

# 深部探测金川预导孔深孔钻探钻头的应用与分析

董海燕<sup>1</sup>, 欧阳志勇<sup>2</sup>, 吴海霞<sup>2</sup>, 梁秋萍<sup>2</sup>

(1. 山东省地质矿产勘查开发局第三地质大队, 山东烟台 264004; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**在深部探测和科学钻探的施工中, 钻头的合理选择和使用是提高深孔硬、脆、碎岩层钻探生产效率的最重要因素之一。针对金川科学钻探深部钻进中的特殊地层岩石进行分析, 利用扫描电镜研究钻头中金刚石的分布、包镶和出刃, 找出合适的钻头胎体材料和金刚石工艺参数, 延长钻头寿命, 提高钻探效率。

**关键词:**深部探测; 金川科学钻探; 金刚石钻头; 岩石分析; 胎体材料

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2013)09-0041-06

**Application of the Bit for Pre-pilot Hole Deep Drilling in Jinchuan Deep Exploration/DONG Hai-yan<sup>1</sup>, OUYANG Zhi-yong<sup>2</sup>, WU Hai-xia<sup>2</sup>, LIANG Qiu-ping<sup>2</sup>** (1. The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In the construction of deep exploration and scientific drilling, the reasonable selection and using of drill bit is one of key factors to improve the deep-hole drilling efficiency in the hard, brittle, crushed rock. Based on the analysis on the special rocks in Jinchuan scientific drilling and study on the distribution, holding and exposure of diamond in the bit by scanning electron microscope, the appropriate matrix materials for bit and diamond process parameters are found to prolong the service life of the diamond bit and improve the drilling efficiency.

**Key words:** deep exploration; Jinchuan scientific drilling; diamond bit; rock analysis; matrix material

## 1 钻孔概况

### 1.1 项目概况

甘肃金川铜镍硫化物矿集区特殊的大地构造位置和地质背景是地球科学深部钻探试验最佳的天然场所, 该处地质应力场集中, 岩石类型种类繁多, 也是科学深部钻探钻探技术与钻具试验的最佳场所。通过 JCSD-1 科学钻探预导孔工程的实施, 获取现场实验与数据, 为我国科学万米深钻设计、选址提供资料。

JCSD-1 孔设计深度 2000~2500 m, 设计倾角 90°, 终孔口径 75 mm。

### 1.2 矿区简况

矿区位于甘肃省金昌市境内, 河西走廊北山区, 龙首山脉的东延部分, 龙景山——孩母山的北坡, 附近地貌以中低山为主, 主要山脉自东到西有龙景山、东大山、孩母山、龙首山。

### 1.3 地层概况

区内出露的地层主要为前长城系变质岩和第四系堆积物, 下古生界分布零散, 仅局部地段见有寒武系薄层碎屑沉积, 其它的地层缺失。

(1) 龙首山区前长城系为龙首山岩群, 它与阿

拉善地块上的阿拉善岩群、桑干岩群同被厘定为太古宙绿岩(潘杨杨, 1986)。岩石一般属绿片岩相, 但变质程度极不均匀(董申葆等, 1986)。

(2) 中、新元古代地层, 龙首山地区中、上元古界为典型大陆环境沉积产物, 下震旦统墩子沟组厚度 > 1057 m, 下部为粗碎屑岩, 上部为细碎屑岩和碳酸盐。

(3) 古生代地层, 早古生代期间龙首山区仅局部接受了寒武纪海陆交互相碳酸盐岩—碎屑岩沉积, 大面积为大陆边缘隆起遭受剥蚀的环境。下寒武统大黄山群, 厚度大于 1598 m, 为一套碎屑岩沉积, 主要岩性组合为变质长石砂岩、变质长石石英砂岩、夹少量板岩和硅化灰岩透镜。

(4) 中、新生代地层, 中生代祁连、阿拉善连为一体的大陆再度活化, 呈现不均匀升降。龙首山隆起以北的潮水地区沉降凹陷, 接受了一套山麓、河湖相碎屑岩建造。

### 1.4 现场设备

选择设备首先要满足设计孔深和孔径钻进负荷的施工能力, 各类设备配备到位, 工况良好, 防护与安全设施齐全, 动力与传动系统效率高, 要满足不同

收稿日期: 2013-05-16

基金项目: 《深部探测技术与实验研究专项》中“大陆科学钻探选址与钻探实验”(编号 SinoProbe-05)

