

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.03.004

引用格式:杜玉雕,魏国辉. 安徽庐枞盆地枞阳地区玄武质火山岩地球化学特征及其地质意义[J]. 华东地质, 2019, 40(3):188-198.

安徽庐枞盆地枞阳地区玄武质火山岩 地球化学特征及其地质意义

杜玉雕,魏国辉

(安徽省地质调查院,合肥 230001)

摘要: 庐枞盆地是长江中下游成矿带重要的矿集区之一,枞阳地区玄武质火山岩位于庐枞盆地中部。通过对枞阳地区玄武质火山岩进行岩石地球化学特征研究,探讨其源区性质及玄武质岩浆的演化过程。该区玄武质火山岩贫硅、富碱、低钛、低 $Mg^\#$ 值,属于钾玄质系列岩石;稀土元素总量较高,具有 LREE 富集的右倾型稀土元素配分模式,有较弱的负 Eu 异常;岩石富集 Rb、K、Sr 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Zr、Hf 等高场强元素, Nb、Ta 负异常。在岩石圈拉张作用下,枞阳地区富集岩石圈地幔发生部分熔融,形成的玄武质原始岩浆经历了地壳混染和分离结晶作用,沿区域深大断裂上侵,快速上升至地表,形成玄武质火山岩。

关键词: 庐枞盆地;地球化学;玄武质火山岩;源区特征;安徽枞阳

中图分类号: P597.3; P588.122

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2019)03-188-11

安徽庐枞盆地位于扬子地块北缘长江中下游断陷带,北临华北陆块,西接庐断裂带。该区岩浆-成矿作用活跃,广泛发育与火山岩-潜火山岩及侵入岩有关的铁、铜、铅锌、明矾石等矿床,是长江中下游成矿带重要的矿集区之一^[1-3],近年来更是实现了深部找矿突破。前人对该盆地的岩浆岩进行详细研究,在同位素年代学、岩石类型、成岩物质来源、成岩构造环境、岩浆岩成矿专属性等方面取得了重要成果^[4-13]。枞阳地区是脉状铜矿的主要矿产地^[14],也是庐枞盆地中生代火山岩的重要分布区之一,分布早白垩世砖桥组、双庙组和浮山组火山岩。柳峰山地区和青口坂地区分布的玄武质火山岩,已被作为天然石料和板材获得广泛应用。前人对庐枞盆地赋矿层位早白垩世龙门院组和砖桥组中酸性火山岩及侵入岩研究相对较多,而对枞阳地区玄武质火山岩研究相对较少,仅个别学者在枞阳柳峰山地区发现玄武玢岩^[15],分析了庐枞盆地玄武岩与流体的相互作用^[16],这在一定程度上制约了对庐枞盆地地质-地球化学特征、形成机制及构造演化的

进一步认识。

本文在前人研究工作的基础上,对枞阳地区玄武质火山岩进行岩石地球化学特征研究,探讨玄武质火山岩的源区性质及玄武质岩浆的演化过程,为进一步研究庐枞盆地岩浆作用、地幔性质与演化及深部动力学过程提供参考。

1 区域地质概况

庐枞盆地是一个呈 NE 向展布的中生代火山岩盆地,属扬子地层分区。自古生代以来,该区长期处于拗陷,接受了巨厚沉积,地层发育较全^[1]。寒武纪—奥陶纪碳酸盐岩及碎屑岩主要出露于庐枞火山盆地外围北部盛桥—东顾山地区,志留纪—中三叠世地层主要出露于盆地周边。盆地内部主要为早白垩世陆相火山岩,由老到新分别为龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组,呈半环形从盆地北部、东部和南部向盆地西部及中心依次分布,每一期火山喷发旋回均以爆发相开始,溢流相逐渐增多,以火山沉积相结束。

* 收稿日期:2018-11-01 修订日期:2019-02-22 责任编辑:谭桂丽

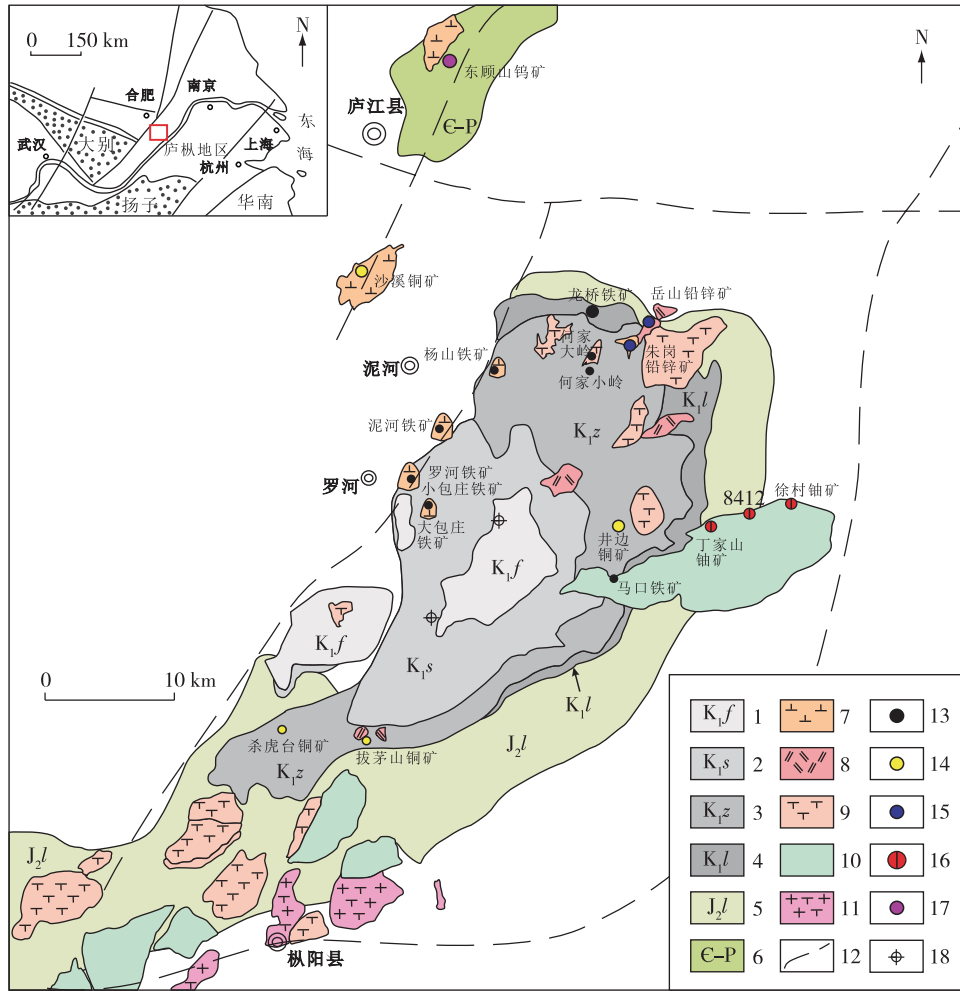
基金项目:中国地质调查局“安徽庐江矾山—枞阳周潭地区深部找矿靶区验证与评价(编号:12120114012701)”项目资助。

