

登录号	103533
书号	P619.24
册号	001

金刚石成矿模型与勘查方法

王仲会 编著



5/10/20



201030785

地质出版社

· 北 京 ·

依靠科学技术
攀登探矿高峰

宋健

一九九二年三月

融珠宝与民族文化
于一体架起世
界友谊之桥梁

钱其琛

一九九四年二月二十日

發展珠寶事業
美化人民生活

朱訓

一九九四年
四月十日

集世界瑰宝
創國際名牌

為戴夢得寶石公司題

宋瑞祥

一九九四年二月

走投二寶一條龍新時
創名牌企業連鎖致益

為戴夢得寶石公司題

宋瑞祥

一九九四年
二月廿八日

目 录

第一章 绪论	1
第二章 金刚石成矿规律	4
第一节 概述	4
第二节 金刚石母岩的特征	4
第三节 金刚石母岩的形成时代	26
第四节 金刚石母岩分布规律及其与构造作用的关系	35
第五节 金刚石特征及其勘查意义	43
第三章 原生金刚石矿床成因模式	48
第一节 概述	48
第二节 金刚石成因模式	49
第三节 金刚石矿床成因模式	59
第四节 金刚石矿床区域成因模式	68
第四章 金刚石原生矿综合找矿模型	94
第一节 综合找矿模型	94
第二节 金刚石原生矿成矿预测	96
第三节 金刚石原生矿勘查经验模型	101
第五章 金刚石重砂勘查——样品的采集与处理	105
第一节 概述	105
第二节 水系重砂采样方法研究	108
第三节 水系重砂小样的采集与处理	131
第四节 水系重砂大样的采集与处理	137
第五节 残坡积重砂样品的采集与处理	147
第六节 基岩样品的采集与处理	152
第六章 金刚石重砂勘查——样品实验室处理与研究	157
第一节 样品的实验室处理	157
第二节 样品处理的管理	183
第三节 指示矿物的实验室鉴定	188
第四节 指示矿物搬运模式	202
第五节 指示矿物成分分析	212
第七章 金刚石重砂法勘查——靶区的确定与矿体的追索	237
第一节 重砂异常的确定与分析	237
第二节 异常区的圈定、分级以及异常的查证	252
第三节 重砂成果图的编制	261
第八章 金刚石地球物理勘查法	268

第一节	概述·····	268
第二节	金刚石磁法勘查·····	270
第三节	高精度磁力仪在金刚石原生矿勘查中的应用·····	287
第四节	金刚石其它地球物理勘查法·····	298
第九章	金刚石原生矿地球化学勘查·····	305
第一节	金刚石原生矿地球化学勘查的工作原则·····	305
第二节	金刚石原生矿地球化学勘查的野外工作方法·····	313
第三节	金刚石原生矿地球化学勘查样品成果的整理·····	315
第十章	金刚石原生矿遥感勘查法·····	318
第一节	金刚石原生矿遥感勘查概况·····	318
第二节	金刚石原生矿遥感勘查方法·····	319
第三节	遥感方法在金刚石原生矿勘查中的应用·····	323

第一章 绪 论

一、金刚石原生矿勘查

金刚石原生矿指产于金伯利岩、钾镁煌斑岩等金刚石母岩的金刚石矿。金刚石原生矿勘查要经过两个过程，其一是金刚石母岩岩体的确定；其二是金刚石母岩岩体含矿性评价，这也是金刚石原生矿勘查的两个难点。由于金刚石母岩可产于范围极广的克拉通中的背景，且金刚石母岩的规模一般不大，所以在一个克拉通范围内发现并确定金刚石母岩岩体是金刚石原生矿勘查中难点中的难点，也是金刚石原生矿勘查要解决的主要问题。

金刚石原生矿勘查经过了几个发展阶段。最初，金刚石原生矿的发现和水系重砂勘查法有关，常常是水系中次生金刚石矿的产出最终导致原生金刚石矿的发现。本世纪初，随着找矿难度的加大，金刚石原生矿勘查跨入了方法找矿阶段，并逐渐形成了以水系重砂勘查法为龙头的金刚石原生矿勘查程序，以致发现了南非的一些金刚石原生矿。到 50 年代前后，金刚石原生矿成矿理论有了较大发展，出现了金刚石原生矿隐爆成矿模式，并认为金伯利岩是金刚石的唯一母岩。在此理论指导下，发现金刚石原生矿成矿的有利条件是：①稳定克拉通区；②良好的盖层条件；③隐伏深大断裂；④有利的构造环境；⑤金刚石母岩及可疑岩体的产出。在上述金刚石矿化有利地区，选择合适的方法进行金刚石原生矿勘查，形成了理论和方法相结合的金刚石原生矿勘查模式。同时，随着科学技术的发展，利用各种航空物探手段勘查金刚石原生矿的方法有了很大发展，并在原苏联的金刚石原生矿勘查中发挥了很重要的作用。

自 70 年代以来，科学技术有了很大进步，金刚石原生矿研究有了很大发展。金刚石成矿理论研究的成果打破了过去所建立的成矿模式。首先，金伯利岩不再是金刚石的唯一母岩。在钾镁煌斑岩中已发现了重要的金刚石原生矿（澳大利亚金伯利地区），在其它岩石类型中（叙利亚及我国辽宁平石门蛇纹橄榄杂岩）也发现了金刚石。对金伯利岩、钾镁煌斑岩内巨晶捕虏晶、幔源捕虏体、含金刚石幔源捕虏体及金刚石内包体研究结果证明，金刚石和金刚石母岩的成因具有不同性。地幔中金刚石源岩体的概念已普遍被接受；以此为基础，新的成矿理论广泛流行。同时，应用于金刚石原生矿勘查的航空和地面地球物理方法、遥感勘查方法也有了发展，丰富、扩大了金刚石原生矿方法找矿的范围。现代实验分析及计算机手段的广泛应用，使传统勘查方法有了重大改进。上述从理论到方法的进步，为开展新一轮金刚石原生矿勘查提供了条件。

二、金刚石原生矿勘查现状

新一轮金刚石原生矿勘查始于 20 世纪 70 年代末至 80 年代初，其特点是在新的成矿理论指导下进行科学找矿。要想在一个地区发现金刚石原生矿，必须回答金刚石原生矿的赋存部位问题。回答这一问题就像医生诊断病情一样，可以根据理论推测，也可利用各种方法测定。科学找矿是以科学的成矿理论为指导的地质、物化探、重砂及遥感各种方法的最佳组合。

