

鲁西大井头地区金刚石找矿指示 矿物特征及其研究意义

王玉峰^{1,2)}, 肖丙建^{1,2)}, 宋明春³⁾, 傅朋远³⁾, 朱成河^{1,2)}, 赵军^{1,2)}, 高存山^{1,2)}, 徐衍明^{1,2)}

1) 山东省第七地质矿产勘查院, 山东临沂, 276006;

2) 山东省金刚石成矿机理与探测重点实验室, 山东临沂, 276006;

3) 山东省地质矿产勘查开发局, 济南, 250013

内容提要:鲁西大井头地区自然重砂中的金刚石及其找矿指示矿物发现已久,然而找矿工作尚未能取得实质性突破。本文从金刚石找矿指示矿物角度入手,在研究该地区指示矿物晶体形貌特征和化学成分特征的基础上,通过对比大井头地区自然重砂与大井头岩体中的指示矿物特征、大井头地区与其它地区金伯利岩、钾镁煌斑岩中的指示矿物特征后得出:大井头地区既存在金刚石指示矿物,又含有金刚石母岩指示矿物,是鲁西金刚石找矿的有利地区;第四系自然重砂中的指示矿物类型和所占比重与大井头岩体较为一致,认为第四系中的指示矿物由大井头岩体供源;大井头岩体含有较大比重的榴辉岩相指示矿物,如 G4 组镁铝-铁铝榴石和绿辉石,且其中金刚石多为 Ib 型,表现出与蒙阴地区金刚石原生矿不同的特征,认为大井头岩体为穿越金刚石生成区边部、并携带了其中特征性矿物成分的钾镁煌斑岩。结合大井头周边地区发现的三处重砂矿物异常和多个可疑岩体,依据钾镁煌斑岩集群分布的特点,认为大井头及周边地区是新区、新类型金刚石找矿的优质靶区,建议今后找矿方向和工作重点向钾镁煌斑岩型金刚石原生矿转移。

关键词:金刚石;指示矿物;钾镁煌斑岩;大井头地区;鲁西

鲁西地区的金刚石原生矿均产于蒙阴县坡里、西峪及常马地区的金伯利岩中,在其它地区和其它类型岩浆岩中尚未探获具有工业价值的原生矿。长期以来,山东省地质工作者们围绕新区、新类型金刚石找矿开展了大量工作(Liu Jitai, 2002; Du Wei, 2017; Chu Zhiyuan et al., 2019; Zhao Xiufang, 2019; Wang Yufeng et al., 2020),并在原生矿带南部的大井头一带发现有数个钾质超基性岩体,其中以大井头钾镁煌斑岩最具代表性。

该岩体中累计选获 12 颗金刚石和大量高铬铬铁矿、镁铝-铁铝榴石等金刚石找矿指示矿物^①,并相继开展了一系列勘查研究工作。Zhong Weiguo et al. (2003)通过分析该地区成矿地质条件,对比周边东小山、八埠庄等地出露的超基性体,认为大井头岩体找矿前景相对较好;Liu Antong et al. (2007)

认为大井头岩体为安山质火山碎屑岩,它截穿隐伏的金伯利岩,并将其中的金刚石及指示矿物携带至地表;Wang Yufeng et al. (2019)根据近期深部钻探进展,从岩石学、岩石地球化学角度,对大井头岩体的岩性进行了重新厘定,认为大井头岩体为含金刚石的钾镁煌斑岩管,并对其中选获的金刚石进行了激光拉曼和红外光谱测试,得出大井头岩体中的金刚石为地幔捕虏晶成因的认识(Wang Yufeng et al., 2020)。

大井头地区含金刚石岩体的发现为鲁西金刚石矿找矿开启了新方向。前人曾在该地区开展了较多勘查和研究工作,但是找矿工作一直未能取得实质性突破,该区是否具有金刚石原生矿找矿潜力成为亟待破解的难题。本文根据大井头岩体及周边自然重砂样品中的铬铁矿、镁铝榴石、铬透辉石及利马矿

注:本文为 2018 年度山东省地矿局矿产勘查项目(编号 KC2018007)、山东省地矿局 2020 年度局控地质勘查和科技创新项目(编号 202012)、山东省成矿机理与探测重点实验室和院士工作站联合资助成果。

收稿日期:2020-04-29;改回日期:2020-05-31;网络发表日期:2020-08-24;责任编辑:李曼。

作者简介:王玉峰,男,1987 年生。工程师,主要从事金刚石勘查工作。Email:wangyufeng792@163.com。

引用本文:王玉峰,肖丙建,宋明春,傅朋远,朱成河,赵军,高存山,徐衍明. 2020. 鲁西大井头地区金刚石找矿指示矿物特征及其研究意义. 地质学报, 94(9): 2712~2727, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020179.

Wang Yufeng, Xiao Bingjian, Song Mingchun, Fu Pengyuan, Zhu Chenghe, Zhao Jun, Gao Cunshan, Xu Yanming. 2020. Characteristics and research significance of diamond prospecting indicator minerals in the Dajingtou area, western Shandong Province. Acta Geologica Sinica, 94(9): 2712~2727.

等金刚石找矿指示矿物的空间分布特征,结合矿物晶体形貌和化学成分分析,探讨了大井头及周边地区的金刚石成矿前景和金刚石成因机制,期望为鲁西乃至我国新区、新类型金刚石找矿工作提供有益指导。

1 区域地质背景和大井头岩体特征

1.1 区域地质概况

大井头地区位于华北板块东南缘,郯庐断裂西侧,鲁西隆起区中南部,蒙阴坡里、西峪和常马三大金刚石原生矿带左行雁列式向南延伸约 35km 处。区域上广泛发育一套产状平缓的寒武-奥陶系灰岩、白云岩及泥页岩等沉积盖层,地层整体倾向 NE,倾角 5°~20°,在大井头一带该沉积盖层厚约 630m^①。盖层之下为新太古界变形变质侵入岩基底,结晶年龄超过 25 亿年,属于较典型的 A 型克拉通(Zheng Jianping et al.,1999; Zhang Yong et al.,2016)。

区域断裂构造较为发育,大井头地区东距郯庐断裂带约 55km,南北两侧分别被切穿地壳的泗水-梁邱断裂和平邑-临沂断裂所夹持,西侧为切穿基底的燕甘断裂(图 1)。区域上岩浆岩出露较少,零星分布有古生代金伯利岩和中生代中酸性侵入体及基性、中酸性脉岩^②。

1.2 大井头岩体特征

研究区除大井头岩管外,在东小山北、小泉庄西及大瑶草湾南等地出露有钾质超基性岩脉(图 2),在埠西桥、归后庄等地出露有凝灰质角砾岩体。大井头岩体为该区最具代表性的岩体,它位于燕甘断裂东 1.5 km、大井头村南 0.9 km 处,呈岩管状侵位于两条北西向断裂和两条北北东向断裂交汇形成的构造薄弱区内(图 3)。

大井头岩体地表形态呈由西南向北东展开的扇形(图 3),岩体南北向长达 105 m,东西向宽约 65 m。岩管呈南南西向倾斜,倾向 202°,倾角 81°,岩管与围岩(产状 21°∠9°)在空间上近于垂直(图 4)。

近地表岩性为强风化蚀变的钾镁煌斑岩、凝灰质角砾岩、层状火山碎屑岩及火山集块岩,岩石具有煌斑结构、碎屑结构,角砾状构造、层状构造,蒙脱石化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、褐铁矿化等蚀变发育。大井头岩体钻孔深部的鲜钾镁煌斑岩 SiO₂ 含量介于 43.90%~47.98%之间,属基性-超基性岩体范围;岩石中 K₂O 含量较高,介于 7.11%~8.40%之间,K₂O/Na₂O 高达 45.05~81.91,与典型钾镁煌斑岩的 K₂O 高含量和 K₂O/Na₂O 高比值

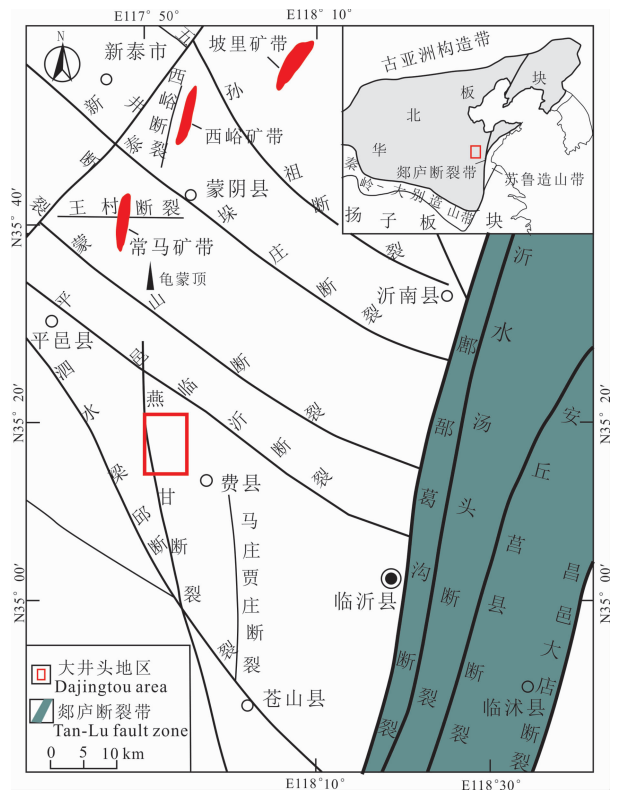


图 1 区域构造地质简图

Fig. 1 Regional tectonic and geological map

相似。另外,岩体的烧失量(LOI)较高,介于 10.00%~11.49%之间,岩体富含挥发分,与典型的钾镁煌斑岩特征一致(Wang Yufeng et al.,2019)。

1.3 重砂矿物异常特征

重砂矿物异常位于大井头岩体东南侧,异常区面积达 2km²,其上游界线在大井头岩管附近,向下以岩体南北两侧水系分水岭为界,呈南东东向带状展布(图 5),平面上显示出大井头岩管对该异常区的供源态势。该异常区内共选获金刚石 15 颗、铬铁矿 2367 颗、镁铝榴石 10 颗、(含)铬透辉石 3 颗及利马矿 59^③。从重砂矿物异常分布图看(图 5),大井头地区重砂矿物具有北西向和北北东向线状分布的特征,与区内北西向、北北东向两组主要断裂的走向一致。

2 样品采集与分析测试

测试矿物主要选自第四系残坡积重砂、水系重砂和大井头岩体人工重砂、基岩选矿大样。人工重砂和基岩选矿大样的破碎、筛分、摇床、重选及磁选等工作由山东省金刚石成矿机理与探测重点实验室完成,残坡积重砂和水系重砂样品在野外淘洗后,送至实验室进行后续精选,最终制备成镜下鉴定样。

