

中国工业矿物和岩石

下 册

张培元 主编

235

地质出版社

中国工业矿物和岩石

下 册

张培元 主编

地质出版社

内 容 简 介

本书是对我国建国30多年来工业矿物和岩石的经济地质工作的总结。全书分上下两册共38章,包括40余种非金属矿产资源。上册20章,包括石灰岩、白云岩、粘土和页岩、浮石和火山灰、石膏和硬石膏、石英、长石、高岭土、耐火粘土、叶蜡石、滑石、菱镁矿、石墨、石棉、云母、硅藻土、珍珠岩、大理石、砂和卵石等;下册18章,包括金刚石、重晶石、冰洲石、萤石、蓝晶石族矿物、蓝石棉、明矾石、沸石、硅灰石、蛭石、膨润土、凹凸棒石粘土、海泡石粘土、硫、硼、钾盐、芒硝、天然碱等。对每种工业矿物或岩石的定义、用途、地质工作概况、矿石特性、矿床类型及实例、矿床分布规律、工业技术要求、找矿勘探要点、矿床经济评价、资源现状和趋势分别作了概要的论述,并提供了相应的具体材料。

本书可供从事资源勘查、矿床研究的地质人员作为参考手册,也可供矿山采选技术人员及地质、采矿大专院校有关师生参考。

中国工业矿物和岩石

下 册

张培元 主编

责任编辑:刘乃隆 李云浮

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 25³/₈ 铜版插页: 6页 字数: 603,000

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数: 1—2,305册 国内定价: 6.35元

ISBN 7-116-00070-4/P.061

统一书号: 13038·新471

目 录

第二十一章	金刚石 (张培元)	1
第二十二章	重晶石 (杨永德)	26
第二十三章	冰洲石 (康春华)	46
第二十四章	萤石 (沈福农)	60
第二十五章	蓝晶石族矿物 (赵秀德)	80
第二十六章	蓝石棉 (袁建伟)	99
第二十七章	明矾石 (魏东岩)	137
第二十八章	沸石 (李民贤)	149
第二十九章	硅灰石 (沈福农)	170
第三十章	蛭石 (李振忠)	189
第三十一章	膨润土 (王鸿禧)	213
第三十二章	凹凸棒石粘土 (王鸿禧)	241
第三十三章	海泡石粘土 (王鸿禧)	271
第三十四章	硫 (赵晓)	292
第三十五章	硼 (李东明, 杨谦, 宋克勤)	325
第三十六章	钾盐 (曲一华)	343
第三十七章	芒硝 (魏东岩)	373
第三十八章	天然碱 (魏东岩)	388
照片说明		402
照片		404

第二十一章 金 刚 石

概 述

金刚石俗名金刚钻，经加工的宝石级金刚石称为钻石。它是现代工业和科学技术上不可缺少的重要矿物原料，也是一种极其稀有而珍贵的宝石。

金刚石的特征 金刚石是碳的结晶体，属等轴晶系，六八面体对称型，其原子晶格为立方面心格子。金刚石的单位晶胞大小 $a_0 = 3.56 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm}$)，单位晶胞中碳原子之间的距离为 $1.54 \text{ \AA}$ 。

金刚石的晶体形态是多种多样的。八面体最常见，菱形十二面体和立方体较少，三角三八面体和四角三八面体更少。除这种平面晶体外，还有曲面晶体——曲面八面体、曲面菱形十二面体、曲面立方体、曲面六八面体和曲面四六面体等单形，以及由这些平面晶体或平面与曲面晶体构成的聚形（图21.1）。此外，金刚石晶体还常常连生在一起，组成各种连生体；当其有规律地沿（111）面互相接触或互相穿插时，则形成“接触双晶”和“穿插双晶”。

金刚石晶体的晶面上，常常由于生长或溶蚀形成阶梯状或凹凸不平的“晶面雕刻象”。曲面菱形十二面体常有阴暗条纹，八面体上往往有倒三角形的凹坑，立方体上则出现平底的四边形凹坑。此外，金刚石晶面上的蚀象很发育，常见的有叠瓦状、棱柱状、瘤状、蛀穴状、毛玻璃状等。

金刚石晶体除了完整的晶形外，多数是不完整的，有的呈不规则状、浑圆状，也有的呈碎片状。此外，还有少量聚晶出现，按其微晶聚合的特点，可分圆粒金刚石和黑金刚石。

金刚石的颜色多种多样，较常见的有黄色、烟灰色、棕褐色，还有乳白色、绿色、淡蓝色、玻璃色、紫色和黑色等。无色透明的金刚石很少见。一般认为以混合物的形式存在于金刚石中的元素是金刚石具有不同颜色的原因。

金刚石绝大多数是透明的，但也有半透明和不透明的。光泽为金刚光泽。由于金刚石对不同光线具有不同的折射率，并具有很高的色散本领，致使金刚石具有特别明亮的光泽和鲜艳的色彩。透明金刚石在阴极射线、紫外线和X射线照射下，会发出不同颜色的荧光，无色透明的金刚石大多发蓝色、天蓝色荧光，其它类型的金刚石往往发黄绿色荧光。

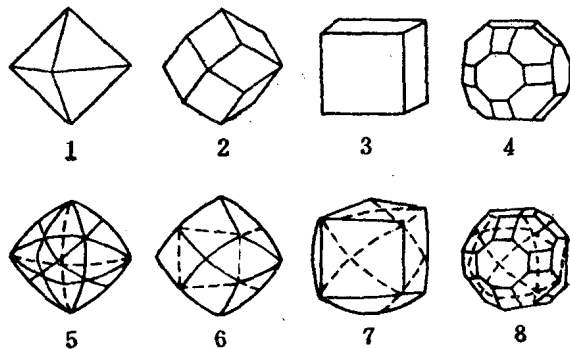


图 21.1 金刚石的常见晶体

1—八面体；2—菱形十二面体；3—立方体；4—八面体、立方体与菱形十二面体的聚形；5—曲面八面体；6—曲面菱形十二面体；7—曲面立方体；8—曲面八面体、曲面立方体与曲面菱形十二面体的聚形

金刚石是自然界中最硬的矿物，它的硬度差不多超过石英1000倍，是刚玉的150倍，是碳化硼、碳化硅的2—3倍，是硬质合金的6倍。其摩氏硬度为10。金刚石的硬度依其晶格形状不同而不同，八面体硬度最大，立方体较小。

