

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2025

## 自适应地层孔缝的强封堵型钻井液应用技术方法

Application technology and methods of strong sealing drilling fluid for adaptive formation fractures and pores

2025 - xx - xx 发布

2025 - xx - xx 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 配制工艺 ..... 1

    3.1 技术配方 ..... 1

    3.2 配置方法 ..... 2

4 技术要求 ..... 2

5 实验方法 ..... 2

    5.1 仪器设备和试剂材料 ..... 2

    5.2 流变性 ..... 3

    5.3 滤失量 ..... 3

    5.4 自适应裂缝封堵层突破压力 ..... 3

    5.5 岩心封堵率 ..... 3

    5.6 渗透率恢复值（切除污染端后） ..... 错误！未定义书签。

    5.7 渗透率恢复值（返排解堵后） ..... 错误！未定义书签。

    5.8 自适应岩心封堵带承压测试方法 ..... 错误！未定义书签。

6 现场施工 ..... 3

    6.1 设备 ..... 4

    6.2 配制 ..... 4

    6.3 维护处理 ..... 4

    6.4 回用与处置 ..... 4

7 安全环保要求 ..... 4

    7.1 安全要求 ..... 4

    7.2 环保要求 ..... 5

附录 A （资料性） 仪器设备与试剂材料技术要求 ..... 6

    A.1 仪器设备 ..... 6

    A.2 试剂材料 ..... 6

附录 B （资料性） 实验操作方法 ..... 7

    B.1 流变性测试 ..... 7

    B.2 滤失量测试方法 ..... 7

    B.3 自适应裂缝封堵层突破压力 ..... 7

    B.4 岩心封堵率 ..... 8

    B.5 渗透率恢复值（切除污染端后） ..... 错误！未定义书签。

    B.6 渗透率恢复值（返排解堵后） ..... 错误！未定义书签。

    B.7 自适应岩心封堵强度评价 ..... 错误！未定义书签。

## 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、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。

# 自适应地层孔缝的强封堵型钻井液应用技术方法

## 1 范围

本文件规定了自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的技术要求、实验方法、检验规则、安全和环保要求。

本文件适用于自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的检验与验收。主要应用范围涵盖复杂地层、敏感性储层（低渗、超低渗油气层）钻井及微裂隙储层钻井等，技术功能覆盖自适应封堵、广谱承压、易解堵等特点。

## 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 10414-1 钻井液——性能标准和实验室测试方法

API RP 13B-2 钻井液测试方法 第2部分：实验室钻井液性能测试

GB/T 5005 钻井液材料规范

GB/T 6678 化工产品采样总则

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 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 29172 岩心分析方法

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 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实验方法

SY/T 5974 钻井井场设备作业安全技术规程

SY/T 6788 水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法

SY/T 7298 陆上石油天然气钻井环境保护技术规范

Q-CPCUPJ 0004 纳微米封堵材料 CUPJ-NF

## 3 配制工艺

### 3.1 技术配方

参考配方为：自适应地层孔缝的强封堵型钻井液技术配方为：基浆+3%自适应广谱封堵材料+2%聚合物降滤失剂+7% KCl+重晶石。

### 3.2 配置方法

3.2.1 基浆配制在高搅杯中分别加入 400 mL $\pm$ 1 mL 蒸馏水，正确卡在高速搅拌器上搅拌，转速为 10000 r/min $\pm$ 300 r/min。

3.2.2 加入 1 g（称准至 0.01 g）无水碳酸钠，溶解后在高速搅拌下缓慢加入 8 g（称准至 0.01 g）钻井液实验配浆用膨润土，标准参考 SY/T 5490 钻井液实验用土。

3.2.3 为避免其结成团块，累计高速搅拌 20 min，期间至少停下两次，每次 1 分钟，以刮下黏附在杯壁上的膨润土，在 25 °C $\pm$ 1 °C下密闭养护 24 h。

3.2.4 在高搅杯中加入 400 mL 的养护后的膨润土浆，在搅拌条件下将 28 g（称准至 0.01g）的 KCl，持续搅拌 20 分钟。

3.2.5 加入 12 g 的自适应广谱封堵材料，标准参考 Q-CPCUPJ 0004 纳微米封堵材料 CUPJ-NF，高速搅拌至少 20 min，再依次加入 8 g（称准至 0.01 g）聚合物降滤失剂及抑制剂等其他钻井液处理剂，分别高速搅拌至少 20 min。

3.2.6 按照密度要求加入配方量的加重剂加重钻井液的密度至合适密度，高速搅拌至少 30 min，完成自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的制备。

## 4 技术要求

自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的表现黏度、切力、高温高压滤失量、广谱封堵能力以及解堵性能等技术要求应符合表1。

