

# 深孔绳索取心金刚石钻头性能参数探讨

赵广伟<sup>1</sup>, 杨 革<sup>2</sup>, 梁广华<sup>2</sup>

(1. 武警黄金第一支队, 黑龙江 牡丹江 157021; 2. 黑龙江第六地质勘查院, 黑龙江 佳木斯 154002)

**摘要:**深孔绳索取心钻进对金刚石钻头的性能提出了更高的要求。从分析金刚石钻头的性能对钻进的影响入手,着重对满足深孔绳索取心钻进要求的金刚石钻头制造方法与性能参数进行了探讨,在综合国内外先进经验的基础上总结提出了新型钻头的参数指标。

**关键词:**深孔绳索取心钻进;金刚石钻头;性能参数

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)05-0075-05

**Discussion of Performance Parameters for Wire-line Diamond Coring Bit in Deep Hole/ZHAO Guang-wei<sup>1</sup>, YANG Ge<sup>2</sup>, LIANG Guang-hua<sup>2</sup>**(1. CAPF The First Detachment of Gold, Mudanjiang Heilongjiang 157021, China; 2. No. 6 Institute of Geological Exploration of Heilongjiang, Jiamusi Heilongjiang 154002)

**Abstract:** Wire-line coring drilling put forward higher requirements to the parameters of diamond bit. By the analysis on the influence of diamond bit performance to drilling operation, discussion was made on the manufacture and performance parameters of diamond bit to satisfy wire-line coring drilling in deep hole. The parameter indexes of new type of bit are suggested based on the advanced experiences both in China and abroad.

**Key words:** wire-line coring drilling in deep hole; diamond bit; performance

随着国家对地质勘查投入的不断加大,在“攻深找盲”找矿理论的指导下,设计深孔及其工程量也逐年增加。金刚石绳索取心钻进技术由于具有纯钻时间长、不提钻取心、钻进效率高、有效保持钻孔孔壁稳定、降低劳动强度等优点,使之在深孔小口径岩心钻探中得到越来越广泛的应用。在深孔施工实践中,金刚石钻头制造技术与性能指标对充分发挥绳索取心钻进技术的优越性、顺利完成工程任务具有至关重要的作用。人们对钻头适应不同物理力学性质岩石的能力、钻进速度、使用寿命、钻头价格也提出了更高要求。

因此,钻头的(广谱)适应性、机械钻速(钻进效率)、寿命、价格四要素成为当前深孔绳索取心钻进金刚石钻头的选择标准。

## 1 深孔绳索取心钻进技术对金刚石钻头性能指标的具体要求

### 1.1 较强的广谱适应性和较长的工作寿命

深孔钻探施工中,不同矿区、相同矿区的不同钻孔、同一钻孔的不同层深所遇岩石及其物理力学性质都不会相同。尤其是在同一钻孔,随着钻孔的加深,地层岩石变化有时会很频繁。众所周知,传统的

浅孔小口径单动双管钻进工艺采用的方法是提钻取心后换合适性能参数的钻头,但在深孔绳索取心钻进工艺中,频繁提钻换钻头的方法是不可想象的。不提钻换钻头技术由于受技术、经济等客观因素的影响,还不能广泛、成熟地应用到工程实践中。这样,单体钻头在一定范围内针对不同地层岩石都具有较高的适应性、高穿透性和长工作寿命,就显得极为重要和必须。使得在深孔绳索取心钻进中,不用频繁提钻换钻头就能保证钻进的正常进行,大大提高劳动生产效率、降低人员劳动强度。

因此,在深孔绳索取心钻进中,首先要求金刚石钻头对不同的地层和岩石都要具有较强的广谱适应性和较长的工作寿命。无论地层和岩石的硬度、研磨性、完整程度、可钻性怎样变化,钻头都能与所钻岩石相适应。做到钻头胎体正常磨损、金刚石正常出露、有较厚的工作层并消耗合理、保径效果良好。

### 1.2 较强的刻取岩石能力

绳索取心钻进施工中,大幅度提高平均机械钻速,即提高纯钻进效率可明显缩短单孔施工周期。这就要求金刚石钻头在一定的设备施工能力和合理的钻进工艺参数下具有很强的刻取岩石能力,体现出较高的机械钻速。无论地层和岩石性质如何变

