

# GY<sub>x</sub> 地热井钻井液技术

李砚智, 张长茂

(河北省地矿局第三水文工程地质大队, 河北 衡水 053000)

**摘要:**高阳地热田 GY<sub>x</sub> 地热井, 钻遇新近系及古近系地层较齐全, 完钻井深 3920 m, 是一口三开井, 目的层为蓟县系雾迷山组, 施工过程中存在卡钻、漏失、掉块、坍塌及油气的风险。二开施工是钻井液的重点和难点, 钻井液采用以大分子包被剂为主的聚合物泥浆及抗高温硅基防塌泥浆, 使用耐高温的钻井液材料, 按照地层压力控制钻井液密度, 使用页岩抑制剂抑制页岩的水化膨胀, 严格控制钻井液的失水量, 使用润滑剂提高泥浆润滑性; 采用四级钻井液固控设备并合理使用; 所用钻井液性能良好, 解决了施工过程中存在的风险问题, 同时取得了较高的机械钻速。

**关键词:**地热井; 钻井液; 聚合物; 防塌; 失水量; 固控

**中图分类号:** P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)01-00-06

## Drilling fluid technology for geothermal well GY<sub>x</sub>

LI Yanzhi, ZHANG Changmao

(No.3 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Hengshui Hebei 053000, China)

**Abstract:** Geothermal Well GY<sub>x</sub> in Gaoyang Geothermal Field was a three-section well with a completion depth of 3920m. Neogene and Paleogene formation was drilled in this well, and the target layer was Wumishan Group of Jixian System. Drilling operations in the formation was difficult due to many problems such as sticking, leakage, chipping, collapsing, and even occurrence of oil and gas layers. Preparation of proper drilling fluids were very critical and difficult, especially for the second section drilling. Polymer mud with the macromolecule coating agent and silica-based anti-collapsed mud with high temperature resistance were adopted for the drilling fluid, and the high temperature-resistant drilling material was used. The density of the drilling fluid was controlled according to the formation pressure. The shale inhibitor was used to prevent shale hydration and swelling, and to control the water loss of the drilling fluid as well. The mud lubricity was improved by adding some lubricating agent. The four stage solid control equipment was used to clean the drilling fluid. By taking these measures, the drilling fluid adopted in Well GY<sub>x</sub> provided good performance, which had eliminated the drilling risks; meanwhile the penetration rate was greatly improved.

**Key words:** geothermal well; drilling fluid; polymer; collapse prevention; water loss; solid control

### 1 概述

GY<sub>x</sub> 地热井位于高阳地热田, 是一口地热勘查井, 钻遇覆盖层地层较齐全, 钻穿蓟县系雾迷山组完钻, 设计井深及完钻井深均是 3920 m。该井地质构造部位处于中朝准地台(I 级)中的华北断拗(II 级), 冀中台陷(III 级)高阳台凸(IV 级)的东部; 勘探孔北侧为牛南断裂, 西部为高阳断裂。地质情况和工程设计情况如下。

#### 1.1 地质情况

##### 1.1.1 地层

(1) 第四系(Q)。

预测地层厚度 500 m, 岩性由灰黄、棕黄、黄棕、棕红色粉土、粉质粘土、粘土和灰黄、灰白色砂层组成。与下伏新近系明化镇组地层呈不整合接触。

(2) 新近系(N)。

明化镇组(N<sub>m</sub>): 预测地层厚度 880 m, 岩性为黄褐、棕褐、棕紫色泥岩、砂质泥岩、粉砂质泥岩和灰绿、浅灰、深灰色细砂岩、粉细砂岩、粉砂岩、中细砂岩不等厚互层, 结构松散—疏松。与下伏新近系馆陶组整合接触。

收稿日期: 2018-11-20; 修回日期: 2018-11-27 DOI: 10.12143/j.tkgc.2019.01.011

作者简介: 李砚智, 男, 汉族, 1972 年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事探矿工程技术及管理工作, 河北省衡水市桃城区红旗大街 808 号地质大厦, Hbssdzgs@126.com。

引用格式: 李砚智, 张长茂. GY<sub>x</sub> 地热井钻井液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(1): 61-66.