表 1 技术要求

项目		技术要求
表观黏度 (AV), mPa·s		50~80
塑性黏度 (PV), mPa·s		40~60
动切力 (YP), Pa		10~15
初切力/终切力, Pa		2.0~5.0 / 4.0~10.0
中压滤失量 (API FL), mL		$\leq 5.0$
高温高压滤失量 (HTHP FL), mL		$\leq 10.0$
20~40 目砂床封堵滤失量, mL		$\leq 15$
岩心封堵率, %	特低渗 0.1~10 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	$\geq 90$
	低渗 10~50 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	
	中高渗 50~500 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	
	裂缝性 >500 ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	
裂缝封堵层突破压力, MPa	1 mm~2 mm 宽度缝板封堵层突破压力	$\geq 8$

## 5 实验方法

### 5.1 仪器设备和试剂材料

#### 5.1.1 仪器设备

实验用仪器设备宜采用分析天平、标准筛、烧杯、容量瓶、磁力搅拌器、高速搅拌器、量筒、旋转黏度计、滚子加热炉、中压滤失仪、高温高压滤失仪等，技术要求参见附录 A。

### 5.1.2 试剂与材料

实验用试剂材料宜采用蒸馏水、钻井液实验配浆用膨润土、无水碳酸钠、氯化钠、API 滤失量测定仪用滤纸、HTHP 滤失量测定仪用滤纸、氮气等，技术要求可参见附录 A。

## 5.2 流变性

5.2.1 钻井液表观粘度（AV）应在 50~80 mPa·s 之间；

5.2.2 塑性粘度（PV）应在 40~60 mPa·s 之间；

5.2.3 动切力（YP）应在 10~15 Pa 之间；

5.2.4 初切力/终切力应在 2.0~5.0 Pa / 4.0~10.0 Pa 之间；

5.2.5 钻井液流变性测试操作方法参见附录 B。

## 5.3 滤失量

5.3.1 中压滤失量（API）应≤5.0 mL（30 min）；

5.3.2 高温高压滤失量（HTHP）应≤10.0 mL（180℃, 3.5 MPa）；

5.3.3 钻井液滤失量测试操作方法参加附录 B。

## 5.4 20~40 目砂床封堵滤失量

5.4.1 20~40 目砂床封堵滤失量应≤15 mL（180℃, 3.5 MPa, 30 min）；

5.4.2 砂床封堵滤失量测试操作方法参加附录 B。

## 5.5 自适应裂缝封堵层突破压力

5.5.1 1 mm~2 mm 梯形缝板和直角缝板封堵层突破压力≥8 Mpa，参考 SY/T 5840 钻井液用桥接堵漏材料试验方法；

5.5.2 裂缝封堵层突破压力测试操作方法参加附录 B。

## 5.6 岩心封堵率

5.6.1 制备不同渗透率级别岩心，采用钻井液污染（3.5 MPa 压差，180℃下 12 h）后测试岩心渗透率堵塞率，参考标准 GB/T 29172 岩心分析方法；

5.6.2 不同渗透率级别的岩心渗透率堵塞率均应≥90%；

5.6.3 应按公式（1）计算岩心渗透率堵塞率，操作方法参见附录 B：

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

式中：

$\eta$ ——渗透率恢复值，用百分数表示；

$K_d$ ——污染后岩心渗透率，单位为（ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）；

$K_0$ ——污染前岩心渗透率，单位为（ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）。

## 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，泥浆枪等。
- 6.1.3 配备振动筛、除砂器、除泥器和离心机，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。
- 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，动切力宜大于 10Pa。
- 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 60 min。
- 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，每天应循环两次，每次 2 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 SY/T 6629 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 0.01 g、0.001；
- b) 称量瓶： $\varnothing 50\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ ；
- c) 烧杯：1000 mL；
- d) 容量瓶：1000 mL；
- e) 磁力搅拌器：KARCT 型或等效产品；
- f) 高速搅拌器：在负载情况下的转速为  $11000\text{ r/min} \pm 300\text{ r/min}$ ，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；
- g) 量筒：10 mL，250 mL，500 mL；
- h) 旋转黏度计：Fann35 型或等效产品；
- i) 滚子加热炉：符合 GB/T16783.1 的规定，配高温老化罐；
- j) 高温高压滤失仪：符合 GB/T16783.1 规定。

A.2 试剂材料

- a) 蒸馏水：符合 GB/T 6682 中三级水规定；
- b) 钻井液实验配浆用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- c) 钻井液膨胀实验用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- d) 自适应地层孔缝封堵剂：符合 Q-CPCUPJ 0004 的规定；
- e) 去离子水：符合 GB/T 11446.1 的规定；
- f) 重晶石：符合 GB/T 29170 的规定；
- g) 氮气：纯度 99.9%。
- h) 无水碳酸钠：分析纯；
- i) 氯化钾：分析纯；

