

碳酸盐岩深度酸化工艺技术探讨

陈 中 一

(四川石油管理局钻井试油处)

内容提要 本文探讨了四川地区碳酸盐岩深度酸化的技术含义、作用原理、处理难点,酸化处理的现状,以及提高酸化深度的方法。并就如何发展深度酸化工艺技术阐述了重要的观点与看法。

主题词 四川 碳酸盐岩 深度酸化 有效作用距离 工艺技术

在四川天然气勘探开发技术讨论会上,阎敦实总地质师针对四川碳酸盐岩裂缝性储层特征,提出了开展大型深度酸化工艺试验,增加油气储量和产量的要求。1989年四川油气田开展了该试验。共施工29口井30井次,有效16口井16井次,井次有效率53.3%。当年净增产天然气4525.10万 m^3 ,取得了较好的效果。大型深度酸化发展较快,现场施工井数较多。但是,大型深度酸化的一些概念、作用机理等理论以及部分低渗透井、高温深井深度酸化效果不佳等问题,目前探讨不多,总结不够。因此,本文结合四川碳酸盐岩大型深度酸化的实际情况,就大型深度酸化的技术含义、作用原理、技术难点、工艺方法等作一个初步的探讨,以引起大家的重视和关心。

大型深度酸化的含义与难点

大型深度酸化的技术含义应是用较多的酸量,采用降滤缓速等方法,增加活性酸的有效作用距离,提高油气产量的一种酸处理工艺。“大型”系指处理规模而言。在四川现阶段,施工规模大于100 m^3 就可以认为是大型

酸化了。“深度酸化”系指提高酸处理深度,增加酸液有效穿透距离。

大量实践证明,酸处理增产率主要取决于酸蚀裂缝长度与酸蚀裂缝传导率的大小,见图1。从图1可知,活性酸沿裂缝穿透距离越长,无污染井油气增产倍数就越大。活性酸有效作用距离主要受两个因素控制:酸和岩石的反应速度与酸液的滤失特性。

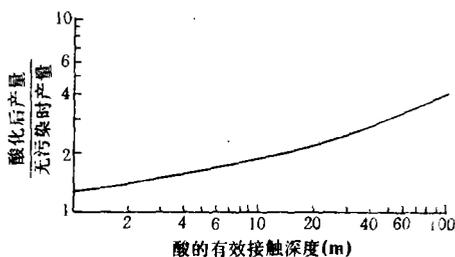


图1

盐酸的优点是溶蚀能力强,价格较低。但是,盐酸与碳酸盐岩反应速度很快,酸的有效作用距离短。酸液在微小孔道中流动,最多1~2min酸的活性就耗尽,穿透距离仅几厘

米到十几厘米。酸液在裂缝中流动,仅需几分钟到十几分钟,酸浓度就降低在3%以下,穿透距离也只有几米到十几米。反应速度快,是酸处理中最难解决的问题之一。

深穿透的另一难题是滤失。随着酸岩反应裂缝通道的形成,裂缝面加大,滤失速度增加。如果泵注排量和滤失速度平衡,则不能增加酸液的有效作用距离。因此,增产倍数也很有限。降低滤失可采用在注酸前先注前置液的办法。从实验模拟看出,前置液降滤效果比较好,见图2。注前置液单位面积滤失量为前段曲线,后面注普通盐酸后,单位面积滤失量很快就增加了。从图3也可以看出,注前置液时,裂缝迅速张开并延伸,当后面紧跟着注普

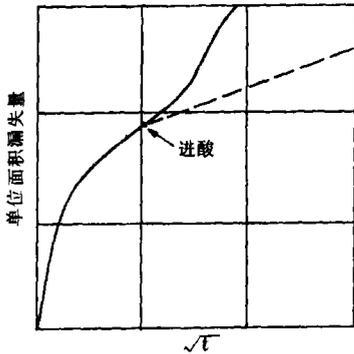


图2 继有效前置液之后注入无降滤剂的酸的典型滤失试验结果

注酸时,裂缝就会发生两种变化:对于低渗透储层(例1),随着注酸的增加,裂缝微有增长,以后逐渐缩短;对于高渗透储层(例2),随着注酸量的增加,裂缝不但不会增长,反而迅速缩短了,这些都说明了前置液降滤效果是明显的,在后面注普通酸效果不佳。

