

胶东煌斑岩的地球化学特征及成因探讨*

徐红

徐光平

(南京交通高等专科学校, 南京 210018) (南京大学成矿机制研究国家重点实验室, 南京 210093)

关键词 煌斑岩 岩石化学 O、Nd、Sr 同位素 微量元素 胶东金矿区

摘要 胶东金矿区煌斑岩脉广泛发育, 这些煌斑岩具有高碱富钾、较高的铝含量、 $Mg^{\#}$ 值较大等特征, 岩性相当于玄武质-玄武安山质的岩石组合。煌斑岩的 Cr 与 Ni、K 与 Rb、Sr 与 Ba 呈现正相关性, 其比值接近华北地块上地壳的值; 煌斑岩全岩的 $\delta^{18}O$ 值和 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值也较高, $\epsilon Nd(t)$ 则呈较大的负值, 表明煌斑岩的成岩物质来源与地壳有关。胶东群的两阶段部分熔融模式可以较好地解释这类煌斑岩的成因机制。

胶东金矿区是我国著名的金矿区之一, 有各种类型的金矿床上百个, 其中较为典型的包括产于花岗岩中的石英脉型金矿床(以玲珑、乳山为代表)和蚀变浸染型金矿床(以焦家为代表)以及产于胶东群变质岩中的石英脉型金矿床(以栖霞为代表)。这些金矿床的赋矿围岩各异, 但成矿年龄则比较集中($100 \times 10^6 \sim 135 \times 10^6$ a)^[1], 即燕山晚期为其主要成矿期。此外还有一个十分显著的特点, 即在这三种主要的不同类型金矿床中均大量分布着与金矿化密切伴生的煌斑岩。类似的现象在澳大利亚、加拿大及我国其它金矿区也有出现^[2, 3], 其中煌斑岩的成因及其与金(包括铀、钨、铁等多金属)矿化的关系, 一直为众多学者所关注^[1-3], 但许多关键性问题仍未得到圆满解决。

本文样品取自上述四个典型的金矿区(图 1), 且均已进行了岩石学、岩石化学、氧、钨、铈同位素和微量元素地球化学等方面的详细研究。

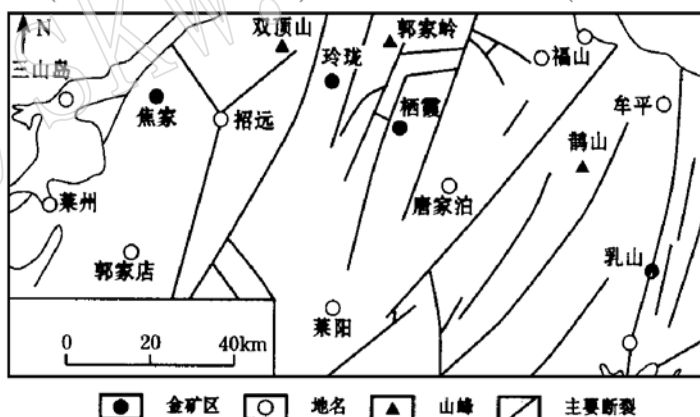


图 1 胶东主要金矿区及 NNE 向构造分布略图

Fig. 1 Distribution of major gold ore districts and NNE-trending structures in Jiaodong area

* 本文为国家自然科学基金资助项目(49000020)

第一作者简介: 徐红, 女, 1963 年生, 硕士, 副教授, 从事基础地质和岩土工程等方面的科研和教学工作。

收稿日期 1999-05-20, 改回日期 1999-07-30

1 岩石学和岩石化学特征

胶东金矿区的煌斑岩, 大部分属钙碱性煌斑岩类, 以闪斜煌岩为主, 少数为云斜煌岩。绝大多数具有斑状结构, 少数为细粒等粒结构。斑晶主要为角闪石, 少数为黑云母; 基质由斜长石 ($An \approx 40$)、角闪石、单斜辉石和少量钾长石、石英、黑云母和橄榄石等构成。大部分煌斑岩遭受了不同程度的碳酸盐化、绿泥石化和绢云母化, 少数毗邻矿体的煌斑岩则遭受过弱黄铁矿化作用, 黄铁矿常呈细脉状分布。根据煌斑岩与矿脉之间的相互穿插关系, 可分为成矿前期、成矿期和成矿后期三期煌斑岩。这些煌斑岩的岩石化学成分具有如下特点(表1):

