

doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2024.03.002

广谱性金刚石钻头国内外研究现状及发展趋势分析

王久全¹, 何蕙岚^{1*}, 谷孝宾¹, 刘志强¹, 高科^{2,3}, 赵研^{2,3}, 张丛珊^{2,3}

(1. 金石钻探(唐山)股份有限公司, 河北唐山 063000;

2. 吉林大学建设工程学院, 长春 130064;

3. 自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室, 长春 130064)

摘要: 随地球浅层资源消耗殆尽, 资源勘探开发不断向深部进军, 所遇地层条件愈加复杂, 坚硬致密地层、强研磨性地层等复杂地层条件成为深部钻探的重大阻碍。金刚石钻头广泛应用于地质资源开发, 因此对金刚石钻头综合性能要求也随之提高, 然而现有的金刚石钻头只能适用于某一地层, 需要经常更换, 因此, 研发地层适用性好、钻进效率高、钻头寿命长的广谱性金刚石钻头是克服深部钻探任务的重要内容。近年来, 金刚石钻头发展迅速, 在结构、品类与性能等方面都得到了较大提升, 同时也存在一定提升空间。本文介绍了近年来广谱性金刚石钻头的研究现状与取得的重要进展, 包括钻头结构及胎体性能方面的提升及应用, 随后针对现有的广谱性金刚石钻头研究成果, 提出了金刚石钻头的研究难题以及未来发展方向。通过本文对广谱性金刚石钻头的发展趋势总结, 揭示了金刚石钻头制作技术和应用领域的新型研究方向, 对我国油气勘探及矿产资源开发领域广谱性金刚石钻头研究有一定借鉴意义。

关键词: 金刚石钻头; 广谱性; 取心钻头; 地质勘探; 钻探; 钻头结构; 钻进效率; 胎体性能

中图分类号: P634.4; TD421.2⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-4172(2024)03-0007-10

Research status and development trend analysis of broad-spectrum diamond bit at home and abroad

WANG Jiuquan¹, HE Huilan^{1*}, GU Xiaobin¹, LIU Zhiqiang¹, GAO Ke^{2,3}, ZHAO Yan^{2,3}, ZHANG Congshan^{2,3}

(1. Jinshi Drilling (Tangshan) Co., Ltd., Tangshan Hebei 063000, China;

2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun 130064, China;

3. Key Laboratory of Drilling and Exploitation Technology in Complex Conditions of Ministry of Natural Resources, Changchun 130064, China)

Abstract: With the consumption of shallow resources on the earth, the exploration and development of resources are constantly marching to the depth, and the conditions of strata encountered are becoming more and more complicated. Hard and dense formations, strong abrasive formations, and other complicated strata conditions have been a major hindrance to deep drilling. The diamond bits are widely used in geological resource development. Therefore, the comprehensive performance requirements of diamond bits are also increased. However, the existing diamond bits can only be applied to a certain formation and need to be replaced frequently, therefore, the research and development of broad-spectrum diamond bits with excellent formation applicability, high drilling efficiency, and long bit life is an important part of overcoming the deep drilling tasks. In recent years, the diamond drill bit has been developed rapidly, the structure, category, and performance have been greatly improved, and there also exists a certain improvement space. Therefore, this paper introduces the research status and important achievements of broad-spectrum diamond drills in recent years, including the improvement and application of drill structure and matrix performance, and then puts forward the research problems and future development direction of

收稿日期: 2024-01-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(42172345); 自然资源部复杂条件钻采技术重点实验室与金石钻探(唐山)股份有限公司2023开放课题。

作者简介: 王久全(1969—), 男, 工程师, 机电工程专业, 从事钻探工艺及钻具结构设计工作, E-mail: 1052213351@qq.com。

通信作者: 何蕙岚(1974—), 女, 高级工程师, 主要从事地质勘探钻探工具设备相关研究, E-mail: 2252676645@qq.com。

diamond drills with respect to the existing research results of broad-spectrum diamond drills. By summarizing the development trend of broad-spectrum diamond bits in this paper, the new research direction of diamond bit making technology and application field was revealed, which is of reference significance to the research and development of broad-spectrum diamond bits in the field of oil and gas exploration and mineral resources development.

Key words: diamond bit; broad-spectrum; coring bit; geological exploration; drilling; bit structure; drilling efficiency; matrix properties

近年来随着资源需求量的激增,地质资源开发向深层、超深层迈进,深孔钻探深度屡次突破极限,超千米钻孔数量迅速上升^[1-2]。然而,随着资源地质勘探开采深度的增加,所遇地层条件也愈加复杂,高强度、高塑性和研磨性等复杂地层成为深层钻探的重大阻碍^[3]。在实际钻井过程中,有效钻进时间仅为30%左右,其余时间用于起下钻以及钻具维修等方面。破碎岩石钻头的性能是决定钻探过程能否达到经济高效目标的决定性因素^[4]。因此钻探研究者们始终聚焦于新高效钻头的研发。在维持钻头长寿命和高转速的条件下,有效提升钻探效率并节约成本以应对深孔钻探中的挑战一直是金刚石钻头的研究热点^[5-6]。

