

SY系列深孔硬岩孕镶金刚石钻头的研究与应用

姜亦军, 王文龙, 张 辉

(山东省第六地质矿产勘查院, 山东 招远 265400)

摘要:针对山东莱州纱岭、前陈、招远水旺庄等典型的深孔硬岩强研磨性地层情况,对孕镶金刚石钻头在原料、配方、模具以及各项生产工艺等方面做出设计、研发和改进,并对钻头进行长时间、多层次的试验,根据各项理论指标结合试验数据,确定钻头的设计参数,研发出了适合深孔硬岩强研磨性地层使用的孕镶金刚石钻头。

关键词:深孔;硬岩;强研磨性地层;孕镶金刚石钻头;高胎体

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)06-0080-05

Study and Application of SY Series Impregnated Diamond Bits for Deep Hole Drilling in Hard Rocks/JIANG Yi-jun, WANG Wen-long, ZHANG Hui (Shandong Provincial 6th Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Zhaoyuan shandong 265400, China)

Abstract: According to the typical situation of deep hole in hard rocks and strong abrasive formations in some areas of Shandong, the design, development and improvement were made for impregnated diamond bit in raw material, formulation, mold and producing proceedings, and long-time and multi-level tests for bits were carried out. On the basis of the test data, the design parameters of the bit are determined, and a new type impregnated diamond bit suitable to deep hole drilling in hard rocks and strong abrasive formations has been developed.

Key words: deep hole; hard rock; strong abrasive stratum; impregnated diamond bit; high matrix

1 深孔硬岩地层钻头使用情况分析

山东莱州纱岭矿区是深孔硬岩地层的代表矿区,该矿区钻孔总数达到117个,总工作量达到180795.10 m,钻孔孔深全部在1100 m以深,最深孔深2113.98 m,平均孔深1545.26 m。纱岭矿区地层类型较多、结构复杂,深部岩层多为破碎、坚硬致密且研磨性强的地层,施工难度很大,钻头磨损情况严重,钻探施工效率不高。与之情况相近的还有莱州前陈矿区以及招远水旺庄矿区。当遇到这些硬岩地层时,正常磨损下,使用我院恒通钻头厂老配方和老工艺生产的钻头(胎体硬度HRC50以上)平均使用寿命只有20 m左右,单只钻头最低使用寿命只有几米,钻头耐磨性差造成了频繁的深孔提下钻,大大降低了钻探效率,增加了钻探施工的成本。由此可见,老配方与工艺下生产的钻头已无法满足深孔硬岩钻探的使用要求。

通过对深孔硬岩地层钻进过程的研究可知,钻头工作层的消耗情况决定了钻头的使用寿命和时效,工作层的消耗实际上是指金刚石和胎体的消耗。

金刚石负责破碎、切削岩石,而胎体则保证和维持了金刚石的正常工作。

金刚石钻头孕镶层的消耗主要不是岩石对其的磨损,因为金刚石的硬度远远高于岩石的硬度,只要不使用品质低劣的金刚石,并且选用的金刚石粒度和密度与地层相适应,其消耗量是微乎其微的。其消耗的原因是钻头冷却不良造成的金刚石石墨化以及胎体消耗过快造成的金刚石崩裂及脱落。钻头胎体的磨损特性和磨损速率则更直接地决定了钻头的使用效果。当钻头遇到强研磨性硬岩地层时,如果无法保证胎体的耐磨性,就无法保证金刚石的正常工作,从而致使钻头消耗过快,无法满足深孔钻探的使用要求。针对这一情况,我们对原有钻头在金刚石选料、胎体材料配方以及模具、加工工艺等方面做出了一系列的创新改进与设计,研发出了耐磨性强、稳定性好的适应深孔硬岩强研磨性地层钻进的金刚石钻头。

收稿日期:2015-03-24; 修回日期:2015-05-13

基金项目:中国地质调查局项目“山东省矿产资源潜力评价”之“山东省金、银矿资源潜力评价”(编号:1212010881607)

