

轧钢机械设备运行监测与维护分析

马俊

安阳钢铁建设有限责任公司 河南 安阳 455000

摘要: 轧钢机械设备是钢铁生产核心,其运行状态影响质量、效率与成本。本文先介绍轧钢设备工作原理与重要性,接着分析机械、液压系统、电气故障及故障链式反应等典型故障类型。随后阐述在线、离线监测技术及数据融合与智能分析方法构成的运行监测技术体系。最后剖析传统维护模式局限,提出预测性维护实施路径,并进行维护成本-效益分析,为轧钢设备稳定运行与维护优化提供理论支撑。

关键词: 轧钢机械; 运行监测; 维护分析

引言:在钢铁生产领域,轧钢机械设备作为核心装备,其稳定运行是保障生产质量、效率与成本控制的关键。然而复杂的运行环境与高强度作业,使设备面临机械、液压、电气等多类故障风险,且故障可能引发链式反应,造成严重损失。传统维护模式已难以满足需求,而先进的运行监测技术与科学的维护策略成为破局关键。本文将深入剖析轧钢设备故障类型,构建监测技术体系,并提出优化维护策略。

1 轧钢机械设备概述

1.1 轧钢机械设备的工作原理

轧钢机械设备核心是靠旋转轧辊对金属坯料施压,使其塑性变形以获钢材。过程含坯料加热、轧制变形、冷却定型等环节,不同设备依产品需求采用不同轧制方式。热轧设备将坯料加热到再结晶温度以上,经多道次轧制减小断面尺寸;冷轧设备在常温下轧制热轧后的钢材,提升精度与表面质量。轧制时,轧辊转速、压力等参数要依金属材质、产品规格精准调控,配合输送、矫直、剪切等辅助设备,形成连续稳定流程,确保钢材各项指标达标。

1.2 轧钢机械设备在生产中的重要性

轧钢机械设备是钢铁生产核心,关乎钢材质量、效率与成本。质量上,轧制精度影响断面尺寸等关键指标,高精度设备可满足高端领域需求;效率上,现代化设备借助连续轧制与自动化控制,实现连续生产,缩短周期,日产量可达数千吨;成本上,稳定运行可减少坯料浪费、降低能耗人工成本,减少停机时间^[1]。此外,其技术水平反映企业核心竞争力,先进设备能灵活生产多品种小批量产品,适应市场多样化需求,推动钢铁行业高端化、智能化转型。

2 轧钢机械设备典型故障类型

2.1 机械故障

机械故障是轧钢机械设备最常见的故障类型,主要集中在轧辊、轴承、齿轮、联轴器等关键传动部件。轧辊故障表现为磨损、裂纹、剥落等,由于轧制过程中承受巨大压力和摩擦力,轧辊表面易出现疲劳损伤,若未及时处理会导致钢材表面质量下降。轴承故障多由润滑不良、负载过大或安装偏差引起,表现为温度升高、振动异常和异响,严重时会造成轴承卡死,导致设备停机。齿轮故障主要包括齿面磨损、断齿、齿面胶合等,轧钢设备的齿轮传动系统传递功率大,若润滑失效或装配精度不足,易引发齿轮啮合不良,进而导致传动失效。联轴器故障常表现为连接松动、弹性元件损坏,会造成传动不稳定,产生冲击载荷,加剧其他部件的损坏,机械故障不仅影响生产连续性,还可能引发连锁损伤,增加维修成本。

2.2 液压系统故障

液压系统作为轧钢机械设备的动力传递核心,故障发生率较高且隐蔽性强,主要包括泄漏、压力异常、执行机构动作失灵等。泄漏故障分为内泄漏和外泄漏,外泄漏多由密封件老化、接头松动或管道破损引起,不仅造成液压油浪费,还污染环境;内泄漏发生在液压缸、液压阀内部,导致系统压力损失,降低执行机构输出力。压力异常表现为系统压力过高或过低,压力过高可能由溢流阀堵塞、负载过大引起,易损坏液压泵和管道;压力过低则多因液压泵磨损、油路堵塞或泄漏导致,造成轧辊压力不足,影响轧制精度。执行机构动作失灵主要由液压阀卡滞、液压缸磨损或液压油污染引起,如轧辊升降迟缓、定位不准,直接影响轧制过程的稳定性。液压系统故障会导致设备运行精度下降,甚至引发停机,需加强油液污染控制和密封件维护^[2]。

