

# 多级金刚石表孕镶钻头在坚硬岩屑 砂泥岩互层的应用研究

沈立娜<sup>1</sup>, 张 宜<sup>2</sup>, 郭庆斌<sup>3</sup>, 阮海龙<sup>1</sup>, 吴海霞<sup>1</sup>, 李 春<sup>1</sup>

(1.北京探矿工程研究所,北京 100083; 2.建材成都地质工程勘察院,四川 成都 610052; 3.山西省地质勘查局二一  
二地质队,山西 长治 046000)

**摘要:**本文针对山西晋城及霍西煤层气预查孔钻探施工中的坚硬岩屑砂泥岩互层钻进效率低的难题,研制了一种多级金刚石表孕镶钻头,对比之前研制的尖齿切削齿复合片钻头以及其他厂家钻头,机械钻速得到明显提高,在该类型地层取得了良好的钻进效果。

**关键词:**多级金刚石;钻探工程;金刚石钻头

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)12-0036-04

**Research on the application of Multi-stage Surface Set Diamond Bit in Very Hard Rock and Mudstone Interbed/SHEN Li-na<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>2</sup>, GUO Qing-bin<sup>3</sup>, RUAN Hai-long<sup>1</sup>, WU Hai-xia<sup>1</sup>, LI Chun<sup>1</sup>**(1.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2.Chengdu Geotechnical Investigation Institute of Building Materials Industry, Chengdu Sichuan 610052, China; 3.212 Geological Team of Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, Changzhi Shanxi 046000, China)

**Abstract:** In this paper, a new multi-stage surface set diamond bit was developed to solve the problem of low drilling efficiency in very hard rock and mudstone interbed in the coal seam gas pre-survey area in Jincheng and Huoxi, Shanxi. Compared with the sharp cutting tooth PDC drill bits previously developed and other manufactures' drill bits, the ROP has been significantly improved with good drilling results in this area.

**Key words:** multi-stage diamond; drilling project; diamond drill bit

弹塑性砂泥岩互层是煤系地层、页岩气地层普遍存在的一种常见地层。对于软—中硬的弹塑性粉砂、泥岩地层,通常采用尖齿切削齿复合片钻头或者三角聚晶巴拉斯钻头能够发挥良好的钻进效果<sup>[1-3]</sup>。然而,对于某些煤系地层中的坚硬岩屑砂泥岩互层,泥岩坚硬且具有一定弹塑性,砂岩含粗中粒结核且本身比较硬,对于这种地层,使用普通孕镶金刚石钻头,钻进效率低下;使用尖齿切削齿钻头或三角聚晶钻头会导致尖齿复合片及三角聚晶尖端部位频繁崩齿,即使在尖齿复合片尖角部位留有一定宽度的过渡(钝尖齿钻头)<sup>[1]</sup>,崩齿现象仍然存在,钻头寿命受到严重影响。随着国内人造金刚石制造技术的提高,大颗粒人造金刚石的强度得到进一步提高,同时其成本的降低,使得大颗粒金刚石为地质钻探金刚石钻头的制造和应用提供了更加广阔的空间。本文就是从多级大颗粒金刚石设计角度出发,针对坚硬

岩屑砂泥岩互层研制了多级金刚石表孕镶钻头,经现场试验,效果十分显著,得到了使用方的认可。

## 1 钻孔概况及钻进难点分析

### 1.1 钻孔信息

ZK-1 号孔位于山西省晋城市阳城县嘉丰镇李家沟村,勘探 15 号煤层,要穿过 3 号煤采空区,孔深约 300 m。ZK-2 号孔属山西省霍西煤田霍西区煤层气、页岩气预查钻探工程,位于临汾市襄汾县邓庄镇鱼池村东北,孔深设计 1680 m,预计完孔深度 1900 m,钻头试验孔深约 1300~1400 m。

### 1.2 岩石特点及钻进难点分析

由图 1、图 2 可见,ZK-1 钻孔内岩石相对较软,使用常规孕镶钻头,可以钻进,但很难超过 1 m/h,且寿命仅有 40 m 左右。ZK-2 钻孔岩石多含硬质结核,观察常规孕镶钻头表面,可见唇面抛光迹象

收稿日期:2018-04-28; 修回日期:2018-08-15

基金项目:国家重点研发计划资助(编号:2016YFE0202200);国土资源部深部地质钻探技术重点实验室开放基金资助(编号:K201703)

作者简介:沈立娜,女,汉族,1985年生,高级工程师,材料科学专业,硕士,从事金刚石钻头的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路 1 号(102400),shenln@bjiee.com.cn。

