

doi:10.3969/j.issn.1005-3158.2014.03.010

酸洗作业对三元复合驱采出液油水分离特性的影响

赵 珊¹ 王宝辉¹ 薛 强² 吴 迪²

(1. 东北石油大学化学化工学院; 2. 大庆油田工程有限公司)

摘 要 采用现场三元复合驱采出液, 以及室内制备的模拟采出液和采出液为介质, 研究了酸洗液添加剂和酸洗作业油井投产初期产出水中的沉淀物形成离子对北二西试验区三元复合驱采出液油水分离特性的影响, 确定井筒酸洗作业油井投产初期产出液造成北二西试验区三元复合驱采出液油水分离效果恶化的主要原因是其水相中含有大量 Fe^{2+} , 其与地面掺水中的 S^{2-} 作用产生硫化亚铁微粒, 后者吸附在油珠表面上形成阻碍油珠间相互聚并的空间位阻。

关键词 三元复合驱; 采出液; 油水分离特性; 油井; 酸洗

文章编号: 1005-3158(2014)03-0030-04

0 引 言

三元复合驱注入液中加入的碱剂造成采出液中碱土金属碳酸盐等无机矿物过饱和并在油井井筒中结垢, 致使部分油井频繁出现卡泵和断杆等故障^[1-3], 需要频繁对其进行井筒酸洗除垢作业。2008 年以来, 大庆油田在北二西试验区开展了工业化规模石油磺酸盐表面活性剂弱碱体系三元复合驱现场试验, 期间暴露出井筒酸洗作业油井投产后, 北二西试验站分离采出液和回注采出液含油量大幅度升高的问题。文章采用现场三元复合驱采出液, 以及室内制备的模拟采出液为介质, 研究了酸洗添加剂、井筒酸洗作业油井投产初期产出液中的沉淀物形成离子对北二西试验区三元复合驱采出液油水分离特性的影响。

1 材料和方法

1.1 试验材料

采出液: 大庆油田北二西试验站油岗沉降罐放水;

油样: 北二西试验站外输脱水脱气原油(水含量 $< 0.3\%$);

酸洗添加剂: 助排剂、缓蚀剂、阳离子型表面活性剂、铁离子稳定剂(均为大庆油田采油工艺研究院提供的工业品, 使用前用蒸馏水配制成浓度为 10% 的水溶液);

化学试剂: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 , KCl , Na_2SO_4 , NaCl , CaCl_2 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaF , $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 浓度为 37.5% 的浓盐酸, 以上试剂均为分析纯;

聚合物: 部分水解聚丙烯酰胺, 大庆炼化公司产品, 有效物含量为 90% , 相对分子质量为 2.5×10^7 , 水解度为 25% , 为北二西试验区注入的聚合物;

表面活性剂: 北二西试验区注入用表面活性剂, 大庆炼化公司产品, 主要活性物为石油磺酸盐, 有效物含量约为 30% 。

1.2 试验方法

1.2.1 现场采出液油水分离特性评价方法

用容量为 160 mL 的具盖玻璃配方瓶现场接收 100 mL 北二西试验站分离缓冲游离水脱除器(三合一)进液, 置于 40°C 的水浴中静置, 30 min 后取出, 上下颠倒 2 次, 置于室温下静置 1 min , 用注射器从瓶底抽取 $20 \sim 30\text{ mL}$ 水样, 参照石油行业标准 SY/T 5329—2012《碎屑岩油藏注水水质指标及分析方法》^[4] 中的测试步骤测定其含油量, 记作水相乳化油量^[5]; 用注射器将配方瓶底部剩余的水层和油水过渡层全部抽出, 剩余的油层混匀后称取约 10 g , 参照 GB/T 8929《原油水含量测定法(蒸馏法)》^[6] 测定其水含量。

1.2.2 酸洗除垢添加剂对采出液油水分离特性的影响

油井酸洗除垢作业中除添加酸剂外, 还添加阳离子型表面活性剂、铁离子稳定剂、助排剂和缓蚀剂。试验步骤为: 取 5 个容量为 160 mL 的具盖玻璃配方瓶, 其中一瓶中不投加酸洗添加剂作为空白, 其余各

瓶中分别加入表 3 中规定浓度的一种酸洗添加剂;用上述配方瓶现场接取 100 mL 北二西试验站三合一进液,上下手振 100 次后置于 40℃ 的水浴中静置 30 min,按 1.2.1 中的步骤取样测定水相乳化油量和油相水含量。

