

Application Research of On-line Monitoring System for Hot Rolling Equipment in Aluminum Processing

Jinwei Ma

Henan Zhongfu High Precision Aluminum Materials Co., Ltd., Gongyi, Henan, 451200, China

Abstract

As the core equipment for producing high-end aluminum alloy materials, hot rolling mills' operational stability directly determines product quality, production efficiency, and maintenance costs. Traditional operation and maintenance models relying on manual inspections suffer from delayed responses, weak fault prediction capabilities, and high labor costs, making them incompatible with the intelligent production demands of modern aluminum processing enterprises. The online monitoring system, based on data acquisition, intelligent analysis, and visualization technologies, enables real-time monitoring of core parameters, abnormality alerts, and fault traceability for hot rolling equipment. This provides technical support for transitioning equipment maintenance from "reactive repair" to "proactive maintenance." Combining the operational characteristics of hot rolling equipment, this paper elaborates on the core architecture and key technologies of the online monitoring system. Through practical application cases, it validates system performance, analyzes existing issues, and proposes optimization directions, offering references for intelligent operation and maintenance upgrades in the aluminum processing industry.

Keywords

hot rolling equipment; online monitoring system; intelligent operation and maintenance; fault warning

铝加工热轧设备在线监测系统应用研究

马金伟

河南中孚高精铝材有限公司, 中国·河南 巩义 451200

摘要

热轧设备作为高端铝合金材料生产的核心装备,其运行稳定性直接决定产品质量、生产效率及运维成本。传统依赖人工巡检的运维模式存在响应滞后、故障预判能力弱、人力成本高的痛点,难以适配现代化铝加工企业的智能化生产需求。在线监测系统基于数据采集、智能分析与可视化技术,实现对热轧设备核心参数的实时监控、异常预警及故障溯源,为设备运维从“被动维修”向“主动维护”转型提供技术支撑。本文结合热轧设备的工作特性,阐述在线监测系统的核心架构与关键技术,通过实际应用案例验证系统效能,分析当前应用中的问题并提出优化方向,为铝加工行业热轧设备智能化运维升级提供参考。

关键词

热轧设备; 在线监测系统; 智能运维; 故障预警

1 引言

随着航空航天、交通运输等高端制造领域对铝合金材料性能要求的不断提升,铝加工企业逐步向高精度、高效率、低能耗的智能化生产模式转型。热轧工序作为铝加工的核心环节,承担着将铸锭轧制成符合规格的中厚板、卷材等半成品的任务,其设备运行状态直接影响铝合金材料的晶粒组织、厚度精度、表面质量等关键指标。热轧设备结构复杂、运行负荷大,涵盖轧机本体、传动系统、液压系统等多个子系统,长期在高温、高压、高负荷工况下运行,易出现轴承

磨损、齿轮疲劳、液压泄漏等故障,不仅可能导致非计划停机,造成数十万至数百万元的经济损失,还可能影响产品质量稳定性,制约企业订单交付能力。

传统运维模式以定期人工巡检为主,需安排多班次人员对设备进行巡查记录,不仅耗费大量人力成本,且难以实现对核心运行参数的连续监测,故障预警滞后、预判精度低,往往在故障发生后才被动处置。近年来,随着人工智能、数字孪生、工业互联网等技术的快速发展,在线监测系统在热轧设备中逐步推广应用,通过对轴承、齿轮、联轴器和电机温度、振动和声音频谱等设备运行状态核心参数的实时采集与智能分析,实现故障早发现、早诊断、早处置,有效提升设备运维效率与生产稳定性。本文基于当前铝加工行业在线监测技术的应用现状,深入探讨系统的架构设计、应用实践

【作者简介】马金伟(1984-),男,中国河南新乡人,本科,工程师,从事机械/设备工程研究。

及优化策略,为行业技术升级提供理论与实践支撑。

2 热轧设备在线监测系统核心架构与关键技术

热轧设备在线监测系统以“数据采集-数据治理-智能分析-场景应用”为核心逻辑,构建“数据-模型-场景”三位一体的技术架构,实现对设备全生命周期运行状态的精准管控。系统整体分为感知层、传输层、数据层、分析层与应用层五个部分,各层级协同联动,确保监测数据的实时性、准确性与可用性。

2.1 系统核心架构

2.1.1 感知层

感知层作为数据采集的前端基础,负责对热轧设备运行过程中的核心参数进行全面捕捉,是系统实现精准监测的前提。针对热轧设备的工况特点,感知层需部署多种类型的传感器,覆盖轧机本体、传动系统、液压系统、冷却系统等关键部位。具体包括:在轧辊轴承、电机轴承处部署温度传感器,实时监测轴承温度变化,预判磨损与润滑故障;在轧机机架部署压力传感器,采集轧制力、液压系统压力参数,分析设备受力稳定性;通过位移传感器监测辊缝值、轧机牌坊变形量,保障轧制精度;借助振动传感器采集电机、轧辊的振动信号,识别设备不平衡、松动等异常;同时搭配厚度传感器、温度传感器,同步采集轧制件的厚度偏差、表面温度等参数,实现设备运行与产品质量的联动监测。传感器选型需满足高温、高压、强振动的工况要求,确保数据采集的稳定性与可靠性。

