

可控局部热熔钻头的研制与应用试验

巩建雨¹, 王久全², 杨彪¹, 童健活¹, 曹昌兴², 万代进¹

(1. 河北省煤田地质局水文地质队, 河北邯郸 056000; 2. 金石钻探(唐山)股份有限公司, 河北唐山 063000)

摘要: 岩心是了解地层和含矿特征最直观、最实际的资料。复杂地层资源勘查采用常规取心钻具的取心率往往满足不了规范或设计要求。泥岩、泥页岩互层等易造浆地层进行矿产资源勘查时, 绳索取心钻杆内壁结垢, 导致内管投不到底而无法采用; 小型化的单动双管取心钻具较短, 仅用于矿层取心; 采用单管取心钻具卡心方式是岩心+卡簧(或岩粉、卡料)+钻头(或岩心管)三者之间配合的“挤力”卡心, 三者之间往往因配合存在极大的不确定性而导致回次岩心采取率的不确定性, 岩心采取率无法得到保障。为此, 利用孔底温度及粘接剂粘接温度 ≤ 2 倍粘接剂熔点温度 ≤ 2 倍钻探用金刚石材料的安全使用温度, 研制出一种干、湿钻法下的可控局部热熔钻头, 将卡心方式优化为岩心爪封闭钻头内径的“托举”卡心, 并与单管岩心管组合进行了取心实验, 取心率达75%以上, 解决了常规单管岩心管存在卡心不牢、卡心不确定性的技术难题。为类似地层的钻探施工提供了新的思路, 可借鉴、推广、普及。

关键词: 可控局部热熔钻头; 粘接剂; 岩心爪; 托举卡心

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0132-06

Development and application test of controllable local hot melt bit

GONG Jianyu¹, WANG Jiuquan², YANG Biao¹, TONG Jianhuo¹, CAO Changxing², WAN Daijin¹

(1. Hydrogeology Team of Hebei Coalfield Geology Bureau, Handan Hebei 056000, China;

2. Jinshi Drilling (Tangshan) Co., Ltd., Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: Core is the most intuitive and practical data for understanding geological strata and ore bearing characteristics. The heart rate of conventional coring tools used in complex geological resource exploration often fails to meet the requirements of standards or design. When conducting mineral resource exploration in mudstone, mudstone shale interbedded and other mud prone formations, scaling occurs on the inner wall of the rope drill pipe, causing the inner pipe to not be fully inserted and unable to be used; The miniaturized single action double tube coring drilling tool is relatively short and only used for coring in mineral layers; The use of a single tube coring drilling tool is a "squeezing force" jamming method between the core, retaining spring (or rock powder, retaining material), and drill bit (or core tube), which often leads to uncertainty in the recovery rate of the secondary core due to the high degree of uncertainty in the fit between the three, and the core recovery rate cannot be guaranteed. To this end, a controllable local hot melt drill bit for drilling using dry and wet drilling methods was developed by utilizing the temperature at the bottom of the hole and the bonding temperature of the adhesive ≤ 2 times the melting point temperature of the adhesive ≤ 2 times the allowable temperature of the dimmonds material. The core clamping method was optimized to use a "lifting" core to seal the inner diameter of the drill bit with a core claw, and core sampling experiments were conducted in combination with a single tube core tube. The core sampling rate reached over 75%, solving the technical problem of weak and uncertain core clamping in conventional single tube core tubes. This provides a new approach for drilling engineering construction in similar geological formations, which can be referenced, promoted, and popularized.

Key words: controllable local hot melt drill bit; adhesive; core claws; lift and hold the rock core

收稿日期: 2024-07-31 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.019

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)股份有限公司项目(编号: FZJS230201)

第一作者: 巩建雨, 男, 汉族, 1973年生, 高级工程师, 一直从事钻井技术管理、区域治理和离层注浆技术等工作, 河北省邯郸市邯山区华山东街9号, gjy6520998@163.com。

引用格式: 巩建雨, 王久全, 杨彪, 等. 可控局部热熔钻头的研制与应用试验[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 132-137.

GONG Jianyu, WANG Jiuquan, YANG Biao, et al. Development and application test of controllable local hot melt bit[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 132-137.

