

低伤害缓速酸水井解堵技术的应用

王淑荣 陈耀星 王伟涛
延长油田股份有限公司横山采油厂
DOI:10.12238/jpm.v4i2.5688

[摘要] 在低渗透油田注水开发的过程中, 普遍存在注水压力高, 水井欠注的问题, 注水井达不到配注, 可以导致水井注不进, 油井采不出的突出问题, 存在注采严重失衡的难题。而且不吸水和吸水差的注水井呈逐年增加趋势, 致使主力油层长期靠弹性开采, 低产低能井井数不断增加, 严重影响油田的稳产高产。常规酸化解堵技术酸岩反应速率高, 处理半径小, 而且多数解堵技术只针对某一种堵塞物的解堵, 而不能解除多种堵塞, 解堵不彻底, 不能从根本上解决水井堵塞问题, 解堵有效期短, 效果差。

[关键词] 低伤害缓速酸; 解堵; 二次污染

Application of unplugging technology of low damage slow acid well

Wang Shurong, Chen Yaoping, Wang Weitao

Yanchang Oilfield Co., LTD. Hengshan Oil Production Plant Yulin City, Shaanxi Province 717300

[Abstract] In the process of water injection development in low permeability oil fields, there are many problems of high water injection pressure and underinjection, and underinjection in the injection well, which can lead to the prominent problems of inwell injection and oil production, and the problem of serious imbalance between injection and production. Moreover, the injection Wells with no water absorption and poor water absorption are increasing year by year, resulting in the long-term elastic exploitation of the main oil layer, and the increasing number of low production and low energy Wells, which seriously affects the stable and high yield of the oil field. Conventional acid solution plugging technology acid rock reaction rate is high, small processing radius, and most of the plugging technology only for a certain kind of blockage, and can not remove a variety of blockage, plugging is not completely, can not fundamentally solve the problem of well blockage, the plugging period is short, the effect is poor.

[Key words] low damage slow acid; plugging; secondary pollution

1 白狼城油区油田开发历程与现状

1.1 油田开发历程

白狼城油田 1999 年有采油井 92 口, 年产原油 2.97×10^4 t; 至 2001 年采油井增加到 271 口, 年产原油最高达到 10.95×10^4 t; 至 2004 年采油井数为 275 口, 年产原油 8.72×10^4 t; 至 2006 年采油井数为 214 口, 年产原油 7.69×10^4 t; 2020 年采油井数 224 口, 年产油量 14.02×10^4 t。白狼城油田 2004 年 12 月开始注水开发, 第一批转注 10 口井, 2005 年 6-7 月第二批转注 15 口井, 2006 年 2-7 月第三批转注 46 口井, 2006 年后陆续转注完善井网。

1.2 油田开发现状

白狼城油田共有油水井 338 口, 其中: 采油井 224 口, 注水井 114 口。日均产液量 $1936 \text{m}^3/\text{d}$, 日均产油量 $383 \text{t}/\text{d}$, 单井平均日产液 $8.64 \text{m}^3/\text{d}$, 单井平均日产油 $1.71 \text{t}/\text{d}$, 综合含水 67.67%。日均注水量 $2407 \text{m}^3/\text{d}$, 单井平均日注水 $21.11 \text{m}^3/\text{d}$, 月注采比为 1.28。注水压力逐年上升, 其中压力大于 8MPa 注水井 8 口, 占总井数 7%, 压力大于 6MPa 小于 8MPa 的注水井

15 口, 占总井数 13.2%, 压力小于 6MPa 注水井 90 口, 占总井数 79.8%。目的层位为延长组长 2 油层。

2 低伤害缓速酸水井解堵技术

酸液解堵体系的组成是由被解堵油层的物性及污染堵塞类型和程度决定的, 不同油田不同区块需要的解堵体系各有不同, 研制出真正适合横山采油厂解堵的缓速酸复合体系对油田的发展具有重要意义。低伤害缓速算水井解堵技术就是为了提高低渗透油田注水开发效果, 解决常规酸化增注技术对低渗透油田效果差、存在二次污染的难题。研制出适应于延长油田低压、低孔隙、低渗透地质特点的解堵剂和低伤害缓速酸, 可以提高注入水流动能力、减低毛管及渗流阻力、改变原油流变性, 抑制二次沉淀生成, 解堵能力强且增注有效期长。该技术能够改善油、水渗流特性, 实现降压增注目的, 最终达到增加注水量及油井产量, 提高延长油田区块整体开发水平的目的。

