

基于大数据分析的发电设备故障诊断与安全管理路径探讨

田小龙

国家电力投资集团有限公司, 北京 100029

DOI:10.61369/EPTSM.2025070005

摘要 : 本文聚焦基于大数据分析的发电设备故障诊断与安全管理路径探讨, 旨在为发电设备管理的数字化、智能化转型提供路径参考。故障诊断上, 构建“数据层 – 处理层 – 模型层 – 应用层”四层架构, 通过传感器网络实现数据感知治理, 依托机器学习建故障诊断与剩余寿命预测模型, 并可视化呈现结果、解释模型决策。安全管理上, 分析传统模式局限, 提出“事前预防、数据驱动、全面覆盖”的大数据管理新范式, 构建“数据采集 – 分析诊断 – 决策执行 – 效果反馈 – 优化改进”闭环路径, 同时从技术、制度、人员搭建支撑体系。此外, 指出实施中数据、技术、人员、管理方面的挑战, 针对性给出保障策略, 总结大数据对提升故障诊断准确性与安全管理水平的关键作用, 为实践提供理论支撑。

关键词 : 大数据分析; 发电设备; 故障诊断; 安全管理

Exploration of Fault Diagnosis and Safety Management Pathways for Power Generation Equipment Based on Big Data Analysis

Tian Xiaolong

State Power Investment Corporation Limited, Beijing 100029

Abstract : This paper focuses on the exploration of fault diagnosis and safety management pathways for power generation equipment based on big data analysis, aiming to provide a path reference for the digital and intelligent transformation of power generation equipment management. In terms of fault diagnosis, a four-layer architecture of "data layer – processing layer – model layer – application layer" is constructed. Data perception and governance are achieved through a sensor network. Fault diagnosis and remaining useful life prediction models are established using machine learning, with results visualized and model decisions explained. For safety management, the limitations of traditional models are analyzed, and a new big data management paradigm of "proactive prevention, data-driven, and comprehensive coverage" is proposed. A closed-loop pathway of "data collection – analysis and diagnosis – decision-making and execution – effect feedback – optimization and improvement" is constructed, while a supporting system is established from the perspectives of technology, systems, and personnel. Additionally, the challenges in data, technology, personnel, and management during implementation are identified, and corresponding safeguard strategies are provided. The paper summarizes the critical role of big data in enhancing the accuracy of fault diagnosis and the level of safety management, providing theoretical support for practical applications.

Keywords : big data analysis; power generation equipment; fault diagnosis; safety management

引言

近年来, 大数据、人工智能、工业互联网等技术的快速发展, 为发电设备管理的数字化转型提供了关键支撑。通过实时采集设备运行参数、环境数据及维护记录, 依托数据治理技术实现多源数据的整合与净化, 借助机器学习算法构建智能诊断与预测模型, 能够有效提升设备故障识别的准确性与前瞻性, 推动安全管理从“事后处理”向“事前预防”转变。在此背景下, 深入探讨基于大数据分析的发电设备故障诊断技术框架与安全管理路径, 不仅是解决当前设备管理痛点的现实需求, 也是推动电力行业向智能化、高效化发展的重要举措。本文围绕大数据在发电设备管理中的应用展开研究, 构建“数据层 – 处理层 – 模型层 – 应用层”的故障诊断技术架构, 明确数据感知、模型构建、结果可视化的关键环节; 分析传统安全管理模式的局限性, 设计数据驱动的安全管理新范式与闭环路径, 并搭建多维度支撑体系; 针对实施过程中的挑战提出保障策略, 以期为发电企业实现设备管理的数字化、智能化转型提供理论参考与实践指引。

一、基于大数据的发电设备故障诊断技术框架构建

(一) 总体架构设计

将大数据技术与工业互联网进行融合,对传统工业、制造业进行改造升级,促进其生产经营朝着数字化、智能化转型发展,已然成为当下企业发展的主流^[1]。发电设备故障诊断技术采用“数据层-处理层-模型层-应用层”的四层架构,数据层依托数据中台,整合设备发电量、运行参数、环境及维护记录等多维数据;处理层利用AI工具对数据进行清洗、转换和整合,确保其准确性与一致性;模型层则基于这些高质量数据,通过机器学习等算法构建智能故障诊断与剩余使用寿命预测模型;应用层将诊断与预测结果以直观的图表、报表等形式可视化呈现,为管理人员快速定位异常设备、制定维护决策提供直接支持。

