

■ 多位中国科学院或中国工程院院士推荐新著

现代 超硬材料与制品

Advanced Superabrasives and Related Products

(上册)

■ 方啸虎 邓福铭 郑日升 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

现代超硬材料与制品

(上)

方啸虎 邓福铭 郑日升 编著



YZLI0890118487



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

發展超硬材料與制品行業
為中國經濟技術高速發
展服務

預祝《現代超硬材料與制品》廣泛發行

師昌緒 二〇〇九年十月

开拓宝藏 增强国力

超硬金石 厥功伟巨

敬祝

现代超硬材料制品一本出版成功

李东英

二〇〇九·十月

李东英 中国工程院院士，材料学专家。

序言一

看到方啸虎同志的新著《现代超硬材料与制品》书稿,我的第一反应好像是又回到了20世纪六七十年代我们一起攻关研制地质钻头和人造金刚石的年代。

向地下岩层钻孔取样,是地质探矿极为关键的工程环节。当时,我国使用的是铁砂、钢粒、硬质合金钻头,严重制约钻探工程的效率和质量,远不能适应国家探矿的需要。与发达国家的钻探技术相比,落后的关键在于钻头,而关键的关键又在于我国缺少天然金刚石资源。恰在此时,获知我国人工制造金刚石自1963年取得成功并已经开始向产业化迈进,使为摆脱钻探技术落后而冥思苦想的技术人员如获至宝。在1969年,当时的冶金部北京地质研究所的技术人员发起了利用人造金刚石革新钻探技术的攻坚战。大势所趋,得道多助。在冶金部的支持下,攻坚战很快就吸引、动员了从事人造金刚石研究及众多相关环节的科研、教学、生产单位的大量科技人员,形成了几十个单位的跨行业、跨部门大协作,与同时进行同类试验研究的地质部及其他部门探工科技力量形成了全面大围攻。功夫不负有心人,几年下来,到20世纪70年代末,中国人自主研发的人造金刚石钻探技术体系基本形成,并迅速得到推广应用,中国的地质钻探技术从此摆脱了落后状态。众多单位和人员参与的这项科研攻关成果荣获了全国科学大会奖和国家科技进步一等奖。

令人喜出望外的是,人造超硬材料在地质探矿上的攻关成果,加速了其在其他领域的应用,诸如石材开采与加工、玻璃陶瓷、建筑工程、机械制造、医疗手术、电子信息、空间开发、地球科学等极为宽阔的范围。广泛扩展的社会需求,又进一步强劲地推进了人造金刚石及其他超硬材料科学技术的飞速发展。

金刚石作为世上宝石之冠,又称钻石,早在公元前6—8世纪就以其精美绝伦、坚硬无比的特性被古印度首先发现。在17世纪末,法国科学家拉瓦锡发现金刚石可以燃烧,之后英国化学家腾南特在1797年的试验中证实金刚石的物质成分是纯碳,从而震撼了科学界。于是试图人工制造金刚石便成为世界科学界多少代人的追求并为之奋斗。这一梦想终于在20世纪50年代由美国通用公司,即GE公司的一批科学家得以实现,首先制造出了金刚石(称人造金刚石、合成金刚石),并发展成为产业。

