



钻探技术

国外人造金刚石及其在地质钻探中的

应用现状与发展

冶金部第一冶金地质勘探公司

马元

六十年代人造金刚石投入工业生产之后,很快被运用于地质钻探,并取得了良好的效果。现在国外许多中硬地质钻头已采用人造单晶金刚石制作,并有效地被用于钻进中硬及硬岩;人造表镶单晶钻头,也投入了试验;聚晶和复合体钻头也获得了较快的发展,这些都标志着人造金刚石在地质钻探中的运用已跨入了一个新阶段。

人造金刚石的发展概况

1. 金刚石的耗用量不断增加

本世纪世界工业平均年增长率约为4%,而七十年代以来,世界对工业金刚石的需要量是以9%的增长速度上升。表1是近十年来世界天然、人造金刚石年产量统计(以百万克拉为单位)。

世界金刚石年产量统计

表1

年份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
天然	49.70	48.80	50.40	48.01	46.87	47.85	47.30	47.98	47.21	45.53
人造	55.00	61.00	62.00	63.00	69.00	70.00	81.70	84.00	88.60	93.50*

* 为推算数字。

由于金刚石是重要的工业材料,它与整个工业的发展有着密切关系。从表1看出,当天然金刚石受资源限制发展较慢时,为补充工业发展需要,人造金刚石产量每年却以较大的幅度增长。目前世界人造金刚石年产量已达1亿克拉左右;而工业金刚石的耗用量大约为1亿3千万克拉。其中美国、加拿大的耗用量为3千万克拉;西欧为3千万克拉,日本为2千万克拉,苏联、东欧为3~4千万克拉,其他国家为2千万克拉。

2. 地质钻探耗用金刚石的情况

近十年来,世界资源开发工业发展非常迅速,如美国近三十年来全国的总产值才增加了一倍,而同期矿业总产值却增加五倍。其中金刚石钻探这一先进技术,一直是矿业开发中的一项传统的依靠手段,所以也获得了较快的发展。引人注意的是,自六十年代人造金刚石投入工业生产后,由于其质量不断提高,产量迅速增加,价格又比较便宜,从而开始在钻探业中取代资源有限、价格昂贵的天然金刚石。经过生产实践,人们认识到人造金刚石的孕镶钻头,在钻进硬岩中可以获

得较高的效率,所以越发受到钻探界的重视。当前国外每年用于地质钻探的人造金刚石单晶耗量达1千万克拉左右。

苏联是较早地运用人造金刚石钻探技术的国家之一。由于其雅库特天然矿产资源满足不了探矿发展的需要,早在1962年就试用了人造孕镶地质钻头。第一个通过鉴定的是K A H型孕镶钻头。1972年又使用了A C C型高强度人造单晶钻头,成功地钻进硬岩。苏联每年地质钻探耗用金刚石量为900万克拉左右(占其金刚石总产量的四分之一),其中人造单晶消耗量在360万克拉以上。当前苏联年产生金刚石钻头约60万只,其中40%为人造孕镶钻头。其种类主要是回转钻进钻头及高频液动冲击钻头。

美国年产人造金刚石3000万克拉左右。钻头制造厂商达800多家,每年生产用于各种钻探的钻头、扩孔器700万只,其中人造钻头为21万只,年耗用人造单晶315万克拉左右。

