



## 深瞳工作室出品

采写:本报记者 都梵  
策划:刘莉 李坤

听说钻石价格跌了,肖先生走进商场,想借此机会选购一枚钻戒。但看来去他地发现,钻石价格依然十分昂贵。于是他来到商场的地下二层培育钻石品牌门店,同等级钻石的价格只是天然钻石的1/10,这让他有些心动。

不久前公布的6月全球毛坯钻石价格指数显示,当前钻石价格较2022年2月的历史高点已经下跌18%。虽然原料价格的下跌并没能迅速反映到钻石终端产品价格上,但此次价格下跌,却让一种新兴钻石品类——培育钻石意外受到关注。

不同于莫桑石、锆石等“山寨钻石”,培育钻石是真正的钻石。它不产自任何天然矿山,由人工合成技术培育而成,但拥有与天然钻石完全一致的特性,被认为是天然钻石的平价替代。

事实上,培育钻石只是人造金刚石的延伸产品。世界上有一半的培育钻石产自中国,这个数据背后是中国占据了全球90%市场份额的人造金刚石产业。培育钻石兴起后,国内众多厂家蜂拥而至,将其视作我国庞大金刚石产业转型升级的契机。这个行业要实现高质量发展,只能靠培育钻石吗?

## 打破“4C”神话

如果说钻石是一场“营销神话”,那么它的缔造者毫无疑问是戴比尔斯。

作为全球天然钻石产业的垄断巨头,戴比尔斯创造的经典广告语“钻石恒久远,一颗永流传”,一举将昂贵的钻石与恒久的爱情绑定挂钩。但如今,培育钻石以极高的品质和极低的价格,试图将天然钻石取而代之,将其拉下“神坛”。

对于许多来到培育钻石品牌门店的消费者来说,最关心的问题之一就是培育钻石能否算得上是真正的钻石。对此,门店店员给出的答案往往十分肯定。

从材料角度看,培育钻石和天然钻石均为纯碳构成的晶体,拥有完全一致的物理、化学、光学等性质。业界常用的一个说法是,培育钻石和天然钻石的区别就像冰箱里的冰与河里的冰的区别。培育钻石是真正的钻石也早已得到普遍承认。2018年,美国联邦贸易委员会(FTC)更改了已沿用60余年的钻石定义,将“天然”二字从定义中删除,承认培育钻石也是钻石。

培育钻石要真正得到消费者认可,仅靠改变定义还远远不够。戴比尔斯一手主导的钻石品质鉴定标准,已成为钻石行业的通行法则。戴比尔斯分别从克拉重量(CARAT WEIGHT)、净度(CLEARITY)、色泽(COLOR)、切工(CUT)四个方面对钻石产品进行评价鉴定,其相关标准被简称为4C标准。一整套完整的鉴定标准和鉴定流程的建立,让钻石有了昂贵的理由;不同等级的钻石被明码标价,让消费者心甘情愿为其买单。戴比尔斯每一个方面的提升,通常都意味着价格的翻倍上涨。

但如今,天然钻石曾独享的4C评价标准,正在接受来自培育钻石的挑战。

不同于打钻石“擦边球”的莫桑石、锆石等,培育钻石会明确标注出自身的4C指标,与天然钻石进行正面竞争。在不少培育钻石品牌门店或是线上销售页面中,记者看到,许多培育钻石品牌都会将产品的4C指标写在醒目位置,供消费者参考比较。

除了切工受人工影响因素较大外,培育钻石在色泽、净度、克拉重量三个方面已可与天然钻石平起平坐。

在色泽方面,高品质的培育钻石已可达到最高的D级——透明无色,这与顶级的天然钻石基本一致;在净度上,最高级别的培育钻石可以达到VVS级——即只有极轻微瑕疵,这超过了主流天然钻石的VS级,但仍与顶级天然钻石完全无瑕的FL/IF级有一步之遥;克拉重量则是培育钻石最大的竞争力。在主流珠宝品牌中,一克拉天然钻石的价格往往达10万元甚至更高。但同样等级的培育钻石,一克拉售价仅在万元左右,为天然钻石的1/10。“克拉自由”已成培育钻石的卖点之一。

