

基于大数据与 AI 的火电厂汽轮机故障预测与智能维修策略研究

马晖焜

福建华电可门发电有限公司, 福建省福州市, 350500;

摘要: 在能源需求持续增长和智能化技术快速发展的背景下, 火电厂汽轮机的稳定运行对于电力供应的可靠性至关重要。本文深入研究了基于大数据与 AI 的火电厂汽轮机故障预测与智能维修策略。通过对汽轮机运行数据的全面采集与分析, 利用大数据技术的数据挖掘能力和 AI 的智能算法, 构建精准的故障预测模型, 实现对汽轮机潜在故障的提前预警。同时, 依据故障预测结果, 制定智能维修策略, 优化维修资源配置, 提高维修效率, 降低设备故障率和维修成本。研究成果对于提升火电厂的智能化水平和经济效益具有重要的现实意义, 为火电厂汽轮机的运维管理提供了新的思路和方法。

关键词: 大数据; AI; 火电厂汽轮机; 故障预测; 智能维修

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 04. 013

1 引言

1.1 研究背景与意义

火电厂在能源供应体系中地位关键, 汽轮机作为其核心设备, 运行状态直接关乎发电效率与供电可靠性。但因长期处于高温、高压、高转速等恶劣工况, 设备部件易磨损、疲劳、腐蚀, 故障频发。一旦故障, 不仅导致电厂停机影响电力供应, 还可能引发设备损毁与安全事故, 造成巨大经济损失。

传统的故障诊断与维修依赖人工经验和定期检修, 前者主观性强、准确性差且难发现早期故障, 后者易导致过度或不足维修, 浪费资源且无法保障设备可靠运行。而大数据与 AI 技术的发展带来新突破, 大数据可高效处理海量运行数据、挖掘故障信息, AI 通过智能算法实现精准故障预测与决策, 优化维修策略。因此, 研究基于大数据与 AI 的汽轮机故障预测及智能维修策略, 对提升火电厂智能化水平与经济效益意义重大。

1.2 国内外研究现状

在国外, 许多科研机构和企业在大数据与 AI 技术应用于火电厂汽轮机故障预测与维修方面取得了显著成果。例如, 美国 GE 公司利用大数据分析和机器学习算法, 对汽轮机的运行数据进行实时监测和分析, 能够提前预测设备故障, 有效降低了设备故障率和维修成本。德国西门子公司通过建立汽轮机的数字孪生模型, 结合 AI 技术实现了对设备运行状态的精准模拟和故障诊断, 为智能维修提供了有力支持。

国内的研究也在近年来取得了长足进步。华北电力

大学的研究团队利用深度学习算法对汽轮机的振动数据进行分析, 实现了对多种故障类型的准确识别和预测。一些大型电力企业, 如华能、大唐等, 也积极开展相关技术的应用实践, 通过搭建大数据平台和引入 AI 技术, 提升了汽轮机的运维管理水平。然而, 目前国内外的研究仍存在问题, 如数据质量参差不齐、故障预测模型的泛化能力有待提高、智能维修策略与实际生产流程的融合不够紧密等, 需要进一步深入研究和解决。

2 火电厂汽轮机故障类型及原因分析

2.1 常见故障类型

汽轮机运行时易出现叶片、轴承、转子和密封等故障。叶片故障中, 磨损由蒸汽杂质冲刷引发, 会降低汽轮机效率; 断裂常因材料疲劳、振动应力过大, 可致停机及部件损坏; 腐蚀源于蒸汽化学物质侵蚀, 高温高压下加剧。轴承故障里, 磨损因长期承载转子载荷与摩擦; 烧瓦由润滑不良、油温过高或过载造成; 油膜振荡在转子转速达临界值时, 因油膜特性改变引发剧烈振动, 威胁设备安全。转子故障包含不平衡、裂纹和弯曲, 不平衡由质量不均引起振动, 裂纹因材料缺陷等因素削弱强度, 弯曲则因受热不均等导致轴线偏移。密封故障表现为轴封、汽封泄漏, 轴封泄漏浪费能源且有安全隐患, 汽封泄漏影响汽轮机效率, 其成因多为密封件磨损、老化、安装不当或工况异常。

2.2 故障原因分析

汽轮机故障由设备自身、运行工况、环境等多种因素共同引发。设备自身方面, 设计缺陷如叶片气动设计

不佳、结构强度不足,制造时材料质量差、加工精度低,安装存在偏差,都会影响运行可靠性;同时,设备老化导致部件磨损、疲劳,性能下降引发故障。运行工况因素中,负荷频繁变动使部件承受交变应力致疲劳损伤,负荷率异常、蒸汽参数不稳定增加设备应力与磨损,启动、停机操作不当也会损害设备。环境因素上,火电厂内灰尘、杂质及腐蚀性气体易进入汽轮机,磨损、腐蚀叶片和轴承;高温环境影响散热,导致油温升高,削弱轴承润滑性能,潮湿环境则易引发设备锈蚀。

