

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2025

自适应地层岩性的强化井眼型钻井液应用 技术方法

Adaptive formation lithology strengthening wellbore drilling fluid applied technical
method

2025 - xx - xx 发布

2025 - xx - xx 实施

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 配制工艺 2

 3.1 技术配方 2

 3.2 材料及仪器 2

 3.3 处理剂 2

 3.4 配制方法 2

 3.5 钻井液老化 3

 3.6 钻井液性能测试 3

4 技术要求 3

 4.1 性能指标 2

 4.2 性能测试规定 2

5 试验方法 3

 5.1 仪器设备与试剂材料 3

 5.2 流变性测试 4

 5.3 水相接触角测试 4

 5.4 极压润滑系数测试 4

 5.5 渗透率恢复值测试 4

 5.6 岩心内聚力提高率测试 4

 5.7 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测试 5

 5.8 高温高压封堵滤失量测试 5

 5.9 线性膨胀降低率测试 5

 5.10 岩屑滚动回收提高率测试 5

6 现场施工 5

 6.1 设备 5

 6.2 配制 5

 6.3 维护处理 5

 6.4 回用与处置 5

7 安全环保要求 5

 7.1 安全要求 5

 7.2 环保要求 6

附录 A（资料性） 仪器设备与试剂材料技术要求 7

 A.1 仪器设备 7

 A.2 试剂材料 7

附录 B（资料性） 试验操作方法 7

 B.1 水相接触角测量 8

 B.2 极压润滑系数测量 8

 B.3 岩心内聚力测量 8

 B.4 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测量 8

 B.5 高温高压滤失量测量 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国石油大学（北京）、中国石油集团川庆钻探工程有限公司、宁夏大学、中国石油集团长城钻探工程有限公司、北京石大博诚科技有限公司。

本文件主要起草人：蒋官澄、吕艳华、贺垠博、全晓虎、张鑫、董腾飞、姚如钢、杜明亮、谭宾、杨丽丽、冯奇、冉启华、邓正强、贺会锋。

自适应地层岩性的强化井眼型钻井液应用技术方法

1 范围

本文件规定了自适应地层岩性的强化井眼型钻井液的基本要求及性能指标，规范了自适应地层岩性的强化井眼型钻井液的配制工艺、性能指标、试验方法和安全环保要求。

本文件适用于地层岩性、岩石润湿性复杂或未知，地层温度不大于 200℃等使用自适应地层岩性的强化井眼型钻井液的作业过程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 4796: Laboratory glassware — Filter flasks

API RP 51: 陆上钻井作业环保规范

GB/T 5005 钻井液材料规范

GB/T 6003.1 试验筛 技术要求和检验 第 1 部分：金属丝编织网试验筛

GB/T 6682 分析实验室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/T 27476.1 检测实验室安全 第 1 部分：总则

NB/T 10121 钻井液对页岩抑制性评价方法

SY/T 5153 油藏岩石润湿性测定方法

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 5345 人造岩心制备方法

SY/T 5358 储层敏感性流动实验评价方法

SY/T 5490 钻井液试验用土

SY/T 5613 钻井液测试 泥页岩理化性能试验方法

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 6335 钻井液用页岩抑制剂评价方法

Q/0214HTYD 钻井液封堵性能评价仪

Q/CPCUP 0001-2020 水基钻井液用仿生井壁强化剂 CUP-JQH

TGRM 125-2025 钻井液用润湿反转剂 聚氨酯衍生物

3 配制工艺

3.1 技术配方

自适应地层岩性的强化井眼型钻井液推荐配方为：2%膨润土+(1-3)%井壁润湿性自适应型超双疏剂+(0.5-1)%地层岩性自适应固壁剂+3%聚合物降滤失剂+7%KCl+重晶石。

3.2 材料及主要仪器

清水、膨润土、KCl、无水碳酸钠、井壁润湿性自适应型超双疏剂、地层岩性自适应固壁剂、聚合物降滤失剂、重晶石；老化罐、高搅杯、高速搅拌器，高温滚子加热炉，称重仪等。