取 5 个容量为 3 000 mL 玻璃细口瓶,其中一瓶中不投加酸洗添加剂作为空白,其余各瓶中分别加入表 4 中规定浓度的一种酸洗添加剂。用上述玻璃细口瓶在现场接取 2 500 mL 北二西试验站油岗沉降罐出水,上下手振 100 次后置于 40℃ 的水浴中静置,分别在 0,4,8,16,24 h 时用注射器从水层中部抽取 30 mL 水样测定其含油量。

1.2.3 模拟产出水对采出液油水分离特性影响评价

按文献^[7]中的步骤在容量为 160 mL 的具盖配方瓶中制备 90 mL 掺有不同比例模拟酸洗作业油井投产初期产出水的模拟三元复合驱采出液,加入 10 mL 油样,将配方瓶置于 40℃ 的水浴中静置,120 min 后将配方瓶从水浴中取出,上下手振 100 次使油水乳化后将其放回到水浴中静置,30 min 后按 1.2.1 中的步骤取样测定水相乳化油量和油相水含量。

按文献^[8]中的步骤制备含油量为 50% 的油珠母液。参照文献^[7]中的步骤在容量为 5 000 mL 的塑料桶中制备 1 000 mL 模拟北二西试验区三元复合驱采出液;将塑料桶置于 40℃ 的水浴预热 1 h 后向其中加入 10 g 油珠母液,上下振荡 20 次使油珠在水样中分散均匀形成含油量为 5 000 mg/L 的模拟采出液样。在若干个容量为 300 mL 的具盖塑料瓶中加入按文献^[7]制备的模拟酸洗作业油井投产初期产出水和模拟北二西试验区三元复合驱采出液(两种水样体积合计为 5 mL),再加入 95 mL 上面制备的含油量为 1 000 mL 的模拟采出液样 95 mL;将塑料瓶上下手振荡 20 次后置于 40℃ 烘箱中静置。3 h 后将塑料瓶从烘箱中取出,颠倒 2 次,置于室温下静置 1 min 后用注射器从其底部抽取 40~50 mL 水样测定其含油量,记作残余乳化油量;将塑料瓶放回到烘箱中静置,1 h 后将其从烘箱中取出,用玻璃棒粘取少许水面上的浮油涂在载玻片上,将玻片置于 LEICA RMP 型光学显微镜下观察浮油的显微结构。

2 结果和讨论

2.1 酸洗作业前后采出液油水分离效果

2011 年 8 月,监测了北 2-361-E64 井酸洗作业后投产对北二西试验站采出液油水分离效果影响,监测结果见表 1。

表 1 北二西试验站采出液处理效果

日期	水样含油量/(mg/L)		油样水含量/%	
	游离水脱除器放水	油岗沉降罐出水	游离水脱除器放水	油岗沉降罐出水
2011.8.21	1 135	1 561	0.8	0.03
2011.8.22	1 660	1 441	0.7	0.06
2011.8.23	1 356	3 419	1	0.03
2011.8.24	1 338	1 309	1.1	0.06
2011.8.25	1 348	1 323	0.9	0.03
2011.8.26	1 519	18 504	0.8	0.06
2011.8.27	2 091	2 572	1.2	0.03
2011.8.28	1 255	1 043	1.4	0.06
2011.8.29	1 141	762	1.1	0.03
2011.8.30	1 500	3 031	1	0.09
2011.8.31	1 464	1 641	1.4	0.06

由表 1 中可见,酸洗油井投产初期产出液对北二西试验站电脱水器进油和出水含量的影响均不显著;酸洗作业油井投产后的第二天油岗沉降罐出水含油量大幅度增加,从前一天的 1 323 mg/L 突增到 18 504 mg/L,直到作业油井投产 3 d 后才恢复到投产前的水平,故可以初步确定酸洗作业油井投产初期产出液对采出液处理的影响周期为 4 d 左右。由于游离水脱除器内采出液的停留时间短,酸洗作业油井投产初期产出液对其油水分离效果的影响周期相对较短,没有监测到游离水脱除器放水时含油量的大幅度变化。