3 大数据与 AI 技术在火电厂汽轮机故障预测中的应用

3.1 大数据技术在故障预测中的作用

大数据技术在火电厂汽轮机故障预测中发挥着关键作用,主要涵盖数据采集与存储、清洗预处理及挖掘分析三方面。在数据采集存储上,汽轮机运行产生的振动、温度等实时数据,可借助分布式传感器网络与高速采集系统全面采集,并存储于具备高可靠性和扩展性的分布式数据仓库中。数据清洗预处理环节,针对采集数据存在的噪声、缺失值等问题,利用清洗算法去噪、补值、修正异常,同时通过标准化、归一化操作提升数据质量与可比性。数据挖掘分析作为核心,运用关联规则挖掘、聚类分析等算法,从海量数据中探寻潜在故障模式与规律,如关联规则挖掘能发现参数异常关联预示故障风险,聚类分析可识别异常数据点,实现故障早期预警。

3.2 AI 技术在故障预测中的应用

AI 技术在火电厂汽轮机故障预测中主要依托机器学习与深度学习算法。机器学习算法中,决策树通过构建树形结构,依据数据特征选择最优划分属性细分数据集,以此判断故障类型;支持向量机凭借寻找最优分类超平面分离不同类别数据,具备良好泛化性与高准确率;朴素贝叶斯基于贝叶斯定理与特征条件独立假设,计算高效,适用于大规模数据处理。这些算法通过学习历史数据构建故障预测模型,实现实时监测与故障预判。

深度学习算法近年发展迅猛,其通过多层神经网络自动学习数据特征,无需人工构建特征工程。在汽轮机故障预测领域,CNN 可对振动图像等数据提取局部特征识别故障;RNN 与 LSTM 擅长处理时间序列数据,能捕捉运行参数的时间依赖关系,精准预测故障发生,在故障预测中优势显著。

3.3 基于大数据与 AI 的故障预测模型构建

基于大数据与 AI 的火电厂汽轮机故障预测模型构建,主要涵盖数据准备、模型选择与训练、模型评估与

优化三大步骤。数据准备时,从电厂监控及采集设备收集汽轮机历史故障与正常运行数据,经清洗预处理,去除噪声、填补缺失值并标准化。同时,筛选振动幅值、温度变化率等关键特征构建特征工程,还可通过数据增强提升模型泛化能力。模型选择与训练阶段,依数据特性和预测需求,选用机器学习或深度学习算法。前者需调整决策树深度等参数,后者要构建 CNN、LSTM 等网络结构,划分训练、验证、测试集后,以训练集优化模型,使其在验证集达最佳性能。模型评估与优化中,利用测试集,以准确率、均方误差等指标评估,若结果不佳,则通过调参、扩充数据、改进特征工程或集成学习优化,经反复迭代,形成高性能故障预测模型,服务于汽轮机实际运维。

4 基于故障预测的火电厂汽轮机智能维修策略

4.1 智能维修策略概述

基于故障预测的火电厂汽轮机智能维修策略,以故障预测为核心,借助智能化与信息化手段优化维修资源配置,实现精准维修。相较于传统的定期维修和事后维修,该策略优势显著。定期维修易造成过度维修,浪费资源;事后维修则在设备故障停机后才介入,影响生产且成本高昂。而智能维修策略通过实时监测汽轮机运行状态,提前预判潜在故障,于设备故障发生前进行维修,既规避了停机损失,又减少不必要的维修工作,提升维修效率与设备可靠性。其实施依赖先进技术平台与信息化系统,需构建设备状态监测与故障预测系统,运用大数据与 AI 技术分析数据,为维修决策提供依据;同时搭建智能化维修管理系统,实现维修全流程信息化管理,依预测结果生成工单、调配资源,保障维修高效开展。

4.2 维修资源优化配置

维修资源优化配置是智能维修策略的关键。传统维修模式下,资源配置缺乏科学规划,易造成浪费或不足,而智能维修策略可依据汽轮机故障预测结果精准调配资源。在维修人员管理上,先按任务难度与技术要求评估分类,故障预警后,系统自动匹配人员,简单维护由初级人员负责,复杂维修则调配高级人员,并通过培训提升其技能。备品备件方面,借助大数据分析故障历史与预测结果,确定需求概率和时间,构建库存模型,关键部件提高库存,低频备件采用联合库存等模式,与供应商紧密合作实现快速供应。维修工具依任务需求配置,通用工具满足常规任务,特殊任务配备专用设备,同时利用信息化管理记录工具全流程信息。维修时间安排综合设备状态、生产计划和资源可用性,于故障前合理安排,避开生产高峰,采用并行维修等方式提高效率。

