

湘东北临湘地区钾质煌斑岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 定年及其地球化学特征

马铁球 陈 俊 郭乐群 柏道远 何江南

(湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410011)

提要: 对出露于湘东北临湘地区的煌斑岩脉群进行了同位素年龄测定及岩石地球化学分析。研究表明, 煌斑岩的全岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $(119.5 \pm 2.2)\text{Ma}$, 形成于早白垩世。岩石地球化学方面, 岩石属碱性系列、钾质—超钾质煌斑岩; 富集大离子亲石元素(LILE) 和高场强元素(HFSE); 稀土元素分配模式为相似的右倾轻稀土富集型; 具有较小的 TDM II 值(1.5 Ga) 和较低的 $\varepsilon\text{Nd}(t)$ (-7.3)。上述特征暗示煌斑岩物质来源于异常(交代富集)地幔, 形成于后造山陆内拉张减薄的构造环境。

关键词: 钾质煌斑岩; $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄; 地球化学特征; 湘东北

中图分类号: P588.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)01-0056-08

煌斑岩——特别是碱性煌斑岩与金矿化有密切联系, 越来越受到关注和重视^[1-4]。有人认为煌斑岩至少可视为良好的找矿标志, 是金矿化的物质来源之一^[5-6]。湖南境内的煌斑岩也分布较广泛, 按路凤香等^[7]根据煌斑岩 K_2O 、 Na_2O 和 Al_2O_3 的含量分类, 大致有钾质碱性煌斑岩、钠质碱性煌斑岩和钾镁煌斑岩等。钾质碱性煌斑岩分布在湘中、湘西南的锡矿山、安化、洞口、溆浦、祁东、桂阳、冷水江、江永一带^[8,9]; 钠质碱性煌斑岩分布在湘东北广泛地区^[10,11]; 钾镁煌斑岩则分布于宁远^[12]及宁乡一带。而在湘东北临湘地区, 笔者在《湖南省区域地质志》编志过程中, 通过野外工作发现除前人发现的钠质碱性煌斑岩外, 还分布较多的钾质碱性煌斑岩类型, 本文就煌斑岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年及其岩石地球化学特征作详细介绍, 并在此基础上简单讨论煌斑岩形成的构造背景。

1 岩石产出背景及岩石基本特征

临湘地区的煌斑岩主要见于临湘市南西约 12 km 的市白石园林场西侧、临湘市南东约 35 km 的龙源乡东侧等二处。煌斑岩呈岩脉(墙)状侵入于中

元古代雷神庙组和小木坪组之中, 多沿断裂带分布, 走向近东西向或北西西向, 个别近南北向(图 1)。脉宽 1~5 m, 长十几米至近百米。煌斑岩脉分布区伴有同方向的闪长岩脉和花岗闪长斑岩脉分布。煌斑岩呈灰绿色, 质地致密, 主要岩石类型有云煌岩及云斜煌斑岩两种。

云煌岩: 岩石具斑状结构, 斑晶成分主要为黑云母、透长石等; 黑云母斑晶为自形晶, 有的边缘呈凹凸不平的“雉谍状”边缘; 透长石斑晶为板状或短柱状, 有时见卡氏双晶, 边缘有的与石英呈显微文象交互, 斑晶大小为 0.5~2 mm, 斑晶含量占岩石的 3%~5%。基质主要由透长石(45%~50%), 黑云母(35%~40%), 角闪石(5%~10%), 单斜辉石(0.5%~1%), 石英(1%~2%)等组成。副矿物有磷灰石—磁铁矿等。

云斜煌斑岩: 岩石具斑状结构, 斑晶主要由黑云母、假象角闪石、假象斜长石等组成。斑晶的自形程度较好, 黑云母为自形板片状、角闪石为自形柱状、斜长石为自形板状, 角闪石和斜长石已被绢云母、方解石、绿泥石等交代呈假象。其大小为 1~3 mm, 其含量占岩石的 3%~5%。基质主要由斜长石(50%)、黑

