

# 松辽盆地南部油气田钻井取心关键技术

曹华庆<sup>1</sup>, 冯云春<sup>2</sup>, 杨以春<sup>1</sup>, 张彦超<sup>1</sup>, 王殿学<sup>1</sup>

(1. 中石化华东石油工程公司, 江苏 南京 210019; 2. 中石化东北油气分公司, 吉林 长春 130062)

**摘要:**为有效解决松辽盆地南部油气田储集层取心钻头选型困难、机械钻速低和岩心收获率不稳定等难题,在分析取心井段地质特征、XRD元素组分占比、地层可钻性的基础上,开展了取心筒和岩心爪比选、取心钻头选型和个性化取心钻头的研制,同时优选取心钻具组合和优化取心参数,完善不同储集层取心工艺技术配套。比选后的取心工具配合新型取心钻头在多口井的取心实践中,取得了平均岩心收获率>98.98%、最高机械钻速达到6.03 m/h的效果。系列取心钻头优选和配套关键技术的应用解决了目前松辽盆地南部储集层取心的技术难题,可为后续取心提供可靠的参考和技术支持。

**关键词:**松辽盆地;定向井;岩心收获率;取心;机械钻速;钻具组合;钻头选型

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)11-0049-07

## Key technology for drilling and coring in southern Songliao Basin

CAO Huaqing<sup>1</sup>, FENG Yunchun<sup>2</sup>, YANG Yichun<sup>1</sup>, ZHANG Yanchao<sup>1</sup>, WANG Dianxue<sup>1</sup>

(1. East China Petroleum Engineering Company, SINOPEC, Nanjing Jiangsu 210019, China;

2. Northeast Oil and Gas Branch of SINOPEC, Changchun Jilin 130062, China)

**Abstract:** To effectively solve the southern Songliao Basin oil and gas reservoir core bit selection difficulties, low rate of penetration and unstable core recovery, the core barrel and the core lifter were compared and matched, the core bit type was selected and the case-dependent core bit was investigated through the analysis of the geological characteristics of the coring interval, the XRD element component proportion, and the formation drillability. The coring assembly and coring parameters were optimized, and the coring process for different reservoirs was improved. The selected coring tool and the new coring bit were used in multiple wells with the average core recovery more than 98.98%, and the highest mechanical drilling speed up to 6.03m/h. The application of the optimized series of coring bits and the complete key technologies has solved the technical difficulties in coring in the southern Songliao Basin reservoir, which can provide reliable reference and technical support for subsequent coring.

**Key words:** Songliao Basin; directional well; core recovery; coring; rate of penetration; BHA; bit selection

## 0 引言

松辽盆地是叠置在古生代褶皱基底上,长约750 km、宽330~370 km呈菱形的大型中、新生代陆相沉积盆地。松辽盆地南部(以下简称松南)系指松辽平原嫩江、松花江及拉林河以南盆地部分,地跨吉林、辽宁、内蒙古三省(区)<sup>[1]</sup>,大地构造位置是嫩江—白城断裂以东,开原—赤峰断裂以北和伊通

—依兰断裂以西的地域。陆相沉积盆地具有多物源性、多沉积中心、相带窄、相变快、地层组分变化大的特点,盆地内南部油气田储层钻井取心时,泉头组、登娄库组、沙河子组碎屑岩地层以及营城组、火石岭组的火山岩地层可钻性差,单回次取心时PDC取心钻头适应性差、取心钻时变化差异大、取心钻速偏低,部分取心层段裂隙发育、含砾岩心成

收稿日期:2021-01-27; 修回日期:2021-09-15 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.11.008

作者简介:曹华庆,男,汉族,1972年生,江苏姜堰人,高级工程师,石油工程专业,主要从事油田钻井技术管理及现场指导工作,江苏省南京市建邺区江东中路375号金融城9号楼,caohq-kz@163.com。

引用格式:曹华庆,冯云春,杨以春,等.松辽盆地南部油气田钻井取心关键技术[J].钻探工程,2021,48(11):49-55.

CAO Huaqing, FENG Yunchun, YANG Yichun, et al. Key technology for drilling and coring in southern Songliao Basin[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):49-55.

