

闽西南玮埔岩体和赣南菖蒲混合岩锆石 La-ICPMS U-Pb 年代学:对武夷山加里东运动时代的制约

徐先兵¹⁾,张岳桥²⁾,舒良树¹⁾,贾东¹⁾,王瑞瑞¹⁾,许怀智¹⁾

1) 南京大学地球科学与工程学院,南京,210093;

2) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100081

内容提要: 闽西玮埔岩体和赣南菖蒲混合岩位于武夷山构造带南部地区。对 NNE 向展布的闽西玮埔岩体两个样品进行了锆石 La-ICPMS U-Pb 测年,获得的年龄为 447.1 ± 4.7 Ma 和 440.8 ± 3.4 Ma,证明这个岩体不是原来认为的印支期花岗岩,而属于加里东岩体。赣南菖蒲混合岩发育于罗浮岩体的北侧,早期将罗浮岩体归于燕山早期岩体。对混合岩进行的锆石 La-ICPMS U-Pb 测年,获得的年龄为 445.9 ± 3.8 Ma,确定这个岩体为加里东期。这些新的高精度年龄学数据为武夷山加里东构造运动时限和性质提供了精确约束。

关键词: 闽西南玮埔岩体;赣南菖蒲混合岩;La-ICPMS 测年;加里东运动;武夷山

华夏地块在新元古代晋宁期(约 970Ma)沿江山—绍兴断裂带与扬子块体拼合并发生碰撞,形成统一的华南大陆(Chen et al., 1991; 周新民等, 1993; Charvet et al., 1996; Li et al., 1997; Li, 1998)。早古生代华夏地块发生强烈活化和板内变形,形成了著名的华南加里东褶皱带(谢家荣, 1961; 任纪舜, 1964; 郭令智等, 1965)或加里东造山带(李继亮等, 1993; 舒良树, 2006)。除了强烈的褶皱变形和区域角度不整合以外,华南加里东期造山带还广泛发育花岗岩,主要沿武夷山、白云山、云开大山、诸广山、大瑶山和雪峰山等分布(图 1)。

武夷山构造带呈 NNE—SSW 向展布于华夏地块的中部,向东北延伸为江山—绍兴断裂带所限,向南东延伸被中生代南岭构造带所截(周新民, 2003)。东侧为政和—大埔断裂带,西侧为鹰潭—安远断裂带。武夷山构造带在华南的大地构造演化中占据重要的地位,在前寒武纪被称之为武夷地块(Guo et al., 1990)。于津海等(2006)认为其由古元古代基底和新元古代(形成于 730~820 Ma)盖层组成,通过岩石中包含的古老锆石年龄信息推测深部可能存在新太古代基底,构成了华夏古陆。华夏古陆在成冰纪 Rodinia 超大陆裂解事件的影响下,被肢解成浙南—闽北、赣中—赣南和云开大山三个古陆残块,

其间为裂谷或海槽,并在震旦纪—早古生代时期被巨厚的碎屑岩(含灰岩)、浊积岩层所充填(舒良树, 2006)。志留纪华南发生了强烈的构造—热事件,南华纪—早古生代海槽关闭,巨厚沉积物发生褶皱隆升,形成了加里东期褶皱造山带。

武夷山地区加里东期花岗岩非常发育,呈北东、北北东向分布,属中元古代变质岩经部分熔融形成的壳源(S型)花岗岩,岩石类型主要有花岗岩和花岗闪长岩,少数为英云闪长岩(周新民, 2003; 王德滋等, 2004)。加里东期混合岩也十分发育,形成了武夷山变质混合岩带,沿赣闽两省交接带分布,向南延伸到广东,总体呈北东向展布(黄国夫等, 1993),由混合岩和混合花岗岩组成。混合岩由变质岩经碱质流体交代形成,而混合花岗岩与围岩呈渐变过渡关系,花岗岩与混合岩密切共生(黄标等, 1993, 1994)。

本文基于锆石 La-ICPMS U-Pb 测年手段,对武夷山南部闽西南地区的玮埔花岗岩体和赣南寻乌县菖蒲混合岩体进行年代学测试分析,为武夷山构造带加里东运动的时代提供精细约束。

1 地质背景和岩石样品

玮埔花岗岩体位于福建西部,出露面积约 600km²,呈 NNE 向“S”形展布,发育于晚古生代地

注:本文为国家自然科学基金重点基金资助项目(编号 40634022)的成果。

收稿日期:2008-07-21;改回日期:2008-12-29;责任编辑:章雨旭。

作者简介:徐先兵,男,1983年生,博士研究生。构造地质学专业。Email:bingge1018@126.com。通讯作者:张岳桥,男,1963年生。教授,博士生导师,从事构造地质、新构造和盆地分析研究。Email:zhangyueqiao@yahoo.com。

