

湘南西山花岗质火山-侵入杂岩形成时代的确定

付建明^{1,2)} 马昌前¹⁾ 谢才富²⁾ 张业明^{1,2)} 彭松柏^{1,2)}

1)中国地质大学,湖北 武汉 430074;2)宜昌地质矿产研究所,湖北 宜昌 443003

摘要 湖南南部西山火山-侵入杂岩中3个代表性岩石单元(花岗岩、碎斑熔岩和流纹岩)的产状、岩石化学、微量元素和同位素地球化学特征显示,它们同空间、同物质来源。全岩 Rb-Sr 定年结果表明,花岗岩、碎斑熔岩和流纹岩的形成时代分别为 156 ± 6 Ma、 159 ± 2 Ma 和 154 ± 11 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 0.71779、0.71738 和 0.71774,其中碎斑熔岩的锆石 SHRIMP 定年结果为 156 ± 2 Ma,它们在误差范围内基本相同,为中侏罗世晚期同一构造岩浆事件中陆壳活化的产物。

关键词 火山-侵入杂岩 离子探针 U-Pb 年龄 全岩 Rb-Sr 年龄 湖南

The Determination of the Formation Ages of the Xishan Volcanic-Intrusive Complex in Southern Hunan Province

FU Jianming^{1,2)} MA Changqian¹⁾ XIE Caifu²⁾ ZHANG Yeming^{1,2)} PENG Songbai^{1,2)}

1)China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074;

2)Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang, Hubei, 443003

Abstract The occurrences, geochemistry and trace element and isotopic characteristics of three representative rock units, namely granite, clastoporphyritic lava and rhyolite, in Xishan granitic volcanic-intrusive complex of southern Hunan, indicate that they have identical space and material resources. The whole rock Rb-Sr dating shows that the ages of these three units are 156 ± 6 Ma, 159 ± 2 Ma and 154 ± 11 Ma, respectively, and the zircon SHRIMP age of the clastoporphyritic lava is 156 ± 2 Ma. These age data show that the Xishan complex was formed almost at the same time, and might have been the late stage product of the Middle Jurassic magmatism.

Key words volcanic-intrusive complex SHRIMP U-Pb age whole-rock Rb-Sr age Hunan Province

火山岩、次火山岩及侵入岩是否具有时间上的同时性或近时性、空间上的依存性和物质上的同源性是判定该套岩石组合是否属于火山-侵入杂岩的主要依据(Wang Dezi 等,1996;杜杨松等,1990)。但就目前而言,由于受同位素定年测试技术及测试手段的限制,在火山-侵入杂岩形成时间的确定中仍存在薄弱环节,从而制约了各岩石单元之间精确同位素年代关系的建立。湖南南部西山火山-侵入杂岩位于湖南、广东两省交界处的华南内陆,前人的研究工作(特别是年代学研究)较少,甚至非常重要的岩石单元到目前为止还没有一个同位素年龄数据(如西山火山岩),从而造成了人们对其性质的认识不统一:一种看法认为火山岩与花岗岩系同期岩浆

活动的产物”;另一种看法则认为二者“在活动空间上较密切,但时间上有较长一段距离”^①。另外,因在该杂岩体中出现罕见的铁橄榄石、铁辉石以及超镁铁岩包体(?)而倍受关注,确定其形成年龄,对建立杂岩体岩浆形成及演化的动力学过程具有极其重要的意义。为此本文把西山火山-侵入杂岩作为研究对象,选用高精度 SHRIMP U-Pb 法和全岩 Rb-Sr 法,对其进行了同位素年代学研究。

1 杂岩体地质概况和地球化学特征

湖南南部西山地区位于扬子陆块与华夏陆块接合带上(张季生等,2002),郴州-临武深大断裂从西山杂岩体东部通过(图1),该区地质构造复杂,古生

本文由宜昌地质矿产研究所科技发展基金(编号 K200302)和中国地质调查局基础地质综合研究项目(编号 200113900018)资助。
改回日期 2003-8-7,责任编辑:宫月萱。