0 引言

岩心是了解地层和含矿特征最直观、最实际的资料。基于不同的矿产资源勘查需求,取心钻进的要求也不尽相同。特别是地质勘探和环境科学钻探,对钻进取心的质量要求越来越高。然而,当前在资源勘探中经常出现的技术问题有卡心、堵心、掉心等,严重制约着取心质量,特别是泥岩、泥页岩互层等易造浆地层,无较好的取心工具,基于此,研制了“一种干、湿钻法下的可控局部热熔钻头”^[1](以下简称可控局部热熔钻头),并与单管取心钻具组合,取心率达75%以上,解决了该类地层取心率低的技术难题。为类似地层的钻探工程施工提供了一种新的思路,可借鉴、推广、普及。

1 矿产资源勘探常规取心工具与技术现状

当前矿产资源勘探中常规取心工具有:单管取心、双动双管取心、单动双管取心和绳索取心4种,其工艺各有优缺点,适用的地层不同,取心质量也不相同。

1.1 单管取心工具

单管取心工具是最早应用的一种常用工具,钻进时克取的岩心进入单管内,卡取岩心后把单管及岩心提到地表,适用于坚硬、完整、不怕冲刷的岩矿层。卡取岩心时,常用卡簧及适当的卡料(石料、铅丝等),单管钻进时,单管与单管内的岩心有相对运动,并受冲洗液的冲蚀,影响取心效果^[2],常因岩心、卡簧(卡料)及与钻头内径存在配合不当,导致岩心采取率得不到保障。

1.2 双动双管取心工具

双管双动取心工具是在单管取心工具的基础上优化而来,增加了一层外管,避免了泥浆对岩心的冲刷,适用于松软、松散、破碎及怕冲刷的岩矿层,同样因岩心、卡簧(卡料)及与钻头内径存在配合不当,导致岩心采取率得不到保障,目前,双动双管取心工具已很少采用。

1.3 单动双管取心工具

常规单动双管取心工具不受地层的影响,取心质量能够得到保障,但其主要用于石油钻井,如常用的取心工具单筒长9200~9500 mm左右,可双筒或多筒连装使用,如中国地质调查局勘探技术研究所的KT系列单动双管取心工具,2015年已经成功应用于松辽盆地科学钻探工程,实现了岩心管三筒

联装,回次进尺超30 m^[3],仅有KT-298、KT-194两种规格,其系列的最小适用井眼 $\varnothing 142.9$ mm^[4],未有与地勘钻机相匹配的长度及外径适中的取心工具。小型化的单动双管取心工具较短,如ZQM-89型半合管式单动双管取煤器外管长2500 mm,煤心每回次可取2000 mm^[5],仅用于目的层的矿层取心,不适用于其它非目的层段的取心,若采用,不经济。

1.4 绳索取心工具

以上3种取心工具每回次终了,均需将钻具取出孔内,辅助时间长,劳动强度大,不适用于深井取心,但绳索取心钻具克服了以上缺点,是目前常用的取心工具。但在泥岩、砂质泥岩、泥质砂岩、泥质粉砂岩等易造浆地层,采用绳索取心钻进工艺时,粘土颗粒、岩粉、没有完全溶解的化学处理剂或有机物等产生的各种絮状物,在离心力的作用下附着在钻杆内壁上,加之粘土和有机聚合物等的粘结作用使得附着在钻杆内壁上沉积物脱水变得更加结实,钻杆实际的内径也变得更小,造成打捞器在下放或内管提升时很难通过^[6],故该类地层不适用采用绳索取心工艺。

针对不同的地层,国内外学者为提高岩心采取率,在取心钻具设计方面开展了大量的研究^[7-13],主要是从岩心的防震、防冲刷、降低进心阻力、防脱、防堵等几方面进行了改进,均取得了较好的效果。而对易造浆地层,只能采用单管取心钻具,其卡心原理是依靠岩心+卡簧(或岩粉、卡料)+钻头(或岩心管)三者之间配合的“挤力”卡心,但三者之间往往因配合不当,导致回次岩心丢心,严重影响采取率。为此,研发了可控局部热熔钻头,并与单管取心钻具组合,将“挤力”卡心优化为岩心爪封闭钻头内径的“托举”卡心,确保了克取的岩心全部取到地表。

2 干、湿钻法下可控局部热熔钻头的研制

2.1 钻头结构设计

2.1.1 钻头结构组成

在钻头胎体上接近钻头的唇部,根据钻头内径的大小开2~6个天窗,每个天窗内装入一组岩心爪,每组岩心爪由岩心爪、心轴、扭簧、天窗组成,钻头结构见图1。

样品钻头的外径 $\varnothing 112$ mm,内径 $\varnothing 75$ mm,与 $\varnothing 108$ mm岩心管连接使用,岩心爪为四瓣(见图2)。

