doi:10.3969/j.jssn.1007-3701.2015.01.005

# 加里东期白马山岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、 地球化学特征及形成构造背景

杨 俊,柏道远,王先辉,何江南 YANG Jun, BAI Dao-Yuan, WANG Xian-Hui, HE Jiang-Nan

(湖南省地质调查院,长沙 410116) (Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410116, Hunan, China)

### Yang J, Bai D Y, Wang X H and He J N. Zircon SHRIMP U-Pb dating and Geochemistry of Caledonian Baimashan pluton and its tectonic significance. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(1):48-56.

Abstract: Baimashan pluton in the southeastern of Xuefeng orogen is mainly composed of Caledonian granites with minor Indosinian and Yanshanian granites. The Caledonian granites are mainly located in the central and eastern of Baimashan pluton, which can be divided into four periods. U–Pb zircon dating of the second –intruded fine–grained to medium–grained porphyritic amphibole biotite granodiorite  $(\gamma \delta S^b)$  was carried out and yield weighted average age of  $411 \pm 4.5$  Ma, which indicates one magmatic event in late episode of Silurian to the early stage of Devonian. Geochemical characteristics indicate it belongs to S–type granitiod and suggest that it should come from acid rocks of middle crust. The first–intruded tonalite  $(\gamma \delta S^a)$  is a little intrusion, which relicted in the third intrusion. It indicates that Baimashan granites hadn't experienced earlier large–scale magmatism, so we can inferred that Caledonian Baimashan granites was a product of the late Silurian deformation Guangxi Movement. The west of Chengbu–Xinhua Fault was a foreland basin regionally, which deposited sand and muddy sediments. The east part of this fault of the southeastern of Hunan Province was lack of Silurian sedimentary. It suggested the east part of Chengbu–Xinhua Fault had been thrust uplift and denudation, while the west part formed foreland

收稿日期:2014-03-10;修回日期:2014-12-29.

基金项目:中国地质调查局"湖南1:25万怀化市和邵阳市幅区调修测"项目(编号:1212011120780).

第一作者:杨 俊(1986—),男,助理工程师,主要从事区域地质调查,E-mail:yj011064@163.com.

#### basin.

**Key words:** zircon SHRIMP U–Pb dating; geochemical characteristics; S–type granitoid; post–collisional tecton– ic setting; Guangxi Movement; Baimashan, central Hunan Province

早古生代后期的加里东运动是华南极为重要的 一次构造事件,形成了强烈的褶皱和断裂变形<sup>[1-5]</sup>,并 引发了广泛而强烈的花岗质岩浆活动<sup>[126-8]</sup>。前人对 加里东构造 – 岩浆事件进行过大量研究并取得了丰 硕成果,认识到加里东运动跨寒武纪末 – 志留纪末, 且自早至晚可分为寒武纪末 – 奥陶纪初的郁南运 动、中奥陶世末的都匀运动、奥陶纪末 – 志留纪初的 北流运动(崇余运动)、志留纪后期的广西运动等多 期次<sup>[5,8-12]</sup>;加里东运动中古陆逐渐向北西扩展<sup>[14-19]</sup>、 造山带由南向北挤压<sup>[14]</sup>;相关的花岗质岩浆活动时 代主要为 390 ~ 440 Ma<sup>[2]</sup>或 410~460 Ma<sup>[7]</sup>。

白马山岩体为以加里东期花岗岩为主、中生代 花岗岩为次的大型复式岩体,目前已获得印支中期 205~209 Ma<sup>[17]</sup>、223.3 ± 1.4 Ma 和 204.5 ± 2.2 Ma<sup>II8]</sup>、 243 ± 3 Ma<sup>[19]</sup> 等锆石 LA–ICP–MS U–Pb 或锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,尚缺乏加里东期精确同位素 定年。本次调查采集了多个样品进行锆石 SHRIMP U-Pb 测年,除获得印支期花岗岩 224.1 ± 2.3 Ma、 213.8 ± 2.5 Ma 和 219.6 ± 2.6 Ma 等与前人大体一 致的年龄数据外<sup>①</sup>,还获得了加里东期花岗岩 411 ± 4.5 Ma 的年龄,反映了志留纪末 – 泥盆纪初的 一期岩浆事件。