第一作者:付建明,男,1964年生,副研究员,在读博士生,从事岩石地球化学研究,E-mail:ycfjjanmin@egs.gov.cn。

① 广东省地质数据73.1:20万连县幅区域地质调查报告。

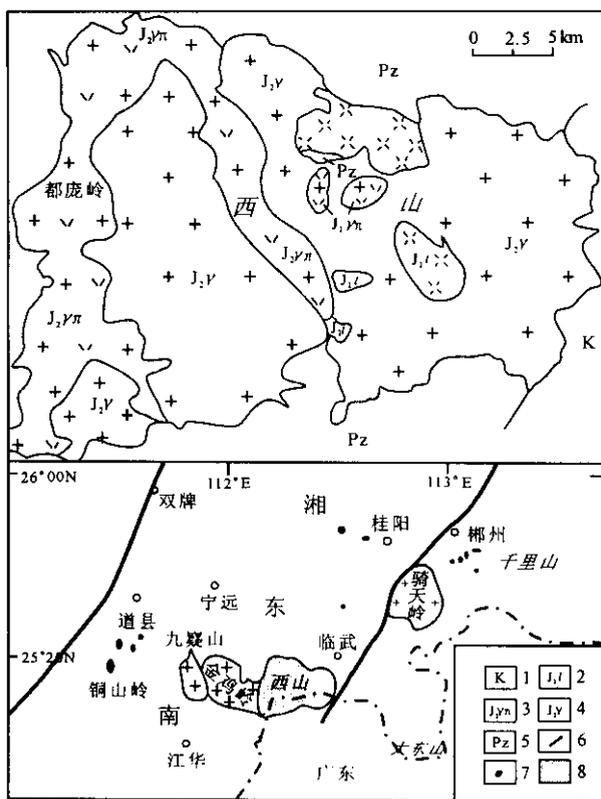


图1 湘南西山岩浆岩分布略图

(据湖南省地质调查院资料改编)

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution

of Xishan volcanic-intrusive complex rocks

(after Hunan Geological Survey)

1-白垩系; 2-火山岩; 3-碎斑熔岩; 4-花岗岩;

5-古生代; 6-深大断裂; 7-小岩体; 8-研究区

1-Cretaceous 2-volcanic rock 3-clastoporphyrritic lava 4-granite;

5-Paleozoic 6-deep fault 7-small rock body 8-studied region

代地层尤为发育,出露的最老地层为震旦系。杂岩体为一规模较大的中浅成-喷发的过渡类型岩体。其东西长约 37 km,南北宽约 25 km,面积达 705 km²,呈岩盆状产出(图 1)。岩浆岩岩性复杂,从中浅成花岗岩、花岗斑岩、碎斑熔岩至喷溢火山岩都可见到。火山岩的底部为英安-流纹质火山角砾岩;下部为流纹岩、凝灰岩、流纹质熔结凝灰岩及沉积岩;中、上部以熔结凝灰岩及流纹岩为主(湖南省地质矿产局,1988)。该火山岩与下伏寒武纪或泥盆纪地层呈不整合接触关系,又被西山中细粒斑状黑云母二(正)长花岗岩岩体侵入或包裹。局部可见西山花岗岩与微细粒花岗质碎斑熔岩呈过渡关系,之间没有明显的界限。微细粒花岗质碎斑熔岩的岩石结构特殊,以含大量的爆裂斑晶并见有超镁铁岩包体(?)为特征。长石、石英及黑云母晶屑常见,其次为铁橄榄

石和铁辉石晶屑;基质为微细粒花岗结构,具有喷出-侵入过渡型结构特点。由此可见,西山地区出露的火山岩、碎斑熔岩和中浅成侵入岩在空间上紧密共生,同属于一个剥蚀较深的破火山机构中不同产状的一套岩石。

