

# 海上砂岩油田注水井酸化技术应用探究

齐艳明 崔明 王华生

中海石油(中国)有限公司天津分公司

DOI: 10.12238/ems.v5i4.6429

**[摘要]** 油田投入开发以后,随着开采时间的增长,油层本身能量将不断的消耗,导致产量减少。为了使油田持续高产稳产,国内外有许多油田都采用向油层注水的方法,来保持地层压力,以提高油井采收率。如何保证注水井注够水、注好水、精细注水、有效注水给亏空地层补充能量,是每个油田必须开展的工作。

**[关键词]** 酸化;酸液;施工程序;效果

## Exploration on the Application of Acidification Technology in Water Injection Wells of Offshore Sandstone Oilfield

Qi Yanming, Cui Mingwang, Hua Sheng

Tianjin Branch of CNOOC (China) Co., Ltd

**[Abstract]** After the oilfield is put into development, as the mining time increases, the energy of the oil layer itself will continue to be consumed, leading to a decrease in production. In order to maintain high and stable production in oil fields, many domestic and foreign oil fields adopt the method of injecting water into the reservoir to maintain formation pressure and improve oil well recovery efficiency. How to ensure that the water injection well is filled with enough water, injected well, finely injected, and effectively injected to supplement energy to the depleted formation is a necessary task for each oilfield.

**[Keywords]** acidification; Acid solution; Construction procedures; effect

海上砂岩油田注水井因钻完井、修井作业、注入水质不达标等影响,注水管柱、地层渗流通道阻塞严重,导致注水压力升高,注水量下降,达不到配注要求,直接影响油井产能。因此,酸化解堵工艺的制定、实施和管理工作必须严谨推进,才能提高注水井酸化解堵效果,为油田的可持续发展提供有力保障。

### 1 酸化资料准备

#### 1.1 钻完井基础资料

钻井基础资料主要包括井名、井型、完井井深、套管尺寸和钢级、水泥返高、生产套管固井质量、造斜率、造斜点、造斜段、最大井斜、最大狗腿度。

完井基础资料,主要包括井深基本数据、人工井底、完井方式、生产管柱及基本数据、采油树基本数据。

#### 1.2 储层基础数据

储层基础数据主要包括层位、中部深度、油层中部静压和温度、渗透率、孔隙度、射孔数据表、储层岩性及组分、泥质含量及类型等。

#### 1.3 地层流体数据

地层流体数据,主要包括地层水型及矿化度。

#### 1.4 生产动态资料

生产动态资料主要包括目前注水管柱及基本数据、注水量、注水压力、吸水指数。

### 2 酸液类型及酸化添加剂的选择

#### 2.1 主体酸的选择

根据目标储层的岩性、敏感性、温度、溶蚀率实验结果及地层损害类型选择主体酸。

#### 2.2 酸化添加剂的选择

根据储层特征、酸化工艺、主体酸类型、室内实验、油套管及施工管柱保护要求,选择添加剂类型及用量。

(1)缓蚀剂的类型及浓度根据酸液类型及浓度、与酸液接触的金属材料、最高温度、酸液与管件的接触时间、与酸液的配伍性等因素进行确定;

(2)防膨剂主要根据防膨性能、溶解分散性、与酸液的配伍性等实验确定;

(3)铁离子稳定剂主要根据稳定铁离子能力、溶解分散性、与酸液的配伍性等实验确定;

(4) 互溶剂主要根据岩石的润湿性、储层胶结情况、与酸液的配伍性等因素确定;

(5) 助排剂主要根据表面张力降低情况、溶解分散性、与酸液的配伍性等实验确定。

### 2.3 酸化添加剂的选择原则

(1) 主体酸与添加剂的配伍性, 根据主体酸与添加剂的配伍性实验执行。

(2) 酸液与地层流体的配伍性, 要求酸液与地层水接触后无沉淀物生成, 酸液与地层原油接触无乳化现象发生, 无酸渣生成。

(3) 酸液与油层岩石的配伍性, 要求酸液与油层岩石反应后无酸敏、水敏现象, 无伤害反应物生成。

## 3 酸化工序和注酸方式

### 3.1 酸化工序

酸化工序应根据岩芯流动实验、地层基础数据及注水情况确定, 砂岩酸化工序主要是洗井、注前置液、注处理液、后置液和顶替液。

### 3.2 注酸方式

根据地质设计要求确定: 笼统酸化, 油层厚度不大且渗透率级差较小; 分流酸化, 油层厚度较大, 受伤产层渗透率远低于其它储层, 且分层酸化满足不了工艺要求。

## 4 酸液与顶替液用量的确定

### 4.1 酸液用量的确定

根据酸化处理半径、油层厚度和油层有效孔隙度, 以措施效果最佳、施工安全及经济最优为原则确定酸液用量。

酸液用量应按下列公式计算:

$$V = \pi (R^2 - r^2) \times h \phi$$

式中:

