

湖南九疑山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年 及其地质意义

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

(1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要:应用 SHRIMP 锆石 U - Pb 法获得九疑山复式花岗岩中的主要岩体形成年龄为: 雪花顶花岗岩 (432 ± 21) Ma、金鸡岭花岗岩 (156 ± 2) Ma、砂子岭花岗岩 (157 ± 1) Ma 和西山火山 - 侵入杂岩 (156 ± 2) Ma。结果显示砂子岭岩体属燕山早期而非印支期; 西山火山 - 侵入杂岩属燕山早期而非燕山晚期。花岗岩中继承锆石复杂, 其形成时代为 1579 Ma、2108 Ma 和 2669 Ma, 提供了九疑山地区存在古 - 中元古代, 甚至太古代基底的年龄信息。新元古代 (912 Ma) 锆石的大量出现为扬子陆块和华夏陆块碰撞带通过本区的认识提供了一个间接证据。

关键词:花岗岩; SHRIMP 锆石 U - Pb 定年; 基底; 碰撞带; 九疑山

中图分类号: P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1552(2004)04-0370-09

1 前言

湖南九疑山地处华夏陆块与扬子陆块的接合部, 其北西为扬子陆块, 南东为华夏陆块 (图 1)。由于其特殊的大地构造位置, 一直倍受地质学界关注 (Gilder SA *et al.*, 1996; Chen J F and Jahn B M, 1998; 莫柱孙等, 1980; 王岳军等, 2001; 章邦桐等, 2001)。该区花岗岩成岩时间跨度大, 岩石成因类型众多, 且与多种金属矿产关系密切 (章邦桐等, 2001), 是研究岩浆 - 构造 - 成矿及壳幔演化等问题的理想地区之一。但是, 由于对花岗岩形成时代的争论较大, 从而严重阻碍了上述研究工作的深入。长期以来, 人们把九疑山复式花岗岩中的雪花顶岩体划为加里东期 (湖南省地质矿产局, 1988; 李耀崧等, 1986); 金鸡岭岩体划为燕山早期 (章邦桐等, 2001; 湖南省地质矿产局, 1988; 陈廷愚等, 1986)。大部分研究者认为砂子岭岩体属印支期 (湖南省地质矿产局, 1988, 1995), 少部分把它划为燕山早期

(章邦桐等, 2001; 陈廷愚等, 1986); 西山火山 - 侵入杂岩也有燕山晚期 (湖南省地质矿产局, 1988) 和早期 (陈廷愚等, 1986; 湖南省地质矿产局, 1995) 之说。已往对九疑山复式花岗岩同位素定年多采用全岩或黑云母 K - Ar 法、全岩 Rb - Sr 法和锆石 U - Pb 法。从已报道的 36 个年龄数据分析, 常常出现同一研究对象用相同或不同的测年方法而出现测年结果相差较大的情况: 雪花顶岩体年龄变化在 365 ~ 490.5 Ma 之间; 金鸡岭岩体 142 ~ 175 Ma; 砂子岭岩体 168.3 ~ 230 Ma, 而西山火山 - 侵入杂岩为 145.5 ~ 165 Ma。这种情况的出现除测年误差外, 还有测试方法本身存在局限性: 全岩和黑云母 K - Ar 年龄往往只反映最后一次热事件发生的时间, 对经历过多次构造热事件的本区岩体而言, 它们可能不代表岩体的形成年龄; 全岩 Rb - Sr 等时线年龄常常因容易受后期构造 - 热事件影响 (Rb - Sr 同位素体系封闭温度较低) 而导致其年龄值低于岩体的形成时代; 锆石 U - Pb 同位素体系的封闭温度高

收稿日期: 2004-04-05; 改回日期: 2004-06-23

基金项目: 中国地质调查局基础地质综合研究项目 (200313000041) 和 (200113900018) 资助。

作者简介: 付建明 (1964 -), 男, 研究员, 在职博士生, 从事岩石地球化学研究。Email: ycfjianmin@cgs.gov.cn

(>850) ,因此锆石 U - Pb 法年龄可以代表花岗岩体的结晶时代。但以往的锆石 U - Pb 定年因难于有效地区分岩浆锆石和继承锆石,而继承锆石在本区花岗岩中普遍存在,故已报道的测年结果的地质意义有待于进一步澄清。SHRIMP 锆石 U - Pb 法可以在 $<30\ \mu\text{m}$ 范围进行年龄测定,因而能够获得更可靠的微区同位素年龄数据,其地质意义是明确的。

2 区域地质背景及岩体地质概况

九疑山地区位于南岭东西向构造岩浆带的北缘,地质构造复杂,断裂构造十分发育,尤其以 NE 向为最重要。出露的地层以边缘海盆相沙泥质岩石为主的震旦系 - 志留系和以浅海台地相碳酸岩为主的泥盆系 - 中三叠统,在一些断陷盆地中发育上三叠统 - 侏罗系和白垩系的陆相沉积岩。花岗岩岩体出露广泛,除雪花顶岩体属于加里东期外,九疑山岩体的主体、骑田岭、千里山、铜山岭等岩体都属中生代构造 - 岩浆活动的产物。杭州 - 诸广山 - 花山高 ε_{Nd} 、低 T_{DM} 花岗岩带经过本区,该带被认为是新元古代华夏陆块与扬子陆块之间碰撞对接带(Hong et al., 1998)。