我国人工制造金刚石产业化的初期,产品的质量、成本和产量都达不到制作地质

钻头及其他工具的要求。然而,科技工作者锲而不舍,顽强奋斗,群策群力,联合攻关,终于创造了奇迹般的成就:中国的人造金刚石,强度已由当初的 1.8kgf,提高到 30~35kgf,现在可批量达到 $\geq 40\text{kgf}$,完全满足了做钻头和其他工具的要求;人造金刚石的粒度,不仅有了足够强度的工业用粗大颗粒、大颗粒、中粗颗粒,细—超细颗粒、微粉,直至纳米金刚石的系列产品,而且有了宝石级的 $\geq 4\sim 10\text{mm}$ 的单晶大颗粒;单次单晶金刚石产量,也由当初每次仅 0.8~1.0 克拉,后来到了几十、上百克拉,最近有的已超过 200 克拉直至 300 克拉左右,今后将会 ≥ 300 克拉,而成本及售价降至当初的百分之一以下;在此期间,人造金刚石又出现了一批新兄弟,如 cBN、聚晶、复合片、PCD、PcBN 以及类超硬材料、亚超硬材料、新金刚石等,形成了品种繁多的超硬材料族群;生产人造金刚石的装备——压机的吨位,由当初的 600t 发展到 1000、2000、3000t,现在有的已经大于 4000t;制作方法在传统的高温高压基础上,又开发了外延生长法、超高压爆炸法以及非高压的化学反应法等;超硬材料工具的制作方法,除了原来的无压浸渍法、中频和高温烧结法、电镀法外,又发展了钎焊法、激光焊接法。金刚石的预合金粉技术,有序分布和择优取向技术也得到长足发展,适应多种需要可制成琳琅满目的各种异型工具,而且大大节约金刚石,提高效率,降低成本。令人振奋的是,我国人造金刚石等超硬材料的生产规模,已经从 20 世纪 60 年代的微不足道,猛增到今天的 80 亿克拉,占世界总量的 90% 以上。方啸虎告诉我,中国金刚石将达 100 亿或 200 亿克拉以上,看来已近在咫尺。如今这门涉及高压物理、固体物理、分子原子理论、表面技术理论、结晶学、矿物学、粉末冶金、电镀电解、材料科学、机械制造、微电子电子技术、空间技术、地球科学等学科领域的超硬材料技术已经发展成为一个独立的学科,形成了规模宏大、别具特色的新材料高新技术产业。

当初未曾想到的还有,就是在这期间大批转入到人造金刚石及其他超硬材料的研究和应用领域的技术人员,作为新生力军急剧壮大了超硬材料科研和产业队伍,新老联手做出了积极贡献。方啸虎同志就是从岩石矿物领域转到人造金刚石的研究工作上来的。他的最初任务是研究如何提高金刚石的质量和单产,以满足制作地质钻头的需要,而这一“转”竟然调转了他终身的科研方向。坚定的事业心、高度的责任感以及他对超硬材料学科和行业深厚的爱和执著,使他四十余年如一日勤奋好学、孜孜不倦,他实干苦干、锲而不舍,他还长于与全国同仁精诚合作、互相帮助。《现代超硬材料与制品》一书可谓是在这一领域奋斗心血的记录和结晶,也是他与合作者的共同成果。

本书以国内资料为主,其中有属于方啸虎同志的自主知识产权内容,有些是他自己提出的规律和理论见解,同时也有引用的国外最新文献资料。本书系统地涵盖了现代超硬材料与制品学科和行业的最新成果,是一本不可多得的好专业著作。相信一定能对我国超硬材料与制品学科和行业的发展发挥积极作用。

预祝《现代超硬材料与制品》一书发行成功! 是以为序。

李振潜

2011 年 4 月 19 日于南宁

* 李振潜,中国小口径人造金刚石钻探倡导者、奠基人、领军人。

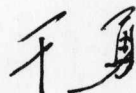
序言二

中国超硬材料及制品行业经过 50 多年的发展,已经从当初为满足地质钻探需求而研发发展到在石材开采与加工、玻璃陶瓷、建筑工程、机械制造、石油天然气开采及电子工业半导体材料等诸多领域具有举足轻重作用的行业;而支撑这个行业快速发展的基础是超硬材料合成的制品制造领域相关的基础理论和实践经验。《现代超硬材料与制品》一书正是这样一本汇集了行业共识理论和编笔者独创理论以及与大量实践相结合的新著。