V —— 酸液用量, 单位为立方米 (m<sup>3</sup>);

R —— 处理半径, 单位为米 (m), 根据注水井堵塞具体情况而定;

r —— 井眼半径, 单位为米 (m);

h —— 处理层厚度, 单位为米 (m);

$\phi$  —— 油层孔隙度, 单位为百分数 (%);

前置液 R 取值一般为 0.5m~1.5m, 处理液 R 取值一般为 0.8m~1.5m, 后置液 R 取值一般为 0.5m~1.2m。

### 4.2 顶替液的计算

顶替液量按下列公式计算:

$$Q1 = Q2 + Q3$$

式中:

Q1 —— 顶替液量, 单位为立方米 (m<sup>3</sup>);

Q2 —— 泵出口至井口管汇容积, 单位为立方米 (m<sup>3</sup>);

Q3 —— 井口至油层顶部注酸管柱容积, 单位为立方米 (m<sup>3</sup>)。

## 5 最大施工泵压排量的确定

综合考虑储层条件、酸化管柱、井口装置多个因素确定施工压力及排量。在进行酸化作业时, 施工压力应小于酸化设备及流程的额定工作压力, 挤注时最大施工压力应保持低

于地层破裂压力的 10%。

## 6 施工程序

(1) 油井酸化施工方案编写, 施工方案设计内容主要包括基础资料、施工依据及地质要求、施工安全技术标准、作业计划及工期安排、施工设计、施工准备、施工程序、资料录取、分工与协作、安全环保预案、酸化施工用料清单、酸化施工配液表。

(2) 准备酸化专用设备且就位, 酸化设备性能满足设计要求。准备酸化材料, 并对所用酸液及添加剂进行检测, 所有酸化材料性能指标应达到酸化工艺要求。配制前置液、处理液及后置液。

(3) 连接酸化流程, 设备试运转。流程试压, 试压应分三个阶段进行且从低压到高压逐渐提升压力, 三个阶段压力分别取 2.1MPa、1 倍设计注入压力、设计注入压力 1.5 倍 (但不得高于流程额定工作压力 0.8 倍), 最后稳定 5min 不渗不漏为合格。

(4) 挤注前置液、处理液、后置液及顶替液, 保持注入压力不高于设计施工压力情况下, 用最快速度进行挤注作业。

(5) 关井反应, 关井时间按施工设计要求确定, 一般为 30min~60min。

(6) 按照施工设计要求, 逐步恢复注水。

注意录取挤注酸液及顶替液的准确用量、关井反应时间以及挤注过程中的参数, 主要包括泵压、排量、起止时间、异常情况等。挤注过程应按设计的排量连续泵入, 中间不允许停泵。

## 7 酸化效果分析

某井设计为注水井, 注水层位为 XX 油组, 注入斜厚/垂厚: 124.8m/74.2m, 酸化初期注水效果较好, 此后该井注入压力逐渐升高。

### 7.1 堵塞原因分析

a. 长期注水过程中携带和积累的油污、悬浮物等以及生产过程中形成的碳酸垢等无机垢沉淀会堵塞筛管表面、炮眼以及近井地带孔隙喉道, 导致注水压力升高。

b. 地层中粘土颗粒运移产生堵塞。

### 7.2 解堵体系选择

用土酸处理砂岩地层, 要增加处理深度就要增大酸量, 但由于 HF 与地层粘土等胶结物反应快, 过量的 HF 将破坏地层骨架的结构, 使井筒附近岩石强度受到损害, 因此土酸酸化不能获得较深的穿透。此外, 土酸处理井往往初期增产而后期递减迅速, 因此受到限制。

结合该井之前酸化作业恢复注水后注水量的变化, 及受益油井驱油效果, 此次酸化作业采用的氟硼酸体系。前置液使用 31% 盐酸, 主体酸采用 40% 氟硼酸+31% 盐酸。

### 7.3 解堵原理

砂岩地层氟硼酸处理属于深部酸化工艺。氟硼酸浓度与反应速度成正比, 对于弱胶结储层使用低浓度酸液, 盐酸的存在促进氟硼酸与砂岩矿物的反应。酸液进入孔隙或裂隙与

岩石发生反应, 酸液溶蚀孔道或裂缝中的堵塞物, 增大孔隙体积, 扩大裂缝宽度, 或破坏堵塞物的结构使之解体, 改善流体渗流条件。然后随残酸液一起排出地层, 起到疏通流道的作用, 恢复地层原始渗透能力。氟硼酸用于砂岩地层的酸化, 不仅可达到增产的目的, 而且对地层中的微粒能进行有效的稳定。稳定粘土效应是氟硼酸酸化的显著优点。

7.4 确定施工排量、施工压力

施工排量: 0.1~1m<sup>3</sup>/min (视现场情况调整);