附 录 B  
(资料性)  
实验操作方法

**B.1 流变性测试**

B.1.1 取制备完成的钻井液，按ISO 10414-1与GB/T 16783.1的规定测定老化前钻井液各项粘度和切力等。

B.1.2 取制备完成的钻井液，高速搅拌20 min，装入高温老化罐中，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 °C下热滚16 h。

B.1.3 取出高温老化罐，水冷至室温，将高温老化罐中的基浆转移至高搅杯中，高速搅拌20 min。

B.1.4 待钻井液冷却至室温后按GB/T 16783.1的规定测定老化后钻井液各项粘度和切力等。

**B.2 滤失量测试方法**

B.2.1 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.2.2 取B.1中制备完成的钻井液，高速搅拌20 min，将钻井液样品装入滤失仪样品杯，安装钻井液专用滤纸，滤纸需平整无褶皱，并注意避免产生气泡。

B.2.3 参考API RP 13B-2与NB/T 10121规定的测试程序，在室温、压差为0.69 MPa条件下测试样浆的常温中压滤失量。

B.2.4 小心取出滤饼，用精度为0.1 mm的游标卡尺在滤饼中心及边缘各测量三点厚度取平均值。

B.2.5 取B.1中老化后的钻井液，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.2.6 安装钻井液专用滤纸，将装配好的滤失仪放入加热套中，设置温度至 $180 \pm 2$  °C，待温度稳定后施加 $3.5 \pm 0.1$  MPa的压力。

B.2.7 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。

B.2.8 小心取出滤饼，用精度为0.1 mm的游标卡尺在滤饼中心及边缘各测量三点厚度取平均值。

**B.3 20~40 目砂床封堵滤失量**

B.3.1 实验装置采用高温高压砂床封堵仪，砂床厚度建议为 $\geq 3.0$  cm，使用20~40目（孔径约380-830微米）的标准石英砂作为填充介质。

B.3.2 将B.1制备的钻井液在180 °C下热滚老化16小时，使用前高速搅拌20 min（ $11000 \pm 300$  r/min）。

B.3.3 将规定量和粒度的石英砂装入测试腔体，压实至规定厚度；倒入钻井液，按SY/T 5840规定的测试程序升温、加压。

B.3.4 在温度180 °C、压力3.5 MPa，每5 min收集滤液并精确计量体积，共收集30 min内的滤液并精确计量体积。

B.3.5 实验结束后，缓慢泄压。小心取出砂床，观察并记录形成的堵塞体或内部泥饼的完整性、韧性和侵入深度。

**B.4 自适应裂缝封堵层突破压力**

B.4.1 实验装置采用动态压力缝板装置，包含梯形缝板和直角缝板两种规格。实验前需对缝板装置进行气密性检测。

B.4.2 将B.1制备的钻井液在180 °C下热滚老化16小时，使用前高速搅拌20 min（ $11000 \pm 300$  r/min）。

B. 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。

B. 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（精度0.01 mL/min）。当出现流量突然增大至前一级的200%时判定为封堵失效。

B. 4. 5 合格判定标准需同时满足：1）梯形缝板突破压力 $\geq 6$  MPa；2）直角缝板突破压力 $\geq 8$  MPa。

## B. 5 岩心封堵率

B. 5. 1 实验前需检查岩心流动实验仪各部件完好性。准备GB/T 29172中描述的不同渗透率级别人造岩心。

B. 5. 2 将B.1中制备完成的钻井液在180 °C下热滚老化16 h，使用前用高速搅拌器转速搅拌20 min（11000 $\pm$ 300 r/min）。

B. 5. 3 将岩心装入夹持器后施加3.0 MPa围压，配制模拟地层水以0.1 mL/min的恒定流速饱和岩心。在25 $\pm$ 1 °C条件下，采用煤油（黏度3.5 mPa·s）以0.3 mL/min的流量测定初始油相渗透率 $K_o$ ，每个岩心重复测定三次取平均值，相邻两次测定结果偏差超过5%时需重新测试。

B. 5. 4 污染实验时将恒温箱升温至80 $\pm$ 1 °C，将预处理后的钻井液正向注入岩心，施加3.5 $\pm$ 0.1 MPa的压差并开始计时。污染过程中每2小时记录一次进出口压力、累计注入量和温度数据，持续12 $\pm$ 0.5 h。污染结束后立即用煤油以0.1 MPa的反向压差驱替岩心，直至出口液无可见固相颗粒且流量稳定。

B. 5. 5 按初始渗透率测定方法测量污染后渗透率 $K_d$ ，并按照公式（1）计算岩心封堵率 $\eta$ ，同时用游标卡尺测量污染端面形成的屏蔽环厚度，精确至1 mm。

B. 5. 6 实验结束后需按GB 18597要求处理废弃钻井液和岩心样品。

---