我国在超硬材料合成上主体采用的是具有中国特色和自主知识产权的六面顶压机,相应的设备制造技术、合成原料处理技术、合成机理和工艺等都有自己的特点,作为国内最早从事金刚石合成及制品制造技术研究与开发的先驱之一,方啸虎长期工作在金刚石及制品的产、学、研第一线,先后提出相对低温低压理论、相对平衡理论、慢速生长理论等,并随着六面顶大压机和粉末触媒合成技术的发展,逐渐将上述理论完善,使其更精炼、更系统,对中国超硬材料合成技术的发展作出了非常重要的贡献,相信读者通过该书的上册将对编笔者的学识及其在行业中的作用有更深的体会。

超硬材料制品是一个仍然在快速发展中的行业,按照编笔者的话说“要是一两个月不介入行业你就对它陌生了”,这是一点都不为过的。可以看到短短的几年间,行业中就涌现出许多新的技术和应用领域,如金刚石有序排列及择优取向制造技术、钎焊技术,金刚石工具在半导体行业中的应用,等等;该书的下册重点总结和阐述了超硬材料制品的制备和应用技术,其中记录着编笔者从业数十年来的技术见解,也包含了大量的国内外第一线专家的研究成果和国外文献资料,相信对于业内以及其他使用金刚石工具的行业而言将有着重要的参考作用。

总之,《现代超硬材料与制品》是一部系统、全面阐述了现代超硬材料及制品的学术专著,书名中的“现代”二字体现了编笔者对行业技术发展认识之精准,该书的出版将是我国超硬材料与制品行业的一大幸事。



* 干勇,中国工程院副院长、中国工程院院士。

序言三

高压物理研究最早可以追溯到1762年对水的压缩性的测量工作。但在随后的150年间,由于受到当时技术发展水平的限制,压力研究范围长期停滞在0.5GPa以下。直到20世纪50年代,由于Bridgman压砧和活塞圆筒静高压装置的相继问世,方使压力上限提高到10GPa,从而使高压物理可以扩大到对固体材料压缩性、相变以及力学性质、光学性质、电性、磁性、黏性等方面的研究。再后,由于金刚石压砧的问世,所能达到的上限压力有了飞跃式的提高(目前公开报道的最高压力值达550GPa),再加上近年来多种高压下物质微观结构及其物性测量技术和系统的研发成功,为人类打开了一扇新视窗去透析自然的奥秘,从而快速推动了高压物理研究内涵外延的深度和广度,加速深化了人类对自然规律的认识。目前它已成长为凝聚态物理学的一个新的分支学科——高压物理学。

高压物理学的发展也吸引了一些相邻学科科技人员的关注,其中最主要的有材料科学和地球与行星物理学。人工合成金刚石是高压物理学在材料科学中人工合成超硬材料领域取得成功的并能迅速转入商业化生产的第一个重要事例。时至今日,我国生产的人工合成金刚石已约占世界产量的90%。我国有不少同志长期活跃在超硬材料人工合成技术与制品研发领域,方啸虎同志是其中的在产、学、研第一线长期耕耘的重要一员。在这方面,他先后对超硬材料相图、晶体生长机制、超硬材料晕圈图、超硬材料元素周期图等问题,提出过自己的见解;对设备及腔体大型化、控制智能化等问题也提出过具体的实施方案。他还特别关注大颗粒高品质金刚石合成工艺以及不同形态金刚石及其包裹体成因等问题的研究,从而为我国人造金刚石合成技术的发展作出了自己的贡献。《现代超硬材料与制品》一书,是方啸虎同志在总结自己研究成果、经验和广泛调研国内外文献资料的基础上撰写的一本专著。本书的出版记录了作者多年在超硬材料工业部门拼搏的一段历程,可以作为科技工作同行们的一本内容广泛的参考书。

