

混气酸化技术试验应用

刘成

(吐哈油田公司,新疆哈密 839009)

刘丽君

(吐哈石油勘探开发指挥部,新疆哈密 839009)

摘要 酸化作业后残酸返排的彻底与否是影响施工效果的重要因素,气体所具有的易压缩和卸压后膨胀的特性使之成为一种良好的助排剂。混气酸化技术利用注入氮气的转向、隔离、降滤失、缓速和助排作用来强化酸液的自身返排能力,提高返排速度和返出程度,达到解堵增产、保护储层的目的,尤其适用于渗透性差、地层压力低、敏感性强的特殊地层。简要介绍了这项技术的注气设计方法、工艺流程和操作要点,对影响返排的因素进行了分析。现场试验结果表明:混气酸化技术简单实用,助排效果明显,有着良好的应用前景。

关键词 新疆 油田 混相 酸化 机理 工艺设计 现场试验

作者简介 刘成,1972年生。1993年毕业于江汉石油学院采油专业,现在勘探开发研究院从事油田开发工作,工程师。刘丽君,1993年毕业于江汉石油学院采油专业,现为井下技术作业公司工程师。

酸化技术是解除地层堵塞、恢复油水井产注能力的有效措施之一,但在实施过程中常常由于对地层客观认识不足,对酸液添加剂选择不当或是设计欠妥,造成作业后非但不能解除原有堵塞,反而更进一步加深对储层的伤害^[1]。吐哈油田是典型的低渗、低压泥质胶结储层,粘土矿物中酸敏成分含量高,埋藏较深,酸化处理后排液困难,残酸滞留于地层引起二次污染的问题比较突出。为解决这一矛盾,除在酸液配方上进行优选外,还采用混注氮气的方法,来提高残酸自身的返排能力,降低酸液在孔隙中的滞留程度,试验结果表明:混气酸化后的自喷返排率比常规酸化有了很大程度的提高,排液周期明显缩短,是低压低渗层酸化助排的理想手段。

一、机理研究

1. 转向作用 常规酸化处理中,由于层内垂向渗透率的非均质差异或多层系统中各层损害程度不一,处理液往往优先进入渗流阻力小、吸液能力强的高渗层或损害较轻层段,致使吸液能力弱的低渗层和损害较重的目的层段得不到有效处理。混气酸化中,前置氮气、混气前置酸液将优先占据这些高渗孔道,在其中憋起高压,引导后续混气酸液转向进入最需处理的污染带和低渗带,阻止酸液沿高渗方向突进,达到自动调整剖面、均匀解堵的目的。

2. 隔离作用 酸液与地层流体的不配伍性主要表现在两个方面:与储层中原油接触形成乳化液或酸渣;与地层水反应生成沉淀,堵塞渗流孔道。混气酸化中注入的前置氮气在酸液和地层流体间形成一

道人为屏障,能够有效避免和减缓酸液与地层流体不配伍所产生的伤害。

3. 降滤失作用 混注氮气分散于酸液中形成气泡使混合流体的粘度有所增加,可提高酸液自身的降滤失能力;这些气泡伴随酸液在地层中运移,在部分喉道处聚集产生贾敏效应,能够有效封堵地层中的一些大孔隙、微裂缝,降低酸液的滤失;气液两相流动使得液相渗透率降低,在一定程度上抑制了酸液滤失;此外,前置氮气的转向作用,也阻止了酸液沿高渗带上的突进滤失。

4. 缓速作用 氮气化学性质稳定,与酸液、地层流体、岩石基本不发生化学反应,前置氮气的隔离作用使酸液前缘与地层流体接触的损伤有所降低,混注氮气与岩面的接触中替代了部分酸液的位置,减小酸岩有效接触面积,起到一定的缓速作用,在酸液驱替氮气过程中,部分氮气附着于岩面上可能形成气膜,抑制H⁺与岩面的交换,延缓酸岩反应速度,增加酸化深度。

5. 助排作用 依靠压缩氮气所蓄积的弹性能在卸压后体积发生膨胀,克服小孔隙中毛管力对酸液的约束,推挤和携带残酸流入井筒,并携带出部分酸化过程中出现的不溶物和沉淀物,减轻酸液在地层中的滞留损害;气相的介入使井筒中混合流体的密度降低,有利于酸液自喷返排,激励地层供液,残酸可在较短时间内比较彻底地排出,缩短了浸泡地层的时间,减轻了粘土膨胀等不利因素,有效防止了残酸的二次污染。

