

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—2025

自适应型智能钻完井液应用技术方法

Guidelines for the Application of Self-adaptive intelligent drilling and completion
fluid

2025 - xx - xx 发布

2025 - xx - xx 实施

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 基本要求 3

4 技术要求 4

5 试验方法 5

6 检验规则 8

7 安全环保要求 8

附 录 A （资料性） 仪器设备与试剂材料技术要求 9

附 录 B （资料性） 试验操作方法 10

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、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。

自适应型智能钻完井液应用技术方法

1 范围

本文件规定了自适应型智能钻完井液的配制工艺、技术要求、试验方法、检验规则和安全环保要求。

本文件适用于深层、深海、非常规等复杂油气钻完井工程中自适应型智能钻完井液的质量控制、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 5005 钻井液材料规范

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 5613 钻井液测试 泥页岩理化性能试验方法

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 6335 钻井液用页岩抑制剂评价方法

SY/T 6788 水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法

TGRM 125 钻完井液用润湿反转剂 聚氨酯衍生物

Q-CPCUPJ 0003 胶结型微纳米封堵剂 CUPJ-JFD

Q-CPCUPJ 0004 纳微米封堵材料 CUPJ-NF

Q/0214HTYD 钻井液封堵性能评价仪

3 基本要求

3.1 材料

3.1.1 基础液与水

配制所用的基础液可为淡水、盐水（参考区域地层水矿化度）。实验室用水应为蒸馏水或去离子水。

3.1.2 化学处理剂

所有用于配制钻完井液的化学处理剂，包括但不限于通用钻井液材料、自适应型智能钻完井液处理剂，其通用钻井液材料执行GB/T 5005。

3.1.3 加重材料

选用的重晶石、碳酸钙等加重材料，其质量应符合GB/T 5005的相关规定。

3.2 仪器设备

配制与测试所用仪器设备应至少包括：老化罐、高搅杯、高速搅拌器，高温滚子加热炉、六速旋转黏度计、高温高压滤失仪、线性膨胀仪、钻井液封堵性能评价仪等。

3.3 技术配方

自适应型智能钻完井液的基础配方宜由基础液、加重材料、自适应型智能钻完井液处理剂及通用化学处理剂构成，其中自适应型智能钻完井液处理剂加量参考表1。

表 1 自适应型智能钻完井液处理剂加量

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
井壁润湿性自适应型超双疏剂	0.5~1	1~2	2~3
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
温度响应型流型调节剂	0.5~1	1~1.5	1~2

3.4 配制方法

3.4.1 向高速搅拌杯中加入规定量的水，置于高速搅拌器上并设定转速为 10000 r/min ± 300 r/min。启动搅拌后，依次加入碱性调节剂和符合 SY/T 5490 规定的膨润土，前者搅拌 5 min，后者搅拌 20 min 以制成基浆。基浆制备完成后，应将其密封并在室温条件下养护 24 h。

3.4.2 取 400 mL 养护完成的基浆，置于高速搅拌器上，以上述转速预剪切 5 min。随后，在持续搅拌下，按预定顺序依次加入各类化学处理剂。每加入一种处理剂后，均应持续搅拌 20 min，并在搅拌过程中进行间歇性刮壁，以确保物料混合均匀。

3.4.3 根据密度要求，缓慢加入重晶石，并持续搅拌 30 min，直至分散均匀。

3.4.4 为保证试验结果的重现性和可比性，同一系列试验中所有样品的配制均应严格遵循本程序。

3.5 性能测试

钻完井液的基础性能测试应按照GB/T 16783.1的规定执行。智能响应性能的专项测试应参照本文件第5章（试验方法）的规定执行。

4 技术要求

4.1 性能指标

自适应型智能钻完井液的性能应符合表1和表2规定的指标。

表1 自适应型智能钻完井液基本性能指标

项目	性能指标		
密度, g/cm ³	1.0-1.6	1.6-1.9	1.9-2.2
塑性黏度, mPa·s	25-45	45-65	65-80
动切力, Pa	5-10	10-15	15-20
极压润滑系数	≤0.15	≤0.15	≤0.15

表2 自适应型智能钻完井液智能响应性能指标

项目		性能指标		
		1.0-1.6 g/cm ³	1.6-1.9 g/cm ³	1.9-2.2 g/cm ³
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
岩心内聚力提高率, %	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
水相润湿角, °		≥80.0	≥80.0	≥80.0
线性膨胀降低率, %		≥45.0	≥45.0	≥45.0
岩屑滚动回收提高率, %		≥50.0	≥50.0	≥50.0
高温高压滤失量, mL	空白组	≤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

