

相山火山-侵入杂岩 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学特征^{*}

范洪海^{1,2} 凌洪飞^{1**} 沈渭洲¹ 王德滋¹ 刘昌实¹ 姜耀辉¹

FAN HongHai^{1,2}, LING HongFei¹, SHEN WeiZhou¹, WANG DeZi¹, LIU ChangShi¹ and JIANG YaoHui¹

1. 南京大学地球科学系, 南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京 210093

2. 核工业 270 研究所, 南昌 330200

1. State Key Laboratory for mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2. No. 270 Institute, China National Nuclear Corporation, Nanchang 330200, China

2001-03-05 收稿, 2001-06-11 改回。

Fan HH, Ling HF, Shen WZ, Wang DZ, Liu CS and Jiang YH. 2001. Nd-Sr-Pb isotope geochemistry of the volcanic-intrusive complex at Xiangshan, Jiangxi province. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3):395-402

Abstract This paper presents study on Nd, Sr and Pb isotope geochemistry of the volcanic-intrusive complex at Xiangshan. The volcanic rocks of the two main eruption cycles (140 Ma) and the late subvolcanic rocks (135 Ma) have lower $\epsilon_{Nd}(t)$ values (-9.40~-7.46), higher initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios (0.70801~0.71201) and older Nd model ages (1.54~1.70 Ga). These rocks are also relatively riched in radiogenic Pb ($^{206}Pb/^{204}Pb = 17.686 \sim 18.323$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.523 \sim 15.730$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 38.143 \sim 38.936$). There exist evident similarities and also minor differences in Nd and Pb isotope compositions between the complex and the basement meta-sedimentary rocks. The volcanic-intrusive complex may have been derived mainly from partial melting of crustal rocks resembling the basement meta-sedimentary rocks. However, minor mantle-derived materials may have also been involved in formation of these rocks.

Key words Nd, Sr and Pb isotopes, Volcanic-intrusive complex, Xiangshan

摘要 对相山火山-侵入杂岩 Nd、Sr、Pb 同位素组成及基底变质岩 Pb 同位素组成的研究表明:相山两旋回火山岩及火山期后的次火山岩具有较低的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-7.46~-9.40)、较高的 I_{87} 值(0.70801~0.71201)和较古老的 Nd 模式年龄(1.54~1.70Ga),且相对富集放射成因铅($^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 分别为 17.686~18.323、15.523~15.730、38.143~38.936)。相山火山-侵入杂岩与该区出露的基底变质沉积岩在 Nd、Pb 同位素组成上既有明显的相似性,又有一定差别。因此,相山火山-侵入杂岩的源区主要为地壳岩石,但并不排除有部分幔源组分介入。

关键词 火山-侵入杂岩; Nd、Sr、Pb 同位素; 相山

中图法分类号 P597.3; P588.14

1 引言

江西相山大型塌陷式火山盆地控制了我国目前规模最大的火山岩型铀矿田,其独特的成岩环境及成矿机理为国内外地质界所瞩目。根据该火山岩系的富铝矿物学特征和岩石

地球化学特征,许多研究者将其划归为 S-型火山岩(王德滋等,1993;刘昌实等,1992;沈渭洲等,1992;陈繁荣等,1990);也有学者认为该火山岩系的形成与太平洋板块俯冲有关,其源区是一种具有很高混合比的壳-幔混合物(夏林圻等,1992)。但在成岩物质来源方面的研究相对较弱,尚未有系统的铅同位素研究结果发表,Nd、Sr 同位素数据也较少有

* 本文得到 973 项目(编号 G1999043211)和国家自然科学基金项目(编号 49632080、40073009)资助。

第一作者简介:范洪海,男,1963 年出生,研究员,博士生,岩石学及同位素地球化学。

** 通讯联系人, E-mail: hlling@public1. ptt. js. cn

文献报道。而Nd、Sr、Pb同位素对火成岩成岩物质来源具有较为有效的示踪效果(张理刚等,1995;李献华等,1991;Shen *et al.*,1999; Yao Cui and Russell, 1995; Samson *et al.*, 1995; Ayuso, 1986; Gilder *et al.*, 1996; Chen and Jahn, 1998)。为此,本文试图通过对相山各类岩石Nd、Sr及Pb同位素组成的系统研究,进一步探讨其成岩物质来源及岩石成因。

2 地质概况

相山矿田位于北东向赣杭构造—火山岩带与近南北向乐安—宁都花岗岩带的交汇部位。控制矿田的为一大型陷阶式火山盆地。火山活动具有两个明显的旋回:第一旋回呈裂隙式喷发,形成中性酸性流纹英安岩;第二旋回呈中心式喷发,形成一套酸性火山熔岩—碎斑熔岩。碎斑熔岩可分为三个岩相:边缘相、过渡相及中心相。边缘相含有大量的变质岩角砾;中心相含有大小不一的花岗质包体。边缘相中单颗粒锆石的U-Pb年龄为140Ma(陈小明等,1999)。在大规模火山活动期后,产生环盆的火山陷阶构造,次火山侵入岩(以下简称次火山岩)沿环盆断裂、推复构造面及各种层间离张断裂充填,形成环状次火山岩岩墙(次花岗闪长斑岩),其单颗粒锆石的U-Pb年龄为135Ma(陈小明等,1999)。笔者最近在相山次火山岩岩墙中发现了辉石闪长质淬冷包体(范洪海等,2001),在武夷山以西花岗质岩石中发现这类包体尚属首

