

# 卵砾石地层钻探用大直径加强型金刚石钻头的研制

朱英,周原,赵宪富

(吉林省地质勘探技术研究所,吉林 长春 130103)

**摘要:**采用不同于常规金刚石钻头的设计理念,选用高强度金刚石及耐磨金刚石聚晶体,对普通金刚石钻头胎体配方进行了改进,对常规金刚石钻头的烧结工艺参数作了适当的调整,试制出大直径加强型金刚石钻头。该钻头在耐磨性、抗冲击韧性及保径等方面较常规金刚石钻头显现出较大优势。在不改变常规钻进参数的情况下,较好地解决了卵砾石、破碎地层钻头寿命短、钻进速度慢、钻头易过早损坏等问题,可供类似的地层钻探施工选用。

**关键词:**加强型金刚石钻头;胎体厚度;胎体工作层高度;金刚石粒度;金刚石浓度;钻头寿命;钻进速度

**中图分类号:**P634.4<sup>+</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)08-0068-04

**Development of Large Diameter Reinforced Diamond Bit for Drilling in Gravel Strata/ZHU Ying, ZHOU Yuan, ZHAO Xian-fu** (Jilin Provincial Institute of Geo-exploration Techniques, Changchun Jilin 130103, China)

**Abstract:** With different design idea, improvement was made on matrix formula of traditional diamond bit by selecting high strength diamond and wear-resistance diamond polycrystalline and adjustment was made on the sintering parameters of traditional diamond bit. A large diameter reinforced diamond bit was developed, which has advantages over traditional diamond bit in wearing-resistance, anti-impact toughness and bit diameter retention. The bit service life in gravel and broken formations and drilling rate were improved with no changes of traditional drilling parameters.

**Key words:** reinforced diamond bit; matrix thickness; matrix working layer height; diamond size; diamond concentration; bit service life; drilling rate

## 1 概述

在地质勘探、水利水电、桥梁道路等勘察领域钻探施工中,经常遇到卵砾石、孤石、漂石及强风化破碎地层,该类地层一直以来是钻探施工领域的一大难题,主要表现在:(1)钻进速度缓慢;(2)钻头易损坏、钻头寿命短;(3)由于钻头内外径磨损严重,胎体内径多磨损成喇叭口形状,造成取心质量低,岩心采取率很难达到地质要求。而一般勘察工程要求取心直径较大,针对这种情况,研制一种解决上述难题的大直径加强型金刚石取心钻进用钻头显得十分必要和迫切。为此,我所立项研制一种适用于该类地层钻探施工的大直径加强型金刚石钻头,以期解决钻头寿命短、平均时效低的难题。初步设计该钻头预期指标为:平均寿命22~28 m,钻进平均时效为0.8~1.2 m。经科研人员努力,试制出了成品钻头,该钻头在以卵砾石、孤石、漂石以及破碎地层为主的钻探施工中使用效果良好,基本解决了多年来在该类地层中钻头寿命短、进尺慢的难题,加快了工程进度,取得了较好的综合性经济效益。

## 2 卵砾石地层岩性特点

卵砾石地层多为覆盖层,厚度一般在几米到几十米,有的可达百米。岩石成分复杂,粒径变化大,从 $\varnothing 0.1 \sim 20$  cm,还伴有 $\varnothing 20 \sim 100$  cm的漂石、孤石。卵砾石地层的特点是松散无胶结,空隙大,局部有架空层,渗透性大,漏失严重。其成分由火成岩、变质岩和沉积岩组成,颗粒组成无规律性,由粉细砂、中粗砂、卵砾石和大漂石、孤石等组成。由于卵砾石多为埋藏较浅的覆盖层,大都不同程度受到风化作用,所以质地并不十分坚硬。

## 3 钻头受力分析

在卵砾石地层进行钻探施工,首先遇到的问题就是无法保证正常的钻进速度。如使用硬质合金钻头钻进,钻进速度慢且钻头寿命极低;而用普通常规的金刚石钻头钻进也存在钻头寿命短、钻头易损坏、岩心采取难等情况,一般钻头寿命5~8 m。

