

# 提钻取心岩心堵塞形态分析与防堵方法探讨

曹龙龙<sup>1,2</sup>, 张恒春<sup>1,2\*</sup>, 闫家<sup>1,2</sup>, 吴纪修<sup>1,2</sup>, 赵俊杰<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000;

2. 自然资源部定向钻井工程技术创新中心, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**取心钻进中常会遇到含裂隙或破碎地层,岩心进入钻头后由于围压消失,地应力释放导致岩心会沿裂隙碎裂成块,在进入岩心管时形成堵塞形态阻碍后续岩心继续入管,严重时岩心互相对磨消耗,导致岩心采取率不足,地层资料缺失。岩心堵塞已成为取心钻进中影响取心质量和钻进效率的重要因素,岩心破碎状态和堵心形态复杂,钻进中在钻具的动态干扰下岩心堵塞机理难以掌握,使得岩心解堵成为取心钻进中面临的一大难题。本文通过岩心堵塞形态理论模型的建立,从岩心碎裂后在岩心管内形成的典型堵塞形态和变化规律进行分析,对易堵心地层的取心参数规程提出建议,并根据所列举的典型岩心堵塞形态对防堵方法进行研究探讨。

**关键词:**提钻取心;易堵心地层;岩心堵塞;堵心识别;防堵方法

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)S1-0078-07

## Analysis of core blockage morphology and exploration of anti-blockage methods in trip round coring

CAO Longlong<sup>1,2</sup>, ZHANG Hengchun<sup>1,2\*</sup>, YAN Jia<sup>1,2</sup>, WU Jixiu<sup>1,2</sup>, ZHAO Junjie<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;

2. Technogoly Innovation Center for Directional Drilling Engineering, Ministry of Natural Resources, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** During core drilling, it is common to encounter fractured or fragile formation. When the core enters the drill bit, due to the disappearance of confining pressure and the release of geostress, the core will break into blocks along the fractures. When entering the core tube, it forms a blockage form which hinders the entry of the subsequent core into the tube. In severe cases, the core will wear and consume each other, resulting in insufficient core recovery rate and the missing of formation data. Core blockage has become an important factor affecting core quality and drilling efficiency in core drilling. The state of core fragmentation and blockage morphology are complex, and it is difficult to grasp the mechanism of core blockage under the dynamic interference of drilling tools during drilling, making the core unblocking a major challenge in core drilling. By establishing a theoretical model of core blockage morphology, this paper analyzes the typical blockage morphology and variation patterns formed in the core tube after core fragmentation, suggestions on coring parameter specifications for formations prone to blocking are posed, and based on the typical core blockage patterns listed, the anti blockage methods are put forward and discussed.

**Key words:** trip round coring; formation prone to plugging; core blockage; core blockage identification; anti-blockage methods

收稿日期:2024-07-29 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.S1.011

基金项目:自然资源部定向钻井工程技术创新中心开放课题“绳索定向取心钻具分动机构方案设计及试验研究”(编号:PY202305);中国地质调查局地质调查项目“甘肃北山铜镍金矿高效精准勘探技术研究”(编号:DD20242017)

第一作者:曹龙龙,男,汉族,1989年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事科学钻探、取心工艺与器具方面研究工作,河北省廊坊市金光道77号,13833686142@163.com。

通信作者:张恒春,男,汉族,1987年生,高级工程师,钻井工程专业,硕士,主要从事取心钻探和深部钻探技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号,zzhhec2002@163.com。

引用格式:曹龙龙,张恒春,闫家,等.提钻取心岩心堵塞形态分析与防堵方法探讨[J].钻探工程,2024,51(S1):78-84.

CAO Longlong, ZHANG Hengchun, YAN Jia, et al. Analysis of core blockage morphology and exploration of anti-blockage methods in trip round coring[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1):78-84.

