

煤田地质小口径钻探

(金刚石钻进)

煤炭工业部地质局组织编写

煤炭工业出版社

煤田地质小口径钻探

(金刚石钻进)

煤炭工业部地质局组织编写

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书为《煤田地质小口径钻探》的第二个分册，专门介绍金刚石钻进。书中对金刚石的性质、分类；人造金刚石的合成、物理检验与测试；金刚石钻头的结构、种类、设计原则；金刚石钻头 and 扩孔器的制造；金刚石钻进工艺等都作了比较系统的介绍。

煤田地质小口径钻探

(金刚石钻进)

煤炭工业部地质局组织编写

(限 国 内 发 行)

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{11/16}$ 插页1

字数168千字 印数1—5,000

1978年4月第1版 1978年4月第1次印刷

书号15035·2130 定价0.63元

前 言

地质钻探采用金刚石钻进始于一八六二年，起初的七十多年用手工镶制黑色金刚石钻头。

一九三六~一九三七年开始了粉末冶金法制造表镶式金刚石钻头。一九四〇年前后迅速广泛采用，从而用结晶金刚石(包尔兹)代替了昂贵的黑色金刚石制造钻头。这是金刚石钻进的第一个改革。

孕镶式金刚石钻头制造从一九四〇年开始研究，一九五〇年前后大量采用，日益推广，为在钻头上应用细粒廉价金刚石创造了条件。这是金刚石钻进的第二个改革。

孕镶式钻头具有寿命长的特点，可以采用高转数钻进，从而促进了绳索取芯钻具的研究。这种钻具从一九五〇年发展到目前已被广泛采用。同时发展了各种新型高转数钻探设备，包括高速钻机和高强度钻杆等。

一九四〇年左右开始应用高温高压技术研究金刚石的人工合成。经过十多年的研究，一九五三年和一九五四年试制成功，五十年代末，六十年代初建立起人造金刚石工业，六十年代得到了迅速发展，并在地质钻探中应用了人造金刚石钻头。人造金刚石的应用是金刚石钻进的重大变革。随着人造金刚石的应用，低温镶焊钻头的工艺研究也积极开展。

解放前，我国地质钻探事业十分落后，在煤田钻探中虽然也采用了金刚石钻进，但是长期以来把持在帝国主义和官僚资产阶级手里，成为掠夺我国煤炭资源和其他矿产的手段。

解放后，随着社会主义革命和建设事业的蓬勃发展，煤田钻探的面貌也日新月异。

一九六一年，我国开始了人工合成金刚石的研究，在毛主席无产阶级革命路线指引下，中国工人阶级和革命科技人员，认真贯彻“独立自主、自力更生”的方针，大搞群众运动，开展社会主义大协作，自行设计和制造合成金刚石的高压设备，对人造金刚石合成工艺进行了试验研究。一九六三年就研究成功了人造金刚石，仅用了两年时间走完了西方资本主义国家十多年所走的道路。目前，我国人造金刚石工业已经遍布全国，产量逐年上升，质量不断提高，已能制出3~5毫米的大颗粒人造金刚石。

近年来，经过广大工人和科技人员的积极努力，金刚石制品在品种与数量上都有了很大发展。人造金刚石钻头已在煤田钻探中使用，并取得了可喜的效果。在一机部、冶金部等有关单位的大力支持下，一九六七年组成了有生产、使用、科研单位参加的三结合的人造金刚石钻头研究小组，大胆实践，勇于创新，团结战斗，克服困难，不断提高了人造金刚石单晶和聚晶的质量，逐步完善了热压法，冷压浸渍法和无压浸渍法钻头及扩孔器的制造工艺，同时，还开展了电镀法，化学粘结法的研究。通过全孔试验，出现了一批高效、长寿命的钻头，初步总结了在煤田钻探中进行小口径金刚石钻进的经验。

