中硬岩层钻进孕镶金刚石复合片钻头的研究与应用

马　杰[1]，隆　威[1]，杨洪武[2]，许华松[2]

(1. 中南大学地学院有色金属成矿预测教育部重点实验室，湖南 长沙 410083；2. 武汉金地探矿机械有限公司，湖北 武汉 430081)

摘　要：针对中硬岩层的特点设计了一种孕镶金刚石复合片钻头，介绍了其切削结构、特点及切削原理。在钻进中硬岩层时，复合片切削齿和孕镶金刚石后支撑能够共同发挥切削作用，提高钻头钻进效率和钻头的稳定性并且能使钻头具有较长的寿命。

关键词：中硬岩层；孕镶金刚石；复合片；钻头

中图分类号：P634.4+1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672-7428(2009)10-0073-05

Research and Application of Diamond-impregnated PDC Bit or Drilling in Medium Hard Rock Formation/*MA Jie*[1], *LONG Wei*[1], *YANG Hong-wu*[2], *XU Hua-song*[2] (1. Key Lab. of Nonferrous Metal Metallogenic Prognosis 〈Central South University〉, Ministry of Education, Changsha Hunan 410083, China; 2. Wuhan Gold Prospecting Machinery Limited Company, Wuhan Hubei 430081, China)

Abstract: A new type of diamond-impregnated PDC bit was developed according to the characteristics of medium hard rock formation. The cutting structure, and principle were introduced. The PDC cutting tooth and the diamond-impregnated rear support can strengthen the role of cutting action to improve the drilling efficiency and the bit stability in medium hard rock with long service life.

Key words: medium hard rock formation; diamond-impregnated; PDC; bit

复合片钻头在钻进松软均质地层时具有钻速快、效率高、寿命长等优势。但在中硬、研磨性较强等非均质地层中，钻速低，寿命短。研究表明，复合片钻头在钻进较硬或者研磨性较强地层时，复合片切削齿切削岩石需要有较大的压力和切削力，会产生较高的温度和较大的冲击载荷。残余应力、机械疲劳、冲击载荷等破坏形式的存在会使复合片上的金刚石切削刃很快磨损或碎裂。复合片钻头在中硬地层钻进时，钻头不平稳、跳动、复合片崩裂、磨损消耗快、机械钻速低、寿命短。为了进一步扩大复合片钻头的使用范围，需要研制一种新型的复合片钻头，充分提高切削齿的抗冲击破碎韧性，增加钻头的钻进效率，增强钻头的稳定性，提高钻头的寿命。

1　孕镶金刚石复合片钻头的结构设计

1.1　结构简介

孕镶金刚石复合片钻头改变了以往地质复合片钻头单一的切削结构形式，采用主辅切削结构，主切削件为复合片切削齿，辅助切削件为孕镶金刚石后支撑块(见图 1)。这种切削结构的特点是在中硬地层中钻进时，有利于保证复合片连续切削岩石，减少钻头由于地层变化引发各种振动的可能性，增加钻头工作的稳定性；同时，当复合片钻头进入较硬地层后，复合片的磨损使辅助切削元件孕镶金刚石后支撑与地层接触，辅助切削岩石，因而降低了作用在复合片切削齿金刚石层上的载荷，减少了对复合片切削齿的磨损破坏机率，因此增加了钻头的钻进效率，提高了钻头的寿命。

1.2　复合片的选择

复合片作为钻头的主切削元件，其性能指标对钻头的整体性能好坏有着重要的影响。复合片的性能指标主要是耐磨性(亦称磨耗比)、抗冲击韧性、热稳定性。国内复合片耐磨性的平均指标为(10～15)×10^4，抗冲击韧性平均水平在300～400 J 之间，