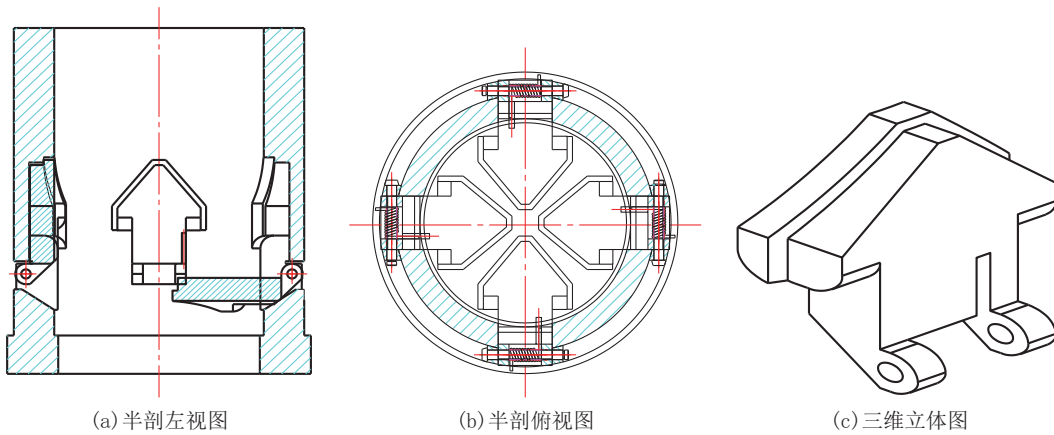


图1 钻头结构

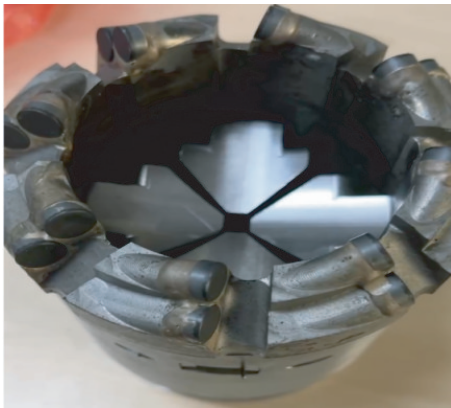


图2 钻头样品

2.1.2 设计依据

2.1.2.1 适用孔深及孔底温度

本钻头适用于第二找矿、勘探与开发深度空间。中国科学院院士滕吉文^[14]认为第二找矿、勘探与开发深度空间是指500~2000 m的深度空间；矿产资源勘查目前主要集中在第二深度空间，地壳的近似平均地热梯度是25℃/1000 m^[15]，由此推测，2000 m的孔底温度在50℃左右。

2.1.2.2 金刚石材料的损害温度

专家学者对钻探用金刚石材料随温度变化规律做了一系列的研究，吴海东^[16]研究得出金刚石钻头材料的强度和耐磨性在600℃以上才会发生剧烈的变化，在400℃以下金刚石材料各性能变化很小。王殿江等^[17]实验得到孕镶金刚石钻头在无冲洗液情况下钻进，胎体温度增长非常迅速，距唇面0.3 mm处的温度增长率可达23℃/s，唇面温升速度更高。确定试验钻头达到微烧只需25 s，达到烧钻温度也只有40~60 s。距唇面0.3 mm处钻头温度达

350℃时，钻头一切正常，温度达540℃时，钻头唇面有轻微氧化色，钻头已发生微烧。黄伟^[18]论证了轻微烧钻使磨钝的金刚石脱落，露出新的金刚石，也是一种人工出刃的方法，用于“打滑”岩层。由此得到的共识是金刚石的安全使用温度不超过350~400℃，轻微烧钻在某些地层有益于钻进。

2.1.2.3 岩心爪的闭合与开启原理

岩心爪的闭合与开启是依靠控制孔底温度影响粘结剂熔点来实现的，即利用粘结剂固、液态之间的转化，固态时，粘结剂具有粘结性，将岩心爪与钻头的内壁粘结，实现闭合；液态时，粘结剂失去粘结性，使岩心爪与钻头的内壁脱离，实现开启。