对于现场地质工程勘探作业,金刚石钻头在中硬—坚硬地层(例如白云岩、花岗岩和玄武岩等)展示出了极佳的表现^[7-8]。钻探工程的发展与金刚石材料及钻头的发展紧密相关。19世纪中期,金刚石首次被应用于钻探工程,自50年代至80年代,金刚石钻头在有效成本范围内极大地提升了不同地层的钻进效率。钻进过程中,钻头寿命和工作效率是最受关注的两个因素^[9]。对于实际工程,如何提升钻头寿命和工作效率一直是存在的难点^[10]。在实际工程中,常伴随钻头破碎岩石而产生一系列难点。例如,使用孕镶金刚石钻头进行钻进时,极易出现钻头寿命和钻进效率达不到要求、金刚石颗粒提前脱落等问题^[10]。上述问题受多种因素共同影响,其中占主导作用的有金刚石的浓度、强度、粒度、胎体性能。此外,还受钻井规程参数和地层特征的影响。近年来,我国陆续开展了一系列超深井钻探工程(例如松科2井、川科1井、高探2井等)^[11]。国内的一些金刚石工具生产商,已经开发出了具有较强广谱性的金刚石钻头,包括焊接式结构、超高胎体结构等。这些钻头具有强度高、钻进效率高、工作寿命长等优点。

由于现有的金刚石钻头只能适用于某一地层,需要经常更换,因此,设计适用于各种地层的广谱性钻头迫在眉睫^[12]。广谱性金刚石钻头是指能够适

用于多种不同岩石类型的一种钻井工具。这种钻头具有很强的适应能力和稳定性,因此受到广泛关注和研究^[3,13]。近年来,随着科技的不断发展和社会的不断进步,人们对于高效、精准和安全的加工需求越来越高。因此,广谱性金刚石钻头作为一种高新技术研发,被广泛应用于各个领域。回顾近年来在金刚石钻头领域的研究成果,不难发现,广谱性金刚石钻头是其中一个备受关注的领域^[14]。因此,广谱性金刚石钻头的研究具有巨大的实际意义和应用前景^[15-16]。近年来,随着人们对科技发展的不断追求和创新,广谱性金刚石钻头也得到了广泛研究和应用。本文旨在探讨广谱性金刚石钻头的研究现状与前景,包括国内外的研究情况,以及未来发展方向和挑战。

1 金刚石钻头研究现状及进展

1.1 钻头结构

1.1.1 焊接式结构

金刚石钻头可按制造类型分为一次成型和二次成型。前者是烧结型热压或无压浸渍金刚石钻头,后者是先烧结出金刚石孕镶块,再将其镶焊或钎焊到钻头基体上。为避免金刚石受热损伤的影响,在烧制孕镶块时的热压温度为800~850℃,在浸渍法制造钻头体时温度为1000℃,在将金刚石孕镶块钎焊至钻头时使用中温,温度为700~750℃。此外,在设计钻头过程中使用了宽底水口、长保径、深内外水槽和高工作层的结构设计^[17]。这提升了钻头的地层适用面,也使制得的钻头具备高转速和长寿命的特点。该钻头被使用在中国大陆科钻一井的先导孔施工中,单个钻头最高寿命和平均寿命分别为75.23 m和21.7 m,最高回次时效为2.97 m/h。二次镶焊钻头的设计可适用于高硬度和高致密性性能工作层,可有效提升钻头耐磨性和使用寿命。然而,仍存在一些局限,例如焊接工艺、焊接可靠度和焊接技术的差异可能会导致掉块或成本过高等问题^[18]。

美国的超硬材料研究起步较早,美国斯坦福大学和麻省理工学院是该领域的代表性学术机构。在

美国,研究人员将金刚石颗粒、纳米级碳纤维、碳化钨等材料与金属基底进行结合,构建起一系列复合材料,既能耐高温,又能耐高压,这是广谱性金刚石钻头的理想材料之一^[19]。美国宝长年公司对小口径钻探技术的研究处于领先地位,其钻头如图1所示。胎体高度与常规钻头相比提升了9 mm。使用特殊工艺实现了金刚石和胎体化学键的有机结合,极大增加了金刚石出露量,达到了80%左右^[20]。



图1 宝长年钻头

Fig.1 Boart Longyear drill bits

海卡洛格公司推出的固定孕镶切削齿钻头,在保持钻头结构稳定性的基础上,也具备超强耐磨切削齿技术。该类型钻头在实际工程中也取得了可观的效果,配合钻井液和钻机,可以有效降低硬岩地层平均钻井时间。GeoDiamond公司研发的新型金刚石钻头实现了抗冲击、高寿命、高钻速的优良特性,尤其适用于在高温下进行高转速的长时间钻进,并且尤其适用于过渡或混合碎屑地层,是极其有意义的新型研发。

日本也是广谱性金刚石钻头研究领域的重要国家。日本研发出的金刚石钻头技术已处于国际领先地位。日本著名学者长谷川利夫在其论文中提出了一种利用金刚石和碳纤维复合的方法制备金刚石涂层的技术,大幅提高了金刚石涂层的抗磨损性能。德国作为欧洲制造业中心国家,拥有着众多制造企业和高水平科研机构。德国研究人员主要关注广谱性金刚石钻头在车削、铣削、钻孔等领域中的应用^[21-22]。研究人员发现,利用钨钼合金钎焊具有很高的切削性能,该方法为广谱性金刚石钻头提供了新的技术支持。我国湖南省地质矿产勘查开发局致力于研究复合型金刚石钻头,如图2所示^[23],钻头的

