

湖南永顺永页2井破碎地层取心问题分析与处理对策

何 焘^{1,2}, 张绍和^{*1,2}, 王文彬^{3,4}, 张鑫鑫^{1,2}, 刘磊磊^{1,2},
肖金成^{3,4}, 何红生^{3,4}, 郭 军^{3,4}

(1. 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南长沙 410083;

2. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083;

3. 湖南省煤炭地质勘查院, 湖南长沙 410014; 4. 湖南省地质新能源勘探开发工程技术研究中心, 湖南长沙 410014)

摘要:为了解决湖南永顺区块钻遇复杂破碎地层所出现的岩心采取率不足的问题,本文在永页2井的基础上,调查了勘查区的地质构造特征,根据不同地层的取心岩样分析了地层特性。在严格按照钻孔设计及质量要求的前提下,在各个阶段采取了不同的冲洗液,做到无垮塌、无漏失。面对破碎地层岩心采取率不足,研制和使用了一种囊袋多节捆绑式绳索取心钻具,利用其独特的囊袋结构,配以超前侧喷钻头,能够保护岩心免受冲洗液冲刷。结果显示:后续的钻进过程中,井深在1055.76~1108.96 m,岩心采取率由原来的最低79%,提高至90%以上,岩心得到了较好的保护。上述方法能够有效地解决破碎地层出现的岩心采取率不足问题,并能为后续的工作和类似工程提供保障和借鉴。

关键词:破碎地层;岩心采取率;超前侧喷钻头;囊袋结构;绳索取心钻具

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)12-0014-06

Analysis and measures for coring difficulties in Well Yongye-2 in Yongshun of Hunan province

HE Tao^{1,2}, ZHANG Shaohe^{*1,2}, WANG Wenbin^{3,4}, ZHANG Xinxin^{1,2}, LIU Leilei^{1,2},
XIAO Jincheng^{3,4}, HE Hongsheng^{3,4}, GUO Jun^{3,4}

(1. *Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring
Ministry of Education, Changsha Hunan 410083, China;*

2. *School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China;*

3. *The Coal Geological Exploration Institute of Hunan Province, Changsha Hunan 410014, China;*

4. *Hunan Geological New Energy Exploration and Exploitation Engineering Technological Research Center,
Changsha Hunan 410014, China)*

Abstract: In order to solve the problem of insufficient core recovery in broken formation in Yongshun, Hunan Province, this paper investigates the geological structure characteristics of the exploration area with respect to Well Yongye-2, and analyzes the stratum characteristics based on the core samples from different strata. On the premise of strictly following the drilling design and quality requirements, different drilling fluids were adopted for each section to eliminate collapse and leakage. To deal with insufficient core recovery in broken formations, we developed and used a bladder multi-section bundled wireline core drilling tool. The unique bladder structure, equipped with a leading side jet drill bit, can protect the core from erosion by drilling fluid. Field results showed that when drilling deeper well sections

收稿日期:2021-03-13; 修回日期:2021-05-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.12.003

基金项目:国家自然科学基金面上项目“3D打印栅格状胎体刀刃化唇面对金刚石钻头破碎坚硬岩层的影响机制研究”(编号:41872186);湖南省自然资源科技计划项目“复杂地质条件区页岩气深井钻探施工技术研究”(编号:2020-23)

作者简介:何焘,男,汉族,1997年生,硕士研究生在读,地质工程专业,湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号,hetao-paradox@csu.edu.cn。

通信作者:张绍和,男,汉族,1967年生,教授,博士生导师,研究方向为钻掘工程,湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号,zhangsh@csu.edu.cn。

引用格式:何焘,张绍和,王文彬,等. 湖南永顺永页2井破碎地层取心问题分析与处理对策[J]. 钻探工程,2021,48(12):14-19.

HE Tao, ZHANG Shaohe, WANG Wenbin, et al. Analysis and measures for coring difficulties in Well Yongye-2 in Yongshun of Hunan province[J]. Drilling Engineering, 2021,48(12):14-19.

with the well depth from 1055.76m to 1108.96m, core recovery increased to more than 90% from the existing lowest 79%, and the cores were well protected. The author believes that the above method can effectively solve the problem of insufficient core recovery in broken formations, and can provide guarantee and reference for follow-up work and similar projects.