表1 胶东金矿区煌斑岩的岩石化学成分及其全岩 $\delta^{18}O$ (‰) 值

Table 1 Chemical composition and whole rock $\delta^{18}O$ values of lamprophyres in the Jiaodong gold ore district

样号	矿区	岩石类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	总量	Mg [#]	$\delta^{18}O$
J1	焦家	I	49.30	2.21	16.23	5.38	6.92	0.17	6.07	9.27	3.25	1.14	0.56	100.50	49	6.66
J4		II	49.83	2.02	16.14	4.94	6.17	0.13	6.11	9.67	3.37	1.19	0.57	100.16	51	6.67
J6		II	50.43	2.12	16.12	6.03	6.19	0.12	5.54	7.52	3.48	1.18	0.62	99.35	46	6.64
J5		III	48.51	2.49	16.50	5.61	6.10	0.16	4.20	9.07	4.10	1.77	0.80	99.32	41	6.87
J7		III	47.16	2.23	15.29	6.83	4.19	0.19	6.58	8.95	4.10	2.83	0.95	99.31	53	7.13
L2	玲珑	N	53.82	0.91	15.08	5.01	2.40	0.15	8.71	7.84	2.82	2.15	0.43	99.32	69	8.84
L3		III	55.57	0.80	15.23	4.43	2.61	0.13	8.06	7.03	2.12	3.01	0.32	99.31	68	-
L4		I	61.84	0.66	16.00	3.60	1.41	0.11	4.93	4.79	3.56	3.13	0.37	100.40	65	8.83
L6		I	52.85	0.91	15.80	5.39	2.66	0.18	7.76	8.33	2.62	2.51	0.39	99.39	66	9.64
L9		III	52.33	0.93	13.98	4.41	4.28	0.14	9.67	9.30	2.62	1.78	0.30	99.74	68	7.41
R1	乳山	I	47.08	1.01	12.99	6.13	3.83	0.19	11.71	10.87	1.89	3.03	0.56	99.30	69	4.42
R2		I	50.37	1.06	13.78	8.16	2.65	0.23	9.23	10.25	0.23	2.77	0.58	99.30	61	3.66
R3		I	67.86	1.15	16.08	4.29	1.66	0.11	1.87	1.34	0.20	4.65	0.64	99.86	37	7.12
R9		III	43.78	1.07	13.88	7.00	4.06	0.27	12.29	12.62	0.35	3.40	0.60	99.30	68	2.56
X3	栖霞	I	53.65	0.87	14.74	4.27	3.32	0.15	7.90	9.19	2.54	2.75	0.55	99.94	66	8.06
X2		III	54.06	0.88	14.83	3.67	3.80	0.12	7.20	7.86	3.19	3.41	0.57	99.58	65	7.51

注: 主元素已换算成干体系; $Mg^{\#} = 100Mg/(Mg + Fe)$; I、II、III分别为矿前、成矿和矿后期煌斑岩; N系远离金矿区所采样品; R3样品已遭受较明显的蚀变。岩石化学成分由南京大学地球科学系中心实验室分析测定, 分析精度优于0.2%。全岩氧同位素分析由南京大学成矿机制研究国家重点实验室测定, 采用BrF₃法, 收集的CO₂由MAT262质谱计测定, $\delta^{18}O$ 的测定精度为 $\pm 0.2\%$, 测定结果以相对于SMOW标准给出。

(1) 在同一矿区, 矿前期、成矿期和矿后期未蚀变或较新鲜的煌斑岩的岩石化学成分变化很小, 表明其物质源区和形成条件是类似的。而不同矿区煌斑岩间的岩石化学成分则存在一些差别, 个别已蚀变的除外, 大部分煌斑岩的 $Mg^{\#}$ 为41~69, 反映其岩石化学成分分异演化程度较低, 仍然保留了较原始的化学组成。因此, 可以认为煌斑岩的岩石化学成分基本上代表了源区岩浆的组成特征。