作者简介: 董海燕(1982-), 男(汉族), 山东莱阳人, 山东省地质矿产勘查开发局第三地质大队, 硕士, 探矿工程专业, 从事大陆科学钻探、深部钻探等探矿工程工作, 山东省烟台市芝罘区机场路 271 号, dhy0930@126.com。

工艺方法的钻进参数的需要。在金川科钻中配制的设备见表1。

表1 主要设备仪器配置

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
1	钻机	HXY-9	台	1	
2	泥浆泵	BW300 BW250	台	2	备用一台
3	钻塔	SGZ27	套	1	
4	泥浆搅拌机	NJ-1	台	1	
5	取心绞车		台	1	
6	发电机		台	2	备用
7	电焊机		台	1	
8	拧管机		台	1	
9	除砂机		台	1	
10	泥浆测试仪器		套	1	
11	随钻记录仪器		套	1	
12	电脑		台	2	
13	汽车		辆	2	后勤保障

## 2 岩石分析

### 2.1 岩性鉴定

GSJC-1~GSJC-4 四个岩样鉴定是在孔深 90~1800 m 处的较难钻进岩层取样进行岩性分析得出的结果。

#### 2.1.1 石英化岩

GSJC-1 样品(图1)观察:岩石呈灰白色,块状。

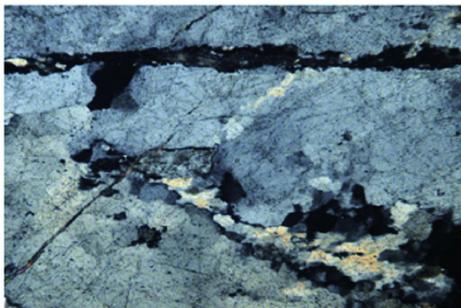


图1 GSJC-1 样品

显微镜下观察:

(1) 岩石矿物组成及相对含量:石英 90%, 长石 5%, 方解石 3%, 铁质 2%, 白云母微量;

(2) 岩石结构与构造:粒状变晶结构,交代结构,块状构造;

(3) 岩石特征:岩石为石英化岩,具粒状变晶结构,矿物成分主要由石英组成,仅含少量的长石、方解石、铁质和微量的白云母。石英化岩是气水热液作用形成的,石英化岩是硅化蚀变岩的一种类型,由硅化交代其他岩石形成石英化岩或称其交代石英岩。

该岩石成分单一,结构简单,致密坚硬,具脉状

或块状构造。石英化岩由气水热液作用形成。

依据岩石矿物组成和结构构造特征,结合岩石标本观察分析,其鉴定结果为:石英化岩(交代石英岩)。

通过岩性鉴定可知石英化岩属于坚硬致密岩层,具脉状或块状构造,交代结构,易导致金刚石钻头打滑不进尺,影响钻速。

#### 2.1.2 碎裂石英化岩

GSJC-2 样品(图2)观察:岩石呈灰白色,具碎裂结构,块状。

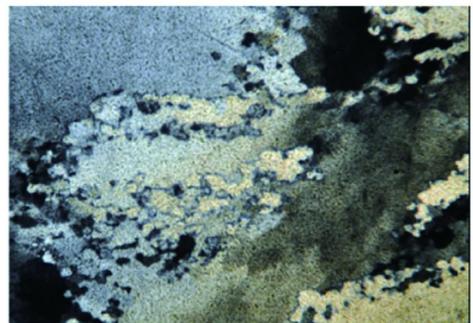


图2 GSJC-2 样品

显微镜下观察:

(1) 岩石矿物组成及相对含量:石英 95%, 绿泥石 2%, 方解石 3%, 白云母微量,铁质微量;

(2) 岩石结构与构造:碎裂原岩具粒状变晶结构,裂隙充填构造;

(3) 岩石特征:岩石为碎裂石英化岩,原岩具粒状变晶结构,矿物成分主要由石英组成,仅含少量的绿泥石、方解石、铁质和微量的白云母。石英化岩是气水热液作用的产物,是硅化蚀变岩的一种类型。由硅化作用形成的石英化岩,其特征是成分单一,结构简单,岩石致密坚硬,具脉状构造或块状构造。受构造应力剪切作用,石英化岩发生碎裂,碎裂隙被碎粒石英-绿泥石脉充填。