西山火山-侵入杂岩的岩石化学和同位素资料见表 1。杂岩体的 SiO₂ 变化范围为 66.20%~75.15%,K₂O+Na₂O 为 6.23%~8.31%,K₂O 含量高(3.95%~5.43%),K₂O/Na₂O 为 1.56~3.02,TiO₂ 含量低(0.14%~0.96%),属于亚碱性高钾钙碱性系列岩石组合。花岗岩、碎斑熔岩和流纹岩的 ANKC 平均值分别为 1.02、1.03 和 1.12,总体表现为 Al 过饱和。代表性样品的稀土元素总量(∑REE)高(267×10⁻⁶~402×10⁻⁶),轻重稀土比值(LREE/HREE)大(6.60~11.25);δEu 为 0.23~0.70,表现为较强烈的 Eu 负异常;所有样品稀土配分型式相似,均为轻稀土富集型。在微量元素蛛网图上花岗岩、碎斑熔岩和流纹岩的微量元素分布型式相似,均表现为大离子亲石元素 LIL(Rb, Th, U, K)的明显富集和 Ba、Sr、P、Ti 亏损。西山杂岩体的 ε_{Nd}(t) 值(-7.0~-8.0)较低,(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_t 值(0.71738~0.71779)较高,但各岩石单元之间的 ε_{Nd}(t) 值和 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_t 值变化不大(表 1)。杂岩体的 Nd 模式年龄(T_{2DM})变化范围很小(1 517~1 600 Ma),其中花岗岩的 T_{2DM} 为 1 521~1 600 Ma,碎斑熔岩 T_{2DM} 为 1 517~1 587 Ma,流纹岩 T_{2DM} 为 1 569~1 573 Ma,暗示它们的源岩可能均为中元古代的地壳物质。上述特征表明,西山杂岩体的主要岩石单元,即花岗岩、碎斑熔岩和流纹岩具有相同的物质来源,即均来自经过表壳沉积过程的地壳源岩,没有幔源物质明显混染。

2 测试方法与结果

Rb、Sr 同位素在宜昌地质矿产研究所分析。样品准确称重后取 50~100 mg 置于聚四氟乙烯封闭溶解样器中,加入适量的(⁸⁵Ru+⁸⁴Sr)混合稀释剂和氢氟酸及高氯酸混合酸分解样品,Rb 与 Sr 和其他杂质的分离,采用 AG50×8 阳离子交换技术,Rb、Sr 含量采用同位素稀释质谱法测定,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素比值由质谱直接测定,同位素分析在 MAT-261 可调多接收质谱计上完成。在整个同位素分析过程中,用 NBS987 和 NBS607 标准物质对分析流程和仪器进行了监控。同位素分析样品制备的全过程均在净化实验室内完成,与样品同时测定的全流程

表 1 西山火山-侵入杂岩主量元素(%)、微量元素(10^{-6})和 Nd-Sr 同位素组成
Table 1 Compositions of major elements(%), trace elements(10^{-6}) and Nd-Sr isotopes of the Xishan granitic volcanic-intrusive complex

项	花岗岩		流纹岩		碎斑熔岩	
	变化范围	平均值/N=5	变化范围	平均值/N=8	变化范围	平均值/N=8
SiO ₂	66.20~74.62	71.49	68.94~73.59	70.65	68.70~75.15	70.73
TiO ₂	0.25~0.96	0.47	0.29~0.52	0.43	0.14~0.61	0.40
Al ₂ O ₃	12.40~13.42	13.01	12.32~14.29	13.13	12.41~14.14	13.57
Na ₂ O	2.41~2.78	2.61	1.70~2.37	2.14	2.48~2.88	2.68
K ₂ O	3.95~5.43	4.88	4.60~5.39	4.96	4.43~5.42	4.98
P ₂ O ₅	0.06~0.30	0.15	0.14~0.24	0.19	0.06~0.23	0.16
K ₂ O+Na ₂ O	6.48~8.07	7.47	6.23~7.39	7.10	7.06~8.31	7.66
K ₂ O/Na ₂ O	1.56~2.06	1.87	1.84~3.02	2.31	1.68~2.04	1.85
ANKC	0.94~1.07	1.02	0.94~1.26	1.12	0.99~1.09	1.03
∑REE	267~402	324	349~387	362	322~358	338
LREE/HREE	6.60~11.25	8.92	8.08~8.62	8.29	7.18~11.15	8.98
δEu	0.23~0.65	0.42	0.48~0.64	0.56	0.27~0.70	0.47
Rb	162~239	218	174~271	212	155~277	222
61~175	105	109~156	130	58~141	99	
Ba	502~1119	766	1308~1507	1425	505~1166	830
Th	20.69~35.33	30.26	20.80~31.01	26.66	22.62~43.49	31.63
U	3.28~6.72	5.70	3.70~5.33	4.68	3.08~8.01	5.17
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) ₀	0.71774		0.71779		0.71738	
ε _{Nd} (t)	-7.1~-8.0		-7.7		-7.0~-7.9	
T _{2DM} /Ma	1521~1600		1569~1573		1517~1587	

