

坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计与选用

孙秀梅, 刘建福

(河北省地勘局探矿技术研究院, 河北 三河 065201)

摘 要:坚硬“打滑”地层钻进一直是钻进工作的一项难题, 深入分析了钻进碎岩机理, 确定影响钻进速度的因素, 进而提出钻头设计应考虑的因素, 并通过野外试验验证了所提观点。

关键词:“打滑”地层; 微切削(刻划)破碎; 磨粒磨损(研磨性破碎); 破碎效果; 钻头设计; 野外试验

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)02-0075-04

Design and Selection of Impregnated Diamond Bit in Hard and Slipping Formation/SUN Xiu-mei, LIU Jian-fu (The Institute of Exploration Techniques under Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Sanhe Hebei 065201, China)

Abstract: Drilling in hard and slipping formation has been difficult, the paper analyzed drilling fragmentation mechanism to determined the factors affecting drilling rate, and put forward the factors that should be considered in bit design with field tests.

Key words: hard and slipping formation; micro-cutting fragmentation; abrasive wear; fracturing effect; bit design; field test

坚硬“打滑”地层钻进一直以来是钻进工作的一项难题。它的特点是岩石致密完整, 抗压入硬度高, 一般钻头钻进时效极低, 极易被抛光, 出现钻头不进尺的打滑现象。随着深部找矿工作的开展, 这种极难钻进的地层出现的深度、频率及厚度都在增加, 如何有效地解决这一难题显得日益突出和重要。笔者通过钻进中遇到的实际难题, 对“打滑”地层孕镶金刚石钻头的碎岩机理在传统的理论上进行更深入地分析讨论, 提出了一些针对性的钻头设计建议, 并在“打滑”地层进行了钻头试验, 取得了较显著的成果。

1 “打滑”地层孕镶金刚石钻头的碎岩机理

孕镶金刚石钻头的碎岩过程是多种碎岩方式有机组合的反映, 并随着岩石性质、工作状态等因素的改变而变化。多数学者的研究表明, 在坚硬“打滑”地层钻进, 孕镶金刚石钻头的碎岩过程是以微切削(刻划)破碎和磨粒磨损(研磨性破碎)为主的组合。

首先, 孕镶金刚石钻头表面有一定出刃量的金刚石, 在钻压的作用下, 当单颗上承受的钻压(有学者称比压)超过岩石压入硬度时, 金刚石犁入岩石, 随着钻头的回转, 对岩石进行切削钻进, 产生岩粒。金刚石犁入岩石深度和岩粉粗细取决于岩石的性

质, 由于“打滑”地层岩石极其坚硬致密, 压入硬度和平均抗拉强度与中硬地层相差很大, 可以高出 1 倍还多, 因此在“打滑”层金刚石犁入岩石量是有限的, 产生的岩粉也很细, 这种单纯切削的每转进尺速度是很低的, 因此称为微切削破碎。

伴随着这种微切削破碎的进行, 金刚石自身也会发生损耗, 这种损耗表现为几种情况。

一种是单纯性的磨耗, 即金刚石在高压高速状态下剧烈摩擦刻划岩石, 其发生摩擦的表面发热强烈而冷却不充分, 引起金刚石表面硬度的降低, 被脱落的硬度较大的颗粒磨出锯齿状剪切擦痕。由于“打滑”地层岩石压入硬度高, 岩石中含的硬颗粒比例高, 参与微切削的金刚石承受的比压高, 在“打滑”地层钻进中每颗金刚石处于一种“强力钻进规程”下, 对于上述前 2 种损耗方式的直接结果是金刚石切削刃更易从锋利状态被磨钝失去棱角, 然后切削刃接触岩石面积增大, 继而切入所需比压大幅增加, 正常情况操作钻工很难灵敏地作出反应及时增大钻压, 有时受孔深和钻机能力也无法增大钻压, 因此难以继续犁入岩石, 钻速衰减随之金刚石刃尖抛得越光, 钻速会越来越低, 甚至不进尺成为金刚石与岩石对顶空磨, 即钻头抛光现象。