金刚石原生矿仅产于特定的碱性超基性岩内，并且目前主要产于金伯利岩和钾镁煌斑岩这两种金刚石母岩中。这类特殊的火成岩有着特定的成因和演化特征，特定的产出背景和岩石矿物学标志。虽然不同的克拉通金刚石母岩类型的产出环境和背景、岩石矿物特征及金刚石母岩含矿性有所差别，但金刚石原生矿具有很强的全球可对比性。总结全球金刚石成矿理论研究成果，建立统一的金刚石成矿模式，对于指导一个具体地区金刚石原生矿的勘查和研究具有重要意义。金刚石原生矿这种全球一致性，是建立指导新一轮全球金刚石原生矿勘查的统一理论模式和勘查模式的依据。科学勘查金刚石原生矿的基本特点是：现代金刚石原生矿成矿理论是指导金刚石原生矿勘查的理论基础，现代金刚石成矿预测是实现科学勘查金刚石原生矿的途径，各种地质、物化探、重砂及遥感方法的最佳组合是实现金刚石原生矿突破的保证，各种找矿方法是确定金刚石原生矿化的手段。

目前，全球金刚石原生矿成矿理论正处于深化研究、不断丰富发展的阶段，各种不同的金刚石成矿模式已被提出 (Haggerty, 1986; Wyllie, 1989; Harley 和 Thompson, 1984; Helmstaede, 1984 等)。虽然仍有争议，但统一性的认识是金刚石是地球早期地质作用的产物，它们主要形成于前寒武纪，太古宙为集中形成期。金刚石主要是在幔源初始碳在地球深部上地幔金刚石矿源体内进行结晶作用的产物，部分碳来源于早期地壳俯冲碳。金刚石形成作用是一个长期结晶过程，所形成的金刚石保存在地壳深部上地幔特定源岩中，并形成金刚石深部矿源体。金刚石深部矿源体限于克拉通深部上地幔范围，并成残块分布于刚性较强、温度较低的克拉通根部。在克拉通中心部分，金刚石矿源体发育。金刚石母岩、金伯利岩和钾镁煌斑岩岩浆形成于金刚石深部矿源层下的软流圈内。这种岩浆和金刚石源岩相互作用，并捕获金刚石和金刚石源岩，形成含金刚石和幔源捕虏体的岩浆。它们在有利部位上侵，形成金刚石原生矿。现代金刚石成矿理论认为，存在金刚石深部矿源层，而金刚石母岩仅是把金刚石从深部带到地表的载体。根据这种模式预测金刚石有利矿化靶区条件的准则是：①古老克拉通地块；②克拉通内部或外侧活动带超壳深大断裂带；③克拉通超壳深断裂带两侧次级断裂构造集中区；④特定的金刚石母岩和可疑岩体的产出；⑤镁铝榴石、镁钛铁矿、铬透辉石、铬尖晶石及微粒金刚石重砂异常的发现；⑥物化探异常显示；⑦遥感异常影像显示。

利用上述成矿理论研究一个地区的地质背景，总结分析已有的资料，并作出成矿预测是金刚石勘查的前提。不同级别的成矿预测区是不同阶段金刚石原生矿勘查的工作区。新一轮金刚石原生矿勘查靶区的选择，必须遵循科学的原则，以成矿预测的靶区为依据。

在选定勘查靶区进行金刚石原生矿勘查时，普遍遵循的原则是：①地质和方法最佳组合原则。地质背景区、地形地貌环境不同，适用的金刚石勘查方法亦各异，应根据不同特征选择合适的勘查方法组合。在水系发育的地区，应选择以水系重砂为龙头的勘查方法组合；在覆盖较重的地区，应选择以航空物探为主的方法组合；对某些条件适合的地区，可选择以遥感为主的勘查方法组合；②各种勘查方法合理组合；③循序渐进；④经济合理。在上述思想指导下，合理地布置工作区的勘查工作。根据不同的勘查阶段布置相应的工作类型和工作量。在以水系重砂勘查法为主的方法组合中，首先要安排水系大样扫面工作；在有线索的地区利用水系大样和水系小样追索异常。这种水系小样有一定的控制范围和样品的体积，在水系小样异常区加密取样，缩小异常范围。在水系源区利用残坡积重砂法和残坡积地球化学、高精度磁测查证异常。在被证实的异常上，用工程揭露发现金刚石母岩。在

以航空地球物理为主的勘查方法组合中，所采用的比例尺应由中、小到大，并使用高精度测量仪器；有异常时，再用地面磁测验证。

三、本书的内容及意义

我国金刚石原生矿勘查，从 80 年代中期，随着和国外金刚石勘查公司的合作而进入新的阶段。本书以我国山东、辽宁和英国奇切斯特金刚石有限服务公司合作联合勘查金刚石原生矿的技术为依据，在总结分析了包括澳大利亚、原苏联金刚石勘查技术和理论的基础上，全面总结了新一轮金刚石原生矿勘查的理论和方法，力图形成适合我国国情的新一轮金刚石原生矿勘查体系。金刚石勘查纲要所总结的新一轮金刚石原生矿勘查体系包括三部分内容：①金刚石成矿理论，分金刚石原生矿成矿规律和金刚石现代成矿模式两部分。从勘查角度出发，总结了金刚石母岩特征、金刚石特征、金刚石矿化空间分布规律及金刚石矿化时代规律。同时，从金刚石形成、金刚石原生矿及金刚石区域成矿等方面总结了金刚石现代成矿模式，从而建立起一般性金刚石原生矿成矿模式，作为金刚石原生矿勘查的理论基础。②金刚石综合找矿模型，包括金刚石成矿预测和金刚石原生矿勘查经验模型两部分。利用成矿预测途径把成矿理论和具体勘查实践结合起来，并使地、物、化、遥及重砂等各种勘查方法达到最佳组合。金刚石原生矿经验勘查模型总结了三组目前使用的金刚石原生矿勘查方法最佳组合，供实际工作对照参考。③各种具体勘查方法的系统总结。本着实用的原则，主要对重砂勘查法和地面高精度磁测法作了综合，同时介绍了遥感勘查法的最新进展。