重砂矿物鉴定和挑选工作由山东省金刚石成矿

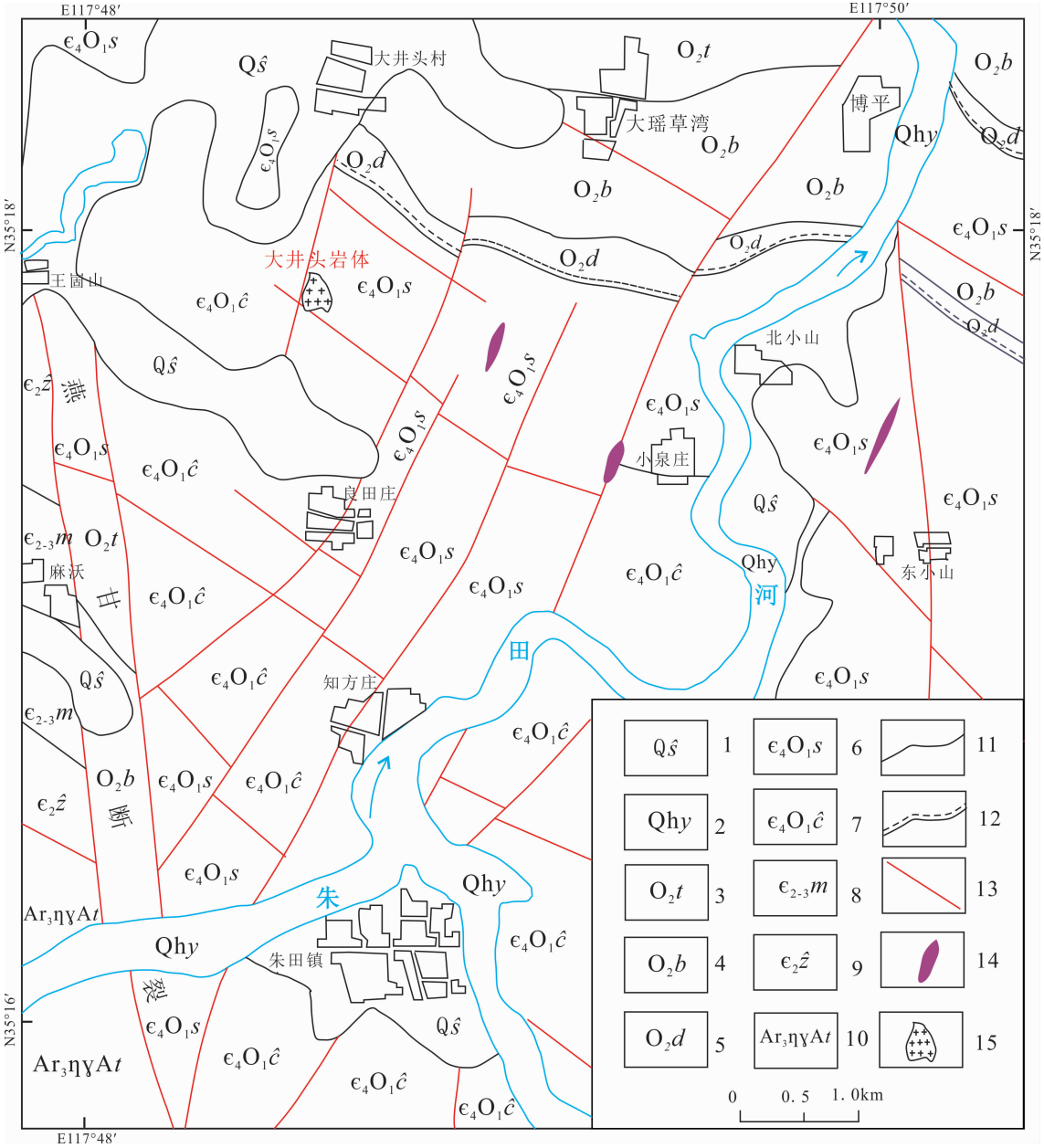


图 2 大井头地区地质构造简图

Fig. 2 Geological map of the Dajingtou area

- 1—山前组;2—沂河组;3—土峪组;4—北庵庄组;5—东黄山组;6—三山子组;7—炒米店组;8—馒头组;9—张夏组;
10—微来山序列二长花岗岩;11—地质界线;12—平行不整合地质界线;13—断层;14—钾质超基性岩体;15—大井头钾镁煌斑岩
1—Shanqian Formation; 2—Yihe Formation; 3—Tuyu Formation; 4—Beianzhuang Formation; 5—Donghuangshan Formation; 6—
Sanshanzi Formation; 7—Chaomidian Formation; 8—Mantou Formation; 9—Zhangxia Formation; 10—adamellite of Aolaishan series;
11—geological boundary; 12—parallel unconformity geological boundary; 13—fault; 14—potash ultrabasic rock; 15—Dajingtou lamproite

机理与探测重点实验室和河北省区域地质矿产调查研究所完成。其后挑选代表性的重砂矿物,送至中国冶金地质总局山东局测试中心进行电子探针测试,所用仪器为日本进口的JXA-8230电子探针显微分析仪(YQ055),测试环境温度20~22℃,湿度35%~45%,测试加速电压15 kV,束流 2.0×10^{-8} A。元素含量 $\geq 1\%$ 时,峰值积分时间10s,背景积分

时间5s;元素含量 $< 1\%$ 时,峰值积分时间20s,背景积分时间10s。采用ZAF法修正,所用标样均符合美国SPI矿物标准。

3 金刚石找矿指示矿物特征

3.1 金刚石找矿指示矿物种类

金刚石找矿指示矿物包括金刚石指示矿物和金

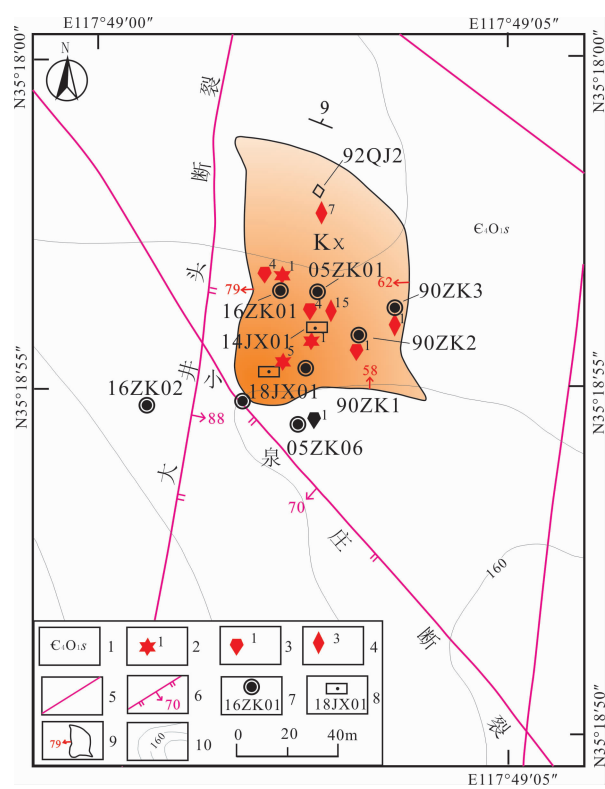


图 3 大井头岩体地质构造简图

Fig. 3 Geological map of the Dajingtou lamproite

1—三山子组;2—金刚石出土点;3—镁铝榴石出土点;4—铬铁矿出土点;5—性质不明断层;6—正断层;7—钻孔位置及编号;8—选矿大样位置及编号;9—大井头岩体边界倾向及倾角;10—等高线(m)

1—Sanshanzi Formation; 2—diamond unearthed point; 3—pyrope unearthed point; 4—chromite unearthed point; 5—unidentified fault; 6—normal fault; 7—borehole location and number; 8—beneficiation sample location and number; 9—inclination and dip angle of the Dajingtou lamproite boundary; 10—contour (m)

伯利岩、钾镁煌斑岩等岩性指示矿物两大类。其中金刚石指示矿物,是指与金刚石在同一地质环境中形成,并与其共生的矿物,而岩性指示矿物是指形成于金伯利岩、钾镁煌斑岩等金刚石母岩中,并对其具有专属指示意义的矿物(Jaques et al., 1990; 张安棣等, 1991)。

金刚石找矿指示矿物不仅可用来预测某一地区、某一岩体的金刚石原生矿找矿前景,指导金刚石原生矿勘查工作,还可用来推测原生金刚石的形成条件和成因机制。最常见的金刚石指示矿物有贫铝富镁高铬铬铁矿(S1组、S2组)、低钙-高铬镁铝榴石(G10组)、含钠($\text{Na}_2\text{O} > 0.07\%$)镁-铁铝榴石(G4组)、而铬-镁铝榴石(G9组)、铬透辉石、利马矿、镁钛铁矿、钙钛矿、沂蒙矿等可作为金伯利岩或钾镁煌斑岩的岩性指示矿物(罗声宣等, 1999)。

大井头地区金刚石找矿指示矿物分布密集,

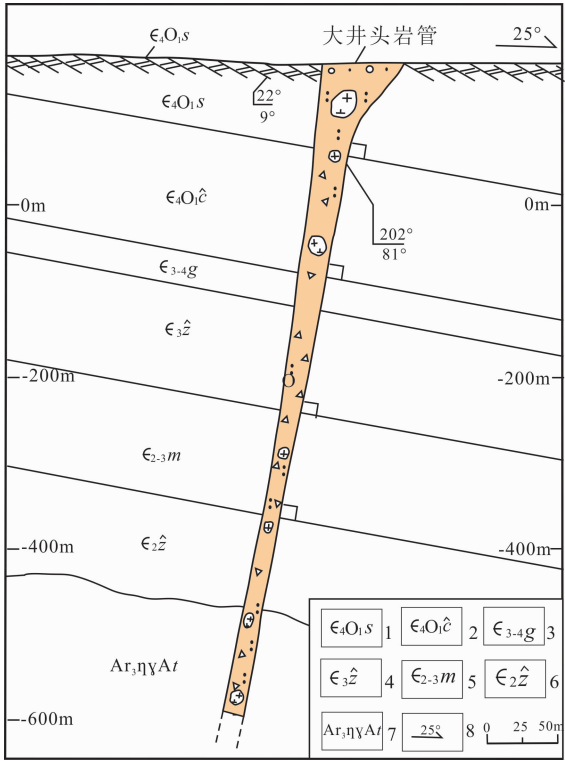


图 4 大井头岩体形态产状示意图

Fig. 4 Shape and occurrence of the Dajingtou lamproite

1—三山子组;2—炒米店组;3—崮山组;4—张夏组;5—馒头组;6—朱砂洞组;7—傲徕山序列条花峪单元;8—剖面方位

1—Sanshanzi Formation; 2—Chaomidian Formation; 3—Gushan Formation; 4—Zhangxia Formation; 5—Mantou Formation; 6—Zhushadong Formation; 7—adamellite of Aolaishan series; 8—section orientation

种类较为齐全,是鲁西地区指示矿物出露最丰富的地区之一(Zhao Xiufang, 2019)。该地区除选获铬-镁铝榴石(G9组)、铬透辉石、利马矿等岩性指示矿物外,还选获大量贫铝富镁高铬铬铁矿(S1组、S2组)、低钙-高铬镁铝榴石(G10组)、含钠($\text{Na}_2\text{O} > 0.07\%$)镁-铁铝榴石(G4组)等金刚石指示矿物。

3.2 指示矿物形貌特征

(1)铬铁矿:该地区铬铁矿普遍呈黑色,新鲜断面呈沥青色,具有强沥青光泽,粉末为褐色-暗褐色,粒径介于0.1~0.8mm之间。自然重砂中的样品多呈碎块状,棱角普遍遭受磨蚀,如图6a、6b和6c;而大井头岩体中的铬铁矿则多呈不规则粒状,部分为六八面体,晶型较完整(图6g)。