扇形工作体由主和辅两部分组成,而这两部分性能组成不同。在野外钻探生产中进行了实钻与测试,并与试验机台使用的其他厂家的普通金刚石钻头进行了对比。试验结果表明,本试验钻头比普通结构钻头的平均时效提高了0.30 m,平均寿命提高了10.75 m。



图2 复合型结构热压金刚石取心钻头

Fig.2 Composite structure hot-pressing diamond coring bit

金刚石钻探公司针对不同的特殊地层,对产品进行定制设计研发,并于2018年完成了松辽盆地大陆科学钻探工程(井深7 018 m),成为国际大陆科学钻探计划(ICDP)成立22年来实施的最深钻井。该公司设计的大直径加重管组合绳索取心钻具,所用金刚石钻头有其特殊性,钻头底唇很厚,一般大于35 mm以上,比常规钻头唇厚增加约1.3倍^[24-25]。使用该大直径加重管组合绳索取心钻具得到的实际终孔孔深2 328.18 m(因达到地质目的提前终孔),终孔口径 $\Phi 152$ mm,岩心平均采取率为98.55%,终孔顶角 7.4° ,各项质量及技术指标完全满足地质设计要求,评定为优质钻孔。该公司设计的单管DD系列钻头以及表镶金刚石钻头如图3、图4所示^[26]。图5为瑞典山特维肯市发源的山特维克公司的表镶金刚石钻头;图6为美国宝长年生产的双层水口且表镶与孕镶相结合的金钢钻头,这些是新型钻头的典型代表。



图3 金石钻探公司单管DD系列钻头

Fig.3 Jinshi drilling company's single pipe DD series drill bits



图 4 金石钻探公司表镶金刚石钻头

Fig. 4 Surface set diamond bit of Jinshi drilling company



图 5 Sandvik 表镶金刚石钻头

Fig. 5 Surface set diamond bit of Sandvik company



图 6 宝长年取心金刚石钻头

Fig. 6 Boart longyear surface set diamond coring bit

1.1.2 超高胎体结构

阮海龙等针对硬地层钻头寿命短、钻进效率低等问题,研制了一种新型超高胎体偏心齿钻头,如图 7 所示^[27]。该钻头通过条状或类条状设计提高了单齿工作压力;偏心布齿设计改善了钻进过程中钻头的切削齿受力状态,不但提高了钻头的强度,而且使得排浆更加通畅。在钻头的制造工艺上,将无



图 7 超高胎体偏心齿钻头

Fig. 7 Ultrahigh matrix eccentric-cutter bits

压烧结、热压烧结与二次镶焊 3 种工艺进行了有机结合,钻头金刚石热损伤小、钻头胎体强度高,保径优势明显。

Fodia 公司研发了 16、20 和 26 mm 等 3 种胎体高度的金刚石钻头^[28-29]。Fodia 将钻头分为许多系列,其中 Vulcan 系列钻头(如图 8 所示)设计有辅助支撑结构以提高钻头强度。其中 16 mm 胎体高度钻头的钻进试验效果显著,其钻头寿命得到了极大提升,最高钻进寿命可以达到 698 m。国外对于超高胎体结构金刚石钻头的制备的水口数目常为奇数,当水口数目改变时,与水口面积呈现正比关系,且水口形状也要及时变更。美国宝长年公司也在长期进行关于高胎体结构钻头的研究,并实现了 25.4 mm 的超高胎体结构,这类钻头的第二层水口磨出往往跟随着第一层水口的磨损,由此达到提高钻头强度的目的。其现场施工达到了良好效果,在对坚硬及弱研磨性地层(加拿大萨德伯盆地)进行现场钻进时钻头寿命达到了 150 m,远高于其他传统钻头。



图 8 Fordia Vulcan 16 mm 多层水口钻头
Fig. 8 Fordia Vulcan 16 mm multi-layer bit

1. 1. 3 齿状复合片钻头

中国地质大学的孙吉伟对金刚石钻头的唇面结构进行了优化改进,采用了“超前齿+低位齿”的新型结构,如图 9 所示。此孕镶金刚石钻头直径

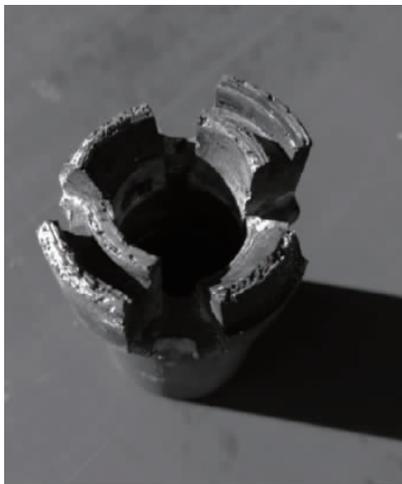
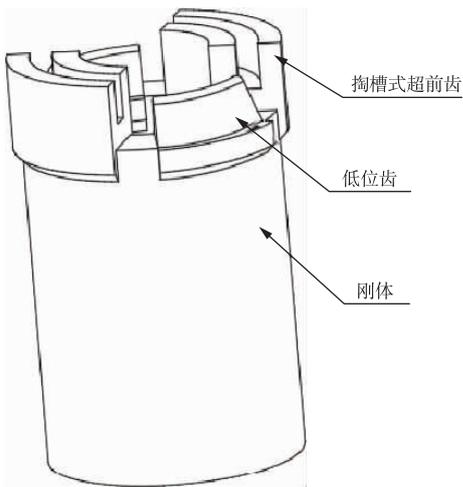


