

本溪市东风湖地热井施工和固井技术

耿 印, 于志坚, 邢运涛, 于保国, 李 明, 王 越, 王景章
(河北省地矿局第四地质大队, 河北 承德 067000)

摘要:辽宁省本溪市东风湖地热井勘查施工项目,设计井深 2000 m,要求终孔口径 100 mm。钻井深度较深,终孔口径较大;地层复杂,破碎、漏失严重,溶洞发育等,施工难度很大。着重介绍了该井施工工艺,主要包括异径钻头钻进、钻杆折断事故处理、前置钻头扩孔、固井工艺技术、扫塞通孔等,为类似工程提供借鉴。

关键词:地热井;绕障处理;固井技术;阻流环;前置钻头

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)09-0053-05

Construction and Cementation Technologies for Dongfenghu Geothermal Well in Benxi City/GENG Yin, YU Zhi-jian, XING Yun-tao, YU Bao-guo, LI Ming, WANG Yue, WANG Jing-zhang (The Fourth Geological Team of Hebei Provincial Bureau of Geological Exploration and Mineral Development, Chengde Hebei 067000, China)

Abstract: The designed hole depth was 2000m for Dongfenghu geothermal well exploration construction project in Benxi of Liaoning Province, the well completion diameter was required to be 100mm. The construction was difficult because of the deep drilling and large completion diameter, complicated ground conditions with broken formation, leakage and caving development. This paper introduces the construction process, mainly including customized non-standard bit drilling, broken drill pipe treatment, hole reaming by pre-posed bit, cementing technology and drilling through cement plug, which can be reference for the similar projects.

Key words: geothermal well; obstacle bypassing; cementing technology; choke ring; pre-posed bit

1 工程概况

辽宁省本溪市东风湖地热井勘查施工项目,位于辽宁省本溪市东风湖风景区旅游度假养殖基地垂钓园内。业主指定井口坐标、钻井结构、井深及终孔口径(参见表 1)。工程内容包括:钻井、全井段取心钻进、录井、测井、固井、洗井、抽水试验、采样化验及提交竣工报告。井身质量要满足《地热资源地质勘查规范》(GB/T 11615—2010)的要求。

表 1 甲方钻井结构要求

开钻 次序	井径/ mm	井段/ m	套管钢级	外径/ mm	壁厚/ mm	备 注
一开	444.5	0~30	螺旋焊管	377.0	8.00	钻至完整基岩
二开	311.1	30~550	API-J55	244.5	8.94	根据地层岩性变化确定大径径深,以上部分需固井隔离,要求取心
三开	100.0	800~2000				要求取心

2 地层概况

(1)第四系(Q):0~8 m,泥质粘土,底部为细砂,地层含水丰富,易坍塌。

(2)侏罗系(J₃):8~580 m,层厚 570 m。岩性

主要为肉红色火成岩,伟晶岩,黑色炭质泥岩,绿黑色安山岩。

(3)石炭系太原组(C_{3t}):岩性为黑色炭质泥岩。

(4)石炭系本溪组(C_{2b}):层厚 250 m。岩性为厚层浅灰色石灰岩,薄层灰绿色粘土岩,薄层灰黑色泥岩,辉绿岩。

(5)奥陶系(O₂):850~2000 m,岩性为巨厚浅灰色一灰黑色石灰岩,夹薄层灰黑色泥岩。1200~1500 m 段裂隙发育,多破碎,并多见溶洞。

3 施工方案制定

第四系覆盖层较厚,开孔口径较大,地层含水丰富,岩性为泥质粘土或细砂,易坍塌。经分析研究确定,采用 Ø444.5 mm 开孔,使用高固相泥浆,钻过第四系覆盖层至完整基岩,下 Ø377 mm 螺旋套管(务必使套管安放位置准确),灌注水泥封孔固定。

550 m 以浅井段,地层岩性主要为火成岩、伟晶岩、安山岩。岩石硬度较大,影响钻进速度,而且口

收稿日期:2017-04-10

作者简介:耿印,男,满族,1970 年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,从事岩心钻探技术施工与管理工作,河北省承德市双滦区双塔山镇三岔口上白庙, gengyin02@163.com。