依据岩石矿物组成和结构构造特征,结合岩石标本观察分析,其鉴定结果为:碎裂石英化岩。

通过岩性鉴定可知,碎裂石英化岩属于致密坚硬岩层,具脉状构造或块状构造,粒状变晶结构,是硬、脆、碎复杂地层的代表,严重影响钻头寿命。

#### 2.1.3 条带状钾长花岗岩

GSJC-3 样品(图3)观察:岩石呈肉红色,条带状构造。

显微镜下观察:

(1) 岩石矿物组成及相对含量:石英 20%, 钾长石 70%, 更长石 3%, 黑云母 2%, 金属矿物 5%;

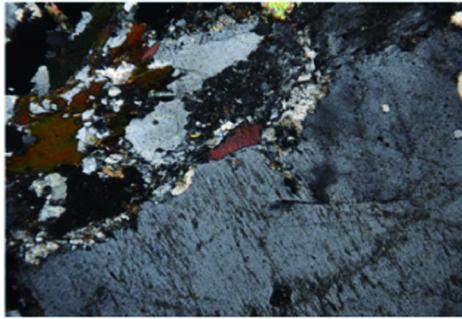


图3 GSJC-3 样品

(2) 岩石结构与构造: 花岗结构, 条带状构造;

(3) 岩石特征: 岩石为条带状花岗岩, 由中粗粒花岗岩与细粒花岗岩组成。前者结晶粗大, 具中粗粒花岗结构, 粒径在 3 ~ 10 mm 之间, 后者结晶细小, 具细粒花岗结构, 粒径 1 ~ 2 mm 之间。

岩石特征表现为粗粒花岗岩与细粒花岗岩成条带状分布, 两者矿物成分大体相同, 不同之处仅仅是结晶粒度的变化, 这种结构形式反映出花岗岩体由中心相 - 过渡相 - 边缘相受结晶温度影响产生的相变, 靠近岩体中心结晶温度高形成粗粒结构, 而岩体边缘结晶温度降低则形成细粒结构。

依据岩石矿物组成和结构构造特征, 结合岩石标本观察分析, 其鉴定结果为: 条带状钾长花岗岩。

通过岩性鉴定可知条带状钾长花岗岩硬岩, 花岗结构, 条带状构造, 研磨性强, 是一种既影响钻头钻速又影响钻头寿命的难钻进地层。

#### 2.1.4 石英化碎裂钾长花岗岩

GSJC-4 样品(图 4)观察: 岩石呈灰白和灰绿色, 具碎裂结构, 条带状构造。

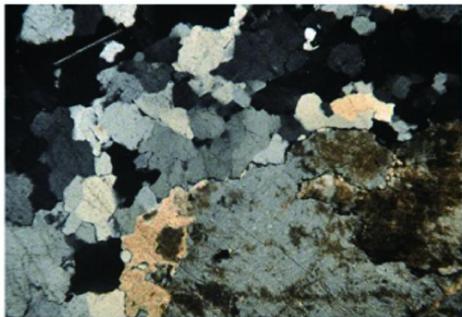


图4 GSJC-4 样品

显微镜下观察:

(1) 岩石矿物组成及相对含量: 石英 45%, 钾长石 30%, 更长石 5%, 榍石 2%, 绿帘石 10%, 天青石 2%, 绿泥石 3%, 方解石 3%;

(2) 岩石结构与构造: 碎裂结构, 原岩具中粗粒花岗结构, 条带状构造;

(3) 岩石特征: 碎裂岩石为中粗粒钾长花岗岩, 矿物成分主要由钾长石、石英和少量更长石组成, 钾长石结晶颗粒粗大, 粒径 2 ~ 5 mm, 具中粗粒花岗结构, 受构造应力剪切作用, 钾长花岗岩发生带状破碎, 钾长石碎斑被硅化石英交代形成交代残余结构, 破碎带被绿帘石、方解石、绿泥石和石英脉充填并胶结而成。

