

破碎地层取心技术研究与应用

白云勃¹, 高亮¹, 李婕², 王久全², 黄伟艇², 赵岩¹, 张爱堂¹, 段昱玮¹, 朱华鑫¹

(1. 河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心), 河北邢台 054001; 2. 金石钻探(唐山)股份有限公司, 河北唐山 063000)

摘要:目前在取心钻探工程中,仍然存在破碎地层取心率低、取心钻效低等问题。本文根据岩性和破碎成因对破碎地层进行了分类,可分为坚硬破碎、软弱破碎、脆性破碎和松散破碎;分析了破碎地层取心时易发生的问题:岩心冲蚀、堵心、磨心、丢心。认为造成破碎地区取心问题的主要原因为,坚硬破碎为岩心碎胀体积增加导致岩心管堵塞,松散破碎为冲洗液对岩心的冲蚀;软弱破碎和脆性破碎则是碎胀和冲蚀二者都有,并且钻速较高堵心不易发现。破碎地层提高采取率的应对措施:低钻压、低转速、低泵压和高性能水基聚合物冲洗液取心工艺;防冲蚀内外阶梯侧喷式取心钻头、复合式岩心爪、双管单动绳索取心器。相关技术在河北省唐山市宋家营南综合气调查ZG1孔煤层取心进行了应用,煤系地层整体取心率达到了98.77%。该工艺对破碎地层钻探取心具有一定的参考借鉴意义。

关键词:破碎地层;阶梯式取心钻头;复合岩心爪;煤层取心

中图分类号:P634.5 文献标识码:A 文章编号:2096-9686(2025)02-0144-07

Research and application of coring technology in broken formations

BAI Yunbo¹, GAO Liang¹, LI Jie², WANG Jiuquan², HUANG Weiting²,

ZHAO Yan¹, ZHANG Aitang¹, DUAN Yuwei¹, ZHU Huaxin¹

(1. The Second Geological Team of Hebei Coal Geology Bureau (Hebei Hot Dry Rock Research Center), Xingtai Hebei 054001, China; 2. Jinshi Drilling (Tangshan) Co., LTD., Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: In the present core drilling project, there are still some problems such as low core recovery rate and low coring efficiency in broken formations. In this paper, the broken strata are classified into hard broken, soft broken, brittle broken and loose broken according to the lithology and broken reasons. The problems of core erosion, blocking, grinding and loss are analyzed. It is thought that the main reasons to coring problems in broken areas are as follows, in the hard broken strata, the core tube is blocked due to the core broken and volume increase, in the loss broken strata, the drilling fluid erodes the cores, which both exist in the soft broken and brittle broken strata, moreover, it is not easy to be discovered because of the high drilling speed. The countermeasures are as follows: coring technology of low WOB, low RPM, low pump pressure and high performance water-based polymer drilling fluid, anti-erosion core bit, compound core claw, and double pipe single action wireline coring tool. The relevant technology was applied in ZG1 coal seam coring in Songjiaying south comprehensive gas survey, Tangshan City, Hebei Province, and the core recovery rate in the coal seam was reached to 98.77%, which has certain referential value to core drilling in similar strata.

Key words: broken formations; stepped coring bit; compound core claw; coal seam coring

0 引言

随着技术进步,地面物理探测技术有了很大发

展,对于地下情况探测越来越准确,但是仍然不能

完全取代钻探取心。钻探工作中取出的岩心是最

收稿日期:2024-10-16; 修回日期:2025-01-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.02.019

基金项目:自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室与金石钻探(唐山)股份有限公司2023开放课题“破碎地层取心技术研究”(编号:FZJS230207)

第一作者:白云勃,男,汉族,1985年生,高级工程师,采矿工程专业,硕士,从事钻探技术研究工作,河北省邢台市高开区河北工业大学科技园3号楼720室,719927835@qq.com。

引用格式:白云勃,高亮,李婕,等.破碎地层取心技术研究与应用[J].钻探工程,2025,52(2):144-150.

BAI Yunbo, GAO Liang, LI Jie, et al. Research and application of coring technology in broken formations[J]. Drilling Engineering, 2025,52(2):144-150.