施工压力: ≤17.2MPa (视现场情况调整)。

7.5 施工程序

现场对某井停注水, 用清水试注, 根据试注结果决定按照配液表配制酸液, 并按照泵注程序挤注。

表1 某井泵注程序

步骤	工作程序	液量	排量	泵压	累计注入量	备注
		(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> /min)	(MPa)	(m <sup>3</sup> )	
作业前环空补液, 在正式施工前保持油套环空充满并憋压, 施工过程安排专人观察套压变化。						
1	正挤处理液1	30	0.1~1	≤17.2	30	在 施 工 安 全、 设 备 条 件 允 许 的 前 提 下, 在 压 力 允 许 范 围 内 尽 量 提 高 施 工 排 量
2	正挤顶替液	10	0.1~1	≤17.2	40	
3	停泵, 关井 6 小时					
4	正挤前置液	20	0.1~1	≤17.2	60	
5	正挤处理液 2	30	0.1~1	≤17.2	90	
6	正挤后置液	16	0.1~1	≤17.2	106	
7	正挤顶替液	10	0.1~1	≤17.2	116	
8	停泵、测压降, 关井 2~4 小时					

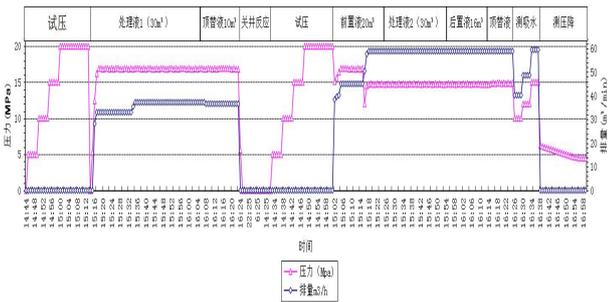


图1 某井酸化施工曲线

解堵后视吸水指数测试, 依次在 10/12/15MPa 下测定稳定注水量。

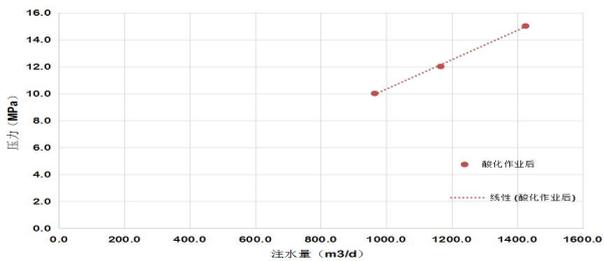


图2 某井吸水指数曲线

7.6 酸化效果

测试结果显示: 该井吸水能力得到大幅度提高, 并保持较稳定, 本次酸化达到预期解堵效果。

酸化解堵施工曲线表现出: 清洗剂进入地层后, 压力保持基本不变, 泵注排量无太大变化, 清洗剂(解油剂、解聚剂)的效果不是很明显; 主体酸进入地层后排量有所升高, 对地层的酸化效果较为明显; 防膨剂段塞过量顶替, 可以抑制地层粘土颗粒的膨胀, 有助于延长措施有效期。

氟硼酸结合土酸形成多组分酸, 或氟硼酸与土酸相继

注入工艺既可在一定程度上发挥粘土酸的优点, 又可在一定程度上避免粘土酸的缺点, 进一步改善近井带的流体渗流条件。

8 总结

(1) 酸化作业通过酸液将地层孔隙、裂缝内堵塞物, 并筒的胶垢溶解和溶蚀, 使得注入井的注入量达到驱油效果; 油井通过酸化体系作业后增大地层渗透率, 提高低渗透层的流通, 油田原油属于重质稠油, 对于增产具有一定效果;

(2) 根据历次酸化作业, 发现影响地层堵塞的原因, 控制地层的污染源。频繁的酸化作业会将地层泥质发生微粒运移、粘土膨胀等影响, 导致堵塞地层渗流通道, 形成恶性循环。

(3) 长期的注水, 注水水质起到决定性的因素。应加强注水水质的检测, 提高注水水质, 避免由于注水水质较差导致并筒污染、地层结垢堵塞。造成频繁的修井作业, 修井液对地层的二次污染。

(4) 合理调配地层各防砂段的注入量, 避免层间矛盾, 受益油井见水较快, 失去注水驱油的效果。

[参考文献]

[1] 王津建、闫钰、贾金辉等, 油水井酸化设计工及评价规范, 中华人民共和国石油天然气行业标准, SY/T 6334-2013  
 [2] 易飞、刘文辉、刘义刚等, 注水井解堵工艺实施规范, 中国海洋石油总公司企业标准, Q / HS 2019—2004  
 [3] 张健强、袁飞、刘应根等, 低产油井酸化解堵技术研究及应用, 新疆石油科技, 2011, 21 (15)  
 [4] 秦振平、张理平等, 靖边油田 Y8Y9 油井酸化技术研究, 延安大学学报, 2003, 22 (64)