
金剛石的普查与勘探

《金剛石的普查与勘探》编写组

· 内部发行 ·

地 质 出 版 社

金刚石的普查与勘探

《金刚石的普查与勘探》编写组编写

地质出版社

金刚石的普查与勘探
《金刚石的普查与勘探》编写组编写
(内部发行)

*

国家地质总局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1977年6月北京第一版·1977年6月北京第一次印刷

印数 1—3,200册·定价 1.50元

统一书号: 15036·102

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界里得到自由。

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

前 言

金刚石是现代工业和国防建设不可缺少的矿物原料，也是一种稀有而贵重的宝石，是我国的急缺矿产之一。随着现代工业和科学技术的发展，金刚石的用途愈加广泛，耗用量与日俱增。近几年来，虽然人造金刚石发展很快，但目前只限于小颗粒和低品级，满足不了现代工业和科学技术发展的需要，故天然金刚石资源的开发利用仍然十分重要。我国的金刚石地质事业，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，在各级党组织的领导下，从无到有，从小到大，迅速发展。全国广泛开展了金刚石普查找矿工作，广大地质战士，为与帝、修、反抢时间，争速度，破除迷信，解放思想，遵照毛主席关于“社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动”的教导，广泛发动群众找矿报矿，与工农兵群众一起，发扬一不怕苦，二不怕死的革命精神，攀高山，涉深谷，冒酷暑，战严寒，经过反复实践，深入调查研究，找到了一批金刚石砂矿和原生矿床，发现了大量的找矿线索，为在我国找到更多更富的金刚石矿产资源创造了条件。

在无产阶级文化大革命的推动下，在批林、批孔、和粉碎王张江姚“四人帮”的斗争取得伟大胜利的大好形势下，随着我国社会主义建设事业的迅猛发展，对金刚石资源的需要（特别是高品级的）愈来愈迫切，大力寻找天然金刚石矿产资源乃是当前地质工作的一项光荣而艰巨的战斗任务。为适应金刚石地质工作的需要，根据我国广大地质战士和人民群众积累的找矿经验和资料，参阅国外的有关文献，编写了这本《金刚石的普查与勘探》，就金刚石的特征和用途，金刚石母岩（金伯利岩）的岩石矿物特征、金刚石矿床的主要类型和特征以及普查勘探与选矿方法等作了介绍，以供从事金

刚石矿产普查勘探的专业队伍、教学科研人员和广大地质人员参考。

本书编写过程中,曾得到许多单位和同志们的指导帮助,在此表示衷心的感谢。由于我们水平有限,缺点、错误在所难免,敬请同志们批评指正。

目 录

第一章 金刚石的特征和用途	1
第一节 金刚石的特征	1
一、金刚石的结晶构造	2
二、金刚石的晶体形态及表面特征	4
(一) 金刚石的晶体形态	4
(二) 金刚石晶体的表面特征	15
三、金刚石的主要物理化学性质	16
第二节 金刚石的主要用途	21
第三节 金刚石的分类与工业品级	23
第二章 金伯利岩的岩石矿物特征	27
第一节 金伯利岩的岩石特征	27
一、各类金伯利岩主要特征描述	31
(一) 斑状金伯利岩类	31
(二) 金伯利角砾岩类	42
(三) 金伯利凝灰岩类	46
二、金伯利岩的蚀变、交代作用及风化岩石	48
三、金伯利岩的岩石化学和微量元素	53
四、金伯利岩与其相似岩石的区别	56
(一) 金伯利岩是深部岩浆多次活动的结果	57
(二) 岩石的构造与结构	57
(三) 主要矿物成分及其生成世代	59
(四) 蚀变作用	60
(五) 岩石化学	60
第二节 金伯利岩的矿物特征	62
一、原生矿物	64
镁铝榴石	64

