

钻井液在石油钻井中的选择与维护

王 江 乌 晗

广东南油服务有限公司 广东 广州 510000

摘 要：本文围绕石油钻井中钻井液的选择与维护展开研究，阐述钻井液的分类、核心性能指标及与钻井作业的关联性，明确钻井液选择需遵循适应、安全、经济、储层保护四大原则，分析地质、工艺、环境等影响因素及不同场景下的选择方法，总结日常及复杂工况下的维护技术与环保措施，为钻井液的科学选用、规范维护提供理论与实践参考，助力钻井作业安全高效推进，减少储层伤害，提升钻井综合效益。

关键词：钻井液；石油钻井；选择；维护

引言

钻井液作为石油钻井作业的“血液”，承担着携砂、护壁、平衡地层压力、润滑钻具等关键作用，其选择合理性与维护规范性直接决定钻井效率、施工安全及储层保护效果。随着石油钻井向深层、复杂地层延伸，钻井工况愈发严苛，对钻井液性能提出更高要求。因此，深入研究钻井液的选择原则、影响因素及维护技术，解决选择不当、维护不及时引发的井下事故，对推动石油钻井工程高质量发展具有重要现实意义。

1 钻井液的基础理论与核心性能指标

1.1 钻井液的定义与分类

(1) 钻井液的概念与基本组成：钻井液又称钻井泥浆，是钻井过程中循环使用的具有多种功能的流体，主要由液相（水、油或气体）、固相（黏土、加重剂等）和化学处理剂三部分组成，核心作用是辅助钻井作业顺利进行，保护井眼安全。(2) 钻井液的主要分类及适用场景：分为水基、油基、气基三大类。水基钻井液以水为连续相，成本低、环保性好，适用于大部分陆地钻井和浅中深井；油基钻井液以油为连续相，抗温抗污染能力强，适用于高温深井、易塌地层；气基钻井液以气体为连续相，摩阻小、对储层伤害小，适用于低压低渗储层钻井。(3) 不同类型钻井液的核心特性差异：水基钻井液易受盐、钙等杂质污染，滤失量较难控制；油基钻井液润滑性好、滤饼质量优，但成本高、环保处理难度大；气基钻井液无自由液，滤失量极低，但需控制井内压力，防止井塌。

1.2 钻井液的核心性能指标

(1) 流变性指标及影响因素：主要包括粘度、切力、塑性粘度等，决定钻井液的流动能力和携砂效果。粘度影响钻井液循环效率，切力保证停泵时悬浮岩屑，其受固相含量、化学处理剂、温度等因素影响，固相过多会

导致粘度升高。(2) 滤失性指标的作用与要求：滤失量是钻井液滤失的水量，滤饼质量决定井壁稳定性，优质滤饼薄而致密，可减少滤失、防止井壁坍塌，钻井中需严格控制滤失量，满足不同地层的钻井要求。(3) 密度、pH值等其他关键性能指标的影响：密度用于平衡地层压力，防止井喷、井塌，过高会伤害储层，过低则引发井控风险；pH值一般控制在8-11，可抑制黏土水化、防止钻井液变质，保障其性能稳定^[1]。

1.3 钻井液性能与钻井作业的关联性

(1) 钻井液性能对钻井速度的影响：粘度适中可减少循环阻力、提高携砂效率，避免岩屑沉积卡钻，过高则增加能耗、降低钻速，流变性不佳会严重影响钻井进度。(2) 钻井液性能与井壁稳定的关系：滤饼质量好、滤失量小，可有效封堵地层孔隙，抑制黏土膨胀，防止井壁坍塌、缩径；密度不合理会导致地层压力失衡，引发井壁失稳事故。(3) 钻井液性能对储层保护的作用：合理控制密度和滤失量，可避免钻井液侵入储层孔隙，减少储层伤害；选择适配的钻井液类型，能降低对储层渗透率的影响，保障油气产能。

2 石油钻井中钻井液的选择原则与方法

2.1 钻井液选择的核心原则

(1) 适应性原则：核心是确保钻井液与钻井所在地层条件、钻井工艺高度适配。地质条件方面，需根据地层岩性、压力、温度等参数调整钻井液类型，如易塌地层需选择滤饼质量好、抑制性强的体系；钻井工艺方面，不同钻井速度、循环方式对应不同流变性要求，确保钻井液能满足携砂、润滑等基础功能，保障钻井作业顺畅推进。(2) 安全性原则：首要保障钻井施工安全与环境安全，既要防止井喷、井塌、卡钻等钻井事故，通过合理控制钻井液密度平衡地层压力，优化流变性避免岩屑沉积，也要符合环保要求，选用低污染、易处理的钻井