我相信,本书的出版也会对我国超硬材料行业的今后发展起到重要的推动作用。

经福谦

2011年6月24日

* 经福谦,中国动态高压物理科学家、中国科学院资深院士。

前言

本书的最大特点在于:是从超硬材料和制品两个角度来写的;是笔者加之行业专家共同努力的结晶;是大家共识理论和笔者独创理论相结合的产物;是理论与大量实践相结合的新著。譬如说:以前笔者曾提出相对低温低压理论,现在不仅理论更精简,更系统了,同时新增了国内使用者新的体会;提出的相对平衡理论,就有工作者在长方块上得到了新的效果;提出的小压机合成相对大的腔体,大压机合成更大的腔体,某超硬材料有限公司就在 $\Phi 560\text{mm}$ 缸径压机上稳定合成出 $\Phi 46/48\text{mm}$ 腔体,稳定质量的前提下,单产达到 $\geq \Phi 600\text{mm}$ 缸径压机的水平,而 $\geq \Phi 600\text{mm}$ 缸径压机的单产已超过200ct;提出的慢速生长工艺,适当延时和提出的燕尾式合成工艺,目前国内单晶质量在粉末块合成工艺上,比较容易达到20~30kgf,有的可更高,实现了 $\geq 40\text{kgf}$,以致不再采用静压强度来表示金刚石主要质量,而应该增加一些更新的概念来评述金刚石质量。进入21世纪,设备大型化是当前最大特点,目前压机缸径已经由 $\Phi 230\text{mm}$ 发展到了 $\geq \Phi 850\text{mm}$;工作压力已由 $6 \times 600\text{t}$ 发展到了 $\geq 6 \times 5000\text{t}$ 。当然这些还应该配合腔体扩大化、控制智能化、部件精细化、工艺科学化等理念及粉末触媒技术、间接加热技术等。笔者把这些统分为“硬件”和“软件”,并提出“硬件”和“软件”都应得到充分重视的观点。在10年前还认为中国实现超硬材料强国将是遥遥无期的事,而经过国内行业广大人员的共同努力,应该说已基本实现了理想的目标。当前全球降能减排任务很重,中国是发展中的大国,面临的任务将更加艰巨。发展金刚石等超硬材料正是降能减排、循环经济型的典范,它完全可替代高能耗、高污染的碳化硅、刚玉。全球每年消耗200万吨碳化硅、刚玉,我们完全有理由相信用50亿克拉金刚石换取50万吨碳化硅、刚玉,甚至更多。在此笔者认为中国的金刚石等超硬材料将可达100亿或200亿克拉以上,这对国家将有巨大的贡献。

在金刚石等达到目标后,最大的变化是成本明显下降,销售价格也明显下滑。但从另一角度说,它将可促进超硬材料应用领域的扩展。书中重点介绍了一些主要的新的制品应用方向,如:金刚石膜制作高精度刀具、金刚石绳锯、金刚石线锯、金刚石纳米工具等;书中介绍了最新的一些制品制作方法,如:金刚石钎焊法、激光焊接法、金刚石制品预合金粉、金刚石制品的有序排列及择优取向法等。尽管不可能面面俱到,但可

以说总体是照顾到了,这样就便于读者对行业有个更全面更新的了解和掌握。本书以篇为目,进行了专题讨论,便于读者更多地了解信息!

特别重要的是这几年超硬材料技术进步实在太快,使人为之兴奋!过去我说过:要是半年不介入行业,你就对它陌生了;而近几年,是你一两个月不介入行业,你也就对它陌生了。所谓信息时代,科学技术爆炸时代,在我们行业得到充分体现。

曾有专家说:20 是硅的世纪,21 是碳的世纪;也有专家说:20 世纪是硅(碳化硅)、铝(刚玉)的世纪,21 世纪是碳(金刚石)、硼(cBN)的世纪。最近笔者查到国际静态高压领域的领军人,美国科学院院士、中国科学院外籍院士毛河光先生的说法是:20 世纪最重要的是发明了电脑,21 世纪最重要的发明将是快速生长金刚石。他还用牛粪制成了金刚石,并诙谐地说:这样将改变人们对钻石宝石的价值观。所以说金刚石在 21 世纪将会是人们生活中不可缺少的,最基本的原材料之一。我们这样说:人们将会像离不开水一般离不开金刚石,像离不开电一样离不开金刚石,作者相信这一天迟早会到来。所有有幸参加到这项事业中的朋友们应该感到莫大的荣幸。

