

海上平台吊机液压系统泄漏故障诊断技术

王乃利

中海石油(中国)有限公司上海分公司 上海 200000

【摘要】：海上平台吊机的液压系统对其安全稳定运行至关重要，然而泄漏故障频发影响作业。本文聚焦该系统泄漏故障诊断技术，深入剖析泄漏产生原因，全面介绍压力测试、油液分析、振动监测等诊断技术原理及应用。通过实际案例展现技术诊断成效，强调早期准确诊断对保障吊机正常运行、提高作业效率及安全性的关键作用，为海上平台吊机液压系统泄漏故障诊断提供有效参考。

【关键词】：海上平台吊机；液压系统；泄漏故障；诊断技术；故障分析

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.009

引言

海上平台吊机作为海洋工程关键装备，其液压系统承担着动力传输与执行重任。但因海上复杂恶劣环境，如高湿度、强腐蚀、大幅温度变化，及吊机频繁重载作业，液压系统易出现泄漏故障。泄漏不仅导致液压油浪费、环境污染，更可能引发吊机运行失常，造成严重安全事故与经济损失。开发高效准确的泄漏故障诊断技术，及时发现并处理泄漏问题，对保障海上平台吊机安全稳定运行、提升海洋工程作业效率意义重大。

1 海上平台吊机液压系统泄漏原因剖析

海洋环境的恶劣性是导致海上平台吊机液压系统密封件失效的关键因素。在高盐度海水环境中，密封件长期暴露于含有大量氯离子的湿气中，这些氯离子能够穿透密封材料的分子结构，加速橡胶和聚合物材料的降解过程。海风携带的盐雾不断侵蚀密封件表面，使其表面出现微小裂纹，这些裂纹在后续的温度变化中会进一步扩展。昼夜温差以及季节更替带来的温度波动，使得密封件反复经历热胀冷缩，材料的疲劳程度加剧，原本紧密的密封结构逐渐出现缝隙。

作业过程中的动态载荷对液压系统的稳定性构成严峻挑战。海上平台吊机在吊装货物时，负载的变化不仅体现在重量上，还包括吊装角度、速度突变等因素。当吊机快速起升或下降重物时，液压系统内部的压力会在短时间内急剧变化，这种压力冲击会产生瞬间的应力峰值。在液压泵内部，柱塞与缸体的配合面在高频压力冲击下，表面微观结构会逐渐被破坏，配合间隙随着时间推移不断增大。对于液压缸而言，活塞与缸筒内壁之间的密封唇口在压力波动中承受交变应力，唇口边缘容易出现磨损、卷边等现象，导致内部泄漏。

安装与维护环节的局限性进一步加剧了泄漏风险。海上平台特殊的空间布局使得液压系统安装空间十分狭窄，安装人员在操作时难以精准定位和安装液压元件。在紧固连接螺栓时，

由于操作空间受限，难以保证每个螺栓的拧紧力矩一致，这会导致密封面受力不均，局部压力过大或过小，影响密封效果。海上平台的偏远位置使得维护工作面临诸多困难。维护人员需要依靠定期的补给船才能抵达平台，且携带的检测设备和维修备件有限，难以对液压系统进行全面细致的检查。

2 海上平台吊机液压系统泄漏故障诊断技术详述

压力测试技术通过构建动态监测网络实现故障预警。在液压系统设计阶段，需综合考虑系统的压力分布特点和关键工作节点，在液压泵出口、主油路分支、液压缸进油口等部位合理布置压力传感器。这些传感器实时采集系统运行过程中的压力数据，并将其传输至中央控制系统。当系统发生内部泄漏时，压力传递路径中的阻力减小，导致压力值偏离正常工作范围。在多级液压泵串联的系统中，若某一级泵出现泄漏，其后端的压力传感器会监测到压力值低于设定阈值。为提升诊断精度，需建立包含不同工况、负载条件下的压力数据模型，通过对比实时压力曲线与标准曲线的差异，不仅能判断是否存在泄漏，还能依据压力衰减速率和波动特征，初步定位泄漏发生的具体回路或元件。

在液压系统中，液压油的理化性质是判断系统健康状况的重要依据。定期采集液压油样本时，必须严格遵循采样规范，以确保样本能够真实准确地反映系统油液的实际状态。在实验室中，光谱分析仪是一种重要的检测工具，它能够精准地检测油液中的金属元素成分。铁、铜、铝等元素的含量变化具有重要的指示意义。铁元素含量的增加通常意味着齿轮泵的齿轮可能出现磨损，而铜元素的增多则可能指向铜质密封件或轴承的损耗。颗粒计数器也是不可或缺的检测设备，它可以分析油液中固体颗粒的数量和粒径分布。较大尺寸的颗粒往往预示着系统内部存在严重的机械磨损问题。此外，油液的粘度、酸值、水分含量等指标同样关键。粘度的变化会影响液压系统的润滑效果和动力传递效率，酸值的升高可能表明油液氧化变质，而