Key words: broken formation; core recovery; pilot side jet bit; bladder structure; wireline core drilling

钻探工程的施工难点往往都发生在复杂地层或破碎地层,庄生明和罗光强等人在复杂的汶川地震断裂带采用螺杆马达+液动锤+半合管取心钻进工艺进行取心,但堵心问题依然突出^[1]。在陕西省凤县坪坎镇勘查区进行钻探工作时,因为岩层松软、破碎,常导致粘钻事故的发生^[2]。湘西北地区同样因为地形构造复杂,钻进难度大,钻遇破碎地层时,各种问题的发生,使得岩心采取非常困难。而破碎、软弱地层难取心的现状,已成为钻探界的一大技术难题^[3-5]。针对破碎地层取心难题,张国丽和罗军提出了一种GW180-101型破碎地层工具,利用其隐蔽式双割心机构,配以高速极硬取心钻头进行取心^[6]。李新昌和李剑等人则采用了胜利R-8120型取心工具,利用其具有伸缩功能的加压割心机构,确保了松散破碎地层的取心收获率^[7]。上述的方法能够在软弱破碎地层取得一定效果,但岩心过于破碎时,内管的保存及收集岩心效果不好,经过冲洗液的冲刷后,岩屑易流失,且所获取的岩心不能够代表原始岩层。

在永页2井(湖南永顺页岩气2井)的基础上,根据实际钻进过程中获取的不同地层的岩心,得到了钻遇地层的岩性及成分,针对新滩组和龙马溪组层段岩心采取率不足等问题,拟采用一种新型囊袋多节捆绑式绳索取心钻具,利用其独特的囊袋结构和超前侧喷钻头,保证取心率的同时,还避免了冲洗液的影响。

1 区域构造特征

永页2井是湖南省页岩气开发有限公司布署在湘鄂西褶皱冲带桑植—石门复向斜青安坪向斜轴部的1口资料井,井口位于湖南省永顺县石堤镇冷水村。永顺区块位于中扬子台褶皱带与江南隆起相接地带,中扬子台褶皱带属于较稳定地块,江南隆起则较为活跃。如图1所示,受印支—燕山期构造运动控制,勘查区内断裂与褶皱构造发育较多。

