

关于金刚石钻头底出刃锐化处理的试验研究

汤凤林^{1,2}, 沈中华², 段隆臣¹, 柳少青², 孙环平², ЧИХОТКИН В. И.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:在我国固体矿产地质勘探中,金刚石钻进是一种主要的钻进方法。金刚石钻进时,破碎岩石是靠镶在钻头胎体中的金刚石底出刃完成的。随着钻孔的加深和孔底岩石的破碎,金刚石底出刃被磨损,直接影响机械钻速和钻头进尺,直至钻头报废。因此对钻头金刚石出刃磨锐问题,应该给予充分注意。俄罗斯 Спирин В. И. 教授等利用电化学原理对钻头底出刃进行锐化处理,以提高机械钻速和钻头进尺,基于此原理研制了野外用轻便式电化学锐化处理金刚石钻头的设备,工程应用验证,取得了很好的技术经济效果。

关键词:金刚石钻头;底出刃;锐化处理;电化学原理;钻探技术经济效果

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)09-0058-07

Experimental Research on Sharpening Face Exposure of Diamond Drill Bit/TANG Feng-lin^{1,2}, SHEN Zhong-hua², DUAN Long-chen¹, LIU Shao-qing², SUN Huan-ping², CHIKHOTKIN V. I.¹ (1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: In the geological exploration of solid mineral resources in China, diamond drilling is a main drilling method. In the diamond drilling, rock fragmentation is mainly realized by the diamonds set in bit crown. Along with the rock fragmentation at the bottom hole and the borehole depth increasing, the diamond face exposure is worn, which has direct influence on drilling rate and bit footage until the bit is discarded. Therefore the sharpening of the diamond face exposure should be paid a special attention. Russian doctor Спирин В. И. and some others have made a lot of studies on sharpening the diamond face exposure by using electrochemical principle in order to improve the penetration rate and bit footage; and based on this principle, the portable diamond bit electrochemical sharpening device has been developed for field application with very good technical and economic effects.

Key words: diamond bit; face exposure; sharpening; electrochemical principles; technical and economic effects of drilling

0 引言

我国“十三五”规划要求进行深部地质找矿和深部资源开发和利用,这是地质战线面临的新任务。为了完成这种任务,必须进行深部钻探。在深部固体矿床勘探、特别是硬岩钻探中,更需要采用金刚石钻进技术和方法。在钻探设备已经选定、钻探工艺和钻机机组人员已经确定的情况下,主要是钻头的性能、选择和使用问题。

金刚石钻进主要是用金刚石底出刃完成的。随着钻孔的加深和孔底岩石的破碎,金刚石底出刃是要磨损的,直接影响机械钻速和钻头进尺,直至钻头报废。因此,钻头金刚石底出刃磨锐问题,是个非常突出的问题^[1-6]。

俄罗斯博士 Спирин В. И. 教授等在利用电化学原理对钻头底出刃进行锐化处理,以提高机械钻

速和钻头进尺方面做了大量的工作,取得了很好的技术经济效果^[7-22]。

俄罗斯研发的金刚石钻头底出刃锐化设备结构简单,使用容易,携带方便,可以在钻探工地上使用,甚至可以放到钻机机台上备用。这种设备对于深孔硬岩钻进、复杂地层钻进等情况来说,为了提高机械钻速、钻头进尺,减少回次,降低成本,取得好的钻探技术经济效益是非常需要的,值得我们注意。

