

河北南孟 3340 m 基岩地热井施工工艺

王德敬, 夏秋田, 杨保林, 赵长亮, 毛连义

(山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015)

摘 要: 简要介绍了在河北南孟施工的深 3340 m 地热井的地质情况, 详细说明了该井的施工工艺, 总结了该井的施工经验以及施工中存在的问题。

关键词: 地热井; 基岩; 钻井

中图分类号: TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)06-0026-04

我院近年来主要承揽地热井施工工程, 但所钻遇的地层大都是第四系、第三系地层, 而且相对较浅, 孔深都在 2000 m 内。2007 年 4 月, 受河北省霸州市万泉地热井开发有限责任公司委托, 我院在河北霸州南孟施工地热井一眼, 目的是通过钻探手段探明该区地热田情况及地热利用价值, 设计井深 3600 m, 实际施工深度 3440 m 即达到了设计要求。

该井是我院首次进行深孔基岩地热井施工。通过 5 个月的施工, 圆满地完成了施工任务, 受到了甲方的好评。

该井出水量达到 140 m³/h, 出口水温达到 104℃, 是华北地热田至今为止出水温度最高的一口地热井。该井施工工艺的成功实施, 不仅对我院今后的地热井施工开创了一条新路, 同时对整个华北地区地热井的施工都具有一定的指导意义。

1 地质概况

该井在地质构造上位于: 牛驼镇凸起南侧牛东断层与霸县凹陷接触的断阶带西段断块的南孟潜山东部倾没部位。该断阶带在区域构造上, 新生界构造层归属于霸县凹陷, 前第三系构造层则依附于牛驼镇凸起。本井钻遇地层情况如下。

0~400 m 为新生界第四系平原组: 棕黄色粘土层与砂砾层不等厚互层, 性松软, 可钻性好。

400~1300 m 为新生界上第三系明化镇组: 上段为灰、浅灰色细~中砂岩与灰黄、棕红色泥岩等厚或略等厚互层, 性较松软, 半固结状态; 下段以棕红色泥岩为主夹灰色或灰黄细~中、粗砂岩, 含砾砂岩; 底部为含砾砂岩, 与下伏沙河街组呈角度不整合接触。

1300~1650 m 为新生界下第三系沙三界: 上段为灰色泥岩夹灰色薄层粉~细砂岩, 以粉砂岩为主, 具有正旋回特征; 中段为顶部黄、棕红色泥岩发育, 夹薄层粉~细砂岩, 中下段灰色泥岩与灰白、灰色粉~细砂岩互层, 其间夹薄煤层; 下段主要为灰色泥岩, 夹有薄层白云岩或油页岩, 与下伏地层呈整合接触。

1650~2000 m 为新生界下第三系沙四界: 上段为灰、褐灰色泥岩与灰色粉砂岩不等厚互层, 其间偶夹黑色玄武岩; 中段以灰、紫红色泥岩为主夹薄层粉~细砂岩; 下段为紫红、灰色泥岩与灰、灰白色砂岩不等厚互层, 底部砂岩含砾岩, 与下伏奥陶系呈角度不整合接触。

2000~2150 m 为下古生界奥陶系灰岩: 上部岩性为褐灰、深灰色白云岩; 下部为深灰、灰、褐色灰岩, 常含泥质, 顶部为侵蚀面和风化淋滤, 缝洞发育, 与下伏地层为整合接触。

2150~2900 m 为下古生界寒武系: 上部以褐色灰岩为主夹薄层泥灰岩, 底部出现棕黄色泥页岩; 上部毛庄组为紫红泥岩夹紫红色、灰鲕色灰岩; 中部馒头组为棕红、紫红、灰黄色泥岩夹褐、深灰、灰色泥质灰岩、白云岩; 下部府君山组为褐色白云岩及灰岩, 与下伏地层为平行不整合接触。

2900~3000 m 为中上元古界青白口系: 上部景儿峪组为紫色泥灰岩; 中部长龙山组为灰白、紫色石英砂岩, 浅灰绿色海绿石砂岩及紫红、灰绿、深灰色泥岩; 下部下马岭组为深灰色页岩及紫色泥岩。