收稿日期：2009-09-25；改回日期：2009-09-07

作者简介：马杰(1984-)，女(汉族)，湖南益阳人，中南大学硕士研究生，地质工程专业，从事超硬材料与制品、地质工程等方向的学习和研究工作，湖南省长沙市中南大学校本部地学楼 100 室，horsejie2005@163.com；隆威(1962-)，男(汉族)，重庆人，中南大学地学与环境工程学院副院长、教授，探矿工程专业，从事超硬材料与岩土工程设计等方面的教学、科研、设计及施工管理工作，湖南省长沙市中南大学校本部地学楼院长办公室；杨洪武(1960-)，男(汉族)，辽宁人，武汉金地探矿机械有限公司副总经理、教授级高级工程师，探矿工程专业，从事钻探机具及金刚石制品研究工作，湖北省武汉市青山区吉林街 1 号；许华松(1968-)，男(汉族)，湖北武汉人，武汉金地探矿机械有限公司副总工程师、研究所所长，机械制造专业，从事钻探机具及金刚石制品的研究工作。

万方数据

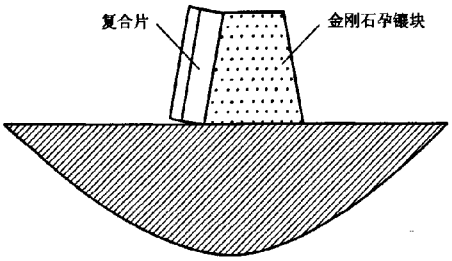

图1 钻头的切削结构

而热稳定性是指烧结前后复合片耐磨性和抗冲击韧性的变化,复合片在加热到750 ℃以后,耐磨性和抗冲击韧性两项指标普遍下降5% ~10%。根据钻进中硬地层的特点,要求复合片具有高的耐磨性、高的抗冲击韧性和高的热稳定性。设计的孕镶金刚石复合片钻头采用Ø13.5 mm的"三高"性能复合片,即具高耐磨性(磨耗比>20万)、高抗冲击韧性(>400 J)、高热稳定性(750 ℃烧结后,磨耗比和抗冲击韧性变化<±5%)。

1.3 金刚石孕镶块性能参数的选择

金刚石孕镶块作为钻头的辅助切削元件,其磨损速度应与复合片主切削齿保持一致,如果过早磨损,就会失去保护复合片切削齿的能力。考虑到金刚石孕镶块受力相对较小,其耐磨性应比复合片切削齿稍低一些。因此在选择其性能参数(主要指胎体硬度、金刚石的品级和粒度及金刚石的浓度)时需要遵循以下原则。

1.3.1 胎体的硬度

胎体的硬度必须与岩石性质相适应,这样才能取得较好的钻进效果。设计钻头是针对研磨性较强的中硬岩层,胎体硬度选择HRC35 ~40,能满足钻进该地层的要求。

1.3.2 金刚石的品级和粒度

岩石越硬,选用粒度较细和品级较高的金刚石,岩石较软则选用粗粒金刚石。高品级的人造金刚石具有晶形好,单粒抗压强度好,热稳定好的特点。根据中等硬度岩层的特点,选择JR3型人造金刚石。对于孕镶金刚石块的自锐性来说,金刚石的粒度起重要作用,对于中硬岩,选用过细的金刚石粒度会因出刃不足而打滑,因此选择45 ~50目的人造金刚石较为合适。

1.3.3 金刚石浓度

金刚石的浓度必须保证钻头的工作唇面上的金刚石数量具有足够的切削能力;必须使钻头具有较高的耐磨性。浓度过低,切削能力低;浓度过高,影响胎体包裹金刚石的能力,反而降低钻头的耐磨性。对于中等研磨性岩石,钻头的金刚石浓度选择范围在70% ~90%,在设计时选用80%的金刚石浓度。