2.3 电气故障

电气故障涉及轧钢机械设备的控制系统、驱动系统

和检测系统,对设备运行的稳定性和安全性影响重大。控制系统故障主要表现为PLC程序异常、控制器故障或人机界面失灵,会导致设备动作紊乱,如轧制节奏混乱、轧辊参数失控,无法正常完成轧制流程。驱动系统故障集中在电机和变频器,电机故障包括绕组烧毁、轴承损坏、转子断条等,多由过载、绝缘老化或冷却不良引起;变频器故障常因电源波动、散热不足或参数设置错误导致,表现为电机启动失败、转速不稳定。检测系统故障主要是传感器失效,如压力传感器、温度传感器、位移传感器损坏,会导致控制系统无法获取准确的运行参数,进而引发控制偏差,导致产品质量不合格。电气故障具有传播速度快的特点,若未及时处理,可能引发设备停机或安全事故,需加强电气元件的定期检测。

2.4 故障链式反应

轧钢机械设备的故障链式反应是指某一部位的初始故障未及时处理,通过系统关联引发多个部件相继失效的现象,具有传播速度快、损失严重的特点。典型案例为轴承润滑不良引发的链式反应:轴承因润滑不足出现温度升高,导致轴承间隙变小,传动阻力增大,进而引发齿轮啮合精度下降,齿面磨损加剧;齿轮磨损会造成传动系统振动异常,振动传递至轧辊,导致轧辊径向跳动增大,轧制的钢材出现尺寸偏差;同时,振动还会影响液压系统的密封件,引发液压泄漏,系统压力下降,进一步降低轧辊压力控制精度;最终,电气系统的传感器受振动影响出现检测误差,控制系统发出错误指令,导致设备全面停机。故障链式反应会扩大故障影响范围,增加维修难度和成本,延长停机时间,因此需建立早期故障预警机制,切断故障传播路径。

3 轧钢设备运行监测技术体系

3.1 在线监测技术

在线监测技术作为轧钢设备实时状态监控的核心手段,正发挥着愈发关键的作用。它通过在轧钢设备的关键部件上精准安装各类传感器,达成对运行参数的连续、高效采集、传输与深度分析。在轧辊系统方面,安装的振动传感器和温度传感器时刻坚守岗位。振动传感器能精确捕捉轧辊的振动频率和振幅,温度传感器则实时感知轧辊表面温度。一旦这些参数超出预先设定的安全阈值,系统会立即发出预警,如同敏锐的哨兵,提前预防轧辊出现裂纹和剥落等严重问题,保障轧制过程的稳定。轴承部位采用超声波传感器与温度传感器组合监测。超声波传感器凭借其独特的技术优势,可检测轴承内部间隙的细微变化,而温度传感器则密切关注温升情况。二者协同工作,能及时发现轴承磨损和润滑不良等

潜在隐患,为轴承的健康运行保驾护航。液压系统通过压力传感器、流量传感器和油液污染度传感器,对系统压力、流量变化以及油液中颗粒含量进行实时监测。一旦发现异常,便能及时预警泄漏和油液变质等故障,避免因液压系统故障导致的生产中断。电气系统则利用电流传感器、电压传感器监测电机和变频器的运行参数,配合PLC系统的故障诊断模块,快速准确地发现电气元件的异常情况。在线监测技术实现故障的早期预警,有效减少突发停机时间,为轧钢设备的预测性维护提供坚实的数据支撑,助力企业提升生产效率、降低维护成本。

3.2 离线监测技术

离线监测技术是在线监测的重要补充,针对设备停机检修阶段开展专项检测,弥补在线监测的盲区。主要技术手段包括油液分析、振动分析、无损检测和精度检测等。油液分析通过采集液压油、润滑油样本,利用光谱分析和铁谱分析技术,检测油液中的金属颗粒含量、水分含量和粘度变化,判断液压泵、轴承、齿轮等运动部件的磨损程度,提前识别潜在故障^[3]。振动分析在设备停机后,采用便携式振动分析仪对传动系统进行多点检测,通过频谱分析识别齿轮啮合不良、联轴器不对中、轴承损伤等问题,精准定位故障部位。无损检测针对轧辊、机架等关键结构件,采用超声波检测和磁粉检测技术,检测内部裂纹和表面缺陷,避免结构件因疲劳损伤引发重大故障。精度检测通过激光干涉仪、百分表等仪器,检测轧辊的圆度、平行度和定位精度,以及传动系统的间隙,确保设备装配精度符合要求。离线监测技术为设备检修提供精准依据,提高维修质量和效率。

3.3 数据融合与智能分析方法

数据融合与智能分析方法是提升轧钢设备监测精度的关键,通过整合在线和离线监测数据,利用智能算法实现故障精准诊断和趋势预测。数据融合环节采用多源数据融合技术,将振动、温度、压力、油液指标等不同类型数据进行标准化处理,消除数据冗余和误差,提取反映设备状态的关键特征参数。智能分析方法主要包括机器学习、深度学习和专家系统等。机器学习算法如支持向量机、随机森林,通过训练历史故障数据模型,实现对设备当前状态的分类识别,判断是否存在故障及故障类型。深度学习中的卷积神经网络和循环神经网络,可处理海量时序监测数据,捕捉数据中的隐含规律,实现故障早期预测,如通过分析轧辊振动时序数据,预测未来一段时间内轧辊的磨损趋势。专家系统整合轧钢设备维修专家的经验知识,建立故障诊断规则库,当监测数据触发规则时,快速给出故障原因和维修建议。数据