依据岩石矿物组成和结构构造特征, 结合岩石标本观察分析, 其鉴定结果为: 石英化碎裂钾长花岗岩。

通过岩性鉴定可知, 石英化碎裂钾长花岗岩属于坚硬岩石, 具碎裂结构, 花岗结构, 条带状构造, 钻进时表现为钻头寿命短, 钻速较高, 是一种难钻进地层。

#### 2.2 岩石硬度

岩石硬度是指一种物质对外力机械侵入的抵抗能力, 岩石硬度主要取决于组成岩石的矿物成分和结构构造。测定矿物硬度的方法有压入法、刻划法、粉末法等。通常是以一种矿物与另一种矿物互相刻划比较而得。一般采用摩氏硬度计(分为 10 级)来决定矿物的相对硬度。本钻场的岩石硬度检测结果见表 2。

表 2 岩石硬度检测结果

序号	样品编号	岩石名称	岩石摩氏硬度	岩石可钻性
1	GSJC-1	石英化岩	7 ±	9 ~ 11
2	GSJC-2	碎裂石英岩	5 ~ 6	7 ~ 9
3	GSJC-3	条带状钾长花岗岩	6 ~ 7	8 ~ 10
4	GSJC-4	石英化碎裂钾长花岗岩	6 ~ 7	8 ~ 10

#### 2.3 岩石的完整度

从现场钻进所获取的岩心可见, 有完整柱状岩心(图 5a)和较完整的岩心(图 5b), 同时也有破碎岩心(图 6a)和严重破碎岩心(图 6b)。

岩层破碎和严重破碎, 造成钻头工作状态不稳定, 非正常冲击、磨损胎体和金刚石, 严重影响钻头寿命, 故要研究相应的钻头胎体材料和金刚石工艺参数。

### 3 钻头分析研究

#### 3.1 现场钻头使用记录

截止到 2012 年 10 月底, 钻孔进尺 1800 m, 表 3 是部分钻头使用情况对比表。

由表 3 可知, 北京探矿工程研究所(以下简称探工所)研制的钻头进尺效率平稳, 16GSJ 钻头平均寿命为 70 m, 比常规钻头提高 66%。最高钻头寿命为 96.3 m, 创该孔钻头寿命最高纪录。



(a) 完整岩心 (b) 较完整岩心

图5 坚硬致密的石英化岩和花岗岩



(a) 破碎岩心 (b) 严重破碎岩心

图6 碎裂的石英化岩和花岗岩

从图7可见,钻头进尺34.9 m后,尚有60%以上的金刚石工作层,预计还可继续钻进50 m左右。而且钻头磨损形态正常,底唇部和内外径能保持同步磨损,处于理想工作状态。

### 3.2 岩石对钻头的影响

该钻孔除少部分大理岩可钻性好,大部分岩层均为石英含量很高的石英化岩和钾长花岗岩,部分岩层破碎,为典型的硬脆碎难钻进地层。

钻探硬岩一般采用金刚石孕镶钻头,其中孕镶金刚石胎体材料的抗冲蚀性是保证金刚石正常工作的关键因素。

胎体抗冲蚀性是依据岩粉的冲蚀性来选择,而岩粉冲蚀性从本质上反映了岩石的研磨性能,与岩石的成分特别是硬矿物(如石英)的含量、岩粉的粒度、形状、冲洗液的流速及角度、冲洗液岩粉的含量有关。可用下式表述:

表3 钻头使用记录

序号	钻头产地	直径/mm	孔深/m	钻机转速/(r·min <sup>-1</sup> )	实际进尺/m	钻头钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	钻头情况
1	河北	122	58.37~70.71	682	12.34	0.85	胎体消耗90%
2	河北	122	70.71~81.11	682	10.4	0.95	胎体消耗80%
3	河北	122	81.11~96.10	682	14.99	1.50	胎体消耗80%
4	河北	122	96.10~102.90	682	6.7	1.83	胎体消耗70%
5	河北	122	294~370.66	682	76.66	1.49	正常用完
6	探工所 16GSJ-1	122	370.66~405.56	682	34.90	1.03	胎体消耗40%(图7)
7	探工所 WGSJ	122	405.56~408.36	682	2.80	0.79	胎体消耗微量
8	探工所 16GSJ-2	122	516.06~590.07	484	74.01	1.54	胎体消耗50%
9	探工所 16GSJ-3	122	590.07~634.37	484	44.30	1.27	胎体消耗40%
10	探工所 20GSJ	122	634.37~673.57	337/484	39.20	1.74	正常用完
11	探工所 22GSJ-1	122	871.37~925.17	337/484	53.8	1.59	胎体消耗70%
12	探工所 22GSJ-2	122	925.17~947.17	337	22	1.81	正常用完
13~16	河北	95	1088.47~1345.86	337/333	64.35(平均)	1.63	正常用完(大理岩,软)
17	探工所 16GSJ-4	95	1428.63~1523.28	333/337	94.65	1.77	胎体消耗80%(全为硬脆碎花岗岩)
18	探工所 16GSJ-5	95	1523.28~1598.74	333	75.46	1.68	胎体消耗70%
19	探工所	95	1685.28~1781.58	337	96.30	1.73	胎体消耗80%



