

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

王玉峰¹, 周 军¹, 王建平², 朱成河¹, 杨献忠³

WANG Yufeng¹, ZHOU Jun¹, WANG Jianping², ZHU Chenghe¹, YANG Xianzhong³

1. 山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006;

2. 地质过程与矿产资源国家重点实验室/中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016

1. No. 7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Linyi 276006, Shandong, China;

2. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:平邑县大井头岩体发现以来,其岩性界定和金刚石含矿性始终悬而未解。近期针对其深部施工2个钻孔,在钻孔人工重砂样中选获原生金刚石3颗。结合岩矿鉴定、岩石地球化学和重砂矿物特征,认为大井头岩体为含金刚石的钾镁煌斑岩管,岩体下游的金刚石及其重砂矿物异常应由该岩体引起。结合周边存在的金刚石指示矿物异常和多处尚未查明的疑似岩体,认为该地区具有广阔的金刚石原生矿找矿前景。

关键词:钾镁煌斑岩;地质特征;金刚石含矿性;平邑县大井头

中图分类号:P619.24⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2019)01-0093-10

Wang Y F, Zhou J, Wang J P, Zhu C H, Yang X Z. A discussion on geological characteristics and diamond ore-bearing potentiality of the Dajingtou lamprophite, Pingyi County, Shandong Province. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(1):93-102

Abstract: Since the discovery of the Dajingtou volcanic rock in Pingyi County, the problem of its lithology and the ore-bearing potentiality of diamond has not been solved. Recently, two boreholes unveiled fresh spotted rocks at the depth of 580m or so, and three diamonds were selected from them. According to the rock features, lithogeochemistry and heavy mineral characteristics, it is considered that the Dajingtou volcanic rock is lamproite-bearing diamond, which might have caused the anomalies of diamonds and heavy minerals in the lower reaches of the tube. Combined with a number of suspected lamprophyre exposed in surrounding areas, it is considered that there is a great potential for primary diamond ore.

Key words: lamproite; geological features; diamond ore-bearing potentiality; Dajingtou of Pingyi County

山东省平邑县大井头村—小泉庄村一带历来是金刚石原生矿重点找矿地区,以往勘查工作中,发现大量具有找矿意义的金刚石及其指示矿物^[1-2],被列为金刚石原生矿一级找矿靶区^①。然而,受以往找矿思路影响,围绕蒙阴三大金伯利岩原生矿带,专注于

寻找金伯利岩型金刚石原生矿,却忽视了对另一种含矿岩石——钾镁煌斑岩的勘查与研究。

平邑县大井头岩体自1972年发现以来,曾开展过多轮勘查工作,但由于近地表岩石遭受强烈风化蚀变,给岩石定名带来较大困难,曾长期被定性为

收稿日期:2018-06-10;修订日期:2018-07-09

资助项目:中央地质勘查基金项目《山东省费县朱田地区金刚石普查》(编号:2013371001)和中国地质调查局项目《华北和扬子地区金刚石矿产调查》(编号:DD20160059)

作者简介:王玉峰(1987-),男,硕士,工程师,从事金刚石原生矿勘查与研究工作。E-mail: wangyufeng792@163.com

火山角砾岩^[3]。然而,据最新勘查资料^②,结合岩矿鉴定、岩石地球化学和重砂矿物组合特征,最终将该岩体的岩性鉴定为钾镁煌斑岩,并从中新发现原生金刚石3颗,认为大井头岩体为含金刚石钾镁煌斑岩管,具有重要的科研价值和找矿意义。

1 地质背景

平邑县大井头地区处于华北板块(I)东南缘^[4],鲁西隆起区(II)、鲁中隆起(III)、尼山-平邑断隆(IV)之临沂凸起(V)西北部,东距沂沭断裂带最西侧的郯部-葛沟断裂约55km,位于蒙阴坡里、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(图1),成矿地质条件较优越^[5]。

区域上沉积盖层较发育,以古生代寒武系—奥

陶系九龙群炒米店组灰岩和三山子组白云岩为主。地层倾向整体在15°~35°之间,倾角10°左右。盖层厚度自西南向东北逐渐加厚,其中大井头钾镁煌斑岩管(以下简称“大井头岩管”)附近的盖层厚度约620m,基底为太古宙片麻状二长花岗岩^[6]。

区内断裂构造发育,根据展布方向大致可分为北北西向、北西向和北北东向3组,其中北北西向燕甘断裂是区域性主干断裂,与其有成因联系的北北东向伴生断裂在大井头岩管周边较发育,它们与区域性北西向基底深大断裂的次级断裂共同控制该地区的地质展布和岩浆活动。

受区域性掀斜作用影响^[7],岩浆岩主要呈老基底形式出露于区域西南部,岩性主要为新太古代傲徕山序列条花峪单元弱片麻状二长花岗岩。此外,区域上出露多个与金刚石成矿关系密切的基性-超基性杂岩体,如大井头钾镁煌斑岩管,小泉庄、东小山、大山河等地煌斑岩脉及埠西桥、归后庄等地的火山角砾岩体。

2 大井头岩管地质特征

2.1 大井头岩管特征

大井头岩管位于大井头村南0.9km、燕甘断裂东1.5km处,产出2条北北东向断裂和2条北西向断裂复合交会的构造薄弱区,即“井”字形构造格架的中心部位(图2)。

大井头岩管以西南角为中心,地表形态呈北东向展开的扇形。受北北东向大井头断裂和北西向小泉庄断裂共同控制,南北向较长,约105m,东西向稍短,约65m,出露面积达5761m²。经钻探工程验证,大井头岩体为南南西向倾斜的钾镁煌斑岩管,倾向202°,倾角81°。目前岩管控制深度达580m,自地表向下,岩管直径逐渐变小,岩石遭受风化蚀变程度减弱(图3)。

2.2 岩石学特征

大井头岩管的近地表岩性主要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、层状构造,碳酸盐化、绢云母化、蒙脱石化、绿泥石化、褐铁矿化等蚀变较发育。

