

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.03.009

引用格式:高存山,褚志远,张勇,等. 山东临沂东小山地区煌斑岩地球化学特征及其对成矿的启示[J]. 华东地质, 2020, 41(3):271-278.

# 山东临沂东小山地区煌斑岩地球化学特征及其对成矿的启示

高存山<sup>1,2</sup>, 褚志远<sup>1,2</sup>, 张勇<sup>1,2</sup>, 王玉峰<sup>1,2</sup>

(1. 山东省第七地质矿产勘查院, 临沂 276600;  
2. 山东省地矿局金刚石成矿机理与探测重点实验室, 临沂 276600)

**摘要:** 山东临沂东小山地区煌斑岩属于弱铝超钾质煌斑岩, 高 Ba、Th、P, 轻稀土元素富集, 轻、重稀土元素分馏明显, 表明煌斑岩在后期侵位过程中受到了地壳物质的混染。煌斑岩富集大离子亲石元素和高场强元素, 反映岩浆主要来源于富集型地幔, 进一步说明其源区受到了壳源物质的混染。通过人工重砂方法选获了 2 颗铬透辉石, 计算其形成温度和压力分别为 1 180 °C 和 5.8 Gpa, 对应的深度约为 180 km, 与金刚石的形成深度一致。

**关键词:** 煌斑岩; 地球化学特征; 重砂矿物; 成岩时代; 东小山地区; 山东临沂

**中图分类号:** P619.241; P581

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2020)03-271-08

作为金刚石的主要寄主岩石之一, 煌斑岩蕴含着丰富的地幔源区信息, 在地幔源区储库示踪和壳幔相互作用研究方面具有重要的研究意义, 可作为地幔深部动力学研究的岩石探针。不同类型的煌斑岩含有不同金刚石、铬尖晶石等指示特征矿物, 为进一步了解地幔的物质组成、物理化学条件及矿物相转变等提供了基础条件。目前, 在山东临沂大井头地区发现了含金刚石的煌斑岩管<sup>[1]</sup>, 该区位于稳定克拉通内, 广泛发育寒武纪—奥陶纪地层, 揭示其周围存在深达地幔的岩浆岩活动。目前, 对该区煌斑岩的地球化学特征、大地构造环境及岩浆来源等报道相对较少。此外, 围绕大井头地区煌斑岩管陆续发现了归后庄角砾岩、埠西桥角砾岩、小泉庄煌斑岩及东小山煌斑岩, 这些岩体之间的相互关系尚不明确。