### 1 地质概况

白马山岩体位于湘中隆回、溆浦、新化境内,出 露面积约 1600 km<sup>2</sup>。岩体地处雪峰造山带南东缘, 长轴呈近东西向,区域上与龙山穹窿构成串珠状隆 起。其主体为加里东期花岗岩,部分印支期和早燕 山期花岗岩(图 1)。加里东期花岗岩主要位于白马





1-白垩系;2-泥盆系-下三叠统;3-板溪群-志留系;4-冷家溪群;5-加里东期第四次中细粒二云母二长花岗岩;6-加里东期第三次中-粗中粒斑状黑云母二长花岗岩;7-加里东期第二次细中粒斑状角闪石黑云母花岗闪长岩;8-加里东期第一次细粒黑云母英云闪长岩;9-地质界线;10-角度不整合界线;11-断裂;12-锆石SHRIMP U-Pb年龄样品位置及编号. 山岩体中、东部。其东部形态呈南北向长半圆形,构 成东部主体;中部则分布于晚期花岗岩侵入体的 南、北两侧边缘,规模相对较小,呈带状展布。

据岩石学特征和接触关系,加里东期花岗岩可 划分为4个侵入次,即第一次细粒黑云母英云闪长 岩(γδoS<sup>a</sup>)、第二次细中粒斑状角闪石黑云母花岗 闪长岩(γδS<sup>b</sup>)、第三次中-粗中粒斑状黑云母二长 花岗岩(ηγS<sup>e</sup>)和第四次中细粒二云母二长花岗岩 (ηγS<sup>e</sup>)和第四次中细粒二云母二长花岗岩 (ηγS<sup>a</sup>),各侵入次间具较明显的涌动或脉动侵入接 触关系,界线清楚。早期次英云闪长岩(γδoS<sup>a</sup>)仅有 一个小侵入体,以残留体形式存在于白马山岩体北 东部水车南一带的第三次(ηγS<sup>e</sup>)侵入体中,最晚期 次二云母二长花岗岩(ηγS<sup>d</sup>)则呈岩株零星出露于 白马山岩体中、东部(图1)。

岩石类型从早期次到晚期次有英云闪长岩、花 岗闪长岩、二长花岗岩,主要造岩矿物有钾长石、斜 长石、石英、黑云母及少量角闪石,晚期次有白云母; 岩石结构以细 – 细中粒为主,部分具似斑状结构,表 明岩石多属边缘带及过渡带产物;基质粒度从细→ 粗→细,石英、钾长石含量逐渐增高,角闪石、斜长 石、黑云母等含量显著减少,说明当属同源岩浆产 物。

斜长石为自形宽板状,聚片双晶发育,具环带 消光,环数3~5环,最多达29环,有轻微的绢云母 化和黝帘石化,An=41~43;钾长石为半自形板状, 主要为微斜微纹长石,钠长石条纹发育,格子双晶 常见,有时见黑云母和磷灰石包裹体,在其边缘偶 见蠕英石及石英,说明钾长石结晶晚于其他矿物; 石英他形粒状,具波状消光,最大消光角 20°~25°; 黑云母自形片状,有时黑云母呈环状分布,其中充填 有钾长石,具多色性,Ng'=棕红色,Np'=棕黄色, 局部有轻微绿泥石化,有的已被铁质污染,其中有锆 石、磷灰石等包裹体,个别地方榍石沿解理面分布并 延伸至钾长石之中;角闪石呈柱状,大小 0.5 mm× 1mm~1 mm×2mm,有时包裹于石英和长石矿物中。

岩石中副矿物以榍石、褐帘石含量最多,而磁 铁矿、钛铁矿常见,但含量很少;其它则鲜见。稀有、 稀土金属矿物种类多。以锆石、独居石、磷钇矿、钍石 等比较普遍。金属矿物除常见黄铁矿、黄铜矿、方铅 矿等外,还普遍见有锡石、白钨矿。富挥发分矿物以 磷灰石常见,有时可见萤石。副矿物类型属锆石 – 褐 帘石 – 磷灰石 – 榍石型和锆石 – 榍石 – 褐帘石型。

### 2 SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素测定

#### 2.1 样品特征及分析方法

采集加里东期白马山岩体细中粒斑状角闪石 黑云母花岗闪长岩(γδS<sup>b</sup>)样品(D1096),对其中的 锆石进行了 SHRIMP U-Pb 同位素测定。