(a) 使用前 (b) 使用后

图7 16GSJ-1 钻头使用前后

$$A = f(MBi\alpha Q) \quad (1)$$

式中:  $A$ ——岩粉的冲蚀性,  $\text{cm}^3$ ;  $M$ ——岩石成分;  $B$ ——岩粉颗粒形状;  $i$ ——岩粉粒度;  $\alpha$ ——冲蚀角

度;  $v$ ——岩粉流速;  $Q$ ——岩粉含量。

式(1)中硬矿物(石英)含量是影响最大的因素之一。石英是最常见的坚硬矿物之一,其显微硬度为  $1100 \sim 1080 \text{ kg/mm}^2$ ,因此石英含量的多少直接标志钻进时所形成岩粉的冲蚀能力,其关系可用式(2)和图(8)表示:

$$A = 0.0612 + 2.154 \times 10^{-4} M \quad (2)$$

式中:  $M$ ——岩石中石英含量, %。

式(1)中岩粉粒度是另一个影响岩粉冲蚀性的关键因素。不同岩性岩粉,有不同的影响程度,可分别用式(3)~(5)和图9表示。

$$A_1 = 0.0268 + 2.503/i \quad (3)$$

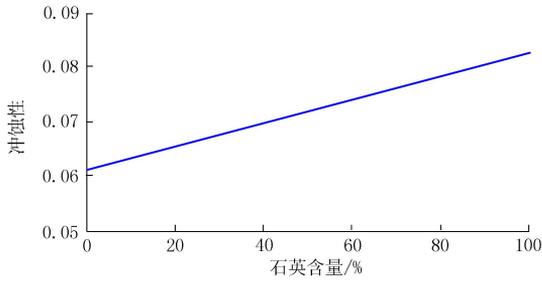


图 8 由岩粉中石英含量确定岩粉的冲蚀性

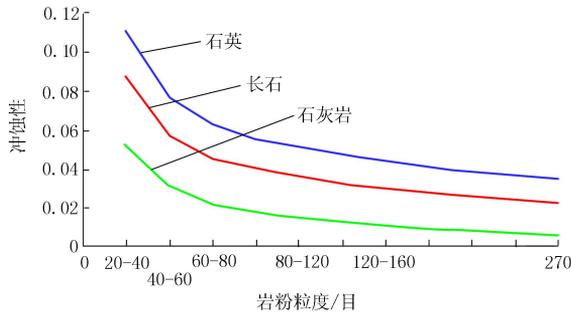


图 9 由岩粉粒度确定岩粉的冲蚀性

$$A_2 = 0.0154 + 2.142/i \quad (4)$$

$$A_3 = 1.0652 \times 10^4 + 1.575/i \quad (5)$$

式中:  $A_1$ ——石英岩粉的冲蚀性,  $\text{cm}^3$ ;  $A_2$ ——长石岩粉的冲蚀性,  $\text{cm}^3$ ;  $A_3$ ——石灰岩岩粉的冲蚀性,  $\text{cm}^3$ ;  $i$ ——岩粉的粒度, 目。

由图 9 可知, 随着岩粉粒度减小, 岩粉的冲蚀性能降低。岩粉粒度在 160 目以细时, 岩粉冲蚀性很低, 粒度影响也减弱; 只有在 120 ~ 160 目以粗, 粒度影响大。