北二西试验区北 2-361-E64 井酸洗除垢作业投产前后三元复合驱采出液除油效果的现场监测数据见表 2。

由表 2 中可见,酸洗油井投产初期采出液进入北二西试验站后,水处理设施内各工艺点水样的含油量出现大幅增加。作业油井投产后的第二天,水处理设施进水的含油量从投产前的 1 323 mg/L 突增到 18 504 mg/L;作业油井投产后的第四天,外输水含油量从前一天的 160 mg/L 突增到 308 mg/L,到作业油井投产后第 15 天才恢复到作业井投产前的水平。综合上述数据,酸洗油井投产初期产出液对北二西试验站采出液处理系统的影响周期为 15 d,远大于其对采出液处理系统的影响周期,其原因一是水处理设施中采出液的停留时间较长,二是过滤器反冲洗排水回掺到一次沉降罐进水中,造成污染物在采出液处理系统中的恶性循环。

表 2 北二西试验站采出液的处理效果

日期	含油量/(mg/L)			
	水岗进水	滤前水	二次过滤器出水	外输水
2011.8.21	1 561	114	79	127
2011.8.22	1 441	137	93	111
2011.8.23	3 419	185	116	146
2011.8.24	1 309	177	153	167
2011.8.25	1 323	196	144	142
2011.8.26	18 504	157	112	164
2011.8.27	2 572	237	148	160
2011.8.28	1 043	1808	1 190	308
2011.8.29	762	217	112	197
2011.8.30	3 031	341	161	372
2011.8.31	1 641	316	126	208
2011.9.1	1 035	243	132	127
2011.9.2	656	252	132	172
2011.9.3	1 827	319	183	168
2011.9.4	775	287	159	170
2011.9.5	968	239	115	161
2011.9.6	3 073	289	161	170
2011.9.7	830	313	192	222
2011.9.8	503	165	102	119
2011.9.9	4 988	104	61	109

2.2 酸洗添加剂对采出液油水分离特性的影响

酸洗助剂对北二西试验站三合一进液和油岗沉降罐出水油水分离特性的影响评价数据见表 3 和表 4。

表 3 三合一进液油水分离特性的影响

药剂名称	加药量/ (mg/L)	油相水含量/ %	水相乳化油量/ (mg/L)
—	0	12.9	106.9
助排剂	150	3	807
缓蚀剂	150	4.2	679
阳离子表面活性剂	500	8	498
铁离子稳定剂	500	16.6	1 128

从表 3 中可以看出,掺有助排剂、缓蚀剂、阳离子表面活性剂三合一进液中加入 500 mg/L 铁离子稳定

表 4 油岗沉降罐出水油水分离特性的影响

药剂名称	加药量/ (mg/L)	含油量/(mg/L)				
		0 h	4 h	8 h	16 h	24 h
—	0		158	95	50	47
助排剂	150		210	105	73	52
缓蚀剂	150	1 097	162	120	57	61
阳离子型表面活性剂	500		143	121	86	77
铁离子稳定剂	500		171	119	55	52

剂后其油相水含量和水相乳化油量均有增大趋势,但并不显著。

由表 4 中可见,加入不同酸洗添加剂的油岗沉降罐出水其含油量均随沉降时间的推移而逐渐降低;添加各种助酸洗添加剂的水样其残余含油量与空白水样相比没有明显的变化,表明上述 4 种酸洗添加剂对北二西试验区三元复合驱采出液油水分离特性的影响均不显著。

2.3 酸洗作业油井投产初期产出水的成垢离子对采出液油水分离特性的影响

模拟酸洗作业油井投产初期产出水中的酸和各种阳离子对模拟北二西试验区三元复合驱采出液静置沉降 30 min 后水相乳化油量的影响见表 5 和表 6。

表 5 30 min 静置沉降后油相水含量的影响

模拟油井产出水加量/%	30 min 油相水含量/%
0	6
1	8
2	6
3	6
4	5
5	7

由表 5 中可见,在模拟三元复合驱采出液中掺入 1%~5% 模拟酸洗作业油井投产初期产出水,其静置沉降 30 min 后的油相水含量没有显著变化。这与酸洗作业油井投产后电脱水器进油和出油水含量基本不受影响的现象是一致的。

如表 6 所示,模拟三元复合驱采出液中加入 0.25%~1% 的含有全部阳离子的模拟酸洗作业油井投产初期产出水,主要表现为水相乳化油量增大 8.3~14.2 倍,与酸洗作业油井投产后油岗沉降罐放水含油量大幅度增高的现象一致。而当模拟酸洗作业

