

# 唐山曹妃岛大酒店缩径软层地热深井设计与施工

宋涛, 陈志海, 张树宝, 武树怀, 刘磊

(河北水文工程地质勘察院, 河北石家庄 050021)

**摘要:**唐山曹妃岛大酒店位于沿海第四系软层的工程地质施工区, 针对第四系缩径软层地热深井钻井技术难点, 在设计施工中采取了低失水量、高密度钠土泥浆护壁钻进、控制泵量等工艺技术措施, 效果显著。总结了一眼缩径软层地热深井钻井和成井施工技术。

**关键词:**地热深井; 缩径软层; 泥浆护壁

中图分类号: TE249 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2012)07-0024-04

**Design and Construction of Hole Shrinkage Deep Geothermal Well in Soft Layer of Tangshan Caofei Island Hotel the Node/SONG Tao, CHEN Zhi-hai, ZHANG Shu-bao, WU Shu-huai, LIU Lei** (Hebei Prospecting Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shijiazhuang Hebei 050021, China)

**Abstract:** Tangshan Caofeidao hotel is located in the Quaternary strata area along the coastal region. According to the drilling technical difficulties of deep geothermal well in Quaternary hole shrinkage soft layer, low fluid loss and high density sodium soil slurry and pump capacity control were adopted for wall protection drilling in the design and construction. The paper summed up the drilling and completion technologies of a deep geothermal well in hole shrinkage soft layer.

**Key words:** geothermal well; hole shrinkage in soft layer; mud protection

## 1 工程概况

为满足唐山曹妃岛大酒店供暖及洗浴等方面的需求, 需要兴建一眼地热井。

### 1.1 地质结构

盖层为第四系平原组的结构松散、呈不等厚互层的松散堆积物, 岩性由灰黄、棕黄、黄棕、棕色、杂色亚砂土、亚粘土、粘土和灰黄、灰白色粉细砂、中细砂、细砂、粉砂组成。热储层为: (1) 上第三系明化镇组, 由黄褐、棕褐、棕红带紫色泥岩、砂质泥岩和灰绿、浅灰、深灰色细砂岩、中细砂岩、粉细砂岩、细砾岩、中粗砂岩、中砂岩、粉砂岩组成, 呈不等厚互层, 结构松散~疏松, 水敏性特别强, 遇水易膨胀、坍塌和缩径; (2) 上第三系馆陶组棕红、紫红色泥岩与棕黄、灰白、灰绿、灰色细砂岩、细砾岩、粉细砂岩、中细砂岩、粉砂岩不等厚互层, 结构较疏松。

本热储分布广泛, 区域稳定, 是本区理想的热储层之一。

### 1.2 成井结构及要求

钻井深度 1800 m, 成井深度 1798.63 m。下入  $\Phi 339.7 \text{ mm} \times 9.65 \text{ mm}$  石油套管 250.96 m/23 根、 $\Phi 273.1 \text{ mm} \times 8.89 \text{ mm}$  石油套管 10 m/1 根、 $\Phi 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$  石油套管 1540.63 m/154 根, 合计下

入井管 1801.59 m/178 根。

井斜角  $< 3^\circ$ , 含砂量  $< 0.2\%$ 。

成井结构如图 1 所示。

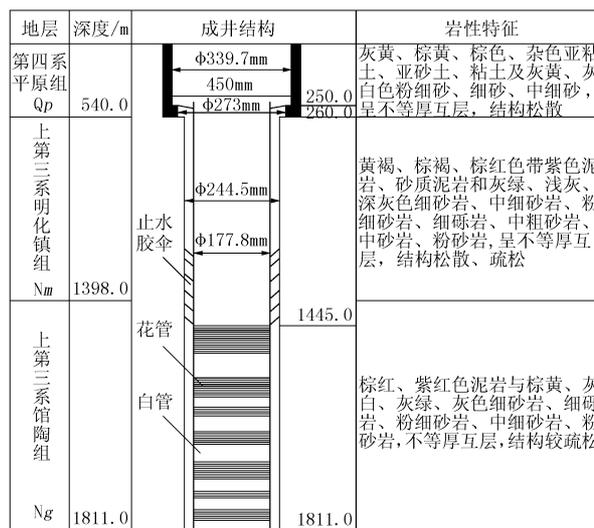


图 1 钻孔成井结构设计图

## 2 缩径软层地热深井施工难点分析

施工区位于海滨、河流相等地层地带, 一些岩土为强度低、压缩性较高的软弱土层, 多数还含有一定的有机物质。由于软土层强度低、含水量高和较大

收稿日期: 2012-05-08; 修回日期: 2012-06-07

作者简介: 宋涛(1975-), 男(汉族), 河北石家庄人, 河北水文工程地质勘察院工程师, 探矿工程专业, 从事钻探技术工作, 河北省石家庄市槐中路 131 号, zsb630629@sina.com。

