

# 唐山市第一眼蓟县系地热井钻探及成井技术

于孝民, 杨春光, 董国明, 湛 丹

(河北省地矿局第二地质大队, 河北 唐山 063000)

**摘 要:**唐山市丰南区 ZK1 地热井终孔深度 3204.8 m, 成井深度较深, 揭露地层情况较为复杂, 采用“四开”井身结构。施工过程中, 根据钻遇地层情况的变化, 及时调整钻具组合及钻进、钻井液等参数, 降低了由于地层变化较大而产生漏浆、掉块、井壁垮塌等造成埋钻、卡钻的施工风险, 保证了孔内钻探施工安全及成井质量, 为唐山地区相同或此类地层的地热井勘探施工提供了成功经验。

**关键词:**地热井; 钻探; 成井; 唐山

**中图分类号:** P634.5; TE249      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2014)02-0041-04

**Drilling and Completion Technology in the First Geothermal Well Construction in Jixian System in Tangshan/YU Xiao-min, YANG Chun-guang, DONG Guo-ming, ZHAN Dan** (No. 2 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Tangshan Hebei 063000, China)

**Abstract:** The termination depth of ZK1 geothermal well in Tangshan is 3204.8m with “four section” well structure, the revealed formations are complicated. In the construction process, according to the different formations encountered, the BHA and the parameters of drilling and drilling fluid were adjusted timely to reduce the construction risks of drill rod burying and sticking caused by mud leakage, block falling and wall collapse due to large formation changes; the safety and quality of well drilling and completion construction were ensured. This project provides successful experience for geothermal well construction in the same or similar formations in Tangshan area.

**Key words:** geothermal well; drilling; well completion; Tangshan

## 1 项目概述

唐山市第一眼蓟县系地热井(以下称 ZK1 井)位于唐山市丰南区津唐运河第二景区内, 该区域规划为休闲疗养度假区。根据丰南区政府提议, 我们结合区域地质环境条件, 经分析研究认为, 该区域地处滦河山前冲洪积平原中下部, 上覆地层为新生界, 下伏基岩为中上元古界, 基岩地温梯度较小, 初步估测在 3000 m 以深具备产出 50~60℃的温热水。基于此, 丰南区决定, 在该区域施工一眼地热探采结合井, 以了解该区域的地热水赋存条件。

## 2 区域地质环境

### 2.1 地质构造

ZK1 井所在地处于开滦台凹(IV<sub>228</sub>)之卑子院背斜北西翼近核部。该背斜轴部呈 NE-NNE 向延伸, 背斜东南翼地层呈倒转或近直立, 西北翼较缓, 由古生界寒武系、上元古界青白口系和中元古界蓟县系、长城系组成, 地层完整性较好。

### 2.2 地层岩性

根据区域地质调查资料, 本区发育地层为新生

界第四系和新近系(上第三系), 上元古界青白口系, 中元古界蓟县系及长城系。主要岩性特征如下:

(1) 第四系, 为一套冲洪积、河(湖)相沉积为主的沉积物, 由粘性土、砂层组成, 区域上厚度约 400 m。

(2) 新近系(上第三系), 为一套砂岩、砾岩、砂砾岩及泥岩互层沉积的半固结地层, 厚度约 400 m。

(3) 青白口系景儿峪组, 上部为灰绿色、蛋青色、灰褐色薄层白云质泥晶灰岩, 下部为杂色页岩, 含海绿石粉砂岩、细砂岩, 区域厚度 > 500 m。

(4) 蓟县系雾迷山组, 分为四段, 岩性为灰色粉砂质泥晶白云岩、燧石条带白云岩、叠层石白云岩夹沥青质白云岩和硅质岩, 区域厚度 > 1500 m。

(5) 蓟县系杨庄组, 为一套紫红色、灰白色白云质泥灰岩夹燧石白云岩、底部为鲕状白云岩, 区域厚度 > 300 m。

(6) 长城系高于庄组, 为一套碳酸盐岩占绝对优势的地层, 主要岩性为钙质、沥青质白云岩, 燧石条带、结核白云岩, 叠层石白云岩等。

收稿日期: 2013-08-28; 修回日期: 2014-02-12

作者简介: 于孝民(1980-), 男(汉族), 黑龙江海伦人, 河北省地矿局第二地质大队地热开发研究所副所长、高级工程师, 水文地质专业, 主要从事水文地质、地热地质的勘查与评价工作, 河北省唐山市路北区北新西道 157 号, hbdzyxm@163.com。

