

中国油层增产的研究

M.A.Parker, Halliburton Services

R.W.Adam, Halliburton Services Ltd.

L. Lian Kui, Southwest Branch COGEDCO

赵 芬 译

秦同洛 王鸿勋 校

摘 要

为收集四川盆地、中原地区 (Zhong Yuan area)、苏油田 (Su Field) 和任北油田 (Renbei Field) 的地层资料进行了矿物学和地层特性分析。

本文将概述实验分析的结果, 推荐各类油层增产处理的方法。还包括完井技术的简要介绍; 完井技术对所使用的处理作业类型具有直接影响。

一、前 言

根据四川盆地四个油藏的地层岩心样品进行了分析, 提出了增产处理作业的建议。第一个油藏 (在震旦系地层中完井) 是一个致密的具有天然裂缝的白云岩油藏。第二个油藏是在石炭系地层中的致密的具有天然裂缝的白云岩油藏。第三个油藏是下二迭系的低渗透石灰岩油藏, 这些油藏的增产建议将包括使用酸压技术。

第四个油藏也在四川盆地 (上三迭系)。中原地区分析的样品是典型的渗透率相当高的粗粒砂岩。这些地层的增产措施将包括水力压裂措施并加入支撑剂。

苏油田和任北油田的岩样是典型的极细晶、具有天然裂缝的奥陶系灰岩。这两个地层的增产措施将采用酸压技术。

二、实 验

实验可分为两大类: (1) 评价地层特性, 如矿物学、岩石特性、孔隙度和渗透率; (2) 评价处理液与地层的相互作用。评价地层特性的实验包括: X-射线衍射; 酸溶解度; 岩石薄片分析; 扫描电镜 (SEM) 分析; 岩石性质的测定 (杨氏弹性模量和泊松比); 渗透率和孔隙度的测定。评价处理液与地层的相互作用的实验包括: 气测渗透率的恢复实验; 压裂液滤失实验; 含酸液和支撑剂的裂缝的流动能力实验; 浸没实验和旋转圆盘反应速率。实验步骤如下:

1. X-射线衍射

把 1 克粉碎的岩样置于一束 X-射线, 并旋转过一个弧。X-射线束被岩样所衍射, 把

衍射的型式记录下来。

2. 酸 溶 解 度

把 1 克粉碎的岩样置于 0.5N 盐酸中，溶解掉存在的碳酸盐，对岩样加热和冷却以得到完全的反应，然后用 0.2N 氢氧化钠和酸基指示剂来滴定。

3. 岩 石 分 析

将小薄片岩心粘在玻璃载片上，磨成使光线可以透过的薄片，将载片置于显微镜下用高倍放大镜头在偏光下进行观察。

4. 扫描电子显微镜 (SEM)

这一实验需用带有新鲜断口的岩心薄片，涂有金钼合金的岩样放置在扫描电镜的真空容器内，在高倍放大镜下观察岩心薄片并进行拍照。使用一个与电镜联用的能源分散 X-射线 (EDX) 来帮助鉴定岩样中的矿物含量。

5. 岩石性质

从岩心中的水平方向上钻出一个直径 15/16 英寸 (2.4 厘米)、长 2 英寸 (5.1 厘米) 的岩样，放在实验的加压室中，将一轴向应力作用在岩样上，通过位移传感器测出变形量。设置两个传感器检测轴向应变，并用一个传感器检测横向应变。要测出在应力—应变曲线上第一个平缓线段，它出现在岩石永久变形即岩石的弹性极限之前，它随岩石性质的不同而变化。对抗压强度的测量来说，连续增加作用于岩样上的轴向应力直到整个刻度 (12,000 磅) (5,454 公斤) 或者岩样破坏为止。

6. 渗透率和孔隙度

从所给的岩石样品中取出长度为 1.187 英寸 (3 厘米)、直径 1 英寸 (2.5 厘米) 的实验岩样，并使岩样的纵轴垂直于深度，然后将岩样放在烤箱中干燥并冷却到室温。

将岩样牢牢地放置在渗透率仪的 Hassler 套筒中来测定渗透率。然后使干燥的空气流过岩样，测定通过岩样的流量和压力降。

将岩样牢牢地放置在孔隙度计的 Hassler 套筒中来测定孔隙度。用氮气冲洗这一系统。仪器具有一个已知的存储容积，在其中氮气可允许达到平衡状态，在表上确定一个基准点并记录读数。打开通向岩样室的阀门，使氮气膨胀进入岩样的所有孔隙中，在表上读取立方厘米的读数。取出岩样后再放入一个无孔隙的岩样，用与处理岩样相同的方法测量出气体体积的数值。二者体积之差即是实验岩样的孔隙体积。用卡规测量岩样可计算出其总体积值。