本文以临沂东小山煌斑岩体为研究对象, 通过开展系统的岩石地球化学及重砂矿物特征研究, 并

与大井头煌斑岩体进行对比, 查明东小山煌斑岩与大井头煌斑岩之间的关系, 探讨岩浆形成的构造环境、岩浆来源深度及成因, 为该区下一步开展金刚石找矿工作提供参考。

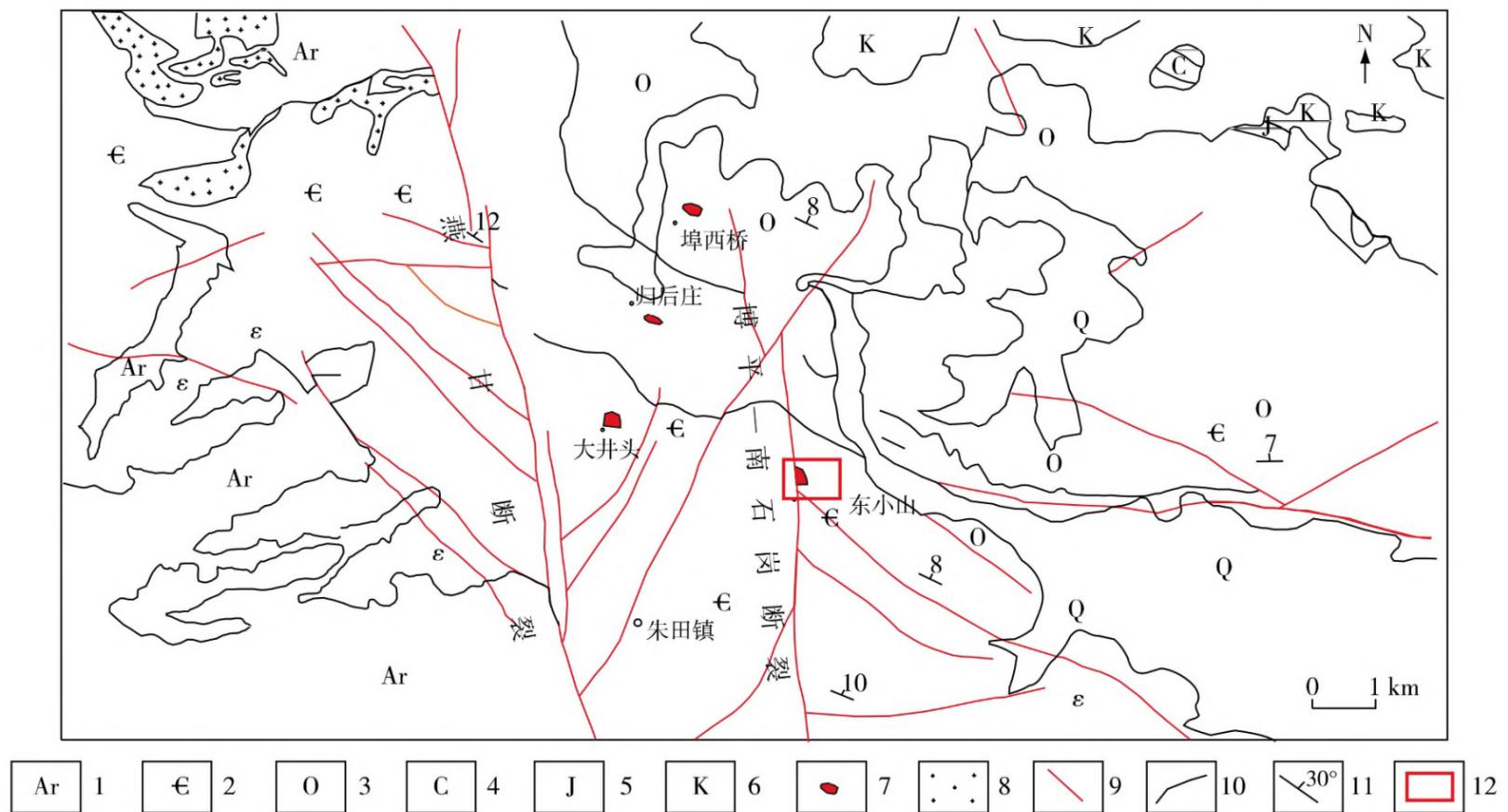
## 1 地质概况

研究区位于华北克拉通, 由泰山岩群和前寒武纪侵入岩结晶基底组成, 广泛分布早古生代寒武系—奥陶系盖层, 基底年龄约为 2 500 Ma。研究区及其邻区莫霍面深度与蒙阴金伯利岩区莫霍面深度相当<sup>[2]</sup>, 区域西侧主要发育 NNW 向燕甘断裂和近 SN 向博平—南石岗断裂, 具有良好的金刚石原生矿成矿地质条件。研究区煌斑岩体主要出露在东小山村北 200 m 处, 通过在周边地区开展探矿工程查证, 发现东小山煌斑岩体整体呈岩床状产出, 形态似三角形, 主要受近 SN 向博平—南石岗断裂控制(图 1)。

\* 收稿日期: 2019-09-02 修订日期: 2020-03-25 责任编辑: 谭桂丽

**基金项目:** 山东省自然资源厅“山东省费县东小山地区金刚石普查(编号:鲁国土资字[2016]328号)”和山东省科学技术厅“金刚石深部找矿理论与方法(编号:2017CXGC1607)”项目联合资助。

**第一作者简介:** 高存山, 1988年生, 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查工作。



1.太古代结晶基底;2.寒武系;3.奥陶系;4.石炭系;5.侏罗系;6.白垩系;7.煌斑岩体;8.侵入花岗岩体;9.断层;10.地质界线;11.产状;12.研究区

图1 东小山地区区域地质图(据1:50 000 费县幅区域地质图修绘)

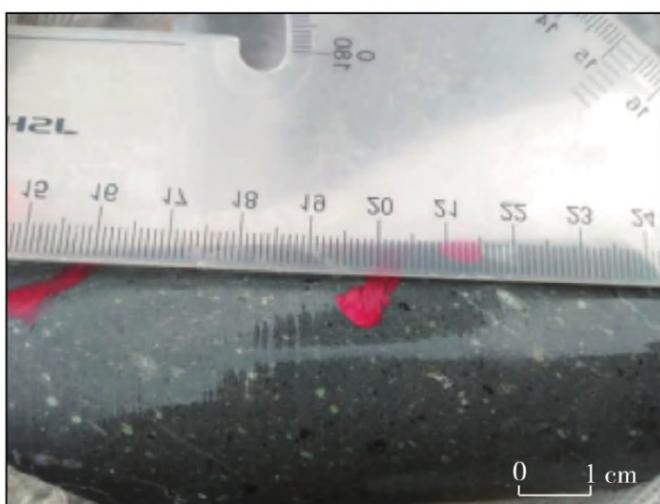
Fig. 1 Regional geological map of Dongxiaoshan area (Modified from the 1:50 000 Feixian regional geological map)

## 2 样品特征及分析测试

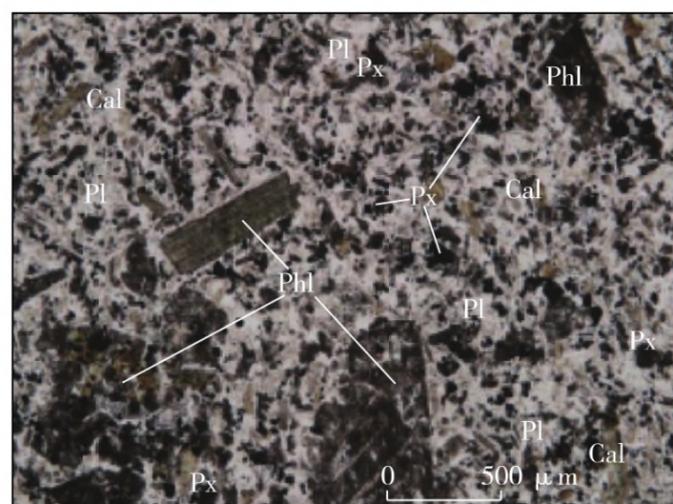
### 2.1 样品特征

东小山煌斑岩新鲜面呈灰黑色,斑状、煌斑结构。斑晶含量为10%~15%,主要为辉石假象(被方解石交代)和金云母(图2(a)),辉石假象斑晶大小为

0.5~1.1 cm,金云母斑晶大小为0.6~2.0 cm;基质为隐晶质结构,主要由斜长石、辉石和金云母组成。斜长石为浅色矿物,半自形—它形晶体,含量约为30%;辉石为暗色矿物,自形晶体,含量约10%;金云母为暗色矿物,呈片状,含量约15%。岩体内见少量后期显微裂隙,大多数被碳酸盐充填(图2(b))。



(a) 煌斑岩手标本照片



(b) 煌斑岩显微镜下照片

Phl.金云母;Px.辉石;Pl.斜长石;Cal.方解石

图2 东小山煌斑岩手标本(a)及显微镜下照片(b)