直观的实物,是各种物探和理论分析计算的最终验证。目前取心工作仍然面临一些困难,钻遇破碎地层往往存在取心率低、取心钻效低等问题。工程技术人员在此问题上做了很多研究,提出了多种解决方案^[1-10],取得了一些效果,但是在现场实际应用中往往存在价格昂贵、操作复杂、操作技术要求高、可靠性较低或者使用寿命较短等问题,造成起下钻次数增加、取心作业时间增加、成本增多等,限制了在现场的应用。

1 破碎地层分类

破碎地层因岩性和破碎成因的不同,可分为多

种类型(详见表1),每种类型具有独特的物理力学性质,在取心时呈现不同的现象。变质岩、火成岩岩石坚硬,在岩石形成过程中或成岩后经历地质构造运动,完整岩层受裂隙分割而破碎,特点为坚硬、裂隙发育。砂岩、泥岩成岩性较好的沉积岩受褶皱、断层等作用而破碎,特点为整体强度低、有软弱夹层,裂隙发育。半成岩、不成岩的松散砂层、砾石层或砂砾混合层,特点为整体强度极低,孔隙发育。再有一种是脆性物含量较高,孔隙发育导致强度较低沉的积岩层比如煤层。

表1 破碎地层分类

Table 1 Classification of broken strata

分类	特点	破碎原因	地层岩性	典型岩石
坚硬破碎	块体坚硬,裂隙发育	地质构造运动	变质岩、火成岩	花岗岩
软弱破碎	整体强度低,有软弱夹层	地质构造运动	沉积岩	砂岩、泥岩
松散破碎	强度极低,孔隙发育	半成岩、不成岩	沉积岩	砂砾石
脆性破碎	强度较低,脆性	脆性物含量高,孔隙发育	沉积岩	煤层

2 破碎地层取心易发生的问题及原因分析

坚硬地层裂隙发育、破碎,取心钻进时岩石碎胀,堵心后岩心磨损导致取心率低^[10-13]。松散砂层往往是冲洗液冲蚀和卡取岩心失败导致的岩心损失,进而导致采取率降低^[14-16]。还有一种是砾石混合砂土,极容易发生堵心又容易被冲洗液冲蚀^[17-20]。强度较低的煤层取心钻进时进尺较快,堵心不容易发现,导致丢心。

破碎地层取心顺利与否涉及孔壁稳定性、岩心的冲刷、堵心磨心、岩心的卡取等方面。保持孔壁的稳定性,防止钻进期间孔壁失稳,掉块、坍塌引起的卡钻,是钻取岩心的前提;在取心钻进时岩心与孔壁分离过程中,减少钻进破岩对岩心的影响,防止冲洗液冲蚀岩心;岩心装入岩心内管的过程中防止岩心堵塞,岩心堵塞之后能立即发现,防止将岩心磨掉;钻取岩心后,进行割心使进入内管的岩心与下部地层分离,提钻卡取岩心,防止已经进入岩心管的岩心滑落。整个取心过程中包含复杂的物理力学化学耦合作用。

对于完整性地层,其连续性好,孔壁破坏失稳可以使用经典静力学理论来解释,取心形成并眼过

程中伴随原岩应力的重新分布,在应力场演变过程中,局部应力超过岩石的峰值强度,则岩石发生破坏,破坏范围延深的一定程度,孔壁失稳发生掉块或坍塌,造成卡钻。但是由于完整性地层孔壁失稳通常存在裂隙的亚临界扩展过程,起扩展速率显著低于岩石断裂速率,因此完整性地层,孔壁和岩心往往是较为完整的,易于取出完整岩心。

对于破碎地层,由于大量天然节理裂隙和软弱结构面的存在,将地层岩石切割成独立的小块,呈现出高度离散化的特点,整体力学特性受摩擦系数影响严重。破碎地层发育大量小尺度天然裂缝和胶结强度低的弱结构面,在细观尺度上,摩擦系数决定着岩块接触面的抗剪切滑移强度和应力的传递路径与效率。宏观上,摩擦系数是控制破碎地层离散块体间接触力网络的优势方位、结构复杂度和非均匀性等的关键参数。