1 金刚石出刃及其测量

金刚石钻进是目前我国固体矿床地质勘探使用的一种主要钻进方法。金刚石钻进中,破碎孔底岩石是用镶在钻头刃部的金刚石完成的。金刚石钻头刃部示意图见图1^[6]。

收稿日期:2017-06-09

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,ftang_wuhan@aliyun.com。

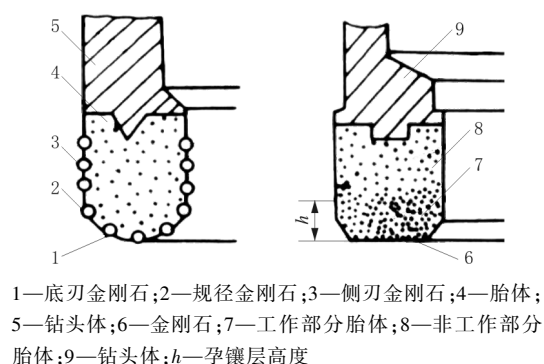


图 1 金刚石钻头刃部示意

正确设计金刚石在胎体端面上的出露量(底出刃),可以保证钻头的钻速高、寿命长,对表镶钻头尤为重要。设计的出刃值,应能保证岩粉在正常泵压条件下从钻头端面顺利通过,金刚石出刃在钻进过程中不易被折断,金刚石在胎体中包镶牢固。其出露数值取决于金刚石粒度的大小和所钻岩石的物理学性质。一般在中硬—硬岩层中的出露量,从胎体端面算起,以不超过金刚石直径的 1/3 为宜。正常钻进时,金刚石切入岩石的深度一般为底出刃的 1/3 左右。

孕镶钻头上的底出刃大小是由胎体的抗冲蚀性和耐磨性决定的,要保证在钻进过程中胎体不断被磨蚀,金刚石不断露出,才能有效钻进。如果金刚石磨损速率和胎体磨蚀速率相同,则金刚石露不出来,出刃为零,不能破碎岩石。只有在钻进过程中,胎体磨损速率适当超前金刚石磨损速率时,金刚石才有出刃,即我们常说的“自磨出刃”,才能达到基本恒速钻进的目的。

可见,钻头金刚石的底出刃是非常重要的,只有金刚石处于锐化状态才能得到好的技术经济指标。金刚石钻头虽有内、外保径问题,但是就钻头进尺和钻进深度来说,主要是靠钻头底出刃完成的,所以我们主要讨论金刚石的底出刃问题。

如果所选金刚石粒度合适的话,则金刚石底出刃按下式计算:

$$h = K_0 K_T d_a / 3 \quad (1)$$

式中: h ——金刚石底出刃; K_0 ——金刚石颗粒形状系数,球形时 $K_0 = 1$,球形变化不大时 $K_0 = 0.75$,球形变化很大时 $K_0 = 0.5$; K_T ——岩石裂隙系数,岩石单位块度 K_V 为 1~10 时 $K_T = 1.0$, K_V 为 10~30 时 $K_T = 0.75$, K_V 大于 30 时 $K_T = 0.5$; d_a ——所用金刚石颗粒直径。

金刚石底出刃的测量是用金刚石底刃测量装置进行的(见图 2)^[12]。

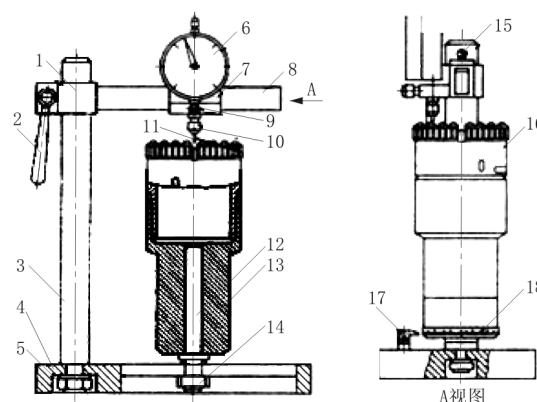


图 2 测量金刚石底刃用装置

2 底出刃的作用及其与规程参数的关系

底出刃是金刚石钻头结构的重要参数,对于钻进效率具有重要意义。作用在钻头上的轴载 P_0 ,在钻进过程中通过胎体和岩粉被分配到金刚石颗粒 P_a 和岩石(岩粉) P_M 上。岩粉的产生和存在有很大作用,一方面岩粉可以减少一部分传给金刚石的轴载,限制金刚石吃入岩石,另一方面可以影响金刚石和胎体的磨损程度。如果孔底岩粉过多排不走,则会使胎体磨损过多;如果岩粉过少则会使胎体磨损过少,金刚石不能及时出露,致使金刚石抛光,钻头不能进尺;应该有个最优值范围,即有一个正常的岩粉规程,以保证正常钻进。

