

关于钻探工程中洗孔工艺的分析研究

汤凤林^{1,2}, 沈中华², 段隆臣¹, 彭 莉², ЧИХОТКИН В.Ф.¹

(1.中国地质大学(武汉),湖北 武汉 430074; 2.无锡钻探工具厂有限公司,江苏 无锡 214174)

摘要:洗孔是钻探工程中的重要环节。冲洗介质在孔内进行循环,可以达到清洗孔底、携带和悬浮岩屑、冷却钻头和保护孔壁的目的。不同的洗孔工艺可以产生不同的复杂情况。冲洗液孔底反循环,由于冲洗液是反向循环,与岩心进入岩心管的方向一致,因此可以提高在裂隙、破碎、性脆、软硬不均等复杂地层钻进时采取岩心的数量和质量。俄罗斯莫斯科国立地质勘探大学 KULIKOV V.V.博士等人在洗孔方面做了很多的研究工作,提出了钻孔钻进时洗孔复杂情况的分类,对地质钻探中常用的无泵钻具钻进、喷射式钻具钻进和气举钻具钻进时的洗井工艺问题进行了分析与讨论,提出了相应的建议。

关键词:钻孔冲洗;复杂情况;孔底反循环;无泵钻进;喷射式钻具;气举钻具

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)09-0005-07

Analytical Research on Flushing Technology in Drilling Engineering/TANG Feng-lin^{1,2}, SHEN Zhong-hua², DU-AN Long-chen¹, PENG Li², CHIKHOTKIN V.F.¹(1.China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2.Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: Flushing technology is an important link in drilling engineering. Circulation of flushing fluid in the hole can clean hole bottom, cool drill bit, carry & suspend cuttings and protect the hole wall. Different flushing processes can produce different complicated situations. Due to the same direction of reverse circulation of flushing fluid at the bottom hole and the core entering into the core barrel, the quantity and quality of cores can be improved in the fissured, fractured, brittle and unequal hardness formations. Doctor KULIKOV V.V., who works in Moscow State Geological and Prospecting University in Russia, and some others have carried out a lot of scientific works in the hole flushing technology, present the classification table of complicated flushing situations in drilling process, analyze and discuss the flushing technology in geological drilling with commonly used drilling with no pump technology, jet core drill and air-lift core drill, and some corresponding suggestions are put forward.

Key words: hole flushing; complicated situations; reverse circulation at bottom hole; drilling with no pump; jet core drill; air-lift core drill

1 概述

钻孔冲洗(洗孔)是钻探工程中的重要环节,其本质是冲洗介质在孔内进行连续循环或定期循环,达到清洗孔底、携带和悬浮岩屑、冷却钻头和保护孔壁的目的。

洗孔方式对保全岩心起着重要作用,冲洗介质一方面可以冲毁和冲蚀松散软弱和易溶的岩心,另一方面在正循环的情况下,又可以把因机械作用而破坏的岩心颗粒从岩心管内冲走,特别是轻颗粒、易溶解和挥发的成分最容易损失,从而造成岩心样品成分的人为歪曲。可见,不同的洗孔工艺可能产生不同的复杂情况^[1-6]。

这种复杂情况的种类很多,俄罗斯莫斯科地质

勘探大学 KULIKOV V.V.博士等人在洗孔方面做了很多的科学研究和综合分析工作,提出了钻孔钻进时洗孔复杂情况的分类(见图 1),并对地质钻探中常用的无泵钻具钻进、喷射式钻具钻进和气举钻具钻进时的洗井工艺问题进行了分析与讨论,提出了相应的建议^[7-16]。

冲洗液孔底反循环与正循环相比的优点是:由于冲洗液是反向循环,与岩心进入岩心管的方向一致,避免了冲洗液对岩心的正面冲刷和液柱压力对岩心造成的挤压和磨损,有利于岩心进入岩心管,减少了流失和重复破碎;同时还能使岩心在岩心管内呈悬浮状态,减轻了相互研磨和选择性磨损,因此可以提高在裂隙发育、破碎、性脆、软硬不均的地层钻进

收稿日期:2018-03-05

基金项目:江苏省江苏双创团队资助项目(编号:苏人才办[2014])27号)

作者简介:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院院士,俄罗斯自然科学院院士,国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路 388 号,fttang_wuhan@aliyun.com。