1.3.4 保径材料

孕镶金刚石钻头的保径材料有小片状硬质合金、人造金刚石聚晶、天然金刚石、复合片等。设计中选择小片状硬质合金保径。

1.4 切削块的数量确定

钻头上切削具数目越多,切削点就多,单位时间完成的切削量就大,钻速也越高,钻头寿命较长。但是,由于轴向载荷有限,单个切削具上的载荷不足,只能形成表面破碎;同时,切削具数目太多,使剪切体变小,孔底冷却效果变差。切削具数目取决于岩性、钻头直径和切削具形状。对软岩取较少的数量,对较硬和非均质及研磨性岩石,为保证钻头寿命,一般应取密集式排列。本次设计针对的是中硬岩,采用6个切削齿。

1.5 复合片的排列方式

根据所钻地层的软硬程度和岩性特点,并按照等切削、等磨损原则,来设计钻头的底面排布。本次设计采用6片直径13.5 mm、厚度为4.5 mm的圆形复合片,单环排列(见图2)。

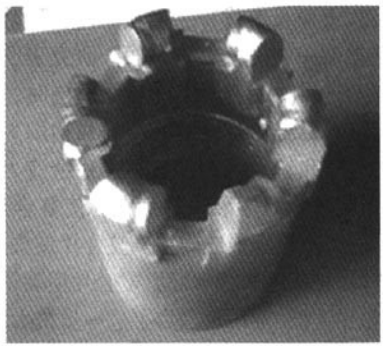

图2 使用前孕镶金刚石复合片钻头

1.6 复合片的出刃

按复合片镶嵌结构分为半出刃型和全出刃型(见图3)。一般而言半出刃型钻头适用于钻进中硬地层,包镶牢靠,不易掉片,但进尺较慢。全出刃型适用较松软地层,排粉好,进尺快。设计的孕镶金刚石复合片钻头是用于中硬岩钻进,要求进尺快,钻头制造厂家武汉金地探矿机械有限公司镶焊复合片技术成熟,焊接质量稳定,因此设计采用全出刃,使其排粉较好,进尺较快。

1.7 孕镶金刚石块的出露高度、形状

孕镶金刚石块的出露高度、形状对钻头的性能

万方数据

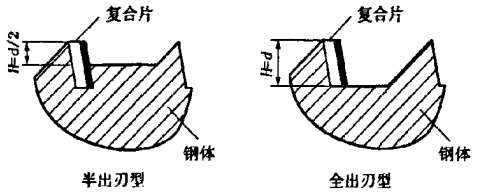

图 3　复合片镶焊出刃图

有着重要的影响。孕镶金刚石块后支撑作为副切削元件如果出露过高,将阻碍主切削齿复合片的钻进;出露过低,则不能达到保护复合片并且辅助切削岩石的目的。因此孕镶金刚石块与复合片切削齿的高度差要控制得很精确,在设计时选择 1.5 ~ 2 mm。孕镶金刚石块的形状设计成圆弧形即和复合片形状相匹配,一方面能很好的支撑复合片,另一方面使孕镶金刚石块与岩石的接触面积小,以降低摩擦阻力和摩擦面温度。

1.8　复合片的镶焊角度

1.8.1　切削角 α

由于复合片的碎岩方式主要是靠压碎剪切作用来破碎岩石,所以复合片在钻头体上的镶焊角度应采用负斜镶,即切削角 $\alpha > 90°$(见图 4)。切削角 α 值可根据切削岩石的硬度来选择其大小,岩石较硬,α 值大些,反之要小些。一般中硬岩层 α 值取 100° ~105°。切削角大,有利于保护切削刃,反之有利于提高钻速。本次设计主要是针对中硬岩钻进,切削角选择 100°。

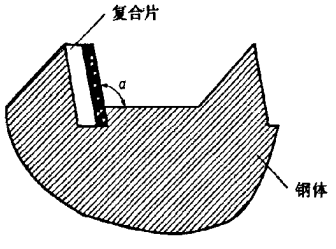

图 4　复合片的切削角 α 示意图

1.8.2　径向角 β

径向角指复合片表面和钻头径向平面之间的夹角(见图 5)。复合片钻头采用径向角进行镶焊,钻进时岩粉容易排出,不糊钻,进尺较快,β 值一般取 5° ~15°。它的主要作用是为了加强机械清洗,防止"钻头泥包",径向角使岩屑朝外滑移。本次设计的径向角为 10°。