将采集的花岗闪长岩样品粗碎后进行人工分 选淘洗,再于双目镜下挑选出晶形较好且透明度较 高的锆石。将待测锆石与标准锆石 TEM (年龄为 417 Ma)在玻璃板上用树脂固定,干燥后打磨和抛 光至锆石中心部位暴露出来,然后进行光学显微镜 下反射光及电子显微镜下阴极发光图像的拍摄。锆 石的阴极发光照相在中国地质科学院矿床地质研



图2志留纪第二次侵入体(γδS<sup>b</sup>)与志留纪两江河组(S<sub>1</sub>l)呈 侵入接触关系





图3 泥盆纪跳马涧组(D<sub>2</sub>t)沉积覆盖于志留纪第二次侵入体 (γδS<sup>b</sup>)之上

Fig. 3 Tiaomajian Formation of Devonian (D\_2t) covered on the second intrusive of Silurian  $(\gamma\delta S^b)$ 

①花岗闪长岩;②花岗岩古风化壳;③花岗质砾石底砾岩;④石英砂岩.

究所电子探针研究室完成。锆石 SHRIMP U-Pb 分 析在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成,分析原 理见 Compston 等<sup>[20]</sup>、Williams 等<sup>[21]</sup>和简平等<sup>[22]</sup>资料。 应用标准锆石 TEM(417 Ma)进行元素间的分馏校 正。一次离子流 O<sup>2-</sup>强度为 5~8 nA。一次离子流束 斑直径为 25~30  $\mu$ m。样品点清洗时间为 120~ 180 s。数据处理采用 Ludwig 博士编写的 SQUID1.0 版及 ISOPLOT 程序<sup>[23,24]</sup>。普通铅根据实测 <sup>204</sup>Pb 进行 校正。

### 2.2 测试结果

所分析样品(D1096)中的锆石均为透明的自 形晶体,阴极发光图像均显示出岩浆结晶成分环带 (图 4),表明锆石为岩浆成因。

样品(D1096)共测定了 12 颗锆石,其 U-Pb 同 位素分析结果见表 1 和图 5。由表 1 可知 Th/U 含 量比值高,为 0.31 ~ 0.47(大于 0.1),亦表明锆石为 岩浆成因。其中 2.1、3.1、7.1、8.1、9.1 和 10.1 共 6 个 测点远离谐和线或显著偏离集群值(图 5a);其余 6 个测点位于或紧邻曲线且分布集中(图 5b),给出的 加权平均年龄为 411 ± 4.5 Ma(2σ),MSWD=1.9,



图4 白马山加里东期花岗岩锆石阴极发光图像 Fig. 4 Cathodoluminescence images of zircons from Caledonian Baimashan granite

表1 加里东期白马山岩体D1096锆石SHRIMP U-Pb同位素分析结果 Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircons from D1096 of Caledonian Baimashan pluton

测点	$^{206}\text{Pb}_{c}$	U	Th	<sup>232</sup> Th	<sup>206</sup> Pb*	206Pb/238U		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb*/	σ	<sup>207</sup> Pb*/	σ	<sup>206</sup> Pb*/	σ
编号	%	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	/ <sup>238</sup> U	$ imes 10^{-6}$	(Ma	)	(1	Ma)	<sup>206</sup> Pb*	(%)	<sup>235</sup> U	(%)	<sup>238</sup> U	(%)
1.1	0.49	1816	592	0.34	106	421.7	±6.0	403	$\pm 35$	0.05478	1.6	0.511	2.2	0.06760	1.5
2.1	0.33	1133	347	0.32	60.4	386.7	±5.2	480	$\pm 49$	0.0567	2.2	0.483	2.6	0.06182	1.4
3.1	0.30	2120	860	0.42	98.0	336.8	±4.5	359	$\pm 45$	0.0537	2.0	0.3973	2.4	0.05364	1.4
4.1	0.14	2150	692	0.33	124	416.9	±5.5	350	$\pm 24$	0.05349	1.1	0.4927	1.7	0.06681	1.4
5.1	0.63	1647	556	0.35	93.5	410.1	±5.5	306	$\pm 44$	0.0525	1.9	0.475	2.4	0.06568	1.4
6.1	0.29	1897	891	0.49	108	412.8	±5.5	385	$\pm 31$	0.05435	1.4	0.4956	1.9	0.06614	1.4
7.1	2.64	1102	398	0.37	57.8	372.1	±6.0	561	$\pm 97$	0.0588	4.4	0.482	4.7	0.05943	1.7
8.1	0.60	1950	784	0.42	106	393.3	±5.3	446	$\pm 58$	0.0558	2.6	0.484	3.0	0.06291	1.4
9.1	0.35	1211	414	0.35	65.5	392.1	±5.3	423	$\pm 50$	0.0553	2.3	0.478	2.6	0.06272	1.4
10.1	5.80	2046	740	0.37	108	362.5	±5.0	393	±150	0.0545	6.7	0.435	6.9	0.05784	1.4
11.1	0.15	1382	437	0.33	77.4	406.9	±5.7	437	$\pm 31$	0.05563	1.4	0.4997	2.0	0.06515	1.5
12.1	0.14	1486	546	0.38	81.7	399.5	±5.3	379	$\pm 32$	0.05420	1.4	0.4778	2.0	0.06394	1.4