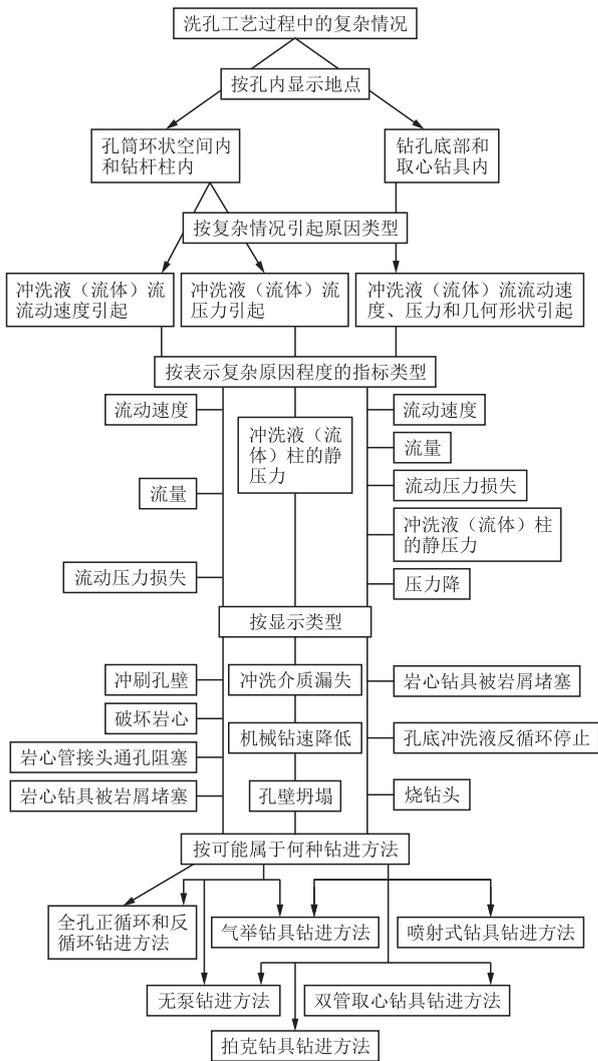


图1 洗孔工艺过程中复杂情况分类

时取心的数量和质量。

现就地质钻探中常用的无泵钻具钻进、喷射式钻具钻进和气举钻具钻进时的洗井工艺问题讨论如下。

2 无泵反循环钻进洗井工艺

无泵反循环钻进,即钻进中不用水泵进行冲洗钻孔,而是利用孔内的静水压力和上下提动钻具在孔底形成局部反循环而实现冲洗孔底的钻进。其工作原理是,在回转钻进的同时,频繁上下提动钻具,上提钻具时,球阀关闭,粗径钻具有类似活塞的抽吸作用,将含有岩粉的冲洗液吸入岩心管中。下放钻具时,被吸进的冲洗液在压力作用下,冲开球阀,并从其上的回水口流出,岩粉沉淀于取粉管中。反复提动钻具即可使冲洗液在孔底形成局部反循环,达到清除岩粉、冷却钻头和提高了心数量和质量的目的。

钻具向上提动时,球阀关闭,岩心管内压力减小,冲洗液流由于压力降的原因,克服外环状间隙(孔壁和岩心管之间)和内环状间隙(岩心管和岩心之间)的水力阻力和钻头中的水力阻力,从外环状空间向岩心下方的空间流动(见图2)^[7]。

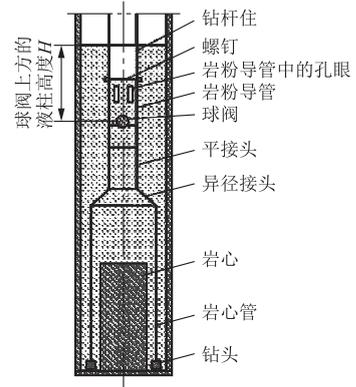


图2 钻孔无泵钻具用钻具示意图

无泵钻进的效果,在很大程度上取决于冲洗液流动过程中水力阻力的大小。一方面,提升钻具时,这种流动水力阻力越小、在粗径钻具中的压力越小,则冲洗液流量越大,液流运送能力越大,最终导致岩心采取率越高。另一方面,下降钻具时液体通过球阀和继续通过岩粉导管孔眼流动水力阻力越小,则在这个水力流动过程中的流量越高,岩心管中的压力越小,冲洗液从内环状空间向外环状空间流动的用量越小,其结果是岩心材料保护的越好。

可见,从孔内提升钻具时粗径钻具中压力最小和用于摩擦损失的压力损失最小,以及投放钻具时上下提动钻具过程中球阀开启需要的压力最小,是保证孔底形成岩心岩粉材料并保存岩心岩粉材料的最为主要的因素。

2.1 提升钻具的情况

钻具提升到孔底上方 h 高度时,根据波义尔—马里奥特(等热膨胀)定律,得出粗径钻具内绝对压力最小值 P_2 为^[7]:

$$P_2 = [P_0 + \rho g (1 - k_1) H_{km}] \frac{1 - k_1 \alpha^2}{1 - \alpha^2 (k_1 - h/H_{km})} \quad (1)$$

