

大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维体系

王灿

内蒙古华电新能源分公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17519

[摘要] 本文聚焦大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维体系。阐述新能源设备类型及运行特点,介绍大数据技术原理与应用。分析大数据在故障预警中数据采集处理、特征提取分析、预测模型构建的应用,以及在精益运维里设备状态监测评估、策略优化、资源管理的作用。最后给出实施步骤、组织与人员保障措施,旨在构建“预防为主、精准高效”的运维体系,提升新能源设备发电效率与运维经济性。

[关键词] 大数据分析; 新能源设备; 故障预警; 精益运维

中图分类号: TM614 文献标识码: A

Big Data Empowering Fault Warning and Lean Operation and Maintenance System for New Energy Equipment

Can Wang

Inner Mongolia Huadian New Energy Branch

[Abstract] This paper focuses on how big data empowers fault warning and lean operation and maintenance systems for new energy equipment. It elaborates on the types and operational characteristics of new energy equipment, and introduces the principles and applications of big data technology. The paper analyzes the application of big data in fault warning, including data acquisition and processing, feature extraction and analysis, and predictive model construction, as well as its role in lean operation and maintenance, such as equipment condition monitoring and assessment, strategy optimization, and resource management. Finally, implementation steps and organizational and personnel safeguard measures are proposed, aiming to build a "prevention-oriented, precise, and efficient" operation and maintenance system to enhance the power generation efficiency and economic performance of new energy equipment.

[Key words] Big Data Analysis; New Energy Equipment; Fault Warning; Lean Operation and Maintenance

引言

随着新能源产业的蓬勃发展,新能源设备规模不断扩大。然而,这些设备运行环境复杂,易出现故障,影响发电效率与电网安全。传统运维模式依赖经验,存在滞后性与盲目性。大数据技术凭借其强大的数据处理与分析能力,为新能源设备故障预警和精益运维提供了新途径。本文深入探讨大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维的理论基础、具体应用及实施保障,助力新能源产业高质量发展。

1 大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维的理论基础

1.1 新能源设备概述

新能源设备是利用风能、太阳能、生物质能等可再生能源转化为电能的核心载体,主要涵盖风力发电机组、光伏组件、储能电池、氢能燃料电池等类型。风力发电机组由叶片、轮毂、发电机、齿轮箱、偏航系统等关键部件构成,其运行依赖复杂的机

械传动与电控系统协同工作;光伏组件以晶硅电池片为核心,搭配逆变器、汇流箱等设备实现光电转换;储能设备则承担能源存储与调峰调频功能,保障能源供给稳定性。这些设备普遍运行于户外复杂环境,面临温度波动、风沙侵蚀、光照变化等多重影响,易出现部件磨损、性能衰减等问题^[1]。新能源设备具有模块化部署、运行参数多、工况动态变化等特点,其可靠运行直接关系到新能源发电效率与电网安全,为故障预警和精益运维提供了核心研究对象。

1.2 大数据技术原理与应用

大数据技术以“5V”特征(Volume、Velocity、Variety、Value、Veracity)为核心,通过数据采集、存储、处理、分析与挖掘实现价值转化。数据采集依托传感器、物联网终端等设备实现多源数据实时捕获,包括结构化的设备运行参数、半结构化的运维记录和非结构化的图像监测数据;存储层面采用分布式文件系统(如HDFS)和NoSQL数据库(如MongoDB),解决海量数据

存储与高效访问问题; 处理环节通过Spark、Flink等框架实现数据清洗、转换与实时计算, 剔除噪声数据并提取有效信息; 分析与挖掘则运用机器学习、深度学习等算法, 从数据中挖掘关联规则与趋势特征。在新能源领域, 该技术已实现从数据采集到价值输出的全流程应用, 为设备运行状态感知、故障规律挖掘等提供核心技术支撑, 打破传统运维的经验依赖模式。

1.3 故障预警与精益运维理论

故障预警理论以设备故障形成机理为基础, 通过状态监测、特征分析、趋势预测实现故障提前预判, 核心在于建立“状态感知-风险评估-预警输出”的闭环机制。该理论融合设备可靠性工程、故障模式与影响分析(FMEA)等方法, 明确不同故障类型的特征指标与演化规律, 通过设定阈值与趋势分析触发分级预警。精益运维理论源于精益生产理念, 以“降本增效、优化资源”为核心, 强调通过全流程精细化管理实现运维价值最大化。其核心内容包括设备全生命周期管理、运维流程标准化、资源配置最优化等, 通过消除冗余环节、减少无效运维, 提升运维效率与经济性。两大理论在新能源设备领域的融合, 形成“预警预判-精准运维”的协同机制: 故障预警为精益运维提供精准靶向, 避免盲目运维; 精益运维通过流程优化保障预警机制落地, 两者相辅相成, 构建起“预防为主、精准高效”的运维理论体系。