次。与浙、闽沿海的闪长质包体(周新民等,1992)一样,具有典型的反向脉和淬冷边。火山盆地内基底构造、盖层构造及火山构造发育,并交叉复合,共同控制了铀矿化的富集(范洪海,1996)。相山地区的基底主要为元古宙(Pt)低绿片岩相—低角闪岩相变质岩系,其中正变质的斜长角闪片岩及石英角闪片岩的Sm-Nd等时线年龄为1113±49Ma(胡恭任等,1999),其单颗粒锆石的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年龄为1190Ma±19(余达溢等,1999),区域上应归属周潭群地层。

3 样品采集及分析方法

作同位素分析的样品的选择充分考虑了不同岩性、岩相及区域上的代表性(图1)。全岩的铅同位素组成由宜昌地质矿产研究所同位素实验室分析,采用离子交换法分离提纯Pb,由MAT-261质谱计测定Pb的同位素组成,全流程Pb的空白本底为2×10⁻⁸g,分析精度优于0.1%,详细分析流程见文献(张理刚等,1993)。铀、钍含量分析由核工业华东地质局分析测试中心采用TBP色层分离比色法完成,检出限为1×10⁻⁷;铅含量由宜昌地质矿产研究所化学分析室采用日立1880原子吸收光谱仪测试,检出限为0.3×10⁻⁹。Nd、Sr同位素组成由中国科学院地质研究所同位素实验室分析,其分析方法、精度及流程均有文献报道(黄登等,1990)。Nd、Sr和Pb同位素分析结果分别列于表1、表2。

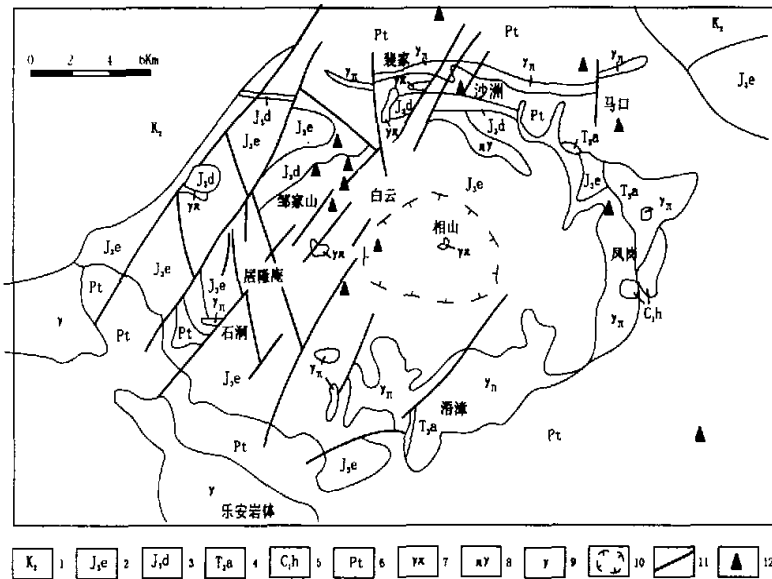


图1 相山地区地质略图

1. 砂砾岩; 2. 下段晶屑、玻璃凝灰岩,上段碎斑熔岩; 3. 下段粉砂岩,上段流纹英安岩; 4. 砂岩、砂砾岩; 5. 砂岩、石英砂岩; 6. 变质岩;
7. 次花岗闪长斑岩; 8. 次斑状花岗闪长岩; 9. 花岗岩; 10. 火山颈(推测); 11. 断裂; 12. 取样位置

Fig. 1 Geological sketch map of Xiangshan area

表 1 相山火山-侵入岩 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素组成

Table 1 Nd and Sr isotopic compositions of volcanic-intrusive complex at Xiangshan