- 4.2 实验用标准盐水为与地层水等矿化度的标准盐水，配方按照 SY/T 5153-2017 规定。
- 4.3 性能测试中所用钻完井液均为经 200℃热滚 16h 后的自适应型智能钻完井液。

5 试验方法

5.1 仪器设备和试剂材料

5.1.1 仪器设备

试验用仪器设备宜采用分析天平、烧杯、量筒、筛网、磁力搅拌器、钻井液密度仪、高速搅拌器、六速旋转黏度计、极压润滑仪、线性膨胀仪、高温高压滤失仪、滚子加热炉、钻井液封堵性能评价仪、三轴岩石力学测试系统、GDC-2 高低温控制装置、万能材料试验机、接触角测试仪等，技术要求参见附录 A。

5.1.2 试剂与材料

试验用试剂材料宜采用钻井液试验配浆用膨润土、钻井液膨胀试验用膨润土、氯化钾、氯化钠、氯化钙、蒸馏水、高温高压滤失量测定仪用滤纸、陶瓷砂盘、氮气、人造标准岩心等，技术要求可参见附录 A。

5.2 密度测试

5.2.1 按 GB/T 16783.1 中 4.3 的方法测定密度。

5.3 流变性测试

5.3.1 按 GB/T 16783.1 中 6.3 的方法测定塑性黏度和动切力。

5.4 极压润滑系数测试

5.4.1 极压润滑系数应 ≥ 0.20 ，极压润滑仪扭矩值测量方法参见附录 B。

5.4.2 样品修正系数按照公式（1）计算：

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

式中：

F——修正系数；

T_w ——用清水校正时的扭矩读数。

5.4.3 样品极压润滑系数按照公式（2）计算：

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

式中：

ω ----润滑系数。

5.5 砂盘封堵测试

5.5.1 砂盘封堵测量方法参见附录 B。

5.6 砂床封堵测试

5.6.1 砂床封堵测量方法参见附录 B。

5.7 缝板封堵测试

5.7.1 缝板封堵测量方法参见附录 B。

5.8 岩心内聚力提高率测试

5.8.1 岩心内聚力测试使用现场岩心，测量方法按照 NB/T 10121-2018 规定。

5.8.2 岩心内聚力提高率按照公式（3）计算：

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

式中：

F----岩心内聚力提高率，用百分数表示（%）；

J_1 ----标准盐水浸泡 48h 时岩心内聚力，单位为兆帕（MPa）；

J_2 ----钻完井液浸泡 48h 时岩心内聚力，单位为兆帕（MPa）。

5.9 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测试

5.9.1 20-80 目岩屑胶结后抗压强度测量方法参见附录 B。

5.10 水相润湿角测试

5.10.1 水相润湿角测试方法参见附录 B。

5.11 线性膨胀降低率测试

5.11.1 线性膨胀降低率应 $\geq 45\%$ ，线性膨胀量测量方法参见附录 B。

5.11.2 线性膨胀降低率按公式（5）计算：

$$B = \frac{\Delta H_1 - \Delta H_2}{\Delta H_1} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

B----岩心线膨胀降低率，用百分数表示（%）；

ΔH_1 ----蒸馏水浸泡 8h 时试验岩心的线膨胀量，单位为毫米（mm）；

ΔH_2 ----钻完井液浸泡 8h 时试验岩心的线膨胀量，单位为毫米（mm）。

5.12 岩屑滚动回收提高率测试

5.12.1 岩屑滚动回收提高率测量与计算方法按照 NB/T 10121 中 4.2 规定。

5.13 高温高压封堵滤失量测试

5.13.1 高温高压封堵滤失量应 $\leq 25\text{mL}$ ，测量方法参见附录 B。

5.14 动切力变化率测试

5.14.1 动切力变化率应 $\leq 25\%$ ，测量方法参见附录 B。

5.14.2 动切力变化率按公式（6）计算：

$$K_{YP} = \frac{YP_{2^\circ\text{C}} - YP_{65^\circ\text{C}}}{YP_{2^\circ\text{C}}} \times 100 \quad (6)$$

式中：

K_{YP} ----动切力变化率，用百分数表示（%）；

$YP_{2^\circ\text{C}}$ ---- 2°C 下样品的动切力，单位为帕（Pa）；

$YP_{65^\circ\text{C}}$ ---- 65°C 下样品的动切力，单位为帕（Pa）。

5.15 6 转变化率测试

5.15.1 6 转变化率应 $\leq 25\%$ ，测量方法参见附录 B。

5.15.2 6 转变化率按公式（7）计算：

$$K_{\phi 6} = \frac{\phi_{62^\circ\text{C}} - \phi_{65^\circ\text{C}}}{\phi_{62^\circ\text{C}}} \times 100 \quad (7)$$

