

东丽湖地热钻探 CGSD-01 井钻完井技术

和国磊¹, 宋志彬¹, 胡志兴², 许本冲¹, 马汉臣¹, 陈浩文¹, 杜焱森¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省煤田地质局第二地质队, 河北 邢台 054000)

摘要: CGSD-01 井是由中国地质调查局组织实施的一口水热型地热资源调查井。该井完井深度 4051.68 m, 终孔直径 216 mm。施工过程中遇到大直径套管下入安全系数不足、地层漏失、复杂地层岩心采取率低等问题。文章介绍了该井的井身结构设计、钻完井工艺技术。通过采用浮力法下管, 多工艺堵漏, 改进复杂地层取心工艺等措施解决了施工过程中的复杂问题, 总结了该地区深部地热钻探钻井工艺并提出了完井建议。

关键词: 地热资源调查; 钻探; 浮力下管技术; 漏失地层钻进; 取心钻进

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)04-0007-07

Summary of drilling and completion technology for Well CGSD-01 in Dongli Lake geothermal drilling

HE Guolei¹, SONG Zhibin¹, HU Zhixing², XU Benchong¹,
MA Hanchen¹, CHEN Haowen¹, DU Yaosen¹

(1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2. The Second Geological Team of Hebei Coal Geology Bureau, Xingtai Hebei 054000, China)

Abstract: Well CGSD-01 is a hydrothermal geothermal resource survey well organized and implemented by China Geological Survey. The well was completed at the depth of 4051.68m with diameter of 216mm. During the drilling process, problems such as insufficient safety factor for large-diameter casing running, formation leakage, low core recovery in complex formation were encountered. This paper introduces the well structure as well as drilling and completion technology for the well. The complex problems in the drilling process were solved by taking some measures such as buoyancy-aided casing setting, multi-process leak plugging, improvement of the coring process in complex strata. The drilling technology and completion recommendations for the deep geothermal drilling in this area are summarized.

Key words: hydrothermal geothermal resource survey; drilling; buoyancy-aided casing setting; drilling in leakage layer; core drilling

0 引言

CGSD-01 井是由中国地质调查局部署并组织实施的一口水热型地热资源调查井, 旨在揭示天津典型地区的深部热储的空间分布形态特征, 查明地热资源潜力及可利用性, 解决深部地热热源机制等基础地质问题, 评价深层地热资源及其可利用性。通过实施钻探工作, 获取了天津地区典型热储层的

岩心、岩屑等实物资料, 结合地球物理测井, 对工作区的深部热储分布有了新的认识。完井后进行抽水试验, 获得了高温大流量稳定热流体, 为进一步推动京津冀地区清洁能源深层次开发起到了引导和示范作用。

CGSD-01 井设计完钻井深 4000 m, 完钻目的层为中元古界蓟县系雾迷山组二段。实际完钻深度

收稿日期: 2019-02-27; 修回日期: 2019-03-11 DOI: 10.12143/j.tkge.2019.04.002

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“京津石地热资源调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号: DD20179032)、“天津潘庄凸起构造区地热资源调查(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号: DD20179622)

作者简介: 和国磊, 男, 汉族, 1984 年生, 高级工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事钻探技术、设备及工艺的研发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, hgliet@sina.com。

引用格式: 和国磊, 宋志彬, 胡志兴, 等. 东丽湖地热钻探 CGSD-01 井钻完井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4): 7-13.

HE Guolei, SONG Zhibin, HU Zhixing, et al. Summary of drilling and completion technology for Well CGSD-01 in Dongli Lake geothermal drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4): 7-13.

4051.68 m,终孔直径216 mm,自第四系以下每100 m取心1回次,共获取岩心140.78 m。该井是迄今为止天津地区最深的地热井。通过优化钻井结构设计,合理选用钻井工艺,解决了漏失地层钻进、裂隙发育地层取心等技术问题,同时完成了新技术、新装备的应用示范。

1 工程概况

1.1 地质条件

工作区所处大地构造位置为华北准地台(I)一华北断坳(II)一沧县隆起(III)一潘庄凸起(IV)的中部东侧。华北断坳时华北准地台的二级构造单元,是新生代以来的裂隙区。沧县隆起位于冀中坳陷东

