

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《2025年团体标准制修订计划》（编号：T/XXXX-202X）。旨在解决油气开采中储层保护的技术难题，规范自适应油气层的储层保护型完井液的技术要求、配制工艺、实验方法及安全环保标准，填补行业内该类完井液应用技术规范的空白，推动油气开采作业中储层保护技术的提升，保障油气钻探开发的安全、高效与可持续性。

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：主导自适应油气层的储层保护型完井液设计与性能优化，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；

宁金硕：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

在当前油气资源勘探开发向深层、复杂地层推进的背景下，储层敏感性强、孔缝结构复杂等问题日益突出，传统完井液易导致储层堵塞、渗透率下降，严重影响油气产能。现行行业标准中，针对常规完井液的技术规范较多，但缺乏专门针对“自适应油气层”特性的储层保护型完井液的系统标准，在完井液配方适应性调整、纳微米级孔缝封堵评价、高温高压条件下性能稳定性控制等方面存在技术空白。

自适应油气层的储层保护型完井液通过合理搭配储层保护剂、聚合物降滤失剂、解吸附剂等组分，可根据储层密度、渗透率等参数动态调整配方，实现对不同类型储层的精准保护，其岩心封堵率、渗透率恢复值均能达到90%以上，有效解决传统完井液适应性差、储层损害严重的问题。本标准的制定，将填补行业在该类完井液技术规范的空白，统一技术要求与评价方法，为完井液的生产、检验、应用提供依据，有助于提升油气田储层保护水平，降低开发成本，提高油气采收率，对推动油气开采行业的技术进步与高质量发展具有重要意义。

三、主要起草过程

1.预研阶段（2023.01-2023.06）

基于API RP 13B-1、ISO 10414-1:2013等国际标准，结合四川盆地、渤海湾等区块储层堵塞、渗透率下降案例，系统分析发现现行标准在自适应油气层的储层保护型完井液方面存在空白。

2.技术攻关（2023.07-2025.09）

针对不同渗透率储层，开展储层保护剂、解吸附剂等关键处理剂加量梯度实验，确定各组分的最优比例范围，形成自适应调整的完井液基础配方。联合中国石油大学（北京）、宁夏大学等多家实验室，对完井液的岩心封堵率、渗透率恢复值、裂缝暂堵层突破压力进行系统性测试。在中石油川庆钻探、长城钻探等单位的油气井现场，开展完井液应用试验，记录现场施工参数与储层保护效果，验证室内实验结果的有效性，收集现场反馈意见用于标准技术指标的调整。

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，形成标准草案。

4. 审查发布（2026.01-2026.02）

标准草案通过了技术审查，并在相关部门的批准后，于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：

科学性：大量室内实验数据与现场应用验证结果为支撑，结合油气储层地地质学、钻井液化学等理论，科学设定完井液的技术指标与实验方法，确保标准内容符合客观规律与技术原理。例如，根据不同密度储层的孔喉特征，差异化设定储层保护剂、解吸附剂的加量范围，保证完井液的自适应封堵效果。

适用性：充分考虑我国不同地区、不同类型油气储层的开采需求，标准技术要求覆盖 $1.0\text{-}2.2\text{g/cm}^3$ 密度区间的储层，实验方法兼顾实验室测试与现场应用场景，确保标准能够指导完井液的生产、检验与现场作业，满足行业实际应用需求。

可操作性：明确完井液配制的具体步骤（如基浆制备的搅拌时间、各处理剂的添加顺序）、实验仪器的技术参数（如高速搅拌器的转速范围、高温高压滤失仪的压力控制精度）、安全环保的具体要求（如循环系统的防火防爆措施、废弃完井液的处理标准），确保标准使用者能够清晰理解并规范执行。

本标准的制定（修订）依据如下：

《标准化法》（2017修订）

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

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准在《中华人民共和国标准化法》及GB/T 1.1-2020框架下制定，与现行法律、法规无冲突，且与相关国家标准、行业标准形成互补与协同，具体关系如下：

与基础通用标准的衔接：引用GB/T 6678《化工产品采样总则》、GB/T 6680

《液体化工产品采样通则》规范完井液样品的采集方法，引用 GB/T 27476.1《检测实验室安全 第 1 部分：总则》明确实验过程的安全要求，确保标准在样品采集、实验安全等基础环节与通用标准保持一致。

与钻井液相关标准的互补：GB/T 16783.1 规定了水基钻井液的现场测试方法，本标准在此基础上，针对“储层保护型完井液”的特殊性，补充了岩心封堵率、渗透率恢复值、裂缝暂堵层突破压力等专属测试指标与方法，细化了不同密度完井液的技术要求，填补了该类完井液专项标准的空白。

与储层保护相关标准的协同：SY/T 5358《储层敏感性流动实验评价方法》、SY/T 6540《钻井液完井液损害油层室内评价方法》为储层损害评价提供通用方法，本标准结合自适应完井液的特性，优化了实验参数（如污染压差 3.5MPa、污染温度 180℃），明确了渗透率恢复值 $\geq 90\%$ 、岩心封堵率 $\geq 90\%$ 的具体指标，使储层保护评价更具针对性与可操作性。

与安全环保标准的统一：安全环保要求部分引用 SY/T 5974《钻井井场设备作业安全技术规程》、SY/T 6629《陆上钻井作业环境保护推荐作法》、GB 18597《危险废物贮存污染控制标准》，确保完井液作业的安全防护与环保措施符合行业现行规定，避免环境污染与安全事故。

综上，本标准不替代现有标准，而是通过补充专属技术要求、优化实验方法，完善了油气开采领域完井液技术标准体系，与现行标准共同为储层保护型完井液的应用提供全面技术支撑。

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

本标准针对自适应油气层的储层保护型完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 技术指标

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 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	≥ 90	≥ 90	≥ 90
	低渗 10-50 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	≥ 90	≥ 90	≥ 90
	中高渗 50-500 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	≥ 90	≥ 90	≥ 90
	裂缝性 >500 ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)	≥ 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

6.2 主要试验（验证）的分析、综述报告

6.2.1 试验方法

(1) 流变性的测定

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。

(2) 滤失量的测定

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。按 GB/T 16783.1 规定的测试程序，测试样浆的高温高压滤失量。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。

(3) 裂缝暂堵层突破压力的测定

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。

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)。

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。

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。

(4) 岩心封堵率测定

选取不同渗透率级别岩心，采用钻井液污染 (3.5 MPa 压差，180 °C 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；

应按公式(1)计算岩心渗透率堵塞率。

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

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) 渗透率恢复值的测定

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)。

6.2.2 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果

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，从而有效保护储层，提高渗透率恢复值，使单井综合成本降低 5%-8%。长远来看，本标准还将引导行业技术创新方向，促进高性能智能钻井液的产业化进程，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
储层保护评价	仅要求测试渗透率恢复值，且无明确的岩心渗透率级别划分，评价指标单一	新增岩心封堵率、裂缝暂堵层突破压力指标，覆盖特低渗至裂缝性储层，评价体系更完善	多维度评价储层保护效果，可更精准判断完井液对不同类型储层的适应性

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“储层保护评价”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（如岩心封堵率测定、裂缝暂堵层突破压力测定），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

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，确保标准能够在完井液生产、应用及检测领域得到广泛落实。

建议建立“自适应油气层的储层保护型完井液质量认证中心”，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≥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。标准中新增的自适应油气层的储层保护型完井液性能测试方法和技术要求，能有效补充现有标准中对于完井液的规范，提升现有技术标准的完备性。