样品号	岩性	Rb (10 ⁻⁶)	Sr (10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Isr	Sm (10 ⁻⁶)	Nd (10 ⁻⁶)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴⁹ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (t)	t _{DM} [*] (Ma)	资料来源
X19-1	次花岗闪长斑岩	184.5	184.3	2.901	0.717574 ± 30	0.712007	11.210	65.42	0.1037	0.512099 ± 18	-8.91	1653	本文
Jx-1	次花岗闪长斑岩	185.5	217.4	2.471	0.715757	0.711016	9.000	58.20	0.0940	0.512150	-7.75	1559	Gilder, 1996
Sb-1	次花岗闪长斑岩	177.5	205.3	2.505	0.715619 ± 14	0.710812	9.503	61.21	0.0939	0.512165 ± 12	-7.46	1535	本文
X92-1	碎斑岩						7.896	41.93	0.1167	0.512083 ± 20	-9.40	1697	沈渭洲, 1992
X9-21	碎斑岩边缘相	298.8	42.7	20.320	0.750237 ± 12	0.709790	5.787	20.54	0.1704	0.512188 ± 16	-8.31	1609	本文
x9-22	碎斑熔岩过覆相	275.1	70.3	11.350	0.733224 ± 16	0.710638	7.106	31.21	0.1377	0.512199 ± 16	-7.51	1544	本文
x9-24	碎斑熔岩中心相	289.7	71.2	11.810	0.731717 ± 22	0.708215	6.966	32.49	0.1297	0.512182 ± 16	-7.70	1559	本文
X11-9	花岗质包体	237.3	229.7	2.994	0.716149 ± 12	0.710191	9.054	54.08	0.1013	0.512153 ± 04	-7.76	1564	本文
x9-18	流纹英安岩	263.2	181.1	4.213	0.718183 ± 18	0.709799	8.323	37.94	0.1327	0.512196 ± 06	-7.48	1541	本文
x9-20	流纹英安岩	255.5	112.7	6.573	0.721085 ± 28	0.708005	7.857	37.98	0.1251	0.512161 ± 12	-8.03	1586	本文
x9-27	流纹英安岩	299.9	185.4	4.887	0.717991 ± 26	0.708664	8.057	44.15	0.1104	0.512175 ± 06	-7.49	1542	本文
X92-2	流纹英安岩						7.791	38.99	0.1209	0.512094 ± 18	-9.26	1686	沈渭洲, 1992
X92-3	流纹英安岩						9.400	42.00	0.1353	0.512135 ± 25	-8.72	1642	沈渭洲, 1992
Sb-3	闪长质包体淬冷边	67.5	165.4	1.182	0.713251 ± 30	0.710983	19.250	77.78	0.1497	0.512227 ± 18	-7.21	1515	本文
X19-2	闪长质包体边部	250.7	545.3	1.498	0.713741 ± 14	0.710867	9.877	82.04	0.1201	0.512234 ± 09	-6.56	1463	本文
Sb-5	闪长质包体中心	138.7	222.8	1.803	0.711515 ± 12	0.708055	4.838	26.45	0.1106	0.512346 ± 14	-4.21	1272	本文

$$* t_{DM} = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{me}}}{(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{me}} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM}} \right] (e^{\lambda t} - 1)$$

式中 $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.2136$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{DM} = 0.513151$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{me}} = 0.118$, $\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{a}^{-1}$, 角标 m 代表样品测定值, t 代表岩石结晶年龄。

表2 相山火山岩和基底变质岩的铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic compositions of volcanic rocks and basement metamorphic rocks at Xiangshan

样品号	岩石名称	钠含量 (10^{-6})	钛含量 (10^{-6})	铅含量 (10^{-6})	$^{206}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	$^{207}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	$^{208}\text{Pb}/$ ^{204}Pb	$(^{206}\text{Pb}/$ $^{204}\text{Pb})_t$	$(^{207}\text{Pb}/$ $^{204}\text{Pb})_t$	$(^{208}\text{Pb}/$ $^{204}\text{Pb})_t$	资料来源
x-40	黑云母石英片岩	1.1	7.7	73	18.316	15.658	38.470	18.295	15.657	38.422	本文
x-43	黑云母石英片岩	8.9	6.2	59	18.091	15.642	38.212	17.884	15.614	38.165	本文
x-44	黑云母石英片岩	1.8	8.7	63	18.075	15.663	38.270	18.036	15.661	38.028	本文
x-45	黑云母石英片岩	1.8	11.9	22	18.100	15.663	38.713	17.987	15.657	38.467	①
x-50	黑云母石英片岩	2.7	10.8	59	18.145	15.684	38.378	18.082	15.681	38.295	①
x-49	云母石英片岩	8.8	10.8	70	18.480	15.716	38.907	18.304	15.707	38.836	本文
x-80	黑云母石英片岩	2.1	8.0	43	18.062	15.636	38.729	17.994	15.632	38.645	本文
x-52	含碳板岩	5.9	18.4	29	18.823	15.651	38.935	18.538	15.637	38.643	本文
x-31	绢云母千枚岩	4.7	19.0	30	18.516	15.633	38.707	18.298	15.622	38.418	①
x-34	绢云母千枚岩	2.5	13.0	99	18.110	15.718	38.647	18.075	15.716	38.587	①
x-58	板岩	3.6	11.7	27	17.924	15.616	38.484	17.741	15.607	38.289	本文
z-1	微晶黑云母石英片岩	3.8	11.0	38	17.658	15.492	37.814	17.522	15.485	37.685	本文
z-2	微晶黑云母石英片岩	3.0	7.3	24	17.999	15.542	38.407	17.827	15.534	38.270	本文
x-62	流纹英安岩	3.6	22.6	28	18.469	15.593	38.867	18.289	15.584	38.498	本文
x-63	流纹英安岩	4.2	21.2	27	18.499	15.573	38.692	18.283	15.562	38.334	本文
x-64	流纹英安岩	4.7	20.5	28	18.465	15.609	38.844	18.231	15.598	38.510	本文
x-65	流纹英安岩	4.9	21.7	23	18.552	15.607	38.780	18.255	15.593	38.349	本文
x-67	碎斑熔岩	8.8	26.1	30	18.605	15.623	38.796	18.196	15.603	38.398	本文
x-70	碎斑熔岩	4.0	23.8	26	18.537	15.587	38.803	18.323	15.577	38.385	本文
x-72	碎斑熔岩	8.3	24.1	37	18.489	15.586	38.708	18.177	15.571	38.411	本文
x-74	碎斑熔岩	8.0	22.9	30	18.591	15.748	39.288	18.216	15.730	38.936	本文
x-77	碎斑熔岩	3.2	21.1	26	18.492	15.557	38.838	18.321	15.549	38.468	本文
T-10	花岗质包体	5.5	19.4	29	18.393	15.599	38.739	18.130	15.586	38.434	本文
T-9	花岗质包体	4.2	23.6	28	18.434	15.614	38.857	18.225	15.604	38.472	本文
T-3	花岗质包体	3.9	20.4	26	18.368	15.545	38.691	18.160	15.535	38.334	本文
T-2	花岗质包体	3.8	22.8	17	18.591	15.574	39.003	18.279	15.559	38.388	本文
T-1	花岗质包体	11.2	22.1	20	18.463	15.561	38.646	17.686	15.523	38.143	本文

