

# 天津东丽湖 CGSD-01 井取心问题及技术探索

杜焱森, 宋志彬, 和国磊, 马汉臣, 许本冲, 陈浩文

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**天津东丽湖 CGSD-01 井位于天津潘庄凸起构造区, 该井设计井深 4000 m, 完钻井深 4051.68 m, 该井的主要目的之一是通过分段取心钻进获取各地层的地质资料。本文主要介绍了通过尝试不同的取心钻具与钻进方法的组合, 探索出一种高效的取心钻进方案, 成功地解决了三开雾迷山组复杂地层岩心采取率低的难题, 并高质量地达到了取心要求。通过对各技术方案的取心对比分析, 总结了地热深井取心钻进的关键技术, 以期对后续的钻探取心提供技术上的借鉴和指导。

**关键词:**潘庄凸起; 地热井; 雾迷山组; 取心钻进; 岩心采取率

**中图分类号:**P314;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)03-0013-07

## Core drilling in Well CGSD-01 in Tianjin Dongli Lake

DU Yaosen, SONG Zhibin, HE Guolei, MA Hanchen, XU Benchong, CHEN Haowen

(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The geothermal Well CGSD-01 is located in Dongli Lake, Tianjin and is part of the tectonic area of Tianjin Panzhuang Bulge. The design depth of the well is 4000m and the completion depth is 4051.68m. One of the main purposes of the well is to obtain geological data of various strata by staged core drilling. An effective coring solution has been found through attempts at combination of different coring tools and drilling methods, which successfully solved the problem of low core recovery in the third stage drilling in Wumishan Formation with high-quality cores obtained. Through comparative analysis of coring with various technical schemes, the key coring technologies for deep geothermal wells have been summarized, providing some experience and guidance for future core drilling.

**Key words:** Panzhuang Bulge; geothermal well; Wumishan Formation; core drilling; core recovery rate

## 0 引言

地热井资源是一种可再生的清洁型能源, 也是一种契合国家环保政策并具有竞争力的新能源, 地热井资源的利用被逐渐地提上国家战略层面<sup>[1-2]</sup>。天津东丽湖科学钻探一井(CGSD-01 井)的钻井工作是由中国地质科学院勘探技术研究所承担并实施的, 该工程隶属于“全国地热资源调查评价与勘查示范工程”。CGSD-01 井位于天津东丽湖地区丽湖的西南方向, 属于天津潘庄凸起构造区。该地热井的目的是探明天津潘庄凸起构造区雾迷山组二段地下热水的温度、富水程度、赋存条件和水化学特征,

建立地热资源示范基地, 为地热资源可持续发展发挥指导示范作用。

钻探取心是获取水文地质资料最直接、最有效的手段<sup>[3]</sup>。CGSD-01 井全井取心 37 回次, 主要取心工作量在三开钻进的蓟县系雾迷山组, 三开取心 21 回次, 三开井段井深 2265~4051 m, 通过分段取心获取实物资料。但是在实际取心中存在回次取心率低的问题, 无法达到取心要求, 通过分析问题, 不断改进取心方案, 岩心采取率低的问题最终得到有效解决。

收稿日期:2018-12-12; 修回日期:2019-01-16 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.03.003

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“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)、“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)

作者简介:杜焱森,男,汉族,1986 年生,工程师,机械工程专业,硕士,从事地质机械及钻探相关领域的技术研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号, yaosendu@126.com。

引用格式:杜焱森,宋志彬,和国磊,等.天津东丽湖 CGSD-01 井取心问题及技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):13-19.

DU Yaosen, SONG Zhibin, HE Guolei, et al. Core drilling in Well CGSD-01 in Tianjin Dongli Lake[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):13-19.

