

中国东南部中生代火山岩地球化学及成因

于学元

(中国科学院地球化学研究所)

中国东部中生代火山岩带分布于与太平洋板块接壤的欧亚板块边缘,南起海南岛,北至黑龙江,长达4000余公里。自东经 110° 以东至东海岸,火山岩出露面积约46万平方公里。

本文研究了该火山岩带南部山东、江苏、安徽、浙江和福建等省的火山岩类。基于岩石的主要元素、稀土元素以及同位素地球化学特征,将其划分为三个岩石系列:安粗岩系(L-岩系)、碱性玄武岩系(A-岩系)和流纹岩系(R-岩系)。并讨论了各岩系的岩浆起源以及它们与板块构造运动的关系。

一、时间和空间分布

研究区内中生代火山岩出露面积近12万平方公里,约占全岩带的1/4。火山岩带的分布方向与区内主要断裂带走向一致(NE或NNE)。在邵武—河源断裂带以东地区,火山岩呈面型分布,向西则呈大小不等的火山岩盆地出现(图1)。由此可见火山活动自沿海向内陆逐渐减弱。

本区火山岩同位素年龄(175个)^①频率分布图表明火山岩年龄在185—65百万年范围。其中大于150百万年(早中侏罗世)为数甚少,此时区内火山活动较弱。150—110百万年期间(晚侏罗—早白垩世),统计频率逐渐增大。这期间,沿郯庐断裂带和长江中下游地区形成了许多以安粗岩为主体的断陷盆地(如庐枞、宁芜、怀宁和滁县盆地),其同位素年龄为90—150百万年,高峰值为110—130百万年。随后,区内火山强度达到高峰,以流纹岩为主的火山喷发遍及全区,其年龄为70—130百万年,高峰值为85—105百万年(相当于早白垩世到晚白垩世早期)。85百万年(晚白垩世)以后,区内火山活动再度变弱。

总之,从早侏罗世到晚白垩世这120百万年的地质历史时期内,中国东南部火山作用经历了由弱到强而后再减弱直至终了的发展过程。

二、岩石组合及其主要元素

1. 岩石组合

本文将在时间和空间上紧密共生,具有共同岩石化学特点的属于同一原始岩浆源的一套

本文于1984年10月收到。

① 据全国同位素年龄汇编小组,1975、1980。

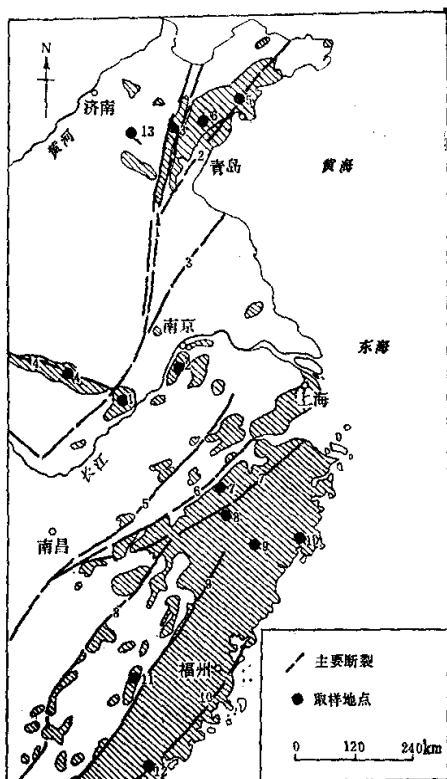


图1 中国东南部中生代火山岩分布略图

取样地点: 1-庐枞; 2-宁芜; 3-潍坊; 4-舒茶; 5-即墨; 6-胶莱; 7-建德; 8-金华; 9-丽水; 10-黄岩; 11-三明; 12-漳州; 13-邵家沟

主要断裂: 1-鄱庐; 2-即墨-胶南; 3-盱眙-南水; 4-龙门-南安; 5-东乡-长兴; 6-桐庐-玉山; 7-绍兴-江山; 8-邵武-河源; 9-丽水-海丰; 10-长乐-南奥

Fig. 1 Outline map of Mesozoic volcanic rock distribution in southeastern China

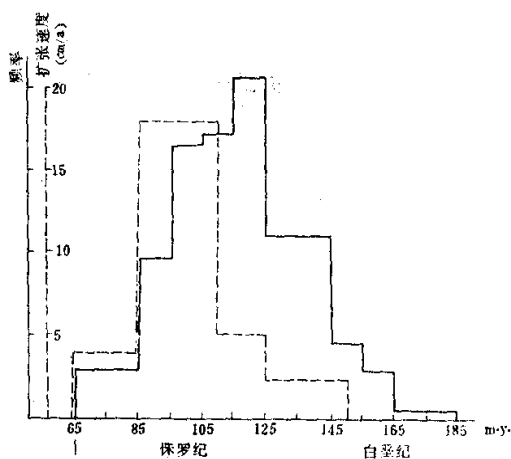


图2 中国东南部中生代火山岩同位素年龄(实线)及不同时期太平洋板块扩张速度(虚线)直方图(Larson, 1972)

