

关于和顺地热井压裂增产的探究

常有彬 翟雪峰

中国煤炭地质总局第四水文地质队, 河北 邯郸 056000

[摘要]和顺天凯庄园地热井,设计取水地层为震旦系、远古界的花岗岩、片麻岩地层,所开采热水为构造水。实际取水地层为远古界、太古界地层。该井井位与附近构造较远,且地层完整,裂隙与构造连通较弱,致使该井水量较小(小于0.21m³/h),达不到设计要求。为增加水量,完钻后,进行了两次压裂增产,效果明显,经抽水试验后,确认水量达7.2m³/h,最高水温38℃。

[关键词]构造;压裂;连通

DOI: 10.33142/ect.v1i5.10089

中图分类号: P314

文献标识码: A

Exploration on Fracturing and Increasing Production of Geothermal Wells in Heshun

CHANG Youbin, ZHAI Xuefeng

The Fourth Hydrogeological Team of China National Administration of Coal Geology, Handan, Hebei, 056000, China

Abstract: The geothermal well in Heshun Tiankai Manor is designed to take water from granite and gneiss formations of the Sinian and Paleozoic strata, and the hot water extracted is tectonic water. The actual water intake strata are the Paleozoic and Archaean strata. The well location is far from the nearby structure, and the formation is complete, with weak connectivity between fractures and structures, resulting in a small water volume (less than 0.21 m³/h) in the well, which is unable to meet design requirements. In order to increase the water volume, two fracturing treatments were conducted after drilling, and the results were significant. After pumping tests, it was confirmed that the water volume reached 7.2 m³/h, which the maximum water temperature is 38 °C.

Keywords: construction; fracturing; connection

1 工程概况

2022年我单位承揽的和顺天庄园地热温泉井工程,该地热井以寻找深层地热资源为目的,通过开展深部物探工作基础之上,总结地热地质资料及深部物探工作成果,评估深层地热赋存的可能性,在深层地热具有一定开发潜力的条件下,拟定在和顺县天凯庄园内施工一口深热水井,施工水井位于山西省和顺县天凯庄园园区北。

1.1 预计取水层位

根据物探资料解释,该井预计取水层位为震旦系(Z)、远古界(Pt)。详见表1。

表1 预测地热水显示

层位	显示井段(m)	显示类别	抽(放)水层位
震旦系	1200-1800	热水层	第一层
远古界	2200-2700	热水层	第二层

1.2 钻井要求及设计

完成2700m钻探施工任务,井深结构为“三级井径二级套管”,终孔直径不小于152mm。详见图1。

1.3 拟投入设备

该项目拟投入的生产配套设备设施见表2。

表2 主要施工设备、器具表

序号	设备名称	型号	单位	数量	进场时间安排
1	钻机	ZJ-30型石油钻机	套	1	施工全过程
2	泥浆泵	3NB-1200	套	各1	施工全过程

序号	设备名称	型号	单位	数量	进场时间安排
3	井架及底座	JJ45/200T-A型钻塔	套	1	施工全过程
4	柴油发电机	300KW	台	1	备用电源
5	设备配套电机	90KW、280KW、250×2(KW)	台	各1	施工全过程
6	钻铤	Φ121~Φ203	m	180	施工全过程
7	钻杆	Φ89mm、Φ127mm	m	3200	施工全过程
8	除砂器		套	1	70m ³ /h
9	排污泵	3PNL/2PNL	套	1/1	

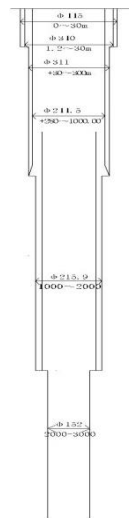


图1 井身结构图

2 施工情况

2.1 一开

“井深 0~831.21m 段”：采用 $\Phi 445\text{mm}$ 三牙轮钻头无芯钻进，钻至基岩地层，下入 $\Phi 440 \times 7\text{mm}$ 螺旋管 22m 作为护口管，之后换用 $\Phi 314\text{mm}$ 潜孔锤钻头无芯钻进工艺进行钻进，钻进至 500m。因地层研磨性强、地层涌水量大（最大达 $40\text{m}^3/\text{h}$ 以上），无法采用潜孔锤钻进于 2022 年 1 月 1 日采用回转正循环三牙轮钻头无心钻进。2022 年 8 月 19 日钻进至 831.21m。于 2022 年 11 月 12 日下入 $\Phi 273 + \Phi 244.5\text{mm}$ 一开套管并固井，下入深度为 818.63m（其中 $\Phi 273$ ）。