## 1 地层情况

天津地区地热按热储层岩性特征分为2种,即砂岩孔隙型热储和碳酸盐基岩裂隙型热储。砂岩孔隙型热储位于新近系明化镇组、馆陶组及古近系东营组地层;岩性以泥岩、砂岩、砂砾岩不等厚互层。基岩裂隙型热储位于奥陶系、寒武系、蓟县系雾迷山组灰岩和白云岩地层,热储层溶洞裂隙发育,天津地热井钻遇地层岩性变化大,易出现缩径、掉块、井漏、坍塌等井下复杂情况<sup>[4-6]</sup>。CGSD-01井三开设计井段在蓟县系雾迷山组地层,井深为1800~4000 m;实际三开钻遇雾迷山组地层的井深为2265~4051 m,其中2265~3751 m为雾迷山组三、四段,主要由白云岩组成,夹杂少量泥岩、钙质泥岩和白云质灰岩,3751~4051 m为蓟县系雾迷山组二段,主要由白云岩组成,夹杂少量含砂泥岩,可钻性等级5~6级。

## 2 井身结构

CGSD-01井为设计井深4000 m的直井,根据地热井钻井工艺和规范<sup>[7-11]</sup>及地质设计要求,确定钻井结构如下。

(1)一开:设计钻至1450 m馆陶组底部,实际钻至1468.5 m,井径为 $\Phi 444.5$  mm,下入 $\Phi 339.7$  mm表层套管;

(2)二开:设计钻进至1800 m,见雾迷山组地层结束,实际钻至2262.75 m,井径为311.1 mm,下入 $\Phi 244.5$  mm套管;

(3)三开:设计钻进至4000 m,进入目的层一二段,实际钻至4051.68 m,井径为215.9 mm,下入 $\Phi 177.8$  mm套管。

设计井身结构如图1所示。

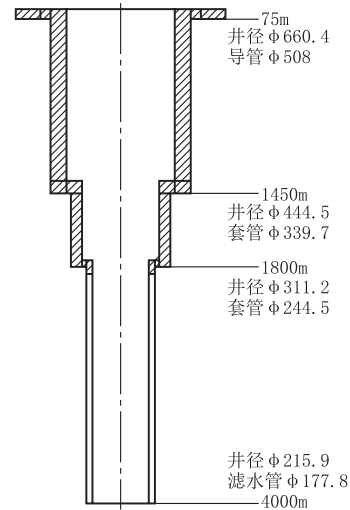


图1 井身结构

Fig.1 Well profile

## 3 取心要求和实际取心效果

CGSD-01井采用单回次提下钻取心,从500~4000 m设计每100 m取心一筒,取心长度 $\leq 4$  m,取心总数 $\leq 35$ 筒,岩心采取率 $\leq 85\%$ 。实际取心37回次,岩心长度累计140.78 m,综合岩心采取率85.4%。

## 4 取心遇到的问题

自进入雾迷山组后,多次取心长度和岩心采取率未能达到要求。第一阶段取心采用“转盘回转+旧川83取心钻具”的方法,钻进的基本参数为:钻压26~60 kN,转速37~50 r/min,排量19.25~23 L/min,泵压3~5.5 MPa,取心概况见表1所示。这5个回次的取心钻进,岩心长度均未达到要求,采取率只有1次满足要求。

表1 第一阶段取心概况

Table 1 Coring results of stage one

回次名称	钻进深度/m	回次进尺/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	层位	钻头	取心钻具	钻进方法
A	2273.38~2274.78	1.40	1.3	92.9	雾迷山组	三角聚晶	川83	转盘
B	2274.78~2277.68	2.90	1.9	65.5	雾迷山组	PDC	川83	转盘
C	2330.20~2331.70	1.50	1.0	66.7	雾迷山组	三角聚晶	川83	转盘
D	2331.70~2333.10	1.40	1.0	71.4	雾迷山组	三角聚晶	川83	转盘
E	2420.96~2423.73	2.77	2.0	72.2	雾迷山组	孕镶式PDC	川83	转盘