要实现对标天然钻石的4C标准并不简单。中南钻石有限公司(以下简称中南钻石)是我国金刚石产业和培育钻石龙头企业,该公司分管科研的副总经理易良成告诉科技日报记者,培育钻石脱胎于人造金刚石,是人造金刚石技术发展有一定水平的产物。“培育钻石可以说代表着金刚石制造领域的皇冠。”

虽然同出一源,但从人造金刚石到培育钻石,仍然需要实现巨大的技术跨越。二者的差别首先体现在尺寸上,作为饰品的培育钻石,至少要达到克拉级才具有应用价值。但工业用的人造金刚石尺寸往往仅相当于培育钻石的百分之一。“如果说培育钻石是黄豆大小的话,那此前生产的工业金刚石大致仅相当于小米粒甚至白糖粒的大小。”易良成表示,要制作一克拉的培育钻石产品,毛坯钻石则要达到3克拉大小。除了尺寸,工业金刚石不需要在乎的颜色与纯净度同样关键。“比如为了对标天然钻石,培育钻石也要做到无色。但空气中含有氮元素,采用高温高压法合成时,生产出的金刚石会显黄色,所以我们必须要想办法去除氮元素,让培育钻石无色。”易良成说。

其实,培育钻石产业只是我国金刚石产业的冰山一角。培育钻石产业技术进步的背后,折射出我国金刚石产业从无到有、从占全球市场零份额至90%份额的历史。

突破“人造矿山”技术

与橱窗中光彩闪耀的钻石形成鲜明对比,走进培育钻石生产车间,只能看到数百台外表粗粝、造型硬朗的六面顶压机,每一台压机都是一个小小的“人造矿山”。

天然钻石的生长环境通常为1300摄氏度—1500摄氏度,需要5Gpa—8Gpa压力,这种环境通常在150公里—200公里深的地下才具备。长成的钻石还要在地下经历亿万万年,最终在地壳运动和火山活动的作用下带至地表,才能被人类开采。

培育钻石与天然钻石并非没有任何差别,如果借助精密仪器仔细观察,通常可以窥见培育钻石内部人工合成的细微痕迹,例如残留的部分金属触媒杂质等。这往往来源于培育钻石最常采用的生产方法——高温高压法。

高温高压法的基本原理是利用压机模拟天然钻石的结晶条件和生长环境。但不同于自然界漫长的生长过程,金属触媒作为催化剂的加入,可以大大提升培育钻石的生长速率。一克拉左右的培育钻石最快仅需一周便可孕育而成,不需要等待动辄上亿年的时间。

根据最新数据,目前我国培育钻石产量占全球产量的一半以上,其中90%的制备方法采用的是高温高压法。正是高温高压法的突破带动了我国在培育钻石乃至整个金刚石产业领域的崛起。而这背后的故事还要从一台六面顶压机说起。

在郑州磨料磨具磨削研究所有限公司(以下简称郑州三磨所)的草坪上,一台外表金灿灿的球形设备被摆放在正中央,这是见证了我国金刚石产业发展的“功勋压机”——我国首台铰链式六面顶压机。

“没有金刚钻,不揽瓷器活。”作为一种完全由碳元素组成的矿物,金刚石是自然界的“硬度之王”。小到门窗玻璃切割,大到工业机床切削,金刚石被广泛应用于工业加工制造中的各个领域,被称为“工业牙齿”。但天然金刚石由于储量稀少、开采成本高、价格昂贵,难以进行大规模工业应用。因此,人类早就动了合成人造金刚石的心思。

1954年,世界首颗人造金刚石成功合成,并逐渐在工业领域得到广泛应用。但彼时由于国际环境发生变化,西方国家对我国进行技术封锁,导致我国工业金刚石来源几乎被阻断。面对这一情况,当时的第一机械工业部设立代号为121的攻关课题组,向包括郑州三磨所在内的多个机构下达了研制人造金刚石的任务。1963年,攻关团队在自己设计、制造的61型两面顶超高压装置上,成功合成出了我国首颗人造金刚石。