金刚石钻进技术在煤田地质钻探中广泛应用，还必须解决一些问题，如研制具有高强度及高耐磨性的聚晶金刚石，设计制造适于煤系地层特点的金金刚石钻头，制造金刚石钻机和优质钻具，以及解决复杂地层钻进的技术措施等。

目 录

第一章 金刚石	1
一、金刚石的性质	1
二、金刚石的分类	11
三、钻探用金刚石的品级和粒度	16
四、金刚石矿产资源	21
五、金刚石的合成	26
六、人造金刚石的物理检验与测试	40
第二章 金刚石钻头和扩孔器	51
一、金刚石钻头的结构	51
二、金刚石钻头的种类	52
三、金刚石钻头的设计原则	53
四、扩孔器的功用和种类	70
五、人造金刚石钻头和扩孔器在煤田钻探中的应用	71
六、金刚石钻头图例	79
七、钻头和扩孔器金刚石参考用量	85
第三章 金刚石钻头和扩孔器的制造	86
一、概述	86
二、冷压浸渍工艺	125
三、无压浸渍工艺	138
四、热压法工艺	149
五、人造金刚石刮刀钻头制造工艺	158
六、低温镶嵌工艺	167
七、金刚石钻头和扩孔器的质量检验和机械加工	179
八、金刚石的回收	183

第四章 金刚石钻进工艺	189
一、金刚石钻头破碎岩石原理	189
二、金刚石钻头的选择与使用	191
三、金刚石钻进规程参数的选择	205
四、提高金刚石钻进效率，延长钻头寿命的主要技术 措施	222
五、金刚石钻进操作注意事项	234

第一章 金 刚 石

一、金刚石的性质

金刚石由碳元素组成，是碳在高温高压下的结晶体。其晶体中常含有少量的(0.001~4.8%)其它元素，如硅、镁、铝、钙以及钛和铁等。这些元素在金刚石燃烧后作为同晶杂质残留在灰分中。石墨是金刚石晶体中常见的矿物包裹体，其它还有橄榄石、镁铝榴石、顽火辉石、钛铁矿、赤铁矿、磁铁矿等矿物。

金刚石属于等轴晶系的矿物。在单位晶胞中，碳原子位于四面体的角顶及中心(如图1-1)。碳原子具有高度的对称性，每一个碳原子周围，均有四个碳原子排列在四面体的锥角顶端，而四面体的每一角顶均为相邻的四个四面体所共有。

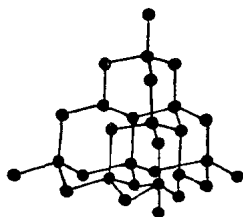
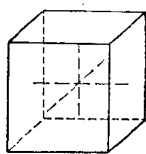


图 1-1 金刚石晶体构造

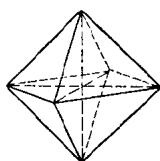
C—C原子间以共价键相连接，配位数为4，键间夹角为 $109^{\circ}28'$ 。每个碳原子与相邻的四个碳原子距离相等，间距为 $1.54\text{ \AA}$ 。

(一) 金刚石的晶体形态

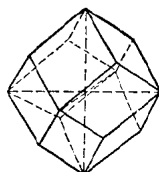
天然金刚石的晶体形态很多，常见的晶体是八面体和菱形十二面体，其次是立方体。最常见的是按双晶石律形成的双晶，也有插生双晶，除了平面晶体外，还有浑圆状晶体，如凸八面体、凸十二面体、凸立方体以及这些单晶构成的聚



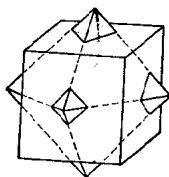
六面体(C)



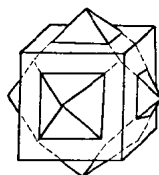
八面体(O)



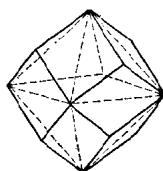
十二面体(D)



