

文章编号:1000-4092(2023)01-019-07

# 抗高温插层吸附抑制剂的研制及作用机理分析\*

王晓军<sup>1</sup>,尹家峰<sup>2</sup>,徐建根<sup>3</sup>,步文洋<sup>2</sup>,孙磊<sup>4</sup>,王金树<sup>5</sup>,景焯琦<sup>1</sup>,任艳<sup>1</sup>,孙云超<sup>1</sup>

(1. 中国石油长城钻探工程有限公司工程技术研究院, 辽宁 盘锦 124010; 2. 中国石油长城钻探工程有限公司钻井一公司, 辽宁 盘锦 124011; 3. 重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆 401331; 4. 中国石油长城钻探工程有限公司钻井二公司, 辽宁 盘锦 124012; 5. 河北石油职业技术大学, 河北 承德 067000)

**摘要:**针对常规抑制剂控制黏土表面水化不足导致的井壁失稳问题,以四乙烯五胺为反应单体,通过引入磺酸基团,制备了抗高温插层吸附抑制剂。对该抑制剂的结构进行了表征,并对其性能进行了评价,分析了抑制作用机理。结果表明,抑制剂分子结构中含有大量的强吸附基团和疏水基团,分子量小,无毒环保且具有良好的热稳定性。抑制作用机理分析表明,抗高温插层吸附抑制剂通过强吸附基团优先进入黏土片层间,交换出层间的水合钠离子,结合静电引力有效减小黏土的静电斥力及表面水化短程斥力;通过降低水溶液表面张力和改变黏土润湿性,控制泥页岩自吸能力和比亲水量,减少水相的侵入;吸附及抗解吸附能力强,能长时间吸附于黏土表面,提升黏土表面的疏水性,减少自由水的侵入。该抗高温插层吸附抑制剂具有良好的抑制造浆、控制黏土水化膨胀和防止泥页岩分散等性能,优于国内外聚胺抑制剂。

**关键词:**插层吸附;抑制剂;表面水化;抑制机理;井壁稳定

文献标识码:A DOI:10.19346/j.cnki.1000-4092.2023.01.004

中图分类号:TE254

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



泥页岩地层钻井过程中,由于黏土矿物水化膨胀、分散引起诸多复杂事故发生<sup>[1-2]</sup>。黏土矿物水化有渗透水化和表面水化两种形式。通过向钻井液中添加有机盐或者低活度无机盐,使钻井液与泥页岩地层处于活度平衡状态,能较好地改善泥页岩渗透水化引起的井壁失稳<sup>[3-4]</sup>;而表面水化的水化势极大,遇水极易发生,常规抑制剂受限于分子结构和分子量,很难控制表面水化作用。近年来发展起来的胺基聚醚类抑制剂通过氢键和水解出的铵根的静电引力将黏土片层束缚在一起,通过减少水分子

的进入降低了黏土矿物表面的水化程度<sup>[5-11]</sup>,但抑制效果与油基钻井液相比仍然存在着较大差距<sup>[12]</sup>。笔者研发了一种能较好控制黏土表面水化的抗高温插层吸附抑制剂,在对其结构表征的基础上进行了作用机理的深入分析,并通过评价实验进行了验证。

## 1 实验部分

### 1.1 材料与仪器

四氢呋喃,化学纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司;1,3-丙磺酸内脂,分析纯,上海联迈生物工程有

\* 收稿日期:2022-02-21;修回日期:2022-05-18。

**基金项目:**国家科技重大专项“深井超深井优质钻井液与固井完井技术研究”(项目编号2016ZX05020-004),中国石油天然气集团有限公司科技项目“深井与水平井提速提效技术集成与示范”(项目编号2018E-2108),中国石油长城钻探工程公司科技项目“辽河油区深探井钻完井技术研究与应用”(项目编号GWDC202102-0104)。

**作者简介:**王晓军(1984—),男,高级工程师,中国石油大学(华东)油气井工程专业硕士(2011),从事钻井液体系和防漏堵漏技术方面的研究,通讯地址:124010 辽宁省盘锦市兴隆台区惠宾街91号长城钻探工程院油化所,电话:0427-7825545, E-mail: wangxiaojun666666@126.com。王金树(1986—),男,讲师,本文通讯联系人,通讯地址:067000 河北省承德市高新技术开发区学院路2号河北石油职业技术大学石油工程系, E-mail: cugwjs421@126.com。

限公司;吩噻嗪,分析纯,上海展云化工有限公司;四乙烯五胺,工业级,日本东曹株式会社;钠膨润土,工业级,灵寿县拓琳矿产品加工厂;泥页岩,辽河西部凹陷马深1南块马\*\*井沙三下亚段(3966.75~3977.00 m)。