Fig. 2 Histogram of the isotopic ages of Mesozoic volcanic rock in southeastern China (solid line) and the spreading rate of the Pacific Plate at various period (dash line) (Larson et al., 1972)

岩石归为一个火山岩系。现将本区三个岩系的岩石共生组合和标准矿物分子(CIPW)分述如下:

L-岩系主要由安粗岩、似长石安粗岩、粗安岩、粗面玄武岩、粗面岩和响岩—碱玄岩组成,以安粗岩和粗安岩为主(图3a)。该岩系属于硅饱和到硅弱饱和体系。标准矿物分子中Q、Ol和Ne低。因此,该岩系之各种岩石均很少出现石英、橄榄石,偶而有白榴石。该岩

系主要分布在长江中下游(如宁芜、庐枞、怀宁、滁县等火山岩盆地)和鲁中(费县和潍坊)一带。

A-岩系由碱性玄武岩、安山岩和石英安山岩组成(图3b)。该岩系属于硅不饱和到硅过饱和体系,标准矿物分子中既有Ol出现又有Q出现。该岩系虽出露较少,但分布范围很广,如山东邵家沟和即墨,浙江丽水,黄岩和建德以及福建漳州等地。

R-岩系由流纹岩、流纹英安岩和英安岩组成。属强硅过饱和体系。该岩系分布广泛且出露面积大,集中分布在浙江和福建省沿海一带,尤以海丰—丽水深断裂带以东地区最发育(图3c)。

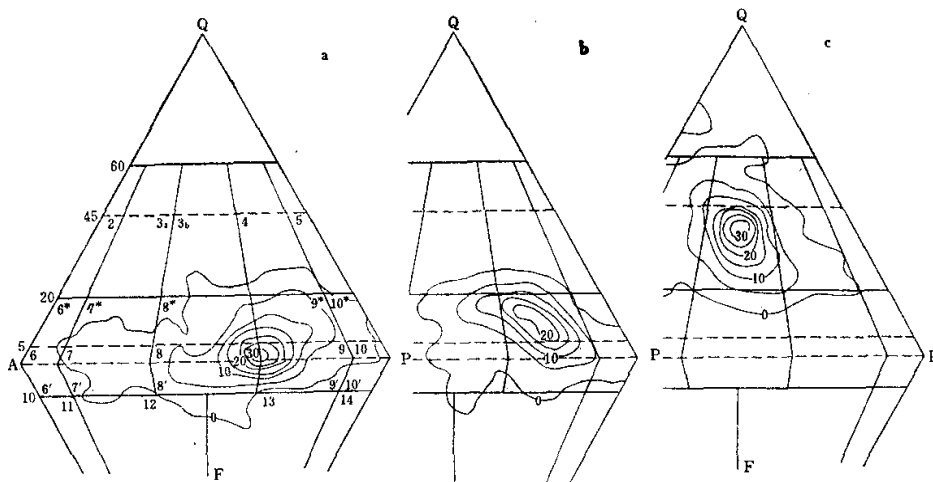


图3 中国东南部各种火山岩系分类(Streckeisen A., 1976, 1979; 吴利仁等, 1982)

2-碱性流纹岩; 3a和3b-流纹岩; 4和5-英安岩; 6*-石英碱性粗面岩; 6-碱性粗面岩; 6'-含似长石碱性粗面岩; 7*-石英粗面岩; 7'-粗面岩; 7'-含似长石粗面岩; 8*-石英安岩; 8-安粗岩; 8'-含似长石安粗岩; 9*-石英粗安岩 (或石英粗面玄武岩); 9-粗安岩 (粗面玄武岩); 9'-含似长石粗安岩 (含似长石粗面玄武岩); 10*-石英安山岩 (或石英玄武岩, 相当于拉斑玄武岩); 10-安山岩 (玄武岩); 10'-含似长石安山岩 (含似长石玄武岩); 11-响岩; 12-碱玄质响岩; 13-响岩质碱玄岩; 14-碱安岩

a-安粗岩系; b-碱性玄武岩系, c-流纹岩系

Fig. 3 Classification of various volcanic rock series in southeastern China (Streckeisen, A., 1976, 1979, Wu Liren et al., 1982)

2. 主要元素特征

表 1 中国东南部三个火山岩系的平均化学成分 (%)

Table 1 Average compositions of three volcanic rock series in southeastern China(%)