## 0 引言

钻探施工中会钻遇各类复杂地层,比如水敏性地层、弱胶结地层、极度破碎地层等,有时也会钻遇产状比较特殊的地层,比如高角度裂缝发育地层,在这些地层取心钻进时极易发生岩心堵塞。岩心在管内或钻头处形成堵塞形态时会产生较大的摩擦阻力,阻碍后续岩心继续入管,不仅严重影响钻进速度,且入管受阻的岩心会被钻头重复磨削消耗。为保证岩心采取率,堵心严重时通常停止回次钻进。取心钻进中堵心已成为一种普遍现象,在不同地层、不同工况、应用不同取心工具及工艺<sup>[1-2]</sup>时岩心堵塞形态都有不同特征。本文基于提钻取心钻进中常用的双管单动取心钻具类型,结合工程应用实例对提钻取心过程中的几种典型堵心形态进行分析研究,对取心防堵措施以及钻进规程参数优选提出合理建议。

## 1 岩心堵塞形态分析

岩心堵塞已成为易堵心地层取心钻进中影响钻进效率和岩心采取率的主要因素。取心钻进中堵塞岩心会使后续岩心入管受阻,减小钻头唇面有效钻压,降低机械钻速<sup>[3]</sup>,严重堵心会导致岩心入管阻力不断增大、入管速度缓慢,岩心在堵心部位由于钻具机械作用而互相挤压、磨耗,为了避免大量岩心被消耗,迫使提前终止回次钻进。对于大口径提钻取心,回次取心长度减少会大幅降低综合钻探效率。堵心难以有效预防和解除是因为堵心形态复杂,地层岩石被钻头钻取成柱状岩心后围压消失应力释放,入管时在钻头回转振动作用下碎裂或沿发育裂缝破碎形成各种堵心形态<sup>[4]</sup>。根据取心钻进中遇到的堵心情况,将岩心堵塞形态归为两类:岩心碎块挤压式堵心和高角度裂缝楔形堵心。

### 1.1 岩心碎块挤压式堵心

取心钻进中遇到破碎或弱胶结地层,岩心被钻头钻取后随着应力释放碎裂成块,在钻具回转和振动干扰下碎裂形态继续发展,岩心柱原状被破坏,碎块棱角与卡簧座及岩心卡簧表面接触摩擦力增大,入筒阻力也随之增大,同时,在钻压反作用力下碎块挤压堵塞加剧形成堵心形态,如图1所示。

岩心在通过卡簧及卡簧座位置时未形成堵心形态,顺利进入岩心管,钻进中受钻具持续振动和回转扰动影响,破碎或带有裂隙的岩心在岩心管内

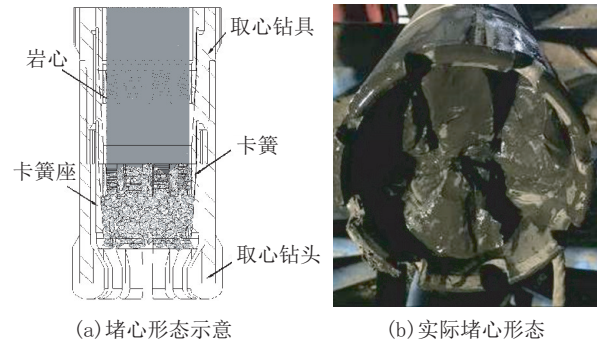


图1 卡簧及卡簧座处碎块堵心形态

上行过程中因围压消失逐渐碎裂,岩心碎块之间的积聚形态在不断变化,某一状态下与岩心管内壁摩擦阻力增大,岩心管内上行阻力增加,形成了堵心初步形态,后续岩心入管持续受阻,机械钻速下降。堵塞的岩心与岩心管内壁摩擦阻力增大到一定值时,钻速严重下降,继续钻进困难,此时堵心形态见图2。