JJ1A 增力电动搅拌器,上海科兴仪器有限公司;Thermo Scientific Nicolet iS20型红外光谱仪,赛默飞分子光谱仪器;日本岛津 xrf-1800 仪,谱质分析检测技术(上海)有限公司;UV1900型紫外分光光度计,上海奥析科学仪器有限公司;Netzsch STA 449F5型热重测试仪,青岛启翔仪器设备有限公司;Waters1525型凝胶色谱仪(GPC),上海魁元科学仪器有限公司;Bruker autoflex maX MALDI-TOF (TOF)型质谱仪、AVANCEIIIHD500型核磁共振仪,美国布鲁克公司;AAS 6000型原子吸收光谱仪,江苏天瑞仪器股份有限公司;BZY-1型表面张力仪,上海函格生物科技有限公司;HZ-9912S水浴振荡器,常州市凯航仪器有限公司;Dataphysics接触角测量仪,北京奥德利诺仪器有限公司;TD-3500型X射线衍射仪,丹东通达科技有限公司;SY/ZKCC型真空干燥器装置,重庆升亿过滤设备制造有限公司;OFITE型泥页岩膨胀仪、OFITE型高温滚子加热炉,奥莱博(武汉)科技有限公司。

## 1.2 实验方法

### (1) 制备原理与方法

根据蒙脱石晶层间距和插层吸附抑制机理,为最大程度地拉紧相邻晶层,抗高温插层吸附抑制剂分子量不能太大,且分子结构需为二维的平面结构;为了提高高温稳定性和耐盐性,分子结构中需要具有耐温基团<sup>[13]</sup>。在氮气保护下向圆底烧瓶中依次加入四氢呋喃、四乙烯五胺和吩噻嗪,在设计温度下反应一定时间,加入1,3-丙磺酸内酯,制得抗高温插层吸附抑制剂(GW-INH)。

### (2) 插层吸附抑制剂的结构表征

红外光谱分析。取少量抗高温插层吸附抑制剂置于金刚石ATR模块中,采用红外光谱仪表征其结构。测试的波数范围为4000~400 cm<sup>-1</sup>,扫描次数32,分辨率4 cm<sup>-1</sup>。

X射线衍射分析。取少量抗高温插层吸附抑制剂置于测试架上,采用 xrf-1800 仪测定其元素组成。X射线衍射测试的X射线管采用4 kW薄窗口,

铍窗75 μm,Rh靶,管电流140 mA。测角仪定位重现性±0.0001°,最大扫描速度300°/min,元素测定范围为4Be~92U。

热重分析。取少量抗高温插层吸附抑制剂置于坩埚中,采用热重测试仪测定其热稳定性。测试条件为氮气氛围,升温速度为10 °C/min,温度范围为30~600 °C。

高效凝胶色谱分析。采用凝胶色谱仪测定抗高温插层吸附抑制剂的相对分子质量。测试条件为:以水作为溶剂、磷酸盐缓冲液作为流动相,流量为1 mL/min,色谱柱温度为150 °C。

质谱分析。采用质谱仪测定抗高温插层吸附抑制剂的分子量分布。质谱测试的离子源为ESI,测试模式为正谱。

原子吸收光谱分析。采用原子吸收光谱仪测定抗高温插层吸附抑制剂中重金属的含量,波长范围为190~900 nm,测试动态稳定性为0.005 Abs。

氢核磁共振分析。采用核磁共振仪测定抗高温插层吸附抑制剂的氢核磁谱图,所用氘代溶剂为D<sub>2</sub>O。

### (3) 插层吸附抑制剂作用机理分析

表面张力的测定。利用表面张力仪,采用铂金板法测定不同浓度抗高温插层吸附抑制剂水溶液的表面张力。

吸附和解吸附性能。采用紫外分光光度法测定抗高温插层吸附抑制剂在黏土颗粒表面的吸附量和解吸附量。将1 g黏土加入100 mL去离子水中,然后加入一定量的抗高温插层吸附抑制剂。将悬浮液放置在水浴振荡器中25 °C下振荡12 h,使抑制剂在黏土颗粒表面吸附平衡。将悬浮液转移至离心管中,在10 000 r/min下高速离心30 min,取上清液并测定其透光度。通过溶液的浓度与透光度的标准曲线,计算抑制剂在黏土颗粒表面的吸附量。然后,加入去离子水稀释到无限稀,在25 °C下恒温滚动,让其解吸一定时间后离心分离,利用上层清液测量其解吸附量。