LI Yanzhi, ZHANG Changmao. Drilling fluid technology for geothermal well GY<sub>x</sub>[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(1): 61-66.



## 2 钻井液施工技术

### 2.1 一开钻井液

0~800 m 采用膨润土钻井液。开钻前,按照清水+4%膨润土+0.5%纯碱的比例配30~40 m<sup>3</sup>钻井液,钻进中补充清水及片碱,控制粘度在29~33 s,密度1.05~1.08 g/cm<sup>3</sup>,满足护壁防塌的目的。

### 2.2 二开钻井液

二开是该井钻井液使用和维护的重点及难点,施工中裸眼段长,钻遇的覆盖层厚且较全,存在漏失、坍塌、卡钻及油气侵的风险。主要是钻进沙河街地层时,为了防塌及油气侵,必须对钻井液进行加重,而为了达到抑制沙河街泥页岩水化后掉块坍塌的目的,既要控制好钻井液的密度,同时还要控制好钻井液的失水量。钻井液加重的同时,由于钻井液液柱压力相应增大,又容易引起上部馆陶组砂砾岩地层的漏失,所以加入诸如单项压力封闭剂或碳酸钙粉等暂堵剂非常必要。同时,二开的下部地层温度接近100℃,所以钻井液处理剂的选用上,还要考虑耐高温性。

#### 2.2.1 钻井液基本配方

(1) 800~2100 m: 聚合物钻井液。

钻井液配方: 清水+5%膨润土粉+0.5%纯碱+2%NH<sub>4</sub>-HPAN+2%复合沥青+1%KPAM+片碱+纤维素+单项压力封闭剂。

(2) 2100~3120 m: 抗高温硅基防塌钻井液。

钻井液配方: 基浆+0.2%~0.5%KPAM+1%~2%硅稳定剂+1%~1.5%硅稀释剂+2%防塌降滤失剂+2%磺甲基酚醛树脂+1%润滑剂+0.5%LV-PAC+片碱+重晶石粉+单向压力封闭剂。

#### 2.2.2 800~2100 m 聚合物钻井液性能维护情况

(1) 一开固完井后,清除所有循环罐中的沉砂。在循环罐中使用加重泵配制低浓度膨润土浆及大分子(KPAM)胶液待开钻,预处理大分子浓度0.5%。

(2) 钻塞期间加入纯碱清除钙离子,并放掉部分受污染泥浆,纯碱加入量按实测性能为依据,测量中压失水 $\geq 30$  mL/min,泥饼薄为佳。

(3) 粘度控制: 明上段地层使用低浓度膨润土浆及大分子胶液维持粘度30~35 s,粘度过高及时排放,每钻进100 m补充大分子50 kg;明下段每钻进100 m补充大分子50~75 kg,使用铵盐控制粘度在35~40 s;馆陶组使用HV-CMC提高粘度至40~

45 s,每钻进100 m补充大分子25~50 kg,另外钻进时加入0.5%~1%单向压力封闭剂防漏并提高地层承压能力;东营组控制粘度至45~50 s,每钻进100 m补充大分子50 kg左右。

(4) 密度控制: 明化镇段钻井液密度控制在1.10~1.12 g/cm<sup>3</sup>;馆陶组密度在1.12~1.16 g/cm<sup>3</sup>,东营组密度在1.12~1.20 g/cm<sup>3</sup>。

(5) 中压失水控制: 明上段失水不做严格控制,明下段使用铵盐胶液逐步降低失水至10 mL/30 min;进入馆陶组后降低失水至8 mL/30 min以下;东营组利用铵盐和磺化沥青,控制中压失水在6 mL/30 min以下,失水难以控制时加入0.5%LV-PAC。

(6) 井眼净化: 钻进及循环期间,泵排量 $\leq 60$  L/s,每钻进300 m左右短起下一次(拉力异常或携砂不良时随时短起下),钻进及循环期间振动筛和除砂器100%使用,振动筛目数 $\leq 120$ 目,除砂器目数 $\leq 200$ 目。东营组前钻进期间离心机全程开启,当出现自然密度上涨现象时,则增加离心机使用时间,及时降低固相含量。若含砂量 $> 0.3\%$ 时,则采取增加短起下频次、停钻循环除砂等措施控制含砂量。

