

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 153—2026

自适应地层孔缝的强封堵型钻完井液应用 技术要求

Technical requirements for application of high-sealing drilling and completion fluids
adaptive to formation pores and fractures

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	3
8 安全环保	4

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、常子伦、贺垠博、吕艳华、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。

自适应地层孔缝的强封堵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孔缝的强封堵型钻完井液应用的仪器与试剂、配方工艺、试验方法、施工和安全环保。

本文件适用于自适应地层孔缝的强封堵型水基钻完井液应用。

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 6682 分析实验室用水规格和实验方法
- 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
- GB/T 29172 岩心分析方法
- 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 钻井液实验用土
- SY/T 5677 钻井液用滤纸
- SY/T 5840 钻井液用桥接堵漏材料室内实验方法
- SY/T 5974 钻井井场设备作业安全技术规程
- 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

自适应地层孔缝的强封堵型钻完井液 strong sealing drilling and completion fluids for adaptive formation fractures and pores

基于多尺度纳微米级封堵材料的级配组合与“低温收缩可过筛、高温膨胀强封堵”温敏体型聚合物材料的协同封堵机制，通过“纤维架桥-颗粒支撑-温敏材料强封堵”原理，实现“孔-缝-洞”广谱自适应强封堵的钻完井液。

4 仪器与试剂

4.1 仪器

仪器设备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) 称量瓶： $\phi 50\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ ；
- e) 容量瓶：1000 mL；
- f) 磁力搅拌器：KARCT 型或等效产品；
- g) 高速搅拌器：在负载情况下的转速为 $11000 \pm 300\text{ r/min}$ ，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) 高温高压滤失仪：符合 GB/T 16783.1 要求；
- k) 岩芯流动试验仪：LDY50-180 型或等效产品；
- l) 动态压力缝板装置：耐腐蚀高强度合金钢，额定工作压力不低于 20 MPa。

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) 氮气：纯度 99.9%；
- e) 煤油：分析纯；
- f) 无水碳酸钠：分析纯；
- g) 氯化钾：分析纯。

5 配制工艺

5.1 技术配方

自适应地层孔缝的强封堵型钻完井液配方宜为：2wt.%膨润土、0.25wt.%无水碳酸钠、5wt.%自适应广谱封堵材料、2wt.%聚合物降滤失剂、7wt.%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。

5.2 技术要求

钻完井液技术要求应符合表1。

表 1 钻完井液技术要求

项目	技术要求	
	1.2~1.9 g/cm ³	
表观黏度 (AV), mPa·s	50~80	
塑性黏度 (PV), mPa·s	30~60	
动切力 (YP), Pa	10~20	
初切力/终切力, Pa	3.0~6.0/5.0~10.0	
中压滤失量 (API FL), mL	≤5.0	
高温高压滤失量 (HTHP FL), mL	≤15.0	
岩芯封堵率, %	0.1~1 μm 孔喉半径	≥80
	1~3 μm 孔喉半径	
	3~10 μm 孔喉半径	
	10~30 μm 孔喉半径	
裂缝封堵层突破压力, MPa	1 mm~2 mm 宽度缝板 ≥8	

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，转速为 11000±300 r/min，加入 1±0.01 g 无水碳酸钠，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，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 11000±300 r/min 高速搅拌下缓慢加入，持续搅拌 20 min。

5.3.5 缓慢依次加入 20±0.01 g 的自适应广谱封堵材料、8±0.01 g 聚合物降滤失剂，分别 11000±300

r/min 高速搅拌不少于 20 min。

5.3.6 按照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。

5.3.7 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

表观黏度、塑性黏度和动切力测试应按 GB/T 16783.1 的规定执行。

6.2 滤失量测试

6.2.1 中压滤失量测试应按 GB/T 16783.1 的规定执行。

6.2.2 取老化后的钻完井液样品，11000±300 r/min 高速搅拌 20 min 后装入滤失仪样品杯，应避免产生气泡。

6.2.3 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，按 GB/T 16783.1 的方法测定高温高压滤失量。

6.2.4 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。

6.3 岩芯封堵率测试

6.3.1 实验采用具有不同孔喉尺寸的人造岩芯，岩芯渗透率测试方法按照 GB/T 29172 执行。

6.3.2 将岩芯装入夹持器，上游压力 3.5±0.1 MPa，下游压力为 0 MPa，施加 5±0.1 MPa 围压，煤油以 0.5 mL/min 的恒定流速驱替岩芯，待入口压力持续 5 min，波动不大于 0.1 MPa，使用岩芯流动试验仪测量原始岩芯正向渗透率，重复测定 3 次，取平均值作为初始岩芯渗透率 K_0 。

6.3.3 保持上游压力 3.5±0.1 MPa，下游压力为 0 MPa，施加 5±0.1 MPa 围压，切换为钻完井液，以 0.5 mL/min 的恒定流速反向驱替岩芯，随后在 60±1 °C 温度下静置 120 min，模拟井下封堵过程。静置结束后，保持相同实验条件，立即用煤油以 0.5 mL/min 的恒定流速正向驱替岩芯，使用岩芯流动试验仪测量岩芯渗透率，重复测定 3 次，取平均值作为钻完井液驱替后岩芯渗透率 K_d 。

6.3.4 岩芯封堵率应按公式 (1) 计算：

$$\eta = \left(1 - \frac{K_d}{K_0}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η ——岩芯封堵率，%；

K_d ——钻完井液驱替后岩芯渗透率， $10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；

K_0 ——初始岩芯渗透率， $10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

6.4 裂缝封堵层突破压力测试

6.4.1 将老化后的钻完井液 11000±300 r/min 搅拌 20 min 后，按照 SY/T 5840 的规定测试封堵层突破压力。

6.4.2 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。

6.4.3 先将缝板预热，安装密封压盖后，以 0.5 MPa/min 的速率缓慢加压至 2 MPa，稳压 2 min 使封堵剂充分运移填充。

6.4.4 以 0.5 MPa/min 的速率阶梯升压至 8 MPa，每个压力点稳定 5 min，并记录实时压力值及渗漏流量，当出现流量突然增大至前一级的 200% 时判定为封堵失效。

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。

7.1.2 应配备振动筛、除砂器和离心机。

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。