

合成金刚石的 研究与应用

Study and Application of Synthetic Diamond

方嘤虎 编著

地质出版社

内 容 提 要

本书是作者积几十年来的科研成果和实际应用经验的总结,它以实践为基础,并尽可能提高到理论上认识其技术核心点。内容包括人造金刚石单晶、薄膜;烧结体、复合体;人造金刚石钻头与钻探及人造金刚石的其它技术问题等。取材尽可能系统完整,尊重历史和研究方法,也注重现实和新颖,注重实用和发展方向。

本书可供地质、冶金、有色、核工业、煤炭、机电、建工、建材、水电、交通、国防等系统有关工程技术人员和从事科研、教学、生产人员阅读,也可作该学科研究生、本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

合成金刚石的研究与应用/方啸虎编著.-北京:地质出版社,1996.8
ISBN 7-116-02139-6

I. 合… II. 方… III. 金刚石-人工合成-研究 IV. TQ1 64.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 06727 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:冯士安 王永奉

*

唐山市胶印厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 850×1168 $1/32$ 印张: 17.125 彩图: 1 页 字数: 450000

1996 年 8 月北京第一版·1996 年 8 月北京第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-116-02139-6

T·25



作者简介

方啸虎，1939年元月生，安徽歙县（现黄山市）人。1963年毕业于合肥工业大学。他曾在冶金部北京地质研究所从事过岩矿、物相工作，自1971年开始，潜心于人造金刚石的研究，并参加了冶金、有色系统第一颗高强度人造金刚石的研制工作，是我国早期从事人造金刚石工作的著名专家之一。为我国重点课题“金刚石地质岩心钻探配套技术的推广应用”中的基础磨料工作做出了较突出的贡献。他于1977年被调到桂林金刚石总厂，为该厂的筹建及领导该厂推广人造金刚石钻探技术及其制品起积极推动作用；现任浙江省杭州江南贸工集团公司金刚石总工程师。

几十年来，作者一直坚持在合成金刚石及其制品的科研和生产第一线工作。研究领域广泛，理论联系实际。许多新的构思均源于他长期的实践，并在此基础上加以总结提高，予以系统化、理论化。已撰论文近百篇，出版专著（含合编）两本。本书为他部分论文的选集。



1989 年研制成功的大型圆盘($\Phi 2200\text{mm}$)锯片,是我国目前最大的金刚石锯片(作者与阎亚萍合影)



1988 年研制成功的镶嵌块式的大型($\Phi 380\text{mm}$)水电工程用金刚石钻头(作者与严匡英等合影)

献 给

超硬材料及其制品的科学工作者、生产者；
人造金刚石钻探工程科学工作者、生产者；
晶体生长与材料科学工作者、生产者；
高压物理科学工作者、技术工作者。

愿我们的事业和我国高新技术日益兴旺发达，向新领域、新的高峰进军，为改革开放、搞活经济作出更大的、应有的贡献！

方啸虎敬勉

1995 年 12 月于杭州

序 言

方啸虎同志是我国著名的人造金刚石制造专家之一。他从70年代初开始，从事人造金刚石制造工艺的研究，其后又从事钻探工程中应用人造金刚石钻头的研究工作，先后已持续达25年之久，对我国地质钻探全面推广人造金刚石钻探，跻身于国际钻探工业之前列，做出了不可磨灭的贡献。

他对人造金刚石及其制品等制造工艺方面的理论研究，领域广阔、涉猎范围广泛，并不断把他自己和工作群体积累的经验，写成文章，留待后来者学习、参阅、引用，无疑又是对人造金刚石制造工艺与应用方面的一大贡献。本书内容涵盖了人造金刚石制造工艺中的单晶、薄膜、烧结体、复合体，人造金刚石各类地质钻头，超硬材料以及其他人造金刚石制品等。内容系统化，实践理论化，技术开发应用化，其内涵都具有一定的创新性与科学性。

这是一本人造金刚石研究与开发(R&D)工作成果的著作，其若干立论基础，在科学技术的不断发展过程中，可能为后来者做为学习借鉴的基础，继续攀登，向更高的高峰迈进；也可能在引用中，又有所发现，有所发明，予以进一步丰富，使这一科学技术领域日益提高，日臻完善，是为至盼。

中国工程院院士 方啸虎

1996年1月1日于北京

前 言

经过很多同行朋友的鼓励，也经过不少领导、先辈的帮助，《合成金刚石的研究与应用》将和同行们见面了。与其说是书，不如说是论文集；与其说是编著者对几十年的超硬材料及其制品与钻探工作之总结，不如说是一个群体、几个群体的智慧结晶；与其说结晶，又不如说是引玉之砖！

