

新型金刚石钻头研究

XINXING JINGANGSHI ZUANTOU YANJIU

杨展 段隆臣 著
章文姣 王恒 李传武



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

新型金刚石钻头研究

XINXING JINGANGSHI ZUANTOU YANJIU

杨 展 段隆臣 著
章文姣 王恒 李传武

杨凯华 主审



中国地质大学 出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

新型金刚石钻头研究/杨展,段隆臣,章文姣,王恒,李传武著. —武汉:中国地质大学出版社
有限责任公司,2012. 11

ISBN 978-7-5625-3017-6

I. 新…

II. ①杨…②段…③章…④王…⑤李…

III. 金刚石钻头-研究

IV. P634. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 266168 号

新型金刚石钻头研究

杨 展 段隆臣 编著
章文姣 王 恒 李传武

责任编辑:王凤林 郭金楠

选题策划:郭金楠

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:210 千字 印张:8.125

版次:2012 年 11 月第 1 版

印次:2012 年 11 月第 1 次印刷

印刷:珞南印务有限责任公司

印数:1-500 册

ISBN 978-7-5625-3017-6

定价:28.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

《新型金刚石钻头研究》一书基于以下基本资料撰写而成。四篇博士论文：“钢结硬质合金型胎体冲击回转钻进金刚石钻头研究”(作者杨展)、“预合金粉-聚合粗粒金刚石-分层结构热压金刚石钻头研究”(作者王恒)、“硬而复杂岩层钻井中新型复合式钻头研究”(作者李传武)以及“钎焊-热压多层有序排列金刚石钻头研制与机理研究”(作者章文姣)；六项科研成果：杨展主持完成的四项科研成果“热压金刚石钻头设备配套与关键技术研究”、“金刚石钻头制造配套装备与技术研发”、“基于 PRO/E 金刚石钻头结构优化设计和高效长寿命金刚石钻头研制”和“热压有序排列碎聚晶孕镶钻头研究”；段隆臣主持完成的科研成果“硬岩大直径石油钻头研究”和杨凯华主持完成的科研成果“卵砾石地层热压金刚石钻头研究”；两项发明专利：“一种热压金刚石钻头及其制备方法”(发明人杨展等)和“热压高磷铁基金刚石钻头的制备方法”(发明人杨洋等)。

《新型金刚石钻头研究》专著具有以下特点：

(1)将多项科研成果汇集于一体，并经过一定的分析与整理而得到相应的提高，更加体现出科研成果的科学性、先进性、完整性和实用性，便于推广应用。

(2)对多篇相关的博士论文进行了提炼和浓缩，重点突出研究思路、试验方法与数据分析处理，突出了研究成果的创新性与实用性。

(3)首次提出热压金刚石钻头的性能、岩石的性质和钻进工艺条件是一个系统工程，金刚石钻头的设计与研究必须在这个系统工程内试验完成。这三者是一个有机的统一体，离开了其中某个方面的研究，都不可能收到具有实用价值的研究成果。

(4)金刚石钻头的设计与研制中主要包括钻头的胎体性能、金刚石参数、钻头的水路以及钻头的结构等，而钻头的结构往往不被重视。本专著则以试验研究钻头的结构为主，把钻头的结构与钻头的其他参数的重要性同等看待。钻头的结构包括钻头的底唇面形状结构，同时包括钻头工作层内部的结构。钻头的结构将对钻头的钻进效率、钻头的使用寿命以及钻头对岩石的适应程度产生直接的影响。

(5)本书由八章组成，对热压金刚石钻头的结构进行了八个方面的试验研究，获得了有实用价值、值得推广的研究成果。

预合金粉在热压金刚石钻头制造中仍然处于试验研究和认识阶段，还没有得

到全面的推广应用。本专著的第1章主要研究试验了预合金粉胎体钻头,对市场上提供的各类预合金粉进行了全面的试验与研究,基本掌握了预合金粉胎体的性能、热压工艺和设计钻头的基本要领,为同行们研制预合金粉热压钻头和使用钻头提供了科学依据和可靠的资料。

第2章主要研究试验分层复合型热压金刚石钻头,这种钻头由含金刚石工作层和不含金刚石的隔层相间组合而成;含金刚石工作层破碎孔底大部分岩石,而含金刚石的隔层则会随着钻进进行超前磨损,形成一道道环形槽,对应的孔底则会形成一道道凸起的岩脊,凸起的岩脊内裂隙发育,在钻头的复合振动和冲洗液冲蚀作用下极容易被破碎。因此,这种钻头的特点是约80%的孔底岩石由金刚石直接破碎,约20%的孔底岩石则利用了钻头的结构和机械力作用而得以破碎。岩脊破碎后产生的岩粉颗粒较粗,有利于金刚石出刃。因此,分层复合型热压金刚石钻头钻进效率较高,对岩层的适应性较好。

孕镶聚合粗粒金刚石钻头是一种新型结构的热压钻头,其特点有:①破碎岩石的磨料采用的是钎焊法聚合成的粗粒金刚石;②聚合粗粒金刚石出刃自锐机理与金刚石参数设计不同于普通钻头。本书介绍了采用钎焊法聚合成粗粒金刚石的方法和工艺技术;分析研究了孕镶聚合粗粒金刚石钻头的金刚石参数的设计和应用,为热压聚合粗粒金刚石钻头的研制提供了完整的信息与资料,具有很好的实用价值。

