

科学深钻金刚石钻头的结构与性能分析

杨凯华^{1,2}, 王 达², 张晓西^{1,2}

(1. 中国地质大学 武汉 湖北 武汉 430074; 2. 中国大陆科学钻探工程中心 北京 100011)

摘 要: 从分析科钻一井的岩石性质、钻进方法以及钻头的使用情况入手, 对科学深钻用金刚石钻头的性能与结构做了较深入的研究与探讨, 提出了新型金刚石钻头的结构设想和可实现的性能指标, 为今后在硬岩中实施大口径、取心钻探提供钻头设计的理论依据和研制工艺方法。

关键词: 科学深钻; 花岗片麻岩; 钻头保径; 复合型钻头

中图分类号: P634.4⁺¹ 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2005)S1-0030-04

Analyses on Structure and Performance of Diamond Bits in Scientific Drilling/YANG Kai-hua^{1,2}, WANG Da², ZHANG Xiao-xi^{1,2} (1. China University of Geoscience, Wuhan Hubei 430074, China; 2. CCSD Engineering Center, Beijing 100011, China)

Abstract: After analyses on rock's characteristics, drilling methods, bit performances in well CCSD-1, the deeply research and discussion were made to characteristics and structure of diamond bits used in deep scientific drilling holes. The envisaged structure of new style diamond bits and possible performances were put forwards. It can provide the theory bases of bit design and manufacturing method for core drilling bits and large diameter bits used in hard rocks.

Key words: scientific drilling; granite gneiss; bit gauge protection; combined bits

1 基本情况

科钻一井已经结束, 各方面都取得了好的成果, 金刚石钻头也不例外, 它是科钻一井的亮点之一。

科钻一井所钻遇的岩层为超高压变质结晶岩, 它具有高硬度、高密度和高波速的特点, 主要岩石为榴辉岩、长英质花岗片麻岩以及角闪岩。5158 m 深

的钻孔中常常穿插几米至十几米的硬、碎带, 几厘米至几十厘米的纯石英带, 大部分孔段为花岗片麻岩, 其石英含量高, 岩石的可钻性为 8~9 级, 少数岩石的可钻性达到 10 级, 同时岩层变化频繁。因此, 要求钻头应该具有好的破碎岩石的能力, 同时具有好的保径效果。岩石的基本力学性能见表 1。

表 1 CCSD 岩石可钻性检测报告表

岩样 编号	岩石名称	取样深度 /m	测试结果					评定 级别
			压入硬度 /(kg·mm ⁻²)	摆球硬度		研磨性	冲蚀性	
				/次	/(°)	/mg	/(cm ³ ×10 ⁻³)	
1	长英质片麻岩	1485.18	365	68	78	8.57	50	VIII
2	富金红石榴辉岩	536.40	502	85	80	5.03	40	IX
3	黑云母斜长片麻岩	916.20	315	66	76	6.62	45	VII
4	黑云母角闪岩	1143.50	175	60	70	3.29	20	V~VI

从钻进方法分析, 科钻一井采用孔底螺杆马达驱动, 配以液动锤加金刚石钻头提钻取心钻进方法。采用螺杆马达钻进, 钻杆柱可以不自转, 下部钻具运转较平稳, 有利于钻头获得高的钻进指标。采用液动锤后, 形成冲击回转钻进, 事实说明液动锤成了主要的破碎岩石的动力, 钻进速度得到明显的提高, 回次进尺大幅度增加。液动锤的冲击功为 100~150J, 较大的冲击力对金刚石钻头产生不利的影

响, 对电镀钻头的影响尤其明显。

由于钻头口径较大, 钻孔深度也较大, 加上采用螺杆马达与液动锤, 因此必须有高压力和大泵量的洗井液携带岩粉、冷却钻头以及驱动螺杆和液动锤工作。这样, 对钻头的冲蚀作用很强烈, 需要钻头具有好的抗冲蚀能力。

