

石油钻采机械设备故障问题的分析与处理研究

杨有山

中石化西南石油工程有限公司重庆钻井分公司, 重庆 400000

DOI: 10.61369/SSSD.2026050005

摘 要 : 在中东地区常年风沙、高温高热的极端作业环境下, 石油钻采机械设备更容易发生故障问题。本文即以此为研究背景, 聚焦绞车控制、液压盘刹、机具液压站等十一类核心设备的常见问题, 一方面提出导致设备故障的主要原因, 另一方面总结针对性的故障处理措施与方案, 以此构建“环境适应性改造、预测性维护体系建立、应急维修策略优化及人员能力提升”的综合处理方略, 从而形成一套适用于恶劣工况的设备健康管理系统, 显著提升石油钻采机械设备的可靠性与作业效率。

关 键 词 : 石油钻采机械; 设备故障分析; 高温风沙环境; 预测性维护

Research on the Analysis and Handling of Faults in Petroleum Drilling and Production Machinery and Equipment

Yang Youshan

Chongqing Drilling Branch of Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd., Chongqing 400000

Abstract : In the extreme operating environment with perennial sand and wind as well as high temperature and heat in the Middle East, petroleum drilling and production machinery and equipment are more prone to malfunctions. Taking this as the research background, this paper focuses on the common faults of eleven types of core equipment including winch control systems, hydraulic disc brakes and machine hydraulic stations. It not only identifies the main causes leading to equipment malfunctions, but also summarizes targeted fault handling measures and solutions. On this basis, a comprehensive handling strategy featuring "environmental adaptability transformation, establishment of predictive maintenance system, optimization of emergency maintenance strategies and improvement of personnel capabilities" is constructed, thus forming a set of equipment health management systems applicable to harsh working conditions, which significantly improves the reliability and operational efficiency of petroleum drilling and production machinery and equipment.

Keywords : petroleum drilling and production machinery; equipment fault analysis; high-temperature and sandy windy environment; predictive maintenance

引言

大型、复杂的机械设备集群是石油钻采作业的核心支柱, 而且连续稳定运行则是影响石油开采效率与质量的关键因素。在中东地区, 由于环境特殊, 常年出现气温超过50℃的情况, 并且面临着频繁的强沙尘暴以及巨大的昼夜温差, 由此形成了侵蚀性强、破坏性突出的特殊工作环境。该环境不仅更容易引起石油钻采机械设备的结构疲劳与材料老化, 而且还会对其中有较高精密需求的液压与电控系统有较大影响, 使得其设备故障率相对较高。对此, 提出一套基于一线实践且覆盖从绞车、液压系统到动力机组等关键设备的典型故障处理预案, 成为石油钻采作业安全、高效与可持续的基础保障。

一、石油钻采机械设备故障问题分析

(一) 环境主导的诱发与加速作用

基于中东地区的特殊环境, 其环境诱发和加速形成的机械设备故障主要表现为物理入侵与热应力两个方面。

第一, 风沙的物理侵蚀与精密系统失效。细沙尘具有极强的渗透作用, 是引起精密机械设备故障的重要原因之一。其一, 液压系统极易受到沙粒侵入, 由此使得液压油受到污染, 进而导致

换向阀、溢流阀等设备部件出现阀芯卡滞、磨损等问题^[1], 甚至使得密封件快速失效。以上问题是导致石油钻采机械设备中机具液压站阀件不灵活、液压盘刹控制失灵、各类液压执行机构内泄或串油的主要原因。其二, 沙尘覆盖电气元件表面, 会直接阻碍其正常散热。沙尘会直接通过 PLC 控制柜、变频器柜、电机控制箱、传感器接线盒等缝隙、接口或散热孔入侵, 同样会影响散热效率^[2], 甚至引起接触电阻增大、信号失真或短路等问题。在此条件下, 石油钻采电气控制系统相关设备更容易出现故障, 比如顶

驱电机运行异常、泥浆泵变频器故障、自动送钻系统失灵或各类传感器信号中断等。

第二，高温与热循环引发的系统性衰退。常年高温对石油钻采机械设备的长期稳定运行产生深重影响，并容易引起一系列的连锁反应。其一，密封系统的加速老化。油缸密封圈、泥浆泵拉杆油封、各类动密封等密封件使用橡胶制品，而高温下容易出现硬化、失去弹性等问题，由此导致密封性能无法达到标准要求，引起漏油问题。其二，液压油品质劣化。高温加热会加速油液的氧化反应，由此产生油泥，增加油液的黏性，进而影响其润滑效果与抗磨性能，对泵、马达等设备的运动副磨损影响较大^[3]，使得液压站效率明显下降，甚至出现异响。其三，材料性能与配合间隙改变。昼夜巨大温差使得设备金属部件受到热胀冷缩作用更强，进而影响柴油机缸套——活塞、泥浆泵凡尔座等关键部位的配合间隙，从而加剧磨损情况。此外，高温还会导致柴油机、液压站等部位散热不足，从而造成散热系统负荷过载，甚至引发过热停机。