勘查工程表明,岩管深部逐渐过渡为较新鲜的钾镁煌斑岩,岩石具有钾镁煌斑岩特有的灰色-绿灰色斑点状外貌(图4-a),与澳大利亚阿盖尔、贵州

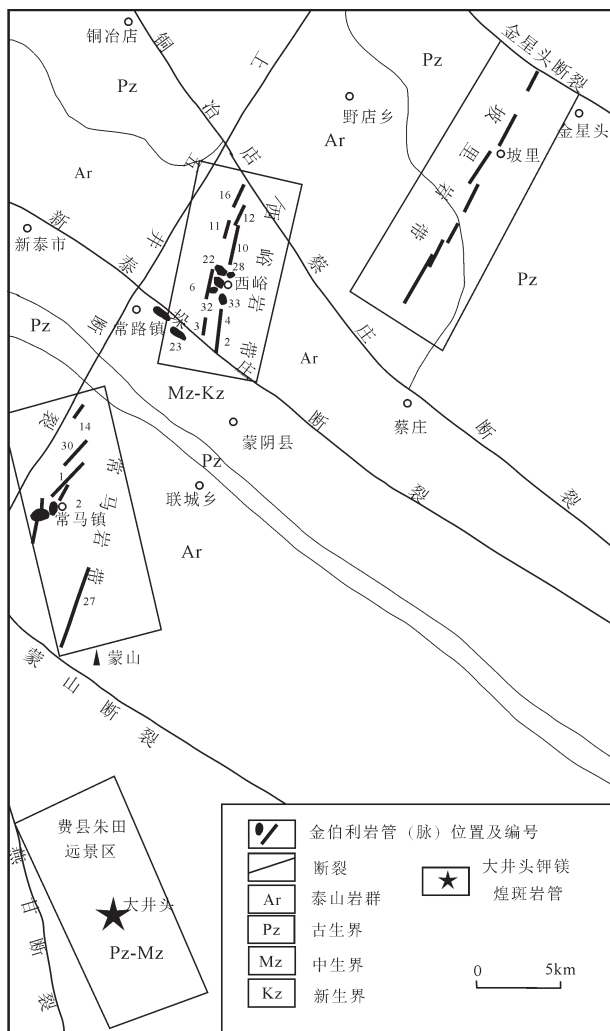


图1 大井头岩管构造位置

Fig. 1 Geotectonic position of the Dajingtou lamporphyrite tube

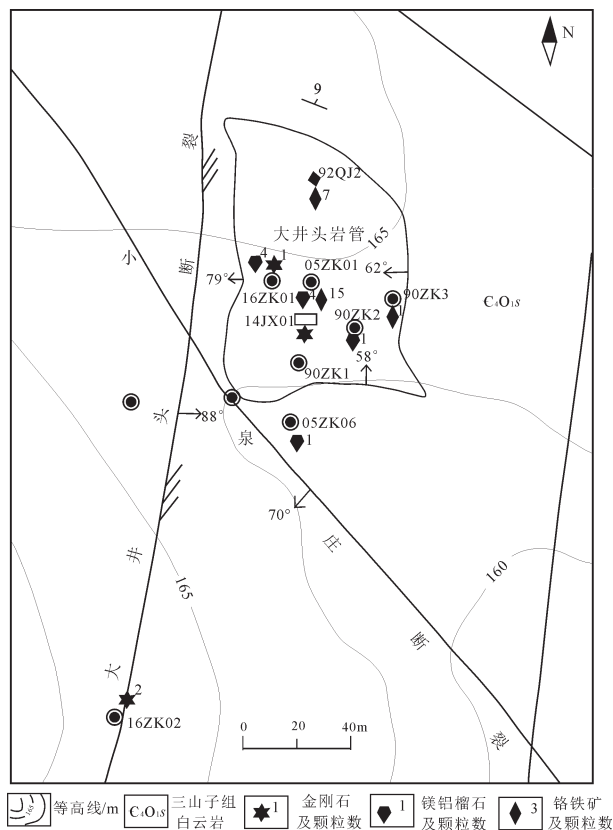


图2 大井头岩管平面图

Fig. 2 Geological map of the Dajingtou tube

镇远、山西大同、湖南宁乡、西昆仑等地钾镁煌斑岩外貌特征一致^[8-14]。

岩矿鉴定表明,新鲜的岩石具变余斑状结构和隐晶状结构,原生矿物均已遭受蚀变,镜下仅可见碱性长石、透辉石等矿物晶体假象(图4-b),偶见细小短柱状磷灰石、尘点状或浸染状的铁质矿物。岩石全部由蚀变矿物组成,其中碳酸盐约占70%,残余长英质矿物约占12%,绢云母约占8%,粘土矿物约占3%,另外含约7%的不透明矿物。碳酸盐呈微晶状、细晶状或稠密浸染状分布,而绢云母呈微鳞片状填充于碳酸盐晶隙中。斑晶多被碳酸盐交代,个别被绢云母交代,仅保留其矿物假象。基质也已发生极强的绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化。

研究资料表明^[15],金刚石原生矿中的绢云母是金云母水化后的产物,绿泥石大多是由金云母蚀变而成。金刚石原生矿中的碳酸盐矿物经常组成基质,其后发生的碳酸盐化,可以部分或全部交代橄榄石等斑晶矿物,有时呈细脉状穿插于岩石或矿物中,

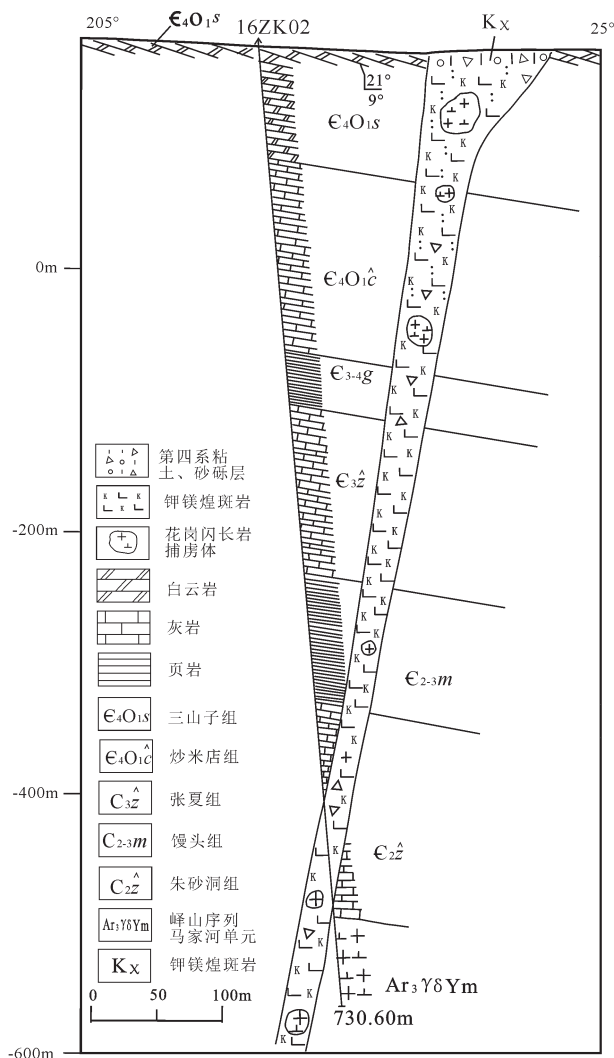


图3 大井头岩体KT02勘探线剖面

Fig. 3 Geological section along KT02 exploration line of Dajingtou lamporphite tube