钻孔底部岩层面初始暴露时,由三向原岩应力状态,变为平面二向应力状态。经历第一次应力卸载过程,切屑齿接触岩石并逐渐加压直至局部压强超过其承载能力,岩层经历局部应力集中和破坏卸载过程。初始暴露的面积越大、切削齿直径越大,

应力卸载、加载再卸载的影响范围就越大,对岩心的破坏就越严重。冲洗液滤液在静液柱压力和喷射冲击压力下,沿岩心裂隙面侵蚀进入岩心内部,导致岩心内聚力和内摩擦角降低,体积膨胀。加之破碎地层本身孔隙度高、强度低,还可能伴生油、气等因素,岩心极易破碎。破碎地层的井周岩体完整性变差,在井眼尺度上已具有离散介质特征,维持孔壁稳定的地质环境明显恶化。同时,破碎地层孔壁对井眼轨迹、压力波动、钻柱碰撞摩擦和冲洗液冲刷等外部作用力的响应更为迅速直接,工程因素诱发孔壁失稳的风险显著增大。

3 破碎地层提高采取率的措施

3.1 “三低一高”技术工艺

采取“三低”即低钻压、低转速、低泵压和高性能冲洗液技术。低转速,减少岩心内筒摆动,保持岩心原始构造状态,减轻碎胀,防止堵心;低泵压减少取心钻头的水力压降,满足安全钻进的同时,减少对岩心的冲蚀;低钻压,及时控制取心机械钻速,又减少取心筒的压屈,使取心筒处于悬直状态,利于岩心顺利进入内筒。高性能冲洗液,低失水、强护壁、强润滑,高携岩能力。

3.2 防冲蚀、防堵取心钻头

强度低的破碎地层,岩心极易由于冲洗液的冲刷而丢失,因此选用内外阶梯侧喷式钻头,如图1所示。该内外阶梯式钻头,内部台阶高,外部台阶低,内部台阶安装小直径PDC切屑齿,外部台阶安装大直径切屑齿。减少初始钻取岩心时,PDC切屑齿与地层作用的应力影响范围,减小对岩心的破坏。钻头水眼布置在外台阶处,避免冲洗液直接冲刷岩心。但是内外台阶高度不可差距太大,否则冲洗液作用不到孔底,易发生烧钻。内台阶PDC齿采用大间距布置,留设宽面流道,减少小排量冲洗液在钻头底部的流速,最大程度减小对岩心原始状态的扰动。

3.3 防丢心复合式岩心爪

箍式岩心爪与弹簧片式岩心爪配合使用(如图2所示),防止割心提钻时岩心滑落。钻取岩心后,在钻压作用下,推动岩心顶弹簧片进入岩心内筒。割心提钻时在重力作用下,岩心下滑压缩弹簧片,弹簧片收缩密封取心内管底口,可防止松散岩心丢失。若岩心太过松散不易进入时,可减少弹簧片数



图1 阶梯式侧喷和底喷PDC钻头
Fig.1 Stepped side-injection and bottom-injection PDC bit

量,减少阻力。卡箍是个弹性整体结构,与卡箍座配合使用,自由状态下卡箍内径比岩心内径小约2mm,取心钻进时岩心上顶卡箍,卡箍锥面松开,岩心进入内筒,拔断岩心时,岩心推动弹簧片岩心爪和卡箍同时下行,卡箍锥面收缩抱紧岩心,继续上提钻具即可拔断岩心。



图2 复合式岩心爪总成
Fig.2 Compound core claw assembly

3.4 双筒绳索取心器

采用内外双筒单动式取心器,外管上部与钻铤连接,下部与取心钻头连接,用于传递钻压和扭矩。内管通过悬挂轴承悬挂与顶部,外管转动时,内管不动,减少对岩心的扰动。取心器外筒带有扶正器,使外筒在承受钻压的同时减轻弯曲程度,防止外筒夹持内筒,内外筒同转,对岩心造成扰动。同时采取钢球密封措施,使冲洗液不进入内筒,避免冲刷内筒岩心。同时调整内筒底部与外筒底部台阶间隙,在能够防止内筒下放墩底时,为防止冲蚀岩心,尽量减小间隙,冲洗液流经间隙后,体积迅速膨胀,流速降低,既能够防止冲蚀岩心,同时能够润滑岩心,冷却钻头。内筒涂抹黄油润滑,降低岩心与内筒管壁摩擦系数,减小岩心进入内筒的阻力。

