

# Well Forming Technology of Geothermal Well in Gucheng

Maowen Zhang

Sinopec East China Petroleum Engineering Co. Ltd., Liupu Drilling Company, Zhenjiang Jiangsu  
Email: 250083754@qq.com

Received: Jan. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: Feb. 3<sup>rd</sup>, 2020; published: Feb. 10<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Gucheng County is located in the southeast of Hebei Province, with rich geothermal resources. In order to meet the demand of heating and hot spring, several geothermal wells have been arranged. The geothermal wells in this area take Ordovician limestone geothermal reservoir as the main target reservoir, and explore the reservoir development characteristics, horizontal distribution rules and water cut characteristics of each target interval. Geothermal wells are mostly of three open system structure, which are finally completed by drilling, casing sealing and water stop, well flushing and water test, among which four technical problems are encountered: two open and deviation prevention, clear water drilling, geological sticking and water increasing technology are adopted for drilling fluid.

## Keywords

Geothermal Resources, Anti Deviation, Three Open System, Clear Water Drilling, Geological Sticking Layer, Water Increasing Technology

---

# 故城地热井成井工艺与实践

张茂稳

华东石油工程有限公司六普钻井分公司, 江苏 镇江  
Email: 250083754@qq.com

收稿日期: 2020年1月21日; 录用日期: 2020年2月3日; 发布日期: 2020年2月10日

---

## 摘要

故城县位于河北省东南部, 地热资源丰富, 为满足供暖和温泉需求, 目前已经布置多口地热井。该区地

热井以奥陶系灰岩地热储层为主要目的层,探索各目的层段储层发育特征、横向展布规律及含水特性。地热井多采用三开制结构,通过钻进、下套管封固止水、洗井试水等工序最终成井,其中遇到了:防斜、清水钻进、卡风化壳、增水工艺等到四大技术难题。

## 关键词

地热资源, 防斜, 三开制, 清水钻进, 地质卡层, 增水工艺

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 故城地质状况及井身结构

### 1.1. 地质特征

城区在构造上位于沧县隆起南部武城凸起,武城凸起面积 1360 km<sup>2</sup>,东、西分别以沧东断裂和武城断裂为界[1],东部为德州凹陷,西部为大营镇凹陷,故城县处在临清拗陷东部的武城凸起北部。新生代第三纪以后才接受沉积,下伏中生界、古生界地层与华北其它地区类似,基底为太古界地层。

武城凸起高点位置基岩埋深小于 1000 m,故城城区基岩埋深 2200 m 左右,为奥陶系、寒武系地层。具体:上部为第四系平原组,其下依次为上第三系明化镇组地层、馆陶组、东营组地层,中生界侏罗系,具有良好的热覆盖层,目的层为古生界奥陶系(未穿)。其中古生界奥陶系地层承压能力小,地层易发生漏失,给施工带来了很大的困难。

### 1.2. 井身结构

针对故城区块地层的结构特点,为了增大完井井眼尺寸,为以后开采热能创造有利条件,采用三开制井身结构。一开使用 444.5 mm 钻头钻至井深 500 m 左右,下 339.7 mm 套管,封固上第三系明化镇组欠压实、易分散造浆、易水化膨胀、易阻卡地层;二开使用 311.2 mm 钻头钻至 2800 m 左右,下 244.5 mm 套管,封固上部松软地层;三开使用 215.9 mm 钻头钻至基岩地热储层,进行裸眼完井,若三开井段为井斜段,则下滤水管[2]。

## 2. 二开钻井技术措施

针对该地层的特点,我们认真调研并按照设计要求,二开井段清水钻进施工是本开次及全井的难点和重点。

二开井段将揭开明化镇组、馆陶组砂岩储层、东营组及侏罗系等,由于二开大井眼、长裸眼、清水钻进,及地层易溶解、易垮塌、易井斜等特点,从而给钻井施工带来了困难,钻进过程中,制定了严格的技术措施:

- 1) 钻具组合尽可能简化,严把钻具入井关,二级以下钻杆杜绝入井。
- 2) 二开钻进,每钻进 1 单根划眼一遍,如划眼无阻卡,则接单根继续钻进。
- 3) 密切注意各参数(扭矩、泵压)和返出岩屑情况的变化,若发现任何变化和异常,立即上提钻具划眼。
- 4) 该井段一定要保持钻具处于活动状态,特别是出现特殊情况时,一定要大幅度活动钻具,防止粘

附卡钻。

5) 根据井身结构特点, 钻进过程要定期进行短程起下钻, 根据实际阻卡情况适当延长短起下间隔时间。

6) 由于地热区块对于储热层的保护, 二开井段采用清水钻进, 实际钻进过程中, 重点要做好对固相含量的控制, 主要采取对钻井液密度的控制, 充分用好固控设备。

7) 设备是打井的关键, 二开前对所有设备进行检查和保养, 确保刹车系统、固控系统、供电系统等正常运转。

8) 该地热区块, 地层复杂多变, 应切实加强地层对比, 卡准地层, 随时进行冲孔, 防止钻入薄弱地层, 造成井漏而发生卡钻甚至埋钻风险。

### 3. 施工重点、难点及解决办法

#### 3.1. 二开井段易发生粘卡和井漏

二开井段, 裸眼井段长达 2300 m 左右。该井段同时揭开明化镇组、馆陶组、东营组、侏罗系及奥陶系顶部, 存在多套不同的压力系统。本井段为了稳定地层, 钻进过程钻井液比重一般控制在  $1.17 \text{ g/cm}^3$  左右, 本井段主要考虑平衡地层压力, 抑制地层垮塌。

#### 3.2. 钻井液比重太高导致机械钻速太低

由于钻井液采用清水钻进, 钻遇过程中的分散, 使得比重会高达  $1.19\sim 1.21 \text{ g/cm}^3$ , 导致机械钻速降低, 因此要利用好三级固控设备, 进行及时消除有害固相, 并及时补加清水[3]。

#### 3.3. 二开双驱钻井和防斜技术

由于二开井段较长, 且为大井眼, 快速钻进和防斜技术尤为重要。一开固井侯凝结束, 即下二开钻井组合进行扫塞和钻进, 采用 PDC 钻头[3] + 197 mm 单弯螺杆双驱钻井, 以实现快进、打直, 并加入随钻测斜 MWD, 一旦发现井斜超标, 随时给予纠正, 确保二开的井身质量。

#### 3.4. 二开卡层

二开钻遇奥陶系顶部, 见灰岩立即停止钻进, 若钻进过多进入灰岩薄弱地层, 有造成大漏甚至埋钻风险, 若钻遇不到灰岩地层, 二开就无法对砂泥段进行有效封堵, 给后期取水带来风险。

钻遇风化壳要做好几方面, 一是钻井液密度在保证携岩稳定井壁情况下, 尽可能采取固控设备除去有害固相; 二是地质上, 要加强岩屑分析, 必要时进行多次冲孔; 三是工程上, 钻进控制好钻压, 以便从钻时上分析; 四是通过排量控制泵压, 减少井底压力, 每次开泵要缓慢, 防止激动压力造成地层漏失。

#### 3.5. 钻遇复杂地层

二开会钻遇复杂地层, 故城区块奥套系灰岩顶部会有夹层, 某井二开钻进至 2800 m 处发现灰岩, 随即钻进至 2805 m 二开终孔, 之后进行通井、测井、下套管固井、扫塞等特殊作业。但三开钻进至 2810 m 后灰岩地层开始变成碳质泥岩, 且钻进过程中有 5 层煤层的夹层(煤层厚度累计 8 m)及 60 m 左右灰色细砂岩, 继续钻进至 2906 m 处发现长段灰岩, 才确认进入奥陶系目的层。

此时的三开井段就包括了碳质砂泥岩夹煤层井段和取水目的层灰岩段, 为了后继取水安全, 需对上部易垮塌井段进行封堵。最终采取的办法是悬挂器加尾管加止水伞进行封堵(图 1)。要加强地质资料收集和邻井资料对比分析, 否则会导致工序增多和风险增大。