表 6 酸和各种阳离子对模拟北二西试验区三元复合驱采出液静置沉降 30 min 后水相乳化油量的影响

模拟油井产 出水加量/%	水相乳化油量/(mg/L)						
	酸+全部阳离子	酸+钠+钙	酸+钠+镁	酸+钠+铝	酸+钠+锰	酸+钠+亚铁	酸+钠
0	323						
0.25	3 784	—	—	—	—	2 675	—
0.5	4 909	—	—	—	—	4 178	—
1	3 001	267	270	368	309	3 401	281
2	612	240	258	459	299	1 895	306
3	532	215	267	521	300	796	296
4	441	213	287	507	261	425	306
5	458	220	296	514	273	462	316

油井投产初期产出水掺入量达到 2% 以上时,模拟三元复合驱采出液静置 30 min 后的水相乳化油量则随模拟产出水加量增大逐渐降低。模拟三元复合驱采出液中加入 1%~5% 分别只含有酸+钠+钙、酸+钠+镁、酸+钠+铝、酸+钠+锰、酸+钠成分的模拟酸洗作业油井投产初期产出水,其经过 30 min 静置沉降后的水相乳化油量没有显著升高,而模拟三元复合驱采出液中加入 0.25%~2% 的只含有酸、Na⁺ 和 Fe²⁺ 的成分不全的模拟酸洗作业油井投产初期产出水,其经过 30 min 静置沉降后的水相乳化油量则增大 4.9~11.9 倍。上述现象表明,酸洗作业油井投产初期产出液中的大量 Fe²⁺ (3 993 mg/L) 是造成酸洗作业油井投产后北二西试验站三元复合驱采出液油水分离效果急剧恶化的主要原因。为证实上述说法,比较了含有 S²⁻ 和不含 S²⁻ 的模拟三元复合驱采出液中掺不同比例只含有酸、Na⁺ 和 Fe²⁺ 成分的模拟酸洗作业油井投产初期产出水后,其油水分离特性的变化情况见图 1。

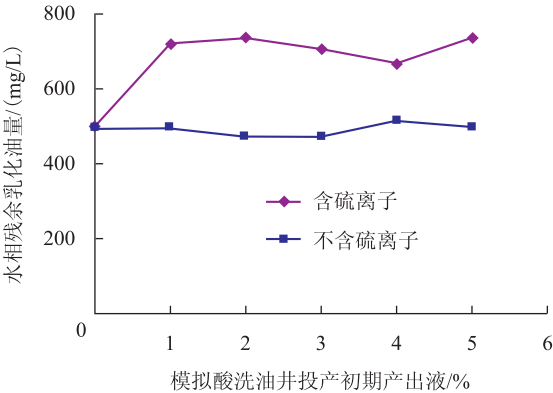


图 1 S²⁻ 对其与模拟酸洗作业油井投产初期产出水油水分离特性的影响

由图 1 中可见,含有 S²⁻ 的模拟三元复合驱采出液中掺入模拟酸洗作业油井投产初期产出水后其经过 1 h 静置沉降的残余乳化油量显著增大,而不含 S²⁻ 的模拟三元复合驱采出液中掺入模拟酸洗作业油井投产初期产出水后,其经过 1 h 静置沉降的残余乳化油量则呈现下降趋势,上述现象进一步证明酸洗作业油井投产初期产出液中的 Fe²⁺ 与地面渗水中的 S²⁻ 反应形成的硫化亚铁是造成酸洗作业油井采出液油水分离效果恶化的主要原因。

由图 1 中可见,在模拟北二西试验站采出液中加入模拟酸化作业油井投产初期产出水(酸+钠+亚铁),在掺入量达到 1% 以上的情况下,混合水样中生成的硫化亚铁颗粒是造成其油水分离特性变差的主要因素。

试验过程中发现,模拟北二西试验站三元复合驱采出液中加入 1% 含有全部阳离子的模拟酸洗作业油井投产初期产出水后水色为黑色,不透明,水样中分散着细小的硫化亚铁微粒,当模拟产出水加入量为 5% 时,水色变成浑浊的黄绿色,水面上漂浮有较大颗粒物,表明水样中的硫化亚铁微粒与其它新生矿物微粒发生凝聚和聚集,其演变过程的化学原理为:模拟产出水样加量低于 1% 的情况下,加入的 Fe²⁺ 主要与模拟三元复合驱采出液中的 S²⁻ 生成硫化亚铁微粒随着模拟产出水加量的增大,模拟三元复合驱采出液中的 S²⁻ 被耗尽,开始析出碳酸亚铁和氢氧化亚铁,在氢氧化亚铁的混凝作用下,硫化亚铁、碳酸亚铁和碳酸钙微粒发生聚集,形成大的聚集体,使得水样中具有油水界面活性的颗粒物数量逐渐降低,吸附在油珠表面上的硫化亚铁微粒数量减少。上述现象解释了