钻具组合为： $\Phi 444.5\text{mm}$ 钻头 + $\Phi 203\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 178\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 127\text{mm}$ 钻杆。

2.2 二开

“井深 831.21~2425.03m 段”：采用 $\Phi 215.9\text{mm}$ 镶齿三牙轮钻头无芯钻进，2022 年 10 月 18 日钻进至 2425.03m，并于 10 月 18 日 20:30~19 日 3:00 进行测井工作。

钻具组合为： $\Phi 2159\text{mm}$ 钻头 + $\Phi 178\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 156\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 127\text{mm}$ 钻杆 + $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

2.3 三开

“井深 803.5~2714.81m 段”：采用 $\Phi 152.2\text{mm}$ 镶齿三牙轮钻头无芯钻进；2022 年 10 月 29 日完成钻探施工任务。于 11 月 18 日下入 $\Phi 177.8\text{mm}$ 二开套管，并固井，套管下入深度 773.47~1750m。

钻具组合为： $\Phi 152\text{mm}$ 钻头 + $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆

2.4 定向钻进

经第一次压裂增产试验后，井内水量、水文仍未达到设计要求。经施工方与物探单位商讨，认为原井井身轨迹偏离设计要求，未达设计取水层段。故决定在 1750m 套管头开始进行定向钻进，设计终孔井底井斜为 0（与井口在同一垂直线上），钻进至 2700m 或 3000m（经定向单位测算井深 2700m），垂深在 2617m，基本能与物探资料中的取水深度重合。

“定向钻进段”：2023 年 3 月 28 日开始采用 $\Phi 152.2\text{mm}$ 镶齿三牙轮钻头 + 单弯螺杆无芯定向钻进，于 1779m 定向侧钻成功，2023 年 6 月 13 日钻进至 2894.83m，完成钻探任务。

钻具组合为： $\Phi 2159\text{mm}$ 钻头 + $\Phi 178\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 156\text{mm}$ 钻铤 + $\Phi 127\text{mm}$ 钻杆 + $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

2.5 实际完钻地层

根据地热井钻探施工、岩屑录井、水文测井资料解释，及结合区域地质资料综合分析，钻遇地层自上而下简述如下：

①第四系（Q）。卵砾石层，砾石直径 5~30cm 不等，含有大量细沙，揭露厚度 20m。

②远古界（Pt）。南掌寺组岩性主要以细砂岩为主，夹杂薄层红色、暗红色泥岩和粉砂质泥岩；该层揭露厚度 632m。

细砂岩，多为紫红色、棕红色夹杂其他颜色，主要成分为石英，此为长石，局部含有少量云母，岩石局部裂隙发育，含有裂隙水。根据岩屑录井及测井资料可知：310~326m、602~612m 段为棕红色、紫红色泥岩、粉砂质泥岩。

③太古界（Ar）。太古界岩性主要以上部以灰黑色花岗片麻岩、灰白色花岗岩为主，夹黑色云母岩和灰白色细

砂岩。该层揭露厚度 2242.83m。

花岗片麻岩主体为灰黑色，暗色矿物较多，整体含云母成分较多，岩性较为坚硬，地层完整。

花岗岩主体为灰白色，夹杂少量灰黑色。整体含有云母成分略少于花岗片麻岩，主要赋存于深部地层。

云母岩主体为黑色，局部为灰白色，云母含量超过 90%，岩屑呈碎片状，含有少量其他暗色矿物。

3 压裂增产

压裂是通过采用地面高压泵将液体高度注入井中，借助井底憋起的高压，使岩石破裂，产生裂缝，为防止裂缝合，通常采用沙子作为骨料，对地层进行支撑。而本井采用化学材料，对岩石进行溶蚀，增加裂缝的宽度，通过压裂使附近裂隙相互连通并延伸，将一定距离内的含水层进行连通，增加其产能。