2.1.2 传输层

传输层承担感知层数据向数据层的传输任务,需解决多源数据的实时传输、抗干扰及安全加密问题。结合热轧车间的复杂环境,传输层采用“有线+无线”融合的传输方式:对于轧机主机等固定设备的关键参数,通过工业以太网(如Profinet、EtherNet/IP)进行有线传输,保障数据传输的稳定性与低延迟;对于移动部件或布线困难区域,采用5G、工业WiFi等无线传输技术,实现数据的灵活采集。同时,通过边缘计算节点对采集到的原始数据进行预处理,过滤噪声数据、补全缺失数据,减少数据传输量与后续处理压力;采用加密传输协议与访问控制机制,防止数据泄露与篡改,保障工业数据安全。

2.1.3 数据层

数据层是系统的数据存储与治理中心,负责整合多源监测数据,形成标准化、规范化的数据资源池。首先通过数据治理模块对传输过来的原始数据进行清洗、转换、整合,剔除异常数据、统一数据格式,建立涵盖设备运行数据、故障记录、维护日志、工艺参数等多维度的数据库;采用时序数据库(如InfluxDB、TimescaleDB)存储海量实时监测数据,保障数据的高效写入与查询;同时构建数据字典与元数据管理体系,明确数据来源、格式、含义及关联关系,为后续智

能分析提供高质量数据支撑。此外,数据层需实现与企业智慧制造系统、设备管理系统(CMMS)的对接,打破数据孤岛,实现生产全流程数据的协同共享。

2.1.4 分析层

分析层是系统的核心智能引擎,基于大数据分析 with 人工智能算法,挖掘数据背后的设备运行规律,实现异常预警与故障诊断。结合热轧设备的故障特性,分析层采用“传统算法+大模型”的融合分析模式:一方面,通过阈值分析、趋势分析、频谱分析等传统算法,对轴承温度、轧制力、振动信号等核心参数进行实时监测,当参数超出设定阈值或出现异常变化趋势时,触发初级预警;另一方面,基于行业大模型底座,输入设备历史运行数据、故障记录、维护日志等海量数据进行模型训练,构建适配铝加工行业特性的设备健康预测智能体,掌握参数变化与故障类型、发生时间的关联规律,实现故障的精准预判与根因分析,甚至提供针对性的维护方案。例如,通过深度学习算法对振动信号进行特征提取,可精准识别轴承早期磨损、轧辊不平衡等潜在故障,避免故障扩大化。

2.1.5 应用层

应用层面向设备运维、生产管理等不同岗位需求,提供可视化监控、异常预警、故障管理、维护计划优化等多元化应用服务。通过数字孪生技术构建热轧设备三维可视化模型,直观呈现设备结构、运行状态及核心参数变化,实现生产流程从“黑箱操作”向“透明管控”转变;当系统检测到异常时,通过声光报警、短信、协同办公软件推送等方式,及时向运维人员发送预警信息,明确异常位置、等级及处置建议;建立故障管理模块,记录故障发生时间、原因、处置过程及结果,形成故障知识库,为后续故障处置提供参考;结合监测数据与设备健康状态,优化维护计划,实现从“定期维护”向“按需维护”转型,降低运维成本^[1]。

2.2 关键支撑技术

数字孪生技术:通过构建与物理设备1:1对应的数字模型,整合实时监测数据与工艺数据,实现设备运行状态的虚拟仿真与可视化管控,支持故障模拟推演、维护方案预演等功能,为运维决策提供直观支撑。例如,图扑HT低代码数字孪生系统可实现铝材加工全流程的三维可视化监控,运维人员通过界面可直观查看立推炉温度分布、轧机运行状态等关键信息,快速定位异常设备^[2]。

人工智能与大数据分析技术:作为系统智能分析的核心,通过深度学习、机器学习算法对海量监测数据进行挖掘分析,突破传统人工经验判断的局限,提升故障预判精度与响应效率。南南铝加工通过阿南大模型训练,实现了对热轧机故障类型、发生时间的精准预判,显著提升了设备运维的主动性。