九疑山复式花岗岩体是著名的南岭花岗岩带的组成部分,出露面积 $1300\ \text{km}^2$,主要由 4 个岩体组成(图 1)。从西到东依次为:雪花顶岩体,地表出露面积约 $130\ \text{km}^2$,主要岩性为中细粒角闪石黑云母二长花岗岩,其中含大量的闪长质包体,侵入寒武系而被中泥盆统跳马涧组沉积不整合覆盖,无疑是加里东期岩浆活动的产物。主要造岩矿物成分为:石英 $27\% \sim 31\%$, 钾长石 $25\% \sim 30\%$, 斜长石 ($\text{An}_{15} \sim 37$) $30\% \sim 40\%$, 黑云母 $2\% \sim 5\%$, 角闪石 $1\% \sim 3\%$; 金鸡岭岩体,侵入于雪花顶及砂子岭岩体之间,南北两侧与寒武、震旦纪地层呈侵入接触关系,地表出露面积约 $390\ \text{km}^2$,主要岩性为中粗粒黑云母二长花岗岩,岩石具斑状结构,斑晶钾长石 $25\% \sim 30\%$, 基质主要矿物成分为:石英 $20\% \sim 35\%$, 钾长石 $20\% \sim 35\%$, 斜长石 ($\text{An}_{20} \sim 30$) $10\% \sim 25\%$, 黑云母 $2\% \sim$

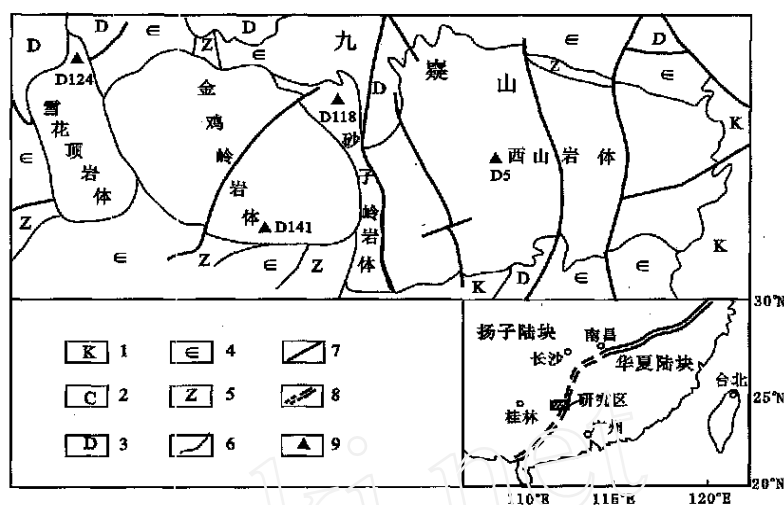


图 1 九疑山复式花岗岩的地质略图

1 - 白垩系; 2 - 石炭系; 3 - 泥盆系; 4 - 寒武系; 5 - 震旦系; 6 - 地质界线;
7 - 断层; 8 - 缝合带; 9 - 取样位置及样号

Fig. 1 Simplified geological map showing the distribution of the Jiuyishan composite granite

5%; 砂子岭岩体,位于金鸡岭岩体与西山岩体之间,在地表的出露面积约 $65\ \text{km}^2$,其东西两侧被金鸡岭岩体及西山岩体所侵入。主要岩性为中粒角闪石黑云母二长花岗岩及花岗闪长岩,岩石中含微细粒闪长岩包体,主要造岩矿物成分为:石英 $22\% \sim 30\%$, 钾长石 $20\% \sim 35\%$, 斜长石 ($\text{An}_{15} \sim 37$) $35\% \sim 45\%$, 黑云母 $5\% \sim 8\%$, 角闪石 $1\% \sim 3\%$; 西山火山 - 侵入杂岩体,出露面积达 $705\ \text{km}^2$,是一个火山 - 侵入过渡性岩体,岩性复杂,主要为中细粒斑状黑云母二(正)长花岗岩、微细粒花岗质碎斑熔岩和(英安)流纹(斑)岩,斑晶常具熔蚀现象,基质主要为细粒结构,有时为隐晶质结构,特别值得注意的是在岩石中有铁橄榄石、铁辉石以及超镁铁岩包体产出。

本区花岗岩岩石化学和同位素资料见表 1。花岗岩富 SiO_2 ($68.52\% \sim 75.88\%$)、贫 CaO ($0.67\% \sim 2.45\%$) 和 MgO ($0.07\% \sim 1.04\%$)、高 K_2O ($4.20\% \sim 5.05\%$) 和 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值 ($1.47 \sim 2.06$),属于高钾钙碱性系列的岩石;花岗岩的铝饱和和指数 A/CNK 值变化于 $0.99 \sim 1.08$ 之间(平均 1.01),为偏铝质 - 弱过铝质花岗岩;花岗岩的 Sr 初始值都较大 ($0.71230 \sim 0.72157$), $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 低 ($-6.6 \sim -9.1$),这些特征表明花岗质岩浆主要来源于地壳岩石。

表 1 九嶷山复式花岗岩的岩石化学成分 (%) 和 Nd- Sr 同位素组成

Table 1 Chemical compositions and Nd- Sr isotopic compositions of the Jiuyishan composite granite

