

一、工作简况

1. 任务来源

本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口，列入《202X年团体标准制修订计划》（编号：T/XXXX-202X）。旨在解决解决钻井液多尺度裂缝地层的封堵方面的技术难题，规范自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的技术要求与评价方法，填补行业技术空白，推动钻井液性能的提升，保障油气钻探作业的安全与高效。

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。

3. 主要起草人及贡献

蒋官澄：主导自适应地层孔缝的强封堵型钻井液体系的设计与性能优化，制定核心技术指标；

贺垠博：负责实验方法的设计与标准化，参与现场应用验证；

杜明亮：负责技术指标的实验验证及标准文本的技术校对。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

裂缝性油气藏的高效开发对保障国家能源安全具有重要战略意义，但其储层普遍发育的多尺度孔缝系统极易导致钻井液滤液侵入，引发井壁失稳、漏失等复杂事故。具体而言，裂缝性油气藏普遍发育的多尺度孔缝系统和高温高压环境，对强封堵材料提出了更高要求，自适应广谱封堵技术凭借其多尺度封堵的特性，成为解决难题的理想选择；同时，为规范该技术的推广应用，保障工程质量，提升行业整体水平，亟需制定统一的技术标准。另一方面，现行标准“SY/T 5665 钻井液用防塌封堵剂 改性沥青”、“SY/T 5840 钻井液用桥接堵漏材料室内试验方法”主要聚焦于对单一孔径的封堵能力，且缺乏对材料封堵层承压强度、钻井液体系封堵能力以及解堵效率等关键性能的量化技术指标，且现有钻井液标准缺乏针对多尺度裂缝封堵的评价方法，对自适应性能的量化指标要求不足。因此，深层裂缝性油气藏开发的迫切需求、现有标准的局限性以及规范行业发展和市场秩序的需要，共同推动了本标准的制定。本标准的制定是适应非常规油气开发需求、推动钻井技术升级、保障国家能源安全的必然选择。

三、主要起草过程

1. 预研阶段（2023.01-2023.06）

基于 API RP 13B-2、ISO 10414-1:2013 等国际标准，结合四川盆地、山西煤层气、内蒙等区块钻井液漏失等现场案例，系统分析发现现行标准“SY/T 5665-2018 钻井液用防塌封堵剂 改性沥青”、“SY/T 5840-2024 钻井液用桥接堵漏材料室内试验方法”在钻井液体系封堵能力、多尺度裂缝封堵性能指标方面的缺失，确立以自适应地层孔缝的强封堵型钻井液为核心的技术指标研制方向。

2. 技术攻关（2023.07-2025.9）

研发了一套自适应地层孔缝强封堵型钻井液，抗温 180℃以上，岩心渗透率封堵率 $\geq 90\%$ ，1 mm-2 mm 缝板封堵层突破压力 $\geq 8 \text{ MPa}$ 。填补多尺度裂缝封堵特性的评价空白。本技术在四川、古龙页岩油气、内蒙、山西煤层气、陕甘宁致密气推广应用，支撑了第一个年产 100 亿方的威远-长宁页岩气田、临兴-神府千

亿方致密气田建设。

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，共组织召开了 2 次专家论证会，邀请井筒工作液及油气田开发领域的权威专家对草案进行评审。根据专家审议意见，对自适应封堵性能评价方法、多尺度裂缝封堵实验流程等多项关键技术内容进行了修改与完善。随后，向包括主要油气田、工程技术服务单位及检测机构在内的多家行业相关单位发函征求意见，经起草组认真研讨，进一步提升了标准的普适性与可操作性，最终形成标准草案。

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。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：

科学性：本标准的制定以实验数据和工程实践为支撑，通过分析 API RP 13B-2、ISO 10414-1:2013 等国际标准，结合四川盆地、山西煤层气、内蒙等区块钻井液漏失等现场案例，科学设定丙烯基聚合物的技术指标。

适用性：本标准规定了自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的技术要求，适用于自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的检验与验收。主要应用范围涵盖裂缝性储层钻井等，技术功能覆盖自适应封堵、广谱承压等特点。

可操作性：本标准规定了钻井液的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存、安全和环保要求，确保标准实施过程中具备良好的可操作性。

本标准的制定（修订）依据如下：

《标准化法》(2017 修订)

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

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《中华人民共和国标准化法》及相关法律法规的要求，并在技术内容上与现行国家标准、行业标准保持了良好的协调性与系统性。

本标准在钻井液通用性能测试、材料规范、安全与环保要求等方面，严格遵循并直接引用了现行有效的上位标准。例如：基础测试方法引用了 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》等标准中的通用规定，确保测试条件的规范性；所用实验材料符合 GB/T 5005《钻井液材料规范》的相关要求；安全环保条款与 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》等标准的要求协同一致，保证了其与现有标准体系的兼容性和连续性。

本标准现有标准 SY/T 5840《钻井液用桥接堵漏材料实验方法》等进行技术延伸与创新。针对其主要评价单一粒径材料在理想孔隙中封堵的局限性，本标准补充并规范了针对多尺度裂缝的自适应封堵承压实验方法、封堵层韧性评价等关键创新性测试程序，填补了现有标准在应对复杂裂缝性储层钻井液技术领域的空白。在遵循通用基础标准的前提下，对钻井液专项技术领域进行的深化、细化和创新，定位清晰明确，是对现有钻井液标准体系的重要补充和有力支撑。