这与大井头岩体镜下鉴定中关于碳酸盐化的描述一致,大井头岩体符合金刚石原生矿的岩石特征。

2.3 岩石地球化学特征

本次共选取6件样品,其中3件样品采自探槽,岩石风化蚀变较强,另外3件采自钻孔岩心,岩石较新鲜,但同样遭受蚀变。样品分析测试在山东省第七地质矿产勘查院实验室进行,测试前将岩石粉碎至200目,测试仪器为PS-950等离子体光谱仪。

主量元素测试数据表明(表1),大井头岩体中3件新鲜岩心样品的SiO₂含量分别为43.90%、44.13%和47.98%,属于基性-超基性岩范畴,且K₂O含量均较高,分别高达7.11%、7.60%和8.40%,K₂O/Na₂O值

表1 大井头钾镁煌斑岩主量元素测试数据及相关参数
Table 1 Test data of the main elements and related parameters of the Dajingtou lamprophite

样品编号	岩性	检测项目及结果/%													岩石学相关参数			
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO ₂	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	合计	K ₂ O/Na ₂ O	CO ₂	K ₂ O/Al ₂ O ₃	混染指数
16ZK01-QH03	大井头	43.90	0.79	17.54	9.64	4.5	0.21	1.67	7.04	7.11	0.09	0.57	11.49	100.05	81.91		0.41	3.87
16ZK02-Qh01	钾镁煌斑岩	44.13	0.71	16.48	7.78	3.21	0.20	1.66	8.94	7.60	0.16	0.46	12.01	100.13	47.50		0.46	3.60
16ZK03-Qh01	(新鲜)	47.98	0.72	16.43	7.25	3.79	0.18	1.70	6.74	8.40	0.19	0.43	10.00	100.02	45.05		0.51	3.49
16TC01-Qh02	大井头	50.67	0.76	17.87	15.72	4.34	0.31	0.43	0.74	6.39	0.07	0.57	6.06	99.59	93.01	0.21	0.36	5.19
16TC01-Qh03	钾镁煌斑岩	53.25	0.72	17.39	13.64	3.76	0.31	0.42	0.76	6.24	0.08	0.49	6.17	99.47	75.72	0.25	0.36	5.48
16TC01-Qh04	(风化)	52.69	0.80	19.40	12.21	3.37	0.25	0.50	0.83	6.73	0.07	0.56	6.45	100.49	101.33	0.18	0.35	5.17

注:混染指数= (SiO₂+Al₂O₃+Na₂O)/(MgO+2K₂O)

表2 各类火山岩类主量元素成分
Table 2 The main elements of a variety of volcanic rocks

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	烧失量	合计	%
流纹岩	73.66	0.22	13.45	1.25	0.75		0.03	0.32	1.13	5.35	2.99		0.07		0.78		100
英安岩	63.38	0.64	16.67	2.24	3.00		0.11	2.12	5.53	1.40	3.98		0.17		0.56		100
安山岩	58.17	0.80	17.26	3.07	4.18		0.15	3.24	6.93	1.61	3.21		0.21		0.86		99.69
玄武岩	50.16	1.20	17.61	3.41	6.43		0.17	6.22	9.99	0.85	2.90		0.21		0.91		100.06
响岩	56.90	0.59	20.17	2.26	1.85		0.19	0.58	1.88	5.42	8.72		0.17		0.96		99.69
一般	43.67	0.90	4.53	4.22	7.77	0.27	0.25	25.34	8.79	0.41	0.90		0.11				100
*金伯利岩 ^[11]	33.16	1.77	2.45	6.81	2.03	0.15	0.15	28.00	8.35	0.67	0.10	4.85	0.7	2.84			
白榴透辉 钾镁煌斑岩 ^[10]	49.26	5.41	7.27	5.47	1.02		0.10	8.29	2.56	7.74	0.45	0.30	0.64	5.29			

注:流纹岩、英安岩、安山岩、玄武岩、响岩数据参考文献[20]

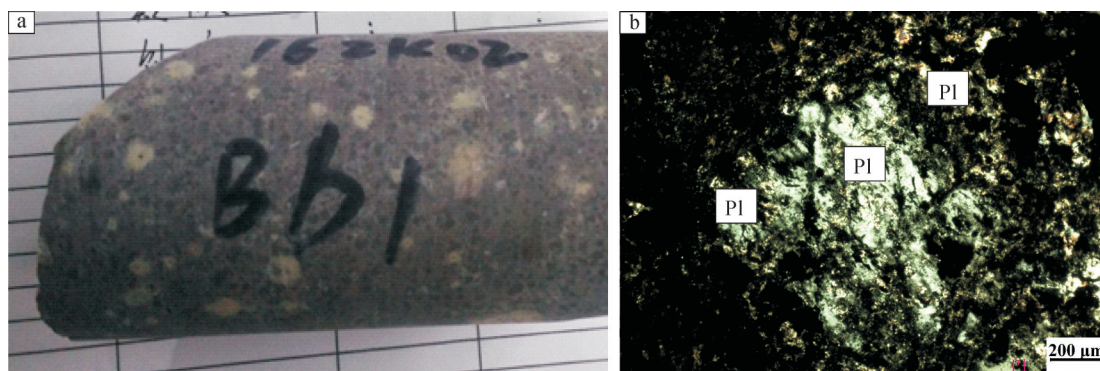


图 4 钻孔岩心(钻孔 16ZK02 580m 处)

Fig. 4 The rock of 16ZK02 borehole at around 580m

Pl—斜长石

分别达到 81.91、47.50 和 45.05, 与典型钾镁煌斑岩的高 K_2O 含量和高钾钠含量比值一致^[11]。同时, 3 件样品的烧失量 (LOI) 分别高达 11.49%、12.01% 和 10.00%, 在 CO_2 含量较低的情况下 (平均含量为 0.21%), 认为岩体中含有大量的 F、Cl、 H_2O^+ 等气体挥发成分, 符合钾镁煌斑岩富含挥发分的特征^[16-19]。