出现这种情况的主要原因是由于钻头在卵砾石地层受力状态造成的。完整地层中钻进,钻头主要

收稿日期:2011-04-25;修回日期:2011-06-27

**作者简介:**朱英(1969-),女(汉族),吉林长春人,吉林省地质勘探技术研究所工程师,钻探机械专业,从事金刚石钻头研究、制造工作,吉林省长春市高新区畅达路799号,zhuying19691222@163.com;周原(1984-),男(汉族),吉林长春人,吉林省地质勘探技术研究所助理工程师,机械自动化专业,从事金刚石钻头制造工作;赵宪富(1957-),男(汉族),吉林长春人,吉林省地质勘探技术研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,从事岩心钻探技术研究、施工及金刚石钻头研究工作。

受垂直的轴向压力及回转产生的剪切力,径向力主要由钻具震动产生,正常情况下这种径向力不大,对钻头基本上不构成损坏作用。而在卵砾石及破碎地层中钻进则不同,钻头受轴向压力和剪切力的同时,还要受到较大的径向冲击力。径向冲击力主要是由卵砾石及破碎岩块在孔底翻滚、错动、碰撞、挤压等产生的,这种径向力对钻头的破坏作用极大。用硬质合金钻头钻进时,硬质合金柱在上述几种力的交互作用下就会崩刃、断裂、脱落。用普通常规金刚石钻头钻进,也同样会发生钻头胎体出现裂纹、掉块、胎体局部或整体脱落、内径磨损过快成喇叭口状等现象。因为常规金刚石钻头是以中硬较完整岩石为对象设计生产的,不能适应卵砾石及破碎岩层出现的复杂受力状况。

加强型金刚石钻头由于其钻头设计上采用了与常规金刚石钻头不同的设计理念:一是在材料的选择上采用高强度金刚石并增加工作层厚度、使用加强型保径材料;二是设计新的耐磨胎体配方;三是在制造工艺上对常规工艺加以适当改进。因此,按上述设计生产出的加强型金刚石钻头克服了常规金刚石钻头的较多弱点,在卵砾石及破碎地层钻探工程施工中显现出常规金刚石钻头难以比拟的优势。

#### 4 大直径加强型金刚石钻头的设计

从提高钻头使用寿命和钻进速度为出发点,钻头设计考虑以下几个主要因素。

##### 4.1 金刚石品级

###### 4.1.1 金刚石强度

因为卵砾石地层较松散、有孔洞、卵砾较硬(坚硬的并不多),在回转钻进中卵砾石会对钻头产生冲击、碰撞、径向挤压等作用,所以必须选择使用耐压强度高、耐磨性好的高强度金刚石,这样才能满足钻进过程中金刚石不至于被压裂、压碎或过早磨耗。

###### 4.1.2 金刚石粒度

由于卵砾石层一般埋藏较浅,多属上部覆盖层,一般都不同程度的受到风化作用,所以其硬度并不是特别高,钻头在克取岩石时应以切削破碎为主,故金刚石粒度不应太小,这样在钻机轴心压力作用下,金刚石颗粒可压入岩石一定深度,在钻机回转力的作用下,金刚石如犁头犁地一样破碎岩石,对岩石产生较大的体积破碎,有利于提高机械钻速。鉴于上述分析,选择46目为主60目为辅两种粒度的金刚石作为破碎岩石的材料。

###### 4.1.3 金刚石浓度(含量)

金刚石钻头胎体所含的金刚石浓度是以每立方厘米体积所含金刚石质量(以克为单位)来表示的,每立方厘米含金刚石质量4.4g视为100%浓度。常规金刚石钻头多采用75%~100%浓度,如果浓度大,就意味着钻头单位底唇面积上分布的金刚石质点数量多,反之亦然。究竟采用多大金刚石浓度合适,一般视地层岩性情况决定。坚硬地层、破碎岩石应以磨削为主,不要求金刚石压入岩石太大深度(坚硬地层金刚石压入岩石深度大会造成金刚石过早损坏),金刚石浓度可大一些,这样钻头底唇面金刚石质点多,可降低单个金刚石质点的压力,以防止大钻压压碎(或压裂)金刚石。而卵砾石并不十分坚硬,破碎岩石应以切削产生体积破碎为主,这就要求金刚石质点要压入岩石一定深度,金刚石浓度过高钻头底唇面分布的金刚石质点多反而不利于金刚石的压入,故大直径加强型金刚石钻头胎体工作层选择80%金刚石浓度,这是考虑了岩石硬度、金刚石强度、设备加压能力等综合情况做出的合理选择。

