

新疆三塘湖盆地油页岩(页岩气)三页 1 井钻探技术

张英传^{1,2}

(1.山东省地矿局钻探工程技术研究中心,山东烟台 264004; 2.山东省地矿局第三地质大队,山东烟台 264004)

摘要:新疆三塘湖盆地油页岩(页岩气)三页 1 井设计井深 1750 m,要求全孔取心。钻进过程中存在缩径、坍塌等复杂井内情况及冬季施工困难等问题。通过采取聚合物成膜泥浆体系、改进取心钻具等工艺技术以及针对性的施工管理措施,有效地解决了深孔钻井技术难题。为该区域油气资源调查评价提供了高质量的实物资料。

关键词:页岩气;绳索取心钻探;油气资源调查;聚合物泥浆

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)09-0021-06

Drilling technology for oil shale (shale gas) Well Sanye - 1 in Xinjiang Santanghu Basin

ZHANG Yingchuan^{1,2}

(1. *Drilling Engineering Technology Research Center of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China;*

2. *The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China*)

Abstract: Oil shale (shale gas) Well Sanye - 1 in Xinjiang Santanghu Basin was designed with depth of 1750m and full hole coring. In the drilling process, there were some problems such as wellbore contraction, collapse and drilling difficulty in winter, and so on. Through the adoption of the polymer film-forming mud system, special coring drilling tools and other technical measures as well as specific drilling management measures, the drilling technical problems have been effectively solved. It provides high quality physical data for the investigation and evaluation of oil and gas resources in this area.

Key words: shale gas; wireline core drilling; oil and gas resources investigation; polymer mud

1 概况

1.1 项目概况

三页 1 井隶属于新疆维吾尔自治区地勘基金管理中心设立的“新疆三塘湖盆地油页岩(页岩气)资源潜力评价”项目。位于新疆东北部,准噶尔盆地东端,行政区划隶属巴里坤哈萨克自治县。北邻中蒙边界的阿尔泰山的北塔山,南抵天山东段的白依山,与蒙古接壤。三页 1 井于 2018 年 8 月 18 日正式开钻,至 2019 年 5 月 6 日钻达 1768.68 m,达到地质目的后完钻,岩心采取率 96.96%。测井数据显示,井眼规则,井身质量合格,固井质量合格。

1.2 地质概况

三塘湖盆地位于莫钦乌拉山与东准噶尔断块山系之间,是典型的荒漠戈壁。地势呈四周高,中间低,海拔+300~+1000 m。总体地形较为平坦,多为第四系砾石及亚砂土覆盖。

三塘湖盆地是一个以二叠纪—中生代陆相沉积为特点的上叠盆地,地层主要有石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系^[1]。

该孔钻遇岩层岩性主要为石英砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、少量凝灰岩、砂质页岩、硅质页岩等,岩层的可钻性均在 5~6 级以下,属稍硬—中等硬地层。

1.3 施工要求

(1)本孔要求全孔取心,终孔直径 ≤ 95 mm。必

收稿日期:2020-06-12; 修回日期:2020-07-12 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.09.004

作者简介:张英传,男,汉族,1965 年生,副队长,高级工程师,长期从事地质岩心钻探、水文水井钻探技术研究和管理工作,山东省烟台市芝罘区机场路 271 号,syzzyz@sohu.com。

引用格式:张英传.新疆三塘湖盆地油页岩(页岩气)三页 1 井钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):21-26.

ZHANG Yingchuan. Drilling technology for oil shale (shale gas) Well Sanye - 1 in Xinjiang Santanghu Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):21-26.

须采用绳索取心钻进,岩心直径 >60 mm。

(2)第四系不作岩心采取率要求,新近系—古近系岩心采取率 $\leq 70\%$,其它层段岩心采取率 $\leq 90\%$ 。

(3)烃源岩层段回次进尺一般不超过1 m,最大不超过1.5 m,严禁超管钻进和连续空管钻进。

(4)为减少页岩岩心在空气中的暴露时间,要求页岩岩心到达地面后进行照相,并在10 min内装入事先检验好的页岩气解吸罐中,并立刻开始进行现场解吸。烃源岩岩心保持结构完整,不污染、不磨烧变质。