层间距的测定。在2%钠膨润土悬浮液中分别加入不同浓度的抗高温插层吸附抑制剂,搅拌30 min,密闭静置24 h后离心分离,倾倒入上层清液,取下部沉淀于105 °C下烘干,研磨过0.074 mm(200目)筛,用X射线衍射仪测定层间距。

对黏土润湿性的影响。在1%黏土悬浮液中加入不同浓度的抗高温插层吸附抑制剂,使用接触角测量仪的内置软件计算接触角。

抑制自吸性能。将泥页岩置于105℃烘箱中干燥12h,记录泥页岩的初始质量;然后将泥页岩悬挂在天平上,保持泥页岩下端浸入不同浓度的抗高温插层吸附抑制剂溶液的液面1mm;将天平清零后,测试泥页岩质量随时间的变化。

对比亲水量的影响。将泥页岩粉碎过0.150mm(100目)筛,在105℃下烘干备用。将泥页岩放入铝盒,置入抽真空的干燥器(底部放入浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)中,待泥页岩质量稳定后将浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>换为蒸馏水,测定恒温饱和水蒸气压条件下的平衡吸水量,求得单位质量岩样的吸水量,再除以比表面积即可得到比亲水量。

#### (4)滚动回收率的测定

将泥页岩块体敲碎,再用分选筛筛选2.00~3.35mm(10~6目)的泥页岩颗粒,放入鼓风干燥箱内风干,各称取50g干样装入4个老化罐内,分别加入350mL的清水、清水+0.5% Ultrahib、清水+0.5% GW-INH、清水+0.5% LX-JA,旋紧罐盖后放入150℃滚子加热炉中热滚16h。热滚结束后将罐内的岩屑倒入0.425mm(40目)分选筛中,用自来水清洗1min后将筛子和泥页岩放入(105±3)℃的烘箱中干燥4h,取出在空气中冷却静置24h,然后称量记录数据,计算滚动回收率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 抗高温插层吸附抑制剂的结构表征

#### 2.1.1 红外光谱分析

抗高温插层吸附抑制剂的红外光谱图(图1)中,3435cm<sup>-1</sup>处为—NH<sub>2</sub>的伸缩振动吸收峰;2932cm<sup>-1</sup>和2877cm<sup>-1</sup>处为—CH<sub>3</sub>的振动吸收峰;1580cm<sup>-1</sup>处为—NH<sub>2</sub>的弯曲振动峰;1462cm<sup>-1</sup>处为—CH<sub>3</sub>的不对称伸缩振动峰;1383cm<sup>-1</sup>处为—OH的面内弯曲振动峰;1116cm<sup>-1</sup>处为C—N的伸缩振动吸收峰;1044cm<sup>-1</sup>归因于C—N的不对称伸缩振动吸收峰;623cm<sup>-1</sup>附近为磺酸基的特征峰。因此推测抗高温插层吸附抑制剂中含有伯胺基、叔胺基、醇基、磺酸基及长链疏水基,与设计分子结构相符。

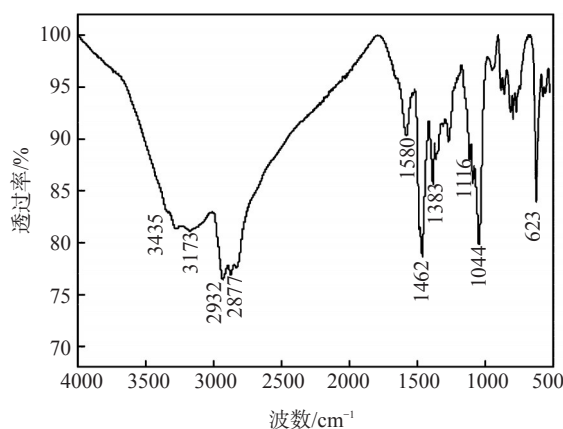


图1 抗高温插层吸附抑制剂的红外光谱图

#### 2.1.2 X射线衍射分析

采用xrf-1800仪测得抗高温插层吸附抑制剂的元素组成为:N 9988.7050 mg/L、S 72.9476 mg/L、Si 15.3393 mg/L。N元素含量最高,进一步说明抗高温插层吸附抑制剂分子结构中含有大量的胺基。

#### 2.1.3 热重分析

抗高温插层吸附抑制剂的热失重曲线如图2所示。室温至100℃的热失重约为7.57%,由少量的吸附水蒸发所致。100~190℃的热失重可归因于所测样品的部分链段分解。200℃左右热失重曲线下降趋势明显,说明在高温下所测样品的分子结构开始分解。由此可见,所测抗高温插层吸附抑制剂具有较好的热稳定性,190℃以下聚合物骨架结构不会发生热分解。