式中：

$K_{\phi 6}$ ----动切力变化率，用百分数表示（%）；

$\phi_{62^\circ\text{C}}$ ---- 2°C 下样品的 6 转读数，单位为帕（Pa）；

$\phi_{65^\circ\text{C}}$ ---- 65°C 下样品的 6 转读数，单位为帕（Pa）。

5.16 渗透率恢复值测试

5.16.1 渗透率恢复值应 $\geq 90\%$ ，按照 SY/T 5358-2010 测量钻井液污染前后岩心的油相渗透率。

5.16.2 样品渗透率恢复值按照公式（5）计算：

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

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，单位为微平方米（ μm^2 ）；

K_2 ——钻完井液污染后的油相渗透率，单位为微平方米（ μm^2 ）。

6 检验规则

6.1 检验分类与总则

6.1.1 钻完井液体系的性能检验旨在验证其是否达到设计要求并监控其在作业过程中流变性、悬浮性的稳定性。

6.1.2 检验分为两大类：一是初始性能检验，指新配制体系各项性能指标是否满足设计要求，合格后方可泵入井筒；二是依据设计，每日对钻井液密度、粘度、失水、初切、动切、流变性等关键性能进行检测，确保其符合设计标准，满足井眼稳定与井下安全需求。

6.2 检验项目、频率与取样

6.2.1 检验项目分为全面和核心两类。

6.2.2 初始性能检验应涵盖本标准要求的全部技术指标，特别是智能响应性能。

6.2.3 日常监测检验则侧重于密度、黏度、滤失量等核心指标，检验频率根据工况从每班一次到每日一次不等，遇特殊工况时应加密监测。

6.2.4 为确保结果的代表性，样品应从振动筛出口、吸入罐等循环系统关键节点采集。

6.2.5 室内测量温度应符合 API 标准。

6.3 判定、处理与记录

6.3.1 检验结果的判定与处理规则根据检验类型有所不同。

6.3.2 初始性能检验结果必须全部合格，否则应调整处理并复测，直至合格方可使用。

6.3.3 日常监测中发现的指标“性能偏离”，应立即分析原因并采取措施调整，而非直接判定为不合格。

6.3.4 所有检验数据、处理措施及结果均应详细、准确地记录于《钻井液日报表》中，作为重要的技术资料存档。

7 安全环保要求

7.1 安全要求

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

7.1.2 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。

7.1.3 钻完井液作业区域必须符合相关标准的规定。

7.2 环保要求

7.2.1 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。

7.2.2 钻完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：分度值为 0.01 g、0.0001 g；
- b) 烧杯：200mL、500mL、1000mL；
- c) 量筒：10mL，250mL，500mL；
- d) 筛网：20 目，80 目，符合 GB/T 6003.1 规定；
- e) 磁力搅拌器：KA RCT 型或等效产品；
- f) 钻井液密度计：量程通常为 0.7 ~ 2.8 g/cm³，读数精度为 0.01 g/cm³，符合 SY/T 5490；
- g) 高速搅拌器：在负载情况下的转速为 11000r/min±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；
- h) 六速旋转黏度计：Fann35 型或等效产品。
- i) 极压润滑仪：符合 SY/T 5136 规定；
- j) 线性膨胀仪：LVDT 或同类产品，温控范围室温至 200℃；
- k) 高温高压滤失仪：符合 SY/T 5618 规定；
- l) 滚子加热炉：符合 GB/T 16783.1 的规定，配高温老化罐；
- m) 钻井液封堵性能评价仪：Fann-50 型或等效产品；
- n) 三轴岩石力学测试系统：GCTS RTR-1000 或等效产品；
- o) GDC-2 高低温控制装置：温度控制范围在-10℃~95℃，测量精度±1℃；
- p) 万能材料试验机：LSDWJ-30T 型或等效产品；
- q) 接触角测量仪：SCI3000 型或同类产品，测量精度±0.1°。

