

有序排列金刚石工具发展现状及制备工艺

徐良¹, 吴震宇¹, 刘一波², 岳文³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 北京安泰钢研超硬材料制品有限责任公司, 北京 102200;
3. 中国地质大学(北京)郑州研究院, 河南 郑州 450001)

摘要:本文介绍了有序排列金刚石工具与传统工具对比的优势,以及有序排列金刚石工具发展的国内外现状。通过介绍有序排列金刚石工具在工程上以及地质油气勘探方面的应用,揭示了实现有序排列金刚石设计的方法,包括真空法、粘胶法、真空吸附多工位法及包裹球法,对我国深部固体矿产及油气勘探用金刚石钻头的设计与制造具有一定借鉴意义。

关键词:有序排列;金刚石钻头;钻切效率;寿命;制备工艺

中图分类号:P634.4⁺1;TE921⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0013-04

The development status and preparation technology of orderly arranged diamond tools

XU Liang¹, WU Zhenyu¹, LIU Yibo², YUE Wen³

(1. *China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;*

2. Beijing Antai Gangyan Diamond Products Company, Beijing 102200, China;

3. Zhengzhou Institute China University of Geosciences (Beijing), Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: This article introduces the advantages of ordered diamond tools compared to traditional tools, as well as the current status of the development of ordered diamond tools at home and abroad. By introducing the application of ordered arranged diamond tools in engineering and geological oil and gas exploration, the design methods for ordered arranged diamond are reveals, including vacuum method, adhesive method, vacuum adsorption multi-station method, and wrapping ball method. It has certain reference significance for the design and manufacture of diamond drill bits for deep solid mineral and oil and gas exploration in China.

Key words: orderly arrangement; diamond drill bit; drilling efficiency; survice life; preparation process

0 前言

在传统金刚石工具(包括钻头、锯片及磨轮)的制造工艺中,绝大部分都是金刚石与金属粉末混料后预压或烧结,金刚石的浓度和粒度、金属粉末的粒度和密度等参数均有可能造成胎体中金刚石分布不均。在金刚石密集堆积区,胎体对金刚石把持力不够,钻切过程中几乎不工作而自行脱落;在金刚石稀少区,单颗粒金刚石承受工作载荷大,金

石颗粒受冲击力破碎而脱落,也会导致工具的过早失效。为预防金刚石偏析,一般在混料时加入酒精或液体石蜡,以及加入铁链或铜链帮助混料均匀,但这都无法从根本上解决金刚石在胎体中偏析的问题^[1]。因此如何使金刚石工具在钻切过程中,胎体对金刚石把持力高,金刚石受力均匀且能连续自锐、不断出刃以及切削齿性能自始至终保持恒定,在提高工具钻切效率的同时寿命不下降,是金刚石

收稿日期:2023-6-15; 修回日期:2023-8-3 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.002

基金项目:国家重点研发计划“极地油气钻井关键技术与装备”(编号:2022YFC2806400)

第一作者:徐良,男,汉族,1981年生,教授,博士,地质工程专业,长期从事地质/油气钻探工具及材料研究,北京海淀区学院路29号, xuliang@cugb.edu.cn。

引用格式:徐良,吴震宇,刘一波,等.有序排列金刚石工具发展现状及制备工艺[J].钻探工程,2023,50(S1):13-16.

XU Liang, WU Zhenyu, LIU Yibo, et al. The development status and preparation technology of orderly arranged diamond tools[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):13-16.

工具设计和制造者重点研究的问题,有序排列金刚石的设计理念在此背景下应运而生。

1 有序排列金刚石工具在工程领域的应用

最早提出定位排列理念的是韩国新韩公司,他们于2004年完成金刚石自动排布系统的研制,采用针孔模具和打片工艺在金刚石锯片的刀头生产中均布排列金刚石,并推出了ARIX系列有序排列金刚石刀头及锯片^[2],后来推广到金刚石钻头,在国际石材和建材金刚石工具领域占据高地数十年。后来欧洲的富世华、泰利来等公司均在ARIX技术的基础上,推出有序排列金刚石工具,并不断完善金刚石的排列方式及金刚石的层数,如单刀头5层、7层或9层金刚石,单层金刚石的排列有均布、矩形阵列、斜边阵列等,如图1所示。有序排列金刚石工具由于金刚石按照设计排列,单颗金刚石的受力均匀,且金刚石之间没有偏析,因此具有较高的钻切效率和稳定性,有序排列金刚石工具已经成为国际上专业金刚石工具市场的敲门砖。