人造金刚石工艺与人造金刚石钻探技术本身就是两个学科体系，再加之与其它边缘杂交的学科繁多，很难有人能涉猎全面。本书毕竟是拾零性质的，不可能把行业中的点点滴滴、方方面面都涉及到。编著者执意把超硬材料与钻头及部分探工工艺搓揉成一个集合体，但有力不从心之感，仅此就已感到所涉面太广。就是本人现在所从事的工作，也不可能汇集于此一书中，将会在其它书中与读者相会。

不过，看其某方面的内容，也可知它是在随着历史演化而发展的。人的认识不会停止，而将永远不断发展！

人只要拼搏、奉献，总会有收获。书中所介绍的内容，有的是获全国科技大会奖和国家科技进步一等奖项目的组成部分；有的是省、部级的鉴定项目或奖励项目；有的是专利项目。这些是事实，但这些只能说明过去，不能说明现在，更不能说明将来！

20多年前，编著者在领导、同仁们的帮助和支持下，为获得第一颗金刚石而激动过；当合成腔体由 $\Phi 10\text{mm}$ 扩大到 $\Phi 12\text{mm}$ 时也激动过；由 $\Phi 12\text{mm}$ 扩大到 $\Phi 15(16)\text{mm}$ 时激动过；当今天已可生产 $\Phi 18\text{mm}$ 、 $\Phi 20\text{mm}$ 、 $\Phi 23\text{mm}$ 、 $\Phi 24\text{mm}$ 、

Φ26mm、Φ28mm 腔体时，又如何呢？不又在追求更大的腔体吗？下一步将又有更新的目标在等待着我们。扩大腔体将是我们终身的永恒的课题，其目的还是那句老话：提高质量，提高单产，降低消耗，降低成本，提高效益，赶超世界先进水平。在金刚石单晶强度上，可批量生产平均抗压强度达 40N (4kgf)[●] 时（此时已可真正用于钻探），我们激动过；不久，又得到试验样的平均抗压强度 80~100N (8~10kgf) 时，我们激动过。现在已可大批量生产平均抗压强度 150N (15kgf)、200N (20kgf)、250N (25kgf)、300N (30kgf)，又如何呢？不又在孜孜以求平均抗压强度达 350N (35kgf)、400N (40kgf) 的批量生产吗？

在研制烧结体（复合体）时，国内尚在一个腔体烧结一粒、三粒时，我们一鼓作气，生产颗粒度为 $\Phi 2.5 \times 4\text{mm}$ ，在一个腔体烧结了 57 粒，创造了“保持国际先进记录”。可同行却把磨耗比一下提到 4 万[●] ~8 万，乃至 10 万、20 万~30 万。编著者及合作者须紧跟步伐，一意创新，赶上潮流，否则就要掉队。

当我们每每研制出一种钻头新品种、电镀新品种、粉末冶金新品种及每一项金刚石的新工艺、新技术的诞生时，我们都把她看作是一个新生的“婴儿”。在高兴、激动之余，我们又感到很大的差距，与国内同行们的差距、与国际同行们的差距。大家又都在期待着下一个层次的提高，下一个问题的解决……那里有痛苦，有欢乐，但更多的是永不知足！对这些我们都要用系统工程去认识它，提高它。

这本书我们把它当作是历史的足迹吧！路总还要走下去，或有重足迹，或有轻足迹，均无关紧要。但它都可以与志士同仁共

● 人造金刚石单晶的抗压强度的定义：“抗压强度指单粒人造金刚石或立方氮化硼在静压作用下，破碎时的负荷值，以牛顿表示。”见《人造金刚石立方氮化硼基础与标准》，化学工业出版社，1993 年 11 月出版，第 192 页，国家标准 GB6406.3-86。