2　孕镶金刚石复合片钻头的主要特点

在钻进中硬地层时,孕镶金刚石复合片钻头和

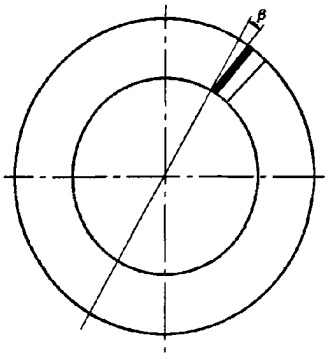

图 5　复合片的径向角 β 示意图

普通复合片钻头相比有如下优点。

2.1　钻头同心度提高

复合片钻头按照使用的材料不同分为钢体式和胎体式。钢体式的钻头体是整体采用钢材毛坯经过机械加工而成,钻头制作工艺简单。孕镶金刚石复合片钻头是属于胎体式复合片钻头,其钻头体是在钢体的端部用粉末冶金方法在模具中经过热压或无压浸渍烧结而成,其特点是结构灵活,钻头的内外尺寸比普通钢体式复合片钻头尺寸更加精确,钻头的同心度提高,取心效果更好。

2.2　钻头的保径效果提高

普通复合片钻头采用在钻头内外镶焊硬质合金保径条保径,在钻进中硬地层时,钻头的钢体不耐冲蚀,直径较容易磨损,钻头的寿命较短。而孕镶金刚石复合片钻头的后支撑是孕镶金刚石块,表面耐冲蚀,采用金刚石聚晶、硬质合金片等高耐磨材料做保径,延长了钻头的使用寿命。

2.3　降低了对复合片切削齿的磨损

普通复合片钻头在钻进中硬地层时,只有复合片单一切削元件承担较大的钻压,作用在复合片切削齿上的荷载较大,复合片的磨损速度较快。而孕镶金刚石复合片钻头在钻入中硬研磨性地层时,复合片切削齿切削岩石一定深度后,金刚石孕镶块开始与地层相接触和复合片切削齿一起切削岩石并且分担钻压,降低了作用在复合片上的载荷,因此降低了复合片的磨损速度,提高了整个切削结构的工作寿命。

2.4　有效地控制钻头的各种振动,提高钻头的工作稳定性

钻头的振动通常有 3 种,回旋振动、扭转振动和轴向振动。回旋振动是在井眼直径稍微大于钻头直径的情况下,钻头的侧向力迫使钻头作横向移动,将钻头向井壁方向推移。回旋振动会造成复合片金刚

万方数据

石层凸缘被剪掉或者部分或整个金刚石层破碎,复合片切削齿失去自锐能力。扭转振动就是通常说的"憋钻"现象,发生扭转振动时,钻头会发生卡滑,钻头转速会时大时小,或反向转动,这样使复合片切削齿受很大的冲击荷载,复合片的金刚石层容易碎裂或脱落。轴向振动就是通常说的"跳钻",复合片切削齿吃入岩石的深度时大时小,复合片切削齿承受着冲击荷载,复合片容易冲击损坏。普通复合片钻头遇到以上3种振动时钻进效率降低,钻头寿命缩短,而孕镶金刚石复合片钻头的孕镶金刚石块作为辅助切削元件有较强的耐磨性,能保持复合片连续切入地层,减小钻头的动态不平衡力,减少各种振动发生的机率,提高钻头工作的稳定性,提高钻进效率。