式中: P_0 ——大气压力; ρ ——冲洗液密度; g ——重力加速度; H_{km} ——岩心管长度; k_1 ——岩心管充满岩心系数; $\alpha = d_k/d_{km}$; d_k ——岩心直径; d_{km} ——岩心管内径; h ——钻具提升高度。

粗径钻具内绝对压力最小值 P_2 与钻头外径 D_{kop} 、岩心管充满岩心系数 k_1 的关系,见图3。

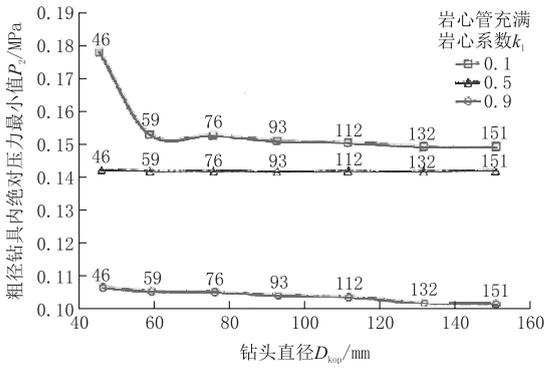


图 3 钻具提升时,粗径钻具内绝对压力最小值 P_2 与钻头直径 D_{kop} 、岩心管充满岩心系数 k_1 的关系

从图 3 可见,提升钻具时,粗径钻具中的压力随钻头直径的增加而减小,随岩心管充满岩心系数的减少而增加。所以,利用大直径钻头时,可以期望得到较高的岩心采取率。虽然提升钻具时,岩心管内的压力随岩心管充满岩心系数的增加而减少,但是,同时粗径钻具内冲洗液流动的阻力也增加了^[7]。

2.2 提升钻具时用于摩擦的压力损失

提升钻具时,压力损失主要部分是由于外环状空间和内环状空间内的线性水力阻力和钻头中的水力阻力引起的。假设线性阻力系数是个常数,我们利用达西—别斯巴赫公式,得到用于摩擦的压力损失 P_{mp} :

$$P_{mp} = 8\lambda\rho H_{km} \frac{Q^2}{\pi^2} \left[\frac{1}{(D_{kop} - D_{km})(D_{kop}^2 - D_{km}^2)^2} + \frac{k_1}{(d_{km} - d_k)(d_{km}^2 - d_k^2)^2} \right] + P_{kop} \quad (2)$$

式中: λ ——线性水力阻力系数; ρ ——冲洗液密度; H_{km} ——岩心管长度; Q ——提升钻具时冲洗液的体积用量; D_{kop} ——钻头外径; D_{km} ——岩心管外径; d_{km} ——岩心管内径; d_{kop} ——钻头内径; k_1 ——岩心管充满岩心系数; d_k ——岩心直径; d_{km} ——岩心管内径; P_{kop} ——钻头中的压力损失。

$$Q = \frac{\pi d_k^2 h}{4t}$$

式中: t ——冲洗液充满岩心管中腾出体积所花费的时间,代入式(2),得^[7]:

$$P_{mp} = 0.5\lambda\rho H_{km} \frac{h^2}{t^2} \left[\frac{1}{(D_{kop} - D_{km})(D_{kop}^2 - D_{km}^2)^2} + \frac{k_1}{(d_{km} - d_k)(d_{km}^2 - d_k^2)^2} \right] + P_{kop} \quad (3)$$

用于摩擦的压力损失计算结果见图 4^[7]。

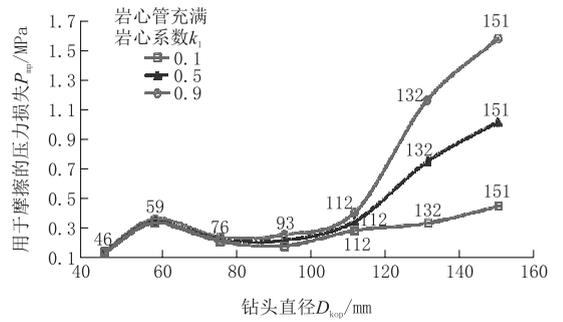


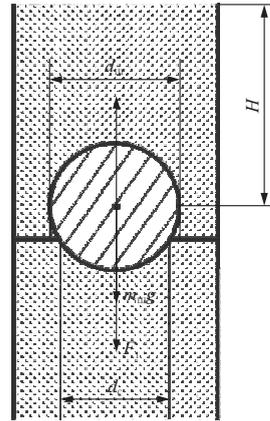
图 4 提升钻具时用于摩擦的压力损失 P_{mp} 与钻头直径 D_{kop} 、岩心管充满岩心系数 k_1 的关系

