

湘东南汝城盆地火山岩的元素地球化学 及源区性质讨论

贾大成^{1,2}, 胡瑞忠², 卢焱¹

(1. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130062; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 湘东南汝城盆地火山岩系由辉绿岩、玄武岩和玄武质火山碎屑岩组成, 属于低钾拉斑玄武岩系。玄武岩全岩 K-Ar 年龄为 (128.4 ± 4.2) Ma, 辉绿岩全岩 K-Ar 年龄为 (112.1 ± 3.2) Ma。元素地球化学分析表明火山岩系具有同一岩浆源区, 其形成以部分熔融方式为主。岩石微量元素出现大离子亲石元素 Rb、Ba、Th、U 的富集和高场强元素 Ta、Nb、Ti 的亏损。强不相容元素含量的比值表明岩浆源区明显偏离原始地幔组分, 具有富集型地幔的特征。岩浆源区主要受到地壳物质混染以及来自消减残留板片析出流体的交代改造作用。

关键词: 火山岩系; 元素地球化学; 岩浆源区; 汝城盆地

中图分类号: P581; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-8527(2003)02-0131-06

0 引言

汝城盆地位于湘、赣交界处, 属南岭燕山期构造一岩浆带的北部。南岭地区燕山期地壳演化的特点是从晚侏罗世一早白垩世区域构造应力场发生了从挤压到拉张的演变^[1], 并形成一系列北东向伸展的断裂和断陷拉张盆地以及非造山 A 型花岗岩的侵入^[2]。汝城拉张盆地中发育一套基性一中基性火山岩和顺层侵入的辉绿岩脉, 它们的产出不仅与拉张作用有关, 也是深部岩浆作用的表现, 对其分析可以反映深部岩浆作用与岩石圈拉张的关系。本文着重分析汝城拉张盆地内基性一中基性火山岩的元素地球化学特性, 探讨该火山岩系的岩石地球化学特征和岩浆源区的性质及其成因意义。

1 区域地质背景及成岩时代

汝城盆地位于湘—桂东部中生代北东向构造岩浆带中部的湘南隆起与诸广山花岗岩体之间, 为北东向长 19 km、宽 50~800 m 的狭长的断陷盆地, 形成的火山-陆内碎屑岩建造覆盖在楠木垄—崩江

头下侏罗统茅仙岭组含煤碎屑岩系之上。基性一中基性火山岩系由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、顺层侵入的辉绿岩和玄武质火山碎屑岩组成, 由下至上为顺层侵入的辉绿岩、层状产出的玄武岩和韵律不明显的玄武质火山碎屑岩。其中玄武岩较集中出露于和尚岭地区, 具斑状结构、气孔及杏仁状构造。斑晶为柱状、板柱状斜长石, 约占 30%; 基质具辉绿结构、交织结构, 主要由斜长石 (50%)、辉石 (35%) 和橄榄石 (5%) 组成。

汝城盆地火山岩系覆盖在下侏罗统茅仙岭组含煤碎屑岩系之上, 故将其归属于中侏罗世。分别选取新鲜的辉绿岩和玄武岩进行了 K-Ar 稀释法测年, 获得玄武岩全岩 K-Ar 年龄为 (128.4 ± 4.2) Ma, 辉绿岩全岩 K-Ar 年龄为 (112.1 ± 3.2) Ma, 反映岩浆活动主要发生在早白垩世, 该盆地的形成时代不仅局限为早、中侏罗世, 可能延续到早白垩世, 且早白垩世可能是该盆地拉张最强烈的时期。

2 岩石地球化学特征

汝城盆地火山岩系的 $w(\text{SiO}_2)$ 为 46.44% ~

收稿日期: 2002-12-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-102, KZCX2-209); 中国科学院边缘海地质与古环境开放实验室基金项目 (BYH01A02); 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室基金项目 (2000)。

作者简介: 贾大成, 男, 副教授, 博士后, 1958 年出生, 地球化学专业, 主要从事岩石地球化学的研究工作。

表1 汝城盆地火山岩主元素分析结果 (w_B/%)