岩体 样号	雪花顶岩体		金鸡岭岩体		砂子岭岩体		西山火山 - 侵入杂岩	
	D124 - 3	平均值 (n = 4)	D141 - 1	平均值 (n = 5)	D118 - 1	平均值 (n = 3)	D5 - 1	平均值 (n = 16)
SiO ₂	70.38	70.88	75.88	75.60	68.52	70.45	75.10	70.88
TiO ₂	0.42	0.43	0.21	0.11	0.78	0.51	0.14	0.43
Al ₂ O ₃	13.27	13.28	11.81	12.32	13.22	13.11	12.41	13.28
Fe ₂ O ₃	0.12	0.82	0.16	0.22	0.41	0.21	0.03	0.82
FeO	3.61	3.62	3.20	2.22	5.28	4.28	2.59	3.62
MnO	0.07	0.06	0.04	0.04	0.09	0.07	0.04	0.06
MgO	1.33	0.44	0.11	0.07	1.04	0.71	0.64	0.44
CaO	2.11	1.75	0.93	0.67	2.45	1.89	1.09	1.75
Na ₂ O	2.75	2.46	2.76	3.31	2.60	2.58	2.48	2.46
K ₂ O	4.56	4.94	4.75	4.85	4.20	4.95	5.05	4.94
P ₂ O ₅	0.11	0.17	0.03	0.02	0.25	0.18	0.06	0.17
A/ CNK	1.00	1.06	1.04	1.04	0.99	1.00	1.08	1.06
K ₂ O/ Na ₂ O	1.66	2.06	1.72	1.47	1.62	1.92	2.04	2.01
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) ₀	0.71612 ~ 0.71819		0.71665 ~ 0.71936		0.71642 ~ 0.71761		0.71612 ~ 0.71819	
ε _{Nd} (t)	- 7.7 ~ - 8.6		- 6.6 ~ - 7.6		- 7.3 ~ - 7.4		- 7.0 ~ - 9.1	

3 样品来源及测试方法

在详细的岩石薄片显微镜观察及主量元素和微量元素研究的基础上,每个主要岩体中精选出一个新鲜、有代表性的样品(雪花顶岩体 D124 - 3 ;金鸡岭岩体 D141 - 1 ;砂子岭岩体 D118 - 1 和西山火山 - 侵入杂岩 D5 - 1)(取样位置见图 1),每个样品重 5 ~ 10 kg,通过人工破碎重砂淘洗法分选出锆石,最后在双目镜下挑纯。将需测定的锆石和 RSES 参考 EM (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 锆石 U - Pb 分析。阴极发光研究在中国地质科学院矿床地质研究所电子探针研究室完成,SHRIMP 锆石 U - Pb 分析在中国地质科学院北京 SHRIMP 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。分析时,采用跳峰扫描,记录 Zr₂O⁺、²⁰⁴Pb⁺、²⁰⁷Pb⁺、²⁰⁶Pb⁺、²⁰⁸Pb⁺、U⁺、Th⁺、ThO⁺、UO⁺ 9 个离子束峰,每 5 次扫描记录一次平均值。一次离子其约为 9 nA,10 kV 的 O₂⁻ 靶径约为 25 ~ 30 μm。质量分辨率约 5000 (1 %峰高)。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。除西山火山 - 侵入杂岩(样品 D5 - 1)外,普通铅一般根据实测²⁰⁴Pb 进行校正,并将数据点投入 Wetheril 一致曲线图中。对于西山火山 - 侵入杂岩,我们采用了应用实测 Pb 校正普通铅²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,因为这一样品中锆石 U 和 Pb 含量较低(表 2)。所采用的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄具有 95 %的置信度。

表 2 西山火山 - 侵入杂岩的 SHRIMP 锆石 U - Pb 同位素分析结果

Table 2 SHRIMP U- Pb isotopic data of zircons from the Xishan volcanic intrusive complex

测定点	²⁰⁶ Pbc (%)	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	Th/ U	²⁰⁶ Pb* (10 ⁻⁶)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)	²³⁸ U/ ²⁰ Pb (Total)	± %	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb (Total)	± %
D5 - 1										
1.1	0.02	195	129	0.69	4.05	153 ±2	41.28	1	0.0558	3
2.1	1.57	193	77	0.41	4.16	159 ±2	39.97	1	0.0531	3
3.1	5.29	68	35	0.54	1.48	159 ±3	39.38	2	0.0603	6
4.1	0.08	163	86	0.54	3.39	153 ±2	41.44	1	0.0536	4
5.1	0.54	335	214	0.66	6.91	153 ±1	41.61	1	0.0516	3
6.1	1.57	138	82	0.61	2.85	152 ±3	41.56	2	0.0558	4
7.1	0.94	323	158	0.50	6.77	155 ±1	40.99	1	0.0496	3
8.1	1.34	207	136	0.68	4.85	167 ±1	36.61	1	0.0801	4
9.1	-	229	131	0.59	4.91	158 ±3	40.06	2	0.0558	3
10.1	1.00	318	150	0.49	6.89	160 ±1	39.70	1	0.0528	2
11.1	0.32	416	273	0.68	8.88	158 ±1	40.24	1	0.0510	2
12.1	9.19	38	20	0.53	0.84	156 ±4	39.31	2	0.0807	6

误差为 1σ;Pbc 和 Pb* 分别为普通铅和放射性成因铅;普通铅用²⁰⁶Pb/ ²³⁸U - ²⁰⁷Pb/ ²³⁵U 进行校正

付建明等. 湘南西山花岗质火山 - 侵入杂岩形成时代的确定(地球学报,待刊).