液体系,减少对施工区域土壤、水体的污染,同时避免钻井液性能异常引发的设备损坏或人员安全隐患。(3)经济性原则:在满足钻井需求的前提下,实现成本控制与资源节约。优先选用来源广泛、价格合理的原材料,优化钻井液配方,减少化学处理剂的用量;合理循环利用钻井液,降低废液处理成本,避免过度追求高性能而造成的资源浪费,实现钻井效益最大化。(4)储层保护原则:核心是减少钻井液对油气层的伤害,避免影响油气产能。需控制钻井液密度、滤失量,防止钻井液固相颗粒和滤液侵入储层孔隙,堵塞油气通道;根据储层渗透率、孔隙度等参数,选择适配的钻井液类型,如低压低渗储层优先选用气基或低伤害水基钻井液,最大限度保护储层完整性。

2.2 钻井液选择的影响因素分析

(1)地质条件因素:是钻井液选择的核心影响因素。地层岩性决定钻井液抑制性要求,如泥页岩地层需强抑制性钻井液防止水化膨胀;地层压力直接影响钻井液密度,高压地层需提高密度平衡压力,低压地层则需降低密度避免储层伤害;地层温度影响钻井液稳定性,高温深井需选用抗温性能强的处理剂,防止钻井液降解失效^[2]。(2)钻井工艺因素:钻井深度不同,对钻井液性能要求差异较大,深井需重点考虑抗温、抗污染能力,浅井可选用成本较低的常规体系;钻井方式(旋转钻井、冲击钻井)和井型(直井、水平井)影响钻井液流变性和润滑性,水平井需优化钻井液粘度和切力,增强携砂能力,同时提高润滑性减少摩阻。(3)环境因素:需严格遵循施工区域环保标准,陆地钻井需控制钻井液废液排放,选用可生物降解的处理剂;海上、生态敏感区域钻井,需采用低污染、无毒性钻井液体系,避免污染海洋水体或破坏植被,同时满足当地环保部门的监测要求,降低环境治理成本。

2.3 不同钻井场景下的钻井液选择方法

(1)浅层钻井的钻井液选择及参数确定:浅层地层压力低、岩性相对稳定,优先选用成本低廉、易维护的水基钻井液。参数方面,密度控制在 $1.05\sim 1.15\text{g/cm}^3$,满足地层压力平衡需求;粘度控制在 $18\sim 25\text{mPa}\cdot\text{s}$,切力适中,确保能有效携砂且循环阻力小,滤失量控制在 10ml 以内,保障井壁基本稳定。(2)中深层复杂地层钻井的钻井液选择策略:中深层地层温度高、压力变化大,常伴随易塌、易漏等问题,优先选用抗温抗污染能力强的水基钻井液或油基钻井液。针对复杂地层特性,添加抑制性处理剂增强防塌效果,优化滤饼质量减少滤失;若地层温度超过 150°C ,选用抗温型化学处理剂,确保钻

井液性能稳定,同时控制密度适配地层压力,避免井喷、井塌事故^[3]。(3)特殊井的钻井液选择要点:水平井、定向井钻井过程中摩阻大、岩屑沉积风险高,需选用高润滑性、强携砂能力的钻井液。优先选用水基钻井液并添加润滑处理剂,降低钻具与井壁的摩阻;优化流变性,提高动切力与静切力,确保停泵时岩屑不沉积;控制滤失量,形成薄而致密的滤饼,防止井壁坍塌,同时减少钻井液对储层的伤害,保障钻井施工和油气产能。

3 石油钻井中钻井液的维护技术与措施

3.1 钻井液维护的核心目标与要求

(1)维持钻井液性能稳定的核心目标:确保钻井液的流变性、滤失性、密度等核心性能始终符合钻井作业要求,能够持续发挥携砂、护壁、平衡地层压力、润滑钻具的作用,杜绝因钻井液性能异常引发井塌、卡钻、井喷等安全事故,保障钻井作业连续、高效推进,同时最大限度减少对储层的伤害,保护油气产能。(2)钻井液维护的技术要求与质量标准:技术上需实现实时监测、精准调控,根据钻井工况变化及时调整钻井液配方和性能参数;质量标准方面,需严格控制各项性能指标在规定范围,如滤失量不超过设计值、密度偏差控制在 $\pm 0.05\text{g/cm}^3$,滤饼薄而致密、无裂缝,钻井液无明显分层、沉淀,化学处理剂添加合理,不出现过度污染或性能衰减现象。(3)钻井液维护与钻井效率的协同关系:优质的钻井液维护是提高钻井效率的关键,性能稳定的钻井液可减少岩屑沉积、降低钻具摩阻,避免因性能异常导致的停钻、处理事故等耗时环节;同时,合理的维护措施可延长钻井液使用寿命,减少废液排放和材料消耗,降低钻井成本,实现钻井效率与经济效益的双重提升。