7. 气测渗透率的恢复实验

将实验岩样 [直径 15/16 英寸 (2.4 厘米)，长度 1 英寸 (2.5 厘米)] 在烘箱中烘干，其周边用环氧树脂封闭以保证在实验岩样中为线性流动。在一个方向上获得初始的氮气渗透率值。然后将岩样饱和并使已知体积的流体沿相反的方向通过岩样，流体流动温度能升到 180°F (82°C)。某些岩样还要经受标准的 36 分钟压裂液滤失实验，这个实验是用凝胶液在温度

和测试压力为 1,000 磅 (6,900 千巴) 情况下进行的。在恢复氦气流动以前, 在温度下将岩样放在凝胶液中 15 小时以使其破胶。在原来的方向上测量恢复了的渗透率值。气体流动是在 23°C (73°F) 下测定的。

8. 压裂液滤失实验

从岩心沿水平方向取得[直径 15/16 英寸 (2.4 厘米), 长度 1 英寸 (2.5 厘米)]的实验岩样, 用环氧树脂封闭其周边, 以便使试验流体线性地通过实验岩样。实验压差是 1,000 磅/英寸² (6,900 千巴)。按照 API 规定的实验步骤, 在 36 分钟内, 记录下作为时间函数的通过实验岩样的流体体积。

9. 酸蚀裂缝的导流能力

将岩样切成外径为 2.25 到 4 英寸 (5.7—10 厘米)、厚度为 0.75 到 1 英寸 (1.9—2.5 厘米) 的圆形岩片, 使其暴露在酸液中的表面作为与垂直裂缝相同的一个平面。这些岩片装在铅套中, 岩样的表面用车床旋平。沿着岩样及铅套轴向钻一个孔。然后将样品放入腐蚀实验槽中, 使样品旋过的面紧贴在耐蚀耐热铜合金 (ampoloy) 板块上, 该合金板块起到另一个相对的裂缝面的作用。槽内逐步提高到实验温度, 连接上测微计并校正到零。然后使样品离开铜合金板块 0.05 英寸 (0.13 厘米)。在 1,000 磅/英寸² (6,900 千巴) 压力下, 使酸液通过小孔并径向流过样品表面。观察一定时间后, 将酸液换掉, 代之以煤油。将样品转回到测微计当初“零点”的位置并记下流动能力的读值 (这个读数用来作粘性指进计算)。然后对岩样加上闭合压力并获得另一个流动能力的读数 (这个读数用来作常规的酸化计算)。部分被溶蚀掉或压碎了的样品可由测微计测得。这种处理能重复多次, 但一般是重复两次。

10. 支撑裂缝的导流能力

将岩样切成薄片, 用二片为一组进行实验。在实验所用的一组薄片之间充填有支撑剂, 向下放一根带眼的杆通过薄片组中间的孔洞。空气流过小杆穿过孔眼并径向通过支撑剂。测出上流压力并减去已知的下流压力, 得出压力差。压力读数是在不同的闭合压力下求得。

11. 浸没试验

将取自岩心的新鲜碎片浸入实验液中, 每 30 毫升烧杯的液体中浸泡一片。样品放在真空中约一小时。之后, 进行观察以评价流体在岩心碎片上的作用值。

12. 旋转圆盘反应速率

一块直径 0.375 英寸 (0.95 厘米) 的实验样品放在实验槽中, 加温并加压达到 1,000 磅/英寸²。酸液及其所有的添加剂流入实验槽, 样品以每分钟 120 转的速度旋转。5 分钟后, 将酸液从槽子倒入另一容器, 测量钙和镁的浓度来决定盐酸的耗量。这个过程用五种不同酸液浓度反复进行。

三、结果的讨论

1. 四川盆地的井

(1) 震旦系白云岩 (表1)

样品为致密的、具有天然裂缝的白云岩。测得孔隙度小于1%，而渗透率为0.27毫达西。X-射线衍射分析检测出绝大部分为白云石，仅有微量的石英和长石。校正到白云岩，酸溶解度接近94%。