工区经历了多期次构造运动,各期次的构造行迹也显得纷繁复杂。尤其是在燕山Ⅲ幕、Ⅳ幕陆内

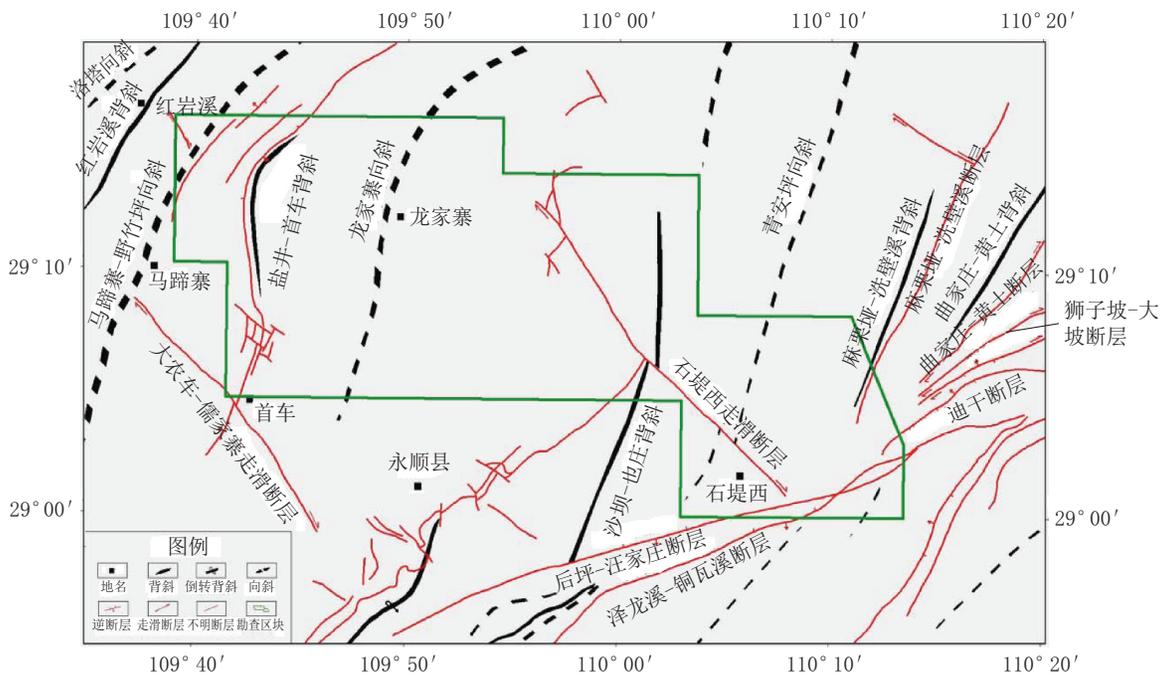


图1 勘查区构造区划图

Fig.1 Structural zoning map of the exploration area

拉张作用下,挤压应力产生逆掩、逆冲推覆构造,后期同时发育一些规模不大的张性断裂,并沿早期断裂带产生压扭性作用,使工区内断裂更显复杂^[8]。

2 钻遇地层岩性

本次实钻目的层井段在445.05~1523.11 m,主要钻遇了新滩组和龙马溪组。从图2可以看出,钻遇地层上部岩性为青灰色至灰色粉砂质页岩,发育水平层理。中部岩性为深灰色粉砂质页岩及页岩夹少量深灰色泥质粉砂岩,裂隙较发育,层面间见数条不规则微裂缝,局部断面具擦痕。底部岩性为灰黑色至黑色页岩,发育水平层理,产较多笔石化石。



(a) 新滩组岩心矿物



(b) 龙马溪组岩心矿物

图2 钻遇地层岩心

Fig.2 Cores from drilled formation

3 钻探工艺流程

3.1 钻孔设计及质量要求

永页2井设计井深为1553.0 m,根据设计要求确定在1553.0 m完结,完钻层位于上奥陶统宝塔组。

在一开直井段时(0~19.9 m)先采用 $\Phi 146$ mm扩孔钻头和 $\Phi 127$ mm表层套管,配合进行扩孔,而后再用 $\Phi 96$ mm金刚石钻头进行深层钻进,主要采用钻铤加压,轻压吊打钻进,保证了一开直井段的防斜打直及井身质量。二开井段(20.00~1553.00 m)使用TXB-1800型钻机,无液压系统,依靠钻机自重

给压,钻机机械转速较慢,钻效较低,而后更改为XY-6N型液压钻机,并采用全压钻进以提高钻速。在1000.00~1553.00 m时,由于井斜偏大,逐步采取控制钻压钻进,保证了钻头的合理使用,也加快了施工进度,防止井斜进一步加大。具体井身结构见图3。

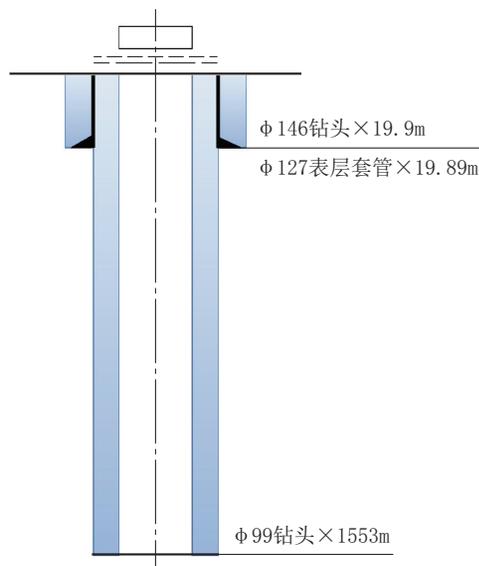


图3 永页2井井身结构

Fig.3 Structure of Well Yongye-2

其他质量要求如下:

(1)全孔取心,设计要求岩心采取率 $\geq 90\%$, 60 mm \leq 岩心直径 ≤ 63.5 mm。

(2)设计要求最大孔斜 $\leq 5^\circ$,全角变化率 $\leq 2^\circ/30$ m。

3.2 冲洗液的使用

该井一开使用膨润土低固相环保钻进液体系配浆开钻,针对一开上部地层比较疏松的特点,为了加强防垮塌、防漏失能力,开钻前配置密度为 1.06 g/cm³充分遇水化24 h的膨润土浆 5 m³,以及浓度为 $0.5\% \sim 1\%$ 的KPAM溶液 4 m³,钻井液粘度为 70 s。在实际的钻井施工过程中无垮塌、无漏失现象发生,较好地保证了钻井进度和施工安全。

