

深部钻探金刚石钻头设计思路

王强¹, 朱恒银¹, 杨凯华²

(1. 安徽省地质矿产勘查局313地质队, 安徽六安237010; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉430074)

摘要:针对深部钻探特点,从金刚石钻头类型、胎体设计、金刚石参数设计、钻头结构及热压参数等方面进行了分析研究,提出了深部钻探金刚石钻头的设计思路。在多个深孔钻探的应用中取得了良好的效果。本文总结的深孔金刚石钻头设计与使用体会,可为钻头研究人员提供一定的借鉴,同时对广大钻探工程技术人员合理选择、使用金刚石钻头具有一定的指导意义。

关键词:深部钻探;金刚石钻头;岩石性质;设计思路

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)05-0084-04

Design Idea of Diamond Bit in Deep Hole Drilling/WANG Qiang¹, ZHU Heng-yin¹, YANG Kai-hua² (1. No. 313 Geological Party of Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Lu'an Anhui 237010, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: This paper presents the characteristics of diamond bit in deep hole drilling. The types of diamond bit, matrix design, diamond parameter design, bit structure and hot pressing parameters are analyzed, the design ideas of diamond bit in deep drilling are put forward, which have been applied in several deep holes drilling with good effects. The design of deep hole diamond bit and the practice experience are summarized, which can be a certain reference for diamond bit selection and application.

Key words: deep hole drilling; diamond bit; rock property; design idea

0 引言

随着我国矿产资源的不断勘探和开采,浅部矿产资源逐渐枯竭,深部找矿已经成为我国地质找矿事业的发展方向。深部钻探技术是实现深部找矿不可或缺的重要手段,对保障国家能源安全,缓解资源供需矛盾具有十分重要的意义。深孔岩心钻探多采用绳索取心钻进方法,而金刚石钻头的寿命与切削效率是影响绳索取心钻进效率的重要因素。如果钻头寿命过短,则直接造成提钻间隔缩短,绳索取心的优越性则无法体现。但是随着钻孔向深部发展,岩性复杂多变,岩石的硬度、研磨性与致密程度变化很大,这给钻头设计、钻头选型和钻头的合理使用,提出了更高的要求。

1 深部钻探的特点

深孔中岩层的复杂性和多样性,使得钻进出现许多难以预料的问题,例如:钻孔弯曲严重、岩心采取率低、孔内事故频频出现等。多数深孔钻进都采用纯绳索取心钻进方法,少数钻孔采用绳索取心加

液动锤组合钻具钻进。由于采用多级孔径结构和采用多级钻具结构,钻具的稳定性、泥浆的循环以及钻进中压力和钻进扭矩等都发生了很大的波动与改变,甚至出现超乎常规的钻进现象,因此,钻进参数等都将随之发生改变,对钻头的结构与性能提出了新的要求。

1.1 钻头转速较低

深部岩心钻探多采用地表驱动方式,加之孔身自然弯曲和钻杆加工质量问题,钻杆柱在钻进过程中往往承受着拉、压、弯、扭和摩擦力的复杂交变应力,从而成为整个钻进系统中最薄弱的环节,容易导致孔内事故。在这种情况下,钻头的转速受到了一定限制,难以像浅孔那样采用高转速为主的钻进参数,钻头转速一般取浅孔的50%左右(2000 m以深转速取200 r/min左右)。