(5)孔深校正:每钻进100 m、扩孔下套管前、完井前、见目的层需进行孔深校正,允许孔深误差 $\leq 1\%$,孔深误差率 $<1\%$ 时不修正报表, $>1\%$ 时要修正报表。

(6)孔斜:本次施工钻孔为直孔,每钻进100 m测斜一次(井斜: $0\sim 500$ m $\leq 5^\circ$, $500\sim 1000$ m $\leq 10^\circ$, $1000\sim 1500$ m $\leq 15^\circ$)。完井前、扩孔结束均测量顶角弯曲度,钻孔顶角允许弯曲度 $\geq 2^\circ/100$ m,孔斜应能满足物探测井的要求。

(7)测井:扩孔前进行标准测井,完井前进行组合测井。

(8)原始班报表:钻探原始班报表必须由专人填写保管,做到记录及时、数据准确齐全、工整整洁。

2 钻进工艺

2.1 井身结构及套管程序

三页1井的井身结构及套管程序见图1^[2]。

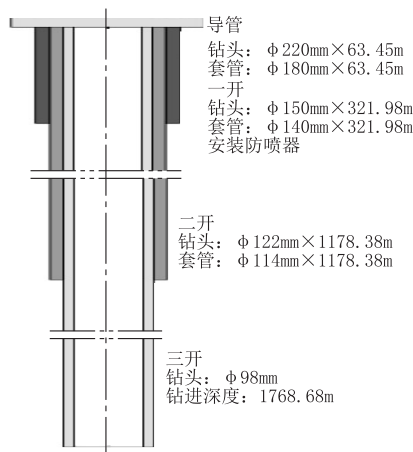


图1 三页1井井身结构及套管程序

Fig.1 Structure and casing program of Sanye-1

2.2 主要设备及机具

主要设备配置见表1,主要管材及钻具配备见

表2。

表1 主要设备配置

Table 1 Main drilling equipment

序号	设备名称	型号	数量	技术性能
1	钻机	HXY-8	1台	90 kW
2	平台		1个	3 m高
3	泥浆泵	BW-300/16	1台	30 kW
4	发电机组	KMS200 kW	1台	200 kW
5	钻塔	A-13	1台	
6	绳索取心绞车	SJ-3000	1台	7.5 kW
7	拧管机	SQ114/8	1台	
8	除砂器	JSN-2B	1台	
9	除泥器	WL-260	1台	7.5 kW
10	测斜仪	STL-1GW	1台	
11	泥浆测试仪		1套	
12	防喷器控制装置	FK125-3	1套	
13	防喷器	2FZ18-35	1套	
14	便携式H ₂ S检测仪	PG610-H ₂ S	6套	
15	智能型H ₂ S探测器	KQ500D-H ₂ S	2套	

表2 主要钻具和管材配备

Table 2 Main drilling tools and pipes

名称	规格/mm	数量	主要参数
绳索取心钻杆	$\phi 114 \times 6.35$	1300 m	$\phi 116.5$ mm $\times \phi 101$ mm 接头连接,杆体45MnMoB,螺纹JS系列
绳索取心钻杆	$\phi 89 \times 6.0$	1800 m	$\phi 92$ mm $\times \phi 76$ mm 接头连接,杆体45MnMoB,螺纹JS系列
绳索取心钻具	S122	5套	外管 $\phi 114$ mm $\times 6.5$ mm,内管 $\phi 95$ mm $\times 3.5$ mm,岩心直径85 mm
绳索取心钻具	XJS98	5套	外管 $\phi 89$ mm $\times 6$ mm,内管 $\phi 71$ mm $\times 3$ mm,岩心直径63 mm
套管	$\phi 180 \times 6.0$	50 m	老地标扣,反丝直连,材料DZ40
套管	$\phi 140 \times 6.0$	350 m	老地标扣,反丝直连,材料DZ40
套管	$\phi 114 \times 6.35$	1300 m	$\phi 114$ mm 钻杆作套管使用

2.3 钻进方法

2.3.1 导管钻进

导管钻进阶段采用 $\phi 220$ mm单管硬质合金钻头钻进,上部地层不要求取心率,只要不堵心就正常钻进,钻进井段0~63.45 m,下 $\phi 180$ mm套管。