##### 4.2 保径材料

卵砾石地层及破碎地层钻进时,由于砾石活动、翻滚、相互碰撞、挤压等作用,对钻头胎体内外径磨损特别严重,尤其对内径磨损更为严重。普通金刚石钻头内径一般都磨损成喇叭口形状,造成岩心采取不上来或采取率极低,满足不了地质要求。因此,选择钻头保径材料极为重要,加强型金刚石钻头把常规钻头保径用的针状硬质合金条改为加强的金刚石聚晶体,增加聚晶体的数量,每个胎块放置10~12粒聚晶体,保证了钻头胎体内外径不会过早磨损。

##### 4.3 胎体配方

胎体配方是金刚石钻头制造的核心,根据不同地层的岩性特点,设计不同的胎体配方,是提高金刚石钻头整体质量的重要途径。在普通地层,常规金刚石钻头胎体硬度在HRC30~38之间,在卵砾石及破碎地层中钻进,这个胎体硬度就显得较低,不耐磨,钻头寿命短。

针对卵砾石地层研磨性强这一特殊性,胎体配方设计必须提高耐磨性;针对钻头受径向冲击力较大等特点,胎体配方设计必须提高抗弯强度及抗冲击韧性,在提高胎体骨架材料硬度的同时,适量加入其它耐磨材料(如细粒铸造WC、金刚石微粉等)以提高胎体的耐磨性。但胎体硬度不能提高太多,因为胎体硬度提高的同时,胎体脆性也同时增加,而且硬度大幅提高在钻进时还会影响金刚石正常出露而

降低钻进速度。

控制胎体硬度在 HRC40 ~ 42 之间较为适宜。另外为提高胎体抗冲击韧性及抗弯强度,添加了微量的稀土元素。

#### 4.4 钻头胎体结构的设计

胎体的扇形胎块是用来直接克取岩石的,它的几何形状、尺寸直接影响着钻头在孔内的受力状态,同样关系到钻头使用寿命。而胎体工作层高度的高低是直接影响钻头使用寿命的重要因素。常规的  $\phi 150$  mm 金刚石钻头胎体厚度在 10 mm,扇形块为 16 个,胎体工作层高度为 4 mm。胎体不坚固的金刚石钻头在卵砾石地层中钻进几个回次工作层基本就消耗掉了。为了延长钻头的使用寿命,首先需要增加胎体的厚度。胎体厚度由原来的 10 mm 增加到 13 mm,胎体工作层高度由原来的 4 mm 增加到 8 mm,扇形块数量(也就是水口数量)由原来的 16 个减少到 12 个,这样增加胎体工作面积的同时,也加强了胎体的整体性,从而提高了胎体的耐磨性和抗冲击性能。最后把底唇面由原来的平底型改为圆弧形,这种底唇面形状有利于卵砾石地层钻进时钻头胎体部位力的平衡与分解,克服了平底型底唇面由于边角锐利抗冲击性能差易掉块的弊端。

大直径加强型金刚石钻头结构如图 1 所示。

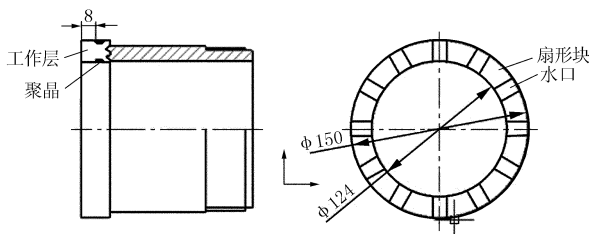


图 1 大直径加强型金刚石钻头结构图

### 5 钻头的制造工艺

本加强型金刚石钻头制造工艺从总体上与常规金刚石孕镶钻头制造工艺基本一致,其工艺流程为:模具加工—刚体加工—混料—配模—模具、刚体除尘净化—装料—烧结—保温—冷却—退模—车扣—打磨水口、水槽—外观修整。但为使钻头达到设计参数,对其中几个关键环节和相关参数做了相应的调整。

