

# 大口径绳索取心钻进工艺在页岩气地质调查 川藿参1井中的应用

蒋太平<sup>1</sup>, 李果民<sup>1</sup>, 肖 华<sup>2</sup>, 沈林江<sup>1</sup>

(1. 四川省地质矿产勘查开发局113地质队, 四川 泸州 646000; 2. 四川省地矿局402地质队, 四川 成都 611743)

**摘要:**为了获取参数井压裂设计的相关参数,需要对井眼进行阵列声波测井和微侧向电阻率测井,需要采取大直径岩心进行力学实验。采用固体岩心钻探取心工艺,钻孔口径难以达到物探测井仪器入井要求,岩心直径也不能满足实验要求,必须采用大口径取心工艺才能满足设计要求。同时,常规取心工艺难以满足页岩气勘探对岩心(页岩或者煤心)提升时间的要求,绳索取心工艺在这方面优势明显。本篇介绍了大口径绳索取心工艺在页岩气地质调查井川藿参1井的成功应用,根据大口径绳索取心钻具的结构特点,结合目的层岩性特征,总结了合理的取心钻进工艺参数和技术保障措施,取得了较好的效果。

**关键词:**大口径绳索取心钻进工艺;页岩气地质调查井;阵列声波测井;微侧向电阻率测井;川藿参1井

中图分类号:P634.5 文献标识码:B 文章编号:2096-9686(2021)S1-0269-06

## Application of large diameter wire-line core-drilling technology in Chuanlincan-1 well for shale gas geological survey

JIANG Taiping<sup>1</sup>, LI Guomin<sup>1</sup>, XIAO Hua<sup>2</sup>, SHEN Linjiang<sup>1</sup>

(1. Geological Team 113, Sichuan Geology and Mineral Resources Exploration and Development Bureau,  
Luzhou Sichuan 646000, China;

2. Geological Team 402, Sichuan Geology and Mineral Resources Bureau, Chengdu Sichuan 611743, China)

**Abstract:** In order to obtain the fracturing design parameters of the parametric well, it is necessary to perform array acoustic logging and micro-lateral resistivity logging, and obtain large diameter cores for mechanical test. With solid core drilling and coring technology, the borehole diameter can not meet the requirements of running geophysical logging tools, and the core diameter can not meet the experimental requirements, too. As a result, large diameter coring technology needs to be adopted to meet the design requirements. Meanwhile, the conventional coring process can not meet the requirement of shale gas exploration on the core (shale or coal core) retrieving time; but the wireline coring process has obvious advantages in this respect. This paper introduces the successful application of large diameter wireline coring technology in Chuanlincan-1. According to the structural characteristics of the large diameter wireline coring tool and the lithological characteristics of the target formation, the proper technological parameters and technical guarantee measures for coring drilling are summarized, and good results are achieved.

**Key words:** large diameter core-drilling technology; well for shale goes geological survey; array acoustic logging; micro lateral resistivity logging; Chuanlincan-1 well

## 0 引言

2017年10月,四川省国土科学技术研究院对

“川南—川东北地区页岩气资源调查评价和区块优先项目”进行公开招标,经过专家评审,确定中标单

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.045

作者简介:蒋太平,男,汉族,1967年生,教授级高级工程师,地质工程专业,工程硕士,长期从事钻探技术研究和管理工作,四川省泸州市江阳区江阳南路21号,jtpjtp@126.com。

引用格式:蒋太平,李果民,肖华,等.大口径绳索取心钻进工艺在页岩气地质调查川藿参1井中的应用[J].钻探工程,2021,48(S1):269-274.

JIANG Taiping, LI Guomin, XIAO Hua, et al. Application of large diameter wire-line core-drilling technology in Chuanlincan-1 well for shale gas geological survey[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):269-274.