工业传感器技术:高性能传感器是保障监测数据准确性的基础,针对热轧设备的高温、高压工况,需采用耐高温、

抗振动、精度高的工业级传感器,确保在恶劣环境下持续稳定采集数据,为后续分析提供可靠依据。

3 热轧设备在线监测系统应用实践——以南铝加工为例

广西南铝加工有限公司拥有年产20万吨航空交通高端铝合金新材料项目,其热轧中厚板生产线是企业核心生产环节。其基于“数据-模型-场景”三位一体理念,部署热轧机健康智能监测系统,具体实施路径如下:一是数据整合与治理,打通企业智慧制造系统平台,整合生产全流程实时数据与第三方设备运维数据,建立标准化数据池,涵盖过去5年的设备运行历史数据、故障记录、维护日志等海量信息;二是模型构建与训练,将高质量数据输入模型进行训练,搭建适配铝加工行业特性的模型底座,孵化设备健康预测智能体,重点聚焦轧制力、厚度偏差、辊缝值、轴承温度等核心参数,挖掘参数变化与故障的关联规律;三是场景落地应用,通过智能体实时监测热轧机运行参数,实现异常预警、故障预判及维护方案推荐,同时对接数字孪生可视化平台,实现设备运行状态的全方位管控^[1]。

该在线监测系统上线后,应用成效显著:一是非计划停机时长环比降低20%,有效减少了停机带来的生产损失,保障了订单按期交付,订单按期交付率提升7%;二是运维效率大幅提升,维护工程师从接收故障到完成处置的平均时间从45分钟缩减至30分钟,故障处置精准度显著提高;三是运维成本有效下降,通过精准预判故障与优化维护计划,预计备件库存可下降15%左右,同时延长了设备使用寿命,降低了维护人力成本与备件消耗;四是产品质量稳定性提升,通过实时监测轧制力、辊缝值等参数,及时调整设备运行状态,减少了因设备故障导致的产品质量缺陷,提升了高端铝合金材料的生产一致性^[1]。

4 热轧设备在线监测系统应用中的问题与优化方向

4.1 现存问题

系统适配性不足:部分在线监测系统为通用型设备监测方案,未充分结合热轧设备的工况特性与故障规律,导致监测参数针对性不强、故障预判精度有限,难以满足高端铝加工的精细化运维需求。

数据融合与利用不充分:部分企业虽部署了监测系统,但存在数据孤岛问题,监测数据与生产工艺数据、设备管理数据未有效融合,且缺乏对海量数据的深度挖掘能力,数据价值未充分发挥。

运维人员技能不匹配:在线监测系统的高效运行需要运维人员具备数据解读、智能设备操作、故障分析等综合能力,而传统运维人员多擅长设备维修,缺乏智能化技术能力,制约了系统功能的充分落地。

成本投入与性价比平衡难题:高端在线监测系统的传感器、边缘计算节点、软件平台等硬件与软件投入较高,部分中小型铝加工企业难以承担,且存在投入与实际效益失衡的顾虑,影响技术推广速度。

4.2 优化方向

打造定制化方案:结合热轧设备的高温、高压、高负荷工况特点,针对性优化监测参数体系与算法模型,增加对铝合金材料性能关联参数的监测,提升系统适配性与预判精度,开发符合不同规模企业需求的轻量化、定制化系统版本^[4]。

深化数据融合与智能分析:打破数据孤岛,推动在线监测系统与企业ERP、MES、CMMS等系统的深度融合,实现生产、运维、管理数据的协同共享;引入更先进的人工智能算法,加强对多源数据的交叉分析,挖掘设备运行与产品质量、能耗的关联关系,为生产优化提供数据支撑。

加强运维人员技能培训:构建“技术培训+实践操作”的复合型人才培养体系,定期开展在线监测系统操作、数据解读、智能故障诊断等专项培训,邀请技术专家现场指导,提升运维人员的智能化技术能力;建立技能考核与激励机制,鼓励运维人员主动学习新技术、新方法,适应智能化运维需求。

优化成本与效益平衡:对于中小型企业,推广模块化、可扩展的在线监测系统,允许企业根据自身需求分阶段部署,降低初始投入成本;通过案例示范、政策扶持等方式,引导企业认识在线监测系统的长期效益,同时推动技术迭代与规模化应用,降低系统整体部署成本。

5 结语

热轧设备在线监测系统通过整合感知技术、人工智能、数字孪生等先进技术,有效解决了传统运维模式的痛点,实现了设备运行状态的实时监测、异常预警与精准运维,对提升铝加工企业的生产稳定性、产品质量与运维效率,降低运维成本具有重要意义。未来,随着工业4.0技术的持续迭代,热轧设备在线监测系统将向更智能、更集成、更绿色的方向发展。相信随着技术的不断成熟与推广,在线监测系统将成为热轧设备运维的标配,为行业高质量发展提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1] 广西壮族自治区工业和信息化厅. “AI+制造”典型应用场景|南铝热轧机健康智能监测[EB/OL]. 2026-01-22.
- [2] 数字孪生小图. 低代码数字孪生铝材加工 SCADA 组态可视化监控[EB/OL]. 2025-09-10.
- [3] 王健,李刚. 工业设备在线监测技术及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2024.
- [4] 张敏,刘军. 铝加工设备智能化运维研究进展[J]. 轻合金加工技术, 2025, 43(5): 1-6.