作者简介:姜亦军,男,汉族,1963年生,高级工程师,探矿工程专业,从事地质探矿钻头技术研发工作,山东省招远市金城路126号,HTZTC@126.com。

2 针对深孔硬岩地层对钻头的改进设计

2.1 金刚石的预处理及粒度、浓度的合理选择

金刚石是钻头的主要钻进切削部分,其质量的好坏直接影响钻头的使用寿命和时效。金刚石在使用前,必须按照钻探要求进行挑选,然后按照钻进岩石的特点合理选择其品质、粒度及密度,并加以预处理。

针对深孔硬岩强研磨性地层所需钻头性能的特殊性,我们选用了特级(JRT)人造金刚石,并对金刚石进行了镀钛处理。在700℃左右,钛与石墨化的金刚石形成碳化钛镀层,并且会在一定条件下渗入金刚石晶体的裂纹及裂隙,渗入金刚石的细孔和微裂纹,从而提高了金刚石的整体性强度,有助于金刚石的牢固包镶,同时,金刚石镀层起着隔氧的作用,提高了金刚石对温度的稳定性。通过对比试验,镀钛后的金刚石的抗弯强度提高了20%以上,固结强度几乎提高1倍,单颗金刚石的承载能力明显提高。

不同地层结构,具有不同的力学性质,其岩石的硬度、强度、研磨性不同,选择使用的金刚石也会不同。金刚石的粒度决定了金刚石在钻头唇面的出刃高度、分布密度、切入岩石深度、金刚石与岩石的接触面积、孕镶钻头的自锐能力等,因而对钻进指标有明显影响。我们选择了5种不同粒度的金刚石,分别烧制成金刚石钻头,金刚石浓度均为85%(400%浓度制),胎体材料均为同一配方,在同一钻孔相似地层进行了钻进试验,得出了表1所示的数据。

表1 不同金刚石粒度下钻头耐磨性与钻速

金刚石粒度/ μm	钻头耐磨性/ $(\text{m} \cdot \text{mm}^{-1})$	钻速/ $(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$
840/590(20/30目)	3.0	2.8
590/420(30/40目)	4.5	3.6
420/297(40/50目)	7.2	4.7
297/250(50/60目)	8.4	3.2
250/178(60/80目)	6.3	1.8

由表1可以看出,钻头的耐磨性(即每消耗1mm的胎体所钻进的米数)随着金刚石粒度的减小而有增加的趋势。当金刚石细到一定程度时,金刚石被胎体包镶的面积甚小,很快随胎体磨损而掉粒,钻头的耐磨性反而下降,在金刚石粒度为50~60目时钻头的耐磨性最佳。钻速同样随着金刚石粒度的减小而增加,当金刚石粒度细到一定程度时,其接触面积很小,钻速随之降低;相反金刚石粒度过大,金刚石不能自锐,钻速也将下降,金刚石粒度为40~

50目时钻速最佳。

对于孕镶金刚石钻头,金刚石浓度对钻头的耐磨性有直接影响,金刚石浓度增加,钻头的耐磨性随之增加,而金刚石单位消耗量相应下降。对一定的岩层,存在一定的金刚石最佳浓度;岩性不同,最佳浓度不同。对于不同岩层推荐的金刚石浓度见表2。

表2 推荐的不同岩层的金刚石浓度

金刚石浓度(400%浓度制)/%	适应地层
40	软—中硬
50	弱研磨性
75	中硬—硬
85	坚硬、中研磨性
100	坚硬、强研磨性

2.2 胎体材料及配方的设计改进

不同类型的钻头对胎体性能有不同的要求,主要取决于钻头的工作特性及所钻岩层(见表3)。但不论是何种类型的钻头胎体,在钻进过程中其受力复杂,工作条件极差,既要受到压、扭、弯和冲击作用,还受到岩粉、碎金刚石微粒的研磨以及冲洗液的冲蚀作用,所以胎体性能的好坏直接影响着钻进的效果和钻头的寿命。