侧,西以第三纪缺失线为界,东以沧东断裂^[1]为界,与黄骅坳陷为邻。潘庄凸起位于沧县隆起北段,北以宁河一宝坻断裂为界,西以天津北断裂与武清凹陷为邻,东以沧东断裂为界。主要由中、上元古界和古生界组成,缺失中生界和下第三系^[2]。本井主要受沧东断裂影响。新生界地层较稳定,古生界地层漏失情况较多,中、新元古界地层裂隙较发育。地层压力为正常地层压力,约以1.0 MPa/100 m递增。

1.2 地层

本区属于新生代冲积平原,地层从新到老为:新生界(第四系和新近系)、古生界(奥陶系和寒武系)、中新元古界(青白口系和蓟县系)^[3],钻遇地层简表如表1所示。

表1 钻遇地层简表
Table 1 Brief drilled formation

界	系	组	段	底板埋深/m	地层厚度/m	岩性特征	
新生界(Cz)	第四系(Q)			355	355	粘土、粉细砂互层	
		新近系(N)	明化镇组(Nm)	上段	790	435	砂岩为主,与泥岩互层
				下段	1160	370	泥岩为主,与砂岩互层
			馆陶组(Ng)		1460	300	砂砾岩
古生界(Pz)	寒武系(Є)	张夏组(Єz)		1778	318	鲕粒灰岩	
		馒头组(Єm)		1930	152	上段泥页岩,中下段白云岩、灰岩为主	
		昌平组(Єch)		1976	46	白云质灰岩	
中、新元古界(Pt)	青白口系(Qb)	景儿峪组(Qbj)		2186	210	泥灰岩、灰岩	
		龙山组(Qbl)		2259	73	砂岩、泥页岩	
	蓟县系(Jx)			四段	2896	637	白云岩
				三段	3715	819	白云岩夹泥岩
				二段	4051.68(未穿)	336.68(未穿)	白云岩

第四系地层岩性主要为冲洪积相粘土,与下伏地层明化镇组整合接触。

新近系明化镇组上段岩性以砂岩为主,主要为灰色、灰绿色砂岩夹杂色泥岩呈不等厚互层,下段岩性以泥岩为主,与灰绿、灰白色细砂岩互层,与下伏地层馆陶组整合接触。馆陶组岩性以粉砂岩、砾砂岩为主,地层整体较坚硬,性脆,可钻性差,钻进过程中伴随有剧烈跳钻。

寒武系张夏组岩性以灰白、灰、浅绿灰、灰褐色灰岩、鲕状灰岩为主,与下伏馒头组为连续沉积。馒头组以紫灰、灰紫色泥、页岩为主,夹多层灰色条带状泥灰岩、鲕粒灰岩,致密,坚硬,可钻性差。昌平组上部为肉红色、白色白云质灰岩,地层有漏失;下部为灰褐色,少量灰白色白云质灰岩,含较多的泥质灰岩。昌平组裂隙发育,钻遇时出现泥浆漏失。

青白口系景儿峪组岩性为泥灰岩和含泥白云

质的灰岩。地层上部硬度大,可钻性差,下部硬度较小,并见有较多的方解石裂隙充填物。龙山组为一套砂、泥岩和页岩的组合,上部为灰绿色、灰紫色页岩;中部为灰绿色海绿石石英砂岩;下部为较纯的灰绿色、白色中粗砂岩,夹砂砾岩,致密,坚硬,可钻性差。

蓟县系雾迷山组岩石组合为一套富镁碳酸盐岩,岩性主要为白云岩、燧石条带白云岩、硅质白云岩、夹2~5层棕红、紫红色泥岩和页岩,地层研磨性强。

1.3 热储层特征

工作区内从上到下发育有5个热储层:新近系明化镇组,新近系馆陶组,奥陶系、寒武系昌平组,蓟县系雾迷山组。其中新近系明化镇组和馆陶组热储层为孔隙型热储,奥陶系、寒武系和蓟县系雾迷山组热储层为岩溶裂隙型热储^[4]。本井目的层为蓟县系雾迷山组热储层。该热储层岩性以白云岩为主,岩

