

一、工作简况

1. 任务来源

本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口，列入《202X年团体标准制修订计划》（编号：T/XXXX-202X）。旨在解决解决钻井液性能受高盐高钙、海域低温环境影响方面的技术难题，规范阳离子响应型降滤失剂、阳离子响应型聚合物提切剂、温度响应型流型调节剂的技术要求与评价方法，填补行业技术空白，推动钻完井液性能的提升，保障油气钻探作业的安全与高效。

2. 起草单位与参编单位

主要起草单位：中国石油大学（北京）石油工程学院

参编单位：中国石油集团川庆钻探工程有限公司、宁夏大学、中国石油集团工程技术研究院有限公司、北京石大博诚科技有限公司。

3. 主要起草人及贡献

蒋官澄：主导阳离子响应型降滤失剂、阳离子响应型聚合物提切剂、温度响应型流型调节剂结构设计与性能优化，制定核心技术指标；

贺垠博：负责实验方法的设计与标准化，参与现场应用验证；

于豪：负责技术指标的实验验证及标准文本的技术校对。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

油气勘探开发向深层、复杂地层推进时，钻井面临温度波动大（2°C-200°C）、地层压力多样（对应钻井液密度1.0-2.2g/cm³）、井下流体复杂（含NaCl、CaCl₂、FeCl₃等盐类）的挑战。传统钻井液难动态适配环境变化，易出现低温动切力骤升、高温滤失量超标、盐环境下黏度失控等问题，引发井壁失稳、卡钻等事故，制约作业安全与效率。阳离子与温度自适应型钻井液逐步推广，但缺乏统一规范：一是关键处理剂（阳离子响应型降滤失剂等）加量、配制流程（高速搅拌时长、养护温度）、测试环节（高温老化、低温流变性测试）执行不一，性能差异显著；二是性能指标（动切力变化率≤25%、HTHP滤失量≤20mL）、现场施工、安全环保要求无基准，导致数据难对比、成果转化慢、资源浪费。本标准将固化成熟技术路径（基浆养护→处理剂分步添加→密度调整→高温老化）、关键性能指标及现场操作要点，首次填补该领域标准空白。既统一行业技术语言与评价基准，解决数据共享难、成果转化慢的问题；又为复杂地层钻井提供精准技术支撑，降低井下事故率；同时通过明确安全环保要求，推动钻井作业向安全高效方向发展，对保障油气勘探开发意义重大。

三、主要起草过程

1、预研阶段（2023.01-2023.06）

基于GB/T 16783.1-2017、SY/T 5490等现行标准，结合阳离子与温度自适应型钻井液在复杂地层的应用案例，系统分析发现现有标准在低温流变性、阳离子体系动切力变化率测定及钻完井液老化后性能稳定性评价方面的缺失，确立以阳离子响应型降滤失剂、温度响应型流型调节剂的加量控制及体系综合性能（表观黏度、滤失量、切力变化率）为核心的技术指标研制方向。

2、技术攻关（2023.07-2025.09）

针对阳离子与温度自适应型钻井液的温度适应性和抗盐性需求，联合中国石油大学（北京）、川庆钻探工程有限公司等起草单位实验室开展对比试验，实现200°C/16h热滚老化后体系动切力变化率≤25%、6转读数变化率≤25%（依据

GB/T 16783.1); 开发低温流变性测试方法, 确保体系在低温环境下表观黏度符合 30~120mPa·s 区间要求; 通过跨平台验证不同密度 (1.0-2.2g/cm³) 钻井液处理剂加量配比的重复性 (RSD<5%), 填补现有标准在温度自适应钻井液性能评价的空白。

3、标准编制 (2025.09-2025.12)

经 2 次专家论证会修订 5 项技术指标, 将体系 1#+15% NaCl+5% CaCl₂+1% FeCl₃环境下高温高压滤失量上限从 20mL 优化为 18mL, 新增钻完井液回用与处置流程(低密度固相含量≤10%)及安全防护条款(符合 GB/T 27476.1 实验室安全要求); 采纳中国石油集团长城钻探、北京石大博诚等 28 家单位的 19 条意见, 调整基浆配比 (2% 膨润土 + 0.2% NaOH) 以衔接 GB/T 5005 钻井液材料规范, 完善实验方法中密度、滤失量的测定细节, 形成标准草案。

4、审查发布 (2026.01-2026.02)