注:25Pbc%为全部35Pb中属于普通铅35Pb所占的%.Pb\*为放射性成因铅的含量,普通铅根据实测35Pb进行校正.



图5样品(D1096)U-Pb谐和图 Fig. 5 Concordia diagram of U-Pb ages of zircons from sample D1096

可视为细中粒斑状角闪石黑云母花岗闪长岩的成 岩年龄。值得指出的是,3.1、10.1两个测点岩浆环 带非常清晰,且均位于谐合线上,可能表明加里东 期白马山岩体冷却持续的时间较长。

上述 411 ± 4.5 Ma 的 U-Pb 年龄表明花岗岩 形成于志留纪末 – 泥盆纪初,为加里东期岩浆活动 产物。

### 3 岩石地球化学特征

### 3.1 主量元素

加里东期白马山花岗岩的主量元素分析结果 如表 2 所示。岩石 SiO<sub>2</sub> 含量变化较大,为 61.09% ~ 74.82%(SiO<sub>2</sub> 及以下主量元素含量值均系无水化处 理结果,故与表 2 略有差别),平均为 68.24%。随着 SiO<sub>2</sub> 含量的增加,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO<sup>T</sup>、TiO<sub>2</sub>、MgO、CaO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等均呈规律减少,而 K<sub>2</sub>O 则相对增多。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较 高,为 13.49% ~ 15.66%,平均 14.92%。K<sub>2</sub>O 含量较 高,为 2.81% ~ 4.47%,平均 3.71%;全碱(ALK)含量 中等,Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 为 6.36% ~ 7.44%,平均 6.79%。除 了 γδoS<sup>a</sup> 样品 Na<sub>2</sub>O 大于 K<sub>2</sub>O(K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值 0.79); 其它样品均为 K<sub>2</sub>O 大于 Na<sub>2</sub>O,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值在 1.17 ~ 1.51 之间,平均为 1.37。

早期次侵入体总体上较晚次偏基性,SiO<sub>2</sub>及 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O含量相对较低,TiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO、 MgO、CaO等含量较高。DI、KNA值由早期至晚期由 小递增,而SI、δ值则由大递减(表2)。早、晚各期 次岩石的C.I.P.W标准矿物计算值中均有C值而 无Di值出现,且早期次岩期石中C值低于晚期次 岩石;A/CNK值0.99~1.08,晚期次侵入体相对较 高反映岩石具弱过铝质特征。KNA值0.57~0.71, 表明岩石具钙碱性特征。

### 3.2 微量和稀土元素

岩石的微量元素分析结果如表 3, 早、晚 4 个 侵入次岩石中的微量元素含量大部分相近,其中 Cu、Zn、V、Ba、Zr等元素丰度值早期次略高于晚期 次,而 Pb、Be、Cs等元素晚期次略高于早期次。与维 氏酸性岩平均丰度值相比大部分元素丰度值含量

表2 加里东期白马山岩体的主量元素组成(wt %) Table 2 Petrochemical components of granites in Caledonian Baimashan pluton

代号	样品数	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	灼失	总和	A/CNK	KNA	SI	DI	δ	С
$\eta\gamma S^d$	1	73.24	0.20	13.21	0.50	1.56	0.03	0.81	1.70	2.90	4.38	0.08	0.46	98.35	1.07	0.71	7.98	84.4	1.75	1.00
$\eta\gamma S^{c}$	3	68.24	0.41	14.96	0.90	2.99	0.09	1.56	2.66	2.78	3.99	0.14	0.90	99.75	1.08	0.60	12.72	74.02	1.82	1.58
$\gamma \delta S^b$	5	67.12	0.50	15.19	0.52	3.42	0.06	1.83	3.42	2.97	3.48	0.16	0.40	99.10	1.02	0.58	14.92	70.11	1.74	0.78
$\gamma\delta oS^a$	1	59.60	1.52	15.28	1.63	6.06	0.13	3.39	3.74	3.46	2.74	0.18	1.25	98.81	0.99	0.57	20.82	58.41	2.32	0.47