#### 2.2.3 2100~3120 m 硅基防塌钻井液性能维护

(1) 钻井液转型: 进入沙河街组之前配制40~60 m<sup>3</sup>胶液,根据配方加入大分子(KPAM)、防塌降滤失剂、酚醛树脂、LV-PAC等材料,然后在循环罐加入3000 kg硅稳定剂转化为硅基防塌钻井液,将API失水量控制到6 mL/30 min以下,pH值保持在9左右。

(2) 进入沙河街地层后循环加重泥浆密度至1.25 g/cm<sup>3</sup>。性能达粘度为45~60 s,API失水量4~6 mL/30 min,HTHP滤失量 $\leq 15$  mL/30 min、膨润土含量80 g/L、pH值9~10、含砂量 $\leq 0.3\%$ 。

(3) 钻进期间坚持每班加入大分子胶液,胶液中大分子含量0.2%~0.3%。

(4) 密度控制: 根据井下实钻情况确定钻井液密度,防止地层坍塌。本井从1680~2895 m采用PDC钻进,约2100 m进入沙河街地层,2750 m进入孔店地层。钻至2895 m后起钻,沙河街部分井段上提遇阻,部分采用开泵带单根方法起钻,沙河街以上井段起钻顺畅;下钻至2300 m时遇阻,开泵循环通井,振动筛筛出1 m<sup>3</sup>多粒径多在1~2 cm的泥岩颗粒,说明沙河街的泥页岩发生了掉块坍塌,部分

井壁失稳,随即采取加大密度的措施,逐渐加大密度至  $1.28 \text{ g/cm}^3$ ,下钻到底后钻进,钻进中保持密度在  $1.28 \sim 1.29 \text{ g/cm}^3$ ,再次起下钻,没有出现井壁掉块坍塌现象。在沙河街段钻进中采用  $1.24 \sim 1.25 \text{ g/cm}^3$ ,钻进中没有发现掉块现象,提钻过程中,由于抽吸原因,相当于降低了钻井液液柱对地层的压力。再次证明了“80%~90%的井筒不稳定是直接由井内压力失去平衡造成的”的论断<sup>[13]</sup>。另外随钻加入单项压力封闭剂、细目碳酸钙等防漏,并提高上部地层承压能力。

(5)失水控制:沙河街组控制中压失水在  $6 \text{ mL}/30 \text{ min}$  以下,从实际测量看,中压失水量大多控制在  $4 \sim 5 \text{ mL}/30 \text{ min}$ ,另外加入 LV-PAC 或 SMP-1(磺甲基酚醛树脂)等抗高温降滤失剂降低 HTHP 失水至  $15 \text{ mL}/30 \text{ min}$  以下。

(6)润滑防卡措施:从大分子加量、改善泥饼质量、加强润滑与降低固相含量方面控制。施工中加入沥青润滑剂、石墨等降低摩阻,控制摩阻  $< 0.08$ ;同时按要求  $200 \sim 300 \text{ m}$  短起下(拉力异常或携沙不良随时短起下),保持井眼清洁。使用好固控设备,若含砂量  $> 0.3\%$ ,则采取增加短起下频次、停钻循环除砂等措施控制含砂量。

(7)井眼净化:钻进期间排量  $< 60 \text{ L/s}$ ,每钻进  $200 \sim 300 \text{ m}$  短起下一次,钻进及循环期间振动筛和除砂器 100% 使用,振动筛目数  $< 120$  目,除砂器目数  $< 200$  目。离心机每天开启至少 1 个循环周,若出现自然密度上涨现象,则增加离心机使用时间,及时降低固相含量。

#### 2.2.4 完钻电测及下 $\text{O}244.5 \text{ mm}$ 套管前钻井液措施

(1)二开钻至基岩,短起至表套或起下钻通井,下钻到底循环,用好固控设备,清除有害固相,含砂量降低至  $0.3\%$  以下。

(2)循环调整好泥浆后,用石墨  $500 \text{ kg}$ 、润滑剂  $1000 \text{ kg}$  配封闭泥浆  $80 \text{ m}^3$  封闭沙河街组井段起钻电测。

