

钻井液循环系统维护管理存在的问题及对策

金冰垚¹, 褚奇¹, 范胜²

1. 中石化石油工程技术研究院有限公司, 北京 102206

2. 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011

DOI:10.61369/ERA.2026090007

摘 要 : 如今全球能源结构调整、国内油气增储上产战略持续推进下, 钻井工程持续朝着更深且更复杂的地层拓展, 井下高温高压这种极端工况, 对钻井液循环系统的稳定性和可靠性提出了非常严格的要求。本文依据现场运维实践, 系统整理了当前钻井液循环系统维护管理里存在的突出问题, 像预防性维护机制缺失造成设备带病运行、固相控制精度不够致使钻井液性能变差、一线人员专业技能储备不足、操作规范性欠缺, 还有管理制度执行力度减弱导致现场管控脱节等多个方面。针对这些问题, 研究从全周期预防性设备维护模式建立、固相控制与钻井液性能精细管控、专业技能培训与标准化操作模式完善、管理制度执行与协同管控机制健全这四个方面给出了系统性优化策略, 以给后续发展提供助力与参考。

关 键 词 : 钻井液循环系统; 维护管理; 固相控制; 设备运维; 管理优化

Problems and Countermeasures in the Maintenance and Management of Drilling Fluid Circulation Systems

Jin Bingyao¹, Chu Qi¹, Fan Sheng²

1.Sinopec Petroleum Engineering Research Institute Co., Ltd. Beijing 102206

2.Petroleum Engineering Technology Research Institute, Northwest Oilfield Branch, Sinopec, Urumqi, Xinjiang 830011

Abstract : Under the ongoing global energy structure adjustment and the continuous advancement of domestic oil and gas reserve enhancement and production strategies, drilling engineering is constantly expanding into deeper and more complex formations. The extreme downhole conditions of high temperature and high pressure impose very strict requirements on the stability and reliability of the drilling fluid circulation system. Based on field operation and maintenance practices, this paper systematically summarizes the prominent issues existing in the current maintenance and management of the drilling fluid circulation system, such as the absence of preventive maintenance mechanisms leading to equipment operation with malfunctions, insufficient solid phase control precision causing degradation of drilling fluid properties, inadequate professional skill reserves among frontline personnel, lack of operational standardization, and weakened enforcement of management systems resulting in disconnection of on-site control. To address these issues, the study proposes systematic optimization strategies from four aspects: establishing a full-cycle preventive equipment maintenance model, implementing precise control of solid phase control and drilling fluid properties, enhancing professional skills training and improving standardized operation models, and strengthening the enforcement of management systems and establishing a collaborative control mechanism, aiming to provide support and reference for subsequent development.

Keywords : drilling fluid circulation system; maintenance management; solid phase control; equipment operation and maintenance; management optimization

全球能源需求结构出现调整, 加上国内油气增储上产战略在深入推进, 使得钻井工程朝着更深、更复杂的地层去拓展。随着钻井深度不断增加, 地层条件变得越来越复杂, 井下的温度、压力环境变得更加极端, 这对钻井液循环系统的性能稳定性、运行可靠性带来了前所未有的挑战。循环系统出现故障而导致的非生产时间, 在钻井总停工时间中占据了较大比例, 已经变成影响钻井作业效率的主要因素之一。钻井液循环系统是由泥浆罐、钻井泵、管汇系统、固控设备、监测装置等多个单元构成的, 各个环节相互联系、共同运行。在这种背景之下, 全面梳理当前维护管理中存在的突出问题, 探寻建立科学规范的维护管理机制, 成了钻井工程领域急需解决的重要课题。

