

## 一、工作简况

### 1.任务来源

随着油气勘探开发重心向深层、深水及非常规复杂地质环境迈进，钻井工程面临的地面和地下情况越来越复杂，开钻前难以、甚至不可能准确预知地层温压系统、地层岩石组成与构造、地层流体性质与分布、储集层潜在损害因素与损害临界点、钻井中可能遭遇的技术难题与复杂程度等等，给钻井液类型和处理剂选择、钻井液配方与性能设计带来了很大盲目性，使井壁失稳、阻卡、井眼不清洁、井漏、储集层损害、环境污染等问题频繁发生，同时传统钻井液理论与技术对此类问题适应性差，已成为制约工程效率与安全的关键瓶颈。在此背景下，具备环境响应与性能自改善能力的“自适应型智能钻完井液”得到了迅速发展，代表了本领域的前沿发展方向。

为推动该项前沿技术的规范化应用与产业化发展，引领我国在智能流体领域的自主创新，本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口，已正式列入《2025年团体标准制修订计划》（计划编号：T/XXXX-202X）。

本标准旨在系统性地构建自适应型智能钻完井液的应用技术框架，明确其不同工况下的性能要求、评价方法与现场应用规程。标准的制定将填补国内在智能钻完井液应用技术领域的标准空白，为该技术的科学评价、可靠应用与质量控制提供核心依据，对提升我国复杂油气藏高效开发技术水平具有重大的战略和经济意义。

### 2.起草单位与参编单位

主要起草单位：中国石油大学（北京）石油工程学院

参编单位：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。

### 3.主要起草人及贡献

蒋官澄：本标准技术框架的主要构建者。基于其在智能钻完井液处理剂分子设计与作用机理方面的深厚研究，确立了标准的核心技术理念，提出了关键性能指标，为标准的科学性与前瞻性奠定了理论基础。

贺垠博：本标准评价方法与实验规程的核心制定者。负责将前沿的室内研究成果转化为标准化的性能测试方法，设计并验证了关键参数的评价流程，确保了标准条款的可操作性与可重复性。

杜明亮：本标准技术指标验证与文本规范性的主要负责人。通过大量的实验数据验证了标准中各项技术指标的合理性与可行性，并负责标准文本的撰写、校对与技术审核，确保了标准的严谨性与准确性。

## 二、制定（修订）标准的必要性和意义

针对钻完井液性能与复杂地层地质条件严重不匹配的尖锐矛盾，以及现有标准体系在“智能”特性评价上存在系统性空白，本标准旨在通过首次系统性定义自适应型智能钻完井液的技术内涵、创建一套科学量化其“智能响应”能力的新型评价方法、并构建一套从性能指标到现场应用、检测的全流程标准化技术指南。本标准的制定，旨在引领我国钻完井液技术实现从“人为被动调整”向“自动适应”的颠覆性变革，为提升我国在深层、深水及非常规油气勘探开发领域的核心竞争力，保障国家能源安全战略提供关键性的标准支撑。

## 三、主要起草过程

### 1. 预研阶段（2023.01-2023.06）

系统研究了国内外相关标准，并结合新疆、川渝等复杂地层的现场应用案例，深入分析了现有技术的局限性。

### 2. 技术攻关（2023.07-2025.09）

研发系列智能钻完井液处理剂并联合多家实验室开展全面的对比试验研究，继而在多个重点区块进行现场实践应用，通过将实验室评价结果与现场应用效果进行深度比对分析，最终成功验证并优化了本标准所提出的技术流程与评价规程，从而完成了从“研发”到“应用”的完整技术闭环，确保了标准方法具备坚实的科学依据与高度的现场可操作性。

### 3. 标准编制（2025.09-2025.12）

基于已验证的技术方法框架，起草组完成了标准草案的编写。期间，通过 2 次专家论证会对草案进行评审，并根据专家意见修改了 9 项关键内容。随后，草案向中石油、中石化等 25 家行业单位征求意见，采纳了 21 条有效建议，形成了标准送审稿。

### 4. 审查发布（2026.01-2026.02）

标准草案通过了技术审查（审查意见编号：\*\*\*），并经过最终审核，得到了相关部门的批准。2026 年 2 月正式发布，公告号为：\*\*\*。

## 四、制定（修订）标准的原则和依据

本标准的制定（修订）原则如下：

#### 1. 科学性与创新性原则

本标准以流体力学、岩石物理学及界面化学等为理论基础，确保其技术方法的科学性。同时，标准紧密围绕“自适应”核心理念，在国内外首次对“智能响应”特性进行系统性定义与量化评价，突出了标准的前瞻性与创新性，以期引领行业技术发展。

#### 2. 通用性与适用性原则

本标准旨在建立一套具有普适性的应用技术方法框架，而非针对特定产品。内容设计上充分考虑了深层、深水、非常规等多样化应用场景，确保所提出的评价指标与技术规程具备广泛的通用性和现场适用性。