融合与智能分析实现从“被动监测”到“主动预测”的转变，提升设备维护的智能化水平。

4 轧钢设备维护策略与优化

4.1 传统维护模式局限性分析

轧钢设备传统维护模式主要包括事后维修和定期预防维修，两种模式均存在明显局限性，难以适应现代化生产需求。事后维修是在设备发生故障后再进行维修，这种模式的弊端在于故障发生具有突发性，会导致非计划停机，打乱生产节奏，尤其轧钢生产线连续运行特性，单次停机可能造成数小时甚至数天的生产损失。同时，故障发生后往往伴随多个部件连锁损坏，增加维修成本和维修时间。定期预防维修根据设备运行时间制定固定维修周期，无论设备实际状态如何均进行检修，这种模式易导致“过度维修”和“维修不足”问题。过度维修会造成备件浪费和人工成本增加，如对状态良好的轴承进行更换；维修不足则因周期设置不合理，无法及时发现潜在故障，仍可能引发突发停机。此外，传统维护模式依赖维修人员经验判断，诊断故障准确性低，维修质量不稳定，难以适应复杂轧钢设备的维护需求，制约设备利用率和生产效益提升。

4.2 预测性维护（PdM）实施路径

预测性维护是基于设备运行状态的现代化维护模式，其实施路径主要包括数据采集、模型构建、预警诊断和维修执行四个阶段。数据采集阶段搭建多源监测系统，整合在线和离线监测数据，包括振动、温度、压力、油液指标、电气参数等，通过工业互联网平台实现数据实时传输和存储。模型构建阶段利用历史监测数据和故障记录，训练智能分析模型，如机器学习模型和深度学习模型，建立设备正常运行的参数阈值范围和故障特征库，实现对设备状态的精准评估。预警诊断阶段通过实时监测数据与模型的对比分析，当发现参数异常或出现故障特征时，立即发出预警信号，明确故障部位、原因和严重程度，并推送维修建议。维修执行阶段根据预警信息制定个性化维修计划，调配备件和维修人员，在设备发生故障前开展针对性维修，避免非计划停机^[4]。同时，建立维修效果评估机制，将维修后设备运行数据反馈至模型，持续优化模型精度，形成“监测-诊断-维

修-优化”的闭环管理。

4.3 维护成本-效益分析

轧钢设备维护的成本-效益分析需从成本控制和效益提升两方面展开，对比传统维护模式与预测性维护模式的差异，凸显优化维护策略的价值。成本控制方面，传统维护模式的成本主要包括非计划停机损失、过度维修的备件浪费和人工成本，其中非计划停机损失占比最高，单次停机可能造成数十万元的产量损失。预测性维护通过早期故障预警，减少非计划停机时间，据统计可降低停机损失30%-50%；同时，针对性维修避免过度维修，减少备件消耗和人工成本，备件库存可降低20%-30%。效益提升方面，预测性维护能延长设备使用寿命，如轧辊使用寿命可提升15%-20%，轴承、齿轮等关键部件寿命提升10%-15%；设备利用率提升5%-10%，生产效率显著提高。预测性维护可提升产品质量，减少因设备故障导致的不合格品率，降低返工成本。以中型轧钢生产线为例，实施预测性维护后，年维护成本可降低20%-30%，年新增效益可达数百万元，投入产出比高达1:5-1:8，长期来看能显著提升企业盈利能力和市场竞争力。

结束语

轧钢机械设备运行监测与维护对钢铁生产意义重大。通过对其故障类型、监测技术及维护策略的深入研究，可有效降低设备故障率，提升生产效率与产品质量。预测性维护模式凭借其精准性、前瞻性，展现出巨大优势，能显著降低维护成本、提升效益。未来，随着技术发展，应持续优化监测技术与维护策略，推动轧钢设备向智能化、高效化迈进，助力钢铁行业高质量发展。

参考文献

- [1] 醴亚辉. 轧钢机械设备运行监测与维护分析[J]. 中国金属通报, 2021(20): 94-95.
- [2] 姚京书. 轧钢机械设备运行监测与维护分析[J]. 山西冶金, 2022, 45(9): 197-199.
- [3] 冯寅铠, 聂睿, 刘贝, 等. 轧钢生产线设备智能监测系统技术方案总体设计[J]. 冶金设备管理与维修, 2024, 42(4): 68-70.
- [4] 李洪波. 轧钢机械设备故障诊断中数据监测技术的运用与思考[J]. 山西冶金, 2023, 46(2): 182-184.