酸蚀裂缝导流能力⁽¹⁾资料表明，在这种样品中，15%的盐酸能产生最佳的裂缝导流能力。这是和15%稳定凝胶酸液 (SGA) 体系进行比较得出的，SGA 含有3%聚合物、15%盐酸所组成的80%级别的泡沫以及盐酸/甲酸混和液。但是，其他的酸体系也能形成足够的裂缝导流能力。

压裂液滤失实验使用不起反应的水基压裂液体系，可得到最佳的压裂液滤失系数。气测渗透率的恢复实验结果也是很好的。

(2) 石炭系白云岩 (表1)

样品为致密的、具有天然裂缝的白云岩。孔隙度 (4.13%) 和渗透率 (13.68毫达西) 的测量表明有天然裂缝。白云石含量80—100%，还检测出少量的方解石与长石 (各0.5—2%)。校正到白云岩后酸的溶解度为98%。

酸蚀裂缝导流能力资料表明，含有3%聚合物的15%稳定凝胶酸 (SGA) 体系形成最好的裂缝导流能力。这是与15%盐酸加0.5%反应缓速剂和盐酸/甲酸的混合物相比较而得到的。其他的酸液体系也能提供足够的裂缝导流能力值。

使用不起反应的水基流体体系进行的流体滤失实验表明，有着合适到较差的流体滤失系数。恢复气体渗透率的实验结果是合适的。

(3) 下二迭统石灰岩 (表1)

样品是低渗透率石灰岩，孔隙度2.61%，渗透率0.01毫达西或更低。X-射线衍射分析表明，方解石是唯一检测到的矿物。酸溶解度范围从93.9%到98.6%。

酸蚀裂缝导流能力的资料表明，在一块样品上，15%盐酸效果最好。对盐酸/甲酸混合液和80%级别的泡沫酸 (15%盐酸) 这两种体系进行了比较，尽管这些体系的导流能力值有些偏低，但还是得到了极好的结果。

表 1 四川盆地油井

井 数	地 层 或 油 田	地层类型	渗 透 率 k(毫达西)	孔 隙 度 ϕ (%)	温 度 (°F)	说 明
2	震旦系	白云岩	0.27	0.95	240 (116℃)	致密基质，天然裂缝
5	石炭系	白云岩	0.07— 13.68	0.49— 4.13	215—230 (102—110℃)	致密基质，天然裂缝
3	二迭系	石灰岩	0.01	2.61	180—265 (82—129℃)	致密基质
1	三迭系	砂 岩	0.06— 0.23	3.77— 6.78	200 (93℃)	细至中粒

这些样品的渗透率极低,使得压裂液滤失实验和恢复气体渗透性实验无法进行。

(4) 三迭系砂岩 (表1)

样品从灰质砂岩变到砂岩,孔隙度范围由3.77%到6.78%,渗透率范围从0.06毫达西到0.23毫达西。X-射线衍射分析表明,石英和长石是含量最多的矿物,它们代表骨架颗粒。粘土矿物和某些碳酸盐以基质物质出现。酸溶解度范围从3.0%到17.5%。

用水基压裂液体系做的压裂液滤失实验表明有好的压裂液滤失系数。低渗透率样品的压裂液滤失实验由于流体不能流动因而也就无法取到数值。气体渗透率恢复实验的结果是极好的。

2. 中原地区的井

(1) 卫城油田 (Weichang Field) (表2)

样品为砂质长石粉砂岩,由中粒到粉砂级的石英和长石构成骨架颗粒。方解石以孔隙充填胶结物的形式存在,酸溶解度是11.5%。随样品收到的报告值,孔隙度是14%,渗透率是6毫达西。

使用水基压裂液体系做的滤失实验表明,使用交联的 HPG 体系对压裂液滤失的控制能力很差。气体渗透率的恢复结果对用2%氯化钾水基压裂液处理的样品是极好的。

(2) 桥口油田 (Quao Kou Field) (表2)

样品为粉砂岩,由粉砂到中砂级的石英和长石颗粒组成。次生石英加大和白云石作为充填胶结物而存在,还有少量泥岩。酸溶解度是10.9%。孔隙度约为11.3%,渗透率是0.07毫达西。随样品收到的报告,孔隙度为12%,渗透率为5毫达西。

使用水基压裂液体系的滤失实验表明有着好的压裂液滤失控制。加和不加0.5%碳氢化合物/表面活性剂作为控制液体滤失添加剂的交联的 HPG 体系(羟基丙基胍胶)得出初滤失值为0,而 C_w 值分别为0.0011和0.0012。