的空隙率,液性指数 0.75~1 的软塑或液性指数 >1 流塑状态,钻探中容易缩径。

本地热井施工难点主要是钻孔围岩中的软缩岩土层及松散砂层。软缩岩土层与松散砂层主要分布在本地热井 1000 m 以深的第四系平原组及上第三系明化镇组中的泥页岩孔段。此孔段的钻孔围岩特性在施工过程中极易出现缩径塌孔等孔内事故,进而造成埋钻等孔内事故的发生。缩径软层钻进中存在渗水、涌水、涌砂、孔径缩小甚至导致钻孔的坍塌、埋钻的现象。

### 3 钻井方案设计

#### 3.1 设备的选择

依据本井施工合同要求,结合本地的地热地质条件,采用 TSJ-2000 型钻机, TBW-850/50 型泥浆泵,备用 110、195 kW 电动机各一台。开孔钻具选用  $\varnothing 450$  mm 钢齿长齿牙轮钻头,在缩径软层选用钢齿  $\varnothing 244.5$  mm 石油三牙轮钻头。配置  $\varnothing 159$ 、127 mm 钻铤,配置  $\varnothing 420$ 、220 mm 扶正器,选用  $\varnothing 89$  mm 钻杆。

#### 3.2 钻孔结构

开孔直径 450 mm,孔深钻至 250 m 后下入  $\varnothing 339.7$  mm  $\times$  9.65 mm 石油套管,并水泥固井封死。下部孔径  $\varnothing 244.5$  mm,孔深 1800 m,终孔后下入  $\varnothing 177.8$  mm  $\times$  8.05 mm 石油套管及滤水管。根据物探测井结果,含水段以上采用橡胶胶伞严格止水。

#### 3.3 井管及滤水

为保证地热井使用寿命,井管采用石油套管,变径部位采用大小头连接(铬钼钢锻制),不得焊制,大小头内壁必须平整光滑,无裂痕,无毛刺,无凹凸。滤水管采用  $\varnothing 177.8$  mm 石油套管制作,管体四周均匀钻孔,纵向垫 6 根钢筋,两端加密封环,垫筋外横向缠绕过滤丝,然后再绕丝外用铜焊固定绕丝,防止松散,管体四周钻孔直径一般应为 18~20 mm,滤水管孔隙度  $\leq 15\%$ ,缠丝间隙应为 1~1.5 mm。

## 4 钻井工艺

针对缩径软层的地层特点,在钻进施工过程中要做好深钻孔、软层缩径通病防治的工作。

#### 4.1 钻进工艺

一开选用  $\varnothing 450$  mm 牙轮钻头 +  $\varnothing 159$  mm 钻铤 +  $\varnothing 410$  mm 扶正器 +  $\varnothing 89$  mm 钻杆。开孔时轻压慢钻,采用高压管平衡装置,确保井眼开直。为有效防止井斜,为井底提供足够钻压,采用塔式钻具组合。

合理加压,均匀送钻,最大钻压不超过钻铤自重的 80%,用优质钠土泥浆护壁,冲洗液泵量为 1200 L/min。下入  $\varnothing 339.7$  mm 石油套管,并水泥固井。

二开选用  $\varnothing 244.5$  mm 牙轮钻头 +  $\varnothing 159$  mm 钻铤 +  $\varnothing 220$  mm 扶正器 +  $\varnothing 89$  mm 钻杆组合钻进,保持孔底压力在 30~50 kN 之间,转速为 68 r/min。采用低失水量、高密度钠土泥浆护壁,泵量 850 L/min。钻至目的层时采用低失水量、低密度的钠土泥浆护壁。

#### 4.2 泥浆护壁工艺

##### 4.2.1 泥浆控制原则

针对缩径软层,调控泥浆参数是钻进过程最主要关键点。泥浆的控制原则如下。

(1) 粘度适中。由于粘度就是流体的流动阻力,所以在钻进中粘度的重要意义就是要保持钻井液一定的流动性。粘度太高容易导致以下问题:

①会降低泥浆泵的效率(粘度愈高,需要愈高压力的泵来保持泥浆的循环流动);

②过浓的泥浆流动性差,会造成钻孔内压力过高;

③降低钻进速度。

(2) 胶凝强度高。理想的泥浆必须具备碎屑的支撑、悬浮和运载能力。当泥浆相对于钻孔地层处于静态时,必须保持足够的胶凝强度来悬浮被钻下来的固体钻屑,而且当这些固体碎屑从钻孔中排出来时,还要保持其悬浮状态。如果泥浆不能悬浮钻屑,钻屑就会快速沉淀在钻孔的底部,导致埋钻。

(3) 泥浆密度高。泥浆密度低,不但不能起到护壁的作用,还有可能造成钻孔事故。一旦发现泥浆密度过低,必须采取下列措施来提高。

①尽快想办法去除泥浆中的钻屑固体,加大配比来提高泥浆的密度;

②降低钻进速度;

③如果时间允许,废弃当前泥浆,重新配置新的泥浆。

(4) 滤失量低,滤饼薄且坚韧、光滑。优质的泥浆滤失量低,形成的滤饼又薄又光滑、坚韧并强度较高。泥浆滤失量越高,滤饼越柔软并且越厚。滤饼厚度增加会减小钻孔内的环形空隙,钻井液和碎屑在更窄的通道中输送时需要的压力更大。

在粘土地层中,因为粘土容易遇水反应并膨胀,此时滤失量控制非常重要。但是要达到较低的滤失量,质量优异的滤饼必不可少。在软弱砂土层中,优质的滤饼更具有极其重要的意义。因为如果大量滤

液渗入地层会降低地层强度,使地层缩径、坍塌。

滤饼最佳厚度应该介于  $1/32 \sim 3/32$  in (0.79 ~ 2.375 mm) 之间。

(5) 含砂量低。含砂量也是判断泥浆是否优良的重要标准。好的泥浆含砂量可控制在 2% ~ 3% 以内。含砂量高对环流系统的效率存在不利影响,并会缩短泵送设备、泥浆马达等装置的使用寿命,也会降低钻井液的效率。

(6) 摩擦系数低,润滑性能好。在钻进施工过程中,如果泥浆摩擦系数低,润滑性能好,则会降低钻孔与地层之间的摩擦阻力,从而有助于钻孔的施工和后期井管的安装。

(7) 剪切稀释性好。钻进泥浆的粘度随剪切率的增加而降低,剪切稀释性好的优质泥浆,可使钻井液在静止时成胶状(半固体状态),流动时则呈液状。

#### 4.2.2 泥浆配制及性能

通过以上分析,设计了较为合理的泥浆配方及性能。

泥浆配方:  $40 \sim 50 \text{ kg/m}^3$  钠质土 + 0.1% ~ 0.2% NaOH + 0.2% K - PAM + 0.5% HV - CMC。

K - PAM(聚丙烯酸钾)的主要作用是加快岩屑沉淀,兼有降失水和润滑的作用。HV - CMC(羧甲基纤维素钠)的主要作用是增加泥浆粘度,利于携带岩屑,降低滤失量,维持井壁稳定。

性能指标:粘度 25 ~ 30 s,密度 1.02 ~ 1.15  $\text{g/cm}^3$ ,失水量 < 8 mL,泥饼厚度 < 1.0 mm,含砂量 < 2% ~ 3%。

#### 4.2.3 钻井中遇到的问题及解决的方法

软岩缩径和孔斜是钻井中遇到的主要问题。为此,采用了如下措施:(1) 水泥固井,上部段钻进后向孔内注入水泥浆液,待孔内水泥初凝后,将孔内水泥扫至孔口,提钻等待孔内水泥达到 72 h 强度后,再进行下步施工;(2) 及时调整泥浆设计配比;(3) 钻速控制与调整,在钻进过程中,必须控制钻进速度,如发现钻进较慢情况,应及时提钻,分析原因;较快时,应控制钻进速度,预防孔斜,使得钻进始终保持匀速状态;(4) 提钻、下钻过程中,必须控制提下钻速度,如出现提下钻受阻等情况,不能强拉、硬闯,应在遇阻位置送浆、给转反向划孔,待钻具能够平稳通过为止。