标准草案通过中关村绿色矿山产业联盟技术审查, 经联盟相关部门批准后, 于 2026 年 2 月正式发布, 公告号为: *****。

四、制定（修订）标准的原则和依据

本标准的制定（修订）原则如下:

科学性: 本标准的制定以阳离子与温度自适应型钻井液的系列实验数据和现场工程实践为核心支撑, 通过分析 API RP 13B-1、ISO 10414-1:2013 等国内外钻井液性能测试标准, 结合海域复杂温度、高阳离子环境下钻井液流变性失效、滤失量超标等案例, 科学设定钻井液的表观黏度、动切力、高温高压滤失量及动切力变化率等关键技术指标, 同时明确钻完井液 200℃滚动老化 16h 的老化工艺要求, 确保指标设定符合实际工况规律。

适用性: 本标准专门针对阳离子与温度自适应型钻完井液, 聚焦其在海域低温环境、高温地层条件及高阳离子污染地层中的应用需求, 通过差异化设定处理剂加量, 确保钻井液在密度 1.0~2.2g/cm³ 范围内均能保持稳定性能, 满足改型钻完井液检验与验收的特定场景需求, 适用性强。

可操作性: 标准中详细明确了钻井液的配制工艺、性能试验方法、现场施工要求及回用处置流程, 并配套附录 A(仪器设备参数)、附录 B(试验操作细节), 步骤清晰、指标量化, 确保标准实施过程中具备良好的可操作性。

本标准的制定（修订）依据如下:

《标准化法》(2017 修订)

GB/T 5005 钻井液材料规范

GB/T 6678 化工产品采样总则

GB/T 6679 固体化工产品采样通则

GB/T 6680 液体化工产品采样通则

GB/T 6682 分析试验用水规格和试验方法

GB/T 16783.1 石油天然气工业钻井液现场测试第 1 部分:水基钻井液

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

GB/T 27476.1 检测实验室安全第 1 部分: 总则

GB/T 29170 石油天然气工业 钻井液实验室测试

SY/T 5225 石油天然气钻井、开发、储运防火防爆安全生产技术规程

SY/T 5490 钻井液试验用土

SY/T 5677 钻井液用滤纸

SY/T 5974 钻井井场设备作业安全技术规程
SY/T 6094 钻井液用润滑剂技术规范
SY/T 6629 陆上钻井作业环境保护推荐作法
SY/T 6788 水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法
SY/T 7074 钻井液高温高压滤失量测试仪校准方法
T/GRM 124 钻完井液用降滤失剂盐响应型聚合物

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准在《标准化法》(2017修订)和GB/T 1.1—2020框架下,对GB/T 5005、SY/T 5490、GB/T 16783.1等现有标准进行技术延伸与创新:针对GB/T 5005未细化的阳离子与温度自适应型钻井液专用处理剂指标空白,补充阳离子响应型降滤失剂(加量1~3%)、温度响应型流型调节剂(加量0.5~1%)的精准用量范围,并新增200℃/16h热滚老化后动切力变化率≤25%、6转读数变化率≤25%等动态稳定性指标;深化SY/T 5490的膨润土应用场景,开发“膨润土+复合阳离子处理剂”协同配浆工艺,解决其未涉及的温度自适应体系基浆制备问题;延伸GB/T 16783.1的流变性评价维度,新增2℃低温环境下表观黏度、初/终切力测试要求,填补低温钻井液流变性能标准空白。同时,安全环保条款与GB 18597、SY/T 6788及《危险化学品安全管理条例》协同,明确钻井液回用处置中低密度固相含量≤10%的控制要求,以及试验区域苯乙烯等有害成分暴露限值(参照相关接触控制标准),确保与危险废物贮存、油田化学剂环保评价等法规标准无缝衔接。

六、标准主要内容说明

6.1 技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则的论据

本标准针对阳离子与温度自适应型钻井液的关键性能进行规范,技术指标设计依据如表1所示:

表1 阳离子与温度自适应型钻井液技术指标

| 指标名称 | 技术要求 | 实验方法依据 | 技术必要性 |
|------------|-------|---|---|
| 动切力变化率, % | ≤25.0 | 钻井液性能测试方法(依据GB/T 16783.1石油天然气工业钻井液现场测试第1部分:水基钻井液优化) | 衡量温度适应性核心指标,确保从低温(2℃)到正常钻井温度(65℃)的性能稳定性,避免携砂能力突变导致的钻井风险 |
| 6转读数变化率, % | ≤25.0 | 钻井液性能测试方法(依据GB/T 16783.1石油天然气工业钻井液现场测试第1部分:水基钻井液优化) | 反映低剪切速率下的性能稳定性,适配低温井段低流速工况,防止岩屑在低剪切环境中沉积,保障井筒清洁 |
| 终切力变化率, % | ≤25.0 | 钻井液性能测试方法(依据GB/T 16783.1石油天然气工业钻井液现场测试第1部分:水基钻井液优化) | 保障温度波动下静止钻井液的悬浮能力,避免停钻时岩屑沉降堵塞环空,降低复钻时的卡钻风险 |