2.1 低伤害缓速酸与常规酸化相比的优势

随着油田开发的深入, 可供开发的资源面积越来越少, 注水被提上日程, 经过油田公司三年注水上规模以后, 精细注水

被提上日程,对配注合格率、水井利用率有明确要求。但是注水井堵塞后注入压力上升较快,难以完成配注,甚至停注,水驱油效率和采收率降低等,严重影响油田正常注水和经济效益。分析其堵塞物的主要成分均是由有机物和无机物组成的混合物。有机物成分是聚合物、油污(烷烃、胶质和沥青质)和细菌(腐生菌、硫酸盐还原菌和铁细菌)及其代谢产物;无机物成分则是黏土和机械杂质及钙(碳酸钙)、镁(碳酸镁)、铁(硫化铁和碱式碳酸铁)的沉淀物。目前国内油田主要应用的是常规土酸进行解堵,解堵后氢氟酸与碳酸钙反应容易形成二次污染,对油田长远注水开发不利,再者,常规酸化在施工过程中容易对注水管柱造成腐蚀,降低了注水管柱的使用寿命,管柱的漏失严重影响到油田的精细注水。

为此,推出一种低伤害缓速酸降压增注技术,在解堵方面,能有效地解除聚合物、微生物菌体、水垢、蜡质、沥青质等对油层造成的堵塞;对储层伤害小,酸敏效应低;不腐蚀注水管柱,不影响后期分层注水等。为了防止注水层位二次污染,提高解堵效果,延长有效期,降低砂岩储层伤害,不腐蚀注水管柱,特推出一种缓速酸低伤害解堵降压增注技术。该技术作用效果显著,增注效果明显,有效期长。油藏保护特征性好,防止水锁伤害。反应速度慢,深部有效反应,反应效果均匀,伤害岩石骨架小,强度高。表面张力低,诱导油流效果好。还具有良好的阻垢效果。水溶性好,在油-水界面有高的表面活性;在含油岩石表面润湿性好,油砂分离速度快,干净,很强的乳化原油的能力;针对性强,对地层非均质敏感性小、降压增注效果明显。

2.1 低伤害缓速酸技术机理

新型的酸液体系是用一种复合磷酸与氟盐反应生成 HF,这种新型复合磷酸可以缓慢释放多个氢离子,因此被称为“缓速酸”。这种酸液体系可以抑制二次沉淀的生成,并且实现深穿透。缓速酸酸液体系中的氟盐和缓速酸是一个自动调节酸液体系,随着酸液中 H⁺ 的消耗,缓速酸会逐渐电离出 H⁺,与氟盐生成可供反应的 HF,不断反应生成的 HF 与地层堵塞物充分反应,实现了深穿透。达到了目前一般酸化解堵及化学解堵不能解决增注问题。

2.1.1 向多元复合化方向发展。随着注水开发的多样,形成地层堵塞的原因呈现出多重、多样的特点,单一的一种解堵体系已经无法满足需要,水井增注工艺已逐渐向多元复合化方向发展。

2.1.2 向深部长效方向发展。目前油田多进入开发后期,对增注工艺提出向深部油层处理堵塞,需要解堵液有效作用距离大,有效期长,实现深部注水驱油的目标。

2.2 低伤害缓速酸降压增注原理:

缓速酸组成:由解堵液 YS-A 互溶表面活性剂;解堵液 YS-B 氟化铵、甲酸、氯化铵;解堵液 YS-C 复合磷酸等及前置洗井液阴离子表面活性剂和顶替液阳离子表面活性剂组成。

缓速酸各组份主要作用:

YS-A:溶解射孔段及近井地带吸附的蜡质、胶质、沥青质等有机物,将岩石表面进一步产生润湿反转,降低液体运移阻力,增大渗流空间。

YS-B:溶蚀水垢、粘土胶结物、生物灰岩碎屑、压裂残渣,扩大流通孔道,提高地层渗透率。

YS-C:随注入水缓慢溶解,能酸化较深远地层,可形成高温高压带,中和残酸,反推残酸,残渣强排,解除堵塞,提高渗透率。

前置洗井液:洗井冲砂,杀灭井筒及射孔段存留的细菌。

顶替液:用于杀菌、防止粘土膨胀。

2.3 适用条件

注水井堵塞原因为以下一种或数种原因:

2.3.1 地层渗透率低,吸水状态差。

2.3.2 原油中的蜡质、胶质、沥青质等返吐至炮眼附近,形成有机物结垢。

2.3.3 泥质含量高,易堆积造成孔隙堵塞。

2.3.4 注入水不达标,悬浮物在射孔段堆积,造成对地层污染。

2.3.5 管线内壁防腐层脱落,水垢脱落等堵塞地层。

2.3.6 压裂液残渣的堵塞:压裂工艺是一把双刃剑,地层压裂后产生新裂缝,能增加渗透率,但植物类肌胶破胶不完全,填砂在孔隙中分布不均匀等易造成对低渗透率储层的堵塞。