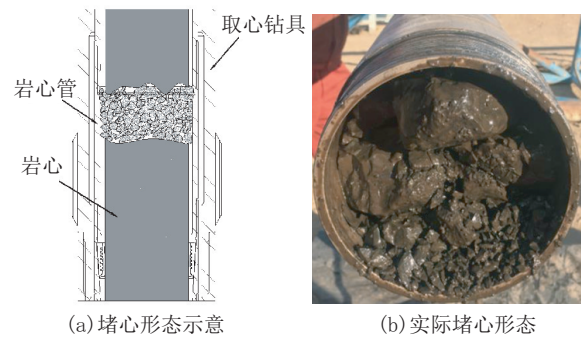


图2 岩心管内碎块堵心形态

### 1.2 高角度裂缝楔形堵心

裂隙是岩石中由于地质作用影响而产生的裂缝,是一种很常见的地层构造现象。按照倾角分类有垂直裂缝、高角度裂缝、低角度裂缝、水平裂缝。其中高角度裂缝的倾角在 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间。高角度裂缝楔形堵心形态是指岩心沿着裂缝楔形面错位移动后形成楔形挤压力,把钻压的反作用力和上部岩心的自重通过楔形面转化成了侧向挤压力,将岩心推向岩心管内壁,岩心与岩心管内壁本来存在的环隙消失而摩擦力增大,楔形堵心原理与受力分析示意如图3所示,对裂缝下部岩心进行受力分析:

$$f = F\mu \quad (1)$$

$$F = N' \tan \alpha \quad (2)$$

$$N' = N - f - G \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)可得:

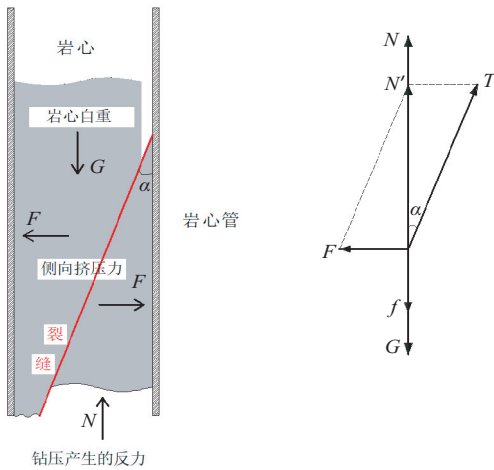


图3 楔形堵心原理示意与受力分析

$$f = \frac{(N - G)\mu \tan \alpha}{1 + \mu \tan \alpha} \quad (4)$$

式中： $f$ ——岩心与岩心管内壁的动摩擦力； $F$ ——对岩心的侧向挤压力，即加载在岩心上的径向正压力； $\mu$ ——岩心表面与岩心管内壁的动摩擦系数； $G$ ——岩心自重； $N$ ——钻压产生的反力。

依据式(4)，随着钻压增大 $N$ 越大，岩心与岩心管内壁的动摩擦力 $f$ 越大，岩心入筒上行的阻力也增大，岩心堵塞情况进一步加剧，当 $N=0$ 时岩心无法继续上行，岩心堵死。

高角度裂缝发育地层，柱状岩心进入钻头后因围岩消失，沿裂隙面滑动错位形成楔形，受上部岩心的重力和下部岩心传递的钻压反作用力挤压，楔形状岩心逐渐错位形成楔形挤压力，岩心与卡簧座及卡簧的内壁摩擦阻增大，岩心继续上行困难，即形成了楔形堵心形态，卡簧及卡簧座位置楔形堵心形态如图4所示，岩心管内楔形堵心形态如图5所示。增大钻压时，受钻压反力作用裂开的岩心相对位移增大，楔形挤压形成的侧向挤压力增加，岩心与钻具内表面的摩擦阻增大，进而岩心堵塞加剧。

## 2 工程实践中堵心识别与实例分析

### 2.1 取心钻进中堵心参数识别与数据验证

岩心堵塞已成为影响取心钻进效率和取心质量的一大难题，在取心钻进过程中堵心情况时有发生，通过地面参数变化有效识别岩心堵塞，有助于准确判断井底取心钻进状况，及时调整钻进参数，减少因岩心堵塞导致的岩心磨损和钻具磨损<sup>[5-6]</sup>。取心钻进过程中钻具与地层之间的作用力如图6所示(仅