4 SHRIMP 锆石 U - Pb 年龄结果

对 D124 - 3、D141 - 1、D118 - 1 和 D5 - 1 4 个样品的分析结果及 U - Pb 同位素谐和图分别见表 2 及表 3 和图 3, 部分年龄值还标于阴极发光和背散射照片中(图 2)。

雪花顶岩体(D124 - 3)具有复杂的锆石 U - Pb 同位素体系。在锆石 U - Pb 同位素一致曲线图上数据点分布相当分散(图 3a), 没有产生明显的丛聚年龄。前面已经提及雪花顶岩体侵入寒武系而被中泥盆统沉积不整合覆盖, 其形成年龄应在 375 ~ 540 Ma 之间, 分布在 U - Pb 谐和曲线上或附近且属于这一年龄段的锆石有 5 个点(图 3a), 这些锆石呈白形、韵律环带结构发育(如图 2a 的 8 号颗粒), 清楚地指示了其岩浆成因, 他们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (432 ± 21) Ma, MSWD = 4.1。虽然该样

品统计的点偏少, MSWD 偏大, 但是, 432Ma 年龄数据在误差范围内是可靠的。可解释为雪花顶岩体形成的大致年龄。个别样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄较小, 如 7 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (310 ± 1) Ma(表 3), 明显与野外地质事实不符, 它可能反映的是后期构造 - 热事件干扰年龄。背散射照片显示岩石中的继承锆石韵律环带不发育, 大多数晶型较差, 有明显的圆化现象, 常常以继承核形式出现(图 2a 的 10 号颗粒), 外侧被后期生长环带包围。从图 3a 和表 3 中可以看出, 继承锆石按形成时代大致可以分为 3 组: 一是点 12 给出本岩体最大的近于谐和的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 (2108 ± 5) Ma($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 为 (2012 ± 5) Ma), 属古元古代; 二是点 4 给出的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 谐和年龄为 (1579 ± 11) Ma($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 (1562 ± 5) Ma) 为中元古代; 三是 1、3 和 10 号点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄在 907 ~ 967 Ma 之间($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

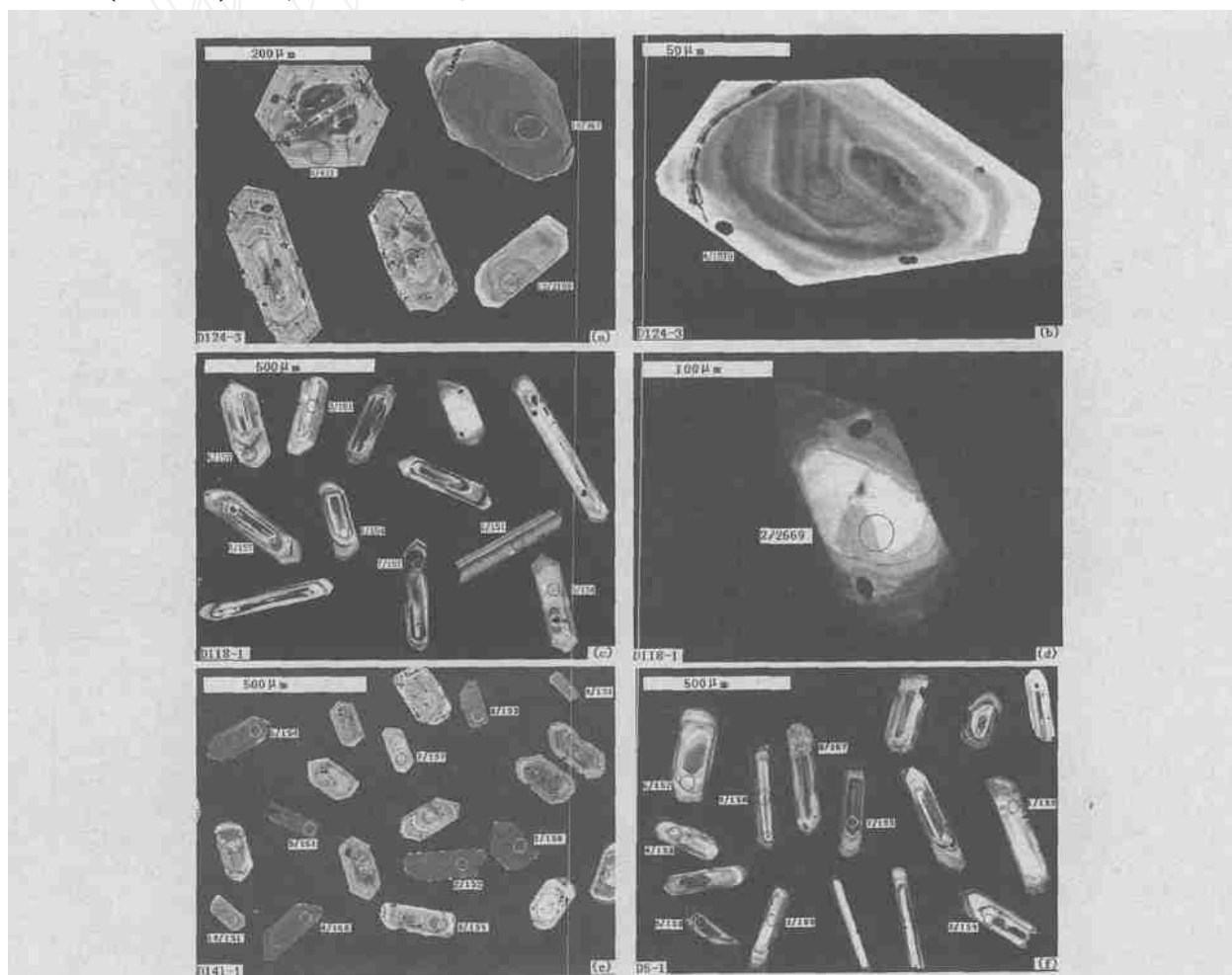


图 2 部分锆石的照片

a, b 为背散射(BSE), 其它为阴极发光(CL); 图中所标数值分别为分析点号及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(大于 1000 Ma 为 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄)