位为四川省地质矿产勘查开发局113地质队。“川南—川东北地区页岩气资源调查评价和区块优选项目”属于“四川省页岩气调查项目”的子课题。

项目研究的目的是:通过综合地质调查评价落实工作区筇竹寺组、五峰组—龙马溪组、龙潭组、须家河组、自流井组五套页岩层系的基本地质条件,明确页岩气富集规律,计算页岩气资源量,摸清四川省川南—川东北地区(工作区面积:121416.3 km<sup>2</sup>)页岩气资源情况,优选页岩气远景区和有利目标区,力争实现页岩气勘探新区、新层系的发现和突破,助力四川省页岩气产业的发展。

按照地质设计,在工作区内部署调查井3口和参数井1口。在调查井工作基础上,项目组通过调查评价,认为古叙地区的龙潭组富有机质泥页岩特征较好,是有可能取得新区新层系突破的地区之一,因此在泸州市古蔺县大寨地区部署一口针对龙潭组的参数井,以龙潭组为目的层。

蔺参1井于2020年10月24日开钻,2020年12月19日钻穿目的层完钻,完钻井深1175.22 m。目前,固井、射孔、压裂作业已经完成,正在进行排采和评价等后续工作。

## 1 项目实施的目的和意义

(1)能够有效探索页岩气川南新层系龙潭组的勘探和开发潜力。

(2)能够进一步探索龙潭组页岩气地质条件、富集规律。

(3)能够进一步丰富龙潭组富有机质页岩压裂改造试验参数。

(4)填补了龙潭组页岩气产能测试空白。

## 2 技术要求

(1)入二叠系中统茅口组50 m完井,预计井深1440 m。

(2)取心层段:三叠系龙潭组,井深1300~1390 m约90 m。

(3)岩心直径 $>60$  mm(围岩力学实验要求)。

(4)完井直径215.9 mm(满足特殊物探测井要求)。

(5)最大井斜 $\geq 5^\circ$ ,最大水平位移 $\geq 50$  m<sup>[1]</sup>。

(6)目的层岩心收获率 $\leq 90\%$ 。

(7)岩心(页岩或者煤心)提升时间:井深1000 m以浅,取心内筒从提心开始至出口时间 $<20$  min,从出井口到装罐完时间 $<10$  min。井深1000 m以深,取心内筒从提心开始至出口时间 $\geq 0.02$  min/m $\times H$ ( $H$ 为井深,m)。

## 3 取心工艺方法的选择

页岩气勘探大多在沉积岩和海相地层中,该类地层稳定性差,钻孔易出现缩径、超径、坍塌、掉块、剥落、吸附卡钻等现象<sup>[2]</sup>。小口径绳索取心钻进工艺在页岩气勘探钻进中的优势难以实现,主要有以下几个方面的原因<sup>[3]</sup>:

(1)由于地层极不稳定,极易发生钻具卡埋、缩径抱钻等事故。

(2)小口径绳索取心钻杆壁薄,钻孔超径钻杆极易折断<sup>[4]</sup>。

(3)高粘度泥浆的使用,在钻孔小环空间隙条件下,提下钻时易引起抽吸作用,破坏孔壁的稳定性。

(4)钻孔小环空间隙制约了大泵量钻进工作条件,且钻井液上返阻力大、流速慢,加剧钻杆内壁泥垢的形成,不利于内管的投放和打捞<sup>[5]</sup>。

(5)为了获取参数井压裂设计的相关参数,需要对井眼进行阵列声波和微侧向电阻率测井。此项测井要求探管入井直径 $\leq 130$  mm,小口径绳索取心工艺难以达到要求。

(6)压裂设计需要掌握目的层围岩岩石力学参数,岩石力学实验要求岩心直径 $\leq 60$  mm,小口径绳索取心工艺难以实现。

(7)页岩气勘探对岩心(页岩或者煤心)提升时间有明确要求,常规取心工具川8-4等难以达到规范要求。

综合分析,页岩气参数井使用大口径绳索取心工艺显得十分必要。

## 4 地层及井身结构

### 4.1 地层揭露情况

揭露地层主要包括三叠系的雷口坡组( $T_2l$ )、嘉陵江组( $T_2j$ )、飞仙关组( $T_2f$ );二叠系的长兴组( $P_3c$ )、龙潭组( $P_3l$ )、茅口组( $P_2m$ )。川蔺参1井实际终孔井深1175.22 m,实际揭露地层情况见表1。