6.2 主要试验(验证)的分析、综述报告

6.2.1 试验方法

(1) 外观的测定

取样品于自然光下进行目测，背景选择白色或透明背景，以确保观察清晰。记录样品的外观特征，包括颜色、透明度、是否有沉淀或分层等异常现象。

(2) 流变性的测定

按照 GB/T16783.1 中流变性测试步骤，测量 65 °C 时样品流变性。

表观黏度 (AV) 按下式计算：

塑性黏度 (PV) 按下式计算：

动切力 (γP) 按下式计算：

(3) 低温流变性的测定

低温流变性能测试实验使用的是 GDC-2 高低温控制装置与六速旋转粘度仪组合使用。按照 GB/T16783.1 中流变性测试步骤，测量 2°C 时样品流变性

(4) 动切力变化率 ($\leq 25\%$) 的测定

取三份养护好的 400mL+1ml 基浆，高速搅拌 20 分钟，在高速搅拌的条件下向三份膨润土基浆中依次加入 0.2%NaOH、(1-3) % 阳离子响应型降滤失剂、(0.5-1) % 阳离子响应型聚合物提切剂、(0.5-1) % 温度响应型流型调节剂、5% 超细碳酸钙、3% 无水聚合醇、6%KCl，在第一份中加入 80.000g (称准至 0.001g) 氯化钠；在第二份中加入 80.000g (称准至 0.001g) 氯化钠、20.000g (称准至 0.001g) 氯化钙；在第三份中加入 80.000g (称准至 0.001g) 氯化钠、20.000g (称准至 0.001g) 氯化钙、4.000g (称准至 0.001g) 氯化铁，每次加入处理剂都需要高速搅拌至少 20 min。配置成所需钻完井液。

取制备完成的三份钻完井液，按 GB/T 16783.1 的规定分别测定老化前钻井液各项粘度和切力等。取制备完成的三份钻完井液，高速搅拌 20 min，装入三个高温老化罐中，通氮气 0.7 MPa，持续 30 s，将高温老化罐放入滚子加热炉中，200℃下热滚 16 h，取出高温老化罐，水冷至室温，将高温老化罐中的三份基浆转移至三个高搅杯中，高速搅拌 20 min。待钻井液冷却至 65℃后按 GB/T 16783.1 的规定测定老化后钻井液各项粘度和切力等。后使用 GDC-2 高低温控制装置与六速旋转粘度仪组合使用。按照 GB/T 16783.1 中流变性测试步骤，测量 2℃时样品流变性。

动切力变化率按下式计算：

$$K_{YP} = \frac{YP_{2^\circ\text{C}} - YP_{65^\circ\text{C}}}{YP_{2^\circ\text{C}}} \times 100 \dots \quad (4)$$

式中：

K_{YP}----动切力变化率, 用百分数表示 (%);

YP₂_c----2℃下样品的动切力，单位为帕（Pa）；

YP₆₅----65℃下样品的动切力，单位为帕（Pa）。

(5) 6 转读数变化率 ($\leq 25\%$) 的测定

取(4)配置好的钻井液,按照GB/T 16783.1中流变性测试步骤,测量钻井液在65℃及2℃条件下的6转读数。

6 转读数变化率按下式计算：

$$K_{\phi 6} = \frac{\phi_{62^\circ C} - \phi_{65^\circ C}}{\phi_{62^\circ C}} \times 100 \dots \quad (5)$$

式中：

K_{θ6}----动切力变化率, 用百分数表示(%);

$\emptyset 62^{\circ}\text{C}$ ----2℃下样品的 6 转读数, 单位为帕 (Pa);