气体渗透率恢复实验表明,对所有的样品来说凝胶状和非凝胶状流体二者均有很好的效果;24小时内渗透率恢复的范围为77%到90%。

(3) 文留油田 (Wenliu Field) (表2)

样品是由粉砂到中砂级的石英、长石骨架颗粒组成的粉砂岩。次生石英加大和碳酸盐充填孔隙和胶结。粘土矿物质同样在许多粒间孔隙中形成充填物与胶结物。酸溶解度8.3%,从岩心样品测试得到的孔隙度接近23%,渗透率183毫达西。与样品一起收到的报告中的数值,孔隙度为16%,而渗透率为10毫达西。为了设计这种地层的处理作业,确定真实的平均渗透率和孔隙度是必要的。

表 2 中原地区油井

井 数	地 层 或 油 田	地层类型	渗 透 率 k(毫达西)	孔 隙 度 ϕ (%)	温 度 (°F)	说 明
1	卫 城	粉砂岩	6	14	240 (116°C)	含长石的砂
1	桥 口	砂 岩	0.07	11.27	300 (149°C)	粉 砂
1	文 留	砂 岩	183	22.96	230 (110°C)	粉 砂

利用水基压裂液体系的滤失实验表明, 在这些高渗透性样品中控制液体滤失是很困难的。恢复气体渗透率实验结果表明, 在仅有饱和流体的样品实验中, 得到了好的渗透率恢复结果。

(4) 苏油田 (Su Field) (表3)

样品是细晶、致密、具有天然裂缝的石灰岩, 在部分裂缝中充填有粗晶方解石。报告中的孔隙度和渗透率数值分别是 5.95% 和 2.3—4.1 毫达西。酸溶解度是 96.9%。

表 3 苏和任北油田

井 数	地 层 或 油 田	地层类型	透 透 率 k(毫达西)	孔 隙 度 $\phi(\%)$	温 度 (°F)	说 明
3	苏	奥陶系 石灰岩	2.3—4.1	5.95	270—300 (132—149℃)	细晶致密天然裂缝
3	任 北	奥陶系 石灰岩	2.5—70	1.9—3.75	270—300 (132—149℃)	细 晶

酸蚀裂缝导流能力资料表明, 15% 盐酸 + 1% 反应缓速剂能得到适当的裂缝导流能力。

(5) 任北油田 (Renbei Field) (表3)

样品为细粒、致密、具有天然裂缝的石灰岩。报告中的孔隙度和渗透率值分别是 1.9—3.75% 和 2.5—70 毫达西。这些样品的酸溶解度是 95.6%。

酸蚀裂缝导流能力资料表明, 15% 盐酸可得到极好的裂缝导流能力。

四、推荐的处理方法

1. 四川盆地的井

(1) 震旦系白云岩 (表4)

建议对震旦系白云岩用凝胶酸进行常规酸压处理。为了有助于裂缝的产生, 扩大裂缝几何尺寸以及控制压裂液滤失, 在泵入酸液以前要泵入前置液。前置液是粘滞的经过交联的无酸液体, 含有特殊的控制压裂液滤失的添加剂。酸必须由凝胶酸^(3,4)组成, 以溶解地层表面并提高裂缝的传导能力。所用的酸凝胶剂按体积计算浓度应为 2—3%。这种聚合物凝胶剂

表 4 四川盆地油井

地层或油田	地 层 类 型	处 理 类 型	总处理液量(加仑)	有效缝长(英尺)
震 旦 系	白 云 岩	常规酸化	130,000— 155,000	780—940
石 炭 系	白 云 岩	常规酸化	90,000— 190,000	758—994
二 迭 系	石 灰 岩	常规或指进酸化	80,000— 255,000	920—1022
三 迭 系	砂 岩	支撑剂压裂	120,000— 210,000	299—786

注: 在计算机设计计算中由总处理液量所得到的有效缝长取决于缝高的选择。

所造成的粘度可以保持由粘滞的无酸前置液产生的裂缝的几何尺寸。粘滞的酸液将允许整体地置换裂缝中的液体,有助于使全部裂缝都暴露在酸液中。附带的好处是改善了压裂液滤失的控制和延缓了酸的反应速率。