金刚石有极大的弹性模量（刚度、强度），它超过自然界所有矿物及其它主要磨削材料，其弹性模量为90000kg/mm。加之摩擦系数小，因此有极高的抗磨能力。但金刚石很脆，用铁锤一敲即碎。1982年辽宁滨海金刚石公司开采50号金刚石原生矿时，发现一颗重达20多克拉的无色透明的宝石级金刚石，被一无知的临时工用铁锤一敲，破碎成20多小块，价值损失约十万元，实为可惜。

金刚石的比重在3.47—3.56之间（理论计算值为3.511），其大小取决于其中所含包裹体的特性及数量。常见的包裹体有石墨、镁铝榴石、铬铁矿、橄榄石和锆石等。

绝大多数金刚石是电介质，电阻率很大，为 $5 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。有一种天蓝色的金刚石（既Ⅱ_b型金刚石）电阻率很低，是极好的半导体材料。

金刚石的化学性质非常稳定，极难溶于酸和碱，王水对它也不起作用。金刚石仅仅氧化或燃烧于硝酸钠、硝酸钾及碳酸钠的熔融体中。

金刚石的熔点约为4000℃。在空气中燃烧温度为850—1000℃，在纯氧中为720—800℃。金刚石燃烧时发出浅蓝色的火焰，最后变成二氧化碳。

金刚石的分类 金刚石分天然和人造两大类。根据金刚石的光学和热电性能，将金刚石分成Ⅰ型和Ⅱ型。Ⅰ型金刚石是绝缘体，又可进一步分为Ⅰ_a型和Ⅰ_b型。Ⅱ型金刚石又可分为Ⅱ_a型和Ⅱ_b型。Ⅰ_a型金刚石具有极好的透光性和导热性，Ⅱ_b型金刚石是半导体。

现在已经基本查明Ⅰ型与Ⅱ型金刚石物理性质不同的原因，主要是由于杂质氮含量和存在形式的不同。

Ⅰ_a型金刚石是最常见的金刚石，绝大部分天然金刚石都属这一类型。这种金刚石含杂质氮较多，达0.1—0.2%。氮呈小片状体存在于金刚石的晶格中。由于它们的存在，降低了金刚石热导率等物理性质。

Ⅰ_b型金刚石在自然界很稀罕，绝大部分人造金刚石属于这一类型。Ⅰ_b型金刚石也含有氮，但量少且呈分散的方式存在于金刚石的晶格中，致使金刚石具有特征的琥珀黄色。

Ⅱ_a型金刚石大约占天然金刚石的2%，氮含量极少，呈游离方式存在，致使金刚石具特别的解理性质，并提高了光学和热学性质。

Ⅱ_b型金刚石在自然界非常稀少，约占天然金刚石的千分之一。晶体中几乎不含氮，含极少量的硼，呈天蓝色，是极好的半导体材料。

关于Ⅰ、Ⅱ型金刚石特征的区别，详见表21.1。

金刚石的用途和质量要求 根据金刚石的质量，可分宝石级金刚石和工业级金刚石。宝石级金刚石都是天然的，而人造金刚石由于颗粒一般细小，脆性大，目前只能作低品级工业金刚石。

宝石级金刚石光彩夺目，硬度极大，是宝石中最珍贵的，誉为“宝石之王”，可以琢磨成各式各样的装饰品。它的价格十分昂贵，一般比黄金贵几百倍。其质量一般要求是，颗粒大小，越大越贵重，最小不得小于0.1克拉；晶体完整，或最小的两个垂直径长之比不小于一比二的晶体碎块；颜色以无色、天蓝色和浅粉红色最佳，鲜艳的蓝色、粉红色也较好，浅黄色较次；透明度越高越好，半透明的也可以；高档宝石级金刚石不允许有裂

表 21.1 I 型和 II 型金刚石特征比较表

类 型 性 质	I		II	
	I a	I b	II a	II b
在红外线区域的吸收	在波长为3—13 μm 范围内吸收		在3—6 μm 范围内吸收 在6—13 μm 范围内不吸收	
在紫外线区域的吸收	在波长小于3000 $\text{\AA}$ 时全吸收		在波长小于2250 $\text{\AA}$ 时吸收	
X射线衍射	显示出附加的斑点和条纹		正常	
光导性	差		好	
导热性	好		导热性极好, 液氮温度下为铜的2.5倍, 室温时为铜的5倍	好
导电性	绝缘体, 比电阻 $>10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$		绝缘体, 比电阻 $>10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$	P型半导体。比电阻 $10-10^{13}\Omega\cdot\text{cm}$, 当温度上升到600 $^{\circ}\text{C}$ 或下降到-150 $^{\circ}\text{C}$ 时, 其电阻提高
其 他	多为平面晶体, 具有较好的几何形态		多为曲面晶体或平面一曲面晶体, 解理面好, 破裂比I型顺利完全	

纹、色斑和包裹体, 若晶体表面有裂纹、色斑和包裹体, 就降为低档宝石级金刚石。

工业级金刚石被广泛应用于地质勘探、石油和矿山开采、机械制造、光学仪器加工、电子工业和空间技术等现代工业和尖端科学技术。用于工业上的金刚石占世界金刚石总产量的75%以上。金刚石的主要用途和技术要求如下:

II型金刚石在电子工业和空间技术上具有特殊用途。II_a型金刚石用作人造卫星、宇宙飞船和远程导弹上的红外激光器的窗口材料、微型或高功率电子器件的散热片等。II_b型金刚石可用作通讯卫星和大功率半导体器件、灵敏温度计、计数器和核辐射探测器等。

I型金刚石的用途非常广泛, 主要用途是:

1. 金刚石车刀 广泛用于汽车、航空工业, 对发动机的关键部件, 如连杆、活塞、汽门等作最终的表面加工; 在机械、化学、电气工业中加工不锈钢、非铁金属、塑料及陶瓷等非金属材料。使用金刚石车刀车出的零件均匀、光滑、质量好, 而且能大大提高车床的生产率。例如, 加工塑料时, 用金刚石车刀的成品率要比碳化物车刀的成品率高900倍。用来做车刀的金刚石要求晶体完整, 其大小为0.7—3克拉, 晶体内部无裂纹、包体和气泡。用于刻划精密仪器、代表刻度和雕刻用的金刚石刻线刀, 其要求是, 晶体完整, 形状为长形; 晶体一端不允许有裂纹和包体; 其大小为0.1—0.55克拉。

2. 金刚石拉丝模 主要用于电气和精密仪表工业, 拉制灯丝、电线、钢缆等各种金属丝和织物丝。用金刚石拉丝模能拉出特别光滑而均匀的金属丝, 而且能加快拉制速度, 提高生产效率。做拉丝模用的金刚石, 采用完整的各种单形及聚形, 其大小为0.1—1.25克拉, 要求无色或浅色、透明、无裂纹、无包体等缺陷的金刚石。