岩 系 样品数 (个)	L 220			A 112			R 150		
	X	δx	C	X	δx	C	X	δx	C
SiO ₂	56.34	3.882	0.069	58.32	6.302	0.108	74.08	2.745	0.037
TiO ₂	0.73	0.212	0.291	0.91	0.485	0.533	0.21	0.098	0.467
Al ₂ O ₃	17.51	2.699	0.154	15.72	1.367	0.088	12.94	1.144	0.088
Fe ₂ O ₃	4.42	1.721	0.389	4.37	2.146	0.495	1.23	0.544	0.442
FeO	2.34	1.478	0.631	2.30	2.074	0.902	1.32	1.036	0.785
MnO	0.15	0.119	0.796	0.11	0.067	0.606	0.07	0.055	0.785
MgO	2.17	1.375	0.634	2.92	2.106	0.725	0.39	0.263	0.764
CaO	3.69	2.247	0.567	4.79	2.970	0.583	0.62	0.562	0.906
Na ₂ O	4.18	1.217	0.291	3.51	0.973	0.277	2.98	1.045	0.351
K ₂ O	4.81	2.184	0.454	3.53	1.450	0.432	5.05	0.980	0.194
P ₂ O ₅	0.36	0.184	0.512	0.41	0.298	0.726	0.06	0.089	1.487

注: $\bar{X}$ -平均值; σ_x -均方差; C -变异系数.

根据482个岩石化学分析数据(除本文200个数据外,其余数据择自山东、江苏、安徽、浙江和福建省区测报告)分别计算出三个岩系的平均化学成分(表1),其主要特点是:

(1) A-岩系的 SiO_2 含量变化范围最大($\text{SiO}_2 = 42\text{--}68\%$)。L-和R-岩系的 SiO_2 变化范围较小,但前者低($\text{SiO}_2 = 50\text{--}62\%$),后者高($\text{SiO}_2 = 70\text{--}80\%$)。

(2) 在 SiO_2 — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 关系图(图4)中,不同岩系投影点的分布均各自相对集中;R-岩系集中在图的右侧,以其高硅区别于其它两个岩系;L-岩系多分布于图的左上方,它表明该岩系比A-岩系具有更高的碱,尤其是K。

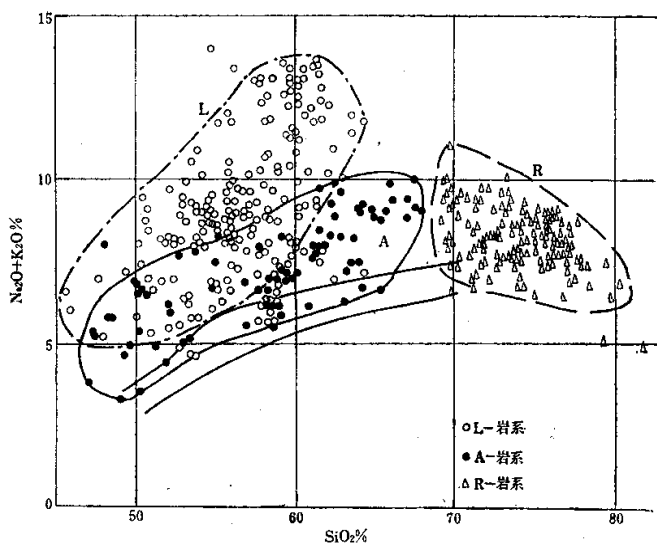


图4 中国东南部三个火山岩系的 SiO_2 — $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图
Fig. 4 SiO_2 — $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ diagram for three volcanic rock series in southeastern China

不同地区各个火山岩盆地岩石的 SiO_2 —碱相关计算表明,虽然三个岩系的 SiO_2 和总碱含量均呈极好的相关关系,但是却出现两种不同的相关模式:R-岩系呈负相关关系,即随硅的增加碱含量降低,其斜率 $b = -0.25\text{--}-0.76$,L-和A-岩系呈正相关关系,但L-岩系的回归线的斜率大于A-岩系(斜率分别为 $b = +0.62\text{--}+2.0$, $+0.13\text{--}+0.42$)。

总之,三个岩系在化学成分上是不同的。L-岩系以富碱,尤其富K,以及贫Si和Ti为特点。与L-岩系相比,A-岩系相对富Si和K,贫Al和碱。R-岩系以富Si和K,而贫Al、Ca、Mg、Fe与前两个岩系相区别。

三、稀土元素地球化学

1. REE丰度和分布模式

三个岩系中,R-岩系的REE丰度最低(109—366ppm),A-和L-岩系的REE丰度相对较

高，分别为210—529ppm和240—447ppm，并且它们的REE分布模式均呈富LREE和无明显Eu异常的特征($LREE/HREE = 4-18$)。与此相比，R-岩系相对富HREE， $LREE/HREE = 2-4.6$ ，且具有非常明显的负Eu异常的特点(表2，图5)。

