

耐酸耐高温泡沫剂的研制及在超稠油蒸汽吞吐上的应用

郭东红^{1*}, 沈文敏², 杨晓鹏¹, 孙建峰³, 李睿博³, 崔晓东¹
(1. 中国石油勘探开发研究院采油采气工程研究所, 北京 100083;
2. 中国石油辽河油田分公司曙光采油厂, 辽宁 盘锦 124109;
3. 中国石油勘探开发研究院油田化学研究所, 北京 100083)

摘要:为满足超稠油蒸汽吞吐防汽窜的需要,研制出一种耐酸耐高温泡沫剂配方体系 KAF-2,对其发泡性能、泡沫稳定性以及高温下的封堵性能进行了研究。实验结果表明,利用去离子水和矿化度 5 000 mg/L 的水配制的酸性溶液 (pH=3)、泡沫剂质量分数为 0.5% 时,均具有较好的发泡性能和泡沫稳定性;高温下 (200℃) 岩心封堵性能实验结果表明,当泡沫剂的质量分数为 0.5%、KAF-2 体系的阻力因子达到 20 以上时,具有较好的岩心封堵性能。在“泡沫剂+二氧化碳”辅助蒸汽吞吐现场试验表明,与现场用泡沫剂相比,注入 KAF-2 体系后,注汽压力上升、周期产油量增加、周期生产时间延长,在考虑自然递减的情况下,杜 80-38-54 井和杜 813-43-54 井措施后的周期增油率分别达到 26.1% 和 20.3%。

关键词:耐酸耐高温;泡沫剂;发泡性能;泡沫稳定性;阻力因子;超稠油蒸汽吞吐

中图分类号:TE345;TE357

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2020)10-0175-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2020.10.036

Development of acid-resistant and high temperature-resistant foaming agent and its application in steam huff-puff of super heavy oil

GUO Dong-hong^{1*}, SHEN Wen-min², YANG Xiao-peng¹, SUN Jian-feng³, LI Rui-bo³, CUI Xiao-dong¹
(1. Department of Oil & Gas Production Engineering, Research Institute of Petroleum Exploration & Development, CNPC, Beijing 100083, China; 2. Shuguang Oil Production Plant, PetroChina Liaohe Oilfield Company, Panjin 124109, China; 3. Oilfield Chemistry Department, Research Institute of Petroleum Exploration & Development of PetroChina, Beijing 100083, China)

Abstract: To prevent steam channeling from happening at steam huff-puff of super heavy oil, an acid-resistant and high temperature-resistant foaming agent system KAF-2 is developed. Its foaming performance, foam stability and core plugging performance at high temperature are studied. Experimental results show that KAF-2 system exhibits good foaming performance and foam stability when the mass fraction of foaming agent is 0.5%, and the acidic solution (pH=3) is prepared by deionized water and water with a mineralization degree of 5 000 mg·L⁻¹. It is found from core plugging performance experiment at high temperature (200℃) that the system shows good plugging performance when the mass fraction of foaming agent is 0.5%, and the resistance factor of KAF-2 system exceeds 20. The spot test of KAF-2 in “foaming agent + carbon dioxide” assisted steam huff-puff shows that, compared with the foaming agent used in the spot, the injection of KAF-2 system increases steam injection pressure and periodic oil production, as well prolongs the periodic production time under the similar displacement conditions. Considering the natural decline, the growth rates of periodic oil production of Well Du 80-38-54 and Well Du 813-43-54 reach 26.1% and 20.3%, respectively.

Key words: acid-resistant and high-temperature-resistant; foaming agent; foaming performance; foam stability; resistance factor; steam huff-puff of super heavy oil

二氧化碳-泡沫剂-蒸汽三元复合吞吐技术是针对稠油、超稠油油井进入中后期生产阶段产能下降及油层纵向动用不均衡实施的一种工艺技术措施^[1-3]。该技术作为一种增产措施,目的是在单井具有一定可采储量的前提下,通过补充地层能量和原油流动性以及增加蒸汽波及体积来提高油井的生

产能力。该技术是在稠油、超稠油井中分别注表面活性剂、二氧化碳和蒸气进行复合吞吐。在稠油热采时,先注入一定量的表面活性剂,再注入一定量的二氧化碳,焖井反应后注汽。该技术具有提高油层能量、增强原油流动性和提高蒸汽波及体积的作用,能够提高油井的最终采收率。

收稿日期:2019-12-26;修回日期:2020-08-07

基金项目:中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司资助项目(kf2017-18-04,2009B-1006-01)

作者简介:郭东红(1965-),男,博士,高级工程师,研究方向为油气田开采用表面活性剂,通讯联系人,gdh@petrochina.com.cn。

在二氧化碳-泡沫剂-蒸汽三元复合吞吐技术中,表面活性剂的发泡、稳泡以及高温封堵性能至关重要^[4-6],现有表面活性剂的耐高温性能以及高温封堵性能还有待进一步提高。因此在现有超稠油蒸汽吞吐用表面活性剂调研的基础上,研制出一种发泡、稳泡以及高温封堵性能较佳的表面活性剂 KAF-2 配方体系,研究了该体系的发泡、稳泡以及高温封堵性能,并在辽河曙光采油厂杜 80-38-54 井和杜 813-43-54 井进行现场试验,达到了预期的良好效果。