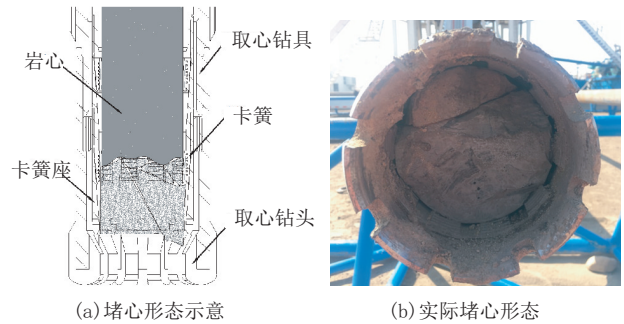


图4 卡簧及卡簧座处楔形堵心形态

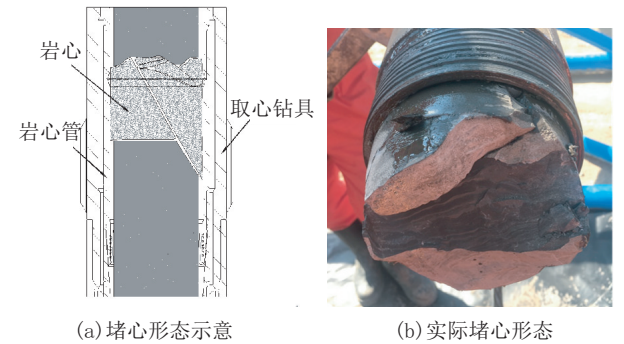


图5 岩心管内楔形堵心形态

分析与堵心相关的轴向受力)，未堵心时钻头唇面对地层的作用力 $N$ 等于传递到钻头唇面上的有效钻压 $P$ ，此时岩心与岩心管内壁的摩擦阻力 $f$ 很小，可视为0；堵心后 $f$ 增大，即岩心入管阻力变大，此时钻头唇面对地层的作用力 $N$ 与摩擦阻力 $f$ 之和等于传递到钻头唇面上的有效钻压 $P$ ，因此岩心与岩心管内壁的摩擦阻力 $f$ 越大，钻头唇面对地层的作用力越小。

地表(转盘或顶驱)驱动与井底动力螺杆钻驱动

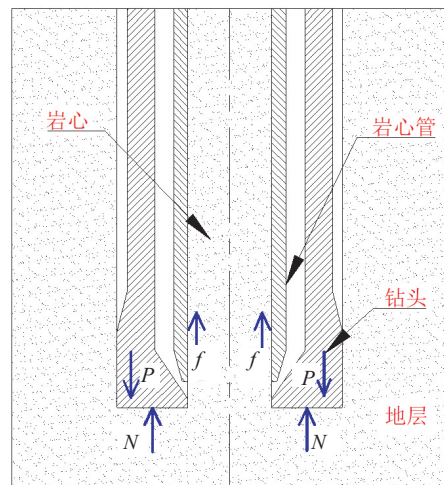


图6 取心钻进过程中钻头与地层作用力示意

取心钻进中,堵心时地表参数反馈有所不同。地表驱动取心钻进中堵心时钻速下降、扭矩逐渐减小并趋于平稳,井底动力螺杆钻驱动取心钻进中,堵心时钻头唇面对地层的作用力减小,螺杆钻负载减小,地表反馈为泵压、扭矩同时降低,变化幅度明显减小。以某井  $\text{O}215.9\text{ mm}$  井眼螺杆钻井底动力驱动取心钻进中,回次取心钻进数据和岩心出井时的破碎形态为例来分析,该取心回次进尺  $4.24\text{ m}$ ,根据钻具出井岩心堵塞后的出筒阻力和岩心形态,结合钻进中对应井段的参数显示进行堵心识别分析,图7中井段1为岩心碎块挤压堵心,对应图8中1段的微钻时增大,扭矩和泵压减小;井段2为岩心碎块挤压堵心,岩心磨损痕迹明显,井段3为楔形堵心,对应图8中2和3段微钻时增大、泵压和扭矩有明显下降趋势;井段4和井段5处岩心破碎,碎块挤压堵心严重,

对应图8中4和5段微钻时明显增大,泵压和扭矩下降且变化幅度减小,5处微钻时持续上升、泵压持续下降、扭矩平缓,推测钻头唇面对地层的有效钻压已下降,岩心堵塞严重,终止回次钻进。