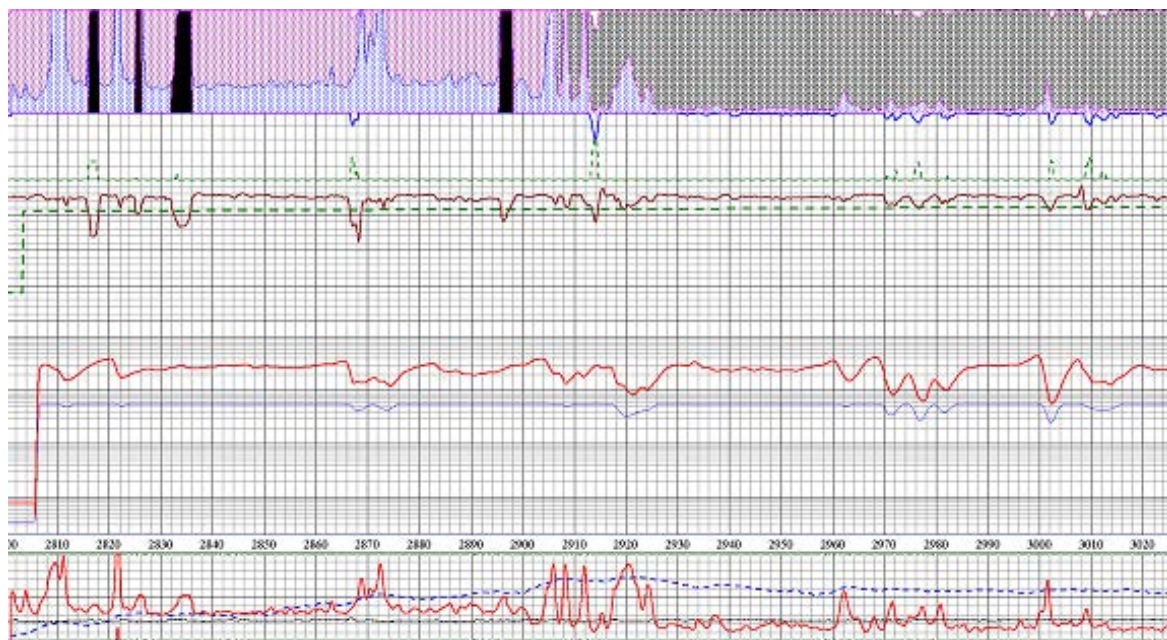


Figure 1. The log result map of this section

图 1. 该段测井成果图

#### 4. 下套管固井和止水工艺

对二开裸眼下 244.5 套管进行封固, 采用的工具组合: 套管(筛管)+扶正居中接头+倒扣接头+送放钻杆(图 2)。下套管前认真通井和循环钻井液, 确保井底干净, 套管下至预定井深, 须保证 244.5 mm 套管与表套有 30~40 米的重叠段, 循环顶通后进行打水作业。常规的是全井段进行封固止水[4], 先进行一次固井, 倒扣作业后上提钻具, 候凝 24 h 进行二次固井, 即为防止上部低温水层外窜, 需对倒扣接头位置进行挤水泥作业, 挤入量可根据地层压力情况, 候凝 48 h 进行套管试压, 试压合格方可进行下步作业[5]。三开目的层的灰岩相对较稳定, 一般直井采取裸眼完井方式(图 3), 若是定向井, 则考虑筛管或者滤水管完井方式[6]。

#### 5. 洗井和试水工艺

##### 5.1. 洗井作业

目的层奥陶系的岩性为深色灰岩, 该地层裂隙发育, 为主要的取水层。为保证后期正常取暖, 须对完成井进行洗井[4]。

洗井时采用光钻杆下钻至井底, 使用泥浆泵大排量循环冲洗井筒, 然后起钻至 800 m, 使用空压机进行气举洗井作业, 用空压机直接注入高压气体, 对产层瞬时减压 3~4 MPa, 用不断减压继而恢复压力的方式, 实现地层吞吐清洗效果, 直至流体中悬浮物含量小于 1/20,000, 达到水清砂净目的[7]。