收稿日期: 2009-09-27; 改回日期: 2009-10-30

基金项目: 中国地质调查局“中国地质构造区划综合研究与区域地质志修编”项目(1212010811032)资助。

作者简介: 马铁球, 男, 1956年生, 高级工程师, 长期从事区域地质调查工作; E-mail: matiequ18@sina.com。

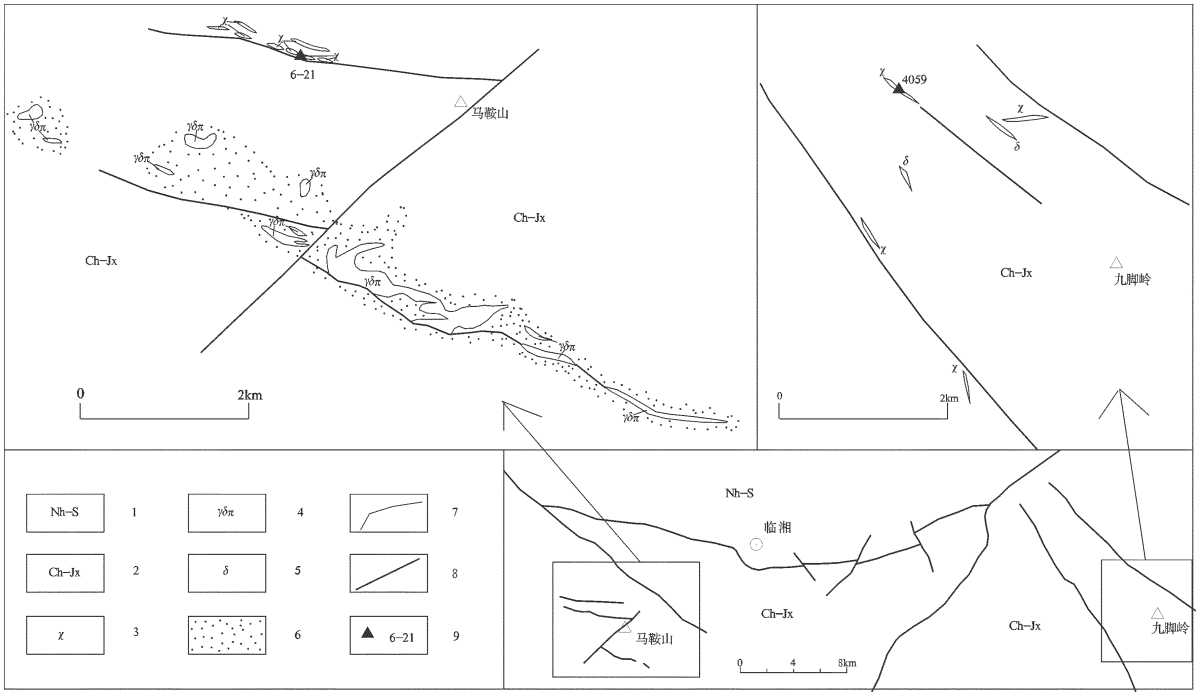


图 1 岩脉分布区地质略图

1—南华-志留系;2—长城系-蓟县系;3—煌斑岩脉;4—花岗闪长斑岩脉;5—闪长岩脉;6—角岩化热蚀变带;7—地质界线;8—断裂;9—Ar-Ar 法年龄样品位置及编号

Fig.1 Geological sketch map of the distributive area of dikes

1- Nanhuan-Silurian System; 2- Changcheng System-Jixian System; 3- Lamprophyre dike; 4- Granodiorite dike; 5-Diorite dike; 6-Hornfelsized alteration zone; 7-Geological boundary; 8-Fault; 9- Location and serial number of Ar-Ar isotopic age

云母(40%)、角闪石(7%)等组成,斜长石已被绢云母等交代变得模糊不清,角闪石被绿泥石、透闪石、方解石交代。由于浅色矿物斜长石分布不均匀,常聚集成团形成岩石的结构和成分的不均一性,构成斑杂状构造。

2 样品特征、分析方法及结果

本次煌斑岩全岩 Ar-Ar 法年龄测试样品(样品号为 6-21)采自临湘市南西的马鞍山地区,岩性为云煌岩。岩石新鲜,呈灰绿色。样品送至中国地质科学院地质研究所分析。测试研究采用常规 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年法。其流程为:选纯的矿物(纯度>99%)用超声波清洗。先用经过两次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗 3 次,每次 3 min,以清除矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质。然后在丙酮中清洗 2 次,每次 3 min,以清除矿物表面吸附的油污等有机物质。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池核”中进行的。使用

H8 孔道,其中子流密度约为 $6.0 \times 10^{12} \text{ ncm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。照射总时间为 1703 min,积分中子通量为 $6.13 \times 10^{17} \text{ ncm}^{-2}$;同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25 黑云母国内标样,其标准年龄为 132.7 Ma,K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,第一个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的,每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。系统空白水平:m/e=40、39、37、36 分别小于 $6 \times 10^{-15} \text{ mol}$ 、 $4 \times 10^{-16} \text{ mol}$ 、 $8 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 和 $2 \times 10^{-17} \text{ mol}$ 。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。³⁷Ar 经过放射性衰变校正;⁴⁰K 衰变常数 = $5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$;坪年龄误差以 2σ 给出。用 ISOPLOT 程序计算正、反等时线。详细实验流程见有关文章^[13-14]。

黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测试结果列于表 1, 视年龄谱线和 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线图见图 2。其结果: 视年龄为 $(117.6\pm 1.3)\text{Ma}\sim(170.4\pm 3.2)\text{Ma}$; 由加热温度 $400\sim 1000^\circ\text{C}$ 的 7 个加热阶段构成的坪年龄为 $(119.4\pm 1.1)\text{Ma}$; 黑云母 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线年龄值为 $(119.5\pm 2.2)\text{Ma}$ 。从 $400\sim 1300^\circ\text{C}$ 所得的表观年龄均比较稳定, 所求得的坪年龄以及等时线年龄三者测定误差范围内一致, 坪谱特征表明样品基本未受后期热扰动影响, 等时线年龄值与坪年龄值吻合程度也极高, 说明测试结果完全可以代表煌斑岩形成时的结晶年龄。

3 岩石地球化学特征

岩石主元素、微量元素、稀土元素、Nd 同位素组成分析结果列于表 2 中。煌斑岩 SiO_2 含量为 $58.43\%\sim 60.00\%$, $\langle\text{FeO}\rangle$ 、 MgO 、 K_2O 含量较高, 属碱性岩类。 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 含量为 $6.31\%\sim 7.10\%$, σ 值为 $2.58\sim 2.97$, 属于钙碱性-钾钙性玄武岩系列; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值均 $> 1(1.55\sim 5.01)$, 平均 3.28。在国际地科联(IUGS)提出的岩浆岩 TAS 分类图中^[5], 本区煌斑岩投在钙碱性岩区(图 3)。在路凤香^[7]对煌斑岩的进一步分类图解中, 岩石样品落在 II、III 区, 并与湘中锡矿地区的云斜

表 1 煌斑岩全岩样品阶段升温 Ar-Ar 测年实验数据

Table 1 Whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating data of lamprophyre

$t/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}\times 10^{14}\text{m}$	^{39}Ar 累积/%	年龄/Ma
W=76.00mg; J=0.005303								
400	15.0437	0.0078	0.3927	0.0155	84.76	277.59	7.15	118.1±1.5
500	13.9307	0.0031	0.3272	0.0157	93.62	249.69	13.58	120.7±1.4
600	13.8843	0.0031	0.1467	0.0141	93.53	372.90	23.18	120.2±1.3
700	13.4398	0.0014	0.1159	0.0132	96.93	403.47	33.57	120.5±1.3
800	13.1654	0.0016	0.1261	0.0132	96.45	325.33	41.94	117.6±1.3
900	13.1953	0.0010	0.2304	0.0132	97.82	523.85	55.43	119.5±1.2
1000	13.1102	0.0009	0.4254	0.0136	98.23	598.85	70.85	119.2±1.4
1100	14.9428	0.0010	0.5249	0.0140	98.30	913.18	94.36	135.4±1.6
1200	15.6030	0.0027	0.7287	0.0167	95.20	176.25	98.90	136.9±1.5
1300	21.2081	0.0094	0.1209	0.0212	87.86	42.61	100.00	170.4±3.2

注: 由中国地质科学院地质研究所张彦等分析; 表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值。

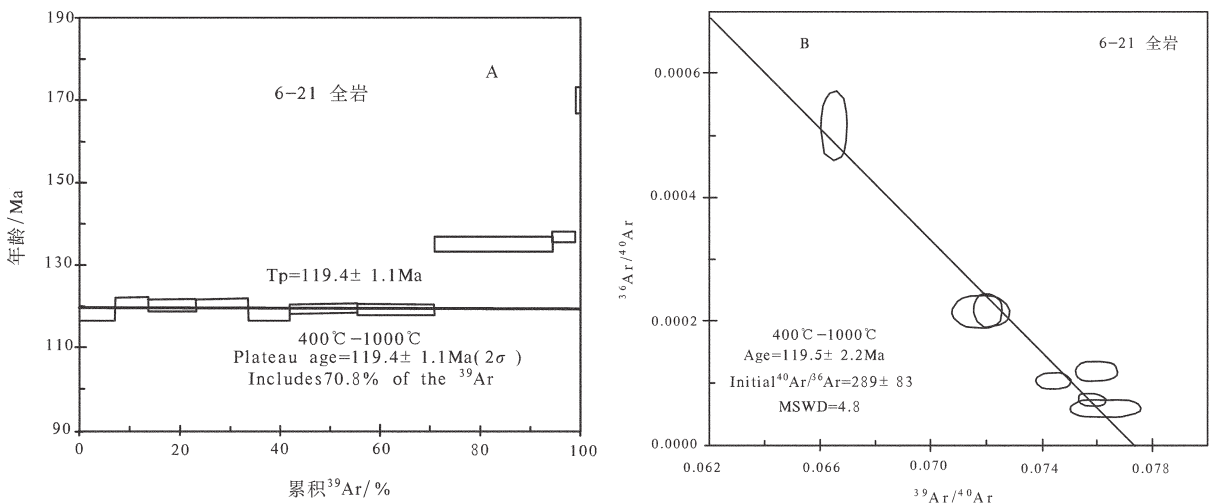


图 2 煌斑岩全岩样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄谱(A)及等时线图(B)

Fig.2 Whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra (A) and isochron (B) of lamprophyre