六面体和八面体

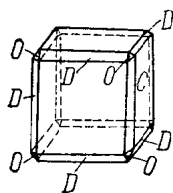


六面体和十二面体

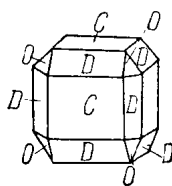


八面体和十二面体

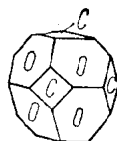
1、金刚石的三种基本形态及相互关系



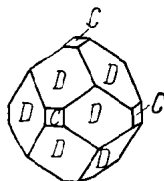
六面体



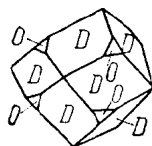
十二面体和八面体



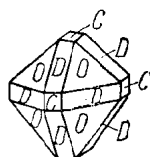
八面体和六面体



十二面体和六面体

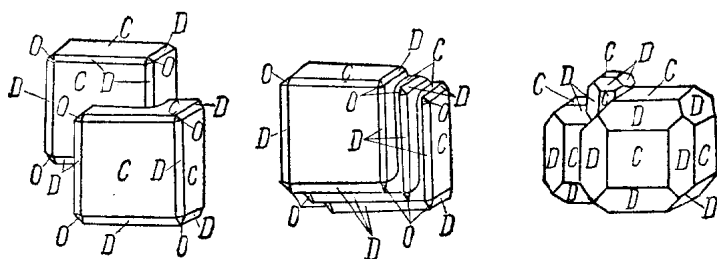


十二面体和八面体

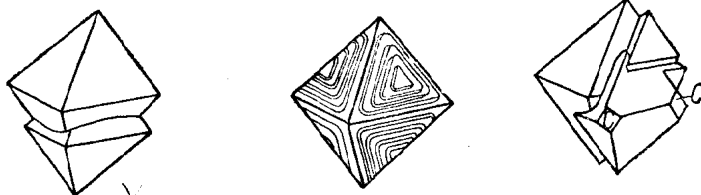


十二面体、八面体和六面体

2、金刚石聚晶

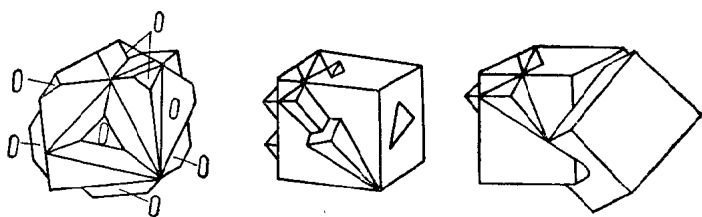


六面体

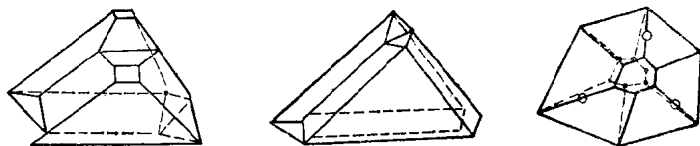


八面体

3、金刚石连生体示例



六面体



八面体

4、金刚石双晶示例

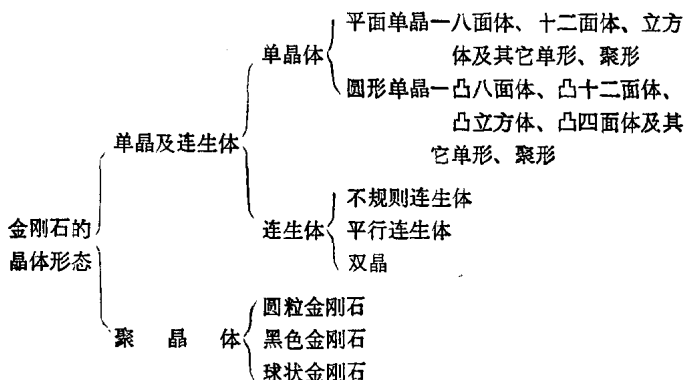
图 1-2 金刚石的主要晶体形状

晶或双晶。

自然界中金刚石大多数是晶体不完整的碎粒、碎片，无明晰的尖棱和顶角，晶面也不平整，常有阶梯状或凹凸不平的“晶面雕刻像”。

金刚石晶体形态分类见表1-1。图1-2为金刚石的晶体形态。图1-3为部分天然金刚石的晶体形状。

表 1-1 金刚石晶体形态分类



金刚石的晶体重量大的可达几千克拉，（注：金刚石的重量常用克拉计算，1克拉等于0.2克，5000克拉等于1公斤）小的仅为千分之几克拉。最常见的晶体重量为0.2~0.4克拉，大于一克拉的金刚石晶体就比较少见。1905年在南非发现的 $100 \times 65 \times 50$ （毫米）的金刚石是世界上最大的一颗，为一个大大六面体的晶体碎块。

金刚石的晶体结构决定了它的物理化学性质。

（二）金刚石的力学性质

1. 硬度和耐磨性 由于金刚石特殊的晶体结构，使其具有极高的硬度和耐磨性，是目前所知自然界中最硬的物