收稿日期:2013-02-26

作者简介:赵广伟(1970-),男(汉族),黑龙江依兰人,武警黄金第一支队钻探主管工程师,勘查技术与工程专业,从事钻探技术研究与管理,黑龙江省牡丹江市江南开发区勃洲街,myyubang@sina.com。

化,钻头都能以体积破碎方式进行碎岩。做到钻头金刚石自锐耐磨能力强、浓度合适、粒度适中、分布合理、消耗正常、保径介质选配合理。

### 1.3 较低的制造成本

在以往的钻探直接生产成本构成中,研磨材料消耗成本占有一定比例。随着金刚石生产水平和钻头制造技术的发展,制造较低成本的高效长寿命钻头已经成为可能。因此,必须把低价格做为选择钻头的重要指标之一。况且,低的制造成本恰恰反映了高新技术理论下钻头制造技术的日趋成熟和发展潜力。

## 2 传统制造技术的绳索取心钻头性能参数构成及存在的问题

传统意义上金刚石钻头性能参数主要有钻头胎体硬度、金刚石浓度、金刚石粒度、工作层厚度、底唇面形状、水口形状与数目、保径方式等。

### 2.1 胎体硬度

在以往施工实践中,一般是根据岩石可钻性、研磨性等被动地选择钻头胎体硬度,通过调整钻头胎体配方使其耐磨性与岩石的研磨性相适应。为了保证在不同地层岩石中都具有良好的钻进效果,施工前往往要准备较多数量不同胎体硬度的钻头,这在无形中降低了钻头的利用率,增加了生产成本,也降低了生产效率,并使施工工序复杂化。而且,此类钻头胎体在钻头径向上是等硬度分布的,据测定,钻头在钻进中工作层胎体内缘所承载荷大于胎体外缘所承载荷,在没有其它补强措施的情况下,钻头内缘胎体往往先于外缘胎体过早磨耗。

### 2.2 金刚石浓度

传统的钻头金刚石浓度分布,无论轴向还是径向都是等浓度分布的。由于钻头内外径上存在着载荷差,这种等浓度分布必然导致内径上单粒金刚石所承载荷大于外径上单粒金刚石所受的载荷,其结果是内径金刚石工作负担大于外径金刚石,同时因受载荷过大导致的脆性破损等都使得内径工作层超前磨损。

### 2.3 金刚石粒度

传统绳索取心金刚石钻头以单一的细粒金刚石孕镶镶嵌,目数在60~100目之间。虽然完全采用较大目数的细粒金刚石镶嵌可提高钻头的耐磨性,降低钻头制造成本,但其在钻进中自锐性能极差,碎岩方式也以磨削为主,不能以体积方式碎岩,无法有效提高钻头的机械钻速,这种降低成本方式在深孔绳索取心钻进中是得不偿失的。

### 2.4 工作层厚度

一般的绳索取心钻头与普通金刚石钻头一样,工作层厚在4~5mm之间,仅能钻进15~30m左右(如某厂生产的绳索取心钻头在我部使用平均寿命19.6m),对于深孔绳索取心钻进来说,这种厚度的工作层远远不能满足钻进要求。

### 2.5 底唇面形状

底唇面形状对钻头的钻进稳定性、唇面消耗、钻孔弯曲度等都有一定影响。常规钻头通常以圆弧形唇面为主,这种钻头的制造工艺较简单,加之金刚石粒度也非常小,刻取岩石以磨削为主,钻进中易受钻压、地层岩性、岩层倾角等因素影响,对于克服打滑地层和预防孔斜效果较差。虽然有些厂家也制造了一些特殊唇面形状的钻头,但由于技术因素在钻进中做不到长效保持其唇面形状。

### 2.6 水口形状、数目

钻头水口形状、数目对钻头的使用性能、排粉冷却效果有着较大影响,一般绳索取心金刚石钻头的水口数目为6~8个,基本能满足要求。水口形状最常用的是矩形水口(直水口),这种水口使得钻头胎体内缘周长明显较胎体外缘周长小许多,就更加加剧了胎体内缘工作层的过快磨损。水口数目越多,水口越宽,此问题越严重。