3. 砂轮刀用金刚石 主要用于修整砂轮的工作表面, 赋予它工作精度和特定形状。用于修整工具用的金刚石, 一般要求每个晶体至少有三个棱角, 顶角处不允许有裂纹和包体, 其大小为0.3—3克拉。

4. 金刚石测量仪器 主要用做硬度计压头、表面光洁度测量仪测头、自动测量用的探头等。制作硬度计压头的金刚石, 要求晶形完整, 无裂纹, 无包体, 其大小为0.1—0.3克拉。

5. 金刚石钻头 制造金刚石钻头是金刚石的重要用途, 其消耗量占工业金刚石总消耗量的15—20%。金刚石钻头主要用于地质勘探、石油钻进和打爆破眼等。钻头用的金刚石以近似球形的为好, 其大小为0.01—3克拉。若制造孕镶钻头用的金刚石也可采用较粗粒度的磨料级金刚石。

6. 颗粒较大的金刚石还可制作玻璃刀、雕刻笔、唱针、喷嘴、轴承和光学元件等。

7. 磨料级金刚石除主要用于制作金刚石砂轮外, 还用于锯片、磨头、研磨油石、砂带等。

总之, 随着现代工业和科学技术的发展以及对金刚石物性的深入认识, 金刚石的使用范围正在不断扩大, 它在国民经济建设和国防尖端工业中的作用也将越来越重要。

我国金刚石地质工作简史 金刚石在自然界分布稀少, 找寻金刚石矿床十分困难。据文献记载, 我国最早发现金刚石是清朝道光年间(1821—1850), 当时湖南省西部的农民在沅水流域的常德、桃源等地淘洗砂金时曾发现过金刚石, 大约在同一时期, 山东省沂河流域的郯城地区的农民种田时拾到过金刚石。在此以后的一百多年间, 除1940年胡伯素在沅水流域作过金刚石概略地质调查外, 我国没有系统开展金刚石找矿工作, 资源底数不清。

1949年新中国成立后, 在党和政府的关怀下, 金刚石地质工作得到了重视。1953年地质部成立了金刚石普查队, 赴山东省南部地区开展金刚石普查工作, 因缺乏经验, 未获重要地质成果。1954年该普查队(先后命名为地质部沅水队和湖南省地质局413队), 转移到湖南沅水流域开展金刚石找矿, 经过十年普查勘探, 先后在常德、桃源、黔阳等地首次探明了我国具有经济价值的金刚石砂矿。五十年代末至六十年代初, 山东、贵州、广西、江苏等省、区地质局相继成立了金刚石专业地质队, 加强了金刚石普查, 取得了一批地质成果。在山东郯城地区找到了小型金刚石砂矿, 在其他许多省、区也发现了不少金刚石找矿线索。

为促进和推动金刚石地质工作的开展, 1960年地质部在湖南长沙召开了金刚石地质工作座谈会, 提出了普查金刚石原生矿和砂矿同时并举的方针。1963年, 地质部和建工部共同组成地质考察组赴坦桑尼亚考察金刚石原生矿, 开阔了眼界, 学到了找矿方法。1964年, 地质部在山东临沂召开了全国金刚石地质工作会议, 分析了我国金刚石成矿条件, 重新部署了金刚石找矿工作, 并推广了坦桑尼亚的找矿经验。通过这些会议, 明确了找矿方向和找矿方法, 极大地增强了地质战线广大职工寻找金刚石原生矿的信心。1965年7、8月, 贵州省地质局101队和山东省地质局809队(现改名为第七地质队), 在以往多年工作的基础上, 采用重砂测量和地质调查方法, 分别在黔东和沂蒙山区发现了我国过去没有发现过的具有经济价值的金伯利岩型金刚石原生矿。以后, 在山东沂蒙山区又有一些新的重大发现, 使该区成为我国第一个重要的金刚石原生矿开发基地。

根据成矿预测,辽东半岛具有金伯利岩型金刚石原生矿形成的地质条件。1965年以来,辽宁省地质局成立了金刚石普查队在辽东地区开展了金刚石找矿工作,历时五年,因选区不当,成效甚少。1972年,辽宁省地质局区域地质调查队在辽南地区开展1/200000区域地质调查时,发现了金伯利岩。以后,经辽宁省地质局第六地质队系统进行金刚石的普查勘探,历时十年,终于继山东省地质局七队之后,为国家又提供了一个规模较大、品位较高、质量较好的金刚石原生矿开发基地。此外,七十年代以来,河南、湖北等省地质局也相继开展了金刚石找矿工作,发现了不少金刚石的重要找矿线索。

金 刚 石 矿 床

按成因类型,金刚石矿床可分原生矿和砂矿两大类。现分述如下:

金刚石原生矿 目前世界上具有经济价值的金刚石原生矿有两个类型,一是金伯利岩型金刚石原生矿,二是钾镁煌斑岩(lamproite)型金刚石原生矿。迄今,我国仅发现金伯利岩型金刚石原生矿,尚未找到钾镁煌斑岩型金刚石原生矿。

1. 金伯利岩型金刚石原生矿 自从1870年在南非联邦首次发现金伯利岩型金刚石原生矿以来,在世界各古老地台上几乎都发现了金伯利岩或金伯利岩型金刚石原生矿。其中,非洲—阿拉伯地台和西伯利亚地台上产出的金伯利岩型金刚石原生矿,具有最重要的经济价值。我国已发现的金伯利岩型金刚石原生矿主要分布在山东沂蒙山区和辽宁南部地区,其次是贵州东部地区。它们均位于我国几个前震旦纪的古老地台上,迄今在地槽区或褶皱带尚未发现金刚石原生矿。

山东、辽宁含金刚石的金伯利岩岩体,分别产于华北地台鲁西台背斜的隆起区和辽东台隆的坳陷区,并分别位于北北东向郯城—庐江深断裂带的西、东两侧约40—70km处。金伯利岩岩体呈岩筒和岩脉成群产出,成带展布,严格地受一定方向的小断裂和裂隙性构造控制。山东沂蒙山区和辽宁南部地区,目前均已发现三个含金刚石的金伯利岩岩带,前者呈北北东向延伸,后者呈北东东向展布。与金伯利岩相伴产出的暗色脉岩有辉绿岩、煌斑岩和橄榄玄武岩等。

