

热压高磷铁基胎体性能及其金刚石钻头研究

阎冠欣

(河南省煤田地质局四队,河南 平顶山 467000)

摘要:针对在硬而致密岩石中钻进时效低和钻头使用寿命短以及传统金刚石钻头胎体材料价格高等众多难题,采用混料回归试验设计方法,进行了替代碳化钨基金刚石钻头胎体材料的新型铁基胎体配方的试验研究;分析了热压钻头的金刚石出刃与岩石研磨性等岩性之间的内在联系,认为钻头的胎体成分及其性能是关键。因此,从热压金刚石钻头的胎体成分与性能研究入手,经过反复的试验研究与优化组合,研究出热压高磷铁基孕镶金刚石钻头的胎体材料,并试制出金刚石钻头。在室内对可钻性Ⅸ级岩石进行钻进的试验表明:钻进时效平均达到1.91 m,钻头平均工作寿命达到60.26 m。试验结果表明,高磷铁基胎体是一种性能良好的金刚石钻头胎体材料,且该类型胎体的热压金刚石钻头是一种成本明显降低、具有广谱性能的金刚石钻头。

关键词:高磷铁合金;胎体;金刚石钻头;坚硬致密岩石

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)05-0075-03

Study on the Performance of Hot Pressed High Phosphorus Iron Alloy Matrix and the Diamond Bit/YAN Guan-xin
(No.4 Team of Henan Coalfield Geology Bureau, Pingdingshan Henan 467000, China)

Abstract: Aiming at the low drilling efficiency and short service life of bit for drilling in hard and compact rocks and the high price of conventional matrix materials for diamond bit, the paper introduced mixing regression design method. Experimental study was made on the replacement of tungsten carbide-based matrix with a new iron-based matrix material; analysis was made on the relationship between the diamond exposure of hot-pressed bit and rock abrasiveness properties, the matrix components and the performances were determined to be important. Based on the study of matrix components and performances of hot pressed diamond bit, high phosphorus iron based matrix material was developed and diamond bits with this kind of alloy as matrix were manufactured. The results of indoor drilling test on rock with drillability of grade IX showed that the average penetration rate reached 1.91m/h and average service life was 60.26m. Therefore, high phosphorus iron based matrix is a economical choice with good performance.

Key words: Fe-P alloy; matrix; diamond bit; hard and compact rock

热压金刚石钻头是破碎岩石的有效工具,从20世纪70年代推广金刚石钻进技术以来取得了重大的发展,不同方法生产的、不同性能的金刚石钻头不断问世。然而,岩石的种类繁多,岩性千变万化,同时,地质勘探逐步向地层深部发展,对金刚石钻头的性能与品种提出了越来越高的要求。加上近几年来,碳化钨、镍、钴等金属材料的价格一直攀升,给钻头制造商带来很大的压力。因此,有必要研究新的胎体材料,研制新型金刚石钻头,以适应市场与地质勘探的需求。本文就是出于这样的目的,研究热压高磷铁基胎体材料及其金刚石钻头,不仅降低钻头的成本,而且期待对岩层有较广的适应性,特别期待对于硬而致密岩石有好的钻进效果。

1 研究思路

传统的热压金刚石钻头的胎体是碳化钨基胎

体,高磷铁基胎体实际上是以含磷铁合金替代碳化钨作为金刚石钻头的胎体,用高磷铁全部替代或大部分替代碳化钨,可以大大降低钻头成本;通过往金属铁中加入较高含量的磷、一定含量的镍、钴、钛、锰以及稀土元素等材料,使得所形成的高磷铁基胎体合金的综合机械性能优良,使得金刚石钻头的性能达到或超过碳化钨基胎体钻头,特别是在硬而致密以及完整岩层中钻进,其钻进指标更优。