图7 某回次获取的  $\text{O}119\text{ mm}$  岩心  $4.24\text{ m}$

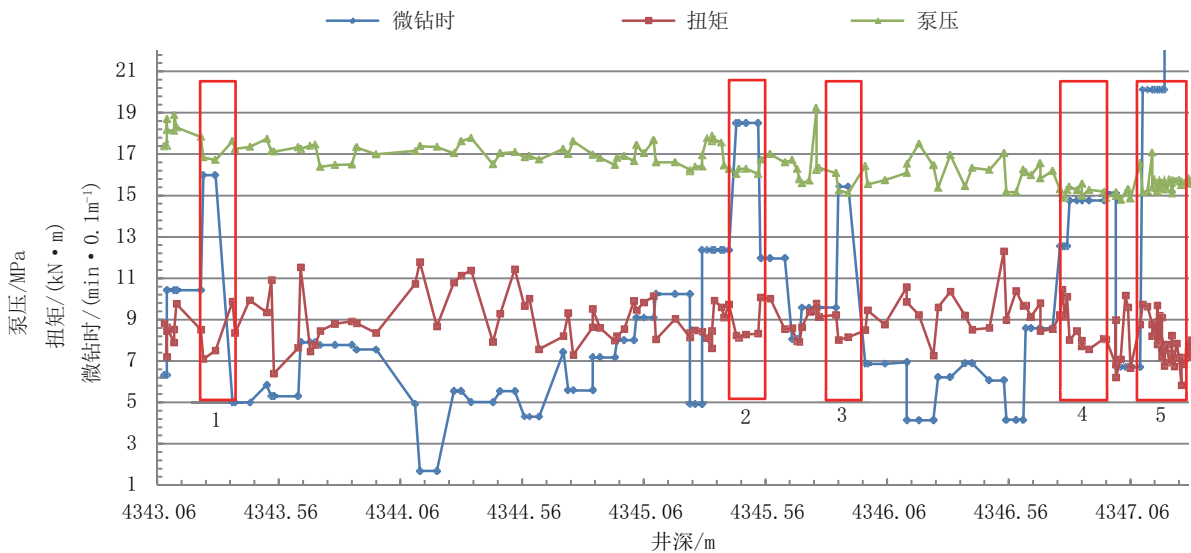


图8 某回次取心钻进中微钻时、扭矩与泵压变化关系

### 2.2 工程堵心实例分析

在新疆玛湖地区实施的一口油气探井中,应用KT型双管单动取心钻具进行了长井段连续取心,取心井径为  $\text{O}215.9\text{ mm}$ ,岩心直径为  $\text{O}124\text{ mm}$ ,取心过程中钻遇破碎及高角度裂隙发育的云质泥岩地层,岩心堵塞情况频发,严重影响了回次进尺长度和岩心采取率<sup>[7-8]</sup>,取心回次中各参数指标及堵心情况如表1所示。

累计常规取心钻进26回次,其中出现堵心工况

有14回次,占总回次数的53.85%,从图9中可看出堵心回次(红色纵线标记回次)机械钻速、回次进尺和岩心采取率偏低,在第3和第6、7、8回次钻进中,发生堵心后未能及时识别地表反馈显示,未采取钻进参数调整或终止取心等措施,导致堵心后岩心磨损严重,岩心采取率不足;后期第14、15以及第20、21、22回次中,在发现泵压、扭矩等趋向堵心显示时,及时调整钻进参数并跟踪观察反馈显示,分析堵心情况,或采取终止取心等措施,有效保障了岩心采取率。