贵州含金刚石的金伯利岩岩体产于扬子地台江南台隆和上扬子台褶皱带的交汇地区,位于北北东向宜昌—都匀深断裂带和近东西向的贵阳—芷江断裂带的交接地带。已发现的金伯利岩岩脉,明显地受近东西向小断裂和密集节理带控制,并成群成带展布。附近出露的偏碱性超基性岩有橄辉岩、橄辉云煌岩、云母橄榄岩和苦橄玢岩等。

根据地质和同位素资料,山东沂蒙山区和辽宁南部地区金伯利岩的形成时代为晚奥陶

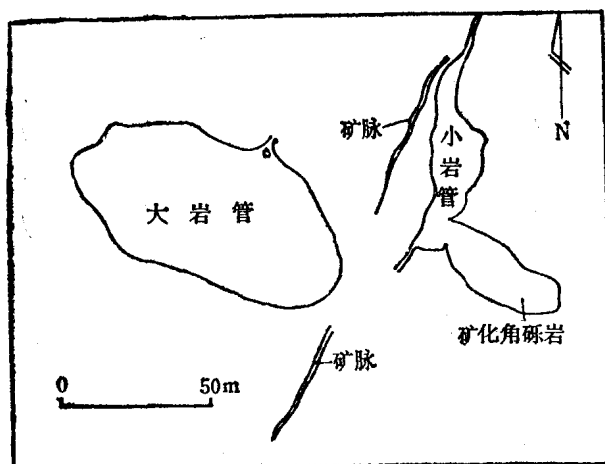


图 21.2 山东蒙阴胜利1号大小岩管地表形态

世,距今约480Ma,贵州东部地区的金伯利岩是在300Ma前的泥盆纪形成的。

(1) 山东蒙阴胜利1号金伯利岩岩管

蒙阴胜利1号金伯利岩岩管出露于太古界泰山群的黑云母斜长片麻岩中,由大、小两个岩管组成。大、小岩管在地表相距约20m,在垂深250m以下两岩管合并成一个岩管,垂直向下延伸很大,钻探打到600m的深度尚未穿透。其地表形态见图21.2。

大岩管在地表呈椭圆状,长轴走向300°,长98m,宽50m。主要由斑状金伯利岩和金伯利角砾岩组成。小岩管呈长条状,长108m,宽15m。其岩性,北东段主要是斑状镁铝榴石金伯利岩,南东段主要是金伯利角砾岩。大、小岩管产于北北东向压扭性断裂和北西向断裂的交汇部位,岩管的形态、产状主要受这两组断裂控制。岩管产状近于直立。

充填岩管的金伯利岩,主要是斑状金伯利岩,其次是金伯利角砾岩。斑状金伯利岩新鲜而多呈灰、灰绿、灰蓝、黑绿色,风化后颜色变浅。具块状构造,明显的斑状结构,常见斑晶矿物有呈橄榄石假象的蛇纹石、金云母、镁铝榴石、铬铁矿,极少量的镁钛铁矿、铬透辉石。斑晶矿物呈浑圆状,少数呈棱角状碎块。斑晶含量一般为10—30%,高者可达60%。斑晶大小相差悬殊,一般为0.5—1cm,大者可达10cm。基质为显微斑状结构,主要由呈橄榄石假象的蛇纹石、金云母、磁铁矿、铬铁矿、磷灰石、钙钛矿以及碳酸盐等次生矿物组成。金伯利角砾岩呈褐红、灰蓝的混杂色调,它由角砾(岩石碎屑)和胶结物两部分组成,具明显的角砾状构造。有两种类型的捕虏体:一是深源包体,多呈浑圆形,其岩性主要是纯橄岩、石榴石橄榄岩、尖晶石斜辉橄榄岩等;二是外来围岩的捕虏体,其岩性主要是片麻岩、混合岩和灰岩。角砾的含量一般在40—60%之间,局部地段高达80%。角砾大小相差悬殊,大的片麻岩捕虏体的直径有几米,小的只有几厘米。分布杂碎。胶结物主要是斑状金伯利岩。

斑状金伯利岩的化学成分(62个样品分析的平均数据)如下:

组分	含量(%)	组分	含量(%)
SiO ₂	33.16	CaO	8.35
TiO ₂	1.77	Na ₂ O	0.102
Al ₂ O ₃	2.45	K ₂ O	0.673
Fe ₂ O ₃	6.81	F ₂ O ₅	0.70
FeO	2.03	H ₂ O	7.00
MnO	0.15	CO ₂	4.85
MgO	28.00	总计	96.05

根据蒙阴地区的区域地质特征和胜利1号金伯利岩岩管的形态、产状及其岩性特征,判断该岩管剥蚀深度至少为1000m,岩管的火山口、岩颈部分被剥蚀掉了,剩下的是岩管的根部。因此,目前在地表看到的岩管同围岩呈侵入接触关系,见不到爆发的特征。

金伯利岩中金刚石的含量很高,但质量较差,以碎粒级为主,宝石级和优质工业级金刚石较少。该岩管自开采以来曾发现不少大颗粒的宝石级金刚石,其中最大的一颗是1983年11月14日发现的,重119.01克拉,取名为“蒙山1号”。

(2) 辽宁复县头道沟50号金伯利岩岩管

50号岩管出露于元古界蓟县系石英砂岩和粉砂岩中,受东西向和北东向两组断裂构造控制。岩管的地表形态呈不规则的菱形(见图21.3),长轴为东西向,长约275m,其东段

