

长庆气田变粘酸酸压工艺的研究与应用

徐永高 陈宝春 管宝山 张燕明 周晓群 王晓东

(中国石油长庆油田分公司油气工艺技术研究院)

徐永高等.长庆气田变粘酸酸压工艺的研究与应用.天然气工业,2005;25(4):103~105

摘要 长庆气田碳酸盐岩储层具有低压、低渗、非均质性强等特点,酸化改造作为天然气井试气完井过程中一项必不可少的工序,是天然气勘探与开发的重要技术措施。自“八五”以来针对该储层的地质特点开展了一系列的室内研究和现场试验,形成了三大酸压工艺与配套技术。为进一步提高酸压改造效果,自2000年以来,开发了新型的变粘酸酸液体系,文章阐述了变粘酸酸液体系的性能评价以及配套技术特点、工艺适应性及经济效果分析。现场试验结果表明,变粘酸酸压工艺取得了较好的增产效果。

关键词 碳酸盐岩 采气 酸化压裂 工艺 配套 长庆气田 增产效果

一、引言

长庆气田自1989年大规模勘探以来,储层低渗、低压,压裂酸化工艺技术气田勘探中发挥了重要作用,同时也促进了气井压裂、酸化工艺技术的巨大发展。针对下古生界白云岩储层,在进行了储层地质特征研究和室内试验的基础上,进行了多种酸化工艺技术的现场试验,在反复试验和不断加深认识的基础上,建立起以普通酸酸压、稠化酸酸压和多级注入酸压—闭合酸化三大酸压工艺为主体,排液技术、负压射孔预处理技术、施工质量控制技术三项配套技术为辅助,适合于陕甘宁盆地碳酸盐岩储层改造的酸化工艺模式。为进一步提高酸化压裂改造效果,近年来开发研制了变粘酸酸液体系,现场试验取得了较好的改造效果,为长庆低渗透碳酸盐岩储层的改造开辟了一条新的路子。

二、储层的地质特征

长庆气田下古生界气层是奥陶系马家沟组经长期岩溶风化形成的白云岩储层,埋藏深度3100~3700 mm。主力产层是马五₁层,其次是马五₂层,局部地区为马五₄层。酸压改造的主要对象为马五₁和马五₂层,两层的沉积厚度为20~25 m。储集类型以溶孔—裂缝型为主,似孔隙型和裂缝型为辅。储层岩性以粉—细粉晶白云岩为主,平均含量达

92.2%,基质中含有少量的粘土矿物和硅质粘土,其含量为2%~6%,其中伊利石含量占47%~86.7%,高岭石、地开石含量占14%。主力气层马五₁层又分为4个小层,单层厚度3~5 m,地层温度95~120℃。

三、变粘酸酸液体系研制与评价

变粘酸是目前碳酸盐岩储层酸压的一种新型酸液体系。其特点是该酸液体系保持了稠化酸的优良性能,酸液的初始粘度为30~45 mPa·s,进入地层后,随着酸岩反应,当 $\text{pH} \geq 2$ 时,酸液粘度瞬间迅速大幅度升高,并在此基础上提高了酸液滤失的控制能力,该酸液的滤失在同等条件下可较稠化酸减少50%以上,可达到非反应性流体的滤失水平,是目前酸化最为有效的控制酸液滤失的手段,对提高酸液的效率及作用距离均有较大的改善。在酸化施工过程中,稠化酸及变粘酸的作用过程及原理如图1所示。

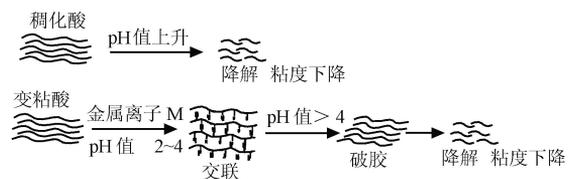


图1 变粘酸降低酸液滤失过程及原理图

作者简介:徐永高,1961年生,高级工程师;1984年毕业于原江汉石油学院采油工程专业,1993年毕业于西南石油学院油气田开发工程专业,获硕士学位;公开发表论文十余篇;现任长庆油田分公司油气工艺技术研究院院长,主要从事油气田改造及技术管理工作。地址:(710021)陕西省西安市长庆兴隆园小区。电话:(029)86592650。E-mail:syg_cq@petrochina.com.cn