Fig. 2 Hand specimen (a) and microphotograph (b) of the lamprophyre in Dongxiaoshan area

### 2.2 分析测试

样品均采自研究区探槽和钻孔中,严格按照样品分析相关要求,确保所测试的煌斑岩新鲜且无污染。首先将野外采集的样品粉碎至 200 目,然后进行高温熔蚀测试,在山东省第七地质矿产勘查院实验室完成实验测试工作。 $H_2O$  用重量法、 $FeO$  用容量滴定法测试,其他主量元素使用 XRF 荧光光谱仪测定,分析误差  $<1\%$ ,微量元素和稀土元素采用 X II 等离子质谱仪测定,分析精度误差  $<5\%$ ,具体分析测试流程见参考文献[3]。

## 3 地球化学特征

### 3.1 主量元素

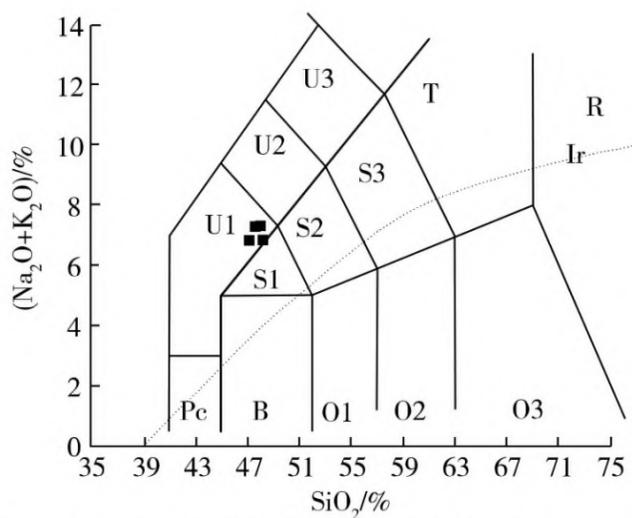
东小山煌斑岩主量元素含量及特征参数见表 1。通过与大井头岩体进行对比,发现二者具有一定的相似性。由表 1 可知,东小山煌斑岩  $SiO_2$  含量为

46.46%~47.95%,平均值为 47.41%,属于超基性-基性岩。 $K_2O+Na_2O$  为 6.78%~7.27%,平均值为 7.02%, $K_2O/Na_2O$  为 3.90~15.91,平均值为 9.92,里特曼指数( $\sigma$ )为 9.29~13.50,属于过碱性系列岩石。在  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  图解(图 3)中,样品投影点均位于碱玄岩区。在  $K_2O-SiO_2$  图解(图 4)中,样品投影点均位于钾玄岩系列岩石区。因煌斑岩体易蚀变,在蚀变过程中 K、Na 等碱性元素较活泼,用 TAS 图解判别岩石类型可能出现偏差。因此,选择在蚀变过程中不活泼的元素 Y、Nb 做进一步判别。在  $SiO_2-Nb/Y$  图解(图 5)上,样品投影点均落于碱玄岩范围,与  $K_2O-SiO_2$  图解(图 4)判别结果基本吻合。 $A/NCK$  为 0.77~0.80,平均值为 0.78,属弱铝质。岩石总体表现为弱铝超钾质煌斑岩特征,可见金云母等特征矿物。一般认为超钾质岩大部分形成于上地幔,形成深度  $>100$  km,金刚石在该深度范围可以稳定存在<sup>[7]</sup>。

表 1 东小山岩体及大井头岩体主量元素含量及特征参数

Table 1 Major element contents and characteristic parameters of Dongxiaoshan rock mass and Dajingtou rock mass

样品编号	主量元素含量/%											特征参数			
	$Al_2O_3$	CaO	$Fe_2O_3$	$K_2O$	MgO	MnO	$Na_2O$	$P_2O_5$	$TiO_2$	$SiO_2$	FeO	$K_2O+Na_2O$	$K_2O/Na_2O$	$\sigma$	A/NCK
HQ1	15.60	13.10	12.00	6.37	1.14	0.18	0.73	1.36	1.16	47.81	0.54	7.10	8.74	10.48	0.77
HQ2	15.23	12.91	14.25	6.13	0.92	0.29	0.71	1.29	1.10	46.46	0.72	6.83	8.67	13.50	0.77
HQ3	14.74	11.24	7.30	5.79	3.02	0.24	1.48	1.22	1.11	47.43	6.43	7.27	3.90	11.93	0.80
HQ4	16.20	13.78	11.00	6.38	0.71	0.13	0.40	1.40	1.23	47.95	0.84	6.78	15.91	9.29	0.79
大井头岩体 <sup>[12]</sup>	18.85	7.57	10.36	7.64	1.79	0.23	0.10	0.61	0.85	47.17	4.84	7.74	79.00	14.34	1.23
	18.04	9.79	8.52	8.32	1.82	0.22	0.18	0.50	0.78	48.32	3.51	8.50	47.50	13.57	0.99
	17.51	7.18	7.73	8.95	1.81	0.19	0.20	0.46	0.77	51.15	4.04	9.16	44.21	10.29	1.07



Pc. 苦橄玄武岩; B. 玄武岩; O1. 玄武安山岩; O2. 安山岩; O3. 英安岩; R. 流纹岩; S1. 粗面玄武岩; S2. 玄武质粗面安山岩; S3. 粗面安山岩; T. 粗面岩、粗面英安岩; F. 副长石岩; U1. 碱玄岩、碧玄岩; U2. 响岩质碱玄岩; U3. 碱玄质响岩; Ph. 响岩; Ir. Irvine 分界线

图 3  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  图解<sup>[4]</sup>

Fig. 3 The  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  diagram<sup>[4]</sup>

