

热压铁基孕镶金刚石钻头的试验研究

李子章^{1,2}, 邓 伟², 杨凯华³

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734; 3. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对在坚硬致密岩石中钻进时效低和钻头使用寿命短的技术难题,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,硬而带脆性的胎体性能有利于金刚石出刃,从而能提高钻进速度。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,试制出了热压铁基孕镶金刚石钻头,取得了突破性的进展。在坚硬致密岩层中钻进,钻进时效由 0.5 m 左右提高到 1.17 m,钻头寿命由 10 m 左右提高到 21.31 m,解决了在坚硬致密岩层中钻进难的问题。试验研究结果说明,铁基合金是一种新型的金金刚石钻头胎体材料,热压铁基孕镶人造金刚石钻头是一种新类型的金刚石钻头。

关键词:铁基合金;热压烧结;孕镶金刚石钻头;硬而致密岩石

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)07-0094-03

Experiment Study on Hot-pressing Iron-based impregnated Diamond Drilling Bit/LI Zi-zhang^{1,2}, DENG Wei², YANG Kai-hua³ (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 3. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: According to various of the technical difficulties such as low drilling efficiency in hard rock and short service life of diamond drilling bit, analysis was made on the inherent links between blade-extruding of hot-pressing diamond and rock abrasiveness. The matrix and properties were considered to be important factors, so starting with the research on matrix and properties of hot-pressing diamond drilling bit, hot-pressing iron-based impregnated diamond drilling bit was developed. Drilling in hard and compact rocks, the efficiency increased from about 0.5 m/h to about 1.17 m/h, and the service life was extended from 10 m/each to 21.31 m/each. It was proved that iron-based alloy is a new matrix material of diamond drilling bit and hot-pressing iron-based impregnated diamond drilling bit is a new type of diamond drilling bit.

Key words: iron-based alloy; hot-pressing sintering; impregnated diamond drilling bit; hard and compact rock

传统的热压碳化钨基金刚石钻头在地质勘探中得到了较广泛的应用。碳化钨基金刚石钻头的耐磨性高,对岩层有较好的适应性能,特别是强研磨性岩层。但是,这种类型的钻头对于硬~坚硬而致密的岩层表现出适应性不好,钻进效果差,时效一般只有 0.50 m 左右,使用寿命只有 10 m 左右。同时,由于近 2 年来碳化钨、钴、镍等金属的价格上涨,金刚石钻头的成本显著增加。出于提高钻头在坚硬致密岩层中的钻进效果和降低钻头成本的目的,经过近 2 年的试验研究,成功地研制出了热压铁基孕镶人造金刚石钻头。

1 研究方法

1.1 铁基合金胎体设计思路

铁基合金胎体金刚石钻头的设计与研究,不是简单的用金属铁替代碳化钨,而是在以铁替代大部分或全部碳化钨的基础上,添加一定量的镍、钴、锰、

钛等金属以及稀土元素,在热压条件下形成一种具有一定的硬度、合适的耐磨性和能够牢固包镶金刚石的铁基合金胎体。重点研究胎体的硬度、耐磨性与包镶金刚石的牢固性。

对于坚硬而致密的岩层,要提高金刚石钻头的钻进效果,必须具备 2 个基本条件:(1)钻头胎体在钻进过程中要略超前于金刚石磨损,胎体中的金刚石要能够适时出刃,保证有效地切削岩石,这就要求胎体的耐磨性能要与所钻进岩石的研磨性能相适应;(2)胎体中的金刚石能够较长时间维持锋利的切削效果,要求胎体合金对金刚石具有牢固的包镶效果,具有较高的出刃而不脱落^[1],要实现这个目的,必须研究在铁基合金胎体中加入能提高润湿金刚石的合金成分。基于这 2 点,钻头胎体性能设计包括铁基合金胎体成分和胎体性能的研究。

1.2 铁基合金胎体试验研究

针对硬~坚硬致密岩石的特点,经过初步试验

收稿日期:2008-05-31

作者简介:李子章(1965-),男(汉族),贵州习水人,成都理工大学博士在读,中国地质科学院探矿工艺研究所钻凿产品研究开发中心主任、教授级高级工程师,地质工程专业,从事金刚石钻进技术研究及开发工作,四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号。

以及钻探实践表明,铁基金刚石钻头的胎体硬度以 HRB98~108 比较合适,其耐磨性以中等偏下 [$ML(0.5 \sim 0.65) \times 10^{-5}$] 比较理想。在对铁基合金的初步试验与摸索中,达到上述指标值时,铁的含量在 40%~48% 之间,作为粘结金属的锡青铜含量在 22%~30% 之间,碳化钨含量在 10%~24% 之间,而镍的含量为 9%~18%,钴含量为 6%~10%,其余为钛、锰、硅、稀土等金属。依据这种基本配比,在合理的烧结工艺条件下,制造出的钻头有较好的钻进效果。因此,在研究中,以上述的铁、碳化钨、锡青铜、镍、钴作为 5 个因素进行试验研究;而胎体成分中的其它金属(钛、锰、稀土等)在钻头的制造中,其含量低且变化范围不大^[2],试验研究时可以暂不作为因素考虑,这样就简化了设计和试验的工作量。