高磷铁基合金具有较高的硬度,具有较好的耐磨性能,其抗弯强度、抗压强度等综合机械性能均能够满足钻探的要求。磷能够降低铁基合金的烧结温度;铁优先与磷反应而减缓了铁与金刚石的反应,因而,磷起着抑制铁对金刚石的侵蚀作用^[1],因此能最大限度地降低铁元素对金刚石的热侵蚀,可以说铁还能间接地起到提高对金刚石的包镶强度的作用。

收稿日期:2009-02-26

作者简介:阎冠欣(1964-),男(汉族),河南平顶山人,河南省煤田地质局四队高级工程师,探矿工程专业,从事金刚石钻探机具研发工作,河南省平顶山市矿工中路59号,yanguanxin@263.net。

磷在铁中的含量达到6%时,将明显地提高铁磷合金的硬脆性能^[1],在相同研磨性的岩石中钻进,钻头胎体能够略超前金刚石磨损,金刚石出刃效果明显得到改善,钻进效率将得到提高;特别是在坚硬致密岩石中钻进,将明显优于碳化钨基钻头的性能,可以获得好的钻进指标。这是高磷铁合金胎体钻头的一个重要特性。

稀土加入高磷铁基材料中,稀土或稀土氧化物能与Fe或FeO形成具有催化活化性能的稀土复合氧化物,起到了变性和脱氧纯化作用,减少了Fe对金刚石和胎体的侵蚀作用,这种变性与纯化作用,其结果使得合金组织更致密,孔隙率更低^[2]。稀土与铁的微合金化作用以及溶入机理,其结果使得铁基胎体的抗弯强度与冲击韧性得到明显提高^[2,3]。这些都是热压金刚石钻头胎体所必须具备的性能。

2 胎体性能试验与研究

2.1 试验设计思路

热压金刚石钻头胎体的性能是决定钻头适应岩层能力和钻进效果的关键,因此它是研究的重点。研究胎体的性能包括研究其硬度、耐磨性、抗弯强度以及抗冲击韧性等。前期研究对铁合金的性能测试表明,其抗弯强度与抗冲击能力等能够满足岩心钻探的要求,所以本次研究的重点是胎体的硬度与耐磨性。

胎体的性能是由组成胎体的材料及其含量所决定,同时受热压工艺参数的影响。所以胎体性能的试验与研究就是指胎体组成成分及其含量和热压工艺参数的试验与研究。胎体成分中包括高磷铁、镍、钴、钛、锰、铜合金以及稀土等;热压参数中包括烧结温度、压力、升温速度及保温时间等。试验设计采用先进的混料回归试验设计方法,进行多元回归分析,找出成分变化与胎体硬度、耐磨性之间的变化规律,为设计不同性能的钻头提供不同性能的胎体配方与烧结工艺^[2,3]。

一般来说,不同类型的胎体成分与配方应设计相应的热压工艺,对于铁基类的胎体配方所对应的热压工艺基本控制在:温度940℃,压力15MPa,保温时间3min。在该热压工艺条件下能够实现铁基合金化,达到胎体力学性能的设计要求。实验室多次试验与测试结果也证明了该热压工艺参数是合理的与可行的,所以试验设计中将不考虑热压工艺条件。只在针对岩层有目的地优化胎体性能时,安排相关的热压工艺参数作补充试验。

2.2 试验设计

在前期的试验研究中,对各成分与烧结参数进行了初步试验,认识到影响胎体性能的主要因素是磷铁合金、铜合金含量以及金属镍、钴等金属材料及其含量;而钛、锰等材料的含量低且在很小的范围内变化,试验与实践可以与硅、铬、稀土元素等作为一个因素考虑,以简化试验程序^[2]。这样,本试验就是一个5因素的混料回归试验设计,见表1。

表1 高磷铁基胎体混料回归试验设计表

成分	取值范围	备注
Fe(Z_1)	$0.18 \leq Z_1 \leq 0.42$	
Cu-Sn(Z_2)	$0.22 \leq Z_2 \leq 0.35$	铜-锡合金粉中含1%稀土,其中Cu:Sn=85:15
Ni-Co(Z_3)	$0.08 \leq Z_3 \leq 0.19$	
Fe-P(Z_4)	$0.16 \leq Z_4 \leq 0.48$	Fe-P粉占25%,铸铁粉占5%,铁粉占25%
Mn-Ti(Z_5)	$0.06 \leq Z_5 \leq 0.12$	

