Mine Engineering 矿山工程, 2020, 8(2), 206-212
Published Online April 2020 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/me
https://doi.org/10.12677/me.2020.82028

Hans汉斯

Evaluation and Application of Shale Inhibitor JXA-1 for Drilling Fluid

Yaping Zhang[1], Yongzhong Ji[2], Bin He[2], Bing Tang[1], Xiangfeng He[3], Bo Song[1], Xun Song[1]

[1]Chengdu Xiyouhuawei Science & Technology Co. Ltd., Chengdu Sichuan
[2]CCDC International Engineering Company, Chengdu Sichuan
[3]Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: zhangyaping_xyhw@126.com

Received: Mar. 30th, 2020; accepted: Apr. 23rd, 2020; published: Apr. 30th, 2020

Abstract

When conventional water-based drilling fluid encounters shale formation rich in clay minerals, it is easy to cause mud formation and wellbore instability due to hydration and expansion of shale. JXA-1, a kind of amphiphilic organic cationic amide polymer, is a shale inhibitor for drilling fluid. It has been proved that JXA-1 has good inhibition performance, salt resistance and calcium resistance. The addition of JXA-1 reduces the linear expansion rate of the core, and the compatibility of jxa-1 with water-based drilling fluid is good. The successful application of JXA-1 in two wells is introduced, which provides a new inhibitor for drilling of shale gas water-based drilling fluid.

Keywords

Water Based Drilling Fluid, Inhibitor, Compatibility, Field Application

一种钻井液用泥页岩抑制剂JXA-1的评价及应用

张亚萍[1]，吉永忠[2]，贺　彬[2]，唐　冰[1]，贺祥峰[3]，宋　波[1]，宋　勋[1]

[1]成都西油华巍科技有限公司，四川 成都
[2]川庆钻探工程有限公司国际工程公司，四川 成都
[3]天津工业大学，天津
Email: zhangyaping_xyhw@126.com

收稿日期：2020年3月30日；录用日期：2020年4月23日；发布日期：2020年4月30日

摘　要

常规水基钻井液在钻遇富含黏土矿物的泥页岩地层时，由于泥页岩水化膨胀易导致地层造浆、井壁失稳。

文章引用: 张亚萍, 吉永忠, 贺彬, 唐冰, 贺祥峰, 宋波, 宋勋. 一种钻井液用泥页岩抑制剂JXA-1的评价及应用[J]. 矿山工程, 2020, 8(2): 206-212. DOI: 10.12677/me.2020.82028

钻井液用泥页岩抑制剂JXA-1是一种两亲型的有机阳离子酰胺聚合物，室内证明该抑制剂具有良好的抑制性能和抗盐抗钙性能，JXA-1的加入降低了岩心的线性膨胀率，同时JXA-1与水基钻井液的配伍性良好，介绍了其在2口井的成功应用，为页岩气水基钻井液钻井提供了一种新的抑制剂。

关键词

水基钻井液，抑制剂，配伍性，现场应用

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

在油气钻井过程中，泥页岩地层井壁失稳这一世界性难题一直困扰着广大石油工程技术人员。因井壁失稳引起的井塌、缩径不仅会导致起下钻遇阻、卡钻、扭矩增大、憋泵等井下复杂问题，甚至会造成钻具掉落、井眼轨迹偏斜或整口井的报废。随着近年来国家对页岩气资源勘探开发力度的加大，井壁稳定问题面临着更严苛的挑战。尽管目前页岩气钻井通常使用油基钻井液来缓解井壁失稳现象，但是从经济开发效益以及环境保护的角度考虑，具有强抑制性和优良环保性的水基钻井液势必成为今后的发展方向[1] [2] [3] [4] [5]。作为抑制性水基钻井液的核心处理剂——页岩抑制剂的研发一直是钻井液领域的重点研究对象[6] [7] [8] [9]。目前，常见的页岩抑制剂有无机离子型抑制剂、有机胺型抑制剂、聚醚胺型抑制剂、天然产物改性抑制剂、超支化型抑制剂以及共聚物型抑制剂[10]。尽管科研者们在抑制剂方面有大量的研究，但是能实现大量应用并且被市场接受的并不多。

本文评价并成功的应用了一种水基钻井液用泥页岩抑制剂 JXA-1，该抑制剂可有效提高井浆抑制性能，钻进期间各项性能保持稳定，井眼通畅，未发生井下复杂问题，具有推广应用价值。