(3)测井时间超过  $24 \text{ h}$  时或中途遇阻,通井循环并根据情况调整钻井液性能。

(4)电测完后下钻通井,泥浆性能不做大的调整,与电测时相当,含砂量降低至  $0.3\%$  以下。

(5)用液体润滑剂  $1000 \text{ kg}$  配封闭泥浆  $80 \text{ m}^3$  封闭沙河街及以下井段起钻下套管。

### 3 井下复杂情况应急措施

#### 3.1 井漏的预防

##### 3.1.1 易漏地层分析

馆陶组底部存在砾岩,易漏,注意防漏。

##### 3.1.2 泥浆预防措施

(1)进入馆陶组底部前加入单封等随钻堵漏,粘切适当高一些,起下钻顶通错开漏失层。

(2)降低失水,改善泥饼质量,加强造壁作用,防止因形成厚泥饼而引起环空间隙缩小。

##### 3.1.3 工程预防措施

(1)进入易漏层位前起钻简化钻具组合,放大钻头水眼。

(2)钻进易漏地层前进行一次短起下作业,清除井壁,畅通井眼,减小 ECD。

(3)严格控制起下钻速度,避免压力“激动”过大。压漏地层,下钻中途顶通避开漏层位置,下钻到底先以小排量开泵,均匀提高排量,以免憋漏地层。

(4)钻进时每打完一单根划眼  $1 \sim 2$  次,延长泥浆携砂时间,降低环空钻屑浓度。易漏地层钻进时注意控制泵排量,在满足携砂前提下尽量使用小排量,通过接单根前技术划眼弥补携砂。

(5)下钻时如发现连下三柱钻杆井口不返浆,应立即起钻至安全井段,分析原因,禁止强行下钻。

(6)加强坐岗,发现井漏立即汇报,及时采取措施。

#### 3.2 井塌的预防与处理

##### 3.2.1 井塌的预防

(1)钻井液密度是防塌的基础,因此,必须严格按照设计维护钻井液密度。

(2)保证钻井液性能的稳定,保持良好的流变性,一要防止冲刷造成井塌,二要防止切力过高而产生较大的压力“激动”。

(3)如井眼不规则,起下钻困难,在起钻时,可以用防塌剂封闭液封井塌井段。

##### 3.2.2 井塌的处理

首先适当提高钻井液密度、补充防塌降滤失材料,同时适当提高钻井液粘度、切力,以提高钻井液的携岩能力,净化井眼,减少钻井液对井壁的冲刷。本井沙河街井段采用密度  $1.25 \text{ g/cm}^3$  时,起钻出现了坍塌,通过提高密度,降低失水量,提高粘度及切力,解决了坍塌的问题。

#### 3.3 卡钻的预防

(1) 增强泥浆的润滑性是防卡的重点,防卡主要从钻井液润滑、防塌、井眼净化、减少压差工程措施方面入手。

(2) 润滑以液体润滑剂、石墨等为主,保持钻井液中润滑剂的有效含量,满足润滑防卡的要求,如果在钻进过程中有拉力异常现象,则补充润滑剂、石墨等,以保证施工正常。

(3) 上部软地层快速钻井时,每打完一个单根后划眼 1~2 遍,使井底的岩屑返得高一些,再接单根。

(4) 保证固控系统的运转与有效性,上部地层用好离心机,清除钻井液中的劣质固相,控制含砂量 $<0.3\%$ ,保持体系良好的流变性。

(5) 钻进一定时间或一定深度,根据井下情况,适时搞好短起下工作,清除虚泥饼,确保井壁清洁,井眼畅通。

(6) 沉砂及砂桥卡钻主要是由于钻井液悬浮性不好或处理钻井液时粘切降得过低,致使岩屑甚至重晶石沉淀,埋住部分钻具,或者下钻遇阻强行压入沉砂,以及接单根后快速下放钻具使钻头和钻铤插入沉砂,从而造成沉砂卡钻。此时可以小排量顶通,再用粘度切力高一些的钻井液边循环边活动钻具,清洗沉砂,达到解卡的目的,切忌开泵过猛、强提、硬压,强扭、猛转钻具,造成进一步的复杂。