### 3.3 钻头的实验和分析

前述本矿区石英化岩和钾长花岗岩, 石英含量高, 致密坚硬, 钻头产生岩粉粒度细, 岩粉量也极少, 钻头工作时表现为钻进效率低、钻头易打滑, 经常需要投石料磨钻头, 耽误时间、钻头非正常损耗大。碰到碎裂石英化岩或钾长花岗岩, 碎裂岩石或岩粉对钻头胎体磨损和冲蚀严重, 对钻头胎体包镶金刚石能力要求更高, 才能保证钻头高效钻进, 确保钻头内外径的正常工作。

我们分别从 2 只使用过程中的钻头取下 2 个金刚石胎体块做电镜分析见图 10。

#### 3.3.1 钻头要采用合适的金刚石孕镶浓度

在前面图 5 所示, 坚硬致密地层, 必须选用合适的金刚石浓度, 以保证加在单颗金刚石上的钻压足够, 使金刚石压入坚硬岩石, 从而克取岩石。扫描电镜下 2 种钻头的金刚石浓度见图 11。

从图 11 可以看出, 探工所钻头金刚石浓度均匀



图 10 探工所钻头(左)和普通钻头(右)

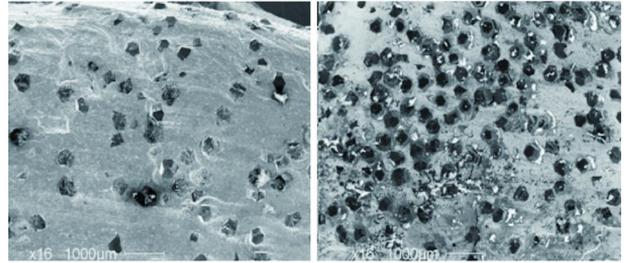


图 11 探工所钻头(左)和普通钻头(右)的金刚石浓度

合理, 钻头效率高; 普通钻头金刚石浓度太高, 造成钻头效率低甚至打滑不进尺。

在实际钻探中, 碰到其它钻头打滑或不进尺的坚硬地层时, 采用探工所 16GSJ、20GSJ 和 22GSJ 钻头工作, 基本不用或极少投石料磨钻头, 能连续钻进, 提高进尺效率, 也减少投石料磨钻造成钻头的无谓损耗。

#### 3.3.2 超细晶铁基胎体材料的新型金刚石钻头

我们在金川矿区引入超细晶铁基胎体材料的新型金刚石钻头, 胎体粉末电镜照片见图 12。

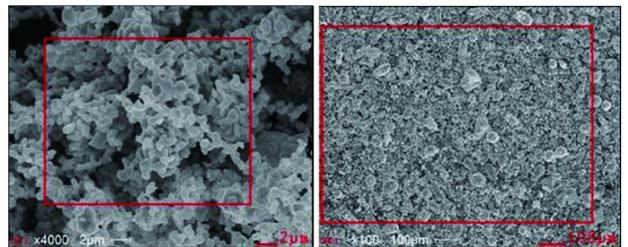


图 12 超细晶铁基(左)和普通(右)胎体粉末电镜照片

超细晶铁基胎体材料的基本超微颗粒, 是处在原子簇和宏观物体交界的过渡区域, 从通常的关于微观和宏观的观点看, 这样的系统既非典型的微观系统亦非典型的宏观系统, 是一种典型人介观系统, 它具有表面效应、小尺寸效应和宏观量子隧道效应。这种材料在严格后处理工艺条件保证下, 由于相互扩散迁移作用强烈, 合金化充分, 作为金刚石胎体材料, 能很好地浸润金刚石, 合理而充分地包镶金刚石。