## 5 成井工艺

### 5.1 下管工艺

该井采用  $\varnothing 450$  mm 牙轮钻头钻至 260 m,用提吊法下入  $\varnothing 339.7$  mm 石油套管 250.96 m,底部通过大小头连接器连接一根 10 m 长的  $\varnothing 273$  mm 套管,并用水泥固井止水。下部采用  $\varnothing 244.5$  mm 牙轮钻头钻至 1800 m,采用提吊法下入  $\varnothing 177.8$  mm 石油套管及滤水管。上部通过大小头连接器用胶皮底座封在表层套管下接的大小头连接器上。

### 5.2 止水固井工艺

表层套管下入后,进行水泥固井。将井管(第一根管下部 1 m 处割 3 个返浆眼)丝扣拧紧,确保不漏水,下入井底后,在管内下入钻杆距离井底 1 m,向井管内注满泥浆,将井管口环绕钻杆加焊钢板封死。通过钻杆把泥浆压入,泥浆通过返浆眼进入钻孔孔壁和套管间隙返至地面,正常循环后,将搅拌好的水泥浆(水灰比 0.6: 1,密度 1.8  $\text{g/cm}^3$ )用泥浆泵从钻杆内压入孔内,见孔口上返水泥浆时停止注入水泥浆,换用适量清水清洗钻杆内残留水泥浆,候凝 6 ~ 8 h,打开管口密封钢板,将钻杆提出套管。使用 42.5R 水泥 20 t。

技术套管下入时,根据物探测井结果计算出利用热储层顶板,在利用热储层上方技术套管上每隔 10 m 放置止水胶伞并安装防脱落钢箍,止水胶伞每段长度控制在 50 ~ 60 cm,不得少于 5 段。在技术套管顶部大小头连接器与表套管底部大小头连接器之间应放置止水胶伞并安装防脱落钢箍。

### 5.3 冲孔洗井抽水工艺

下管封孔完毕后,先用钻具带一穿孔短节下入井底,用泥浆泵送清水循环替出井内泥浆,然后在目的层部位自下而上逐段冲洗,每米冲洗时间 < 10 min;然后提出钻具,下入潜水泵进行振动式抽水洗井,至水清砂净(含砂量  $\geq 0.2\%$ ),静水位 10.42 m。

## 6 取得的效果

(1) 严格按照设计进行施工,施工安全。施工中特别注意泥浆的配置和使用,确保其与钻孔地层相适应,成功维护了钻井井壁的稳定,使整个地热井钻进过程中没有发生一起钻孔事故。

(2) 由于钻进参数合理,提高了钻效,预防了孔斜。在整个钻进过程中,钻铤的重力都控制在 100 kN 左右,而孔底的钻压基本掌握在 30 ~ 50 kN,转速控制在 68 r/min。另外,优化钻进参数的组合,控斜措施好,钻孔顶角保持在要求范围内,全孔最大顶角为  $1.7^\circ$ ,保证了套管的顺利下入。

(3) 在下入技术套管时,采用钻杆丝扣连接送

至预定孔深后,返开提上钻杆,易出现钻杆不能从底部返开的情况。本孔采用在技术套管顶部大小头连接器上安置一根长8 m的 $\text{Ø}177.8$  mm石油套管,并在套管顶部安置一与钻杆丝扣连接的装置,待技术套管放置预定孔深后往孔内投适量小石子就能固定死下部技术套管,并轻松返开钻杆与技术套管的丝扣连接。

(4)固井止水质量好。下管、固井均严格按照程序实施,计算准确,保证了固井质量。

(5)洗井效果好。在钻进过程中注重基础工作,记录准确,洗井的前期工作细致、周密。该井除了进行了高压冲孔、大风力压风机振抽到水清砂尽并用热水泵振抽,在洗井过程中还采用大降深热水泵方法的联合洗井,达到很好的效果。水温、水量均达到了设计要求。

