

冀东油田稠油井酸化解堵技术研究与应用

陶德伦 张继勇

汪绪刚 程兴生

(冀东石油勘探开发公司)

(总公司石油勘探开发科学研究院廊坊分院)

摘要 在认真研究储层特征及伤害机理的基础上,根据室内试验结果,采用注有机溶剂前冲洗地层,然后进行土酸酸化解堵的工艺方法,成功地解决了冀东油田稠油井酸化的难题,现场应用58井次,有效42井次,有效率72.4%,截至1996年12月累计增产原油121 532t,获得了好的经济效益。

关键词 冀东油田 稠油开采 地层损害 砂岩 酸化 岩心试验 效果

作者简介 陶德伦,1942年生。1966年毕业于东北石油学院,现任副总工程师。张继勇,1958年生。毕业于天津化工学校,现任工程大队副大队长,工程师。汪绪刚,1965年生。1986年毕业于广东石油学校地质专业,现为酸化室副主任,在读研究生,工程师。程兴生,1968年生。1990年毕业于江汉石油学院应用化学系。

一、冀东油田概况

冀东油田是一个复杂小断块油田,共有两套含油层系,储层岩性一般为细砂、中砂岩,粗砂岩,含砾砂岩以及砂砾岩,其物性随埋深的增加逐渐变差。上第三系明化镇(Nm)、馆陶(Ng)储层为高孔、高渗储层,平均孔隙度30%,渗透率 $(3.0\sim 15.0)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,主要流动孔喉半径 $26.4\mu\text{m}$ 。岩石的矿物成分以石英为主,含量44.1%;长石次之,含量27.2%;泥质胶结,疏松易散,粘土绝对含量9.4%,以蒙脱石为主,其次为高岭石、绿泥石、伊利石。下第三系沙河街组(ES₃)低孔低渗储集层,平均孔隙度15%左右,渗透率 $50\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 左右,主要流动孔喉半径 $6.8\mu\text{m}$ 。岩石矿物成分为石英、长石岩屑混杂,泥质或碳酸岩胶结,致密坚硬。

上第三系油层温度为 $60\sim 71^\circ\text{C}$,压力 $17.93\sim 18.37\text{MPa}$,压力系数0.97;下第三系油层温度 $90\sim 120^\circ\text{C}$,压力 $30\sim 35\text{MPa}$,压力系数1.0。

原油性质具“三高一低”特征,即高密度($0.957\text{g}/\text{cm}^3$)、高粘度($447\text{mPa}\cdot\text{s}(50^\circ\text{C})$)、高胶质沥青质(39.4%),低凝固点($-2\sim 7^\circ\text{C}$);地层水 NaHCO_3 型,总矿化度 $2\ 366\sim 4\ 047\text{mg}/\text{L}$ 。

经室内试验研究表明:沙河街组低孔低渗储层伤害的主要原因是水敏性矿物的膨胀及贾敏效应,使油相渗透率降低;明化镇、馆陶组高孔高渗储层伤害的主要原因是钻井液固相颗粒堵塞和储层疏松造成微粒运移,水敏性矿物的膨胀加剧了对地层的伤害;而且原油胶质、沥青质含量高,生产过程中易产生有机沉淀堵塞。

酸化是解除油气层近井地层污染、恢复油气井产能的一种有效措施。冀东油田从1992年开始进行油层解堵技术研究,现场试验获得成功,从而认识到油层伤害的严重性及酸化解堵的必要性。在此基础上,与廊坊分院压裂酸化技术服务中心合作,将室内研究与现场实践相结合,不断摸索、实践,找到了一条稠油井酸化解堵的有效途径,总结出一套适合冀东油田地层特点

的酸化解堵技术,使现场解堵有效率大幅度提高,为冀东油田原油稳产做出了贡献。

二、酸化工作液配方及主要性能

1. 酸化工作液配方 经过大量试验筛选的酸化工作液配方如下:

前置液:5%~10%SQ-2

前置酸:12%HCl+2%~3%缓蚀剂+2%~4%HAC

主体酸:12%HCl+2%~3%HF+2%~3%缓蚀剂+2%~4%HAC+其它添加剂

2. 酸化液主要性能

(1)SQ-2 洗油性能。该试验是用 100g 石英砂加 3mL 原油老化 4h 后,加不同浓度 SQ-2 的溶液,测定洗出油量,计算洗油率:当 SQ-2 浓度为 5%时洗油率为 50%;当浓度为 10%时洗油率为 70%。表明 SQ-2 洗油性能良好。

(2)酸溶解率试验。试验过程如下:将岩样粉碎,过 100 目筛,称取 5g 加到 100mL 不同酸液中,上第三系 65℃,下第三系 90℃,恒温水浴 2h 后取出岩样,水洗、烘干、称量、计算溶解率(见表 1)。从试验结果可看出氢氟酸的浓度应控制在 2%左右。

表 1 高尚堡地区酸溶解率试验结果

| 层 系 | 酸 液 | 溶 解 率 (%) |
|------|----------------|-----------|
| 上第三系 | 3%HF+12%HCl | 34.49 |
| | 1.5%HF+7.5%HCl | 26.16 |
| 下第三系 | 12%HCl | 4.86 |
| | 3%HF+12%HCl | 44.96 |
| | 1.5%HF+7.5%HCl | 26.18 |

(3)缓蚀剂缓蚀效果。缓蚀试验按照总公司行业标准进行。结果表明:目前所用几种缓蚀剂均能达标(见表 2)。

表 2 缓蚀剂在常规土酸中试验结果

| 序 号 | 缓蚀剂型号 | 使用浓度 (%) | 反应时间 (h) | 腐蚀速度 (g/m ² ·h) | |
|-----|-------|----------|----------|----------------------------|----------|
| | | | | 80℃ | 100℃ |
| 1 | XW-N | 3 | 4 | 2.828 6 | 4.274 6 |
| 2 | YH-01 | 3 | 4 | 1.570 0 | 5.161 2 |
| 3 | BJH-6 | 2 | 4 | 7.739 3 | 14.833 0 |
| 4 | B-125 | 2 | 4 | 0.895 1 | 2.469 7 |

三、酸化工艺模拟试验研究

酸化工艺模拟试验是在钻井液伤害试验的基础上,在一定温度、压力条件下,替入酸处理液,通过比较酸前酸后的岩心渗透率变化,分析酸化解堵效果。试验结果见表 3、图 1、图 2,试验 6 残酸分析结果见图 3。

由图 1 可见,正向注入 3%NH₄Cl,岩心渗透率有下降趋势,说明岩心存在水敏及盐敏特征。注入煤油测得油相基准渗透率为 $11.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,反挤钻井液后,煤油测得污染后岩心渗

表3 钻井液伤害及酸化解堵试验结果

| 试验号 | 岩心渗透率($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$) | | | 伤害率 (%) | 解堵效果 K_2/K_1 | 改造效果 K_2/K_0 |
|-----|---|-------|-------|------------|-------------------|-------------------|
| | 原始油相 | 污染后油相 | 酸化后油相 | | | |
| | K_0 | K_1 | K_2 | | | |
| 1 | 3.6 | 0.58 | | 84 | | |
| 2 | 6.2 | 0.52 | 20.6 | 92 | 39.6 | 3.3 |
| 3 | 11.7 | 3.0 | 37.3 | 74.4 | 12.4 | 3.2 |
| 4 | 1.45 | 0.7 | 2.3 | 51.7 | 3.3 | 1.6 |
| 5 | 2.8 | 1.4 | 2.9 | 50 | 2.1 | 1.04 |
| 6* | 30.9 | 9.5 | 29.3 | 69.3 | 3.1 | 0.95 |