依据原地质矿产部对金刚石钻头胎体性能的试验规范和实验室设备对胎体试块的测试要求,测试胎体耐磨性的试块采用15mm×8.5mm×8.5mm;而测试硬度的试块规格没有严格要求,为节约起见,采用相同规格的试块,即同一试块先测试其硬度,后测试其耐磨性。

测试胎块的硬度采用HR-150A型布洛维硬度计,硬度值采用HRC洛氏硬度;测试时在热压方向的上下两面各测2个点,一个试验组合热压2个试块,共测8个点取平均值作为该试验组合的硬度值。测试胎块的耐磨性采用MPx-2000型摩擦磨损试验机,测试参数为压力500N,转速2.22m/s,对磨10min;耐磨性值采用磨损量(mg)衡量,两个试块各测一次磨损量,取平均值作为耐磨性指标。测试结果见表2所列。

表2 胎体性能试验测试结果表

序号	磨损/mg	硬度HRC	序号	磨损/mg	硬度HRC
1	380	39	10	430	33.5
2	390	40	11	420	35
3	370	42	12	430	35
4	400	38	13	440	34
5	410	37	14	460	33
6	430	35	15	450	33
7	440	36	16	450	33
8	450	33	17	440	34
9	430	33.5			

高磷铁基胎体的硬度随胎体成分含量变化见图1所示。

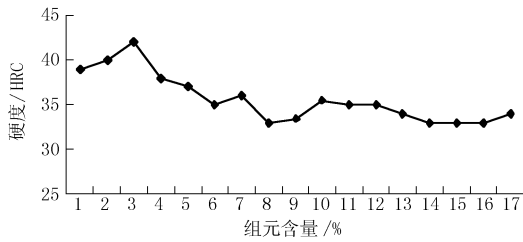


图 1 胎体硬度随其成分含量变化图

高磷铁基胎体的耐磨性随胎体成分含量变化见图 2 所示。

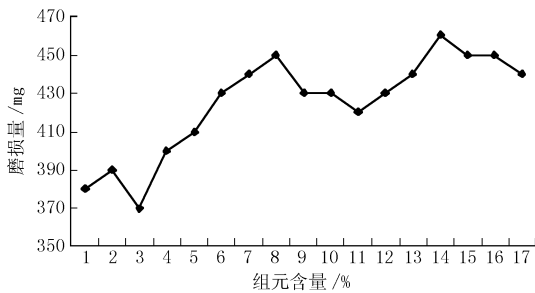


图 2 胎体耐磨性随其成分含量变化图

由图 1 与图 2 可知,试验的胎体硬度与耐磨性的变化规律基本趋势一致,但不具有完全一致性。这说明高磷铁基胎体的硬度与耐磨性有较好的相关性,硬度与耐磨性仍然各具自身的特性。表 2 所示资料可以作为热压铁基金刚石钻头设计和根据岩石性质作为对热压钻头进行选型的的基本依据。

3 钻头试验与分析

3.1 钻头试制

金刚石钻头的试制必须依据岩石的性质先进行设计,本次试验的岩样为实验室采集的岩样。岩石名称:含黑云母细~粗粒钾长花岗岩(见图 3)。矿物组分为:(1)钾微斜长石,具有格子双晶,粒度 0.5~10 mm,含量 80%;(2)斜长石,有不清晰的聚片双晶,粒度 1.2~0.8 mm,含量 5%;(3)它形粒状石英,呈团状斑块状聚集,少量与正长石构成蠕英结构,粒度 0.5~2.0 mm,含量 10%;(4)少量具有浅绿~深绿多色性的片状黑云母,零散分布及呈带状分布,粒度 0.3~1.5 mm,含量 4%;(5)零星分布在黑云母带中的铁矿,粒度 0.5 mm,含量 1%。其结构构造为它形细~粗粒结构。

