

胶化酸压裂工艺 在碳酸盐岩增产作业中的应用

陈中一

(四川石油管理局钻井试油处)

内容提要 胶化酸压裂是一种针对低渗低孔碳酸盐岩裂缝性储集层进行增产改造的工艺技术。它可以减缓酸液在压开裂缝中的反应速度和降低酸液的滤失,提高酸蚀裂缝长度,改善低渗低孔储集层压裂酸化的效果。本文阐述了该项工艺技术内容,及介绍现场试验井的施工实例。

压裂酸化是四川碳酸盐岩储集层投产和增产的重要手段之一。对于低渗低孔碳酸盐岩储集层,要获得增产,除了要解除井底附近的堵塞外,关键是要得到一条具有较高导流能力且又比较长的酸蚀裂缝。这又面临着常规酸液在压开裂缝中反应速度过快和酸液滤失很大的困难。

近年来,通过技术引进和实践中的摸索,逐渐形成和掌握了一套胶化酸压裂工艺,在现场试验中取得了较好的效果。

胶化酸压裂酸化技术

胶化酸压裂工艺主要是向井内先注入前置压裂液,依靠足够的排量和压力,将储集层压开,产生裂缝。然后,注入经过稠化的胶化盐酸。酸液流经裂缝,与碳酸盐反应,溶蚀部分岩石。为了减缓酸液的反应速度和降低酸液的滤失,提高酸液的有效作用距离,采用了下列四项新的技术。

1. 稠化盐酸的技术

盐酸的粘度与水差不多,一般为 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$ 左右。要提高盐酸的粘度,通常加入胍胶、刺梧桐树胶或聚丙烯酰胺等稠化剂。但是,地层中酸处理,在高温下粘度降低很快。通过技术引进,我们采用了一种高

温稳定胶凝剂SGA—HT。它在盐酸中经过搅拌后,便形成一种高温下也能具有高粘度的胶化酸。试验温度为 $80\sim 100^\circ\text{C}$,剪切速率 170s^{-1} 下,胶化酸的粘度为 $43\sim 54\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。SGA—HT和其他胶凝剂在高温下的稳定性能详见图1。

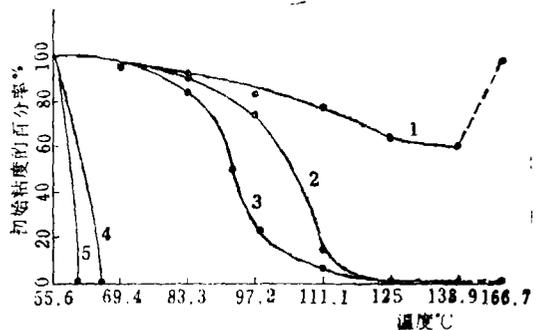


图1 各种胶化酸热稳定性曲线

1—SGA-HT 2—磺化树胶 (1)
3—磺化树胶 (2) 4—纤维素 5—胍胶

温度由 55.6°C ,升高到 69.4°C 时,两种磺化树胶和SGA—HT胶化酸的粘度仍可保持97%左右,而胍胶和纤维素胶化酸的粘度早已下降为0。升温到 111.1°C 时,SGA—HT胶化酸仍保持初始粘度的77%,而两种磺化树胶胶化酸已分别降为初始粘度的15%和7%。从图中还可以看出,SGA—HT胶化酸经高

温以后当温度降到37.8℃时,粘度仍可恢复到初始粘度,而其他几种则不能。充分说明SGA—HT是一种很好的增稠盐酸和胶凝剂。

2.降低酸液滤失技术

对于裂缝性碳酸盐岩储集层,人工压开裂缝的缝壁上,往往有许多天然的微细裂缝,这是造成酸液在流动中大量滤失的主要原因。前置液粘度高,不与岩石反应,且加有100目粉砂,滤失量较少。一旦注入盐酸,酸溶蚀岩石,滤失速度急骤增加。储集层渗透性越好,滤失量越多,酸的有效作用距离就越短。高低渗透层滤失特征详见图2。