注: N 为样品数; ANKC = Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O + CaO) 分子比。

Rb、Sr 空白本底分别为 5×10^{-10} g 和 2×10^{-10} g。分析结果列于表 2 中。

锆石按常规方法分选,最后在双目镜下挑纯。将需测定的锆石和 RSES 参考样 TEM(417 Ma)一起置于环氧树脂中,然后磨制样品,使锆石内部暴露,用于阴极发光研究及 SHRIMP U-Pb 分析。阴极发光研究在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成。锆石 SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院北京 SHRIMP II 上完成,详细分析流程和原理参考 Compston 等(1992)、Williams 等(1987)和简平等(2003)资料。应用 RSES 参考样 SL13(年龄 572 Ma;U 含量为 238×10^{-6})标定 U 等元素含量。表 3 中所列单个数据点的误差均为 1σ。所采用的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄具有 95% 的置信度。

3 讨论

采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 数据,采用 LUDWIG SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序计

算了西山火山-侵入杂岩的 SHRIMP U-Pb 年龄和 Rb-Sr 等时线年龄及其有关参数(表 2、表 3)。

阴极发光照片显示花岗质碎斑熔岩中的锆石较简单,大部分锆石为半自形-自形长柱状、韵律环带结构发育(图 2),清楚地指示了其岩浆成因。这类锆石的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄在 152~167 Ma(表 3),大部分集中在 153~159 Ma 狭小范围内,其中 11 个分析点成群分布于一致曲线上或附近,给出的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均值为 156 ± 2 Ma(图 3),该年龄值误差较小(MSWD 为 3.5),因此解释为碎斑熔岩的形成年龄是可靠的;另外,采用全岩 Rb-Sr 法获得碎斑熔岩等时线年龄为 159 ± 2 Ma(图 4),MSWD 等于 0.66。二者在误差范围内一致。由于 SHRIMP U-Pb 法有更高的精度,因此,将 156 Ma 作为碎斑熔岩的形成年龄更为可靠。花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 156 ± 6 Ma(图 5),MSWD 等于 6.65,与碎斑熔岩的形成年龄基本一致,表明它们是

表2 西山火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 2 Rb-Sr isotopic data of Xishan volcanic-intrusive complex

样号	岩性	Rb/ $\times 10^{-6}$	Sr/ $\times 10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	等时线年龄及参数
D102-1	花岗岩	226.6	87.55	7.499	0.73482	5	$t = 156 \pm 6 \text{ Ma}$ ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ₀ = 0.71774 MSWD = 6.65
D104-1		293.0	81.18	10.440	0.74109	5	
D104-1-1		297.6	79.46	10.730	0.74123	3	
D109-1		188.6	136.10	4.003	0.72648	6	
D5-1	碎斑熔岩	256.8	59.76	12.440	0.74523	5	$t = 159 \pm 2 \text{ Ma}$ ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ₀ = 0.71738 MSWD = 0.66
D23-1		269.6	65.93	11.830	0.74431	4	
D107-1		197.0	137.90	4.125	0.72688	2	
D107-2		163.3	147.60	3.173	0.72467	3	
D301		197.2	126.30	4.503	0.72712	3	
D302		192.2	135.30	4.090	0.72648	9	
D304		199.4	137.60	4.188	0.72699	4	
D16-1		流纹岩	182.6	166.20	3.172	0.72464	
D17-1	189.1		119.80	4.559	0.72752	1	
D15-3	202.4		142.70	4.097	0.72720	4	
D401	156.0		208.30	2.023	0.72229	4	
D410	190.1		176.10	3.118	0.72442	6	