采用 WYY-1 型压入硬度计测试岩石的压入硬度为 4390 MPa;采用 WYQ-1 型摆球硬度计测出的弹次 52 次,第一次回弹角 θ 为 75°,求出塑性系数为 0.23。综合分析压入硬度与摆球硬度测试结果,

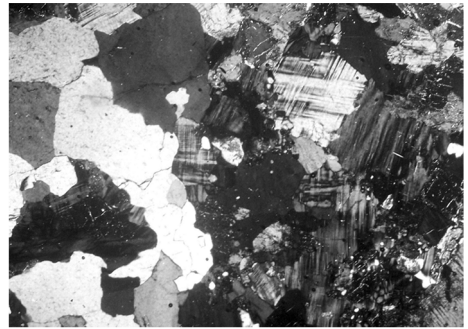


图 3 黑云母细~粗粒钾长花岗岩薄片图

确定岩石的可钻性等级为 IX 级。

针对可钻性 IX 级岩石,设计钻头的胎体硬度为 HRC38~40,耐磨性为 370~390 mg 范围比较合适,在该范围内的试验组合有 1 号和 2 号 2 组配方。从钻头成本和胎体性能综合考虑,选择试验组合 2 号配方作为最终试验设计配方。采用了 SDB1100 型、40/50 目金刚石,试制出 2 只 $\varnothing 41/27$ mm 试验用钻头(见图 4)进行室内钻进试验。

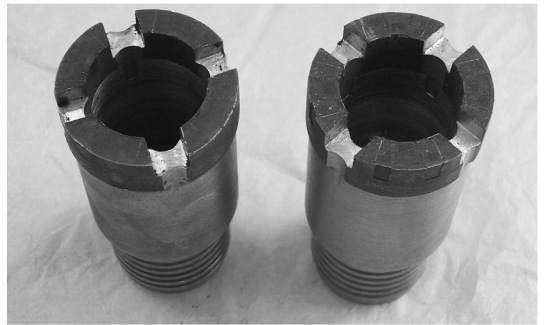


图 4 室内钻进试验用钻头

从岩石的可钻性级别考虑,钻进参数确定为:钻压 5 kN,钻头转速 600 r/min,采用自来水冷却,水量约 5 L/min。钻进结果见表 3。

表 3 钻进结果表

钻头编号	钻进回次	总进尺 /m	累计钻时 /h	钻进时效 /($m \cdot h^{-1}$)	工作层余高/mm	预计钻头寿命/m
1	10	9	4.8	1.87	3.3	64.28
2	10	9	4.6	1.95	3.2	56.25

试验钻头的工作层高 4 mm;岩样约为 1 m³,由于岩样不十分规范,计算钻进深度时,每个钻孔按 0.9 m 计算。从钻进结果看,两个钻头的性能几乎一样,钻进效果相近。按钻头的工作层 5 mm 计算,钻头的寿命分别为 64.28 和 56.25 m。

3.2 钻进结果分析

从两个钻头的磨损外形分析,钻头的磨损基本 (下转第 80 页)

~200 mm,立柱倾角为 80° ~ 85° 。木棚子支架的间距要根据围岩的稳固性情况来确定,一般为500~1500 mm。

在坑道废渣出完后要及时支护,以免产生片帮、冒顶事故。侧帮、顶帮的背板与围岩接触要紧密,不能留有空隙。当坑道掘进到47 m处时,遇到含水断层产生涌水,我们采用了密集完全棚子进行支护以防坑道顶板沉降,取得了非常好的支护效果。