Table 1 Major element compositions for the volcanic rocks in the Rucheng basin (w_B/%)

样号	岩性	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	烧失量	K ₂ O + Na ₂ O	Na ₂ O /K ₂ O	σ	Mg [#]
RC-1	玄武岩	49.30	0.62	16.62	3.30	4.00	0.08	6.20	11.60	2.10	0.20	0.04	1.90	2.30	10.50	0.84	60.8
RC-2	安山岩	57.80	0.82	12.46	3.55	4.05	0.14	5.50	6.60	2.20	0.70	0.10	4.83	2.90	3.14	0.57	57.6
RC-3	安山岩	57.69	0.50	13.56	4.00	4.90	0.02	4.10	6.00	2.10	0.50	0.09	4.80	2.60	4.20	0.46	45.6
RC-4	玄武岩	50.51	0.57	13.34	3.50	3.70	0.08	4.80	5.30	2.60	0.70	0.10	5.60	3.30	3.71	0.75	56.5
RC-5	玄武岩	46.44	0.72	15.31	1.22	7.18	0.20	9.10	8.40	1.50	0.10	0.33	6.96	1.60	15.00	0.74	56.0
RCx(4)	玄武岩	49.62	1.63	15.87	4.21	7.23	0.14	6.93	9.30	2.26	0.35	0.14	2.58	2.61	6.46	1.03	49.1
RC12	辉绿岩	48.76	1.54	16.49	0.71	7.82	0	7.51	11.27	1.90	0.22	0.13	1.93	2.12	8.64	0.78	49.0
RC13	辉绿岩	50.15	1.62	17.37	1.20	8.44	0.15	6.92	10.70	1.86	0.38	0.13	2.12	2.24	4.89	0.70	45.0
RC14	辉绿岩	49.22	1.56	16.25	1.63	6.84	0.15	6.06	11.67	1.96	0.38	0.12	3.68	2.34	5.16	0.88	47.0
RC15	辉绿岩	50.37	1.26	17.02	1.92	7.54	0.22	6.09	9.85	1.86	0.66	0.10	2.62	2.52	2.82	0.86	44.7
RC8	火山碎屑岩	53.64	1.32	14.62	1.71	6.55	0.13	6.82	8.32	1.26	0.80	0.11	4.35	2.06	1.58	0.40	51.0
RCh(4)	火山碎屑岩	54.78	1.14	13.51	1.27	7.04	0.14	6.55	7.25	2.68	0.80	0.11	3.47	3.48	3.35	1.02	48.2

注：由中国科学院地球化学研究所分析室李荪蓉测试完成，分析方法为常规湿化学分析法。

57.80%，Mg[#]值为60.8~44.68，且与SiO₂含量呈负相关，表明其构成连续的岩石演化序列，属于基性—中基性火山岩系，但以基性岩为主。火山岩系的里特曼指数σ为0.40~1.03，均小于1.8（表1），属于拉斑玄武岩系列。在火山岩的AFM分类图上，较一致地表现为拉斑玄武岩系（图1）。在Winchester的w(Nb)/w(Y)-w(Zr)/w(TiO₂)基性火山岩分类图解中^[3]，亦显示以拉斑玄武岩系为主。岩石具有低钾（w(K₂O)=0.1%~0.8%）、高钠（w(Na₂O)=1.26%~2.88%）的特征，w(Na₂O)/w(K₂O)=1.58~15.0，平均为5.33，属于低钾拉斑玄武岩系。w(TiO₂)=0.5%~1.63%，

平均为1.15%，w(TiO₂)=0.50%~1.63%，平均为1.15%，与俯冲消减作用有关的高钾、低钛玄武质岩相比^[4]，K₂O含量明显偏低。

3 微量和稀土元素的地球化学特征

汝城盆地火山岩中稀土元素的含量差别不大，其∑w(REE)为75.71~103.9（表2，表3）。在球粒陨石标准化的稀土元素配分图上，为一致的右倾平滑配分曲线（图2），表明火山岩具有同一岩浆源区。轻、重稀土分馏较明显，(w(La)/w(Yb))_N=2.73~5.69。火山岩除一个样品外(δEu=0.88)，均不出现负铕异常(δEu=1.02~1.12)。在微量元素原始地幔标准化比值蛛网图上（图3），所研究的样品均显示大离子亲石元素