花岗片麻岩是容易产生钻孔弯曲的岩层, 5158 m 深的钻孔中花岗片麻岩孔段超过 50%, 这对于如何保证钻孔弯曲在设计的要求范围内, 提出了一个

收稿日期 2005-06-30

作者简介: 杨凯华(1945-)男(汉族), 湖南人, 中国地质大学(武汉)教授、博士生导师, 探矿工程专业, 从事教学与科研工作, 湖北省武汉市鲁磨路 31 号。

十分艰巨的难题。除了从设计合理的钻具结构和优化钻进规程参数方面的研究外,设计一种防斜金刚石钻头是十分必要的。

同时,5000 m 深度的钻孔必须在规定的时间内完成,这就意味着钻头应具有较高的钻进速度。按照《大陆科学钻探工程设计》对钻探工程的要求,钻进的小时效率 <1 m。如果液动锤的工作不正常,加上要防止钻孔弯曲,不宜采用较大钻压,要实现 1 m/h 的钻进速度有很大的难度。因此,要求金刚石钻头既要有高的时效,又要有长的使用寿命。

由上述可知,用于科学深钻的金刚石钻头,既要钻进效率高、使用寿命长,还要求具有较好的适应岩层频繁变化的要求,以及具有一定的防斜能力。

2 科学深钻对钻头性能的基本要求

科学深钻所钻进的深度大,钻孔直径也大,钻进多在变质岩中进行,岩石的硬度、研磨性一般均较大,而且岩性复杂、变化频繁。这就要求钻头既要具有较好的适应性能,又要具有高的时效和长的使用寿命。

胎体的性能是确保金刚石钻头性能的重要指标之一。它关系到钻头的使用寿命,关系到金刚石出刃的良好程度,也关系到钻头的钻进效率,同时还关系到钻头的适应性能。

金刚石的胎体性能包含以下几个方面:硬度、耐磨性、抗冲蚀性与抗剪强度、抗弯强度、抗压强度等。实际上,钻头胎体的抗压强度、抗弯强度与抗剪强度基本不存在问题,能满足钻进的要求。真正影响钻头性能的主要是硬度、耐磨性与抗冲蚀性。

2.1 胎体的硬度

到目前为止,不管是钻头厂商还是用户,都把胎体硬度作为衡量钻头性能,或指导钻头选型的重要依据。其原因之一是长期以来的习惯影响,原因之二是硬度有专门的检测仪器检测,其误差小,可靠;同时,对于这种特殊材料的胎体耐磨性的检测比较难一些,其标准难统一。从金属学中可知,材料的硬度与耐磨性之间有较好的相关性。所以,目前的胎体性能仍然以硬度作为主要的性能指标,指导钻头选型。

岩石的抗压入硬度与研磨性是指导金刚石钻头胎体硬度设计的基本依据。但是,在实验室条件下检测的硬度与研磨性,只能作为定性设计的基本依据。科钻一井的钻进实践说明了这点,同时也表明,胎体的硬度设计一定不能忽略钻进方法,普通回转钻进方法和冲击回转钻进方法,对钻头的要求是不相同的。万方数据

普通回转钻进中,依靠钻压使出刃的金刚石切入岩石,在回转力的作用下剪切破碎岩石,是一种微体积破碎方式,产生的岩粉颗粒小,岩粉较易排离孔底,对胎体的磨损较小。而冲击回转钻进中,由于足够的冲击功作用,体积方式破碎岩石的程度大大增加,岩粉的颗粒明显增大,加上钻头的回转速度较低,岩粉与钻头唇面的接触时间较长,对胎体的磨损明显增大。因此,普通回转钻进中的钻头胎体硬度一般选择较低,而冲击回转钻进中的钻头胎体硬度就应该选择较高。

2.2 胎体的耐磨性

耐磨性在金属学中的概念很明确,金刚石钻头胎体的耐磨性与金属的耐磨性是有差异的,差异在于胎体中含有一定浓度的金刚石成分。由于有了金刚石成分,其耐磨性变得复杂化,其中,胎体合金对金刚石的包镶牢固程度的影响最为明显。