从图 4 可见,直径 112~151 mm 钻头用于摩擦的压力损失最大,直径 46~112 mm 钻头用于摩擦的压力损失最小。这是因为,钻头和岩心管直径增加时,决定水力阻力大小的液流当量直径没有成比例地改变所致。因此,可以期待利用直径 76~112 mm 钻头进行无泵钻进时可以得到最高的岩心采取率。

2.3 钻具下放的情况

冲洗液从岩心管排出时开启球阀所需要剩余压力为 P (见图 5), 阀座直径 d_c , 则为了平衡球阀所需要的力 F 为:

$$F = \frac{\pi d_c^2}{4} P$$



d_m —球的直径; d_c —阀座直径; H —球上方的液柱高度

图 5 钻具投放开始时,作用到球阀上的力的示意图

从图 5 得知:

$$F = m_m g + F_1 - F_2$$

式中: F_1 、 F_2 ——作用到球阀上的力; m_m ——球的质量。

$$F_1 = (\pi/4) d_m^2 \rho g H$$

式中: d_m ——球的直径; H ——球上方的液柱高度。

$$F_2 = (\pi/4) (d_m^2 - d_c^2) \rho g H$$

代入、整理后,得:

$$P = (2/3)\rho_{\text{III}}g(d_{\text{III}}^3/d_c^2) + \rho gH \quad (4)$$

式中: P ——投放钻具时岩心管内需要的剩余压力;
 ρ_{III} ——球阀材料密度。式(4)表明,为了减小压力 P ,亦即为了减小冲洗液从粗径钻具内环状空间流入钻孔外环状空间的液流的流量,以及为了保护岩心,必须减小球体材料的密度,增加阀座直径,最主要的是要减小球阀的直径,使其接近阀座直径。

根据进行的分析,可以做如下结论:

(1)在使用的无泵钻进钻具中,钻头外径 76~112 mm 的粗径钻具中的水力阻力最小。使用这种钻具可以得到好的岩心采取率和好的取心质量。

(2)在设计新的无泵钻进的粗径钻具专用结构时,需要考虑粗径钻具的水力动力学特征。水力学最完善的结构应能保证在从孔内提升钻具时岩心管内的压力最小和用于摩擦的压力损失最小。

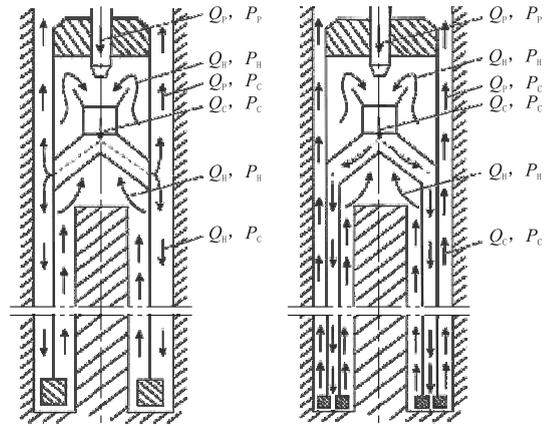
(3)投放无泵钻进的钻具时,为了减少提放过程中冲洗液从内环状空间向外环状空间的数量,球阀部件的结构应能满足以下要求:阀座孔眼直径应是最大许用直径;球阀直径应该近于阀座通孔直径;球阀材料平均密度应该接近岩矿浆密度($\rho_{\text{III}}/\rho = 1.3 \sim 1.4$, ρ 为岩矿浆密度)。

3 喷射式钻具钻进的洗孔工艺

喷射式钻具是形成孔底反循环冲洗的钻具,也称喷反钻具。其工作原理是由水泵送来的高压冲洗液流,在沿钻杆进入喷嘴时,由于喷嘴内腔呈锥形,且出口直径较小,在压力差的作用下,下部岩心管中的液体被抽吸到扩散腔中,进入混合管形成负压抽吸液流。这种高压冲洗液流和负压抽吸液流混合,进行能量交换(高压射流动能变为压力能,被吸液体变为动能),流入扩散室,经分水接头排水孔排出。排出的冲洗液一部分在剩余压力作用下,沿钻杆和孔壁环状间隙返回地面,另一部分在负压作用下,进入岩心管内形成孔底反循环,冲洗钻孔。这种负压抽吸作用是造成孔底反循环的主要原因。