3 井身结构设计

ZK1 井是区域上第一口地热井和第一个深部钻孔, 钻井设计揭露地层主要依据区域地质调查报告, 设计井深 3200 m, 采用“四开”井身结构, 目的层位蓟县系雾迷山组下部, 裸眼或筛管成井( 详见表 1)。

表 1 设计井身结构说明

井段	井径/mm	起止深度/m	揭露地层/厚度/m
一开	490	0 ~ 450	( 第四系/厚度约 400 ) + ( 新近系/厚度约 50 )
二开	311.2	450 ~ 850	( 新近系/厚度约 350 ) + ( 青白口系/厚度约 50 )
三开	215.9	850 ~ 1650	( 青白口系/厚度约 550 ) + ( 蓟县系/厚度约 250 )
四开	152.4	1650 ~ 3200	( 蓟县系/厚度约 1550, 蓟县系下部 )

4 钻井设备及钻具

采用 RPS3000 加重型水井钻机, 施工能力 3500 m, 钻井设备配置为: RPS3000 型钻机, 110 kW 电动机, QZ3NB - 500 型泥浆泵, 31 m A 型钻塔, 12V135AD 型柴油机, Ø89 mm 钻杆 + 钻铤。

5 钻井及成井工艺

5.1 钻井施工及成井

ZK1 井钻进工艺要求主要执行《地热资源地质勘查规范》( GB/T 11615 - 2010)。施工程序为: 钻井 - 测井 - 下管 - 固井 - 候凝( 试压)。

5.1.1 一开井段钻井施工及成井

一开井段主要在第四系中钻进。施工首先采用 Ø311.2 mm 铣齿牙轮钻头钻至设计深度附近, 提钻改用 Ø490 mm 铣齿牙轮钻头扩孔至孔底, 随后孔内循环, 清洗孔底, 同时保持孔壁完好。循环完毕后, 提钻测井下套管, 水泥全段固井止水, 水泥返高近地表, 水泥固井候凝时间 < 72 h。

在第四系松散层中钻进时, 松散砂土层井壁稳定性差, 钻进中重点对泥浆性能、钻压等钻进参数进行准确控制, 没有出现细砂层塌孔、粘土层缩径等孔内事故。一开井径巨大, 钻进时井壁多呈螺旋状, 很不规则, 因此, 在井下钻具组合中加入扶正器, 除扶正防斜外, 还起到修整井壁作用, 保证了一开井段下

套管一次成功。

5.1.2 二开井段钻井施工及成井

二开井段主要在新近系中钻进。施工采用 Ø311.2 mm 牙轮钻头一径钻井工艺, 钻至基岩顶部约 20 m 处停钻, 孔内循环后, 提钻测井下套管, 水泥固井止水。

技术措施与一开基本相同。需特别强调, 为了保证止水效果及后续施工安全, 二开技术套管应坐落在完整基岩面上。二开水泥固井也采用全段固井方法, 固井候凝 72 h 后必须进行憋压试验。

5.1.3 三开井段钻井施工及成井

三开井段主要在青白口系景儿峪组灰岩中钻进。施工采用 Ø215.9 mm 镶齿牙轮钻头一径钻井工艺, 钻至 1595 m 时, 根据上返岩屑判定, 已经进入下伏地层, 随即停钻, 孔内循环后, 提钻测井下套管, 水泥固井止水。三开固井止水与二开相同。