(2)镁铝榴石:该地区选获的石榴子石较多,颜色变化范围较大,从浅肉红色、橙红色、红褐色至紫红色,多为半透明。其中大井头岩管下游选获一颗铬镁铝榴石,呈紫红色(与其中镁含量较高有关),碎

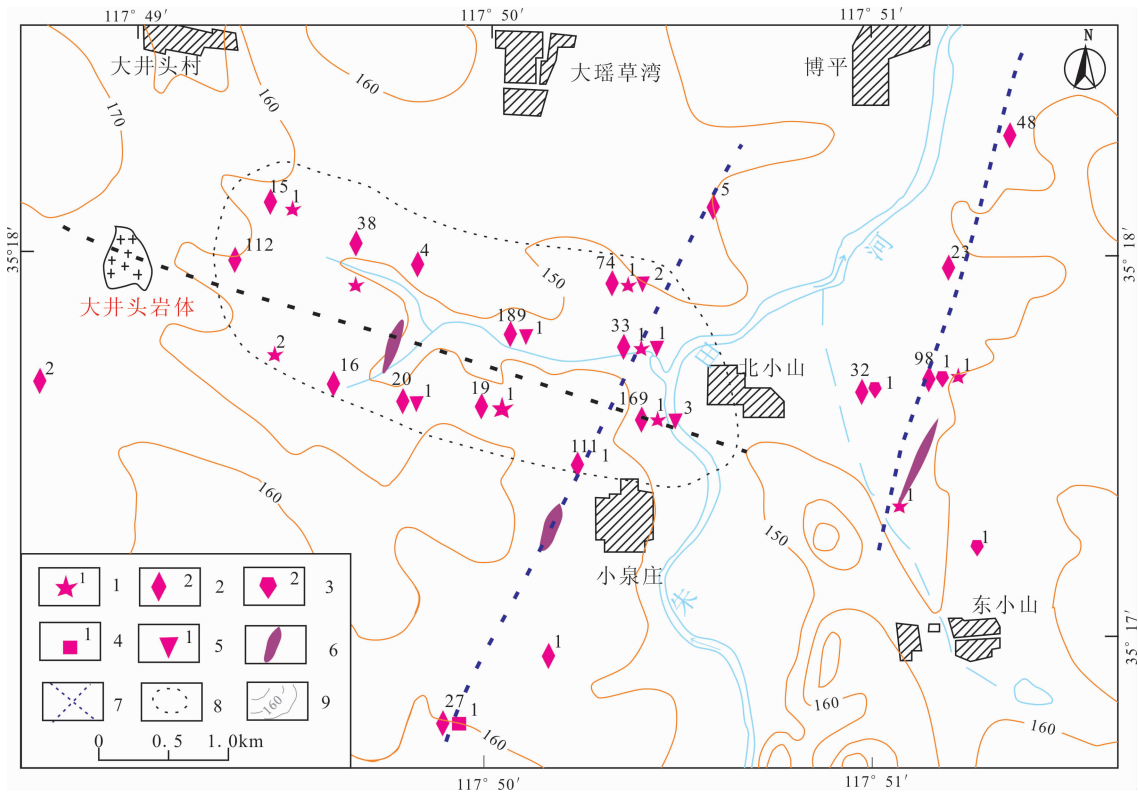


图 5 大井头地区重砂矿物异常分布图

Fig. 5 Abnormal distribution of heavy sand minerals in Dajingtou area

1—金刚石出土位置及颗粒数;2—铬铁矿出土位置及颗粒数;3—镁铝榴石出土位置及颗粒数;4—铬透辉石出土位置及颗粒数;
5—利马矿出土位置及颗粒数;6—钾质超基性岩;7—重砂矿物的线状分布趋势;8—本次自然重砂采样范围;9—等高线(m)

1—Location and quantity of diamond; 2—location and quantity of chromite; 3—location and quantity of pyrope; 4—location and quantity of chromite diopside; 5—location and quantity of Lima mine; 6—potassic ultrabasic rocks; 7—linear distribution trend of heavy sand minerals; 8—sampling area of the natural heavy sand; 9—contour (m)

块状,粒度约 0.6mm(图 6d)。而大井头岩体人工重砂中选获的石榴子石晶型普遍较好,多呈五角十二面体,粒度在 0.1~0.7mm 之间(图 6h),颜色多样,其中 G4 组含 Na₂O 镁铝-铁铝榴石多为浅橙红色。

(3)含铬透辉石:含铬透辉石多呈浅绿色-翠绿色,随着铬含量升高,颜色愈绿。铬透辉石晶体多呈短柱状,粒度在 0.2~0.7mm 之间。由于其硬度低、性脆的特点,在搬运过程中极易破碎磨损,因此搬运距离不会太远。自然重砂中铬透辉石的出现,表明其距母岩体较近。大井头岩体中的(含)铬透辉石多为短柱状(图 6i),晶型较好,而岩体下游第四系中选获的铬透辉石呈浑圆状,棱角多被磨损(图 6e、6f),反映其来源于附近,特别是来源于大井头岩体的可能大。

3.3 指示矿物化学成分特征

3.3.1 铬铁矿

铬铁矿是金伯利岩、钾镁煌斑岩及其深源包体中极为重要的一类矿物,不仅可以提供较多的成因

信息,而且是评价岩体含金刚石与否的一级指示矿物,也是金刚石中较为常见的包体相矿物(Zhang Xuechu et al., 2008)。张安棣等(1991)根据铬铁矿中 Cr₂O₃、MgO、TiO₂、Al₂O₃ 的含量,采用 Q 型聚类分析方法,将铬铁矿分为 S1~S12 共 12 组,并据此判定原岩属性和找矿意义。

对大井头地区第四系自然重砂样品中 278 颗铬铁矿进行电子探针测试发现,有 S1 组 2 颗、S2 组 25 颗、S4 组 48 颗、S5 组 13 颗、S6 组 66 颗、S7 组 2 颗、S9 组 119 颗、S10 组 2 颗。其中 S1 组、S2 组高铬铬铁矿共计 27 颗(表 1),约占测试铬铁矿总数的 10%,Cr₂O₃ 平均含量达 65.47%,最高可达 68.70%,有 6 颗落入格尼圈中,属金刚石包体相指示矿物类。

大井头岩体中铬铁矿数量同样较多,对其中 58 颗铬铁矿进行了电子探针测试,样品编号、特征化学成分含量及属性分组见表 2。

大井头岩体 58 颗铬铁矿中有 S1 组 17 颗,S2

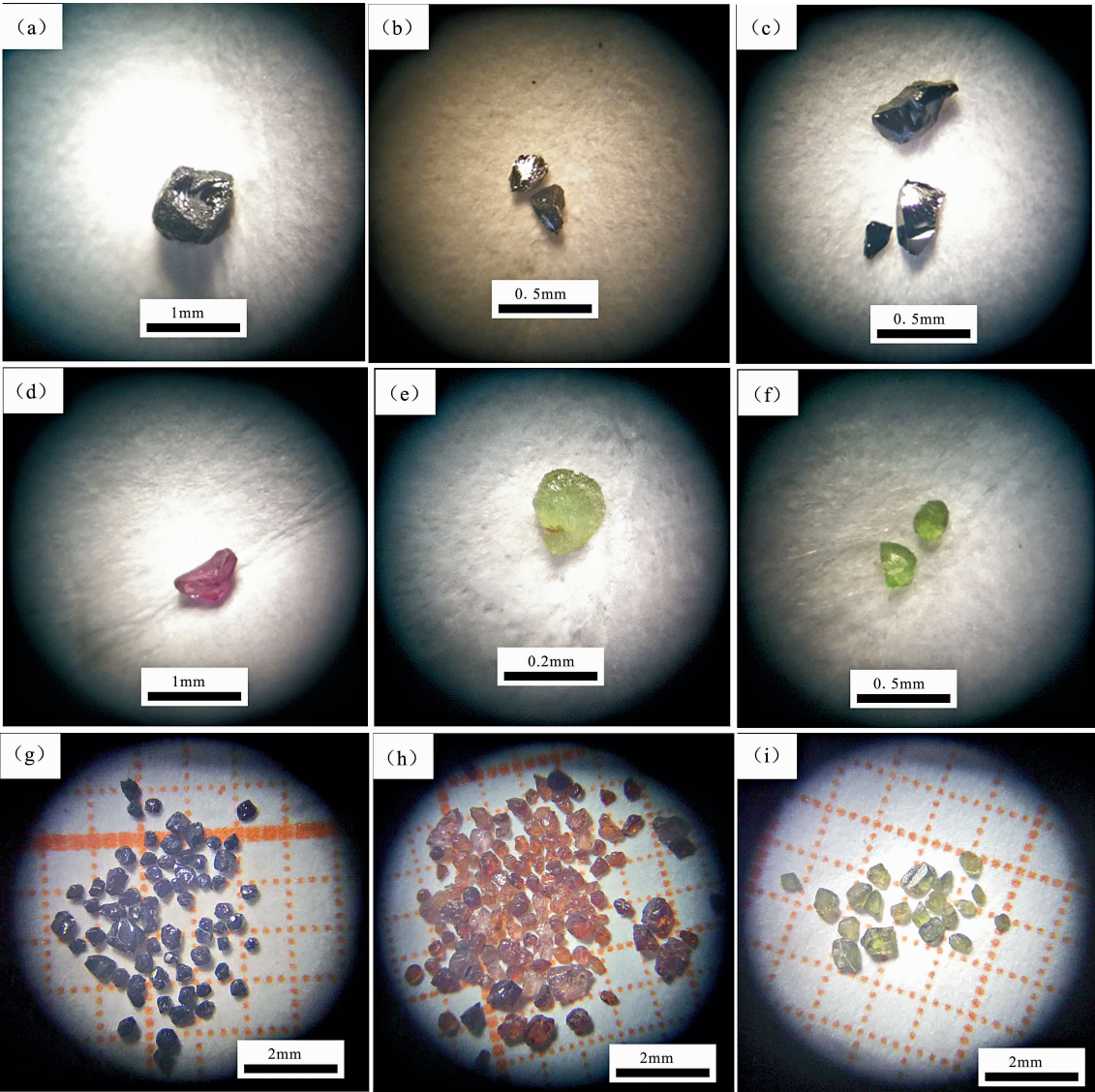


图 6 大井头地区金刚石找矿指示矿物照片

Fig. 6 Photos of diamond prospecting indicator minerals in Dajingtou area

(a)、(b)、(c)—第四系中的铬铁矿;(d)—第四系中的镁铝榴石;(e)、(f)—第四系中的铬透辉石;

(g)—大井头岩体中的铬铁矿;(h)—大井头岩体中的镁铝-铁铝榴石;(i)—大井头岩体中的铬透辉石

(a)、(b)、(c)—Chromites in Quaternary;(d)—pyropes in Quaternary;(e)、(f)—chromite diopsides in Quaternary;

(g)—chromites in Dajingtou lamproite;(h)—pyropes and almandines in Dajingtou lamproite;(i)—chromite diopsides in Dajingtou lamproite

组 6 颗、S4 组 28 颗、S5 组 4 颗、S6 组 1 颗、S7 组 1 颗、S9 组 1 颗。其中作为金刚石原生矿指示矿物的 S1 组和 S2 组贫铝富镁-高铬铬铁矿,共计 23 颗,占测试矿物总量的 40.0%,较自然重砂样品中的 S1 组和 S2 组的比重高,在确定大井头金刚石含矿性的同时,可推测大井头岩体对下游第四系中的重砂矿物存在极大的供源可能性。