表3 孕镶金刚石钻头性能

代号	胎体硬度等级	HRC	耐磨性	适应岩层
1	软	20~30	低、中	坚硬、弱研磨性岩层;中硬、弱研磨性岩层;中硬、中等研磨性岩层
2	中软	30~35	低、中	硬、强研磨性地层
3	中硬	35~40	中、高	硬—坚硬的强研磨性岩层;硬、脆、碎岩层
4	硬	40~45	高	弱研磨性、中硬—硬、完整岩层
5	特硬	45~52	高	强研磨性、中硬—硬、较破碎岩层
6	超硬	>52	超高	超强研磨性、坚硬、致密、破碎地层

虽然金刚石的硬度远远超过各类岩石,但没有高硬度和强耐磨性的胎体进行包镶,金刚石过早脱落反而会研磨钻头胎体,造成钻头进一步的无功损耗。

在对纱岭矿区钻头使用情况的研究中发现,由于该矿区深部多为含有石英岩的破碎花岗岩,硬度高且研磨性非常强,胎体磨损过快导致金刚石过早的脱落和崩裂,使得钻头寿命过短,造成深孔频繁提钻,直接影响了钻进的效率和成本。加之很多机台为了赶工期,抢进尺,追求经济效益,盲目的加压,致使钻头在钻进过程中长期处于一种微烧的状态,胎

体过快的消耗使金刚石无法发挥其应有的效应,钻头的耐磨性大大降低。所以,提高胎体的硬度、抗弯强度和耐磨性是解决这一问题的关键所在。

针对这一情况,我们对胎体的材料及配方组成做出了以下改进。

(1)在原有骨架材料碳化钨的基础之上,加入了特定目数的铸造碳化钨作为混合骨架材料。铸造碳化钨和烧结碳化钨明显差异在于:在静磨损、冲击能量值小时,铸造碳化钨表现出极高的抗磨能力,而随着冲击能量的增加,铸造碳化钨脆性大,抗冲击能力差的特点明显反映出来;而烧结碳化钨则因为其良好的韧性、加之其抗冲击能力较强,其耐冲击磨损能力相对于铸造碳化钨有巨大优势。所以将静磨损抗磨能力强的铸造碳化钨按一定比例加入到骨架材料中,并加入少量的碳化钛、碳化钒、碳化铬等,形成多元性的骨架材料,通过调节它们的目数、粒度和加入比例,优选出理想的胎体性能。

(2)为了达到更强的胎体硬度和耐磨性能,在上述的改进基础之上,在胎体中加入了一种特殊的“硬质点”,以 YS76.8S 钻头为例,通过试验得到的数据分析可知(见表4),随着“硬质点”数量的增加,钻头的耐磨性能更好,但当“硬质点”增加到一定数量时,由于胎体消耗变慢造成金刚石不出刃,钻速出现了下降。“硬质点”的排列方式,主要试验了随机排列和三层规律排列2种方式,由表4可以看出,采用三层规律排列的方式,钻头耐磨性和钻速都有所提高。所以,选择一个合理的数量及排列的方式,确定出最佳的胎体性能,既保证了钻头的进尺效率,还大大提高了钻头的使用寿命。

表4 “硬质点”数量及排列方式对钻头性能的影响

编号	“硬质点”数量	“硬质点”排列方式	钻速/ ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$)	耐磨性/ ($\text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$)
1	6	三层规律排列	3.2	2.7
2	6	随机排列	2.5	2.1
3	9	三层规律排列	3.3	3.5
4	9	随机排列	2.9	2.9
5	12	三层规律排列	3.0	4.9
6	12	随机排列	2.1	3.7
7	15	三层规律排列	2.3	5.8
8	15	随机排列	1.8	5.0

注:均为每个胎块“硬质点”数量及排列方式,其他胎块相同。

(3)胎体性能的好坏,关键还要控制好骨架材料、粘结材料、“硬质点”材料所占整体的比例,不同比例所获的胎体性能有很大的差异。我们在原有

63号经典胎体配方(质量百分比为40% WC,15% YG6,5% Ni,5% Mn,35% ZQSn663)的基础之上,对其进行了部分调整,根据理论优化值等数据的分析,选取了几组钻头的试验数据(见表5),确定了适合深孔硬岩钻进的钻头胎体配方。