表3 碎斑熔岩的离子探针 U-Pb 同位素分析结果

Table 3 SHRIMP U-Pb isotopic data of clastoporphyritic lava

测定点	$^{206}\text{Pbc}/\%$	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*/\times 10^{-6}$	t/Ma	合计 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \%$	合计 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \%$
1	0.02	195	129	0.69	4.05	153 \pm 2	41.28	1	0.0558	3
2	1.57	193	77	0.41	4.16	159 \pm 2	39.97	1	0.0531	3
3	5.29	68	35	0.54	1.48	159 \pm 3	39.38	2	0.0603	6
4	0.08	163	86	0.54	3.39	153 \pm 2	41.44	1	0.0536	4
5	0.54	335	214	0.66	6.91	153 \pm 1	41.61	1	0.0516	3
6	1.57	138	82	0.61	2.85	152 \pm 3	41.56	2	0.0558	4
7	0.94	323	158	0.50	6.77	155 \pm 1	40.99	1	0.0496	3
8	1.34	207	136	0.68	4.85	167 \pm 1	36.61	1	0.0801	4
9	—	229	131	0.59	4.91	158 \pm 3	40.06	2	0.0558	3
10	1.00	318	150	0.49	6.89	160 \pm 1	39.70	1	0.0528	2
11	0.32	416	273	0.68	8.88	158 \pm 1	40.24	1	0.0510	2
12	9.19	38	20	0.53	0.84	156 \pm 4	39.31	2	0.0807	6

注(1)误差为 1σ Pbc and Pb* 分别为普通铅和放射性成因铅;(2)标准校正误差为0.19% (3)普通铅根据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 进行校正。

在相同或相近时间形成的。有关火山岩的形成时代,广东省地质局区域地质调查队^①认为其形成于“燕山晚期”,具体时间为“后于晚侏罗世,先于早白

垩世”,湖南省地质矿产局(1988)将两江口火山岩的时代划为侏罗纪,西山岩体为燕山早期。湖南省区域地质调查所^②将两江口火山岩作为西山超单元的

① 广东省地质局区域地质调查队. 1973. 1:20 万连县幅区域地质调查报告.

② 湖南省地质矿产局区域地质调查所. 1994. 湖南省花岗岩单元-超单元划分及其成矿专属性.

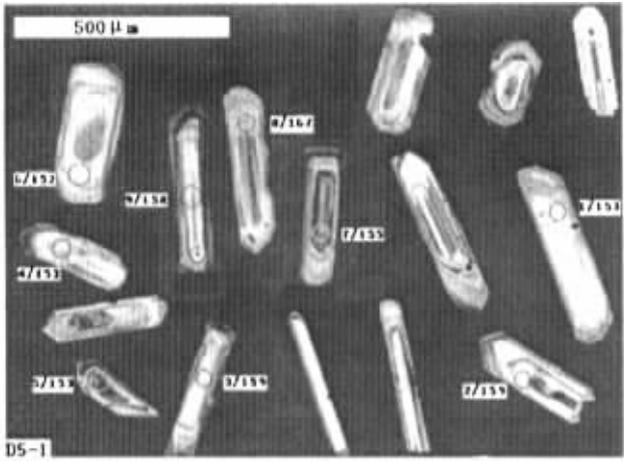


图 2 部分碎斑熔岩锆石阴极发光照片

Fig. 2 Cathodoluminescence photos of zircons from the clastoporphyritic lava
 图中所标数值分别为分析点号及²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄 (Ma)
 The digits are analytic numbers and ²⁰⁶Pb/²³⁸U age (Ma), respectively