在经过近 50 年行业诸多同仁的共同努力,特别是近 5 年的快速提升。高兴地看到中国超硬材料行业从无到有,从小到大,从弱到强历史进程的快速发展。笔者以前说过:超硬材料与超硬材料制品今后都会打上“中国制造”。今天可以自豪地说:我国已经不仅仅是金刚石生产大国,而且在质量上、品种上,在国际范围内已经占有相当重要的地位,应该说已经进入强国之列。这是老一代超硬材料工作者、研究者、开发者感到无比欣慰的事;同样也是年轻一代感到无比自豪的事。自然大家不会因此而过分自慰,还将清醒地看到,肩上的担子还很重,还有一定的差距,如美国正在研究在 20 万大气压下合成硬度更高的金刚石;有信息透露,用高压釜煮金刚石可获得硬度更高的金刚石;日本住友电工株式会社长期以大颗粒单晶金刚石制造工具,并以此为自豪;俄罗斯的理论突破后,用大分子团合成一种新型超硬材料;目前又报道了有科学家研究了一种二硼化镱,它的硬度与 cBN 差不多;还有快速生长金刚石,生长大颗粒金刚石新工艺等;书中还特别提到了新金刚石,表面理论在金刚石中的应用,类超硬材料凡此等等,这些信息或已有确切资料,或只是一种初步试验,但说明人们并不满足于已有的金刚石的超硬性能,而是希望得到更多的未知世界的新内容、新领域、新答案。特别是超硬材料的功能性材料的开发,我们说要像离不开水和电一样,这就是必然要包括到它的功能性材料的开发。笔者还特别注意到了,凡是一种新的材料的出现,只有当它有了广泛的用途才有顽强的生命力。所以本专著的后部分特别强调了它应用的新领域、新技术、新工艺、新方法,以及其后续开发的新思路、新理念。也只有这样超硬材料行业才可永葆青春,才可成为永远的阳光行业。值得注意的是,尽管本专著总结了不少在应用方面的新内容,但是这部分与国际接轨还存在相当大的差距。这些差距和任务正历史性地落到我们肩上。科学是无止境的,技术发展也将是无止境的。

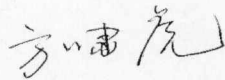
为了解决一部分工作者希望它能作为一种教材的需求,使全书内容更为全面,更为条理。有的为了理论与实践结合得更紧密,我们不是从书本到书本,而是自己动手,还请了一些在第一线工作的专家共同撰稿编写。本书在目录的每章后注明了撰稿人,以示对工作的负责。在此,对所有合作者的辛勤劳动和无私奉献精神表示诚挚的感谢!本书由方啸虎最后统稿付印。特别感谢国际材料界著名专家、中国科学院资深院

士师昌绪和中国工程院院士李东英为本书出版题词,并提出殷切希望;特别感谢我国最早提出用人造细颗粒金刚石做地质钻头的奠基人,后转入党政高级领导的李振潜为本书撰写了序言;特别感谢中国工程院副院长、中国工程院院士干勇和中国科学院资深院士经福谦为本书撰写了序言;特别感谢我国探矿工程届唯一的一位资深院士刘广志和超硬材料国家重点试验室第一届主任、中国科学院院士邹广田为本书的出版提了宝贵意见。

当你读完这本书时,你一定会感到行业又发生了很大的变化,又有相当多的新生事物展现在你面前,那么我们就如愿了。编著历来强调行业的群体性,是有了中国超硬材料行业的广大群体,才迫使金刚石的发明者原美国 GE 公司退出了金刚石单晶生产线;也让原 De Beers 公司接受了中国的六面顶压机、若干合成工艺及后提纯工艺等。我国已经有数百台六面顶压机进入国际市场,这不能不说是一桩大事、喜事。中国超硬材料行业,在行业的角度做出了翻天覆地的大事;在科学技术的长河中,增添了一朵艳丽的奇葩。

超硬材料仍然是有着很多“未知结构”结果的新内容,需要我们很多工作者继续不断努力,这才是我们事业永远有生命力的所在,科学工作者前无八小时,愿同仁共互勉。

超硬材料仍然有着无限的空间,所以超硬材料行业永远是“阳光行业”,愿我们的事业前程似锦!