2.2 粘合剂的性能与选型

2.2.1 粘合剂的性能选择

粘合剂材料的选择是关键，应具有以下特性：

(1)熔点温度适中、可控。熔点温度应大于钻头钻进时孔底温度，且低于钻探用金刚石材料的损害温度，并均应富余一定的安全系数，安全系数最好为2左右，100℃为最佳。

(2)经济性。减少钻头的综合经济成本，利于推广普及。

(3)粘合力强。粘合剂的粘合力应满足钻进时孔内及岩心的多次重复撞击而使岩心爪不脱落。

(4)粘合速度快、现场操作简单。回次取心后，在整理岩心的极短时间内，可将岩心爪重新恢复完好，粘合于钻头的内壁，不影响钻具下回次的入孔下钻。

2.2.2 粘合剂的选择

本次选用的粘合剂为热熔胶，其性能满足2.2.1中的要求，其熔点为105~115℃，粘合强度为 \geq

1.5~2.0 kg/25 mm^[19]。它是一种可塑性的粘合剂,在一定温度范围内其物理状态随温度改变而改变,而化学特性不变,其无毒无味,属环保型化学产品。因其产品本身系固体,便于包装、运输、存储、无溶剂、无污染、无毒型,以及生产工艺简单,高附加值,粘合强度大、速度快等优点而备受青睐^[20]。

2.2.3 粘合剂熔点温度的来源与热熔温度控制

回次钻进结束取心时,停止循环泥浆,多次反复上下提拉钻具和钻进,钻头与岩石每次间隔摩擦5~15 s,使钻头的温度升高至粘合剂热熔胶的熔点时,岩心爪失去粘合力,在重心偏心和扭簧力的作用下,倾向钻头内径,卡住岩心,上提钻具表现悬重增加,继续扭提钻具,卡断岩心,封堵钻头内径,悬重恢复,即可提钻,进入岩心管内的岩心可全部取出孔外。

2.3 卡心原理与特点

2.3.1 钻进时,岩心进入钻头时无任何附加阻力

目前,国内拥有的取心工具采用单作用岩心爪偏多,双作用岩心爪也时有出现,一般用卡板与卡箍,滑块与弹簧片等结合,不仅可靠性较差,而且直接裸露在内筒外面或钻头里面。岩心经岩心爪进入内筒或岩心筒时,受到卡板、卡箍等的附加阻力影响岩心直接进入^[21]。研制钻头的岩心爪取心钻进时应隐藏于钻头胎体内,钻头胎体内平,局部无空腔,岩心进入钻头时无任何附加阻力,克服了松软破碎岩心进入空腔胎体段时会散开、破坏岩心的柱状性,使岩心进入钻头尾部、内筒或岩心筒更加困难的技术难题。

2.3.2 取心时,全封闭钻头内径,托举卡心

该钻头取心时,隐藏于钻头胎体内的岩心爪可以顺利的张开,全封闭钻头内径,托举卡心,克服了当前卡心依靠岩心+卡簧(或岩粉、卡料)+钻头(或岩心管)三者之间配合的挤力存在极大不确定性的弊端。

2.3.3 岩心爪闭合与开启可控

泥浆循环情况下长孔段湿式钻进时,岩心爪闭合,隐藏于钻头胎体内,胎体内平;取心提钻时,干式钻进一定时间,热熔胶融化,岩心爪开启,封闭钻头内径,防止进入岩心管的岩心脱落。

2.4 钻头加工工艺与参数控制

2.4.1 钻头主体的加工

钻头主体的加工分成两部分,第一部分为钻头

胎体,另一部分为岩心爪盖板。两部分分别由加工中心加工,加工完成后再组装焊接,最后按照加工预留尺寸精加工。

加工主要依据前期的三维设计,通过预先设计好的数据参数绘制钻头胎体三维图,三维图导入编程软件,通过确定走刀路线和加工顺序、定位和夹紧方案、刀具与工件的夹紧位置、切削用量,最终加工出零部件。

2.4.2 岩心爪的加工

包括以下加工工艺:

(1)根据加工要求选择 $\varnothing 3$ mm立铣刀,然后用弹簧夹头刀柄装夹 $\varnothing 3$ mm立铣刀,刀具号设为T01。

(2)将已装夹好刀具的刀柄采用手动方式放入刀库,手动将T01刀具装上主轴。

(3)清洁工作台,安装夹具和工件,将平口虎钳清理干净装在干净的工作台上,通过百分表找正、找平虎钳,再将工件装正在虎钳上。

(4)对刀,确定并输入工件坐标系参数,用寻边器对刀,确定X、Y向的零偏值,将X、Y向的零偏值输入到工件坐标系G54中,G54中的Z向零偏值输入为0。

(5)输入加工程序,将计算机生成好的加工程序通过数据线传输到机床数控系统的内存中。

(6)调试加工程序,采用将工件坐标系沿+Z向平移即抬刀运行的方法进行调试,调试主程序,检查刀具是否按照工艺设计完成换刀动作;调试子程序,检查刀具动作和加工路径是否正确。