青白口系景儿峪组灰岩属典型软硬相间地层, 软层柔性大, 硬层硬度大, 施工中根据钻遇地层情况及时调整钻进及钻井液参数, 防止掉块卡钻和粘钻。

5.1.4 四开井段钻井施工及成井

四开井段主要在蓟县系雾迷山组白云岩中钻进。施工采用 Ø152.4 mm 镶齿牙轮钻头一径钻井工艺, 钻至井深 > 3200 m 时, 根据上返岩屑判定, 已经进入雾迷山组一段下部, 孔内循环后提钻测井, 井温 43 ~ 69 ℃, 试水水温 51 ℃, 基本达到预期, 故决定终孔。四开下套管采用尾管悬挂技术, 底部和上部采用膨胀橡胶止水。

蓟县系雾迷山组为拟开采目的热储层, 为了防止固相钻井液造成热储层裂隙堵塞, 采用低固相泥浆 + 清水进行钻进。四开井段长度大, 并且本段白云岩地层中泥质成分含量较高, 施工中根据钻遇地层情况及时调整钻井参数, 防止了掉块卡钻, 但出现多次粘钻, 值得高度关注。

5.1.5 完井结构及地层厚度

ZK1 井完井结构及揭露地层厚度见表 2。

5.2 钻井及成井数据汇总

最终 ZK1 完井深度 3204.8 m, 四开挂管止水至

表 2 完井结构及揭露地层厚度说明

井段	井径/mm	起止深度/m	揭露地层/厚度/m
一开	490	0 ~ 450	( 第四系/厚度 386 ) + ( 新近系/厚度 64 ) ( 钻井揭露第四系厚度为 386 )
二开	311.2	450 ~ 962	( 新近系/厚度 492 ) + ( 青白口系/厚度 20 ) ( 钻井揭露新近系总厚度为 556 )
三开	215.9	962 ~ 1595	( 青白口系/厚度 546 ) + ( 蓟县系/厚度 87 ) ( 钻井揭露青白口系景儿峪组总厚度为 566 )
四开	152.4	1595 ~ 3204.8	( 蓟县系/厚度 1609.8, 蓟县系雾迷山组一段底部 ) ( 钻井揭露蓟县系雾迷山组厚度为 1696.8, 未揭穿 )

2479 m,从 2479 ~ 3204.8 m 为裸眼出水段,试验水量为 80 m<sup>3</sup>/h,井口水温为 58 ℃。钻井及成井过程主要技术参数见表 3 ~ 7。

表 3 地热井成井参数

井段	井径/mm	井段起止深度/m	套管起止深度/m	重叠长度/m	套管型号/mm
一开	490	0 ~ 450	2.6 ~ 450		Ø339.7 × 9.65
二开	311.2	450 ~ 962	416.84 ~ 962	33.16	Ø244.5 × 10.03
三开	215.9	962 ~ 1595	925.90 ~ 1595	36.10	Ø177.8 × 8.05
四开	152.4	1595 ~ 3204.8	1575.71 ~ 2479	19.29	Ø114.3 × 6.35

表 4 钻具组合

井段	起止深度/m	钻具组合
一开	0 ~ 450	Ø490 mm 扩孔钻头 + Ø158.8 mm 钻铤 + Ø480 mm 扶正器 + Ø89 mm 钻杆
二开	450 ~ 962	Ø311.2 mm 牙轮钻头 + Ø158.8 mm 钻铤 + Ø302 mm 扶正器 + Ø89 mm 钻杆
三开	962 ~ 1595	Ø215.9 mm 牙轮钻头 + Ø158.8 mm 钻铤 + Ø204 mm 扶正器 + Ø89 mm 钻杆
四开	1595 ~ 3204.8	Ø152.4 mm 牙轮钻头 + Ø121 mm 钻铤 + Ø89 mm 钻杆