3000~3600 m 为中上元古界蓟县系: 铁岭组, 上部灰、深灰色白云岩, 下部夹薄层灰、绿色页岩, 底夹薄层灰色石英砂岩; 洪水庄组, 灰色白云岩, 硅质

收稿日期: 2007-12-02

作者简介: 王德敬(1962-), 男(汉族), 山东商河人, 山东省鲁北地质工程勘察院副院长、高级工程师, 水文地质工程地质专业, 从事地热研究与开发工作, 山东省德州市德兴北路 30 号。

白云岩,顶、底部有薄层灰色页岩;雾迷山组,灰、褐灰、灰白色白云岩及硅质白云岩,灰质白云岩;杨庄组,棕红、紫红色白云岩及泥灰岩。

2 钻井设计

2.1 井身结构(如图 1)

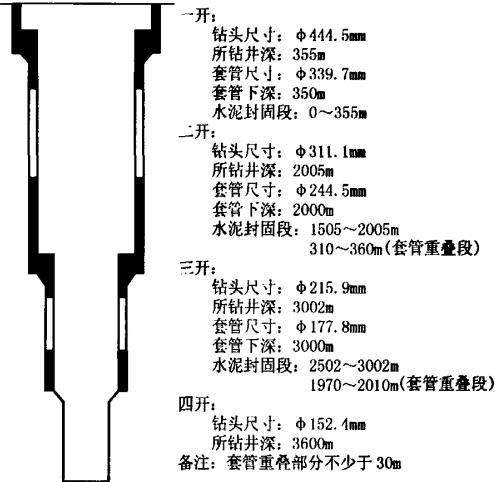


图 1 井身结构设计示意图

2.2 技术指标及质量要求(见表 1)

表 1 钻井技术指标及质量要求		
井深/m	最大井斜角/(°)	井斜变化率/[(°) · (100 m) ⁻¹]
0~355	1	1
355~3600	8	1

3 施工设备及钻具组合

施工主要设备有:3000 m 钻机 1 台,ZJ170/41-K 型钻塔 1 副,3NB-1300D 型钻井泵 1 台,PZ12V190B 型柴油机 2 台,UF3561-6 m³型自动压风机 2 台,40 m³钻井液储备罐 2 个,钻压指重表 1 台,45 MPa 钻井泵压表 1 个。

钻具组合见表 2。

4 钻井液技术

4.1 钻井液体系及性能(见表 3)

4.2 钻井液维护要点

4.2.1 一开(0~355 m)

地层胶结疏松,井径大,钻屑携带困难,钻井液体系为高粘度膨润土浆。配制预水化膨润土浆(密度 1.10 kg/L)。用预水化膨润土泥浆开钻,钻进中

表 2 钻具组合情况

开钻次序	井段/m	钻具类型	钻 具 组 合
一	0~355	满眼钻具	Ø444.5 mm 钻头+Ø444.5 mm 扶正器+Ø203 mm 短钻铤 1 根+Ø444.5 mm 扶正器+Ø178 mm 钻铤 1 根+Ø444.5 mm 扶正器+Ø178 mm 钻铤 10 根+Ø127 mm 钻杆
二	355~2005	满眼钻具	Ø311.1 mm 钻头+Ø311.1 mm 扶正器+Ø203 mm 短钻铤 1 根+Ø311.1 mm 扶正器+Ø178 mm 钻铤 1 根+Ø178 mm 钻铤 10 根+Ø127 mm 钻杆
三	2005~3002	偏轴接头防斜钻具	Ø215.9 mm 钻头+偏轴接头+Ø178 mm 钻铤 2 根+Ø215.9 mm 螺旋扶正器+Ø178 mm 钻铤 8 根+Ø159 mm 钻铤 10 根+Ø127 mm 钻杆
四	3002~3600	偏轴接头防斜钻具	Ø152.4 mm 钻头+偏轴接头+Ø127 mm 钻铤 2 根+Ø152.4 mm 螺旋扶正器+Ø127 mm 钻铤 10 根+Ø89 mm 钻杆