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

本标准针对自适应地层孔缝的强封堵型钻井液的关键性能进行规范，技术指标设计依据如表 1 所示：

表 1 自适应地层孔缝强封堵型钻井液技术指标

指标名称	技术要求	实验方法依据	技术必要性
20~40 目砂床封堵滤失量，mL	≤15	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	砂床封堵滤失量是衡量自适应地层孔缝的强封堵型钻井液封堵性能的关键指标
岩心封堵率，%	≥90	万能材料试验机测试（依据 NB/T 10121 测试方法优化优化）	岩心封堵率率是评估自适应地层孔缝的强封堵型钻井液封堵性能的重要指标。
裂缝封堵层突破压力，MPa	≥8	万能材料试验机测试（依据 NB/T 10121 测试方法优化优化）	裂缝封堵层突破压力是评估自适应地层孔缝的强封堵型钻井液封堵性能在模拟实际地层条件下的封堵性能的关键指标。

6.2 主要试验（验证）的分析、综述报告

6.2.1 试验方法

（1）流变性

取制备完成的钻井液，按 GB/T 16783.1 的规定测定老化前钻井液各项粘度和切力等；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 16h；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。

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。

(2) 滤失量

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, 将老化后的钻井液, 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。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 ± 2 °C, 待温度稳定后施加 3.5 ± 0.1 MPa 的压力。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。

(3) 20~40 目砂床封堵滤失量

实验装置采用高温高压砂床封堵仪, 砂床厚度建议为 ≥ 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。将制备好的钻井液在 180 °C 下热滚老化 16 小时, 使用前高速搅拌 20 min (11000 ± 300 r/min)。接着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。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。

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

(4) 自适应裂缝封堵层突破压力

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。将制备的钻井液在 180 °C 下热滚老化 16 小时, 使用前高速搅拌 20 min (11000 ± 300 r/min)。

预热封板、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) 岩心封堵率

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。将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 ± 300 r/min)。

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 ± 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, 相邻两次测定结果偏差超过 5% 时需重新测试。

污染实验时将恒温箱升温至 80 ± 1 °C, 将预处理后的钻井液正向注入岩心, 施加 3.5 ± 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 ± 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。

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。实验结束后需按 GB 18597 要求处理废弃钻井液和岩心样品。

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

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 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)。

6.2.2 试验结果与分析

经系统验证, 自适应地层孔缝的强封堵型钻井液技术指标均满足或优于本标准要求: 抗温 180°C 以上, 岩心渗透率封堵率 $\geq 90\%$, 1 mm - 2 mm 缝板封堵层突破压力 $\geq 8\text{ MPa}$ 。结果表明: 其多尺度裂缝封堵承压强度及封堵层稳定性等核心技术指标, 且多项关键指标显著优于本标准规定的技术要求。充分证明了本标准技术内容的科学性、先进性和对产业高质量发展的引领作用, 能为现场应用选拔优质产品提供可靠依据。

6.3 技术经济论证与预期经济效果

本标准的首要价值在于为“自适应智能”钻井液建立了科学的性能评价标尺与规范的应用指南。通过提供统一、权威的技术选型依据, 能够指导作业方精准选用合格的智能钻井液体系, 从而从源头上有效遏制因封堵失效引发的井漏、井塌等井下复杂情况, 大幅减少非生产时间。经初步测算, 在典型深层裂缝性油气藏钻井作业中, 严格执行本标准预计可平均单井缩短钻井周期 10-15 天, 综合成本降低 5%-8%。经济效益主要来源于钻井液材料的高效利用、复杂事故处理费用的节约以及钻井日费的降低。

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层条件下的“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。根据技术迭代与行业需求变化, 本次修订后的标准在储层保护性能实现提升, 具体对比与分析如表 2 所示:

表 2 新旧标准对比情况

对比维度	旧标准(SY/T 6540)	新标准 (本修订版)	提升效果
岩心封堵率	无明确的多尺度岩心渗透率封堵能力的评价指标	明确针对多尺度裂缝, 增设岩心封堵率、裂缝封堵层突破压力技术指标	明确对钻井液多尺度强封堵能力的技术评价, 确保钻井液体系的广谱封堵能力

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

标准修订过程中, 收到来自多家行业单位的意见, 主要围绕技术指标细化和试验方法的优化展开。针对“岩心封堵率”的测定方法进行了调整, 增加了更多的验证实验, 确保标准在不同实验室环境下的可操作性。经过专家审定, 修订内容得到一致通过。

八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准参考了 ISO 10414-1:2013 及 API RP 13B-2 等国际标准, 并引入了新的测试方法 (如岩心封堵率、自适应裂缝封堵层突破压力), 确保了标准在全球范围内的适应性和先进性。

九、贯彻标准的措施建议

为确保标准的有效实施，建议由中关村绿色矿山产业联盟牵头，开展全面的标准宣贯活动，定期组织技术培训和应用推广，确保标准能够在钻井液生产、应用及检测领域得到广泛落实。

建议建立“自适应地层孔缝的强封堵型钻井液质量认证中心”，对生产和使用单位的产品进行定期抽检，确保标准实施后的产品质量始终保持稳定，达到技术要求。可以实施年度抽检（覆盖率 $\geq 20\%$ ）制度，保证标准实施的可追溯性。

建议在标准实施后，通过行业应用反馈机制，收集使用单位对标准实施中的问题和建议，定期修订标准，确保其与行业需求保持一致，不断提升其适用性和技术性。

十、其他应予说明的事项

本标准与现行的 SY/T 5323-2015《钻井液性能测试方法》、API RP 13B-2 等标准协同使用，不替代现有标准中的通用技术要求。标准中新增的封堵防塌剂性能测试方法和技术要求，能有效补充现有标准中对于丙烯基类聚合物封堵防塌剂的规范，提升现有技术标准的完备性。