1



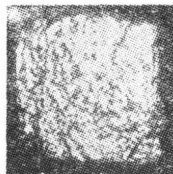
2



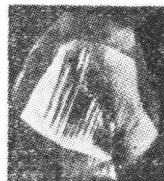
3



4



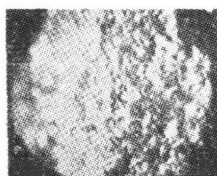
5



6



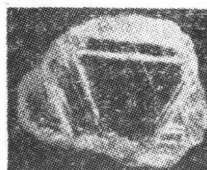
7



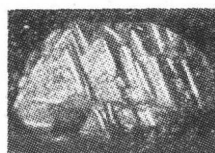
8



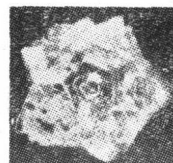
9



10



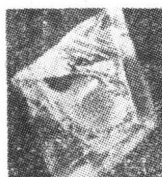
11



12



13



14



15

图 1-3 部分天然金刚石晶体形状(包括有缺陷的晶体形状)

质。在汉语中金刚两字是表示坚强的意思，希腊语则有“不可克制”之意。金刚石的莫氏硬度为10，显微硬度为10060。

金刚石的绝对硬度为刚玉的150倍，为石英的1000倍。

矿物和钢及硬质合金结构组分的硬度比较见表1-2。

不同矿床的金刚石在硬度上有差异。澳大利亚的金刚石硬度高于南非。同一矿床产出的不同颜色的金刚石硬度也不相同，绿色金刚石远较棕红色金刚石的硬度低，这是由于铬元素侵入使金刚石呈绿色而硬度降低，氮元素的侵入使金刚石呈棕红色而硬度提高。金刚石不同结晶形态的晶面硬度不同，(111)面的硬度 $>$ (110)面的硬度 $>$ (100)面的硬度。同一晶体不同方向上的硬度也不一样，即 $[110]$ 的硬度 $>$ $[111]$ 的硬度 $>$ $[100]$ 的硬度。

包裹体的存在也影响金刚石的硬度。包裹体愈多，金刚石的硬度愈小。此外，在射线作用下发光强度和发光颜色不同的金刚石，其硬度也不相同。

金刚石的摩擦系数很低，在空气中与金属的摩擦系数低于0.1，所以具有极高的抗磨损性能，它是刚玉的90倍。

2. 解理、断口和脆性 金刚石具有平行八面体的中等解理或完全解理，平行十二面体的不完全解理。断口为贝壳状或参差状。

金刚石虽然硬度很高，但具脆性，在不大的冲击力作用下会使晶体沿解理面裂开。含有包裹体和已经破碎的金刚石碎块，耐冲击力更小。金刚石的任何破损，都会大大降低金刚石的使用价值。因此，必须十分注意防止对金刚石晶体的冲击，以保持晶体完整。