1 实验

1.1 材料与仪器

氟碳表面活性剂,上海瀛正科技有限公司生产;甜菜碱表面活性剂,上海诺颂实业有限公司生产; α -烯炔磺酸盐,西安南风化工集团生产;盐酸,工业级(37%),莱阳经济技术开发区精细化工厂生产。WARING 34BL99 型搅拌器,美国 WARING 公司生产;阻力因子测试装置,江苏华安科研装置有限公司生产。

1.2 KAF-2 耐酸耐高温泡沫剂的制备

在对氟碳表面活性剂、甜菜碱表面活性剂等现有表面活性剂性能评价的基础上,初步筛选出发泡性能、稳泡性能以及耐酸耐高温性能较好的表面活性剂,通过正交试验进一步优化配方组成,研制出性能优异的耐酸耐高温泡沫剂配方体系 KAF-2。室内评价试验中的酸性条件是利用工业盐酸调整泡沫剂溶液的 pH 为 3。

1.3 泡沫性能评价及阻力因子测试方法

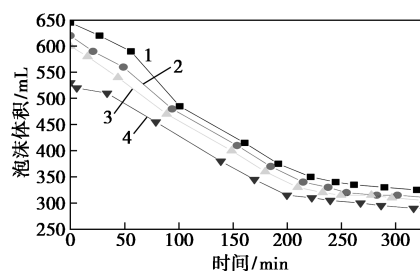
采用 Waring Blender 法评价泡沫剂的起泡性能和稳泡性能,实验方法参见文献[7]。岩心阻力因子测试条件及实验流程参见文献[6],一般认为,当阻力因子达到 4 倍以上时,起泡剂在油层中就能起到一定的调剖作用。

2 结果与讨论

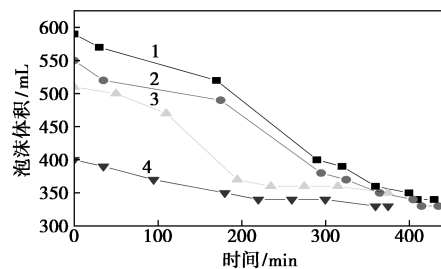
2.1 KAF-2 耐酸型泡沫剂体系的发泡性能

利用去离子水配制的酸性溶液(pH=3)和利用矿化度 5 000 mg/L 的水配制的酸性溶液条件下(pH=3) KAF-2 泡沫剂体系的发泡和稳泡性能如图 1 所示。从图 1(a)可以看出,当矿化度较低,随着泡沫剂质量分数的增大,起始发泡体积逐渐增大,泡沫剂质量分数增加到 0.5%时,起始发泡体积增加幅度变缓;当泡沫剂质量分数为 0.5%时,泡沫剂

体系的起始发泡体积能够达到 600 mL,泡沫半衰期能够达到 6 h 以上;从图 1(b)可以看出,当矿化度较高(5 000 mg/L),随着泡沫剂质量分数的增加,起始发泡体积也是逐渐增大,泡沫剂质量分数增加到 0.5%时,起始发泡体积增加幅度变缓,当泡沫剂质量分数为 0.5%时,泡沫剂体系的起始发泡体积达到 500 mL 以上,泡沫半衰期依然保持在 6 h 以上,即 KAF-2 泡沫剂体系在酸性以及不同的矿化度条件下均具有较好的发泡和稳泡性能。



(a) 去离子水配制溶液



(b) 矿化度 5 000 mg/L 水配制溶液

1—0.9%; 2—0.7%; 3—0.5%; 4—0.3%

图 1 不同质量分数下 KAF-2 配方体系的发泡和稳泡性能

2.2 KAF-2 泡沫剂的耐温性能

为了考察 KAF-2 泡沫剂体系的耐温性能,把配制好的 KAF-2 泡沫剂溶液在 300℃ 高温老化罐中老化 120 h,老化前后泡沫剂体系的发泡性能和稳泡性能如表 1 所示。由表 1 中可以看出,老化后,0.5%的 KAF-2 泡沫剂溶液的发泡体积仍达到 600 mL,泡沫半衰期保持不变,说明 KAF-2 泡沫剂体系具有较好的耐高温性能。

表 1 KAF-2 泡沫剂高温老化前后的泡沫性能

项目	起始发泡体积/mL	泡沫半衰期/h
0.5% KAF-2(老化前)	605	6.8
0.5% KAF-2(老化后)	600	6.8

2.3 KAF-2 耐酸耐高温泡沫剂体系的岩心封堵性能

岩心封堵以及泡沫驱油实验中最佳的气液比通

常是1:1,因此在KAF-2耐酸型泡沫剂的封堵实验中选取在气液比1:1的条件下进行泡沫剂质量分数的优选实验^[6-7],阻力因子测试实验中起泡气体为CO₂,实验结果如表2所示。从表2中可以看出,随着泡沫剂质量分数的增加,阻力因子不断增大,即岩心封堵能力增强。当泡沫剂质量分数达到0.5%时,阻力因子接近20,之后随着泡沫剂质量分数的增加,阻力因子增加幅度逐渐变缓,这种变化趋势与图1中KAF-2泡沫剂体系的起始发泡体积随质量分数的变化相一致。综合考虑性能与成本,建议实际应用中选择泡沫剂质量分数为0.5%。