二开采用低固相甲基聚合物钻井液体系,替换掉一开钻井液,井深 22.80 m时加入CMC、K-PAM、土粉,并采取顶替方式洗井,使钻井液密度保持在 1.06 g/cm³,粘度 41 s。二开前期钻井液密度控制在 1.13 g/cm³以内,粘度 41 s左右,随着井深的逐步增加,钻井液密度维持在 $1.06 \sim 1.13$ g/cm³,粘度

上升到42 s,既稳定井壁不发生垮塌,也保证了钻井液的携砂能力,确保了钻井顺利进行。二开井段是本井的目的层,钻至井深445.05 m龙马溪组时,加入了2%降失水剂(CMC、PAC-141)、2%护壁剂(FT-1、广谱护壁剂),进入目的层1545.00~1553.00 m后,由安全生产负责人调整好钻井液各项性能参数,严格控制泥浆的无用固相含量和含砂量,含砂量始终保持在0.03%左右。

4 岩心采取技术难点和改进措施

从图4可以看出,孔深在1041.00~1055.76 m时,构造作用明显,裂隙发育,1041.00 m处见一条宽约1 mm、长约5 cm的水平裂隙,少量泥质充填,1051.00~1052.00 m处,见7条宽1~1.5 mm、长2~5 cm的不规则穿插裂隙,少量泥质充填或无充填。由于碎屑矿石较多,取心困难,最低的岩心采取率79%,且岩心非常破碎。

目前,已有众多专家针对破碎地层取心提出相关解决方法^[9-15]。根据现场实际情况,采用了一种新型囊袋多节捆绑式绳索取心钻具^[16]进行取心,这



图4 1049~1055 m处破碎岩心
Fig.4 Broken cores from 1049m to 1055m

种新型钻具适用于风化程度高、易冲蚀、软弱破碎等地层,能够有效地提高岩心采取率。

从图5中可以知道,该钻具是在传统绳索取心钻具上增加了多节捆绑式囊袋总成结构,包括多节捆绑式囊袋总成和超前侧喷式钻头。多节捆绑式囊袋总成结构同普通的绳索取心钻具内管相同,设置有单向阀、泄水网以及卡簧装置。其中,单向阀与囊袋顶部采用过盈配合并箍紧,囊袋底部则固定于卡簧处。钻具单向阀内的泄水网能够过滤掉随冲洗液一同流进的碎屑颗粒,这些碎屑颗粒一旦留存于钻具中,会对钻具本身产生极大的磨损。

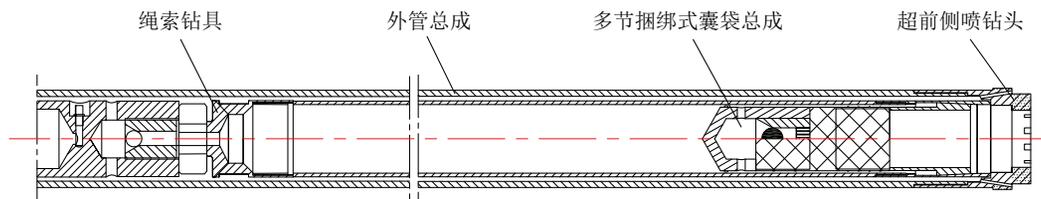


图5 囊袋多节捆绑式绳索取心钻具结构示意图
Fig.5 Structure of the bladder wireline core drilling tool

内管总成中的囊袋部分是整个新型钻具的核心部分,起收集岩心、保护岩心的作用。因此,囊袋本身厚度不易过厚,且应该具备足够的拉伸强度和耐磨性。目前,囊袋薄膜是采用线型低密度聚乙烯和高密度聚乙烯共同混合的材料加工而成,兼具了二者的高抗穿透性、易拉伸性和易加工的特性。超前侧喷钻头由常规钻头部分和超前齿部分构成,主要起改变水流流向的作用,其设计为阶梯状,通过变径钢体周围的斜水眼,将冲洗液导流至钻头底唇面,随着唇面上的水口和水槽改变冲洗液的流向。

在钻进施工时,利用囊袋的自动收缩,束牢岩心,不让岩心滑落,同时,在钻具的冲击力下,不断向更深的地层伸展,让岩心充满囊袋。当岩心充满囊袋时,囊袋下部的橡皮箍筋圈将囊袋箍紧,泵压立即