柱性差,起钻过程中掉心严重,岩心收获率和岩心对位率低,影响地质资料准确性。为解决以上问题,通过对松辽盆地南部地层可钻性分析和取心资料调研,对取心筒及其配件、取心钻具组合进行了优化,并对不同储集层位的取心钻头开展了优选或研制,形成了松南油气田钻井取心关键技术,现场试验取得了良好效果,大幅提升了该地区取心钻速和岩心收获率。

## 1 油气田取心适应性分析

### 1.1 油气田地层特点及取心现状

根据烃源岩发育和生储盖层垂向分布特征,松南油气成藏组合划分为浅部、中部和深部3套成藏组合,各区块油气层埋深差别较大。

浅部油气藏组合是以泉头组2段、泉头组3段及上覆河流相、浅水湖相的砂岩地层为储集层,湖相

泥岩为盖层的成藏组合,埋深200~1500 m。浅部砂岩储集层埋藏浅、物性好、孔隙度 $>10\%$ 。地层可钻性级值3~4<sup>[2-3]</sup>。目前,松南油气田浅部油气藏一般不取心。

中部油气藏组合是以登娄库组和泉头组1段扇三角洲、三角洲相砂岩为储集层,浅水湖相泥岩为盖层的成藏组合,此油藏组合埋深变化较大,一般埋深在1500~2500 m,登娄库组最大埋深为2900 m,中部储集层以含砾中粗砂岩、中细砂岩为主,孔隙度8%~22%,全岩X衍射定量分析表明,石英含量56%~61%、粘土含量 $<5\%$ (见表1),地层可钻性级值6~8级。登娄库组一般作为主力油气层的辅助取心层位,基本在直井段取心,一般使用川7-5取心筒配合PDC取心钻头,适应性尚好,近3年有4口井在登娄库组取心,平均岩心收获率95.8%。

表1 全岩X-射线衍射定量分析结果

Table 1 Quantitative analysis of the whole rock with X-ray diffraction

井号	井深/ m	层位	矿物含量/%						
			石英	粘土矿物	碱性长石	斜长石	菱铁矿	白云石	方解石
胜利2井	2621.00	登娄库组	61	4	11	21	0	0	3
北203井	3770.00	营城组	56	29	0	7	0	4	0
苏2井	3378.00	营城组	73	16	0	4	2	1	4
胜利2井	3200.00	沙河子组	53	13	0	31	0	0	3
北203井	3771.00	沙河子组	57	18	3	11	2	4	5
北203井	3865.00	火石岭组	58	10	9	23	0	0	0
北204井	3295.50	火石岭组	22	27	0	31	9	11	0

深部油气藏组合是以火石岭组、沙河子组、营城组深湖一半深湖相沉积岩为烃源岩和盖层,水下扇、扇三角洲砂体为储层构成的近烃源自生自储式成藏组合,为油气田主力油气层,也是主要取心层位。此油藏组合埋深 $>1600$  m,一般在2500 m以深,有部分区块火石岭组缺失(如DB14井)或钻井未揭示<sup>[4]</sup>。深部储集层以砂砾岩、含砾中粗砂岩和中细砂岩为主,其中营城组和火石岭组为火山岩储层<sup>[5-6]</sup>,非均质性明显,自生石英填充大部分孔隙和裂缝,孔隙度4%~16%(多数小于10%),石英和长石含量53%~90%、粘土含量10%~30%,地层可钻性级值7~10,部分区块大于10。页岩油气取心层位为营城组1段和沙河子组2段,一般为大段泥页岩连续取心,是自生自储的页岩油气层。火石岭组、沙河子

组、营城组取心,通常以川7-5或川8-4取心筒配合PDC取心钻头,对于连续取心的情况,也采用川7-5双筒取心;取心在 $\varnothing 215.9$  mm井眼居多,少数在 $\varnothing 311.2$  mm井眼,在取心进尺、取心钻速、岩心收获率、岩心对位率等指标上参差不齐。上述层位普遍裂缝发育,取心过程中易破碎,成柱性差,在定向井取心占据一定比例的情况下,更容易发生堵心、磨心甚至掉心;另外,由于地层的差异性,单一的PDC取心钻头适应性不足,存在机械钻速低、进尺少、磨损严重等问题。