明显,其实际钻进仅有 0.2 m/h 的钻进速度,有时甚至更低,给施工效率带来极大影响。而采用以往研制的尖齿切削齿复合片钻头,钻头容易出现崩齿,寿命受到严重影响。



图 1 ZK-1 孔岩样和普通钻头出井照片



图 2 ZK-2 孔岩样和普通钻头出井照片

在临汾 ZK-2 钻孔 1230~1280 m 孔深取样进行岩石鉴定,共计鉴定 4 块岩样。岩石鉴定结果分别为:凝灰质中粒长石岩屑砂岩、凝灰质粗中粒长石岩屑砂岩、红褐色泥质粉砂岩、绢云变质含粉砂质泥岩,碎屑组分主要由岩屑、长石和石英砂或粘土矿物等组成,具粗、中粒、粉砂等结构,图 3 为其中的一块岩样正交偏光照片。

依据岩石矿物组成和组构特征,结合标本观察,可知该孔段砂泥岩互层多变,且粒径多变。由于砂岩粒径多呈中粗结构且含有部分硬质结核,导致尖齿复合片钻头的尖齿端崩齿,进而吃入切削困难;而采用普通孕镶钻头对于具有弹塑性致密结构的粉砂岩或泥岩,其金刚石颗粒太小导致出刃困难,容易抛光糊钻(见图 2),因此钻进效率低下。

## 2 钻头设计方案

### 2.1 钻头类型的确定

由于复合片钻头崩齿严重,即使采用具有一定弧度的钝尖齿仍然难以解决问题,因此采用孕镶金刚石钻头作为钻头基本选型方向。

### 2.2 金刚石参数的选择及设计

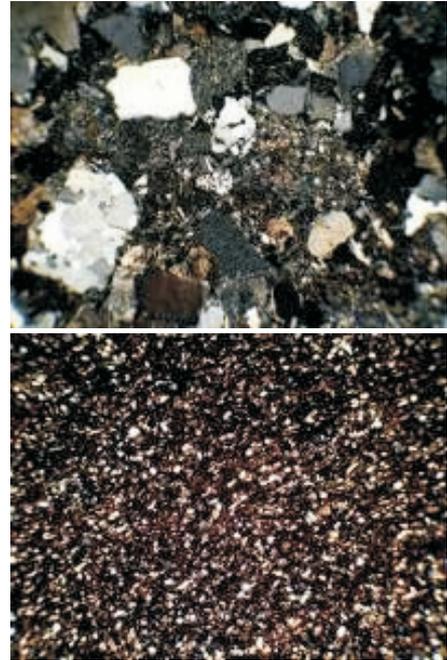


图 3 ZK-2 孔部分岩石正交偏光照片

### 2.2.1 金刚石粒度的设计

为了探究金刚石对岩石的压入机理,利用微机控制电子万能试验机进行了压入试验及压力、变形量等的数值采集。通过体视显微镜(Stemi DV4)进行金刚石筛选以及后期岩石、金刚石的破碎状态观察。试验压头工装为一个中间镶有金刚石复合片的圆柱压头,压入岩石全过程如图 4 所示。分别选用粒度为 18/20、20/25、35/40 目的晶型完整、无杂质的金刚石,压入 4 种硬度不同的岩石以进行对比,分别为泥岩、粉砂岩、石英岩、流纹岩(4 种岩石的力学性质见表 1)。

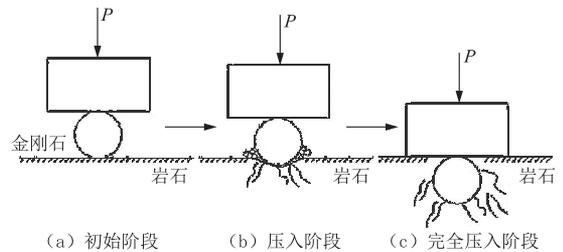


图 4 金刚石压入岩石全过程示意图

表 1 4 种岩石概况

岩样编号	岩石名称	岩石压入硬度/ ( $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-2}$ )	岩样 简称
XJZGE-2	黑灰色含粉砂质泥岩	22	泥岩
SCLS-1	石英粉砂岩	35	粉砂岩
HeNHYG-1	石英岩	42	石英岩
FJPK-1	流纹岩	60	流纹岩

