

油气润滑技术在重载条件下的性能研究

刘思源

安阳钢铁集团有限责任公司 河南 安阳 455000

摘要: 本文聚焦油气润滑技术在重载条件下的性能研究。阐述了其理论基础与重载工况特性,分析了油气参数及设备与工况因素对性能的影响。搭建实验平台并调试验证,提出基于实验结果的润滑参数优化、系统结构改进及新型润滑剂研发等性能优化策略,结合大型轧机轴承与矿山提升机齿轮箱应用案例,验证油气润滑技术可有效改善重载设备运行状况,提升其性能与可靠性。

关键词: 油气润滑技术;重载条件下;性能研究

1 油气润滑技术理论基础与重载工况特性

油气润滑技术融合了气液两相流输送与润滑原理,其核心在于精准调控压缩空气与润滑油的协同作用。压缩空气作为动力载体,推动润滑油在特定管道内流动,过程中因气液间速度差与界面张力,润滑油被细化成微小油滴,形成均匀气液两相流。到达润滑点后,油滴凭借表面张力铺展成薄油膜,将相对运动的摩擦表面有效分隔,大幅降低摩擦系数与磨损率。而且,压缩空气流动带走摩擦热,兼具冷却功效,维持设备适宜工作温度。重载工况下,设备运行环境严苛复杂。载荷方面,巨大外力使摩擦副接触应力剧增,微观凸峰易发生塑性变形,加剧磨损,还可能引发局部应力集中,威胁设备结构完整性^[1]。温度上,高载荷导致摩擦生热急剧增多,若热量无法及时散逸,润滑油粘度骤降,润滑效能打折,甚至氧化变质产生杂质,堵塞油路。重载引发的强烈振动与冲击,破坏油膜稳定性,导致油膜厚度不均或破裂,同时冲击载荷促使表面疲劳、微动磨损加速,严重影响设备使用寿命与运行精度,凸显油气润滑技术在重载领域应用的必要性与挑战性。

2 重载条件下油气润滑技术性能影响因素

2.1 油气参数影响

油气参数对油气润滑技术在重载条件下的性能有着至关重要的影响,供油量是影响润滑效果的关键因素之一,在重载工况下,摩擦副表面需要足够的润滑油来形成有效的油膜。如果供油量过小,油膜厚度不足,无法完全隔离摩擦表面,会导致磨损加剧。然而供油量也并非越大越好。过量的供油不仅会造成润滑油的浪费,还可能使多余的润滑油进入设备的非润滑部位,影响设备的正常运行。供气压力对油气润滑系统的性能有着多方面的影响,适当的供气压力能够保证润滑油在管道内的顺利输送,并将润滑油雾化成均匀的油滴。供气压力过

低时,润滑油的输送动力不足,可能导致润滑油在管道内沉积,无法到达润滑点。而供气压力过高,则会使油滴雾化过度,油滴粒径过小,不利于在摩擦副表面形成稳定的油膜。过高的供气压力还会增加系统的能耗和噪音。油气混合比是指压缩空气与润滑油的体积比例。合理的油气混合比能够确保润滑油在压缩空气中的均匀分布,提高润滑效果。如果油气混合比不当,可能会出现润滑油过多或过少的情况。当润滑油过多时,油滴容易聚集,形成较大的油滴团,影响润滑的均匀性;当润滑油过少时,则无法满足重载工况下的润滑需求。

2.2 设备与工况因素影响

除了油气参数外,设备与工况因素也会对重载条件下油气润滑技术的性能产生显著影响。设备的结构特点对油气润滑效果有着重要影响。如果润滑通道存在弯曲过多、直径过小等问题,会增加润滑油的流动阻力,导致润滑油供应不足。设备的密封性能也至关重要。良好的密封能够防止润滑油泄漏和外界杂质的侵入,保证润滑系统的正常运行。在重载工况下,设备的高温和振动可能会导致密封件老化、损坏,从而影响密封效果。工作环境也是影响油气润滑性能的重要因素之一,温度、湿度和粉尘等环境因素都会对润滑油和油气润滑系统产生不利影响。在高温环境下,润滑油的粘度会降低,润滑性能下降,同时还会加速润滑油的氧化变质。湿度过高会使润滑油中混入水分,导致润滑油乳化,失去润滑性能。粉尘等杂质进入润滑系统后,会磨损设备的摩擦副表面,加速设备的损坏。设备的运行速度和载荷变化也会对油气润滑技术产生影响^[2]。在高速重载工况下,摩擦副表面的相对运动速度加快,摩擦生热增加,对润滑油的冷却和润滑性能提出了更高的要求。同时载荷的频繁变化会使摩擦副表面的接触压力和摩擦状态发生改变,影响油膜的形成和稳定性。