图 9 新型唇面结构钻头
Fig. 9 New crown structure drill bit

为18~36 mm,其工作时的平均钻压为常规金刚石钻头的一半,而破碎岩石中所产生的岩屑粒径则提升了2~5倍,表明此时发生了更好的体积破碎。PDC钻头在软至中硬地层钻进提升方面具有较大优势,但其适用性不够宽泛,在面对坚硬地层钻进时还存在一定局限性,因此研究人员在对PDC钻头硬岩钻进方面进行了许多研究,以增强其对不同地层的适用性,使其具有广谱效应。例如PDC钻头和热稳定聚晶钻头、尖齿状复合片钻头和细齿状复合片钻头在实际施工中都取得了较好的效果,如图10、11所示。美国宝长年公司也对热稳定聚晶PDC钻头进行了相关研究,如图12所示。



图 10 尖齿状复合片钻头
Fig. 10 Sharp-toothed diamond compact bit



图 11 细齿状复合片钻头
Fig. 11 Fine-toothed diamond compact bit



图 12 宝长年公司研发的 PDC 钻头
Fig. 12 PDC bit of Boart Longyear



图 13 三层高胎体钻头
Fig. 13 Three-layer high matrix drill bit

1.1.4 主副水路和底喷水口

北京探矿工程研究所研制的高胎体钻头在山东金矿等矿区取得了较好的应用效果^[30-31]。从最初的双水口钻头发展到高频钎焊高胎体钻头,如图 13 所示。其中,高胎体可以有效提高钻头寿命,而交错高差结构可以有效实现工作过程中的切削过渡。

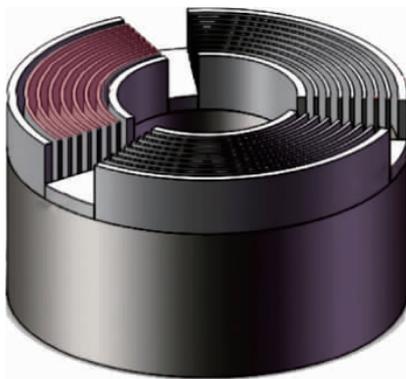
从而大大提高破岩效率。与传统的浸渍金刚石钻头相比,新钻头底面唇边的计算比压增加了 67%,从 68 kgf/cm² 增加到 113 kgf/cm²。结果表明,由于该钻头在凿开岩脊时钻屑规模最大,最佳网格间距为 2 mm。矿物粒度是影响岩石弱化层高度的主要因素。此外,该钻头应用于粒径较大的硬岩层时,能更充分发挥其结构优势。

WU 等为了提高在坚硬岩层中的破岩效率,提

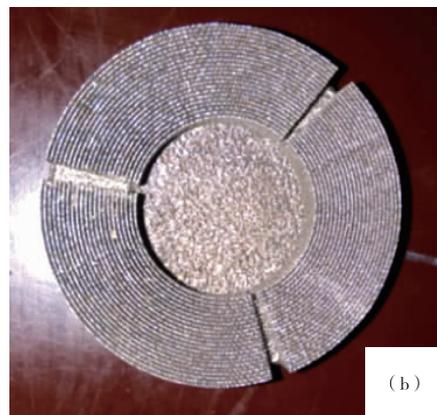
出了一种特殊胎体结构的浸渍金刚石钻头(如图 14 所示)^[32]。设计的网格状胎体可实现大体积破碎,

1.1.5 仿生钻头

吉林大学高科等^[33]引进仿生耦合原理,通过对穿山甲爪趾结构解析,研发了自补偿一体式高胎体孕镶金刚石仿生钻头(图 15),旨在解决金刚石钻进坚硬地层中易打滑及钻头破损严重问题。钻头一体式切削齿设计的工作原理是通过加强筋连齿单元,使多个相邻单齿共同工作。形成受力均匀、切削效率更高的整体。在钻进过程中可以观察到多个可破坏岩石但低于钻头强度的应力集中区域,采用该设计的钻头具备高碎岩效率、长寿命的特点。



(a)



(b)

图 14 复杂栅格状金刚石钻头
Fig. 14 Complex grid diamond bit



图 15 高工作层仿生钻头

Fig. 15 High working layer biomimetic drill bit

1.2 胎体性能

1.2.1 超细合金粉末和预合金粉末

WC 基胎体是热压金刚石钻头领域的重要研究对象。其具有强耐磨性、低损伤性、高硬度等特点,从而成为了国内最为常用的金刚石钻头胎体材料。然而,由于 WC 基胎体的粉末极易氧化,这会对金刚石胎体的粘结性能造成很大影响^[34]。近年来,研究人员发现超细合金粉末以及与合金粉末可以通过降低烧结温度的方式有效保持金刚石胎体的强度,从而改善金刚石胎体性能^[35],如图 16 所示。