① 胡恭任. 赣中变质岩带的地质地球化学、同位素年代学及变质作用 PT-t 轨迹研究, 1998, 南京大学地球科学系博士学位论文.
 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 、 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 及 $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_t$ 表示 $t=140\text{ Ma}$ 时的 Pb 同位素比值。

4 结果与讨论

4.1 Sr、Nd 同位素

表 1 中火山岩及次火山岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 和 I_{Sr} 值分别按 140Ma 和 135Ma 的成岩年龄计算。由于相山火山-侵入杂岩的 $^{147}Sm/^{144}Nd$ 值(0.0939~0.1704)已显示出较明显的变化, 为了减少因 Sm-Nd 同位素分馏对 Nd 模式年龄(t_{DM})计算值产生的影响, 因此, 本文采用两阶段模式(Chen *et al.*, 1998)计算 Nd 同位素模式年龄(t_{DM})。从表 1 可以看出, 相山次火山岩具有较高的 I_{Sr} 值(0.71081~0.71201), 火山岩也同样具有较高的 I_{Sr} 值(0.70801~0.71064), 与华南陆壳改造系列花岗岩的值(徐克勤等, 1989)相类似, 说明其成岩物质主要为壳源。相山火山岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 -9.40~-7.48(平均为 -8.44), t_{DM} 值为 1541~1697Ma(平均 1619Ma), 次火山岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 -8.91~-7.46(平均为 -8.19), t_{DM} 值为 1535~1653Ma(平均 1594Ma), 两者非常相似, 证实它们是属于同源火山岩浆活动的产物。闪长质包体与其寄主岩(次花岗岩闪长斑岩)相比, 具有较高的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-7.21~-4.21)和较低的 t_{DM} 值(1272~1515 Ma)。闪长质包体的淬冷边(Sb-3 号样品)具有较低 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-7.21)和较高的 t_{DM} 值(1515 Ma), 与寄主岩的值比较接近, 这可能是由于其同位素组成受到了

寄主岩的混染或交换; 而 Sb-5 号样品由于取自闪长质包体的中心部位, 因此, 具有较高的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-4.21)。但相山次火山岩中闪长质包体的规模较小, 一般在数厘米至数十厘米之间, 可能都不同程度地受到了酸性寄主岩浆的混染, 因此, 最终固结形成闪长质包体的初始岩浆的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值应 ≥ -4.21 。该值与寄主岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-8.91~-7.46)的差异明显, 表明闪长质包体的成岩物质来源与寄主岩相比, 其中含有较多的地幔组分, 即属于壳-幔混合作用的产物, 岩石学、矿物学及稀土元素地球化学特征均予以证实(范洪海等, 2001)。在 $I_{Sr}-\epsilon_{Nd}(t)$ 图上(图 2), 相山火山岩及次火山岩的数据点落在华南 S 型花岗岩的投影域内, 暗示它们与华南 S 型花岗岩有相似的物源, 即成岩物质主要来源于地壳。相山火山岩含有富钨矿物(石榴子石、红柱石)(刘昌实等, 1992)且具有较高的 $\delta^{18}O$ 值(10.1‰~12.0‰)(沈渭洲等, 1992、夏令圻等, 1992、陈迪云等, 1994), 也证实了相山火山岩及次火山岩的壳源特征。至于有些数据点落在华南 S 型花岗岩与 I 型花岗岩的交错区, 说明相山火山岩及次火山岩在成岩过程中并不排除有少量幔源组分的参与。次火山岩中辉石闪长质淬冷包体的发现, 表明在次火山岩成岩过程中幔源岩浆混合作用的存在(范洪海等, 2001)。受寄主岩浆混染程度较低的闪长质包体的数据点(Sb-5)落在华南 I 型花岗岩的投影域, 揭示其成岩物质来源较深、部分来自幔源物质。