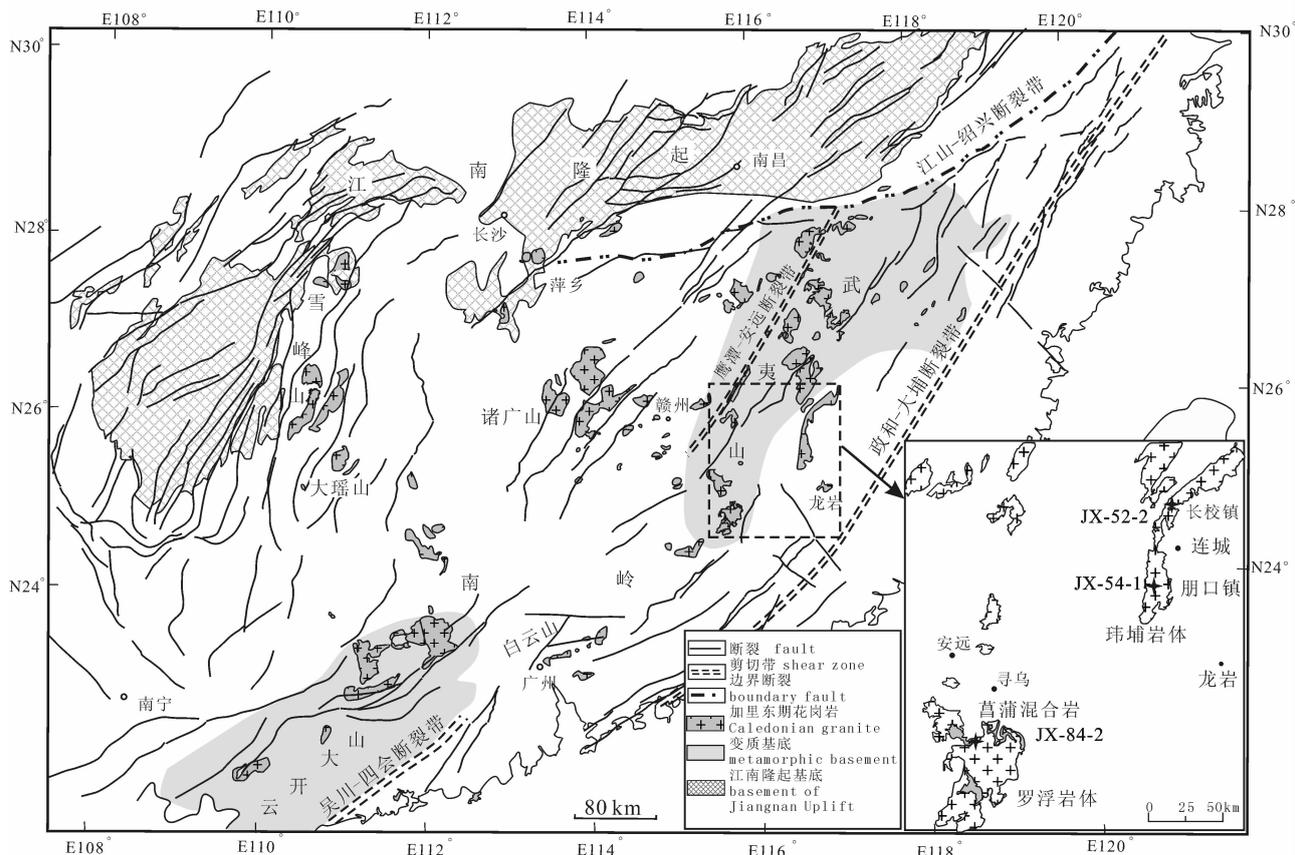


图1 华南地区加里东期花岗岩分布图。右下插图为采样位置图

Fig. 1 Distribution map of the Caledonian granites in South China. Inset at low-right corner shows locations of the rock samples

层背斜轴部,主要岩性为二长花岗岩和钾长花岗岩,普遍具有碎裂结构和片麻状构造。对该岩体的侵位时代,前人存在不同看法。岩体东北部侵入下二叠统文笔山组,并使其强烈蚀变,形成1~4km宽的角岩化带,后又被燕山早期花岗岩侵位,因此其侵位时代被认为是印支期^{①②},任纪舜(1990)和孙涛(2006)通过构造分析和K-Ar年代学资料的分析,认为其是印支运动强烈活动的产物。福建省地矿局(1985)认为玮埔岩体与围岩接触关系不清楚,根据少量的K-Ar同位素年代学数据(~350Ma),将其归于华力西-印支期。地质矿产部福建地质矿产勘查开发局(1998)认为玮埔岩体是以印支期为主的多期复式杂岩体,划分为四个岩浆序列,分别为灰白色似斑状中粒二云母钾长花岗岩和灰白色似斑状中(中粗)粒二长花岗岩、黑云母二长花岗岩、浅肉红色似斑状中粒含黑云母二长花岗岩和白云母化钾长花岗岩、灰白色似斑状中粗(中)粒含黑云母二长花岗岩和钾长花岗岩。为了确定玮埔岩体的侵位时代,笔者采集了

两个岩石样品,样品JX-52-2为灰白色似斑状中粒二云母钾长花岗岩,采自闽西连城县长校镇(E116°43.837,N25°59.172),岩性为灰白色巨斑花岗岩,斑晶为钾长石,基质为显晶质,由钾长石、斜长石、石英及云母矿物组成。样品JX-54-1为灰白色似斑状中粒二云母钾长花岗岩,采于闽西连城朋口镇(E116°36.875,N25°34.738),灰白色巨斑花岗岩,岩性与样品JX-52-2相同。

菖蒲混合岩位于赣南寻乌县,位于罗浮岩体西北缘。罗浮岩体面积约为120km²,由中粗粒(似斑状)黑云母花岗岩及石英二长岩组成。该岩体北缘和南缘在与南华纪一早古生代地层接触带发育混合岩,混合岩化程度高,显示交代侵入的特点^③。罗浮岩体的侵入时代一直没有确定。区域地质调查将岩体周边的混合岩归为加里东期^{④⑤},而罗浮岩体本身被归于燕山晚期(孙涛,2006)。为了确定混合岩的时代,笔者对自赣南寻乌菖蒲镇混合岩进行年代学采样(JX-84-2)。该岩石为二云母交代花岗岩,具阴

影至均质构造, 原岩为震旦纪变质砂岩。

2 锆石 La-ICPMS U-Pb 测年结果

2.1 分析方法

所有样品的锆石委托河北省地质矿产局廊坊实验室进行挑选。笔者在玻璃板上对锆石进行精选和排列, 用环氧树脂将其固定凝结, 再打磨至锆石中心, 最后进行抛光处理。然后对这些锆石进行了阴极发光(CL)分析和照相, 这项工作是在北京离子探针中心完成的。

样品年代学测试分析工作是在南京大学地球科学与工程学院 La-ICPMS 测试中心完成的。详细的分析程序、分析精度和准确性见袁洪林等(2003)。

分析结果根据 Andersen(2002)方法进行普通 Pb 校正。每个锆石微区原位测试点的同位素比值和 U-Pb 年龄由专用的 GLITTER 软件(ver4.0, Macquarie University)计算, 加权平均年龄及谐和图采用 Isoplot 程序计算和绘制。本次测试样品中的锆石相对较年轻, 因而采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄计算岩浆结晶时代。

具有复杂地质演化的地区, 岩石中锆石往往具有复杂的内部结构特征(Vavra et al., 1996, 1999), 记载着复杂的演化历史(梁细荣等, 1999)。因此, 对锆石内部结构分析是合理解释所测年龄的依据。目前, 阴极发光(CL)图像是揭示锆石内部结构的有效手段。图 2 为部分测试锆石的 CL 图像。表 1 列举了样品测试点分析数据。