统计资料表明 (表 2), 玄武岩 SiO_2 的平均含量为 50.16%, 安山岩 SiO_2 含量可达 58.17%, 粗安岩、流纹岩更高, 均远大于大井头岩体的 SiO_2 含量。除钾镁煌斑岩、金伯利岩外, 中酸性、中基性及一般超基性岩的 K_2O 含量均小于 Na_2O 含量。大井头岩体 6 件样品的 K_2O 含量均大于 6%, 且 K_2O 含量远大于 Na_2O 含量, K_2O/Na_2O 值均超过 34, 与西澳钾镁煌斑岩的 K、Na 含量特征吻合^[21]。而安山岩的 $K_2O + Na_2O$ 含量仅在 4% 左右, 且安山岩和玄武岩的 Na_2O

含量总是大于 K_2O ^[20]。此外, 大井头岩体具有较高的烧失量, 平均高达 11.12%, 与西澳、贵州等地钾镁煌斑岩接近^[10,17,22], 而安山岩、玄武岩的烧失量极低, 均不超过 1%。因此, 仅从主量元素特征看, 大井头岩体与玄武岩、安山岩及粗安岩有较大的差别。

通过 CIPW 标准矿物含量计算得出 (表 3), 大井头岩体主要由正长石 (平均含量 45.46%) 和钙长石 (平均含量 25.33%) 组成, 其次为透辉石、白榴石、紫苏辉石、橄榄石等矿物, 副矿物主要有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石等, 符合钾镁煌斑岩矿物成分特征。其中样品 16ZK02-Qh01 计算出的透辉石含量高达 18.44%、白榴石高达 13.59%, 且岩矿鉴定可见透辉石斑晶假象, 与西澳^[10,17]、贵州^[22-24]、湖南^[25]、山西^[16,26-27] 等地典型钾镁煌斑岩的主量元素对比发现, 大井头岩体的岩性更接近西澳白榴透辉钾镁煌斑岩 (表 2)。

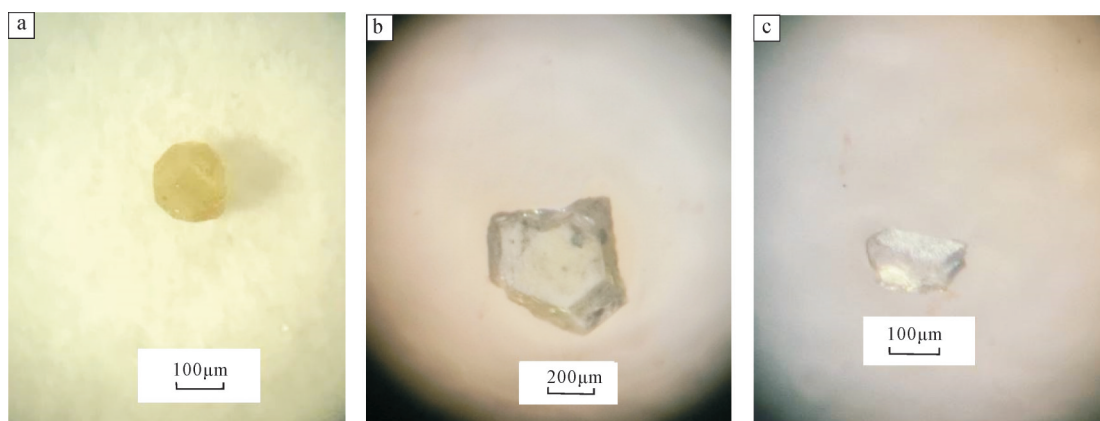


图 5 大井头岩体中选获的金刚石

Fig. 5 Three diamonds selected from the Dajingtou lamporophite tube

表3 大井头钾镁煌斑岩 CIPW 标准矿物含量及相关参数
Table 3 Content of CIPW normal mineral and related parameters of the Dajingtou lamporphite

样品编号	钙长石 (An)	钠长石 (Ab)	正长石 (Or)	霞石 (Ne)	白榴石 (Lc)	透辉石 (Di)	紫苏辉石 (Hy)	橄榄石 (Ol)	钛铁矿 (Il)	磁铁矿 (Mt)	磷灰石 (Ap)	合计	分异指数 (DI)
16ZK01-Qh03	29.91	0.86	47.51	0	0	4.5	2.49	5.1	1.7	6.44	1.49	100	48.37
16ZK02-Qh01	24.78	0	33.71	0.83	13.59	18.44	0	0.54	1.53	5.37	1.21	100	48.13
16ZK03-Qh01	21.3	1.79	55.15	0	0	10.47	2.74	0.56	1.52	5.37	1.11	100	56.94

注: CIPW 标准矿物计算按火山岩调整氧化铁; 标准矿物为重量百分含量; 分异指数(DI)=Qz+Or+Ab+Ne+Lc+Kp

大井头岩体 MgO、TiO₂ 含量偏低, Al₂O₃ 含量偏高, 很可能与岩浆混染程度有关。混染指数可以较好地反映深源岩浆中壳源物质的混染程度, 未受混染的岩石混染指数接近于 1, 数值越大表明受壳源混染的程度越高^[28]。大井头新鲜岩石样品的混染指数平均可达 3.66, 地表强烈风化蚀变的样品更是高达 5.28(表 1), 而西澳白榴透辉钾镁煌斑岩混染指数只有 2.23^[11], 推测大井头岩体在上升侵爆过程中捕获的壳源硅铝质成分更多, 岩浆受混染强度更高^[29-30]。

3 大井头岩管金刚石含矿性

3.1 大井头岩管中金刚石特征

自大井头岩管发现以来, 通过探槽、钻孔人工重砂取样、地表基岩选矿大样等勘查手段, 累计从岩管中选获金刚石 7 颗。

其中 4 颗选自近地表的基岩选矿大样中, 粒径在

0.25~0.35mm 之间, 浅黄绿色、透明、金刚光泽, 晶形均为立方体与八面体的聚形。其他 3 颗均选自钻孔中的钾镁煌斑岩岩心。其中钻孔 16ZK01 中选获金刚石 1 颗(图 5-a), 呈浅黄绿色, 立方体与八面体的聚形, 粒径 0.1mm, 取样位置位于进尺 17.70~24.40m, 该金刚石晶面具有天然金刚石所特有的毛玻璃化蚀象, 这是由于金刚石表面受后期岩浆热液浸蚀变得粗糙, 而呈现乳白色的缘故^[15]。另外 2 颗金刚石选自钻孔 16ZK02 中(图 5-b、c), 均为无色透明, 具有金刚光泽, 晶形为菱形十二面体, 取样位置位于进尺 577.67~580.07m。