(2) 煌斑岩的钾、钠含量较高, $Na_2O + K_2O$ 为3%~6.93%, K_2O 为1.14%~4.65%, 其中焦家、玲珑煌斑岩的碱含量比栖霞、乳山煌斑岩要高, 且多以 $Na_2O > K_2O$ 为特征。样品 $SiO_2 - Na_2O + K_2O$ 的分类图^[4]表明(图2), 这些煌斑岩相当于玄武质-玄武安山质岩石

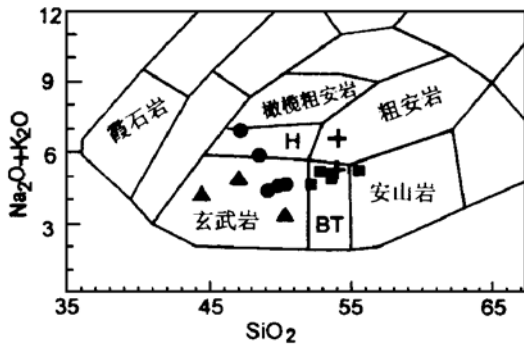


图2 胶东煌斑岩的SiO₂-Na₂O+K₂O分类图

Fig. 2 SiO₂-Na₂O+K₂O diagram of lamprophyres in the Jiaodong gold ore district
 BT—玄武粗安岩; H—玄武粗安岩
 ●—焦家样品; ▲—乳山样品; ■—玲珑样品;
 +—栖霞样品

组合。焦家和乳山煌斑岩的钛含量相对也较高, TiO₂ 平均含量分别为 2.20% 和 1.10%; 而玲珑和栖霞煌斑岩的 TiO₂ 含量则小于 1%。一些研究者认为, 岩石高 TiO₂ 或低 TiO₂ 的特征反映其源区性质存在差异^[5-7]。

(3) 煌斑岩的铝含量高, 且不同矿区、不同成矿阶段煌斑岩的铝含量变化较小, Al₂O₃ 含量介于 12.99% ~ 16.50% 之间, 平均为 15.16%。煌斑岩的氧化系数约为 0.25~0.56, 变化较大。

(4) 煌斑岩主量元素含量之间存在明显的变异规律。SiO₂、Al₂O₃ 的含量随 MgO 的增加而减小, 全铁 FeO* 和 CaO 的含量则与 MgO 成正比, 且相互间具有较好的线性关系(图3)。其中玲珑、乳山和栖霞三个矿区样品的投影点

可以拟合成一条线性较好的演化趋势线, 仅焦家煌斑岩样投影点出现一定的偏离, 这可能是由于源岩成分或成岩条件的差异造成的, 如在分异或分离结晶过程中富钙单斜辉石和斜长石控制着结晶相与液相之间 CaO 与 MgO 的平衡^[8]。

