

# 新疆温泉县 AKT1 - 1 地热孔钻探施工技术

张祖海<sup>1</sup>, 董海燕<sup>2</sup>, 丁昌盛<sup>2</sup>, 张贤萍<sup>1</sup>, 刘振新<sup>2</sup>

(1. 新疆地矿局第一水文工程地质大队, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004)

**摘要:**针对新疆温泉县地热钻孔 AKT1 - 1 孔施工地层构造复杂破碎, 岩层裂隙较多及钻孔涌水较大, 钻探施工难度较大等问题, 从钻孔结构设计、钻探设备选择、钻具级配选型、钻探工艺新技术以及适合该孔的冲洗液配制等几方面进行了总结, 提出了相应的钻探工艺技术和应对措施, 为后续在该地区进行深部地热钻探施工积累了经验。

**关键词:**地热井; 钻探; 钻孔结构; 冲洗液; 钻具级配; 钻探工艺; 新疆

**中图分类号:** P634; TE249      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672 - 7428 (2015) 08 - 0017 - 05

**Drilling Technology for AKT1 - 1 Geothermal Well in Wenquan County of Xinjiang/ZHANG Zu-hai<sup>1</sup>, DONG Hai-yan<sup>2</sup>, DING Chang-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Xian-ping<sup>1</sup>, LIU Zhen-xin<sup>2</sup>** (1. No. 1 Hydrogeology & Engineering Geology Exploration Team of Xinjiang Geology & Mineral Bureau, Urumqi Xinjiang 830091, China; 2. No. 3 Exploring Institute of Geo-Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China)

**Abstract:** According to the difficult conditions of complex formations, much bed crack and serious water inflow in the construction of AKT1 - 1 geothermal drilling hole in Wenquan County of Xinjiang, the borehole structure design, drilling equipment selection, drilling tool gradation selection, new drilling process and flushing fluid preparation are summarized in this paper and corresponding drilling technologies and countermeasures are put forward to accumulate the construction experience for deep geothermal drilling in this region.

**Key words:** geothermal well; drilling; borehole structure; flushing fluid; drilling tool grading; drilling technology; Xinjiang

## 0 引言

“新疆温泉县博尔塔拉河谷地地热资源预可行性勘查”是新疆维吾尔自治区国土资源厅地质勘查基金项目管理中心组织实施的水文及地热勘查项目, 该项目总体设计 2 个地热勘探孔, 分别为基础测试孔 AKT1 - 1 孔(设计孔深 1400 m)和产能测试孔 AKT1 - 2 孔(设计孔深 1300 ~ 1500 m)。

先期施工基础测试孔 AKT1 - 1 孔, 通过该孔岩心钻探工作, 验证前期勘察成果, 提升地热项目钻探工艺研究, 为温泉县博尔塔拉河谷地后续深部地热勘探孔和地热资源试采及进一步勘查与开发远景规划的制定提供科学依据。

## 1 温泉地热勘查区地理情况及地质概况

### 1.1 温泉地热勘查区地理情况

温泉地热勘查区主要位于博格达尔温泉所在区

域地热田, 勘查区北部边界以博尔塔拉河断裂以北低山丘陵区一带为界, 南部边界以温泉县南部山前地带为界, 西部边界以温泉县博尔塔拉河上游 88 团 8 连一带为界, 东部边界以温泉县博尔塔拉河下游 88 团 6 连一带为界, 面积 83 km<sup>2</sup>。勘查区地处欧亚大陆腹地, 远离海洋, 具典型的大陆性中温带半干旱气候特点, 勘查区内发育的河流为博尔塔拉河。从各地至勘查区均有专用道路直达, 交通十分便利, 通讯网络覆盖该区域。

### 1.2 勘查区地质概况

勘查区位于北天山西段博尔塔拉河断裂(在区域上为博罗科努 - 阿其克库都克断裂的西延部分)以南, 按大地构造单元划分属于一级构造单元天山褶皱系(Ⅲ) - 二级构造单元博罗科努地槽褶皱带(Ⅲ1) - 三级构造单元赛里木隆起(Ⅲ11)和博乐山间拗陷。