1.2 钻进压力波动大

深部钻进一般很难控制孔底实际压力。孔身自然弯曲和钻具回转、冲洗液循环等因素都将影响钻压传递效率,而钻压传递效率很难用计算方法得出。

收稿日期:2016-12-24; 修回日期:2017-04-19

作者简介:王强,男,汉族,1986年生,工程师,探矿工程专业,硕士,从事深部钻探技术与施工工作,安徽省六安市东七里站,307211839@qq.com。

目前小口径钻进参数仪也不具备测试孔底钻压的功能,只能凭经验判断。所以,孔底实际钻压明显低于地表显示的钻压,且波动大,难以实现恒压钻进。

1.3 冲洗液量损失大

由于深孔冲洗液循环阻力大,泵压高,在超长钻杆柱的大量接头中容易出现冲洗液渗漏,使到达孔底的液量不足,冷却钻头、悬浮携带岩粉效果差,导致重复破碎、钻头微烧等。

由于设备能力、钻杆柱强度不足,深孔往往不能一径到底,一般采用塔式钻具组合,导致下部孔段冲洗液上返流速快,上部慢,悬浮携带岩粉能力差。

1.4 岩性多变、钻孔结构复杂

深部钻探钻遇地层多而复杂,岩石可钻性跨度大,地层的多变性决定了钻孔结构的复杂性,钻具级配多样性,孔底工作环境和钻进参数的多变性。

2 深部钻探金刚石钻头设计思路

基于上述深部钻探的基本特点,对于钻头的性能要求和钻头设计多了一层考虑的因素。

金刚石钻头是目前最锐利的破碎岩石的工具,金刚石硬度极高,从理论上说,金刚石钻头可以顺利地在各种岩层中钻进。但在实践中往往出现进尺慢,甚至不进尺或者钻头寿命较短的情况,这些现象归结起来说明一个问题:金刚石钻进中所用的钻头性能必须和所钻岩石的性质相适应,必须和钻进方法与钻进工艺参数相适应。这是提高金刚石钻进水平,获得良好技术经济指标的一个重要环节。

2.1 金刚石钻头的类型

孕镶金刚石钻头可用于钻进硬至坚硬、不同研磨性的岩层;其中均匀性差、完整度差甚至破碎的地层,更以选用孕镶金刚石钻头为佳;孕镶金刚石钻头应用范围较广,基本涵盖可钻性5~12级的各类岩石。孕镶金刚石钻头不仅能够很好地用于纯回转钻进方法,还能够适应于冲击回转钻进方法;不仅适应于取心钻进,也能适应于全面钻进。

在中硬及硬岩层、完整的岩层以及较低至中等研磨性的岩层中钻进,则以选用优质PCD和PDC钻头为好,也就是对于可钻性8级以下(含8级)的各类岩石,PCD和PDC钻头是首选钻头,因为这两类钻头的钻进时效较高,钻头的使用寿命较长。

在岩层变换频繁、软硬差别较大的地层且又不可能随岩层变化而频繁更换钻头时,就需要研制广

谱型钻头,以使钻头的适应面更加广泛,有利于提高深孔绳索取心钻进效率。

对于绳索取心金刚石钻头,必须要求其具有较好的广谱性能,同时具有良好的保径效果,以满足绳索取心钻进要求。因此,可以考虑设计和制造高工作层钻头,或双水口金刚石钻头,其工作层高度可以达到14~16mm,可以获得良好的钻进指标,满足深孔钻进的需要。

2.2 金刚石钻头的胎体性能

由于深部钻探岩层复杂多变,金刚石钻头在孔底承受着复杂的压、扭和冲击应力。钻头胎体是粘结金刚石和钻头钢体的载体,因此,对钻头胎体性能提出了较高的要求。

金刚石钻头的质量指标主要有硬度、耐磨性、抗冲击韧性、抗弯强度和胎体线膨胀系数,另外,还有胎体密度、胎体热性能和包镶金刚石能力等。胎体密度实际上间接反映了胎体硬度和耐磨性;胎体热性能涉及其线膨胀系数;而包镶金刚石能力的指标虽然重要,但难以用仪器检测。在这些胎体性能指标中,硬度与耐磨性是最重要的指标,关系到钻头对岩石的适应性和钻进效率。热压金刚石钻头的胎体性能主要由胎体材料和热压工艺确定,其中前者是矛盾的主要方面。深部钻探对金刚石钻头胎体性能的基本要求如下:

- (1)要有足够的抗压、抗冲击强度和硬度,且胎体硬度与所钻岩石相适应;
- (2)对金刚石有良好的润湿性,能把金刚石牢固包镶住,同时具有一定的化学稳定性,在高温下不与金刚石起反应;
- (3)熔点较低,对金刚石的热腐蚀作用小;
- (4)胎体的线膨胀系数与金刚石尽可能接近,减少金刚石的应力影响;
- (5)易于成形,并能与钻头钢体牢固地焊接。

钻头胎体的性能要适应所钻进岩层的性质,确保金刚石能够适时出刃,这是孕镶金刚石钻头的设计与选型的基本要点。根据深部钻探特点,可以采用预合金粉作为胎体材料,这是由于预合金粉比机械混合粉末元素分布均匀,从根本上避免了成分偏析,使胎体组织均匀、性能趋于一致;预合金粉合金化充分,使胎体具有较高硬度及抗冲击强度,可大大提高钻头的抗压、抗弯强度,增强对金刚石的包镶能力,提高金刚石钻头寿命。