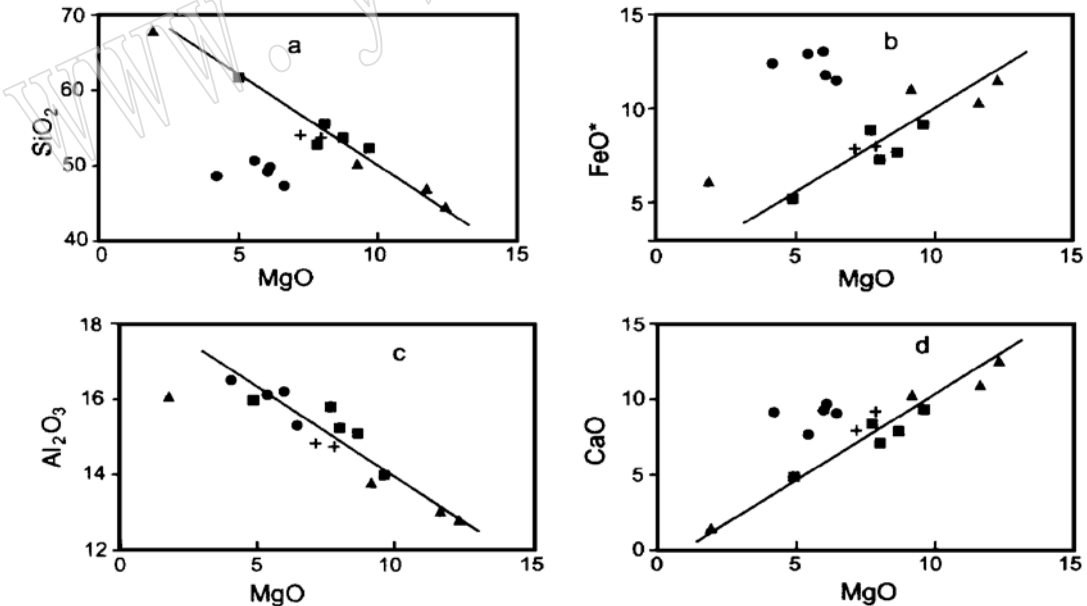


图3 胶东金矿区煌斑岩的主量元素变异图解

Fig. 3 Variogram of major elements in lamprophyres of the Jiaodong gold ore district (图例同图2)

2 氧同位素地球化学特征

四个矿区煌斑岩的氧同位素值主要集中在 6‰~ 10‰之间(表 1), 其中玲珑、栖霞、焦家和乳山的煌斑岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为 8.68(4 个样品平均)、7.79(2 个样品平均)、6.79(5 个样品平均)和 3.03(3 个样品平均, 因为 R3 样品发生蚀变引起氧同位素值升高, 故计算时未包括在内)。除乳山外, 玲珑、栖霞和焦家煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值均高于源于地幔的岩浆岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值(5.6‰~ 6.6‰)^[9]。这些氧同位素值对岩石的成因意义不是十分明确, 既可能反映煌斑岩原始成岩物质来源于上地幔并遭受地壳物质的强烈混染, 也可能反映其成岩物质主要与地壳物质有关。无独有偶, 这三个矿区煌斑岩的 REE、微量元素及 Sm-Nd 同位素均显示出明显的壳源特征^①, 故煌斑岩全氧同位素值偏高可能主要与其成岩物质来自地壳有关。

值得注意的是, 乳山煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值比其它三个矿区明显偏低, 且低于地幔岩浆岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。这可能是由于大气降水与煌斑岩之间发生了广泛的水/岩反应, 反应的结果使煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值显著降低, 同时产生成矿热液形成乳山金矿。在成矿后期, 深循环的大气降水沿着各种断裂破碎带集中向上扩散, 水/岩作用范围缩小呈线型分布, 因而水/岩比值增加, 从而使煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值自成矿前期至成矿后期持续降低。这与翟建平^[10]认为乳山金矿是大气降水成因的结论相吻合。此外, 该矿区样号为 R3 的煌斑岩, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值比其他样品明显偏高, 则可能与其遭受了较强烈的蚀变作用有关^[11]。