表 2 煌斑岩主元素、微量元素、稀土元素及 Nd 同位素分析结果

Table 2 Major element, trace element, REE and Nd isotope analyses of lamprophyre

主元素 (10 ²) ; 测试单位: 湖北武汉综合岩矿测试中心,2007.7																		
样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	灼失	Σ				
6-21	60.00	0.62	13.09	1.78	3.85	0.10	4.85	5.31	2.78	4.32	0.52	1.41	1.99	99.21				
4059	58.43	1.39	13.35	6.60	0.60	0.12	5.05	2.48	1.05	5.26	1.66	3.42	3.91	99.90				
微量元素丰度(Au 为 10 ⁻⁹ ; 余为 10 ⁻⁶) ; 测试单位: 湖北武汉综合岩矿测试中心, 2007.7																		
样号	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Sb	Hg	Sr	Ba	V	Th	U	Cl	
6-21	3.9	3.2	4.1	1.17	72.2	38.9	74.9	0.076	3.2	0.36	0.005	808	1454	120	26.6	3.9	108.2	
4059	2.6	5.3	1.6	0.55	75.0	69.7	103	0.13	9.4	1.5	0.21	263	956	164	56.4	7.1	48.4	
样号	Co	Ni	Li	Be	Ta	Nb	Zr	Hf	Rb	Au	Cs	Cr	Ga	Sc	Cd	F	B	
6-21	18.9	76.9	25.7	7.3	1.1	14.4	231.5	7.4	215.4	1.5	5.7	235.4	18.2	14.6	0.05	1347	6.1	
4059	28.2	176	70.0	7.2	0.28	15.5	547.4	15.1	190.2	2.4	8.7	271.3	20.3	18.4	0.055	2210	2.3	
稀土元素 (10 ⁻⁶) ; 测试单位: 湖北武汉综合岩矿测试中心, 2007.7																		
样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ	ΣCe/ΣY	δEu
6-21	62.50	111.6	14.31	48.92	8.15	1.90	6.13	0.84	4.18	0.79	2.04	0.32	2.01	0.28	19.88	283.9	6.78	0.86
4059	124.0	227.8	30.93	111.2	17.72	4.09	12.14	1.57	7.66	1.43	3.29	0.48	2.81	0.41	33.91	579.4	8.10	0.88
Nd 同位素组成; 测试单位: 中国地质科学院地质研究所, 2008.3																		
样号	年龄(Ma)	Sm(10 ⁻⁶)	Nd(10 ⁻⁶)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	sm	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd(T)	ε Nd (T)	T(DM)	Ga)	TDM II(Ga)							
6-21	AA120	7.809	47.906	0.09861	0.512190	10	0.5120	-7.3	1.270	1.50								

注:主元素采用 ICP-AES 测定,微量元素和稀土元素采用 PE Elan6000 型等离子体质谱测定;Sm-Nd 含量分析采用 MAT262 固体同位素质谱计测定,同位素稀释法;Nd 同位素分析方法:仪器为 Nu Plasam HR MC-ICP-MS(Nu Instruments),标准测定结果:JMCNd₂O₃ ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.511125 ± 10(2σ),Nd 同位素质量分馏采用 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.7219 校正。

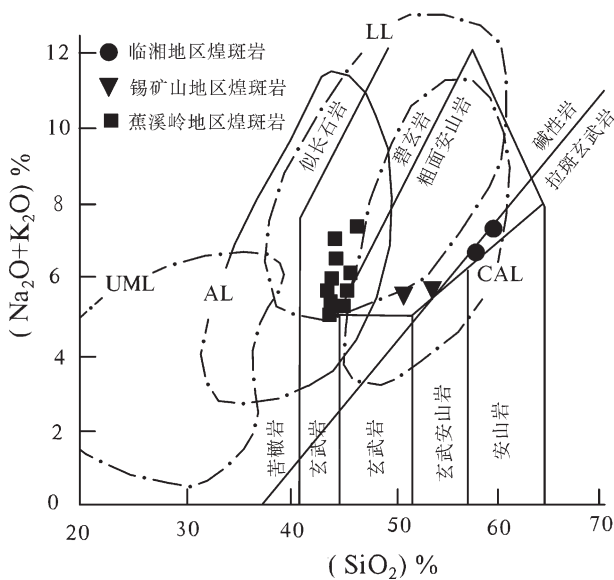


图 3 煌斑岩 TAS 分类图

CAL-钙碱性煌斑岩;AL-碱性煌斑岩;UML-超基性煌斑岩;LL 钾镁煌斑岩;煌斑岩线据 Rock(1987)^[17]

Fig.3 TAS classification diagrams of lamprophyre

CAL-Calc-alkaline lamprophyre; AL-Alkaline lamprophyre; UML-Ultramafic lamprophyre; LL-Potash-magnesian lamprophyre; the boundary of the lamprophyre after Rock(1987)^[17]