2.5 水口面积增大,冲洗液冷却钻头效果更好

复合片钻头的水口和水槽要合理设计,达到更好的冲洗岩削和冷却复合片的目的。一般每组切削具要配置一个水口,水口的面积要大于钻头与岩心之间或者钻头与井壁之间环状间隙的面积。在钻头的内外壁上加工水槽,水槽与水口相连,用以补充增加钻头内外环状间隙过水面积的不足。孕镶金刚石复合片钻头属于胎体式,其结构形式更为灵活,采用金刚石孕镶块做后支撑体积可比普通复合片钻头的钢体支撑体积小,钻头的水口高度增大,水路截面积增大,内外水槽的宽度更大。钻进过程中,冲洗液流量增大,冲洗液冷却钻头效果更好,排粉更加通畅。普通复合片钻头与孕镶金刚石复合片钻头用后情况对比见图6。

普通复合片钻头

孕镶金刚石复合片钻头

图6 使用后的钻头情况

3 孕镶金刚石复合片钻头切削机理

孕镶金刚石复合片钻头在钻进初期,只有复合片参与切削,复合片钻头破碎岩石的方式以切削破碎、剪切破碎为主,挤压破碎为辅;对于硬度小的塑性岩石,在钻压的作用下,钻头的切削齿极易吃入地层,与此同时切削齿前的岩石,在扭转力的作用下不断产生塑性流动而实现切削破碎,当遇到研磨性较强的中硬岩时,复合片的切削齿切削作用减弱,复合片的顶出刃和内外出刃会逐渐磨平,复合片的后支撑开始接触研磨性较强的中硬岩层,其胎体具有自磨自锐作用,钻头上的每粒金刚石在钻压作用下压入岩石使下面的岩石处于极高的应力状态,呈现塑性,同时在旋转扭矩的作用下产生切削作用,破碎岩石的体积远大于或等于金刚石颗粒的吃入与旋转体积,这时钻头进行犁式切削作用,这个过程降低了复合片切削齿上的钻压和扭矩力,减少了热磨损对复合片切削齿的破坏机率。孕镶金刚石部分的抗高温性和耐磨性和复合片切削齿相当,因此在钻进中硬岩层时能承受一定轴向荷载。这种孕镶金刚石复合片钻头结合普通孕镶金刚石钻头和复合片钻头的特点,在较软的地层,复合片切削齿能吃入较深的地层,取得较高的机械钻速,在研磨性较强的中硬地层,孕镶金刚石部分能发挥辅助切削作用,使整个钻头的钻进持续快速进行。

4 工程应用

2009年7月,江西煤田地质局224大队在江西省新余市梅山煤田矿区进行地质找矿工作。该队采用武汉金地探矿机械有限公司生产的Ø75 mm绳索取心钻具并配以该公司生产的Ø77 mm复合片钻头。勘探区的地层煤田上部地层主要为红色粘土覆盖层,厚度为0~100 m,下部地层主要由灰色粉砂岩、灰色或灰白色细粒砂岩和中粒砂岩、泥岩及煤层组成。大部分岩层属于中等硬度。采用XY-5型钻机,Ø75 mm绳索取心钻具,65 kW柴油发电机组。钻进参数为:钻压10~15 kN,转速300~350 r/min,泵量100~200 L/min。设计的孕镶金刚石复合片钻头与常规复合片钻头进行对比试验,所选用的钻进规程参数基本一致。两种钻头使用情况的部分统计数据见表1。

万方数据

表 1　两种钻头试验对比表

孔号	钻　头	孔　段 /m	累计回次	总进尺 /m	平均时效 /m	平均回次进尺/m	钻头磨损情况
36-2	常规复合片钻头	62.25~122.73	28	60.48	1.12	2.16	复合片出现崩落,内外径磨损严重,不能使用
36-2	孕镶金刚石复合片钻头	122.23~223.05	36	100.82	2.35	2.80	复合片无崩落现象,内外径有一定磨损,可继续使用
302	常规复合片钻头	54.18~104.70	25	50.52	1.05	2.02	复合片有剥离现象,内外径磨损量较大
302	孕镶金刚石复合片钻头	104.70~184.95	30	80.25	2.15	2.68	复合片无剥离现象,内外径磨损量小