二、混气酸化工艺技术

1. 选井选层条件 混气酸化适用于地层压力低的污染井的处理,这类井酸液回压大于地层压力,酸化后排液比较困难;低渗层段的酸化作业采用混气方式较好,能减轻酸液在地层中的滞留损害;粘土含量高、水敏性强或稠油储层的解堵宜选用混气酸化,其返排速度快、返出程度高的特点符合特殊油气藏对储层保护的要求;深度酸化中混注氮气可提高施工效果;受污染或与测井解释不符的探井采用混气酸化能够恢复产层真实面貌,尽快搞清产层液性。

2. 混气酸化设计 混气酸化设计包括酸化设计与注气设计两部分,前者在设计中需考虑混入氮气后静液柱压力、酸液体积与溶蚀速度所发生的变化,其它方面遵从常规设计方法。注气设计主要采用两种方法。

(1)从理论计算出发,假定注入氮气全部返出,并忽略摩阻与滑脱,井筒中酸液实现自喷返排的条件必须满足静液柱压力低于返排压差(可通过调整混合流体中气相比例来改变其视密度达到)。

这里引入氮气干度的概念,它定义为一定温度、压力下,氮气所占体积与气液总体积的比值,可将注气问题转化为干度的计算,要使酸液全部返排,混合流体对应的气相最小干度 S_{min} 为^[2]

$$S_{min} = \frac{d_l - \Delta p \times 10^3 / gh}{d - d_l - g_m}$$

式中 S_{min} ——井筒平均压力和平均温度下的返排最小干度,小数;

d ——酸液密度, g/cm^3 ;

d_m ——井筒平均压力和平均温度下氮气密度, g/cm^3 ;

Δp ——返排压差, MPa;

h ——混合液柱高度, m;

g ——重力加速度, m/s^2 。

根据酸化用量,将这一干度换算为常规条件的液氮总量,进而分解给参与施工的各台液氮泵车。显然这一模型简化条件较多,得出的注气量偏低,实际应用中附加 1.5~3 倍理论液氮用量。

(2)从设备能力出发,首先测定液氮泵车单机注入能力,建立起泵速与排量的关系,确定单机最大混注能力,再由液氮实际储运能力、泵注能力、理论用量及所发生的费用确定施工液氮用量,按照酸化设计提供的时间,把液氮量分为前置和混注两部分,制定出各阶段注气排量和变化率,优化液氮转罐方案,

使参与施工的各台液氮泵车保持均衡运转。相对而言,这一方法更符合现场实际,操作性更强一些。

具体设计中把以上两种方法结合起来,先从设备能力出发进行设计,然后再从理论方面进行校核。

3. 施工工艺 混气酸化程序为:试压→挤注前置氮气→按设计与酸液混注氮气→关井反应→返排。

与压裂相比,酸化作业处理半径较小,前置氮气作用更为明显,根据已有的施工经验,在挤注前置氮气阶段,压力随注气总量的增加呈现出缓慢升高的态势,决定压力变化率的因素是地层吸气能力和外界供气能力的大小,后者可通过调整施工中注气瞬时排量进行控制。混气酸化中前置氮气主要起隔离和转向作用,要求液氮泵车以尽可能高的排量注入,以便在孔隙内尽快地憋起高压;混注阶段由于不存在类似混气压裂中支撑剂被气体干扰的情况,排量的选择范围和分配余地较大,其中前置酸距离井筒远,与岩面接触时间长,活性损失更大,因此混注氮气的干度要高一些,而主体酸既要保证溶蚀效率,又要具备一定的返排能力,混注干度可适当降低。整个施工过程最好能保持连续,以免停泵期间压力扩散,如果施工中液氮无法一次性连续泵注完毕,则在前置氮气后停泵转罐,各工序应衔接紧凑,混注阶段不再停泵。酸化自喷返排后及时采用其它强排措施接替,以提高残酸的返出程度。

4. 影响返排因素 混注氮气的最主要目的是助排,而地层实际情况的复杂程度(地质因素)和施工中的一些不确定因素(工程因素)又制约了氮气助排能力的发挥,注入到地层中的氮气远非理想中活塞式地推动残酸返出,与期望总有偏差,以下主要从 5 个方面分析了影响返排的因素,以便趋利避害,正确引导施工。

(1)干度 氮气干度越大返排能力越强,但受经济因素的制约,不可能片面追求干度而一味地增加液氮消耗量,应在施工效果与经济效益间权衡利弊,在保证施工效果的基础上尽可能节约液氮用量。相比较而言,酸化作业用量远低于压裂,在相同液氮量下所获得的干度更高,因此在经济方面更具吸引力和竞争力。