2.3 金刚石钻头的结构

深部钻探用金刚石钻头在结构设计上,要减少钻头底唇面与岩石的接触面积,可设计成阶梯形、锥形、交错齿形、环齿形等异形结构,增加钻头克取孔底岩石的自由面,形成剪切破碎,提高碎岩效率。同时为提高寿命,可适当增加钻头工作层的高度。

深部钻探冲洗液循环阻力大,冷却钻头、悬浮携带岩粉效果差,这就对金刚石钻头的排粉冷却性能提出了更高的要求。在钻头水口设计上,要加深、加大钻头水口、水槽(或设计双层水口等),增加过水断面,强化孔底横向漫流,提高清洗效率,保证有充分的排粉冷却能力。

深部钻探用金刚石钻头内外径保径要加强,可增加保径聚晶材料的安放高度或者采用单粒金刚石保径等方法。

钻头结构设计应根据实际钻遇地层进行匹配。例如对于深孔中钻进硬至坚硬、致密与弱研磨性岩层的钻头,可以采用轮齿形结构的钻头(见图1)和轮齿环槽形结构的钻头(见图2),还可以采用单双齿型钻头。这些结构形式的钻头,都具有一个共同点就是钻头的底唇面面积较小,一般在45%~55%,钻进时的比压值较大,金刚石能够比较有效地切入岩石;同时,能够在孔底形成多环破碎,形成较多的自由面,从而提高钻进速度。

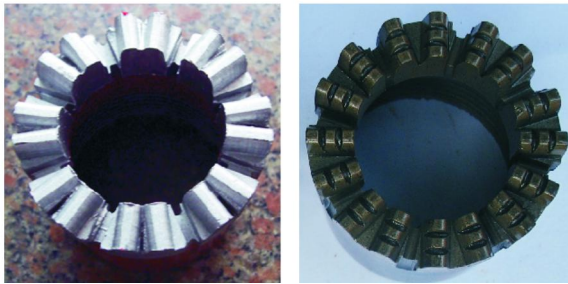


图1 普通轮齿形金刚石钻头 图2 带环槽轮齿形金刚石钻头

自磨出刃同心圆齿热压钻头(见图3)也是一种结构较为合理的金刚石钻头,它的性能可调范围较广,是制造广谱性能钻头的一种较好的结构形式。

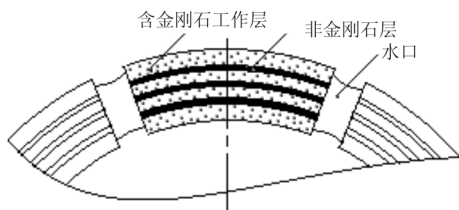


图3 自磨出刃同心圆齿钻头结构示意图

钻进不完整、破碎、岩心易受冲蚀的岩层时,岩心采取率是一项重要的钻进指标。除了选择合理的岩心管结构外,钻头的结构也不可忽视。可采用底喷式结构的钻头,例如导向式单阶梯底喷唇面、内阶梯式底喷唇面等,都可以收到良好的效果。

2.4 金刚石参数

深部钻探中,由于钻头转速低,破碎岩石方式较浅孔高转速磨削破碎岩石不同,在金刚石参数设计时要考虑以下几点。

(1) 钻头在深孔中工作环境恶劣,钻头底唇面上的金刚石受冲击与振动较大,要求金刚石要有较高的强度和抗冲击能力。

(2) 深孔孔底钻压难以精确控制,为保证作用在每粒金刚石上的压力满足破碎岩石要求,在相同钻压情况下,钻头底唇面上金刚石浓度要小。

(3) 在深孔低转速情况下,要以剪切破碎岩石方式为主,要求金刚石颗粒切入岩石的深度要大,金刚石的颗粒应较粗。

因此,在深孔用钻头设计上,应尽量选择高品级、较大粒径(较大粒径为主,同时搭配一定的中粒、细粒金刚石,提高对岩层的适应性)、低浓度的金刚石参数。具体的金刚石参数设计要根据实际岩石的物理力学性能(岩石的压入硬度、岩石的研磨性等)以及地层完整程度而定。

