

非常规压裂水井增注技术

高印军 赵晓 宋友贵 赵明 余忠

牛增前

(大港油田公司勘探开发技术研究中心,天津大港 300280) (大港油田集团公司钻采工艺研究院,天津大港 300280)

摘要 针对常规水井压裂理论在实际应用中施工周期长、强度大、成本高、容易形成水窜和二次污染等问题,研究了注水井非常规压裂增注技术。模拟计算出非常规压裂的造缝长度,对6口井进行了试验,取得了明显的效果,为提高注水井注入效果提供了一项实用有效的技术。

主题词 注水井 (非常规压裂) 波及系数 (造缝长度)

作者简介 高印军,1970年生。1992年毕业于长春地质学院应用地球物理系,现从事油田开发研究工作,工程师。

一、问题的提出

1. 常规压裂存在的问题 常规压裂即用支撑剂支撑产生长、宽裂缝,并使裂缝始终处于张开状态,其成功与否,受地应力方向、支撑剂的合理分布等因素的影响,且在难以确定裂缝方位是否有利的情况下,长裂缝有可能因注入水指进而降低波及面积。因此常规压裂在提高波及面积、减小二次损害方面存在一定的不完善性,施工中存在问题:

(1) 施工周期长、强度大、成本高。常规施工必需更换井口,起下井内管柱,并用大量的前置液和携砂液将支撑剂带入地层,工作量大、占井时间长。

(2) 用高粘度冻胶携砂施工要满足支撑裂缝并达到加砂的目的,必须以提高裂缝长度来完成。但从提高波及系数减少水窜方面考虑,裂缝长度和受地应力影响的裂缝方位都应严格加以控制。

(3) 常规压裂裂缝的导流能力是有限的,同时对于水井而言,压裂液产生的残渣会对支撑带和地层造成永久伤害。

(4) 常规压裂工艺不能满足长期有效注水要求。

2. 非常规压裂及其特点 非常规压裂水井增注技术,是在注入压力达到地层破裂压力的基础上,使地层形成1条微小裂缝,利用注水压力使微裂缝保持张开状态,满足注入水在较大的渗滤面积下注入地层,可以提高波及系数。针对不同地层,可以确定支撑剂的使用与否。对破裂压力较高地层,为了在注水过程中容易撑开裂缝,施工时可使用少量的支撑剂铺置在缝口处,可减小注水的启动压力。压裂介质采用不稠化的清水、清洗液防膨液,这样既避免了长裂缝易造成水的指进,又消除了对储层的堵塞,避免了压裂造成的二次伤害,对有效注水起到了积

230mg/L,阻垢率达到100%。

四、结论

1. HZ缓蚀阻垢剂使用成本低,稳定性好,与破乳剂、清防蜡剂等具有较好的配伍性,不污染地层。

2. 对j22、j58断块油井适应性强。具有防腐防垢双重功能,经现场试验,缓蚀率 $\geq 80\%$,阻垢率 $\geq 95\%$ 。

3. 该技术现场应用工艺简单,具有延长检泵周期、减少作业投资、提高油井生产时率作用,同时具有较好的经济效益和社会效益。

4. HZ缓蚀阻垢剂适用于以SRB、电化学等引起的腐蚀及由碳酸盐等酸溶盐造成结垢的油井。

参 考 文 献

- 1 穆建帮,张锡波,范靖,林文兴,徐桂宏,张连社. GS-1油井缓蚀剂的研究与应用. 油气采收率技术, 2000, 7(2): 58~60
- 2 王用民. 油井井口加药泵. 华北石油设计, 1990, (2): 20~27
- 3 李化民,苏显举,马文铁,王思长,刘芬芝. 油田含油污水处理. 北京:石油工业出版社, 1992-03
- 4 陈家坚,高洪雷,曹殿珍. 含二氧化碳的油气井用缓蚀剂的研究. 华北石油设计, 1988, (1): 11~18

(收稿日期 2001-07-18)

(编辑 郑秀娟)

极作用。非常规压裂增注技术的优越性表现在:

- (1)对裂缝和储层为最小伤害;
- (2)由于在配注条件下产生的缝长较短,注水波及系数不受地应力影响;
- (3)有效注水时间长;
- (4)由于施工中采用无伤害的活性水和防膨液作压裂液,以原注水管柱施工,投入少、效益高。