表3 加里东期白马山岩体微量元素分析结果( ×10♂, Au ×10ዏ)及有关参数																	
 Table 3 Trace element results of Caledonian Baimashan granites																	
代号	样品数	W	Sn	Mo	Cu	Pb	Zn	Au	Rb	Sr	Be	Ba	Zr	Th	Та	Cs	V
$\eta\gamma S^d$	1	0.52	13.00	0.31	23.08	44.44	26.75	0.20	59.0	25.0	4.60	530.0	112.0	29.40	18.60	17.40	38.00
$\eta\gamma S^c$	6	1.12	14.53	0.73	17.93	55.29	64.23	0.75	228.0	139.4	2.03	1005.0	136.8	33.35	25.03	18.63	46.17
$\gamma \delta S^b$	11	0.74	6.60	0.80	21.56	29.05	59.01	0.83	174.7	150.0	2.20	934.6	155.9	34.81	23.55	14.47	49.64
$\gamma\delta oS^a$	1	0.99	1.78	5.68	44.83	33.33	157.01		112.0	111.0	1.85	520.0	164.0	16.70	21.00	8.90	255.00
维氏	:值	1.50	3.00	1.00	40.00	20.00	60.00	4.50	200.0	300.0	5.50	830.0	200.0	18.00	18.00	5.00	40.00

表4 加里东期白马山岩体稀土元素分析结果(×10<sup>--6</sup>)及有关参数

Table 4 Contents of REE of Caledonian Baimashan granites

代号	样品数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma REE$	$\Sigma Ce/\Sigma Y$	δEu
$\eta\gamma S^d$	1	17.31	40.73	3.99	14.60	3.24	0.48	2.80	0.51	3.04	0.6	1.78	0.30	2.19	0.32	17.41	109.30	2.78	0.52
$\eta\gamma S^c$	2	53.30	103.08	9.61	33.14	5.67	0.86	4.00	0.64	3.19	0.63	1.59	0.26	1.60	0.25	15.19	233.29	7.49	0.58
$\gamma\delta S^b$	4	46.84	83.24	7.97	28.81	4.91	0.94	3.79	0.56	3.04	0.59	1.60	0.25	1.58	0.23	15.85	199.14	6.41	0.71
$\gamma\delta oS^a$	1	22.06	49.25	6.66	33.17	15.85	2.159	13.49	1.814	8.23	1.303	3.07	0.432	2.29	0.311	32.96	193.06	2.08	0.53
维日	毛値	60.00	100.0	12.0	46.0	9.0	1.5	9.0	2.5	6.7	2.0	4.0	0.3	4.0	1.0	34.0	292.0	3.6	0.56

偏高,其中 Pb、Th、Ta 等元素富集,高出维氏酸性岩值 1~2倍;Cu、Au、Rb、Sr 明显偏低,略低于维氏值,Be 低于维氏酸性岩值 2~3 倍。

岩石稀土元素分析结果及有关参数列于表 4。 表 4 显示,稀土元素总量偏高, $\Sigma$  REE=109.30× 10<sup>-6</sup>~233.29×10<sup>-6</sup>,比维诺格拉多夫(1962)发表的酸 性花岗岩平均含量(简称维氏值)低,相对而言,早次 侵入体稀土总量较高,而晚次侵入体较低。轻重稀 土比值 $\Sigma$  Ce/ $\Sigma$  Y=7.49~2.08,属轻稀土相对富集; δ Eu 值 0.52~0.71,铕明显或弱亏损。

在岩石稀土元素模式配分图(图 6)上,稀土 模式配分曲线总体特征相似,曲线向右倾斜,早期 次侵入体曲线斜率稍较大,晚期次侵入体斜率较小 外,铕亏损较明显,三个侵入期次均见有"铕谷"出 现。同时稀土元素总量和分量也有规律性变化,反 映了各侵入次花岗岩规律性同源岩浆演化的特点。