与已知含金刚石岩体的指示矿物特征成分进行对比,可判断未知岩体的含矿可能性。其中铬铁矿中 Cr_2O_3 与 MgO 、 TiO_2 的关系最具预测意义(罗声宣等,1999)。图 7a、7b、7c 和 7d 是大井头地区、蒙

阴红旗 27 号和辽宁瓦房店地区的铬铁矿成分散点图,对比发现,大井头岩体中的铬铁矿成分散点图与两个金刚石原生矿非常相似(Dong Zhenxin et al., 1980),而与山东罗庄青云山地区、山东沂南青杨行地区及辽宁地区玄武岩等不含金刚石岩体中的铬铁矿成分散点图存在较大差异^⑨(图 7e、7f)。

大井头地区铬铁矿特征成分散点图符合含矿岩体的形态特征,是源区内存在含金刚石原生矿的重要标志。尤其是大井头岩管中 58 颗铬铁矿成分散点图(图 7a、7b)已显示出含矿岩体的散点模式特征。

表 1 第四系中高铬铬铁矿(S1 组、S2 组)特征化学成分及分组判别表

Table 1 Characteristic chemical composition and grouping discrimination of high chromium chromites (S1, S2) in quaternary									
顺序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)							分组
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	CaO	
1	07PFZ124	63.20	9.89	0.51	2.89	0.00	21.71	0.00	S2
2		64.46	10.48	1.58	3.55	0.39	17.93	0.00	S2
3	07PFZ125	64.54	11.32	0.14	4.94	0.23	18.62	0.00	S1, 格尼圈内
4		64.02	12.88	1.99	3.81	0.24	17.11	0.07	S2, 格尼圈内
5	07PFZ151	66.24	11.38	0.11	5.78	0.00	15.13	0.00	S1, 格尼圈内
6	07PFZ152	65.76	9.48	1.58	1.96	0.17	19.99	0.00	S2, 格尼圈内
7		64.63	9.22	0.44	3.39	0.13	21.43	0.02	S2
8		65.25	13.09	1.63	4.28	0.35	14.22	0.08	S2, 格尼圈内
9	07PFZ157	65.27	12.60	0.59	6.17	0.22	14.23	0.05	S2, 格尼圈内
10	07PFZ202	62.29	9.77	1.81	3.71	1.47	20.38	0.02	S2
11	07PFZ204	65.33	10.18	3.27	2.61	1.13	16.15	0.00	S2
12	07PFZ206	64.76	10.05	0.37	6.13	1.52	16.41	0.05	S2
13	07PFZ218	66.82	8.84	0.23	3.56	0.27	19.12	0.17	S2
14	07PFZ220	61.17	9.13	2.37	3.13	1.17	22.23	0.14	S2
15	07PFZ221	64.98	9.31	1.35	3.13	0.70	19.72	0.23	S2
16	07PFZ231	64.29	10.37	1.55	4.28	0.92	18.57	0.00	S2
17	07PFZ237	64.72	10.14	0.24	3.09	1.55	18.45	0.12	S2
18	07PFZ248	63.03	10.37	3.38	3.67	0.53	18.02	0.33	S2
19	07PFZ254	68.58	10.11	0.11	4.76	1.62	14.43	0.27	S2
20	07PFZ258	64.11	9.45	0.27	4.40	0.99	19.71	0.06	S2
21		61.35	10.22	1.29	5.56	1.22	19.21	0.17	S2
22	07PFZ259	65.42	10.21	1.02	3.05	1.36	18.27	0.00	S2
23		60.34	11.08	0.45	6.52	2.16	19.70	0.12	S2
24	07PFZ261	66.69	9.91	0.18	4.80	0.88	16.85	0.00	S2
25	07PFZ265	68.70	10.68	0.57	4.89	0.53	13.53	0.14	S2
26	IV2Z6	68.25	11.18	0.32	3.52	0.00	16.44	0.01	S2

3.3.2 镁铝榴石

镁铝榴石主要产于超基性岩中,是金刚石原生矿勘查的重要指示矿物,也是金刚石原生矿找矿效率最高的指示矿物(Fu Changjiang,1993; 宋瑞祥,2013; Huang Yuangcheng et al.,2016)。Dawson et al.(1975)根据镁铝榴石 Cr₂O₃、MgO、TiO₂、CaO 和 FeO 五种特征氧化物含量,采用聚类分析方法,将金刚石原生矿中的石榴石分为 G1~G12 共 12 组,以判定其属性和找矿指示意义。

大井头地区第四系自然重砂中共发现镁铝榴石 10 颗(均经电子探针测试),其中 G10 组 1 颗,有 G9 组 2 颗,G1 组 1 颗,G3 组 2 颗,G4 组(Na₂O>0.07%)2 颗,G5 组 2 颗,具体特征化学成分及属性分组见表 3。

而大井头岩体中经电子探针测试的 29 颗石榴石中,有 G10 组 1 颗,G9 组 3 颗,G4 组 7 颗,G5 组有 18 颗(表 4),无论是在石榴石种类,还是所占比例方面,均与第四系自然重砂中的镁铝榴石较为接近。

Gurney et al.(1973)认为 Cr₂O₃ 含量<2%的

镁铝榴石是榴辉岩型石榴石,Cr₂O₃ 含量>2%的镁铝榴石为橄榄岩型石榴石。本次工作对大井头岩体及其下游第四系中的镁铝榴石进行了特征成分投图,发现大多数镁铝榴石的 Cr₂O₃ 含量在 2%以下,为榴辉岩型石榴石。对照国内外代表性钾镁煌斑岩体或金伯利岩体的 CaO-Cr₂O₃ 散点分布模式图(张安棣等,1991),发现大井头岩体镁铝榴石的分布形态与山东胜利 1 号、辽宁瓦房店 42 号金伯利岩存在较大差异,而与美国 Williams、贵州马坪 1 号及湖北京山等地钾镁煌斑岩的分布特征更为接近(图 8)。

3.3.3 铬透辉石

铬透辉石是钾镁煌斑岩和金伯利岩的重要指示矿物之一。自然重砂中的铬透辉石具有独特的近源指示性,其 Cr₂O₃ 含量>1.65%为金伯利所独有(罗声宣等,1999)。

大井头地区第四系中共选获 3 颗低铬透辉石(表 5),均位于大井头岩管下游重砂矿物异常区内,由于铬透辉石易被磨损,该矿物的存在被认为是大井头岩体供源的有力证据。

表 2 大井头岩体中铬铁矿特征化学成分及分组判别表

Table 2 Characteristic chemical composition and group discrimination of chromites in Dajingtou lamproite

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)							分组
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	CaO	
1	QJ2BS01	66.24	11.32	0.28	4.57	0.53	17.00	0.15	S2, 格尼圈内
2	QJ2R60	59.56	9.58	3.11	2.11	0.11	23.79	0.19	S6
3	QJ2JX1	55.18	11.23	0.15	12.39	0.31	19.88	0.07	S4
4		45.44	14.33	0.86	20.33	0.24	18.27	0.05	S5
5		47.74	14.04	0.72	19.39	0.75	17.55	0.00	S5
6		47.13	14.29	0.94	18.79	1.14	17.08	0.06	S5
7		44.84	14.33	0.36	18.82	1.60	17.34	0.00	S5
8		48.22	6.89	0.72	12.09	0.33	32.04	0.19	S9
9	ZK3R1	58.88	6.25	3.42	1.59	0.53	27.39	0.20	S7
10	JL19CR	65.48	11.41	0.29	8.35	0.22	11.97	0.00	S2
11	JL26	65.18	12.53	0.21	8.27	0.26	11.81	0.09	S1, 格尼圈内
12	JL29	65.71	10.81	0.14	6.56	0.66	13.64	0.00	S1
13	JL215	63.21	13.76	0.24	9.23	0.28	12.13	0.00	S1, 格尼圈内
14	JL32	65.50	12.86	0.31	7.86	0.06	12.27	0.00	S2, 格尼圈内
15	JL35	66.11	11.72	0.28	7.89	0.19	12.04	0.00	S2
16	JL36	65.21	13.03	0.10	9.13	0.17	11.58	0.00	S1, 格尼圈内
17	JL319	65.28	11.83	0.21	8.74	0.26	12.43	0.03	S1, 格尼圈内
18	JL-20	64.99	12.43	0.20	8.76	0.30	12.70	0.05	S2, 格尼圈内
19	JL47	65.32	1.83	0.18	8.44	0.34	11.99	0.06	S1, 格尼圈内
20	JL410	65.64	11.22	0.18	7.87	0.31	13.55	0.00	S1
21	JL414	64.17	12.98	0.28	9.23	0.37	12.32	0.00	S2, 格尼圈内
22	JL117	61.70	13.98	0.23	9.38	0.18	11.89	0.00	S1, 格尼圈内
23	JL21	66.29	9.40	0.17	7.04	0.27	13.70	0.08	S1
24	JL310	61.83	15.21	0.14	10.24	0.44	11.38	0.00	S1, 格尼圈内
25	JX0101	48.18	10.32	0.57	14.55	0.32	25.70	0.01	S4
26	JX0102	48.07	8.66	0.68	13.74	0.29	27.39	0.02	S4
27	JX0103	55.60	9.61	0.11	9.46	0.35	23.55	0.00	S4
28	JX0104	45.00	8.28	0.89	14.80	0.32	29.29	0.00	S4
29	JX0105	58.52	12.35	0.15	10.64	0.29	17.36	0.00	S1
30	JX0106	45.87	7.98	0.97	14.20	0.32	30.10	0.00	S4
31	JX0107	45.07	8.25	0.85	14.80	0.31	29.79	0.00	S4
32	JX0108	57.79	11.46	0.16	10.54	0.30	18.73	0.00	S1
33	JX0109	44.80	8.16	0.88	14.58	0.34	29.62	0.02	S4
34	JX0110	45.57	7.60	0.73	14.30	0.33	30.56	0.00	S4
35	JX0111	44.36	8.17	0.90	16.08	0.31	29.50	0.01	S4
36	JX0112	59.41	13.60	0.12	11.90	0.23	14.47	0.01	S1
37	JX0113	46.84	8.21	0.48	15.74	0.36	27.31	0.01	S4
38	JX0114	45.74	8.56	0.84	15.06	0.35	28.72	0.00	S4
39	JX0115	47.23	8.38	0.74	14.09	0.33	29.09	0.01	S4
40	JX0116	46.89	8.84	1.03	14.00	0.29	28.71	0.02	S4
41	JX0117	45.71	8.15	0.84	14.19	0.30	29.91	0.00	S4
42	JX0118	46.90	8.92	0.71	14.43	0.32	27.76	0.00	S4
43	JX0119	59.02	13.17	0.14	11.39	0.24	14.97	0.00	S1
44	JX0120	48.71	7.13	0.71	11.22	0.38	31.50	0.00	S4
45	JX0121	45.36	8.08	0.93	14.83	0.30	29.58	0.00	S4
46	JX0122	47.81	9.21	0.58	14.42	0.27	27.21	0.01	S4
47	JX0123	47.95	8.72	0.58	14.06	0.33	27.71	0.00	S4
48	JX0124	48.28	8.00	0.65	13.45	0.33	28.27	0.00	S4
49	JX0125	47.64	8.13	0.64	14.02	0.33	28.29	0.00	S4
50	JX0126	48.57	8.73	0.67	13.65	0.32	26.74	0.01	S4
51	JX0127	48.47	8.47	0.64	14.31	0.31	27.08	0.00	S4
52	JX0128	47.68	9.04	0.55	14.07	0.29	27.38	0.01	S4
53	JX0129	45.27	7.79	0.92	15.22	0.30	29.67	0.00	S4
54	JX0130	58.09	11.68	0.15	10.51	0.31	18.70	0.01	S1
55	JX0131	46.31	7.67	1.16	14.03	0.35	29.61	0.00	S4
56	JX0132	48.80	8.88	0.65	13.17	0.34	26.32	0.00	S4
57	JX0133	57.38	11.77	0.17	10.59	0.28	18.30	0.00	S1
58	JX0134	60.08	10.51	0.16	8.23	0.37	19.99	0.00	S1

