

鲁西蒙阴地区含金刚石金伯利岩的岩浆侵入序列及成矿模式

张成基^{1,2,3,4)}, 田京祥^{1,2,3)}, 陈文韬^{1,2,3)}, 张增奇^{1,2,3)}, 杜圣贤^{1,2,3)}

1) 山东省地质科学研究院, 济南, 250013; 2) 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 济南, 250013; 3) 国土资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 济南, 250013; 4) 山东省地质矿产勘查开发局, 济南, 250013

内容提要:鲁西蒙阴地区是我国金刚石原生矿重要产地之一, 其含金刚石金伯利岩命名为常马庄单元。本文对该区金伯利岩地质特征进行了梳理, 按岩石命名原则对该地区含金刚石金伯利岩不同岩石类型进行了重新划分和命名, 共划分了细斑微粒金伯利岩类、粗斑细微粒金伯利岩类和含碎屑细斑或中细斑微粒金伯利岩类 3 个岩石类型和 13 个亚类型, 同时首次从早至晚划分了细斑微粒金伯利岩类→含围岩角砾中细斑微粒金伯利岩类→粗斑细微粒金伯利岩类的侵入序列。通过对前人研究资料的综合分析并结合野外实地考察认为: 以前套用南非金伯利岩型金刚石原生矿中心式火山喷发型成矿模式作为蒙阴地区含金刚石金伯利岩的成矿模式不符合该区实际地质特征。提出了该区金刚石金伯利岩新的成矿模式为中心式—裂隙式复合潜火山隐爆岩浆序次侵入充填型岩浆侵入角砾岩筒及其伴生的岩脉、岩床模型。

关键词:蒙阴地区; 常马庄; 金伯利岩; 金刚石; 成矿模式

金伯利岩是一种岩浆起源最深的浅成—喷出岩, 常以岩筒、岩脉和岩床产出 (Zheng Jianping et al., 1989; Heaman et al., 2003; Lu Fengxiang et al., 2008; Brook, 2017; Lei Xueying et al., 2017)。鲁西蒙阴地区含金刚石金伯利岩是金刚石原生矿的载体和母岩, 是我国金刚石原生矿重要产地之一。1965 年 8 月由山东省地矿局 809 队 (现为山东省第七地质矿产勘查院, 以下简称七院) 发现, 并相继进行普查、勘探、开采和系统综合研究工作。

20 世纪八九十年代, 山东省地矿局在推广应用 1:5 万花岗岩区单元—超单元新填图方法后, 将代表性的蒙阴县联城镇常马庄一带的含金刚石金伯利岩岩筒或岩脉侵入体正式建立常马庄金伯利岩单元, 时代归属为古生代加里东期 (Yang Jingsui et al., 2002)。其后, 被山东省地矿系统广泛采纳和

应用。

2015 年、2017 年, 笔者参加了七院提交的地质科研报告《山东省蒙山地区金刚石成矿规律及找矿靶区预测报告》、《山东省蒙阴地区金刚石原生矿成矿规律及深部找矿方法技术研究报告》的评审, 对金伯利岩某些岩石类型的命名和成矿模式提出了不同的意见和建议。

前人对含金刚石金伯利岩虽然进行了分类, 但某些岩石类型的命名不完全符合岩石命名的原则, 其岩石类型分类亦存在不妥之处; 尽管对不同岩石类型的接触关系和相互侵入包裹关系进行了描述, 但并未建立起岩浆侵入序列; 对含金刚石金伯利岩浆侵位成矿模式均套用南非金伯利岩深部结构建立的金伯利岩型金刚石原生矿火山机构 (即中心式火山喷发型) 成矿模式, 该成矿模式并不符合蒙阴地区

注: 本文为山东省重大创新工程“深地资源勘查开采”专项 (编号 2017CXGC1602、2017CXGC1608) 和中国地质调查局“中国地质矿产志山东卷” (编号 DD20190379-6) 联合资助成果。

收稿日期: 2020-03-14; 改回日期: 2020-06-09; 网络发表日期: 2020-08-25; 责任编辑: 李曼。

作者简介: 张成基, 男, 教授级高工, 主要从事区域地质调查、矿产勘查和地质科研工作, Email: sddkzcyj@163.com。通讯作者: 田京祥, 男, 研究员, 主要从事地质矿产勘查与研究, Email: jxtian65@163.com。陈文韬, 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查和地质科研工作, Email: chenwentao8618@163.com。

引用本文:张成基, 田京祥, 陈文韬, 张增奇, 杜圣贤. 2020. 鲁西蒙阴地区含金刚石金伯利岩的岩浆侵入序列及成矿模式. 地质学报, 94 (9): 2666~2675. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020180.

Zhang Chengji, Tian Jingxiang, Chen Wentao, Zhang Zengqi, Du Shengxian. 2020. The magmatic intrusive sequence and the metallogenic model of diamondiferous kimberlite in the Mengyin area, western Shandong. Acta Geologica Sinica, 94(9): 2666~2675.

原生金刚石矿的实际地质情况。近期在对地质专著《山东省侵入岩岩石谱系》中常马庄金伯利岩单元进行修改重写的过程中,依据七院相关地质资料,通过进一步深入研究,指出蒙阴地区含金刚石金伯利岩具有浅成相或超浅成相侵入岩特征(不具备喷溢相产出的喷出岩特征),结合岩相学特征对各类金伯利岩按岩石命名原则进行了重新命名和分类,并依据其空间分布特征、接触关系和相互侵入捕虏包裹关系,建立了岩浆侵入序列,同时结合该区实际地质情况提出了新的“中心式-裂隙式复合潜火山隐爆岩浆序次侵入充填型”成矿模式,对深入研究金刚石矿床成因和指导找矿有一定的科学和现实意义。现将这些新认识、新进展总结归纳,供广大地质工作者参考。

1 蒙阴地区金伯利岩地质特征

蒙阴地区金伯利岩位于华北板块中东部,东隔郯庐断裂带与苏鲁造山带相邻(图 1)。形成于古生代中奥陶世地温梯度低、地壳厚度大且稳定的地台克拉通大地构造环境中。

常马庄金伯利岩单元均分布于鲁西蒙阴县境内,南从蒙山龟蒙顶西侧,向北东经常马庄、西峪至坡里一带,总体展布方向 35°~40°,断续长 42 km。金伯利岩侵入体多呈岩脉,少量为岩筒,在盖层区个别呈岩床而成群产出。最高侵入地层层位为中奥陶世达瑞威尔期马家沟群五阳山组。依据岩体密集分布区划分为常马庄、西峪和坡里 3 个岩带(图 1),受控于金星头断裂、蔡庄断裂、新泰-垛庄断裂、上五井断裂及蒙山断裂(Zhao Pengda et al., 1983; Dong Zhenxin, 1991; Wu Genyao et al., 2007, Zhang Yong et al., 2016)。