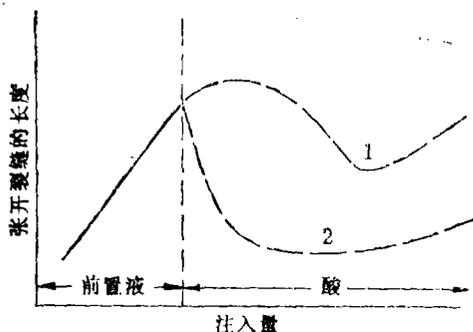


图2 酸穿透距离的范围

曲线1为低渗透地层;曲线2为高渗透地层。从图中可以看出:高渗透地层,当挤入前置液压开裂缝,随着前置液的注入,裂缝逐渐延伸增长。当注入盐酸,滤失速度急骤增加,裂缝内没有足够的压力支撑,裂缝就开始闭合。张开的裂缝就越来越短。而低渗透地层,由于滤失速度小一些,裂缝闭合速度也小一些,但总的趋势是酸注入后裂缝不但不能增长,反而减少了张开缝的长度。

为了提高酸蚀裂缝长度,采用了在酸液中加入固体降滤剂—酸不溶蚀的硅粉,代号为WAC-9。大大降低酸液的滤失,见图3。

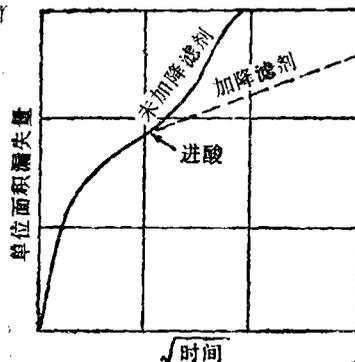


图3 降滤剂的滤失曲线

由图可见:未加降滤剂的酸,进入地层后,单位面积滤失量急骤增加,而加有降滤剂的酸,滤失速度减慢。

3.等密度技术

前置液的密度一般为 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$,而浓度为28%的盐酸密度为 $1.14\text{g}/\text{cm}^3$ 。由于密度不同而引起的重力差,在地层中往往会出现酸液下窜的现象,当裂缝闭合后,酸蚀裂缝的高度就会大大减少,限制了导流能力的提高。等密度技术用氯化钾或氯化钙加重前置液的密度,使其与酸液密度相等。

4.酸液两相交替注入技术

酸、液两相交替注入技术就是前置液与酸液在施工中交替多次注入。前置液粘度高,且不与岩石反应,注入后可降低滤失,增加张开缝长度。交替注入有利于提高酸蚀裂缝长度。施工中若出现挤酸压力急骤下降,滤失增大,应立即改注前置液,使压力逐渐回升。当滤失减少后再改注盐酸。由于天然裂缝的位置及发育程度不同,交替注入的时间和注入量,也因异而异。由于滤失不能精确预测,因此,此技术运用与否要根据现场施工的具体情况灵活掌握。

胶化酸压裂工艺的优缺点

胶化酸压裂工艺技术优点为:

酸液粘度高, 酸的作用速度低; 面容比低, 氢离子传质速度低, 起到缓速作用; 在高排量下, 在裂缝中仍保持层流状态, 提高了酸的有效作用距离;

加入了固体降滤剂可以有效控制滤失速度。挤酸时也能保持裂缝延伸压力; 减少了滤失, 相对地提高了酸的利用率;

胶化酸和前置液水化后, 仍具有一定的粘度, 在返排时, 可以携带酸不溶颗粒和泥岩排出地面;

胶化酸和前置液都具有较好的降低管阻的效果。

胶化酸压裂工艺技术也有不足, 施工较复杂, 特别是酸液两相交替注入以及使用固体降滤剂, 现场不易控制与掌握; 添加剂品种多, 价格贵, 处理费用高等。

卧75井试验井例

1. 施工井简况

卧75井处于卧龙河构造北边低渗透地区, 产层为石炭系 C_2 , 岩性为褐灰色白云岩, 5"尾管完井。处理井段位于4666~4709m, 射孔厚度22m, 射孔密度12孔/m。根据测井资料计算的储层参数为: 孔隙度3.2%; 渗透率 $0.564 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 含水饱和度19.5%; 产层厚度17m。1985年11月10日采用胶化酸压裂工艺施工。