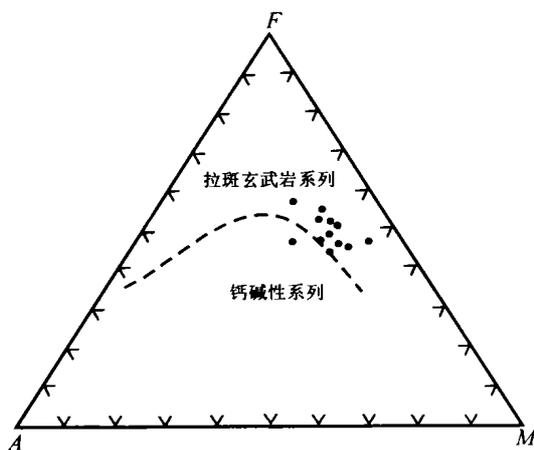


图1 汝城盆地火山岩 AFM 分类图
(原图据 MacDonald, 1986)

Fig.1 The AFM classification of the volcanic rocks in the Rucheng basin

A = w(Na₂O) + w(K₂O); M = w(MgO);
F = w(Fe₂O₃) × 0.9 + w(FeO)

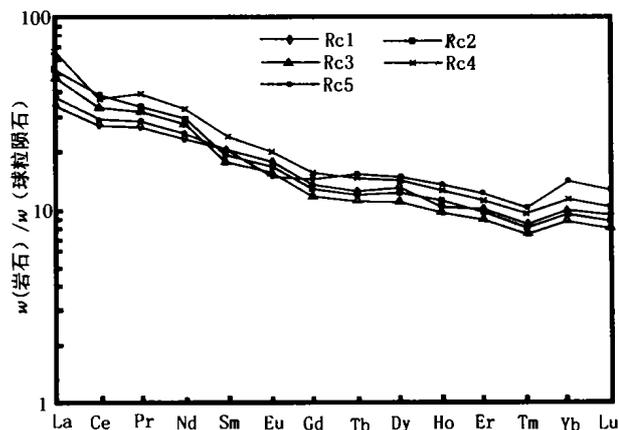


图2 汝城盆地火山岩稀土元素配分图

Fig.2 The REE distribution patterns of the volcanic rocks in the Rucheng basin

(样品号和岩性见表1)

表 2 汝城盆地火山岩稀土元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 2 Contents of rare earth element analyses of the volcanic rocks in the Rucheng basin ($w_B/10^{-6}$)

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	δEu	REE (La/Yb) _N	
RC-12	11.47	27.17	3.39	14.82	3.90	1.29	3.93	0.61	4.03	0.76	1.92	0.28	1.87	0.26	19.93	1.12	75.71	3.64
RC-2	16.28	35.38	3.97	17.37	4.03	1.25	4.10	0.63	3.85	0.77	2.12	0.27	1.91	0.28	19.43	1.05	92.26	5.06
RC-3	16.67	34.73	4.03	16.81	3.55	1.10	3.79	0.60	3.54	0.72	1.81	0.24	1.74	0.27	19.57	1.02	89.58	5.68
RC-4	21.02	35.17	4.85	20.11	4.91	1.46	4.82	0.78	4.68	0.93	2.37	0.31	2.19	0.32	32.09	1.03	103.90	5.69
RC-8	12.48	27.04	3.38	14.75	4.09	1.08	4.32	0.75	4.55	0.98	2.64	0.33	2.72	0.40	25.04	0.88	79.5	2.73

表 3 汝城盆地火山岩微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Contents of trace element analyses of the volcanic rocks in the Rucheng basin ($w_B/10^{-6}$)