部分预探井为确认地层,在基底地层进行钻井取心,以确定所钻地层岩性和层位。基底岩性一般为前震旦系花岗岩片麻岩、云母长石石英片岩、石英片麻岩、千枚岩等,牙轮和PDC适用岩石的可钻性级

值均普遍大于10。基岩取心较少,基岩的强度高、研磨性强、可钻性差,常规PDC取心钻头易崩齿、先期损坏,所以一般选择孕镶齿或天然金刚石取心钻头,但机械钻速偏低,平均不足1 m/h。

## 1.2 取心技术难点

通过分析松南油气田取心现状和汇总多口勘探和评价井储集层取心资料,目前取心主要存在以下技术难点:

(1)常规取心工具在定向井中取心易引起堵心和磨心,岩心收获率和对位率低。

(2)松散、破碎、成柱性差的地层取心,起钻过程中易掉心,岩心收获率低。

(3) $\varnothing 311.2$  mm井眼内取心,使用 $\varnothing 215.9$  mm常规尺寸取心钻头、取心筒取心,易导致岩心卡箍在内筒下部的缩径接头内歪斜,形成卡心,取心进尺少和岩心收获率低。

(4)取心钻头型号单一,与取心地层的岩石可钻性针对性差,导致钻头磨损严重,取心机械钻速低。

## 2 取心筒选型和取心钻具组合优化

### 2.1 取心筒选型

复杂地层取心钻进时,岩心卡堵主要发生在2个位置,一是取心钻头内台阶与内筒下端卡簧(岩心爪)及轴向间隙之间;二是岩心与内筒之间的某一位置<sup>[7]</sup>。松南储集层取心一般使用适合于直井取心的川式常规取心筒,在定向井取心过程中,由于重力作用,内筒在外筒内不居中,二者互相接触,导致内筒无法正对取心钻头喉部,裂缝发育岩石被取心钻头切削后,结构发生变化,受泵压和取心工具涡动的双重影响,细小岩心脱离岩心柱,大的块状岩心将发生偏移、错位,卡于岩心爪处<sup>[8]</sup>,不能顺利进入内筒,造成卡心、堵心,导致引心困难。岩心卡堵现象在破碎地层中极为常见,是导致机械钻速和回次进尺锐减、岩心严重自磨耗损的根本原因<sup>[9]</sup>。

经比选,使用适合于大斜度井、定向井取心作业的DJQ172-101型取心筒,该取心筒在常规川7-5取心筒的基础上加以改进。改进的方式是在内筒与连接套之间安放了滚珠支承节(见图1),此支承节是内筒在取心筒内的下支撑点,确保内筒处在外筒内部的居中位置,内筒始终正对取心钻头的喉部,引心时岩心顺利进入内筒并得到保护。



图1 内筒支承节

Fig.1 Inner barrel bearing joint

### 2.2 破碎地层岩心爪选型

松南油气田营城组及以下地层成柱性较好,使用常规的摩擦式弹簧卡箍岩心爪可以确保岩心收获率。但是龙凤山区块营城组的松散砾岩取心,地层胶结差、岩心破碎,起钻过程中岩心易掉落,造成岩心收获率和岩心对位率低。

此类地层取心选用与川式取心筒相配合的卡板岩心爪(见图2),可以解决此问题。卡板岩心爪适合胶结差、松散砾岩地层取心,卡板岩心爪割心机构可以封闭内径为 $\varnothing 75$  mm的岩心。取心钻钻达到设计进尺后,停止施加钻压,继续旋转转盘20~30 min,利用取心钻头的切削内刃摆动将岩心磨出1圈凹槽,然后逐步恢复取心钻进参数,继续取心0.13 m后,卡板岩心爪的卡板张开卡入岩心凹槽,停止旋转转盘、缓慢上提钻具,卡板刀翼在凹槽处缓缓张开后,进行相应割心操作<sup>[10-11]</sup>。