经过试验发现,无论何种目数的金刚石压入这

4种岩石的任何一种,均存在至少2次的破碎变形(即图5中所示的波峰)。

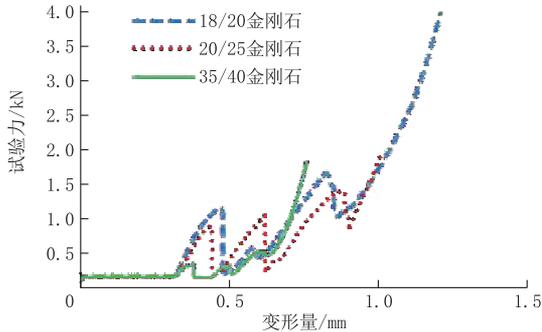


图5 3种金刚石压入粉砂岩力值-变形曲线

我们提取首次破碎力值,得到首次破碎试验力与金刚石目数的关系曲线如图6所示。

由图6可以看出,随着金刚石粒度的减小,首次破碎试验力值逐渐减小,且金刚石粒径越小,首次破碎力值越接近。岩石硬度越大,金刚石粒度对首次破碎力的影响越大,因此,对于硬岩,如流纹岩,宜选用

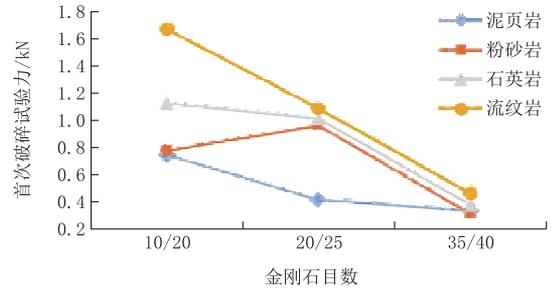
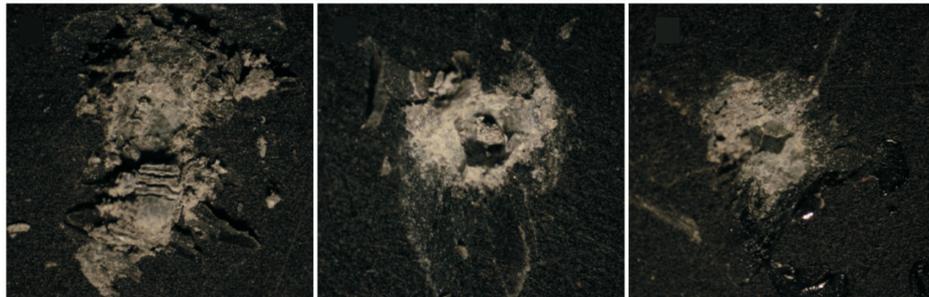


图6 不同金刚石压入岩石首次破碎试验力值变化曲线

颗粒较小的金刚石,从而获得更优钻进比压。而对于较软岩石,金刚石目数对首次破碎力的影响较小。

此外,由图7可以观察到粒径越大的金刚石在完全压入泥岩后的破碎范围越大,其中18/20的破碎面积约是35/40的3倍。推测金刚石压入泥岩的首次破碎范围也有同样规律。而20/25金刚石压入泥岩的首次破碎力约为35/40的1.5倍,因此,当钻进较软岩层时,宜选用较大颗粒的金刚石钻头。

由于孕镶金刚石钻头主要切削齿多为30目以细



(a) 18/20金刚石压入泥岩 (b) 20/25金刚石压入泥岩 (c) 35/40金刚石压入泥岩

图7 32×显微镜下金刚石压入泥岩破碎情况

的金刚石<sup>[4-5]</sup>,金刚石颗粒细小,压入地层深度小是钻进效率低下的主要原因之一。但如果全部选用大颗粒金刚石会一定程度影响胎体料的包镶强度和钻头的切削覆盖率,因此,采用了多级金刚石表孕镶结构,即选用了多种目数金刚石。

如图8所示,将14/16目大颗粒金刚石分3层布于钻头胎块唇面及钻头胎块内部,其余空间为混入另外大小不等的三级目数(20/25、25/30、30/35)金刚石孕镶胎体料。

### 2.2.2 金刚石浓度的设计

表2为孕镶金刚石钻头在不同岩层推荐的金刚石浓度值,可见在中硬岩层推荐的浓度为75%,考虑到我们应用的多层大颗粒及多级孕镶,且钻进的是砂泥岩互层,金刚石浓度取60%~70%之间。