二、非常规压裂水井增注措施的可行性

1.非常规压裂与常规压裂增注效果对比 首先假设非常规压裂与常规压裂所造裂缝长度 l 相同,以径向流为模型,将裂缝折算成有效井筒半径^[1]

$$r_w = r_{wd}l \quad (1)$$

式中 r_{wd} ——无因次量;
 l ——单翼裂缝长度, m;
 r_w ——有效井筒半径, m。

对于有限导流能力裂缝的常规压裂而言 $r_{wd} < 0.5$;对无限导流能力裂缝的非常规压裂而言 $r_{wd} = 0.5$ 。因此常规水力压裂裂缝的折算有效半径 $r_{w1} < 0.5l$,而非常规压裂的裂缝半径 $r_{w2} = 0.5l$,即 $r_{w2} > r_{w1}$ 。利用径向流产生公式

$$q = \frac{2k\pi h \Delta p}{\mu \ln \frac{r_e}{r_w}} \quad (2)$$

常规压裂的注水井

$$q_1 = \frac{2k\pi h \Delta p}{\mu \ln \frac{r_e}{r_{w1}}} \quad (3)$$

非常规压裂注水井

$$q_2 = \frac{2k\pi h \Delta p}{\mu \ln \frac{r_e}{r_{w2}}} \quad (4)$$

因 $r_{w2} > r_{w1}$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\ln \frac{r_e}{r_{w1}}}{\ln \frac{r_e}{r_{w2}}} > 1 \quad (5)$$

式中 q ——井的产量, t;
 k ——储层渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;
 h ——油层有效厚度, m;
 Δp ——供给边缘压力和井底压力之差, MPa;
 r_e ——供给边缘至井底半径, m;
 r_w ——井的半径, m;
 μ ——地下原油粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

从式(5)中可以看出,在相同的动力条件(即 Δp 一定)下,非常规压裂注水井比常规压裂注水井具有较高的吸水量,也就是说非常规压裂比常规压裂具有更好的增注效果。

在实施过程中,非常规压裂造出较短裂缝就能达到常规压裂施工后的注水量。计算得知,达到相同注水量非常规压裂缝长仅为常规压裂的 20%~50%,减轻了动力消耗和施工强度,不会造成波及系数的大幅度降低。

2.注入压力达到地层破裂压力仍未产生裂缝原因 从试验的 6 口井数据算出:改造前的注水压力梯度均已达到并超过了地层的破裂压力,但注水量仍很小甚至注不进,说明注入压力梯度虽已达到破裂梯度,但地层仍未破裂,即没有形成裂缝。

研究表明,一方面在地层无填充堵塞情况下井底压力以正常压降规律传递到地层深处,但因钻井液堵塞,在相同的地层深处所得到的井底传递压力,比正常压降规律所得到的压力低得多,说明地层堵塞是压力不能正常传递的主要原因。注水井在没有进行其它措施时,由于注入水水质以及地层矿物的变化,长时间注水产生堵塞,所以注入压力虽在地层破裂压力以上却仍注不进去,在这种情况下仅以提高注入压力达到注入量的方法是不可取的。而非常规压裂可在较低的注入压力下提高注入量。

3.造缝长度的计算及对波及系数的影响

(1)缝长计算。用高压注水诱发裂缝公式可得出裂缝长度^[2]

$$V = 2CA\sqrt{t} \quad (6)$$

$$A = 2hl$$

式中 V —— t 时间内的注水量, m^3 ;
 C ——清水在地层中的滤失系数(取 6×10^{-2}), $\text{m}/\sqrt{\text{min}}$;
 A ——滤失面积, m^2 ;
 h ——有效吸水层段厚度(取平均值 20), m;
 t ——时间, min。

由式(6)可以算出,当以 $1 \sim 1.5 \text{m}^3/\text{min}$ 排量注入时,所得裂缝长度仅为 11.8m,即在改造施工中产生的最大缝长为 11.8m。因此,高压注入清水所得到的裂缝较短,不会造成水窜而导致渗流面积和垂直水驱效率的减小。

(2)缝长对波及系数的影响。裂缝方位与流向平行,缝长相当于井距的 45% 时,注水波及系数仅

为裂缝方位与流向垂直且缝长等于井距时的 30% 左右,因此缝长是有效注水的技术关键。非常规压裂水井增注技术是以造开微裂缝为前提的新技术措施,它能满足在近于或高于地层破裂压力下注水,裂缝不至于继续延伸而使水驱效率变小。