1.1 常马庄岩带

常马庄岩带位于蒙阴金伯利岩区南部,在蒙阴县城西南 15 km 联城镇常马庄附近。岩带出露于泰山—蒙山断隆、蒙山—蒙阴单斜断拱的罡城—蒙山单斜断凸区,南起塔峪,经王村至埠洼,由一对岩管和 8 组岩脉(共 113 个单脉)组成,长 14 km,宽约 2.5 km (Zhang Peiqiang, 2006; Wang Zhaobo et al., 2013, 2014; Chen Yaoming et al., 2018; Yang Zhijun et al., 2018; Chu Zhiyuan, 2019)。岩脉走向 15°~35°,南段西倾,北段东倾,倾角 70°~89°。岩带各组岩脉以右行雁列式排列,每组岩脉由十余个至数十个小脉组成,首尾斜列断续相连,组脉长 0.1~1.8 km,单脉长十余米至数百米,厚 0.2~0.5 m。

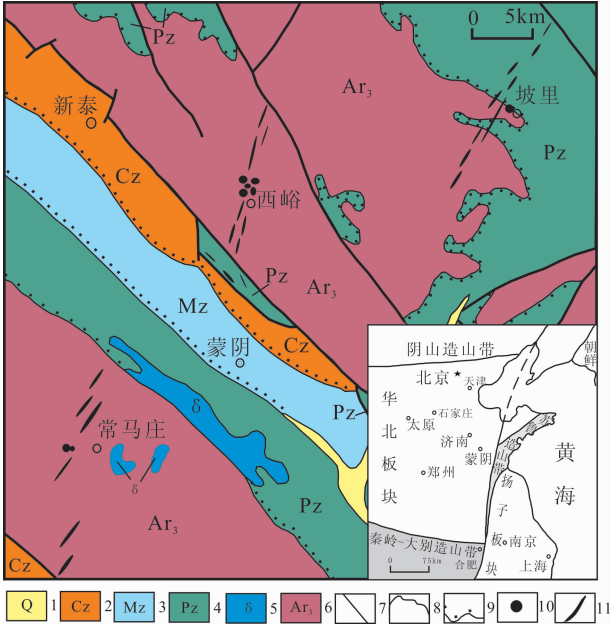


图 1 鲁西蒙阴地区常马庄金伯利单元地质简图
(据山东省第七地质矿产勘查院资料修编)
Fig. 1 Geological map of Changmazhuang kimberley unit in Mengyin area, western Shandong (modified from data by The Seventh Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong)

1—第四系;2—新生代地层;3—中生代地层;4—古生代地层;5—中生代侵入岩;6—新太古代结晶基底;7—断裂构造;8—地质界线;9—角度不整合界线;10—金伯利岩岩筒;11—金伯利岩岩脉(床)
1—Quaternary; 2—Cenozoic; 3—Mesozoic; 4—Paleozoic; 5—Mesozoic intrusive; 6—Neoproterozoic crystalline basement; 7—fault; 8—geological boundary; 9—angular unconformity; 10—kimberlite pipe; 11—kimberlite dike (bed)

一对岩管(胜利 1 号)在岩带中部呈北西向椭圆形和北东向透镜状(Zhang Jingliang, 1989),面积分别为 3987 m²和 1360 m²,至垂深约 300 m 处两岩管合二为一,且规模变小,延深超过 1000 m。该岩带金刚石含量 3~768 mg/m³。围岩为新太古代蒙山序列 TTG 岩系英云闪长质—石英闪长质片麻岩。

1.2 西峪岩带

西峪岩带位于蒙阴金伯利岩区中部,在蒙阴县城北 12 km 的高都镇西峪村附近。岩带出露于泰山—蒙山断隆、新甫山—莱芜单斜断拱的新甫山—孟良崮单斜断凸区。按展布方向分为北北东向岩带和北西向岩带两部分,其主体为北北东向岩带,南起新泰—垛庄断裂的城关镇山头村,向北经高都镇西峪、薛家峪,北端止于铜冶店—孙祖断裂,由 10 个岩管、11 组岩脉(151 个单脉)组成,长 15 km,宽 0.5~1 km。岩带总体走向 15°(Chu Zhiyuan, 2019)。

南端为北西向岩带,由 5 个岩脉、岩床组成,走向 $280^{\circ}\sim 330^{\circ}$,长 4.7 km,宽百余米,倾向南西或北东,其倾角为 $20^{\circ}\sim 78^{\circ}$ 。岩带各组岩脉长 0.18~2.1 km,单脉长数米至数百米,厚 0.2~0.66 m,脉中间可形成数米(最宽达 20m)的透镜状膨大体。岩管群集中于北部岩带中部西峪附近,单管面积 145~17309 m²,长轴以北东向—北东东向为主,少数为北西向,其两端或一端与岩脉相连,倾向不定,倾角 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$,倾角向下变小,至 300~500 m 深度变成岩脉,延深大于 1050 m。该岩带金刚石含量 3.82~224.33 mg/m³,多为几 mg/m³ 至数十 mg/m³。北北东向岩带围岩为新太古代傲徠山序列二长花岗岩,南端北西向岩带围岩为早古生代寒武—奥陶纪沉积盖层,金伯利岩侵位最高层位为中奥陶世马家沟群五阳山组。

1.3 坡里岩带

坡里岩带位于蒙阴金伯利岩区北部,在蒙阴县东北 32 km 野店镇至岱崮镇(坡里)一带。岩带出露于泰山—蒙山断隆、马牧池—沂源单斜断拱的马牧池单斜断凸区,南起晨云崮向北经东坪、坡里(岱崮镇)至金星头断裂南侧桑树峪附近,长约 18 km,宽约 0.5 km。岩带总体走向 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$,由 25 条(组)岩脉组成,仅有 4 组各由 2~8 条岩脉组成,未见岩管(Chu Zhiyuan, 2019)。单脉沿追踪张性构造裂隙呈近平行侧列式排列,单脉长 0.3~1.5 km,厚 0.1~0.5 m,最窄者几厘米到几毫米,走向多为 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$,多数倾向北西,少数倾向南东,倾角 $69^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 。岩性主要为细斑微粒富金云母金伯利岩,北段产于沉积盖层中碳酸盐化比较严重(Jin Zhenkui et al., 1999)。本岩带各岩脉含微粒金刚石,其含量低微,品位为 0.023~1.9 mg/m³,个别达 4.86 mg/m³,均未达工业要求。岩脉侵入围岩南段为新太古代傲徠山序列二长花岗岩,北段为早—中寒武世沉积盖层(Du Shengxian et al., 2019)。