由于天然裂缝的存在和预期要有大量流体滤失,必须使用流体滤失控制技术。交替注入酸液与含有粒状的液体滤失添加剂的非酸液体^[5]可以有效地控制地层的液体滤失。在酸溶解岩石表面,提高裂缝导流能力的同时,也溶解了岩石的孔隙空间。这就使得难以控制酸液的滤失,即使酸液中含有滤失控制添加剂也是如此。因此,控制液体滤失必须要用含有液体滤失控制添加剂的非酸液体来实现。然后,注入的酸就可以与地层接触并停留在裂缝中,溶蚀和改进裂缝的导流能力。然而,当酸溶解岩石表面时,它也就破坏了由无酸液体所建立的液体滤失控制。需要再注入无酸液体来重建液体滤失控制。注酸液和无酸液体在全部处理过程中要交替进行。

每次注入酸液和非酸液的多少取决于总的处理规模和在处理过程中压力的响应。例如,在酸处理阶段,如果压力降到破裂压力之下,这就表明需要注入含有液体滤失添加剂的非酸液。在处理的早期各阶段,15秒到30秒的停泵可以提供瞬时关井的压力数据,而随后的压力降能够表明流体滤失控制的程度。这可以帮助确定什么时候需要注入非酸液。

(2) 石炭系白云岩 (表4)

建议的石炭系白云岩的增产处理与震旦系白云岩的增产处理类似。这两个地层在其组成、地层特性和酸液对岩心实验的反应上均极为相似。所以,交替注入酸液和含有粒状防滤失剂的非酸液的常规压裂酸化处理应是最佳的处理方式。这种交替注入的方式将有助于活性酸进到地层的深处。

(3) 二迭系石灰岩 (表4)

对二迭系石灰岩建议进行常规的酸压处理。在酸液之前要注入粘滞的、经过交联的非酸的前置液,而使用的酸应为凝胶酸。

在此地层中也可以使用另一种处理方式,即粘性指进酸化,^[6,7]它是先注入粘滞的、经过交联的非酸前置液,随后再注入低粘度的酸液,形成一定形态的裂缝。低粘度的酸液将以指进方式穿过粘滞的前置液,并在裂缝中造成传导沟槽。而常规处理则是腐蚀整个裂缝表面,其传导能力取决于由不同岩石特性所决定的不同的腐蚀形式。大间距的射孔能有助于酸进入裂缝时达到分隔良好的“指进”。

(4) 三迭系砂岩 (表4)

建议对三迭系砂岩采取的处理方法是加入支撑剂的水力压裂^[8,9]。应当使用含有阳离子有机聚合物(粘土稳定剂)的低粘度水溶液作为预前置液以产生裂缝。应当使用粘滞的交联HPG压裂液体系作为前置液以造成注入支撑剂所必需的裂缝宽度。所有的液体均应含有2%重量的氯化钾(KCl)。估计加在支撑剂上的闭合应力约为7,000—8,000磅/英寸²(48,000—55,160千帕),所以必需使用中等强度的支撑剂^[10](图1和图2)。为了最大幅度的增加产量,则需要长的填砂缝长。

在这种情况下,使用25磅/1,000加仑(3公斤/米³)粒状压裂液滤失添加剂或5%柴油,可以控制压裂液滤失。处理层段的实际渗透率范围将决定所使用的压裂液滤失控制系列。粒状压裂液滤失添加剂在高渗透率范围(6—20毫达西)是最有效的,而柴油流体滤失添加剂在低渗透范围(0.1—5毫达西)则是最有效的。

2. 中原地区的井

(1) 卫城油田砂岩 (表5)

对这种砂质的长石粉砂岩建议的处理方法是加入支撑剂的水力压裂。矛盾的渗透率数据引起了对处理规模的争议。测定的 0.1 毫达西空气渗透率表明, 需要进行大型水力压裂处理。但是来自全岩心样品的氦气渗透率测定值是 37—75 毫达西。它表明只需要应用较小的处理规模来实现解堵处理。考虑提出 85,000 加仑 (322 米³) 液体的作业规模的建议。

处理过程分为三个阶段:

- 1) 含有阳离子有机聚合物 (粘土稳定剂) 的低粘度水溶液将用作预前置液压开裂缝;
- 2) 粘滞的、交联过的 HPG^[11] 压裂液体系作为前置液用来扩展裂缝几何尺寸;
- 3) 粘滞的、交联的 HPG 压裂液体系用作支撑剂携带液。在这种情况下, 推荐使用一种中等强度的支撑剂^[10]。所有液体均将含有 2 % 重量的氯化钾。