● 见《人造金刚石立方氮化硼基础与标准》，化学工业出版社，1993 年 11 月出版，第 314 页，机械工业部标准 JB3233-83。

同磋商，相互激励。同时提醒一下，读本书时，后面与前面有时有些不同，有的甚至是微小变化，但这正是深化认识的结果。

本书共分四大部分：

第一部分：人造金刚石单晶；

第二部分：人造金刚石烧结体和复合体；

第三部分：人造金刚石钻头与钻探；

第四部分：人造金刚石有关的其他技术问题。

另有超硬材料产品水平评价与分析、新产品开发指南等重要附件。

书是实践的总结，通过实践总欲提高到理论上来认识，但由于水平所限，漏错难免，敬请指正！

人生的道路弯曲起伏，总是不会平坦的，执著追求的事业也是如此。终究是在向既定目标前进，谁也阻止不了！我的启迪者说：“人定胜天”。编著者几十多年来，从学习地球化学到地质钻探，从从事岩矿工作到研制人造矿物——人造金刚石，从热爱岩矿工作到热爱人造金刚石工艺和钻探技术及其它。时经变迁，地经变迁，人经变迁，激励人们在一切环境中为崇高的事业和高新技术的发展而奋斗终生；为党和人民的事业奋斗终生！

在此，首先要感谢我的领路人杨春发、康永孚、李振潜、李仪贞、张智远、张福霖等领导，是他们首先把我驱使到人造金刚石（超硬材料）及其制品这块沃土上来的；要感谢行业中的一批先驱者和创造者，他们是高压物理界的、探矿工程界的、晶体生长与材料界的、超硬材料制品界的、地质界的……是他们在不断地启迪着编著者的思维；感谢几个行业中的一大批志士仁人，感谢国内诸多朋友和在国外的部分朋友；当然也要感谢编著者所在单位，如中国有色金属工业总公司矿产地质研究院和桂林金刚石总厂的领导和合作者；更要感谢 90 年代给我编写机遇的浙江省杭州江南贸工集团公司。

特别要感谢刘广志院士提的一些建议，并为本书定名及撰写序言，作者受益匪浅。

在本书有的文章的首页下面加注了合作者的名字，并分别以“主要”、“参加”等表达对本书中文章或工作做的贡献程度，在此对他们辛勤劳动表示衷心的感谢！

另外，耿瑞伦教授对本书初稿提出过宝贵意见；王光祖教授提供了部分资料。安徽省长江超硬材料集团公司、冶金部华东超硬材料研究所、航天部 7803 厂等在出书资金上给予了资助。对所有帮助过我本人和为出版付出辛勤劳动的专家和朋友，在此均致以诚挚的谢意。

方啸虎

1995 年 12 月于杭州

目 录

第一部分 人造金刚石单晶

1.1 “生长空间”理论在金刚石单晶生产中对提高颗粒度的影响	(3)
1.1.1 降低组装石墨棒压力试验	(4)
1.1.2 碳片焙烧试验	(6)
1.1.3 试验条件及结果	(7)
1.1.4 结论及问题讨论	(7)
1.2 在 6×600 t 铰式液压机上增大合成腔体的研究	(12)
1.2.1 组装件的改进	(13)
1.2.2 组装块技术数据及合成工艺	(15)
1.2.3 工艺改进后的效果及一些问题的讨论	(17)
1.2.4 存在问题	(26)
1.3 再论增大合成腔体的若干问题及其在单晶生产中的应用	(28)
1.3.1 增大合成腔体的若干问题	(28)
1.3.2 扩大腔体后可以考虑推广的几种方案	(34)
1.4 在 6×600 (6×800) t 铰式液压机上 $\Phi 18$ (20) mm 腔体的发展	(37)
1.4.1 $\Phi 18$ (20) mm 腔体工艺发展及试验	(37)
1.4.2 结论	(39)
1.5 $\Phi 23$ mm 腔体新工艺试验报告及其特点分析	(41)
1.5.1 试生产的基本条件	(41)

1.5.2	合成试验的结果	(42)
1.5.3	试验数据特点分析	(43)
1.5.4	实现新工艺应注意的几个问题	(44)
1.5.5	新工艺的主要特点	(49)
1.5.6	精细度的调整	(50)
1.6	方腔体的研究及讨论	(51)
1.6.1	引言	(51)
1.6.2	关于合成腔的压力分布问题	(51)
1.6.3	方腔体在方容器内更具合理性	(53)
1.6.4	关于叶蜡石方孔成型问题	(54)
1.6.5	关于堵头的考虑	(54)
1.6.6	方形触媒片和碳片的制备	(54)
1.6.7	在 15 (16) mm 的方腔体中进行初步合成 对比试验及新近验证	(55)
1.6.8	方腔体有关问题的讨论	(56)
1.7	表面理论对高压下人造金刚石成核影响因素的探 讨	(58)
1.7.1	表面始态覆盖度与表面中间态覆盖度对 成核的影响	(58)
1.7.2	合金表面的均相性与局部表面 (微区表面) 的非均相性及非均相成核	(59)
1.7.3	金刚石亚稳态 (金刚石—石墨平衡线下) 的 成核	(60)
1.8	钴探用粗粒优质单晶人造金刚石合成的几个问题	(67)
1.8.1	金刚石局部生长问题	(69)
1.8.2	优质金刚石生长区间问题	(70)
1.8.3	金刚石合成的原材料——叶蜡石、触媒、 碳素问题	(72)
1.8.4	组装工艺	(74)
1.8.5	操作工艺	(74)