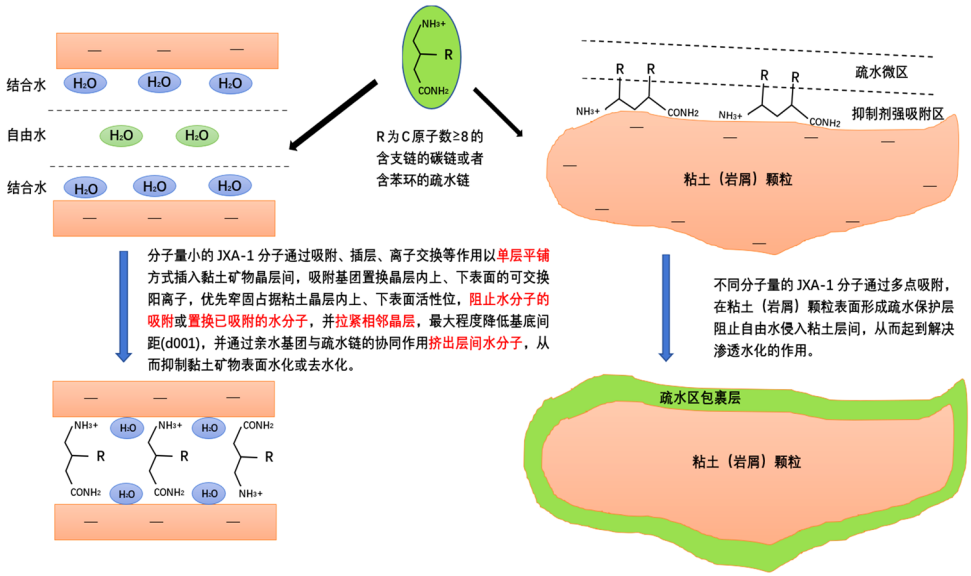


Figure 1. JXA-1 mechanism of action
图 1. JXA-1 作用机理图

2. 钻井液用泥页岩抑制剂 JXA-1 的作用机理

如图 1，JXA-1 是一种不同分子量的有机阳离子型酰胺聚合物的复合物，具有两亲(亲油、亲水)结构。低分子量聚合物利用其氨基吸附和阳离子置换效应，镶嵌在粘土层间阻止表面水化；大分子聚合物利用氨基和酰胺基多点吸附，使疏水链包被在粘土表面，从而降低岩石表面的亲水性，使其变得憎水，形成稳定的疏水微区。该疏水微区能有效地阻止自由水与岩石(粘土)表面接触及向粘土内部渗透，从而有效地抑制粘土水化[10] [11]。

3. 钻井液用泥页岩抑制剂 JXA-1 室内评价

3.1. 在单一介质中的滚动回收试验

选择了氯化钠、氯化钙、氯化钾、石膏和甲酸钾等常用的盐类抑制剂，配制以下盐水溶液，对侏罗系沙溪庙组棕红色泥岩岩屑进行滚动回收试验，对比评价蒸馏水和不同盐水溶液中加入 2% JXA-1 的抑制性变化。实验条件为：120℃滚动加热 16 h。其中二次滚动回收试验是将一次回收所获的岩屑烘干后，放入清水中进行第二次滚动加热实验，所获得的烘干岩屑质量除以一次回收前称取的岩屑总质量为二次清水回收率。实验结果见表 1。

1#：蒸馏水 + 50 g 岩屑；

2#：蒸馏水 + 2.0% JXA-1 + 50 g 岩屑；

3#：15% NaCl 盐水 + 50 g 岩屑；

4#：15% NaCl 盐水 + 2.0% JXA-1+50 g 岩屑；

5#：2% CaCl2 盐水 + 50 g 岩屑；

6#：2% CaCl2 盐水 + 2.0% JXA-1+50 g 岩屑；

7#：7% KCl 盐水 + 50 g 岩屑；

8#：7% KCl 盐水 + 2.0% JXA-1 + 50 g 岩屑；

9#：10% HCOOK 盐水 + 50 g 岩屑；

10#：10% HCOOK 盐水 + 2.0% JXA-1 + 50 g 岩屑；

11#：1% CaSO4 盐水 + 50 g 岩屑；

12#：1% CaSO4 盐水 + 2.0% JXA-1 + 50 g 岩屑。

Table 1. The recovery rate of JXA-1 in a single medium
表 1. JXA-1 在单一介质中的回收率

配方	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#
一次滚动回收率，%	17.44	98.36	25.00	99.12	16.76	97.36	18.28	97.14	21.54	99.00	19.60	98.72
二次(清水)滚动回收率，%	12.46	96.50	14.34	88.86	12.74	92.36	13.02	94.74	13.92	95.98	13.00	88.98