未锐化处理单粒金刚石和已锐化处理单粒金刚石破碎孔底过程中,载荷分布示意图见图 3^[17]。

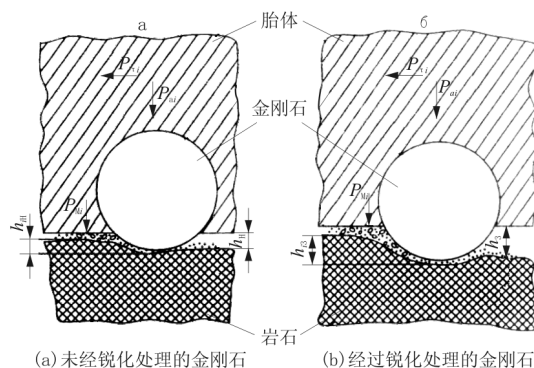


图 3 单个金刚石破碎岩石示意

图3上, P_{ii} 是作用在第*i*个金刚石上的(扭矩)切力; P_{ai} 和 P_{mi} 分别是轴载 P_0 作用在第*i*个金刚石和胎体上的分力; h_{H1} 、 h_{H3} 分别是未锐化处理金刚石和经锐化处理金刚石切入岩石的深度。第*i*个金刚石颗粒在 P_{ii} 和 P_{ai} 的作用下,破碎岩石,其厚度为 h_i 与金刚石所荷载荷有关。

钻头每转进尺:

$$h_{\text{转}} = h_i m_k \quad (2)$$

式中: m_k ——在一条切削线上工作的金刚石数量。

我们都知道,机械钻速,即钻头每转进尺与冲洗液量和钻压有重要关系。合理的冲洗液量可以保证得到好的钻头每转进尺,见图4^[18]。

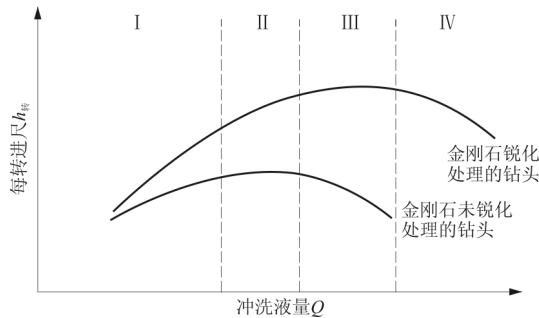


图4 钻头每转进尺 $h_{\text{转}}$ 与冲洗液量 Q 的关系

从图4可见,在I区内,冲洗液量的增加,导致孔底岩粉清理的改善,金刚石颗粒上的轴载比例份额 P_{ai} 增大,金刚石切入量增加,钻头每转进尺增加。在II区内,未锐化金刚石钻进时,产生的岩粉数量可以适时磨损胎体、金刚石露出,每转进尺稳定并达到最大值。经过锐化处理金刚石在钻头钻进时形成的岩粉,能迅速排出,与胎体接触较少,主要轴载落到金刚石上,所以每转进尺提高了。在III区,未经锐化处理金刚石钻进时岩粉被迅速排走,不能磨损胎体,金刚石不能及时出露,每转进尺减小,金刚石抛光,每转进尺下降,甚至停止。在IV区,经锐化处理金刚石的钻头钻进时,如果继续增加冲洗液量,则岩粉被冲走,不能磨损胎体,金刚石不能露出,每转进尺下降。