3.2 大井头岩管中指示矿物特征

金刚石指示矿物指与金刚石在同一环境中形成的共生矿物, 最常见的金刚石指示矿物有低铝富镁高铬铬铁矿(S1、S2)、低钙富铬镁铝榴石(G10)、含钠(Na₂O>0.07%)镁铝榴石(G4)等^[29,31]。

表4 铬铁矿分组及其指示意义
Table 4 Grouping and indicative meaning of the chromites

分组	化学成分特征	Cr ₂ O ₃ /%	MgO/%	TiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	指示意义
S1	无-贫钛贫铝富镁	64.00	12.72	0.12	5.29	金刚石包体(及连生体)、含矿金伯利岩、
S2	含钛贫铝富镁	64.63	11.07	0.42	4.29	含矿钾镁煌斑岩
S3	高镁高铬	67.37	15.43	0.36	6.54	金刚石包体、含矿金伯利岩及少数陨石
S4	贫钛富镁富铝	52.81	11.69	0.48	12.17	TiO ₂ >0.5%为金伯利岩, TiO ₂ >1.1%为
S5	贫钛富镁高铝	47.21	13.04	0.43	21.67	钾镁煌斑岩, TiO ₂ <0.5%为非金伯利岩和
S6	富钛贫铝镁	57.52	10.89	3.14	3.87	非钾镁煌斑岩
S7	高钛富铝镁	48.43	10.32	4.08	10.25	金伯利岩、钾镁煌斑岩
S8	贫铝富铁	54.51	5.91	0.28	3.35	钾镁煌斑岩、二型金伯利岩
S9	低钛贫镁	60.71	3.56	0.68	6.17	二辉橄榄岩、金伯利岩
S10	低钛富镁高铝	35.38	14.40	0.13	34.14	陨石、铬铁矿床
S11	含铬镁铝	14.35	18.56	0.06	52.50	煌斑岩、不含金刚石的钾镁煌斑岩
S12	高钛富铁	41.77	0.72	9.15	6.49	及金伯利岩
						玄武岩
						陨石

表 5 大井头岩管中铬铁矿电子探针测试分析及判别

Table 5 Electron microprobe analyses and discriminant table of chromite in the Dajingtou tube

序号	样品编号	特征化学成分及含量/%							分组及 属性判别
		Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO	CaO	
1	11JL4-7	65.32	1.83	0.18	8.44	0.34	11.99	0.06	S1 (位于格尼圈内)
2	11JL2-6	65.18	12.53	0.21	8.27	0.26	11.81	0.09	
3	11JL2-15	63.21	13.76	0.24	9.23	0.28	12.13	0.00	
4	11JL3-6	65.21	13.03	0.10	9.13	0.17	11.58	0.00	
5	11JL3-19	65.28	11.83	0.21	8.74	0.26	12.43	0.03	
6	11JL1-17	61.70	13.98	0.23	9.38	0.18	11.89	0.00	
7	11JL3-10	61.83	15.21	0.14	10.24	0.44	11.38	0.00	
8	11JL2-1	66.29	9.40	0.17	7.04	0.27	13.70	0.08	S1
9	11JL2-9	65.71	10.81	0.14	6.56	0.66	13.64	0.00	
10	11JL4-10	65.64	11.22	0.18	7.87	0.31	13.55	0.00	
11	07QJ2BS01	66.24	11.32	0.28	4.57	0.53	17.00	0.15	S2 (位于格尼圈内)
12	11JL3-2	65.50	12.86	0.31	7.86	0.06	12.27	0.00	
13	11JL3-20	64.99	12.43	0.20	8.76	0.30	12.70	0.05	
14	11JL4-14	64.17	12.98	0.28	9.23	0.37	12.32	0.00	
15	11JL1-9CR	65.48	11.41	0.29	8.35	0.22	11.97	0.00	S2
16	11JL3-5	66.11	11.72	0.28	7.89	0.19	12.04	0.00	
17	07QJ2JX1	55.18	11.23	0.15	12.39	0.31	19.88	0.07	S4
18	07QJ2JX1	45.44	14.33	0.86	20.33	0.24	18.27	0.05	S5
19	07QJ2JX1	47.74	14.04	0.72	19.39	0.75	17.55	0.00	
20	07QJ2JX1	47.13	14.29	0.94	18.79	1.14	17.08	0.06	
21	07QJ2JX1	44.84	14.33	0.36	18.82	1.60	17.34	0.00	
22	07QJ2R60	59.56	9.58	3.11	2.11	0.11	23.79	0.19	
23	90ZK3R1	58.88	6.25	3.42	1.59	0.53	27.39	0.20	S7
24	07QJ2JX1	48.22	6.89	0.72	12.09	0.33	32.04	0.19	S9

注:电子探针测试由中国地质科学院矿产研究所微束分析开放实验室完成

3.2.1 铬铁矿

铬铁矿类矿物是金伯利岩、钾镁煌斑岩及其深源包体中极其重要的一类矿物。它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,也是金刚石中常见的包体相矿物。

铬铁矿的化学成分是判定金刚石含矿性的重要指标,一般金刚石含量与铬铁矿含量及铬铁矿中 Cr₂O₃ 含量呈正比,与 Al₂O₃ 含量呈反比。张安棣^[31]根据 Cr₂O₃、MgO、TiO₂、Al₂O₃ 的含量,将金刚石指示矿物铬铁矿分为 12 组(表 4),作为判定原岩属性和找矿意义的标志。

大井头岩管中累计选获高铬铬铁矿 24 粒,其中 S1 组 10 颗、S2 组 6 颗、S4 组 1 颗、S5 组 4 颗、S6 组 1 颗、S7 组 1 颗、S9 组 1 颗(表 5)。根据张安棣^[31]关于铬铁矿的分组及其指示意义表可知,S1 组和 S2 组铬铁矿产于含金刚石的金伯利岩、钾镁煌斑岩中,或

为金刚石包体相矿物,可指示母岩为含金刚石岩体;S4、S5 和 S6、S7 组可作为钾镁煌斑岩、金伯利岩指示矿物。大井头岩体共选获 S1 组、S2 组 16 颗,S4、S5 和 S6、S7 组 7 颗,铬铁矿种类较齐全,是其他不含金刚石岩体所不具备的。此外,有 13 颗铬铁矿落入金刚石格尼圈内(图 6),属金刚石包体相,进一步证明大井头岩管为含金刚石岩体。

