

冶金设备液压系统故障诊断技术及可靠性提升研究

李君¹ 张庆贺¹ 李岭音²

1 宁波钢铁有限公司 2 宁波百诺科技服务有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19271

[摘要] 本文聚焦冶金设备液压系统,阐述其主要故障模式,涵盖液压泵、液压缸与马达、液压油及辅助元件故障。介绍基于模型、信号处理、数据驱动的故障诊断技术,并分析适配性。提出可靠性提升策略,包括预防性运维、结构与元件优化、油液质量管控、工况防护、运维管理规范化等,旨在降低故障率,保障冶金设备液压系统稳定运行,提升生产效率。

[关键词] 冶金设备; 液压系统; 故障诊断技术; 可靠性提升

中图分类号: TF307 **文献标识码:** A

Fault Diagnosis Technology and Reliability Improvement Research for Hydraulic Systems of Metallurgical Equipment

Jun Li¹ Qinghe Zhang² Lingyin Li²

1 Ningbo Iron and Steel Co., Ltd. 2 Ningbo Bainuo Technology Service Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the hydraulic systems of metallurgical equipment, elaborating on their main failure modes, including failures of hydraulic pumps, hydraulic cylinders and motors, hydraulic oil, and auxiliary components. It introduces fault diagnosis technologies based on models, signal processing, and data-driven methods, and analyzes their adaptability. Reliability improvement strategies are proposed, including preventive operation and maintenance, structure and component optimization, oil quality control, working condition protection, and standardization of operation and maintenance management, aiming to reduce failure rates, ensure stable operation of hydraulic systems in metallurgical equipment, and improve production efficiency.

[Key words] metallurgical equipment; hydraulic system; fault diagnosis technology; reliability improvement

引言

冶金设备液压系统对冶金生产至关重要,其稳定运行直接影响生产效率与产品质量。然而,该系统长期处于高负荷、高温、粉尘多的恶劣工况,易出现各类故障,导致设备停机,造成重大生产损失。因此,深入研究冶金设备液压系统故障诊断技术,提升其可靠性,成为保障冶金生产顺利进行的关键。本文将围绕故障模式、诊断技术及可靠性提升策略展开探讨。

1 冶金设备液压系统主要故障模式

1.1 液压泵故障

液压泵作为冶金设备液压系统的“心脏”,其故障直接影响整个系统的运行稳定性,是最常见的故障类型之一。冶金生产中,液压泵长期处于高负荷、高温、粉尘多的恶劣工况,易出现多种故障。常见故障包括泵体泄漏、流量不足、压力不稳定、异常振动与噪声等。泄漏多因密封件老化、磨损或泵体铸件缺陷导致,不仅造成液压油浪费,还会降低系统压力;流量不足主要源于叶片磨损、转子卡死、吸油管路堵塞或漏气,导致系统执行元件动作迟缓;压力不稳定多由泵内零件磨损、调压机构失效引

起,影响设备加工精度和作业效率;异常振动与噪声则可能是由于轴承损坏、转子不平衡或油液中混入空气,长期运行会加剧泵体磨损,甚至导致泵体损坏,严重时引发整个液压系统停机,造成重大生产损失^[1]。

1.2 液压缸与液压马达故障

液压缸与液压马达是液压系统的执行元件,负责将液压能转化为机械能,驱动冶金设备完成升降、伸缩、旋转等动作,其故障直接影响设备的作业能力。液压缸常见故障有泄漏、活塞卡死、活塞杆弯曲或磨损、密封件损坏等。泄漏会导致液压缸动作迟缓、推力不足,无法满足冶金生产的负荷要求;活塞卡死多因缸体内壁磨损、划伤或油液杂质过多,导致活塞无法正常移动,甚至造成缸体损坏;活塞杆弯曲或磨损会影响运动精度,还可能导致密封件损坏加剧泄漏;液压马达常见故障有转速不足、转矩不够、异常噪声、泄漏等,转速和转矩不足会导致设备运行速度慢、动力不足,无法完成生产任务,异常噪声多由轴承磨损、转子损坏或油液污染引起,长期运行会缩短马达使用寿命,甚至导致马达报废,影响冶金生产的连续性。

1.3 液压油与辅助元件故障

液压油是液压系统的“血液”，辅助元件是系统正常运行的保障，二者故障虽不如液压泵、液压阀故障直接明显，但会间接引发一系列系统问题，且故障隐患易被忽视。液压油常见问题有污染、老化、粘度异常等，污染是最主要的问题，冶金生产中粉尘、金属碎屑、水分等易混入油液，导致油液变质，加剧元件磨损，堵塞管路和阀口；油液老化会降低其润滑、冷却和密封性能，导致系统能耗增加、元件损坏；粘度异常则会影响液压油的流动性能，导致系统压力和流量不稳定。辅助元件故障主要包括过滤器堵塞、冷却器失效、蓄能器损坏、管路破损等，过滤器堵塞会导致油液净化效果下降，加剧污染；冷却器失效会使液压油温度过高，加速油液老化和元件磨损；蓄能器损坏无法稳定系统压力，管路破损会导致油液泄漏，这些故障都会影响液压系统的正常运行，甚至引发连锁故障。