金刚石勘查纲要具有“三强”特征：①系统性强。本书把金刚石原生矿的整个勘查过程作为一个系统工程来分析。根据性质不同，对系统解剖，最后组成从理论到成矿预测的找矿方法组合的完整体系。这和所谓的理论找矿和方法找矿有明显差别。②理论性强。文中综合了目前金刚石成矿理论研究成果，建立了一般性金刚石原生矿成矿模式，并把这种模式用于金刚石原生矿勘查，使金刚石勘查的整个活动都在现代理论指导下完成。③实用性强。书中不但从宏观上给出了金刚石原生矿勘查的工作方法和步骤，而且从微观上详细介绍了不同勘查方法的各种实用的操作技术和技巧，以达到照本工作的效果。本书内容主要限于解决金刚石原生矿勘查的第一难点，即如何在一个地区发现金刚石母岩岩体的一系列理论和方法。有关评价岩体含矿性，从而确定金刚石原生矿工业意义的理论和方法未包括在内。这是由近年来金刚石原生矿找矿难度不断增加所决定的。

本书是改革开放，学习国外先进金刚石勘查技术，并和我国实际情况相结合的产物，相信它在我国方兴未艾的新一轮金刚石原生矿勘查工作中会起到应有的作用。

第二章 金刚石成矿规律

第一节 概 述

金刚石是在特定的温、压条件下由独特的地质作用形成的特种矿产。金刚石矿产，无论是矿床类型、矿床特征、金刚石母岩、源岩及金刚石本身特征，还是其时空分布、成矿条件、形成作用都有其规律性。金刚石矿床特征、形成条件及形成作用，以及时空分布等表现出的有利于金刚石勘查的规律，称为金刚石成矿规律。

金刚石成矿规律是建立在成矿理论基础上的，而金刚石成矿规律对预测、寻找、勘查金刚石矿床具指导作用，是金刚石矿床勘查的理论基础。70年代以前，金刚石成矿规律是建立在金伯利岩隐爆成矿理论基础上的。当时认为，金伯利岩是金刚石的唯一母岩，控制金刚石成矿的主要条件为古克拉通、深大隐伏断裂及盖层条件。金刚石是地表碳和幔源碳在金伯利岩岩浆的形成演化过程中结晶生长的。70年代以后，随着科学技术的进步及应用于金刚石矿床研究的技术手段的提高，金刚石成矿理论有了突破性发展。澳大利亚西部金刚石勘查的成功打破了金刚石母岩仅限于金伯利岩的观念。金刚石古年龄的确定及金刚石内包体研究的深入，否定了金刚石仅在金伯利岩岩浆内结晶生长的理论；而同位素研究揭示了金刚石主要是幔源碳在地幔一定深处长期结晶的产物。新的成矿理论认为：金刚石矿床的形成具有多源性、长期性、多阶段性特征。金刚石形成作用发生在地幔一定深度，金刚石母岩是金刚石从地幔上升到地表的载体，在含金刚石岩浆侵位过程中仍可结晶出细粒级金刚石。在成矿理论指导下，金刚石成矿规律的研究也有较大发展。特别是近年来，金刚石市场稳定，金刚石价格一再上涨，金刚石需求量急剧增加，而找矿难度却越来越大，找矿费用增加，矿产的发现率日趋下降。在这种形势下，研究成矿规律以预测金刚石矿产的分布规律、预测金刚石矿产的远景及系统分析金刚石矿产勘查方法等都显得极为重要。这更促进了金刚石成矿规律的研究。目前，金刚石成矿规律研究的主要内容有：①金刚石矿床特征研究；②研究金刚石矿产形成条件，并分析金刚石成矿作用；③金刚石矿产空间分布规律研究；④金刚石矿产形成时代研究；⑤超大型金刚石矿床产出规律研究；⑥金刚石矿床成因模型研究；⑦金刚石矿床地质勘查模型研究。

上述成矿规律研究的成果构成了现代金刚石勘查的理论基础。本章将简要概述这些成果。

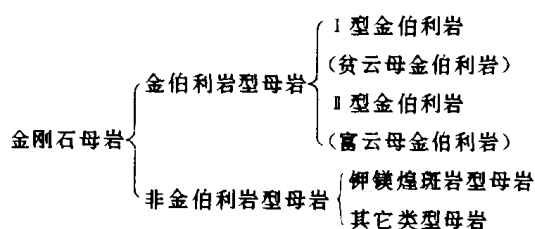
第二节 金刚石母岩的特征

一、金刚石母岩

原生金刚石都产于特定的火成岩中，是这些火成岩的一种组分。金刚石的特征、分布、

含量及形成与这些火成岩的形成演化密切相关，这些火成岩就是金刚石的母岩。最初，仅在金伯利岩内发现金刚石，认为金伯利岩是金刚石的唯一母岩。70年代，在澳大利亚西北部钾镁煌斑岩中发现了金刚石，特别是发现了大型钾镁煌斑岩型金刚石矿后，金伯利岩是金刚石唯一母岩的观念被打破。随着研究的深入，陆续在一些超钾质超铁镁质岩石中发现了金刚石，证明还有其它类型的金刚石母岩。

根据现有资料，结合传统的认识，以及各种金刚石母岩含矿重要性，金刚石母岩可划分为如下类型：



不同的金刚石母岩形成金刚石矿床的重要性，依次为：①金伯利岩型母岩；②钾镁煌斑岩型母岩；③其它类型金刚石母岩。金刚石在金伯利岩和钾镁煌斑岩中可形成大型金刚石矿床已被广泛接受。这两种类型金刚石原生矿已成为当今世界金刚石矿床勘查的主要对象。70年代，澳大利亚在新型金刚石母岩方面取得了突破，使其金刚石的储量和产量都跃居世界第一位。这一事实使金刚石勘查者清醒地认识到：在勘查金刚石过程中注意新型金刚石矿床的发现是极为重要的。在金刚石勘查实践中树立上述观念是非常有意义的。对于金刚石勘查者来说，树立不同类型金刚石矿床的重要性观念和树立在勘查实践中时刻注意发现新型金刚石矿床同样重要。

二、金伯利岩母岩

(一) 金伯利岩地质特征

金伯利岩是产于稳定克拉通区的超碱质超铁镁质杂岩体。它的产出受克拉通内深大断裂及其派生的次级断裂控制。金伯利岩岩体常呈岩管、岩脉、岩床等形状产于不同时代的各种围岩中，其规模相差较大。