3.2.2 镁铝榴石

镁铝榴石是金刚石最主要的指示矿物,也是金刚石原生矿找矿效率最高的指示矿物。Dawson^[32]根据 5 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镁铝榴石分为 12 组,以判定其属性和成矿意义(表 6)。

G10 组镁铝榴石与金刚石关系密切,可指示岩体含金刚石的可能性。统计表明,几乎所有不含金刚石的金伯利岩、钾镁煌斑岩及相关岩石皆不含 G10 组镁铝榴石。在大井头岩管钻孔 DJZK06 中选获 G10 镁铝榴石 1 颗(表 7),另外在岩管下游重砂矿物异常区内选获 G10 组镁铝榴石 1 颗。

G4 组镁铝榴石的显著特点是含少量的 Na₂O(Na₂O 含量大于等于 0.07%),反映其形成于高压环境下的特点^[33]。在蒙阴胜利 1 号的榴辉岩捕虏体中亦有发现,是岩体含金刚石的标志,其特点与金刚石中包裹的同种石榴子石一致。大井头岩管中累计选获 G4 组镁铝榴石 7 颗(表 7),数量较多,岩管下游第四系中亦有发现。而不含金刚石的金伯利岩或钾镁煌斑岩中缺少该组镁铝榴石,如河北涉县、河南鹤壁等不含金刚石的金伯利岩中均缺少该组镁铝榴石。

另外,大井头岩管中选获 G9 组镁铝榴石 3 颗(表 7),在道森-斯蒂芬斯镁铝榴石分类中,G9 组镁铝榴石指示母岩为金伯利岩、榴辉岩、方辉橄榄岩、二辉橄榄岩,或为金刚石包体相矿物,同样具有重要的指示意义。

3.3 大井头岩管含矿性探讨

勘查资料表明,大井头岩管为倾向南南西、具有喷发特征的钾镁煌斑岩管(目前控制深度超过

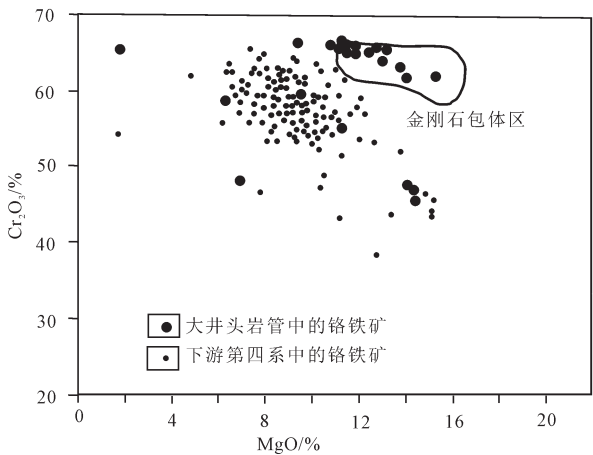


图6 大井头地区铬铁矿成分散点图

Fig. 6 The scatter diagram of the chromites in the Dajingtou area

580m)。大井头岩管火山口相完整,出露面积达5761m²。岩管中累计选获7颗金刚石和大量金刚石指示矿物,包括低钙高铬镁铝榴石(G10)1颗、铬镁铝榴石(G9)3颗、含Na₂O镁铝-铁铝榴石(G4)7颗及富镁低钛贫铝高铬铬铁矿(S1、S2)16颗,这些矿

物或为金刚石共生矿物、金刚石包体相矿物,或为钾镁煌斑岩、金伯利岩的指示矿物,特别是岩管中选获的7颗金刚石,对于证明大井头岩管的金刚石含矿性具有重要意义^②。

此外,大井头岩管东侧第四系中金刚石重砂矿物异常显著,异常区的上游界线大致在大井头岩管附近,下游以岩体南北两侧的水系分水岭为界,呈近东西向条带状展布,显示了大井头岩管对异常区内金刚石及其指示矿物的供源态势(图7)。

该重砂矿物异常区累计选获金刚石15颗、G9组铬镁铝榴石3颗、G4组含Na₂O镁铝-铁铝榴石2颗、铬透辉石4颗、镁钛铁矿1颗、利马矿59颗、铬铁矿2367颗。其中的281颗铬铁矿经电子探针测试,共发现S1组和S2组高铬富镁贫钛铬铁矿(金刚石包体相或含金刚石岩体指示矿物)26颗,约占测试总量的10%;发现S6组和S7组(富钛贫铝镁铬铁矿钾镁煌斑岩或金伯利岩指示矿物)66颗,约占测试总量的24%。这些铬铁矿原始表面无磨蚀或轻微磨蚀,既指示了源岩的属性,又指示了搬运的近源性^[34]。且这些重砂矿物种类齐全,与大井头岩管中选获的指示矿物种类相似,推测应由该岩管供源。

从区域上看,大井头岩管周边存在多处尚未查明

表6 镁铝榴石分组及其指示意义

Table 6 Grouping and indicative meaning of the pyropes

分组	特征化学成分特征	Cr ₂ O ₃ /%	MgO/%	TiO ₂ /%	CaO/%	FeO/%	指示意义
G1	钛-镁铝榴石	1.34	20.00	0.58	4.82	9.32	金伯利岩、石榴石二辉橄榄岩、石榴石橄榄石二辉岩、金刚石包体
G2	高钛-镁铝榴石	0.91	20.30	1.09	4.52	9.84	金伯利岩
G3	钙-镁铝榴石、 镁铝榴石	0.30	13.35	0.31	6.51	16.49	金伯利岩、石榴石二辉橄榄岩、石榴石橄榄石二辉岩、榴辉岩、金刚石包体
G4	钛,钙,镁-铁铝榴石	0.08	9.87	0.90	9.41	17.88	金伯利岩、金刚石包体、A组榴辉岩
G5	镁-铁铝榴石	0.03	7.83	0.05	2.44	28.33	(Na ₂ O>0.07%)
G6	镁铝榴石-钙铝榴石-铁铝榴石	0.27	10.38	0.24	14.87	10.77	石榴石辉岩、榴辉岩、辉榴蓝晶岩
G7	铁-镁-钙榴石-钙铝榴石	11.52	8.61	0.29	21.60	5.25	金伯利岩、石榴石蛇纹岩
G8	铁-镁-钙铝榴石	0.04	4.69	0.25	24.77	6.91	辉榴蓝晶岩
G9	铬-镁铝榴石	3.47	20.01	0.17	5.17	8.01	金伯利岩、石榴石二辉橄榄岩、石榴石橄榄石二辉岩、石榴石方辉橄榄岩、榴辉岩、金刚石包体
G10	低钙-高铬镁铝榴石	7.73	23.16	0.04	2.13	6.11	方辉橄榄岩、石榴石蛇纹岩、金刚石包体
G11	钙榴石-镁铝榴石	9.55	15.89	0.51	10.27	7.54	二辉橄榄石、石榴二辉橄榄石、石榴石异剥橄榄岩、金刚石包体
G12	镁榴石-钙榴石- 镁铝榴石	15.94	15.40	0.18	9.51	7.47	金伯利岩、石榴石蛇纹岩