钻进参数:钻压10~15 kN,转速95~175 r/min,泵量115 L/min。

2.3.2 一开

一开井段63.45~321.98 m,使用 $\phi 150$ mm/ $\phi 122$ mm绳索取心“钻扩一体”钻头钻进施工工

艺^[3],钻头直径 150 mm,套管直径 140 mm。

钻进参数:钻压 15~20 kN,转速 250~363 r/min,排量 115 L/min。

2.3.3 二开

二开井段:321.98~1178.38 m,采用 $\Phi 122$ mm 金刚石绳索取心钻进工艺,钻头直径 122 mm,套管直径 114 mm(钻杆当套管)。

钻进参数:钻压 15~25 kN,转速 264~363 r/min,排量 95 L/min。

2.3.4 三开

三开井段:1178.38~1768.68 m,本井段采用 S98 绳索取心金刚石钻进,为了降低地层缩径的影响及考虑压力平衡钻进,采用常规 S96 绳索取心钻具,钻头外径加大至 98 mm。

钻进参数:钻压 15~20 kN,转速 363~467 r/min,排量 72 L/min。

2.3.5 各开次主要钻具组合

各开次钻具组合见表 3^[4-8]。

表 3 三页 1 井各开次钻具组合

Table 3 Structure of the drilling string for each drilling section

开钻次序	孔段/m	钻 具 组 合
导管	0~63.45	$\Phi 220$ mm 硬质合金钻头 + $\Phi 180$ mm 单管钻具 + 变丝接头 + $\Phi 114$ mm 绳索取心钻杆
一开	63.45~321.98	$\Phi 150$ mm/ $\Phi 122$ mm 金刚石取心钻头 + 扩孔器 + 绳索取心钻具总成 + 扩孔器 + $\Phi 140$ mm 薄壁钻铤 + $\Phi 127$ mm 过渡钻杆 + $\Phi 114$ mm 绳索取心钻杆
二开	321.98~1178.38	$\Phi 122$ mm 金刚石钻头 + 扩孔器 + 取心钻具 + 扩孔器 + 弹卡室 + $\Phi 114$ mm 绳索取心钻杆
三开	1178.38~1768.68	$\Phi 98$ mm 金刚石钻头 + 扩孔器 + 取心钻具 + 扩孔器 + 弹卡室 + $\Phi 89$ mm 绳索取心钻杆

3 施工过程中遇到的主要问题及解决措施

3.1 采用“钻扩一体”钻头,提高成孔率,降低孔内风险

三页 1 井一开采用 $\Phi 150$ mm/ $\Phi 122$ mm“钻扩一体”金刚石绳索取心钻头(见图 2)钻进工艺,该工艺同普通的单管提钻取心钻进工艺相比,具有较高的岩心采取率,能够满足施工要求;同时减少了提钻次数,降低了孔内“激动”压力,进而减少了钻孔坍塌风险,同时降低了工人劳动强度;另外,该工艺还省

去了下一步扩孔钻进工序,消除了扩孔作业可能存在的孔内风险。

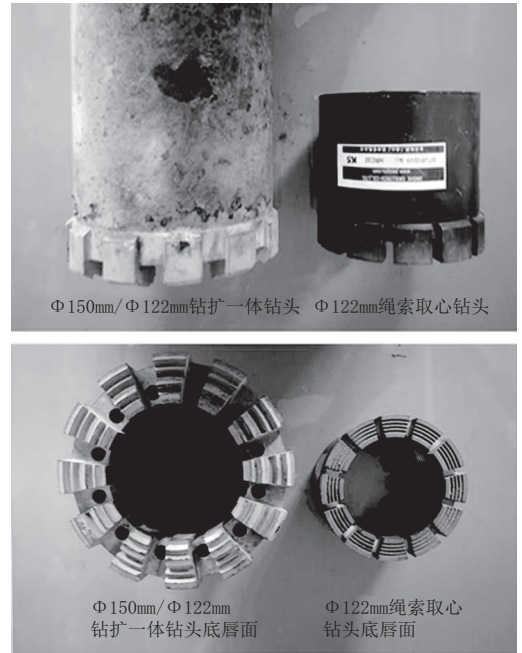


图 2 $\Phi 150$ mm/ $\Phi 122$ mm 绳索取心“钻扩一体”钻头

Fig.2 $\Phi 150$ mm/ $\Phi 122$ mm wireline coring “drilling and reaming” bit

3.2 采用成膜护壁体系冲洗液,解决了泥页岩地层存在的缩径、坍塌等井内复杂情况

三页 1 井钻遇地层主要为粉砂岩、泥页岩地层,导管开孔阶段采用固相泥浆体系,一开施工阶段将固相体系转换为低固相泥浆体系,二开 980 m 以后采用北京探矿工程研究所提供的成膜防塌无固相钻井液体系。