1. 金伯利岩岩管是金伯利岩岩体产出的主要形式。金伯利岩岩管多呈漏斗状，从上到下一般可划分为三个带：金伯利岩火山口；金伯利岩火山道；金伯利岩根部带。

(1) 金伯利岩火山口是金伯利岩浆在近地表喷发活动的产物，它仅在少数剥蚀作用相当有限的地区才能保存。金伯利岩火山具低平火山口火山的特征，它由火山口高度小于宽度的具盆形火山口的低火山锥组成，凝灰岩火山环较为发育。金伯利岩火山的大小、形态及组成的变化都很大，并多因遭受后期改造而不完整。火山口直径一般在几百米，周围可有宽达百米、高数十米的火山沿。许多金伯利岩火山口都形成火山湖。其岸边向内倾斜 $25^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，盆地深达 $150 \sim 300 \text{ m}$ ，盆地内有典型的外碎屑金伯利岩。金伯利岩火山口主要由金伯利岩熔岩、金伯利岩火山碎屑岩及金伯利岩外碎屑岩组成。金伯利岩熔岩极少见，是金伯利岩火山的一个特征。我国尚未发现金伯利岩火山口。

(2) 金伯利岩火山道是金伯利岩岩管的主体，也是最普遍、最重要的金伯利岩岩体形式。它在平面上多呈圆形、椭圆形和不规则的等轴状，也有透镜状、哑铃状、串珠状和其它不规则状。剖面上的金伯利岩火山道常呈垂直或陡倾的锥状岩体，局部呈上小下大的葫

芦状。火山道管壁凹凸不平,但很光滑,界线清晰,倾角在 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$,部分岩管地表倾角较缓($40^{\circ}\sim 60^{\circ}$),向深部变陡,并且倾斜度相对稳定。金伯利岩岩管规模相差极大,大的可达 $1650\text{ m}\times 1150\text{ m}$,小的仅 $15\text{ m}\times 10\text{ m}$,一般岩管的直径为 $50\sim 300\text{ m}$ 。具工业价值的岩管规模往往较大。欧拉帕岩管 112 万 m^2 ,南非普雷米尔岩管 $880\text{ m}\times 550\text{ m}$,金伯利岩管为 $300\text{ m}\times 150\text{ m}$,原苏联闪光岩管 $573\text{ m}\times 532\text{ m}$,和平岩管 $490\text{ m}\times 320\text{ m}$,我国辽宁50号岩管和42号岩管规模也较大。因此,大岩管是金刚石勘查的重点对象。金伯利岩岩管下延深度,随其形状、规模和构造性质不同而异,一般从几十米到 $2\sim 3\text{ km}$ 。我国已发现的岩管,大的可延深 $500\sim 600\text{ m}$,小的仅几十米。岩管的延伸受构造控制。在断裂交汇处的大型等轴状岩管延深大;张性断裂中岩管延伸浅;压扭性断裂中单向岩管延深也较小,为轴长 $1\sim 2$ 倍。金伯利岩火山道主要被一些岩性不同的凝灰质金伯利岩角砾岩充填。火山道中常有大量不同的捕虏体,但没有中心式侵入体。

(3) 金伯利岩岩管的根部带位于火山道之下,其形态受围岩中出现的节理和断裂体系强烈影响。剖面上的根部带可呈线状,在断裂交会处,方向会突变。根的延伸部分可平行其母体或导浆岩墙的走向。在横断面上,根部带呈极不规则的岩体,并可分解成不同的部分。根部带是由岩墙的膨胀部分组成,并从岩墙中得到物质补充。在根部带边缘伴有接触角砾岩。根部带主要由浅成相金伯利岩和金伯利岩角砾岩组成,并多为复式岩体,有时可有十几个岩相,显示出不同期次的金伯利岩岩浆反复贯入的特征。

2. 金伯利岩岩脉

金伯利岩岩脉在世界各金伯利岩集中区中广泛分布。岩脉常与岩管相伴出现。它在平面上窄而长,其长度自十几米至几公里不等,一般为 $100\sim 800\text{ m}$;宽度自几厘米至十几米,一般为 $0.2\sim 0.6\text{ m}$ 。许多宽度在 0.5 m 以上的岩脉常有膨大部分,宽度达数米至20多米不等。剖面上脉岩呈墙状或扁豆状,往下有呈扇形收缩的趋势。岩脉向下延伸的深度一般为几十米至数百米。岩脉产状较陡,倾角多在 75° 以上,有的岩脉往下倾角变缓。岩脉一般沿断裂成群成带产出,组成平行的、雁行状或分枝状的岩脉带。这类岩脉充填了垂直或近于垂直的平行断裂或节理,其侵位受区域断裂体系控制。大多数岩脉都是简单侵入体,少量为复式岩脉。许多岩脉具有由流动分异作用产生的不均匀形态,没有玻璃质边缘带,而且接触变质微弱,只是围岩有烘烤退色现象。某些岩脉的膨胀部分可能代表根部带的最下部。

根据岩脉和火山道的关系,已辨识出几种类型岩脉:①先成或先导岩脉;②同生岩脉;③顺向岩脉或内岩脉;④后成或交切岩墙。先导岩脉的侵位早于火山道及其根部带。它们形成与区域岩脉群特征相似的岩脉群,并在岩管附近明显集中。这类岩脉可延伸到火山道的根部带,可在到达地表前尖灭。这些先导岩脉代表岩管期前岩脉形成的早期事件,它们充填到比那些与火山道和根部带形成相关的岩脉更高的部位。后者利用了相同的断裂体系,但未侵位到与先导岩脉相同的高度。较早期岩脉的侵位,在火山道的定位和形成中可能起着重要作用,它们提供了弱化带和地下水进入后续岩浆的入口。同生岩脉是从主岩管伸入围岩的岩枝,很少见。内岩脉在火山道和根部带常见,但未延伸入围岩。它们通常无根,弯曲成弧形,沿侧向或垂向尖灭。这类岩脉可以侵入到火山与围岩接触带或岩管内各侵入体间的接触带。内岩脉形成的期次与多数岩管内产出的火山道和根部带形成的上升期和下降期吻合。这类岩脉主要由粗晶或隐晶金伯利岩、富金云母金伯利岩或方解石金伯利岩组成。