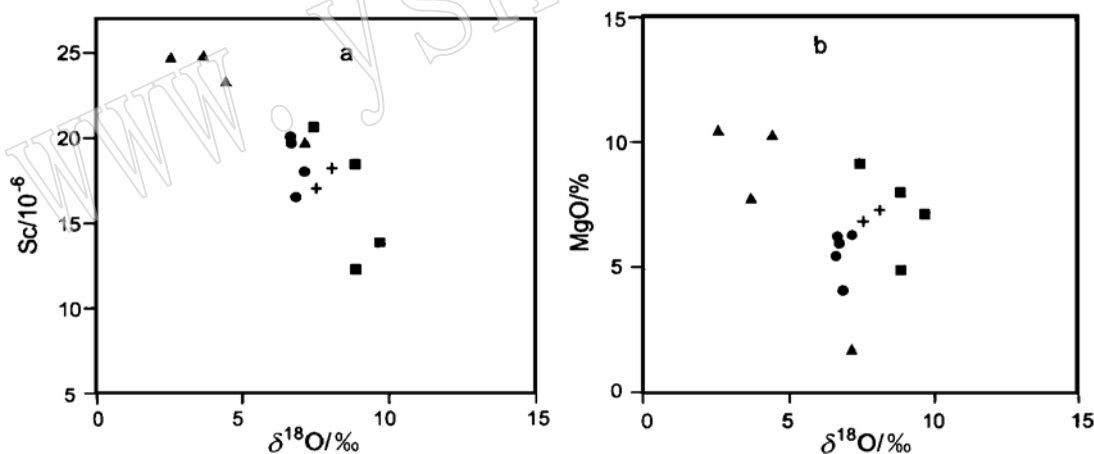


图 4 胶东金矿区煌斑岩的氧同位素与 Sc、MgO 变异图

Fig. 4 Variogram of oxygen isotopes and Sc, MgO in lamprophyres of the Jiaodong gold ore district
(图例同图 2)

胶东金矿区煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 与 MgO 之间呈明显的负相关(图 4b), 表明其氧同位素组成强烈地受富铁镁矿物的数量所控制^[12]。在成岩过程中, 微量元素 Sc 趋向于优先在富铁镁质的矿物中富集, 因此煌斑岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 与 Sc 之间也呈现了较好的负相关关系(图 4a)。这些

① 徐光平, 徐红. 胶东金矿煌斑岩的稀土元素地球化学特征及其探讨. 江苏地质学会学术年会论文摘要汇编, 1997, 南京.

均说明煌斑岩的氧同位素值在很大程度上还取决于其结晶时原始岩浆的成分和结晶条件。

3 Nd Sr 同位素及微量元素特征

Sm-Nd-Rb-Sr 同位素分析采用 HF+HClO₄ 溶样和阳离子交换树脂分离技术与提纯,由 VG-354 质谱计测定。Nd 同位素比值测定以 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 为标准化值,对 BCR1 和 Ljolla 测定的 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 分别为 0.512662±16(2σ) 和 0.511860±6(2σ),全实验室流程的空白本底为 5×10⁻¹¹~7×10⁻¹¹ g。Sr 同位素比值测定采用 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194 进行质量分馏校正,对 Sr 同位素标准 NBS987 测定的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.71022±4(2σ),全实验室流程 Sr 的空白本底为 1×10⁻⁹~2×10⁻⁹ g。胶东金矿区煌斑岩的 Nd、Sr 同位素测定结果列于表 2。

表 2 胶东金矿区煌斑岩的 Nd、Sr 同位素组成特征

Table 2 Nd, Sr isotopic composition of lamprophyres in the Jiaodong gold district

样号	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	εNd(t)*	Rb(10 ⁻⁶)	Sr(10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) ₀
J1	0.1058	0.512465±15	-1.87	19.78	991.20	0.0577	0.737373±30	0.737277
J6	0.1076	0.512536±19	-0.51	25.08	805.50	0.0901	0.709207±20	0.709057
L4	0.0742	0.511781±9	-14.69	113.60	1097.00	0.2996	0.713182±30	0.712682
R1	0.0796	0.511676±10	-16.83	45.18	1178.00	0.1110	0.710805±47	0.710620
R9	0.0866	0.511650±14	-17.45	111.60	1058.00	0.3052	0.729545±30	0.729036
X3	0.0897	0.511892±16	-12.78	84.20	1615.00	0.1507	0.721221±50	0.720970

* (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}(0)=0.1967; (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}(0)=0.512638; λ¹⁴⁷Sm=6.54×10⁻¹² a⁻¹; (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)₀ 值根据 t=130×10⁶a 近似公式计算得出。化学分离与质谱测定均在南京大学现代分析中心质谱室进行。