碎聚晶很长时期以来在地质钻头的研究中不被人看重,其价值得不到应有的发挥。通过试验研究,研制出一种热压有序排列碎聚晶孕镶钻头,在可钻性Ⅷ级以下的岩石中,能够获得好的钻进效果。本书第6章详细阐述了这种钻头的有序排列设计与研制方法,分析了胎体配方与热压工艺,并提出了一个带方向性的问题:先冷压成型后热压烧结方法制造钻头,能够充分发挥冷压法和热压法的双重优势,提高钻头的质量。

本书涉及钻头的复合型结构:热稳定性聚晶与金刚石复合型钻头、金刚石烧结体与金刚石复合型钻头以及复合片切割体与金刚石复合型钻头。这三种钻头有其共性,但更多的是各具个性,对岩石具有不同的适应性,可以收到不同的钻进效果。这三种钻头对于钻进硬而不完整岩层、硬-脆-碎岩层、强研磨性岩层以及卵砾石地层可以收到比较理想的效果。

本书第八章为钎焊-热压有序排列金刚石钻头,是一种新型结构的金刚石钻头,同时提出了一种研制金刚石钻头的新型方法。钎焊法包镶金刚石具有价键结合的优势,故其牢固度高,金刚石的利用率高;利用设计好的弧形模板定位金刚石能够很好地实现有序排列;利用钎焊法将金刚石与模板牢牢固定,组成一个个切削单元弧形薄层;由多个不同弧度的弧形切削单元薄层构成钻头的扇形切削体,经热压法而制成钻头。钎焊-热压有序排列金刚石钻头最符合回转钻进破碎岩石

的原理,在孔底的岩石上能够形成多道环形切削槽,十分有利于岩石破碎,因而钻进效率高。

本书将对国内从事人造金刚石及其复合材料、从事人造金刚石制品研究与生产的企事业单位的工程技术人员以及相关大专院校的师生、研究生,对从事探矿工程的广大工程技术人员有所启迪和帮助。

在本专著即将出版之际,衷心感谢为科研项目和博士论文研究提供支持的江西大地岩土工程有限公司和江西大地久钻超硬工具有限公司,为多种钻头的研制提供了诸多的物资条件和方便,为室内和野外钻进试验创造了满意的条件,提供了无私的帮助和支持;感谢武汉万邦激光金刚石工具有限公司提供了钻头胎体性能的研究与试验条件;感谢福建南平蓝桥钻石工具有限公司提供了钻头研究与试验的条件;感谢桂林金刚石工业有限公司提供的支持与帮助;同时,感谢湖南省地质矿产勘查开发局 402 地质队和湖南核工业地质局 302 地质大队为钻头野外试验提供了有力的支持与帮助;还要感谢杨洋博士和谭松成博士提供的可贵的资料;感谢江西省天一金刚石制品有限责任公司所提供的支持和帮助。

由于作者水平有限,时间比较仓促,加之试验与检测条件尚不够完善,本专著中可能存在某些问题或不足,敬请读者批评指正。

作 者

2012 年 7 月

目 录

第 1 章 预合金粉胎体金刚石钻头	(1)
§ 1.1 钻头胎体合金的特点与基本性能要求	(1)
§ 1.2 胎体成分的作用与研究	(8)
§ 1.3 胎体合金的物理力学性能研究	(11)
第 2 章 分层复合型金刚石钻头	(27)
§ 2.1 钻头结构新思路	(27)
§ 2.2 分层结构型钻头设计	(28)
§ 2.3 分层复合型钻头的结构设计	(30)
§ 2.4 聚晶体强化型钻头设计	(33)
第 3 章 聚合粗粒金刚石钻头	(35)
§ 3.1 聚合粗粒金刚石的聚合方法	(35)
§ 3.2 钻头试制与试验结果分析	(40)
第 4 章 DH 型金刚石钻头	(42)
§ 4.1 DH 型钻头结构设计	(42)
§ 4.2 钻头优化设计	(47)
§ 4.3 野外钻头试验与分析	(48)
第 5 章 接力式长寿命金刚石钻头	(51)
§ 5.1 接力式长寿命钻头设计	(51)
§ 5.2 钻头研制方法	(58)
§ 5.3 热压工艺参数	(62)
第 6 章 碎粒聚晶金刚石钻头	(68)
§ 6.1 碎聚晶粒破碎岩石原理	(68)
§ 6.2 碎聚晶的有序排列	(70)
§ 6.3 碎聚晶粒钻头胎体性能研究	(72)
第 7 章 PDC 复合片钻头	(76)
§ 7.1 PDC 复合片	(76)
§ 7.2 PDC 复合片钻头的结构要素	(79)
§ 7.3 胎体式复合片钻头制造	(81)
§ 7.4 新型 PDC 切削齿	(84)
§ 7.5 复合片钻头强化措施	(88)
§ 7.6 复合片的其他应用	(90)

第 8 章 钎焊多层有序排列金刚石钻头 (93)

§ 8.1 钎焊金刚石钻头制作原理及钎焊特点 (93)

§ 8.2 钎焊材料 (94)

§ 8.3 钎焊工艺 (102)

§ 8.4 金刚石受力与有序排列模板设计 (104)

§ 8.5 单层钎焊金刚石钻头设计与制作 (109)