Fig. 2 Photos showing part of the zircons collected from the Jiuyishan granite

年龄 890 ~ 989 Ma), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 (912 ±49) Ma, MSWD = 0.1, 为新元古代。这些继承锆石的共同特点是 U、Th 含量较高, Th/U 比值较大(表 3), 上述特征表明它们的 U - Th - Pb 体系

未受后期地质事件的明显干扰, 因此这些年龄基本上代表了其原始形成年龄。其它分析点明显不在谐和曲线上, 位于曲线的下方, 这些不谐和的锆石显示在后期事件中有放射性成因 Pb 的丢失。

表 3 九嶷山复式花岗岩体的锆石 SHRIMP U - Pb 同位素分析结果
Table 3 SHRIMP U - Pb isotopic data of zircons from the Jiuyishan composite granite

测定点	²⁰⁶ Pbc (%)	U (10 ⁻²)	Th (10 ⁻²)	Th / U	²⁰⁶ Pb * (10 ⁻²)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb (Ma)	²⁰⁷ Pb * / ²⁰⁶ Pb *	± %	²⁰⁷ Pb * / ²³⁵ U	± %	²⁰⁶ Pb * / ²³⁸ U	± %
D124 - 3													
1.1 *	-	218	312	1.48	29.10	932 ± 7	993 ± 22	0.0722	1	1.5490	1	0.1555	1
2.1	0.08	1673	462	0.29	99.60	432 ± 1	416 ± 17	0.0551	1	0.5259	1	0.0692	0
3.1 *	0.12	711	259	0.38	92.40	907 ± 3	890 ± 16	0.0687	1	1.4310	1	0.1511	0
4.1 *	0.06	495	514	1.07	117.00	1562 ± 5	1579 ± 11	0.0976	1	3.6890	1	0.2741	0
5.1 *	0.10	878	461	0.54	105.00	841 ± 3	1401 ± 14	0.0888	1	1.7080	1	0.1394	0
6.1	0.15	497	83	0.17	29.70	433 ± 2	473 ± 45	0.0565	2	0.5410	2	0.0694	1
7.1	0.31	3561	919	0.27	151.00	310 ± 1	962 ± 29	0.0711	1	0.4834	2	0.0493	0
8.1	0.05	2068	547	0.27	120.00	421 ± 2	477 ± 17	0.0566	1	0.5272	1	0.0675	1
9.1	0.05	1632	493	0.31	93.00	414 ± 2	552 ± 15	0.0586	1	0.5357	1	0.0663	0
10.1 *	0.30	171	171	1.03	23.90	967 ± 21	989 ± 45	0.0721	2	1.6090	3	0.1619	2
11.1	0.14	498	625	1.30	31.70	461 ± 2	495 ± 30	0.0571	1	0.5830	1	0.0741	1
12.1 *	0.02	889	514	0.60	280.00	2012 ± 5	2108 ± 5	0.1308	0	6.6040	0	0.3663	0
13.1	0.11	2032	535	0.27	106.00	381 ± 1	779 ± 15	0.0652	1	0.5465	1	0.0608	1
14.1	0.15	2139	875	0.42	111.00	379 ± 1	934 ± 14	0.0702	1	0.5856	1	0.0605	1
D118 - 1													
1.1	2.08	182	124	0.70	3.77	151 ± 2	637 ± 410	0.0359	15	0.1170	15	0.0237	1
2.1 *	0.09	128	38	0.31	49.00	2382 ± 34	2669 ± 20	0.1817	1	11.2000	2	0.4469	2
3.1	0.92	187	134	0.74	4.11	161 ± 2	19 ± 110	0.0464	5	0.1620	5	0.0253	2
4.1	0.89	322	204	0.65	6.91	157 ± 1	67 ± 160	0.0473	7	0.1610	7	0.0247	1
5.1	2.54	153	84	0.57	3.32	157 ± 2	- 847 ± 580	0.0333	20	0.1130	20	0.0246	1
6.1	0.19	157	90	0.59	3.25	154 ± 3	399 ± 140	0.0547	6	0.1820	7	0.0241	2
7.1	0.41	371	104	0.29	7.89	157 ± 1	376 ± 64	0.0541	3	0.1839	3	0.0247	1
8.1	0.17	218	162	0.77	4.62	157 ± 2	311 ± 77	0.0526	3	0.1784	4	0.0246	1
9.1	1.37	279	263	0.97	5.78	151 ± 2	- 165 ± 210	0.0431	8	0.1410	9	0.0237	1
10.1	1.87	125	64	0.53	2.65	154 ± 3	- 439 ± 580	0.0387	22	0.1290	22	0.0242	2
11.1	2.17	344	130	0.39	7.55	159 ± 2	195 ± 250	0.0500	11	0.1720	11	0.0249	1
D12.1	1.67	259	96	0.38	5.31	150 ± 2	- 79 ± 210	0.0446	9	0.1440	9	0.0235	1
D141 - 1													
1.1	2.67	138	97	0.73	3.02	158 ± 4	1660 ± 1400	0.0260	40	0.0880	40	0.0247	3
2.1	0.64	179	125	0.72	3.68	152 ± 3	114 ± 220	0.0483	9	0.1580	10	0.0238	2
3.1	0.88	2358	1385	0.61	51.00	159 ± 3	159 ± 58	0.0492	3	0.1694	3	0.0250	2
4.1	1.28	148	95	0.67	3.23	160 ± 4	171 ± 280	0.0429	11	0.1490	11	0.0251	2
5.1	3.96	152	107	0.73	3.42	161 ± 4	1490 ± 1200	0.0270	36	0.0940	36	0.0252	3
6.1	0.18	461	165	0.37	9.61	154 ± 3	291 ± 70	0.0521	3	0.1740	4	0.0242	2
7.1	0.32	3279	1077	0.34	69.70	157 ± 3	128 ± 34	0.0486	2	0.1653	2	0.0247	2
10.1	0.70	666	490	0.76	13.60	151 ± 3	13 ± 100	0.0458	4	0.1491	5	0.0236	2
11.1	16.06	155	105	0.70	4.18	167 ± 5	1606 ± 400	0.0990	22	0.3590	22	0.0263	3
12.1	0.07	3136	906	0.30	62.40	148 ± 3	200 ± 22	0.0501	1	0.1600	2	0.0232	2

