

海洋石油模块钻机液压系统故障诊断 与可靠性改进策略

吴汉东

中海油能源发展股份有限公司渤海地区管理服务中心 工程建设中心, 天津 300452

摘要： 本文聚焦海洋石油模块钻机液压系统，以海洋石油模块钻机液压系统为核心展开研究，深入剖析其系统形成与运作机制，结合相关资料梳理常见故障类型及诊断技术，从多维度提出可靠性改进策略。经案例分析验证策略有效性，为提升海洋石油模块钻机液压系统可靠性、保障稳定高效运行提供理论与实践支撑。

关键词： 海洋石油模块钻机；液压系统；故障诊断；可靠性改进

Fault Diagnosis and Reliability Improvement Strategies for the Hydraulic System of Offshore Oil Modular Drilling Rigs

Wu Handong

Engineering Construction Center, Bohai Region Management and Service Center, CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin 300452

Abstract： This article focuses on the hydraulic system of offshore oil modular drilling rigs, conducting research with the hydraulic system as the core. It deeply analyzes its system formation and operating mechanism, summarizes common fault types and diagnostic techniques based on relevant data, and proposes reliability improvement strategies from multiple dimensions. The effectiveness of the strategies is verified through case studies, providing theoretical and practical support for improving the reliability of the hydraulic system of offshore oil modular drilling rigs and ensuring stable and efficient operation.

Keywords： offshore oil modular drilling rigs; hydraulic system; fault diagnosis; reliability improvement

引言

在海洋石油开采领域，模块钻机作为作为钻井核心装备，其高效稳定运行至关重要，而液压系统作为模块钻机的重要系统之一，其性能优劣直接关乎开采效率、作业安全与经济效益。深入探究该液压系统故障诊断方法与可靠性提升策略，对确保海洋石油开采顺利进行意义深远。

一、海洋石油模块钻机液压系统构成

海洋石油模块钻机液压系统主要包括液压动力单元、终端液压用户及其必要的连接管线、过拖链软管、接口柔性连接件和阀门件，包括控制阀、减压阀、止回阀、安全阀、压力表、转换接头等。液压动力单元主要是综合液压站、终端液压用户主要包括滑移系统（上下底座爬行器）及其控制箱、液压猫头、液压大钳、井架起升控制箱等。

（一）动力单元

在海洋石油模块钻机液压系统中，综合液压站是主要的动力单元，其选型至关重要。综合液压站主要由液压油泵及电机、冷却风机、启动器、联轴器、液压邮箱、电加热器、过滤器、控制盘及撬座等组成。如曹妃甸11-1/11-6油田项目的综合液压站，配备的两套45kW恒压变量柱塞泵，具备防爆及高防护等级，采用恒压变量且一用一备设计，能输出高压力大流量，满足重载需

求，能在钻井过程中井口滑移定位、井架起升和钻进作业中稳定供能。其特殊密封与散热设计，可抵御海水侵蚀，适应高湿度狭小空间，确保长时间稳定运行。动力单元影响系统运行效率与可靠性，可靠的液压动力单元为模块钻机高效运行筑牢基础^[1]。

（二）终端用户

海洋石油模块钻机上的液压终端用户主要有上下底座爬行器、钻台面上的液压猫头、液压大钳和井架基座上的起升控制箱等。上下底座爬行器通过爬行器液压缸的伸缩带动整个钻机模块和钻台面对进口的精准定位；液压猫头通过液压驱动在钻台面上与吊钳配套使用，用于钻井时钻杆、钻铤、套管等机械化上、卸扣作业；液压大钳通过液压驱动进行进行各类钻具紧扣、松扣作业；起升控制箱通过液压驱动各段的起升以完成井架的安装和拆卸作业。