人造金刚石及其钻头的研究与运用

为开发以人造金刚石为主的钻探新技术,国外比较重视相关的研究工作。在研究机构方面,各公司厂家均设有技术发展部,从事研究与新技术的开发及工艺更新。如美国的G. E.公司设有研究发展部,并在沃辛顿特殊材料部里设有高压研究部和金刚石研究实验室;如戴比尔斯公司设有阿达芒实验室及高压、金刚石三个实验室;苏联设有专门的超硬材料所、高压物理所、金刚石研究所等研究机构,从事超硬材料的研究。在研究手段上,比较注重实验室的工作。通过手段先进,试验设备完善的室内工作,提供比较准确的设计参数。在金刚石研究内容方面,包括对金刚石合成机理的研究;超高压高温技术的研究;掺杂对金刚石特性影响的研究;合成工艺的研究,以及对金刚石新的分选法与测试技术的研究。从而使人造磨料向高强度、粗粒度、多品种的方向发展。其中也包括对已有产品进行理化处理,达到性能进一步改善的工作。如对单晶金刚石镀附金属包层,改善其与胎体的粘结力。经试验,苏联01A-3M型镀附铬的金刚石钻头,与无镀附的钻头比较,工作寿命提高了10%,金刚石耗量减少21%,钻速提高5~7%。在人造金刚石钻头的研究方面,除了开展金刚石碎岩机理、岩石分级、井下碎岩过程等理论研究外,还注意开展胎体、金刚石、岩石适应性,钻头制做工艺性,新型钻头设计,硬岩钻进,破碎层钻进等技术性的研究工作。最近,美国克里斯坦森公司还注重了人造金刚石钻头的水力学研究,旨在提高钻头的效率与寿命。在制做方法方面,除了七十年代发展起来的低温电镀钻头(可将胎体中金刚石的浓度提高30%,并有利于提高钻头效率)外,近来电火花烧结技术也被试用于金刚石制品的加工。正是由于上述一系列的研究工作的开展,国外人造金刚石及其钻头的品种不断增加,性能不断改善,从而促使了金刚石钻探技术能以较快的速度发展。

1. 钻探用人造金刚石单晶及品质评价

经研究生产的适用于钻探人造单晶品种有美国G. E.公司的MBS系列。该种单晶有较好的热

稳定性,其中MBS-750型号能耐1100℃高温;被大量用于钻头磨料的MBS-70型号,其品质相当于天然金刚石A A级(美国品级标准);还有MSD型号,是强度相当于天然金刚石的A A A级的优质六八面体,耐高温达1200℃。戴比尔斯公司的SDA100S型号,其晶粒呈规则六八面体,晶形完整率达90%,其粒度为25-30目的单晶抗压强度达到38.6公斤,现又推荐出粒度达到16-18目的XS型的高强单晶,可用于表镶钻头。此外,还有日本东名公司的IMS型号及捷克的DSK-S型号等。

由于钻探对人造金刚石单晶提出了较高的性能要求,所以国外对钻探用单晶品质采用以下五个项目的评定:

(1) 抗压强度:金刚石的抗压强度是以静载或动载下的抗压碎能力来决定的。国外最常用的是动载冲击单颗金刚石的破坏载荷。据介绍,金刚石的相对强度增加10倍,可以导致钻头进尺增加500~600倍。各国检测设备有所不同,一般分为冲击式、对辊挤压式和锤击式。如美国G. E.公司的冲击强度计的振动钢筒直径约9毫米,冲击球的直径约5毫米,冲击频率5~10次/秒。冲击后以筛上的百分数表达强度值。这种动载强度更接近于井底受力情况。而影响人造单晶强度的因素是很多的(如其中杂质含量,单晶的缺陷,晶形等),测试表明,曲面台阶状八面体有较高的强度。当前除不断改进合成工艺来提高强度外,苏联近来还采用超声波法来提高ACC型单晶的强度。

(2) 晶形:以六八面体为最好。要求晶形完整、透明、表面光滑、边棱锐利、无杂质与包裹体、无裂纹、晶形系数接近1。

(3) 粒度:金刚石的粒度决定了钻头出刃的高度和其在胎体中浓度分布,从而影响了钻进时的刻岩深度与冲洗液流通间隙,所以直接影响钻进效果。如在硬岩中钻进,要求较细粒金刚为宜。当前国外所用单晶一般30-60目(美国网目),克里斯坦森公司所用的粒度为40-50目以粗。日本利根公司在70-80目以粗。苏联的粒度范围在30-35~60-70目之间。

(4) 热稳定性: 由于人造单晶比天然金刚石含有较多的杂质、包裹体等, 遇高温时这些物质易产生膨胀而破坏金刚石。所以, 对人造单晶一方面要提高其本身的耐高温能力(如MS D型号), 另一方面要尽量降低镶制钻头时的烧结温度, 第三是在同样加热条件下, 对金刚石加以防氧化气体的保护, 第四是在使用钻头过程中, 应针对当前许多金刚石热稳定性还不高的特点, 加以充分冷却。据研究, 一般金刚石在钻进条件下, 当钻头温度温升达720℃以上时就会产生氧化破坏。

