与健康管理中展现出卓越性能。它能够高效处理大规模、高维度

的数据，挖掘出深层次的特征信息，显著提升预测的精度和鲁棒性。通过不断学习和优化，深度学习方法能够精准捕捉设备状态的细微变化，提前预警潜在故障，为运维团队提供宝贵的时间窗口，采取相应措施，避免故障发生，确保风电设备的稳定运行<sup>[3]</sup>。这一技术为风电场的智能化运维提供了有力支持，推动了风电行业的可持续发展。

### (四) 基于物理模型的方法

基于物理模型的方法在风电设备运维领域展现出显著优势。该方法通过深入理解设备的物理特性和运行原理，构建出精准的设备物理模型。这一模型能够全面模拟设备的运行过程和故障发生机制，从而实现对设备状态的精确评估和故障的高效预测。虽然该方法要求具备深厚的专业知识和对设备内部机理的深入了解，但其预测精度通常较高，能够为运维团队提供科学的决策依据<sup>[4]</sup>。基于物理模型的方法不仅提升了设备运维的智能化水平，还为风电场的稳定运行和可持续发展奠定了坚实基础。

### (五) 混合方法

混合方法在风电设备运行故障预测与健康管理中展现出独特优势。该方法巧妙融合多种算法和数据源，将统计分析与机器学习、物理模型与深度学习等先进技术相结合，实现对设备状态的全方位、多层次评估。通过充分利用不同方法的优势，混合方法能够捕捉到更多、更细微的设备状态信息，显著提升故障预测的准确性和鲁棒性<sup>[5]</sup>。这一方法不仅提高了运维团队的决策效率，还为风电设备的稳定运行提供了坚实保障，推动了风电行业向更加智能化、高效化的方向发展。

## 三、风电设备运行故障预测与健康管理的关键技术

### (一) 传感器技术与数据采集

传感器技术与数据采集在风电设备运维中发挥着至关重要的作用。传感器，作为风电设备的“神经末梢”，通过精准感知设备关键参数的变化，如振动强度、温度波动、电流状况等，为故障预测与健康管理提供了丰富的数据资源。而数据采集技术，则如同一座桥梁，将这些宝贵的数据实时、准确地传输到风电场的远程监控系统中，为后续的数据分析与预测奠定了坚实的基础<sup>[6]</sup>。这一过程不仅确保了数据的实时性和准确性，也为风电设备的智能化运维提供了强有力的技术支撑，推动了风电行业的持续发展。

### (二) 大数据分析技术

大数据分析技术在风电设备运维领域扮演着核心角色。面对海量、复杂的数据，大数据分析技术能够深入挖掘其中的价值信息和潜在规律，为设备状态评估和故障预测提供科学依据。数据挖掘技术能够发现数据间的关联性和趋势，揭示设备运行的内在机理；数据可视化技术则将复杂数据转化为直观的图表和图像，便于运维人员快速理解设备状态；数据关联分析则进一步探索数据间的因果关系，提升预测的准确性和可靠性<sup>[7]</sup>。这些技术共同构成了风电设备智能化运维的强大引擎，为风电行业的可持续发展注入了新的活力。

### (三) 人工智能与机器学习技术

人工智能与机器学习技术在风电设备运维中发挥着举足轻重的作用。这些技术通过构建高效的智能算法和模型，能够实时监测设备状态，精准预测故障风险，为风电场的稳定运行提供有力保障。神经网络、支持向量机、随机森林等算法，凭借其强大的数据处理和模式识别能力，成为设备状态评估和故障预测的重要工具；而深度学习、强化学习等先进技术，则进一步提升了预测的准确性和时效性，推动了风电设备运维向智能化、自主化方向发展<sup>[8]</sup>。这些技术的不断创新和应用，为风电行业的可持续发展注入了强劲动力。

### (四) 远程监控与通信技术

远程监控与通信技术在风电设备运维领域发挥着至关重要的作用。借助远程监控系统，运维人员能够实时掌握风电设备的运行状态，及时发现潜在故障，并采取相应的维护措施，确保设备的稳定运行。而通信技术，则如同一条无形的纽带，将监测数据从风电场现场迅速传输到远程监控中心，实现了数据的实时处理和高效传输<sup>[9]</sup>。这一过程不仅提升了运维的效率和准确性，也为风电设备的智能化运维提供了强有力的技术支持，推动了风电行业的数字化转型和智能化发展。

### (五) 健康管理与维护决策技术

健康管理与维护决策技术是风电设备运维的核心目标所在。该技术通过实时监测设备状态，精准预测故障风险，为运维团队提供了科学的决策依据。基于这些预测结果，运维团队能够制定合理的维护计划，优化维修方案，精准安排维修周期和资源，从而在确保设备稳定运行的同时，最大限度地降低维修成本和停机

损失。这一过程不仅提升了设备的可靠性和运行效率，也为风电场的经济效益和可持续发展奠定了坚实基础。健康管理与维护决策技术的不断创新和应用，正引领着风电行业向更加智能化、高效化的方向发展。

### (六) 系统集成与数据融合技术

系统集成与数据融合技术在风电设备运维中发挥着至关重要的作用。该技术通过巧妙地将多种数据源和算法进行集成和融合，构建出全面的设备状态监测和故障预测系统。数据融合算法能够整合来自不同传感器和算法的数据，提取出更加准确、全面的设备状态信息；而系统集成框架则确保这些数据和信息能够无缝对接，为运维团队提供一站式的解决方案<sup>[10]</sup>。这一过程不仅提升了设备状态评估的准确性和故障预测的可靠性，也为风电场的智能化运维提供了强有力的技术支持，推动了风电行业的技术创新和发展。

## 四、结论

风电设备运行故障预测与健康管理是提高风电场运维效率、降低运维成本的重要手段。通过对风电设备的实时监测和数据分析，结合人工智能和大数据技术，实现对设备故障的提前预测与健康管理。本文探讨了风电设备运行故障预测与健康管理的基本原理、常用方法和关键技术，为风电设备的运维管理提供了理论支持和实践指导。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，风电设备运行故障预测与健康管理将在风电领域发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1] 徐俊山, 孔小强, 马廷, 等. 基于机理建模与大数据技术的风电设备故障诊断与预测分析 [J]. 电子技术, 2024, 53 (02): 274–275.
- [2] 李冰. 大数据平台在风电设备维护与故障预防中的作用研究 [J]. 产业技术创新, 2024, 6 (01): 48–51.
- [3] 郭明龙. 风力发电机组故障诊断与预测技术探究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (04): 58–60.
- [4] 许春福. 风力发电机组故障诊断与预测技术研究综述 [J]. 能源与环境, 2022, (03): 46–47.
- [5] 邱英强, 吴京龙, 陈俊, 等. 基于机器学习算法的风电机组故障预测系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2021, (09): 190–193.
- [6] 郭莹莹. 风电机组故障诊断与预测方法研究 [D]. 河北工业大学, 2019.
- [7] 邱帅. 风电机组关键部件故障预测技术研究 [D]. 华北电力大学, 2017.
- [8] 刘敬智, 宋鹏, 白恺, 等. 风力发电机组故障预测技术研究 [J]. 华北电力技术, 2016, (12): 49–54.
- [9] 马玉. 风电机组的故障预测方法研究 [D]. 北京邮电大学, 2016.
- [10] 黄丽丽. 基于 SCADA 的风力机故障预测与健康管理技术研究 [D]. 电子科技大学, 2015.