表 3 第四系中石榴石特征化学成分及分组判别表

Table 3 Characteristic chemical composition and group discrimination of garnets in quaternary

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)						分组
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	FeO	Na ₂ O	
1	Z235	1.27	18.92	0.00	4.81	9.16	0.00	G1
2	Z251	0.00	10.24	1.28	12.08	17.52	1.08	G4
3	Z252	0.00	9.98	0.76	11.15	18.29	1.33	G4
4	Z267	2.19	18.65	0.00	4.77	8.09	0.00	G9
5	Z277	3.05	16.85	0.22	4.87	10.80	0.00	G9
6	Z144	0.80	14.69	0.61	18.18	2.30	1.92	G3
7	Z223	0.46	15.45	0.47	12.17	11.30	0.00	G3
8	PZ014	7.06	20.62	0.34	6.12	9.79	0.00	G10
9	PZ03	0.07	4.72	0.04	0.05	34.45	0.08	G4

表 4 大井头岩体中石榴石特征化学成分及分组判别表

Table 4 Characteristic chemical composition and group discrimination of garnets in Dajingtou lamproite

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)								分组
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	FeO	Na ₂ O	
1	ZK2R3	41.57	19.79	3.69	20.46	0.76	4.44	8.13	0.00	G9
2	QJ2BS01	44.80	22.56	1.99	19.11	0.05	4.98	8.65	0.00	G9
3	DJZK04	44.04	22.04	2.45	19.00	0.10	4.59	8.24	0.00	G9
4	DJZK06	41.93	15.92	10.50	19.46	0.46	4.96	6.52	0.00	G10
5	JL214	41.86	9.38	0.17	10.20	1.14	13.03	19.26	0.92	G4
6	JL413	46.09	5.42	0.00	12.35	1.43	12.26	17.31	1.57	
7	JL415	40.12	9.27	0.32	7.59	1.88	12.51	22.59	0.94	
8	Z01	38.49	21.17	0.02	5.42	0.63	7.76	24.72	0.07	
9	16ZK01-YF502	40.03	22.16	0.07	7.43	0.12	9.92	20.16	0.08	
10	16JX01	39.40	22.08	0.09	8.33	0.08	1.12	28.82	0.07	
11	16ZK01-YF501	38.52	21.73	0.03	6.05	0.07	1.41	31.28	0.09	
12	18JXSL-56	39.31	21.27	0.05	6.66	0.49	7.14	24.00	0.02	G5
13	18JXSL-37	38.65	21.28	0.05	5.37	0.18	6.79	25.08	0.00	G5
14	18JXSL-17	39.31	21.42	0.02	5.07	0.06	8.78	24.92	0.02	G5
15	18JXSL-16	38.78	20.78	0.10	5.03	0.13	8.12	25.05	0.00	G5
16	18JXSL-83	39.95	21.91	0.04	9.87	0.05	6.85	20.61	0.02	G5
17	18JXSL-82	39.31	21.55	0.00	6.3	0.09	11.57	20.15	0.00	G5
18	18JXSL-57	39.44	21.43	0.00	5.53	0.04	11.38	21.93	0.03	G5
19	18JXSL-77	38.38	21.14	0.01	5.31	0.11	8.44	25.05	0.01	G5
20	18JXSL-06	38.18	21.11	0.02	4.91	0.01	1.41	32.55	0.03	G5
21	18JXSL-04	38.99	21.6	0.10	8.28	0.03	1.43	28.21	0.00	G5
22	18JXSL-95	38.99	21.63	0.09	8.13	0.05	1.06	28.37	0.00	G5
23	18JXSL-40	38.97	21.64	0.02	7.77	0.01	1.15	29.03	0.03	G5
24	18JXSL-62	38.65	21.72	0.04	7.16	0.05	1.41	29.65	0.00	G5
25	18JXSL-46	38.96	21.58	0.05	7.03	0.03	1.51	29.26	0.00	G5
26	18JXSL-66	38.81	21.56	0.08	6.99	0.03	1.71	29.23	0.01	G5
27	18JXSL-100	39.05	21.49	0.03	6.79	0.02	2.29	29.21	0.02	G5
28	18JXSL-67	37.79	21.24	0.04	4.38	0.03	1.17	33.92	0.02	G5
29	18JXSL-09	37.80	21.20	0.05	4.05	0.03	1.04	33.81	0.00	G5

大井头岩体中累计选获 12 颗含铬透辉石(表 6),明显多于第四系中发现的数量,且 Cr₂O₃ 含量均未超过 1.65%,其中低铬透辉石(1≤Cr₂O₃<1.65) 2 颗,另外 10 颗 Cr₂O₃ 含量在 0.38%~0.90%之间,为含铬透辉石。

此外,作为透辉石的变种之一,绿辉石属榴辉岩中的典型矿物,在蒙阴金伯利岩中的榴辉岩捕虏体

中多见(罗声宣等,1999),而在大井头岩体中选获 2 颗,其特征化学成分见表 7。

3.3.4 利马矿

利马矿属钛酸盐类矿物,仅见于金伯利岩和钾镁煌斑岩中,是钾镁煌斑岩或金伯利岩岩浆在地表下 60~100km 处交代钛酸盐形成的矿物。大井头地区利马矿均于第四系自然重砂样品中发现,累计

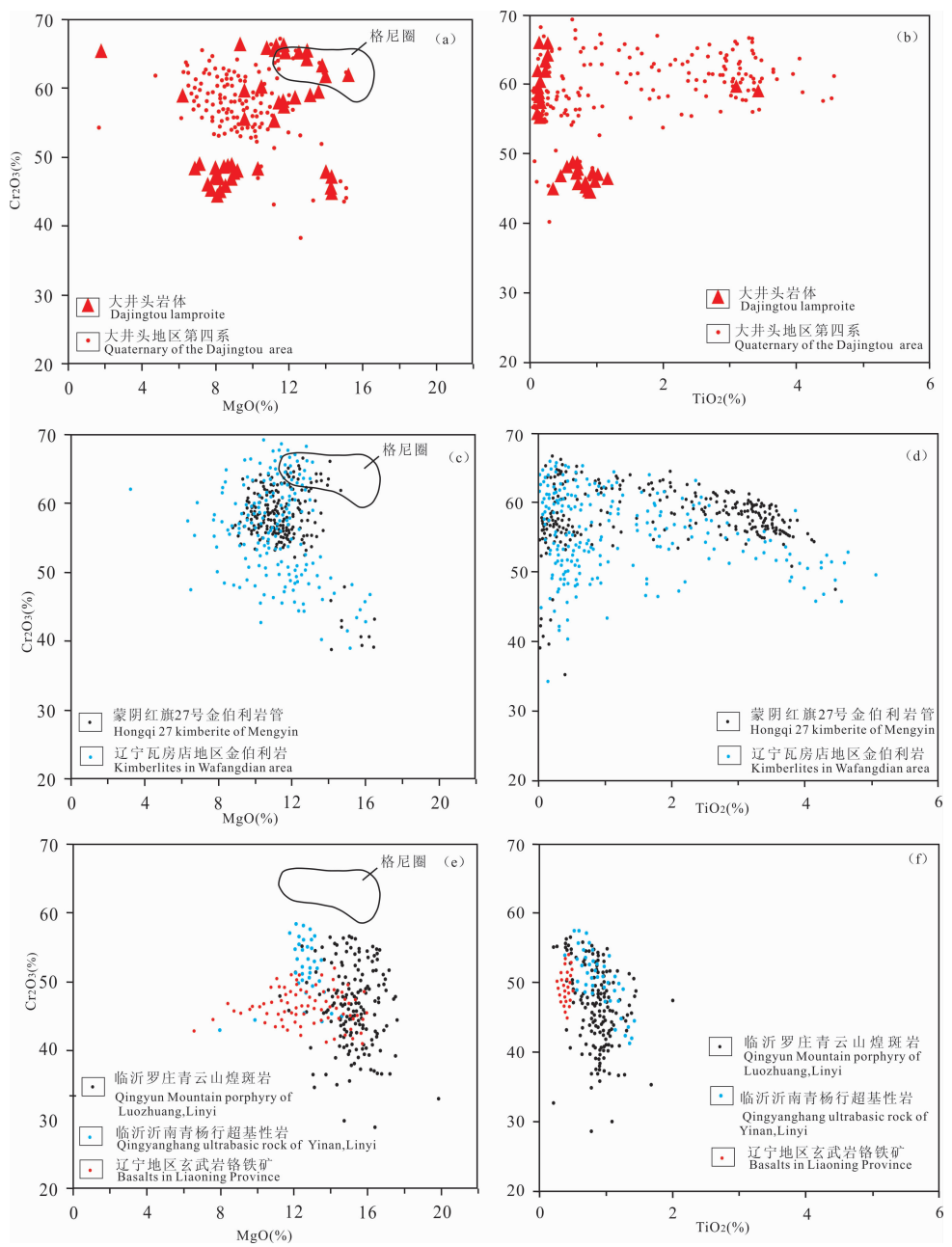


图 7 山东、辽宁地区典型岩体中铬铁矿成分散点图

Fig. 7 Scatter plot of chromite composition in typical rock mass in Shandong and Liaoning area

(a)、(b)—大井头岩体及下游第四系;(c)、(d)—蒙阴红旗 27 号和瓦房店地区金伯利岩;

(e)、(f)—临沂罗庄青山煌斑岩、沂南青杨行超基性岩及辽宁地区玄武岩(据池际尚等,1996)

(a)、(b)—Dajingtou lamproite and surrounding Quaternary;(c)、(d)—Hongqi 27 of Mengyin and the kimberlites in Wafangdian area;

(e)、(f)—Qingyun Mountain lamprophyre, Yinan Qingyanghang ultrabasic rock and basalts in Liaoning (after Chi Jishang et al. ,1996)

选获 59 颗,对其中 27 颗进行了电子探针测试,其特征化学成分见表 8。

大井头地区 59 颗利马矿集中分布于大井头岩体东侧大瑶草湾南-小泉庄北 2 km² 的范围内,与其它金刚石找矿指示矿物集中分布范围一致。其中在大井头岩体南东 280 m 一条碎裂状煌斑岩体中选获利马矿 9 颗,同时伴有数颗铬铁矿。

4 讨论

4.1 区域金刚石成矿可能性

大井头地区处在蒙阴坡里、西峪和常马三大金刚石原生矿带左行雁列式向南延伸约 35km 的位置,区域上自岩石圈断裂、基底断裂至盖层断裂较为发育。且大井头地区结晶基底属典型的 A 型克拉