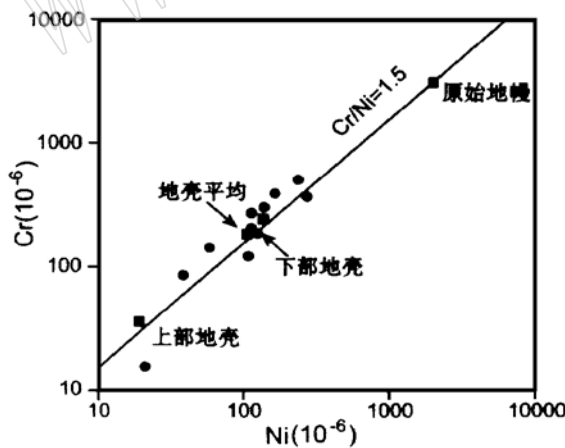


图 5 胶东金矿区煌斑岩的 Cr-Ni 变异图

Fig. 5 Variogram of Cr and Ni in lamprophyres of the Jiaodong gold ore district

胶东不同金矿区的煌斑岩¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 值和⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值变化较大,玲珑、乳山和栖霞金矿区煌斑岩的 Sr、Nd 同位素组成特征比较相似,εNd(t) 值均为较大的负值,与古老地壳 εNd(t) 值(-1~-20)相当^[22],暗示这三个金矿区的煌斑岩可能是胶东群部分熔融的产物。但是焦家金矿区煌斑岩(J₁和 J₆)的 εNd(t) 值与其他三个矿区相差较大,接近于零值,暗示其成岩物质来源与其他三个矿区不同,可能有部分地幔物质加入,或者系胶东群中一些基性物质部分熔融的产物。Rb-Sr 同位素分析结果显示,这四个矿区的 6 个煌斑岩样品数据很分散,构不成一条等时线,表明它们来自不同的源区,并且不同程度地受到上地壳物质的混染。其中来自焦家金矿区的 J₆ 样品的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 测

定值较低(0.709207), 初始值为 0.709057。对于 Sr 同位素初始值在 0.706~0.710 的岩石, 通常有两种关于源区的解释, 一种认为来自壳幔混合源, 一种认为来自于下地壳。考虑到焦家煌斑岩的 MgO 含量较低, 而且其稀土元素和微量元素与其他三个矿区相类似, 具有壳源特征, 因此本文倾向于认为其成岩物质主要来源于下地壳。结合 Nd 同位素特征推测, 可能有少量地幔物质的加入。其他样品的 Sr 同位素初始值均大于 0.710, 表明均为壳源。

胶东四个矿区煌斑岩的 Cr、Ni 含量远低于原始地幔值^[16](表 3), 在 Cr-Ni 相关图上呈较好的正相关性, Cr/Ni 的平均值为 1.5, 投影点集中在地壳平均值^[15]区域附近(图 5)。同样, 煌斑岩的 K 与 Rb、Sr 与 Ba 之间也具有正相关性(图 6)。K、Rb 均为不相容元素, 对于未蚀变岩石来说, 其含量具有较好的相关性可以反映源区的比值特征^[17]。煌斑岩的 K/Rb 值较地壳的平均值(220)要高, 接近于华北地块的上地壳值(276)^[15]。胶东金矿区煌斑岩的 Sr/Ba 之间的相关性较差, 但 Sr/Ba 值大于 0.4, Sr、Ba 的含量也均大于地壳平均值, 而与上地壳的值较接近, 这些也证实了胶东煌斑岩的壳源成因。

表 3 胶东煌斑岩的 Cr、Ni、Ba 的含量(10^{-6})
Table 3 Cr, Ni, Ba contents of lamprophyre from Jiaodong

样号	J1	J6	L4	R1	R9	X3
Cr	134.18	82	202.65	506.69	382.74	287.73
Ni	59.16	39.44	113.70	241.80	276.35	135.98
Ba	497.23	524.02	1728	3099.60	3115.80	2101.68

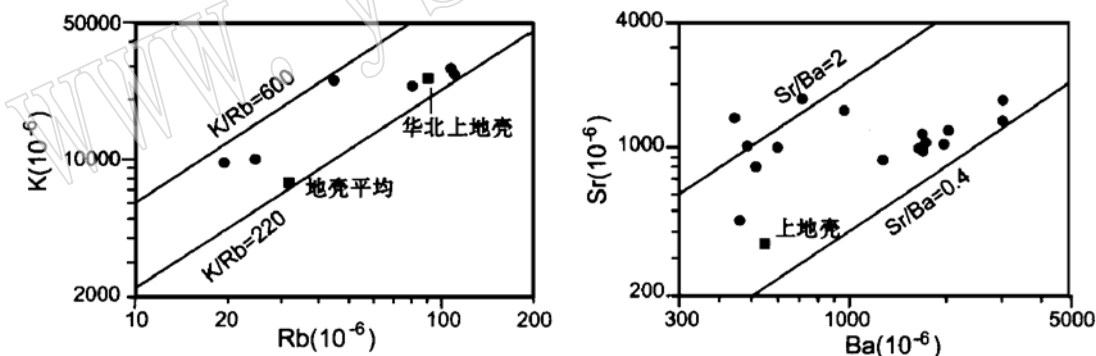


图 6 胶东金矿区煌斑岩的微量元素相关图

Fig. 6 Correlogram of trace elements in lamprophyres of the Jiaodong gold ore district
(图例同图 2)