3 重载条件下油气润滑实验平台搭建

3.1 实验平台总体设计

搭建重载条件下油气润滑实验平台的目的是为了深入研究油气润滑技术在重载工况下的性能,为实际工程应用提供理论依据和技术支持。实验平台主要由动力系统、润滑系统、加载系统、测试系统和控制系统组成。动力系统为实验平台提供运行动力,模拟设备的实际工作状态。润滑系统是实验平台的核心部分,负责实现油气润滑功能,包括油气混合装置、管道输送系统和润滑点等。加载系统用于模拟重载工况下的载荷条件,通过施加不同的载荷来研究油气润滑技术在不同载荷下的性能变化。测试系统用于实时监测和记录实验过程中的各种参数,如温度、压力、摩擦力矩等,为实验结果的分析提供数据支持。控制系统则对整个实验平台进行自动化控制,确保实验过程的准确性和可重复性。

3.2 关键部件选型与设计

在实验平台搭建过程中,关键部件的选型与设计至关重要,直接关系到实验结果的准确性和可靠性。对于油气混合装置,需要选择具有良好混合效果的设备。常见的油气混合装置有文丘里管式、喷雾式等。文丘里管式油气混合装置利用文丘里效应,使润滑油在压缩空气的高速流动下被吸入并混合,具有结构简单、混合均匀等优点。在设计油气混合装置时,需要考虑压缩空气和润滑油的流量、压力等参数,确保两者能够充分混合。润滑管道的选型和设计需要考虑润滑油的输送要求和系统的压力损失。管道的材质应具有良好的耐腐蚀性和耐磨性,以适应润滑油和压缩空气的输送。管道的直径和长度应根据润滑油的流量和流速进行合理选择,以减少压力损失,保证润滑油能够顺利到达润滑点。加载系统的选型需要根据实验所需的载荷范围和加载方式来确定。常见的加载设备有液压加载装置、机械加载装置等。液压加载装置具有加载力大、控制精度高等优点,适用于模拟重载工况。在设计加载系统时,需要考虑加载的稳定性和均匀性,避免对实验结果产生干扰。测试系统的传感器选型需要满足高精度、高可靠性的要求。测试系统的数据采集和处理设备应具备高速、稳定的数据采集能力和强大的数据处理功能,以便对实验数据进行及时、准确的分析。

3.3 实验平台调试与验证

实验平台搭建完成后,需要进行调试与验证,以确保其能够正常运行并满足实验要求。首先,对实验平台的各个连接部位进行密封性检查,确保无润滑油和压缩空气泄漏现象。然后,启动动力系统、润滑系统、加载

系统和测试系统,检查各部件的运行状态是否正常,有无异常噪音和振动。最后,对测试系统的传感器进行参数校准,保证测量数据的准确性。验证实验是通过实际运行实验平台,模拟重载工况下的油气润滑过程,对实验平台的性能进行评估。在验证实验中,需要设定不同的实验条件,如不同的供油量、供气压力、载荷等,记录实验过程中的各种参数,并与理论计算结果进行对比分析。通过验证实验,可以发现实验平台存在的问题,并及时进行调整和改进,确保实验平台能够准确地模拟重载工况下的油气润滑过程,为后续的研究提供可靠的数据支持。

4 油气润滑技术在重载条件下的性能优化

4.1 基于实验结果的润滑参数优化

通过对实验平台获取的数据进行分析,可以深入了解油气润滑技术在重载条件下的性能特点,并据此对润滑参数进行优化。根据实验结果,分析不同供油量、供气压力和油气混合比对润滑效果的影响规律。在实际应用中,可以根据设备的具体工况和润滑要求,在最佳参数范围内进行精确调整。还可以考虑采用智能控制算法对润滑参数进行实时优化。通过在设备上安装传感器,实时监测设备的运行状态和润滑部位的参数,如温度、振动等。利用智能控制算法根据监测数据自动调整润滑参数,使油气润滑系统能够始终处于最佳工作状态,提高润滑效果和设备的运行可靠性。

4.2 油气润滑系统结构改进

针对重载工况下油气润滑系统存在的问题,可以从系统结构方面进行改进。优化润滑通道的设计,减少管道的弯曲和阻力,提高润滑油的输送效率。可以采用更合理的管道布局和增大管道直径的方式,降低润滑油在管道内的压力损失。同时,在管道中设置适当的缓冲装置和过滤装置,减少润滑油的波动和杂质的进入,保证润滑油的清洁度^[3]。改进油气混合装置的结构,提高油气混合的均匀性和稳定性。还可以考虑在油气混合装置中增加流量调节装置,实现对供油量和供气压力的精确控制。

4.3 新型润滑剂研发与应用

研发适用于重载工况的新型润滑剂是提高油气润滑技术性能的重要途径。新型润滑剂应具有良好的高温稳定性、抗氧化性和抗磨性能,在高温重载条件下,润滑剂能够保持稳定的粘度和润滑性能,有效减少摩擦副的磨损。还可以研发具有自修复功能的润滑剂。这种润滑剂能够在摩擦副表面形成一层特殊的保护膜,当表面出现微小损伤时,保护膜能够自动修复,延长设备的使用寿命。环保型润滑剂的研发也是未来的发展方向,减少润