表5 不同配方钻头耐磨性对比

钻头胎体编号	胎体配方/%						胎体耐磨性/ ($\text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$)
	骨架结构			粘结金属			
	铸造碳化钨	碳化钨	YG6	ZQSn663	Ni	Mn	
1	0	40	15	35	5	5	2.3
2	10	30	15	35	5	5	3.1
3	20	20	15	35	5	5	4.7
4	30	10	15	35	5	5	3.2
5	40	0	15	35	5	5	2.1
6	20	30	5	35	5	5	3.6
7	20	10	25	35	5	5	5.1

(4)对新型预合金粉在胎体中的应用进行了简单的试验和分析,主要为钴合金粉,包括 YG6、YG8、YG20等。结合理论以及表5的试验数据分析可知预合金粉可以替换 WC 进一步提高胎体的性能,并且预合金粉易于烧结,且烧结温度低,有利于降低高温对金刚石及胎体的性能破坏。

2.3 模具的创新设计及改进

对于模具的创新设计及改进主要包括以下几个方面。

(1)在钻进岩层硬度不高,研磨性弱的地层时,所设计的模具只要保证烧结出的金刚石钻头胎体工作层高度达到10 mm即可满足此类岩层的钻进工作。但对于深孔硬岩地层来说,由于岩层坚硬,研磨性强,以及孔深冷却效果差等原因,钻头的消耗程度基本是普通地层的3倍,所以10 mm的工作层高度无法满足深孔硬岩地层的使用要求。通过对烧结底模的加深,增加模具的装料量,烧结出的钻头胎体工作层高度达到了20 mm,是普通钻头胎体工作层高度的1倍,钻头的使用寿命增加了1倍,减少了深孔提下钻的次数,提高了钻探效率,降低了生产成本。

(2)由于胎体变高,原有的石墨水口块已无法满足现有的烧结工艺,为此专门设计了一套用于烧结特制水口块的新模具(见图1),并且用特定的配方烧制出了不同规格钻头所用的水口块(见图2)。特制水口块可以在钻头烧结过程中完成二次烧结,解决了石墨水口块由于高度固定造成的装料量不足的限制,增加了钻头的装料量,提高了胎体烧结的

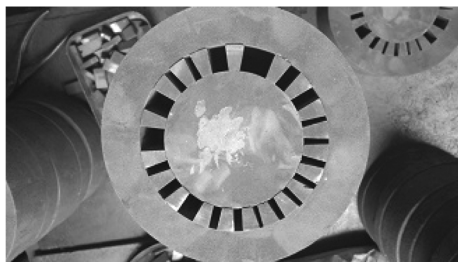


图1 烧结特制水口块的新模具

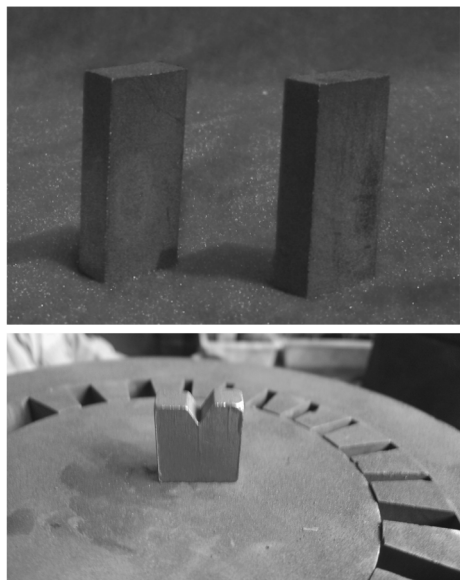


图2 烧结出的特制水口块

密实度,胎体对金刚石的包镶也更为牢固,胎体性能也更为出色。

(3)石墨模具的质量优劣,石墨性能参数的波动大小会直接影响金刚石钻头的尺寸精度,外观形状;还会对胎体中粘结剂的含量,基体材料的硬度,抗弯强度,胎体对金刚石的包镶能力,以及胎体的切割性能和使用寿命造成不同程度的损失。为了确保钻头质量的稳定,我们引进了质量更好的石墨作为制作模具的原材料,从而也提高了烧制钻头的质量和稳定性模具的使用次数,整体上降低了生产成本。