注:伤害率=($1-K_1/K_0$) $\times 100\%$; *试验6为长岩心试验。

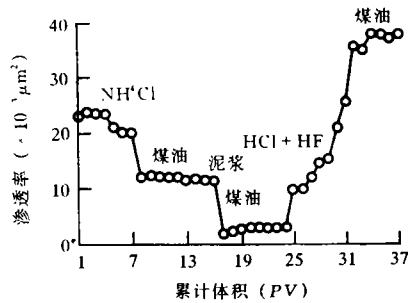


图1 钻井液伤害及酸化解堵试验曲线

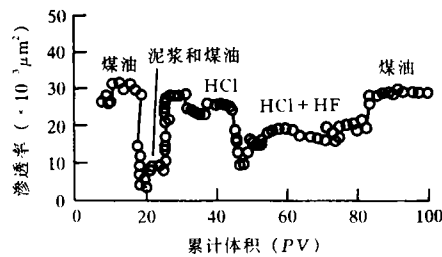


图2 长岩心酸化流动试验曲线

透率为 $3.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 伤害率达 74.4%。注入 21PV 的主体酸处理液后, 测得油相的渗透率为 $37.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。结果表明, 酸化具有较好的解堵和改造效果。

由图 2 可见, 煤油测得钻井液伤害前岩心的渗透率为 $30.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 挤钻井液后岩心油相渗透率为 $9.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 伤害率达 69.3%, 表明存在严重的钻井液污染。注入 19PV 前置酸, 岩心渗透率增大到 $26 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 这是盐酸与岩心反应的结果。继续注入主体酸, 岩心渗透率没有明显增大, 注入煤油测得岩心最终渗透率为 $29 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 基本恢复到污染前的渗透率。长岩心解堵试验结果表明: 酸液体系能够解除钻井液伤害。

由图 3 可见, 开始注入主体酸, 残酸中 Si 小于 Al 的含量, 随酸液的不注入, Si 含量逐渐接近 Al 含量。注 9PV 主体酸之后, 随残酸中 Si 含量的逐渐增大, Al 含量的不断减少, Si 的含量大于 Al 的含量, 最终 $\text{Si} : \text{Al} \approx 2.3$, 低于理论分析残酸液中 $\text{Si} : \text{Al} \geq 2.51$, 表明有少量沉淀生成, 但从图 3 注入后冲洗液后的渗透率来看, 没有对储层造成二次伤害。

残酸中的 Ca^{2+} 浓度迅速下降, 说明钙质充分反应或生成氟化钙沉淀, 由于矿物组成中钙

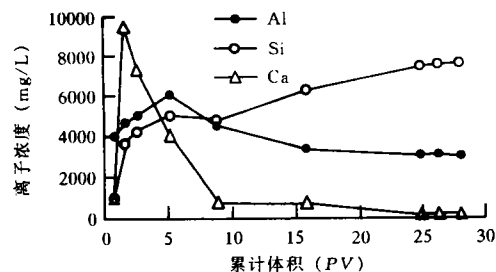


图3 残酸离子浓度变化曲线

质含量很小,且注主体酸前已注了 19PV 的前置盐酸,与钙质胶结物充分反应,所以不会有氟化钙沉淀生成。

四、酸化工序参数优选

酸化解堵主要分油层清洗和主体酸酸化两部分。酸化工序参数优选就是根据室内酸化试验结果,采用“两酸三矿物”模型,优选在不同储层条件下的前置液、主体酸、后冲洗液的用量及排量等酸化施工工艺参数。

1. 前冲洗液 由于地层胶结物中钙质含量很少,可以不用前置酸。但为了将井筒周围的稠油推入地层深处,避免酸油接触形成酸渣,所以使用加防膨剂的有机清洗液,用量为 $1\text{m}^3/\text{m}$ 。

2. 主体酸 通过模拟计算可知,对于 I 类储层($K=300\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$),当地层伤害较轻($S<10$)时,酸液用量为 $0.62\sim 1.24\text{m}^3/\text{m}$,排量为 $0.28\text{m}^3/\text{min}$,酸后污染区的渗透率由 $49.78\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 恢复到 $532.3\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,增产倍比为 2.06;当地层伤害较严重(如 $S=50$)时,酸液用量为 $1.24\sim 1.86\text{m}^3/\text{m}$,排量为 $0.48\text{m}^3/\text{min}$,酸后污染区的渗透率由 $11.34\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 恢复到 $349\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,增产倍比为 3.96。