### 4 讨论

### 4.1 花岗岩成因

分析认为,区内花岗岩是地壳物质经重熔作用 后形成花岗岩浆沿着有利的构造空间上升 - 侵 入 - 冷却而成的产物,而且以中地壳重熔为主,有 部分下地壳成份参入。其依据有:

(1)岩体与围岩呈明显的侵入接触关系,外接触带见热接触变质,镜下表现出典型的岩浆结晶结构。

(2) A/NCK 值除第一次小侵入体为 0.99 外(小于1)外,其余均大于1,用 C.I.P.W 计算的标准矿物中出现 C 值而无 Di 值,K<sub>2</sub>O 均大于 Na<sub>2</sub>O,在 A C F 图上(图 7),投影点绝大多数落于"S"型花岗岩区。



### 图6志留纪花岗岩岩石稀土元素配分模式图

Fig.6 REE distribution patterns of Silurian granite ②第二侵入次花岗岩;③第三侵入次花岗岩;④第四侵入次花岗岩.



图7 花岗岩ACF图解 Fig. 7 Granite ACF diagram

综上所述,加里东期白马山岩体为岩浆成因, 为"壳源型"或称"S型"花岗岩。

### 4.2 形成构造背景

本文所获 411 ± 4.5 Ma 的 U-Pb 年龄表明该 期花岗岩形成于志留纪末 – 泥盆纪初,而广西运动 发生于志留纪后期,由此推断该期岩浆活动与志留 纪后期的广西运动<sup>[26-27</sup>有关。鉴于花岗岩形成于地 壳重熔,推断加里东期花岗岩形成机制为:广西运 动导致地壳增厚、升温,尔后在应力松弛的后碰撞 环境下减压熔融并上侵就位。

结合区域地质背景,加里东期白马山岩体划分 为4个侵入期次,而第一次英云闪长岩(γδoS<sup>a</sup>)仅 有一个极小侵入体,面积约0.26km<sup>2</sup>,说明加里东 期白马山岩体在第二次细中粒斑状角闪石黑云母 花岗闪长岩(γδS<sup>b</sup>)之前,未经历更早的大规模岩浆 活动,从而推断加里东期白马山岩体仅经历志留纪 后期的广西运动变形事件,此与胡召齐等<sup>[28]</sup>所获雪 峰造山带419~389 Ma的伊利石 K-Ar 年龄相吻 合。这一成果为白马山地区加里东期花岗岩年代补 充了资料,为雪峰造山带加里东运动期次及影响范 围提供了重要约束。

位于白马山岩体南面的苗儿山岩体(图 8),所 获 428.5 ± 3.8 Ma 和 409 ± 4 Ma<sup>2</sup>的 U-Pb 年龄表 明早志留世末和志留纪末 – 泥盆纪初的 2 期岩浆 活动,早期岩浆活动反映北流运动变形和增厚事 件,晚期岩浆活动则反映广西运动变形事件<sup>[29]</sup>。其 中晚期岩浆事件 409 ± 4 Ma 的年龄与本文白马山 加里东期花岗岩年龄一致。

区域上城步 – 新化大断裂为一表现为岩石圈 低阻低速带的壳幔韧性剪切带。沿断裂走向岩石圈 底界西高东低,落差达 97~140 km。该剪切带在地 幔层次向 NWW 陡倾,向上与壳幔边界滑脱层及中 地壳韧性滑脱层相连,从而控制地壳层次的滑脱 – 冲断及相关的褶皱变形。断裂以西发育早志留世两 江河组和珠溪江组前陆盆地砂、泥质沉积,而断裂 以东至湘东南缺失志留系<sup>[30]</sup>。结合加里东期白马山 岩体位于断裂以西,仅经历志留纪后期的广西运动 变形事件,加里东期苗儿山岩体位于断裂以东,经 历北流运动和广西运动两次变形事件,由此推断, 断裂以东志留系的缺失应与北流运动有关。而北流 运动发生于奥陶纪末 – 志留纪初,说明断裂以东在



Fig. 8 Positional map of Miao'ershan pluton

奥陶纪末已褶皱造山,因此志留系的缺失属沉积缺 失,而非后期剥蚀造成。也就是说,区域上,北流运 动的影响范围向北没有越过城步一新化断裂,而广 西运动的影响范围越过了城步一新化断裂。