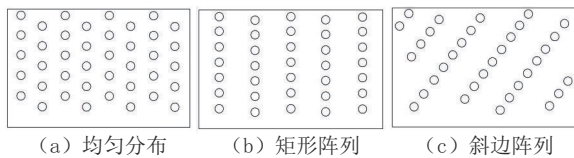


图1 有序排列金刚石刀头侧面结构

国内最早规模生产金刚石有序排列工具的是安泰钢研超硬材料公司,采用针孔模具和打片工艺,批量化生产有序排列金刚石锯片并成功推广到欧洲市场。徐良^[3]等制备的有序排列金刚石锯片切割钢筋混凝土,与同胎体、同金刚石品级和浓度的常规锯片相比,切割速度较常规锯片提高23.6%,使用寿命提高31.5%,且稳定性好。叶宏煜^[4]等设计的多层有序排列金刚石锯片与传统锯片相比,锋利性和寿命均有提高,寿命可提高50%以上,且能提高产品的稳定性。杨仙、张绍和^[5-6]等提出横向间距和纵向间距是金刚石有序排列中最重要的两个参数,横向间距的参考范围为3~4 mm,纵向间距在0.25~0.35较为合适;采取两边高浓度,中间低浓度或两种粒度金刚石混排可以进一步提高锯片的切割性能。张文忠^[7]等提出金刚石三维有序排列锯片,既可以提高锯片锋利度,又可以提高锯片寿命,并且通过金刚石

表面处理还可以继续提高金刚石三维有序排列锯片的切割性能,其锋利度较传统锯片提高27.7%,寿命提高66.6%。

罗晓丽^[8]等实验了金刚石层数对钻头性能的影响,设计7层和8层有序排列金刚石钻头,在钻进钢筋混凝土时,7层钻头较同浓度常规钻头速度提高18%,寿命提高10%;8层钻头与同浓度常规钻头速度相当,寿命却提高了33.3%;8层金刚石比7层金刚石钻头浓度高5%,切割速度慢23.1%,但寿命提高33.3%;两种有序排列钻头在钻进钢筋时平稳性明显优于常规钻头,速度稳定,手感好。曹彩婷^[9]等设计了尖顶型有序排列金刚石钻头刀头,并分析了不同齿占比对钻头性能的影响;结果显示,当钻头刀头的齿占比为70%左右时,钻进钢筋混凝土的速度最快且手感平稳。

综上所述,有序排列金刚石工具在国际市场工程领域已经得到广泛应用,但在国内由于性价比等问题仍未大规模使用,其主要研究内容包括金刚石横向和纵向排列的间距、金刚石层数、刀头形状及在工具上的占比等方面。

2 有序排列金刚石工具在地质和油气领域的应用

在地质和油气领域,有序排列金刚石工具主要指金刚石钻头,目前仍处于研究或试用阶段,尚未有规模化的生产和推广。美国Smith公司^[10-11]在油气用孕镶金刚石钻头的制备中,通过特殊处理使每一颗金刚石根据设计浓度在其表面包覆一层一定厚度的胎体粉末,然后烧结成孕镶齿(图2),这种工艺使得孕镶切削齿中金刚石的桥架现象大大降低,在钻进过程中,孕镶切削齿通过不断消耗包镶的胎体材料出露新的金刚石从而达到持续自锐的效果,能够长时间地保持较快的机械钻速。除此之外,Smith公司采用热等静压工艺来提高孕镶齿的抗冲击韧性,相对普通烧结工艺来说,具有显著的效果。

国内徐良^[12]等采用金刚石“包裹球”技术消除高金刚石浓度(超过120%,最高可达190%)孕镶齿制备过程中金刚石颗粒的团聚和偏析现象,使得金刚石呈“类均布”排列方式;制备6吋孕镶钻头并进行室内平台钻进试验,在67 kN压力和140 rpm转速条件下,孕镶钻头钻进10级硬度花岗岩平均机械钻速可达2.7 m/h。章文姣^[13-14]等通过计算得到孕镶钻头金刚石横向和纵向间距合理值,提出金刚石的