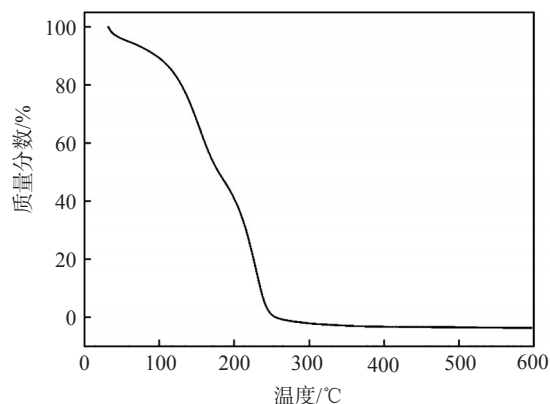


图2 抗高温插层吸附抑制剂的热失重曲线

#### 2.1.4 高效凝胶色谱分析

抗高温插层吸附抑制剂的GPC测试结果如图3所示。抗高温插层吸附抑制剂的重均分子量 $\bar{M}_w$ 为7064g/mol,数均分子量 $\bar{M}_n$ 为1292g/mol,GPC曲线

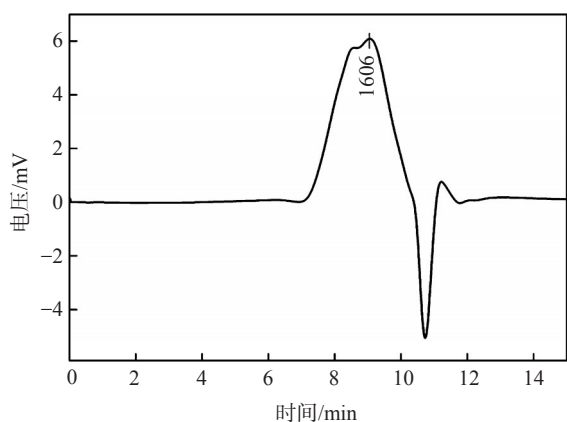


图3 抗高温插层吸附抑制剂的GPC测试曲线

中的峰值分子量  $\bar{M}_p$  为 1606 g/mol, 分散指数为 5.4669。

### 2.1.5 质谱分析

在抗高温插层吸附抑制剂的质谱图(图4)中, 出现了质荷比依次为 680.6、654.6、477.4、451.4、427.4 的主峰。因此, 抗高温插层吸附抑制剂的平均分子量小于 1000, 分子量大于 1000 的部分比例较小。

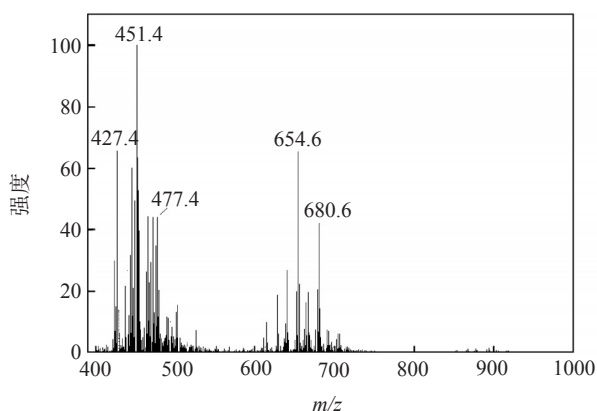


图4 抗高温插层吸附抑制剂的质谱图

### 2.1.6 原子吸收光谱分析

采用原子吸收光谱仪测得抗高温插层吸附抑制剂中重金属(Cu、Ni、Pb、Zn、Mn、Cr)的含量均为 0, 满足国家的排放标准要求。

### 2.1.7 氢核磁共振分析

抗高温插层吸附抑制剂的氢核磁共振谱图(图5)中, 各基团H的化学位移( $\delta$ )归属为: 3.572, C—OH; 3.564, C—N; 2.607, —CH<sub>3</sub>; 0.830, —NH<sub>2</sub>。进一步说明抗高温插层吸附抑制剂中含有叔胺基、伯胺基、醇基及长链疏水基。