溶裂隙较发育,富水性强,是本区主要的基岩热储层。

2 井身结构

CGSD-01 井设计完钻井深 4000 m,完钻层位预测为蓟县系雾迷山组二段^[5]。由于钻井中不可预见的因素较多,实钻中地质情况与预计有一定差别,存在易漏、易坍塌等复杂情况。因此,确定井身结构时应充分考虑地层和压力可能的变化,选择的套管程序应为各开次钻井安全留有余地,以保证完成钻探目的。CGSD-01 井实际井身结构如图 1 所示。

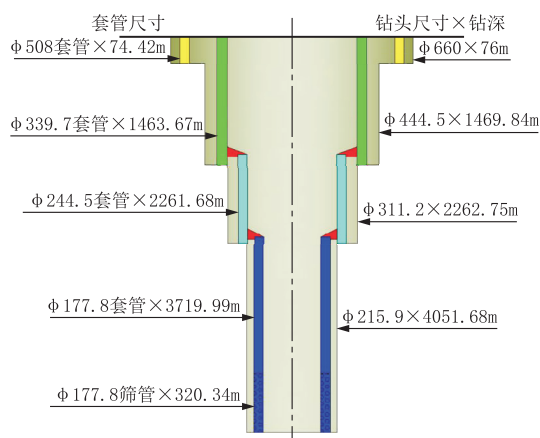


图 1 CGSD-01 井井身结构

Fig.1 Casing program of Well CGSD-01

本井上部地层不稳定,易漏、易坍塌。第四系粘土、砂质粘土和明化镇组上段胶结不完全的砂泥岩厚度较大,易垮塌。由于设计深度较大,为保障钻井安全,为后续施工留有钻探口径,一开井段尽量要长。一开 $\text{O}444.5 \text{ mm}$ 钻至馆陶组底部,下入 $\text{O}339.7 \text{ mm}$ 表层套管作为泵室段,同时封隔上部易垮塌地层。

二开 $\text{O}311.2 \text{ mm}$ 正常钻进至揭露雾迷山组地层后结束,下入 $\text{O}244.5 \text{ mm}$ 套管,封隔寒武系、青白口系易漏失地层。

三开 $\text{O}215.9 \text{ mm}$ 钻遇雾迷山组地层漏失严重,应注意堵漏、防塌;如堵漏效果不理想,可考虑气举反循环钻进和泥浆正循环取心钻进多种工艺施工^[6]。三开全井段 $\text{O}215.9 \text{ mm}$ 钻至终孔,下入 $\text{O}177.8 \text{ mm}$ 套管和筛管。

3 设备选型

本井二开以浅使用 4000 m 岩心钻机(XD-40

型)进行应用示范(如图 2 所示)。后期钻井施工选用宝鸡石油装备有限公司生产的 ZJ40 型钻机(如图 3 所示)。2 台设备主要性能如表 2 所示。

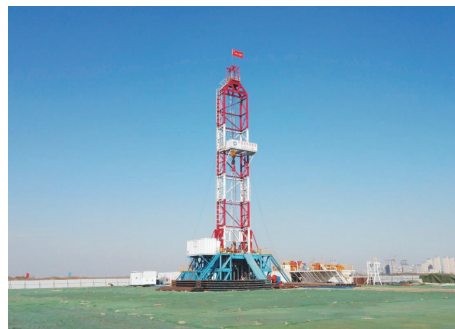


图 2 XD-40 型钻机

Fig.2 XD-40 rig



图 3 ZJ40 型钻机

Fig.3 ZJ40 rig

表 2 2 种钻机主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of two rigs

钻机技术参数	XD-40 型钻机 ^[7-8]	ZJ40 型钻机
钻进能力	4000 m@ $\text{O}89 \text{ mm}$ 绳索取心钻杆	4000 m@ $\text{O}127 \text{ mm}$ 石油钻杆
井架	31 m/K 型垂直直升	43 m/K 型
最大钩载/kN	1350	2250
转盘开口直径/mm	0~444.5	0~689.5
转盘电机功率/kW	180	590~750
转盘最大扭矩/(N·m)	20000	27459
转盘转速/(r·min ⁻¹)	0~200	0~250
主绞车电机功率/kW	400	730