2 大数据在新能源设备故障预警中的应用

2.1 数据采集与处理

数据采集环节依托新能源场站部署的多维度感知网络实现全量数据捕获, 风力发电场通过叶片应力传感器、齿轮箱振动传感器、发电机温度传感器等设备, 实时采集转速、扭矩、温度等200余项运行参数; 光伏电站部署辐照度传感器、组件温度传感器及逆变器状态监测设备, 同步采集发电功率、组件温度等关键数据。同时, 整合气象数据(风速、光照、降水)、运维历史记录、设备出厂参数等多源数据, 通过5G和工业以太网实现数据实时传输^[2]。处理环节采用“边缘+云端”协同架构, 边缘端通过边缘计算节点对数据进行初步过滤, 剔除传感器异常波动、传输干扰等噪声数据; 云端利用ETL工具实现数据清洗、转换与集成, 通过数据标准化处理将不同设备的异构数据统一格式, 建立包含运行数据、环境数据、运维数据的综合数据库。采用数据脱敏技术保障数据安全, 通过数据质量评估体系确保数据完整性与准确性, 为后续故障分析提供高质量数据支撑。

2.2 故障特征提取与分析

故障特征提取以多源数据为基础, 结合新能源设备不同部件的故障机理, 采用统计分析、时域分析、频域分析等多维度方法提取特征指标。针对风力发电机组齿轮箱故障, 通过频域分析提取振动信号中的特征频率, 识别齿轮磨损、轴承点蚀等故障对应的频率峰值; 针对光伏组件故障, 通过时域分析对比组件输出功率与辐照度的匹配关系, 提取功率衰减率、短路电流偏差等特征参数。对于多源异构数据, 采用融合分析技术实现特征互补, 例如结合气象数据与设备运行数据, 分析环境因素对故障特征的影响规律。分析环节通过构建故障特征库, 将提取的特征指标

与历史故障数据进行比对, 利用关联规则挖掘算法发现特征与故障类型的对应关系。同时采用可视化分析工具呈现特征变化趋势, 直观展示故障演化过程, 为故障类型精准识别提供依据, 解决传统故障分析中特征提取不全面、识别准确率低的问题。

2.3 故障预测模型构建

故障预测模型构建以高质量数据和提取的故障特征为输入, 结合新能源设备故障特点选择适配算法, 形成“传统算法+深度学习”的融合模型体系。针对齿轮箱、发电机等机械部件故障, 采用支持向量机(SVM)和随机森林算法构建基础预测模型, 利用历史故障数据训练模型参数, 实现故障类型与发生概率的初步预测; 针对光伏组件性能衰减等渐变故障, 采用长短期记忆网络(LSTM)和时序卷积网络(TCN), 捕捉运行参数的时序变化规律, 提升长期预测精度。模型构建过程中, 采用交叉验证方法优化参数, 通过网格搜索确定最优超参数组合, 减少模型过拟合风险。建立模型自适应更新机制, 实时纳入新的运行数据与故障案例, 动态调整模型参数, 提升模型对不同工况的适配能力。模型输出端采用分级预警机制, 根据故障发生概率和影响程度, 输出红色、橙色、黄色三级预警, 为运维决策提供精准依据。

3 大数据在新能源设备精益运维中的应用

3.1 设备状态监测与评估

设备状态监测依托大数据实时处理技术, 构建全维度监测体系, 实现对新能源设备运行状态的持续感知。风力发电机组通过部署振动、温度、油液质量等传感器, 实时监测关键部件运行状态, 利用大数据分析工具对比实时数据与标准阈值, 及时发现异常波动; 光伏电站采用红外热成像监测与功率曲线分析相结合的方式, 精准定位热斑、组件老化等问题。评估环节建立多维度评估指标体系, 包括设备运行效率、性能衰减率、故障发生频率、维护成本等指标, 利用层次分析法确定各指标权重。通过大数据分析工具整合历史运行数据、维护记录和环境数据, 对设备健康状态进行量化评估, 生成设备健康评分报告^[3]。同时构建设备健康状态演化模型, 预测未来一段时间内设备性能变化趋势, 为运维策略制定提供数据支撑, 改变传统运维中依赖定期巡检的被动模式, 实现从“定期维护”到“状态维护”的转变。

3.2 运维策略优化

运维策略优化以大数据分析结果为核心, 结合设备状态评估结论和运维成本效益分析, 构建精准化运维策略体系。基于设备健康评分结果, 对健康状态良好的设备采用“预警响应”策略, 仅在触发预警时开展运维工作; 对健康状态一般的设备实施“预防性维护”策略, 根据性能衰减趋势提前制定维护计划; 对健康状态较差的设备采取“抢修优先”策略, 调配资源保障快速修复。利用大数据分析挖掘运维流程中的冗余环节, 优化运维流程, 例如通过分析故障处理历史数据, 梳理出“故障定位-备件调配-现场维修-验收反馈”的最优流程, 缩短故障处理时间。结合气象大数据分析, 合理安排运维时间, 例如在风力较小、光照较弱的时段开展光伏组件清洗、风机叶片检修等工作, 减少对发电效