在曹妃甸11-1/11-6油田项目中，上爬行器（驱动钻台面移动）液压缸拉力1600kN，下爬行器（驱动钻机整体移动）液压缸

拉力3000kN，行程750mm，缸筒内壁珩磨处理，活塞与缸筒高精度配合，滑移时协同控制底座和钻台面移动，保障钻井作业位置调整。

（三）控制元件

在海洋石油模块钻机液压系统中，控制元件至关重要，包含电磁换向阀、溢流阀、节流阀等。电磁换向阀可远程控制，依电控信号快速切换油路，在曹妃甸11-1/11-6油田项目中，能根据司钻房指令精准改变液压油流向，使执行元件准确动作。溢流阀设定最高压力，系统压力超阈值时开启，让多余油回流，有效防止元件因压力突变损坏。节流阀依据工况调节开度，控制进入液压马达油量，保障终端用户工作效率与质量^[2]。

二、液压系统常见故障模式及危害

为保证模块钻机液压系统高效稳定工作，精准剖析液压常见故障及其危害意义深远。这不仅关乎设备性能稳定，更紧密关联生产安全与效益。以下将详述各故障要点。

（一）液压泵故障

在液压系统运行的过程中，液压泵是最容易出现故障的一个装置，主要是液压泵经常处于高速运转的状态，导致零件磨损严重，最终导致故障的发生。泵内的齿轮、叶片、柱塞这类关键部件，会长时间遭受油液污染颗粒的冲刷、腐蚀，还有高频交变应力影响，表面随之逐渐磨损，进而致使配合间隙以及流道特性改变。与此同时，油液中溶解气体逸出、局部压力骤降时会产生气泡，引发气蚀现象，气泡溃灭瞬间带来的高温高压冲击，会损坏泵体表面，让泵的输出压力降低，流量稳定性变差，效率下滑，最终导致系统出现流量不足、压力波动异常的状况。

另外，密封件也常出现老化、磨损、挤出变形，或是遭化学介质侵蚀的情况，使得密封性能大打折扣，泵内泄漏问题加剧，出口压力难以满足执行元件工作要求。不仅如此，泄漏的液压油还会污染工作环境，造成能源浪费，埋下火灾隐患。

（二）液压缸泄漏与卡顿

液压缸存在密封泄漏、活塞杆划伤与弯曲两类常见问题，严重影响设备运行。密封方面，活塞密封、活塞杆密封若出现老化、受损情况，会引发内泄漏，致使缸体保压能力大打折扣，运动速度忽快忽慢、难以稳定；同时还会产生外泄漏，泄漏的油液不仅会污染设备，还会使油液储量不断减少，进而诱发故障。而活塞杆由于频繁做往复运动，一旦遭受偏载、侧向力，或是被外界异物碰撞，便极易出现划伤、弯曲问题，这会加剧密封件的磨损，让液压缸出现卡顿、爬行现象，直接干扰运动精度与控制性能，最终威胁到设备整体的运行稳定性与可靠性。

（三）液压阀堵塞与阀芯磨损

在液压系统运行过程中，极易出现污染物堵塞与阀芯磨损两类问题，给系统正常运转带来诸多不良影响。一方面，油液里的杂质、污垢会不断堆积在液压阀的节流口、阀芯与阀座间隙以及阻尼孔处，由此致使阀口通流面积缩减，流量特性随之改变，进而造成系统压力损失大幅增加，响应速度变得迟缓，控制精度也大打折

扣；情况严重时，阀芯甚至会被卡死，直接引发系统故障。

另一方面，阀芯长期承受油液冲刷、压力冲击，加上频繁换向产生的摩擦，其密封面、导向面会逐渐磨损，使得配合间隙与密封性发生改变，引发内泄漏、压力波动，还会导致换向可靠性降低，最终致使整个液压系统工作不稳定，执行元件动作失控^[3]。