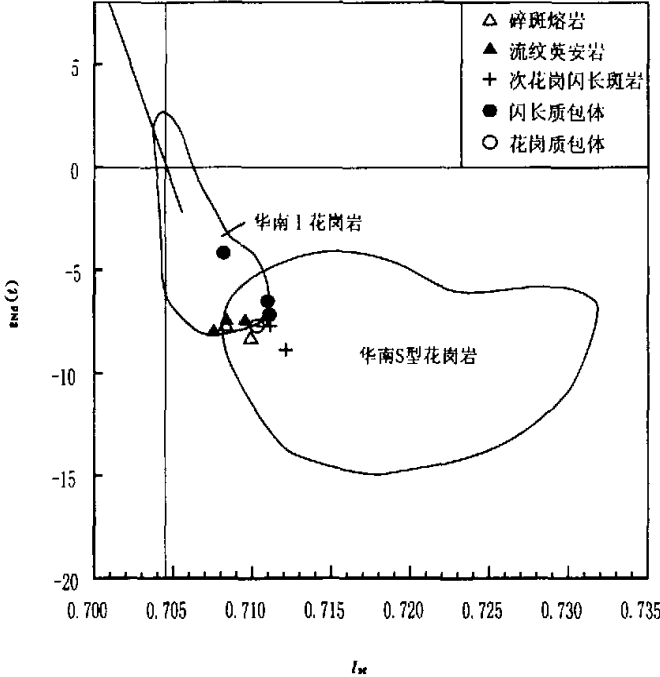


图 2 相山火山-侵入杂岩 $I_{Sr}-\epsilon_{Nd}(t)$ 图

华南 I 型和 S 型花岗岩的范围根据凌洪飞等(1998)

Fig. 2 $I_{Sr}-\epsilon_{Nd}(t)$ diagram of volcanic-intrusive complex at Xiangshan

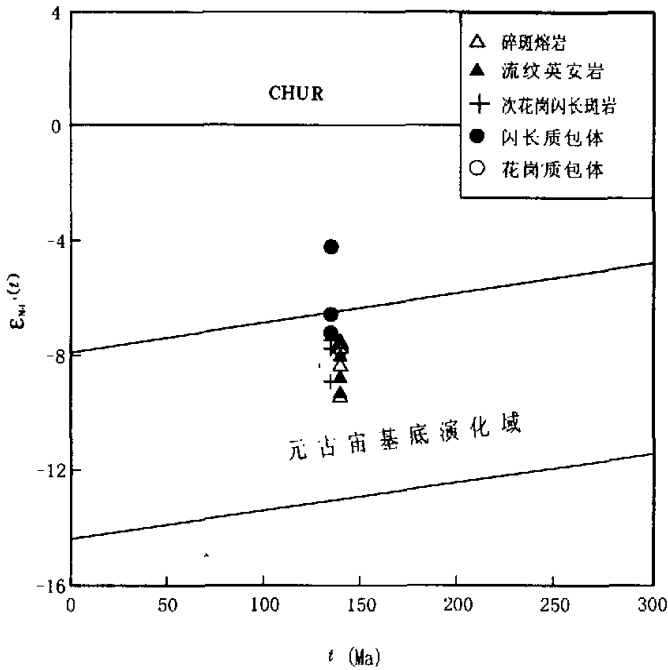


图3 相山火山-侵入杂岩 $\epsilon_{Nd}(t) - t$ 图 基底变质岩同位素演化域根据胡恭任等(1998)的数据作出
Fig. 3 $\epsilon_{Nd}(t) - t$ diagram of volcanic-intrusive complex at Xiangshan

在 $\epsilon_{Nd}(t) - t$ 图上(图3),相山火山-侵入杂岩及碎斑熔岩中心相的花岗质包体的投影点均分布在相山元古宙基底变质沉积岩(周潭群)演化域范围之内,并处在演化域的上部,说明其物源区的性质与周潭群变质沉积岩相似,且具有较低的成熟度或含有一定量的火成物质。闪长质包体的数据点落在基底岩石演化域内的更上部及基底岩石演化域之上,进一步证实其成岩物质部分来自地幔的可能性。