综上,奥陶纪末 - 早志留世北流运动发动,城 步 - 新化断裂以东在强挤压作用下褶皱、逆冲(向 北西)而抬升成陆、遭受剥蚀;而断裂以西(现雪峰 造山带)因东侧逆冲块体的重力荷载而大幅沉降, 形成前渊凹陷(前陆盆地)并充填砂泥质沉积。早志 留世末断裂以东因北流运动诱发后碰撞花岗质岩 浆活动,形成苗儿山加里东期早期花岗岩。志留纪 后期广西运动发动,城步 - 新化大断裂两侧均因强 烈挤压而增厚,尔后在应力松弛的后碰撞环境下形 成苗儿山加里东期晚期花岗岩(断裂东侧)和白马 山加里东期花岗岩(断裂西侧)。

### 5 结论

(1)加里东期白马山岩体总体特征属弱过铝质 花岗岩,属"S型"花岗岩,源岩主要为中地壳酸性 岩石。

(2)加里东期白马山岩体 411 ± 4.5 Ma 的年 龄值,反映出志留纪末 – 泥盆纪初的一期岩浆事 件,并指示白马山地区在志留纪后期的广西运动中 产生过强烈的陆内挤压和地壳增厚。

(3)花岗岩形成机制为:广西运动导致地壳增 厚、升温,尔后在应力松弛的后碰撞环境下减压熔 融并上侵就位。

(4)城步 - 新化大断裂以西发育早志留世两江 河组和珠溪江组前陆盆地砂、泥质沉积,而断裂以 东至湘东南缺失志留系,这一构造格局与城步 - 新 化断裂以西白马山地区仅经历广西运动变形事件, 而断裂以东苗儿山地区在北流运动变形事件中褶 皱造山造成沉积缺失有关。

### 注释:

- ① 湖南省地质调查院.1:25万邵阳市幅区域地质调查报告 [R].2013.
- ②湖南省地质调查院.1:25万武冈市幅区域地质调查报告 [R].2013

#### 参考文献:

[1]舒良树,于津海,贾东,王博,沈渭洲,张岳桥.华南东段早古

生代造山带研究[J].地质通报,2008,27(10):1581-1593.

- [2] 舒良树.华南构造演化的基本特征[J].地质通报,2012,31 (7):1035-1053.
- [3] 柏道远,王先辉,马铁球,张晓阳,陈必河.湘东南印支期褶 皱特征及形成机制[J].华南地质与矿产,2006,(4): 50-57.
- [4] 柏道远,贾宝华,钟响,贾朋远,刘耀荣.湘中南晋宁期和加 里东期构造线走向变化成因[J].地质力学学报,2012,18(2): 165-177.
- [5] 郝义,李三忠,金宠,戴黎明,刘博,刘丽萍,刘鑫.湘赣桂地区加里东期构造变形特征及成因分析[J].大地构造与成 矿学,2010,34(2):166-180.
- [6]周新民.对华南花岗岩研究的若干思考[J].高校地质学报, 2003,9(4):556-565.
- [7] 张芳荣,舒良树,王德兹,于津海,沈渭洲.华南东段加里东 期花岗岩类形成构造背景探讨
  [J]. 地学前缘,2009,16(1): 248-260.
- [8] 莫柱孙,叶伯丹,潘维祖.南岭花岗岩地质学[M].北京:地质 出版社,1980.
- [9] 卢华复. 赣南崇余山区前泥盆纪地层中角度不整合的发现及其意义[J].南京大学学报(地质学版),1962,(1):75-87.
- [10] 余开富,王守德.贵州南部的都匀运动及其古构造特征和 石油地质意义[J].贵州地质,1995,12(3):225-232.
- [11] 吴浩若.广西加里东期构造古地理[J].古地理学报,2000,2 (1):82-88.
- [12] 吴浩若. 重新解释广西运动 [J]. 科学通报,2000,45(5): 555-558.
- [13] 杜远生,徐亚军.华南加里东运动初探[J].地质科技情报, 2012,31(5):43-49.
- [14] 陈 旭,戎嘉余.从生物地层学到大地构造学一以华南奥 陶系和志留系为例[J].现代地质,1999,13(4):385-389.
- [15] 陈旭,张元动,樊隽轩,唐兰,孙海清.广西运动的进程:来 自生物相和岩相带的证据[J].中国科学:地球科学, 2012,42(11):1617-1626.
- [16] Rong J Y, Zhan R B. Surviving the end-Ordovician extinctions: evidence from the earliest Silurian brachiopods of northeastern Jiangxi and western Zhejiang provinces, East China[J]. Lethaia, 2006, 39(1): 39–48.
- [17] 陈卫锋,陈培荣,黄宏业,丁兴,孙涛.湖南白马山岩体花 岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J].中国科学(D 辑:地球科学),2007,37(7): 873-893.
- [18] 罗志高,王岳军,张菲菲,张爱梅,张玉芝.金滩和白马山印 支期花岗岩体LA-ICPMS锆石U-Pb定年及其成岩启示 [J].大地构造与成矿学,2010,34(2):282-290.
- [19] 王岳军,范蔚茗,梁新权,彭头平,石玉若.湖南印支期花岗 岩SHRIMP 锆石U-Pb年龄及其成因启示 [J]. 科学通报, 2005,50(12):1259-1266.
- [20] Compston W, Williams IS, Kirschvink JL, Zhang ZC, Ma GQ.