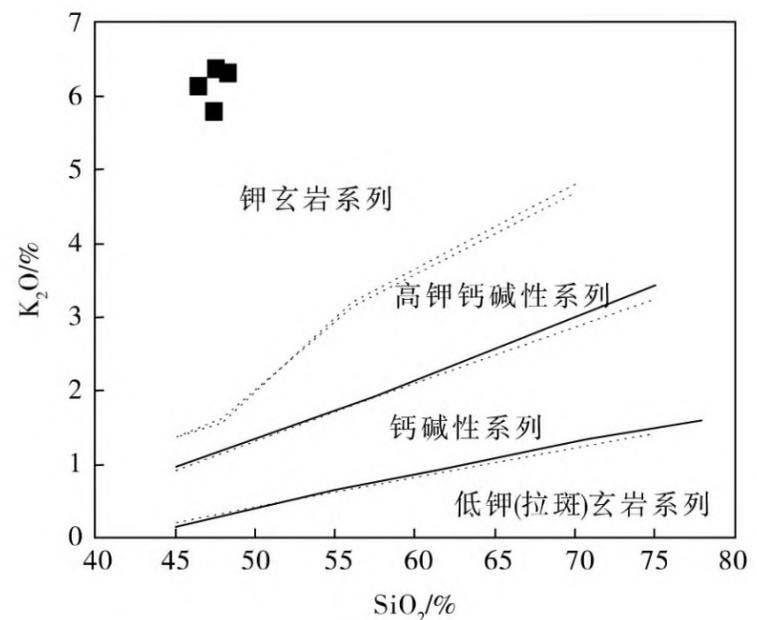
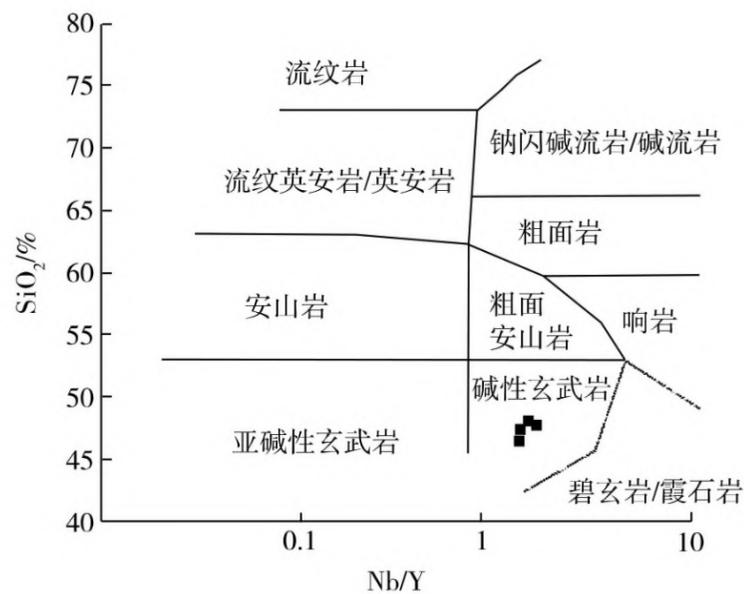


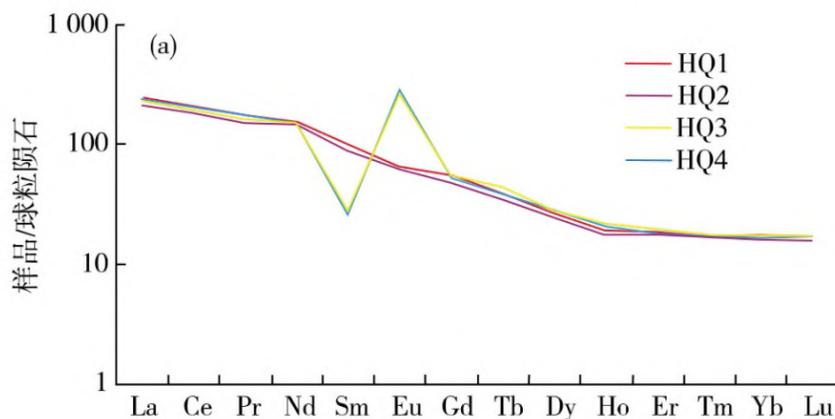
图 4  $K_2O-SiO_2$  图解<sup>[5]</sup>

Fig. 4 The  $K_2O-SiO_2$  diagram<sup>[5]</sup>

图5 SiO<sub>2</sub>-Nb/Y图解<sup>[6]</sup>Fig. 5 The SiO<sub>2</sub>-Nb/Y diagram<sup>[6]</sup>

### 3.2 稀土及微量元素

东小山煌斑岩稀土元素总量为  $(282.81 \sim 311.51) \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 为 9.82~10.55,



(La/Yb)<sub>N</sub> 为 13.09~15.12, 反映轻、重稀土元素分馏明显, 轻稀土元素富集。(La/Sm)<sub>N</sub> 为 2.33~9.22, (Gd/Yb)<sub>N</sub> 为 3.19~3.29, 进一步反映轻稀土元素分馏较强, 重稀土元素分馏较弱。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 6(a))显示, 曲线均为右倾型, 轻、重稀土元素分馏明显, 其中样品 HQ3 和样品 HQ4 的  $\delta\text{Eu}$  分别为 6.4 和 6.74, 具有铕正异常特征, 反映岩浆源区具有大量的斜长石堆晶, 岩浆可能来源于地幔源区的部分熔融。

东小山煌斑岩微量元素含量及特征参数(表 2)表明, 岩石 Ba 含量为  $(159.95 \sim 899.80) \times 10^{-6}$ , Th 含量为  $(27.30 \sim 30.73) \times 10^{-6}$ , P 含量为  $(4759 \sim 5327) \times 10^{-6}$ , 富集 Ba、Th、P, 亏损 Nb(图 6(b)), 暗示大陆物质(花岗质岩石、麻粒岩、沉积物等)在煌斑岩岩浆生成过程中具有重要作用。岩体具有明显的负 Nb 异常, 具有俯冲带火山岩特征, 推测岩石形成过程中存有大陆物质参与<sup>[9]</sup>, 说明原始岩浆的形成与古大洋板块俯冲作用有关。