从上述可以看出,前两个岩带走向接近,岩带中部均伴有岩管产出,金伯利岩相对含金云母较少,成矿后隆升大、剥蚀深;后一个岩带走向略偏北东,无岩管产出,金伯利岩富含金云母,成岩后隆升小,剥蚀相对较浅。该金伯利岩单元普遍含有金刚石,其中常马庄岩带平均品位较高,西峪岩带平均品位中等,坡里岩带品位低贫,在空间上显示由南向北各岩带含金刚石品位逐步降低。在前两个岩带中岩管的含矿性普遍高于岩脉,且向深部逐渐贫化。

2 金伯利岩岩石类型和侵入序列

2.1 金伯利岩岩石类型

金伯利岩常是一种混杂侵入岩,是由原生岩浆结晶矿物(部分斑晶和基质组成矿物),深源捕虏体(纯橄榄岩、含镁铝榴石纯橄榄岩、尖晶二辉橄榄岩、尖晶石斜辉橄榄岩、榴辉岩及麻粒岩等)、捕虏晶(橄榄石、辉石、镁铝榴石、尖晶石和金刚石等)和各种地壳围岩角砾状捕虏体和捕虏晶构成的混杂侵入岩(Chi Jishang, 1996; Lu Fengxiang, 1999; Ding Yi, 2019)。鉴于上述原因,组成蒙阴金伯利岩的岩石类型较复杂,因岩石结构、构造和矿物组成、含量以及含围岩捕虏体的差别而划分为不同的岩石类型。

山东地矿七院依据蒙阴金伯利岩的矿物组成和岩石结构构造将其划分为 5 个基本类型(细粒金伯利岩、斑状金伯利岩、金伯利角砾岩、凝灰状金伯利岩、蚀变金伯利岩)和 13 个亚类型。

笔者在对上述各岩石类型的岩相学特征进行研究后,结合在岩石类型划分和岩石命名中存在的问题,对岩石名称和岩石类型划分进行了修正(表 1)。

2.1.1 金伯利岩岩石基本类型划分

将含凝灰质的和含围岩角砾的金伯利岩归为同一基本岩石类型,其共性是含隐爆产生的自碎屑(金伯利岩岩屑和相关晶屑)和围岩碎屑(石灰岩、基底花岗岩角砾及其晶屑),应称为含碎屑金伯利岩。另外,少量金伯利岩发生碳酸盐化、硅化等次生蚀变的岩石是局部现象,不应作为基本岩石类型划出。这样,基本岩石类型由五类改划为三类:按修改后的岩石名称,即分为细斑微粒金伯利岩类、粗斑细微粒金伯利岩类、含碎屑细斑或中细斑微粒金伯利岩类。

2.1.2 金伯利岩岩石命名

原称细粒金伯利岩,实为斑状结构,据岩石特征描述,矿物斑晶粒径在 1 mm 左右,基质为粒径 < 0.1 mm 的显微晶质结构,按侵入岩岩石命名原则和组成矿物粒径划分规定,岩石类型名称应为细斑微粒金伯利岩。

原称斑状或粗晶金伯利岩,岩石结构为似斑状结构,矿物斑晶粒径一般在 0.5~1 cm,少量为 2~5 cm(最大者达 10 cm),斑晶粗大者多为捕虏晶,部分为岩浆结晶产物,属粗斑(少量为巨斑);基质为斑状结构,其斑晶和基质大致与细斑微粒金伯利岩相似,岩石类型名称应为粗斑细微粒金伯利岩。

原称金伯利角砾岩,岩石名称不应采用碎屑岩

基本名称。该岩石类型虽含有大量(含量为 40%~70%)围岩(石灰岩或基底花岗岩)和深部同源岩石角砾,但胶结物基质不是碎屑物,而是金伯利熔岩,据其斑晶粒径 1~3 mm(属中细斑)和基质(同上述细斑微晶金伯利岩)特征,岩石名称应为含灰岩角砾或含花岗岩角砾中细斑微粒金伯利玢岩。

原称凝灰状金伯利岩,所含凝灰质岩屑、晶屑较多,胶结物基质为细斑微粒金伯利玢岩,称“凝灰状”不妥(无“凝灰状”专用术语),岩石类型名称应为含凝灰质细斑微粒金伯利玢岩。并将该岩石并入含碎屑金伯利岩基本类型中。

原称金云母金伯利岩,应依据金伯利岩所含金云母含量多少作进一步划分和岩石命名(Xiang Zhengjiao et al., 2019)。按矿物含量在岩石命名的相关规定,当金云母含量<5%时,不参加岩石命名;当含量为 5%~10%,命名为含金云母金伯利玢岩;当含量 10%~30%时,命名金云母金伯利玢岩;当含量>30%时,命名为富金云母金伯利玢岩。

作为金伯利岩特征矿物镁铝榴石,当其含量>1%时,参加岩石命名,称含镁铝榴石金伯利玢岩。

金伯利岩中常见细微粒金伯利岩球,只有当其含量>5%时,命名为含岩球金伯利玢岩。

上述岩石类型从岩石基质结构上看,均为斑状结构,斑晶为暗色矿物,基质为微粒(隐晶质)或细微粒结构,均具有浅成相或超浅成相侵入岩的特征,不具备喷溢相产出的喷出岩特征,均可命名为金伯利玢岩。

依据上述意见,笔者将蒙阴地区金伯利岩划分为 3 个岩石类型、11 个岩石亚类型(表 1),因这些岩石类型规模都不大,均笼统归入常马庄金伯利单元中。

2.2 金伯利岩的侵入序列

蒙阴常马庄金伯利玢岩单元实际包含了不同岩石结构、构造和矿物组成的岩石类型(表 1),显然不是幔源超基性岩浆一次侵入形成的,其经历了岩浆多次侵入所形成。前人对该区金伯利玢岩研究有关资料中介绍了不同岩石类型间存在脉动(侵入接触界线明显)先后侵入和捕虏包裹关系,但未建立金伯利玢岩的侵入先后序列。笔者依据山东地矿七院资料,并结合岩浆侵位岩石结构脉动式变化规律(Chen Meihua et al., 2006),提出如下划分不同类型金伯利玢岩侵入序次的根据。

2.2.1 不同金伯利玢岩岩石类型在岩筒或岩脉中的分布特征

细斑微粒金伯利玢岩类分布局限,主要见于主

岩脉的边缘和变窄尖灭部位,或旁侧的分枝细脉,以及岩筒的外凸部分,常分布于粗斑细微粒金伯利玢岩的外边缘。

含灰岩或花岗岩角砾中细斑微粒金伯利玢岩,前者主要分布在西峪岩筒中,且集中分布于地表至-170 m 中段内(岩筒围岩为花岗质岩石结晶基底,为潜火山隐爆成矿模式证据之一);后者在各岩筒(围岩为花岗质结晶基底)中均能见到,但主要出现在岩筒的北东东、北西西向延伸部位,在深部常分布在岩筒边部,有时出现在岩脉的膨大部位。含凝灰质细斑微粒金伯利玢岩仅见于西峪岩带南端盖层中的 23 号岩床中。