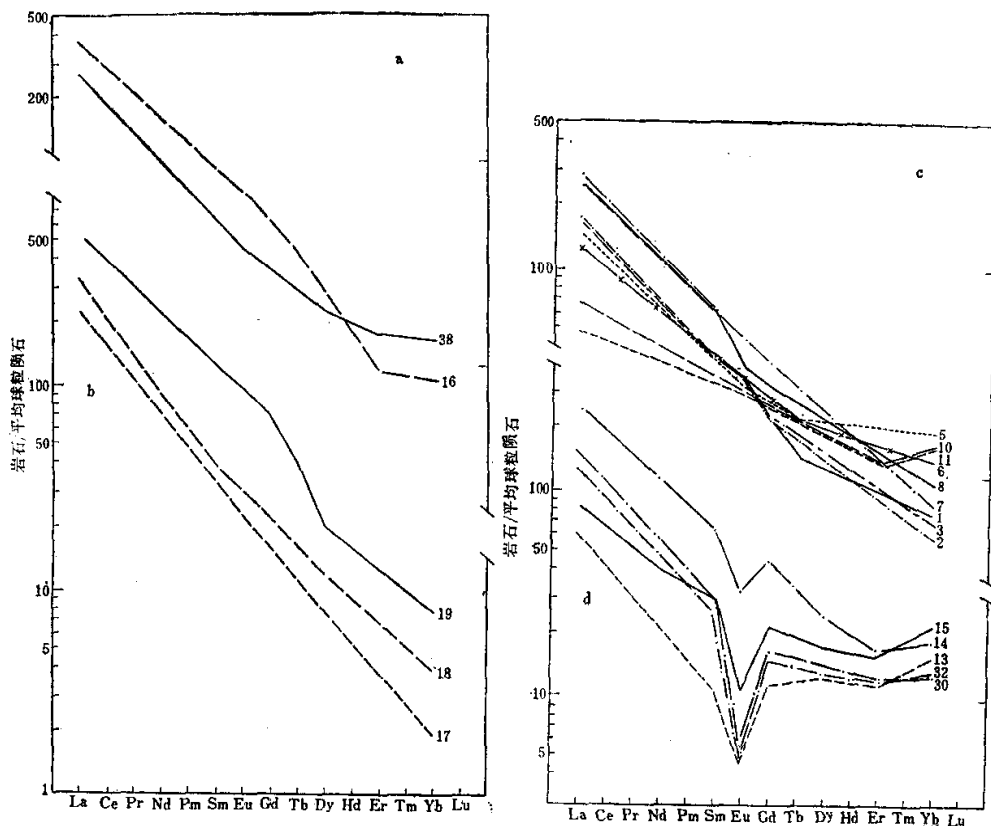


图5 中国东南部中生代各种火山岩的稀土元素分布模式
a-碱性玄武岩；b-金伯利岩；c-安粗岩系；d-流纹岩系；(编号与表2相同，32和30为青岛流纹岩，38为青岛碱性玄武岩)

Fig. 5 REE patterns of Mesozoic volcanic rocks in southeastern China

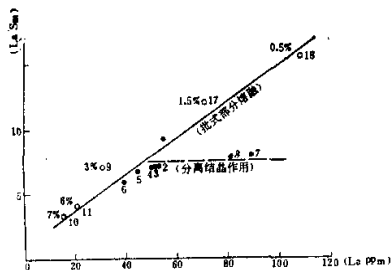
安粗岩系各类岩石 $La/Sm-La$ 关系的研究对该岩系的岩浆起源有重要意义。在庐枞地区，安粗岩系中安粗岩、粗面玄武岩和粗面岩等除了REE丰度略有差异外，它们的REE分布模式非常相似，尤其是La—Sm部分的曲线相互间近于平行(图5a)。在 $La/Sm-La$ 关系图7中，这些样品的投影点大致分布在一条平行横坐标轴(La)的直线附近，也就是说随着La丰度的增加， La/Sm 比值基本不变或变化很小(5.7—7.8)。

与此相对照，宁芜地区的闪长玢岩和辉石闪长岩，怀宁地区的安粗岩和山东、辽宁的金伯利岩样品的投影点却分布在一条斜线上(回归方程： $[La = 7.303 \times (La/Sm) - 6.124]$)，并且其与庐枞地区岩石投影点所构成的平行横坐标的直线左端相交。

表 2 中国东南部各种火山岩的REE含量 (ppm)

Table 2 REE content of various volcanic rocks in southeastern China (ppm)