第一阶段取得的岩心如图2所示。

以上5个回次取得的岩心共同特点是严重破碎,导致堵塞岩心内管后进尺缓慢或者是不再进尺。5个回次的岩心主要成分为白云岩,具裂隙且裂隙

较为发育,有的岩心较软且酥,疑似有破碎带,这是造成取心难题的主要原因之一。

第一阶段取心所使用的三角聚晶金刚石取心钻头见图3。

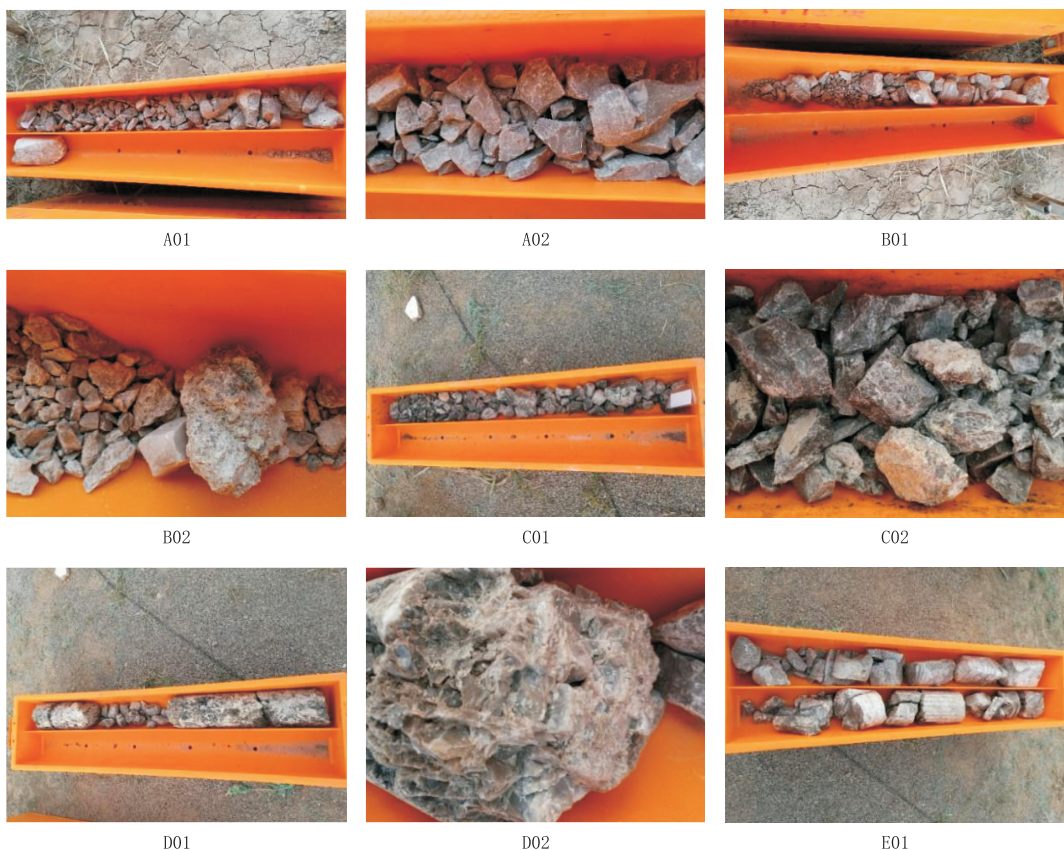


图 2 第一阶段取得的岩心  
Fig.2 Cores of stage one



图 3 三角聚晶金刚石取心钻头  
Fig.3 Triangular polycrystalline diamond coring bit



图 4 孕镶 PDC 取心钻头  
Fig.4 PDC coring bit

第一阶段取心所使用的孕镶 PDC 取心钻头如图 4 所示。

观察以上 5 个回次所用到的两种取心钻头,并没有异常磨损和损坏的迹象,均属于正常使用磨损。

取心效果不理想的可能原因分析如下:

(1)通过岩心观察分析,推断地层裂隙发育,且较为松散破碎导致岩心破碎明显,更易堵塞岩心管,无法进一步获取岩心,此应该为主要原因。

(2)钻头未见明显磨损和损坏痕迹,说明钻头的

选择较为合理。但是也可以尝试不同类型的钻头,或许会收到更好的取心效果。

(3)岩心在取心钻具有明显的挤压现象,有可能是旧“川 83”取心钻具的单动性能不理想,加剧了岩心的堵塞。

### 5 取心技术探索

#### 5.1 第一种技术——井底动力+KT194 型取心钻具

岩心的采取率和原状性是最重要的技术指标,而第一阶段的取心效果与这一指标还有很大的差距。针对以上取心问题,项目组现场研究决定采用中国地质科学院勘探技术研究所自主研发的KT194型取心钻具<sup>[12-13]</sup>进行取心尝试,该取心钻具在“松科二井”已经得到成功应用。该取心钻具如图5所示,取心钻头为孕镶金刚石钻头,如图6(出井后)所示<sup>[14-15]</sup>。井底动力驱动都可以大大提高机械钻速,而且已经成为石油钻井和科学钻探工程最主要的钻进工艺方法。螺杆+转盘复合钻进的取心工艺在复杂破碎及硬岩地层已经得到了成功的应用<sup>[16-21]</sup>。第二阶段取心采用“转盘回转+螺杆马达+KT194型取心钻具”的钻具组合,螺杆马达的型号为5L 7 172×7.0-XI-SF。

### 5.1.1 第一种技术实际应用情况

钻进的基本参数:钻压40~60 kN,转速14~20 r/min,排量20~25 L/min,泵压8~10.5 MPa。



图5 KT194型取心钻具内外管  
Fig.5 Inner and outer tubes of  
KT194 coring tool



图6 孕镶金刚石取心钻头  
Fig.6 Diamond coring bit

3个回次取心即第二阶段取心概况见表2。

以上3个回次取得的岩心如图7所示。

第二阶段取得的岩心主要成分为白云岩,并含

表2 第二阶段取心概况

Table 2 Coring results of stage two

回次名称	钻进深度/m	回次进尺/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	层位	钻头	取心钻具	钻进方法
F	2557.40~2559.47	2.07	1.8	86.96	雾迷山组	孕镶金刚石	KT194	转盘+螺杆
G	2875.69~2878.19	2.50	1.4	56.00	雾迷山组	孕镶金刚石	KT194	转盘+螺杆
H	3106.96~3109.31	2.35	1.2	51.10	雾迷山组	孕镶金刚石	KT194	转盘+螺杆