(2)地层压力 由自喷返排的先决条件知道,地层压力越高,放大压差的余地越大,残酸返排也越彻底。

(3)储层非均质。地层非均质性引起的分流作用

给酸化后返排带来一定的负面影响,起转向作用的前置氮气和气泡优先进入返排不很困难的高渗层段,这部分氮气在卸压后虽有利于井筒混合流体的举升,但对进入低渗层段深部酸液的返排帮助有限,只有提高混注干度,才能加强深部酸液返排的源动力,如有条件可配合其它转向剂共同使用。

(4)毛管力影响 挤注氮气时,气体在高压下挤入地层,可视为压汞过程,这时气体能进入一些微小孔隙,而压后返排时,由于毛管力的约束,一些氮气可能被捕集,滞留于地层中。

(5)相渗透率 氮气与压裂液、地层流体是不能混相的,所以返排时地下流体可能是油、气、水三相共存,它们在相对渗透率上互相影响,当其中某相渗流占主导时,其余相的流动将受到抑制,导致返排作用受影响。

三、现场应用情况

混气酸化的试验始于1994年底,截至1999年底已完成10井次(含4口混气酸压井),与常规酸化比较,可提高自喷返排率2~4倍,缩短排液周期5~15d,在残酸返排和预防污染方面取得明显效果。

首次试验井TC2采用了相对简单的纯前置方法,注入液氮 3.6 m^3 ,注入酸液 40 m^3 ,酸化后自喷返出 22.5 m^3 ,自喷返排率达56.3%,与相同压力系数、产量近似的井相比,提高排液效率3倍,取得了

良好的效果。继而在L6-7井进行全过程混气的试验,遗憾的是,这次施工对地层破压估计偏低导致液氮机组与酸化机组配合失调,仅在后半程注入 6 m^3 液氮,虽然如此,自喷返排率仍优于同地区常规酸化井,而且在后期气举、抽汲排液中,出液率较高,反映出注入氮气的后续反吐作用依然明显。

由于吐哈油田渗透性极差,人们把注意力更多地投向混气压裂。1997年底混气酸化再度引起重视,并在LS1井进行系统评价。

LS1井是1口预探井,储层以泥砂岩为主,孔渗性极差,储层中微裂缝比较发育,钻井中采用了屏蔽技术,试油时在3366~3390 m段见到油气显示,但未获得突破,综合研究后决定复试,钻开上部水泥塞,对原层段覆盖射孔,考虑到粘土含量高,选择了粘土酸化体系,为检验混气酸化效果,分别在酸化前后进行地层测试对比(见下表),施工中前置液氮 8 m^3 ,混注 16 m^3 ,从施工曲线看,前置液氮阶段压力持续上升,反映出地层物性很差,混注阶段随着酸液的注入井口施工压力渐降,表明污染有所解除,出于对粘土含量高的顾忌,酸液只反应了20 min,对施工效果造成一定影响。酸化后自喷返排率达到42%,日产油 3.2 m^3 。从测试结果看地层物性差,压力传递困难,随后实施混气压裂,获得工业油流,为区域勘探指明了方向。

LS1井混气酸化效果评价表

工作压差 $\Delta p / \text{MPa}$	工作制度 / min				$K / 10^{-3} \mu\text{m}^2$	S	D_r	$\Delta p_s / \text{MPa}$	R / m	p / MPa	$q / (\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	备注
	一开	一关	二开	二关								
16.14	485	2975	410	/	0.003	0.94	1.3	9.13	2.2	43.98	0.76	初次试油
24.46	13	732	1460	2025	0.005	0.71	1.2	4.56	5	40.8	0.85	覆盖射孔
32.29	1205	2917	71	/	0.007	0.12	1.03	0.87	6.4	38.02	3.25	酸化后

四、结论

1. 混气酸化的解堵增产、保护储层的机理在于注入氮气的转向、隔离、降滤失、缓速和助排作用,其中助排最为主要。

2. 这项工艺的优越性是增强了酸液的自身返排能力,提高了残酸的返排速度和返出程度,大大减轻了酸液滞留于地层引起的污染,尤其适用于渗透性差、地层压力低、敏感性强的特殊地层,但成本较高,在一定程度上限制了应用范围,另外,混合流体密度比酸液低,施工压力也高于常规酸化。

3. 现场试验表明:混气酸化技术是可行的和成功的,与同类常规酸化井比较,可提高自喷返排率2~4倍,缩短排液周期5~15d。

4. 正确选井和优化设计是施工成功的关键因素。

5. 氮气干度、地层压力、储层非均质性、毛管力、相渗透率等因素均会影响混气酸液的返排。

参 考 文 献

- 1 张绍槐,罗平亚等.保护储集层技术.北京:石油工业出版社,1993
- 2 魏建军,董玉玲等.混气压裂相关参数.油气井测试,1999,8(1): 10~11

(收稿日期 1999-08-10)

(修改稿收到日期 2000-02-28)

[编辑 郑秀娟]

role in the work. By saturating the specimen chamber with water vapor during examination, the ESEM allows wet or oily specimens to be imaged and analyzed in their "native" state without drying, freezing, cleaning or coating with a conductive layer. Based on the features of ESEM and along with core acidizing, the change of mineral, porosity, and wormhole at the same position of the core can be imaged. The high magnification images provide detailed information about the change of core.