表1 川蔺参1井实际揭露地层情况

地层	底界深/m	岩性描述
第四系	70	顶部为棕黄色种植土,其下为转石(灰岩)等坡积物
三叠系雷口坡组( $T_2l$ )	266	石灰岩及白云岩、页岩,下部为泥岩、石灰岩及白云岩
三叠系嘉陵江组( $T_1j$ )	638	顶部为白云岩,下部为灰岩、白云质灰岩、泥质白云岩及黏土岩
三叠系飞仙关组二段( $T_1f^2$ )	870	紫红、灰绿色泥质粉砂岩、黏土岩、鲕粒灰岩
三叠系飞仙关组一段( $T_1f^1$ )	974	泥灰岩、黏土岩,粉晶灰岩及泥质灰岩
二叠系长兴组( $P_3c$ )	1032.5	钙质页岩、灰岩、燧石灰岩
二叠系龙潭组( $P_3l$ )	1123.23	粘土岩、泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、煤层
二叠系茅口组( $P_2m$ )	1175.22	粉晶灰岩、泥砂质灰岩,顶部为粉晶灰岩,中部有燧石团

#### 4.2 井身结构(见图1)

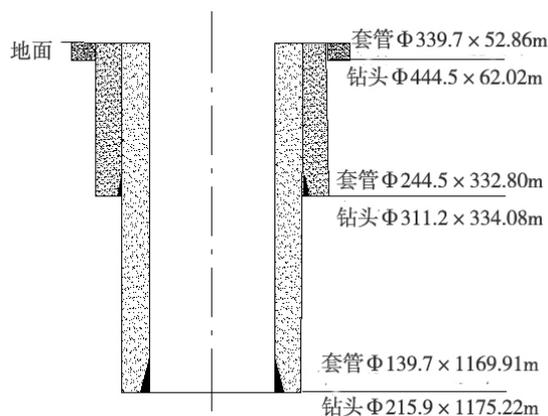


图1 实际井身结构示意图

一开使用 $\Phi 311.2$  mm钻头开孔,穿过雷口坡组,进入嘉陵江组68 m,下入 $\Phi 244.5$  mm套管(J55)332.80 m,固井,防喷器经试压达到井控要求。

二开使用 $\Phi 215.9$  mm钻头,入茅口组50 m钻至1175.22 m,下入 $\Phi 139.7$  mm套管(P110)1169.91 m完井,固井质量合格。龙潭组取心段为1043.37~1130.05 m,计86.68 m。

#### 5 钻井施工难点

(1)裸眼井段长,井壁稳定困难。二开裸眼井段长达800 m以上,且穿过多个松软地层,井壁稳定困难。

(2)雷口坡组( $T_2l$ )底部、嘉陵江组( $T_1j$ )顶部裂隙发育,钻井漏失严重。

(3)完井直径 $\Phi 215.9$  mm,岩心提升时间 $< 20$  min,工程施工难度大。

(4)目的层岩性松软并夹有多个煤层,为保护储

层,要求采用低密度钻井液护壁,对钻井液的维护和管理要求高。

#### 6 钻进设备

##### 6.1 钻机

川蔺参1井选用了ZJ-32型石油钻机,施工能力能够满足技术要求,主要设备配置情况见表2。

表2 钻井主要设备配置

名称	单位	数量	型号	功率/ kW	载荷/ kN
井架	套	1	TJ32		1300
天车	套	1	TC125		1250
转盘	套	1	ZP275		2750
绞车	套	1	JC125		1250
钻井泵	台	2	N3NB1000	746	
动力机	台	3	12V190	882	
井控系统	FZ35-35双闸板防喷器,节流管汇、防喷管汇、远程控制系统器				

##### 6.2 绳索取心绞车

为满足页岩气勘探对岩心提升时间的要求,川蔺参1井选用了QXJC1500型绞车,绞车参数见表3,从实际情况看,平均岩心提升时间为14 min,满足规范要求。

##### 6.3 绳索取心钻具

生产实践中常用的可实现大口径同径取心的取心工具主要有:四川省川庆石油钻采科技有限公司

表3 QXJC1500型绳索取心绞车参数

最大取心深度/m	岩心提升速度/( $m \cdot \min^{-1}$ )		
	I挡	II挡	III挡
1500	100	200	300

研制的川7-4型、川8-3型、川8-4型,中石化胜利石油管理局钻井工艺研究院研制的Y-8100/Yb8100型和中国地质调查局勘探技术研究所研制的KT-194型。采用上述取心钻具,不管是采用单筒还是双筒,岩心(页岩或者煤心)提升时间均不能满足《页岩气钻井技术规程》<sup>[6]</sup>的要求,同时川藓参1井还面临长段裸眼取心钻井施工的井下风险。如何快速完成取心钻井作业成为关键。经过调研,决定采用平