(二) 数据感知与治理

在数据感知方面,通过部署传感器网络,实时采集包括发电量、电压、电流、温度在内的设备运行参数及环境数据,并利用数据中台进行集中汇聚,打破数据孤岛^[2]。在数据治理环节,则通过数据清洗处理缺失、异常和重复值,通过数据标准化统一格式与单位,建立数据质量指标体系进行定期评估,从而全面保障数据的真实性、一致性与可用性,为后续分析奠定坚实基础。

(三) 智能故障诊断模型构建

智能故障诊断模型的构建以设备历史数据为基础,首先通过整理和标注故障与运行数据来构建数据集,例如将风机停机、逆变器异常等故障类型与发电量、运行参数等数据进行关联^[3]。随后,根据数据特点选择决策树、神经网络等机器学习算法,并结合如发电量为零、效率过低等初步特征进行模型训练,同时采用交叉验证等方法优化模型,提升其准确率和泛化能力。此外,模型会随着新故障模式和运行数据的积累进行定期更新迭代,以适应设备状态变化,持续提升诊断的准确性与时效性。

(四) 剩余使用寿命预测

剩余使用寿命预测通过分析设备历史运行数据,挖掘如发电效率下降、稳定性降低等性能退化特征指标。基于此,采用RNN、LSTM等机器学习算法构建预测模型,并利用历史数据进行训练^[4]。在实际应用中,将设备实时运行数据输入模型,即可获得其剩余使用寿命预测结果。该结果能反馈给管理人员,为制定前瞻性维护计划提供科学依据,从而有效避免突发故障导致的停机损失。

(五) 诊断与预测结果的可视化与解释性

诊断与预测结果通过仪表盘、折线图等可视化界面直观呈现,用不同颜色标识故障等级,并展示设备剩余寿命的变化趋势及维护建议,帮助管理人员快速掌握设备状态^[5]。同时为增强结果的可信度与应用价值,系统还对模型的决策过程进行解释,例如在诊断设备异常时,会明确指出导致该结论的关键特征及其与故障的关联,从而提升管理人员对模型的信任,辅助其做出精准决策。

二、数据驱动的发电设备安全管理路径设计

(一) 传统安全管理模式的局限性分析

传统安全管理模式在生产管理中心的设备管理中存在显著局

限,在效率上,依赖人工排查导致周期长,无法及时响应设备故障,增加了安全风险;在范围上,排查覆盖面窄,存在监控盲区,难以全面掌握设备运行状况;在数据利用上,缺乏对数据的深度挖掘,仅依靠日报汇总进行月度分析,无法发现潜在规律与隐患,导致管理决策缺乏前瞻性和科学依据,数据价值未被充分释放。

(二) 大数据驱动的安全管理新范式

大数据驱动的安全管理新范式以数据为核心,通过数据中台与AI分析,实现了管理的智能化、精准化和高效化^[6]。推动管理理念从“事后处理”转向“事前预防”,通过实时监控提前发现异常;管理方式从“人工为主”转向“数据驱动”,自动完成故障诊断,将设备排查周期从三周缩短至一小时以内;管理范围也从“局部监控”扩展至“全面覆盖”,将所有设备纳入跟踪,消除管理盲区,从而全面提升安全管理水平。