第一作者简介:杜玉雕,1985年生,男,工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作。

庐枞盆地以古生代拗陷为基底,以中生代火山断陷盆地和侵入岩为主体(图 1),形成了南西窄、北东宽的楔形构造格局。构造线以 NE-SW 向及 NW-SE 向为主,NNW-SSE 向为辅。盆地火山构造有破火山口、层状火山残余、穹窿状火山、侵出穹窿、岩颈、火山口、爆发岩筒、火山穹窿及裂隙喷发

带等^[4-5]。

庐枞盆地中生代岩浆侵入活动主要集中在早白垩世,盆地内部及周边地区分布大量侵入岩岩体,单个岩体出露面积为 0.1~50 km²,可分早、晚两期^[9]:早期主要为二长岩和闪长岩类;晚期主要为正长岩类和 A 型花岗岩类。



1. 早白垩世浮山组;2. 早白垩世双庙组;3. 早白垩世砖桥组;4. 早白垩世龙门院组;5. 中侏罗世罗岭组;6. 寒武系一二叠系;7. 闪长岩类;8. 二长岩类;9. 正长岩类;10. 具 A 型花岗岩特征的正长岩类;11. 正长花岗岩;12. 推测基底断裂;13. 铁矿床;14. 铜矿床;15. 铅锌矿床;16. 铀矿床;17. 钨矿床;18. 采样位置

图 1 庐枞地区区域地质矿产简图^[17]

Fig. 1 Sketch of regional geology and mineral resources in the Luzong Basin^[17]

2 火山岩地质特征

2.1 野外特征

枞阳地区玄武质火山岩主要产于早白垩世双庙组,少数产于早白垩世浮山组,出露面积约

2 km²,以喷溢相基性熔岩为主,玄武质火山岩、凝灰质粉砂岩、粗安岩和火山角砾岩共生。通过野外地质调查,在一些采石场(图 2(a)、(b)),可见凝灰质粉砂岩夹层或与粗安岩、火山角砾岩互层现象,玄武质火山岩节理发育,其中一组近似“背形”或“圆形”节理极为发育(图 2(c))。



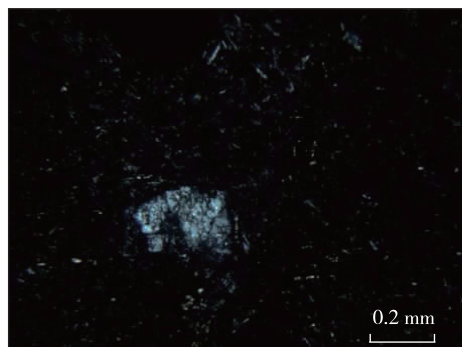
图 2 枞阳地区玄武质火山岩野外照片

Fig. 2 Field photographs of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

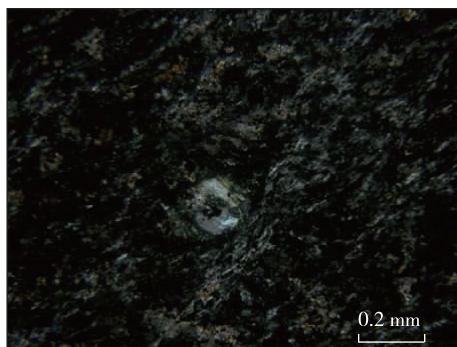
2.2 镜下特征

玄武质火山岩呈灰黑色,风化面呈灰绿色,间隐结构(图 3(a)),偶见少斑结构(图 3(b)),块状、气孔状或杏仁状构造。斑晶主要为单斜辉石和斜长石,含量约 10%,不同样品斑晶种类及含量不同;基质为间隐结构。斜长石斑晶呈板条状、条状,定向排列构成流动构造,普遍被微粒状绿帘石、黝帘石、

碳酸盐交代,显微镜下呈混浊状,局部有绢云母交代;基质斜长石呈半定向排列,蚀变较斑晶弱。单斜辉石呈柱状、柱粒状,显黄褐色、绿褐色,发育辉石式解理;斑晶辉石多为柱状、短柱状,基质辉石呈柱粒状,部分被绿泥石交代,构成假象,充填于斜长石粒间。副矿物见磷灰石和磁铁矿,其中磁铁矿分布于斜长石粒间。



(a) 间隐结构



(b) 少斑结构

图 3 枞阳地区玄武质火山岩显微镜下照片(正交偏光)

Fig. 3 Photomicrographs of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

3 岩石地球化学特征

3.1 测试方法

玄武质火山岩的主量元素和微量元素(含稀土

元素)分析在安徽省地质实验研究所实验测试中心完成,主量元素采用 XRF 法,分析精度优于 1%。XRF 法分析采用粉末样品压片制样,用 X 射线荧光光谱仪直接测量样品 SiO_2 等 10 项主量元素及 Cr、Rb、Sr、Ba、Zr 等微量元素,各元素采用经验系数法

与散射线内标法校正元素间的基体效应,仪器为日本理学 primus II。15 种稀土元素和 Ni、Cu、Zn、Ga、Nb、Mo、Cd、Cs、Hf、Ta、Pb、Bi、Th、U 采用 ICP-MS 分析,试样用氢氟酸、硝酸、硫酸分解,用王水溶解后,移至聚乙烯试管中,定容,摇匀。分取部分澄清溶液,用硝酸稀释至 1 000 倍(指试料总稀释系数为 1 000)后,在等离子体质谱仪上测定,仪器为赛默飞世尔 X-SERIES II。

3.2 主量元素特征

枞阳地区玄武质火山岩主量元素分析结果见

表 1。岩石 SiO_2 含量为 48.76%~53.35%, Al_2O_3 含量为 17.30%~18.16%,属于高铝玄武岩类; $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 含量为 7.23%~9.33%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 0.75~1.48, CaO 含量为 4.46%~7.07%, MgO 含量为 2.55%~5.03%,具有富碱、高钾、低钛、低磷特征, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值为 13.80~16.36, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值为 0.25~0.41(均 <1),较高的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 值和较低的 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值代表了低压条件,与全铁含量较低($<10\%$)因而源区不具有高压特征相一致。

表 1 枞阳地区玄武质火山岩主量元素含量及特征参数

Table 1 Major elements contents and characteristic parameters of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