A.2 试剂材料

- a) 蒸馏水：符合 GB/T 6682 中三级水规定；
- b) 钻井液试验配浆用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- c) 钻井液膨胀试验用膨润土：符合 SY 5490 的规定；
- d) 陶瓷砂盘：OFITE 型或等效产品，气测渗透率为 5.0D±0.1D，平均孔喉尺寸为 40μm；
- e) 去离子水：符合 GB/T 11446.1-2013 的规定；
- f) 石英砂：0.425~0.85 mm（40~20 目）；
- g) 重晶石：符合 GB/T 29170 的规定；
- h) 氮气：纯度 99.9%。
- i) 人造岩心：气测渗透率为 500mD±0.1mD，直径 25mm，符合 Q/320621JSSL007 的规定。
- j) 氯化钙：分析纯；
- k) 氧化钙：分析纯；
- l) 氯化钾：分析纯；
- m) 氯化钙：分析纯；
- n) 氯化镁：分析纯；

附 录 B
(资料性)
试验操作方法

B.1 极压润滑系数测量

B.1.1 打开极压润滑仪开关，在转速为60r/min下空载运转10~20min进行仪器预热。

B.1.2 用蒸馏水校准仪器，装上滑块后，表盘读数调零，转速为60r/min，加压至 $16.95\text{N}\cdot\text{m}$ 后，立即开始计时，测试5min时的扭矩读值，扭矩读数应该在33~36。

B.1.3 取高速搅拌20min后的自适应型智能钻完井液，其他测试条件不变，测定其5min时的扭矩读数。

B.2 砂盘封堵测试

B.2.1 取400mL配制好的自适应型智能钻完井液。

B.2.2 将陶瓷砂盘放入蒸馏水中浸泡10min，陶瓷砂盘不可重复使用。

B.2.3 按Q/0214HTYD的钻井液封堵性能评价仪操作规程，在180℃、7MPa条件下，对样品进行30min封堵滤失量的测定。

B.3 砂床封堵测量

B.3.1 使用筛网筛取100g现场天然岩屑（20~80目），装入高温高压失水仪滤室底部，控制砂床堆积高度 $\geq 30\text{mm}$ ，施以压实处理。

B.3.2 按Q/0214HTYD的钻井液封堵性能评价仪操作规程，在180℃、5MPa条件下，使用自适应型智能钻完井液对岩屑砂床进行30min的砂床封堵测试，记录累计漏失量。

B.4 缝板封堵测量

B.4.1 实验装置采用动态压力缝板装置，实验前需对缝板装置进行气密性检测。

B.4.2 将配制的钻完井液在180℃下热滚老化16小时，使用前高速搅拌20 min（ $11000 \pm 300\text{ r/min}$ ）。

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.5 20~40 目岩屑胶结后抗压强度测量

B.5.1 将B.3中已胶结砂床放置在万能验证机载物台上，以恒定步进速度对胶结砂床进行极压，直至曲线陡降。

B.5.2 机器归零后取出砂盘试样，统计砂床最终抗压强度。

B.6 水相润湿角测量

B.6.1 取两份老化后的钻井液，高速搅拌20min后，按GB/T 16783.1的规定测定钻井液的API滤失量。

B.6.2 将中压滤饼取出，置于洁净托盘中，用表面皿覆盖，防止干燥时滤饼翘曲变形，托盘置于105℃ $\pm 2^\circ\text{C}$ 烘箱中，干燥24h,取出冷却至室温。

B.6.3 使用接触角测量仪，在滤饼表面滴加蒸馏水，静置5s后读取接触角，每个滤饼测试3个位置，取三个接触角数据的数学平均值作为接触角测量结果。

B.7 线性膨胀降低率测量

B.7.1 称取钻井液膨胀试验用膨润土10.000g，精确至0.001g，预先在105℃±3℃条件下烘干4h后转入测筒内。插入塞杆，并在4MPa压力下保持5min，制得试验岩心。

B.7.2 将装有试验岩心的测筒安装在页岩膨胀测试仪上，注入蒸馏水，使试验岩心浸泡24h，记录岩心的线性膨胀量，记为 ΔH_1 。

B.7.3 重复上述操作，使用自适应型智能钻完井液替代蒸馏水，浸泡24h后记录岩心的线性膨胀量，记为 ΔH_2 。

B.8 高温高压封堵滤失量测量

B.8.1 取两份养护好的基浆，并配制钻完井液，经过滚子加热炉加热，经冷却后取一部分倒入高温高压滤失仪仪器中。

B.8.2 按GB/T 16783.1规定的测试程序，在规定温度和压力，时间30min的条件下测试样浆的高温高压滤失量。

B.9 低温流变性测试

B.9.1 取配制好的钻井液基浆，按照步骤进行操作。

B.9.2 待钻井液冷却至室温后，在GDC-2 高低温控制装置的作用下，降低钻井液温度至2℃，继续按GB/T 16783.1的规定测定老化后钻井液动切力和6转读数。