粗斑细微粒金伯利玢岩类是蒙阴常马庄金伯利单元最主要的岩石类型,绝大部分岩脉(床)和岩筒都由它构成,是常马庄、西峪 2 个岩带的主要岩石类型。粗斑细微粒富金云母金伯利玢岩主要见于坡里金伯利岩带中。

上述细斑微粒金伯利玢岩类多分布于岩筒或岩脉的边部,后两个岩石类型多位于其内部,相互穿插,无明显分布规律。

2.2.2 不同金伯利岩岩石类型接触关系及侵入包裹现象

含花岗岩角砾中细斑微粒金伯利玢岩与粗斑细微粒金伯利玢岩之间可见明显的侵入接触界面,应是两次岩浆脉动侵入的结果。推断其与含围岩角砾中细斑微粒金伯利玢岩具有相同的侵入接触界面。不含围岩角砾的粗斑细微粒金伯利玢岩为形成最晚的侵入岩。

含灰岩或花岗岩角砾中细斑微粒金伯利玢岩,两者胶结物基质完全相同,仅因所捕虏围岩角砾成分和相对含量不同岩石命名相异,推断两者之间应是一次岩浆侵入形成的渐变过渡关系。

细斑微粒金伯利玢岩类常被捕虏包裹于晚期粗斑细微粒金伯利玢岩和含围岩角砾(石灰岩和花岗岩)金伯利玢岩中,其界线明显应为脉动侵入接触关系,说明前者应是最早期的岩浆侵入产物。

2.2.3 岩浆侵位环境温度对岩石结构的影响

幔源岩浆产生的气液(含地下热水)沿构造薄弱部位上侵近地表浅处产生潜火山隐爆角砾岩筒或构造空隙为金伯利岩浆侵入提供了构造空间,早期岩浆侵入于相对冷的围岩环境温度条件下,岩浆快速冷却,岩石矿物结晶粒度细小,随着岩浆多次侵入,对岩浆上升通道围岩环境温度的加热提高,岩浆冷却结晶逐渐缓慢,矿物结晶粒度也逐步增大,会形成

岩石结构为细斑→中细斑→粗斑的侵入演化序列。但不排除这些斑晶在岩浆房中即开始结晶。

综合上述,依据不同类型金伯利岩的空间分布特征、接触关系及侵入包裹现象,结合岩浆侵位环境温度对岩石结构的影响初步建立的蒙阴金伯利岩侵入序列,从早到晚为:细斑微粒金伯利岩类→含围岩角砾中细斑微粒金伯利岩类→粗斑细微粒金伯利岩类,待今后通过工作进一步补充修正。与上述侵入序列岩石相对应的侵入体的规模由小增大。

3 成矿模式的探讨

所谓金刚石原生矿的成矿模式是指含金刚石金伯利岩在地壳浅部的侵位形成模式。前人对蒙阴含金刚石金伯利岩的形成模式多套用南非金伯利岩深部结构建立的金伯利岩型金刚石原生矿火山机构(即中心式火山喷发型)成矿模式(图 2)(Mitchell, 1991),该模式是一个完整的金伯利岩筒,从上到下有火山口相、火山道相和根部相(带)组成,其周围伴生岩床或岩脉(Mitchell, 1991; Kong Qingyou et al., 2006; Yu Xuefeng et al., 2015; Song Diannan et al., 2015)。

前人经对比认为,蒙阴金伯利岩形成后,受到比较严重的剥蚀,只保存了金伯利岩筒的根部相(带),剥蚀缺失了火山口相和火山道相(Zhang Peiqiang, 2006; Kong Qingyou et al., 2006; Wu Yufei, 2014; Yu Xuefeng et al., 2015; Li Wei et al., 2020)。有的甚至将火山口相置于中晚奥陶世马家沟群同沉积地层或其上(Song Diannan et al., 2015),笔者称这种成矿模式为中心式火山喷发型(图 3)。

这种中心式火山喷发型金伯利岩金刚石成矿模式是否适合蒙阴金伯利岩的地质特征值得探讨。蒙阴金伯利岩最高侵入地层层位为中奥陶统达瑞威尔期马家沟群五阳山组。金伯利岩众多较可靠的同位素测年资料显示形成于中奥陶世或稍晚(Song Mingchun et al., 2009; Yang et al., 2009; Zhang Hongfu et al., 2007),其与五阳山组沉积时间大致接近,如其成矿模式为中心式火山喷发型,就应如图 3 所示有火山口相并就应伴随有金伯利火山凝灰岩在海相沉积地层中广泛分布,但至今包括辽宁复县(亦产有相同时代的含金刚石金伯利岩)在内的整个华北地区剥蚀残存的马家沟群内均未发现此类火山凝灰岩。如果怀疑这些火山口相及喷出地表的金伯利火山凝灰岩已被剥蚀殆尽,亦应有其岩石碎屑

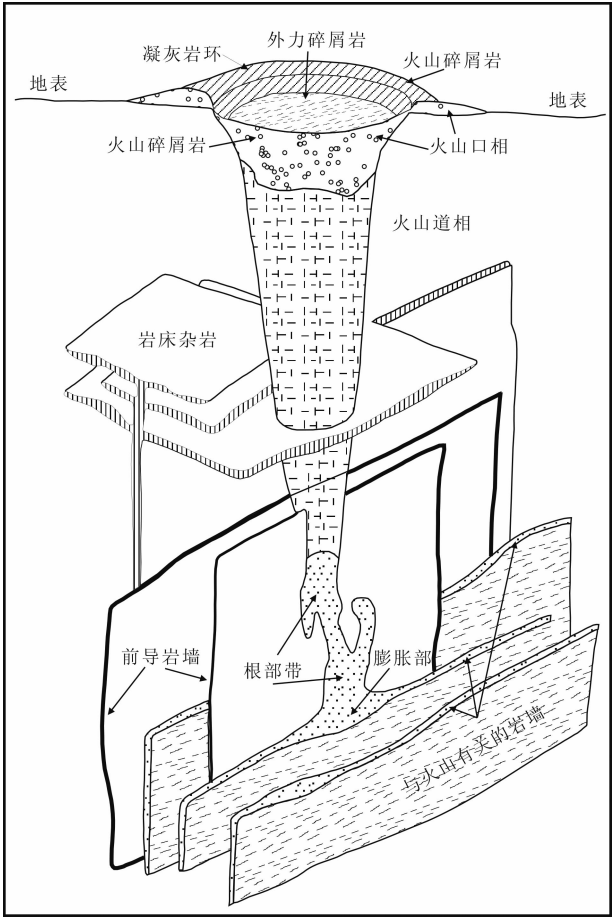


图 2 金伯利岩型金刚石原生矿中心式火山喷发型成矿模式(据 Mitchell, 1991)