通过沉降监测,第一周沉降60 mm,第二周沉降8 mm,第三周以后没有出现沉降,支架趋于稳定。

5 结语

在破碎岩层中进行小断面坑道掘进,一方面岩石的夹制作用大,坑道成形困难;另一方面由于岩石

破碎易产生片帮、冒顶。光面爆破法和新奥法在PD102坑道中的应用很好地解决了这一难题,施工中未发生安全事故,完全达到地质设计要求,取得了非常好的施工效果。

参考文献:

- [1] 李春泉. 景鹰高速公路桃墅岭隧道光面爆破施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 80-81.
- [2] 张时钟, 吴立, 等. 凿岩爆破[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [3] JTJ 042-94, 公路隧道施工技术规范[S].
- [4] 刘殿中, 杨仕春. 工程爆破实用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [5] 邵鹏, 东兆星. 控制爆破技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.

(上接第74页)

(3) 采用格构梁与锚杆(索)注浆联合加固裂隙岩质边坡, 可以对坡面及深层岩体进行加固, 是一种有效的滑坡治理手段, 可以为同类工程提供有益的参考。

参考文献:

- [1] 乔卫国, 张玉侠, 等. 水泥浆液在岩体裂隙中的流动沉积机理[J]. 岩土力学, 2004, 25(S1): 14-16.
- [2] 江学良, 曹平, 等. 格构梁与锚管注浆复合结构加固裂隙岩质边坡的应用研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2008, 28(3): 330-334.
- [3] Lutz L., Gergeley P. Mechanics of Band and Slip of Deformed

Bars in Concrete [J]. Journal of American Concrete Institute, 1967, 64 (11): 711-721.

- [4] Hansor, N. W. Influence of surface roughness of prestressing strand on band performance [J]. Journal of Prestressed Concrete Institute, 1969, 14 (1): 32-45.
- [5] 宰金珉, 宰金璋. 高层建筑基础分析与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [6] 杨明, 胡厚田, 等. 路堑土质边坡加固中预应力锚索框架的内力计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1383-1386.
- [7] 许英姿, 唐辉明. 滑坡治理中格构锚固结构的解析解分析[J]. 地质科技情报, 2002, 21(3): 89-92.
- [8] 唐辉明, 许英姿, 程新生. 滑坡治理工程中钢筋混凝土格构梁设计理论研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(11): 1683-1687.
- [9] M. Hetenyi. Beams on Elastic Foundation [M]. Michigan. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1946.

(上接第77页)

正常, 尤其是钻头的内外径和底唇面磨损均匀。两个钻头的平均使用寿命60.26 m, 平均钻进速度1.91 m/h。但分析两个钻头的钻进指标, 可以发现, 虽然两个钻头的钻进速度差距不大, 但钻头的预计寿命还是有较大的差距, 相差14%。究其原因: (1) 胎体磨损的测量可能存在误差; (2) 钻头的制造工艺难以保证完全一致。

试验结果说明, 所研制的钻头的性能基本稳定, 钻头的试验研究方法先进, 烧结工艺合理, 试验研究达到了预计的目标。

4 结论

(1) 采用混料回归试验设计方法试验研究热压金刚石钻头的胎体成分与性能, 是一种先进的、可靠

的试验研究方法; 所得出的胎体性能随胎体成分含量变化的规律是可信的, 具有较好的实用性。

(2) 含磷较高的铁基合金完全可以作为热压金刚石钻头的胎体材料, 具有高的硬度和较强的耐磨性, 具有合理的硬-脆性, 有利于金刚石出刃。

(3) 铁-磷合金在烧结过程中不仅对金刚石没有产生实质性的影响, 而且有可能提高包镶金刚石的牢固度, 有利于提高钻头的使用寿命。

参考文献:

- [1] 肖俊玲, 胡国程, 丘定辉. 高P铁基合金金刚石工具胎体合金的研究[J]. 湖南冶金, 2001, (6): 21-26.
- [2] 杨凯华, 段隆臣, 汤凤林, 等. 新型金刚石工具研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [3] 邹庆化, 汤凤林, 胡国荣, 等. 稀土在以Fe代Co金刚石工具材料中的应用[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2001, (4):