3.3 处理剂

3.3.1 处理剂加量

自适应地层岩性的强化井眼型钻井液应根据密度要求选择超双疏剂、自适应固壁剂等关键处理剂的加量，参考表 1。

表 1 自适应地层岩性的强化井眼型钻井液处理剂加量

组分	不同密度处理剂加量/%		
	1.0-1.6g/cm ³	1.6-1.9 g/cm ³	1.9-2.2 g/cm ³
井壁润湿性自适应型超双疏剂	1~1.5	1.5~2	2~3
地层岩性自适应固壁剂	0.5~0.8	0.5~0.8	0.8~1

3.4 配制方法

3.4.1 基浆配制

- (1) 在高搅杯中加入400ml蒸馏水，正确卡在高速搅拌器上搅拌，转速为10000r/min±300r/min，在清水中加入1g（称准至0.01g）无水碳酸钠，搅拌5分钟；
- (2) 再加入8g（称准至0.01g）钻井液用标准膨润土，搅拌20分钟，过程中停止搅拌2次，每次1分钟，用刮刀刮下粘在杯壁上的所有样品，并将粘在刮刀上的所有样品混到悬浮液中，继续搅拌；
- (3) 标准参考SY/T 5490 钻井液试验用土，配制好后取下高搅杯密封常温养护24h。

3.4.2 自适应地层岩性的强化井眼型钻井液配制

- (1) 基浆密封常温养护 24h 后,将高搅杯正确卡在高速搅拌器上搅拌,转速为 10000r/min±300r/min, 搅拌 5 min；将 28g（称准至 0.01g）的 KCl，在基浆高速搅拌（10000r/min±300r/min）下缓慢加入 KCl，持续搅拌 20 min；
- (2) 缓慢加入 12g（称准至 0.01g）的井壁润湿性自适应型超双疏剂，边搅拌边加入，轻轻抖动缓慢加进去，搅拌 20 min，过程中停止搅拌 2 次，每次 1 分钟，用刮刀刮下粘在杯壁上的所有样品，并将粘在刮刀上的所有样品混到悬浮液中；

(3) 继续搅拌 20 min 取下高搅杯加入 4g（称准至 0.01g）自适应固壁剂然后正确卡在高速搅拌器上搅拌，转速为 10000r/min±300r/min，搅拌 20 min；

(4) 取下高搅杯加入 12g（称准至 0.01g）聚合物降滤失剂然后正确卡在高速搅拌器上搅拌，转速为 10000r/min±300r/min，搅拌 20 分钟；

(5)按照密度要求加入适当质量的加重剂，转速为 10000r/min±300r/min，搅拌 30min。

3.5 钻井液老化

将配制好的钻井液体系试验浆装入高温老化罐，放入高温滚子炉中，200℃滚动老化 16h 后，取出冷却至室温（25℃±3℃），在 10000r/min±300r/min 转速下高速搅拌 20min。

3.6 钻井液性能测试

3.6.1 取样测定自适应地层岩性的强化井眼型钻井液性能。

3.6.2 性能应满足设计要求，若达不到要求可调整所需处理剂的加量。

4 技术要求

4.1 性能指标

自适应地层岩性的强化井眼型钻井液的性能应符合表1规定的指标。

表 2 自适应地层岩性的强化井眼型钻井液性能指标

项目		性能指标		
密度, g/cm ³		1.0-1.6	1.6-1.9	1.9-2.2
塑性黏度值, mPa·s		15-25	25-45	45-60
动切力值, Pa		8-10	10-13	13-18
水相接触角, °		≥120.0	≥120.0	≥120.0
极压润滑系数		≤0.15	≤0.15	≤0.15
渗透率恢复值, %		≥95.0	≥95.0	≥95.0
岩心内聚力提高率, %	页岩	≥30.0	≥30.0	≥30.0
	碳酸盐岩	≥20.0	≥20.0	≥20.0
	砂岩	≥15.0	≥15.0	≥15.0
	泥岩	≥30.0	≥30.0	≥30.0
	煤岩	≥25.0	≥25.0	≥25.0
20~80目岩屑胶结后抗压强度, MPa	页岩	≥4.5	≥4.5	≥4.5
	碳酸盐岩	≥7.0	≥7.0	≥7.0
	砂岩	≥4.0	≥4.0	≥4.0
	泥岩	≥3.0	≥3.0	≥3.0
	煤岩	≥4.0	≥4.0	≥4.0
高温高压滤失量, mL		≤15.0	≤20.0	≤20.0
线性膨胀降低率, %		≥45.0	≥45.0	≥45.0
滚动回收提高率, %		≥50.0	≥50.0	≥50.0