4.2 铅同位素

相山火山岩和基底变质岩的U($1.1 \sim 11.2 \times 10^{-6}$),Th($6.2 \sim 26.1 \times 10^{-6}$)含量变化较明显。因此本文以火山岩形成时间(140Ma)进行成岩后放射衰变成因铅的扣除,以校正后的铅同位素比值(表2)进行讨论。由表2所列的数据可知,相山基底变质岩的铅同位素组成变化明显: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.522 \sim 18.538$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.485 \sim 15.716$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.685 \sim 38.836$ 。在铅构造模式演化图中(图4),其数据点分布范围较大,其中大部分数据点都位于上地壳演化线以下。黑云母石英片岩、千枚岩和板岩的原岩成分以泥质岩石为主,成熟度较高,因而具有较高的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值;而微晶黑云母石英片岩的原岩含有较多的火山碎屑,反映其成熟度较低,因而具有较低的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值。基底变质岩的铅同位素组成具有较大的变化范围,表明其铅同位素组成在低绿片岩-低角闪岩相变质作用过程中并没有达到均一。在相山火山岩中,流纹英安岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.231 \sim 18.289$,

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.562 \sim 15.598$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.334 \sim 38.510$;碎斑熔岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.177 \sim 18.323$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.549 \sim 15.603$ (其中x-74号样品的值为15.730), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.385 \sim 38.936$;碎斑熔岩中花岗质包体的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.686 \sim 18.279$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.523 \sim 15.604$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.143 \sim 38.472$ 。这些数据表明:流纹英安岩、碎斑熔岩(除x-74号样品以外)和碎斑熔岩中的花岗质包体均具有相似且相对均一的铅同位素组成,其数据点分布于上地壳演化线以下较小的区域内(见图4)。x-74号样品的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值比较高,在图4中位于上地壳演化线之上,可能是其中含有基底变质岩岩屑所致。但总体上看,相山火山岩及碎斑熔岩中的花岗质包体具有相似的铅同位素组成,意味着它们来自共同的源区。

在铅构造模式图中(图4),相山火山岩和基底变质岩的数据点总体上具有相似分布范围,说明两者具有相似的铅同位素组成,反映相山火山岩的物源区在成分上与相山地区所露的基底变质沉积岩相类似,进一步说明相山火山岩主要是由地壳岩石经部分熔融所衍生。其成岩机制可能与中生代太平洋-库拉板块向欧亚板块俯冲所造成的岩石圈消减和由此引起的玄武岩浆的底侵垫托作用有关(徐夕生等,1999)。相山火山岩及碎斑熔岩中的花岗质包体的数据点大都分布在上地壳演化线与地幔演化线之间,且与大多数基底变质岩数据点相比,其位置更靠近地幔演化线,表明有部分地幔物质的介入,这与Nd,Sr同位素所获的结论相吻合。

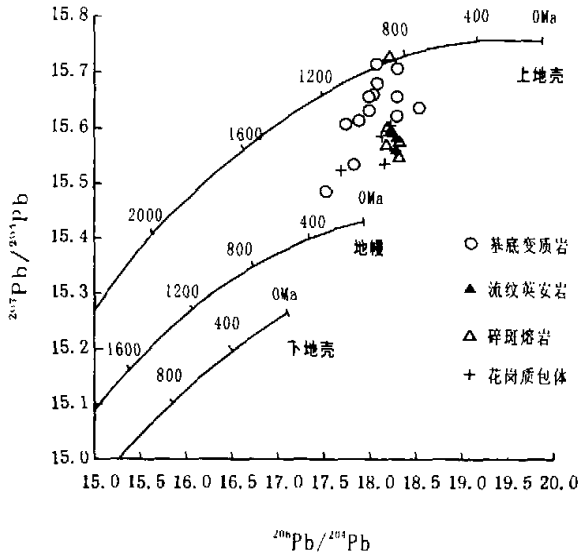


图4 相山火山岩及基底变质岩铅构造模式图 图中上地壳、地幔及下地壳的演化线据李龙等(2001)

Fig.4 The plumo tectonic diagram of Xiangshan volcanic rocks and basement metamorphic rocks

5 结论

(1) 相山火山岩、次火山岩存在于同一火山机构内,其同位素年龄值相近,且Nd、Sr、Pb同位素组成相似,表明火山岩与次火山岩在时、空、源三方面的一致性,构成典型的火山-侵入杂岩体。

(2) 相山火山岩、次火山岩与该区出露的基底变质沉积岩在Nd、Pb同位素组成上既有明显的相似性,又有一定差别,反映其成岩物质应主要来自地壳岩石。但与该区出露的基底变质沉积岩相比,相山火山岩及次火山岩的物源区可能成熟度相对较低或含有一定量的火成物质,并且在成岩过程中不排除少量地幔物质的介入。

(3) 在次火山岩中,辉石闪长质淬冷包体的成岩物质含有较多的地幔组分,可能是壳-幔混合作用的产物。

致谢 本文在研究过程中得到了南京大学地球科学系章邦桐教授热情帮助,Nd、Sr同位素测试工作由黄莹研究员完成,核工业270研究所49-5.1课题组的同志共同承担了样品的采集工作,在此一并致谢!