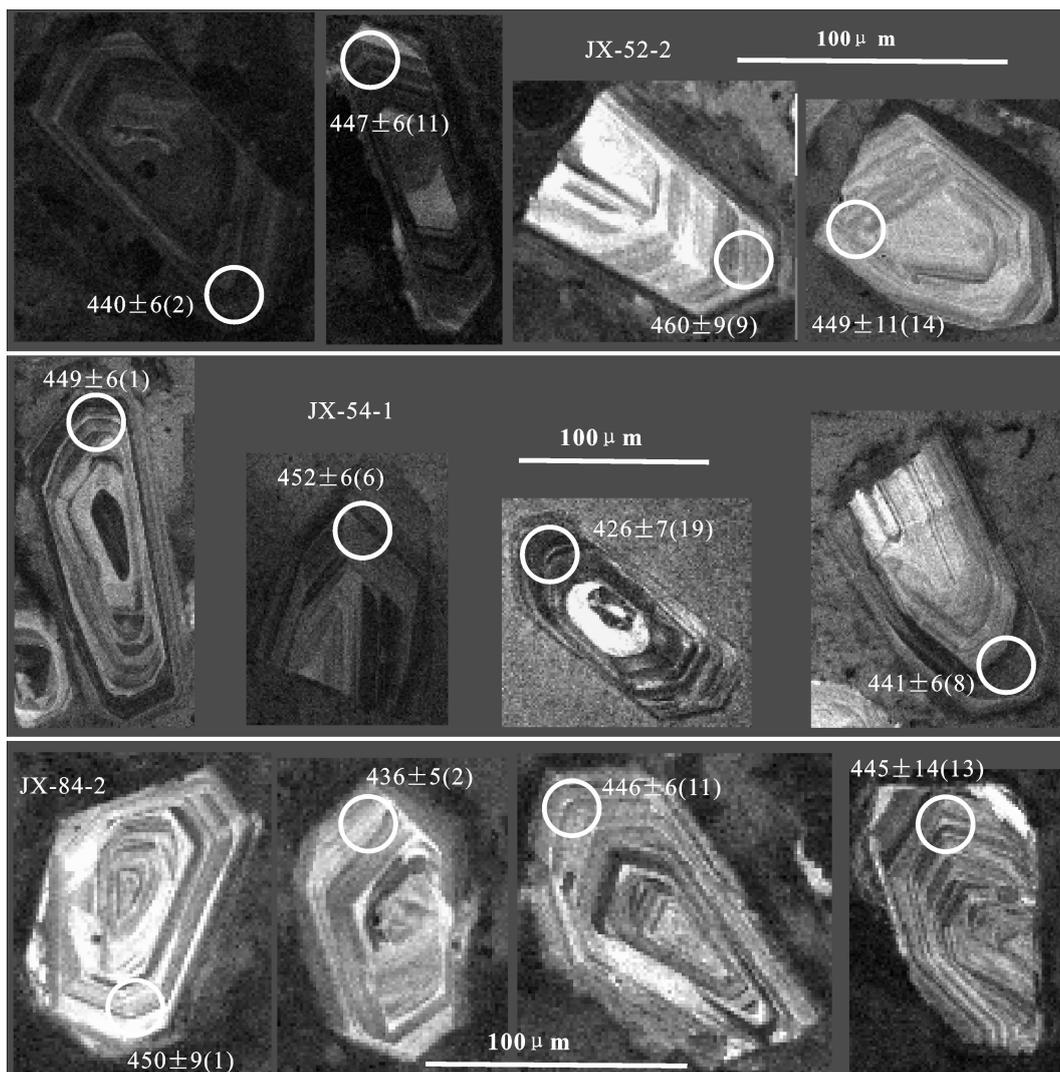


图 2 典型锆石阴极发光(CL)图像(圆圈代表测试点位置; 数字为测试点年龄及误差; 括号内为测试点号)

Fig. 2 Typical Cathodoluminescence (CL) images of zircons (these rings represent position of testing dots; these numbers are age and these number in parentheses are sequence number of testing dot)

2.2 锆石 La-ICPMS U-Pb 定年

样品 JX-52-2: 锆石 CL 图像显示强弱两种, 均发育岩浆成因的韵律环带。CL 图像较弱的锆石含有锆石核, 具明显的核-幔结构, 可能是由于锆石核 U/Th 比高, 导致图像较弱。锆石晶形发育, 颗粒大小中等, 为 100 μm 左右。对该样品共分析了 20 个

点, 除了一个点落在和谐线以外, 其他点锆石年龄具有很好的群落性, 用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄进行加权平均, 获得岩体结晶年龄为 $447.1 \pm 4.7\text{Ma}$ (图 3a)。

样品 JX-54-1: 锆石 CL 图像显示相对较弱, 可能是由于其 U/Th 比较高所致。部分锆石发育锆石核, 呈现核-幔结构。锆石晶形发育, 颗粒大小

表 1 闽西南玮埔岩体和赣南菖蒲混合岩锆石 La-ICPMS U-Pb 测年结果

Table 1 Zircon La-ICPMS U-Pb dating data of the Weipu granitic pluton in southwestern Fujian and the Changpu migmatite in southern Jiangxi