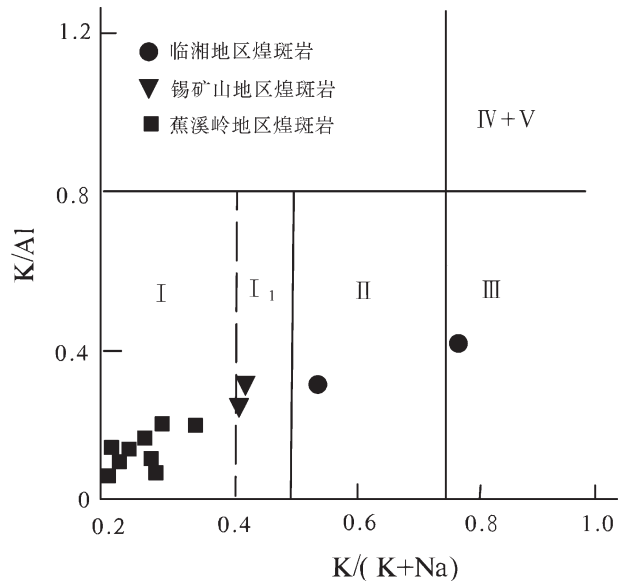


图 4 煌斑岩 K/(K+Na)-K/Al 图^[7]

I - 钠质煌斑岩; I1-弱钾质煌斑岩; II - 钾质煌斑岩; III - 超钾质煌斑岩; IV - 过铝质煌斑岩; V - 钾镁煌斑岩

Fig.4 K/(K+Na) versus K/Al diagrams of lamprophyre

I - Na-rich lamprophyre; I1-Weakly potassic lamprophyre; II - Potassic lamprophyre; III - Superpotassic lamprophyre; IV - Peraluminous lamprophyre; V - Potash-magnesian lamprophyre

煌斑岩和湘东北蕉溪岭地区的钠质煌斑岩具有明显不同的分布特征,表明临湘地区煌斑岩更富钾,属碱性系列、钾质—超钾质煌斑岩(图 4)。

煌斑岩的微量元素从表 2 中可以看出,亲石元素含量高于原始地幔和洋中脊玄武岩的亲石元素含量^[16],其平均值与 Rock 圈定的钙碱性煌斑岩类似^[17],并与湘中锡矿山地区的钙碱性煌斑岩脉相近^[18,19]。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 5)上,各样品均具有大离子亲石元素富集(特别是 Rb、Ba、Th 富集明显)与 Nb-Ta-Ti 和 Sr 明显亏损、Zr-Hf 弱亏损的特征。煌斑岩不相容元素与 Nb、La、U 的一些代表性比值,如 La/Nb=4.34~8.00、Ba/Nb=61.7~101、Th/U=2.18~3.69、Th/Nb=1.85~3.64 等,明显具有 EM II 特征。Ti 的负异常可能与钛铁矿的分离结晶有关。而 Sr 的亏损亦可能是低压条件下的斜长石分异结晶造成,但由于 Eu 亏损是斜长石分离结晶作用的最主要标志,而且 δEu 较弱,所以 Sr 亏损更可能与源区有关。

煌斑岩稀土元素相对富集, $\Sigma REE = 283.9 \times 10^{-6} \sim 579.49 \times 10^{-6}$, $LREE = 247.38 \times 10^{-6} \sim 515.74 \times 10^{-6}$, $HREE = 36.47 \times 10^{-6} \sim 63.47 \times 10^{-6}$, $LREE/HREE = 6.78 \sim 8.10$ 。(La/Yb)_N 为 21.01~29.82, (La/Lu)_N 为 23.11~31.32,反映轻稀土较强烈富集,重稀土较强烈亏损。(La/Sm)_N 为 4.83~4.40, (Gd/Yb)_N = 2.47~3.50,反映轻稀土、重稀土内部之间的分馏程度较

大。在 REE 配分模式图上,表现为向右较陡倾的斜线,轻重稀土分馏强烈(图 6)。Eu 表现为弱的亏损, δEu 为 0.86~0.88,表明有斜长石的分离,研究区煌斑岩具有稀土元素相对富集的地幔源区特征。

Nd 同位素表明本区煌斑岩的 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 比值为 0.5120, 低于原始地幔 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 现代值(0.512638),具有较小的 TDM II 值(1.5 Ga)和较低的 $\epsilon Nd(t)$ (-7.3)为特征,与锡矿山、江永地区煌斑岩类似,明显不同于蕉溪岭、安化、祁东等地区的煌斑岩,同时也可能暗示该区的煌斑岩源于异常(交代富集)地幔。