2011 年春节前夕于杭州

目 录

基础与趋势

第一篇 超硬材料基础与发展趋势

第1章 从地球科学到超硬材料	3
1.1 高压技术概述	3
1.1.1 动态高压与静态高压	3
1.1.2 地球各圈层的温度和压力	5
1.1.3 地球科学对静态高压和动态高压的启示	5
1.1.4 天然金刚石的发现及其他	6
1.2 动态高压与静态高压的基本标志	7
1.2.1 压力分类	7
1.2.2 静态高压和动态高压与超硬材料的实际概念	7
1.3 静态高压的创始	8
1.3.1 布里奇曼(Percy Williams Bridgman, 1882—1961)简述	8
1.3.2 毛河光简述	9
1.4 人造金刚石的探索与发明	9
1.4.1 人造金刚石的探索	9
1.4.2 人造金刚石的发明	10
1.5 目前国内静态高压体系	10
1.5.1 国家超硬材料重点实验室	11
1.5.2 当前实验室在超硬材料方面已开展的工作及评述	11
1.6 立方氮化硼和新超硬材料 BCN	14
1.6.1 超硬材料理论类型	14
1.6.2 新型超硬材料——立方氮化硼的优异性能	14
1.7 人造金刚石及立方氮化硼的品种类型	15
1.7.1 人造金刚石	15
1.7.2 立方氮化硼	18

1.7.3 类超硬材料 BCN	18
1.8 结 论	19
第2章 金刚石行业超高压技术的发展	20
2.1 超高压技术的发展	20
2.1.1 概 述	20
2.1.2 国外两面顶超高压技术的发展	21
2.1.3 我国超高压技术的发展	22
2.1.4 两种超高压技术的抉择问题	23
2.1.5 结 语	24
2.2 中国超硬材料的现状与发展趋势	25
2.2.1 人造金刚石发展形势	25
2.2.2 超硬材料制品的发展状况及进展	27
2.2.3 展望与思考	29
第3章 高品质人造金刚石现状与综合性能对比实验研究	31
3.1 用动态观念分析超硬材料国际形势	31
3.1.1 两大强霸改组转轨的动向	31
3.1.2 其他国家停产、保产甚多	32
3.1.3 技术实力还相当雄厚	32
3.2 运用动态观念分析超硬材料国内形势	32
3.2.1 2003—2004 年是六面顶大压机高速发展的时期	32
3.2.2 120MPa~125MPa 设计和需求明显增多	33
3.2.3 六面顶直径 600~650mm 缸径压机将在今后几年成为主导设备	33
3.2.4 大型规模化效应的驱动	33
3.2.5 国际金刚石市场:中、高品级的金刚石需求正趋向中国	33
3.3 中国的高品质人造金刚石	34
3.3.1 高品质金刚石总的评述	34
3.3.2 六面顶压机提高人造金刚石关键技术	34
3.3.3 大顶锤技改后配套技术已完善	35
3.3.4 粉末触媒工艺技术快速发展	35
3.4 国内外中高档金刚石综合性能对比实验研究	35
3.4.1 引 言	35
3.4.2 实验材料及方法	36
3.4.3 结果与讨论	36
3.4.4 结 语	40
3.5 金刚石行业应迎接新的挑战	40

