

天然气对清洁压裂液的破胶实验

张士诚¹ 庄照锋¹ 李荆² 赵贤² 王琴²

(1.中国石油大学石油工程教育部重点实验室 2.中国石化中原井下特种作业处)

张士诚等.天然气对清洁压裂液的破胶实验.天然气工业,2008,28(11):85-87.

摘要 黏弹性表面活性剂(VES)清洁压裂液由于低伤害等特点已广泛应用于压裂与防砂等作业。原油和地层水对VES破胶机理与实验研究已相当充分,但天然气对VES的破胶作用至今无公开的实验数据,影响了清洁压裂液在气井改造中的推广应用。为此设计了一套实验流程,通过流变仪测量VES内充入天然气后的黏度变化,评价了天然气和套管伴生气对3种VES压裂液的影响。实验证明,不同类型的VES被天然气降黏幅度存在较大差别,降黏幅度随天然气的压力升高而提高,随天然气中C₂以上成分含量的提高而增高。实验评价的阳离子型和两性离子型的VES可在低压下大幅度被天然气降黏,而阴离子型降黏需要较高压力。二氧化碳对降黏阴离子型的VES有一定影响,而对阳离子型和两性离子型的VES没有影响。被天然气降黏后的VES经过真空脱气后,黏度不能恢复,说明真空条件不能破坏天然气与VES的胶束结构,经天然气破胶的VES重复利用还存在技术困难。

关键词 压裂液 破胶 黏度 天然气 二氧化碳 实验

一、引言

以黏弹性表面活性剂(VES)为基础的清洁压裂液由于具有低滤失、易返排,低伤害等特点近年来已获得广泛应用。尽管 Mathew Samuel 等人认为油、气、地层水均可对VES破胶^[1],原油和地层水对清洁压裂液的降黏破胶实验国内也进行了详尽的研究^[2],但天然气对VES压裂液的破胶作用至今未见文献报道。因此曾有人担心气井不适于使用VES压裂液。中国石油大学自2001年以来开发了3种VES压裂液,第一代高温VES压裂液应用于中原油田卫11-53井^[2],为阳离子型的表面活性剂;第二代VES压裂液应用于河南油田赵5等井,为阴离子型表面活性剂;第三代VES压裂液适用于油气井酸化和酸压,为两性表面活性剂,类似于西南石油大学介绍的酸液体系^[3]。由于VES表面活性剂一般是C₁₈以上的化合物,天然气是以甲烷为主的低碳混合物,根据相似相溶原理,天然气破胶效率较C₇以上的原油要低得多。但在较高压力下,有利于天然气溶入VES胶束,破胶效率将会提高^[4]。为配合在气井增产改造作业中推广应用VES压裂液,研究了一套天然气对VES压裂液的破胶实验评价程序,将高压中间容器与RT20流变仪测量系统连接,用高压平流

泵对民用天然气加压,测定不同天然气压力下VES的黏度变化。实验证明,3种类型的清洁压裂液对天然气的敏感程度存在较大差别。

二、实验方法

1. 实验仪器

有RT20高温高压流变仪(德国HARRK公司)、高压平流泵(荆州现代石油科技发展公司)、高压活塞容器(荆州现代石油科技发展公司)、高压管线及接头(自制)和精密压力表(6.00 MPa)。

2. 天然气加压与混合方法

如图1采用排水集气法收集天然气,瓶口留有适量的水,并保证在转移过程中瓶口垂直向下,防止空气混入。同样采用排水集气法,向集气瓶内注水,

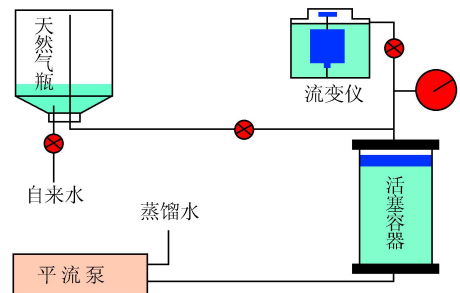


图1 VES压裂液天然气破胶实验流程图

作者简介:张士诚,1963年生,教授,博士生导师,博士;现从事采油工程技术理论和油气井增产措施方面的教学和科研工作。地址:(102249)北京市昌平区。电话:(010)89733047。E-mail:zsfzhg@163.com

将集气瓶内的天然气移入活塞容器中;用平流泵向活塞容器注水推动活塞对天然气加压,压入流变仪测试筒中,启动流变仪测量系统,通过流变仪转子转动加速天然气与 VES 压裂液的混合。

3. 实验方法

按适当配方配制清洁压裂液,真空脱除压裂液中的溶解气(防止样品中溶解的空气和测试系统中残留的空气与天然气反应)。取脱除空气后的 VES 压裂液 70 mL 移入 RT20 流变仪测试系统,选用 PZ38 mm 转子,对测量系统密封后再抽真空到 10 kPa 以下,维持 20 min(防止样品中溶解的空气和测试系统中残留的空气与天然气反应)。选定一个适当的温度,用 RT20 高温高压流变仪在 170 s^{-1} 条件下恒温测压裂液黏度到稳定,在不同压力下向流变仪样品测试系统中压入天然气,测试压入天然气后的黏度。对比 VES 压裂液压入天然气前后高温高压黏时曲线,评价天然气对 VES 压裂液的破胶程度。