4 讨论

煌斑岩的幔源性已被越来越多地球化学和实验岩石学资料所证实^[20],本区钾质—超钾质煌斑岩微量元素、稀土元素和同位素含量以相对均一或变化不大为特征,表明岩浆上升过程中地壳混染作用不大。煌斑岩与 MORB 相比富集大离子亲石元素、高场强元素,稀土分配模式为轻稀土富集型,不相容元素分配模式为不相容元素强烈富集型,一些强不相容元素比值相对较均一,如 Rb/Sr=0.27~0.72、Rb/Ba=0.15~0.2、La/Sm=7.7~7.0、Nb/La =0.1~0.2; Nb/Ta 比值为 13.09~55.36,总体高于原始地幔值(17.5±2.0),Zr/Hf 比值为 115.75~273.9,高于原始地幔值(36.27),同时远高于大陆地壳值(11),这表明本区煌斑岩受到大比例的地壳混染的可能性不大。同时具有较低的 $\epsilon Nd(t)$,暗示本区煌斑岩源很可能是

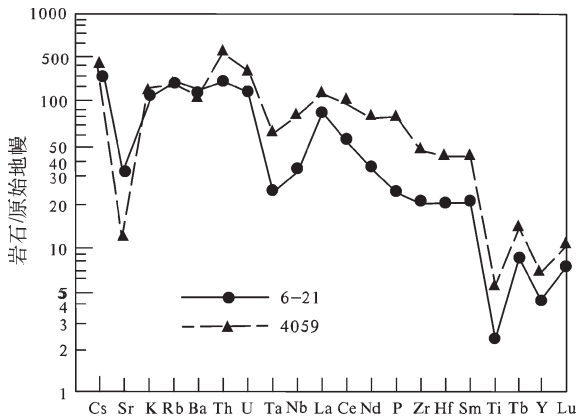


图 5 煌斑岩微量元素蛛网图
(原始地幔值据 Sun 等,1989^[16])

Fig.5 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of lamprophyres
(Chondrite data from Sun et al,1989^[16])

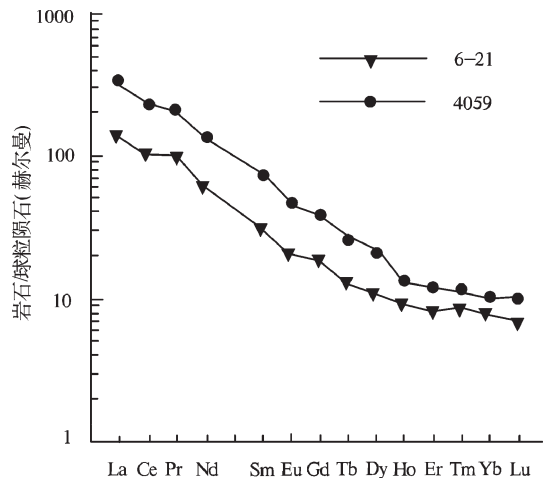


图 6 稀土元素配分型式图

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns

一种较均匀交代的地幔,并经历了不同程度的结晶分异和地壳物质的同化混染。

综上所述,煌斑岩的元素地球化学特征主要反映了其源区的地球化学性质。临湘地区的钾质煌斑岩为钙碱性系列,从图 5 可以看出,样品具有较明显的 Nb、Ta 亏损和较低的 Nb/La 比值(0.1~0.2),Nb、Ta 亏损表明其不可能直接由软流圈部分熔融产生的^[2],其源区可能因受地壳拉张减薄作用,地幔物质上涌导致岩浆底侵于中下地壳之中,又与中下地壳物质混合后发生部分熔融而形成,这也可能是与华南地区中生代地幔普遍发生富集交代作用的结果^[22-27]。

中生代华南完成了板块拼合,进入陆内造山阶段已被多数人接受,湘东北临湘地区的煌斑岩形成的构造环境应该为大陆内部环境。临湘地区位于中下扬子地块与江南地块的接合部位,早白垩世以来,该区岩石圈开始由造山向伸展转型,随造山作用衰减,岩石圈进一步减薄,陆内拉张裂隙加剧,断陷成盆,幔质上涌,红层盆地及其周边往往有玄武质岩浆喷溢^[28],本区的煌斑岩可能是这期基性岩浆活动的产物,可以初步认为煌斑岩形成于陆内拉张减薄环境。

5 结 论

(1) 临湘地区的煌斑岩形成于早白垩世,全岩 Ar-Ar 法年龄为(119.5±2.2) Ma。

(2) 经岩石地球化学研究表明,煌斑岩属碱性系列、钾质—超钾质煌斑岩;岩石富集大离子亲石元素(LILE)和高场强元素(HFSE);稀土元素分配模式为相似的右倾轻稀土富集型;具有较小的 TDM II 值(1.5Ga)和较低的 $\varepsilon \text{Nd}(t)$ (-7.3),表明本区煌斑岩来源于异常(交代富集)地幔。

(3) 煌斑岩形成于后造山陆内拉张减薄的构造环境,表明湘东北地区在早白垩世已经进入陆内伸展阶段。

参考文献(References):

- [1] 李再会,邓江红,肖渊甫,等.攀西地区钾质煌斑岩岩石地球化学及源区构造环境分析[J].地质找矿论丛,2005,20(2):81-86.
Li Zaihui, Den Jianghong, Xiao Yuanfu, et al. Study on petro-geochemical characteristics of the potassic lamprophyres and the tectonic setting of magmatic source region in Panxi area [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20(2):81-86.
- [2] 倪师军.小秦岭基性岩脉与金矿成因关系新模式[M].成都:西南

交通大学出版社,1994:12-45.