（四）液压油污染变质

液压油污染源主要由颗粒污染、水分污染、氧化变质等。颗粒污染指外界灰尘、沙粒入侵以及系统内磨损产物混入油液，致使油液中的颗粒污染物增多，进而加剧元件磨损，划伤密封件，还会堵塞过滤器与节流孔，严重影响液压系统正常运行以及元件的使用寿命；水分污染源于潮湿环境、冷却系统泄漏，水分混入油液后，润滑性能随之降低，油液氧化变质加速，金属元件遭受腐蚀，油泥逐渐生成并堵塞管路元件，散热能力被削弱，油温异常升高，给系统可靠性、安全性带来极大危害；氧化变质则是在高温、高压以及金属催化作用下发生，油液氧化产生酸性物质、胶质与沥青质，元件表面遭到腐蚀，油液黏度与酸值上升，油泥沉淀不断形成，致使系统散热、润滑、密封性能大打折扣，最终影响系统的稳定性与可靠性。

三、液压系统常见诊断技术

本章节聚焦常见液压故障类型及诊断技术，旨在精准剖析故障根源，探寻高效诊断路径。精准识别故障类型，熟练掌握诊断技术，是迅速修复系统、保障模块钻机液压系统正常运转、提升作业可靠性。

（一）感官诊断技术

感官诊断法依靠使用和维修人员经验，通过目视油液、耳听声响、手触元件来初步排查故障，虽便捷但主观性强、精度低。可按照“望”“闻”“问”“切”方式进行：

望：即观察液压系统各设备和连接管路的配置是否正常，包括泵、阀、液压油、滤油器、散热器、液压软管、液压接头等；检查爬下器和液压猫头运动速度是否有异常现象；观察液压系统中各测压点的压力值大小及波动；查看液位，检查液压油容量是否合适；查看液压油是否清洁，有无变质；检查液压管道各接头处、阀板结合处、液压缸端盖处、液压油泵轴伸出处是否有渗漏、滴漏和油垢现象。

闻：即听液压系统工作时的声音，判断声音是否正常工作声音，如属于异常声音，则需查找源头在哪，是液压泵、马达、阀等液压件还是系统的管路或与元件连接的工作机构。

问：即询问操作人员设备操作及运行情况，了解故障发生的前因后果；询问设备维护记录，了解设备的历史故障和维修情况等。

切：即用手摸运动部件表面，检查是否发热；感觉是否有振动现象；检查液压油缸有无“爬行”现象；检查接口是否有漏油现象。

（二）基于信号处理的故障诊断技术

目前，在海洋石油模块钻机上，液压系统各设备均与中控室

或司钻房有远控和信号反馈连接。液压系统关键部位的压力、流量信号蕴含着运行与故障信息,实时监测这些数据,通过剖析其稳态值偏差、动态响应特性以及波动情况来排查故障,例如压力突降大概率意味着泵故障或管路泄漏,流量异常波动很可能是阀故障或液压缸内泄漏所致,在此基础上,搭配统计分析、特征提取技术,能让诊断结果更准确、更可靠。

四、海洋石油模块钻机液压系统可靠性改进策略

提升海洋石油模块钻机液压系统可靠性,需多管齐下实施综合策略。此部分将从系统设计优化、元件质量提升、维护保养强化、管理体系完善着手,全方位攻克影响可靠性难题,为系统稳定运行筑牢根基、注入持久动力。

(一) 优化系统设计

在液压系统领域,可靠性设计对保障系统稳定运行意义非凡。冗余设计通过为关键泵、阀配备备份,可在主设备故障时自动切换,确保系统连续性。如曹妃甸11-1/11-6油田项目的模块钻机液压系统,其液压油泵一用一备,主泵故障时备用泵能快速接替,避免系统停机,增强了整体可靠性。

优化管路布局亦不可或缺。依据液压系统原理图与设备安装位置合理规划走向,减少弯头、接头数量,选用适配规格确保连接紧密,既能降低泄漏与压力损失风险,又能提升系统运行效率与稳定性。

仿真模拟技术助力系统性能提升。利用先进软件模拟模块钻机液压系统起升、钻进、循环等工况,掌握压力、流量、温度等关键参数变化规律,据此优化泵排量、阀通径、油箱容积等设计参数,使系统适应复杂海洋环境,确保在各种工况下稳定可靠运行。