2.4 装填、烧结工艺的改进

在预装特制水口块时,为了增加其牢固性,防止水口在烧结压制过程中倒斜,我们改进了唇模的形状,增加了卡槽。并且对卡槽和水口提出了严格的精度要求,防止在烧结压制中有漏料和渗料的情况出现。

由于加深了底模模具,并且加入了“硬质点”材料,所以需要改进原有的装料工艺,改用分层装料法,将每个水口处的混合料再分成几个等份,分层进

行装填,并且在装入“硬质点”后,分层进行压平,这样既增加了混合料装填的密实性,也保证了“硬质点”的稳定性。在装填时,我们要求装料工必须严格按照规程进行装料,不能漏掉一个细节,水口处要倒入合适等份量的水口粉,并在装填过程中用修正刀将水口顶端的混合料清理干净,防止金刚石残留,造成烧结出的成品无法处理水口。

在烧结工艺方面,通过改善钻头材料,加入低熔点的粘结金属,降低钻头的烧结温度,从而减少高温对金刚石性能的影响,降低粘结金属对金刚石的侵蚀作用,保证了金刚石的最佳的工作性能。除了烧结温度外。热压工艺(如升温速度、保温时间、降温速度等)同样对胎体性能有重要影响。升温速度太快,胎体易产生裂纹,太慢又影响钻头加工的效率;保温时间受烧结温度、浸渍体积和烧结速度的影响,通过理论和实践可以证明,采用“二次保温”烧结工艺,能提高胎体的耐磨性,延长钻头寿命。

3 深孔硬岩钻头的试验使用情况

为了能够得到真实的数据,并且第一时间分析钻头的使用情况。我们专门派了技术人员长期值守在矿区、机台,然后再根据反馈的使用情况进行分析、改进。通过长时间、多地区、多层级的试验分析,并对钻头不断的进行改进,目前研发出的深孔硬岩YS95S、YS76.8S系列两种钻头在各矿区的使用取得了比较大的成功,使用寿命达到了国内先进水平。图3和图4为改进前的普通钻头与改进后的高胎体钻头的比较。



图3 改进前的钻头

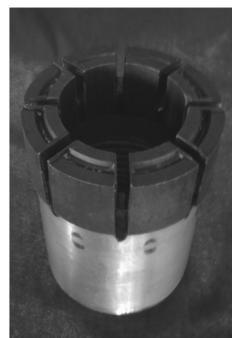


图4 改进后的高胎体钻头

山东莱州纱岭矿区,钻孔平均深度达到了1500 m左右,深部地层岩石致密、坚硬、破碎,研磨性强。在整个矿区施工前期,由于深孔硬岩钻头研发项目还未开始,使用研发前的钻头出现了寿命不高、使用

不稳定的现象,严重影响了深孔钻探的效率,增加了钻探成本。后期阶段针对纱岭矿区这一典型地层特点,我们开展了SY系列深孔硬岩钻头研发项目,技术人员长期驻扎在该矿区,对钻头进行边研制、边试验、边改进,经过长期不懈的努力,终于研制出适合纱岭矿区地层的深孔硬岩高胎体钻头。研发后的钻头在该矿区单只最高寿命达到了160 m,平均使用寿命达80 m以上,大大提高了钻探效率,节约了钻探成本。

山东莱州前陈矿区,同样是深孔硬岩的典型代表地层。我院探矿一处605号钻机,换径前700 m,投入了5个新研发的YS95S深孔硬岩高胎体钻头,其中4个钻头寿命达到了140 m,1个钻头使用超过了120 m,使用效果理想。换径后继续使用YS76.8S深孔硬岩高胎体钻头,目前正在观察、分析深孔硬岩钻头对此矿区深部地层的适应性。