Fig. 2 The metallogenic model of volcanic eruption type in the center of kimberlite diamond primary deposit (after Mitchell, 1991)

或所含金刚石、镁铝榴石等保存在晚石炭世达拉期月门沟群本溪组平行不整合面底部砾岩中。但该底部砾岩中从未发现金刚石及其伴生矿物。其底部砾岩上的第二、三层砾岩所发现金刚石可能与沉积盆地周缘区域地壳隆升剥蚀的含金刚石金伯利岩岩筒有关。另外,前已述及含盖层灰岩角砾金伯利岩主要保存在处于前寒武纪结晶基底中的西峪岩筒中,其剥蚀深度粗略计算距盖层角度不整合面应在 2 km 以上,如果是火山喷发成矿模式火山道内围岩碎屑大多应被喷出地表,管道内距上部盖层 2 km 以上的灰岩角砾在火山道深部更无法保存。这种现象是火山喷发成矿模式无法解释的。相反,这种现象为潜火山隐爆型成矿模式提供了确切的佐证和唯一判别标志。只有在潜火山隐爆封闭管道内,由于气液环流形成的隐爆作用,才能出现上下部围岩角砾碎屑相混的现象,使上部盖层灰岩角砾环流至

深部结晶基底管道内而保存下来。以上三个方面均说明金伯利岩中心式火山喷发型成矿模式是不符合山东实际情况的。

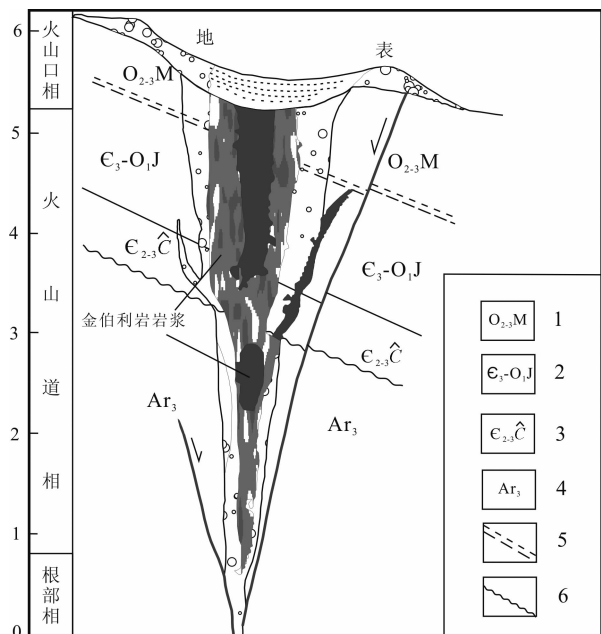


图3 蒙阴胜利1号岩筒金伯利岩型金刚石矿中心火山喷发型成矿模式(《山东金刚石地质与勘查》

据 Song Diannan et al., 2015)

Fig. 3 Eruption type in the center of diamond deposit in Shengli No. 1 kimberlite pipes, Mengyin (after 《Geology and Exploration of Diamond in Shandong Province》 by Song Diannan et al., 2015)

- 1—马家沟群; 2—九龙群; 3—长清群; 4—新太古代结晶基底;
5—平行不整合; 6—角度不整合
1—Majiagou Group; 2—Jiulong Group; 3—Changqing Group;
4—Neoproterozoic crystalline basement; 5—parallel unconformity;
6—angular unconformity

笔者认为蒙阴含金刚石金伯利岩的成矿成岩模型不应为中心式火山喷发型, 应为中心式—裂隙式复合潜火山隐爆岩浆序次侵入充填型岩浆侵入的角砾岩筒及其伴生的岩脉、岩床模型(常马庄和西峪岩带), 或裂隙式潜火山隐爆张裂隙岩浆序次侵入充填岩脉模型(坡里岩带)。

在来自地幔深部的挥发份增多或温度升高, 致使软流圈或下地幔部分重熔形成金伯利岩岩浆, 并捕虏早期金刚石(参考依据金伯利岩中与金刚石同为捕虏晶的镁铝榴石 Sm-Nd 表面年龄为 625~633Ma、922.4~1076.1Ma、1158.9~1283Ma、1822.2~1919.3Ma、2616.9Ma、3265.8Ma, 来判定金刚石的形成年龄), 受地幔高温高压及岩浆相对低密度产生浮力的驱动, 快速沿构造薄弱带上侵至近地表浅部, 在常马庄、西峪金伯利岩带的中部的构

造交叉部位, 受北东($10^{\circ}\sim 30^{\circ}$)、北北西(330°)、北东东($50^{\circ}\sim 90^{\circ}$) 和北西西(300°) 4 组构造裂隙控制, 形成潜火山隐爆含金金刚石金伯利岩岩筒(或岩筒群), 并沿北北东向隐爆构造裂隙充填侵位形成断续排列的含金金刚石金伯利岩脉岩带。在寒武纪、奥陶纪地层内, 除形成岩脉外还受层间构造控制形成岩床。而坡里金伯利岩带没有岩筒, 仅有北东向金伯利岩脉产出。其形成机理为, 当金伯利岩岩浆沿构造裂隙交汇部位上侵至太古宙结晶基底中时, 随压力的降低, 在岩浆本身挥发份快速析离和地下热水受热气化的气液联合作用下, 使上侵通道上部围岩先发生潜火山隐爆角砾岩化, 在封闭的角砾岩筒空间内, 前述气液受周边围岩降温的制约, 发生中心高温气液上升, 四周下降的环流现象, 致使盖层灰岩角砾被带至岩筒深部(图 4a)。当气液压力能量和体积散失, 随即被金伯利岩多次脉动侵入充填形成岩管、岩脉和岩床。这些呈岩脉、岩床、岩管产出的金伯利岩边界, 常具有追踪张裂的特征, 说明其岩浆侵位机制是潜火山隐爆拉张被动侵位产物。随着中心式潜火山隐爆岩筒的隐爆空间的扩张和伴随的裂隙式潜火山隐爆北北东—北东向张扭性构造裂隙的空间扩张, 金伯利岩依次按细斑→中细斑→粗斑金伯利岩侵入序列充填侵位(图 4b)。在局部细斑金伯利岩充填侵位时仍伴随着隐爆的发生, 产生凝灰质及角砾岩化, 形成含凝灰质细斑微粒金伯利岩及早期细斑金伯利岩角砾被后期侵位的含围岩角砾的和粗斑细微粒金伯利岩捕虏包裹的现象。

在坡里金伯利岩带缺少中心式潜火山隐爆岩筒, 仅有裂隙式潜火山隐爆岩浆序次侵入充填型岩脉, 从该带金伯利岩脉金刚石含量很低和富含金云母的特征看, 可能岩浆物源深度较其它两个岩带的较浅。