图2 卡板岩心爪

Fig.2 Core lifter with the snap-gauge

### 2.3 取心钻具组合优化

根据理论计算和从下部钻具组合稳定性考虑<sup>[12-14]</sup>,推荐取心钻具组合为: $\varnothing 215.9$  mm取心钻头+ $\varnothing 172$  mm DJQ172-101取心筒+ $\varnothing 165$  mm螺旋钻铤6~9根+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆9根+ $\varnothing 127$

mm 钻杆。这种带螺旋钻铤的取心钻具组合在井下工况稳定<sup>[13-14]</sup>,可降低 PDC 取心钻头钻进过程中发生的制动和涡动,消除钻进软硬互层地层引起的钻柱扭矩波动、制动和失速,提高 PDC 取心钻头的工作稳定性。减少由于钻头回旋导致的下部钻具回转而引起的取心筒回转,减少岩心破碎、形成堵心等情况的发生。

在松南区块上部二开井段  $\varnothing 311.2$  mm 井眼内取心,使用常规的  $\varnothing 215.9$  mm 取心钻头配合  $\varnothing 172$  mm 取心筒取心时,由于井眼尺寸与取心工具外径之间的间隙较大,在引心时易导致岩心卡箍在内筒下部的缩径接头内歪斜,形成卡心,引发磨心。根据实钻经验,推荐使用的取心钻具组合为: $\varnothing 215.9$  mm 取心钻头 +  $\varnothing 172$  mm DJQ172-101 取心筒 +  $\varnothing 165$  mm 螺旋钻铤 1 根 +  $\varnothing 298$  mm 稳定器 +  $\varnothing 165$  mm 螺旋钻铤 (9~12) 根 +  $\varnothing 127$  mm 加重钻杆 9 根 +  $\varnothing 127$  mm 钻杆,确保取心钻具组合在井眼内居中度,引心工程参数为:钻压 10~20 kN、转盘转速 60 r/min、排量 18~20 L/s。引心进尺 1.00 m 以上,再使用正常的取心参数取心,可以避免引心时的卡心和磨心,达到取心进尺多和岩心收获率高的效果。

### 3 取心钻头的优选

根据取心层位地质特征和可钻性级值优选了不同型号的系列取心钻头,解决常规储集层的取心技术难题。针对极难钻地层研制的个性化 PDC 取心

钻头,解决了极难钻地层取心机械钻速低的问题,形成了松南油气田取心钻头系列。

#### 3.1 取心钻头 PDC 齿尺寸选择原则

目前松南油气田钻井施工,大部分使用“螺杆 + PDC 钻头”的模式,由于探井的地质资料相对较少,取心钻头 PDC 齿的尺寸和个性化选择主要依据是全面钻进的 PDC 齿尺寸减小 1 级来选择。因为 PDC 齿尺寸不同,其曲率大小不同,在相同钻压下,曲率半径小的齿产生的点载荷越高,PDC 齿吃入地层的能力越强;在相同的吃入深度下,曲率半径越大的齿,破碎岩石的体积越大。取心钻进时钻压和钻头转速都明显低于全面钻进时的参数,因此需要更高点载荷尺寸的切削齿,才能获得更高的机械钻速。

切削齿排布优化上,采用 NCS 布齿结构或副切削齿设计,形成不同曲率、不同层次的切削结构,提高钻头的受力均衡性及工作稳定性,防止 PDC 切削齿的加速磨损;同时,优化切削齿后倾角设计,在相同的钻压和扭矩下,后倾角越小的钻头,钻进速度越快<sup>[15]</sup>。

#### 3.2 常规储集层取心钻头优选

根据全岩 X 衍射定量分析数据和实钻资料证明,松南油气田取心的储集层石英和长石含量高,粘土含量相对较低,为硅质不分散硬脆性地层,取心钻头无泥包现象。因此取心钻头的选型主要依据储层沉积环境、物性、可钻性、充填物的岩性来选择。参见表 2。

表 2 地层可钻性级值与取心钻头参数对照

Table 2 Drillability extreme value vs coring bit parameters

地层分类	可钻性级值 $Kd$	复合片尺寸/mm	刀翼数	前角/(°)	推荐钻头
软地层	$\leq 3.5$	19.05	5	10~15	GC605T
中地层	3.5~5.0	16.10	6	15~20	GC506T
中硬地层	5.0~7.0	12.70	6	15~20	GC406T
硬地层	7.0~8.5	8.00	8	20~30	GC315M-II
极硬地层	8.5~10.0	其它	12~16		孕镶齿