另一种也是由于这种出刃表面发热强烈而冷却

收稿日期: 2008-08-01

作者简介: 孙秀梅(1969-), 女(汉族), 河北泊头人, 河北省地勘局探矿技术研究院高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻头、钻具与钻进工艺研究工作, 河北省三河市燕郊镇, ssy8588@sohu.com; 刘建福(1962-), 男(汉族), 河北徐水人, 河北省地勘局探矿技术研究院高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻头、钻具与钻进工艺研究工作, ghj110@163.com。

不充分造成,高温冲洗液与金刚石作用,使金刚石氧化和石墨化,产生麻坑、蚀坑和蜂窝,若岩粉不能及时排除,会加重这种现象,但实际在坚硬“打滑”地层,岩粒量较小,这种损耗并不大。

第三种是金刚石的脆裂,金刚石是脆性体,抗拉强度低,当其切削岩石时出刃的金刚石呈悬臂梁状态,在压缩、弯曲及剪切应力的共同作用下,易发生突发性脆裂。在坚硬“打滑”地层中的“强力钻进规程”下,出刃金刚石发生脆裂的趋势比普通地层比,增大了许多,由于脆裂残留部分面积大,不易磨蚀,反而保护胎体不被磨耗,会在一定程度加重打滑现象。

综上所述,微切削破碎金刚石损耗大,到切削刃面积增大到一定程度,如不能脱落,就容易发生钻头打滑现象。对这个问题可从两方面来解决,一是减缓对金刚石的磨耗,二是使磨耗的金刚石脱落,未磨耗的金刚石出刃。

其次,磨粒磨损(研磨性破碎)是“打滑”地层岩石破碎的重要方式。磨粒磨损通常是指摩擦区的固体微粒作用下的破碎,在摩擦过程中脱落的微粒所引起的磨损均属磨粒磨损。一般分浸蚀、低应力擦伤磨粒磨损、凿削磨粒磨损、高应力碾碎磨粒磨损4种类型。在前述的微切削破碎过程中,会产生岩粉、金刚石脱粒、金刚石脆裂,这些硬颗粒部分被冲洗液携带到孔口,部分进入钻头唇部与岩石之间,形成一定厚度的磨粒层(有学者称之为滚珠层)。由于磨粒与磨损面的性质相似,即硬度相当,大部分为脆性材料,磨粒在受压过程中也会对岩面产生一系列破裂纹,并引起塑性变形和表面疲劳从而对岩石产生破碎,在4种破碎形式中以高应力碾碎磨粒磨损为主。在破碎过程中,已有磨粒同时在磨蚀岩石和钻头胎体,自身在被压碎变细,一方面会产生新岩粉加入到磨粒层中;另一方面还促使钻头胎体磨蚀,使部分金刚石出刃,部分出刃高的金刚石脱落成为新磨粒。大部分磨粒都遵循产生一滚动一压碎一逸散的规律。这种磨粒磨损实质就是消耗自身来破碎岩石,结果用产生的新磨粒又补充了部分所消耗的(另外一部分磨粒由微切削破碎产生),并磨蚀钻头胎体,保证金刚石正常出露。岩粉在钻头磨粒磨损破碎岩过程中起着相当重要的作用。

2 影响破碎效果的因素

综上所述,孕镶金刚石钻头钻进过程是以微切削(刻划)破碎和研磨性破碎(磨粒磨损)为主的组合,前者主要是切削岩石,后者主要是磨蚀胎体;前

者为后者提供了较大粒度的岩粉和粒度、强度都较高的磨粒,而后者能够磨蚀胎体,为前者正常工作提供前提,二者是相辅相成、相互依存、缺一不可的关系。那么在“打滑”地层钻进中,哪种破碎方式起主导作用呢?哪些因素影响二者在钻进中发挥更大的作用,如何使二者更充分地发挥破岩作用呢?只有明确这一点,才能为钻头性能设计者明确设计原则,从而生产适应“打滑”地层的优质钻头。

2.1 影响微切削破碎效果的因素

对于微切削破碎,由于“打滑”地层的岩石极硬,保持金刚石刃部的形状和足够的比压使刃部压入岩石是进行微切削破碎的必要条件。

(1)影响比压的因素是钻压、钻头唇面工作面积及金刚石浓度和粒度。提高比压有3种途径:一种是提高钻压,相对于一般地层,坚硬地层所需钻压要大得多,这对于钻进规程是一个难点,因为钻压的大小要受到钻机、钻杆及钻具等的影响,这种途径能力是有限的;第二种是降低钻头唇面面积,即增加水口的面积;第三是减少唇面分布的金刚石颗粒数,可以降低金刚石浓度来减少唇面分布的金刚石颗粒数,因为每粒金刚石的比压反比于浓度,也可以提高金刚石的粒度来减少唇面分布的金刚石颗粒数,因为通过推导可得出每粒金刚石的比压正比于每粒的体积,从这个意义上说大颗粒金刚石有利于提高比压。