§ 8.6 多层有序排列钎焊金刚石钻头设计与制作 (112)

参考文献 (122)

第1章 预合金粉胎体金刚石钻头

§ 1.1 钻头胎体合金的特点与基本性能要求

1.1.1 胎体合金基本组成与特点

从传统的碳化钨基胎体到近几年的铁基胎体,其基本的组成成分仍然是:碳化钨、镍、钴、锰、钛、铬、钼、铜、锌、锡、铁以及稀土 Re 等金属粉末材料;而预合金粉胎体的基本组成成分是在这些单质金属粉基础上组合构成。钻头的每种配方的不同之处仅仅是组成成分中每种金属粉末的含量比不同,因而反映出钻头胎体的性能不同,可以适应不同岩层的钻进要求。

从胎体合金成分中可以看出,各组成成分的比重、熔点以及含量等相差很大,单质金属粉末组成的胎体成分,经过球磨混料很难实现均匀混合;热压工艺不能保证胎体成分都处在液相烧结状态,合金化程度较低,难以保证胎体性能的一致;热压过程中粘结金属处于液相,而骨架材料则处于固相状态,从这个角度看热压钻头胎体是一种固溶体合金材料,因而钻头的胎体合金实质上是一种假合金。加上胎体工作层中还有一定浓度的金刚石颗粒,使得这种合金材料的综合力学性能远远不如熔炼出的钢结合金材料,唯一性能优越的就是其耐磨性高。

传统的碳化钨基金刚石钻头,其胎体合金是以碳化钨为主体的,其含量一般在 35% 以上,然后加入热压钻头都需要加入的粘结金属材料(铜系合金)。铁基胎体的基本成分发生了很大的变化,它是以铁替代碳化钨而组成的一种新型胎体体系,粘结金属依然采用铜系合金,钻进中对岩石有较好的适应性能。而处于碳化钨基胎体与铁基胎体之间的胎体系列,有人称之为钢结硬质合金型胎体,其中,碳化钨的含量较低,粘结金属的含量较少,但仍然以铜合金为粘结金属。为了调节钻头胎体的性能,无论哪种性能的胎体,往往还需加入镍、钴、锰、钛、硼、硅、磷、铝、稀土元素 Re 以及不同的添加剂材料,这些材料有的可以起到强化粘结金属的作用,有的起到提高对金刚石的包镶力的作用,有的起到降低烧结温度的作用,等等。

由于胎体骨架材料和基本组成成分的差距,使得设计热压工艺时相应会有不同的思路和较大的区别。热压工艺将明显地影响钻头的质量,是不可忽视的一个因素。不同的岩石具有不同的力学性能,需要相应的胎体性能去适应岩石。而在钻进过程中,钻进参数对钻进指标会产生不可忽视的影响,好质量的钻头需要与合理的钻进工艺相匹配才能发挥最好的效果。因此,岩石性质—钻头性能—钻进工艺,这三者是一个整体,相互影响、相互制约,属于一个复杂的系统工程,这是钻头设计与钻头使用的重要环节。

1.1.2 胎体性能基本要求

金刚石钻头在孔底钻进过程中承受着复杂的应力:钻压作用造成的压应力,回转扭矩作用造成的剪应力和扭曲应力,还有钻杆柱的振动作用造成的冲击应力,等等。这些应力的大小并非恒定值,而是在随机变化。因此,对钻头造成的不良影响与损坏是明显的和巨大的;加上岩层的变化和岩性的复杂性,对热压金刚石钻头提出了较高的力学性能要求。

金刚石钻头的六项质量指标是:硬度、耐磨性、抗冲击韧性、抗冲蚀性、抗弯强度、胎体线胀系数;有时还要提及胎体的密度、胎体的热性能和胎体包镶金刚石的能力。胎体的密度实际上间接地反映了胎体的硬度与耐磨性;胎体的热性能涉及胎体的线膨胀系数和胎体包镶金刚石的能力。而胎体包镶金刚石的能力是十分重要的指标,由于检测包镶力的仪器不完善,还难以完成这项性能的检测。钻头胎体的这些性能指标中以硬度与耐磨性最为直接和重要。

1.1.2.1 胎体的硬度

目前,金刚石钻头的性能仍然以胎体硬度为主要指标,严格地说,应该以胎体的耐磨性作为胎体性能的主要指标较为合理。但是由于胎体的硬度指标在某些特定条件下与胎体的耐磨性与抗冲蚀性基本一致,加上测定硬度的方法比较简单方便与可靠,用户仍然习惯以钻头的硬度作为钻头选型的基本依据,故生产单位仍然把胎体硬度作为钻头的一项主要性能指标指导生产与销售。

钻头的胎体越硬,表明岩粉对胎体的锥入和磨损就会越难,胎体越不容易被磨损,金刚石在钻头的胎体中保持的时间可能越长,钻头的使用寿命也就可能越长。因此,从这个理论考虑,希望钻头的胎体硬度越硬越好。然而任何事物都不能绝对,当岩石一定时,胎体的硬度只能有一个相适应的范围,超出该范围时,岩粉就难以锥入和磨损胎体,就会出现钻头不出刃的现象,导致钻进效率低,收不到好的钻进效果。一般在设计金刚石钻头时,胎体硬度按照岩石的压入硬度和研磨性的高低设计,在强研磨性地层及硬、脆、碎地层都采用硬度高的胎体,在弱研磨性地层或软地层中采用硬度低的胎体。总的思路是:胎体必须随着钻进的进行而逐步被磨损,始终保持钻头胎体略超前金刚石磨损,维持金刚石的良好出刃状态。