(7) 井塌卡钻是钻进或起下钻过程中突然发生的井塌造成的卡钻。多是由于上提或下放速度过快,造成强烈的抽吸或挤压;或由于开泵过猛、钻具对井壁的撞击;以及井漏、起钻未灌好钻井液等原因发生突然坍塌,大量坍塌物将钻具卡死。此时如果憋泵,则应以最快的速度拆凡尔,小排量顶通建立循环,再逐渐增大排量,用高粘切的钻井液将坍塌物带出。

(8) 泥包卡钻,发生泥包卡钻后,首先可以降低粘切,大排量循环冲刷钻头及扶正器,如果还不能解卡,可以浸泡柴油,使包在钻头和扶正器处的粘泥松散后活动解卡。

### 3.4 油气侵的预防

(1) 施工期间控制合适的钻井液密度,根据相关资料,该地区需控制钻井液密度在  $1.20\text{ g/cm}^3$  以上,本井钻至沙河街组地层前,钻井液密度逐渐增加到  $1.24\text{ g/cm}^3$ ,之后再根据情况进行调整。

(2) 钻进或循环时,钻井液进出口密度差 $\geq 0.02\text{ g/cm}^3$ 。

(3) 钻进时发现油、气、水侵,停止钻进,循环观察,加密测量钻井液密度和粘度,及时进行压井。

(4) 施工期间提示钻井队人员认真坐岗,异常情况及时汇报,以便采取关井及其它措施。

(5) 储存足够量的加重材料,保持封井设备完好并按照规定进行演练。

## 4 配套技术措施

### 4.1 固控系统

(1) 开钻前按科学打井的有关规定安装好循环系统,使之能满足堵漏、压井和钻塞洗井等特殊施工作业要求。

(2) 施工中配备并使用了四级净化设备,并保证在施工中能正常运转,性能良好,没有运转良好的固控设备,几乎谈不上对钻井液性能的控制。本井配备了三台 GX/S 型双轨迹振动筛,单台最大处理量  $55\text{ L/s}$ ,振动筛双电机开启做直线轨迹振动,振动筛三台电机开启做椭圆轨迹振动,一开和二开钻进及钻井液循环期间,振动筛  $100\%$  使用,一开使用  $120$  目筛网,二开使用  $120\sim 150$  目筛网;配备了 ZQJ/S 型除砂除泥一体机,一开和二开钻进及钻井液循环期间钻进  $100\%$  使用;配备了 LW450/1800 型中速离心机、LW355/2800 型高速离心机, $2100\text{ m}$  以浅施工时,进尺很快,中速离心机几乎  $100\%$  使用, $2100\text{ m}$  后钻井液采用重晶石加重后,离心机间断使用,每天开启  $1\sim 2$  个循环。

### 4.2 工程措施

(1) 一开和二开大井眼井段施工时,使用两台 F-1600 型泥浆泵,保证钻井液泵排量达到设计要求,以满足携砂要求,避免在此井段用单泵钻进。

(2) 钻进过程中,出现进尺过快时,注意适当循环钻井液,以降低钻头附近井眼钻井液中岩屑的浓度,净化井眼,确保井下安全。

(3) 控制起下钻速度,减少压力“激动”而引起的井塌、井漏事故。起钻时灌满钻井液。二开深井段下钻时分段循环,下钻到底先用单泵小排量顶通,正常后再双泵大排量循环。中途分段打通时避开易塌井段及复杂井段,本井在沙河街段采取了尽量短时间循环的措施。

## 5 几点认识

(1) 使用以大分子 KPAM 包被剂为主的聚合物

泥浆及抗高温硅基防塌泥浆,使用页岩抑制剂及降失水剂,同时考虑钻井液材料的耐温性,钻井液具有良好性能,能够保证钻进安全,又能获得较高机械钻速。

(2)沙河街地层要使用合适密度的加重钻井液,以便达到平衡地层压力,保证井壁稳定的目的,同时控制钻井液的中压失水量 $<5\text{ mL}/30\text{ min}$ 。