滑剂对环境的污染。

5 油气润滑技术在重载设备中的工程应用案例分析

5.1 案例一：矫直机轴承的油气润滑应用

某钢铁企业的大型矫直机长期处于重载运行状态，承受巨大矫直力，其关键传动部件——轴承，面临极高载荷与频繁摩擦的恶劣工况。在此条件下，轴承问题频发：轴承滚道和滚动体表面磨损痕迹显著，部分区域甚至剥落，工作辊及支撑辊表面由于轴承转动卡阻原因，经常造成辊面磨损，导致板材表面存在大量划痕。这些问题不仅致使设备频繁停机维修，平均每年因轴承故障停机达540分钟，而且造成极大的成本损失。为改善这一状况，企业对矫直机油气润滑系统进行改造。改造过程中，技术人员深入剖析矫直机实际工况，涵盖矫直速度、矫直力大小及工况温度等参数，同时结合轴承结构特点与润滑需求，对油气润滑系统参数展开细致优化调整。通过搭建模拟实验平台开展大量实验测试，最终确定合适的润滑参数：供油量为每小时1升，供气压力为0.4兆帕，以此确保轴承获得充分润滑与冷却。并针对递进式油气分配器的特性，定期对供油支路压力检测，判断油路是否存在堵塞。改造效果显著；经6个月连续运行检测，轴承磨损率大幅降低，滚道和滚动体磨损量仅为改造前的1/5；使用寿命从平均3个月延长至15个月，延长5倍；运行温度稳定在20-30℃，高温故障风险降低。设备停机维修时间大幅缩减，每年因轴承故障停机时间降至1小时以内，钢材表面质量显著提升。

5.2 案例二：矿山提升机齿轮箱的油气润滑应用

某矿山企业的提升机齿轮箱在重载、低速且冲击载荷大的恶劣工况下运行，承担矿石提升任务。其载荷变化频繁、冲击力强，齿轮箱承受扭矩高达50000牛·米。以往采用稀油循环润滑，但在重载与冲击载荷作用下，润滑油难以及时有效抵达齿轮啮合部位，致使齿轮箱问题频出。齿轮表面出现明显沟槽和麻点，点蚀面积超齿轮工作面积10%，严重影响正常啮合。设备故障因此频发，平均每月因齿轮箱故障停机达60小时，维护成本居高不下，年维护费高达80万元，且齿轮箱使用寿命仅约2

年。为改变这一状况，企业采用油气润滑技术对齿轮箱进行润滑改进。技术人员针对齿轮箱结构特点与工作条件，对油气润滑系统专门设计^[4]。一方面优化润滑通道布局，将润滑管道直径从10毫米增至15毫米，合理规划管道走向，减少弯头数量，确保润滑油均匀抵达各齿轮啮合部位；另一方面选用适合重载工况的新型润滑剂，该润滑剂具备优良的极压抗磨性能与高温稳定性，粘度指数超180，能在高温、重载环境下维持稳定润滑性能。应用油气润滑技术后，提升机齿轮箱运行稳定性显著提升。经1年运行监测，齿轮磨损与点蚀现象大幅减少，表面磨损深度仅为改进前的1/3，点蚀面积控制在2%以内。齿轮箱噪音从90分贝降至75分贝，振动幅度降低40%。设备维护成本大幅削减，年维护费降至30万元，降幅达62.5%，齿轮箱使用寿命延长至6年，延长3倍，有力保障矿山企业安全生产，显著提升经济效益。

结束语

油气润滑技术在重载条件下展现出显著优势，通过深入研究其理论基础、影响因素，搭建实验平台进行性能研究，并采取针对性的优化措施，可有效提升重载设备的润滑效果与运行可靠性。实际应用案例表明，该技术能大幅降低设备磨损、减少故障停机时间、延长使用寿命、降低维护成本。未来，应继续加强油气润滑技术研究，推动其在更多重载设备领域广泛应用，为工业生产的高效稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1]陈长业,李济顺,余永健,薛玉君.高速角接触球轴承油气润滑温升特性研究[J].机械设计与制造,2021(09):216-221+227.
- [2]张丽秀,屈鑫,吴玉厚,张日.油气润滑条件下电主轴轴承腔内多相流特性分析[J].机床与液压,2020,48(15):149-155.
- [3]袁彬彬,王优强,李玲玲等.重载条件下油气润滑轴承热-流体耦合分析[J].机械工程学报,2021,55(13):139-148.
- [4]姜旭东,郭瑞,朱新河等.重载滚动轴承油气润滑摩擦学性能实验研究[J].机械设计与制造,2018(08):17-20+24.