泉头组的储集层以细砂和粉砂岩为主,物性条件较好,结合岩石可钻性级值 3~4,选择 16 mm 齿、6 刀翼、高负前角设计的取心钻头,如 GC506 T 型<sup>[16]</sup>。

登娄库组的储集层以含砾细砂岩和泥质粉砂岩为主,储层物性相对一致,钙质和泥质夹层少,结合

岩石可钻性级值 6~8,选择 13 mm 齿、6 刀翼、中负前角设计的取心钻头,如 GC406T、MC13124 型。

营城组、沙河子组和火石岭组的储集层以中砂岩、砾岩、粗砂岩和火山岩为主,岩性一般较粗,钙质夹层多、泥质含量低,结合岩石可钻性级值 7~10,选择 8 mm 齿、8 刀翼、低负前角设计的取心钻头,如

GC315、GC315M、GC315M-II型取心钻头。

### 3.3 其它层位取心钻头优选

#### 3.3.1 泥页岩取心钻头优选

取心层位主要以营城组1段I亚段的灰黑色泥岩和泥质粉砂岩为主,含粉砂质泥岩条带,岩性致密。梨页1井泥页岩取心时,结合地层特点,借鉴南方非常规页岩气取心经验,选用成熟的GC315M型取心钻头连续取心10回次,取心进尺180.34 m,岩心长180.34 m,岩心收获率100%,平均机械钻速3.54 m/h。

#### 3.3.2 基岩取心钻头研制

基岩取心地层,岩性为前震旦系花岗片麻岩、云母长石石英片岩、石英片麻岩、千枚岩为主,岩石可钻性级值 $>10$ 。选用8 mm齿、12刀翼、低负前角设计的取心钻头GC315M-III或新研制的G506-BZ(异型奔驰齿和进口PDC混布)型取心钻头,2口井共取心3回次,取心进尺18.30 m,岩心长18.30 m,岩心收获率100%,平均机械钻速2.01 m/h,远高于早期使用孕镶取心钻头的机械钻速(0.40~0.70 m/h)。

营城组、火石岭组和基岩地层岩石硬度高,可钻性极差,以往在该段取心时都是采用孕镶取心钻头或天然金刚石取心钻头,机械钻速慢、取心周期长,导致岩心长时间在钻井液中浸泡,容易被污染及水化散碎。针对上述问题,研发设计了一种适用于基岩地层取心的PDC钻头(见图3)。该钻头设计了12个刀翼,在钻头冠部布置了12个刀翼;6个刀翼上分别布置3颗13 mm“奔驰齿”,优选后倾角为 $17^\circ$ ,另外6个刀翼上分别布置2颗13 mm斧型齿,优选后倾角为 $15^\circ$ ;每个刀翼布置一条R6的高压水道;顶部刀翼之间设置面槽,侧面各刀翼之间设置有排屑槽;面槽和排屑槽相连;钻头本体的内径处设置高压内水道。主要解决目前常规取心钻头在火山岩和基岩地层取心钻进时,切削齿崩损严重、钻头使用寿命短、机械钻速低等问题,通过优化冠部形状、优选切削齿齿型和切削齿参数更容易吃入火山岩硬地层,有利于提高切削效率,通过优化内外保径,保证岩心的质量,便于岩石力学分析的完整性。该取心钻头定名为G506-BZ。



图3 G506-BZ取心钻头

Fig.3 G506-BZ coring bit

## 4 现场应用

### 4.1 取心钻具组合优化

梨8井是松辽盆地东南隆起区断陷的一口预探井,在该井 $\varnothing 311.2$  mm井眼登娄库组取心过程中,使用 $\varnothing 215.9$  mm取心钻头+ $\varnothing 172$  mm DJQ172-101取心筒+ $\varnothing 165.1$  mm钻铤 $\times 8$ 根+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆 $\times 10$ 根+ $\varnothing 127$  mm钻杆的钻具组合,由于卡心,取心进尺只有2.04 m,分析认为是取心筒与井眼环隙偏大、下部钻具居中度差导致的卡心。因此,改用钻具组合为: $\varnothing 215.9$  mm取心钻头+ $\varnothing 172$  mm DJQ172-101取心筒+ $\varnothing 165$  mm钻铤 $\times 1$ 根+ $\varnothing 298$  mm稳定器+ $\varnothing 165$  mm螺旋钻铤(9~12)根+ $\varnothing 127$  mm加重钻杆 $\times 9$ 根+ $\varnothing 127$  mm钻杆,连续2回次取心,进尺17.00 m,岩心长17.00 m,岩心收获率100%。