水分含量的异常则可能导致油液乳化,进而影响系统的正常运行。这些指标的综合分析能够为液压系统的维护和故障诊断提供全面且准确的依据。

振动监测技术基于机械动力学原理捕捉故障特征信号。液压泵、液压缸等核心元件在正常运行时,其振动信号具有稳定的频率成分和幅值范围,这些特征与元件的结构参数、转速、工作压力等因素相关。当元件出现泄漏故障时,内部流场的变化会打破原有的动力平衡,引发异常振动。以液压泵为例,内部泄漏会导致流量脉动增大,进而引起转子的不平衡振动,产生额外的振动频率成分。安装在元件壳体上的振动传感器将机械振动转换为电信号,通过信号调理和放大后,传输至数据分析系统。利用快速傅里叶变换(FFT)等算法对振动信号进行频谱分析,将实时频谱与正常状态下的基准频谱进行对比,识别出故障特征频率。当检测到特定的低频振动分量时,可能对应着液压缸的密封失效;高频振动异常则可能与液压泵的气蚀或磨损有关。

3 海上平台吊机液压系统泄漏故障诊断技术应用成效与展望

在实际工程应用中,多种诊断技术的协同运用展现出显著成效。某海上平台在日常巡检中,压力测试系统首先捕捉到主油路压力在重载起吊阶段出现异常下降,结合压力波动曲线特征,初步判断泄漏可能发生在液压缸或其连接管路。随后,油液分析结果显示油液中金属颗粒含量超标,且以铁元素为主,这与液压缸缸筒或活塞磨损的特征相吻合。为进一步确认故障位置,振动监测系统对相关液压缸进行重点监测,发现其振动频谱中出现异常低频成分,最终锁定为液压缸内部活塞密封件磨损导致泄漏。及时更换密封件后,系统压力恢复正常,避免了因泄漏导致的吊机停机事故。另一案例中,油液分析检测到

液压油水分含量严重超标,同时振动监测发现液压泵振动幅值异常增大。通过对振动信号的详细分析,确定泵内齿轮存在偏磨现象,磨损产生的金属颗粒污染了油液,而水分则加速了齿轮和密封件的腐蚀。更换液压泵并对油液进行过滤净化处理后,液压系统恢复稳定运行,保障了平台作业的连续性。

面向未来,海上平台吊机液压系统泄漏诊断技术正迎来新的发展机遇。智能化技术的深度融合将改变传统诊断模式,人工智能算法能够对海量监测数据进行自主学习和分析。通过构建深度学习模型,输入包含正常运行和各类故障状态下的压力、振动、油液等多维数据,模型能够自动提取故障特征,实现泄漏故障的智能识别和预测。基于长短期记忆网络(LSTM)的预测模型,可根据历史数据趋势预测未来一段时间内系统的健康状态,提前发出维护预警。集成化诊断系统将成为发展主流,将压力测试、油液分析、振动监测等技术进行有机整合,通过数据融合算法综合分析不同技术获取的信息,弥补单一技术的局限性,显著提升诊断的准确性和可靠性。针对海上恶劣环境研发的高防护等级、高可靠性监测设备将不断涌现,这些设备具备抗盐雾腐蚀、宽温工作、抗电磁干扰等特性,确保诊断技术在复杂工况下稳定运行,为海上平台吊机液压系统的安全高效运行提供全方位保障。

4 结语

海上平台吊机液压系统泄漏故障诊断需结合环境、载荷及安装维护因素,压力测试、油液分析、振动监测等技术的应用可有效定位与解决泄漏问题。实际案例表明,多技术协同能提升诊断效率。未来,智能化与集成化技术的发展将进一步优化诊断流程,高防护监测设备的应用将增强复杂环境下的诊断能力,为系统安全高效运行提供更全面保障。

参考文献:

- [1] 李华,张阳.基于多传感器融合的液压系统泄漏故障诊断研究[J].机械工程学报,2022,58(10):150-158.
- [2] 王强,赵亮.油液分析技术在液压系统故障诊断中的应用[J].润滑与密封,2023,48(6):120-125.
- [3] 刘勇,孙晓峰.振动监测技术在液压泵故障诊断中的应用[J].机床与液压,2024,52(8):180-184.