四川碳酸盐岩酸处理主要有三种形式:酸洗、基质酸化和压裂酸化。酸洗又叫做酸

浸。主要是通过酸液在井底或井筒循环,解除井筒和射孔孔眼的堵塞。以前曾用于钻井、试修中的酸泡解卡作业。目前用得很少。基质酸化,它的含义为在低于岩石破裂压力下将酸液注入地层,依靠酸液对岩石的溶蚀作用,

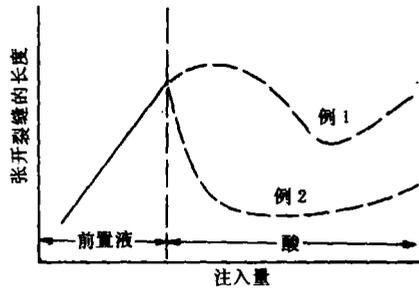


图3 酸穿透距离的范围

扩大渗流通道和溶解渗流通道中的堵塞物,解除井底附近地层的堵塞,使油气井增产。我们把这一工艺又叫做解堵酸化。这一工艺主要用于新井试油投产作业,有时也用于开发老井的增产和上试投产作业。压裂酸化,它的含义为在高于地层破裂压力下,用酸将处理层段压开,形成人工裂缝,或者扩张延伸天然微细裂缝。因此,我们又叫它为酸压裂工艺,见图4。酸压裂形成的动态裂缝较长,当停泵后,裂缝闭合,就留下了酸溶蚀作用比较强的那一部分裂缝。这部分裂缝具有较高导流能力,叫做裂缝有效长度。酸压裂形成的高导流人工缝,将地层中油气渗流方式从原来的径向流改变为线性流,减少了流动阻力,改善了渗流条件,增加了油气产量。这一工艺主要用于开发并低渗透储层的改造。四川油气田用得最多的为后两种工艺,特别是解堵酸化。要提高酸液穿透深度,对这两种工艺,应分别采取不同的方法。

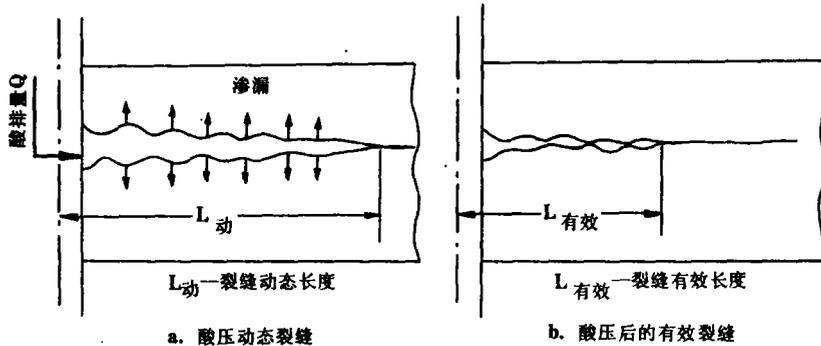


图 4

提高解堵酸化深度的方法

在钻井和完井过程中,各种钻井液、完井液的固体颗粒与滤液,进入地层孔隙或天然微细裂缝,使地层受到伤害。一般来讲,渗入深度不大,只有几厘米到十几厘米。对于碳酸盐岩裂缝性储层,天然裂缝发育,伤害深度可能大一些。从川东地区大量解堵酸化统计资料表明:解堵酸化效果很好,大部分井通过解堵酸化,都能解除井底附近的堵塞。但是,统计资料也表明,仍有20%的井,通过解堵酸化伤害解除不彻底,处理后仍有表皮污染。因此,解堵酸化仍然有一个提高酸化深度的问题。