通过以上措施,该缩径软层地热深井施工各方面均达到了设计要求,工程质量优良。该井从开钻至终孔历时80 d,钻进1800.23 m,该井为曹妃甸第一口热水井,动水位32.44 m,静水位10.42 m,降深22.02 m,水量81.16  $\text{m}^3/\text{h}$ ,单位涌水量3.633  $\text{m}^3/$

h,水温71.5  $^{\circ}\text{C}$ ,属热水型低温地热资源。

## 7 结语

本眼地热井的成功最主要的是取决于科学合理的设计思路,钻探施工中遇到软缩岩土层与松散砂层情况是经常性的,在这样的地层中施工没有必要谈之色变,只要我们遵循科学的规律,分析借鉴制定科学的预案,加之施工流程中的严格控制,就会降低在此类地层中的施工风险,取得好的经济效益。

## 参考文献:

- [1] 黄汉仁,杨坤鹏,罗平亚. 泥浆工艺原理[M]. 北京:石油工业出版社,1984.
- [2] 鄢泰宁,孙友宏,彭振斌. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [3] 吴隆杰,杨凤霞. 钻井液处理剂胶体化学原理[M]. 四川成都:成都科技大学出版社,1992.
- [4] 崔杰,赵金海,等. 井壁稳定性分析及应用[J]. 石油工业技术,2009,7(1):16-20.
- [5] 李炎军,萧林,等. 井壁稳定技术在涠洲11-1油田的应用[J]. 石油钻采工艺,1999,9(6):19-21.

(上接第23页)

表1 不同冲洗液体系效果分析

孔号	冲洗液配方(质量比)	性能参数	使用效果对比
ZK5810	1% NaOH + 0.3% SM-2型植物胶 + 10% 硅酸钠 + 7% KCl + 3% 聚乙烯醇	漏失量:6 mL/30 min; pH值:11;泥饼厚度: 0.5 mm	钻进至369.82 m处时发生一次轻微埋钻事故,在257.8、286.9、321 m处发生大漏失经堵漏处理后未发生漏失,终孔孔深422.78 m
ZK5809	0.5% SM-2型植物胶 + 1% 广谱护壁剂 + 0.1% 高粘防塌剂	漏失量:12 mL/30 min; 泥饼厚度:0.5 mm	全孔未见大的漏失,但是每班的冲洗液消耗量在2 $\text{m}^3$ 左右(主要是冲洗液性能变化过大的同时存在渗漏现象)。在86.23 m处发生埋钻事故经处理后正常钻进,终孔孔深418.73 m
ZK9202	0.8% 膨润土 + 0.5% SM-2型植物胶 + 1% 广谱护壁剂 + 0.1% PHP	密率:1.1 $\text{g}/\text{cm}^3$ ;漏失量:15 mL/30 min;泥饼厚度:1 mm	钻进过程中,经常出现轻微埋钻、回转阻力大等现象,在46.75 m处发生中等漏失,经处理后有少量渗漏,全孔泥浆消耗量大。钻进至226.65 m处发生严重埋钻现象,导致钻孔报废

(4)通过现场的使用,硅酸盐聚合醇冲洗液体系需要更进一步对处理剂配比及现场维护方法进行研究,使硅酸盐基冲洗液体系更加完善,得到推广应用。建议进一步从硅酸盐的微观结构入手研究其防塌机理,不同速度的剪切作用下、不同的组成成分、不同的温度和压力下硅酸盐的微观结构、粒径分布以及防塌效果,以便更好的应用到构造破碎、问题严重的泥页岩地层中。

## 参考文献:

- [1] 王荣杰. 硅酸钾聚合醇膜结构封堵型水基钻井液技术及作用机理研究[D]. 四川成都:西南石油大学,2006.

- [2] 梁大川,蒲晓林. 硅酸盐抑制性及稳定井壁机理探讨[J]. 钻采工艺,2005,(6).
- [3] 梁大川. 硅酸盐钻井液稳定井壁机理分析[J]. 西南石油学院学报,1998,(2).
- [4] 陈仲银. 对聚硅酸盐体系的认识及其在姬源油田水平井钻探中的应用[J]. 内蒙古石油化工,2010,(12).
- [5] 张海青. 硅酸盐钻井液防塌性能试验研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2004.
- [6] 刘选朋,郑秀华,王志民,等. 硅酸盐防塌泥浆研究及其在碳质泥岩钻探中的应用[J]. 地质与勘探,2010,(5).
- [7] 万绪新,苏辉,王爱民,等. 硅酸盐聚合物泥浆在诸参1井中的应用[J]. 石油钻探技术,1999,(6).
- [8] 康少伟. 硅酸盐钻井液体系研究与应用[D]. 黑龙江大庆:东北石油大学,2010.