表1 某井取心钻进中堵心实况记录与分析

回次	驱动	井段/m	进尺/m	岩心/m	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	堵心情况记录与分析
1	顶驱	4577.34-4587.92	10.58	10.27	0.52	无堵心现象
2	顶驱+螺杆钻	4587.92-4604.36	16.44	16.44	0.96	碎块挤压堵心终止钻进
3	顶驱+螺杆钻	4604.36-4605.00	0.64	0.30	0.18	钻头处楔形堵心终止钻进
4	顶驱+螺杆钻	4605.00-4620.88	15.88	15.88	0.36	钻进中多处碎块挤压堵心明显
5	顶驱+螺杆钻	4620.88-4641.38	20.50	20.50	0.87	无明显堵心
6	顶驱+螺杆钻	4641.38-4645.47	4.09	3.28	0.22	岩心极度破碎,全程碎块挤压堵心明显
7	顶驱+螺杆钻	4645.47-4657.81	12.34	6.38	0.37	地层裂隙发育,岩心破碎,全程碎块挤压堵心明显
8	顶驱+螺杆钻	4657.81-4662.48	4.67	4.67	0.29	岩心破碎强烈,全程碎块挤压堵心明显
9	顶驱	4662.48-4672.80	10.32	9.12	0.35	进尺8.5m后碎块挤压堵心明显
10	顶驱	4672.80-4693.05	20.25	20.25	0.47	无堵心现象
11	顶驱+螺杆钻	4693.05-4714.00	20.95	20.95	0.71	无堵心现象
12	顶驱+螺杆钻	4714.00-4743.67	29.67	29.67	0.53	进尺10m后楔形堵心频繁,楔形堵心终止钻进
13	顶驱+螺杆钻	4743.67-4774.25	30.58	30.58	0.64	树心时碎块挤压轻微堵心
14	顶驱+螺杆钻	4774.25-4786.56	12.31	12.31	0.77	钻头处碎块挤压堵心终止钻进
15	顶驱+螺杆钻	4786.56-4800.68	14.12	14.12	0.58	钻头处楔形堵心终止钻进
16	顶驱+螺杆钻	4808.87-4829.97	21.10	21.10	0.99	无堵心现象
17	顶驱+螺杆钻	4829.97-4861.47	31.50	31.50	1.22	无堵心现象
18	顶驱+螺杆钻	4861.47-4892.76	31.29	31.29	1.14	无堵心现象
19	顶驱+螺杆钻	4892.76-4934.73	41.97	41.97	1.56	无堵心现象
20	顶驱+螺杆钻	4934.73-4946.43	11.70	11.63	0.76	碎块挤压堵心、钻头处楔形堵心终止钻进
21	顶驱+螺杆钻	4946.43-4951.34	4.91	4.91	0.51	岩心破碎,碎块挤压堵心与楔形堵心明显,终止钻进
22	顶驱+螺杆钻	4951.34-4961.41	10.07	9.69	0.39	楔形堵心、碎块挤压堵心严重,终止钻进
23	顶驱+螺杆钻	4961.41-4982.28	20.87	20.87	0.75	无明显堵心现象
24	顶驱+螺杆钻	4982.28-5012.34	30.06	30.06	0.79	无明显堵心现象
25	顶驱+涡轮钻	5012.34-5022.91	10.57	10.57	1.22	无明显堵心现象
26	顶驱+涡轮钻	5022.91-5031.11	8.20	8.20	0.72	无明显堵心现象