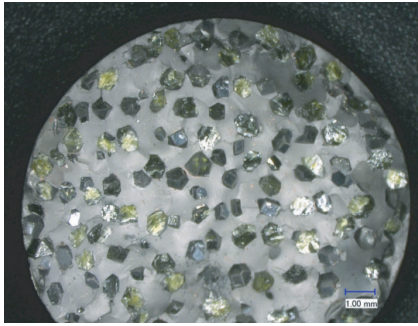


图2 Smith钻头孕镶齿断口

粒径 d 和金刚石的横向间距 l 影响着破碎坑的直径 D ($D \approx 3d$),而纵向间距 s 则影响着金刚石的自锐性能;金刚石颗粒的横向间距合理值为 $(1 \sim 4/3)D$,纵向间距 $s = (1/2 \sim 2/3)d$ 。另外应用有限元软件模拟和室内实验得到如下结果:孕镶钻头的钻进时效由高到低分别为金刚石弧形排列、均匀排列和射线排列钻头。马银龙^[15]等设计和制备了金刚石定位仿生钻头,通过钻进花岗岩试验结果表明:金刚石定位仿生钻头在低钻压和小扭矩钻探表现出良好的性能,在钻压为2000 N时,金刚石定位仿生钻头的钻速是仿生金刚石钻头的1.43倍,是常规金刚石钻头的3.16倍,体现了钻头在小扭矩条件下的高锋利性,对地质钻探用钻头的设计具有一定借鉴意义。李子章^[16-17]等在传统热压金刚石钻头制造工艺的基础上,通过增加金刚石定位排布孕镶胎体块制造工序;金刚石定位排布孕镶胎体块制造环节主要采用薄片压制设备、真空模板排布金刚石设备和冷压成型及自动脱模设备,分为胎体薄片的压制、金刚石定位排布和冷压成型三个工艺步骤;新型钻头在灰岩中钻进,寿命和钻进时效较普通钻头分别提高34.38%和16.7%;在砂泥岩中平均钻速3.59 m/h;在花岗岩中钻进较普通钻头的时效提高50%,寿命提高100%以上。

3 定位排列金刚石工具制备工艺

3.1 冲孔法

(1)冷压模具的上压头中贯穿多根钢柱,其排列方式即为金刚石有序排列的结构。

(2)为增加粉末下料的流动性及冷压薄坯厚度的均匀性,需对胎体粉末进行制粒处理,且小粒度优于大粒度。

(3)将金属粉末下料后压成薄坯,同时冷压模具

上压头的钢柱下沉,在冷压薄坯上压入一定深度的凹坑。

(4)推动金刚石料车划过冷压薄坯,在每个凹坑内落入一颗金刚石,上压头再复压一次,金刚石有序排列薄坯即完成,如图3所示。

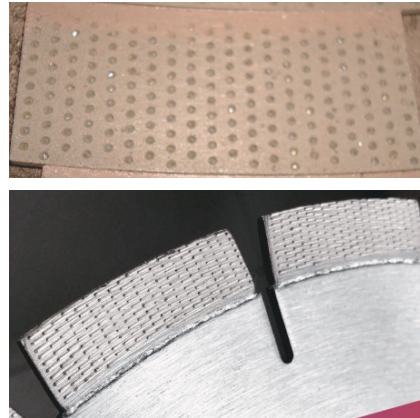


图3 金刚石有序排列薄压坯及刀头

(5)将不同层数的薄坯组合,在钢模内复压,形成刀头形状,再放入热压烧结机或中频炉内烧结形成切削齿刀头。

3.2 粘胶法

(1)冷压胎体薄坯制作,一般薄坯的厚度0.5 mm左右,因此要求胎体粉末具有良好的流动性,薄坯具有一定的强度,避免后续粘胶的时候薄坯破裂。

(2)薄坯粘胶,在胎体薄片上刷一层胶,采用真空吸附技术在金刚石定位排列模版上吸附金刚石,要求模版每个孔吸附一颗金刚石,再将模版上的金刚石压在薄坯上,释放真空后金刚石即粘贴在薄坯上。

(3)组合薄坯复压,将多层有序排布的薄坯组合在一起后装入钢模中复压形成刀头冷压坯,然后烧结形成有序排列金刚石刀头。

3.3 真空吸附多工位法

该工艺属于国内较为领先的技术,设备配备有高自动化的5工位或7工位,每个工位真空吸附金刚石与打片工艺相结合,一次形成刀头冷压坯;且可根据设计要求,相邻工位的金刚石排列方式有所不同,大大提高了有序排列金刚石刀头的制备效率。