References

Ayuso R A. 1986. Lead-isotopic evidence for distinct sources of granite and for distinct basements in the northern Appalachians, Maine. *Geology*, 14, 322-325
Chen Diyun, Zhou Wenbin, Wu Bailin. 1994. A study on Rb, Sr, O

and Pb isotope geochemistry of Xiangshan clasto-porphyrific lave. *Journal of Nanjing University (Earth Sciences)*, 6(4): 45-49 (in Chinese with English abstract)
Chen Fanrong, Shen Weizhou, Wang Dezi, Liu Changshi. 1990. Isotopic geochemistry of uranium ore field No. 1220 and the implication to ore genesis. *Geotectonica et Metallogenia*, 14(1): 69-77 (in Chinese)
Chen Jiangfeng, Jahn Bor-ming. 1998. Crustal evolution of south-eastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284:101-133
Chen Xiaoming, Lu Jianjun, Liu Changshi, Zhao Lianze, Wang Dezi, Li Huimin. 1999. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic-intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 272-278 (in Chinese with English abstract)
Fan Honghai. 1996. Metallogenic geologic conditions and prospecting directions of Zoujiashan uranium deposit. *Uranium Geology of East China*, (3-4): 1-8 (in Chinese)
Fan Honghai, Wang Dezi, Liu Changshi, Zhao Liangze, Ling Hongfei, Duan Yun. 2001. Discovery of quenched enclaves in subvolcanic rocks in Xiangshan, Jiangxi province and its genetic mechanism. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 64-69 (in Chinese with English abstract)
Gilder S A, Gill J, Coe R S *et al.* 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *Journal of Geophysical Research*, 101(B7):16,137-16,154
Hu Gongren, Zhang Bangtong. 1998. Neodymium isotope compositions and source materials of the metabasement in central Jiangxi province. *Acta Petrol. Mineral.*, 17(1): 35-40 (in Chinese with English abstract)
Hu Gongren, Zhang Bangtong, Wang Xiangyun. 1999. Mineralogy, petrology and isotopic geochemistry of the Proterozoic amphibolites from Xiangshan, central Jiangxi province. *Geochimica*, 27(3): 217-229 (in Chinese with English abstract)
Huang Xuan, Wu Liren. 1990. Nd-Sr isotopes of granitoids from