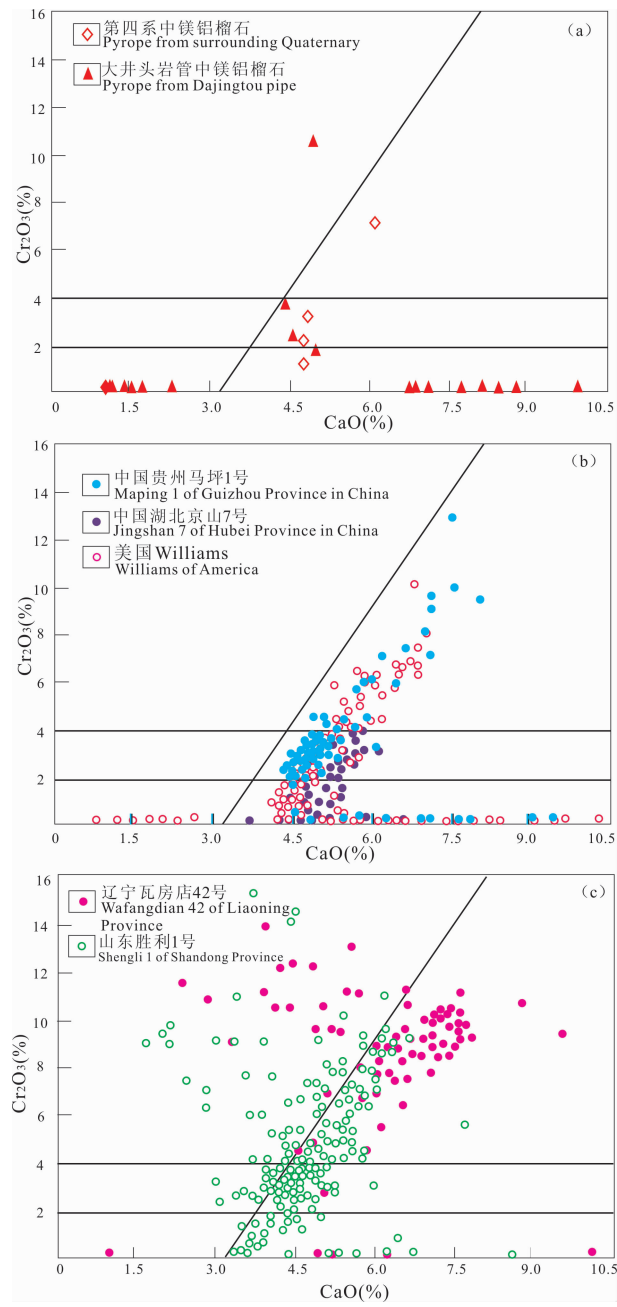


图 8 世界各地代表性岩体石榴石 Gurney CaO-Cr₂O₃ 关系图(据 Gurney et al. ,1973)

Fig. 8 Gurney CaO-Cr₂O₃ diagram of pyrope in representative rock mass around the world (after Gurney et al. ,1973)

(a)一大井头岩体及第四系中镁铝榴石;(b)一贵州马坪 1 号、湖北北京山 7 号和美国 Williams 钾镁煌斑岩中镁铝榴石;(c)一辽宁瓦房店 42 号和山东胜利 1 号金伯利岩中镁铝榴石(据张安棣等,1991)

(a)—Pyrope from Dajingtou lamproite and surrounding Quaternary;(b)—pyrope from lamproite of Mapping 1 of Guizhou Province, Jingshan 7 of Hubei Province and Williams of America;(c)—pyrope from kimberlite of Wafangdian 42 of Liaoning Province and Shengli 1 of Shandong Province (after Zhang Andi et al. ,1991)

通,古生代时期厚度达 200 km,上覆平缓的沉积盖层,具备钾镁煌斑岩和金伯利岩等金刚石原生矿侵

爆的有利大地构造条件。更为重要的是,大井头地区金刚石找矿指示矿物的发现和研究,指示该地区是金刚石成矿的有利区域。

首先, S1 组和 S2 组的富镁低铝-高铬铬铁矿(Cr_2O_3 62% ~ 67%、 $\text{TiO}_2 < 0.7\%$ 、 MgO 11% ~ 15.5%、 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 8\%$),为含金刚石方辉橄榄岩所特有,可作为与天然金刚石共生的指示矿物(张安棣等,1991)。大井头地区第四系自然重砂样中的 S1 组、S2 组高铬铬铁矿约占测试铬铁矿总数的 10%, Cr_2O_3 平均含量达 65.47%,最高可达 68.70%,有 6 颗落入格尼圈(金刚石包体相指示矿物),说明该地区存在金刚石原生矿的可能性极大。大井头岩体中的 S1 组和 S2 组贫铝富镁-高铬铬铁矿含量之和约占测试矿物的 40.0%,高于自然重砂样品中 S1 组和 S2 组的比重,指示大井头岩体具有金刚石含矿性的同时,又呈现出对下游重砂矿物区的供源态势。此外,大井头地区铬铁矿中的 Cr_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 含量及其关系,与山东蒙阴和辽宁瓦房店金刚石原生矿非常相似,而与不含金刚石岩体中的铬铁矿有较大差异,同样指示大井头地区存在含金刚石的岩体。

其次,大井头岩体与下游第四系中的镁铝榴石种类相似,主要有 G1 组、G3 组、G4 组、G5 组、G9 组和 G10 组。其中 G10 组镁铝榴石同金刚石关系最为密切(Meyer et al. ,1968)。统计表明,几乎所有不含金刚石的岩体皆不含 G10 组镁铝榴石,如河北涉县、河南土门、山西柳林、湖北北京山等地金伯利岩或钾镁煌斑岩体(池际尚等,1996; Zhang Lianchang et al. ,1998)。大井头地区 G10 组镁铝榴石的存在是指示岩体含金刚石的有力证据。镁铝榴石 CaO-Cr₂O₃ 散点模式图对比也发现,大井头岩体与贵州、湖北及美国等地的钾镁煌斑岩特征更为接近。

再次,利马矿仅见于金伯利岩或钾镁煌斑岩中,是金伯利岩或钾镁煌斑岩岩浆交代钛酸盐形成的矿物。大井头地区利马矿的普遍存在,反映该地区存在金刚石母岩体的可能性大。

最后,铬透辉石为钾镁煌斑岩和金伯利岩的重要指示矿物之一,依据其硬度低、性脆,搬运过程中极易被磨蚀殆尽的特征,自然重砂中铬透辉石具有独特的近源指示性(Zhao Xiufang, 2018; Deng Xiaoqin et al. ,2019)。大井头地区第四系中铬透辉石的出现,表明其距离钾镁煌斑岩、金伯利岩等金刚石母岩体较近。

表 5 第四系中铬透辉石特征化学成分表

Table 5 Characteristic chemical composition and group discrimination of chromite diopsides in quaternary

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)				属性特征	备注
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Na ₂ O		
1	250PZ013-2a	1.23	14.86	0.51	1.11	铬透辉石	重砂矿物异常区
2	250PZ026-2	1.38	13.84	0.00	1.60		
3	250PZ013-2a	0.94	15.29	0.48	1.04	含铬透辉石	

表 6 大井头岩体中铬透辉石特征化学成分表

Table 6 Characteristic chemical composition of chromite diopsides in Dajingtou lamproite

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)				属性特征
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	
1	18JXTH-02	1.10	17.93	0.14	0.39	低铬透辉石
2	18JXTH-03	0.59	17.86	0.14	0.28	含铬透辉石
3	18JXTH-05	0.73	17.68	0.12	0.31	含铬透辉石
4	18JXTH-06	0.59	16.77	0.23	0.33	含铬透辉石
5	18JXTH-07	0.84	16.95	0.16	0.43	含铬透辉石
6	18JXTH-08	0.88	17.28	0.15	0.31	含铬透辉石
7	18JXTH-09	0.38	15.57	0.30	0.34	含铬透辉石
8	18JXTH-10	0.40	16.94	0.17	0.31	含铬透辉石
9	18JXTH-11	0.42	16.81	0.26	0.32	含铬透辉石
10	18JXTH-12	0.58	17.05	0.25	0.56	含铬透辉石
11	18TC02-01	1.08	17.24	0.27	0.44	低铬透辉石
12	18TC02-02	0.90	17.52	0.25	0.49	含铬透辉石

表 7 大井头岩管中绿辉石特征化学成分表

Table 7 Characteristic chemical composition of omphacites in Dajingtou lamproite

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)									属性
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	
1	16ZK02-RS02	68.41	19.11	—	—	—	0.28	0.02	11.24	0.08	含钾绿辉石
2	18JXSL-103	64.96	18.77	0.02	0.13	0.05	0.51	0.51	4.17	—	绿辉石

注:“—”表示未测试。

大井头地区金刚石指示矿物的广泛分布及特征矿物化学成分,指示该区为金刚石原生矿成矿的有利地区。近期在大井头岩体勘查工程中相继选获的 12 颗金刚石,则是大井头岩体金刚石含矿性的最有力证据^⑨。二者相结合,无疑证实了大井头及周边地区是新区、新类型金刚石找矿的优质靶区。

4.2 金刚石成因机制探讨

大井头岩体中选获的指示矿物既有 P 型金刚石的指示矿物 G9 组铬镁铝榴石、G10 组低钙高铬镁铝榴石,又有 S1+S2 组富镁低钛贫铝-高铬铬铁矿,还有 E 型金刚石指示矿物 G4 组镁铝-铁铝榴石和绿辉石,反映大井头岩体的成因较为复杂,是与蒙阴地区金伯利岩不同的金刚石母岩体。据研究,金伯利岩中铬透辉石的 Cr₂O₃ 含量普遍大于 1.65% (罗声宣等,1999),而大井头岩体中选获的 12 颗含铬透辉石的 Cr₂O₃ 含量均未超过 1.65%,也说明大井头岩体不同于金伯利岩。

近年来,在全球一些地区的蛇绿岩、地幔橄榄岩

和铬铁矿中发现微粒金刚石和柯石英、碳化硅等异常矿物,也反映了金刚石产出类型的多样性(Yang Jingsui et al.,2014; Lian Dongyang et al.,2019)。大井头岩石地球化学研究表明,该岩体为强同化混染的钾镁煌斑岩(Ye Delong,1993; Wang Yufeng et al.,2019)。相较于金伯利岩,钾镁煌斑岩产于克拉通的边部(图 9),主要穿越金刚石生长区的底部和边部,穿越厚度相对较小,携带的重矿物也有其特点(Evans Noreen et al.,2012; 宋瑞祥,2013)。

通过对大井头岩体及其下游第四系中选到的镁铝榴石进行了投图,发现大多数镁铝榴石的 Cr₂O₃ 含量在 2% 以下(图 8a),属于榴辉岩型石榴石。统计发现,大井头岩体及其下游第四系中含有较多的 G4 组镁铝-铁铝榴石。该组石榴石的特点是含少量的 Na₂O(0.06%~0.22%),反映其形成于高压环境下的特点(罗声宣等,1999)。在蒙阴胜利 1 号榴辉岩捕虏体中亦有发现,可作为地幔榴辉岩的指示矿物。大井头地区 G4 组石榴石的发现和较高比重,