为了在可钻性 9~12 级裂隙、破碎和层状岩石中钻进时可以得到符合要求的岩心采取率,可以使用不同结构的喷反钻具。喷反钻具可以是单管钻具,也可以是双管钻具,见图 6^[7]。

但是,大量实验研究和生产实际表明,在钻进 1~5 级可钻性岩石时,回次进尺短,其使用受到影响。经过研究可以认为其主要原因是,随着岩心管内



(a) 单管喷射取心钻具

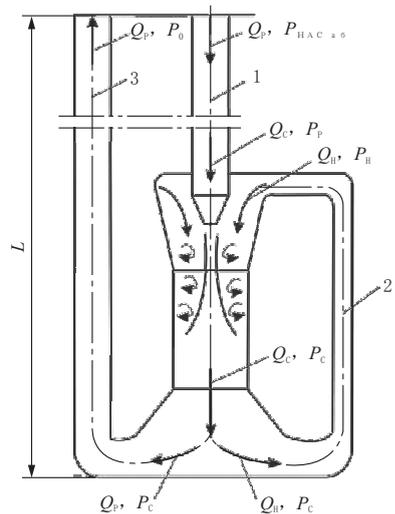
(b) 双管取心钻具

Q_P, Q_H, Q_C —分别是工作液流、负压抽吸液流和混合液流的体积流量; P_P, P_H, P_C —分别是工作液流、负压抽吸液流和混合液流的绝对压力

图 6 喷反取心钻具钻进时液体流动示意图

充满岩心和岩粉材料,由于取心钻具内水力阻力数值增大、不好控制,而使上返液流流量降低所致。

为了确定喷射液流数值变化的规律性、找到降低取心钻具内的水力阻力,可以采用射流装置工作的试验理论研究成果^[7],通过液体流动工艺原理示意图将其用于喷射取心钻具(图 7)。



Q_P, Q_H, Q_C —分别是工作液流、负压抽吸液流和混合液流的流量; P_P, P_H, P_C —分别是工作液流、负压抽吸液流、混合液流的绝对压力; P_0, P_{HACatm} —大气压力和冲洗液泵出口处的压力; L —孔筒长度;1—钻杆柱内下行液流;2—取心钻具内的上返液流;3—钻孔环状空间内的返流

图 7 喷射式取心钻具钻进时孔内液体流动工艺示意图

俄罗斯科研人员 Соколов Е.Я. 和 Зингер Н.М. 等人对射流式喷反钻具工作原理进行了大量的理论分析和试验研究,得到了下列成果公式^[7]:

$$Q_H = 0.23Q_P \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{P_{TPKH}}{CQ_P^2 L}}\right) \quad (5)$$

$$C = \frac{8\lambda\rho\cos\theta}{(D_C - D_{GM})\pi^2(D_C^2 - D_{GM}^2)^2}$$

式中: Q_P 、 Q_H ——工作液流、负压抽吸液流流量;
 P_{TPKH} ——取心钻具内流动时的摩擦压力降; L ——
 孔筒长度; λ ——线性水力阻力系数; ρ ——冲洗液
 密度; θ ——钻孔长度平均顶角大小; D_C 、 D_{GM} ——钻
 孔直径和钻杆外径。

分析(5)式可见:

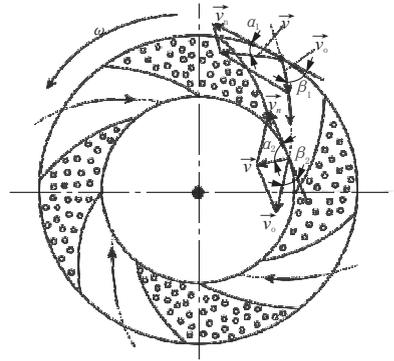
(1)孔深越小,则产生负压抽吸的喷射液流量
 Q_H 越小。这是因为,在其他条件相同情况下,液体
 在岩心钻具内的上返流动受到 P_C 和 P_H 压力差的
 制约,即受到 $\Delta P_C = P_C - P_H$ 数值的制约。孔深越
 小,则混合液流压力 P_C 越小,相应地 Q_H 数值也越
 小。所以,在生产条件下看到的浅孔钻进时回次提
 前结束,可能是由于孔内液柱压力小因而 Q_H 流量
 不足引起的。所以可以通过增加钻探水泵的供水
 量,即增加 Q_P 来增加 Q_H 来解决这个问题。

(2)钻探水泵供给的流量 Q_P 越大,负压抽吸的
 喷射流量 Q_H 越大。所以,在广泛范围内有效控制
 的水泵供给量 Q_P ,是在复杂地质条件下成功使用喷
 反钻具的重要条件。