- Ni Shijun. A New Model of Gold Mineralization with the Contribution of Meso-basic Dyke Rocks in Xiaoqinling [M]. Chengdu:Southwestern Communication University Press, 1994: 12-45(in Chinese with English abstract).
- [3] 孙丰月,石准立,冯本智.胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿[M].长春:吉林人民出版社,1995:12-65.
Sun Fengyue, Shi Zhunli, Feng Benzhi. Gold Geology and Mantle C-H-O Fluid Lithogenesis and Mineralization in Eastern Shandong Province [M]. Changchun:Jilin Peoples Publishing House, 1995: 12-65 (in Chinese with English abstract).
- [4] 黄智龙,刘丛强,朱成明,等.云南老王寨金矿区煌斑岩成因及其与金矿化的关系[M].北京:地质出版社,1999:30-112.
Huang Zhilong, Liu Congqiang, Zhu Chengming, et al. The Origin of Lamprophyres in the Laowangzhai Gold Field, Yunnan Province and Their Relations with Gold Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999:30-112 (in Chinese with English abstract).
- [5] 何文举.镇远金矿田煌斑岩特征及其与金矿成矿的关系 [J]. 云南地质,1993,12(2):148-158.
He Wenju. Characteristic of the lamprophyre and the relation with gold mineralization in Zengyuan gold mine field [J]. Yunnan Geology, 1993, 12(2):148-158(in Chinese with English abstract).
- [6] 季海章,赵懿英,卢冰,等.胶东地区煌斑岩与金矿关系初探 [J]. 地质与勘探,1992,28(2):15-18.
Ji Haizhang, Zhao Yiyang, Lu Bing, et al. On the relation of lamprophyre to gold ore in the Jiaodong area [J]. Geology and Prospecting, 1992, 28(2):15-18.
- [7] 路凤香,舒小辛,赵崇贺.有关煌斑岩分类的建议[J].地质科技情报,1991,10(增刊):55-62.
Lu Fengxiang, Shu Xiaoxin, Zhao Chonghe. The suggestion of lamprophyric classification [J]. Geological Science and Technology Information, 1991,10 (supp.):55-62 (in Chinese with English abstract).
- [8] 吴良士,胡雄伟.湖南锡矿山区云斜煌斑岩及其花岗岩包体的意义[J].地质地球化学,2000,28(2):51-55.
Wu Liangshi, Hu Xiongwei. Xikuangshan mica-plagioclase lamprophyre and its granite inclusions, Hunan Province [J]. Geology-Geochemistry, 2000,28(2):51-55(in Chinese with English abstract).
- [9] 梁新权,范蔚茗,王岳军.湖南中生代陆内构造变形的深部过程:煌斑岩地球化学示踪[J].地球学报,2003,24(6):603-610.
Liang Xinquan, Fan Weiming, Wang Yuejun. The deep process of the Mesozoic intracontinental tectonic deformation in Hunan: Geochemical tracer from the lamprophyres [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(6): 603-610(in Chinese with English abstract).
- [10] 贾大成,胡瑞忠,卢焱,等.湘东北蕉溪岭富钠煌斑岩地球化学特征[J].岩石学报,2000,18(4):459-467.
Jia Dacheng, Hu Ruizhong, Lu Yan, et al. Petrological and geochemical characteristics of sodium-rich lamprophyres from Jiaoxiling in northeast Hunan Province [J]. Acta Petrologica Sinica,