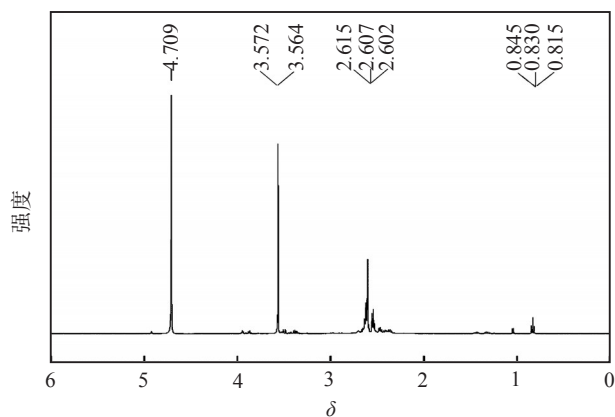


图5 抗高温插层吸附抑制剂的氢核磁共振谱图

## 2.2 抗高温插层吸附抑制剂作用机理

### 2.2.1 表面张力

抗高温插层吸附抑制剂加量对水溶液表面张力的影响如图6所示。随着抑制剂加量的增大, 溶液的表面张力不断降低, 尤其是在低浓度下, 溶液的表面张力下降趋势明显。当抑制剂质量分数仅为 0.05% 时, 溶液的表面张力降至 33.2 mN/m。降低钻井液的表面张力可有效降低低孔低渗地层的毛细管力, 从而有利于减少滤液的侵入, 提升泥页岩井壁的稳定性的。

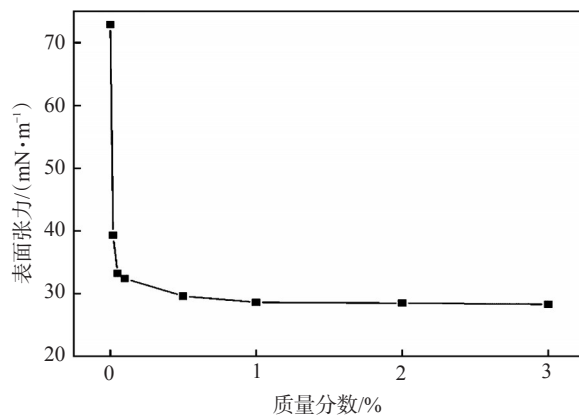


图6 不同加量抗高温插层吸附抑制剂溶液的表面张力

### 2.2.2 吸附性能

抗高温插层吸附抑制剂在黏土颗粒表面的吸附曲线如图7所示。随着抗高温插层吸附抑制剂加量的增大, 在黏土颗粒表面的吸附量迅速增加; 随着加量继续增大, 吸附量增幅逐步平缓至饱和吸附。饱和吸附量为 52.6 mg/g, 说明其吸附能力较强。

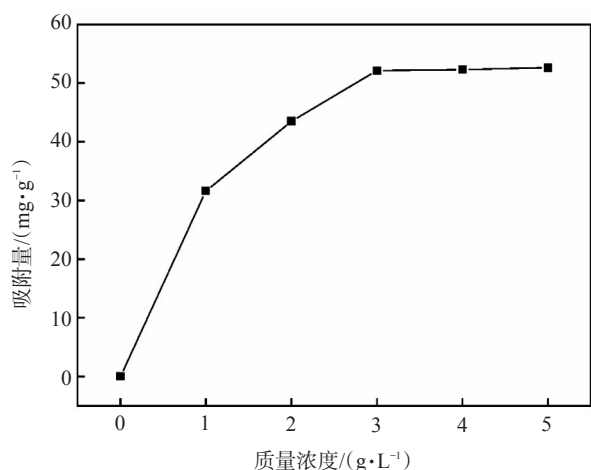


图7 抗高温插层吸附抑制剂在黏土颗粒表面的吸附曲线

### 2.2.3 层间距

原始膨润土的层间距为 1.29 nm。膨润土经 0.5%、1.0%、2.0% 抗高温插层吸附抑制剂改性后的层间距分别增至 1.30、1.31、1.32 nm,说明抑制剂已插入膨润土的层间。

### 2.2.4 对黏土润湿性的影响

在 1% 黏土悬浮液中加入 0、0.2%、0.5%、0.8%、1.0% 抗高温插层吸附抑制剂,改性黏土的水接触角分别为 23.07°、49.63°、56.72°、62.14°、64.21°。原始黏土展现出较强的亲水性,改性黏土的水接触角随抑制剂加量的增大不断增加。抗高温插层吸附抑制剂在黏土表面吸附后,黏土表面形成一层疏水层,可减少水分子吸附,改变润湿性。