径要求较大($\Phi 311.1$ mm)。为满足甲方要求,采取先小径钻探取心,尽量缩小井径级差,以保障下部钻进施工顺利进行。成功钻至设计井深(2000 m)后,上部再进行扩孔、固井作业。分析小口径钻进工艺实际情况:受终孔口径要求限制,不能采用 $\Phi 110$ mm口径钻进,下 $\Phi 108$ mm套管。只能采用 $\Phi 150$ mm钻进、 $\Phi 130$ mm钻进、 $\Phi 95$ mm绳索取心钻进工艺。为满足终孔口径要求,定制异径钻头($\Phi 95$ mm钻头外径增加到100 mm)。 $\Phi 130$ mm钻进深度不宜太深。

550 m以浅井段,泥浆不作特殊要求,根据钻进实际情况选择使用泥浆;550 m以深井段为取水孔段,采用无污染低固相不分散泥浆,孔底水温过高时,可添加抗高温处理剂,如:酚醛树脂(SMPI\SMP II)或铁烙盐(FCLS)等。

4 钻探设备、钻具组合及钻进参数选择

4.1 小径施工阶段

4.1.1 钻探设备(见表2)

表2 钻探主要设备一览表

主要设备名称	型号或规格	数量/台
钻塔	SG-23	1
钻机	HXY-8B	1
泥浆泵	BW-250	1
取心绞车	JS-3000	1
泥浆泵	BW-320	1
搅拌罐	0.5 m^3	2

注:机场动力主要为380 V动力电。

4.1.2 钻具组合

$\Phi 150$ mm钻头 + $\Phi 146$ mm钻具 + $\Phi 89$ mm钻杆;

$\Phi 130$ mm钻头 + $\Phi 127$ mm钻具 + $\Phi 89$ mm钻杆;

$\Phi 100$ mm钻头 + $\Phi 89$ mm钻具 + $\Phi 89$ mm钻杆。

4.1.3 钻进参数

钻进压力:在 $\Phi 150$ 、 $\Phi 130$ mm井段钻进,钻压分别控制在6~9、7~12 kN;在 $\Phi 100$ mm井段为金刚石钻头钻进,钻压为16~22 kN;在断层中钻进时,钻压降到12~18 kN。

转速:一般200~400 r/min。

冲洗液量(泵量):金刚石钻进工艺的冲洗液泵量的选择要满足携带岩粉、冷却钻头,不宜过大。此次使用BW-250和BW-320型2种泥浆泵,泵量

为52和66 L/min。

泵压:正常钻进时使用双管钻进,泵压控制在2~4.5 MPa。漏水时没有泵压,顶漏钻进。

4.2 扩孔阶段

4.2.1 钻探设备(见表3)

表3 扩孔主要设备一览表

主要设备名称	型号或规格	数量/台
钻塔	SG-23	1
钻机	HXY-8B	1
空压机	1070	3
副绞车	JS-3000	2
游车大钩		1
泡沫泵		1

4.2.2 钻具组合

$\Phi 311$ mm锤头 + $\Phi 225$ mm锤体 + $\Phi 203$ mm变径 + $\Phi 203$ mm钻铤 + 变径 + $\Phi 178$ mm钻铤 + $\Phi 127$ mm钻杆 + $\Phi 178$ mm保护接手 + $133\text{ mm} \times 133\text{ mm}$ 四方钻杆。

4.2.3 钻进参数

钻压20 kN,转速27 r/min,风压1.7 MPa,风速16 m/min。

5 小口径钻进施工过程

2014年11月27日钻探施工开始,开孔 $\Phi 444.5$ mm,钻进至5.94 m,钻至完整地层后下入 $\Phi 377$ mm $\times 8$ mm螺旋套管6 m,地面上0.06 m。水泥固井并候凝。2014年12月2日开始小口径钻进,一开 $\Phi 150$ mm单管钻进,至井深7.50 m,下入 $\Phi 146$ mm套管7.50 m。二开 $\Phi 130$ mm单管钻进至井深14.45 m,下入 $\Phi 127$ mm套管14.45 mm。三开 $\Phi 100$ mm绳索取心钻进,至井深2000.04 m,小径施工完毕。小口径施工阶段钻井结构如图1所示。