VES 压裂液黏度通常不受剪切时间的影响,3 种 VES 压裂液在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时都有较好的稳定性,选择 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为实验温度。将试样 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温 30 min,然后于 170 s^{-1} 的剪切速率连续剪切测黏度。10 min 后通入天然气,依次调天然气压力到 1 MPa、2 MPa、3 MPa、4 MPa,分别测试 20 min。

三、实验结果

1. 家用天然气降黏实验

压入家用天然气后 3 种 VES 压裂液的黏时曲线示于图 2。通入天然气后,阳离子型和两性离子型表面活性剂降黏明显,并且随天然气分压的提高,降黏幅度提高。一般在天然气压力稳定 1 min 内,体系黏度趋于稳定,这说明在转子的搅动下,天然气在 VES 压裂液中的扩散速度较快,可短时间内达到平衡。阴离子型表面活性剂在实验压力下降黏不明显。

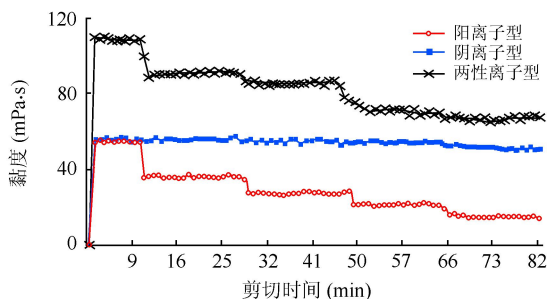


图 2 家用天然气对 3 种 VES 压裂液的降黏特性图

将每个压力段黏度测试趋于稳定后取平均值(见表 1),并计算不同压力时天然气对压裂液的降黏率(见图 3)。表 1 和图 3 说明在实验压力下,阳离子型 VES 压裂液被天然气降黏幅度最高,两性离子型 VES 次之,阴离子型 VES 最弱,但仍可轻微降黏。由于当前实验仪器承压水平有限,更高压力下的数据需要进一步改装实验仪器后测试。

表 1 不同天然气压力下 VES 压裂液的黏度表

压力(MPa)	不同离子类型下的黏度(mPa·s)			
	阳离子型	阴离子型	两性离子型	
家用天然气	0.00	54.42	55.83	109.04
	1.00	35.82	55.98	90.86
	2.00	27.80	54.77	85.92
	3.00	21.07	54.57	71.08
	4.00	14.53	51.25	67.0
	真空脱天然气后	10.21	54.2	42.3
套管伴生气	0.00	55.5	54.3	108.2
	1.00	29.8	51.8	80.3
	2.00	8.6	44.8	54.7
	3.00	7.3	40.4	19.9
	4.00	7.1	34.2	15.1

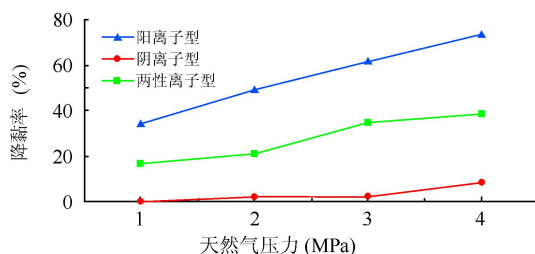


图 3 天然气对 VES 压裂液的降黏率图

VES 压裂液降黏幅度与天然气压力正相关,与 Norbert Heitmann 等人的预测一致^[4]。实验用天然气取自中原井下居民生活区的生活用气管线,气体成分气相色谱分析结果列于表 2。该气经天然气处理厂深冷处理, C_2 以上高碳组分已被分离,而实际气藏中的天然气 C_2 以上高碳混合物比例相对较大,

表 2 实验用气体成分分析表

分析项目	家用气(%)	伴生气(%)
CH_4	95.64	91.54
C_2H_6	0.04	0.76
C_3H_8	0	0.42
C_4H_{10}	0	0.25
C_5^+	0	0.10
CO_2	0	3.22
N_2	4.32	3.71

有些甚至伴生凝析油。根据相似相溶原理,地层中天然气破胶效率应更高。提高压力,有利于天然气溶入 VES 胶束,提高破胶速度。考虑天然气藏压力一般在 10 MPa 以上,根据图 3 所示的趋势,实际地层条件下降黏幅度可能会更高。

2. 伴生气降黏实验

考虑家用天然气与实际天然气的组成不同,取中原油田桥 29-3 井套管伴生气,按上述实验程序测压入天然气后 VES 压裂液的黏时曲线示于图 4。与压入家用天然气相比,3 种 VES 压裂液在较低压力下下降黏幅度即显著提高。