1.2.2 微量元素

在胎体中加入微量的 Co、Ni、P、B、稀土 La 或 Ce 等元素^[36]有利于改善金刚石钻头的性能,可增加胎体的致密程度,提高胎体的强度。

1.2.3 金刚石表面覆膜

在国内钻探行业中,多年来研究人员曾用电镀法或喷涂法对金刚石表面进行金属化^[37],金属化处

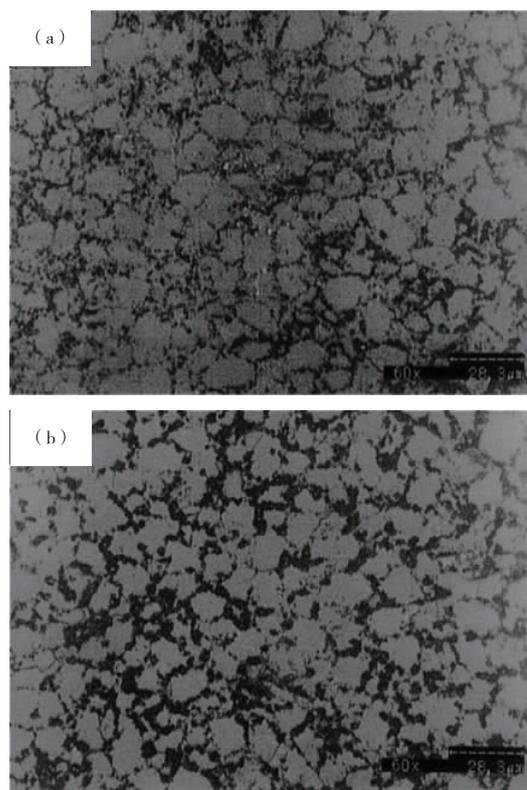


图 16 $Y_3Fe_5O_{12}$ 烧结金刚石经 1 333. 22-1 733. 19 Pa 真空热处理后的抛光表面扫描激光显微镜图像:(a)850 °C 热处理 30 min;(b)1 000 °C 加热 30 min^[35]

Fig. 16 Scanning laser microscope image of the polished surface of the sintered diamond with $Y_3Fe_5O_{12}$, after heat treatment in the vacuum of 1 333. 22-1 733. 19 Pa:

(a)850 °C for 30 min;(b)1 000 °C for 30 min

理的金刚石表面不能形成机械式的包镶,只是一层包裹的外衣,包裹层和金刚石没有形成价键结合,所以采用覆膜的金刚石制造出来的钻头其使用效果并不显著。因此,一种能激活金刚石表面的新型金属间化合物亟待研发,其能使金刚石与胎体结合更加牢固,提高钻头寿命。汤凤林等^[38]利用化学镀和真空镀 2 种方法对金刚石表面进行金属化处理,实验结果表明镀膜金刚石圆锯片的碎岩速度提高了 7%、16% 和 46%;耐磨性分别提高了 9%、14% 和 35%。Ti-Cr 金刚石碎岩时效与寿命提升效果最好。沙小花^[39]通过钛镀层以及金刚石微粉在金刚石复合片表面进行了热稳定性能改良,研究了镀膜后金刚石复合片的热损伤机制。

表1 各类金刚石镀膜方法的技术特征及应用效果^[40]

Table 1 Technical characteristics and application effects of various diamond coating methods

技术特征及应用效果	镀膜方法			
	化学气相沉积	物理气象沉积	电镀	真空微蒸镀
镀层成分	钛、钼、钨、铬及相应碳化物	钛、钼、钨、铬	镍或镍-钨、钨-钴合金	钛、钼、钨、铬及相应的碳化物
镀层结构	点状的外延生长碳化物+外表金属层	镀层物理附着在金刚石表面	镀层物理附着在金刚石表面	完整外延生长碳化物+外表金属层
结合状态	冶金结合	物理结合	机械包覆	强冶金结合
镀覆温度	>850 ℃	<400 ℃	<100 ℃	650~750 ℃
金刚石热损伤	严重热损伤	无热损伤	无热损伤	无热损伤
单次镀覆能力	低	低	<600 克	1 600 克
镀覆成本	—	>0.5 元/克	>0.5 元/克	0.1 元/克
工业应用效果	无应用	工业寿命提高 10%~20%	无应用	工业寿命提高 30%~120%

2 广谱性金刚石钻头研究的未来发展方向

综上所述,关于广谱性金刚石钻头近年来取得了许多研究进展,尤其针对硬度高、研磨性强的复杂地层而研发的金刚石钻头取得了相当大的进步。其中不难看出孕镶金刚石钻头的发展方向为更高胎体、更多水口与异性齿相结合,此外,改良胎体性能也是一个重要的发展方向。国内外广谱性金刚石钻头的性能特点具有以下三个方面:1)材料韧性高。广谱性金刚石钻头作为一种新型材料,具有高硬度、高强度、高耐磨性等优良特性。同时,该材料还具有很好的韧性,可以有效防止断裂和磨损,保证加工的精度和效率^[41];2)加工效率高。金刚石钻头的加工效率非常高,能够实现快速、精准和安全的加工过程。相比传统的钻头,其加工速度可以提高30%~50%以上,可大大缩短加工时间和降低成本^[42]。3)应用范围广。广谱性金刚石钻头具有很好的广谱性和多功能性,可以应用于各种地层中,避免经常因为起下钻更换而导致施工进度慢、施工成本高等问题。

