

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 152—2026

自适应地层岩性的强化井眼型钻完井液应用技术要求

Technical requirements for application of formation-adaptive wellbore strengthening drilling and completion fluids

2026 - 03 - 02 发布

2026 - 03 - 02 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 仪器与试剂	1
5 配制工艺	2
6 试验方法	3
7 施工	5
8 安全环保	5

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。

本文件为首次发布。

自适应地层岩性的强化井眼型钻完井液应用技术要求

1 范围

本文件规定了自适应地层岩性的强化井眼型钻完井液应用的仪器与试剂、配制工艺、试验方法、施工和安全环保。

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

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。

- 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 11414 实验室玻璃仪器 瓶
- 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 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 7298 陆上石油天然气钻井环境保护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自适应地层岩性的强化井眼型钻完井液 adaptive formation-lithology enhanced wellbore drilling and completion fluids

自适应不同岩性地层，依托“润湿反转-胶结-润滑”协同作用机制，显著增强井壁力学强度，形成高质量井眼的钻完井液。

3.2

井壁润湿性自适应型超双疏剂 wellbore wettability-adaptive superamphiphobic agent

在井下自动识别井壁原始润湿状态，自动调整在井壁表面的排布方式，在岩石表面形成纳微米多级粗糙结构，改变井壁润湿性至超双疏性的钻完井液处理剂。

3.3

地层岩性自适应固壁剂 formation lithology-adaptive wall strengthening agent

自识别不同岩性地层岩石表面特征官能团，通过“邻酚羟基-金属”动态可逆配位键、多重氢键及离子键等强相互作用，挤入、吸附、架桥封堵并胶结岩石，显著提高井壁强度的钻完井液处理剂。

4 仪器与试剂

4.1 仪器

仪器应至少包括下列内容：

- a) 分析天平：分度值为 0.0001 g；
- b) 烧杯：200 mL、500 mL、1000 mL；
- c) 量筒：10 mL，250 mL，500 mL；
- d) 滤纸：Whatman 50 号滤纸或其等效产品；
- e) 磁力搅拌器：KA RCT 型或等效产品；
- f) 泥浆密度计：NB-1 型或等效产品；
- g) 高速搅拌器：在负载情况下的转速为 11000±300 r/min，搅拌轴上装有单个波形叶片，叶片直径为 2.5 cm，配不锈钢高搅杯；
- h) 旋转黏度计：Fann35 型或等效产品；
- i) 滚子加热炉：XGRL-4 型或等效产品；
- j) 筛网：20~80 目，符合 GB/T 6003.1 要求；
- k) 抽滤瓶：符合 GB/T 11414 要求；
- l) 接触角测量仪：JC2000C1 型或等效产品；
- m) 极压润滑仪：Fann35 型或等效产品；
- n) 高温高压滤失仪：Fann 77 型或等效产品；
- o) 钻井液封堵性能评价仪：Fann-50 型或等效产品；
- p) 万能材料试验机：LSDWJ-30T 型或等效产品；
- q) 三轴应力实验仪：轴向最大载荷 500 kN 及以上，围压 50 MPa 以上。

4.2 试剂

试剂宜符合下列规定：

- a) 蒸馏水：符合 GB/T 6682 中三级水要求；
- b) 钻井液试验配浆用膨润土：符合 SY/T 5490 要求；
- c) 重晶石粉：符合 GB/T 5005 要求；
- d) 去离子水：符合 GB/T 6682 要求；
- e) 氮气：纯度 99.9%；
- f) 无水碳酸钠：分析纯；
- g) 液体石蜡：分析纯；
- h) 氯化钾：分析纯；
- i) 氯化钠：分析纯；
- j) 氧化钙：分析纯；
- k) 氯化镁：分析纯。

5 配制工艺

5.1 技术配方

5.1.1 自适应地层岩性的强化井眼型钻完井液配方宜为：2wt.%膨润土、0.25wt.%无水碳酸钠、(1~3)wt.%井壁润湿性自适应型超疏水剂、(0.5~1)wt.%地层岩性自适应固壁剂、3wt.%聚合物降滤失剂、(5~7)wt.%氯化钾，并以重晶石粉调节至设计密度，配方可根据地层情况适当调整。