岩体	测试点号	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		表面年龄 (Ma)							
										$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
		测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)
闽西朋口镇灰白色似斑状中粒二云母钾长花岗岩	Jx-52-1	0.0568	0.0017	0.552	0.017	0.0705	0.0011	0.0224	0.0032	6.8	0.02	485	68	446	11	439	7
	Jx-52-2	0.0559	0.0013	0.545	0.013	0.0707	0.0010	0.0153	0.0028	5.34	0.01	449	54	442	8	440	6
	Jx-52-3	0.0566	0.0012	0.553	0.012	0.0709	0.0010	0.0254	0.0033	5.98	0.02	475	50	447	8	442	6
	Jx-52-4	0.0585	0.0012	0.586	0.013	0.0727	0.0010	0.0267	0.0036	5.31	0.02	548	47	468	8	452	6
	Jx-52-5	0.0571	0.0028	0.564	0.027	0.0717	0.0014	0.0254	0.0067	3.22	0.01	493	110	454	17	446	8
	Jx-52-6	0.0562	0.0018	0.565	0.018	0.0729	0.0011	0.0276	0.0062	5.08	0.02	461	72	455	11	454	7
	Jx-52-7	0.0583	0.0027	0.586	0.026	0.0729	0.0014	0.0298	0.0113	5.24	0.02	542	104	469	17	454	8
	Jx-52-8	0.0571	0.0019	0.561	0.018	0.0714	0.0011	0.0265	0.0056	3.27	0.01	495	73	452	12	444	7
	Jx-52-9	0.0570	0.0027	0.582	0.027	0.0740	0.0015	0.0260	0.0078	2.96	0.01	493	107	466	17	460	9
	Jx-52-10	0.0553	0.0018	0.539	0.018	0.0707	0.0012	0.0251	0.0048	4.54	0.01	424	76	438	12	440	7
	Jx-52-11	0.0565	0.0012	0.559	0.012	0.0718	0.0010	0.0264	0.0035	8.15	0.02	471	46	451	8	447	6
	Jx-52-12	0.0574	0.0017	0.556	0.016	0.0702	0.0011	0.0248	0.0034	2.85	0.01	508	66	449	11	437	7
	Jx-52-13	0.0563	0.0017	0.550	0.016	0.0708	0.0011	0.0221	0.0056	7.21	0.02	465	69	445	11	441	6
	Jx-52-14	0.0561	0.0043	0.558	0.041	0.0721	0.0019	0.0271	0.0081	3.22	0.03	457	175	450	27	449	11
	Jx-52-15	0.0566	0.0012	0.593	0.013	0.0761	0.0011	0.0255	0.0040	9.36	0.03	474	47	473	8	473	6
	Jx-52-16	0.0551	0.0013	0.544	0.013	0.0716	0.0010	0.0266	0.0044	9.87	0.03	418	54	441	9	445	6
	Jx-52-17	0.0574	0.0026	0.561	0.024	0.0709	0.0013	0.0282	0.0063	3.78	0.02	508	101	452	16	441	8
	Jx-52-18	0.0584	0.0023	0.576	0.022	0.0716	0.0013	0.0267	0.0070	2.76	0.01	544	89	462	14	446	8
闽西长校镇灰白色似斑状中粒二云母钾长花岗岩	Jx-54-1	0.0564	0.0011	0.561	0.011	0.0722	0.0009	0.0243	0.0113	8.99	0.02	469	45	452	7	449	6
	Jx-54-2	0.0556	0.0028	0.541	0.026	0.0707	0.0013	0.0269	0.0258	6.61	0.03	436	113	439	17	440	8
	Jx-54-3	0.0567	0.0023	0.554	0.021	0.0709	0.0012	0.0351	0.0212	8.06	0.03	479	90	447	14	442	7
	Jx-54-4	0.0553	0.0016	0.554	0.016	0.0726	0.0010	0.0302	0.0157	8.6	0.03	426	66	448	10	452	6
	Jx-54-5	0.0577	0.0022	0.573	0.021	0.0721	0.0012	0.0323	0.0214	10.76	0.03	519	87	460	14	449	7
	Jx-54-6	0.0571	0.0016	0.562	0.015	0.0715	0.0010	0.0245	0.0152	10.33	0.03	495	62	453	10	445	6
	Jx-54-7	0.0576	0.0025	0.573	0.024	0.0721	0.0013	0.0266	0.0242	5.85	0.02	516	98	460	16	449	8
	Jx-54-8	0.0561	0.0016	0.547	0.015	0.0708	0.0010	0.0272	0.0155	9.86	0.02	456	65	443	10	441	6
	Jx-54-9	0.0591	0.0025	0.579	0.024	0.0711	0.0013	0.0341	0.0242	7.8	0.02	570	96	464	16	443	8
	Jx-54-10	0.0561	0.0013	0.549	0.013	0.0709	0.0010	0.0233	0.0033	5.58	0.02	458	53	444	8	442	6
	Jx-54-11	0.0601	0.0037	0.591	0.035	0.0714	0.0009	0.0221	0.0005	18.76	0.04	606	135	472	22	445	6
	Jx-54-12	0.0561	0.0019	0.557	0.019	0.0720	0.0011	0.0222	0.0038	5.38	0.02	456	78	449	12	448	7
	Jx-54-13	0.0555	0.0010	0.544	0.010	0.0711	0.0009	0.0213	0.0031	9.26	0.02	432	43	441	7	442	5
	Jx-54-14	0.0556	0.0018	0.531	0.017	0.0692	0.0011	0.0279	0.0082	12.28	0.03	438	75	432	11	431	6
	Jx-54-15	0.0567	0.0029	0.537	0.026	0.0687	0.0013	0.0300	0.0093	7.26	0.04	481	115	437	17	428	8
	Jx-54-16	0.0563	0.0010	0.552	0.010	0.0710	0.0009	0.0229	0.0038	9.69	0.02	465	42	446	7	442	5
	Jx-54-17	0.0578	0.0023	0.567	0.022	0.0711	0.0012	0.0312	0.0103	10.19	0.04	520	91	456	14	443	7
	Jx-54-18	0.0546	0.0013	0.530	0.012	0.0705	0.0010	0.0217	0.0039	8.93	0.02	396	53	432	8	439	6
	Jx-54-19	0.0551	0.0020	0.519	0.018	0.0682	0.0011	0.0282	0.0118	8.45	0.02	416	81	424	12	426	7
	Jx-54-20	0.0562	0.0013	0.536	0.013	0.0692	0.0010	0.0231	0.0047	11.35	0.03	459	54	436	9	431	6
	Jx-54-21	0.0561	0.0022	0.527	0.020	0.0681	0.0011	0.0225	0.0050	2.32	0.02	457	90	430	14	425	7

续表 1

岩体	测试点号	$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{235}\text{U})}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb})}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{208}\text{Pb})}{n(^{232}\text{Th})}$		表面年龄 (Ma)							
										$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
		测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)	测值	误差 (1 σ)
赣南菖蒲混合岩	Jx-84-1	0.0563	0.0032	0.561	0.030	0.0722	0.0015	0.0306	0.0085	2.25	0.01	464	127	452	20	450	9
	Jx-84-2	0.0570	0.0012	0.550	0.011	0.0700	0.0009	0.0230	0.0024	2.23	0.01	492	48	445	7	436	5
	Jx-84-3	0.0578	0.0020	0.565	0.019	0.0709	0.0011	0.0229	0.0035	2.18	0.01	523	77	455	12	441	7
	Jx-84-4	0.0604	0.0013	0.589	0.013	0.0707	0.0009	0.0220	0.0023	2.47	0.01	618	48	470	8	440	5
	Jx-84-5	0.0565	0.0014	0.579	0.014	0.0744	0.0010	0.0243	0.0030	2.11	0.01	471	57	464	9	463	6
	Jx-84-6	0.0574	0.0040	0.568	0.038	0.0718	0.0018	0.0284	0.0105	2.63	0.01	506	157	457	24	447	11
	Jx-84-7	0.0564	0.0017	0.551	0.016	0.0708	0.0010	0.0228	0.0040	2.17	0.01	469	69	445	11	441	6
	Jx-84-8	0.0571	0.0013	0.556	0.013	0.0706	0.0009	0.0227	0.0033	1.88	0.01	494	53	449	8	440	5
	Jx-84-9	0.0577	0.0021	0.577	0.021	0.0726	0.0011	0.0260	0.0066	2.41	0.01	518	83	463	13	452	7
	Jx-84-10	0.0566	0.0050	0.550	0.047	0.0706	0.0022	0.0260	0.0125	1.86	0.01	476	204	445	31	439	13
	Jx-84-11	0.0568	0.0014	0.561	0.014	0.0717	0.0009	0.0245	0.0030	2.08	0.01	483	57	452	9	446	6
	Jx-84-12	0.0573	0.0022	0.583	0.021	0.0738	0.0012	0.0297	0.0049	2.61	0.01	503	85	466	13	459	7
	Jx-84-13	0.0700	0.0061	0.689	0.057	0.0715	0.0023	0.0420	0.0266	2.27	0.01	929	187	532	34	445	14
	Jx-84-14	0.0569	0.0022	0.579	0.021	0.0739	0.0012	0.0297	0.0060	2.59	0.01	486	86	464	14	460	7
	Jx-84-15	0.0573	0.0017	0.570	0.016	0.0722	0.0010	0.0232	0.0036	1.91	0.01	502	68	458	11	449	6
	Jx-84-16	0.0583	0.0018	0.584	0.018	0.0726	0.0010	0.0252	0.0037	2.06	0.01	542	71	467	11	452	6
	Jx-84-17	0.0572	0.0015	0.559	0.014	0.0709	0.0009	0.0241	0.0040	2.5	0.01	498	60	451	9	441	6
	Jx-84-18	0.0584	0.0024	0.573	0.022	0.0712	0.0012	0.0203	0.0035	2.55	0.01	546	91	460	14	443	7
	Jx-84-19	0.0604	0.0037	0.599	0.035	0.0719	0.0016	0.0305	0.0117	2.59	0.01	618	136	476	22	448	10
	Jx-84-20	0.0576	0.0022	0.560	0.020	0.0705	0.0011	0.0205	0.0043	1.87	0.01	513	85	451	13	439	7