样号	Th	U	Ta	Nb	Zr	Hf	Se	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cs	Sr	Rb	Ba
RC-12	2.29	0.40	0.53	8.28	99.36	2.93	34.54	253.76	455.68	41.62	88.49	35.18	69.19	1.110	363.05	9.31	241.04
RC-2	3.55	0.74	0.57	8.61	113.55	3.55	28.36	208.09	360.76	38.60	81.95	37.56	68.91	0.845	448.43	25.81	282.41
RC-3	3.73	0.83	0.51	7.78	109.76	3.32	25.29	181.01	302.68	33.53	68.62	31.74	71.16	0.528	282.76	17.97	185.67
RC-4	3.66	0.75	0.54	8.05	108.10	3.54	26.16	182.78	330.10	34.71	74.78	32.89	59.44	0.508	319.11	19.12	230.21
RC-8	3.13	0.41	0.39	6.79	104.23	3.09	35.81	192.8	440.91	52.92	307.79	78.64	74.29	0.56	204.78	1.71	105.11

注：由中国科学院地球化学研究所分析室漆亮分析完成，分析方法为 ICP-MS，精度高于 5%；岩性同表 1。

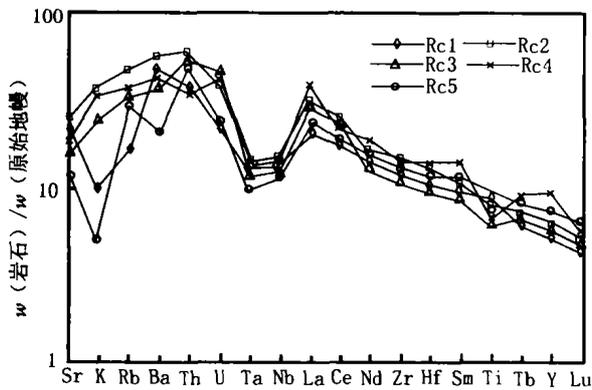


图 3 汝城盆地火山岩微量元素原始地幔蛛网图

Fig.3 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the volcanic rocks in the Rucheng basin (样品号和岩性见表 1)

(LILE) 的弱富集和 Ta、Nb、Ti 的亏损，类似于岛弧玄武岩的配分特征，但和典型的与俯冲消减带有关的高钾、低钛玄武岩的配分模式又存在一定差别，表现在 LILE (尤其是 Sr、K) 的富集不强烈，而 Rb、Ba、Th、U 相对富集，这与岩石地球化学特征相一致。Ta、Nb 的亏损暗示岩浆源区曾遭受地壳物质的混染^[5]或俯冲残留洋壳流体的交代^[6]。

4 岩浆源区性质的讨论

岩浆源区的地球化学性质是制约岩石成因和深部构造环境的主要因素之一。在缺少同位素分析条

件下，利用微量元素进行岩浆源区性质的示踪，应侧重强不相容元素的示踪分析作用。由于强不相容元素 (Rb、Ba、Th、Nb、Ta、La 等) 具有相似的全岩配分系数 D ，因此在地幔部分熔融和结晶分离过程中都不会导致这些元素之间发生强烈分离，所以这些元素之间的比值与同位素比值一样可以用来描述岩浆源区的地球化学性质^[7,8]。通过强不相容元素比值与不同地幔端元的对比 (表 4)，汝城盆地火山岩地幔源区基本相当于 EM1 和 EM2 的混合区，其中大部分元素比值更偏向大陆地壳组分，反映具有富集型地幔岩浆源区的地球化学性质，岩浆源区组分明显偏离原始地幔。

已有的研究表明，引起原始地幔成分发生变化主要有 3 种作用方式：(1) 深部地幔上升流体交代作用^[9]；(2) 地幔小比例部分熔融形成地幔成分变化^[10,11]；(3) 板块俯冲使富含碱质、轻稀土及不相容元素的大洋板块被带入地幔脱水形成深部地幔交代作用以及地壳或岩石圈物质的混入^[12,13]。由于汝城基性火山岩不具有 OIB 型微量元素的分布形式和亏损地幔源区的强不相容元素比值，因此可以排除前两种作用的可能，基性火山岩所表示出来的 Nb、Ta 值以及 Ti 亏损的“岛弧型”富集地幔的微量元素的分布形式也表明其可能与后一种作用有关。然而 Nb、Ta 亏损的地幔源区既可以是地壳混染造成的^[5]，也可以是遭受来自消减残留板片流体或熔体交代而形成的^[6]，抑或是两种作用兼而