4 钻井工艺

4.1 一开井段

一开钻具组合:方钻杆+ $\text{O}127 \text{ mm}$ 钻杆+ $\text{O}178 \text{ mm}$ 钻铤(6 根)+ $\text{O}203 \text{ mm}$ 钻铤(4 根)+ $\text{O}445 \text{ mm}$ 三牙轮钻头。

钻进参数:转速 50~70 r/min,钻压 30~50 kN,排量 30~36 L/s,泵压 3.5~6 MPa。

一开完钻原则为钻穿馆陶组底部。0~1460 m 为第四系,新近系明化镇组、馆陶组地层。地层以粘土、粉砂岩、砂砾岩为主,钻进时采用大泵量,小钻压吊打钻进工艺^[9]。一开完钻后下入 $\text{O}339.7$ mm 套管,管外环空用水泥封固。

4.2 二开井段

二开钻具组合:方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}178$ mm 钻铤(6根)+ $\text{O}203$ mm 钻铤(4根)+ $\text{O}311$ mm 三牙轮钻头(PDC 钻头)。

钻进参数:转速 50~80 r/min,钻压 40~70 kN,排量 30~36 L/s,泵压 6~7.5 MPa。

二开完钻原则为钻遇雾迷山组。1460~2262 m 为寒武系张夏组、馒头组、昌平组,青白口系景儿峪组、龙山组地层。地层以泥岩、灰岩、页岩、砂岩、白云岩为主,地层互层变化频繁。钻进时采用大泵量,小钻压吊打钻进工艺。二开完钻后下入 $\text{O}244.5$ mm 套管,管外环空用水泥封固。

4.3 三开井段

三开钻具组合:方钻杆+ $\text{O}127$ mm 钻杆+ $\text{O}159$ mm 钻铤(15根)+ $\text{O}172$ mm 螺杆+ $\text{O}216$ mm 三牙轮钻头。

钻进参数:转速 20 r/min(转盘),钻压 30~50 kN,排量 18~22 L/s,泵压 11~13 MPa。

三开完钻原则为进入雾迷山组二段。2262~4051.68 m 为蓟县系雾迷山组,地层以白云岩为主。采用螺杆马达+三牙轮钻头钻进,通过提高钻速,减少泥浆对储层的侵入,保护储层。三开完钻后下入 $\text{O}177.8$ mm 套管及筛管组合,筛管位于雾迷山组二段取水段。在雾迷山组三段及二段分界面进行选择固井,固井采用正注反挤^[10]的方式分隔下部雾迷山组三段及二段,同时封隔上部套管重叠段。

5 施工难点及应对措施

施工过程中遇到大直径套管下入安全系数不足、多处地层漏失、裂隙发育地层岩心采取率低等问题。通过采用浮力法下管,多种堵漏工艺,改进复杂地层取心工艺等措施解决了施工过程中的问题。

5.1 一开下套管安全系数不足

本井在一开施工阶段选用的 XD-40 型钻机的最大钩载 1350 kN,一开套管下入深度 1463.67 m,套管悬重 1327.8 kN,接近设备许用最大钩载。下管时套管与孔壁的摩阻较大,钻机处理事故能力储

备不足,下套管作业存在安全风险。同时该井在一开下套管过程中需要在套管外壁随套管下入分布式测温光缆,下入深度 1000 m,在下套管过程中如果出现光缆损伤或信号异常现象,受设备能力限制,无法将套管提出。

采用浮力法下入一开套管。一开井内泥浆密度为 1.20 g/cm^3 ,套管浮重为 1118 kN。经计算允许套管内泥浆液面比套管外环空泥浆液面高度低值为 416.7 m,取值 400 m,即套管内掏空长度 400 m,计算出套管浮重 737 kN。满足 XD-40 型钻机的安全载荷。套管下入过程中,控制下放速度,避免冲击载荷,每下入 10 根套管,向套管内灌注泥浆 5~6 m^3 ,当套管下至 1065 m 时,停止注入泥浆。下入到设计深度时套管悬重 742 kN,与设计吻合。

下管过程中,利用浮鞋、浮箍的单向通过性产生浮力。浮鞋接在套管柱末端,起引鞋和回压凡尔的作用。浮箍接在距套管柱末端 20~30 m 处,起承托环和回压凡尔的作用以减轻套管浮重。浮箍、浮鞋要求能够承受掏空长度套管柱与井壁产生的反向压差^[11],管串中选用铝合金式浮箍、浮鞋,可保证实现反向压力承托,且具有良好的可钻性。