在殷东1井 $\varnothing 311.2$  mm井眼井斜 $22.5^\circ$ 的井况下,使用上述钻具组合进行双筒取心,取心井段2270.02~2284.76 m,进尺14.74 m,岩心长14.74 m,岩心收获率100%。

### 4.2 G506-BZ钻头现场应用

部署在松南区块的十屋17井沙河子组、火石岭组和东深2井营城组试验奔驰齿G506-BZ取心钻头配合DJQ172-101取心筒取心4回次,取心进尺32.00 m,岩心长32.00 m,岩心收获率100%,机械钻速稳定。与优选前取心数据相比,G506-BZ取心钻头效果明显,见表3。

### 4.3 卡板岩心爪现场应用

龙凤山区块部分营城组地层松散、胶结差,岩心比较破碎,起钻过程中岩心易掉落,造成岩心收获率

表3 G506-BZ取心钻头现场应用情况对比

Table 3 Field application of G506-BZ coring bit in various wells

井号	取心井段/ m	层位	井斜角/ (°)	进尺/ m	岩心长度/ m	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	岩心收获率/ %	钻头型号
查1	4207.95~4210.27	营城组	4.1	2.32	2.10	0.66	90.50	MC475G
北210-2	3629.38~3636.38	营城组	6.8	7.00	1.60	0.85	22.86	GC315M
十屋17	4195.65~4203.65	沙河子组	8.0	8.00	8.00	1.30	100	G506-BZ
	4377.51~4385.51	火石岭组	8.1	8.00	8.00	1.00	100	G506-BZ
东深2	4236.56~4244.56	营城组	2.0	8.00	8.00	1.60	100	G506-BZ
	4331.00~4339.00	营城组	2.0	8.00	8.00	2.67	100	G506-BZ

低。针对这一问题,北220-1井营城组取心使用卡板岩心爪,较使用弹簧卡箍岩心爪的北210-2井取心岩心收获率有大幅提高,见表4。

表4 北210-2井、北220-1井取心情况

Table 4 Coring records for Bei 210-2 well and Bei 220-1 well

井号	取心井段/m	层位	进尺/m	岩心长度/m	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	岩心收获率/%	钻头型号
北210-2	3629.38~3636.38	营城组	7.00	1.60	1.30	23	GC315M
北220-1	3460.00~3468.30	营城组	8.30	8.30	2.77	100	MC13124

#### 4.4 小结

通过应用上述油气田储集层取心关键技术,在19口井进行52回次取心的现场应用,取得了平均岩心收获率98.98%、平均机械钻速3.24 m/h、最高机械钻速6.03 m/h的应用效果。

#### 5 结论与建议

(1)根据储集层地质特征和可钻性级值,优选了不同型号的系列取心钻头以及取心筒,优化了取心钻具组合,解决了松南油气田常规储集层的取心技术难题。

(2)松南油气田部分胶结弱、成柱性差、松散砾岩层、岩心破碎层位取心,使用卡板岩心爪可以保证岩心收获率达到98%以上。

(3)新研制的G506-BZ取心钻头,可以大幅度提高火山岩和基岩的机械钻速,配合川式系列取心工具取心可以获取高岩心收获率和高质量的岩心资料。

#### 参考文献(References):

[1] 郭巍,于文祥,刘招君,等.松辽盆地南部埋藏史[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(3):353-360.  
GUO Wei, YU Wenxiang, LIU Zhaojun, et al. The burial history of the southern Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University

(Earth Science Edition), 2009, 39(3): 353-360.