铬铁矿	80
铬透辉石	87
斜方辉石	90
钛矿物	93
锆石	105
碳硅石(α -碳化硅)	106
磷灰石	107
二、次生矿物	109
蛇纹石	109
碳酸盐矿物	109
绿泥石	110
水白云母——蛭石	110
三、捕虏体矿物	111
第三章 金刚石矿床	115
第一节 金伯利岩型金刚石原生矿床	116
一、金伯利岩形成的地质环境和时代	116
(一) 金伯利岩产出的大地构造环境	116
(二) 金伯利岩的空间分布及其与断裂的关系	118
(三) 金伯利岩与其他岩浆岩的关系	135
(四) 金伯利岩形成的时代	151
二、金伯利岩体的地质特征	154
(一) 金伯利岩体的形态、产状、大小和成分	154
(二) 金伯利岩体与围岩的关系	171
三、金伯利岩的含矿(金刚石)性及其影响因素	172
(一) 金伯利岩的含矿性及金刚石 在岩体中的分布特点	172
(二) 影响金伯利岩含矿(金刚石)性的主要因素	186
四、金伯利岩及其所含金刚石的成因	201
(一) 金伯利岩的岩石成因	202
(二) 金刚石的成因	209
五、金伯利岩中有益组份的综合评价	212
第二节 金刚石砂矿床	215
一、金刚石砂矿形成的主要因素	216

二、金刚石砂矿的主要类型和特征	218
(一) 第四纪金刚石砂矿床	218
(二) 前第四纪金刚石砂矿——古砂矿	233
第四章 金刚石矿床的找矿方法	238
第一节 金刚石原生矿床的找矿方法	238
一、金刚石原生矿成矿远景区的选择	238
二、金刚石原生矿床的普查标志	241
(一) 构造标志	241
(二) 岩浆岩标志	242
(三) 岩石碎屑标志	243
(四) 矿物标志	243
(五) 围岩蚀变标志	247
(六) 地球化学标志	248
(七) 地貌标志	249
(八) 土壤、植物标志	250
三、普查找矿的方法及其运用	252
(一) 地质观察法	252
(二) 重砂法	254
(三) 采大样选矿追索法	264
(四) 地球物理法	266
(五) 地球化学法	279
(六) 航空摄影测量	284
第二节 金刚石砂矿的找矿方法	286
一、地貌第四纪地质测量	286
二、重砂采样	288
三、采大样选矿	289
第五章 金刚石矿床的评价与勘探方法	293
第一节 金刚石矿床的一般工业要求	294
第二节 金刚石原生矿床的评价与勘探方法	294
一、金刚石原生矿的评价方法	294
(一) 测制 1:1 千—1:5 千平面或地形地质草图	294
(二) 评价工程的选择	295
二、金刚石原生矿床的勘探方法	296

(一) 矿区地形地质图的测制	297
(二) 勘探手段的选择	297
(三) 勘探工程的布置原则及网度	299
(四) 采样工作	301
(五) 储量计算	309
第三节 金刚石砂矿的评价与勘探方法	314
一、金刚石砂矿的评价方法	314
(一) 地貌第四纪地质测量	314
(二) 评价工程的选择和布置原则	315
(三) 取样工作	316
(四) 综合评价	316
二、金刚石砂矿的勘探方法	316
(一) 勘探方法的选择	317
(二) 勘探工程布置原则及网度的确定	317
(三) 取样工作	317
(四) 矿区水文地质	320
(五) 综合评价	320
(六) 储量计算	320
第六章 金刚石选矿	322
第一节 金刚石砂矿选矿方法	322
一、选矿方法及操作条件	323
(一) 洗矿	323
(二) 筛分	326
(三) 跳汰选	327
(四) 油脂选	336
(五) 粒浮选	338
(六) X光选	341
(七) 镜下手选	343
二、选矿工艺流程	343
(一) 宽级别跳汰选矿工艺流程的特点	344
(二) 窄级别跳汰选矿工艺流程的特点	346
三、选矿设施	346
四、选矿厂场址的选择及设备安装中应注意的问题	347

第二节 金刚石原生矿选矿方法	349
一、选矿方法及操作条件	349
(一) 碎矿	349
(二) 磨矿	351
二、选矿工艺流程	355
三、选矿设施	357
结束语	358
图版及图版说明	361

第一章 金刚石的特征和用途

金刚石(俗称金刚钻)是目前自然界中最硬的矿物,号称世界“硬度之王”。它主要呈斑晶或显微斑晶产于金伯利岩中,也常形成砂矿。金刚石是非常稳定的矿物,具有一系列特殊的物理、化学性质,使之成为现代许多工业上不可缺少的矿物原料。现将其特征和用途分别介绍如下。