下入一开套管过程中同时在一开套管外下入分布式光纤,由于钻机能力不足,不允许下管过程中上提套管。因此在一开钻进结束后使用多种钻具组合通井,保证井眼的规则、顺畅。通井分别采用原钻具组合通井、双扶正器通井、套管串通井。下入套管前向孔内注入水基润滑剂,降低下套管时的摩阻。

5.2 地层漏失

本井钻遇的寒武系、青白口系及蓟县系地层多漏失。主要漏失层位为馆陶组底部、昌平组、雾迷山组。馆陶组底部主要岩性为杂色砾岩,胶结性较差,钻至 1435.95~1460.67 m,泥浆消耗量为 2~3 m^3/h 。昌平组主要岩性为白云质灰岩、灰岩,该地层岩溶裂隙发育,连通性好^[12],1966~1996.05 m 处多次出现失返性漏失。三开井段蓟县系雾迷山组主要岩性为白云岩,岩溶裂隙发育,2262~4051.68 m 钻进过程中一直伴有漏失,泥浆消耗量 3~10 m^3/h 。

5.2.1 馆陶组地层漏失(1435.95~1460.67 m)

馆陶组漏失多发生在馆陶组底部,该地层由砂砾岩组成,胶结疏松,孔隙发育,渗透性好,泥浆易向地层中渗透。钻遇该漏失地层时,钻速加快。主要

处理方法:(1)漏失量不大时,加入随钻堵漏剂堵漏;(2)钻穿过该漏失地层后,起钻静止堵漏。

本井一开新近系馆陶组底部钻进过程出现漏失。由于对漏失有预判,进入馆陶组底部之前,在泥浆中加入随钻堵漏材料^[13],控制漏失速度,穿过馆陶组底部砾岩后,采用复合堵漏剂进行堵漏,将 9% 粘土 + 1% 复合堵漏剂 + 0.07% 纯碱 + 0.02% CMC,配置成粘度 45 s 堵漏泥浆,注入井底,随后提钻,静置后堵漏完成。处理漏失时采用的堵漏材料要求有足够的水稳定性、粘滞性和一定的强度。复合堵漏剂为不同粒径的刚性颗粒、柔性颗粒、纤维物质、片状物质按一定比例混合而成的物质,能迅速形成具有一定强度的非渗透性屏蔽带阻止泥浆中的液、固相侵入储层,对封堵漏失性地层效果较好。

5.2.2 昌平组地层漏失(1966~1996.05 m)

昌平组地层由灰岩、白云质灰岩及少量页岩组成。该地层由灰岩、方解石等沉积颗粒形成原生孔隙和成岩作用与构造形成的溶孔、裂缝等构成漏失通道,极易发生失返性漏失^[14]。昌平组漏层暂堵成功后由于承压不足,导致下部发生漏失时井内液柱“激动”压力变化反复打开上部漏点的现象。主要处理方法:(1)添加堵漏剂;(2)顶漏钻进;(3)水泥封固。

二开基岩地层钻进中,遇寒武系昌平组发生漏失,瞬间失返。漏失后,第一时间进行堵漏,主要采用复合堵漏剂进行堵漏,9% 粘土 + 1% 复合堵漏剂 + 0.07% 纯碱 + 0.02% CMC。暂堵后,泥浆建立循环,之后泥浆中加入单向压力封堵剂,随钻随堵,漏失量逐步减小。由于寒武系钻遇大段漏层,泥浆数次失返,造成先期封堵地层反复打开,采用桥塞堵漏剂多次封堵,效果不理想。随后 1966~1996.05 m 顶漏钻进,穿过该漏失地层段后,用 325 号水泥配置早强剂,调整密度至 1.65 g/m³ 进行封固,堵漏成功。本井昌平组堵漏采用了多种方法,效果对比如表 3 所示。

表 3 昌平组堵漏方法效果对比

Table 3 Comparison of leak sealing methods in Changping Formation

序号	堵漏方法	堵漏效果
1	桥接堵漏;桥塞堵漏剂+植物纤维+锯末	无效
2	桥接堵漏;桥塞堵漏剂+水泥+锯末	无效
3	桥接堵漏;7 mm 以下果壳、橡胶颗粒、石棉、云母片复配	可实现暂堵
5	水泥封固;325 号水泥浆,密度 1.65 g/cm ³	效果较好