5.1.2 钻完井液关键处理剂加量宜参考表 1 执行。

表 1 钻完井液关键处理剂加量

处理剂	不同密度钻完井液的关键处理剂加量/wt.%		
	1.0~1.6 g/cm ³	1.0~1.6 g/cm ³	1.0~1.6 g/cm ³
井壁润湿性自适应型超双疏剂	1~1.5	1.5~2	2~3
地层岩性地层岩性自适应固壁剂	0.5~0.8	0.5~0.8	0.8~1

5.2 技术要求

钻完井液技术要求应符合表2的规定。

表 2 钻完井液技术要求

项目		技术要求		
密度, g/cm ³		1.0~1.6	1.6~1.9	1.9~2.2
塑性黏度, mPa·s		15~25	25~45	45~60
动切力值, Pa		8~10	10~13	13~18
接触角, °	水相	≥120.0	≥120.0	≥120.0
	油相	≥120.0	≥120.0	≥120.0
润滑系数		≤0.15	≤0.15	≤0.15
岩芯内聚力提高率, %	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

5.3 配制及老化

5.3.1 在高搅杯中加入 400±1 mL 蒸馏水,在高速搅拌器上搅拌,转速应为 11000±300 r/min,加入 1±0.01 g 无水碳酸钠,继续搅拌 5 min。

5.3.2 再加入 8±0.01 g 钻井液试验配浆用膨润土,11000±300 r/min 高速搅拌 20 min,过程中停止搅拌 2 次,每次 1 min,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。

5.3.3 配制好后取下高搅杯,在 25±1 °C 下密闭养护 24 h。

5.3.4 取 400±1 mL 养护完成的基浆,置于高速搅拌器上搅拌,转速为 11000±300 r/min,搅拌 5 min,将 28±0.01 g 的氯化钾,在基浆 11000±300 r/min 高速搅拌下缓慢加入,持续搅拌 20 min。

5.3.5 缓慢加入 12±0.01 g 的井壁润湿性自适应型超双疏剂,边搅拌边加入,轻轻抖动缓慢加入,搅拌 20 min,过程中停止搅拌 2 次,每次 1 min,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。

5.3.6 取下高搅杯加入 4±0.01 g 地层岩性自适应固壁剂然后在高速搅拌器上搅拌,转速为 11000±300 r/min,搅拌 20 min。

5.3.7 取下高搅杯加入 12±0.01 g 聚合物降滤失剂然后在高速搅拌器上搅拌,转速为 11000±300 r/min,搅拌 20 min。

5.3.8 按密度要求加入适当质量的重晶石粉,转速为 11000±300 r/min,搅拌 30 min。

5.3.9 将配制好的钻完井液试验浆装入高温老化罐,置于高温滚子炉中,在 200 °C 条件下滚动老化 16 h,取出冷却至 25±1 °C。

6 试验方法

6.1 流变性测试

塑性黏度和动切力测试应按 GB/T 16783.1 的规定执行。

6.2 接触角测试

6.2.1 取两份老化后的钻完井液,高速搅拌 20 min 后,按 GB/T 16783.1 的规定测定钻完井液的 API

滤失量。

6.2.2 将中压滤饼取出，置于洁净托盘中，用表面皿覆盖，托盘置于 $105\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中，干燥 24 h，取出冷却至 $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

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

6.2.4 使用接触角测量仪，在滤饼表面滴加液体石蜡，静置 5 s 后读取接触角，每个滤饼测试 3 个位置，取 3 个接触角数据的数学平均值作为油相接触角测量结果。

6.3 润滑系数测试

6.3.1 将老化后的钻完井液 $11000\pm 300\text{ r/min}$ 高速搅拌 20 min 后，按 SY/T 6094 的规定测试润滑系数。

6.3.2 样品修正系数应按公式（1）计算：

$$F = \frac{34}{T_{\text{水}}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F——修正系数；

$T_{\text{水}}$ ——用清水校正时的扭矩读数。

6.3.3 样品润滑系数应按公式（2）计算：

$$\omega = \frac{T_{\text{水}} \times F}{100} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ω ——润滑系数。

6.4 岩芯内聚力提高率测试

6.4.1 岩芯内聚力测试应使用天然含微裂隙或通过巴西劈裂法在完整岩芯上引入微裂隙的现场岩芯。

6.4.2 实验用标准盐水应采用与地层水等矿化度的标准盐水，配方应按 SY/T 5153 的规定执行。

6.4.3 将两块现场天然岩芯置于 $105\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱内烘干 12 h，取出岩芯，冷却至室温。