低固相体系泥浆配方:1 m³ 水 + 2 kg 烧碱 + 20 kg 膨润土 + 2 kg 包被剂 + 20 kg 降失水剂 + 10 kg 纤维素 + 10 kg 增粘剂。性能指标为:密度 1.03~1.05 g/cm³,苏氏漏斗粘度 27~35 s,API 失水量 8~15 mL,pH 值 8~9,泥皮厚度 < 3 mm。

由于泥页岩地层造浆严重,采用该种体系导致钻杆结泥皮现象严重,钻进泵压 3.5 MPa 左右,在 780 m 处发生粘附卡钻事故,采用洗衣粉水全井浸泡 24 h 才能转动钻杆,同时由于长时间未提钻换钻头,孔壁膨胀缩径,导致提钻拉不动钻杆,采用慢慢划井上提的方法才处理出井内钻杆。为了减少粘附卡钻的可能性,新浆中不再加入膨润土,同时对井内泥浆进行了稀释,增加了降失水剂的用量,但是泥浆的护壁效果还是未达到预期,在 940 m 发生掉块卡钻断钻杆事故,因此,从 980 m 开始采用成膜防塌

无固相钻井液体系,配方:1 m³ 水+2 kg 烧碱+50 kg 成膜体系 A 剂(GCM-A)+10 kg 降失水剂(GPNH)+20 kg 封堵剂(GFD-1)+6 kg 增粘剂(GTQ)+2 kg 包被剂(GBBJ)。性能指标为:密度 1.01~1.03 g/cm³,苏氏漏斗粘度 24~30 s,API 失水量 6~8 mL,pH 值 8~9,泥皮厚度<0.5 mm。

采用该泥浆体系后,正常钻进泵压 2.5 MPa 左右,井内回转阻力明显降低,起到了很好的抑制钻井缩径、坍塌效果,减少了井内“激动”压力,保护井壁稳定,顺利钻进至完井^[9-13]。

3.3 采用 Ø114 mm 钻杆作套管解决了套管下深不到位的问题

为了降低套管下深不到位的风险,现场采用 Ø114 mm 钻杆作为套管,同时在套管底部连接内平的硬质合金钻头,遇阻无法继续下套管的情况下进行扫孔。该方法保障了 Ø114 mm 套管顺利地下了井底。为了防止套管反开,定期检查,发现井口套管位置上移,就连上机上钻杆对接上紧。

3.4 采用多项防护措施保障冬季顺利施工

3.4.1 现场围挡防晒网,降低冬季大风影响

“一年一场风,从春刮到冬”是三塘湖的真实写照,到了 10 月份,狂风肆虐,黄沙弥漫,寸步难行,给钻探施工带来了极大的风险及挑战,为此采取现场防晒网围挡(见图 3),降低狂风对施工现场的影响,同时当风力过大的时候停止作业,以保障人身安全。



图 3 现场防风措施

Fig.3 Wind proof measures on site

3.4.2 冬季施工保暖措施

从 10 月底开始,日平均气温都在 -10℃ 以下,生产所用吸水管、泥浆泵极易被冻住,为了防止吸水管被冻住造成假循环“烧钻”事故,搭建帐篷封闭泥浆循环系统,同时采用必要的取暖设施,保障施工顺利(如图 4 所示)。



图 4 现场冬季防寒措施

Fig.4 Wintering measures

4 钻井工程质量

4.1 取心质量

三页 1 井在实际钻进过程中,共钻进 704 回次,进尺 1768.68 m,采取岩心 1715.07 m,平均岩心采取率 96.9%。在上部第四系地层钻进 0~63.45 m,采取岩心长度为 24.60 m;在下部泥页岩地层中进尺 1705.23 m(63.45~1768.68 m),岩心长度 1690.47 m,平均采取率 99.1%。完全满足地质设计的要求。