表4 汝城盆地火山岩微量元素比值与不同地幔端元的对比

Table 4 Trace element ratios for mantle and crustal reservoirs compared with volcanic rocks in the Rucheng basin

样品	w(Zr)/w(Nb)	w(La)/w(Nb)	w(Ba)/w(Nb)	w(Ba)/w(Th)	w(Rb)/w(Nb)	w(K)/w(Nb)	w(Th)/w(Nb)	w(Th)/w(La)	w(Ba)/w(La)	w(Th)/w(U)
原始地幔	14.8	0.94	9.0	77	0.91	323	0.117	0.125	9.6	4.1
亏损地幔	30.0	1.07	4.3	60	0.36	296	0.070	0.070	4.0	
大陆地壳	16.2	2.20	54.0	124	4.70	1341	0.440	0.200	25.0	3.8
HIMU	2.7~5.5	0.66~0.77	4.9~6.5	39~85	0.30~0.43	66~187	0.078~0.101	0.107~0.133	6.8~8.7	3.5~3.8
EM1	5.3~11.5	0.86~1.19	11.4~17.8	103~154	0.88~1.17	213~432	0.105~0.122	0.107~0.128	13.2~16.9	4.50~4.86
EM2	4.5~7.3	0.89~1.09	7.3~11.0	67~84	0.59~0.85	248~378	0.111~0.157	0.122~0.163	8.3~11.3	
汝城盆地火山岩	12.0~15.35 (13.62)	1.38~2.90 (1.97)	15.49~47.56 (21.20)	33.57~79.53 (66.16)	1.12~9.38 (2.26)	147~1748 (542.2)	0.28~0.90 (0.32)	0.20~0.30 (0.21)	8.42~21.02 (13.78)	4.52~7.60 (5.50)

注:HIMU为高w(U)/wPb比值地幔端元;EM1、EM2为富集地幔端元1和端元2;括号内为平均值;地幔端元数据引自文献[26]。

有之,仍需进一步的元素地球化学判别。

Hofmann等^[14]对大洋玄武岩的研究发现,MORB和OIB的w(Nb)/w(U)比值较高(37±10)、且十分均一,而大陆地壳的w(Nb)/w(U)比值较低(3~7)^[15],因此可用以判别地壳混染程度。汝城盆地火山岩的w(Nb)/w(U)的平均比值为13.78,表明有壳源物质的混染。同样,岩石中较高的w(La)/w(Nb)值(平均为1.88),明显高于原始地幔的这一比值(0.94),而接近于大陆地壳的该比值(2.2)^[16],也说明有地壳物质的混染。Th和Ta均属于强不相容元素,两者的比值可以很好地反映源区的性质,原始地幔的w(Th)/w(Ta)比值为2.3^[17],上地壳的w(Th)/w(Ta)比值约为10^[18],因此这两种元素的相互关系反映了

地壳混染程度。在w(Th)-w(Ta)相关图中,汝城盆地基性火山岩沿着w(Th)/w(Ta)=6.7这条线分布(图4),明显高于受地壳混染微弱的峨眉山高钛玄武岩系演化趋势线的上限(w(Th)/w(Ta)=3.3)^[19],而与明显受到地壳混染的俄罗斯西伯利亚低钛玄武岩演化趋势线一致(w(Th)/w(Ta)=6.7)^[20],表明岩浆演化过程中存在地壳物质的混染。Nd和Zr、Ti、Y、P等元素的含量在陆壳和亏损地幔中有较大的差异,在利用Nd归一化的原始地幔标准化Zr、Ti、Y和P曲线构成近水平的负斜率发散型分布,曲线分布范围较大,亦表明岩浆源区成分的不均一性,其地幔类型可能属于受到地壳物质混染的富集型地幔(图5)。