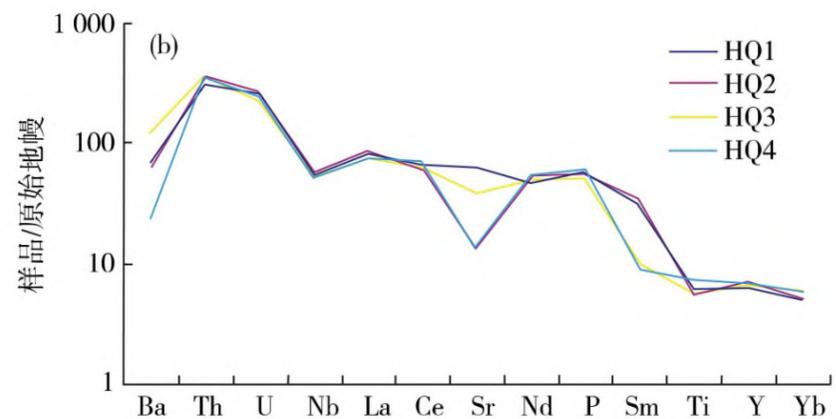
图6 东小山岩体球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)<sup>[8]</sup>Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spidergram (b) of Dongxiaoshan rock mass<sup>[8]</sup>

表2 东小山岩体微量元素、稀土元素含量及特征参数

Table 2 Trace elements, REEs contents and characteristic parameters of Dongxiaoshan rock mass

样品 编号	微量元素及稀土元素含量/ $10^{-6}$															
	Ba	Th	U	Nb	La	Ce	Sr	Nd	P	Sm	Ti	Y	Pr	Eu	Ta	Zr
HQ1	432.80	27.30	5.62	42.20	50.03	110.32	1285.0	65.61	5283	13.89	7466	28.30	14.59	3.54	21.11	1237.32
HQ2	428.40	30.73	5.55	39.75	59.44	109.49	287.9	70.94	5021	15.27	6781	32.03	16.77	3.76	26.14	998.26
HQ3	899.80	29.61	4.91	36.80	53.46	116.89	781.0	68.99	4759	4.29	7234	29.17	15.68	15.41	26.16	1009.80
HQ4	159.95	28.16	5.39	40.60	56.14	121.76	285.9	70.95	5327	3.93	9325	29.28	16.30	15.46	21.97	1347.29
样品 编号	微量元素及稀土元素含量/ $10^{-6}$								特征参数							
	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma\text{REE}$	LREE/HREE	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>	$\delta\text{Eu}$	Th/Yb	Ta/Yb
HQ1	10.02	1.33	6.22	1.03	2.87	0.42	2.54	0.40	282.81	10.39	14.13	2.33	3.26	0.87	10.75	8.31
HQ2	10.88	1.42	6.55	1.14	3.10	0.45	2.82	0.43	302.46	10.29	15.12	2.51	3.19	0.85	10.90	9.27
HQ3	11.30	1.54	6.96	1.22	3.12	0.45	2.93	0.45	302.69	9.82	13.09	8.04	3.19	6.40	10.11	8.93
HQ4	10.97	1.48	6.83	1.10	2.96	0.44	2.76	0.43	311.51	10.55	14.59	9.22	3.29	6.74	10.20	7.96

稀土元素、微量元素地球化学分析结果表明,东小山煌斑岩的岩浆主要来源于富集型地幔,具有壳源物质混染特征。煌斑岩在后期侵位过程中受到了地壳物质的混染。

### 3.3 构造背景探讨

以上分析表明,东小山煌斑岩总体表现为弱铝超钾质煌斑岩特征。研究表明,较冷的岩石圈热结构和较厚的岩石圈有利于形成钾镁煌斑岩和超钾质煌斑岩<sup>[10]</sup>。研究区发育较厚的寒武系—奥陶系,

为煌斑岩浆的形成提供了稳定盖层。在 Y-Zr 图解(图 7(a))和 Th/Yb-Ta/Yb 图解(图 7(b))中,东小山煌斑岩投影点均位于板内岩浆岩区,表明煌斑岩形成于板块内部。西侧发育的燕甘断裂为以大井头为中心的岩浆携带大量上地幔超钾质、钾镁质煌斑岩和金刚石上升至地表或近地表提供了必要通道。稀土元素、微量元素地球化学分析结果反映该区岩浆主要来源于富集型地幔源区,推测该区可能受东侧大洋板块俯冲影响<sup>[12]</sup>。