试验结果如表 1 显示，JXA-1 加入淡水和盐水中的岩屑滚动回收率都大幅度提高，且二次清水回收率几乎没有降低。表明该页岩抑制剂不仅抑制性强，还有较强的抗盐抗钙性能，而且吸附能力强，在淡水中不会因解吸引起二次清水回收率降低。

3.2. 在混合介质中滚动回收试验

按下述配方配制复合盐水溶液，进行滚动回收试验，评价 JXA-1 在混合介质中的抑制性。一次滚动回收、二次清水回收的试验条件和试验方法与 3.1 相同。试验结果见表 2。

1#：7% KCl + 10% HCOOK；

2#：7% KCl + 10% HCOOK + 2.0% JXA-1；

3#：1% CaSO4 + 7% KCl；

4#：1% CaSO4 + 7% KCl+2.0% JXA-1；

5#：1% CaSO4 + 10% HCOOK；

6#：1% CaSO4 + 10% HCOOK + 2.0% JXA-1；

7#：1% CaSO4 + 10% HCOOK + 7%KCl；

8#：1% CaSO4 + 10% HCOOK + 7%KCl + 2.0% JXA-1。

Table 2. Recovery rate of JXA-1 in mixed media
表 2. JXA-1 在混合介质中的回收率

配方	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
一次滚动回收率，%	26.58	98.34	27.20	97.38	16.87	99.80	23.40	99.08
二次(清水)滚动回收率，%	17.24	95.90	14.66	94.74	13.00	92.74	14.00	94.76

试验表明，JXA-1 在复合盐水仍然能大幅度提高对泥页岩的抑制性，能适应较为复杂的介质环境。

3.3. 在聚合物钻井液中滚动回收试验

配制密度为 1.4 g/cm^3 聚合物钻井液，考察 JXA-1 在钻井液中的抑制性效果(表 3)。

1#：聚合物钻井液；

2#：聚合物钻井液 + 1.0% JXA-1；

3#：聚合物钻井液 + 2.0% JXA-1；

4#：聚合物钻井液 + 7% KCl；

5#：聚合物钻井液 + 7% KCl +1.0% JXA-1；

6#：聚合物钻井液 + 7% KCl + 2.0% JXA-1。

Table 3. The recovery rate of JXA-1 in polymer drilling fluid
表 3. JXA-1 在聚合物钻井液中的回收率

配方	1#	2#	3#	4#	5#	6#
一次滚动回收率，%	88.00	87.62	94.26	82.36	92.16	99.10
二次(清水)滚动回收率，%	8.60	53.81	61.75	13.45	52.73	67.15

随 JXA-1 的加入和加量增大，聚合物钻井液一次回收率有明显提高，二次清水回收率更加显著，表明 JXA-1 在低固相钻井液中具有良好的抑制性。

3.4. 岩心线性膨胀量试验

采用侏罗系沙溪庙组棕红色泥岩岩粉制岩芯，在淡水和聚合物钻井液中进行线性膨胀试验，见图 2。

1#：蒸馏水；

2#：蒸馏水 + 2.0% JXA-1；

3#：聚合物钻井液；

4#：聚合物钻井液 + 2.0% JXA-1。

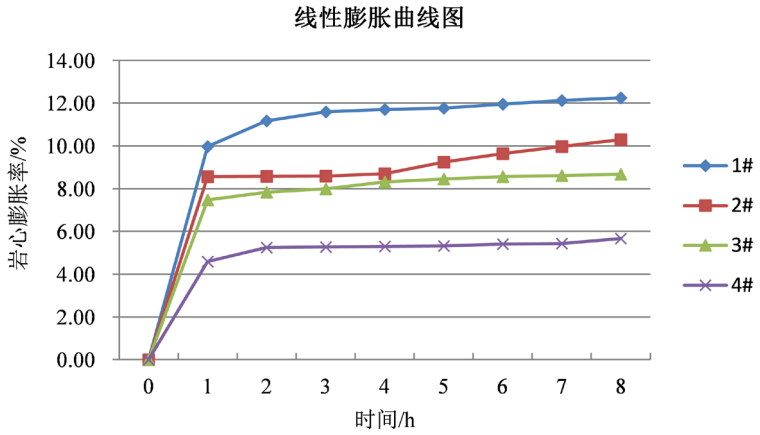
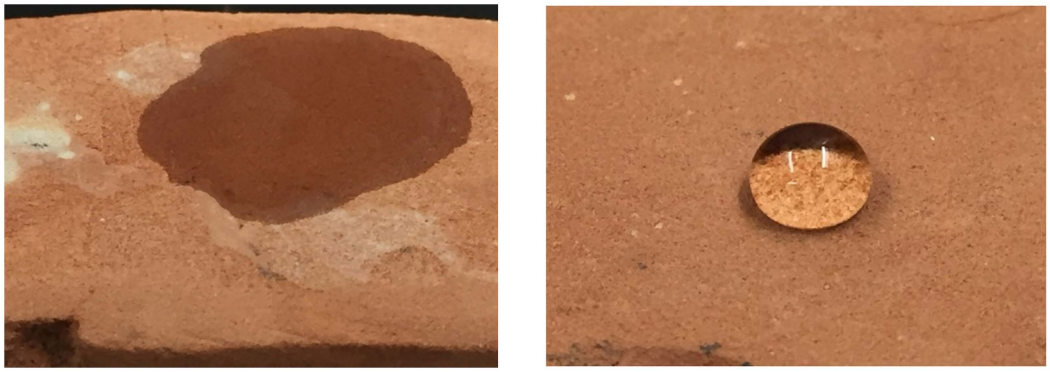