利用强不相容元素比值间的约束来反映岩浆源区是否遭受来自消减板片流体的交代,原始地幔的w(Nb)/w(Ta)为17.5±2.0,而遭受来自消减残留板片流体交代的地幔,其Nb、Ta将发生明显的分异,w(Nb)/w(Ta)值降低,但w(Zr)/w(Hf)值则基本保持不变(36.27)^[21]。汝城盆地基性火

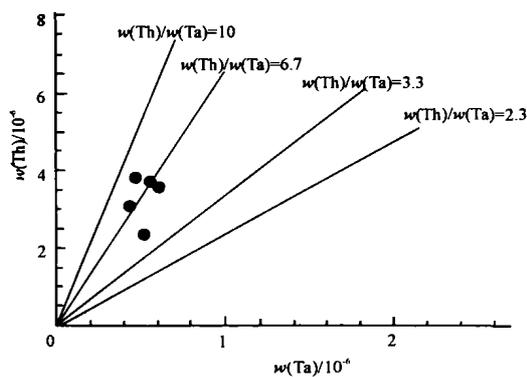


图4 汝城盆地火山岩w(Th)-w(Ta)相关图

Fig.4 The correlation between Th and Ta of the volcanic rocks in the Rucheng basin

w(Th)/w(Ta)=2.3为原始地幔演化线^[17];w(Th)/w(Ta)=10为地壳演化线^[18];w(Th)/w(Ta)=3.3为地壳混染弱的峨眉山高钛玄武岩演化线的上限^[19];w(Th)/w(Ta)=6.7为地壳混染强的西伯利亚低钛玄武岩的演化线^[20]

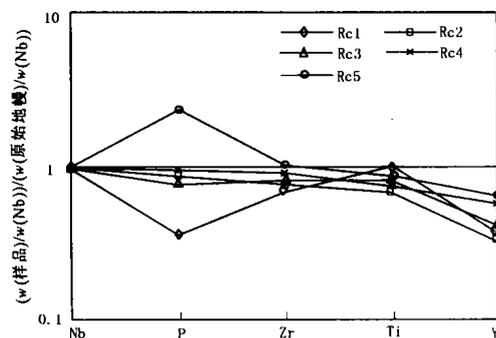


图5 汝城盆地火山岩Nb标准化蛛网图

Fig.5 Niobium-normalized spidergrams of the volcanic rocks in the Rucheng basin

山岩的 $w(\text{Nb})/w(\text{Ta})$ 值为 14.97~17.32, 平均为 15.64, 略低于原始地幔; $w(\text{Zr})/w(\text{Hf})$ 值为 30.57~33.92, 平均为 32.65, 接近原始地幔, 表明岩浆源区受到来自消减残留板片流体或熔体的交代作用。

通过原始地幔标准化的岩石的钾异常特征参数 $[K] = 2K_N / (Nb_N + La_N)$ 和铌异常特征参数 $[Nb] = 2Nb_N / (K_N + La_N)$ 也可以判断岩浆源区的流体交代作用和地壳混染作用, 如 $[K] > 1$, 说明岩浆源区发生了不相容元素的富集交代作用; $[Nb] < 1$, 说明岩浆源区发生了地壳混染作用^[22,23]。汝城盆地火山岩 $[K]$ 平均为 1.14, $[Nb]$ 平均为 0.63, 表明地幔源区既发生了不相容元素的富集交代作用, 又有地壳物质的混染。

元素地球化学特征反映汝城盆地中基性岩浆不可能起源于原始地幔的部分熔融, 而是起源于遭受地壳物质混染和来自消减残留板片析出流体或熔体交代的富集型地幔。然而, 起源于同一富集型异常地幔的中基性岩浆以何种方式形成, 则可以根据瑞利分馏原理, 利用亲湿岩浆元素与亲岩浆元素浓度比值对亲湿岩浆元素浓度的协和关系来判断, 岩浆平衡部分熔融的轨迹为一斜率为 D 的斜线, 而分离结晶作用则为一水平线^[24], 在 $w(\text{La})/w(\text{Sm})-w(\text{La})$ 图中, 汝城盆地火山岩出现正相关性 (图 6), 反映岩浆的形成以部分熔融方式为主。