样品编号	岩性	主量元素含量/%								
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
D1107	玄武安山岩	49.95	17.41	4.21	4.72	0.16	7.07	4.20	3.49	3.74
D1109	玄武岩	51.45	18.16	5.48	3.16	0.17	6.97	3.75	3.79	3.88
D1121	玄武安山岩	49.05	17.97	5.48	3.69	0.33	6.83	4.21	4.58	3.09
D1123	玄武安山岩	48.76	17.30	4.79	4.36	0.38	4.49	5.03	3.71	4.96
B05	玄武安山岩	52.46	17.94	3.50	3.31	0.29	4.77	2.77	5.22	4.11
B06	玄武安山岩	53.35	18.14	3.55	3.28	0.25	4.46	2.55	4.64	4.55

样品编号	岩性	主量元素含量/%				特征参数				
		P_2O_5	TiO_2	烧失量	总量	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$	$\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Mg}^\#$ 值
D1107	玄武安山岩	0.57	1.12	3.31	99.93	7.23	0.93	15.54	0.41	31.99
D1109	玄武岩	0.57	1.11	1.55	100.03	7.67	0.98	16.36	0.38	30.27
D1121	玄武安山岩	0.60	1.14	3.62	100.59	7.67	1.48	15.76	0.38	31.46
D1123	玄武安山岩	0.60	1.12	4.50	100.00	8.67	0.75	15.45	0.26	35.47
B05	玄武安山岩	0.73	1.30	3.12	99.52	9.33	1.27	13.80	0.27	28.91
B06	玄武安山岩	0.76	1.31	2.68	99.50	9.19	1.02	13.85	0.25	27.19

样品烧失量为 1.55%~4.50%,多数 $>2\%$,存在后期蚀变作用,与显微镜下观察一致。在 Zr/TiO_2 - SiO_2 图解(图 4(a))中,样品主要落在玄武岩

区,青口坂样品落在响岩与玄武岩过渡区。 SiO_2 - K_2O 图解(图 4(b))显示,样品属于钾玄岩系列。在岩石哈克图解(图略)上, SiO_2 与 TFeO 、 MgO 、 CaO

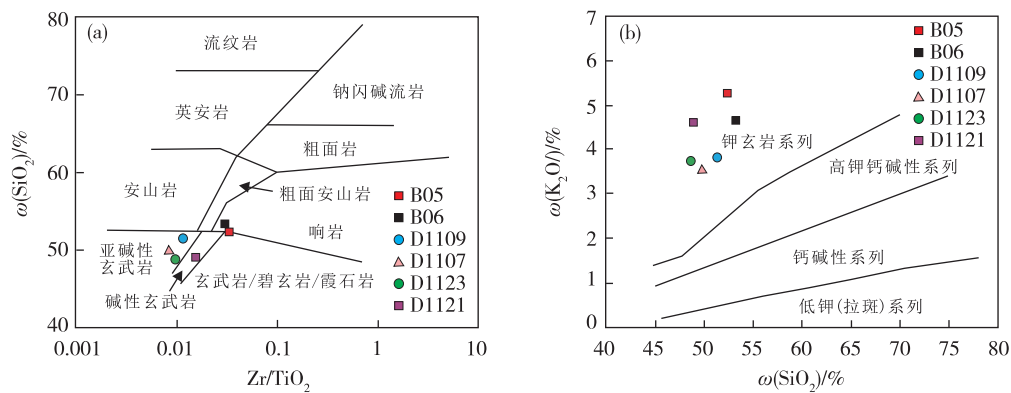


图 4 枞阳地区玄武质火山岩 Zr/TiO_2 - SiO_2 图解(a)及 SiO_2 - K_2O 图解(b)^[18-19]

Fig. 4 Diagrams of Zr/TiO_2 - SiO_2 (a) and SiO_2 - K_2O (b) for basaltic volcanic rocks in the Zongyang area^[18-19]

呈弱负相关,与 Al_2O_3 、 Na_2O 、 P_2O_5 呈弱正相关,与 TiO_2 无明显相关性,显示岩浆结晶分异演化的特点。

3.3 微量元素特征

枞阳地区玄武质火山岩微量元素分析结果见表 2。相容元素 Cr 含量为 $(10.2 \sim 16.3) \times 10^{-6}$, Ni 含量为 $(6.49 \sim 17.90) \times 10^{-6}$, Co 含量为 $(16.49 \sim 30.80) \times 10^{-6}$, V 含量为 $(160 \sim 244) \times 10^{-6}$; Ni、Cr

含量远低于原生玄武岩浆(Ni 含量为 $(300 \sim 400) \times 10^{-6}$, Cr 含量为 $(300 \sim 500) \times 10^{-6}$)^[20]。Rb 含量为 $(118 \sim 168) \times 10^{-6}$, Ba 含量为 $(840 \sim 6\,984) \times 10^{-6}$, Zr/Nb 值为 12.85~17.56,平均值为 15.73; Th/La 值为 0.14~0.24,平均值为 0.17; La/Ta 值为 41.88~202,平均值为 100; Ta/Hf 值为 0.10~0.19,平均值为 0.14; Nb/Zr 值为 0.06~0.08,说明岩浆演化程度较低。

表 2 枞阳地区玄武质火山岩微量元素分析结果及特征参数

Table 2 Trace elements results and characteristic parameters of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

样品编号	岩性	微量元素含量/10 ⁻⁶														
		Zr	Nb	Hf	Ta	Ba	Cr	Sr	V	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Rb	Cs
D1107	玄武安山岩	92.5	5.99	2.59	0.26	965	16.3	1 373	244	30.80	17.90	286.0	12.5	112	118	12.88
D1109	玄武岩	125.0	8.79	3.34	0.47	2 771	12.5	1 274	212	27.30	15.50	147.0	34.1	115	151	2.26
D1121	玄武安山岩	173.0	9.83	4.47	0.53	938	13.4	1 165	220	28.00	17.70	23.0	39.8	286	142	3.88
D1123	玄武安山岩	107.0	8.29	2.95	0.55	6 984	14.5	1 550	225	29.40	16.70	79.7	43.0	498	168	20.23
B05	玄武安山岩	418.0	24.05	10.32	1.54	840	10.2	1 093	160	17.34	6.49	44.0	36.1	225	156	135.90
B06	玄武安山岩	383.0	22.64	10.05	1.35	897	10.8	1 112	166	16.49	7.19	43.7	92.9	284	143	74.2