收稿日期: 2014 - 12 - 23; 修回日期: 2015 - 06 - 21

**基金项目:**新疆维吾尔自治区国土资源厅地质勘查基金项目管理中心组织实施的水文及地热勘查项目“新疆温泉县博尔塔拉河谷地地热资源预可行性勘查”(编号: N12 - 4 - XJ01)。

**作者简介:**张祖海, 男, 汉族, 1981 年生, 副经理, 工程师, 从事浅层石油钻井、水文水井施工、地热资源勘探与开发工作, 新疆乌鲁木齐沙依巴克区南昌路 76 号, zh19820319@163.com。

受南北向应力作用及断块差异性升降运动的影响,区域上形成了一系列平行的褶皱和断裂,与勘查区温泉出露控制有关的区域构造断裂为博尔塔拉河断裂。

勘查区内的地层大致分为:0~200 m 第四系,岩性主要由粘土、砾石等组成,厚度 200 m 左右;200~600 m 为中石炭统东图津河组地层,岩性以石英砂岩、长石砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩为主,厚度 400 m 左右;600 m 以深推测为中元古界晚期变质岩地层,岩性以石英片岩为主。受断裂构造控制,第四系以下 200~800 m 推断岩体破碎程度较高。

### 1.3 钻探施工技术难点

(1)第四系地层由 300 m 左右的粘土、砾石组成,相对较厚,岩心采取困难。勘查区第四系地表水较为发育,易引起孔壁坍塌、缩径等,不利于钻孔孔壁的稳定。

(2)第四系以下地层岩石可钻性等级 6~7 级,中等—偏弱研磨性,因受地质断裂构造影响,地层破碎、裂隙较为发育,地层换层较为频繁、地层软硬不均,容易引起钻孔偏斜。

(3)勘查区钻探施工对冲洗液要求较严,既要最大限度的携带孔内岩粉,又不能堵塞裂隙,孔内涌水较大,不利于坍塌破碎地层的孔壁维护,施工难度较高。

## 2 钻孔结构及钻具级配选型

根据地质设计,为确保钻孔的顺利完成,设计采用多级钻孔结构,其目的是利用大径控斜和套管护孔(见图 1)。

采用  $\varnothing 122$  mm 金刚石绳索取心钻进至 300 米左右,穿过第四系,之后采用  $\varnothing 241.3$  mm 牙轮钻头扩孔至一开孔底,下入  $\varnothing 180$  mm 套管,环空间隙采用水泥封孔,以达到维护孔壁和隔绝上部冷水的目的;然后采用  $\varnothing 122$  mm 金刚石绳索取心钻具,钻进至 800~1000 m,下入  $\varnothing 108$  mm 套管,环空采用水泥封孔;最后更换  $\varnothing 95$  mm 绳索取心钻具钻进至终孔,如遇钻孔地层坍塌破碎严重,可下入  $\varnothing 89$  mm 套管维护孔壁,使用  $\varnothing 75$  mm 绳索取心钻具钻进至终孔。

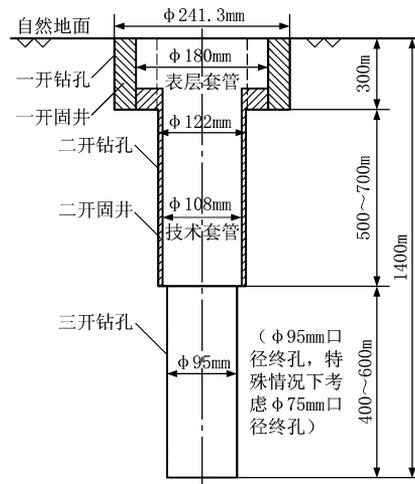


图 1 钻孔结构

## 3 钻探设备和机具

在温泉地热勘查区进行钻探施工,考虑到钻孔设计要求的特殊性,开孔口径较大;以及维护破碎地层孔壁的需要,需采用较大口径金刚石绳索取心钻进,每一级钻孔结构均应施工至最大孔深。因此在选择钻机时,要综合考虑设计孔深、开孔和终孔口径等各种因素。表 1 为本孔施工采用的钻探设备和机具。