(7)自动加工,确认程序无误后,把工件坐标系的Z值恢复原值,将快速移动倍率开关、切削进给倍率开关打到低挡,按下数控启动键运行程序,开始加工。

2.4.3 复合片的镶焊

复合片切削齿先进行预处理:将复合片切削齿喷砂、丙酮清洗、涂焊膏等预处理,电加热炉内预加热至380℃保温待用。

复合片焊接方式采用中频感应加热与氧-乙炔加热相结合。焊接时,将复合片钻头体放到感应线圈里,需要焊接的部分均匀覆盖焊剂,然后打开焊机加热,加热功率10~15 kW,复合片钻头需要上下移动,以保持加热均匀。复合片钻头整体温度达到600℃左右时点燃焊枪,火焰采用弱碳化焰,焊枪选

用 $\varnothing 1.5$ mm喷嘴,并迅速把焊料放置各个孔中,然后用镊子将复合片一一摆好后开始焊接,用焊枪对准焊孔加热,使焊料完全熔化,充分转动以确保复合片的外圆均匀沾满焊料,用镊子对复合片钻头施加一定的压力,然后迅速撤掉焊枪,让金刚石复合片冷却即可。

3 局部热熔取心与干钻卡心试验与风险分析

3.1 试验目的

验证可控局部热熔钻头设计的实用性、岩心采取率、存在的缺陷及烧钻的风险等性能指标。

主要开展了以下几个方面的工作:

(1)无热熔胶粘结情况下,做天窗冲洗液短路及短路后能否发生烧钻的试验。

(2)在地面做热熔胶粘结情况下岩心爪的粘结力及开启温度试验。

(3)孔内做有、无热熔胶的取心钻进及卡心试验。

3.2 试验过程

试验设备:XY-44型钻机、A型钻塔(18.5 m)、NBB-260/7型泥浆泵、温度计、定制热熔胶等配套材料。

钻具连接: $\varnothing 112$ mm可控热熔钻头+ $\varnothing 108$ mm岩心管4.5 m+立轴。

试验流程:钻头天窗冲洗液短路试验→岩心爪开启温度及粘结力试验→有、无热熔胶的取心钻进试验。

3.3 试验结果

3.3.1 钻头天窗冲洗液短路流量

试验用冲洗液为清水,NBB-260/7型泥浆泵在额定流量下,调节不同的挡位,计量冲洗液从钻头天窗和钻头唇部的各自流量(见表1)。

表1 额定流量下的流量分配

Table 1 Flow allocation table at rated flow rate

泵流量/ (L·min ⁻¹)	天窗流量/ (L·min ⁻¹)	钻头唇部/ (L·min ⁻¹)
35	10	25
60	18	42
106	30	76
167	50	117
260	75	185

钻头在无热熔胶粘结、冲洗液循环短路的情况下,还有约2/3的冲洗液从钻头的唇部通过,故不会发生烧钻,可正常钻进施工。

3.3.2 岩心爪的开启温度

将钻头放入容器内,给容器加热,同步观测容器内的温度,岩心爪的开启温度为98℃。

3.3.3 岩心爪的粘结强度

岩心爪粘结后,受钻头空间的限制,无法直接试验,常温下,进行了同面积的粘接强度测试,用拉力器拉,单个岩心爪拉开为500 N,4个岩心爪拉开不小于1600 N。

3.3.4 有、无热熔胶粘接岩心爪情况下的取心

(1)无热熔胶粘接岩心爪情况下的取心:在试验孔内填入12粒石子,规格10~20 mm之间,散状,不做水泥浆或粘土胶结,段长约1.5 m。钻进参数为:转速83 r/min,泵量60 L/min,钻压1~2 kN,钻进时间40 min,进尺1 m,心长0.9 m,岩心采取率90%。

(2)有热熔胶粘接岩心爪情况下的取心:在实验孔内为养护28天的C30承台混凝土, $f_{cu}=38.2$ MPa,段长约3 m。钻进参数为:转速217 r/min,泵量167 L/min,钻压1~2 kN,钻进时间60 min,干热熔胶用时5 min(含辅助上下提钻等),进尺1.5 m,心长1.4 m,岩心采取率93%。