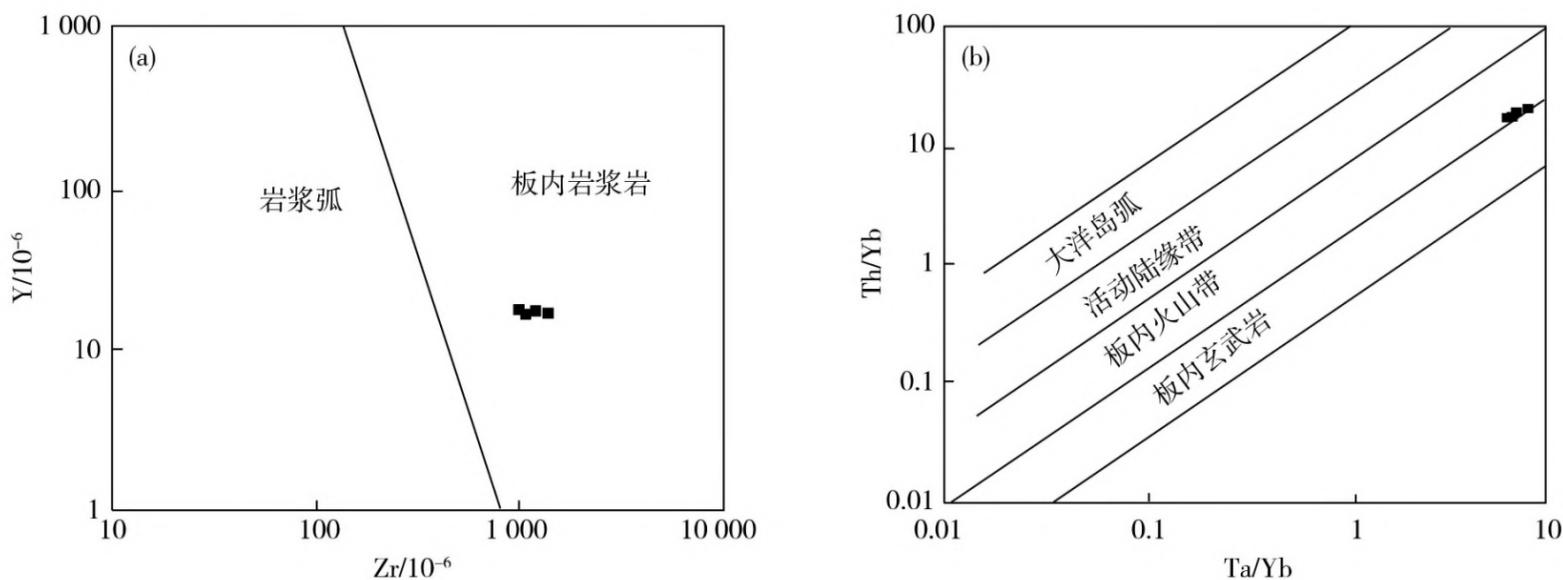


图 7 东小山煌斑岩 Y-Zr 图解(a)和 Th/Yb-Ta/Yb 图解(b)<sup>[11]</sup>

Fig. 7 The Y-Zr (a) and Th/Yb-Ta/Yb (b) diagrams of lamprophyre in Dongxiaoshan area<sup>[11]</sup>

## 4 铬透辉石

本次研究在人工重砂矿物中发现 2 颗铬透辉石(图 8)。铬透辉石是一种重要的钾镁煌斑岩和金伯利岩指示矿物,是由钾镁煌斑岩或金伯利岩中的硅质捕虏体混染形成的<sup>[2]</sup>。本次选获的铬透辉石为绿色,棱角状,透明,具有玻璃光泽,粒径为 0.4~0.5 mm,表面被碳酸盐交代。2 颗铬透辉石的 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别为 1.42%和 1.23%(表 3),属于低铬-铬透辉石,金伯利岩及其捕虏体常含该类型的铬透辉石。

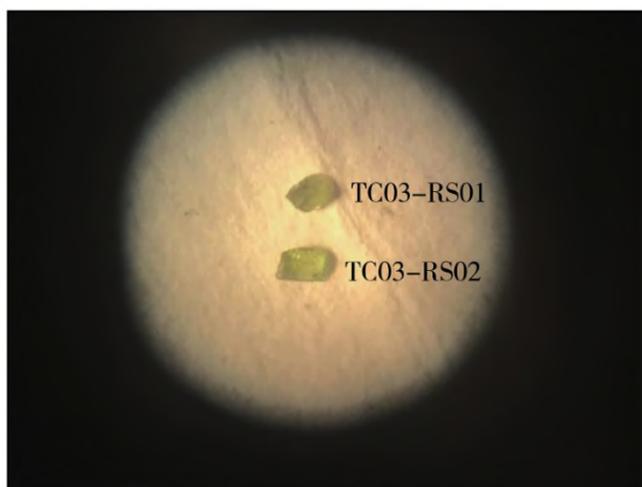


图 8 铬透辉石显微镜下照片

Fig. 8 Microphotograph of Chrome-Diopside

表 3 铬透辉石电子探分析针结果  
Table 3 Electron microprobe analysis results of chrome diopside

样品编号	主量元素含量/%											
	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	TiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	总量
TC03-RS01	1.52	15.27	3.81	54.07	2.13	0.05	0.19	20.69	1.42	0.05	0.03	99.23
TC03-RS02	1.31	18.45	0.53	52.73	2.57	0.01	0.29	22.17	1.23	0.06	0.008	99.35

利用单斜辉石温压计<sup>[13]</sup>对选获的铬透辉石进行温度和压力估算。利用单斜辉石  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  分类图(图 9)对单斜辉石温压计的适用条件进行限定,只有化学成分落在石榴石橄榄岩区域的样品才可以利用单斜辉石温压计的计算公式。

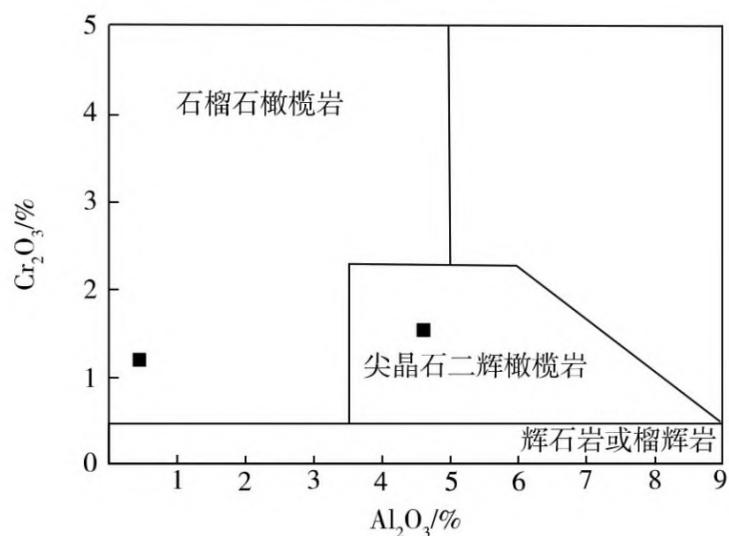


图 9 单斜辉石  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  分类图<sup>[14]</sup>