表 1 主要钻探设备和机具配置

| 名称        | 规格型号                   | 单位 | 数量       | 备注             |
|-----------|------------------------|----|----------|----------------|
| 钻机        | XY-6B                  | 台  | 1        |                |
| 动力机       | 160 kW                 | 台  | 1        |                |
| 泥浆泵       | BW250                  | 台  | 1        |                |
| 钻塔        | TY2500-A13             | 付  | 1        |                |
| 绞车        | S2000                  | 台  | 1        |                |
| 泥浆搅拌机     | 1.0 m <sup>3</sup>     | 台  | 1        |                |
| 测斜仪       | STL-1GW                | 套  | 1        | 无缆陀螺测斜仪        |
| 冲洗液性能测试仪器 | 海通达                    | 套  | 1        | 密度计、漏斗、含砂量测量仪器 |
| 金刚石绳索钻杆   | $\varnothing 114$ mm   | m  | 800~1000 | PQ             |
| 金刚石绳索钻杆   | $\varnothing 89$ mm    | m  | 1500     | HQ             |
| 金刚石绳索钻杆   | $\varnothing 71$ mm    | m  | 1500     | NQ             |
| 金刚石绳索钻具   | $\varnothing 122$ mm   | 套  | 5        |                |
| 金刚石绳索钻具   | $\varnothing 95$ mm    | 套  | 5        |                |
| 金刚石绳索钻具   | $\varnothing 75$ mm    | 套  | 3        |                |
| SYZX 液动锤  | $\varnothing 122$ mm   | 套  | 2        |                |
| SYZX 液动锤  | $\varnothing 95$ mm    | 套  | 2        |                |
| SYZX 液动锤  | $\varnothing 75$ mm    | 套  | 2        |                |
| 钻铤        | $\varnothing 203$ mm   | m  | 9        |                |
| 扶正器       | $\varnothing 241.3$ mm | 个  | 2        | 1.5 m/个        |
| 三牙轮钻头     | $\varnothing 241.3$ mm | 个  | 2        |                |

## 4 钻进工艺

### 4.1 钻进方法

先期基础测试孔 AKT1-1 孔钻探施工,主要采用金刚石绳索取心钻进或是绳索取心液动冲击回转钻进方法施工,根据温泉地热勘查区岩石物理特性和可钻性及钻孔结构等,主要规格型号为 S122、S95 和 S75。采用上述钻进方法具有岩心采取率高、钻进速度快、防斜、劳动强度较低和钻孔质量较高等优点。

### 4.2 钻头、扩孔器类型的选择

根据地层岩石可钻性、研磨性和破碎程度,主要选择孕镶金刚石钻头,其主要技术参数为:钻头类型为人造热压孕镶;金刚石粒度为 60~80 目;钻头胎体硬度为 HRC22~39;钻头底唇面选用圆弧和阶梯形状。钻进特别破碎、岩心采取率较低地层考虑采用金刚石复合片绳索取心钻头,以增加岩心采取率。扩孔使用三牙轮钻头或大口径硬质合金钻头。

### 4.3 钻进技术参数(见表2)

表2 钻进技术参数

| 钻头类型     | 钻头直径/<br>mm | 钻压/<br>kN | 转速/<br>(r·min <sup>-1</sup> ) | 泵量/<br>(L·min <sup>-1</sup> ) |
|----------|-------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| 金刚石绳索取心  | 122         | 10~30     | 250~500                       | 72~110                        |
| 金刚石绳索取心  | 95          | 10~20     | 300~500                       | 52~90                         |
| 牙轮扩孔钻头   | 241.3       | 20~60     | 150~300                       | 90~150                        |
| 硬质合金扩孔钻头 | 241.3       | 8~20      | 100~300                       | 72~110                        |

主要考虑到设备及机具能力,以及口径、钻头、钻进方法不同,合理选择钻进参数。钻进过程中,应根据岩石特性,对钻压、转速、泵量等钻进参数进行有机配合,及时调整。

### 4.4 冲洗液

(1)第四系覆盖层钻进及扩孔钻进主要采用低固相泥浆,在使用过程中具有良好的携粉和护壁性能。具体配方及性能参数如下。

配方:1 m<sup>3</sup> 水 + 0.1% NaOH + 2%~3% 钠土 + 2% LBM。

性能参数:粘度 30~35 s,密度 1.04~1.08 g/cm<sup>3</sup>,动切力 4~7 Pa,API 失水量 8~11 mL/30min, pH 值为 9~11,泥皮厚度 0.3~0.5 mm,含砂量 ≤ 0.5%。

(2)下部地层(含热储层)采用冲洗液体系配方及性能参数如下。

配方:①1 m<sup>3</sup> 水 + 0.2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.3% KHm + 0.1% PAC141(干粉) + 0.3% 植物胶;②1 m<sup>3</sup> 水

+ 0.2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.3% 植物胶 + 2%~3% LBM + 0.2% GLUB。

性能参数:粘度 23~26 s,密度 1.01~1.03 g/cm<sup>3</sup>,动切力 3~5 Pa,API 失水量 11~14 mL/30 min, pH 值为 9~11,泥皮厚度 0.1~0.2 mm,含砂量 ≤ 0.2%。