(三) 安全管理闭环路径构建

安全管理闭环路径构建遵循“数据采集-分析诊断-决策执行-效果反馈-优化改进”的流程,形成完整的管理闭环^[7]。数据采集阶段,依托数据中台和各类数据采集设备,全面、实时采集发电设备的运行数据,包括发电量、运行参数、环境数据等,为后续的分析诊断提供数据支持^[8]。分析诊断阶段,利用智能故障诊断模型和数据分析工具,对采集到的数据进行深入分析,识别设备运行异常情况,诊断故障类型和原因,预测设备剩余使用寿命,为管理决策提供依据。决策执行阶段,根据分析诊断结果,制定相应的管理决策和执行方案。生产管理中心根据异常设备清单,督促相关单位对故障设备限期整改。效果反馈阶段,对决策执行的效果进行跟踪和评估,采集设备在执行措施后的运行数据,分析设备运行状态的改善情况,判断故障是否得到有效解决^[9]。优化改进阶段,根据效果反馈结果,总结管理经验,发现管理过程中存在的问题,对数据采集方法、分析诊断模型、决策执行方案等进行优化和改进,不断完善安全管理闭环路径。

(四) 安全管理路径的支撑体系

安全管理路径的支撑体系包括技术支撑、制度支撑和人员支撑三个方面。技术支撑方面,完善数据中台建设,提升数据存储、处理和分析能力,确保能够高效处理大量的发电设备数据^[10]。加强AI工具和算法的研发与应用,不断优化智能故障诊断模型和剩余使用寿命预测模型,提高模型的准确性和可靠性。同时搭建安全管理信息系统,实现数据采集、分析诊断、决策执行、效果反馈等环节的信息化管理,提升管理效率。制度支撑方面,建立健全数据管理制度,规范数据采集、存储、使用、共享等流程,确保数据的安全性、完整性和准确性。制定设备故障诊断和安全管理相关制度,明确各部门和人员的职责分工,规范故障处理流程和安全管理工作流程。建立定期评估和考核制度,对安全管理工作的效果进行评估和考核,激励相关人员积极履行职责,提升安全管理水平。人员支撑方面,加强对管理人员和技术人员的培训,提高其大数据分析、智能故障诊断等方面的专业技能和综合素质。培养具备跨学科知识的复合型人才,既掌握发电设备专业知识,又熟悉大数据技术和管理方法,为安全管理路径

的实施提供人才保障。建立人员激励机制，鼓励员工积极参与安全管理创新和改进工作，充分发挥员工的主观能动性。

三、实施挑战与保障策略

（一）面临的主要挑战

在基于大数据分析的发电设备故障诊断与安全管理路径实施过程中，生产管理中心面临多方面挑战。数据方面，存在数据质量不稳定和数据隐私安全风险。虽然通过数据治理可提升数据质量，但在实际运行中，由于传感器故障、数据传输干扰等因素，仍可能导致数据缺失、异常等问题，影响数据分析和模型诊断的准确性。同时发电设备运行数据包含大量敏感信息，在数据共享和使用过程中，存在数据泄露、被篡改等隐私安全风险。技术方面，面临技术更新换代快和技术融合难度大的问题。大数据和人工智能技术发展迅速，新的算法、工具不断涌现，生产管理中心需要持续投入资源进行技术升级和学习，以跟上技术发展的步伐。此外，将大数据技术与发电设备专业技术进行深度融合，实现数据驱动的故障诊断和安全管理，需要解决技术接口、数据格式兼容等问题，技术融合难度较大。人员方面，缺乏专业技术人才和员工观念转变困难。既懂大数据技术又熟悉发电设备管理的复合型人才稀缺，生产管理中心在组建专业团队时面临较大困难。同时部分员工长期习惯于传统的管理模式，对新的大数据驱动管理模式认识不足，存在抵触情绪，观念转变需要一定时间。管理方面，存在部门协调难度大和管理制度不完善的问题。基于大数据的发电设备管理涉及多个部门，各部门之间的工作协调和数据共享需要高效的沟通机制，否则容易出现工作推诿、数据孤岛等问题。

（二）保障策略与建议

数据保障方面，建立数据质量监控机制，实时监控数据采集、传输、存储等环节的数据质量，及时发现并解决数据质量问题。定期对传感器、数据采集设备进行维护和校准，减少设备故障导致的数据质量问题。加强数据隐私安全保护，采用数据加密、访问控制、安全审计等技术手段，防止数据泄露和被篡改。制定数据隐私安全管理制度，明确数据使用权限和责任，规范数据共享和使用流程。技术保障方面，制定技术发展规划，定期