升高,并对地面设备及时做出提醒。其原理不同于传统的取心钻具,纯粹的利用岩心管机械式的裹挟岩心。普通的岩心管较难获取软弱冲蚀性的岩心,但可伸缩性囊袋能够将这些水土岩石的混合物全部包住,并由橡皮箍紧束牢,大大减少了岩心的丢失。

囊袋多节捆绑式绳索取心钻具常搭配超前侧喷式钻头(见图6),该钻头能够在钻进过程中,改变冲洗液的流向,避免其冲刷内管中的岩心,同时囊袋本身也具有对岩心的一个保护作用,能够隔离冲洗液。这既提高了岩心的取心率,也保证了岩心的保真度。

采用新型钻具进行钻进后,不同深度岩层的取心率如表1所示。

新型钻具得到运用以后,实际效果表明,岩心采

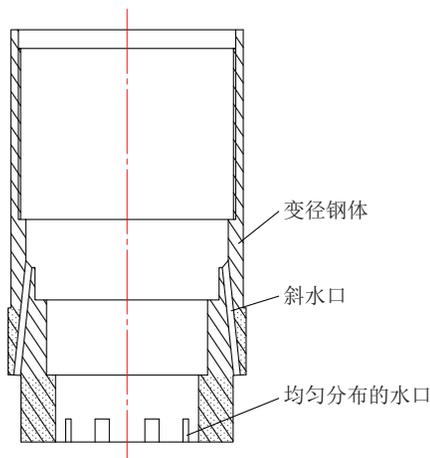


图6 超前侧喷式钻头

Fig.6 Pilot side jet drill bit

表1 新型钻具在不同深度的岩心采取率

Table 1 Core recovery of the new drilling tool at different depths

| 深度/m | 取心率/% | 岩心名称 |
|-----------------|-------|----------|
| 1055.76~1056.86 | 92.4 | 深灰色泥质粉砂岩 |
| 1056.86~1059.96 | 91.0 | 灰白色砂岩 |
| 1059.96~1065.40 | 93.6 | 深灰色泥质粉砂岩 |
| 1065.40~1067.12 | 90.3 | 灰绿色粉砂质页岩 |
| 1067.12~1105.96 | 91.7 | 浅灰色石英砂岩 |
| 1105.96~1108.96 | 92.0 | 灰绿色泥质粉砂岩 |

取率得到较大提高,由原来最低79%,提高至90%以上,且岩心因为囊袋的保护和超前侧喷式钻头的改流效果,真实还原了地层特征,减少了岩心的破碎(参见图7)。



图7 新型钻具岩心采取效果

Fig.7 Cores taken with the new core drilling tool

5 结语

(1)湖南永顺勘探区经历了多期次构造运动,钻遇地层裂隙发育,碎屑矿石较多。因而在实际的钻井工程中,一开和二开阶段分别使用低固相环保钻

井液体系和甲基聚合物钻井液体系,避免了垮塌、漏失等现象。此外,在两井段中也分别采用了钻铤加压,轻压吊打钻进和逐步钻进稳控井斜的钻进方式,尤其针对井斜较大井段,使得其最大孔斜 $\leq 5^\circ$,保证了施工的顺利进行。

(2)孔深在1041.00~1055.76 m时,由于岩层破碎,工程取心效果不佳,所取岩心完整度不够。此次工程采用了囊袋多节捆绑式绳索取心钻具,囊袋多节捆绑式绳索取心钻具具有独特的多节捆绑式囊袋总成结构,且钻具本身常搭配超前侧喷式钻头进行使用。囊袋本身可以保护岩心,使得岩心具有保真性;超前侧喷式钻头则通过钢体变径处均匀分布由内向外的斜水口提前改变了水流流向,防止岩心被冲刷。工程实践证明,囊袋多节捆绑式绳索取心钻具能够在破碎地层中提高岩心的取心率,取心率由原来的79%提升至90%以上。

参考文献(References):