广谱性金刚石钻头研究中的主要难点在于金刚石晶粒的合成、形貌控制和钻头工艺设计等方面。1)合成金刚石晶粒的合成:金刚石晶粒的合成是制备广谱性钻头的核心内容。要想得到高质量的金刚石晶粒,首先需要选择合适的原料和容器以及优化热处理参数,但即使如此,晶粒晶面的质量也不同,这就需要人们不断去优化技术方案。2)形貌控制:决定金刚石晶粒质量的一个重要因素是其形貌。然而,长期以来,金刚石晶粒的形貌控制一直是研究的难点。研究人员们通过控制生长的实验条件,使用适当的添加剂和辅助催化剂等手段,分别对三角形、角柱形、立方体等多种形态的金刚石晶粒进行了制备和研究。3)钻头工艺设计:广谱性金刚石钻头的工艺设计涉及到多种结构、工艺参数和配比的综合问题^[43]。因此,如何设计出合适的工艺来制备优良

的金刚石钻头成为了研究工作中的难点。在国内外都有不少研究团队致力于此类研究,如通过钻头尺寸、刃形设计和切削角度等方面均进行不断的优化。

广谱性金刚石钻头的发展方向包括金刚石合成技术:通过提高金刚石合成技术的水平,可制备出优质、形态多样的金刚石晶粒,从而为广谱性金刚石钻头的制备提供优质的晶粒材料;结构优化设计:通过分析钻头失效部位故障原因、提高制作工艺等方面,优化钻头结构,以保证广谱性钻头拥有较高的切削质量和工作寿命;研究新型应用领域:除了上述应用领域外,广谱性金刚石钻头还有多种新的应用领域,比如海洋、生物、半导体等等。研究人员们可以通过结合不同的研究方向,创新性地探索其在新领域的潜在应用价值;综合研究成果:从国际上的广谱性钻头研究领域的文章中可以看出,钻头研究团队已经开展了很多的综合性研究,从金刚石晶粒合成开始,到切削额定、工艺参数统计设计、成型技术等多个环节都开展了多种强相关的研究。在未来的研究方向中,结合样本计算、大样本实验、材料动态行为分析等,进行综合性钻头研究,将会推动广谱性金刚石钻头的研究发展。综上所述,广谱性金刚石钻头的研究是一个需要多方共同合作且有前途的方向。只有通过不断深入的研究,钻头的制作技术和应用领域才能有不断的创新和进步。

3 结论

广谱性金刚石钻头作为现代加工领域的重要工具,其研究现状和前景无论是在国内还是国外都十分广泛且深入,未来广谱性金刚石钻头必将发挥出更大的潜力和作用,对于推动制造业高质量发展也具有重要的意义。未来需要进一步提高广谱性金刚石钻头的稳定性、精度和成本效益,开发出新型的材料与工艺,以适应市场需求的快速变化。只有持续不断的发展创新,广谱性金刚石钻头才能更好地服务于我国的现代化建设。作为一种新型的钻井机

械,广谱性金刚石钻头的发展前景不可限量。虽然目前仍然存在一些挑战和问题,但是相信在研究人员的不断努力下,未来的广谱性金刚石钻头将会更加智能化、环保化、高效化,成为实现产业升级、技术提升的重要工具。广谱性金刚石钻头的研究是一个需要多方共同合作且有前途的方向。只有通过不断地研究,钻头的制作技术和应用领域才能有不断的创新和进步。