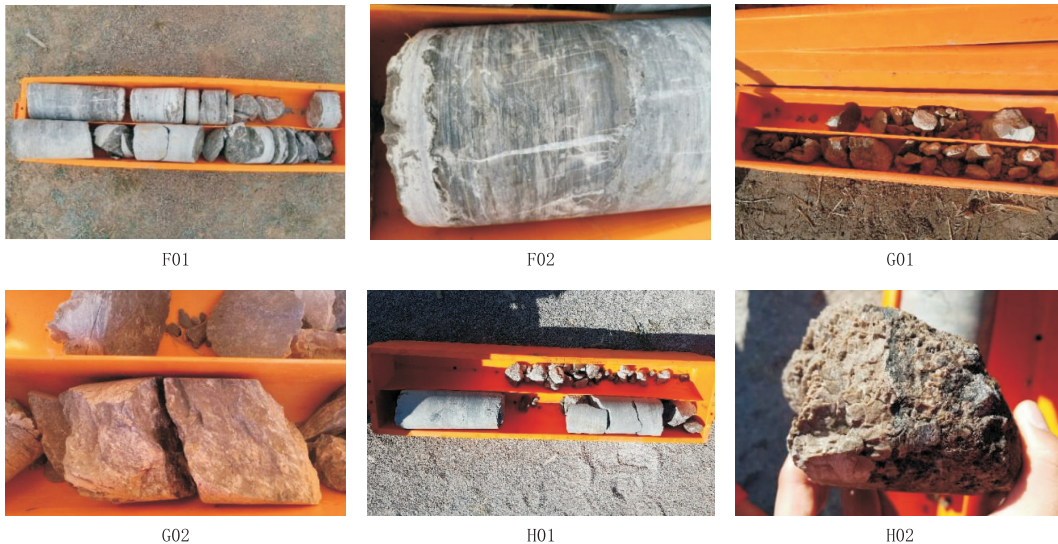


图7 第二阶段取得的岩心

Fig.7 Cores of stage two

极少量泥质成分,岩心有明显挤压现象,地层裂隙发育,但是岩心完整性较好。取心结果也未达到设计要求。

以上3个回次的取心钻头如图5所示。KT194

型取心钻具的钻头为中国地质科学院勘探技术研究所自主研发的孕镶金刚石取心钻头,虽然取得了较高的机械钻速,但是有两个齿被整体崩落。该钻头的齿与齿之间的间隙较大,在裂隙地层中使用极易

导致单齿卡缝,导致齿体整体崩落。如此看来,这种结构的钻头并不是最佳的选择。另外,KT194 型取心钻具的外径为 194 mm、长度 10 m,与三开 216 mm 井径的单边间隙只有 11 mm,加上三开钻井的空间结构是牙轮钻头钻进形成的不规则螺旋形态,钻具下放过程中经常遇阻,扫孔过程中造成取心钻头的过早损坏,严重影响取心的顺利进行。

### 5.1.2 第一种技术评价

第一阶段与第二阶段取心钻进的区别为取心钻具与钻进方法不同,现将两个阶段的回次进尺、岩心长度及采取率的平均值进行比较,如图 8 所示。

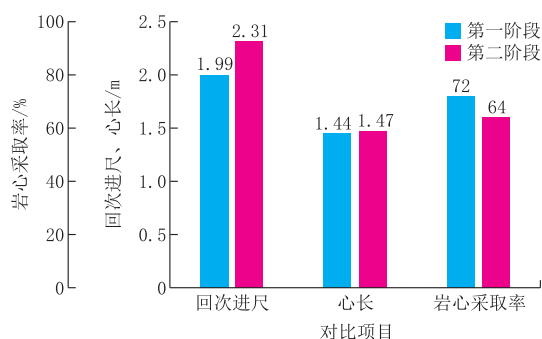


图 8 两个阶段取心结果对比

Fig.8 Comparison of coring results in two stages

通过对比分析可得第二阶段取心的钻具和钻进方法具有如下的优点。

(1)与第一阶段相比回次进尺和岩心长度有所提高。主要原因是螺杆马达井底驱动方式增加了取心钻具回转的稳定性,高转速有利于取心钻头快速切入破碎地层,岩心在扰动破碎之前能及时进入岩心管,有利于取心长度和岩心完整性的提高。

(2)第二阶段取心所采用的 KT194 钻具对 CGSD-01 井适用性较差。对于  $\varnothing 215.9$  mm 的井眼,KT194 钻具外径偏大<sup>[22]</sup>,在下放入井时遇到很大的阻力,遇到不规则的井段更易卡钻,有时需要扫孔到底,降低了取心钻进的时效,且扫孔对钻头的损害较大。在扫孔时钻头的齿块崩落井底,增大了钻井事故的几率。

### 5.2 第二种技术——井底动力+新“川 83”取心钻具

第二阶段的取心最大的成效是岩心的完整度大大提高了,但仍未达到取心的设计要求。对此,经过综合分析研究,将一、二两个阶段的取心方案相结合进行第三阶段取心尝试。第三阶段取心采用“转盘回转+螺杆马达+新‘川 83’取心钻具”的方案。螺杆马达的型号为 5L 7 172 $\times$ 7.0-XI-SF。

#### 5.2.1 第二种技术实际应用情况

钻进的基本参数:钻压 20~60 kN,转速 16~20 r/min,排量 18~19.2 L/min,泵压 10~14 MPa。第三阶段的取心概况如表 3 所示。