6.4.4 取一块岩芯记为空白组岩芯，置于装有标准盐水的抽滤瓶中，抽滤 24 h；取另一块岩芯记为样品组岩芯，置于装有钻完井液的抽滤瓶中，抽滤 24 h。

6.4.5 驱替后的岩芯应按 NB/T 10121 的规定测量及计算岩芯内聚力。

6.4.6 岩芯内聚力提高率应按公式（3）计算：

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

式中：

P——岩芯内聚力提高率，%；

J_1 ——标准盐水驱替 24 h 后岩芯内聚力，MPa；

J_2 ——钻完井液驱替 24 h 后岩芯内聚力，MPa。

6.5 20~80 目岩屑胶结后抗压强度测试

6.5.1 使用筛网筛取 $100\pm 0.1\text{ g}$ 、20~80 目的现场天然岩屑，装入钻井液封堵性能评价仪滤室底部，控制砂床堆积高度不小于 30 mm，施以压实处理。

6.5.2 按钻井液封堵性能评价仪操作规程，在 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、10 MPa 条件下，使用钻完井液对岩屑砂床进行 30 min 高温高压压实后取出。

6.5.3 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挤压，直至曲线陡降。

6.5.4 机器归零后取出砂盘试样，统计砂床最终抗压强度。

6.6 高温高压滤失量测试

6.6.1 测试前应检查高温高压滤失仪部件完好性。

6.6.2 取老化后的钻完井液， $11000\pm 300\text{ r/min}$ 搅拌 20 min 后，将钻完井液样品装入滤失仪样品杯，应避免产生气泡。

6.6.3 安装符合 SY/T 5677 规定的滤纸，将装配好的滤失仪放入加热套中，设置温度至 180 ± 2 °C，待温度稳定后施加 3.5 ± 0.1 MPa 的压力。

6.6.4 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。

7 施工

7.1 设备

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

7.1.2 应配备振动筛、除砂器、除泥器和离心机。

7.2 配制

7.2.1 应清洗钻完井液配制设备，排净积水。

7.2.2 应在循环罐中按要求加入所需量的清水，加入无水碳酸钠，开动搅拌器，搅拌 15 min。

7.2.3 应在继续搅拌状态下，通过混合漏斗或剪切泵加入所需膨润土粉，加料完毕后，继续搅拌应不少于 2 h，水化时间应不少于 24 h。

7.2.4 从加料漏斗处按配方向预水化膨润土浆中加入氯化钾，充分循环搅拌使其完全溶解。

7.2.5 通过混合漏斗按照实验室配制顺序缓慢依次加入所需量处理剂，每种处理剂均应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。

7.2.6 测量钻完井液悬浮性能，动切力宜大于 10 Pa。

7.2.7 按照实际所需的钻完井液密度，加入重晶石粉至设计密度，充分循环 60 min。

7.2.8 取样测定钻完井液性能，性能应满足设计要求，达不到要求可调整处理剂的加量。

7.3 维护处理

7.3.1 按处理剂加量要求进行性能维护。

7.3.2 钻进过程中合理使用固控设备，振动筛筛布不应小于 200 目。

7.3.3 根据地层压力系数要求，提高密度时，应提高加重材料加量或改用密度较高的加重材料。

7.4 回用与处置

7.4.1 回用钻完井液宜选择回收利用、性能调配后利用、临时存储待用等方式。

7.4.2 作为直接或处理后回用的钻完井液，性能应满足技术要求，低密度固相含量应小于 5%。

7.4.3 检测回收到的钻完井液，性能满足设计要求时，可直接使用。

7.4.4 当回收的钻完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，达到设计要求后再入井使用。

7.4.5 待用的钻完井液应进行固控处理后再存放。

7.4.6 钻完井液储存期间，应避免雨水等杂物的污染。

7.4.7 钻完井液储存期间，应持续搅拌，不具备持续搅拌条件的，每周应至少循环 2 次以上。

8 安全环保

8.1 安全

8.1.1 钻完井液配制与实验区域应符合 GB/T 27476.1 的规定。

8.1.2 循环及储备系统的防火防爆措施应符合 SY/T 5225 的规定。

8.1.3 循环及储备系统安装、消防器材配备及安全管理应符合 SY/T 5974 的规定。

8.2 环保

8.2.1 在使用钻完井液前，应对循环系统、储备系统进行防漏检查，采取防泄漏措施。

8.2.2 钻完井液作业区域应符合 SY/T 7298 的规定。