### 2.2.5 解吸附性能

由抗高温插层吸附抑制剂在黏土颗粒表面的解吸附曲线(图 8)可见,随抑制剂加量的增大,解吸

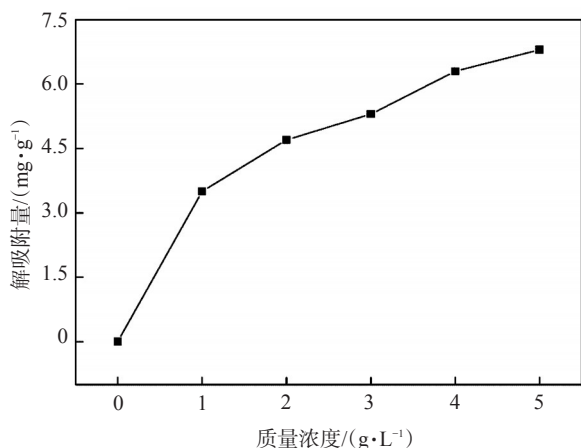


图8 抗高温插层吸附抑制剂在黏土颗粒表面的解吸附曲线

附量逐渐增加,但增幅较小,解吸附量最高仅为 6.8 mg/g。由此可见,抗高温插层吸附抑制剂的吸附能力较强,一旦吸附后很难解吸,能发挥长效抑制作用。

### 2.2.6 抑制自吸性能

由图 9 可见,空白泥页岩自吸水能力较强,总吸水量高达 9.24%。将泥页岩置于不同浓度的抑制剂溶液中,其自吸水能力显著降低,吸水速率趋于平缓。在 1% 抗高温插层吸附抑制剂溶液中,泥页岩总吸水量仅为 3.63%。由此可见,抗高温插层吸附抑制剂能显著降低泥页岩的自吸能力,可提高泥页岩地层的井壁稳定性。

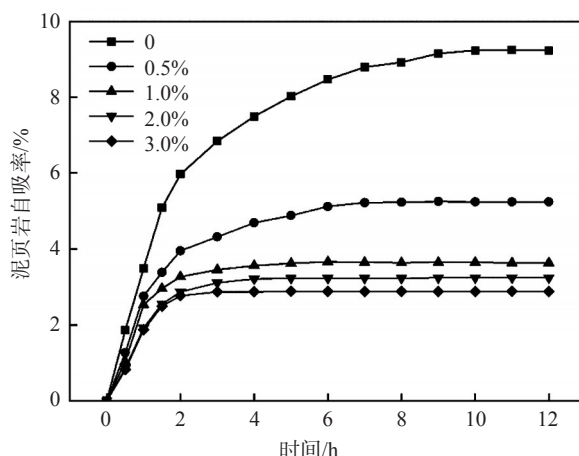


图9 抗高温插层吸附抑制剂加量对泥页岩自吸率的影响

### 2.2.7 对比亲水量的影响

室内对比了不同浓度抗高温插层吸附抑制剂作用后泥页岩比亲水量的变化,结果如表 1 所示。其中,  $m_0$ —铝盒质量;  $m_1$ —干燥器内放浓  $H_2SO_4$  时的平衡质量;  $m_2$ —干燥器内放蒸馏水时的平衡质量;  $S_s$ —岩样比表面积;  $S_w$ —比亲水量。由表 1 可见,空白泥页岩的比亲水量高达  $3.728 \times 10^{-7} g/cm^2$ ; 与 3% 抗

表 1 泥页岩比亲水量测定结果

抑制剂加量/%	$m_0/g$	$m_1/g$	$m_2/g$	$S_s/(m^2 \cdot g^{-1})$	$S_w/(10^{-7} g \cdot cm^{-2})$
0	13.215	14.198	14.413	58.664	3.728
0.5	13.116	14.023	14.138	58.027	2.185
1.0	12.947	13.848	13.937	58.513	1.688
2.0	12.869	13.757	13.784	57.107	0.532
3.0	13.210	14.013	14.026	57.658	0.281

高温插层吸附抑制剂作用后,泥页岩的比亲水量降低率高达92.5%。由此可见,抗高温插层吸附抑制剂能有效降低泥页岩的比亲水量,从而抑制表面水化作用。

### 2.2.8 抗高温插层吸附抑制剂作用机理小结

基于上述测试结果,分析了抗高温插层吸附抑制剂的综合作用机理。抗高温插层吸附抑制剂通过分子结构中伯胺基、叔胺基的氢键作用快速进入黏土层间,有效降低表面水化短程斥力;通过降低水溶液表面张力及改变岩石表面润湿性能,显著降低泥页岩的自吸作用和比亲水量;同时,凭借强吸附及抗解吸附能力长时间作用于黏土表面,提升黏土表面的疏水性,减少自由水的侵入,增强泥页岩井壁稳定性。

### 2.3 抗高温插层吸附抑制剂性能评价

室内对国外高性能水基钻井液核心处理剂 Ultrahib、国内应用效果良好的聚胺抑制剂 LX-JA 和自主研发的插层吸附抑制剂 GW-INH 3种处理剂进行性能测定,通过抑制造浆性能、防膨性能和抑制分散性能综合比较3种处理剂的防塌效果。