提高解堵酸化穿透深度的方法,一般采用在普通盐酸中加固体降滤剂和提高酸液粘度,以及采用化学缓速酸等。

四川油气田解堵酸化工艺,主要采取了以下技术:

1. 优选解堵酸化施工参数

主要采取经验统计方法。各油气田根据本地区储层特征,摸索出适合本地区的解堵酸化酸量、排量、压力等参数,并且非常重视连续施工和及时排液。

2. 酸液中加入阴离子表面活性剂缓速

酸液中通常加入烷基磺酸钠(AS)或烷基苯磺酸钠(ABS)等阴离子表面活性剂,让它们吸附在岩石表面,阻挡酸液与岩石接触,从而减缓酸岩反应速度。这种酸液也叫做化学缓速酸。但从实践中看,AS和ABS缓速效果都不理想,没有见到显著效果。

3. 高浓度盐酸缓速工艺

采用高浓度盐酸,酸岩反应时间长,溶蚀能力强,生成的二氧化碳和氯化钙多。而二氧化碳也具有延缓酸岩反应的作用,因此可以提高酸液有效作用距离。高浓度通常采用28%的浓度。它的主要缺点是酸液腐蚀金属厉害。自研制出CT1-2、CT1-3等高温高浓度缓蚀剂后,该工艺得到普遍推广。

4. 泡沫酸酸化工艺

四川使用的泡沫酸是以氮气为内相,盐酸为外相的一种两相液体。泡沫酸粘度高,可以降低酸液滤失和减小酸岩反应速度。由于气相比例高,减少了液体对地层的伤害,因此,特别适用于水敏性地层。同时,它还具有易于携带酸不溶物返排的优点。缺点是:施工难度大;酸液体积小,溶解能力低;液柱压力小,摩阻大,不易压开地层等。主要用于低压油气井的解堵或改造中。

多元酸、乳化酸、胶凝酸也曾用于解堵酸化。但使用井次不多,这里不再赘述。

提高酸压裂深度的方法

酸压裂工艺,通常有三种方法:一是单独挤胶凝酸进行酸压裂;二是先挤前置液造缝,待裂缝向长、宽、高发展后,再挤普通盐酸;三是先挤前置液造缝,后挤粘度较高的胶凝酸。

四川油气田目前采用第一种方法。该方法施工简单,但效果较差。第二种方法已在部分井推广应用。第三种方法只在少数井试验。我们在酸压裂工艺中,主要采用了以下几种工艺技术。

1. 前置液酸压工艺技术

前置液酸压工艺我们已使用近10年。先后使用过龙胶、田菁、速溶田菁、美国胍胶,以及天研所研制的CT9-1等水溶性植物胶。在前置液酸压中采用过以下技术:

(1)前置液中加固体降滤剂技术 为了有效控制滤失,我们先后用过100目石英粉砂,WAC-9(300目硅粉),80~120目陶粒等固体降滤剂。主要用于前置液和胶凝酸中。固体降滤剂的选择与应用要根据不同的地层,不同的携带液而定。

(2)等密度前置液酸压技术 前置液压开地层,然后用酸液溶蚀裂缝面。如果二者密度不同,酸液往往沿着裂缝底部窜流。特别是垂直裂缝更容易发生。因此,我们往往使用KCl提高前置液密度,使之与酸液密度相等,有效的控制窜流。

(3)前置液与酸液交替注入技术 前置液压开地层后,可以堵塞天然微细裂缝,降低滤失。但是,酸是强破胶剂,接触时间一长,前置液逐渐破胶,滤失随之增大。如果挤酸排量小于滤失速度,裂缝不但不会延伸,反而会缩短。因此,我们采取前置液与酸液交替注入的方法有效地控制了滤失,提高了酸液有效作用距离。

2. 胶凝酸酸压工艺技术

胶凝酸是在普通盐酸中加入一种酸胶凝剂,使盐酸增稠。分交联和非交联两种类型。我们使用的都是交联型的胶凝酸。主要用过哈里伯顿公司SGA-HT和天研所研制的CT1-6胶凝剂。