表 3 第三阶段取心概况

Table 3 Coring results of Stage Three

回次名称	钻进深度/m	回次进尺/m	岩心长度/m	岩心采取率/%	层位	钻头	取心钻具	钻进方法
I	3632.88~3637.88	5.00	5.00	100.0	雾迷山组	三角聚晶	川 83	转盘+螺杆
J	3637.88~3642.38	4.50	4.00	88.9	雾迷山组	三角聚晶	川 83	转盘+螺杆
K	3642.38~3645.98	3.60	3.60	100.0	雾迷山组	PDC 钻头	川 83	转盘+螺杆
L	3890.03~3895.79	5.76	5.76	100.0	雾迷山组	PDC 钻头	川 83	转盘+螺杆
M	3895.79~3900.29	4.50	4.00	88.9	雾迷山组	三角聚晶	川 83	转盘+螺杆
N	3984.92~3990.66	5.74	5.74	100.0	雾迷山组	PDC 钻头	川 83	转盘+螺杆

第三阶段取得岩心如图 9 所示。

第三阶段的取心取得了更大的突破,岩心长度和采取率均高质量地达到了取心要求。第三阶段的岩心主要以白云岩为主,较为破碎。但是岩心的完整性也得到了很大的提高。该阶段取心所使用的三角聚晶钻头见图 10,PDC 钻头见图 11。2 种钻头均获得了满意的取心效果,相对而言 PDC 取心钻头钻进效率更高。

#### 5.2.2 第二种技术评价

现将以上 3 个阶段的取心结果进行对比,详细

情况如图 12 所示。

通过取心概况对比可以看到第 3 个阶段的取心成果是显而易见的,与前两个阶段相比岩心长度和采取率都大大的提高了,更是高质量地完成了取心任务。可见,“川 83”取心钻具与转盘+螺杆配合取心是适宜于雾迷山组地层的。