4.2 性能测试规定

4.2.1 自适应地层岩性的强化井眼型钻井液性能测试方法执行 GB/T 16783.1。

4.2.2 实验用标准盐水为与地层水等矿化度的标准盐水，配方按照 SY/T 5153 规定。

4.2.3 性能应满足设计要求，若达不到要求可调整所需处理剂的加量。

4.2.4 性能测试中所用钻井液均为经 200℃热滚 16h 后的自适应地层岩性的强化井眼型钻井液。

5 试验方法

5.1 仪器设备和试剂材料

5.1.1 仪器设备

试验用仪器设备宜采用分析天平、烧杯、筛网、量筒、磁力搅拌器、泥浆比重计、高速搅拌器、旋转黏度计、称量瓶、线性膨胀仪、超声波清洗器、滚子加热炉、钻井液封堵性能评价仪等，技术要求参见附录 A。

5.1.2 试剂与材料

试验用试剂材料宜采用钻井液试验配浆用膨润土、钻井液膨胀试验用膨润土、氯化钾、蒸馏水、滤失量测定仪用滤纸、氮气、人造标准岩心等，技术要求可参见附录 A。

5.2 流变性测试

5.2.1 按 GB/T 16783.1 中 6.3 的方法测定塑性黏度和动切力。

5.3 水相接触角测试

5.3.1 水相接触角应 $\geq 120^\circ$ ，测量方法参见附录 B。

5.4 极压润滑系数测试

5.4.1 极压润滑系数应 ≤ 0.15 ，极压润滑仪扭矩值测量方法参见附录 B。

5.4.2 样品修正系数按照公式（1）计算：

$$F = \frac{34}{T_w} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F——修正系数；

T_w ——用清水校正时的扭矩读数。

5.4.3 样品极压润滑系数按照公式（2）计算：

$$\omega = \frac{T_w \times F}{100} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ω ---润滑系数。

5.5 渗透率恢复值测试

5.5.1 渗透率恢复值应 $\geq 95\%$ ，按照 SY/T 5358 测量钻井液污染前后岩心的油相渗透率。

5.5.2 样品渗透率恢复值按照公式（3）计算：

$$S = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S----渗透率恢复值，用百分数表示（%）；

K_1 ----钻井液污染前的油相渗透率，单位为微平方米（ μm^2 ）；

K_2 ---钻井液污染后的油相渗透率，单位为微平方米（ μm^2 ）。

5.6 岩心内聚力提高率测试

5.6.1 岩心内聚力测试使用经测试液体驱替后的人造岩心，岩心内聚力测试方法见附录 B。

5.6.2 岩心内聚力提高率按照公式（4）计算：

$$F = \frac{J_2 - J_1}{J_1} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F---岩心内聚力提高率，用百分数表示（%）；

J_1 ---标准盐水驱替 24h 岩心内聚力，单位为兆帕（MPa）；

J_2 ---钻井液驱替 24h 时岩心内聚力，单位为兆帕（MPa）。

5.7 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测试

5.7.1 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测量方法参见附录 B。

5.8 高温高压失量测试

5.8.1 高温高压滤失量应 $\leq 20\text{mL}$ （密度低于 1.6 g/cm^3 时，高温高压滤失量 $\leq 15\text{ml}$ ），测量方法参见附录 B。