(1) 误差为 1σ; Pbc 和 Pb * 分别为普通铅和放射性成因铅; (2) 标准校正值误差为 0.19 %; (3) 普通铅根据实测 ²⁰⁴Pb 进行校正; * 为继承锆石。

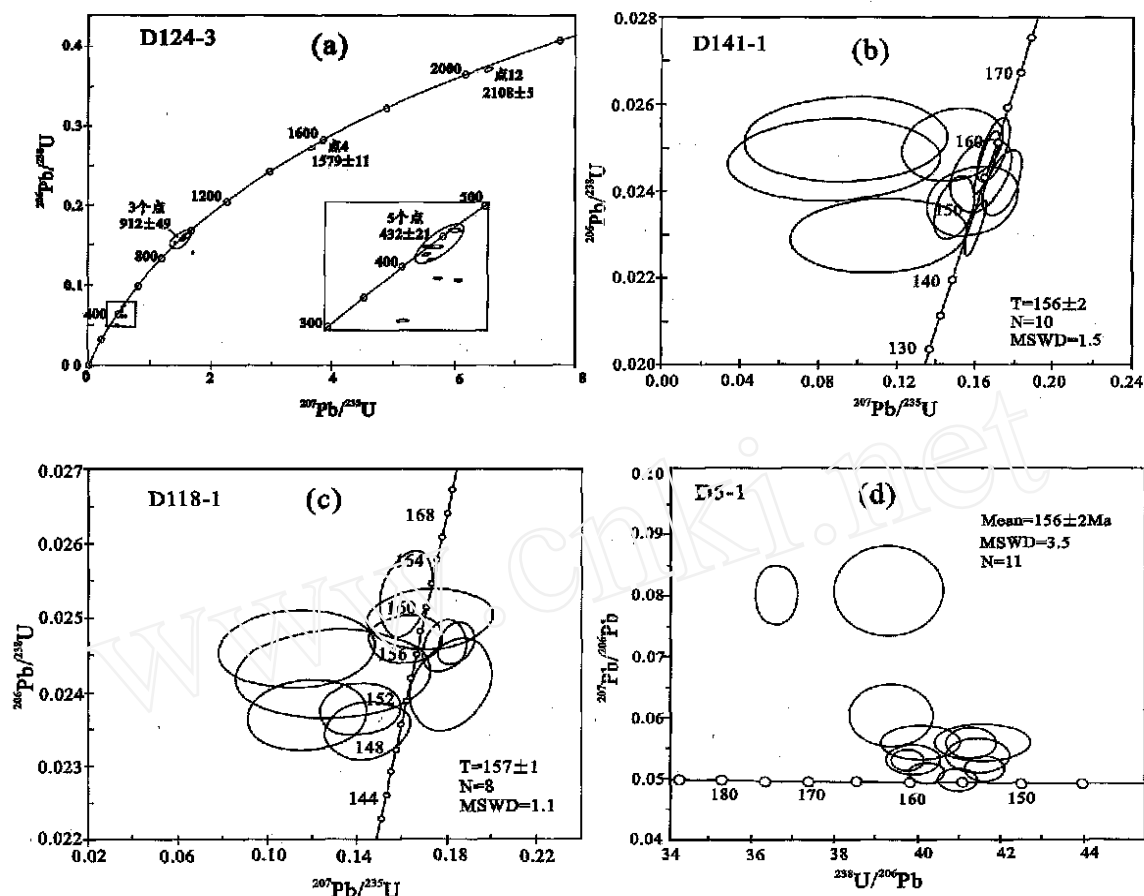


图3 雪花顶岩体(a)、金鸡岭岩体(b)、砂子岭岩体(c)和西山火山-侵入杂岩(d)锆石U-Pb一致曲线图

Fig. 3 U-Pb concordia diagrams of zircons from Xuehuating rock mass (a), Jingjiling rock mass (b), Shaziling rock mass (c) and Xishan volcanic-intrusive complex (d)

金鸡岭岩体、砂子岭岩体和西山火山-侵入杂岩中的锆石组成相对单一,阴极发光图象表明测定的绝大多数锆石自形程度高,韵律环带结构发育(图2c、e和f),显示出岩浆成因锆石的特征。这些锆石U-Pb同位素体系相对简单,去掉离群值,利用最谐和的分析数据分别获得金鸡岭岩体的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (156 ± 2) Ma, MSWD = 1.5(图3b,表3)、砂子岭岩体 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (157 ± 1) Ma, MSWD = 1.1(图3c,表3)和西山火山-侵入杂岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (156 ± 2) Ma, MSWD = 3.5(图3d,表3)。它们的MSWD较小,表明这些年龄值是可靠的,应代表岩体的形成年龄。由此看来,砂子岭岩体应归属燕山早期而不是印支期(湖南省地质矿产局,1988)或三叠纪(莫柱孙,1980);西山火山-侵入杂岩属燕山早期而非燕山晚期。此外,我们在砂子岭岩体中还测得了一颗继承锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 (2669 ± 20) Ma($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (2382 ± 34) Ma),它是迄今该区测得的最大