后成岩脉代表金伯利岩岩浆作用的结束阶段，较少见。

3. 金伯利岩岩床

根据世界各金伯利岩集中区统计资料，金伯利岩岩床比岩脉要少。金伯利岩岩床一般呈似层状、透镜状或饼状产于层间构造中，有的产在岩体与盖层的接触带或岩体内部的缓倾斜节理裂隙中。长宽一般为几十米至几百米，个别达二三公里。厚从几厘米至几米，有时达几十米，一般中间厚度较大，边缘逐渐变薄，甚至为岩脉所代替。在较坚硬的花岗岩类中，岩床沿水平节理形成均匀的板状体。金伯利岩岩床的组成成分可从含巨晶型和粗晶金伯利岩变到高度演化的富碳酸盐金伯利岩。许多岩床都具复式和流动分异特点。富碳酸盐岩床常呈现出岩浆沉积作用的特征，堆晶结构和方解石分凝物发育。常见具急速淬火的针状磷灰石和树枝状方解石。岩床中偶有橄榄岩和榴辉岩捕虏体。

4. 金伯利岩岩管、岩脉、岩床的相互关系

金伯利岩各种岩体是金伯利岩岩浆作用的不同表现形式，金伯利岩岩体的大小、形态及分布特征反应了它们形成作用的特点。在同一个地区内，相互共存的金伯利岩岩管、岩脉、岩床在成因上密切相关，其空间分布、形成时代及相互伴生关系都有一定的规律。目前形成的认识是：①金伯利岩岩管是金伯利岩岩浆活动的典型产物。金伯利岩岩管，从上到下，由金伯利岩火山口、金伯利岩火山道和金伯利岩根部带组成。其中，金伯利岩火山道是最主要、最常见的形式，也是最有经济价值的部分。②金伯利岩岩床、岩脉、火山道之间关系密切。金伯利岩岩床与先导岩脉直接相关，由后者提供物源，并被火山道交切。岩床一般侵位于较火山道底部高得多的部位。岩床侵位早于火山道形成，它是先导岩脉岩浆作用的一部分。③相对火山道来说，岩脉可划分为早期先导岩脉、同期交切岩脉、后期穿插岩脉。它们是金伯利岩岩浆就位时受断裂控制的不同期产物。脉岩常为火山道及火山的形成提供准备。④从金刚石含矿性来说，岩脉和岩床中金刚石含量低，基本不具有工业价值。岩管是勘查的主要对象，但岩脉和岩床为寻找岩管提供标志。

总之，出露于同一地区的岩管、岩脉和岩床，在形成时间上大致相同，在空间上密切相伴。它们是同一岩浆在不同构造部位的产物。

(二) 金伯利岩岩石学特征

近年来，金伯利岩研究的最突出的进展反应在金伯利岩组成方面。首先，从组成复杂的金伯利岩中区分出了金伯利岩幔源捕虏体，并认为它们是在金伯利岩岩浆形成演化过程中捕获了石榴二辉橄榄岩、方辉橄榄岩、榴辉岩、纯橄岩及云母-角闪石-金红石-钛铁矿-透辉石(MARID)经共生组合等形成的。这些捕虏体携带了大量地球深部信息，为探讨地球深部地质作用与金伯利岩形成演化提供了样品。这些捕虏体成分，可通过对比矿物组成对应性加以鉴别。其次，从金伯利岩的组成矿物相中区分出巨晶体或独立团块体。它们都是很醒目的大晶体(1~20 cm)，主要为低铬钛镁铝榴石、镁钛铁矿、次钙质至钙质透辉石、顽火辉石、金云母和锆石。辉石与镁钛铁矿间的片晶连生常见。这些巨晶体具有与众不同的成分，它们的存在被视为金伯利岩的典型特征，而对它们的成因尚有争议。但更大的可能是捕虏晶。再者，原生矿物相，明确鉴定出金伯利岩岩浆形成的原生相矿物。它们是半自形到自形的斑晶和微斑晶及原地结晶而形成的金伯利岩基质的矿物，主要有橄榄石、金云母、尖晶石类、钛铁矿、钙钛矿、透辉石、钙镁橄榄石、磷灰石、方解石、蛇纹石及碳酸盐矿物。

金伯利岩的结构构造也较复杂。金伯利岩组构研究，在原有基础上突出了宏观组构特征。结合金伯利岩的组成、组构及成因特征，克莱门特等人提出了金伯利岩的结构成因分类（表 2—1），将金伯利岩分为三大类型：浅成相金伯利岩、火山道相金伯利岩和火山口相金伯利岩。

表 2—1

相	岩石类型	宏观结构
浅成相金伯利岩	金伯利岩	粗晶金伯利岩
		分凝金伯利岩
		隐晶金伯利岩
	金伯利岩角砾岩	粗晶金伯利岩角砾岩
		分凝金伯利岩角砾岩
		隐晶金伯利岩角砾岩
火山道相金伯利岩	凝灰金伯利岩	球团状凝灰金伯利岩
		岩屑凝灰金伯利岩
		晶屑凝灰金伯利岩
	凝灰金伯利岩角砾岩	球团状凝灰金伯利岩角砾岩
		岩屑凝灰金伯利岩角砾岩
火山口相金伯利岩	火成碎屑金伯利岩	根据标准粒级表和/或岩性-成因相概念进一步划分
	外来碎屑金伯利岩	
	金伯利岩熔岩	标准结构描述