#### 2.3.1 抑制膨润土造浆性能

采用钻井液用钠膨润土,参考文献[14-16],分别测试了去离子水、LX-JA、Ultrahib 和 GW-INH 的抑制造浆性能。由图10可见,去离子水中随着膨润土加量的增加,黏土水化分散并形成一定的空间网络结构,体系动切力迅速增大,逐渐失去流动性;而加有 GW-INH 体系的动切力变化趋势相对缓慢,表明抗高温插层吸附抑制剂能有效抑制黏土水化造

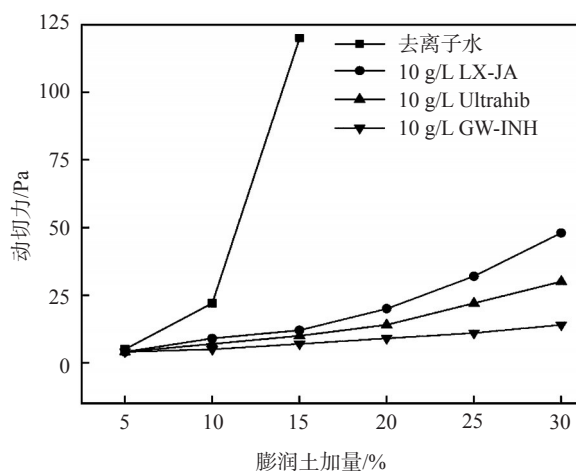


图10 钻井液动切力随膨润土加量的变化

浆,对膨润土的容量较大,其抑制效果优于国内外的聚胺抑制剂。

#### 2.3.2 防膨性能

在去离子水中加入0.5%抑制剂(GW-INH、Ultrahib、LX-JA),用钠膨润土压制岩样(6000 psi/30 min),通过泥页岩膨胀仪进行水化膨胀性能的测试,结果如图11所示。3种抑制剂均具有良好的控制膨润土水化膨胀的效果。其中,GW-INH的抑制效果最强,48 h线性膨胀率仅为8.0%。

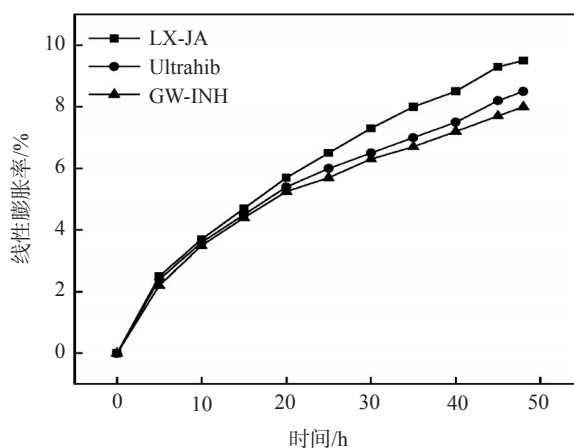


图11 3种抑制剂的线性膨胀率对比

#### 2.3.3 抑制泥页岩分散性能

实验结果表明,泥页岩岩样在去离子水中的分散性较弱,滚动回收率为91.43%。岩样在3种抑制剂溶液中的分散性也很弱,在GW-INH溶液中的回收率为98.56%,高于国内抑制剂LX-JA(95.27%)和国外抑制剂Ultrahib(96.58%),说明GW-INH能有效抑制岩屑水化分散变软,增强井壁稳定,也有利于提高固相清除效率。

## 3 结论

室内以四乙烯五胺为反应单体,通过引入磺酸基团,合成了抗高温插层吸附抑制剂。该抑制剂含有大量的强吸附基团和疏水基团,分子量小,无毒环保且具有良好的热稳定性。抗高温插层吸附抑制剂的作用机理主要是通过强吸附基团优先进入黏土片层间,交换出层间的水合钠离子,结合静电引力有效减小黏土的静电斥力及表面水化短程斥力;通过降低水溶液表面张力,控制泥页岩自吸能力和比亲水量,减少水相的侵入;吸附及抗解吸附能力强,能长时间吸附于黏土表面,提升黏土表面