4.2 简易水文观测

现场要求每班至少观测水位 1~2 回次。每观测回次中,提钻后、下钻前(取心后、钻进前)各测量一次水位,间隔时间应大于 5 min。每个钻进回次根据水源箱水位、泥浆池液位变化和补充冲洗液量计算冲洗液消耗量,并如实填入到钻探班报表中。

4.3 钻孔弯曲与测量间距

在施工过程中严格按照设计要求,做好井身质量的监控,坚持每 100 m 测斜 1 次,完井加测 1 次,本井共计测斜 18 次,监控井段 0~1768.68 m,最大井斜 1.3°,完全符合设计及施工质量要求。

4.4 井深误差的测量及校正

每钻进 100 m、扩孔下套管前、完井前、见目的层都进行孔深校正,最大误差量 0.1 m,满足要求。

4.5 原始班报表

班报表由记录员专门负责填写,干净整洁,内容完整。

4.6 封井

按照甲方要求,全井段采用 42.5R 硅酸盐水泥浆封闭,水泥用配比为水泥:水=1:0.5。井口设立了永久性标志^[14]。

5 钻井时效分析

5.1 施工进度

三页 1 井自 2018 年 8 月 18 日 08:00 开钻, 2019 年 5 月 6 日 00:00 完钻, 钻井周期 262 d(6240 h)。详见表 4、图 5。

表 4 三页 1 井时效统计

Table 4 Summary of time efficiency for Well Sanye-1

名称	时间/h	占比/%
钻井周期	4517.0	100.00
纯钻时间	1210.0	26.79
辅助时间	1628.5	36.05
机械事故时间	255.5	5.66
孔内事故时间	770.5	17.06
其他作业时间	652.5	14.45

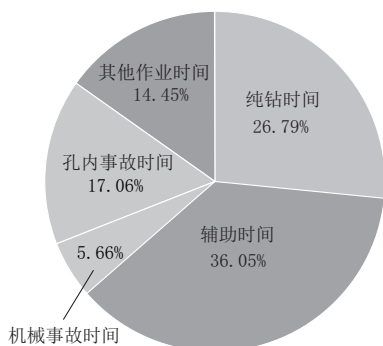


图 5 三页 1 井时效统计饼图

Fig.5 Time efficiency pie chart for Well Sanye-1

5.2 时效分析

本井作为地质调查井, 整个施工时间相对较长, 而纯钻时间占比仅为钻井周期的 26.79%, 共钻进尺 1768.68 m, 机械钻速 1.46 m/h。辅助时间 1628.5 h 包含起下钻、取心等时间占比 36.05%, 打捞内管失败, 重复多次取心是造成辅助时间的主要原因。机械事故时间包含维修保养钻机、泥浆泵等设备的时间, 主要是维修钻机造成的时间, 也是现有机械式钻机的通病。孔内事故时间本井主要是处理 780 m 处粘附卡钻, 940 m 处断钻杆事故的时间, 地层相对复杂是主要原因。其他作业时间包含测井、下套管及固井时间, 本井测井时间占比较高^[15]。

6 结语

(1) 三塘湖地区冬季气温低, 风沙大, 钻探施工尽量避开冬季施工, 可大大降低施工成本。

(2) “钻扩一体”钻进工艺是绳索取心钻进工艺和扩孔钻进工艺的有机组合, 在普通绳索取心钻进

工艺的基础上加大一级钻头口径, 实现钻进和扩孔同时作业, 虽然牺牲一定机械效率, 但是省去了另外扩孔的作业时间, 同时消除了单独扩孔作业可能存在的孔内风险, 综合分析可以提高台月效率, 值得推广应用。

(3) 成膜护壁钻井液体系中的成膜 A 剂具有较强成膜性和粘接性的护壁材料, 对于强水敏分散剥落地层具有良好的护壁效果, 同时对泥页岩地层抑制造浆能力强, 抑制坍塌掉块效果好, 而且体系的流变性能良好, 适合深孔复杂地层应用。

该井的钻探施工为该区域油气资源调查评价提供了高质量的实物资料。

参考文献 (References):