胶凝酸主要有三个优点:缓速、降滤和易排。

酸液增稠后,限制了酸液与岩石的对流,氢离子传递仅限于扩散,从而有效地延缓了反应速度。同时,裂缝宽度与流体粘度成正比,增稠的酸液压开的裂缝宽度大,从而减少了酸岩面容比,降低了酸的消耗速度,提高了活性酸的有效作用距离。

酸液增稠后,降低了滤失,减少了伤害,且增稠的酸液反应后的残液,粘度仍可达4~5mPa·s,它可以携带与悬浮酸不溶固体颗粒返排出地面,增加了裂缝的导流能力。

胶凝酸与前置液联合使用,交替注入,效果将会更好。

3. 氮气层内助排技术

前置液酸压和胶凝酸酸压优点是明显的,但它们有一个共同的缺点,就是水化不易控制,排液比较困难,特别是前置液。氮气层内助排的做法是在注前置液和注酸的同时,就注入氮气。由于氮气是惰性气体,在地层不参加反应,但储集了大量的压缩能。当开井放喷时,氮气将携带残酸与酸不溶物喷出地面,加快了排液速度。

这一工艺的难度是高压下向地层注氮气,对液氮泵车等设备要求高,现场操作较复杂。

典型井例

卧99井位于川东卧龙河构造北段东翼,1987年2月12日完钻,井深4673m,层位志留系。石炭系在钻井过程中无显示,取心31.9m,岩心连通孔隙度0.43%~8.68%,气

体渗透率 $5.11 \sim 8.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 是一口典型的低渗透储层井。

1987年2月28日对石炭系4619.16~4652m进行了一次小型解堵酸化。挤入地层浓度为21.7%的盐酸 5.45m^3 。泵压 $P_{60}^{50} \text{---} 30\text{MPa}$; 排量 $Q_{2.50}^{2.16} \text{---} 1.12\text{L/s}$; 吸指 $K_{0.06}^{0.05} \text{---} 0.02\text{L/s} \cdot \text{MPa}$ 。解堵酸化后仍为一干层, 处理无效。

1987年9月16日对石炭系原井段又进行了一次前置液酸压作业。先向地层挤入前置液 100m^3 (CT9-1配制的前置液), 后挤入浓度为22%的盐酸 82m^3 , 活性水 13m^3 。泵压 $P_{84.7}^{78.9} \text{---} 73.5\text{MPa}$; 排量 $Q_{36.7}^{28.3} \text{---} 23.9\text{L/s}$; 吸指 $K_{0.50}^{0.34} \text{---} 0.29\text{L/s} \cdot \text{MPa}$ 。放喷排液后, 在套压 $P_s 26.97$, 油压 $P_o 24.52\text{MPa}$ 回压下, 测试天然气井口产能为 $3.15\text{万 m}^3/\text{d}$ 。该井于1988年10月12日投产。平均日产天然气 1.3万 m^3 。截止1989年底, 累积增产天然气 513.7万 m^3 。该井至今酸化仍有效, 日产天然气 1.2万 m^3 。这口井采用解堵酸化处理无效, 但是, 通过前置液酸压深度改造措施, 该井取得了明显的效果。这说明采用前置液降滤技术, 可以提高酸液有效作用距离, 增加油气产量, 即使在低渗透地层, 也是有效的。

结 论

1. 大型深度酸化是一种使用较多酸量, 采用降滤缓速等措施, 提高活性酸有效作用距离, 增加油气产量的酸处理工艺。

2. 对于碳酸盐岩储层, 不管是解堵酸化, 或者是酸压裂, 都需要提高酸液有效作用距离。而提高酸液穿透距离的最大困难是酸岩反应速度过快和酸岩反应后滤失速度很大。要提高酸液有效作用距离, 必须从缓速和降滤这两方面入手。