3 热压工艺参数

热压工艺也是影响金刚石钻头性能的重要因素。热压工艺参数主要指烧结温度、压力和保温时间以及出炉温度。热压工艺参数中,需要重点考虑的是烧结温度和压力,同时不能忽视保温时间的影响。深孔绳索取心钻进,为增大提钻间隔,提高纯钻进时间利用率,提高钻头寿命,可适当提高烧结压力,增强胎体的耐磨性及抗冲击性能。烧结温度设计的基本依据是胎体成分中骨架材料的含量以及粘结金属的含量,要尽量减少对金刚石的热腐蚀。保温时间的长短,要依据设备的能力、钻头的类型与规格、升温速度的大小等确定,一般深孔绳索取心钻探用金刚石钻头保温时间可适当延长。

4 深部钻探金刚石钻头应用及效果

结合生产实践,将设计的深部钻探用金刚石钻头在江西赣州南岭3000 m科学钻探NLS D-1孔、

安徽庐枞 3000 m 科学钻探 LZSD-1 孔、安徽寿县正阳关深部找矿 ZK04 孔等深孔中应用,钻遇典型岩样见图 4~图 6。经试验结果对比分析,研制的金刚石钻头最高寿命 341.35 m,平均寿命与普通外购钻头相比, $\varnothing 97$ mm 钻头寿命提高 1.98 倍,钻进效率提高 12.77%; $\varnothing 77$ mm 钻头寿命提高 1.5 倍,钻进效率提高 44.94%,取得了良好的应用效果。



图 4 ZK04 孔细粉砂岩



图 5 NLSD-1 孔角闪石英二长变粒岩



图 6 LZSD-1 孔含角闪石斜长玢岩

通过深部钻探实践,得到了以下金刚石钻头设计与使用的启示。

(1) 2000 m 以深的深部钻探用孕镶金刚石钻头设计应以低转速、低钻压钻进参数为主导,改变金刚石钻进必须通过高转速获得高钻速的传统思路。

(2) 金刚石钻头结构参数的设计或选择必须与所钻岩石的研磨性、可钻性相适应。

(3) 应加强钻头的内外保径、合理设计水口、水槽,避免钻头异常磨损而报废。

(4) 深部钻探应以钻头寿命为主(提钻间隔),时效次之,不宜追求过高时效,以防钻头寿命过短及单位时间产生岩粉过多,深孔条件下无法及时排出而造成孔内事故。

(5) 深孔孔底钻压难以控制,波动较大,在回次中应提倡恒压钻进,在转速、冲洗液量正常的情况下,不要随意改变参数,以免影响钻进效率和造成钻头事故。

5 结论

(1) 由于深部钻探的特点,决定了所钻岩石的多样性和复杂性,同时,必然增加钻探工程的难度。本文通过对深部钻探特点和钻进参数特点较深入的分析,为钻头设计提供了可靠的依据,具有明显的实际意义。

(2) 本文从钻头的胎体性能、钻头的结构以及金刚石参数等几个方面进行了分析,总结了钻头与岩层相适应的内在联系,明确了钻头的设计依据和设计的基本方法,对广大钻头设计人员具有一定的实用参考价值。

(3) 金刚石钻头的性能、岩石的性质与钻进工艺是一个完整的系统工程,相互约束,互为条件,共处于一个系统之中。要想取得好的钻进效果,设计的钻头性能必须与岩石性质基本相适应,必须要有合理的钻进工艺相配合。

参考文献:

- [1] 朱恒银,王强,杨展,等. 深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2014.
- [2] 朱恒银,王强,杨凯华,等. 深部岩心钻探技术与工程[M]. 北京:地质出版社,2014.
- [3] 刘广志,等. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] 杨凯华,段隆臣,汤凤林,等. 新型金刚石工具研究[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [5] 朱恒银,蔡正水,王强,等. 赣州科学钻探 NLSD-1 孔施工技术研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):1-7.
- [6] 周红心. 强化耐磨性钻头在卵砾石地层中的应用研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2007,(2):55-57.
- [7] 姜亦军,王文龙,张辉. SY 系列深孔硬岩孕镶金刚石钻头的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):80-84.
- [8] 沈立娜,阮海龙,李春,等. 坚硬致密“打滑”地层新型自锐金刚石钻头的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):57-59.
- [9] 赵广伟,杨革,梁广华. 深孔绳索取心金刚石钻头性能参数探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):75-79.
- [10] 肖丽辉,李国民,刘宝林. 高胎体金刚石钻头设计制造中的几个关键技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):77-79.