- 2002, 18(4):459-467 (in Chinese with English abstract).
- [11] 梁洪天. 一种可能的棕闪煌斑岩变异新种—棕闪钠煌岩[J]. 湖南地质, 1989, 8(3):29-32.
Liang Hongtian. A probable new variety of barkevikite lamprophyre: albite barkevikite lamprophyre [J]. Hunan Geology, 1989, 8(3):29-32 (in Chinese with English abstract).
- [12] 滕智猷, 王华. 湖南省宁远县毛梨坳云煌岩的新发现[J]. 湖南国土资源导刊, 2007, 4:16-19.
Teng Zhiyou, Wang Hua. New discovery about the lamprophyre in Maoli'ao, Ningyuan, Hunan [J]. Land & Resources Herald, 2007, 4:16-19(in Chinese).
- [13] 陈文, 刘新宇, 张思红. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):127-134.
Chen Wen, Liu Xingyu, Zhang Sihong. Continuous laser stepwise heating $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating technique[J]. Geological Review, 2002, 48 (Supp.):127-134 (in Chinese).
- [14] Chen Wen, Zhang Yan, Ji Qiang, et al. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain[J]. Science in China(Series B), 2002, 45(Supp.):20-27.
- [15] Le Base M J, Le Maitre R W, Streckeisen A et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. Journal of Petrology, 1986, 27:745-750.
- [16] Sun S S, McDonough W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implication for mantle composition and processes[J]. Geo. Soc. Spec. Bull., 1989, 42:313-345.
- [17] Rock N M S. The nature and origin of the lamprophyres: an overview. Geol. Soc. Spec. Publ. 1987, 30:191-226
- [18] 谢桂青, 彭建堂, 胡瑞忠, 等. 湖南锡矿山锑矿矿区煌斑岩的地球化学特征[J]. 岩石学报, 2001, 17(4):629-636.
Xie Guiqing, Peng Jiantang, Hu Ruizhong, et al. Geochemical characteristics of lamprophyres in the Xikuangshan antimony ore deposits, Hunan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4): 629-636(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘焕品, 张永龄, 胡文清. 湖南省锡矿山锑矿床的成因探讨[J]. 湖南地质, 1985, 4(1):28-39.
Liu Huanpin, Zhang Yongling, Hu Wenqing. On the origin of the stibnite deposit of Xikuangshan mine, Hunan [J]. Hunan Geology, 1985, 4(1):28-39.
- [20] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements : meteorite studies[J]. Dev Geochem, 1984, 2:63.
- [21] Miller C, Schuster R, Kiotzli U, et al. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constrasts for mantle source characteristics and petrogenesis[J]. Journal of Petrology, 1999, 40(9):1399-1424.
- [22] 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[J]. 地球化学, 1997, 26(2):14-31.
Li Xianhua, Hu Ruizhong, Rao Bing. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong [J]. Geochimica, 1997, 26(2):14-31(in Chinese with English abstract).
- [23] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊):7-14.
Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry characteristics of Mesozoic basalts in South Hunan Province [J]. Science in China(Ser.D), 1998, 28(Supp.):7-14.
- [24] 王岳军, 范蔚茗, 郭峰, 等. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 2001, 17(1):169-175.
Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, et al. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in southeast Hunan Province[J]. Acta Petralogica Sinica, 2001, 17(1): 169- 175 (in Chinese with English abstract).
- [25] 伍光英, 马铁球, 冯艳芳, 等. 南岭万洋山加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因[J]. 中国地质, 2008, 35(4):608-617.
Wu Guangying, Ma Tieqiu, Feng Yanfang, et al. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Caledonian Wanyangshan granite in the Nanling Mountains, South China [J]. Geology in China, 2008, 35(4):608-617(in Chinese with English abstract).
- [26] 马铁球, 邝军, 柏道远, 等. 南岭中段诸广山南体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析 [J]. 中国地质, 2006, 33(1):119-131.
Ma Tieqiu, Kuang Jun, Bai Daoyuan, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of the early Yanshanian South Zhuguangshan granite in the central segment of the Nanling Mountains [J]. Geology in China, 2006, 33(1):119-131 (in Chinese with English abstract).
- [27] 柏道远, 黄建中, 刘耀荣, 等. 湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J]. 中国地质, 2005, 32 (4):557-570.
Bai Daoyuan, Huang Jianzhong, Liu Yaorong, et al. Work of Mesozoic tectonic evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area [J]. Geology in China, 2005, 32(4): 557-570 (in Chinese with English abstract).
- [28] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3):528-543.
Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, et al. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in southeast China continental area [J]. Geology in China, 2009, 36 (3):528-543(in Chinese with English abstract).

$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating and geochemical characteristics of the potassic lamprophyre in Linxiang area, northeastern Hunan

MA Tie-qiu, CHEN Jun, GUO Le-qun, BAI Dao-yuan, HE Jiang-nan

(Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410011, Hunan, China)

Abstract: Isotopic age and geochemical characteristics of the potassic lamprophyre in Linxiang area of northeast Hunan were analyzed in this paper. Its whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age is $(119.5\pm 2.2)\text{Ma}$, indicating a product of Early Cretaceous. The lamprophyre belongs to the alkaline series and is of potassic-superpotassic nature, with rich large-ion lithophile elements (LILE) and high field-strength elements (HFSE), right oblique chondrite-normalized REE pattern, clear low TDM II value of 1.5Ga and low $\epsilon\text{Nd}(t)$ value of -7.3 . These characteristics suggest that the lamprophyre was derived from anomalous (metasomatic enriched) mantle, and was formed in a post-orogenic tectonic setting characterized by lithospheric extension and thinning.

Key words: potassic lamprophyre; $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age; geochemical characteristics; northeastern Hunan

About the first author: MA Tie-qiu, male, born in 1956, senior engineer, engages in regional geological survey; E-mail: matieqiu18@sina.com.