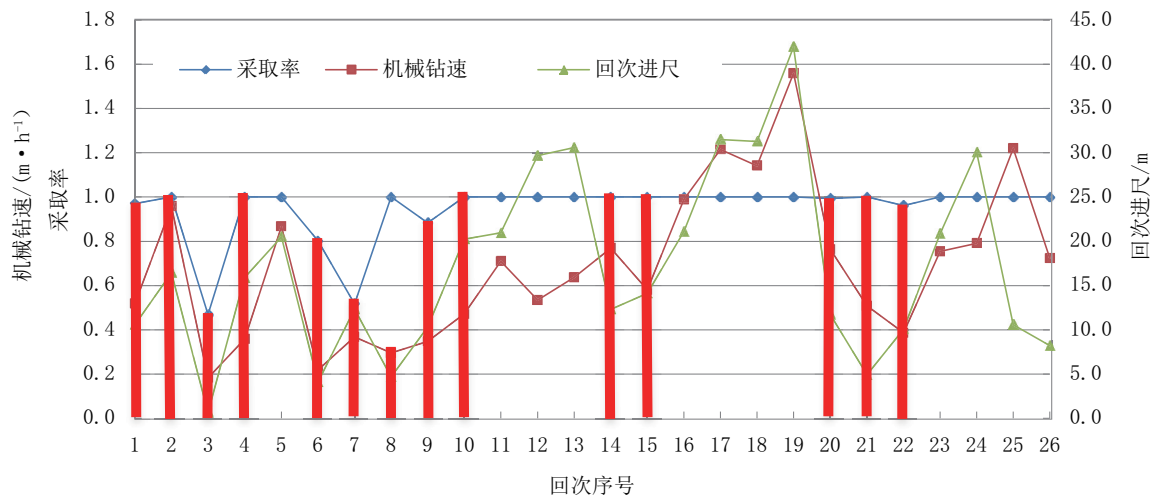


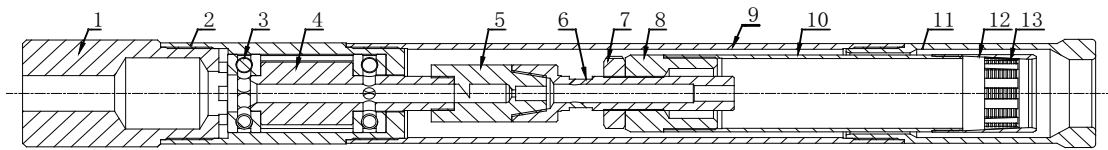
图9 岩心采取率、机械钻速与回次进尺的变化关系

### 3 防堵或解堵方法探讨

#### 3.1 防堵或解堵取心工具

防堵或解堵取心钻具类型较多,其中有通过钻具内总成上设置液力振荡机构实现防堵功能的<sup>[9-10]</sup>,当取心过程中发生岩心堵塞时,通过调节泥浆排量或投球等方式,使得钻具液力振荡机构对岩心管产生一定频率的横向振动,反复改变碎块岩心在岩心管内上行过程中的聚集形态,防止岩心碎块

挤压堵死,钻具原理示意如图10所示。另外有通过设计迭式分节岩心衬管实现岩心解堵功能的,岩心发生堵塞时与岩心管内壁摩阻力增大,当增大至一定值时会打开迭式岩心管锁止机构,推动分节岩心衬管上行,多节衬管可实现岩心多次解堵作用。还有通过岩心管内壁增加涂层,减小岩心与岩心管内壁摩擦力,缓解堵心等。



1—上接头;2—轴承腔;3—轴承;4—上轴;5—水力脉冲振荡机构;6—下轴;7—锁紧螺母;8—内管接头;9—外管;10—内管;11—钻头;12—卡簧座;13—卡簧

图10 带水力脉冲振荡防堵取心钻具原理示意

#### 3.2 防堵或解堵取心工艺

在取心钻进中遇到易堵心地层,可通过调整取心工艺来缓解堵心,常用的有井底动力冲击回转复合取心工艺,钻具组合如图11所示,冲击回转取心工艺利用液动锤的高频轴向震击,实时改变岩心碎块挤压聚集形态,通过岩心碎块的动态变化,减小

岩心碎块与岩心管壁的摩阻力,避免岩心碎块在某种聚集状态下挤压堵塞甚至堵死,有效缓解破碎地层堵心,该工艺在大陆科学钻探1井火成岩地层成功应用<sup>[11]</sup>,机械钻速与回次进尺指标均明显优于其他方法,如图12所示,防堵与解堵效果明显。