在高渗透率 (37—75 毫达西) 地区, 将采用浓度为 25—40 磅/1,000 加仑 (3—4.8 公斤/米³) 的粒状压裂液滤失添加剂, 并加入约 5 % 的柴油以控制压裂液滤失。在中等渗透率 (6—20 毫达西) 地区, 将采用浓度为 25—40 磅/1,000 加仑 (3—4.8 公斤/米³) 的部分可溶的粒状压裂液滤失添加剂。在低渗透率 (0.1—5 毫达西) 地区, 用 5 % 柴油即可有效地控制压裂液滤失。确定用何种方法进行处理以前, 应对渗透率的实际情况加以确定。

(2) 桥口油田砂岩 (表5)

这种细砂岩可用加支撑剂的水力压裂法来进行处理。首先注入一种含有阳离子有机聚合物 (粘土稳定剂) 的低粘度预前置液压开裂缝, 然后使用粘滞的、交联的 HPG 压裂液体系作为前置液扩大裂缝几何尺寸, 并且也用来作为支撑剂携带液。在井底温度 (BHT) 为 300°F (149°C) 的条件下, 对于粘滞液体需要使用凝胶稳定剂。

为控制压裂液滤失, 可在压裂液中加入约 5 % 的柴油。由于预计的闭合应力高达 10,000 磅/英寸² (69,000 千巴), 在这种情况下, 应使用中等强度或高强度的支撑剂^[10] (图 1 和图 2)。

(3) 文留油田砂岩 (表5)

这种粉细砂岩可用加支撑剂的水力压裂进行处理。根据岩心分析渗透率高达 183 毫达西, 这表明处理应被看作是解堵型的。应考虑使用高浓度大直径的支撑剂 (1²/₂₀ 目)^[12], 这将使造出的裂缝中产生所必需的导流能力。

处理可以细分为: 低粘度的预前置液, 粘滞的、交联的压裂液以及支撑剂携带液三个部

表 5 中原地区油井

地层或油田	地层类型	处理类型	总处理液量(加仑)	有效缝长(英尺)
卫城	粉砂岩	支撑剂压裂	85,000	582
桥口	砂岩	支撑剂压裂	120,000	665
文留	砂岩	支撑剂压裂	150,000	413

注: 在计算机设计计算中由总处理液量所得到的有效缝长取决于缝高的选择。

分。高浓度的粒状压裂液滤失添加剂和约 5 % 的柴油将有助于控制压裂液滤失。为弥补地层中的流体滤失需要高排量。

(4) 苏油田石灰岩和任北油田石灰岩 (表 6)

对这些奥陶系灰岩可用粘性指状酸化处理来完成。应该用粘滞的、交联的非酸压裂液来形成裂缝,在这之后紧接着注入低粘度的酸在裂缝中形成“指进”,并在裂缝面上溶蚀出通道,以提高裂缝的传导能力。

在 270—300°F (132—149℃) 的高温条件下,需用化学缓速剂,以增加活性酸在地层中的穿透深度。

表 6 苏 和 任 北 油 田

地层或油田	地 层 类 型	处 理 类 型	总处理液量(加仑)	有效缝长(英尺)
苏	奥陶系灰岩	粘滞指进酸化	—	—
任 北	奥陶系灰岩	粘滞指进酸化	—	—

注:在计算机设计计算中由总处理液量所得到的有效缝长取决于缝高的选择。

五、对完井的建议

所提交的有关这些不同类型井的和地层的资料,还包括了有关井身结构的资料。有时候井身结构会对实际处理的结果提出难题。

下套管的层段已射了很多孔,孔眼的数目超过了对这些层段进行限流压裂处理所需要的数目。对较大的层段(141—188英尺,相当于43—57米)而言,这可导致流体进入高渗透率段,而对整个层段不能作到完全的处理。这种情况可通过以下两方面来加以消除:1)将孔眼数减少到进行限流法所需要的数目;2)利用转向技术以帮助获得对整个层带的处理。在孔眼处,堵塞球的使用将使流体转向到其余的孔眼中去。

裸眼层段将提出类似的问题。裸眼井段长达95英尺到312英尺(29—95米),将允许流体进入高渗透率带。这将同样导致整个层段不能被完全处理。可以对这些层段下套管注水泥,并按限流法的要求射孔,将这种情况减少到最低程度。

包括许多由页岩和/或泥岩所分隔的生产砂岩薄层,会提出裂缝高度延伸的问题。应在压裂以后在井眼中确定裂缝的高度。如果页岩或泥岩对裂缝延伸起了阻挡作用,则建议用限流法同时对几个低产砂岩薄层一起进行压裂。如果页岩或泥岩对裂缝高度延伸不起阻挡作用,而裂缝高度为排量和液体用量所控制,那么在中心段密集射孔,结合高排量使用大液量进行综合处理,可能是对几个低产薄层同时处理的最好方式。这可能需要在压裂后进行补孔,混合开采几个薄砂层。

