石油钻井液的选择及使用

周　俊

中石化西南石油工程公司钻井工程研究院　四川　德阳　618000

摘　要：钻井液是石油钻井施工的核心工作介质，其选型与现场管控直接影响钻井安全、施工效率与储层保护效果。本文以不同钻井工况为研究切入点，系统划分水基、油基、合成基三类主流钻井液体系，明确各体系性能指标与适用范围。针对常规井、深井、复杂地层及水平定向井四类施工场景，制定差异化钻井液选型方案，梳理现场配制、动态调控、固控维护及分阶段施工的标准化操作工艺。结合油田技术发展现状，总结环保化、智能化、极端工况专用钻井液新技术，分析行业发展趋势，可为现场钻井液优化应用、降低井下复杂风险提供实操参考。

关键词：石油钻井液；分类；选择方案；使用工艺；操作规范

引言：当前油气勘探开发逐步向深层、非常规及近海复杂区块拓展，井下高温高压、地层坍塌、钻井液漏失等复杂工况频发，对钻井液适配性与现场管控水平提出更高要求。钻井液选型不合理、现场操作不规范，极易引发井壁失稳、钻具磨损、储层损伤等问题，大幅提升钻井施工成本。现阶段油田现场存在工况匹配精准度不足、动态调控标准化程度低等实操问题。为此，本文结合现场施工经验，系统梳理不同工况钻井液选型方法与标准化使用工艺，总结前沿技术发展方向，为复杂工况钻井施工提质增效提供技术支撑。

1 石油钻井液分类与性能指标

1.1 钻井液的主要分类及适用场景

现阶段油田现场应用的钻井液，按照基础介质可分为水基、油基和合成基三大类。水基钻井液以水为分散介质，成本低廉、配制便捷、环保性较好，是常规浅中深井、普通地层钻井的主流选型，适配大部分常规油气井施工。油基钻井液以柴油、白油等为基液，具备抗高温、抗盐污染、润滑性优异的特点，主要应用于深井、超深井及易坍塌、高矿化度的复杂地层。合成基钻井液综合了水基与油基的优势，低毒低污染、性能稳定，多用于海上钻井、环保管控严格区域及特殊复杂定向井作业。

1.2 钻井液关键性能评价指标

钻井液性能的优劣直接决定钻井施工质量，现场核心评价指标包含密度、黏度、滤失量、泥饼厚度和固相含量。密度是平衡地层压力的核心参数，需根据地层压力精准调控，密度过高易压漏地层，过低则无法抑制地层压力。黏度决定钻井液携砂与悬浮能力，黏度过高会增加循环阻力，过低难以携带岩屑。滤失量和泥饼质量影响井壁稳定性，滤失过大会造成地层水化坍塌。固相含量需严格控制，过高会降低钻井效率、损伤储层，是钻井液日常调控的重点指标[1]。

2 不同工况下石油钻井液的选型方案

2.1 常规浅中深井钻井液选型方案

常规浅中深井一般井深小于 3500m，地层结构简单、温度压力偏低，无明显井壁失稳、漏失等复杂问题，钻井液选型以经济性、通用性、易调控为核心原则，现场以改性水基钻井液为主要选型。（1）普通黏土水基钻井液。该体系适配井深 1500m 以内浅井，地层以松散砂岩、泥岩为主。体系以膨润土、纯碱为基础原料，搭配少量降滤失剂、增黏剂，整体配方简单、配制成本低。施工中可根据地层出水、出砂情况微调黏度与密度，密度控制在 1.05~1.15g/cm³，既能满足地层压力平衡需求，又可避免液柱压力过高造成的浅层地层损伤，适配陆上常规油气浅层开发井施工。（2）聚合物水基钻井液。针对 1500~3500m 中深井段，地层存在轻微泥岩水化、地层微渗透问题，选用聚合物钻井液体系。通过添加聚丙烯酰胺、磺化处理剂等助剂，提升钻井液抑制性与护壁能力，有效抑制泥页岩水化膨胀、分散掉块。该体系流变性能稳定，固相含量易控制，可降低钻井阻力，适配大部分陆上中深常规井，是目前油田浅中深井应用最广泛的钻井液体系。

2.2 深井、超深井钻井液选型方案

深井（3500~4500m）、超深井（4500m 以上）地层具有高温、高压、高矿化度特点，井下温度普遍超过 120℃，部分深层地层温度可达 180℃以上，常规水基钻井液易出现性能失效问题，选型重点为抗温、抗盐、