到目前为止,钻头胎体的硬度仍然以洛氏 HRC 表示,常见的胎体硬度在 HRC10~45 之间。钻头的用户以胎体硬度 HRC 来订购钻头,而钻头厂商以胎体硬度 HRC 来指导钻头的设计、生产和销售。尽管这个依据和做法还不够完善与不够科学,但这种现状还在继续。随着胎体的种类在增加,胎体的性能变化范围在扩大,有的研究机构在衡量胎体的硬度时,使用硬度 HRB 作为衡量指标,这样,对胎体硬度反映得更加精确,更具有可操作性和针对性。胎体硬度 HRB 的数值测试可在 HR-150A 布洛维硬度计上测量。

有时,胎体的硬度较低,例如电镀金刚石钻头的胎体硬度就比较低,还有钻进坚硬致密岩石钻头的胎体硬度也比较低。实践中需要了解胎体硬度的较小变化对钻进的影响时,采用洛氏 HRC 和 HRB 表示硬度仍然显得不适应,这时可以采用显微硬度 HV 表示。显微硬度值范围更大,胎体的硬度可以在 HV300~500 间变化,便于试验研究与分析。测试胎体的显微硬度可以选用 HV-1000 型显微硬度计。

1.1.2.2 胎体的耐磨性

由于金刚石钻头的工作层中含有金刚石固相硬质颗粒,钻进中钻头与岩石之间的摩擦磨

损不是一般的两个平面之间的摩擦磨损,而是属于两种摩擦磨损类型的综合——粘合磨损和磨粒磨损。金刚石钻头工作层表面与孔底岩石相摩擦时,在钻压合理的条件下,实际上只有出露的金刚石与岩石接触。钻压集中在金刚石颗粒的出刃部位,金刚石出刃部分与岩石接触部分产生局部应力集中,在金刚石与岩石表面接触处出现压碎、犁削、张裂与塑性剪切破碎,这属于粘合磨损的过程。随着金刚石刮取岩石会不断地产生岩粉,岩粉存在于胎体和岩石表面之间,岩粉就成为了磨粒。在钻进过程中磨粒对胎体表面产生高应力滚压式摩擦,这属于磨粒磨损,这种胎体—磨粒—岩石三者之间的磨损又称为三体磨粒磨损,这是胎体磨损的主要形式,也是设计金刚石出刃的基本条件和依据。

胎体的耐磨性是金刚石钻头的重要性能指标之一。胎体的耐磨性与硬度是两个完全不同的物理力学概念,两者不能等同,但是却有一定的关系。硬质材料的耐磨性不一定很高,而耐磨性高的材料不一定很硬。钻头厂商和钻头用户常以胎体硬度来直接表示胎体的耐磨性,这是不全面的观点,也是不科学的观点。许多情况下,硬度相同的钻头胎体而其耐磨性却不相同,这是因为胎体是一种假合金,胎体合金的内部组成中含有金刚石固相颗粒,因而钻头胎体的硬度与耐磨性不能只用胎体本身的性能衡量,在很大程度上要受金刚石的影响与制约。加上钻头在孔底破碎岩石时受力复杂,钻头胎体的磨损状况不同于金属材料的摩擦磨损。

(1)胎体耐磨性测试方法。试样制成 $\phi 6 \times 8\text{mm}$ 小圆柱,在 ML-10 型磨损试验机上测试,试验结果按下式计算:

磨损率

$$ML = \frac{W_0}{\pi/4 \cdot d^2 S \gamma}$$

(1-1)

式中: W_0 为试样试验前后的质量差(g); d 为试样的直径(cm); S 为试样的摩擦行程(cm); γ 为试样的密度(g/cm^3)。

试验材料的 ML 值越大越不耐磨,越小越耐磨。

依据岩石的研磨性选择胎体的耐磨性见表 1-1 所列。

表 1-1 胎体的耐磨性

耐磨性	高	中	低
指标 $ML \times 10^{-5}$	<0.3	$0.3 \sim 1.0$	>1.0
地层	强研磨性	中等研磨性	弱研磨性

测试耐磨性还可以在 MPx-2000 型摩擦磨损试验机上测试,试样采用 $8.5\text{mm} \times 8.5\text{mm} \times 15\text{mm}$ 的规格,磨损件采用 $\phi 50\text{mm}$ 碳化硅小砂轮或白刚玉小砂轮,耐磨性指标以砂轮直接磨损试样的绝对磨损量(mg)来衡量;在一定压力、转数和时间条件下,试样被磨损得越多,说明其越不耐磨。

(2)胎体耐磨性设计。设计热压金刚石钻头胎体的耐磨性的基本原则,首先是依据所钻岩石的研磨性来确定,岩石的研磨性越强,钻头胎体的硬度应该越高,耐磨性应该越强。在强研磨性岩石中使用的钻头,可设计高耐磨性胎体的钻头;在中等研磨性岩层中钻进时可设计中等耐磨性胎体的钻头;钻进弱研磨性岩石的钻头,可设计低耐磨性胎体的钻头。虽然,胎体的耐磨性与硬度从概念上讲不相同,但却有一致性的地方,在设计钻头胎体耐磨性时,也要考虑岩石硬度的影响,而不仅仅只考虑岩石研磨性的影响。同种配方的胎体和相同金刚石参数条件