表 3 钻井液体系及性能

井段/m	钻井液体系	密度 /(g·cm ⁻³)	漏斗粘 度/s	API 失水 量/mL	API 滤饼 /mm	静切力 /Pa	pH 值	含砂量 /%	动切力 /Pa	塑性粘度 /(mPa·s)	动塑比
0~355	预水化膨润土泥浆										
355~2005	聚合物钻井液	<1.15	18~27	<15	<2	1~2	8~10	<4	2~4	5~6	>0.5
2005~3002	聚合物钻井液	<1.2	20~26	<8	1	1	8~10	<4	4~6	8~12	>0.5
3002~3600	清水钻进										

根据井下实际情况,不断补充提粘剂,保持钻井液具有较强的携带和悬浮能力,满足大井眼钻进需要。钻至设计深度后,要进行充分的循环和通井,在确认井眼干净、无沉砂和无井壁坍塌后方能起钻,以确保下套管和固井的顺利施工。

4.2.2 二开(355~2005 m)

将一开钻井液用清水和胶液冲稀至膨润土含量<40 g/L,根据需要加入各种处理剂,调整至设计性

能。开钻将钻水泥塞所污染的钻井液放掉或加入纯碱清除钙离子,其余钻井液地面净化处理后,作正常使用。钻进中及时补充配制浓度为 1% 的高分子聚合物胶液,尽量不单独加清水,增强钻井液的抑制性。利用 NPAN 调整钻井液粘度,调节流变性,利用 PAM 抑制页岩、岩屑分散,合理控制滤失、加足防塌剂,确保井眼稳定;钻井中随时储备与井眼内性能相同的钻井液,以备井下复杂情况应急用。

4.2.3 三开(2005 ~ 3002 m)

由于本段所钻遇的地层易垮塌,做好防塌工作。具体做法是:加足滤失剂和防塌剂,确保井壁稳定。控制好钻井液的 pH 值在 8 ~ 9,可以减弱高碱性对泥岩的强水化作用。适当提高钻井液的矿化度,使之与泥页岩的矿化度相当或稍高,减少渗透压,降低井壁周围泥页岩的含水量和孔隙压力,使泥页岩强度增加。可在钻井液中加入各种堵塞剂,如氧化沥青、淀粉等,以减少或防止渗透作用和毛细管作用,降低滤液向井壁岩石的渗透速度。如泥浆性能保持完好,仍出现地层垮塌,可提高钻井液密度,以平衡地层应力。该段地层注意防漏,具体做法:配合地质压力检测,无特殊情况严格控制钻井液密度,尽可能实现压力平衡钻井。视井下地层情况可加入 2% ~ 3% 颗粒状堵漏剂、3% ~ 5% 的粗纤维类堵漏剂或复合堵漏剂,以满足防漏需要。若发生漏失,应快速准确地分析确定漏失类型,及时采取有效的堵漏技术和方法(桥接堵漏、凝胶堵漏、可酸化凝固型堵漏技术等),降低或消除漏失,恢复钻进。

堵漏方法及措施:

(1)循环堵漏。发现井漏停止钻进,采用小排量、低泵压循环观察,同时往钻井液中加入堵漏材料(堵漏材料含量 3% ~ 5%),停止漏失后恢复钻进。

(2)静止堵漏。循环堵漏无效,发生裂缝性漏失,钻井液失返时采用此法。起钻前配堵漏钻井液(粘度为滴流,堵漏材料含量 8% ~ 10%),小排量泵入漏层后,即起钻静止,静止一段时间后,分段下钻循环,停止漏失后恢复钻进。

(3)清水强穿。井口钻井液失返,利用钻屑和堵漏剂堵漏。

(4)上述堵漏措施无效,堵漏过程中钻井液无返出,可采用水泥堵漏。使用振动筛、除砂器等与钻井泵同步运转,严格控制钻井液中劣质固相含量和低密度固相,维持钻井液膨润土含量在 30 ~ 45 g/L。

4.2.4 四开(3002 ~ 3600 m)

由于该井段为目的层,且该井段地层较稳定,为保护产层,故采用清水钻井。

5 钻头及钻井参数设计

5.1 钻头设计(见表 4)