注: 表中的误差均为 1 σ 。

为 100~150 μm , 均发育岩浆成因的韵律环带。对该样品进行了 23 个点的年龄分析, 结果均落在谐和线之上, 除一个点之外, 其余点年龄具有良好的群落性, 用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均得到的年龄为 $440.8 \pm 3.4\text{Ma}$ (图 3b), 代表岩体结晶年龄。

样品 JX-84-2: 锆石 CL 图像显示较强, 呈灰白色。锆石晶形发育良好, 颗粒偏小, 直径在 50~100 μm , 锆石均发育岩浆成因的韵律环带。对该样品进行了 20 个点的年龄测试, 分析点的年龄具有良好的谐和性和群落性, 经加权平均得到的年龄为 $445.9 \pm 3.8\text{Ma}$ (图 3c)。

3 讨论

玮埔岩体因沿印支构造层的褶皱轴部出露, 而一直被认为属于印支期花岗岩体 (福建省地质矿产局, 1985; 任纪舜, 1990; 孙涛, 2006), 也由此作为中国南部地区强烈印支运动的重要指示 (任纪舜, 1990; 周新民, 2003)。本文所获得的玮埔岩体两个样品锆石 La-ICPMS U-Pb 测年结果与陈正宏等 (2008) 对连城朋口镇玮埔岩体进行锆石 La-ICPMS U-Pb 测年所得到的年龄 ($427.4 \pm 4.0\text{Ma}$) 基本一致, 清楚地表明玮埔岩体形成于加里东期, 而非前人

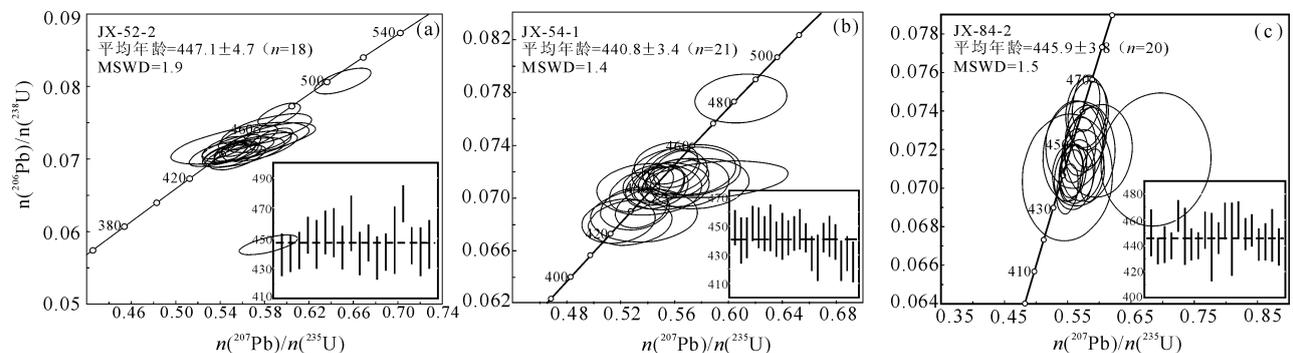


图 3 闽西南玮埔花岗岩体 (样品 JX-52-2 和 JX-52-2) 和赣南菖蒲岩体 (样品 JX-84-2) 锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordant diagrams of the Weipu granitic pluton (samples JX-52-2 and JX-52-2) in southwest Fujian and of the Changpu migmatite (sample JX-84-2) in south Jiangxi

所认为的印支期岩体。

对菖蒲混合岩进行锆石 La-ICPMS U-Pb 定年, 结果为 445.9 ± 3.8 Ma, 属加里东期。由于罗浮岩体与菖蒲混合岩呈交代侵入接触的特点, 混合岩与花岗岩同时形成(刘锐等, 2007), 因此我们推测罗浮岩体属于加里东岩体, 而不是前人认为的燕山早期花岗岩(孙涛, 2006)。菖蒲混合岩年龄表明在武夷山南段的赣南地区存在加里东期岩浆混合岩化作用。在武夷山北缘也存在加里东期混合岩化作用。刘锐等(2007)和曾雯(2007)分别报道了闽北混合岩和闽西天井坪组混合岩的锆石 La-ICPMS U-Pb 定年结果分别为 $440 \sim 435$ Ma 和 446.8 ± 2.2 Ma, 并结合锆石 Hf 同位素所推断的模式年龄(1.9~1.7 Ga)及地球化学特征, 认为华夏地块基底物质形成于古元古代, 在加里东期又经历了强烈再造和深熔作用。陈正宏等(2008)通过对闽西万全群杜潭组混合岩和浙西南松阳八都群玺头组混合岩浅色体的 EMP 独居石等时线和锆石 La-ICPMS U-Pb 定年, 获得的年龄为 436.4 ± 4.7 Ma。由此可见, 武夷山地区混合岩化作用普遍, 且形成时代与花岗岩相同。

黄标等(1993, 1994)对武夷山变质混合岩带进行了研究, 认为其是由原来的变质岩在同构造作用环境下经碱质流体交代形成的, 属碰撞造山环境, 其形成于加里东早期(黄国夫等, 1993)。通过本文的高精度锆石 La-ICPMS U-Pb 年代学工作, 可以发现, 具有弱片麻状构造的玮埔花岗岩侵位时代与同碰撞构造环境下形成的菖蒲混合岩年龄集中在 $440 \sim 447$ Ma, 表明武夷山加里东运动在 447 Ma 已经开始活动。