由实验可知,可控局部热熔钻头岩心爪在有、无粘结剂粘接的情况下均可用于取心钻进,使用时应根据地层的实际情况合理选择。

4 结论

(1)提出了利用粘结剂热熔胶熔、固点之间的温度差实现岩心爪的粘结与开启,即达到了卡心的目的,同时,又利用热熔胶熔、固点与金刚石材料安全使用温度存在的温度差确保了金刚石材料不被热损破坏。

(2)改变了传统岩心的卡心方式,由岩心+卡簧(或岩粉、卡料)+钻头(或岩心管)三者之间配合的挤力卡心,优化为岩心爪封闭钻头内径的托举卡心,确保了克取的岩心全部取到地表。

(3)试验钻头的结构设计基本上达到了设计目的,但在实践中还需做以下的试验:进一步做生产一线的广泛性地层的适用性试验,及时发现问题,优化改进;受试验平台的限制,无法做岩心爪在岩

心反复撞击情况下的脱胶试验,需要在砾石层较厚的地层中进一步验证;做热熔胶与不同冲洗液体系下的匹配性试验。

参考文献:

- [1] 巩建雨,董凯飞,王卫民,等.一种用于干、湿钻法钻取岩心的可控局部热熔钻头:202110833481.4[P].2021-11-02.
- [2] 郭永锋,杨凌雪,吴嵩.单管取芯技术在松散地层中的应用——以银川活断层探测为例[J].中国科技纵横,2009(11):152-153.
- [3] 王稳石,隆东,闫家,等.松科2井二开大口径同径取心钻进技术[M].中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015:749-754.
- [4] 李诚铭,杨红伟,孙金凤,等.新编石油钻井工程实用技术手册[M].北京:中国知识出版社,2006:885-888.
- [5] 姚亚峰,李宗奎,赵永哲,等.ZQM-89型半合管式单动双管取煤器的研制[J].煤炭工程,2006(4):84-87.
- [6] 杨亿.绳索取心钻进钻杆内壁结垢及其泥浆体系的选型分析[J].科技信息,2011(4):789-792.
- [7] 成景民,冯会斌,王治中,等.深井灰岩破碎地层取心技术及应用[J].钻采工艺,2006,29(3):26-27,122.
- [8] 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.
- [9] 牛军辉.松散软及破碎地层绳索取心钻具的研制[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
- [10] 张永勤,刘辉,陈修星.复杂地层钻进技术的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2001(S1):159-162,165.
- [11] 欧阳涛坚.滑坡勘察中钻探取心钻具的改进及应用[J].工程勘察,2017,45(10):34-37.
- [12] 尹剑辉,王天琦.基于改进的单动双管钻具在破碎泥岩地层中的应用[J].工程勘察,2022,50(12):23-26.
- [13] 罗敦明,卢春华,王旭,等.松散、破碎、易冲蚀地层四重管密闭保形取心钻具研制[J].工程勘察,2019,47(7):1-4.
- [14] 滕吉文,杨立强,姚敬全,等.金属矿产资源的深部找矿、勘探与成矿的深层动力过程[J].地球物理学进展,2007(4):319-326.
- [15] 百度百科. [https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%B0%E6%B8%A9%E6%A2%AF%E5%BA%A6/6760201?fr=ge_alia\[EB/OL\].](https://baike.baidu.com/item/%E5%9C%B0%E6%B8%A9%E6%A2%AF%E5%BA%A6/6760201?fr=ge_alia[EB/OL].)
- [16] 吴海东.高温条件下金刚石钻头钻进实验研究[D].长春:吉林大学,2017:19-40.
- [17] 王殿江,袁公昱.孕镶金刚石钻头工作温升的实验研究[J].探矿工程,1991(6):1-3.
- [18] 黄伟.基于微钻平台金刚石钻头微烧出刃研究[J].超硬材料工程,2023(10),32-36.
- [19] 百度百科. [https://baike.baidu.com/item/%E7%83%AD%E7%86%94%E8%83%B6?fromModule=lemma_search-box\[EB/OL\].](https://baike.baidu.com/item/%E7%83%AD%E7%86%94%E8%83%B6?fromModule=lemma_search-box[EB/OL].)
- [20] 国内热熔胶的现状与发展[J].化工文摘,2002(2).
- [21] 李兵,吴尚利.应用全封闭取心技提高松软破碎地层岩心收获[J].钻采工艺,1994(1):11-14.

(编辑 荐华)