$\emptyset 6_{65^{\circ}\text{C}}$ ---65°C下样品的 6 转读数，单位为帕 (Pa)。

(7) 终切力变化率 ($\leq 25\%$) 的测定

取(4)配置好的钻井液,按照GB/T 16783.1中流变性测试步骤,测量钻井液在65℃及2℃条件下的终切力读数

终切力读数变化率按下式计算：

$$K_{Gel10min} = \frac{Gel10min_{2^\circ C} - Gel10min_{65^\circ C}}{Gel10min_{2^\circ C}} \times 100 \dots \quad (6)$$

武中：

$Gel_{10\min, 2^\circ C}$ —— $2^\circ C$ 下的终切力读数，单位为帕 (Pa)；

Gel_{10min 65°C}——65°C下的终切力读数，单位为帕（Pa）。

6.2.2 试验结果与分析

为验证本标准方法的可行性与可靠性,工作组联合多家机构开展了循环对比测试。试验结果表明,本方法具有高度的可复现性(相对标准偏差小于5%)与良好的技术区分度,能够有效量化不同体系的性能优劣。尤为重要的是,实验室评价结果与多个区块的现场应用效果高度正相关,证明了其对工程实践的指导价值,这些数据为标准的科学性与可行性提供了坚实支撑。

6.3 技术经济论证与预期经济效果

本标准的实施将带来显著的技术经济效益。通过阳离子与温度自适应型钻井液提供科学的评价准则，能够帮助现场更精准地进行技术选型，从而有效预防井壁失稳、漏失等复杂情况，在提升钻井效率与安全性的同时，该型钻井液应用可减少井下事故率 40% 以上、缩短钻井周期 20%~30%，单井综合成本降低 20%；随着我国高盐低温油气藏开发力度加大，预计可形成百亿级市场空间，同时带动降滤失剂、流型调节剂等产业链发展，降低对进口钻井液体系的依赖，提升产业竞争力。长远来看，本标准还将引导行业的技术创新方向，促进自适应型钻井液的产业化进程，提升我国在该领域的核心竞争力。

6.4 修订标准，新旧标准水平对比

本标准为首次制定，在技术水平上达到了国际先进水平。与侧重于评价材料静态、基础性能的现行国内外标准不同，本标准开创性地聚焦于评价材料在复杂地层条件下的“自适应能力”，实现了从“静态评价”到“动态评价”的重大跨越。由于目前国际上尚无同类方法标准，本标准的发布填补了行业空白，在评价理念与技术体系上均具有前瞻性，是对现有标准体系的重大突破与升级。根据技术迭代与行业需求变化，本次修订后的标准在岩心内聚力提高率维度实现提升，具体对比与分析如表2所示：

表2 新旧标准对比情况

| 对比维度 | 旧标准(GB/T 16783.1) | 新标准(本修订版) | 提升效果 |
|-------|-------------------|-------------------------|------------------|
| 低温流变性 | 仅规定室温条件下钻井液流变性 | 新增“2℃条件下表观黏度、初/终切力测试要求” | 确保钻井液在低温条件下仍具有较好 |

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

标准修订过程中，收到来自多家行业单位的意见，主要围绕技术指标细化和试验方法的优化展开。针对动“切力变化率、6 转读数变化率、终切力变化率”的测定方法进行了调整，增加了更多的验证实验，确保标准在不同实验室环境下的可操作性。经过专家审定，修订内容得到一致通过。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准参考了 ISO 10414-1:2013 及 API RP 13B-2 等国际标准，并引入了新的测试方法（如切力变化率测试、6 转读数变化率测试），确保了标准在全球范围内的适应性和先进性。

九、贯彻标准的措施建议

为确保标准的有效实施，建议由中关村绿色矿山产业联盟牵头，开展全面的标准宣贯活动，定期组织技术培训和应用推广，确保标准能够在钻井液生产、应用及检测领域得到广泛落实。

建议建立“阳离子与温度自适应型钻井液质量认证中心”，对生产和使用单位的产品进行定期抽检，确保标准实施后的产品质量始终保持稳定，达到技术要求。可以实施年度抽检（覆盖率 $\geq 20\%$ ）制度，保证标准实施的可追溯性。

建议在标准实施后，通过行业应用反馈机制，收集使用单位对标准实施中的问题和建议，定期修订标准，确保其与行业需求保持一致，不断提升其适用性和技术性。

十、其他应予说明的事项

本标准与现行的 SY/T 5323-2015《钻井液性能测试方法》、API RP 13B-2 等标准协同使用，不替代现有标准中的通用技术要求。标准中新增的阳离子与温度自适应型钻井液性能测试方法和技术要求，能有效补充现有标准中对钻井液的规范，提升现有技术标准的完备性。