对于 II 类储层($K=600\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$),当地层伤害较轻($S<10$)时,酸液用量为 $0.93\sim 1.55\text{m}^3/\text{m}$,排量为 $0.28\text{m}^3/\text{min}$,酸后污染区的渗透率由 $24.89\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 恢复到 $281.7\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,增产倍比为 2.18;当地层伤害较严重(如 $S=50$)时,酸液用量为 $1.24\sim 1.86\text{m}^3/\text{m}$,排量为 $0.48\text{m}^3/\text{min}$,酸后污染区的渗透率由 $5.78\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 恢复到 $167.7\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,增产倍比为 3.93。

3. 后冲洗液 对低渗层酸化为了有效地将残酸推至地层深处,减小二次伤害,使用加防膨剂的后冲洗液,用量为 $1.24\text{m}^3/\text{m}$,排量可适当提高。对高渗层油井酸化可以不用后冲洗液,酸后尽量快速返排。

五、酸化效果及效益评估

1. 酸化效果 1994 年 10 月至 1996 年 12 月,冀东油田共进行油井酸化解堵 58 井次,有效 42 井次,有效率 72.4%。截至 1996 年 12 月累计增产油 121 532t,平均单井增油 2 095.4t。酸化解堵井效果见表 4。

表 4 酸化解堵井效果统计汇总

| 施工井数 | 区 块 | | | | 有效井 (口) | 有效率 (%) | 有效期 (d) | 累计增油 (t) | 平均单井增油 (t) | |
|-----------------|-----|-----|-----|-------|------------|------------|------------|-------------|---------------|---------|
| | 高尚堡 | 柳 赞 | 唐 南 | 老 爷 庙 | | | | | | |
| Nm,Ng | 34 | 30 | 1 | 2 | 1 | 27 | 90 | >300 | 99 187 | 2 917.3 |
| ES ₃ | 24 | 14 | 10 | | | 15 | 62.5 | >100 | 22 345 | 931 |
| 合 计 | 58 | 44 | 11 | 2 | 1 | 42 | 72.4 | | 121 532 | 2 095.4 |

注:统计时间为 1994 年 10 月至 1996 年 12 月。

2. 酸化解堵典型井例

(1)高 113-6 井油层射开厚度 3.6m,生产井段为 1 901.6~1 905.3m,于 1994 年 9 月投产,日产油 4.5t,不含水,动液面测不出。1994 年 12 月酸化解堵后到目前,日产油一直保持在 26t 左右,不含水,动液面至井口。到 1996 年 12 月底,连续生产 720d,累计增油 13 620t。

(2)高66-30井生产层位为ES₃,生产井段3734.0~3812.8m,射开厚度18.2m/7个层。1994年7月投产,∅38mm泵日产油3t,动液面2036m。1995年1月进行酸化解堵,解堵后连抽带喷日产油达130t,后改用∅12mm油嘴自喷生产,日产油65t左右,自喷期40d,到1996年9月补孔前抽油机生产,日产油8t左右,动液面1046m,连续生产620多天,累计增产原油6508t。

3.经济效益评估 58口井酸化解堵共投入781万元(其中各种材料费325万元,作业费456万元),截至1996年底累计增产原油121532t,每吨油按1120元的销售价格计算,共创产值1.36亿元,投入产出比为1:17.4。到1996年12月仍有17口井继续有效,日增油100多吨,经济效益显著。

六、结论

1.储层快反应矿物含量高,且含少量绿泥石,存在较严重水敏、盐敏特征。

2.室内试验及现场取得的显著效果,证明了采用有机清洗剂清洗地层再酸化的方法解决了冀东油田稠油井酸化的难题。

3.酸化工艺参数优化结果为,前冲洗液最佳用量为1.0m³/m,酸液最佳用量为1.24~1.86m³/m,排量采用0.28~0.48m³/min。

4.酸化解堵经济效益显著,58口井酸化解堵共投入781万元,共创产值1.36亿元,投入产出比为1:17.4。

参 考 文 献

- 1 汪绪刚等.冀东油田酸化解堵技术研究.压裂酸化技术服务中心,1995
- 2 张绍槐,罗平亚.保护储集层技术.北京:石油工业出版社,1993
- 3 J L Gidley, et al. An Improved Method for Acidizing Oil Wells in Sandstone Formation. SPE 26 580, 1993
- 4 J D Fambrough, et al. A Comparison of Short-Core and Long-Core Acid Flow Testing for Matrix Acidizing Design. SPE 26 186, 1993