1. 浅成相金伯利岩

第一阶段将浅成相金伯利岩分为金伯利岩和金伯利岩角砾岩。二者以已存在的相对大

的围岩捕虏体和早期结晶的金伯利岩（同源捕虏体）碎块的多少来区别。当肉眼可见的碎屑的体积占 15% 以上时，就定为金伯利岩角砾岩。由于各种细粒捕虏体在金伯利岩和金伯利岩角砾岩中含量不大，定名分类时可以不考虑。利用上述分类，尽量避免使用“块状金伯利岩”、“斑状金伯利岩”、“碎屑-斑状金伯利岩”、“侵入金伯利岩”、“侵入金伯利岩角砾岩”、“喷发金伯利岩角砾岩”及“角砾状金伯利岩”等含义不清易造成混乱的术语。在第一阶段分类的基础上，可进一步分出三种结构不同的金伯利岩，即隐晶金伯利岩、分凝金伯利岩和粗晶金伯利岩。其过渡类型可联合命名，如分凝粗晶金伯利岩等。多数金伯利岩含有大量较大的（0.5~5 mm）他形上地幔源的嵌晶，使岩石产生一种特有的不等粒结构。这些嵌晶主要为橄榄石、金云母、镁钛铁矿、铬尖晶石、镁铝榴石、单斜辉石和斜方辉石。金伯利岩中的他形嵌晶使金伯利岩表现“粗晶结构”，具粗晶结构的金伯利岩，称粗晶金伯利岩。第二种主要金伯利岩为分凝金伯利岩，它以具分凝结构为特征。其晚期结晶的分凝体呈不规则状分布在主要由早期结晶组分构成的基质内。隐晶金伯利岩少见。这种金伯利岩无大晶体嵌晶，是一种微斑晶岩石，岩石中有大量细小的（小于 0.5 mm）自形橄榄石微斑晶及其它微斑晶矿物。金伯利岩角砾岩由嵌在金伯利岩基体中的外源和同源岩石碎块组成，可像对金伯利岩那样，按结构将其三分。金伯利岩角砾岩分粗晶金伯利岩角砾岩、分凝金伯利岩角砾岩和隐晶金伯利岩角砾岩。金伯利岩角砾岩中围岩碎屑与火山道相金伯利岩中的不同，一般都广泛地受到了交代作用的改造。如果岩石内碎屑主要由各种围岩组成，则称为异源金伯利岩角砾岩；如果碎屑主要由早期结晶的金伯利岩碎块组成，则可称为同源金伯利岩角砾岩。

2. 火山道相金伯利岩

火山道相金伯利岩是复杂的富蒸气的流体化侵入系统的最终产物。它一般混有大量围岩捕虏体，同源金伯利岩碎块（来自早期侵入体的同源捕虏体），由流体化前侵入阶段形成的球状分凝体到流体化侵入期间形成的球粒及不规则火山砾组成的原生集合体，来自上地幔的捕虏体和捕虏晶，地壳捕虏晶以及嵌在细粒胶结介质中的一些单晶矿物，细粒基体。在分类的第一阶段，将火山道相金伯利岩分为两种主要类型：凝灰金伯利岩和凝灰金伯利岩角砾岩。在凝灰金伯利岩角砾岩中，混入粒径为 4 mm 以上的捕虏体及同源金伯利岩碎块占体积的 15% 以上。在火山道相金伯利岩中，围岩碎块都比同源包体多得多。火山道相金伯利岩中的捕虏体一般未蚀变，以此可将其和金伯利岩角砾岩分开。凝灰金伯利岩相对较少。在许多情况下，凝灰金伯利岩均呈流动分异带产在凝灰金伯利岩角砾岩的内部和边缘。在第二阶段分类中可将凝灰金伯利岩三分：①球团状凝灰金伯利岩，类似的凝灰金伯利岩角砾岩称为球团状凝灰金伯利岩角砾岩。该类岩石以含大量细小原生球状、似球状火山砾和分凝体组分为特征。其大小从微粒到几厘米。这些球状体使岩石具独特的球团状结构。②岩屑凝灰金伯利岩和岩屑凝灰金伯利岩角砾岩。它们含少量或不含球团状物质，岩石特征受细小的（直径小于 4 mm）、棱角状一次棱角状的围岩碎屑的含量支配。而岩屑凝灰金伯利岩角砾岩除含细小的碎屑（小于 4 mm）外，还含占体积 15% 以上的直径大于 4 mm 的围岩或同源捕虏体，既有异粒凝灰金伯利岩，也有同粒凝灰金伯利岩。③晶屑凝灰金伯利岩。岩石不含或含少量球状分凝体或球团火山砾，不含或含少量可以看到的同源或围岩碎屑，它们由大晶体和斑晶加基质组成。不存在和这种金伯利岩对应的金伯利岩角砾岩。

3. 火山口相金伯利岩

首先划分为金伯利岩熔岩、火成碎屑金伯利岩和外碎屑金伯利岩。金伯利岩熔岩极少见,可根据熔岩组构描述。外碎屑金伯利岩是火成碎屑金伯利岩被剥蚀和后来再沉积形成的,位于金伯利岩岩管火山口之内。外碎屑金伯利岩和火成碎屑金伯利岩,可根据标准粒级来描述,进一步细分。就宏观来说,可以从岩性-成因相角度进行描述。

长期以来,我国地质工作者以岩石的结构、构造及主要造岩矿物和特殊伴生矿物含量为依据,命名划分金伯利岩(表2—2)。这种分类较简单,很适合于生产使用,具有较强的实用性。

表2—2 金伯利岩分类

构造	结 构	碎屑成分和含量	主要类型	金云母小于5%	金云母5%~15%	金云母大于15%
碎 屑 状	大于2 mm的碎屑	(以同源和深源碎屑为主)	金伯利角砾岩			
	小于2 mm的碎屑	小于50%	金伯利凝灰岩			
	大于2 mm的碎屑	含围岩碎屑 10%~50%	含围岩碎屑 金伯利岩	含围岩粗屑 金伯利岩	含围岩粗屑云 母金伯利岩	含围岩粗屑富 云母金伯利岩
	小于2 mm的碎屑			含围岩细屑 金伯利岩	含围岩细屑云 母金伯利岩	含围岩细屑富 云母金伯利岩
块 状	斑状结构	含围岩碎屑 小于10%	斑状金伯利岩	斑状金伯利岩	斑状云母 金伯利岩	斑状富云母 金伯利岩
	细粒结构、 显微斑状结构		细粒金伯利岩	细粒金伯利岩	细粒云母 金伯利岩	细粒富 云母金伯利岩
岩 球 状	胶结物为斑 状结构、显 微斑状结构	岩球含量 大于10%	含岩球金伯利岩	含岩球金伯利岩	含岩球云母 金伯利岩	含岩球富云母 金伯利岩

三、金伯利岩的矿物组成

金伯利岩的矿物组成极为复杂,具有多源、多期、多种类的特征,主要有自然元素、硫化物、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐、各种硅酸盐和氧化物。其组成特征见表(表2—3)。不同