评估大数据和人工智能技术的发展趋势，结合生产管理中心的实际需求，合理安排技术升级和研发投入，确保技术的先进性和适用性。加强与高校、科研机构、技术供应商的合作，引进先进的技术和解决方案，同时借助外部力量解决技术融合过程中遇到的问题。建立技术交流平台，鼓励技术人员参与行业技术交流和培训，提升技术水平。人员保障方面，制定人才引进计划，通过招聘、校园招聘、社会招聘等多种渠道，引进大数据分析、人工智能、发电设备专业等方面的人才，组建专业的技术团队。加强内部培训，定期组织员工参加大数据技术、智能故障诊断、安全管理等方面的培训课程，提高员工的专业技能和综合素质。开展宣传教育活动，向员工普及大数据驱动管理模式的优势和重要性，转变员工的传统观念，提高员工对新管理模式的接受度和参与度。管理保障方面，建立跨部门协调机制，成立专门的协调小组，明确各部门的职责和工作分工，定期召开协调会议，解决部门之间的工作衔接和数据共享问题。完善管理制度体系，根据大数据驱动的安全管理模式的需求，制定和修订数据管理制度、技术管理制度、设备管理制度、考核评价制度等，确保各项工作有章可循。加强管理创新，鼓励员工提出管理改进建议，不断优化管理流程和方法，提升管理效率和水平。

四、结语

本文系统探讨了基于大数据分析的发电设备故障诊断技术框架与安全管理路径，通过理论梳理与路径设计，为电力行业设备管理的数字化、智能化转型提供了可落地的研究成果。尽管本文已形成较为完整的技术与管理方案，但在实际应用中，不同类型发电设备（如风电、火电、光伏）的工况差异对模型适应性的影响、多源异构数据实时处理的效率优化等问题，仍需进一步深入研究。未来可结合边缘计算、数字孪生等新兴技术，持续迭代故障诊断模型与安全管理机制，提升方案的场景适配性与实践价值。大数据技术已成为突破传统发电设备管理瓶颈的关键驱动力，本文提出的技术框架与管理路径，可为发电企业降低设备故障风险、提升安全管理效能提供切实参考，助力电力行业在能源转型浪潮中实现高质量、可持续发展。

参考文献

- [1] 张逸凡. 基于大数据挖掘的发电设备状态监测与故障诊断系统研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(2): 48–50.
- [2] 吴浩. 基于物联网和模糊聚类的风力发电设备故障诊断系统及方法 [J]. 电子测量技术, 2016, 39(3): 162–165. DOI: 10.3969/j.issn.1002-7300.2016.03.039.
- [3] 李雪弢. 基于大数据的火电厂汽轮机故障诊断与预测维护 [J]. 电力设备管理, 2024(24): 96–98.
- [4] 李峰. 基于生产大数据的水轮发电机组故障诊断系统 [J]. 水电站机电技术, 2020, 43(3): 9–13. DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2020.03.004.
- [5] 张峰. 发电厂电气设备状态监测和故障诊断的改进研究 [D]. 华北电力大学, 华北电力大学(北京), 2016. DOI: 10.7666/d.Y3114823.
- [6] 常屹, 王彦刚, 付喜亮, 等. 基于大数据分析模式的设备全寿命周期管理研究 [C]//2015全国电力设备状态监测与故障诊断技术研讨会论文集. 2015: 1–6.
- [7] 王平. 风力发电机组传动链故障诊断与大数据预警技术 [D]. 山西: 山西大学, 2021.
- [8] 刘奕男. 基于数据平台的光伏组件故障诊断系统设计 [D]. 江苏: 东南大学, 2021.
- [9] 国能(惠州)热电有限责任公司. 基于历史数据分析的设备故障诊断方法: CN202410904211.1[P]. 2024-09-10.
- [10] 石睿. 基于大数据分析的风电机组运行状态监测方法研究 [D]. 吉林: 长春工业大学, 2018.