(修改稿收到日期 1998-01-07)

[编辑 郑秀娟]

(上接第59页)

参 考 文 献

- 1 [苏]N A 恰尔内著,陈钟祥等译.地下水气动力学.北京:石油工业出版社,1982
- 2 窦宏恩.提高原油采收率的一种新理论与新方法.石油学报,1998,19(1):71~74
- 3 窦宏恩.水平井开采底水油藏临界产量的计算.石油钻采工艺,1997,19(3):70~75
- 4 翁文波.翁文波学术论文选集.北京:石油工业出版社,1993
- 5 董映民.渗流力学.东营:石油大学出版社,1989

(收稿日期 1997-07-22)

[编辑 郑秀娟]

trogen injection, construction of nitrogen injection units, nitrogen generating technological process, completion mode and method after nitrogen injection and so on.

Subject heading Yanling oil field nitrogen injection enhanced oil recovery oil displacement mechanism technological process technology technique

RESEARCH AND APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF PLUG REMOVAL THROUGH ACIDIZING IN VISCOUS OIL WELLS OF JIDONG OIL FIELD

by Tao Delun, Zhang Jiyong, Wang Xugang, Cheng Xingsheng

Abstract On the basis of earnestly studying reservoir characteristics and damage mechanism, based on the lab test results, adopted the technology of that preflushing formation before injecting organic solvent, and then removing plug using mud acid to acidize, the problem of acidizing viscous oil well in Jidong oil field was successfully resolved. The technology was used on site for 58 times. The effective times were 42, the effective ratio was 72.4%. By December 1996, the accumulated incremental oil was 121532 t, good economic benefit was achieved.

Subject heading Jidong oil field viscous oil recovery formation damage sandstone acidizing core test effect

RESEARCH AND APPLICATION OF TC—938 BLOCKING AGENT IN LIMESTONE RESERVOIR

by Wu Xinya, Xu Baorong, Zhou Hong, Zhang Fengying

Abstract At present, water controlling is still the main stable production measure in limestone reservoirs in Renqiu oilfield, yet, the water shutoff effect by adopting the conventional organic blocking agent is becoming poor gradually, therefore, a kind of heat—proof water shutoff agent with high strength is needed to plug the large pore path. TC—938 blocking agent can satisfy the demands of the above water shutoff technology, it not only can shut off water by the action of adsorption, but also can by the action of physical plugging, and is with good adhesivity. The agent has been used in wells in the oilfield for 11 times, with the effective rate of 90.9% and incremental oil of 6100 t. This has provided guaranty for the realization of stable production.

Subject heading Renqiu oilfield carbonate reservoir formation plugging water shutoff agent research application

RESEARCH AND APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF PLUG AND ACID REMOVAL THROUGH PRESSURE DECREASING

by Li Shengli, Wang Xinzi, Wu Dajun

Abstract In order to solve problems such as near well bore plug resulted from poor water injected and various kinds of remaking measures, poor acid discharge effect after acidizing and so on, a technology was studied based on jet principle, which, through pressure decreasing, not only could remove the formation plug, but also could discharge acid into wells. This paper introduced the special structure of tools, down—hole strings, well selecting conditions, working mechanism and field application results. The field application showed that the technology could effectively drain off near well bore residual acid, acid reaction product and various kinds of plugging impurity, and thus improved permeability of the formation.

Subject heading pressure drop plug removal acidizing discharge fluid pipe string technology

DESIGN OF MODEL SPDS SAND CONTROL RELEASING TOOL FOR USING IN HORIZONTAL WELL

by Chai Guoxing, Gu Kaizhao, Gu Haixuan, Gu Guangming, Li Rong

Abstract It is very difficult to remove sand from horizontal wells, therefore, sand control at early production stage is extremely important. This paper introduced one of the key tools in sand control strings, model SPDS sand control releasing tool. This paper introduced the structural design and working mechanism of SPDS—120 and SPDS—114 releasing tools,