钻头每转进尺与轴载的关系见图5^[18]。

在讨论金刚石未锐化的钻头和金刚石锐化的钻头每转进尺 $h_{\text{转}}$ 与轴载 P 的关系时,也要考虑孔底岩粉排出情况和金刚石、胎体间轴载分布的情况。

从图5可见,在I区内,随着轴载的增加,金刚石切入岩石的深度增加,但是切入量不大,形成的岩粉未能与胎体接触,岩粉细,数量少。在II区内,

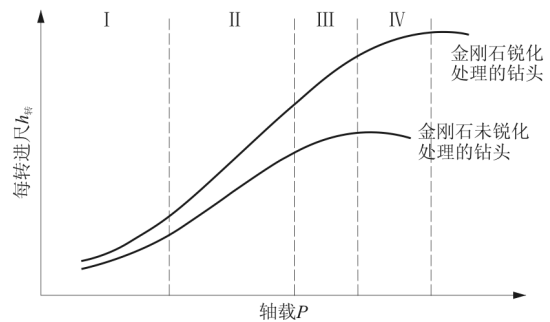


图5 钻头每转进尺 $h_{\text{转}}$ 与轴载 P 的关系

随着轴载的增加,岩粉在胎体和孔底之间集聚,岩粉开始与胎体接触。锐化金刚石钻头钻进时,产生的岩粉迅速排出,形成的岩粉数量比未锐化金刚石钻进时少,金刚石承受了大部分轴载,因此每转进尺比未锐化金刚石钻进时的每转进尺大。在III区,轴载的增加和钻头胎体、岩石间间隙的缩小,导致锐化金刚石比未锐化金刚石每转进尺差距进一步拉大。轴载的增加和由其产生的岩粉的增加,导致如果轴载再继续增加,则全部载荷将由胎体承受,所以未锐化金刚石的每转进尺不再增加。在此区内,如果金刚石钻头轴载继续增加,则锐化金刚石钻头的每转进尺增加幅度继续增大。在IV区,锐化金刚石钻头的轴载达到极限值,每转进尺不能再继续增加。

从图4和图5可见,无论在冲洗液量变化的过程中,还是在轴载变化的过程中,经过锐化处理金刚石钻头的每转进尺均比未经锐化处理的钻头的每转进尺大,而且差别幅度较大,这就说明,对金刚石钻头底刃进行锐化处理,可以提高机械钻速和钻头每转进尺,对于提高钻探的技术经济指标,是非常必要的。

3 钻头底出刃锐化处理技术和工艺

金刚石钻头底出刃锐化处理是利用电化学原理实现的。

3.1 底出刃锐化电化学处理基本概念

在电化学中,通常把发生氧化反应(失去电子的反应)的电极称为阳极,把发生还原反应(获得电子的反应)称为阴极。因此,电解池中的正极称为阳极,负极称为阴极。从电源(直流电源)负极流出的电子,到了电解池的负极,将负电荷传递给溶液(电子与正离子复合,等于溶液中负电荷增加)。在溶液中依靠正电子向负极运动,负电子向正极运动,将负电荷传递到了正极。又经过氧化反应,把负电

荷以电子形式传递给电极,极板上积累的自由电子经过导线流回直流电源的正极。所以,离子导体导电方式的转化是通过电极上的氧化还原反应实现的。在电解质溶液中,是依靠正、负离子的定向运动传递电荷的,即载流子是正、负离子。

俄罗斯 NaCl 溶液中阳极溶化钻头胎体金属示意图见图 6^[12]。

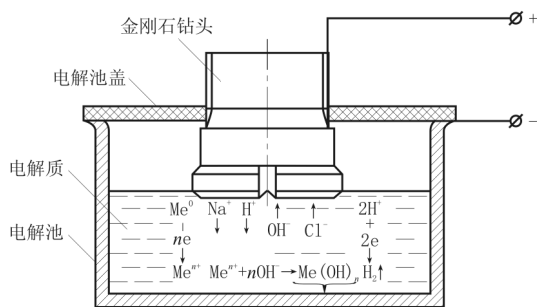


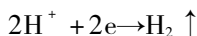
图 6 NaCl 溶液中阳极溶化钻头胎体金属原理示意

可以把金刚石钻头的电化学锐化过程看成是一种类似金属和合金的电化学处理过程。

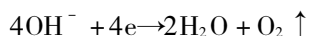
溶于水中的氯化钠分子分解成正离子 Na^+ 和负离子 Cl^- 。同时,水发生电解,形成氢氧化物负离子 OH^- 和氢的阳离子 H^+ 。负离子 OH^- 和 Cl^- 向阳极方向移动,阳离子 H^+ 和 Na^+ 向阴极方向移动。胎体金属失去电子: $\text{Me}^0 - ne \rightarrow \text{Me}^{n+}$ (其中 ne 为电子个数),由金属状态变成离子状态。形成的金属离子 Me^{n+} 与氢氧化物 OH^- 结合,形成金属的高价氢氧化物 $\text{Me}(\text{OH})_n$ 。