(二) 提高元件质量

元件质量直接关乎液压系统可靠性,为此需多管齐下。首先,元件选型要严格,将知名品牌、高可靠性产品列为首选。因其在设计、制造工艺和质量控制上优势显著,能契合海洋石油开采恶劣工况。如蓬莱19-9油田项目,选型时全面评估各品牌产品性能、质量与可靠性,确保所选元件优质,从源头减少故障隐患。其次,入厂检验务必加强,蓬莱19-9油田项目采用超声波、磁粉检测等无损检测技术,细致排查元件内部缺陷,像裂纹、气孔和夹杂物等,只有检验合格的元件才能进入装配流程,有力维护系统安全稳定。最后,定制专用元件很关键,与供应商紧密协作,依据海洋高湿度、高盐度及复杂工况优化材料工艺,采用耐腐蚀不锈钢材质、表面涂层防护等处理元件材料,优化制造工艺提升元件加工精度与表面质量,增强其耐磨和抗疲劳性能,延长

使用寿命,为系统整体可靠性筑牢根基。

(三) 强化维护保养

精准规划维护周期是保障液压系统稳定运行的关键。需综合考虑设备运行时长与工况,合理确定维护周期。对长时间连续运行且负荷大的系统,应缩短周期、增加频次;运行短且工况稳定的系统则可适当延长。曹妃甸11-1/11-6油田项目据此制定了详细时间表,明确各维护项目间隔,确保系统维护及时。

定期保养关乎系统清洁度。油液长期使用会变质并混入杂质水分,影响系统运行。应依计划定期换油、换过滤器,保证油液清洁。同时,定期深度清洁油箱,清除沉淀杂质污垢,防止其进入系统损坏元件。蓬莱19-9油田项目定期执行这些操作,有效维持了系统清洁,降低了故障风险。

智能监测助力精准维护。引入油液在线检测仪和设备状态监测系统,实时监控油液品质与设备状态。前者能检测油液黏度、酸值、污染度等指标,超标即报警;后者通过传感器采集振动、温度、压力等参数,经数据分析评估设备健康状况,预测故障,为预防性维护提供依据,提升了维护针对性、及时性与系统可靠性。

(四) 完善管理体系

构建全生命周期管理档案对液压系统管理意义重大,其涵盖设计阶段技术参数、选型依据、图纸,安装阶段位置、连接、调试数据,调试阶段结果、问题及解决措施,维护阶段记录、元件更换与故障处理等信息,为故障分析、性能评估和优化改进提供全面准确数据,如曹妃甸项目靠档案可定位故障、评估性能、助力优化。强化操作人员和维修人员专业培训是系统正常运行的保障,操作人员需熟悉操作规程和正确操作方法,维修人员要提升故障诊断、维修及应急处理能力,可通过定期培训、交流活动、专家授课及鼓励自主学习分享提升整体技术水平。建立高效故障预警机制能减少停机时间保障生产连续性,实时监测分析运行数据并设阈值,异常时自动预警,维修人员依此提前调配资源及时处理,防止故障扩大,确保系统稳定运行、提高生产效率。

五、结束语

海洋石油模块钻机液压系统可靠性是石油开采作业稳定运行基石。经深入剖析系统构成与运作、精准把握常见故障及诊断方法,从设计、元件、维护、管理全方位协同改进,结合案例有力验证策略成效,可大幅削减故障几率、延长设备寿命、提升运行稳定性。展望未来,融合智能传感、大数据分析、人工智能诊断技术将成为提升液压系统可靠性关键路径,持续推动海洋石油高效开采,助力石油工业稳健可持续发展。

参考文献

- [1] 张泽. 液压系统在石油钻机中的应用研究[J]. 化学工程与装备, 2019, (11): 57-58. DOI: 10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2019.11.024.
- [2] 陈卓明. 海洋石油平台起重机液压系统故障诊断[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(04): 150-153. DOI: 10.19981/j.cnki.23-1581/G3.2023.04.036.
- [3] 田乐意. 全液压钻机液压系统泄漏故障分析及对策[J]. 煤矿机械, 2017, 38(08): 148-150. DOI: 10.13436/j.mkjx.201708058.