### 2.3 钻头唇面及水路设计

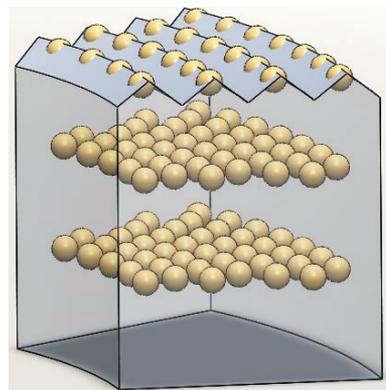


图8 多级金刚石表孕镶钻头14/16目大颗粒金刚石三层布齿结构示意图

钻头的水口和水槽要合理设计,以达到更好地冲洗岩屑和冷却胎体的目的。水口的面积要大于钻头与岩心之间或者钻头与井壁环状间隙的面积。

表 2 人造孕镶金刚石钻头在不同岩层推荐的金刚石浓度值<sup>[5]</sup>

代号	金刚石制品浓度/%	相当的体积浓度/%	金刚石的实际含量/(克拉·cm <sup>-3</sup> )	适用岩层
1	44	11.0	1.93	硬—坚硬弱研磨性
2	50	12.5	2.20	
3	75	18.8	3.30	中硬—硬中等研磨性
4	100	25.0	4.39	硬—坚硬强研磨性
5	125	31.5	5.49	

为了避免钻进时岩粉排出不及时,滞留在孔底并附着在金刚石上形成“泥包”,堵塞水口,影响后期的钻进效率,所以钻头的水路设计较常规孕镶钻头水路需更宽一些。

#### 2.4 钻头的制造工艺

钻头胎块通过低温热压烧结成型,尽量降低对金刚石的热损伤,热压成型的胎块采用高频焊接,与经过热处理的合金钢进行二次焊接,最终成品如图 9 所示。



图 9 多级金刚石表孕镶钻头使用前后图片

### 3 钻头的现场应用情况

表 3 为 ZK-1 孔钻头现场试验数据。

表 3 ZK-1 钻孔钻头使用情况统计

钻头名称	生产单位	钻头数量/个	平均寿命/m	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	备注
多级金刚石表孕镶钻头	北京探工所	2	130	2.1(泥岩)、3.0(砂岩)	
尖齿(钝切齿)复合片钻头	北京探工所	1	42.4	2.0	崩齿提钻
常规孕镶钻头	其他厂家	1	40	0.7	后期钻速更低

由表 3 数据可知,在 ZK-1 钻孔,采用尖齿(钝切齿)复合片钻头出现钻头崩齿(图 10),而多级金刚石表孕镶钻头机械钻速和钻头寿命明显得到提高。在砂岩地层,机械钻速可达 3 m/h,在泥岩地层,机械钻速可达 2.1 m/h,钻头平均寿命 130 m,同比其他厂家钻头,钻头时效高,寿命长。



图 10 ZK-1 孔现场钻头及岩样图片

在临汾 ZK-2 钻孔,砂泥岩互层频繁,地层更加坚硬,且地层含硬质结核,常规孕镶钻头几乎没有进尺,采用多级金刚石表孕镶钻头钻进(图 9),具体钻进数据如表 4 所示。

表 4 ZK-2 钻孔钻头使用情况统计

钻头名称	生产单位	钻头数量/个	进尺/m	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	备注
多级金刚石表孕镶钻头	北京探工所	1	115.09	0.5	出井新度 75%
尖齿(钝切齿)复合片钻头	北京探工所	1	5	1.1	崩齿提钻
常规孕镶钻头	其他厂家	1		0.2	

由表 4 可知,临汾 ZK-2 钻孔采用多级金刚石表孕镶钻头钻进后,机械钻速虽然仅有 0.5 m/h,但较其他厂家常规孕镶钻头已有明显提高。钻头从 1285.16 m 钻进至 1299.96 m,之后又从 1313.6 m 钻进至 1413.95 m,累计进尺 115.09 m,出井新度仍达 75%,预估寿命可超 250 m,得到了施工方的一致认可。

### 4 结论

(1)对于坚硬岩屑砂泥岩互层,尖齿复合片钻头极易出现崩齿现象;

(2)通过多级金刚石设计金刚石钻头能够大幅提高钻进较坚硬砂泥岩互层的机械钻速,并且具有较高的工作寿命。

### 参考文献:

- [1] 阮海龙,沈立娜,李春,等.弹性致密泥岩用新型尖齿 PDC 钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):80-83.
- [2] 陈云龙,秦志坤,王志刚,等.致密泥岩用新型巴拉斯钻头的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):63-65.
- [3] 杨春.软岩钻进用新型复合片钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):74-76.
- [4] 赵尔信,等.金刚石钻头与扩孔器[M].北京:地质出版社,1982.
- [5] 刘广志,等.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991.