5.9 线性膨胀降低率测试

5.9.1 线性膨胀降低率应 $\geq 45\%$ ，测量方法按照 TGRM 125-2025 的规定。

5.10 岩屑滚动回收提高率测试

5.10.1 岩屑滚动回收提高率测量与计算方法按照 NB/T 10121 中 4.2 规定。

6 现场施工

6.1 设备

6.1.1 清洗循环罐、管线、循环槽及储备槽、排净积水。

6.1.2 连接循环罐、管线、循环槽及储备罐，并配备搅拌器、泥浆枪，剪切泵。

6.1.3 配备振动筛、除砂器和离心机，处理剂加量满足工程设计要求。

6.2 配制

6.2.1 清洗钻井液配制设备，排净积水。

6.2.2 在循环罐中按要求加入所需量的清水，开动搅拌器。

6.2.3 通过混合漏斗缓慢加入所需量处理剂，充分循环搅拌使其完全溶解；不能充分溶解时需使用泥浆枪循环或者剪切泵循环

6.2.4 从加料漏斗处按配方加入所需的盐类，充分循环搅拌使其完全溶解。

6.2.5 测量钻井液悬浮性能，动切需大于 10Pa 为宜。

6.2.6 按照实际所需的钻井液密度，加入加重剂至设计密度，充分循环 60min 。

6.2.7 取样测定自适应地层岩性的强化井眼型钻井液性能。

6.2.8 性能应满足设计要求，若达不到要求可调整所需处理剂的加量。

6.3 维护处理

- 6.3.1 按照处理剂加量要求进行性能维护。
- 6.3.2 钻进过程中合理使用固控设备，振动筛筛布应不小于 200 目。
- 6.3.3 根据地层压力系数要求，若需要提高密度，应提高加重材料加量或改用密度较高的加重材料。

6.4 回用与处置

- 6.4.1 根据生产需求，宜选择直接回收利用、性能调配后利用、临时存储待用等方式回用钻井液。
- 6.4.2 作为直接或处理后回用的钻井液，其性能要满足技术指标要求，低密度固相含量应小于 5%。
- 6.4.3 检测回收到的钻井液，其性能满足设计要求时，可直接使用。
- 6.4.4 当回收的钻井液达不到设计性能要求时，宜通过性能调整、固相控制等方式，使之达到设计要求后再入井使用。
- 6.4.5 待用的钻井液应进行固控处理后再存放。
- 6.4.6 钻井液储存期间，应避免雨水等杂物的污染。
- 6.4.7 钻井液储存期间，应持续搅拌；不具备持续搅拌条件的，每天应至少循环两次，每次循环两周以上。

7 安全环保要求

7.1 安全要求

- 7.1.1 钻井液配制与检验实验区域必须符合 GB/T 27476.1 的规定。
- 7.1.2 循环及储备系统的防火防爆措施应符合 SY/T 5225 的规定。
- 7.1.3 循环及储备系统的安装、灭火器材配备及安全管理应符合 SY/T 5974 的规定。
- 7.1.4 钻井液作业区域必须符合相关标准的规定。
- 7.1.5 试验现场禁止吸烟和进食。
- 7.1.6 操作时应穿戴实验防护用品。

7.2 环保要求

- 7.2.1 在使用钻井液之前，应对循环系统、储备系统进行防漏检查，严格执行防泄漏措施。
- 7.2.2 钻井液作业区域必须符合 API RP 51 的规定。

附 录 A

（资料性）

仪器设备与试剂材料技术要求

A.1 仪器设备

- a) 分析天平：分度值为 0.01 g、0.0001 g；
- b) 烧杯：200mL、500mL、1000mL；
- c) 量筒：10mL，250mL，500mL；
- d) 筛网：20-80 目，符合 GB/T 6003.1 的规定；
- e) 滤纸：Whatman 50 号滤纸 或其等效产品；
- f) 磁力搅拌器：KA RCT 型或等效产品；
- g) 泥浆比重计：NB-1 型或等效产品；
- h) 抽滤瓶：符合 ISO 4796: Laboratory glassware — Filter flasks 的规定；
- i) 高速搅拌器：在负载情况下的转速为 11000r/min±300r/min，搅拌轴上装有单个波形叶片，叶片直径为 2.5cm，配不锈钢高搅杯；
- j) 旋转黏度计：Fann35 型或等效产品；
- k) 超声波清洗器：Branson 2510 型或等效产品；
- l) 滚子加热炉：符合 GB/T 16783.1 的规定，配高温老化罐；
- m) 接触角测量仪：JC2000C1 型或等效产品；
- n) 极压润滑仪：Fann35 型或等效产品；
- o) 线性膨胀仪：LVDT 或等效产品，温控范围室温至 200℃；
- p) 钻井液封堵性能评价仪：Fann-50 型或等效产品；
- q) 万能材料试验机：LSDWJ-30T 型或等效产品；