4 结论

通过综合分析和前文详细论述, 可以得出以下初步结论:

(1) 根据岩石命名原则, 对蒙阴地区含金刚石金伯利岩不同岩石类型进行了修改命名和重新划分, 共划分了 3 个类型 and 11 个亚类型。三大岩石类型为: 原细晶金伯利岩修改为细斑微粒金伯利岩, 原粗晶金伯利岩修改为粗斑细微粒金伯利岩, 原金伯利碎屑岩修改为含碎屑中细斑微粒金伯利岩。

(2) 按同源岩浆脉动演化规律和侵入、包裹现

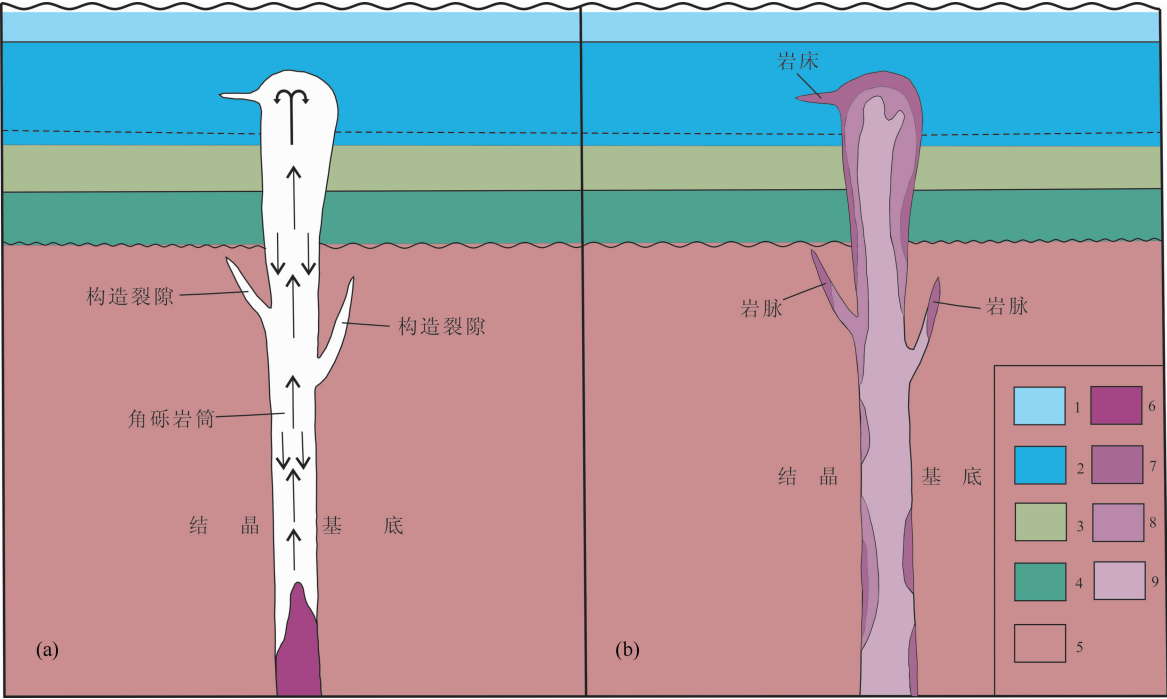


图 4 鲁西蒙阴地区含金刚石金伯利岩隐爆潜火山型成矿模式图

Fig. 4 Metallogenic model of cryptoexplosive subvolcanic diamondiferous kimberlites in Mengyin area, western Shandong (a)—与含金刚石金伯利岩浆侵入有关的气液隐爆潜火山岩筒及伴生的构造裂隙; (b)—含金刚石金伯利岩浆按次序侵入形成潜火山岩筒、岩脉、岩床矿体; 1—海水; 2—奥陶纪马家沟群及九龙群上部; 3—寒武纪九龙群; 4—寒武纪长清群; 5—新太古代结晶基底; 6—含金刚石金伯利岩岩浆; 7—细斑微粒金伯利岩(包括含凝灰质岩); 8—含灰岩、花岗岩角砾中细斑微粒金伯利岩; 9—粗斑细微粒金伯利岩

(a)—Gas-Liquid cryptoexplosive subvolcanic pipes associated with diamondiferous kimberley intrusion and associated structural fissures; (b)—the subvolcanic pipe, vein, bedrock orebody by diamondiferous kimberley intrusion in sequence; 1—seawater; 2—Ordovician Majiagou Group and upper part of Jiulong Group; 3—Cambrian Jiulong Group; 4—Cambrian Changqing Group; 5—Neoproterozoic Crystalline basement; 6—diamondiferous kimberlite magma; 7—fine speckled kimberlite (porphyrite) (including tuffaceous rocks); 8—medium-fine speckled kimberlite (porphyrite) with microgranular particles in limestone and granite breccia; 9—coarse speckled kimberley (porphyrite)

象,对金伯利岩厘定了侵入序列,从早到晚为:细斑微粒金伯利岩类→含围岩角砾中细斑微粒金伯利岩类→粗斑细微粒金伯利岩类。

(3)通过分析认为以前套用南非金伯利岩型金伯利原生矿中心式火山喷发型成矿模式不符合蒙阴地区含金刚石金伯利岩地质特征。论证重新提出了蒙阴地区含金刚石金伯利岩的新成矿模式为中心式—裂隙式复合潜火山隐爆岩浆序次侵入充填型岩浆侵入的角砾岩筒及其伴生的岩脉、岩床模型。

References

Brook M C. 2017. Botswana's Diamonds Prospecting to Jewellery. Longpack Co., Ltd.

Chen Meihua, Li Yan, Di Jingru, Lu Fengxiang, Zheng Jianping. 2006. Agate-like structure and heterogeneities of nitrogen and hydrogen impurities of diamond in Mengyin, China. Acta Geologica Sinica, 80(8): 1197~1201 (in Chinese with English abstract).

Chen Yaoming, Yang Zhijun, Huang Shanshan, Lei Xueying, Li

Xiaoxiao, Zeng Xuan. 2018. Microfabrics of perovskites in the Mengyin kimberlites and their geological implications. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 37(4): 1~10 (in Chinese with English abstract).

Chu Zhiyuan, Wang Weide, Lü Qing, Liu Weidong, Kang Congxuan, Wang Shuxing. 2019. The formation age of the kimberlite zone in Poli area of Mengyin, Shandong Province: zircon U-Pb dating data of diabase, 38(1): 44~50 (in Chinese with English abstract).

Chu Zhiyuan. 2019. Study on characteristics and diamondiferous significance of the Mengyin kimberlite in Shandong Province, China. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing), 13~35 (in Chinese with English abstract).