3. 比重 质纯、结晶完好的金刚石比重为3.52，由于金刚石晶体中杂质、包裹体、裂隙的影响，可介于3.47~

表 1-2 矿物和钢及硬质合金结构组分的硬度比较

莫氏硬度	硬度 (按加多 刻划的莫 氏标)	矿物及 特别硬 的物 质	显 微 硬 度			布氏硬度	洛氏硬度 刻 度 C	划刻硬度	钢和硬质合金 的相应硬度的 结构组分
			克 努 伯 K100	维 氏 公厘/毫米 ²	赫 氏 公厘/毫米 ²				
1	1	滑石	—	—	24	—	—	1~21	费氏体、奥氏体 珠光体
2	2	石膏	32	30	36	30	—	10~57	
3	3	方解石	135	180	110	135	—	126~135	
4	4	石英	163	200	190	160	3	138~145	
5	5	磷灰石	360~430	600	540	410	43	870~1740	
6	6	长石	390~560	900	790	510	52	2100~2500	
			680	1100	—	600	60	2500	马丁体
7	7	石英	710~790	1250	1120	640	61	2070~3900	
8	8	黄玉	1130	1350	—	800	71	2700	渗碳体、司太立特 烧结的硬质合金； 二元碳化物、碳化 物*
	9	石榴石	—	—	1430	—	—	2770~4440	
	10	铸造的 二氧化铝	1800	1900	—	HV	RA	—	
	11				—	1300~1500	87~90	—	
					2060	—	—	3900~8300	烧结的硬质合金， 碳化物，复杂的碳 化物**
					2500~3000	HV	RA	—	
9	12	刚玉	2000	2800	2150~2900	1500~1700	90~92	—	
					3000	—	—	—	
	13	碳化硅	2150	3500	—	—	—	—	
10	14	碳化硼	2300	3700	—	—	—	—	
	15	金刚石	5500~7000	8000	10060	—	—	—	

* 含5~15%粘结剂的硬质合金；2Fe₃C, 3Cr₇C的三元碳化物；TaC, Mo₂C等；

** 含1~5%粘结剂的硬质合金，碳化物WC, TiC, ZrC等；复杂碳化物TiC-WC, TaC-WC, TiC-TaC-WC等。

3.56之间。含石墨包裹体多者比重小。颜色不同对比重也有影响。

(三) 光学性质

1. 颜色 纯净的金刚石无色透明，但比较少见。多数金刚石晶体呈不同颜色，最常见的是黄色、浅黄色、绿色、浅绿色、棕色、浅棕色。其次是橙色、黑色等。红色、兰色、玫瑰色、紫色的金刚石比较少见。

2. 光泽 金刚石的光泽按其强弱分为强金刚光泽、金刚光泽和弱金刚光泽三种，也有少量金刚石呈油脂光泽或金属光泽。

3. 透明度 透明度是衡量金刚石质量的重要指标之一，纯净的金刚石透明如水，随所含微迹元素不同，金刚石的透明度分为透明、半透明和不透明三种。

4. 发光性 在射线照射下大部分金刚石晶体能发出天兰色的超紫外线光，也有发黄色光或不发光的。经过曝晒的金刚石在暗室里可以发出淡青色的磷光。

5. 异常干涉色 金刚石为等轴晶系矿物，在正交偏光下的干涉色应为黑色。但实际上很多金刚石的干涉色呈灰色，黄色、粉红色、褐色、少数则具有紫红色条纹。更特殊的是金刚石的干涉色几乎不随厚度的变化而变化，旋转载物台时，其明暗程度也不发生变化。因而观察金刚石异常干涉色时，可以拿金刚石的晶体直接置于偏光镜下观察，不须加工成矿物薄片。异常干涉色为紫红色的金刚石硬而脆，易于损坏，内应力大，不能用于重要位置。