在一些情况下,这种高价氢氧化物不溶解,沉淀析出。

氢离子 H^+ 在阴极放电,形成氢的原子,以气泡形式从溶液中析出:



在阳极上可能形成气态氧气析出:



溶液中所含氯离子和钠离子带有电荷。这两种离子的存在,可以产生 NaOH 碱类和胎体金属盐类 CuCl_2 、 FeCl_2 、 FeCl_3 等,也可在阳极产生氯气析出。

3.2 设计底出刃的计算

根据法拉第定律,胎体金属溶解的质量 m 与通过的电流 I 和锐化过程处理时间 t 成比例:

$$m = KIt \quad (3)$$

式中: m ——溶解金属的质量,kg; K ——金属或合金的当量,kg/(A·h); I ——电流,A; t ——电

化学过程处理时间,h。

由于钻头胎体是由几种金属组成的,所以其电化学当量如下计算:

$$K_m = 100 / \left[\sum (c_i / k_i) \right] \quad (4)$$

式中: c_i ——胎体中第 i 个金属成分的百分含量; k_i ——胎体中第 i 个金属成分的当量,kg/(A·h)。

所以:

$$m = K_m It \quad (5)$$

钻头胎体电化学处理结果可以用其溶解层厚度 h 表示,这个数值就是金刚石露出胎体的高度,即底出刃高度 h 。

被溶解钻头胎体的质量 m 可以如下表示,即:

$$m = \gamma V = \gamma S_m h \quad (6)$$

式中: γ ——胎体单位体积的质量,kg/m³; V ——胎体被溶解部分的体积,m³; S_m ——胎体面积, $S_m = S - S_a$; S ——钻头端面面积,m²; S_a ——钻头端面上金刚石占有的面积,m²。

于是得金刚石底出刃高度为:

$$h = \frac{K_m I}{\gamma (S - S_a)} t \quad (7)$$

令 $\beta = K_m / \gamma$,是考虑胎体具体组成等的比例系数,则:

$$h = \beta \frac{I}{S - S_a} t \quad (8)$$

从上式可见,金刚石底出刃锐化处理的高度 h ,除了与胎体组成有关外,还与电流 I 和处理时间 t 有关。在实际条件下,阳极电流 I 不是定值。系数 β 与被处理的胎体材料、电解质的组成、电解质的温度、浓度和 pH 值等因素有关,可以通过实验方法确定。

3.3 电化学处理工艺

电化学处理钻头的目的在于使钻头金刚石得到初始的设计出刃,并在钻进过程中保持这个出刃。在钻进过程中,如果由于地质条件或技术工艺条件导致出刃减小(抛光),低于合理出刃,机械钻速变慢时,就需要用电化学方法使金刚石定期锐化出刃。如果所用金刚石粒度与所钻地层相应,钻头处于正常状态,机械钻速和钻头磨损也较合理,则不必进行锐化处理。