(3)液体在取心钻具中流动的水力压力 P_{TPKH}
 越大,则负压抽吸喷射液流 Q_H 的数值越小。压力
 在取心钻具中的损失是由压力在岩心和岩心管间隙
 中的损失以及在钻头中的压力损失组成的。第一个
 (岩心管内)压力损失在负压抽吸流量 Q_H 减少时
 可以减小。第二个(钻头内)压力损失,在对钻头水
 路系统进行适当改进和保持负压抽吸流量 Q_H 不变
 的条件下,也是可以减小的。

(4)金刚石钻头的水路系统。水路系统形状随
 意的钻头回转时,冲洗通道中的液流也是转动的。
 换句话说,在充满液体的钻孔中回转的钻头,可在
 结构上起到离心泵没有起到的作用。依靠钻头回
 转而形成的液流(或形成的压力降),在孔底反循环
 冲洗时,会阻碍液体在岩心管中的流动,而且,回
 转速度越高,离心泵的作用越大。为了排除这种可
 在取心钻具内大大增加水力阻力(高达 0.1 MPa)和
 减少负压抽吸喷射液流的离心作用,而且要在结构
 上保证流体的向心(向取心钻具内)流动,应该把金

刚石钻头的冲洗通道剖面做成与离心泵轮叶剖面
 反向,使轮叶逆转方向向后折回的形状(见图 8)。液
 体绝对运动速度向量和移动速度向量间的夹角,在
 进入冲洗通道和从冲洗通道出来时分别为 $8^\circ \sim 15^\circ$
 和 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。为此,钻头扇形块前刃剖面应该有
 近于对数螺旋线的形状。这种剖面的冲洗通道,不
 仅可以保持上返负压抽吸液流继续流动,还可以把
 破碎的岩屑有效送入岩心管内。



ω —钻头回转角速度; \vec{v}_n 、 \vec{v}_o 、 \vec{v} —冲洗液在冲洗通道中的
 移动速度、相对速度和绝对速度; α_1 、 α_2 —冲洗液进入冲洗
 通道和离开冲洗通道绝对速度向量和移动速度间的夹
 角, $\alpha_1 = 8^\circ \sim 15^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$; β_1 、 β_2 —冲洗液进入冲洗通道和
 离开冲洗通道时冲洗液流动相对流动速度和移动速度向
 量间的夹角, $\beta_1 = 25^\circ \sim 40^\circ$, $\beta_2 = 25^\circ \sim 30^\circ$

图 8 保证冲洗液向中心流动的金剛石钻头
 冲洗系统的结构示意图

采取上述这些工艺措施(浅孔钻进时采用大流量
 的工作液流,在广泛范围内调节工作液流的供给量,
 使用特殊剖面冲洗通道的钻头),可以扩大喷反钻具
 进行钻进的使用范围,并且可提高回次进尺的长度。

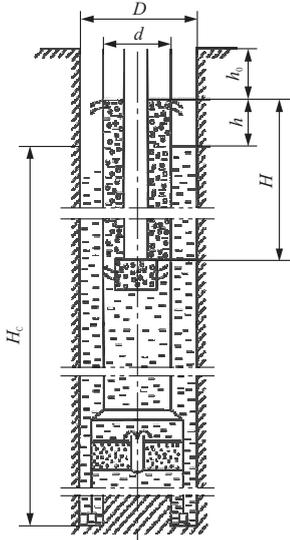
4 气举钻具钻进的洗孔工艺

为了钻进易溶岩矿层(如岩盐)以及在裂隙发育
 冲洗液严重漏失的条件下得到合格的岩矿心采取
 率、提高取心质量,可以采用气举反循环钻具。其工
 作原理是:把由进气管送来的空气压入钻杆柱内,此
 时钻杆柱用作升液管。进气管放入钻杆柱内一定的
 深度,钻杆柱内形成气水混合物,其密度低于钻杆
 与孔壁间隙中冲洗液的密度,而钻杆与孔壁的间隙
 与钻杆内部空间是一连通器,因此处于钻杆与孔壁
 间隙中的冲洗液,在液体静力作用下挤入升液管内。
 挤进来的冲洗液经过钻头,携带岩粉和岩心进入岩
 心管内腔。与其他孔底反循环钻具一样,在岩心钻
 具上部有闭口式岩粉收集器,使上返冲洗液中质量

较轻的岩粉汇集于是收集器中。

气举钻具钻进时,洗孔工艺过程需要根据洗孔工艺程序进行控制,该程序是以通过随着钻孔的加深而增加空气供给量的办法来保持液体上返液流动速度不变为基础的。

可以从地面(水池)向孔内供给冲洗液,也可以由钻孔穿过的含水层中供给冲洗液(见图9)。



h_0 —孔口到冲洗液溢出孔眼的距离; h —气液混合物高出冲洗液水面的距离; H —气液混合物柱高度; H_c —液柱在孔内的高度; D 、 d —分别是液流的大直径和小直径