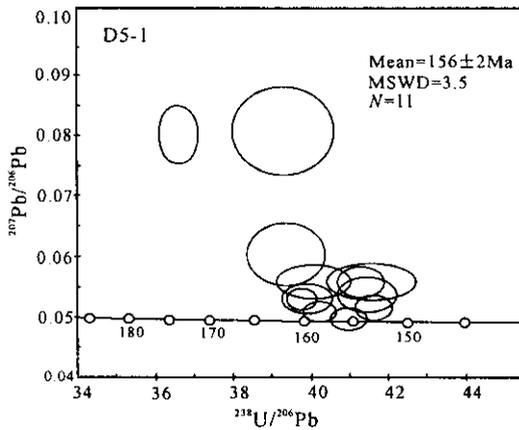


图 3 碎斑熔岩 SHRIMP U-Pb 年龄

Fig. 3 Zircon SHRIMP U-Pb age of clastoporphyritic lava

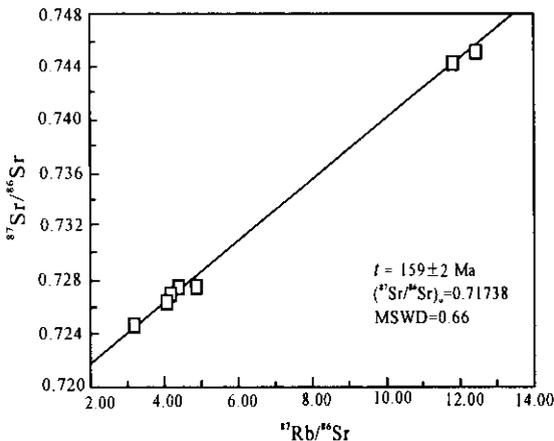


图 4 碎斑熔岩 Rb-Sr 等时线

Fig. 4 Rb-Sr isochron of clastoporphyritic lava

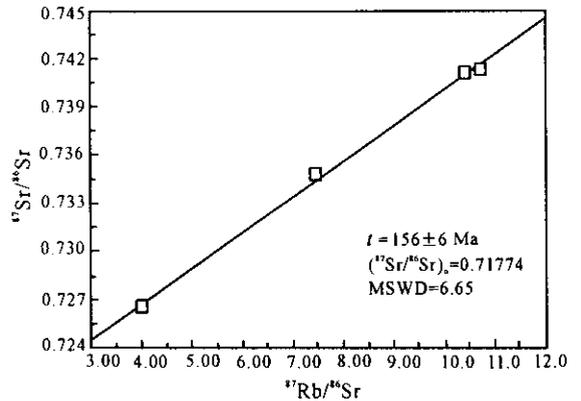


图 5 花岗岩 Rb-Sr 等时线

Fig. 5 Rb-Sr isochron of granite

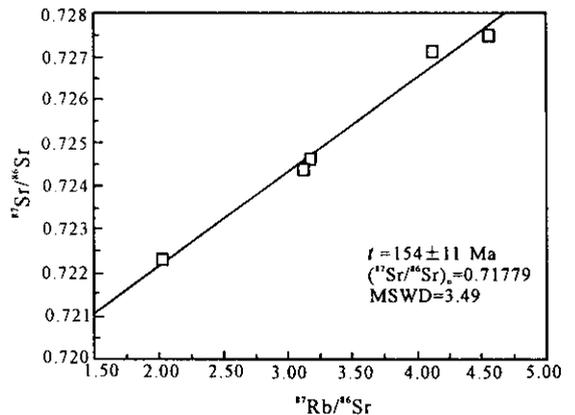


图 6 流纹岩 Rb-Sr 等时线

Fig. 6 Rb-Sr isochron of rhyolite

一个单元(两江口单元),时代同属中侏罗世。彭学军等(2003)从两江口酸性火山岩和西山花岗岩体的成因联系出发,结合火山岩中沉积岩夹层的化石及孢粉组合,认为火山岩的喷出时代主要是中侏罗世中期。但不论哪种认识,都缺乏同位素年龄数据的证实。为了解决西山火山岩的形成时代,此次研究在两江口火山岩中采集了 5 个流纹岩样品进行 Rb-Sr 同位素年龄测定,其 Rb-Sr 等时线年龄为 154 ± 11 Ma(图 6 表 2),MSWD 等于 3.49,与碎斑熔岩、花岗岩形成时代在实验误差范围内相同,从而证实它们具有同时性或近时性。值得注意的是流纹岩的年龄值略小于西山花岗岩的形成年龄(156 ± 6 Ma),这与花岗岩侵入火山岩的野外地质关系矛盾,究其原因可能是由于流纹岩全岩 Rb-Sr 法的测年误差较大所致。

4 结论

(1) 西山火山-侵入杂岩体中主要岩石单元流纹岩、碎斑熔岩和花岗岩的形成年龄分别为 154

Ma、156 Ma 和 156 Ma,它们在实验误差范围内一致,杂岩体基本上属于同时形成,为中侏罗世晚期同一岩浆活动的产物。

(2) 西山火山-侵入杂岩体具有较低的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(-7.1~-8.0)和较高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值。其中碎斑熔岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为0.71738,花岗岩为0.71774,流纹岩为0.71779,因此推测该杂岩体物质成分主要源于大陆地壳。

(3) 西山杂岩体中出露的3个主要岩石单元(流纹岩、碎斑熔岩及花岗岩)在时间上的同时性或近时性、空间上的依存性和物质上的同源性表明它们是产于一个剥蚀较深的破火山机构中的一套火山-侵入杂岩。

致谢 本文在写作过程中,康先济研究员、赵子杰研究员提出了许多宝贵的意见。SHRIMP分析由中国地质科学院地质研究所简平研究员指导,在此一并感谢。

参 考 文 献

- 杜杨松,王德滋,陈克荣. 1990. 浙东南沿海地区中生代火山-侵入杂岩的特征、演化和成因. 地质学报, 64(3): 215~225.
- 简平,刘敦一,孙晓猛. 2003. 滇川西部金沙江石炭纪蛇绿岩 SHRIMP 测年: 古特提斯洋盆演化的同位素年代学制约. 地质学报, 77(2): 217~228.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社, 492~493.