性能稳定的钻井液体系。（1）磺化耐高温水基钻井液。适用于中高温深井、地层含盐量较低的工况。体系采用磺化褐煤、磺化酚醛树脂等耐高温处理剂，可在150~170℃高温环境下保持滤失量、黏度稳定，抗温抗污染能力较强。相较于油基钻井液，该体系成本更低、环保性更好，能够满足大部分深层碎屑岩地层钻井施工需求，是深井施工的经济型优选方案。（2）高密度油基钻井液。针对超深井、高温高压高矿化度地层，选用柴油基、白油基钻井液。该体系耐高温性能优异，可适配180℃以上极端温度，抗盐、抗钙镁离子污染能力极强，流变参数受温度压力影响小。施工中可通过调整重晶石加量控制体系密度，最高可适配 2.3g/cm³ 高密度施工，有效平衡超深井高压地层压力，杜绝井喷隐患，同时润滑性优异，可降低深井钻具磨损与托压问题。

2.3 复杂地层（坍塌、漏失、高温高压）选型方案

复杂地层钻井存在井壁坍塌、钻井液漏失、高温高压多重风险，工况随机性强，钻井液选型需针对性解决单一或复合井下故障，采用定制化、强适配性体系。（1）易坍塌地层钻井液选型。针对破碎泥页岩、煤系地层、裂缝发育易坍塌地层，选用强抑制防塌水基钻井液或低毒油基钻井液。通过添加钾盐、有机硅防塌剂，强化体系抑制性，封堵地层微裂缝，阻止地层水渗入引发的水化坍塌。对于坍塌严重的不稳定地层，优先选用油基钻井液，利用其疏水特性隔绝地层水，从根源规避井壁失稳问题。（2）井漏地层钻井液选型。针对孔隙、裂缝性漏失地层，采用随钻堵漏钻井液体系。在常规钻井液基础上添加纤维、颗粒、凝胶类堵漏材料，形成复合封堵结构，实时封堵地层孔隙与裂缝。轻微漏失工况选用单向压力封堵钻井液，严重恶性漏失工况可搭配高黏堵漏浆，兼顾钻井循环与堵漏施工需求。（3）高温高压复杂地层钻井液选型。选用有机盐复合钻井液体系，结合水基与油基体系优势，抗温可达 200℃以上，高密度条件下流变性能稳定，不易出现稠化、沉淀问题，适配深层碳酸盐岩、致密地层高温高压钻井施工。

2.4 水平井、定向井特殊钻井液选型方案

水平井、定向井存在井眼轨迹特殊、井壁接触面积大、携砂难度高、钻具摩擦阻力大等特点，钻井液选型重点为高润滑、强携砂、低伤害、稳井壁。（1）中短半径定向井钻井液选型。常规中短半径定向井以水基润滑钻井液为主，在聚合物钻井液基础上添加液体润滑剂、石墨润滑材料，降低钻具与井壁摩擦系数，有效缓解定向钻进过程中的托压、憋泵问题。同时优化体系黏度与切力，提升悬浮携砂能力，避免水平段岩屑床堆积。（2）长半径水平井钻井液选型。长水平段水平井施工难度大、储层保护要求高，优先选用低伤害合成基钻井液或超低渗透油基钻井液。该体系润滑性能优异，可大幅降低长距离钻进的摩擦阻力与扭矩，同时具备低滤失、低渗透特性，能够减少钻井液滤液侵入储层，保护油气层渗透率。针对致密油气水平井，可选用无固相钻井液，彻底杜绝固相颗粒堵塞储层孔隙，提升后期油气开采效率[2]。

3 石油钻井液现场使用工艺与操作规范

3.1 钻井液配制比例与预处理工艺

钻井液现场配制质量直接影响体系流变特性与井壁稳定效果，是保障井下施工平稳的基础工序，现场需严格执行标准化配比与预处理流程。（1）标准化配比控制。结合井型设计与地层条件确定钻井液基础配方，以清水和膨润土为基料，按需定量投加各类处理剂。浅层井膨润土含量控制在 3%～5%，中深井及易水化地层调整为 5%～8%。降滤失剂、抑制剂、润滑剂等辅料均按设计比例少量精准投加，禁止超量添加，防止出现黏度超标、固相偏高、流变性能失衡等问题，所有配比参数严格参照油田施工设计书执行。（2）分级加料与搅拌工艺。配制遵循“先基料、后助剂”的顺序，先向循环罐注入清水，均匀投入膨润土与纯碱，充分搅拌水化 24 小时以上，形成稳定基浆。基浆性能达标后，依次添加聚合物、防塌剂、加重剂等材料，全程配合机械搅拌与剪切设备持续作业，杜绝干粉结块、物料分层，保证钻井液体系均匀稳定。