变粘酸与稠化酸的不同之处就在于新酸向残酸转变过程中,存在一个粘度升高的过程。酸液进入地层后,随着酸液的消耗,其pH值上升,当pH值上升至2~3时,酸液中的添加剂发生化学反应,液体由线性流体变成粘弹性的冻胶状(其外观类似于水基冻胶压裂液)。液体的这种高粘状态,使其在地层的微裂缝及孔道中的流动阻力很大,这样一来就极大地限制了液体的滤失。由于酸岩反应速度很快,这种高粘状态存在时间很短,可能只有几分钟。随着酸液的进一步消耗,液体中又发生另外一种反应,液体又恢复到原来的线性流体状况,粘度随之降低。变粘酸酸液体系配方见表1。

表1 变粘酸酸液配方组成一览表

名称	功能
HSJ-1	缓蚀剂,保护油管不受酸液的腐蚀
ZJ-1	缓蚀助剂,与缓蚀剂组成协同作用
LS1-1	铁离子稳定剂,稳定酸液中的铁
LS1-2	滤失控制剂,提高乏酸的粘度
GA-1	酸液稠化剂,增加酸液的粘度
YQ-1	表面活性剂,降低酸液的表面张力

1. 变粘酸体系性能评价

(1) 变粘酸粘度及降解率

按配方配制好变粘酸,分别在常温、40、90℃下测试其粘度及降解率,并与常规稠化酸、LCA酸(斯伦贝谢公司产品)进行对比。试验结果见表2。

表2 不同酸液体系的粘度表(170 s⁻¹)

酸液类型	变粘酸 (mPa·s)	稠化酸 (mPa·s)
酸液粘度(18℃)	40.5	25.5
酸液粘度(40℃)	34.5	24.0
酸液粘度(90℃)	27.0	18.0

(2) 变粘酸的增粘性能

为了观察到变粘酸的增粘过程,在室内模拟反应了酸岩反应的过程,即在不同pH值的酸液状态下,分别测试变粘酸的粘度变化情况,同时为了与常规稠化酸进行对比,也进行了相同的试验,从图2可以看出,随着pH值的变化曲线可以证实,变粘酸确实存在变粘过程,所研制的变粘酸与LCA酸变粘趋势基本相同,而常规稠化酸则无此过程中,可以说明自行研制的变粘酸实现了由常规稠化酸向变粘酸的转变。

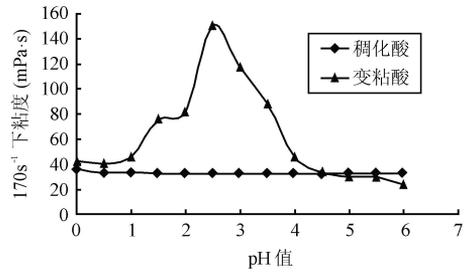


图2 不同酸液体系在不同pH值条件下的粘度图

2. 动态滤失评价试验

评价变粘酸动态滤失实验所用岩心为灰岩储层,埋深3663.5m,岩心外观致密。实验前观察发现岩心很致密,表面为微裂缝相当发育,分别用普通酸,稠化酸和两种不同浓度添加剂的变粘酸动态滤失试验,模拟地层条件,由于受仪器条件所限,温度选85℃,围压32MPa。

实验结果见表3:变粘酸的滤失系数比普通酸和稠化酸低,变粘酸的滤失系数较普通酸减少75.0%左右。如果考虑岩心的基础渗透率对滤失系数的影响,变粘酸的降滤失系数较稠化酸减少更多,可达到50%左右。

表3 动态滤失试验结果表

酸液类型	盐水渗透率 (μm ²)	注酸速度 (ml/min)	滤失系数 (m/min)
普通酸	0.2285×10 ⁻³	2	1.323×10 ⁻³
稠化酸	0.1268×10 ⁻³	5	5.146×10 ⁻⁴
变粘酸	0.0965×10 ⁻³	5	2.594×10 ⁻⁴
	0.0985×10 ⁻³	5	3.960×10 ⁻⁴

3. 酸岩反应速度试验

为了与常规稠化酸、普通酸进行对比,都进行了相同的试验,从试验现象上可以明显看出,在相同试验条件下,变粘酸的反应速度要低于常规稠化酸及普通酸(图3),如在反应至50min时,普通酸的酸液浓度较低仅有2%、稠化酸的酸液浓度有5%、而变