图9 气举钻具钻进洗孔工艺计算用图

气举钻具钻进时,在钻孔钻进过程中保持液流速度不变是最重要的任务之一。速度不变,一方面可以形成并保护岩心材料,另一方面可以防止由于岩心钻具被岩屑阻塞而回次提前停止。

因为在钻孔钻进过程中,混合器潜入系数的大小和空气压缩机的空气供给量是不变的,所以由于水力阻力的增加,液流的速度(和流量)会减小。为了避免这一点,必须在钻孔钻进过程中,根据设计的洗孔工艺程序,加大空气的供给量。

根据水力静力学和气举钻具静力学理论研究、计算和公式推导,最后得到压缩机供给的空气量 Q_0 为^[7]:

$$Q_0 = \frac{\lambda \rho H_c Q^2 \left(\frac{1}{f_2^2} + \frac{1}{f_1^2} \right) + \rho g h}{P_0 \ln[0.1h(k-1)+1]} \times Q$$

$$\text{令 } A = \frac{\lambda \rho}{P_0 \ln[0.1h(k-1)+1]} \left(\frac{1}{f_2^2} + \frac{1}{f_1^2} \right)$$

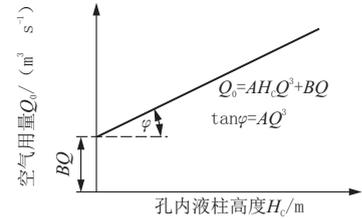
$$B = \frac{\rho g h}{P_0 \ln[0.1h(k-1)+1]}$$

则

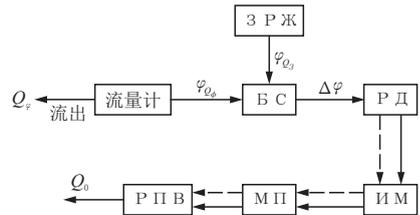
$$Q_0 = AH_c Q^3 + BQ \quad (6)$$

式中: λ ——线性水力阻力系数; ρ ——水的密度; H_c ——孔内液流高度; Q ——液体体积用量; d_3 ——液流当量直径; f_2 、 f_1 ——环状液流和圆柱状液流横断面面积; h ——气液混合物高出冲洗液水面的距离; k ——混合室吃入钻井液动水面的系数; P_0 ——大气压力。

从(6)式可见,随着钻孔深度的增加,必须与之成比例地增加空气压缩机的空气供给量(见图10a),利用气举钻具钻进洗孔稳定器,可以控制气举钻具洗孔工艺过程(见图10b)。



(a)



(b)

a—气举钻具钻进时,推荐的空气供给量与孔内液柱高度的关系图;b—气举钻具钻进时稳定器工作控制模块示意图;3PЖ—设计的液体用量模块;BC—对比模块;PД—逆向电动机模块;PПВ—压缩机供给空气调节器模块;MП—开关机构模块;ИМ—执行机构模块; Q_0 —空气用量; H_c —孔内液柱高度; Q —液体用量; Q_3 、 $Q_φ$ —液体的实际用量和液体的设计用量;—→—电信号通道;--→—机械信号通道; $φ_{Q_φ}$ 、 $φ_{Q_3}$ 、 $Δφ$ —电信号

图10 气举钻具钻进洗孔过程水力控制系统框图^[7]

稳定器工作系统是个自动单通道跟踪系统。空气压缩机的空气供给量调节器 PПВ 是自动控制的对象。保持可以保证液流上返运动所需速度的液体设计供给量 Q_3 和液体实际供给量 $Q_φ$ 相等,是气举钻具钻进洗孔工艺过程稳定的条件。

稳定器工作如下:与从孔内流出来的液体实际用量 $Q_φ$ 成比例的电信号 $φ_{Q_φ}$,从流量计出来,进入对比模块 BC 的一个零放大入口。在 BC 的另一个

入口,进入一个与液体设计(必要)用量 Q_3 成比例的电信号 φ_{Q_3} 。如果 φ_{Q_φ} 和 φ_{Q_3} 相等,则在对比模块 BC 上没有信号 $\Delta\varphi = \varphi_{Q_3} - \varphi_{Q_\varphi}$,即 $\Delta\varphi = 0$ 。如果液体实际用量 Q_φ 随着钻孔深度的增加而发生变化,则对比模块 BC 出口端发出的电信号 $\Delta\varphi$ 接通逆向电动机 ПД,逆向电动机 ПД 通过执行机构 ИМ(减速器)和开关机构 МП(摩擦离合器:如果开通,即是自动控制,如果断掉,即手动控制)调整空气压缩机供给量调节器 РПВ,直到出口液体实际用量 Q_φ 与设计用量 Q_3 相等为止。此时,对比模块 BC 的信号 $\Delta\varphi = 0$,则空气用量的调节停止。如此反复。