5.2.3 雾迷山组地层漏失(2262~4051.68 m)

雾迷山组主要是由白云岩组成的碳酸盐岩地层,孔洞性裂隙发育,连通性好。且裂缝的形态各异,分布和发育非常不均匀。由于该地层属于区域主要热储层,出于保护储层的目的,处理该地层漏失时不宜采用水泥封固。主要处理办法:(1)漏失量较小时顶漏钻进,及时补充泥浆,利用岩屑进行堵漏;(2)适当添加堵漏剂进行堵漏,保障泥浆建立循环,将岩屑带出;(3)如钻遇失返性漏失,可使用清水钻进,条件允许时采用反循环钻进工艺。

本井三开钻遇雾迷山组地层时未见失返性漏失,但一直伴有漏失现象,漏速 1~8 m³/h。根据漏失大小,主要采用复合堵漏剂和单向封堵材料进行适当堵漏,建立泥浆有效循环,防止漏失过大,影响岩屑上返。单向封堵剂和复合堵漏剂形成的非渗透性屏蔽带可使储层免受损害,后期通过洗井、射孔等手段可将该屏蔽带解除。完井后进行洗井作业,水量良好,堵漏剂未对储层产生不良影响。

5.3 裂隙发育地层取心

按地质设计要求,CGSD-01 井每 100 m 取心 1 次。本井在雾迷山组有大量取心工作,钻孔孔位接近沧东断裂,根据采取的岩心及岩屑,在钻遇的雾迷山组时存在多层不等厚挤压带,地层裂隙较为发育,取心难度较大。

由于雾迷山地层裂隙发育,钻进过程中受地层裂隙影响,井眼轨迹不规则,取心时岩心受垂直方向重力作用,同时还受到钻具摆动的影响,加之钻头在碎岩过程中对岩心的扰动,导致岩心破碎加剧及楔形断面之间压、扭、摩擦等,造成堵心,回次取心长度短,岩心采取率不高。

为提高岩心采取率,对取心工艺进行了如下改进:

(1)优选取心钻头。选用不同形式取心钻头进行试验,包括表镶金刚石取心钻头、孕镶金刚石取心钻头、PDC 取心钻头等。分别使用脊镶式布齿聚晶金刚石钻头(IC379)、KT 系列孕镶金刚石取心钻头(KT216)、八刀翼小切削齿 PDC 取心钻头进行取心钻进。3 种类型钻头的机械钻速、岩心采取率对比如表 4 所示。实践证明,使用 PDC 钻头可提高机械钻速,小直径复合片(直径 6~8 mm)可减小碎岩对岩心的破坏,因此八刀翼小切削齿 PDC 钻头对裂隙发育的白云岩地层的适应性较好。

表4 3种取心钻头应用情况
Table 4 Application of several coring bits

钻头类型	驱动方式	平均机械钻速/ ($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	岩心采取率/ %
聚晶金刚石钻头	转盘	0.3~0.4	75~90
孕镶金刚石取心钻头	螺杆	0.7~1.0	85~95
PDC取心钻头	螺杆	1.2~1.3	90~100

(2)采用孔底动力钻具取心。雾迷山组取心过程中多次发生堵心。其原因主要是雾迷山组地层以白云岩为主,地层裂隙发育且具有晶体杂质填充,岩石沿裂隙纹理易破碎。钻具稍有弯曲容易导致岩心在钻头处断掉,造成堵心。通过提高转速,加快钻头切入地层速度,使得岩心能够在较短的时间进入取心筒。同时,取心钻进的过程中要尽量减小钻头横向作用力和钻柱的离心力。使用孔底动力钻具可实现提高钻头转速^[15],同时减小钻头的横向力及钻柱的离心力。