第一节 金刚石的特征

金刚石是碳的一种特殊形体,自然界所见自由存在的碳具有三种形体,即无定形碳(非结晶的)和两种结晶体——金刚石和石墨。后两者虽然同属结晶体并且成分相同,但物理、化学性质却差别很大(表1)。这些差别显然是由于它们结晶构造上的不同造成的。

表1 金刚石与石墨常见性质比较表

性 质	金 刚 石	石 墨
晶 系	等 轴 晶 系	六 方 晶 系
颜 色	无 色 或 浅 色	黑 色 或 深 灰
透 明 度	透 明	不 透 明
摩 氏 硬 度	10(自然界最硬的矿物)	1(自然界最软的矿物之一)
比 重	3.47—3.56	2.09—2.23
导 电 性	绝缘体(少数为半导体)	良 导 体
化 学 性 质	不 溶 于 酸 碱	可 溶 于 某 些 酸

一、金刚石的结晶构造

金刚石是碳原子作有规律排列组成的晶体。其原子晶格属于立方面心格子。它的结晶构造是两个立方面心格子的平行迭列体(图1):第二个立方面心格子(图1中的白圈),相当于第一个立方面心格子(图1中的黑点)沿其对顶角线方向平移了四分之一的距离,对应基点坐标分别为 $[000]$ 和 $[\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}]$,碳原子就分布在这两个立方面心格子的结点上。

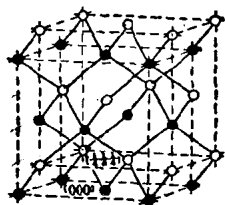


图1 金刚石的结晶构造

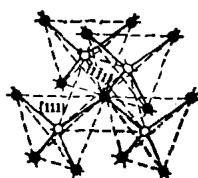


图2 金刚石结晶构造中,碳原子呈四面体状排列

在金刚石的结晶构造中,碳原子呈四面体状排列(图2)。第一、二两个立方面心格子结点上的碳原子,可分别划分成大小相等、方向一致、角顶相互衔接的一组碳四面体 $\{111\}$ 和 $\{1\bar{1}\bar{1}\}$ 。每一个立方面心格子结点上的碳原子,均分布在另一个立方面心格子碳四面体的中心。碳原子的配位数为4。相邻碳原子之间,由于每个碳原子周围的构造环境相同它们相互作用时,不可能有电子的得失而形成离子键,只能各自提供一个电子形成共价键(单键),距离为 1.54\AA (因碳原子的半径为 0.77\AA 。 $\text{\AA}=10^{-7}$ 毫米)。由于共价键具有饱和性和方向性,碳原子间联结十分牢固,这就决定了金刚石具有高硬度、高熔点、不导电(少数为半导体)和化学性质稳定等一系列的特殊性能。

金刚石晶体的内部构造具有高度的对称性排列规律,而能充分反映晶体对称的最小构造单位称之为单位晶胞。金刚石的单位

晶胞有以下两种表示形式(图3)。单位晶胞棱长 $a = 3.56 \text{ \AA}$ (这可以从 $\sqrt{3}a/4 = 1.54 \text{ \AA}$ 进行计算)。单位晶胞中的碳原子数有 8 个。这是因为: 角顶上的碳原子, 同时为八个毗邻的晶胞所共有, 每个

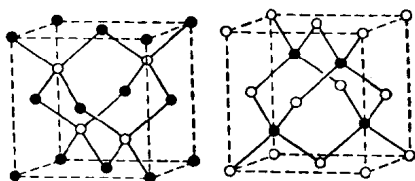


图3 金刚石的单位晶胞

晶胞只占八分之一, 八个角顶上的碳原子对一个单位晶胞来说只能算 1 个; 面中心的碳原子, 同时为两个毗邻的晶胞所共有, 每个晶胞只占二分之一, 六个面中心的碳原子只能算 3 个; 再加上晶胞内的 4 个碳原子, 总共是 8 个。所以金刚石单位晶胞的原子数(Z)为 8。