一般认为,钻头的硬度越高,其耐磨性越高,钻头的使用时间长。但是,硬度高到一定程度,就会出现金刚石不出刃的现象,这样的耐磨性是不受欢迎的。或者因为胎体硬度高导致金刚石的包镶性能受到影响,同样不会受欢迎。由于胎体中含有金刚石,胎体合金对金刚石的包镶牢固性实际上会直接影响钻头的耐磨性。包镶牢固性高,金刚石不易掉粒与脱落,从客观上表现出钻头的耐磨性高;同时,包镶性能好,金刚石可以提高出刃高度,钻进速度会得到提高。这就意味着包镶牢固性高不一定是胎体的硬度也一定高,从而说明,钻头的硬度与耐磨性不能划等号,胎体的耐磨性与金属材料的耐磨性存在着明显的差异。

金刚石钻头的耐磨性能直接关系到钻头对岩石的适应性,关系到钻头的钻进指标和经济效益。而衡量钻头性能的具体体现为钻头的钻进时效和使用寿命。更具体的说,就是钻头胎体包镶金刚石的牢固程度和金刚石的出刃效果,也就是同行们常说的,胎体的硬度要适当,胎体的磨损要与金刚石出刃相适应,金刚石既要能适时出刃,又要能较长时间地保持这种良好的出刃状况。

2.3 胎体的耐冲蚀性

耐冲蚀性是在大口径、深孔钻进中对钻头提出的性能要求,对于一般常规小口径钻进的钻头,其耐冲蚀性不作明确要求。冲蚀作用对钻头的损害往往从水口的内径部位开始,其程度比水口的外径部位要严重,冲蚀扩展后将直接影响钻头的保径效果,见图 1 所示。

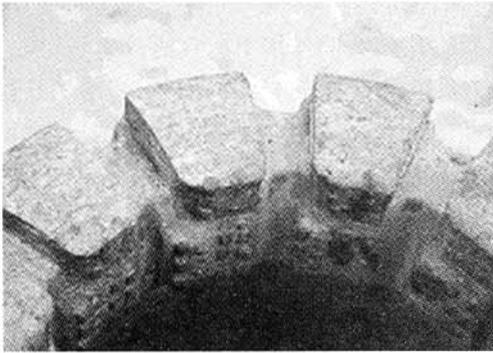


图1 水口内径部位被冲蚀图片

冲蚀作用对二次成形镶块式钻头以及无压浸渍保径二次成形电镀钻头的影响较为明显。其原因是工作层与保径部分的连接处存在薄弱带,容易被带有一定含砂量的高压液流首先冲蚀,形成缺口后很快扩展,导致内径的保径效果下降。

所以,在科学深钻中不可忽视钻头的耐冲蚀性能,因为它直接影响钻头的保径效果,保径不好就直接影响钻头的使用寿命和钻进效率。

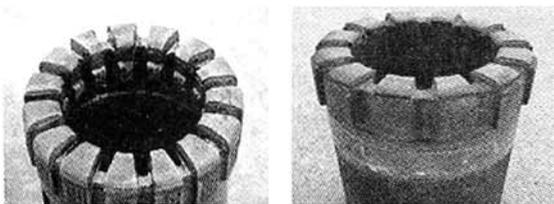
3 结构设计

由以上的分析可知,科学深钻所使用的钻头不同于普通金刚石钻头,它要求有好的适应性,有高的钻进速度,有长的使用寿命。因此,必须在钻头的结构上进行不同于普通钻头的设计。

3.1 钻头的保径

从大陆科学钻探使用的钻头看,钻头的保径效果虽然比较理想,但仍存在不足之处,有待进一步提高,对于电镀钻头尤其如此。

钻头的保径不仅在于设置专门的保径规,更在于钻头的工作层自身的保径效果,科钻一井的实践充分说明了这点。许多钻头就是由于工作层的保径效果不理想,而导致钻头提前退出使用(见图2)。内径或外径、或内外径同时磨损超径后,在钻头上出现内外微型台阶,消耗钻压,钻进效果下降。为了加强钻头工作层的保径,可以采用工作层聚晶保径或三合一复合型保径方法。