No.	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE ^①
1	安粗岩 ^②	54.6	97.2		44.2	5.9	1.82	4.19	0.54					1.2	0.73		
2	安粗岩 ^②	53.1	91.8		37.5	7.7	1.73	4.38	0.28					0.9	0.64		
3	安粗岩 ^②	51.5	93.2		31.9	7.4	1.99	4.55	0.4					1.1	0.69		
4	安粗岩 ^②	64.9	112.4		33.6	6.1	1.8	4.1		1.6		1.3		0.8		4.8	242
5	粗面玄武岩 ^②	44.5	79		30.3	6.7	1.8	10.9	0.88					3.1	0.22		
6	粗面玄武岩 ^②	38.9	71.3		39.7	6.8	1.93	11.2	0.83					2.2	0.24		
7	粗面岩 ^②	89.3	169.3		60.2	11.5	3.08	19.4	0.75					1.3	0.2		
8	粗面岩 ^②	81.3	14.7		55.8	10.9	2.27	6.21	0.38					1.6	1.1		
9	安粗岩 ^②	30.7	52			4.4	1.51	2.41	0.16					0.8	0.36		
10	辉石闪长岩	14.9	36.8	5.45	18.3	4.65	1.59	5.19	0.75	3.81	0.93	2.24	0.37	2.49	0.68	21.47	120
11	辉石闪长玢岩	20.3	43.9	6.07	21	5.2	1.68	5.65	0.8	4.54	0.83	2.14	0.4	2.42	0.27	22	137
12	响岩	94.2	156.5	21.3	49.3	9.7	0.88	12	9.9	9.9	2.63	10	1.19	10.5	2.35	64.49	447
13	流纹岩	17.8	40.7	3.6	9.2	1.9	0.3	2.6	0.6	3.7	0.8	2.2	0.5	3.1	0.4	21.9	109
14	流纹岩	83.3	115.4	22	66	12.5	2.2	11.1	1.6	7.5	1.1	3.2	0.5	3.6	0.8	35.6	366
15	石英斑岩	26.3	52	7.6	23.5	5.2	0.7	5.4	0.9	5.4	1.1	3.1	0.6	4.2	0.9	30	167
16	碱性玄武岩	128.9	193	33.2	103	17.1	4.9	14.1	1.7	5.8	0.7	1.6		1.3		22.8	529
17	金伯利岩	70.7	117.6	16	56	6	1.5	5.7	0.8	2.1		0.3				5.7	282
18	金伯利岩	109.3	148.6	19.2	51.7	7.1	2.1	7.5	1	3.4		0.8		0.7		11.6	363
19	金伯利岩	88.8	150.6	39.3	125	23.3	7	17.5	1.9	6	11.3	2	0.3	1.4	0.3	23.5	489

① ΣREE为稀土氧化物总量 (包括Y₂O₃) ;② 中子活化分析, 其余为荧光光谱分析 (分析者: 周小霞、王长生、钱志鑫、雷剑泉、王正珍、李悦令、张亚文);
1—8-庐枞地区; 9-怀宁地区; 10-12宁芜地区; 13-青岛; 15-五部; 16-邵家沟; 17和19-辽宁; 18-山东图 6 安粗岩系和金伯利岩的La/Sm—La关系
(编号同表 2, 横线上的百分比为部分熔融程度)Fig. 6 La/Sm—La diagram for the latitic
series and kimberlites

Treuilgo 和 Joron (1975) 研究了批式部分熔融(batch partial melting)和分离结晶作用过程REE的地球化学行为。研究结果表明批式熔融过程La/Sm比值将随着La的增加而增大。而同源岩浆分离结晶作用过程La/Sm比值不随La的含量变化而变化。由此可见, 宁芜、怀宁地区以及分布在斜线上的庐枞地区的安粗岩系的原始岩浆可能是相同地幔岩批式部分熔融的产物。而位于横线上的庐枞地区安粗岩系的安粗岩、粗面玄武岩和粗面岩则可能是同源岩浆(安粗岩岩浆)分离结晶作用的产物(图6)。模式线上的

某些投影点离散可能与壳层物质的混染作用有关。

2. 部分熔融的计算

为了进一步讨论起源于上地幔的安粗岩系的原始岩浆形成过程，利用 Shaw(1970) 的部分熔融公式： $Ce/Co = 1/D_0 + F(1 - D_0)$ 分别计算了庐枞地区安粗岩（代表未分异的原始岩浆组分），宁芜地区的辉石闪长玢岩和辉石闪长岩，怀宁地区的安粗岩以及山东和辽宁的金伯利岩的部分熔融程度。计算过程采用的地幔石榴石二辉橄榄岩矿物组成为 $OI = 55\%$ ， $Opx = 27\%$ ， $Cpx = 15\%$ ， $Ga = 3\%$ (Wyllie, P.J., 1971)。地幔源区REE丰度(Co)取球粒陨石REE丰度的二倍(Bor-Ming Jahn etc., 1980)。

计算结果表明金伯利岩的部分熔融程度最低， $F = 0.5 - 1.5\%$ ，庐枞地区安粗岩和粗面玄武岩为 $2 - 3\%$ ；怀宁地区粗安岩为 3% ；宁芜地区闪长玢岩和辉石闪长岩分别为 6% 和 7% 。令人注目的是，当将计算的部分熔融程度数值标在图6时，他们竟沿斜线依次增高而排列。也就是说，随部分熔融程度的增加，其La和La/Sm比值有规律地减少。

由此可知，庐枞、宁芜、怀宁地区的安粗岩系是同成分的地幔岩不同程度部分熔融的产物。又根据金伯利岩和安粗岩系在空间分布上均与庐深断裂带密切相关，山东和辽宁的金伯利岩的原始岩浆可能与安粗岩浆是相同地幔物质不同程度部分熔融的产物。