### 2.7 保径

传统孕镶金刚石钻头一般采用聚晶金刚石保径,长期以来,聚晶金刚石一直以其具有较高的磨耗比和抗弯强度、抗压强度被广泛地应用到各类金刚石钻头和扩孔器上。但是,保径的聚晶金刚石由于没有刻取岩石的刃角,只是以其高强的耐磨性以磨擦力的形式磨削岩石,遇坚硬“打滑”地层时钻头内外侧面与岩石面磨擦力剧增,因此,聚晶保径成为钻头提高机械钻速的“瓶颈”。

## 3 适合深孔绳索取心钻进的新型钻头制造工艺与参数

要想找到一种适合深孔绳索取心钻进工艺的广阔长寿命钻头,必须在传统的孕镶金刚石钻头制造工艺和参数上有所突破,积极引进新的制造工艺,用全新的思维指导钻头的制造。

### 3.1 钻头胎体

新型钻头的胎体性能不仅仅局限在单一的硬度一个指标上,还有硬度分布、胎体成分、胎体结构等。

就制造技术角度而言,随着粉末冶金技术的发展,钻头胎体成分突破了以Co基胎体为主要成分

的配方,Ni基、Fe基、Cu基胎体也得到了广泛应用,这对降低钻头成本和提高钻头胎体对地层的适应性具有很好的作用。

在径向硬度分布上,可使钻头胎体内缘的胎体硬度稍高于钻头胎体外缘的胎体硬度(据资料以大于HRC2~4个硬度为宜),由外缘向内缘逐步过渡。

在胎体结构设计上,主要表现为径向软硬互层的硬度变化,即在钻头胎体上沿径向设计成不等硬度、不等耐磨性的互层,使胎体形成多个彼此互层的强耐磨区和弱耐磨区。这样在钻进中,由于不同径向上的胎体抗磨损能力不同,就在岩石表面形成较窄的环槽,窄的环槽岩脊在钻头的轴向、径向等多种外力作用下发生碎裂,实现体积方式破碎,使钻头碎岩能力大大提高。同时,这种胎体结构在钻头钻遇坚硬“打滑”地层时由于存在易于磨损的弱耐磨区,使胎体弱耐磨区产生先期磨损,先期磨损下来的胎体碎屑和以体积方式破碎下来的坚硬岩屑同时作用于强耐磨区,使强耐磨区的胎体也能正常磨损,实现金刚石的正常出露,从而有效地解决了坚硬“打滑”地层的钻头胎体磨损和金刚石出露问题。

这种非单一硬度胎体和软硬互层的胎体结构可以实现钻头对不同研磨性岩石的广谱适应性。据测定,胎体硬度强耐磨区控制在HRC38~42(特别坚硬地层HRC30~35)为宜,弱耐磨区控制在HRC28~35(特别坚硬地层HRC15~20)为宜。

### 3.2 金刚石浓度

由于金刚石钻头胎体结构不同,工作层上各部位所受载荷不同,金刚石浓度分布应为不等浓度分布。在工作层的径向上,浓度分布内缘高于外缘,强耐磨区高于弱耐磨区,内外保径弥散强化区高于其它区。金刚石的制品浓度以控制在50%~100%为宜,弥散强化区浓度100%,强耐磨区浓度80%~100%,弱耐磨区浓度50%。

### 3.3 金刚石粒度及粒度混合配比

孕镶金刚石钻头中,不同粒度的金刚石适用于不同硬度的岩石,粗粒适用于中硬岩石,中粒适用于硬岩石,细粒适用于硬和坚硬岩石。常规孕镶金刚石钻头粒度较单一,一般在60~80目之间,这样的钻头当然只适用于中硬或某些硬岩石,适应性很低。实践证明,将不同粒度的金刚石进行混合镶嵌,钻头对不同岩石的适应性就会大大提高,在钻进不同地层时钻头都能维持在较高的机械钻速。金刚石粒度混合配比一般为:25~40目占1/3,40~60目占1/3,60~80目占1/3。这种混合配比方式既可满足硬