大陆地壳的拉张往往伴随基性岩浆的喷发和侵入, 因此一定规模的基性岩浆活动与大陆地壳的拉张期次具有一定的对应关系。前人^[25,26]通过对湘东南玄武岩和粤北基性岩脉的研究, 认为华南早白垩世以后存在 140 Ma、124 Ma、105 Ma 和 90 Ma

的 4 期地壳拉张, 但在南岭地区缺少 124 Ma 的基性岩脉^[1], 而汝城盆地 128.4~112.1 Ma 的中基性岩浆活动恰位于该拉张期, 从而进一步证明南岭及华南地区中生代 4 个拉张时期的存在。

5 结 论

汝城盆地基性—中基性火山岩系属于略富钠的低钾拉斑玄武岩系, 其中玄武岩 K-Ar 年龄为 (128.4 ± 4.2) Ma, 辉绿岩 K-Ar 年龄为 (112.1 ± 3.2) Ma, 基性岩浆活动主要发生在早白垩世。火山岩系形成在汝城盆地拉张的最强烈时期, 该拉张时期与华南及南岭地区的主要拉张时期 (120 Ma) 相对应。汝城盆地火山岩系具有同一岩浆源区, 岩石微量元素具有类似于岛弧玄武岩的配分特征, 出现弱的 LILE 富集和 Ta、Nb、Ti 的亏损, 大离子亲石元素中 Sr、K 仅为弱的富集, 而 Rb、Ba、Th、U 相对富集。强不相容元素比值反映岩浆源区明显偏离原始地幔组分, 具有富集型地幔岩浆源区的特征。其原因可能是受到地壳物质的混染和来自消减残留板片析出流体或熔体交代的双重改造作用。岩石的形成以部分熔融方式为主。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 贾大成, 胡瑞忠. 湘东北燕山晚期花岗岩构造环境判别 [J]. 地质地球化学, 2002, 22 (2): 102—106.
- [3] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks [J]. Earth Planet Sci Lett, 1976, 28: 459—469.
- [4] Rogers N W. Potassic magmatism as a key to trace-element enrichment processes in the upper mantle [J]. J Volcan Geother Res, 1992, 50: 85—99.
- [5] Fitton J G, James D, Leeman M P. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the western United States: compositional variation in space and time [J]. Geophys Res, 1991, 96: 13693—13711.
- [6] Gill J B. Orogenic Andesites and Plate Tectonics [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 358—360.
- [7] Weaver B L. The origin of ocean island basalt end-member composition: trace element and isotopic constraints [J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 381—397.
- [8] Schmidberger S S, Hegner E. Geochemistry and isotope systematics of calc-alkaline volcanic rocks from the Saar-Nahe basin (SW Germany) —implications for Later Vaiscan orogenic development [J]. Contrib Mineral Petrol, 1999, 135: 373—385.
- [9] Meen J K, Eggler D, Ayers J C. Experimental evidence for

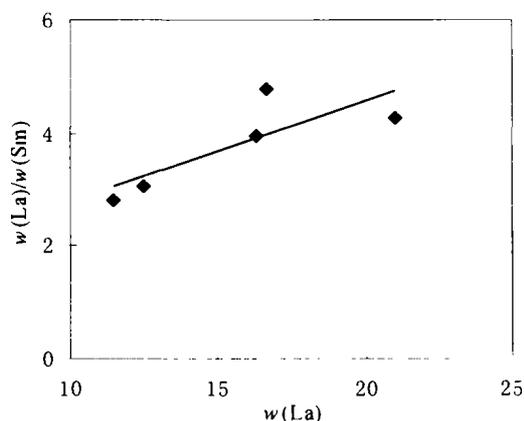


图 6 汝城盆地火山岩 $w(\text{La})/w(\text{Sm})-w(\text{La})$ 相关图

Fig.6 $w(\text{La})$ vs $w(\text{La})/w(\text{Sm})$ variation diagrams of the volcanic rocks in the Rucheng basin