顶山五环实业有限公司研制生产的WH-B215×74型大口径绳索取心钻具<sup>[7]</sup>。

## 7 钻井工艺技术措施

### 7.1 钻具组合

根据井身结构及地层特征,全面钻进井段选取防斜塔式钻具组合,转盘采用5<sup>1</sup>/<sub>4</sub>in(in=25.4 mm,下同)方钻杆传动<sup>[8]</sup>。钻具组合见表4。

表4 钻具组合

开次	井段/m	钻具组合	备注
一开	62.02~334.08	12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> in牙轮钻头+9in钻铤2根+8in钻铤4根+7in钻铤6根+5in钻杆+方钻杆	塔式
二开	334.08~889.9	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻头(HJT537GK/M333)+7in钻铤9根+6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻铤7根+5in钻杆+方钻杆	常规
二开	889.9~1043.37	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻头(DF1306BU/M333)+7in钻铤5根+6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻铤7根+5in钻杆+方钻杆	常规
二开	1043.37~1130.05	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in取心钻具+5in钻杆+方钻杆	取心
二开	1130.05~1175.22	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻头(DF1306BU/M333)+7in钻铤5根+6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in钻铤5根+5in钻杆+方钻杆	常规

### 7.2 钻进参数

原则上,在雷口坡组以上软地层钻进,采用高转速、大泵量和适合的钻压;在坚硬、强研磨性强的地

层采用大钻压,低转速,适当泵量。各开次钻进参数见表5。

表5 各开次钻进参数

开次	地层	井段/m	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	排量/L	立管压力/MPa
一开	T <sub>2</sub> l-T <sub>1</sub> j	62.02~334.08	50~70	60	45	1.0~4.5
二开	T <sub>1</sub> j-T <sub>1</sub> f	334.08~889.9	30~60	30~60	28	5.0~8.0
二开	T <sub>1</sub> f	889.9~1043.37	100~180	60	24~28	8.0~9.5
二开	T <sub>1</sub> f	1043.37~1130.05	30~50	30~60	10~12	2.0~5.0
二开	T <sub>1</sub> f-P <sub>2</sub> m	1130.05~1175.22	20~50	60	12~16	10.0~13.0

在裂隙发育的易漏失地层,严格控制井内压力平衡,起钻时采取钻杆3柱一回灌,钻铤1柱一回灌的原则,并严格控制起下钻速度,防止井内压力激动与抽吸作用,降低井漏与井壁坍塌的风险<sup>[9]</sup>。

### 7.3 取心技术措施

(1)优选高质量取心钻头,加强钻具管理,组装取心钻具后,调整好内外管间隙,做到每回次检查,不同岩性钻进及时调整间隙,软地层间隙取低值,硬地层间隙取高值<sup>[10]</sup>。

(2)简化钻具结构,优化钻具组合和钻井参数,达到降低摩阻和扭矩的目的。

(3)投放打捞器接近内管总成时,适当减速,防止捞矛头和打捞钩受到过大的冲击力而损坏,打捞器在冲洗液中的下降速度控制在1.5~2.0 m/s,当

打捞器落到内管总成上端时(打捞钢绳张力变小),可开始缓慢提升。缓慢提动内管总成后,再按正常提心速度提升。如果钻杆里有大量的冲洗液流出,说明已经打捞成功,否则应停止提升,重新打捞或提钻处理。