(2)影响金刚石保持刃部形状的因素有品级、粒度、胎体的耐磨性等。微切削破碎时对金刚石的消耗是很大的,尤其坚硬“打滑”地层钻进,金刚石切削刃很容易从锋利状态被磨钝,即单颗金刚石切削面积增大,此时若能脱落则能作为磨粒参与研磨破碎过程;若不能脱落,且比压提高不够时,就会造成钻速衰减和钻头抛光现象。上面提到解决金刚石切削面积增大造成对顶打滑的方法有两方面,一是减缓对金刚石的磨耗,另一是使已磨耗的脱落。那么,提高金刚石品级,降低金刚石粒度,降低胎体的耐磨性,保持较高钻速是实现这两方面的手段。①金刚石品级越高,金刚石越不易被抛光和发生脆裂,可减缓对金刚石的磨耗,越有利于“打滑”地层的微切削(刻划)破碎。②胎体耐磨性越低,胎体越易被磨耗,越有利于金刚石及时脱落,新的金刚石出刃。③金刚石粒度越小,使其脱落所需磨耗的胎体层就越薄,越容易实现被磨耗,越有利于金刚石出刃和脱落。④钻进速度越高,岩粉越多,越有利于胎体磨耗。

大颗粒金刚石由于出刃高,切削量大,理论上是

有利于提高微切削破碎速度的,但粒度越大,刀刃应越耐磨,即品级应越高,才能发挥粒度大的优越性,否则刀刃磨钝不能脱落的大粒度金刚石极易造成钻头抛光。

综上所述,发挥微切削破碎的关键是在足够钻压下,一定粒度的金刚石一旦磨钝后即刻脱落。这是一个金刚石品级、粒度、浓度、钻进速率、胎体耐磨性相互配合的结果。理论上大粒度低浓度极品金刚石配以较低耐磨性的胎体可以高钻速穿过“打滑”层;中等粒度低浓度优质金刚石配以低耐磨胎体可以中速通过“打滑”层;细粒低浓度普通金刚石配以极低耐磨胎体也可较低钻速通过“打滑”层。但实际中由于金刚石的品级和钻头制作成本是有限的,在实际设计中采用中等粒度低浓度优质金刚石配以低耐磨胎体是较佳设计方案。

2.2 影响磨粒磨损效果的因素

对于磨粒磨损,足够的磨粒和磨粒受到足够的压力是发生磨粒磨损的必要条件。

(1)影响磨粒数量和大小因素有:微切削破碎效果;钻头胎体上脱落的金刚石数量和颗粒性骨架的数量;钻进工艺中投放研磨剂的数量、种类、频率;岩石矿物成分,岩粉粒度;钻头唇面和水路设计;钻进工艺中的泵压和泵量等。

微切削破碎效果越好,钻进速度越高,产生的岩粉越多;钻进工艺中投放研磨剂越硬,粒度越接近于孕镶金刚石,数量越多;岩石矿物成分越硬,岩粉粒度越大,越有利于磨粒磨损。

在钻进中,投放研磨剂尽管是一种常用手段,但其种类、粒度、数量的变化会对使用效果产生很大影响,若不恰当,要么起不到使金刚石出刃的目的,要么影响钻头寿命,较难掌握,只有钻头性能无法适应“打滑”地层时才使用。

钻头胎体上脱落的金刚石和颗粒性骨架是磨粒的重要组成部分,由于硬度高,颗粒大,在磨粒磨损中起着主导性作用,其数量多少与其粒度大小和胎体的性能特点有关,小粒度金刚石易于脱落并且相同浓度下数量多,有利于磨粒磨损;大粒度金刚石品级高时不易脱落和断裂,品级低时易断裂,虽形成磨粒,但残留部分不易磨耗,可以说大颗粒金刚石不利于磨粒磨损发生;胎体对上述颗粒的包镶性能越差,颗粒就越容易脱落,越有利于磨粒磨损。