试验表明,在注水压力梯度 0.0116MPa/m 就产生裂缝的油层,继续升高压力使压力梯度达到 0.0145MPa/m,日注入量高达 2454m³,所产生的裂缝长度仅为 24m。也就是说如此高的注水量(吸水量达 0.256m³/(m²·d)),裂缝没有延伸,再提高注入压力,缝长也限制在此,所以粘度近于 1mPa·s 的清水,以高压注入地层所形成的裂缝为短裂缝。同时对比地层形成裂缝前后的测井井温和试井等资料表明,一旦地层产生裂缝,在高于地层破裂压力下注水,裂缝的长度在垂直方向上不再继续延伸。

4. 非常规压裂增注的长期有效性 非常规压裂技术在破裂压力下注水,始终使造成的微裂缝处于张开状态,达到有效增注的目的。长期有效是从 2 方面因素考虑的:一是必须保证在地层破裂压力下注水,二是注入水质必须符合要求,避免长期注入造成裂缝顶部渗透面堆积杂质,致使注入压力梯度波动而产生新的裂缝。这样才能不断增加处于张开状态高导流能力的微裂缝,延长注水有效期。

三、施工方案及效果

1. 实施方案 降低成本,减小二次伤害,减轻施工强度是非常规压裂的基本原则,同时考虑注水层长期注入造成的有机物杂质及水温降低所导致的有机物堵塞,进行地层的前期清洗和防止水敏地层的膨胀及颗粒迁移,需对必要的地层进行防膨处理。

从控制缝长考虑,限制排量 1.0~1.5m³/min,对地层进行预清洗,对注水量较少和油井转注的层段施以防膨处理,而后以清水顶替,依靠注入水在井底产生的压力压开微小裂缝,裂缝形成以后,在注水时,裂缝处于微张开状态,利于注入水渗入地层深处。

施工程序较简单,一般情况下原注水管柱洗井后就可进行施工,必要时可更换大的采油树,施工强度低。

2. 实施效果 非常规压裂水井增注技术适用于注入压力已达到地层破裂压力,但注不进去或达不到配注要求的注水井。现场实施了 6 口井,即风 43-19、风 39-21、风 36-18、女 19、女 K53-44、歧 123-4 井。在试验中,针对具体情况采用不同的施工

工艺,对粘土矿物高、水敏严重以及新投注水井进行防膨处理。

风 43-19 井,施工前注水压力 21.5MPa,日注水量 16m³,压后注水压力 18MPa,日注水量 55~64m³。有效期达 18 个月,累计增注达 20 000m³ 以上。风 39-21 井施工后曾达到 148~180m³ 的日注量,尔后维持在 55~70m³。女 19 井注入压力下降了 5~7MPa,也有 29m³ 的日注量。

女 K53-44 井有效期只有几天,分析原因认为该地区地层破裂压力较高,施工后注入压力低于地层破裂压力,致使裂缝闭合。

通过非常规压裂现场试验证明,在破裂压力下注水能达到较好的增注效果,因此说该项技术是成功的和可行的。

四、结论

1. 非常规压裂增注技术是针对注入压力已达到地层破裂压力而又注不进去的水井采取的一项措施,并且要保证施工后的注水压力维持在地层破裂压力上下,才能使产生的微裂缝处于张开状态,起到增注的作用。

2. 试验表明该技术是可行的,不仅降低成本,减少了劳动强度,更为重要的是,在注水过程中由于压力的波动,可以产生多条微裂缝而延长注水有效期。

3. 压后未能及时投注的井,注水初期注入压力应高于地层破裂压力。

4. 非常规压裂水井增注技术一定要以在破裂压力下注水为前提,这样才能保证施工效果,使微裂缝张开,沟通井筒至地层的水流通道。

参 考 文 献

- 1 胡太和. 油田开发. 北京:石油工业出版社,1991-06:8~20
- 2 高荫桐. 采油工程. 北京:石油工业出版社,1989-08:175~216
- 3 赵碧华. 油气层渗流力学. 江汉石油学院教材,1995-08:43~45
- 4 张琪. 油藏工程与采油工艺基础. 山东东营:华东石油学院出版社,1984

(收稿日期 2001-03-12)

(修改稿收到日期 2001-05-18)

[编辑 付丽霞]

low-damage acid fluid system for using acidizing Bingu14-Ceping1 Well is developed. The "Multiple Injection and Retarded, Acid and Diverting Acid" program is carried out in acidizing treatment. The design parameter was optimized and designed. The effect was evaluated.