(4)提升钻具及打捞内管,及时向孔内回灌一定数量的冲洗液,避免因钻杆柱外的液面下降而造成钻杆柱内外之间压力差而使孔壁坍塌。

(5)内管提升到地面后,从卡簧座或接头处卸开,倒出岩心时,用橡胶锤或木锤轻敲内管,切勿用铁器硬敲,以免内管产生凹坑,影响钻进时岩心的进入,造成岩心堵塞。取出岩心后,用水清洗和检查内管总成,重新组装备用。

(6)取心结束,将配好的内管总成直接从钻杆内

投入,接好方钻杆,用小排量冲洗液往下压送内管总成,排量8~12 L/s。当泵压突然升高,表明内管总成已到位,可以开始新一回次的取心钻进。

(7)特别松软地层(煤层、炭质页岩等)取心钻进时,减小排量、降低泵压,泵压2~4 MPa,井口有泥浆返出即可。

(8)打捞内管总成遇阻时,不能强力提拔。要采用解卡器使打捞矛与内管分离后轻微活动钻具再打捞。

(9)起大钻时,先打捞出内管总成以增大冲洗液的流通断面,减小抽吸作用和压力激动对孔壁的影响。下钻时,先下外管,再下内管,减小压力激动,有

利于孔壁的稳定。

(10)加强固控设备的使用和维护,严格控制有害固相,保持钻井液有良好的流动和护壁性能。

(11)记录各种钻井参数,尤其是扭矩和悬重,及时对比分析,从现场数据分析判断井下状况。

(12)每打完一回次提心后投管前认真进行划眼修整井壁,适当加大泵排量,清理井内沉砂,避免埋钻事故的发生<sup>[11]</sup>。

#### 7.4 钻井液配方及维护要点

钻井液以稳定井壁,平衡地层压力,携带、悬浮岩屑,保护岩心及矿层的原则进行配置。各开次钻井液性能见表6。

表6 钻井液性能表

开次	钻井液体系	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	粘度/s	失水量/mL	切力(10 s/10 min)/Pa	pH值	含砂量/%
一开	低固相聚合物	1.03~1.07	30~50	<15	0/3	7~8	<0.5
二开	聚合物聚-磺	1.08~1.15	35~65	8~5	3/10	9~10	<0.3

(1)一开低固相聚合物钻井液。基本配方:30~50 kg/m<sup>3</sup>膨润土+4%纯碱(土量)+0.2%~0.4%两性离子聚合物包被剂+0.2%~0.4%两性离子聚合物降粘剂+0.8%~1.5%水解聚丙烯腈钾盐+0.8%~1.5%水解聚丙烯腈铵盐+3%~5%氯化钾+0.4%~0.6%生石灰+1%~3%沥青类防塌剂。

(2)二开钾基聚磺钻井液。基本配方:上部井浆+2%~4%磺化酚醛树脂+2%~4%无铬磺化褐煤+1%~2%磺化单宁+3%~5%氯化钾+0.4%~0.6%生石灰+2%~4%沥青类防塌剂+0.2%~0.3%两性离子聚合物包被剂+0.5%~1%水解聚丙烯腈钾盐+0.5%~1%水解聚丙烯腈铵盐。

#### 7.5 长段裸眼钻进

二开井段长达841 m,钻穿多个地层,各地层特性不尽相同。为满足多个层位钻进,钻井液采用分段处理维护。

(1)上部井段采用聚合物低密度钻井液,钻至飞仙关顶部井深638 m,密度范围控制在1.05~1.07 g/cm<sup>3</sup>,以较低的钻井液密度保障工程上的快速钻进。

(2)钻进至638 m飞仙关组段,井壁泥岩掉块增多,下钻到底困难。钻井液中逐渐增大抑制类材料,并缓慢地将钻井液密度提高至1.10~1.12 g/cm<sup>3</sup>,密

度稳定在1.12 g/cm<sup>3</sup>井下恢复正常<sup>[12]</sup>。

(3)长兴组及龙潭组松软地层钻进时,适当提高钻井液粘度,严格控制密度,同时加入沥青质材料对井壁进行封堵护壁,降低滤失量,钻井液性能控制范围:密度1.10~1.13 g/cm<sup>3</sup>,粘度50~65 s,动切力4~6,泥饼厚度0.5 mm以内,初切1~2,终切8~10,pH保持在9~10,井壁一直比较稳定,起下钻畅通,接单根上提下放无阻卡现象<sup>[13]</sup>。