（二）设备自身因素导致的典型故障模式

设备自身的特定结构与工作原理也是造成设备出现故障的主要原因之一。

第一，液压系统的高频故障。液压系统的主要故障包括泄漏、污染与控制失效。例如液压管路振动会导致接头松动、硬管疲劳裂纹；油液污染会导致控制阀件动作迟缓；刹车片磨损会降低液压盘刹制动力。

第二，重载机械部件的疲劳与磨损。部分设备或部件长期处于高强度运行或负载状态，会造成较大的疲劳与磨损问题。例如顶驱的机械部分、泥浆泵的动力端和液力端，都属于易疲劳与易磨损区^[4]。

第三，操作与维护的衍生问题。不当操作与维护行为也会直接引发故障问题。例如液气大钳在高速档误用于卸扣，会导致移送气缸弯曲、管线刺漏的问题。又如氮气包胶囊更换不及时、刹车间隙调整不当、油品更换周期过长^[5]，也会使得小问题逐步演变为大故障。

二、石油钻采机械设备故障处理措施

针对中东地区的环境因素以及石油钻采机械设备的自身问题，应当从环境隔离、健康管理、快速修复和人员保障等多维度构建系统性、前瞻性的故障防御与处理体系。

（一）实施环境适应性改造与主动防护

针对中东地区的极端环境问题，应从创设局部“友好环境”入手，提高环境防护作用。

第一，关键系统密封与正压防护。针对司钻房、电控房、液压站动力箱等核心设备或单元，应建立密闭舱室进行保护，同时配备正压通风系统，借助内外部气压差阻隔沙尘入侵。针对液压油箱呼吸器，可以将其升级为高性能空气滤清器。针对阀岛箱、操作箱的线缆接口，可以利用高品质的防护套件进行密封。

第二，热管理与散热系统强化。对于液压站、柴油机等设

备，由于其自身属于热源，因此可以设计独立的高效风冷或水冷辅助散热系统，并定期清洁散热翅片。对于容易受到太阳暴晒的液压软管、橡胶密封件等部位，可以增设反热辐射罩或隔热套，减缓老化问题^[6]。

第三，材料与油品的升级换代。可以全面更换标号更高的抗磨液压油和润滑油，提升设备适用温度。同时，可以将O型圈、唇形密封等易损密封件更换为氟橡胶（FKM）或氢化丁腈橡胶（HNBR）材质，以此提高其耐高温和抗老化水平^[7]。

（二）构建预测性维护与智能监控体系

针对石油钻采机械设备故障发生频率较高的问题，应进一步完善预测性维护与智能监控体系，通过“定期预防”向“按需预测”升级，从而做到精准捕捉故障萌芽信息，做到防患于未然。

第一，关键参数在线监测。针对故障频发设备或区域，应建立物联网传感器系统，全面采集设备运行数据。比如在液压系统回路，可以安装高精度颗粒计数器与水分传感器，以此监测油液的污染情况。在顶驱主轴、泥浆泵轴承等重要轴承以及齿轮箱等部位，可以安装振动与温度传感器，实时监测其运行是否出现异常。此外还可以借助压力传感器实时监控盘刹钳压和储能器压力^[8]。最后，将传感器系统采集的数据信息上传至云平台，交由重要监控系统进行分析处理。

第二，数据分析与预警。对于物联网系统采集的数据信息，还需依托大数据系统与人工智能算法进行深度解剖，尤其针对不同区域的温度、振动、压力、污染度等数据进行建模，明确其数据走向与发展趋势。同时，根据数据模型设计多级警报阈值，根据数据异常变化趋势与变化幅度，自动选择对应的级别发出警报。例如可以通过监控液压泵出口压力，进一步分析其脉动特征，由此可以预测与判断柱塞或配流盘的磨损情况。

第三，维护决策智能化。依托采集的设备运行数据、环境数据以及历史维修记录等信息，还可以构建智能维护模型，智能推荐动态维护计划。例如在重大沙尘暴之后，系统可自动生成维护与检查单，督促工作者对全设备空气滤清器和液压油滤芯进行针对性检测与维护。