表 7 大井头岩管中石榴子石电子探针测试分析及判别结果

Table 7 Electron microprobe analyses and discriminant table of pyrope in the Dajingtou tube

序号	样品编号	特征化学成分及含量/%									分组及属性特征
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	CaO	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	
1	90ZK2R3	41.57	19.79	3.69	20.46	0.76	4.44	8.13	0.00	-	G9 铬-镁铝榴石
1	07QJ2BS01	44.80	22.56	1.99	19.11	0.05	4.98	8.65	0.00	0.09	
2	DJZK04	44.04	22.04	2.45	19.00	0.10	4.59	8.24	0.00	0.09	
3	DJZK06	41.93	15.92	10.50	19.46	0.46	4.96	6.52	0.00	0.14	G10 次钙高铬镁铝榴石
4	11JJ2-14	41.86	9.38	0.17	10.20	1.14	13.03	19.26	0.92	1.15	G4 含钠镁-铁铝榴石
5	11JL4-13	46.09	5.42	0.00	12.35	1.43	12.26	17.31	1.57	0.76	
6	11JL4-15	40.12	9.27	0.32	7.59	1.88	12.51	22.59	0.94	1.11	
7	16Z01	38.49	21.17	0.02	5.42	0.63	7.76	24.72	0.07	0.01	
8	16JX01	39.40	22.08	0.09	8.33	0.08	1.12	28.82	0.07	0.02	
9	16ZK01-YF501	38.52	21.73	0.03	6.05	0.07	1.41	31.28	0.09	0.03	
10	16ZK01-YF502	40.03	22.16	0.07	7.43	0.12	9.92	20.16	0.08	0.03	

注:电子探针测试由中国地质科学院矿产资源所微束分析开放实验室完成

的岩管、岩脉和可疑地质体,包括大井头岩管东北部的黄色可疑地质体(曾选获数颗铬铁矿和9颗利马矿)、小泉庄西、东小山、大山河等地的煌斑岩脉及埠西桥、归后庄等地的火山角砾岩体等^[3],在这些岩体人工重砂样品中,累计选获大量金刚石指示矿物,其中在埠西桥岩体的自然重砂样品中选获1颗金刚石。

因此,大井头钾镁煌斑岩管并非孤立存在,更倾向于成群成带产出,符合钾镁煌斑岩的集群特征^[35]。

大井头地区钾镁煌斑岩型金刚石原生矿找矿前景广阔,找矿潜力巨大,极有可能成为山东第四成矿带^[36],并实现全国金刚石原生矿找矿新突破。

4 结 论

(1)大井头钾镁煌斑岩管严格受断裂构造控制,产于北北东向和北西向断裂交会的构造薄弱区。它以西南角为中心,地表形态呈北东向展开的扇形,岩

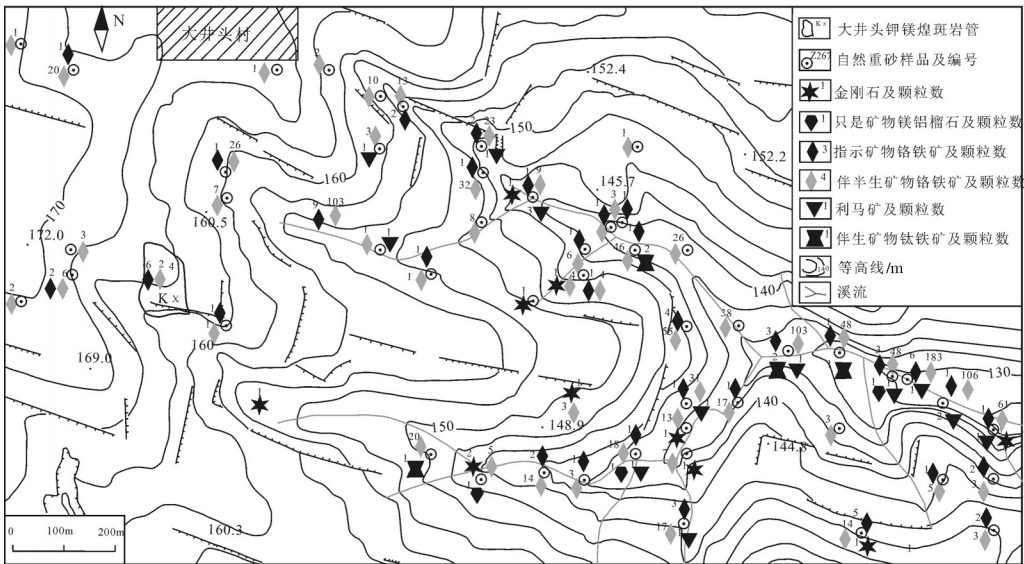


图 7 大井头地区重砂矿物异常分布

Fig. 7 The anomaly map of the heavy sand minerals in the area of Dajingtou area

管深部朝南南西方向倾斜,倾向 202° ,倾角 81° 。

(2)大井头钾镁煌斑岩具有典型的灰色-绿灰色斑点状外貌,岩体强烈碳酸盐化,原生矿物已全部蚀变,仅可见碱性长石、透辉石等矿物晶体假象。地球化学数据显示,大井头岩体为超钾质、富挥发分的基性-超基性岩体,岩体混染指数较高,推测岩浆在上侵过程中捕获较多的壳源成分,岩浆受混染强度大。

(3)大井头岩管中累计选获7颗金刚石和大量铬铁矿、镁铝榴石等金刚石指示矿物,而地表第四系重砂矿物异常区的上游界线刚好位于大井头岩管附近,下游以岩体两侧水系分水岭为界,呈东西向条带状展布,重砂矿物原始表面无磨蚀或轻微磨蚀,且重砂矿物种类与大井头岩体中选获的重砂矿物种类一致,显示大井头岩管对异常区内金刚石及其指示矿物的供源态势。