表 8 大井头地区利马矿特征化学成分表

Table 8 Characteristic chemical composition of Lima mines in Dajingtou lamproite

序号	样品编号	特征化学成分及含量(%)							
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	CaO	K ₂ O
1	PFZ132	19.86	4.28	61.01	0.86	0.00	9.56	0.37	—
2	PFZ133	19.84	4.37	60.47	0.86	0.23	9.28	0.37	—
3		18.03	4.48	62.12	0.76	0.27	9.48	0.57	—
4	PFZ151	18.65	4.06	62.32	0.66	0.03	10.30	0.48	—
5	PFZ155	18.28	4.39	60.45	0.61	0.01	10.49	0.48	—
6	PFZ156	18.13	4.58	61.32	0.72	0.00	10.12	0.46	—
7		17.14	4.51	62.28	0.73	0.35	10.19	0.40	—
8		18.98	4.18	62.00	0.59	0.10	10.57	0.45	—
9	PFZ157	18.68	4.31	61.15	0.95	0.00	9.69	0.48	—
10	PFZ213	16.53	3.41	59.37	0.61	0.26	10.39	0.43	1.24
11	PFZ214	17.97	3.56	59.12	0.30	0.00	9.47	0.58	1.44
12	PFZ220	18.10	3.40	58.94	0.28	0.25	9.66	0.30	1.51
13	PFZ225	17.70	3.48	59.09	0.67	0.31	9.04	0.65	1.36
14		17.69	3.13	58.44	0.36	0.03	10.47	0.57	1.28
15		16.86	3.47	58.75	0.44	0.00	10.60	0.46	1.22
16	PFZ235	18.27	3.52	58.49	0.50	0.50	9.62	0.69	1.03
17	PFZ238	17.75	3.46	57.54	0.69	0.86	10.31	0.31	1.27
18	PFZ245	19.03	3.30	58.58	0.84	0.74	8.94	0.50	1.13
19	PFZ250	17.24	3.81	58.98	0.68	0.50	9.69	0.56	1.39
20	PFZ251	17.10	3.82	58.64	0.72	0.53	9.59	0.57	0.00
21	PFZ252	18.84	3.34	58.63	0.42	0.23	9.69	0.45	0.00
22	PFZ253	18.05	3.60	60.27	0.13	0.93	7.87	0.77	1.10
23		16.73	4.34	57.13	0.54	0.00	10.46	0.67	0.87
24	PFZ257	18.86	3.31	58.57	0.37	0.12	9.74	0.35	1.10
25	PFZ263	19.04	3.35	59.72	0.32	0.39	10.20	0.56	1.20
26	PFZ265	16.83	3.56	59.76	0.42	0.14	10.38	0.39	1.30
27	PFZ269	18.44	3.32	58.83	0.57	0.00	9.62	0.77	1.15

注:“—”表示未测试。

反映大井头岩浆穿越了较厚的地幔榴辉岩圈。另外大井头岩体中选获 2 颗绿辉石,作为榴辉岩中的典型矿物,绿辉石的存在同样意味着大井头岩体穿越并携带了地幔榴辉岩物质。

此外,大井头岩体中的金刚石粒度普遍偏小、且多为 Ib 型,极有可能形成于金刚石生成区顶部的金刚石-石墨相变线附近(宋瑞祥,2013)。综合研究得出,大井头岩体为主要穿越金刚石生成区边部、并携带了其中特征矿物的钾镁煌斑岩。

区域上除大井头地区(Ⅰ)外,在北部的东岳庄-宋家庄地区(Ⅱ),东部的东小山地区(Ⅲ)、盘车沟地区(Ⅳ)同样存在重砂矿物异常(图 10)^②。勘查研究表明,钾镁煌斑岩多具有集群性特征(Ke Yuanshuo et al.,1991)。区域上,在小泉庄村西、大瑶草村南、东小山村北等地出露钾质超基性岩体(Wang Yufeng,2019),在埠西桥、归后庄等地发现有凝灰质角砾岩,可见大井头岩体并非孤立存在。结合周边重砂矿物异常特征和大井头地区的勘查研究进

展,认为该地区是鲁西金刚石原生矿新区、新类型的优质找矿靶区,建议今后找矿方向和工作重心转移到钾镁煌斑岩型金刚石原生矿上来。

5 结论

(1)大井头地区选获的金刚石指示矿物有 G10 组低钙-高铬镁铝榴石、G4 组含 Na₂O 镁铝-铁铝榴石和 S1、S2 组高铬铬铁矿,选获的岩性指示矿物有 G9 组铬-镁铝榴石、S7 组铬铁矿、铬透辉石及利马矿等,指示矿物数量多、类型较齐全,是金刚石原生矿成矿的有利地区。结合大井头岩体和重砂矿物异常区内指示矿物类型、特征矿物成分的一致性,认为重砂矿物异常区内的指示矿物来源于大井头岩体。

(2)大井头岩体中既存在橄榄岩型指示矿物 G9 组、G10 组镁铝榴石和 S1 组、S2 组铬铁矿,又含有较多的榴辉岩型金刚石指示矿物,如 G4 组镁铝-铁铝榴石和绿辉石,且岩体中金刚石粒度普遍偏小、且多为 Ib 型初生金刚石,反映岩体成因机制较为复

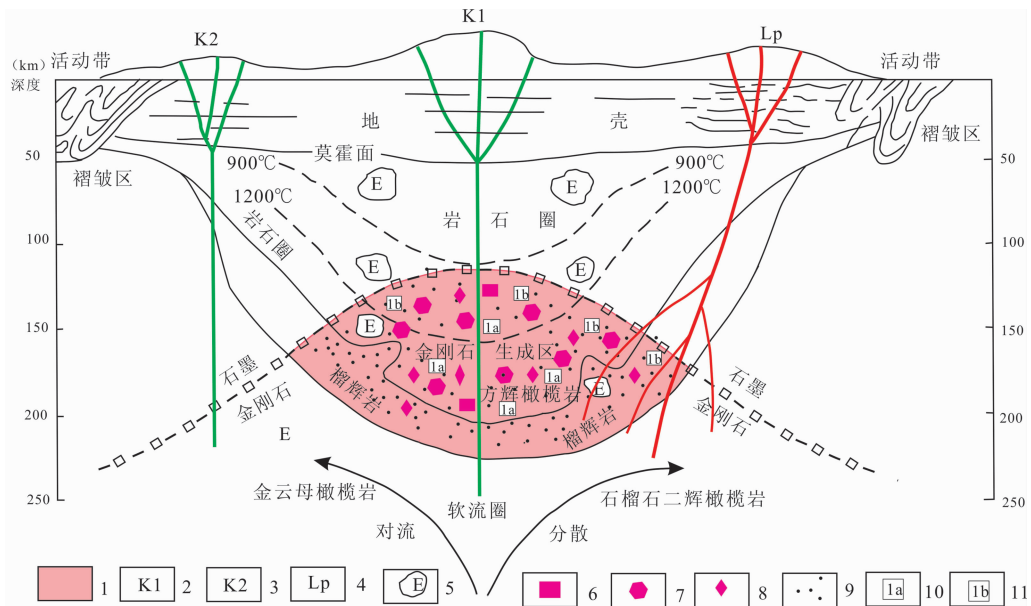


图 9 金刚石原生矿成因模式图

Fig. 9 Genetic pattern of primary diamond deposits

1—金刚石生长区;2—含金刚石墨伯利岩;3—不含金刚石墨伯利岩;4—钾镁煌斑岩;5—榴辉岩;6—立方体金刚石;
7—八面体金刚石;8—菱形十二面体金刚石;9—微粒金刚石和晶质碳;10—1a 型金刚石;11—1b 型金刚石

1—Diamond growth region;2—kimberlite bearing diamond;3—kimberlite free diamond;4—lamproite;5—eclogite;6—cubic diamond;
7—octahedral diamond;8—rhombic dodecahedral diamond;9—particulate diamond and crystalline carbon;10—type 1a diamond;11—type 1b diamond

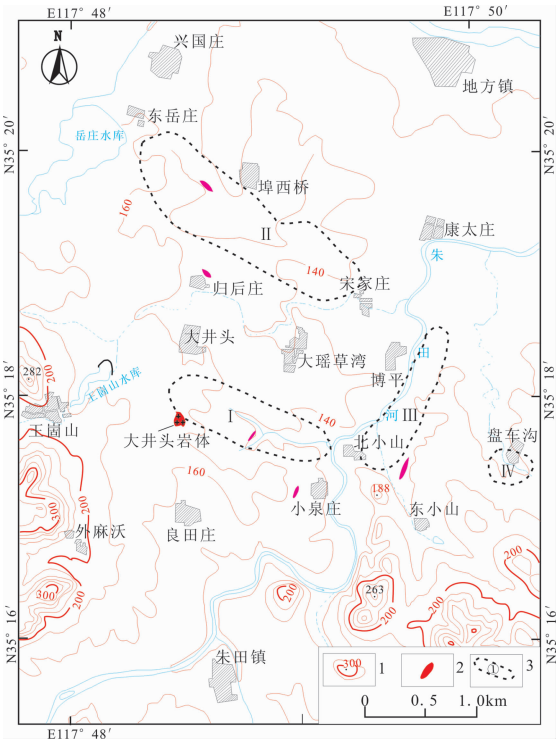


图 10 大井头周边重砂矿物异常分布图

Fig. 10 Abnormal distribution of heavy sand minerals around the Dajingtou area

1—等高线(m);2—超基性可疑岩体;3—重砂异常区及编号
1—Contour (m);2—ultrabasic suspicious rock mass;
3—abnormal area of heavy sand minerals and their number

杂,与蒙阴金伯利岩存在较大差异,认为大井头岩体为穿越金刚石生成区边部、并携带了其中特征矿物成分的钾镁煌斑岩。

(3)除大井头地区外,周边尚存在东岳庄-宋家庄地区等三处重砂矿物异常,且在埠西桥、归后庄、东小山等地或出露可疑超基性岩,或出露凝灰质角砾岩,可见该地区岩体具有集群分布的特征,是新区、新类型金刚石原生矿找矿的优质靶区。结合大井头地区金刚石勘查研究进展,建议今后找矿方向和思路向钾镁煌斑岩型金刚石原生矿转移。

致谢:重砂矿物挑选得到山东地矿七院吕青高工的帮助,样品测试得到中国冶金地质总局山东局测试中心林培军高工的协助,写作修改过程中得到山东地矿七院艾计泉高工的亲切指导和匿名审稿人的悉心指正,谨在此深表感谢!

注 释

- ① 王玉峰,周军,宋成河. 2019. 山东省费县朱田地区金刚石普查报告. 山东省第七地质矿产勘查院.
- ② 艾计泉,刘金民. 2011. 山东省平邑-费县地区金刚石资源潜力评价与找矿方向研究报告. 山东省第七地质矿产勘查院.