5 讨论与建议

根据上述分析,可以提出以下讨论和建议^[8-16]。

(1)洗孔是钻探工程中的重要环节,冲洗介质在孔内进行循环,可以清洗孔底、携带和悬浮岩屑、冷却钻头、保护孔壁,达到保证正常钻进、得到好的技术经济指标的目的。不同的洗孔工艺可以产生不同的复杂情况。提出的洗孔复杂情况分类,有助于更好地了解、分析和处理洗孔中出现的问题和选择妥善处理的措施。

(2)与洗孔正循环不同,冲洗液孔底反循环由于冲洗液是反向循环,与岩心进入岩心管的方向一致,避免了冲洗液对岩心的正面冲刷和液柱压力对岩心造成的挤压和磨损,有利于岩心进入岩心管,减少了流失和重复破碎;同时还能使岩心在岩心管内呈悬浮状态,减轻了相互研磨和选择性磨损,因此在裂隙发育、破碎、性脆、软硬不均的地层钻进时可以提高采取岩心的质量。

(3)无泵钻进时,从孔内提升钻具时粗径钻具中压力最小和用于摩擦损失的压力损失最小,以及投放钻具时上下提动钻具过程中球阀开启需要的压力最小,是保证孔底形成岩心岩粉材料并保存岩心岩粉材料的最为主要的因素。所用球阀直径应该近于阀座通孔直径,球阀材料平均密度应该接近岩矿浆密度。

(4)喷射式反循环钻进情况下,在浅孔钻进时建议采用大流量的工作液流,在广泛范围内调节工作液流的供给量,使用特殊剖面冲洗通道的钻头,这样可以扩大喷反钻具进行钻进的使用范围,并且可以提高回次进尺的长度。

(5)气举反循环钻具可以用于钻进易溶岩矿层(如岩盐)以及在裂隙发育冲洗液严重漏失的条件

下,得到合格的岩心采取率,提高取心的质量。气举钻具钻进时,在钻孔钻进过程中保持液流速度不变是最重要的任务之一。速度不变,一方面可以形成并保护岩心材料,另一方面可以防止由于岩心钻具被岩屑阻塞而回次提前停止。气举钻具钻进时洗孔工艺过程,需要根据洗孔工艺软件程序进行控制,该程序是通过随着钻孔的加深而增加空气供给量的办法来保持液体上返液流流动速度不变为基础的。

参考文献:

- [1] 朱恒银,王强,杨展,等.深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2014.
- [2] 朱恒银,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
- [3] 段隆臣,潘秉锁,方小红.金刚石工具的设计与制造[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2012.
- [4] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.深部各向异性硬岩钻进用新型金刚石钻头试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):74-79.
- [5] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.关于切削型多节式刮刀钻头的分析研究钻头的分析研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):88-92.
- [6] 汤凤林,А.Г.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [7] Куликов В. В. Научные основы промывки разведочных скважин в сложных геологических условиях[D]. Московский государственный геологоразведочный университет,2008.
- [8] Скоромных В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ[M]. Красноярск:СФУ,2012.
- [9] Борисов К. И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режущее — скальвующего действия [D]. Томский политехнический университет,2012.
- [10] Борисов К. И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режущее — скальвующего действия[J]. Вестник ЦКР Роснедра,2011,(4):51-58
- [11] Скоромных В. В. и др. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных породах [J]. Известия Томского политехнического университета,2015,326(4):30-40.
- [12] Скоромных В. В. и др. Анализ процесса разрушения анизотропной породы шарошечными долотами[J]. Известия Томского политехнического университета,2015,326(4):80-89.
- [13] Кубасов В. В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах[Z]. государственный геологоразведочный университет,2015.
- [14] Будюков Ю. Е., Кубасов В. В., Спиринов И. И. Характер износа алмазной коронки[C]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов V научно-технической конференции Тула: Изд-ство «Инновационные технологии»,2015.:89-92.
- [15] Кубасов В. В. Новые технологии повышения эффективности работы алмазного породоразрушающего инструмента [J]. Горный информационно-аналитический бюллетень,2014,10: 383-387.
- [16] Кубасов В. В. Исследование износа алмазных коронок[J]. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-аналитический журнал),2015,4:6-11.