A.2 试剂材料

- a) 蒸馏水：符合 GB/T 6682 中三级水规定；
- b) 钻井液试验配浆用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- c) 钻井液膨胀试验用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- d) 井壁润湿性自适应型超双疏剂：符合 TGRM 125-2025 的规定；
- e) 地层岩性自适应固壁剂：符合 Q-CPCUP 0001-2020 的规定；
- f) 去离子水：符合 GB/T 11446.1-2013 的规定；
- g) 人造标准岩心：符合 SY/T 5345 的规定；
- h) 重晶石：符合 GB/T 29170 的规定；
- i) 氮气：纯度 99.9%。
- j) 无水碳酸钠：分析纯；
- k) 氯化钙：分析纯；
- l) 氧化钙：分析纯；
- m) 氯化钾：分析纯；
- n) 氯化钙：分析纯；
- o) 氯化镁：分析纯；

附 录 B
(资料性)
试验操作方法

B.1 水相接触角测量

B.1.1 取两份老化后的钻井液，高速搅拌20min后，按GB/T 16783.1的规定测定钻井液的API滤失量。

B.1.2 将中压滤饼取出，置于洁净托盘中，用表面皿覆盖，防止干燥时滤饼翘曲变形，托盘置于105℃±2℃烘箱中，干燥24h,取出冷却至室温。

B.1.3 使用接触角测量仪，在滤饼表面滴加蒸馏水，静置5s后读取接触角，每个滤饼测试3个位置，取三个接触角数据的数学平均值作为接触角测量结果。

B.2 极压润滑系数测量

B.2.1 打开极压润滑仪开关，在转速为60r/min下空载运转10~20min进行仪器预热。

B.2.2 用蒸馏水校准仪器，装上滑块后，表盘读数调零，转速为60r/min，加压至16.95N·m后，立即开始计时，测试5min时的扭矩读值，扭矩读数应该在33~36。

B.2.3 取高速搅拌20min后的自适应地层岩性的强化井眼型钻井液，其他测试条件不变，测定其5min时的扭矩读数。

B.3 岩心内聚力测量

B.3.1 打开量取600mL~700mL蒸馏水置于1L烧杯中，称取30.000g（称准至0.001g）样品缓慢加入烧杯中，搅拌至全部溶解，转移至1L容量瓶中用蒸馏水稀释至刻度，在玻璃试剂瓶中储存备用。

B.3.2 将两块渗透率为0.10mD±0.01mD的人造岩心置于105℃±2℃烘箱内烘干12h，取出岩心，冷却至室温。

B.3.3 取一块岩心记为空白组岩心，将其置于装有标准盐水的抽滤瓶中，抽滤24h。

B.3.4 取另一块岩心记为样品组岩心，将其置于装有钻井液的抽滤瓶中，抽滤24h。

B.3.5 驱替后的岩心按照NB/T 10121规定测量及计算岩心内聚力。

B.4 20~80目岩屑胶结后抗压强度测量

B.4.1 使用筛网筛取100g现场天然岩屑（20~80目），装入高温高压失水仪滤室底部，控制砂床堆积高度≥30mm，施以压实处理。

B.4.2 按Q/0214HTYD的钻井液封堵性能评价仪操作规程，在180℃、10MPa条件下，使用自适应地层岩性的强化井眼型钻井液对岩屑砂床进行30min高温高压压实后取出。

B.4.3 将已胶结砂床放置在万能材料试验机载物台上，以恒定步进速度对胶结砂床进行挤压，直至曲线陡降。

B.4.4 机器归零后取出砂盘试样，统计砂床最终抗压强度。

B.5 高温高压滤失量测量

B.5.1 实验前需检查HTTP滤失仪各部件完好性，确保密封圈无老化裂纹。

B. 5. 2 取B.1中老化后的钻完井液，高速搅拌20 min，将经过老化处理的钻井液样品装入滤失仪样品杯，注意避免产生气泡。

B. 5. 3 按安装符合SY/T 5677标准的B型滤纸。将装配好的滤失仪放入加热套中，设置温度至 $180\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，待温度稳定后施加 $3.5\pm 0.1\text{ MPa}$ 的压力。

B. 5. 4 从第一滴滤液出现开始准确收集30 min的滤液，用量筒测量滤液体积，精确至0.1 mL。