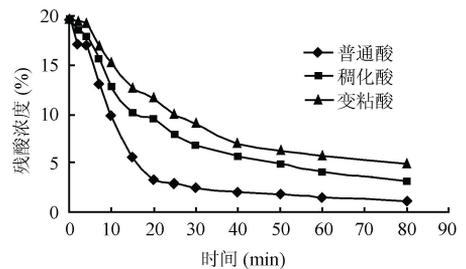


图3 酸-岩反应速度曲线图

粘酸的酸液粘度有7%。这说明变粘酸可以使活性酸穿透更深的地层,以达到深度酸化的目的。

四、变粘酸酸压工艺研究

1. 工艺优化设计

(1) 变粘酸与普通酸组合酸压技术

利用变粘酸控制滤失、增加缝长,由于变粘酸反应速度较慢,为获得足够高的导流能力(特别是近井地带),在注入变粘酸后继续注入普通酸。试工艺一共试验了21口井。

(2) 前置液与变粘酸组合交替注入工艺

该工艺采用前置液与变粘酸交替注入,主要以形成较长的酸蚀裂缝为主要目的,在G34-12井试验了此项工艺。

(3) 多级变粘酸注入酸压

该工艺采用变粘酸与普通酸交替注入工艺,其增产作用机理为:①注前置液形成裂缝(图4-a);②注20%盐酸酸蚀孔洞、天然裂缝及裂缝壁面(图4-b);③注变粘酸暂堵已酸蚀的孔洞、天然裂缝,并使其范围扩大,并继续扩展裂缝(图4-c);④注20% HCl处理新形成的裂缝范围(图4-d);⑤注变粘酸暂堵已酸蚀的孔洞、天然裂缝,并使其范围扩大,并继续扩展裂缝。

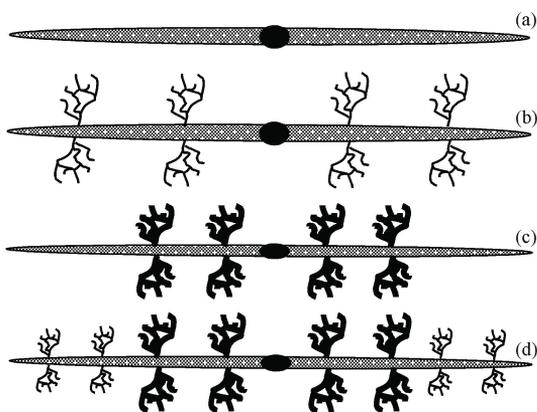


图4 注酸形成裂缝情况示意图

以此类推,使酸液的处理范围大幅度扩大,溶蚀和沟通尽可能多的天然裂缝和孔洞,达到最大产能的目的。此外,当射孔跨度较大时,在纵向上采用该工艺,同样具有暂堵转向的特点。

(4) 过顶替技术

针对变粘酸酸岩反应速度较慢,采用过顶替充分发挥酸液作用,增加酸蚀缝长,同时也有利于降低成本。

2. 现场应用情况

2000~2003年长庆气田下古碳酸盐岩共进行了23口井的变粘酸酸压工艺试验,试验井主要针对靖边气田I、II类储层,在有正式试气结果的井中,变粘酸酸压试验井平均试气无阻流量达到了 $39.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,在同期实施的酸压井中可对比的井有23口,采用稠化酸与普通酸酸压改造后平均试气无阻流量 $21.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,应用表明变粘酸酸压取得了较好的改造效果(表4)。

表4 变粘酸酸压施工及求产数据表

工艺类型	井数	平均酸量 (m^3)	平均排量 (m^3/min)	无阻流量 ($10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)
稠化酸/普通酸 组合注入	25	52.5 25.1	1.9 1.4	21.5
变粘酸/普通 酸酸压	23	50.5 22.5	2.4 1.2	39.7

五、认识与结论

(1)室内研究表明,开发研制的变粘酸实现了由常规稠化酸向变粘酸的转变,达到了预期试验效果,与现用其它酸液体系相比,具有低滤失、延迟反应速度等特点。

(2)现场试验结果表明,变粘酸酸压工艺取得了较好的增产效果。

(3)变粘酸与普通酸多级注入工艺可充分发挥变粘酸的增粘、转向特点,有利于实现深度改造。

(4)在变粘酸酸压试验过程中不断改进完善形成了适合长庆靖边气田储层特点的变粘酸酸压工艺技术。

参 考 文 献

- 姜琳琳,徐用军.油田酸化液中铁离子络合剂的合成及评价.应用科技,2001;(4)
- 中国石油天然气集团公司油气开发部编.压裂酸化技术论文集.北京:石油工业出版社,1999
- 曲良泉.控制滤失的独特酸压液及增产效果.油气田开发工程译丛,1993
- 潘琼,段国彬.酸液滤失实验数据处理方法的几点认识.钻采工艺,2002;(5)
- White D J. Using a unique acid-fracturing fluid to control fluid loss improves stimulation results in carbonate formations. SPE 24009, 1994

(收稿日期 2005-02-01 编辑 韩晓渝)