

射孔和酸化压裂技术在地热井洗井中的应用

柯柏林^{1,2}, 赵连海², 温泽涛²

(1. 北京市地质勘察技术院, 北京 102218; 2. 北京市华清地热开发有限责任公司, 北京 102218)

摘要:北京 YRG-1 地热井由于后期技术套管井段“戴帽”固井失误, 导致水泥浆下窜堵塞了热水储层的孔隙通道, 造成地热井基本不再出水, 后经应用射孔和酸化压裂技术洗井, 地热井基本恢复了原来的产能, 增产效果十分明显。结合工程实例, 介绍了射孔和酸化压裂技术在地热井洗井中的应用。

关键词:射孔; 酸化压裂; 地热井; 洗井; 产能

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)08-0017-03

射孔是石油钻井的主要完井方法之一, 射孔新技术、新工艺在 20 世纪 80 年代以来有了飞速的发展^[1]。随着地热资源开发深度和广度的不断发展, 近年来, 射孔和酸化压裂技术逐渐应用到地热钻井中^[2,3]。射孔技术在北京地热钻井的应用主要在对技术套管井段的射孔, 为了增加地热井的出水量, 射孔后再配合酸化洗井, 大多数地热井都取得了明显的增产效果。北京 YRG-1 地热井由于施工失误水泥封固了目的热水储层井段, 造成了该地热井基本不再出水, 后经应用射孔和酸化压裂技术等洗井工艺, 基本恢复了原来的产能, 增产效果十分明显^[4]。

1 地热井主要特征

1.1 井孔结构

YRG-1 地热井施工钻机为 45-G 型, 钻探能力 4500 m。全孔采用正循环全面钻进方法, 牙轮钻头、泥浆钻井液。G 级油井水泥固井, 井管为 API 标准石油套管。井孔结构见图 1。

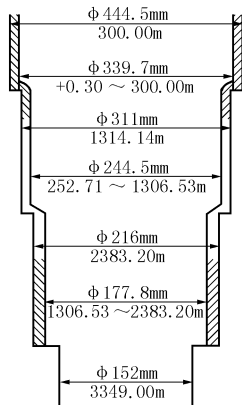


图 1 YRG-1 井井身结构示意图

1.2 地层及岩性

YRG-1 地热井钻探揭露地层及岩性特征见表 1。

表 1 地热井揭露地层及岩性特征

地层时代	层底深度/m	地层厚度/m	主要岩性
第四系	140	140	粘土、粉细砂、中细砂、中粗砂、粗砂
侏罗系	1653	1513	凝灰质砂岩、粉砂岩、火山角砾岩、安山岩、钠黝帘石化玄武岩
二叠系	2003	350	石英砂岩、砂岩、细砂岩、粉砂岩、红柱石角岩、砾岩、煤
石炭系	2341	338	碳质页岩、页岩、粉砂岩、细砂岩、砂岩、煤
奥陶系	3091	750	灰岩、白云质灰岩、白云岩、结晶灰岩
寒武系	3349	258	结晶灰岩、结晶鲕粒灰岩、白云母片岩

1.3 储层条件

YRG-1 地热井储层地层为奥陶系和寒武系, 地下水类型为碳酸岩盐岩溶解裂隙水。物探测井解释热水储层成果见表 2。本井热储取水深度 2383.20 ~ 3349.00 m, 钻进过程中没有明显泥浆漏失。物探测井解释热水储层共计 30 层, 累计厚度 209.20 m, 储集层系数为 21.7%, 储层平均孔隙度为 4.69%。其中一类储层 2 层, 累计厚度 16.2 m; 二类储层 11 层, 累计厚度 52.8 m; 三类储层 17 层(表 2 中未列出), 累计厚度 140.2 m。

2 射孔和酸化压裂技术的应用

2.1 洗井情况简介

YRG-1 地热井在射孔前经过了三聚磷酸钠-压缩空气联合洗井、盐酸-液态二氧化碳-压缩空气-水泵抽水联合洗井、喷射-压缩空气联合洗井、

收稿日期: 2007-01-20

作者简介: 柯柏林(1965-), 男(汉族), 河北人, 北京市地质勘察技术院高级工程师, 地质专业, 从事地热和水文地质勘查钻井工作, 北京市朝阳区立水桥甲 2 号, 13701338177, kebaillin@sina.com。