在钻进过程中,该型泥浆配方能够满足钻进携岩需要,每钻进 100~150 m 彻底更换全部冲洗液,清理施工现场泥浆坑,重新配置冲洗液,保证冲洗液性能优良、稳定。

该孔在实际生产过程中,在多个层段发生不同严重程度漏水、涌水情况,机台均没有采取堵漏措施,其原因是地质人员要求冲洗液中不能加入任何堵漏材料,以防污染热储层,影响热储层的出水量及温度。在实际钻进过程中,均采用顶漏或顶涌的方式钻进。

#### (3)破碎地层 LBM 泥浆的使用。

钻进至 521.0 m 时,孔内出现塌孔现象,该段为断层泥,断层角砾,泥质结构。取出的岩心为粉末状(见图2)。出现塌孔现象后,请示地质人员,换用 4% LBM 高效增粘粉泥浆护孔钻进,并加入防塌堵漏剂,配合 SYZX122 绳索取心液动冲击回转钻进取心,岩心采取率达到 93%,取得了较为明显的效果。

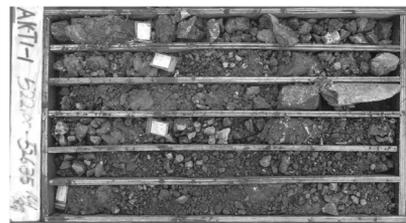


图2 断层泥取心照片

4% LBM 冲洗液配方:4% LBM 泥浆 + 3%~5% 钠土粉 + 植物胶(增粘)/腐殖酸钾(稀释) + 防塌堵漏剂 + 0.1% 乳化沥青 + GLUB(无荧光润滑剂)。

4% LBM 冲洗液性能参数:粘度 25~32 s,密度 1.02~1.04 g/cm<sup>3</sup>,动切力 4~6 Pa,动塑比 YP/PV 为 0.15~0.25,API 失水量 8.0 mL/30 min, pH 值为 9~11,泥皮厚度 0.1~0.3 mm,含砂量 ≤ 0.5%。

实际应用证明,LBM 泥浆在温泉地区破碎、漏失等不稳定复杂地层中使用,尤其在 SYZX 系列绳索取心液动锤钻进中使用,对于稳定孔壁、防止坍塌、防止绳索取心钻杆内壁结垢等具有明显效果。

## 5 采用的关键技术

### 5.1 套管封孔止水技术

AKT1-1孔实际施工过程中下入 $\varnothing 180$  mm套管300 m、 $\varnothing 108$  mm套管520 m,采用常规注水泥方法对管外固井。现场按照设计要求配置性能优良的水泥浆,按照顺序注入前置液(清水)、水泥浆、替浆液(清水),待水泥浆返出地面后停止替浆,然后候凝72 h后,卸开机上钻杆,孔口不涌水,灰塞面在地面以下2.5 m处,孔口不涌水,证明管外止水效果良好。

### 5.2 特殊钻具级配施工大口径钻孔

由于地质方面要求在开孔至300 m孔段使用 $\varnothing 241.3$  mm口径钻进,并下入 $\varnothing 180$  mm口径套管封井,以达到隔绝上部冷水层同时满足后续抽水试验

要求,根据实际情况,先采用S122 mm口径绳索取心钻进至300 m孔深,之后采用 $\varnothing 241.3$  mm口径扩孔,并下入 $\varnothing 180$  mm口径套管固井。为此我院在扩孔时第一次采用“ $\varnothing 241.3$  mm牙轮钻头 +  $\varnothing 241.3$  mm扶正器 1.5 m +  $\varnothing 203$  mm钻铤 9 m +  $\varnothing 241.3$  mm扶正器 1.5 m + 变丝接手 +  $\varnothing 114$  mm绳索取心钻杆”的钻具组合进行扩孔钻进施工。

### 5.3 SYZX绳索取心液动锤的应用

为克服硬脆碎地层岩心堵塞问题,同时有效提高钻进效率,在该孔试验应用了SYZX122与SYZX95绳索取心液动锤,在纯钻时间利用率、提高钻头寿命、增加回次进尺、提高岩心采取率及防治钻孔弯曲等多个方面均取得了较为明显的成效(见表3所示)。