#### 5.1 混料

胎体配方是由骨架金属、粘结金属和改善胎体性能金属这三大类金属粉末组成。由于金属粉末生产厂家不同,生产工艺不同,所以粉末的粒度、纯度也不尽一致,尤其粒度差异较大。混料的目的是

细化颗粒,将金属粉料均匀混合,使三大类金属粉末按所占比例相互渗透、相互包容、减少孔隙、排出空气。使用三维立体混料机混料时间  $\leq 24$  h。为了减少粉料中的杂质,混料球采用与胎体成分相同的合金球。

#### 5.2 组装

钻头组装是根据设计钻头的技术参数,把金刚石胎体材料、保径材料及金刚石按技术要求,分工序、分步骤组装到石墨模具中。组装是钻头生产中的重要环节,是钻头质量的保证。首先必须严格对模具、钢体进行严格的除尘、除锈、除油净化处理,然后进行金刚石的精确称量并与胎体工作层粉料均匀搅拌,最后将不同的粉料均匀填入模具中不同位置(并注意填装工作层料时采用特殊的操作方法,以免发生金刚石分选而造成金刚石分布不均)。压实后垂直将钢体放入模具中。

#### 5.3 烧结

##### 5.3.1 烧结温度和压力

考虑到钻头在卵砾石地层钻进的受力特点,适当的提高钻头的烧结温度和压力,其目的是提高胎体的压实密度,这样胎体与刚体的结合更为牢固,避免胎体掉块或脱落。烧结温度提高到  $1020$   $^{\circ}\text{C}$ ,以加强胎体各组分的互相浸润、渗透。

##### 5.3.2 保温

保温时间延长到 10 min,以防止降温速度过快造成胎体局部出现微小裂纹(肉眼观察不到),压力增加到 5 MPa,保温温度为  $800$   $^{\circ}\text{C}$ ,取出后埋在保温材料中,自然缓慢冷却至室温。

### 6 野外生产试验

#### 6.1 试验地层岩性

按上述设计生产出 8 只  $\phi 150$  mm 加强型金刚石钻头,在黑龙江省磨盘山水库和齐齐哈尔罕达罕矿区 2 个钻探施工工地进行了生产试验。

磨盘山水库钻孔分布在河床两侧,设计钻孔深度为 18 ~ 36 m,终孔直径为 150 mm,全部为直孔。地层岩性为:表层少许砂土(0.3 ~ 0.6 m)外,以下是卵砾石,平均厚度 21 m,最大厚度达 33 m。砾径多为 1 ~ 30 cm,含漂石、孤石,孤石直径可达 1 m 以上。

齐齐哈尔罕达罕矿区岩性为花岗岩,上部极其破碎。

钻头在 2 个工地使用效果良好,表现出较常规钻头独有的特性。

## 6.2 磨盘山水库工地试验用钻探设备

钻头试验不是单纯为试验而试验,而是结合生产进行试验,以期解决钻探施工中存在的钻进速度慢、钻头寿命短等实质性问题。钻探设备采用:XY-2PC型岩心钻机,其转速范围为164、344、587、1190 r/min;BW-250型泥浆泵;Ø146 mm单管取心钻具2套;配用试制生产的Ø150 mm加强型金刚石取心钻头;Ø50 mm钻杆60 m;Ø168 mm套管、其他送水管线及辅助工具等。

## 6.3 钻进参数

### 6.3.1 钻压

由于钻孔直径较大,为保证钻头底唇面单位面积上有足够的压力,需施加较大的钻压。而钻机质量较轻(质量650 kg),所以钻进时需加配重,以保证有效施加钻压。根据钻机配重及动力情况(动力机为17kW电动机),施加钻压为10~13 kN。