超硬材料科学与技术

第二篇 超高压高温装备与高精度控制系统

第 4 章 铰链式六面顶超硬材料液压机	45
4.1 概 述	45
4.2 国产铰链式六面顶超硬材料液压机的基本原理	47
4.2.1 机械结构	47
4.2.2 液压系统	49
4.3 代表机型——CS-VI(HD)型 $6 \times 20000\text{kN}$ 六面顶液压机	52
4.3.1 主要技术指标	53
4.3.2 主要技术创新点	53
4.3.3 各部机构要点	54
4.4 结 论	58
4.4.1 国产铰链式六面顶超硬材料液压机的主要优点	58
4.4.2 国产铰链式六面顶超硬材料液压机目前的主要问题	58
第 5 章 新型大压机制造中若干问题与如何提高压机制造吨位	60
5.1 引 言	60
5.2 当前大压机发展现状及改进意见	60
5.2.1 关于能力问题	60
5.2.2 谈谈设计的基本构思	61
5.2.3 关于设备加工精度问题	62
5.2.4 关于压机吨位问题	62
5.2.5 关于增压器问题	62
5.2.6 关于油路系统问题	63
5.3 对主机设计的几点看法	63
5.3.1 关于浮动原理	63
5.3.2 关于主机的兜底缸、球底缸和铰链梁	64
5.3.3 关于密封件	65
5.4 关于大型六面顶压机工作压力提高到 $120\text{MPa} \sim 125\text{MPa}$ 的建议	65
5.4.1 引 言	65
5.4.2 设计 125MPa 六面顶的指导思想和主要依据	66
5.4.3 $120\text{MPa} \sim 125\text{MPa}$ 大型六面顶压机设计可靠性	68
5.4.4 结 语	69
5.5 结 论	70
第 6 章 具有中国特色的六面顶液压机的研制现状和优势	74
6.1 中国超硬材料合成高压设备的发展	74
6.1.1 两面顶、四面顶与六面顶	74
6.1.2 20 世纪 70 年代多种形式液压机	75
6.1.3 两面顶液压机与六面顶液压机之争	75

6.2	目前六面顶压机高品质金刚石的基本评估	76
6.2.1	2005 年的评述	76
6.2.2	现阶段的评述	77
6.3	六面顶金刚石液压机的优点	78
6.3.1	六面顶金刚石液压机的一般性优点	78
6.3.2	新式六面顶压机的优点	78
6.4	国际已经全面认可的中国六面顶压机	78
6.5	压机大型化步伐加快	79
6.6	六面顶压机设计制造工艺水平不断提高	79
6.6.1	主机结构设计制造方面	80
6.6.2	液压控制方面	81
6.6.3	电气控制方面	81
6.7	六面顶压机应用及其优势	82
6.7.1	六面顶压机得到广泛应用	82
6.7.2	六面顶压机所具有的优势	83
6.8	六面顶压机进一步发展的趋势	83
6.9	结 论	84
第 7 章	大型压机高精度全自动微机电控及群控系统	85
7.1	导 言	85
7.2	对系统压力要求采用变频动态补压方式	85
7.3	对合成腔体内的温度控制要求非恒功率曲线控制	87
7.4	控制系统设计原理	87
7.4.1	小泵变频动态补压压力曲线控制原理	87
7.4.2	加热非恒功率曲线控制原理	88
7.4.3	有关 A/D 转换模块控制精度问题	88
7.4.4	程序设计	89
7.5	控制系统特点	89
7.6	新型控制两台及多台(群控)系统	90
7.7	使用效果	92
7.8	结 论	92
第 8 章	高压形成的重要构件——顶锤	93
8.1	硬质合金顶锤质量的评价	93
8.2	硬质合金顶锤成分与制作工艺的选择	94
8.3	顶锤受力状态的研究	96
8.4	大压机顶锤设计若干问题的思考	97
8.4.1	合成腔体与设备吨位和使用顶锤顶面边长的关系	97
8.4.2	顶锤小斜面的角度讨论	98
8.4.3	顶锤底面直径与顶面边长的关系及数值的确定	98
8.4.4	顶锤高度的确定	99
8.4.5	顶锤小斜边长度的讨论	100
8.4.6	结 语	100