致谢:论文写作期间得到山东地矿七院艾计泉高级工程师的悉心指教,野外工作得到山东地矿七院刘岩、倪航之、温殿刚工程师等的帮助,在此一并表示诚挚感谢。

参考文献

- [1]刘继太. 山东金刚石原生矿找矿前景探讨[J]. 山东地质, 2002, (Z1):100-104.
- [2]刘安同,吴静,单宏. 山东平邑大井头地区金刚石与伴生矿物来源的新认识[J]. 地质找矿论丛, 2007, (1):62-65.
- [3]仲卫国,周登诗,刘继太,等. 山东费县大井头地区金刚石原生矿找矿前景探讨[J]. 山东地质, 2003, (1):43-49.
- [4]徐树桐,刘贻灿,陈冠宝,等. 大别山及苏鲁地区微粒金刚石分类及其大地构造意义[J]. 地质通报, 2005, 24(12):1081-1088.
- [5]朱光,刘国生,牛漫兰,等. 郯庐断裂带的平移运动与成因[J]. 地质通报, 2003, 22(3):200-207.
- [6]刘敦一,万渝生,伍家善,等. 华北克拉通太古宙地壳演化和最古老的岩石[J]. 地质通报, 2007, 26(9):1131-1138.
- [7]张自桓. 鲁西伸展构造——一个中-上地壳板块的提示[J]. 山东地质, 1995, (2):23-31.
- [8]曾璇. 钾镁煌斑岩岩石学特征、分类与金刚石矿床成矿[J]. 中山大学研究生学刊(自然科学·医学版), 2016, 37(2):58-67.
- [9]Mitchell R H, Bergman S C. Petrology of Lamproites[M]. Plenum Press, New York, 1991:446-447.
- [10]孙朋飞,江思宏,白大明,等. 西澳阿盖尔矿床——全球最大的钾镁煌斑岩型金刚石矿床[J]. 矿床地质, 2015, 34(5):1083-1086.
- [11]罗会文,杨光树. 贵州省镇远地区钾镁煌斑岩岩石特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1989, (2):97-109.
- [12]林玮鹏,丘志力,董斌. 湖南宁乡钾镁煌斑岩及相关岩石重砂锆石地球化学特征、U-Pb年龄及其地质意义[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2011, 50(3):105-111.
- [13]Shigley J E, Chapman J, Ellison R K. Discovery and mining of the Argyle diamond deposits Australia[J]. Gems & Gemology, 2001, 37(1):26-41.
- [14]李友枝,赵磊,何明跃,等. 西昆仑克里阳地区钾镁煌斑岩岩石学特征及其意义[J]. 现代地质, 2000, (4):385-391.
- [15]全国金刚石研究小组. 金刚石普查与勘探[M]. 北京:地质出版社, 1977:1-382.
- [16]池际尚,路凤香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征[M]. 北京:科学技术出版社, 1996:179-214.
- [17]Jaques A L, Lewis J D, Smith C B. The kimberlitic and lamproitic rocks of Western Australia[J]. Geol. Surv. West. Aust. Bull., 1986:132-135.
- [18]Jaques A L, Lewis J D, Smith C B, et al. The ultrapotassic (lamproitic) rocks of the West Kimberley region, Western Australia[C]// Kormprobst J. Kimberlites I: kimberlites and related rocks. Elsevier, Amsterdam, 1984:225-254.
- [19]Dunn D P. Diamond economics of the Prairie Creek lamproite[J]. Ore Geology Reviews, 2003, (22):251-262.
- [20]李石,王彤. 火山岩[M]. 北京:地质出版社, 1981:1-232.
- [21]杨本锦,张文宽. 钾镁煌斑岩型金刚石矿床找矿准则和找矿判别模型[J]. 西北地质, 1989, (1):35-40.
- [22]杨光忠. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩产出控制因素浅析[J]. 地质与勘探, 2013, (4):696-702.
- [23]王亮,陶平. 贵州东南部含金刚石钾镁煌斑岩找矿远景区预测[J]. 地质与勘探, 2012, (4):775-783.
- [24]张锡贵,石睿,吴寿宁,等. 贵州施秉翁哨地区钾镁煌斑岩的新发现及其金刚石找矿意义[J]. 贵州地质, 2015, 32(1):37-40.
- [25]李子云,马文运. 宁乡县云影窝含金刚石钾镁煌斑岩地质特征[J]. 湖南地质, 1993, 12(4):221-225.
- [26]李佑国,莫宣学,赵崇贺. 山西大同采凉山钾镁煌斑岩的地质与岩石学特征[J]. 地质科技情报, 1991, (S1):29-36.
- [27]张连昌,卢登蓉,王淑荣,等. 山西大同钾镁煌斑岩地质地球化学特征[J]. 矿物岩石, 1998, (4):32-38.
- [28]董振信. 中国金伯利岩地球化学[J]. 中国地质科学院院报, 1991, (2):102-118.
- [29]王仲会. 金刚石成矿模型与勘查方法[M]. 北京:地质出版社, 2000:156-172.
- [30]梅厚钧,唐春景,李荪蓉,等. 中国的钾镁煌斑岩和金伯利岩与金刚石矿床生成[J]. 中国科学(D辑), 1998, (S2):71-77.
- [31]张安棣. 金刚石找矿指示矿物研究及数据库[M]. 北京:北京科技出版社, 1986:1-162.
- [32]Dawson J B. Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths[J]. J. Geol., 1975, (83):589-607.
- [33]罗声宣,任喜荣,朱源. 山东金刚石地质[M]. 济南:山东科学技术出版社, 1999:1-131.
- [34]陆太进,陈华,张健,等. 津巴布韦金刚石独特的形态及其“指纹”特征的意义[J]. 地质通报, 2011, 30(10):1638-1645.
- [35]柯元硕,田为恕. 金伯利岩和钾镁煌斑岩的集群特征在金刚石地质勘查中的意义[J]. 地质科技情报, 1991, 10(增):21-28.
- [36]杨献忠,吕青,周军,等. 山东蒙阴地区三岩带南部第四成矿带存在的可能性分析[J]. 华东地质, 2017, 38(增):56-58.
- ①山东省第七地质矿产勘查院. 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. 2011.
- ②山东省第七地质矿产勘查院. 山东省费县朱田地区金刚石普查. 2017.