参 考 文 献

- [1] 蔡家品,贾美玲,沈立娜,等.难钻进地层金刚石钻头的现状和发展趋势[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):67-73,91.
CAI Jiapin, JIA Meiling, SHEN Lina, et al. Present situation of diamond bit used in difficult drilling formations and the development trend [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(2): 67-73, 91.
- [2] 罗爱云,王伟雄,段隆臣.强、弱混镶新型金刚石钻头的研究[J].金刚石与磨料磨具工程,2003(2):48-51.
LUO Aiyun, WANG Weixiong, DUAN Longchen. Development of a new type of diamond bit by mix-holding technique [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2003(2): 48-51.
- [3] 关舒伟.新型孕镶金刚石钻头研制及试验[J].石油钻探技术,2015(4):129-132.
GUAN Shuwei. Development and test of a new type of diamond-impregnated bits [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015(4): 129-132.
- [4] 马银龙.金刚石定位仿生取芯钻头研究[D].长春:吉林大学,2013.
MA Yinlong. Research on positioned diamond bionic coring bit [D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [5] 赵尔信.金刚石钻头的发展趋势[J].超硬材料工程,2015(1):52-59.
ZHAO Erxin. Development trend of diamond drill bit [J]. Superhard Material Engineering, 2015(1): 52-59.
- [6] 唐友军.仿生孕镶金刚石钻头散热性能研究[D].长春:吉林大学,2014.
TANG Youjun. Research on heat dissipation performance of bionic impregnated diamond bit [D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [7] 邓柏松.适应深孔条件的孕镶金刚石钻头研究[D].武汉:中国地质大学,2011.
DENG Baisong. The study on impregnated diamond bits for deep hole drilling [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2011.
- [8] 王镇全,王克雄,翟应虎,等.新型金刚石孕镶块的研究[J].石油机械,1999(10):11-14.
WANG Zhenquan, WANG Kexiong, ZHAI Yinghu, et al. Research on new diamond pregnant blocks [J]. Petroleum Machines, 1999(10): 11-14.
- [9] 吴海东.高温条件下金刚石钻头钻进实验研究[D].长春:吉林大学,2017.
WU Haidong. Experimental research on diamond bit drilling under high temperature [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [10] 杨展.钢结硬质合金胎体冲击回转钻进金刚石钻头研究[D].武汉:中国地质大学,2010.
YANG Zhan. Study on diamond bit with steel bonded carbide type of matrix for percussive-rotary drilling [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2010.
- [11] 李和孝.金刚石锯齿形钻头在坚硬打滑地层中的应用[J].西部探矿工程,2010(12):91-92.
LI Hexiao. Diamond serrated bits in hard slip formations [J]. Western Prospecting Engineering, 2010(12): 91-92.
- [12] 沈立娜,贾美玲,蔡家品,等.金刚石钻头高效破岩技术新进展[J].金刚石与磨料磨具工程,2022,42(6):662-666.
SHEN Lina, JIA Meiling, CAI Jiapin, et al. New development of efficient rock breaking technology with diamond bit [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2022, 42(6): 662-666.
- [13] 秦品光,贾中芳.提高坚硬打滑地层金刚石钻进效率的试验[J].工程建设,2013(4):42-45.
QIN Pinguang, JIA Zhongfang. Test for improving diamond drilling efficiency in hard-slippy stratum [J]. Engineering Construction, 2013(4): 42-45.
- [14] 王佳亮,张绍和. A new diamond bit for extra-hard, compact and nonabrasive rock formation [J]. 中南大学学报(英文版),2015(4):1456-1462.
WANG Jialiang, ZHANG Shaohe. A new diamond bit for extra-hard, compact and nonabrasive rock formation [J]. Journal of Central South University (English), 2015(4): 1456-1462.
- [15] WANG J, ZHANG S. Design of impregnated diamond bit based on slipping formation [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2016(5): 895-900.
- [16] KARAKUS M, PEREZ S. Acoustic emission analysis for rock-bit interactions in impregnated diamond core drilling [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2014(68): 36-43.
- [17] 贾美玲,蔡家品,黄玉文,等.大陆科学钻探用新型镶嵌式钻头的研究[J].探矿工程,2003(A1):289-291.
JIA Meiling, CAI Jiapin, HUANG Yuwen, et al. Research on new type of inserted bits used in scientific drilling [J]. Exploration Engineering, 2003(A1): 289-291.
- [18] 蒋青光,张绍和,陈平,等.新型优质孕镶金刚石钻头研制[J].金刚石与磨料磨具工程,2008(6):12-16.
JIANG Qingguang, ZHANG Shaohe, CHEN Ping, et al. Development of new type and high quality impregnated diamond bits [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2008(6): 12-16.
- [19] Boart Longyear Launches GTUMX Diamond Coring Bits [J]. Mining World, 2013, 10(1): 59.
- [20] Boart Longyear Rolls Out New Line of Diamond Bits [J]. National Driller, 2018, 39(2): 44.
- [21] 戴敏,王裕满.性能优越的GeoDiamond MA-89钻头[J].石油机械,2000(7):65.
DAI Min, WANG Yuman. Superior performance GeoDiamond MA-89 drill bit [J]. Petroleum Machines, 2000(7): 65.
- [22] FLEIGNER P P F T, KAČUR J, DURDÁN M, et al. Significant damages of core diamond bits in the process of rocks drilling