但由于我国当时并未掌握两面顶压机的核心技术,人造金刚石大规模工业化生产遇到了困难。“为了尽早实现人造金刚石工业化生产,三磨所联合相关机构决定转变思路,放弃国外的两面顶压机路线,研制我国独创的六面顶压机。”郑州三磨所功能金刚石部部长吴晓磊告诉记者,六面顶压机正好对应立方体六个面,能够从六个方向进行加压,对相关生产工艺的要求大大降低。

1965年,我国首台铰链式六面顶压机面世,并成功生产出高品质人造金刚石,创了具有自主知识产权的六面顶压机合成金刚石技术的先河。此后数十年内,人造金刚石产业飞速发展,进入生产生活各个领域。但金刚石的全球市场一直被几家国际巨头垄断,中国企业只占据微不足道

# 世界上有一半的培育钻石产自中国 小钻石能否撬动金刚石大产业?

数据显示,2020年我国人造金刚石产量突破200亿克拉,占据全球市场90%以上。但随着金刚石在传统工业领域中的渗透率已经接近天花板,近年来,国内金刚石企业纷纷在寻找新的产业升级出口,培育钻石只是其中之一。



的份额。这期间,我国金刚石产业中同时存在两面顶压机与六面顶压机两种技术路线,二者在市场上展开了类似于如今“赛马制”的技术路线竞争。吴晓磊认为,真正让六面顶压机在“赛马”中夺魁乃至后来占领全球市场的重要原因,除了机器自身的创新优势,更重要的是围绕六面顶压机开展的一系列配套技术创新。

## 完成系列配套创新

“早期进口金刚石的价格一度非常高,单克价格有时甚至超过黄金。”易良成告诉记者,直到上世纪90年代,全球金刚石产业仍然被美国通用、英国六元素、韩国日进等少数国际巨头垄断。“当时国内生产的金刚石都是低端产品,在世界市场份额很小。”

效率低、成本高困扰着当时国内的金刚石产业,其中一个重要原因是我国既不掌握两面顶压机的核心技术,同时六面顶压机又未能与既有的两面顶压机配套技术有效兼容。

例如,此前适用于国外两面顶压机的粉末触媒技术并不适合于国产六面顶压机。为了尽快实现突破,中南钻石开始了六面顶压机使用的粉末触媒研究。“触媒相当于催化剂,能够大大加快金刚石合成速率。但此前六面顶压机的触媒都是片状,它们要一层层堆叠起来,导致合成效率比较低。”易良成表示,为了提升合成效率,粉末状触媒是最佳选择。

但要将金属触媒制成大小均匀的粉末,且要避免粉末触媒氧化,并确保生产过程中不掺杂物,面临着多道难题。历经2年攻关,2001年,中南钻石研制出六面顶压机粉末触媒技术,并成功合成高品质金刚石。这一成果使得六面顶压机生产人造金刚石的速率大大提升。

粉末触媒取得突破后不久,六面顶压机腔体大型化也实现突破,极大提高了人造金刚石产量。同时,间接加热技术得到广泛普及,该技术在将单位能耗降低到原有产品1/4的同时,极大提升了人造金刚石单晶质量。随着一系列技术创新,六面顶压机的“神力”被彻底释放出来,在产品质量大幅提升的同时,成本显著下降,产品竞争力明显增强,我国人造金刚石产业开始走向世界。

“六面顶压机及相关技术得到突破以后,我国金刚石生产成本直线下降,此前每克拉金刚石可能要卖几块钱,到现在只需要几毛钱。”易良成告诉记者,金刚石价格的直线降低也使其在工业应用中得到了进一步普及,多个行业领域受惠于此。“以前金刚石价格高,很多行业不舍得用。价格下降后,各行各业用量直线上升。”

中国金刚石产业的直线崛起,也让曾经垄断市场的国际巨头纷纷退出这一领域。“曾经有国外公司来考察,回去后直接把金刚石业务砍掉了。国内技术已经太成熟,他们没有空间了。以前他们出口给我们,后来,转而从我们这里买金刚石。”易良成说。

数据显示,2020年我国人造金刚石产量突破200亿克拉,占据全球市场90%以上。但随着金刚石在传统工业领域中的渗透率已经接近天花板,近年来,国内金刚石企业纷纷在寻找新的产业升级出口,培育钻石只是其中之一。