样品编号	岩性	微量元素含量/10 ⁻⁶				特征参数											
		U	Th	Pt	Au	Rb/Sr	Zr/Nb	Ta/U	Nb/U	Zr/Hf	Nb/Ta	La/Nb	Ce/Nb	Th/Yb	Th/La	Th/Ta	
D1107	玄武安山岩	2.12	7.25	0.01	<0.1	0.09	15.44	0.12	2.82	35.67	23.04	8.76	16.15	3.07	0.14	27.88	
D1109	玄武岩	3.50	12.23	0.01	<0.1	0.12	14.24	0.13	2.51	37.53	18.70	5.81	11.30	4.78	0.24	26.02	
D1121	玄武安山岩	3.62	11.75	0.01	<0.1	0.12	17.56	0.15	2.72	38.65	18.55	6.48	11.50	4.63	0.18	22.17	
D1123	玄武安山岩	2.51	8.92	0.01	<0.1	0.11	12.85	0.22	3.30	36.08	15.07	5.50	11.60	3.54	0.20	16.22	
B05	玄武安山岩	3.97	9.77	0.00	<0.1	0.14	17.38	0.39	6.06	40.52	15.62	2.68	5.61	3.96	0.15	6.34	
B06	玄武安山岩	2.63	8.78	0.00	<0.1	0.13	16.92	0.51	8.62	38.12	16.77	2.78	5.84	3.63	0.14	6.50	

在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 5)中,玄武质火山岩样品明显富集 Ba、K,个别样品 Ba 呈明显正异常,Th 呈负异常,Sr 总体呈正异常,总体富集大离子亲石元素。青口坂水库样品(B05、B06)无 Zr、Hf 负异常,但 Nb、Ta 略有亏损。其余样品 Nb、Ta、Zr、Hf 呈负异常,Y 无明显变化,总体相对亏损高场强元素。

3.4 稀土元素特征

枞阳地区玄武质火山岩稀土元素分析结果见表 3, LREE 含量为 $(206.32 \sim 285.38) \times 10^{-6}$, HREE 含量为 $(19.17 \sim 23.48) \times 10^{-6}$, ΣREE 为 $(226.65 \sim 308.48) \times 10^{-6}$, 稀土元素总量略高; LREE/HREE 值为 10.15~12.35, LREE 富集, HREE 亏损。 La_N/Yb_N 值为 12.99~18.77。在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 6)中,重稀土元素(HREE)相对平坦,轻、重稀土元素呈右倾型

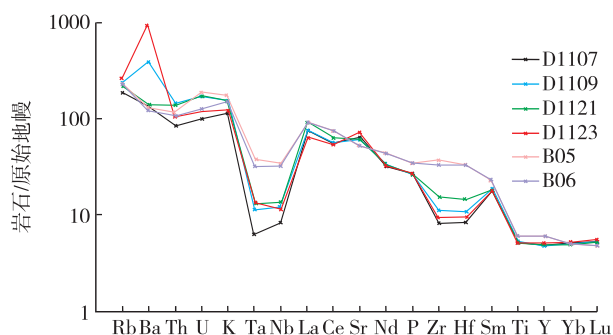


图 5 枞阳地区玄武质火山岩原始地幔
标准化微量元素蛛网图

Fig. 5 Primitive mantle-normalized trace elements patterns
of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area^[21]

分布模式。 Ca^{2+} 与 Eu^{2+} 的离子半径接近,地球化学行为相似,易发生类质同象替换,由于斜长石 Ca 含量高, Eu 可置换斜长石晶格中的 Ca,使斜长石含相

表 3 枞阳地区玄武质火山岩稀土元素分析结果及特征参数

Table 3 Rare earth elements results and characteristic parameters of the basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

样品编号	岩性	稀土元素含量/ 10^{-6}										
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
D1107	玄武安山岩	52.50	96.73	9.73	42.34	7.64	2.18	6.95	1.16	4.35	0.84	2.73
D1109	玄武岩	51.10	99.37	10.56	43.34	7.98	1.84	7.48	1.22	4.63	0.87	2.96
D1121	玄武安山岩	63.71	113.05	11.28	45.76	8.19	2.18	7.93	1.27	4.58	0.86	2.93
D1123	玄武安山岩	45.57	96.14	10.18	44.41	8.03	2.00	7.24	1.22	4.73	0.88	2.92
B05	玄武安山岩	64.49	134.96	14.67	58.51	10.12	2.62	9.25	1.34	5.44	0.96	2.94
B06	玄武安山岩	62.93	132.16	15.16	59.82	10.35	2.67	9.62	1.35	5.46	0.98	2.96

样品编号	岩性	稀土元素含量/ 10^{-6}							特征参数				
		Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	La _N /Yb _N	δEu	δCe	Ce/Yb
D1107	玄武安山岩	0.39	2.36	0.40	21.86	230.30	211.13	19.17	11.01	15.95	0.90	0.98	40.99
D1109	玄武岩	0.41	2.56	0.41	22.50	234.71	214.19	20.53	10.43	14.33	0.72	0.99	38.82
D1121	玄武安山岩	0.41	2.54	0.40	22.76	265.07	244.17	20.90	11.68	18.00	0.82	0.95	44.51
D1123	玄武安山岩	0.41	2.52	0.41	23.03	226.65	206.32	20.33	10.15	12.99	0.79	1.05	38.15
B05	玄武安山岩	0.34	2.47	0.37	27.80	308.48	285.38	23.10	12.35	18.77	0.81	1.03	54.64
B06	玄武安山岩	0.34	2.42	0.35	27.27	306.58	283.10	23.48	12.06	18.67	0.80	1.02	54.61

注: $\delta Eu = \frac{\Delta Eu}{\sqrt{\Delta Sm \times \Delta Gd}}$; $\delta Ce = \frac{\Delta Ce}{\sqrt{\Delta La \times \Delta Pr}}$

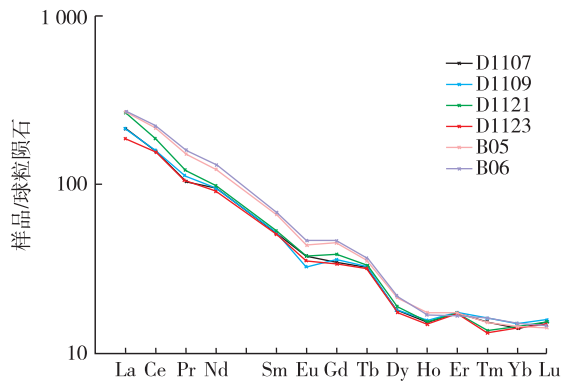


图 6 枞阳地区玄武质火山岩球粒陨石
标准化稀土元素配分曲线图^[21]

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of
basaltic volcanic rocks in the Zongyang area^[21]