3.2 钻井过程中性能实时调控方法

钻井过程受地层岩性、温压条件、地层水侵蚀等因素影响，钻井液参数易发生波动，需依托定时监测数据实施动态调控，保障施工安全与连续性。（1）密度动态调控。正常钻进每 30 分钟检测一次密度，结合地层压力变化调整加重剂用量。钻遇高压层、油气显示层适度提高密度，平衡地层压力；钻遇低压易漏地层采用低密度轻浆施工，严控压力差值，规避井漏、井内压力失衡风险。（2）流变参数调控。针对黏度、切力波动坚持少量多次补剂原则。黏度过低、携砂能力不足时补充增黏聚合物；黏度过高、循环阻力偏大时加入稀释剂优化流变性，保障钻井液悬浮携砂与稳定循环能力。（3）抗污染性能调控。钻遇盐水层、膏盐层等污染地层时，及时投加抗盐、抗钙处理剂，中和地层离子干扰，抑制体系凝胶、稠化现象，快速恢复钻井液性能稳定，减少井下复杂情况。

3.3 钻井液循环、净化与维护流程

钻井液循环净化与日常维护可有效降低劣质固相含量，稳定体系综合性能，现场需依托固控设备建立标准化运维体系。（1）闭环循环作业规范。施工全程保持闭环循环，起下钻、接单根阶段维持低速循环，防止岩屑静置沉降堆积。作业期间实时监测泵压、返浆状态，出现参数异常及时排查管路堵塞与体系性能故障。（2）多级固相净化处理。严格执行四级固控流程，通过振动筛、除砂器、除泥器、离心机逐级清除岩屑与劣质固相。浅层井启用振动筛与除砂器即可，深井、高密度钻井工况配套开启离心机，严控固相含量，降低钻具磨损与循环阻力。（3）日常常态化维护。每日定时检测钻井液全套性能，记录参数变化趋势，及时补充损耗助剂。定期清理循环罐、沉砂池堆积杂质，避免污染物持续影响体系质量，延长钻井液复用周期[3]。

3.4 不同钻井阶段的使用调整要点

钻井各阶段井下工况差异明显，需结合施工进程针对性调整钻井液参数与体系配方，适配阶段性施工需求。（1）开钻阶段。浅层地层疏松、易冲蚀，采用低黏度、低密度简易钻井液体系，在保障快速钻进效率的同时，强化滤失控制能力，稳固浅层井壁。（2）主力钻进阶段。以体系性能稳定为核心，精细化调控密度、黏度与抑制性能，根据岩性变化动态微调助剂配比，兼顾携砂、护壁、抗污染多项施工要求。（3）完井阶段。进入储层段后优化为低伤害、低滤失、低固相钻井液，减少滤液侵入和固相颗粒堵塞，保护储层孔隙结构，为后续固井、测井及油气投产作业提供优质井眼条件。

4 钻井液选型与使用的新技术及发展趋势

随着油气勘探开发不断向深层、非常规及近海区块推进，传统钻井液体系已无法适配复杂井下工况，行业技术主要围绕以下三个方向迭代升级。（1）低伤害环保型钻井液技术。现阶段油田环保管控日趋严格，传统油基钻井液污染性强、废液处理成本高的短板突出。目前行业重点推广可降解环保钻井液与无固相低伤害钻井液，体系采用植物胶、可降解高分子等绿色原料，无重金属及有害助剂。（2）智能化钻井液调控技术。依托钻井数字化系统，钻井液选型与运维逐步摒弃传统人工经验模式。通过随钻监测设备实时采集井下温度、压力、流变性能等参数，结合智能算法匹配最优配方，精准调控钻井液密度、黏度等关键指标，减少人工操作误差，提升复杂地层适配性，有效降低井下复杂故障发生率。（3）极端工况专用钻井液技术。针对深井超深井高温高压、高盐腐蚀、裂缝坍塌等恶劣工况，纳米封堵、耐高温抗盐复合钻井液已实现规模化应用。该体系依靠纳米颗粒封堵地层微裂缝，搭配耐高温改性助剂，可在200℃以上高温、高密度条件下维持性能稳定，解决了传统钻井液高温稠化、盐侵失效等技术难题，为深层油气高效开发提供技术支撑[4]。

结束语：本文通过对不同工况钻井液选型及现场使用工艺的系统分析，明确了各类钻井液体系的适配场景与核心性能控制标准。针对常规井、深井、复杂地层与特殊轨迹井建立了针对性选型方案，规范了钻井液配制、调控、净化维护的全流程现场操作要点。研究表明，精准匹配工况选型、动态化性能调控、标准化现场管控是规避井下故障、保护储层、提升钻井效率的关键。

参考文献

[1] 刘伟, 邢炳强. 石油钻井液环保处理技术研究 [J]. 石油石化物资采购,2024,(12):121-123.

[2] 刘日淦. 石油钻井施工中钻井液的选择及使用 [J]. 工程施工新技术,2025,4(12).23-24.

[3] 刘续, 苏正涛, 郑建领. 石油钻井的钻头选择及钻井液确定 [J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 A,2025,(9):040-043[2026-07-20].

[4] 陈晓森, 胡文芹, 陈宝财, 等. 新型钻井液加重化学剂在石油钻井中的应用 [J]. 当代化工,2024,53(9):2050-2053.