

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 156—2026

自适应型智能钻完井液应用技术要求

Technical requirements for application of adaptive smart 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	6

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、杜明亮、贺垠博、吕艳华、刘海洋、全晓虎、张鑫、董腾飞、姚如钢、谭宾、杨丽丽、冯奇、冉启华、邓正强、贺会锋。

本文件为首次发布。

自适应型智能钻完井液应用技术要求

1 范围

本文件规定了自适应型智能钻完井液应用的术语和定义、仪器与试剂、配制工艺、试验方法、施工和安全环保。

本文件适用于自适应型智能钻完井液应用。

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 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

NB/T 10121 钻井液对页岩抑制性评价方法

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 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 5677 钻井液用滤纸

SY/T 5840 钻井液用桥接堵漏材料试验方法

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 7074 钻井液高温高压滤失量测试仪器校准方法

SY/T 7298 钻井液废弃物环境管理规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自适应型智能钻完井液 adaptive smart drilling and completion fluids

一种含有智能响应型处理剂的水基钻完井液，基于智能材料刺激-响应原理，能够自适应井筒环境（如温度变化、阳离子浓度）的变化，自主调控流变与滤失性能，实现对多尺度孔缝的自适应封堵及全岩性井壁岩石的力学强化。

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) 磁力搅拌器：KA RCT 型或等效产品；
- e) 筛网：20~80 目，符合 GB/T 6003.1 要求；

- f) 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；
- g) 滚子加热炉：XGRL-4 型或等效产品；
- h) 钻井液密度计：量程通常为 $0.7 \sim 2.8$ g/cm³，读数精度为 0.01 g/cm³，符合 GB/T 16783.1 要求；
- i) 六速旋转黏度计：Fann35 型或等效产品；
- j) 高温高压滤失仪：符合 SY/T 7074 要求；
- k) 钻井液封堵性能评价仪：Fann-50 型或等效产品；
- l) 三轴岩石力学测试系统：用于岩芯内聚力测试；
- m) 高低温控制装置：GDC-2 型或等效产品；
- n) 万能材料试验机：LSDWJ-30T 型或等效产品；
- o) 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) 氮气：纯度 99.9%；
- d) 滤纸：Whatman 50 号滤纸或其等效产品，符合 SY/T 5677 要求；
- e) 陶瓷砂盘：气测渗透率为 $5.0 D \pm 0.1 D$ ，平均孔喉尺寸为 40 μm ；
- f) 天然岩屑：粒径为 0.177 mm~0.841 mm（对应筛网目数为 80 目~20 目）；
- g) 人造标准岩芯：气测渗透率为 $500 \text{ mD} \pm 50 \text{ mD}$ ，直径 25 mm，高 50 mm，材质为烧结石英砂或高岭土；
- h) 重晶石粉：符合 GB/T 5005 要求；
- i) 无水碳酸钠：分析纯；
- j) 氯化钾：分析纯；
- k) 氯化钠：分析纯；
- l) 氧化钙：分析纯；
- m) 氯化镁：分析纯。

5 配制工艺

5.1 技术配方

5.1.1 自适应型智能钻完井液配方宜为：2wt.%膨润土、0.25wt.%无水碳酸钠、(0.5~3)wt.%井壁润湿性自适应型超双疏剂、(0.5~3)wt.%金属阳离子响应型降滤失剂、(0.5~1)wt.%地层岩性自适应井壁强化剂、(1~2)wt.%自适应强封堵剂、(0.5~2)wt.%储层保护剂、(0.5~2)wt.%温度响应型流型调节剂，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	不同密度钻完井液关键处理剂加量/wt.%		
	1.0~1.6 g/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	0.5~1	1~2	2~3
金属阳离子响应型降滤失剂	0.5~1	1~2	2~3
地层岩性自适应井壁强化剂	0.5~0.8	0.5~0.8	0.8~1
自适应强封堵剂	0.5~1	1~1.5	1.5~2
储层保护剂	0.5~1	1~1.5	1.5~2
温度响应型流型调节剂	0.5~1	1~1.5	1~2

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		
		1.0~1.6 g/cm ³	1.6~1.9 g/cm ³	1.9~2.2 g/cm ³
塑性黏度, mPa·s		25~45	45~65	65~80
动切力, Pa		5~10	5~15	5~15
润滑系数		≤0.15	≤0.15	≤0.15
5μm砂盘滤失量, mL		≤10	≤10	≤10
20~80目砂床滤失量, mL		≤40	≤40	≤40
1mm楔形缝板滤失量, mL		≤70	≤70	≤70
岩芯内聚力提高率, %	页岩	≥30.0	≥30.0	≥30.0
	碳酸盐岩	≥15.0	≥15.0	≥15.0
	砂岩	≥10.0	≥10.0	≥10.0
	泥岩	≥40.0	≥40.0	≥40.0
	煤岩	≥30.0	≥30.0	≥30.0
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	+5%NaCl	≤15	≤15	≤15
	+15%NaCl	≤12	≤12	≤12
	+25%NaCl	≤11	≤11	≤11
	+35%NaCl	≤10	≤10	≤10
	+1%CaCl ₂	≤30	≤30	≤30
	+3%CaCl ₂	≤27	≤27	≤27
+5%CaCl ₂		≤25	≤25	≤25
动切力变化率, %		≤25	≤25	≤25
6转变化率, %		≤25	≤25	≤25
渗透率恢复值, %		≥90	≥90	≥90

