

酸化压裂工艺在地热井中的应用

马忠平¹, 杜 槟¹, 鲍卫和¹, 李会娟¹, 王艳宏²

(1. 天津地热勘查开发设计院, 天津 300250; 2. 天津市地质工程勘察院, 天津 300184)

摘要:酸化压裂是保持油田高产、稳产的有效措施之一, 是对油气层的一种增产技术。根据多年地热井的施工经验, 酸化压裂技术完全可以应用于碳酸盐基岩裂隙地热井, 作为一项有效的增产技术手段。介绍了酸化压裂技术在 WR95 地热井中的应用。

关键词:酸化压裂技术; 地热井; 碳酸盐岩地层

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)02-0045-03

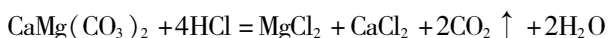
Application of Acid-fracture Technology in Geothermal Well Construction/MA Zhong-ping¹, DU Bin¹, BAO Wei-he¹, LI Hui-juan¹, WANG Yan-hong² (1. Tianjin Designing Institute of Geothermal Prospecting and Exploitation, Tianjin 300250, China; 2. Tianjin Geological Engineering Investigation Institute, Tianjin 300184, China)

Abstract: Acid-fracture technology is a kind of effective measure for high and stable oil production, and is a stimulation technology used in oil and gas layer. According to the geothermal well construction experience for years, acid-fracture technology can also be used in carbonate bedrock fracture geothermal well as an effective stimulation measure. The paper introduces the application of this technology in geothermal well WR95.

Key words: acid-fracture technology; geothermal well; carbonate rock formation

在油气田开发工作中, 酸化压裂是保持油田高产、稳产的有效措施之一, 是对油气层的一种增产技术。其基本原理是: 用地面高压压裂泵车以高于储层能吸收的速度, 先从井的套管或油管向井下注入液体, 很高的注入速度使井筒内压力增高, 一直达到克服地层的地应力和岩石张力强度, 在处理层段岩石开始出现破裂形成裂缝; 而后泵入酸液, 在处理层段将形成的裂隙酸蚀成沟槽。酸化压裂后, 这些沟槽仍然保持张开具有足够的导流能力及足够长度的裂缝, 扩大了油井有效井径, 减小了油流入井底的阻力, 从而达到提高油井产量的目的。

根据多年来地热井的施工经验, 酸化压裂技术完全可以应用于碳酸盐基岩裂隙地热井, 作为一项有效的增产技术手段。碳酸盐岩储层的主要矿物成分为方解石(CaCO_3)、白玉石 [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], 对碳酸盐岩储层酸化或酸压, 基础酸液都是采用盐酸, 酸岩化学反应方程式为:



下面结合 WR95 地热井的应用实例介绍酸化压裂技术在地热井中的应用。

1 WR95 井基本数据

天津市河西区复兴门 WR95 地热井是天津地热勘查开发设计院 RPS3000 井队根据天津地热勘查开发设计院《天津市河西区复兴门 WR95、WR96D 地热井施工设计》施工完成的。该井位于天津市河西区大沽南路北侧复兴门, 为地热开采井, 设计完井目的层位为古生界奥陶系, 设计井深 2250 m。2006 年 6 月 9 日开钻, 7 月 30 日完钻, 完钻井深 2101.04 m。该井井身结构参数见表 1。

表 1 WR95 井井身结构参数表

套管规格/mm	钢级	下入深度/m	备注
Ø339.7	J55	327.17	
Ø244.5	J55	291.43 ~ 1357.44	
Ø177.8	J55	1324.78 ~ 1745.6	
Ø152.0		1745.6 ~ 2101.04	裸眼段

WR95 井完井后对产层裸眼井段及 Ø152.0 mm 井段进行了地球物理测井, 基本数据见表 2。

2 试采情况

WR95 井采用空气压缩机先后进行 2 次气举洗井, 总洗井时间 60h, 水清砂净后进行了抽水实验,

收稿日期: 2006-12-21

作者简介: 马忠平(1970-), 男(满族), 辽宁丹东人, 天津地热勘查开发设计院副院长、高级工程师, 探矿工程专业, 从事地热钻井施工技术管理工作, 天津市河东区卫国道 189 号, (022)24581958, ma_zhongping@sina.com; 杜槟(1980-), 男(汉族), 河北保定人, 天津地热勘查开发设计院井队技术负责、助理工程师, 采矿专业, 从事地热钻井技术工作; 鲍卫和(1951-), 男(汉族), 天津人, 天津地热勘查开发设计院副总工程师、高级工程师, 石油工程专业, 从事地热钻井技术工作。