- [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2016, 59: 354-365.
- [23] 高玉彬, 陈洋. 钻进坚硬致密岩层的金刚石钻头试验研究[J]. *超硬材料工程*, 2021, 33(3): 1-6.
GAO Yubin, CHEN Yang. Experimental study of diamond bit for drilling hard and compact rock [J]. *Superhard Material Engineering*, 2021, 33(3): 1-6.
- [24] 朱恒银, 王强, 田波, 等. 大直径加重管组合绳索取心钻具研究与应用[J]. *地质与勘探*, 2016, 52(6): 1159-1166.
ZHU Hengyin, WANG Qiang, TIAN Bo, et al. Research and application of a combined large-diameter wireline drilling tool with a heavier pipe[J]. *Geology and Exploration*, 2016, 52(6): 1159-1166.
- [25] 田波, 王超, 魏春华, 等. 一种新型金刚石复合片钻头 CN201620933867. 7[P]. 2016-08-25.
TIAN BO, WANG Chao, WEI Chunhua, et al. A new type of diamond composite piece drill bit CN201620933867. 7 [P]. 2016. 08. 25.
- [26] 田波, 王久全, 黄伟艇, 等. 一种表镶金刚石钻头 CN201520680960. 7[P]. 2015-09-06.
TIAN Bo, WANG Jiuquan, HUANG Weiting, et al. A type of diamond drill for surface inserts CN201520680960. 7[P]. 2015-09-06.
- [27] 阮海龙, 沈立娜, 胡远彪, 等. 硬岩超高胎体偏心齿钻头的研制及应用[J]. *钻探工程*, 2021, 48(3): 56-60.
RUAN Hailong, SHEN Lina, HU Yuanbiao, et al. Development and application of ultrahigh matrix eccentric-cutter bits for deep hard rock [J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(3): 56-60.
- [28] ZHENG L, HUAN H, ZENG Y, et al. A study on the failure mechanism and wear loss of impregnated diamond bits during machining process of armor ceramics [J]. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2018(1): 261-268.
- [29] COETZER J. Coring bits with diamond impregnated inserts ZA19750003957[P]. 1975-06-20.
- [30] 孙吉伟. 适用于坚硬致密地层的孕镶金刚石钻头唇面结构设计[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
SUN Jiwei. The lip structure design of impregnated drilling bit for hard and dense rock formation [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2019.
- [31] 孙祺斌, 沈立娜, 杨甘生, 等. 特高多层胎体孕镶金刚石钻头设计与数值模拟[J]. *煤田地质与勘探*, 2020, 48(3): 225-230.
SUN Qibin, SHEN Lina, YANG Gansheng, et al. Design and numerical simulation of lulti-layer bit with extra-high matrix[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2020, 48(3): 225-230.
- [32] WU J, ZHANG S, LIU L, et al. Rock breaking characteristics of a 3D printing grid-matrix impregnated diamond bit [J]. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2020; 105212. DOI:10. 1016/j. ijrmhm. 2020. 105212.
- [33] 高科, 王金龙, 赵研, 等. 仿生自补偿一体式高胎体孕镶金刚石取心钻头研究[J]. *钻探工程*, 2022, 49(1): 16-24.
GAO Ke, WANG Jinlong, ZHAO Yan, et al. Bionic self-compensating integrated high-matrix impregnated diamond coring bit[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(1): 16-24.
- [34] 刘祥庆, 杨志威, 汪礼敏, 等. DFC25 预合金粉末在金刚石工具中的应用研究[C]//第六届郑州国际超硬材料及制品研讨会暨庆祝中国人造金刚石诞生 50 周年大会论文集, 郑州, 2013.
LIU Xiangqing, YANG Zhiwei, WANG Limin, et al. Research on the apply of DFC25 Pre-alloyed powders for diamond tools [C]//The 6th Zhengzhou International Symposium on Superhard Materials and Products & Celebrating the 50th Anniversary of the Birth of China's Synthetic Diamonds Conference Proceedings, Zhengzhou, 2013.
- [35] SUMIYA H, SATOH S. Synthesis of polycrystalline diamond with new non-metallic catalyst under high pressure and high temperature[J]. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 1999(5): 345-350.
- [36] 杨凯华, 秦昊, 潘秉锁. 稀土在热压人造金刚石工具中的应用研究[J]. *地质科技情报*, 2001, 20(3): 110-112.
YANG Kaihua, QIN Hao, PAN Bingsuo. Study on application of rare earth in hot pressing man-made diamond tools [J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2001, 20(3): 110-112.
- [37] 邓华, 隋锦. 真空热压烧结工艺及设备在超硬材料制品生产中的应用[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2004(3): 62-65.
DENG Hua, SUI Jin. Application of vacuum heating-press sintering process and equipment in manufacture of super abrasive tools [J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2004(3): 62-65.
- [38] 汤凤林, 杨凯华, 段隆臣. 金刚石表面金属化(镀膜)的试验研究[J]. *探矿工程*, 2000(5): 14-16.
TANG Fenglin, YANG Kaihua, DUAN Longchen. Experimental research on diamond surface metallization (plating) [J]. *Exploration Engineering*, 2000(5): 14-16.
- [39] 沙小花. 镀膜金刚石微粉烧结聚晶金刚石制备及其热损伤机制[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
SHA Xiaohua. On the fabrication and thermal damage mechanisms of polycrystalline diamond sintered by coated diamond particles [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.
- [40] 王艳辉, 王明智, 关长斌, 等. Ti 镀层对金刚石-铜基合金复合材料界面结构和性能的作用[J]. *复合材料学报*, 1993(2): 107-112.
WANG Yanhui, WANG Mingzhi, GUAN Changbin, et al. The influence of Ti-cladding on interface structure and properties of diamond-copper alloy composite materials [J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 1993(2): 107-112.
- [41] 杨展, 汤凤林. 钢结硬质合金型胎体性能及其热压金刚石钻头研究[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2008(6): 37-40, 44.
YANG Zhan, TANG Fenglin. Study on hot-pressed diamond bit of steel-bonded carbide matrix [J]. *Diamond & Abrasives Engineering*, 2008(6): 37-40, 44.
- [42] 王振宇. 金刚石钻头样品分析与切削过程仿真[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
WANG Zhenyu. Sample analysis and cutting process simulation of diamond bit [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- [43] 邹锋, 蒋文峰, 锁银飞. 新型分层复合型金刚石钻头的研制[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(6): 67-69.
ZOU Feng, JIANG Wenfeng, SUO Yinfei. Development of a new type of layered composite diamond bit [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(6): 67-69.