年龄,具该最大年龄的锆石为浑圆状内核(图2d),外侧环带半自形、透明度较好。近一致的U-Pb同位素年龄暗示其U-Th-Pb体系未受后期地质事件的明显干扰,此年龄基本上代表了锆石的原始形成年龄。

5 讨论和结论

(1) 岩浆结晶锆石的年龄代表了岩体的形成年龄。雪花顶花岗岩形成年龄为 (432 ± 21) Ma,为加里东期(志留纪)侵位形成;金鸡岭花岗岩、砂子岭花岗岩和西山火山-侵入杂岩的形成年龄分别为 (156 ± 2) Ma、 (157 ± 1) Ma和 (156 ± 2) Ma,属中侏罗世,亦即燕山运动早期侵位形成。这些结果与已知地质证据相吻合。

(2) 继承锆石的年龄为我们提供了大量九嶷山地区基底信息。九嶷山复式花岗岩中的继承锆石复杂。由于测得的继承锆石大多具有一致或近一致的

U - Pb 年龄,所以它们的年龄基本上代表了它们的原始形成年龄。加里东期花岗岩中 1571 Ma 和 2108 Ma 继承锆石的存在表明九嶷山地区可能存在古 - 中元古代硅铝壳。邻区道县火山岩中的片麻岩包体变质年龄为 (1964 ± 164) Ma (郭锋等, 1997)、包体中磨圆锆石的 Pb - Pb 年龄介于 1829 ~ 1397 Ma 之间 (王方正等, 1997) 以及铜山岭花岗闪长岩继承锆石的形成年龄为 (1753 ± 26) Ma (王岳军等, 2001) 也证实了这一点。燕山期花岗岩中继承锆石罕见, 仅获得的一颗继承锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 (2669 ± 20) Ma, 对比华南其它许多地区均在中酸性侵入岩中发现过太古代的继承锆石 (甘晓春等, 1996; 袁忠信和张宗清, 1992), 表明华南地区确实存在太古代古老地壳。

(3) 九嶷山地区加里东期花岗岩中的新元古代继承锆石 (912 Ma 左右) 相对丰富, 这些锆石的形成年龄与江山 - 绍兴断裂碰撞带上赣北九岭碰撞型堇青石过铝花岗岩 (924 Ma) (地矿部南岭项目花岗岩专题组, 1989) 和赣东北樟树墩和皖南歙县蛇绿岩 (929 ~ 1160 Ma) (李献华, 1999) 形成年龄一致, 也与代表元古宙底侵作用产物的邻区道县中生代火山岩中的变形辉长岩包体年龄 (1141 ± 67) Ma 接近 (李昌年等, 2001)。最近我们又在广西钦州印支期花岗岩中发现了大量 950 ~ 1000 Ma 左右继承锆石 (另文发表)。此外, 在杭州 - 诸广山 - 花山高 ϵ_{Nd} 、低 T_{DM} 花岗岩带 (新元古代华夏陆块与扬子陆块之间碰撞对接带) 南端两侧存在大量的新元古代早期岩浆活动 (Hong *et al.*, 1998)。据此, 我们初步认为大量新元古代早期的锆石形成事件可能与该时期扬子陆块与华夏陆块碰撞对接带上的构造岩浆活动有关。扬子陆块与华夏陆块碰撞带南延问题因被古生代沉积所掩盖而造成了人们对其认识的不统一。新元古代早期的锆石形成事件为江山 - 绍兴断裂碰撞带南延经过本区的认识 (Hong *et al.*, 1998) 提供了一个佐证。

致谢 本文在写作过程中, 陈富文研究员、康先济研究员和赵子杰研究员提出了许多宝贵意见; 在数据分析处理及数据解释方面得到了中国地质科学院地质研究所简平研究员的大力帮助, 笔者在此致以诚挚的感谢。

参考文献:

- 陈廷愚, 王雪英, 任纪舜, 刘志刚. 1986. 湖南九嶷山及白马山复式花岗岩体的同位素地质年代测定. 地质论评, 32 (5): 433 - 439.
- 地矿部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用. 北京: 地质出版社, 1 - 471.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 湖南省地质矿产局. 1995. 湖南省单元 - 超单元划分及其成矿专属性. 湖南地质, (8) (增刊).
- 甘晓春, 赵凤清, 金文山, 孙大中. 1996. 华南火成岩中捕获锆石的早元古代 - 太古代 U - Pb 年龄信息. 地球化学, 25 (2): 112 - 120.
- 郭锋, 范蔚茗, 林舸, 吴有林. 1997. 湖南省道县片麻岩包体的岩石学特征与年代学研究. 长春地质学院学报, 27 (1): 25 - 30.
- 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.
- 李昌年, 钟称生, 王方正, 刘春芳. 2001. 桂北 - 湘南中生代玄武质岩石及其深源包体的地球化学性质和岩石成因探讨. 岩石矿物学杂志, 20 (2): 112 - 122.
- 李献华. 1999. 元古宙地壳增长和演化的地球化学制约 —— 以华南为例. 见: 郑永飞主编. 化学地球动力学. 北京: 科学出版社, 288 - 318.
- 李耀松, 朱杰辰, 郑懋公, 吴莹莹, 胡振铎, 张桂存. 1986. 九嶷山花岗岩杂岩体的 Rb - Sr 年代学及其成因. 铀矿地质, 2 (5): 257 - 264.
- 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖. 1980. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社.
- 王方正, 李红丽, 朱勤文, 路凤香. 1997. 湖南火山岩深源包体组合及岩石圈岩石学模型. 地质科技情报, 16 (3): 1 - 7.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 李旭. 2001. 湘东南中生代花岗闪长质小岩体的岩石地球化学特征. 岩石学报, 17 (1): 169 - 175.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 李惠民, 梁新权. 2001. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U - Pb 法定年及其成因指示. 中国科学 (D 辑), 31 (9): 745 - 751.
- 袁忠信, 张宗清. 1992. 南岭花岗岩类岩石 Sm、Nd 同位素特征及成因探讨. 地质论评, 38 (1): 1 - 15.
- 章邦桐, 戴永善, 王驹, 柏仇勇, 刘洪磊. 2001. 南岭西段金鸡岭复式花岗岩基地质及岩浆动力学特征. 高校地质学报, 7 (1): 50 - 61.