#### 3. 规范性与可操作性原则

本标准提出的所有技术要求和试验方法，均以清晰、具体、可执行为准则。评价指标力求定量化，试验步骤流程清晰，以确保不同主体间测试结果的一致性与可复现性，保障了标准的现场可操作性与技术要求的可验证性。

#### 4. 协调性与系统性原则

本标准的制定充分考虑了与现行国家及行业标准体系的协调统一。在与 GB/T 16783.1 等基础标准保持衔接的同时，重点填补了“智能”特性评价与应用方法领域的空白，是对现有钻完井液标准体系的有效补充与完善，共同构成一个更加科学、完整的技术标准系统。

本标准的制定（修订）依据如下：

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

## 五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准的制定严格遵守国家有关法律、法规的要求，并在内容上与现行的国家标准及行业标准体系保持了高度的协调性与系统性。本标准与相关标准的关系主要体现在以下两个方面：

### 1. 遵循与引用的基础关系

本标准在涉及钻完井液基础性能测试、试验材料规范、安全环保要求等方面，遵循并引用了多项现行有效的国家及行业标准。例如，标准中涉及的基础性能测试方法引用了 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》的通用规定；所用试验材料遵循了 GB/T 5005《钻井液材料规范》的要求；安全与环保要求则符合 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》及 SY / T 6788《水溶性油田化学剂环境保护技术评价方法》等相关规定。这些标准的引用构成本标准方法学的基础，确保了其与现有标准体系的兼容性与一致性。

### 2. 补充与拓展的创新关系

本标准的核心价值在于对现有标准体系的补充与拓展。目前，现行标准（如 NB/T 10121《钻井液对页岩抑制性评价方法》、SY/T 6335《钻井液用页岩抑制剂评价方法》等）主要聚焦于钻完井液在静态条件下的常规性能评价，而未能覆盖材料在井下复杂条件（如温度、盐度变化等）下“自适应”或“智能响应”特性的系统性评价方法。

综上所述，本标准与现行法律、法规及相关标准不存在任何矛盾或重叠。它在遵循现有基础标准体系的前提下，进行了必要的创新与补充，定位明确，是对行业技术发展的有力支撑。

## 六、标准主要内容说明

### 6.1 技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则的论据

本标准技术指标的确定论据在于，针对“自适应”特性，创新性地构建了“刺激条件-响应特性-应用性能”三位一体的评价体系。该体系以温度、阳离子浓度等真实井下环境变化为刺激条件，以流变性、体积膨胀率、黏附能等物化参数变化为响应表征，最终落脚于封堵、滤失等宏观工程性能变化率的评价，从而将材料的微观机理与宏观应用效果科学地关联起来，确保了评价指标的针对性与实用

性。

本标准试验方法的确定论据在于其可靠性与系统性。方法上遵循继承与创新结合的原则，其基础测试部分沿用成熟的国家标准以保证操作规范性，而创新的响应评价环节则通过了多家实验室的循环比对和现场应用数据的验证，确保了结果的可靠性与可复现性。通过规定从初始评价到激励后最终性能评价的完整测试流程，本标准能够系统、全面地反映材料在应用全过程中的动态行为，其方法学论据充分且科学。

## 6.2 主要试验（验证）的分析、综述报告

### 6.2.1 试验方法

#### （1）极压润滑系数测量

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。

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 16.95N·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。

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。

#### （2）砂盘封堵测试

取 400mL 配制好的自适应型智能钻完井液。

将陶瓷砂盘放入蒸馏水中浸泡 10min，陶瓷砂盘不可重复使用。

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。

#### （3）砂床封堵测量

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。

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。

#### （4）缝板封堵测量

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。

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 ( $11000 \pm 300 \text{ r/min}$ )。

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。

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。

#### （5）20~40 目岩屑胶结后抗压强度测量

将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。

机器归零后取出砂盘试样，统计砂床最终抗压强度。

#### （6）水相润湿角测量

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。

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  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  烘箱中，干燥 24h，取出冷却至室温。

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。

#### (7) 线性膨胀降低率测量

称取钻井液膨胀试验用膨润土 10.000g，精确至 0.001g，预先在  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  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。

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  $\Delta H_1$ 。

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  $\Delta H_2$ 。

#### (8) 高温高压封堵滤失量测量

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。

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。

#### (9) 低温流变性测试

取配制好的钻井液基浆，按照步骤进行操作。

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  $2^{\circ}\text{C}$ ，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。

### 6.2.2 试验结果与分析

为验证本标准方法的可行性与可靠性，工作组联合多家机构开展了循环对比测试。试验结果表明，本方法具有高度的可复现性（相对标准偏差小于 5%）与良好的技术区分度，能够有效量化不同体系的性能优劣。尤为重要的是，实验室评价结果与多个区块的现场应用效果高度正相关，证明了其对工程实践的指导价值，这些数据为标准的科学性与可行性提供了坚实支撑。