- Shanxi province and their significance for tectonic evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 6(2): 1-11 (in Chinese with English abstract)
- Li Long, Zheng Yongfei, Zhou Jianbo. 2001. Dynamic model for Pb isotope evolution in the continental crust of China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 61-68 (in Chinese with English abstract)
- Li Xianhua, Gui Xuntang. 1991. On the material sources of the Caledonian granites in Wanyangshan-Zhuguangshan mountain. *Science in China (Series B)*, 5: 533-540 (in Chinese)
- Ling Hongfei, Xu Shijin, Shen Weizhou, Wang Rucheng, Lin Yuping. 1998. Nd, Sr, Pb and O isotopic compositions of Late Proterozoic Gezong- and Donggu-granites in the western margin of Yangtze Plate and comparison with other coeval granitoids. *Acta Petrologica Sinica*, 14(3): 269-277 (in Chinese with English abstract)
- Liu Changshi, Chu Xuejun, Shen Weizhou, Chen Fanrong, Wang Dezi. 1992. The discovery and genetic significance of Al-rich minerals in Mesozoic volcanic rocks of Dongxiang-Xiangshan, Jiangxi province. *Geological Review*, 38(2): 157-163 (in Chinese with English abstract)
- Samson S D, Coler D G, Speer J A. 1995. Geochemical and Nd-Sr-Pb isotopic compositions of Alleghanian granites of the southern Appalachians; origin, tectonic setting, and source characterization. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 134: 359-376
- Shen Weizhou, Chen Fanrong, Liu Changshi, Wang Dezi. 1992. Isotopic geochemical characteristics and source material for two types of volcanic-intrusive complexes in Jiangxi province. *Acta Petrologica Sinica*, 8(2): 177-184 (in Chinese with English abstract)
- Shen Weizhou, Ling Hongfei, Li Wuxian, Wang Dezi, Huang Xuan, Pan Jun. 1999. The Nd-Sr isotope study of Mesozoic granitoids in Jiangxi province. *Chinese Science Bulletin*, 44(15): 1427-1431
- Wang Dezi, Liu Changshi, Shen Weizhou, Chen Fanrong. 1993. The contrast between Tonglu I-type and Xiangshan S-type clastoporphyratic lava. *Acta Geologica Sinica*, 9(1): 44-54 (in Chinese with English abstract)
- Xia Linqi, Xia Zuchun, Zhang Cheng, Clocchiatti R, Dardel J, Joron J L. 1992. Petrogeochemistry of Mesozoic uraniferous volcanic complex from Xiangshan, China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Xu Keqin, Zhu Jinchu, Liu Changshi, Shen Weizhou, Xu Shijin. 1989. Genetic series and material sources of granitoids in south China. *Journal of Nanjing University*, 3: 1-18 (in Chinese with English abstract)
- Xu Xisheng, Zhou Xinmin, O' Reilly SY, Tang Hongfeng. 1999. Exploration for the lower crustal materials and granite genesis in Southeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 217-223 (in Chinese with English abstract)
- Yao Cui and Russell J K. 1995. Nd-Sr-Pb isotopic studies of the southern Coast Plutonic Complex, southwestern British Columbia. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 107(2): 127-138
- Yú Dagan, Ai Guigen, Huang Guofu, Liu Pinghui. 1999. Geochronology and geological significance of the Zhoutan Group in Jiangxi province. *Acta Geosci. Sinica*, 2(2): 195-200 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Ligang, Xing Fengming. 1993. Feldspar Pb isotopic compositions and geological significance of Mesozoic granites in Anhui province. *Acta Petrologica Sinica*, 9(3): 254-257 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Ligang *et al.* 1995. Block-geology of Eastern Asia lithosphere. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Zhou Xinmin, Yao Yupeng, Xu Xisheng. 1992. Quenched enclaves in Dajushan granitoid and their genesis. East Zhejiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 8(3): 234-242 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈迪云, 周文斌, 吴伯林. 1994. 相山碎斑熔岩物-锶、氧、铅同位素地球化学研究. *南京大学学报(地球科学)*, 6(1): 45-49
- 陈繁荣, 沈渭洲, 王德滋, 刘昌实. 1990. 1220 铀矿田同位素地球化学和矿床成因研究. *大地构造与成矿学*, 14(1): 69-78
- 陈小明, 陆建军, 刘昌实, 赵连洋, 王德滋, 李惠民. 1999. 桐庐-相山火山-侵入杂岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄. *岩石学报*, 15(2): 272-278
- 范洪海. 1996. 邹家山铀矿床成矿条件及找矿方向. *华东铀矿地质*, (3-4): 1-8
- 范洪海, 王德滋, 刘昌实, 赵连洋, 沈渭洲, 凌洪飞, 殷芸. 2001. 江西相山潜火山岩中淬冷包体的发现及其成因机制探讨. *地质学报*, 75(1): 64-69
- 胡恭任, 章邦桐. 1998. 赣中变质岩基底的 Nd 同位素组成和物质来源. *岩石矿物学杂志*, 17(1): 35-40
- 胡恭任, 章邦桐, 王湘云. 1999. 赣中变质岩带 Sm-Nd, Rb-Sr 同位素年代研究. *地质论评*, 45(2): 129-133
- 黄莹, 吴利仁. 1990. 陕西地区岩浆岩 Nd, Sr 同位素特征及其与大地构造发展的联系. *岩石学报*, 6(2): 1-11
- 李龙, 郑永飞, 周建波. 2001. 中国大陆地壳铅同位素演化的动力学模型. *岩石学报*, 17(1): 61-68
- 李献华, 桂训唐. 1991. 万洋山-诸广山加里东期花岗岩的物质来源——I. Sr-Nd-Pb-O 多元同位素体系示踪. *中国科学(B 辑)*, 5: 533-540
- 凌洪飞, 徐士进, 沈渭洲, 王汝成, 林雨萍. 1998. 格宗-东谷岩体 Nd, Sr, Pb, O 同位素特征及其与扬子板块边缘其它晋宁期花岗岩对比. *岩石学报*, 14(3): 269-277
- 刘昌实, 楚雪君, 沈渭洲, 陈繁荣, 王德滋. 1992. 江西东乡——相山中生代火山岩中富铝矿物的发现和成因意义. *地质论评*, 38(2): 157-162
- 沈渭洲, 陈繁荣, 刘昌实, 王德滋. 1992. 江西两类火山-侵入杂岩的同位素地球化学特征和物质来源. *岩石学报*, 8(2): 177-183
- 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 陈繁荣. 1993. 桐庐 I 型和相山 S 型两类碎斑熔岩对比. *岩石学报*, 9(1): 44-52
- 夏林圻, 夏祖春, 张诚, R. Clocchiatti, J. Dardel, J. L. Joron. 1992. 相山中生代含铀火山岩岩石地球化学. 北京: 地质出版社
- 徐克勤, 朱金初, 刘昌实, 沈渭洲, 徐士进. 1989. 华南花岗岩类的成因系列和物质来源. *南京大学学报(地球科学)*, 3: 1-18
- 徐夕生, 周新民, O' Reilly SY, 唐红峰. 1999. 中国东南部下地壳物质与花岗岩成因探索. *岩石学报*, 15(2): 217-223
- 余达淦, 艾桂根, 黄国夫, 刘平辉. 1999. 江西周潭群同位素年龄特征及其地质意义. *地球学报*, 20(2): 195-200
- 张理刚, 邢凤鸣. 1993. 安徽省中生代花岗岩长石铅同位素组成及其地质意义. *岩石学报*, 9(3): 254-257
- 张理刚等. 1995. 东亚岩石圈块体地质. 北京: 科学出版社, 35-39
- 周新民, 姚玉鹏, 徐夕生. 1992. 浙东大衢山花岗岩中淬冷包体及其成因机制. *岩石学报*, 8(3): 234-241