- [1] 庄生明,罗光强,张伟.汶川地震断裂带科学钻探取心钻进岩心堵塞机理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):65-68.
ZHUANG Shengming, LUO Guangqiang, ZHANG Wei. Analysis of core blockage mechanism in the core drilling operation of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(7):65-68.
- [2] 李国才.凤县小梨园矿区复杂地层典型事故钻孔施工技术[J].世界有色金属,2019(6):296-298.
LI Guocai. Drilling technology for typical accidents in complex strata in Xiaoliyuan mining area, Feng county[J]. World Nonferrous Metals, 2019(6):296-298.
- [3] 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.
- [4] 许俊良.疏松及破碎地层取心新技术[J].钻采工艺,2009,32(1):22-23,26,113.
XU Junliang. New coring technology for unconsolidated and broken formations[J]. Drilling & Production Technology, 2009,32(1):22-23,26,113.
- [5] 吴金生,陈礼仪,张伟.破碎松软地层取心钻头孔底流场数值模拟及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):107-110.
WU Jinsheng, CHEN Liyi, ZHANG Wei. Numerical stimulation of bottom flow field of core bit in broken soft formation and

- the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(7):107-110.
- [6] 张国丽,罗军. GW180-101型破碎地层取心工具研究与应用[J]. 辽宁化工, 2016,45(5):609-610,613.
ZHANG Guoli, LUO Jun. Study and application of GW180-101P fracture formation coring tool[J]. Liaoning Chemical Industry, 2016,45(5):609-610,613.
- [7] 李新昌,李剑,洪黎,等. 泌阳凹陷北部斜坡松散破碎地层取心技术[J]. 石油地质与工程, 2010,24(3):111-113,144.
LI Xinchang, LI Jian, HONG Li, et al. Loose broken formation coring technology in north slope block of Biyang sag[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010,24(3):111-113,144.
- [8] 张飞鹏,吴智平,李伟,等. 黄骅坳陷印支-燕山期构造特征及其演化过程[J]. 中国矿业大学学报, 2019,48(4):842-857.
ZHANG Feipeng, WU Zhiping, LI Wei, et al. Structural characteristics and its tectonic evolution of Huanghua depression during the Indosinian-Yanshanian[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2019,48(4):842-857.
- [9] 杨玉坤,成伟. 我国松软地层取心技术浅谈[J]. 石油机械, 2003(S1):107-109.
YANG Yukun, CHENG Wei. Discussion on coring technology in soft formation in China[J]. China Petroleum Machinery, 2003(S1):107-109.
- [10] 高宏松,吴婷. 渤海油田古潜山破碎性地层钻井取心技术[J]. 石化技术, 2018,25(9):143.
GAO hongsong, WU Ting. Drilling and coring technology in fractured formation of buried hill in Bohai oilfield[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018,25(9):143.
- [11] 钱书伟,张绍和,李锋,等. 软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013,40(10):29-31.
QIAN Shuwei, ZHANG Shaohe, LI Feng, et al. Drilling technology in soft erosion stratum [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):29-31.
- [12] 郑思光. 迁安红山铁矿破碎复杂地层钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012,39(8):15-18,22.
ZHENG Siguang. Drilling construction technology for complex broken formation in Hongshan iron mine of Qian'an crusing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(8):15-18,22.
- [13] 赵哲睿,张绍和,燕建龙. 囊袋式取心钻具的设计与应用[J]. 煤田地质与勘探, 2017,45(3):162-164,169.
ZHAO Zherui, ZHANG Shaohe, YAN Jianlong. Design and application of bag-type coring tool[J]. Coal Geology & Exploration, 2017,45(3):162-164,169.
- [14] 付常春,杨保健,刘宝生,等. 渤海油田特殊地层取心技术优化及应用[J]. 钻采工艺, 2019,42(2):118-120.
FU Changchun, YANG Baojian, LIU Baosheng, et al. Optimization and application of core taking technology for special stratum in Bohai oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2019,42(2):118-120.
- [15] 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.
- [16] 韩毅,张绍和,白锐,等. 囊袋多节捆绑式绳索取心钻具的设计与应用[J]. 煤田地质与勘探, 2019,47(5):220-224.
HAN Yi, ZHANG Shaohe, BAI Rui, et al. Design and application of multi-section bundled bag wire-line coring drilling tools[J]. Coal Geology & Exploration, 2019,47(5):220-224.

(编辑 荐华)

《钻探工程》期刊变更刊期通知

从2022年开始,《钻探工程》期刊由月刊变更为双月刊,特此通知。

《钻探工程》编辑部

2021年12月