5.2 钻井参数设计

钻压:一开钻压 ≤ 70 kN,二开钻压 ≤ 150 kN,三开钻压 ≤ 130 kN,四开钻压 ≤ 100 kN。

转速:60 ~ 120 r/min,如遇憋钻、跳钻时换低

表 4 各井段所用钻头型号

序号	尺寸/mm	型号	井段/m	进尺/m
1	Ø444.5	H126	0 ~ 355	355
2	Ø311.1	HAT126	355 ~ 1300	945
3	Ø311.1	HAT437、HAT517	1300 ~ 2002	702
4	Ø244.5	HJT527、HJT617、HJT637	2002 ~ 3002	1000
5	Ø152.4	HJT527、HJT617、HJT637	3002 ~ 3600	600

速。

流量:采用最大流量 41.52 L/s。

泵压:通过调节三牙轮钻头喷嘴,将泵压控制在 10 ~ 15 MPa。

6 固井工艺

6.1 表层套管固井

套管串结构:浮鞋 + 套管 1 根 + 浮箍(内插座) + 套管串。

注水泥方案:普通 42.5R 硅酸盐水泥,水泥浆密度 1.8 g/cm³,水泥返出地面。采用钻井液开钻,内插法固井。内插管密封要平衡,密封要可靠,密封插头下井前要涂抹黄油。施工结束后,如果井口水泥浆面下沉,必须注水泥浆补充。

6.2 二开固井

套管串结构(由下至上):浮鞋 + 套管 2 根 + 浮箍 + 套管串 + 3 根套管 + 5 根套管(加 3 组套管扶正器以保证套管居中,保障固井效果) + 变径反丝接头 + 钻杆。采用 G 级水泥,水泥浆密度 1.8 g/cm³(根据实钻测定及测井得出的地层压力,可调节水泥浆密度,确保水泥浆返高达到设计要求)。水泥浆自由水控制量 < 3.5 mL,失水量 < 150 mL,水泥浆返高为 500 m,套管重叠段封固不少于 30 m。稠化时间 $\geq$ 施工总时间 + 3 h。

施工程序:循环钻井液 $\rightarrow$ 注水泥浆 $\rightarrow$ 替水泥浆 $\rightarrow$ 候凝。

6.3 三开固井

套管串结构(由下至上):浮鞋 + 套管 2 根 + 浮箍 + 套管串 + 变径反丝接头 + 钻杆。采用 G 级水泥,水泥浆密度 1.8 g/cm³(根据实钻测定及测井得出的地层压力,可调节水泥浆密度,确保水泥浆返高达到设计要求)。水泥浆自由水控制量 < 3.5 mL,失水量 < 150 mL,水泥浆返高为 500 m,套管重叠段封固不少于 30 m。稠化时间 $\geq$ 施工总时间 + 3 h。

施工程序:循环钻井液 $\rightarrow$ 注水泥浆 $\rightarrow$ 替水泥浆 $\rightarrow$ 候凝。

6.4 套管柱设计(见表 5)

表 5 各井段套管柱设计参数

套管程序	井段	套管数据			
		尺寸/mm	钢级	壁厚/mm	扣型
表层套管	0~350	339.7	J55	9.65	短圆
二开尾管	320~2000	244.5	N80	10.03	长圆
三开尾管	1970~3000	177.8	N80	9.19	长圆