## 赚快钱还是重未来

进入2023年以来,培育钻石热度不断上升,可观的利润空间和广阔的市场前景正驱使越来越多的企业涌进这一赛道。以培育钻石作为主营业务的河南省力量钻石股份有限公司(以下简称力量钻石)披露数据显示,目前高温高压法生产的毛坯钻石生产成本已经降至约90元/克拉,销售价格约为630元/克拉,毛利约为80%。越来越多的企业正被培育钻石诱惑,加入到行业竞争中。

“培育钻石已经几乎没有秘密和技术门槛了。”易良成告诉记者,如今在培育钻石领域,各厂家竞争异常激烈。“现在不管大厂、小厂,都开始进军培育钻石。”许多并不具备相关技术储备和上下游产业链把控能力的小厂家,也可以通过直接购买压机,以及作为半成品的金刚石合成块来开展培育钻石生产。易良成直言,“培育钻石领域现在或处于无序竞争状态。”

无序竞争不仅对培育钻石产业自身的健康发展产生不利影响,更有可能使我国庞大的金刚石产业错过真正的转型升级窗口期。

相较于目前野蛮生长的培育钻石市场,金刚石在光学窗口、半导体器件等领域的功能应用被认为是未来更具价值的产业升级方向。北京科技大学碳基材料与功能薄膜研究室首席教授李成明告诉记者,由于金刚石独特的晶体结构,具有前几代半导体所不具备的优良特性,被誉为是“终极半导体”材料,未来有望在芯片等领域大显身手。

金刚石功能应用前景虽好,但当前仍然存在技术瓶颈,其中尺寸是首要难题。“比如金刚石如果在半导体器件中广泛应用,至少要从单晶到多晶稳定实现2英寸—4英寸生产。这大大超过目前常用的工业金刚石尺寸,相关技术仍然有待突破。”李成明告诉记者,在生产大尺寸金刚石方面,相比于腔体大小有限的高温高压法,化学气相沉积法有着先天优势。“但目前在化学气相沉积法方面,我国的技术尚处于‘跟跑’阶段,尤其是在设备精密密度、可控性等方面仍有一定差距。”李成明说。

培育钻石市场的火热,也使得部分企业更多将化学气相沉积法的有关技术投入到该领域,而忽视了对于功能金刚石的研发生产。李成明直言:“部分企业仅仅满足于用化学气相沉积技术来生产培育钻石‘赚快钱’,忽视了该技术真正的发展前景。”金刚石功能应用是国际金刚石产业发展的大趋势,各国都在加紧投入。例如日本已经制定了相关计划,目标要在2030年实现2英寸单晶金刚石器件规模化生产。李成明认为,围绕功能金刚石研究,我国已取得一定进展,在部分细分领域能够紧跟国际领先水平,但产业化能力仍然较弱。

为了加快功能金刚石研发应用,我国已在相关高等院校、科研院所以及行业领军企业布局,深入产、学、研各环节,采取了一系列有力措施。今年7月中旬,在国家发展改革委发布的《产业结构调整指导目录(2023年本,征求意见稿)》中,功能性人造金刚石材料生产装备技术开发被列入鼓励发展目录,为相关产业升级指明了方向。

着眼未来发展,力量钻石总工程师张存升建议,政府应在政策和资金等方面给予扶持,引导超硬材料龙头企业加大在金刚石应用方面的科研投入力度。他建议,组建企业和学校的创新联合体,形成技术研发、人才培养、市场应用的有序衔接和快速高效的转化机制。同时,应进一步加大对超硬材料功能化应用研发的支持,发挥超硬材料在声、光、电、热等应用领域独特优势,做大产业、做长链条、做优品牌,为金刚石产业高质量发展提供有力支撑。中国机床工业协会超硬材料分会秘书长孙兆达认为,人才是金刚石产业高质量发展的关键要素,要加强人才队伍建设,夯实行业发展基础,完善创新体系,实现重点技术突破。同时,要对超硬材料产业发展趋势进行研究,保障产业发展战略的连续性。



▲▲图为中南钻石生产的培育钻石产品。受访者供图