- very low solubility of rare-earth elements in CO₂-rich fluids at mantle condition [J]. *Nature*, 1989, 340: 301—303.
- [10] Neal C R. The origin and composition of metasomatic fluids and amphiboles beneath Malaita, Solomon Islands [J]. *J Petrol*, 1988, 29: 149—179.
- [11] Schiano P, Clocchiati R, Joron J L. Melt and fluid inclusions in basalts and xenoliths from Tahaa Island, Society Archipelago: evidence for a metasomatized upper mantle [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1992, 111: 69—82.
- [12] Fabries J, Bodinier J L, Dupuy L, et al. Evidence for mantle metasomatism in the orogenic-type igneous body from Caussou (northeastern Pyrenees, France) [J]. *J Petrol*, 1989, 30: 199—229.
- [13] Maury R C, Defant M J, Joron J L. Metasomatism of the subarc mantle inferred from trace elements in Philippine xenoliths [J]. *Nature*, 1992, 360: 661—663.
- [14] Hofmann A W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism [J]. *Nature*, 1997, 385: 219—229.
- [15] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. Boston: Blackwell Scientific Publ, 1985. 312.
- [16] Glazner A F, Farmer G L, Hughes W T, et al. Contamination of basaltic magma by mafic crust at Amboy and Pigah Craters, Mojave Desert, California [J]. *Geophys Res*, 1991, 96: 13673—13692.
- [17] Wooden J L, Czamanske G K, Fedorenko T A, et al. Isotopic and trace element constraints on mantle and crust contribution to Siberian continental flood basalts, Noril'skarea, Siberia [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1993, 57: 3677—3704.
- [18] Condie K C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales [J]. *Chem Geol*, 1993, 104: 1—37.
- [19] 宋谢炎, 侯增谦, 曹志敏, 等. 峨眉山火山岩省的岩石地球化学特征及时限 [J]. *地质学报*, 2001, 75 (4): 498—506.
- [20] Lightfoot P C, Naldrett A J, Gorbachev N S, et al. Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'skarea, USSR, with implication for the relative contribution of crust and mantle to flood basalt magmatism [J]. *Contrib Mineral Petrol*, 114: 171—188.
- [21] Stolz A J, Jochum K P, Spettel B, et al. Fluid and melt-related enrichment in the subarc mantle: evidence from Nb/Ta variations in island-arc basalts [J]. *Geology*, 1996, 24 (7): 587—590.
- [22] Nakamura E, Chappell I H, Shensu Sun. The influence of subduction process on the geochemistry of Japanese alkaline basalts [J]. *Nature*, 1985, 316: 55—58.
- [23] Dupuy C, Doestel J. Trace element fraction and the origin of tholeiitic and alkaline magma type [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1984, 67: 61—69.
- [24] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 1—169.
- [25] Li Xianhua, Malcom M T, McCulloch. Geochemical characteristics of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China: age, origin and tectonic significance [J]. *Geodynamics*, 1998, 27: 405—419.
- [26] 赵振华, 包志伟, 张伯有. 湖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.

THE ELEMENT GEOCHEMISTRY AND NATURE OF MAGMA SOURCE OF THE VOLCANIC ROCKS IN THE RUCHENG BASIN, SOUTHEASTERN HUNAN

JIA Da-Cheng^{1,2}, HU Rui-Zhong², LU Yan¹

(1. Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China; 2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: The volcanic rock series in the Rucheng basin in southeastern Hunan is composed of the basalt, diabase and basaltic pyroclastic rock. It belongs to low potassic tholeiite series. The whole rock K-Ar age of the basalt is 128.4 ± 4.2 Ma and the whole rock K-Ar age of the diabase is 112.1 ± 3.2 Ma. Based on the analysis of element geochemistry, the volcanic rock series have same magma source and the formation of the rocks is mainly in the form of partial melting. The trace elements express large-ion lithophile elements (Rb, Ba, Th, U) enrichment and high field strength elements (Ta, Nb, Ti) depletion. The ratios of incompatible elements reflect the magma source departed from the composition of primary mantle and have the characteristics of the enriched metasomatic mantle. The magma source has been changed mainly by assimilation of the crustal matter as well as by metasomatism of the relict oceanic plate fluid or melting from pre-subduction.

Key words: volcanic rock series; element geochemistry; magma source; the Rucheng basin