四、锶和铅同位素地球化学

1. 锶同位素

庐枞地区安粗岩系的锶初始比值较低， $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7043 - 0.7053$ (表3)。其与江西德兴花岗闪长斑岩的锶初始比值一致。这些比值均在地幔岩锶初始比值的范围内（地幔岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均值为 0.704 ± 0.002 , Faure, G., 1977)。

表 3 锶的初始比值
Table 3 Sr-initial ratio

编号	产地	岩系	岩石名称	$^{87}Sr/^{86}Sr$	资料来源
1	安徽庐枞	L-岩系	安粗岩、粗面玄武岩，粗面岩	0.7043	本文，王俊文、成忠礼分析
2	安徽庐枞		黑云母安粗岩	0.7053	吴利仁等 (1982)
3	江西德兴		花岗闪长斑岩 (全岩) 花岗闪长斑岩 (磷灰石)	0.7043 0.7044	伍勤生等 (1982) 伍勤生等 (1982)
4	安徽繁昌	R-岩系	碱长流纹岩	0.7073	吴利仁等 (1982)
5	江西寿昌		流纹质焊接凝灰岩	0.7087	吴利仁等 (1982)
6	福建洋中		流纹岩	0.7141	吴利仁等 (1982)
7	福建马祖		流纹英安岩	0.70802	Bor-Mig Jahn etc. (1976)

安徽繁昌、江西寿昌、福建洋中和马祖等地区的流纹质岩石的锶初始比值变化范围较大， $^{87}Sr/^{86}Sr = 0.7073 - 0.7141$ (表3)。这些结果表明流纹岩系的原始岩浆来自地壳深部物质的重熔。

2. 铅同位素组成

庐枞地区的安粗岩系和与之有成因联系的铁矿的铅同位素组成与大洋中脊玄武岩的一致（大洋中脊玄武岩 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \approx 15.3\text{--}15.5$, Chen Yuwei etc., 1982）。本区安粗岩和铁矿样品均在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}\text{--}^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 座标图上中央海岭拉斑玄武岩铅的范围内（图7）。而中央海岭拉斑玄武岩铅同位素组成代表了地幔岩铅同位素组成。

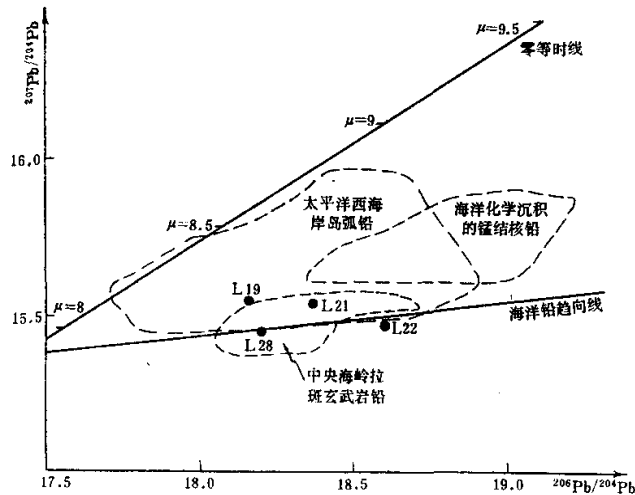


图7 庐枞地区安粗岩和铁矿的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}\text{--}^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系
(Chen Yuwei etc., 1982)

图中编号同表4

Fig. 7 Isotopic composition of lead in the latites, magnetite and hematite of Luzhong area

根据陈毓蔚等(1982)提出的二阶段模式，本文计算了庐枞地区安粗岩和磁铁矿和赤铁矿的混合 ^{204}Pb 中地幔 ^{204}Pb 的百分比(表4)。结果表明庐枞地区安粗岩系和铁矿的地幔 ^{204}Pb 为74—83%，以地幔 ^{204}Pb 为主。但是，大约17—26%的壳层 ^{204}Pb 的混合是不可忽视的。

表 4

样品 编号	矿物 名称	铅同位素组成			混合 ^{204}Pb 中地幔 ^{204}Pb 的百分比(%)		
		$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 法	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 法	平均值
L19	磁铁矿	18.20	15.45	38.42	77	88	83
L28	赤铁矿	18.15	15.57	38.23	76	72	74
L21	安粗岩	18.37	15.51	38.64	72	76	74
L22	安粗岩	18.61	15.46	38.76	66	86	76

安粗岩系的Sr同位素和Pb同位素的研究均说明该岩系的物质主要来源于上地幔。这也是安粗岩系富含Al和K主要来源上地幔的一个佐证。然而，铅同位素二阶段模式的计算结果表明壳源物质的混染作用对该岩系的分异产物有一定程度的影响。