脆碎地层对细粒金刚石的要求,也可满足体积方式碎岩对粗粒金刚石的要求。可见,不同粒度的金刚石按一定比例混合镶嵌是提高钻头广谱适应性的主要途径之一。

### 3.4 底唇面形状

为最大限度地防止孔斜,提高钻头稳定性,钻头底唇面的形状必须具有较强的把持岩石能力和较好的方向稳定性(无侧滑倾向),只有这样才能有效地保证钻孔质量。当钻进大斜度倾斜地层、坚硬致密地层或软硬换层地层时,钻孔倾角很容易发生漂移,这类问题在钻探实践中是经常遇到的。不同的底唇面形状对克服钻孔倾角漂移的影响也是不同的,因此在设计钻头时,必须考虑唇面形状对钻孔弯曲度的影响。底唇面形状不同,钻头把持岩石能力和方向稳定性就不同,则克服地层致斜保证钻孔弯曲度的能力也不同。

常见的具有较高把持岩石能力和方向稳定性的底唇面形状有:同心环形(环槽形)、锯齿形(尖齿形)、单双块形(包括交错单双块形)、阶梯形(单、双、多阶梯形,底喷式阶梯形)等。这些唇面形状的共同特点是增加了钻头胎体唇面与岩石面轴向的接触面积,在宏观上是以环槽状破碎岩石的,钻头唇面与岩石呈环槽状接触。这就使钻头的径向移动阻力(侧滑阻力)增大,降低钻头侧滑倾向,使钻头在钻进中具有很高的把持岩石能力和方向稳定性,钻孔质量得到了有效保证。

### 3.5 水口形状与数目

为了改变常规矩形水口存在的不足,人们常常把水口形状设计成扇形,使钻头胎体内缘和外缘边长基本一致,实现钻头胎体内外缘同步磨损。为了增强排粉、冷却效果,也有将水口设计成涡轮扇形状的。为了保证取心效果,减少冲洗液对岩心的冲蚀,也有将水口设计成底喷水口的。从制造技术和制造成本角度讲,扇形水口为最佳选择。S75钻头水口数目以8个为宜,其他口径钻头视口径大小增减水口数目。

### 3.6 保径材料与保径方式

由于聚晶保径已成为提高钻头机械钻速的阻碍因素,所以深孔绳索取心钻进用金刚石钻头必须摒弃聚晶保径材料。如果以大颗粒单晶金刚石做为保径主要介质,可大大提高钻头的机械钻速,因为大颗粒单晶金刚石在保径的同时也能以体积碎岩方式参与破碎岩石。

以金刚石作为孕镶金刚石钻头的保径材料,在

20世纪未曾有人试用过,但限于当时胎体制造技术因素,保径效果不是很理想,保径金刚石易过早脱落,致使保径提前失效。现在,随着制造技术的发展,将大颗粒单晶金刚石镀镍镶嵌来提高钻头胎体对保径金刚石的包镶和把持能力,同时辅以细目的金刚石对钻头内外径做弥散强化处理,可大大提高钻头内外径的耐磨能力,保径效果十分明显。

#### 4 降低钻头制造成本的途径

国内外技术成熟的钻头价格一般在800~4300元人民币不等,寿命在60~250m之间(受地层影响较大),这其中部分钻头的广谱适应性较差,性能只是体现在单一的长寿命上,机械钻速并无明显优势,在深孔绳索取心钻进施工中不能明显有效地提高钻进效率和大幅降低综合成本,因此在很高的钻头价格下片面地追求钻头长寿命的方式是不可取的。怎样才能使钻头在机械钻速较高、寿命相对较长的前提下其制造成本又相对较低呢?笔者认为应从以下几个方面入手。

一是控制好胎体成分。在胎体成分构成中增加铁、铜、镍含量,在胎体中大量应用这3种常规金属元素,不但能有效降低胎体材料成本,还能提高胎体性能。

二是控制好工作层厚度。理论上工作层越厚钻头寿命越长,而实际上钻头寿命还与保径失效时间有关,因此确定钻头工作层厚度时必须考虑到工作层消耗与保径磨耗的同步失效时间问题。在当前的高价格钻头中,钻头工作层厚度一般为10~18mm,用聚晶金刚石做保径材料时基本能解决同步失效问题,改用大颗粒单晶金刚石做保径材料后往往工作层还剩1~2mm而保径却已经失效了,所以应将工作层控制在6~8mm为宜,工作层厚度减小则钻头成本自然下降。