1.9 采用 8 号触媒进行粗颗粒、高级人造金刚石合成工艺的研制	(75)
1.9.1 粗颗粒高级合成工艺的指导思想	(76)
1.9.2 研制概况	(76)
1.9.3 工艺及试验结果	(79)
1.9.4 研制结果	(80)
1.9.5 新工艺的经济效益	(81)
1.9.6 讨论	(81)
1.9.7 存在问题	(83)
1.10 钻头级单晶金刚石的某些特性和合成及其前后处理新工艺	(84)
1.10.1 钻头级人造金刚石的基本要求	(85)
1.10.2 前处理工艺	(90)
1.10.3 合成工艺	(93)
1.10.4 后处理工艺	(94)
1.11 在 $6 \times 600t$ 铰式液压机上实现 40/50、300N 左右金刚石单晶的试验报告	(96)
1.12 薄膜型触媒合成金刚石的工艺研究	(98)
1.12.1 基本构思	(98)
1.12.2 试验条件	(99)
1.12.3 试验结果	(100)
1.12.4 问题的分析与讨论	(100)
1.13 超薄型鳞片状触媒合成细—超细颗粒金刚石工艺的试验研究	(102)
1.13.1 构思设想及预测	(102)
1.13.2 鳞片状触媒的制备与物理分析	(103)
1.13.3 组装	(106)
1.13.4 合成工艺及合成结果	(107)
1.13.5 结论与特点	(109)
1.14 大颗粒人造金刚石的光学性质研究分析	(111)

1.14.1	实验方法与条件·····	(112)
1.14.2	观察与试验结果·····	(112)
1.14.3	几点结论·····	(114)
1.15	人造金刚石晶体形态的异形生长·····	(115)
1.15.1	长柱状人造金刚石的发现·····	(115)
1.15.2	异形金刚石生长的研究·····	(116)
1.15.3	对金刚石异形生长的解释·····	(118)
1.15.4	结论与分析·····	(120)
1.16	金刚石的后机械加工是提高利用率的重要途径·····	(122)
1.16.1	后机械加工产品的分类·····	(122)
1.16.2	主要参数选择·····	(123)
1.16.3	最佳工艺的选择·····	(124)
1.16.4	生产中的应用·····	(126)
1.16.5	结论·····	(127)
1.17	金刚石和立方氮化硼的逆转化机理与应用·····	(129)
1.17.1	引言·····	(129)
1.17.2	逆转化机理基础·····	(129)
1.17.3	过渡族元素或合金对金刚石的逆转化机理·····	(130)
1.17.4	碱金属或碱土金属或合金对立方氮化硼的逆转化机理·····	(136)
1.17.5	金刚石和立方氮化硼其它阶段的逆转化·····	(140)
1.17.6	立方氮化硼工具的磨损类型与机理·····	(144)
1.17.7	结束语·····	(147)
1.18	当前人造金刚石薄膜的新进展·····	(149)
1.18.1	国际薄膜技术动态·····	(149)
1.18.2	CVD 的几种主要方法及国内外工作对比·····	(151)
1.18.3	热解法金刚石薄膜的基本形貌·····	(154)
1.18.4	目前金刚石薄膜的其它表征形式·····	(155)
1.18.5	影响金刚石薄膜生长和应用的主要因素·····	(160)