对较高的 Eu,因此可以根据 Eu 的富集或亏损判断斜长石的结晶分离。玄武安山岩 δEu 为 0.72~0.90,具有较弱的负 Eu 异常,表明斜长石的分离结晶作用较弱。

4 讨 论

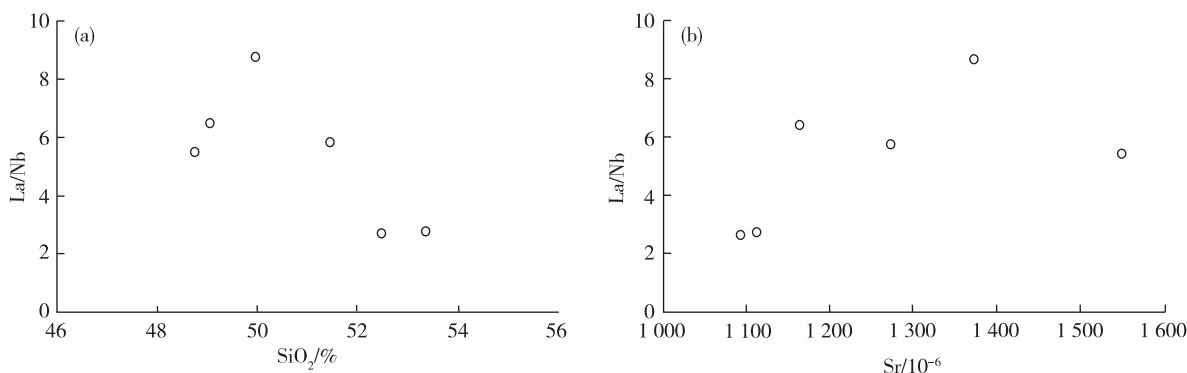
4.1 地壳混染

枞阳地区玄武质火山岩具有较低的 SiO_2 含量,

MgO 含量变化范围小,地壳混染可使岩浆 SiO_2 含量增高,MgO 含量降低; K_2O/TiO_2 值和 K_2O/P_2O_5 值变化较小。 La/Nb 值为 2.68~8.76,高于初始地幔 La/Nb 值(0.98~1),低于典型陆壳 La/Nb 值(>12); La/Nb 与 SiO_2 总体呈负相关(图 7(a)), La/Nb 与 Sr 总体呈正相关(图 7(b))。它们的 Rb/Sr 值为 0.09~0.14,均小于大陆地壳 Rb/Sr 值(0.24);Zr/Hf 值(35.67~40.52)接近原始地幔 Rb/Sr 值(36.27),高于大陆地壳 Rb/Sr 值(11),说明原始岩浆在上升过程中受到一定程度的地壳物质混染。

研究表明,玄武岩 Nb、Ta 亏损暗示存在 3 种过程^[22]:(1)源区残留富集 Nb、Ta 矿物,如金红石、榍石和钛铁矿等;(2)经历古板块俯冲改造的岩石圈地幔参与了岩浆的形成;(3)地壳混染作用。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 5)上,火山岩样品的 Nb、Ta 呈弱负异常,说明岩浆可能受到地壳物质混染。此外,微量元素 Th 和 Ta 均属强不相容元素,对地壳混染较敏感,地壳混染将导致 Th/Ta 值升高^[23]。原始地幔 Th/Ta 值约为 2.3,平均上地壳 Th/Ta 值一般 >10 。枞阳地区玄武质火山岩的 Th/Ta 值为 6.34~27.88,平均值为 17.52,进一步说明枞阳地区玄武质火山岩在岩浆喷发过程中受到了一定的地壳物质混染。

不同元素在不同矿物中具有不同的相容性,随

图7 枞阳地区玄武质火山岩 SiO_2 -La/Nb 图解(a)和 Sr-La/Nb 图解(b)Fig. 7 Diagrams of SiO_2 -La/Nb(a) and Sr-La/Nb (b) for basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

着结晶作用的进行,岩浆将逐渐亏损早期结晶相中的相容元素,并逐渐富集早期结晶相中的不相容元素,即与结晶过程相伴,岩浆中的元素丰度会随之变化,但分配系数相同或相近的元素比值不受分离结晶作用的影响^[24]。因此,根据总分配系数相同或相近、对同化混染作用敏感的元素比值(Th/Nb、Ce/Nb、Th/Zr、Ta/Yb、Th/Yb、Zr/Yb、La/Nb、La/Yb、Nb/Ta、Ce/Pb)间的协变关系,可检验岩浆是否存在同化混染作用,并判断同化混染程度^[24]。研究区玄武质火山岩 Th/Nb-Ce/Nb、Th/Zr-La/Yb、

Ta/Yb-Th/Yb、Zr/Yb-La/Nb、Ce/Pb-La/Yb 图解具有大致水平的线性关系,无明显的正相关性,而 La/Yb 与 Nb/Ta 呈一定的正相关(图 8),说明枞阳地区玄武质火山岩存在同化混染作用,但混染不明显。玄武质火山岩样品的 Nb/U 值为 2.51~8.62, Ta/U 值为 0.12~0.51, Ce/Pb 值为 1.42~7.74, 低于全球大洋中脊玄武岩和板内洋岛玄武岩的相对均一值(Nb/U 为 47 ± 10 , Ta/U 为 2.7, Ce/Pb 为 25 ± 5)^[24],说明玄武质火山岩受到地壳物质的混染,但混染程度较低。