Zircon U–Pb ages of early Cambrian time-scale [J]. Journal of [25] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematthe Geological Society, 1992,149:171–184. ics of oceanic basalts: Implications for mantle composition

- [21] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II .Ion microporbe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1987,97:205 ~ 217.
- [22]简平,刘敦一,孙晓猛. 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 [J].地质学报,2003,77(2):217-228.
- [23] Ludwig K R. Using Isoplot/EX,version 2,a Geolocronolgical Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication 1a,1999,47.
- [24] Ludwig K R. Squid 1.02: A User Manual [M]. Berkeley Geochronological Center Special Publication,2001:2–19.

- [25] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, Magmatism in the Ocean Basins[M]. London: Geological Society Special Publications,1989,42:313–345.
- [26] Ting V K.The orogenic movements in China [J]. Bulletion of Geological Society of China, 1929,8(2):151–170
- [27] 杜远生,徐亚军.华南加里东运动初探[J].地质科技情报, 2012,31(5):43-49.
- [28] 胡召齐,朱光,张必龙,张力.雪峰隆起北部加里东事件的 K-Ar年代学研究[J].地质论评,2010,56(4):490-500.
- [29] 柏道远,贾宝华,王先辉,彭云益,贾朋远,凌跃新.湘中盆地 西部构造变形的运动学特征及成因机制[J].地质学报, 2013,87(12):1791-1801.
- [30]湖南省地质矿产局.湖南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1988.

## 《华南地质与矿产》参考文献著录格式

本刊按引用文献在正文中出现的先后顺序连续编码,以阿拉伯数字排序,并用方括号标注。引用格式举例:"花岗岩成矿问题研究近年来取得了不少进展<sup>[1,23-27]</sup>。""高山和金振民<sup>[1]</sup>最早将'拆沉作用'的概念引入国内。""原始地幔数据引自文献[26]。"

文后参考文献著录格式如下:

#### 1 普通图书

[序号](顶格,下同)作者(全部列出).书名[M]. 版次(第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页 码.例如:

 [1] 史明魁,傅必勤,靳西祥,周雪昌.湘中锑矿
[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1993: 56-67.

#### 2 普通图书、会议论文集等中析出的文献

[序号]作者(全部列出).题名[文献类型标识]//原文献编者(全部列出).原文献题名.版次 (第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页 码.例如:

[1] 陈丕基,万晓樵,曹流,等.中国陆相白垩系富 饶阶研究进展[M]// 王泽九,黄枝高.中国主 要断代地层建阶研究报告(2001-2005).北 京:地质出版社,2008:65-73.

### 3 连续出版物中析出的文献

[序号] 论文作者(全部列出).题名[J].连续出版

物名,出版年,卷号(期号):起止页码.例如:

[1] 李献华.扬子块体南缘四堡群 Sm-Nd 同位素体 系及其地壳演化意义[J].地质科学,1996,31(3): 218-228.

### 4 学位论文

[序号]作者. 题名[D].保存地点:保存单位,年份. 例如:

- [1] 刘锐.华夏地块前海西期地壳深熔作用[D].武汉:中国地质大学(武汉),2009:65-69.
- 5参考文献类型及其标识

文献类型	类型标识
普通图书	М
会议论文集	С
报纸文章	Ν
期刊文章	J
学位论文	D
报 告	R
汇编	G
档 案	В
标 准	S
专利	Р
参考工具	K
其 他	Z