钻头内径提前磨损

钻头外径提前磨损

图2 钻头内径、外径提前磨损图
万方数据

工作层聚晶保径在科钻一井得到很好的应用,取得了明显的效果。按常规的思路,在工作层中加入聚晶,要消耗钻压,会影响钻进速度,多年来一直不被采用。实际上,无论是小口径还是科学深钻,在研磨性岩层或硬而破碎的岩层中,这一保径方法是值得肯定和推广的,尤其在冲击回转钻进中更显得重要。

工作层中采用聚晶保径方法,对于热压钻头来说是件容易的事;但对于电镀钻头来说就显得难得多。尽管采取了多种研制方案,而其效果仍不甚理想。聚晶保径方法如图3所示。由图3分析可知,工作层采用聚晶保径后,钻头的工作层磨损正常,基本能够实现工作层和内外径按比例磨损,充分发挥工作层的作用,钻进效率和钻头的使用寿命均得到了提高。

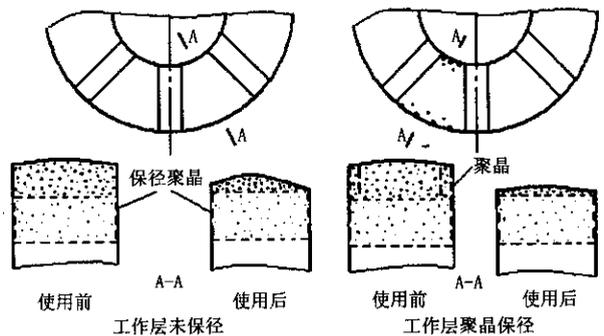


图3 聚晶保径示意图

3.2 钻头的防斜作用

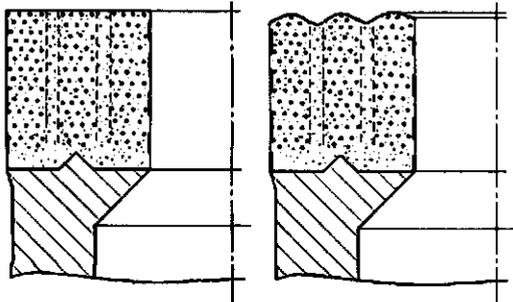
在片麻岩岩层中钻进,钻孔弯曲是个不容忽视的问题,科钻一井的钻进实践再一次证实了这一事实。同时,由于钻具结构仍存在不足或不尽合理,也会造成钻孔弯曲。

防止钻孔弯曲的技术措施有多方面,设计合理的钻具结构以及制定优化的钻进参数等都是重要的措施。同时,一定形状和结构的钻头,对预防钻孔弯曲可以产生积极的作用。

同心圆尖齿钻头被认为有一定的防斜作用。但是,同心圆尖齿却不能维持多久,钻进时间就会变成普通的金刚石钻头,失去尖齿的作用。因此,必须对同心圆尖齿钻头进行改进,采用分层复合方式,自磨出刃形成同心圆尖齿钻头,以实现在整个钻头的钻进时间内始终具有波浪形齿状,具有独特的防斜的作用。这种钻头的结构示意图如图4所示。

钻头具有明显的防止钻孔弯曲的作用,主要机理在于当钻头与孔底岩石在短时间内磨合后,钻头的底唇面就会出现波浪型的齿状(即尖齿状)。波

峰部分主要用于破碎岩石,其胎体的硬度与金刚石质量、数量等和正常的金刚石钻头的工作层没有区别,而波谷部分则远远不同于正常的金刚石钻头的工作层,它不直接参与破碎岩石,而超前波峰部分磨损,在孔底形成同心圆岩脊,使得钻头自身形成一种定向作用,不容易产生偏斜。