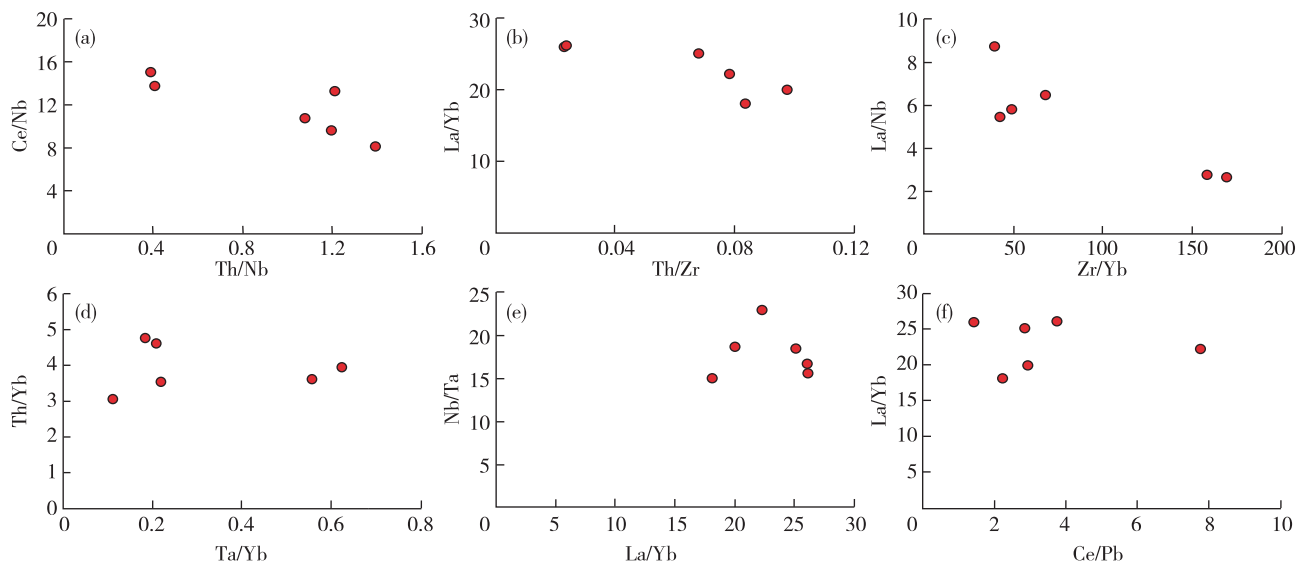


图8 枞阳地区玄武质火山岩同化混染判别图

Fig. 8 Geochemical discriminant diagrams of assimilated contamination of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

4.2 分离结晶

枞阳地区玄武质火山岩 MgO 、 $\text{Mg}^\#$ 值、Cr、Ni 均低于原生玄武岩浆参考值^[24],表明玄武质岩浆经

历一定程度的分异结晶作用。在 $\text{CaO}-\delta\text{Eu}$ (图 9(a))、 $\text{Al}_2\text{O}_3-\delta\text{Eu}$ (图 9(b))和 $\text{Sr}-\delta\text{Eu}$ 图(图 9(c))上,该区玄武质火山岩 δEu 与 CaO、Sr 呈一定正相

关, δEu 与 Al_2O_3 相关趋势不明显, 说明存在微弱的斜长石分离结晶作用, 与岩相学特征一致。单斜辉石分离结晶作用使样品 MgO 含量较低^[24], 在存在斜长石的条件下, 若存在单斜辉石的分离结晶作

用, 则 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 随 $\text{Mg}^\#$ 值增加而增加^[25]。该区玄武质火山岩 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 与 $\text{Mg}^\#$ 值呈正相关(图 9(d)), 说明单斜辉石为结晶相, 与单斜辉石是玄武岩类火山岩最常见的斑晶相吻合。

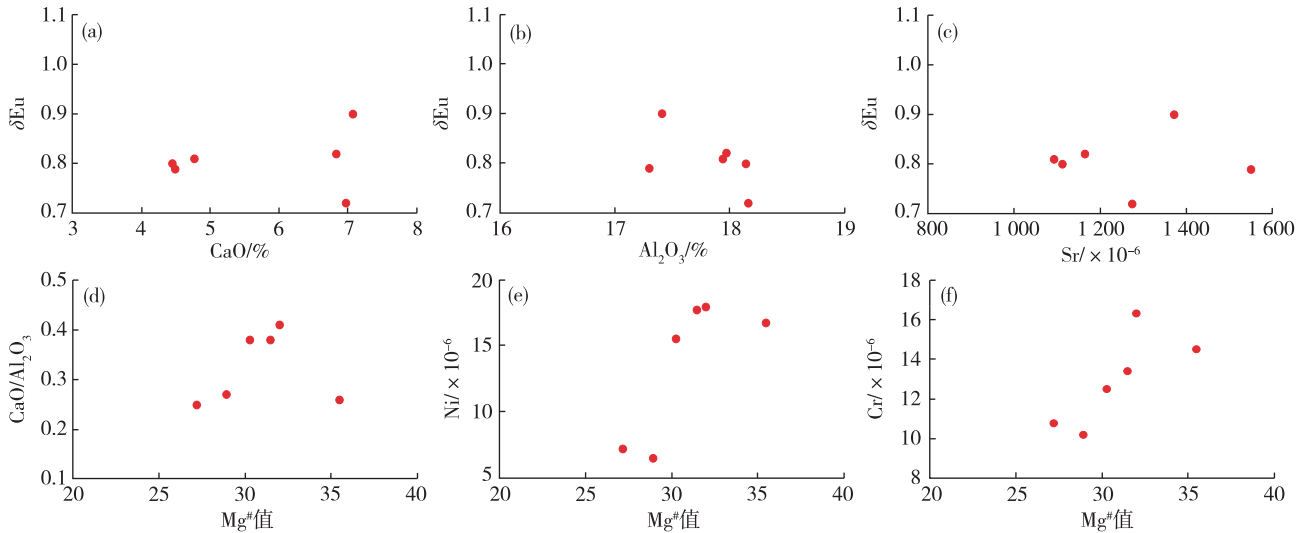


图 9 枞阳地区玄武质火山岩分离结晶作用判别图解

Fig. 9 Separation crystallization discriminant diagrams of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area

Ni 、 Cr 含量随 $\text{Mg}^\#$ 值减少而减少(图 9(e)、(f)), 表明成岩过程经历了橄榄石和单斜辉石等镁铁质矿物的分离结晶作用, 这与 MgO 含量较低相吻合。

综上所述, 枞阳地区玄武质岩浆在原生岩浆沿深断裂上升至地壳后, 在岩浆房中经历了橄榄石、单斜辉石、斜长石的分离结晶作用。

4.3 成岩过程

玄武岩 Zr 和 Y 均为不相容元素, 其比值易受部分熔融程度影响。由于 Zr 比 Y 更不相容, 因此

小比例部分熔融产生的熔体具有更高的 Zr/Y 值^[26]。该区玄武质火山岩 Zr/Y 值为 4.23 ~ 15.04, 说明岩浆形成于较小比例的部分熔融; 在 Rb/Zr - Rb/Nb 图解(图 10(a))中, 投影点呈倾斜直线型平衡部分熔融演化趋势^[27]。枞阳地区玄武质火山岩 TiO_2 含量为 1.11% ~ 1.31%, 一般软流圈岩浆的 TiO_2 含量约 1.27%^[28], 而这些火山岩的 La/Nb 值均 >1.5 , La/Ta 值 >22 , 表明它们可能来自岩石圈地幔, 而不是软流圈地幔^[29]。