(5) 磁性: 由于合成的单晶中含有铁镍离子, 往往使金刚石带有磁性。而磁性单晶加热后强度的降低要比无磁单晶大得多, 所以孕镶非磁性金刚石钻头进尺比未经磁选的高0.5~1倍。近来, 国外已使用磁特性来分选金刚石, 并用其磁性实现在钻头上的定向排列和自动镶焊。

2. 人造孕镶钻头的研究与应用

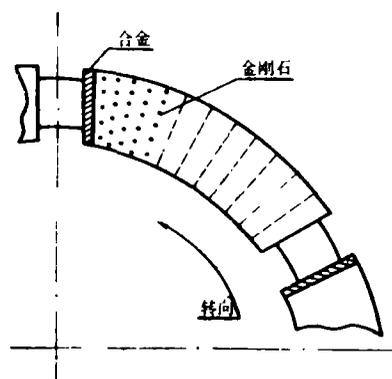
由于该种钻头价格便宜, 且有稳定的进尺效率, 以及能钻进硬岩、破碎层等优点而受到普遍重视。1980年, 加拿大孕镶钻头销售量已占75%; 日本《地质新闻》1983年报道: “从1972年起日本孕镶钻头所用天然金刚石已逐渐被人造金刚石完全取代。自1978年以来, 世界孕镶钻头数量已完全超过天然表镶钻头, 这种趋势今后还将继续下去”。美国克里斯坦森公司, 仅用5年时间就将孕镶钻头全部改用人造单晶磨料。

在人造孕镶钻头的技术研究方面, 进展也非常迅速。如已设计出能在整个寿命期限内保持均匀钻速的等速钻头。苏联研究了当孕镶钻头的转速由600升至800~1000转/分时, 可使钻速提高30%。美、加试验表明, 钻头转速趋近700转/分时, 金刚石磨耗量下降, 700~2000转/分时, 磨耗量几乎为定值。在钻头制做上, 还针对岩层特点研究了孕镶金刚石的浓度、粒度、补强措施等合理参数。在钻头唇形上, 除了常见的系列外, 还专门为绳索取芯设计了7~8道V形沟槽的深孔钻头。美国长年公司, 据多由自面的碎岩理论, 经多年研究, 解决了金刚石在胎体内分布不均匀的问题, 提出了一种可以均匀磨损的、齿形人造

孕镶钻头, 现已投入生产使用, 并获得良好效果。此钻头在加利福尼亚钻进中, 寿命比天然表镶钻头提高了48%。1980年, 长年公司在美国东部钻探, 同时采用BQ规格表、孕镶钻头, 结果, 234个表镶钻头平均进尺95英尺, 而182个孕镶钻头平均进尺177英尺。且孕镶钻头升降次数减少50%。1981年该公司对比结果是, 表镶钻头寿命68英尺, 而孕镶为298英尺。该公司自1980年有效地采用人造孕镶钻头后, 已使其历年递增18%的钻头成本有了明显下降。美国在钻进南美极硬的花岗岩时, 天然表镶钻头寿命为9米, 而人造孕镶钻头寿命为60米。国外设计使用下端有一道沟环, 阶梯扩孔部位有2~3道尖槽的人造孕镶钻头, 代替天然表镶钻头也取得较好效果。

3. 人造单晶表镶钻头

随着人造金刚石合成技术的发展, 最近一批高强度人造单晶表镶钻头投入了试验。日本利根公司用细粒人造单晶通过静电自动镶嵌法制作人造表镶钻头已成专利技术, 并可进行工业性的生产。



金刚石摆放示意图

金刚石摆放如图所示。用G. E.公司的20#25HMS D型号金刚石; 六个胎块上每块排10行, 共170粒, 金刚石出刃的高低差为0.06~0.07毫米; 钻头水口有合金补强片。所钻岩层均为均质与破碎花岗岩; 钻头规格均为 $\varnothing 66 \times 50$ 取芯钻头, 施工地点在福井县。

从表2可看出人造表镶钻头寿命比天然表镶钻头短9%, 金刚石每米耗量比天然的多15%, 但由于天然金刚石价格比人造的高94%, 结果每

人造及天然表镶钻头钻进比较 表 2

钻头 种类	寿命 (米)	金刚石含量 (克拉)	钻 速 (厘米/分)	平均金刚石耗量 (克拉 米)
人造	13.40	12.23	2.5~4	0.153
人造	11.30	12.03	2.5~10	
天然	15.00	18.00	3	0.131
天然*	12.00	18.00	5	