表2 YRG-1 地热井物探测井热水储层解释成果

解释层号	井段 /m	层厚 /m	深侧向电阻率 /($\Omega \cdot m^{-1}$)	浅侧向电阻率 /($\Omega \cdot m^{-1}$)	自然伽玛 /API	声波时差 /($\mu s \cdot m^{-1}$)	声波孔隙度/%	渗透率 /($\times 10^{-3} \mu m^2$)	储层综合解释结论	温度 / $^{\circ}C$
1	2425.00 ~ 2433.20	8.2	63.1	74.0	9.0	183	5.0	6.6	二类	64.0
2	2441.60 ~ 2448.00	6.4	30.0	20.1	9.8	164	1.5	1.8	二类	64.6
3	2578.00 ~ 2582.00	4.0	38.4	41.1	8.3	151	1.4	1.7	二类	65.8
4	2616.00 ~ 2628.00	12.0	378.8	135.7	5.8	222	12.6	65.8	一类	67.0
5	2731.40 ~ 2738.80	7.4	696.3	293.4	5.4	159	3.0	3.1	二类	69.1
6	2764.00 ~ 2765.80	1.8	821.1	585.8	7.9	205	11.7	51.6	二类	69.5
7	2770.60 ~ 2774.00	3.4	171.4	101.9	7.4	204	11.5	50.9	二类	69.5
8	2790.00 ~ 2795.00	5.0	483.0	332.3	6.4	182	7.4	14.3	二类	70.1
9	2829.40 ~ 2833.80	4.4	3382.9	2858.6	6.1	199	15.0	124.9	二类	70.4
10	2838.80 ~ 2843.00	4.2	1235.1	500.9	6.5	195	10.0	31.7	一类	70.5
11	2929.00 ~ 2932.00	3.0	1367.3	991.9	6.9	179	7.1	13.0	二类	71.1
12	3246.40 ~ 3254.00	7.6	1118.7	1275.2	5.2	141	0.1	1.0	二类	72.9
13	3308.60 ~ 3310.20	1.6	1745.8	2263.5	11.5	217	18.4	268.2	二类	74.1

盐酸-压缩空气-水泵抽水联合洗井及压缩空气洗井5个阶段的洗井程序。出水量1980.5 m³/d,出水温度65℃,动水位92.02 m,热恢复最高水位高出地面5.6 m,单位涌水量19.366 m³/(d·m)。但热水呈黑灰色,含有大量黑灰色悬浮物。经过分析和试验,证明热水中的黑灰色悬浮物是“三开”井段石炭系煤系地层污染的泥浆,顺“二开”顶部与“一开”的重叠部位渗漏到了井中,经下入分隔器打压检验证明重叠部位水泥封固失效。

在水泥“戴帽”过程中,由于“二开”底部的密封装置失效,发现水泥浆(密度1.90 g/cm³)下窜到了“四开”取水井段中,紧接着下钻循环清水划至井底,重新进行了水泥“戴帽”作业,并经憋压5 MPa持续30 min 检验合格。

下钻用清水进一步替清水泥污染的井液,用S-10/150型空气压缩机连续气举洗井16 h。下入200QJR80/120型水泵抽水,5 min后断流,证明下窜水泥浆严重堵塞了热水储层的孔隙通道。经到大港油田咨询,决定采用射孔技术增产。

2.2 射孔技术应用

2.2.1 射孔器主要参数

射孔器采用聚能射孔技术,127型射孔枪,混凝土穿深>700 mm。炸药类型为RDX,装药量38 g,弹外径52 mm,弹长63 mm。每枪射孔3 m,共39个孔,平均13孔/m,孔径10 mm。

2.2.2 射孔储层选择

根据物探测井热水储层的解释成果,主要选择在一类和二类储层射孔,射孔段为:2425.00~2433.20、2526.00~2530.00、2616.00~2628.00、2731.40~2738.80和2838.80~2843.00 m。共射孔6枪,共计234个孔。

2.2.3 水泵试水情况

射孔后即下入水泵抽水,效果没有较明显的改善,抽水6 min后仍然断流。分析射孔后的水泵抽水情况,表明射孔破坏水泥堵塞储层的最初期望没有达到。分析原因可能是水泥堵塞孔隙比较深,射孔的孔隙度对于地热井的产能要求来说还比较低。经咨询石油钻井专家得知,油田一般射孔后要进行酸化压裂工艺洗井,才能取得较好的效果。本井的射孔工作对进行酸化压裂工艺是必要的,射孔能改善酸液渗入储层的通道条件。由于石油企业酸化压裂技术服务费用很高,为此,我们根据现有设备条件进行简易酸化压裂工艺。

2.3 酸化压裂洗井

2.3.1 密封工艺选择

由于地热井“二开”和“三开”技术套管井段不是全井段水泥固井,套管抗挤压能力差,同时套管重叠部位水泥封固的工艺质量也不能承受太大的压力,不能采用操作工艺简单的井口焊接密封工艺。因此,须采用下入封隔器的工艺,封隔器封堵位置选择在“三开”井段“穿鞋”水泥固井质量较好的底部向上4~5 m处。使用一套7 in P-T型卡瓦封隔器。

2.3.2 设备及材料选择

(1)注酸深度选择:根据前期洗井地热井的出水温度分析,出水段主要集中在取水井段的上部井段,所以注酸深度选择在已射孔的最下部的一类储层,钻杆排酸出口深度2840 m。