通过多次试验统计得出,常规复合片钻头的时效是0.8~1.2 m,钻头平均寿命60 m;孕镶金刚石复合片钻头时效为2~2.5 m,钻头平均寿命120 m。由此可见运用孕镶金刚石复合片钻头钻进效率提高了2倍左右,钻头的寿命提高了2倍左右。孕镶金刚石复合片钻头的应用大大提高了钻头的工作寿命及钻进效率,降低了生产成本,有可观的经济效益。

5　结语

孕镶金刚石复合片钻头具有2个切削元件,复合片作为主要切削齿,在钻进中硬岩层时选用"三高"复合片对提高钻头的性能有重要意义,孕镶金刚石块作为辅助切削齿可以提高钻头的稳定性、耐磨性和钻进速度,提高钻头的使用寿命。实践证明,孕镶金刚石复合片钻头在钻进中硬地层时比常规复合片钻头的钻进效率高,钻头寿命长,工作稳定,能取得较高的机械钻速。

参考文献:

[1]　刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1999.
[2]　张绍和.金刚石与金刚石工具[M].长沙:中南大学出版社,2005.
[3]　王福修.混合切削结构PDC钻头简论[J].石油矿场机械,2005.34(3):30-32.
[4]　邹德永.新型PDC钻头切削齿的发展[J].石油钻探技术,2003.31(3):4-6.
[5]　邹德永,梁尔国.硬地层PDC钻头设计的探讨[J].石油机械,2004,32(9):28-31.

(上接第72页)

工程施工期间及完工后,经信息化施工监测及工后监测,自嵌式景观加筋挡土墙工程稳定性及美观效果均较理想,满足设计及环境美观要求。

4　结论

自嵌式景观挡土墙是一种新颖的具有很大经济潜力及景观价值的柔性挡土结构。通过分析自嵌式景观加筋挡土墙的特点及工作原理,对具体工程进行设计,并对施工关键注意问题及工程应用效果进行了分析。

自嵌式景观加筋挡土墙具有诸多优点,具有广阔的应用前景,本文对自嵌式景观挡土墙的设计、施工及在国内的大范围推广应用具有一定参考价值。

参考文献:

[1]　高江平.土压力计算原理与网状加筋土挡土墙设计理论[M].北京:人民交通出版社,2004.
[2]　陈忠达.公路挡土墙施工[M].北京:人民交通出版社,2004.
[3]　陈忠达.公路挡土墙设计[M].北京:人民交通出版社,2000.
[4]　周世良,等.格栅加筋土挡墙数值分析的复合材料方法[J].岩石力学与工程学报,2006,25(11):2327-2334.
[5]　高江平,等.加筋土挡墙土压力及土压力系数分布规律研究[J].岩土工程学报,2003,25(5):582-584.
[6]　ANDRZEJ SAWICKI. Mechanics of Reinforced Soil[M]. A. A. Balkema,2000.

(上接第79页)

的原则,施工过程中遇到集中出水点可进行超前帷幕注浆或径向注浆堵水处理。

4　结语

炭质板岩隧道施工要遵循"先超前、后开挖、短进尺、弱爆破、快封闭、早成环、二衬紧跟"的原则,斜井或小断面采用"微台阶预留核心土法"施工,大断面双线隧道采用"三台阶七步流水作业法"施工,以加强超前和初期支护,缩短施工安全距离的措施为核心。以超前地质预测预报和围岩变形监控量测为指导,做好防突泥突水、防坍方和防瓦斯的应急准备工作。

实践证明,本技术较好地解决了炭质板岩地区隧道施工安全和进度问题,在同类型地质条件下隧道施工中具有较好的推广应用价值。

参考文献:

[1]　赵华峰,彭彬,铁路大断面隧道三台阶七步开挖法施工作业指南[M].北京:中国铁道出版社,2007.

万方数据