表2 泡沫剂质量分数优选结果

泡沫剂质量分数/%	现场剂阻力因子	KAF-2 阻力因子
0.1	0.5	1.7
0.3	4.6	9.3
0.5	8.5	19.8
0.7	8.8	20.5
1.0	9.1	21.2

注: $T=200^{\circ}\text{C}$, $p=3.0\text{ MPa}$, 气液比为1:1。

2.4 KAF-2耐酸耐高温泡沫剂体系辅助超稠油蒸汽吞吐现场试验

利用二氧化碳+泡沫剂辅助超稠油蒸汽吞吐技术,在注汽之前向稠油井分别注入泡沫剂、二氧化碳,使之和蒸汽进行充分复合,以达到提高地层能量、增强原油流动性和扩大蒸汽波及体积。

考虑到地下存水情况,先注入3 t耐酸泡沫剂,再注入设计量的二氧化碳100 m³,关井12 h。这期间液态CO₂逐渐变为气态,并且向油层进行扩散,同时和泡沫剂作用形成泡沫。然后开始注入蒸汽约2 500 m³,蒸汽量与上个周期接近,关井3~5 d,期间注入蒸汽与地层进行充分的能量交换,开井生产。利用KAF-2耐酸耐高温泡沫剂体系辅助超稠油蒸汽吞吐现场试验,结果如表3所示。由表3中可以

表3 (KAF-2+二氧化碳)与(现场剂+二氧化碳)

辅助蒸汽吞吐效果对比表

井号	周期	不同周 期注汽 压力/ MPa	周 期 产 油/ t	周 期 生 产 时 间/ d	增 油 率/ %	考 虑 自 然 递 减 增 油 率/ %
杜80-38-54	16(现场剂)	11.19	885	189.6	16.1	26.1
	17(KAF-2)	11.29	1207	208.6		
杜813-43-54	25(现场剂)	10.88	913	175.5	10.3	20.3
	26(KAF-2)	12.29	1007	210.4		

看出,与现场剂相比,在相近排量的情况下,注汽压力上升,周期产油量增加,周期生产时间延长,在考虑自然递减的情况下,杜80-38-54井和杜813-43-54井措施后的周期增油率分别达到26.1%和20.3%,现场试验效果明显。

3 结论

(1)研制出KAF-2耐酸耐高温泡沫剂配方体系,在利用去离子水配制的酸性溶液、泡沫剂质量分数为0.5%时,泡沫剂体系的起始发泡体积达到600 mL,泡沫半衰期达6 h以上;在利用矿化度5 000 mg/L的水配制的酸性溶液、泡沫剂质量分数为0.5%时,泡沫剂体系的起始发泡体积达到500 mL以上,泡沫半衰期保持在6 h以上。

(2)300℃高温老化120 h前后对比,泡沫剂的起始发泡体积和泡沫半衰期基本保持不变,泡沫剂体系的耐高温性能较好。

(3)高温(200℃)下的岩心封堵性能实验结果表明,当泡沫剂质量分数为0.5%时,KAF-2体系的阻力因子接近20,高温下具有较好的岩心封堵性能。

(4)利用KAF-2耐酸耐高温泡沫剂辅助超稠油蒸汽吞吐试验结果表明,与现场剂相比,在相近排量的情况下注汽压力上升,周期产油量增加,周期生产时间延长,在考虑自然递减的情况下,杜80-38-54井和杜813-43-54井措施后的周期增油率分别达到26.1%和20.3%。

参考文献

- [1] 卢艳,喻高明,宋刚祥,等.CO₂三元复合吞吐影响因素分析-以曙光油田杜229断块为例[J].长江大学学报(自然科学版),2012,9(12):81-83.
- [2] 刘恒.二氧化碳三元复合吞吐技术在曙光超稠油油藏的应用[J].石油地质与工程,20018,22(6):86-88.
- [3] 欧阳传湘,闫利恒,岳雷.辽河油田超稠油三元复合吞吐影响因素研究[J].断块油气田,2008,15(2):78-80.
- [4] 王明学,刘庆旺,范振忠,等.稠油蒸汽吞吐开采中表面活性剂的筛选和性能评价[J].科学技术与工程,2011,11(1):146-147.
- [5] 欧阳传湘,付蓉,涂志勇.超稠油三元复合吞吐中表面活性剂筛选及性能评价[J].石油地质与工程,2009,23(6):105-107.
- [6] 郭东红,辛浩川,崔晓东,等.新型稠油开采高温防窜化学剂的性能与现场应用[J].石油与天然气化工,2008,37(1):52-55.
- [7] 郭东红,李睿博,孙建峰,等.新型低张力泡沫驱油体系性能研究[J].现代化工,2019,39(10):116-118. ■