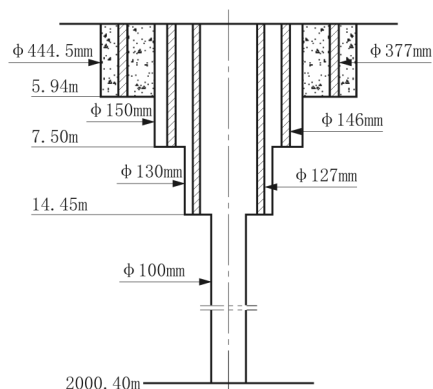


图1 本溪东风湖地热井小口径施工钻井结构示意图

6 事故处理

6.1 顶漏钻进

钻进至 1182.23 m 处,钻井液漏失严重($1 \sim 5 \text{ m}^3/\text{h}$)。从所取岩心看岩层破碎、掉块并有溶洞。3 次封堵处理后仍没有效果。为了不影响钻井后续洗井抽水试验及投产使用的出水效果,不再封堵,顶漏钻进。钻进施工直至终孔结束,钻井液均不能返液至井口,1182.23 m 至终孔均为顶漏钻进施工。漏失井段部分岩心如图 2 所示。



图 2 部分井段岩心

6.2 断钻杆绕障处理

本井小径钻至 1484.88 m 时,钻杆柱在钻进过程中发生断裂事故。分析原因:当时电流突然增大,可能发生了轻微掉块卡钻事故;钻孔太深、钻杆柱过重、环状间距过大、钻杆多次使用接箍强度降低。

首先提取内管,提出钻杆,查看事故点,采取用反丝钻杆打捞钻杆,成功返出 1292.6 m 钻杆后,再次打捞提钻的过程中发生了钻杆脱落事故,造成事故叠加,致使下面钻杆柱严重膨胀变形。此时井内掉块严重埋住事故头,导致还有 192.28 m 钻柱遗留在井内。从施工工期等多方面考虑,决定采用螺杆马达钻进、陀螺定位技术绕障处理。

具体方案为:先用木塞堵住事故点,使用油田 G 级水泥按 0.5 的水灰比配置密度为 1.85 g/cm^3 的水泥浆,在事故头上部,井深 1292.6 m 处往上灌注 50 m 架桥。候凝 48 h 后下钻扫浮灰取样观察样品强度,达到理想的强度下,用 1.5° 单弯 $\varnothing 89 \text{ mm}$ 螺杆钻具 + $\varnothing 98 \text{ mm}$ 全面钻头开始进行井底定向绕障。使其侧偏方向偏向原设计孔位。

侧钻施工中配置无固相钻井液。钻井液密度 1.02 g/cm^3 ,粘度 25 s,失水量 20 mL/30 min。钻机配合螺杆钻具施工,调整孔底压力至 $10 \sim 15 \text{ kN}$,用螺杆马达连续钻进 48 h,成功按设计轨迹打出新钻孔后,下 $\varnothing 100 \text{ mm}$ 修孔钻头,修磨“狗腿”弯确保下一步施工正常开展。成功绕障后,用 $\varnothing 100 \text{ mm}$ 钻头

钻至终孔井深(2000.40 m)。

7 扩孔固井工艺

根据所取出的岩心揭露地层和水温流量变化,商讨确定 590 m 以浅孔段需要扩孔固井。将套管和孔壁间的环状间隙按设计充填水泥浆,固定住套管同时封闭上部地层和目的层段的水力联系。