表2—3 金伯利岩矿物组成特征表

矿物类	矿 物	矿 物 特 征
自然 元 素	银	加拿大金伯利岩基质中自然银呈孤立颗粒,其中Fe(1%),Co(0.01%),Ni(0.1%)
	铜	莱索托金伯利岩中橄榄石内包体有自然铜呈不规则状
	铂族矿物	金伯利岩中常见铂族矿物和镁钛铁矿、磁铁矿、铬铁矿共生
	镍-铁	镍铁和金属铁呈包体出现在橄榄石碳硅石中
	石墨、金刚石	石墨呈细颗粒产于金伯利岩基质中,也可与磁黄铁矿形成连晶,金刚石特征见后
	碳硅石	稀少,部分岩体富集,颜色多变,和金属铁、石墨常呈连生

矿物类	矿 物	矿 物 特 征
硫化物	黄镍铁矿、 镍、磁黄铁 矿、黄铜矿、 闪锌矿、方铅 矿、辰矿、白 铁矿	硫化物常呈不规则颗粒星散于金伯利岩基质中，或呈包体产于各种粗晶矿物中。这些硫化物部分代表了地幔组成特征，部分是后期产物，目前仍在深入研究
卤化物	石 盐	和平岩管金伯利岩中有食盐
氧化物 及 氢 氧 化 物	方镁石	(1) 钙镁橄榄石中 $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 的包体；(2) 金伯利岩中基质内广泛分布；(3) 橄榄石晶体边缘微小均质晶体
	尖晶石类矿物	尖晶石、磁铁矿、磁铁矿为次生不规则状，Mg、Cr、Ti、Ni 含量极低，铬铁矿
	刚 玉	在许多金伯利岩中富含刚玉集合体，它们可能由刚玉榴辉岩等深源体形成
	镁钛铁矿	金伯利岩最特征的标志矿物
	钙钛矿	金伯利岩特征副矿物，偶见钙钛矿-尖晶石堆积体，一般是 (1) 基质中孤立晶体；(2) 镁钛铁矿反应边；(3) 增生矿物集体，钙钛矿是金伯利岩中铌、稀土富集体
	烧绿石	在一些富碳酸盐金伯利岩爆发角砾岩中有少量烧绿石分布
	铁的氢氧化物	见于所有金伯利岩侵入体中，堵塞角砾岩火山道上层，常使金伯利岩染色发黄
	石 英	原生石英与磁铁矿、铁白云石、菱铁矿见于金伯利岩的不混熔颗粒中，次生石英产于裂隙中
	玉 髓	出现在金伯利岩的内部硅化带及金伯利岩与围岩的接触带，伴强烈硅化
	TiO ²⁺ 多形晶	金红石：见于众多金伯利岩基质中，极少数呈单颗粒出现，金红石是金伯利岩捕虏体的一种副矿物。锐钛矿：和赤铁矿伴生，是次生矿物
碳酸盐	富钛矿物	镁钛铁矿：它呈微少的 ($20\sim 50\ \mu\text{m}$) 单晶与金红石和富镁钛铁矿一起产于金伯利岩中，钾镁煌斑岩中，此外，还有复杂的含铈和钽的钛酸盐，它们被包于金云母中，并有钙钛矿+钛铁矿的包壳，水化富镁钛硅酸盐
	斜锆石	(1) 呈细颗粒斜锆石包在锆石晶体上；(2) 小晶体 ($0.5\ \text{mm}$)、浑圆状颗粒聚集体
	水镁石类矿物	羟铁矿：Fe (OH) ²⁺ 中 Mg 和 Mn 交代 Fe ²⁺
	方解石、镁方 解石、菱镁矿 白云石、文 石、菱铁矿、 碳酸钠钙石	方解石最主要，含量变化大，铈、钇、钽、镧、铅、铀、钍含量高 Th/V < 1。δ-C 变化范围和金刚石相近，其它碳酸盐矿物含量很低，分布局限，碳酸盐矿物有时作为橄榄石等矿物包体出现
硫酸盐	重晶石 石 膏 天青石	低温阶段出现在脉体和金伯利岩基质的孔洞内，并多位于上部，产于风化金伯利岩的近地表带，相伴有硬石膏和泻利石和重晶石等相伴，从白色到天蓝色或玫瑰色，其 BaO、CaO 含量变化大
磷酸盐	磷灰石 独居石	形态复杂，以针柱状为主，含稀土和 SrO 较高，有氟羟基磷灰石，产于含斜锆石、铌铁矿、烧绿石的金伯利岩角砾岩中，富轻稀土

矿物类	矿物	矿物特征
硅酸盐类	橄榄石	主要造岩矿物。有镁橄榄石 (Fo89~94), 钙镁橄榄石和钛橄榄石
	石榴子石	最普通矿物, 紫红-红-紫色镁铝榴石是指示矿物, 据化学组成划分 12 类
	锆石	大小 1 cm, 浑圆状, 具劈理, 表面一层白膜, 颜色从白到黄褐, 含 Hf、REE
	辉石	铬透辉石为特征, 据化学成分可划分 5 个斜方辉石组和 10 个单斜辉石组
	金云母	主要造岩矿物可达 50%, 分巨晶和基质相, 化学成分变化大
	蛇纹石	主要次生矿物有叶蛇纹石、鳞蛇纹石和纤蛇纹石、胶蛇纹石
	硅镁石	铁-斜硅镁石、硅硼钙石、灰硅钙石-柱硅钙石、楣石等
	其它矿物	黄长石类、绿帘石类、葡萄石、角闪石类 (透闪石和钠碱锰闪石)、鱼眼石、滑石、黑云母、水云母、蒙脱石、绿泥石类、霞石类

类型的金伯利岩其矿物组成差别很大。但最主要的造岩矿物为橄榄石、辉石、金云母、蛇纹石、石榴子石及方解石等。典型的标型副矿物有镁铝榴石、尖晶石族、钛铁矿、金红石、钙钛矿及楣石等。其中, 组成巨晶体的矿物有石榴子石、钛铁矿、单斜辉石、斜方辉石、锆石、橄榄石及云母。原生矿物主要有橄榄石、金云母、尖晶石、钛铁矿、辉石、钙钛矿、钙镁橄榄石、楣石、碳酸盐和蛇纹石。目前, 用于金刚石勘查的指示矿物主要有镁铝榴石、镁钛铁矿、铬尖晶石和铬透辉石。在具体的金伯利岩勘查区还有其它指示矿物被使用。上述指示矿物具有独特的特征, 对他们的研究日趋深化。