3 白狼城油田注水井压高现状及欠注机理研究

3.1 白狼城油田注水井压高现状

白狼城注水井表现随注水时间压力逐步升高,钻 112-2、钻 112-3、钻 116、钻 117、钻 136、钻 187、钻 190、钻 192-1、钻 220、钻 220-1、钻 23、钻 235、钻 236、钻 241、钻 25、钻 252、钻 254、钻 259、钻 26、钻 275、钻 293、钻 295、钻 41、钻 54、钻 44、钻 71、钻 72、钻 79、钻 82-2、钻 83、钻 89、T1 注水井。其中如表 1 注入压力较高统计。

表 1 注水井生产数据统计表

序号	井号	注水量 M ³ /d	配水间 压力 MPa	井口压力 MPa	干线 压力	备注
1	T1	14.12	8.52	9.43	8.52	
2	钻 112-2	24.87	9.8	9.71	9.79	
3	钻 112-3	25.01	9.8	9.45	9.8	
4	钻 116	15.74	10.99	9.61	10.99	
5	钻 136	15.24	10.92	8.36	10.92	
6	钻 158	15.41	8.52	7.08	8.52	
7	钻 16-11	23.81	8.9	6.15	8.9	
8	钻 16-13	10.02	9.97	7.28	9.97	
9	钻 22-1	15.39	9.77	8.55	11	
10	钻 71	20.56	8.52	9.15	8.52	
11	钻 72	34.88	8.34	8.47	8.34	

3.2 堵塞机理分析

根据国内外低渗透油田以往的开发经验,在低渗透油田勘探开发生产各个环节均可造成储层伤害,究其原因,均受储层本身的潜在伤害因素的控制(它包括储层的敏感性矿物,储渗空间,岩石表面性质及储层液体性质),在外界条件变化时,储层不能适应变化情况,就会导致储层渗透率降低,造成储层伤害。无论哪一类伤害,储层本身的内在条件均是主要因素,外界条件是次要因素。低渗透储层伤害机理主要有以下几种:

水敏伤害:低渗透储集层一般形成于低能环境,即就是近源沉积或者远源沉积,储集层的成分和结构成熟度不高,粘土矿物和杂基含量一般较高。粘土矿物中的蒙脱石、一些混层粘

土矿物遇淡水或低盐度的水会发生反应导致矿物膨胀,进而会大幅度地减小低渗透储集层的孔喉,加之低渗透储集层本身孔喉细小,水敏伤害会更加明显,有时对储集层渗透率的伤害达90%以上。

结垢:当外来流体和储集层流体不配伍时,流体间会发生反应产生无机物或有机物沉淀叫做结垢。这些沉淀吸附在岩石表面成垢,缩小孔道、或随液流运移堵塞流动通道,使储集层造成严重的伤害。沉淀结垢可以分为两类:无机沉淀和有机沉淀。常见的无机沉淀有碳酸钙、硫酸钡、硫酸钙等。这些沉淀是在外来流体和地层流体不配伍时,或地层水中原有平衡遭到破坏时产生的。沉淀物越多,储集层受到的伤害越严重。有机沉淀通常指胶质、沥青质和石蜡在井眼附近地带的沉淀。这种沉淀不仅可以使储集层渗流通道发生堵塞,还可引起储集层润湿性反转,从而削弱储集层的渗流能力。有机垢产生的原因有两个方面:一是外来液体与地层原油不配伍;二是外界条件改变,使原有的化学平衡被破坏。低渗透油田在开发过程中为了保持地层压力,往往采用同步注水的开采方式。

其他:在一定条件下,各种介质中存在的固相侵入储集层的孔喉,造成堵塞,导致储集层伤害,这种伤害易出现在近井地带的储集层。固相有可能是各种介质的固体颗粒,也有可能是质量不好的注入水中的悬浮微粒。

3.3 白狼城压高机理

3.3.1 原油性质主要包括粘度、析蜡点、胶质、沥青、凝固点和含蜡量。一般来说原油性质对储集层的伤害包括以下几个方面:①石蜡、胶质和沥青可能形成有机沉淀,堵塞孔喉;②由于注水和压裂的冷却效应,石油中的石蜡、沥青会沉积,伤害储集层。分析发现该区域主要为胶质、沥青影响。