Figure 2. Linear expansion test
图 2. 线性膨胀量试验

加入 JXA-1 后岩心膨胀率降低，抑制提高；JXA-1 与聚合物钻井液中的包被剂有协同作用，能进一步增强聚合物体系防膨率。

3.5. JXA-1 润湿性反转试验

试验方法为：取两块泥岩岩石，将其切成同样的大小，并将表面磨平，热风吹干。其中一块用 2.0% 的 JXA-1 溶液浸泡 10 秒钟，用热风吹干。用滴管分别在两块岩石的表面滴一滴自来水，观察泥岩表面被自来水润湿铺展情况(图 3)。



(a) 未用 JXA-1 处理的岩石　　(b) 用 2%JXA-1 处理过的岩石

Figure 3. The effect diagram of the change of the wettability of the mudstone surface
图 3. 泥岩表面的润湿性变化效果图

图 3 显示，未作任何处理的岩石表面表现为强烈的亲水特性，自来水滴在上面很快被浸湿；而用 2.0% 的 JXA-1 溶液浸泡过的岩石表面亲水性大大改变，表现出疏水特性，自来水滴能较长时间保持水滴状态，不会浸湿岩石。JXA-1 的这种特性，可将亲水的岩石表面变为憎水表面，能有效阻止钻井液润湿岩石表面，防止滤液侵入泥页岩孔隙、裂隙中，引起深部水化膨胀和水化分散，起到稳定井壁作用。

3.6. 钻井液配伍性试验

配制两份密度为均 2.1 g/cm^3 的聚合物水基钻井液，其中一份加入 2.0%的 JXA-1，于 120℃下滚动加热 16 h，冷却后测试其性能。结果见表 4。

Table 4. Compatibility test of JXA-1 and water-based drilling fluid
表 4. JXA-1 与水基钻井液的配伍性试验

钻井液配方	密度/ g/cm^3	*AV*/ mPa·s	*PV*/ mPa·s	*G'*/*G''*/ Pa/Pa	*API*/ mL	泥饼厚度/ mm	一次滚动回收率/ %	二次滚动回收率/ %
钻井液	2.10	41	36	2/4	1.6	3.1	86.13	12.36
钻井液 + 2.0% JXA-1	2.10	42	36	2/4	1.7	3.0	98.12	73.01

试验表明，JXA-1 与该聚合物水基钻井液体系配伍性良好，对性能无不良影响。

4. 现场应用情况

4.1. Jor-101D 井

Jor-101D 井是土库曼斯坦阿姆河右岸召拉麦尔根气田的一口定向开发井，设计井深 3425 m，最大井斜 52.8°。二开使用 444.5 mm 钻头钻至井深 970 m，层位为谢农阶组，岩性为灰绿色泥岩，水敏性极强。在氯化钾聚合物钻井液中开始进行 JXA-1 现场试验。第一次加量为钻井液的 1.5%共使用 4 吨。后续钻进中，维持 JXA-1 的含量为 1.5%，使用 3.5 吨。历时一个月，共使用 7.5 吨 JXA-1 顺利钻至完井深 1769 m。

在使用 JXA-1 的过程中，钻井液实钻性能优良稳定，流变性好，粘切适中，滤失量较低(表 5)；井眼通畅，返出岩屑清爽、出井的钻头无泥包；钻井中未发生明显的垮塌现象，井眼规则。

Table 5. Compatibility experiment of JXA-1 and Jor-101D well mud
表 5. JXA-1 与 Jor-101D 井井浆的配伍性实验