7 钻井技术措施

7.1 防卡

(1) 加强活动钻具, 井内钻具静止时间 ≥ 3 min。上下活动钻具范围应在 2 根以上。

(2) 使用抑制性泥浆, 并配合使用好降失水剂, 以改善钻井液及滤饼的润滑性, 降低钻井液失水量, 保证形成的滤饼薄而致密。

(3) 保持良好的钻井液性能, 加强钻井液净化, 降低固相含量, 尽量作到平衡地层压力钻进, 是防止压差卡钻的根本途径。

(4) 最大限度的减少钻井液液柱压力, 减少钻具与井壁上滤饼的接触面积, 尽量缩短钻具在井下静止的时间, 一定要不停的活动钻具。

(5) 最大限度的降低钻井液中的无用固相含量, 改善钻井液固相颗粒级配。维持钻井液具有好的流变性, 提高井壁的承压能力。

(6) 所有下井钻具必须按规定认真进行检查, 凡不合格的钻具禁止下井使用。

(7) 起钻前处理好钻井液, 大排量循环洗井, 循环两周以上方可起钻。下钻不应一次到底, 应分段开泵循环正常后再下。

(8) 钻进中发现泵压升高、悬重下降、钻井液返出减少、接单根打倒车等现象, 应停止钻进或接单根, 上提钻具到正常井段后, 采用冲、通、划的办法, 使井眼恢复正常后方可继续作业。

(9) 短起下钻井段应超过所钻井段长度, 防缩径卡钻。

(10) 钻进中发现泵压下降, 必须停钻找出原因。如果在地面上找不出问题, 应起钻检查钻具。

(11) 钻进中发现钻时变慢、憋钻、泵压升高、上提钻具阻卡, 应立即停钻, 处理钻井液改善性能。同时, 上下长距离活动钻具, 并高速旋转甩动, 加大循环排量, 以消除钻头或稳定器的泥包。

(12) 在井口上作业, 必须预防工具、螺栓、钳牙等物品落入井内。空井时, 可用钻头盒盖住井口。

7.2 防斜

(1) 对所有设备进行二开前检查验收, 认真进行高压试运转 0.5 h 以上, 运转平稳、不刺、不漏方

可开钻。

(2) 表层钻进中, 平衡好水龙头, 使其不摆不跳。

(3) 要轻压吊打, 井斜 $< 1^\circ$, 井斜过大须纠斜。

(4) 在检修保养设备或处理钻井液时, 应保持大幅度活动钻具并循环钻井液。但不可大排量长时间停在一处转动循环, 避免冲大井眼造成井斜。

(5) 换用新钻头时, 不可一次下钻到底。在接近井底时, 小排量开泵, 一挡启动转盘, 慢慢下到井底, 再用 30~50 kN 的钻压磨合钻头约 0.5 h 后, 逐渐加压至正常钻压钻进。

(6) 设备安装按规定要求达到平、正、稳、固、牢。校正天车中心、转盘中心及井口中心三者处于同一铅垂线上, 最大允许偏差 ≥ 10 mm。

(7) 指重表、记录仪、泵压表必须灵敏、准确、好用。

7.3 防漏

(1) 在钻进过程中, 调整好钻井液性能, 在井下条件允许的情况下, 钻井液密度尽量小, 保持近平衡压力钻井。

(2) 钻遇漏失井段前, 要提前做好堵漏材料, 按设计要求处理好钻井液性能, 并准备随时加入堵漏材料。

(3) 下钻前要控制速度, 井深 > 500 m 后要使用辅助刹车, 每下一柱不能少于 30 s, 防止下钻速度过快激动压力过大压漏地层。下钻过程要分段循环钻井液, 切不可一次下钻到底再开泵循环。开泵要先小排量顶通后, 再恢复正常排量, 严禁开泵过猛压漏地层。

(4) 认真执行坐岗制度, 专人观察钻井液液面的变化情况, 无论钻进还是下钻时, 发现井漏, 如果漏失量 > 5 m³, 应立即起钻, 并连续向井内灌入钻井液, 同时做好堵漏准备。

7.4 防坍塌

(1) 加足防塌抑制剂, 封堵材料, 改变钻井液滤液性质, 减少钻井液侵入量, 满足对泥岩的有效抑制和封堵。

(2) 尽量缩短流体对易坍塌地层的浸泡时间, 进一步改善钻井液的高温高压滤失性和滤饼性能, 加处理剂要均匀, 保持钻井液性能稳定, 尤其是密度和粘切要相对稳定。

(3) 尽量减轻钻具对井壁的碰撞和减轻压力激动及抽吸; 同时, 还应尽量减轻流体对井壁的冲刷。

(下转第 32 页)