先后应用KT-194系列取心钻具、川83系列取心钻具配合5LZ172×7Y螺杆马达进行取心作业。孔底钻头的转速由转盘驱动时的50 r/min提高到110 r/min,取心长度明显增加,取心率显著提高。本井取心过程中,泥浆排量选择即要考虑泥浆的携岩能力问题,也要考虑驱动井下动力钻具高速自转给岩心带来的扰动。螺杆马达驱动钻具时,钻压控制在40~60 kN,排量控制在10~20 L/s,转盘转速12~20 r/min。以八刀翼小切削齿PDC取心钻头为例,不同驱动方式的取心情况对照如表5所示。应用结果表明,取心钻进时使用螺杆马达取心钻具,可显著提高单次取心长度和岩心采取率。

表5 转盘驱动及螺杆驱动取心情况对照

Table 5 Comparison of coring results between the rotary table drive and mud motor drive

驱动方式	单次取心长度/m	岩心采取率/%
转盘	1.2~1.5	65~87
螺杆	2.5~5.0	85~100

6 洗井及抽水试验

6.1 洗井

洗井是地热井成井工艺中的一个重要环节。本井采用多磷酸盐洗井、压缩空气洗井、水泵抽水洗井的组合方式洗井。

首先进行多磷酸盐洗井。本井洗井采用的多磷酸盐为焦磷酸钠。将钻杆下放至井底,通过泥浆泵

将调配的焦磷酸钠溶液(浓度0.8%)共计11.27 m³输送至指定井段(3715~4051.68 m)浸泡7 h,使附在井壁上不易脱落的泥皮脱落,而后用清水冲洗,直到水清砂净。其次采用压缩空气震荡洗井,下入633 m钻杆,将压缩空气注入井内,气体托举水柱上升,达到临界值时,水柱喷出井筒,井内瞬间形成负压^[16]。下部出水段在负压的作用下将地层中的岩屑等杂物吐出,达到洗井的目的。压缩空气洗井共进行36 h。最后采用水泵抽水洗井,选择扬程190 m,排量130 m³/h热水泵进行抽水洗井,将地层中热水抽出,同时地层中的热水补给到井筒中,达到洗井目的。多种洗井方式进行组合洗井,有利于排除进内泥浆和沉淀物,彼此可以取长补短,改善单独洗井办法的效果。

6.2 抽水试验

本井进行单井稳定流抽水试验。在进行正式抽水试验前,以抽水设备能力作一次最大降深抽水试验。通过试抽水,合理选择水位的降深。试抽工作结束后,待水位恢复至静止水位,进行正式抽水试验。抽水用扬程190 m、排量140 m³/h的井用热潜水泵进行抽水试验,水位测量采用万用表、测线测量,水量采用堰测法测量。抽水试验正式抽水做3次降深的稳定流抽水试验,本井3个降次抽水试验的出水量分别为130.2、94.5、43.9 m³/h;井口出水水温分别为98.5、98.5、94 ℃。

7 结语

(1)基岩地热井大多采用152 mm口径裸眼完井。在地质条件复杂的基岩地层中宜增大终孔直径,采用筛管完井。这样既可保证采水段孔壁的稳定,又可保留足够的泄流面积,同时为钻探工作预留事故处理口径。

(2)工作区昌平组为含水层,地层大多漏失严重,在该层位进行堵漏工作造成了很大的困扰,如:水泥封固水泥层薄,强度不够;桥塞封堵极易打开等。堵漏施工往往不可能一次成功,需要仔细分析漏层位置,采用多种方法进行堵漏^[17]。

(3)井下动力钻具位置更接近钻头,在深井取心作业中能降低钻具高速旋转过程中对岩心的扰动,对提高岩心采取率具有较好的效果。

(4)通过对蓟县系雾迷山组二段热储层的抽水试验,证实天津地区主力开采层以深存在高产能的

热储层。

参考文献 (References):