表 5 固井及止水参数

井段	起止深度/m	名称	止水方法	水泥浆密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	试压压力/MPa	稳定时间/h
一开	0 ~ 450	表套	全段固井	1.85		
二开	416.84 ~ 962	技套	全段固井	1.85	5	4
三开	925.9 ~ 1595	技套	全段固井	1.85	6	4
四开	1575.71 ~ 2479	尾管	橡胶封堵			

表 8 吸附卡钻事故统计

钻头位置/m	吸附段长度/m	钻具所在地层岩性	前步工作	停钻时间	井内事故处理办法	事故产生原因分析
1560	30	青白口系景儿峪组灰岩	提钻中途钻机故障,停钻	1d	解卡剂浸泡 2d 解卡	钻机故障导致井下钻具停滞时间过长
2420	10	蓟县系雾迷	提钻,调配钻井液	30 min	清水浸泡 8 h 解卡	停钻时间较长,未充分考虑到地层泥质成分偏高对钻井液的影响
2610	10	山组白云岩	提钻,接单根钻杆	<2 min	清水浸泡 5 h 解卡	未充分考虑到地层泥质成分偏高对钻井液的影响,以及二者之间产生的正负电荷的作用
2900	10		提钻,接单根钻杆	<2 min	清水循环解卡	

第四系底界在 380 m 左右,后续地热井一开井段长度可控制在 350 ~ 400 m,这样可适当降低成本,加快施工进度。

(2)二开井段采用全段固井方法,后续地热井若二开井段加长,固井方法采用“穿鞋”、“戴帽”易可行,虽施工工序有所变化,也不会增加施工成本。

(3)三开井段完工后,段长为 633 m。后续 3500 ~ 4000 m 地热井三开井段长度可适当增加至 800 ~ 1200 m,这样可适当缩小四开井段长度,降低施工风险。

(4)ZK1 井未能对基岩地层进行局部取心,是

表 6 钻进技术参数

井段	孔径/mm	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	泵压/MPa
一开	311.2	50 ~ 70	75	1470	7
	490	50	90	1470	5
二开	311.2	70 ~ 90	90 ~ 110	1470	10
三开	215.9	70 ~ 90	90 ~ 110	1140	13
四开	152.4	50 ~ 60	75 ~ 90	858 ~ 996	10 ~ 13

表 7 钻井液配方及性能参数

井段	钻井液配方	性能			
		粘度/s	密度/(g·cm <sup>-1</sup> )	失水量/[mL·(30 min <sup>-1</sup> )]	pH 值
一开	钠土 + CMC + NaOH + NH <sub>4</sub> - HPAN + 清水	23	1.18	15	8.5
		25	1.16	10	8.5
二开	钠土 + CMC + K - PAM + NH <sub>4</sub> - HPAN + 清水	22	1.15	12	8.5
三开	钠土 + K - PAM + NH <sub>4</sub> - HPAN + 清水	21	1.14	13	8.5
四开	低固相泥浆 + 清水	16	1.05		7.5

6 事故处理与分析

ZK1 井施工过程中,由于是区域上第一口地热井,因此类比北京、天津同地层地热井施工情况,对孔内可能出现的事故进行了充分的考虑,但还是出现了 4 次井内事故,并且都是吸附卡钻。详见表 8。

7 施工经验总结

(1)一开井段长 450 m,根据测井和岩屑资料,

本次工作的遗憾。对基岩地层取心,尤其是对蓟县系雾迷山组取心,对于了解地层倾角、岩石特征、热储层赋水性等都会有很大帮助,对邻近区块的蓟县系雾迷山组地热开发也有帮助作用。