的疏水性,减少自由水的侵入。自主研发的抗高温插层吸附抑制剂具有良好的抑制造浆、控制黏土水化膨胀和防止泥页岩分散等性能,有利于水基钻井液的流变性和井壁稳定,具有良好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 东营: 石油大学出版社, 2001: 307-308.
- [2] 梁大川. 泥页岩水化机理研究现状[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(6): 29-31.
- [3] 苏俊霖, 董汶鑫, 罗平亚, 等. 基于低场核磁共振技术的黏土表面水化水定量测试与分析[J]. 石油学报, 2019, 40(4): 468-474.
- [4] 刘令云, 陆芳琴, 闵凡飞, 等. 微细高岭石颗粒表面水化作用机理研究[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(4): 814-820.
- [5] 陈楠, 张喜文, 王中华, 等. 新型聚胺抑制剂的实验室研究[J]. 当代化工, 2012, 41(2): 120-122.
- [6] 张国, 徐江, 詹美玲, 等. 新型聚胺水基钻井液研究及应用[J]. 钻井液与完井液, 2013, 30(3): 23-26.
- [7] 王中华. 关于聚胺和“聚胺”钻井液的几点认识[J]. 中外能源, 2012, 17(11): 36-42.
- [8] 张兴来, 罗健生, 郭磊, 等. 聚胺抑制剂PF-UHIB与膨润土相互作用机理[J]. 油田化学, 2016, 33(2): 195-199.
- [9] 徐建根. 页岩气地层水基钻井液稳定井壁技术研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2019: 56-58.
- [10] 郭文字, 彭波, 操卫平, 等. 钻井液用低聚胺类页岩抑制剂的结构与性能[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(1): 26-29.
- [11] 钟汉毅. 聚胺强抑制剂研制及其作用机理研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2012: 47-48.
- [12] 霍锦华, 张瑞, 杨磊. CTAB诱导膨润土乳液转相机理及其在可逆乳化油基钻井液中的应用[J]. 石油学报, 2018, 39(1): 122-128.
- [13] 王晓军. 一种抗高温插层吸附抑制剂: CN201810566560.1 [P]. 2020-09-22.
- [14] ZHONG H Y, QIU Z S, TANG Z C, et al. Study of 4, 4' - methylenebis-cyclohexanamine as a high temperature-resistant shale inhibitor[J]. J Mater Sci, 2016, 51(16): 7585-7597.
- [15] 胡进科, 罗霄, 袁明进, 等. 钻井液用超支化聚醚胺抑制剂的制备与性能评价[J]. 油田化学, 2022, 39(2): 191-196.
- [16] 邓舒元, 王博, 孙珊珊, 等. 硫化物生物抑制剂体系筛选及应用[J]. 油田化学, 2021, 38(3): 547-552.

## Development and Function Mechanism of Intercalation Adsorption Inhibitor with High Temperature Resistance

WANG Xiaojun<sup>1</sup>, YIN Jiafeng<sup>2</sup>, XU Jiange<sup>3</sup>, BU Wenyang<sup>2</sup>, SUN Lei<sup>4</sup>, WANG Jinshu<sup>5</sup>, JING Yeqi<sup>1</sup>, REN Yan<sup>1</sup>, SUN Yunchao<sup>1</sup>

(1. Great Wall Drilling Company Engineering Research Institute, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, P R of China; 2. Great Wall Drilling Company First Drilling Branch, PetroChina, Panjin, Liaoning 124011, P R of China; 3. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, P R of China; 4. Great Wall Drilling Company Second Drilling Branch, Panjin, Liaoning 124012, P R of China; 5. Hebei Petroleum University of Technology, Chengde, Hebei 067000, P R of China)

**Abstract:** Conventional inhibitors could not effectively control the hydration of clay surface, which caused wellbore instability. An intercalation adsorption inhibitor with high temperature resistance was prepared by introducing sulfonic acid group into tetraethylene pentamine as reaction monomer. The structure of the inhibitor was characterized and its performance was evaluated. The mechanism of intercalation adsorption inhibitor with high temperature resistance was further analyzed. The results showed that there were a lot of strong adsorption groups and hydrophobic groups in the molecular structure of new inhibitor, which had low molecular weight, non-toxic environmental protection and good thermal stability. The analysis of inhibition mechanism showed that the electrostatic repulsion and short-range repulsion of clay surface hydration could be effectively reduced by the combination of strong adsorption group and exchange of hydrated sodium ions. By reducing the surface tension of aqueous solution and changing the wettability of clay, the self-imbibition capacity and specific hydrophilicity of shale could be controlled, and then the invasion of water phase was reduced. Meanwhile, the new inhibitor had strong adsorption and anti-desorption ability, which could adsorb on the clay surface for a long time, improve the hydrophobicity of the clay surface, and reduce the invasion of free water. The new inhibitor had good properties of inhibiting mud production, controlling clay hydration expansion and preventing shale dispersion, which was superior to polyamine inhibitors at home and abroad.

**Keywords:** intercalation adsorption; inhibitor; surface hydration; inhibition mechanism; borehole stability