##### 5.2. 试水工艺

成井前最后一个工艺, 就是试水作业。100 千瓦大泵通过泵管送放至 200 m 左右, 抽水试验按要求做好大、中、小三个落差, 大落差稳定时间不少于 50 小时, 中落差不少于 25 小时, 小落差不少于 12 小时, 水温水量达到要求后方可称为本井成功[8]。

试水过程要及时记录动水位的变化, 根据变化情况来判断分析地层富水情况。

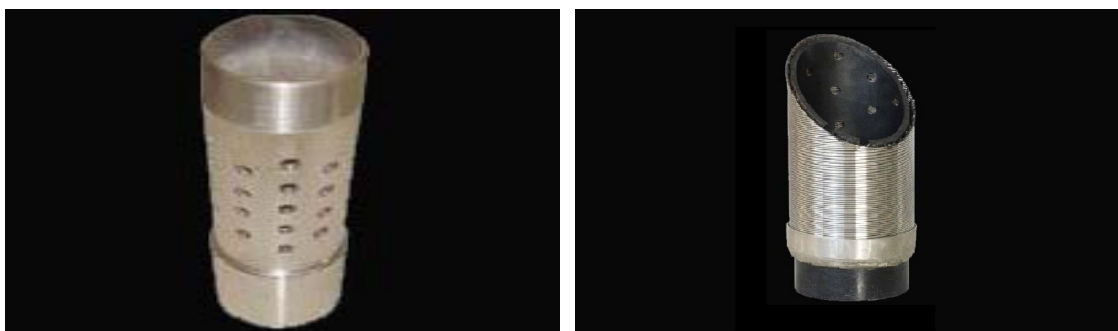


Figure 2. Diagram of sieve tube and filter pipe  
图 2. 筛管、滤水管示意图

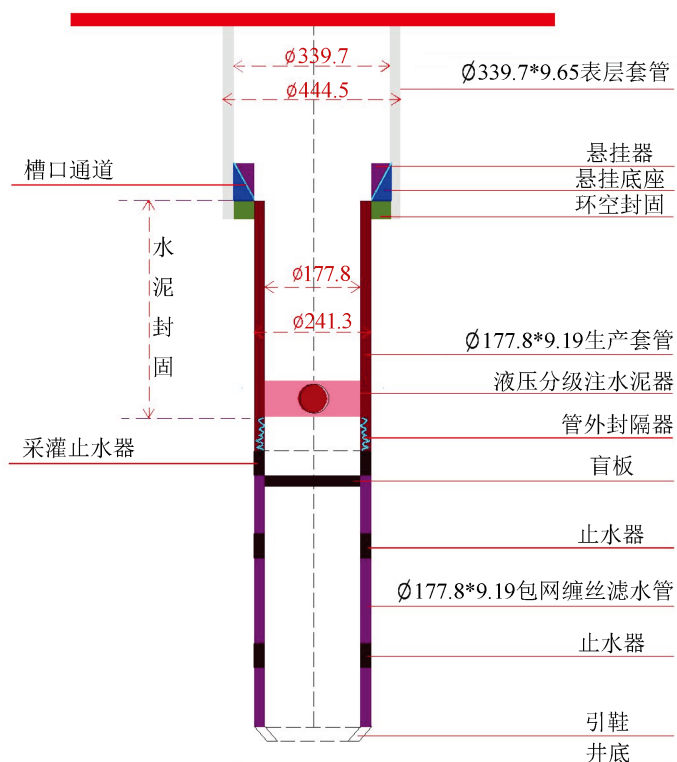


Figure 3. Diagram of well cementation and water stopping technology  
图 3. 固井及止水工艺示意图

## 6. 增水技术方案

通过试水可判断地层水温水量大小，水温水量大小就决定了地热能交换的大小。正常供暖是通过热水的传递来获取地热能，尽管地热是无限清洁能源，但是遇到储水产能低，水量不足的裂缝储水层，地热能就难以取出，因此需要采取工艺技术进行增水。