Ding Yi. 2019. The understanding of kimberlite pipes and its significance in prospecting. Geological Review, 65(5): 1269~1275 (in Chinese with English abstract).

Dong Zhenxin. 1991. Some geological characteristics of kimberlite type diamond deposits in China and their ore-prospecting indicators. Mineral Deposits, 10(3): 255~264 (in Chinese with English abstract).

Du Shengxian, Liu Fengchen, Chen Jun, Gao Liming, Song Xiangsuo, Chen Cheng, Tian Xinglei, Zhang Zengqi, Liu Shucui. 2019. The Cretaceous-Paleocene biostratigraphy and boundary in the Pingyi basin, Shandong Province. Acta Geologica Sinica, 93(8): 1831~1848 (in Chinese with English abstract).

- Heaman L M, Kjarsgaard B A, Creaser R A. 2003. The timing of kimberlite magmatism in North America: implications for global kimberlite genesis and diamond exploration. *Lithos*, 71 (2): 153~184.
- Jin Zhenkui, Liu Zerong, Shi Zhanzhong. 1999. Distribution patterns and formation mechanism of faults in the west Shandong Province. *Journal of the University of Petroleum, China*, 23 (5): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Kong Qingyou, Zhang Tianzhen, Yu Xuefeng, Xu Junxiang, Pan Yuanlin, Li Xianshui. 2006. Deposit in Shandong Province. Jinan: Shandong Science and Technology Press. 473~474 (in Chinese without English abstract).
- Lei Xueying. 2017. The review of kimberlite. *Journal of the Graduates Sun Yat-Sen University (Natural Science, Medicine)*, 38(1): 41~51 (in Chinese with English abstract).
- Li Wei, Chen Jianping, Wang Huanfu, Chu Zhiyuan, Zhao Hongjuan. 2020. A new method of 3D structural model for prospecting kimberlite pipe. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 47(1): 102~114 (in Chinese with English abstract).
- Lu Fengxiang. 2008. Kimberlite and diamond. *Chinese Journal of Nature*, 30(2): 63~66 (in Chinese with English abstract).
- Mitchell R H (translated by Yu Xuehui, Hu Haiyan, Xue Junyi). Kimberlite. 1991. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1~285. (in Chinese).
- Song Diannan et al. 2015. Geology and exploration of diamond mines in Shandong. printed paper, 34~55 (in Chinese without English abstract).
- Song Mingchun, Xu Junxiang, Wang Peicheng. 2009. Tectonic Framework and Tectonic Evolution of the Shandong Province. Beijing: Geological Publishing House. 114 (in Chinese without English abstract).
- Wang Ying, Ling Wenli. 1997. New emplacement age of Shandong Mengyin kimberlite. 3: 9~13 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaobo, Wang Qingjun. 2014. Analysis on regional geological background and metallogenic predication of diamond mineralization in eastern margin of North China Plate. *Shandong Land and Resources*, 30(10): 8~14 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhaobo, Lü Qing, Ge Yuejin, Wang Qingjun. 2013. Study on characteristics of "Niulan structure" and its constraints on Mengyin kimberlite belt. *Shandong Land and Resources*, 29 (1): 1~5 (in Chinese with English abstract).
- Wu Genyao, Liang Xing, Chen Huanjiang. 2007. An approach to the Tancheng-Lujiang fault zone: its creation, evolution and character. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 160~175 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yufei. 2014. The Study on Shengli No. 1 Pipe Mengyin Shandong Kimberlite Mineralogical Characteristics. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing). 2, 6~10 (in Chinese with English abstract).
- Xiang Zhengjiao, Yang Zhijun, Lei Xueying. 2019. The microfabrics of phlogopite from the Mengyin kimberlites and their implications to the magma evolution. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 38(129): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Pei Xianzhi. 2002. Discovery of diamond in North Qinling: evidence for a giant UHPM belt across central China and recognition of Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze Plates. *Acta Geologica Sinica*, 76 (4): 484~495 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yueheng, Wu fuyuan, Simon A Wilde, Liu Xiaoming, Zhang Yanbin, Xie Liewen, Yang Jinhui. 2009. In situ perovskite Sr-Nd isotopic constraints on petrogenesis of the Mengyin kimberlites in the North China Craton. *Chemical Geology*, 264: 24~42.
- Yang Zhijun, Huang Shanshan, Chen Yaoming, Lei Xueying, Li Xiaoxiao, Zeng Xuan. 2018. Characteristics and their geological significances of spinel minerals of kimberlite in Mengyin, Shandong Province. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 37(2): 168~179, 371 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xuefeng, Zhang Tianzhen, Wang Hong. 2015. The Minerogenetic Series of Mineral Deposits in Shandong Province. Beijing: Geological Publishing House. 260~262 (in Chinese without English abstract).
- Zhang Hongfu, Yang Yueheng. 2007. Emplacement age and Sr-Nd Hf isotopic characteristics of the diamondiferous kimberlites from the eastern North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 285~294 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jingliang. 1989. An approach to the Paleogeomagnetic TOF kimberlite in Mengyin district Shandong Province. *Journal of Shandong Mining Institute*, 8(4): 26~32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Peiqiang. 2006. Origin of kimberlitic pipes in Shandong Province. Master's thesis of China University of Geosciences (Beijing). 24~29 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yong, Xing Shuwen, Yin Jiangning, Wang Yan, Ma Yubo. 2016. Geological features and resource potential of the Au-Fe diamond metallogenic belt bounded by central eastern Shandong and northwestern Jiangsu Province. *Acta Geologica Sinica*, 90 (07): 1470~1481 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jianping, Lu Fengxiang, O'Reilly S Y, Griffin W L, Zhang Ming. 1999. Characteristics and evolution of the Paleozoic and Cenozoic lithospheric mantles in the eastern North China Platform. *Acta Geologica Sinica*, 73 (1): 47~56 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jianping. 1989. Advances in the studies of petrogenesis of kimberlite, east Liaoning. *Geological Science and Technology Information*, 8(2): 8~14 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- Mitchell R H (喻学惠, 胡海燕, 薛君治, 译). 金伯利岩. 1991. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~285.
- 陈美华, 李艳, 狄敬如, 路凤香, 郑建平. 2006. 山东蒙阴金刚石的“似玛瑙状”生长结构及氮、氢杂质分布的不均一性. *地质学报*, 80(8): 1197~1201.
- 陈耀明, 杨志军, 黄珊珊, 雷雪英, 李晓潇, 曾璇. 2018. 蒙阴金伯利岩中钙钛矿的微结构及其地质意义. *矿物岩石地球化学通报*, 37(4): 1~10.
- 池际尚, 路凤香, 刘永顺. 1996. 中国原生金刚石成矿地质条件研究. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~144.
- 褚志远, 王伟德, 吕青, 刘卫东, 康从轩, 王树星. 2019. 山东蒙阴坡里地区金伯利岩带形成时代——来自辉绿岩锆石 U-Pb 年龄数据的证据. *地质通报*, 38(1): 44~50.
- 褚志远. 2019. 山东蒙阴金伯利岩特征及其含矿性研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文. 13~35.
- 《地球科学大辞典》编辑委员会. 2006. 地球科学大辞典. 北京: 地质出版社. 455~456.
- 丁毅. 2019. 金伯利质岩管的认识及其找矿意义. *地质论评*, 65(5): 1269~1275.
- 董振信. 1991. 我国金伯利岩型金刚石矿床的若干地质特征及其找矿标志. *矿床地质*, 10(3): 255~264.
- 杜圣贤, 刘凤臣, 陈军, 高黎明, 宋香锁, 陈诚, 田兴磊, 张增奇, 刘书才. 2019. 山东平邑盆地晚白垩世-古新世生物地层及白垩系/古近系界线研究. *地质学报*, 93(8): 1831~1848.
- 金振奎, 刘泽容, 石占中. 1999. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制. *石油大学学报(自然科学版)*, 23(05): 1~5.
- 孔庆友, 张天祺, 于学峰, 徐军祥, 潘元林, 李献水. 2006. 山东矿床. 济南: 山东科学技术出版社. 473~474.
- 雷雪英. 2017. 金伯利岩研究进展综述. *中山大学研究生学刊(自然科学. 医学版)*, 38(1): 41~51.
- 李江海, 韩喜球, 毛翔. 2014. 全球构造图集. 北京: 地质出版社. 88~89.