Subject heading horizontal well matrix acidizing long date corrosion inhibitor retarded acid temporary plugging agent

COMBINATION PLUG REMOVAL TECHNOLOGY ABOUT ClO_2

by Wei Yuejin, Hao Mingquan, et al (No.3 Production Plant, Huabei Oilfield Co.)

Abstract The laboratory evaluate and apply area about ClO_2 was introduced, and the field construct effect was analyzed. The ClO_2 agent can make polymer and bacterium oxidation and decomposed, so their viscosity was descended rapidly and fluidity was become well. The ClO_2 agent has better plug remove to the organically plugging. The composite ClO_2 agent reaction with ferrous sulfide can production solubility molysite. When it reaction with acidizing fluid, the composite agent can plug removal off carbonate rock and clay plugging material.

Subject heading ClO_2 composite material plug removal laboratory testing field testing

RECONDITION INJURY CASING WITH PLUGGING AGENT IN OIL AND WATER INJECTION WELLS

by Yang Zhenjie, Li Meige, et al (Drilling Engineering Technology Academe, Zhongyuan Petroleum Prospect Bureau)

Abstract With the technology of recondition injury casing with plugging agent in oil and water injection, the problems of chemistry agent halt and stay, of interface cementation intension, of security about constructing with plugging agent. The new agent YLD-1 can form fibre net structure rapidly, so it can efficiency halt and stay in the annulus and in the thief zone. The rigidity and intension of interface transition layer has been improved by virtue of the reaction production with active material of the agent and cementation material, moreover, the slightly expansion effect of the agent. The technology was used in twenty wells, which successful rate is 94%.

Subject heading oil well water injection well casing injury plugging agent recondition

CORROSION MECHANISM AND PREVENTIVE MEASURE ABOUT CARBON DIOXIDE WELL

by Tan Shihai, Zhang Wenzheng, et al (East China Petroleum Bureau of Xinxing Petroleum Company)

Abstract When production CO_2 dissolution in water in the well, it can production carbonic acid who may cause electrochemical corrosion of metal, which make casing and production center tube corrosion severity. This would cause well off production or out of use if not examined and repaired in time. The corrosion mechanism and affect factor were discussed through three corrosion types example analysis. So the main preventive measures were put forward; inspect wellbore pipe string timing; optimize casing program; optimize corrosion resistance casing and tubing; add corrosion inhibitor; etc. After using the system preventive measures, the gas production well in Subei obtained notability effect, the gas production period over ten years.

Subject heading carbon dioxide well corrosion theory preventive measure effect

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF HZ CORROSION INHIBITOR AND SCALE RETARDER

by Wang Shengli, Du Qingzhen, et al (Oil Production Technology Institute, Huabei Oilfield Co.)

Abstract The production water and scale ingredients were analyzed aim at the problem that since scaling severity affect oil production in j22 and j58 fault. So the causation and types of oil well corrosion and scaling were made clear. Base on it, the HZ corrosion inhibitor and scale retarder was developed though laboratory filter and match. Field testing indicated: the rate of corrosion reached 80%, the rate of scale retarder over 95%.

Subject heading oil well corrosion scaling corrosion inhibitor scale retarder development

INJECTION INCREASE TECHNOLOGY IN UNCONVENTIONALITY FRACTURING WATER INJECTION WELL

by Gao Yinjun, Zhao Xiao, et al (Prospect and Production Research Center, Dagang Oilfield Combine Company)

Abstract This paper studies and analyzes the faultiness of the conventionality water well fracturing theory during applying in how to improve the sweep efficiency and how to reduce water breakthrough, and bring forward a set of applied technique about water injection increase of unconventionality fracturing technique. Reservoir engineers have been simulated and calculated the fracture length of unconventionality fracturing well. After the set of technique has been applied in 6 wells, excellent results are obtained. This paper sets up a kind of realizable technique that can improve water injection.

Subject heading water injection well unconventionality fracturing sweep efficiency fracture length