率的影响。通过大数据驱动的运维策略优化,实现运维工作的精准化、高效化,降低运维成本的同时提升设备可用率。

3.3 运维资源管理

运维资源管理借助大数据技术实现资源配置的最优化与动态调整,涵盖备件管理、人员调度和设备工具管理等核心环节。备件管理方面,通过分析历史故障数据和备件消耗规律,构建备件需求预测模型,精准预测不同类型备件的需求量和消耗周期,建立智能化备件库存系统,实现备件库存的动态补充与合理调配,避免备件积压或缺货现象;通过大数据追踪备件生命周期,优化备件采购计划,降低采购成本。人员调度方面,结合运维任务优先级、人员技能特长、作业地点分布等数据,利用大数据调度算法制定最优人员派遣方案,实现人员技能与运维任务的精准匹配,提升运维工作效率;通过分析人员工作绩效数据,优化人员培训计划,提升运维团队整体专业水平。设备工具管理方面,通过大数据监测工具使用状态与损耗情况,制定工具维护与更新计划,确保工具完好可用;基于运维任务需求,合理调配工具资源,避免工具闲置浪费。

4 大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维体系的实施与保障

4.1 实施步骤与流程

实施过程遵循“规划-建设-部署-优化”的四阶段流程,确保体系落地见效。第一阶段为规划设计,组建跨领域团队开展需求调研,明确新能源场站设备类型、运行现状及运维痛点,结合场站规模与发展目标,制定大数据平台建设方案,明确数据采集范围、技术架构和实施时间表。第二阶段为平台建设,搭建“边缘感知+云端处理”的大数据平台,部署传感器、数据传输设备等硬件设施,开发数据采集、处理、分析等核心软件模块,建立标准化数据库,完成与现有运维系统的对接。第三阶段为试点部署,选择典型场站开展试点应用,部署故障预警与精益运维模块,对数据采集精度、模型预测准确率等指标进行测试,收集运维人员反馈意见,针对性调整系统参数。第四阶段为推广优化,在试点成功基础上逐步推广至所有场站,建立系统运行监测机制,实时跟踪体系运行效果;定期收集设备运行数据、运维数据,对模型算法、运维策略进行迭代优化,形成“建设-应用-优化”的闭

环实施流程,确保体系持续适配新能源设备运维需求。

4.2 组织与人员保障

组织保障方面,建立“顶层统筹+部门协同”的组织架构,成立由新能源企业高层领导牵头的项目领导小组,负责整体战略规划、资源调配和重大决策;下设技术研发部、运维实施部、数据管理部等专项部门,明确各部门职责分工,技术研发部负责大数据平台开发与维护,运维实施部负责现场运维执行与反馈,数据管理部负责数据质量管控与安全保障^[4]。建立跨部门协同机制,定期召开沟通会议,协调解决实施过程中的跨部门问题,确保体系建设与运维工作高效推进。人员保障方面,构建“专业培养+人才引进”的人才队伍建设体系,针对现有运维人员开展大数据技术、故障预警模型应用等专项培训,通过案例教学、实操演练等方式提升其专业能力;面向高校、科研机构 and 行业企业,引进大数据分析、新能源设备运维等领域的高端人才,充实核心技术团队。建立激励机制,将运维效率提升、故障预警准确率等指标纳入绩效考核,激发员工工作积极性,为体系长期稳定运行提供坚实的组织与人员支撑。

5 结束语

大数据赋能新能源设备故障预警与精益运维体系,是提升新能源产业竞争力的关键举措。通过大数据技术,可实现设备故障提前预警、运维策略精准优化、资源合理配置,有效降低运维成本,提高设备可用率与发电效率。实施过程中,需遵循科学流程,强化组织与人员保障。未来,随着大数据技术不断进步,该体系将不断完善,为新能源产业可持续发展提供更有力的支撑。

[参考文献]

- [1]李学峰,袁昌国.新能源企业以数赋能智慧发展[J].中国信息界,2021(5):57-58.
- [2]李志昌,冯耀锋.新能源电站电气设备运维检测方法概述[J].中国设备工程,2025(3):201-203.
- [3]钟斌.新能源发电变配电站高压电气设备安装技术[J].模型世界,2025(8):115-117.
- [4]席怀恩,孙政东.新能源设备工程中的高效能量转换技术与系统集成[J].模型世界,2025(12):32-34.