6. 荧光 金刚石在阴极射线、紫外线、X射线的照射下常发出兰、黄、绿等鲜艳的荧光。紫外线照射时不发光的金刚石比发光的金刚石耐磨性强，但在动载作用下，不发光

的金刚石强度最小。

(四) 电磁热性质

1. 电性 金刚石是电的不良导体。15℃时的介电常数 ϵ 为16~16.5, 导电度为 $0.211 \times 10^{-14} \sim 0.309 \times 10^{-18}$ 欧姆 $^{-1}$ 厘米 $^{-1}$ 。随温度的增高, 金刚石的导电度有所增加。有些金刚石具有热电性和光电性, 是半导体的优良材料。所有金刚石都具有摩电性。

2. 磁性 金刚石是非磁性矿物。但某些金刚石晶体, 由于含有磁性包裹体, (如磁铁矿、钛铁矿等)而具有磁性。制造人造金刚石时, 用镍、铬、铁作触媒, 由于带入镍、铁离子有时则有很强的电磁性。通常无磁性的金刚石颜色较浅, 强度较高。

3. 导热性 金刚石晶体的导热性不等, 一般为0.33卡/厘米·秒·度。Ⅱ_a型金刚石导热性能特别良好, 在1/3室温时达到最高值(或者说在液氮温度下为铜的25倍), 并随着温度的升高急剧下降, 如室温时, 为铜的5倍, 200℃时为铜的3倍。

4. 比热 金刚石的比热随着温度的变化而变化。见表1-3。

表 1-3 不同温度时金刚石的比热

比热(卡/克·度)	0.0635	0.0955	0.1128	0.2218	0.3206	0.4408	0.4489	0.4589
温 度(℃)	-505	-106	107	140	247	606.7	806.5	985

5. 热膨胀性 金刚石在低温时, 热膨胀系数极小, 随温度的升高, 膨胀系数迅速增加。见表1-4。

6. 耐热性 金刚石在空气中加热到300℃时开始氧化, 燃点为850~1000℃, 燃烧后形成二氧化碳 $C + O_2 = CO_2 \uparrow$ 。

表 1-4 不同温度时金刚石的热膨胀性

温 度℃	38.8	0	30	50
线膨胀系数	20	5.6×10^{-7}	9.97×10^{-7}	12.86×10^{-7}

在纯氧密封容器中，720~800℃时即燃烧，在空气中温度达500℃时几个微米的金刚石即开始损失，随着温度增高损失量越来越大，晶体颜色也发生变化。900℃时，大颗粒金刚石表面开始疏松，950℃时开始碎裂，1000~1100℃即燃烧，产生蓝色火焰。在绝氧的情况下加热，金刚石晶体在800℃以下保持光亮的色调，2000~3000℃时转化为石墨。

(五) 表面性质

金刚石是碳的结晶体，为非极性矿物，其表面特别是新鲜的表面具有很高的亲油疏水性，湿润接触角为80~120°。

自然界中的金刚石表面往往被污染，有的被覆盖上一层很薄的硅酸盐薄膜或金刚石与其他矿物的结合物。有的表面吸附了氧或其他离子，这些都降低了金刚石的亲油疏水性能。微迹元素的侵入及金刚石晶体中存在的包裹体对金刚石表面的亲油疏水性能也有影响。

(六) 化学性质

金刚石耐酸耐碱，具有很好的化学稳定性。高温下金刚石不与浓的氢氟酸、盐酸、硝酸发生反应，只有在碳酸钠、硝酸钠、硝酸钾的熔融体中，或与重铬酸钾和硫酸的混合物一起煮沸时，金刚石的表面才稍氧化。

金刚石的物理、化学性质见表1-5。金刚石、磨料、工具材料的主要物理力学性质见表1-6。