3.2 钻井液日常维护技术

(1)钻井液性能的实时监测方法与频率:采用现场检测与实验室分析相结合的方式,现场通过粘度计、密度计、滤失仪等仪器,实时监测粘度、密度、滤失量等关键指标;浅井每4小时检测1次,中深井每2小时检测1次,复杂地层每1小时检测1次,发现性能异常立即分析原因并处理;实验室定期对钻井液固相含量、pH值、添加剂浓度等进行精准分析,为维护调整提供依据。(2)钻井液固相控制技术:核心是去除钻井液中多余的固相颗粒,防止固相含量过高导致粘度上升、滤失量增大。主要采用分级处理方式,先用除砂器去除粒径大于 $74\mu\text{m}$ 的砂粒,再用除泥器去除粒径 $2\sim 74\mu\text{m}$ 的泥质颗粒,最后通过离心机分离粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的胶体颗粒;同时定期清理循环系统,减少固相沉积,确保固相含量控制在设计范围内,维持钻井液流变性稳定^[4]。(3)钻井液添加剂的合

理添加与调控：根据钻井液性能变化和工况需求，精准添加各类化学处理剂。抑制性添加剂按需添加，防止黏土水化膨胀；降粘剂用于调节粘度，避免粘度过高增加循环阻力；滤失剂用于改善滤饼质量、控制滤失量；润滑剂用于降低钻具摩阻，尤其适用于定向井、水平井。添加过程中严格控制用量，避免过量添加导致性能失衡，同时做好搅拌混合，确保添加剂均匀分散。

3.3 复杂工况下钻井液的维护措施

(1) 高温高压地层钻井液的维护策略：重点提升钻井液的抗温稳定性，选用抗温型化学处理剂，防止高温下钻井液降解、性能衰减；控制固相含量，减少高温下固相颗粒聚集；定期检测钻井液密度和粘度，及时调整以平衡高温高压地层压力，同时优化滤失性能，形成稳定滤饼，防止井壁坍塌；循环系统做好保温措施，减少温度变化对钻井液性能的影响。(2) 易漏失、易塌地层钻井液的维护方法：易漏失地层需降低钻井液密度，采用低固相、低粘度钻井液，添加堵漏剂（如膨润土、纤维类材料），封堵地层孔隙，减少漏失；易塌地层需增强钻井液抑制性和护壁能力，添加抑制性处理剂，提高滤饼质量，控制滤失量，避免滤液侵入地层导致黏土膨胀坍塌；同时减少钻井液循环排量，降低对井壁的冲刷，必要时采用分段循环维护，确保井壁稳定。(3) 钻井过程中异常情况的钻井液应急维护：井涌时，立即提高钻井液密度，添加加重剂，快速平衡地层压力，同时加大循环排量，将侵入的地层流体排出，防止井喷；井漏时，立即停止循环，根据漏失程度添加堵漏剂，调整钻井液配方，降低粘度和密度，必要时采用水泥堵漏，待漏失控制后，逐步恢复钻井液正常性能，确保钻井作业安全恢复^[5]。

3.4 钻井液维护的环保处理措施

(1) 钻井液废弃物的处理技术：对钻井过程中产生的废弃钻井液、钻屑等进行分类收集、规范处理。优先采用固液分离技术，将废弃物分离为固相钻屑和液相废液；固相钻屑经干燥、固化处理后，符合环保标准的可

用于场地回填、道路铺设等综合利用，不符合标准的进行无害化处置。液相废液经净化处理，去除重金属、有害化学药剂等污染物，达到当地环保排放标准后排放，或进一步处理后回收利用，杜绝污染土壤、水体和大气。(2) 环保型钻井液的维护与回收利用：优先选用可生物降解、低污染、低毒性的环保型钻井液体系，维护过程中减少有害添加剂的使用，降低污染物产生量。钻井液循环使用期间，定期进行净化、过滤处理，去除杂质和失效成分，补充新鲜钻井液和环保型添加剂，延长其使用寿命。钻井作业结束后，对剩余钻井液进行过滤、净化处理，符合要求的可用于后续钻井作业，无法再利用的经环保处理达标后排放，实现资源节约与环保减排的双重目标。

结束语

综上所述，钻井液的科学选择与精细化维护是石油钻井作业顺利开展的核心保障，需结合地质条件、钻井工艺等实际情况，遵循四大选择原则，精准匹配钻井场景。同时，通过实时监测、固相控制、添加剂调控等措施，实现钻井液性能稳定，兼顾环保与经济性。未来需持续优化钻井液配方与维护技术，适配复杂钻井工况，减少储层伤害，为石油勘探开发事业的高效、安全、绿色发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]李超.钻井液配置技术、工艺与维护探讨[J].新疆有色金属,2020,43(4):30-31.
- [2]周大字.油基钻井液维护处理技术研究[J].西部探矿工程,2020,32(6):87-88.
- [3]杨力省.钻井液水侵事故处理及维护方案[J].西部探矿工程,2020,32(3):113-117.
- [4]王海军.基于大数据的钻井液维护与处理方法研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,45(1):54-56.
- [5]刘新.深井和超深井钻井液的维护与处理方法[J].石化技术,2022,29(6):165-167.