下,硬度高者耐磨性亦高;不同种类配方的胎体和相同金刚石参数条件下,硬度与耐磨性不一定一致。

总之,胎体的硬度与耐磨性必须与所钻的岩层的硬度与研磨性等性质相适应,以保证在钻进中胎体有适当的磨损,使钻头胎体中的金刚石裸露出来;但磨损又不能过快,过快的话,将使尚可用的金刚石过早失效或脱落,不能充分发挥金刚石应有的作用。相反,胎体不磨损或磨损很慢,金刚石不出刃或出刃甚微或出刃很慢,也难以发挥金刚石破碎岩石的作用。

胎体的耐磨性与胎体成分密切相关。随着胎体成分中碳化钨等骨架材料的比例增加,其耐磨性随之提高;碳化钨等骨架成分含量降低时,胎体的耐磨性亦随之降低。这是因为骨架材料实际上是一种硬质磨粒,它不仅起着耐磨的作用,还能够起调整钻头自锐能力的作用,硬质磨粒越多其耐磨性越强,金刚石的出刃就慢。而铜合金粘结材料与碳化钨骨架材料的性能与作用正好相反。

不同的骨架材料的硬度与耐磨性能也不相同,在骨架材料和粘结金属成分的比例相同时,含有高耐磨性的骨架材料(例如铸造碳化钨)的胎体的耐磨性高;而含低耐磨性的骨架材料(例如铁粉)的胎体耐磨性就低。骨架材料可以混合使用,例如用一部分铁粉替代碳化钨材料,可以降低胎体的耐磨性,达到改变钻头性能的目的。

胎体的耐磨性与胎体中粘结金属成分有关。目前,胎体中的粘结金属主要采用铜合金材料,其本身的耐磨性较低;若铜合金的含量高时胎体的耐磨性就降低,含量少则耐磨性就增高。同时,加入镍和锰制成的铜基预合金粘结金属,会提高胎体的耐磨性和胎体的力学性能。铜-锡系列合金中,随着锡含量增加,其硬度与耐磨性就增加,但随之其脆性也会增加。

1.1.2.3 胎体的抗冲击韧性

钻头胎体的抗冲击韧性反映了胎体承受动载荷及其弯曲应力的能力,在钻进中由于钻杆柱是一细而长的柔性压杆,钻杆的中和点以下部分受钻压作用,很容易失去直线稳定状态而发生弯曲,在钻压与回转扭矩共同作用下,钻杆将产生比较复杂的振动,这个振动力将传递给钻头,钻头在钻进过程中承受纵向振动和横向振动的频繁冲击,受力条件极其复杂和繁重。

冲击回转钻进是一种先进的钻探方法,由于冲击力的作用钻进效率得以大幅度提高。冲击器的冲击功将给钻头带来很大的周期性的冲击作用,因此,热压金刚石钻头在孔底的工作过程中受到冲击、扭转及动载等复杂载荷的作用,使得钻头的工作环境很恶劣,钻头必须具备很好的抗冲击能力,才能满足钻探的要求。试验与研究表明,回转钻进时,钻头胎体的抗冲击韧性不能低于 $2\text{J}/\text{cm}^2$;在冲击回转钻进中,钻头胎体的抗冲击韧性还要加上冲击功的作用,一般也不应小于 $3\text{J}/\text{cm}^2$ 。因此,用于冲击回转钻进时胎体的抗冲击韧性应达到 $5\text{J}/\text{cm}^2$,才能保证钻头不会出现裂纹、掉块等现象,才能够具有较长的使用寿命。

有研究者通过试验研究,对常用的几种胎体进行了测试,抗冲击韧性值如表 1-2 所列。

表 1-2 胎体的抗冲击韧性

配 方 性 能	热 压 法						无压法
	63 #	36 #	35 #	781 #	25 #	3 #	8401 #
抗冲击韧性 (J/cm^2)	4.7	3.9	5.5	10.5	3.5	3.2	14

抗冲击韧性测试。试样制成 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 50\text{mm}$ 标准块在冲击试验机上测试,采用 $3 \sim 6\text{kg} \cdot \text{m}$ 摆锤,试验结果按下式计算:

$$\delta_k = \frac{A_k}{F} \quad (1-2)$$

式中: δ_k 为冲击韧性, $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2 (\text{J})$; A_k 为击断试样的冲击功 ($\text{N} \cdot \text{m}$); F 为试样的横断面积 (cm^2)。

注: δ_k 的计算值精确到 $0.01\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2 (\text{J})$ 。

1.1.2.4 胎体的抗冲蚀性

(1) 冲蚀磨损作用。金刚石钻头胎体抗冲蚀性是一个不同于耐磨性和硬度的新概念,石油钻头的设计中,非常重视钻头的抗冲蚀性能;而在小口径岩心钻探中,钻头的设计中冲蚀磨损没有得到应有的重视。洗井液中含有一定量的岩粉,具有较高压力与较大泵量的洗井液携带着岩粉,具有比清水洗井液更强的射流冲蚀作用,对钻头的胎体以及水口、水槽产生直接破坏作用,由于钻头在回转钻进,故称之为冲蚀磨损。冲蚀磨损从另外一个方面反映出钻头胎体在孔底磨损的真实情况。胎体的抗冲蚀性是指钻头在孔底钻进时,在合理的钻进规程条件下,衡量胎体磨损量的主要指标之一。