杨荣勇等^[30]通过对 Sr 、 Nd 同位素的研究, 认为庐枞盆地巴家滩地区岩浆的物质来源于富集型地

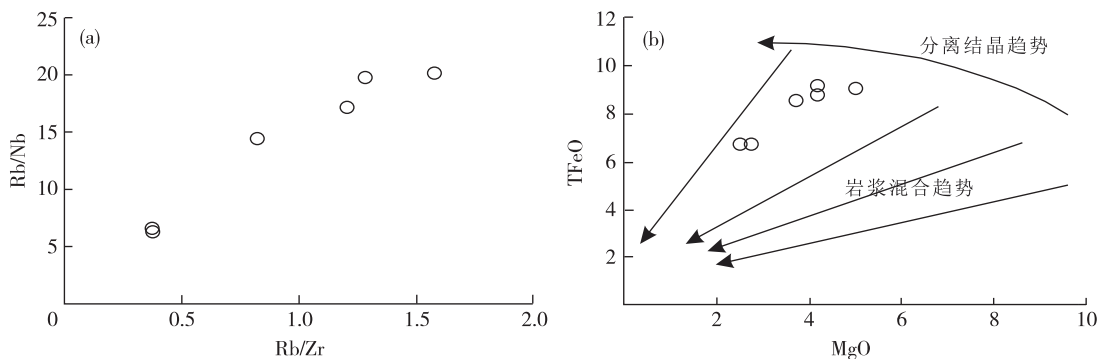


图 10 枞阳地区玄武质火山岩 Rb/Zr - Rb/Nb 图解(a)和 MgO - TFeO 图解(b)^[27,36]

Fig. 10 Diagrams of Rb/Zr - Rb/Nb (a) and MgO - TFeO for basaltic volcanic rocks in the Zongyang area^[27,36]

幔,地壳物质参与了不同程度的混染作用。刘洪等^[31]认为盆地内火山岩的岩浆源区应为受俯冲板片析出流体交代作用所形成的富集型地幔(相当于EMI),岩石主要起源于富集型地幔的部分熔融,在岩浆上升过程中未受地壳物质强烈的混染。同时,庐枞盆地火山-潜火山岩 Sr-Nd 同位素特征也验证了岩浆源区属富集型地幔^[32]。在反映岩浆演化方式的 MgO-TFeO 图解(图 10(b))中,岩浆混合趋势明显,可能是古太平洋板块向欧亚板块俯冲^[33],俯冲作用将俯冲组分带入岩石圈地幔,发生交代作用使地幔富集^[34-35]。

印支期,扬子板块向华北板块拼贴,古太平洋板

块向欧亚板块汇聚,加剧了华北岩石圈大规模深源岩浆作用,洋壳脱水产生的流体可能对上覆岩石圈地幔产生交代作用。早白垩世,庐枞地区进入应力转换期,构造应力由挤压向拉张过渡^[37],软流圈地幔沿岩石圈薄弱带上涌,加厚的华北岩石圈发生大规模拆沉。随着拆沉规模的扩大和拆沉深度的变浅,岩石圈或大陆下地壳沉入下伏软流圈地幔中,拆沉的大陆地壳部分熔融形成熔体,熔体快速上升,交代上覆大陆岩石圈地幔,形成富集岩石圈地幔。随后,在岩石圈拉张作用下,区域富集岩石圈地幔发生部分熔融形成的玄武质岩浆,沿着区域深大断裂上侵,快速上升喷发至地表,形成玄武质火山岩(图 11)。

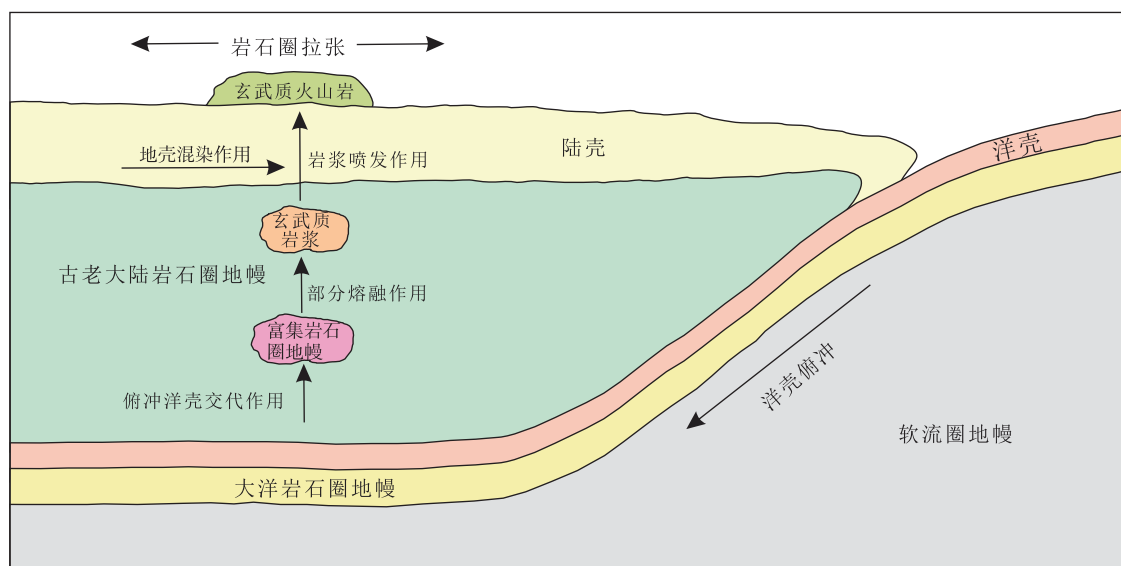


图 11 枞阳地区玄武质火山岩形成示意图^[38]

Fig. 11 Schematic diagram showing formation of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area^[38]

5 结论

(1)枞阳地区玄武质火山岩贫硅、富碱、高铝、低钛、低 Mg 值,属于钾玄岩系列。

(2)枞阳地区玄武质火山岩强烈富集轻稀土元素,轻、重稀土元素强烈分馏,具有较弱的负 Eu 异常,大离子亲石元素相对富集,高场强元素相对亏损。

(3)古太平洋板块向欧亚板块俯冲,俯冲作用将俯冲组分带入岩石圈地幔,发生交代作用使地幔富集。早白垩世庐枞地区在岩石圈拉张作用下,区域富集岩石圈地幔发生部分熔融形成的玄武质岩浆,沿区域深大断裂上侵,快速上升至地表,形成玄

武质火山岩。

参考文献

- [1] 常印佛,刘湘培,吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京:地质出版社,1991:1-359.
- [2] 任启江,刘孝善,徐兆文. 安徽庐枞中生代火山构造洼地及其成矿作用[M]. 北京:地质出版社,1991:1-145.
- [3] 毛建仁,苏郁香,陈三元. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M]. 北京:地质出版社,1990:1-191.
- [4] 覃永军. 安徽庐枞盆地燕山期成矿地球动力学背景及成矿模式[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2010.
- [5] 张乐骏. 安徽庐枞盆地成岩成矿作用研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2011.