金刚石属等轴晶系, 六八面体对称型

$$O_h = m\bar{3}m (3L^4 4L^3 6L^2 9PC)。$$

其晶体构造的空间群(结晶构造中一切对称要素组合),

$$O_h^1 = F\frac{4}{d}\bar{3}\frac{2}{m}, \text{ 即 } Fd\bar{3}m。$$

现将其空间群分析如下(图4): 平移群是立方面心格子, 记为 F ; $[001]$ 的对称要素, 以右旋四次螺旋轴和与其垂直的 d 象移面为代表, 记为 $\frac{4}{d}$; $[111]$ 的对称要素, 以三次倒转轴为代表, 记为 $\bar{3}$; $[110]$ 的对称要素, 以二次对称轴和与其垂直的对称面为代表, 记为 $\frac{2}{m}$ 。

综上所述, 金刚石的构造常数如下: 成分为 C ; 晶系为等轴晶系; 空间群 $O_h^1 = Fd\bar{3}m$; 单位晶胞棱长 $a = 3.56 \text{ \AA}$; 单位晶胞中的原子数 $Z = 8$ 。

石墨的结晶构造与金刚石有本质上的不同(图5)。在石墨的结晶构造中, 碳原子呈片状排列为平面六角形网。平面网中的碳原

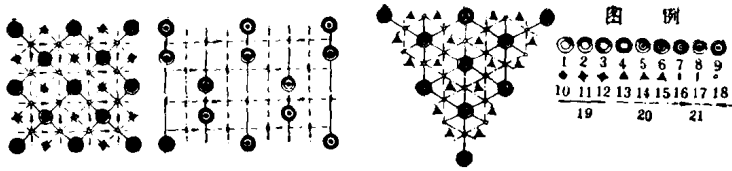


图4 金刚石(001)、(110)、(111)的构造投影图

1、2、3、4、5、6、7、8、9—碳原子，依次分别高 $(n+1/4)a$ 、 $(n+1/2)a$ 、 $(n+3/4)a$ 、 $(n+1)a$ 、 $(n+1/3)\sqrt{3}a$ 、 $(n+2/3)\sqrt{3}a$ 、 $(n+1)\sqrt{3}a$ 、 $(n+1/2)\sqrt{2}a/2$ 、 $(n+1)\sqrt{2}a/2$ 。n为自然数；10—四次倒转轴；11—右旋四次螺旋轴；12—左旋四次螺旋轴；13—三次倒转轴；14—右旋三次螺旋轴；15—左旋三次螺旋轴；16—二次对称轴；17—二次螺旋轴；18—对称中心；19—对称面；20—n象移面，平移矢量为 $a/4 \pm b/4 + c/2$ 、 $b/4 \pm c/4 + a/2$ 或 $a/4 \pm c/4 + b/2$ ；21—d象移面，平移矢量为 $a/4 \pm c/4$ 、 $b/4 \pm c/4$ 或 $a/4 \pm b/4$

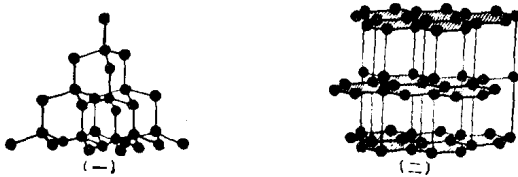


图5 金刚石(一)与石墨(二)结晶构造对比图

子以共价键——金属键相联结，碳原子之间的距离为 1.42\AA ；而平面网之间的碳原子距离为 3.40\AA ，碳原子间以分子键保持联系。所以，成分相同的两种矿物，因结晶构造不同，性质也差别很大。

二、金刚石的晶体形态及表面特征

(一)金刚石的晶体形态

金刚石的晶体形态取决于金刚石的结晶构造和其生长过程中的物化环境。在金刚石的空间格子中，不在同一直线上的任意三个结点，便可决定一个面网，这些面网都相当于可能的晶面。通过一百多个面网的实际计算，发现金刚石的面网密度和面网间距(表2)具有如下规律：面网密度(单位 $1/a^2$)的绝对值等于晶面符