(2)注酸管路使用 $\varnothing 89$ mm和 $\varnothing 127$ mm钻杆。

(3)盐酸选择:普通工业盐酸,用量20 t,浓度31%,加入浓度约3%的甲醛防腐剂和醋酸稳定剂。

(4)泵车选择:一台700型泵车,安全打压能力

40 MPa;一台钻机自备的 3NB-1300C 型泥浆泵,安全打压能力 26 MPa。

(5)排酸抽水设备:S-10/150 型空气压缩机;200QJR80/120 型潜水泵等。

2.3.3 作业程序

(1)将钻具连同分隔器下至设计打酸深度,分隔器坐封,泥浆泵送清水检验分隔器的封隔质量。

(2)连接泵车、泥浆泵、酸灌车与井口钻杆的管路,管路分段连接必须用油壬接口。泵车以低速排量送清水检验管路的密封质量。

(3)用泵车高速排量打完盐酸后,同时开动泥浆泵和泵车连续打入清水。压力最高达到 16 MPa,最后降至 9 MPa,表明压开了储层的孔隙通道,停止打入清水。

(4)上提钻杆至深度 800 m,连接空气压缩机气举引喷,连续气举 18 h 至基本水清。出水情况基本与射孔前洗井相近。

(5)下入水泵抽水 24 h,出水量 $1829 \text{ m}^3/\text{d}$,出水温度 $68 \text{ }^\circ\text{C}$,动水位 95.09 m,单位涌水量 $18.172 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{m})$,水清砂净。

3 效果评价

本井经过射孔酸化压裂洗井后,单位涌水量减少 $1.194 \text{ m}^3/\text{d}$,衰减率 6.17%,基本恢复了地热井原来的出水量;出水温度增加 $3 \text{ }^\circ\text{C}$,表明酸化压裂作用打开了深部温度较高的热水储层。

4 经验总结

由于初次应用射孔和酸化压裂技术,经验不足,同时考虑降低施工成本因素,射孔深度偏浅,深部的 3 处二类储层没有射孔,影响了地热井的出水温度;

盐酸浓度偏高(一般 15%~20%),盐酸用量偏少,至少应该达到 40 t,酸量太小有些储层可能没有或渗入酸液太少,影响溶蚀效果;应选用 2~3 台 700 型泵车打压,有助于提高升压速度和储层压裂效果。可以推测,如果采用上述改进条件,地热井的出水量和温度均会超过原来的产能指标。

5 结语

YRG-1 地热井应用射孔和酸化压裂技术洗井基本解除了水泥对热水储层堵塞,基本恢复到了地热井原来的出水量,单位涌水量衰减 6.17%。同时压裂作用也打开了深部的高温储层,地热井出水温度提高了 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。虽然受成本和各方面条件的限制,酸化压裂工艺比较简单,但仍取得了很好的效果。本次射孔和酸化压裂技术的成功运用,为以后北京地区地热井应用射孔和酸化压裂技术洗井增产提供了工艺改进的借鉴经验,一定程度上降低了地热井的风险。

参考文献:

- [1] 袁吉诚.射孔新技术、新工艺的应用及发展[A].高瑞祺.石油勘探工程技术论文集(测井、录井、测试)[C].北京:石油工业出版社,2000.
- [2] 张道富.地热井射孔技术应用[A].宾德智,刘延忠,王仲芝,等.全国油区城镇地热开发利用经验交流会论文集[C].北京:冶金工业出版社,2003.
- [3] 孙国强.压裂酸化在地热开发领域中的应用[A].孙友宏,张祖培,刘宝昌.水井钻井和成井新技术[C].北京:地质出版社,2004.
- [4] 柯柏林,赵连海,薛洪林.北京市朝阳区北苑家园 YRG-1 地热井成井报告[R].北京:北京市华清地热开发有限公司,2002.

(上接第 16 页)

孔锤球齿钻头寿命可达 600~800 m/只。在基岩地区(黑云母花岗岩和板岩),钻进效率可达 6~8 m/h,最高达 10 m/h;潜孔锤球齿钻头寿命可达 400~600 m/只。

(2)虽然工作区地层为大倾角的板岩、片岩层,但所有钻孔未发生斜孔超差;钻孔虽然地层破碎、坍塌掉块,极不稳定,但由于潜孔锤钻进效率高,可以做到刚穿过破碎带就及时下入了护壁管。护壁管固定后,采用 W200J 型潜孔锤配 $\text{O}210 \text{ mm}$ 球齿钻头在套管内钻进,清除卵砾石层及岩心,操作时采用慢转、轻压、勤提动、大风量,就可避免由于岩屑过大,

夹在冲击器和套管环状间隙内,导致卡钻或带动套管拔起或破坏套管稳固性的事故。

(3)潜孔锤钻进解决了常规钻进中洗井液阻塞基岩裂隙影响出水量的难题,由于使用空气作为驱动介质,在钻井的过程中就完成了洗井的工作,所以不必专门洗井,可显著提高工作效率。

综上所述,使用潜孔锤在基岩地区进行水文勘探施工,是一种高效、成本低、时间短、质量高而且不污染环境的钻探方法,且该工艺对于北方地区多变的气候条件具有极强的适应能力,在当前激烈的市场竞争中具有很强的竞争力,其推广和使用具有显著的经济价值和社会效益。