#### 7.6 井漏处理措施

雷口坡组和嘉陵江组钻进均出现漏失,最大漏速100 m<sup>3</sup>/h,伴随有间断性失返,总体漏失量75 m<sup>3</sup>。井漏发生时机械钻速降低,钻时加长,且有轻微跳钻现象<sup>[14]</sup>。

井漏发生后,井队加强对钻井液消耗量、钻井液进出口密度、粘度等参数进行监测,将泥浆泵排量由28 L/min降低到20 L/min,钻井液粘度从30 s提高至45 s,改变钻井液流态,减小钻井液对井壁的机械冲刷来降低漏速。

用加重泵缓慢、交替逐渐加入随钻堵漏剂Ⅱ型350 kg,复合堵漏剂Ⅰ型200 kg,云母片225 kg。为不影响泥浆泵工况,堵漏材料控制在1 h加完,计算堵漏材料返出井口时间15 min,在堵漏材料返出井口前关闭振动筛,使堵漏材料在井内充分循环,达到随钻堵漏目的。随着堵漏剂的逐渐加入,漏失速度

明显减小,经过1.2 h的循环堵漏处理,将泥浆泵排量由20 L/min恢复到28 L/min钻进正常,未发现漏失,堵漏成功<sup>[15]</sup>。

## 8 施工效果

钻井施工取心效果统计见表7。

表7 取心效果统计

取心总回次	回次总进尺/m	岩心总长度/m	平均岩心采取率/%	岩心直径/mm	岩心平均提升时间/min
65	86.68	81.58	94	60	14

## 9 结语

(1)通过大口径绳索取心钻进工艺的有效实施,成功提取 $\varnothing 60$  mm岩心81.58 m,岩心直径满足力学实验要求。

(2)通过大口径绳索取心钻进工艺的有效实施,完井直径达到215.9 mm,满足阵列声波和微侧向电阻率测井探管对井径的要求。

(3)通过大口径绳索取心钻进工艺的有效实施,岩心平均提升时间为14 min,满足《页岩气钻井技术规程》对岩心(页岩或者煤心)提升时间的要求,页岩气现场解析质量得到有效保证。

(4)通过川藓参1井施工,对龙潭组页岩气地质条件、富集规律有了更进一步了解,获得了有机质页岩压裂和排采必须的各项参数,为后续产能测试创造了有利条件。

(5)通过川藓参1井施工,对页岩气川南新层系龙潭组的勘探和开发潜力进行了有益探索。

### 参考文献:

- [1] DZ/T 0250—2010,煤层气钻井作业规范[S].
- [2] 孙赞东,贾成造,等.非常规油气勘探与开发[M].北京:石油工业出版社.2011.
- [3] 张金川,金之钧,袁明生,等.页岩气成藏机理和分布[J].天然

气工业.2004.24(7):15-18.

- [4] 李宽,李鑫森,梁健.绳索取心钻杆折断事故的原因、预防与处理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):48-51.
- [5] 朱恒银,王强,张正,等.大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):160-164.
- [6] DB43/T 971—2014,页岩气钻井技术规程[S].
- [7] 熊虎林,张飞,甘辉敏.页岩气调查泉参1井大口径取心钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(6):19-25.
- [8] 张恒春,王稳石,李宽,等.KT178型取心钻具在共和干热岩钻井中的应用[J].钻探工程,2021,48(2):29-34.
- [9] 尹中山,胡勋茂.四川煤层气井施工的问题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):4-8.
- [10] 姚彤宝,张春林,刘晓刚.大口径绳索取心钻具在特厚软煤中的取心应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):25-28.
- [11] 李晓晖,程林,李艳丽,等.深孔及松软地层大口径绳索取心钻具的研究与运用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):49-52.
- [12] 蒋太平,李果民,丁红卫.四川省宣汉县钾盐普查ZK001参数井钻井施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):25-29.
- [13] 张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社.2016.12.
- [14] 鄢泰宁,孙友宏,彭振斌,等.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社.2001.8.
- [15] 负建林.大口径绳索取心钻进技术在天然气水合物勘探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):20-23.