2 液压系统故障诊断技术方法

2.1 基于模型的故障诊断方法

基于模型的故障诊断方法是通过建立液压系统的数学模型，结合系统实际运行数据与模型预测数据的偏差，实现故障定位与识别，是冶金设备液压系统故障诊断的经典方法之一。该方法的核心是构建精准的系统模型，包括液压泵、液压阀、液压缸等元件的数学模型，以及整个系统的耦合模型，通过机理分析明确系统输入与输出之间的关系。在实际应用中，首先通过仿真计算得到模型的预测输出，再与传感器采集的实际运行数据进行对比，计算偏差值，当偏差超过设定阈值时，判定系统存在故障，并通过偏差分析定位故障部位和故障类型^[2]。该方法诊断精度高、可提前预测潜在故障，适用于结构明确、机理清晰的液压系统，但对模型构建的专业性要求较高，需要充分掌握液压系统的工作原理和参数，且当系统结构复杂、工况多变时，模型构建难度大，诊断效率会受到影响。

2.2 基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的故障诊断方法是通过采集液压系统运行过程中的各类信号，如压力信号、流量信号、振动信号、噪声信号等，运用信号处理技术对信号进行分析、提取故障特征，进而实现故障诊断，是目前冶金设备液压系统故障诊断中应用最广泛的方法。该方法无需构建复杂的数学模型，仅需通过传感器采集信号，再采用傅里叶变换、小波变换、时域分析等技术，对信号进行去噪、滤波和特征提取，根据提取的故障特征（如异常频率、振幅变化等），识别故障类型和部位。例如，液压泵异常振动时，其振动信号的频率谱会出现特征峰值，通过分析峰值位置和幅值，可判断泵体磨损、轴承损坏等故障；液压阀卡滞时，压力信号会出现波动异常，通过时域分析可定位故障阀门。

2.3 基于数据驱动的故障诊断方法

基于数据驱动的故障诊断方法依托大数据技术，通过采集液压系统长期运行的海量数据，利用机器学习、深度学习等算法，建立故障诊断模型，实现故障的自动识别、分类和预测，是近年来冶金设备液压系统故障诊断的发展趋势。该方法无需依赖系

统机理知识，仅通过对历史故障数据、正常运行数据的训练，让模型自主学习故障特征与故障类型之间的关联，当系统出现异常时，模型可快速识别故障并给出诊断结果。常用的算法包括支持向量机、神经网络、随机森林等，适用于工况复杂、机理不明确的液压系统，能够处理多维度、非线性的运行数据，诊断效率和准确率较高。在冶金生产中，该方法可实现故障的实时监测和提前预警，减少非计划停机时间，但需要大量的历史数据作为支撑，且模型训练和优化需要专业的算法知识，初期投入成本较高。

2.4 诊断技术比较与适配性分析

不同的液压系统故障诊断技术各有优劣，适配于不同的冶金设备工况、系统结构和诊断需求，通过对比分析可明确各类技术的适用场景，为实际诊断工作提供参考。基于模型的诊断方法精度高、可预测潜在故障，但模型构建难度大，适配于结构简单、机理清晰、工况稳定的小型液压系统，如冶金辅助设备的液压系统。基于信号处理的诊断方法操作简便、实时性强，适配于工况复杂、需要实时监测的大型冶金设备，如轧机、连铸机的液压系统，可快速定位常见故障。基于数据驱动的诊断方法准确率高、可自动识别故障，适配于长期运行、积累了大量历史数据的复杂液压系统，适用于大规模冶金生产线的智能化诊断^[3]。多源信息融合诊断技术可靠性高、抗干扰能力强，适配于高负荷、高要求、故障影响大的核心冶金设备，如高炉、转炉的液压系统，可最大限度降低故障风险。实际应用中，需结合设备类型、工况条件、诊断成本等因素，选择单一诊断技术或组合应用多种技术，实现最优的诊断效果。

3 冶金设备液压系统可靠性提升策略

3.1 基于故障诊断的预防性运维策略

基于故障诊断的预防性运维策略是通过常态化故障监测和诊断，提前发现液压系统的潜在故障隐患，采取针对性的维护措施，避免故障扩大，从而提升系统可靠性，减少非计划停机。该策略以故障诊断技术为核心，建立完善的监测体系，在液压系统关键部位安装传感器，实时采集压力、流量、振动等运行数据，通过各类诊断方法分析数据，识别潜在故障。针对不同类型的故障隐患，制定分级维护方案，对于轻微隐患，及时进行参数调整、油液过滤等处理；对于严重隐患，提前停机检修，更换磨损元件，避免故障引发系统停机。建立故障档案，记录故障类型、部位、原因及处理方法，通过数据分析总结故障规律，优化维护周期和维护方案，实现“早发现、早诊断、早处理”。该策略可有效降低故障发生率，延长元件使用寿命，提高冶金设备液压系统的运行稳定性，保障生产连续性。