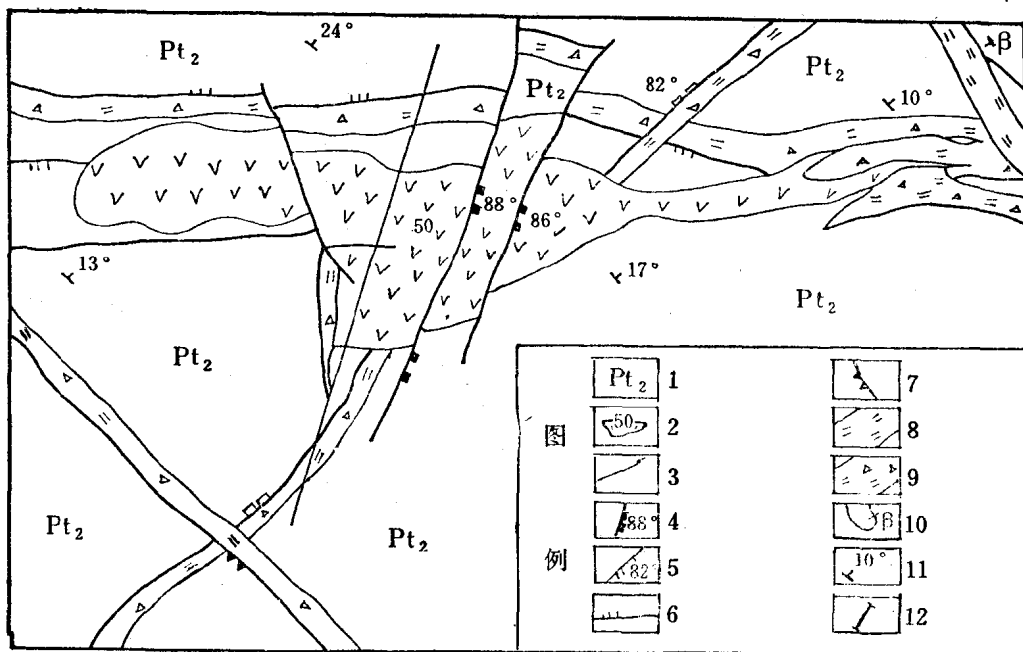


图 21.3 辽宁复县50号岩管平面图

1—蓟县系桥头组石英砂岩、粉砂岩；2—金伯利岩管及编号；3—断层；4—北北东向断层；5—北东向断层；6—东西向断层；7—北西向断层；8—密集节理带；9—挤压破碎带；10—辉绿岩；11—地层产状；12—剖面线位置

长约100m，为脉状体，短轴呈南北向，宽约65m，总体倾向南东，倾角85°。岩管向深部略有增大，但在垂深240m左右，岩管很快收缩成脉状（见图21.4）。

岩管中金伯利岩岩性主要有金伯利凝灰角砾岩、斑状金伯利岩和斑状富金云母金伯利岩。在金伯利凝灰角砾岩中见到有深源包体和寒武系结晶灰岩、鲕状灰岩等捕虏体。深源包体的岩石种类有纯橄榄岩、石榴石橄榄岩、尖晶石橄榄岩、含金刚石榴石二辉橄榄岩和橄榄云母岩等。斑状金伯利岩具有明显的圆斑结构，斑晶主要是呈橄榄石（第一世代）假象的蛇纹石、金云母，还有少量含铬镁铝榴石、铬铁矿等，多呈浑圆形；基质主要是呈橄榄石（第二、三世代）假象的蛇纹石、金云母、方解石、磷灰石、磁铁矿、铬铁矿、钙钛矿、金红石、锆石、碳硅石和透辉石等。

斑状金伯利岩的化学成分如下：

组分	含量 (%)	组分	含量 (%)
SiO ₂	33.41	NiO	0.19

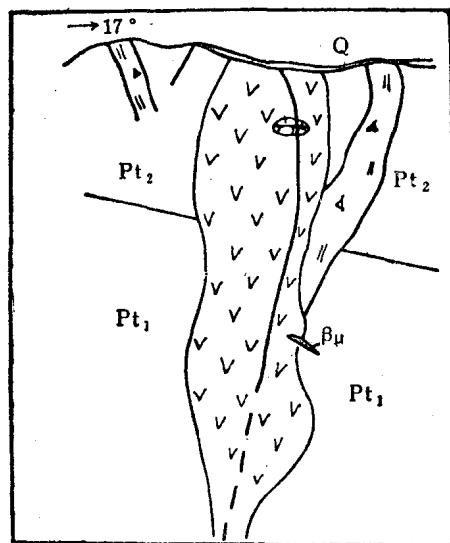


图 21.4 辽宁复县50号岩管剖面图

Pt₂—蓟县系桥头组石英砂岩、粉砂岩；Pt₂—蓟县系南芬组页岩、粉砂岩；β_μ—辉绿岩

TiO ₂	0.98	CaO	7.13
Al ₂ O ₃	1.98	Na ₂ O	0.16
Cr ₂ O ₃	0.25	K ₂ O	0.59
Fe ₂ O ₃	5.40	P ₂ O ₅	0.56
MnO	0.09	CO ₂	10.46
FeO	4.02	H ₂ O	8.27
MgO	26.70	总计	100.2

辽宁复县50号金伯利岩岩管自奥陶纪形成以来,经过长期的风化剥蚀和侵蚀,剥蚀深度也较大。岩管中见有寒武系的灰岩碎块,说明该岩管形成时,上部有寒武系的沉积盖层,而目前矿区寒武系地层已剥蚀殆尽,出露的是元古界蓟县系,推断50号岩管的剥蚀深度约900m。

金伯利岩中金刚石的品位高,质量好,大多数无色透明、无裂隙、无包体、晶形完整,以优质工业级和宝石级金刚石为主,碎粒级金刚石较少。该岩管自开采以来,发现最大的一颗宝石级金刚石重40克拉。

2. 钾镁煌斑岩型金刚石原生矿 长期以来,人们一直把金伯利岩看作金刚石原生矿的唯一类型。1975年以来,在西澳大利亚金伯利地区发现了一种新的含金刚石的母岩——钾镁煌斑岩。其中AK₁岩管具有很大的经济价值。该岩管地表面积为450,000m²,金刚石含量2.7—7克拉/吨,估算储量约6亿克拉,但金刚石质量较差,宝石级金刚石仅占6%。据澳大利亚CRA公司1984年报导了计划于1986年投产,年产金刚石2500万克拉,相当于目前世界天然金刚石产量的一半。西澳含金金刚石钾镁煌斑岩的发现,对金刚石成矿条件和找矿实践具有重大意义,将进一步扩大金刚石的找矿领域。

到目前为止,世界上已发现的含金刚石的钾镁煌斑岩主要分布在西澳金伯利地区 and 美国的阿肯色州。阿肯色州含金刚石的“大草原溪”岩管,过去被定为由金伯利岩和云母橄榄岩组成,通过近几年的研究,发现其实际组成岩石是钾镁煌斑岩。西澳金伯利地区至今共发现100多个钾镁煌斑岩岩体,呈岩管、岩颈、岩床和少量岩墙产出,其中最大的钾镁煌斑岩岩管,地表面积为1,240,000m²。它们成群产出,成带展布。主要产于金伯利地块西南部和东部边缘(元古代地台)的断裂活动带中,与超钾质火山岩共生。已知最年轻的含金刚石的钾镁煌斑岩的时代为中新世,同位素年龄为19—25Ma,最老的为晚元古代,同位素年龄为1200Ma,这与金伯利岩型金刚石原生矿产出的地质背景有所不同,含金刚石的金伯利岩主要产于太古代地台的相对稳定地区,受地台上深断裂带两侧的次一级断裂控制,区域上往往有偏碱性超基性岩分布。至今世界上还没有发现具经济价值的新生代的金伯利岩型金刚石原生矿。