4 煌斑岩的成因探讨

目前人们已就煌斑岩的生成机理提出了多种成因解释, 较典型的包括花岗岩浆二分分异模式、富挥发分玄武岩浆分异模式、液体不混溶模式和同化混染模式^[18]以及类岩浆成因模式^[1]等等。煌斑岩的幔源加陆壳混染成因模式也正逐渐被人们普遍接受, 但这种成因模式显然不适宜解释胶东金矿区煌斑岩的一系列地球化学特征, 如煌斑岩全岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值较高、 $\epsilon\text{Nd}(T)$ 值呈较大的负值、微量元素 Cr、Ni 的含量较低而 Rb、Ba 的含量又

较高等等。现有的工作结果表明,胶东金矿区煌斑岩与围岩(花岗岩或胶东群变质岩)、金矿脉及胶东群残留体在许多方面显示出同源特征^[19]。

室内试验业已证明,成分为中基性的地质体部分熔融时,在低温不变点产生酸性岩浆,在高温不变点形成基性岩浆^[20,21],这种机理有助于理解胶东金矿区煌斑岩的成因机制。胶东金矿区煌斑岩与围岩、金矿脉及胶东群残留体之间所具有的渊源关系^[19],也许有利于建立一种二阶段部分熔融模式。胶东群原为一套中基性火山岩夹沉积岩,晚太古代时曾遭受大规模区域变质;中生代晚期,受太平洋板块向亚洲大陆边缘俯冲的影响,该群变质作用逐渐加深,最终导致部分熔融(第一阶段),相当于中基性地质体部分熔融在低温不变点产生酸性岩浆,其结果形成大面积的花岗岩类岩石;白垩纪以来,热事件和构造运动更加剧烈,使得胶东群一些偏基性的变质残核在较高温度下再次部分熔融(第二阶段),相当于上述试验的高温不变点,其产生的一些偏基性的岩浆侵入到花岗岩或变质岩之中,胶东金矿区的煌斑岩岩脉群可能正是此过程的产物。

应该指出的是,由于煌斑岩与许多金属矿产有着密切的关系,因而得到了越来越多的关注,但其成因机制并未完全弄清。本文提出的煌斑岩由地壳中基性地质体二阶段部分熔融的成因机制,尚属一种新的尝试。有关的各项研究包括室内高温高压试验正在进行之中,届时有望对这种成因机制做出进一步的解释与修正。

本文工作得到了南京大学胡受奚教授、凌洪飞教授和沈渭洲教授的关心和帮助,在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 孙丰月,石淮立,冯本智. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿. 长春: 吉林人民出版社, 1995.
- 2 Rock N M S, Bowes D R, Wright A E. Lamprophyres. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd. 1991.
- 3 翟建平, 胡凯, 陆建军. 有关煌斑岩与金矿化新成因模式的讨论. 矿床地质, 1996, 15(1): 80~ 85.
- 4 Cox K G, Bell J D and Pankhurst R J. The interpretation of igneous rocks. Allen and Unwin, Winchester, Mass., 1979, 450.
- 5 Cox K G. The karoo province of southern Africa origin of trace element enrichment patterns. In: Hawkesworth C J, Norry M J eds. Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwisch: Shiva, 1983, 139~ 157.
- 6 Bellieni G P, Brotzu P, Comin C M, et al. Flood basalt to rhyolite suites in southern Parana Plateau (Brazil): Palaeomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. J. Petrol., 1984, 25: 579~ 618.
- 7 Mantovani M S M, Marques L S, DeSousa M A, et al. Trace element and strontium isotope constraints on the origin and evolution of Parana continental flood basalts of Santa Catarina State (Southern Brazil). J. Petrol., 1985, 26: 187~ 209.
- 8 Cox K G. A model for flood basalt volcanism. J. Petrol., 1980, 21: 629~ 650.
- 9 Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problem of hydrothermal alteration and ore deposition. Econ. Geol., 1974, 69(6): 843~ 883.
- 10 翟建平, 胡凯, 陆建军. 山东金矿床的流体包裹体和氢氧同位素地球化学研究. 地球化学, 1995, 24 (增刊): 141~ 149.
- 11 陈振胜, 张理刚, 刘敬秀等. 胶东金成矿区岩石氧氢同位素地球化学背景初探. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(3): 211~ 218.
- 12 Araujo S M, Scott S D. Oxygen isotopic composition of alteration zones of highly metamorphosed volcanogenic massive sulfide deposits: Geco, Canada, and Palmeiropolis, Brazil. Econ. Geol., 1996, 91: 697~ 712.