### 6.1. 酸化压裂

根据录井、测井解释情况，确定差水层的大概位置，然后备酸  $50 \text{ m}^3$  左右，浓度为 17% 左右(具体根据地层和出水量来定)。下油管至井底并探底，循环钻井液后起至水层上下位置进行打酸作业，此时做好计算，当酸液充满环空裸眼段后，关防喷器进行快速泵入，当酸液全部进入地层后，根据压力情况继续

替水以便压裂地层,使得孔隙道得到更多更广的延伸[2][8]。酸化压裂后再进行气举洗井和试水,检验酸化压裂效果。

## 6.2. 防砂射孔

若奥陶系出水量在采取酸化压裂措施后仍然不足,可对上部地层水如馆陶组进行射孔作业,以提高该井整体出水量。根据录井实录和电测解释的层位,通过水层段筛选后决定射孔井段(表1、表2)。

射孔作业采取电缆传输射孔,具体射孔点,根据电测曲线标出射孔位置,向测井方出具射孔通知单。

**Table 1.** Technical parameters of perforating gun

**表 1.** 射孔枪技术参数表

射孔枪外径	枪弹穿深	射孔米数	每米孔数	每米单价(元)	费用预算(元)
127 mm	600~700 m	121	16		
预计时间			每射 8 米 4.5 小时		

**Table 2.** Perforated well section

**表 2.** 射孔井段

序号	顶深(m)	底深(m)	厚度(m)	解释结果	射孔段长(m)
1	1254.4	1313.5	59.1	水层	59.1 (全射)
2	1320.2	1331.0	10.8	水层	10.8 (全射)
3	1339.1	1381.7	42.6	水层	42.6 (全射)
		合计长度			112.5

在射孔过程中,全过程观察井内流体情况,做好井控工作,发现溢流时,及时通知测井方停止作业,快速起出仪器,迅速下钻,启动压井方案。射孔段取水加目的段取水,基本可以达到预测出水效果[8][9]。

射孔作业结束后,需对射孔段下滤水管进行防砂处理。

## 7. 结论

1) 地热井钻井工程造价往往非常低,因此井队必须采用低成本运作方式,减少钻井成本,同时要把井打成功,以赢取市场和利润。

2) 地热井井身结构一般采用三开制井身结构,二开长裸眼,是施工的关键。钻进过程,在保证携岩和稳定井壁的情况下,尽量使用钻井液比重的下限。

3) 即将钻遇风化壳时须及时冲孔,防止出现大漏情况,造成复杂。

4) 熟练掌握防斜、清水钻进、固井止水工艺、增水等关键技术,可为地热资源的继续开发和利用打下良好基础。

5) 拥有足够的水温和水量,说明地热井成功了,充足的水温水量可以把更多的清洁地热能开发出来,用于供暖或者温泉需要,满足人民生活需求[10],也为青山绿水美好的生态环境保驾护航。

## 参考文献

- [1] 孔令珍,张新服,王荣生,张宁. 地热井成井技术研究[J]. 地下水, 2011(2): 110-111+125.
- [2] 曾义金. 干热岩热能开发技术进展与思考[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(2): 1-7.
- [3] 陈庭根,管志川,刘希胜. 钻井工程理论与技术[M]. 山东: 中国石油大学出版社, 2000: 55-64, 114.
- [4] 王培义,马鹏鹏,张贤印,杨卫. 中低温地热井钻井完井工艺技术研究与实践[J]. 2017(4): 1-6.

- 
- [5] 刘希圣. 钻井工艺原理(上、中、下) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 268-269.
- [6] 宋显民, 张立民, 李良川, 等. 水平井和侧钻水平井筛管顶部注水泥完井技术[J]. 石油学报, 2007, 28(1): 119-121.
- [7] 李国栋. 地热钻井技术的若干问题[J]. 地下水, 2008, 30(1): 85-86, 88.
- [8] 李砚智, 刘文新, 崔振江, 等. DB13/T 2571-2017 地热井施工技术规范[S]. 石家庄: 河北省质量技术监督局, 2017: 27, 28.
- [9] 韦雅珍, 王凤清, 任宝玉. 华北油区地热排采技术研究[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(S1): 93-95+100.
- [10] 蔡义汉. 地热直接利用[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 45-68.