五、岩石成因及其与构造运动的关系

(一) 岩石成因

1. 安粗岩系

根据安粗岩系的下列特点：(1) 化学成分富K和Al, 贫Si和Ti; (2) 钾长石与普通辉石以及中基性斜长石共生(于学元和白正华, 1981); (3) 产生在造山期后的稳定的大陆边缘地区; (4) 与深大断裂带密切相关(郟庐断裂带), 作者认为本区安粗岩系与澳大利亚新南威尔士、美国黄石公园、新几内亚、爪哇、意大利罗马和乌干达等地区的橄榄安粗岩类(Shoshonite)相似(Joplin, G.A., 1965, 1968; Whitford, D.J. 和 Nicholls, I.A., 1976; Holmes, A. 和 Harwood, H.F., 1937; Appleton, J.D., 1972)。安粗岩系作为一种特殊岩系具有其独立的原始岩浆——安粗岩岩浆而不同于钙碱性岩系和安山岩系(Akiho Miyashiro, 1978; 于学元和白正华, 1981)。本文又提出安粗岩系具有富LREE和无明显Eu异常的REE分布模式, Pb同位素组成和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值与地幔相近以及含有高的地幔 ^{204}Pb 等特点。这就进一步证实了安粗岩岩浆起源于上地幔。

实验研究表明在正常的大陆地盾区地热梯度和大洋区地热梯度范围内, 金云母在1000℃—1200℃和100—175公里(30—50千巴)条件下处于稳定状态。一旦地热梯度发生改变, 金云母就不稳定并且发生分解。

$\text{Ph}(\text{金云母}) + \text{En}(\text{顽火石}) \rightarrow \text{F}_0(\text{镁橄榄石} + \text{L}(\text{富K, Al的液相}))$ 如果此反应有水参加可降低金云母的分解温度(Allen, J.C., 1972)。金云母是一种含K, Al的镁硅酸盐矿物, 当其分解时必定释放出大量的K、Al和水份。可以设想, 富K、Al的安粗岩岩浆是上地幔100—175公里深度上, 在地幔事件的影响下, 由含金云母的石榴石二辉橄榄岩低程度部分熔融(2—3%)而产生的(于学元和白正华, 1981)。

2. 流纹岩系

本区流纹岩系显著的负Eu异常的REE分布模式和铈初始比值已经说明该岩系的原始岩浆(流纹岩岩浆或花岗岩岩浆)是地壳深部重熔作用的产物。若以建瓯群石英片岩为原始岩石来计算, 那么石英片岩的50%部分熔融方能形成浙江温州地区的流纹岩。

本区流纹岩系的Si、Al、K和Na等主要组分的变异系数较小, 表明该岩系的化学组成具有均一性的特点(表1)。在Or—Ab—Q三元系中, 本区流纹岩系投影点密集在低共熔点附近, 与塔特和鲍温(Tuttle, O.F. 和 Bowen, N.L., 1958)的结果近于重合(图8)。实验研究还证实大陆壳深部产生的重熔作用总是先从近最低共熔点组分开始(Tu Kuang Chih etc, 1980)。这又从另一个角度说明了成分接近最低共熔点的本区流纹岩系是由大陆壳深部重熔作用产生的。其成因机制可能与华南燕山期花岗岩相似(中国科学院地球化学研究所, 1979)。

(二) 火山作用与板块构造的关系

Larson等人(1972)认为中生代库拉板块是以不同的扩张速度向欧亚大陆板块下俯冲。现

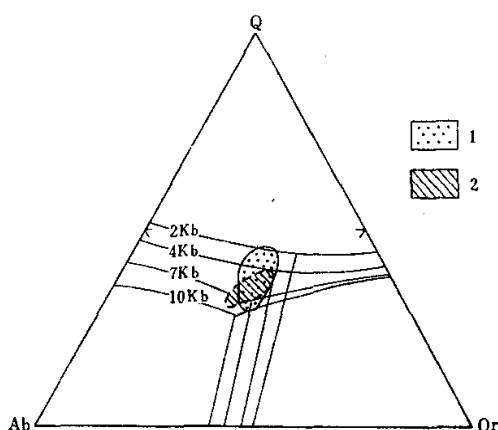


图8 中国东南部流纹岩类在Or—Ab—Q图中的密集区(Platen, H.V. and Holler, H., 1966)。

1—本文; 2—塔特(1958)

Fig. 8 Density distribution of the rhyolitic rocks in southeastern China in Or-Ab-Q diagram (Platen, H.V. and Holler, H., 1966)

1982)。本区的郯庐断裂、丽水—海丰断裂、邵武—河源断裂以及长乐—南澳断裂不仅作为岩浆上升的通道,使火山岩沿断裂带有规律地分布,而且这些深断裂带的活动还可能导致岩浆的形成。实验研究(Wyllie, P.J., 1971a)表明在大于100公里的地幔深处(>30千巴),地幔岩的熔点将随着压力的减低而下降。可以推测,当岩石圈深断裂延伸至上地幔时,使其产生减压作用,降低了岩石圈深断裂带附近的地幔岩的熔点,从而使其发生部分熔融。本区金伯利岩岩浆和安粗岩岩浆可能由此机制产生。