根据式(8)得知,胎体溶解层的厚度,即底出刃出露高度 h 与系数 β 有关,这个系数可以用实验方

法确定。最好是在钻头锐化处理实验室,研究并制定出一个根据每类钻头型号的底出刃出露高度 h 与电流 I 、处理时间 t 的诺膜图(如图7所示)^[18]。

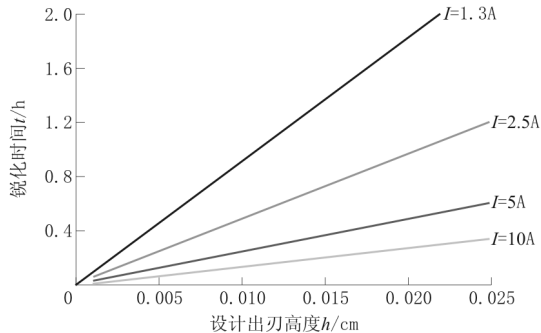


图7 根据O2И3150K40-59型金刚石钻头(含有12.24 ct金刚石)设计出刃 h 来确定电流 I 和处理时间 t 的诺膜图

如果使用的是可调电压的整流器,则电流 I 可以根据需要的电化学处理时间 t 确定。如果使用的是不可调电压的整流器,则锐化时间 t 可以根据得到的电流 I 确定。电流密度在 $0.1 \sim 1.0 \text{ A/cm}^2$ 内变化,可以得到很高的锐化精度,特别是锐化小粒度金刚石时,适合使用小密度电流,更是如此。使用高密度电流,可以加快电化学处理过程,宜在处理大颗粒金刚石钻头时使用。

如果给出了设计的金刚石出刃值 h 和电流 I ,并通过实验确定出了 β 的数值,就可以根据公式或诺膜图7计算出锐化状态需要的时间 t 来。

锐化处理金刚石钻头用的设备是俄罗斯凯拉库姆地质勘探大队研制出来的。野外轻便式金刚石钻头锐化设备(见图8)是用来在野外条件下直接在钻机机台上或钻探工地上对金刚石钻头进行电化学处理的,其中包括有轻便式电化学处理金刚石钻头的设备(见图9)^[18]。

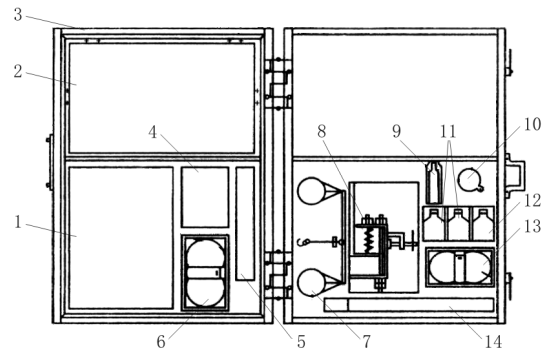
3.4 注意事项^[19]

(1)对于所有镶有天然金刚石和人造金刚石的表镶钻头和孕镶钻头(O1A3、O1A4、14A3、O2И3、O2И4等),均应有初始的底出刃。

(2)生产时已有设计出刃的钻头(O4A3、O5A3、O7A3、A4ДП等),不宜再搞初始出刃。

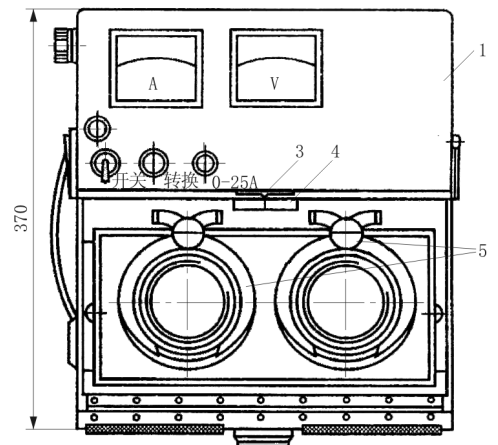
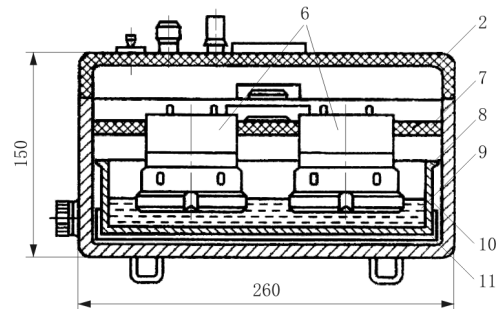
(3)生产时已有设计出刃、含有XV类金刚石、且磨损不超过25%的绳索取心钻头,不宜再锐化。

(4)镶有天然金刚石和人造金刚石、没有设计出刃的表镶钻头,建议搞初始出刃,在 $h_n + h_b \leq H$ 时(式中: h_n ——初次锐化时胎体溶解层溶掉的厚度; h_b ——第二次锐化时胎体溶解层溶掉的厚度,