4 破碎煤系地层取心实例

4.1 工程地质概况

工作区处于开平向斜西南端的东南翼,整体呈现由东南向西北倾伏的背斜形态,该背斜西南翼较陡,倾角一般在 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间变化,东北翼较缓,倾角一般在 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间变化;区内发育有老母庙向斜,东北翼较缓。断裂构造较发育,落差较大。

ZG1钻孔为煤田取心孔,位于开平向斜南端,区域内地层发育较全,太古界、元古界、古生界及新生界均有出露。太古界、元古界出露在开平煤田以北及北东;古生界主要出露在唐山市附近,开平煤田北部及东北部均有较大面积出露,第三系分布较广,第四系遍布全区域。煤系地层属晚古生代石炭一二叠纪含煤建造。煤系基底为寒武—奥陶系煤系,上覆地层为二叠系上、下统及新生界第三系和第四系,不整合沉积于各系地层之上。

4.2 钻孔结构

ZG1钻孔上部第四系地层厚达562 m,岩性松散且有流沙层,易垮塌,新近系地层裂隙发育易漏失,易缩径,因此采用二开钻孔结构,煤系地层上下入地质套管,起到护壁作用,保障取煤作业安全。钻孔结构数据见表2。

表2 钻孔结构数据

Table 2 Well structure data

开次	钻头尺寸/mm	孔深/m	套管直径/mm	套管壁厚/mm	套管下深/m	水泥返深
一开	152.4	959	114.0	6.0	0~959	地面
二开	98.0	1500.18			裸眼	

4.3 主要钻探设备

ZG1钻孔施工使用HXY-8B型钻机,该型钻机兼具立轴回转和转盘回转的特点;使用机械传动,立轴回转,液压给进,转速适用范围宽,钻压控制精准,主要技术参数见表3。

其他钻探设备配套主要有钻塔、泥浆泵、振动筛、电机等,详见表4。

4.4 施工过程

ZG1孔于2023年5月开钻,7月12日一开完钻。一开直径152.4 mm,一开完钻孔深959 m;随后进行了裸眼测井及下套管作业,下套管下至孔深563 m遇阻,提出全部套管使用原钻具通井,8月1日扫孔

表3 HXY-8B型钻机主要技术参数

Table 3 Main technical parameters of HXY-8B drill

性能	参数
钻进深度/m	1000~3200
钻杆直径/mm	50、60、71、89、114
立轴行程/mm	800
立轴最大起重力/kN	300
立轴最大加压力/kN	141
卷扬机最大提升力/kN	125
钻机质量/kg	6000

表4 主要设备配套

Table 4 Main matching equipment

序号	设备名称	参数	件/套
1	钻塔	SG18	1
2	钻机	HXY-8B	1
3	泥浆泵	NBB260/7	1
4	泥浆泵	BW300/12	1
5	振动筛	15 kW	1
6	搅拌机	5 kW	1
7	Ø89 mm 拧管机	SQ-114/8	1
8	钻机电机	75 kW	1
9	泥浆泵电机	45 kW	1
10	备用发电机	150 kW	1
11	测斜仪	KXP-3D	1

通井至孔底,最后使用Ø148 mm扶正器通井、套管通井,孔内畅通无阻力后于8月8日顺利下入Ø114 mm套管至孔深959 m处,次日完成固井;候凝期间更更换取心钻具、整理井场。

2023年8月20日开始二开钻进,二开直径98 mm,使用S95绳索取心工具和Ø98 mm取心钻头进行连续取心作业。8月23日取心至孔深993.8 m下钻时发生卡钻事故,随后倒开钻具,使用反丝钻具打捞,于9月7日处理卡钻事故完成,继续绳索取心钻进,于10月23日钻进至孔深1500.18 m完钻。