在扫描电镜下放大 70 ~ 100 倍, 我们可以清楚

看到超细晶铁基胎体材料中的金刚石包镶充分,在切削岩石过程中形成金刚石尾部的蝌蚪型支撑胎体(见图13左)。

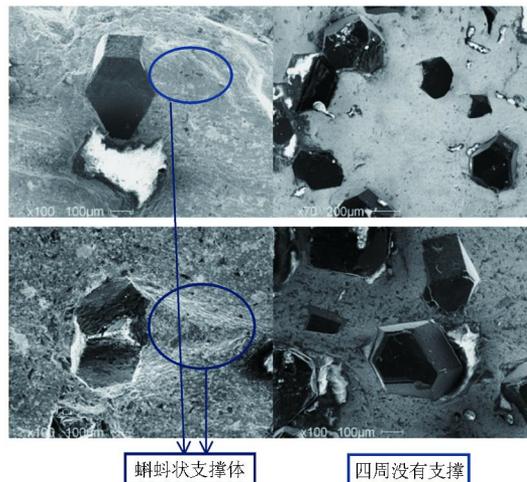


图13 扫描电镜下胎体材料对金刚石的包镶

再见图14,超细晶铁基胎体材料中的金刚石,不单包镶充分,能够合理地出刃而快速克取岩石,同时也能保证金刚石作为切削具的自然更替。

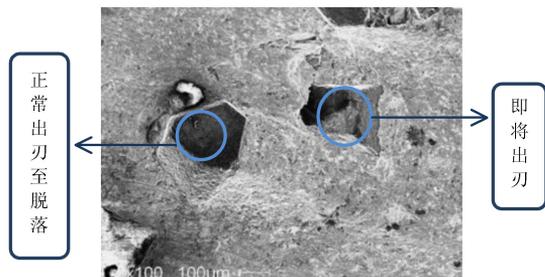


图14 超细晶铁基胎体材料中金刚石的出刃和更替

在实际应用中,探工所16GSJ钻头在多种地层显示出良好的适应性,钻头效率高,寿命长;WGSJ钻头在坚硬地层虽然磨损极少,但效率低;20GSJ和22GSJ钻头在坚硬地层进尺效率较高,但在碎岩地

层寿命偏短。

#### 4 结论

在深部探测与试验研究专项——金川科学钻探预导孔深孔钻探的钻头研究中,山东地质矿产勘查开发局第三地质大队和北京探矿工程研究所通力合作,针对现场钻遇岩石进行了仔细分析研究,引入超细晶铁基胎体材料,很好地解决了金刚石包镶、出刃合理性的难题,选用合适的钻头制造工艺参数和现场施工工艺,经过几轮实际应用研究,确定了适合现场钻探施工的钻头,在硬脆碎难钻进地层中,保持高进尺效率的同时,创造了单只钻头进尺96.30 m(还可继续钻进)的寿命记录,为深孔钻探科学研究和实践做出贡献。

(1) 难钻进地层的钻头选型一定要建立在目标岩石的仔细研究基础上;

(2) 坚硬致密地层使用的的钻头需要科学的制造工艺技术,选用合理的金刚石浓度,保证单颗金刚石的合理钻压;

(3) 在硬脆碎地层,岩石碎屑和岩粉对胎体研磨和冲蚀严重,必须保证胎体材料对金刚石的良好包镶和合理出刃,超细晶铁基材料是非常好的选择。

#### 参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2] 贾美玲,欧阳志勇,马秀民,等. 深孔钻探金刚石钻头技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12).
- [3] 赵尔信,童运桐,贾美玲. 金刚石钻头性能及其制造工艺学[J]. 探矿工程,1996,(4).
- [4] 黄玉文. 科学钻探预先导孔工程中钻头水力参数的变化对钻进效果的影响[J]. 地质装备,2000,(3).
- [5] 鄢泰宁,段隆臣,P. K. 波格丹诺夫,A. II. 扎科拉. 提高金刚石钻头在深孔硬岩钻进中寿命的途径[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2010,(5).

## 河南省深部钻探技能型人才培养基地签字仪式举行

本刊讯 2013年9月6日上午,河南省深部探矿工程技术研究中心与河南省地质工程技术学校深部钻探技能型人才培养基地共建签字仪式在郑州举行。

河南省深部探矿工程技术研究中心于2010年10月经河南省科技厅批准成为省级工程技术研究中心,中心自组建以来一直以搭建河南省及国内深部钻探技术研发和创新平台为宗旨,以提高深部钻探技术水平和科技含量为目标。此

次与河南省地质工程技术学校共建河南省深部钻探技能型人才基地,是为缓解目前深部钻探生产一线优秀技能型人才匮乏难题探索一种技能型人才培养新模式,通过教学与实践相结合方式,力争输送一批高水平的技能型优秀毕业生,共创全国地矿系统技能型人才培养基地品牌。

(陈莹供稿)