综上所述,本区中生代火山活动与板块运动密切相关,火山活动不仅沿板块运动所产生的深断裂带分布,而且火山活动的强度也随板块扩张速度加大而增强。火山岩类的主要元素,REE和同位素研究说明本区三个岩石系列的原始岩浆来自不同的源区,流纹岩系的原始岩浆是由地壳深部地质高程度重熔作用形成的。碱性玄武岩岩浆可能是上地幔物质(石榴石二辉橄榄岩)低程度部分熔融的产物。安粗岩岩浆也起源于上地幔,它可能是含金云母石榴石二辉橄榄岩低程度部分熔融的产物。

本文承蒙吴利仁教授审阅并提出宝贵意见,野外工作得到蔡仁安,徐建国,高振敏和南君亚等协助,谨致谢意。

将他提出的各时期库拉板块的运动速度投于图2。从图中可以看出,随地质时代由老到新,库拉板块扩张速度是慢→快→慢。这与本区火山岩同位素年龄频率分布所显示的火山作用强度呈弱→强→弱的变化趋势大体相当。由此推测,我国东部中生代火山活动与库拉板块运动有密切的联系。在晚侏罗世到早白垩世(150—110百万年),库拉板块的扩张速度比较缓慢(扩张速度 $V = 2 - 5$ 厘米/年),中国东部火山活动较弱;白垩纪中期(110—85百万年),板块扩张速度剧增($V = 18$ 厘米/年),这时本区火山活动的强度也达到高峰;到晚白垩世(85—65百万年),板块扩张速度减慢($V = 4$ 厘米/年),区内火山活动也逐渐减弱下来。

在中生代,由于库拉板块向欧亚大陆板块下俯冲,导致亚洲大陆边缘的古老断裂重新复活以及新的断裂产生(吴利仁等,

参 考 文 献

- 于学元和白正华, 1981, 地球化学, 第一期, 57—65。
 中国科学院地球化学研究所, 1979, 科学出版社, 379—386。
 伍勤生等, 1982, 第二届全国同位素地球化学学术讨论会论文汇编, 299—301。
 吴利仁等, 1982, 地质科学, 第一期, 21—29。
 吴利仁等, 1982, 地质学报, 第三期, 223—234。
 Akiho Miyashiro, 1978, *Contrib. Miner. Petrol.*, 66, 91—104。
 Allen, J.C., 1972, *Inter. Geol. Cong., Section 2 (Petrology)*, 231—240。
 Appleton, J. D., 1972, *Jour. Petrol.*, 13, 425—456。
 Bor-Ming Jahn, Chen, P.Y. and Yen, T.P., 1976, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 763—776。
 Bor-Ming Jahn etc., 1980, *Jour. Petrol.*, 21, 201—244。
 Chen Yuwei etc., 1982, *Geochemistry*, 1, 137—158。
 Ewart, A and Stipp, L.L., 1968, *Geochem. Cosmochim. Acta*, 32, 699—736。
 Faure, G., 1977, *Principles of isotope geology*, John Wiley & Sons, Inc., 107—138。
 Holmes, A. and Harwood, H.F., 1937, *Mem. Geol. Surv. Uganda*, 3, 1—300。
 Joplin, G.A., 1965, *Miner. Mag.*, 34, 266—275。
 Joplin, G.A., 1968, *Jour. Soc. Australia*, 15, 275—294。
 Larson, R.L. and Pitman, W.C., 1972, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 3645—3662。
 Platen, H.V. and Holler, H., 1966, *N. Jb. Miner. Abh.*, 106, 106—130。
 Shaw, D.M., 1970, *Geochem. Cosmochim. Acta*, 34, 237—243。
 Streckeisen, A.L., 1976, *N. Jb. Miner. Abh.*, 107, 144—214。
 Treuil, M. and Joron, J.M., 1975, *Soc. It. Miner. Petrol.*, 31, 125。
 Tu Kuang-Chih etc., 1980, *Mining Geology Special Issue*, 8, 189—196。
 Tuttle, O.F. and Bowen, N.L., 1958, *Geol. Soc. Am. Mem.*, 74, 75—80。
 Whitford, D. J. and Nicholls, I.A., 1976, *Volcanism in Australia*, 63—75。
 Wyllie, P.J., 1971a, *The Dynamic Earth*, Wiley York, 132—143。

CHARACTERISTICS AND ORIGIN OF MESOZOIC VOLCANIC ROCKS IN SOUTHEASTERN CHINA

Yu Xueyuan

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang)

Abstract

The characteristics of time-space distribution, petrochemistry and trace elements of Mesozoic volcanic rocks in Southeastern China are presented in this paper. On the basis of these characteristics, the Mesozoic volcanic rocks are divided into three series: latitic, alkali basaltic, and rhyolitic.

The origin of various primary magmas is considered to be related to the spreading rate of the Kula plate. Latitic magma was derived from slight partial melting of phlogopite lherzolite at a depth of 100–175 km overlying the subduction zone when the spreading rate of the Kula plate was low during Jurassic. During Cretaceous, due to high spreading rate, rhyolitic magma was produced by extensive remelting of sialic layer at the shallow level overlying the subduction zone.