4.5 煤层取心存在的技术问题及解决措施

4.5.1 钻遇煤层物理性质

地球物理测井曲线如图3所示,钻孔钻遇的煤层为低密度、脆性矿物含量较高。钻开后,孔壁不稳定,易坍塌掉块导致井径不规则。

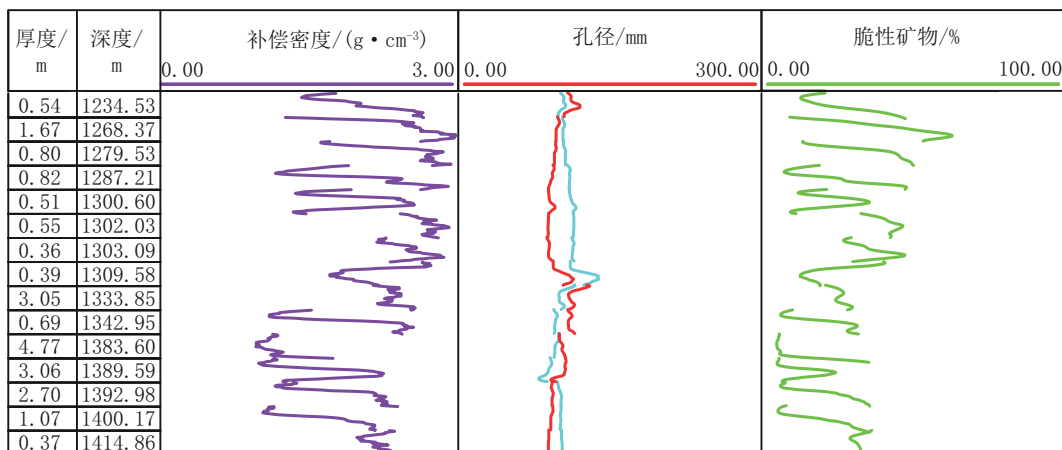


图3 煤层测井曲线

Fig.3 Coal seam logging curve

4.5.2 煤层取心问题

煤层埋深较大,主要煤层埋深>1200 m,原岩应力相对较大。因此煤层取心时,孔壁易失稳、易垮塌、易堵心、易冲蚀,且由于机械钻速较高,不易发现煤层岩心堵塞时的磨心、冲蚀等情况。往往煤层岩心采取率较低,达不到地质目的。

4.5.3 阶梯式取心钻头使用

二开取心段钻具组合采用 $\varnothing 98$ mm取心钻头+ $\varnothing 96$ mm扶正器+ $\varnothing 89$ mm取心钻杆+ $\varnothing 89$ mm方钻杆。进入煤系地层后选用了阶梯式取心钻头,钻头使用前后如图4所示,钻头主要磨损为外部低台阶处的PDC片,说明取心钻进时该处为主要受力点,起到主要的破岩作用。内部台阶处的PDC片完好,说明其在取心钻进时受力较小,起到次要的破岩作用,同时其对岩心完整性的破坏也就越小。



图4 阶梯式取心钻头使用前后照片

Fig.4 Stepped coring bit before and after use

4.5.4 改进的复合式岩心爪

二开取心段选用了改进后的复合式岩心爪,如图5所示,将分离的卡箍和弹簧片整合成一个整体。

岩心进入内管和卡取岩心时弹簧片和卡箍同步整体动作,既减少了岩心进入的阻力,又增加了卡取岩心的阻力。



图5 改进后的复合式岩心爪

Fig.5 Improved compound core claw

4.5.5 “三低一高”技术工艺

煤层取心时选用了较小的钻压:10~20 kN;较低的转速:20~30 r/min;较低的排量:10~15 L/s;泵压2~4.5 MPa。选用了高性能冲洗液,采取水基聚合物低固相冲洗液体系冲洗液,重点解决垮塌(岩层较破碎)、漏失(砂岩裂隙较多)、冲洗液泡沫多以及煤系地层煤层松散(粉煤)坍塌掉块等问题。冲洗液配方:水+纯碱0.3~0.5%+钠基膨润土1~3%,聚丙烯腈铵盐0.2~0.4%+聚丙烯酸钾0.2~0.4%+火碱0.02~0.04%+广谱护壁剂0.05~0.1%+随钻堵漏剂0.05~0.1%,冲洗液性能:密度1.04~1.07 kg/L、漏斗黏度24~28 s、失水量4~5