冲蚀性磨损中如果没有固相颗粒,在地质钻探钻进条件下其冲蚀作用是有限的,对胎体产生构不成多大的冲蚀破坏。胎体的磨损中,一部分是岩粉对胎体的直接研磨作用所造成;另一部分则是岩粉在高速洗井液的带动下,对胎体产生冲蚀研磨作用所造成。至于这两者的作用大小则难以区分清楚,每一种所占比例难以计算出来,只能通过试验研究得出基本规律。胎体受冲蚀磨损的作用是不容忽视的,在某些条件下也许起着主要的作用,特别是对于钻头的内、外径的冲蚀磨损以及对钻头水口、水槽的冲蚀磨损起着主要的作用。并由此可知,洗井液的净化是极其重要的工作。

冲蚀性主要来源于岩粉的冲蚀作用,胎体的抗冲蚀性设计是依据岩粉的冲蚀性来选择,而岩粉冲蚀性从本质上反映了岩石的研磨能力,其研磨能力的大小与所钻岩石的矿物成分,特别是硬矿物的含量,岩粉的粒度、形状,冲洗液流的速度以及冲蚀角度等有关,其中影响最显著的是岩石的硬矿物含量与岩粉颗粒度这两个因素。

在设计胎体的抗冲蚀性之前,首先要求得岩粉的冲蚀性,主要依据岩石中硬质矿物(如石英)含量和岩粉粒度等因素来设计。

(2) 胎体抗冲蚀性测试。抗冲蚀性试验,试样制成 $\phi 30 \times 5\text{mm}$ 小圆块,在专用冲蚀试验机上测试,中国地质大学研制的抗冲蚀磨损试验机见图 1-1 所示。利用含固相颗粒的高速液流冲蚀试样,计算一定冲蚀时间内(例如 20min)试样被冲蚀的体积来衡量胎体材料的抗冲蚀性能。

胎体抗冲蚀性可采用如下公式计算:

$$Z = \frac{1}{(W_1 - W_2)/\gamma} \quad (1-3)$$

式中: Z 为抗冲蚀指数 ($1/\text{cm}^3$); W_1 为试验胎块冲蚀前重量 (g); W_2 为试验胎块冲蚀后重量 (g); γ 为试验胎块的密度 (g/cm^3)。

试验时尽可能模拟实际钻进时的条件与工况,其中包括泵量、泵压、洗井液中固相的种类及其含量、固相的粒度及粒度分布等。岩石的研磨性与热压金刚石钻头胎体的抗冲蚀性指标

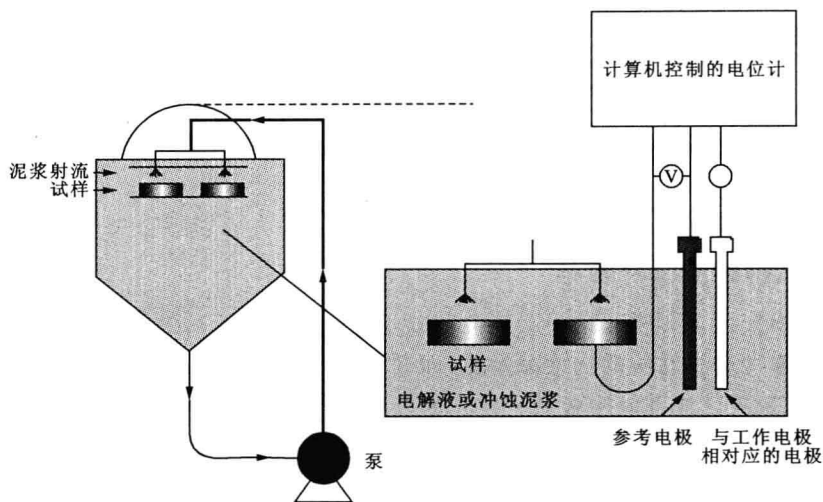


图 1-1 抗冲蚀磨损试验机原理图

的选择依据见表 1-3 所列。

表 1-3 钻头胎体抗冲蚀性指标与岩层关系

抗冲蚀性	高	中	低
指标 1/V	>22	11~22	<11
地层	强研磨性	中等研磨性	弱研磨性

1.1.2.5 胎体的抗弯强度

抗弯强度试验是测定胎体材料在静弯曲负荷作用下折断时的材料性能，它与胎体材料的强度和韧性有关。对于属脆性的钻头胎体材料在弯曲时无明显塑性，最大弯曲应力容易测得。将胎体合金试样置于两支撑点上，在其中点处加一集中载荷，直至断裂，单位面积上所受的力即为抗弯强度。该数值越大反映胎体的强度越高、韧性越大。

胎体的抗弯强度应保证胎体不发生碎裂，胎体与钢体有足够的连接强度。对于表镶钻头胎体应具有较高的抗弯强度；对于孕镶钻头胎体抗弯强度不能简单地认为越高越好，而是根据所钻进的地层进行合理选择。由于胎体性能的各种参数互相有内在的联系，在实际应用中的胎体，往往表现为抗弯强度高的胎体相应地硬度也高，这同样反映出胎体的磨蚀性也有所提高，所以不同的地层需有不同的抗弯强度。对于高研磨性和破碎的岩层则要求设计较高的抗弯强度。