1.18.6 几点评述·····	(161)
------------------	-------

第二部分 人造金刚石烧结体和复合体

2.1 爆炸金刚石微粉静压烧结体试验研究·····	(165)
2.1.1 烧结体合成工艺·····	(165)
2.1.2 烧结体的性能·····	(168)
2.1.3 结论·····	(169)
2.2 镍-硅金刚石烧结体多粒合成工艺的研究·····	(171)
2.2.1 烧结体的多粒组装和排列·····	(171)
2.2.2 合成腔体的压力—温度问题·····	(173)
2.2.3 强化处理与粒浮处理·····	(176)
2.3 论烧结体单腔多粒烧结的若干问题·····	(177)
2.3.1 烧结体多粒烧结排列的原则·····	(177)
2.3.2 烧结体多粒排列的类型·····	(178)
2.3.3 烧结体多粒生产工艺值得注意的几个问题·····	(179)
2.3.4 烧结体的高温力学问题·····	(182)
2.4 原料细化与人造金刚石三角形烧结体磨耗比关系的研究·····	(184)
2.4.1 前言·····	(184)
2.4.2 试验条件与做法·····	(184)
2.4.3 试验结果及讨论·····	(185)
2.4.4 结论·····	(186)
2.5 关于人造金刚石烧结体性能的测定问题·····	(188)
2.5.1 试验与效果·····	(188)
2.5.2 试验结果的规律性·····	(190)
2.5.3 不同机制对烧结体性能的影响·····	(191)
2.5.4 结论·····	(192)
2.6 介绍前苏联 АСІІК 型多晶金刚石的合成工艺与耐磨性的研究·····	(193)
2.6.1 合成的基本情况·····	(193)

2.6.2	关于多晶体性能的测定	(194)
2.6.3	有关问题讨论和结论	(196)
2.7	谈谈日本新型复合体及复合体钻头	(197)
2.7.1	该项工作的核心内容	(197)
2.7.2	新型复合体的特点	(198)
2.7.3	几点体会	(198)
2.7.4	应用实例	(199)
2.8	金刚石柱齿复合体及其钻具的实验研究	(202)
2.8.1	问题的提出	(202)
2.8.2	金刚石柱齿复合体的研制	(203)
2.8.3	实验室条件下的性能测试	(205)
2.8.4	金刚石柱齿复合体钎头生产试验	(207)
2.8.5	结论	(207)

第三部分 人造金刚石钻头与钻探

3.1	在矿山地质勘探中应广泛推广人造金刚石钻探新技术	(211)
3.1.1	我国冶金矿山地质应用人造金刚石钻探技术的发展	(211)
3.1.2	矿山地质人造金刚石钻探技术的应用	(213)
3.1.3	在矿山地质中开展人造金刚石钻探技术的几个结论	(217)
3.2	球齿形冲击钻头的设计、制造和选用	(219)
3.2.1	设计原则与 $\Phi 65\text{mm}$ 的钻头设计	(219)
3.2.2	该类钻头的适应性及硬质合金的选择	(220)
3.2.3	推荐使用的球齿形钻头的硬质合金	(224)
3.2.4	目前国内的直径系列和适用范围	(225)
3.2.5	讨论和结论	(227)
3.3	全断面金刚石钻灌钻头的设计和应用	(229)
3.3.1	全断面金刚石钻灌钻头的技术要求	(229)

3.3.2	钻头制作的几项具体技术要求	(231)
3.3.3	设计指导思想	(231)
3.3.4	问题及应注意的技术要求	(232)
3.4	锥形电镀测定地压钻头的研制与应用	(234)
3.4.1	制作方法的选择	(234)
3.4.2	电镀锥形测压钻头制作的主要参数	(235)
3.4.3	具体的使用	(236)
3.5	煤田地质勘探金刚石钻头磨料的研究与钻头选用 ..	(239)
3.5.1	超硬材料(磨料)的选用	(239)
3.5.2	适用煤田地质勘探钻头的选用	(242)
3.5.3	正确选用扩孔器(导正器)	(246)
3.6	扩孔钻头和导向器	(247)
3.6.1	常用扩孔钻头与导向器	(247)
3.6.2	喷射式导向扩孔钻头	(248)
3.6.3	钻磨式导向扩孔钻头	(248)
3.6.4	几点建议	(249)
3.7	优质、多品种、系列化生产人造金刚石钻头	(250)
3.7.1	优质、多品种、系列化生产人造金刚石 钻头	(251)
3.7.2	选用品级较高的人造金刚石制造钻头	(251)
3.7.3	加强技术服务,按岩石多种特性设计钻头 ..	(254)
3.7.4	采用先进的粉末冶金技术	(255)
3.7.5	在钻头制作工艺上采用多种方法	(256)
3.7.6	坚持严格的产品检验制度	(256)
3.8	试述金刚石钻头发展新趋势	(257)
3.8.1	超硬材料发展的评述	(257)
3.8.2	钻头制作方法的评述及发展	(259)
3.8.3	钻头孔径上的变化趋势和评述	(264)
3.8.4	钻头品种的发展和评述	(265)
3.9	国内外特种钻探磨料的选用及钻头研究	(268)