2. 工作液配方及性能

前、后顶替液配方:

$\text{KCl}(20\text{kg}/\text{m}^3) + \text{WG}-11(2.4\text{kg}/\text{m}^3) + \text{HYG}-3(0.3\text{kg}/\text{m}^3) + \text{K}-34(0.3\text{kg}/\text{m}^3) + \text{PEN}-5(2\text{l}/\text{m}^3) + \text{BE}-3(0.25\text{l}/\text{m}^3)$

前置液与后冲洗液的配方:

$\text{KCl}(12\text{l}/\text{m}^3) + \text{WG}-11(3.6\text{kg}/\text{m}^3) + \text{HYG}-3(0.3\text{kg}/\text{m}^3) + \text{K}-34(1.2\text{kg}/\text{m}^3) + \text{PEN}-5(2\text{l}/\text{m}^3) + \text{BE}$

$-3(0.25\text{l}/\text{m}^3) + \text{Cl}-18(1\text{l}/\text{m}^3)$

胶化酸的配方: $\text{HCl}(15\%) + \text{SGA}-\text{HT}(20\text{l}/\text{m}^3) + \text{HAI}-75(10\text{l}/\text{m}^3) + \text{PEN}-5(2\text{l}/\text{m}^3)$

上述配方中: WG-11、SGA-HT为胶凝剂; HYG-3、K-34为pH值控制剂; PEN-5为表面活性剂; HAI-75为缓蚀剂; Cl-18为交联剂。交联剂在泵注时加入。泵送过程中分别加入100目粉砂和WAC-9固体降滤剂。

按以上配方配制的液体, 经测试求得流体参数如表1。

卧75井流体参数表 表1

参 数	前置液	胶化酸	后冲洗液
密 度 (g/cm^3)	1.070	1.070	1.070
流态指数 n'	1.000	0.550	1.000
稠度系数 K' ($10\text{Pa}\cdot\text{s}^n/\text{m}^2$)	0.0815	0.5371	0.0815
造壁系数 C_w ($\text{m}/\sqrt{\text{min}}$)	0.00076	0.00076	0.00076
综合滤失系数 C_{eff} ($\text{m}/\sqrt{\text{min}}$)	0.00041	0.00040	0.00041
塑性粘度 η_p ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)		80.00	
视 粘 度 η_a ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	79.4		79.4

3. 施工步骤

低速替前顶替液 4.7m^3 , 用前置液启动封隔器。高压注前置液 136.12m^3 , 其中注前置液 20m^3 后停泵, 求瞬时停泵压力。高压注胶化酸 194m^3 , 高压注后冲洗液 215m^3 , 高压注后顶替液 11.92m^3 , 停泵求压力降落30分钟。

4. 施工参数

挤入地层总量 557.04m^3 , 其中加入酸降滤剂WAC-9 294.84kg 。(加入量比为 $2.234\text{kg}/\text{m}^3$)。其他参数详见表2。

卧75井胶化酸压裂施工参数 表2

参数 量级	油压 (MPa)	套压 (MPa)	排量 (l/min)	吸收指数 (l/min·MPa)
最高	92.5	46.0	2867	30.9
最低	84.0	40.0	1220	14.5
一般	90.0	44.0	2200	24.4

5. 施工曲线

从图4中看出,到120分钟时,施工压力明显下降,排量大幅度上升,有沟通比较大

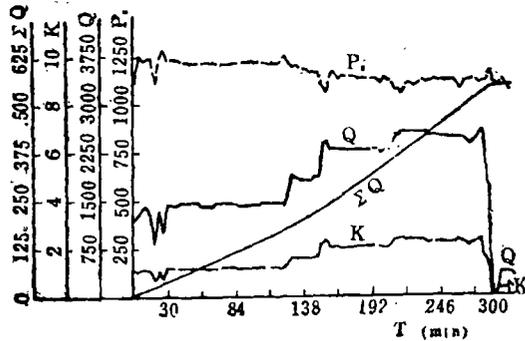


图4 卧75井胶化酸压裂施工曲线

(上接94页)