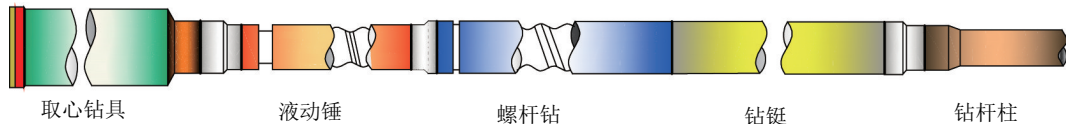


图11 冲击回转取心工艺钻具组合示意

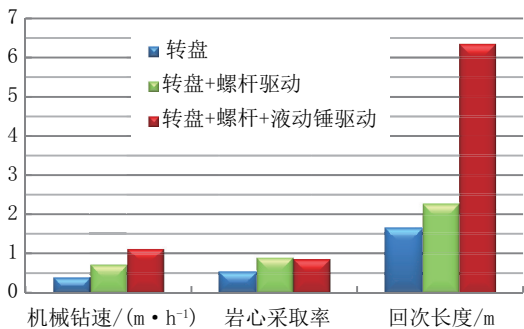


图12 冲击回转取心工艺在科钻1井岩心解堵应用效果

钻头不脱离井底,一定范围内调整转速或排量(带螺杆钻取心),再逐级增大钻压恢复钻进,察看解堵情况;在楔形裂缝发育地层,钻进中要适当控制钻压,在岩心堵塞初步阶段,钻速下降不可增大钻压,控制“小钻压、低转速”钻进,减缓楔形裂缝堵心的加剧。在上述工程实例中第16回次以后,采取“小钻压、低转速”的优化措施后,楔形裂缝造成的堵心情况得到一定程度缓解。

#### 3.3 取心钻进参数优化解堵

取心钻进中岩心在管内发生堵塞时,通过地表参数判断并识别堵心,及时优化钻进参数或措施,以达到减少岩心磨损的目的<sup>[12]</sup>。观察泵压和扭矩有明显的堵心征兆时,上提钻具至钻压为0,既保证

### 4 结语

(1)取心钻进中岩心堵塞形态复杂,受地应力大小及地层裂隙发育情况、钻具结构参数及其在井底的动力学状态、钻井液性能等因素影响。岩心入管后的形态及碎块聚集状态在各因素影响下处于

动态变化,依靠地表参数显示分析岩心堵塞类型具有一定困难,需根据大量的工程实践经验,结合同类型地层前后回次钻进参数显示及出井后的岩心形态,综合分析判断。

(2)碎块挤压堵心和高角度裂缝楔形堵心属于岩心堵塞的两种典型形态,碎块挤压堵心通过上提活动钻具、改变转速等措施调整钻具井底受力状态,改变碎块积聚堵塞形态来缓解堵心,高角度裂缝楔形堵心需及时控制钻压,避免大钻压致使楔形力增大,造成堵心加剧。

(3)防堵与解堵心取心钻具中,目前以岩心管内壁增加涂层类型,在工程实践中应用较多,此方法在一定程度上可缓解堵心。冲击回转取心工艺通过大量工程实践证明,其在大段破碎地层取心防堵和解堵效果明显,是解决破碎地层易堵心问题行之有效的一种途径。

(4)岩心堵塞问题分析与判断影响因素多,防堵与解堵取心工具与工艺的选取,以及取心钻进中钻遇堵心后的措施优化,均需结合大量工程实践经验和井位所在区域地层情况、邻井资料综合分析判断、施策,才能获得预期效果。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 朱永宜,王稳石,张恒春,等.我国大陆科学钻探工程实施概况及其取心钻进技术体系[J].地质学报,2018,92(10):1971-1984.
- [3] 赵远刚,张伟.液动锤钻进减轻岩心堵塞机理的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,(7):81-83.
- [4] 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,(7):65-68.
- [5] 王稳石,张恒春,闫家.科学超深井硬岩取心关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014(1):9-12.
- [6] 田家林,朱志,程文明,等.新型随钻取心钻头破岩提速工作机理[J].天然气工业,2018,38(6):97-104.
- [7] 曹龙龙,张恒春,王稳石,等.准噶尔盆地玛页1井长筒取心技术[J].钻探工程,2022,49(5):94-99.
- [8] 康克利,李明,李浪.中长筒取心技术在玛页1井的应用[J].新疆石油天然气,2020,16(1):38-40,3.
- [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.
- [10] 蒋庆祥,宋维华,许俊良,等.防堵报警取心工具在吉林油田的应用[J].石油矿场机械,2008(6):78-81.
- [11] 王达,张伟,贾军.特深科学钻探的关键问题[J].科学通报,2018,63(26):2698-2706.
- [12] 张建国.复杂地层取心堵心原因及预防措施研究[J].中国矿山工程,2021,50(1):52-55.

(编辑 王文)