（三）优化应急维修流程与创新修复技术

设备故障不可完全避免，但在故障发生之后，应具备快速、高效的修复能力。

第一，模块化更换与流程再造。针对阀岛箱、操作手柄、压力变送器集成类模块，由于其易损电液特性，可以采取“整模块备件+现场快速更换”的故障处理方案，不仅可以缩短停机时间，还可以将故障件送往基地维修间进行全面检查与修理^[9]。对于液气大钳等主设备，应建立“双线作业”应急流程。比如液气大钳发生故障，可迅速开启备用方案，借助铁钻工替代主设备功能，从而保障基本作业的连续性，并为设备维修创造充足的时间窗口。

第二，现场诊断与修复技术标准化。应组织相关专家与技术人员，针对本地区石油钻采机械设备故障情况编写《故障快速诊断手册》，通过流程图的方式简化维修原理，便于一线工作人员操作与执行。例如液压制动不灵故障的处理，可以按照标准化排

查流程实现：一要通过连续反复操作制动手柄判断是否有空气；二要检查是否出现泄漏问题；三要检查机械部件间隙与磨损情况。此外，还应全面推广内窥镜、超声波检漏仪等便携工具，提高检修效率。

第三，深度故障的根源分析（RCA）。针对频发或重大故障，则要采取 RCA 方案，避免通过“更换密封件”的表层处理替代深层维护^[10]。例如泥浆泵中间拉杆油封频繁损坏的问题，需要深度检测活塞杆表面光洁度、同心度、冷却冲洗系统效率等影响因素，由此实现设计、安装、操作、维护全链条多维度的修复目标。

（四）强化人员培训与能力建设

石油钻采机械设备故障处理终究需要人工进行处理，因此还需要全面提升和锻炼人员的素养与能力。

第一，环境认知与针对性技能培训。一方面，上岗培训应强调环境特殊性，必须要求员工理解本区域的环境特征以及其对设备的影响情况。另一方面要建立专项技能培训系统，组织员工定期参加专题培训，液压系统污染控制、高复杂电控系统防尘检查等。

第二，模拟演练与案例教学。应借助故障模拟器或 VR 技术定期开展模拟演练活动，比如为员工展现“盘刹无法抱紧”“司钻

控制台压力显示为零”等典型故障场景，以此训练其故障处置能力与诊断逻辑思维。同时，针对本区域发生的典型故障案例，也可以将其编写成典型案例手册，供全体员工研讨与学习，实现经验的传承与分享。

第三，建立知识管理与协作平台。应搭建网络平台，为技术人员、相关领域专家等创造交流对话的平台，由此通过故障处理心得分享、维修技术改进成果分享等方式，共同促进行业发展。此外，还应与设备制造商、专业维修机构进行合作，在遇到无法解决的问题时可以迅速求援。

三、结语

综上所述，在中东高温风沙的极端环境下，石油钻采机械设备故障管理的重要性进一步提升。针对绞车控制、液压盘刹、机具液压站等核心设备的常见故障与问题，本文分别从环境外因与设备内因两个层面阐述，进而提出构建环境适应性改造、预测性智能监控、流程化应急修复和专业化人员培训的四位一体综合设备维护保养体系，以此为石油钻采生产的安全、连续与高效运行提供全面保障。

参考文献

- [1] 李严. 无损检测技术在石油钻采设备关键零部件检测中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 45(22): 45-47.
- [2] 董世超. 石油钻采机械设备常见故障及预防措施分析 [J]. 石化技术, 2024, 31(06): 306-308.
- [3] 黄亮, 徐晓磊, 周洪军, 刘宁. 基于先进传感技术的石油钻修井机械设备智能监测与优化 [J]. 今日制造与升级, 2024, (04): 63-65.
- [4] GB/T 43599-2023, 石油天然气钻采设备机械式固井胶塞的测试与评价 [S].
- [5] 孙力. 石油钻采机械设备常见故障及预防措施分析 [J]. 石化技术, 2022, 29(09): 232-234.
- [6] 李来. 石油钻采机械设备故障分析与有效预防措施研究 [J]. 清洗世界, 2022, 38(01): 169-171.
- [7] 刘爱武. 石油钻采设备的防腐工艺探究 [J]. 石化技术, 2020, 27(10): 252-253.
- [8] 苏义敏. 关于石油钻采机械设备的养护维修思考 [J]. 冶金管理, 2019, (21): 51+53.
- [9] 刘默. 石油钻井机械设备管理和维护 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(20): 48-49.
- [10] 鲍光明. 石油钻采设备的抗腐蚀性研究 [J]. 四川水泥, 2019, (07): 110.