## 6 结语

在具有裂隙发育且较为破碎的蓟县系雾迷山组岩心采取率是制约京津冀地热资源调查地热深井

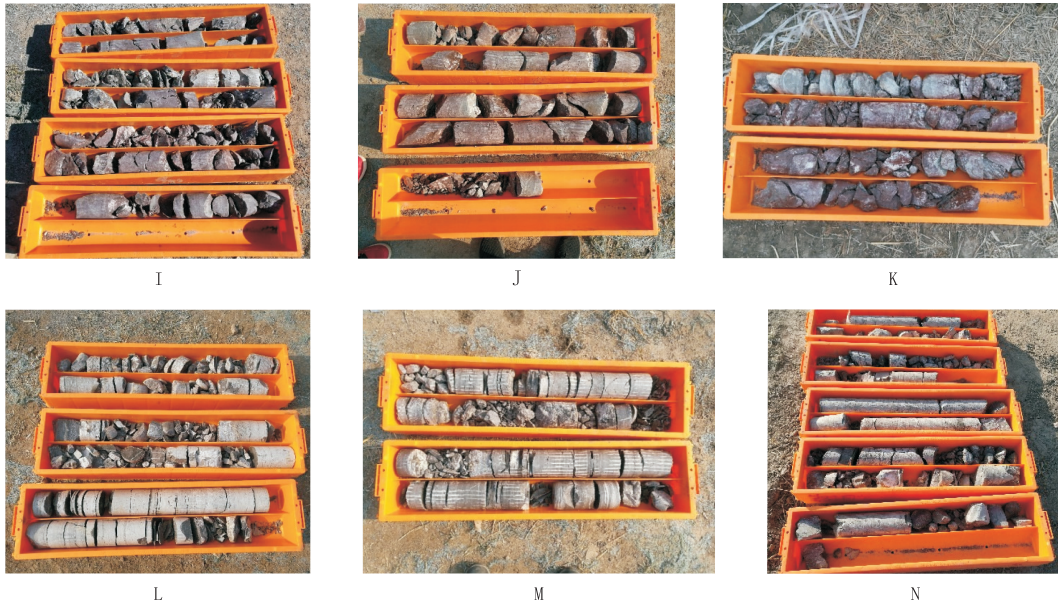


图9 第三阶段取得的岩心  
Fig.9 Cores of stage three



图10 三角聚晶钻头  
Fig.10 Triangular polycrystalline diamond coring bit

图11 PDC取心钻头  
Fig.11 PDC coring bit

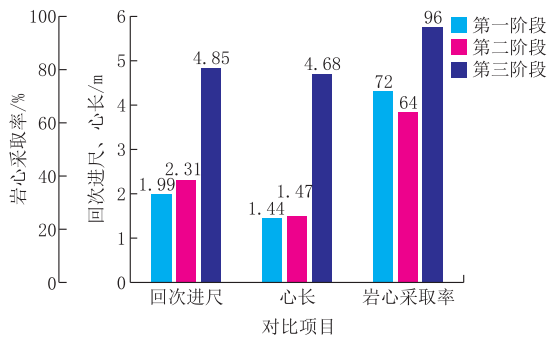


图12 三个阶段取心对比  
Fig.12 Comparison of coring results in three stages

钻探效率和钻探质量的关键问题。针对天津潘庄凸起构造区东丽湖 CGSD-01 井雾迷山组地层破碎、

坚硬、漏失的复杂情况,通过不断地试验、分析,探索出了一种最佳的取心技术即“螺杆马达+石油‘川83’系列取心钻具”,使平均岩心采取率从前8回次的70%提高至后12回次的91%,取心效果和质量显著提高,助力CGSD-01井创造了天津地区雾迷山地层取心次数最多、取心层位最完整的记录。这种取心钻进组合,不仅显著提高了复杂地层的岩心采取率,而且在深井取心钻进中还能维护破碎地层井壁的稳定,对未来3000~4000m以深的地热深井钻探取心具有很好的借鉴和指导作用。

参考文献(References):

[1] 陈栋.地热井施工问题分析与应对措施[J].石化技术,2018,25(2):288.  
CHEN Dong. Analysis and countermeasures of geothermal well construction problems[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018,25(2):288.

[2] 朱岩华.关于我国地热井钻探工艺的研究与探讨[J].科技经济导刊,2018,26(3):54.  
ZHU Yanhua. Research and discussion on drilling technology of geothermal well in China[J]. Technology and Economic Guide, 2018,26(3):54.

[3] 朱永宜,王稳石,张恒春,等.我国大陆科学钻探工程实施概况及其取心钻进技术体系[J].地质学报,2018,92(10):1971-1984.  
ZHU Yongyi, WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, et al. Implementation overview of Chinese Continental Scientific Drilling (CCSD) project and technical systems of core boring[J]. Acta Geologica Sinica, 2018,92(10):1971-1984.