三是控制好金刚石磨料的选取与搭配使用。随着国内人造金刚石技术的成熟,国产金刚石品质越来越高,完全能满足优质钻头制造需要。在深孔绳索取心钻头制造中,应用国产金刚石能大幅度降低钻头制造成本,同时将高、低品级金刚石搭配使用可进一步使钻头制造成本降低。一般高品级大颗粒金刚石多用在工作层强耐磨区,低品级细粒金刚石用在工作层弱耐磨区,弥散强化区则应用最低品级的粉细粒金刚石。这样既能满足钻头性能要求,又大大降低了钻头制造成本。

#### 5 钻头性能对比试验

2006年5~10月,武警黄金第一支队在黑龙江省东宁县金厂岩金矿区进行了钻头性能对比试验。该矿区施工地层属侵入岩区,断裂构造发育,部分矿体赋存在构造破碎带中,矿体倾角较陡。岩层以花岗岩、花岗斑岩、角砾岩、花岗闪长岩、闪长玢岩、闪长岩、蚀变岩为主,硬度较大,平均压入硬度为3000~5000MPa。岩石可钻性级别较高,一般为7~9级,部分硅化蚀变岩达10级。研磨性为较弱至很强,钢杆磨损法研磨性等级为Ⅲ~Ⅵ级。选择了国内2家钻头厂生产的传统S75绳索取心钻头和按新方法制造的新型深孔绳索取心钻头(佛山某超硬材料公司按深孔绳索取心钻头性能要求制造)若干,然后选择有代表性的地层和钻孔进行试验。

##### 5.1 试验钻孔及岩层

金厂矿区2006年度共施工钻孔15个,年实际完成工程量为5223.95m,400m以深钻孔5个,最深孔624.01m。本次试验选择的钻孔见表1。

表1 对比试验钻孔情况

钻孔 孔号	实际孔深 /m	钻孔倾角 /(°)	主要岩层
ZK1205	624.01	83	硅化蚀变岩、花岗岩、闪长岩
ZK14	500.1	90	硅化蚀变岩、花岗岩、角砾岩
ZK1502	452.5	90	花岗闪长岩、花岗岩、花岗斑岩
ZK1405	459.1	90	角砾岩、闪长岩、花岗岩
ZK13	404.9	90	花岗岩、闪长岩、硅化蚀变岩

##### 5.2 试验钻头参数

本次试验共投入钻头24个,其中不同参数的传统绳索取心钻头20个,新型深孔绳索取心钻头4个,扩孔器为各自的配套扩孔器。

2种钻头的性能参数对比如表2所示。

##### 5.3 试验结果

2类钻头在不同岩层下的广谱适应性对比(不同地层下的机械钻速),不同钻头在同一岩层下的机械钻速,综合地层下2类钻头的寿命等,对比数据见表3、表4。

此次试验中,传统绳索取心钻头的最长寿命是在钻头与岩层相适应条件下的数据,平均寿命是不同地层下此类钻头寿命。胎体硬度为HRC30和HRC45的钻头只做了机械钻速对比试验,未做寿命试验。深孔绳索取心钻头的最长寿命和平均寿命是钻头在钻进不同地层得出的数据。在该矿区钻探施工中,也曾使用过国内优质钻头(800~1200元/个)、进口钻头(4300元/个)和国内加筋开窗口高胎体钻头,其机械钻速无明显优势,寿命平均80~120

表 2 钻头性能参数对比表

钻头类型	钻头数量	胎体硬度	金刚石浓度/%	金刚石粒度/目	工作层厚度/mm	底唇面形状	保径方式	购入价格/元
深孔钻头	2	强耐磨区:HRC42 弱耐磨区:HRC30	强耐磨区:100 弱耐磨区:50	25~40 目 1/3, 40~60 目 1/3、 60~80 目 1/3	8	同心环槽形	单晶金刚石	390
	2	强耐磨区:HRC40 弱耐磨区:HRC28	强耐磨区:100 弱耐磨区:50	25~40 目 1/3, 40~60 目 1/3、 60~80 目 1/3	8	尖齿形	单晶金刚石	390
传统钻头	4	HRC30	100	60~80	4	圆弧形	聚晶	380
	4	HRC35	100	60~80	4	圆弧形	聚晶	380
	8	HRC38	100	60~80	4	圆弧形	聚晶	380
	2	HRC40	100	60~80	4	圆弧形	聚晶	380
	2	HRC42	100	60~80	4	圆弧形	聚晶	380