实践表明对于热压法和冷压浸渍法制造的胎体，在其他参数都合乎要求的条件下，其抗弯强度一般应不低于 700MPa(70kg/mm²)，无压浸渍法制造的胎体抗弯强度应不低于 500MPa(50kg/mm²)。对于热压法压制的胎体，常用配方胎体抗弯强度值列于表 1-4。

由表 1-4 可知，目前广为采用的几种配方具有足够的抗弯强度，在使用中胎体不掉块、不崩落，能适应于孔底复杂的工作条件。

表 1-4 常用配方的胎体抗弯强度

配方代号	63 #	36 #	35 #	781 #	25 #	3 #	8401 #
抗弯强度(MPa)	1 270	1 000	900	900	1 170	1 230	743

1.1.2.6 胎体对金刚石的包镶能力

胎体对金刚石的包镶力有两种类型：一种是机械力包镶；另一种是化学力包镶。

1. 机械力的包镶

通过扫描电镜观察胎体对金刚石的包镶状况(图 1-2)可知，胎体与金刚石之间有非常清晰的界限。而且胎体(右上方)“堆集”在金刚石(左下方)的周围，两者界面由电子探针分析的结果可见，胎体与金刚石之间不存在互相“扩散”的现象。说明目前所用配方的胎体对金刚石主要是以机械力包镶的形式，即是依靠胎体冷却过程中的收缩力将金刚石紧紧包镶住。

2. 化学力的包镶

为了提高胎体对金刚石的包镶能力，应在现有机械包镶的基础上增加化学键的结合力，为此目前采取如下方法。

(1)在金刚石表面覆以某种金属薄膜，其作用是：①提高金刚石与胎体的化学粘结力；②提高金刚石表面热阻以降低胎体体系中的热应力；③填补金刚石晶体内部的缺陷而提高其强度。采用真空气相沉积法可将 Cr、Ti、Mo、W 等金属覆于金刚石表面上。金属薄膜厚度 H 由 $0.1 \sim 3\mu\text{m}$ ，覆以金属薄膜金刚石的结合强度 σ_0 可达 $17 \times 10^7 \text{N/m}^2$ 。

曾对于国内常用的 63 号配方采用张力环试件测定胎体包镶金刚石的能力，覆以金属薄膜的金刚石其包镶能力提高 48%。采用 PAI595 扫描俄歇电子能谱仪进行了分析，证实了薄膜中的金属碳化物成分是逐步过渡为金属元素，可称之为 MeC—Me 薄膜。只有形成了这种化学键结合的薄膜才能提高胎体包镶金刚石的能力。



图 1-2 胎体与金刚石之间的界限

(2)改变骨架成分。目前国内外粉末冶金法制造的钻头中,仍采用传统骨架成分——金属碳化物,如 WC、TiC 等。然而许多陶瓷材料或其碳化物的热膨胀系数与金刚石的热膨胀系数很接近,这对于减少胎体体系中的热应力是有效的,并且它们有较好的力学性质。由于陶瓷材料表面的电子几乎都是成对的,为了提高它与粘结成分和金刚石的结合能力,在其表面同样覆以 Ti、Cr 等金属薄膜。从电子探针显微分析仪获得的二次电子图像及 Cr 等的线扫描图中看出,在陶瓷材料的界面处,Cr 的扫描线出现峰值,证实了金属薄膜中生成了陶瓷的金属化合物,这种含镀覆金属薄膜陶瓷材料的胎体,其包镶金刚石能力比普通胎体提高 1.72 倍。

§ 1.2 胎体成分的作用与研究

胎体成分及其含量比决定了胎体的基本性能,也决定了热压金刚石钻头的基本特性。因此,研究热压金刚石钻头的基本内容就是研究钻头的胎体性能,也就是研究钻头胎体成分及其含量比例。传统的碳化钨基胎体金刚石钻头,其胎体组成成分为碳化钨、YG8、钴、镍、锰、钛、铬、钼、铜、锌、锡、铁等金属材料以及合金稀土材料。对于不同的胎体配方,各种金属材料的含量比例是不相同的,例如碳化钨基胎体以碳化钨为主要成分,其含量占 35%~50%;而对于钢结硬质合金型胎体则碳化钨含量只有 20%左右;铁基胎体中则碳化钨材料含量同样很低,或基本不含碳化钨,铁的含量可高达 55%。由于胎体中所含成分不同,所以这三类胎体的性能区别很大,可以适应钻进不同性能的岩层。

在热压金刚石钻头的研制中,常常把胎体成分中的材料分为两大类:骨架材料和粘结金属材料;也有分为三大类的,把镍、钴、锰、铬、钛、铬、硅、硼等划为第三类材料,即提高胎体综合性能的金属材料,有时又称之为碳化物形成金属材料。但不管怎么分类,各种材料在胎体中所起的作用是不相同的,都是胎体中不可缺少的材料。