- 13 郑建平, 路凤香. 中国东部金伯利岩捕虏体 Sr- Nd 同位素研究. 地球科学, 1997, 18(增刊): 15~ 17.
- 14 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 1997, 26(2): 14~ 31.
- 15 鄢明才. 中国东部上地壳化学组成. 中国科学(D 辑), 1998, 27(3): 195~ 200.
- 16 Taylor S R and McLennan S M. The continental crust: It's composition and evolution. Blackwell Scientific publishing house, Oxford, England. 1985.
- 17 喻学惠等译. 金伯利岩. 武汉: 中国地质大学出版社. 1991.
- 18 翟淳. 论煌斑岩的成因模式. 地质论评, 1981, 27(6): 528~ 532.
- 19 姚凤良, 刘连登, 孔庆存等. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科学技术出版社. 1990.
- 20 Taylor T R, Vogel T A and Wilband J T. The composite dikes at mount desert island, Maine: an example of coexisting acidic and basic magmas: J. Geol., 1980, 88(4): 433~ 444.
- 21 Yoder H S. Contemporaneous basaltic and rhyolitic magmas. Amer. Mineral., 1973, 58: 153~ 171.
- 22 Depaolo D J. Trace element and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization. Earth Planet Sci. Lett., 1981, 43: 201~ 211.

Geochemical Characteristics and Genesis of the Lamprophyres in the Jiaodong Gold Ore District, Shandong Province

Xu Hong

(Nanjing College of Communications, Nanjing 210018)

Xu Guangping

(State Key Laboratory of Mineral Deposits, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words: lamprophyre; petrochemistry; O, Nd, Sr isotope; trace element; Jiaodong gold ore district

Abstract

The Jiaodong gold ore district is one of the most important gold districts in China, and there are many lamprophyre veins in each gold deposit, which mainly spread parallel to gold ore veins. According to the intersections between the gold veins and the lamprophyre veins, the lamprophyres can be divided into three groups, belonging respectively to pre_mineralization period, mineralization period and post_mineralization period. This paper has made a detailed study on petrology, petrochemistry, trace element geochemistry and oxygen, neodymium and strontium isotopic composition of lamprophyres from four typical gold deposits, namely Qixia, Rushan, Linglong and Jiaojia.

The lamprophyres are characterized by high alkali, potassium and aluminium contents and high $Mg^{\#}$ values, which are defined as $Mg^{\#} = 100 Mg / (Mg + Fe)$. The lamprophyres are similar to basaltic and basaltic_andesitic rocks in petrogenic character. The lamprophyres have high $^{87}Sr / ^{86}Sr$ ratios, low $\epsilon Nd(t)$ values, and their $\delta^{18}O$ values are between 6‰ and 8‰ higher than those of generally recognized mantle derived rocks. There are good positive relationships

between Cr and Ni, K and Rb, and Sr and Ba respectively, and the ratios of these elements are close to those of rocks in the upper crust of the North China massif. All of these characteristics show that the source rocks of lamprophyres are related to the crust materials. The two-stage partial melting model of the Jiaodong Group can be used to explain the genetic mechanism of the lamprophyres.

www.yskw.ac.cn