4.3 维修决策支持系统

维修决策支持系统是智能维修策略的核心，它以故障预测结果为根基，融合汽轮机设备信息、维修历史、资源状况及生产计划等数据，运用智能算法与决策模型，为维修人员输出科学决策建议。

该系统涵盖三大核心模块。故障诊断模块深入剖析故障预测系统的异常数据，结合设备故障知识库，精准判定故障类型、成因与严重程度。维修方案生成模块依据诊断结果，综合考量资源可用性、成本、时间及生产计划，借优化算法生成多种方案并排序，为维修人员推荐最优解，如针对汽轮机叶片故障，会依叶片损坏程度、修复与更换成本等因素给出方案。维修效果评估模块在维修后，对比设备运行参数与性能指标评估效果，若不理想则分析原因，助力后续改进。此外，系统还能与 MIS、ERP 等系统集成，实现数据共享交互，推动部门协同，提升企业整体运营效率。

5 智能维修策略实施案例与效果评估

5.1 案例背景

选取国内某大型火电厂作为案例研究对象，该电厂拥有多台大型汽轮机，在电力生产中承担着重要任务。随着设备运行年限的增加，汽轮机故障频发，传统的维修方式已难以满足设备运维需求。为提升设备可靠性、降低维修成本，该电厂引入基于大数据与 AI 的汽轮机故障预测与智能维修策略，构建了一套完整的设备状态监测与维修管理系统。

5.2 实施过程

在火电厂汽轮机智能化运维升级中，数据采集与处理、模型构建及智能维修策略落地是关键环节。数据采集上，电厂升级原有监测系统，增设高精度振动、温度、压力等传感器，实现运行参数全方位实时采集，经高速网络传输至大数据平台，采用分布式存储统一管理。故障预测模型构建时，技术人员深度剖析历史数据，筛选振动幅值、轴承温度等关键特征变量，针对不同故障类型，运用 LSTM 深度学习算法与支持向量机机器学习算法，经参数调整、结构优化和交叉验证，构建起高性能预测模型。在智能维修策略实施过程中，维修决策支持系统依据模型预测结果，按故障严重程度与维修难度，自动生成维修计划，精准调配人员、备件，确定维修时间。如预测叶片磨损隐患后，系统提前规划更换流程，

协调资源，保障设备稳定运行。

5.3 效果评估

经过一段时间的运行实践，基于大数据与 AI 的智能维修策略在该电厂取得了显著效果。在设备可靠性方面，汽轮机的非计划停机次数大幅减少，相比实施前降低了 40%，有效保障了电力供应的稳定性。设备故障率显著下降，关键部件的平均使用寿命延长，减少了因设备故障导致的生产损失。

在维修成本控制方面，通过精准的故障预测和维修资源优化配置，避免了过度维修和不必要的备件库存积压。维修费用降低了 30%，其中备品备件库存成本减少了 25%，维修人工成本降低了 20%。同时，由于减少了设备停机时间，发电效率得到提升，为电厂带来了可观的经济效益。

此外，智能维修策略的实施还提高了维修工作的效率和科学性。维修人员能够提前了解设备潜在故障，有针对性地进行维修准备，缩短了维修时间。维修决策支持系统提供的科学维修方案，使维修工作更加规范和高效，提升了电厂整体运维管理水平。

6 研究总结与展望

本文聚焦基于大数据与 AI 的火电厂汽轮机故障预测及智能维修策略研究，剖析汽轮机故障类型与成因，详述大数据与 AI 技术在故障预测中的应用、模型构建方法，并提出智能维修策略，经案例验证其有效性与可行性，证实该策略可提升汽轮机可靠性、降低维修成本与增强电厂智能化运维水平。然而，研究仍存不足。数据层面，采集范围与精度待拓展提升，需探索新采集方式、提高传感器性能；算法模型方面，复杂工况下泛化与准确性不足，应结合强化学习等先进算法优化结构，加强可解释性研究；在智能维修策略实施上，需深化与生产流程融合，完善系统集成，同时关注物联网、5G 等新技术趋势，探索更多智能化运维模式，为火电厂高效安全运行提供更坚实保障。

参考文献

- [1] 龚明烨. 火电厂设备智能化故障预警与诊断系统研究[J]. 科学与信息化, 2021.
- [2] 姚洪洋, 马帅, 李永昊. 基于大数据的火电厂智能监盘故障预测系统: 202411993301[P][2025-06-17].
- [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.