(3)配备良好的固控设备并合理使用,是维护好钻井液性能的基础保障;没有良好的固控设备来及时清除岩屑及其它有害成分,靠稀释排放钻井液来维护钻井液性能,不仅仅是一种浪费,也不能及时有效地控制好钻井液性能。

### 参考文献(References):

- [1] 罗冠平.抑制性泥浆在新疆淖毛湖煤田东部勘查区的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):33-36.  
LUO Guanping. Application of inhibitive drilling fluid in the eastern exploration area of Naomaohu coalfield in Xinjiang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):33-36.
- [2] 单文军,陶士先,蒋睿,等.干热岩用耐高温钻井液关键技术及进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(10):52-56.  
SHAN Wenjun, TAO Shixian, JIANG Rui, et al. Key technology and progress in high temperature resistant drilling fluid for hot dry rock[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(10):52-56.
- [3] 单文军,蒋睿,陶士先,等.页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):176-181.  
SHAN Wenjun, JIANG Rui, TAO Shixian, et al. Research and application of the flushing fluid system for shale gas drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):176-181.
- [4] 付宇,裴小龙,南天浩,等.北京风河营热水储层的钻井液体系优化研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):14-18, 23.  
FU Yu, PEI Xiaolong, NAN Tianhao, et al. Optimization research of drilling fluid system of the hydrothermal reservoir in Fengheyang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):14-18,23.
- [5] 王虎,朱斗圣,张承飞,等.贵州省遵义县 ZK1 地热井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):245-249.  
WANG Hu, ZHU Dousheng, ZHANG Chengfei, et al. Drilling fluid technology for ZK1 geothermal well in Zunyi of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):245-249.
- [6] 黄聿铭,张金昌,杨钦明.钾铵聚合物钻井液在地热钻井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):265-268.  
HUANG Yuming, ZHANG Jinchang, YANG Qinming. Research and application of potassium-ammonium polymer drilling fluid

- suitable for geothermal well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):265-268.
- [7] 王虎,陈怡,段德培,等.低渗透成膜钻井液在贵州深部地热井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):13-15, 20.  
WANG Hu, CHEN Yi, DUAN De-pei, et al. Application of low permeability film forming drilling fluid in deep geothermal well in Guizhou Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(4):13-15,20.
- [8] 李进安.内蒙古哈素海地热井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):55-57.  
LI Jinan. Construction technology of Hasuhai geothermal well in Inner Mongolia[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(5):55-57.
- [9] 罗文行,孙国强,房艳国,等.景洪市嘎栋地热井特征及成井工艺总结分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):257-260.  
LUO Wenxing, SUN Guoqiang, ANG Yanguo, et al. The features of geothermal well in Gadong of Jinghong City and the well completion technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(10):257-260.
- [10] 景龙,王彦静,李伟,等.承德同营子地热勘探井钻井技术分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):21-25.  
JING Long, WANG Yanjing, LI Wei, et al. Analysis on drilling technology used for Yanyingzi geothermal exploration well in Chengde[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(10):21-25.
- [11] 李勇,陈怡,王虎,等.磺化沥青钻井液在贵州地热勘探井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):27-30.  
LI Yong, CHEN Yi, WANG Hu, et al. Application of Sulfonated Asphalt Drilling Fluid in Geothermal Exploration Well of Guizhou[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(1):27-30.
- [12] 于孝民,杨春光,董国明,等.唐山市第一眼蓟县系地热井钻探及成井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):41-44.  
YU Xiaomin, YANG Chunguang, DONG Guoming, et al. Drilling and completion technology in the first geothermal well construction in Jixian system in Tangshan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):41-44.
- [13] 贾贻.钻井液工程师技术手册[M].北京:石油工业出版社,2015.  
JIA Duo. Drilling fluid engineer technology manual [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [14] 路保平,李国华.石油钻井作业手册[M].山东青岛:中国石油大学出版社,2014.  
LU Baoping, LI Guohua. Oil drilling operations manual[M]. Qingdao Shandong: China University of Petroleum Press, 2014.