表头及使用说明

表1: N、A、AF、S、R。

N—井段序号(不包括垂直井段); A—各段的造斜率(十进制角度); AF—各段末的井斜角(十进制角度); S—各段末的斜井深(m); R—各段的曲率半径(m), (R=0时表示实际R为无穷大)。

表2: Z、S、H、X、AF。

Z—计算点序号; S—各计算点斜井深(m); H—各计算点垂直井深(m); X—各计算点总水平位移(m); AF—各计算点的井斜角(十进制角度)。

的天然裂缝的现象,预计会增产。

6. 排液与测试

施工完当天开始自喷排液,五天后基本排净,共排液587m³。经测试,天然气产量由酸化前5.99×10⁴m³/d(Pc为29.7MPa),增加到酸化后15.97×10⁴m³/d(Pc为27.0MPa)。增产2.7倍,效果比较显著。

这次施工中严格现场质量控制,包括配液用的水质、配液程序、检验方法,施工步骤,排液要求等,都有具体的质量要求,在施工中均严格执行。

参 考 文 献

1. L. R. NORMAN: “热稳定的胶凝酸聚合物—实验室评价和现场结果”石油工艺杂志1984年11期。
2. B. B. WILLIAMS: “石油酸化原理”石油工业出版社 1983年
3. 朱兆明、蒋阔: “七十年代末八十年代初国外压裂酸化工艺技术的发展”1982年

(本文收到日期 1986年3月22日)

表3: Z、S、H、X、AF。

Z—井段序号(包括垂直井段,序号为0); S—各井段末斜井深(m); H—各段末总垂直井深(m); X—各段末的总水平位移(m); AF—各段末的井斜角(十进制角度)。

使用说明:计算机运行,输入计算参数后,左上角显示“BUSY”字样。计算完毕自动打印出设计结果并绘图。如果又出现“H=”字样,则说明原输入的参数无法满足设计,应调整造斜点深度,增降斜率、水平位移等参数后重新输入以得到满意的设计为止。

本文经马兴峙、张昌本、石仲华等同志审阅,特此致谢。

DRILLING / PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

Regression Parameters in Rheological Equation for Common Drilling Fluid and Their Evaluation

In this paper, the theoretical basis and method for determining the parameters in Bingham, Index and Casson Rheological Equations by using linear regression method are expounded. Through processing the measured data of ten kinds of drilling fluid and analyzing and comparing the calculation errors of rheological parameters, determined by several methods, it is indicated that the application of regression rheological parameters within the velocity-gradient limit of $1000 \sim 5 \text{ S}^{-1}$ has much higher accuracy.

Long Zhengjun

Quantitatively Calculating Method of Rheological Parameters of Jet Drilling Mud

Utilizing the curve fitting method, the related relationship within rheological parameters between the Bingham and Index models and Casson model is derived, which provides the quantitative basis for determining the rheological parameters of jet drilling on the spot. The result obtained been simplified, so it is easy to use.

Liu Huixin, Wan Junliang

Regression Analysis Method Applied to Stability Study of Borehole Wall

In this paper, the cation exchange capacity in mud stone and shale is determined by using a simple testing method. A mathematical model of the relationship between water volume absorbed by mud stone and shale and cation exchange capacity is set up by using regression analysis method to find the estimative water volume absorbed by mud stone and shale. Thus the number of times for sampling, expansion test and calculation can be all reduced.

Wu Tongming, Li Jiunying

Application of Fracturing Technique with Gelatinized Acid to Stimulation Operation of Carbonate Reservoirs

The fracturing with gelatinized acid is a stimulation technique for reforming the carbonate fractured reservoirs with low permeability and low porosity. It can retard the reaction velocity of acid in opened fracture, reduce the filtration of acid, increase the length of acid-eroded fractures and improve fracturing and acidizing effect of reservoirs with low permeability and low porosity. In this paper, the author expounds the technologic content of this technique and introduces an operation example of the experimental well.

Chen Zhongyi