热压工艺对于胎体性能会产生显著的影响,其中影响明显的是烧结温度和压力^[4]。因此,在铁基合金胎体研究中,烧结温度与压力必须纳入设计因素中。在前期试验研究中,铁基胎体的烧结温度基本确定在 980℃、压力为 15 MPa、保温时间为 3 min 比较理想,具有良好的铁基合金胎体性能,没有必要再进行试验。这样,整个铁基合金胎体的试验与研究就成了 5 因素的混料回归设计(见表 1)。试验研究的目的是掌握胎体配方与烧结工艺的变化对硬度和耐磨性的影响的基本规律,以期获得成本低、包镶金刚石的牢固度高、具有较好的适应性的铁基胎体配方与烧结工艺。

表 1 钢结硬质合金混料回归试验设计表

| 成分 | 取值范围/% | 备注 |
|------------------------|--------------------------|---|
| WC(Z ₁) | 10 ≤ Z ₁ ≤ 28 | |
| Fe-P(Z ₂) | 36 ≤ Z ₂ ≤ 52 | 含 P 5.75%, 重度 6.84 g/cm ³ |
| Ni(Z ₃) | 8 ≤ Z ₃ ≤ 18 | |
| Co(Z ₄) | 5 ≤ Z ₄ ≤ 9 | |
| 663Cu(Z ₅) | 18 ≤ Z ₅ ≤ 30 | |

1.3 铁基合金胎体试验

按照表 1 设计进行了胎体试样试制,并对试样进行了胎体力学性能测试,在 HR-150A 型布洛维硬度计上测试试样的硬度,在 MPX-2000 型摩擦磨损试验机上测定耐磨性。将试验数据进行分析,其性能变化的基本规律如图 1 所示。将测试结果中较适合钻进硬而致密岩石的胎体配方、烧结工艺列于表 2 中。而实际上还有硬度更高些、耐磨性更强些的胎体配方与烧结工艺的组合,可以钻进硬而较强研磨性的岩石。

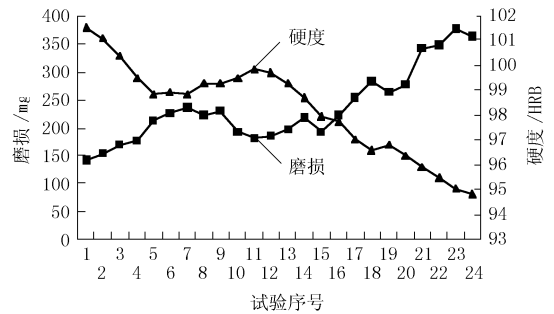


图 1 高磷铁基胎体硬度和耐磨性与胎体成分含量的变化关系

表 2 试验结果与各因素影响程度表

| 试验号 | Fe-P /% | WC /% | Ni /% | Co /% | 663Cu /% | 余量 /% | 压力 /MPa | 综合评分 |
|-----|---------|-------|-------|-------|----------|-------|---------|------|
| 11 | 42 | 12 | 8 | 4 | 29 | 5 | 15 | 119 |
| 12 | 48 | 8 | 7 | 5 | 27 | 5 | 14 | 112 |

注:余量中主要为 Mn、Ti 等。

数据分析中试验的综合评分的确定主要考虑胎体的硬度(HRB)与耐磨性,把硬度与磨损量的影响同等看待,用试块的磨损量表示耐磨性。因为磨损量越大,则耐磨性越低,所以先将磨损量扩大 100 倍,再以 100 减去磨损量的扩大值,得出的数值与耐磨性相一致。最后,硬度值与计算出的耐磨性数值之和即综合评分值。

2 钻头试制与试验

2.1 钻头试制和室内钻进试验

按照表 2 中的配方与烧结工艺,各试制了 Ø41 mm/Ø27 mm 的热压金刚石钻头 2 只,先在室内对石英岩进行钻进试验。从钻头的磨损和金刚石出刃情况分析比较理想(见图 2),室内钻进试验用的石英岩如图 3 所示。钻进时效平均达到 1.22 m,每个钻头钻进 5 m 后磨损约 1 mm,按这个磨损速度计算,钻头的平均寿命 < 20 m,室内试验取得了预期效果。

2.2 钻头野外试验

为了检验所研究的铁基合金胎体钻头配方和制

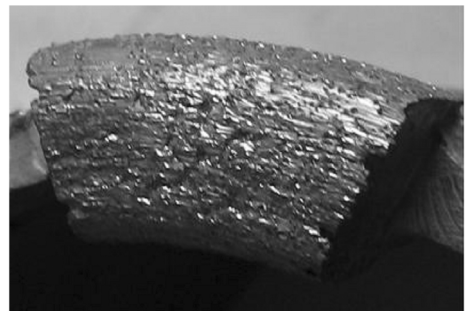


图 2 试验钻头磨损与出刃情况



图3 室内钻进试验石英岩样

造工艺的合理性和可靠性,进行了野外钻探生产试验。在实验室试验的基础上,对表2中的2种胎体配方稍作一定的调整,试制了6只 $\text{Ø}75.5\text{ mm}/\text{Ø}54.5\text{ mm}$ 的热压金刚石钻头,在某工地的硅质石英岩中钻进试验。采用YL-6型钻机,钻进参数为:钻压15 kN,钻头转速374 r/min,洗井液量30 L/min。钻进效果如表3所示。