3.1 第一次裂增产

在完成 2814.81m 钻探施工任务后，于 2022 年 12 月 8 日进行抽水试验，水泵下深 375m，泵扬程 500m，额定水量 $15\text{m}^3/\text{h}$ 。17:17 开泵，19:44 掉泵，抽水 27 分钟。恢复水位 12 小时，12 月 9 日 8:13 开泵，8:15 出水，8:22 掉泵，抽水时长 7 分钟。12 月 11 日下泵至 475m，抽水时长 23 分钟，后掉泵。

通过测井资料与抽水情况分析，1750m 以下地层没有有效含水层，初步计算下部地层供水量小于 $0.2\text{m}^3/\text{h}$ 。施工方通过咨询天津津源润科技有限公司，决定采用压裂法进行增产。

压裂技术人员通过测井、岩屑、物探资料分析，决定把 2400~2700m 作为主压裂段。在压入化学药品前，通过提前压注清水获取的地层压力及岩屑的化学成分分析，调配压裂液成分、浓度。（配方保密，通过味道分析为盐酸配置的高强酸）。



图 2 GTE-80 型压裂设备图



图 3 压裂药品（氢氟酸）图

12 月 15 日 12:00 开始压注清水试压，钻具下入深度 2650m，泵压达到 19MPa 后逐步将至并稳定至 17MPa。17:00 结束压注清水，共压注清水 100m^3 。20:00 压力将至 10MPa，

因天气寒冷泄压。

12月22日13:30开始压裂,辅助泵与主泵同时开启,辅助泵主要是通过环空注入清水,防止药品上返压裂上部岩石。压注药品约 250m^3 ,压力稳定在17MPa,主泵流量在 $20\text{m}^3/\text{h}$ 左右,持续至23日1:00,封闭憋压,待药品与岩石反应。

12月24日13:00至25日1:00,压注清水 180m^3 ,泵量 $19\text{m}^3/\text{h}$ 左右,压力由17MPa降至14.5MPa,稳定在14.5-15MPa间。

12月25日13:00采用副泵注清水,泵量 $15\text{m}^3/\text{h}$ 左右,压力稳定在15MPa,持续至17:30,注入清水约 70m^3 左右。

12月27日10:00-22:00采用主泵压注清水,流量 $16\text{m}^3/\text{h}$ 左右,压力稳定在16.2MPa,注入清水约 150m^3 。

12月28日12:00-17:00压注清水 100m^3 左右,流量在 $19\text{m}^3/\text{h}$ 左右,压力稳定在16.5MPa。

12月29日12:00-21:00、12月30日11:30-17:00分别压注清水 180m^3 、 100m^3 左右,压力稳定在18MPa左右,流量在 $20\text{--}2\text{m}^3/\text{h}$ 左右。压裂技术人员分析,目前所压注的药品扩散范围在10-15公里,药品与岩石反应进入末期,决定暂时停止压裂,让药品与岩石充分反应。

2023年1月3日中午12点至20:00压裂,水压约 185m^3 ,流量 $26.5\text{m}^3/\text{h}$ 左右,压力稳定在19MPa。

2023年1月7日采用双泵进行压裂,至10日结束,最高流量 $23\text{m}^3/\text{h}$,最高压力达到23MPa,随后降至并稳定在21MPa,压裂结束。

2023年2月13日至3月1日进行气水混合洗井,钻杆下深2200m。混合洗井期间,空压机压力7-10MPa左右,压裂泵泵压在5-6MPa左右,泵量 $6.7\text{m}^3/\text{h}$ 左右,3月1日结束汽水混合洗井。