Fig. 9 The  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  classification map of clinopyroxent<sup>[14]</sup>

根据单斜辉石温压计的计算公式<sup>[13]</sup>,求得研究区铬透辉石(编号:TC03-RS02)形成的温度约为  $1\ 180\ ^\circ\text{C}$ ,压力约为  $5.8\ \text{Gpa}$ ,对应的深度约为  $180\ \text{km}$ 。山东蒙阴金刚石包裹体透辉石的温度为  $1\ 026\sim 1\ 279\ ^\circ\text{C}$ ,压力为  $5.2\sim 6.1\ \text{Gpa}$ <sup>[2]</sup>,与东小山地区金刚石稳定存在的温度和压力条件相似。

## 5 岩浆侵位时代和成因

### 5.1 岩浆侵位时代

根据岩浆与地层的截切关系可判别构造期次和成岩顺序。通过详细的野外地质调查,发现东小山岩体侵入的围岩为寒武纪—奥陶纪炒米店组条带状灰岩,并未侵入到上覆寒武纪—奥陶纪三山子组中,与围岩整体呈“假整合”接触,岩体主要为岩床。

通过野外钻探工作,发现与岩体接触的界面围岩具有明显的褪色现象,岩体边缘具有快速冷凝的现象(图 10)。因此,东小山岩体的形成应晚于寒武纪—奥陶纪炒米店组,早于寒武纪—奥陶纪三山子组,大致时代应为早奥陶世。

### 5.2 岩浆成因

东小山煌斑岩体与大井头煌斑岩管<sup>[15]</sup>的化学



图 10 钻孔内岩体与围岩接触界面及褪色现象

Fig. 10 Contact interface between rock mass and surrounding rock and decoloration in borehole

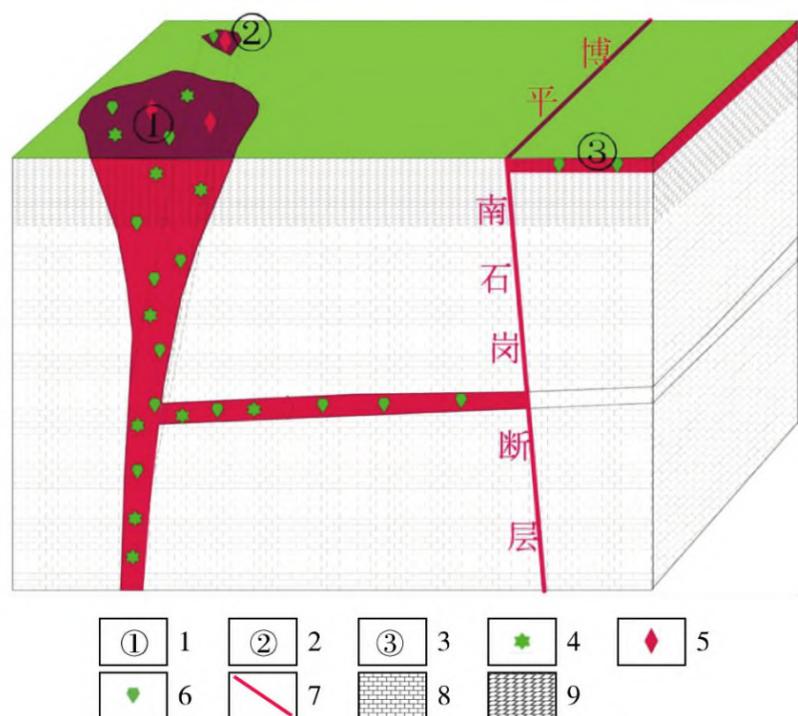
成分基本相似,具有低  $\text{MgO}$ 、高  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  值等特征。由南东向北西,东小山煌斑岩体的赋存标高逐渐变深,整体向 NE 向侧伏,距离大井头地区  $5\ \text{km}$ ,空间上具有关联性。

通过人工重砂鉴定,发现东小山煌斑岩体内重砂矿物较少,原因可能是随着大井头岩体的侵位、爆发、沉寂,重砂矿物的比重及密度比煌斑岩大,随着岩浆溢流并离侵位位置的距离越来越远,重砂矿物陆续沉淀。大井头地区周边还出露埠西桥火山角砾岩、归后庄火山角砾岩和小泉庄煌斑岩体,构成了一个完整的火山机构,推测的东小山煌斑岩体与大井头岩管岩体侵位模式如图 11 所示。随着大井头岩管的喷发,分支岩浆顺着地层界面向东溢流并结晶形成东小山煌斑岩体,后期受博平—南石岗断裂错动影响而抬升出露地表。在归后庄、埠西桥地区,分支岩浆直接喷出地表,发育的角砾岩及基质与大井头地表出露的岩体基本一致。本次研究中缺少大井头岩体稀土及微量元素地球化学分析数据作对比,这有待进一步研究。

## 6 结论

(1)东小山地区煌斑岩属于超钾质煌斑岩体,岩浆主要来源于富集型地幔源区部分熔融,岩浆在后期侵位过程中受到了地壳物质的混染。

(2)东小山地区煌斑岩内发现的铬透辉石形成温度约为  $1\ 180\ ^\circ\text{C}$ ,形成压力约为  $5.8\ \text{Gpa}$ ,对应的深度约为  $180\ \text{km}$ 。