西澳含金刚石的钾镁煌斑岩具角砾状构造或块状构造。角砾中除围岩碎屑外,还有深源包体,主要是二辉橄榄岩和方辉橄榄岩。具斑状结构或岩屑、晶屑结构,主要矿物为橄榄石、金云母、斜方辉石、透辉石、铬尖晶石、石榴石、富钾碱镁闪石、红柱石、钾钙钒铈石和磷灰石等,还有少量的镁铝榴石、锆石、钙钛矿、金红石、磁铁矿等。橄榄石通常只为假象,实为蛇纹石、滑石、绿脱石、绿磷石或玉髓,新鲜的橄榄石仅在钻孔中见到。根据矿物组合及其含量多少,可以分为橄榄石钾镁煌斑岩和石榴石钾镁煌斑岩两大类。前者含橄榄石20—50%,含极少量石榴石;后者含石榴石20—50%,含少量橄榄石。在这两

大类之间，还有若干过渡类型，如透辉石石榴石钾镁煌斑岩、富钾碱镁闪石石榴石钾镁煌斑岩等。富含金刚石的是橄榄石钾镁煌斑岩，每一百吨矿石含金刚石5—10克拉，最高为700克拉。石榴石钾镁煌斑岩含金刚石很少，甚至不含金刚石。

钾镁煌斑岩属超钾质岩石，氧化钾含量很高，通常为3—12%；氧化镁含量较低，为5—29%；二氧化硅含量一般大于40%；含水4—6%，但二氧化碳含量很低，只有0.5—2%；富含氟、钡、铷、铯、铅、钍、铀、钛、锆、铌以及轻稀土元素。

含金刚石的橄榄石钾镁煌斑岩与金伯利岩相比，从矿物成分看，橄榄石钾镁煌斑岩中几乎不含镁钛铁矿，镁铝榴石也很少，却含有较多的透辉石以及富钾碱镁闪石等碱性矿物，并能见到火山玻璃。从岩石化学成分看，橄榄石钾镁煌斑岩中的 K_2O 、 SiO_2 、 TiO_2 的含量高于金伯利岩，而 MgO 、 NiO 、 Cr_2O_3 、 CO_2 的含量低于金伯利岩。西澳金伯利区AK1岩浆岩型橄榄石钾镁煌斑岩的化学成分如下：

组分	含量 (%)	组分	含量 (%)
SiO_2	45.00	BaO	0.09
TiO_2	3.32	K_2O	5.50
Al_2O_3	4.84	Na_2O	0.46
Fe_2O_3	3.00	H_2O^+	3.01
FeO	4.66	H_2O^-	0.67
MnO	0.12	CO_2	0.50
MgO	21.20	P_2O_5	1.58
CaO	4.88	总计	98.83

金刚石砂矿 按成因不同，金刚石砂矿可分为残坡积、河流冲积、滨海沉积、冰川沉积和风力堆积等不同类型的，其中分布广而经济价值较大的是前三种类型。根据金刚石砂矿的形成时代不同，又可分为第四纪砂矿和前第四纪古砂矿两大类，前者经济意义较大。

我国发现的金刚石砂矿主要分布在湖南沅水流域、山东沂沭河流域和辽宁省南部地区金刚石原生矿附近的复州河流域。具有经济价值的金刚石砂矿属第四纪河流冲积砂矿。

湖南沅水流域的金刚石砂矿以阶地砂矿和细谷砂矿最为重要，主要分布在沅水中下游的Ⅰ—Ⅵ级阶地上。产于阶地的单个砂矿体，规模不大，一般长几公里至十几公里，宽几百米，含矿砂砾层厚1—3m，金刚石品位低，但金刚石质量好，以宝石级和优质工业级金刚石为主。发育在阶地上的细谷砂矿，往往横切高阶地分布，一般长几公里，宽几百米，含矿砂砾层厚几十厘米至几米。由于经过进一步的自然分选，细谷砂矿中金刚石的品位一般比相邻阶地砂矿高，成为金刚石砂矿的主要类型。与金刚石伴生的主要有用矿产是黄金。

山东沂沭河流域的金刚石砂矿位于该水系的中下游地区，属于被剥蚀的Ⅱ级阶地砂矿。该砂矿仅残留少量金刚石砂砾层，单个砂矿体规模较小，长一般几公里，宽几百米，厚度几十厘米，很少超过1m。金刚石品位不高，但金刚石颗粒大，平均重量达0.37克拉。该区曾发现不少大金刚石。1977年12月21日，当地农民魏振芳在翻地时，曾拾到一颗重达158.786克拉的宝石级金刚石，即“常林钻石”。1981年以来，在该区又先后找到重量为124.27、96.94和92.86克拉的特大金刚石，分别命名为“陈埠一号”、“陈埠二号”和“陈埠三号”。该区金刚石颗粒虽大，但质量较差，无色透明的不多，以淡黄色、棕黄色的金

刚石为主。

辽宁南部的金刚石砂矿，主要分布在金刚石原生矿附近复州河的次一级支流的阶地和河床砂砾层中，砂矿的长度一般为几公里，很少超过十几公里，宽度几百米，厚约3—8m。金刚石品位较高，质量甚佳，大多为无色透明的，晶形完整，以优质工业级和宝石级金刚石为主。七十年代末，在该区曾发现一颗重量为10.8克拉的无色透明的宝石级金刚石，售出价格为十二万三千元人民币。说明该区金刚石的质量是非常好的。

滨海金刚石砂矿在我国尚未发现，仅有一些找矿线索。这是一种十分重要的金刚石砂矿类型。滨海砂矿广泛分布于非洲西南部的大西洋沿岸，尤以奥伦治河河口两侧的滨海地带最为富集。金刚石产于滨海砂砾层和滨海阶地砂砾层之中，经海浪多次冲刷和自然分选，金刚石质量很好，宝石级和优质工业级金刚石占90%以上。含金刚石砂砾层厚几米，由很圆滑的漂砾、小卵石和牡蛎瓣、砂子组成。大漂砾以石英岩和硅质岩类为主，小卵石由各种不同的岩石构成。金刚石富集部位，其含量达50—100克拉/m³。