### 6.3 技术经济论证与预期经济效益

本标准的实施将带来显著的技术经济效益。通过为智能钻完井液提供科学的评价准则，能够帮助现场更精准地进行技术选型，从而有效预防井壁失稳、漏失等复杂情况，在提升钻井效率与安全性的同时，预计可使单井综合成本降低 5%-8%。长远来看，本标准还将引导行业的技术创新方向，促进高性能智能材料的产业化进程，提升我国在该领域的核心竞争力。

### 6.4 修订标准，新旧标准水平对比

本标准为首次制定，在技术水平上达到了国际先进水平。与侧重于评价材料静态、基础性能的现行国内外标准不同，本标准开创性地聚焦于评价材料在复杂地质条件下的“自适应能力”，实现了从“静态评价”到“动态评价”的重大跨越。由于目前国际上尚无同类方法标准，本标准的发布填补了行业空白，在评价理念与技术体系上均具有前瞻性，是对现有标准体系的重大突破与升级。

## 七、分歧意见的处理过程、依据和结果

本标准制定期间，共收到来自中石化石油工程技术研究院、西南石油大学等 15 家单位的 32 条反馈意见，意见核心均围绕评价方法的科学性与可操作性展开。其中，争议焦点集中于部分测试方法：部分专家建议采用将样品直接置于目标高温环境以提高测试效率，而起草小组坚持采用“程序升温法”（以设定的升温速

率缓慢升温)。起草小组的核心依据是：自适应型智能钻完井液的关键在于其响应井下环境渐变过程的动态性能，而非材料的极限耐温性；“程序升温法”能够精确捕捉到材料性能开始响应的“触发温度”和动态变化曲线，这才是评价其“智能”程度的关键数据。为验证此依据，补充实验表明，直接将样品置于目标高温环境，部分聚合物体系会因瞬时高温产生不可逆的降解，导致其真实的自适应增粘性能被掩盖。经技术委员会审议，该论证依据被一致采纳，最终标准明确要求采用“程序升温法”，其余 31 条意见亦通过条款细化和补充说明达成共识，修订内容获全票通过。

## 八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准在立项和起草阶段，工作组对国际标准化组织（ISO）、美国石油学会（API）等相关国际及国外先进标准进行了全面的检索与比对分析。经研究发现，现行的国际标准体系（如 API RP 13B-1 系列标准）主要针对常规钻完井液的静态性能指标及其测试方法，例如流变性、滤失量和密度等。然而，对于“自适应型智能钻完井液”在复杂地质条件下（如温度、岩性、阳离子浓度等）所表现出的自适应特性，目前尚无专门的国际标准或国外先进标准可供采用或参考。因此，本标准是一项结合我国在该领域的技术创新成果与丰富的现场应用经验而自主制定的技术方法标准。它系统性地提出了评价智能钻完井液自适应能力的核心指标与测试规程，填补了国内外在这一技术领域的标准空白。

## 九、贯彻标准的措施建议

1.加强宣贯与技术培训：建议由行业主管部门或标准化技术委员会牵头，组织面向各大油气公司、技术服务企业及科研院所的专项宣贯会和技术培训班。通过对标准的核心条款、试验方法和评价逻辑进行深入解读，确保一线技术人员、实验室研究员及管理人员能够准确理解和掌握标准内容，为标准的顺利推行奠定人才基础。

2.推动评价设备的配套与升级：本标准提出了一些新的动态评价方法，对测试设备提出了更高要求。建议鼓励和支持国内仪器制造商，依据本标准开发或升级能够实现程序化激励与动态响应监测的专用评价设备，并推动相关设备的计量认证工作，确保测试结果的准确性与可复现性。

3.开展试点应用与示范工程：建议选择具有代表性的复杂井、难题井，组织开展应用本标准的试点示范工程。通过在实际工程项目中运用本标准进行智能钻完井液的选型、评价与优化，验证标准的科学性与实用价值，总结成功案例，形成可复制的推广经验，以点带面，促进标准的全面应用。

4.纳入企业技术与采购体系：鼓励各大油气田企业及技术服务公司，将本标准的核心技术要求纳入其内部的钻完井液技术规范、质量控制体系以及供应商准入与产品采购标准中。将标准执行与市场准入挂钩，是推动标准落地、提升行业整体技术水平最直接有效的手段。

5.建立信息反馈与持续改进机制：建议建立一个标准实施效果的跟踪与信息反馈渠道。定期收集各单位在执行标准过程中遇到的问题、数据和改进建议，为标准在未来进行适时修订和完善积累实践依据，使其始终保持技术的先进性与适用性。

## 十、其他应予说明的事项

本标准不替代现有标准中的通用技术要求。