表 3 钻头机械钻速对比

钻 进 地 层	/(m·h <sup>-1</sup> )						
	深孔绳索取心钻头		传统绳索取心钻头				
	同心环槽形	尖齿形	HRC30	HRC35	HRC38	HRC40	HRC45
九、十级弱研磨性岩石(硅化蚀变岩、部分花岗岩、花岗斑岩等) 硬、脆、碎地层	2	2.3	1.6	1	0.7	0.4	0.1
七、八级中等研磨性地层(花岗岩、角砾岩等)	2.7	2.9	2.3	2.8	2.8	2	1.7
六、七级中等研磨性地层(花岗闪长岩、闪长岩等)	3	3.2	2.5	3	3.1	2.4	1.6
	3.2	3.4	3	3.2	3.5	2.6	1.8

表 4 钻头平均寿命对比

钻头类型		最长寿命		平均寿命	
深孔钻头	同心环形	75	69	64.5	
	尖齿形	68	60		
传统钻头	HRC30	14	13	18	
	HRC35	26	19		
	HRC38	30	24		

以满足深孔绳索取心钻进需要。

参考文献:

- [1] 黄建国,赵振峰,王生,等.本溪台沟铁矿深部坚硬地层孕镶金刚石绳索取心钻头的选择和使用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):73-75.
- [2] 叶兰肃,南青民,罗伟.坚硬致密岩层用绳索取心钻头的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(12):65-68.
- [3] 杨凯华,王达,张晓西.科学深钻金刚石钻头的结构与性能分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(S1):30-33.
- [4] 王江平.嵩县大王沟钼矿区破碎地层金刚石绳索取心钻进实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):40-42.
- [5] 刘勇,常江华.某金矿水平绳索取心钻进钻头选型及试验分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):73-75.
- [6] 孙德学,陈伟,张元清,吕洪富.沉积岩松软地层深孔绳索取心钻探技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):16-19.

m,性价比不高,未将其列入对比。

在后续钻头使用中(2007~2012年),随着钻头应用地层越来越广泛,通过我们的不断改进,这种钻头机械效率达到平均3.5~4.0 m/h,单个钻头最高寿命曾经达到600 m(20 m黄色大理岩、180 m闪长岩、400 m中粒花岗岩)。

6 结语

在深孔绳索取心钻进施工中,钻头的广谱适应性、机械钻速、寿命、价格四要素缺一不可,对比试验表明,按本文研究制造的深孔绳索取心钻头完全可

致谢:在钻头试验及钻头制造技术方面,广东佛山市南海希而超硬材料工具有限公司总经理吴宣成博士给予了大力支持,在此表示衷心的感谢!

山西寿阳一煤层气定向参数井竣工

《中国矿业报》消息(2013-05-09) 由河南豫中地质勘察工程公司施工的山西寿阳10井日前顺利完钻,该井深1020 m,井斜27°。这一煤层气定向参数井的完成,将为该地区提供准确的煤层气开发依据。

煤层气定向参数井是集定向、取心、采样、解析、试压于一体的工程,施工中既要保证定向井斜指标达到要求,又需高质量地完成煤层取心工作,施工难度非常大。该公司承接这一任务后,工程技术人员就生产中各阶段重要环节和施工

技术参数进行了研究和磋商,制订出合理的生产措施和方案,做到了合理组合钻具,及时监测井径,并将各项钻井参数控制在设计范围内,确保了这口井定向指标达到设计要求。

针对定向井煤层取心井径易坍塌的实际,该队专门对泥浆进行了技术处理,并对取心中的转速、钻压和泵量等技术指标进行了调整,从而使该井取心率达到了理想的效果:煤顶板收获率93%,煤心收获率98%,底板收获率为100%。