表2 $\varnothing 152.0$ mm 井段地层基本数据表

层号	井段 /m	厚度 /m	电阻率 /($\Omega \cdot m$)	声波时差 /($\mu s \cdot m^{-1}$)	孔隙度 /%	渗透率 /($\times 10^{-3} \mu m^2$)	泥质含量 /%	解释结果
1	1776.9 ~ 1781.0	4.1	842.5	178.61	6.73	4.69	1.59	二类裂隙层
2	1804.9 ~ 1808.8	3.9	1010.3	202.46	11.23	13.85	3.99	一类裂隙层
3	1821.4 ~ 1824.8	3.4	1147.7	173.10	4.68	0.42	3.04	三类裂隙层
4	1835.3 ~ 1842.2	6.9	532.08	194.34	6.14	1.01	16.60	三类裂隙层
5	1861.5 ~ 1894.3	32.8	1025.4	171.13	5.89	2.20	6.06	三类裂隙层
6	1957.2 ~ 1976.7	19.5	899.08	175.85	7.66	8.70	12.18	二类裂隙层

井口水温 53 $^{\circ}C$, 井底水温 77 $^{\circ}C$, 水量 10.38 m^3/h 。

根据钻井、测井、试采等资料表明, WR95 井目前产水量较小, 经分析主要原因是该井地层受到污染及储层物性较差。为了解决堵塞, 改善储层渗流能力, 提高该井的产能, 决定对该井实施酸化压裂工艺增产措施, 采用盐酸酸压工艺技术。

3 室内实验

3.1 实验目的及实验设计

在进行酸化压裂之前, 对处理层进行了室内物理化学性质的实验分析, 通过录井岩屑真实地了解地下地层内客观存在的岩石及流体的物理化学性质, 选择酸化压裂措施材料。尽可能地模拟井下压力、温度的条件来选择与之相容性(又称配伍性)好的酸化压裂措施液体, 对产层进行有效的改造, 从而达到产层尽可能少的伤害条件下, 增加尽可能多的产量。

3.2 岩石溶蚀实验结果及分析

岩石溶蚀实验结果见表 3。

表3 岩石溶蚀实验结果表

序号	井段/m	处理液	反应前质量/g	反应后质量/g	溶蚀率 /%
1	1778 ~ 1780	15% HCl	5.00	0.2342	95.32
2	1806 ~ 1808		5.00	0.4956	90.09
3	1822 ~ 1824		5.00	0.2763	94.47
4	1834 ~ 1836		5.00	0.6096	87.81
5	1878 ~ 1880		5.00	0.6212	87.58
6	1972 ~ 1974		5.00	0.4652	90.70
7	1778 ~ 1780	20% HCl	5.00	0.3021	93.45
8	1806 ~ 1808		5.00	0.5260	89.48
9	1822 ~ 1824		5.00	0.3277	93.45
10	1834 ~ 1836		5.00	0.6353	87.29
11	1878 ~ 1880		5.00	0.5636	88.73
12	1972 ~ 1974		5.00	0.3812	92.38

注: 试验温度 70 $^{\circ}C$ 。

由表 3 数据可以看出, 用 15% HCl 和 20% HCl 溶液, 在 70 $^{\circ}C$ 下岩石的溶蚀率都比较高, 但考虑到为了在地层深处形成一条较长的酸蚀裂缝, 加强地层裂隙间的连通性, 需要较高的酸液浓度, 因此选用

20% HCl 溶液作为处理液。

3.3 酸压模拟实验结果及分析

图 1、图 2 为酸压模拟实验结果。

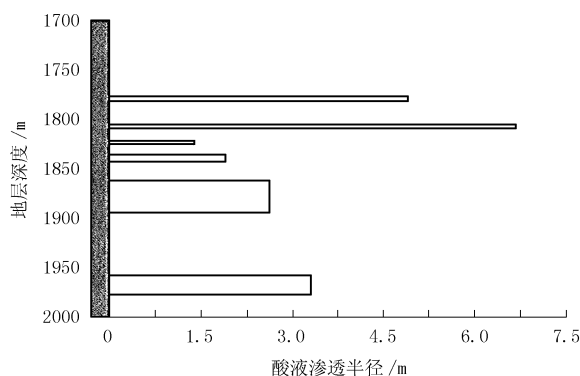


图1 酸液有效距离模拟结果

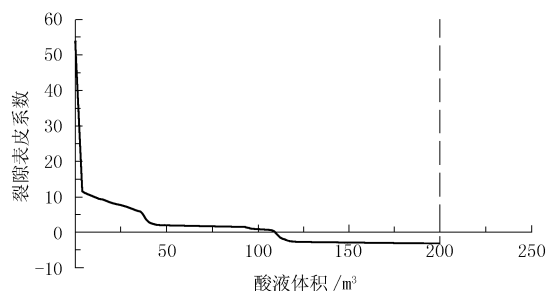


图2 总表皮系数变化模拟结果

根据图 2 结果, 泵入酸量达到 110 m^3 以后, 随着酸量的增大, 裂隙总表皮溶蚀趋向 0。因此选用 110 m^3 20% HCl 用于本次酸化压裂作业。

4 主要施工工艺及参数

酸化工艺为盐酸酸压工艺, 挤注方式为正挤法, 挤注压力 ≤ 20 MPa, 排酸方式为汽化水排酸。

5 施工用料

施工管柱完成液 20 m^3 , 配方: 600 kg NH_4Cl + 20 m^3 清水。

盐酸溶液 120 m^3 , 配方: 72 t 31% 盐酸 + 3.0 t 缓蚀剂 + 2.0 t 助排剂 + 2.0 t 铁离子稳定剂 + 3.0 t 防膨剂 + 50.4 m^3 清水。