(下转第 37 页)

进行了火灾风险评估。通过对风险因素的收集整理,从个人素质、设备状况、安全管理和环境因素四方面构建火灾风险评价体系,进而应用多层次灰色评价法对评估内容进行多层次分析评估。为减少主观因素对权重的影响,采用 AHP 法对评价项目和各项指标进行权重分析,使权重分配更加合理。根据评价结果,得知该 FPSO 船的综合防火性能良好,与实际情况基本吻合。层次分析法与灰色评估理论的有机结合将模糊评价因素进行量化处理,解决了多层次、多因素、多变量和非定量化的评估问题。通过在实际中的应用体现出该方法具有简便、实用、直观和科学的优点,对不确定风险因素的量化处理提供了一种方法。

参考文献

[1] 单连政,董本京,刘猛,等. FPSO 技术现状及发展趋势

[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(10): 26-30.

- [2] 曹鑫,范世东. 多层次灰色综合安全评价法在油港储运中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 33(4): 26-30.
- [3] 罗帆. 多层次灰色评价法在新产品评估中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 25(3): 294-297.
- [4] 李正锋,叶金福. 多成层次灰色评价法在复杂产品系统创新评估中的应用[J]. 世界科技研究与发展, 2007, 29(6): 73-77.
- [5] 刘思峰. 灰色系统理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [6] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [7] 周毅,赵晓刚. 层次灰色评估法在油库火灾危险评估中的应用[J]. 油气储运, 2012, 31(9): 697-700.

(收稿日期 2013-12-02)

(编辑 李娟)

(上接第 33 页)

表 5 中模拟三元复合驱采出液中模拟酸洗作业油井投产初期出水掺入量达到 2% 以上时,模拟三元复合驱采出液静置 30 min 后的水相乳化油量随模拟产出水加量增大逐渐降低的反常现象。

3 结论

◆ 酸洗作业油井投产初期产出液对北二西试验区弱碱体系三元复合驱采出液的油水分离效果有显著的不良影响,主要表现为分离采出液和处理后回注采出液含油量大幅度增高。

◆ 井筒酸洗作业油井投产后北二西试验区三元复合驱采出液和采出液油水分离效果恶化的主要原因是作业油井投产初期产出液中含有大量 Fe^{2+} , 其与地面掺水中的 S^{2-} 作用产生硫化亚铁微粒,后者吸附在油珠表面上形成阻碍油珠间相互聚并的空间位阻。

◆ 酸洗作业油井投产初期产出液中的酸洗添加剂对北二西试验区三元复合驱采出液的油水分离特性没有显著影响。

参考文献

[1] 王玉普,程杰成. 三元复合驱过程中的结垢特点和机采

方式适应性[J]. 大庆石油学院学报, 2003, 27(2): 20-24.

- [2] 李金玲. 强碱三元复合驱结垢对机采井的影响及解决措施[J]. 大庆石油地质与开发, 2008(3): 89-91.
- [3] 赵长久. 大庆油区三元复合驱矿场结垢状况分析[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(4): 93-96.
- [4] SY/T 5329—2012 碎屑岩油藏注水水质指标及分析方法[S].
- [5] 吴迪,赵凤玲,孙福祥. 油水分离剂在低驱油剂含量三元复合驱采出液处理中的应用[J]. 精细与专用化学品, 2006, 14(12): 4-7.
- [6] GB/T 8929 原油水含量测定法(蒸馏法)[S].
- [7] 薛强,赵珊. 酸化作业油井投产初期产出液对弱碱体系三元复合驱采出液悬浮体含量的影响[J]. 现代化工, 2014, 3(3), 94-99.
- [8] 吴迪,孟祥春. 大庆油田三元复合驱采出液的稳定性及其反相破乳剂的应用[J]. 精细化工, 2011, 18(2): 86-88.
- [9] 吴迪,彭柏群. 采出液和采出液处理设施内污油的形成和稳定机制[J]. 精细与专用化学品, 2012, 20(11): 30-36.

(收稿日期 2014-03-24)

(编辑 李娟)