1.大井头煌斑岩管;2.归来庄角砾岩;3.东小山煌斑岩体;  
4.金刚石;5.镁铝榴石;6.铬透辉石;7.断层;8.寒武纪—奥陶纪炒米店组灰岩;9.寒武纪—奥陶纪三山子组白云岩

图 11 东小山煌斑岩体与大井头岩管推测岩体侵位模式图

Fig. 11 Emplacement model showing the relation between Dongxiaoshan lamprophyre rock body and Dajingtou pipe inferred rock body

(3)东小山地区煌斑岩受燕甘断裂控制,源区可能受大洋板块俯冲的影响,形成时代为早奥陶世。

## 参考文献

- [1] 王玉峰,周军,杨学生,等.山东费县朱田地区金刚石普查报告[R].临沂:山东省第七地质矿产勘查院,2017:1-128.
- [2] 胡思颐,郭云海,宋莫南,等.山东省蒙阴县金刚石原生矿床研究报告[R].临沂:山东省第七地质矿产勘查院,1983:24-78.
- [3] QI L, HU J, GREGOIRE D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Talanta*, 2000, 51(3): 507-513.
- [4] MIDDLEMOST E A L. Naming materials in the magma igneous rock system[J]. *Earth Science Reviews*, 1994, 37(3/4): 215-224.
- [5] PECCERILLO R, TAYLOR S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu

area, northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58: 63-81.

- [6] WINCHESTER J A, FLOYD P A. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1976, 28(3): 459-469.
- [7] GORTON M P, SCHANDL E S. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for Arc related and within plate felsic to intermediate volcanic rocks [J]. *The Canadian Mineralogist*, 2000, 38(5): 1065-1073.
- [8] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes [M]. *Magmatism in the ocean basins*. London: Geological Society, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [9] JAHN B M, WU F Y, LO C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust; Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China [J]. *Chemical Geology*, 1999, 157(1/2): 119-146.
- [10] 帕拉提·阿布都卡迪尔. 西昆仑北缘钾镁煌斑岩及超镁铁岩地质特征[J]. *新疆地质*, 2000, 18(2): 163-166.
- [11] PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4): 956-983.
- [12] 张宏福, 杨岳横. 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[J]. *岩石学报*, 2007, 23(2): 285-294.
- [13] NIMIS P, TAYLOR W R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2000, 139(5): 541-554.
- [14] RAMSAY R R, TOMPKINS L A. The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperanca and Cana Verde pipes, Corrego D'Anta, Minas Gerais, Brazil [C]. *CPRM Special Publication*, 1994: 329-345.
- [15] 王玉峰,周军,王建平,等. 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[J]. *地质通报*, 2019, 38(1): 93-102.

## Geochemical characteristics and indication for mineralization of Dongxiaoshan lamprophyre in Linyi City, Shandong Province

GAO Cun-shan<sup>1,2</sup>, CHU Zhi-yuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong<sup>1,2</sup>, WANG Yu-feng<sup>1,2</sup>

(1. *The 7th Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Linyi 276600, China*;  
2. *Diamond Minerogenesis and Exploration Key Laboratory, Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Linyi 276600, China*)

**Abstract:** The lamprophyre in Dongxiaoshan area of Linyi City, Shandong Province, belongs to the weak aluminum ultra-potassic type with high Ba, Th and P, enrichment of LREEs and distinct fractionation between LREEs and HREEs, indicating the lamprophyre is contaminated by crustal materials during the late emplacement. The lamprophyre rich in LILEs and HFSEs shows that the magma mainly comes from the enriched mantle, further revealing its source area is contaminated by the crustal materials. Two chrome diopsides are selected by artificial heavy concentrate method to calculate the formation temperature of 1 180 °C and pressure of 5.8 Gpa respectively, with the corresponding depth of about 180 km, which is consistent with the formation depth of diamond.

**Key words:** lamprophyre; geochemical characteristics; heavy placer minerals; diagenetic age; Dongxiaoshan area; Linyi City, Shandong Province

## 淮河流域地下水位统测支撑流域地下水调查工作

2019年,由自然资源部统一指导、中国地质调查局组织实施的全国地下水统测工作是一项重大的国情数据普查工作。淮河流域及山东半岛位于我国中东部地区,是全国九大流域之一,地下水位统测具有面积大、路程远、时间紧、地形多样等难题。南京地质调查中心“沙颍河—涡河流域水文地质调查”项目组联合安徽省地质调查院、河南省地质环境监测院、江苏省地质调查研究院和山东省地质调查研究院,于2019年5月和9月分别完成了低水位期统测水位4 594点、高水位期统测水位3 053点,完成平原区统测面积25.67万km<sup>2</sup>。

(1)基于2019年统测数据编写了流域地下水位统测报告(2019年度),编制了流域地下水场图集及说明,系统掌握了淮河流域和山东半岛地下水场现状。

(2)对比2005年和2019年地下水位统测数据,分析了流域地下水位演变特征。2005—2019年,淮河流域和山东半岛浅层地下水位整体下降0~4 m,由东向西,水位下降幅度逐渐增大;深层地下水位整体变化不大,水位整体降幅0~20 m。

(3)对接地质灾害隐患和水文地质生态地质调查计划,承担了《全国地下水统测成果图集》中的淮河流域工作内容。《全国地下水统测成果图集》收录了淮河流域地下水资源区统测工作基础图、统测点分布图、水位等值线图、水位变差等值线图、水位埋深等值线图。

2019年,淮河流域和山东半岛地下水位统测工作顺利完成,为掌握主要城市和平原区地下水位动态奠定了坚实基础,为流域地下水调查工作提供了有力支撑,为国家重要资源评估、开发及保护战略的制定提供科学依据。

(中国地质调查局南京地质调查中心 李亮,龚建师,王赫生,周锴锴,叶永红,朱春芳,许乃政,陶小虎)