7.1 扩孔

2015 年 11 月 4 日开始扩孔,扩孔前为防止上部岩屑堵塞下部孔段,先将预制好的 $\varnothing 100 \text{ mm}$ 干木塞钻压送至 594 m 处,进行架桥隔离(以防止起拔套管、扩孔时岩屑落入下部井段)。再把 $\varnothing 146 \text{ mm}$ 套管、 $\varnothing 127 \text{ mm}$ 套管全部取出。扩孔使用 $\varnothing 311 \text{ mm}$ 潜孔锤施工。因扩孔口径较大(100 mm 扩至 311 mm 口径),为防止井孔偏斜,扩孔钻头采用前置钻头。钻头前置部分直径为 100 mm,长度选取为 150 mm(过长则钻头活动余量小;过短则导正效果差)。使用泡沫泥浆。11 月 15 日 17 时扩孔至 593.35 m,之后洗孔,直至孔内无岩屑排出为止。扩孔成井后地热井结构如图 3 所示。

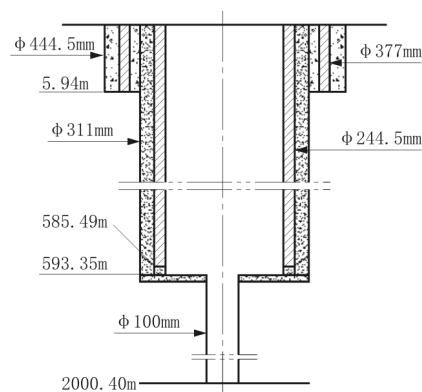


图 3 本溪东风湖地热井扩孔成井结构示意图

7.2 计算套管长度、水泥用量、替浆水量

提出钻具,准备下 $\varnothing 244.5 \text{ mm} \times 8.94 \text{ mm}$ 套管,计算套管长度:地面预留套管高度 0.3 m,需下套管 $585.49 \text{ m} + \text{预留水泥上返井深约 } 8 \text{ m} = \text{井深}$ 。水泥使用抚顺产 G 级标号,水泥密度 1.85 g/cm^3 。固井前向井内打入隔离液 3 m^3 。入井水泥用量共 27 t,替浆 22 m^3 。

7.3 下放套管

(1) 下管时,在尾管(最底下一根套管)与上一根套管的丝扣连接处安装阻流环(铝制,对于本井,加装阻流环有 2 个目的:一是防止固井时水泥浆回

流到套管内;二是本井 $\varnothing 244.5$ mm 套管 30 余吨,加装阻流环后可利用井内浮力,以减少提升设备和钻塔的直接载荷,保障安全),并在入井前将此接箍焊死,防止扫阻流环时将尾管倒开。阻流环见图 4。



图4 固井阻流环

(2)依次连接套管入井,吊钳校紧丝扣,每根入井套管均加装扶正器。全部井管入井后,在井口加装固井考克阀门控制(参见图5),油任链接。



图5 井口固井考克阀门

7.4 固井施工过程

为确保固井质量,本次特委托行业内技术领先的辽河油田专业固井队,选用 SJS45-21 型数字固井车及其全套附属设备固井。采用套管内替浆的常规固井工艺。固井水泥采用 API-G 级中抗油井专用水泥。固井施工过程如下。

(1)安装连接并仔细检查固井设备、管线等。

(2)开泵充分循环,保证井内无岩屑等杂物残留、管线通畅密闭,地面返水正常。

(3)先打入 3 m^3 前置液(起到隔离润滑作用),固井车自带数字密度调控装置,打入固井水泥浆,密度为 1.85 g/cm^3 左右。为保证水泥浆密度,又在施工现场指派专人测量水泥浆密度,测量频率为 $2\sim 3\text{ min}$ 一次,根据测量结果及时调整水灰比。注入水泥浆 27 t 。

(4)切换注浆阀门,打入清水替浆。固井车自带流量计量,当打入 20.8 m^3 清水时井口开始上返前置液,继续打入清水至设计量,停止替浆,水泥浆上返地面。共注入清水 22 m^3 ,套管底部预留水泥

塞约 8 m 。

(5)关闭井口考克阀门(确保套管内外压力平衡),注浆结束。

固井装置如图 6 所示。



图6 固井车在现场施工作业

7.5 固井质量检查

候凝 48 h 后,连接泥浆泵,打开井口考克阀门,向套管内打入清水打压,当套管柱内憋压 6 MPa 后停泵,关闭截门,密闭观察, 30 min 后压力仍为 6 MPa 。证明此次固井质量良好。