1. 金伯利岩镁铝榴石特征

不同地区的金伯利岩体中的镁铝榴石含量变化很大, 同一地区不同岩带和岩体以及同一岩体不同部位、不同岩相中镁铝榴石的含量也不同。不同颜色系列的镁铝榴石含量和金刚石的品位关系复杂。我国金伯利岩中紫色系列的镁铝榴石的含量与金刚石品位呈正相关, 而橙色系列镁铝榴石的含量与金刚石品位呈负相关。

金伯利岩中镁铝榴石的大小变化很大, 一般为 0.1~15 cm。金伯利岩中镁铝榴石以粗晶和巨晶为主, 而小颗粒是由大颗粒破碎形成。他们一般为椭圆状和扁圆状。根据镁铝榴石的大小和产状可将其划分为五类: ①巨晶: 单晶颗粒大于 1 cm 者称为巨晶。巨晶石榴子石多为具裂隙的低铬钛镁铝榴石大单晶 (TiO_2 0~1.5%), Cr_2O_3 含量 (0~3%) 和 $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比值 (0.86~0.68) 变化较大。当 Ca 含量恒定时, Fe 含量的增加与 Cr_2O_3 减少相关。富铁镁铝榴石常含有镁钛铁矿包体。上述镁铝榴石巨晶体组成成分在全球具有一致性。产于碱性玄武岩、霞岩和黄长煌斑岩内的巨晶石榴子石 TiO_2 (小于 0.5%) 和 Cr_2O_3 (小于 0.5%) 含量低, 和金伯利岩中石榴子石明显不同。在金伯利岩中, 除含低 Cr 镁铝榴石巨晶外, 还有罕见的富 Cr (6%~13% Cr_2O_3) 镁铝榴石巨晶体。我国发现的巨晶镁铝榴石粒径一般为 2~4 cm。主要为橙色、橙黄色、玫瑰色, 并常具皮壳。②粗晶: 单晶颗粒在 0.5~1 cm 范围的称为粗晶。粗晶镁铝榴石颜色种类多, 不同地区颜色不同。③金伯利岩深源包体中的镁铝榴石。④金刚石内作为包体的镁铝榴石。⑤橄榄石、铬尖晶石等矿物中的镁铝榴石包体。

金伯利岩镁铝榴石多种多样, 主要为紫色系列和橙色系列, 紫色系列镁铝榴石常具二

色性。紫色系列镁铝榴石颗粒较小，一般小于 1 cm，而粗颗粒镁铝榴石绝大部分为橙红和橙黄色。

紫色系列镁铝榴石的折光率、晶胞参数和相对密度比橙色系列的镁铝榴石都高，形成的深度也大。和其它岩类镁铝榴石相比，富含金刚石的金伯利岩中镁铝榴石的颜色种类齐全；而含金刚石很少，甚至不含金刚石的金伯利岩中镁铝榴石的颜色种类较单一，以橙色系列为主，深紫色镁铝榴石少见。

金伯利岩镁铝榴石折光率为 1.725~1.799。

金伯利岩镁铝榴石表面常有皮壳，一般为由蛇纹石、磁铁矿、金云母、铬尖晶石、绿泥石、方解石等矿物组成的复杂集合体。

镁铝榴石成分变化较复杂。根据石榴子石的 CaO、MgO、FeO、TiO₂ 及 Cr₂O₃ 含量的变化，Dawson 和 Stephens (1975、1976) 把金伯利岩及其深源捕虏体和金刚石中的镁铝榴石划分为 12 种类型（表 2—4）。

表 2—4 道森-斯蒂芬斯分类 (1975) 中的各组石榴子石的不同产状及特征氧化物平均成分

组	名 称	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	产 状
1	钛-镁铝榴石	0.58	1.34	9.32	20.0	4.82	K, GL, GOW, D
2	高钛-镁铝榴石	1.09	0.91	9.84	20.3	4.52	K
3	钙-镁铝榴石-铁铝榴石	0.31	0.30	16.49	13.35	6.51	K, GL, GOW, EC, D
4	钛-钙-镁-铁铝榴石	0.90	0.08	17.88	9.87	9.41	K, EC, D
5	镁-铁铝榴石	0.05	0.03	28.23	7.83	2.44	K, EC, D
6	镁铝榴石-钙铝榴石-铁镁榴石	0.24	0.27	10.77	10.38	14.87	GP, EC, GR
7	铁-镁-钙铬榴石-钙铝榴石	0.29	11.52	5.25	8.61	21.60	K, GS
8	铁-镁-钙铝榴石	0.25	0.04	6.91	4.69	24.77	GR
9	铬镁铝榴石	0.17	3.47	8.01	20.01	5.17	K, GL, GOW, GH, EC, D
10	低钙-铬-镁铝榴石	0.04	7.73	6.11	23.16	2.13	K, GS, D
11	钙铬榴石-镁铝榴石	0.51	9.55	7.54	15.89	10.27	K, GL, GWH, D
12	镁铬榴石-钙铬榴石-镁铝榴石	0.18	15.94	7.47	15.40	9.51	K, GS

(1) 红褐色的钛镁铝榴石：在变形的二辉橄榄岩中的石榴子石相对较小，而金伯利岩中的孤立巨晶石榴子石可达 5 cm。该类巨晶与镁钛铁矿形成结核状连晶。

(2) 金伯利岩中的高钛镁铝榴石巨晶，其 TiO₂ 较第 1 组石榴子石高，但二者间呈过渡状态。该组石榴子石分布广泛，其某些石榴子石可与镁钛铁矿连生。

(3) 褐色的钙-镁铝榴石-铁铝榴石，该组石榴子石主要来自普通榴辉岩和含金石榴辉岩，少数来自金伯利岩和变形橄榄岩。

(4) 富 FeO [$w(\text{FeO}) = 17.9\%$] 和 TiO₂ [$w(\text{TiO}_2) = 0.9\%$] 的褐色石榴子石，在金伯利岩和榴辉岩中呈孤立晶体出现。

(5) 镁-铁铝榴石 [$w(\text{FeO}) = 28.3\%$]，其中含来自科罗拉多高原的金伯利岩和榴辉