3.2 系统结构与元件优化策略

系统结构与元件优化是提升冶金设备液压系统可靠性的根本措施，通过优化系统设计、选用高性能元件，从源头减少故障隐患。在系统结构优化方面，结合冶金设备的作业需求，简化系统管路设计，减少管路弯头、接头数量，降低泄漏风险；合理设置溢流阀、蓄能器等元件的位置，优化液压油的流动路径，降低

系统压力损失和能耗;采用冗余设计,在关键部位设置备用元件,避免单一元件故障导致整个系统停机。在元件选用方面,优先选用符合冶金工况要求的高性能、高耐磨性、抗污染的液压元件,如耐腐蚀的液压泵、密封性能好的液压阀、高强度的液压缸等,避免因元件质量问题引发故障。同时对现有老旧系统进行升级改造,替换老化、落后的元件和结构,提升系统的整体性能和可靠性,适应冶金生产高负荷、高要求的运行需求。

3.3 油液质量全流程管控策略

油液质量是影响液压系统可靠性的关键因素,冶金生产中油液污染、老化等问题易加剧元件磨损,引发系统故障,因此需建立油液质量全流程管控策略,保障油液性能稳定。全流程管控涵盖油液选型、储存、加注、使用、更换等各个环节,在油液选型方面,根据冶金设备的工况的要求,选用粘度合适、抗磨损、抗老化、抗污染的液压油,避免选用不符合要求的油液;在储存和加注环节,做好油液的密封保存,防止粉尘、水分等杂质混入,加注时采用过滤装置,确保油液清洁度;在使用过程中,定期检测油液的粘度、清洁度、水分含量等指标,及时进行过滤、脱水处理,去除油液中的杂质;建立油液更换周期,根据油液检测结果和设备运行工况,及时更换老化、变质的油液,避免油液性能下降影响系统运行。

3.4 运行工况防护与抗干扰策略

冶金设备液压系统运行环境恶劣,高温、粉尘、振动、电磁干扰等因素均会影响系统可靠性,因此需采取针对性的工况防护和抗干扰措施,为系统运行提供良好的环境。在高温防护方面,优化冷却系统设计,选用高效冷却器,定期清理冷却管路,确保液压油温度控制在合理范围,避免高温导致油液老化、元件密封失效;在粉尘防护方面,对液压泵、液压阀等关键元件进行密封防护,设置防尘罩,定期清理设备表面和管路中的粉尘,防止粉尘进入系统内部;在振动防护方面,对液压系统的管路、元件进行固定和减震处理,选用抗振动的元件,减少振动对系统的影响;在电磁干扰防护方面,对控制电路进行屏蔽处理,避免电磁信号干扰液压阀、传感器等元件的正常工作,确保系统控制信号稳定。通过全方位的防护和抗干扰措施,可有效降低环境因素对

系统的影响,减少故障发生率^[4]。

3.5 运维管理规范化策略

运维管理规范化是保障液压系统可靠运行的重要保障,通过建立完善的运维管理制度、规范运维流程、提升运维人员专业水平,确保各项维护措施落实到位。首先,建立健全液压系统运维管理制度,明确运维职责、维护周期、维护内容和标准,规范故障处理流程,确保运维工作有章可循;其次,制定标准化的运维流程,包括日常巡检、定期维护、故障诊断、检修更换等环节,明确每个环节的操作规范和要求,避免因操作不当引发故障;再次,加强运维人员的专业培训,提升其对液压系统工作原理、故障诊断技术、维护方法的掌握程度,提高故障处理能力和应急处置能力;最后,建立运维考核机制,对运维工作进行监督和考核,激励运维人员认真履行职责,确保运维工作质量。通过规范化的运维管理,可有效提升维护效率和质量,减少人为因素导致的故障,保障冶金设备液压系统长期稳定运行。

4 结束语

冶金设备液压系统故障诊断技术与可靠性提升研究意义重大。通过明确主要故障模式,采用多种故障诊断技术,并依据不同工况选择适配方法,可精准定位故障。同时,实施预防性运维、优化系统结构与元件、管控油液质量、做好工况防护及规范运维管理等策略,能有效提升系统可靠性。未来,随着技术发展,应持续优化诊断方法与管理策略,推动冶金行业高质量发展。

[参考文献]

- [1]张海洋.冶金设备的常见故障及维修管理措施研究[J].冶金与材料,2024,44(12):178-180.
- [2]尹明胜.冶金机电设备中振动监测和故障诊断技术应用[J].新疆钢铁,2024(1):43-45.
- [3]李永健,张鸿倩.动力旋转设备故障诊断技术在钢铁冶金行业中的应用[J].冶金与材料,2025,45(12):82-84.
- [4]张富明.冶金机电设备中振动监测和故障诊断方法研究[J].中国金属通报,2025(23):165-167.