一、钻井液循环系统维护管理的现状与问题分析

（一）预防性维护机制缺失与设备运维粗放

钻井液循环系统设备长期处于高负荷运行状态，多数作业现场对设备维护仍采取事后抢修的被动模式，缺乏前瞻性的预防性维护规划^[1]。相关工作人员对日常巡检工作重视程度不足，巡检内容多停留在表面观察，对设备运行参数的细微变化缺乏敏感性，未能及时发现潜在故障隐患。泥浆泵润滑油位检测、振动筛筛网张力校准、管路阀门密封性核查等基础保养工作，往往因钻井进度压力而被简化或省略^[2]。然而，设备长期带病运行必然加剧部件磨损程度，振动筛分离效率下降、泥浆泵压力波动、管路渗漏等问题逐步显现。部分现场对设备更换标准把握宽松，筛网出现明显破损后仍继续使用，直接影响固相分离效果。维护记录的完整性与规范性也存在明显不足，设备运行历史数据积累匮乏，难以支撑维护决策的科学制定。这种粗放式运维模式直接推高了设备突发故障的发生概率，临时抢修不仅需要投入额外的人力与配件成本，还往往打乱既定的钻井作业节奏，甚至因故障处置不及时引发井下复杂情况，给现场作业埋下安全与效率的双重隐患。

（二）固相控制精度不足与钻井液性能管控缺口

固相控制作为钻井液循环系统维护的核心环节，现场实践中普遍存在管控精度不足的问题。相关工作人员对钻井液性能参数的检测频率与检测标准执行不严，密度、黏度、含砂量等关键指标的监测往往流于形式，未能根据地层变化与钻井进度及时调整处理方案。固控设备的组合使用缺乏科学性，振动筛、除砂器、除泥器的运行参数未能实现最优匹配，各级净化设备的效能未能充分发挥^[3]。然而，有害固相含量超标直接导致钻井液流变性劣化，携岩能力下降，同时加剧钻具与设备的磨损。钻井液处理药剂的添加缺乏精准计算，多依靠经验判断，药剂使用量过多或不足都会影响钻井液性能稳定性。循环罐内搅拌装置运行状态监控不足，固相颗粒沉淀现象时有发生，进一步降低钻井液循环系统的整体运行效率。

（三）专业技能储备不足与人员操作规范性欠缺

钻井液循环系统维护管理涉及流体力学、材料科学、设备运维等多领域专业知识，现场相关工作人员的专业技能储备普遍难以满足精细化管理要求。多数现场维护人员依靠传统经验开展工作，对新型钻井液体系与固控设备的工作原理理解不深，系统维护的专业性与针对性不足^[4]。岗位培训体系不完善，新设备、新技术的应用培训滞后于装备更新速度，维护人员知识更新缓慢。然而，操作规范性不足直接影响维护质量，钻井液性能检测操作不标准、设备保养流程执行不到位、故障排查方法不科学等问题较为突出。不同作业班组的维护标准与操作习惯存在差异，系统维护质量波动较大。应急处置能力也有待提升，循环系统出现堵塞、泄漏等异常情况时，故障定位与处置效率偏低，容易造成故障影响范围扩大。专业能力与现场需求的错位，使得很多精细化维护要求无法落地执行，本可提前规避的小隐患最终演变为影响全局的系统故障，不仅增加了运维的隐性成本，也让钻井液循环系统的整体运行稳定性始终处于不可控的波动状态。

（四）管理制度执行弱化与现场管控衔接不畅

钻井液循环系统维护管理制度体系建设相对滞后，现有制度多为原则性规定，缺乏可操作的实施细则与量化考核标准。维护责任划分不够清晰，设备运维、性能管控、材料管理等环节存在管理盲区，出现问题时难以追溯具体责任。然而，制度执行力度不足是更为突出的问题，现场作业往往优先保障钻井进度，维护管理制度的刚性约束被弱化。日常维护、定期保养、专项检修等工作安排缺乏计划性，经常出现拖延或简化执行的情况。跨岗位协同配合机制不健全，钻井工程师、泥浆工程师、设备运维人员之间信息沟通不畅，维护工作与钻井作业的衔接不够紧密。维护管理信息化水平偏低，数据采集、传输、分析手段落后，难以实现对钻井液循环系统运行状态的实时监控与动态调整，维护决策缺乏数据支撑。