1—干燥柜 ПЛЛ-9УТ;2—轻便式电化学锐化处理金刚石钻头装置;3—外套;4—各种天平;5—МВМ型千分尺(俄国标4380-63);6—电解质(NaCl);7—BP-100型天平(俄国标359-54);8—钻头夹持装置;9—机械刷子;10—放大镜;11—钻头除油用溶剂桶;12—聚丙烯酰胺桶;13—岩粉桶;14—温度计

图8 野外用ППИУ-1轻便式电化学锐化处理金刚石钻头的设备



1—硬铝外壳;2—有机玻璃盖;3—接触开关;4—“+”极板;5—钻头夹持装置;6—金刚石钻头;7—不导电电解池盖;8—电解池;9—电解质;10—“-”极板;11—绝缘垫

图9 轻便式电化学锐化处理金刚石钻头用的装置

H ——定额规定的胎体磨损极限值),可以在处理过程中搞第二次锐化。

(5)镶有天然金刚石的孕镶钻头,在胎体含金刚石部分完全磨损前,在处理过程中,可以进行多次锐化处理。在金刚石抛光前,可以进行锐化处理

的次数 n 为:

$$n = (H - \sum \Delta H_i) / h_p \quad (9)$$

式中: H ——含金刚石胎体高度; ΔH_i ——第 i 个回次钻进时的胎体磨损量; h_p ——得到合理出刃胎体金属需要溶解掉的高度。

由于镶有人造金刚石中含金刚石层的磨损量 $\approx 60\%$,故锐化次数 n 为:

$$n = (0.6H - \sum \Delta H_i) / h_p \quad (10)$$

(6)新金刚石钻头的初次锐化可以在地质勘探

基地进行。钻头出刃值可以根据所用钻头合理锐化条件和所钻岩石力学性质确定。

4 锐化金刚石钻头的技术经济指标对比

为了对经过锐化处理金刚石钻头进行评价,做了以下试验分析研究^[17-20]。

4.1 绳索取心钻进时钻头技术指标对比

绳索取心钻具 KCCK-76 实验钻进对比资料见表 1。

表 1 绳索取心钻具 KCCK-76 实验钻进对比资料

使用的钻头	钻探工作量/m	使用钻头数量/个	平均岩石可钻性等级	钻头进尺/m	回次进尺/m	金刚石耗量/($\text{ct} \cdot \text{m}^{-1}$)	机械钻速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	岩心采取率/%
金刚石出刃未经锐化处理	1855	203	8.9	13.3	6.7	1.48	0.59	82.9
金刚石出刃经锐化处理	2577	183	8.9	33.8	12.4	0.62	0.83	84.2

4.2 地质条件复杂矿区钻进指标对比

大卡尼曼苏尔(Большой Канмансур)矿区地质条件复杂,主要由 20 多种岩石组成的喷出岩系列,物理力学性质变化大:研磨性系数 1.0~3.3,动强度系数 4.0~10.2,联合指标 12~46,岩石可钻性

级别为 7~11 级。所有岩石均为裂隙性岩石,平均可钻性级别为 9.7。使用各种钻探技术和工艺,均未达到理想结果。但是,使用底出刃经过处理的金刚石钻头 K-08 进行钻进,取得了令人满意的效果(见表 2)。

表 2 使用出刃经过处理的金刚石钻头 K-08 进行钻进的技术指标

使用的钻头	钻头数量/个	钻头进尺/m	钻进速度/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	回次进尺/m	岩心采取率/%	金刚石耗量/($\text{ct} \cdot \text{m}^{-1}$)
金刚石出刃未经锐化处理	276	17.6	1.07	12.8	89.2	1.02
金刚石出刃经锐化处理	245	31.7	1.25	15.6	94.8	0.55
增加/%		180	17	22	6	-54