油井完井对油井增产处理技术有着直接的影响。有效增产处理所需的孔眼数目,未必能满足生产的需要。但是如果油井需要增产处理的话,应当考虑孔眼的数目及其位置排列。

六、结 论

1. 四川盆地的震旦系和石炭系白云岩地层最好通过交替注入酸液和控制压裂液滤失的

非酸液的酸化压裂来进行增产处理。

2. 评价压力响应对对于使用交替注入技术确定交替注入量将是重要的。
3. 四川盆地二迭系石灰岩地层可通过常规的酸化压裂或通过粘性指进酸化来进行增产处理。
4. 四川盆地三迭系砂岩地层最好使用加支撑剂的压裂措施进行处理。
5. 全部中原地区的油井都需要用加支撑剂的压裂措施进行处理。
6. 苏油田和任北油田的奥陶系灰岩最好用粘性指进酸化进行增产处理。

参 考 文 献

1. Broaddus, G. C.; Knox, J. A.; Fredrickson, S. E.: "Dynamic Etching Tests and Their Use in Planning Acid Treatments" SPE 2362, Oklahoma Regional Meeting, Stillwater, OK, Oct. 25, 1975.
2. "CRA-78 Retarder"; Halliburton Company Technical Data Sheet, Oct. 1979.
3. Norman, L. R. and Conway, M. W.: "High Temperature Gelled Acid, Laboratory Development and Field Results", SPE 11510, 1983 Middle East Oil Conference and Exhibition, Manama, Bahrain, March 14-17, 1983.
4. Norman, L. R.; Conway, M. W.; Wilson, J. M.: "Temperature Stable Acid Gelling Polymers, Laboratory Evaluation and Field Results", SPE 10260, Annual Fall Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, Oct. 5-7, 1981.
5. "Alternating Phase (ALPHA) Technique for Acidizing"; Halliburton Company Technical Data Sheet, May, 1981.
6. Fredrickson, S. W. and Broaddus, G. C.: "Selective Placement of Fluids in a Fracture by Controlling Density and Viscosity", SPE 5629, Annual Fall Meeting, Dallas, TX, Sept. 28-Oct. 1, 1975.
7. Broaddus, G. C.: "Preflush Concepts in Fracture Acidizing", Presented at the Southwest Petroleum Short Course, Texas Technological College, Lubbock, TX, April 17-18, 1975.
8. Howard, G. C. and Fast, C. R.; Hydraulic Fracturing, Society of Petroleum Engineers of AIME, 1970.
9. Conway, M. W. and Harris, L. E.: "A Laboratory and Field Evaluation of a Technique for Hydraulic Fracturing Stimulation of Deep Wells", SPE 10964, 57th Annual Tech. Conference and Exhibit, New Orleans, LA, (Oct. 1982).
10. Clark, H. C.: "A Method for Selection of Optimum Proppant in the Cotton Valley", 1983 SPE/DOE Symposium on Low Permeability, Denver, CO, March 14-16, 1983.
11. Conway, M. W.; Almond, S. W.; Briscoe, J. E.; Harris, L. E.: "Chemical Model for the Rheological Behavior of Crosslinked Fluid Systems", SPE 9334, 1980 Fall Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, Sept. 21-24, 1980.
12. Coulter, G. R. and Wells, R. D.: "The Advantages of High Proppant Concentration in Fracture Stimulation", J.P.T., June, 1972, pg. 643.
13. "Limited Entry for Hydraulic Fracturing"; Halliburton Company Technical Report, March, 1967.