ml、泥饼厚度0.3~0.5 mm、含砂量0.2~0.5%。将聚合物类添加剂复配成胶液持续补充入井,勤处理、勤维护,防止泥岩井段、煤层井塌。取心过程中要注意观察岩心岩性、胶结性、破碎程度的变化,及时补充相关添加剂。

4.6 取心效果

煤系地层整体取心率达到了98.77%,各煤层取心情况详见表5,取出煤心如图6所示,真实准确的反映煤层的岩性、构造发育特征,保证了采样测试和煤层气解析测定的需要。

表5 煤层取心统计

Table 5 Statistical table of coal seam coring

煤层编号	进尺/m	心长/m	采取率/%
5	1.62	1.48	91.36
6	0.9	0.83	92.22
7	0.80	0.80	100
8-1	0.4	0.42	100
8-2	0.60	0.60	100
8-3	0.36	0.36	100
煤线	0.30	0.30	100
9	2.95	2.81	95.25
10	0.67	0.67	100
11	0.30	0.30	100
12-1	4.77	4.47	93.71
12-2	3.19	3.19	100
12-3	2.75	2.75	100
12下	1.10	1.10	100



图6 ZG1孔煤层岩心

Fig.6 Coal seam core of ZG1 hole

5 结论

(1)根据破碎地层的岩性和破碎成因进行分类,分为坚硬破碎、软弱破碎、松散砂砾及脆性

破碎。

(2)提高破碎地层采取率可以从“三低一高”技术工艺、防冲蚀取心钻头、复合式岩心爪、双筒绳索取心器方面采取措施。

(3)ZG1钻孔煤层具有大埋深高原岩应力、低强度、脆性、裂隙发育的物理力学特点,是导致破碎地层取心率低的原因,联合使用内外阶梯式侧喷及底部大流道,小直径切削齿钻头与复合式岩心爪,双管单动绳索取心器在取心内筒涂抹黄油润滑;采用低钻压、低转速、低泵压和高性能水基聚合物冲洗液取心工艺,在煤系地层整体取心率达到了98.77%。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 赵凯,侯红,赵大伟,等.复杂破碎地层孔底驱动快速跟管钻进技术研究[J].钻探工程,2023,50(5):140-145.
ZHAO Kai, HOU Hong, ZHAO Dawei, et al. Research on the technology of fast drilling with casing driven at the bottom borehole in complicated broken stratum[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):140-145.
- [3] 张席芝,杨亚平,寇永渊,等.金川矿区复杂地层钻探孔壁失稳机理与对策研究[J].钻探工程,2023,50(6):69-76.
ZHANG Xizhi, YANG Yaping, KOU Yongyuan, et al. Research on mechanism and countermeasure of borehole wall destabilization in complex formation of Jinchuan mining area[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(6):69-76.
- [4] 麻朗朗,陶士先,邹志飞.白银市土红湾-李家沟煤炭资源详查23-2孔冲洗液技术[J].钻探工程,2023,50(5):81-87.
MA Langlang, TAO Shixian, ZOU Zhifei. Drilling fluid technology for Hole 23-2, detailed investigation of coal resources in Tuhongwan-Lijiagou, Baiyin City[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5):81-87.
- [5] 杨宽才,孟燕杰,许权威,等.松散破碎地层钻进高吸水树脂堵漏剂合成与评价[J].钻探工程,2024,51(6):39-47.
YANG Kuancai, MENG Yanjie, XU Quanwei, et al. Synthesis and evaluation of highly absorbent resin plugging agent for drilling in loose broken formation[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(6):39-47.
- [6] 张喆.阶梯式钻头井底诱导卸荷特性及破岩规律研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2021.
ZHANG Zhe. Study on Bottom hole induced unloading characteristics and rock breaking law of stepped bit[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2021.
- [7] 吴金生.取心钻头孔底流场仿真与优化研究[D].成都:成都理