*天然钻头是每组以三个的平均值。

米金刚石成本中,人造的仍比天然的低12%。与此同时,戴比尔斯公司也进行了同样的比较试验,结果是最优AAA级天然金刚石表镶钻头效果介于人造金刚石SRD和XS表镶钻头之间。

4. 金刚石复合体与聚晶的应用

复合体是七十年代发展起来的新型超硬材料。它是一层金刚石聚晶体(非定向排列)和碳化钨、钴等硬质合金基体烧结复合而成。由于它具有金刚石的硬度与抗磨性,又具有硬质合金的抗冲强度。所以成为钻头的良好材料。用于钻头的复合体当前有G.E.公司的康帕克斯(Campax),与专用于钻头的斯特拉塔帕克斯(Stratapax),还有戴比尔斯的森代特(Syndite)以及苏联的IIAH型号等。由于该材料耐热性能所限,所以这种钻头镶制技术一般比较严格,现多用热沉高温粘结法与扩散粘结法,并有特殊的水路设计,以保证工作时的冷却条件。该种钻头继石油、煤田钻探使用之后,现已投入地质勘探钻进之中。美国在密执安州赤铁矿中试验使用了康帕克斯取芯钻头,在-170°斜孔及一个直孔中钻进,比天然表镶BX钻头的寿命高出许多。经过试验,国外对复合体钻头作了如下评价:(1)有较高的寿命;(2)适用于中硬及软岩的钻进;(3)钻速与进尺不低于普通天然表镶钻头;(4)价格低于一般钻头,经济指标较先进;(5)结构简单,使用可靠,不存在掉块的危险;(6)所需钻压较小,孔斜较小。

聚晶体是(主要)用人造金刚石微粒,通过加入或不加入粘结金属,经一次或两次高压而烧结成的超硬材料。如G.E.公司的吉奥赛特(又称“地勘”)是最新型号。它有良好的自锐性,可承受1200℃高温而不裂解,它有快速切削岩石的

作用,又没有天然金刚石那种内部缺陷和易被抛光的弱点。该公司报道,用这种新磨料的钻头在美国巴里花岗岩中取芯钻进,比天然表镶钻头速度快2~3倍。戴比尔斯公司最近研制出的安沃瑞特(AMBORITE),是立方氮化硼粉制做的聚晶体,它是一种高效的切削材料。此外苏联在这方面也开展了大量研究工作。如较早的斯拉乌吉契,以及一次聚合的巴拉斯型的ACB和卡邦那达型的ACЛK, ACПB, ACФ,还有二次合成的CB, CBC, CBAБ,阿尔梅特(АЛМЕТ)、吉斯米尔(人造与天然金刚石料混合烧制品)等型号聚晶都已成功地运用于钻进软岩及中硬岩。

主要参考文献

- [1] 耿瑞伦,北京静态高压及人造金刚石应用讲座报告,1981.
- [2] 杨志达译,金刚石钻头结构参数对钻头寿命的影响,冶金地质探矿技术(内),1983.3.
- [3] 安丽霞,近年西方金刚石复合体钻头的研究情况,地质与勘探,1982.11.
- [4] 地质矿产部勘探技术研究所情报室编,探矿工程译文集,1982.6.
- [5] E. Ratterman, "Future of man-made diamond in the drilling industries", Canadian Diamond Drilling Association, May, 1978.
- [6] C. H. James et al, "mineral exploration", mining Annual, 1982.
- [7] G. J. Bullen, "Synthetic versus natural diamond in hard rock drilling", IDR, vol. 42, May 1982.
- [8] A. M. Balfour, "Diamond coatings for increased wear resistance", De Beers Dusseldorf Conference, 1979.
- [9] "Industrial diamond-natural or synthetic", Industrial minerals, April, 1981.
- [10] "Geoset diamond", Mining J., 1982, Vol. 278 No. 7641
- [11] Mining Annual Review, 1980, 1981, 1982
- [12] Minerals Yearbook, The United States Bureau of Mines
- [13] Christensen Diamond Drilling Handbook
- [14] ACC Drill and Core manual
- [15] USP 3640356, USP4259090
- [16] Diadril Diatube, V. Mooppes & Sons Ltd.