二、钻井液循环系统维护管理的策略

（一）构建全周期预防性设备维护体系

建立覆盖设备全生命周期的预防性维护机制，彻底转变事后抢修的被动维护模式。实证分析显示，实施预防性维护可使钻井设备平均无故障运行时间提升 40% 以上，非生产时间减少约 30%。制定详细的设备日常巡检清单，明确泥浆泵、振动筛、管汇阀门、搅拌装置等关键设备的检查项目、检查标准与检查频次，将润滑油位检测、筛网状态核查、管路密封性检验等基础工作纳入常态化管理^[5]。泥浆泵润滑油位检测每日至少开展 2 次，振动筛筛网张力与破损情况每班检查不少于 1 次。制定设备定期保养计划，按照运行时长与工况条件科学安排保养内容与保养周期，泥浆泵累计运行满 500 小时强制进行一级保养，满 2000 小时开展二级保养，确保设备始终处于良好运行状态。建立设备运行参数动态监测机制，对压力、流量、温度、振动等关键指标进行连续跟踪，通过参数变化趋势预判潜在故障。完善设备更换标准，明确筛网、密封件、易损部件的更换阈值，筛网破损面积超过 15% 必须立即更换，避免带病运行带来的次生影响。规范维护记录管理，建立设备运维档案，完整记录设备运行历史、保养内容、故障处理与部件更换情况，为维护决策提供数据支撑。然而，预防性维护体系的落地需要合理平衡钻井进度与维护需求，将设备维护工作纳入钻井作业整体计划，避免因进度压力简化维护流程。

（二）强化固相控制精细化与钻井液性能动态管控

优化固相控制设备运行参数配置，实现振动筛、除砂器、除泥器等各级净化设备的效能最大化。统计结果佐证^[6]，固相控制效率每提升 5 个百分点，钻具磨损速率可降低约 20%，钻井液处理成本下降 15%。根据钻井液体系与地层特性科学设定振动筛振幅、频率与筛网目数，充分发挥一级固相分离作用，振动筛固相分离效率需稳定保持在 85% 以上。合理调整除砂器、除泥器进浆压力与流量，确保旋流分离效果达到设计要求，除砂器分离粒径控制在 74 μm 以上，除泥器分离精度达到 15 μm 级别。建立钻井液性能参数标准化检测制度，严格按照规范要求开展密度、

黏度、含砂量、滤失量等关键指标的检测工作，明确不同钻井阶段的性能控制范围^[6]。含砂量检测每 4 小时开展 1 次，密度与黏度检测每 2 小时进行 1 次，关键地层段加密至每小时检测 1 次。制定钻井液性能动态调整方案，根据地层变化、钻井进度与检测结果及时调整处理药剂种类与加量，保持钻井液性能稳定。加强循环罐搅拌装置运行状态监控，搅拌器转速控制在每分钟 60 至 80 转，确保搅拌强度满足防止固相沉淀的要求。规范钻井液处理药剂的储存与使用管理，严格按照配比要求添加，避免药剂浪费或性能调控失效。进一步推导表明，固相控制精度的提升需要固控设备运行与钻井液性能调控的有机结合，形成闭环管理的良性循环。

（三）完善专业技能培训与标准化操作体系

建立系统化的岗位技能培训机制，围绕钻井液循环系统原理、设备运维、性能调控、故障处置等核心内容开展常态化培训。现场调研数据显示，经过系统培训的维护人员，故障处置效率可提升 50% 以上，操作失误率下降约 60%。结合现场实际需求编制培训教材，注重理论知识与实操技能的有机结合，提升培训内容的针对性与实用性^[7]。新入职人员岗前培训时长不少于 40 学时，在岗人员年度复训时间不低于 20 学时。定期组织新技术、新设备、新工艺专项培训，确保相关工作人员知识体系及时更新，适应钻井技术发展要求。制定钻井液循环系统维护标准化操作手册，明确各项维护工作的操作流程、技术要求与质量标准，统一不同作业班组的工作规范。建立操作质量监督检查机制，对检测操作、设备保养、故障处置等工作过程进行全程监督，及时纠正不规范操作行为。开展应急处置能力专项训练，针对循环堵塞、管路泄漏、设备故障等典型异常情况制定处置预案，组织常态化演练，每季度至少开展 1 次应急演练，提升快速响应与高效处置能力。建立岗位技能考核评价机制，将理论知识、实操技能、应急处置能力纳入考核范围，考核结果与岗位任用、薪酬待遇直接挂钩，激发学习提升的主动性。岗位技能考核合格率需达到 95% 以上，不合格人员暂停上岗资格，经补考合格后方可重新上岗^[8]。