产于不同时代砂砾岩中的金刚石，在我国不少省、区已有发现，但未构成具经济价值的古砂矿。古砂矿在世界上分布广泛，一般本身工业意义不大，但古砂矿分布区的残坡积和冲积砂矿，往往具有经济价值。这类砂矿主要分布在加纳、巴西、印度、南非等国。来自前寒武纪金刚石原生矿或砂矿中的金刚石，一般以曲面菱形十二面体为主，宝石级金刚石较多，许多晶体具绿色或褐色斑点，有的还有石灰质或铁质“外壳”，并见有黑金刚石。

找矿与勘探

普查评价指标 金刚石矿床的普查评价指标主要包含金刚石的品位和质量。其中金刚石的质量特别重要，因为不同质量的金刚石，其经济价值相差悬殊。确定金刚石矿床的普查评价指标比较复杂。一般地说，普查评价指标的高低，与这个国家金刚石资源的丰富程度成正比，而与开采、选矿、加工技术水平的高低成反比。由于金刚石是自然界极其珍贵的矿产，其普查评价指标的高低，又受国内外金刚石市场价格的影响。市场金刚石价格高，指标可定得低些，反之则高些。因此，金刚石矿床的普查评价指标不是一成不变的，要随着上述各种条件的变化而及时调整。据了解，目前世界上有些国家宝石级金刚石比例高的金刚石原生矿的最低开采品位是0.1—0.2 克拉/m³，而以工业级金刚石为主的金刚石原生矿的最低开采品位则是0.5克拉/m³。砂矿的开采品位要比原生矿低好几倍。目前，我国采用的金刚石矿床的普查评价指标是六十年代制定的，原生矿的最低工业品位是0.1—0.15克拉/m³ (20—30mg/m³)，砂矿的最低工业品位是0.01—0.02克拉/m³ (2—4mg/m³)。现在看来，这种指标不仅品位偏低，而且缺少质量指标，亟需在调查研究的基础上重新修订。

原生矿的普查勘探 普查金刚石原生矿，首先要选好成矿远景区，然后根据工作地区的地质、地貌特征，采用行之有效的找矿方法。找到原生矿后的评价勘探，比起找矿来说，要容易得多，主要是要合理布置探矿工作，把好选矿质量关。

1. 金刚石成矿预测参数

总结研究国内外金刚石原生矿的成矿地质条件和矿床地质特征，可根据下列参数，确定金刚石原生矿普查区。

(1) 含金刚石的金伯利岩岩管多半产于早元古代和太古代形成的地台区, 往往成群产出、成带分布在地台上两个次一级构造单元的连接地带, 有的产于地台上大型隆起的轴部或大型拗陷的内部。钾镁煌斑岩型金刚石原生矿则主要分布在元古代形成的地台区, 并往往产于古地台边缘的断裂活动带。

(2) 无论是金伯利岩型或钾镁煌斑岩型金刚石原生矿的形成, 都受地台上的深断裂控制。因此, 成群的岩管多半产于深断裂的两侧、主干断裂相交或与次一级断裂相交的地方。

(3) 当上述构造环境具有基性—超基性岩火山活动(包括高原玄武岩的喷出和辉绿岩、煌斑岩的侵入等)时, 金伯利岩产出的可能性较大。

(4) 就更小的范围而言, 最有意义的是发现含榴辉岩和橄榄岩包体的偏碱性超基性岩、碱性岩和碳酸岩地区, 因为这些岩体可能与金伯利岩或钾镁煌斑岩有成因联系, 其中有些难以辩认的岩体, 通过工作, 也可能被证明是含金刚石的金伯利岩或钾镁煌斑岩。

(5) 金刚石及其伴生矿物是普查金刚石原生矿的指示矿物。在残坡积、冲积层中发现含铬镁铝榴石、镁钛铁矿、铬铁矿和铬透辉石的地方, 是金伯利岩的重要预测区。对于钾镁煌斑岩型金刚石原生矿来说, 其指示矿物是铬铁矿、钙铁榴石、镁铝榴石和锆石。

2. 找矿方法的选择及注意事项

普查金刚石原生矿, 同寻找铁、铜、硫、磷等大宗矿产不同。金刚石成矿条件复杂, 矿床规模不大, 普查范围宽广, 所以工作方法特殊, 找矿难度很大。实践证明, 国内外大型金刚石原生矿的发现, 多半经历一个复杂、曲折而漫长的找矿过程, 并耗费巨额投资。如苏联西伯利亚金刚石矿床, 从1937年开始进行成矿预测, 到1954年发现第一个含金金刚石的金伯利岩岩管, 前后经历18年。博茨瓦纳的“欧拉帕”大型金刚石原生矿的发现, 历时12年(1955年—1967年), 投资3200万美元。澳大利亚AK1大型金刚石原生矿的发现, 历经13年, 耗资4000万美元。因此, 选好成矿远景区后, 在普查工作中, 要加强地质研究, 不断总结经验教训, 采用最有效的找矿方法, 抓住有利的找矿线索, 作艰苦细致的工作。

下面根据国内外普查金刚石原生矿的经验, 概略地谈谈各种找矿方法运用的原则和注意事项。

(1) 重砂测量 重砂法是普查金刚石原生矿最重要、最基本的方法。其目的是了解成矿预测区内有无金刚石及其指示矿物存在, 并进一步追索它们的来源, 以缩小普查范围。要根据工作地区的地貌、第四纪地质特征, 选用水系重砂法或方格网重砂法。初查阶段, 广泛采用的是水系重砂法, 样品主要布置在小河、支流、冲沟的阶地或河流冲积层中。样品体积视地貌位置和沉积特点而定, 一般为大、中、小样三种, 即分别为500—1000 L, 100—500 L, 30—100 L。采样点的间距一般为1—3 km, 必要时可加密到几百米。要安排有经验的地质人员布样。采样时, 一定要挖到基岩。淘洗、跳汰、手选等各个工序, 要由熟练技术工人操作, 严格把握每一道工序的质量, 不要丢失一颗金刚石或指示矿物, 并防止混样。对重矿物的鉴定特别重要, 首先要判别其属性, 确定是否来自金伯利岩或钾镁煌斑岩, 然后仔细观察其表面特征, 推测来源方向和搬运距离, 为进一步加密采样提供依据。

