

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2025

自适应油气层的储层保护型完井液应用技术方法

Application Technology of Reservoir-Protective Completion Fluid Adaptive to Oil and Gas Reservoirs

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

4 技术要求 2

5 实验方法 2

6 安全环保要求 4

附录 A（资料性） 仪器设备与试剂材料技术要求 5

附录 B（资料性） 实验操作方法 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、宁金硕、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。

自适应油气层的储层保护型完井液应用技术方法

1 范围

本文件规定了自适应油气层的储层保护型完井液的基本要求及推荐性能指标,规范了自适应油气层的储层保护型完井液的性能指标、试验方法、配制工艺、和安全环保要求。

本文件适用于自适应油气层的储层保护型完井液的检验与验收。

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 6678 化工产品采样总则
GB/T 6680 液体化工产品采样通则
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
SY/T 5345 人造岩心制备技术规范
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 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 6335 钻井液用暂堵剂通用技术条件
SY/T 6540-钻井液完井液损害油层室内评价方法
Q-CPCUPJ 0004 纳微米封堵材料 CUPJ-NF

3 配制工艺

3.1 技术配方与处理剂加量

自适应油气层的储层保护型完井液推荐配方为:基浆+3%储层保护剂+3%聚合物降滤失剂+7%KCl+1%解吸附剂+重晶石。

自适应油气层的储层保护型完井液应根据密度要求选择储层保护剂、解吸附剂等关键处理剂的加量,参考表1。

表 1 自适应油气层的储层保护型完井液处理剂加量

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
储层保护剂	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0
解吸附剂	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0

3.2 配置方法

- 3.2.1 基浆配制在高搅杯中分别加入 400 mL±1 mL 蒸馏水，正确卡在高速搅拌器上搅拌，转速为 10000 r/min±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，以刮下黏附在杯壁上的膨润土，在 25℃±1℃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 的储层保护剂，高速搅拌至少 20 min，再依次加入 12g 聚合物降滤失剂及 4g 解吸附剂，分别高速搅拌至少 20 min。
- 3.2.6 按照密度要求加入适当质量的加重剂，高速搅拌至少 30 min，完成自适应油气层的储层保护型完井液的制备。

4 技术要求

自适应油气层的储层保护型完井液外观、表观黏度 (mPa·s)、塑性黏度 (mPa·s)、动切力 (Pa)、HTHP 滤失量 (mL)、岩心封堵率 (%)、暂堵层突破压力、渗透率恢复值 (%)等技术要求应符合表2。

表 2 技术要求

项目		技术要求		
		1.0-1.6g/cm ³	1.6-1.9 g/cm ³	1.9-2.2 g/cm ³
表观黏度,mPa·s		50~60	60~70	70~80
塑性黏度,mPa·s		40~50	50~60	60~70
动切力,Pa		5~10	10~15	15~20
初切力/终切力,Pa		2.0~5.0 / 4.0~10.0	2.0~5.0 / 4.0~10.0	2.0~5.0 / 4.0~10.0
高温高压滤失量,mL		≤5.0	≤5.0	≤5.0
岩心封堵率,%	特低渗 0.1-10 (10 ⁻³ μm ²)	≥90	≥90	≥90
	低渗 10-50 (10 ⁻³ μm ²)	≥90	≥90	≥90
	中高渗 50-500 (10 ⁻³ μm ²)	≥90	≥90	≥90
	裂缝性>500 (10 ⁻³ μm ²)	≥90	≥90	≥90
裂缝暂堵层突破压力,MPa	0.1 mm~1 mm 宽度缝板暂堵层突破压力	≥8	≥8	≥8
渗透率恢复值,%		≥90	≥90	≥90

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、烧杯、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、岩心封堵试验装置、渗透率恢复值试验装置等，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、人造标准岩心等，技术要求可参见附录 A。