（四）健全管理制度执行与现场协同管控机制

细化钻井液循环系统维护管理制度，制定可操作的实施细则

与量化考核标准，避免原则性规定带来的执行弹性。行业实践表明，管理制度完善且执行到位的钻井现场，循环系统故障发生率可降低 40% 以上。明确维护管理责任体系，清晰划分设备运维、性能管控、材料管理、质量监督等各环节的责任主体与职责范围，消除管理盲区^[9]。强化制度执行的刚性约束，将维护管理制度执行情况纳入钻井作业绩效考核，建立违规问责机制，确保各项规定落到实处。制度执行情况检查每月开展不少于 2 次，检查结果公开通报并与绩效奖金直接挂钩。制定维护工作计划管理办法，将日常维护、定期保养、专项检修等工作纳入钻井作业整体进度安排，合理调配人力物力资源，保障维护工作按时有序开展。建立跨岗位协同配合机制，畅通钻井工程师、泥浆工程师、设备运维人员之间的信息沟通渠道，每日召开工作协调会，实现维护工作与钻井作业的深度融合。推进维护管理信息化建设，搭建钻井液循环系统运行数据采集与分析平台，实现运行状态实时监控、性能参数自动分析、维护需求智能预警^[10]。建立维护决策支持机制，基于运行数据与历史经验科学制定维护方案，提升维护决策的科学性与精准性。然而，管理制度的有效执行需要管理层的高度重视与持续推动，形成自上而下的重视维护、规范管理的良好氛围。维护管理体系建设纳入钻井项目负责人年度考核指标，权重不低于 15%。

三、总结

钻井液循环系统的维护管理乃是钻井工程质量控制里的关键部分，和油气勘探开发的安全、效率、成本紧密相连。智能化与数字化技术发展迅速，给维护管理模式的升级予以技术支撑，物联网、大数据、人工智能等技术跟钻井工程深度结合，使得维护管理从被动应对转成主动预判，从经验驱动变成数据驱动，从人工操作变为智能决策。未来研究能够进一步专注于智能监测预警系统的开发、维护决策优化模型的建立、全生命周期管理平台的搭建等方面，不断完善钻井液循环系统维护管理模式，为油气勘探开发在质量与效率提高上给予更稳固的技术和管理保障。

参考文献

- [1] 李青松. 海洋模块钻井液循环系统优化及安全环保技术应用 [J]. 石化技术, 2026, 33 (01): 143-145.
- [2] 吕小峰. 钻井泥浆泵冷循环系统的优化改进研究 [J]. 中国设备工程, 2023, (15): 87-89.
- [3] 秦如雷, 王林清, 陈浩文, 和国磊, 许本冲. 钻井液连续循环钻井技术及自动化装备设计 [J]. 钻探工程, 2021, 48 (06): 63-67.
- [4] 王祖凡. 南极低温钻井液循环系统设计 [D]. 中国地质大学 (北京), 2024.DOI: 10.27493/d.cnki.gzdz.2024.001937.
- [5] 鹿超. 提高钻井工程质量的措施分析 [J]. 西部探矿工程, 2022, 34 (07): 42-44.
- [6] 孙金声, 刘洪涛, 韩金良, 等. 深层煤岩气长水平井胶结膜固壁疏水钻井液技术 [J/OL]. 石油勘探与开发, 1-10[2026-06-16].<https://link.cnki.net/urlid/11.2360.te.20260601.1829.002>.
- [7] 王倩男, 张毅, 冉恒谦, 等. 智能水基钻井液关键处理剂研究进展及展望 [J/OL]. 地球科学, 1-26[2026-06-16].<https://link.cnki.net/urlid/42.1874.p.20260528.1620.010>.
- [8] 石小龙, 熊勇, 唐双辉. 东巴格达南油田 Khasib 层水平井钻井液使用技术 [J]. 云南化工, 2026, 53(5): 111-114.
- [9] 樊彬. 堵漏防塌钻井液技术在川西 X205 井的应用 [J]. 辽宁化工, 2026, 55(5): 829-832.DOI: 10.14029/j.cnki.issn1004-0935.2026.05.022.
- [10] 高小芄. 浅析超低渗透钻井液完井液技术 [J]. 石化技术, 2026, 33(5): 175-177.