- 彭学军,李泽泓,倪艳军等. 2003. 湘南两江口火山岩的时代及其与西山岩体的成因联系. 华南地质与矿产(1): 7~11.
- 张季生,洪大卫. 2002. 划分华南不同块体的地球物理根据及与地球化学分区特征的对比研究. 地球学报, 23(2): 147~152.

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. 1988. Regional geology of Hunan province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. J. Geol. Soc., 149: 171~184.
- Du Yangsong, Wang Dezi, Chen Kerong. 1990. Features, genesis and distribution of the Mesozoic volcanic-intrusive complexes in the coastal area of southeastern Zhejiang province. Acta Geologica Sinica, 64(3): 215~225 (in Chinese).
- Jian Ping, Liu Dunyi, Sun Xiaoming. 2003. SHRIMP dating of carboniferous Jinshajiang ophiolite in Western Yunnan and Sichuan: geochronological constraints on the evolution of the Palaeo-Tethys oceanic crust. Acta Geologica Sinica, 77(2): 217~228 (in Chinese with English abstract).
- Pen Xuejun, Li Zehong, Ni Yanjun et al. 2003. Eruption age of Liangjiangkou volcanic rocks and their genetic relationships with the Xishan granite body in South Hunan province. Geology and Mineral Resources of South China, (1): 7~11 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Ren Qijiang. 1996. The Mesozoic volcanic-intrusive complexes and their metallogenic relations in East China. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. Contrib. Mineral. Petrol., 97: 205~217.
- Zhang Jisheng, Hong Dawei. 2002. The division of South China continent into different blocks based on geophysical evidence and comparison of geochemical features in different regions. Acta Geoscientia Sinica, 23(2): 147~152 (in Chinese with English abstract).