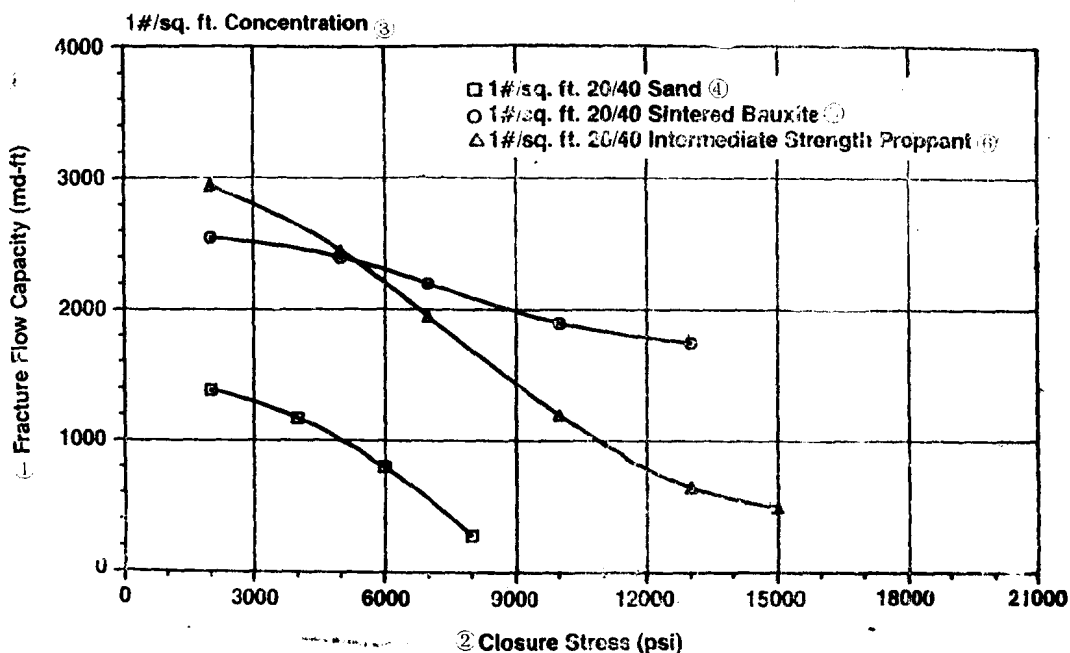


图 1 普通支撑剂

①裂缝导流能力, 毫达西-英尺; ②闭合应力, 磅/英寸²; ③1磅/英尺²浓度; ④1磅/英尺²20/40砂;
⑤1磅/英尺²20/40烧结铝矾土; ⑥1磅/英尺²20/40中等强度支撑剂

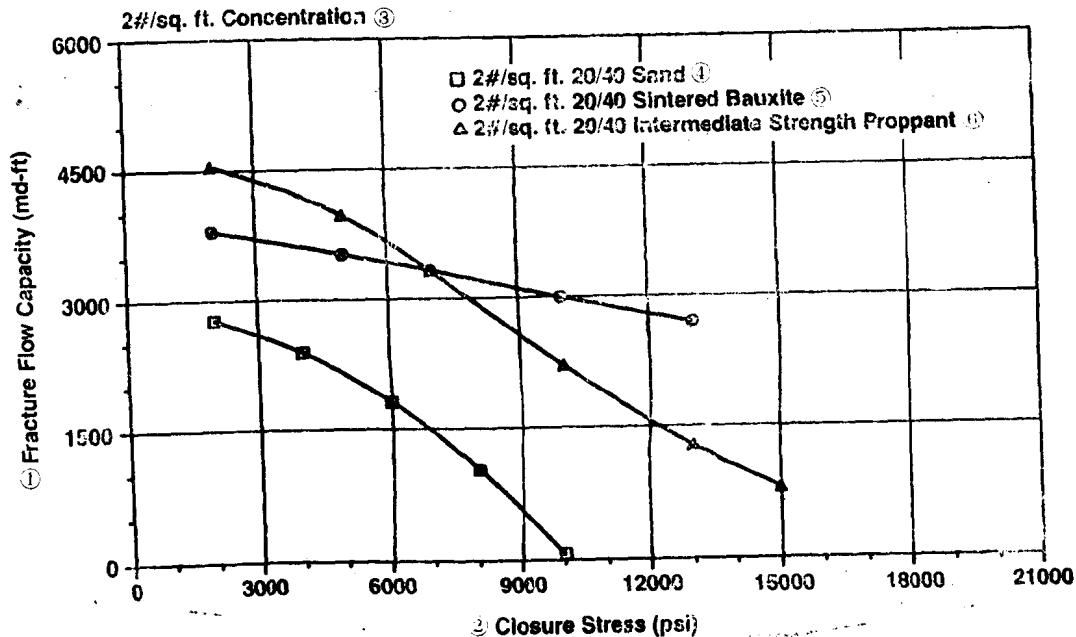


图 2 普通支撑剂

①裂缝导流能力, 毫达西-英尺; ②闭合应力, 磅/英寸²; ③2磅/英尺²浓度; ④2磅/英尺²20/40砂;
⑤2磅/英尺²20/40烧结铝矾土; ⑥2磅/英尺²20/40中等强度支撑剂