- [1] 高战武,徐杰,宋长青,等.华北沧东断裂的构造特征[J].地震地质,2000,22(4):395-404.
GAO Zhanwu, XU Jie, SONG Changqing, et al. Structural characters of the Cangdong Fault in North China[J]. Seismology and Geology, 2000,22(4):395-404.
- [2] 天津市地质矿产局.天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1992:217.
Bureau of Geological and Mineral of Tianjin. Regional geological history of Tianjin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992:217.
- [3] 田信民.天津市地热资源潜力评价[D].北京:中国地质大学(北京),2015:6.
TIAN Xinmin. Evaluation on the potential of geothermal resource in Tianjin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015:6.
- [4] 李波.天津地热资源可持续开发利用对策研究[D].天津:天津大学,2017:16.
LI Bo. Study on sustainable development and utilization countermeasure of geothermal resources in Tianjin[D]. Tianjin: Tianjin University, 2017:16.
- [5] 马庆涛,葛鹏飞,王晓宇,等.涪页 HF-1 页岩气水平井钻井关键技术[J].石油机械,2013,41(8):107.
MA Qingtao, GE Pengfei, WANG Xiaoyu, et al. Key technology of shale gas horizontal drilling in Well HF-1 of Fuye[J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(8):107.
- [6] 周曙春,杜坤乾,谢军.正循环钻进、气举反循环清孔工艺施工应用[J].岩土工程学报,2011,33(S2):166-168.
ZHOU Shuchun, DU Kunqian, XIE Jun. Application of directional circulation drilling and air-lift reverse circulation borehole cleaning[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011,33(S2):166-168.
- [7] 高鹏举,刘凡柏,王跃伟,等.4000 m 地质岩心钻机在天津东丽区地热资源调查中的示范应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):13-21.
GAO Pengju, LIU Fanbai, WANG Yuewei, et al. Demonstration application of 4000m geological core drilling rig in geothermal resources investigation in Dongli District of Tianjin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):13-21.
- [8] 刘凡柏,高鹏举,任启伟,等.4000 m 交流变频电驱岩心钻机的研制及其在地热井的工程应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):40-46.
LIU Fanbai, GAO Pengju, REN Qiwei, et al. Development and application of 4000m AC frequency-conversion core drill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):40-46.
- [9] 狄勤丰,沈双平.防斜打快技术的研究与发展[J].自然杂志,2003,26(2):111-115.
DI Qinfeng, SHEN Shuangping. Research and development of the vertical and fast drilling technology[J]. Chinese Journal of Nature, 2003,26(2):111-115.
- [10] 马红伟,安娜.正注反挤固井工艺技术研究与应[J].石化技术,2017,24(4):104.
MA Hongwei, AN Na. Research and application of positive injection reverse cementing[J]. Petrochemical Industry Technology, 2017,24(4):104.
- [11] 朱和明,吴晋霞,郭朝辉.浮箍和浮鞋失效原因分析及预防[J].石油矿场机械,2013,42(8):67.
ZHU Heming, WU Jinxia, GUO Zhaohui. Analysis of float collar and float shoe failure and its precautions[J]. Oil Field Equipment, 2013,42(8):67.
- [12] 钱洪强.天津市东丽区寒武系热储层成井可行性及工艺研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
QIAN Hongqiang. Study of the feasibility of geothermal well drilling technology in the Cambrian in the Dongli District of Tianjin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [13] 张国旗,何长江.长南工区钻井提速难点认识与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):33.
ZHANG Guoqi, HE Changjiang. Understanding of difficulties in drilling speed increasing in Changnan work area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(2):33.
- [14] 王磊.地层漏失及其处理方法的研究[J].中国石油和化工标准与质量,2013,34(1):54,20.
WANG Lei. Study on formation leakage and processing method[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,34(1):54,20.
- [15] 聂在禄.套管和钻柱防磨及降扭技术研究[D].山东青岛:中国石油大学(华东),2007.
NIE Zailu. The study on the technology of the attrition resistance and tweak degradation on the drive-pipe and drill-column [D]. Qingdao Shandong: China University of Petroleum, 2007.
- [16] 任良治,李勤义,熊章华,等.地热井洗井工艺探讨[J].地下空间与工程学报,2010,6(S2):1574-1577.
REN Liangzhi, LI Qinyi, XIONG Zhanghua, et al. Investigation on flushing process for geothermal well [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010,6(S2):1574-1577.
- [17] 钱洪强,王娟,孙玉东,等.天津地区地热钻井中地层漏失分析及堵漏方法选择[J].地质调查与研究,2016,39(3):226-230.
QIAN Hongqiang, WANG Juan, SUN Yudong, et al. Analysis of leakage formation and selection of leaking stoppage methods in geothermal well drilling in Tianjin Area[J]. Geological Survey and Research, 2016,39(3):226-230.

(编辑 韩丽丽)