4.3 上仰孔钻进技术指标对比

在大卡尼曼苏尔矿区,用金刚石钻头在弱研磨性岩石中钻进上仰孔是特别困难的。钻进几十个厘米后,钻头常常剖光,进尺非常困难,成了当地钻探

工程的一大难题。但是,在钻进可钻性 10~11 级粗面流纹岩和霏细流纹岩时,使用出刃经过处理的金刚石钻头,大大改进了钻探的技术指标(见表 3)。

表 3 上仰孔钻进时钻进技术指标对比资料

使用的钻头型号:	钻探工作量/m	钻头进尺/m	平均钻速/($\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$)	回次进尺/m	金刚石耗量/($\text{ct} \cdot \text{m}^{-1}$)	岩心采取率/%
59 mm 钻头 O2ИЗД150K60						
金刚石出刃未经锐化处理	720	6.8	0.72	0.6	1.60	67.6
金刚石出刃经锐化处理	3100	13.0	1.10	2.3	0.81	70.5

5 结语

俄罗斯博士 Спиринов В. И. 教授等利用电化学原理对钻头底出刃进行锐化处理,提高了机械钻速和钻头进尺,取得了很好的技术经济效果。俄罗斯研发的金刚石钻头底出刃锐化处理设备结构简单,使用容易,轻便,可以在钻探工地上使用,甚至可以放到钻机上备用。可见,这种设备对于深孔硬岩钻

进、复杂地层钻进等来说,为了提高机械钻速、钻头进尺,取得好的钻探技术经济效益是非常必要的,建议我国开展这方面的研究和试验。

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工程[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,高申友,Чихоткин В. Ø.,等. 纳米金刚石钻头试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):76-80.
- [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] Способ избирательного дробления алмазов;Россия,2492138 [P].2013-09-10.
- [8] Алмазная коронка для компановки бурового снаряда ;Россия, 2078193 [P]. 1997-04-27.
- [9] Буровой инструмент;Россия,2246603 [P].2005-02-20.
- [10] Алмазная коронка для бурения ;Россия,148333 [P]. 2014-10-10.
- [11] Алмазная импрегнированная буровая коронка ;Россия,138678 [P].2014-04-20.
- [12] Кубасов В. В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах путем модернизации матриц алмазного породоразрушающего инструмента [D]. Московский государственный геологоразведочный университет,2015.
- [13] Г. П. Богатырева и др. Оценка перспективности структурирования металломатричных алмазных буровых коронок наноалмазами [С]// Сборник научных трудов, Киев,2011;97-102.
- [14] 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,Т. 326(4):30-40.
- [15] ДудюковЮ. Е., ВласюкВ. Е., Спирин В. И. Алмазный инструмент бурения направленных и многоствольных скважин[M]. Тула;Изд. -ство ЗАО«Гриф и К»,2007.
- [16] Будюков Ю. Е., Спирин В. И., КубасовВ. В. Повышение прочностных свойств природных алмазов в аппарате вихревого слоя[С]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно-технической конференции. Тула : Изд. - ств «Инновационные технологии»,2015:93-98.
- [17] КубасовВ. В., Будюков Ю. Е., СпиринВ. И. Повышение работоспособности алмазных коронок криогенной обработки [С]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов V III научно-технической конференции Тула : Изд. - ство «Инновационные технологии»,2013. :45-50.
- [18] КубасовВ. В., Будюков Ю. Е., Спирин В. И, Выбор матричных композиций для алмазного породоразрушающего инструмента [С]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов V III научно-технической конференции Тула ;Изд. -ство «Инновационные технологии», 2014. :11-16.
- [19] Будюков Ю. Е., КубасовВ. В., Спирин В. И, Характер износа алмазной коронки [С]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно-технической конференции Тула; Изд. - ство «Инновационные технологии»,2015. :89-92.
- [20] Кубасов В. В. Новые технологии повышения эффективности работы алмазного породоразрушающего инструмента[J]. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014, 10; 383-387.
- [21] КубасовВ. В., Будюков Ю. Е., Спирин В. И, Зависимость работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента от смачиваемости алмаза металлом [С]// Инновационные наукоемкие технологии: тезисы докладов международной научно-технической конференции Тула; Изд. - ство «Инновационные технологии»,2014. :6-11.
- [22] Кубасов В. В. Исследование износа алмазных коронок [J]. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-аналитический журнал),2015,4;6-11.