3.4 包裹球法

(1)使用金刚石包裹机对金刚石进行包覆制粒,在金刚石表面包覆一定厚度的胎体粉末,形成金刚

石包裹球,如图4所示。

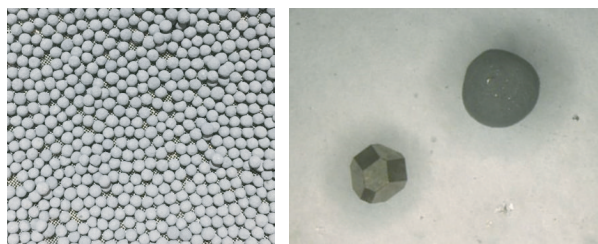


图4 金刚石“包裹球”

(2)烧结时用金刚石外面包裹的金属粉作为孕镶齿的胎体粉末,通过调整包裹的金属粉的厚度来确定金刚石的浓度。

(3)通过提高包裹球的均匀度,提高镶嵌齿中金刚石颗粒分布的均匀性。

(4)将包裹球直接装入石墨磨具内热压烧结成块体,可看到块体表面的金刚石基本呈类均布排列结构,如图5所示。



图5 类均布排列金刚石孕镶块体

4 结语

(1)有序排列金刚石技术在工程用金刚石工具已经有接近20年的发展,但在地质或油气领域金刚石工具研究方面仍处于研究或实验阶段,未批量化进入市场。

(2)有序排列金刚石工具随着技术的进步和自动化设备的不断发展,必将逐步取代常规的无序排列金刚石工具。

(3)有序排列金刚石工具研究的重点是金刚石颗粒横向间距及纵向间距的设计,以及该结构设计对金刚石碎岩方面的影响,需加大这方面的研究,可通过数值模拟与实验结合的方式,得到胎体内最优的金刚石分布结构。

(4)随着我国深部找矿及深层油气钻采的不断推进,对金刚石钻头性能的要求越来越高,钻头的高效率、长寿命及稳定性对钻井成本的降低和钻井周期的缩短起到关键作用,因此发展有序排列金刚石工具具有重要意义。

参考文献:

- [1] Konstanty J S, Tyrala D. Wear mechanism of iron-base diamond impregnated tool composites[J]. *Wear*, 2013, 303(1): 533-540.
- [2] Park M. Arix-a major advance in diamond segment design[J]. *IDR*, 2005, 2: 40-42.
- [3] 徐良,罗晓丽,刘一波.金刚石有序排列锯片制备及切割性能研究[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2012, 32(3): 57-59.
- [4] 叶宏煜,谢涛,杨仙.多层定向分布有序排列金刚石工具节块: 201026656[P]. 2008-02-27.
- [5] 杨仙.有序排布金刚石锯片的研究[D].长沙:中南大学, 2008.
- [6] 张绍和,杨仙,谢晓红,等.金刚石有序排列对锯片性能的影响[J]. *粉末冶金技术*, 2008, 26(6): 448-451.
- [7] 张文忠,杨宏.金刚石有序排列锯片切割性能的优化设计[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2017, 37(3): 74-77.
- [8] 罗晓丽,刘一波,黄盛林,等.金刚石定位排列钻头刀头结构对切割性能的影响[J]. *超硬材料工程*, 2018, 30(2): 18-21.
- [9] 曹彩婷,刘一波,徐燕军,等.不同齿占比对薄壁金刚石钻头钻切性能的影响[J]. *粉末冶金工业*, 2022, 32(5): 136-141.
- [10] *Advanced Bit Technology*[R]. *Petroleum Africa*, 2006.
- [11] 赵尔信,蔡家品,贾美玲.浅谈国外金刚石钻头的发展趋势——高效、低耗[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2010, 37(10): 70-73.
- [12] 徐良,刘一波,孙延龙,等.油气钻井极硬岩层钻头用孕镶齿研究[J]. *粉末冶金工业*, 2021, 31(4): 105-109.
- [13] 章文姣,段隆臣,叶宏煜,等.孕镶金刚石钻头中有序排列参数的确定[J]. *金刚石与磨料磨具工程*, 2010, 30(5): 21-25.
- [14] 章文姣,曲艳东,孔祥清,等.金刚石排列模式对钻进时效的影响[J]. *科技导报*, 2015, 33(11): 63-68.
- [15] 马银龙.金刚石定位仿生取芯钻头研究[D].长春:吉林大学, 2013.
- [16] 李子章.金刚石定位排布的热压孕镶钻头研究[D].成都:成都理工大学, 2010.
- [17] 邓伟,李子章,胡立.金刚石定位排布钻头设计[J]. *探矿工程: 岩土钻掘工程*, 2011, 38(6): 62-64.

(编辑 王文)