表 2 金刚石的面网密度和面网间距

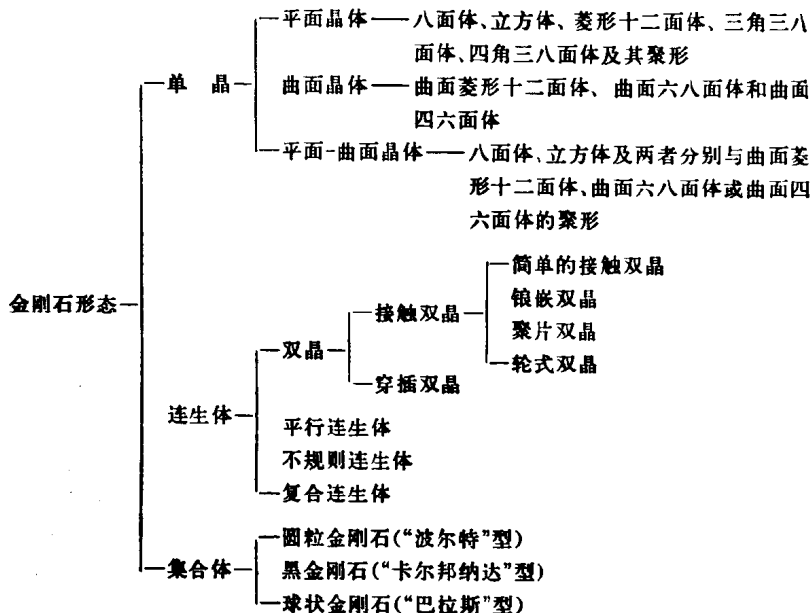
晶面符号	面网密度 ($1/a^2$)	面网间距 (a)	晶面符号	面网密度 ($1/a^2$)	面网间距 (a)
(110)	2.828	0.354	(332)	0.853	0.107
(111)	2.309	0.144 0.433	(431)和(510)	0.784	0.098
(100)	2	0.25	(511)	0.770	0.048 0.144
(211)	1.633	0.204	(521)	0.730	0.091
(310)	1.265	0.158	(433)和(530)	0.686	0.086
(311)	1.206	0.075 0.226	(531)	0.676	0.042 0.127
(321)	1.069	0.134	(221)	0.667	0.033
(411)	0.943	0.118	(532)和(611)	0.649	0.081
(331)	0.918	0.057 0.172	(541)	0.617	0.077
(210)	0.894	0.112	(533)	0.610	0.038 0.114

号(米氏符号)三数平方之和的平方根除四或除二, 三数中有两数为奇数或均为奇数时除四, 其余除二; 面网间距(单位 a)的绝对值一般等于面网密度的八分之一(因为 $Z=8$), 唯晶面符号三数均为奇数的面网, 面网间距疏密相间, 其绝对值分别等于面网密度的十六分之一和十六分之三。经计算表明(见表 2), 金刚石可出现的晶形有八面体、菱形十二面体、立方体、四角三八面体、四六面体、六八面体、三角三八面体及它们的聚形。金刚石各面网的生长是有规律的, 密度较大的面网, 生长速度较慢, 晶面便发育。(111)面网比较特殊, 疏密相间, 面网间距 1:3 ($0.144a$ 和 $0.433a$), 面网间键的密度 3:1 ($6.929/a^2$ 和 $2.309/a^2$), 面网间距小的双层面网构成一同时生长的面网组, 其面网密度最大, 为 $2.309/a^2 \times 2 = 4.618/a^2$ 。

根据布拉维法则——实际晶体往往为面网密度最大的面网所包围,故金刚石应结晶为八面体。然而金刚石在结晶过程中,由于物理化学环境的差异,(111)面网组在三度空间的生长形式是多种多样的,有逐层生长、阶梯状生长、多中心的阶梯状生长等。密集的生长阶梯及密集的分叉顶角,分别可组成菱形十二面体、三角三八面体、立方体或四角三八面体等晶面,这就导致了金刚石结晶形态的多样性。此外,金刚石在结晶后期,因受残余岩浆溶解和腐蚀作用,更使金刚石晶体形态复杂化。

金刚石有多种多样的平面晶体、曲面晶体和平面-曲面晶体,这些晶体不仅呈单晶出现,还经常组成各种连生体和集合体,前者由单体连生而成,后者由许多细小晶体或隐晶质聚合而成,其形态分类见表3。今将各类主要晶体特征分述如下:

表3 金刚石形态分类表



1. 单晶

金刚石单晶,按成因分为平面晶体、曲面晶体和平面-曲面晶