References

Chu Zhiyuan, Liu Weidong, Hu Ge, Fan Zhensheng, Wen Diangang, Dong Guowei, Wang Qi. 2019. Study on characteristics and origin of diamond in basic-ultrabasic rock

- in Shandong Jiangsu and Anhui Province. Shandong Land and Resources, 35(11):8~14 (in Chinese with English abstract).
- Dawson J B, Stephens W E. 1975. Statistical classification of garnets from Kimberlite and associated Xenoliths. Journal of Geology, 83(5):589~607.
- Deng Xiaoqin, Huang Yuancheng, Qiu Zhili, Lu Taijin, Li Zhixiang, Zhang Jian, Rao Hongjuan, Zhang Yuefeng. 2019. Geochemistry of chrome spinel from Cangputang lamproite in southeast Guizhou and its implication for diamond potential Geotectonica et Metallogenia, 43(05):1023~1035 (in Chinese with English abstract).
- Dong Zhenxin, Zhou Jianxiong. 1980. The typomorphic characteristics of chromites from kimberlites in China and the significance in exploration of diamond deposits. Acta Geologica Sinica, (04):284~299+339~340 (in Chinese with English abstract).
- Du Wei. 2017. Exploration on the potential of primary diamond deposits in Mengyin basin, Shandong Province. China Petrochem, (06):18~19 (in Chinese with English abstract).
- Evans Noreen J, McInnes Brent I A, McDonald Brad, Dani ? ik Martin, Corbett Dudley. 2012. Emplacement age and thermal footprint of the diamondiferous Ellendale E9 lamproite pipe, Western Australia. Mineralium Deposita, 48(3):413~421.
- Fu Changjiang. 1993. Characteristics and origin of diamond and its indicating minerals in Sihong and Chenggan area, Jiangsu. Jiangsu Geology, (Z1):174~179 (in Chinese with English abstract).
- Gurney J J, Switzer G S. 1973. The discovery of garnets closely related to diamonds in the Finsch pipe, South Africa. Contributions to Mineralogy & Petrology, 39(2):103~116.
- Huang Yuancheng, Li Zhixiang, Qiu Zhili, Rao Hongjuan, Lu Taijin, Chen Hua, Ke Jie, Wei Ran. 2016. Mineralogical characteristics of lamproite-hosted and placer diamonds from Zhenyuan, Guizhou and their significance for primary deposit prospecting Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 55(05):108~118 (in Chinese with English abstract).
- Jaques A L, O'Neill H St C, Smith C B, Moon J, Chappell B W. 1990. Diamondiferous peridotite xenoliths from the Argyle (AK1) lamproite pipe, Western Australia. contributions to mineralogy and petrology, 104:255~276.
- Ke Yuanshuo, Tian Weishu. 1991. Significance of the features of the aggregation of kimberlites and lamproites in diamond exploration. Geological Science and Technology Information, (S1):21~28 (in Chinese with English abstract).
- Lian Dongyang, Yang Jingsui. 2019. Ophiolite-hosted diamond: a new window for probing carbon cycling in the deep mantle. Engineering, 5(3):351~594.
- Liu Antong, Wu Jing, Shan Hong. 2007. New idea of source of diamond and the accompanying minerals in Dajingtou area, Pingyi County, Shandong Province. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, (01):62~65 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jitai. 2002. Study on primary diamond ore—forming ruture in Shandong Province Geology of Shandong, (Z1):100~104 (in Chinese with English abstract).
- Meyer, Henry O A. 1968. Chrome pyrope: an inclusion in natural diamond. Science, 160(3835):1446~1447.
- Wang Yufeng. 2019. The discussion on exploring direction of the primary diamond deposits in Zhutian area, Feixian County, Shandong Province. Shandong Land and Resources, 35(11):15~20 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yufeng, Zhou Jun, Wang Jianping, Zhu Chenghe, Yang Xianzhong. 2019. The discussion on geological characteristics and diamond ore-bearing potentiality of the Dajingtou lamprophite, Pingyi County, Shandong Province. Geological Bulletin of China, 38(01):93~102 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yufeng, Cai Yitao, Xiao Bingjian, Zhou Jun, Chen Jun. 2020. Characteristics of laser raman and infrared spectra of diamonds in Dajingtou lamproite, west side of Tan-Lu fault. Northwestern Geology, 53(1):35~48 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianmin. 1995. Study on the mineralogy and petrology of kimberlite and lamproite from the north part of Shanxi province, china. Doctoral dissertation of China Academy of Geological Sciences: 1~140 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, Bai Wenji, Zhang Zhongming, Rong He. 2014. Features of diamond in ophiolite. Acta Petrologica Sinica, 30(08):2113~2124 (in Chinese with English abstract).
- Ye Delong. 1993. Criteria for discrimination of lamproite and their classification. Geological Science and Technology Information, (01):39~46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Lu Dengrong, Wang Shurong, Mei Houjun. 1998. Geology and geochemistry of lamproite in Datong area, Shanxi Province. Mineralogy and Petrology, (04):32~38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xuechu, Chen Mingshan. 2008. Morphological characteristics of chromespinel which is related to diamond primary deposits. Mineral Resources and Geology, (03):270~272 (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).
- Zhao Xiufang. 2018. Study on the prospecting significance of the diamond indicator minerals—setting the discovery of primary diamond ore in Zhangji area of Jiangsu Province as an example. Shandong Land and Resources, 34(07):34~39 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xiufang. 2019. A study of diamond indicative minerals in the depth and periphery of Xiyu, Mengyin County, Shandong Province: metallogenic properties of kimberlite predicted by diamond indicating minerals. Geological Bulletin of China, 38(01):121~131 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jianping, Lu Fengxiang, S Y O'Reilly, W L Griffin, Zhang Ming. 1999. Comparison between palaeozoic and cenozoic lithospheric mantle in the eastern part of the North China block. Acta Geologica Sinica, (01):47~56.
- Zhong Weiguo, Zhou Dengshi, Liu Jitai, Cheng Xiaoping, Xie Lihua. 2003. Study on ore—probing future of diamond primary ore in Dajingtou area of Feixian County in Shandong Province. Geology of Shandong, (01):43~59 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 池际尚, 路凤香. 1996. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征. 北京: 科学出版社.
- 褚志远, 刘卫东, 胡戈, 范振生, 温殿刚, 董国威, 王琦. 2019. 鲁苏皖一带基性—超基性岩中金刚石特征及其成因分析. 山东国土资源, 35(11):8~14.
- 邓小芹, 黄远成, 丘志力, 陆太进, 李志翔, 张健, 饶红娟, 张跃峰. 2019. 黔东南苍蒲塘钾镁煌斑岩含铬尖晶石地球化学特征及其对金刚石含铬性的指示. 大地构造与成矿学, 43(05):1023~1035.
- 董振信, 周剑雄. 1980. 我国金伯利岩中铬铁矿的标型特征及其找矿意义. 地质学报, (04):284~299+339~340.
- 杜伟. 2017. 山东蒙阴盆地金刚石原生矿找矿潜力探析. 中国石油石化, (06):18~19.
- 付长江. 1993. 泗洪、城岗地区金刚石及其指示矿物特征和供源方向. 江苏地质, (Z1):174~179.
- 黄远成, 李志翔, 丘志力, 饶红娟, 陆太进, 陈华, 柯捷, 魏然. 2016. 贵州镇远钾镁煌斑岩原生及砂矿金刚石矿物学特征及其找矿意义. 中山大学学报(自然科学版), 55(05):108~118.

柯元硕, 田为恕. 1991. 金伯利岩和钾镁煌斑岩的集群特性在金刚石地质勘查中的意义. 地质科技情报, (S1):21~28.

刘安同, 吴静, 单宏. 2007. 山东平邑大井头地区金刚石与伴生矿物来源的新认识. 地质找矿论丛, (01):62~65.

刘继太. 2002. 山东金刚石原生矿找矿前景探讨. 山东地质, (Z1):100~104.

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.

宋瑞祥. 2013. 闪光的钻石——世界金刚石找矿史. 北京: 地质出版社.

王玉峰. 2019. 山东省费县朱田地区金刚石原生矿找矿方向探讨. 山东国土资源, 35(11):15~20.

王玉峰, 周军, 王建平, 朱成河, 杨献忠. 2019. 山东省平邑县大井头钾镁煌斑岩地质特征及金刚石含矿性. 地质通报, 38(01):93~102.

王玉峰, 蔡逸涛, 肖丙建, 周军, 陈军. 2020. 郯庐断裂西侧大井头钾镁煌斑岩中金金刚石激光拉曼与红外光谱特征研究. 西北地质, 53(1):35~48.

杨建民. 1995. 山西北部金伯利岩钾镁煌斑岩岩石学矿物学研究, 中国地质科学院博士论文:1~140.

杨经绥, 徐向珍, 白文吉, 张仲明, 戎合. 2014. 蛇绿岩型金刚石的特征. 岩石学报, 30(08):2113~2124.

叶德隆. 1993. 钾镁煌斑岩的鉴别标准和分类命名. 地质科技情报, (01):39~46.

张安棣, 谢锡林, 郭立鹤. 1991. 金刚石找矿指示矿物研究及数据库. 北京: 北京科学技术出版社.

张连昌, 卢登蓉, 王淑荣, 梅厚钧. 1998. 山西大同钾镁煌斑岩地质地球化学特征. 矿物岩石, (04):32~38.

张学初, 陈明珊. 2008. 与金刚石原生矿有关的铬尖晶石形态特征. 矿产与地质, (03):270~272.

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(07):1470~1481.

赵秀芳. 2018. 金刚石指示矿物的找矿意义研究——以江苏张集地区发现金刚石原生矿为例. 山东国土资源, 34(07):34~39.

赵秀芳. 2019. 山东蒙阴县西峪矿区深部与外围金刚石指示矿物——利用金刚石指示矿物预测金伯利岩的含矿性. 地质通报, 38(01):121~131.

郑建平, 路凤香, S. Y. O'Reilly, W. L. Griffin, 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, (01):47~56.

仲卫国, 周登诗, 刘继太, 程晓萍, 解丽华. 2003. 山东费县大井头地区金刚石原生矿找矿前景探讨. 山东地质, (01):43~59.

Characteristics and research significance of diamond prospecting indicator minerals in the Dajingtou area, western Shandong Province

WANG Yufeng^{*1,2)}, XIAO Bingjian^{1,2)}, SONG Mingchun³⁾, FU Pengyuan³⁾,
ZHU Chenghe^{1,2)}, ZHAO Jun^{1,2)}, GAO Cunshan^{1,2)}, XU Yanming^{1,2)}

1) NO. 7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Linyi, Shandong, 276006;

2) Key Laboratory of Diamond Mineralization Mechanism and Exploration in Shandong province, Linyi, Shandong, 276006;

3) Bureau of Geominerals Exploration and Development of Shandong Province, Jinan, 250012

* Corresponding author: wangyufeng792@163.com

Abstract

Though the occurrence of diamonds and their prospecting indicator minerals in the Dajingtou area of western Shandong Province has long been known, no substantial breakthrough has been made in the exploration of the diamond primary ore. Based on the study of crystal morphology and chemical composition of the indicator minerals, this paper compares the characteristics of indicator minerals in natural heavy sand and in the Dajingtou volcanic rock to reach the following conclusions. Firstly, the Dajingtou area has both diamond indicator minerals and diamond-bearing rock indicator minerals and is a favorable area for diamond mineralization in the western Shandong region. Secondly, the type and proportion of indicator minerals in the Quaternary are consistent with that in the Dajingtou volcanic rock. We propose that the indicator minerals are supplied by the Dajingtou volcanic rock, which contains a large proportion of indicator minerals of the eclogite, such as G4-pyropes, omphacite. Thus, it can be concluded that that the Dajingtou volcanic rock is lamproite that passed through the edge of diamond producing area and carried the characteristic minerals. According to the characteristics of the lamproite's cluster distribution, the Dajingtou area and its surroundings are potentially high-quality target areas for the new type of diamond prospecting. Future prospecting efforts should be focussed on the primary diamond ore of the lamproite type.

Key words: diamond; indicator mineral; lamproite; Dajingtou area; western Shandong Province