(a) 自磨出刃同心圆尖齿钻头结构 (b) 自磨出刃尖齿形状

图4 自磨出刃同心圆尖齿防斜钻头结构示意图

由于这种钻头的结构特点,自始至终可以保持钻头处于同心圆尖齿状,可以抵抗岩石和钻具所产生的造斜力,能有效地防止钻孔弯曲。

3.3 斜水口钻头

由于斜水口比较难加工,所以很少生产斜水口钻头。其实,斜水口钻头可以减少冲洗液的冲刷,可以减少孔底循环流通阻力,对钻头的使用寿命会产生好的影响。对于镶块式二次成形钻头以及电镀二次成形金刚石钻头来说,采用斜水口可以减少工作层与保径规接触部位的冲刷,有利于钻头保径。

斜水口如果能配合螺旋形水槽,其效果将会更好。

3.4 冲击回转钻进钻头

大陆科学深钻采用冲击回转钻进是先进的钻进方法,它对钻头的要求明显提高。从20世纪70年代中期推广小口径钻进以来,虽然对金刚石冲击回转钻进作过许多的研究与尝试,但始终存在不同的看法,一部分人认为金刚石钻头不适宜在冲击回转钻进中使用。科钻一井的钻进事实说明,金刚石冲击回转钻进的效果很好,金刚石冲击回转钻进再一次得到肯定。

由于液动锤的冲击功较大,一般都有100 J或更大,对于钻头的胎体性能提出了更高的要求,它不仅要承受钻压的作用,同时还要承受冲击力的作用。如果为了提高钻进速度,胎体的硬度稍低些好,一般选用中硬偏低的胎体,但中硬的胎体只能适应回转钻进,冲击回转钻进会使钻头消耗过快。硬胎体钻

头在冲击力的作用下,会出现胎块崩落现象,见图5所示,钻进时效也不会高。

因此,胎体硬度应设计为HRC35~38范围比较合理,同时,在胎体中有规律地加入较粗的针状硬质合金,制成以金刚石为主体的金刚石-针状硬质合金复合型钻头,见图6所示。钻进中金刚石破碎岩石为主,针状硬质合金承受部分冲击力,发挥中硬胎体钻进效率高的特点。这种复合型钻头能较好地适应冲击回转钻进,既有好的钻进指标,又能获得高的使用寿命。

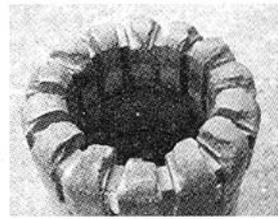


图5 胎块崩落严重

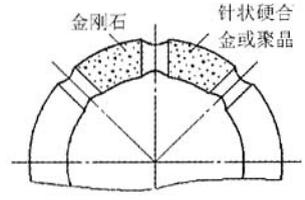


图6 复合型钻头示意图

4 结语

(1)大陆科学深钻所使用的钻头应该是适应岩层的性能较强,无论是冲击回转钻进还是普通回转钻进都应该具有好的钻进指标。

(2)大陆科学深钻所使用的钻头的保径方法,不仅要有专门的保径规,而且对工作层也要有专门的保径。单纯采用保径规并不能获得好的保径效果。

(3)分层复合型自磨出刃同心圆尖齿钻头是一种适应性好、钻进指标高和有效防止钻孔弯曲的钻头。

(4)在中硬胎体中复合针状硬质合金,形成金刚石-针状硬质合金复合钻头,是一种能适应冲击回转钻进的理想钻头。

参考文献:

- [1] 杨凯华,段隆臣.新型广谱金刚石破碎岩石工具的研制[J].探矿工程,1996(4):44-46.
- [2] 李传武,杨凯华.科钻一井金刚石钻头研究分析[J].地球科学,2005,30(增刊).
- [3] 杨凯华,段隆臣.提高人造金刚石钻头质量的有效途径[J].探矿工程,1999(1):42-4.
- [4] 张绍和,杨凯华.自形成同心圆齿孕镶金刚石钻头研究[J].工业金刚石,2002(3):23-27.
- [5] 杨凯华,潘秉锁,段隆臣.钻进坚硬致密岩层的金刚石钻头研究[R].金刚石与磨料磨具国际学术研讨会,2003.