李伟,陈建平,王焕富,褚志远,赵红娟. 2020. 金伯利岩管三维构造模型找矿新方法. 成都理工大学学报(自然科学版), 47(1):102~114.

路凤香. 2008. 金伯利岩与金刚石. 自然杂志, 30(2):63~66.

罗声宣,任喜荣,朱源. 1999. 山东金刚石地质. 济南:山东科学技术出版社. 1~131.

罗益清. 1991. 金伯利岩分布特点及金伯利岩型金刚石矿床产出的地质环境. 中国地质, 3:26~27.

宋奠南,等. 2015. 山东金刚石地质与勘查. 34~55.

宋明春,徐军祥,王沛成. 2009. 山东大地构造格局和地质构造演化. 地质出版社. 114.

王瑛,凌文黎. 1997. 山东蒙阴金伯利岩侵位时代研究新成果. 地质科技情报, 3:9~13.

王照波,吕青,葛跃进,王庆军. 2013. 论“牛岚构造体系”特征及其对蒙阴金伯利岩带的控制. 山东国土资源, 29(1):1~5.

王照波,王庆军. 2014. 华北板块东缘金刚石成矿区域地质背景分析与成矿预测. 山东国土资源, 30(10):12~16.

吴根耀,梁兴,陈焕疆. 2007. 试论郯城—庐江断裂带的形成、演化及其性质. 地质科学, 42(1):160~175.

武雨飞. 2014. 山东蒙阴胜利一号岩管金伯利岩矿物学特征研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文. 2:6~10.

向正娇,杨志军,雷雪英. 2019. 蒙阴金伯利岩中金云母的微组构特征及对岩浆演化的暗示. 矿物岩石地球化学通报, 38(129):1~12.

杨经绥,许志琴,裴先治,史仁灯,吴才来,张建新,李海兵,孟繁聪,戎合. 2002. 秦岭发现金刚石:横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别. 地质学报, 76(4):484~495.

杨志军,黄珊珊,陈耀明,雷雪英,李晓潇,曾璇. 2018. 山东蒙阴金伯利岩中央晶石族矿物特征及其地质意义. 矿物岩石地球化学通报, 37(2):168~179, 371.

于学峰,张天祯,王虹. 2015. 山东矿床成矿系列. 北京:地质出版社. 260~262.

张宏福,杨岳衡. 2007. 华北克拉通东部含金刚石金伯利岩的侵位年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学特征. 岩石学报, 23(2):285~294.

张京良. 1989. 山东蒙阴金伯利岩的古地磁初探. 山东矿业学院学报, 8(4):26~32.

张培强. 2006. 山东金伯利岩岩管成因(博士论文). 北京:中国地质大学(北京). 24~29.

张勇,邢树文,阴江宁,王岩,马玉波. 2016. 鲁中东—苏西北 Au-Fe 金刚石成矿带特征及资源潜力. 地质学报, 90(7):1470~1481.

赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 1983. 矿床统计预测的理论与实践. 地球科学, 4:107~121.

郑建平,路凤香, O'Reilly S Y, Griffin W L, 张明. 1999. 华北地台东部古生代与新生代岩石圈地幔特征及其演化. 地质学报, 73(1):47~56.

郑建平. 1989. 辽东金伯利岩成因研究的某些进展. 地质科技情报, 8(2):8~14.

The magmatic intrusive sequence and the metallogenic model of diamondiferous kimberlite in the Mengyin area, western Shandong

ZHANG Chengji^{1,2,3,4)}, TIAN Jingxiang^{* 1,2,3)}, CHEN Wentao^{* 1,2,3)},
ZHANG Zengqi^{1,2,3)}, DU Shengxian^{1,2,3)}

1) Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan, 250013;

2) Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization Subordinated to the Ministry of Land and Resources, Jinan, 250013;

3) Key Laboratory of Metallogenic Geological Process and Resource Utilization in Shandong Province, Jinan, 250013;

4) Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Jinan, 250013

* Corresponding author: jxtian65@163.com; chenwentao8618@163.com

Abstract

The Mengyin area of western Shandong Province is one of the important producing areas of primary diamond in China. This paper introduces the geological characteristics of kimberlite, reclassifies and renames different types of diamondiferous kimberlite in this area. Based on the principles of rock naming, three rock types, 13 subtypes of the fine-grained kimberley porphyrite, coarse-grained fine-grained kimberley porphyrite, and the clastic fine-grained or medium-sized fine-grained kimberley porphyrite were identified. At the same time, the intrusion sequence of the fine-grained kimberley porphyrite, the surrounding rock, angular fine-grained medium-sized fine-grained kimberley porphyrite, the coarse-grained fine-grained kimberley porphyrite is sequentially divided for the first time. Based on the comprehensive analysis of previous research data and field investigation, it is concluded that the previous metallogenic model of diamondiferous kimberlite in the Mengyin area is not consistent with the actual geological characteristics. The new metallogenic model of the Paleozoic Middle Ordovician diamond kimberlite in this area is the central fracture type compound subvolcanic crypto explosion with sequential magma intrusion filling. The magmatic intrusion in the breccia tube and its associated dyke and bed model are constructed.

Key words: Mengyin area; Changmazhuang; kimberlite porphyrite diamond; metallogenic model