Subject heading environment scanning positioned observation system acid corroded fractures soaking laboratory test

FIELD TESTING APPLICATION OF GAS MIXED ACIDIZATION TECHNOLOGY

by Liu Cheng, Liu Lijun

Abstract Whether the residual acid is flowed back or not after acidization is very important to the stimulation effects. gas is a better assistant for residual acid back flow because of its easiness to compress and expansion after depressurized. The functions of inversion, separation, filtration decrease, back flow assistant of Nitrogen gas are used to strengthen itself back flow capability of factory residual acid, to improve back flow speed and extent in the Gas mixed acidization technology. Therefore the goals of formation protection and production improvement with formation cleaning can be reached. It specially meets the need to treat the poor permeability, low pressure and high sensitivity formations. The paper gives a brief introduction of the gas injection method, operation processes and operation characteristics and the influence factors, which affects the backflow volume. The result shows that this technology is simple and applicable. The effect of back flow assistant is better.

Subject heading Xinjiang Oil Field miscible phase acidizing mechanism technology design field test

TECHNOLOGY OF SEPARATED ZONAL FORMATION POLYMER DRIVE COMBINED WITH MECHANICAL PLUGGING

by Wang Jinyou, Wang Dejin, Zhang Shujin, Pan Weiguo, Han Shujuan

Abstract In fact, the polymer drive and plugging technology requires down hole tools with high working pressure, long working life and easy to set and release. From this view, the paper describes a technical principle, field test and improvement of separated zonal formation polymer drive combined with mechanical plugging. Based on summarization of the lab and field test result, it is believed that the technology can meet the plugging need of thinner formations with large intervals. It fits the need of both polymer drive and compound drive. It can be used to drive upper layer section by plugging lower layer section or to drive lower layer section by plugging upper layer section. At present, it is one of the most reliable technologies in the scope of zonal polymer drive section change by mechanical plugging.

Subject heading polymer drive packer bridge plug plugging technology research application

APPLICATION OF MICROBE DRIVE TECHNOLOGY IN JIAN 12 BLOCK

by Su Jun, Li Dong, Liu Chaoqun, Zhou Yanzhang, Sun Hailong

Abstract With the development of an oil field, more and more tertiary recovery technologies have been put into field test. Microbe recovery technology has also been made perfectly recently. The technology is developed from single well gulp and puff to microbe drive, so that it has been a ripe technology. The paper details the microbe drive mechanism, the evaluation of laboratory screening test and the field application result. It is believed that the microbe drive is better than the single well gulp and puff because the previous one has higher sweep efficiency and large treatment area. It has actions in both oil and water wells. The water injection efficiency can be improved after a flooding well is treated. The result shows better benefits for operators.

Subject heading Huabei Oil Field microbe oil recovery oil displacement efficiency tertiary oil recovery application

DISCUSSIONS ON HOME MADE J- 55 TUBING (NON UPSET THREAD) FAILURE

by Zhang Dongjie, Ma Xiaozhong, Wu Zongfu, Pei Runyou, Wang Dachuang, Han Xinli

Abstract Tubing string failure often happens with the application of home made tubing being popularized in oil fields. It seriously influenced oil field normal production. The investigation result of 55 well accidents shows that there are four types of failure for newly used home made tubing. They are thread sticky, thread leakage, tubing body crack and other failures. The paper describes failure reason analysis of home made tubing ($\varnothing 73.3 \times 5.51\text{mm}$) based on the laboratory and field application test data. The analysis study includes tubing body quality, thread crease application, operation and abrasion in cluster wells. Then it pointed out that special care should be taken in operation for home made tubing in a way different from imported tubing, the supervision and quality control should be run in field operation. Besides new versions of API SPEC STD 5B and API SPEC 5TC standards should be obeyed when operator buys tubing product. Some additional technical requirements such as thread smoothness, hardness difference of tubing body and its joint, machine threads tightness in factory, physical and chemical properties and pressure test should be added according to practical needs of different oil field.

Subject heading tubing leakage thread compound analysis strategy