7.6 扫塞及透孔施工

7.6.1 扫塞

固井质量检查结束后,拆除井口管路,下入 $\varnothing 215.9\text{ mm}$ 三牙轮钻头钻扫水泥塞,采用泥浆泵正循环工艺。钻具下入 574.8 m 时遇阻托钻,采用轻压慢钻扫至孔深 593.35 m ,下入打捞器将阻流环残余物取出(见图7),扫塞结束。



图7 打捞器及取出的阻流环残余物

7.6.2 通井施工

扫塞结束后,进行透孔施工。先下入 $\varnothing 100\text{ mm}$ 锥形钻头(带扶正器)轻压慢转,找到并钻入 $\varnothing 100\text{ mm}$ 井眼,钻透水泥桥及木塞。下入取心钻具,充分循环后起钻并通井至孔底 2000.04 m 。锥形钻头如图 8 所示。



图8 锥形钻头

8 测井、抽水试验、洗井工作及钻孔评价

测井、抽水试验工作委托吉林省煤田地质勘探公司物探工程处进行。测温成果显示1900 m深,井内地层温度92.3℃。井内的地温梯度属于高异常值。

洗井采用钢丝刷、泵入清水、空气压缩机联合洗井法。首先钻杆连接钢丝刷循环刷孔2遍,之后向井内泵入清水,从593 m到井底,50 m一段分段冲刷,之后连接空气压缩机吹洗。从593 m到井底,50 m一段分段吹洗,直至水清砂净、水桶取样后静置无沉淀,洗井共计90 h。

至此,地热井钻探部分全部结束。井斜设计要求:2000 m内不大于7°。根据吉林省煤田地质勘探公司物探工程处监测测井结果,2000 m内井斜最大为4.70°,完全满足设计要求。终孔深度达到2000.04 m,终孔层位为奥陶系,达到设计的终孔层位。岩心采取率91%,依据《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB/T 12719—1991)、《煤炭地质勘查钻孔质量标准》(MT/T 1042—2007)等对钻孔进行了全孔质量评级验收,级别为甲级。

9 结语

地热勘查和钻井作业属于高风险工程,由于各地区地质情况不同,同一钻井钻遇地层情况各异,地

层的埋深、地质构造、地层产状、岩石性质等因素影响和制约着钻井施工的成败。辽宁省本溪市东风湖风景区地热井施工,属于地热勘查井,要求全孔取心,我们采用小口径钻探施工取心,然后扩孔成井固井工艺。对小口径施工而言,存在着钻井级配不合理的问题,异形钻头(加大口径),100 mm口径终孔,顶漏钻进,从17.5~2000.40 m一径到底,顺利完成钻井任务,实属不易。在1484.88 m处发生一次钻杆折断事故,分析原因有着一定的必然因素,最终采用陀螺定向绕障技术,成功地避开事故点,终孔测井2000 m井斜最大为4.70°,满足设计要求。

本孔注入水泥固井时采用阻流环技术,下套管时浮球堵死阻流环中心孔,在浮力的作用下起到减重作用;注水泥时,浮球打开,水泥压入套管外壁,注浆完毕停泵,浮球在水泥柱的反压作用下自动封堵阻流环,关闭井口考克阀门,确保套管内外压力平衡,防止水泥进入套管内。594~2000 m井段也应下滤水套管,以防止日后水井使用过程中井壁坍塌,但甲方没有作预算和要求,这是该井存在的一个缺憾。

参考文献:

- [1] 卢予北. 郑州市超深层地热资源科学钻探工程[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(7): 43-47.
- [2] 杨富春. 超大口径钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(4): 25-30.
- [3] 彭桂湘. 大口径工程套管事故及预防技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 47-50, 53.
- [4] 许刘万, 伍晓龙, 王艳丽. 我国地热资源开发利用及钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 1-5.
- [5] 张林生, 陈礼仪, 彭刚, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4井钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 146-150.
- [6] DZ/T 0260—2014, 地热钻探技术规程[S].
- [7] DZ/T 0148—2014, 水文水井地质钻探规程[S].
- [8] 赵建勤, 李子章, 石绍云, 等. 空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(7): 55-59.