山东招远水旺庄矿区,钻孔全部为超深孔。由于地层复杂、坚硬、研磨性超强,普通钻头进尺寿命只有20 m左右。我院探矿一处613机台在钻至1000 m深处,出现了含有高石英含量的致密破碎花岗岩,研磨性极强,钻头使用寿命都不高。后期换用新型深孔硬岩高胎体钻头后,钻进至1400 m处,钻头平均寿命在60 m左右,使用十分稳定。探矿二处623机台从开孔到换径到终孔一直使用新型深孔硬岩钻头,最高进尺达到了92 m,最低也在40 m以上,平均使用寿命在60 m以上。

莱州纱岭矿区、前陈矿区以及招远水旺庄矿区的地质虽然不能概括其它坚硬地层,但也是目前国内比较有代表性的强研磨性深孔硬岩地层,能达到这样的进尺寿命,说明深孔硬岩钻头的研发取得了一定成效。

4 结论

针对山东莱州纱岭、前陈,招远水旺庄等典型的具有强研磨性深孔硬岩地层的矿区,我们通过理论与试验相结合的方法,分析金刚石用量、胎体配方、模具设计及加工工艺等对孕镶金刚石钻头破岩效率和使用寿命的影响,得出以下结论。

(1) 钻进强研磨性地层金刚石容易发生断裂和脱落,选用高品质金刚石作为切削材料,并对金刚石进行镀钛处理,使其具有了更强的工作性能。

(2) 由于深孔硬岩地层具有孔深、地层复杂以

及岩石研磨性强等特点,对胎体性能提出了非常高的要求,通过改进胎体材料及其配比,以及“硬点”的加入并特殊排列,大大增强了胎体的各项性能,从而适应深孔硬岩钻进的要求。

(3) 对模具的创新设计以及改进可以优化钻头结构,制作出了新型钻头所需要的预制水口块,以满足深孔硬岩钻头的制作要求。

(4) 各项工艺要重新设计和优化,对新工艺提出了严格的要求,通过细化装填、烧结等每项工艺流程,确保钻头性能稳定,我们探索掌握了一套新工艺方法及一些工艺参数,有利于对深孔硬岩钻头的进一步研究。

(5) 虽然此次深孔硬岩孕镶金刚石钻头的研发取得了很大突破,但仍有很多的问题需要解决。比如高胎体钻头在遇到一些复杂破碎的深部地层时,因孔内原因或者人员操作的原因,有时会发生钻头胎体断裂、掉块的现象,这一问题还有待解决;此外在钻头配方方面,虽然目前加入的材料及配比基本已达到了深孔硬岩钻进的要求,但还有进一步提升胎体性能的空间,我们还要在以后的工作中进行更深入的理论分析和试验研究,重点试验研究一些新型高性能材料加入到胎体中的融合反应情况,以及其在胎体中的合适比例等。

参考文献:

- [1] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014.
- [2] 李大佛,屠厚泽,李天明.金刚石、PDC钻头与工艺学[M].北京:地质出版社,2008.
- [3] 王传留,李建军,孙荣军,等.孕镶块式高胎体金刚石钻头的研制[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,(4):1276-1281.
- [4] 杨俊德,彭振斌,陈石林,等.金刚石钻头钻进过程中金刚石磨损规律试验研究[J].矿冶工程,2003,23(4):64-66.
- [5] 王训波,谭刚,高晓亮,等.多层水口高胎体孕镶金刚石钻头研究[J].硬质合金,2011,28(2):93-97.
- [6] 叶兰肃,南青民,刘建福,等.浅谈控制热压孕镶金刚石钻头质量的几方面措施[J].地质装备,2010,11(6):26-28.
- [7] 鄢泰宁,段隆臣,P.K.波格丹诺夫,等.提高金刚石钻头在深孔硬岩钻进中寿命的途径[J].金刚石与磨料磨具工程,2010,30(5):32-37.
- [8] 阮海龙,纪卫军,沈立娜,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):67-69.
- [9] 李颖.人造金刚石与硬质合金复合材料的研制[J].高压物理学报,1991,(4).
- [10] 侯彬彬,郭铁峰,张祖培,等.对我国金刚石钻头胎体经典配方的理论优化和建议[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(8):58-59.