表3 常规绳索取心钻进与液动锤绳索取心钻进效率指标比较

| 钻进方法     | 孔段/m      | 钻具型号    | 钻速/( $r \cdot \min^{-1}$ ) | 纯钻时间利用率/% | 钻头寿命(平均)/m     | 回次进尺(平均)/m   | 岩心采取率/% | 钻孔弯曲/[( $^{\circ}$ ) $\cdot$ (100 m) $^{-1}$ ] |
|----------|-----------|---------|----------------------------|-----------|----------------|--------------|---------|--|
| 常规绳索取心钻进 | 300~470   | S122    | 1.76                       |           | 69.59          | 1.71         | 97.1    | 0.14   |
| 液动锤绳索取心  | 470~800   | SYZX122 | 2.07                       | 提高11.1    | 90.83,提高17.13% | 2.53,提高32.4% | 99.3    | 0.10   |
| 常规绳索取心钻进 | 800~1100  | S95     | 1.53                       |           | 67.23          | 1.68         | 98.1    | 0.22   |
| 液动锤绳索取心  | 1100~1430 | SYZX95  | 1.89                       | 提高30.6    | 75.27,提高10.68% | 1.94,提高13.4% | 98.9    | 0.18   |

### 5.4 施工中遇到的问题及处理措施

#### 5.4.1 施工中遇到的问题

(1) AKT1-1孔施工过程中,多个层段发生不同严重程度漏水、涌水情况。

(2) 在 $\varnothing 122$  mm孔径至 $\varnothing 241.3$  mm口径扩径施工时,多次出现断钻杆事故。

(3) 该孔地层岩性多为凝灰质粉砂岩、凝灰岩、霏细斑岩,在钻进过程中多次出现钻头打滑现象。

(4) 套管与孔壁环状间隙过小,在固井时发生泵压过高现象。

(5) 构造破碎带中,胶结结构多为高岭石、绿泥石,坍塌破碎严重,岩心采取率不足。

#### 5.4.2 处理措施

(1) 针对AKT1-1孔多个层段出现的漏水、涌水现象,由于地质方面要求在热水储层使用无固相冲洗液,基本以顶漏、顶涌钻进为主。遇到长孔段漏水层时,在冲洗液中加入钠土和随钻堵漏剂,提高粘度,堵漏效果较为显著。

(2) 采用的“ $\varnothing 241.3$  mm牙轮钻头 +  $\varnothing 241.3$  mm扶正器 1.5 m +  $\varnothing 203$  mm口径钻铤 9 m +  $\varnothing 241.3$  mm扶正器 1.5 m + 变丝接手 +  $\varnothing 114$  mm绳

索取心钻杆”钻具组合环空间隙较大,且XY-6B型钻机各挡转速恒定,无法像全液压钻机可以根据孔内情况调节转速,只能采用最低挡的85 r/min,减压钻进,加入大量的孔内润滑和携粉材料降低孔内摩擦阻力,同时在每回次取心时,往泥浆池倒入3%的皂化油充分搅拌后泵入孔内,有效解决了因为较大口径钻进施工带来的阻力较大引起的断钻杆事故,平均钻速0.73 m/h,扩孔施工300 m,断钻杆5次,且都是一次打捞成功,有效缩短了辅助钻进时间。

(3) 针对凝灰质砂岩、凝灰岩、霏细斑岩地层中的钻头打滑现象,采用SYZX系列绳索取心液动冲击回转钻进工艺和技术,采取了降低转速、提高钻压、更换为高寿命软胎体钻头,平均纯钻时效由常规的0.46 m/h提高到1.49 m/h,回次进尺由不足0.5 m提高到1.7 m。

(4) 在下入 $\varnothing 114$  mm套管固井时,泵压由2 MPa逐渐上升至8 MPa,且泵压持续过高,多次固井失败。针对这种现象,经过现场讨论及时修改套管设计,由原计划在 $\varnothing 122$  mm口径中下入的 $\varnothing 114$  mm套管,更改为 $\varnothing 108$  mm套管,增大了管外环状间隙,固井时没有发生泵压过高现象。

(5) 在施工构造破碎带时, 由于该孔段坍塌破碎严重, 在征得地质方面同意后换用 4% LBM 低粘增效粉冲洗液, 配合 SYZX95 绳索取心液动锤钻进, 有效提高了钻速, 增加了回次进尺长度, 采取率由之前的 57% 提高至 91%, 得到了业主的一致认可。