表 2 武夷山加里东期花岗质岩体同位素年龄

Table 2 Isotopic ages of the Caledonian granitic plutons in Wuyi Mountains

岩体	岩性	年龄(Ma)	测试方法	资料来源
福建连城玮埔	花岗岩	447.1 ± 4.7	LA-ICPMS	本文
福建连城玮埔	花岗岩	440.8 ± 3.4	LA-ICPMS	本文
福建连城玮埔	花岗岩	427.4 ± 4	LA-ICPMS	陈正宏等, 2008
福建宁化北侧	钾长花岗岩	386 ± 8	LA-ICPMS	孙涛等, 2005
福建蒲洋格	石英二长岩	425	锆石 U-Pb	李兼海, 1998
福建上青岩体	花岗岩	436.1	锆石 U-Pb	福建地矿局, 1985
福建西溪	黑云母二长花岗岩	395	锆石 U-Pb	李兼海, 1998
福建下茂	石英闪长岩	428.2	锆石 U-Pb	李兼海, 1998
福建叶坑一西坑	石英角斑岩	431	锆石 U-Pb	福建地质志, 1982
福建叶坑一西坑	花岗岩	426.1 ± 2.9	锆石 U-Pb	甘晓春, 1993
江西安远三标	黑云花岗岩	422 ± 11	LA-ICPMS	孙涛等, 2005
江西石城驿前	花岗岩	445 ± 6	LA-ICPMS	孙涛等, 2005
江西菖蒲	二云母交代花岗岩	445.9 ± 3.8	LA-ICPMS	本文
江西弋阳慈竹	花岗闪长岩	432 ± 2	LA-ICPMS	孙涛等, 2005

表 2 列举了前人对武夷山地区加里东期岩体的高精度的锆石 U-Pb 年代学测试数据, 结合地质事实和对测年数据的分析, 其结果可信度较高。统计结果显示加里东期岩浆活动峰期在 $425 \sim 450$ Ma, 这个年龄段对应于武夷山地区加里东运动主幕发生的时限。加里东运动在武夷山基底岩石中也有强烈的记录。于津海等(2005)通过对闽西南桃溪变质岩的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素的研究, 认为晚新元古代沉积岩经历了部分熔融和结晶, 在加里东期(约 443 Ma)发生了麻粒岩相变质作用, 这与 Wan et al. (2007)通过对变火山岩和变质沉积岩研究获得的 $458 \sim 425$ Ma 深变质作用结果一致。陈正宏等(2008)通过对武夷山基底变质岩进行锆石 La-ICPMS U-Pb 定年, 确认了加里东期强烈的变质作用, 认为武夷山地区基底岩石可能在加里东时期受到全面改造。以上分析可以看出, 武夷山加里东造山作用十分强烈, 主要表现为地壳重熔型岩浆活动、混合岩化作用以及基底变质作用, 造山作用峰期在 $425 \sim 450$ Ma。

从区域上看, 华南地区加里东期花岗岩主要沿两个带分布(图 4), 沿武夷山—云开大山加里东花岗岩侵位时代集中在 $425 \sim 450$ Ma, 而沿诸广山—大瑶山分布的加里东花岗岩年龄集中在 $400 \sim 420$ Ma, 显示华南加里东期花岗质岩浆活动由东南朝西北方向变年轻的趋势。从岩石学和地球化学角度分析, 加里东期花岗岩是由中元古代变质岩经部分熔融形成的强过铝质 S 型花岗岩, 属碰撞成因(李献华, 1993; 周新民, 2003; 王德滋等, 2004)。另外, 华南早古生代地层接触关系和岩相古

地理研究结果显示, 加里东造山作用也呈现由南东向北西方向迁移的趋势(袁正新等, 1997; 舒良树等, 2006)。这种变化趋势与花岗岩年龄由南东向北西逐渐变年轻的趋势一致, 暗示加里东造山作用南东强、向北西减弱。

在华南地区, 加里东运动不仅导致南华系—震旦系和寒武系强烈褶皱, 使晚志留世复成分砾岩角度不整合在褶皱变形的寒武纪或奥陶纪复理石与细碎屑岩之上, 泥盆纪石英质砾岩与晚志留世复成分砾岩呈平行不整合接触, 同时沿武夷山变质基底发育大型韧性走滑剪切带,

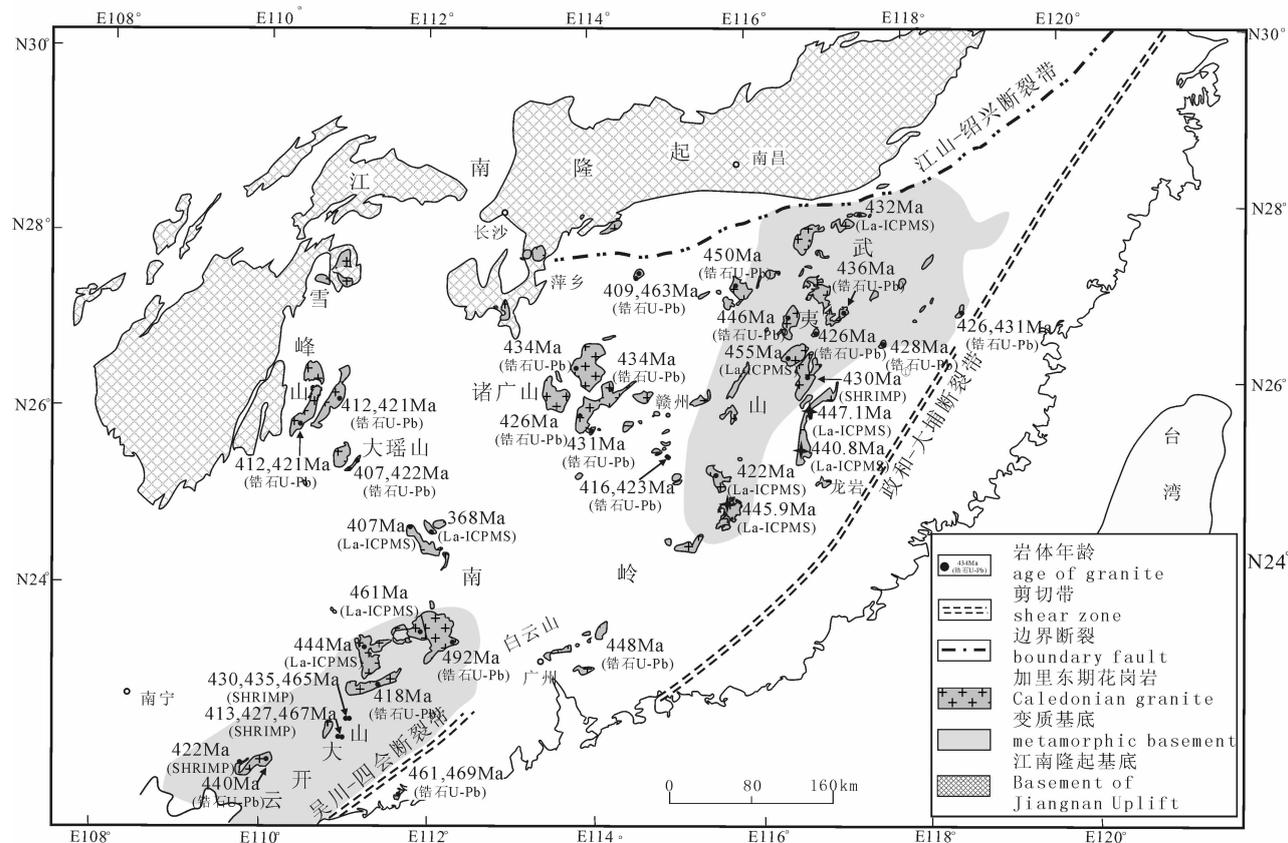


图 4 华南加里东花岗岩年龄分布图

Fig. 4 Age distribution of the Caledonian granites in the South China

(年龄数据来自文献: 陈正宏等, 2008; 甘晓春等, 1993; 耿红燕等, 2006; 胡恭任等, 1997; 黄圭成等, 2000; 黄海波, 1990; 李福顺等, 2002; 李兼海, 1998; 李献华, 1990; 李文杰等, 2006; 林庆华等, 1990; 陆济璞等, 2002; 彭松柏等, 2005; 孙涛等, 2005; 王江海等, 1995, 1998; 吴富江等, 2003; 谢明明等, 2000; 谢振东等, 2000; 翟伟等, 2005; 钟增球等, 1996; 朱金初等, 2006; Wang et al., 2007)