表3 钻头野外钻进试验情况表

| 钻头编号 | 回次数 | 进尺/m | 钻时/h | 时效/m |
|------|-----|-------|-------|------|
| 1 | 11 | 26.05 | 22.25 | 1.17 |
| 2 | 10 | 25.15 | 21.67 | 1.16 |
| 3 | 8 | 13.85 | 10.42 | 1.33 |
| 4 | 10 | 19.85 | 16.25 | 1.22 |
| 5 | 9 | 18.55 | 17.50 | 1.06 |
| 6 | 12 | 24.40 | 21.25 | 1.15 |
| 平均 | 10 | 21.31 | 18.22 | 1.17 |

2.3 试验结果分析

室内外的钻进效果比较接近,结果都比较理想,达到了设计要求,满足了钻探施工的需要,解决了过去钻进坚硬致密岩层难的问题。铁基金合金胎体热压金刚石钻头取得了比较理想的研究成果。

(1)胎体合金成分中的钴、镍、钛和锡青铜对金刚石有很好的亲和性,能明显降低胎体合金对金刚石的润湿角^[1],有利于提高包镶金刚石的强度。

(2)稀土金属镧和铈在铁基金合金胎体的热压烧结反应中起着催化活化作用^[1],起着微金属化的作用以及变性与纯化作用,有利于提高胎体合金的综合机械性能^[3],同时能有效提高胎体合金对金刚石的润湿作用,提高胎体包镶金刚石的牢固度。

(3)铁基合金的硬度较高,加上金属锰与钛的合金化结果,使得铁基金合金胎体虽硬而略带脆性,钻进中比同等硬度的碳化钨加锡青铜合金为主体的胎体的耐磨性低,金刚石出刃效果好,改变了碳化钨基胎体耐磨性高和金刚石出刃效果差的状况。因而,铁基胎体可以保持金刚石在钻头胎体表面有较锋利

的、较长时间的出刃,具有较高的钻进速度和较长的使用寿命。

(4)12%的碳化钨与铁基合金配比合理,使钻头具有合理的耐磨性,胎体始终略超前金刚石磨耗,保证金刚石处于良好的出刃状态,保证了钻进效率得到提高,保证钻进速度稳定。

(5)热压工艺参数合理^[4],保证了铁基金合金胎体的合金化程度高,胎体的综合机械性能适合于钻进坚硬致密的岩层。铁元素在高温烧结条件下,虽然存在热刻蚀作用,但由于热压烧结规程设计合理,这种热刻蚀作用不会影响金刚石的强度,实验表明,由于这种热微刻蚀作用还能提高铁基胎体对金刚石的包镶牢固性能,对提高钻头的使用寿命有利。

3 结论

经过对铁基金合金胎体的研究以及对热压铁基金合金金刚石的室内与野外生产试验,可以得出以下几方面的结论。

(1)铁基金合金作为热压金刚石钻头的胎体材料是可行的,所研究的铁基胎体配方与热压工艺具有理论意义与实用价值,它具有成本低,适应性能较广,特别适应于钻进坚硬致密岩层的突出特点。为制造热压金刚石钻头增添了一种新的胎体材料。

(2)铁基金合金胎体在热压过程中,铁元素不会影响金刚石的原始强度,实验表明热微刻蚀作用对铁基胎体包镶金刚石的强度反而有所提高。这一事实为资源广泛、价格低廉的铁用于金刚石钻头的制造开创了新的途径。

(3)铁基金合金胎体的配方十分重要,热压工艺与铁基金合金成分密切相关。从影响铁基金合金金刚石质量的因素表明,制造铁基金合金胎体金刚石钻头,合理设计热压工艺更为重要,它是保证钻头具有好的适应性与高的钻进指标的重要因素和条件。

(4)混料回归设计试验方法是研究金刚石钻头胎体性能的一种有效的方法,是研究胎体成分改变引起胎体性能变化规律的可行方法,具有实际意义。

参考文献:

- [1] 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,2001.84-96.
- [2] 段隆臣,田永常.金刚石工具富铁胎体掺杂稀土的研究[J].地质科技情报,2002,(3):101-104.
- [3] 王伟雄,段隆臣,田永常.稀土提高富铁胎体包镶金刚石能力的试验研究[J].煤田地质与勘探,2002,(2):62-64.
- [4] 杨凯华,李红民,等.热压金刚石钻头烧结工艺研究[J].地球科学,2002,27(S1):44-46.