3. 四川油气田目前的解堵酸化工艺技术是比较成熟的。井底附近受到伤害的井, 通过解堵酸化都能得到解除。但是, 仍有一个不断完善提高的过程, 尽可能地提高酸化深度, 完全彻底解除污染。

4. 四川碳酸盐岩酸压裂工艺, 提高有效作用距离采用缓速、降滤、易排等措施, 方向是正确的。只是目前多数井仍采用普遍盐酸压裂的方法, 是不合适的, 效果比较差, 特别是低渗透储层的改造。今后, 应大力推广前置液酸压和胶凝酸压工艺, 以及前置液与胶凝酸的配合使用。同时推广固体降滤剂、等密度、交替注入等技术, 以提高酸压裂的穿透距离。

5. 深度酸化, 目前从理论上、实践中都还存在不少的问题, 特别是低渗储层改造本身难度就非常大, 要充分重视所面临的困难。今后应进一步加强深度酸化的基础研究, 在完善配套现有前置液、胶凝酸等缓速降滤工艺技术基础上, 要不断地开发新的工作液和添加剂, 进一步加强包括实验室在内的压裂酸化装备配套, 充分发挥井下作业处和天然气研究所以及各科研机构大专院校的科研力量, 争取在四川油气田低渗改造深度酸化上开创一个新的局面。

参 考 文 献

- [1] 王鸿勋 水力压裂原理 石油工业出版社 1987年
- [2] B. B. 威廉斯(美) 油井酸化原理 石油工业出版社 1983年
- [3] J. M. 廷斯利等 完井酸化压裂 石油工业出版社 1986年
- [4] 朱恩灵 试油工艺技术 石油工业出版社 1987年
- [5] 提高油(气)井酸化深度问题 江汉石油技术情报 1975年第二期

(本文收到日期 1990年5月30日)

displacement in Bianyang oil field, Jiangsu Province is presented, and the practical measures for deviating, keeping deviation and controlling direction are proposed.

Subject Headings: Bianyang, Jiangsu, shallow oil reservoir, directional well, large deviation, large displacement.

Lian Bingrun, Yang Haibin

43 Directionally Coring Technique

On drilling for directionally coring, the marking channels will form on the surface of the core and at the same time, the parameters needed may be measured while drilling with multipoint photographic dipmeter. At last, the essential factors of the occurrence of formations and fractures are analyzed by using the reset actual-measurement method and computer-processed method. It is very beneficial to re-search the fracture strike and to determine the pattern of well.

Subject Headings: drilling, directionally coring technique, formation occurrence, fracture strike.

Chen Dingyuan

45 Suspension Percolation Mathematical Model

In this paper, a mathematical model of solid phase particles migration and precipitation in formation is set up and a solving process is also presented on the basis of analyzing formation damage caused by solid phase particles in drilling fluid and completion fluid invaded in formation. The experiment proved the correctness of this model.

Subject Headings: formation damage, suspension, multiphase percolation, filtraion.

Xiong Hanqiao, Zhao Bihua

49 An Approach on the Deep-Acidizing Technology and Technique for Carbonate Rocks

This paper discusses the technical meaning, action principles and handling difficult points of the deep-acidizing for carbonate rocks, the increase of acidizing depth a well as the current situation of acidizing. The important point of view and sight about how to develop the deep-acidizing technology and technique are expounded.

Subject Headings: Sichuan, carbonate rocks, deep-acidizing effective action distance, technology and technique.

Chen Zhongyi

54 A Summary of Fracturing and Acidizing Additives for Oil and Gas Wells

The application and experimental research results of partial fracturing and acidizing additives are briefly presented in this paper, and the future development trend of fracturing and acidizing additives is proposed from the point of view of increasing production by fracturing and acidizing.

Subject Headings: oil and gas well, acidizing and fracturing, fracturing fluid, additive, review.

Li Bingyuan, Tang Yula, Li Hongjian

STORAGE/TRANSPORTATION/SURFACE CONSTRUCTION

58 Discussion on the Costruction of Special-Purpose Communication Network in