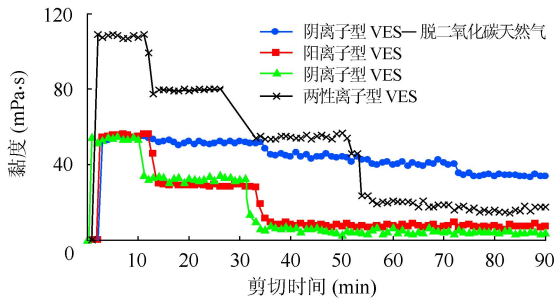


图 4 伴生气对 VES 压裂液的降黏特性图

天然气成分分析数据列于表 2。在甲烷含量上二者区别不大,伴生气中二氧化碳和 C₂ 以上高碳组分含量较高。为此向储气瓶中注入氢氧化钠溶液,清除二氧化碳后重复实验,发现阳离子型和两性离子型的 VES 压裂液对伴生气响应趋势基本没有变化(图 4 中不再列出),阴离子型的 VES 压裂液降黏幅度变小,但黏度变化幅度仍高于家用气的实验数据。这说明,天然气中高碳烃对 VES 压裂液降黏效果影响显著。除此之外,阴离子型的 VES 还受天然气中二氧化碳的影响,而且影响显著;而两性和阳离子型的 VES 压裂液则不受二氧化碳的影响。

3. 回收实验

由于清洁压裂液价格相对较高,如能重复利用对降低施工成本和环境保护均有重要意义^[5-6]。天然气具有高挥发性,气液分离比较容易实现。为此设计了以下实验:高温剪切实验结束后,将 RT20 流变仪样品室冷到 15 °C 以下,小心泄压后,抽真空到 10 kPa 以下,并维持该压力 30 min 以上,然后测试脱天然气后样品的黏度。

表 1 中家用天然气最后一行数据是天然气在 110 °C、4 MPa 下溶入 VES 压裂液后,冷至室温真空脱除部分溶解气,于 110 °C、170 s⁻¹ 条件下测得的 VES 压裂液黏度。除阴离子型表面活性剂外,真空脱除天然气后测得的黏度不但没有恢复,反而更低。起初怀疑是真空操作过程造成样品体积低于仪器测

量体积,但回收测试样品后证明,样品体积基本没有损失。因此,造成真空脱天然气后阳离子和两性离子 VES 压裂液黏度更低的原因可能是天然气被表面活性剂胶束增溶后生成的球状胶束近似于热力学稳定体系,真空操作不可能将其破坏,且在带压冷却过程中天然气继续被加溶。因此,只要天然气一旦溶入 VES 压裂液胶束中,真空脱气的方法不可能将其破坏,实现 VES 压裂液的重复利用还需要进一步研究。

四、结 论

(1) VES 压裂液对天然气的敏感性存在较大差异,但总体上可被降黏,降黏幅度与天然气的压力正相关。由此证明 VES 压裂液可被天然气破胶,即使不使用外加破胶剂,在气层使用也不担心返排问题。

(2) 天然气的气体成分对 VES 压裂液的降黏效果影响显著。天然气中 C₂ 以上组分含量越低对 VES 压裂液的降黏程度越低,C₂ 以上成分含量越高降黏越彻底。

(3) 少量二氧化碳即可彻底对阴离子型 VES 压裂液破胶,而阳离子和两性离子对天然气中二氧化碳含量不敏感。

(4) 加溶天然气后的 VES 压裂液仅通过真空脱气的方法不能使黏度恢复,回收利用技术还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] MATHEW SAMUEL, DAN POLSON, DON GRAHAM, et al. Viscoelastic surfactant fracturing fluids: applications in low permeability reservoirs [C] // SPE Rocky Mountain Regional/Low-Permeability Reservoirs Symposium and Exhibition. Denver, Colorado: SPE, 2000.
- [2] 张文宗, 庄照锋, 孙良田, 等. 中高温清洁压裂液在卫 11-53 井应用研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(11): 110-112.
- [3] 郑云川, 赵立强, 刘平礼, 等. 两性表面活性剂酸液体系在基质酸化及酸压中的应用[J]. 天然气工业, 2005, 25(12): 71-73.
- [4] NORBERT HEITMANN, ENZO PITONI, GIUSEPPE RIPA, et al. Fiber-enhanced visco-elastic surfactant fracturing enables cost-effective screenless sand control [C] // European Petroleum Conference. Aberdeen, United Kingdom: SPE, 2002.
- [5] 庄照锋, 张士诚, 张劲, 等. 硼交联羟丙基瓜尔胶压裂液回收再用可行性研究[J]. 油田化学, 2006, 23(2): 121-123.
- [6] 郭吉清, 朱容婷, 颜菲, 等. 一种酸性压裂液用改性胍胶的性能评价[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(增 2): 136-138.

(修改回稿日期 2008-05-06 编辑 韩晓渝)