3.3.2 地层水性质主要指矿化度、离子类型及含量、pH值和水型等。对地层伤害的影响有:①当油气层压力和温度降低或入侵流体与地层水不配伍时,会生成 CaCO_3 、 CaSO_4 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等无机沉淀;②高矿化度盐水可引起进入地层的高分子处理剂盐析。分析发现该区域主要为管柱、地层内垢影响。

从白狼城区地层水水质分析可以看出,地层水中成垢阳离子 Ca^{2+} 含量较高,平均 1609.54 mg/L,无 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} ,成垢阴离子 HCO_3^- 含量也不低,因此,储层本身存在一定碳酸钙结垢趋势,在井底附近区,温度压力的降低都会促进碳酸钙垢的生成。

对该区的原油性质进行了实验分析,长2储层地层原油性质:原油地面比重 0.8785g/cm³,凝固点 0-10℃,初馏点 69.6℃。原油中有机质易在油藏岩石、储层中及井下设备仪器上发生沉积,尤其沥青质,对 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 非常敏感。形成的铁化物即为酸渣形式的胶体沉淀,运移易堵塞储层,降低渗透率;随着压力和温度等因素不断变化,白狼城区水井生产过程中,沥青质发生运移和沉淀也有可能对储层造成伤害。

注水井堵塞成分主要有以下几个部分:

- 1)注水井无机堵塞成分:硫化亚铁、氧化钙、碳酸盐岩
- 2)注水井地层渗透面(狭缝)的粘土堵塞物成分:蒙脱石、石英
- 3)注水井有机堵塞成分:注水层面的蜡质、沥青质。

4 选井

4.1 根据低伤害缓速酸降压增注技术应用要求,制定相

应的选井依据和原则:

4.1.1 注水井静态资料分析

根据注水井井身结构、固井质量等数据优选,通过对储层物性、油层连通情况及测试资料分析来进行选井。

4.1.2 注水井动态资料分析

注水井从投(转)注以来的累计注水量、年度注水量、月度注水量及配注量进行分析,还有近几个月的注水量的变化、压力变化,近期有关洗井和措施情况分析来进行选井。

4.1.3 地层深部堵塞分析

根据注水井工况分析:确定在地层深部堵塞及堵塞物成份复杂,与盐酸、氢氟酸不反应的堵塞物及深部堵塞物的清除,常规酸化有效作用距离短,表现为增注效果差、有效期短。

4.1.4 低渗油藏无机物堵塞分析

低渗油藏无机物堵塞,常规酸化体系存在酸岩反应速率高、酸量过大易伤害近井地带岩石骨架等问题,尤其是酸化过程中反应产生二次沉淀,这些复杂的二次沉淀将造成地层伤害,严重时会导致酸化效果为零。

最终选定注水井低伤害缓速酸降压增注井号为白狼城油田:T1、钻22-1、钻71、钻173。

5 措施效果

通过对4口注水井措施作业,解堵后平均单井日注水量达到配注的101.9%,完成配注量的平均注水压力比施工前完成配注量的注水压力下降20.15%,达到合同要求的相关指标。

表2 现场实施井次效果统计表

井号	施工前			施工后(6个月)			实施后注入量达到配注的百分比	实施后注水压力下降	备注
	配注	日注水量	平均注水压力	配注	日注水量	平均注水压力			
	(m ³ /d)	(m ³ /d)	(Mpa)	(m ³ /d)	(m ³ /d)	(Mpa)			
T1	15	14.8	10	15	15.3	7.3	102	27	
钻22-1	20	20.4	10	20	20.5	8.3	102.5	17	
钻71	23	23.5	10	23	23.4	8.34	101.7	16	
钻173	18	0	10	18	18.3	8	101.6	20	
平均值	19	14.675	10	19	19.4	8	101.9	20.15	

通过本项目的现场技术应用效果可以看出,低伤害缓速酸降压增注技术提高了注入水流动能力、减低毛管及渗流阻力、改变原油流变性,抑制二次沉淀生成,解堵能力强且增注有效期长,可以提高低渗透油田注水开发效果,解决常规酸化增注技术对低渗透油田效果差、存在二次污染的难题。该技术不仅能够改善油、水渗流特性,实现降压增注目的,而且可达到增加注水量及油井产量,节约维护成本,提高延长油田区块整体开发水平的目的,在整个延长油田同类型油藏区块具有较好的推广前景。

[参考文献]

- [1]王宏伟.超低渗油藏高压注水井降压增注技术.中国石化出版社,2021
- [2]陈勇.油田应用化学.重庆大学出版社,2017-01