References :

- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284:101 - 133.
- Chen Tingyu, Wang Xueying, Ren Jishun and Liu Zhigang. 1986. Isotopic geochronology of the Jiuyishan and Baimashan composite granitic intrusions. *Geology Review*, 32(5):433 - 439 (in Chinese with English abstract).
- 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.
- Gan Xiaochun, Zhao Fengqing, J in Wenshan and Sun Dazhong. 1996. The U - Pb Ages of Early Proterozoic - Archean zircons captured by igneous rocks in southern China. *Geochimica*, 25(2):112 - 118 (in Chinese with English abstract).
- Gilder SA, Gill J and Coe RS. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. *Jour Geophys Res*, 101(B7):16137 - 16154.
- Guo Feng, Fan Weiming, Lin Ge and Wu Youlin. 1997. Petrological characteristics and dating on genesis xenoliths in Mesozoic basalts in Huziyuan, Daoxian, Hunan Province. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 27(1):25 - 30 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Xie Xilin and Zhang Jisheng. 1998. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny. *Res Geol*, 48:251 - 263.
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional geology of Hunan Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese With English abstract).
- Jian Ping, Liu Dunyi and Sun Xiaomeng. 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).
- Li Changnian, Zhong Chengsheng, Wang Fangzheng and Liu Chunfang. 2001. Geochemistry and petrogenesis of Mesozoic basaltic rocks and their deep - source enclaves in northern Guangxi - southern Hunan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(2):112 - 122 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua. 1999. A geochemical constraint on Proterozoic crust growth and evolution - cited south China as instance. in: Zheng Yongfei (ed.). *Chemical Geodynamics*. Beijing: Science Press: 288 - 318 (in Chinese).
- Li Yaosong, Zhu Jiechen, Zheng Maogong, Wu Yingying, Hu Zhenduo and Zhang Guocun. 1986. Rb - Sr chronology and genesis of Jiuyishan granite complex. *Uranium Geology*, 2(5):257 - 264 (in Chinese with English abstract).
- Mo Zhusun, Yi Bodan and Pan Weizu. 1980. Geology of granite in Nanling range. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- The Granitoid Research Group of Nanling Project, MGMR. 1989. Geology of Granitoids of Nanling Region and Their Petrogenesis and Mineralization. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 471 (in Chinese with English abstract).
- Wang Fangzheng, Li Hongli, Zhu Qinwen and Lu Fengxiang. 1997. Assemblages of anatectic xenoliths from volcanic and the petrology model of lithosphere in south Hunan Province. *Geological Science and Technology Information*, 16(3):1 - 7 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng and LI Xu. 2001. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic granodioritic intrusions in Southeast Hunan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1):169 - 175 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Guo Feng, Li Huimin and Liang Xinquan. 2001. U - Pb dating of Mesozoic granodioritic intrusions in southeast Hunan Province and its petrogenetic implication. *Science in China (Series D)*, 31(9):745 - 751.
- Williams I S and 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.
- Yuan Z X and Zhang Z Q. 1992. Sm - Nd isotopic characteristics of granitoids in the Nanling region and their petrogenetic analysis. *Geology Review*, 38:1 - 14 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Bangtong, Dai Yongshan, Wang Ju, Bai Chouyong and Liu Honglei. 2001. Geology and magma - dynamical Features of Jingjiling composite granitic batholith in the western Nanling region. *Geological Journal of China Universities*, 7(1):50 - 61 (in Chinese with English abstract).

SHRIMP U - Pb ZIRCON DATING OF THE JIUYISHAN COMPOSITE GRANITE IN HUNAN AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

FU Jianming^{1,2}, MA Changqian¹, XIE Caifu², ZHANG Yeming² and PENG Songbai²

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, HB 430074, China; 2. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang, HB 443003, China)

Abstract : The SHRIMP (sensitive high resolution ion microprobe) zircon U-Pb method was used to determine the ages of main rock masses in the Jiuyishan composite granite, Hunan Province. The Xuehuading granite was dated at 432 ± 21 Ma, the Jingjiling granite, 156 ± 2 Ma, the Shaziling granite, 157 ± 1 Ma, and the Xishan volcanic - intrusive complex, 156 ± 2 Ma. The results show that the Xuehuading granite and the Jingjiling granite belong to Caledonian epoch and early Yanshanian epoch, respectively, and the Shaziling granite and the Xishan volcanic-intrusive complex, which were originally considered to be of Indosinian epoch and late Yanshanian epoch, respectively, actually belong to the early Yanshanian epoch, too. The inherited zircons of 1579 Ma, 2108 Ma and 2669Ma suggests that there were derived from the Pale-Mesoproterozoic or Archean basement crust. The formation event of lots of early Neoproterozoic (912 Ma) zircons is an indirect evidence that the collisional belt between the Yangtze block and the Cathaysia block passed through the studied area.

Keywords : composite granite; SHRIMP zircon U - Pb dating; basement; collisional belt; Jiuyishan