- [4] 马忠平, 庞海, 王艳宏, 等. 天津地区地热钻井及成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(12): 9-11.  
MA Zhongping, PANG Hai, WANG Yanhong, et al. Geothermal well drilling and completion in Tianjin area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(12): 9-11.
- [5] 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.  
TIAN Xinmin. Potential evaluation of geothermal resources in Tianjin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015.
- [6] 邵俊琪. 天津市地热井钻进与成井工艺[J]. 探矿工程, 2001, (1): 202-205.  
SHAO Junqi. Drilling and completion technology of geothermal wells in Tianjin[J]. Exploration Engineering, 2001, (1): 202-205.
- [7] 张九宇. 浅谈我国地热井钻探的工艺及方法[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, (17): 1286.  
ZHANG Jiuyu. A brief review on geothermal well drilling technology and method in China[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2017, (17): 1286.
- [8] 夏敏. 地热资源勘查方法及地热钻探施工技术探析[J]. 资源信息与工程, 2018, 33(1): 85-86.  
XIA Min. Exploration method of geothermal resources and construction technology of geothermal drilling[J]. Resource Information and Engineering, 2018, 33(1): 85-86.
- [9] 林圣明. 浅论地热井钻探工艺及方法[J]. 科技致富向导, 2013, (17): 44.  
LIN Shengming. Discussion on drilling technology and method of geothermal well[J]. Guide of Sci-tech Magazine, 2013, (17): 44.
- [10] 王洪伟. 浅谈我国地热井钻探工艺及方法[J]. 西部探矿工程, 2015, (2): 39-41.  
WANG Hongwei. Discussion on drilling technology and method of geothermal well[J]. West-China Exploration Engineering, 2015, (2): 39-41.
- [11] DZ/T 0148-2014, 水文水井地质钻探规程[S].  
DZ/T 0148-2014, Hydrological and water well drilling procedure[S].
- [12] 张恒春. 一种取心钻具单动装置: 中国, 201720153480.4[P]. 2017-11-10.  
ZHANG Hengchun. A single-acting device for coring drilling tool: China, 201720153480.4[P]. 2017-11-10.
- [13] 张恒春. 一种防止内总成跟动的取心钻具单动装置: 中国, 201710091897.7[P]. 2017-06-20.  
ZHANG Hengchun. A single-acting device for coring drilling tool to prevent the following of internal assembly: China, 201710091897.7[P]. 2017-06-20.
- [14] 王稳石. 复杂地层取心技术助力我国大陆科学钻探地学研究: 中国地质科学院勘探技术研究所“深部复杂地层取心钻具研制”成果展示[J]. 科技成果管理与研究, 2015, (3): 57-59.  
WANG Wenshi. Coring technology for complex strata helps geological research in continental scientific drilling in China: the development of coring tools for deep complex strata, the Institute of Exploration Techniques, CAGS[J]. Management and Research on Scientific & Technological Achievements, 2015, (3): 57-59.
- [15] 朱永宜. KZ 型单动双管取心钻具的研制与应用[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(3): 19-22.  
ZHU Yongyi. Development and application of KZ single rotary and double tube core barrel[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(3): 19-22.
- [16] 王稳石, 张恒春, 闫家. 科学超深井硬岩取心关键技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(1): 9-12.  
WANG Wenshi, ZHANG Hengchun, YAN Jia. Key technology of coring in hard rocks for scientific ultra-deep drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(1): 9-12.
- [17] 王稳石, 朱永宜, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(9): 28-38.  
WANG Wenshi, ZHU Yongyi, JIA Jun, et al. Coring drilling technology in Wenchuan earthquake fault scientific drilling project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(9): 28-38.
- [18] 庄生明, 吴金生, 张伟, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-4 孔取心钻进技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 126-129.  
ZHUANG Shengming, WU Jinsheng, ZHANG Wei, et al. The core drilling technology used in the borehole WFS-4 of Wenchuan earthquake fault scientific drilling project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 126-129.
- [19] 王稳石, 朱永宜. 科学钻探复杂地层取心钻进技术[C]//中国地质学会探矿工程委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会. 北京: 地质出版社, 2011: 425-431.  
WANG Wenshi, ZHU Yongyi. Coring technology in complex formation for scientific drilling[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Sixteenth National Exploration Engineering (Drilling and Tunneling) Academic Conferences. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 425-431.
- [20] 朱永宜, 王稳石. 松科一井(主井)取心钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9): 1-10.  
ZHU Yongyi, WANG Wenshi. Coring drilling technology in Well-1 (main shaft) of Songliao Scientific Drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(9): 1-10.
- [21] 杨甘生, 王达. 科钻一井取心钻进技术研究[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(3): 1-8.  
YANG Gansheng, WANG Da. Research on coring drilling technology in Well No.1 of scientific drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(3): 1-8.
- [22] DZ/T 0227-2010, 地质岩心钻探规程[S].  
DZ/T 0227-2010, Geological core drilling regulations[S].