8.5 大顶锤生产中应注意的若干问题	100
8.5.1 压机大型化的主要趋势	100
8.5.2 大型顶锤应运而生与技术改造	101
8.5.3 大顶锤生产中应防范的三大问题	101
8.5.4 结 语	103
8.6 当前降低顶锤消耗应注意的若干问题	103
8.6.1 顶锤的失效处理和合理保护	103
8.6.2 查顶锤受力不均因素	104
8.6.3 查顶锤受热不均因素	105
8.6.4 努力提高顶锤寿命,积极提高企业效益	105

第三篇 超硬材料合成主要原辅材料

第 9 章 传压介质——叶蜡石、白云石矿物学研究与作用分析	113
9.1 合成金刚石生产中叶蜡石传压密封材料矿物学研究	113
9.1.1 显微结构研究	114
9.1.2 X 射线粉末衍射分析	114
9.1.3 化学成分研究	114
9.1.4 结果讨论	115
9.2 白云石内衬材料在合成金刚石传压密封介质中的作用	116
9.2.1 引 言	116
9.2.2 白云石内衬材料的组成	117
9.2.3 白云石内衬材料的变化	117
9.2.4 白云石内衬材料的作用	119
第 10 章 传压介质合成块研制的新进展	121
10.1 关于叶蜡石和白云石及其他添加剂的基本要求	121
10.1.1 叶蜡石成分要求	121
10.1.2 白云石的基本要求	122
10.2 混合型组装块	123
10.2.1 整体型	123
10.2.2 分体型	123
10.2.3 复合分体型	124
10.2.4 NaCl 分体型	124
10.2.5 新式整体复合型	124
10.2.6 几种组装的优缺点	125
10.3 非立方体的叶蜡石块	125
10.3.1 预密封边叶蜡石块	125
10.3.2 粉压成型预密封边叶蜡石块	125
10.3.3 长方体叶蜡石块	126
10.4 传压介质的尺寸	126
10.5 大型-超大型传压介质块	127
10.5.1 大压机的大合成块	127

10.5.2	目前 $\geq \Phi 500\text{mm}$ 缸径压机合成块系列	127
10.6	结 论	129
第 11 章 高压下传压介质稳定性的研究		130
11.1	概 述	130
11.1.1	国外研究状况	130
11.1.2	国内研究状况	131
11.2	研究内容及方法	131
11.2.1	研究内容	131
11.2.2	研究方法	132
11.3	化学分析结果	132
11.4	岩石矿物鉴定和 X 射线衍射分析报告	133
11.4.1	测试仪器及测试条件	133
11.4.2	样品的制备	133
11.4.3	矿粉的岩石矿物鉴定及 X 射线衍射分析	134
11.4.4	结 语	136
11.5	合成金刚石试验效果	137
11.6	结 论	137
第 12 章 叶蜡石块焙烧排列新形式及焙烧工艺		138
12.1	普通排列形式	138
12.2	品字形与梅花形排列	139
12.3	悬吊串珠式排列	139
12.4	窑式焙烧新工艺	140
12.5	多点测温是控制炉温均衡的关键技术	140
第 13 章 片状触媒的研究和应用		142
13.1	引 言	142
13.2	多种片状触媒合金的研究	143
13.2.1	NiMnCo 合金触媒	143
13.2.2	FeNiMn 合金触媒	144
13.2.3	FeNiMnCo 合金触媒	144
13.2.4	镍-铜基多元触媒	145
13.3	添加剂的选择及试验	145
13.3.1	添加元素组分	145
13.3.2	试验所用设备	146
13.3.3	触媒生产工艺流程图	147
13.4	方案选择	148
13.4.1	添加剂组分的选择	148
13.4.2	尽量采用低熔点的合金	148
13.4.3	选用能增加渗碳溶碳作用的元素	149
13.5	高真空熔炼与轧制工作的新工艺技术	149
13.5.1	关于真空冶炼	150