顶替液 6.2 m^3 清水。

备料数量:盐酸 72 t,缓蚀剂 3.0 t,助排剂 2.0 t,铁离子稳定剂 2.0 t,防膨剂 3.0 t, NH_4Cl 0.6 t。

6 施工工序

6.1 井口安装

井口安装 250 型采油树,采油树四周用钢丝绳固定。

6.2 施工管柱完成

如图 3 所示完成酸化施工管柱,封隔器下深 $1650 \pm 1 \text{ m}$ (错开套管接箍位置),封隔器以下替满 $3\% \text{ NH}_4\text{Cl}$ 液体,座封封隔器。

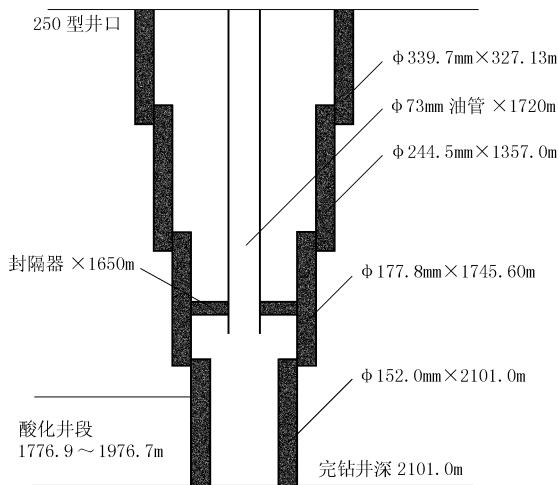


图 3 WR95 井井身结构及酸化管柱示意图

6.3 配液

配制处理液必须混合均匀,配制酸液用水必须为清水。

6.4 地面管线试压

接好地面施工管线后,高压管汇清水试压 25 MPa,不刺不漏为合格。

6.5 打平衡

封隔器以上套管打平衡压力 $\leq 5 \text{ MPa}$ 。

6.6 泵酸

按定压方式注酸,泵注程序为:

(1)采用正挤法注盐酸溶液 120 m^3 ,泵压 $\leq 20 \text{ MPa}$,排量 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$,需用 $80 \sim 110 \text{ min}$;

(2)采用正挤法注清水 6.2 m^3 ,泵压 $\leq 20 \text{ MPa}$,排量 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$,需用 $3.1 \sim 4.1 \text{ min}$ 。

6.7 排液

(1)放喷排液,控制油嘴放喷 ($\text{Ø}6 \sim 11 \text{ mm}$ 油嘴),要求排出残酸浓度 $< 0.2\%$;

(2)放喷结束后,采用汽化水排液。

7 施工要求

(1)施工车辆:700 型压裂泵车 2 台(施工用);300 型泵车 1 台(配液、打平衡用)。

(2)液罐准备:各种液罐要求彻底清洗干净,保证无油、泥、机械杂质,各种溶液的配制必须严格按照设计执行,由有关负责人员检验合格后才能施工。

(3)严格按照井下酸化施工安全操作规程执行。

(4)施工设备及各种车辆必须保养完好,以保证施工连续进行。

(5)施工过程中,高压管汇区域严禁人员进入。

(6)施工用液严禁随意倾倒,以免污染环境。

8 处理效果

本次酸化作业,酸化井段 $1776.9 \sim 1976.7 \text{ m}$ 共 6 组碳酸盐裂隙带。油管下入深度 1654.21 m ,封隔器座封深度 1642.70 m ,待井口装置采油树正确安装完,打入平衡压力 3 MPa ;地面管线试验压力 28.6 MPa ;打入前置液 15 m^3 ;然后采用双泵车打酸,打入 120 m^3 $20\% \text{ HCl}$,最高泵压 21.51 MPa ,排量 $1.36 \text{ m}^3/\text{min}$ 。值得一提的是,打酸过程中,泵压表显示由平均 20 MPa 压力瞬间降为 9.53 MPa ,现场分析认为碳酸岩裂隙经过酸化溶蚀和压裂,已经同周围裂隙产生了良好的沟通。随后的抽水试验结果也证明了分析的正确性。

酸化压裂施工工艺在 WR95 井的施工过程中起到了很好的增产效果,出水量由酸化前的 $10.38 \text{ m}^3/\text{h}$ 激增到 $95.67 \text{ m}^3/\text{h}$,井口水温由 $53 \text{ }^\circ\text{C}$ 增加到 $78 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

9 结语

我们已在多口地热井中成功使用酸化压裂工艺,实践证明酸化压裂工艺不仅是一种油气层的增产技术,而且对碳酸岩裂隙地热井的增产也是行之有效的,值得在碳酸盐地层地热中推广应用,特别是在保护性开发地热资源的对井模式中,可有效地提高出水量和回灌量,进而能达到保护地下资源的目的,使地热资源长期为人类造福。

参考文献:

- [1] 张琪.采油工程原理与设计[M].山东东营:中国石油大学出版社,2006.
- [2] 文浩.试油作业工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2002.