钻井液配方	*Φ*6/ mPa·s	*Φ*3/ mPa·s	*AV*/ mPa·s	*PV*/ mPa·s	*G'*/*G''*/ Pa/Pa	*API*/ mL	泥饼厚度 /mm	pH
Jor-101D 井井浆	1	0.5	19	16	0.5/5.0	4.7	6.2	7.5
Jor-101D 井井浆 + 1.5% JXA-1	2	1	21	17	1.0/6.0	4.5	6.2	7.5

4.2. Hojg-101D 井

Hojg-101D 井处在地质情况更加复杂的 C 区块霍贾古尔卢克气田。二开钻入地层谢农阶组中下部，在上水罐直接补充 JXA-1 达到循环总量的 1.5%，提高聚合物钻井液密度至 1.35 g/cm^3。后续的钻进过程中，根据日常消耗按量补充 JXA-1。

使用 JXA-1 后，返出岩屑 PDC 钻头切屑痕迹明显，棱角分明，无水化现象。取谢农阶钻屑，长时间用井场水浸泡后，切屑痕迹依然清晰可见，不松散。随着井深的增加，马氏漏斗粘度逐步上提，但是钻井液始终保持了低切力，且稳定，确保了优良的携砂和井筒清洁能力。二开井段性能参数见表 6。

Table 6. Performance parameters of the second opening section of Well Hojg-101D
表 6. Hojg-101D 井二开井段性能参数

性能	*ρ* g/cm^3	*FV*/s	*YP*/Pa	*G'*/*G''*/ Pa/Pa	*API*/mL
参数	1.15~1.35	45~72	3.5~7	0.5~1.5/1.5~4	2.2~5

现场应用表明，钻井液用泥页岩抑制剂 JXA-1 与聚合物钻井液配伍性好，对钻井液流变性能影响小，对滤失量无明显的影响；加入 JXA-1 后，钻井液抑制性更强，能有效控制泥岩水化膨胀缩径、水化分散造浆和井壁失稳垮塌。

5. 结论

1) 钻井液用泥页岩抑制剂 JXA-1 是一种具有强抑制性的有机胺类页岩抑制剂，具有双亲的特性，能使亲水的岩石表面润湿反转，在岩石表面形成一层疏水膜，阻止自由水侵入，实现抑制作用，能降低由于泥岩段水化膨胀、分散造浆或垮塌引起的阻卡问题。

2) 室内试验评价表明，JXA-1 在清水、盐水以及聚合物钻井液中均具有良好的抑制性，可将岩屑表面由亲水转变成疏水，体现出良好的疏水抑制性能。

3) 现场应用 2 口井。钻进期间，钻井液性能稳定，抑制效果突出，保证了井壁稳定，携砂作用明显，保证了井眼清洁，可推广使用。

参考文献

[1] 林永学，甄剑武. 威远区块深层页岩气水平井水基钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(2): 21-27.

[2] 付世豪，许明标，桑文镜，胡棚杰,吴亚迪. 强抑制性水基钻井液的室内实验研究[J]. 当代化工，2017，46(12): 2566-2569.

[3] 孙四维，刘学松，范聪，胡海龙. 页岩气水基钻井液技术分析[J]. 当代化工研究, 2017(11): 25-26.

[4] 罗米娜，艾加伟，陈馥，陈俊斌，罗陶涛. 油基钻井液用纳米材料 CQ-NZC 的封堵性能评价[J]. 化工进展，2015, 34(5): 1395-1400.

[5] 李慧. “绿色”水基钻井液助力页岩气开发[N]. 中国石化报, 2016-07-04.

[6] 苏慕博文. 新型 Gemini 两性表面活性剂的制备及页岩抑制性能评价[J]. 当代化工, 2019, 48(6): 1194-1196+1200.

[7] 王亚魁，姜亚洁，耿涛，鞠洪斌. 双酰胺基 Gemini 阳离子表面活性剂的合成及应用性能[J]. 精细化工，2019, 36(1): 44-50.

[8] 陈芬. 两性双子表面活性剂的合成及其耐蚀性[J]. 腐蚀与防护, 2018, 39(9): 684-688.

[9] 刘文辉，张国. 国内外抑制性钻井液研究进展[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(8): 33-37.

[10] 都伟超，孙金声，蒲晓林，张洁，陈刚. 国内外黏土水化抑制剂研究现状与发展趋势[J]. 化工进展，2018，37(10): 4013-4021.

[11] 刘音，崔远众，张雅静，赵鹏，邱卫红，周振良. 钻井液用页岩抑制剂研究进展[J]. 石油化工应用，2015，34(7): 7-10.