岩粉是以磨粒聚集体的形式存在于胎体和岩石之间的,它的数量越多,越有利于磨粒磨损,这主要与泵压泵量及唇面和水路设计有关,在保证金刚石

充分冷却的情况下,小泵压、小泵量、大水口及尖齿形、锯齿形、齿轮形等复杂形状和水路较曲折的钻头设计更有利于存留岩粉。钻头水口的过水断面越大,越能降低钻头的过水压力;冲洗液流量越小,唇面越复杂,漫流区冲洗液冲洗路程越长,相应阻力增加,水压损失大,越有助于孔底保持一定量的岩粉,加快钻头出刃速度,从而加强磨粒磨损破碎效果。

(2)影响磨粒所受压力的因素有钻压和金刚石粒度。钻压越高,分散在磨粒上的压力越高。由于磨粒存在于岩石和胎体之间,单个磨粒或磨粒聚集体的直径应大于或等于岩石胎体间的距离,所以该距离越小,越易使磨粒受到足够的压力。因为单个磨粒应来源于脱落或断裂的金刚石,或者是专门孕镶在胎体中用作研磨颗粒的粗粒耐磨材料,或者是从井口投放的研磨材料,所以岩石胎体间的距离与采用金刚石的粒度有关,粒度越大,出刃越高,该距离就越大;粒度越小该距离就越小,因此采用小颗粒金刚石有利于保证发生磨粒磨损的必要压力。

根据上述分析,要充分发挥磨粒磨损破碎的方法有以下几个方面:首先保证微切削破碎效果的充分发挥;采用小到中等粒度金刚石;采用大水口和尖齿形、锯齿形、齿轮形等复杂形状唇面及水路较曲折的钻头;采用高钻压、小泵压、小泵量钻进工艺。

3 坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计原则

根据以上分析,在针对坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计时,应考虑以下几个方面。

3.1 胎体性能

岩石越坚硬致密,耐磨性应越低。钻头胎体性能包括多个方面,强度、抗弯性、硬度、耐磨性、对金刚石的包镶性等,耐磨性在“打滑”层中最关键。降低胎体骨架成分硬度和胎体致密度是降低胎体耐磨性的有效措施。

3.2 金刚石品级

岩石越坚硬致密,品级应越高。“打滑”地层的岩石具有极高的压入硬度,每颗参加切削破岩的金刚石都处于强力规程下,承受的钻压高、弯矩大,要求金刚石具有高的抗压强度、抗弯强度,只有高强金刚石才能满足。

3.3 金刚石粒度

岩石越坚硬致密,粒度应越小;金刚石品级越低,粒度应越小。同级别的金金刚石,抗磨能力大体相同,小粒度金刚石在刀刃磨损后,能迅速脱落成为磨粒,大粒度磨钝后不能及时脱落,成为支撑架,更

易造成打滑现象出现。

3.4 金刚石浓度

岩石越坚硬致密,金刚石浓度应越低;金刚石粒度越小,浓度应越低。因为同一粒度下,浓度越低,单位面积层面上分布的金刚石颗粒数量越少;相同浓度下粒度大的金刚石颗粒数量要少于粒度小的,而分布在单粒金刚石上的钻压(比压)与金刚石数量成反比。

3.5 唇面形状及水口

岩石越坚硬致密,水口面积应越大,唇面形状应越复杂。复杂的唇面如阶梯形,尖齿形、T形,有助于增加唇面—岩石接触面积,使唇面—岩石保持一定量的岩粉,加快钻头出刃速度;还有利于增加参与切削岩石的金刚石颗粒数量,从而从微切削和磨粒磨损两方面加强破碎效果。

4 野外试验

我们设计制造了几个钻头在河北唐山司家营铁矿区进行了试验使用,取得了较好的成果,证明了上述坚硬“打滑”地层孕镶金刚石钻头设计原则是实用的。对于普通软胎体钻头已无法钻进的 8~10 级硬岩,试验钻头平均小时效率 2.8~3.6 m,在矿层硅化磁铁石英岩地层中(可钻性 11 级),小时效率 2.25 m,在石英脉中小时效率达 1.5 m,回次进尺绝大部分达到了满管长度,且钻进过程无须投磨料或采用酸蚀,提高了钻头寿命,简化了钻进工艺,提高了钻进效率,降低了劳动强度,得到了使用者的肯定和认同。证明了金刚石的粒度和强度不同对钻进的影响,2、3、4、5 号是相同配方的钻头,只是金刚石的粒度和强度不同,钻进效果截然不同。试验钻头应用效果见表 1。