护丝,打捞器将接近内管上端时,应放慢下降速度,反复捞取内管无效时,不得猛冲硬墩,应提钻查明原因。

(2)在提升钢丝绳打捞内管时,应注意孔口钻杆内是否有冲洗液涌出,以判断内管是否打捞上来。

(3)钻孔为干孔时不得直接投放内管,应用打捞器将内管送入孔底或开泵以最大排量向钻杆内泵入冲洗液后立即投放内管。

(4)内管未到底前不准扫孔钻进。

(5)钻杆折断后,不准下入打捞器捞取内管。

(6)内管提上后,如发现管内无岩心,应立即提钻处理。

(7)打捞器上的钢丝绳应绑结牢固,并应装安全绳,当脱卡销起过 2.5 kN 拉力时应能被剪断,从而使打捞器安全脱卡。

(8)单动性能良好,各部件之间的同心度要好,管材无伤裂,丝扣要完好。

(9)不得用管钳拧卸钻头、扩孔器和内外管,而应用多触点钳或擦式钳,同时还应注意钳牙不得触及钻头或扩孔器的胎块部位。

(上接第 25 页)

(3)悬挂密封操作简单、质量可靠,适用于不同深度的第三系地热井中。在热水水质复杂、较高温(80℃以上)的井中橡胶密封的可靠性有待进一步实践检验;而金属密封式不受水质水温影响,完全可以满足第三系成井的要求,特别是 2000 m 以深的深井中较其它各密封形式更显优势。通过近年来施工实践证明,利用金属悬挂器密封质量可靠、效益显著,值得借鉴。

(上接第 29 页)

8 成功经验

(1)3 次技术套管的合理分配,有效隔绝易坍塌地层,是本次施工工艺最成功的一点。在进入 3000 m 以深出现一次牙轮掌脱落事故,运用磨鞋和磁力打捞器相结合历经 72 h 解除事故,就是因为 3000 m 以浅有效的技术套管封隔易坍塌地层,才致使此次事故有充足的时间进行处理。

(2)使用了合理的钻具组合。一开和二开采用满眼钻具组合,三开和四开采用防斜钻具组合,保证了钻孔的井斜要求,测井显示井斜达到预期目的。

(3)使用了合理的泥浆工艺,有效地保证了孔

(10)退出岩心时,要用橡胶锤、木锤敲打内管。不得用铁锤直接敲打双管的内外管。

(11)双管在移动时不能猛力拖拉或撞击,存放时要摆平,不得重压,运送时要套装,装卸时要轻放。

4 结语

使用 JS75 型绳索取心金刚石钻进,在直孔和斜孔钻进施工中,钻孔顶角偏差 $<1^\circ/100\text{ m}$,方位角偏差 $<1.5^\circ/100\text{ m}$,岩矿心采取率达到 95%~100%,钻进效率达到 2~3 m/h。不仅能有效防止钻孔弯曲度超差,而且孔内事故大大减少,满足地质各方面的要求,从而大大提高钻孔质量。

我在蔡家营锌金矿为澳方进行钻探施工中,很好地满足了外方的要求,不仅取得了很好的经济效益和社会效益,而且赢得了很好的国际声誉。高标准地完成了地质对钻探质量要求,取得了质量好、效率高、成本低的成效。

另外,澳方人员认真的工作态度以及一丝不苟的工作精神给我们留下了深刻印象,值得我们学习和借鉴。

参考文献:

- [1] 卢予北,等. 郑州地热资源勘查技术研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.
- [2] 王学工,等. 华北地区馆陶组地热井成井工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [3] 卢予北. 地热井常见主要问题分析与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2).
- [4] 邵景林,等. 供水钢管井损坏原因与修复技术[J]. 水文地质工程地质,2005,(4).

壁的稳定,整个工程施工期间未出现埋钻、塌孔等事故。

9 存在不足

(1)在进行施工工艺设计中未考虑到地层中可能出现的防跳、防震钻具的问题,在施工 2100~3000 m 孔段中出现了严重的跳钻问题,结果造成送水器轴承被跳坏,出现了停钻延误工期事故,后来配置了减振器,解决了这个问题。

(2)四开钻进时出现下钻碰撞三开固井上接头,其主要原因就是在进行三开固井时,安放套管扶正器不合理,造成套管未居中。