- 工大学, 2015.
- WU Jinsheng. Simulation and optimization research of hole Bottom flow field of coring bits[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.
- [8] 张群, 孙四清, 降文萍. 碎软低渗煤层煤矿区煤层气勘探开发关键技术及发展方向[J]. 石油学报, 2024, 45(5): 855-865.
- ZHANG Qun, SUN Siqing, JIANG Wenping. Key technologies and development direction of CBM exploration and development in coal mine area of fractured soft and low permeability coal seams[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(5): 855-865.
- [9] 王西贵, 邹德永, 杨立文, 等. 煤层气保温保压保形取心工具研制及现场应用[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(3): 94-99.
- WANG Xigui, ZOU Deyong, YANG Liwen, et al. Development and field application of a coalbed methane coring tool with pressure maintenance, thermal insulation, and shape preservation capabilities[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(3): 94-99.
- [10] 孙四清, 张群, 郑凯歌, 等. 地面井煤层气含量精准测试密闭取心技术及设备[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7): 2523-2530.
- SUN Siqing, ZHANG Qun, ZHENG Kaige, et al. Technology and equipment of sealed coring for accurate determination of coalbed gas content in ground well[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(7): 2523-2530.
- [11] 杨柳青, 陈文才, 曾欣. 深层超深层取心技术进展与未来解决方案[J]. 钻采工艺, 2024, 47(2): 113-120.
- YANG Liuqing, CHEN Wencai, ZENG Xin. Progress and future solutions of deep and ultra-deep coring technology[J]. Drilling & Production Technology, 2024, 47(2): 113-120.
- [12] 舒龙勇, 饶文铭, 范喜生, 等. 松软破碎煤体取制样与剪切试验系统研制及应用[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(2): 126-134.
- SHU Longyong, RAO Wenming, FAN Xisheng, et al. Development and application of sample preparation and shear test system for soft crushed coal[J]. Coal Science and Technology, 2024, 52(2): 126-134.
- [13] 丁宁宁, 马天捧, 姚雷, 等. 粉煤地层绳索取心钻进孔壁坍塌分析及处理[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 127-132.
- DING Ningning, MA Tianpeng, YAO Lei, et al. Analysis and treatment of hole wall collapse of wire-line core drilling in pulverized coal strata[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 127-132.
- [14] 王明华, 刘维, 段绪林, 等. 川渝地区深层破碎地层取心工艺优化研究[J]. 钻采工艺, 2022, 45(6): 26-30.
- WANG Minghua, LIU Wei, DUAN Xulin, et al. Optimization and application of coring technology in deep fractured formations in Sichuan-Chongqing area[J]. Drilling & Production Technology, 2022, 45(6): 26-30.
- [15] 刘彬, 徐文, 姚坤鹏. 破碎地层取心工具内筒保护技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2022, 45(4): 124-128.
- LIU Bin, XU Wen, YAO Kunpeng. Research and application of inner barrel protection technology of coring tools for fractured strata[J]. Drilling & Production Technology, 2022, 45(4): 124-128.
- [16] 李鑫森, 李宽, 梁健, 等. 复杂地层取心钻进堵心原因分析及其预防措施[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.
- [17] 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.
- XU Junliang. New coring technology for unconsolidated and broken formations[J]. Drilling & Production Technology, 2009, 32(1): 22-23, 26.
- [18] 向峰. 双岩心爪取心工具的研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(4): 442-445.
- XIANG Feng. Development and application of coring tools with double core catchers[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(4): 442-445.
- [19] 梁海明, 裴学良, 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 Xueliang, ZHAO Bo. Coring techniques in shale formations and their field application[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 39-43.
- [20] 杨斌, 许成元, 张浩, 等. 深部破碎地层井壁失稳机理研究进展与攻关对策[J]. 石油学报, 2024, 45(5): 875-888.
- YANG Bin, XU Chengyuan, ZHANG Hao, et al. Research progress on mechanism of wellbore instability in deep fractured formations and related countermeasures[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(5): 875-888.

(编辑 王文)