(2) 物探方法 航空磁测、地面磁测和电法是普查隐伏金刚石原生矿的有效方法。

a. 航空磁测 通过金刚石普查, 在已发现金刚石或指示矿物的地区, 特别是已知金

伯利岩或钾镁煌斑岩的外围地区，如果地形高差不大，地球物理条件较好，就可开展较大比例尺的航空磁测。其目的主要是两个：一是了解区域深部构造特征，二是寻找规模较大的金刚石原生矿。采用的比例尺为1:25000和1:50000，前者飞行高度低于75m，精度1—3nT，后者飞行高度低于150m，精度3—5nT。

b. 地面磁测 主要用于三种情况，一是检查、筛选航磁异常，提供钻探验证；二是在金刚石指示矿物分布比较密集的第四纪地层覆盖区，寻找隐伏金伯利岩或钾镁煌斑岩岩体；三是在已知金刚石原生矿的外围地区，特别是第四纪地层覆盖的负地形地区，寻找新的金伯利岩或钾镁煌斑岩岩体，以扩大矿区远景。采用的比例尺，一般是1:2000—1:5000。

c. 地面电法 往往配合地面磁测进行，其比例尺为1:2000—1:5000。

此外，在具备地球物理条件的前提下，采用重力和放射性法找金伯利岩也有一定找矿效果。

(3) 化探方法 在水系不发育、有第四纪沉积物覆盖、并已发现较多金刚石指示矿物的地区，可采用化探方法在小范围内普查金刚石原生矿。有些金伯利岩岩体，风化强烈，磁性很弱，单用磁法难以奏效，因此，运用Cr、Ni、Co、Nb、La、Y等微量元素作为指示元素开展地球化学勘查，可获得较好的找矿效果。由于金伯利岩中的这些元素搬运距离很短，故采样点的间距要密一些。通常采用分散晕法，其网度可根据工作程度分别采用100×100m，50×50m，30×30m。

(4) 彩色航空照片和卫片解译 根据苏联、安哥拉等国家的找矿经验，有些金伯利岩岩管在彩色航空照片上有明显的反映，其色调和结构与围岩不同，加之金伯利岩岩管往往成群、成带产出，采用航片判读，效果较好。但卫片解译主要用来了解工作地区的区域地质构造特征，难以直接发现金刚石原生矿。

(5) 地质调查 该法贯穿于金刚石原生矿普查的始终。在初查阶段，主要是为了熟悉了解工作区的地质构造，第四纪地貌特征和岩浆活动情况，配合其它方法所获成果，进一步缩小普查范围。所采用的比例尺一般为1:50000。在详查阶段，该法主要用于两种情况，一是在金刚石指示矿物和地球化学异常区直接寻找金伯利岩岩体；二是在发现金伯利岩岩体后，根据金伯利岩岩体受断裂构造控制并成群成带分布的规律，跟踪追索，能收到快速发现新的金伯利岩岩体和扩大矿区远景的效果。其比例尺可灵活选用。

(6) 钻探等探矿工程的应用 普查金刚石原生矿，在有一定地质依据的前提下，要大胆使用钻探方法。特别是对可能是火山-沉积型金伯利岩岩管进行揭露时，对有意义的地球物理、地球化学异常进行验证时，要布置足够的钻探工程并要求钻孔具一定深度。根据辽宁地矿局六队的找矿经验，在地表出露有金伯利岩岩脉的有利构造部位，要配合物探，用钻探方法寻找隐伏金伯利岩岩管。

以上各种找矿方法的运用，一定要因地制宜，切实保证质量，不断总结经验，经常研究它们的有效性，以提高找矿效果。

3. 评价勘探特点

金刚石原生矿的评价勘探，比起找矿来说，要容易得多，它同一般矿产的矿床评价勘探类似。在评价阶段，其主要目的是大致查明矿体的形态、产状、规模、金刚石的含量、质量以及矿床远景等，从而确定其是否具有经济价值。根据原生矿中金刚石的含量在同一

矿体的同一岩性矿石中变化不大，而矿体形态比较简单，往深部延伸又具有一定变化规律的特点，在评价时以地表工作为主，结合少量钻探即可达到评价目的。在勘探阶段，为了确定矿体的形态、产状、规模和矿石类型，查明矿体中金刚石的含量和质量，了解矿床的水文地质条件和开采技术条件，必须加强地质观察研究，测制大比例尺地形地质图，加密勘探工程，增加选矿工作量，提高勘探程度。由于金刚石原生矿的规模一般较小，金刚石的含量变化又较大，故在评价的基础上，往往不搞正规的勘探，而是实行边探边采。

确切查明原生矿床中金刚石的含量和质量，是评价勘探金刚石原生矿的关键。为达此目的，必须采集大体积的选矿样品。由于金刚石在矿体中含量甚少，而且分布又很不均匀，故选矿样品的体积较之其它矿产的样品体积要大得多。一般来说，样品体积越大，代表性越强，但盲目地增大样品体积也是不合适的。凡能基本测定矿体的金刚石品位和质量的最小体积，应视为样品的合理体积。

(1) 样品合理体积的确定 确定样品合理体积的方法很多，如类比法、对比试验法、统计计算法等。目前常用的是后一种方法。

从我国已发现的金刚石原生矿床来看，绝大多数金刚石是小的和比较小的颗粒，超过 8mm 粒级的金刚石数量较少。因此，为了评定矿体中金刚石的品位，正确查明金刚石的质量，根据辽宁普兰店滨海金刚石公司的开采经验，以选取一颗 $-8+4\text{mm}$ 金刚石为基础，计算样品的合理体积为宜。

样品合理体积的求法是：用在具有代表性的选矿大样中所选获的 $-8+4\text{mm}$ 的金刚石颗数去除选矿大样体积，即：

$$V = \frac{V_1}{n}$$

式中： V ——合理样品体积 (m^3)；

V_1 ——选矿大样体积（一般在 50m^3 以上）；

n —— V_1 大样中选获的 $-8+4\text{mm}$ 的金刚石颗数。

(2) 样品数量的确定 选矿样品数量是影响样品的代表性和勘探网度的重要因素之一。样品的数量一般取决于矿床的勘探程度和含金刚石的均匀程度，勘探程度越高和含矿性越不均匀的矿床，所需样品数量越多；反之则少。对于金刚石原生矿床来说，决定样品数量的主要因素就是品位变化系数以及平均品位的允许误差。确定各级储量块段所需样品数量的方法很多，常用的有类比法、数理统计法等。目前不少金刚石地质队采用的是以统计资料为基础的计算方法。

计算公式为：

$$n = \frac{t^2 V_c^2}{P^2}$$

式中： n ——各级储量块段的样品个数

t ——可靠系数 (1.5)

V_c ——品位变化系数

P ——平均品位的允许相对误差（一般用各级储量允许误差代替）

公式表明，储量块段内所需样品数量与品位变化系数成正比，而与不同级别储量的允许误差成反比。

为验证上述公式的可靠性，山东省地矿局七队对已勘探的矿体，进行了抽样检查，结