(Data from Chen et al., 2008; Gan et al., 1993; Geng et al., 2006; Hu et al., 1997; Huang et al., 2000; Huang et al., 1990; Li et al., 2002; Li, 1998; Li, 1990; Li et al., 2006; Lin et al., 1990; Lu et al., 2002; Peng et al., 2005; Sun et al., 2005; Wang et al., 1995, 1998; Wang et al., 2007; Wu et al., 2003; Xie M et al., 2000; Xie Z et al., 2000; Zhai et al., 2005; Zhong et al., 1996; Zhu et al., 2006)

所获得的剪切带白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar年龄在 391±3Ma 和 421±8Ma (舒良树等, 1999)、423~426Ma (Wang et al., 2007)。呈 NNE 向展布的加里东期花岗岩、武夷山变质混合花岗岩和早古生代地层褶皱构造 (任纪舜, 1990) 以及大型基底韧性走滑剪切带 (图 4), 一致地指示武夷山构造带在华南加里东造山带中处于核心部位。

4 结论

闽西南玮埔岩体两个样品锆石 La-ICPMS U-Pb 测年获得的年龄为 447.1±4.7Ma 和 440.8±3.4Ma, 证明这个岩体不是原来认为的印支期花岗岩, 而属于加里东岩体。赣南莒蒲混合岩进行的锆石 La-ICPMS U-Pb 测年所获得的年龄为 445.9±

3.8Ma, 表明武夷山南部地区存在加里东期同构造混合岩化作用, 推测其南部的罗浮岩体形成于加里东期。综合研究表明, 武夷山-云开大山地区加里东期花岗岩侵位时代集中在 425~450Ma, 向北西方向诸广山-大瑶山一带加里东期花岗岩侵位时代集中在 400~420Ma, 这种变化趋势暗示武夷山-云开大山是加里东运动的强烈变形地带。

致谢: 感谢江西赣南地质大队对野外工作的提供的大力协助。感谢两位匿名审稿人和章雨旭编辑对文章提供的修改意见, 使文章得到进一步的提升。

注释 / Notes

- ① 福建省地质局. 1973. 1: 20 万宁化幅区域地质调查报告.
- ② 福建省地质局. 1973. 1: 20 万长汀幅区域地质调查报告.
- ③ 江西省地质局. 1973. 1: 20 万寻乌幅区域地质调查报告.