5.2 流变性

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

5.3 滤失量

5.3.1 高温高压滤失量（HTHP）应 ≤ 5.0 mL（180℃, 3.5 MPa）；

5.3.2 钻井液滤失量测试操作方法参加附录 B。

5.4 裂缝暂堵层突破压力

5.4.1 0.1 mm-1 mm 梯形缝板和直角缝板暂堵层突破压力 ≥ 8 MPa，SY/T 5840 钻井液用桥接堵漏材料试验方法；

5.4.2 裂缝暂堵层突破压力测试操作方法参加附录 B。

5.5 岩心封堵率

5.5.1 选取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；

5.5.2 不同渗透率级别的岩心渗透率堵塞率均应 $\geq 90\%$ ；

5.5.3 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：

η ——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（ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ）。

5.6 渗透率恢复值

渗透率恢复值应 $\geq 90\%$ ，按照 SY/T 5358 测量钻井液污染前后岩心的油相渗透率。

样品渗透率恢复值按照公式（2）计算：

$$S = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

S ——渗透率恢复值，用百分数表示（%）；

K_1 ——钻完井液污染前的油相渗透率，单位为（ μm^2 ）；

K_2 ——钻完井液污染后的油相渗透率，单位为（ μm^2 ）。

6 安全环保要求

- 6.1.1 循环及储备系统的防火防爆措施应符合 SY/T 5225 的规定。
- 6.1.2 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。
- 6.1.3 钻完井液作业区域必须符合相关标准的规定。
- 6.1.4 在使用钻完井液之前，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。

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 0.01g、0.001；
- b) 岩心封堵率测试装置：PPA-71 钻井液封堵性能评价仪；
- c) 烧杯：500mL；
- d) 渗透率恢复值试验装置：RPTA-200 渗透率恢复值试验装置；
- 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 11000r/min \pm 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；
- g) 量筒：10mL，250mL，500mL；
- 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) 去离子水：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) 自适应广谱封堵材料：参考标准 Q-CPCUPJ 0004；
- e) 重晶石：符合 GB/T 29170 的规定；
- f) 氮气：纯度 99.9%。
- g) 无水碳酸钠：分析纯；
- h) 氯化钾：分析纯；
- i) 人造岩心：符合 Q/320621JSSL007 的规定

附录 B (资料性) 实验操作方法

B.1 流变性测试

- B.1.1 取制备完成的钻完井液，按GB/T 16783.1的规定测定老化前钻井液各项黏度和切力等。
- B.1.2 取制备完成的钻完井液，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16h。
- 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黏度和切力等。

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 取中制备完成的钻完井液，高速搅拌20 min，将钻井液样品装入滤失仪样品杯，注意避免产生气泡。安装符合SY/T 5677标准的B型滤纸，滤纸需平整无褶皱。
- B.2.3 按GB/T 16783.1规定的测试程序，测试样浆的高温高压滤失量。
- 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.3 裂缝暂堵层突破压力

- B.3.1 实验装置采用缝板模拟装置，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.3.2 将制备的钻完井液在180 °C下热滚老化16小时，使用前高速搅拌20 min (11000±300 r/min)。
- B.3.3 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使暂堵剂充分运移填充。
- B.3.4 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 岩心封堵率

- B.4.1 实验前需检查岩心流动实验仪各部件完好性并选取不同渗透率级别人造岩心。
- B.4.2 将中制备完成的钻完井液在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±300 r/min)。
- B.4.3 将岩心装入夹持器后施加3.0 MPa围压，用按SY/T 5523-2016配制的模拟地层水以0.1 mL/min的恒定流速饱和岩心。
- B.4.4 在25±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_0 ，每个岩心重复测定三次取平均值。
- B.4.5 污染实验时将恒温箱升温至80±1 °C，将预处理后的钻完井液正向注入岩心，施加3.5±0.1 MPa的压差并开始计时。
- B.4.6 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±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.4.7 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 η ，同时用游标卡尺测量污染端面形成的屏蔽环厚度，精确至0.1 mm。

B. 4. 8 实验结束后需按GB 18597要求处理废弃钻井液和岩心样品。