- [1] 张新涛, 王英民, 石文龙, 等. 新疆东北部三塘湖盆地马朗凹陷西山窑组层序地层格架及沉积相预测[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 181-190.
ZHANG Xintao, WANG Yingmin, SHI Wenlong, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction of the Xishanyao Formation in the Malang Sag, Santanghu Basin, Northeastern Xinjiang [J]. Geological Review, 2009, 55(2): 181-190.
- [2] 杨芳, 陈师逊. 深部地质钻探钻孔结构设计与施工分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(11): 21-26.
YANG Fang, CHEN Shixun. Analysis of design and construction of deep geo-drilling boreholes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(11): 21-26.
- [3] 陈师逊, 翟育峰, 王鲁朝, 等. 西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(11): 1-3, 9.
CHEN Shixun, ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, et al. Enlightenment to deep drilling technology from scientific drilling in Luobusha of Tibet [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(11): 1-3, 9.
- [4] 朱恒银, 蔡正水, 王强, 等. 赣州科学钻探 NLS D-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 1-7.
ZHU Hengyin, CAI Zhengshui, WANG Qiang, et al. Study and practice of construction technology for scientific drilling hole NLS D-1 in Ganzhou [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(6): 1-7.
- [5] 赵亮, 汪程林. 页岩气地质调查皖含地 1 井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(4): 42-47.
ZHAO Liang, WANG Chenglin. Drilling of Well Wanhandi-1 for shale gas geological survey [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(4): 42-47.
- [6] 张祖海, 董海燕, 丁昌盛, 等. 新疆温泉县 AKT1-1 地热孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(8): 17-21.
ZHANG Zuhai, DONG Haiyan, DING Changsheng, et al. Drilling technology for AKT1-1 geothermal well in Wenquan County of Xinjiang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(8): 17-21.

- [7] 翟育峰, 仲崇龙, 刘峰. 羌塘盆地羌资-14井钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 92-95.
ZHAI Yufeng, ZHONG Chonglong, LIU Feng. Drilling construction technology for Qiangzi Well-14 in Qiangtang Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 92-95.
- [8] 卢予北, 吴焯, 陈莹. 页岩气钻探关键技术问题分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 27-31.
LU Yubei, WU Ye, CHEN Ying. Key technical analyze and research on shale gas drilling [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(S1): 27-31.
- [9] 张英传. 新疆昌吉庙煤1井钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(8): 41-44.
ZHANG Yingchuan. Drilling construction technology of Well Miaomei-1 of Xinjiang Changji [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(8): 41-44.
- [10] 李攀义, 单文军, 储伟, 等. 双聚防塌冲洗液体系在GHW2井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(5): 12-15.
LI Panyi, SHAN Wenjun, CHU Wei, et al. Application of bi-polymer anti-caving drilling fluid system in GHW2 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(5): 12-15.
- [11] 单文军, 段晓青, 任福建, 等. 甘肃武威盆地页岩气“武页1井”成膜低固相冲洗液的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(7): 111-115.
SHAN Wenjun, DUAN Xiaqing, REN Fujian, et al. Application of low solid film-forming system in Well “Wuye-1” in Wuwei Basin of Gansu [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7): 111-115.
- [12] 陶士先. 强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2014, 50(6): 1147-1154.
TAO Shixian. Research and application of the strong-film-forming wall-protecting flushing fluid system [J]. Geology and Prospecting, 2014, 50(6): 1147-1154.
- [13] 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 Depei, 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.
- [14] 徐文喜, 李光辉, 史建民, 等. 我国固体矿产勘查钻孔质量评价指标分析及黑龙江省地方标准的制定[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(12): 85-90.
XU Wenxi, LI Guanghui, SHI Jianmin, et al. Analysis of solid mineral exploration borehole quality assessment index of China and development of provincial standard of Heilongjiang [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12): 85-90.
- [15] 翟育峰, 张英传, 田志超. 中国东部海区科学钻探工程CSDP-02井钻探效率统计分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(12): 13-17.
ZHAI Yufeng, ZHANG Yingchuan, TIAN Zhichao. Statistical analysis of drilling efficiency for Well CSDP-02 of the eastern sea scientific drilling project of China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(12): 13-17.

(编辑 韩丽丽)