④ 广东省地质局. 1973. 1: 20 万兴宁幅区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

- 陈正宏, 李寄 YU, 谢佩珊, 曾雯, 周汉文. 2008. 利用 EMP 独居石定年方法探讨浙闽武夷山地区变质基底岩石与花岗岩年龄. 高校地质学报, 14(1): 1~15.
- 福建省地质矿产局. 1985. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 甘晓春, 李惠民, 孙大中, 庄建明. 1992. 闽北前寒武纪基底的地质年代学研究. 福建地质, 1: 17~32.
- 耿红燕, 徐夕生, O'Reilly S Y, 赵明, 孙涛. 2006. 粤西白垩纪火山—侵入岩浆活动及其地质意义. 中国科学(D 辑), 36(7): 601~617.
- 郭令智, 俞剑华, 施央申. 1965. 华南加里东地槽褶皱区大地构造发展的基本特征: 中国大地构造问题. 北京: 科学出版社, 165~183;
- 胡恭任, 章邦桐. 1997. 赣中变质基底的组成演化及其基本结构格局. 江西地质, 11(3): 46~50.
- 黄标, 徐克勤, 孙明志. 1993. 武夷山中段加里东中期交代改造型花岗岩的特征及形成的碰撞造山环境. 岩石学报, 9(4): 338~400.
- 黄标, 孙明志, 武少兴, 刘刚. 1994. 武夷山中段加里东期混合岩的特征及成因讨论. 岩石学报, 4: 427~439.
- 黄圭成, 汪雄武, 扬世义, 陈龙清, 凌井生. 2000. 粤西残斑岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质地球化学, 28(4): 48~52.
- 黄国夫, 管太阳, 余达淦. 1993. 华南(东)加里东期变质—混合岩带的变形变质特征及其动力学剖析. 华东地质学院学报, 16(4): 403~412.
- 黄海波. 1990. 广西都庞岭花岗岩体基本特征. 中国区域地质, 9(3): 231~236.
- 江西省地质矿产局. 1985. 江西省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 李福顺, 周厚祥. 2002. 苗儿山花岗岩体单元—超单元特征及其定位机制. 湖南地质, 21(1): 20~25.
- 李继亮. 1993. 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京: 冶金工业出版社.
- 李文杰, 梁金城, 冯佐海, 张桂林, 陈懋弘, 袁爱平. 2006. 桂东北地区几个加里东期花岗岩体的地球化学特征及其构造环境判别. 矿产与地质, 20(4~5): 352~359.
- 李献华. 1990. 万洋山—诸广山花岗岩复式岩基的岩浆活动时代与地壳运动. 中国科学(B 辑), 20(7): 747~755.
- 李献华. 1993. 华南地壳增长和构造演化的年代学格架与同位素体系制约. 矿物岩石地球化学通讯, (3): 113~115.
- 梁细荣, 李献华, 刘永康. 1999. 激光探针等离子体质谱同时测定锆石微区铀—铅年龄及微量元素. 岩矿测试, 18(4): 253~258.
- 林庆华, 李立源, 梁明国. 1990. 粤西合水、思贺地区花岗岩岩石的成因. 中国区域地质, 9(2): 173~180.
- 陆济璞, 蔡贺清. 2002. 桂东南宁潭岩体地质特征及其构造环境初探. 广西地质, 15(4): 11~17.
- 彭松柏, 金振民, 付建明, 刘云华, 何龙清, 蔡明海, 王彦斌. 2005. 云开造山带条带—眼球状环斑强过铝花岗岩的岩石地球化学、年代及成因. 科学与工程与技术, 5(17): 1238~1246.
- 任纪舜. 1964. 中国东南部泥盆纪前几个大地构造问题的初步探讨. 地质学报, 44(4): 418~430.
- 任纪舜. 1990. 论中国南部的大地构造. 地质学报, 20(3): 275~288.
- 舒良树, 卢华复, 贾东, 夏菲, 福赫. 1999. 华南武夷山早古生代构造事件的⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄研究. 南京大学学报(自然科学版), 35(6): 668~674.
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. 高校地质学报, 12(4): 418~431.
- 孙涛. 2005. 华南中生代岩浆岩组合及其成因. 南京: 南京大学博士后出站报告, 1~41.
- 孙涛. 2006. 新编华南花岗岩分布图及其说明. 地质通报, 25(3): 332~337.
- 王德滋, 周金城. 2004. 华南花岗岩研究的回顾与展望. 高校地质学报, 10(3): 305~314.
- 王江海, 涂湘林, 孙大中. 1995. 粤西云开地块内高州地区深熔混合岩的锆石 U-Pb 年龄. 地球化学, 28(3): 231~238.
- 王江海, 孙大中, 常向阳, 邓高贤, 张湖, 周汉文. 1998. 云开地块西北缘那蓬岩体的锆石 U-Pb 年龄. 矿物学报, 18(2): 130~133.
- 吴富江, 张芳荣. 2003. 华南板块北缘东段武功山加里东期花岗岩特征及成因探讨. 30(2): 166~172.
- 谢家荣. 1961. 中国大地构造问题. 地质学报, 41(2): 218~239.
- 谢明明, 冯国胜, 刘益辉. 2000. 广昌付坊花岗岩地质特征及侵入机制. 江西地质, 14(1): 21~27.
- 谢振东, 杨永革. 2000. 江西信丰安西岩体同位素年龄及其地质意义. 江西地质, 14(3): 172~175.
- 于津海, 周新民, O'Reilly Y S, 赵蕾, Griffin W L, 王汝成, 王丽娟, 陈小明. 2005. 南岭东段基底麻粒岩相变质岩的形成时代和原岩性质: 锆石的 U-Pb-Hf 同位素研究. 科学通报, 50(16): 1758~1767.
- 于津海, 魏震洋, 王丽娟, 舒良树, 孙涛. 2006. 华夏地块: 一个由古老物质组成的年轻陆块. 高校地质学报, 12(4): 440~447.
- 袁洪林, 吴福元, 高山. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土成分分析. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 袁正新, 钟国芳, 谢岩豹, 余纪能. 1997. 华南地区加里东期造山运动时空分布的新认识. 华南地质与矿产, 4: 19~25.
- 曾雯, 张利, 周汉文, 钟增球, 向华, 刘锐, 吕新前, 李春中. 2008. 华夏地块古元古代基底的加里东期再造: 锆石 U-Pb 年龄, Hf 同位素和微量元素的制约. 科学通报, 53(3): 335~344.
- 翟伟, 袁桂邦, 李兆麟, 黄栋林, 文拥军. 2005. 粤西河台金矿床富硫化物含金石英脉锆石 U-Pb 测年及成矿意义. 51(3): 340~356.
- 钟增球, 游振东, 周汉文, 韩郁蕾. 1996. 两广云开隆起区基底的组成演化及其基本结构格局. 中国区域地质, 15(1): 36~42.
- 周新民, 朱云鹤. 1993. 中国东南部晚元古代碰撞造山带与地缝合带的岩石学证据. 见: 李继亮. 主编. 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京: 冶金工业出版社, 87~97.
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. 高校地质学报, 9(4): 556~565.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山—姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义. 岩石学报, 22(9): 2270~2278.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology, 192: 59~79.
- Charvet J, Shu, L S, Shi, Y S, Guo, L Z, Faure, M. 1996. The building of south China: collision of Yangtze and Cathaysia blocks, problems and tentative answers. Journal of Southeast Asian Earth Science, 13(3~5): 223~235.
- Chen J F, Foland K A, Xing F, Xu X, Zhou T. 1991. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze block: Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysian blocks of China. Geology, 19: 815~818.
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Lu Huafu. 1990. Terranes of South China. In: Wiley T J, Howell D G and Wong F L. eds.

- Terrane Analysis of China and the Pacific Rim. CPCEMR, Earth Sciences Series, 13: 281~282.
- Li X H, Zhao J X, McCulloch M T. 1997. Geochemical and Sm-Nd isotopic study of Neoproterozoic ophiolites from southeastern China; petrogenesis and tectonic implications. *Precambrian Research*, 81 (1~2): 129~144.
- Li Z X. 1998. Tectonic history of the major east Asian lithospheric blocks since the Mid-Proterozoic (Mesoproterozoic): a synthesis. In: Flower M F J. ed. *Mantle Dynamics and Plate Interaction in East Asia*. Geodynamics Ser., vol. 27. AGU, Washington D. C. 221~243.
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): Anion microprobe (SHRIMP) study. *Contribution to Mineral Petrology*, 122: 337~358.
- Vavra G, Schmid R, Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircon: Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134: 380~404.
- Wan Y S, Liu D Y, Xu M H, Zhuang J M, Song B, Shi Y R, Du L L. 2007. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units. *Gondwana Research*, 12: 166~183.
- Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, Ji S C, Peng T P. 2007. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block. *Gondwana Research* 12: 404-416.

Zircon La-ICPMS U-Pb Dating of the Weipu Granitic Pluton in Southwest Fujian and the Changpu Migmatite in South Jiangxi: Constrains to the Timing of Caledonian Movement in Wuyi Mountains

XU Xianbing¹⁾, ZHANG Yueqiao²⁾, SHU Liangshu¹⁾, JIA Dong¹⁾, WANG Ruirui¹⁾, XU Huaizhi¹⁾

1) *School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing, 210093;*

2) *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081*

Abstract: The Weipu granitic pluton and the Changpu migmatite are developed in the southern part of the Wuyi tectonic belt, South China. Two rock samples taken from the NNE trending Weipu granitic pluton in southwestern Fujian were dated by zircons La-ICPMS U-Pb technique. The yield ages (447.1 ± 4.7 Ma and 440.8 ± 3.4 Ma) confirm that this granitic pluton belongs to the Caledonian instead of Indosinian. The Changpu migmatite develops along the northern edge of the Luofu granitic pluton previously considered as Early Yanshanian age. One migmatite sample was dated by zircons La-ICPMS U-Pb methods and yields the age of 445.9 ± 3.8 Ma, confirming that the Luofu granitic pluton might belong to the Caledonian. These high precision dating data provide constrains on the timing and nature of the Caledonian Movement in the Wuyi Mountains.

Key words: Weipu granitic pluton; Changpu migmatite; La-ICPMS dating; Caledonian Movement; Wuyi Mountains