(5)ZK1 井内发生 4 次吸附卡钻事故,关于事故的总结和分析还只是初步的,后续地热井施工时,技术人员应充分考虑此类事故出现的可能性,做好预防工作。

(6)ZK1 井的施工技术措施和技术参数,是根据本井的施工设备选定的,还不够成熟,不够经济合理,仅供后续地热井施工技术人员参考、借鉴。

## 8 结语

唐山市是典型的重工业城市,城市发展单位能耗较高,环境质量较差,高 GDP 背后,高耗能高污染已经成为美丽唐山、宜居唐山建设必须面对和急需解决的问题。地热是清洁环保的新型可再生能源,发展前景广阔,市场潜力巨大。唐山市丰南区前瞻性、探索性的开启了唐山市山前冲洪积平原低温地热区地热资源的开发之路,为唐山市此区域和邻近区域的地热开发工作开了好头,奠定了基础。针对唐山市 ZK1 地热井的施工和实践,我们总结了几点体会。

(1) 针对该区域热储层较深的特点,前期必须制定比较严密细致可行的施工技术方案,并且在施工中要根据即时的资料、数据准确把握井内情况,及时调整完善施工技术方案,同时要求施工队伍整体素质必须过硬,施工所需的材料、设备必须优质、高效。

(2) 今后唐山市山前冲洪积平原低温地热区地热勘探开发工作,地质、钻井等方面的专业技术人员应多多积累数据、总结经验,完善地质论证和施工工

艺,从专业技术层面为此区域地热资源的勘探开发提供科学依据。

(3) 唐山市是以煤矿、铁矿为主的传统矿业城市,新能源的开发利用工作比较落后。针对国家大力推广地热开发利用的政策法规,我们专业技术队伍应从多层次、多角度、多渠道推动唐山市地热资源的勘探开发利用,为唐山城市发展的转型升级贡献力量。

## 参考文献:

- [1] 于孝民,刘继东,王朋,等.唐山市丰南区运河第二景区 ZK1 地热井完井地质总结报告[R].河北唐山:河北省地矿局第二地质大队,2013.
- [2] 刘文新,张长茂,鲍洪智.大连金石滩地区复杂基岩地热井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(8):20-21.
- [3] 郑思光,赵志杰,王克佳,等.司家营(南)区大贾庄铁矿复杂地层深孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):36-39.
- [4] 孙友宏,张祖培,刘宝昌.水井钻井和成井新技术[M].北京:地质出版社,2004.
- [5] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2007.

## (上接第40页)

井眼局部形成砂桥引起的。本井二开井段累计起下钻、短起下钻共计十几次,经过不断总结,形成一套针对掉块引起的井下复杂处理办法。起下钻遇阻后,不能反复大力活动钻具,大力活动钻具不仅有可能拉力过大导致钻具卡死,还有可能激动压力大导致井壁失稳恶化,产生新的掉块。起下钻遇阻后,应开泵循环,同时采取正划眼、倒划眼,将砂桥破坏掉。划眼时禁止定点循环,小心操作,本井沙溪庙地层属于中硬地层,带动力钻具划眼一般不会划出新眼。

## 4 结语

(1) 中江区块下沙溪庙层位开发井少,钻井施工参考资料少,井壁易失稳,所以易发生卡钻等井下复杂事故。

(2) 在该区块钻井施工中,工程、录井人员、钻

井液人员、定向各方应相互配合,制定详细技术措施,预防井下复杂事故的发生。

(3) 建议在中江区块下沙溪庙地层的开发井设计为三开井身结构,下技术套管到 A 靶,封住上部井壁不稳定地层。

## 参考文献:

- [1] 蔡利山,苗锡庆,李应有,等.川东北地区陆相地层井眼失稳原因分析[J].石油钻探技术,2008,36(6):39-43.
- [2] 郑义,李果,刘丹婷,等.适用于川西地区的硅酸盐钻井液研究[J].天然气技术与经济,2012,6(2):45-48.
- [3] 石秉忠,欧彪,徐江,等.川西深井钻井液技术难点分析及对策[J].断块油气田,2011,18(6):799-802.
- [4] 胡家森,张艳,蒋铭坤,马 2-1H 典型水平井复杂情况处理及预防[J].石油钻采工艺,2012,34(6):23-27.
- [5] 耿书肖,张永青,奚国银,等.水平井卡钻事故处理实践及预防措施探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):9-13.