对于预合金粉胎体,它的基本组成成分与上述碳化钨基和铁基胎体的组成成分基本相同,所不同的是它的组成成分是以预合金粉的形式出现,而不是以单质金属的形式出现。同时,预合金粉胎体的另一特征是骨架材料的含量较低,胎体的耐磨性主要依靠预合金粉对金刚石的高的包镶能力得以实现,而不仅仅依靠提高胎体的硬度与耐磨性来实现。

预合金粉胎体的设计以单质粉为基本依据进行设计;预合金粉胎体的设计中还包括各类预合金粉的设计,即预合金粉的类型、各类预合金粉的组成成分及其含量比的设计。在预合金粉系列中,除了碳化钨等骨架材料外,粘结金属与其他金属之间的界限并不那么严格。

1.2.1 骨架材料

骨架材料在热压钻头胎体中主要起骨架支撑和耐磨的作用,对于碳化钨基胎体,它是主体性材料;而对于非碳化钨基胎体则起着提高耐磨性的作用。因此,碳化钨材料多用于要求耐磨性较高的钻头胎体中,用于钻进研磨性高的岩层和钻进硬、脆、碎岩层中。

适当提高骨架材料含量可以提高钻头的耐磨性和使用寿命,但如果碳化钨含量过高,导致纯胎体的耐磨性高,如果第二类、第三类材料选配不合理,就会造成胎体合金对金刚石的包镶强度低,造成金刚石过早脱落,脱落的金剛石与岩粉一道再度磨损钻头胎体,使钻头的寿命反而降低。反之,如果胎体合金对金刚石粘结牢固,就可延长金刚石破碎岩石的时间,即能延长钻头的使用寿命。因此,在钻头的设计中,依据岩石性质选择好碳化钨等骨架的含量是十分重

要的。

常用的骨架材料以碳化物为主,如碳化钨、碳化钛、YG8、铸造碳化钨等,有时根据需要也可以用难熔金属钨、钼等替代部分碳化钨等骨架材料,起到提高韧性和适当降低耐磨性的作用。在骨架材料的使用中,有时采用两种骨架材料,如同时采用碳化钨和碳化钛或碳化钨与YG8,这样更能稳定钻头的性能。铸造碳化钨不常用于热压钻头的制造中,常常用于无压扩孔器和胎体式复合片钻头制造中;有时加入适量的铸造碳化钨于胎体中,能够提高钻头的耐磨性,对于钻进砂卵石等强研磨性地层能够起到提高使用寿命的作用。

1.2.2 粘结金属材料

目前,在热压金刚石钻头的制造中,粘结金属材料多采用铜合金,如663-Cu合金、Cu-Sn10、Cu-Sn15、Cu-Sn20合金等。单纯的铜对金刚石、碳化钨等材料的润湿能力和亲和性都很低,几乎不发生浸润,因此用来作粘结金属材料的很少。只有铜基合金才能用于金刚石钻头中作为粘结材料,如铜-钴合金、铜-铁合金、铜-锡-钛等合金,表现出对金刚石有优异的润湿性能;而铜-镍、铜-锌、铜-锰、铜-镍-锰等合金对金刚石的润湿性稍差些,但其强度与耐磨性却较高。

粘结金属材料在钻头的胎体中起着重要的作用,在较低烧结温度下,粘结金属把金刚石与骨架材料等牢固地粘结成一种“合金”,并具有一定的综合机械性能,保证钻进工作的需要。粘结金属含量提高,胎体的硬度与耐磨性将下降;反之将会提高。因此,在许多情况下,通过调整碳化钨和粘结金属铜基合金的含量,可以实现调整钻头性能的目的,以适应不同岩层钻进的需要。

1.2.3 碳化物形成金属

碳化物形成金属在某些资料中又称为强化胎体类金属,这些金属有铬、钨、钼、钛、硅、钴、镍等金属。这些金属中,有的属于降低表面张力的元素作为改性剂加入;有的为了提高胎体的性能而加入。由于粘结材料多采用铜基合金,这些金属中,某些碳化物形成元素加入后,降低了铜合金和金刚石间的内界面张力,使接触角 θ (润湿角)降低。决定接触角大小有两个因素:内界面张力和表面张力。由于碳化物形成时的反应降低了内界面张力,比用某些元素降低表面张力的作用要大,所以降低内界面张力在降低接触角 θ 时起着决定性的作用。由此可知,采用铜合金作为粘结金属,再选配合适的碳化物形成元素,对提高胎体合金性能和提高包镶金刚石的牢固度具有重要的意义。

例如铬元素。金属铬是一种强碳化物形成元素,是一种应用很广的金属材料。在钴基合金中有研究表明,加入1wt%铬后胎体的抗弯强度明显提高;在铜基合金中加入少量的铬,可以降低铜合金对金刚石的浸润角,并能提高铜基合金与钴基合金对金刚石的粘结强度。

例如钨元素。钨与钼同为强碳化物形成元素,钨与钼有许多相似之处。钨与铁、铜、钴、镍等都有较好的相容性;烧结时钨与金刚石相互进行化学反应的热力学条件并不苛刻,常规粘结剂的烧结温度均能满足碳化钨生成的热力学条件。在真空条件下,金刚石与钨粉混合加热至一定温度,在金刚石表面就有碳化钨生成。钨能提高胎体的耐磨性,但其强度不如碳化钨的高,同时还能减少胎体变形。

钨与硅有较好的相容性,并能生成硅-钨化合物,如 W_3Si_2 和 WSi_2 。硅-钨化合物与金刚