5.3 配制及老化

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

5.3.2 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, 在 11000±300 r/min 的转速高速搅拌 5 min。在该转速下, 依据表 1 规定的加量, 按照下列推荐顺序依次缓慢加入各处理剂: 温度响应型流型调节剂、阳离子响应型降滤失剂、自适应强封堵剂、地层岩性自适应井壁强化剂、键合润滑剂、储层保护剂、井壁润湿性自适应型超双疏剂, 每加入一种处理剂后, 均应 11000±300 r/min 高速搅拌 20 min, 并在搅拌过程中进行间歇性刮壁, 确保体系分散均匀。

5.3.5 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。

5.3.6 将配制好的钻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 密度测试

测试应按 GB/T 16783.1 的规定, 应采用密度计测定。

6.2 流变性测试

6.2.1 取老化后的钻完井液，11000±300 r/min 高速搅拌 20 min 后，应按 GB/T 16783.1 规定的测试步骤，测定常温下钻完井液塑性黏度和动切力。

6.2.2 取老化后的钻完井液，11000±300 r/min 高速搅拌 20 min 后，使用高低温控制装置，将钻完井液升温至 65 °C。

6.2.3 应按 GB/T 16783.1 规定的测试步骤，测定 65 °C 下钻完井液动切力和 6 转读数。

6.2.4 取老化后的钻完井液，11000±300 r/min 高速搅拌 20 min 后，使用高低温控制装置，将钻完井液降温至 2 °C。

6.2.5 应按 GB/T 16783.1 的测试步骤，测定 2 °C 钻完井液动切力和 6 转读数。

6.3 润滑系数测试

6.3.1 将老化后的钻完井液 11000±300 r/min 高速搅拌 20 min，应按 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：

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

式中：

F——修正系数；

$T_{水}$ ——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：

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

式中：

ω ——润滑系数。

6.4 砂盘封堵测试

6.4.1 将陶瓷砂盘放入蒸馏水中浸泡 10 min，砂盘不可重复使用。

6.4.2 取 400 mL 老化后的自适应型智能钻完井液。

6.4.3 使用钻井液封堵性能评价仪，在 180 °C、7 MPa 条件下，对样品进行 30 min 封堵滤失量的测定，记录累计滤失量。

6.5 砂床封堵实验

6.5.1 使用筛网筛取 100±0.1 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 °C、10 MPa 条件下，使用钻完井液对岩屑砂床进行 30 min 的砂床封堵测试，记录累计漏失量。

6.6 缝板封堵测试

6.6.1 实验装置采用动态压力缝板装置，实验前应对缝板装置进行气密性检测，测量方法应按 SY/T 5840 的规定。

6.6.2 取老化后的钻完井液 11000±300 r/min 高速搅拌 20 min。

6.6.3 安装密封压盖后，以 0.5 MPa/min 的速率缓慢加压至 2 MPa，并稳压 2 min。

6.6.4 以 0.5 MPa/min 的速率阶梯升压至 5 MPa，每个压力点稳定 5 min 并记录实时压力值及渗漏流量。

6.7 岩芯内聚力提高率测试

6.7.1 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。

6.7.2 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。

6.7.3 将两块现场天然岩芯置于 105±2 °C 烘箱内烘干 12 h，取出岩芯，冷却至室温。

6.7.4 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。

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

6.7.6 岩芯内聚力提高率应按公式（3）计算：

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

式中:

P——岩芯内聚力提高率, %;

J₁——标准盐水驱替24 h后岩芯内聚力, MPa;

J₂——钻完井液驱替24 h后岩芯内聚力, MPa。

6.8 20~80 目岩屑胶结后抗压强度测试

6.8.1 将 6.5 中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。

6.8.2 机器归零后取出砂盘试样, 统计砂床最终抗压强度。

6.9 高温高压滤失量测试

6.9.1 取配制好的自适应型智能钻完井液, 加入规定的氯化钠或氯化钙, 在 200 °C 下热滚 16 h。

6.9.2 应按 GB/T 16783.1 规定的测试程序, 在 180 °C、3.5 MPa 条件下测试高温高压滤失量, 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。

6.10 动切力变化率

动切力变化率应按公式 (4) 计算:

$$K_{YP} = \frac{YP_{2^{\circ}\text{C}} - YP_{65^{\circ}\text{C}}}{YP_{2^{\circ}\text{C}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

K₀₆——6转读数变化率, %;

Ø_{6^{2°C}}——2 °C 下样品的6转读数;

Ø_{6^{65°C}}——65 °C 下样品的6转读数。

6.11 6 转读数变化率

6转变化率应按公式 (5) 计算:

$$K_{\theta 6} = \frac{\theta_{6^{2^{\circ}\text{C}}} - \theta_{6^{65^{\circ}\text{C}}}}{\theta_{6^{2^{\circ}\text{C}}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

K₀₆——6转读数变化率, %;

Ø_{6^{2°C}}——2 °C 下样品的6转读数;

Ø_{6^{65°C}}——65 °C 下样品的6转读数。

6.12 渗透率恢复值测试

6.12.1 钻完井液污染前后岩芯的油相渗透率试验应按 SY/T 5358 的规定执行。

6.12.2 渗透率恢复值应按公式 (6) 计算:

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

式中:

S——渗透率恢复值, %;

K₁——钻完井液污染前的油相渗透率, μm²;

K₂——钻完井液污染后的油相渗透率, μm²。

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、灭火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。