

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 154—2026

自适应金属阳离子及温度型钻完井液应用 技术要求

Technical requirements for application of self-adaptive metal cation and temperature
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	4
8 安全环保	5

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、于豪、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。

本文件为首次发布。

自适应金属阳离子及温度型钻完井液应用技术要求

1 范围

本文件规定自适应金属阳离子及温度型钻完井液应用的仪器与试剂、配制工艺、试验方法、施工和安全环保。

本文件适用于自适应金属阳离子及温度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

GB/T 27476.1 检测实验室安全 第1部分：总则

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 钻井液试验用土

SY/T 5677 钻井液用滤纸

SY/T 5974 钻井井场设备作业安全技术规程

SY/T 7074 钻井液高温高压滤失量测试仪校准方法

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

自适应金属阳离子及温度型钻完井液 self-adaptive metal cation and temperature drilling and completion fluids

自适应金属阳离子浓度波动与温度变化，依托“反聚电解质效应-异电荷聚电解质络合-非共价键可逆作用”协同机制，稳定流变性、精准控滤失，兼具抗污染抗高温性能，保障复杂钻井工况安全高效的水基钻完井液。

3.2

金属阳离子响应型聚合物降滤失剂 metal cation-responsive polymer fluid loss additive

基于“反聚电解质”效应，利用三维弱交联聚合物分子构象随外界金属阳离子强度增加而伸展的原理，在井壁表面形成致密泥饼，且兼具抗高温与物理封堵性能的钻完井液处理剂。

3.3

金属阳离子响应型聚合物提切剂 metal cation-responsive polymer rheology modifier

基于异电荷聚电解质络合原理，通过长链阴离子与超支化阳离子聚合物自组装形成“串-珠”式空间网架结构，随金属阳离子侵入增强流变性并显著提升钻井液携岩能力的钻完井液处理剂。

3.4

温度响应型流型调节剂 temperature-responsive rheology modifier

以双亲嵌段型低聚物为核心，依靠氢键、疏水缔合等非共价键形成网络结构，分子构象及与黏土的吸附方式随温度变化发生可逆转变，自调节钻完井液空间网架结构强度的钻完井液处理剂。

4 仪器与试剂

4.1 仪器

仪器应至少包括下列内容：

- a) 精密天平：分度值为 0.0001 g；
- b) 量筒：10 mL，250 mL，500 mL；
- c) 烧杯：50 mL、200 mL、500 mL、1000 mL；
- d) 容量瓶：200 mL、500 mL、1000 mL；
- e) 密度计：NB-1 型或等效产品；
- f) 磁力搅拌器：KARCT 型或等效产品；
- g) 高低温控制装置：GDC-2 型或等效产品；
- h) 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；
- i) 量筒：10 mL，250 mL，500 mL；
- j) 六速旋转黏度计：Fann35 型或等效产品；
- k) 滚子加热炉：XGRL-4 型或等效产品；
- l) 高温高压滤失仪：符合 SY/T 7074 要求；
- m) 中压滤失仪：符合 SY/T 7074 要求。

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) 高温高压滤失量测定仪用滤纸：符合 SY/T 5677 要求；
- d) 中压滤失量测定仪用滤纸：符合 SY/T 5677 要求；
- e) 重晶石粉：符合 GB/T 5005 要求；
- f) 氮气：纯度 99.9%；
- g) 无水碳酸钠：分析纯；
- h) 氯化钠：分析纯；
- i) 氯化钙：分析纯；
- j) 氯化铁：分析纯。

5 配制工艺

5.1 技术配方

5.1.1 自适应金属阳离子及温度型钻完井液配方宜为：2wt.%膨润土、0.25wt.%无水碳酸钠、0.2wt.% 氢氧化钠、(1~3)wt.%金属阳离子响应型降滤失剂、(0.5~1)wt.%金属阳离子响应型聚合物提切剂、(0.5~1)wt.%温度响应型流型调节剂、5wt.%超细碳酸钙、(5~8)wt.%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。

5.1.2 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

关键处理剂	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
金属阳离子响应型降滤失剂	1~1.5	1.5~2	2~3
金属阳离子响应型聚合物提切剂	0.5~0.8	0.5~0.8	0.8~1
温度响应型流型调节剂	0.5~0.8	0.5~0.8	0.8~1

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		
	技术配方+15%NaCl	技术配方+15%NaCl +5%CaCl ₂	技术配方+15%NaCl +5%CaCl ₂ +1%FeCl ₃
技术配方+阳离子添加量, wt.%			
表观黏度 (AV), mPa·s	30~60	60~90	90~120
塑性黏度 (PV), mPa·s	10~30	30~60	60~90
动切力 (YP), Pa	3~15	15~20	20~30
初切力/终切力, Pa	1~3/2~4	4~8/6~10	6~10/8~15
中压滤失量 (FLAPI), mL	≤5	≤5	≤5
高温高压滤失量 (FLHHP), mL	10~15	10~15	10~15
2-65 °C 动切力变化率, %		≤25	
2-65 °C 6转读数变化率, %		≤25	
2-65 °C 终切力变化率, %		≤25	

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, 置于高速搅拌器上搅拌, 转速为 11000±300 r/min, 搅拌 5 min, 在搅拌条件下向基浆中依次加入 0.8±0.01 g 氢氧化钠、12±0.01 g 金属阳离子响应型降滤失剂、4±0.01 g 金属阳离子响应型聚合物提切剂、4±0.01 g 温度响应型流型调节剂、20±0.01 g 超细碳酸钙、32±0.01 g 氯化钾, 每加入一种处理剂, 均以 11000±300 r/min 的转速高速搅拌 20 min。
- 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 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, 按 GB/T 16783.1 规定的测试步骤, 测定常温下钻完井液表观黏度、塑性黏度和切力等流变参数。
- 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 按 GB/T 16783.1 规定的测试步骤, 测定 65 °C 下钻完井液各项切力和 6 转读数等流变参数。
- 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 按 GB/T 16783.1 的测试步骤, 测定 2 °C 钻完井液各项切力和 6 转读数等流变参数。

6.3 滤失量测试

- 6.3.1 中压滤失量测试应按 GB/T 16783.1 的规定执行。
- 6.3.2 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。
- 6.3.3 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。
- 6.3.4 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。

6.4 动切力变化率

动切力变化率应按公式（1）计算：

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

式中：

K_{YP} ——动切力变化率，%；

$YP_{2^{\circ}\text{C}}$ ——2 °C下样品的动切力，Pa；

$YP_{65^{\circ}\text{C}}$ ——65 °C下样品的动切力，Pa。

6.5 6转读数变化率

6转读数变化率应按公式（2）计算：

$$K_{\phi 6} = \frac{\phi_{62^{\circ}\text{C}} - \phi_{65^{\circ}\text{C}}}{\phi_{62^{\circ}\text{C}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$K_{\phi 6}$ ——6转读数变化率，%；

$\phi_{62^{\circ}\text{C}}$ ——2 °C下样品的6转读数；

$\phi_{65^{\circ}\text{C}}$ ——65 °C下样品的6转读数。

6.6 终切力变化率

终切力变化率应按公式（3）计算：

$$K_{Gel10min} = \frac{Gel_{10min 2^{\circ}\text{C}} - Gel_{10min 65^{\circ}\text{C}}}{Gel_{10min 2^{\circ}\text{C}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$K_{Gel10min}$ ——终切力变化率，%；

$Gel_{10min 2^{\circ}\text{C}}$ ——2 °C下的终切力，Pa；

$Gel_{10min 65^{\circ}\text{C}}$ ——65 °C下的终切力，Pa。

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、消防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。
-