- [6] 张荣华,张雪彤,胡书敏,等. 庐枞火山盆地深部岩石与成矿过程[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2665-2680.
- [7] 袁峰,周涛发,范裕,等. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1691-1702.
- [8] 周涛发,范裕,袁峰,等. 长江中下游成矿带火山岩盆地的成岩成矿作用[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 712-730.
- [9] 周涛发,范裕,袁峰,等. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2694-2714.
- [10] 周涛发,范裕,袁峰. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1665-1678.
- [11] 张舒,吴明安,汪晶,等. 安徽庐枞盆地与正长岩有关的成矿作用[J]. 地质学报, 2014, 88(4): 519-531.
- [12] 杨世学,张靖怡,张赞赞,等. 安徽庐江泥河铁矿床赋矿闪长玢岩地球化学特征研究[J]. 华东地质, 2017, 38(4): 241-249.
- [13] 李玉松,蔡晓兵,汪晶,等. 安徽庐枞盆地黄寅冲铅锌矿床闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 华东地质, 2016, 37(1): 19-27.
- [14] 魏国辉,杜玉雕,赵文广,等. 安徽庐枞盆地井边地区脉状铜矿成矿流体特征与成矿过程研究[J]. 华东地质, 2018, 39(2): 116-125.
- [15] 杨友进,鲍章平. 浅谈庐枞火山岩盆地中柳峰山地区的“玄武玢岩”[J]. 安徽地质, 2011, 21(2): 155-160.
- [16] 胡书敏,张荣华,张雪彤,等. 庐枞火山盆地玄武岩与流体相互作用[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2681-2693.
- [17] 张赞赞,张舒,吴明安,等. 庐枞盆地小包庄铁矿床地质特征及 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年代学研究[J]. 矿床地质, 2017, 36(4): 795-815.
- [18] 段其发,王建雄,白云山,等. 唐古拉山东段莫云地区二叠纪玄武岩地球化学特征及源区性质[J]. 岩石矿物学杂志, 2010, 29(2): 125-138.
- [19] 王良玉,廖群安,江云川,等. 内蒙古锡林浩特早白垩世晚期钾玄质火山岩成因及构造环境[J]. 地质通报, 2016, 35(6): 919-931.
- [20] 吴玉峰,杨富全,刘锋. 新疆阿舍勒铜锌矿区潜玄武安山岩的岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2016, 35(1): 65-80.
- [21] 韩吟文,马振东,张宏飞,等. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2007: 1-370.
- [22] 陈生生,樊祺诚,赵勇伟,等. 内蒙古贝力克玄武岩地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(8): 2695-2708.
- [23] 廖宝丽,张招崇,寇彩化,等. 贵州水城二叠纪钠质粗面玄武岩的地球化学特征及其源区[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1238-1250.
- [24] 姜寒冰,姜常义,钱壮志,等. 云南峨眉山高钛和低钛玄武岩的岩石成因[J]. 岩石学报, 2009, 25(5): 1117-1134.
- [25] 吕劲松,肖渊甫,邓江红,等. 滇西北峨眉山玄武岩与冈达组下段玄武岩对比研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(1): 73-89.
- [26] 王妍. 中国东部苏北—合肥新生代大陆玄武岩地球化学研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.
- [27] 缪柏虎,徐兆文,王浩,等. 山东邹平青山下亚组玄武安山岩源区性质及成因[J]. 地质学报, 2015, 89(1): 37-48.
- [28] 朱弟成,莫宣学,王立全,等. 新特提斯演化的热点与洋脊相互作用: 西藏南部晚侏罗世—早白垩世岩浆作用推论[J]. 岩石学报, 2008, 24(2): 225-237.
- [29] 谢智,李全忠,陈江峰,等. 庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 235-249.
- [30] 杨荣勇,任启江,徐兆文,等. 安徽庐枞地区巴家滩火山-侵入体的岩浆来源[J]. 地球化学, 1993(2): 197-206.
- [31] 刘洪,邱检生,罗清华,等. 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约[J]. 地球化学, 2002, 31(2): 129-140.
- [32] 薛怀民,董树文,马芳. 长江中下游庐枞盆地火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄: 对扬子克拉通东部晚中生代岩石圈减薄机制的约束[J]. 地质学报, 2012, 86(10): 1569-1583.
- [33] 张舒,周涛发,吴明安,等. 长江中下游成矿带庐枞盆地科学深钻中侵入岩年代学及地球化学研究[J]. 地质学报, 2017, 91(7): 1483-1505.
- [34] 余星,杨树锋,陈汉林,等. 塔里木盆地夏河南层状玄武岩的岩石地球化学特征及地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(6): 1729-1740.
- [35] 张元元,郭召杰,刘畅,等. 新疆阿尔泰东部新生代玄武岩的地球化学特征与地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1730-1738.
- [36] ZORPI M J, COULON C, ORSINI J B. Hybridization between felsic and mafic magmas in calc-alkaline granitoids—a case study in northern Sardinia, Italy [J]. Chemical Geology, 1991, 92(1/3): 45-86.
- [37] 蒋少涌,李亮,朱碧,等. 江西武山铜矿区花岗闪长斑岩的地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素组成及成因探讨[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1679-1690.
- [38] 张君君. 中国东部皖苏新生代玄武岩元素和同位素地球化学研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.

Geochemical characteristics and geological significance of the basaltic volcanic rocks in the Zongyang area of Luzong Basin, Anhui Province

DU Yu-diao, WEI Guo-hui

(*Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China*)

Abstract: Basaltic volcanic rocks in the Zongyang area occur in the middle part of the the Luzong (Lujiang-Zongyang) Basin, which is one of the important ore cluster regions in the Middle-Lower Yangtze metallogenic belt. Lithogeochemical study of basaltic volcanic rocks in the Zongyang area has been carried out in order to understand their sources and petrogenetic process. The basaltic volcanic rocks are low in Si, Ti, and $Mg^\#$, and high in alkali, suggesting that the rocks belong to shoshonitic rock series. The rocks are characterized by high total rare-earth elements (REE) contents, right-inclined chondrite-normalized REE patterns, weak negative Eu anomalies; high LILEs (such as Rb, K and Sr) relatively to HFSEs (such as Nb, Ta, Zr and Hf), as well as the distinct negative Nb and Ta anomalies. This study suggests that the original basaltic magma was formed by partial melting of enriched lithospheric mantle at an extensional setting and experienced weak fractional crystallization and crust contamination, and ascended along deep fault and erupted to the surface rapidly and formed the basaltic volcanic rocks.

Key words: Luzong Basin; geochemistry; basaltic volcanic rocks; characteristics of the mantle sources; Zongyang of Anhui Province