### 6.3.2 转速

本次生产试验采用转速为164、344 r/min。

### 6.3.3 泵量

卵砾石地层钻孔护壁较为困难,为减少冲洗液上返流速过大对卵砾石层孔壁的冲刷作用,本次试验一律采用泵量为90 L/min。按此泵量计算,冲洗液在环状间隙上返流速为:

$$V = Q / (60A)$$

式中:V—上返流速;Q—泵量;A—钻孔环状面积。

计算得 $V = 0.96$  m/s。如果此泵量不能满足悬浮和携带岩粉需要,则靠增加冲洗液密度或加入植物胶和PHP等高分子聚合物等手段来提高冲洗液携带岩粉能力,不宜再增加泵量。

## 6.4 冲洗液

磨盘山水库工地卵砾石层存在漏失,如果不加以解决,冲洗液上返流速小,不能有效携带岩粉,会造成在孔底堆积,对钻头造成非正常磨损,影响试验数据的真实性,因此对冲洗液性能要求除满足保护孔壁稳定外,还要求能有效携带岩粉。

冲洗液配方:膨润土50 kg,SD-1植物胶25 kg,CMC 1 kg,PHP 1 kg,普通硅酸盐水泥30 kg(以上均为1 m<sup>3</sup>体积加量),如此配制出的泥浆满足了保护孔壁稳定和有效携带岩粉的需要。

## 6.5 试验效果

### 6.5.1 磨盘山水库工地试验效果

在该工地,常规Ø150 mm金刚石钻头寿命最高12.6 m,平均寿命为8.7 m,钻进平均时效为0.62 m,加强型Ø150 mm金刚石钻头寿命最高达到32.2

m,平均寿命26.4 m,平均时效0.84 m。

### 6.5.2 在罕达罕矿区试验效果

在罕达罕矿区,试验设备、参数及冲洗液同磨盘山水库工地。由于花岗岩破碎较硬,常规Ø150 mm金刚石钻头进尺8~10 m后水口就出现裂纹,胎体磨成喇叭口状,岩心采取率达不到地质要求。改用加强型Ø150 mm金刚石钻头后平均寿命达到24.6 m,最高寿命达到35.3 m,平均时效达到0.96 m。由于钻头保径好,内径没有磨损成喇叭口形状,岩心采取率高,满足了地质要求,保证了快速穿过破碎层,加快了工程进度,受到了施工方的好评。

## 7 试验结论

通过2个钻探工地的对比性试验看出,加强型金刚石钻头在寿命和平均时效2个方面均超过了常规金刚石钻头,达到了预期的设计指标。但钻进速度的提高幅度,远不及寿命提高幅度大。要想获得高的钻进速度,钻头胎体就不能太硬。钻头寿命与钻进速度始终是一对矛盾,这也正是目前金刚石钻头制造和研究领域需要继续深入研究解决的课题。

该钻头适用于地质、水利水电、公路、铁路勘察、矿山及煤田等领域的钻探施工,但不适用于完整坚硬或弱研磨性地层,由于硬度较高会出现金刚石出露难不进尺现象,使用时应根据地层岩性特点加以选择。

## 8 结语

大直径加强型金刚石钻头,以其独特的胎体配方和设计结构,克服了在卵砾石、孤石、漂石或破碎较硬等地层钻头寿命短和钻进效率低、岩心采取率低等难题,虽然钻头制造成本有所增加,但寿命长、进尺相对较快,同时保证了取心质量,缩短了工期,加快了工程进度,产生了明显的综合经济效益,受到了施工单位的好评。

## 参考文献:

- [1] 张秋霞,等.粉末冶金HPb80-1.5烧结过程中脱锌量的研究[J].粉末冶金技术,2001,(3).
- [2] 张绍和,等.辅磨料金刚石地质钻头实验研究[J].金刚石与磨料磨具工程,2010,(2).
- [3] 孙丙伦,等.金矿复杂地层金刚石取心钻头选型试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8).
- [4] 邓树密.KL植物胶在人工填筑堆石层钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2).
- [5] 徐建军,等.针对复杂地层金刚石钻头的改进与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1).