## 6 结语

AKT1-1 孔自 2014 年 6 月 6 日开孔, 11 月 10 日钻进至 1407.28 m 终孔, 历时 5 个月, 台月效率 281.46 m, 综合钻速 1.79 m/h, 岩心采取率为 97.8%。AKT1-1 孔的施工, 建立了一套适合温泉地区破碎坍塌地层施工的冲洗液技术体系; 同时试验应用了 SYZX 系列绳索取心液动锤钻进技术, 并取得了较为明显的成效; 在钻探施工组织设计及钻孔结构布置上积累了宝贵的经验, 尤其是小口径钻杆配合大口径钻铤与大口径钻头施工的钻具级配, 优化钻进参数和辅以高效冲洗液, 在实际施工中取得了较好的效果。

通过 AKT1-1 孔的施工, 为后续施工积累了宝贵的经验: 在地层稳定的情况下, 钻进大口径钻孔, 尽量使用大排量钻进, 避免岩粉重复破碎, 实现快速钻进; 合理设计钻孔结构和钻具级配, 对异常破碎地层, 采用多径钻孔结构和最优冲洗液; 孔内事故是影响钻进效率的直接因素, 施工中要充分考虑各种因素, 制定详细且具有可操作性的施工技术方案、尽量

避免孔内事故的发生; 采用管外灌注水泥止水时, 尽量增大管外环状间隙, 起到保证止水效果的同时, 可以避免灌注水泥时发生憋压憋泵现象。

## 参考文献:

- [1] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔 (WFS-1) 断层泥孔段泥浆体系的研究与应用 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 13-15, 19.
- [2] 董海燕. 绳索取心液动锤在中国岩金勘查第一深钻的应用和最新进展 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 9-12.
- [3] 贾军, 李旭东, 樊腊生, 段晓青, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-2 孔钻探施工技术 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2012, 39(9): 6-11.
- [4] 胡郁乐, 杨涛, 董海燕. 金川科学深钻预导孔钻井液技术研究 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 13-15.
- [5] 董海燕, 王鲁朝, 杨芳, 等. 国产 CNH(T) 绳索取心钻杆在中国岩金勘查第一深钻工程中的应用分析 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2014, 41(1): 49-53.
- [6] 陈师逊, 张英传, 翟玉峰. 山东莱州三山岛金矿区 ZK112-1 钻孔施工技术 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2012, 39(S2): 217-220.
- [7] 王达, 张伟. “科钻一井” 钻探施工技术概览 [J]. 中国地质, 2005, 32(2): 184-194.
- [8] 孙丙伦, 陈师逊, 陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2008, 35(5): 13-16.
- [9] 丁同领, 高嵩. 武汉-1 超深地热井钻井成井工艺 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 23-25.

## (上接第 12 页)

(3) 优选的原油-聚合物体系, 密度比较低, 且流变性比较好。

(4) 优选的原油-聚磺钻井液体系, 体系比较稳定, 流变性比较好, 滤失量低。

(5) 液体黄原胶作为一种新型钻井液流变性处理剂, 具有良好的水溶性, 耐温, 抗酸碱, 优良的增粘性, 并起一定的降滤失作用, 良好的配伍性。目前深井和超深井井底地层情况复杂, 井底温度高, 因此适合应用液体黄原胶处理钻井液。液体黄原胶应用广泛, 但在我国石油工业中的应用还需要更多、更深层次的探索和研究。

## 参考文献:

- [1] 刘榆. 水包油型乳化完井液的研究与应用 [J]. 钻井液与完井

液, 1989, 6(4): 62-66.

- [2] 左凤江, 庄立新, 杨洪, 等. 低密度水包原油钻井液的应用 [J]. 钻井液与完井液, 1996, 13(5): 35-37.
- [3] 耿晓光. 抗高温水包油钻井液研究与应用 [D]. 黑龙江哈尔滨: 黑龙江大学, 2001.
- [4] 赵大键, 扬建华, 于宪潮, 等. 黄原胶的分子量 [J]. 应用化学, 1989, 6(5): 86-88.
- [5] 石宝忠. 黄原胶调研报告 [J]. 化工科技市场, 2003, (11): 23-24.
- [6] Jansson, P. - E., L. Kenne, and B. Lindberg. Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris* [J]. Carbohydrate research, 1975, 45: 275-282.
- [7] 里景伟. 微生物多聚糖——黄原胶的生产与应用 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [8] 杨新亭. 黄原胶的性能及其应用 [J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(S1): 137-139.
- [9] 章泽英, 张静, 周全. 黄原胶水溶液结构流变性质的研究 [J]. 北京联合大学学报, 1995, (3): 42-47.