- [2] 穆国臣,陈晓峰,王雪.松南地区深井钻井提速难点与对策[J].石油钻探技术,2011,39(6):19-22.  
MU Guochen, CHEN Xiaofeng, WANG Xue. Difficulties and applied technical strategy in deep well drilling in Songnan Area [J]. Protruleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 19-22.
- [3] 巢贵业.松南地区火山岩水平井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2013,41(6):62-67.  
CHAO Guiye. Optimized horizontal well drilling technologies for volcanic formation in Songnan Area [J]. Protruleum Drilling Techniques, 2013, 41(6): 62-67.
- [4] 俞凯,刘伟,沈阿平,等.松辽盆地长岭断陷火山岩气藏勘探开发实践[M].北京:中国石化出版社,2014.  
YU Kai, LIU Wei, SHEN Aping, et al. Exploration and Development of Volcanic Gas Reservoirs in Changling Fault Depression in Songliao Basin [M]. Beijing: Sinopec Press, 2014.
- [5] 陈安明,张进双,白彬珍,等.松辽盆地深井钻井技术难点与对策[J].石油钻探技术,2011,39(4):119-122.  
CHEN Anming, ZHANG Jinshuang, BAI Binzhen, et al. The drilling problem and countermeasures of deep well in Songnan Area [J]. Protruleum Drilling Techniques, 2011, 39 (4) : 119-122.
- [6] 苗长盛,徐文,刘玉虎,等.松辽盆地南部火山岩储层特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(2):635-643.  
MIAO Changsheng, XU Wen, LIU Yuhu, et al. Characteristics of volcanic reservoirs in southern Songliao Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(2): 635-643.

- [7] 李鑫森,李宽,梁健,等.复杂地层取心钻进堵心原因分析及预防措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):12-15.  
LI Xinmiao, LI Kuan, LIANG Jian, et al. Core jamming causes and prevention in drilling difficult formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12): 12-15.
- [8] 段绪林,卓云,郝世东,等.对破碎地层取心预防磨心的认识与建议[J].钻采工艺,2019,42(1):99-100.  
DUAN Xulin, ZHUO Yun, HAO Shidong, et al. Understanding and suggestions on preventing coring from fractured stratum [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(1): 99-100.
- [9] 施山山,闫家,李宽,等.破碎地层取心钻具研究现状及展望[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):56-61.  
SHI Shanshan, YAN Jia, LI Kuan, et al. Research status and prospects of coring tools for broken formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(7): 56-61.
- [10] 曹华庆,高长斌.非常规龙马溪组和牛蹄塘组页岩取心技术[J].油气藏评价与开发,2018,8(2):80-84.  
CAO Huaqing, GAO Changbin. Shale coring technology in Longmaxi Formation and Niutitang Formation of unconventional shale gas field[J]. Oil and Gas Reservoir Evaluation and Development, 2018, 8(2): 80-84.
- [11] 蒋应政.多用取芯工具[J].石油钻探技术,1991,19(4):12-15.  
JIANG Yingzheng. Multi-purpose coring tool [J]. Petroleum Drilling Techniques, 1991, 19(4): 12-15.
- [12] 梁海明,裴学文,赵波.页岩地层取心技术研究及现场应用[J].石油钻探技术,2016,44(1):39-43.  
LIANG Haiming, PEI Xuewen, ZHAO Bo. Research and field application of shale formation coring technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 39-43.
- [13] 姜伟.水平井及大斜度井下部钻具组合的弹性稳定性[J].石油机械,1995,23(11):32-37.  
JIANG Wei. Elastic stability of drilling assembly in horizontal well and downhole with high inclination [J]. China Petroleum Machinery, 1995, 23(11): 32-37.
- [14] 李子丰,梁尔国.钻柱力学研究现状及进展[J].石油钻采工艺,2008,30(2):1-9.  
LI Zifeng, LIANG Erguo. Research status and progress of drill string mechanics [J]. Oil Drilling & Production Technique, 2008, 30(2): 1-9.
- [15] 董晨晨.PDC取心钻头在坚硬破碎地层的切削齿排布优化研究[J].内蒙古石油化工,2019,45(8):21-23.  
DONG Chenchen. Optimization of cutter layout of PDC coring bit in hard and broken formation [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2019, 45(8): 21-23.
- [16] 曹华庆,龙志平.苏北盆地戴南组和阜宁组地层取心关键技术[J].石油钻探技术,2019,47(2):28-33.  
CAO Huaqing, LONG Zhiping. Key coring technologies for the Dainan Formation and Funing Formation in north Jiangsu Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 28-33.

(编辑 李艺)