混合洗井结束后,于2023年3月3日8点进行抽水,水泵下深375m,额定流量 $15\text{m}^3/\text{h}$,持续时间10分钟,掉泵,3月4日灌水至井口,抽水持续时间40分钟,掉泵。

3.2 第二次压裂增产

经第一次压裂增产试验后,井内水量、水文仍未达到设计要求。经施工方与物探单位商讨,认为原井井身轨迹偏离设计要求,未达设计取水层段。故决定在1750m套管头开始进行定向钻进。

在完成定向钻探施工任务后(井深2894.83m),进行抽水试验。2023年6月14日下泵至251.32m,泵扬程500m,额定水量 $15\text{m}^3/\text{h}$,静水位147.6m。15:30开泵,15:51掉泵,抽水时长21分钟;第二次下深477.31m,20:05开泵,20:32分掉泵,抽水时长27分钟。

经与天津源润科技有限公司再次协商后,决定把1800-2800m作为主压裂段。继续进行第二次压裂增产和空压机洗井。

2023年6月28日下钻至2700m,封闭井口,14:00开始压水,17:00停泵,注水量月 120m^3 ,注水压力稳定至16-17MPa。观测压力下降情况,至19:00压力归零;

6月29日7:00开泵注水,压力涨至17MPa后停泵,注水约 10m^3 。9:00压力归零。

2023年7月4日18:30开始注入压裂药品(强酸溶液)与清水(共计注入药品 25m^3),2023年7月5日13:00,暂停压裂,进行憋压,至2023年7月6日7:00压力归零。压注期间,共压注清水(含药品)约 360m^3 ,最高压力20MPa,最低15MPa,稳定压力为17MPa。

2023年7月10日9:00至7月14日24:00进行空压机汽水混合洗井,钻具深度为2000m,混合洗井期间,空压机压力达到7MPa以上时,开启压裂泵注水,泵量 $6.7\text{m}^3/\text{h}$ 左右。出水时,空压机压力为8MPa,出水后压力降至2MPa。

2023年7月15日起钻至1100m,15:00开始空压机洗井,持续至7月30日,洗井期间出水压力为5-6MPa,出水后压力降为1MPa左右,出水时间间隔4-6小时左右。2023年7月1日洗井结束。

4 结论与问题

4.1 结论

2023年7月1日二次压裂增产和洗井结束后,2023年8月7日18:00再次进行抽水试验,水泵下深475.69m,静水位45.63m。2023年8月8日9点抽水结束,抽水累计时长39小时,稳定出水量 $2.2\text{m}^3/\text{h}$,测得水温 23°C ,水量较压裂前增加明显。

2023年9月4日7:30再次进行抽水试验,水泵下深1500,测静水位175.34m,2023年9月14日20:00结束,抽水累计时长252小时30分钟,测得稳定出水量 $8.35\text{m}^3/\text{h}$ ($200.4\text{m}^3/\text{d}$),最高水温 38°C 。

经过压裂增产后两次抽水试验,水量均较压裂前有所增加。可以暂定为压裂增产在含水量小、地层完成且附近有构造的地区,有一定效果。

4.2 问题

由于最后一次下泵抽水试验中,水泵下深过大,不能直观表达压裂增产情况,如在以后地热温泉施工中可进一步进行试验分析。

【参考文献】

- [1]申云飞,卢玮,陈莹,等.水力压裂技术在豫西基岩地热井增产中的应用研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2016,43(10):4.
- [2]张庆峰.关于对压裂措施与油井增产之间关系的研究[J].中国新技术新产品,2013(2):1.
- [3]武长富.压裂酸化增产技术探究[J].石化技术,2023,30(3):75-77.

作者简介:常有彬(1977.4—),男,河北省邯郸人,就职于中国煤炭地质总局第四水文地质队,目前为钻探工程师,长期从事地质勘探、地热勘探方面的工作;翟雪峰(1984.10—),男,河北省邢台市人,就职于中国煤炭地质总局第四水文地质队,目前为钻探工程师,长期从事地质勘探、地热勘探方面的工作。