表 1 试验钻头与相关厂家钻头应用效果对比表

钻头 厂家	钻头硬度	孔深 /m	累计进 尺/m	回次 数	平均时效 /(m·h ⁻¹)	地层与使用情况
唐 山	HRC15 低浓度细粒金刚石	269.67~272.05	35.18	13	2.04	以石英、长石为主的 8~9 级硬岩,需投玻璃做磨料;遇红色花岗岩(9~10 级)钻进不进尺
		278.50~301.24 307.81~313.66				
营 口	HRC10,浓度 60%,粒度 46~70 目,优质高强金刚石	580.23~600.12	58.19	35	1.80	需投玻璃做磨料;在矿层硅化磁铁石英岩中钻进时效 1.765 m/h;在 9~10 级花岗岩中钻进时效 1.82 m/h
		593.53~638.42				
	1 号:HRC15 低浓度普通粗粒金刚石	260.52~265.12	13.32	5	2.96	上述红色花岗岩;需投玻璃做磨料
		272.05~276.18 301.24~305.83				
	2 号:低耐磨 806;低浓度普通粗粒金刚石;加宽型水口	492.98~527.76	35.18		1.98	在以石英、长石为主的斑状花岗岩(硬岩 8~9 级)中,时效 3 m/h 左右;在矿层硅化磁铁石英岩中需投玻璃做磨料,否则回次进尺极低,刚投磨料后时效 1.24 m/h,随着钻进,时效不断降低,有明显的钻速衰减现象。在矿层(18 回次)中回次进尺很低,0.2~0.35 m 的占 5/18;0.45~0.55 m 的占 4/18;0.8~1.05 m 的占 5/18;1.5 m 的占 1/18
		543.76~544.06				
本 院	3 号:低耐磨 806;低浓度普通粗粒金刚石;超宽型水口	539.65~543.76	4.14	8	0.75	在矿层硅化磁铁石英岩中钻进,每个都投玻璃做磨料,随着钻进,时效不断降低,有明显的钻速衰减现象
		571.88~580.23				
	HRC20,低浓度细粒金刚石	565.79~571.88	4.04	5	1.22	投玻璃做磨料。在矿层硅化磁铁石英岩中钻进时效为 0.75 m/h
	4 号:低耐磨 806;低浓度高强细粒金刚石;H 型水口		56.74	22	2.40	回次进尺高,平均回次进尺 3 m 左右(岩心管长 3 m);无需投玻璃做磨料。在矿层硅化磁铁石英岩中钻进时效 2.25 m/h;在石英岩钻进时效 1.5 m/h;在类似 9 级红色花岗岩中钻进时效 2.57~3.6 m/h
	5 号:低耐磨 806;低浓度高强细粒金刚石;超宽型水口		72	25		回次进尺高,平均回次进尺 3 m(岩心管长 3 m)左右;无需投玻璃做磨料。在 9~10 级花岗岩中钻进时效 3 m 以上

通过实验也证实了在钻进“打滑”地层中,投放研磨剂尽管是一种迫使金刚石出刃的常用手段,由于其无法改变钻头自身性能,投放后仍然出现钻速衰减现象,所以要经常投放。由于其种类、粒度、数量的变化会对使用效果产生很大影响,若不恰当,要么起不到使金刚石出刃的目的,要么影响钻头寿命,较难掌握。因此只有钻头性能无法适应“打滑”地层的情况下迫不得已使用投放研磨剂方法,设计选

用性能参数针对“打滑”地层的钻头才是提高钻进效果的最佳手段。

参考文献:

[1] 石昆山. 孕镶人造金刚石钻头磨损机理的模拟试验研究[J]. 探矿工程,1988,(5).
[2] 吴斌,高森. 孕镶金刚石钻头碎岩机理的模拟实验研究[J]. 探矿工程,1987,(1).